

吉林大学重点教材资助计划

普通高等教育地质矿产类教材

矿产勘查学

(第二版)

李守义 叶松青 等编

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

此次修编在教材内容上做了较大改动，加强了矿业基本内容的介绍，加强了矿床类型的论述，并系统地论述了矿产勘查经济与综合方法成矿预测的内容，同时按照《固体矿产资源/储量分类》国家标准（GB/T 17766—1999）及行业标准（2003年版）对相关内容进行了增减。

全书共九章 37 万字，适合在校地球及矿产资源类学生做教科书，同时对生产、科研、设计等单位的技术研究人员，也是一本较好的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

矿产勘查学/李守义，叶松青编. -2 版. -北京：地质出版社，2003.8

普通高等教育地质矿产类教材

ISBN 7-116-03881-7

I. 矿… II. ①李… ②叶… III. 矿产-地质勘探-高等学校-教材 IV. P624

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 067502 号

责任编辑：陈 磊 郝 杰

责任校对：王素荣

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京海淀区学院路 31 号，100083

电 话：(010) 82324508（邮购部）；(010) 82324565（编辑部）

网 址：<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱：zbs@gph.com.cn

传 真：(010) 82310759

印 刷：北京朝阳区小红门印刷厂

开 本：787 mm×1092 mm^{1/16}

印 张：15.25

字 数：371 千字

印 数：1—3000 册

版 次：2003 年 8 月北京第二版·第一次印刷

定 价：18.50 元

ISBN 7-116-03881-7/P·2394

（凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行处负责调换）

第一版前言

本书系根据 1991 年在厦门召开的地质矿产部矿产普查与勘探课程教学指导委员会全体会议上的决议，责成长春地质学院（现为长春科技大学）对《找矿勘探地质学》（侯德义主编，1984）进行修编，于 1993 年在贵阳会议上，对修编大纲进行了认真讨论，最后予以通过。

《找矿勘探地质学》是 20 世纪 80 年代初期编写而成的，教材使用过程中得到了教学、生产、科研单位的好评。但是，由于矿产勘查理论的发展，矿产勘查事业的不断前进，经济体制的变革，这些都对矿产勘查学提出了许多新的要求，原教材中的一些内容已经不能适应新形势的需要，对其进行修编已经势在必行。《矿产勘查学》改变了原教材中的普查与勘探截然分开的体系，统分为九章；加强了矿产勘查理论的论述；加强了矿产勘查新技术新方法的介绍；加强了矿产勘查经济技术评价的论述；加强了矿产勘查基本作业方法的介绍。本教材反映教学需要的性质，根据教学基本要求，强调适用性，教材篇幅较原教材进行了大幅度删减，由原来的 56 万字减少为 35 万字。

本教材的编写是在地质矿产部“矿产普查与勘探课程教学指导委员会”主持下进行的。具体由长春科技大学负责，由侯德义和刘鹏鄂任主编，李守义、叶松青参编，具体分工如下：第一章概论、第九章矿床经济技术评价由侯德义编写，第二章矿产勘查理论基础（第一节）、第三章矿产预测的理论与方法由李守义编写，第二章矿产勘查理论基础（第二、三节）、第四章矿产勘查技术手段及其合理应用、第五章矿体地质研究、第六章勘探工程总体布置型式及剖面精度分析由刘鹏鄂编写，第七章矿产质量研究和取样、第八章矿产储量计算由叶松青编写，最后由侯德义和刘鹏鄂对全书进行了统编定稿。

教材编写过程中，始终得到地质矿产部“矿产普查与勘探课程教学指导委员会”的全力支持，得到了中国地质大学同行专家的悉心指教，也得到了长春科技大学的具体帮助。在此向他们致以衷心的感谢。

由于作者能力有限，书中不足或不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者
1997 年 7 月于长春

再版前言

本书自 1997 年修订以来，我国矿产勘查业管理体制、运行机制、政策法规、行业标准均发生了重大变化。

管理体制的变化表现为绝大部分矿产勘查队伍由过去的中央部委管理转变为实行属地化管理；运行机制的转变表现为实行属地化管理的矿产勘查队伍要逐步由计划经济向市场经济运行机制转变，最终目标是建立现代企业制度；政策法规的转变表现为矿业权有偿取得和依法转让制度的建立，最终目标是与市场经济相衔接，与国际通行做法接轨；国家标准的转变表现为《固体矿产资源/储量分类》(GB/T17766—1999)的发布和实施。《标准》在保证矿产勘查工作更加规范、有序、合理的前提下，更加强调了矿产勘查的最终目的和基本任务是对矿床的经济价值和社会价值以及投入生产后的市场价值和竞争能力等做出正确的评价。

上述变化表明，原来教材中带有计划经济色彩的某些内容，与现行政策法规、行业标准不相一致的某些内容已不适应变化了的新形势的要求。另一方面，矿产勘查业的逐步与国际通行做法接轨以及同市场经济接轨的现实说明，只懂得地质基础和技术基础，缺乏法制观念和经济基础的大学本科毕业生已不能适应社会主义市场经济体制下对人才的需要，也不符合 21 世纪党的教育方针和“三个面向”的要求。为了适应改革开放的新形势和不断提高教育质量及教育水平，满足国民经济建设和社会发展对人才的需求，受地质出版社委托，我们对原教材进行了修订。

修订后的教材仍为九章。加强了矿业权基本内容的介绍；加强了矿床类型的论述；加强了综合方法成矿预测相关内容的介绍；加强了矿产勘查经济的论述；按照《固体矿产资源/储量分类》国家标准(GB/T17766—1999)对相关内容进行了增减。

本教材由李守义、叶松青负责修编。具体分工如下：第一章绪论(第一、二、四节)、第三章矿产勘查技术方法、第四章矿产预测的理论与方法、第九章矿产勘查经济由李守义编写；第一章(第三节)、第五章矿体地质研究、第六章勘查工程系统、第八章矿产资源/储量估算由叶松青编写；第二章矿床类型由陈磊、李守义编写；第七章矿产质量研究和取样由陈磊、叶松青编写。博士研究生孙英男、王洪德、吴尚昆参加了部分工作。本书在编写过程中得到了国土资源部勘查司司长仲伟志、副司长曾绍金、加拿大普拉塞尔中国公司代表朱奉三教授、北京海地人公司张振凯先生、吉林省延边朝鲜族自治州国土资源局谭东南先生、吉林大学教务处的支持，并列入吉林大学重点教材资助计划，谨向他们致以衷心的感谢。

李守义

2003 年 6 月于吉林大学

目 录

第一版前言

再版前言

第一章 绪论	(1)
第一节 矿产勘查学的性质、任务与研究方法	(3)
一、矿产勘查学的性质	(3)
二、矿产勘查学的基本任务	(4)
三、矿产勘查学的研究方法	(4)
第二节 矿产勘查的基本原则及勘查阶段的划分	(6)
一、矿产勘查的基本原则	(6)
二、矿产勘查阶段的划分	(7)
第三节 矿产资源/储量分类	(8)
一、矿产资源和矿产储量的基本概念	(8)
二、国外矿产资源(储量)分类研究状况	(9)
三、我国以往矿产资源(储量)分类分级研究简况	(11)
四、我国现行固体矿产资源/储量分类	(12)
五、国内外矿产资源(储量)分类对比	(19)
第四节 矿业权	(19)
一、矿业权法律特征	(20)
二、矿业权与矿产资源所有权	(20)
三、矿业权价值	(21)
四、矿业权人的资格和资质	(22)
五、矿业权人的权利和义务	(23)
六、矿业权评估	(24)
第二章 矿床类型	(30)
第一节 矿床成因类型	(30)
第二节 矿床工业类型	(31)
一、矿产的工业分类	(32)
二、部分矿种的矿床工业类型	(32)
第三节 矿床勘查类型	(39)
一、矿床勘查类型确定的原则	(39)
二、部分矿种的矿床勘查类型	(40)
第三章 矿产勘查技术方法	(47)
第一节 矿产勘查技术方法的种类与作用	(47)
一、地质测量法	(47)
二、重砂测量法	(48)

三、地球化学测量法	(54)
四、地球物理测量法	(57)
五、遥感地质测量法	(58)
六、探矿工程法	(64)
第二节 影响勘查技术方法选择的因素	(66)
第四章 矿产预测的理论与方法	(69)
第一节 矿产预测的基本理论与准则	(69)
一、矿产预测的基本理论	(69)
二、矿产预测的基本准则	(72)
第二节 矿产预测层次划分与任务要求	(73)
一、矿产预测层次的划分	(73)
二、矿产预测各层次的任务要求	(75)
第三节 矿产预测的地质基础理论——成矿模式	(78)
一、成矿模式的含义与分类	(79)
二、建立成矿模式的意义	(81)
三、成矿模式的内容	(82)
第四节 矿产预测方法	(82)
一、国内外研究现状	(82)
二、矿产预测方法的分类	(83)
第五节 综合方法成矿预测实例：香花岭地区 1:5 万综合方法成矿预测	(85)
一、地质概况	(85)
二、地质-矿产信息提取	(86)
三、综合方法成矿预测	(92)
第五章 矿体地质研究	(103)
第一节 矿体地质研究的基本内容	(103)
一、矿体变化性质的研究	(104)
二、矿体变化程度的研究	(104)
三、控制矿体变化因素的研究	(106)
第二节 矿体变化性的数学表征方法	(106)
一、矿体变化性质的数学表征方法	(107)
二、矿体变化程度的数学表征方法	(118)
第六章 勘查工程系统	(124)
第一节 矿体形态基本类型	(124)
第二节 勘查工程总体布置	(125)
一、勘查工程布置的基本原则	(125)
二、勘查工程总体布置形式	(126)
第三节 勘查工程间距的确定	(128)
一、勘查工程间距确定的基本原则	(129)
二、确定勘查工程间距的方法	(129)
第四节 勘查工程的设计与施工	(134)
一、勘查工程设计	(134)

二、勘查工程施工管理	(137)
三、勘查工程的施工顺序	(145)
第七章 矿产质量研究和取样	(146)
第一节 矿产质量研究的主要内容	(147)
第二节 矿产取样	(149)
一、矿产取样的种类	(150)
二、样品的采集方法	(150)
三、样品的加工	(159)
四、样品的鉴定、分析、测试及试验	(161)
五、取样结果的整理及研究	(165)
第八章 矿产资源/储量估算	(168)
第一节 矿产资源/储量单位及工业指标	(168)
一、矿产资源/储量单位	(168)
二、矿产工业指标	(168)
第二节 矿产资源/储量边界线的圈定和资源/储量估算图纸	(169)
一、矿产资源/储量边界线的种类及圈定方法	(170)
二、矿产资源/储量估算图纸	(171)
第三节 矿产资源/储量估算参数的测定与计算	(175)
一、矿体(块段)面积测定	(175)
二、矿体厚度测定与计算	(176)
三、矿产资源/储量估算参数平均值的计算	(176)
四、特高品位的确定与处理	(177)
第四节 矿产资源/储量估算方法	(178)
一、几何学方法	(178)
二、统计分析法	(183)
三、SD法	(189)
第五节 矿产资源/储量误差与精度估计	(192)
一、矿产资源/储量误差性质分类	(192)
二、矿产资源/储量误差的检查方法	(193)
三、矿产资源/储量估算精度估计	(195)
第九章 矿产勘查经济	(198)
第一节 矿产勘查技术经济	(198)
一、矿产勘查的地质可靠程度	(198)
二、矿产勘查的可行性评价	(202)
三、影响矿产勘查可行性评价的因素	(204)
四、矿产勘查经济测算	(211)
第二节 矿床技术经济评价	(215)
一、矿床技术经济评价的概念、意义与原则	(215)
二、矿床技术经济评价方法与步骤	(217)
三、矿床企业(微观)经济评价	(219)
四、矿床国民(宏观)经济评价	(224)
五、不确定性分析	(228)

六、矿床的综合评价	(229)
第三节 矿产资源的可持续利用——矿床最佳开采决策模型	(231)
一、两时段矿床最佳开采决策模型	(231)
二、多时段矿床最佳开采决策模型	(233)
参考文献	(234)

第一章 绪 论

1. 矿产勘查的基本概念

矿产勘查亦称矿产资源勘查或矿产地质勘查。它是在区域地质调查基础上，根据国民经济和社会发展的需要，运用地质科学理论，使用多种勘查技术手段和方法对矿床地质和矿产资源所进行的系统调查研究工作。矿产勘查是矿产预查、矿产普查、矿产详查与矿产勘探的总称。它与“地质调查”、“地质勘查”等术语的含义不同。“地质调查”一般是指基础性的区域地质测量工作，而“地质勘查”则有更广泛的意义，定一般概括了所有各类专门性勘查，如矿产勘查、水文地质勘查、工程地质勘查、环境地质勘查，等等。

矿产勘查的基本任务，是根据国民经济和社会发展的需要及地质条件的可能，寻找和查明具有经济价值的工业矿床，为国民经济建设提供矿产资源依据，为矿山企业建设提供矿物原料基地和矿产储量。

矿产勘查是一项科学实践活动，其勘查的过程是运用地质科学理论与多种勘查技术手段与方法对地质矿产各方面情况，进行反复不断地观察与研究，力求正确认识和反映其规律性的过程。为此，在工作过程中必须以地质理论为指导，加强地质观察研究，这对矿产勘查工作的成败具有决定性作用。

矿产勘查工作又是一项重要的社会生产活动，是矿业开发的基础性和先行性的工作。为此，对矿产勘查来说，也应同对任何其他物质生产部门一样，社会生产的基本要求是获取最大效益，也就是必须用最短的时间和最少的劳动耗费取得最多、最好的成果。矿产勘查的成果主要是根据所查明矿床的自然价值和矿产储量已达到的勘查研究程度来判断的。矿床已知的自然价值越大，探明储量的评价越确切，勘查费用越少，勘查时间越短，勘查效益就越高。

综上所述，矿产勘查是一种特殊性质的生产劳动，是一种具有科学实践和生产实践双重性质的科研—生产性的工作。其劳动的对象是地下矿产资源，劳动的主要成果是探明储量的工业矿床，劳动的根本目的是保证国民经济和社会发展对矿产资源探明储量的基本需要。

2. 矿产勘查的意义

矿产勘查的意义主要取决于它在国民经济中的地位和作用两个方面。矿产勘查是对地质、矿产资源进行调查研究工作，目的在于发现、探明矿产资源，保证国民经济建设和社会发展的基本需要。矿产勘查所服务的方向及涉及的内容极为广泛，它既为基础产业服务又为基础设施建设服务，既为矿业、农业服务也为高技术产业服务。它是基础产业的基础，是基础设施建设的先行。

众所周知，矿产资源是经济建设和社会发展的物质基础和工业化的基本食粮，也是增强综合国力和进行国际竞争的重要筹码。矿产资源丰度及其开发利用程度是影响一个国家经济实力和潜力的重要因素，直接关系到国民经济各行各业的发展和人民的生活。

我国的矿产勘查工作，在党和政府的关怀重视下，有了突飞猛进的发展，为建立我国的矿业体系打下了比较充足的资源基础。到目前为止，我国已发现矿产 173 种，其中探明储量的矿产资源有 155 种，有 20 多种矿产探明储量居世界前列。

我国现有国有矿山近万个，乡镇集体和个体采矿点 20 多万处，年矿石开采量 40 多亿吨。矿业产值（2002 年统计）4000 多亿元。由于矿业的发展，也推动了钢铁、有色金属、化工、建材、非金属材料等工业的发展。这说明矿产勘查工作不仅是矿业发展必不可少的前期工作（或者说是矿业生产的首要环节或重要阶段），而且也已成为我国现代化建设中一个极为重要的支柱。

我国矿产资源供需形势：从矿产资源特点看，我国矿产资源总量多但人均拥有量少，即总量比较丰富，居世界前列，但人均占有量不足世界平均水平的 58%；我国矿产有丰有欠、储量充足的矿产多半用量不大，大宗矿产又多半储量不足；我国大宗矿产贫矿多富矿少，如铁、锰、铝、铜、金、硫、磷、铀等以贫矿居多；我国的共生、伴生矿多，单一矿少；我国的矿床规模有大有小，中小型矿床多，中大型、大型、超大型矿床少；我国矿产分布不均衡，特别是一些重要矿产的分布具有明显的地区差异，如煤集中分布于新、晋、陕、内蒙古四省区，占全国保有储量的 60% 以上，磷矿集中分布于滇、黔、川、鄂四省，占全国保有储量的 70%，铁矿集中于辽、冀、晋、川四省，占全国保有储量的 60%。

我国矿产资源供需形势日趋紧张，人口增长和经济发展造成资源压力增大，一大批进入中晚期的大中型矿山产量锐减，地质找矿难度增大以及主要矿产探明储量增幅减缓，使我国矿产资源形势日趋严峻。现有矿产储量中只有 60% 可开发利用，仅有 35% 可以采出，因而，实际可利用的储量明显不足。而中国经济正处于迅速推进工业化阶段，这是国民经济对矿产资源继续保持旺盛需求的发展阶段，预测中国矿产品需求量在 21 世纪初期或中期将达到高峰。

据 45 种主要矿产的可利用矿区可采储量对 2010 年经济建设的保证程度分析结果显示：2010 年可以完全保证国内需求并有部分产品可以出口换汇的矿产有 23 种；基本保证，但在储量或品种上还存在不足，需要在国内找矿或进口解决的矿产有 7 种；不能保证，部分需长期进口补缺的矿产有 10 种；资源短缺，主要靠进口解决的矿产有 5 种（表 1-1）。

表 1-1 2010 年 45 种主要矿产的保证程度状况

保证状况	矿产数/种	矿产名称
完全保证	23	菱镁矿、钼、稀土、芒硝、钠盐、煤、钛、水泥原料、玻璃原料、石材、萤石、钨、锡、锌、重晶石、锑、滑石、高岭土、硅灰石、硅藻土、石墨、膨润土、石膏
基本保证	7	铀、铝、铅、锑、耐火粘土、磷、石棉
不能保证	10	石油、天然气、富铁、锰、铜、镍、金、银、硫、硼
资源短缺	5	铬、钴、铂、钾盐、金刚石

由表 1-1 可以看出，我国矿产资源形势并不乐观，必须采取多种措施来保证国民经济对矿产资源的需求，而进一步加强矿产勘查工作，实现矿产勘查工作新的重大突破，则是必须采取的重大措施之一。我们必须从世界资源竞争与保证的战略角度去发展矿产勘

查工作。对于像我们这样的大国，保证尽可能多的矿产能够自给并有足够多的矿产储备更是一件具有战略意义的大事。这对保证我国经济社会长期持续、稳定、协调地发展，将起着非常重要的作用。所以，必须切实加强矿产勘查工作，并且要适当地超前于国民经济的发展，绝不能有短期行为，否则就要受到客观规律的惩罚，造成的后果将会是严重的。

第一节 矿产勘查学的性质、任务与研究方法

一、矿产勘查学的性质

矿产勘查学亦称找矿勘探地质学，或称矿产普查勘探学。它是研究矿产形成与分布的地质条件、矿床赋存规律、矿体变化特征和研究工业矿床最有成效的勘查理论与方法的应用地质学。也就是说它是以研究矿床、矿体地质为基础，以预测、勘查与评价为中心内容，以提高矿产勘查的地质与经济效果为目的的实用地质学。它是一门实践性、综合性、经济性、数量性和政策性都比较强的应用地质学科，按其性质与特点它属于经济地质学的范畴。

矿产勘查学是地球科学的一个重要分支学科，它是专门研究如何勘查矿产资源的一门学科。为此，本学科研究的主要内容是矿产预测、矿产勘查及矿产评价三个基本方面。它的主要研究方法是观察研究、统计分析、模型类比和综合评价。它和其他学科一样，也具有预见性，预测矿床的地下储量和分布，预测矿产矿床类型及其规模远景，预测矿体的各种参数（形状、产状、规模、有用组分等）的变化情况等。

矿产勘查学是地质科学理论与矿产勘查生产实践联系的纽带。各类地质科学的理论集中地、综合地通过矿产勘查学指导矿产勘查生产实践的进行，而矿产勘查学的理论和方法本身以及各类地质学，特别是矿产地质学的理论，又在矿产勘查的实践中进行验证、修改和发展。因此，对地质科学基础理论和地质观察研究基本方法的掌握和善于分析成矿地质背景环境，是成功地进行矿产勘查工作的主导因素。

矿产勘查学是地质科学与工程技术科学联系的桥梁。现阶段的矿产勘查工作，拥有各种技术手段与方法（地质调查研究、探矿工程、物探、化探、航测遥感、实验测试、电算和数字化技术等），是一个多工种、多手段相互配合，综合应用的系统工程。勘查生产实践中只有根据具体情况，合理选用，才能有效发挥各工种和各手段的作用，体现总体功能，以提高矿产勘查的地质效果和经济效益。

矿产勘查学是地质科学（自然科学）与经济科学（社会科学）的综合体现，是一门地质、技术和经济科学知识综合应用的经济地质学。它与地质科学和经济科学有着紧密相依和互相制约关系。矿产勘查学既要研究矿产形成、分布、变化规律及其勘查活动的发展和运动规律，又要研究矿产勘查过程中的经济发展、变化和运动规律。这一点是矿产勘查学与其他地质学和经济学的重要区别。

矿产勘查学的研究对象主要是工业矿体，它不同于矿物自然堆积体（自然矿体），它包含了经济的概念，即在当前技术条件下，具有经济价值，可被工业部门开发利用的矿体。这种矿体要有一定品位，一定的规模，符合一定的技术经济要求，在当前技术条件下可以开采并能取得一定的经济效益。

矿产勘查生产活动是一种地质、技术和经济的综合活动，这种生产活动是在地质上可能，技术上可行，经济上合理，社会上必须的特定条件下实现的。为此，它必须遵循勘查的经济规律，讲求矿产勘查的经济和社会效益。如何根据国民经济发展和发展的需要，在尽可能短的时间里，用尽可能少的人力、财力和物力的消耗，最终尽可能多，尽可能好地获得所需的地质成果问题，是矿产勘查学及矿产勘查生产实践中必须研究与解决的一个基本问题。

综上所述，可以把矿产勘查学概括为：“以地质科学为基础，以地质观察研究为基本方法，以各种工程技术方法为手段，以提高矿产勘查的地质经济效果和社会效益为目的的应用地质学。”这既反映了这门学科的性质，也反映了它与相邻学科的关系。

二、矿产勘查学的基本任务

矿产勘查学要解决的基本矛盾是矿床产出的局限性、矿体变化的复杂性与人们对其勘查范围和观察研究的有限性的矛盾，正确地解决这个矛盾，就使我们有可能经济而有效地完成矿产勘查的任务，达到最佳的地质经济效果。

矿产勘查学的基本任务是研究矿床形成条件、赋存规律及矿体变化性特征，并在此基础上，研究合理有效地预测、勘查和评价矿床的理论与方法，目的是提高矿产勘查的地质效果与经济效果，更好地指导矿产勘查生产活动的实践。

三、矿产勘查学的研究方法

矿产勘查学是一门地质技术经济相互紧密交叉、综合应用的经济地质学科，它和其他自然科学和社会科学一样，要用辩证唯物主义和历史唯物主义的理论与方法为指导。在此基础上，认真总结前人生产实践和科学实践，认为有以下几个方法可以作为本学科的基本研究方法。

1. 地质观察研究法

矿产地质勘查过程，主要是运用地质科学理论与方法对地质矿产客体的各种现象，进行反复不断的系统观察研究，力求正确认识和反映其客观规律的过程。观察（包括野外观察和室内的鉴定、测试等）是对客观地质、矿产实际取得感性认识的科学实践，研究是对各种观察所取得的材料进行分析、判断、推理，进一步掌握地质、矿产各种现象的内部联系及其规律性的科学概括。地质观察与研究，贯穿于矿产勘查工作的始终，是取得对矿床、矿体特征与规律性认识的基本方法，对矿产勘查工作的成败具有决定性的作用。

对各种地质、矿产现象的观察必须从实际出发、实事求是，采取严肃认真和客观的态度，力求真实准确，切忌以主观臆想代替客观实际，要主观符合客观。一切不重视实际观察和不严肃对待原始观察资料的真实性和准确性的做法都会导致不良的后果。

在实际观察的基础上，必须及时而又经常地运用地质科学理论对原始观察资料进行综合整理、分析、研究，做出科学的推理、判断、指出规律。要防止两种偏向，一是不认真研究实际资料只凭主观臆想轻率地下结论；二是不联系地质科学理论进行综合概括和深入思考，只是机械地拼凑与资料罗列。

总之，从客观地质矿产实际出发、实事求是地进行地质观察研究是取得对矿床或矿体规律性认识的基本方法，也是最好的方法。

2. 勘查统计分析法

勘查统计分析是指从矿产勘查实际需要出发，根据勘查已取得的大量观察数据资料，运用概率论的理论和地质统计学的理论与数理统计的方法，研究与解决矿产勘查中的理论问题与实际问题的统计分析方法。

目前，在矿产勘查工作中应用统计分析方法研究并解决与勘查任务有关的许多问题，如对矿体变化性的研究、勘查方法合理性的研究、勘查成果的精确性和可靠性的研究及储量计算方法等诸多方面的研究，均已取得了比较好的效果。理论与实践均可说明，矿产勘查中应用统计分析方法不仅是可能的，而且是有效的。它对提高勘查工作质量，提高矿产勘查学科的水平都有重要的意义。它已成为本学科中一个很有发展前途的、重要的研究方法。

值得注意的是，在应用勘查统计分析方法时，必须在工作中具有明确的目的性，必须与解决生产实际问题紧密相联系，必须以地质观察研究为基础并充分考虑地质现象或地质数值的特殊性，避免形式主义和繁琐哲学。勘查统计分析法不仅不可能在任何时候完全代替地质观察研究法，而且如果它脱离了地质观察研究的基础就一定会导致毫无意义或错误的结论。

3. 勘查模型类比法

勘查模型是根据已经勘查或开发过的矿床，在深入研究不同规模的勘查对象（矿田、矿床、矿体）的基本地质特征（成矿环境、成矿条件及矿床地质和矿体地质）相似性和其勘查方法相近性的基础上，总结归纳出来的一系列勘查模式的总称或总和。简言之，勘查模型是经过实践检验的类比标准，是指导新区或未知区同类型、同级别矿产勘查的重要依据。而根据已知勘查模型或规律指导未知区或新区的工作方法则称为模型类比法。

勘查模型类比法在矿产勘查的各阶段均可应用，是目前矿产勘查工作中应用最广、最主要的方法。应用勘查模型法的基础是在相近似地质环境和地质条件下，形成的地质构造及矿产的产状、结构及物质成分或多或少具有一定的相近性或相似性，这一点就保证了标准对象和被研究对象特性之间的可比性。在一般情况下其可比程度取决于对比对象之间的邻近程度和规模，规模越小、距离越近，彼此间的相似性越大；反之，其相似程度就越差。

勘查模型类比是一个很有发展前景的研究方法，目前正在向纵深方向发展。如研究成矿地质环境的模型类比，控矿地质因素的模型类比，找矿模型类比，勘探模型类比，勘查统计模型的类比，以及矿体变化性类型类比和矿床经济评价的模型类比等。

应用勘查模型类比法时要注意被类比对象的特殊性，这是由于成矿作用和成矿条件的复杂性，实际上不可能也没有任何两个矿床是完全相同的，更没有完全相同的勘查方法。因此对所建立的勘查模型也应该是灵活可变的。随着新的实际资料的获得，将使勘查模型更适合某种概念或必须对其加以修正。

在矿产勘查实际工作中，为了能使被研究或勘查的对象与标准对象之间有最大的类比程度，往往需要预先从被勘查对象的整体中，选择一个有代表性的地段，进行重点的勘查与研究，以便取得在本地区勘查的实践经验，然后再根据典型实践经验，去指导被勘查对象的整体。重点勘查对象（或地段）越是典型，则整个勘查对象的类比就越可靠，取得资料的外推误差也越小。

4. 技术经济评价法

矿产勘查工作的过程就其实质来说是对矿产资源反复不断进行评价的过程，如对于尚未发现的矿产资源要进行预测评价，对于已经发现的矿产（或矿床、矿化点）要进行概略研究评价或预可行性研究评价，对于已经查明的矿产或矿床要进行可行性研究评价，对已经开发的矿床还要进行工业开发利用评价。可见，矿床或矿产的技术经济评价，贯穿于矿产勘查与开发工作的始终，它是矿产勘查工作和矿产勘查学的一个重要研究方法。

矿床技术经济评价是从工业开发利用的角度出发，依据矿床的技术条件和经济条件，对矿床能否被开发利用，进行技术可能性和经济合理性的分析论证。其目的在于通过评价对矿床进行逐步筛选，以便择优进行勘查与开发，减少风险，提高勘查与开发的经济效益。

可以毫不夸张地说，矿产勘查所取得的地质、技术、经济资料或信息都是为了对矿产资源进行评价，只有通过评价才能择优进行决策，只有通过评价才能使矿产资源由自然财富转变为可被开发利用的物质财富。

第二节 矿产勘查的基本原则及勘查阶段的划分

一、矿产勘查的基本原则

1. 因地制宜原则

因地制宜原则是矿产勘查的最基本和最重要的原则，是由矿床复杂多变的地质特点和勘查工作性质所决定的。大量勘查实践的经验证明，只有从矿床实际情况出发，实事求是地决定勘查各项工作，才能取得比较符合矿床实际的地质成果和更好的经济效果；如果脱离矿床实际，主观臆想地进行工作，必然使勘查工作遭到损失和挫折。而要想做到按照矿床客观实际情况部署各项工作，必须加强对矿床各方面特点的观察研究工作，同时又要加强与矿山设计建设单位的联系，以便使矿产勘查工作既符合矿床地质实际，又能满足矿山设计的需要。

2. 循序渐进原则

循序渐进原则反映了人们对矿床认识过程的客观规律。认识过程不可能一次完成，而是随着勘查工作的逐步开展而不断深化，故矿产勘查应本着由粗到细、由表及里、由浅入深、由已知到未知的这一循序渐进原则。矿产勘查工作不可任意超越程序阶段的规定。

3. 全面研究原则

全面研究原则是由矿产勘查的目的决定的，反映在对矿床进行地质、技术和经济全面的研究评价，克服矿产勘查的片面性，实现全面阐述矿床的工业价值。

4. 综合评价原则

自然界的矿床几乎没有单矿物矿石存在，它们都含有或多或少的有益组分，因此涉及矿产的综合利用，它对矿床的价值起到至关重要的影响，使矿床由单一矿产变为综合矿产，使无意义的贫矿变为可供开发利用的工业矿床。

5. 经济合理原则

经济合理原则是矿产勘查的基本原则中非常重要的原则。矿产勘查本身就是一项经济

活动，它受经济规律的制约，因此在矿产勘查过程中自始至终都要重视经济合理的原则。在保证矿产勘查程度的前提下，用最合理的方法，最少的人力、物力、财力的消耗，在较短时间内取得最好的地质成果和最大的经济效果。

二、矿产勘查阶段的划分

矿产勘查是对矿产地质客体进行调查研究和获取信息的过程，是查明矿产资源或矿产储量以及生产其他基础地质信息的过程。这个过程不可能一次完成，需要分阶段并依次进行。这是由勘查对象的性质、特点和勘查生产实践需要决定的，或者说是由矿产勘查的认识规律和经济规律决定的。阶段划分的合理与否，将影响到矿产勘查与矿山设计、矿山建设的效率与效果。因此，它不仅是矿产勘查实践中的实际问题，也是勘查学中的一个重要理论问题和技术经济政策性问题。它历来为世界各国勘查学者和广大从事矿产勘查与矿业开发及管理的人们所重视。

1. 勘查阶段划分的目的、意义与原则

勘查阶段划分的目的与意义主要是为了对勘查对象进行初步筛选，以便择优进行下一步勘查工作，确保后续勘查的可靠性和合理性，减少勘查投资的风险性，提高矿产勘查的效益。

勘查阶段划分原则应根据勘查生产实践经验的不断总结，及时修订出能够实行的原则。具体有：

(1) 合理的阶段程序必须反映从勘查到开发全过程的客观规律：贯穿于全过程的矿产勘查工作的客观规律决定于矿产勘查工作的性质和特点。众所周知，矿产勘查工作具有两个基本特点：一是与一般地质科学工作相一致，自始至终是一项探索自然地质体的调查研究工作；二是任务直接来自社会物质生产和社会发展需要，以既是自然地质体又是经济体的矿产资源为研究对象，而与社会物质生产过程特别是矿业生产过程直接相关，并作为基础性和先行性工作以自身成果为这一过程提供前提条件。这两个特点决定了针对矿产所进行的矿产勘查工作有别于一般地质科学研究工作和一般物质生产过程，其属性表现为通过对矿产地质条件、赋存规律、变化特征和其开采、加工技术、经济条件的调查研究，直接为矿产资源的开发利用提供物质成果（探明储量的工业矿床）和认识成果（说明矿床可被开发利用的各种信息）。

(2) 勘查阶段划分必须与矿山建设程序相适应：矿产勘查工作是为矿山生产建设服务的，它必须为矿山基本建设的不同阶段的需要提供相适应的矿产资源信息和其他所必须的地质、技术、经济资料。基础工业的基本建设程序一般分为远景规划、矿区总体设计、矿山建设设计和矿山建设等几个阶段，而矿山建设完成后即投入生产。因而矿产勘查阶段的划分要与之相适应。以便使各勘查阶段所取得的最终成果（矿产储量和和其他信息资料）具有明确地使用目的。

2. 矿产勘查阶段的划分^①

矿产勘查工作一般分为预查、普查、详查、勘探四个阶段。

预查：依据区域地质和（或）物化探异常研究结果、初步野外观测、极少量工程验证

^① 据云南省地质矿产厅资源储量管理处。1999，固体矿产资源/储量分类和储量套改技术培训教材。

结果，与地质特征相似的已知矿床类比、预测，提出可供普查的矿化潜力较大地区。有足够依据时可估算出预测的资源量，属于潜在矿产资源。

普查：是对可供普查的矿化潜力较大地区、物化探异常区，采用露头检查，地质填图，数量有限的取样及物化探方法，大致查明普查区内地质、构造概况；大致掌握矿体（层）的形态、产状、质量特征；大致了解矿床开采技术条件；矿产的加工选冶性能已进行了类比研究。最终应提出是否有进一步详查的价值，或圈定出详查区范围。

详查：是对普查圈出的详查区通过大比例尺地质填图及各种勘查方法和手段，比普查阶段密的系统取样，基本查明地质、构造、主要矿体形态、产状、大小和矿石质量，基本确定矿体的连续性，基本查明矿床开采技术条件，对矿石的加工选冶性能进行类比或实验室试验研究，做出是否具有工业价值的评价。必要时，圈出勘探范围，并可供预可行性研究、矿山总体规划和做矿山项目建议书使用。对直接提供开发利用的矿区，其加工选冶性能试验程度，应达到可供矿山建设设计的要求。

勘探：是对已知具有工业价值的矿床或经详查圈出的勘探区，通过加密各种采样工程，其间距足以肯定矿体（层）的连续性，详细查明矿床地质特征，确定矿体的形态、产状、大小、空间位置和矿石质量特征，详细查明矿体开采技术条件，对矿产的加工选冶性能进行实验室流程试验或实验室扩大连续试验，必要时应进行半工业实验，为可行性研究或矿山建设设计提供依据。

第三节 矿产资源/储量分类

矿产资源储量分类是定量评价矿产资源的基本准则，它既是矿产资源/储量估算、资源预测和国家资源统计、交易与管理的统一标准，又是国家制定经济和资源政策及建设计划、设计、生产的依据。

近几十年来，各国都在注意研究符合本国政治、经济、技术条件的资源分类体制。但由于各国国情和政治、技术经济条件及管理体制的不同，矿产资源/储量分类的原则、体系也有一定的差异。现仅就国内外有代表性的矿产资源（储量）的概念和分类简介如下：

一、矿产资源 and 矿产储量的基本概念

矿产资源是指由地质作用形成于地壳内或地表的自然富集物，根据其产出形式（形态、产状、空间分布）、数量和质量，可以预期最终开采是技术上可行、经济上合理的，即具有现实和潜在经济的物质。其位置、数量、质量/品位、地质特征是根据特定的地质依据和地质知识计算和估算的。对矿产资源所估算的数量称为矿产资源量。按照地质可靠程度，可分为查明资源和潜在矿产资源。查明资源是指经勘查工作已发现的矿产资源总和；潜在矿产资源是指根据地质依据和物化探异常预测而未经查证的那部分矿产资源。

矿产储量是矿产资源量中查明资源的一部分，经勘查证实存在的矿床（体），其产出形式（形态、产状、空间分布）、数量/规模、质量能为当前工业生产技术条件所开发利用，国家政策法规允许开发的原地矿产资源量。查明资源的其余部分则为暂难利用的探明资源量。

矿产资源总量应是矿产储量、暂难利用的探明资源量和潜在资源量的总和。

二、国外矿产资源（储量）分类研究状况

国外固体矿产分类分级大致有两类：一个是以前苏联为代表的，属于技术型分类，为计划经济国家所使用；另一个是以美国为代表的，属于经济技术型分类，为市场经济国家普遍接受。

1. 美国矿产资源分类

美国的矿产资源分类是1980年美国地质调查所出版的《831号地质调查通告》发表的美矿业局和地质调查所制定的《矿产资源和储量分类原则》，如表1-2所示。

表1-2 1980年美国矿产资源分类表

累积产量	已查证的资源			未发现的资源	
	验证的		推测的	概率范围（或）	
	实测的	推定的		假定的	假想的
经济的	储量		推测储量	+	
边界经济的	边界储量		推测的边界储量		
次经济的	验证的次经济资源		推测的次经济资源		
其他产出	包括非传统的和低位位的物质				

从表1-2可知，美国矿产资源分类系统，首先对矿产资源（储量）按其经济上的可行性（经济利用的可能性）分为：经济的储量和边界经济的储量及次经济的资源三类。依据地质可靠程度分为确定的、推定的、推测的、假定的和假想的储量（资源）五级。

2. 澳大利亚矿产资源和储量的分类

澳大利亚矿产资源和储量的分类，是由澳大利亚矿业协会、地学家协会和矿业委员会联合组成的矿产储量委员会（JORC）1999年制定的《澳大利亚矿产资源量和矿石储量报告规范》中规定的（表1-3）。

表1-3 勘查结果、矿产资源量和矿石储量之间的相互关系

证实级 (Proved)	可能级 (Probable)		
矿石储量 (Ore Reserve)			
实测级 (Measured)	表明级 (Indicated)	推测级 (Inferred)	
矿产资源量 (Mineral Resources)			勘查结果 (Exploration Results)
<p>———地质了解和可信程度增加———</p>			

↑ 技术经济评价程度增加
 （考虑采选冶、经济、法律、环境、社会和政府等变化因素）

“矿产资源量 (Mineral Resources)”被定义为：在地壳内具有内在经济价值的矿物以某种形式和数量的富集和产出，并有理由认为它最终会具有经济上可共开发的前景。根据专门的地质依据和知识，矿产资源的位置、数量、品位、地质特征及其连续性是可知的，可以估算

或解析出来的。矿产资源量根据地质可信度的增加次序,可进一步划分为推测级、表明级和实测级。在矿床中尚无理由认为最终具有经济开发前景的部分,不予划为矿产资源量。

矿石储量是指实测级或表明级资源量中经济上可采的部分,可以根据技术、经济、法律、环境、社会和政府等因素的分析研究而确定。不能划定为矿产资源量或矿石储量的有关见矿情况,不论是否涉及矿产范畴,只能称其为勘查结果。

该矿产储量联合委员会使用矿石储量术语,而非有些国家使用的术语“矿产储量”,是因为这有助于在“矿产资源量”和“矿石储量”之间,保持一个清楚的区分。如果采用“矿产储量”替代之,这种区分可能不够清楚。

3. 前苏联固体矿产储量和预测资源的分类分级

前苏联的分类是1981年国家矿产储量委员会制定的。它们根据储量及其中有益组分,按其国民经济意义分为平衡表内和平衡表外两类储量。

平衡表内储量:是指在现有先进采掘技术和加工技术条件下,储量利用经济上是合理的,且符合资源合理利用和环境保护要求。

平衡表外储量:是根据指标,目前利用经济上还不合理,技术和工艺上还不可能,但将来可能提升为表内储量,且在技术经济指标的基础上,证明保存于地下以后开采是可能的,或为将来附带回收、堆放、保存是合理的储量。

该分类根据矿床研究程度分为A、B、C₁级勘探储量和C₂级初步评价储量,以及P₁、P₂、P₃级预测资源,形成了包括可供建设利用,可供勘探和可能发现,可能存在及可能利用等所有可能成为资源的分类系统。

4. 联合国制定的矿产资源国际分类系统

近些年来,随着各国经济的相互渗透和资源共享,探讨全球统一的矿产资源储量分类方案已引起联合国的重视和各国有关专家的关注,并在联合国欧洲经济委员会的组织下,于1997年2月17日提出了国际矿产资源储量分类框架。

联合国分类框架采用三维分类法,即根据经济可靠性(经济轴)、可行性评价(可行性轴)和地质研究程度(地质轴)将矿产资源储量分为10个类别(图1-1,表1-4)。其

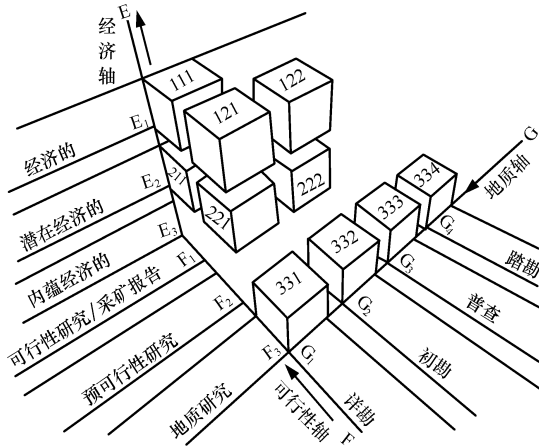


图 1-1 联合国固体矿产储量资源国际分类框架图

中，经济可靠性分为经济的、潜在经济的和內蕴经济的；地质研究程度分为详细勘探、一般勘探、普查和踏勘；可行性评价分为可行性研究（或采矿报告）、预可行性研究，将地质研究视为可行性评价的初级阶段。在详细勘查基础上，经可行性研究或预可行性研究属于经济的，以及在一般勘探基础上经预可行性研究属于经济的，称其为储量，其他情形的均称为资源。

表 1-4 联合国固体矿产储量/资源国际分类

联合国国际分类体制	详细勘探	一般勘探	普查	踏勘
可行性研究和 (或) 采矿报告	1 (111) 2 (211)		通常无意义的	
预可行性研究	1 (121)	+(122)		
	2 (221)	+(222)		
地质研究	1-2 (331)	1-2 (332)	1-2 (333)	? (334)

经济可行性种类：1=经济的，2=潜在经济的，1-2=经济的到潜在经济的（內蕴经济的），?=经济意义未定的；
分类编码：(111)，第一位数表示经济可行程度（意义），第二位数表示可行性评价阶段，第三位数表示地质评价阶段（地质可靠程度）。

三、我国以往矿产资源（储量）分类分级研究简况

我国矿产资源储量分类分级源自前苏联，属于技术型分类系统。新中国成立初期，主要是参考前苏联的规范，1959年才制定出《矿产储量分类规范》，该规范将矿产储量划分为平衡表内和平衡表外两类储量，按研究工作程度将储量分为A₁、A₂、B、C₁、C₂等五级。且根据储量用途划分为开采储量（A₁级）、设计储量（A₂、B、C₁）、远景储量（C₂级）和地质储量。后经多次修改才形成我国较为完整的储量分类分级系统（表 1-5，表 1-6）。

表 1-5 我国矿产资源主要分类方案概略对比表

分类方案	技术经济可行程度分类			
	矿产储量		矿产资源量	
本标准 1991.10	能利用的	可能利用的	暂难利用的	未查证的
	矿产储量			
“总则”，1959	平衡表内		平衡表外	
	能利用		暂不能利用	预测资源量
煤炭，1986	能利用		暂不能利用	
铀矿，1986	能利用		暂不能利用	
石油，1988	要求单列的储量			
	第一类	第二类	第三类	
	目前常规方法可采	现代热力驱动可采	现代技术不能采	

表 1-6 我国以往储量级别对比表

分类方案	储量级别							
“总则” 1977	探明储量					预测储量		
	A	B	C	D		E	F	G
C级 降级				C级 外推	稀疏 工程			
煤炭 1980	高级储量			C	远景储量			
	A	B	D					
铀矿 1980	开发	B	C ₁	C ₂	远景			
	A				D			
油气 1984	探明储量			可能储量	预测储量	远景储量		
	开发 (一类)	未开发 (二类)	基本探明 (三类)			圈闭法	生油量法	
建议 1986.10	已发现矿床				未发现矿床			
	探明储量			推断储量		预测资源量		
	A	B	C	D	E	F	G	

矿产储量分类是根据我国当前技术经济条件，并考虑远景发展的需要，将金属与非金属矿产储量分为：能利用（表内）储量和暂不能利用（表外）储量两类。

能利用储量：是符合当前生产技术经济条件的储量；暂不能利用储量：是由于有益组分（或矿物）含量低，有害组分含量高而又不易处理的，矿体厚度薄，矿山开采技术条件或水文地质条件特别复杂，或对这种矿产加工技术方法尚未解决，不符合当前生产技术、经济条件，工业上暂不能利用而将来可能利用的储量。

矿产储量（资源）的分级是根据对矿床的勘查研究程度和相应的工业用途，将矿产储量（资源）分为 A、B、C、D、E、F、G 七级。

四、我国现行固体矿产资源/储量分类

原矿产储量分类分级是借用了前苏联的矿产储量分类分级，50 年来，虽经多次修改，不断完善，但在我国国民经济实行两个转变的过程中，显得越来越不适应，鉴于我国矿产资源的人均占有率较低，资金紧张，为了保障我国国民经济的可持续发展，必须充分利用国内外“两种资源”和“两个市场”。为此修订我国的矿产资源/储量分类，使其既能与国际接轨被外国人接受，又能适合我国的国情便于操作，就显得非常必要。

经国家质量技术监督局批准、颁发，并于 1999 年 12 月 1 日起实施的《固体矿产资源/储量分类》国家标准（GB/T17766—1999）是我国固体矿产第一个真正统一的分类，该标准体现了社会主义市场经济的要求，并便于与国际接轨，这是我国矿产资源储量分类方面的一次重大改革。对我国的矿产勘查和开发将产生重要的影响。

（一）矿产资源储量分类的依据

矿产资源储量分类依据主要是地质可靠程度、可行性评价和经济意义三个方面。

1. 地质可靠程度反映了矿产勘查阶段工作成果的不同精度

分为探明的、控制的、推断的和预测的四种，分别与勘探、详查、普查和预查四个勘查阶段相对应。

(1) 预测的：是指对具有矿化潜力较大地区经过预查得出的结果。在有足够的数据并能与地质特征相似的已知矿床类比时，才能估算出预测的资源量。

(2) 推断的：是指对普查区按照普查的精度大致查明矿产的地质特征以及矿体（矿点）的展布特征、品位、质量，也包括那些由地质可靠程度较高的基础储量或资源量外推的部分。由于信息有限，不确定因素多，矿体（点）的连续性是推断的，矿产资源数量的估算所依据的数据有限，可信度较低。

(3) 控制的：是指对矿区的一定范围依照详查的精度基本查明了矿床的主要地质特征、矿体的形态、产状、规模、矿石质量、品位及开采技术条件，矿体的连续性基本确定，矿产资源数量估算所依据的数据较多，可信度较高。

(4) 探明的：是指在矿区的勘探范围依照勘探的精度详细查明了矿床的地质特征、矿体的形态、产状、规模、矿石质量、品位及开采技术条件，矿体的连续性已经确定，矿产资源数量估算所依据的数据详尽，可信度高。

2. 可行性评价

分为概略研究、预可行性研究、可行性研究三个阶段。

(1) 概略研究：是指对矿床开发经济意义的概略评价。所采用的矿石品位、矿体厚度、埋藏深度等指标通常是我国矿山几十年来的经验数据，采矿成本是根据同类矿山生产估计的，其目的是为了由此确定投资机会。由于概略研究一般缺乏准确参数和评价所必需的详细资料，所估算的资源量只具内蕴经济意义。

(2) 预可行性研究：是指对矿床开发经济意义的初步评价。其结果可以为该矿床是否进行勘探或可行性研究提供决策依据。进行这类研究，通常应有详查或勘探后采用参考工业指标求得的矿产资源/储量数，实验室规模的加工选冶试验资料，以及通过价目表或类似矿山开采对比所获数据估算的成本。预可行性研究内容与可行性研究相同，但详细程度次之。当投资者为选择拟建项目而进行预可行性研究时，应选择适合当时市场价格的指标及各项参数，且论证项目尽可能齐全。

(3) 可行性研究：是指对矿床开发经济意义的详细评价，其结果可以详细评价拟建项目的技术经济可靠性，可作为投资决策的依据。所采用的成本数据精确度高，通常依据勘探所获得的储量数及相应的加工选冶性能试验结果，其成本和设备报价所需各项参数是当时的市场价格，并充分考虑了地质、工程、环境、法律和政府的经济政策等各种因素的影响，具有很强的时效性。

3. 经济意义

对地质可靠程度不同的查明矿产资源，经过不同阶段的可行性评价，按照评价当时经济上的合理性可以划分为经济的、边际经济的、次边际经济的、内蕴经济的。

(1) 经济的：其数量和质量是依据符合市场价格确定的生产指标计算的。在可行性研究或预可行性研究当时的市场条件下开采，技术上可行，经济上合理，环境等其他条件允许，即每年开采矿产品的平均价值能满足投资回报的要求。或在政府补贴和（或）其他扶持的条件下，开发是可能的。

(2) 边际经济的：在可行性研究或预可行性研究当时，其开采是不经济的，但接近盈亏边界，只有在将来由于技术、经济、环境等条件的改善或政府给予其他扶持的条件下可变成经济的。

(3) 次边际经济：在可行性研究或预可行性研究当时，开采是不经济的或技术上不可行，需大幅度提高矿产品价格或技术进步，使成本降低后方能变为经济的。

(4) 内蕴经济的：仅通过概略研究做了相应的投资机会评价，未做预可行性研究或可行性研究。由于不确定因素多，无法区分其是经济的、边际经济的，还是次边际经济的。

经济意义未定的：仅指预查后预测的资源量，属于潜在矿产资源，无法确定其经济意义。

(二) 固体矿产资源/储量分类及编码

依据矿产勘查阶段和可行性评价及其结果、地质可靠程度和经济意义，将固体矿产资源进行了全面的分类。首先是通过地质评价分出了查明矿产资源和潜在矿产资源（属于尚未发现有条件预测的），然后是对发现后的查明矿产资源通过可行性评价分出经济的、

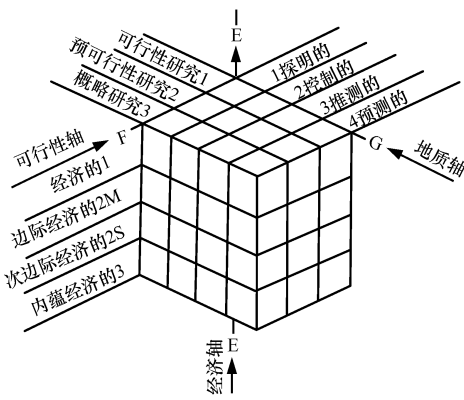


图 1-2 固体矿产资源/储量分类框架图

1-2)。地质轴上的 4 种地质可靠程度和可行性轴上的三个阶段除名称有所改变外，其内涵与联合国分类框架基本是一致的；经济轴则将联合国的三分改为四分，内涵也与联合国的框架基本一致（图 1-1）。

1. 储量

是指基础储量中的经济可采部分。在预可行性研究、可行性研究或编制年度采掘计划当时，经过了对经济、开采、选冶、环境、法律、市场、社会和政府等诸因素的研究及相应修改，结果表明在当时是经济可采或已经开采的部分。用扣除了设计、采矿损失的可实际开采数量表述，依据地质可靠程度和可行性评价阶段不同，又可分为可采储量和预可采储量。有 3 种类型。

(1) 可采储量(111)：探明的经济基础储量的可采部分。是指在已接近勘探阶段要求加密工程的地段，在三维空间上详细圈定了矿体，肯定了矿体的连续性，详细查明了矿床地质特征、矿石质量和开采技术条件，并有相应的矿石加工选冶试验成果，已进行了可行性研究，包括对开采、选冶、经济、市场、法律、环境、社会和政府因素的研究及相应的修改，证实其在计算的当时开采是经济的。计算的可采储量及可行性评价结果，可信度高。

表 1-7 固体矿产资源/储量分类表

经济意义	地质可靠程度				
	查明矿产资源			潜在矿产资源	
	探明的	控制的	推断的	预测的	
经济的	可采储量 (111)				
	基础储量 (111b)				
	预可采储量 (121)				预可采储量 (122)
	基础储量 (121b)				基础储量 (122b)
边际经济的	基础储量 (2M11)				
	基础储量 (2M21)				基础储量 (2M22)
次边际经济的	资源量 (2S11)				
	资源量 (2S21)				资源量 (2S22)
内蕴经济的	资源量 (331)	资源量 (332)	资源量 (333)	资源量 (334)?	

注：表中所用编码（111~334），第1位数表示经济意义，即1=经济的，2M=边际经济的，2S=次边际经济的，3=内蕴经济的，?=经济意义未定的；第2位数表示可行性评价阶段，即1=可行性研究，2=预可行性研究，3=概略研究；第3位数表示地质可靠程度，即1=探明的，2=控制的，3=推断的，4=预测的。b=未扣除设计、采矿损失的可采储量。

(2) 预可采储量 (121)：探明的经济基础储量的可采部分。是指在已达到勘探阶段加密工程地段，三维空间上详细圈定了矿体，肯定了矿体连续性，详细查明了矿床地质特征、矿石质量和开采技术条件，并有相应的矿石加工选冶试验成果，但只进行了预可行性研究，表明当时开采是经济的，计算的可采储量可信度高，可行性评价结果的可信度一般。

(3) 预可采储量 (122)：控制的经济基础储量的可采部分。是指在已达到详查阶段工作程度要求的地段，基本上圈定了矿体三维形态，能够较有把握地确定矿体连续性的地段，基本查明了矿床地质特征、矿石质量、开采技术条件，提供了矿石加工选冶性能条件试验的成果。对于工艺流程成熟的易选矿石，也可利用同类型矿产的试验成果。预可行性研究结果表明开采是经济的，计算的可采储量可信度较高，可行性评价结果的可信度一般。

2. 基础储量

是查明矿产资源的一部分。它能满足现行采矿和生产所需的指标要求（包括品位、质量、厚度、开采技术条件等），是经详查、勘探所获控制的、探明的并通过可行性研究、预可行性研究认为属于经济的、边际经济的部分，用未扣除设计、采矿损失的数量表达。有6种类型。

(1) 探明的（可研）经济基础储量 (111b)：它所达到的勘查阶段、地质可靠程度、可行性评价阶段及经济意义的分类同可采储量 (111) 所述，与其惟一的差别在于本类型是用未扣除设计、采矿损失的数量表达。

(2) 探明的（预可研）经济基础储量 (121b)：它所达到的勘查阶段、地质可靠程度、可行性评价阶段及经济意义的分类同预可采储量 (121) 所述，与其惟一的差别在于本类

型是用未扣除设计、采矿损失的数量表达。

(3) 控制的经济基础储量 (122b): 它所达到的勘查阶段、地质可靠程度、可行性评价阶段及经济意义的分类同预可采储量 (122) 所述, 与其惟一的差别在于本类型是用未扣除设计、采矿损失的数量表达。

(4) 探明的(可研) 边际经济基础储量 (2M11): 是指在达到勘探阶段工作程度要求的地段, 详细查明了矿床地质特征、矿石质量、开采技术条件, 圈定了矿体的三维形态, 肯定了矿体连续性, 有相应的加工选冶试验成果。可行性研究结果表明, 在确定当时, 开采是不经济的, 但接近盈亏边界, 只有当技术、经济等条件改善后才可变成经济的。这部分基础储量可以在可采储量周围或在其间分布。计算的基础储量和可行性评价结果的可信度高。

(5) 探明的(预可研) 边际经济基础储量 (2M21): 是指在达到勘探阶段工作程度要求的地段, 详细查明了矿床地质特征、矿石质量、开采技术条件, 圈定了矿体的三维形态, 肯定了矿体连续性, 有相应的矿石加工选冶性能试验成果, 预可行性研究结果表明, 在确定当时, 开采是不经济的, 但接近盈亏边界, 待将来技术经济条件改善后可变成经济的。其分布特征同 2M11, 计算的基础储量的可信度高, 可行性评价结果的可信度一般。

(6) 控制的边际经济基础储量 (2M22): 是指在达到详查阶段工作程度的地段, 基本查明了矿床地质特征、矿石质量、开采技术条件, 基本圈定了矿体的三维形态, 预可行性研究结果表明, 在确定当时, 开采是不经济的, 但接近盈亏边界, 待将来技术经济条件改善后可变成经济的。其分布特征类似于 2M11, 计算的基础储量可信度较高, 可行性评价结果的可信度一般。

3. 资源量

是指查明矿产资源的一部分和潜在矿产资源。包括经可行性研究或预可行性研究证实为次边际经济的矿产资源以及经过勘查而未进行可行性研究或预可行性研究的内蕴经济的矿产资源, 以及经过预查后预测的矿产资源。共有 7 种类型。

(1) 探明的(可研) 次边际经济资源量 (2S11): 是指在勘查工作程度已达到勘探阶段要求的地段, 地质可靠程度为探明的, 可行性研究结果表明, 在确定当时, 开采是不经济的, 必须大幅度提高矿产品价格或大幅度降低成本后, 才能变成经济的, 计算的资源量和可行性评价结果的可信度高。

(2) 探明的(预可研) 次边际经济资源量 (2S21): 是指在勘查工作程度已达到勘探阶段要求的地段, 地质可靠程度为探明的, 预可行性研究结果表明, 在确定当时, 开采是不经济的, 需要大幅度提高矿产品价格或大幅度降低成本后, 才能变成经济的。计算的资源量可信度高, 可行性评价结果的可信度一般。

(3) 控制的次边际经济资源量 (2S22): 是指在勘查工程程度已达到详查阶段要求的地段, 地质可靠程度为控制的, 预可行性研究结果表明, 在确定当时, 开采是不经济的, 需大幅度提高矿产品价格或大幅度降低成本后, 才能变成经济的。计算的资源量可信度较高, 可行性评价结果的可信度一般。

(4) 探明的内蕴经济资源量 (331): 是指在勘查工作程度已达到勘探阶段要求的地段, 地质可靠程度为探明的, 但未做可行性研究或预可行性研究, 仅做了概略研究, 经济

意义介于经济的一次边际经济的范围内，计算的资源量可信用度高，可行性评价可信用度低。

(5) 控制的内蕴经济资源量 (332)：是指在勘查工作程度已达到详查阶段要求的地段，地质可靠程度为控制的，可行性评价仅做了概格研究，经济意义介于经济的一次边际经济的范围内，计算的资源量可信用度较高，可行性评价可信用度低。

(6) 推断的内蕴经济资源量 (333)：是指在勘查工作程度只达到普查阶段要求的地段，地质可靠程度为推断的，资源量只根据有限的的数据计算的，其可信用度低。可行性评价仅做了概略研究，经济意义介于经济的一次边际经济的范围内，可行性评价可信用度低。

(7) 预测的资源量 (334)：依据区域地质研究成果、航空、遥感、地球物理测量、地球化学测量等异常或极少量工程资料，确定具有矿化潜力的地区，并和已知矿床类比而估计的资源量，属于潜在矿产资源，有无经济意义尚不确定。

上述储量分类可以用表 1-8 表示。

表 1-8 固体矿产资源储量分类与编码

类	类 型	编 码	含 义
储 量	可采储量	111	探明的经可行性研究的经济的基础储量的可采部分
	预可采储量	121	探明的经预可行性研究的经济的基础储量的可采部分
	预可采储量	122	控制的经预可行性研究的经济的基础储量的可采部分
基 础 储 量	探明的（可研）经济基础储量	111b	探明的经可行性研究的经济的基础储量
	探明的（预可研）经济基础储量	121b	探明的经预可行性研究的经济的基础储量
	控制的经济基础储量	122b	控制的经预可行性研究的经济的基础储量
	探明的（可研）边际经济基础储量	2M11	探明的经可行性研究的边际经济的基础储量
	探明的（预可研）边际经济基础储量	2M21	探明的经预可行性研究的边际经济的基础储量
	控制的边际经济基础储量	2M22	控制的经预可行性研究的边际经济的基础储量
资 源 量	探明的（可研）次边际经济资源量	2S11	探明的经可行性研究的次边际经济资源量
	探明的（预可研）次边际经济资源量	2S21	探明的经预可行性研究的次边际经济资源量
	控制的次边际经济资源量	2S22	控制的经预可行性研究的次边际经济资源量
	探明的内蕴经济资源量	331	探明的经概略（可行性）研究的内蕴经济资源量
	控制的内蕴经济资源量	332	控制的经概略（可行性）研究的内蕴经济资源量
	推断的内蕴经济资源量	333	推断的经概略（可行性）研究的内蕴经济资源量
	预测的资源量	334?	潜在矿产资源

（三）矿产资源/储量套改

为适应《固体矿产资源/储量分类》国家标准（GB/T17766—1999）的要求，准确摸清我国矿产资源家底，国土资源部发文（国土资发 [1999] 175 号），在全国开展矿产资源储量套改工作，套改后资源/储量分类与以前的 A、B、C 和 D 级储量的对应关系见表 1-9。

表 1-9 矿产资源储量套改表

储量种类	地质工程程度		套改编码	归类编码
	储量级别	勘查阶段		
1. 正在开采、基建矿区的单一、主要矿产储量及其已（能）综合回收利用的共、伴生矿产储量以及因国家宏观经济政策调整而停采的矿产储量	A+B	勘探	111	111
			111b	111b
	C	勘探	(112)	111
			(112b)	111b
		详查	(112)	122
			(112b)	122b
	D	勘探、详查、普查	(113)	122
			(113b)	122b
2. 计划近期利用、推荐近期利用、可供边探边采矿区单一、主要矿产储量及其可综合回收利用的共、伴生矿产储量及 1993 年 10 月 1 日以后提交的勘探报告中属能利用（表内）a 亚类矿产储量	A+B	勘探 详查	121	121
			121b	121b
	C		122	122
			122b	122b
	D	普查	(123)	122
			(123b)	122b
	(123)	333		
	3. 因经济效益差、矿产品无销路、污染环境等而停建、停采，将来技术、经济及污染等条件改善后可能再建再采的矿区单一、主要矿产储量及其已（能）综合回收的共、伴生矿产储量	A+B	勘探 详查	2M11
C		(2M12)		2M22
D		(2M13)		2M22
D		普查	(2M13)	333
4. 因交通或供水或供电等矿山建设的外部经济条件差确定为近期难以利用、近期不宜进一步工作，但改善经济后即能利用的矿区的单一、主要矿产储量及其可综合回收的共、伴生矿产储量	A+B	勘探 详查	2M21	2M21
	C		2M22	2M22
	D		(2M23)	2M22
			普查	(2M23)
5. 由于有用组分含量低、或有害组分含量高、或矿层（煤层）薄、或矿体埋藏深、或矿床水文地质条件复杂等而停建、停采的矿区的单一、主要矿产储量及其已（能）综合回收的共、伴生矿产储量，以及闭坑矿区储量	A+B	勘探 详查 普查	2S11	2S11
	C			
	D		(2S12)	2S22
			(2S13)	2S22
6. 由于有用组分含量低、或有害组分含量高、或矿层（煤层）薄、或矿体埋藏深、或矿床水文地质条件复杂等确定为近期难以利用和近期不宜工作矿区的单一、主要矿产储量及其可综合回收的共、伴生矿产储量，及不能综合回收共、伴生矿产的储量，及表外矿	A+B	勘探 详查 勘查	2S21	2S21
	C		2S22	2S22
	D		(2S23)	2S22
7. 未能按上述要求确定编码的矿产储量	A+B	勘探 详查 勘查	331	331
	C		332	332
	D		333	333

五、国内外矿产资源（储量）分类对比

尽管世界各国矿产资源（储量）分类分级的原则依据均有不同程度的差异，类别与级别的名词或术语亦不统一，但各国间的分类分级还是可以进行概略对比的。

矿产资源分类分级对比，是根据类别、级别条件、储量精度及其工业用途，便于应用的原则，概略对比于表 1-5 和表 1-10，应用时也可依此原则，具体分析、研究对比，以便国内已有资料统一对比利用及国际对比交流。

表 1-10 国内外矿产资源主要分类概略对比表

标准名称	分类对比				
	查明矿产资源			潜在矿产资源	
《固体矿产资源/储量分类》（国家标准，GB/T17766—1999）	储量	基础储量		资源量	预测资源量
	可采储量 预可采 储量	经济基础 储量	边际经济 基础储量	次边际经济资源量、内蕴经济资源量	预测的 资源量
《固体矿产地质勘探规范总则》（国家标准 GB13908-92）	能利用储量		尚难利用储量		
	a 亚类	b 亚类			
《联合国国际储量/资源分类框架》（1997）	矿产资源总量				
	证实矿产储量 概略矿产储量	可行性矿产资源 矿产资源	推定的矿产资源 推测的矿产资源	预可行性 确定的矿产 资源	踏勘矿产资源
CMMI 系统（1997）	证实矿产储量 概略矿产储量	确定的矿产资源	推定的矿产资源	推测的 矿产资源	矿产潜力
《矿产资源和储量分类原则》（美国地质调查局，1980）	查明资源			未经发现资源	
	经济储量 边际经济储量	经济-边际经济储量基础	次经济资源	假定资源 假想资源	
《澳大利亚矿产资源量和矿石储量报告规范》（1999）	矿石储量	矿产资源量		勘查结果	
	证实级	实测级	推测级		
	可能级	表明级			
前苏联（1981）	平衡表内		平衡表外		

第四节 矿业权

矿业权是指自然人、法人和其他社会组织依法享有的，在一定的区域和期限内，进行矿产资源勘查或开采等一系列经济活动的权利。

矿业权包括探矿权、采矿权。探矿权是指探矿权人在依法取得的勘查许可证规定的范围和期限内，勘查矿产资源的权利。采矿权是指采矿权人在依法取得的采矿许可证规定的范围和期限内，开采矿产资源的权利。

一、矿业权法律特征

(1) 矿业权是矿产资源所有权派生出来的一种物权：根据物权理论，矿业权属于物权^❶。矿业权是从矿产资源所有权派生出来的，是矿产资源所有权中的使用权能。也就是说，矿产资源所有权人将矿产资源使用权能让与他人，允许他人使用，从而形成的矿业权，属于他物权。矿业权人对矿产资源没有完全支配力，只具有使用和收益的权利。因此，它是一种限制物权，即只能在一定范围内对矿产资源进行使用、收益。也就是说矿业权是以矿产资源的利用并获收益为目的的用益物权。

(2) 矿业权具有排他性和主体惟一性，任何单位或个人都不得妨碍矿业权人行使自己的矿业权。

(3) 矿业权的权能内容仅指对矿产资源的使用、收益，而不包括对矿产资源的处分权。

(4) 矿业权的取得和转移须履行严格的法律、行政程序。

二、矿业权与矿产资源所有权

1. 矿产资源所有权概念

(1) 矿产资源所有权：是指作为所有者的国家依法对矿产资源享有占有、使用、收益和处分的权利。

(2) 矿产资源的国家主权性质：国家对其所有领土范围和管辖海域范围内的矿产资源都享有主权权利，矿产资源是国家主权的客体之一。国家主权高于民事权，除了国家，任何主体均不得对矿产资源享有主权权利。中央政府代表国家所有者，由国务院行使国家对矿产资源的所有权，不存在地方政府、区社、集体、个人、企业、部门所有。

(3) 矿产资源所有权的法律特征：国家是矿产资源所有权的惟一主体；客体矿产资源为禁止流通物。

(4) 矿产资源所有权的内容：对矿产资源所有权的占有、使用、收益和处分等各项权能构成矿产资源所有权的内容。矿产资源所有者的代表是国务院，即国务院代表国家行使占有、使用、收益和处分的权利。占有——是指国家的矿产资源神圣不可侵犯，任何法人、自然人使用矿产资源须经国务院许可；使用——是指国家可以依法设立矿业权，通过资源规划合理开发；收益——是指国家作为所有者在经济利益上的回报，如收取矿产资源补偿费（权利金）；处分——是指对矿产资源的规划分配和矿业权的出让、拍卖或作价投资等。一般，国家通过矿业权的设定、许可和管理，可以基本实现所有权的各项权能。矿产资源所有权和矿业权共同构成矿产资源财产权的内容。

2. 矿业权与矿产资源所有权的联系

(1) 它们同为物权，矿产资源所有权属于自物权，矿业权是他物权；

(2) 矿业权是在矿产资源所有权之下所设定的物权，它派生于矿产资源所有权；

^❶ 物权是直接支配特定物并享受其利益的一种财产权。物权可分为自物权（所有权）和他物权。所有权具有物权的一切权能，是最完全的物权。他物权是在他人所有物之下设定的权利，并以所有权的一定权能为内容的限制所有权。因此，他物权又称限制物权。矿业权属于他物权。

(3) 它们的权利客体同为矿产资源。

3. 矿业权与矿产资源所有权的区别

(1) 权利主体不同：矿业权的主体是自然人、法人和其他社会组织；矿产资源所有权的主体是国家；

(2) 权利的可流转性不同：矿业权依法可以流转，为限制流通物；而法律规定矿产资源所有权不允许流通，为禁止流通物；

(3) 权利取得的方式不同：矿业权是以申请、审批登记和其他经批准的有偿方式获得的，而矿产资源所有权由宪法规定；

(4) 权利灭失原因不同：矿业权因行为和事实，如民事法律行为、行政行为和权利期限届满而灭失。而矿产资源所有权只因事实，包括自然灭失和人工利用而灭失。

三、矿业权价值

(一) 矿业权价值的基本概念

(1) 矿业权价值：即矿业权人在一定期限内通过对矿产资源客体的活劳动和物化劳动的投入而可能产出的投资收益额。

(2) 矿业权价格：即矿业权价值的货币表现。在矿业权市场中，矿业权价格是矿业权人买卖矿业权的交易额。一般而言，应由交易双方议定。

(3) 矿业权价款：即探矿权价款或采矿权价款。矿业权价款的实质是国家勘查投资的收益，特指国家将其出资勘查形成的矿产地的矿业权出让给他人，或者矿业权人将国家出资勘查形成的矿产地的矿业权转让给他人，按国家规定向矿业权人或受让人收取的款项。

(二) 矿业权市场

1. 矿业权市场的基本概念

矿业权市场是因矿业权流转、交易所产生和形成的经济关系和行为的总和。市场的产生和形成源于商品。矿业权市场的商品就是矿业权。

矿业权市场所包含的主要经济关系可概括为：矿产资源所有者与矿业权人的关系；地矿行政管理机关与矿业权人的关系；矿业投资人与矿业权人的关系；中介组织与矿业权市场主体（地矿行政机关、矿业权人、矿业投资人）的关系。这些经济关系表现为管理与被管理、服务与被服务、平等交易的相互关系。矿业权市场的这些经济关系是通过申请、审批、授予；买卖、合作、合资、委托等行为建立起来的。

2. 矿业权市场的特征

(1) 矿业权市场的主体和客体。矿业权市场的主体就是矿业权交换关系中的行为人。矿业权市场的主体由国家、矿业权人（地勘单位、矿山企业、其他投资者）和中介机构（经纪人、评估机构、律师事务所等）构成。矿业权人和中介机构是一般民事主体，国家是矿业权市场的特殊民事主体。

矿业权市场客体就是矿业权本身。

(2) 矿业权市场的客体是矿产资源的探矿权和采矿权，不是矿产资源本身。

(3) 矿业权市场机制是竞争性的，国家鼓励有序竞争。国家作为矿产资源所有权人出让其矿产资源使用权，可以采用申请出让的形式，也可以实行公开招标、拍卖的形式。矿业权人之间的转让在市场中则完全开放。

3. 矿业权市场的结构

矿业权市场作为矿业权这一特殊商品交易关系的总和，其市场体系的结构模式，按矿业权所有者的不同分为一级（出让）市场和二级（转让）市场。

(1) 一级（出让）市场：一级（出让）市场是指矿业权登记管理机关以批准申请、招标、拍卖等方式，向申请人授予矿业权的行为。矿业权登记管理机关向申请人、投标人出让矿业权即构成矿业权一级市场。

(2) 二级（转让）市场：转让是指矿业权人将矿业权转移的行为，包括出售、做价出资、合作、重组改制等方式。矿业权在一般民事主体之间转移构成矿业权二级市场。

四、矿业权人的资格和资质

1. 探矿权申请人的资格和资质

探矿权是为勘查矿产资源而设立的，由于地质勘查是技术密集型的探索性工作，又有很大的风险性，要求地质勘查者要有丰富的专业知识、必要的施工设备、一定的工作经验和经历才能胜任。对地质勘查者的这种综合能力考核的结果就是地质勘查单位资格，也是对其资质的审查。若由勘查出资人申请探矿权，需雇用他人勘查施工时，登记管理机关还要对地质勘查施工单位的资质进行审查。

对探矿权人资格的管理，主要是通过要求探矿权人在勘查过程中，一定要具有国家认定的具有地质勘查资格的单位进行地质勘查工作来体现的。这是申请探矿权的一个必要条件。管理认定地质勘查资格的主管部门是国务院地质矿产主管部门，受其委托的省级地质矿产主管部门，管理各省、自治区、直辖市行政辖区内地方地质勘查单位的资格认定工作。

地质勘查单位的资格，按地质勘查工作对象不同，划分为若干类，每一类中再按单位资历、技术水平、技术力量、装备水平、资金和管理水平等指标，划分为甲、乙两级或甲、乙、丙、丁四级。原地质矿产部于1991年9月3日颁布《地质勘查单位资格管理办法》。地质勘查单位资格管理工作已于1992年在全国范围内贯彻实施。地质勘查单位资格证既是从事合法勘查工作的凭证，也是反映地质勘查单位的实力、能力和信誉的证明。它为国家地质勘查单位走向市场提供了基础条件，为已存在的地方地质勘查单位确定了合法地位，为投资者选择合作勘查对象提供了目标。

资质管理要求探矿权申请人使用具有与勘查项目要求相适应的地质勘查单位开展地质勘查工作，可以避免出现质量问题和不必要的风险，缩短矿产资源的勘查周期，加速我国矿业的发展。

2. 采矿权申请人的资格及资质

由于对矿产资源开采的高风险和特殊技术要求，国家在授予采矿权时要求采矿权人必须具备的资质条件是：

(1) 具有与开采方案相适应的技术条件（包括技术力量和技术水平）和资金能力。技术条件和资金能力是采矿权人进行矿产资源开采的两项不可缺少的前提。

(2) 具有能够独立承担民事责任、履行法律义务的能力，采矿权人在拥有采矿权的同时，在法律上获得了相应的权利和承担着相应的义务。在滥用权利或未完全履行义务时，还将承担法律责任。因此，采矿权人必须是能够独立行使民事权利和义务，承担民事责任

的企业法人。

(3) 具有采矿权设立的法律前提，具备申请采矿权的基本前提条件可以是采矿权申请人即为探矿权人，或者是申请开采的矿区是尚未设立任何矿业权的“空白区”。前者，其探矿权的取得可以是直接向国家申请或通过依法转让两种方式，但它们在法律上同样具有采矿优先权。后者，无论是探矿权人认为矿产地无前景，自动放弃探矿权，或者是矿产地虽有开采价值，但自己无力开采，不得不放弃探矿权，这两种情况其探矿权都由国家收回，在以后适当时机，再由国家以授予或招标方式出让采矿权。

采矿权申请人的资质条件，实际上是采矿权申请人能力的体现。采矿权申请人是否具备这一能力，主要是在申请采矿权时，通过采矿登记管理机关对申请人进行审查认可。采矿权取得以后，采矿登记管理机关通过年检制度的执行，达到检查目的。年检的重要内容之一，是检查采矿权人是否按照矿山设计方案进行采矿活动。而一定的设计方案必然附着特定的技术条件和资金能力。因此，对设计方案执行情况的检查，实际上是对采矿权人技术条件和资金状况的验收，达到了资质管理的目的。

另外，在采矿权管理中，法规规定了采矿权人在变更企业名称或者采矿权转让时，要办理变更登记手续，原来具有法人资格能够独立承担民事责任的采矿权人，在变更主体时，要接受登记管理机关对新的主体的资质审查。

五、矿业权人的权利和义务

(一) 探矿权人的权利和义务

探矿权申请人申请的勘查项目一旦获得国家的批准，取得探矿权后就成为探矿权人。由于探矿权是国家将原本属于国家的矿产资源所有权以设置特许权的方式授予探矿权人使用，因此，探矿权人在获得对矿产资源勘查的特许权利并得到经济利益的同时还应尽相应的义务。根据矿产资源法律、法规的规定，探矿权人有以下权利和义务。

1. 探矿权人享有的权利

- (1) 按照勘查许可证规定的区域、期限、工作对象进行勘查；
- (2) 在勘查作业区及相邻区域架设供电、供水、通讯管线，但是不得影响或者损害原有的供电、供水设施和通讯管线；
- (3) 在勘查作业区及相邻区域通行；
- (4) 根据工程需要临时使用土地；
- (5) 有权优先取得勘查作业区内矿产资源的采矿权；
- (6) 在完成规定的最低勘查投入后，经依法批准，可以将探矿权转让他人，获得应有的收益；
- (7) 自行销售勘查工程中回收的矿产品。

2. 探矿权人应履行的义务

- (1) 在规定的期限内开始施工，并在勘查许可证规定的期限内，完成应当投入的勘查资金，其投入的数量每平方公里不得少于法规规定的最低勘查投入标准；
- (2) 定期向勘查登记管理机关报告勘查进展情况、资金使用情况，逐年缴纳探矿权使用费；
- (3) 不得擅自进行采矿；

(4) 勘查作业完毕，及时封、填探矿作业遗留的井、硐或者采取其他措施，消除安全隐患；

(5) 按照国家有关规定汇交地质勘查资料，向勘查登记管理机关报送资金投入情况报表和财务决算报表，办理勘查许可证变更、注销登记手续；

(6) 遵守有关法律、法规关于劳动安全、土地复垦和环境保护的规定。

(二) 采矿权人的权利

采矿权申请人申请的采矿项目一旦获得国家的批准，取得采矿权后，即成为采矿权人。采矿权人在享有法律规定的矿产资源开采权利并得到经济利益的同时应承担相应的法律义务。根据矿产资源法律、法规的规定，采矿权人有以下权利和义务。

采矿权人享有的权利：

(1) 有在批准的矿区范围内建设采矿所需的生产和生活设施的权利；

(2) 有在采矿许可证规定的范围和期限内，从事开采活动的权利；

(3) 有获取被许可开采矿产品及共生、伴生矿产品的权利；

(4) 有在矿区范围内进行生产勘探的权利；

(5) 有按国家规定自行销售矿产品和自行确定矿产品价格的权利；

(6) 有按国家规定依法取得土地使用权和其他地上物权（如道路通行权和设置供电、供水、输油和通信线路权等）的权利；

(7) 有按国家规定依法向社会公开发行股票和向社会公开融资的权利等。

(三) 采矿权人应履行的义务

(1) 有在批准的期限内投入矿山生产建设，开始矿山施工作业的义务；

(2) 有按国家规定进行矿山设计，采用先进合理的开采方法和选矿工艺使矿山“三率”指标达到设计要求以及综合利用共生、伴生、中低品位、薄矿层、难选矿产资源的义务；

(3) 有按国家规定填报矿产资源开发利用等统计报表，保护矿山档案资料安全的义务；

(4) 有按国家规定接受国家工作人员监督检查，按时办理年度检查或注册手续的义务；

(5) 有按国家规定缴纳采矿权使用费、采矿权价款、资源补偿费、资源税等税费的义务；

(6) 有按国家规定采取环境保护、劳动安全卫生防护和土地复垦措施的义务。

六、矿业权评估

矿业权评估是指对矿业权的价值进行评价和估算的行为。

矿业权评估是选择适当的评估方法，根据评估对象的实际情况及社会经济环境条件，由专门机构和人员，依据国家的法律、法规和有关技术经济资料，在特定的条件下，运用科学的计算方法；对某一时点上的矿业权价值进行评定估算。

1. 矿业权评估的对象

矿业权评估的对象是探矿权和采矿权。探矿权、采矿权与矿产资源实体或矿床（矿产地）实体有不可分性。

按照评估对象的性质，矿业权评估可分为探矿权评估和采矿权评估。

(1) 探矿权评估：探矿权实施的目的是寻找和勘查矿产资源。由于矿产资源勘查是一种探索性很强的工作，对矿产资源的认识有个循序渐进的过程。勘查可分为预查、普查、详查、勘探四个阶段。这四个勘查阶段的勘查投资风险不同，对勘查对象的了解程度也不同。

在全世界范围内，探矿权评估仍处于探索阶段，能够称其为评估方法的，也均不成熟。这与评估对象的特殊性有关，也与人们对探矿权价值的认识方式和差异有关。我国目前的探矿权评估方法仅反映了我国现阶段业内人士的一种认识。它们将随着社会实践而不断完善。

(2) 采矿权评估：采矿权的实施目的是开采矿产资源并经营矿产品。

采矿权的评估国际上已有通行的做法，即贴现现金流量法，或称 DCF 法。贴现现金流量法是通过对未来一定时期内各年的净现金流的现值之和来反映矿业权价值的。

当矿业权市场较发育时，可比销售法（或称类比法）也可用于矿业权评估。

2. 矿业权评估的依据

主要有：行为依据、法律法规依据、产权依据、地质矿产信息依据和取价依据。

(1) 评估委托合同依据：评估委托合同是评估的行为依据。矿业权评估要有起因，首先要有需求。需求者可以是矿业权人，也可以是矿业权登记管理机关，或其他的法人、自然人。他们为某个目的选择并委托中介组织为其进行矿业权评估。矿业权评估委托人与中介组织就评估达成一致意见后签订的矿业权评估委托合同即是矿业权评估的行为依据，对双方都有约束力。委托合同与委托书的不同在于，前者是当事人双方一致意思的表达，并约束双方的行为。后者仅为单方面意思的表达，而且并不反映委托是否已实现。

评估合同中应载明评估对象、评估目的、评估期限以及合同双方的权利义务等事项。评估工作要按照合同的约定进行，根据评估的对象和目的，选择适当的评估途径和评估方法。

(2) 法律依据：①矿业管理法律法规。矿业权评估必须以矿产资源法律法规为基本依据。这些法律法规主要有：《中华人民共和国矿产资源法》、《中华人民共和国矿产资源法实施细则》、《矿产资源勘查区块登记管理办法》、《矿产资源开采登记管理办法》、《探矿权采矿权转让管理办法》以及以这些法律法规为依据制订的规章等。②财务制度。国家对地勘单位、矿山企业等都制订有相应的财务制度。矿业权评估中如有涉及应遵循有关的财务规则 and 规定。③税费征收法律和政策。矿业权评估过程中需要对矿业权人按法律法规和政策规定缴纳的各种税费进行核算，核算的依据是国家有关矿山企业税费缴纳、减免的法律法规和政策。主要有资源税暂行条例、矿产资源补偿费征收管理规定、增值税暂行条例、所得税暂行条例、外商投资企业和外国企业所得税法等。④环境保护的法律和政策。矿业权评估应该考虑环境保护的投入，依据的主要法律和政策有环境保护法、水土保持法、水污染防治法、关于加强矿山生态环境保护的规定等。

规范评估行为的规定，是指规范评估机构、人员行为的法律法规和政策，主要有《探矿权采矿权评估管理暂行办法》、《探矿权采矿权评估资格管理暂行办法》等。

(3) 勘查许可证和采矿许可证依据：勘查许可证和采矿许可证是矿业权人的产权证书，也是矿业权人委托评估和评估机构受托评估的产权依据。非矿业权人委托评估时，不存在产权依据问题。

(4) 地质报告及矿山技术经济资料依据：地质报告和图件以及矿山开发技术经济资

料、对地质报告的审批文件和储量评审报告等是对评估对象的描述性文件，是评估的地质矿产信息依据，是矿业权评估的核心资料。主要是反映评估范围矿产地及周围区域的勘探程度、区域地质、矿产资源赋存状况和特征、地质构造、开采技术条件、主矿产和共生矿产的资源或储量级别、数量和质量等地质信息的资料。

(5) 国家的产业政策依据。

(6) 行业技术经济指标和市场信息资料依据：行业经济技术指标是确定评估方案的经济技术依据，市场交易实况和根据市场情况编制的标准是评估的取价依据。主要包括反映行业、矿种和矿山类别的当前技术水平和管理水平、投资规模、成本费用指标、各级别矿产品的市场供求和价格状况，以及矿业资本市场；财务市场、股票市场、矿业权市场等信息的资料和文件。

3. 矿业权评估的目的

矿业权评估的目的就是为矿业权交易或其他市场经济行为提供为矿业权定价的参考意见或依据。同一矿业权因将发生的市场经济行为的不同，评估时选取参数的角度会有所不同，进而使评估值也往往不相同。因此，明确评估目的，对于科学地组织矿业权评估工作，提高矿业权评估质量，具有重要意义。矿业权评估目的来自矿业权市场的需求。我国矿业权评估需求主要有：矿政管理、矿业经营活动、金融市场、法律事务及咨询、环境保护等。不同的评估需求产生不同的评估目的。

以矿业权出让为目的。矿业权出让是国家作为矿产资源所有者将矿产资源使用权（含勘查的权利）让渡给矿业权人，赋予矿业权人在规定的范围和时间内勘查、开采矿产资源的权利和部分收益权。《矿业权出让转让管理暂行规定》规定：“各级地质矿产主管部门按照法定管辖权限出让国家出资勘查并已经探明矿产地的矿业权时，应委托具有国务院地质矿产主管部门认定的有矿业权评估资格的评估机构进行矿业权评估”；还规定“出让矿业权的范围可以是国家出资勘查并已经探明的矿产地、依法收归国有的矿产地和其他矿业权空白地”。因此，凡在一级市场出让的矿业权，其内含矿产地的都必须进行评估。

以矿业权转让为目的。矿业权转让是矿业权在二级转让市场上的流转。根据《矿业权出让转让管理暂行规定》第八条规定：“矿业权人转让国家出资勘查形成矿产地的矿业权的，应由矿业权人委托评估机构进行矿业权评估”。这是说，如果矿业权人拟转让的矿业权，其勘查投资的性质属于中央财政或地方财政的地质勘探费、矿产资源补偿费、各种基金以及专项经费的，就必须进行矿业权评估，这是强制性的。除此之外，由矿业权人，或当事人自主决定是否进行转让评估。

以矿业权抵押为目的。矿业权人因向银行贷款融资或其他举债经济行为等目的将矿业权作为抵押物设定抵押权时，债权人要求抵押人提供抵押物价值的，抵押人应委托评估机构评估抵押物。这是担保法对债权人提供的法律保护，但不是对评估做的强制性规定。它仍要依据债权人的意愿进行。

以矿业权出租为目的。《矿业权出让转让管理暂行规定》第五十条规定：“出租国家出资勘查形成的采矿权的，应按照国家采矿权转让规定进行评估、确认”。

以法律事务或咨询服务为目的。改革开放以来，矿业迅速发展，产权意识也不断加强。由于越界开采、非法开采等侵权行为带来的矿业权产权纠纷也不断发生，付诸于法律的事例屡见不鲜，给矿产资源所有者和矿业权人造成的经济损害而索赔诉讼事务常常需要

依靠矿业权评估来解决，这种矿业权评估可为司法实施提供依据。

4. 矿业权评估的作用

从实质上讲，矿业权评估就是为矿业权市场主体提供一种专家咨询服务。评估机构的产品——评估报告载明了在一种特定的条件下，根据某种技术思路，在一个确定的时点上，对评估对象做出的一种结论性意见。由此可见，条件、思路、时点都是可变的，因而结论也不是惟一的。因此，评估只能是某些专家提供的一项咨询服务。

矿业权评估这种服务作用的重要性，在于它是社会分工细化，市场发展过程中的需求。它的存在可使矿业权人较好地把握市场，降低投资风险，减少交易费用。

5. 矿业权评估的原则

矿业权评估原则是规范评估行为和业务的基本准则。

(1) 尊重地质规律和资源经济规律的原则：矿业权评估要尊重地质规律和资源经济规律，主要包括矿产形成、赋存的规律、地质工作的规律和资源开发的规律等。充分揭示矿产的地质赋存条件、储量的可信度、矿石品位及其变化规律等技术经济内涵，客观地确定制约评估的各种影响因素，科学地判断资源的经济特性。

(2) 遵守地质规范的原则：地质勘查工作的开展、勘查程度和质量的评述、勘查报告的编制、地质图件的绘制，以及储量的圈定和计算等，均依据相应的地质勘查规范。矿业权评估过程中，对于勘查成果质量和可靠性的判断和评价、矿产储量和矿石质量的审定、综合利用方案的确定、开采技术条件分析，以及地质信息资料的取舍等，要严格遵守地质勘查规范，以保证评估结果的可靠性和科学性。

(3) 预测原则：矿业权的价值一般不是由形成矿业权的资金投入直接决定的，通常是基于对矿产地未来收益的判断。所以，重点在于将来的收益，而非过去的历史资料。矿业权评估必须合理预测其未来的获利能力以及拥有获利能力的有效期限。对于探矿权，要合理预测其找矿远景和发现经济矿化、资源或储量的潜力；对于采矿权，要合理预测开采这些矿产资源的未来收益。

(4) 供求原则：矿业权的价格在一定程度上取决于矿业权市场与矿产品市场的供求关系，与需求成正比，与供应成反比。

(5) 替代原则：如果两宗或两宗以上相类似的矿业权可以在矿业权市场上同时买到，则购买者总是购买价格最低的。因此，评估时，某一矿业权的可选择性和有无替代性是需要考虑的一个重要因素。

(6) 变动原则：影响矿业权价值的因素很多，如采、选、冶技术、矿产品价格等，这些因素的变化会引起价值的变化。因此，在矿业权评估中必须充分考虑这些因素引起的参数变动。

(7) 竞争原则：真正公平的市场价值是在市场中形成的，无论买卖双方，竞争均会影响其交易价格。矿业权评估不能无视市场竞争的存在，应考虑矿业权市场竞争程度对评估的影响。

(8) 收益递增递减原则：根据经济学中的边际效益递减原则，追加某一投资，初始阶段收益随着投入而增加，但达到某一点后，如继续追加投资，收益不再会随追加投资成比例增加。矿业经济同样遵循这一规律。

(9) 最有效利用原则：效用最大化和追求最大效益是市场经济的基本原则。对于不同

的矿业权人来说，由于管理方式的不同，选用采选技术的不同，有效利用程度不同，实现的矿业权价值也就不相同。矿业权评估应以一定技术管理水平的矿业权的最佳效用或收益为前提。

(10) 协调原则：矿产资源开发总是处于一定的自然与社会环境中，必须与周围的环境相协调。矿业权与周围环境同质，其价值必定高于异质环境下的类似矿业权的价格。矿业权评估要考虑矿业权与周围环境的协调性。

(11) 收益分配原则：作为矿业权这种生产要素的报酬，可为三个主体创造效益：成本部分构成了企业职工的工资和其他产值，为社会做出了贡献；税费（资源补偿费、资源税和其他税费）是一种剩余，国家占有并进行再分配，对政府做出了贡献；净收益为矿业权人所有，形成矿业开发的驱动力。

(12) 均衡原则：当矿业资本市场、矿产勘查劳务市场、矿产品市场和矿业权市场，以及经营因素等矿业生产要素的应用达到量的均衡而尚未发生边际效益递减时，收益状况最佳。

6. 矿业权评估的途径

矿业权评估，要根据评估对象、评估目的和应该遵循的原则选择适当的评估途径。矿业权评估主要有收益、成本和市场三种途径。

(1) 收益途径：它是指通过估算资产未来预期收益并折算成现值，来确定被评估资产价值的一种评估方法。采用收益途径对矿业权进行评估，所确定的矿业权价值是为获得矿业权以取得预期收益的权利所支付的货币总额。矿业权的评估价值与矿业权的效用和有用程度密切相关，矿业权的效用越大，获利能力越强，它的价值越大。应用收益途径进行矿业权评估必须具备两个条件：其一，矿业权未来的预期收益可以预测，并能用货币计量；其二，矿业权人未来承担的风险能被估计并量化。运用收益途径进行矿业权评估，要以矿业权的持续经营并能连续获利为前提，若矿业权投资的未来收益无法预测，则不能采用收益途径。

运用收益途径进行矿业权评估要确定的主要指标是收益额、贴现率和收益年限。

收益额是矿业权所指向的矿产地被持续经营或假设开发时，在一定假设条件下，某个时点所能够带来的未来收益预测值。收益额可以用净利润、净现金流量或利润总额来表示，但计算现值时应恰当地确定贴现率。

收益期限是矿业权使用期间矿产地（或矿山）持续经营的收益时间。矿业权评估的收益期限，一般由法定范围内的矿产资源开发年限来确定。有时也可由法律、契约或合同的规定来确定。

收益途径能在客观、合理地确定评估参数的情况下，得到与市场交易比较接近的评估值，相对公正，易于为买卖双方所接受。

(2) 成本途径：采用成本途径评估矿业权仅用于探矿权的评估。当探矿权所指向的矿产地的勘查程度较低，储量的可靠性差，不适合采用收益途径评估探矿权价值时，才可考虑采用成本途径进行评估。

采用成本途径评估探矿权的基本原理是，探矿权的价值由成本和修正系数两部分决定。成本部分指的是勘查时所采用的各种技术方法（手段）的资金投入现值，不是原始实际成本。修正系数是对成本的效用价值和勘查成果的找矿意义所做的判断，通过地质专家

和评估人员的评判加以确定。根据评估对象的勘查工作程度和所获得的地质、矿产信息资料的丰富程度的差异，可以进行不同程度的修正。对于尚未圈定矿体的探矿权，只能对勘查投入现值的效用价值进行评判，其修正系数称作“效用系数”。对初步圈定的矿体的探矿权，已获得的地质、矿产信息资料丰富了一些，在对成本的效用价值判断的基础上，还可对其进一步的找矿意义进行评判，用“调整系数”再作修正。因此，成本方法评估探矿权价值的技术思路是，探矿权的价值由勘查投入成本现值经修正系数调整后确定。

用成本法评估探矿权有两点必须明确，一是探矿权价值与成本有关，但并不是由成本所决定的；二是探矿权价值与成本无固定的比例关系。探矿权的价值关键取决于勘查所获地质、矿产信息资料的实际效用和意义。

(3) 市场途径：市场法也称为市场比较法，其途径是指通过比较被评估矿业权与最近交易的矿业权的异同，调整某些参数，从而确定被评估矿业权价值的一种途径。

一般地讲，市场途径是最接近市场价格的一种有效途径，但市场途径的运用需要具备一些前提条件：①要有一个发育的矿业权市场，矿业权交易频繁，与被评估矿业权相类似的矿业权交易样本容易获得；②参照矿业权与被评估矿业权有可对比的指标、技术参数等资料。

运用市场途径进行矿业权评估的关键是参照矿业权差异的调整，差异调整因素主要包括交易时间差异因素、所处地域差异因素和矿业权效用差异因素。具体需要进行规模调整、矿石品位调整、矿产品价格调整，以及反映交通条件、自然条件、经济环境、地质采选冶条件差异的成本调整。

7. 选择评估途径的影响因素

(1) 矿业权的类型：不同类型和不同阶段的矿业权，适用不同的价值评估途径和方法。采矿权和勘查工作程度较高的探矿权应采用收益评估途径。

勘查程度较低的探矿权，因进行开发的技术和经济参数无法取得，则只能采用成本途径。

对于在矿业权市场上进行交易的矿业权，评估的是资产的交换价值或公平市场价值，若市场上可以找到参照矿业权，且差异调整参数可搜集，则市场途径不失为一种简单有效的方法。

(2) 信息资料：矿业权评估所依赖的信息资料包括：地质、矿产、矿山建设、开发方案、采选技术、财务、市场等。根据可得相关信息的数量和质量，评估人员要根据自己在矿产开发和评估等方面的经验和知识，对信息的可用性、可靠性、完整性、真实性、准确性等进行分析 and 评价，选择合理的评估途径和方法。在评估报告中要说明信息的来源；信息的质量，为什么选择这种评估途径和方法，说明可得信息与选择使用的评估途径是否匹配等。

第二章 矿床类型

第一节 矿床成因类型

地壳中的矿床种类繁多，要对它们进行分类以便于研究。按照矿床的形成作用和成因划分的矿床类型，称为矿床成因类型。如岩浆矿床、伟晶岩矿床，气成-热液矿床以及风化矿床、沉积矿床，变质矿床等。按矿床成因进行矿床分类是最基本的分类方法，按成因类型逐一研究每类矿床的成因、特征、形成条件和分布规律，是矿床学研究的基本内容。

矿床的成因分类反映人类对矿床成因和成矿过程的认识程度，也是人类对矿床研究成果的高度概括。正确地制定矿床成因分类对了解成矿作用的本质、指导生产实践都具有重要的意义。

古代对矿床的原始分类是根据矿体的形状，部分地也根据物质成分来划分的。这反映了当时的生产力水平还比较低，对矿床的认识还只限于矿床的外部特征。随着生产力的发展以及矿床资料的积累，也由于物理学和化学等自然科学的发展，促进了矿床成因的研究，出现了比较系统的矿床成因分类。1906年和1911年，W. 林格仑提出了以成矿的物理化学作用为基础的成因分类，把矿床分为机械作用矿床和化学作用矿床两大类，再以成矿时的物理化学条件（温度、压力）为基础划分不同亚类。这样的分类，重视了成矿时的物理化学作用，反映了当时的矿床学研究水平，对矿床学的发展起了促进作用。20世纪30年代，德国斯奈德洪提出了以成矿作用和成岩作用之间存在着紧密联系为基础的矿床共生组合分类，他把矿床划分为岩浆、沉积和变质三大类，在此基础上再进一步划分亚类。上述两个分类基本上是以鲍温的岩浆分异理论为依据的，是建立在“岩浆一源论”基础上的。现在大量实际资料表明这种观点是不全面的。因此按照岩浆一源论建立的成因分类已不能适应当前地质科学的发展。

20世纪50年代以来，地球物理和同位素地质研究有了很大的进展，对地球各层圈的结构和成分获得了更多的资料，因而有可能探讨成矿物质来源这个根本性问题。1961年谢家荣提出以成矿物质来源为基础的矿床成因分类。按矿物质来源不同将矿床分为四大类：A类：地面来源；B类：地壳表层来源；C类：硅铝层再熔化岩浆来源；D类：硅镁层岩浆来源。无疑这是当前矿床成因及分类研究的一个重要方面，不仅明确了成矿物质来源在矿床学研究中的意义，而且指明了矿床成因分类的新方向。现在已有不少矿床学著作中采用了这个成因分类原则，并列举了相应的判别依据，除了地质标志外，更多的利用了S、Pb、O、C、H和Sr等稳定同位素的资料，说明在矿床学的研究内容上和方法上已经进入了一个新的阶段。但是，由于当前稳定同位素分析技术在矿床研究中还未能普及，已积累的分析资料还不足以概括所有的矿床成因类型，因此还有待进一步的总结和提高。

编者认为，矿床的形成过程是整个地质作用的一部分。但是，矿床形成又有其特殊因

素,包括成矿物质及其来源、成矿环境和成矿作用。这三个因素在矿床形成过程中是密切联系的,成矿物质及其来源是成矿的基础和前提,成矿环境是外界条件,而成矿作用则是成矿物质在一定的环境下富集而形成矿床的机制和过程。这里所讲的成矿环境,是指综合的地质-物理化学环境,除了温度、压力外,还包括地层,岩石、构造以及 pH 及 Eh 等。在外生矿床中还应包括古气候、古地理等因素。这样既能较全面地反映成矿的复杂背景,又有利于综合分析。基于上述认识,在一个比较完整的矿床分类中,应该包括这三个基本因素。其中成矿作用应该是划分矿床成因类型的主要依据,因为不管物质来源如何,它们总是要通过一定的成矿作用才能使其聚集而成为矿床。因此采用的分类原则,以成矿作用作为分类的主要依据,适当考虑成矿地质环境,同时在分类中还尽可能地反映成矿物质来源这一主要因素。

在分类中,一级划分是与三大类地质作用相对应的,即分为内生矿床、外生矿床、变质矿床和叠生矿床四大类,二级划分是按照在一定地质环境下的主要成矿作用系列来划分的,如分为岩浆矿床、伟晶岩矿床、接触交代矿床、热液矿床等。三级划分则由于各类矿床形成环境的复杂性和成矿方式的多样性,很难采用一种统一的标志。因此,根据各类矿床的主要特征和标志,或按成矿方式、或按含矿建造、或按成矿环境来加以区分,有一定灵活性。如岩浆分结矿床、岩浆熔离矿床,岩浆爆发矿床,等等。四级划分一般均按矿石建造。

此分类尽量采用一般普遍应用的名词命名,以便于初学者掌握以及实际应用。分类标志尽量减少假设性,而易于判别和掌握,并且有一定灵活性和补充发展的余地。但是这个分类(表 2-1)也存在一些问题,有待今后进一步修改和提高。

表 2-1 矿床成因分类表

<p>I. 内生矿床</p> <p>一、岩浆矿床</p> <p>(一) 岩浆分结矿床</p> <p>(二) 岩浆熔离矿床</p> <p>(三) 岩浆爆发矿床</p> <p>二、伟晶岩矿床</p> <p>三、接触交代(矽卡岩)矿床</p> <p>四、热液矿床</p> <p>(一) 岩浆气液矿床</p> <p>(二) 非岩浆热液矿床</p> <p>五、火山成因矿床</p> <p>(一) 火山岩浆矿床</p> <p>(二) 火山一次火山气液矿床</p>	<p>(三) 火山-沉积矿床</p> <p>II. 外生矿床</p> <p>六、风化矿床</p> <p>七、沉积矿床(机械沉积、蒸发沉积、胶体化学沉积和生物-化学沉积)</p> <p>八、可燃有机矿床</p> <p>III. 变质矿床</p> <p>九、接触变质矿床</p> <p>十、区域变质矿床</p> <p>十一、混合岩化矿床</p> <p>IV. 叠生矿床</p> <p>十二、层控矿床</p>
---	---

第二节 矿床工业类型

矿床工业类型是在矿床成因类型基础上,从工业利用的角度来进行矿床的分类。对多数矿床来说,其成因类型是多种多样的,但在工业上具有重要意义、作为主要找矿对象

的，常常是其中的某些类型。以铁矿为例，它的矿床成因类型多达十几种，但就世界范围来讲，工业价值较大的有火山喷发沉积变质型（占世界铁矿储量的60%，我国为48.7%），海相沉积型（占世界铁矿储量的30%，我国为15%），以及岩浆型、矽卡岩型和热液型等四、五种。一般把这些作为某种矿产的主要来源，在工业上起重要作用的矿床类型，称为矿床工业类型。

划分矿床工业类型的目的，在于突出有重要意义的矿床类型，作为找矿勘探和研究工作的重点，以便深入研究它们的地质特点、形成作用、分布规律以及工业利用条件等，为多快好省地开发矿产资源服务。

由于各种矿产的产出条件和工业要求不同，矿床工业类型一般是按矿种来分别研究的，如铁矿床工业类型、铜矿床工业类型、磷矿床工业类型等。

一、矿产的工业分类

目前工业利用的矿产种类甚多，每种矿产又有许许多多的矿床工业类型，而且各种矿产在工业上的应用范围十分广泛，工业对矿石要求又各有差别，各种工业类型矿床产出的地质条件、矿床特征和经济意义都不相同。我国目前将矿产分为以下类别：

- (1) 能源矿产：煤、石油、油页岩、天然气、铀、钍等；
- (2) 黑色金属矿产：铁、锰、铬、钒、钛等；
- (3) 有色金属矿产：铜、铅、锌、铝、镍、钴、钨、锡、铋、钼等；
- (4) 稀有金属矿产：铍、锂、铌、钽、锆、镉、镓、铟、稀土等；
- (5) 贵金属矿产：金、银、铂、钯、钌、铑、铈、铈等；
- (6) 冶金辅助原料矿产：熔剂用石灰岩、白云岩、硅石、菱镁矿、耐火粘土等；
- (7) 化工原料矿产：硫铁矿、自然硫、磷、钾盐、明矾石、化工用石灰岩、泥炭等；
- (8) 特种类矿产：压电水晶、冰洲石、金刚石、蓝石棉、熔炼水晶、光学萤石等；
- (9) 建材及其他类矿产：云母、石棉、高岭土、石墨、石膏、滑石、水泥用石灰岩等；
- (10) 水气矿产：地下水、地下热水、二氧化碳气等。

二、部分矿种的矿床工业类型

1. 铁 (Fe)

(1) 用途：铁是经济建设不可缺少的物质基础，广泛应用于国民经济各部门，人民生活也离不开它。铁矿石经冶炼后可以制成生铁、铁合金、热铁、碳素钢、合金钢、特种钢等。此外，纯磁铁钢可做合成氨的催化剂；赤铁矿、镜铁矿、褐铁矿还是天然的矿物原料。

(2) 铁矿床的工业类型（表 2-2）。

2. 铜 (Cu)

(1) 用途：铜具有良好的导电性、导热性、延展性、抗张力，容易与其他金属制成合金。在电气工业中用以制作电线、电缆、电机设备等，无氧铜还用来制作超高频电子管。

铜及其合金应用于电气工业、机械制造、交通运输、化学工业及国防工业方面。例如黄铜用来造枪弹和炮弹，白铜用来造舰艇和发电设备等冷凝器和热交换器等。

铜的化合物在农业上用作杀虫剂和除草剂。铜还是防腐油漆的主要成分。

(2) 铜矿床的工业类型（表 2-3）。

续表

矿床工业类型	成矿地质特征	矿体形状	矿体规模	矿石结构构造	主要矿物	矿石组分	伴生组分	矿床实例
与火山-侵入活动有关的铁矿床	矿床与富钠质的中性(中偏基性)或中偏酸性)、基性火山-侵入活动有关。产于地槽褶皱带的海底火山喷发中心附近,矿体赋存于一套由火山碎屑岩-碳酸盐岩-熔岩(细碧岩与角斑岩)组成的建造中	层状、似层状、透镜状,少数为脉状、囊状,常成群成带出现。矿体一般平缓,小矿体有时产状复杂	单个矿体走向延长几十米至千米以上,厚几十米至几十米,最厚达数百米,延深百米或数百米,最大达千米	矿石构造与陆相火山-侵入活动有关的矿床相同,并具有杏仁状构造、定向非列构造等	矿石中金属矿物磁铁矿与赤铁矿互为主次,另有假象赤铁矿、菱铁矿和硫化物。脉石矿物有石英、石膏和重晶石等。有的矿床含有长石、绢云母、铁绿泥石等。有的矿床含有一定数量的菱铁矿、黄铁矿、硅酸铁矿物等	含铁量与陆相火山-侵入活动有关的铁矿床相似,并多含Cu、Co。多数铁矿床含铁品位一般较高	矿石中伴生的S、P、V ₂ O ₅ 、Co等,可综合回收	大凉山铁矿
沉积铁矿床	震旦纪沉积铁矿床	层状	一般有三、四层矿层,厚度0.7~2 m	矿石以鲕状构造为主	以赤铁矿为主,菱铁矿次之	一般含w(TFe)30%~50%,硫、磷含量较低		庞家堡铁矿
	浅海相沉积铁矿床	层状	一般有一至四层矿层,厚度不大	矿石以鲕状构造为主	矿石类型以赤铁矿、菱铁矿为主,其次为鲕绿泥石及混合型矿石	矿石以中品位为主,一般含w(TFe)25%~50%,一般磷高硫低		火烧坪铁矿
	海陆交替-湖相沉积铁矿床	似层状、层状、透镜状	层位稳定,矿床规模为中、小型	矿石以菱铁矿为主,或以赤铁矿为主,或两者兼有。脉石有绿泥石、石英、粘土矿物等	矿石以菱铁矿为主,或以赤铁矿为主,或两者兼有。脉石有绿泥石、石英、粘土矿物等	含w(TFe)30%~55%,磷高硫低,矿区含锰、铝、硫较高		土台铁矿

矿床工业类型	成矿地质特征	矿体形状	矿体规模	矿石结构构造	主要矿物	矿石组分	伴生组分	矿床实例
变质铁矿床	可以分三类。产于角闪质岩等岩石层中；有时夹有石英岩；云母质绿泥质石英片岩和片麻岩产于大理岩中；麻岩、大理岩、白云质岩、板岩等岩层之中或其接触面上。	矿体形态简单，多呈层状、似层状，产状与围岩基本一致，贫矿层中的有利部位有时见富矿层状、似层状、扁豆状或不规则状	矿体一般大而窄，也有少量富矿。矿体厚度可达二三百米，延长一般几百米，少数可达十公里，延深数百米至千米以上。个别富矿体厚度可达百余米，矿体厚薄变化大和富矿占比大为特征	矿石多具条带状构造；花纹状构造；鳞片状构造，以块状晶结构，以条带为主，鳞片状、条带状次之	矿石矿物一般以磁铁矿为主，少数矿石中普遍含少量碳酸铁、硅酸铁、绿泥石、镁铁闪石、铁铝榴石、黑云母、碳酸盐矿物等，一般含少量黄铁矿。矿石矿物有赤铁矿、菱铁矿、磁铁矿、褐铁矿；脉石矿物有石英、绢云母、绿泥石及碳酸盐类	多数矿区的矿石 $w(\text{Fe})20\% \sim 40\%$ ， $w(\text{SiO}_2)40\% \sim 50\%$ ，一般要做选矿处理；少数矿区产有富矿， $w(\text{Fe})50\% \sim 60\%$ ，含硫磷低		鞍山铁矿
风化淋滤型铁矿床	由各类原生铁矿床以及其他含铁岩石经风化淋滤富集而成，也称风化壳铁矿床	体形态受地形及构造影响，呈不规则或扁豆状	一般小型，也有大型矿床	矿石具块状、蜂窝状、葡萄状或土状结构	矿石以疏松多孔褐铁矿为主，脉石为石英、碳酸盐类、粘土矿物等	矿石含 $w(\text{Fe})35\% \sim 60\%$	常含 Pb, Zn, Cu, As, Co, Ni, S, Mn, W, Bi 等杂质	大宝山铁矿
其他类型铁矿床	矿床主要为一套浅海潟湖相沉积，并经过一定程度的接触变质作用。铁矿赋存于白云岩、白云质灰岩中的透辉石、透闪石岩内。产于复式向斜的两翼或一翼。矿区外围见中生代花岗岩	呈层状或似层状	主矿体长 2570 m，宽 460 m，最大垂厚 430 m		矿石以含鳞片状赤铁矿及石英为主；并含少量磁铁矿及半假象赤铁矿、铁碧玉等	矿石平均含 $w(\text{SiO}_2)6\% \sim 32\%$ ，硫 0.22% ~ 0.6%，磷 0.01% ~ 0.04%。矿石中 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3) + w(\text{SiO}_2) > 90\%$	矿体底板以下有单独的铜钴矿体共生	海南南石碌
白云岩博铁矿	矿区地层为前寒武纪变质的石英岩、板岩、白云岩等片岩，铁矿产于白云岩中或白云岩与硅质板岩接触处	似层状，透镜状顺层产出	含矿带东两长 16 km，南北宽 1 ~ 2 km，主矿体长 1250 m，水平厚度平均为 245 m，真厚度 99 m，最大延深 970 m		铁矿石主要由磁铁矿、赤铁矿组成；含多种稀有稀土矿物。脉石矿物有萤石、钠辉石、云母、重晶石、白云石、石英等	铁矿石含 $w(\text{Fe})27\% \sim 55\%$ ，平均含 $w(\text{Fe})31\% \sim 36\%$ ，硫 0.2% ~ 2%，磷 0.3% ~ 1%，氟 2% ~ 10%， $w(\text{TR}_2\text{O}_3)2\% \sim 8\%$ ， $w(\text{Nb}, \text{Tb})_2\text{O}_5$ 在富集地段含量为 0.05% ~ 0.1%		内蒙古白云岩博

表 2-4 岩金矿床工业类型及成因类型简表

矿床工业类型	成矿地质特征	矿物共生组合		围岩蚀变	矿体形态	规模及品位(w_B)	共生元素	矿床实例
		金属矿物	脉石矿物					
破碎带蚀变岩型(焦家式)	形成于变质岩基底隆起区,区内以中酸性岩岩体为主,变质岩为主。焦家式金矿受再生花岗岩岩体与胶东群地层接触带控制,矿化发育在主断裂带下盘角砾岩、碎裂岩、碎裂状花岗岩中	黄铁矿为主,次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿,少量银、白铁矿、自然金、辉铜矿、黝铜矿、斜方辉钴铋矿、铅石、菱铁矿	石英、绢云母、长石;少量绿帘石、白云石、绿帘石、石榴子石	钾化、硅化、黄铁绢英岩化	脉带型	小到特大型,7.23~4.63 g/t	Ag	焦家、新城、三山岛
		黄铁矿、白钨矿、毒砂、磁黄铁矿、辉铋矿、自然金、黄铜矿、闪锌矿、胶状黄铁矿	石英、方解石、白云石、钠长石、白云石;少量绢云母、绿帘石、磷灰石、金红石、绿泥石、石榴子石	硅化、绢云母化,次为绿帘石化、黄铁矿化	脉状、扁豆状、细脉状	小到大型,平均品位10.14 g/t	五龙	
含金石英脉型	复脉以金厂峪为典型,产于太古宇西群中,赋矿围岩为斜长角闪片麻岩经混合岩化及动力-热液蚀变片岩带	黄铁矿,少量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、辉铋矿、辉银矿等,以及褐铁矿、孔雀石、铜蓝	石英、白云石、钠长石、白云石;少量绢云母、绿帘石、磷灰石、金红石、绿泥石、石榴子石	绢云母化、黄铁矿化、硅化、绿帘石化、磷酸盐化	脉状、不规则和透镜状	中—特大型,1.0~21.4 g/t	Mo	金厂峪
		黄铁矿,次为方铅矿、黄铜矿,少量闪锌矿、碲铅矿以及褐铁矿、赤铁矿、斑铜矿、辉铜矿、铜蓝、铅矾等氧化矿物	石英、长石、高岭石、绢云母、少量绿帘石、白云母,石榴子石、绿泥石	钾化、硅化、钠化、黄铁矿化、绢云母化、高岭土化、碳酸盐化	脉状、透镜状	中—特大型,平均7.25 g/t	东坪、哈达门、后沟	Sh
斑岩型(团结构式)	产于中、高级变质岩地区,岩性为斜长角闪岩、片麻岩、麻粒岩、变粒岩。区域性深断裂及其派生的次级断裂控制含矿地质体的分布,具体产于中酸性杂岩体及其外接触带,由石英脉和硅化、钾化、蚀变岩组成	黄铁矿、白铁矿、辉铋矿、自然金、黄铜矿、辰砂、雄黄、雌黄	玉髓状石英、方解石、冰洲石、铁白云石、蛋白石、长石、高岭土	硅化、黄铁矿-白铁矿、碳酸盐化	层状、脉状、扁豆状	大一特大型,2~10 g/t(Au)	Ag,Cu,S	团结构
		黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、赤铁矿、斑铜矿、金银矿	辉铝榴石、透辉石、绿帘石、石英、石榴石	砂卡岩化为钾主,其次为钾泥石化和绢云母化	透镜状、似层状、串珠状	中—大型,2~100/t(Au),4%~1%(Cu)	华铜、祈南、鸡冠嘴、老柞山	Fe,Cu,Pb,Zn,Bi
砂卡岩型	中酸性小侵入体与不纯英岩、火山凝灰岩的接触带。围岩多为含石榴子石、钙铁辉石、绿帘石砂卡岩							

续表

矿床工业类型	成矿地质特征	矿物共生组合		围岩蚀变	矿体形态	规模及品位(w_B)	共生元素	矿床实例
		金属矿物	脉石矿物					
角砾岩型	矿化角砾岩体多产于前震旦纪古老变质岩系中;围岩为含铁较高的硅铝质岩石	黄铁矿,次为黄铜矿、方铅矿、自然金,少量闪锌矿、辉钨矿、铜蓝、斑铜矿、辉钼矿	石英、绿泥石、绿帘石,次为方解石、钾长石、绢云母、钠长石及少量黑云母、斜长石、次闪石、阳起石、萤石	硅化、绿泥石化、绿帘石化和绢云母化	似层状、透镜状	中—大型1~45.84 g/t(Au)	Ag, Cu, S	折雨沟、双王
硅质岩层中的含金铁建造型(东风山式)	位于地台隆起的边缘拗陷区。含矿地质体产于太古宙到元古宙的条带状含铁硅质岩层中	磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂、钛铁矿,少量自然金、辉钼矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	铁闪石、石英、镁铁闪石、碳酸盐矿物	硅化、绢云母化、磷酸盐化、黄铁矿化	似层状、扁豆状	小—中型5~20 g/t(Au),最高160 g/t	Co, As	东风山
含金火山岩型	产于中新世代火山带及火山盆地中,矿体由含金方解石石英脉组成,充填于火山口附近的环状放射状裂隙中,或火山管道、火山口相喷出岩中	黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、闪锌矿、辉银矿、银金矿、金银矿、金碲矿	玉髓、蛋白石、冰长石、石英、碳酸盐	硅化、钠长石化、高岭土化、磷酸盐化、黄铁矿化、绢云母化、褐色化	脉状	小型5.54~7.73 g/t		桐荆沟
微细粒浸染型	分布于显生宙准地台及地槽区,地层为上古生界到中生界,以三叠系为主。其上部紫云组为本区的含金层位,金和硫化物呈浸染状分布在一系列碎屑岩中	黄铁矿、白铁矿、毒砂、含砷黄铁矿、辉钼矿、自然金、雄黄	水云母、重晶石、萤石、石膏	硅化、高岭土化、磷酸盐化、白铁矿化、毒砂化、含砷黄铁矿化	层状、似层状、透镜状	中型	Sh, Hg	丫它、板其

3. 金 (Au)

(1) 用途：金（商品名称为黄金）作为一种特殊的贵金属，很早就用于制造货币和装饰品或作为硬通货加以储备。目前，作为珠宝和工业用途的需求日益增加，但黄金仍作为国际货币结算手段和货币信用的基础，因此，世界各国十分重视金矿的勘查和开发。迄今为止，已采金 11.2 万 t，其中约 15% 已经损耗掉，保留下来的约有 9.5 万 t，估计世界各国中央银行持有黄金储备 3.6 万 t（比 20 世纪 80 年代中期有所减少），私人持有金币、金条和首饰近 5.9 万 t。

(2) 金矿床的工业类型（表 2-4）。

第三节 矿床勘查类型

在矿体地质研究和总结以往矿床勘查经验的基础上，按照矿床的主要地质特点及其对勘查工作的影响（即勘查的难易程度），将相似特点的矿床加以理论综合与概括而划分的类型，称矿床勘查类型。

划分矿床勘查类型的目的，在于总结矿床勘查的实践经验，以便指导与其相类似矿床的勘查工作，为合理地选择勘查技术手段，确定合理的勘查研究程度及勘查工程的合理布置提供依据。

划分矿床勘查类型的主要依据是：矿体规模的大小，主矿体形态的变化程度，主矿体厚度稳定性、矿体受构造和脉岩影响程度以及矿体中主要有用组分的分布均匀程度等。

一、矿床勘查类型确定的原则

1. 追求最佳勘查效益的原则

勘查工程的布置应遵循矿床地质规律，从需要、可能、效益等多方面综合考虑，以最小的投入，获取最大的效益。

2. 从实际出发的原则

每个矿床都有其自身的地质特征，影响矿床勘查难易程度的四个地质变量因素（矿体规模、矿体形态复杂程度、构造复杂程度、有用组分分布均匀程度）常因矿床而异，当出现变化不均衡时，应以其中增大矿床勘查难度的主导因素作为确定的主要依据。

3. 以主矿体为主的原则

当矿床由多个矿体组成时，应以主矿体（占矿床资源/储量 70% 以上，由一个或几个主要矿体组成）为主；当矿床规模较大，其空间变化也较大时，可按不同地段的地质变量特征，分区（块）段或矿体确定勘查类型。

4. 类型三分，允许过渡的原则

例如，铁、锰、铬矿床均按简单、中等和复杂三个等级划分为 I、II、III 三个勘查类型。由于地质因素变化的复杂性，允许其间有过渡类型以及比第 III 勘查类型更复杂的类型存在。

5. 在实践中验证并及时修正的原则

对已确定的勘查类型，仍须在勘查实践中验证，如发现偏差，要及时研究并予修正。

二、部分矿种的矿床勘查类型

(一) 岩金矿床勘查类型

1. 确定矿床勘查类型的主要因素

矿床勘查类型根据矿体的规模、形态变化程度、厚度稳定程度、矿体受构造和脉岩影响程度和主要有用组分分布均匀程度等因素来划分，实践中以不同矿段中主矿体为主确定勘查类型。矿床勘查类型应随勘查进程和地质认识的不断深化而适时调整。表 2-5 给出了这些主要因素的参考数据或描述性特征。

表 2-5 岩金矿床勘查类型有关参数

	规模等级	矿体走向长度/m	矿体深度(或宽度)/m
矿体规模	大型	>500	>500
	中型	200~500	200~500
	小型	<200	<200
矿体形态变化	简单	层状—似层状、板状—似板状、大脉体、大透镜体，形态规则或较规则，矿体连续，产状变化简单	
	中等	不规则大透镜体或大脉状体、矿柱、矿囊，矿体基本连续，有分支复合，产状变化中等	
	复杂	不规则的透镜体及小透镜体、脉状体及小脉状体，小矿柱、小矿囊，矿体呈间断性状态。产状变化复杂	
矿体厚度	厚度稳定程度	矿体厚度变化系数/%	
	稳定	<80	
	较稳定	80~130	
	不稳定	>130	
构造、脉岩	小	矿体基本无断层错动或脉岩穿插，构造对矿体影响小或无	
	中等	矿体被断层错动或被脉岩穿插，构造、脉岩对矿体形态有较明显影响，但破坏不大	
	大	矿体被断层错断，脉岩穿插较多或甚多，错断距离较大，严重影响矿体形态，破坏大	
有用组分	分布均匀程度	矿体品位变化系数/%	
	均匀	<100	
	较均匀	100~160	
	不均匀	>160	

2. 岩金矿床勘查类型

依据上述五种因素和我国岩金矿地质勘查实践，将我国岩金矿床划分为三个勘查类型，作为参照标准，供类比时使用。

(1) 第Ⅰ勘查类型(简单型): 矿体规模大, 形态简单, 厚度稳定, 构造、脉岩影响程度小, 主要有用组分分布均匀的层状—似层状、板状—似板状的大脉体、大透镜体、大矿柱。属于该类型的矿床有山东焦家金矿床1号矿体、山东新城金矿床。

(2) 第Ⅱ勘查类型(中等型): 矿体规模中等, 产状变化中等, 厚度较稳定, 构造、

脉岩影响程度中等，破坏不大，主要有用组分分布较均匀的脉体、透镜体、矿柱、矿囊。属于该类型的矿床有河北金厂峪金矿床Ⅱ-5号脉体群、河南文峪金矿床。

(3) 第Ⅲ勘查类型(复杂型):矿体规模小,形态复杂,厚度不稳定,构造、脉岩影响大,主要有用组分分布不均匀的脉状体、小脉状体、小矿柱、小矿囊。属于该类型的矿床有河北金厂峪金矿床Ⅱ-2号脉、山东九曲金矿床4号脉、广西古袍金矿床志隆1号脉等。

(二) 铜、铅、锌、银、镍、钼矿床勘查类型

1. 确定矿床勘查类型的主要因素

铜、铅、锌、银、镍、钼矿床勘查类型的划分,应依据矿体规模、主要矿体形态及内部结构、矿床构造影响程度、主矿体厚度稳定程度和有用组分分布均匀程度等五个主要地质因素来确定。为了量化这些因素的影响大小,提出类型系数的概念,每个因素都赋予一定的值,每个矿床相对应的上述五个地质因素类型系数值之和就可以确定是何种勘查类型。在影响勘查类型的五个因素中,主矿体之规模大小比较重要,所赋予的类型系数值要大些,约占30%;构造对矿体形状的影响与矿体规模有间接联系,所赋予的值要小些,约占10%;其他三个因素各占20%。

(1) 矿体规模分为大、中、小型三类,其具体划分及类型系数如表2-6。

表 2-6 矿体规模划分及类型系数表

矿体规模	类型系数	矿产种类	长度/m	延深或宽/m
大型	0.9	Cu Mo	>1000	>500
		Pb Zn	>800	>500
		Ag		>300
		Ni		>400
中型	0.6 (0.3~0.6)	Cu Mo	300~1000	300~500
		Pb Zn	300~800	200~500
		Ag		150~300
		Ni		200~400
小型	0.3 (0.1~0.3)	Cu Mo	<300	<300
		Pb Zn		<200
		Ag		<150
		Ni		<200

注:由于矿体规模对类型及工程间距的影响较大,其类型系数的赋值问题,补充说明如下:小型矿体(<300 m)和中型矿体(300~1000 m)按长度不同应有不同的值,小型矿体<150 m赋值0.1、150~200 m赋值0.2、>200 m赋值0.3;中型矿体300 m赋值0.3、400~500 m为0.4、>500 m为0.6。

(2) 矿体形态复杂程度分为三类:

简单:类型系数0.6。矿体形态为层状、似层状、大透镜状、大脉状、长柱状及筒状,内部无夹石或很少夹石,基本无分支复合或分支复合有规律。

中等:复杂程度属中等,类型系数0.4。矿体形态为似层状、透镜状、脉状、柱状、

内部有夹石，有分支复合。

复杂：类型系数 0.2。矿体形态主要为不规整的脉状、复脉状、小透镜状、扁豆状、豆荚状、囊状、鞍状、钩状、小筒柱状，内部夹石多，分支复合多且无规律。

(3) 构造影响程度分为三种：

小型：类型系数 0.3。矿体基本无断层破坏或岩脉穿插；构造对矿体形状影响很小。

中型：类型系数 0.2。有断层破坏或岩脉穿插，构造对矿体形状影响明显。

大型：类型系数 0.1。有多条断层破坏或岩脉穿插，对矿体错动距离大，严重影响矿体形态。

矿体厚度稳定程度大致分为稳定，较稳定和不稳定三种。各矿种不同稳定程度的厚度变化系数及类型系数见表 2-7。

有用组分分布均匀程度，可根据主元素品位变化系数划分为均匀、较均匀，不均匀三种。各矿种有用组分均匀程度具体划分及相应的类型系数值见表 2-7。

表 2-7 矿体厚度稳定程度、有用组分分布均匀程度与类型系数表

矿产种类	矿体厚度稳定程度			有用组分分布均匀程度		
	稳定程度	厚度变化系数/%	类型系数	稳定程度	品位变化系数/%	类型系数
铜	稳定	<60	0.6	均匀	<60	0.6
	较稳定	60~130	0.4	较均匀	60~150	0.4
	不稳定	>130	0.2	不均匀	>150	0.2
铅锌	稳定	<50	0.6	均匀	<80	0.6
	较稳定	50~100	0.4	较均匀	80~180	0.4
	不稳定	>100	0.2	不均匀	>180	0.2
银	稳定	<80	0.6	均匀	<100	0.6
	较稳定	80~130	0.4	较均匀	100~160	0.4
	不稳定	>130	0.2	不均匀	>160	0.2
镍	稳定	<50	0.6	均匀	<50	0.6
	较稳定	50~100	0.4	较均匀	50~100	0.4
	不稳定	>100	0.2	不均匀	>160	0.2
钼	稳定	<60	0.6	均匀	<80	0.6
	较稳定	60~100	0.4	较均匀	80~150	0.4
	不稳定	>100	0.2	不均匀	>150	0.2

注：品位变化系数估算公式 $V = \frac{\sigma}{X} \times 100\%$

式中：V 为矿体厚度或品位变化系数；σ 为单工程厚度或单样品品位统计的均方差；X 为单工程厚度或单样品品位统计的算术平均值。

2. 铜、铅、锌、银、镍、钼矿床勘查类型

依据矿体规模、主要矿体形态及内部结构、矿床构造影响程度、主矿本厚度稳定程度、有用组分分布均匀程度上述五种因素，将我国铜、铅、锌、银、镍、钼矿床划分为三种勘查类型，作为参照标准，供类比时使用（表 2-8）。

表 2-8 铜、铅、锌、银、镍、钼矿床勘查类型实例一览表

矿种	勘查类型	矿床实例
铜矿	第Ⅰ勘查类型	江西德兴、永平，西藏玉龙
	第Ⅱ勘查类型	江西银山九区，安徽安庆、花树坡
	第Ⅲ勘查类型	安徽狮子山，辽宁华铜
铅锌矿	第Ⅰ勘查类型	云南金顶，湖南桃林
	第Ⅱ勘查类型	甘肃小铁山，云南澜沧老厂，江西银山
	第Ⅲ勘查类型	湖南水口山，辽宁关门山
银矿	第Ⅰ勘查类型	四川呷村，内蒙古甲乌拉，陕西银洞子
	第Ⅱ勘查类型	浙江大岭口，江西银露岭，湖北银洞沟
	第Ⅲ勘查类型	浙江罗山岭头，山东十里堡
镍矿	第Ⅰ勘查类型	甘肃白家嘴，吉林红旗岭 7 号岩体
	第Ⅱ勘查类型	四川力马河
	第Ⅲ勘查类型	云南白马寨
钼矿	第Ⅰ勘查类型	陕西金堆城，河南上房沟
	第Ⅱ勘查类型	辽宁杨家杖子，黑龙江五道岭
	第Ⅲ勘查类型	吉林石人沟，北京东三岔

(三) 铁、锰矿床勘查类型

1. 确定勘查类型的主要地质依据

(1) 矿体规模

大型：铁矿、锰矿矿体沿走向长度大于 1000 m，沿倾向延深大于 500 m；表生风化型铁、锰矿体，连续展布面积大于 1.0 km²。

中型：铁矿、锰矿矿体沿走向长度 500~1000 m，沿倾向延深 200~500 m；表生风化型铁、锰矿体，连续展布面积 0.1~1.0 km²。

小型：铁矿、锰矿矿体沿走向长度小于 500 m，沿倾向延深小于 200 m；表生风化型铁、锰矿体，连续展布面积小于 0.1 km²。

(2) 矿体形态复杂程度

简单：矿体以层状或似层状产出；分支复合少，夹石很少见，厚度变化小（厚度变化系数 $V_m < 50\%$ ）。

中等：矿体多以似层状、脉状或大型透镜状产出，间有夹石；膨胀收缩和分支复合常见，厚度变化中等（厚度变化系数 $V_m = 50\% \sim 100\%$ ）。

复杂：矿体以透镜状、扁豆状、脉状、囊状、筒柱状或羽毛状以及其他不规则形状断续产出；膨胀收缩和分支复合多且复杂，厚度变化大（厚度变化系数 $V_m > 100\%$ ）。

(3) 构造复杂程度

简单：产状稳定，呈单斜或宽缓褶皱产出；一般没有较大断层或岩脉切割穿插，局部可能有小断层或小型岩脉，但对矿体的稳定程度无明显影响。

中等：产状较稳定，常呈波状褶皱产出；有为数不多，但具一定规模的断层或岩脉切

割穿插,对矿体的稳定程度有一定影响。

复杂:产状不稳定,褶皱发育,断层多且断距大或岩脉切割穿插严重,矿体遭受到严重破坏,常以断块状产出。

(4) 矿床有用组分分布均匀程度

均匀:矿化连续。品位分布均匀(品位变化系数 $V_c < 50\%$),品位变化曲线为平滑型(相邻品位绝对差值 $< 5\%$)。

较均匀:矿化基本连续,品位分布较均匀(品位变化系数 $V_c = 50\% \sim 100\%$),品位变化曲线以波型(相邻品位绝对差值 $5\% \sim 7\%$)为主,兼有尖峰型(相邻品位绝对差值 $7\% \sim 11\%$)。

不均匀:矿化不连续或很不连续,品位分布不均匀或很不均匀(品位变化系数 $V_c > 100\%$),品位变化曲线为尖峰型或多峰型(相邻品位绝对差值 $> 11\%$)。

2. 勘查类型的划分与确定

(1) 勘查类型的划分

依据矿体规模、矿体形态复杂程度、构造复杂程度和矿石有用组分分布均匀程度,将勘查类型划分为三个类型。其中第Ⅰ勘查类型为简单型,矿体规模为大型,矿体形态和构造变化均简单,矿石有用组分分布均匀。矿床实例,南芬铁矿(铁山、黄柏峪矿段)、庞家堡铁矿(10-36线区段)和遵义锰矿(南翼矿体)等;第Ⅱ勘查类型为中等型,矿体规模中等,矿体形态和构造变化中等,矿石有用组分分布较均匀。矿床实例:梅山铁矿、石碌铁矿、白云鄂博铁矿(主矿体、东矿体)和龙头锰矿、斗南锰矿等;第Ⅲ类勘查类型为复杂型,矿体规模小型,矿体形态和构造变化复杂,矿石有用组分分布不均匀。矿床实例:大冶铁矿、凤凰山铁矿、大庙铁矿、大栗子铁矿和八一锰矿、湘潭锰矿、瓦房子锰矿等。

(2) 勘查类型的确定

勘查类型的确定应遵循追求最佳效益的原则、从实际出发的原则、以主矿体为主的原则、类型三分允许过渡的原则和在实践中验证并及时修正的原则。其中从实际出发的原则在勘查类型的确定中是至关重要的。由于每个矿床的地质变化特征往往不尽相同,甚至同一矿床的不同矿体或区段,其变化程度亦各有区别。大多数情况下,影响勘查类型确定的多种地质变量因素的变化并不一定向着同一方向发展,以致其间出现多种型式组合,因此勘查类型的确定一定要从实际出发。要以引起增大勘查难度最大的变量作为确定的主要依据。表 2-9 攀枝花铁矿和湘潭锰矿勘查实例,尽管其矿体规模都达到大型,但是两矿的探采对比资料表明,由于成矿后构造的破坏引起勘查难度增大,均不能定为第Ⅰ勘查类型,分别确定为第Ⅱ勘查类型(攀枝花铁矿)和第Ⅲ勘查类型(湘潭锰矿)。又如下雷锰矿,各区段矿体变化特征和复杂程度不尽相同,其中 0~35 a 勘探线范围内矿体产出比较规整,确定为第Ⅰ勘查类型;3~34 a 勘探线范围内矿体变化程度中等,确定为第Ⅱ勘查类型;Ⅰ~Ⅱ勘查类型之间区段(主要是 15~35 a 线间)矿体变化复杂,特别是断层多,矿体被严重分割,属构造复杂型,确定为第Ⅲ勘查类型。由此可见,对于勘查类型的确定,一定要从实际出发灵活运用确定原则。

3. 铁、锰矿床勘查类型实例(详见表 2-9)

表 2-9 铁、锰矿勘查类型实例

矿床名称	确定勘探类型的主要因素			勘查实况		套用本规范*			
	矿体规模	矿体形态	矿体构造	组分布	类型与网度	探采对比	勘查类型确定依据		
1. 南芬铁 矿沉积变 质型 12.8 亿吨 $w(\text{TFe})$: 31.82%	主矿层(第三 层矿): 长度 2900 m, 厚度 6~157 m, (平 均 87.8 m) 垂 深>1145 m	厚大、稳定、规 则的层状矿体 (由地表至一 200 m, 高差大 于 500 m, 厚度 变化在: 92~ 88~94 m 间)	呈单斜构造, 沿走向、倾向 均呈舒缓波状 起伏。矿体西 北段顶部被断 层 F ₁ 切割, 在 详细地段矿体 中断层少	矿石以磁铁石 英岩为主, 呈 条带状构造, 品 矿化连续, 品 位分布均匀	1953~1976 年勘探第 I 勘探类型 A ₂ 200 m×200 m B (200~230 m)× (200~260 m) C ₁ (200~350 m)× (200~400 m)	1976 年已采 12 个 露采平台, 资料对 比; 面积重合率 89%, 平均品位绝 对误差 [w(TFe)] 为 -1.43% 储量 平均相对误差 -3.16%	矿体规模超大型, 矿体 形态和构造均简单、矿 石有用组分分布均匀, 按本标准定为: 第 I 勘 查类型	I	探明: 200 m×200 m 控制: 400 m ×(200~400 m)
	大型	简单	简单	均匀					
2. 攀枝花 铁矿岩浆 晚期分异 型 10.8 亿吨 $w(\text{TFe})$: 33.23%	露头长 15 km, 累计厚 130 m, 以主矿体计: 长 1000~200 m, 厚 >15 m, 有 两个矿区矿体 平均厚 137~ 164 m, 垂深已 控制 300~ 650 m	似层状	断层发育, 主 要有 NE 向逆 断层、SN 向和 NW 向横断层 三组; 均对矿 体有一定程度 的破坏	主矿种元素 (Fe) 分布均 匀, 但共伴生 元素多而复杂 (计 12 种可综 合利用元素)	1955~1958 年勘探第 I—II 勘探类型 A ₂ 100 m×(50~60 m) B 100 m×(100~120 m) C ₁ 200 m×(100~120 m)	1. 稀空 200 m× 100 m 与 A ₂ 对比; 品位差 0.35%, 储 量差 4.85%, 已采 地段与 A ₂ 对比 (段高 15 m), 5 个 台阶储量 相对误差为 1.07%、1.92%、 3.31%、3.75%、 13.08%	矿体规模、形态和主元 素特征, 可归入第 I 勘 探类型; 但共生组分和 构造均为中等复杂程 度, 后期断层影响了矿 体的实际规模, 是勘查 工作增加难度的主要 原因, 按本标准定为: 第 II 勘查类型	II	探明: 100 m×(50~ 100 m) 控制: 200 m×(100~ 200 m)
	大型	简单	中等	较均匀					
3. 大庙铁 矿岩浆分 异—贯入型 4637 万吨 $w(\text{TFe})$: 25.69%	由 52 个矿体组 成, 多数长度 < 1000 m 主矿体 8 个; 长 100~ 300 m, 厚 12~100 m, 斜 深 200~300 m	透镜状、扁豆状、 囊状、似脉状, 分 支复合膨缩尖小, 矿体大小悬殊, 厚度变化大, 地 表几个矿体向 深部可变成一个 矿体	常见后岩脉 (粗面岩和玢岩 岩脉) 切割矿体, 破坏了矿体的完 整性	矿化连续, 品位 分布均匀 全铁品 位变化系数为 20%~50%	1954~1956 年勘探第 III、IV 勘探类型 B(15~50 m)× (30~60 m), 坑探(坑道间 距); C ₁ 50 m×50 m(坑探)	以 24 号矿体开采资 料与勘探对比 1. 面积重合率 88% 以上; 84%、87%~80 %、53%~74%、80 m 以下; 46% 2. 储量相对误差 77%~28%, 平均 16.8%	800 m 标高以上, 规模小, 形态复杂, 岩脉破坏按本 标准定为: 第 III 勘查类型 800 m 标高以下, 坑探加密 其重合仍低, 比第 III 勘查 类型更复杂	III	探明: 50 m×50 m 控制: 100 m×50 m
	小型	复杂	中等	均匀					

* 铁、锰、铬矿地质勘查规范(DZ/T0200-2002)。

矿床名称	确定勘探类型的主要因素				勘查实况		套用本规范		
	矿体规模	矿体形态	矿体构造	组分分布	类型与网度	探采对比	勘查类型确定依据	类型	工程间距
4. 遵义锰矿型 3635万吨 Mn ₂ O ₃ 氧化锰质量分数为28%。碳酸锰质量分数为20.29%	长1600~4000m 整个矿层控制长度,宽16500m),最宽处1100m),厚1.79~2.0m(最厚6.69m)	似层状主矿体厚度变化系数(V _m)为31%~54.81%	呈单斜层状产出,沿走向略有平缓起伏,4000m长的矿层沿倾斜控制1100m未明显变薄	矿化连续,品位均匀稳定,4000m长矿层沿倾斜控制1100m未明显变贫;V _e 为13.9%~19.2%	1954~1958年勘探第I勘探类型 A ₂ 100m×50m B 200m×100m C ₁ 400m×200m	1.探采对比厚度差-0.49% 品位差2.12% 储量差4.51% 2.稀空(200m×100m)厚度差-0.48% 品位差3.32% 储量差6.22%	规模超大型,形态稳定,成矿期后构造发育,锰矿组分分布均匀,按本标准定为:I勘查类型	I	探明: 200m×100m 控制: 400m×200m
	大型	简单	简单	均匀	1965~1970年勘探I矿段(V ₁); 长2151m 宽650m 厚1.41m II矿段(V ₈): 长2320m 宽541m 厚1.41m 次要矿体:长100~480m宽100~340m	1965~1970年勘探I矿段(V ₁);第II勘探类型偏复杂型 B 100m×(50~100m) C 200m×(100~200m) II矿段(V ₈)第II勘探类型偏简单型 B 150m×(100~150m) C 300m×(200~300m)	主矿体: 按本标准,增大勘查难度最大的是断层对矿体的破坏,定为:第II勘查类型。因I、II矿段受破坏程度不同,又有简单与复杂之分	主矿体 II矿段探明: 150m×100m 控制: 300m×200m 偏复杂型 I矿段探明: 100m×50m 控制: 200m×100m	偏简单型 II矿段探明: 150m×100m 控制: 300m×200m 偏复杂型 I矿段探明: 100m×50m 控制: 200m×100m
5. 斗南锰矿型 1569万吨 Mn ₂ O ₃ 氧化锰质量分数:原生20%~25% 次生37.17% 碳酸锰质量分数<20%	主矿层:大型 次矿层:小型	简单	复杂 (I矿段更复杂)	均匀	1954~1958年勘探,1960~1965年补勘第II勘探类型A ₂ 75m×75m B稳定区150m×75m,不稳定区及圈定边界75m×75m C ₁ 150m×75m	用4个采井(3个已闭坑,资料与勘探资料对比;面积差-33.59% 储量差-33.23%(出现较大误差原因是将约30%的断面无矿带圈入矿体内)	次要矿体;规模小,断层破坏大,比第III类型更复杂	稀疏工程控制边采边探	探明: 75m×50m 控制: 150m×(50~100m)
	全长8800m (各段长1900~2700m)宽105~580m(最宽2000m)厚0.3~5.33m(平均1.85m)	层状,似层状,厚度变化大,褶皱轴部加厚,翼部变薄, V _m :42.70%~71.62%	有三组断层发育,断层长度一般大于200m,垂直断层10~30m。常使矿层出现20%~29%的(断层)无矿带	Mn品位变化系数 V _e 为12.73%~27.73%	1954~1958年勘探,1960~1965年补勘第II勘探类型A ₂ 75m×75m B稳定区150m×75m,不稳定区及圈定边界75m×75m C ₁ 150m×75m	用4个采井(3个已闭坑,资料与勘探资料对比;面积差-33.59% 储量差-33.23%(出现较大误差原因是将约30%的断面无矿带圈入矿体内)	I个地质变量因素之间稳定等级差异大,按本标准,造成勘查难度增大的是主要地质因素是断层,致使产出特征复杂化,定为:第III勘查类型	III	探明: 75m×50m 控制: 150m×(50~100m)
6. 湘潭锰矿型 1472万吨 w(Mn): 22.99%	简单	简单	复杂 (I矿段更复杂)	均匀	1954~1958年勘探,1960~1965年补勘第II勘探类型A ₂ 75m×75m B稳定区150m×75m,不稳定区及圈定边界75m×75m C ₁ 150m×75m	用4个采井(3个已闭坑,资料与勘探资料对比;面积差-33.59% 储量差-33.23%(出现较大误差原因是将约30%的断面无矿带圈入矿体内)	次要矿体;规模小,断层破坏大,比第III类型更复杂	稀疏工程控制边采边探	探明: 75m×50m 控制: 150m×(50~100m)

第三章 矿产勘查技术方法

矿产勘查技术方法，是指那些在矿产勘查活动中，能够直接获取工作区有关矿产的形成与赋存的直接或间接的信息及各种参数的技术方法。这些技术方法，在矿产勘查活动中具有极其重要的意义。

第一，可以直接获得各种直接或间接的矿化信息及参数，如查明与矿化有关的地质条件，指出成矿的有利地段；揭示矿化可能存在的信息，特别是寻找盲矿体或隐伏矿体的信息，以正确指导勘查活动；查明矿化的可能规模、形态、产状、质量及其变化性，获取矿床评价的各种参数。

第二，矿产勘查技术方法是矿产勘查活动中最积极、活跃的因素之一，它的任何改进以及新方法、新技术的应用，都将引起矿产勘查程序、勘查成果及勘查理论的重大改变。整个矿产勘查活动乃是不同勘查技术方法的合理组织与实施，不断获取矿化信息的过程，它的合理应用直接影响和决定勘查活动的质量和效果。

第三，矿产勘查技术方法获取的信息和参数，是进行勘查决策的基础资料。矿产勘查是在不确定条件下采取决策的过程，矿产勘查的每一个阶段都将为后续阶段的勘查活动提供可供利用的信息，往往通过类比原则和方法进行最优化方案的确定。矿产勘查活动是逐步筛选、逼近矿床的过程。

第一节 矿产勘查技术方法的种类与作用

根据矿产勘查技术方法的原理可以分为：地质测量法、重砂测量法、地球化学方法、地球物理方法、遥感遥测法、探矿工程法等。

一、地质测量法

地质测量是根据地质观察研究，将区域或矿区的各种地质现象客观地反映到相应的平面图或剖面图上。它具有以下特点：

(1) 地质测量法是一种通过直接观察获取地质现象的方法，因此具有极大的直观性和可信性；对所获得的地质现象进行系统分析和综合整理，对区域及矿区的成矿地质环境进行论述，因此具有很强的综合性。

(2) 地质测量成果是合理选择应用其他技术方法的基础，也是其他技术方法成果推断解释的基础，因此它是各种技术方法中的最基本的最基础的方法。

(3) 从矿产勘查技术方法研究的对象和内容来看，地质测量法既研究成矿地质条件也研究成矿标志，而其他技术方法主要是研究成矿标志和矿化信息。

(4) 地质测量往往可以直接发现矿产地，因此它具有直接找矿的特点。

在矿产勘查的不同阶段、不同地区均应进行地质测量。所采用的比例尺分为小比例尺

(1:100 万~1:50 万)、中比例尺 (1:20 万~1:5 万)、大比例尺 (1:1 万或更大) 等 3 种类型。各种类型的研究精度和内容有较大差异。

1. 小比例尺 (1:100 万~1:50 万) 地质测量

一般是在地质上的空白区或研究程度较低地区进行, 或者是为了获得系统全面的基础地质矿产资料, 虽然在局部曾进行过较大比例尺地质测量, 也可进行已有资料的整理汇编, 并适当进行野外补充编集成图。小比例尺地质测量是一项综合性的找矿工作, 主要目的是确定找矿工作布局。其具体任务是:

- (1) 系统查明区域地层、岩石、地质构造特征, 阐明区域构造演化历史;
- (2) 系统收集区域矿产情报及矿点资料, 对其中典型的有意义的矿点进行检查评价, 阐明区域一般成矿特点;
- (3) 根据区域地质特征及成矿作用, 分析该区的找矿地质条件及成矿标志, 指出今后进一步工作的性质, 拟定找矿工作布局。

2. 中比例尺 (1:20 万~1:5 万) 地质测量

一般是根据小比例尺地质测量或根据已有地质矿产资料所确定的成矿远景地段以及已知矿区外围开展中比例尺地质测量。其具体任务是:

- (1) 查明区域成矿地质条件、控矿因素、成矿标志, 总结成矿规律, 进行成矿预测, 提出进一步找矿的有利区段;
- (2) 对已发现的矿点进行检查评价, 对其中远景较大者进行较详细的工作, 并做出较确切的评价, 明确是否进行详查或勘探;
- (3) 对区域内所有在地表露出的矿点及矿体均应找到, 并对其深部的含矿前景进行评价, 特别是 1:5 万地质测量工作阶段必须做到, 而且可配合其他方法, 如物探、化探、钻探等, 必要时可采用少量坑探手段进行揭露。

3. 大比例尺 (1:1 万或更大) 地质测量

一般是在矿区范围内开展的精度较高的地质测量工作。其具体任务是:

- (1) 详细查明矿区内矿床形成的地质条件及矿化标志, 特别要查明具体的控矿因素如控矿构造的类型及性质, 控矿岩体赋存矿体的有利部位等;
- (2) 总结矿化规律, 提出矿产勘查的具体准则, 明确寻找矿体的具体地段;
- (3) 对已知矿床进行深入细微解剖, 研究矿床的矿化类型、控矿因素、矿床形成机制, 对矿床的浅部地质特征予以揭露研究, 对深部含矿前景进行定性及定量预测;
- (4) 大比例尺地质测量应结合其他各种技术方法所获得的信息, 在矿区范围内开展隐伏矿体的勘查。

随着各种勘查技术的应用及提供的资料越来越多, 地质测量工作效率大大提高, 研究的范围及深度不断扩大, 一些国家已进行立体地质测量, 研究深度可达 500 m。在寻找某些特定性矿床时, 往往进行“专门性”地质测量, 如岩浆岩地质测量、变质岩地质测量、构造岩相地质测量等。

二、重砂测量法

重砂测量是以各种疏松沉积物中的自然重砂矿物为主要研究对象, 以解决与有用重砂矿物有关的矿产及地质问题为主要内容, 以重砂取样为主要手段, 以追索寻找砂矿和原生

矿为主要目的的一种地质找矿方法。

(一) 重砂机械分散晕(流)的形成及其分布

矿源母体暴露地表后,经物理风化作用,形成碎屑物质,进一步的机械分离促使其中的单矿物分离出来,在长期的地质作用过程中,各种单矿物按其稳定性程度,有些被淘汰,有些被保留下来,其中有些部分即稳定的重砂矿物保留分散在原地附近,有些受地表流水及重力作用,以机械搬运的方式沿地形坡度迁移到坡积层,形成高含量带,这样与原残积层一同组成重砂矿物的机械分散晕。另外,尚有部分矿物颗粒进一步迁移到沟谷水系中,由于水流的搬运和沉积,使之在冲积层中形成高含量带,称之为重砂矿物机械分散流。因此重砂矿物机械分散晕(流)的分布范围较矿源母体大得多,因而较易被发现,成为重要的直接找矿标志。重砂机械分散晕(流)的分布规律是:

(1) 重砂矿物机械分散晕(流)的形态与矿源母体的形态、产状及其所处的地形位置有直接关系,等轴状矿体所形成的分散晕(流)呈扇形,脉状及层状矿体顺地形等高线斜坡分布,则形成梯形的重砂分散晕,如与地形等高线垂直,则形成狭窄的扇形重砂分散晕。

(2) 重砂分散晕(流)中重砂矿物含量与其迁移距离有直接关系,即距矿源母体较近,重砂矿物含量高,距矿源母体较远,则重砂矿物含量低,据此可追索寻找原生矿源体。此外对于重砂分散晕,其重砂矿物含量尚与坡积层厚度有关,当坡积层厚度小于5 m时,重砂矿物含量由地表向下逐渐增高。

(3) 重砂分散晕(流)中重砂矿物的粒度及磨圆度与其原始的物理性质及迁移距离有关。矿物稳定性越强,迁移距离越小,则矿物颗粒较大,磨圆度差,呈棱角状。反之,粒度小,呈浑圆状(表3-1)。

表 3-1 机械分散流分布规律

矿物名称	矿床类型	辰砂、白钨矿沿水系变化										搬运距离 km		
		矿床附近			1~2 km			2~4 km			4~7 km			
		颗粒数 ($g \cdot m^{-3}$)	粒度 mm	形态	颗粒数 ($g \cdot m^{-3}$)	粒度 mm	形态	颗粒数 ($粒 \cdot m^{-3}$)	粒度 mm	形态	颗粒数 ($粒 \cdot m^{-3}$)		粒度 mm	形态
辰砂	裂隙充填型	200~1000	<0.1~2	棱角状	10~100	<0.1~0.5	次棱角状	8~40	<0.1~0.25	次棱角状	1~5	<0.1~0.15	浑圆	±7
白钨矿	砂卡岩型	>1000	2~4	四方双锥	100~500	0.5~1	棱角状	>1000	0.1~0.5	次浑圆状	80~150	<0.1~0.3	浑圆	7以上

(二) 重砂测量样品采集

重砂取样是重砂测量的重要一环,取样质量的好坏直接影响到重砂测量的效果。根据重砂取样的种类、目的、任务及地形地貌特征,重砂取样总体布置分为三种。

1. 水系法

是目前应用较广的一种重砂取样部署方法。通常对调查区二级以上水系进行取样。样

点的部署可依照下述原则：

- (1) 大河稀，小河密，同一条水流则上流密下流稀，越近源头，取样密度越大；
- (2) 河床坡度大，跌水崖发育，流速大流量小的溪流应密，反之应较稀；
- (3) 主干溪流的两侧支沟发育且对称性好，则样点可放稀，反之应加密；
- (4) 垂直岩层主要走向的溪流应密，而平行岩层主要走向的溪流可放稀；
- (5) 对矿化、围岩蚀变发育地段，岩体接触带，岩性发生重大变化处的溪流冲积层应加密取样；

水系法取样间距可根据不同河流的级别加以确定（表 3-2）。

表 3-2 不同长度的河流中重砂取样间距

河流长度/km	沟谷性质	取样间距/m
<3	冲沟、切沟*	200~300
3~10	小溪	300~400
10~20	小河	400~500
>20	大河	500~700

* 切沟系冲沟发育的初期阶段，长度小，宽度等于或小于其深度。

2. 水域法

是按着汇水盆地中各级水流的发育情况进行布样。取样前应对汇水盆地的水域进行划分，然后将取样点布置在各级水域中主流与支流汇合处的上游，以控制次级水域中矿物含量和矿物组合特征（图 3-1）。

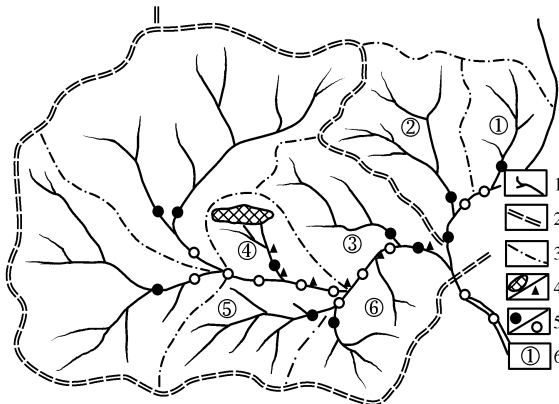


图 3-1 水域划分及采样点分布示意图

（注：原图以最小的汇水盆地中的水系划为一级水系，但以主干流划为一级水系，更符合实际和便于划分）

1—河流；2—三级水域界线；3—四级水域界线；4—矿体；5—最小水域法采样点/水系法等距离采样点；

6—水域编号

取样时应逆流而上，对各级水域逐一控制，对没有出现有用矿物的水域逐个剔除，对出现有用矿物的水域逐级追索，直至最小水域，达到追索寻找矿源母体的目的。水域法取

样每个样品的控制面积视地质构造复杂程度和地貌条件而异，地质构造复杂成矿有利地段，四级支流和微冲沟的每个样品控制 $1.5\sim 2\text{ km}^2$ 为宜，地质条件中等地区，三级支流中每个样品控制面积 $3\sim 4\text{ km}^2$ ，地质条件简单地区每个样品控制面积可为 $5\sim 8\text{ km}^2$ 。

3. 测网法

是以重砂取样线距和点距组成纵横交叉的网格，样点布在“网格”的结点上。测网法取样目的是为了圈定有用矿物的重砂分散晕，进而寻找原生矿床，或者为了对砂矿进行勘查，从而进行远景评价。取样时线距应小于晕长的一半，点距应小于晕宽的一半。

由于重砂样品采取的对象不同，可有下列方法：

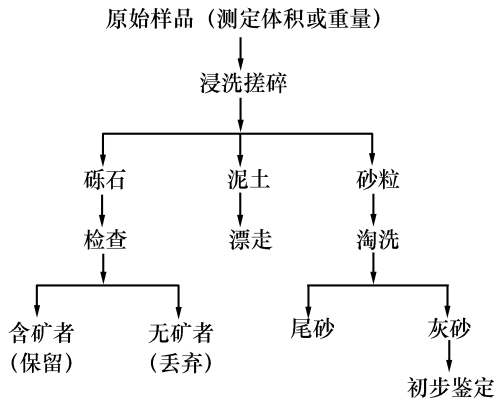
(1) 浅坑法 它是以冲积物、坡积物和残积物为采取对象，以寻找原生矿床为主要目的。目前多采用在一个取样点运用“一点多坑法”的方式进行采样，以增强样品的代表性。取样深度视取样对象而定，一般对冲积层取样深度以 $20\sim 50\text{ cm}$ 为宜；坡积层取样深度可在腐殖层以下 $20\sim 50\text{ cm}$ ；残积层取样深度决定于残积层厚度，样深均应达到基岩顶部。取样原始重量要求为 $20\sim 30\text{ kg}$ ，以保证获得 20 g 灰砂为准；

(2) 刻槽法 主要用于阶地重砂取样，在阶地剖面上进行，首先要除去表面的松散物质，然后从顶部到基岩垂直其厚度，以 50 cm 长的样槽按层分段连续取样，样槽规格以保证取得一定数量的原始样品重量为准；

(3) 浅井法 当冲积层、坡积层、残积层及阶地等松散沉积物厚度较大时采取的取样方法，目的是勘查现代砂矿或古砂矿。在浅井施工过程中，用刻槽、剥层或全巷法采集样品。其中剥层法应用较多，它是沿砂矿可采部位将整个剖面取样，开采时沿掌子面取样。剥层规格为：深度 5 cm 、 10 cm 、 15 cm 、 20 cm 不等，宽度一般为 $0.5\sim 1\text{ m}$ ；

(4) 砂钻法 在松散沉积物很厚时采用，主要用于砂矿勘探。将钻孔中所取得的砂柱作为样品，样品长度 $0.2\sim 1\text{ m}$ 不等，应视具体矿产种类而定。如砂金矿以 $0.2\sim 0.5\text{ m}$ 为好，砂锡矿以 $0.5\sim 1\text{ m}$ 为好。砂钻法取样主要运用大口径冲击钻。

样品采集之后，要进行淘洗，一般按下列流程进行：



(三) 重砂测量成果图

根据重砂样品的详细鉴定成果，按矿种或矿物组合以不同方式编制成图，结合地质地貌特征圈定重砂异常区，编绘重砂成果图。重砂成果图是重砂测量的最终成果，是进行重

砂异常分析评价的依据。重砂成果图要求反映出重砂矿物的分布规律；反映工作区地质特征，如成矿地质条件、控矿因素、成矿标志及矿化特征；反映工作区地形地貌特征；圈定重砂异常区，对异常区进行评价和检查；圈定成矿有利地段，甚至追索寻找矿源母体以达到找寻砂矿及原生矿体的目的。重砂成果图的底图应选用同比例尺或较大比例尺的地形地质图或矿产地质图。

重砂成果图表示方法有圈式法、符号法、带式法及等值线法四种。

1. 圈式法

为常用的一种图示方法，可同时表示多种矿物含量，并可指出重砂矿物的搬运方向及其共生组合的变化情况。圈式法是以取样点为圆心，以 5 mm (1:5 万重砂图) 或 3 mm (1:20 万重砂图) 为直径画圆圈，再将以直径划分成若干“弧底等腰三角形”，每个三角形用不同彩色或花纹符号表示不同的矿物，并以涂色或花纹符号所占面积来表示各矿物的含量。究竟分成几等份，要视矿种多少而定。有四等份的，即四个象限；也可八等份或十二等份。如果取样点太密致使圆圈重叠，可将圆圈画在取样点的上、下两侧的任一侧(图 3-2)。

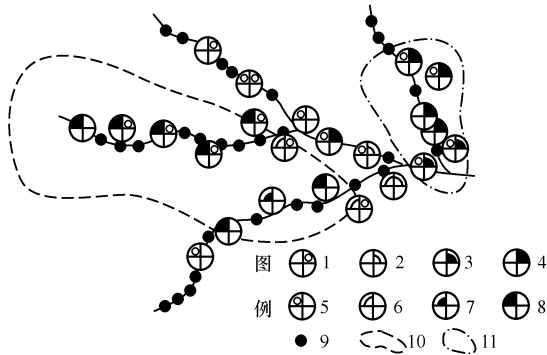


图 3-2 圈式重砂图

1—锡石含量数粒；2—锡石含量数十粒；3—锡石含量 1~10 g/m³；4—锡石含量 >10 g/m³；5—钛铁矿含量 100 g/m³；6—钛铁矿含量 100~500 g/m³；7—钛铁矿含量 >1000 g/m³；8—钛铁矿含量 >2000 g/m³；9—采样位置；10—钛铁矿异常区；11—锡石异常区

2. 符号法

将有用矿物的主要元素符号标注在取样点旁侧(图 3-3)即可。此法简单方便，作图快，但不能表示有用矿物含量，同时当矿种较多时，符号排列拥挤，图面不清晰。这种方法只适用于以单一或少量矿种为寻找对象的野外定性分析之草图。

3. 带式法

将同一种矿物的相邻取样点联结成条带，并以条带的颜色或花纹、宽窄、长轴方向分别表示矿物种类、含量和搬运方向(图 3-4)。此法能明确表示出有用矿物的富集地段，并直观地指示找矿方向。但如矿物种类较多，图面就不清晰。此图适用于砂矿普查与详细重砂测量。

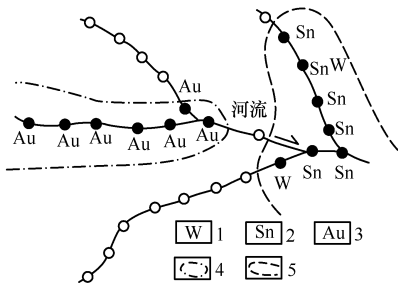


图 3-3 符号式重砂图

1—金钨矿；2—锡石；3—自然金；4—自然金异常区；5—锡石异常区

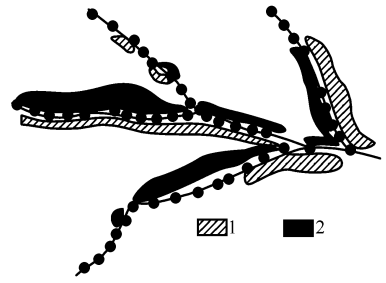


图 3-4 带式重砂图

1—锡石；2—钛铁矿

4. 等值线法

以有用矿物含量做分散晕等值线，即将相同含量的相邻点联结成曲线即可（图 3-5）。此法用于 1:1 万、1:2000 的大比例尺残坡积重砂找矿或砂矿勘探（用测网法部署取样点）。一般按单矿物编制，效率较低。但随着数理统计和电算方法的应用，在中小比例尺（1:20 万）的重砂测量中也可用此法表示重砂成果，以求得到更多更醒目的信息和资料。

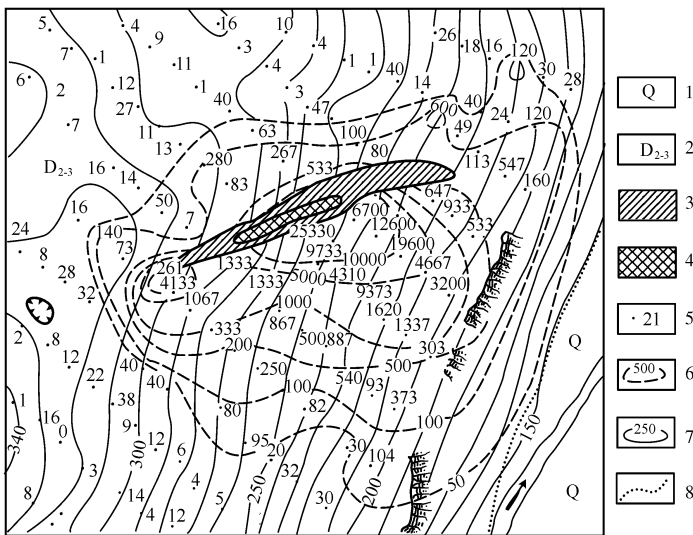


图 3-5 某矿区辰砂含量等值线图

1—第四系残、坡积层；2—中—上泥盆统；3—含矿带；4—矿体；5—取样点位置及辰砂含量的颗粒数；6—辰砂等含量线；7—等高线及高程；8—地质界线

（四）重砂异常区的评价

目前常从以下几方面评价异常区：有用矿物含量、矿物共生组合、矿物标型特征、重砂矿物搬运的可能距离、重砂矿物空间分布特征以及异常区地质地貌条件等。

1. 有用矿物含量

它是评价异常区的基本依据。它表明重砂异常的强度。连续的高含量点的出现，表明异常不是偶然的，由矿化引起的可能性极大；而那些孤立高含量点则很可能是由偶然因素引起的。考虑高含量时必须研究一切可能影响含量的因素：矿源母体中的该矿物含量特征、取样处疏松沉积物类型、取样点所处的地质条件和地貌特征及矿床类型和产状等。只有这样，才能真正做到由表及里、去伪存真。

2. 重砂矿物标型特征

矿物标型特征即能反映矿物及其“母体”形成时物理和化学条件，表现在形态、成分、物理性质、化学性质、晶体结构等方面的特点。重砂矿物的标型特征对评价异常区具有特殊意义。它可提取一些难得的成矿信息，特别对判断原生矿床的成因类型更能提供可靠依据。

3. 重砂矿物共生组合

从找矿角度出发，利用重砂矿物共生组合可分辨真假异常及作为找矿标志。还可利用重砂矿物共生组合判断原生矿的成因类型。

4. 重砂矿物搬运的距离

分析重砂矿物搬运的距离，对于确定原生矿床的位置及评价砂矿床具有重要意义。影响重砂矿物搬运距离的因素，一方面是重砂矿物的稳定程度，另一方面是迁移环境，根据经验数据，锡石砂矿距原生矿床一般不超过 5~8 km，自然金搬运距离可达数百公里，但具工业意义的砂金矿富集在距原生矿床不远的地方。在判断重砂矿物搬运距离时，必须注意其磨圆度及矿物的形态特征。

5. 重砂矿物空间分布特征

重砂矿物的空间分布严格受区内各地质体控制，在进行异常区评价时，应将重砂矿物的分布与成矿的地质、地貌条件联系起来，以便追索寻找原生矿。

重砂异常检查的目的在于检查分析引起“异常”的原因，对“异常”的找矿意义做出评价。它是在异常区评价的基础上，采用必要的技术手段，进一步实地进行的地质调查工作。具体做法有以下几种：

对异常区加密重砂取样。取样密度视工作目的要求确定，可以为 20 m×50 m，50 m×100 m，也可以 100 m×100 m。

为了查清有用矿物的矿源母体，对异常区的各种岩石和矿化蚀变等地质体，采取一定数量的人工重砂样品。

残坡积层的重砂取样，当发现有用矿物的高含量带，且其粒度、形态及伴生矿物等方面都具有接近原生矿床的特征时，应在取样点附近施以剥土或槽井探工程，进而查明异常的空间分布，圈定原生矿体的范围。

当经过调查研究而判断是由矿体或与矿体有关的地质体所引起的异常时，应对此有希望地段以必要的钻探或坑探工程进行揭露、验证，查明有用矿物在垂直方向上的变化规律及与原生矿床的关系。

三、地球化学测量法

地球化学测量（或称地球化学找矿，地球化学探矿，简称化探），是以地球化学及矿

床学为理论基础，以矿产勘查为主要目的而发展起来的一门方法学科，最早是 20 世纪 30 年代由前苏联建立和应用，很快被世界各国的矿产勘查工作者所接受。

1. 地球化学测量法的特点

地球化学测量主要是研究成矿元素和伴生元素在地壳中的分布、分散及集中的规律。在矿体形成的同时在围岩中形成了成矿元素和伴生元素的原生晕，以及在矿体受到破坏过程中发育了较晚期的次生晕。无论是原生晕或是次生晕其分布范围都较矿体大，因此可通过发现这些原生晕及次生晕来达到发现矿体的目的。由于成矿元素及伴生元素所处的介质条件不同，因此其迁移距离有时可很远，甚至达到数千米，故而可以用来发现寻找埋藏很深的隐伏矿体。地球化学测量已经是一种重要的矿产勘查方法；

地球化学测量是通过系统的样品采集来捕捉找矿信息的，由于采样的介质不同，所形成的元素晕也不同，以岩石为采样对象，可形成原生晕，以土壤为采样对象，可形成次生晕，以河流底部沉积物为采样对象，形成分散流，以气体为采样对象，形成气晕，以植物为采样对象，形成生物化学晕等。采样对象的确定，决定于矿产勘查的目的任务，决定于工作区的地质条件，也决定于工作区的地形地貌气候等自然景观条件。

地球化学测量所研究的成矿元素及伴生元素基本上属微量元素，其含量一般较低，甚至只达到克拉克值，因此要求分析测试方法应具有较高的灵敏度及精确度。为达到地球化学测量的有效性，要求样品的采集及加工，必须严格按照规范进行，确保样品的代表性及可靠性。

地球化学测量是通过发现成矿元素及伴生元素的分散晕（流），即通过元素的异常分布来进行找矿的，因此对地球化学元素异常进行正确的解释评价是一项至关重要的研究内容。一般发现了地球化学元素异常并不等于找到矿，引起异常的原因和因素可以是矿体，也可以是某种地质作用（包括矿化作用），只有前者具有找矿意义。因此建立正确合理的找矿异常模式，对异常进行正确的解释评价，是最终达到找矿目的的关键所在。

2. 地球化学测量方法分类

根据地球化学测量方法的原理及研究的对象不同，可将其划分为如下类型（表 3-3）。

随着矿产勘查难度的加大，特别是找矿对象的改变，即由找地表浅成矿转向寻找深部盲矿，找矿难度加大，常规的方法难以达到找矿目的。从 20 世纪 80 年代初开始进行了新的化探方法试验，并取得了较好的找矿效果（表 3-4）。

3. 地球化学测量发展趋向

地球化学测量的主要任务是研究地球中元素的分布及其运动规律，其目的是通过发现与矿化有关的地球化学元素异常，寻找有经济价值的矿床。近年来由于区域地球化学找矿的发展，使这门学科的内容发生了重大变化，已经从单纯的以找矿为目的而扩展到地学的其他领域，如为研究岩石学、地层学、构造地质学、矿床学及理论地球化学等提供基础资料。与此同时，在农业、畜牧业、地方病、环境保护等领域也更加广泛地应用地球化学测量的资料，因此地球化学找矿已经不可能完全概括本学科的全部研究内容。近些年提出地球化学勘查这一名词术语，它是系统地在不同领域范围去研究地球中元素的运动规律，从而赋予了地球化学更广泛更全面的研究内容。

为了适应找矿形势的变化，特别是寻找埋藏较深的隐伏矿体，近年来涌现出许多新的化探方法。80 年代出现的地压法（geogas）（瑞典 Boliden Mineral AB 公司及驻德科技学院共

表 3-3 主要化探方法的应用及地质效果表

方法	研究寻找的矿种	采样对象	应用范围	应用效果和实例
岩石测量法 (原生晕)	铜、铅、锌、锡、钨、钼、汞、铋、金、银、铬、镍、铀、锂、铷、钽等。铁、非金属材料开展了试验	岩石、古废石堆、断裂碎屑物等	区域地质测量、矿产普查、普查、详查、勘探、矿山开采	研究地球化学省、指导探矿工程掘进, 找寻盲矿体或追索矿体、评价地质体的含矿性均取得良好效果。如青城子铅矿
土壤测量法	能寻找的矿种较多, 对有色和稀有金属铜、铅、锌、砷、铋、汞、钨、锡、钼、镍、钴等、贵金属金、银、黑色金属铬、锰、钒及某些非金属(磷)等矿种均可采用	残坡积层土壤、矿帽	矿产普查、普查、含矿区普查都广泛应用。配合 1:20 万、1:5 万、1:1 万、1:2000 地质填图进行	寻找松散层覆盖下的矿体是一种有效的方法, 有时寻找盲矿体也有效。广西某队应用此法发现一个大型钨钼矿
水系沉积物测量法 (分散流)	铜、铅、锌、钨、锡、钼、汞、铋、金、银、铬、镍、钴、锂、铷、铯、磷等, 也可寻找铀、钽、铍等稀有金属矿床	水系沉积物、淤泥等	配合 1:20 万~1:25000 区域地质填图或进行区域化探。方法简单、效率高, 是目前区域化探的主要方法	近年来应用于区域地质填图和矿区外围找矿, 取得显著成绩。如陕西省找到一个有色金属远景区
水化学测量法 (水化学)	用于寻找硫化物多金属矿床, 如铜、铅、锌、钼、镍、钴、汞和盐类矿床、石油天然气及铀矿床	水(泉水、地下水、井水等)	在气候比较潮湿, 地下水露头条件良好, 水文网密度大, 而水量小的地区最适用	能指示埋藏较深的盲矿床, 正切割强烈的山区, 找矿深度可达 200 m。如江西省钾盐矿床普查中起了特别重要的作用
生物测量法	含铜、铅、锌、钴、钼、镍、钒、铀、锶、钡等元素的矿床	以草本植物或木本植物的叶为主	适用于大比例尺普查找矿	能发现的矿化深度较大, 通常能发现深 11~15 m 的矿体, 在特别有利的条件下能发现深 50 m 的矿体
气体测量法	寻找石油、天然气、放射性元素矿床及含挥发性组分的各类矿床如汞、金、铜及铅、铀、铋、铷、钽、铀、钾盐、硝酸盐等矿床	地面空气、壤中气、空中微尘	地面空气测量对大、中比例尺普查找矿均可采用, 壤中气体测量在含矿区找矿可广泛采用	地面空气测量对大中比例尺普查找矿能反映出矿床或矿带。壤中气体测量能圈出矿体大致位置, 如白银厂黄铁矿型铜矿

同推出, 1987) 可以探测埋深达 1000 m 的矿体。为了寻找埋深较大的矿体, 地球化学家们极力研究原生晕的远程指示元素, 如 Hg、F、I、Br 等元素的提出, 使找矿深度达到 500 m, 而以稀散元素作为指示元素 (Se、Te、Ti 等), 探测深度可达千余米。目前国内外应用的矿物包裹体方法进行直接找矿, 主要是根据蒸发晕、热晕、气晕、盐晕等方法, 也取得了重大进展。

为了提高地球化学找矿效果, 地球化学异常找矿模式的研究, 一直是人们关注的重要内容。地球化学异常找矿模式是通过总结已知的含矿地质体(矿体、矿床、矿田)的地球化学异常特征, 进而总结含矿地质体地质特征与地球化学异常特征之间的成因联系, 尽管完全相似的矿床是不存在的, 但是在总体上相似, 局部不相同的矿床是普遍存在的, 如各矿床元素分带组合不尽相同, 但总的元素分带序列具有一定规律, 对于次生地球化学异常模式, 在同一种景观地球化学条件下, 具有共同的、特定的及最优的工作方法, 因此, 地球化学异常模式的总结和研究, 既是必要也是可能的。目前在进行地球化学异常的

表 3-4 综合化探新方法及应用特点简表

方法	方法原理	特点	适用范围
土壤离子电导率测量法	测定样品中多种成晕离子的代参数——电导率，来达到找寻隐伏矿体的目的，属地电化学找矿方法之一	示矿信息强；方法简便；重现性好，误差小、成本低	厚层覆盖区；面积性普查找矿
地电提取离子测量法	利用多个阴极和一个共用阳极组成回路，向地下长时间通电，促使深部矿体离子群两极分化，并向地表运移，在地表接收与矿体相关的成分	电提取异常是离子态；找矿深度大；区分异常与非异常能力强；可发现弱异常	在详查阶段查证异常，确定验证工程位置
土壤吸附相态汞测量法	在土壤中汞气测量基础上发展起来的一种方法，采用控温热释放装置对土壤样品测量叠加价态汞	快速、简便、效率高、经济、找矿效果显著	大面积普查找矿阶段
构造射气测量法	野外实地测量由镭同位素衰变产生的气态放射性元素——氡气，探测隐伏构造	可大致确定构造破碎带位置及其活动性，属物探、化探综合方法	预测受构造控制的隐伏矿体

总结研究时，很为重视系列模式的建立，即按地质体的不同层次结构而建立相应的模式，如矿体地球化学异常模式，矿床地球化学异常模式，矿田地球化学异常模式等。地球化学异常模式是一项内容广泛的研究总结工作，在大量实际资料基础上，不断完善和建立行之有效的地球化学异常找矿模式。

地球化学测量中某些技术方法的改进提高，对提高找矿效果仍然是十分重要的，如测试分析技术、分析数据的处理技术、自动成图技术等，尽管目前有了长足的进步，但仍然需要继续改进。

四、地球物理测量法

地球物理测量（或称地球物理探矿，简称物探）是以物理学及地球物理学为理论基础，与地质学相结合，应用到地质矿产勘查领域。

1. 地球物理测量的特点

地球物理测量的对象总体上可分为目标物与目的物两类，前者是与要寻找的矿产有关的地质体，后者是要寻找的矿体。不管是目标物或目的物，它们必须具备：①与围岩的物理性质具有明显差别；②目标物与目的物应具有一定的体积规模；由于地球物理测量的精度（比例尺）不同，因此其寻找的目标物含义也不同，如我国南方寻找原生锡矿床，中比例尺找矿预测时，目标物是隐伏的花岗岩岩基，而大比例尺找矿预测时，目标物可以是隐伏花岗岩体上覆岩层中的断裂带或是隐伏花岗岩体的局部隆起地段。

地球物理测量获得的数据多、信息多，如何分解提取地质信息，这是一项繁杂的工作，由于电子计算机技术的应用，大大方便了信息的提取。在信息的提取过程中最为重要的是异常的分隔，即将叠加异常的各个组成部分分开，以期达到寻找目标物及目的物的目的。如区域异常与局部异常的分隔，叠加异常中某种特定异常的分隔，综合异常的分层提取等。

地球物理测量结果的多解性一直是影响地质矿产勘查效果的重要因素。地球物理测量异常引起的原因往往是多方面的，如不同的地质体可具有相似的物理场，例如磁铁矿体、

基性岩体、超基性岩体都可引起磁性异常，这就为物探异常的正确解释造成了困难。为了提高地球物理测量成果的利用程度，一方面要改进地球物理测量方法，提高方法自身的精度，要采用多种物探方法，从不同侧面突出调查对象的物性特征，更重要的是加强地球物理测量结果的地质解释。过去人们对物探结果的数学解释方法研究较多，而忽视地质解释的研究，这是不正常的。在对物探结果进行地质解释时，首先是对异常进行两次分类，第一次是目标物分类，即根据引起异常的地质因素对异常进行分类，做出初步的地质解释，确定引起异常的地质原因。第二次是目的物分类，它是在目标物分类基础之上，根据已知的矿产分布规律，确定异常与目的物的关系，进而发现矿体。在对异常进行分类解释时，必须结合地球化学测量结果，建立综合分类标志，以便提高物探结果解释的准确性。

2. 地球物理测量方法分类

根据地球物理测量的原理及其应用条件，可具有不同的方法（表 3-5）。

3. 地球物理测量方法的应用

地球物理测量方法应用于矿产勘查的各个阶段，并且可以从空中、地面、地下来收集信息，因此得到了广泛的应用，特别是在地质条件及地形地貌条件有利时，可取得较好的勘查效果。但是，在某些情况下，其应用的前提及效果受到一定限制，例如地质体的物性差异不明显或物性不稳定时，寻找的地质体过小或埋藏较深时，地形地貌条件复杂多变时等，都限制了物探方法的应用，特别是在当前以寻找埋深较大的隐伏矿体的情况下，对物探方法的应用要求越加实际，但难度也越来越大。目前国内外普遍强调和推行综合物探方法的应用，从不同侧面突出异常，以弥补单种方法的不足，已经取得了明显效果。例如，澳大利亚新南威尔士埃卢腊（Elura）锌、铅、银多金属矿床，于 1972 年由航磁发现，1973 年做了地面磁法、重力及化探工作，1974 年 12 月通过钻探验证发现了工业矿体，后来又做了大量试验工作，如激电法、电阻率、地震法等，目前从地表以下 100 m 的氧化带底部到 510 m 处，已探明 Zn、Pb、Ag 的金属储量达 2700 万 t。为了解决地面物探难以探测深部较小的隐伏矿体，一些国家很重视井中及地下物探的应用和研究。据国外报道，原用于医学作为人体 X 射线分层扫描的“CT”（Computer Tomography）技术已开始在地学中应用，如地球物理层析成像技术，预计不久的将来就可以应用“CT”技术来圈定隐伏矿体。在地球物理测量中，人们一直很重视物理—地质模型的建立，以探求目标物与目的物之间的关系。但是，由于地质条件及其物性复杂多变，很难建立起统一的物理—地质模型。不可能具有广泛应用的模型，它只能在一个特定的地质地球物理场条件下，针对某种矿产或其组合，建立特定的物理—地质模型。以期达到矿产勘查的目的。

五、遥感地质测量法

遥感地质测量是在航空摄影测量基础上，随着空间技术、电子计算机技术等现代科技的迅速发展以及地球科学发展的需要，发展形成的综合性先进技术。遥感地质测量的理论是建立在物理学的电磁辐射与地质体相互作用的机理基础之上的；而技术方法则是建立在“多”技术基础之上的。正是通过多波（光）谱、多时相、多向成像、多向极化、多级增强处理等技术手段来收集和分析遥感数据资料，方能比单靠航空摄影测量获取更多波谱的、空间的、时间的地质信息。遥感地质测量不需要直接接触目标物，而是从远距离、高空以至外层空间的平台上，利用可见光、红外、微波等探测仪器，通过摄影或扫描方式，

表 3-5 主要物探方法的应用及地质效果简表

方 法	优缺点	应用条件	应用范围及地质效果
放射性测量法	方法简便效率高	探测对象要具有放射性	寻找放射性矿床和与放射性有关的矿床，以及配合其他方法进行地质填图、圈定某些岩体等。对放射性矿床能直接找矿
磁法	效率高、成本低、效果好。航空磁测在短期内能进行大面积测量	探测对象应略具磁性或显著的磁性差异	主要用于找磁铁矿和铜、铅、锌、铬、镍、铝土矿、金刚石、石棉、硼矿床，圈定基性超基性岩体进行大地构造分区、地质填图、成矿区划分的研究及水文地质勘测。如南京市梅山铁矿的发现，北京市沙厂铁矿远景的扩大；甘肃省某铜镍矿、西藏某铬矿床、辽宁省某硼矿床应用此法地质效果显著
自然电场法	装备较简便，测量仪器简单，轻便快速、成本低	探测对象是能形成天然电场的硫化物矿体或低阻地质体	用于进行大面积快速普查硫化物金属矿床、石墨矿床；水文地质、工程地质调查；黄铁矿化、石墨化岩石分布区的地质填图。如辽宁省红透山铜矿、陕西省小河口铜矿及寻找黄铁矿矿床方面、应用此法地质效果显著
中间梯度法（电阻率法）		探测对象应为电阻率较高的地质体	主要用于找陡立、高阻的脉状地质体。如寻找和追索陡立高阻的含石英英脉、伟晶岩脉及铬铁矿、赤铁矿等效果良好，而对陡立低阻的地质体如低阻硫化多金属矿则无效
中间梯度装置的激发极化法	不论其电阻率与围岩差异如何均有明显反映，对其他电法难于找寻的对象应用它更能发挥其独特的优点	在寻找硫化矿时石墨和黄铁矿化是主要的干扰因素应尽量回避	主要用于寻找良导电金属矿和浸染状金属矿床，尤其是用于那些电阻率与围岩没有明显差异的金属矿床和浸染状矿体效果良好。如某地产在石英脉中的铅锌矿床及北京延庆某铜矿地质效果显著
电剖面法按装置的不同分为：			在普查勘探金属和非金属矿产以及进行水文地质、工程地质调查中应用相当广泛，并在许多地区的不同电条件下取得了良好的地质效果
联合剖面法	其装置不好移动，工作效率低	探测对象应为陡立较薄的良导体	主要用于详查和勘探阶段，是寻找和追索陡立而薄的良导体的有效方法。如某铜镍矿床应用效果良好。当矿脉与围岩的导电性无明显差别时，利用视极化率 η_s （或 ρ_s ）曲线也能取得好的效果
对称四级剖面法	对金属矿床不如中间梯度和联合剖面法的异常明显		主要用于地质填图，研究覆盖层下基岩起伏和对水文、工程地质提供有关疏松层中的电性不均匀分布特征，以及疏松层下的地质构造等。如某地用它圈定古河道取得良好的效果
偶极剖面法	主要缺点在一个矿体可出现两个异常，使曲线变得复杂		一般在各种金属矿上的异常反映都相当明显，也能有效地用于地质填图划分岩石的分界面。在金属矿区，当围岩电阻率很低，电磁感应明显，而开展交流激电法普查找矿时往往采用。如我国某铜矿床用此法找到了纵向叠加的透镜状铜矿体
电测深法	可以了解地质断面随深度的变化，求得观测点各电性层的厚度	探测对象应为产状较平缓电阻率不同的地质体，且地形起伏不大	电阻率电测深用于成层岩石的地区，如解决比较平缓的不同电阻率地层的分布，探查油、气田和煤田地质构造，以及用于水文地质工程地质调查中。它在金属矿区侧重解决覆盖层下基岩深度变化，表土厚度等，间接找矿。而激发极化电测深主要用于金属矿区的详查工作，借以确定矿体顶部埋深以及了解矿体的空间赋存情况等。如个旧锡矿采用此法研究花岗岩体顶部起伏，进行矿产预测起到了良好找矿效果

方法种类	优缺点	应用条件	应用范围及地质效果
充电法	能迅速追求矿体延伸, 或连接矿体, 节省探矿工程	要求: 矿体至少有一小部分出露地表或被工程揭露, 以便对矿体充电; 矿体必须是良导体; 矿体有一定的规模, 并且埋深不大 以找盲矿体为主的围岩充电法其应用条件: ①存在能于地下充电的探矿工程; ②被寻找的矿体与围岩有明显的电性差异; ③被寻找的矿体有一定规模, 且埋深不太大。	①确定已知矿体的潜伏部分之形状、产状、大小、平面位置及深度; ②确定几个已知矿体之间连接关系; ③在已知矿体或探矿工程附近寻找盲矿体和进行地质填图主要用于金属矿的详查和勘探阶段, 如在青海某铜钴矿应用充电法的结果, 无论在解决矿体延伸、矿体连接及在充电矿体附近找盲矿, 都取得了良好效果
重力测量	受地形影响大, 干扰因素多。但在深部构造研究上, 是电法、磁法不可比拟的	探测的地质体与围岩间存在密度差才可用此法	可用此法直接找富铁矿、含铜黄铁矿; 配合磁法找铬铁矿、磁铁矿; 研究地壳深部构造、划分大地构造单元、研究结晶基底的内部成分和构造, 确定基岩顶面的构造起伏, 确定断层位置及其分布、规模, 圈定火成岩体, 以达到寻找金属矿床的目的; 用于区域地质研究, 普查石油、天然气有关的局部构造; 此外, 还可应用它找密度小的矿体。如找盐类矿床取得显著地质效果
地震法	优点: 准确度高; 缺点: 成本高	要求地震波阻抗存在差异	主要用于解决构造地质方面的问题, 在石油和煤田的普查及工程地质方面广泛应用。如在大庆油田、胜利油田的普查勘探中发挥了重要的作用

对电磁波辐射能量的感应、传输和处理, 从而识别地表目标物。

(一) 遥感地质测量的特点

1. 大面积的同步观测, 视域宽广

在地球上, 进行地质调查时, 大面积同步观测所取得的数据是最宝贵的。依靠传统的地面调查, 实施起来非常困难, 工作量很大。而遥感观测则可以为此提供最佳的获取信息的方式, 并且不受地形阻隔等限制。遥感平台越高, 视角越宽广, 可以同步探测到的地面范围就越大, 也就越容易发现地球上一些重要目标物空间分布的宏观规律, 而有些宏观规律, 依靠地面观测是难以发现或必须经长期大面积调查才能发现的。如一帧美国的陆地卫星 Landsat 图像, 覆盖面积为 $100\text{n mile} \times 100\text{n mile}$ ($185\text{ km} \times 185\text{ km}$) = $34\,225\text{ km}^2$, 在 5~6 min 内即可扫描完成, 实现对地的大面积同步观测。我国全境仅需 500 余张这种图像, 就可拼接成全国卫星影像图, 便于进行地学大区域宏观观察与分析对比。

2. 信息丰富, 技术先进

遥感地质测量是现代科技的产物, 它不仅能获得地物可见光波段的信息, 而且可以获得紫外、红外、微波等波段的信息。不但能用摄影方式获得信息, 而且还可以用扫描方式获得信息。遥感地质测量所获得的信息量远远超过了用常规传统技术方法所获得的信息量, 还能提供超出人们视觉以外的大量地学信息, 这无疑扩大了人们的观测范围和感知领域, 加深了对某些地质现象的认识。

3. 定时、定位观测, 提高观测的时效性

能周期性地监测地面同一目标地质体, 有利于对比分析其特点, 并可以对某些地质现象(如火山喷发)作动态分析。例如: 地球同步轨道卫星可以每半个小时对地观测一次

(如 FY-2 气象卫星); 太阳同步轨道卫星 (如 NOAA 气象卫星和 FY-1 气象卫星) 可以每天 2 次对同一地区进行观测。地球资源卫星 (如美国的 Landsat、法国的 SPOT 和中国与巴西合作的 CBERS) 则分别以 16 天、26 天或 4~5 天对同一地区重复观测一次, 以获得一个重访周期内的某些事物的动态变化的数据。而传统的地面调查则须大量的人力、物力, 用几年甚至几十年时间才能获得地球上大范围地区动态变化的数据。因此, 遥感大大提高了观测的时效性。

4. 投入相对小, 综合效益高

在中、小比例尺地质制图时, 具有精度高、速度快、费用省的特点。遥感地质测量的费用投入及所获取的效益, 与传统的方法相比, 可以大大地节省人力、物力、财力和时间, 具有很高的经济效益和社会效益。

(二) 遥感地质测量发展趋势

(1) 新的遥感波段开发与遥感器的研制。前者如毫米波段、激光雷达和紫外波段的开发利用。后者主要对可见光, 尤其红外波段的高分辨率、窄波段的遥感器的研制。当然还有作为遥感器的运载工具的各种平台的研究 (如航天飞机和地质专用卫星等), 以及遥感数据资料的实时传输等。

(2) 快速、价廉、有效的地学信息处理、提取、分析方法, 如地理信息系统、专家系统以及新的图像增强处理方案的开发等。

(3) 遥感技术在地质学已开展的领域的深化和新领域的开拓。现有应用领域的深化首先是在矿产资源勘查中的遥感技术应用方面, 向模式化、自动化和定量化方向发展, 其次是在区域构造分析、遥感地质编制图件上的应用。在遥感技术地学应用新领域的开拓方面, 深部构造的遥感分析, 包括灾害地质、城市地质等在内的 (广义的) 环境地质遥感是主要内容。

(4) 遥感地学机理的研究。例如遥感地学信息的传输问题, 以及一些巨大环状构造的形成机理就是一个有待深入研究的问题。

(三) 遥感地质测量法的应用

1. 在基础地质工作中的应用

遥感图像视域宽阔, 能客观真实地反映出各种地质现象及其相互间的关系, 形象地反映出区域地质构造以及区域构造间的空间关系, 为中小比例尺地质制图和跨区域甚至全球的区域地质研究提供了有利的条件和基础。例如近年来重新修编的 1:400 万中国构造体系图的工作、对雅鲁藏布江深断裂的延伸和走向的研究、郯庐断裂的延伸和走向问题的论证, 都是建立在遥感地质测量基础上的新的认识和发现的体现, 解决了一些地质学界长期争论或按常规很难解决的问题。

2. 在矿产勘查中的应用

各种矿产资源的形成、产出, 都与一定的地质构造条件有关, 如斑岩铜矿与中酸性侵入体有关, 煤矿赋存在某些地质时代的煤系地层内。利用遥感地质测量资料来解译、分析区域成矿地质条件; 提取某些矿床类型的遥感标志是遥感找矿的基本出发点和理论依据。当前, 遥感技术在找矿工作中的应用可归纳为如下几个方面:

(1) 利用图像上显示的与矿化有关的地物如岩石、土壤等的波谱信息、色调异常和热辐射异常等直接圈定靶区, 为找矿指明方向。

(2) 利用解译获得的资料, 分析区域成矿条件, 进行区域成矿预测。

(3) 利用数字图像处理技术, 进行多波段、多种类遥感图像的综合处理分析, 增强或提取图像上与成矿有关的信息, 尤其是矿化蚀变信息, 为找矿提供依据, 指明找矿方向和有利成矿的远景地段。

(4) 利用数学地质方法, 综合遥感资料、物探、化探和地质资料, 进行成矿统计预测, 直接圈定找矿远景靶区。

3. 高光谱遥感的应用

高光谱遥感是高光谱分辨率遥感 (Hyperspectral Remote Sensing) 的简称。它是在电磁波谱的可见光、近红外、中红外和热红外波段范围内, 获取许多非常窄的光谱连续的影像数据的技术 (Lillesand & Kiefer, 2000)。其成像光谱仪可以收集到上百个非常窄的光谱波段信息。

高光谱遥感与一般遥感主要区别在于: 高光谱遥感的成像光谱仪可以分离成几十甚至数百个很窄的波段来接收信息; 每个波段宽度仅小于 10 nm; 所有波段排列在一起能形成一条连续的完整的光谱曲线; 光谱的覆盖范围从可见光到热红外的全部电磁辐射波谱范围。而一般的常规遥感不具备这些特点, 常规遥感的传感器多数只有几个, 十几个波段; 每个波段宽度大于 100 nm; 更重要的是这些波段在电磁波谱上不连续。例如: TM 数据第三波段为 $0.63\sim 0.369\ \mu\text{m}$ 而第四波段是 $0.76\sim 0.90\ \mu\text{m}$, 中间 $0.69\sim 0.76\ \mu\text{m}$ 之间完全没有数据。所有波段加起来也不可能覆盖可见光到热红外的整个波谱范围。就第四波段而言, 其宽度是 140 nm。如果换成 10 nm 宽的高光谱数据, TM 的一个波段在高光谱里对应 14 个波段, 高光谱的信息量大大增加。

高光谱遥感的出现是遥感界的一场革命, 其丰富的光谱信息, 使具有特殊光谱特征的地物探测成为可能, 因此有广阔的发展前景。20 多年来, 高光谱遥感是以航空遥感为基础的研究发展阶段, 1999 年底第一台中分辨率成像光谱仪 MODIS 成功地随美国 EOSAM-1 平台进入轨道, 以及欧空局和日本等高光谱卫星遥感计划, 使得高光谱遥感进入航天遥感并在应用的深度上有较大的突破。

高光谱遥感的出现, 使得定量检测各种矿物存在以及编制相应图件成为可能。其原理是:

第一, 各种岩性和矿物都有一些可作为标志性的矿物, 而这些矿物又都各有自己的波谱特征 (表 3-6)。图 3-6 是高岭石、蒙脱石、伊利石和明矾石 (它们都是与热液蚀变有关的标志性矿物) 的波谱曲线。四种矿物的吸收谷都在 $2.2\ \mu\text{m}$ 附近, 其中高岭石曲线的“肩部”在 $2.18\ \mu\text{m}$ 处, 明矾石的吸收谷在 $2.21\ \mu\text{m}$, 都落在 TM-7 波段内。根据石榴子石 Fe^{3+} 离子在 $0.77\sim 0.87\ \mu\text{m}$ 处吸收的特征, D.S.Windeler, Jr (1993) 利用 VNIR 图像数据, 识别出石榴子石-辉石蚀变带来。

第二, 利用多通道的机载高光谱分辨率成像波谱仪获得波谱曲线, 与某些标志性矿物的实验室实测的典型曲线对比, 能半定量地确定标志性矿物的存在。由于 AIS 可以取得多达 220 个波谱数值, 由它测得的波谱曲线更接近实验实测得到的曲线。图 3-7 是 AIS 的反射波谱曲线, 其波长从 $2.0\sim 2.3\ \mu\text{m}$, 波长间隔为 0.01 nm, 共分为 30 个波段。其取样点的位置见图右侧。从图上方两条波谱曲线与实验室内测得明矾石的波谱曲线相比较, 其形态很相似。可知这两处分别明矾石与高岭石含量较高的地段。

表 3-6 波长范围和矿物标记

波长范围	可辨别的主要矿物	
可见—近红外	0.40~1.20 μm	Fe、Mn 和 Ni 的氧化物及稀土矿物，赤铁矿、针铁矿植被
	0.50~0.80 μm	
	1.30~2.50 μm	氢氧化物、碳酸盐和硫酸盐
	1.47~1.82 μm	硫酸盐类——明矾石
	1.47~1.76 μm	硫酸盐类——黄钾铁矾
短波红外	2.16~2.24 μm	含 Al-OH 基团矿物——白云母、高岭石 ——迪开石、叶蜡石 ——蒙脱石、伊利石
	2.24~2.30 μm	含 Fe-OH 基团矿物——黄钾铁矾、锂皂石
	2.30~2.40 μm	含 Mg-OH 基团矿物——绿泥石、滑石、绿帘石
	2.32~2.26 μm	碳酸盐类——方解石、白云石、菱铁矿
中红外	8.00~14.0 μm	硅酸盐类——石英、长石、辉石 ——橄榄石

(据薛重生等)

第三，通过某些标志性矿物的检测，来达到找矿和编制分布图的目的。

从高光谱遥感数据中提取各种地质矿物成分也需要发展许多技术方法。主要的技术方法如下：

(1) 光谱微分技术，是对反射光谱进行数学模拟和计算不同阶数的微分，来确定光谱曲线的弯曲点和最大最小反射率的对应波长位置。在地质遥感上可以确定波长位置、深度和波段宽度，以及分解重叠的吸收波段和提取各种参数，从而达到识别矿物的目的。

(2) 光谱匹配技术，是对地物光谱和实验室测量的参考光谱进行匹配或地物光谱与参考光谱数据库比较，求得它们之间的相似或差异性，以达到识别的目的。两种光谱曲线的相似性常用计算的交叉相关系数及绘制交叉相关曲线图来确定。有时也采用编码匹配技术粗略识别岩石矿物的光谱。

(3) 混合光谱分解技术，用以确定在同一像元内不同地物光谱成分所占的比例或非已知成分。因为不同地物光谱成分的混合会改变波段的深度，波段的位置、宽度、面积和吸收的程度等。这种技术采用矩阵方程、神经元网络方法以及光谱吸收指数技术等，求出在给定像元内各成分光谱的比例。

(4) 光谱分类技术，在高光谱遥感中仍然是有效的识别方法之一。常用的有：最大似然分类法；人工神经网络分类法；高光谱角度制图法。

(5) 光谱维特征提取方法，可以按照一定的准则直接从原始空间中选出一个子空间；或者在原特征空间与新特征空间之间找到某种映射关系。这一方法是以主成分分析为基础

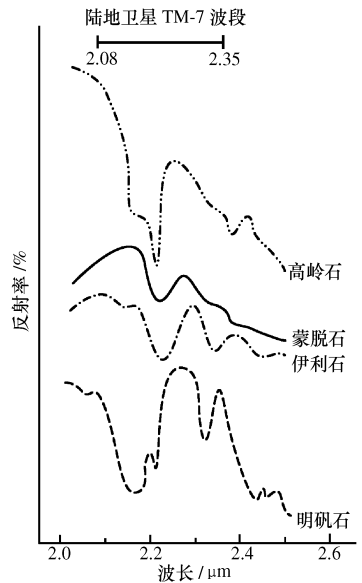


图 3-6 2.0~2.5 μm 大气窗口的实验室波谱曲线
(据 F. F. Sabins, 1986)

的改进方法。

(6) 模型方法, 是模拟矿物和岩石反射光谱的各种模型方法。因为高光谱测量数据可以提供连续的光谱抽样信息, 这种细微的光谱特征使模型计算一改传统的统计模型方法而建立起确定性模型方法。因而, 模型方法可以提供更有效和更可靠的分析结果。

以上各种方法均有成功的案例可以借鉴。

六、探矿工程法

目前国内外对金属、非金属矿床勘查中大量采用的勘查技术手段仍然是钻探和坑探工程, 一般称之为探矿工程。

探矿工程是一种主要的勘查技术手段, 其最大的优点在于可以直接验证或观察矿体, 特别是坑道工程, 人员可以自由出入, 对矿体进行直接的观察、取样、编录, 而钻探可以通过岩心对矿体进行取样分析。无论坑探或钻探都是一种直接探矿方法, 是其他各种方法所不能代替的, 因此在矿床勘探阶段得到最广泛的应用。

探矿工程特别是坑道工程, 不但在矿床勘探时应用, 同时这些坑道工程在矿床开采阶段也可应用, 这就要求在设计坑探工程时要考虑到开采时应用的可能性, 从而大大降低工程费用。

钻探工程勘探深度大, 施工速度快, 消耗费用相对坑探工程要低得多, 同时施工灵活, 不但在地面可进行施工, 同时在地下坑道中也可布置施工坑内钻, 因此钻探工程成为矿床勘查最常规的不可缺少的技术手段。

应该看到, 探矿工程还具有一些缺点需要不断改进, 如机械设备笨重, 为复杂地形条件下施工带来困难, 成本较高, 施工速度较慢等。探矿工程一般分为坑探工程和钻探工程。

1. 坑探工程

在岩石或矿石中挖掘坑道以便勘查揭露矿体或者进行其他地质勘查工作, 这些坑探工程以其使用的条件和作用可以分为如下主要类型:

(1) 探槽 (TC): 是从地表挖掘的一种槽形坑道 (图 3-8), 其横断面为倒梯形, 探槽深度一般不超过 3~5 m, 探槽断面规格 (表 3-7) 视浮土性质及探槽深度而定, 以利于工作, 保证施工安全。

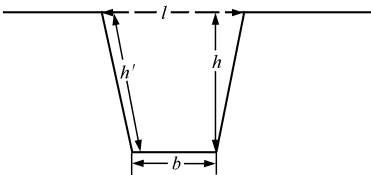


图 3-8 探槽断面图

h —探槽深度; h' —槽壁斜深; l —探槽口宽;
 b —探槽底宽

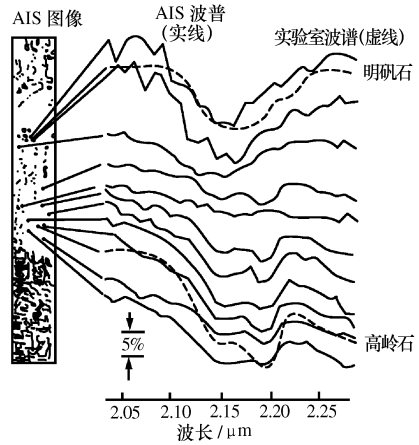


图 3-7 AIS 反射波谱曲线

(据 F. F. Sabins, 1986)

探槽的布置应垂直矿体走向或平均走向来布置。探槽有两种, 即主干探槽和辅助探槽。主干探槽应布置在工作区主要的剖面上或有代表性的地段, 以研究地层、岩性、矿化规律、揭露矿体等。而辅助探槽是在主干探槽之间加密的一系列短槽, 用于揭露矿体或地质界线, 可平行主干探槽, 也可不平行。

所有探槽适用于浮土厚不大于 3 m, 当地下水面低时, 覆盖层厚达 5 m 时也可使用探槽。

表 3-7 探槽断面规格参考表

覆盖层性质	深度/m	底宽/m	口宽/m	边坡
风化十分强烈	1~3	1	1.6~6.0	65°~73°
风化厉害, 较松散	1~3	1	1.4~5.8	73°~78°
风化不强烈, 浮土微密	1~5	1	1.3~7.0	73°~87°
风化较轻, 紧密结实	1~5	1	1.2~5.0	78°~84°

(2) 浅井 (QJ): 它是由地表垂直向下掘进的一种深度和断面均较小的坑道工程。浅井深度一般不超过 20 m, 断面形状可为正方形、矩形或圆形, 断面面积为 1.2~2.2 m²。浅井的布置由于矿体规模产状不同, 其布置型式也不同。当矿体产状较陡时, 可在浅井下拉石门或穿脉, 当矿体产状较缓时, 浅井应布置在矿体上盘 (图 3-9)。

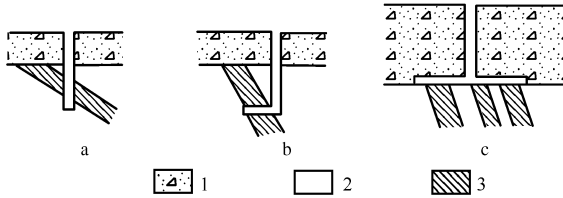


图 3-9 浅井布置型式图

a—缓倾斜浅井布置; b—陡倾斜浅井带石门; c—陡倾斜带盆浅井; 1—残积层; 2—围岩; 3—矿体

浅井主要用于揭露松散层掩盖下的矿体, 深度一般不超过 20 m。对某些矿床如风化矿床, 浅井是主要的勘探手段, 对于大体积取样的金刚石砂矿或水晶砂矿来说, 只能用浅井来勘探。

(3) 平窿 (PD): 从地表向矿体内部掘进的水平坑道 (图 3-10 a)。断面形状为梯形或拱形。主要用于揭露、追索矿体, 也是人员出入、运输、通风、排水的通道。在地形条件有利时应优先使用平窿坑道。

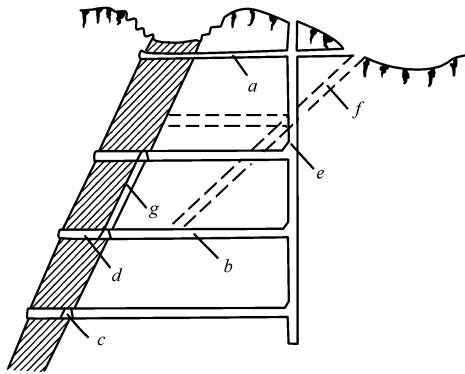


图 3-10 地下坑探工程

a—平窿; b—石门; c—沿脉; d—穿脉; e—竖井; f—斜井; g—上山(或下山)

(4)石门(SM):在地表无直接出口与含矿岩系走向垂直的水平坑道(图 3-10*b*)。石门常用来联接竖井和沿脉,揭露含矿岩系和平行矿体等。

(5)沿脉(YM):在矿体中沿走向掘进的地下水平坑道(图 3-10*c*),用以了解矿体沿走向的变化,在矿体之外的沿脉坑道,可供行人、运输、通风、排水之用。

(6)穿脉(CM):垂直矿体走向并穿过矿体的地下水平坑道(图 3-10*d*)。穿脉用以揭露矿体厚度、圈定矿体,了解矿石组分及品位,查明矿体与围岩的接触关系等。

(7)竖井(SJ):是直通地表且深处和断面都较大的垂直向下掘进的坑道(图 3-10*e*)。竖井是人员出入、运输、通风、排水的主要坑道、竖井在矿床勘探和采矿时均可应用,采矿竖井有主井、副井及通风井之分。竖井应布置在矿体的下盘,以确保采矿时使用安全,即可减少矿量损失,保证其他地下坑道的稳固。竖井断面面积有 4、4.5、5.5、6、6.5、7 m² 等。一般情况,设计竖井不宜过多,一个矿床设计 1~2 个就可以了。

(8)斜井(XJ):是在地表有直接出口的倾斜坑道(图 3-10*f*),适用于勘探产状稳定且倾角小于 45°的矿体。斜井与竖井相比,可减少石门长度;但斜井长度比竖井深度大。

(9)暗井(AJ):在地表设有直接出口的垂直或倾斜的坑道(图 3-10*g*)。断面一般为长方形,面积为 1.5×2.5 m²。垂直暗井又称天井,倾斜暗井又称上山或下山。暗井的作用为,在地下坑道中向上或向下勘探矿体,追索圈定被错断的矿体、贯通相邻中断水平坑道。

各水平坑道的断面规格,其形状一般为梯形或拱形,坑道净高不小于 1.8 m,矿车与坑道一侧的安全间隔为 0.2~0.25 m,人行道宽度为 0.5~0.7 m,水平坑道应有 0.3%~0.7%的坡度,弯道曲率半径应不小于矿车轴距 7~10 倍。斜井断面形状有梯形和矩形,净高不低于 1.6 m。

坑道工程特别是地下坑道工程,由于成本高,施工困难,因此多用于矿床勘探阶段,在使用时应考虑矿床开采时的需要。

2. 钻探工程

钻探工程是通过钻探机械向地下钻进钻孔,从中获取岩心、矿心借以了解深部地质构造及矿体的赋存变化规律,其钻进深度,对于固体矿产多为 100~1000 m。钻探工程是主要的矿产勘查手段。

(1)浅钻:垂直钻进的浅型钻,其钻进深度多在 100 m 之内,用以勘查埋深较浅的矿体。当涌水量大而无法用浅井勘探时,可采用浅钻。浅钻在矿点检查及物探化探异常的验证时经常使用。

(2)岩心钻:是机械回转钻,备有一整套的机械设备如钻塔、钻机、水泵、柴油机或电动机、钻杆及套管等,钻进深度 300~1000 m,用以勘查深度较大的矿体,可垂直钻进,也可倾斜钻进,在矿产勘查的不同阶段均可使用,但较多的是在详查及勘探阶段使用。在普查阶段也可布置少量的普查验证钻孔。

第二节 影响勘查技术方法选择的因素

勘查技术方法的合理选用和正确组合是矿产勘查方案的重要组成部分,是实现勘查任务的重要步骤。影响勘查技术方法选择的因素有:勘查工作阶段、工作区地质条件及矿床地质特征、工作区自然地理条件等。

1. 勘查工作阶段

依据对客观地质体的认识规律由大到小、由粗到细、由表及里的循序渐进的认识过程，因此地质矿产勘查的不同阶段，由于工作区范围大小、工作精度要求，勘查程度及工作任务均有较大差别，故不同勘查阶段所选择的勘查技术方法应有所区别。

矿产预查阶段，可在区域地质调查的基础上，对矿化潜力较大地区进行物探、化探工作或进行极少量工程验证。

矿产普查阶段，工作范围较大，以查明成矿有利区段，圈定成矿预测区，优选找矿靶区为主要内容，同时对已发现的矿点进行检查评价，以确定其能否转入详查，为此在普查阶段应以下述勘查技术方法为主：中比例尺（1:20万~1:5万）的地质测定，少数情况选用大比例尺地质测量（1:2.5万~1:1万），如对矿点进行检查评价；遥感测量方法；航空物探测量及有针对性的地面物探；水系沉积物测量；重砂测量；普查性钻孔及少量槽探、浅井工程。

详查阶段主要是对成矿有利地段及找矿靶区的成矿地质条件及控矿因素进行详细研究，对矿床进行地表及浅部的研究，揭露、追索、圈定矿体，用较稀的工程对矿床深部变化情况进行适当控制，查清矿床总体规模、产状，对矿床矿石的技术加工性能及开采技术条件提供必要的资料，并做出初步工业评价，经过详查，对成矿有利地段及矿床应基本上做出是否能转入勘探的结论。采取的主要技术方法：大比例尺（1:2.5万~1:2000）地质测量；地面高精度物探，如高精度磁测、电法、井中物探等；岩石地球化学测量、土壤地球化学测量、地电地球化学测量、气体地球化学测量等；残坡积重砂测量；钻探工程；槽井探及少量深部坑探工程等。

矿床勘探阶段的主要勘查研究对象是矿床，要求对矿床进行全面系统深入地勘查研究，查清矿床的控制因素，查明矿床深部的形态、规模、产状及其变化规律，查清矿石质量变化，查清矿石的开采技术条件及加工技术性能，计算矿床储量，最终要进行矿床的详细工业评价。由于对矿床勘查程度高，因此所采取的勘查技术手段主要为：大比例尺（1:1万~1:1000）地质测量；高精度地面物探；岩石地球化学测量；钻探及坑探工程。

上述各勘查阶段具有先后顺序，前一阶段的勘查成果是后一阶段勘查的基础，采取什么勘查技术方法及其合理配置组合，应充分考虑勘查对象的勘查程度，一定要按着勘查程序来进行，切不可进行超越阶段的勘查工作，避免造成勘查中的重大失误或者造成勘查资金的大量积压。

2. 地质条件和矿产特征

任何矿产的形成都离不开特定的地质条件，而任何一个矿体的就位空间又都受控于特定的控矿因素，也可以说成矿地质条件，如控矿地质因素对矿产的形成和分布在一定程度上具有密切相关性。查明成矿地质条件和控矿地质因素，具有间接指示找矿的作用。例如某地区矿产的形成与基性超基性侵入岩有关，则查明隐伏的基性超基性体的空间分布，包括岩体的规模、形态、产状、接触面形状、岩体的相变特征等，对指出找矿方向或矿体的空间分布，具有实际意义。为此可使用地球物理测量的磁法及重力测量来确定隐伏岩体的特征，再结合地球化学测量获得的元素异常，圈定矿体可能部位，使用钻探工程进行验证。又如某地区矿产的形成及分布与断裂构造有关，则查明隐伏断裂构造就是找矿的基本前提。可通过遥感测量资料的解释，初步判定隐伏线性构造的展布，再结合航磁及重力测

量资料，基本上可划定断裂构造，即比较准确地查明构造地球物理场的特征；再根据地球化学测量资料（岩石地球化学测量、土壤地球化学测量、水系沉积物地球化学测量），查明地球化学场及其与构造地球物理场的关系。具体赋存矿体部位的勘查，可进行大比例尺地质测量及构造地球化学测量，最终运用钻探工程进行验证。总之，成矿及控矿地质条件和因素的勘查，既是间接找矿的前提，又是直接找矿不可缺少的主要依据。

对于不同的矿种和不同的矿床类型，由于其成矿地质条件（即地质场）、地球物理场、地球化学场不尽相同。因此选择的勘查方法也有所区别。例如对于多金属硫化物矿床，由于导电性能较好，氧化带发育、元素的迁移扩散能力强，因此运用电法测量及地球化学的各种方法具有较好的找矿效果。对于铁矿床，由于具有一定的磁性，故选择磁法进行勘查，会取得满意成果。对于同一种矿产由于其矿床的成因类型不同，在勘查方法的选择上也有所区别，如同是铁矿床，对沉积变质铁矿床、钕钛磁铁矿床、矽卡岩型铁矿主要采用地质测量法、磁法及重力测量方法；对沉积型铁矿，则主要运用地质测量法，进行详细地层剖面测制及岩相古地理研究。又如寻找金矿，对于内生金矿，由于其伴生矿物以金属硫化物为主，加之成矿条件受构造岩浆作用及变质作用影响，因此应以地质测量法、地球化学测量法、地球物理测量的电法等为主；对外生沉积砂金矿，则应以地质测量法及重砂测量法为主。

3. 自然地理条件

自然地理条件系指工作区的地形地貌、气候、水系发育程度、基岩的剥蚀发育程度、第四系覆盖层的发育程度等。这些因素在某些时候往往是影响勘查方法选择的主要条件。下面将有代表性的自然地理条件分区及勘查方法介绍如下：

(1) 高山区：地形复杂，山势较高，切割强烈，基岩出露较广，水系发育，交通困难。该区适合的勘查方法，主要为航空物探、航空化探、遥感地质测量、水系沉积物测量、重砂测量、地质测量法等。

(2) 高寒山区：山势起伏较大，地形复杂，大部分属常年冰冻，气候寒冷。可选用航空物探、遥感地质测量、地质测量，配合水系沉积物测量、重砂测量及地面物探法。

(3) 林区：森林覆盖，通视条件差，基岩露头极少，覆盖层较厚，水系较发育，沼泽泥塘较多，交通甚是困难。可选用遥感地质测量、航空物探（航磁、放射性）、航空化探、水系沉积物测量、生物地球化学测量、重砂测量、地质测量，必要时用探矿工程进行揭露。

(4) 大面积覆盖的平原区：第四系覆盖层面积大且较厚，基岩露头很少见到，地势平坦，交通方便。可选用遥感地质测量查找隐伏地质构造，物探方法、水化学及气体地球化学测量、普查性钻孔。地质测量法效果不好。

(5) 潮湿区：潮湿多雨，水系发育，风化作用强烈，有一定的覆盖层。可选用地质测量法、水系沉积物测量、水化学及土壤地球化学测量、磁法、重力等物探方法。电法不宜采用。

(6) 亚热带农作物区：潮湿多雨，水系发育，覆盖层较厚，气候温暖。配合遥感资料解释进行地质填图，物探、水系沉积物测量、水化学测量、土壤地球化学测量。

(7) 干旱区：干燥少雨，温差大，风沙大，地形起伏不甚强烈，干谷发育，经常断流；沙漠覆盖面广。配合遥感资料解释进行地质填图、航空及地面物探、气体地球化学测量等，根据需要进行探矿工程揭露。

第四章 矿产预测的理论与方法

矿产预测的理论与方法是在矿产勘查过程中逐步形成和发展起来的，目前已经成为科学找矿的主要依据和最基本的技术手段，它是矿产勘查各阶段最重要的组成部分，为实现地质找矿的突破起到了巨大作用。

1. 矿产预测的基本概念

矿产预测是在成矿地质理论指导之下，建立矿床成矿模式；以地质、物探、化探、遥感地质等信息为依据，建立找矿模式；依据成矿模式和找矿模式建立切实可行的矿产预测准则；对预测区内的潜在矿产资源做出预测，圈定成矿远景区段和优选成矿靶区，并提出进一步的找矿部署意见。

矿产预测是矿产勘查学的重要组成部分，主要任务有：

- (1) 充分研究成矿地质条件，控矿地质因素，成矿地质作用和矿床形成的地质、物理、化学环境，建立矿床的成矿模式；
- (2) 系统地研究矿床形成和分布的信息标志，提出切实可行的找矿模式；
- (3) 总结成矿规律，在成矿模式和找矿模式基础上，提出预测准则；
- (4) 依据预测准则，实施预测，包括：成矿地质分析，成矿远景区的圈定，预测区级别的划分，矿产资源的预测和编制相应的各种预测图件；
- (5) 对筛选出的重点找矿靶区提出工作意见，进一步进行验证评价。

矿产预测既是矿产勘查的理论依据，同时又是重要的技术手段。随着找矿对象的改变和找矿难度的加大，矿产预测的作用日趋重要。

2. 矿产预测的意义

目前国内外的矿产勘查工作证明，地质找矿工作已由直接找矿阶段转变为以间接推断为主的理论找矿阶段。由于各种矿产在地壳中的分布是极不均匀的，所以在众多的异常点、矿（化）点、矿化带或成矿带中，具有工业意义的矿化只是其中很少一部分，因此如何根据成矿规律和成矿信息，准确判断成矿远景区就成为找矿成败的关键。矿产预测的重要意义就在于它是实现科学找矿的重要途径。其科学性表现在以下4个方面：①矿产预测必须以深刻认识已知矿床为基础；②矿产预测必须以深入研究和总结区域成矿规律为前提；③矿产预测必须全面使用地质、地球物理、地球化学、遥感资料，使它们处于最佳的组合状态；④找矿效果和经济效益是衡量矿产预测成败的关键。

第一节 矿产预测的基本理论与准则

一、矿产预测的基本理论

矿产预测的基本理论是在辩证唯物主义的认识论指导下，在人们长期的地质和找矿实践中以及各相关地质学科的基础理论上发展起来的，而且至今还在不断充实和完善。目前

已逐渐形成了三大矿产预测的理论体系，即相似类比理论、地质异常致矿理论（或称求异理论）和地质条件组合控矿理论。

（一）相似类比理论

1. 基本概念

相似类比理论并不是地质学专有的理论，而是一种自然的理论和法则，在社会科学和自然科学等领域均有所应用，但在地质学的发展过程中，相似类比理论曾经起了巨大的推动作用。由于过去的地质与成矿作用是人类没有经历过的复杂事件，人们只能从古今相似的地质与成矿作用的产物进行分析和反演，因而相似类比理论也就成为矿产预测的一个最普遍和最基本的理论。正如 P. 鲁蒂埃（1979）指出的那样：“预测是从矿床类比中发展起来的”。

在矿产预测中，相似类比理论认为，相似的地质环境和成矿条件可以形成相似的矿床，高度概括的成矿规律，可以应用到相似的地区，指导类似矿产的成矿预测。

在类比方法上，相似类比理论主要采用的是“将今论古”、“由已知到未知”的分析法，是建立在大量的野外观察和实践基础之上的分析方法。根据类比所得到的认识和由此归纳而来的理论指导矿产预测。

2. 相似类比的范围

类比法正广泛应用于各类预测，类比的范围和领域不断扩大，包括大至全球范围，小至区域性或某一局部地区、矿区等不同规模和级别的类比。

近年来，一些地质学家用“地质域”或“地质场”（geologic field）等术语来描述相似类比的范围。赵鹏大（1991）定义地质场是在某种地质环境和地质作用下，在一定的地质演化过程中所成的地质上均一的地区。例如，地槽区和地台区、地洼区属于不同类型的地质场，然而各地的地槽区基本上具有共同的演化特点和控矿规律，因而具有可类比性。地台区和地洼区也是如此。在地槽区（或地台区，或地洼区）内还可划分出次一级的构造单元，则相当于次一级的地质场。

虽然地质场的研究刚刚开始，但是可以肯定，地质场概念的提出及其范围、属性、特征的确和类比，必将对矿产预测工作产生重要的影响。

3. 相似类比的内容

相似类比理论的研究内容，主要包括下列方面：

（1）成矿背景（或环境）类比：包括成矿的大地构造背景、地球化学背景和地球物理背景的类比，通过典型矿床形成环境的研究建立环境类比模型；

（2）成矿条件（或控矿因素）类比：主要包括控矿构造、岩浆岩、地层、岩性、岩相古地理等条件的类比。对内生矿产而言，主要是构造—岩浆活动因素类比；对外生矿产而言，主要是构造—岩相因素或岩相古地理因素的类比；对变质矿床而言，主要是岩性、变质相及变质程度类比。通过典型矿床的成矿条件分析，建立成矿条件类比模型；

（3）矿化信息类比：通过典型矿床的矿化信息（地质信息、地球物理信息、地球化学信息、遥感地质信息等）研究，建立综合信息类比模型；

（4）成矿规律类比：包括成矿的时间规律、空间规律、矿质来源规律和矿床共生规律的类比，并由典型矿床的成矿规律建立矿床成因类比模型。

(二) 地质异常致矿理论

地质异常致矿理论又称地质异常理论。该理论认为,地质异常是指与周围背景存在明显差异的地质现象,是地质体某种性质的特殊反映。

从理论上讲,地质异常应区别于一般的控矿地质因素或地质标志。它具有一定的空间范围和时间界限,这种范围和界限需要用特殊的方法(求异法)进行圈定。根据已知矿床建立的矿床模型,只能预测与之类型相同、规模相似或更小的矿床,而不可能预测出尚未发现过的新类型矿床或迄今未曾发现过的规模巨大的矿床,因为这些矿床可能具有人类尚未揭示的和总结的规律,因而不能简单地根据“相似类比”理论进行类比预测。在这种情况下,重要的是发现地质异常,因为地质异常是可能产生特殊类型矿床或前所未有的新类型或新规模矿床的必要条件。我国近几年的矿产预测实践表明,大型和超大型矿床就具有与周围环境迥然不同的地质异常。

1. 地质异常的分类

地质异常是一个相当广泛的概念,按照不同的标准,可以有不同的类型(赵鹏大,1991)。

(1) 根据地质体、地质环境、地质作用分类:

有关地质作用的地质异常:①沉积作用及地层、岩性、岩相异常;②岩浆作用及岩浆岩异常;③变质作用及变质岩异常;④构造作用及变形、破碎强度异常;⑤构造作用及浅层、深层构造单元组合异常;⑥构造作用及地质结构异常;⑦矿化作用及矿物组合异常。

有关地质环境的地质异常:⑧古地貌及现代地貌异常;⑨古水文及现代水文环境异常;⑩古地理及古气候异常等。

(2) 根据地质异常的分布类型和组合形式分类:

体型地质异常:指在成分、性质、结构、构造、演化等之中的一方面或多方面与周围环境存在明显差异的地质体或地质体组合(的异常现象)。其中根据其性质又可分为4亚类:①成分异常,包括地质体岩石化学成分或微量元素成分异常。如含某种或某元素丰度异常的侵入岩体、喷出岩、沉积岩或变质岩以及这些岩石中成分异常的部位等。成分异常的标准,在地球化学中常以异常下限来确定;②岩性异常,包括异常岩性的岩浆岩、变质岩或沉积岩以及岩浆岩、变质岩或沉积岩中的异常岩性部位等;③岩相异常,包括岩浆岩、变质岩或沉积岩中的异常相或相带,如岩浆岩中的异常边缘相或火山中心相,变质岩中的特殊变质相带,沉积岩中对成矿特别有利的沉积相等;④结构构造异常,包括各类地质体中的特殊结构或构造部位。例如各类火山机构和构造,大型推覆体构造,背斜构造倾伏端或向斜构造扬起端等都可能对成矿产生特殊意义。以上4类体型异常,除①具有定量数据外,其余3类异常标准往往是定性的。

面型地质异常:指与周围环境具有明显差异的地质结构面或构造界面,包括各种地质体的不连续界面如不整合面,层间破碎滑动面,推覆断裂面,不同规模和等级的切穿盖层或基底或岩石圈的断裂和不同时代,不同成因地质体的异常分界面如侵入接触界面等。

线型地质异常:在地质几何意义上属于地质异常的组合,通常为面型地质异常的交线;在地质意义上它是一种断面相对其延长或延深甚小的地质体(的异常)。线型地质异常在成岩成矿作用中常常指示火山、岩浆、热液或热卤水的通道。

点型地质异常:地质几何意义上亦属地质异常的组合类型,通常为线型地质异常与面

型地质异常的交点。在地质意义上它是一种三度空间均相对甚小的地质体（的异常）。点型地质异常在成岩成矿过程中常常指示岩体或矿体的位置。矿床（点）本身就是一种点型地质异常，特别是许多超大型矿床都具有点型分布特征。

2. 地质异常的研究方法

结合赵鹏大（1991）的意见，地质异常可通过下述5个方面进行研究。

（1）地质异常图：地质异常图就是在地质平面图或地质剖面图上，将地质异常用等值线或特定的图例符号表示出来的方法。地质异常图直观，使用方便，能清楚地表示出地质场、地质异常与成矿条件以及已知矿产的时、空分布关系，并标示出地质异常的规模和形态等，指明有利的预测找矿部位。

（2）地质异常分析：首先应区分单项地质异常和综合地质异常。对于综合地质异常，应分析各地质因素或标志与异常的范围是否一致，各异常的形成时间是否相同，异常与何种已知矿化关系密切，各单因素与矿化在空间上和时间上的联系等。一般来说，矿床的形成往往与综合地质异常关系密切，因此实际工作中常使用多因素组合求异的方法和结果。

（3）地质异常模型：地质异常模型和相似类比模型一样，种类繁多，主要有概念模型、图表模型、立体模型、地质—数学模型等。建立地质异常模型，可以将有关地质异常的概念理论化、系统化，便于地质异常的研究与类比。由此可见，求异与相似类比实际上是相辅相成的。一旦工作区建立了地质异常模型，也就变成了已知区，就可作为其他未知区求异一类比的准则。

（4）地质异常参数：地质异常参数是对地质异常进行描述、分类、对比、评价的依据，包括地质异常的规模、形态、强度、广度、离散程度、衬度等。

（5）地质异常的评价和预测：地质异常的评价和预测既可以是定性的，也可以是定量的。各种数理统计、地质统计学和拓扑学方法均可用于地质异常的定量评价和预测。更有效的方法是进行地质异常和物、化探异常的综合评价。在进行矿床统计预测时，地质变量的选择与提取应从地质异常角度考虑，先有定性的认识，再采用统计分析的方法量化；先优选单项地质异常，再组合求异，这样可以提供一些新的与相似类比结果迥然不同的地质异常信息，或是在相似类比所确定的成矿远景区带的基础上，进一步突出异常有利于成矿的地段，进一步缩小找矿靶区。

（三）地质条件组合控矿理论

地质条件组合控矿理论又称成矿条件组合控矿理论或定量组合控矿理论。该理论目前在名称和定义方面尚未完全统一。一般认为，地质条件组合控矿理论的确切含义是“构造—物质组合控矿理论”，它指不同层次的构造—物质组合，是控制和阐明不同级别的预测普查对象（矿带—矿结—矿田—矿床—矿体）产出的必要条件。“组合”不仅指成矿条件，而是指地、物、化、遥感地质诸方面的联系和组合；也不限于定量组合，还可用定性组合。在此基础上建立的综合找矿模式或预测普查模式，是矿产预测理论向找矿预测实践的转化，是高度概括预测对象的构造—物质特征及找矿信息和标志的优化结果（刘石年，1993）。

二、矿产预测的基本准则

在中国地质矿产部和地质科学院（1990）的矿产预测基本理论和方法以及基本要求的基础上，可将矿产预测的基本准则归纳如下：

1. 最小风险、最大含矿带准则

一方面由面上铺开, 选用最佳预测方法, 逐步缩小和优选预测靶区; 另一方面在实际工作中又由点到面, 解剖已知矿床, 建立矿床模型, 指导面上的工作, 以减少矿产预测的风险, 提高工作速度和预测效果。

2. 循序渐进准则

矿产预测工作应贯穿矿产勘查工作的始终, 按比例尺由小到大依次进行。尚未完成1:20万区调和物探、化探的地区, 为圈出矿带或一组矿田分布的地区, 可进行小比例尺(1:50万~1:100万)矿产预测工作; 已有1:20万区调成果的成矿区(带), 为在矿田分布区中圈出单个矿田预测区, 可进行中比例尺(1:10万~1:20万)矿产预测; 在已完成1:20万及部分或全部1:5万区调成果的V级成矿区(带)中, 或已知矿床及矿点的深部及外围, 应重点加强以预测矿田、矿床、矿体为主的大比例尺(1:5万或更大)矿产预测工作。

3. 综合预测准则

矿产预测是一项综合性很强、难度很大, 牵涉面很广的技术性工作, 必须以地质研究为基础, 正确运用综合(地质、物探、化探、遥感等)技术方法, 才能不断提高矿产预测的科学性和准确性; 还要加强对共生矿种和共生矿床的综合预测, 以提高矿产预测的经济效益和社会效益。

4. 统一标准准则

在矿产预测工作由初级到高级, 即由小比例尺矿产预测→中比例尺矿产预测→大比例尺矿产预测的各个阶段中, 每一阶段的预测任务、查明标志、查明对象、工作方法、工作目的要统一, 这样才能使矿产预测工作达到预期效果。

5. 尺度水平对等准则

尺度水平对等准则包括如下内容: ①矿产预测基础图件(包括地质、物探、化探、遥感资料)比例尺一致, 预测成果图比例尺小一级; ②在已知区和工作区的地质变量对等选取, 变换原则一致; ③相似类比方法的成果解释要严格遵循相似类比准则; ④根据统一要求, 提交统一规定的预测成果。

6. 优化评价准则

由于矿床的形成和空间分布具有相当大的随机性和不确定性, 而矿产勘查工作又要求矿产预测提交确定性成果, 因此在圈定和筛选预测靶区时, 需要进行优化评价。一方面要尽最大可能以最小的面积、最大的成功率圈定靶区的空间位置; 另一方面要对圈定的靶区进行筛选, 以筛选出成矿信息最为浓集、预测信息最突出, 找矿的可能性最大的靶区。

第二节 矿产预测层次划分与任务要求

一、矿产预测层次的划分

关于矿产预测层次的划分, 目前尚无一个统一的方案, 原因在于划分的标准不完全一致。目前比较流行的划分法是三分法, 即把预测工作分为区域成矿预测、大比例尺成矿预测和局部成矿预测。区域成矿预测的对象是成矿带、成矿区和矿域; 大比例尺成矿预测的

对象是矿结和矿田；局部成矿预测的对象是矿床、矿体和矿柱。由于预测对象之间没有明显的界限，所以也有把预测划分为区域成矿预测和局部成矿预测的两种方案，其中的局部预测对象又包括从矿结到矿体、富矿段的大比例尺预测和局部预测两种。卢祚祥等（1981）把矿产预测工作初步划分为大区、区域和矿区3个层次。秦震（1988）把内生矿床矿产预测系统划分为3个大的层次，并结合找矿方法做了详细划分（图4-1）。刘石年（1993）结合赵鹏大等（1983）、卢祚祥等（1988）和地矿部（1990）的意见，把矿产预测工作划分为资源总量预测、找矿靶区预测和矿床立体预测3个层次，并对各层次的基本特点进行了归纳（表4-1）。

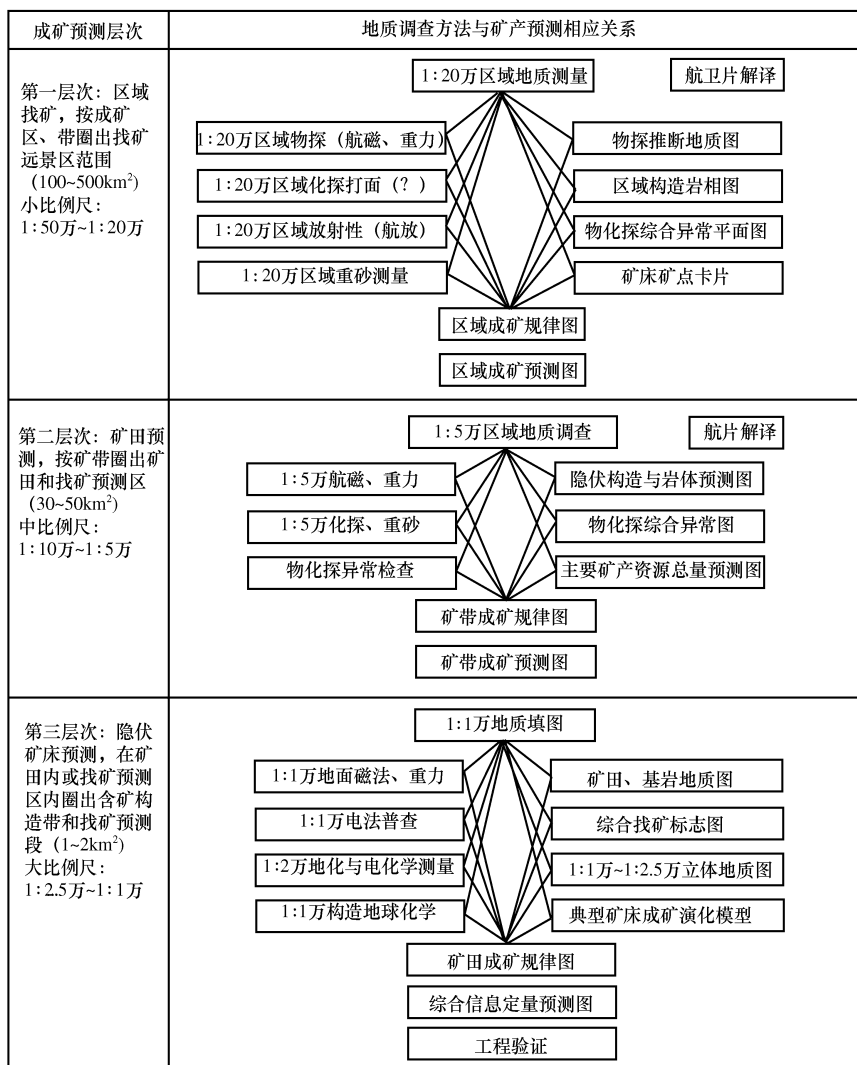


图4-1 内生金属矿床成矿区划程序与找矿方法的关系

（据秦震，1988）

表 4-1 成矿预测工作分类简表

预测工作分类		研究范围	预测目的	预测详细程度要求		
性质分类	尺度分类			定性	定量	
资源总量预测	小比例尺	1:100 万 1:400 万	全国或数省范围, I 级成矿区带	全国或数省的资源比较评价, 为地质找矿工作的总体规划提供依据	圈出成矿区(带)或不要求	资源潜力评价或资源总量预测
找矿靶区预测		1:50 万 1:100 万	II、III 级成矿区带	区域远景比较评价, 为中比例尺地质测量及找矿工作提出靶区	圈出次级成矿区(带)	预测的资源量
	大比例尺	1:10 万 1:20 万	III、IV 级成矿区带	区域远景比较评价, 为大比例尺地质测量和找矿工作提出靶区	圈出矿带、矿区	预测的资源量
矿床立体预测		1:5 万或更大	V 级成矿区带	矿区成矿远景比较评价, 为部署详细找矿工作提出靶区	圈出矿田及矿床预测区	预测的资源量
	1:1 万或更大	矿田或矿床范围	矿田或矿床深边部立体定量预测, 为地质勘探及生产探矿提供验证部位	预测盲矿体或富矿部位, 提供验证工程方案或设计	预测的资源量	

矿产预测属于地质工作中探索性较强的一个业务领域, 是涉及各专业学科多、综合性强的一项地质生产性工作。它不但是与基础地质相衔接的一项研究任务, 而且也是与物探、化探、遥感地质相联接的一项生产任务。因此, 中国地质科学院成矿远景区划室用比例尺的大小来划分矿产预测的层次(1990)。根据我国传统的地质工作和物探、化探、遥感地质生产工作的需要, 将矿产预测划分为 3 个层次:

- (1) 小比例尺成矿预测, 比例尺在 1:50 万~1:100 万;
- (2) 中比例尺成矿预测, 比例尺在 1:10 万~1:20 万;
- (3) 大比例尺成矿预测, 比例尺在 1:5 万~1:1 万。

二、矿产预测各层次的任务要求

(一) 小比例尺成矿预测

小比例尺找矿区带预测是在大区资源总量预测的基础上, 在 II、III 级成矿区(带)内进行的矿产预测。预测的成果图件为 1:50 万~1:100 万。小比例尺成矿预测成果主要用于较大的范围内制订矿产普查总体规划, 提供中比例尺成矿预测选区和工作部署方面的依据。过去已完成的单矿种(或矿组)的全省性区划也曾列入小比例尺成矿预测范围。

小比例尺预测范围比较广阔, 我国已完成大部分地区的 1:50 万~1:100 万成矿预测(区划)工作, 目前主要集中在西部边远的省(自治区)和东部、中部地区工作程度较低的局部地区。由于小比例尺预测一般面积较大, 涉及的矿种(组)也较多, 所以预测重点应该放在面上。对于预测范围内工作和研究程度较高的地区, 对全区区域成矿规律的总结将起重要类比作用。

1. 主要任务

- (1) 充分利用有关成果资料, 深入分析区域地质背景和成矿地质条件, 总结成矿规律;

(2) 划分次级成矿区(带), 有条件的地区建立区域成矿模式(或成矿系列), 圈出不同类别的预测区, 预测资源量;

(3) 提出进一步地质找矿工作部署的建议。

2. 工作程度和要求

(1) 深入分析工作区的区域背景和所预测矿种(组)的成矿地质条件;

(2) 对已知矿床(矿点、矿化点)赋存的地层、岩类、构造部位进行分析和归纳, 总结出矿床、矿点及矿化的分布规律;

(3) 研究已知矿床类型和成矿期, 确定不同类型矿床的主要成矿期和主成矿阶段;

(4) 总结控矿因素、成矿规律, 有条件时建立区域成矿模式(或矿床成矿系列);

(5) 划分次级成矿区(带)(至Ⅲ、Ⅳ级), 并根据成矿远景将成矿区(带)划分为以下二类: ①有远景的成矿带, 含有能出现工业矿床地区的成矿带; ②远景不明的成矿带, 工作和研究程度较低, 有可能发现资源, 远景难以肯定的成矿带;

(6) 在有远景的成矿区(带)内, 采用适当的预测方法, 有依据地圈出 A、B 类预测区; 在远景不明的成矿区(带)内具备 C 类预测区条件的地段圈定 C 类预测区。每个预测区的面积一般应小于 400 km^2 ;

(7) 小比例尺成矿预测的成果图件的比例尺为 1:50 万或 1:100 万;

(8) 提出进一步部署地质找矿工作建议, 并加以论证(包括应开展的研究专题)。

3. 应提交的主要图件

(1) 研究程度图;

(2) 地质矿产图;

(3) 成矿规律图;

(4) 成矿预测图(含预测储量分布图);

(5) 地质工作部署建议图。

(二) 中比例尺成矿预测

中比例尺成矿预测是在Ⅲ、Ⅳ级成矿区(带)内进行的矿产预测工作, 基础图件比例尺为 1:5 万~1:20 万, 成果图件比例尺为 1:10 万~1:20 万。中比例尺成矿预测适用于地质工作研究程度和研究程度较高的地区(已完成 1:20 万区调, 部分地区完成了 1:5 万区调的地区)。

中比例尺成矿预测是中间性综合预测, 在整个预测领域中具有承前启后的作用。它应为大比例尺(1:5 万或更大比例尺)成矿预测提供预选靶区, 在预测图上要求分级圈出矿带或矿区。为了选准选好远景区, 中比例尺成矿预测应沿已知成矿区(带)、含矿区(带)或远景区展开, 防止铺摊过大, 力量分散。在选区问题上, 始终要集中力量, 统观全局, 反复推敲。既重视现有资料的利用, 又不受其束缚; 既重视同类型新矿床的预测, 又注意新类型微观信息的发现。

中比例尺成矿预测是战略性成矿预测, 遵循区域展开、重点突破的勘查战略, 因此既需要扎实的基础地质研究作先导, 又需要充分的区域成矿规律研究作基础; 要把区域成矿远景评价与典型的矿床评价联系起来, 带中选点, 联点成片, 点面结合, 重点突破。

1. 主要任务

(1) 分析区域成矿地质条件, 研究典型矿床, 总结区域成矿规律, 建立区域成矿模式;

(2) 在Ⅲ、Ⅳ级成矿区带内圈出不同类别的矿带、矿区以及可能出现单个矿田的地区，提出预测的资源量；

(3) 提出进一步部署地质找矿工作建议。

2. 工作要求

(1) 以小比例尺成矿预测圈定的 A 类(或较好的 B 类)预测区,或在成矿条件好的Ⅳ级成矿区(带)范围内进行中比例尺成矿预测工作,工作区内应包括至少一个或一组矿田；

(2) 深入分析工作区的成矿地质条件,控矿因素,总结矿床(矿点)分布规律；

(3) 深入研究已有矿床(矿点)的矿石建造。研究构造(断裂、褶皱)控矿特征及矿床(矿点)在构造中分布的部位;研究和归纳矿床成因类型和矿石矿物组合类型以及成矿特征；

(4) 在工作中,将时、空、成因上有紧密联系的矿床组合而成的含矿地区进行划分和圈定,所圈出的预测区为可能出现单个矿田的地区；

(5) 有条件时建立区域成矿模式或矿床成矿亚系列,矿床成矿模式；

(6) 将预测区划分为 A、B、C 类,提出预测的资源量；

(7) 提出进一步地质找矿工作部署建议,并加以论证。

(三) 大比例尺成矿预测

大比例尺成矿预测是在Ⅴ级成矿区(带)或已知矿床及矿点的深部及外围进行的成矿预测工作。大比例尺成矿预测工作可分为预测矿田及矿床(1:5 万)和预测矿体两个层次。

1. 预测矿田 (1:5 万)

(1) 适用范围：①预测矿田是在Ⅴ级成矿区(带)或中比例尺成矿预测所圈定的预测区内进行预测工作；②预测矿田适用于地质工作程度和研究程度较高,已查明Ⅳ级成矿区(带)的成矿地质条件和控制矿田分布构造类型的地区,并有 1:5 万区调、物探、化探、重砂成果和大于 1:5 万比例尺的主要矿区资料以及主要典型矿床研究成果；

(2) 主要任务：①在中比例尺成矿预测圈定的 A 类预测区或有远景的Ⅴ级成矿区(带)内有依据地圈定矿田边界、预测隐伏矿床可能产出的地段；②预测隐伏矿床的产出范围、规模(预测资源量)和类型；③提出地质找矿工作部署建议；

(3) 工作步骤和要求：①以已查明的控制矿田分布的构造类型及所处构造单元部位,已知同类型矿田地球物理场和地球化学场的特征和所预测矿种的同类型矿床、矿点分布规律为依据,圈出矿床、矿化点和物、化探异常最集中地区,将矿田范围有依据的圈定(面积约数十平方公里)。②研究矿田范围成矿条件和控矿因素,如复式岩体成矿、次火山岩体成矿、火山机构控矿、沉积岩相控矿,成矿期导矿构造、储矿构造,岩层构造界面、含矿标志层和容矿岩石组合等。应用物探、化探、遥感等信息推断成矿阶段构造,确定矿田内含矿构造类型为大比例尺成矿预测的重要任务之一。③建立矿床(地质)模型,基本内容包括:所预测隐伏矿床在含矿构造中的位置,矿体形态、矿石、矿物组合及分带性以及近矿蚀变和晕(成分及分带性)等。完成上述任务需依靠已有矿床的钻孔资料和物探、化探成果资料。④在矿田范围内进一步圈出预测区并划分 A、B、C 类,作为预测隐伏矿床的选区,每个预测区的面积要求不超过 10 km²。完成这项任务时,特别强调物探、化探局部异常资料的配合使用。⑤求预测资源量,在含有已勘探矿床的预测矿田内提出预测的资源量。⑥确定矿床成因类型。⑦成矿预测图的内容应反映预测矿田的范围和圈定的不同类型的预测区及其他必要的内容,也应附有穿过 A 类预测区的主要剖面,以反映预测区的

成矿序次, 导矿和储矿构造以及控矿界面、矿体等重要内容。⑧提出进一步地质找矿工作部署建议, 并加以论证。

2. 预测隐伏矿床(体)(1:2.5万~1:1万或更大比例尺)

(1) 适用范围: ①预测隐伏矿体是在工作程度高, 研究比较深入的矿田内进行, 矿田成矿、控矿条件基本查明, 有可供类比的典型矿床的工作成果。②预测隐伏矿体的工作区应有1:2.5万~1:1万地质填图、物探、化探、重砂测量成果。③1:5万成矿预测在矿田内圈出的A类和成矿条件好的B类预测区宜作为预测隐伏矿体的工作区, 已知矿床(或正在开采的矿床)的深边部亦是预测盲矿体的一个重要方向;

(2) 主要任务: ①在预测矿田圈出的预测区中, 进一步缩小范围, 圈出靶区。②预测隐伏矿体的位置, 深度、规模、类型。③提出进一步地质找矿工作部署建议;

(3) 工作步骤和要求: ①以预测矿田内圈出的A类和远景的B类预测区(面积小于 10 km^2)为工作区, 进行1:2.5万~1:1万综合方法预测工作。②必须实测数条地质、物探、化探综合性剖面(或进行专门的构造地质、构造地球化学测量和专门性物探工作), 以补充面上工作的不足, 确保深入研究地层层序、岩石组合、容矿层、构造特征、岩矿石物性、围岩蚀变类型及分带、元素组合分带等工作和建立矿床模型的需要。③在基本查明矿田控矿因素与同类型矿床产出条件的基础上, 进一步研究产出隐伏矿相应等级的构造类型、建造特点及反映隐伏矿形成的地表标志等, 为圈定靶区提供依据。④建立矿床模型和综合找矿模式, 研究同类型已知矿床地质特征、成矿地质环境、成矿机制, 建立矿床(地质)模型; 研究矿床原生晕元素组分和浓度分带及分带序列, 建立原生晕地球化学模型; 研究矿石、围岩物性特征, 地球物理场, 建立地球物理场; 最后, 通过详细研究典型矿床, 将矿床的地质、地球化学、地球物理模型综合, 形成综合方法找矿模式, 用于预测和圈定隐伏矿床可能产出的位置和范围。⑤根据隐伏矿体物性及物探、化探局部异常资料, 配合原生晕垂直分带和深部探测成果, 有依据地推断隐伏矿产出深度。⑥根据以上分析和研究成果, 圈出隐伏矿体的靶区, 并划分出A、B、C类; 每个靶区面积一般不超过 $1\sim 2\text{ km}^2$, 提出预测的资源量。⑦确定隐伏矿床的成因类型。⑧提出进一步部署地质找矿工作的建议(包括建议作为普查基地方面的意见), 并加以论证。对已知矿床深边部的盲矿体预测, 还应提出验证工程设计。

总之, 不同比例尺矿产预测的目的是对不同范围的工作地区由粗到精地预测找矿靶区, 逐级筛选找矿预测靶区。

第三节 矿产预测的地质基础理论——成矿模式

回顾世界范围内半个世纪以来矿产勘查的历程, 勘查对象已逐渐由地表矿、露头矿转变为隐伏矿、盲矿和难识别矿。最初, 勘查地质工作者试图以饱和勘查的战略来应付这种勘查难度日益增大的局面, 但是由于应用效果不显著, 因此很快就被抛弃了。在长期的矿产勘查实践中, 勘查地质工作者逐渐认识到, 饱和勘查战略或盲目地使用物、化探和其他勘查手段不可能充分发挥其优势和效益, 成功的途径应是在矿产潜力最大的地区内采用适合于该区的勘查技术。这种指导思想的逐渐发展形成了现代矿产勘查体系。

现代矿产勘查与传统找矿的区别在于, 现代矿产勘查广泛应用现代地质科学作指导, 并创

造性地借助于成矿模式这一既为勘查地质工作者公认而又反映地质基础理论的工具实现的。

一、成矿模式的含义与分类

模式一词来源于英文 Model，也可译作模型，在美国地质协会（1980）的《地质词典》中被解释为“用描述、统计数据或类比的方法，对不能直接观察或难以直接观察的现象或过程所作出的一种能起作用的假说或精确的模拟。”因此中文中使用模式一词对应于“能起作用的假说”，而用模型一词对应于“精确的模拟”。由于目前的科学技术水平还无法对地质成矿作用过程进行精确的模拟，即使对于已经进行过详细研究的矿床，仍有许多不甚了解的方面，所以在地质学中常采用模式一词。

国际地科联（IUGS）与联合国教科文组织（UNESCO）设立的矿床模式项目（DMP），将成矿模式这一术语定义为“系指对一组相似矿床基本特征的系统整理”。

目前已建立的成矿模式从性质上可分为 3 类：矿床存在模式、矿床成因模式、矿床品位-数量模式。

1. 矿床存在模式

矿床存在模式又称矿床描述模式、矿床经验模式、矿床产状模式。我们把综合已知同类型矿床中所观测到的地质特征而建立的成矿模式称为矿床存在模式。这类模式没有确切的成因含义，旨在描述矿床的成矿地质条件和存在环境。矿床存在模式通常是从某个典型矿床的观察和描述进行的，开始为单矿的模式，逐渐发展成为同类型矿床的综合概括模式，常用图表的形式表达。例如图 4-2 和表 4-2 表征黑矿型火山成因块状硫化物矿床的存在模式，其特殊的岩石组合和构造特征反映出黑矿型矿床的存在环境。

表 4-2 黑矿型火山成因块状硫化物矿床存在模式

地质特征
岩石类型：酸性-中性海底火山岩
岩石结构：流纹结构、凝灰结构、火山碎屑
火山活动时代：太古宙至新生代
构造环境：局部扩张
共生矿床类型：含金石英脉矿床、层状重晶石矿床
矿床描述
矿石矿物：矿床上部为黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、重晶石；矿床下部为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿、黄铁矿，金、银网脉
结构构造：块状构造，有时下伏网脉状或浸染状硫化物
围岩蚀变：沸石化、蒙脱石化、硅化、绿泥石化、绢云母化
控矿因素：矿体位于长英质火山或火山—沉积岩的顶部附近；靠近火山作用中心；常有角砾岩化；靠近火山岩穹窿分布
风化变化：黄、红、棕色铁帽
矿床实例
加拿大德克里矿床、日本

（引自 W. R. Qochi, 1988）

2. 矿床成因模式

矿床成因模式又称矿床概念模式，其在矿产勘查中的应用又称为理论找矿。我们把根据已知同类型矿床的野外观察和实验室资料获得的某些假设推断的地质作用和这类矿床的

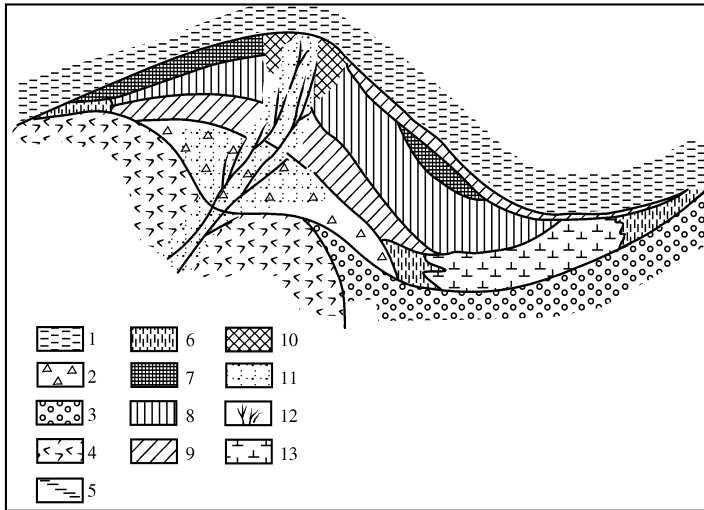


图 4-2 典型黑铁矿床的理想横剖面图

(据池三川, 1988)

- 1—酸性凝灰岩；2—爆发角砾岩；3—酸性凝灰岩角砾岩；4—白色流纹岩穹顶；5—含铁燧石；6—粘土；
7—重晶石矿石；8—黑铁矿石，包括块状方铅矿、闪锌矿、斑铜矿；9—黄铁矿石（含铜黄铁矿）；10—非
常状矿石；11—硅质矿石；12—细脉网状矿石，包括黄铁矿、黄铜矿、石英；13—石膏矿石

特征作出的成矿理论合理解释称为矿床成因模式。矿床成因模式分析了成矿物质的来源、迁移和富集的控制因素，描述了成矿作用的时空演化关系，解释了矿床各种特征产生的原因，从而对矿床的认识由感性上升到理性阶段，能够从理论上阐明矿床存在模式中的各种现象，并且可以剔除矿床存在模式中的非本质的不可靠的特征部分，是成矿学理论新的表达方式，在地质找矿中更具有实用性。因此，矿床成因模式是矿床存在模式在理论上的延伸，是矿床存在模式向更高层次演化的必然发展趋势。矿床成因模式现在多用图解—图画表达（图 4-3），显示成矿过程的不同阶段及其演化特征。由于早先对矿床的研究工作只注重成因关系的研究，多用概念化的表格式表示，而对各种识别特征注意不够，所以矿床的成因模式又称为矿床概念模式。

3. 矿床品位-数量模式

矿床品位-数量模式又称矿床品位-吨位模式。这类模式属于矿床统计模式。

建立矿床品位-数量模式，第一步是，搜集一组矿床类型相同且勘查程度较高的矿床资料用于建立模式。正确的矿床分类是很重要的，因为不同类型的矿床其品位和吨位面的差异通常比较明显。第二步是，用统计方法分析这些数据，包括拟合所观测的品位和吨位并检验它们之间的关系。

矿床品位-数量模式常常用一系列图来表示，一种图表示吨位，其他图表示每种矿床的品位。

矿床品位-数量模式可以帮助确定勘查目标。图 4-4 是 5 类不同成因锡矿床品位数量模式的综合，图中对每类锡矿床都根据品位（吨位）的平均值加上和减去其品位（吨位），

对数值的标准差定义了一个区域，每个区域都包含大约 45% 的矿床。由该图可以看出，交代型锡矿床具有较高的品位和吨位。如果其他因素，如地质因素，采矿成本等都相似的话，则交代型锡矿床是最有利的勘查目标。

二、建立成矿模式的意义

建立成矿模式，作为矿床研究的一种方法，较早地得到了地质工作者的应用，并主要运用于矿床成因机理的探讨。随着先进的仪器和分析技术被引入地质学科，由同位素年代学、地球化学、地球物理、遥感和计算机方法产生的大量的精确资料，使得许多矿床的成因问题逐渐得到解释、使成矿模式建立在更加科学的基础上，因而成矿模式的研究愈来愈受到国内外地质工作者的关注和重视。人们越来越深刻地认识到，建立成矿模式具有重要的理论意义和实际意义，主要表现在以下几个方面：

(1) 建立成矿模式，不仅是矿床学研究的重要课题之一，而且是矿床学进展的重要标志和发展趋势；

(2) 建立成矿模式，能为地质类比和地质研究提供思想，给予启迪，帮助勘查人员把注意力集中在靶区内关键性地质特征上；

(3) 建立成矿模式，可以集中归纳复杂的地质现象，在具体勘查过程中，使地质人员明白是在探寻矿床的哪个部位；

(4) 建立成矿模式，可以提供有关成矿作用的完整概念，有助于研究整个成矿环境并区分成矿环境和非成矿环境；

(5) 建立成矿模式，可以帮助领导者加强对勘查项目的了解程度，洞察全局，把握重点，制订合理而经济的预测工作方案，提高预测成果的可靠性，实行最佳的矿床勘查流程和使用最佳的勘查技术方法组合；

(6) 建立成矿模式，是矿床研究从定性向定量转化过程中不可缺少的重要环节。

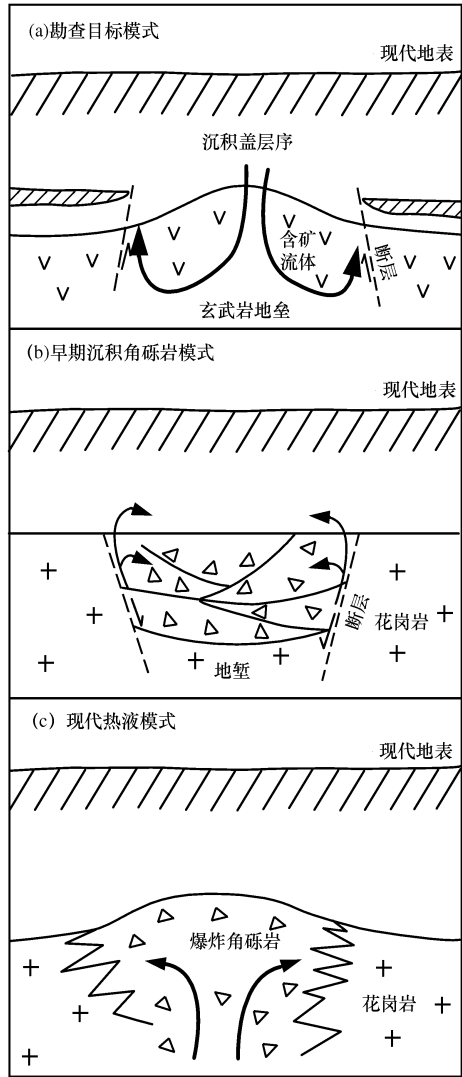


图 4-3 勘查奥林匹克坝矿床过程中建立的矿床不同成因模式
(据 Sellby, 1991)

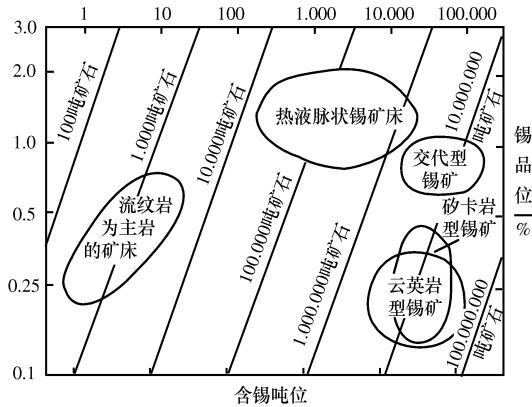


图 4-4 五类原生锡矿床的品位和吨位域

(据 Menzie 等, 1986)

这些域是根据平均值加、减品位和吨位对数值的标准差而确定的

三、成矿模式的内容

成矿模式的内容包括：

- (1) 矿床(体)形成的地质背景；
- (2) 矿床的内部特征(品位变化、矿石工业品级、化学成分、元素组合、矿石矿物组合、矿物组合、各品级的矿石储量、同位素特征等)；
- (3) 矿床的外部特征(矿床及矿体规模、形态、产状、围岩特征、蚀变作用等)；
- (4) 矿床的成因特征，指成矿物质来源、成矿物质的搬运方式、成矿元素富集(或分散)的物理化学条件等；
- (5) 地、物、化、遥感综合找矿信息，系指与地质背景有关的地球物理、地球化学卫星影像特征等；
- (6) 成矿控制因素，包括控制成矿因素、伴随成矿因素、改造成矿因素。

总之，成矿模式是对控矿因素、矿化的时空变化规律、矿化标志、成因特征等进行高度的归纳，将复杂多变的成矿作用和地质现象上升为成矿作用的地质理论，并用图表、文字或数字表达出来，使人们对一组相似矿床的成矿作用有一个整体概念的认识。

第四节 矿产预测方法

一、国内外研究现状

矿产预测是对未知矿床(体)作出的预测，所以它的重大技术问题是选择合理的预测方法。矿产预测方法系指由描述地质体的各类数据(地、物、化、遥感)转化为矿产资源信息和预测对象(潜在矿床、体)整个过程所涉及的一切地质理论和技术方法。按这个范畴来说，矿产预测方法是个体系。其单一的方法只能阐明将来可能和应当发现的矿(体)的途径。矿产预测方法的整个体系才能预测各阶段的相互关系，各种方法的科学和逻辑性

及其预测结果的相对可靠性。用近代科学的术语来说，矿产预测方法属信息的综合和知识综合的最高智能结果。

国内外众多学者对矿产预测方法作了论述，表 4-3 是对这些论述的总概括。从国内外研究现状可以看出：

表 4-3 国内外成矿预测方法分类对照表

序号	作者	方法分类
1	Юев (前苏联) 秋也夫	1. 启发式预测 (专家预测); 2. 数学模型预测
2	沙利文 (W.G.Sullivan 美国) 克雷康贝 (Claycombe 美国)	1. 定性预测法; 2. 时间系列预测法; 3. 因果模型预测法
3	道勃罗夫 (В.Добров 前苏联)	预测方法分 3 类 8 组 19 种, 3 类是: 1. 专家评估法; 2. 趋势外推法; 3. 模型法
4	琼斯 (H.Jones 美国) 特维斯 (B.Twiss 美国)	1. 定性预测; 2. 定量预测; 3. 时间预测; 4. 概率预测
5	哈里斯 (D.P.Harris 美国)	1. 多元统计预测法; 2. 主观评价法
6	龙德克维斯特 (Д.В.Рундквист)	1. 地质-几何法; 2. 历史演化法; 3. 共生分析法; 4. 构造-建造-岩相法
7	赵鹏大等 (1983)	1. 矿产资源潜力评价方法; 2. 成矿远景区定量预测方法; 3. 地质标志预测方法和含矿性评价方法
8	翟裕生 (1984)	1. 非地质标志评价方法; 2. 主观评价方法; 3. 简单地质标志评价方法; 4. 成矿地质标志评价方法; 5. 定性地质标志评价方法; 6. 成因地质模型评价法
9	王世称 (1986)	共分 15 种, 即: 按预测目的分 5 类, 每类又按离散型、连续型和混合型 3 类方法, 共有 15 种
10	卢祚祥等 (1988)	1. 归纳法 (编图法); 2. 类比法; 3. 统计分析法; 4. 综合法

(1) 按历史进程来说，矿产预测的方法是从简到繁，由抽象到实用，当前特别注重使用实用的方法；

(2) 随着找矿难度的日益增加，对矿产预测方法提出了更高的要求，特别是对隐伏矿床的预测来说，选择方法的要求更高；

(3) 主观预测方法始终贯穿在矿产预测方法的发展过程之中，且占有重要的地位，将来仍然要作为主要方法来使用；

(4) 目前矿产预测方法正由单因素预测向多因素预测发展；由单一方法预测向综合技术方法预测发展；由成矿模式向找矿模式发展；由二维预测向三维预测发展；由定性预测向定量预测发展。

二、矿产预测方法的分类

在矿产预测的实践中，可供使用的预测方法众多，但是概括起来可以分为以下 4 类。

1. 经验模式预测

经验模式预测方法是建立在类比理论基础之上，一般通过模式类比来实现的。该方法以矿床描述（存在）模式为基础，通过地质工作者的实践经验实施。

类比理论是矿产预测的基本理论之一，类比方法是矿产预测首要的或主要的方法，其

他矿产预测方法都建立在类比方法基础之上。

相似地质环境应有相似的矿床产出，相同的地质范围应有相近或等同的资源量。据此，应用成矿模式指导矿产预测成为首要的方法，也是地质类比的基本依据。模式类比可分为：

- (1) 人工思维类比，也称经验类比；
- (2) 成矿模式集（即各类成矿模式的汇总）的排列类比；
- (3) 计算机模拟类比，是建立在模式识别及图像处理技术基础之上的类比技术；
- (4) 专家系统类比。

2. 理论模型预测

理论模型预测方法以矿床成因（概念）模式为基础，应用现代地质理论进行预测。目前，由于地质理论尚处于发展阶段，因此在预测的实践中还存在一定的困难，该方法还处在探索之中。一旦地质理论出现较大的突破，理论预测必将随之出现突破性进展。

3. 统计分析预测

统计分析预测方法以采用数理统计方法建立的基本统计模型为基础，然后进行外推预测。通常是在已勘探地区，以已知矿床为标准统计样品，建立统计模型。外推预测则是在未知区进行的。未知区一般只具有普查工作程度。由于模型区地质工作程度高，相应能选择到较丰富的反映矿床分布规律的地质变量，其中包括直接的和间接的变量，这种模型称为基本统计模型。将基本统计模型进行外推预测时，在未知区内许多直接变量是取不到的，因而模型不能直接使用。为了使模型能适用于预测条件，必须将基本统计模型进行适当处理，这种处理过程称之为模型的简化，所得到的模型称之为原基本统计模型的简化模型。简化模型主要是由间接变量组成的。由于间接变量与直接变量往往是有联系的，因此简化模型实质上是变量之间信息转化的结果。

简化模型具有以下基本特点：①在基本统计模型基础上，经简化形成的适应预测要求的定量模型；②简化模型中的变量组合是普查评价准则；③简化模型最大限度地逼近基本统计模型；④简化模型与基本统计模型具有继承性。

4. 综合方法预测

综合方法预测又称综合信息矿产预测法（王世称，1989），是根据预测普查模式的理论和找矿的技术方法所获得的成矿信息，建立综合信息找矿模型，进行成矿预测的方法。

王世称（1989）认为，综合信息矿产预测法和常规的成矿预测方法在理论和方法上有一定差别。常规的矿产预测法是以成矿模式为基础，以成矿理论为指导，通过成矿规律研究达到预测和圈定靶区的目的。它是矿床学走向实用阶段的重要标志。但由于矿床成因问题是矿床学长期争论的焦点，受其影响，成矿模式的建立也不统一，预测结果有时也是迥异的。

综合信息预测法是以找矿模型为基础，运用矿床的地质、地球物理、地球化学、遥感地质等综合信息开展预测工作。它着眼于矿床成矿条件的分析，实际找矿标志的研究和成矿规律（主要是时、空和共生规律）的总结，较少受矿床成因争论的影响，因而具有更大的客观性和实用性。综合信息预测以地质为先验前提，以综合信息模型为目标，以数学地质和计算机技术为手段，通过信息的综合、转换、分析、处理和解释工作，建立综合信息的有机联系，深化对成矿规律的认识，达到定位预测的目的。该方法是常规矿产预测工作

的深化和推进,是开展隐伏矿和盲矿体资源预测的主要方法之一,也是地质、物探、化探、遥感地质相互组合和统一的基本途径。为了建立综合信息找矿模型,要遵循从已知到未知的原则,确定典型的地质体、矿床或矿体与各种信息间的相关联系,以指导相似和邻近地区的预测评价。综合信息成矿预测图的编制,同样需要先编制一些基础图件,如综合信息解释图、物探构造纲要图、推断深部地质图、构造化探图、构造重砂图等,在此基础上编制成矿规律图。综合信息解释方法与成矿系列理论的结合,是编制预测图的基础,反映成矿系列的成矿规律图可作为成矿预测图的底图。在此基础上,圈定不同级别的找矿靶区,进行成矿预测。

第五节 综合方法成矿预测实例:香花岭地区 1:5万综合方法成矿预测

香花岭地区所进行的地质、遥感、物探、化探应用研究表明,综合方法用于矿产勘查,加快了速度,提高了质量,尤其是综合方法成矿预测成效明显。现将有关情况作一简要介绍。

一、地质概况

该区位于南岭加里东-印支褶皱带的次级构造单元江华—临武东西向(加里东)褶皱隆起带与莱阳—宜章南北向(印支)褶皱带的交汇复合部位。区内地质构造复杂,岩浆活动强烈,矿产资源丰富,是南岭有色稀有多金属成矿带中最有希望的远景区之一。

区内出露的地层有寒武系(为一套长石石英砂岩夹板岩)、泥盆系(主要为碎屑岩和碳酸盐岩)、石炭系(主要为滨海沼泽相碎屑岩、次为碳酸盐岩)、二叠系(主要为含煤碎屑岩、浅海碳酸盐岩及硅质岩)、三叠系(为浅海碳酸盐岩类岩石)、白垩系(为紫红色陆相碎屑岩)及第四系。

区内加里东期褶皱为穹窿构造,核部主要由寒武系组成,走向北东—北东东;印支期褶皱为上古生界组成的复背斜、复向斜,轴向一般为南北向北东方向偏转;燕山期褶皱为白垩系组成的宽缓陆相红盆,轴向为北北东向,南北向断裂纵贯全区,以断裂带宽、断距大为特色;北北东—北东向断裂以反时针平推逆断层为特征,东西向断裂以隐伏、半隐伏断裂为特征,控制着区内南北构造分区,北北向断裂多为隐伏或半隐伏断裂。

区内岩浆岩以燕山早期酸性小侵入体为主,具有浅侵入、浅剥蚀的特点;印支期骑田岭岩基在区内仅见小部分。其中燕山期第一期侵入体侵入到寒武、泥盆系之中,呈岩株状产出,岩性为花岗岩、钾长花岗岩、花岗斑岩等;第二期侵入体的岩性为细粒、中细粒斑状黑云母花岗岩,其上为白垩系覆盖;岩脉发育于香花岭短轴背斜轴部寒武系以及东北翼泥盆系中,为细粒花岗岩脉、花岗细晶岩脉。

在综合调查前该区有已知矿(床)点44处,主要分布在香花岭短轴背斜东翼泥盆系跳马涧组、黄公塘组和核部寒武系以及南北倾伏端的跳马涧组和黄公塘组层位中,明显受燕山早期岩浆岩与多方向断裂交汇部位控制,并具分带现象。主要矿床成因类型有岩浆晚期分异交代型铌钼矿床,接触交代矽卡岩型钨锡铅锌矿床,热液裂隙充填交代型或裂隙充填型铅锌钨锡矿床,层控型铅锌矿床,沉积型煤、铁、锰矿以及次生风化淋滤型铁、锰、

高岭土矿等。

二、地质-矿产信息提取

(一) 遥感图像的地质解译

遥感地质解译片种以大、中比例尺航空图像为主, 辅以小比例尺航天图像, 采用目视解译(立体镜观察), 主要解译对象为地质构造、岩体(株)、地层(岩性)及蚀变围岩等。

1. 构造信息的提取

(1) 断裂信息的提取: 遥感图像上断裂解译的直接标志是线性体, 间接解译标志是地貌上处于正、负地形交接边缘, 缺乏过渡性地貌, 表现为深沟、河谷呈直线展布, 山体被线性体切开或位移, 河流, 小溪较大距离呈直线状或大角度拐弯, 水体(泉井)沿一定方向呈线性排列等。根据这些直接、间接解译标志, 即可提取与断裂构造有关的信息, 但须注意排除某些干扰因素。此外, 遥感图像具有较强的自然概括能力, 可利用从小比例尺到大比例尺的系列遥感图像资料进行系统解译, 以获得各种规模、级别的断裂构造信息。在基岩出露良好地区, 利用立体镜对航空相片的相对进行观察, 尚可看出断裂构造的产状, 有时还可以确定其动力学性质。

(2) 褶皱信息的提取: 褶皱影像的主要标志是地层(岩性)单元呈相同的条带影像平行对称分布(或一端封闭)。在影像上背斜多呈正地形(形成隆起、低丘、垄岗), 水系呈放射状; 向斜多呈负地形(形成洼地、凹陷), 分布有顺轴向的小溪或树枝状水系等。

2. 侵入体信息的提取

主要是从环形影像中圈定地表已出露的侵入体, 或对地下半隐伏—隐伏的侵入体进行推断。该区由侵入体形成的环形影像, 一般为地形隆起区, 在复式环形影像中, 主环反映深部有大岩基存在, 重叠于主环上的小环, 反映在深部岩基上存在高侵位的中小岩株。出露地表的侵入体, 其环形影像清晰, 色调均一, 花纹粗糙, 形态表现为封闭的不规则的环状, 与围岩影像差异明显, 地貌上多呈正地形, 水系为放射状。而侵入体附近的岩瘤、岩脉, 一般色调浅而均匀, 纹理细腻均一, 形态为扁豆状、条带状或小环状。

3. 地层(岩性)信息的提取

通过对岩层组合体的地质解译来实现地层(岩性)信息的提取。当岩层组合体在遥感图像上的分辨率低时, 对该组合体进行岩性解译的信息量由相邻岩层组合体的稳定性来决定。因此, 岩层组合体的可解性主要依据岩层的相对稳定性, 即以各种岩层影纹变化及其与地貌之间的关系作为解译岩性单元的基本依据。不同的岩性组合及岩石的颜色、粒度、化学成分、剥蚀程度等特征, 在影像上反映为不同的颜色、色调、纹理图案、反差和阴影等(为直接解译标志), 而且在地貌、水系、植被等特征方面也有反映(为间接解译标志)。根据这些直接、间接标志, 即可提取不同地层(岩性)的信息, 划分出地层(岩性)解译单元。

4. 遥感图像解译结果的图示

对单一片种进行详细地质解译后, 将解译出的各地质体按其在图像上的位置及相应 的地形、地貌特征, 转绘于 1:2.5 万或 1:5 万地形图上, 即可得到单一片种的遥感影像地质解译图(如香花岭地区黑白航片影像地质解译图、彩色红外影像地质解译图、合成孔径侧视雷达影像地质解译图)。

在单一片种解译的基础上,综合归纳各片种影像地质解译的共同处和独特处,转绘于同一张1:5万地形图上,确定出区内地层(岩性)影像单元和填图标志层,以及区内构造与侵入体的分布状态,首先编制单一地质要素的遥感影像综合解译图(如遥感影像岩性图、线性构造图),然后编制出综合性的遥感影像地质图。

(二) 重磁资料的地质解释

1. 重磁数据处理

对1:5万航磁资料(精度为 ± 5 nT和 ± 1 nT)及1:10万重力资料(总精度为 $\pm 1 \times 10^{-5}$ m/s²),进行了数据处理。主要对航磁资料进行化极处理以及对航磁化极结果和重力资料进行向上延拓处理(上延系列为0.25、0.5、1.0、2.0、5.0 km),并相应求取各延拓高度上的EW、SN、NE45°、NW45°4个方向的水平一次导数和垂向二次导数,目的在于压制干扰,沿垂向分层提取有用地质信息,构制推断立体地质图。同时还对航磁化极场和重力场进行了维纳滤波处理,及求取各分离场的4个方向的水平一导和垂向一、二导等。

为获取不同深度层次上的航磁化极 ΔT_{\perp} 的局部场,计算了 $\Delta T_{\perp}(0) - \Delta T_{\perp}(2 \text{ km})$ 和 $\Delta T_{\perp}(2 \text{ km}) - \Delta T_{\perp}(5 \text{ km})$ 两个不同深度层次的磁场差值,编制了相应剩余异常图。还在5条主干剖面上计算了布格重力异常的归一化总梯度模及相位,以定性了解较大的、较深的断裂和隐伏花岗岩的深部形态。

2. 目标地质体的地质-地球物理模型

根据地质先验前提,对1:5万航磁、重力调查所能发现的目标地质体(如花岗岩体、花岗岩体接触带的磁性帽、矿化蚀变体、磁性蚀变带、断裂及断裂构造带等),选择典型地段测制综合剖面,以建立它们的地质、地球物理模型,同时据之总结识别标志。以客观揭示目标地质体与重磁场的对应关系。

(1) 花岗岩体的识别标志:高精度的密度资料表明,正常的花岗岩密度平均值为 $2.59 \sim 2.62 \text{ g/cm}^3$,古生界(围岩)密度平均值为 $2.70 \sim 2.72 \text{ g/cm}^3$,花岗岩密度低 $0.08 \sim 0.13 \text{ g/cm}^3$ (平均低 0.11 g/cm^3),因此岩体上出现布格重力负异常。

高精度的磁性资料表明,花岗岩的磁化率 κ 为 $(0 \sim 5) \times 4\pi \times 10^{-6} \text{ SI}$,因岩浆侵入发生热变质的下古生界碎屑岩等围岩的 κ 为 $(20 \sim 40) \times 4\pi \times 10^{-6} \text{ SI}$,因此在岩体上出现磁力低。

综上所述,识别花岗岩体的重磁标志,是具有重磁同步降低的局部负异常。

(2) 花岗岩体接触带的“磁性帽”:花岗岩体隐伏时,其围岩(主要是寒武系碎屑岩)的热变质外壳具有磁性,被称之为“磁性帽”,因而在隐伏花岗岩基上方的重力负异常分布区相应出现航磁正异常(ΔT_{\max} 约为25 nT)。当无磁性岩体上侵冲破“磁性帽”时,则会出现“开天窗”现象,即出现磁力低,因此“天窗区”指示隐伏岩体的隆起部位,在岩体顶面凹陷区,即“磁性帽”局部增厚区,则会同时出现局部正磁异常与重力高。由此可知,花岗岩体接触带的“磁性帽”,是识别隐伏花岗岩体的重要标志,由其“开天窗”的次级变化特征,尚可定性判别隐伏岩基顶面的起伏状态。

(3) 矿化蚀变体的识别标志:根据该区数个砂卡岩—高温锡石硫化物型矿床的资料,矿体及矿化围岩蚀变体因富有磁黄铁矿、磁铁矿,其磁化率 κ 达 $(n \times 100 \sim 1000) \times 4\pi \times 10^{-6} \text{ SI}$,所以在其上出现明显的局部磁异常。当矿化蚀变体赋存工业矿体时,其磁异常强度和规模一般都比较大大。三合圩锡多金属矿区就是根据此种异常特征验证见矿的。

(4) 磁性蚀变带的识别标志：磁性蚀变带是由数个呈串珠状分布的矿化蚀变体构成，其规模较大，隐伏地下。由它引起的磁异常与“磁性帽”局部增厚即花岗岩顶面凹陷区所引起的磁异常十分类似，仅就磁异常，二者不易区分，需结合重力异常加以识别；在“磁性帽”增厚区，同时出现局部正磁异常与正重力异常，而在磁性蚀变带上没有与局部正磁异常相伴的重力高。

(5) 断裂及断裂构造带的识别标志：该区重力线性梯级带和长轴状磁异常主要反映花岗岩基的直线型边界，此种边界说明岩体是受断裂控制所形成，所以可将它们作为确定断裂或断裂构造带的标志。由重磁局部异常带所反映的断裂构造带亦是重要识别标志，该带呈狭长状，带内有隐伏岩株和硫化物矿床存在，其控矿作用明显。

3. 信息提取和关联解释

(1) 信息提取：用上述识别标志可从布格重力异常图和航磁化极异常图及其经电算处理的各种派生参数图上提取目标地质体的有用信息。例如：①以区内最大一级重力异常梯级带，重力和航磁化极 (ΔT_{\perp}) 区域场的异常轴向，不同重磁场分界线，重力归一化总梯度模剖面上的突变线性带等作为反映较大较深隐伏断裂存在信息。②以重力和 ΔT_{\perp} 局部场的异常轴向（包括线性带状异常及串珠状分布的异常等）作为反映浅部断裂或低级别断裂存在的信息。③以特定深度层的 ΔT_{\perp} 剩余异常轴向作为反映特定深度构造层轴向的信息，比如以 ΔT_{\perp} (2 km) \sim ΔT_{\perp} (5 km) 剩余异常图上的东西向轴向反映加里东构造层的东西向轴向。④以区内最大一级圈闭形重力负异常作为反映隐伏花岗岩基存在的的信息，并在该重力负异常范围内，以次级重、磁正异常作为反映顶部凹陷（或鞍部）存在的的信息和以次级重、磁负异常作为反映顶部隆起存在的的信息。⑤以具有一定梯度的孤立型局部重力负异常和相应的局部磁力低，作为反映高侵位岩株存在的的信息，并以明显局部重力负异常区有不完全对应的蚀变体型局部正磁异常作为反映隐伏岩株存在的的信息（间接指示有热源体）。⑥以具有一定规模和场强的 ΔT_{\perp} 局部正异常作为反映矿化蚀变体存在的的信息。

(2) 关联解释：为反映地质体的垂向变化和不同地质体之间的相互关系以及满足立体地质填图的需要，需将反映不同层次地质体的信息关联起来进行解释。多种参数信息的综合关联，可从多个侧面反映地质体的全貌，使对地质体的空间变化能有更充分的认识。采用“上延系列水平一导一垂向导关联解释方法”，可筛除不可靠信息，突出有用信息，对断裂、岩体、蚀变体的三维形态加以研究。

断裂的关联解释 首先从每个延拓高度平面的各方向导数异常图中提取特征线（以异常极大值、极小值轴线，局部异常带轴线）编制特征线图，然后将同一平面 0° 、 45° 、 90° 、 135° 4 个方向的特征线图和多个延拓高度平面的特征线图一一叠置，将那些在叠置过程中多次重复显示的特征线提取出来编制成特征线图，并将其转换为断裂构造图。另外，根据特征线间呈现的明显截切、阻挡、穿插及特征线本身的横向位移来确定断裂构造之间相互关系和断裂的时序。还可以根据磁源（板状体）极大值轴线随向上延拓而发生位移的方向变化来确定断裂的倾向。最后，根据关联解释结果分别编制重力和航磁推断的断裂构造图。

岩体、蚀变体的关联解释 以垂向导零等值线圈定隐伏岩体和蚀变体的边界，并将各延拓高度平面上的垂向导图的圈定结果进行叠置，即可编制重力或航磁推断的岩体、蚀变体分布图。

固定封闭构造 将上述重力、航磁关联解释所推断的断裂、岩体、蚀变体等进行综合，可以得到重磁综合推断成果图。在此基础上可以进一步圈定封闭构造（是矿液迁移富集的必要条件），其做法为：首先，在重磁推断成果图上，研究那些在平面上交汇成封闭图形的诸条断裂的倾向，当一致向外倾斜时，可视其为全封闭构造，若其中有一条断裂向内倾，则视为半封闭构造。其次，以组成封闭构造的诸断裂的等级，确定封闭构造的等级，即将推断的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级断裂所分别围成的封闭构造相应定为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级封闭构造。并对封闭构造的控矿条件进行评价，认为全封闭构造的控矿条件优于半封闭构造，倾角较缓的封闭构造优于倾角较陡的封闭构造。在一个封闭构造内，又以缓倾角断裂交汇而成的内侧区为最优。Ⅲ级封闭构造大都位于有岩株、蚀变体的隆起部位，与矿产图对比，发现97%的已知矿床落在其中，表明控矿条件甚好。

4. 隐伏岩体的定量推断

香花岭隐伏花岗岩基与成矿的关系密切，研究其顶面起伏（隆起、凹陷、陡坡带、缓坡带）以及高侵位岩株的形态轮廓与顶深等，是立体地质填图和成矿预测的重要内容，因此对布格重力异常采用二维半最优化迭代反演方法进行了定量计算。

(1) 剖面布置：重点（主岩基）地区，计算剖面间距为1.5~2.5 km，一般地区以少量剖面控制。每条剖面上要求有1~2个已知深度的计算点。共布置计算剖面11条，基本控制了整个图幅。

(2) 布格重力异常的区域场校正：尽可能消除背景场，是定量计算取得满意结果的首要条件。经试验，以用 $30 \times 30 \text{ km}^2$ 窗口圆滑滤波的效果为佳。

(3) 建立初始地质模型：前述重磁定性推断结果，是建立初始地质模型的基础，曾以重力异常归一化矢量模所提供的超复侵入式岩体模型作为主岩基的雏形。

(4) 选择围岩与岩体的密度差值：由密度资料给出初始值为 -0.11 g/cm^3 ，通过计算，修改为 -0.12 g/cm^3 。一次计算就有较高的拟合度，说明所选择的密度差值和所建立的初始模型都是比较合理的。

(5) 围岩内部密度不均匀影响校正：本区花岗岩密度比较均匀，但其围岩密度不够均匀（主要不均匀层为石炭系灰岩，它的密度比其他围岩的平均密度高 0.05 g/cm^3 ）。为消除其影响，在其局部增厚区，以 0.05 g/cm^3 密度差、500 m厚、300 m宽的模型计算其布格异常值，以此值对计算剖面的布格异常曲线进行校正，然后再对校正后的计算剖面定量计算花岗岩顶面深度。这样就基本消除了围岩中主要不均匀层的影响。

(6) 等深度图的定性修正：由于剖面计算点不足以控制其细部，故尚需以重磁定性推断结果加以修饰与补充小岩株，以及修正主岩基顶部隆起和凹陷的轴向、范围、两翼的陡缓等，从而编出隐伏岩体顶板等深度图（参见图3-10）。

(7) 计算精度估计：根据与该区的已知钻孔控制的深度比较（岩体顶面深度在海拔高程0~400 m之间），其深度差值在50~200 m之间，可见其计算精度较高，基本能满足1:5万地质填图的需要。

5. 重磁资料地质解释结果图示

在分别编制重力和航磁推断岩基岩、断裂构造平面图以及隐伏岩体顶面起伏推断平面图的基础上，综合编制下列图件：

(1) 隐伏岩体（断裂）预测图；

- (2) 综合推断立体地质图；
- (3) 隐伏花岗岩体地质，地球物理综合模型图；
- (4) 深部控矿信息图；
- (5) 浅部控矿信息图；
- (6) 典型矿床地质、地球物理综合模型图。

其中的立体地质图以“剖面群”形式表达地质体的空间变化。编制该图所用的资料包括地质填图成果和由重、磁解释（定量计算）得到的花岗岩体顶面深度及隐伏断裂、隐伏矿化蚀变体、蚀变带等推断成果。对这些资料进行从地表到地下一定深度的有机关联后，即可编制推断立体地质图。

控矿信息图按深部（地下一定深度）和浅部两个层次分别编制。深部控矿信息图主要图示平均深度为4 km左右的深部地质信息，诸如隐伏控岩断裂，较大岩株顶面范围及深度，主岩基顶面等深度线所示边界，并划分内部隆起和凹陷、陡坡带、缓坡带等范围，以及Ⅰ级封闭构造、主要褶皱轴线、隐伏构造层轴向等。浅部控矿信息图主要图示控岩（小岩体）断裂、控矿断裂、隐伏岩株、矿化蚀变体以及Ⅲ级封闭构造等。有了这两个层次的控矿信息图，就为编制成矿规律图及成矿预测图打下了比较坚实的基础。

（三）化探资料的综合研究

1. 化探数据处理和基本图件编制

在背景确定、异常下限确定和异常浓度分带、异常级别划分以及异常筛选等方面，均按常规方法，同时还考虑到化探数据具有随机性和结构性的双重特点，选用了适应该特点的对数泛克立格法处理香花岭幅土壤地球化学测量（8个元素）和岩石地球化学测量（14个元素）的数据。

所编制的基本化探图件有单元素地球化学图、多元素综合异常图及单元素、多元素构造地球化学图等。

2. 地球化学资料的地质、矿产信息提取

（1）地球化学场与区域地质体的关联：不同的地质背景，其地球化学场、富集元素组合、地球化学构造特征线等均不相同，故可根据地球化学场与区域地质体的关联，提取有用地质信息，以解决某些基础地质问题，如地表侵入体的单元划分和序列归并，隐伏岩体预测，地层划分等。例如，香花岭幅西部地区出现地球化学高背景场和富集场构成南北长、东西短的菱形分布格局，但其中心为地球化学背景场与贫乏场，具有“地球化学山峰”围绕“地球化学洼地”分布的特点。据此认为该区分布一大型隐伏岩体，菱形四周为隐伏岩体的隆起区，成矿作用强烈，形成有色金属矿田，菱形中心为隐伏岩体的凹陷区，成矿作用相对较弱。

（2）地球化学异常与区域成矿地质体的关联：将地球化学异常图（尤其是经泛克立格法处理所得到的剩余异常图）叠置在矿产图上进行分析对比，即可提取区域成矿地质体的信息和总结其地球化学标志。例如，发现在香花岭序列侵入岩出露区，其地球化学异常的组合元素多、分带性好、规模大、强度高，出现的矿床，矿点多，特别是出现具有工业意义的矿床。在岩脉发育地段，异常的组合元素较多，规模和强度中等，出现的矿（化）点多；而在远离岩体或无岩脉地区，其异常的组合元素少，规模和强度小，出现的矿化点少。因此，可将出现多元素组合的异常区作为预测区。又如，还发现香花岭中型锡矿、铅

锌矿，深坑里中型白钨矿、铅锌多金属矿和萤石矿，东山中型白钨矿，包金山中型铅锌矿等均处在封闭、半封闭构造区则更值得重视。此外，由于不同级别和不同方向的断裂活动，导致不同的地球化学作用，促使元素迁移富集和分散的不同，深入研究这种不同的地球化学特征，对构造含矿性的研究大有帮助。该区一级断裂与二级断裂的地球化学特征差异大，其含矿性大不一样：一级断裂为区域性大断裂，其元素含量普遍较低，不含矿，这是因为一级断裂形成时期早于燕山期香花岭序列岩体的侵入时期，无热液运移，地球化学作用微弱，富集元素少；而二级断裂多出现在岩浆活动频繁区，其元素含量普遍都很高，尤其是主成矿元素 W、Sn、Pb、Zn 更为突出，且往往沿断裂有串珠状分布的综合异常和出现众多的矿床、矿点，系典型的含矿容矿断裂。至于不同方向的断裂，其含矿性也不尽相同，表明成矿专属性与断裂方向之间可能相关。

（四）重砂资料的综合研究

1. 编制重砂汇水盆地组合异常图

在编制汇水盆地网系图的基础上，首先编制单矿物汇水盆地底数图和异常图，然后再编制组合矿物汇水盆地异常图，即按矿物组，将各个单矿物汇水盆地异常图关联，提取该矿物组的汇水盆地异常，并用不同花纹或颜色表示不同组合矿物的汇水盆地异常。

2. 从重砂异常中提取地质-矿产信息

将组合矿物汇水盆地异常图叠置在地质、矿产图上进行对比分析，研究重砂异常与地质-矿产之间的对应关系，以提取与成矿预测有关的信息。

（1）不同的重砂矿物分布特征和富集规律反映不同的地质背景：图幅东部出现的矿物（特别是有用矿物）种类少、含量低，仅有中低温的辰砂、雄黄矿物分布和在褶皱轴部及断裂带上富集，反映东部沉积岩发育；而图幅西部出现的矿物不仅种类多，而且含量高，从岩浆射气矿物（硼、黄玉、萤石）和专属性矿物（铌钽、铍矿物），到高温（钨、锡、铋、钼）矿物，高中温（铅、锌、银、铜）矿物，中低温（锑、锡、铋、钼）矿物和接触交代变质矿物（符山石、透辉石等），均广泛分布、富集，反映西部岩浆岩发育。并且其富集趋势可反映岩体的不同部位：专属性矿物主要富集在岩体内，次为接触带；射气矿物和高温、高中温矿物富集在岩体内接触带，中低温矿物富集在远离岩体的外带与远带，接触交代变质矿物主要集中在接触带。

（2）重砂异常的分布特征揭示隐伏花岗岩体的存在：香花岭背斜区出现花岗岩专属性矿物、射气矿物、接触交代变质矿物和高中温矿物组合异常，绕背斜核部呈菱形分布（其中心仅出现低级别的单矿物含量）。这种格局揭示了背斜核部隐伏有花岗岩体，且其分布受菱形构造控制。另在侵入岩出露区，均有岩浆射气矿物、专属性矿物、接触交代变质矿物的三位一体组合富集特征。据此认为，区内具有类似特征的地段，可能也存在高侵位的半隐伏岩株。

（3）重砂异常的分带性反映成矿分带规律：该区重砂异常具有明显的矿物分带性，从岩体内部向外依次是：铌钽、黄玉→铍、硼、萤石→黑钨、锡石→铋、钼、白钨→铅、锌、锑→辰砂、雄黄。这种分带性反映香花岭地区相应的成矿分带规律，即岩体内是铌钽矿；接触带主要是钨、锡矿，次是铅、锌矿；外带是铅、锌矿；远带是锑矿。

（4）不同的标型重砂矿物组合富集区指示不同的找矿对象：在专属性矿物、岩浆射气矿物、高温和高中温矿物的组合矿物富集区（系岩浆活动频繁地区），主要找稀有金属矿

床；在岩浆射气矿物、接触交代变质矿物、高温和高中温以及中低温矿物的组合矿物富集区（系矿化蚀变和断裂构造发育地区），主要找接触交代的高中温矿床和中低温热液矿床。

（五）伽马能谱资料的综合研究

1. 编制伽马能谱测量基本图件

按 0.25 km^2 面积网格化取数编制 U、Th、K 含量的网格化数据图，求取 U、Th、K 平均含量值和标准离差，以平均含量值及其加一倍、二倍、三倍标准离差及减一倍标准离差，分别定为背景场、偏高场、高值场、异常场及偏低场（表 4-4），按该含量级别编制 U、Th、K 的平面图。另外计算 U/K、Th/K、Th/U 等比值，编制各比值的平面图，还以趋势分析法编制 U、Th、K 各阶趋势面图及其剩余异常图。

表 4-4 伽马能谱测量放射性元素含量场分级

元素	含量统计值		含量场分级				
	平均值 \bar{x}	标准离差 σ	背景场	偏高场	高值场	异常场	偏低场
U ($\times 10^{-6}$)	5.88	2.10	6	8~10	10~12	>12	<6
Th ($\times 10^{-6}$)	15.73	6.13	1.6	22~28	28~34	>34	<16
K (%)	1.20	0.59	1.2	1.8~2.4	2.4~3.0	>3.0	<1.2

2. 伽马能谱测量资料的解释推断

（1）分析、对比、总结主要地层、岩浆岩的能谱特征，进行岩浆岩的单元划分和序列归并，对第四纪覆盖层厚度不大地区的地层组及岩性段进行划分；

（2）根据岩体 U、Th、K 含量高于围岩的特点，将分布伽马能谱剩余异常群的地段推断为岩体及隐伏较浅的岩株分布地段；

（3）根据已知断裂带上总结的 U、Th、K 剩余异常具有规模较大，呈连续分布，或者规模不大，呈异常链（由等轴状、串珠状构成）分布等特点，将类似的异常地段推断为隐伏断裂带或断裂破碎带；

（4）根据已知矿田、矿床上总结的伽马能谱特征，将那些在伽马能谱高背景场区出现剩余异常的地段，推断为成矿有利地段。

综合各种推断成果，编制伽马能谱测量推断成果图。

三、综合方法成矿预测

（一）综合方法成矿预测工作流程

该区综合方法成矿预测按下列工作步骤进行：

（1）分析区内与花岗岩侵入体有关的热液交代型和热液充填型钨、锡、铅、锌、铋等系列矿床的成矿地质环境，建立主要矿产的地质概念模型，总结区域成矿地质规律，为提取各项基础资料中的成矿信息提供先验根据；

（2）从各种资料中提取所蕴含的成矿（控矿）信息，并通过彼此之间的关联，排除与预测对象无关的“干扰”信息，筛选与地质规律吻合的“有用”信息，编制不同深度的控矿信息图；

(3) 对不同深度的控矿信息进一步关联和综合,突出控矿因素的综合信息特征,编制综合信息成矿规律图,全面揭示主要矿产的生成和分布规律;

(4) 通过对该区典型矿田和矿床的研究,建立相应的地质—地球物理—地球化学—遥感影像综合模型,并根据模型所表现出来的综合信息特征,提炼反映矿田矿床存在的综合信息标志,以作为预测(找矿)的依据;

(5) 利用综合信息成矿规律图、综合信息模型图以及所提炼的预测(找矿)标志,对所要预测的矿产对象进行定性类比预测,以划分预测区;

(6) 在定性预测的基础上,系统进行量化预测,主要工作包括:选取统计单元、构置变量和赋值、确定模型单元、建立量化预测模型、对预测区分级和优选找矿靶区;

(7) 编制综合信息成矿预测图,表达定性预测和定量预测成果,并编写综合信息成矿预测报告,对预测方法和技术以及预测成果加以论述,对下一步普查工作布置提出具体建议。

(二) 建立主要矿产的地质概念模型和总结区域成矿规律

1. 主要矿产的地质概念模型

该区几乎所有的钨、锡、铅、锌、铋、铌等有色金属矿产都集中分布在香花岭方圆百余平方公里的地区,形成有名的香花岭锡多金属矿田。建立主要矿产的地质概念模型,就是将该矿田与地质构造、岩浆活动、矿源层等之间的依存关系予以揭示。

(1) 构造上位于加里东期江华—临武东西山褶皱隆起带与印支期莱阳—宜章南北向褶皱带的复合交汇部位,背斜核部由寒武纪塔山群(C_t)浅变质砂板岩基底组成,其上不整合了泥盆—石炭纪沉积盖层,以后又为印支—燕山期断裂所复杂化,形成双重叠加短轴背斜。其四周被规模较大的一级压扭性断裂(包括隐伏断裂)围成近SN向的菱形封闭区;

(2) 岩浆作用强烈,且具多期次活动的特点,矿田深处有隐伏花岗岩基存在,其上叠加的燕山早期高侵位的 SiO_2 过饱和、富碱质的浅部小侵入体,为有色、稀有金属的成矿母岩;

(3) 燕山期的NE、NW向及SN向的二级张扭性断裂发育,在其交汇区控制了高侵位岩株与大中型矿床的分布,而旁侧的低序次(三、四级)NE、NW向小断裂直接控制了矿体;

(4) 矿(床)围绕成矿岩体具有明显的分带性,即由岩体→接触带→围岩,依次分布有气成高温铌钽矿以及高、中、低温的钨、锡、铅、锌、银等矿(床)点,与矿化系列相应具有云英岩化、硅化、绿泥石化等围岩蚀变;

(5) 有寒武纪塔山群(C_t)和泥盆纪跳马涧组(Dt)的W、Sn矿源层及泥盆纪黄公塘组(Dh)的Pb、Zn矿源层的存在。

2. 有色(稀有)金属矿床的区域成矿规律

(1) 主要控矿因素

岩浆岩的控矿作用 有色(稀有)金属矿床的形成主要与 SiO_2 过饱和、富碱质的香花岭序列高侵位岩株有关;印支期骑田岭序列则表现出成矿物质贫乏,期后热液活动微弱的特点,成矿条件较差。

构造的控矿作用 内生金属矿主要分布在香花岭复背斜区,断裂构造具有逐级控矿和复合控矿的特点,一级断裂(为EW、SN、NNE向)主要控制着香花岭隐伏花岗岩基的定位和内生金属矿田的形成和区域分布;二级断裂(主要为NE、NW向)控制高侵位岩株

的产出和有色、稀有金属矿床的形成与分布；三级断裂（主要为 NE、NW、EW 向）则系容矿构造，对矿体具有直接控制作用。封闭构造对成矿有利，同一侵入体的非封闭构造区矿化微弱或不含矿。

地层的控矿作用 该区约有 82% 的内生矿（床）点分布于寒武纪塔山群（ C_t ）、泥盆纪跳马涧组（Dt）和黄公塘组（Dh）地层中，控矿作用明显。 C_t 为一套浅变质砂板岩，富含 Sb、Pb、Ag、Bi、W、Sn 以及 Zn、Be 等成矿元素，为区内有色金属矿的主要矿源层，已发现铅、锌、钨、锡矿（床）点 34 处，矿床成因类型主要为热液裂隙充填型和石英脉型；Dt 为紫红色砂岩夹粉砂质页岩，富含 W、Sn、Pb、Zn、Sb 等成矿元素，是该区又一重要矿源层，已见有 17 处钨、锡、铅、锌矿（床）点，主要为热液裂隙充填型；Dh 为深灰色块状白云岩夹灰岩，富含 Pb、Zn、W、Sn 等成矿元素，是铅、锌的主要矿源层，已发现铅、锌矿（床）点 11 处，主要为热液裂隙充填交代型，次为矽卡岩型。

（2）空间分布规律：从总体上看，该区的有色（稀有）金属矿产受香花岭背斜和发育其中的香花岭隐伏岩基的隆起区共同控制。该背斜区受 NE、NW 向断裂控制（形成菱形封闭区），沿这些断裂分布有一系列高侵位岩株，矿床、矿体的分布受其控制。背斜核部的隐伏岩体凹陷区，几乎未见任何矿化。

从成矿系列的角度可见该区内生矿（床）点分带规律明显，由岩体→接触带→接触外带→远带出现气成高温岩体分异交代型的铌钽、铍→高、中温接触交代型的钨、铅、锌、萤石→中温裂隙充填交代型的铅、锌、银、钨、锡→中、低温裂隙充填型铅、锌、银、铋、水晶这样一个演化序列。与此相应的蚀变分带为钾、钠长石化、云英岩化→矽卡岩化→硅化、碳酸盐化；地球化学分带为 Nb、Ta、Li、Be、B→W、Sn、Mo、Bi→Cu、Pb、Zn（W、Sn）→Pb、Zn、Sb、Ag、Au、Hg。重砂矿物分带则为铌钽、黄玉→铍、硼、萤石→黑钨、锡石→白钨、铋、钼—铅，锌、铋→辰砂、雄黄。

综上可将本区内生矿床的成矿作用概括为：原（后）生矿源层+燕山期（二、三级）断裂+燕山期（香花岭序列）岩浆期后热交代作用+地球化学（地球物理）障壁。

（三）建立典型矿田（矿床）的综合模型

1. 三合圩矿床综合模型

（1）矿床地质特征：三合圩矿床位于香花岭背斜北部倾伏端，为一隐伏锡多金属矿床，受北西向控岩控矿断裂与北东向控矿断裂复合控制，赋矿地层为泥盆纪跳马涧组，成矿母岩为燕山早期花岗岩株。矿体呈似层状、脉状，单层厚 0.6~3 m，最厚达 7.89 m，锡品位 0.2%~0.6%，铅锌品位 1%~2%，铋品位 0.1%~1%。矿石为锡石硫化物型，由深部向地表具锡矿—锡锌矿—锡铅锌矿—铅锌铋矿的垂直分带，其他共生矿物还有黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂等。围岩蚀变自上而下为铁锰碳酸盐化—硅化—绿泥石化—阳起石、透闪石化—电气石化，其中绿泥石化与锡矿关系最为密切。

（2）遥感影像特征：该矿床位于香花岭大型复式环形构造边缘，其分布区出现多层环形影像，并被多条东西及北西向线形影像穿切、交叉。

（3）地球物理特征：矿床分布区具有明显的局部负重力异常和局部正磁异常以及伽马能谱钾量异常，矿床的强围岩蚀变带与 ΔZ 磁异常峰值区对应，外侧弱蚀变体部位出现叠加的次级异常。

（4）地球化学特征：Sn、Pb、Zn 组合异常出现在矿床上方，呈条带状分布，由矿床

向外, Sn 异常逐渐消失, 出现 Pb、Zn 组合异常。据钻孔资料, 由深部向上, 异常组合为 Sn、Zn-Pb、Zn-Sb、Pb, 反映成矿元素随温度变化具垂直分带现象, 并有多次矿化重叠。

2. 香花岭有色、稀有金属矿田综合模型

以三合圩矿床实际模型为基础, 以香花岭有色、稀有金属矿田的综合信息为依据, 建立了该矿田的综合模型(图 4-5), 并概括出下列综合预测(找矿)标志:

(1) 地质标志: ①成矿母岩为隐伏、半隐伏的燕山期多单元高侵位复式花岗岩株, 当岩浆多次活动且岩株具有一定规模(大于 1.5 km)时, 对成矿较有利。在花岗岩体内部应着重找稀有金属矿; 在岩体内、外接触带上, 着重找钨、锡矿, 也要注意找铅、锌矿; 在外带和远带, 着重找铅、锌矿和铋矿。②在背斜区的二级 NE、NW 向断裂交汇部位常形成大、中型矿床, 三、四级断裂、裂隙中多形成小型矿床和矿点。③有利的赋矿地层(岩性)是: 寒武纪塔山群(C_t)砂板岩, 常形成钨矿; 泥盆纪跳马涧组(Dt)砂岩, 常形成锡矿; 泥盆纪黄公塘组(DJ)白云岩, 常形成铅、锌矿。

(2) 遥感影像标志: 矿田位于复式环形影像(构造)区, 其中的次级中、小环形影像(构造)区与矿区和矿床对应。

(3) 地球物理标志: ①矿田位于重力低值区和航磁高背景场区, 其中的矿区和矿床位于高磁区和中、弱局部磁异常区。②重磁推断 I 级复式封闭构造控制矿田, II 级控制矿区, III 级控制矿床, 其中以全封闭构造对成矿最为有利。③矿田位于伽马能谱的高背景场区, 矿区和矿床位于伽马能谱的剩余异常区, 特别是钾量高值区最有利成矿。

(4) 地球化学和重砂找矿标志: 矿田位于多元素地球化学高背景场和重砂矿物异常密集分布区, 矿区和矿床位于含量高、规模大、组分复杂、分带明显的化探和重砂异常区。当出现锂、铍、铌、钽等岩浆专属性矿物和黄玉、硼、萤石等射气矿物以及透辉石、符山石等接触交代变质矿物的富集与 Li、Nb、F、W、Bi、Mo 等元素组合时, 应注意找铌钽矿; 当出现射气矿物、接触交代变质矿物以及高、中温矿物和元素组合时, 应注意找钨、锡矿; 当出现射气矿物、接触交代变质矿物以及中、低温矿物与元素组合时, 应注意找铅、锌矿和铋矿。

(四) 定性预测

定性预测是指以提炼出的综合预测(找矿)标志为依据, 对所预测的矿产对象进行类比定位, 将预测区划分出来。

定性预测时利用上述标志对香花岭有色、稀有金属矿田的边界进行了圈定, 并且在该矿田范围内预测了隐伏矿床可能产出的地段(共划分出预测区 10 处, 如表 4-5 所列)。预测准则是:

(1) 有 W、Sn、Pb、Zn 等元素的岩石(或土壤)地球化学综合异常以及重砂组合异常, 且异常轴与主构造相吻合。

(2) 有高航磁异常和低重力异常, 地表对应有出露岩体或地下存在隐伏岩体。

(3) 有 NE、NW 向重磁反映吻合的断裂, 有封闭构造或两组相交的构造。

(4) 有遥感环形影像, 且环形影像和重磁反映的岩体相对应, 它们的边界比较一致。

(五) 定量化预测

定量化预测是指以数学地质方法对定性划分的预测区的成矿可能性和成矿规模作出定量评估和分级, 并从中优选出找矿靶区。主要有下列工作:

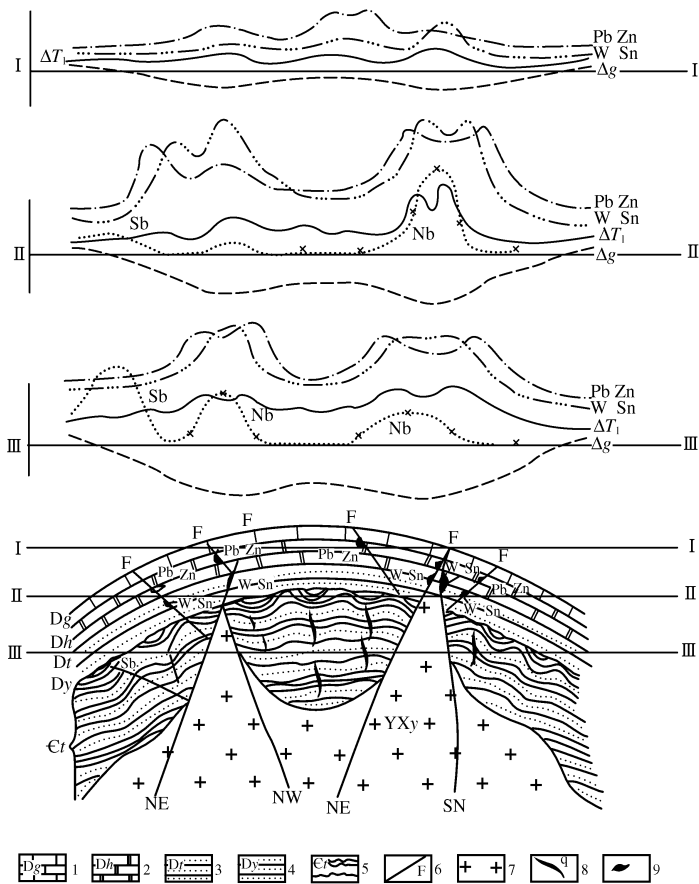


图 4-5 香花岭有色、稀有金属矿田综合找矿模型

1—棋子桥组灰岩；2—黄公塘组白云岩；3—跳马涧组砂岩；4—源口组含砾砂岩；5—塔山群砂板岩；6—控矿容矿断裂；7—香花岭序列花岗岩；8—含钨石英脉；9—矿体

表 4-5 预测区划分表

编号	名称	面积/km ²
1	SS 锡、铅锌预测区	2.5
2	LS 钨、锡、铅、锌预测区	2.6
3	SP 铅、锌预测区	9.0
4	SB 铅、锌预测区	9.0
5	SH 铅、锌、钨、锡预测区	4.0
6	AT 铅、钨预测区	4.8
7	SB 铅、锌预测区	5.0
8	NQ 铅、锌预测区	6.0
9	SJ 铅、锌预测区	5.5
10	ZS 铅、锌预测区	3.0

1. 选取统计单元

该区以成矿单元（已知矿床、矿点）作为统计单元的定义域，并充分考虑主要控矿因素及其空间分布规律，划出统计单元的具体边界，如控矿岩体的内外接触带、两组（NE向和NW向）控矿断裂构造的交汇部位、成矿有利地层的分布范围、化探异常和重砂异常分布的范围等，均可作为统计单元边界划定的参考依据。选取的统计单元共26个，如表4-6所列。

表 4-6 统计单元一览表

编号	名称	规模	矿种	编号	名称	规模	矿种
1	香花岭	中型矿床	锡	14	麦市	小型矿种	铅锌
2	铁砂坪	中型矿床	锡	15	黄泥旁	小型矿种	银铅锌
3	香花岭	中型矿床	铅锌	16	蛇形	小型矿种	钨锑
4	香花铺	中型矿床	铅锌	17	社背岭	小型矿种	锑
5	包金山	中型矿床	铅锌	18	包金山	矿点	锡
6	东山	中型矿床	白钨	19	沙子岭	矿点	锡
7	香花铺	中型矿床	白钨	20	铁砂坪	矿点	锡
8	大龙山	小型矿床	钨锡	21	九子十支	矿点	铅锌
9	尖峰岭	中型矿床	铌钽	22	龙水塘	矿点	铅锌
10	烂屋脚	小型矿床	钨锡多金属	23	五里山	矿点	钨
11	三十六湾	小型矿床	锡铅锌	24	热水坳	矿点	锂
12	铁砂坪	小型矿床	铅锌	25	东山南	矿点	银铅锌
13	铁砂坪	小型矿床	锡铅锌	26	癞子岭西	矿点	锡

2. 变量的构置和赋值

构置定量预测数学模型的变量，要从控制矿田和矿床资源体的各种因素中挑选所有与成矿有关的直接、间接信息。该区共挑选出41个变量，如表4-7所列。

变量的赋值取决于拟建立的定量预测数学模型对变量取值形式的要求，如特征分析和逻辑信息数学模型均要求“二态”取值。故该区对各变量进行“二态”赋值。其中有部分非“二态”型变量（如重力、航磁异常值等），系采用秩相关分析方法来实现数据离散，并进行“二态”赋值。

3. 模型单元的确定

用来建立定量预测数学模型的单元称为模型单元，它具有较完整的标志组合（变量比较齐全），而且矿产规模已知（有比较可靠的依据）。此外，模型单元与预测区同处在矿田范围内，以便定量评估时将所建立的模型外推到预测区。一般可采用数量化理论Ⅲ作出单元标度图，通过分析研究剔除一部分后，将保留下来的作为模型单元。

根据对该区数量化理论Ⅲ单元标度图的分析，确定除5、15、22、24号4个单元外，其余均可选为模型单元。

4. 量化预测模型的建立

为了对预测区的成矿可能性和成矿规模进行定量预测，分别建立相应的数学模型：

(1) 特征分析定量模型：建立特征分析定量模型的基本做法如下。

表 4-7 变量选取一览表

编号	变量的含义	编号	变量的含义
1	有利地层	22	原生晕 Pb、Zn、Ag 组合异常
2	有利岩性	23	次生晕 Be、Nb、Li、F 组合异常
3	有 NE 或 NW 向断裂	24	次生晕 W、Sn、Bi 组合异常
4	有 NE 或 NW 向重磁推断断裂	25	次生晕 Pb、Zn、Ag 组合异常
5	有 NE 或 NW、EW 两组以上断裂交汇	26	单元位于岩体内接触带
6	单元附近交点个数	27	单元位于岩体外接触带
7	主构造与化探异常轴向一致或吻合	28	单元与岩体边界最短距离
8	主构造与重砂异常轴向一致或吻合	29	单元位于岩体超覆或复杂部位
9	化探、重砂异常同构造吻合	30	单元位于容矿构造上
10	有燕山期花岗岩产出	31	单元附近有含矿构造交汇点
11	有岩株、岩瘤、岩脉产出	32	单元位于封闭构造处
12	岩体出露	33	控矿构造交汇点位于岩体外接触带
13	高航磁异常	34	单元处在高温化探、重砂异常上
14	低重力异常	35	单元处在中温化探、重砂异常上
15	放射性 U 含量高	36	单元处在低温化探、重砂异常上
16	伽马能谱总量高	37	有重砂 Nb、Ta、Be 组合异常
17	岩体具环形影像	38	有重砂 W、Sn、Bi 组合异常
18	环形影像与重磁推断岩体吻合	39	有重砂 Pb、Zn、Ag 组合异常
19	有利蚀变	40	有重砂 Nb、Ta、Be、W、Sn、Bi 组合异常
20	原生晕 Be、Nb、Li 组合异常	41	有重砂 W、Sn、Bi、Pb、Zn、Ag 组合异常
21	原生晕 W、Sn、Bi 组合异常		

a. 对各模型单元的各变量赋值，形成“二态”数矩阵，以乘积矩阵主分量法求出最大的特征值 λ_1 所对应的特征向量 ξ_1 的各分量来作为各变量的权系数；

b. 将各模型单元的各变量值 (x_i) 与相应的权系数 (ξ_{1i}) 相乘，然后累加就得到各模型单元的关联度得分，其数学表达式为 $y = \sum_{i=1}^n (x_i \xi_{1i})$ ；

c. 对各预测区用不同模型的各变量的权系数去计算其关联度得分，并与各模型单元的关联度得分比较，以估计成矿的可能性，即当关联度得分越大，说明预测区所表现出的有利成矿因素越多，因而越有利于成矿。

该区建立了 4 类特征分析定量模型，其中模型 I 为中型多矿种（既有钨、锡矿，又有铅锌矿、铌钽矿）模型；模型 II 为中小型多矿种模型；模型 III 为钨、锡矿模型；模型 IV 为铅锌矿模型。各变量在各类模型中的权系数如表 4-8 所列；各类模型所选取的标准单元以及算得的关联度得分如表 4-9 所列。

对于这 4 个模型，采用相应规模和矿种的已知矿床（矿点）检验其有效性。例如，以香花铺中型白钨矿、铁砂坪小型铅锌矿作为模型 II 的检验的单元，将该二单元的各变量值分别代入模型 II 数学表达式：

表 4-8 变量权一览表

变量号	在模型 I 中的权	在模型 II 中的权	在模型 III 中的权	在模型 IV 中的权	变量号	在模型 I 中的权	在模型 II 中的权	在模型 III 中的权	在模型 IV 中的权
1	0.0329	0.0314	0.0278	0.0349	22	0.0191	0.0186	0.0196	0.0233
2	0.0329	0.0356	0.0321	0.0422	23	0.0298	0.0291	0.0303	0.0113
3	0.0209	0.0223	0.0187	0.0267	24	0.0244	0.0227	0.0279	0.0199
4	0.0118	0.0132	0.0133	0.0267	25	0.0329	0.0314	0.0278	0.0422
5	0.0329	0.0313	0.0279	0.0378	26	0.0248	0.0229	0.0242	0.0113
6	0.0267	0.0198	0.0186	0.0245	27	0.0000	0.0035	0.0000	0.0156
7	0.0329	0.0337	0.0303	0.0378	28	0.0097	0.0123	0.0099	0.0206
8	0.0298	0.0307	0.0296	0.0375	29	0.0191	0.0187	0.0199	0.0199
9	0.0298	0.0290	0.0279	0.0334	30	0.0329	0.0337	0.0303	0.0378
10	0.0248	0.0258	0.0242	0.0254	31	0.0329	0.0229	0.0279	0.0321
11	0.0298	0.0333	0.0321	0.0367	32	0.0329	0.0313	0.0303	0.0245
12	0.0244	0.0227	0.0279	0.0199	33	0.0241	0.0233	0.0236	0.0199
13	0.0186	0.0164	0.0216	0.0267	34	0.0244	0.0227	0.0279	0.0000
14	0.0329	0.0356	0.321	0.0422	35	0.0244	0.0227	0.0279	0.0000
15	0.0223	0.0228	0.0258	0.0206	36	0.0128	0.0095	0.0104	0.0113
16	0.0191	0.0142	0.0153	0.0199	37	0.0244	0.0251	0.0303	0.0097
17	0.0278	0.0251	0.0242	0.0248	38	0.0298	0.0333	0.0315	0.0291
18	0.0248	0.0253	0.0242	0.0258	39	0.0128	0.0139	0.0150	0.0199
19	0.0248	0.0230	0.0242	0.0267	40	0.0128	0.0166	0.0167	0.0000
20	0.0161	0.0164	0.0193	0.0169	41	0.0128	0.0139	0.0150	0.0113
21	0.0298	0.0309	0.0321	0.0233					

表 4-9 特征分析定量模型标准单元关联度得分表

模型 I	单元	尖峰岭 钨钽矿		东山 白钨矿		香花铺 铅锌矿		香花岭 铅锌矿		铁砂坪 锡矿		香花岭 锡矿	
	关联度得分	90.981		95.442		88.672		71.503		86.067		95.801	
模型 II	单元	东山白 钨矿	香花铺 铅矿	香花岭 铅锌矿	铁砂坪 锡矿	蛇形钨 锑矿	大龙山 钨锡矿	烂屋脚钨 多金属矿	香花岭 锡矿	尖峰岭 钨钽矿	铁砂坪 铅锌矿		
	关联度得分	94.697	87.706	71.197	85.678	66.562	73.024	91.198	94.382	90.269	71.934		
模型 III	单元	蛇形 钨锑矿	烂屋脚钨 锡多金属矿		尖峰岭 钨钽矿	大龙山 钨锡矿	香花铺 白钨矿	东山 白钨矿	铁砂坪 锡矿	香花岭 锡矿			
	关联度得分	65.708	91.805		90.402	72.275	96.875	95.364	85.431			94.833	
模型 IV	单元	九子十支 铅锌矿		麦市铅 锌矿		铁砂坪 铅锌矿		三十六湾 锡铅锌矿		香花铺 铅锌矿		香花岭 铅锌矿	
	关联度得分	68.983		85.113		75.349		82.790		94.900		74.100	

$$\begin{aligned}
y = & 0.031 x_1 + 0.036 x_2 + 0.022 x_3 + 0.013 x_4 + 0.031 x_5 + 0.020 x_6 + 0.034 x_7 \\
& + 0.031 x_8 + 0.029 x_9 + 0.026 x_{10} + 0.033 x_{11} + 0.023 x_{12} + 0.016 x_{13} + 0.036 x_{14} \\
& + 0.023 x_{15} + 0.014 x_{16} + 0.025 x_{17} + 0.025 x_{18} + 0.023 x_{19} + 0.016 x_{20} + 0.031 x_{21} \\
& + 0.019 x_{22} + 0.029 x_{23} + 0.023 x_{24} + 0.031 x_{25} + 0.023 x_{26} + 0.004 x_{27} + 0.012 x_{28} \\
& + 0.019 x_{29} + 0.034 x_{30} + 0.023 x_{31} + 0.031 x_{32} + 0.023 x_{34} + 0.023 x_{35} + 0.010 x_{36} \\
& + 0.025 x_{37} + 0.033 x_{38} + 0.014 x_{39} + 0.017 x_{40} + 0.014 x_{41}
\end{aligned}$$

求得关联度得分分别为 96.76 和 78.41，符合中小型矿的得分标准，表明模型 II 是有效的。同样对模型 I、III、IV 也作了检验，均得到符合相应得分标准的关联度得分，说明它们也是可靠有效的。

(2) 逻辑信息定量模型：建立逻辑信息模型的基本做法是：通过选择各种模型的已知矿床作为“学习对象”（标准单元），以各种信息（标志）的重要性，计算各标准单元的逻辑信息（对象权），预测时计算各预测单元（预测区）的对象权，将其插入标准单元序列，以排定预测区成矿规模的序次。

标准单元的确定 该区按照已知矿的规模分为矿点、小型矿、中型矿三级，每级选择 2 个对象，共 6 个标准单元。在建锡矿床逻辑信息定量模型时，选取了包金山、沙子岭 2 个矿点，三十六湾、大龙山 2 个小型矿，香花岭、铁砂坪 2 个中型矿；在建铅锌矿床逻辑信息定量模型时，选取了香花岭、香花铺 2 个中型矿，三十六湾、黄泥旁 2 个小型矿，九子十支、东山南 2 个矿点。

变量的筛选 上述 41 个变量中，有些变量（标志）是成矿控制因素，在预测有无成矿可能时，它们具有较大的权值，而在预测成矿的规模时，则不一定有很大作用。因此，在建立逻辑信息定量模型时，要将那些对控制矿床规模关系较小和作用较弱的变量加以剔除。该项工作采用变异序列法由计算机完成（从 41 个变量中选出 31 个变量参加建立锡矿床逻辑信息定量模型；选出 17 个变量参加建立铅锌矿床逻辑信息定量模型）。

标准单元对象权的计算

a. 锡矿床

对所选取的 6 个标准单元及所选出的 31 个变量，经逻辑信息法计算，结果得到 6 个标准单元的对象权（表 4-10），并绘出标准单元对象权曲线（图 4-6）。

表 4-10 锡矿标准单元对象权表

标准单元	香花岭锡矿	铁砂坪锡矿	三十六湾锡铅矿	铁砂坪锡铅矿	沙子岭锡矿	包金山锡矿
对象权	1.9478	1.4511	1.6660	1.5408	0.8015	0.4803

由表 4-10 和图 4-6a 可见，6 标准单元的对象权和其规模大致呈正相关关系，说明模型的精确度和可信度均较高，可用该模型预测（钨）锡矿的成矿规模，即根据算得的预测区的对象大小，排入该标准单元对象权序列，以估计其矿化规模。

b. 铅锌矿床

对所选取的 6 个标准单元及所选出的 17 个变量，经逻辑信息法计算，结果得到 6 个标准单元的对象权（表 4-11），并绘出标准单元对象权曲线（图 4-6b）。

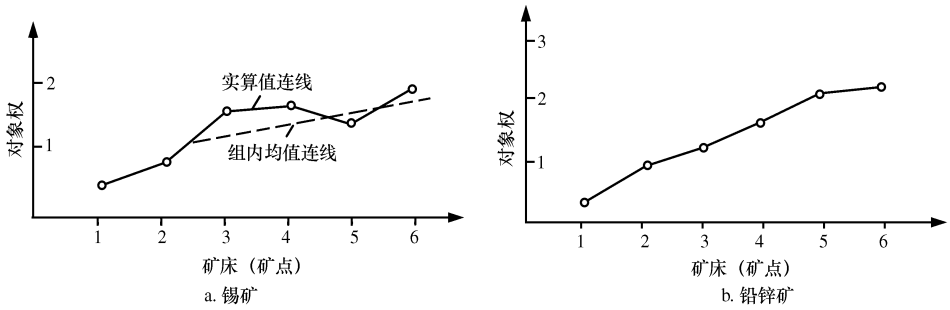


图 4-6 逻辑信息模型标准单元对象权曲线

表 4-11 铅锌矿标准单元对象权表

标准单元	东山东南银铅锌矿	九子十支铅锌矿	黄泥旁铅锌矿	三十六湾锡铅锌矿	香花岭铅锌矿	香花铺铅锌矿
对象权	0.3378	1.0304	1.2365	1.6757	2.1723	2.2331

由表 4-11 和图 4-6b 可见, 6 个标准单元的对象权和其规模呈正相关趋势, 说明模型的精确度和可信度均较高, 可用该模型预测铅锌矿的成矿规模, 即亦根据算得的预测区的对象权大小排入该标准单元对象权序列, 以估计其矿化规模。

5. 预测区的定量化分级和找矿靶区优选

(1) 预测区的定量化分级: 以特征分析定量模型 I—IV 评价预测区的成矿可能性 (成矿环境的好坏), 按建模选取的变量来选取各预测区的变量, 赋值后代到模型 I—IV, 计算各预测单元 (预测区) 的关联度得分 (表 4-12); 与模型单元得分相比较, 将预测区的成矿环境分成 3 级: 关联度大于 80 为 A 级, 80~70 为 B 级, 小于 70 为 C 级。

以逻辑信息定量模型 I、II 估计预测区的矿化规模: 对各预测区选取变量 (与建模选取的变量相同), 赋值后代到该二模型, 计算预测区的对象权 (表 4-12); 与标准单元对象权相比较, 将预测区的矿化规模分成 4 级: 对象权大于 2 为 A 级, 2~1.5 为 B 级, 1.5~1 为 C 级, 小于 1 为 D 级。

以上述 2 种分级为基础, 进一步将预测区的成矿环境好坏和矿化规模进行综合分级: 关联度大于 80, 对象权大于 2 的预测区定为 A 级 (可望找到中型矿); 关联度大于 80, 对象权小于 2 但大于 1.5 预测区定为 B 级 (可望找到小型矿); 关联度小于 80, 但大于 70, 对象权小于 1.5, 但大于 1 的预测区定为 C 级 (可发现矿点); 另将关联度小于 70, 对象权小于 1 的预测区划为 D 级 (可发现矿化点)。按综合分级原则所划分的预测区分级结果如表 4-13 所列。

(2) 优选找矿靶区: 由表 4-13 可见, 前 6 个预测区属 A、B 级, 将它们的关联度得分与模型单元的关联得分比较后, 可认为它们的成矿条件较好, 矿化程度较高, 是进一步开展找矿工作的有利地区。其中, 龙水塘预测区是寻找钨锡矿的有利地区, 其他预测区则是寻找铅锌矿的有利地区。将它们的对象权与标准单元的对象权比较后, 可以认为它们的成矿规模应属于中型和小型矿的范围, 是值得进行详查找矿的地区。因此, 将这 6 个预测区

表 4-12 预测区关联度得分和对象权表

预测区名称	关联度得分					对象权	
	模型 I	模型 II	模型 III	模型 IV	模型 I (锡矿)	模型 II (铅锌矿)	
SS	90.939	90.363	89.946	93.255	1.9483	2.0369	
LS	89.783	88.930	89.225	87.197	1.6542	1.0304	
SP	86.451	87.020	85.655	90.381	1.5042	1.6586	
SB	84.959	84.944	83.817	87.775	1.4590	1.9559	
SH	81.207	81.762	80.593	83.362	1.5685	1.2196	
AT	77.504	77.297	76.182	81.583	1.6055	1.2871	
SB	77.329	77.544	77.038	77.155	0.6975	0.9559	
NQ	72.796	74.005	73.258	73.387	0.6209	1.4084	
SJ	71.295	72.255	71.620	72.293	1.1926	1.1991	
ZS	60.187	60.542	59.553	60.930	0.4523	1.1045	

优选为找矿靶区。经初步工作，上述找矿靶区已取得明显找矿效果，如 A 级找矿靶区 SS，经检查验证已获锡矿远景储量数万 t，铅锌远景储量数十万 t，可见香花岭地区的综合信息定量预测是成功的。

表 4-13 预测区定量预测结果表

预测区名称	定量预测结果					备注
	关联度得分	对象权	分级	规模	矿种	
SS	89.95~93.26	1.95~2.04	A	中型	Sn、Pb、Zn	优选为找矿靶区
LS	87.19~89.78	1.03~1.65	B	小型	W、Sn、Pb、Zn	优选为找矿靶区
SP	85.66~90.38	1.50~1.66	B	小型	Pb、Zn	优选为找矿靶区
SB	83.82~87.78	1.46~1.96	B	小型	Pb、Zn	优选为找矿靶区
SH	80.59~83.36	1.22~1.57	B	小型	Pb、Zn、W、Sn、	优选为找矿靶区
AT	77.29~81.58	1.29~1.61	B	小型	Pb、W	优选为找矿靶区
SB	77.04~77.54	0.69~0.96	C	矿点	Pb、Zn	
NQ	77.79~74.01	0.62~1.41	C	矿点	W、Sn	
SJ	71.25~73.29	1.19~1.19	C	矿点	Pb、Zn	
ZS	59.55~60.94	0.45~1.10	D	矿点	Pb、Zn	

值得指出的是，逻辑信息法的结果可能出现两种错误，一是将规模较大的矿床预测成较小的矿床；二是规模较小的矿床被预测成规模较大的矿床。第一类错误为“实在”错误，因为其中可能包括某些小矿床真具有较大资源潜力的情况。所以在应用逻辑信息法的预测结果时，要综合考虑特征分析法的预测结果，以正确确定预测区的级别。例如表 4-13 中的 SB 预测区，其对象权小于 1，但关联度得分相对较高，即矿化环境相对较好，所以将其划为 C 级预测区。经检查验证，SB 预测区已获得锑远景储量数万 t，伴生金 1.2 t，说明综合评判是必要的。

综上所述，在正确的成矿理论指导下，按照合理的工作流程开展综合方法成矿预测，以地质、遥感、物探、化探等项资料为基础，通过信息综合，深入分析成矿规律，建立综合信息预测模型，进行定性、定量预测，对提高成矿预测的科学性大有裨益，使预测结果的准确性大为提高，从而取得明显的找矿成效。

第五章 矿体地质研究

1. 矿体地质的概念

矿体地质是以矿体为研究对象,其基本任务是研究矿体各种标志的变化性,目的在于阐明矿体各种标志的变化特征或变化规律,为选择合理勘查方法及矿床的工业评价提供依据。

矿体地质研究与矿床地质研究的关系十分密切,但二者又有差别。从矿床学角度研究矿体更侧重于物质成分、结构构造及矿体形成的地质条件,其主要目的在于阐明矿化过程、矿化条件等成因规律。而从勘查角度研究矿体则侧重于矿石品位、矿体厚度、形态、规模、产状、矿体内部结构构造等,其主要目的在于阐明矿体各种标志的变化规律。

矿体的变化主要受矿床成因所控制,因此为了查明矿体的变化就必须了解矿床成因特点。而另一方面,不同成因的矿体其变化性也往往是不相同的,通过矿体变化性的研究又有助于查明矿床成因问题,因而两者必须密切配合。

由上可见,矿体地质研究的中心问题是矿体变化性,它具体包括变化性质、变化程度及变化因素三个方面。这三个方面是从勘查角度研究矿体地质的基本内容。

2. 矿体地质研究的意义

矿体的各种标志均毫无例外地具有不同性质或不同程度的变化,但其中尤以矿石品位、类型、矿体厚度、形态、规模及产状等变化,对矿床的勘查及开发工作影响为最大。如果矿体是一个均质体,即矿体的各种标志没有变化或变化很小,那么矿床勘查及矿山地质研究工作就很简单,只要在很少的地方对矿体标志进行观察、测量、取样,就可以很准确地确定各种标志的平均值,并可代表矿体的真实情况。可是,自然界中任何矿体的形状、产状、厚度及品位等的变化都不是均匀的,这对某些内生金属矿床表现尤为明显。如果这些标志随着其空间位置的不同,而有显著的差异,且变化具有随机性时,更会使矿产勘查及开发工作变得十分复杂而困难,只有增加观察、测量、取样的数量,才能更正确地判断矿体各标志的变化情况。这样一来,势必增加勘查的工程量和勘查经费,影响勘查的经济效果。否则会影响勘查精度,使勘查误差加大。

可见,矿体变化性与勘查精度之间,有着紧密的相关关系,它是勘查方法的理论基础,是划分矿床勘查类型的基本依据,是决定每个具体矿床的勘查难易程度,勘查精确程度和勘查经济效果的基本客观条件。所以,对矿体地质的研究,不仅具有重要的理论意义,而且对于指导勘查实践更有非常重要的实际意义。

第一节 矿体地质研究的基本内容

从勘查角度研究矿体,是在研究成矿地质条件与规律的基础上,侧重于影响勘查的最主要的矿体变化标志的研究,即矿体外部的形态标志(矿体厚度、形态、产状及规模)和矿体内部结构标志(矿石品位、品级、类型及夹石),这些标志的研究是矿体地质研究的

主要对象。其内容包括：变化性质、变化程度和控制变化的因素。

一、矿体变化性质的研究

矿体的变化性质，一般可理解为某标志在矿体不同空间位置上相互之间的联系特点与变化的特征和规律。通过勘查工作，可以在矿体三度空间的不同部位，取得大量品位、厚度等标志的数值，如果把这些标志的数值按照不同方向的实际顺序与位置排列起来，它们升高或降低所形成的各种各样的自然变化特征和规律，就是矿体某标志的变化性质。

П.Л. 卡里斯托夫 (Каллистов, 1956) 将矿体变化性按其性质分为两类：

1. 规则的或坐标性变化

属于这类性质变化的典型标志是矿体的厚度变化。厚度变化基本特性之一乃是具有一定的方向性和平稳性。这种特性表现在矿体剖面中沿一定的方向可分成若干区段，在每一个区段范围内，厚度的变化以同一增长符号（即逐渐变厚或逐渐变薄）而改变，有时还有可能划分出其中厚度变化不仅保持着同一增长符号，而且还保持着大致稳定的增长值。因此，具有某种近似值的这种变化可以由直线方程式表示出来，亦可用图解来表示。

2. 偶然的或不规则的变化

是指在矿体内某一区段或某一方向上，相邻观测点所获得的标志值相互之间既无局部联系，在整个区段内也缺乏总体联系，即标志值的大小呈现无规律的急剧的跳跃或不连续的杂乱变化。

属于这类变化性质的主要是有色、稀有、贵金属矿床中 useful 组分品位沿走向、倾向及其他方向较常见的变化特征(图 5-1)，当观测点间距不太密集时，有些矿体厚度变化也可出现这类变化。卡里斯托夫还指出矿体的品位变化往往具有坐标性变化与偶然性变化量叠加，这两种变化性质的结合便构成品位变化的复杂形式。同时还指出品位的坐标性变化往往不是整个矿体，而是矿体的某些区段所特有，而偶然性变化的不规则变动在每一个矿体范围之内到处可见，同时扩及到具有坐标性变化的地段，犹如在这种变化上的重叠(图 5-2)。

二、矿体变化程度的研究

矿体变化程度一般是指矿体标志值的相对变化幅度、变化速度。它是一个量的概念，

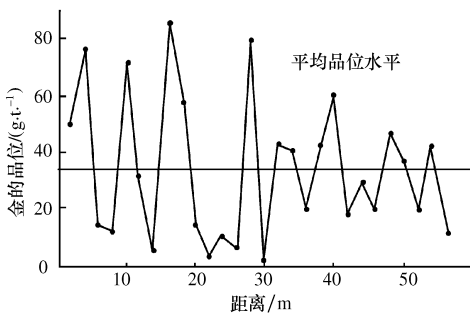


图 5-1 金矿体品位的不规则变化
(据 П.Л. 卡里斯托夫)

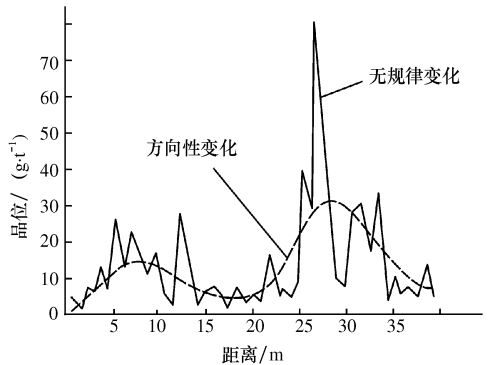


图 5-2 金矿体品位的不规则变化
与方向性变化的结合

是研究变化性质的基础。没有变化数量的差异，就不会有变化性质的不同，矿体的不同变化性质归根结底是受矿体标志值数量上的变化所引起、所制约的。

矿体各主要标志的变化程度对矿床的勘查有很大的影响。在同样的勘查工程间距和工程数量的条件下，变化程度越大的矿体其勘查精确程度越低，地质经济效果愈差；反之，为了获得相同的勘查精度，对于变化程度大的矿体比变化小的矿体需要更密的工程间距和更多的工程数量。因此，对矿体变化程度的研究有重要的理论意义与实际意义。它直接影响到矿床勘查类型的划分，勘查技术方法的选择，勘查工程间距的确定，以及矿体的圈定方法和圈定结果的可靠性。

在一个矿体的内部，各种标志的变化程度往往不同，而对于不同类型的矿床，其最大的变化标志也可各异。对于某些类型矿床来说，矿体内部结构标志（矿石品位、品级及类型）的变化程度大于矿体外部形态标志的变化，如金、银等贵金属矿床，钨、锡、钼、铜、铅、锌等稀有及有色金属矿床，金刚石、水晶、云母等非金属矿床等属于此类。另一类型矿床，矿体形态标志变化程度大于内部结构标志的变化程度，如大多数铁、锰、磷、铝等矿床。在这当中内生及变质成因矿床的变化程度大于外生矿床，而内生矿床中，简单裂隙充填矿床的变化程度又低于交代成因的矿床等等。所以，在矿体地质研究中，必须注意查明矿体的最大变化标志。对不同标志又应注意查明其最大变化方向及变化范围。如果我们能够做到这一点就有可能比较正确地估计和预测标志的变化趋势，则在勘查过程中就有可能避免盲目性，提高勘查精度与效果。

矿石组分品位是大部分内生矿床，特别是有色、稀有及贵金属矿床的矿体最大变化标志。因此，定量的研究矿化均匀程度、矿化连续程度、矿化强度及各组分间的相关程度，就成为研究这类矿床的重点内容。

矿体的最主要形态特征标志，如矿体厚度、形态、产状及规模等是许多矿床，特别是大多数外生沉积矿床的矿体变化最大标志，从而成为影响勘查难易程度和勘查精确程度的主要因素。因此，采用适当的方法定性与定量的研究矿体形态标志的变化程度，自然成为这类矿床矿体地质研究的主要内容。矿体厚度、产状、形态及规模之间的变化往往具有密切的相互联系。当矿体的厚度及产状变化甚大时，矿体形态也必然复杂。而在矿体的延长、延深及厚度规模发生变化时，矿体的形态也必随之而改变。大量地质勘查实践表明，矿体形态变化复杂的地段也常常是矿化最为富集的地段。诸如矿体交叉、转弯和分枝处等。所以详细研究矿体形态特征的变化在勘查中也具有重要意义。

综上所述，在研究矿体形态标志与内部结构标志时应特别注意以下几点：

(1) 研究矿体的品位变化时，应注意查明几个最基本的定量指标（如品位变化系数、含矿系数、品位变化平均梯度等），通过对这些指标的综合分析有可能比较全面地了解矿石品位的变化特征，有可能在不同矿体之间进行对比，从而也有助于客观地根据变化等级对矿体进行分类，有助于指导勘查与评价；

(2) 注意研究矿体内不同方向和不同地段的品位变化程度及相互联系。在研究矿体的三度空间变化时，应查明最大变化方向。在研究不同地段的变化特征时应注意两方面：一是根据不同的地质位置分析，如氧化带、原生带、矿体上盘、下盘、中心、边缘、不同矿石类型和品级、不同含矿围岩、含矿构造以及矿体中不同分带处之品位；另一是根据不同的几何部位分析，如不同中段、不同块段、不同工程、不同剖面等。在分析研究过程中，应注意局部和整体变化关系，如某些类型矿床的矿化表现为局部均匀而总体不均匀；相反

另些矿床总体均匀而局部可能就不均匀；

(3) 注意不同研究方法或研究条件(如不同的取样位置、间距、数量、不同的样品体积、分析方法)对品位变化可能产生的影响。因为研究和试验条件不同,反映同一地段品位变化程度的某标志的数值也可能不同,这一情况在进行指标数值的对比时必须加以考虑;

(4) 在研究任何一个矿体时,除应查明品位变化特征外,还需研究矿体厚度、形态、产状及其变化规律;

(5) 注意研究矿石品位变化与矿体形态特征变化间的联系,如产状与品位变化,厚度与品位变化等;

(6) 除上述关于矿石质量特征和形态特征两个最重要的方面外,在矿体地质研究中尚需注意矿石物质成分及矿体内部结构、矿体构造、矿化埋藏深度、矿体垂直及水平分布间隔、矿体密集程度、矿体组合排列方式、矿石物理化学性质、矿体围岩及含矿构造等问题的研究。而对这些问题的研究也都需要从查明其变化规律及对勘查与评价的影响角度出发。

三、控制矿体变化因素的研究

矿体的变化性质与变化程度,主要决定于矿床成因、成矿方式和成矿地质条件,决定于矿化元素分散与集中的各种因素的发育程度及其变化情况,同时也决定于成矿后的改造与破坏。因此,在研究矿体变化性时,必须进行控制矿体变化因素的研究。只有查明变化原因,才能更好地掌握变化规律并为预测矿体未知部分的变化特点提供依据。

对大多数矿体来说,矿体的大小、形状及产状变化,主要受构造因素控制。例如一般的脉状矿体主要是受裂隙构造所控制。在成矿时如果系简单的裂隙充填、则矿体之大小、形状、产状等均直接以裂隙之大小、形状、产状为转移。造成矿体形状复杂的因素是矿化时的交代作用及各种不同形式的构造的复杂组合。

控制矿体内部结构标志(矿石类型、品级、品位等)变化的因素也很多,但归结起来不外原生与次生两类因素。原生因素中主要是成矿时矿化强度的不同造成了矿化的不均匀性和矿化的不连续性。

在原生的因素中还可能由于多阶段性的矿化作用而使不同阶段产物相互重叠,或由于矿体的原生带状结构而形成物质成分在不同部位的相互交替,也有时是由于某些适当的构造或岩性条件的局部存在,而形成贫富矿体或不同矿石类型的交替等等。这些因素都有可能使矿石类型及品位的变化具有方向性的规律性。

在次生因素中最主要是矿石的氧化淋滤和次生富集作用,许多硫化物矿床的矿体次生带状结构,使有用组分在垂直方向(或沿矿体倾斜方向)具有明显的方向性变化。

第二节 矿体变化性的数学表征方法

矿体变化性的研究有定性与定量两种表示方法。在定性的方法中主要是利用各种地质图件(如剖面图、平面图和立体图等)和各种几何图件(如统计分布曲线、自然分布曲线和各种等值线图)表示矿体各标志的变化特征,并辅以必要的文字说明。但单纯的定性描述已经日益不能满足生产实践和理论研究的需要,而利用各种数学方法,特别是数理统计与地质统计学的方法定量地研究和反映矿体各标志的变化性质与变化程度则越来越具有

重要意义。

一、矿体变化性质的数学表征方法

(一) 统计分布曲线法

统计分布曲线又称为频数（频率）分布图。它的实质是反映矿体某个标志不同数值的数量分布或频率分布。当观察、度量数量足够多时，根据抽样结果所制作的统计分布曲线基本上可以代表整个矿体这一标志不同数值的客观比例。

研究矿体标志值的统计分布特征具有重要的理论和实际意义。首先，根据分布曲线的状态特征可以初步判断矿体标志值的总体变化性质与变化程度。一般认为，某个由许多影响因素综合作用下产生的地质变量，当这些因素对变量的影响并非都是均匀微小而个别因素的影响显著突出时，变量将由于不满足中心极限定理的要求，而使统计分布曲线趋于偏

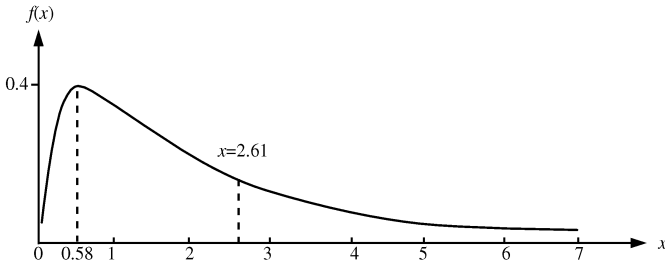


图 5-3 品位值对数正态分布曲线

斜，如果出现很大正偏斜的话（极大值 $<$ 平均数），则变量的对数值一般都呈正态分布或近于正态分布。即变量服从或近似于对数正态分布。经验表明，大多数内生有色-稀有金属矿床中的有用组分以及矿石中的微量元素都具有对数正态分布的特点（图 5-3）。另一种情况是由许多独立的微小部分组成或由许多微小随机因素综合作用下产生的地质变量，当这些因素对变量的影响是均匀微小而无一个因素的影响是突出显著的时候，变量的统计分布将呈正态分布或接近正态分布。也就是说当有利矿化或不利矿化的条件对整个矿体比较均一，往往较多的矿石具有与平均品位相近似的数值，这时品位易于趋向正态分布。例如矿化比较均匀的沉积或沉积变质型铁矿，次火山岩体中的早期浸染状贫铁矿，其铁的品位值通常呈正态分布或接近正态分布（图 5-4）。

正态分布中参数平均值（ \bar{x} ）和均方差（ σ ）可以反映变量的离散程度与集中水平。均方差的大小表示分布的离散程度。均方差越大，数据对于平均值的离散程度越大，反映在统计分布曲线上是越趋平缓，平均值则表示分布的集中水平，即数据在平均值附近出现最多。对于具有呈

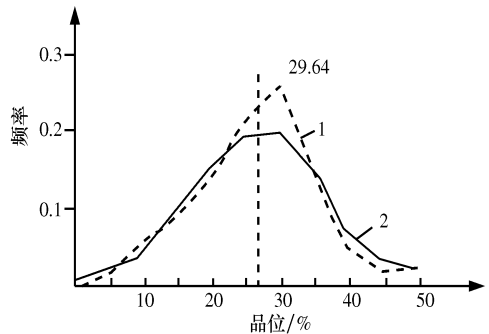


图 5-4 冀东某沉积变质铁矿床的铁品位统计分布曲线

1—根据分析资料所作曲线；2—一次平差后所作曲线

对数正态分布的变量，其平均值和均方差表示变量对数的平均值和均方差，这点应予以注意。

其次，根据统计分布曲线的特征鉴别与解释矿床成因。一般认为不同成因或不同成矿条件下形成的矿体应构成不同的统计总体，它们应各自具有其特殊类型的统计分布模型和相应的统计特征值。例如，矿化均匀，控制矿化局部富集的因素不明显或不重要时，品位数值一般接近正态分布，而矿化不均匀，控制矿化局部富集的因素突出或重要时，则其统计分布明显地偏离正态。成矿作用单一时，统计分布表现为简单分布，即呈单峰的正态或偏斜曲线，而多种矿化作用或多期矿化的叠加，则表现为混合分布，即大多数情况下是呈双峰或多峰曲线。某矿田的几个铁矿床全铁品位（TFe）的统计分布特征见表 5-1，图 5-5。

表 5-1 某矿田铁矿床铁品位（TFe）的统计分布特征表

矿床名称	观测值 个	分布类型	分布曲线特征	基本统计特征值			
				平均数/%	方差	标准差	变化系数/%
A	417	简单分布	近正态分布	23.5	34	5.83	24.8
B	72	简单混合分布	双峰强负不对称	46.9	133.4	15.3	33
C	1018	简单混合分布	双峰弱负不对称	43.3	137.9	11.74	27.1
D	171	复杂混合分布	三峰正不对称	37.1	153.8	12.4	33.4

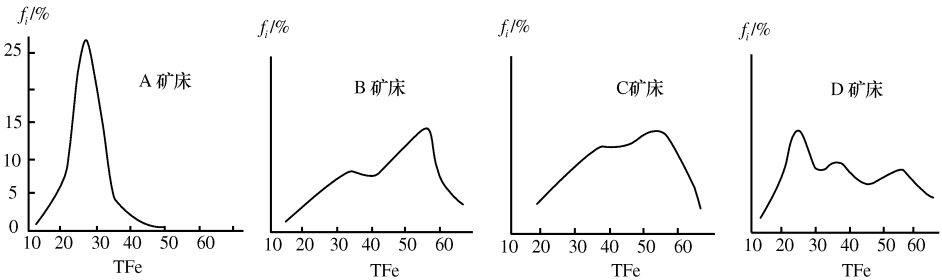


图 5-5 某矿田四个铁矿床的铁品位统计分布曲线

图 5-5 是该矿田中的四个铁矿床的 TFe 品位统计分布曲线。经过四个铁矿床 TFe 化验值分布曲线的对比研究和野外实际观察，发现这四个矿床的分布曲线和矿床的成因特点有密切联系。其中 A 矿床是近于正态分布的单峰曲线，它代表了闪长玢岩体内矿化作用比较单一的早期浸染状贫矿化阶段，该矿化阶段的平均品位与曲线的中值吻合，为 23.5%。B、C 两矿床的两种相近似的双峰负不对称曲线，它们都反映至少有两期铁矿化在空间上的叠加。根据野外观察，B、C 矿床中都有两个比较明显的铁矿化阶段，一个是与 A 矿床相当的浸染状贫铁矿化的早期矿化阶段，另一个是磷灰石—阳起石—磁铁矿建造的晚期脉状富铁矿化阶段。这两个矿化阶段反映在分布曲线上，晚期矿化阶段对应 B、C 矿床分布曲线中的较高峰值，矿化平均品位约为 56% 左右；早期矿化阶段由于受后期矿化阶段的叠加和改造，对应于 B、C 矿床中分布曲线中的较低峰值，平均品位已从 23% 左右提高到 36%，所以与 A 矿分布中的峰值已不能相互吻合，而是在原有基础上铁质进一步提高了。D 矿为复杂混合分布，它的三个峰恰恰是 A、B、C 三矿两类分布的综合缩影。它之所以

出现三峰不对称分布，是因为 D 矿床虽然也存在着二个矿化阶段产物的叠加，但仍以早期阶段的产物为主，晚期阶段的产物较弱且对早期阶段的改造也不充分。因此具有与 A 矿床相对应的位于 25% 平均品位值的高峰值，以及与 B、C 矿床相对应的平均品位为 36% 和 56% 的两个较低峰值。

在上述例子中 A 矿床具有简单分布特点，B 矿床、C 矿床和 D 矿床具有混合分布的特点。而且，这种混合分布被称作多峰型混合分布。可以看出，多峰型混合分布是由二次以上特点不同的成矿作用随时间的推演先后发生且在空间上不充分的混合所造成。

在编制统计分布曲线时，组数或组距的确定是一个重要问题。若分组过多，则总体特征很难突出；分组过少，则易损失图形细节。所以，应注意对数据进行合理分组，过少与过多都是不利的，通常以划分 10~15 组为宜，组距一般最好不超过观测值均方差的四分之一或三分之一。此外，观测值个数不宜过少，否则代表性是较差的。

(二) 自然分布曲线及变化性指数法

自然分布曲线法是反映矿体不同空间位置上，矿体标志值具体变化性质的一种方法。它是对矿体变化性质进行研究的基本方法，也是最常用的方法。通过对自然分布曲线形态特征的分析，可以初步定性地判断矿体标志值在某特定方向上的变化性质或变化规律。

变化性指数法是 1964 年由赵鹏大教授提出的，是在某一方向标志值自然分布曲线的基础上，根据相邻观测点上矿体标志值之间的符号变化关系，用“变化性指数”定量地判断矿体标志值（如品位）变化性质的一种方法。变化性指数（ t ）的计算式为：

$$t = \frac{M}{n-2} \quad (5-1)$$

式中： M 为矿石品位在自然分布曲线中其数值上升下降的“符号”变化次数； n 为样品个数； t 为变化性指数，其值与变化性质的关系见表 5-2。

表 5-2 变化性指数与变化性质关系表

类别	变化性质	t 值
1	规则变化	0.0~0.2
2	明显方向性变化	0.3~0.5
3	不明显方向性变化	0.5~0.7
4	不规则变化	0.8~1.0

利用变化性指数结合自然分布曲线定量地反映矿体变化性质，比以往单纯根据自然曲线表示矿体变化性质前进了一步。在实际工作中，如能正确选用并与其他方法配合，综合分析矿体标志值的变化特征效果更好。然而，由于变化性指数只与品位自然分布曲线的升降符号变换数有关，而未考虑总体趋势值的升降符号变换数，故在实际应用中受到了一定的限制。

(三) 平差曲线及相依系数法

所谓“平差”是用各观测点相邻若干点标志值的平均值作为该点的数值（即趋势值）。按该数值（趋势值）编制的坐标曲线称为平差曲线。经过一次平差所得的曲线称一次平差曲线，经过二次或三次平差所得的曲线称二次或三次平差曲线。一般认为二次平差曲线即可反映矿体标志值的总体变化趋势（图 5-6）。

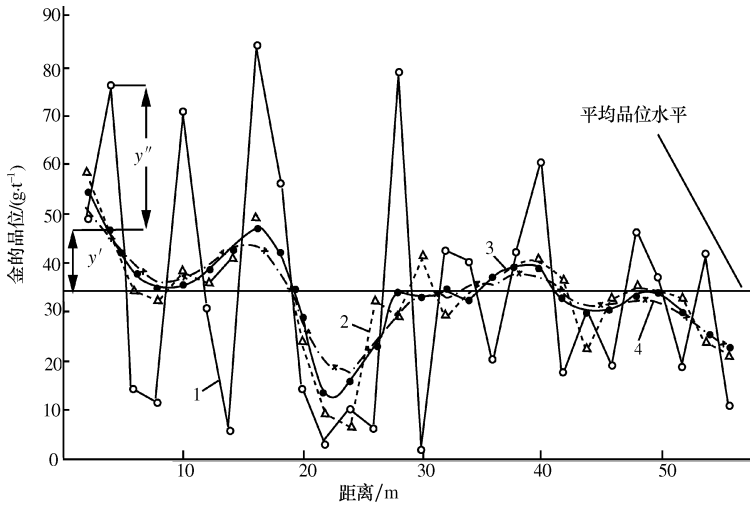


图 5-6 金矿品位平差曲线图

平差曲线法实质上是一种滑动平均法，它是把一个较长的矿体的标志值空间序列分段进行处理，使每段的长度与滑动段长度相当，依次滑动求出各段中心项的趋势值，这样滑动平均可得一系列的 trend 值，将其相连就组成了一条修匀的光滑趋势曲线，这种曲线叫做滑动平均曲线，亦称平差曲线或平差修匀曲线。

常用的滑动平均公式是等权滑动平均：

$$\hat{y}_0 = \frac{1}{2m+1}(y_{-m} + y_{-(m-1)} + \dots + y_0 + \dots + y_{m-1} + y_m) = \frac{1}{2m+1} \sum_{i=-m}^m y_i \quad (5-2)$$

式中： \hat{y}_0 为中心项的趋势值； y_0 为中心项的观测值； y_i 为第 i 项的观测值； $i = -m, -(m-1), \dots, -1, 0, 1, 2, \dots, m-1, m$ ； m 为距中心的最大项数； $2m+1$ 为参加滑动平均的点数。

例如采用三点或五点滑动平均时，则 $m=1$ 或 2 ，公式 (5-2) 可写成：

$$\hat{y}_0 = \frac{1}{3}(y_{-1} + y_0 + y_1) \text{ 或 } \hat{y}_0 = \frac{1}{5}(y_{-2} + y_{-1} + y_0 + y_1 + y_2)$$

等权滑动平均分离趋势能力较强， m 越大则修匀效果越强，但滑动平均后的值与原始观测值差别较大。故 m 值的选择不应太大，一般选择 1 或 2 为宜，很少超过 3。

不等权滑动平均是按围点与所计算中心项点的距离大于给予不同的权，距离越近，权数越大，距离愈远，权数愈小。修匀公式与围点的多少有关，现仅列出五点修匀公式（由一元三次回归方程推得）如下：

$$\hat{y}_0 = \frac{1}{35}[17y_0 + 12(y_1 + y_{-1}) - 3(y_2 + y_{-2})] \quad (5-3)$$

根据以上介绍的滑动平均公式，便可求出与每个观测点相对应的一次或二次滑动平均趋势值，根据这些趋势值就能绘出一次或二次滑动平均曲线。通过对二次滑动平均曲线特点的分析，便可判断矿体标志值的变化性质或变化规律。如图 5-6，金品位值的自然分布特点虽然是升降、起伏跳跃比较剧烈，无明显变化规律，可是从二次平差曲线的变化特点看，品位的趋势值又具有一定的方向性变化规律。这种具有局部的随机性和总体的趋势性

是金矿品位变化较为普遍而常见的一种变化性质。

平差曲线法最主要的优点是，能在复杂的自然分布曲线中排除局部随机性成分的干扰，显出总体趋势性的变化规律。但它的主要缺点是，只能定性地表示矿体标志值的变化性质，而不能定量地表征矿体变化性质。

矿体标志值空间序列相依系数法是定量表征矿体变化性质的一种方法。它是在上述平差曲线和变化性指数法的基础上，由武跃诚等人（1979）提出的。

反映矿体成因特点的矿体各种标志的变化，从本质上看，在任何时候都不是随机性的变化，而是具有一定的趋势性的有规律的变化。但由于成矿条件的复杂及其综合交织，各种因素的作用大小、作用性质和作用方向的差异，矿体标志的变化也不可能是简单的趋势性变化，它在很大程度上受偶然因素的影响。所以，自然界中的绝大多数矿体标志的变化性质具有二重性——趋势性和随机性。也就是说，在一般的情况下，矿体标志的变化性质是在总体趋势性变化的背景上又叠加了一些局部随机性或偶然性的变化。所以，在矿体空间上任一点的标志值都可分解为趋势和随机两部分。由于这两部分在不同矿体，甚至同一矿体的不同空间部位，分布比重的不同，因而构成了矿体变化的复杂形式。因此，深入研究矿体标志的趋势值和随机值在矿体中的分布特征是研究矿体变化性质的关键。

矿体标志的趋势值反映了较大范围或受较高级控制因素所形成的矿体总体趋势性变化，一般呈平缓起伏的曲线形状，在观测点分布比较均匀的情况下，可采用二次平差的方法求得其估计量。矿体标志的随机值反映了矿体局部的随机干扰，通常是通过在确定趋势值后所得到的剩余值来求得。这两种变化值对于研究与分析矿体标志序列变化性质是不可缺少的，必须全面考虑这两方面的变化特性，才能得出对矿体标志变化性质的客观估计。

基于以上分析，为了恰当地刻画与定量地表征矿体标志的变化性质，我们建议采用“空间序列相依系数”。相依系数可用下式定义与求出：

$$C_1 = \frac{m}{n-2}, C_2 = \frac{M}{n-2} \quad (5-4)$$

式中： C_1 为局部相依系数； C_2 为总体相依系数； m 为局部相依个数； M 为总体相依个数； n 为样品数或观测点数。

相依系数（ C_1 或 C_2 ）在 $0 \sim 1$ 之间变化，即 $0 \leq C_1$ （或 C_2 ） ≤ 1 。相依系数愈大，相依程度愈高，矿体变化的规律性愈强；反之，相依系数愈小，相依程度愈低，矿体变化的规律性愈弱，而随机性变化愈显著。

所谓“局部相依”是指某观测点与其相邻两观测点的信息间具线性关系或单调函数关系，即某点的数值升高，其下一相邻的取样点的数值亦升高，反之亦然。如图 5-7 所示，b 观测点的品位值大于 a 观测点的品位值，而低于 c 观测点的品位值，也就是说，b 点的品位介于 a、c 两点之间，故 b 点的品位与相邻 a、c 的品位呈局部相依关系；而局部不相依图中 b' ，或 b'' 点的品位与 a、c 点的品位为局部不相依。

所谓“总体相依”指空间序列的观测值，经过二次滑动平均处理后，每个观测值的相应趋势值，在空间上与其相邻两个点趋势值之间具有线性或单调函数关系。

依据局部及总体相依系数的大小，可将矿体标志的相依特征作如下分类（表 5-3）。

依据局部和总体相依系数的大小及其可能组合，将矿体标志值的变化性质类型初步划分为五种类型如表 5-4。

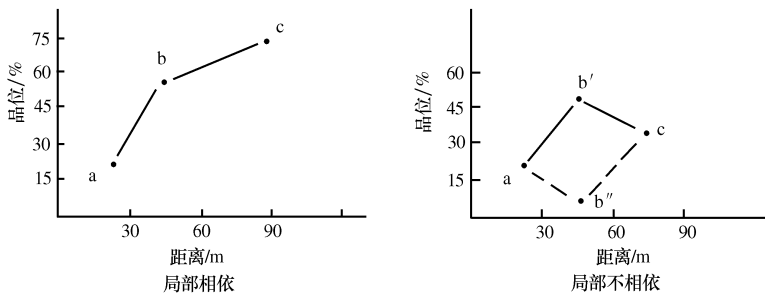


图 5-7 品位标志值相依关系图

表 5-3 矿体标志的相依特征分类表

类别	相依特征	局部或总体相依系数 (C_1 或 C_2)
1	完全相依的	0.9~1
2	基本相依的	0.7~0.9
3	大致相依的	0.5~0.7
4	不相依的	0.3~0.5
5	完全不相依的	<0.3

表 5-4 矿体标志值的变化性质类型

类别	变化性质类型	相依特征	相依系数	
			局部 (C_1)	总体 (C_2)
I	规则变化	局部、总体完全相依	0.9~1.0	0.9~1.0
		局部基本相依、总体完全相依	0.7~0.9	0.9~1.0
II	较规则变化	局部、总体基本相依	0.7~0.9	0.7~0.9
		局部大致相依、总体完全相依	0.5~0.7	0.9~1.0
		局部大致相依、总体基本相依	0.5~0.7	0.7~0.9
		局部不相依、总体完全相依	0.3~0.5	0.9~1.0
III	明显方向性变化	局部、总体大致相依	0.5~0.7	0.5~0.7
		局部不相依、总体基本相依	0.3~0.5	0.7~0.9
		局部完全不相依、总体完全相依	0.0~0.3	0.9~1.0
		局部完全不相依、总体基本相依	0.0~0.3	0.7~0.9
IV	不明显方向性变化	局部不相依、总体大致相依	0.3~0.5	0.5~0.7
		局部完全不相依、总体大致相依	0.0~0.3	0.5~0.7
V	不规则变化	局部完全不相依、总体不相依局部、总体完全不相依	0.0~0.3	0.3~0.5
			0.0~0.3	0.0~0.3

(四) 变异函数曲线分析法

变异函数曲线亦称变程方差曲线，简称变差图或变异图。它是法国地质统计学家 G. 马特龙 (Matheron) 在 20 世纪 60 年代初期，提出的一种表征矿体变化性的新方法。它的基本特点是，以区域化变量的理论为基础，通过对变异函数的计算及变异函数曲线的分析，从而定性地判断矿体的变异特征或变异类型。为了更好地了解变异函数曲线法的实质及其在矿体变化性研究中的应用，现仅就与此法有关的一些基本问题介绍如下：

1. 区域化变量的概念与性质

按照 G. 马特龙的定义, 区域化变量是一种具有数值的空间位置的函数, 即由一点移往下一点时, 函数值是变化的, 并具有明显的不同程度的连续性。然而, 这种变化性不能用一般的函数来描述, 它是一种复杂的随机函数。如矿石的品位、矿体的厚度、矿石内有害组分的含量等都是区域化变量。区域化变量虽然也是一种随机变量, 但又不是经典概率论中的纯粹随机变量, 它具有某些特殊的性质:

(1) 局限性 (localization) 区域化变量的变化限于一定的空间内, 如品位的变化只局限于矿化空间之内, 即矿体或矿层的范围内, 这种矿化空间称为区域化的几何域。且每个变量数值的大小, 一般是按一定的承载或称支架 (support) 定义的, 承载即取值的样本几何形态、规格和体积大小, 例如品位这个区域化变量, 品位数值的大小, 都必须以样品的规格、体积、几何形态来定义。几吨重的全巷法取样和几公斤重的刻槽法取样, 其品位是不同的, 因为它们的承载不同, 即样品的规格、体积、几何形态不同。所以要研究品位变化规律, 一定要取样方法相同, 样品的承载相同。各种取样方法样品品位与真实品位的偏差不同, 主要是由于样品的承载不同所造成。

(2) 区域化变量的空间变化具有规律性与随机性的双重性质。例如矿体中 有用组分品位的变化, 总是具有一定的规律性, 但在规律性变化的背景上, 常常由于随机性因素的影响, 而叠加了随机性的变化, 使我们不能确切地指出某一空间位置的精确品位值。

(3) 区域化变量的空间变化具有非均质性。某些区域化变量是各向异性的, 即不同方向具有不同变异特征或变异类型, 但区域化变量也有时是各向同性的。对于各向异性的变化, 可以通过一系列转换, 使其转变为各向同性。

(4) 区域化变量的空间变化具有跃迁性。它是指一系列点变量中相邻两点变量的增量的均值随点的距离 h 增大而迅速增大, 当点的距离 h 达到一定范围 (数值) 时, 增量的均值趋于稳定, 在这个范围内点变量的变化性质叫跃迁性, 变量间具有相关性。超过这个范围, 点变量间则变为非相关性。大多数矿体标志的变化具有这种性质。

由于区域化变量具有上述复杂性质, 因此不能用通常的概率统计方法对这种区域化变量的空间函数进行直接研究, 而只能用特殊的结构函数来刻画其规律性与随机性的双重性质。

2. 变异函数及变异曲线

在一般统计学中, 变量的离散程度是用方差来表示的, 它不能反映任何空间的、规律性的或结构性的变化。在地质统计学中, 则常用变异函数和变异曲线来表征区域化变量的空间变化特征与变化程度。

变异函数或变异曲线是研究区域化变量自然离差的基本手段与工具, 它是用曲线来表示的数学函数。变异函数是区域化变量增量平方的数学期望, 由于它恰为区域化变量增量方差的一半, 故又叫半方差。变异函数可分为理论变异函数、局部变异函数和实验变异函数。

理论半变异函数, 在内蕴假设条件下定义为:

$$\gamma(h) = E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} = \frac{1}{2} \int_V [Z(x+h) - Z(x)]^2 dx \quad (5-5)$$

式中积分式, 是在一个无限大的几何域 V 内, 无限多对点样品增量的平方和。实际上除

非矿床全部开采完毕，否则，是不可能得到的。

局部半变异函数，为一个有限的几何域 L 中，无限多对点样品增量平方的均值，可写成：

$$\gamma'(h) = \frac{1}{2(L-h)} \int_0^{L-h} [Z(x+h) - Z(x)]^2 dx \quad (5-6)$$

式中： h 为距离或滞后； L 为几何域，这里指样品点分布地段的总长度。实际上这样的变异函数也是不易得到的。

实验半变异函数，是指在有限的几何域内，有限多对点样品的变量的增量平方的均值，可写成：

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2 \quad (5-7)$$

实验半变异函数 $\gamma^*(h)$ 与局部半变异函数 $\gamma'(h)$ 与随机函数 $Z(x)$ 的特定现实值 $Z(x)$ 有关，故此半变异函数也是随机函数。其数学期望是随机函数的理论变异函数。

$$\gamma(h) = E\{Z(x+h) - Z(x)\}^2 = E\{\gamma^*(h)\} = E\{\gamma'(h)\} \quad (5-8)$$

在实际工作中，只有实验半变异函数可以得到。实验半变异函数是局部半变异函数的估计值。由于实验半变异函数是由有限的数据计算出来的，所以与局部变异函数之间存在偏差，这个偏差用变量 $E\{\gamma'(h) - \gamma^*(h)\}$ 来描述，叫局部半变异函数的估计方差。其大小取决于参加计算的数据对的数目。而局部半变异函数与理论半变异函数之间的偏差，用 $E\{\gamma(h) - \gamma'(h)\}$ 表示，叫波动方差，其大小与几何域 (L 或 V) 的尺寸大小有关。

根据理论与实践检验，当 N 大于 $30 \sim 50$ 时， h 小于 $L/2$ 时，估计方差是很小的，波动方差也不大，故可用实验半变异函数来估计局部半变异函数，因此，计算实验半变异函数，必须在 N 大于 $30 \sim 50$ ， h 小于 $L/2$ 的条件下进行。

变异函数的图形可以用通常的作图方法，即以半变异函数 $\gamma(h)$ 为竖轴 (y 轴) 和以距离 (或滞后) h 为横轴 (x 轴) 做出。即对一个确定的 h ， $\gamma(h)$ 是一个值。对于一系列滞后 h ，据 (5-8) 式可算出一系列相应的 $\gamma(h)$ 值。在 $\gamma(h)$ 对 h 的坐标图上，每一对 h 和 $\gamma(h)$ 都相当一个点，将各点联结得实验半变异函数曲线 (图 5-8)。

3. 方差、协方差、变异函数的关系及其性质

如图 5-8 可知，方差、协方差、变异函数之间的关系如下：

$$\gamma(h) = C(o) - C(h) \quad (5-9)$$

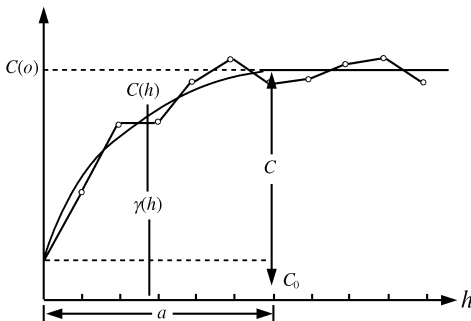


图 5-8 变异函数曲线图

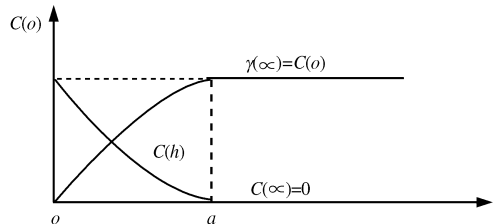


图 5-9 方差、协方差及变异函数关系图

式中： $\gamma(h)$ 为半变异函数； $C(o)$ 为有限(或先验)方差； $C(h)$ 为协方差(图 5-9)。

协方差 $C(h)$ 为向量 h (滞后)的函数。当 h 等于零时， $C(h)$ 值最大。随着 h 的增大， $C(h)$ 逐渐减小。当 h 趋向于无穷大时，协方差等于零，实际上当 $h \geq a$ (极限相关变程)时， $C(h)$ 的极限值为零。 $0 < h < a$ 时，有 $C(h)$ 存在，变量之间有相关关系， $C(h) = C(o) - \gamma(h)$ 。当 $h \geq a$ 时， $C(h)$ 为零，变量之间为非相关关系。 $C(h)$ 必须是正定函数。

半变异函数 $\gamma(h)$ 亦为向量 h (滞后)的函数，随 h 的增大而增大。当 h 等于零时， $\gamma(h)$ 一般等于零， h 趋于无穷大时，实际上当 $h \geq a$ 时， $\gamma(h)$ 趋于稳定，保持在一个极限数值上。即 $\gamma(h)$ 是以方差 $C(o)$ 为极限的。

$$\gamma(\infty) = C(o) \quad (5-10)$$

4. 计算实验半变异函数的方法

计算实验半变异函数的方法取决于区域化变量资料的空间结构，即样品的空间分布。

(1) 直线上等间距(或等长)样品半变异函数算法：包括沿脉坑道或天井按等距离取样，钻孔或穿脉坑道按固定长度连续取样，沿一定剖面上布置等距离垂直钻孔等计算矿石品位或厚度实验半变异函数。

计算方法是，以样品间距离或样品长度 d 作为基本距离(或叫滞后) h ，计算直线上每两个相邻样品品位或厚度之间的增量平方

$$[Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$$

然后计算其平均值

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$$

即该长度 $h = d$ 的实验半变异函数。然后计算 2 倍基本距离，即 $2h = 2d$ 间距，每两个相邻样品间实验半变异函数。

$$\gamma^*(2h) = \frac{1}{2(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2$$

如此计算 $3h = 3d$ ， $4h = 4d$ ， \dots ， $nh = nd$ 间距的实验半变异函数 $\gamma^*(4h)$ ，一直计算到距离 nh 等于样品分布统计地段长度的二分之一为止(图 5-10)。

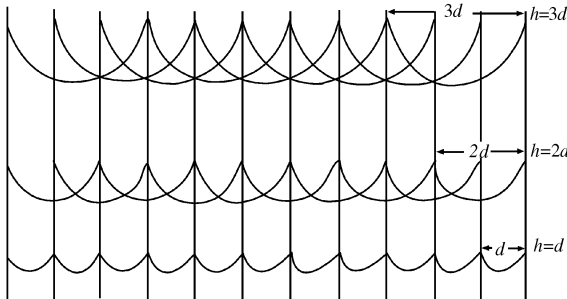


图 5-10 样品对与距离(滞后)长度

于是就可以根据不同的点距 h ， $2h$ ， $3h$ ， \dots ， nh 与不同点距时，样品品位差的平方平均值 $\gamma^*(h)$ ， $\gamma^*(2h)$ ， $\gamma^*(3h)$ ， \dots ， $\gamma^*(nh)$ ，画出半变异函数曲线。

(2) 直线上样品间距不等时实验半变异函数算法：在这种情况下，取 $(h \pm \epsilon h)$ 作为基本距离，其中 ϵh 为样品的最大或最小间距与平均距离的差数，然后以基本距离及其整倍数的间距 $(h \pm \epsilon h), 2(h \pm \epsilon h), 3(h \pm \epsilon h), \dots, n(h \pm \epsilon h)$ ，分别计算各个间距半变异函数 $\gamma^*(h \pm \epsilon h), \gamma^*[2(h \pm \epsilon h)], \gamma^*[3(h \pm \epsilon h)], \dots, \gamma^*[n(h \pm \epsilon h)]$ 。制图时在横轴上的位置，按 $(h \pm \epsilon h), 2(h \pm \epsilon h), \dots, n(h \pm \epsilon h)$ 的实际数值标定。

(3) 直线上连续取样，样品长度不等时实验半变异函数算法：如钻孔岩心取样或穿脉坑道取样样品长度不等时，先按一定长度 L 将样品组合，用原始样品长度加权平均法，计算出每个组合长度 L 范围内的平均品位作为基本数据，基本距离取 $h=L$ ，以 $h, 2h, 2h, 3h, \dots, nh$ 的间距，分别计算各个间距的平均实验半变异函数。

(4) 二维空间（平面）实验半变异函数算法：二维空间，一般要求计算4个方向的实验半变异函数，即沿矿体走向、倾向、走向与倾向交角的两个分角线方向。在每一个方向上实验半变异函数的计算方法，用前面介绍过的一维空间（直线上）的计算方法。其基本数据为每个钻孔或浅井、坑道中变量的平均值（薄矿体时），或一定高度的分层变量平均值（厚矿体时）。基本距离为各个方向的工程间距。

(5) 三维空间（立体）实验半变异函数算法： n 个一维空间，即 n 个钻孔，或者 H 个水平阶段的二维空间半变异函数的总和，即为三维实验半变异函数。

(6) 各个方向实验半变异函数组合法：为了要计算每一个方向的总体实验半变异函数，以表征在该方向上区域化变量的空间变化。就需要将各方向的实验半变异函数进行组合，求出不同距离的半变异函数的均值，计算方法采用数据对数加权平均法：

$$\gamma_a^*(h) = \frac{\sum_{i=1}^K [N_i \cdot \gamma_i^*(h)]}{\sum_{i=1}^K N_i} \quad (5-11)$$

式中： h 为距离（或滞后）； $\gamma_i^*(h)$ 为在 h 距离时第 i 线（或第 i 个钻孔，第 i 个沿脉坑道等）实验半变异函数； N_i 为计算 $\gamma^*(h)$ 的数据的对数， $i=1, 2, \dots$ ； K 为某一方向 α 的线数（或工程数）； $\gamma_a^*(h)$ 为距离 h 的时候 α 方向的平均实验半变异函数值。

例如在 $h=4\text{m}$ 时， $ZK_1: N_1=50, \gamma_1^*(h)=0.4$ ； $ZK_2: N_2=30, \gamma_2^*(h)=0.6$ ； $ZK_3: N_3=40, \gamma_3^*(h)=0.5$ ； $ZK_4: N_4=50, \gamma_4^*(h)=0.6$ 。

则垂直方向，在 $h=4\text{m}$ 时，平均半变异函数为

$$\gamma_z^*(h) = \frac{50 \times 0.4 + 30 \times 0.6 + 40 \times 0.5 + 50 \times 0.6}{50 + 30 + 40 + 50} = 0.52$$

如果各个方向实验半变异函数大体相同，即各向同性，可用各个方向的平均实验半变异函数，用数据对数加权平均法，算出整个矿体的总体平均实验半变异函数。

组合同一方向各个线的实验半变异函数或矿体总体中各个方向的实验半变异函数，需要遵守下述规则：

A. 计算实验半变异函数的区域化变量和它的承载大小必须相同。不同的变量，或变量相同承载大小不同，虽同一方向也不能组合求平均值。

B. 矿石类型相同的可以组合求出实验半变异函数的平均值。不同矿石类型，如氧化矿石与硫化矿石，虽然同一方向也不能组合求平均值。

C. 不同方向, 如果各个方向的实验半变异函数属同类型, 极限变程 a 大体相同, 才能组合求平均值。不同变异函数类型, 或类型相同, 极限变程 a 不同, 不能直接计算实验半变异函数总体平均值。在这种情况下要经过线性坐标变换。

D. 组合时要注意代表性, 不能只取富矿地段或贫矿地段的实验半变异函数, 组合成一个方向或整个矿体的实验半变异函数。

计算一个方向或整个矿体中区域化变量的平均值或先验方差时, 是在各个线平均值和线先验方差的基础上, 组合起来计算其平均值, 数据个数大体相近时, 用算术平均法, 数据个数不同时, 用数据个数加权平均。

5. 变异函数曲线类型

变异函数曲线 (实际上是半变异函数曲线) 清晰地反映了区域化变量的空间分布特征。变异函数曲线按其在原点附近的性状及曲线的总体形态, 分为五类 (图 5-11):

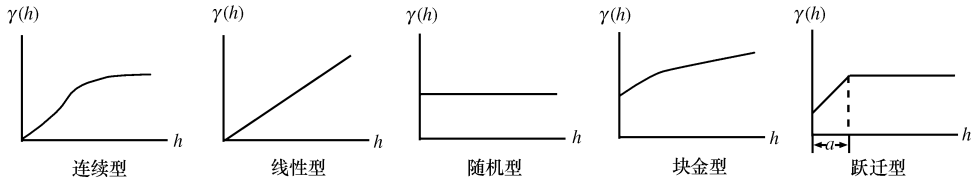


图 5-11 变异函数曲线类型

(1) 连续型 (或称抛物线型): 变异函数曲线在原点附近, 趋向于抛物线, 反映区域化变量的空间分布具有高度连续性。属于这类型有厚度连续的沉积矿层, 沉积变质矿层等;

(2) 线性型 (或叫弧线型): 变异函数曲线在原点附近呈斜向切线。反映区域化变量分布具有平均意义上的连续变化;

(3) 随机型 (或叫纯块金型): 变异函数曲线在一水平线上下波动, 从平均意义来说呈一水平直线, 其数值为一个块金常数值, 反映区域化变量空间变化具有纯粹的随机性, 变量之间为非相关关系。属于此类型的只有某些矿床, 特别是金矿床矿体品位的变化有时如此;

(4) 块金型 (或叫块金效应型): 变异函数曲线在原点附近不连续, 反映了区域化变量具有很低的连续性, 当 h 趋近于 0 时 (实际是很小距离时), $\gamma(h)$ 并不趋于 0, 是一种微型的随机型结构。这种类型曲线, 常见于有特高品位出现的有色金属、稀有金属及贵金属矿床矿体的微型结构函数曲线;

(5) 跃迁型 (或叫瞬变型): 变异函数曲线在原点附近呈斜切线, 或在原点附近很短距离内出现块金效应。变程在一定范围内, 变异函数随 h 增大而增大, 即实验半变异函数曲线呈跳跃上升, 反映出区域化变量的局部连续性, 具相关关系; 变程达到一定数值, 即 $h \geq a$ 以后, 半变异函数趋向稳定, 停留在有限方差 (即先验方差) 的水平线上, 这时区域化变量的连续性消失, 变为随机性, 变量之间为非相关关系。在这种类型曲线中区域化变量连续变化段与随机变化段, 或相关变化段与非相关变化段的分界距离 $h = a$ 的 a 值, 叫连续变化的极限变程或相关变化极限变程, 简称变程。故跃迁型曲线总

的反映区域化变量总体不连续、局部连续。属于此类型有有色、稀有和贵金属矿床，品位及厚度变化较大的黑色金属沉积矿床和沉积变质矿床的矿体。

6. 矿体的数学模型

根据区域化变量特点所绘制的变异函数曲线是一种根据样本实测数据作出的一种实验半变异函数曲线，由于样品数据较少，实际上只是一种锯齿状的非光滑曲线。因此这种变异函数曲线做出后，还必须用一个适当的圆滑曲线或直线对它进行模拟（拟合），并用一个特定的函数式去描述它，这就是变异函数理论模型（即矿体数学模型），用以反映区域化变量的空间变化特征。

常用的几种点变量理论模型可分为两大类：一类是有基台，即有有限方差的模型；另一类是没有基台，即没有有限方差的模型。前者包括：球状模型、指数模型和高斯模型；后者有戴维杰斯模型、线性模型、幂函数模型和对数模型。此外还有一种特殊的模型——孔穴效应模型。

7. 变异函数反映的地质意义

变异函数曲线类型及各项参数能够较好地刻画和反映地质体的空间结构特征，它包括：空间上连续性、随机性和独立性、平稳和非平稳性、各向异性、趋势性、周期性以及综合变化性（变化性质、变化程度、变化影响因素和范围）。对这些属性的了解和评价，对指导矿产勘查工作具有很重要的意义。

(1) 变程 a 反映地质变量的影响范围，或者说反映地质变量的自相关范围。对于一个矿体来说，在变程 a 范围之内，矿体的变量（如品位或厚度）具有相依性，超出变程 a 范围，则不具相依性。因此可以变程 a 作为确定勘探工程间距或取样间距的参考；

(2) 变异函数在极点处的极限形态可以反映变量不同程度的空间连续性。抛物线型反映变量高度连续性；线性型反映变量具有平均的连续性，跃迁型反映变量局部具有连续性，总体上不连续性；纯随机型反映变量在任何范围内都是不连续的；

(3) 当变量在某方向上的变异函数为：

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{-\frac{h}{a}} \cos \left[2\pi \frac{h}{b} \right] \right], b > 0 \quad (5-12)$$

则变异函数呈现孔穴效应，其中 b 值大小可反映变量沿此方向具有周期性变化，其变化周期大致与 b 值相同。可反映矿体中贫富矿体交替出现或矿体中夹石存在的规律；

(4) 基台值可以反映变量沿该方向的变化幅度；块金常数反映变量中随机性因素的大小；而基台值与变量的平方值 $(C_0 + C/a^2)$ 可以反映变量沿此方向变化梯度（变化速度）；

(5) 根据不同方向变异函数类型的比较，可以评价地质体变量的各向同性或异性；

(6) 变异函数有无基台值存在可反映变量是平稳的还是非平稳的变化；

(7) 根据变异函数的参数值可以构造矿体变化性的综合指标，可同时反映矿体某变量的变化梯度（变化速度）、变化幅度（变化程度）、变化的随机性。

二、矿体变化程度的数学表征方法

1. 均方差和变化系数

均方差是数理统计中反映随机变量离散程度的参数，表示各个数据对其数学期望（平均值）的偏离程度。均方差的通式为：

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5-13)$$

如果将数据分为 m 组, 设组中值为 x_1, x_2, \dots, x_m , 相应的频率为 $f_1^*, f_2^*, \dots, f_m^*$, 则其均方差为:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 f_i^*} \quad (5-14)$$

均方差是有单位的特征数, 其单位与变量的单位相同, 它只取正值, 不取负值。

均方差能衡量一批数据的绝对离散程度, 均方差愈小, 数据愈集中在平均值附近, 均方差愈大, 数据愈分散。

实际应用时, 如果 n 较小 ($n < 25 \sim 50$), 通常分母的 n 换为 $n-1$ 来计算, 即

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5-15)$$

$$\text{或} \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 f_i^*}$$

从上可知, 均方差的大小只与各个变量值与其平均数的离差大小有关, 而与各个变量值本身的大小无关。

当两组变量值具有不同的平均数时, 如两组变量的均方差相等, 并不能认为它们的变化程度也相等。例如一组铁的品位 (%) 数据为 30.1, 30.2, 30.5, 30.7, 31.0; 另一组铅的品位 (%) 数据为 1.1, 1.2, 1.5, 1.7, 2.0。计算结果表明 $\bar{x}_{\text{铁}} = 30.5\%$, $\sigma_{\text{铁}} = 0.37$; $\bar{x}_{\text{铅}} = 1.5\%$, $\sigma_{\text{铅}} = 0.37$ 。虽然它们具有相同的均方差, 但由于铁的品位原来水平就高 ($\bar{x}_{\text{铁}} = 30.5\%$), 故应认为铁的品位变化不大; 而铅的品位原来水平就低 ($\bar{x}_{\text{铅}} = 1.5\%$), 应认为其变化较大。所以, 必须考虑到各个变量值本身大小的影响。

由此可见, 仅用均方差 (σ) 来反映变量的绝对离散程度 (变化程度) 是不够的, 还必须采用相对离散程度——变异系数 (V) 来描述一组变量值变化程度的大小。

变异系数也称变化系数, 它是根据变量的观测值 x_1, x_2, \dots, x_n 计算得到的均方差 (σ_x) 与此观测序列的算术平均值 \bar{x} 间的比值, 通常以百分数表示。

变化系数是一个相对数, 它便于比较平均值不同的数据的离散程度。例如不同金属矿床的平均品位极不一致, 用均方差不能很好地互相对比其有用组分分布的均匀程度, 而用品位变化系数进行对比则较为方便。所以在研究矿体变化时多采用变化系数, 很少采用均方差。前边列举的铁、铅数据, 其变化系数分别为:

$$V_{\text{铁}} = \frac{0.37}{30.5} = 0.012 = 1.2\%; \quad V_{\text{铅}} = \frac{0.37}{1.5} = 0.25 = 25\%$$

可见, 铁品位的相对离散程度比铅的相对离散程度小, 说明铅品位变化比铁大。

应当注意的是变化系数是一个反映随机变量离散程度的统计特征值。因此, 对于偶然性变化或随机性变化, 变化程度主要取决于数据的离散程度, 它可以充分反映变化的复杂程度。但对于坐标性或方向性化, 其变化程度因受各个数据空间排列顺序的影响, 则变化系数基本上不能反映坐标性变化的复杂程度。例如有两组厚度观测值如表 5-5 中所列, 其均方差与变化系数相同, 但从坐标曲线图 (图 5-12) 则可看出, 第一组为简单的线性变化, 第二组为多峰值, 剧烈起伏的曲线, 其变化显然较第一组复杂。



图 5-12 变化系数相同而变化程度不同的两组厚度变化示意图

表 5-5

观测点序列号	第一组观测值/m	第二组观测值/m
1	1	9
2	3	3
3	5	15
4	7	5
5	9	11
6	11	1
7	13	13
8	15	7
均方差 (σ)	4.99	4.99
变化系数 (V)	62%	62%

2. 二级差平均数与变化指标

前已叙及均方差与变化系数不能反映各标志值空间排列的关系。实际上矿体的标志值如厚度值、品位值等多与观测点的空间坐标有一定的关系。因此 Д.А. 卡查柯夫斯基 (Казаковский) (1948) 提出用相对平均二级差数平均值来确定矿体标志的变化程度。

设 $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_{n-2}, x_{n-1}, x_n$ 是按取样地点排列的某标志测定值。由每个值减去其前一个值，得一级差序列 $\Delta'_1 x, \Delta'_2 x, \Delta'_3 x, \dots, \Delta'_{n-2} x, \Delta'_{n-1} x$ ，再由每一个一级差减去前一个一级差，得二级差列，并求其绝对值，则这些绝对值的平均数对各测定值的平均数 \bar{x} 之比，称为相对平均二级差 (表 5-6) 或变化指标 (J)；即

$$\Delta''_{cp} = \frac{|\Delta'_1 x| + |\Delta'_2 x| + \dots + |\Delta'_{n-2} x|}{n-2} \quad (5-16)$$

$$J = \frac{\Delta''_{cp}}{\bar{x}} \quad (5-17)$$

式中： Δ''_{cp} 为二级差数值的平均值； \bar{x} 为标志值的平均值； J 为相对平均二级差。

用 Δ''_{cp} 可以评定矿体某标志的绝对变化程度，用 J 可以评定其相对变化程度。

表 5-6

观测值	一级差	二级差
x_1		
x_2	$x_2 - x_1 = \Delta'_1 x$	
x_3	$x_3 - x_2 = \Delta'_2 x$	$\Delta'_2 x - \Delta'_1 x = \Delta''_{1x}$
x_4	$x_4 - x_3 = \Delta'_3 x$	$\Delta'_3 x - \Delta'_2 x = \Delta''_{2x}$
\vdots	\vdots	\vdots
x_{n-2}	$x_{n-1} - x_{n-2} = \Delta'_{n-2} x$	
x_{n-1}	$x_n - x_{n-1} = \Delta'_{n-1} x$	$\Delta'_{n-1} x - \Delta'_{n-2} x = \Delta''_{n-2} x$
x_n		

例如有以下两组观测值序列计算结果表明：无论是绝对变化与相对变化，第二组观测值均比第一组观测值大（表 5-7）。

表 5-7

第一组			第二组		
观测值	一级差	二级差	观测值	一级差	二级差
1			9		
3	3-1=2		3	3-9=-6	
5	5-3=2	2-2=0	15	15-3=12	12+6=18
7	7-5=2	2-2=0	5	5-15=-10	-10-12=-22
9	9-7=2	2-2=0	11	11-5=6	6+10=16
11	11-9=2	2-2=0	1	1-11=-10	-10-6=-16
13	13-11=2	2-2=0	13	13-1=12	12+10=22
15	15-13=2	2-2=0	7	7-13=-6	-6-12=-18
$\Delta''_{cp}=0$			$\Delta''_{cp}=18.66$		
$J=0$			$J=2.33$		

这种方法主要用于研究坐标性变化，其实质是利用差分原理来表示矿体变化程度。一级差就是一阶差分，二级差就是二阶差分。如观测点距相当，并且标志值为线性变化时，二级差等于 0。如果由于局部随机性变化的影响，使 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 等偏离原来的直线，二级差可以反映局部随机性变化影响的大小。当标志值的总体变化为非线性变化或观测点间距不相等时，二级差所反映的内容意义不大。

在实际工作中由于矿体标志值的变化往往呈波状起伏，当观测点间距小于半波长时，间距越大，级差越大。当观测点间距增大到大于各半波长时，则级差又逐渐减少。所以此法受观测点间距的影响。

由于增大或减小观测点间距，同一矿床的 J 值显著不同，所以如果观测点间距不同就无法比较观测值的变化程度。由此可见，利用二级差法研究矿体变化时，尚存在一些问题需要进一步研究解决。

3. 含矿系数或含矿率

含矿系数也称含矿率，它是指工业矿化地段（工业矿体）的长度、面积或体积与整个矿化地段（含矿体）的长度、面积或体积的比值。它是表示矿化连续程度的重要指标，能说明矿体内工业矿化的连续程度。含矿系数的变化在 0~1 的范围内。

$$K_p = \frac{L_p}{L_0} \text{ 或 } K_p = \frac{S_p}{S_0} \text{ 或 } K_p = \frac{V_p}{V_0} \quad (5-18)$$

式中： L_p, S_p, V_p 分别为工业矿化地段（工业矿体）的长度、面积、体积； L_0, S_0, V_0 分别为矿化地段（包括矿体在内）的长度、面积、体积。

根据含矿系数的大小，将矿体中工业矿化的连续性分为 4 类（表 5-8）：

工业矿化的连续性，取决于边界品位的高低，同一矿床或同一矿体，边界品位定得低一些，矿化连续性就好一些；相反边界品位定得高一些，矿化连续性也就差一些。故分析工业矿化连续性时，首先要确定边界品位指标，然后按边界品位圈定工业矿体边界，才能计算含矿系数，判断矿化的连续性。由于矿床评价阶段和勘探初期，主要是通过地表工程

表 5-8 工业矿化的连续性分类表

K_p 值	矿化连续程度	主要特征
1	矿化连续的	整个矿体均达到工业要求
0.7~1	矿化微间断的	矿体内局部地段未达到工业要求
0.4~0.7	矿化间断的	矿体内达到工业要求地段稍大于未达到工业要求的地段
<0.4	矿化极间断的	矿体内大部分地段未达到工业要求

追索与揭露矿体，各个剖面上只有极少数工程控制，这时研究工业矿化的连续性主要根据地表资料，计算含矿系数，也就是只能计算线含矿系数（即长度含矿系数）。而勘探后期及矿山开采时，矿体揭露比较充分，已经有条件在三度空间研究矿化的连续性，这时计算含矿系数也就需要计算面含矿系数或体含矿系数。

应该指出的是，以往在研究矿化连续性时，没有考虑在矿体内矿化间断的频率和工业矿化地段或无矿地段规模大小的变化及其分布规律性等对矿床勘查的影响。例如两个矿体的含矿系数相同，但间断频率不同，则勘查时勘查工程的见矿率不同，圈定矿体的误差也不同。因此，在研究矿化连续程度时，这些问题应该予以注意。

4. 矿化强度指数

矿化强度是反映品位变化程度的另一个重要指标。矿化强度是通过某地段（某工程、某块段、某中段等）的平均品位与整个矿体的平均品位之比来确定的。这个比值一般称为“矿化强度指数”（ I_c ），其公式为

$$I_c = \frac{C_i}{C} \quad (5-19)$$

式中： C_i 为矿体某地段之平均品位； C 为矿体总平均品位。

通过不同地段或不同中段矿化强度指数的比较，可以初步查明矿化强度在矿体三度空间的变化规律。矿化强度的变化与品位分布均匀程度有一定的联系：矿化强度变化越大，品位分布也越不均匀，而矿化强度越大，品位变化相对地越小。矿床的矿化强度大时，勘查误差对矿床评价的影响相对地就小，反之影响则较大。对不同矿化阶段矿化强度变化的

研究，有助于指导矿床勘查和评价。当然，在根据矿化强度评价矿床时，还应注意综合地考虑到矿化广度，也即矿化范围问题。例如网脉状矿床一般矿化强度低，但矿化广度大，因而具有工业价值。反之，某些脉状矿体厚度甚小，但如矿化强度大，则也可能圈为工业矿体。

矿化强度指数往往被用于对矿床各部位进行对比，所以一般都是在已有较多的勘查资料时采用。通过这种对比，常常可以发现矿化在矿床或矿体中的一些重要规律。如图 5-13 所示，矿化强度指数随矿体深度加大而增大，这对评价矿床十分重要。

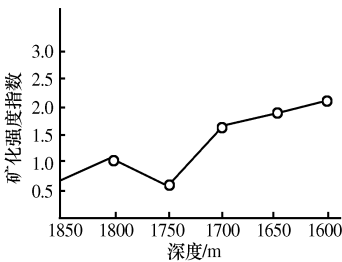


图 5-13 不同勘探水平矿化强度指数比较

5. 矿体边界模数

为了描述矿体边界外形的复杂程度，И.А. 晋可夫(1957)提出边界模数的数值指标，用于评定矿体边界外形的复杂程度。

关于边界模数的计算方法，有人认为边界模数是矿体的实际边界长度与该矿体等面积的一定几何形态（圆形、矩形、椭圆形）的边界长度之比值，也有的认为是该矿体等面积的一定标准图形的边界长度与矿体实际边界长度的比值。考虑到类比应用上的方便，采用后者作对比基数为宜。边界模数的具体计算，可根据矿体断面图形之不同，分别选用不同计算方法。

(1) 当矿体的断面形态近于等轴状态时，可用与其等面积的圆作为标准图形，即以标准图形圆的周长 (L_0) 与矿体在断面上的周长 (L_K) 之比计算：

$$\mu_K = \frac{L_0}{L_K} = \frac{2\pi \sqrt{\frac{S_P}{\pi}}}{L_K} \quad (5-20)$$

式中： μ_K 为矿体边界模数； L_K 为断面上矿体边界总长度 (m)； L_0 为等面积标准图形圆的周长 (m)； S_P 为矿体的断面面积 (m²)。

(2) 当矿体的断面形态近于矩形时，可以用与其等面积的矩形周长与矿体在断面上的周长之比计算：

$$\mu_K = \frac{L_0}{L_K} = \frac{2\left[l + \frac{S}{l}\right]}{L_K} \quad (5-21)$$

式中： L_K 为断面上矿体边界总长度 (m)； L_0 为等面积同延深的矩形周边长度 (m)； l 为矿体在剖面上的延深长度 (m)； S 为矿体的断面面积 (m²)。

(3) 当矿体的断面形态具有透镜状外形时，可用椭圆作为确定边界模数的标准图形，椭圆的两个轴分别等于矿体的长度与厚度，其计算公式：

$$\mu_K = \frac{L_0}{L_K} = \frac{l(4 + 1.1M + 1.2M^2)}{2L_K} \quad (5-22)$$

式中： $L_0 = \frac{l}{2}(4 + 1.1M + 1.2M^2)$ 为椭圆的周长 (m)； l 为矿体在剖面上的长度 (m)； M 为断面中矿体最大厚度 (椭圆的短轴) (m)； L_K 为断面上矿体边界总长度 (m)。

矿体边界模数在一定程度上反映了矿体形态的复杂程度，模数越小，形态越复杂，反之，模数越大，矿体形态越简单。边界模数值的变化介于 1~0 之间，即 $0 < \mu_K \leq 1$ 。

在实际工作中，为了充分地描述矿体外形的复杂程度，应该根据不同方向的断面图进行计算。在不同的断面图上，边界模数值之间的比例关系，显示了沿这些方向矿体变化程度的区别，并且可以直接利用这一比值来选择勘探网的形状。在具有大量按水平断面图计算的边界模数条件下，可以判断深部矿体形态变化特征。

边界模数的缺点与含矿系数类似，它不能反映边界凸凹的频率及其有无规律性，此外，即使对于同一矿体的不同断面来说，其边界模数值的变化也是相当大的。因此，在实际工作中，最好与其他方法综合应用，可取得较好效果。

第六章 勘查工程系统

矿床勘查的过程就是对矿体及矿床的追索和圈定的过程。而追索和圈定的最基本的方法就是编制矿床的勘查剖面。因为只有通过矿体各方向上的剖面才能正确而客观地反映矿体的形状、产状、厚度变化,有用和有害成分、矿石自然类型和工业品级的分布,以及储量估算所需要的各种参数。所以,要想获得矿体的完整概念,就要求用来揭露矿体的各种勘查工程手段必须按一定距离有规律地布置构成勘查工程系统,也就是尽可能地把几个相邻的勘查工程布置在一个剖面内,以便根据它们来编制勘查剖面。而勘查剖面的具体布置又取决于矿体的基本形状。

第一节 矿体形态基本类型

自然界的矿体形态是变化多端的,但根据其几何形态标志,可以划分3个基本形态类型:

1. 一个方向(厚度)短,两个方向(走向及倾向)长的矿体

这一类矿体包括水平的、缓倾斜的,以及陡倾斜的薄层状、似层状、脉状及扁豆状矿体。这种矿体在自然界出现得较多。其变化最大的方向是厚度方向,因此,在多数情况下勘查剖面布置在垂直矿体走向的方向上。图6-1为一水平层状矿床的勘查剖面。

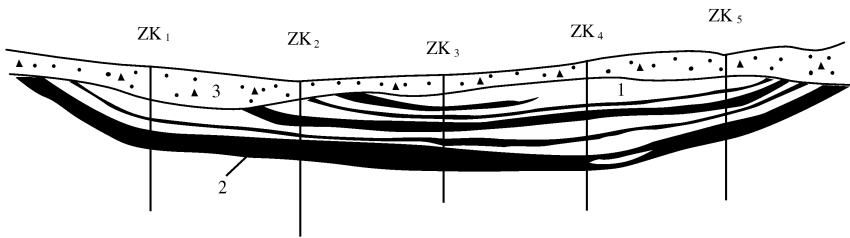


图6-1 近水平层状矿床的勘查剖面
1—围岩地层; 2—矿层; 3—第四纪盖层

2. 一个方向(延深)长、两个方向(走向及倾向)短的矿体

这一类矿体主要是向深部延深较大的筒状矿体。这种矿体最重要的方法是通过水平断面来反映矿体的地质特征(图6-2)。也即用水平断面在不同的标高截断矿体,然后综合各水平的断面中的矿体特征,得出矿体的完整概念。

3. 三向延长的等轴状块状矿体

这类矿体包括那些体积巨大的、没有明显走向及倾向的块状矿体,如各种斑岩型铜、钼矿等。这种矿体形状在三度空间的变化可视为均质状态,因而勘查剖面的方向是影响不

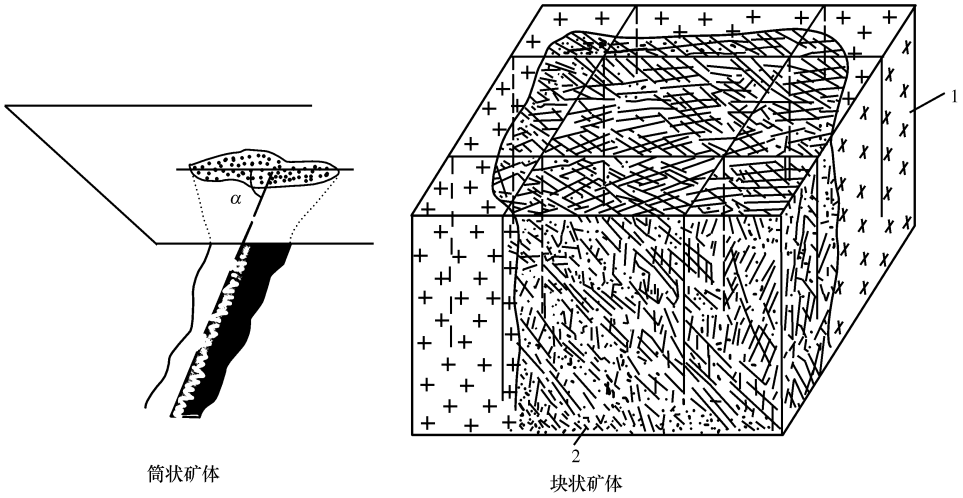


图 6-2 勘查剖面

1—花岗岩体；2—花岗岩中细脉浸染矿体

大的，但从技术施工和研究角度出发，一般均应用两组互相垂直的勘查剖面。

矿体的形态特征除考虑到矿体在三维空间的几何标志，还应注意矿体的产状变化标志，例如矿体的走向、倾向及倾角。但对部分矿体，例如：脉状、透镜状、柱状等矿体，还需要考虑矿体的侧伏方向及侧伏角的变化，以便准确判定矿体的空间变化规律。矿体侧伏角是矿体最大延伸方向（即矿体轴向）与矿体走向线之间的夹角（图 6-3 中角 abc ）。矿体倾向角是矿体最大延伸方向与其水平投影之间的夹角（图 6-3 中角 dbc ）。矿体倾角是矿体倾斜面与水平面之间的夹角（图 6-3 中角 bfe ）。

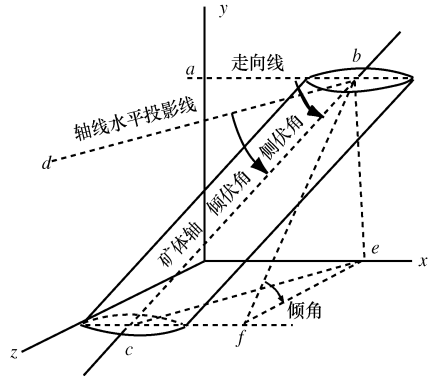


图 6-3 矿体产状要素示意图

第二节 勘查工程总体布置

一、勘查工程布置的基本原则

为了有效地对矿床进行勘查，布置勘查工程时，必须遵循以下几点：

- (1) 各种勘查工程，不论地表还是地下，都必须按一定的间距系统而有规律地布置，并尽量使各相邻的工程互相联系，以利于制作一系列的勘查剖面 and 获得矿体的各种参数；
- (2) 勘查工程应尽量垂直矿体的走向，或垂直矿体的平均走向和主要构造线的方向布置，以保证勘查工程沿矿体厚度方向穿过整个矿体或含矿构造带；

(3) 为了遵循对矿床的认识规律，勘查工程的布置要由已知到未知，由地表到地下，由稀到密的布置；

(4) 当应用地下坑探工程进行勘查时，应使勘查坑道尽可能为将来开采时所利用，因此布置时预先要考虑使之开采系统和技术要求相一致。

二、勘查工程总体布置形式

目前所采用的勘查工程总体布置形式有以下几种：

1. 勘探线

一组勘查工程从地表到地下按一定间距布置在与矿体走向基本垂直的铅垂勘查剖面内，并在不同深度揭露或追索矿体（图 6-4）。这种勘查工程的总体布置形式，称勘探线。

在勘查剖面上可以是同一类勘查工程，如全部为钻孔（图 6-4），而在多数情况下是各种勘查工程手段综合应用（图 6-5）。但是，不论勘查工程手段是单一或是多种的，都必须保证各种工程在同一个勘查剖面之内。

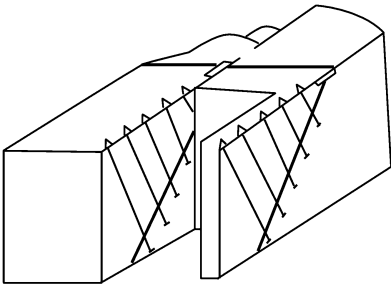


图 6-4 用勘探线勘查矿脉立体示意图

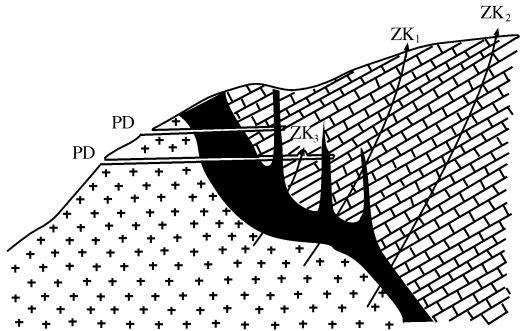


图 6-5 砂卡岩白钨矿的勘探线剖面图

（根据 В. И. 斯米尔诺夫）

勘探线一般适用于两个方向（走向及倾向）延长，产状中等至较陡的层状、似层状、透镜状及脉状的矿体等。

勘探线的布置，应使勘探线的延长方向与矿体走向或平均走向相垂直，也就是使勘探线沿矿体倾斜方向布置，保证勘探线的工程沿厚度方向截穿矿体。一般情况下，对一个矿体或含矿带的勘探线应相互平行，便于勘查剖面资料的整理，便于储量估算。但是，当一个矿体的规模很大，矿体或含矿带受构造影响在不同地段的产状变化较大时，则应按具体情况划分若干地段，并用不同方向的各组平行勘探线对各部分进行布置。

决定对一个矿体或含矿带采用勘探线进行勘查时，则最先的几排勘探线应布置在矿体或矿化带的中部，经全面详细的地表地质研究后，并已确定为最有远景的地段，然后再逐渐向外扩展勘探线。

2. 勘探网

勘查工程布置在两组不同方向勘探线的交点上，构成网状的工程总体布置方式，称勘探网。其特点是可以依据工程的资料，编制二至四组不同方向的勘查剖面，以便从各个方向了解矿体的特点和变化情况。

勘探网布置工程的方式，一般适用于矿区地形起伏不大，无明显走向和倾向的等向延长的矿体，产状呈水平或缓倾斜的层状、似层状以及无明显边界的大型网脉状矿体。

勘探网与勘探线的区别在于各种勘查工程必须是垂直的，勘查手段也只限于钻探工程和浅井，并严格要求勘查工程布置在网格交点上，使各种工程之间在不同方向上互相联系。而勘探线则不受这种限制且有较大的灵活性，在勘探线剖面上可以应用各种勘查工程（水平的、倾斜的、垂直的）。

勘探网有以下几种网型：正方形网、长方形网、菱形网及三角形网。一般正方形和长方形网在实际工作中最常用，后者应用较少。下面分别介绍各种网形（图 6-6）。

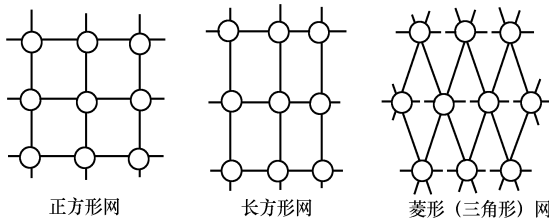


图 6-6 勘探网的基本类型

(1) 正方形网：由两组相互垂直的勘探线组成各边相等的正方形网，在网格交点上布置垂直的钻孔或浅井。

正方形网用于在平面上近于等向，而矿体又无明显边界的矿床，如斑岩型矿床、产状平缓或近于水平的沉积矿床、似层状内生矿床及风化壳型矿床等。这些矿床无论矿体形态、厚度、矿石品位的空间变化，常具有各向同性的特点。

正方形网的特点在于能够用以编制几组精度较高的剖面，一般两组剖面；同时还可以编制沿对角线方向的精度稍低的辅助剖面。

正方形网的第一条线应通过矿体中部的某一基线的中点，然后沿两个垂直方向按相等距离从中部向四周扩散，以构成正方形网去追索和圈定矿体。

(2) 长方形网：长方形网是正方形网的变形。勘查工程布置在两组互相垂直但边长不等的勘探线交点上，组成沿一个方向勘查工程较密，而另一方向上工程较稀的长方形网。

在平面上沿一定方向延伸的矿体，或矿化强度及品位变化明显的沿一个方向延伸较大而另一方向较小的矿体或矿带，适宜用长方形网布置工程。长方形的短边，也即工程较密的一边，应与矿床变化最大的方向相一致。

(3) 菱形网：也是正方形网的一个变形。垂直的勘查工程布置于两组斜交的菱形网格的交点上。菱形网的特点在于沿矿体长轴方向或垂直长轴方向每组勘查工程相间地控制矿体，而节省一半勘查工程。对那些矿体规模很大，而沿某一方向变化较小的矿床适于用菱形网。

(4) 三角形网：菱形网在其一个对角线方向加上勘探线便变成三角形网。三角形网，特别是正三角形网，是一种较好的工程布置形式，用相同的工程量可能比其他布置形式取得较好的地质效果。

尽管有人在理论上证明了正三角形网的优越性，但在实际工作中应用者甚为少见，可能的原因还是地质上的考虑，应用正方形网对了解走向和倾向方向矿体的变化比正三角形

网方便得多。

总之，网形的选择，要全面研究矿区的地形、地质特点和各种施工条件，使选定的网型既能满足勘查工作的要求，又能方便于施工。

3. 水平勘查

主要用水平勘查坑道（有时也配合应用钻探）沿不同深度的平面揭露和圈定矿体，构成若干层不同标高的水平勘查剖面。这种勘查工程的总体布置形式，称水平勘探（图 6-7）。

水平勘探主要适用于陡倾斜的层状、脉状、透镜状、筒状或柱状矿体。当平行的水平坑道与钻探配合，在铅垂方向也构成成组的勘查剖面时，则成为水平勘探与勘探线相结合的工程布置形式。以水平勘探布置坑道时，其位置、中段高度、底板坡度等，均应考虑到开采时利用这些坑道的要求。应用这种布置形式，可编制矿体水平断面图。

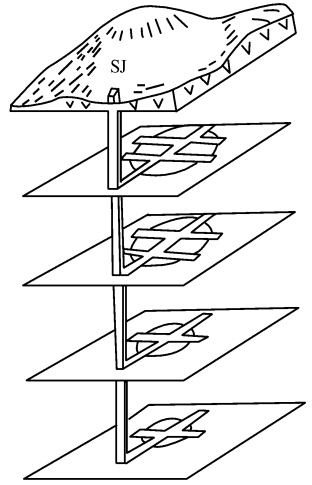


图 6-7 水平勘查筒状矿体

4. 灵活布置工程

从概率的角度看，当人们对所要勘查的矿床的信息（各种矿体参数）了解的先验概率很小的时候，采用规则勘查网布置工程获得信息的概率要大。反之，当我们加强了地质规律的研究，对矿床的变化规律有了一定的认识，也就是说可以对矿体的变化作一定的预测的时候，就不一定非用规则的勘查网，这时就可以采用有目的的、有根据的、有的放矢的布置工程，这就是灵活的布置工程。

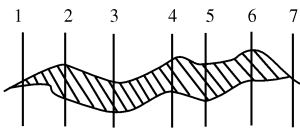


图 6-8 鞍山式贫铁矿勘查线布置图

例如鞍山地区的变质铁矿，由于品位均匀，因此勘查时的主要关键是控制矿体形态的变化。但是，经过地质控制因素的研究了解到矿体厚度变化主要受次级横向和纵向褶皱控制，因此，勘查线的布置就不是等间距的，而是在矿体形态变化的转折点及横向褶皱轴部，这样布置显然比等间距布置更能准确的圈定矿体，而且节省工程（图 6-8）。

由上例可见，勘查工程总体布置要不要按等距进行，要不要按一定规律进行。这是相对的概念，它取决于人们对矿床变化规律认识的程度。

一般情况下，矿体参数的预测是比较困难的，在这种情况下要求按等距规则布置工程是正确的。但是，也应当看到，在当前地质勘查技术方法不断改进和发展，先进技术不断采用和提高，特别是数学手段定量研究矿体变化性的应用，在一定条件下，人们预测矿体的变化有了可能，因此，根据实际需要而灵活布置工程今后应当给以足够的重视。

第三节 勘查工程间距的确定

勘查工程间距又称勘查工程网密度，简称勘查工程网度或勘查工程密度。是指每个贯穿矿体的勘查工程所控制的矿体面积，通常以工程沿矿体走向的距离与倾斜的距离来表示。例如勘查网度 $100\text{ m} \times 50\text{ m}$ ，是指工程沿矿体走向的距离为 100 m ，沿矿体倾斜或变化

最大方向的距离为 50 m。

合理勘查网密度，就是能够使获得的地质成果与真实情况之间的误差在允许范围之内内的最稀的勘查网密度。也就是能够保证勘查所得的某一级别储量符合列入这一类别储量所要求的条件的最稀的勘查网密度。

一、勘查工程间距确定的基本原则

合理地确定勘查工程间距，是矿床勘查中的一个重要课题。它不仅是一个技术问题，而且也是一个重要的经济问题，其确定得合理与否，对勘查工作的速度，质量或勘查成本都有重大的影响。合理勘查工程间距的确定应遵循以下基本原则：

(1) 以勘查类型基础，类型简单的工程间距相对稀疏，类型复杂则工程间距相对密集。根据矿床或矿体地质特点，并结合经济及自然条件，要求采用的间距做到不漏掉一个有工业价值的矿体。

(2) 相邻勘查类型和控制程度之间的勘查工程间距原则上为整数级差关系。选择的工程间距在地质上要求足以进行相邻剖面或相邻工程资料间可以互相联系和对比。

(3) 勘查工程间距可有一定变化范围，以适应同一勘查类型不同矿床，或同一矿床不同矿体（或矿段）的实际变化差异。主要矿体与次要矿体，浅部与深部，重点勘查地段与外围概略了解地段应当加以区别对待，不能采用一成不变的工程间距。

(4) 工程间距要由稀到密、先稀后密的次序进行，在勘查中要不断检验间距是否合理，而且要及时的调整间距，使其更加合理。

二、确定勘查工程间距的方法

目前所使用的确定勘查工程间距的方法可分成两类：验证方法和分析方法。

（一）验证方法

为了确定合理的勘查工程间距，最好的方法就是验证的方法。只有通过对正在进行勘查的矿床，和已勘查完毕或已经开采的矿床进行勘查工程间距的验证，检查原来所选择的勘查工程间距是否正确，才能正确确定探明矿床和估算各类储量的最合理的勘查工程间距。验证勘查工程间距的方法很多，我国常用的有：

1. 类比法

类比法的实质是在总结和积累矿床勘查经验和资料的基础上，将准备勘查的矿床，与已经进行过勘查而在主要特点上与其相类似的矿床进行比较，采用与其相近似的勘查工程间距。也就是利用国内外勘查类似矿床时选择勘查工程间距的经验，来确定勘查工程间距。这是目前确定勘查工程间距的最基本的，也是第一步的方法。地质勘查规范中所规定的各种勘查类型，各种储量级别的勘查工程间距（表 6-1, 6-2），是在总结了许多矿床勘查经验的基础上制定出来的，因此参照规范中所规定的勘查工程间距也是类比法的一种具体运用。

类比法确定勘查工程间距是最常用的一种方法，特别是在勘查初期，仅有地表地质研究和极少量的地下资料的情况下，应用此法最为合适。

由于自然界的矿床各有特点，绝没有两个特点完全相同的矿床。因此也很难使得一个矿床的全部特点完全与规范中各类矿床相一致。因此，在应用类比法确定勘查类型和勘查

表 6-1 铜、铁矿床各勘查类型的勘查工程间距表

矿种	勘查类型	勘查工程间距/m			
		探明的		控制的	
		沿走向	沿倾向	沿走向	沿倾向
铁	I	200	100~200	400	200~400
	II	100	50~100	200	100~200
	III	50	50	100	50~100
铜	I	100	100	200~240	100~200
	II	50~60	40~50	120~160	100~120
	III	40~50	30~40	80~100	60~80

表 6-2 岩金矿床勘查工程间距表

勘查类型	控制的资源/储量			
	坑探		钻探	
	段高/个	穿脉/m	走向/m	倾向/m
I	(二)	40~80	80~160	80~160
II	(一)~(二)	20~40	40~80	40~80
III			20~40	20~40

注：1. (一)和(二)分别指相当于一、二个中段段高。当矿体陡倾时，一般坑道段高为30~40 m，缓倾斜时一般沿矿体倾向40~60 m。

2. 钻探的倾向距离一般指沿矿体倾向的实际距离。

3. 探求探明的资源/储量的钻孔间距，可以在控制的资源/储量的钻孔间距的基础上，缩小至原间距的1/2、1/4、……余类推。

4. 对第III类型矿床，如果用上表的工程间距，无法探求相应控制程度要求的矿产资源/储量时，则只能边探边采，不宜进行勘探工作。

5. 当矿体在走向或倾向上的变化程度不同时，工程间距应做与矿体变化相应的调整。

工程间距时，必须充分地结合该矿床的特点及已有的勘查资料，参考规范，灵活地确定合理的勘查工程间距，切不可千篇一律的机械套用规范。应用类比法参考勘查规范确定勘查工程间距时，必须注意以下几个问题：

(1) 上述勘查类型的划分和所列勘查工程间距，是根据我国地质勘查部门多年的地质勘查经验，和一些比较典型的矿山进行了探采对比，以及征求矿山生产和矿山企业设计部门的意见后，综合归纳出来的。但是，地质勘查实践告诉我们，世界上的矿床从共性的角度可以划分类型，用类型把千变万化的矿床统一起来，但是，每个矿床和矿体又都有其自己的特征，而这种特征的变化往往决定着对它的具体勘查方法，所以，在地质勘查工作中矿床勘查类型的划分必须同矿床地质研究结合起来。矿床地质研究中尤应以矿体变化性为主，取得地质参数的变化性质和程度，类型的确定才能合理。

(2) 在确定矿床勘查类型和勘查工程间距时，应以主矿体(层)为对象。对于矿体局部产状、厚度和矿石质量变化较大或构造复杂地段，必要时可酌情适当补加工程。

(3) 地质勘查程度的高低，不仅取决于工程控制的密度，还取决于地质规律的综合研究程度。因此要做好地质综合研究工作，努力做到正确反映矿床地质实际情况，防止单纯

依靠加密工程的倾向。

2. 加密法

所谓加密法即在有代表性的地段加密工程，根据两种网度所得的勘查成果分别绘制图件和进行储量估算，验算对比加密勘查工程前后矿体的地质因素和储量的变化情况，如果矿体变化不大，储量误差也没超出允许范围，这就说明原定的各类储量的勘查网密度是合理的；反之，则说明原定的勘查网密度太稀，应该加密。

在地质勘查的过程中，一般在勘查后期准备探求高级储量阶段，如对所确定的勘查网密度的正确性有所怀疑，或对新类型矿床的勘查需要进一步肯定勘查网密度的正确性的时候，才用加密法来验证勘查网密度。

3. 稀空法

稀空法是按照一定的规则放稀勘查工程间距，分析、对比放稀前后的资料成果，从中选择合理勘查网度的方法。它在实质上也是类比法的具体运用，所获结果一般只能供同一矿床的其他地段或特点类似的矿床在确定勘查工程间距时的参考。其大致过程如下：

选择矿床中有代表性的地段，以较密的间距进行勘查或采样，根据所获得的全部资料圈定矿体、计算平均品位或矿产储量，然后按相同间距将勘查工程密度或采样间距依次放稀到1/2倍、1倍、2倍……，再分别圈定矿体、计算平均品位或矿产储量。分析、对比不同间距所确定的矿体界线、平均品位或矿产储量及它们之间的误差大小，从中选定误差不超过矿山设计要求的合理勘查网度。

4. 探采资料对比法

探采资料对比法简称探采对比法，是根据开发勘查或开采所取得的地质资料与开采前相同地段的勘探资料，进行分析、对比，从而检查与验证勘查工程间距的合理性并指导类似矿床确定勘查工程间距。具体方法分两个步骤进行：

首先将开发勘探或开采时所获得的地质资料和勘探所取得的资料进行对比，如果矿体的地质因素变化不大，矿石储量误差又在允许范围之内，这说明勘探时期所选择的勘查工程间距是合适的，能够控制住矿体；如果矿体地质因素变化很大，矿石储量误差也超过允许范围，这就说明勘探阶段所选择的勘查网密度控制不住矿体，应当加密。

其次，是利用开采资料或开发勘探资料，用放稀法进行各种勘查网密度的对比，即用放稀到不同程度的工程或采样点所得到的矿体形状、产状、矿石类型和品级等地质因素和矿石储量与开发勘查中最密网度的工程和采样点所获得的相应资料进行对比；如果矿床已经开采，则分别与开采坑道所揭露的矿体形状、产状等地质因素和矿石储量来进行对比，借以确定其合理的网度。

应用探采对比法要求开采块段和勘探块段相一致，要求开发勘探资料和开采资料是正规的和系统的矿山地质编录资料，并要有各开采块段的比较准确的矿石开采量及开采损失量（包括留作矿柱的储量），要具有开发勘探时在开拓坑道中进行加密工程或采样点的原始地质编录资料，有了这样的资料才能正确反映矿床的实际地质特征，以及实际的储量，从而正确研究和选择最合理的勘查网密度。

在采用加密法、放稀法和探采资料对比法研究合理的勘查网密度时，都涉及地质因素的对比问题，这些地质因素包括：矿体形状的变化，矿体产状的变化，矿体构造的变化，矿石质量的变化和储量的变化等。

不同勘查网密度间矿体形状、产状、构造、矿石类型和品级、矿化连续性的对比应在储量估算的矿床地质平面图、剖面图和矿体垂直或水平投影图上进行。

矿体面积、厚度、品位、矿石量和金属量的对比用相对误差公式来确定，其公式：

$$\Delta P_x = \frac{u-c}{u} \times 100\% \quad (6-1)$$

式中： ΔP_x 为各种对比参数的对比误差； u 为矿床开采或开发勘探及详细勘查较密网度时测定的各种参数的平均值； c 为矿床勘探阶段及较稀网度情况下测定的各种参数平均值。

在运用以上各种方法进行验证勘查网密度时，应当注意以下几个问题：

(1) 勘查网密度主要是由矿体的形状、产状、构造、厚度变化的稳定性和有用组分分布的均匀性、规模等地质因素来决定的，因此，不仅只考虑储量误差的大小，而且尤其应该从地质观点出发，全面的分析不同勘查网密度对矿体各种地质因素及其变化规律的控制程度，对误差的原因及其影响程度要进行具体分析，因为各种地质因素对选择勘查网密度的影响程度不同，一般对一个矿床来说，只是几种地质因素起主导作用。因此，在验证勘查网密度时，把重点放在那些主要的影响因素上是正确的。

(2) 选择验证对比块段时应注意其代表性，即应该选择那些在矿体厚度和有用组分的分布等变化的复杂程度能代表全矿区的一般情况。对加密法来讲，验证的块段最好是浅部的中心地段，能与高级储量分布地段相结合。对放稀法和探采资料对比法来说，验证的块段数量愈多愈好；而加密法的块段数量则不宜过多。还要求选择勘查工程质量比较好的地段，工程分布尽量规则的地段等等。

(3) 对比不同勘查网密度的储量和品位等参数的对比误差时，应当以小块段，即储量计算的地段为基本单位。在这些地段中，误差可能大小不一，则要以大多数块段的误差为依据，并参照其误差的平均值，整个对比地段的总误差只能作为参考。

(4) 勘查矿床的观察点愈多，对矿床的了解也就愈接近真实，因此，无论加密法、放稀法或探采资料对比法，各种放稀的网度应一律与最密的勘查网密度去对比，并求得相对误差。

(二) 分析方法

确定合理的勘查网密度的数学分析方法主要是根据矿体的参数的变化程度和对勘查精度的要求来研究。也有些方法除上述因素外，还强调勘查的经济效果。下面对常用的一些方法做一简要的介绍：

1. 根据变化系数及给定精度确定合理网度

这个方法是利用数学统计的方法在矿体厚度及矿石有用组分的均匀程度的分析基础上进行的。勘查网密度决定于给定的精度要求和矿体厚度及有用组分的变化情况，即利用矿体厚度及有用组分的变化情况，矿体的厚度及品位变化系数以及为求得储量估算需要的参数算术平均值（平均厚度及平均品位）所要求的精度（允许误差）来确定所需要的必要工程数量。其公式是：

$$n = \frac{t^2 V^2}{P^2} \quad (6-2)$$

式中： V 为矿体某参数值的变化系数； P 为确定参数平均值的相对精度，是根据勘查程度要求给定的； t 为概率系数； n 为必要的工程数量。

常用的 t 值见表 6-3。通常情况下，取 $t=1.96$ （或 $t=2$ ），相当于概率为 0.95。

表 6-3 概率系数 t 值表

概率/%	t 值	概率/%	t 值	概率/%	t 值
99	2.58	85	1.44	70	1.04
95	1.96	80	1.29	65	0.94
90	1.63	75	1.16	60	0.85

从公式 6-2 中所求得 的 n ，即对具有一定变化程度的矿床进行勘查时，为求得一定误差范围内的储量估算算术平均参数所必需的截穿矿的勘查工程数目。

当整个矿床的矿化范围或勘查面积（ A ）已定时，则可求得每一个勘查工程所控制的面积（ S ）：

$$S = \frac{A}{n} = A \frac{P^2}{t^2 V^2} \quad (6-3)$$

由式（6-3）可以看出，勘查工程的数量只与矿体参数值的变化程度与允许误差有关，而与矿体面积大小无关。这就是说勘查的矿床规模愈大，则工程的网度愈稀。应用这个方法时要注意以下问题：

（1）用式（6-3）所确定的 n 值只是根据抽样误差的角度，保证确定参数平均值的一定精度而计算的，对于地质误差则未加考虑，对矿床地质构造研究和矿山开采技术条件的研究程度均未加以考虑。因此，在应用此法时，必须注意这一不足。

（2）矿体参数值有品位、厚度等，而且各参数的变化程度是不同的，在这种情况下用哪一种参数来计算 n 值呢？一般选用变化程度最大的参数来计算。另外可以综合考虑诸参数的影响，而求出反映诸参数变化特点的总变化系数，公式为：

$$V_0 = \sqrt{V_m^2 + V_c^2 + V_d^2} \quad (6-4)$$

式中： V_m 为厚度变化系数； V_c 为品位化系数； V_d 为体重变化系数。

（3）据式（6-2）可知必要工程数量只与矿体参数的变化程度和给定的精度要求有关，而与勘查面积无关。但这一点不影响该公式的应用。因为据某些学者研究表明，矿床参数变化系数的大小与研究面积的大小有一定关系。随着研究对象的面积的扩大，变化系数将增加 1.5~2 倍。因此，当勘查面积增加时，也会增加必要的勘查工程数量。但许多探采资料对比研究表明，在矿体变化性一定的条件下影响勘查精度的是勘查工程的数量，而不是勘查工程的间距。再者 n 值只是从平均值的精度一个方面计算的，而未考虑其他因素，当矿体面积增大而矿化连续的情况下，放稀工程间距也是可能的和合理的。

（4）矿体变化性即有变化程度一面，也有变化性质一面，而趋势变化对变化系数的计算是有影响的，因此，应用式（6-2）计算 n 时应该消除趋势变化的影响。这样，根据随机变化的程度来确定必要的工程数量，即可以达到要求。

2. 根据参数的方差及给定精度要求确定勘查网密度

这一方法的实质与根据变化系数计算方法相同，都是根据矿床参数的变化程度和平均值的一定给定精度来进行的，只是，此法根据史太因公式计算：

$$n_2 = \frac{4 t^2 S^2}{d^2} - n_1 \quad (6-5)$$

式中： n_1 为已施工的工程数； n_2 为需要增加的工程数； t 为概率系数，根据置信水平查

表,一般采用置信水平为 95%时, $t=2$; d^2 为允许方差之范围; S^2 为参数的方差。

在矿床勘查的初期,由于资料较少,运用数理统计公式确定勘查网密度有一定的困难,因此,根据史太因公式计算有一定方便条件,可以根据少量资料先作初步的计算,确定其必须增加的工程数量,然后进行加密施工。当这批工程施工之后,随着资料的增加可以进一步计算,看看是否还需要增加工程,增加多少?依次进行第二批加密工程设计和施工,当第二批施工后,再进行计算,如此反复,直到不再要求增加工程为止。

第四节 勘查工程的设计与施工

前面介绍了勘查工程的总体布置形式和工程间距等问题,现在需要介绍每一个勘查工程的具体布置和单项工程的设计方法以及勘查工程的施工质量问题。

一、勘查工程设计

主要包括地表坑道工程、地下坑道工程及钻探工程的设计。

1. 地表坑道工程设计

在揭露接近地表的矿体时,要设计地表坑道工程(或浅钻)。这时需要注意和深部工程配合。如第一个探槽(或浅井、浅钻等),一般都设计在矿体的中部,然后根据所确定的距离(探槽间距离)向两边扩展,布置其他与其平行的探槽。在向两边扩展时,如遇矿体露头,一般用剥土代替。当矿体成群成带出现时,要设计主干探槽,其位置要选择可能遇到平行矿体机会最多的位置。对地表覆盖层下面的倾斜状矿体或矿脉,确定探槽位置要考虑“V”字形法则,判断矿层可能出现的位置(图 6-9)。

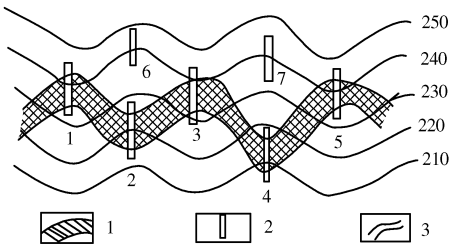


图 6-9 探槽布置的“V”型法则
1—矿体; 2—探槽; 3—地形等高线

2. 地下坑探工程设计

地下坑道工程主要用于矿体形态复杂、有用组分分布不均匀至极不均匀的稀有金属、有色金属和贵金属矿床,以及非金属中的水晶、云母矿体,或用来检查验证钻探质量、求高级储量、采取工艺样品等。

由于地下坑道工程施工技术复杂,工程量大,物质消耗也大,投资费用多,所以设计时必须要有充分的地质依据和明确的目的。要提出不同的设计方案,进行地质效果和经济效果的比较,选择最优方案进行设计。

勘查坑道的设计必须考虑以后开采时利用的可能性。为此,必须了解该矿床的开采方法和开拓方法,以及开采中段的高度。而开采方法又决定于矿体的埋藏条件,矿体顶底板的稳定程度以及矿体本身的物理机械性质,因此,应与开采设计部门共同研究,在满足地质勘查要求的前提下尽量考虑开采时可利用的原则进行布置。

水平坑道间的垂直距离要和中段高一致,或为其整倍数。一般急倾斜矿体厚度大时,中段高为 50~60 m,厚度不大,中段高 30~40 m;而缓倾斜的矿体,中段高度为 25~30 m。

同属一个开采系统的同一水平层的勘查坑道标高应当一致。

上述与开采块段或开采中段相一致的勘查坑道系统，可作为采准坑道，这种坑道的断面可以小些。如果勘查时用于通风的水平坑道，其断面形状与大小、坡度、通风支护方式等设计要与开采要求相一致。这种坑道多开在矿体附近的围岩中，以免保留大量的保安矿柱，造成矿石的损失。

在地表有直接出口的平硐，坑口应有比较开阔的场地，以便建筑附属车间，并堆放废石。坑口标高应高于历年的最大洪水位。

向深部延伸的竖井、斜井以及石门，主要用于运输，勘探阶段较少应用。但对筒状、巢状、囊状等形状复杂或产状平缓、变化较大而价值高的矿床常用竖井配合一系列水平坑道进行勘查。

勘查竖井一般在开采时被用来作通风或其他用途的副井。因此，勘查竖井的位置与开采竖井要相适应。布置竖井时要求：

(1) 井筒应布置在矿体下盘，而且在开采后所形成的地表移动带范围之外，以确保井筒的安全。并避免维护井筒而保留大量的矿柱；

(2) 井筒要避免断层地带，流沙层及含水量较大的破碎带，或者厚度大而又非常坚硬的岩层（如花岗岩、石英岩等）；

(3) 井筒位置不宜在湖沼、低地、河谷或易被洪水淹没的山谷中，井口标高要高出历年最高水位；

(4) 井口附近有良好地形条件，便于建筑，排水和堆放废石及运输等；

(5) 开采时地下石门要最短。

3. 钻探工程的设计

如果所采用的布置形式是勘探线，为了在勘探线上布置勘查工程，首先要编制矿体的理想剖面图，这种图也称设计剖面图，然后在理想剖面图上通过矿体中心线（或矿体顶板线）按确定的工程间距定出勘查工程截穿矿体的位置。再按技术施工的要求确定钻探工程在地表的位置、钻探工程的类型及终孔深度等。

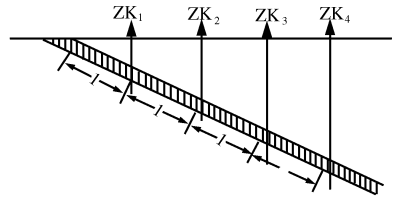


图 6-10 在矿体上钻孔间距

勘查工程预定截穿矿体位置是在理想剖面图上确定的，其中第一个勘查工程的截矿点一般是从矿体的上盘由地表出露点向下方沿着矿体倾斜表面截取选定的钻孔间距，此距离的另一个端点，即第一个钻孔截穿矿体的位置（图 6-10）。

终孔深度是指钻孔穿过矿体后再钻进一段之后，而停止钻进的深度。一般经过矿床地质研究之后，有充分资料说明除勘查的矿体之外，不再有平行的盲矿体的情况下，钻孔穿过矿体后在围岩中再钻进 1~2 m，而后停钻。如果有平行矿体或无明显界线的浸染矿体，则要继续向下钻进，并以相邻钻孔之资料或参考开采深度来确定终孔深度。

一般在勘查过程中钻孔通过矿体时要求：

(1) 钻孔尽可能的沿矿体的厚度方向，即钻孔轴线与矿体表面相垂直。在难以满足上述要求时，则钻孔与矿体表面的夹角不得小于 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，以防止钻孔不能通过矿体而发生孔斜事故；

(2) 钻孔尽可能在矿体的上盘方向穿过矿体，极少钻孔从下盘穿过矿体。

钻孔类型是指岩心钻探的钻孔采取什么角度进行钻进。

根据矿体和围岩的产状、物理技术性质、及钻探技术可能，钻孔按其角度和方位有以下几种类型：

(1) 直孔 钻孔沿垂直方向钻进，适用于倾角不大于 45° 时，产状平缓的矿体，均质无层理的火成岩、以及较厚的松散沉积层中，这是一种施工方便，而常采用的钻进类型。它包括岩心钻及全部的冲击钻；

(2) 斜孔 钻孔与铅垂线成一定夹角钻进，一般适用于产状较陡($45^\circ\sim 60^\circ$)的矿体和岩石，以保证钻孔沿着或近似地沿着厚度方向钻进。

斜孔的方向一般是向下，向矿体倾斜方向的相反方向钻进，但在坑道中的地下钻孔，可以任何角度进行钻进，其中包括斜孔和水平钻孔，而斜孔也有向上钻进的；

(3) 定向孔 是钻孔在施工所允许的弯曲范围内，随着深度的变化，有规律的将倾角变化，使钻孔以理想的角度穿过矿体。定向孔的施工技术更加复杂，设计前要有足够的地质资料，如岩层与矿层的厚度、深度、倾角、硬度变化等。定向钻孔一般用于倾斜大于 60° ，且片理发育软硬相间的地层，或者是上部平缓，下部变陡的地层中，使钻孔按一定深度间隔，以 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ……进行钻进(图6-11)。避免直孔与岩层或矿体表面夹角过小或用斜孔造成进尺太长的缺点。定向孔的方向和斜孔一样，要求与岩层走向垂直。

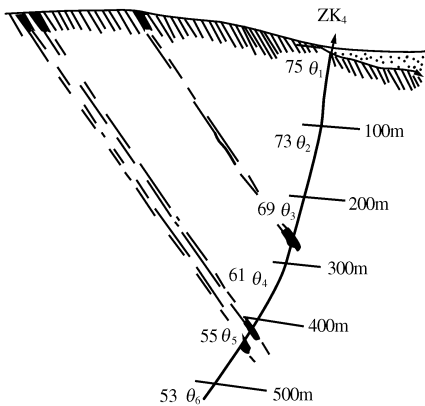


图6-11 钻孔的人工弯曲

钻孔在地表的位置的确定，必须考虑技术施工的可能，首先要求孔位附近有较平坦的地形，以便安置机场和材料。即使需要加以平整和修建，也不应在需要大量土方和石方的地方进行。其次孔位要避开陡崖、水塘、大型建筑物、公路等。在设计时，孔位与上述要求相矛盾的情况下，允许做适当的移动，其距离按不同的储量级别具体考虑。一般在勘查线上可移动 $10\sim 20$ m。在勘查线两侧可移动数米。

不论采用何种布置形式，凡使用钻探，当确定了钻孔类型和孔口位置之后，都要对每一个钻孔提出一份钻孔设计书，即做一理想的钻孔柱状图。其中包括钻孔编号、孔口位置、坐标、钻孔类型、各钻进深度的天顶角及方位角、可能见矿深度、矿石性质、主要地质界线的位置、矿体顶、底板是否有标志层、标志层的特点、截穿的矿石及岩石的种类、硬度、裂隙发育情况、涌水、漏水情况、各钻进深度的钻孔直径和岩心、矿心的采取率的要求，终孔位置及终孔深度、测量孔斜的方法等等。提出钻孔设计书本身就是单个钻孔的设计过程。钻孔设计书中还要填写有关钻探技术方面的要求，即钻探技术设计，一般由钻探人员进行。

钻孔的直径(特别是终孔直径)和岩心、矿心采取率的要求，要视矿体复杂程度和研究程度而定。当矿体简单，研究程度高，可采用小口径钻进，甚至无岩心钻进。当矿体研

究程度低，矿体复杂，终孔直径和岩心、矿心采取率不能太低，否则地质效果就难于保证。常用的终孔直径为45~90 mm。岩、矿心采取率也要按规定要求，一般岩心采取率要求大于65%；矿心采取率和位于矿体顶、底板5 m以内的岩心采取率应大于80%；当矿体与围岩界线不清，需要根据分析结果才能确定矿体边界线者，岩、矿心采取率，尤其在含矿岩系的岩、矿心采取率要适当提高。但当物探测井效果好时，可以降低要求。

钻孔施工完毕，往往会引起地下水及地表水与矿体连通，影响将来开采的正常进行，因此，一般在终孔后，要按规定进行封孔。

二、勘查工程施工管理

勘查在施工过程中，要对所揭露的地质现象及时进行编录，以保证资料的系统性和完整性。同时对施工过程中的质量提出具体要求。下面就一些主要的有代表性的勘查工程的施工管理问题介绍如下。

（一）地表坑道工程

1. 探槽地质编录

探槽（TC）的编录，通常绘制一壁一底的素描图，或探槽两壁地质现象相差较大时，则须绘制两壁一底素描图，素描图比例尺一般为1:50~1:100。

（1）探槽素描图的展开方法：①坡度展开法：槽壁按地形坡度作图，槽底作平面投影。此法能比较直观地反映探槽的坡度变化及地质体在槽壁的产出情况，因而被普遍地采用；②平行展开法：在素描图上，槽壁与槽底平行展开，坡度角用数字和符号标注。使用此法者极少。

（2）探槽素描图的作图步骤：①素描前，首先应对探槽中所要素描的部分进行全面观察研究，了解其总的地质情况；②在素描壁上，将皮尺从探槽的一端拉到另一端，并用木桩加以固定，然后用罗盘测量皮尺的方位角及坡度角。皮尺的起始端（即零米处）要与探槽的起点相重合；③用钢卷尺，沿着皮尺所示的距离，丈量特征点（如探槽轮廓、分层界线、构造线等）至皮尺的铅直距离及各特征点在皮尺上的读数；④根据测得的读数，在方格纸上按比例定出各特征点的位置，并参照地质体的实际出露形态，将相同的特征点连接成图；⑤测量地质体产状，并将产状要素（一般是倾向、倾角）标注在槽壁相应位置的下方；⑥槽底的素描可采用以壁投底的方法；⑦在进行探槽素描的同时，应进行文字描述，采集标本，划出采样位置，并将标本和样品位置及编号标注于图上；⑧进行室内清绘，要求素描图内容要齐全（图6-12），并写出文字总结。

（3）注意事项：①当地形坡度大，探槽延伸又较长时，如按坡度展开，此时应采用分段素描或槽底连续而槽壁分段错动素描为好（图6-13）；②当探槽转弯时，可以拐弯处为界，分段素描；亦可将槽底按实际延伸方向画，而在槽壁的拐弯处画一铅垂线，并标出拐弯后的探槽方位（图6-14）。

2. 浅井地质编录

浅井工程（QJ）的素描一般是作四壁素描展开图。如果地质情况比较简单，也可只画相邻的两壁，甚至是一壁。井底素描图一般可以不作。素描图比例尺一般为1:50~1:100。

（1）浅井素描图的展开方法：①四壁平行展开法：将浅井从工程起点处拆开，四壁按逆时针方向并立展开。如需作井底素描时，应将井底图形画在第一壁的下方。此法能比较

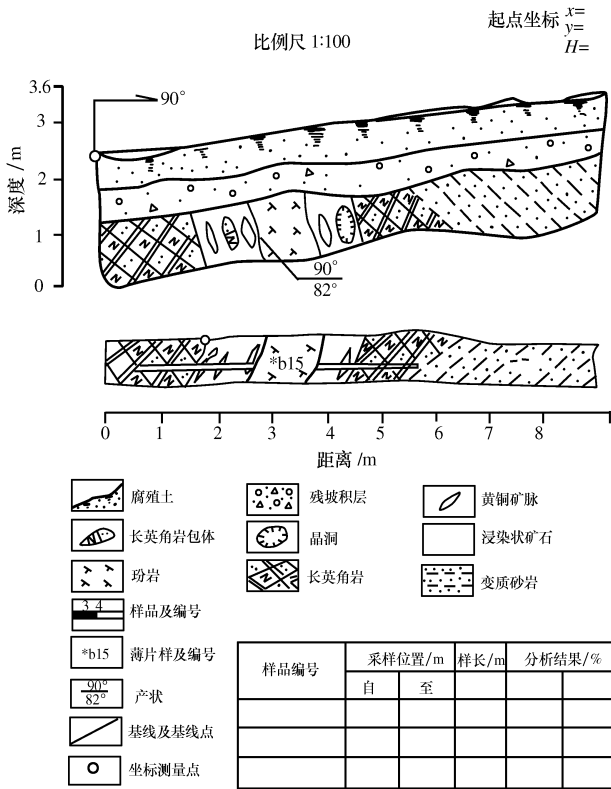


图 6-12 探槽素描图

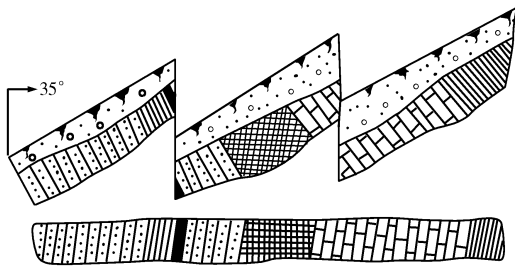


图 6-13 槽底连续而槽壁分段素描

直观且完整地表示浅井四壁的地质现象及其相互关系，素描及利用资料都比较方便，因而被普遍地采用（图 6-15）；②四壁十字展开法：井底在中央，四壁分开，呈十字状。此法缺点是，四壁的地质现象被人为地分割开，图件既费纸又不美观，因此，很少采用。

(2) 浅井素描图的作图方法与步骤：

①选择某一井壁角顶作为工程起点，将皮尺的零点与工程起点重合，使皮尺在井中处于铅直状态。测量井壁方位，丈量各井壁的宽度；②在方格纸的适当位置用四壁平行展开法做出四壁轮廓的图形，上端注明各井壁方位，并在第一壁（一般是平行勘查线的一个长壁）的外侧画上垂直的长度分划线；③以皮尺作垂直标尺，钢卷尺作水平标尺，从上到下逐一测量各井壁地质界线的出露位置，并按比例将其画在图上；④采集的标本、样品按实际位置标在图上；⑤测量产状，添绘岩石花纹及有关注记，进行文字描述以及室内整理和清绘工作。竖井、暗井、天井等垂直坑道的编录方法与浅井相同。

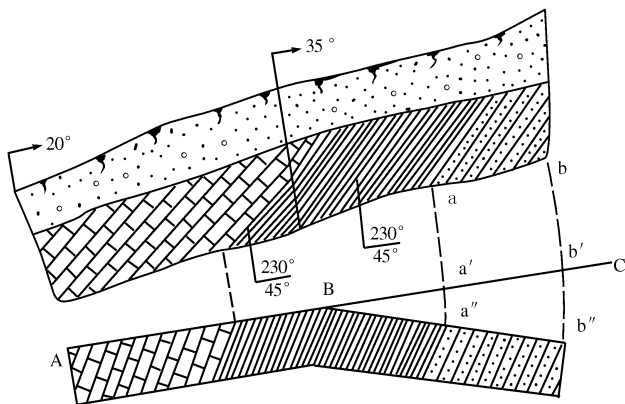


图 6-14 拐弯探槽的画法

比例尺 1:50

井口坐标 $x=$
 $y=$
 $z=$

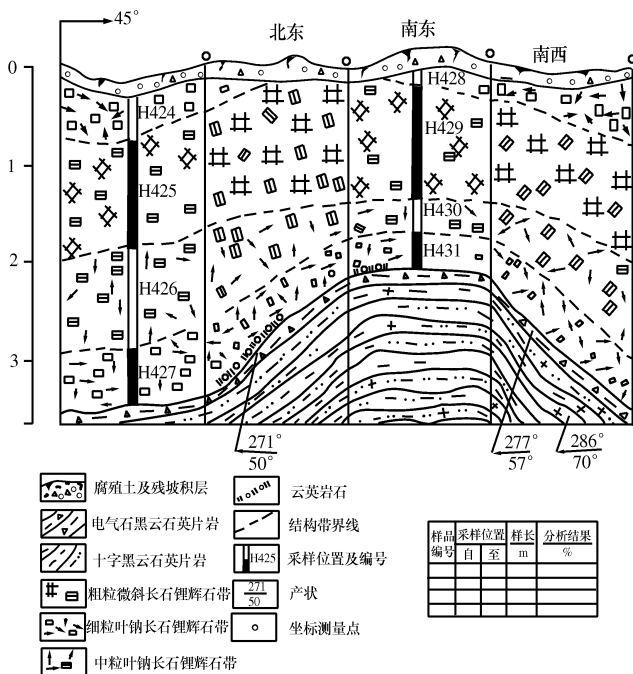


图 6-15 浅井素描图

(二) 地下坑探工程

1. 穿脉地质编录

穿脉 (CM) 编录通常画两壁一顶展开图 (图 6-16)。比例尺一般为 1:50~1:100。

(1) 穿脉素描图的展开方法: ①压平法 (压顶法): 展开时两壁向外掀起, 顶板下压,

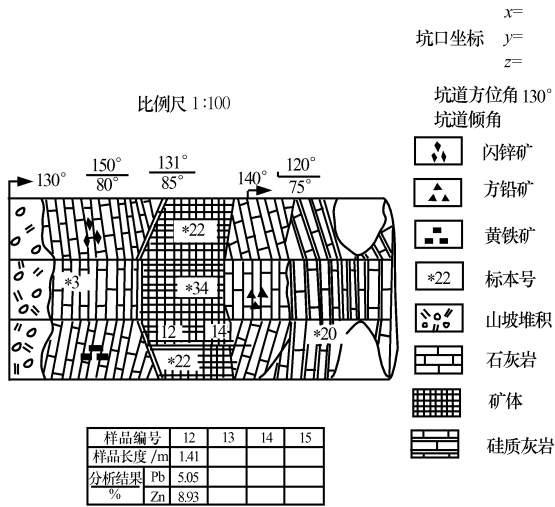


图 6-16 穿脉素描图

好像把坑道压平似的。此法所示地质现象互相衔接，作图和阅图都比较方便，所以最常用；②旋转法（翻转法）：以坑道一壁的底线为轴，从另一壁的底线处拆开，使坑道顶板及两壁整体地顺时针方向翻转过来，水平铺开。虽然所示顶板与两壁的地质现象也能互相衔接，但其相对位置与坑道中所直接观察的却整个地相反，故作图和阅图都不方便，采用者不多。

(2) 素描图的作图方法与步骤：①将皮尺挂在顶板中线上，测量坑道方位角及坡度角，丈量顶板宽度及坑壁高度；②在方格纸上用压平法按比例尺画出坑道两壁及顶板的轮廓，标注坑道方位，画出长度分划线。坑道的轮廓既可按实际形态画，也可画成规整的长方形，但同一矿区必须统一；③以皮尺作水平标尺，钢卷尺作垂直标尺，测定坑壁和顶板上的地质界线，按比例尺绘于图上；④将样品、标本的位置及编号标在图上；⑤测量产状，填绘岩石花纹及有关注记，进行文字描述，室内整理与清绘。

(3) 几种特殊情况

A. 当坑道弯曲较大时 (>15°) 时，应以拐弯处为界，分段素描。当坑道弯曲不大 (<15°) 时，其展开格式有如下两种：

- a. 顶板按实际弯曲方位保持完整，相向弯曲的坑壁出现重叠，背向弯曲的坑壁发生拆开 (图 6-17a)。
- b. 背向弯曲的一壁保持连续完整，相向弯曲的一壁及顶板发生拆开 (图 6-17b)。

B. 当顶板因坍塌出现较大拱形时，所看到的地质现象是一段弧。素描时，应将弧段内的地质现象点顺其倾向投影到顶板素描图上来 (图 6-18)。

2. 沿脉地质编录

沿脉 (YM) 素描通常只画顶板及掌子面，视需要也可画一壁一顶或两壁一顶 (矿体倾角较缓时)，其素描方法与穿脉素描相同，掌子面的素描应每掘进一定距离进行一次，其比例尺与沿脉顶板素描图一致。一般均可采用 1:50~1:100。

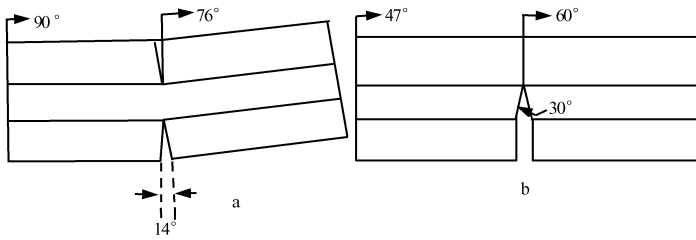


图 6-17 拐弯坑道的展开格式

素描掌子面时，应根据沿脉顶板上距离掌子面最近的中线桩（控制点）来确定该掌子面在沿脉中的正确位置。然后，在掌子面顶部中点悬挂皮尺作为垂直标尺，以钢卷尺作为水平标尺，控制测量掌子面的轮廓及地质界线的位置，按比例画在图上。掌子面的轮廓可按实际形态绘制，也可画成规整的梯形。

掌子面素描图必须按照次序系统编号，并与顶板素描图放在一起，同时在顶板素描图上画一直线，以表示其具体位置（图 6-19）。

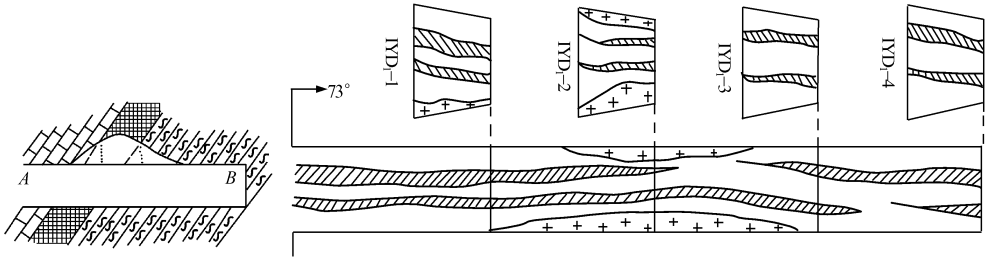


图 6-18 坑道垂直纵剖面图

图 6-19 沿脉地质素描图

（三）钻探工程

钻探（ZK）地质编录是根据岩（矿）心、岩粉以及各种测量数据（孔斜测量、电测井等）进行的。由于主要是间接观察，兼之岩心磨损一般不能百分之百取出，因此，在钻孔中所搜集的资料远不如坑探编录搜集得全面、完整，而且也不便于进行检查和补充，所以在编录时更要及时、仔细、认真。

1. 岩心钻探地质编录

地质编录人员在钻机现场的编录工作包括：

（1）检查孔深：采取检查进尺累计孔深，根据钻具记录核对孔深，丈量钻具验证孔深，及电测深或其他方法检查钻孔深度；

（2）检查岩矿心：对从岩心管取出的岩矿心按规定进行编号、整理、装箱。岩心经检查编号后，要对岩心进行分层并描述；

（3）修改钻孔预想柱状图：应根据所取得的实际资料，随时对钻孔地质技术设计书中的预想柱状图进行修改，并根据新资料推测未钻的下段的地质情况，以指导施工；

（4）检查孔斜测量：编录人员要注意检查是否在设计间距进行了孔斜度测量，测得结

果是否合乎要求，如不合格应采取防斜措施；

(5) 检查钻孔简单水文观测情况：简易水文观测是岩心钻探工作内容之一。目的是获取划分含水层和相对隔水层的位置、厚度等资料，并初步了解含水层的水位；

(6) 岩矿心采取率的计算：岩心采取率是指某一孔段内所取得的岩心长度与该段进尺长度之比的百分数。按岩性分层计算的采取率称为分层采取率，一个回次的采取率称回次采取率。

$$\text{岩心采取率} = \frac{\text{岩心长度(m)}}{\text{取心孔段进尺长度(m)}} \times 100\% \quad (6-6)$$

$$\text{分层采取率} = \frac{\text{分层岩心长(m)}}{\text{分层进尺(m)}} \times 100\% \quad (6-7)$$

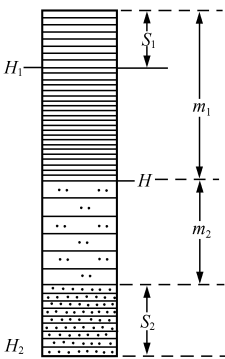
$$\text{回次采取率} = \frac{\text{本次提取岩心长}}{\text{本次进尺} - \text{本次井底残余进尺} + \text{上次孔底残余进尺}} \times 100\% \quad (6-8)$$

(7) 换层孔深计算 (图 6-20)

在无残留岩心的情况下，可按下列公式计算：

$$H = H_1 + \frac{m_1}{n} \text{ 或 } H = H_2 - \frac{m_2}{n} \quad (6-9)$$

式中：H 为换层深度；H₁ 为上回次孔深；H₂ 为本回次孔深；m₁ 为换层处上段岩心长；m₂ 为换层处下段岩心长；n 为岩心采取率。



当有残留岩心时，按下式计算，如图 6-20 所示：

$$H = H_2 - S_2 - \frac{m_2}{n} \text{ 或 } H = H_1 - S_1 + \frac{m_1}{n} \quad (6-10)$$

式中：S₁ 为上一回次残留进尺；S₂ 为本回次的残留进尺。

(8) 岩层倾角测量：岩层倾角是钻孔中的一项重要实测数据，应在岩心分层描述的同时，逐层进行测量。

岩心中的层面呈一椭圆形，倾角越大，椭圆的长轴愈大。根据岩心测量岩层倾角（或其与岩心轴面的夹角）的方法很多，一般采用量角器、测斜仪及计算等方法进行。

当钻孔为垂直钻进时，利用上述方法求得的岩层倾角即为真倾角；而当用斜孔钻进时，按上述方法量出的岩层倾角为假倾角，如钻孔弯曲方向垂直岩层走向，而与倾向相反时，则真倾角等于

量得的倾角加 90°减钻孔倾角。

(9) 终孔验收和小结：岩石钻探在完成预计目的之后，停止工作之前，应进行现场验收，检查钻孔任务及其完成程度、钻探质量等，合格后，方得结束工作。此外，在终孔之前，地质人员应提出各孔段的封闭要求，交探矿部门设计后，由机场人员执行。

2. 冲击钻探地质编录

冲击钻探有手摇及机动两种。前者多用于探查覆盖层下的基岩界线、矿体边界、构造线位置等地质问题；后者多用于勘查巨砾的砂矿，或在露天矿用以打一些深度不大的穿爆孔，以解决浅部地质矿产问题。对全孔要进行详细编录，编录的内容依其施工目的的不同而异。

(1) 钻孔编号、位置、目的、开孔和终孔日期等，在所有情况下均要记录；
 (2) 为研究第四系而施工的钻孔、要详细描述每个成因类型的沉积物成分、含量及特征。对于基岩岩心要准确定名，并简要描述其特征；

(3) 对了解覆盖层下基岩的钻孔，要详细描述基岩矿心的颜色、结构、构造、矿物成分及含量、矿化、蚀变等等，但对覆盖层下寻找原生矿而施工的钻孔，除对基岩岩心矿心要认真编录外，还要对覆盖层下部，基岩面以上的疏松沉积物，也要分层描述编录，并取自然砂样或化探样；

(4) 对勘查砂矿的钻孔，岩心应分层描述，定距或分层取样。

(5) 机动冲击钻所得标本均匀岩石碎屑，含矿部分要经过淘洗才能确定。

3. 钻孔弯曲及校正

钻孔在施工过程中，由于地质的和技术的原因，往往使钻孔的倾角（或天顶角）、方位角发生弯曲而偏离原设计的位置，特别是斜孔更容易发生，所以，在编制钻孔剖面图时，必须先校正孔斜与方位。如果未经过孔斜和方位校正，用原设计的钻孔轴线画地质界线和矿体，则编绘的地质界线和矿体，在空间位置上会产生很大误差，这不仅影响了所圈定的地质界线的可靠性，而且也歪曲了矿体的形态、产状及其空间分布，影响储量估算的可靠性和以后开采、开拓巷道的设计。

钻孔弯曲校正有两种基本情况：钻孔倾角或天顶角弯曲校正及钻孔方位角偏移校正。

(1) 钻孔倾角（或天顶角）校正常采用的方法是使一个测点的天顶角或倾角向上下各影响与相邻测点距离的一半的原则，即中点转换。现以表 6-4 的测斜资料，具体说明天顶角校正钻孔轴线的过程。

表 6-4

测点编号	测点深度/m	天顶角	方位角
0	0	17°	90°
1	120	19°	110°
2	230	39°	119°
3	350	55°	122°

在编制钻孔中轴线剖面图时，首先根据测斜数据求出制图时的钻孔天顶角转换点的深度，如图 6-21 中的 A、B、C、D 及各转换点的控制长度；然后根据各测点的钻孔天顶角及角度转换点和控制长度进行作图；连接 OA、AB、BC、CD 等折线为平滑曲线就是天顶角校正后的钻孔曲线。

(2) 钻孔方位角的校正，是在钻孔轴线天顶角校正后的基础上，根据钻孔轴线的方位角和地质体的产状要素，选择不同的投影方法，做出钻孔轴线及地质体在勘查线剖面上的投影图。兹将不同投影方法介绍如下：

法线投影的图解法

以表 6-4 的资料为例，以图 6-21 为基础，在钻孔轴线的下方绘一水平线（此水平线应视为勘查线剖面的方向线），将 O、A、B、C、D 各折点垂直投影到水平线上（图 6-22a），得 O'A'、A'B'、B'C'、C'D' 等线段，然后从孔位 O' 起，在 90° 方位上取线段长等于 O'A'，

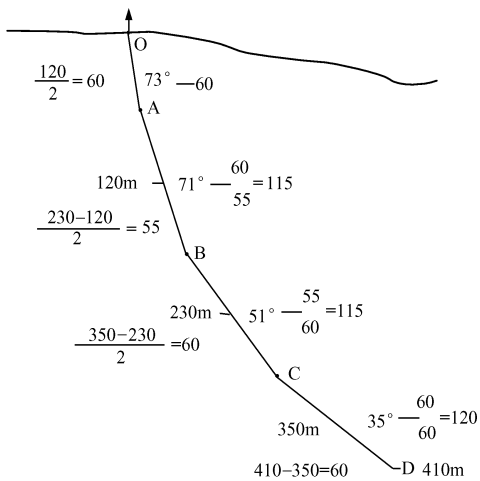


图 6-21 天顶角校正后的钻孔中轴线

得点 1 (在本例中 1 与 A' 重合); 从点 1 起在 110° 方位上取线段长等于 A'B', 得点 2; 从点 2 起, 在 119° 方位上取线段长等于 B'C', 得点 3; 从点 3 起, 在 122° 方位上取线段长等于 C'D', 得点 4。将点 O'、1、2、3、4 连接起来的折线, 就是钻孔轴线在平面上的投影图 (图 6-22a)。自 1、2、3、4 各点向上作垂线与水平线交于 1' (在本例中 1 与 1' 重合)、2'、3'、4', 与剖面上通过 A、B、C、D 各点的水平线交于 1''、2''、3''、4'' 点, 将 O、1''、2''、3''、4'' 这些点连接起来, 就是法线投影的钻孔轴线 (图 6-22a 上部)。

地质界线点的投影方法, 是将天顶角校正后的钻孔轴线上的地质界线点 (图 6-22a

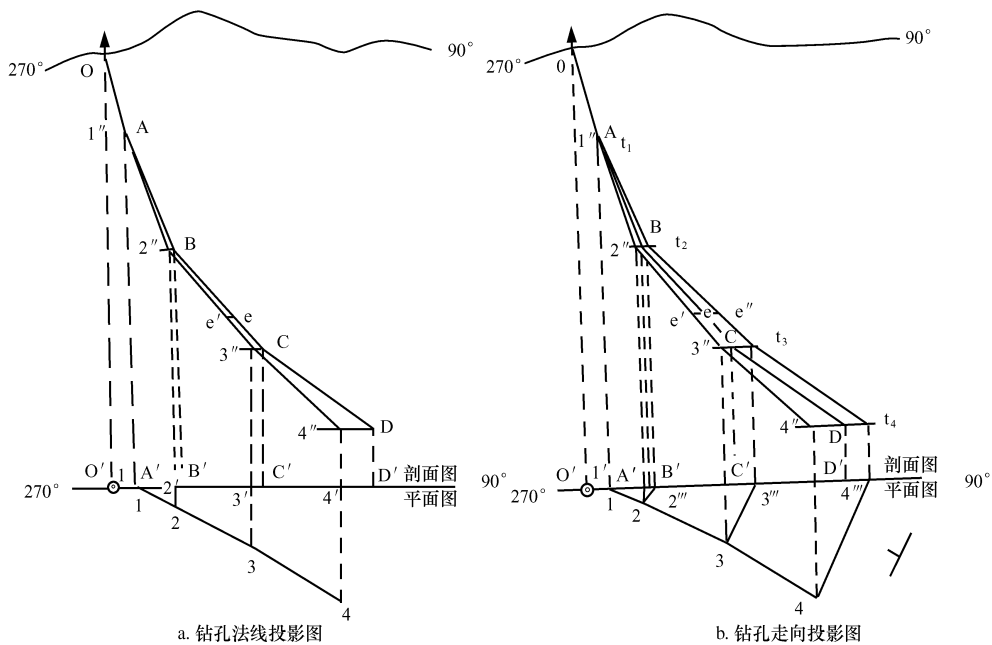


图 6-22 投影图

中的 e), 沿水平方向投影到钻孔法线投影线上 (图 6-22a 中的 e')。通过这种方法做出的钻孔轴线为一折线, 在实际工作中应用时, 人为的将其圆滑为曲线。

走向投影的图解法

此法是先与法线投影中同样的方法做出钻孔天顶角校正后的钻孔轴线垂直剖面图和钻孔轴线水平投影图, 然后在钻孔轴线水平投影图上加上矿体 (或地质体) 的走向和倾向

符号(图 6-22b 中的下部)。从 1、2、3、4 等点,作矿体走向线的平行线,与剖面线交于 1''、2''、3''、4'' 等各点,从 1''、2''、3''、4'' 各点向上作垂线、与通过 A、B、C、D 各点的水平线(即法线投影中 1''A、2''B、3''C、4''D 各水平线的延长线)相交于 t₁、t₂、t₃、t₄,将 O、t₁、t₂、t₃、t₄,连接起来。就是用走向投影法绘的钻孔轴线(图 6-22b 的上部)。

三、勘查工程的施工顺序

上面所讲的勘查工程的设计,是涉及不同种类,不同位置,不同深度,不同技术要求的一大批工程,这些工程不可能一下子全部同时开工,而需要逐步地进行,因而,就有一个施工的顺序问题。怎样的施工顺序较为合理呢?

一般遵循由已知到未知、由浅到深、由近及远、由稀到密的原则。

由已知到未知,是说应当把首先施工的工程放在地质情况最清楚,最有把握的地段上,然后,再根据它的结果去推测下一个工程的情况,这样依次下去。

由近及远是指首批施工的工程应当是靠近已知矿体中心地段的那些工程,然后,逐渐扩展到未知的地段去。

由浅到深是指先施工地表和浅部的工程,然后再逐渐向深部扩展。

以上这三个原则实质上是把首批工程放在地质情况最熟悉,最为有利,矿化较好,厚度较大,矿体延深最有把握的地方,这样比较稳妥,第一批工程为第二批工程提供施工依据,可以避免浪费。

由稀而密是指首先应当概括地了解矿床的全貌,迅速圈定矿床,矿体的大致分布范围,然后再了解各部分的细节。所以开始的工程间距要大,逐渐加密,逐渐提高可靠程度。

工程的施工可以依次进行,也可以分批进行,还可以两者结合起来,即依次而又并列进行(图 6-23)。

一个矿床应当按什么样的顺序进行勘查?除遵循上述原则外,也要考虑勘查设备的情况,以及国家对该矿种的急需程度,还要考虑对矿床地质规律的掌握情况。一般设备较多,力量较强就可以采用分批按次进行施工;如果国家急需该矿产时,为了加快勘查的速度,可以采用并进的施工方式;在对矿床的地质规律尚不十分清楚的情况下,不宜过急地并列进行勘查。此外还要考虑钻机搬迁方便。总之,要根据具体条件进行分析后,采用合理的施工顺序。

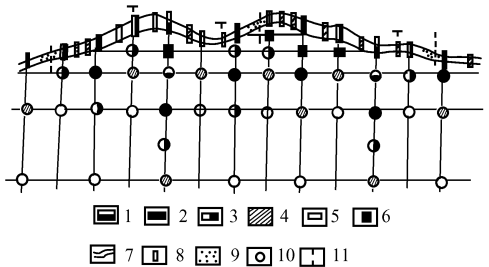


图 6-23 施工顺序图

- 1—第一阶段施工; 2—第二阶段施工; 3—第三阶段施工;
- 4—第四阶段施工; 5—第五阶段施工; 6—浅井带石门;
- 7—被掩盖的矿层露头; 8—探槽; 9—矿层天然露头;
- 10—钻孔; 11—矿层天然露头采样线

第七章 矿产质量研究和取样

1. 矿产质量的基本概念

矿产质量一般是指决定矿产能够满足社会生产要求的那种性质。也就是说矿产质量是指决定矿产在国民经济中的工业价值、利用可能性和途径的那些特性的总和。一般常指满足当前采、选加工利用的优劣程度或能力。

既然评价矿产质量是以满足社会生产要求为前提，那么矿产质量概念也具有相对性。矿产质量直接决定于国民经济对该矿种的要求，如果工业生产对某种矿产的需求越高，而该种矿产满足这种需求的可能性越低，则这种矿产的较差品级也将投入生产。反之，随着需求的降低或新来源的扩大，则将只利用该矿产的较优品级；矿产质量概念还决定于技术进步（包括矿石的加工工艺和矿产的直接应用条件），随着采、选、冶技术的发展，以前不能利用的矿产现在可以利用，目前暂不能利用的矿产，将来能被利用，所以需要重新评价这些矿产的质量。

2. 影响矿产质量的因素

影响矿产质量的因素很多，一般主要是矿石的化学成分及其含量特征、矿石矿物成分和结构构造特征以及矿石物理技术工艺特性。

矿产质量的好坏直接取决于矿石中 useful 组分或有用矿物的种类及其含量；有害杂质的种类及其含量；伴生有益组分和有害杂质的赋存状态。反映矿产有用组分的常用指标是品位，因矿种而异分别采用质量百分数（ $w_B/\%$ ），克每吨（ g/t ），克每立方米（ g/m^3 ）。

矿石的矿物成分及结构制约着选矿方法的选择，有用矿物颗粒及其集合体的大小决定着矿石在选矿过程中的粉碎程度，而取样方法及矿石加工实验方法的选择则取决于有用矿产的结构特征。

有用矿物和晶体的质量取决于有用矿物的含量和反映其特殊物理技术性质的综合指标。反映矿产物理技术特性的指标是多样的，如晶体或块度的大小、硬度、脆性、柔性、弹性、比重、抗压性、导电性、导热性、耐火性等。

矿石的工艺性能取决于矿产全部质量指标，其中除了有用组分品位及有害杂质含量外，最有意义的还有矿产中的矿物成分，各种矿物中有用组分和有害杂质分布情况，有用矿物的形态和大小，矿石的结构构造；矿石及其中有用矿物的物理技术特性；围岩及脉石的化学成分及矿物成分。

根据影响矿产质量的因素，可将固体矿产分成三类：

(1) 利用化学组成的矿产：大部分金属矿产（黑色金属、有色金属、贵金属、稀有金属等）和部分非金属矿产（盐、萤石、磷灰石等），工业利用时主要是从中提取某种元素或化合物，故其质量主要取决于矿石的化学成分或矿物成分及其含量，以及有用组分的赋存状态。

(2) 利用矿物及其性能的矿产：大部分非金属矿产，工业上不是利用矿石中的某种有

用化学成分，而是利用其中的某种有用矿物，利用其性能。故决定其质量的不是矿石中某种有益组分和有害杂质的含量高低，而是其中有用非金属矿物的含量多少和它们的某些技术或物理性能（如金刚石的硬度；水晶的压电效应；云母的晶体大小、剥分性和绝缘性；石棉的纤维长度、抗热、耐酸和绝缘性等）。很多非金属矿产（如云母、石棉、金刚石、宝石等），只查明有用矿物的总含量还不够，还必须分别测定出各品级、各标号有用矿物的含量。因为不同品级和标号的有用矿物，不仅用途不同，而且价格相差几倍、几十倍、甚至几百倍以上。只有查明这些，才能确定其质量。

(3) 利用化学组成和矿物性能的矿产：某些非金属矿产，如高岭土、耐火粘土、滑石等，其质量既取决于化学成分，又决定于它们的某些物理或技术性能。

第一节 矿产质量研究的主要内容

根据影响矿产质量的主要因素，矿产质量研究的内容主要应包括以下几个方面。

1. 矿石中有益及有害组分含量、赋存状态与分布规律

矿产质量取决于矿石中的物质成分，往往其中的化学成分及其含量显得格外重要。不但要研究主要组分，还要研究伴生组分；既要研究有益组分，又要研究有害组分；除了查明组分的种类和含量，还要确定组分的赋存状态及分布变化规律。

主要有用组分的品位是划分矿石工业品级的依据，是评价矿石质量的主要指标之一。

伴生组分是指对矿床工业评价没有决定性意义，但在矿产加工时加以提取并在国民经济中加以利用是有利可图的包含在矿产（矿石）中的矿物、金属和其他化学元素。伴生组分对矿产质量虽没有根本影响，但在某些情况下，利用它可得到额外经济效益，提高矿产（床）价值，甚至可以降低工业指标参数的要求，或减少矿业生产对环境的危害，间接影响了矿产质量。

有用组分的赋存状态对矿产质量的影响至关重要，对于金属矿床来说，通常只有当该金属元素成为有工业价值的矿物形式存在时，才具有工业价值。如铁矿床，自然界已知含铁矿物有 300 多种，其中有工业价值的矿物主要的仅 4 种，即磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿和褐铁矿。可见，查明矿石中有工业价值的矿物部分金属量占有率，对评价矿床极为重要。如陕西大西沟菱铁矿，铁品位只有 25.7%，但主要赋存于菱铁矿及磁铁矿中，可以选矿回收，是一个大型铁矿。而陕西北宁强的一个“菱铁矿”，铁品位比大西沟矿高，但主要赋存于菱铁矿及铁白云石中，可选性差，实际上不具工业价值。

2. 矿石中矿物组分、含量、共生组合及分布

研究矿石的矿物成分、共生组合、矿物的世代和生成顺序及矿物的次生变化。既要研究金属矿物，又要研究非金属矿物；既要研究原生矿物，也要研究次生矿物。除常见矿物外，还必须注意新的特殊矿物。这将有助于矿石类型的划分和矿石充分有效利用。

测定矿石中各矿物组分的含量，以便预测分选后各类精矿及尾矿的大致产出率，以指导选、冶试验。

确定矿物成分在矿体各部分上的变化规律及各种矿物在不同矿石类型中的分布情况，以便确定矿石的自然类型、工业类型和矿石种类的空间分布。

3. 矿石结构、构造及矿物嵌布特征

研究矿石结构、构造及矿物嵌布特征，需确定主要组分矿物的形状、粒度及粒级分配；研究主要组分矿物与其他矿物的相互关系（连生性质及连生体大小），矿物团粒生成的大小和形状。

矿石结构制约着选矿方法及工艺流程的选择。有用矿物颗粒和集合体大小决定着矿石在选矿过程中的破碎程度，同时也影响取样方法和矿石加工实验方法的选择。矿物单体在矿石碎矿、磨矿工艺中解离的难易程度，主要取决于矿物之间的嵌布特征（性）和连生矿物间的镶嵌关系。例如较粗粒级并与脉石矿物结合力弱的有用矿物一般解离性好；一些颗粒较细、呈不规则镶嵌并与脉石矿物结合力较强的有用矿物就较难解离。最佳可选性决定于矿物之间的解离性。解离性高的矿石选矿工艺简单，降低消耗，经济效益大；反之，选矿工艺复杂，增加消耗，经济效益小。因此，研究矿石的解离性是选矿工作中的重要环节之一。有些分布在方铅矿中的辉银矿包裹体和黄铜矿中的自然金显微包体，都无法通过选矿方法使其从主矿物中解离出来，只能使其富集于铅精矿或铜精矿中，通过冶炼回收。详细研究这些组构特征，就能在选矿试验之前，对不同解离度下矿物的破坏程度做出评价，从而对磨细度、矿物解离难易度、流程结构以及可能达到的选矿指标进行预测。

研究矿石结构的不均质性同样也是十分重要的。往往矿石结构的不均质性（如带状结构或质量变化）决定了有将整个矿石划分成不同自然类型及工业品级的必要。这种研究首先可以帮助正确地布置取样工作，其次有助于阐明矿产的技术加工特性。

4. 矿石的技术物理性质

矿石的技术物理性质研究是为了查明矿石和近矿围岩的物理机械性质，如矿石体积质量（体重）、松散系数、抗压强度、裂隙度、硬度、脆性、磁性和电性等，为矿产储量估算、矿床评价及矿山建设设计和开采提供必要的参数和资料。

矿石（物）的某些技术物理性质：如体积质量（体重）、松散性、结块性、硬度、脆性、磁性、电性等对确定开采方法、矿石加工及选矿方法都有重要的意义。如果矿石技术物理性质研究不准确，最终将导致总储量的误差或矿山设计的失误。

对于某些非金属矿产，要根据矿石（物）的某些技术物理性质来划分技术品级，确定矿产的质量和工业用途，圈定矿体和评价矿床。如大理石和花岗石等建筑饰面石材矿产，主要是根据矿石的颜色、花纹、磨光面的光洁度、强度等物理技术性能来确定矿石的质量和工业价值。又如，沸石矿床，主要根据其阳离子交换能力和对铵离子的吸附量来评价矿石质量。显然查明有关物理技术性能，是非金属矿产勘查的一个重要特点。

5. 矿石工艺性质研究

矿石工艺性质是指矿石的加工工艺性能，即矿石的可选性及可冶炼性能。自然界的矿石一般都是复杂的矿物集合体，除极少数可以直接利用外，大多数需经一系列加工工艺处理（即碎矿、磨矿、选矿甚至冶炼）过程才能达到矿石中的矿物原料的经济合理利用。可见，矿产勘查阶段提供的矿产储量可否供工业生产利用，除了矿山建设的外部条件和矿山内部水文、工程地质等开采技术条件以外，矿产的选冶性能是其主要因素之一。在许多情况下，比其他因素具有更重要的作用，尤其是对新的矿石类型、品位低贫、颗粒细小、杂质较多和难选的矿石更具有决定性意义。因此，在矿产勘查工作中评价矿石时，必须对矿石的工艺性质研究给予足够的重视，避免矿石工艺工作中的盲目性，从而有效合理地利用

国家矿产资源。

建国以来，我国在矿产勘查工作中矿石选冶试验方面的经验教训是不不少的。如四川攀枝花钒钛磁铁矿，是一种组分复杂的矿石。在地勘期间深入地做了物质组成及可选性能的研究，并进行了详细地选冶试验，解决了从选矿到冶炼一系列技术问题，使攀枝花大型钢铁基地顺利建成投产，并在铁矿伴生元素综合利用方面取得不少重大突破。又如，鞍山齐大山铁矿，对首采氧化矿未做深入试验研究，就采用强磁选新型选矿工艺流程，投资5000余万元，结果试生产时选矿指标很低，生产出的精矿不合格，被迫修改选矿工艺，又增加投资2000余万元。这些经验教训应当吸取，在矿产勘查工作中应当加强矿石选冶工艺性能研究。

矿石工艺性能研究的目的是要评定矿石可否作为工业原料，矿床是否具有工业价值，确定既有效又经济可行的选冶方法和工艺流程，为矿山开发的可行性提供依据。

第二节 矿产取样

研究矿产质量的主要方法是矿产取样，即从矿体或近矿围岩中采集部分矿石或岩石样品，并应用各种现代测试手段进行加工、鉴定、测试、分析、试验，以及结果的分析整理研究。从而查明矿产的质量、矿石和围岩的物理和化学性质、矿石加工技术性能、矿床开采技术条件等，为矿床评价、储量估算以及有关地质、采矿、选冶和矿产综合利用等方面问题的解决提供必要的资料依据。可见，矿产取样是矿产勘查工作中一项十分重要的作业，也是目前研究矿产质量最基本、最常用、最成熟和最有效的方法。在矿产勘查的各个阶段都要进行。

矿产取样工作在矿床评价中有着举足轻重的作用。由于取样工作是抽样观测，取样的规格和数量有限，加之地质体（包括矿体）都不是均质的，其变化是相当复杂的，因而取样的首要（核心）问题是样品的代表性。所谓代表性，就是通过取样所查明的有关地质和矿产情况与取样对象实际特征之间的差异程度。如果没有代表性，取样也就失去了意义。影响取样代表性的因素很多，主要有矿体中 useful 组分分布的均匀程度、采样的规格、方法和数量以及样品的分布及抽样方式等。地质人员应充分认识这些影响因素，力求提高样品的代表性，以保证矿石质量、矿床储量和矿床工业价值评价的可靠性，避免矿山设计中的失误。

矿产取样的方式方法应根据具体地质特点来确定，应当保证取样结果的代表性和最大确实性，并保证足够的生产效率和经济效益。利用各种方式降低取样费用，不应当成为取样设计的决定因素。因为取样费用一般比矿山巷道和钻探工程的费用少得多，而后者施工的目的首先是为了取样。试图降低取样费用不可能取得实质性的经济效益。同时取样是一种很困难的作业，要求大量的手工劳动，因此在现代条件下应鼓励使用各种改进的取样方法。但须证明这些方法是确实可靠的，即首先应从得到信息的质量和完整性观点来评估，这时如果丢失信息就不能看成为节约的。

为了减少误差，保证取样的质量可靠，取样时必须遵循一些基本原则和规定。

(1) 完整性原则，即包括研究各种必须的岩石和矿石。取样应当在整个矿体厚度上连续进行，而且必须向围岩中延伸一定距离。对没有明显地质边界的矿体要在整个勘探工程上取样。

(2) 均匀性原则, 即样品应该按一定的网格等距取样, 且取样网应当始终保持一致。样品应尽量沿矿化变化最大方向采取, 且方向应该是一致的, 或者是按真厚度, 或者是按水平的(垂直的)方向。

(3) 各种自然矿石和矿化岩石应用分段法分别单独取样。

一、矿产取样的种类

不同矿产其质量研究内容不同, 取样目的各异。按取样目的可将矿产取样分为4类。

(1) 化学取样 全称化学分析取样, 通过对样品进行化学分析, 确定矿石中化学成分及其含量, 了解矿石质量, 进而用来圈定矿体, 核算主要伴生有用组分的平均含量, 估算矿产储量, 划分矿石类型和工业品级, 检验矿山生产活动中矿石的损失、贫化及质量变化等。为研究矿床成因、评定矿床工业价值及解决矿山开采加工方面问题提供依据。

(2) 矿物取样 亦称岩矿鉴定取样, 通过对矿石及岩石(近矿围岩)进行矿物学、矿相学及岩石学的研究, 以查明矿石及围岩的矿物成分及含量, 共生组合、结构构造特点、矿物粒级和嵌布特征, 矿物化学成分及次生变化等。用来确定岩石种类、矿石自然类型、有用元素赋存状态、矿石加工技术性能、综合利用可能性, 以及解决矿床成因、概略估计矿产质量及其他一些地质问题。在砂矿(特别是贵金属)中, 矿物取样是基本取样方法, 用来估算储量。

(3) 物理取样 又称技术取样。通过测定矿石和近矿围岩的物理机械性质(如矿石体积质量(体重)、湿度、松散度、块度、坚固性、抗压强度、孔隙度、裂隙度等), 了解其物理性质和加工技术性能, 为矿产储量估算、矿山建设设计和开采提供必要的参数和资料。对于某些非金属矿产(如石棉、水晶、云母等), 通过测定其物理技术性质, 确定矿产质量、划分品级和确定工业用途, 评定矿床价值。

(4) 工艺取样 亦称加工技术取样, 通过矿石工艺性质及选冶试验研究, 确定矿石的选矿、加工冶炼性能和加工技术条件。为制定矿石加工方法、选冶生产工艺流程、最佳生产技术经济指标, 以及为矿床技术经济评价、建矿可行性研究和矿山企业设计提供可靠资料。

二、样品的采集方法

由于样品是在探矿工程中采取的, 根据探矿工程的种类不同, 样品的采集方法可分为坑探采样和钻探采样两大类。

(一) 坑探工程中的采样方法

在坑探工程中, 矿体的人工揭露面较大, 所以常用的采样方法多种多样, 主要包括: 刻槽法、剥层法、全巷法、刻线法、方格法、攫取法和打眼法等。

1. 刻槽法

刻槽法是在矿体上按一定的规格刻凿长槽, 从中凿下的全部矿石作为样品的采样方法。该法主要用于化学取样, 是一种极常用的采样方法。

(1) 样槽的断面形状及规格

样槽的断面形状有矩形和三角形两种。常用矩形, 因三角形断面刻凿施工困难, 槽壁角度不易控制, 影响断面规格, 故少用。

样槽断面的规格是指样槽断面的宽度和深度，用（宽×深）/（cm×cm）表示，如10 cm×3 cm表示样槽断面宽度是10 cm，深度是3 cm。

影响样槽规格大小的因素主要是矿化均匀程度、矿体厚度、矿物的粒度和脆性以及矿石的坚固性等。一般，矿化愈不均匀，矿体厚度愈小，矿物颗粒愈大和脆性较大，矿石愈疏松，样槽断面应愈小；反之愈小。这些因素应全面考虑，综合分析，注重起主导作用的因素。一般认为矿化均匀程度和矿体厚度是主导因素。

（2）确定样槽断面规格的方法有经验类比法和试验法两种

类比法：此法是根据地质特征类似矿床采样断面规格的经验数据，类比参考确定。为工作方便，地质勘查规范，按矿种总结出一套适用的采样规格范围（表7-1）。应用时要根据矿床的具体地质特征，结合任务要求，具体确定规格大小。

表 7-1 主要金属、非金属矿产常用采样规格参考表

矿种		样槽断面规格 (宽×深) / (cm×cm)	样品长度 m	样品间距
金	铁、锰、铬	5×2~10×5 20×15 (风化矿)	0.3~2	
	铜、铅、锌、银、镍、钼	5×3 或 10×3 10×3 或 10×5 (银复杂)	1~2	5~10 (回采坑道)
	岩 金	10×3~20×5	<2	2~4 6~8 (变化不大时)
	钨、锡、汞、锑	(10~5) × (5~3)	0.5~1.5	1.5~2
属	稀有金属	10×5	1~2	5~10
	稀土矿产	10×5 (内生) 5×3 (风化壳)	1~2	
	铝土矿、冶镁菱镁矿	5×3~10×5 (沉积型)	0.5~1	10~20 (铝土矿)
	砂矿 (金属矿产)	20×10	<1	
非 金 属	磷矿	10×5	0.5~1	
	重晶石、毒重石、萤石、硼矿	5×3~10×5	1~2 <0.7 (萤石)	
	高岭土、膨润土、耐火粘土	10×5~10×3	1~2	
	盐类矿产	10×50	0.5~2	
	石灰岩及白云岩、石膏	3×2~10×5	2~4	
	石膏、石棉、滑石、石墨	5×3~10×5 (石墨) 10×5 (滑石)	1~2 0.6~1	
	硫铁矿	10×5	0.5~1	

试验法：此法是在矿区内选择有代表性的同一地段用不同的断面规格分别采样、分析，对比其结果，以最大断面为标准，在相对误差允许范围内，选择最小规格作为合理的样槽断面。试验样槽的布置有共槽和分槽法两种方式。

共槽法又称重叠刻槽法 不同规格的样槽互相套叠，如图7-1a，先分别刻取①、②、③、④部分矿石，然后按面积比例合并（图7-1c）；分槽法亦称并列刻槽法，与共槽法的

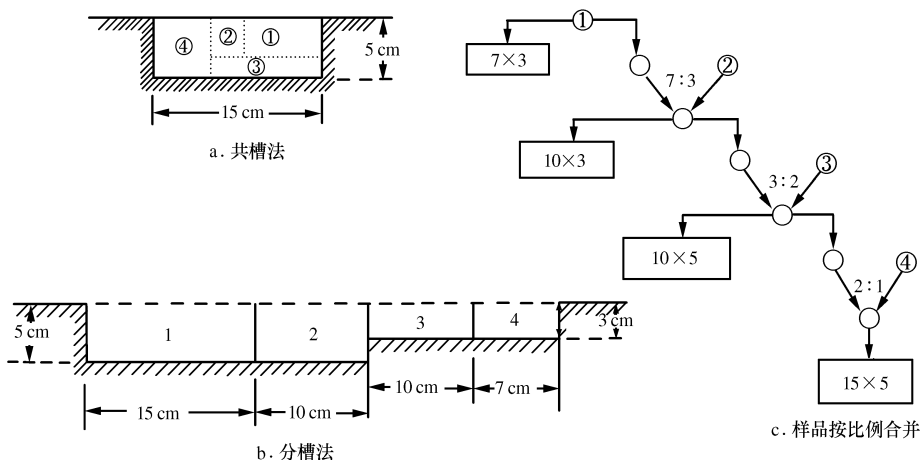


图 7-1 试验法确定样槽规格

区别在于样槽的布置是相互并列的（图 7-1b），故独立刻取，不需合并。

以上两种方法，由于共槽法的样品在空间上是重叠包含的，可减少矿体品位变化的影响，结果相对比较可靠，故广为采用，特别是对矿化极不均匀的矿床更为合适，对矿化较均匀的矿床可用分槽法，因其操作简单。

(3) 样品长度

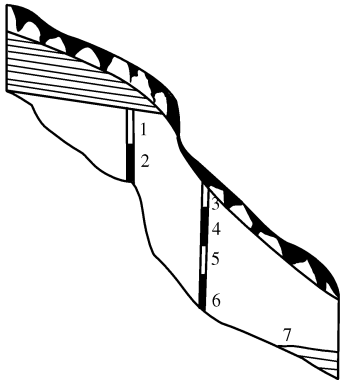
样品长度又称采样长度，是指单个样品沿取样线刻取的长度。样品长度取决于矿体厚度、矿石类型和矿化均匀程度、最小可采厚度和夹石剔除厚度等因素。如果取样长度过短，将增加样品数量，导致分析化验工作量增加；取样长度过长，将降低样品代表性，影响对矿石类型及工业品级的圈定。当矿体厚度较小、矿石类型变化复杂、矿化不均匀及矿体界线不清楚，则取样长度不宜过大，一般以不大于最小可采厚度或夹石剔除厚度为宜。

样品长度的确定方法也有类比法和试验法两种。我国样品长度经验数据（表 7-1）可供类比时参考。试验法确定样长是按最小样长连续采样，并按比例组合成长度不等的一组样品，分别化验，对比结果。以最短的样长为标准，在误差允许范围内，并有利于矿石类型划分和经济的原则等条件下，选择长度最大的样品长度作为合理的样长。

样槽的断面的大小和样品长短，既影响样品的代表性，也影响样品的重量、数量和费用。因此确定时需全面考虑。

(4) 样槽的布置

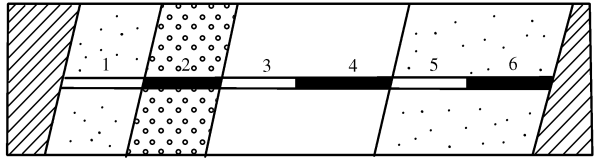
布置样槽的原则是使其延长方向沿着矿石质量变化最大的方向（常常是矿体厚度方向）布置，并且贯穿矿体的全部厚度，不漏采，也不重采。各种样品布置见图 7-2：a. 在探槽中，多在槽底采样，也可在槽壁采样；b. 在浅井等垂直坑道中，一般在井壁上采样。矿化均匀时，一壁采样即可，矿化不均匀，两壁相差较大时，两壁甚至四壁采样，相应位置样品合并为一；c~d. 在穿脉坑道中，多在坑壁上采样；e. 在沿脉坑道中，多在坑壁；f. 在沿脉坑道中掌子面或顶板采样；g~h. 当矿体厚度很大时，矿体具有带状构造时，或矿体与围岩界线不清楚，需用连续刻槽分段采样，最后一段样槽长度若小于 1/2 样长时，



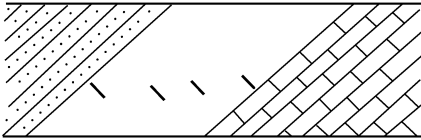
a 探槽中阶梯状取样



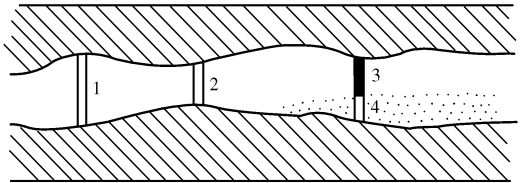
g 坑道壁上连续刻槽分段取样



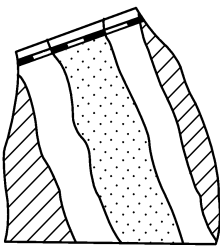
h 矿体具带状构造时的连续分段刻槽取样



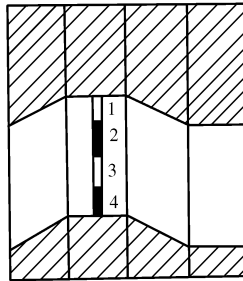
d 穿脉壁上沿矿体厚度方向刻槽



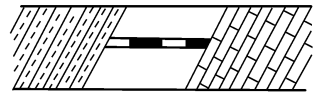
e 沿脉壁上刻槽



f 沿脉坑道顶板刻槽



b 浅井—壁上取样



c 穿脉壁上的水平刻槽

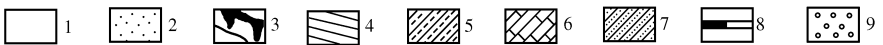


图 7-2 样槽的布置与取样示意图

1~2—矿体 [1 致密状矿石 (富矿); 2 浸染状矿石 (贫矿)]; 3—浮土; 4—围岩; 5—页岩; 6—灰岩;
7—砂岩; 8—样槽及样品编号; 9—稠密浸染状矿石

此样合并到前一样品中去；若大于 1/2 样长，则单独作为一个样品。

(5) 刻槽法的用途及特点

刻槽法是目前最常用的采样方法，主要用于化学取样，适用于各种类型的固体矿产，在矿产勘查各阶段广泛应用。该法的特点是所采样品的代表性强，可以分段采样；缺点是人工刻槽效率低，今后应重视研究推广刻槽采样的机械化。如用风动锤和电动锤采取刻槽样品可大大提高劳动生产率，但要克服采收四处飞溅的碎块。目前，最完善的采集刻槽样品的机械是切割式采样机，它的结构简单，重量轻。用两个平行排列的细金刚石砂轮很容易切出一条缝式刻槽样品，使样品的选择性剥落降到最低程度。而且减少了主观因素对取样结果的影响。

鉴于目前主要是手工刻槽，为了提高生产效率，降低劳动强度，比较有远景的方法是尽量缩小刻槽样品的断面。大量实验证明，小断面的刻槽样品仍有很高的代表性。

2. 剥层法

剥层法也称刻面法，是在垂直于矿层面的断面上，按一定规格刻凿下一层矿石作为样品的采样方法。

剥层的规格用长、宽、深三个要素度量。其中，剥层的长度一般为矿层的厚度，剥层的宽度是指沿矿层走向剥取的长度，剥层的深度是指垂直宽度沿层面剥取的长度，即样层的宽度与深度合成为剥层的断面规格，剥层宽度一般采用 20~50 cm，深度则为 5~15 cm。可见，剥层实际相当于宽度加大的刻槽，其样品重量可达几十到几百公斤。

剥层样品可以沿矿体走向按一定间距采取（图 7-3），也可连续刻面分段采样。

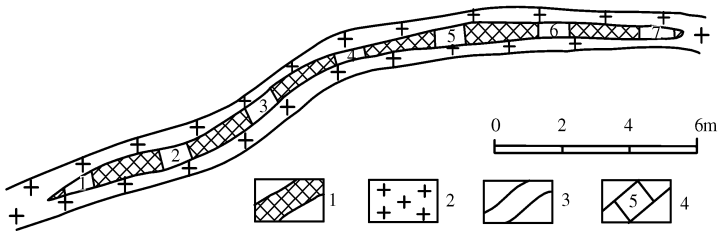


图 7-3 探槽中矿化不均匀的伟晶岩脉的剥层取样

1—矿化伟晶岩脉；2—花岗岩；3—探槽边界；4—剥层样品及编号

剥层法采样主要适用于厚度较小的脉状矿体、有用组分分布很不均匀的网脉状矿床和贵金属矿床以及用刻槽法难以提供可靠资料的矿床（如颗粒粗大的伟晶岩矿床等）。本法主要用于化学取样，有时用于技术取样和技术加工取样。优点是精度较高，可用作检查采样精度。缺点是采样工作量大、成本高、效率低，一般只有刻槽法等不能保证精度或因样品重量要求较大时才使用。

3. 全巷法

全巷法是将坑道掘进一定范围内采出的全部或部分矿石作为样品的一种采样方法。

样品的规格与坑道的高、宽一致，样长一般为 2 m。样品重达数吨至数十吨。样品的布置，在穿脉中连续分段采样；在沿脉中按一定间隔采样。

全巷法主要用于技术加工取样和技术取样，或用于剥层法不能提供可靠资料时（如矿

化极不均匀的贵金属及稀有金属矿床、含量极低的宝石和特种原料矿、颗粒粗大的伟晶岩矿等的采样)。另外还用于检查其他采样精度。

全巷法的特点是精确度高,样品重量大且不影响掘进工作,但采样方法复杂,加工搬运工作量大,成本高,所以轻易不能使用此法。

4. 方格法

方格法又称打块法,是在矿体出露部位按一定网格,在其交叉点上打取矿石碎块,合并为一个样品的采样方法。

网格的形状各异,有菱形、正方形和长方形等(图 7-4)。网格边长 10~25 cm。每个样品由 15~50 个点的碎块合成,每个点采下的碎块大小应近于相等,总重约 2~5 kg。

方格法适用于矿化不均匀的矿床,或用于矿石特别坚硬,刻槽法采样困难时。本法主要用于化学取样,其特点是采样过程简单,工作量小,效率高,精度也较高。

5. 攫取法(拣块法)

攫取法是在矿石堆上或矿车上按一定网格拣取矿石作为样品的一种采样方法。

采样时是用一绳网铺在矿石堆上(网的形状可是正方形网或菱形网),在网格中心或交叉点上取出块度数量大致相等的少量矿石碎块合并成一个样品(图 7-5)。单个样品重几公斤至几十公斤不等,视有用组分均匀程度而定(表 7-2)。使用此法时,要求坑道必须在矿体内掘进,以防围岩混入使之贫化;拣块时要避免人为挑富或选贫现象,造成系统误差。

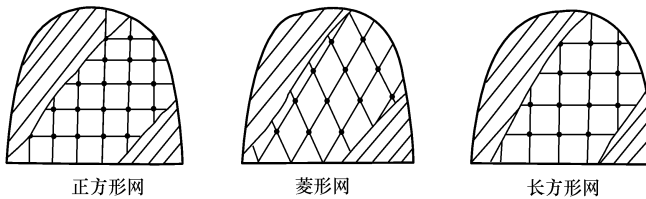


图 7-4 方格法取样

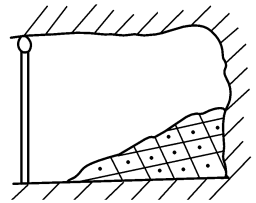


图 7-5 矿石堆上用攫取法取样

表 7-2 攫取法样品规格

矿化性质	矿堆上小块份样的个数	每个小块份样的重量/kg	样品的总重量/kg
极均匀和均匀	12~16	0.05	0.6~0.8
不均匀	20~25	0.10	2~2.5
极不均匀	36~50	0.20	7.2~10

攫取法的特点是操作简便,工效高,也具有一定的准确性,在检验的基础上可代替刻槽法或其他方法。该法的适用性较宽,对于矿化均匀或不均匀的矿床的效果都较好,在矿山地质工作中,对矿车、选矿场、矿石堆上采样,本法是惟一有效的方法。缺点是不能分段取样。

6. 打眼法(炮眼法)

是在坑道掘进过程中,采集炮眼钻进所产生的矿泥或矿粉作为样品的一种采样方法(图 7-6)。样品可以是一眼一样,也可由数眼合并为一样。炮眼深度可达 7~8 m。

打眼法的优点是代表性较高,不影响掘进工作,效率高,加工手续简化,成本低。当矿体厚度大于坑道断面规格时可代替坑道取样揭露矿体边界(图7-7)。缺点是在沿脉坑道中采样不能沿厚度方向进行;常不能按类型、级别分段采样。故该法主要用于均匀的块状或浸染状矿体的化学取样。

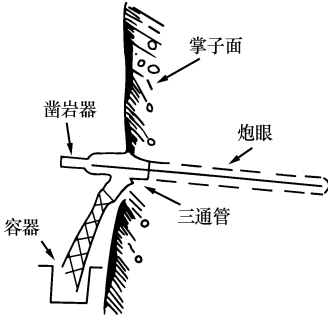


图7-6 打眼法取样

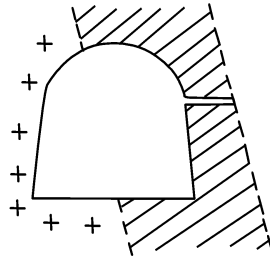


图7-7 打眼法取样代替坑道揭露矿体

上述各种采样方法中以刻槽法、剥层法和全巷法为基本方法,其他方法都可看做是它们的变种。

(二) 钻探工程中的采样方法

根据钻进方式不同,可分为岩心钻探采样和冲击钻探采样。

1. 岩心钻探采样

从钻探所得岩矿心或岩矿粉中采集样品的方法称为岩心钻探采样。

由于打钻磨损的缘故,岩矿心往往不能全部取得,一部分磨碎成碎屑和粉末。为表示取得的岩矿心多少,需计算岩心采取率,一般要求矿体及其顶底板3~5 m内的矿心、岩心平均采取率不低于80%,围岩岩心分层采取率一般不得低于65%。由于岩心采取率高低不同,有时对矿心和其粉屑部分都要进行采样。

(1) 矿心部分采样:矿心采样的断面规格,随钻孔口径大小而定,无选择余地。一般都沿长轴方向取矿心的一半,可见岩(矿)心采样从断面形状和体积来看类似于刻槽法采样。样品长度是指用样品实长按采取率换算而得的进尺长度,通常可参照采用刻槽法的样品长度。当矿体厚度大、矿化类型复杂时,应连续分段采取,其样长酌情而定。

具体采样操作方法是用水岩心劈开机(尽可能使用金刚石刀具分取)将岩(矿)心沿长轴方向切成2份或4份,取其一或对角两份作为样品,余下部分留作它用。

小口径金刚石钻进(孔径<56 mm),由于其生产效率高,应用愈来愈广。但因其所得岩(矿)心的直径甚小对取样有一定影响。样品采取方式有全心法、劈心法和岩心刻槽法。

(2) 矿粉部分的采样:在岩心采取率低于规定要求时,需同时采取矿粉以补不足。岩心采取率虽符合要求,但有选择性磨损时,易磨损的软矿物向矿粉中集中,这时也要采集矿粉以使样品信息少损。

样品从岩粉管和沉淀箱中采取,矿屑的矿物成分与矿粉有较大差异,送分析样时需按同一采样范围把两者合并。

需要说明的是,矿粉与其所在进尺不能完全对应,故很难精确地反应样品位置,所

以，最佳的办法还是提高岩心采取率以确保取样的可靠性。

2. 冲击钻探采样

冲击钻探是用冲击钻头击碎岩（矿）石进行钻进。故所得样品是矿屑，采集时用抽筒从孔底提取。

样品长度一般与刻槽法的样长相同。矿化均匀样长可用 $1\sim 1.5$ m，在追索矿体边界时，或勘查条带状矿体时，样长可减小到 $0.2\sim 0.5$ m。

（三）采样方法的选择

不同的采样方法有其各自不同的特点，对不同地质特征的矿床有着不同的适应性。在选择采样方法时，就应综合考虑方法本身特点结合地质、技术经济效果因素和取样目的要求来确定。

（1）从采样方法的代表性来看，根据坑道采样样品所占空间形式（即线、面、体）和其重量，全巷法代表性最强、最精确，其次是剥层法，因为它们的样品重量大，控制范围大，具有权威性。至于刻槽法、拣块法、方格法及打眼法等可靠性目前说法不一。事实上这些方法的效果与矿化特征有着密切关系，矿化均匀时，拣块法、方格法的可靠程度比刻槽法要高。对于薄层脉状矿床，全巷法采样的可靠性并不一定好。

与坑道采样相比，通常钻探采样所获得的资料不如坑道中所获资料那么准确。其原因在于，钻孔很难沿着矿体物质变化最大方向来采取样品；钻孔口径小不能取得大量样品；受岩心采取率所限加之岩（矿）心选择性磨损，从而影响样品代表性，甚至产生系统误差。

（2）从技术经济特性来看，攫取法、方格法、打眼法采样工艺比较简单，比较经济，其中前两者更为经济；剥层法、全巷法的采样工艺则比较复杂，效率低、成本高；刻槽法的技术经济特性居中。在选择时应尽量选取其操作工艺简便、效率高、成本低的采样方法。

（3）从取样的目的要求来看，采样方法的选择是服从于取样目的要求的，因此有决定性作用。如要系统了解组分含量，为圈定矿体、估算储量提供资料，应采用精度、效率较高、成本较低的刻槽法、攫取法、方格法。如要进行检查性取样，必须采用精度更高的方法，如剥层法或全巷法。在商品取样时则攫取法最佳。如作工艺试验和矿石某些物理性质测定时，则要用大规格、大重量的全巷法。

总之，选择采样方法要全面分析，综合考虑，在保证可靠精确有代表性的前提下，尽可能经济易作。

（四）样品间距的确定

样品间距亦称为取样间隔，通常是指沿矿体走向及倾斜方向采样时（如在沿脉及上、下山坑道中），采用间隔采样，相邻两个样品间的距离。样品间距是影响取样结果的重要因素之一。合理地选择样品间距对矿体变化性的研究及矿床的正确评价都有重要的意义。为了确定合理的样品间距，应综合分析多方面因素。

1. 影响样品间距的因素

确定合理的样品间距应从取样代表性和经济合理性两方面来考虑。样品间距越小，提供的信息越可靠，代表性越强；然而间距越小，采样化验工作量就越大，成本也就越大，不经济。样品间距越大，虽然成本低，但控制不住矿体变化，导致代表性差。因此，二者必须兼顾，在保证必要的代表性前提下，尽量选择较大的样品间距。

影响样品间距的因素主要是取样的目的和矿体地质特征。后者包括有用组分分布的均

匀程度、矿体厚度变化程度和矿体规模等。一般来讲，组分分布越均匀，矿体厚度变化越小，矿体规模越大，取样要求精度越低和采样方法精度越高，样品间距越大；反之，样品间距越小。在这些因素中取样目的和矿化均匀程度是主要因素。

2. 样品间距的确定方法

目前确定样品间距的方法与确定勘查工程间距的方法类似，主要有类比法、稀空法和数学分析法。

(1) 类比法：据已勘查类似矿床采样的经验数据或规范标准确定待勘查矿床的样品间距。此法常用于普查和部分详查阶段以及对中小型矿床勘探时确定样品间距。表 7-1 列出了部分矿产的样品间距以供参考。另外，还可根据品位变化系数所反映的矿化均匀程度来确定合适的样品间距，详见表 7-3。

表 7-3 品位变化系数与取样间距的关系

矿床类型	有用组分分布均匀程度		沿脉坑道 取样间距/m	矿床举例
	特征	变化系数/%		
I	极均匀	<20	50~14	最稳定的铁及锰的沉积矿床及变质矿床。块状钛磁铁矿、铬铁矿的岩浆矿床
II	均匀	20~40	15~4	铁及锰的沉积变质矿床，风化型铁矿床，铝土矿床，某些硅酸盐类及硫化物类的镍矿床
III	不均匀	40~100	4~2.5	铜及多金属的接触交代矿床，热液矿脉和交代矿床，硅酸盐及硫化物类型的镍矿床。金、砷、锡、钨、钼等热液矿床。铜矿及铬铁矿的浸染矿石
IV	很不均匀	100~150	2.5~1.5	不稳定的多金属、金、锡、钨、钼等矿床
V	极不均匀	150 以上	1.5~1.0	某些稀有金属矿床。纯橄岩中的铂矿

(2) 稀空法：此法属试验性质，在矿床上选一代表性地段，以事先确定的最小间距采样，依次减稀一个样品，分别计算放稀前后有用组分的平均品位，以放稀前平均品位为基准，对比历次放稀后的平均品位。在允许误差范围内采用放稀后的最大距离为样品间距。试算结果最好再结合其他方法多方考虑。

(3) 数学分析法：此法是根据平均品位的相对误差，求得一定范围内的采样个数，再求出样品间距。计算公式如下：

$$L = \frac{S}{N} \quad (7-1)$$

其中

$$N = \left[\frac{tV}{P} \right]^2 \quad (7-2)$$

式中：L 为样品间距；S 为采样地段的总长度；N 为必须的采样个数；P 为给定的精度要求，即平均品位的相对允许误差；V 为采样地段品位变化系数，必须以单样计算；t 为概率系数（据所求的可靠程度，查概率积分表而得）。

另外，还有其他一些数学方法，如根据矿石品位的空间变化特征确定样品间距。表征品位空间变化规律的变异函数变程、自相关函数的影响范围、趋势函数的半波长等都可作为最佳的样品间距。

三、样品的加工

广义的样品加工包括矿产勘查工作中研究矿产质量所进行的鉴定、测试、化验分析等各种必须的加工。但目前一般还是将样品加工狭义地理解为化学分析样品加工，在此，我们也只谈化学分析样品加工。

1. 样品加工的必要性

采集的化学样品是为化验分析做准备的，其原始重量较大，多达数公斤至数十公斤，颗粒也较大且不等粒，而分析实验室所需的样品重量，一般只要 50~200 g，颗粒直径要小于 0.1 mm。因此，实验分析之前必须进行破碎和缩减。

2. 样品加工的原理

样品加工并非简单的破碎和缩减。因为，原始样品重量较大，若将其全部细碎拌匀，从中取出份样送化验室可以满足要求，但这在技术上较难，经济上极不合理；还由于原始样品中有用组分分布多是不均匀的，随便从中取出一份样送化验室，可以减少加工费用，但是不能保证其代表性的。因此，样品加工的基本准则是既要使缩减后的份样具有代表性，又要使加工过程简单、迅速和经济。

有用组分在样品缩分前后是否基本保持不变，即缩分后样品是否有代表性，这与样品中有用矿物及有用组分分布均匀程度、有用矿物颗粒的数量和直径有关。通常只有当样品破碎后的粒径与有用矿物粒径相同时，有用矿物才会完全呈单颗粒分布在样品中。这时，才能使有用矿物在样品中拌匀，缩减所产生的缩减误差才能减小。反之，缩减误差增大。此时，只有增加样品重量，也即增加样品中有用矿物的颗粒数，才能降低由于有用矿物分布不均匀对缩减的影响，减小缩减误差。因而，在样品缩减过程中，关键在于如何确定最小可靠重量。

3. 样品最小可靠重量确定

最小可靠重量是指样品碾碎到一定粒级时，缩减后缩减误差不超标的最小样品重量。

(1) 最小可靠重量的影响因素：影响样品最小可靠重量的因素较多，主要有样品中有用矿物的粒径、颗粒数，比重，矿石平均品位，化学分析允许误差等。有用矿物粒径愈大、颗粒数愈少、比重愈大，矿石平均品位愈低，允许误差愈小，样品可靠重量应愈大；反之，应愈小。

样品的最小可靠重量与颗粒的直径呈一定的正比例关系，据此，便可以逐级破碎，逐步缩减来完成加工过程，既保证份样的代表性，又使加工过程经济合理。

(2) 确定最小可靠重量的公式：许多学者曾提出过一些不同的公式来确定样品最小可靠重量，各有其特点，但在实际工作中，由于切乔特公式使用方便，被广泛采用。一般认为样品的可靠重量大致和最大颗粒的平方成比例。Γ.O. 切乔特将这一结论用如下公式来表示：

$$Q = Kd^2 \quad (7-3)$$

式中： Q 为缩减样品的最小可靠重量 (kg)； d 为样品的最大颗粒直径 (mm)； K 为缩分系数 (根据矿石特征确定)。

在应用切乔特公式时，确定合适的 K 值至关重要，矿石中有用组分均匀程度等矿化特征决定着 K 值大小，如矿石品位变化大， K 值应取大些，反之，则取小些。确定 K 值

的方法有类比法和试验法两种。

类比法 可根据矿产种类、矿化特点参考采样规范确定 K 值 (表 7-4)。

表 7-4 部分矿产样品缩分系数 K 值参考表

矿种	K 值	备注
铁、锰、铜、铅、锌、铝土矿、菱镁矿、磷、重晶石、毒重石、硼、高岭土、膨润土、耐火粘土、盐类、石膏、滑石、硅灰岩、硫铁矿等	0.1~0.2	铜、铅、锌伴生贵金属时 K 取 0.3~0.5; 结核状磷矿 K 取 0.2~0.3; 盐湖矿 K 取 0.05~0.2; 盐类矿化不均时 K 取 0.5
钨、铋、砂锡矿	0.2~0.3	铋矿伴生贵金属时 K 取 0.4
硅酸镍矿、稀有金属	0.1~0.3	稀有金属伟晶岩型 K>0.3
硫化镍矿、稀土矿产	0.2~0.5	
锡、汞、花岗岩型稀有金属	0.2	镍、汞组分不均时 K 取 0.3~0.5
铬	0.25~0.3	
脉金	0.2~1	据金颗粒大小而定
银	0.2~0.8	
钼	0.1~0.5	多用 0.2
石灰岩、白云岩	0.05~0.1	
萤石、石墨、玻璃硅质原料	0.1	

试验法 根据矿床实际情况和切乔特公式试验确定 K 值。分两种形式,一种是使 d 不变,使 Q 变化,即采用不同 Q 值,而求相应 K 值,然后在化学分析允许误差范围内选取最小 K 值;另一种是使 Q 不变,使 d 变化,而求相应的 K 值,最后选择最小 K 值。

4. 样品的加工程序

(1) 破碎 目的是减小样品粒径,增加有用矿物颗粒数,最终减少最小可靠重量,加快缩减样品。一般采用机械破碎方法,分为粗碎(粒度 25 mm)、中碎(5~10 mm)、细碎(1~5 mm)、粉磨(0.15~1 mm)几个阶段,分别用颚式破碎机、轧辊机、对辊机或盘式细碎机、盘磨机或球磨机来完成。

(2) 过筛 目的是保证破碎后的颗粒直径能达到预定要求;保证破碎前已达粒度要求的颗粒筛下,以免加工过碎并减少加工工作量。可见,过筛只是破碎的检查、辅助工序。

(3) 拌匀 目的是在缩分前使有用矿物颗粒在样品中尽可能的均匀分布,使缩减误差降低。拌匀的方法有铲翻法和帆布滚动法。

(4) 缩减 是将样品缩减到最小可靠重量,以便简化加工程序,减少工作量,降低费用。缩减时常用四分法和两分法,每次缩减 1/2,所以总的缩分次数可按下式确定:

若
$$Q_1 \geq 2^n \times [Kd_2^2 = Q_2], \text{ 即 } Q_1 \geq 2^n \times Q_2 \quad (7-4)$$

则
$$n = \frac{\lg \frac{Q_1}{Q_2}}{\lg 2} \quad (7-5)$$

式中: Q_1 为缩分前的样品质量 (kg); Q_2 为缩分后的样品质量 (kg); d_2 为缩分后的颗粒直径 (mm)。

完成上述4个工序谓之一阶段。整个样品加工过程就是阶段的反复进行过程，直至样品达到化验所需的重量（50~200 g）和粒度（0.1 mm）要求为止。

应当看到，随着加工技术的进步和革新，机械破碎能力增强，加之破碎生产机械联动线与操作自动化相结合，可轻易将原始样品一次粉碎到所要求的粒度，一次缩减到必要的重量，无所谓可靠质量计算。虽然增加了一些破碎工作量，但提高了精度，保证了代表性，简化了工序，提高了效率，更为经济。这在原始样品质量不大（一般小于5 kg）的情况下是可行的。对于组分分布极不均的矿床（如某些金矿）取样时，为确保代表性，也有采用的。但在原始样品质量很大的情况下（如全巷法取样），分阶段缩减，也许更合理些。

5. 样品的合并

在满足代表性的前提下，为减少测试、分析工作量，常常在化验之前将若干个样品合并为一个样品。如在分析伴生有益组分及有害杂质时，矿石质量已基本掌握的勘探和生产勘探阶段常采用样品合并。

样品合并可在样品加工前，也可在其后。合并时要充分考虑矿体厚度、矿石类型、矿石品级、矿化特征、矿石结构构造特点、矿石品位、储量估算时块段划分的条件、采样方法及采样间距等。样品合并应遵循如下一般原则：①按样品原始重量比例合并；②合并的样品矿石类型、矿石品级须相同；③原始样品的采样方法应相同。至于一个组合样中含有多少个原始样品要视具体情况来定。

四、样品的鉴定、分析、测试及试验

对加工后的样品要进行必要的鉴定、分析测试、试验及研究，这是矿石质量研究的重要环节。在矿产勘查各阶段都应进行，只是随阶段及任务的变化，研究内容有所侧重，精度有所差异。

（一）矿石的矿物学及矿相学鉴定

对矿石进行矿物学、矿相学及岩石学研究是矿石质量研究的基础性工作，也是一种概略估计矿产质量的方法，对某些主要利用其中有用矿物的矿产，更有特殊意义。

对矿石的矿物学研究，目前仍是以显微镜（偏光、矿相、实体）下鉴定为主，辅以各种测试手段，如硬度、磁性、折光率、微化分析、电子探针等测试。鉴定、测试是直接对加工过的样品（如光片、光面、薄片和单矿物样）上进行。主要包括以下几个方面：

- （1）查明矿石矿物成分、矿物共生组合、矿物次生变化及分布规律；
- （2）确定矿石中各矿物组分的数量，据精度要求不同，可采用目估法和统计法等；
- （3）查明矿石结构构造、测定矿物外形、粒度、嵌布特性及硬度、脆性、磁性、导电性等物理性质。为解决选、冶加工方法提供资料；
- （4）考查矿石中元素赋存状态，为确定工业矿物，确定选、冶方法和流程提供依据；
- （5）结合物相分析，确定矿石氧化程度，划分矿石类型，查明其分布。

（二）矿石化学成分分析

矿石化学成分分析目的是确定矿石的化学成分及其含量，同时还要查明元素的赋存状态及分布规律。常用的分析方法有光谱分析，化学分析以及核子物理方法等。

1. 光谱分析

光谱分析主要用于普查找矿阶段，如地球化学找矿，在勘探阶段则常用于检查矿石中

可能存在的伴生有益组分和有害元素的种类和含量，为组合分析提供项目，分析项目较多，主要根据矿石类型、元素共生组合规律、岩矿鉴定和光谱半定量分析结果确定，故又称为多元素分析。

2. 化学分析

化学分析是最基本的方法，其分析精度高，分析结果用来评价矿石质量、圈定矿体、估算储量。据分析的目的要求又可分为基本分析、组合分析、合理分析和全分析。

(1) 基本分析又称普通分析、单项分析、主元素分析。分析的目的是查明矿石中主要有用组分的含量及变化情况，以了解矿石质量、划分矿石类型、圈定矿体和估算储量。基本分析是勘查工作中数量最多的一种化学分析工作，故必须系统地进行。分析项目为主要有用组分，具体因矿种和矿石类型而定。

(2) 组合分析目的是了解矿石中伴生有益组分及有害组分含量，以便估算伴生有益组分的储量及有害杂质对矿石质量的影响。组合分析项目是根据全分析和多元素分析结果确定，即当有益或有害组分达标或超标时，则作组合分析。组合分析样品由基本分析副样组合而成，组合时应符合样品合并原则。

(3) 合理分析又称物相分析，其任务是确定有用组分赋存的矿物相，以区分矿石的自然类型和技术品级，了解有用矿物的加工技术性能和矿石中可回收的元素成分。合理分析的项目主要是矿石主要有用组分，有时也研究伴生有益组分和有害杂质的矿物相。合理分析样品的采取是根据矿石的岩矿鉴定结果，在不同类型或品级的分界线两侧附近采取，样品数目一般5~20个。也可用基本分析或组合分析的副样组合而成。

(4) 全分析的目的是了解矿石中各种元素及组分的含量，以便进行矿石物质成分研究。全分析的项目是根据光谱分析结果，除痕量元素外的所有元素。其成本高，费时费工。全分析最好在勘查阶段初期进行，以便指导勘查工作。全分析样品可单采，也可利用组合分析副样，但必须有代表性，大致上每种矿石类型1~2个，一个矿区不超过20个。对某些以物理性质确定工业价值的矿石如石棉等，只需个别化学全分析样以了解其化学成分，判定其矿物种类即可。

(三) 矿石物理技术性质测定

测定矿石物理技术性质，一般是为了矿产资源/储量估算及矿床评价提供必要的资料，而对于某些非金属矿床（如云母、水晶、石棉等），更重要的是为了评价其矿产质量、确定其加工工艺特性。通常，物理技术性质测定项目有矿石体积质量（体重）、湿度、孔隙度、硬度、块度，矿石和围岩的抗压强度、裂隙度、坚固性、松散系数等。评价非金属矿产质量所需测定的项目则视矿种和要求而定。现择几种常用的主要物理技术性质测定简介如下：

1. 矿石体积质量（体重）测定

矿石体积质量（体重）是指自然状态下单位体积矿石的质（重）量。它是储量计算的重要参数之一。矿石体积质量（体重）测定分小体积质量（体重）和大体积质量（体重）两种情况。

(1) 小体积质量（体重）：目前多采用涂蜡法，取小块样品（直径5~10 cm）封蜡，根据阿基米德原理，采用涂蜡排水法测定矿石在封蜡前后的重量及封蜡后的体积，便可按下式计算：

$$D = \frac{W}{V_1 - V_2} \quad (7-6)$$

$$V_2 = \frac{W_1 - W}{d} \quad (7-7)$$

式中： D 为矿石体积质量（体重）（ kg/dm^3 ）； W 为样品在空气中的质量； V_1 为样品涂蜡后的体积（放入水中测定）； V_2 为样品上所涂蜡的体积； W_1 为样品涂蜡后的质量； d 为蜡的相对密度，一般 $d=0.93$ 。

(2) 大体积质量（体重）：是用全巷法采样在野外直接测定。先将样品称重 W ，再测采出样品的坑道体积即样品体积 V （通过灌沙法测量沙子体积）。大体积质量（体重） D （ t/m^3 ）的计算公式为：

$$D = \frac{W}{V} \quad (7-8)$$

不同类型不同品级的矿石，应分别测定体积质量（体重）。一般每一品级矿石需测小体积质量（体重）20~50个（计算平均值用于矿产资源/储量估算），大体积质量（体重）1~2个。体积质量（体重）样品应采自有代表性的部位。

由于小体积质量（体重）样品的裂隙已被破坏，相对变致密了，所以通常小体积质量（体重）大于大体积质量（体重）（误差有时高达50%~80%），当矿体中裂隙发育时，大体积质量（体重）应多测几个以校正小体积质量（体重）。

2. 矿石湿度测定

矿石湿度是指在自然状态下单位重量矿石中的含水量，即含水量与湿矿石的质量百分比。测定矿石湿度是为了估算储量之用，因为体积质量（体重）一般是湿体积质量（体重），而品位是干品位，计算储量时两者必须统一，即校正一方，才能提高测量计算精度。

矿石湿度 B 为：

$$B = \frac{W_{\text{sh}} - W_{\text{g}}}{W_{\text{sh}}} \times 100\% \quad (7-9)$$

式中： W_{sh} 为湿样品质量； W_{g} 为干样品质量。

当湿度较大时（ $>3\%$ ），体积质量（体重）值应进行湿度校正。校正品位采用下式：

$$C_{\text{sh}} = C_{\text{g}} \frac{100 - B}{100} \quad (7-10)$$

式中： C_{sh} 为矿石湿品位； C_{g} 为矿石干品位。

矿石湿度样应与体积质量（体重）样用同一样或同地采取，以便验证。由于湿度与孔隙度、裂隙度、采样深度、地下水水位等有关，所以湿度样应分类采取，每一类不少于15~20个，样品质量300~500g。

3. 矿石松散系数测定

松散系数是指一定量矿石在爆破前后的体积比值，即矿石由天然状态到爆破之后的松散程度。测定目的是为确定矿车、吊车、矿仓等的容积提供资料，计算公式如下：

$$K = \frac{V_{\text{s}}}{V_{\text{y}}} \quad (7-11)$$

式中： K_{s} 为松散系数； V_{s} 为爆破后松散矿石体积； V_{y} 为爆破前原矿石体积。

4. 矿（岩）石的抗压强度测定

抗压强度是指矿（岩）石在外力作用下抵抗破碎的能力。测定抗压强度是为开采设计提供依据，以便计算坑道支护材料用。

一般是在矿层及顶底板围岩中采样，按不同硬度级别分别采取，每一级采 2~3 个，规格为 5 cm×5 cm×5 cm 的立方体，每种试验应取两块，送专门实验室分别进行平行层面和垂直层面的施压试验。抗压强度单位为 kg/cm²。

（四）矿石选冶工艺性质试验

矿石选冶工艺性质试验是矿产勘查工作必不可少的重要环节之一。因为矿产勘查阶段探明的矿产储量，除少数外，大多数不能自然达到工业生产利用要求，必须进行选冶试验。其试验标准是应达到工业生产上既技术可行，又经济合理。这也是矿产可否供工业生产利用的原则标准。选冶试验只有达到一定程度，才能断定选冶试验是否达到上述标准。1987 年国家储委颁布的《矿产勘查各阶段选冶试验程度的暂行规定》对于矿石选冶试验程度的分类及矿产勘查各阶段选冶试验程度的要求等，做出了较明确的规定。

1. 矿石选冶试验程度的分类

矿石选冶试验程度是指试验深度、广度和规模的综合概念。根据试验的目的、要求和特征；技术经济指标在现实生产中的可靠性；选冶试验规模及模拟度的高低等，将选冶试验程度分为五类：

（1）可选（冶）性试验：在实验室采用具有工业意义的选冶方法和常规流程，在对矿石物质组成初步研究基础上，用物理或化学的方法获得目的产品反映的技术指标，目的是为了判别试验对象是否可作为工业原料。试验定量程度低、模拟度差。可选（冶）性能对评价矿石质量具有重要意义，对易选（冶）矿石试验结果，可作为制定工业指标的基础。

（2）实验室流程试验：在可选性试验基础上，利用实验室规模的设备，进一步深入研究在何种流程条件下获得较好的选冶技术指标而进行的流程结构及条件的多方案比较试验，即选择技术经济最优的流程方案和条件。试验结果一般是矿床开发初步可行性研究和制定工业指标的基础；对易选矿石，也可作为矿山设计依据。

（3）实验室扩大连续试验：对实验室流程试验推荐的流程串组为连续性的类似生产状态操作条件下的试验，试验是在动态中实现，具有一定的模拟度，成果是可靠的。其结果一般可作为矿山设计的基本依据；但对于难选矿石，仅能作为矿床开发初步可行性研究和制定工业指标的基础资料和依据。

（4）半工业试验：是在专门试验车间或实验工厂进行矿石选冶的工业模拟试验。是采用生产型设备，按“生产操作状态”所作的试验。目的是验证实验室扩大连续试验结果。工业模拟度强，成果更为可靠。其试验一般是作为建设前期的准备而进行的，无疑是供矿山设计使用的。

（5）工业试验：借助工业生产装置的一部分或一个或数个系列，性能相近，处理量相当的设备，进行局部或全流程的试验，具有试生产性质。主要用在矿床规模很大，矿石性质较为复杂，或采用先进技术措施，缺乏足够经验，以及有因技术、经济指标或新设备的适应性需在工业试验中得到可靠验证时才进行工业试验。可见，工业试验是建厂前的一项准备工作，其试验结果无疑是作为矿山设计建厂和生产操作的基础和依据。

上述选冶试验程度，先后层次分明，前一试验是后一试验的基础，后一试验是前一试

验的验证、发展和提高，各类试验程度应该循序渐进，不可逾越。对于某些易选冶矿产可只进行第一类或前两类试验；而对于难选（冶）矿产，则需按顺序进行上述全部试验。一般前三项试验由勘查单位负责进行；第四项试验由勘查单位与工业部门密切配合进行；第五项试验由工业部门进行。

2. 矿产勘查各阶段矿石选冶试验的基本要求

矿产勘查各阶段都应进行矿石选冶试验，运用选冶试验手段评价矿石质量和矿床经济价值时，选冶试验程度应与矿产勘查程度相适应。即按各勘查阶段工作目的要求、矿产选冶难易的不同，而进行相应的选冶试验。矿产选冶难易程度是根据矿产物质组成研究初步推断和划分为易选、一般和难选矿石。

勘查各阶段只做必做的矿石选冶试验，其基本准则是既保证矿石能提供工业生产利用，又要避免不必要的浪费和损失。其选冶试验程度和对试验样的要求详见表 7-5。

表 7-5 矿产勘查各阶段矿石选冶试验程度表

勘查阶段	选冶试验目的	矿石物质组成研究	矿石特征	选冶试验程度	选冶试样要求	备注
预查	预测矿石是否可选	粗略研究		类比研究	对发现的矿体或少量矿石	新矿种、新类型矿石、新工艺、新设备或新药剂的应用，应与难选矿石的试验程度相同
普查	评定矿石是否可以作为工业原料	初步研究	易选矿石	类比评价，不做试验	主要矿石自然类型、主要品级的试验单样。可选（冶）性试验每个样重约 50~500 kg	
			一般矿石	做可选（冶）性试验		
			难选矿石	做可选（冶）性试验及实验室流程试验		
详查	评定矿床是否具有工业价值	详细研究	易选矿石	做可选（冶）性试验	工业类型和采矿、选冶条件可能组合的试样，实验室流程试验每个样重约 300~1000 kg；实验室扩大连续试验每个样重约 5~25 t	
			一般矿石	做实验室流程试验		
			难选矿石	做实验室流程试验及实验室扩大连续试验		
勘探	为矿山开发可行性研究或设计提供依据	深入研究	易选矿石	做实验室流程试验	工业类型和采矿、选冶条件组合样，围岩夹石的混入率，样品重量，实验条件，试验内容等，由地质、试验、设计等单位“三结合”共同研究确定	
			一般矿石	做实验室扩大连续试验		
			难选矿石	做半工业试验		

注：易选矿石是指组分简单、工业利用成熟的矿石；一般矿石是指可用组分多、工业利用尚成熟的矿石；难选矿石是指组分杂、矿物细、在国内外存在着技术难题。（据董智虞等，稍作删简补充）

各阶段选冶试验必须在物质组成研究的指导下进行，切不可盲目试验。由于各阶段工作的目的要求不同，对矿产物质组成的研究要求也有区别，相应地可分为大致研究、初步研究和详细研究等。

试样的采取必须保证代表性，其要求不同阶段有所差别，随勘查工作深入，代表性应依次增强。试样必须按不同类型矿石分别采取，矿石类型的划分标志多种多样，一般有：矿石的致密程度、矿石中有益组分种类及其含量、矿石结构构造和矿石氧化程度等。

五、取样结果的整理及研究

取样结果因目的任务不同而各异，在这里主要讨论样品分析结果。样品分析结果除供

储量估算、评定矿石质量等用途外，还可以用来研究有用组分的特征，品位与厚度等各有地质因素之间的关系，研究其变化规律，以指导矿产勘查工作。因此，有必要将样品分析的原始资料进行各种类型的综合整理和研究。

通过取样资料的综合整理研究，主要是总结出矿体外部、内部主要标志值的变化性质、变化程度及其控制地质因素，以指导勘查工作合理进行。综合整理研究的内容是多种多样的，大致包括如下几个方面的研究：

1. 品位统计分布特征的研究

矿床中各种金属元素的统计分布特征是其行成过程热动力状态的综合反映，与影响形成过程的所有因素有关。故各种金属元素的统计分布特征也是矿床的一种重要的固有特征。揭示概率分布函数的地质意义，有助于解决许多诸如成矿理论的检验、矿产储量评价、成矿远景预测、勘查方法选择等重要的地质问题。

对品位资料进行统计分析包括做直方图（统计分布曲线）、分布类型确定、计算统计特征值、对统计结果地质解释等。

2. 品位空间变化特征研究

品位空间变化包含空间变化的趋势性和连续性两个方面，趋势性指的是品位随空间位置改变的变化，反映总体变化特征；连续性则是指相邻空间点的品位变化关系，代表局部变化特征。品位空间变化特征的研究方法较多，包括图解法、趋势函数法以及自相关函数法和变异函数法等。

3. 元素间相关特征研究

元素间相性研究常用相关图解法、相关系数及相关比等几种方法。

以上几方面研究的更具体研究内容和方法，多已在本书第五章中讨论过，在此不再赘述。下面再就取样结果整理研究的一些应用作一简介：

(1) 品位空间变化图解：用图解法表示品位的空间变化，简单、直观、形象。在一个方向上常用品位自然变化曲线图和平差曲线图表示。图 7-8 表示一脉状矿床厚度与品位的变化关系，从中可以看出品位与厚度之间有同升同降关系，这对于评价矿床、估算储量和指导开采都有实用价值。在平面上常用品位等值线图来表征。图 7-9 是一脉状矿体垂直纵

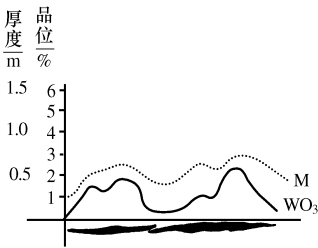


图 7-8 脉状矿体厚度与品位关系对比曲线图

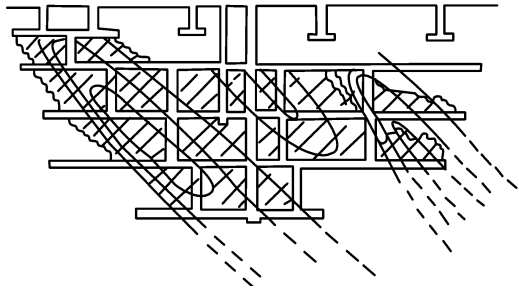


图 7-9 某脉状矿体品位等值线图

投影的品位等值线图，图中可清晰看出脉状矿体的富矿柱产状和倾伏角，了解这些特征对指导布置下一步勘查工程或开采工程有重要意义。

(2) 元素相关特征图解：以两种组分的含量分别作坐标投点编制相关散点图，根据散

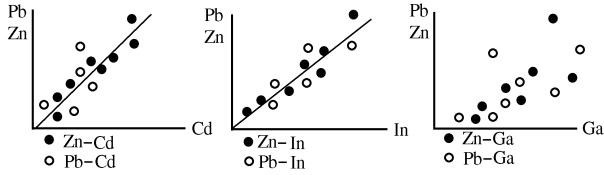


图 7-10 Pb、Zn 与 Cd、In、Ga 的相关散点图

点分布情况判断其相关性。某铅锌矿床富含分散元素铜、镉、镓。根据它们的含量编制相关分析图（图 7-10），从图中可见，镉、铜与锌的关系十分密切，点的分布基本上呈一直线；镉、铜与铅的关系则较差，镓和铅、锌的关系均不密切。用相关图法进行相关分析简单、直观。

（3）品位变化与控制因素关系：取样结果整理及研究，除以上几个方面外还要查明矿石质量变化或品位变化的控制因素，以便据地质因素的变化来预测矿石质量变化。常采用直观地质分析法，即将矿石质量变化或品位变化与地质背景联系起来分析。可将品位变化曲线图等与地质背景重叠起来编制综合图件，在图上直接分析品位变化等与地质背景的关系。图 7-11 表示一个耐火粘土矿床几种因素间相互关系，图中明显可见成矿盆地最深处，矿层的 Al_2O_3 与 TiO_2 ，含量最高，耐火度（SK）最佳。如果盆地深度也用曲线表示，则深度、含量与耐火度三条曲线也是同升同降关系。通过这一分析就可以了解矿床形成特点和变化规律，掌握各种有用及有害组分的变化关系，用以指导采、选、冶工作。

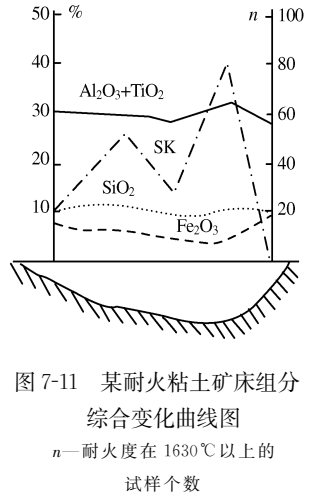


图 7-11 某耐火粘土矿床组分综合变化曲线图
n—耐火度在 1630℃ 以上的试样个数

第八章 矿产资源/储量估算

估算矿产在地下埋藏数量的工作称为矿产资源/储量估算或储量估算。矿产勘查工作的基本任务之一就是查明矿产资源/储量。在矿产勘查工作进行到一定程度时，据所提供的资源/储量估算所需的各种原始资料进行资源/储量估算。因此说，矿产资源/储量是矿产勘查工作重要物质成果；矿产资源/储量估算是某些矿产勘查阶段结束的最重要的一个步骤，也是矿产勘查工作成果的总结。

矿产勘查各阶段乃至矿床开采过程中，都要进行矿产资源/储量估算，但由于各阶段的任务不同，取得的资料精度不同，矿产资源/储量估算的具体要求和作用各不相同。为满足矿山需要，要严格按照批准的工业指标，应用大量、系统测定的可靠数据，结合所查明的矿床地质特点合理圈定矿体边界，按不同地段、不同矿石自然类型、不同工业品级以及不同资源/储量类别分别估算资源/储量。

第一节 矿产资源/储量单位及工业指标

一、矿产资源/储量单位

矿产资源/储量的单位，对于不同矿产往往不同，还有重量和体积单位之分。多数矿产以重量计算，通常单位为吨（t），如黑色金属（铁、锰、铬）、一般非金属（磷灰石、钾盐、石棉等）、稀有分散元素（铌、钽、锆等）、一般有色金属（铜、铅、锌等）；稀少的贵金属（金、银等）常以公斤（kg）为单位；一般建筑材料、石英砂等非金属矿通常只计算体积，单位为立方米（ m^3 ）。

各种矿产都要估算矿石储量，而有色金属、贵金属及稀有分散元素还要同时估算金属（或有用组分）储量。

二、矿产工业指标

矿产工业指标是指当前技术经济条件下，矿床应达到工业利用的综合标准（矿产工业部门对矿产质量和开采条件所提出的技术标准和要求的），它是评价矿床工业价值、圈定矿体、估算矿产资源/储量的依据。它是依据保护和合理利用矿产资源的方针，以及国家经济政策、技术水平和经济效益等多方面因素所确定的，其内容是由矿石质量（化学的或物理的）指标和矿床开采技术条件两部分组成。预查和普查阶段，可采用一般性矿产工业指标（由国家主管部门制定）；详查和勘探阶段，则应根据矿床地质特征，结合预可行性和可行性研究成果，并按当时市场价格进行论证，由投资方（业主）向地勘单位提供按国家规定程序制定和下达的矿产工业指标。

矿产工业指标的种类一般指矿石质量指标和矿床开采技术指标：

1. 矿石质量指标

(1) 边界品位：是圈定矿体时对单个样品有用组分含量的最低要求，是区分矿体与围岩（或夹石）的品位界限。边界品位下限不得低于选矿后尾矿中的含量，一般应比选矿后尾矿品位高1~2倍。边界品位的高低将直接影响矿体的形态、矿体的平均品位和储量。

边界品位用一种有用组分的含量表示。在综合性矿床中，用有工业意义的几种有用组分的总含量表示，但须先把有用组分的含量折算成有最大采收价值的标准主要组分含量。

(2) 最低工业品位：最低工业品位简称工业品位，是指单个工程中单矿层或储量估算的既定块段中，有工业意义的有用组分平均含量的最低要求。即最低可采品位或经济平衡品位——在当前技术经济条件下，开发这类矿产在技术上可行、经济上合理的品位，也就是矿物原料的采收价值能补偿生产商品矿石所付出的全部费用，而采矿利润率为零时的品位。

(3) 伴生组分最低含量：伴生组分分有用组分和有益组分。伴生组分最低含量就是对伴生有用组分和伴生有益组分含量的最低要求。伴生有用组分是指在加工主要组分时，可以顺便或单独提取的组分，如某些铁矿石中的矾，磷矿石中的碘，锌矿石中的镉等。伴生有益组分是指有利于主要有用组分加工过程、加工后产品质量提高的伴生组分，如某些铁矿石含有达不到综合回收标准的稀土、硼等元素，但在冶炼时进入钢铁，从而提高钢铁产品质量。

(4) 有害杂质最大允许含量：是指单个工程样品中，对矿产品质量和加工过程起不良影响的组分允许的最大平均含量。因而它也是衡量矿产质量和利用性能的工业指标。对于直接用来冶炼或加工利用的富矿及一些非金属矿产，如耐火粘土材料、溶剂原料等更是一项重要工业指标。

2. 矿床开采技术指标

(1) 最小可采厚度：最小可采厚度简称可采厚度，是指矿石质量符合要求时，有工业开采价值的单层矿体的最小真厚度值，一般情况下，小于这一厚度的矿体不能视为工业矿体。

(2) 最低工业米百分值：简称米百分值或米百分率，也表作米克/吨值。它是最低工业品位与最小可采厚度的乘积。它只用于圈定厚度小于最小可采厚度，而品位大于最低工业品位的矿体时使用。在此前提下，如果矿体厚度与品位乘积大于或等于这一指标时，可将这部分矿体视为工业矿体。

(3) 夹石剔除厚度：夹石剔除厚度亦称最大允许夹石厚度。开采时难以剔除，圈定矿体时允许夹在矿体中间的非工业矿石（夹石）的最大真厚度或应予剔除的最小厚度。厚度大于或等于这一指标的夹石，应予剔除，反之，则合并于矿体中连续采样估算储量。

第二节 矿产资源/储量边界线的圈定 和资源/储量估算图纸

矿产资源/储量估算是在矿体的一定界线内进行的，故在估算之前，须在资源/储量估算图纸上按工业指标圈出这些资源/储量边界，将矿产资源/储量估算的范围确定，这项工作称为矿产资源/储量边界的圈定。矿产资源/储量边界圈定的正确与否，直接关系到矿产资源/储量估算结果的可靠性，因而至关重要。

一、矿产资源/储量边界线的种类及圈定方法

矿产资源/储量边界线因其含意不同而名称各异，矿产资源/储量边界的圈定一般先在单个工程内确定矿产资源/储量边界（或边界基点），然后再根据所有工程内的资源/储量边界基点，在剖面上或平面上确定各种资源/储量边界。联结平面剖面的资源/储量边界线而得到矿体在三度空间的各种资源/储量边界。下面简介几种主要资源/储量边界及圈定方法：

1. 零点边界线及圈定方法

零点边界线是在投影面上，矿体厚度或有用组分含量趋于零的各点连线。即矿体尖灭点的连线。零点边界线常常是为了确定可采边界线时的辅助线，而不是真正意义的资源/储量边界，因矿产储量不可能计算到零点边界上。

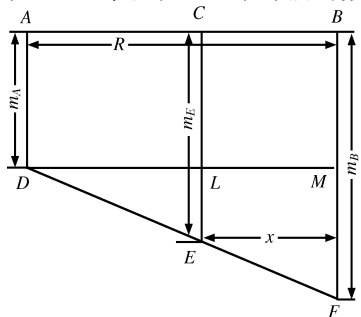
零点边界的确定主要有中点法、自然尖灭法、地质推断法和几何法等。当两个工程中一个见矿，另一个未见矿时，可将两工程间中点作为其间矿体的尖灭点，即零点边界基点；也可根据矿体厚度或有用组分的自然尖灭规律由见矿工程向外延伸至逐渐的自然尖灭处作为零点边界基点；根据所掌握的控矿地质规律和矿体变化规律来推定；当不能用以上方法推断时可按几何法推断，即以内边界线为基础，按具体情况向外推断一定距离，一般外推工程间距的一半或四分之一，如果工程为坑道，也可向下外推一至两个中段高，具体如何外推要视矿体变化情况而定，根据矿体地表出露长度向深部外推出露长度的四分之一到二分之一。

2. 可采边界线

可采边界线是按最小可采厚度和最低工业品位或最低工业米百分值所确定的基点的连线，它是用来圈定工业矿体的边界位置，即可采边界内的矿量为储量或基础储量。

可采边界基点的确定一般用内插法确定。此法适用于有用组分（或厚度）是均匀渐变的情况。当两相邻见矿工程（或在沿脉中两相邻样品）一个合乎工业要求，另一个不够工业要求，可采边界基点可在两工程间直接内插，若另一工程未见矿，须先确定零点边界，然后再在零点边界与见矿工程间内插确定可采边界基点。内插的具体方法有算法、图解法和平行线移动法，其原理是一致的。现将计算内插作法简介如下：

若以一定比例尺表示 A 、 B 两工程间的距离 R ， A 工程所得数值（厚度或品位） m_A 不合乎工业要求，在 B 工程中所得数据 m_B 合乎工业要求，那么，代表最低工业要求 m_E 的



可采边界基点 C 一定在 A 、 B 工程之间，若 m_A 、 m_B 和 m_E 用同一比例尺分别以 AD 、 BF 和 CE 线段表示之，则 C 点与 B 点的距离 x ，可据相似三角形原理按下式计算（图 8-1）。

$$x = \frac{m_B - m_E}{m_B - m_A} \cdot R \quad (8-1)$$

求出 x ，即可找到可采边界基点 C 。

3. 矿石品级和类型边界线及确定

是在可采边界线的范围内，按矿石技术品级和类型的要求标准，划分的不同技术品级和矿石类型的分

图 8-1 计算插入法确定边界基点

界线。表明各种品级和类型的矿石在工业矿体中的分布情况。

确定矿石品级和自然类型的边界时，是在可采边界范围内，必须注意控制矿石品级和自然类型的地质因素。例如在确定氧化带与原生带的边界时，必须考虑氧化带和原生带的界线主要是地下水位控制着，而地下水面在较短的距离内可以视为水平的，因此其边界正确的划法应是水平的。

4. 储量类别边界线的圈定

即按不同储量类别条件所圈定的界线，例如储量、基础储量和资源量的分界线。

5. 内边界线与外边界线

内边界线是矿体边缘见矿工程控制点连接的界线，它表示被勘查工程所控制的那部分矿体的分布范围；外边界线是根据边缘见矿工程向外或向深部推断确定的边界线，以表示矿体的可能分布范围。从空间上说，零点边界线属于外边界线，而其他几种边界线可在内边界线之内，也可在内、外边界线之间。

6. 暂不能开采边界线

这条界线是根据边界品位圈定的，此线与可采边界线之间的矿量为资源量。

二、矿产资源/储量估算图纸

矿产资源/储量估算一般都要借助图纸来进行，可用作矿产资源/储量估算的图纸较多，因资源/储量估算方法不同而异。这些图件主要有勘探线剖面图、中段地质平面图、投影图、等值线图，现将几种主要图件分别简介如下：

1. 勘探线剖面图

勘探线剖面图是垂直矿体走向，表明沿矿体倾斜方向地质构造特征的基本图件。它是依据沿勘探线地表剖面测量和勘查工程所获的全部资料综合编制而成的。它是地质勘查最基本图件之一，可用于资源/储量估算，是垂直断面法资源/储量估算的必要图件，也是编制其他综合图件的依据。比例尺一般为1:500~1:2000（图8-2）。

图上的主要内容有：坐标线和标高线、剖面地形线及方位、各种勘查工程位置及编号、钻孔孔深及矿心采取率、采样位置及编号、各种地质界线及产状、矿体编号、矿体内各种矿石类型以及原生带、氧化带界线等，用于估算储量的剖面图还应有各种品级矿石和各类储量的分界线、各块段面积的编号及其面积和平均品位。在此图下面还应绘有相应的勘探线平面图，图的一侧或下方应附有样品化验分析结果表。

2. 中段地质平面图（水平断面图）

中段地质平面图是根据通过同一标高的勘查工程所获得的资料综合编制而成的用以反映在不同标高各水平面上矿体及地质构造特征、矿化分布规律、勘查工程分布等的一种水平断面图件。当矿床主要用水平坑道勘探时，它是水平断面法矿产资源/储量估算的主要图件。一般比例尺1:500~1:1000（图8-3）。

图件的主要内容：坐标网、勘探线、勘查工程（通过该平面的）及编号、各种地质界线、矿体及其编号，矿石类型分布，取样位置及其编号等。当用作储量估算时，还应表明矿石品级、储量类别、块段及编号、面积及平均品位等。

3. 矿体垂直（纵）、水平投影图

矿体纵投影图是在与矿体延长方向（走向）平行的垂直或水平投影面上表示矿体内各

× × × 铜矿床 × × 号勘探线剖面图

比例尺 1:1000

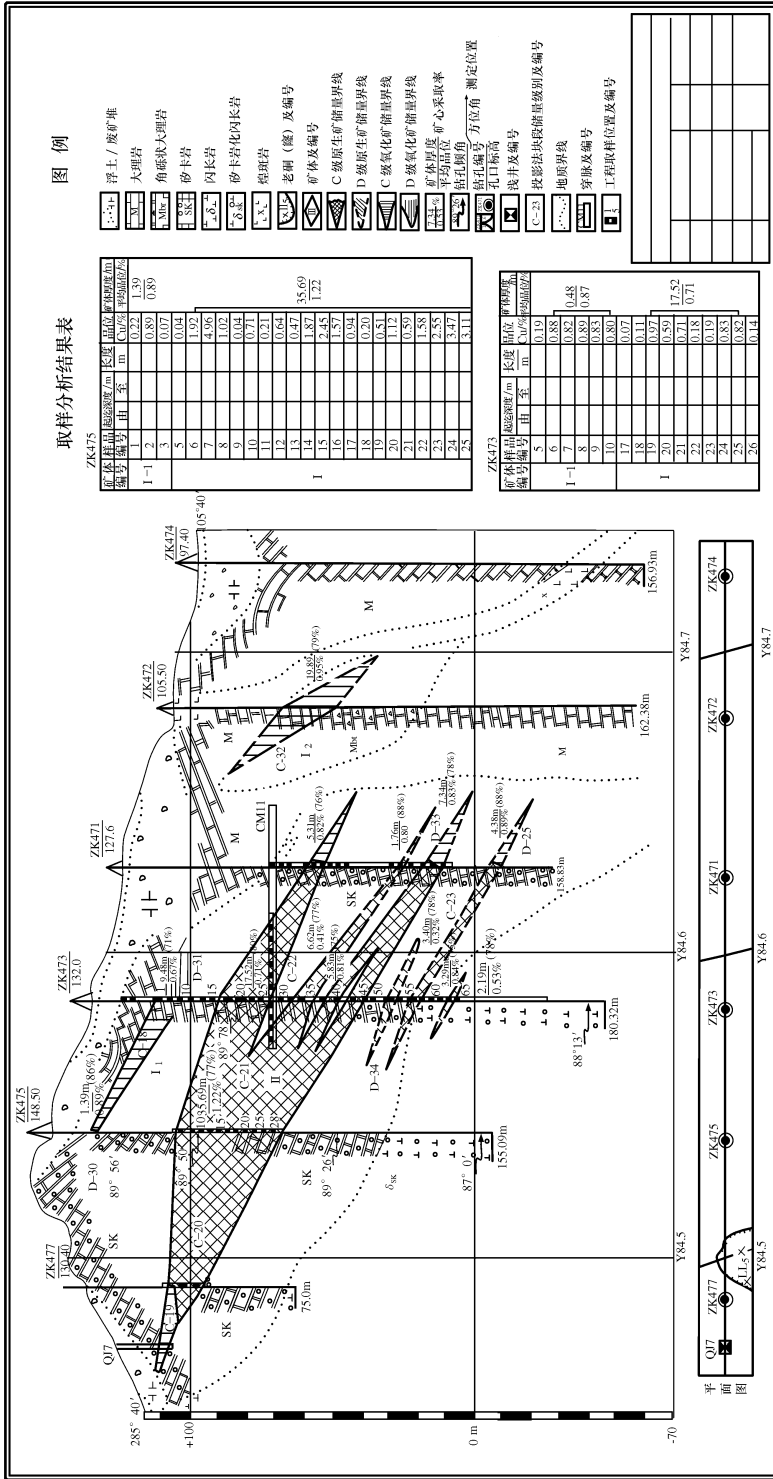


图 8-2 勘探线剖面图

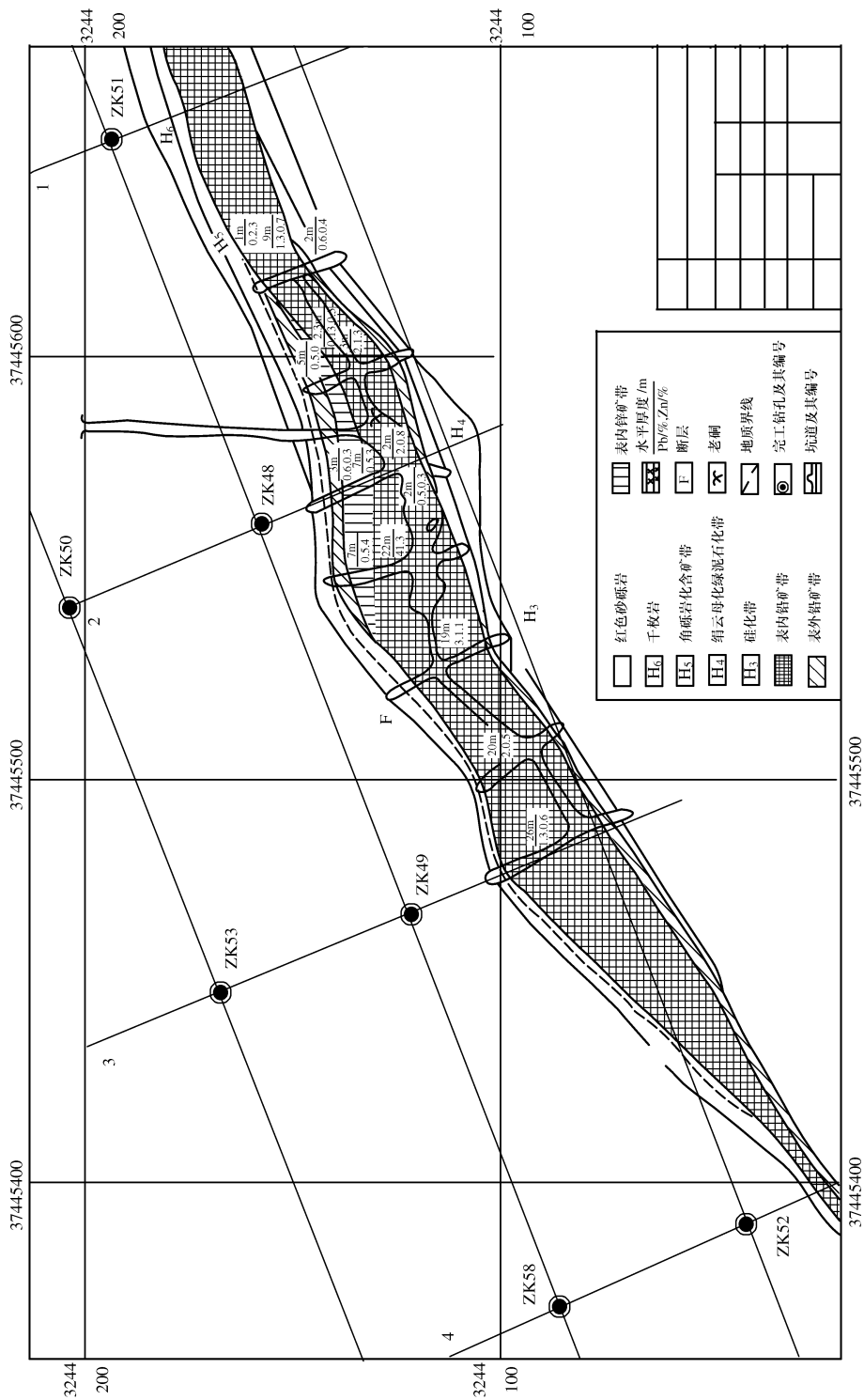


图 8-3 矿体水平断面图

类储量与矿石品级分布和工程控制程度。它是地质块段法、开采块段法等矿产资源/储量估算方法的基本图纸。

采用何种投影面制图，主要取决于矿体产状陡缓。当矿体总倾角大于 45° 时，一般用垂直投影面，小于 45° 时，则用水平投影面，当矿体倾角在 45° 左右时也可用倾斜投影面。其比例尺视矿体规模和要求而定，一般为 $1:500 \sim 1:1000$ 。

矿体垂直纵投影图与矿体水平投影图的作图方法基本相似，只是投影方向与投影面不同而已。这里只将矿体垂直纵投影图（图 8-4）介绍如下：矿体垂直纵投影图，适于陡倾斜矿体，将勘查工程揭露矿体中心线的交切点投影到一个平行矿体走向的垂直平面上，圈出矿体范围，划分出储量估算的各种边界线。

编图所需的主要资料有：矿区地形地质图、勘探线剖面图、中段地质平面图、勘查工程分布图及各种采样分析结果。

图件的主要内容：投影方位线、坐标线或剖面线、标高线，矿体出露线与投影边界线、各种勘探工程的投影位置及编号、切割矿体的岩脉和断层的投影位置、各种矿石类型、品级和储量类别边界线、块段面积、平均厚度、平均品位、矿石量、金属量等。

×× 铜矿床 ×× 矿体垂直纵投图

比例尺：1 : 1000

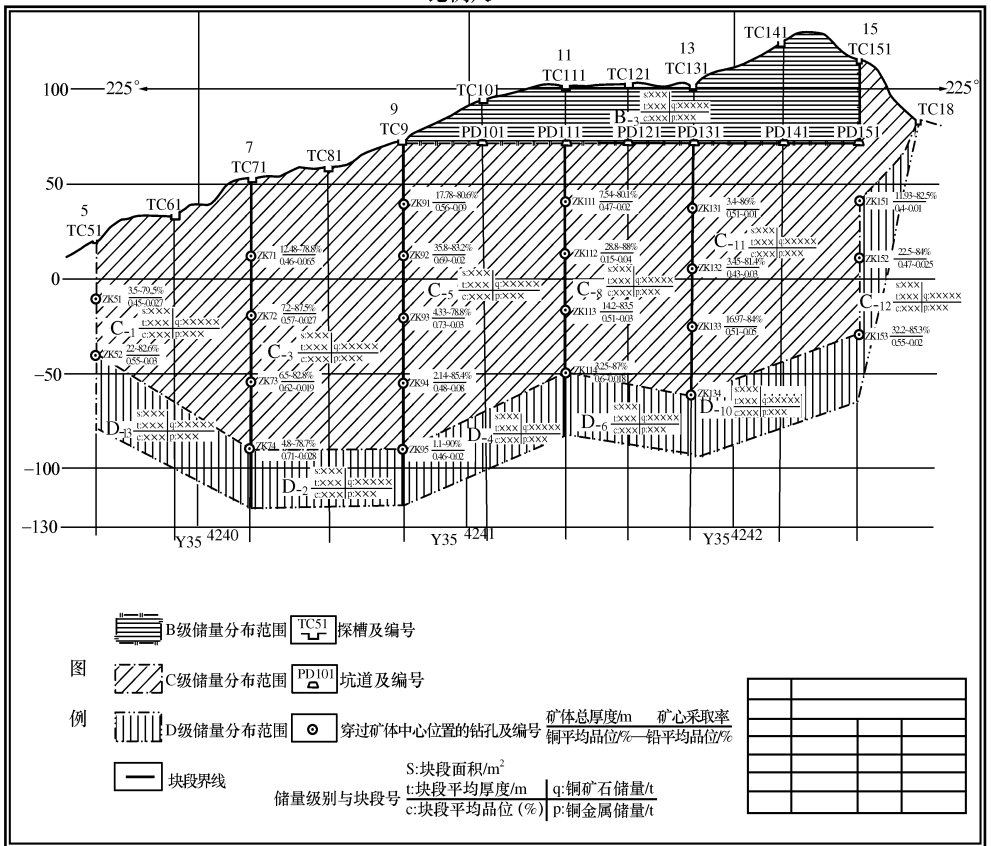


图 8-4 矿体垂直纵投影图

4. 矿体底（或顶）板等高线图

多用中等倾斜程度、厚度较稳定、工程较密的层状矿床。其特点是可以根据矿层底（顶）板等高线的形态变化，反映矿体的产状变化与构造形态，且能按不同标高的深度划分块段、分别估算资源/储量，便于开采设计。如煤矿的资源/储量估算常用此种图件。它是根据勘探工程所获得的矿层底（顶）板标高及有关综合资料，按矿层分层编制而成。一般比例尺为1:500或更小。等高线间距大小由图件比例尺和矿层倾斜程度而定。

图件内容：一般包括坐标线、断层线、矿层露头线、勘探线及其编号，全部揭露或穿过本矿层的勘查工程及其编号，截穿矿层底（顶）板标高及等高线等。如用此图作资源/储量估算时，图内尚需绘制生产窑的位置及其采掘边界、废窑及采空区；在每个见矿点旁边，注明估算储量所采用的矿层厚度、矿心采取率、化验分析结果及矿层小柱状图；此外，应根据勘查工程结合矿层情况，用不同线条分别圈定资源/储量类别、划分块段及其编号。

第三节 矿产资源/储量估算参数的测定与计算

一、矿体（块段）面积测定

矿体面积的测定通常是在剖面图、中段地质图、纵投影图等各种矿产资源/储量估算图上对已圈定好的矿体和划分好的块段面积进行测定。其测定方法有以下几种。

1. 求积仪法

此法是测量矿体面积中用得最多的方法。主要用于测定矿体形态不规则，边界线由形态复杂的曲线构成的面积。常用的求积仪为定极求积仪。具体测量方法，参见仪器说明书。

2. 曲线仪法（平行线法）

曲线仪是一种测量曲线长度的仪器（图8-5）。也可用其间接测量面积。作法是用透明纸一张，上面等间距（如1 cm）画有一系列平行直线，将其蒙在所测图形上（图8-6a），然后用曲线仪测出图边界内所截所有平行线总长。直线总长乘以平行线间距，并作比例尺换算即得所测图形之面积。当平行线间距为1 cm时，所测直线总长即为所测图形面积。

精度要求越高，则平行线间距应该越小。实际测量时，为了精确可改变位置测量3次，取其平均值。

3. 方格纸法

在透明方格纸上，选择一定大小的方格（边长为1 cm或0.5 cm），并在方格中心或角点上用小点作标记，然后将其蒙在所测的图形上数出图形边界内的点数（即方格数），如点落在边界上只算半点，这样就可换算成面积，如果小方格边长为1 cm，待求面积的点数，也就是以平方厘米计的面积数（图8-6b）。

精度要求越高，则每个方格的边长应越小。为了提高精度可在不同位置测定三次求其平均值。此法简便易行，应用极广。

4. 几何法

此法主要用于矿体（块）面积呈规则几何图形时，将欲测面积划分若干三角形、矩形或梯形后，用几何公式计算面积。

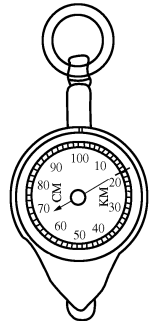


图8-5 曲线仪

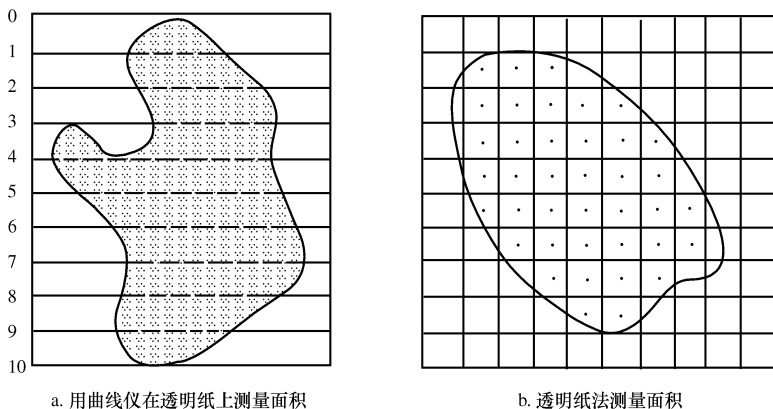


图 8-6 测量面积图

二、矿体厚度测定与计算

矿体厚度测定是在矿体露头上、坑道中和据钻孔中所获资料进行的。

1. 坑道中矿体厚度的测定

当坑道所揭露的矿体与围岩界线清楚时，采样或编录时可以直接测得矿体厚度，测点与采样位置应一致，以便于平均品位计算。测量次数取决于坑道布置情况，穿脉坑道中全部测量，沿脉坑道中按一定间隔进行测量。如果矿体与围岩界线不清时，须根据取样结果来确定矿体厚度。当所测得的厚度是假厚度，还需进行换算。

2. 钻孔中矿体厚度的测定

由于钻孔所截穿的矿体均在地下深处，只能间接地测定矿体的厚度。当钻孔垂直矿层钻进，且岩心采取率为 100% 时，可直接丈量岩（矿）心，取得厚度数据。若岩（矿）心采取率较低，除丈量岩（矿）心长度外，还要按采取率算出钻孔截穿矿体的厚度。一般情况下，钻孔截穿矿体处（图 8-7），矿体真厚度按下式计算：

$$\text{矿体真厚度 } m = \frac{l}{n} (\sin \alpha \sin \beta \cos \gamma \pm \cos \alpha \cos \beta) \quad (8-2)$$

$$\text{矿体铅垂厚度 } m' = \frac{l}{n} (\sin \alpha \cos \beta \cos \gamma \pm \cos \alpha) \quad (8-3)$$

$$\text{水平厚度 } m'' = \frac{l}{n} (\sin \alpha \cos \gamma \pm \cos \alpha \cos \beta) \quad (8-4)$$

式中： l 为矿心长度（m）； n 为矿心采取率（%）； α 为钻孔截穿矿体时的天顶角； β 为矿体的倾角； γ 为钻孔截穿矿体处钻孔倾向与矿体倾向的夹角。

以上各式中，凡钻孔倾向与矿体倾向相反时，前后两项为正号连接；否则为负号连接。

三、矿产资源/储量估算参数平均值的计算

矿产资源/储量估算时，一般要求分矿体或分块段估算。而勘查过程中测定的参数值数量较多，因而要计算出单个工程中、整个矿块或矿体乃至整个矿床该参数的平均值（如

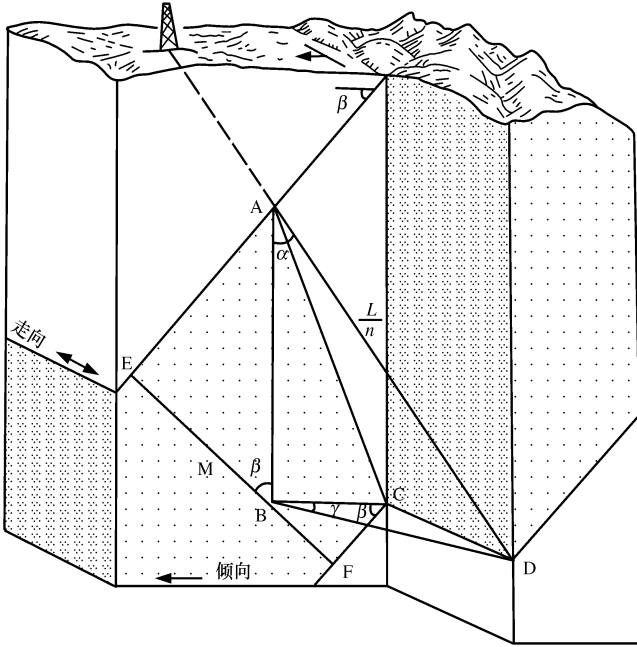


图 8-7 钻孔不垂直矿体走向时矿体厚度的计算

平均厚度、平均体重、平均品位等)。参数平均值的计算有算术平均和加权平均两种方法。

(1) 算术平均法 此法适用于矿体参数变化较小、测点分布较均，或该参数与其他参数无任何相关关系时，其实质是把每一个测点观测值所起的作用看做是同等的。也就是将所有观测值加和再除以观测点数得出的平均值。

(2) 加权平均法 当矿体参数变化较大，且测点分布不均或该参数与某一因素有相关关系，则应以这一因素为权数，以加权平均法来确定参数平均值，即每一个测点所起的作用不能等同看待。如取样结果发现品位与厚度间有一定相关关系，且厚度变化较大时，则应以厚度为权，加权平均计算平均品位。其计算公式为：

$$C = \frac{C_1 m_1 + C_2 m_2 + \dots + C_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (8-5)$$

式中：C 为矿石平均品位 (%)； C_i 为各个样品的品位值 (%)； m_i 为各样品所代表的矿体厚度 (m)。

同理，也可用样品控制长度加权，甚至以样品控制长度和厚度两参数之乘积联合加权。

根据工程中参数平均值，加权平均（如以工程采样长度或工程揭露矿体长度为权），可以求得断面上参数平均值；根据断面参数平均值，加权平均（如以断面面积为权）可以进一步求得矿块参数平均值。

四、特高品位的确定与处理

有些样品的品位高出一一般样品品位很多倍（通常为 6~8 倍），这样的品位称之为特高

品位。这种情况往往出现在矿石有用组分分布很不均匀或极不均匀的矿床中，由个别样品取于矿化局部富集的地方而产生的。由于特高品位的存在会引起平均品位的剧烈增高，特别是在样品数量较少的情况下，对平均品位的影响更大。因而首先要根据矿床地质特征，采用适宜的方法确定是否为特高品位，然后对它进行适当的处理。

为了检验特高品位是否属实，首先要检查是否为化验的差错，需送副样分析。如分析无差错，再到采样点进行检查。如果取样有误，则该样品作废。如确系特高品位，处理方法有以下几种：

- (1) 计算平均品位时，把特高品位去除；
- (2) 用整个坑道或整个块段的平均品位来代替特高品位，这个平均品位可以包括，也可以不包括特高品位；
- (3) 用与特高品位相邻的两个样品的平均品位代替特高品位。也有人建议把 3 个样品一起求平均品位代替特高品位。这样做是考虑它们之间的环境相同；
- (4) 用一般品位的最高值代替特高品位；
- (5) 也有人用统计法统计不同级别的频率，即求出每一级样品品位数量与样品总数之比，就是样品率，然后再用每一级样品率去加权计算平均品位。

上述几种特高品位处理方法，都是设法减少特高品位的作用，显然带有主观色彩。实际工作中，特高品位往往是客观存在，由于主观因素处理不当，在矿床开采过程中会造成很大困难。如对富矿的分布范围、位置、品位、产状、变化规律等在开采前均未掌握，对合理安排生产会有很大影响。因此，对特高品位的产生原因，要认真检查和研究，如确系富矿引起的，就不应人为地除去，在这种情况下，特高品位应当参加计算。如果特高品位样品呈有规律分布，且可圈出高品位样带，能单独圈出时，则应单独圈出，计算品位，估算资源/储量，不作为特高品位处理。

第四节 矿产资源/储量估算方法

矿产资源/储量估算方法与勘查方法常是相辅而行的，一套勘查方法常伴随着相应的矿产资源/储量估算方法。由于矿床的多样性和矿体的复杂性，使得勘查方法也多种多样，伴之的便有许多种不同的储量估算方法。就固体矿产而言，其储量估算方法已达数十种，国内用得最广的是几何法和统计分析法。

一、几何学方法

几何法（或传统法）是 20 世纪 50 年代从前苏联引入的一套较为简单的矿产资源/储量估算方法，一直沿用至今。鉴于自然界绝大多数矿体的形状都是复杂的，在目前勘查技术条件下，要想很准确地确定矿体的形状和体积，几乎是不可能的。因此各种传统矿产资源/储量估算方法都遵循一个基本原则，即把形状复杂的矿体描绘成与该矿体体积大致相等的简单几何形体，并将矿化复杂状态变为在影响范围内的均匀化状态，以便采用简单的数学公式计算其体积和储量。传统法的显著优点在于简便易于掌握。特别当工程数很少，只对矿产资源/储量进行概略估算时，或勘查初级阶段对储量精度要求不甚高时，采用此法是可行的，且非常方便灵活；当矿体形态简单或品位变化不大或工程数很多且控制程度

相当高时，该法也是可行的。

常用的传统几何法有断面法、块段法、算术平均法、多角形法等。

(一) 断面法

在已勘查的矿床中，当矿体被一系列勘查断面（勘探线剖面或中段水平地质图）横切截为若干块段，就可以这些断面图为基础，估算相邻两断面间的矿块储量乃至整个矿床的储量，这种方法称之为断面法或剖面法。由于断面有垂直、水平之分，故断面法又可分为垂直断面法和水平断面法，这两种方法的原理是相同的，因此仅以垂直断面法为例介绍如下：

1. 体积计算

首先在资源/储量估算勘探剖面图上测定矿体断面面积，然后再计算相邻断面间各块段的体积。其体积计算必须据相邻两断面矿体面积形态和相对面积差的大小来分别选择不同公式进行，通常有以下几种情况：

(1) 当相邻两断面的矿体形状相似，且其相对面积差 $[(S_1 - S_2) / S_1]$ 小于 40% 时，用梯形体积公式（图 8-8），即

$$V = \frac{L}{2}(S_1 + S_2) \quad (8-6)$$

式中： V 为两断面间矿体体积 (m^3)； L 为相邻两剖面间距离 (m)； S_1 、 S_2 为分别为相邻两断面上矿体面积 (m^2)。

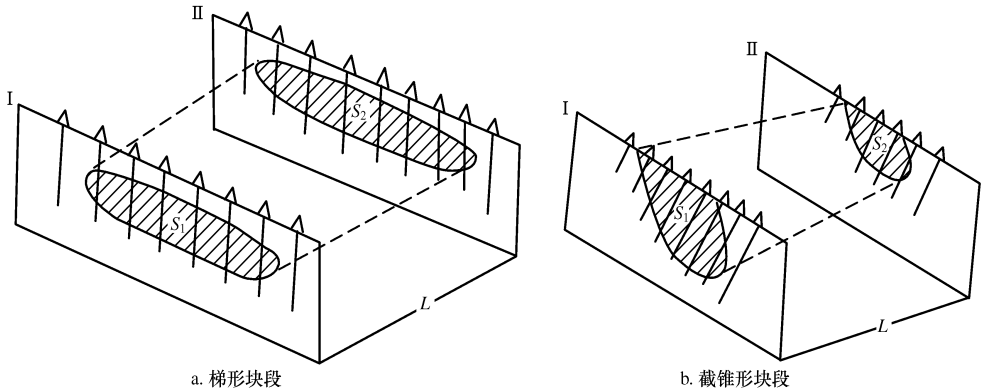


图 8-8 块段示意图

(2) 当相邻两断面的矿体形状相似且其相对面积差大于 40% 时，选用截锥体积公式（图 8-8），即

$$V = \frac{L}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}) \quad (8-7)$$

式中各符号意义同前。

(3) 当相邻两断面矿体形状不同，不论面积相差多少，除有一对应边相等时（长度或厚度），可用梯形体积公式外，其余均应选用似角柱体（辛浦生）公式，即

$$V = \frac{L}{3} \left[\frac{S_1 + S_2}{2} + 2S_m \right] = \frac{L}{6}(S_1 + S_2 + 4S_m) \quad (8-8)$$

式中： S_m 为似角柱体的平均断面面积 (m^2)；其他符号意义同前。

平均断面（中间断面）之面积的计算，可用一张透明方格纸平行坐标方向蒙在其中一张剖面图上，使矿体居于图纸中，描出该剖面矿体的边界，如图 8-9a 中实线 $abcd$ ，然后再将该透明纸按同一方向盖在另一张剖面图上，并使这个剖面的矿体位置也在图纸中央，用不同颜色描出其矿体边界，如图 8-9a 中实线 $efghi$ 所示。用直线（图中虚线）连接两个剖面上矿体边界的对应点，并找出各连线的中点，如图 8-9a 中 1、2、3、4、5、6、7、8 各点，将这些点相连得一多角形，此即平均断面（中间断面）。用几何图形法测出其面积即为 S_m 。如果两剖面矿体边界为圆滑曲线，则可在画出二边界后，按等高线内插法绘出中间断面边界（图 8-9b）。

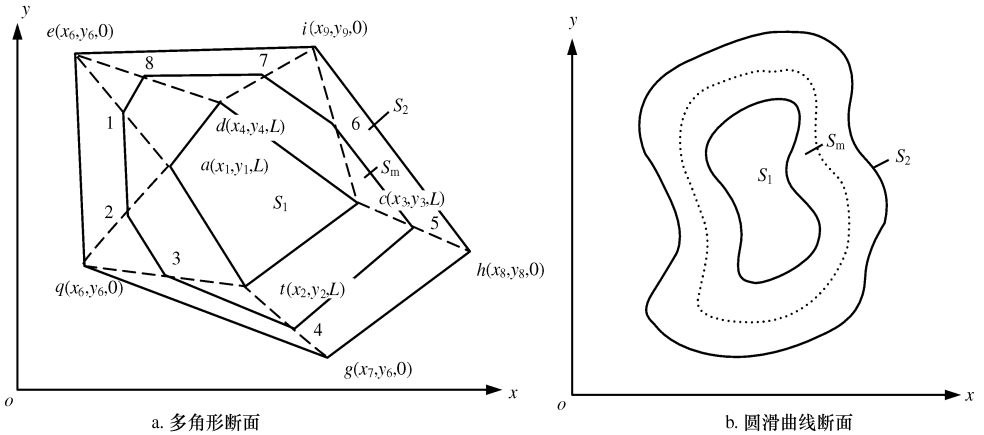


图 8-9 似角柱体中间断面之求法

(4) 当在相邻的两剖面中只有一个剖面有面积，而另一剖面上矿体已尖灭，或矿体两端边缘部分的块段，只有一个断面控制时，其体积计算可根据剖面上矿体面积形状或矿体尖灭特点不同选择不同公式。

a. 当矿体作楔尖灭时（图 8-10a），块段体积用楔形公式计算：

$$V = \frac{L}{2} \cdot S \quad (8-9)$$

式中： S 为剖面上矿体面积； L 为两剖面间距离，或剖面到尖灭点间距离。

b. 当矿体作锥形尖灭时（图 8-10b），块段体积可用锥形公式计算：

$$V = \frac{L}{3} \cdot S \quad (8-10)$$

式中符号意义同前。

2. 计算块段的矿石储量

块段体积计算好后，即可按下式计算矿石储量：

$$Q = V \cdot d \quad (8-11)$$

式中： Q 为块段矿石储量； V 为块段的矿体体积； d 为块段矿石平均体重。

3. 计算各相邻两剖面间块段的金属储量

各相邻两剖面间块段的金属储量可按下式计算：

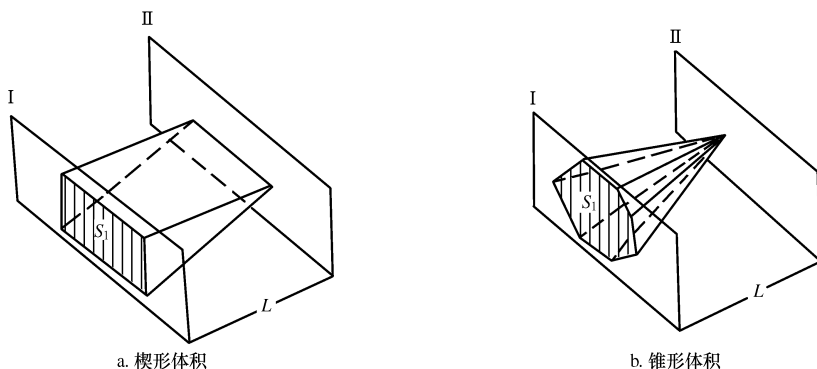


图 8-10 块段体积示意图

$$P = Q \cdot C \quad (8-12)$$

式中： P 为块段金属储量； C 为块段矿石平均品位。

最后将所有块段的体积、矿石量、金属量各自相加计算出全矿体的体积、矿石量和金属储量。

目前，断面法最易被人们接受，且用得最广。主要是由于断面法在很多方面具有其他方法难以比拟的优点。只要勘查工程是大致沿直线或水平面有系统的布置，能编出一系列断面图时，均可采用断面法，因而断面法几乎适用于任何类型矿床。勘查断面图即可用来作为资源/储量估算图，不必编制更多的计算图件，计算过程简便，工作量也不大，同时可根据分类、要求任意划分段，具有相当的灵活性。断面法所用的断面图能保持矿体断面的真实形态，并清楚地反映出矿体断面地质构造特征，从而具有足够的准确性。断面法与断面地质图能很好地结合，它们的一致性使得估算储量便于地质分析。

断面法的实质是把断面上工程中的品位依次外延到断面面积和块段体积上去，因而有外延误差，这是难以克服的缺点，对比须有所认识。

(二) 块段法

块段法是根据矿床地质特点和条件（如矿石品级、自然类型、储量类别、矿床开采技术条件及水文地质条件等）或勘查工程把矿体划分成不同的小块段，而每一个块段则按算术平均法估算储量。这样一来，矿体就变成若干厚度不等内部质量均匀、紧密相连的板状体（图 8-11）。

在平面图上将矿体划分成若干块段，每一块段的面积可直接测定，其厚度、品位和矿石体重等参数均用算术平均法计算

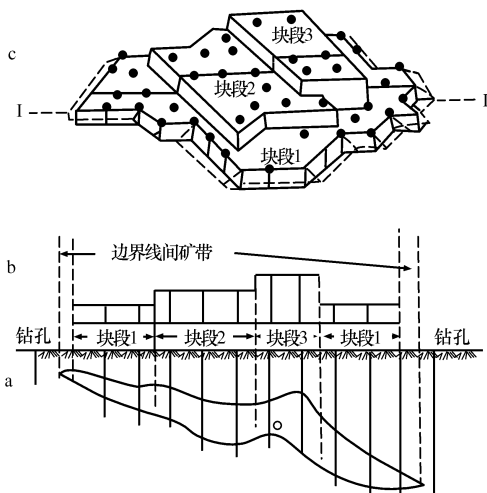


图 8-11 地质块段法储量计算示意图

求得。某一块段的体积 (V_i)、矿石量 (Q_i) 及金属量 (P_i) 按下式计算:

$$V_i = S_i \cdot \bar{m}_i \quad (8-13)$$

$$Q_i = V_i \cdot d_i \quad (8-14)$$

$$P_i = Q_i \cdot C_i \quad (8-15)$$

式中: S_i 为某一块段的平面面积; \bar{m}_i 、 d_i 、 C_i 为分别为某一块段的厚度、体重和品位的平均值。

块段法用在勘查工程较密而且分布较均匀的情况下, 各块段估算矿产资源/储量平均参数的原始数据越多时, 则估算结果越精确, 因此每个块段必须有足够数量的勘查工程。这种方法适用于任何形状和产状的矿体, 矿体的大小及勘查工程布置, 对其没有什么影响。此法更适用于矿体品位和厚度变化很小, 且其间无相关关系的情形。故地质块段法仍是目前矿产资源/储量估算的重要方法之一。

块段法具有算术平均法的所有优点, 即计算简单, 不需做复杂的图纸, 同时弥补了算术平均法的缺点, 能较迅速地分块段计算出矿石量和金属量。不足是当勘查工程密度不大, 且分布不均匀, 特别是有用组分变化较大的情况下, 计算结果的误差较大。

(三) 其他方法

除上述几种方法外, 传统几何学方法还有最近地区法、三角形法、等高线法、等值线法和算术平均法等。

(1) 最近地区法又称多角形法。其实质是将形状不规则的矿体简化为若干便于计算体积的多角形柱状体。即在矿产资源/储量估算平面图所圈定的矿体范围内, 以每个勘查工程为中心, 按其与相邻工程的二分之一距离, 将矿体分为一系列紧密连接的多角形区域, 再依据每个多角形区域中心工程资料分别计算其储量。此法不能反映矿体真实特点, 当勘查工程数量较少时, 可能会发生较大误差。故很少应用, 一般只用于砂矿及层状矿床的矿产资源/储量估算, 或当工程分布不均匀时应用。

(2) 三角形法是在矿产资源/储量估算平面图上所圈定的矿体范围内, 以直线连接各相邻勘查工程, 把矿体划分为一系列紧密连接的三角形块段, 再依据三角形块段顶点勘探工程资料, 分别计算各块段的储量。其实质是将形状不规则的矿体简化为许多便于计算体积的三棱柱体。三角形法多用于厚度及组分变化不大的矿体, 或勘查工程较密时应用。其特点与多角形法类似, 故在实际工作中亦很少应用。

(3) 等高线法是以矿层顶板或底板等高线图为基础, 把矿层分为若干倾角相近的部分, 然后按一定的公式分别计算其体积和储量。其特点是可以直接地反映矿层的产状和埋藏特点, 适用于产状和厚度都比较稳定, 倾角中等, 并有足够勘查工程控制的矿床, 故沉积层状矿床矿产资源/储量估算常用此法。

(4) 等值线法是利用矿体等厚线图或厚度-品位等值线图, 把形状复杂的矿体变为一个体积相同、底面平坦而顶面高低起伏的几何体, 然后用一定公式分别计算各等值线之间块段的体积和储量。其优点是可以借助等值线图反映出矿体形态、有用组分的分布及变化特点。其缺点是制图和计算都非常复杂, 所以应用不多。一般只适用于形状简单并无构造破坏的较大矿床, 而小矿体或构造错动较剧烈的矿床不宜使用。

(5) 算术平均法是将勘查地段内全部勘查工程查明的矿体厚度、品位、矿石体重等参

数值，用算术平均法求其各自的平均值，然后按圈定的矿体面积算出整个矿体的体积和矿产储量。其实质是将形状不规则的矿体变为一个其面积相当于矿体面积、厚度和质量均一的简单板状体。此法的优点是计算、制图过程简单。一般它只应用于矿产质量和开采条件简单，矿体厚度变化不大，勘查工程分布较均匀的矿床，否则误差较大。不能分类估算资源/储量是其致命的缺陷。对于勘查程度较低的矿床，常用此法。

二、统计分析法

尽管传统几何法具有直观、简便、实用等许多优点，由于方法本身存在的难以克服的弱点使得它已不能适应现代生产发展的要求。这种方法的致命缺点是可靠性差，其结果常出现不可预测的误差，特别是当矿体形态和矿化复杂、工程控制不是特别密集时，想用传统几何法计算得到高精度的储量是相当困难的，甚至是不可能的。因此，从根本上改革和发展传统矿产资源/储量估算方法十分必要。随着地质勘探、采矿工业的发展以及计算机的广泛应用，矿产资源/储量估算方法有了很大发展，特别是近些年来发展速度更快，一些现代矿产资源/储量估算统计分析方法相继出现。如距离加权法、相关分析法、统计分析法、克里格法和等。

(一) 距离加权法

传统几何法的一大缺点是往往不考虑勘查工程在矿体平面图上的分布特点和相互关系，以及对矿产资源/储量估算块段品位所造成的影响，而是把各个钻孔品位看成是孤立的、相互之间毫无联系的，然而事实恰恰相反。即某一点的品位与周围一定范围内各点品位之间存在着一定的空间相关关系，即两者距离的某种函数关系。因而这一点的品位值可用它周围不同距离点的已知品位对其进行估计，一般是根据距离的远近给定不同的权数，离被估计点距离越近，估计作用越大，给的权数越大，距离越远，作用越小，权数也越小，即呈现距离幂次的反比函数关系。距离加权法就是以这种品位与距离的函数关系为基础建立的一种矿产资源/储量估算方法，又称距离幂次反比法，它与传统几何法截然不同，它不考虑观测点的矿体厚度、形态和体积，是一种类似于后面将要讨论的“克里格”法的品位局部估计方法。

实际工作中，一般是在圈定的矿体平面图内，按每一个钻孔分为一个单元（小块段），它的品位可用周围毗邻的与之密切相关的所有或者绝大部分钻孔的品位来估计，根据钻孔间的距离给定权数（所有钻孔权数之和必须等于1），并由此而形成该块段周围各钻孔品位的线性组合。这样便可以求得每个钻孔为中心孔的单元（小块段）品位，然后再根据平面图上圈定的各种矿体边界线或块段面积、所求块段的平均品位、平均厚度和平均体重等参数，计算块段或矿体的矿石量和金属量。

距离幂次反比法的幂次可以是一次、二次，也可以是多次，但一般常采用二次，即距离平方反比法。下面仅以该法及其修正方法为例简述之：

距离平方反比法顾名思义，就是形成线性组合的权数与距离的平方成反比。可用如下公式表示：

$$C = \frac{C_1 \left[\frac{1}{d_1^2} \right] + C_2 \left[\frac{1}{d_2^2} \right] + \dots + C_n \left[\frac{1}{d_n^2} \right]}{\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \left[\frac{1}{d_i^2} \right]}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{d_i^2} \right]} \quad (8-16)$$

式中： C 为某中心钻孔单元品位； C_i 为某毗邻单元的品位； d_i 为中心钻孔与毗邻某钻孔的距离； n 为参加该中心钻孔品位计算的钻孔（样品）数。

为了确定 n ，首先根据统计理论需要确定一个参加该钻孔品位计算的影响范围，常用影响半径（ r ）表示，其确定方法有两种：一种是根据经验，如取勘探线间距的 1.5 倍左右；另一种是采用图解法（坐标图）加以确定，其具体作法如下：

设某矿体钻探工程平面布置如图 8-12 (a) 所示。如果选 10 m 半径，以中心孔为圆心作图，则其中有 5 个钻孔，分别求出 5 个钻孔与中心钻孔的平均距离（ d' ）和品位之差平均值（ C' ）。这样就可以在图 8-12 (b) 中依纵横坐标来确定一个点（ E' ）。然后再用 20 m、30 m、40 m 做半径，同样在坐标图上可以得到一系列的点，将它们连成曲线，可见该曲线开始由弧形逐渐变成一条水平横线。找出转折点 E ，其在横坐标上的投影点 d ，即为所求的影响半径（ r ）。大于 r 值，表明两钻孔间品位差的平均值已基本上不再变动，即两者品位之间已完全失去联系，或者说超过 r 以外的钻孔和中心孔的品位相关关系极小，可以忽略不计。

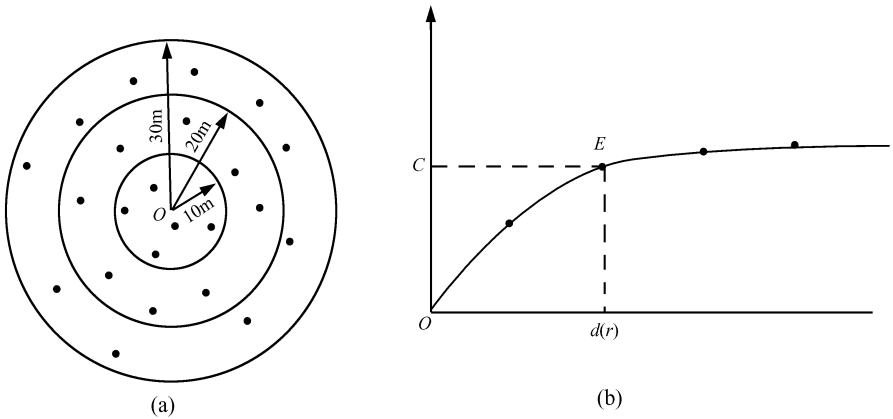


图 8-12 图解法确定影响半径

那么，凡是在这个半径（ r ）所画的圆内所有钻孔，都可以参加中心孔品位的统计计算。

使用这种方法的缺点是，影响半径的确定有主观因素；距离的幂次取值缺乏理论依据；没有考虑周围各钻孔的方向效应（即各向异性），即给予各方向以相等的权数。鉴于此，有人提出距离平方反比法的修正方法，即对不同方向给定不同的权数。故在确定影响范围时，不应是圆形，而应是椭圆形。

（二）相关分析法

伴生组分的矿产资源/储量估算常采用此法，因伴生元素多在多金属矿床中富集，常和主要元素之间有成因和地球化学的联系，故可采用统计相关分析法，找出它们与主元素之间的相关关系进而计算伴生元素的平均品位和储量。统计相关分析法可分为单相关分析法和复相关分析法两类。现简介单相关分析法（或二元线性相关分析）：

本法适用于一种伴生元素与一种主要元素有相关关系的情形，其计算过程如下：

首先计算矿体中伴生元素与主要元素之间的相关系数，公式如下：

$$\gamma = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (8-17)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (8-18)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (8-19)$$

式中： γ 为伴生元素与主要元素间的相关系数； x 、 y 分别为组合分析样品中伴生元素和主要元素的品位； \bar{x} 、 \bar{y} 为分别为矿体中伴生元素和主要元素之平均品位； σ_x 、 σ_y 分别为伴生元素和主要元素的均方差； n 为组合样品的个数。

相关系数 γ 值反映伴生元素与主要元素间的相关程度（即伴生元素含量随主元素含量变化而变化的密切程度），其值介于+1和-1之间。若 $\gamma=0$ ，说明两者无相关关系；若 $\gamma=\pm 1$ ，说明两者完全相关，成正比或反比函数关系。

其次计算每一块段的伴生元素平均品位：当经显著性检验证明两者具有明显相关关系时可用直线回归方程计算：

$$X = \gamma \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (Y - \bar{y}) + \bar{x} \quad (8-20)$$

为使块段平均品位计算得更精确，常用联合回归方程同时计算，其结果可作参考：

$$X = \frac{1}{2} \left(\gamma + \frac{1}{\gamma} \right) \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (Y - \bar{y}) + \bar{x} \quad (8-21)$$

以上两式中， X 、 Y 分别为所计算块段伴生元素和主要元素之平均品位；其他符号意义同前。

用直线回归方程和用联合回归方程所计算出的结果如有差值，是因为 x 和 y 之间不是完全相关，差值越大，相关关系越小（即 γ 越小）。这种差值说明伴生元素和主要元素之间有一部分不相关。

最后计算各块段伴生元素储量 P ：用块段的矿石量（ Q ）乘以块段伴生元素平均品位（ X ），即 $P=QX$ ，各块段伴生元素储量之和即为全矿体伴生元素储量。

（三）克里格法

克里格法也称克里金法（Kriging），它是一种无偏的、误差最小的、最优化的现代矿产资源/储量估算方法。在矿产资源/储量估算中，它把矿床地质参数（如品位）看成区域化变量，以较严谨的数学方法——变异函数为工具来处理地质参数的空间结构关系，在充分考虑样品形状、大小及与待估块段相互位置和品位变量空间结构基础上，根据一个块段内外若干样品数据，给每个样品赋予一定的权，利用加权平均来对该块段品位作出最优估计，并且可得到一个相应的估计误差。

克里格法是由南非采矿工程师D.G. 克里格于20世纪50年代在研究金矿时首次提出，故得此名。法国数学家G. 马特龙60年代针对克里格提出的方法，提出了一套完整的理论和方法，进而形成了地质统计学。

1. 克里格法基本原理

根据研究对象和目的不同，克里格方法有不同的形式，在此仅将最基本的一种——普

通克里格法做一简单介绍。

用区域化变量 $Z(x)$ 表示品位，在大小（体积、面积或长度）为 V 的几何域内其平均品位（块段、盘区、整个矿体），是该几何领域内 v 承载品位的集合，即 $Z_V = E\{Z_v(x)\}$ 或 $Z_V = \frac{1}{V} \int_V Z_v(x) dx$ ，而承载 v 的品位 $Z_v(x)$ 又是点品位 $Z(x_i)$ 的集合， $Z_v(x) = \frac{1}{v} \int_V Z(x_i) dx$ 但矿床未开采前点品位 $Z(x_i)$ 、 v 承载品位 $Z_v(x)$ 都无从知道。 Z_v 只能用勘探、开采前取样所获得的品位进行估计。一般由于样品的体积相对很小，可以看成点承载，则 Z_v 的线性估计量为 Z_v^* ，

$$Z_v^* = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \dots + \lambda_n Z(x_n) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (8-22)$$

其估计误差的方差必然存在，且为：

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= E\{Z_v - Z_v^*\} = E\{Z_v^2\} - 2E\{Z_v \cdot Z_v^*\} + E\{Z_v^{*2}\} \\ &= 2\gamma(V, v) - \gamma(V, V) - \gamma(v, v) \\ &= 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(V, x_i) - \gamma(V, V) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) \end{aligned} \quad (8-23)$$

式中： $\gamma(V, V)$ 为待估块段本身平均变异函数； $\gamma(V, x_i)$ 为第 i 样品和待估块段本身的平均变异函数； $\gamma(x_i, x_j)$ 为第 i 样品和第 j 样品间的平均变异函数； n 为样品点数。

克里格法就是要获得最佳无偏线性估计值：所谓无偏，即要求 $E\{Z_v - Z_v^*\} = 0$ ，或 $E\{Z_v\} = E\{Z_v^*\} = m$ ，由此可导出众所周知的约束 $\sum \lambda_i = 1$ 为无偏条件；所谓最佳，即估计方差必须最小，即相当于寻找一组权系数 λ_i ，使得估计方差 σ^2 在无偏条件 ($\sum \lambda_i = 1$) 下达到最小。显然这是一个条件极值问题。如果利用拉格朗日乘法求条件极小值，令 $F = \sigma^2 - 2\mu (\sum \lambda_i - 1)$ 对 n 个未知的 λ_i 和拉格朗日系数 μ 的偏导数为零，便有

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda_i} = 2\gamma(V, x_i) - 2 \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - 2\mu = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8-24)$$

这里 n 个方程组，将它与无偏条件联立，即

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_i, V), i = 1, 2, \dots, n, \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (8-25)$$

这是一个由 $n+1$ 个方程组成的 $n+1$ 个未知元 (n 个 λ_i 和一个 μ) 的方程组，从中可以解出普通克里格权系数 λ_i 。

由此进一步可得克里格方差：

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, V) - \gamma(V, V) + \mu \quad (8-26)$$

为了直观和计算方便，克里格方程组可用矩阵形式表示，若令

$$K = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, x_1) & \gamma(x_1, x_2) & \cdots & \gamma(x_1, x_n) & 1 \\ \gamma(x_2, x_1) & \gamma(x_2, x_2) & \cdots & \gamma(x_2, x_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_n, x_1) & \gamma(x_n, x_2) & \cdots & \gamma(x_n, x_n) & 1 \\ 1 & 1 & & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, V) \\ \gamma(x_2, V) \\ \vdots \\ \gamma(x_n, V) \end{bmatrix}, \quad \lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix}$$

则 (8-25) 式可表为

$$K\lambda = M \quad (8-27)$$

类似地 (8-26) 可表为

$$\sigma^2 = \lambda' M - \gamma(V, V) \quad (8-28)$$

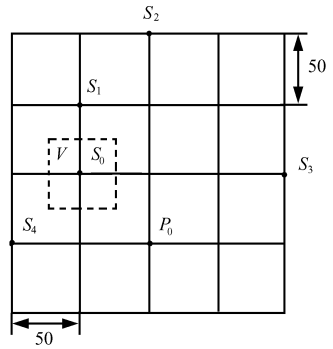
2. 克里格法计算举例

克里格法的计算过程非常简单, 现仅以矿床品位的点估计为例说明之。

(1) 准备样品资料: 设有一层状矿床, 在平面上 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 处取了 4 个样品, 品位值分别为 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 (图 8-13), 据此估计 S_0 点处的品位 Z_0 。

(2) 建立变异函数: 设品位的变异函数 $\gamma(h)$ 为球状模型, 在平面上的各向同性。模型参数 $C_0 = 2$, $a = 200$, $c = 20$,

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0, \\ 2 + 20 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{200} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{200} \right)^3 \right], & 0 < h \leq 200, \\ 22, & h > 200. \end{cases}$$



(8-29) 图 8-13 样品位置

(3) 确定克里格方程组: 设 Z_0 的估计量为 $Z_0^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i$, 则克里格方程组的矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \gamma_{14} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} & \gamma_{24} & 1 \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} & \gamma_{34} & 1 \\ \gamma_{41} & \gamma_{42} & \gamma_{43} & \gamma_{44} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{01} \\ \gamma_{02} \\ \gamma_{03} \\ \gamma_{04} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8-30)$$

(4) 计算这些样品的变异函数: 任意两样品点 S_i 和 S_j 的间隔 $h_{ij} = |S_i - S_j|$, 于是据 (8-29) 可以算出:

$$\gamma_{11} = \gamma_{22} = \gamma_{33} = \gamma_{44} = \gamma(0) = 0$$

$$\gamma_{12} = \gamma_{21} = \gamma_{04} = \gamma(50\sqrt{2}) = 2 + 20 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{50\sqrt{2}}{200} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{50\sqrt{2}}{200} \right)^3 \right] = 12.16$$

$$\gamma_{13} = \gamma_{31} = \gamma(\sqrt{150^2 + 50^2}) = 20.78$$

$$\gamma_{14} = \gamma_{41} = \gamma_{02} = \gamma(\sqrt{100^2 + 50^2}) = 17.02$$

$$\gamma_{23} = \gamma_{32} = \gamma(\sqrt{100^2 + 100^2}) = 19.68$$

$$\gamma_{24} = \gamma_{42} = \gamma(\sqrt{150^2 + 100^2}) = 21.72$$

$$\gamma_{34} = \gamma_{43} = \gamma(\sqrt{200^2 + 50^2}) = 22$$

$$\gamma_{01} = \gamma(50) = 9.43$$

$$\gamma_{03} = \gamma(150) = 20.28$$

(5) 列出变异函数矩阵, 解线性方程组:

将上述数值代入 (8-36), 得

$$\begin{bmatrix} 0 & 12.16 & 20.78 & 17.02 & 1 \\ 12.16 & 0 & 19.68 & 21.72 & 1 \\ 20.78 & 19.68 & 0 & 22 & 1 \\ 17.02 & 21.72 & 22 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.34 \\ 17.02 \\ 20.28 \\ 12.16 \\ 1 \end{bmatrix}$$

于是解出 M , 其中

$$\lambda_1 = 0.5248, \lambda_2 = 0.0233, \lambda_3 = 0.0583, \lambda_4 = 0.3936$$

这个解正是一组要求的克里格权系数。

(6) 计算估计品位: 用上述这组权数乘所利用的样品品位得到要估计的品位,

$$Z_0^* = 0.5248 Z_1 + 0.0233 Z_2 + 0.0583 Z_3 + 0.3936 Z_4$$

代入具体的 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 品位值, 就可得出 S_0 点处的平均品位估计值。

同理, 如在图 8-13 研究范围内估计另外一点 P_0 的品位, 由于 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 的相对位置不变, 故矩阵 K 亦不变, 此时只需重新计算 M , 即可按上述方法求得 P_0 点的平均品位。

如果研究的不是一个点而是一个块段的平均品位, 矩阵 K 仍不变, 唯 M 的计算要复杂得多, 需用计算机计算, 但是方法原理与点估计是一样的, 在此就不详述了。

3. 克里格法的特点及应用条件

克里格法与传统方法相比具有明显的优点。它能最科学、最大限度地利用勘查工程所提供的一切信息, 使所估算的矿石品位和矿石储量精确得多; 它可分别估算矿床中所有最小开采块段的品位和储量, 从而更好地满足矿山设计要求; 在估值的同时还给出了估计精度, 而且是无偏的, 估计方差最小的 (最优) 估计, 为储量的评价和利用提供了依据。我们强调克里格法的优点, 并不完全否定传统法, 传统法仍有自己的应用领域。

与其他方法一样, 克里格法的应用也是有条件的。地质变量的二重性是克里格法估算储量的最重要的条件, 如果矿床参数是纯随机的或非常规则的, 就不宜或不必用克里格法。克里格法的计算量十分庞大, 故它还以计算机的应用为前提。克里格法虽可最大限度地利用勘查工程所提供的信息, 但在勘查资料不理想的情况下, 如工程数或取样点过少, 运用此法信息量就不足, 很难得到可靠的估计。

三、SD 法

20 世纪 80 年代,我国科技人员博采国内外资源/储量估算方法之众长,在继承和改造传统法基础上,创立了独具中国特色的系列矿产资源/储量估算方法——SD 储量估算法,简称 SD 法。

SD 法立足于传统储量估算法,吸取了地质统计学中关于地质变量具有随机性和规律性的双重性思想,距离加权法在考虑变量空间相关权时,权数与距离成反比的思想以及“一条龙法”中提出的由直线改曲线的思想,用稳健样条函数及分维几何学作为数学工具,对传统断面法进行了深入系统地改造。克服其计算粗略、不准确、可靠性差以及由于缺乏自检功能而给地质工作带来的盲目性等种种弊端和不足,使断面法更加科学化。

显然,SD 法是以方法的简便灵活为准则,以资源/储量估算精确可靠为目的,以最佳结构地质变量为基础,以断面构形为核心,以样条函数及分维几何学为数学工具的资源/储量估算方法。

SD 法全称是最佳结构曲线断面积分储量估算及储量审定计算法。“SD”代表三种含义,其一:最佳结构曲线是由 Spline 函数(三次样条函数)拟合的,取 Spline 的第一个字母 S,取断面积分一词的汉语拼音的第一个字母 D,亦即“SD”;其二:SD 法计算过程主要采用搜索递进法,分别取“搜索”和“递进”一词的汉语拼音第一个字母 S 和 D,亦即“SD”;其三:SD 法具有从一定角度审定储量的功能,取“审定”一词汉语拼音声母的第一个字母,亦即“SD”。由此可见,“SD”具有原理、方法、功能几方面含义,SD 储量计算法也由此得名。SD 法的主要内容包括结构地质变量、断面构形理论、资源/储量估算及 SD 精度法等 4 部分。

(一) SD 法的基本理论

1. 结构地质变量

目前一些新的资源/储量估算方法普遍注意到矿床地质变量(如厚度、品位等)都具有双重性质的问题。为了克服表现矿体复杂性的地质变量随机因素的干扰,SD 法引出了结构地质变量的概念。所谓结构地质变量是指仅反映出某种地质特征的空间结构及其规律性变化的地质变量,简称结构量。它既与所在的空间位置有关,亦与它周围的地质变量大小和距离有关,它们在一定空间范围相互影响。结构地质变量是 SD 法估算矿产储量及其精度的基础变量。

对地质变量进行具体统计分析时,SD 法不是去寻求统计规律,而是用数据稳健处理方法(权尺化)将原始数据处理成有规律数据,将离散型变量转换成连续型变量。可见,SD 法不是建立原始数据模型,而是建立权尺化处理后的数据模型。从这个意义上说,结构地质变量又是经过权尺化处理的地质变量。其数据模型即是结构量结构空间的表征,这样便有可能对地质变量进行统计分析。

结构地质变量的求得,仅仅为资源/储量估算提供了可靠基础数据,SD 法储量估算还需要通过结构变量曲线来实现。所谓结构变量曲线就是在工程坐标或断面坐标上过已知的以结构地质变量为点列所作的光滑曲线,简称结构量曲线。它们的形态反映了地质变量在空间的变化规律。构造出结构地质变量曲线,是 SD 法资源/储量估算中第二个重要课题。求过结构地质变量的点列的曲线,是数学拟合问题。既然地质变量是自然光滑曲线,我们

就可以采用三次样条函数学 (Spline) 拟合。

结构量曲线一般应由计算机或样条仪绘制, 当设备条件差, 没有计算机及辅助设备时, 结构曲线可以人工绘制, 一般用压铁法、打钉法, 即将一批给定点固定在图板上用有机玻璃条、细钢条、竹条、木条等 (统称样条), 沿这些点连成一条光滑曲线。

2. 断面构形理论

众所周知地质体的空间构形均可用断面来表示, 地质变量的空间结构也可用断面来表示。这种以断面构形代替空间构形的思想是 SD 法立足于传统法的核心思想, 故 SD 法也是一种断面法资源/储量估算法。

在圈定矿体时, SD 法一般不考虑样品中是否有达到最低工业品位的样品, 而笼统地只用边界品位、夹石剔除厚度和可采厚度为指标在断面上圈定矿体。另外考虑到矿体的连续性完整性和计算的准确性, SD 法对那些不同于零值 (无矿化) 工程, 而低于边界品位又高于背景值的工程圈出了矿化体 (零值工程、矿化工程和矿体工程在储量估算中起着同等信息作用)。然后根据工程取样提供的数据信息经过处理, 直接用数学模型计算储量, 而不是根据图上绘成的矿体面积计算储量, 即不是直接用它形态, 而是用几何变形后的形态 (图 8-14)。研究者认为对矿体的不同认识可有不同的矿体连接, 即出现不同的矿体形态, 不同矿体形态只反映作图人对矿体这一客观实体的认识深度, 并不是矿体的真实形态。矿体矿化空间具有连续性, 那么它的地质变量 (厚度、品位) 的变化就应满足一定的曲线关系。这样便可给制适合 SD 法计算的矿体厚度坐标曲线图 (施行几何变形后的形态)。

SD 法确定矿体形态时不是从边界品位开始, 而是从矿化就已经开始了, 边界品位是人为确定的界限, 而矿化是自然现象。矿化与矿体之间是连续的, 它们之间的界线是由品位工业指标来确定的。



图 8-14 矿体形态的几何变形过程

(二) 储量计算

SD 法在对传统断面法改造时, 仍沿用其基本公式, 必须求取体积、体积、质量 (体重) 和品位这三个参数 (变量), 不过 SD 法的求取方式与传统法不同。对于矿体诸地质变量都可以转化为点、线、面体结构量, 对于点、线量, 可沿用传统法的加权法求得, 再将求得的结果处理成点、线结构变量, 对结构变量及结构变量曲线积分可得到面、体结构量, 一次积分得到面结构量, 二次积分得到体结构量。对矿体施行几何形变, 即将矿体地质变量进行空间积分的直观表示, 只是为了数学运算的需要和便于理解。参数积分表达式, 除矿体厚度积分的面积、体积具有物理意义外, 其他则无。

1. 参数积分表达式

如图 8-15, 将矿体置于直角坐标系中分析, 设垂直矿体厚度的投影面 (LOl) 上矿体面积为 S , 此投影面上有 m 条断面线, 每条线上有 n 个工程。 L 为矿体长度方向, l 为矿

体宽度方向，其矿体宽度函数为 $f(L)$ ，厚度函数为 $f(L, l)$ ， $F(L, l)$ 表示厚度和品位乘积的函数， D 表示矿石体重。则矿体几何空间、矿石量、金属量、品位等参数的求取过程可用下列积分式表达。

(1) 矿体几何空间

$$\text{断面面积 } S(L) = \int_{l_1}^{l_n} f(L, l) dl \quad (8-31)$$

$$\text{投影面积 } S = \int_{L_1}^{L_m} f(L) dL \quad (8-32)$$

$$\text{体积 } V = \int_{L_1}^{L_m} S(L) dL \quad (8-33)$$

$$\text{断面平均厚度 } H_s = S(L) / (l_n - l_1) \quad (8-34)$$

$$\text{体平均厚度 } H_v = V / S \quad (8-35)$$

(2) 矿石量 Q

$$Q = DV = D \int_{L_1}^{L_m} S(L) dL \quad (8-36)$$

(3) 金属量

$$\begin{aligned} \text{面金属量 } P_s: \quad P(L) &= \int_{l_1}^{l_n} F(L, l) dl \\ P_s &= DP(L) \end{aligned} \quad (8-37)$$

$$\text{体金属量 } P: \quad P = P_v = D \int_{L_1}^{L_m} P(L) dL \quad (8-38)$$

(4) 品位

$$\text{面平均品位 } C_s: \quad C_s = P(L) / S(L) \quad (8-39)$$

$$\text{体平均品位 } C: \quad C = C_v = P / Q \quad (8-40)$$

由于勘查过程中一般只采取少量体重样，加之同矿体同类型矿石体重较稳定，因此，体重参数用算术平均或数理统计的方法即可求取。

分段连续的样条函数能恰当地给出结构地质变量曲线的函数表达式，故上述积分公式中函数完全可用三次样条函数代入进行积分。

2. 具体的 SD 资源/储量估算方法

以样条函数为主要数学工具对断面数值积分是 SD 资源/储量估算方法的基础，由此进行总体、分块、分级、台阶等多种形式的储量计算。具体的 SD 资源/储量估算方法有普通 SD 法、SD 搜索法和 SD 递进法等三种。

普通 SD 法，亦称样条函数储量计算方法。它主要适用于形态简单，矿化连续性较好的矿体的总体资源/储量估算；SD 搜索法适用于矿化和矿体形态变化较大的不同网度的总体资源/储量估算，它能满足几个工业指标条件灵活计算，能将其中满足工业指标的属于矿体部分的资源/储量估算出来，而舍去非矿部分；SD 递进法是随着观测点数递增利用依次提供的信息进行相应的资源/储量估算，用众多的有序计算值做出科学估计，以便达到比较

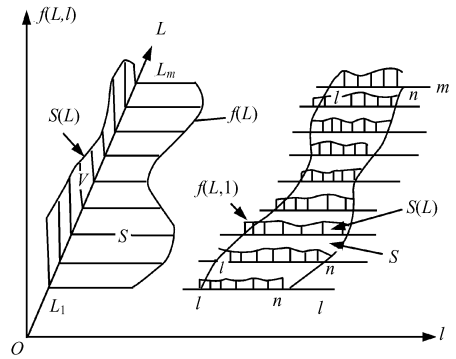


图 8-15 参数积分关系图

接近真量，它适用于台阶储量和多品级动态储量以及为制定合理工业指标提供基础数据的计算。

SD 精度法，SD 法在解决计量精度这个问题时，引入了分数维的概念，对估算储量能做出成功的精度预测，定量表征了估算储量的精确程度和控制程度，为储量级别的勘查程度的定量确定提供了可靠依据。有关内容将在下节讨论。

（三）SD 法特点及应用条件

SD 法具有动态审定一体化计算储量之功能，不仅灵活多用，而且计算结果精确可靠。所估算储量的实际精度要比其他一些方法高，且能做出成功的精度预测，在技术上有突破；只需勘探范围内取样的原始数据，便可准确计算任意形态、大小的块段储量；可同时在多种不同工业指标条件下，自动圈定矿体、计算各类资源/储量。具有一套适用的 SD 法软件系统，使计算过程全部实现计算机化，从而实现了矿产储量计算的科学化和自动化。以上特点充分显示了 SD 法的优越法。

SD 法适用性广，主要适用于内生、外生金属矿和一般非金属矿，不适于某些特殊非金属矿（如石棉、云母、冰洲石等）；适于以勘探线为主的矿区，勘探线平行与否均可，断面是垂直、是水平不限，但要求最少有两条勘探线，每条线上至少有两个工程，预测精度时则要加倍；与克里格法相比 SD 法对工程数并不苛求，一般只要有数十个至百余个钻孔就能取得较好效果，当工程数较多时，其效果更好，而且计算量不会增加很多，这一条件显然要比克里格法优越。可见，从详查到生产勘探以至矿山开采各个阶段，SD 法均适用。

第五节 矿产资源/储量误差与精度估计

由于矿体变化的复杂性和勘查抽样观测的有限性，加之估算方法的局限性，对于任何储量圈定和估算的现代方法来说，其估算结果都难免出现误差，即存在着储量精确程度问题。不论是储量计算误差还是矿石质量评价误差，都将带来严重的经济后果。因此我们对储量计算结果进行精度估计及评价。

一、矿产资源/储量误差性质分类

矿产资源/储量的误差大小主要取决于矿床地质构造的复杂程度和矿床控制研究程度，其次与储量参数测定的精度、资源/储量估算方法选择的合适与否也有很大关系。应当看到与储量估算有关的任何一个步骤（矿体圈定、矿石质量评价，参数计算等）本身就包含着产生误差的可能性。按误差的性质，可分三类：

1. 地质误差

地质误差是由于勘查时，在几乎完全没有有关勘查工程范围之外矿床结构特点资料的情况下，根据个别工程所获得的资料进行了不正确地内插和外推所致，包括矿体形态和品位变化的推断。这种误差一般很大，误差值决定了矿化及形态变化复杂程度，也决定于勘探网和取样网的密工和均匀程度。勘查工程越密，对矿床研究程度越高，误差就越小，但加密工程是有限的。在简单的矿床上，内插误差不很大，实际上无关紧要；而在复杂的矿床上误差可以很大。

因此，必须对已有工程揭露的矿体加强地质研究，以便做出正确的结论。此外迅速发

展和改进工程之间地球物理调查方法，能够大大提高对这一空间内矿体形状、规模和产状特点以及矿石质量变化规律认识的可靠性，在有利物理——地质条件下能比传统勘查手段大大提高资源/储量估算和确定矿石质量的可靠性。

2. 技术误差

由于对资源/储量估算参数测定得不准确而产生的误差称为技术误差（或测定误差），包括矿体厚度、孔斜、体重、湿度、品位（从采样、加工化验到计算方法）、面积测定等等。其产生的原因是测量设备不完善，或测量条件的改变造成的，通过反复多次测量取平均值，或采用校正系数，或采用新方法，一般便可消除。

无论是地质误差还是技术误差，即可是偶然性的，也可是系统性的。偶然误差是个别测定值偏离实际值所致，在一定范围内正负误差同时存在，随测定次数增多会不同程度地相互抵消一部分，所以实际上这种误差对储量的精度不起根本影响；系统误差一般与方法或技术措施的无法消除的缺陷有关，它能不断夸大或缩小被测定量的实际大小，这就是其危险所在，因而必须认真检查、设法消除它，才能保证储量精度。

3. 方法误差

方法误差是指由于选用不同资源/储量估算方法而产生的误差。平均品位的计算方法（算术平均或加权平均）使用不当也会产生误差。方法误差较之地质误差和技术误差一般要小得多，斯米尔诺夫的研究表明一般在1%~5%，并证实繁杂的方法并不一定比简单方法精度高。只要根据矿体特征和勘查工程布置正确选用储量估算方法就能保证精度。

研究和对比各种方法的精度，在选用合适方法上有很大意义，对储量估算方法的误差探讨，多限于具体试验对比，如何从理论上加以计算尚需进一步研究，SD法在这作了一些有益的尝试。

二、矿产资源/储量误差的检查方法

1. 重复测量方法

所谓重复测量就是对某个量进行等精度的多次测量，按照误差理论，其平均值即可作为被测定量的最佳估值。

$$C = \frac{\sum C_i}{n}$$

则 C 的均方差为： $\sigma_c = \pm \frac{\sigma_{ci}}{\sqrt{n}}$

σ_c 反映 C 与真实值之偏差，即测定误差。当 n 无限大时，则 σ_c 极小，也即 C 接近真值。考虑到 σ_c 可能有正、有负，故误差范围应为 $2\sigma_c$ ，即该量的真值应在 $C + \sigma_c$ 和 $C - \sigma_c$ 的区间内。故误差的最大值取为 $\sigma_{np} = 2\sigma_c$ 。

2. 检查测量方法

由于条件限制，地质标志值往往不能在同一点上反复地进行多次测量时，或为了检查原方法是否正确，常用检查测量方法确定其误差。如用坑道及钻孔的共轭样品来检查岩心取样精度；用大规格覆盖品来检查小规格样品的取样精度；用检查分析检验基本分析精度等。使用时要注意资料本身应一致，两者不属于等精度测量。

检查结果要分清是偶然误差，还是系统误差，以便分别处理。可用数理统计法求概率

系数 (t) 加以区别。

$$t = \frac{M_y - M_x}{\sqrt{m_x^2 + m_y^2 - 2m_x \cdot m_y \cdot \gamma}} \quad (8-41)$$

式中： M_x 、 M_y 分别为检查样品和被检查样品中的平均品位； m_x 、 m_y 分别为检查样品和被检查样品平均品位的均方差； γ 为检查样品与被检查样品品位相关系数。

当 $t > 1.96$ 时，表明两者间存在系统误差，应对基本分析进行校正，反之系统误差不足重视。

3. 探采资料对比方法

勘探与开采资料对比简称探采资料对比，它是全面验证地质勘探资料可靠性、确定矿床合理勘查程度的最可靠最基本的方法。当然衡量储量可靠与否主要看其在开采过程中储量被证实的程度。

探采资料对比的具体方法有全面法、工厂法和稀空法。其中工厂法是将地勘估算的矿量与实际采出的矿量进行对比。但在矿山生产中，由于商品取样的方法不完善和开采损失与贫化率的计算不够精确等原因，导致开采结果的可靠性不高，实际采出的矿量很难准确计算。鉴于在进行矿床生产勘探、采准和开采过程中，积累了大量关于矿床特点资料，完全可用来分析检验勘查探明资源/储量的精度问题。因此，常常不同用开采结果（样出的商品矿量和质量）作为开采资料，而是将补充勘探、生产勘探以及切割坑道、采准坑道和回采坑道、炮眼取样过程中获得的资料作为开采资料来进行对比。

为了比较可靠地估算资源/储量（储量参数），对比地段的选择要有代表性，对比前对比资料必须统一。

对所得出的资源/储量及其计算参数的误差应当细致分析，区分其性质（偶然的或系统的），确定其大小并查明它们的作用。为此要借助于数理统计方法，统计样本应包含足够数量的地段，这些块段就规模、地质结构复杂程度和勘探程度而言应当在统计上是均一的。

资源/储量及其计算参数的平均偶然误差（均方差）可按下式求得：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}} \quad (8-42)$$

式中： d_i 为根据勘探和开采资料对比块段储量（储量计算参数）的差值； \bar{d} 为储量及其计算参数的平均绝对系统误差。

平均绝对系统误差 \bar{d} 可按下式计算：

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n} \quad (8-43)$$

而平均相对系统误差 \bar{d}_r 按下式求得：

$$\bar{d}_r = \frac{\bar{d} \cdot 100}{C_0} \quad (8-44)$$

式中： C_0 为根据地质勘探资料估算的样本平均储量及储量计算参数值。

三、矿产资源/储量估算精度估计

1. 用计算参数的精度来评价储量的精度

矿石储量 (Q) 和金属量 (P) 都是储量计算参数 S 、 M 、 d 、 C 的函数, 因 Q 和 P 的精度自然就决定于这些参数的精度。

按照间接测量误差的传递原理, 可以根据自变量精度的测定资料来评价函数的精度, 要确定积的总误差, 需采用下列公式:

设函数 $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, 且其中每个自变量都是独立的, 并根据直接测量结果已确定了自变量的均方差 σ_x , 则函数的均方差为 σ_y ,

$$\sigma_y = \pm \sqrt{\left[\frac{\partial y}{\partial x_1}\right]^2 \sigma_{x_1}^2 + \left[\frac{\partial y}{\partial x_2}\right]^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left[\frac{\partial y}{\partial x_n}\right]^2 \sigma_{x_n}^2} \quad (8-45)$$

$$\therefore \sigma_Q = \pm \sqrt{\left[\frac{\partial Q}{\partial S}\right]^2 \sigma_S^2 + \left[\frac{\partial Q}{\partial M}\right]^2 \sigma_M^2 + \left[\frac{\partial Q}{\partial d}\right]^2 \sigma_d^2} \quad (8-46)$$

$$\sigma_P = \pm \sqrt{\left[\frac{\partial P}{\partial S}\right]^2 \sigma_S^2 + \left[\frac{\partial P}{\partial M}\right]^2 \sigma_M^2 + \left[\frac{\partial P}{\partial d}\right]^2 \sigma_d^2 + \left[\frac{\partial P}{\partial C}\right]^2 \sigma_C^2} \quad (8-47)$$

式中: σ_S 、 σ_M 、 σ_d 、 σ_C 分别为面积、平均厚度、平均体积、平均品位的均方差。

前式中的 σ_S 、 σ_M 、 σ_d 、 σ_C 分别为面积、厚度、体积和品位的误差, 应包括技术误差及圈定误差 (方法误差因无法求出故从略), 因此必须先分别求出两者的误差之后, 方能按下式求得 σ_S 、 σ_M 、 σ_d 和 σ_C 。

$$\sigma_S = \pm \sqrt{\sigma_{S_1}^2 + \sigma_{S_2}^2} \quad (8-48)$$

式中: σ_{S_1} 、 σ_{S_2} 分别为面积测定的技术误差和圈定误差。

2. 储量的区间估计

一般常用 $P=S \cdot M \cdot d \cdot C$ 来作为“真实储量” (P) 的估计值, 这只是对资源/储量做出的定值估计, 但 P 的精度如何? 却无法做出估计。若能用某种方法估计值 (P) 进行多次计算, 那么就能对 P 的方差做了估计, 这样便有可能对 P 的精度做出评价。

基于这种想法, 当用 N 个工程勘查矿体时, 并不用 N 个工程的资料一次计算 P 值, 而是从 N 个工程中随机地抽取 m 个独立的样本, 每个样本中含有 n 个工程 ($N=m \times n$), 然后分别计算 P_1 、 P_2 、 \dots 、 P_m (每个样本的 C 、 M 值不同, 但 S 、 d 值不变), 再求其平均值, 作为真实资源/储量 (P) 的估计值 (P)。即

$$P = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_i \quad (8-49)$$

这样就达到了多次估计的目的, 因为有 m 个 P_i 值, 故可以估计 P 的方差大小, 进而对 P 的精度做了评价。

然而根据 m 个观测值计算的 P_i 值, 显然没有根据全部 N 个观测值计算的 P 值精确, 这能否影响资源/储量估算的结果呢? 答案是没有原则性的影响。因为每次抽取的 n 个工程是随机的, 且是不重复抽取。经过 m 次抽取, N 个工程将全部被抽到, 尽管 P_i 值可能是波动的, 但根据所有 P_i 值计算的平均值 P 却一样可以反映包括 N 个观测点中平均品位 (C) 和平均厚度 (M) 的全部信息, 因而对总的计算结果影响不大。另外, n 个工程在 m

组内分配的点数最好大致相同。

由于 m 个样本是随机抽取的, 故 P 值可看做是随机变量, 假定它们服从正态分布, 则 $P = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_i$ 可视为数学期望值 (m, P_i)。

这时, P 值的精度可表示为

$$\lambda_q(P) = t \cdot \frac{S}{\sqrt{m-1}} \quad (8-50)$$

式中: t 为标准正态分布值 (概率系数); S 为抽样均方差。

当 $m > 25 \sim 30$ 时, 则 $\lambda_q(P) \cong t \cdot \frac{S}{\sqrt{m}}$ 。

根据以上情况, 可用正态分布来说明 P 的特征, 这就不难确定其相应的置信区间, 若真实储量 (P) 落入这个区间的概率为 $1-q$, 则

$$p[p - \lambda_q(p) \leq p \leq p + \lambda_q(p)] = 1 - q \quad (8-51)$$

式中: p 为真实储量 (P) 落入置信区间的概率; q 为真实储量 (P) 不落入置信区间 $\{ [P - \lambda_q(P)], [P + \lambda_q(P)] \}$ 的概率; $\lambda_q(P)$ 为估计值 P 的精度。

将 $\lambda_q(P) = t_q/2 \cdot \frac{S}{\sqrt{m}}$ 代入上式, 则

$$P \left[P - t_q/2 \cdot \frac{S}{\sqrt{m}} \leq P \leq P + t_q/2 \cdot \frac{S}{\sqrt{m}} \right] \approx 1 - q \quad (8-52)$$

因此, 在给定信度条件下, 储量的精度可用下不等式表示, 即

$$P - t_q/2 \cdot \frac{S}{\sqrt{m}} \leq P \leq P + t_q/2 \cdot \frac{S}{\sqrt{m}} \quad (8-53)$$

式中: $t_q/2 \cdot \frac{S}{\sqrt{m}}$ 之值越小, 代表 P 精度越高, 越接近 P 。

3. 克里格精度估计

依据地质统计学原理, 克里格方差可以评价克里格估值的精度。因此当用克里格法来估计块段的品位 (储量) 时, 其估计精度便可用克里格方差来度量。甚至, 一个矿床在变异函数模型确立之后, 在勘查工程施工之前便能计算它的理论估计方差, 因而便可事先预测该方案可能达到的精度。

克里格方差的理论公式见 (8-23)。克里格方差的实际计算比较复杂, 通常与克里格估值一起计算 (8-26), 通过计算机来实现。

许多实例证明克里格方差用于精度估计是有效的。如美国皮马斑岩铜矿克里格方差精度检验结构, 近 90% 的块段实际值处于预测值的二倍标准差范围内。一般来说, 只要原始数据的总体代表性满足时, 用克里格方差来预测品位的估计方差 (即预测品位的估计精度) 是完全可行的。

4. SD 精度法

前已叙及, SD 储量算法具有有效的自检功能即对估算之储量能作出成功的精度预测, 称为 SD 精度法, SD 预测精度从定量的角度既指出了储量估算的精确程度, 也指出了控制程度。从而为确定资源/储量类别勘查程度提供了可靠的定量依据。

毫无疑问, 预测精度是指以实际施工的有限工程计算的面 (体) 量与真量之比。值得

注意的是，矿量之真量（客观储量）常是未知的，甚至永远是未知的。通常是将备采储量当成矿量之真量，采用估算资源/储量与备采储量之比作为所计算储量的精度。这种精度称为实际精度，它只能作为检验资源/储量类别的定量尺度，不能作为衡量工程控制程度和在估算储量时划分资源/储量类别的定量尺度。因为实际精度不仅不能准确反映工程控制程度，而且以备采储量为标准，用后期工作去检验前期的工作，对于勘查工作各阶段来说，这种后验尺度，便失去了最可贵的当前价值。目前一些资源/储量估算方法，一般出于经验或采取类比法求精度，对于同一矿体，随着预测点增多，分维数逐步增大，它的精度也相应随点增多而增高。只要较好地找出这种相应关系，就能比较准确地预测它的精度。

第九章 矿产勘查经济

第一节 矿产勘查技术经济

一、矿产勘查的地质可靠程度

因为矿产勘查地质工作现在分为4个阶段（预查、普查、详查、勘探），所以整个勘探区的地质可靠程度也可四分，现分述如下：

1. 预查

是指在区域调查的基础上，对矿化潜力较大地区，进行物探、化探工作或对有希望的地质远景区进行勘查工作和极少量工程验证。其工作成果应指出有无开展普查的价值，提出可供普查的范围。工作程度要求是：

- (1) 初步研究预查区的地质构造情况，矿点、矿化点、各类异常的分布范围和成矿远景。
- (2) 初步了解矿床水文地质、工程地质、环境地质和其他开采技术条件。
- (3) 根据预查成果，并与地质特征相似的已知矿床进行类比，估算预测资源量。

2. 普查

是指在选定的普查区内用露头检查、地质填图、比较少的探矿工程及物化探方法大致查明矿产资源的勘查工作，也包括由地质可靠程度较高的基础储量或资源量外推的部分。其工作成果应提出是否有进一步详查的价值或圈出详查区范围。工作程度要求是：

- (1) 大致查明普查区内的地质、构造情况，矿点、矿化点、各类异常的含矿性以及矿产分布规律和成矿远景。
- (2) 通过稀少的工程验证，大致查明矿体（层）的形状、产状和分布情况、矿石品位、物质成分、结构构造、自然类型等地质特征。
- (3) 通过对矿石的加工选（冶）性能对比研究，做出是否可以作为工业原料的评价。对于组分复杂、矿物粒度较细、在国内工业利用尚无成熟经验的矿产，应进行可选（冶）性试验或实验室流程试验。
- (4) 了解矿床水文地质、工程地质、环境地质和其他开采技术条件。
- (5) 在完成上述工作程度要求的基础上，据实估算推断的内蕴经济资源量和预测资源量。

3. 详查

在普查圈出的详查范围内，通过大比例尺地质填图以及各种勘查方法和手段，比普查阶段密的探矿工程基本查明矿产资源的勘查工作。其工作成果可以作为运用当时各种技术的、经济的和财务的参数进行预可行性评价和矿区总体规划或做矿山项目建议书的依据。工作程度要求是查明以下七个方面。

- (1) 矿区（床）地质特征方面
 - 查明地层层序和含矿层位。

- 基本查明控制和破坏矿体（层）的较大的地质构造的形态、性质及其空间分布范围、产状、复杂程度及先后次序，基本查明它们与成矿的关系。

- 对与岩浆侵入活动有关的矿床，已基本查明侵入岩的岩类、岩性、岩相、岩石地球物理、地球化学特征；已基本查明岩体形态、产状、规模、侵入时代、演化特点。

- 对与变质作用有关的矿床，已基本查明变质岩类、岩性、时代、相带、地球物理、地球化学特征。

- 基本查明了矿床的围岩蚀变种类、岩性、规模、矿物组成及其分带性。

- 对近代砂矿床已查明有关的第四纪地质和地貌特征，及其对矿床的影响。

(2) 矿体（层）地质特征方面

- 通过较多的工程控制，基本查明矿体（层）的数量，连接对比条件和空间分布范围。

- 基本查明主矿体（层）的数量、规模、厚度、形态、产状，研究主矿体的赋存规律。

- 基本查明矿体（层）中夹石、顶底板围岩的岩性、厚度、分布范围及有益有害组分。

- 基本查明成矿前、后的构造活动对矿体的控制和破坏作用。

- 基本查明矿体（层）的风化带、氧化带、混合带、原生带或燃烧带的特征、发育程度、分布范围、分带标志。

- 了解沉积矿床的古隆起、冲刷、陷落柱等特征，研究其分布规律及对矿层的影响程度。在矿床开采中可能产生的环境地质问题应进行预测评述，提出防治意见。

(3) 矿石质量特征方面

有较多的样品分析成果，基本查明了矿石的结构、构造和矿物成分、化学成分、有益、有害组分，初步划分矿石自然类型、工业类型和品级，研究它们的赋存状态和分布规律。

- 对具有工业利用价值的共、伴生矿产的矿区，已根据国家需要进行初步的综合评价。

(4) 矿石选（冶）和加工技术条件方面

- 对需要进行选、冶加工技术试验的矿石，基本查明了不同矿石类型的加工选（冶）性能。对生产矿山附近的，确实可以类比的，工艺流程比较成熟的易选矿石，可以类比评价，不做加工选（冶）试验，否则，一般都应进行可选（冶、加工）性试验或实验室流程试验，以便初步选择选（冶、加工）工艺流程，做出工业利用方面的评价。

- 对难选（冶、加工）矿石或新类型矿石，如属国家急需或业主要求，应进行实验室扩大连续试验，甚至半工业试验，做出可否工业利用的初步评价。

- 有的非金属矿石则应研究它们的加工技术性能。

(5) 矿床开采技术条件方面

- 调查研究区域的水文地质条件，基本查明矿区的含（隔）水层、主要构造破碎带、风化带、岩溶发育带的水文地质特征、发育程度和分布规律；主要水体分布范围和丰水期、洪水期、枯水期的水位、流速、流量、水质、水源、水量、历年最高洪水位及其淹没范围；地下水补、径、排条件，地表水与含水层间的水力联系；确定矿床主要充水因素、充水方式及途径。确定矿床水文地质条件的复杂程度。必要时初步预测矿坑涌水量，评价其对矿床开采的影响程度。

- 对有热害或赋存有地热水的矿区，要基本查明地热水的赋存条件、补给来源。初步评价地热水对矿床开采的影响及其利用的可能性。调查研究可供利用的供水水源的水量、水质和利用条件，指出供水方向。

• 初步研究矿区的工程地质条件，划分岩（土）体工程地质岩组，测定主要岩、矿石力学强度，基本查明构造、岩溶的发育程度、分布规律和岩体风化、蚀变强度以及软岩和软弱夹层分布规律及其工程地质特征，研究开采影响范围内的岩、矿石稳固性和露天开采边坡的稳定性；调查老窿和生产井的分布情况，大致圈定采空区、开采区分布情况；对砂矿区要基本了解砂矿顶板和底板基岩的可挖性；对矿区工程地质条件进行评价。初步确定矿床工程地质条件的复杂程度。

(6) 矿床开采地质环境评价方面

• 调查矿区（井田）及其附近地震活动和各种自然地质现象（岩崩、滑坡、泥石流、岩溶等）、地表水和地下水质量及其他有害物质含量。结合矿区地质、水文地质和工程地质条件，对矿床开采前的地质环境质量做出初步评价。

• 基本查明岩、矿石和地下水（含热水）中对人体有害的元素、放射性、瓦斯及其他有害气体成分、含量（强度）和地温状况，指出矿山开发时可能发生的环境地质问题。

(7) 矿产资源方面

在完成上述工作程度要求的基础上，据实计算控制的和推断的内蕴经济资源量及预测资源量。有条件开展预可行性研究时，也可以计算相应经济意义的资源量、基础储量和预可采储量。

4. 勘探

是指在已知具有工业价值的矿床或矿区总体规划划定的勘探（精查）区，通过加密各种勘探工程，详细查明矿产资源的勘查工作。其工作成果可以作为运用当时的各种技术的、经济的和财务的参数进行可行性评价和矿山建设设计的依据。工作程度要求是查明以下七个方面。

(1) 矿床地质特征方面

• 详细查明并划分地层层序、含矿层位。

• 对控制、破坏或影响矿床（层）的主要构造，应详细查明它们的形态、性质及其空间分布范围、产状、发育程度及先后次序，查明它们与成矿的关系。严密控制煤和其他沉积矿产（层）的底板等高线。对小构造的发育程度和分布规律也要进行研究和评述。

• 对与岩浆侵入活动有关的矿床，详细查明侵入岩的岩类、岩性、岩相、岩石地球物理、地球化学特征；详细查明岩体形态、产状、规模、侵入时代、演化特点，对与火山活动有关的矿床，应详细研究其构造特点及与成矿的关系。

• 对与变质作用有关的矿床，已详细研究了变质作用的性质、强度、影响因素，变质岩岩性特点、变质相及其分布。

• 详细研究了矿床的围岩蚀变种类、规模、强度、矿物组成及其分带性。

• 对近代砂矿床已详细查明有关的第四纪地质和地貌特征及其对矿床的影响。

• 详细研究了矿床的找矿标志，总结了成矿规律。

(2) 矿体（层）地质特征方面

• 通过足够多的工程控制，详细查明矿体（层）的空间分布及其范围。

• 详细查明主矿体（层）的数量、规模、形态、产状、夹石分布以及成矿后岩浆活动、断裂构造对矿体的穿插、破坏情况。

• 详细查明主矿体的连续性、对比标志，正确连接矿体。

- 对沉积矿产还应研究及控制古河流冲刷、古隆起及较大陷落对矿层的影响。
- 对矿体的氧化带（风化带）、混合带、原生带或燃烧带，应详细查明其发育程度、分布范围、分带标志、矿物组合及其变化规律，研究其成因条件。

(3) 矿石质量特征方面

- 用足够多的样品分析成果，详细查明矿石的结构、构造和矿物成分、化学成分，研究它们的赋存状态和分布规律。
- 详细查明矿石的地质特征，划分矿石的自然类型，结合采、选、冶、加工性能和用途，划分矿石工业类型或成因类型和品级，研究它们的分布规律和所占的比例。
- 对具有工业利用价值的共、伴生矿产的矿区，已根据国家需要进行综合勘探和综合评价，已在查明主组分的同时，研究和查明了共、伴生组分的种类、含量、赋存状态、分布规律、富集条件和与主组分的相互关系等。

(4) 矿石选（冶）和技术条件方面

- 对需要进行选、冶加工技术试验的矿石，一般应进行实验室流程试验，必要时进行实验室扩大连续试验；详细查明矿石的选、冶技术性能、选矿回收率和冶炼回收率；查明尾矿的物质成分、含量及主要元素的赋存状态，选择最佳工艺流程，做出工业利用方面的评价。
- 对生产矿山附近的、有类比条件的、工艺流程比较成熟的易选矿石进行实验室试验，必要时进行实验室流程试验，以便选择最佳选、冶工艺流程，做出工业利用方面的评价。对难选、冶矿石应进行半工业试验，对新类型矿石，一般按难选、冶矿石对待，选择最佳工艺流程，做出工业利用方面的评价；建设大型矿山必要时还要做工业试验。
- 有的非金属矿石则应试验、研究它们的加工技术性能。

(5) 矿床开采技术条件方面

- 调查研究区域的水文地质条件，查明矿区的含（隔）水层的层数和水文地质特征，地下水的补给、径流、排泄条件、补给来源，指出矿山供、排水方向，并对可供利用的地下水的量、水质做出评价。查明主要构造带、风化破碎带、岩溶发育带的分布和富水性及其与其他各含水层和地表水体的水力联系的密切程度；查明主要充水、含水层的富水性，地下水径流场特征、水头高度、水文地质边界条件，计算矿坑第一开拓水平的正常和最大涌水量；地表水体的水文地质特征及其对矿床开采的影响程度，老窿分布、积水情况等。确定矿床主要充水因素、充水方式及途径。确定矿床水文地质条件的复杂程度。
- 对有热害或赋存有地热水的矿区，要详细查明地温场概况、地热增温率及热异常的范围，地热水的赋存条件、补给来源。评价地热水对矿床开采的影响及其利用的可能性。
- 详细研究矿区的工程地质条件，研究矿区的地层、岩性及地质构造，划分岩（土）体工程地质岩组，查明对矿床开采不利的地质岩组的性质、产状与分布；查明矿体及围岩的物理力学性质、岩体结构与岩体质量，各类结构面的特征和岩石新风化带的发育深度与分布，确定矿床工程地质条件的复杂程度。
- 结合矿山工程建设的需要，对露天采场边坡的稳定性或井巷围岩及溶（熔）洞的稳定性做出初步评价，预测可能发生的主要工程地质问题。对于复杂的工程地质问题应当做专门性工程地质勘探。

(6) 矿床开采地质环境评价方面

- 详细调查矿区（井田）及其附近地震活动情况及新构造活动特征，参考全国地震烈度分区，对矿区（井田）的稳定性做出评价。调查矿区内的各种自然地质现象（岩崩、滑坡、泥石流、岩溶等）、地表水和地下水质量及其他有害物质含量。结合矿区地质、水文地质和工程地质条件、对矿床开采前的地质环境质量做出评价。

- 对有瓦斯等有害气体的矿产，已研究瓦斯等有害气体的成分、含量和分布情况；对能产生自燃的矿产，已研究其自燃条件和自燃趋势；对能产生爆炸性粉尘的矿产，已研究粉尘的爆炸性；对具有放射性的矿区，已调查矿区内的水源、大气、土壤及食用生物的放射性元素含量，提出辐射环境监测资料，对辐射环境质量做出评述。

- 在矿床开采中可能产生的环境污染和破坏应进行预测评述，对废水、废气和废渣的处理问题提出防治意见。

（7）矿产资源方面

在完成上述工作程度要求的基础上，初期采区应达到探明的地质可靠程度，计算探明的内蕴经济资源量，其周围为控制的和推断的内蕴经济资源量。

有条件开展预可行性研究或可行性研究时，也可以计算相应经济意义的资源量、基础储量、预可采储量。

二、矿产勘查的可行性评价

1. 矿产勘查可行性评价阶段的划分

对于赋存于地下不确定性因素很多的矿床来说，从发现、勘探到矿山建设和开采，需要经历一个较长的过程和多次的评价工作才能最后完成。

矿床勘查评价工作不仅是一个运用地质科学和有关自然科学的理论与方法，不断探索和认识矿床地质特征的过程，而且还是矿业生产过程中及其前期必不可少的先行步骤和基础性工作。它是一项地质和技术经济的综合性实践活动。矿床勘查工作的整个过程都绝对地受认识规律和经济规律的制约。认识规律要求认识过程必须遵守“循序渐进”的原则，即勘查评价工作应该逐步开展和不断深入地进行，经济规律则要求勘查评价工作应根据国民经济的需要，在保证必要的勘探程度的前提下，力求用最合理的方法，最少的人力、物力和财力的消耗，在最短的时间内，取得最多、最好的地质成果和最大的经济社会效益，确保后续勘查和开发投资的可靠性和合理性，使勘查和开发的投资风险值最小。因此，整个勘查工作过程中对矿床勘查、开发的可行性评价必然显示出阶段性。

矿产资源/储量可行性评价按 1999 年新分类标准要求划分以下几个阶段：①概略研究评价阶段；②预可行性研究评价阶段；③可行性研究评价阶段。

2. 矿产勘查的概略研究评价

概略研究评价是指在普查阶段中通过概略研究评价对矿床开发的经济意义进行概略的评价。

矿床经过普查工作之后，获得的地质信息和基础资料较少。只是大致查明了矿床规模、矿石质量、矿石加工技术性能、开采地质条件以及矿区自然经济条件等。对未来矿山建设中的有关问题，如矿山生产规模、开采方式、产品方案、产品流向等只能是概略的设想，对未来矿山开发的技术经济指标尚难确定，在此基础上所进行的技术经济评价，称为“概略研究评价”。其目的是为矿床能否转入详查并计算其具有内蕴经济意义的资源量，从

技术经济方面提供决策依据。概略研究评价的结论正确与否，对后续勘探工作以及矿产资源的开发利用的影响至关重要。概略研究评价工作一般由承担评价矿床普查工作的地质勘查单位完成。评价之后应提交概略研究评价意见书，或概略研究评价报告。一般进行概略研究评价应具备下列基本条件：

- (1) 对矿床进行的地质普查工作已经结束；
- (2) 对矿石的初步可选性已做了试验并编有正式的试验报告；
- (3) 对矿区的外部建设条件作了初步的调查研究，如交通运输、供电、供水；
- (4) 初步调查了国内及区域内对该矿产资源的供求现状和部分有关的区内经济统计资料等。

概略研究评价通常在进行经济分析时，可采用类比的方法或采用扩大指标，进行静态的经济评价，其经济评价指标，可采用总利润、投资利润率、投资收益率、投资回收期等。

3. 矿产勘查的预可行性研究评价

矿床经过详查工作后，获得了比较丰富的地质信息和基础资料，基本查明了矿床地质构造条件，矿体空间分布，矿体的形态、产状和规模，矿石物质组分的含量及其赋存和变化情况，矿石技术加工性能，矿床的水文地质和工程地质等开采技术条件和矿山建设条件等。能大致确定未来矿山建设和开发中的技术经济指标，必要时，圈出勘探范围，供预可行性研究、矿山总体规划和矿山项目建议书使用。在此基础上进行的技术经济评价称之为预可行性研究评价。其目的是为矿床能否转入勘探和矿山建设总体规划的编制，从技术经济方面提供决策依据。通过预可行性研究评价证实矿床的经济价值较大，经济社会效益较好，并可纳入近期建设计划的，方可转入勘探，否则不能轻易转入勘探。评价是减少矿床勘探投资风险的关键性评价。预可行性研究肯定的矿床转入勘探后，尽管某些评价参数可能会发生变化，但是，一般不应出现评价结论的根本变化，即不应出现肯定有经济价值的矿床变为无经济价值的矿床，或者前后有较大的出入。对目标的否定评价必须资料充分、可靠、论证客观全面，从而有效地提高地质勘查、矿山建设和开发总的社会经济效益。

预可行性研究评价报告一般由设计、研究部门或有一定资质的中介咨询机构完成。应具备的条件有：

- (1) 对矿床的详查工作已结束；
- (2) 对矿石的加工性能已提交了正式的小型连续选(冶)试验报告或扩大性试验报告；
- (3) 基本查明矿区水文及工程地质情况；
- (4) 矿区交通运输、供电、供水资料的较为详细调查资料；
- (5) 了解开发对地质勘探工作的要求；
- (6) 研究国内外该矿产资源的形势，供求现状及价格情况。

预可行性研究评价在进行经济分析时，可直接选用经过调查了解后的参数，进行动态的经济评价，其经济评价指标为内部收益率，净现值动态的投资回收期等。

4. 矿产勘查的可行性研究评价

矿床经过勘探之后，获得了大量系统可靠的地质信息和地质资料，对矿石的质量和技術加工特性及其空间分布，矿床的开采技术条件及水文地质条件等方面有深入的研究。储量计算的参数比较精确，能较为准确地确定未来矿山建设和开发中的技术经济指标。在此基础上所进行的技术经济评价称之为可行性研究评价。其评价结果可作为矿山开发投资及

设计的依据。评价结果的正确与否直接影响矿山建设的投资决策和开发经济效益的好坏。

可行性研究评价报告的内容与预可行性研究报告基本相同，只是深度更高一个层次，可行性研究工作一般亦由设计、研究部门或有一定资质的中介咨询机构完成。应具备的条件有：

- (1) 对矿床的勘探工作业已结束；
- (2) 对矿区的可采技术条件已详细的查明；
- (3) 对矿石的选（冶）加工性能已提交了扩大性试验，或半工业性试验，甚至工业试验报告；
- (4) 详细的了解了矿区的交通运输、供电、供水等情况；
- (5) 对国内外该矿产资源的形势，供求现状及价格情况进行了充分的研究；
- (6) 对开发该矿产投资的筹措已有了一定的把握。

可行性研究评价在进行经济分析时，要根据矿山建设的方案（采矿、选矿和其他）认真的确定评价参数，并进行动态的企业经济评价，其经济评价指标为内部收益率、净现值、动态的投资回收期，对大型规模以上的矿区开发的可行性研究还应做国民经济评价。

三、影响矿产勘查可行性评价的因素

矿产勘查是一项复杂的系统工程，对其评价的影响因素也是系统而广泛的。这些因素可以概括为：矿床地质因素、社会经济地理因素、经济因素及矿产开发利用技术经济因素等。

（一）矿床地质因素

矿床地质因素是矿床自身所固有的特征，因此一般又称为矿床自然因素，包括矿床规模、矿体空间特征、矿石质量特征、开采技术条件方面的因素。

1. 矿床规模

矿床规模是用储量数字的大小来表示的。另外，也有用其在空间分布范围的大小来反映的。不同种类的矿床，其规模划分的标准是不一样的，但都分为大型矿床、中型矿床、小型矿床。

矿床规模是潜在社会财富的象征，其大小是影响并决定未来矿山开发生产方案的重要因素，也是影响开发经济效益的决定性因素。储量是矿产资源量的更确切的反映。在矿山开发设计上，一般是大型矿床要设计大型规模的矿山生产，中型矿床设计中型规模的矿山生产，小型矿床设计小型规模的矿山生产。也就是说，在资源开发生产的系统运动中，资源量与矿山生产能力及合理的服务年限存在一个经济合理的对应关系。因此，在矿产资源可行性评价中，不但要正确的研究和确定矿床规模，而且要研究其开发运行当中的对应关系。

2. 矿体空间特征

矿体空间特征系指矿体在三维空间上所具有的特征，如矿体形态、产状、宽度、厚度、延长以及矿体间的关系和联系等。矿体这些固有的因素在很大程度上决定着矿床开发利月的方式方法，如开采方式、开拓方案、采矿方法的选择、运输方式、开采深度的确定、开采顺序的安排以及开采坑道、运输巷道长度设计等。

3. 矿石质量特征

矿石质量主要由矿石的物质组成特点、结构构造特点以及可选性能等特点来体现的。最为直观的综合体现就是被加工利用的难易程度。矿石物质组成是指自身的矿物成分和化

学成分,矿物成分反映矿石矿物和脉石矿物的组合特征;化学成分反映矿石主要有用组分品位特征及有害组分的含量等。在体现矿石质量方面,不同矿产类型是有差别的,对于作为建筑造型、研磨、压电、熔剂、耐火等用途的非金属矿产主要是它们的块度、强度、颜色、完好程度、裂隙度、晶体结构等物理机械性质及加工性能;对于宝石,则颜色、透明度、晶体大小是主要指标。矿石质量特征是决定产品方案、产品质量、选矿加工流程以及产值、利润等重要因素。

对于综合性矿床,要坚持综合利用原则,评价主要矿产要考虑共生矿产,评价主要有月组分要考虑伴生有益组分。这样不仅能使有限矿产资源得以充分合理利用,而且能大大提高矿床经济价值和矿山开发经济效益。

4. 开采技术条件

影响开采技术因素除上述矿床地质因素外,还包括矿床埋藏深度,矿区工程地质条件和水文地质条件等开采技术条件。

矿床的埋藏深度决定着矿床开采方式的选择。埋藏浅可露采,埋藏深就得坑采。露采较坑采具有回收率高、成本费用低、劳动效率高等优点。

矿区工程地质条件主要指矿体及其围岩稳固性和物理机械性质,一般包括抗压、抗剪强度、硬度、松散系数等,它们也影响着开采方法和加固方法的确定选择。松散系数是确定矿车、吊车、矿仓等容积,并进行运输量等计算的不可缺少的参数。

矿区水文地质条件主要指矿体及上下盘围岩的含水性、岩溶发育程度、渗透系数、地下水的补给来源、涌水量、地表水体的日分布及其与地下水的联系、地下水水位等情况。水文地质条件的复杂程度会影响开采时井筒或坑道位置的确定以及防排方法、设备能力和采矿成本等。有的情况会因涌水量过大或其水文地质条件特别复杂而严重影响基建投资和开采成本,从而导致矿床不能被开发利用而成为“呆矿”,评价某些非金属矿,像一些易溶盐类矿床和一般建筑材料矿床,水文地质条件更不能忽视,因为这些矿床一般只开采地下水水位线以上的那部分。

(二) 社会经济地理因素

社会经济地理因素是矿床技术经济评价所要分析考虑的重要方面,它所包含的内容很多很广泛,诸如社会需求因素、交通位置与经济地理、生态与环境因素、气候与地形地貌、能源及供电供水等因素,这些影响因素也常被人称为矿产外部技术经济条件(或外部建设条件)。

1. 社会需求因素

社会需求是指矿产资源在国家的政治、经济及国防等方面所起的作用及急需程度。对于探明的矿产储量只有当其被国民经济建设所需要和利用时,才具有更高的使用价值。因此,满足社会的需要是评价矿床经济价值的出发点。对于国家急需短缺的矿产,即使矿石的品位不高,矿床内外建设条件较差,采选成本较高,甚至无利可图,对其仍将作出肯定的评价。反之,国家近期不需要的矿产,即使储量很大,品位也较高,内外建设条件较好的矿床,对其仍将做出否定的经济评价。需求因素是受着科学技术和国民经济建设的发展、国际市场以及世界政治局势等方面影响的,所以进行评价时,要给予全面的考虑。

2. 交通位置与经济地理因素

矿区的交通位置与经济地理因素对矿床经济评价的影响无疑是个重要的因素。例如,

有些矿床地处边远荒漠地区，交通不便，尽管矿床自然条件和矿石质量都很好，但在国家未解决铁路运输之前，资源是难以利用的。

经济地理条件的影响主要表现在以下几方面：如果评价矿床所处的经济地理位置是有利于工业建设的合理布局和国防能力的加强，那么其经济意义就高，否则就低；位于铁路沿线、江河两岸、距用户单位近的矿床，其经济意义就大，而处于交通困难的地区及距用户单位远的矿床，其经济意义就低。交通运输条件对于大多数非金属矿床更是值得重视的因素。因为，大多数非金属矿物原料属于开采吨位多，工业需求量大的大宗产品。从矿床勘探、开发和加工直到产品到用户手中的总费用中，运输费用占有相当高的比例。一般来说，采矿企业必须要靠近产品用户，对于建筑材料，铁路运输的最大距离不应超过 300 km，煤和铁应以 800~1000 km 为限。

水源、电源、燃料、动力、辅助原料、建筑材料、劳动力、生活资料等的供应情况，以及资源配套和区域工业技术协作等都是评价需要全盘考虑的因素。

需要指出的是，根据国民经济发展的需要，某些地区的经济地理条件通过投资建设可以逐步地改变，从而促使这些地区的矿产得以开发、利用。例如，为了合理的工业布局，促进少数民族地区和边远贫困地区的经济发展，尽管经济地理条件不很好，国家也要投资开发某些矿床，这些特殊情况，需要结合国家发展战略方针具体分析。

3. 气候与地形、地貌

气候是影响矿山开采年工作日的决定因素，气候特别恶劣的地区，甚至会导致矿床不能开采而失去其工业价值。地形地貌结合矿体的形态、产状及空间分布情况，一方面影响开采方式或开拓方案的选择；另一方面还影响未来矿山的工业场地、废石场、尾矿坝以及其他设施的配置。在我国有些成矿区带，为高山峡谷，虽有较丰富的矿产资源，但往往受地形地貌的限制，不得不在远离矿产资源的地方选择厂址，这样就无形中降低了矿产资源的经济利用价值。总之，气候和地形地貌恶劣的地区，劳动时间短、作业困难、生产效率低，需要的投资以及采、选成本也会相应地大，矿山企业的产值利润就会相对减少。

4. 生态与环境因素

在对矿床（区）开展可行性评价时，必须考虑由于矿山的未来开发建设以及生产，对生态与环境所造成的影响和破坏，要预测其破坏或恶化程度，并且要制定或建议避免措施。矿床露天开采时会大量占用良田，选厂排放的烟尘废水会污染大气水源，对农林牧副渔业、生态环境等的影响所造成的损失都会降低矿床的经济价值。例如，小秦岭金矿成矿区，由于有的矿山采用氰化提金工艺，在放排的废水中含有大量的氰根离子，致使耕牛饮水被毒死。

矿床地质因素和社会经济地理因素是矿产资源/储量可行性评价的重要内容，它们不但影响矿床经济优势的发挥和利用，而且影响矿物原料基地评价的宏观决策，因此，在评价中必须进行认真的观察研究和试验分析，尽可能全面、系统地收集资料和科学地综合分析，以提高评价结论的准确性和可靠程度。

（三）经济因素

在矿床经济指标的制定过程中，经济的影响是比较多的，主要有产品价格、产品成本、投资、利率及贴现率等经济指标和参数。对这些指标和参数的确定及正确分析对矿床经济指标的制定具有重要意义。

1. 价格

由于历史原因，当前我国采掘工业的矿产品价格明显偏低，某些加工工业产品价格偏高，基础工业和加工工业产品价格之间，利润相差悬殊。例如，开采铁矿的资金盈利率只有5%，煤矿则更低，而轧钢的盈利率有的品种达到20%~30%，甚至高达69%~70%，随着探、采、选成本的增长，矿产品价格与价值相背离的状况仍然很严重，矿产品价格不合理现象对可行性评价会产生重大影响。

矿产品价格是可行性评价中一项十分重要的参数。它不仅关系到能否正确地评价矿床经济价值、矿产资源能否合理、充分地开发利用，而且直接影响一系列技术经济指标的确定。

由于不同品级及类型矿石，选冶流程和回收率不同，因此价格也不同。品位越低，有害组分含量越高，或加工技术越复杂的，价格则越低。

在可行性评价中选择和使用哪种价格也是比较重要的问题。有人主张用国内、国际市场实际价格，也有人主张用计算的理论价格或是影子价格等等。综合比较，从简便并实用角度出发，结合可行性评价研究及其对象特点，采用现行价格或调整价格并结合国际市场价格是比较实用可行的。按现行价格及其调整价格是能够计算分析矿床开发的微观经济效益效果和宏观经济效益效果的，结合国际市场价格进行对比评价也是可行必要的。采用理论价格尤其是测算不是容易之事，而且理论价格也不一定同实际情况相吻合。影子价格也不是实际价格，而是一种虚拟价格，针对地矿系统的特点是较难以实用的。

2. 投资

投资是影响矿床开发利用经济的重要指标。广义上讲，投资就是投入资本额，一般包括基建投资、资本化利息和流动资金3部分。有时也专指基建投资。

投资的多少是影响矿山企业生产经营和经济效益的重要因素。对于一个开发的矿山，在允许的条件下，必须合理安排使用投资。显然，在一定范围内，投资越少，矿山开发生产所获得的收益就相对越高，反之，矿山获得收益就相对较少。据计算，投资每增加10%，同时年利润要减少5%左右，投资利润率降低1.5%。有时投资额还是决定矿床近期能否被开发利用的关键因素。有些矿产，虽然国民经济急需且未来开发的经济效益可能也不低，但由于大量的投资一时无法解决，因此致使不能及时开发利用。由此可见，投资在可行性评价中重要性是很大的。现将投资的构成及用途分析如下：

(1) 基建投资：是指花费在矿山开发工程建设上的全部活劳动和物化劳动的总和。其中绝大部分用于：①建设场地准备，包括建设场地的开拓、平整和排水的费用，原有建筑的拆迁和重建费用以及环境破坏的赔偿；②主要生产设施，主要指采矿基建工程的费用、露采的初期剥离费用、厂房、选厂设备及通往选厂的运输线的建设费用、装卸设施、堆矿场和仓库的建设费用等；③辅助性生产设施和矿山生产外部条件的建设，包括排水、通风、安全技术、工业卫生、机修车间、生活服务设施的建设费用，矿山铁路、公路、车辆、电话、供电工程（专用电站、输电线、配电所等）、供排水工程等费用。这一部分投资构成企业的资产，小部分用于施工管理、职工培训、勘测设计以及与矿山建设有关的地质勘探、矿山测量、技术试验、可行性研究等其他费用，这部分不形成固定资产。

矿山开发的基建投资一般为几百万至几千万，甚至上亿元，这与矿床的特点、产出条件、区域地质条件、经济地理、采矿方法、选矿方法、生产能力等因素有关。

(2) 流动资金：是垫支在劳动对象、工资和其他支出等要素方面的资金。它在周转

中,表现为生产储备资金(包括在原材料、低值易耗品、燃料等占用资金)、未完工产品资金(包括在产品、自产和外购商品所占用资金)、货币资金与结算资金(包括发出商品、应收款项、银行存款、现金等)等占用形态。它的价值周转一次,全部地转移到产品中去,并从产品销售收入中一次全部得到回收,它只经过一个生产周期就可以完成一次从垫付支出到全部收回的循环,其价值周转方式具有流动性。流动资金只能用于生产周转和商品流通,不能用于基本建设。固定资产更新改造、大修理、集体福利和其他部门资金来源的开支、生产储备资金、未完工产品资金和成品资金构成定额流动资金,货币资金和结算资金构成非定额流动资金。流动资金应根据生产企业的情况进行计算,一般采用以下几大项扩大指标计算:①按流动资金占年总产值资金率估算;②按流动资金占固定资产资金率计算。

不同的矿山企业定额流动资金占用比例一般如下:①黑色冶金矿山定额流动资金占年经营费的50%左右;②有色金属矿山采选企业流动资金约占固定资产金额的15%~20%,或销售收入的30%~40%,或企业年成本的45%~50%;③化学矿山定额流动资金约为固定资产金额的10%~15%;④钢铁厂定额流动资金约为固定资产金额的15%~20%,或为企业销售收入的20%~25%;⑤有色金属冶炼厂流动资金为销售收入的20%~25%。

(3) 资本化利息:矿山企业基建期间不生产产品,无力偿还应交纳的贷款利息。不得另行借贷以偿还基建期间利息的利息,这种偿还利息的利息称为资本化利息。

(4) 建设总投资:是矿山开发的全部投资额,等于地勘费+基建投资+资本化利息+流动资金。

(5) 资金筹措:包括资金筹集和资金运用两个方面。资金筹集不当或资金运用不合理就会延误建设项目施工期和影响经济效益。因此,资金筹措是经济评价中一个很重要的内容。

长期以来,我国建设资金的来源主要靠国家内部积累,也是靠国民收入的增长和国民经济各部门的增产节约。在一定的条件下,也可把国外借贷的资金作为补充来源。当前,国内资金源主要渠道和形式有银行贷款和自筹资金等。国外资金来源主要有国际金融机构及政府贷款、出口信贷及补偿贸易和合资经营、国际金融市场及自由外汇等。

资金运用是否合理主要表现在贷款数额的认真估算、年度用款计划和贷款占用时间等方面。在满足项目用款需要的前提下,要尽量削减贷款数额,合理安排年度计划,减少贷款占用时间。

3. 成本

矿产品成本是反映矿山企业生产物化劳动和活劳动消耗的综合指标,是评价矿山企业经济效益不可缺少的指标。在产品产量相同的条件下,矿山企业的利润与产品价格和成本指标有直接联系。由于矿产品价格一般是相对稳定的,它不受局部因素影响,因此矿山企业的盈利水平在很大程度上取决于矿产品成本的高低。矿产品成本除与矿山企业的生产经营水平有关外,还与矿床的地质条件和开采技术条件以及矿山企业的技术经济指标有很大关系。

总成本是指矿山企业为生产和销售矿产品而支付的一切费用总和,包括已耗费的生产资料价值,如原料、材料、燃料及固定资产折旧、维修费,也包括劳动者的工资、企业管理费、产品销售的开支(如保管费、运输费、批发站和零售店的费用等)等。

单位矿产品成本是指生产单位矿产品所支出的费用总和。在可行性研究经济评价中,

有时使用“经营费用”指标。对“经营费用”的理解有两种，一种认为经营费用就是生产总成本；另一种认为经营费用是生产总成本中扣除基本折旧费用的那部分费用。大多数人赞同后者。

在一些经济评价中，采用“销售成本”指标，实际上其就是指在一定时期内总成本之和。

同时，在计算成本时，还要注意考虑矿产品的外部影响，要对其产生的外部经济性（正品）和外部不经济性（负品），减少和增加成本。

由此可见，在资源储量可行性评价中，正确选择或确定成本指标是较关键和重要的。

（四）矿床开发利用技术经济因素

矿床开发利用技术经济因素是反映矿山开发、生产的一般社会技术经济的综合能力，主要包括生产方式、方法、生产能力的确定和技术经济指标的选择。这些因素不仅受矿床地质因素的影响和制约，而且也受到社会经济地理因素的影响和制约。对这些因素处理得是否合理，对矿山企业经营效益的确定和计算有着重要影响。例如，某露天铅锌矿，经波动因素计算对比，当露采边坡角相差 1° 时，总剥离量相差 1000 m^3 ，其基建和生产的剥离费相差5000万元。由此可见，对于矿床的开发，矿床本身固有的客观因素是影响的一个重要方面，而开发过程的主观人为的因素也是影响的一个重要方面。分析其影响因素，就是为了减少主观人为因素的不利影响，并正确合理地利用客观条件，提高矿山开发的技术经济水平。

1. 生产方式和方法

矿山企业进行开发生产必定要采用一定的方式、方法，具体来讲，采矿要选择其开采的方式，选矿和冶炼也要选择其工艺流程。由于选择的不同，其开发效益效果也会有差别的。

（1）采矿：矿山采矿方法的选择对未来矿山开发的经济效果有着极为重要的影响。采矿的方式可分为露天开采和地下开采。确定露天开采方式，原则是在确定的剥采境界内，计算其境界剥采比，然后与经济合理剥采比进行比较，境界剥采比小于经济合理剥采比，则可以用露天开采方式，反之，当境界剥采比大于经济合理剥采比，则选用地下开采方式。另外，应注意如有显著高山头和较大的河流以及特殊重要的建筑如铁路等和严重不稳定岩层，可适当减小经济合理剥采比。

经济合理剥采比 n 的计算公式：

$$n = (c - a) / b$$

式中： n 为经济合理剥采比； c 为地下开采矿石成本； b 为露天开采剥离成本； a 为露天开采纯采矿成本。

在确定了露天开采方式后，还要深入研究制定符合矿区特点的边坡角。根据矿区范围的大小实行合理开拓方案等等。在确定了地下开采方式后，还要研究制定符合矿床特点的开拓方案，对于矿体产状较陡的情况，一般是竖井开拓，采用留矿采矿方法，对于矿体产状较缓或为水平层状时，一般是斜井开拓或是竖井平巷开拓。

采矿方式方法的不同选择，将使矿山未来开发生产具有不同的投资和成本，具有直接经济效益影响。

（2）选矿：选矿效果的好坏直接反映着矿石有用组分回收利用的程度。对于同一类型的矿石，可以有几种不同的选矿工艺方法，如金矿石可以采用浮选—氰化法、混汞—氰化法，还可以采用单独全泥氰化的炭浆法等，这些不同选矿方法的选矿效果也是有所不同

的。另外，选矿方法影响着产品结构和产品的产量，最终体现的还是影响经济效益。对于特殊的矿种，如铝土矿等需不需要走人工富矿道路的问题。还有，对于有些矿产的回收加工，是否需要把选矿工艺同冶炼工艺连接在一起考虑，这就关系到企业是生产精矿产品经济效益好，还是生产冶炼产品效益好的问题。这些问题都是在投资能力允许的情况下考虑和选择的。无论怎样，制定适合矿石特点的选矿方法是提高企业经济效益的重要一环。

2. 生产能力

矿山生产能力是指矿山企业正常生产的情况下，在一定的时间内所能开采或处理矿石的能力。通常用年所能开采或处理的矿石量表示（万吨矿石/年），有时也用每天所能开采或处理的矿石量表示（吨矿石/日）。选矿能力一般同采矿能力相同，因此采矿能力即可代表矿山生产能力。

矿山企业生产能力是矿床开发的重要技术经济指标之一，它决定矿山企业的基建工程量、主要生产设备类型、技术建筑物和其他建筑物的规模与类型、辅助车间和选冶车间的规模等。从而对基建投资额、投资回收（或返本）期、开采费用水平、产品成本和采矿经济效益等都起着决定性影响。因此，矿山生产能力是影响可行性评价的一个重要因素。

矿山生产能力的确定主要取决于国民经济需要、矿床储量大小、资源前景、矿床地质与开采技术条件、矿床的勘探程度、矿山的服役年限、基本建设投资和产品成本等因素。其中，矿山生产能力的基础保证是矿床储量。一般情况下，矿山生产能力是与矿床储量相对应的。矿床储量的决定因素则是边界品位，边界品位是在储量计算时圈定时，对单个样品中有效组分含量的最低要求，也是区分矿石与岩石的一个最低品位界限。边界品位与矿床储量之间存在如下关系：

$$Q = e^{(m-n-c_0)/n}$$

式中： Q 为矿床储量/t； c_0 为矿区边界品位/%； m ， n 为常数； e 为自然数。

由关系式可以看出矿床储量与边界品位之间呈指数关系，如果提高边界品位，矿床平均品位增高，矿床储量下降。反之，如果降低矿区的边界品位，矿床平均品位降低，矿床储量则增高。由此可见，边界品位不但直接决定着矿床储量的大小、直接关系并影响到矿产资源的合理利用程度，而且也间接地影响到矿山生产能力，产品产值、产量的大小。因此在确定矿山生产能力时，要注意对边界品位的制定研究，否则就会影响企业经济效益。

矿山企业生产能力一般有两个概念，一个是技术上可能的生产能力；另一个是技术可行经济合理的生产能力。对于一个矿床来说，仅有技术上可能是不够的，如小型的矿床，资源有限，进行大规模开采显然就不合理。因此，在确定矿山企业生产能力时，必须严肃认真、深入细致地收集资料，综合分析影响矿山企业生产能力的主要因素，反复进行技术经济比较，处理好需要与可能，长远与眼前，技术与经济之间的关系，使矿床开采经济指标最好，整个矿山企业经济效益最高。

3. 损失率、贫化率和选矿回收率

采矿损失率是指采矿过程中损失的矿石量与计算范围内工业矿石量的百分比。矿石损失是对矿产资源的一种浪费，损失过大将缩短矿山服务年限，造成后备储量不足，使每吨矿石所摊的折旧费用增加。

矿石贫化率是指采矿过程中混入矿石中的围岩数量与实际开采的工业矿石量的百分比。

矿石贫化率提高将影响采出矿石品位，使生产 1t 精矿或金属所需要的矿石量增加，

从而也必然增大支付废石采掘、运输及选矿的额外费用，使精矿或金属的成本增高。从另一方面讲，会降低选矿厂（或冶炼厂）的实际生产能力，降低加工过程中有用组分的回收率，降低矿山企业的经济收益及投资效果指标等。由此可见，矿石贫化率是影响矿床开发利用经济效益的较重要指标。

选矿回收率是精矿中某金属总量与原矿中该金属总量之比，它是反映选矿过程中金属回收程度、选矿技术水平、选矿工作质量的一项重要技术经济指标。在保证精矿品位的前提下，不断提高选矿回收率，不仅能充分回收矿产资源，而且能提高选矿经济效益和矿床经济价值。

四、矿产勘查经济测算

矿床勘查经济测算是一项复杂的工作，用以进行测算的方法也很多。这里主要介绍综合评价。

综合评价即将一定隶属范围内不同种类、不同性质的单位或同一单位不同时期的物质生产与再生产活动及其所实现的经济效果、经济效益组合在一起，用特定的指标、方式、方法进行综合评定的一种管理与认可。一般在进行综合评价时应遵循以下的原则：①整体性原则，要将一个单位或一种经济现象所包含的内容综合地、全面地考虑，不能随意分解或无缘地剔除，要保持评价主体或客体，以及评价内容的完整性；②客观性原则，评价要注重定性 with 定量、静态与动态相结合，横向与纵向相结合，既要看到被评价单位的整体情况，又要看其发展基础的差异；既要看到其发展的绝对增值，又要看其发展的相对提高；③可比性原则，包括满足需要上的可比，选取指标口径的可比，适用范围的可比，时间上的可比等；④适用性原则，评价要有目的性，不仅要反映被评价单位的过去，而且更主要的是能有效地指导或服务于被评价单位的现实与将来；⑤突出重点原则，由于被评价单位的每个经济时期、发展阶段均涉及许多的经济指标，但其中有其突出的重点，因此，评价要有所侧重，尽量选择具有代表性的指标。

（一）矿产勘查综合评价指标的选择

1. 人均增加值

以往考核全员劳动生产率所选指标是人均货币工作量，而货币工作量包括预算内地勘工作完成的费用、地质市场结算收入、多种经营总收入、附属工厂的产品销售收入、其他单位的总收入以及完成的科研经费等。由于上述包列内容因经费来源不同、性质不同、内涵不同，使用途径和效果也不同，致使其含金量也不可能相同。加之缘于地勘单位目前从事的产业五花八门涉及许多行业，故统计口径很难统一，就是同一行业统计口径都未全一致（如工勘的大包、清包）。因此，将其简单相加为货币工作总量的做法值得商榷。

增加值是一个部门或生产单位生产的总产品价值即总产出扣除生产中消耗的中间产品价值即中间消耗或中间投入的余额即各部门生产的最终产品价值，是国内生产总值的组成部分。换个角度说，若根据生产要素在初次分配中应得收入份额计算增加值，其构成要素包括固定资产折旧、劳动者报酬、生产税净额和营业盈余4个部分。权衡利弊，选择人均增加值能较准确地反映全员职工新创造价值的大小。这样，一方面可避免在考核中将不同质的东西简单相加，另一方面也可客观地反映投入产出效益，优化资源配置结构，避免在生产经营中由于一味追求货币工作量的超常增加，而经济效益、资产经营效益总停滞不前，

甚而逐日下滑现象的发生。

人均增加值计算公式：人均增加值=当期增加值总额/当期在职职工平均人数。

式中：增加值总额=固定资产折旧+劳动者报酬+生产税净额+营业盈余。

这里需说明的是，按道理全员劳动生产率是反映活劳动新创造的价值，增加值总额中应扣除折旧费，因为折旧仅仅是为补偿生产经营中损耗的固定资产按比例提取的价值，但考虑目前地勘单位还不是完全性质上的生产单位，折旧既有从地勘费中定额提取的，也有从多种经营损耗的固定资产中提取的，加之，地勘单位所得收益分配存有明显的自保性和排它性，故这里就没有考虑这些因素。

2. 营业盈余占增加值比率（或称营业盈余率）

考虑地勘单位再生产或发展后劲的现实需要，选择这一结构相对指标来反映地勘单位在理论意义上的资金积累情况。因为在增加值构成要素中，固定资产折旧仅保持价值形态的国有资产总值在原始水平上的完整或保值。从长远看，其量上一般不会增值（这里没有考虑利润向折旧方向转移因素）。劳动者报酬，无论是工资性收入、福利保险收入，还是实物收入，仅反映劳动者所付出劳动的实际回报或物质补偿，其用途大部分用于生活消费。生产税净额反映的是企业在生产经营过程中对厂家履行的当然义务和税收贡献。只有营业盈余才能使企业真正做到资金积累和资产的不断增值。因为地勘单位只有通过运营国有资产，把所得收益经国家、地勘单位和地勘单位内部分配，将其一部分用于投资，形成新的国有资产，才能增大国有资产价值总量，以扩大生产规模和经济规模，也只有这种增值途径才是真正意义的增值。当然，营业盈余的高低，一方面受增加值总量的影响，另一方面在增加值总量一定时，还要受制于增加值内部各要素的比例，因此，营业盈余率直接决定着地勘单位用于再生产资金的积累，进而影响着资产的有效增值。

营业盈余率计算公式：营业盈余率=（当期营业盈余额/当期增加值总额）×100%。

式中：营业盈余=营业利润+补贴收入+计入管理费中的上交管理费。

3. 社会收入自给率

随着地勘单位实现企业化进程的日益加快，市场机制对资源配置的基础性作用越发显著，致使用于生产经营的地勘费必然要与地质成果紧密挂钩，即只有地质成果“适销对路”，换取的地勘费才有可能多。对此，增加社会创收能力，增强地勘单位社会收入自给能力，不仅符合市场经济发展的客观要求，也是地勘单位自我解救、自我发展的根本出路。基于目前地勘费投资行为还不是十分规范，地勘单位内部企事业体制的不同，以及财产和收益为共有的实际情况，社会收入自给内容包括：①从社会市场收入（包括地质市场收入、多种经营收入）中用于支付在职职工工资、津贴、奖金、各种补贴额；②分担社会性费用，如离退休人员经费补贴、子弟学校、职工医院经费不足补贴和基地管理费等；③分摊大队（或公司）管理费用；④支付非生产性的其他费用等。从一般意义而言，其支出与分担比例越大，证明单位自给能力就强。反之，则弱。

社会收入自给率计算公式：社会收入自给率=（当期社会收入实际支付能力/当期整个单位实际支付能力总额）×100%。

式中：当期社会收入实际支付能力=当期社会收入实际支付职工工资（含津贴、奖金）+各种补贴+分担社会性费用+分摊管理费用+非生产性其他费用；当期整个单位实际支付能力总额=用各种来源的资金支付职工工资（含津贴、奖金）+各种补贴+社会性总费

用+管理费+非生产性其他费用。

4. 资产保值增值率或资本增值率

为了明确地勘单位法人财产权以及资产经营责任，强化内部约束机制，提高国有资产运营效益和经济效益，维护国有资产所有者权益，故选择了资产保值增值率指标，一方面反映投资者投入地勘单位资产的完整性和保全性，另一方面体现地勘单位的发展后劲，巩固未来生存与发展的基础。

资产保值增值率计算公式：资产保值增值率=（期末国有生产或经营性资产净值/期初国有生产或经营性资产净值）×100%。

增值率指标是在不考虑货币时间价值和物价变动因素影响的情况下来考核企业资本的保全与增值，计算时按剔除非营业性的增减，如资本溢价、法定财产变化增减值等。

5. 总资产收益率或净资产收益率

基于近些年各单位均进行了程度不一的投资，以扩大生产能力和经济规模，但投资回报和经济效益大多不甚理想，为了充分反映地勘单位通过投资取得报酬的能力以及资本金使用效率，选择该指标若考虑资产运行总体回收比率，还应考虑税金总额，这与财政部制定和发布的经济效益评价指标是吻合的。

总资产收益率计算公式：总资产收益率=（节余与收益总额+利息支出）/平均资产总额×100%。式中平均资产总额=（期初资产总额+期末资产总额）/2。

实行新的会计制度与地勘费关联度较小，甚至没有地勘费的企业单位，可选择资本收益率指标，以反映企业运用投资者投入资本获取的收益能力。

净资产收益率计算公式：净资产收益率=净利总额/平均所有者权益×100%。
式中：平均所有者权益=（期初所有者权益总额+期末所有者权益总额）/2。

6. 资产负债率

基于地勘单位经济基础非常脆弱，承受经营风险与财务风险能力有限，加之生产经营在不得已的情况下需要适度举债经营的实际，为反映地勘单位偿债能力和再行筹措新债的可能性，进而规范经济行为，强化现代理财观念，因此选择资产负债率指标。但从该指标的内涵分析，其比值过大或过小均不利于地勘单位经济的发展。过大，会增大经营风险和财务风险，过小，又会影响生产与经营的资金需求量，失去生产与经营应得的机会收益，因此，该指标必须作为提示性和控制性指标适用于地勘单位综合经济评价，这也完全符合新的地勘财务评价的要求。

资产负债率计算公式：资产负债率=期末负债总额/期末资产总额×100%。

7. 应收和预付款占流动资产比率（也称应收及预付款比率）

考虑到目前地勘单位一方面存在营运资金存量上短缺问题，另一方面由于有限资金的严重占用，使得资产结构与生产经营实际需求非常不协调，为了盘活资金存量，优化资产组成结构，预防呆账、坏账而导致的财务风险，避免营运资金过多地长时间滞留于应收账款上，进而提高有限资金的时效性和经济效益，所以选择了这一指标。当然，流动资产是在一年内或超过一年的一个经营周期内变现或者运用的资产，包括货币资金、应收和预付款项、存货等。因此，在流动资产结构中，应收和预付款项所占比例高低直接影响着资产结构的优劣，进而影响着地勘产业经济发展过程中资金环境的改善程度。

应收和预付款比率计算公式：应收和预付款比率=当期应收及预付款项总额/当期流

动资产总额 $\times 100\%$ 。

应收和预付款项总额为应收账款、应收票据、其他应收款、预付账款和待摊费用之和。但不包括坏账准备，影响这项指标计算的因素较多，如季节性生产经营、分期付款结算方式、大量的现销、年末销量大幅度波动等，所以分析时应充分考虑这些因素。

8. 富余人员减少率

富余人员是指地勘单位在现有生产资料和物质条件下，从事正常生产经营活动所不需要的在职职工。这个问题是个较复杂，但又较现实的问题，因为目前地勘单位富余人员大致包括以下几类：第一类，由于产业结构调整或推广若干新技术、新工艺，生产与经营从量上所不需要的人；第二类，由于个人业务、年龄、身体健康或工作技能的原因，生产与经营从人员素质的要求上无法安置的人；第三类，由于个人整体素质差（包括品德），单位故意将其编余以示教育、悔改的人；第四类，出于种种目的，通过停薪留职、长期外借、自费转岗培训等办法去地勘单位外谋职的人。这里我们仅针对第一类、第二类和第三类部分人员的富余来考虑问题，因为这些人员的待岗责任一方面缘于自己的素质，另一方面受地勘单位生产与经营所创造的就业机会和就业能力限制，所以解决仍主要靠地勘单位自身。选择富余人员减少率指标，一方面能反映地勘单位安置职工或为职工提供就业机会的多少，另一方面能抑制个别单位故意通过编余职工，变相增大利润的非正常趋向。虽说在生产经营过程中，就业与失业，有效安置与待岗待业实属正常现象，但考虑地勘单位机构与体制的历史溯源，以及时下地勘职工生活水平与质量的相对不足，所以选择该指标，旨在各单位通过创造众多就业机会彻底消除富余人员现象。

富余人员减少率计算公式：富余人员减少率 $=1 - (\text{当期富余人员数} / \text{上期富余人员数}) \times 100\%$ 。

富余人员减少率大于零为富余人员减少，小于零为增加。

（二）矿产勘查综合经济评价测算方法

1. 综合指数法

测算方法：①根据各项评价指标所反映的经济侧面的重要程度，结合经验和判断确定权数；②测算各项指标当期与基期或同类指标在一定范围内算术平均数的比较程度；③计算各项指标应得指数；④加总同一单位各单项指数即为综合指数。

2. 比计分法

测算方法：①根据被评价单位个数确定单项指标的最低分和最高分，即单项指标最优者得最高分，最差者得最低分；②加总同一单位各单项指标所得分即为该单位评价总分。

3. 定比计分法

测算方法：①选定某一单位评价指标值或每项评价指标的均值期望值作为定比基数，并计基准分数；②其他被评价单位或所有被评价单位各指标分别与定比基数进行比较，计算各指标所得分数；③加总同一单位各单项指标所得分数即为评价总分数。

比较上述3种测算方法各有优缺点，第一种方法应用面较广，理论性强，也便于被评价单位进行归纳和分类，计算也简便，但其在涉及个别指标时难以取舍与计分，也不便于被评价单位进行分类；第三种方法较直观，易操作，但难以突出经济发展在特定阶段的评价重点。若动态评价同一单位的进步程度，第一种方法和第三种方法可选用，只是比较基数要置于该单位某一年份相关指标值或选取一定时期的均值，其他计分与分析规律同上述1,2,3。

第二节 矿床技术经济评价

一、矿床技术经济评价的概念、意义与原则

(一) 矿床技术经济评价的概念

矿床技术经济评价是矿产勘查工作中的一项基本的、经常的和重要的科技工作。它是根据矿产勘查各阶段获得的资料,选取合理的技术经济参数,预估矿床未来一定时期内,进行工业开发利用的经济价值和经济社会效益。这一概念反映了矿床技术经济评价的实质,是预测矿床在勘查与开发之后,可能获得的经济效益和社会效益。

矿床技术经济评价的目的是:在矿床不同勘查工作阶段所获取大量地质资料基础上,通过矿产勘查、开发所期望的经济效益进行技术经济分析,从而判定矿产勘查工作的经济效果及矿床开发产生的经济效益和社会效益的大小,为进一步提高矿产地质勘查程度和开发决策提供科学依据。

根据以上概念可将矿床技术经济评价概括为以下几层含义:

(1) 矿床技术经济评价是在技术可行的基础上的一项经济效益评价,因而评价原则必须遵循经济效益原则,讲求全面分析,综合评价,注重实效;

(2) 评价对象是矿床的储量。储量作为矿业生产的“中间产品”,其经济效益体现在矿业生产的“最终产品”——矿产品。因此,矿床技术经济评价,必须根据矿产资源特点着眼于矿产储量未来工业开发中所预期获得的经济效益;

(3) 矿床技术经济评价以地质评价为基础,根据矿床工业开发利用的技术条件和经济条件做出,其结论必须符合地质上可能,技术上可行,经济上合理,社会上必需相统一的原则;

(4) 矿床技术经济评价具有一定的时限,即矿床工业开发的预期经济效益,又仅受矿产勘查程度和矿山经济寿命的制约。同时,评价结论也将因矿床勘查程度的提高,矿床工业开发的技术工艺、经济条件的发展而变化,必然只具一定时效。因此,应根据变化了的情况,须每隔一定时期对其进行重新评价。

(二) 矿床技术经济评价的意义

矿床技术经济评价对于矿产地质勘查、矿山开发及资源的合理利用等有着十分重要的意义,概括起来主要体现在以下几个方面:

1. 避免盲目提高勘查程度,减少储量积压

一个矿床从发现到勘探结束的整个过程是由浅入深、由表及里、由粗到细地进行。对于一个矿床,勘查工作应该做到什么程度,对于一个矿种,资源量、储量和开采量之间的比例关系怎样,应该有个合理的要求。过去我国由于对矿床技术经济评价工作重视不够造成了许多不良后果,主要反映在已勘探过矿床中还有些长期未能转入生产建设,或者有的虽然建立了矿山,但由于矿床工业评价先天失误,造成矿山企业后天比例失调。这些矿床在矿产勘查工作中,国家支付了巨大投资,但没有得到应有的效益。究其原因有以下几种:①违反资源评价基本规律和程序,在没有肯定矿床工业远景的情况下,过早地转入勘探;②只重视矿床本身的地质评价,忽视了对矿床技术经济评价;③只考虑矿床内部条件,没有考虑矿山建设的外部条件;④只注意了主矿产的评价,没有对共生和伴生矿产进行综合评价。

2. 避免未经技术经济论证工作人为地低估矿床的经济价值而中止地质工作

典型的例子是江西某特大型斑岩铜矿床。50年代该矿被认为品位太低($\text{Cu} < 0.5\%$),如进一步提高勘探程度可能会成为一个大呆矿,因而没有经过技术经济论证,地质工作未作完就中途下马。60年代中、晚期,因国家需铜甚切,该矿的勘探开发又提到日程上来,经某设计院及赣东北铜基地指挥部共同进行技术经济论证后认为该矿内外部建设条件甚优,足以弥补矿石过贫和综合利用伴生元素较少的缺点而绰有余裕,经冶金部批准第一期 3200 t/d 采选能力,投产第一年即有盈余,以后盈余更多,接着续建 6400 t/d 规模,经济效益更为显著(1982 年生产铜 14000 t,年盈利 2000 万元)。为此,至 70 年代中期又以德兴为主攻对象,经补交勘探储量大幅度增长,目前该矿已成为我国条件较好的铜基地之一。

3. 矿床技术经济评价为择优勘探和择优建设提供了科学依据

据统计,普查阶段发现的上千个矿点中,可以转入详查工作的不过几十个,可转入勘探工作并成为矿山企业开发利用的矿床就更少了,平均 200 个矿点中仅有一个具有工业价值。从这点来看,矿产勘查工作就是一个逐步淘汰无工业价值的矿床,肯定有工业价值的矿床,不断筛选勘查项目的过程。为了搞好矿产勘查项目的筛选和建设项目的取舍,除了进行矿床地质评价以外,必须进行矿床技术经济评价。根据矿床技术经济评价的结果,对勘查项目规划排序,选择勘查、开发条件优越、经济社会效益好的矿床优先转入下一步勘查工作,或择优进行开发建设。

4. 矿床技术经济评价对矿床综合开发、合理利用资源和提高矿床经济价值具有重要作用

一个矿床的经济价值不仅在于主矿产储量大小和质量的优劣,而与其共生及伴生矿产的价值有时会超过其主矿产价值的几倍。过去,由于矿产勘查部门施行单一矿种的勘查工作,所以不重视综合勘查、综合评价,结果直接影响到矿床的综合开发和综合利用,造成资源严重的浪费和经济上的损失。而有的矿床在勘查或评价中注意了共生矿产和伴生矿产的勘查、评价和综合开发利用,因而使矿床的价值提高几倍甚至数 10 倍,如白云鄂博铁矿铈和稀土的价值就比铁高 20 多倍;大冶铁矿每年回收的铜相当于一个大型铜矿床;与铝土矿共生的煤、耐火粘土及伴生的镓的综合回收,可使铝土矿床的经济价值提高一倍以上。

5. 随着技术的进步和矿床外部建设条件的变化,矿床技术经济评价可使大量呆矿变为可开发利用的资源

随着采、选(冶)技术的提高,过去一些不能开发利用的“呆矿”,通过勘查人员及时地重新评价而复活,并在经济建设中发挥了重要作用,如攀枝花 23 亿吨表外矿通过粗粒抛尾的选矿工艺可恢复到表内的品位,从而解决了其利用问题,而使储量大幅度增长;又如青海锡铁山铅锌矿由于青藏铁路通过矿区,重新评价后使该矿大规模的开发提到日程上来。

6. 为与矿山开发相关的主要部门制定建设规划提供信息

一个矿床从勘探到开发一般为几年到十几年,而一个矿山的开发与其相关的交通运输和电力部门等配套设施可同步甚至提前规划与建设,所以矿床技术经济评价就是要在技术分析 & 经济论证得出正确结论后为相关部门的规划建设提供可靠的信息资料,使其决策的正确性得到保证。

7. 矿床技术经济评价是评价勘查工作经济效益的基础

反映矿产勘查工作经济效益的指标,诸如储量的价值指标(矿床潜在价值、总利润等)、勘查投资利润率、勘查投资产值率等,与矿床技术经济评价有着十分密切的联系。

可以说,不进行矿床技术经济评价,没有矿床未来开发利用经济价值计算,就无法正确确定矿床勘查工作的经济效益。

(三) 矿床技术经济评价的原则

1. 坚持使用价值评价与价值评价相结合的原则

为了最大限度地满足社会对矿产品的需求,尽可能获取矿产勘查与矿床开发的最大经济效益和最佳社会效益,所以在经济评价工作中必须坚持使用价值评价与价值评价相结合的原则,处理好物质效果与经济利益之间的关系,做到既要考虑提高矿产资源对社会需要的保证程度,又要考虑矿山开发的经济利益的增长。矿产资源一般是不可再生的稀缺的可耗竭性自然资源,因此必须贯彻矿山利益与资源的充分利用与合理保护相结合的原则,既不允许以牺牲资源为代价,片面追求矿山利润的极大化,也不应忽视矿山开发的经济利益,一味强调资源利用程度。合理的做法应该是充分权衡得失,在最佳平衡中进行选择。这一原则在解决综合勘查、综合评价、综合开发、综合利用问题时尤为重要。

2. 必须坚持局部利益与整体利益相结合的原则

在一般情况下,局部效益与整体效益之间,存在着根本上的一致性,但是有时也存在着一定的矛盾。在处理时,不应单纯从某个地区、某个部门、某个企业利益出发,而应当按照全局与局部相结合的原则处理微观经济效益与宏观经济效益之间的关系,做到局部一定要服从全局,微观经济效益必须服从宏观经济效益。为确保国民经济的宏观控制、决策的最终依据应是国民经济宏观经济评价结论。

3. 必须坚持经济效益与社会效益相结合的原则

矿床的工业开发价值,不仅取决于可能获取的经济效益,同时也受到环境、生态、就业、分配、国防、政治等社会因素的影响,因而评价中应遵循经济效益与社会效益相结合的原则,进行全面权衡,做出综合评价。

二、矿床技术经济评价方法与步骤

(一) 矿床技术经济评价方法

矿床技术经济评价方法一般有类比法、数理统计法和计算法3种。

1. 类比法

类比法的实质是将欲评价的矿床与正在进行开采的或正在设计建设中的,主要特点与其相类似的矿床进行比较分析,采用类比矿床开采或设计阶段实际的或估算的各项技术指标,确定矿床未来开发利用的大致经济价值和经济效益。

该方法的优点是比较简单,如果对比得合适时,对矿床亦可做出比较可靠的评价。在矿床勘查的初期,地质,技术和经济资料较少的情况下,应用类比法较为合适。该方法的缺点是由于自然界不可能有完全相同的矿床,所以各方面的特点千差万别很难加以类比。通过类比所选取的技术经济指标并不完全符合评价的矿床,因此评价结果比较粗略,可靠性较低。如果对比得不恰当,则误差将会更大。

为了提高类比效果,实际应用时应该认真分析矿床的工业类型、规模、品位、埋藏深度等地质特点及其与类比矿床的相似程度,尽可能选择相似程度较高的矿床进行类比。

2. 数理统计法

数理统计法是对一些具有类似地质技术经济特点的已采或正在开采的矿床,分析它们

的各种地质因素、技术经济参数和矿床开发利用的经济价值和经济效益（简称矿床经济评价价值）之间的关系，建立统计预测模型，并根据被评价矿床预查、普查、详查与勘探阶段获得的基本数据，确定其未来开发利用后可能获得的经济价值和经济效益的方法。

如果我们调查研究很多同类型的矿床，就会发现矿床的经济价值和某些地质因素及技术经济参数之间确实存在某种程度的相关性。因此，根据某些地质因素和技术经济参数有可能对矿床经济价值总的趋势进行某种估计，这就是矿床统计预测的回归模型。

回归分析的数学模型是：

$$y = a + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i \quad (9-1)$$

式中： y 为因变量，为矿床经济评价价值； x_i 为自变量，为影响矿床经济评价价值的地质因素和经济技术参数； a 为常数项； b_i 为偏回归系数。

在实际评价过程中，影响矿床评价价值的因素较多，此时可采用多元线性回归方法，但多元线性回归方法比较复杂，手工计算很困难。目前随着计算机的普及应用，使它在实际工作中的应用成为可能。

应用此法确定矿床未来开发利用后可能获得的经济价值和经济效益，必须收集大量同类型已开采或正在开采的矿山的实际资料，建立矿床经济评价价值和地质、技术经济因素之间的回归分析数学模型，然后用于矿床经济评价价值的预测。

3. 算法

算法是依据矿产勘查工作所获得的矿床的地质、经济和采选冶技术经济条件等大量的资料和数据，利用适当的公式，计算矿床未来开发利用后可能获得的经济价值和经济效益的方法。算法是一种定量评价的方法，评价结果比较准确可靠。尽管计算工作比较复杂，而且必须具有采、选、冶乃至矿产品销售等方面的大量基础资料，但是该方法目前仍为国内外最为常用的经济评价方法。在本书中将主要介绍这种方法。

根据评价时是否考虑资金的时间价值，算法又可分为 2 种，一种是不考虑资金的时间价值的评价方法，即不计价评价方法；另一种是考虑资金的时间价值的评价方法，即计价评价方法。

（二）矿床技术经济评价的步骤

矿床技术经济评价是一项涉及范围广和复杂的工作，必须采取科学的工作程序，有计划有步骤地进行。矿床技术经济评价工作一般按如下几个步骤进行。

1. 确定目标

确定目标是矿床技术经济评价的第一步。必须根据矿产勘查阶段的性质和特点确定评价任务和所要达到的目标。参加评价的人员必须明确评价目标，必须在评价过程中自始至终紧紧把握住目标。

2. 收集、整理基础资料

无论采用何种技术经济评价方法都必须要有资料和数据作依据。资料和数据应力求全面、系统和可靠，这是关系评价结果正确与否的关键。需要汇集和整理的基础资料和数据有：

（1）矿床勘查费用；

（2）矿体的形态、产状和矿产的数量，由固体矿产资源/储量分框架表内查明矿产

资源量的多少决定；

(3) 矿产品的质量，包括有用组分含量、有害杂质的含量、矿物成分、矿石结构构造、矿物嵌布特征、粒度成分以及矿石选冶加工性能等；

(4) 矿床开采技术条件，如矿体埋深、水文地质条件、顶底板围岩和矿体稳固程度、矿体受构造破坏程度；

(5) 矿区自然经济地理状况及内外部建设条件；

(6) 社会政治因素；

(7) 矿产资源形势状况。

对上述资料进行综合整理，并评定其可靠程度。

3. 拟定采、选方案，确定技术经济指标

根据矿床的具体地质特征和当前的技术水平以及技术加工试验成果等，拟定未来矿山企业的开采和选矿的工艺流程的可能方案，类比和计算确定下列技术经济指标：

(1) 矿山企业的年生产能力（原矿或精矿）及服务年限；

(2) 矿床工业开发的基建投资，流动资金和资本化利息，一吨最终产品（原矿、精矿或金属）的生产成本；

(3) 原矿或精矿的品位；

(4) 开采损失率和矿石贫化率；

(5) 有用组分的加工（选矿和冶炼）回收率；

(6) 根据最终产品的质量，按价目表确定其价格。

4. 汇集、整理基础资料和确定评价参数

要完成企业经济评价和国民经济评价，需有一个汇集、整理基础资料和确定技术经济指标的过程，实质上是分析被评价矿床未来开发期间的财务与经济活动，它可揭示未来矿山经济寿命期的财务与经济活动规律。

5. 进行企业经济评价

主要任务是计算经济价值和经济效益指标，做出正确的定性分析，评价企业的经济效益。

6. 进行国民经济评价

主要任务是评价国民经济效益。

7. 综合评价与论证

主要任务是通过企业经济效益和国民经济效益的综合评价与论证，提出评价项目是否转入下步地质工作程度的决策意见。

8. 编写评价报告

需要指出的是，在评价过程中还需注意信息反馈，使评价工作更加完善、正确。

三、矿床企业（微观）经济评价

矿床企业经济评价也称微观经济评价，它是从企业角度出发，对矿床的未来开发价值进行的评价，属于企业盈利性分析，故称为企业财务评价。评价方法有静态（不计时）和动态（计时）评价2种方法。

（一）静态评价法

在整个矿床开发周期内不考虑时间因素对货币的影响，计算矿床全采期可能获得的经

济价值和经济效益。常用的评价指标为矿床总利润、投资利润率、投资收益率、投资回收期等。

1. 总利润

矿床总利润也就是矿产的总提取价值扣除矿产品的成本和税金后的余额。由于目前国家对矿产品实行低税政策 (<10%)，为了讨论方便，可将税金暂不计入。由于矿山生产的产品不同，即原矿、精矿、金属等 3 种，所以计算的形式也有差别。

A. 当产品是原矿时

$$P = [Z_{01} - (S_e + S_m)] \cdot Q \frac{K_p}{(1 - K_f)} \quad (9-2)$$

式中：P 为总利润 (元)；Q 为矿床储量 (t)；Z₀₁ 为 1t 矿石的市场价格 (元)；S_e 为生产 1t 矿石应偿还的勘查成本 (元)；S_m 为 1t 矿石的开采成本；K_p 为采矿回收率 (%)；K_f 为采矿贫化率 (%)。

B. 当产品是精矿时

$$P = [Z_d \cdot \frac{C \cdot K_d \cdot (1 - K_f)}{C_d} - (S_e + S_m + S_d)] \cdot Q \cdot \frac{K_p}{1 - K_f} \quad (9-3)$$

式中：P 为总利润 (元)；Q 为矿床储量 (t)；C 为矿石平均品位 (%)；C_d 为精矿平均品位 (%)；K_d 为选矿回收率 (%)；Z_d 为 1t 精矿的价格 (元)；S_e 为 1t 矿石应偿还的勘查成本 (元)；S_m 为 1t 矿石的开采成本 (元)；S_d 为 1t 矿石选矿成本 (元)；K_p 为采矿回收率 (%)；K_f 为采矿贫化率 (%)。

C. 当产品是金属时

$$P = [Z_{os} - (S_e + S_m + S_d + S_s)] \cdot Q \frac{K_p}{(1 - K_f)} \quad (9-4)$$

式中：P 为总利润 (元)；Q 为矿床储量 (t)；Z_{os} 为 1t 矿石加工金属后的价格 (元)；S_e 为 1t 矿石应偿还的勘查成本 (元)；S_m 为 1t 矿石的开采成本 (元)；S_d 为 1t 矿石的选矿成本 (元)；S_s 为 1t 矿石的冶炼成本 (元)；K_p 为采矿回收率 (%)；K_f 为采矿贫化率 (%)。其中 Z_{os} 按下式求出

$$Z_{os} = Z_s \cdot \frac{C \cdot K_d \cdot K_s \cdot (1 - K_f)}{C_s}$$

式中：Z_s 为 1t 金属的价格 (元)；C 为矿石平均品位 (%)；C_s 为冶炼产品金属含量 (%)；K_d 为选矿回收率 (%)；K_s 为冶炼回收率 (%)；K_f 为采矿贫化率 (%)。

以上计算结果，如果 P>0，则说明 1t 矿石的提取价值大于 1t 矿石勘查成本，开采成本，选矿成本及冶炼成本，开发该矿床是有利可图的，反之则出现亏损。总利润 (P) 是期呈总利润，尚应扣除矿山的基建投资 (J)。

2. 投资利润率

系指矿山企业在正常情况下，年净利润额与矿山建设总投资额之比，为单位投资所创造的利润，是衡量投资利润水平的指标。

$$PR = \frac{P}{J} \times 100\% \quad (9-5)$$

式中：PR 为投资收益率；P 为矿山企业年净利润 (元)；J 为矿山建设投资总额 (元)。

3. 投资收益率

考虑到将折旧费用也列为收益，可按下式计算投资收益率：

$$RR = \frac{P + DE}{J} \times 100\% \quad (9-6)$$

式中： RR 为投资收益率； DE 为年折旧费（元）； J 为基建投资总额（元）； P 为年净利润（元）。

关于投资收益率各国家应达到的标准不一致，我国在1979年国务院规定投资收益率应达到6%~8%。这实际上是很低的一个标准，国外一些工业发达国家规定投资收益率一般不低于5%~30%。

4. 投资回收期

投资回收期即为投资返本期，也就是投资收益率的倒数，即：

$$T = \frac{1}{RR} = \frac{J}{P + DE} \quad (9-7)$$

式中： T 为投资回收期（年）。

投资回收期越短越好，我国对投资回收期的规定，一般为8~10 a，但有些矿山企业可考虑不超过15 a。

（二）动态评价法

动态评价法考虑到在矿床开发整个时期内时间因素对货币的影响，故称计时评价法，其实质就是按一定贴现率，将矿山企业年获得的利润折算到评价时的值，以此来衡量矿床开发的经济价值和经济效益，因此也称之为贴现法。评价指标常用总现值、净现值、总现值比、净现值比、内部收益率、动态投资回收期等。

1. 总现值（PV）

计算总利润现值的公式如下

$$\begin{aligned} PV &= PV_1 + PV_2 + PV_3 + \dots + PV_n \\ &= \frac{A_1}{(1+r)^1} + \frac{A_2}{(1+r)^2} + \frac{A_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{A_n}{(1+r)^n} \end{aligned} \quad (9-8)$$

式中： PV 为总的利润现值（总现值）； $PV_1, PV_2, PV_3 \dots PV_n$ 分别为矿山企业第1, 2, 3, ... n 年利润现值； $A_1, A_2, A_3, \dots A_n$ 分别为矿山企业第1, 2, 3... n 年的分年开采期望利润； r 为贴现率。

上式可简化成

$$PV = \sum_{t=1}^n A_t \cdot \frac{1}{(1+r)^t} \quad (9-9)$$

式中： A_t 为矿山企业第 t 年的开采期望利润； t 为开采年份， $t=1, 2, 3, \dots n$ 。

矿山企业的利润一般按年度计算，如果开采过程中，每年获得的利润为一常量，即每年获得的利润额相等（ $A_1 = A_2 = A_3 \dots A_n = A$ ），则可用等比数列前 n 项求和的公式，推导出以下总现值的计算公式即漠尔基勒公式：

$$PV = A \cdot \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right] \quad (9-10)$$

式中： $\left[\frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right]$ 为等额多次支付现值系数，其值可查复利表求得。

2. 净现值 (NPV)

净现值是目前西方国家广泛采用的一种矿床动态经济评价的指标。经营矿山得到的实际利润等于储量价值利润与企业建设投资所得利润之和, 即:

实际利润额 = 矿床储量价值利润额 + 基本建设投资及其利润额
移项得

矿床储量价值利润额 = 实际利润额 - 基本建设投资及其利润额
然后按统一的贴现率分别折算到某一基准时间, 则得

矿床储量价值的现值 = 实际利润现值 - 基本建设投资的现值

实际上, 矿床储量价值的现值就是矿床的净现值。上述关系式用下公式表示:

$$NPV = PV - J$$

$$NPV = \sum_{t=1}^n A_t(1+r)^{-t} - \sum_{t=0}^n J'_t(1+i)^t \quad (9-11)$$

式中: NPV 为净现值; PV 为总现值; J 为基建投资现值; A_t 为矿山企业第 t 年的开采期望利润; t 为开采年份, $t=1, 2, 3, \dots, n$; r 为贴现率; J'_t 为第 t 年投资额; i 为年利率; P 为矿山基建周期。

如果年利润为常量, 即 $A_t = A$, 基建周期为 P 年, 每年年末等额贷款为 J_t , 贷款年利率为 i , 则 NPV 值可按下式计算:

$$NPV = A \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right] - J'_t \left[\frac{(1+r)^p - 1}{r} \right] \quad (9-12)$$

如要基建时间较长, 则以基建开始时为贴现的基准时间, 此时计算净现值的公式:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n+p} A_t(1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^n A_t(1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^n J'_t(1+r)^{-t}$$

式中右端第一项为整个开采和基建期间 $n+P$ 年里的贴现利润总额, 但基建时间并没有利润发生, 故从中扣除该时期的贴现利润额, 即式中第二项。第三项为整个基建时期的贴现投资额。综上, 如果评价矿床预期的净现值大于零, 说明该矿床通过开发且能取得大于基准收益率的良好经济效益, 在经济上是可取用的。

3. 总现值比 (PVR)

$$PVR = \frac{\sum_{t=1}^n A_t(1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^p J_t(1+i)^t} \quad (9-13)$$

式中: PVR 为总现值比, 分子是矿山全采期总现值, 分母是矿山基建时期总投资的现值; A_t 为矿山企业第 t 年的期望利润; n 为矿山企业服务年限, $t=1, 2, 3, \dots, n$; r 为贴现率; J_t 为矿山企业第 t 年的基建投资; P 为矿山企业基建周期, $t=1, 2, 3 \dots P$; i 为贷款利息率。

4. 净现值比 (NPVR)

净现值比是净现值与全部投资额现值和的比值, 其含义是单位投资的现值所“创造”的净现值收益, 即

$$NPVR = \frac{NPV}{J} \quad (9-14)$$

式中：NPVR 为净现值比；NPV 为净现值（有正或负）；J 为投资的现值和。

净现值比大，说明单位投资取得的净现值大，经济效益好，反之则经济效益差。

5. 内部收益率 (IRR)

内部收益率就是求出这样一个收益率，它使矿床评价期内逐年现金流入现值之和等于逐年现金流出的现值之和，即各年净现值累计和等于零时的收益率。它是反映评价对象经济效益的一项基本指标，又称动态投资收益率，或贴现收益率。

生产期的逐年现金收入的现值 = 建设期逐年投资现金支出的现值，即

$$\begin{aligned} A_1 \frac{1}{(1+r)^1} + A_2 \frac{1}{(1+r)^2} + \dots + A_n \frac{1}{(1+r)^n} \\ = J'_1(1+r)^p + J'_2(1+r)^{p-1} + \dots + J'_p(1+r) \end{aligned} \quad (9-15)$$

式中： A_1, A_2, \dots, A_n 为矿山企业生产期逐年现金流入； J'_1, J'_2, \dots, J'_p 为矿山企业建设期逐年现金流出； p 为矿山企业建设周期； n 为矿山企业生产周期； r 为所要求的投资收益率。

如果建设期每年的投资额相等，均为 J'_1 生产期每年期望利润（实际利润）相等，均为 A ，则

$$A \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} = J'(1+r) \cdot \frac{(1+r)^p - 1}{r}$$

移项得
$$A \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} - J'(1+r) \cdot \frac{(1+r)^p - 1}{r} = 0 \quad (9-16)$$

当 A, J, n 及 p 等已知时，则可求出 r ，即为内部收益率。在实际工作中，内部收益率 (IRR) 可用计算机或专用小型计算器计算，也可用内插法计算。内插法求解 r (IRR) 时，必须先进行试算，即选定 r_1 和 r_2 两个贴率代入上式的左端分别计算净现值，一个使 $NPV(r_1)$ 为正值，另一使 $NPV(r_2)$ 为负值，说明内部收益率在这两个贴率之间，然后用内插法求出 r 。

内部收益率是矿床经济评价的重要指标。计算出投资收益率后，将其与基准收益率相比较，大于基准收益率，经济效益好。目前我国尚无统一的基准收益率指标，不同矿山可参考下列数值：黑色金属矿山 8%~10%；有色金属矿山 8%~12%；贵金属矿山 10%~15%；化工矿山 7%~10%。

6. 动态投资回收期

动态投资回收期是在考虑投资利息的情况下，回收全部投资所需的时间。计算公式可由资金回收公式推导

$$J_i = J \cdot \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (9-17)$$

式中： J 为原始投资； J_i 为年投资偿还额； i 为年利率； T 为投资回收期。

令 $PV=J, n=T$ 则

$$J_i = J \cdot \left[\frac{i(1+i)^T}{(1+i)^T - 1} \right]$$

移项整理后得

$$J[(1+i)^T - 1] = J \cdot i(1+i)^T$$

$$(1+i)^T = \frac{1}{1 - \frac{J \cdot i}{J}}$$

两边取对数得

$$\lg(1+i)^T = \lg \left[\frac{1}{1 - \frac{J \cdot i}{J}} \right]$$

$$T \lg(1+i) = -\lg \left(1 - \frac{J \cdot i}{J} \right)$$

$$T = \frac{-\lg \left(1 - \frac{J \cdot i}{J} \right)}{\lg(1+i)}$$

下面举例说明投资回收期的计算。

例：某拟建矿山投资总额 7500 万元，预计投产后每年获期望利润 1000 万元，假定银行贷款利率为 0.10，试求动态及静态的投资回收期。

$$\text{动态投资回收期 } T = \frac{-\lg \left[1 - \frac{J \cdot i}{J} \right]}{\lg(1+i)} = \frac{-\lg \left[1 - \frac{7500 \times 0.10}{1000} \right]}{\lg(1+0.10)} = 14.5\text{a}$$

$$\text{静态投资回收期 } T = \frac{J}{P} = \frac{7500}{1000} = 7.5\text{a}.$$

四、矿床国民（宏观）经济评价

矿床的国民经济评价亦称矿床宏观经济评价，它是从国家或社会角度出发，在全面考察矿床工业开发的直接经济效益与密切相关的间接经济效益，生产环节的经济效益和流通、消费环节的经济效益基础上，来评价矿床工业开发的预期经济效益和社会效益。

评价指标常采用以下各项：

（一）经济效益指标

1. 国民收入净增值与国家净收益

它是反映评价对象对国家贡献的一项静态绝对效益指标。国民收入净增值的表达式为：

$$\sum_{t=0}^N VA_t = \sum_{t=0}^N P_t + \sum_{t=0}^N W_t \quad (9-18)$$

式中： VA_t 为第 t 年国民收入净增值； P_t 为第 t 年国家净收益； W_t 为第 t 年的工资额； t 为评价期的年份， $t=0, 1, 2, \dots, N$ 。

国家净收益包括税金、净利润和国内贷款利息等。表达式为：

$$\sum_{t=0}^N P_t = \sum_{t=0}^N [PO_t - (MI_t + J_t + W_t + RP_t)] \quad (9-19)$$

式中： P_t 为第 t 年国家净收益； PO_t 为第 t 年的产出值（社会总产值）； MI_t 为第 t 年不包括折旧、流动资金利息，工资和福利基金的投入价值； J_t 为第 t 年的投资，包括建设期贷款利息； W_t 为第 t 年的工资； RP_t 为第 t 年流入国外的资金； t 为评价期年份 $t=0, 1, 2, \dots, N$ 。

将 (9-18) 式代入 (9-19) 式得：

$$\sum_{t=0}^N VA_t = \sum_{t=0}^N [PO_t - (MI_t + J_t + W_t + RP_t)] \quad (9-20)$$

上式即为按生产法计算国民收入净增值的一般表达式。

2. 国民收入净增值的现值

国民收入净增值的现值是将各年的国民收入净增值，按照一定的社会贴现率，折算到某一基准年的现值之和，其计算公式如下：

$$\sum_{t=0}^N PVA = \sum_{t=0}^N [PO_t - (MI_t + J_t + W_t + RP_t)] \cdot a_t \quad (9-21)$$

式中： a_t 为 t 年按社会贴现率(r)得到的贴现系数， $a_t = (1+r)^{-t}$ ；其余符号意义同前。

国民收入净增值属于动态指标。

3. 国家净收益现值

国家净收益现值属动态绝对收益指标，是将各年的国家净收益，按照一定的社会贴现率，折算某一基准年的现值之和，其计算公式如下：

$$\sum_{t=0}^N PP_t = \sum_{t=0}^N [PO_t - (MI_t + J_t + W_t + RP_t)] \cdot a_t \quad (9-22)$$

式中符号意义同前。

4. 投资国民收入净增值率

投资国民收入净增值率是指矿床经过开发期间正常年份所创造的国民收入净增值与矿床勘查及开发总投资额的比率，其计算公式为：

$$E_c = \frac{VA}{J} \times 100\% \quad (9-23)$$

式中： J 为矿床勘查及开发总投资； E_c 为国民收入净增值率； VA 为国民收入净增值。

该指标属静态相对效益指标，表明单位投资能创造的国民收入净增值，多用于不同项目、不同方案的比较。

5. 投资国家净收益率

投资国家净收益率是指与矿床开发期间正常年度所创造的国家净收益与矿床勘查及开发总投资额的比率。其计算公式为：

$$E_p = \frac{P}{J} \times 100\% \quad (9-24)$$

该指标属于静态相对效益指标。

6. 投资国民收入净增值现值比

投资国民收入净增值现值比是国民收入净增值现值和矿床勘查及开发总投资现值的比率。反映评价项目单位投资为国民经济所做贡献的动态相对效益指标。其计算公式为：

$$PE_c = \frac{PVA}{PJ} \quad (9-25)$$

7. 投资国家净收益现值比

是国家净收益现值和矿床勘查及开发总投资现值之比率，也是动态相对效益指标。其计算公式为：

$$PE_p = \frac{PP}{PJ} \quad (9-26)$$

国民收入净增值分析包括绝对效果分析和相对效果分析两种，前者叫筛选评价，后者叫排队评价。

进行国民收入净增值绝对效果评价时，若国民收入净增值的现值和大于零，则：

$$\sum_{t=0}^N [PO_t - (MI_t + J_t + RP_t)] \cdot a_t > 0 \quad (9-27)$$

说明投资项目达到了要求的社会贴现率。项目建成后对国民经济发展有贡献，项目方可成立。

8. 国家收益率（或称社会收益率）

国家收益率是按调整价格和调整汇率计算的国家收益（社会盈余）的现值和等于零的贴现率，即

$$\sum_{t=0}^N [PO_t - (MI_t + J_t + RP_t)] \cdot \frac{1}{(1+r)^t} = 0 \quad (9-28)$$

时的贴现率 r ，式中： PO_t 为第 t 年产出价值（即社会总产值）； MI_t 为第 t 年不包括折旧、流动资金利息、工资和职工福利基金的投入价值； J_t 为第 t 年的投资，包括建设期贷款利息； W_t 为第 t 年的工资； RP_t 为第 t 年流入国外的资金，包括国外贷款利息，国外股本及利息、外籍人员的工资； t 为评价期年份， $t=0, 1, 2, \dots, N$ ； r 为贴现率。

国家收益率或社会收益率可采用内插法计算。该项指标属于动态相对效益指标。

9. 净外汇效果

净外汇效果是指标对涉及外项目来说的一个重要的指标，当评价项目与外资、外贸有关，矿产品可供出口或可减少进口量时，就要计算净外汇效果。

净外汇效果是指外汇流入与流出的差额的现值，即外汇流量的现值。外汇流入包括出口产品的销售收入，可以取代进口所节约的外汇价值，外汇贷款和国家股本等；外汇流出包括购买国外设备、材料、专利权等外汇支出，以及支付外籍人员工资，偿付国外贷款的本金及利息、股本与红利等。净外汇效果的表达方式为：

$$P(FE) = \sum_{t=0}^N (FI_t - FO_t) \cdot a_t \quad (9-29)$$

式中： $P(FE)$ 为净外汇效果，即项目寿命期内净外汇流量的现值； FI_t 为项目在第 t 年的外汇流入， $t=0, 1, 2, \dots, N$ ； FO_t 为项目在第 t 年的外汇流出， $t=0, 1, 2, \dots, N$ ； a_t 为第 t 年对应社会贴现率的贴现系数。

10. 换汇率与创汇率

换汇率是指出口产品的年矿山完全成本（人民币）同换回外汇（美元）的比例，也即用 100 元人民币的矿产品可以换回多少美元的外汇。可用下式表示：

$$\text{换汇率} = \frac{\text{年外汇销售收入(美元)}}{\text{年矿山完全成本(人民币元)}} \times 100\% \quad (9-30)$$

其中：

年外汇销售收入 = 出口产品销售价格（离岸价格）× 出口产品销售量；

年矿山完全成本（年销售成本）= 矿山生产成本 +（年销售费 + 年管理费用）。

$$\text{创汇率} = \frac{\text{年外汇销售收入}}{\text{原进口支付外汇额}} \times 100\% \quad (9-31)$$

原进口支付外汇额 = 原进口产品价格（到岸价格）× 原进口产品数量。

(二) 资源效益指标

在一定需求条件下，矿床技术经济评价是从供给的角度来满足需求程度，一般可用“矿产资源保证程度”与“矿产资源利用程度”两项指标来反映资源效益。

1. “矿产资源保证程度”指标

“矿产资源保证程度”通常用保证的需求年限来表示，以分析该矿产在时间衔接、空间分布、资源配套等方面满足国家或地方的需求程度，按国民经济远景需求量，现有开采水平、矿山设计能力以及实际开采矿石水平分别进行计算。“矿产资源保证程度”指标的高低从数量上反映了该矿产的稀缺程度，并为经济评价选用合理评价价格提供依据。

2. “矿产资源利用程度”指标

“矿产资源利用程度”指标是衡量“最大限度满足需求”原则，经常用来与盈利性指标进行权衡的一项重要效益指标，应综合反映矿产利用范围和提取净度两方面的成效。

在上述两项评价资源效益指标的实际运用中，既要考虑提高矿产资源对社会需求的保证程度和利用程度，又要力求矿山利益与资源充分利用，合理保护相统一，在最佳平衡中进行选择。

(三) 社会效益指标

矿床宏观经济评价，必须遵循经济效益与社会效益相结合的原则，对生态、环境、就业、分配等社会因素的影响，进行全面权衡，做出综合评价。

1. 就业效果指标

反映就业效果的指标有就业机会和投资就业系数。

就业机会是指评价对象所创造的就业人数，包括直接就业机会和间接就业机会。

投资就业系数是指单位投资创造的就业机会，一般用人数/万元来表示。评价项目的就业系数分为直接投资就业系数、间接投资就业系数和总投资就业系数3种。

直接投资就业系数就是项目本身直接提供的就业机会同它所需的基建总投资之比。计算公式为：

$$EC_d = \frac{EO_d}{J_d} \quad (9-32)$$

式中： EC_d 为拟建项目直接投资就业系数，人数/万元； EO_d 为项目本身直接提供的新的就业机会，人数； J_d 为项目本身的直接基建总投资，万元。

间接投资就业系数就是与拟建项目相关的其他配套项目所需的生产定员人数与这些项目基建投资之比。计算公式为：

$$EC_l = \frac{EO_l}{J_l} \quad (9-33)$$

式中： EC_l 为拟建项目的间接投资就业系数，人数/万元； EO_l 为相关配套项目提供的新的就业机会，人数； J_l 为相关配套项目的基建总投资，万元。

总投资就业系数就是指评价项目建成后，给社会带来的直接就业机会和间接就业机会的总效果。计算公式为：

$$EC_r = \frac{EO_r}{J_r} \quad (9-34)$$

式中： EC_r 为总投资就业系数，人数/万元； EC_r 为项目的直接和间就业机会之和，人数；

J_r 为项目的直接和间接投资之和，万元。

2. 分配效果指标

分配效果是指国家、企业和职工所得的收益在国民收入净增值中所占的比重，用百分数表示。主要包括以下几部分：

职工收入分配效果：就是职工收入在国民经济收入净增值中所占的比重。其计算公式为：

$$\text{职工收入分配效果} = \frac{\text{工资收入} + \text{福利}}{\text{项目国民收入年净增值}} \times 100\% \quad (9-35)$$

企业分配效果：是企业所获收益在国民收入净增值中所占的比重。其计算式为：

$$\text{企业(或部门)收入分配效果} = \frac{\text{企业留利}}{\text{项目国民收入净增值}} \times 100\% \quad (9-36)$$

国家（包括地区）收入分配效果：是指国家和地方财政所获收益在国民收入净增值中所占的比重。其计算公式为：

$$\text{国家(包括地区)收入分配效果} = \frac{\text{国家(包括地区)的收入}}{\text{项目国民收入净增值}} \times 100\% \quad (9-37)$$

不参加分配的增值，按下式计算：

$$\text{不参加分配的增值} = \frac{\text{扩建基金} + \text{设备基金} + \text{社会福利基金}}{\text{项目国民收入年净增值}} \times 100\% \quad (9-38)$$

上述 4 种分配效果之和应等于 1。对分配效果的评价是通过计算不同的分配比重，看其是否符合国家的规定，有利于社会发展。

五、不确定性分析

不确定性分析是研究技术方案中不确定因素（参数）对经济效益影响程度而进行的一种经济分析方法。

在矿床技术经济评价中，由于评价所依据的大部分数据，如产品销售价格、产量、成本和投资等都是预测和估算的数字，具有不确定性，加之影响矿床经济评价的某些地质资料和数据，如矿产储量和矿石品位等，大都是根据抽样观察的结果推断确定的，使得矿山建设项目不确定性的程度比其他工程项目更高。这些因素的不确定性，将使评价结果也不可避免地存在不确定性，使矿床开发决策具有较大的潜在风险，容易造成决策上的失误。为了尽量查明和减少不确定性因素对评价的影响，使评价结果更好地为决策服务，就必须进行不确定性分析。

不确定性分析通常包括盈亏平衡点分析和敏感性分析。

1. 盈亏平衡点分析

盈亏平衡点是企业盈亏的分界点，在盈亏平衡点上，企业的收入与支出相等。众所周知，影响盈利大小的直接因素主要有 3 个，即单位产品销售价格、成本和产品数量。盈亏平衡点分析就是通过改变售价、成本和产品数量等因素，引起盈亏平衡点移动的方法来分析其不确定性。采用这种方法可以确定企业在某一生产能力水平时的盈利情况。当它们的关系均为线性关系时，叫线性盈亏平衡点分析。

2. 敏感性分析

影响矿床经济效益指标的不确定因素很多，而且每个因素的影响程度不尽相同，有的使经济效益降低，有的则使经济效益提高。所谓敏感性分析就是研究对经济评价起作用的

各个因素，在它们发生变化的时候，对矿山开发经济效益的影响如何，也就是研究反映矿床经济效益的指标（例如投资收益率、投资返本期或净现值等），随其影响因素（例如储量、品位、售价、成本和投资等）的不同给定值而变化的规律。敏感性的强弱，是指经济效益指标发生较大的变化，则说明该指标对这种因素敏感性强，灵敏度大。因此，敏感性分析也称敏感分析或灵敏度分析。

敏感性分析是矿床经济评价中常用的一种研究不确定性的方法。通过敏感性分析，可以掌握每个因素的变化与经济效益的关系，了解相互变化的规律和数量关系，找出影响矿床经济价值和经济效益的有利因素和不利因素，以及影响矿山开发经济生命力的最关键因素，从而为决策者和经营者提供科学依据。

六、矿床的综合评价

综合评价是在矿床企业和国民经济评价基础上对评价项目进行全面系统的论证和分析，并提出决策取舍的建议。

综合评价方法常用的有以下几种。

（一）加法评分法

首先将各个方案的评价内容，按实现程度分成若干等级，分别确定各等级的评分标准，然后根据各方案对评价内容的满足程度按标准打分，最后计算各方案的综合单目标数值，视其大小确定各方案的优劣。

评分标准可以采用五分制、百分制或者其他打分制，例如，把满足程度分为 5 个等级，完全满足的为 100 分，基本满足的为 80 分，中等满足的为 60 分，较少满足的为 40 分，不能满足的为 20 分。究竟采用何种打分制，要视具体情况而定，以能清楚地反映各等级之间的差异程度为前提。

加法评分法就是把各个评价内容的得分数相加，求得总分数值或平均分数值，即为综合单目标值。其计算公式为：

$$U_{(加)} = \sum_{j=1}^n U_j \quad \text{或} \quad U_{(加)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_j \quad (9-39)$$

式中： $U_{(加)}$ 为各个评价方案得分总和； $U_{(加)}$ 为各个评价方案总平均分数； U_j 为第 J 项评价内容的得分数， $J=1, 2, \dots, n$ 为被评价内容的项目数。

以上是假定每项评价内容的重要性程度都相等的情况下所采用的公式。如果每项评价内容的重要性程度不同，有的内容十分重要，有的内容不太重要，此时应根据每个内容的重要程度的差异分别给予不同的重要性系数，重要的内容其重要性系数大一些，不太重要的内容其重要性系数小一些。然后按下式计算每个方案的综合单目标数值。

$$U_{(乘)} = \sum_{j=1}^n X_j \cdot U_j \quad \text{或} \quad U_{(乘)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j \cdot U_j \quad (9-40)$$

式中： X_j 为每个评价内容根据它的重要性程度所确定的重要性系数。

加法评分法得出的综合单目标数值应是越大越好。

（二）乘法评分法

它是将各个评价内容得分数的连乘积或开方后的数值作为综合单目标数值的评分方法。其计算公式为：

$$U_{(\text{乘})} = U_1 \cdot U_2 \cdot \dots \cdot U_n \quad \text{或} \quad U_{(\text{乘})} = \sqrt[n]{U_1 \cdot U_2 \cdot \dots \cdot U_n} \quad (9-41)$$

乘法评分法得出的综合单目标数值应是越大越好。

(三) 加乘混合评分法

它是加法评分与乘法评分法的结合。其计算公式为：

$$U_{(\text{加乘})} = U_{(\text{加})} + U_{(\text{乘})} \quad \text{或} \quad U_{(\text{加乘})} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_j + \sqrt{U_1 \cdot U_2 \cdot \dots \cdot U_n} \quad (9-42)$$

式中： $U_{(\text{加乘})}$ 为加乘混合法计算的综合单目标数值，该值应该是越大越好。

以上3种方法的计算结果，其数值都应是越大越好。实际应用时，要根据具体情况有选择的应用这3种方法。当评价项目得分差距较大而重要程度差异不大时，采用加法评分法较好；得分差距不大，而重要程度差异较大时，采用连乘法评分为宜；得分和重要程度差异都很小时，采用加法评分法和连乘评分法皆合适；加乘混合法适于任何情况。

(四) 其他定量评分法

在矿床经济评价中往往采用指标体系，其中有一类评价指标，如投资收益率，净现值、就业效果等指标希望越大越好，而另一类评价指标，如投资回收期、资源损失率，环境污染等评价指标希望越小越好。此时，就可以采用除法评分法求得综合单目标数值。其计算公式为：

设有 m 个目标（或评价指标） $F_1(x), F_2(x), \dots, F_m(x)$ ，其中有 K 个目标（或评价指标），即 $F_1(x), F_2(x), \dots, F_K(x)$ ，要求求得的指标值越小越好；其余的 $m-K$ 个指标，即 $F_{K+1}(x), F_{K+2}(x), \dots, F_m(x)$ ，要求求得的指标值越大越好，各设 $F_{K+1}(x), F_{K+2}(x), \dots, F_m(x) > 0$ ，此时可以建立以下综合评价函数：

$$U_{(x)} = \frac{F_1(x) \cdot F_2(x) \cdot F_3(x) \cdot \dots \cdot F_K(x)}{F_{K+1}(x) \cdot F_{K+2}(x) \cdot \dots \cdot F_m(x)} \rightarrow \min \quad (9-43)$$

值得特别指出的是应用此法时，首先必须对每个目标值预先定出一个标准值，并根据下式对目标值进行标准化，以便统一各目标量纲。

$$F_{ij} = F_{ij} / F_{in} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9-44)$$

式中： F_{ij} 为已标准化的目标值； F_{ij} 为未标准化的目标值； F_{in} 为目标值的标准值； m 为每个方案的目标数； n 为参与评价的评价方案数。

对于要求越大越好的目标值，其标准值取 $F_{in} = \max \{ F_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m; J = 1, 2, \dots, n \}$ 此时， $1 < F_{in} \leq 1$ ，且 F_{in} 越大越好。

对于要求最小的目标值，其标准值取 $F_{in} = \min \{ F_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m; J = 1, 2, \dots, n \}$ 。此时， $1 < F_{in} < \infty$ ， F_{in} 越小越好。

这样求得的综合单目标数值，求最小值，解得的最优解，即是最优解。

除上述除法评分法外，还有最小二乘法和穆迪图法，也可用于多方案、多目标的综合评价。

最小二乘法又称目标规划法。这种方法对每个评价内容设置一个预想的目标值，然后用评价计算获得的实际值与目标值相对应。这个预想的目标值是最高标准，一般情况都不能达到，两者之间总有一定差距。如果哪个方案的这两个数值的差距最小，那么这个方案的综合经济效益也就最好。该法计算综合单目标数值的公式为：

$$U = \sqrt{\sum_{j=1}^n x_j \left[\frac{U_j - U_{j0}}{U_{j0}} \right]^2} \quad (9-45)$$

式中： U_j 为每个评价内容的实际值； U_{j0} 为每个评价内容的目标值； x_i 为每个评价内容根据它的重要程度所确定的重要性系数。

用此法求得的综合单目标值应该越小越好，越想说明实际值越逼近目标值。

应用此法时，首先必须对每个目标值预先确定一个理想的目标值，然后需对有量纲的目标值进行标准化，采用实际目标值与理想目标值之比来进行，最后将标准化的目标值代入综合单目标数值公式 (9-45)。根据求得的综合单目标值的大小排选，以目标值最小者为最优，目标数值最大者为最差。

上边介绍的最小二乘法，在国内也称理想点法。之所以称理想点法，是因为在一般情况下是不可行的，然而却是决策者希望能够达到的目标。

第三节 矿产资源的可持续利用 ——矿床最佳开采决策模型

对于不同类型的自然资源，可持续利用具有不同的含义。矿产资源又称可耗竭资源，因为不可再生和资源消耗的不可逆性，所以其可持续利用实际上是最优耗竭问题。汪丁丁 (1993) 把矿产资源的开采比喻为一个初始量给定的，只能流出不能流进的水池，进而研究怎样放水才能使总的利润最大化。这说明矿产资源存量固定而且有限，增加目前的开发利用就意味着减少未来的开发利用。每个时期消耗资源越多，可以延续开发利用的期限就越短。矿产资源的开发利用是一种多时期生产活动，其成本和收益涉及较长的时期。因此，矿产资源的可持续利用就是要把企业和社会的资源利用决策过程规范化，寻求有效利用矿产资源的基本条件，确定不同时期的合理开采规模，从而获得最大总收益。

一、两时段矿床最佳开采决策模型

假设：

- (1) 资源的边际开采成本在两个时期内是不变的，且以不变的方式供给；
- (2) 在两个时期内对资源的需求是不变的，且边际支付意愿的方程式为 $P=8-0.4q$ ；
- (3) 在两个时期内边际成本 MC 也是不变的，且单价为 2 元/t (图 9-1)。

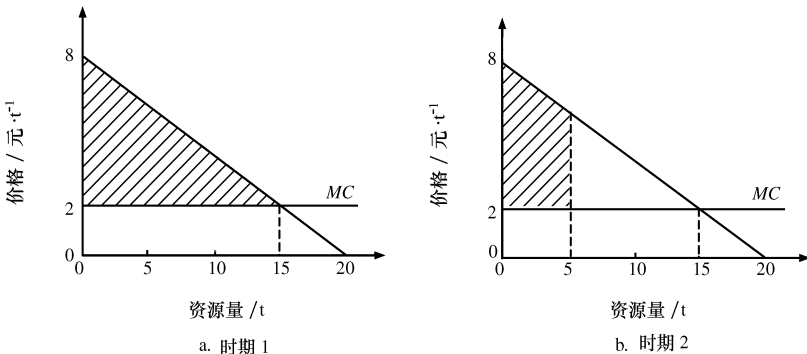


图 9-1 充足的耗竭资源在不同时期的配置

从图 9-1 可以看出, 如果资源总供给量为 30 t 或 30 t 以上时, 在两个时期内的配置就很容易实现高效率 (暂不考虑贴现率), 因为每个时期都能得到本期所需要的 15 t 资源量, 分别实现本期的高效率; 时期 1 对资源的需求量不会减少资源对时期 2 的供给量。然而, 当资源的有效供给量小于 30 t 时, 就会出现另一种情况。

假设资源的有效供给量为 20 t, 为了实现高效率的资源配置, 就要使这 20 t 资源在两个时期内的净效益现值之和达到最大化。净效益现值之和的求法可用下面例子说明。假设分配给时期 1 的资源为 15 t, 分配给时期 2 的资源为 5 t。则时期 1 的净效益现值就等于图 9-1a 中阴影部分的面积 (45 元); 时期 2 的净效益现值就等于图 9-1b 中阴影部分的面积除以 $1+r$ (r 是贴现率)。如果贴现率 $r=0.10$, 那么时期 2 净效益现值就是 $25 \div (1+0.1) = 22.73$ 元。因此, 两期的净效益现值之和就等于 $45+22.73=67.73$ 元。

为了找到使两个时期净效益现值最大的资源配置方案, 可以通过计算找出时期 1 资源配置量 (q_1) 和时期 2 资源配置量 (q_2) 所有可能的组合 ($q_1+q_2=20$), 然后挑选出其中净效益现值最大的配置组合。

实现资源高效率配置的必要条件是, 时期 1 使用的最后 1 t 资源的边际净效益现值等于时期 2 使用的最初 1 t 资源的边际净效益现值。不需要复杂的数学知识, 这个原则也很容易理解。为此, 我们用一种简单直观的图形来表示两个时期的资源配置问题 (图 9-2)。

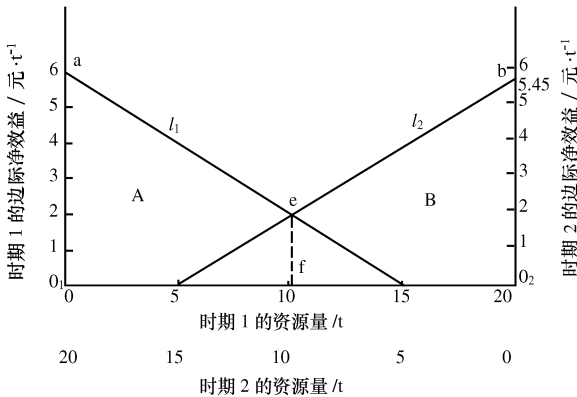


图 9-2 稀缺的可耗竭资源在不同时期的高效率配置

图 9-2 中 l_1 和 l_2 分别表示时期 1 和时期 2 的边际净效益现值曲线, 时期 1 的边际净效益现值曲线从左往右读, 时期 2 的边际净效益现值曲线从右往左读。 l_1 与纵坐标交点 a 为 6 元, 因为最大边际净效益等于最大边际效益 (8 元) 减去边际成本 (2 元)。假设贴现率 $r=0.1$, 则 l_2 与纵坐标交点 b 为 $6 \div (1+0.1) = 5.45$ 元。 l_1 和 l_2 相交于点 e。这样, 两个时期总的净效益现值就等于 $aeb_0_2_0_1$ 围成的面积。 e 点为高效率资源配置点, 因为在这一点上两个时期净效益现值之和最大 (此时面积最大)。如图可见, 分配给时期 1 的资源量为 10.238, 分配给时期 2 资源量为 9.762。

以上的模型是在健全的市场和合理的政府调节条件下建立起来的。同时, 由于我们这里分析的是稀缺的可耗竭资源, 所以还必须考虑由于资源稀缺产生的额外的边际成本, 在

这里，我们称之为边际使用成本^①（即图中 ef 所示）。边际使用成本是指在边际上失去的机会成本的现值。由于可耗竭资源的供给是固定、有限的，今天多使用一个单位的资源，就意味着放弃将来使用一个单位的资源。因此，今天决定使用一定数量的资源，就意味着放弃将来使用该资源的净效益。

在一个有效的市场中，不但要考虑边际开采成本，而且要考虑边际使用成本。如果资源是不稀缺的，资源价格就等于边际开采成本；如果资源是稀缺的，资源价格就等于边际开采成本加上边际使用成本。边际使用成本主要是受贴现率影响。贴现率的大小反映了人们对边际使用成本的评价。在上面的模型中，由于正贴现率的存在，使得时期 1 比时期 2 获得更多的资源。贴现率越大，边际使用成本就越小，时期 2 获得的资源也就越少，所以贴现率的大小，表明了当代人对边际使用成本的评价和代际之间的资源配置。

二、多时段矿床最佳开采决策模型

假设前面的需求曲线和边际成本曲线仍然保持不变，时间由两个时期延长到 n 个时期，资源的供给量也相应增加（图 9-3）。

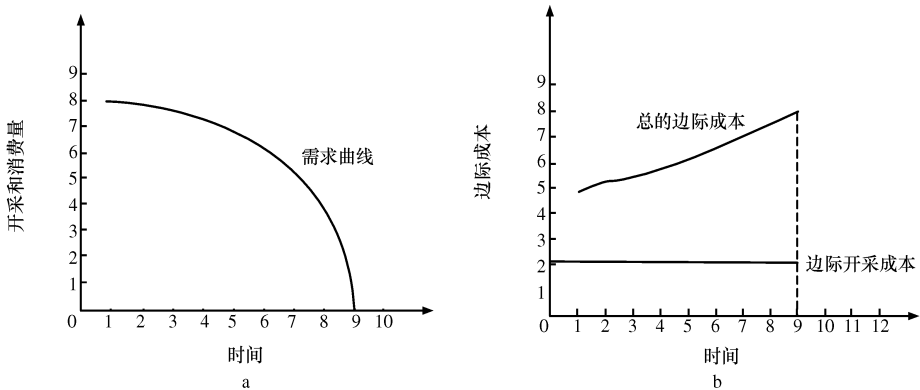


图 9-3 在没有替代资源时，可耗竭资源在不同时间的开采数量和边际成本

图 9-3a 表示资源开采量在时间上的变化。图 9-3b 表示资源的总边际成本和边际开采成本随时间的变化，总边际成本和边际开采成本之差就是边际使用成本。

从图中可以看出，尽管边际开采成本保持不变，但边际使用成本是不断增加的。边际使用成本的增加反映了资源稀缺程度的增加和资源开采量随时间而逐渐降低至零。在图 9-3 中，当时间为 9，总边际成本为 8 元时，开采量为零。在这一点上，总边际成本等于人们愿意支付的最高价格，因此，由于边际使用成本的增加，而导致总边际成本的增加，实现资源的供给和需求同时为零。从这个例子中可以看出，即使边际开采成本没有增加，有效配置，也能够使资源逐步耗竭，而避免了突然耗竭。

^① 如果是不稀缺的可耗竭资源（这仅为理论上的假设），或者是可更新资源，且开发速率小于或等于其再生速率，则不存在边际使用成本。

参考文献

- 《地质经济管理概论》编写组, 1982. 地质经济管理概论. 地质出版社
- A. Б. 卡日丹. 1990. 《矿产的普查与勘探》. 中国地质大学出版社
- B. М. 克列特列, 赵鹏大等译. 1963. 《矿床的普查与勘探》下册. 中国工业出版社
- 北京地质学院, 长春地质学院. 1962. 《找矿勘探地质学》上册. 中国工业出版社
- 北京地质学院, 长春地质学院. 1964. 《找矿勘探地质学》下册(修订本). 中国工业出版社.
- 玻璃硅质原料、饰面石材、石膏、温石棉、硅灰石、滑石、石墨、矿产地质勘查规范(DZ/T 0207-2002)
- 长春地质学院. 1979. 《找矿方法》. 地质出版社
- 长春地质学院矿床勘探教研室. 1979. 《矿床勘探》. 地质出版社
- 陈毓川. 1997. 矿床的成矿系列研究现状与趋势. 《地质与勘探》, 第1期
- 成都地质学院, 昆明工学院. 1980. 《找矿勘探学》上中册, 地质出版社
- 池三川编著. 1988. 《隐伏矿床(体)的寻找》. 中国地质大学出版社
- 池顺都. 1983. 矿体标志值的统计特征与空间特征. 《地质与勘探》, 第九期
- 崔传进. 1991. 《找矿勘探地质学》. 吉林科学技术出版社
- 邓良基主编. 2002. 遥感基础与应用. 北京: 中国农业出版社
- 邓涛声, 孔祥明. 地电提取法寻找铅锌矿的试验与效果. 《地质与勘探》, 第4期
- 地质部. 1980. 固体矿产普查勘探地质报告编写规定. 地质出版社
- 高岭土、膨润土、耐火粘土矿产地质勘查规范(DZ/T 0206-2002)
- 固体矿产勘查/矿山闭坑地质报告编写规范(DZ/T 0033-2002)
- 国家地质总局. 1977. 金属矿床地质勘探规范总则. 地质出版社
- 国家地质总局等. 1977. 非金属矿床地质勘探规范总则. 地质出版社
- 国家地质总局书刊编辑室. 1978. 《金属非金属矿产地质普查勘探采样规定及方法》. 地质出版社
- 国家技术监督局. 1999. 《固体矿产资源/储量分类》国家标准(GB/T1776-1999)
- 侯德义. 1983. 论矿产资源的工业评价. 《地质技术经济与管理》, 1983年. 第二期
- 侯德义主编. 1984. 《找矿勘探地质学》. 地质出版社
- 侯景儒等. 1978. 地质统计学中估计矿块品位的克里格法. 《地质与勘探》, 第三期
- 侯景儒等编著. 1982. 《地质统计学及其在矿产储量计算中的应用》, 16~46页. 地质出版社
- 霍古林(Greg Hall)编, 肖振民译. 1999. 澳大利亚矿产资源和矿石储量报告规范
- 蒋志. 1983. 矿体平均品位、矿石量和金属储量与边界品位间之关系. 《地质与勘探》, 第九期
- 李长江, 麻士华等著. 1999. 矿产勘查中的分形、混沌与ANN. 北京: 地质出版社
- 李宏. 1987. 矿产资源的特点及在国民经济中的作用. 《矿山地质》, 第二期
- 李铁映, 张昕. 1984. 预测决策方法. 辽宁科学技术出版社
- 李万亨编著. 2000. 《矿产经济与管理》. 武汉: 中国地质大学出版社
- 李万亨编著. 2000. 《矿业权评估概论》. 北京: 地质出版社
- 李万亨等. 1995. 《矿产资源经济学》. 武汉: 中国地质大学出版社
- 李祥仪, 李仲学编著. 2001. 矿业经济学. 北京: 冶金工业出版社
- 磷矿地质勘查规范(DZ/T 0209-2002)
- 刘安洲等著. 1991. 《成矿信息论与大比例尺矿产靶区定量预测》. 吉林大学出版社
- 刘鹏鸷. 1987. 断裂构造对石英脉型金矿的控制作用. 《世界地质》(构造地质专辑)
- 刘鹏鸷. 1995. 新疆哈国金矿地质地球化学特征及其成矿作用. <黄金>, 第九期
- 刘鹏鸷. 1996. 试论隐伏金矿体的预测精度. 《地质与勘探》, 第1期
- 刘鹏鸷, 郗爱华, Siaka, Dlawara. 1996. 河北省碾子沟金矿形成条件及隐伏矿形成条件及隐伏矿体预测准则《地质与勘探》, 第6期
- 刘鹏鸷等. 1987. 新疆西准噶尔金矿地质地球化学及找矿方向研究. 吉林科学技术出版社

刘石年. 1993. 《成矿预测学》. 中南工业大学出版社

硫铁矿地质勘查规范 (DZ/T 0210-2002)

卢作祥. 1992. 《成矿规律与成矿预测学》. 中国地质大学出版社

铝土矿、冶镁菱铁矿地质勘查规范 (DZ/T 0202-2002)

罗先熔. 1992. 地电提取离子异常形成机制探讨. 《地质与勘探》, 第 10 期

罗镇宽. 1989. 加强危急矿山外围及深部成矿预测和找矿勘探. 《地质与勘探》, 第八期.

马婉仙主编. 1990. 《重砂测量与分析》. 地质出版社

马中主编. 1999. 《环境与资源经济学概论》. 北京: 高等教育出版社

潘勇飞. 1992. 综合物化探方法在金矿老矿区找矿中的应用. 《地质与勘探》, 第八期

秦德先等. 2002. 《矿产资源经济学》. 科学出版社

区域地质调查方法专题组编. 1981. 《区域地质调查方法》第五分册. 地质出版社

砂矿(金属矿产)地质勘查规范 (DZ/T 0208-2002)

山则名等. 1979. 矿体变化性质研究的新发展. 《长春地质学院学报》, 3 期

寿嘉华等编. 2001. 《国土资源与经济社会可持续发展》. 北京: 地质出版社

孙殿卿, 高庆华编著. 1987. 隐伏矿床预测. 地质出版社

孙家富. 1985. 关于寻找隐伏矿床的浅见. 《地质与勘探》, 第 12 期

孙文珂等. 1994. 《地质填图和矿产调查的综合方法》. 地质出版社

唐义. 蓝运蓉著. 1990. SD 储量计算法. 北京: 地质出版社

唐义等. 1990. SD 储量计算方法. 地质出版社

铁、锰、铬矿地质勘查规范 (DZ/T 0200-2002)

铜、铅、锌、银、镍、钨矿地质勘查规范 (DZ/T 0214-2002)

王仁铎, 胡道光. 1988. 线性地质统计学. 地质出版社

王世称, 王於天. 1986. 浅谈华北地台北缘找矿方向和方法. 《中国地质》, 第 7 期, 地质出版社

王世称等. 1989. 《综合信息解译原理与矿产预测图编制方法》. 吉林大学出版社

王世称等. 1989. 金矿综合信息找矿模型. 《长春地质学院学报》, 第 3 期

王世称主编. 1986. 矿产资源评价专辑. 长春地质学院学报

王有志. 1989. 我国内生金矿床的成矿模式. 《地质与勘探》, 第七期

王之田等. 1994. 大型铜矿地质与找矿. 北京: 冶金工业出版社

王志民, 侯景儒. 1994. 协同克里格法及其在矿产储量计算中的应用. 《地质与勘探》, 第 3 期

魏民. 1984. 矿体数学特征及变化性分类. 《地球科学》, No. 4

钨、锡、汞、锑矿产地质勘查规范 (DZ/T 0201-2002)

谭义东. 1991. 物探找金模式的建立和研究. 《地质与勘探》, 第 1 期

稀土矿产地质勘查规范 (DZ/T 0204-2002)

稀有金属矿产地质勘查规范 (DZ/T 0203-2002)

肖克炎. 1994. 试论综合找矿模型. 《地质与勘探》, 第一期

行英弟, 朱永余. 1995. 大功率电法在金属矿勘查中的应用效果. 《地质与勘探》, 第 3 期

熊光楚. 1997. 信息论与地质找矿工作. 《地质与勘探》, 第 2 期

严铁雄. 1999. 《固体矿产资源/储量分类》的特点和应用. 中国地质, (10) 26~29

岩金矿地质勘查规范 (DZ/T 0205-2002)

盐湖和盐类矿产地质勘查规范 (DZ/T 0212-2002)

冶金、化工石灰及白云岩、水泥原料矿产地质勘查规范 (DZ/T 0213-2002)

於崇文等编著. 1980. 《数学地质的方法与应用》, 第十四章, 341~392 页. 冶金工业出版社

袁见齐等. 1984. 《矿床学》. 地质出版社

翟裕生主编. 1984. 矿田构造学概论. 冶金工业出版社

张定源. 1991. 找矿信息及其层次模型. 《地质与勘探》, 第九期

张贻侠. 1994. 《矿床模型导论》. 地震出版社

- 张应红等编. 1991. 《矿床技术经济评价方法与参数》. 北京: 地震出版社
- 赵鹏大. 1964. 矿床勘探中矿体地质研究的若干基本问题. 《中国地质》, 2期
- 赵鹏大. 1982. 试论地质体的数学特征. 《地球科学》, No.1
- 赵鹏大, 魏福桐. 1983. 矿体空间特征及勘探意义《物化探电子计算技术》, No.2
- 赵鹏大等. 1983. 《矿床统计预测》. 地质出版社
- 赵鹏大等. 1988. 《矿床勘查与评价》. 地质出版社
- 赵信等. 1993. 《地质矿产经济学》. 吉林科学技术出版社
- 中华人民共和国国土资源部. 2003. 中华人民共和国地质矿产行业标准(具体规范如下:). 北京: 地质出版社
- 仲伟志等编. 2001. 《矿业权评估指南》. 北京: 中国大地出版社
- 仲伟志主编. 2000. 《矿业权行政管理法规文件汇编》. 北京: 兵器工业出版社
- 重晶石、毒重石、萤石、硼矿地质勘查规范(DZ/T 0211-2002)
- 周荣. 1997. 关于实行地勘单位综合评价的思考. 《有色地质经济》. (49): 22~27
- 周宜吉. 1989. 应重视深部金矿成矿规律和找矿前景研究. 《地质与勘探》, 第九期
- 朱奉三. 1989. 加强金矿矿床模式研究与应用的意义和设想. 《地质与勘探》, 第七期
- A. B. Vistelius, E. R. Drubetzkoj and A. V. Faas, Statistical Estimation of Mineral Geology, Mathematical Geology Vol. 21, No. 8, 1989
- G. R. Dargahi Noubary. On Tail Estimation: An Improved Method, Mathematical Geology, Vol. 21, No. 4 May, 1989
- Junting Luo, Statistical Mineral Prediction Without Refining A Training Area, Mathematical Geology, Vol. 22, No.3, 1990
- J. A. Coope., M. J. Davidson, 1977, Some aspects of intergrated exploration. Proceedings of Exploration 77 — an international symposium held in Ottawa, Canada in 1977
- R. M. Clark, A Randomization Test far the Comparison of Ordered Seguenes Mathematical Geology, Vol. 21, No.4 May, 1989
- Shahrokh Rouhani and Donald E. Myers, Problems in Space—Time Kriging of Geohydro-logical Data, Mathematical Geology, July, 1990
- Tietenberg, Tom, Environmental and Natural Resource Economics. New York: Harper Collins Publishers: 1992.
- А. Г. Тархов, Б. М. Гондаренко, А. А. Никитин, 1982. Комплекс и ровниие геофизических методов, Москва (НЕДРА)
- Бирюков, В. И., Классификация систем разведки месторождений твердых полезных ископаемых. Геология рудных месторождений, 1962. 1. с. 103
- Максимов А. А., Краткий курс геолога—разведочного дела. Издательство Московского университета, 1980
- Милюсердина Г. Г., Задачник по геологоразведочному делу. Издательство Московского университета, 1961