

第十二章 控矿条件和成矿规律

第一节 控矿条件

- 一、区域地球化学特征
- 二、控矿构造条件
- 三、控矿岩浆岩条件
- 四、沉积条件
- 五、岩性条件

第二节 成矿规律

- 一、成矿区域与成矿时代
- 二、成矿系列、成矿系统和成矿模式
- 三、叠加成矿、再造成矿和层控矿床
- 四、板块构造与成矿作用

一、区域地球化学特征

第一节 控矿条件

n 区域地球化学特征是指一定地区元素的丰度和分布特征，以及在该区地质演化过程中的元素迁移、富集或分散的历史。元素在地壳中的分布是不均匀的，往往一些元素集中分布于这个区域，而另一些元素又集中于另一个区域，元素分布具有区域性特点。构成所谓的地球化学省。如我国华南的W，广西北部的Sn，俄罗斯远东的Sn，澳大利亚西部的Au，美国西部的Cu，南非的Cr、U、Au等十分集中，这些地区分别构成相应元素重要的成矿区（带）。

n Noble (1970, 1973) 在研究美国西部的金属成矿省时发现金属富集区的空间位置与地壳表层构造无关，不能用地壳中发生的作用来解释；形状简单而且呈线状分布的金属省可能代表一种深成控制作用，起源于地壳底部和上地幔。

一、区域地球化学特征

- n 张本仁（1991）通过对秦岭地区深源岩石（包括基性火山岩、侵入岩、深源包体等）地球化学丰度的对比研究也发现，区域矿床类型与下地壳-上地幔元素丰度间存在一定的对应关系。近年来人们又注意到加拿大科迪勒拉成矿带内不同构造单元中均有铜矿床产出，包括斑岩铜矿、块状硫化物铜矿和层状铜矿。不同成因类型铜矿床在同一成矿带内产出表明铜矿的形成并不只是受地壳表层地质构造因素控制，其富铜的原因可能要归结于该带内高铜丰度值的上地幔。
- n 上述几个典型地区地球化学特征研究虽然还是初步的，但已较明确地显示地壳中元素分布的不均匀性主要是由于上地幔化学成分的不均匀性所引起。将地壳作用和上地幔作用联系起来研究成矿物质来源，可以合理地解释不同区域内成矿专属性问题。这类研究也是目前国际地学方面重要前沿深题；其成果可为区域矿产预测提供重要信息。

二、控矿构造条件

n (一) 构造背景对成矿的控制作用

- 大地构造背景是矿床形成最根本的控制因素，它决定了成矿物质来源、深度、元素种类、成矿类型及矿床时空分布等。
- 大地构造运动是岩石圈深部，尤其是软流圈热动力显著变化所导致的地球物质的大规模运动。这种运动引起地球上部层圈的物质运输、能量交换和动量传递，推动着岩石圈的演化。从区域性层次看，构造运动常能诱发沉积、岩浆、变质和流体作用，以及改变区域地球物理场的特征。在一定的时空域中，一定性质的构造环境和构造运动，对于成岩和成矿来说，均有其特定的物源、热源、物理化学的和动力学条件。这里的物源指地幔和岩石圈的不同结构层以及它们的不同岩石组合。

二、控矿构造条件

n (一) 构造背景对成矿的控制作用

- 热源指构造运动的摩擦生热、地幔流体对地壳加温、软流层上涌或热点、地壳变厚增温等。物理化学条件包括岩层静压力与地温梯度、构造运动对应力场与地温的改变、流体与挥发分的分压等。动力学条件包括板块离散与俯冲速率、构造应力的拉张、挤压及其速率，以及俯冲、底辟和垫托作用等造成的动力学因素。而这些因素又或直接或间接地影响区域成岩、成矿的环境、因素和作用过程。因此，区域构造背景尤其是深部构造背景的研究对认识区域成矿规律有至关重要的

二、控矿构造条件

n (二) 构造对成矿的控制作用

- 构造运动是驱使壳幔物质包括成矿物质运动的主导因素，构造为含矿流体运移和矿质堆积提供空间，矿床的定位和分布又明显受构造控制。控矿构造的规模差别很大，可分为区域性大型控矿构造和局部性中、小型控矿构造。大型控矿构造特点是：①规模大，一般都延伸几十公里，可达几百或上千公里；②切割深，深切下地壳或上地幔；③贯通性强；④一般具长期活动的历史。区域性大型控矿构造既是决定该区域地质构造基本格局的根本因素之一，也是导致各类有关成矿物质大规模分异和富集，形成大型、超大型矿床的基本条件，同时控制区域成矿区 and 成矿带的形成和分布。

二、控矿构造条件

n (二) 构造对成矿的控制作用

- 中、小型控矿构造是区域性大型控矿构造的次级控矿构造，其形成和演化受控于区域性大型控矿构造。
- 中、小型控矿构造包括矿田构造、矿床构造等。矿田构造是指在矿田范围内，控制矿床的形成和分布的地质构造总和。矿床构造是指控制矿体的形态、产状和分布的地质构造因素总和。研究矿田、矿床构造对找矿、勘探和采矿等具有十分重要的意义。
- 控制矿床和矿体的构造类型是复杂多样的，主要包括①褶皱构造；②断裂构造；③侵入体内部构造（流动构造、原生破裂构造及隐爆角砾岩筒）；④侵入体与围岩的接触带构造；⑤火山构造（环状及放射状构造、爆发角砾岩筒）；⑥成层构造；⑦复合构造。

三、控矿岩浆岩条件

- n 岩浆活动是内生矿床形成的重要因素，对于外生矿床，岩浆岩风化后可提供成矿物质或形成风化壳型矿床。
- n 与岩浆有关的不同类型内生矿床，与岩浆岩的密切程度是不同的。对于岩浆矿床，岩浆岩矿物组成和化学成分与成矿关系最为密切，成矿具有明显的专属性。例如，富镁的镁铁质-超镁铁质侵入杂岩体与镁质铬铁矿矿床有关；富铁的镁铁质-超镁铁质侵入杂岩体与钒钛磁铁矿矿床有关；金刚石矿床主要与金伯利岩、碳酸盐和钾镁煌斑岩有关。另外，岩浆岩侵位深度、规模大小及形态对成矿也有较大影响。如金刚石形成深度达250~300km。形成世界上最大的铬铁矿矿床（占世界铬铁矿83%）和最大的铂族元素矿床（占世界铂族元素86%）的布什维尔德杂岩体其总面积约66000km²。

三、控矿岩浆岩条件

- n 对于热液矿床，岩浆岩成分、产状、规模、形态、侵位方式和岩浆物理化学性质等与成矿有一定关系。岩浆岩成矿专属性不如岩浆矿床明显，成矿物质既可来自岩浆，亦可来自围岩。一些小侵入体常与成矿关系密切，这些小侵入体实际上是深部隐伏大岩体的突出部位。岩体侵位深度对成矿也有影响，一般在深成部位易形成云英岩型矿床；在中深部位易形成矽卡岩型、绢英岩型矿床；在浅成和近地表条件下，易形成浅成低温热液矿床。
- n 岩浆岩的另一个重要作用是为成矿提供热源条件。深部异常热源（岩浆）的存在是形成热液矿床、热水喷流沉积矿床、部分沉积-热液叠加改造矿床的重要条件。岩浆热源既能为含矿热液的运移提供热动力，又能为成矿所需要的物理化学过程提供温度条件。这一点在热液矿床成矿中尤为重要。

四、沉积条件

第一节 控制矿条件

- n 沉积条件对于沉积矿床的形成具有头等重要的意义。
- n 在广阔的沉积盆地中通过沉积作用可形成煤、铁、锰、磷、盐类等矿床。不整合所代表的古侵蚀面，是聚集残余矿床和砂矿的有利部位。
- n 不同地质时期沉积环境和条件不同，可能形成不同种类或不同规模的矿床。对不同矿床而言，多存在着较重要的形成时期。由于植物从古生代才开始大量繁殖，故煤出现在古生代和古生代之后的地层中。就世界范围看，主要的含煤地层为石炭-二叠系、侏罗系和第三系。锰的成矿时代，以前寒武纪和第三纪最为重要，集中了全世界锰储量的一半以上，铝土矿的主要成矿时代是石炭-二叠纪、侏罗-白垩纪、第三纪和第四纪；在我国以石炭-二叠纪最为重要。铁矿主要产于前寒武纪地层中，大部分条带状含铁建造形成在距今2600~1800Ma的时段里。

五、岩石条件

n 岩石物理化学性质对于成矿作用方式、矿化强度、矿体产状及矿床类型等均有明显的控制作用。

n 岩石物理性质方面，岩石的孔隙度、裂隙度、渗透性、抗压强度等对成矿均有影响。例如，多孔状岩石中矿化常较强烈；脆性大的岩石易发育裂隙，有利于矿液的运移和矿质的沉淀。可塑性大的岩石不易产生裂隙，往往成为矿液运移的隔挡层。当脆性岩石和塑性岩石共存时，在脆性岩石中易成矿。

五、石江尔丹

- n 岩石化学性质方面，化学性质活泼的碳酸盐岩围岩可与矿液发生交代作用，形成矽卡岩型或其他交代矿床，在砂页岩中则形成脉状矿床。如湖南瑶岗仙钨矿，在花岗岩体附近的碳酸盐岩接触带中形成矽卡岩型白钨矿；而在花岗岩外围的接触变质砂页岩裂隙中形成黑钨矿石英脉。围岩成分有时对成矿有重要影响，例如硼矿床的形成与白云岩或白云质灰岩密切相关。由于镁是硼矿物的主要沉淀剂，可形成各种镁的硼酸盐。
- n 除上述主要控矿条件外，变质作用、流体特征、次生富集、剥蚀深度等，对矿床的形成和保存也有较大影响。

一、成矿区域与成矿时代

- n 地壳中的矿产在空间上和时间上的分布是不均匀的，在地壳中某种或某些矿产大量集中的那一部分地区称为成矿区域。
- n 在一个成矿区域中，矿化往往集中地发生在某个或某些地质时期内。这样的矿化比较集中的时期称为成矿时代。

（一）成矿区域

n 1. 金属成矿省

- 1913年法国地质学家L. de Launay首次提出了金属成矿省（**metallogenic province**）的概念，意指在地壳特定的区域内产出异常多特定类型的矿床。以上概念可以理解为成矿地质构造与矿床组合的一种耦合定式，是一种静态的思维方式，但已经初步表达了区域成矿的思想。迄今经过90余年的研究和实践，对其研究的内涵和研究方法逐渐发生了变化，特别是第28、29届国际地质大会将“成矿作用地质演化”和“金属成矿省演化”作为专题讨论。

（一）成矿区域

n 1. 金属成矿省

- 在第30届世界地质大会的“金属成矿省地质历史演化与成矿年代学”讨论会上，裴荣富（1996）提出金属成矿省已由过去在大地构造背景上圈定不同类型矿床而划分成矿区带的静态方法，发展为从地质历史演化分析入手，深化研究背“景”、成矿“场”、成矿“相”和矿“床”，即“景”、“场”、“相”、“床”4个成矿等级体制耦合性规律的动态方法；并认为这4个等级体制的耦合梯度是评价或预测成矿远景区的依据。每个成矿省属于一个特定地区，它们在岩石圈演化中形成一组或多组在时空演化上有密切联系的特定矿床群。Amstutz（1996）认为金属成矿省演化是一切成矿因素的函数。

(一) 成矿区域

n 1. 金属成矿省

- 裴荣富等（1994）提出了金属成矿省研究的重点内容，包括以下几个方面：①成矿构造背景研究，主要从地质历史演化研究不同时期区域构造的交汇样式、相互作用强度和彼此影响的范围，探讨构造演化的动力机制，提出有利“成矿构造场”形成的背景和条件；②“成矿构造场”研究，主要研究“成矿构造场”中综合控矿因素有利组合和汇聚的机制，尤其应突出研究其中“金属成矿相”的形成、分布与结构，阐明它形成的最有利时空域；③成矿地质事件研究；④编制不同比例尺的金属成矿省的成矿分带图，依据成矿与构造的统一性和地质历史演化中动态成矿新概念，编制新的成矿分带图，并在此基础上进行成矿远景区预测。

(一) 成矿区域

n 1. 金属成矿省

- 从以上金属成矿省概念和重点研究内容可以看出，成矿年代学是认识金属成矿省的关键。裴荣富（1994，1998）在进行金属成矿省演化研究中，又提出成矿年代省（ore-forming age province）的概念，它是把过去分别按时间和空间两向展布的研究成矿规律的概念变为成矿是随时间推移促成空间的形成，即随时间的演化才出现一定时间的空间客观存在。由于地壳形成的各个时期地球层圈结构及其分布状态、物质组成、成矿物理化学条件都是不同的，因此一定时间内一定的构造背景下形成的矿床的专属性也是自然的。从成矿时间演化认识空间规律，给空间赋以年代鉴证，即建立成矿年代省和成矿年代区，并根据其持续时间长短的跨度划分出成矿时限（成矿期），为成矿规律及评价区域成矿远景提供年代学依据。成矿省和成矿期的关系可理解为后者为前者演化的计时钟，同时以时间演化促成空间（物质）形成的成矿年代省又是从成矿省中分离出的一个新的概念。
- 总之，目前的金属成矿省研究已从早期的静态的“异常多特定类型的矿床组合区域”演化为空间随时间演化的动态的时空成矿区域。金属成矿省（演化）是区域成矿学研究的重要发展趋向，也是深化研究特大型矿床成矿的重要课题。

(一) 成矿区域

n 2. 成矿区域的划分

- 金属成矿省是矿床区域分布比较笼统的叫法。而成矿区域的范围大小不一，往往可以划分出不同的级别。目前，人们一般按空间规模，把成矿区域划分为全球性成矿域、成矿区（带）、矿带和矿田4个级别。
- (1) 全球性成矿域
 - n 属全球性成矿构造系统，包括巨大板块边界、巨型褶皱带，贯通性深大断裂等，面积一般达 $n \times 10^5 \sim n \times 10^6 \text{ km}^2$ 。
 - n 全球范围内存在3个重要的成矿域，即环太平洋成矿域、特提斯成矿域和中亚成矿域。

(一) 成矿区域

n 2. 成矿区域的划分

— (1) 全球性成矿域

- n 全球范围的环太平洋成矿域和特提斯成矿域早在20世纪50年代已确立。中亚成矿域的提出在文献中也早已出现，但由于各种原因，关于此成矿域的具体找矿成果及成矿规律研究则报道甚少。因此，十余年前在讨论全球巨型成矿域时人们只认定环太平洋及特提斯。苏联解体后，中亚成矿域面貌逐渐明朗。一些讨论全球性成矿问题的国际学术会议已明确认定3大巨型成矿域。如1998年底在澳大利亚举行的“斑岩和热液铜、金矿床——全球展望”讨论会（Porter, 1988）及短训班中，中亚成矿域是报告和议论的重点之一。涂光炽（1999）发表了“初议中亚成矿域”的论文。

(一) 成矿区域

n 2. 成矿区域的划分

- (1) 全球性成矿域

- n 斑岩型矿床、块状硫化物矿床、浅成低温热液矿床的广泛分布是3大巨型成矿域的共同之处，它们提供了贵金属与有色金属的重要来源。在理论上，3大成矿域是研究板块构造与成矿关系的理想场所。从目前情况看，在铜、金、钼等金属产量与储量上，环太平洋域雄居榜首，但另2个成矿域在工作及研究程度上均远逊于环太平洋成矿域，因而潜力很大。
- n 三个巨型成矿域的地理范围及囊托的成矿时代都存在不少争议，争论本身深化了对成矿域的认识。每个巨型成矿域都包括若干颇有特色、著称于世的成矿区带。

(一) 成矿区域

n a. 环太平洋成矿域:

- 指的是环绕太平洋周围的中、新生代构造-岩浆成矿域。自南美洲南端起，沿南、北美洲西缘经安迪斯、科迪勒拉等山系，经阿拉斯加，进入俄罗斯亚洲部分的东北地区，过日本群岛、我国台湾省及东南沿海、菲律宾、巴布亚-新几内亚至新西兰一带，延长达4万多公里。整个成矿域又分为内、外2个带。在美洲，内带沿滨海断裂发育，以斑岩型铜（钼）矿、卡林型金矿、陆相火山岩型（浅成低温热液型）金矿的大量出现为特色；外带位于大陆部分，产铅、银及锡矿床等。在亚洲，内带沿岛弧分布，主要发育第三纪安山岩及铜、金矿床，沿断裂带有镁铁质-超镁铁质侵入岩及铬、镍、铂矿床；外带范围较广，主要指大陆部分的中生代岩浆活动区域，以产钨、锡为特征，并发育铅、锌、金和铋等矿床。

(一) 成矿区域

n b. 特提斯成矿域:

- 包括地中海沿岸及亚洲西南部和南部，从西班牙、意大利起，经巴尔干半岛、小亚西亚半岛进入南高加索、伊朗、巴基斯坦，进入我国西藏、川西及云南，再延至马来半岛，并在帝沧岛与环太平洋成矿域相接，延长约 $1.6 \times 10^4 \text{km}$ 。该成矿域中成矿系统很发育，包括广泛发育的斑岩型铜、钼、金成矿系统，断陷盆地热卤水铅、锌、铜、银成矿系统，蛇绿混杂岩-剪切带金成矿系统和蛇绿岩套铬铁矿成矿系统等。这些成矿系统所在的成矿带大都沿板块结合带及其边缘分布，有很长的延伸距离（可达400~500km）。

(一) 成矿区域

n b. 特提斯成矿域:

- 本区各时代尤其是古特提斯以来的火山岩十分发育, 且与成矿关系十分密切。与火山岩有关的矿床类型有: ①与晚古生代裂谷洋盆型火山岩有关的块状硫化物银多金属矿床(如老厂); ②产于晚古生代洋脊蛇绿岩套与中生代浅成-超浅成侵入活动有关的金矿床(如哀牢山区); ③与晚三叠世岛弧酸性火山岩有关的黑矿型矿床(如呷村); ④新生代斑岩型铜-钼-金矿床(如玉龙)及浅成低

(一) 成矿区域

n b. 特提斯成矿域:

- 特提斯成矿域构造-岩浆演化控制了成矿的时空分布。从前寒武纪开始, 就不断有金属矿床形成。但是, 大规模的成矿作用发生在特提斯演化阶段。古特提斯早期, 在板块结合带和陆缘岛弧带形成了一批重要矿床; 而在新特提斯期, 又在造山形成的山系和盆地中形成另一成矿高峰, 包括兰坪铅-锌矿和哀牢山金矿带的形成。总的成矿演化趋势是: 成矿规模由老到新不断增大, 直到喜马拉雅期形成一些很有特色的大型、超大型矿床。成矿规模大, 成矿时代新, 剥蚀不深, 保存较好, 适度暴露, 是本区很有找矿前景的一个重要原因。

(一) 成矿区域

n c. 中亚成矿域:

- 中亚成矿域西起欧亚两大陆交界的呈南北走向的乌拉尔, 从其南部折向东, 经哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、部分吉尔吉斯斯坦、新疆塔里木以北地区、青海和甘肃北部、内蒙古西部、蒙古国西部, 至包括贝加尔湖东部地区在内的南西伯利亚。这一巨型成矿域东部, 包括我国西北地区, 挟持于西伯利亚板块和华北板块、塔里木板块之间。中亚成矿域以发育中、晚元古代及古生代活动带与成矿作用为特点。在中亚成矿域南北两侧, 即靠近古老克拉通处, 都存在中、晚元古代活动带。如在西伯利亚板块之南产出在前苏联地质文献中讨论甚多的贝加尔褶皱带, 其时代为中、晚元古代。在华北克拉通和塔里木克拉通之北存在渣尔泰群、狼山群、白云鄂博群、达格拉格布拉克群等发育于中、晚元古代裂谷或拗陷槽中的巨厚沉积物。中、晚元古代活动带紧贴古老克拉通, 而在它们之间的广袤大地上则发育古生代、特别是晚古生代活动带。

(一) 成矿区域

第三纪、成矿区域与成矿时代

n c. 中亚成矿域:

- 与以年轻的新生代造山带为主要地质背景的环太平洋及特提斯成矿域相比较, 中亚成矿域具下列特点: ①中亚成矿域自中元古宙即开始发育。中国内蒙狼山地区的几个大型-超大型多金属矿床、白云鄂博稀土-铁-铌矿床、西伯利亚南缘的干谷金-铂矿床、霍罗德累、格雷夫斯克等超大型铅锌矿床都主要形成于中元古代。②成矿高潮发生于海西晚期。中国土屋、蒙古额登勒、哈萨克斯坦阿克图盖等超大型斑岩铜矿床, 众多的陆相火山岩型低温热液金矿床等均在这一时期形成(如乌兹别克斯坦可克帕他斯)。③本成矿域岩石圈的多期次拉张、多期次裂谷形成导致多期次蛇绿岩、富碱岩浆杂岩、高 ϵ Nd值花岗岩类及巨厚黑色岩系的发育与广布。这一岩石圈发育特点在环太平洋和特提斯带是缺失的。④穆龙套金矿、干谷金矿、宗毫巴金矿、库姆托尔金矿等超大型金矿均赋存于黑色岩系中, 这一特点在世界范围也属罕见。

n 以上3个巨型成矿域均跨入我国部分省区, 对我国东部和西南部成矿规律的认识, 成矿远景评价及预测找矿都有重要意义。

(一) 成矿区域

n 2. 成矿区域的划分

— (2) 成矿区（带）

- n 泛指大区域的成矿单元，如有的学者根据我国东部与西部地质背景、矿种组合与成矿作用的明显差别，将我国分为东部成矿区和西部成矿区。两者界线从大兴安岭西缘，经鄂尔多斯西部穿越西秦岭沿龙门山直到“康滇地轴”。其中东部成矿区通常被视为环太平洋成矿域的一部分，中生代开始成矿作用主要受环太平洋构造活动带的影响，东西部成矿区又可划分出多个不同的成矿区（带）。

(一) 成矿区域

n 2. 成矿区域的划分

— (3) 矿带

n 是最常见的区域性成矿单元，如长江中下游铁铜矿带、雅鲁藏布江铬矿带、秦岭铜铅锌多金属成矿带等。矿带之内还能分出若干成矿亚带，如长江中下游铁铜矿带中的鄂东南铁铜亚带中的宁芜铁带等。

— (4) 矿田

n 指在统一的地质作用下形成的，成因上近似，空间上相邻的一组矿床分布区域。其分布面积一般在几十到一、二百平方公里，如宁芜铁矿亚带中的凹山铁矿田、长江中下游铁铜矿带中的狮子山铜（金）矿田、铜官山铜（硫）矿田等。

(一) 成矿时代

地球演化过程中，成矿作用与壳、幔相互作用及间歇性的地壳运动旋回密切相关，这就决定了成矿作用是不连续的。在不同的地史时期，不仅成矿作用的类型不同，而且成矿作用的强度也有很大的差异。据统计，世界上75%的金矿，26%的镍、钴矿和2/3以上的铁矿都形成于前寒武纪，80%的钨矿形成于中生代，85%以上的钼矿形成于中、新生代，50%的锡矿形成于中生代末期。能源和盐类矿产中，石炭-二叠纪是世界最主要的成煤期，新生代是最主要的成油期，二叠纪为最主要的成盐期等。

(二) 成矿时代

1. 成矿时代的划分

- 成矿时代有长有短。内生矿床成矿时代一般以地史上重要的构造事件为划分依据，例如加里东成矿期、燕山成矿期等。外生矿床成矿时代因其与地层关系密切，一般按地质年代来划分，如震旦纪铁矿（河北宣龙一带）、寒武纪磷矿（云南昆阳）。
- 成矿时代主要是根据已知的世界范围或区域范围资料，通过综合分析对比加以确定的。既有全球性的成矿时代，又有地区性的成矿时代，但都只是相对的。
- 根据地质历史中成矿环境的变化和构造、岩浆、沉积活动的特征，可将全球成矿作用划分为5个主要成矿期：太古代，古元古代，中、新元古代，古生代，中、新生代。

1. 成矿时代的划分

n (1) 太古代

— 太古代火山岩岩浆活动强烈，地壳表层热流值高，地热梯度大，原始地壳薄而且不稳定。早期侵入岩为镁铁质-超镁铁质岩床和由英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩组成的杂岩体（TTG），晚期为花岗岩及正长岩。在TTG岩系中分布着狭长的绿片岩相镁铁质-超镁铁质火山岩、钙碱性系列火山岩及沉积岩（绿岩带）。这一时期的主要矿床有：

n ①绿岩带中的阿尔戈马型沉积铁矿床、铁锰矿床，成矿主要与火山-沉积作用有关，加拿大的克科兰德湖地区、美国佛米利思地区及我国鞍山-本溪、冀东地区广泛发育这类铁矿；

I. 成矿时代的划分

n (1) 太古代

— 这一时期的主要矿床有：

- n ②绿岩带中的造山型金矿床，如澳大利亚卡尔古利地区绿岩带中广泛发育的脉状金矿化，其矿化组合为金-碲化物、金-硫化物、金-石英脉。在加拿大地盾中有3/4的金产于金-石英脉中，如科尔-阿迪森金矿。其余与块状硫化物或火山沉积铁矿（BIF）伴生；
- n ③块状硫化物矿床，其特点是以锌、铜为主，极少含铅，而金、银丰度高，如加拿大诺兰达矿床；
- n ④层状杂岩体中的铬铁矿。

1. 成矿时代的划分

n (2) 古元古代

- 古元古代地壳逐渐增厚，除火山作用外，各种碎屑沉积建造和化学沉积建造也大量出现。此期是世界上苏必利尔型条带状含铁建造形成时期，形成了许多重要的铁矿床；该类铁矿大规模分布区包括美国苏必利尔湖、加拿大魁北克、澳大利亚哈默利斯等。该时期岩浆侵入活动以镁铁质-超镁铁质层状杂岩体大规模侵入为特征，并出现重要的岩墙群。世界上一些重要的与镁铁质-超镁铁质杂岩体有关的铜镍硫化物矿床（如肖德贝里，1680~2000Ma）形成于这一时期。产于层状杂岩体中的南非布什维尔德铬铁矿矿床为世界上最大的铬铁矿矿床，最大的铂及铂族元素矿床。最大的含钒磁铁矿矿床亦形成于古元古代（2050~1950Ma）。

1. 成矿时代的划分

n (2) 古元古代

- 我国古元古代苏必利尔型铁矿不很发育，规模较小，如云南大红山铁矿和吉林大栗子铁矿等。此外还有块状硫化物矿床（如红透山铜矿），少量石墨、云母矿床也形成于这一时期。古元古代后期开始有少量产于裂谷中的热水喷流型硼矿、菱镁矿及铅锌矿床的形成（如辽-吉裂谷）。

1. 成矿时代的划分

n (3) 中、新元古代

- 中元古代是世界上层状铜矿（如俄罗斯的乌多坎铜矿）和热水喷流沉积铅锌矿（如澳大利亚麦克阿瑟河矿床，时代为1400~1000Ma）的主要形成时期。此外还有热液铀矿（澳大利亚北部），一部分层状锰矿（如印度中部）和金刚石矿床，与碳酸盐岩有关的稀土-铌矿床也形成于这一时期。
- 新元古代世界上主要出现的矿床类型有层状铜矿（如中非铜矿带、赞比亚北部和扎伊尔南部铜矿）及少量热水喷流沉积型铅锌矿矿床。

1. 成矿时代的划分

n (3) 中、新元古代

- 中元古代是我国层状铜矿形成的主要时代，如云南东川及中条山篦子沟、胡家峪等；同时也是我国热水喷流型铅锌矿、钴矿形成的主要时代，如辽-吉裂谷中由西向东从八家子、关门山、青城子、荒沟山直至朝鲜检德铅锌矿、吉林大横路钴矿。在中元古代形成的还有铜镍硫化物矿床（如金川镍矿，1500Ma左右）、钒钛磁铁矿矿床（如大庙式钒钛磁铁矿）、白云鄂博超大型稀土-铁-铈矿床（最初成矿时代为中元古代），北方的宣龙式铁矿、瓦房子锰矿等沉积矿床成矿时代亦为中元古代。
- 我国新元古代形成的矿产主要有南方磷矿（如湖北、贵州）及一部分锰矿（如湘潭）。

1. 成矿时代的划分

n (4) 古生代

- 早古生代世界上主要形成的矿床有块状硫化物矿床、部分密西西比河谷型铅锌矿、沉积铁矿（美国上志留统）、黑色页岩中的铀钒矿床（瑞典南部寒武-奥陶系）、与镁铁质-超镁铁质杂岩有关的钛铁矿-磁铁矿（俄罗斯）、黑钨矿（美国北卡罗纳）和白钨矿（朝鲜Sangong）。
- 早古生代我国东部以稳定的陆缘海和陆内海槽沉积作用为主，形成重要的沉积矿床，如昆阳、襄阳式磷矿以及湘鄂西黑色页岩中的铀、钒、镍、钼矿床。在我国西部，伴随着地槽型火山和侵入岩浆活动，形成大量内生矿床，如白银厂块状硫化物矿床（黄铁矿型铜矿）以及镜铁山式火山-沉积变质铁矿床；另外还发育热水喷流型钴矿，如青海东昆仑驼路沟钴矿等。

1. 成矿时代的划分

n (4) 古生代

- 晚古生代世界上形成的矿床主要有钾盐矿床（泥盆系、二叠系）、密西西比河谷型铅锌矿床（美国、东欧）、块状硫化物矿床（西班牙、葡萄牙、俄罗斯的乌拉尔）、日本别子型块状硫化物矿床（石炭-二叠纪）、沉积锰矿（中哈萨克斯坦）。此外，晚古生代也是世界上各种热液矿床和岩浆矿床形成的主要时期，如铬铁矿床（俄罗斯）、钛铁矿床和铂族元素矿床（俄罗斯的乌拉尔）、与花岗岩有关的钨、锡矿床（英国康沃尔、葡萄牙Panasqueira）、伟晶岩型矿床（俄罗斯）、汞矿床（西班牙）。
- 在我国晚古生代成矿特点与加里东期有些类似，在东部以沉积矿床为主，如华北的山西式铁矿和巩县铝土矿，华南的宁乡式铁矿和遵义锰矿等。我国最主要的煤矿为南北方各省石炭-二叠纪煤矿。内生矿床有四川力马河铜镍矿床。在我国西部则以内生矿床为主，有阿尔泰和天山的稀有金属伟晶岩矿床，内蒙的铬矿和温都尔庙铁矿、白乃庙铜矿，南祁连山的有色金属矿床等。外生矿床有陕南的柞水菱铁矿矿床等。

1. 成矿时代的划分

n (5) 中、新生代

- 世界上形成于中、新生代的矿床主要有①石油：如波斯湾（侏罗-白垩纪、古新世、中新世），利比亚（白垩纪-古新世），委内瑞拉（白垩纪-第三纪），墨西哥湾（古新世、中新世）；②煤：除石炭-二叠纪外，中、新生代是主要的成煤期，如美国（怀俄明州、犹他州、科罗拉多州等），挪威（斯瓦巴德）；③主要的沉积锰矿床；④与花岗岩有关的热液型钨、锡、钼、铍、铜、铅、锌、金等矿床；⑤主要的斑岩型铜、钼矿床，世界上90%以上的斑岩型矿床形成于180Ma之后；⑥浅成低温热液型金、银、汞、锑矿床，绝大部分形成在三叠纪以后；⑦与热水喷流有关的块状硫化物矿床（如日本黑矿、塞浦路斯块状硫化物矿床）；⑧层控矿床（如含铜砂岩、层控汞矿及锑矿等）。

1. 成矿时代的划分

n (5) 中、新生代

- 我国的中、新生代成矿作用与世界相比，有相似之处，但又有自己的特点；主要表现在东、西部成矿的差异上。西部地区印支期成矿作用比较发育，内生矿床主要产于昆仑山、祁连山、滇西、内蒙（如白云鄂博稀土-铁-钽矿床印支期叠加成矿）、四川西部，主要有铁、铜、钴、镍、钨、锡、金、稀有金属、石棉、云母等，外生矿床有石膏、盐类、铜、锰，石油和油页岩等。东部地区燕山期成矿作用更为强烈，主要受太平洋板块向欧亚大陆俯冲的影响，构成我国东部最重要的内生矿床成矿期，与酸性岩类有关的钨、锡、钼、铍、铜、铅、锌、铋、钽、稀土元素，金、汞、锑、萤石、沸石和明矾石等；与中性和中偏基性火成岩有关的铁、铜、黄铁矿等。外生矿床主要有分布于东北、西北、华南等省区的一些煤田，盐类矿床，滇中的含铜砂岩矿床等。新生代主要表现在印度板块与亚洲板块的碰撞带以及台湾等地区太平洋板块俯冲带的成矿，有西藏的铬铁矿矿床，西藏玉龙斑岩铜矿，台湾奇美及都兰山斑岩型铜矿，台湾金瓜石浅成低温金、铜矿等。重要的外生矿床有第三纪的煤、石油和天然气，第三纪的盐类矿床和现代盐湖等。

2. 成矿的演化

- n 大量的地质和矿产资料表明，随着地球动力演化和地球各层圈（包括岩石圈、水圈、气圈、生物圈）的形成和发展，地史上的成矿作用总体是由低级向高级、不可逆的发展。由于受到地球上若干重大地质事件如古陆聚散、大气成分突变、生命活动爆发、天体撞击等的制约和影响，成矿作用的地质环境会出现突然变化，即由渐变到突变。这些突变使地球历史上总的成矿过程表现为阶段性或节律性。成矿演化特点主要表现在4个方面（翟裕生等，1999）。

2. 成矿的演化

n (1) 成矿物质由少到多

- 从地球古老时期到显生宙时期，成矿物质（元素及其化合物、矿种）数量在逐步增加。由太古宙时的Fe、Ni、Cr、Cu、Zn等少数几种元素成矿，发展到中生代-新生代时的几十种元素成矿，包括一大批有色金属、稀有金属和放射性金属等。一些高度分散的元素如碲、锗等过去只认识到它们在一些金属矿床中作为伴生有益组分产出，但近年来也发现它们在中-新生代也能高度富集并形成独立矿床。实例有四川石棉县的燕山期大水沟碲矿、云南临沧第三系煤系中的锗矿等。

2. 成矿的演化

n (2) 矿床类型由简到繁

- 矿床成因类型从古到今由简到繁，数量在增加。太古宙时只有绿岩型金矿、火山岩型铜-锌矿、阿尔戈马型铁矿和科马提岩型镍矿等少数几种矿床类型，反映了当时成矿环境的单调和含矿介质种类的单一。这种情况随着时间的推移发生了重大变化，成矿环境类型增多，含矿介质如各类热液和地表水也是种类繁多，因而到中-新生代时，矿床成因类型已增到几十种。例如，生物成因矿床（包括金属、非金属和能源）在前寒武纪数量稀少，只在显生宙以来生物大量繁衍时期，才显著增多。多因复成矿床是经过两个以上成矿作用叠加形成的，也只有在古生代以来才大量出现。

2. 成矿的演化

n (3) 成矿频率由低到高

- 成矿频率自古至今由低到高。据对中国631个大中型金属矿床（包括铁、锰、铬、钛、铜、铝、铅、锌、锡、钨、锑、汞、钼、镍、银、金和稀土等）成矿时代的统计，它们在各地质时代的分配是：太古宙有45个，占7.1%；元古宙64个，占10.1%；古生代151个，占24%；中生代-新生代，占58.8%。这明显表明成矿频率有随地史进化而迅速增长的趋势。成矿频率增大这一趋势与上述的矿种、成矿环境、成矿介质的增加有关联；同时，地球化学元素在地壳中经历多次循环，其浓集度提高也是一个重要的背景因素。

2. 成矿的演化

n (4) 聚矿能力由弱到强

- 聚矿能力或矿化强度随地史演化而增强。成矿强度的一个识别标志是形成矿床的规模和品位。矿床规模越大，品位越富，表示成矿强度越大。如果成矿物质能高度浓集，则能形成超大型矿床。因此，一个地质时代的成矿强度在一定程度上可以用所形成的超大型矿床的数量来衡量。以全球108个超大型金属矿床的基础资料为依据，翟裕生等（1997）统计了108个矿床在各地质时代的形成数，并且按照每100Ma形成超大型矿床的数量作了对比，即从太古宙-古元古代、中元古代-新元古代、古生代到中生代，分别为0.65个 / 100Ma、2.27个/100Ma、5.0个/100Ma和21.7个/100Ma。这形象地说明，随着地球演化和各层圈的发育，成矿系统日趋成熟，成矿强度显著增强，因而超大型矿床的数量有从老到新，呈近似等比级数增长的趋势。李人澍（1991）将各地质时期金的储量作了统计对比，发现太古代、古生代、中生代、新生代单位时间产金率或成矿强度之比为1:1:3.8:6.9，说明金矿成矿强度随地质年代变新而增强的趋势明显。

2. 成矿的演化

- n 由上述可见，随着地球自太古宙早期（约自3800 Ma前起，发现有铬、铜等的成矿作用）至今的演化，成矿物种、矿床类型由少到多，矿化频率由小到大，成矿强度由弱到强。需要说明的是，上述各项统计都是针对全球或一个国家（区域）中在地壳浅表层次已经发现的矿床。地史上矿床（特别是早期形成的矿床）形成后还可能被后来的地质作用(如隆升、剥蚀等)所破坏。因此在探讨这个问题时，还要考虑矿床形成后的保存情况、矿床现今埋藏深度以及含矿区域内地质矿产勘查程度等自然因素和社会因素的制约。故此上述统计得到的结果在目前只能作为一种相对的趋势来认识。

2. 成矿的演化

n (三) 区域成矿作用的研究途径——区域成矿学

- 成矿区域和成矿时代是区域成矿作用研究的2个核心内容，而区域成矿作用的研究本身就是区域成矿学产生和发展的动力。
- 早在20世纪初，一些地质学家开始认识到矿床在区域中分布的某些规律。L. de Launay (1905) 提出成矿学或成矿规律 (metallogenesis或metallogeny) 的概念，意指研究整个区域的矿床成因。之后在1913年他又提出金属成矿省 (metallogenic province) 的概念，指在地壳特定的区域内，产出异常多特定类型的矿床或几类矿床。与成矿省相对应，Lindgren (1909, 1933) 提出了成矿期 (metallogenic epoch) 的概念。至20世纪中叶，国内外地质学家在区域成矿学研究方面做了大量有益的工作。不过限于当时的研究条件和水平，研究成果仅以成矿区域和成矿时代为主线，探讨一定区域矿床在时间和空间分布的规律性，以现象归纳为主，研究对象多限于矿床较丰富的地域，基本上是积累资料和初步探讨阶段。

2. 成矿的演化

n (三) 区域成矿作用的研究途径——区域成矿学

- 20世纪50~80年代，伴随着一系列大地构造观点的提出及不断完善，人们将成矿区域、成矿时代与大地构造理论结合起来，以阐明矿床的分布规律。槽台理论、板块构造理论、大陆动力学理论在成矿规律研究及矿产预测方面发挥了巨大的作用。20世纪70~80年代，地质学家们开始重视地球化学省在矿床时空分布中的意义，认为地球原始物质的不均一性是区域成矿明显差异性的根源，形成了超越构造单元的金属成矿省的概念。20世纪70年代以来，随着全球超深钻、地学大断面、地幔填图等深部探测和研究的加强，积累了一些关于地球深部组成和结构的新资料，壳幔相互作用、地幔柱等问题受到重视，并开始探索成矿物源、成矿作用与深层物质运动的关系，从宏观角度研究区域成矿的动力学机制，这也是当前和今后区域成矿研究的一个趋势。80年代开始，巨型矿床成矿规律的研究受到重视，巨型矿床形成的动力学背景、巨型矿床与大型构造，巨型矿床的时空分布等是当前研究的热点。

2. 成矿的演化

n (三) 区域成矿作用的研究途径——区域成矿学

- 翟裕生等（1999）出版的专著对区域成矿学的概念、特点、研究内容、研究思路和研究意义等进行了系统的阐述。指出区域成矿学是研究区域成矿环境、成矿条件、成矿过程和成矿演化，阐明矿床的时空分布规律的地球系统科学的一门分支学科。它是进行区域矿产普查找矿的理论基础，也是地球系统科学的重要组成部分。

(一) 成矿系列

- n 20世纪60年代，前苏联学者论述了矿床的共生和伴生关系，并且强调矿床与构造环境下的岩石建造之间的密切关系。如阿勃杜拉也夫（1960）结合构造-地质条件论述了成矿区矿床的成因系列，强调了矿床成因系列与岩浆岩建造的一致性。尽管他没有论述沉积建造和变质建造矿床，但他的学术思想“已相当接近现在的成矿系列研究思想和方法”（郭文魁，1991）。斯特罗娜（1978）较系统地论述了一定大地构造环境下产生的矿床组合类型，她认为“含矿建造”即是“稳定的自然矿床组合”，这里的“含矿建造”也表达了成矿系列的含义。

(一) 成矿系列

- n 程裕淇等1975年提出铁矿类型组合和铁矿成矿系列的概念，1979年提出并论述了成矿系列（minerogenic series）的概念，1983年又作了进一步完善，提出“矿床成矿系列是在一定地质时期和一定地质环境中，在一定的主导地质成矿作用下形成的，在时间、空间和成因上都有密切联系，但其具体生成条件是有差别的1组（2个以上）矿床类型的组合”。翟裕生（1987）强调矿床成因与岩石建造的联系，提出“成矿系列是与同一建造有成因联系的各种成因类型矿床构成的四维整体”。陈毓川（1998）指出，“成矿系列是具有成因联系的矿床所组成的自然体，是四维空间中有内在联系的矿床组合”。

(一) 成矿系列

- n 构造环境对成矿系列的控制作用已经引起人们的重视。翟裕生(1996)划分了如下几类构造环境：①稳定克拉通环境；②大陆内部热点环境；③大陆线性构造环境；④大陆裂谷环境；⑤陆-陆碰撞带环境；⑥岛弧和活动大陆边缘环境；⑦被动大陆边缘和内陆盆地环境；⑧洋脊和大洋盆地环境，并指出在各种不同构造环境下有不同的成矿系列产出。例如，在中、新生代岛弧或活动大陆边缘与中性-中酸性潜火山侵入体-火山岩有关的斑岩型-浅成热液矿床成矿系列，包括斑岩型铜金(钼)矿床-浅成低温高硫化型金铜矿床-浅成低温低硫化型金银矿床；在内陆盆地环境形成的石油-天然气-煤-煤层气等成矿系列等。
- n 成矿系列概念的提出和有关研究方法的建立，已经显示出重要的理论和实际意义。运用成矿系列的概念，可以对成矿区内可能存在的矿床类型作出较为全面的评价，还可以根据已知的一种或少数矿床类型，预测可能存在的其他相关的矿床类型。

(一) 成矿系统

- n 成矿系统 (minerogenic system) 一词最早于20世纪70年代初见于俄文地质词典 (卷2, 1979), 被解释为“由成矿物质来源、运移通道和矿化堆积场所组成的一个自然系统”。之后, 不少学者从不同的角度对成矿系统给出了不同的定义。马祖洛夫 (1985) 提出, “成矿系统是导致矿床形成的地质体, 地质现象和地质作用的总和”; 强调成矿系统还包括地质作用这个动态过程。B. M. 契克夫 (1987) 指出, “成矿系统是在一定空间 (现在的或地质历史时期的) 导致成矿物质高度浓集的构造-物质因素相互作用的总和”; 强调了构造、流体的作用。A. L. Jasques (1994) 提出, “成矿系统可定义为控制矿床的形成和保存的全部地质要素, 着重在以下作用: 成矿物质从源区的活化、运移, 并以高度富集的形式堆积, 以及在以后地质历史中将它们保存下来的作用”。这一定义强调了将矿床保存下来的作用。

(一) 成矿系统

- n 於崇文（1994，1998）则从成矿动力学的角度，认为“成矿系统是一个多组成耦合和多过程耦合的动力学系统，多组成包括‘多组分’和‘多个体’的双重涵义。”李人澍（1996）认为，“成矿系统可定义为特定时空域中从矿源到矿质到矿质定位全过程所形成的工业与非工业矿化，与矿化生成有联系的中间产物，反映成矿作用的各种指示物，以及卷入成矿系统空间的自然体系的总和”。翟裕生等（1999）提出，“成矿系统是指在一定的时-空域中，控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用动力过程，以及所形成的矿床系列、异常系列构成的整体，是具有成矿功能的一个自然系统”。这个定义包括了控矿要素、成矿作用过程、形成的矿床系列和异常系列，以及成矿后变化和保存等四个方面基本内容，体现了矿床形成有关的物质、运动、时间、空间、形成、演化的统一性、整体性和历史观。

(一) 成矿系统

- n 成矿系统有不同层次，其中最重要的是区域尺度的成矿系统，即区域成矿系统，它是介于全球成矿巨系统之间的地区性成矿系统，占有较广泛的时空范围，相当于大型成矿区带。全面深入地研究区域成矿系统，有助于从整体上认识区域成矿规律，包括能发现在该区域中存在的新类型矿床。
- n 在一个区域成矿系统中，由于成矿强度较大以及成矿物质和控矿因素的多样性和复杂性，可形成多种矿床类型。例如，长江中下游成矿带是矿床类型较多，研究比较深入的成矿区带。该区的铁、铜、金、硫、铅、锌矿床有多种成因（主要有斑岩型、矽卡岩型、热液脉型等），它们在成矿时间、空间、成矿条件等方面密切相关，是燕山期构造-酸性岩浆-成矿事件的统一产物，不同类型矿床各自占有一定的时空位置和表现出特定的物质组成和结构构造，一起构成一个区域成矿系统。当已经发现其中的一种或少数几种矿床类型时，可根据成矿系统观点，推断在区域中可能存在的其他相关矿床类型。

(二) 成矿模式

- n 成矿模式 (metalogenic model) 又称矿床模式 (mineral deposit model)，这一概念提出之前，在矿床学领域早已有了模式的萌芽，如早期葛朗特的岩浆-金属成矿树和艾孟斯的围绕金属成矿分带等。有关成矿模式的讨论文章，在20世纪50年代以后的地质文献中已陆续出现，但系统的专著性成果则主要在80年代。其中涉及面广，总结性强，最引人注目的著作是美国地质调查所Cox和Singer (1986) 合著的《矿床模式》。它以全球近4000个矿床研究素材为基础，给出了88个矿床描述性模式。陈毓川、朱裕生等 (1993) 也出版了《中国矿床成矿模式》等著作。

(二) 成矿模式

- n 成矿模式并没有十分严格的定义。目前一般认为，所谓成矿模式是指对矿床的地质特征、成矿条件、形成环境及其成因机制的高度综合和概括，它是表达矿床研究成果、反映矿床成矿规律的重要形式。其成果为制定合理的矿产勘查战略和工作方案，科学找矿和提高经济效益，提供理论基础和科学依据。成矿模式的表达，一般要求文字与图表并重，文字言简意赅，图表要醒目准确。
- n 成矿模式的建立过程常起始于单个矿床，特别是典型矿床的描述性概括。同时与其他类似矿床对比，最终对同一类型矿床进行总结概括，从中概括和抽象出一些共同特征，内在规律。我国矿床地质工作者在长期的矿产勘查和科学研究中，已成功总结出一系列矿床模式，如我国的鞍山式铁矿、宁乡式铁矿、焦家式金矿、昆阳式磷矿、锡矿山式锑矿、金川式铜镍矿等都建立了较为成熟的成矿模式。

(二) 成矿模式

- n 成矿模式的建立是以重要的典型矿床研究为基础的，但又必须超越对单个矿床的纯粹描述，需要充分分析和对比大量的典型矿床研究资料，在此基础上将具有相同（或相似）特征的矿床归为一类。因此，广泛借鉴和利用区域成矿学研究成果，是建立正确的成矿模式的必要前提。同时，区域成矿学的研究成果也可以模式化，用区域成矿模式展示。
- n 成矿模式指导矿产勘查实践已取得了明显的效果。如将斑岩型铜矿成矿模式应用于世界范围内的斑岩铜矿找矿工作，获得了巨大的成功。我国60年代初应用石英脉型黑钨矿矿床的“五层楼”成矿模式，发现了一大批隐伏钨矿床；近年来，应用卡林型金矿成矿模式发现和评价了黔西南及其他地区的金矿床。

(二) 成矿模式

n 同时，大量成矿模式的不断建立能够对现行矿床成因分类进行合理补充。目前广泛流行的矿床成因分类，基本上是以单一成矿作用为主要依据来划分的。自然界中的矿床固然有一部分是单成因或以一种成因为主的，但是有相当多的矿床是多成因叠加形成的，如世界著名的澳大利亚的奥林匹克坝金-铀矿床和中国的白云鄂博稀土-铁-铌矿床。此时，这部分矿床在传统的成因分类中很难找到合适的归属。但是无论一个矿床的形成作用有多么复杂，在系统的研究基础上其成矿的模式还是可以建立起来的。由于成矿模式表达的内容集中了复杂的成矿地质现象，简化了浩繁的矿床描述资料，因此有利于众多矿床间的分析对比和类型归属，使成矿模式本身就具备了矿床类型的含义和功能。

(二) 成矿模式

- n 值得说明的是，由于自然界成矿作用的复杂性和人们认识的局限性，成矿模式也存在明显的局限性，主要表现在：①受理论水平 and 实际资料的限制，成矿模式也处在不断的改进和完善之中；②由于地质作用的复杂性限定了自然界不可能有两个完全一样的矿床，因此成矿模式在预测找矿中的应用只能是指导性的和参考性的；③成矿模式主要对模式中所涉及到的矿种和类型具有预测意义，而对新矿种、新类型的勘查和评价尚缺乏适用性。

三、叠生成矿、再造成矿和层控矿床

- n 矿床的形成是地质作用的结果，地质作用的长期性和复杂性导致成矿作用经历了复杂和长期的演化过程。许多矿床的形成可能是多期成矿作用的结果。
- n 这类矿床的形成作用主要包括叠生成矿作用和再造成矿作用。

(一) 叠生成矿作用

- n 系指在先期成矿基础上，后期又有新的成矿作用叠加上去再次成矿。有两种情况：
- n 一种是早期地质作用使成矿物质在地壳内一定区域初步富集，形成“矿源层”或“矿源岩”。在此基础上，经过后来的地质作用，使矿质进一步富集形成工业矿床，如华北板块古老的变质基底中分布有高金含量的变质基性火山岩，被视为“矿源岩”；中生代岩浆活动通过气水热液活化转移其中的矿质，并在一定地段再一次富集成矿。鞍山式铁矿的形成也是如此，其中的贫矿为早期矿质初步富集的结果，后期的变质作用和热液淋滤作用等，使部分贫矿层中的铁进一步富集形成富矿体。

(一) 叠生成矿作用

- n 另一种情况是在早期已形成矿床基础上，后来又有新的成矿作用和成矿物质叠加上去。著名的白云鄂博稀土-铁-铌矿床属于此类型。该矿床产于元古界白云岩中，初次成矿属热水喷流沉积成因（约在1500Ma前）。吕梁运动时发生区域变质，白云岩发生矿物重结晶，其中稀土和磷质晶出为稀土矿物（如独居石），铁质则以铁白云石、菱铁矿、赤铁矿和磁铁矿等晶出，形成沉积变质铁矿床。以后到印支期，由于花岗岩浆侵入，又有热液成矿作用叠加在早期沉积变质作用形成的矿床之上，并带来部分稀土元素和铌，产生易解石等稀土矿物，形成稀土、铌矿床。由此认为白云鄂博矿床为一个沉积变质-岩浆热液交代作用形成的多成因叠加型矿床。

(一) 再造成矿作用

- n 指一个矿床形成后，在受到后来的地质作用改造时，转变为其他矿床类型的成矿作用。
- n 再造成矿作用强调矿床类型的改变而不是矿种的改变，如一些沉积型铁矿床经过岩浆侵入接触变质改造，可将原来的赤铁矿层或菱铁矿层转化为磁铁矿矿体，并产有矽卡岩化等热液转变矿物，因而具有层控-矽卡岩型矿床特征。据王永基（1979）的研究，我国南方石炭系中的层状铁矿床，可能是由原生菱铁矿矿床经过矽卡岩化改造生成的。

(一) 再造成矿作用

- n 经过改造后的再造型矿床可以使矿化更富集，也可以使其贫化。例如，许多菱铁矿矿床中可见到青灰色和米黄色两种不同颜色的菱铁矿，青灰色菱铁矿一般是原生的，经过去泥排炭改造之后，变成米黄色的菱铁矿，铁含量一般可提高3%~7%。而湖南祁东沉积变质铁矿床，矿石矿物主要为赤铁矿，由于受到花岗岩侵入而发生改造。在关帝庙地段与岩体接触带，赤铁矿转变为磁铁矿。在改造过程中，原矿石中的一部分铁质与花岗岩中的硅质发生反应，生成铁铝榴石、绿帘石、阳起石等含铁的硅酸盐矿物，从而使可熔铁由30.93%，下降到29.73%。在庙冲-邓家冲矿段，可熔铁更降至28.51%。
- n 以上对叠加成矿和再造成矿的概念和应用范围作了说明和论述，但二者之间还存在某些过渡类型，有些多成因矿床由于成矿的多期性和成矿条件的复杂性很难准确地区分和识别，有待进一步深入研究。

(二) 层控矿床

- n 层控矿床(stratabound deposits), 系指赋存范围限于某一单一地层单位(层、段、组、系、建造, 甚至构造层)中的矿床, 矿体呈层状, 或排列方向不规则但仍受地层控制者。
- n 矿床受地层控制的现象, 早为人们所知, 但正式提出层控矿床这一确切概念, 则还是最近几十年的事。然而, 目前国内外对层控矿床的认识和理解还相当不一致, 无论在概念、定位机制、成矿模式、分类方面都存在着不同程度的争论, 在某些方面甚至是混乱的。“层控”的基本原理简介于下。

(二) 层控矿床

n 1. 地层控制的实质

- 地层控制，是层控理论的根本。而地层控制又首推矿源层的控制。
- 矿源层的概念，自澳大利亚C.奈特于1957年正式提出后，引起极大轰动。矿源层，系指一个地区相对富集成矿组份的层位。这些有用组分与其他沉积物乃同时沉积于盆地中的特定地层中，如许多黑色岩系中Cu、Pb、Zn含量分别达 $20-300 \times 10^{-6}$ 、 $20 \sim 400 \times 10^{-6}$ 和 $100 \sim 1000 \times 10^{-6}$ ，为其他岩层含量的几十倍至几百倍，这就是矿质层或称矿源层。虽然矿源层内的金属组分含量尚未达到工业品位，但当地质环境改变，特别是在物理化学条件发生变化时，有用组分发生某种迁移，并可在有利的构造部位重新聚集、沉淀而成矿。

(二) 层控矿床

n 1. 地层控制的实质

- 早在原始侧分泌说提出时就有了矿源层的认识，如1655年伍德华特提出：“现在见于地层垂直裂隙中的金属和矿质，全部来源于这些地层本身；这些金属和矿质从地层中被提出来，转运到裂隙中。”1861年，亨特进一步提出了侧分泌说，指出沉积地层中的金属经后来的变质作用，被溶液转入地层的裂隙中形成矿脉。现在，人们可以明确地指出矿床与某一矿源层之间的确切关系，如许多金矿床主要与绿岩系有关，许多贵金属、稀有和放射性金属矿床与黑色页岩系有关，等等。
- 在地层控制中，岩性的影响也是明显的。化学活泼性大的岩层，顺层选择交代的可能性就大，如碳酸盐岩层。另外，黑色（炭质）岩系可促进金属硫化物还原沉淀，膏盐层可促进含矿溶液的钠化蚀变和铁的富集与沉淀。化学性质活泼的岩层对成矿的有利影响是极为明显的。

(二) 层控矿床

n 2. 成矿元素的活化转移

- 成矿元素在地层某一特定层位的初步聚集，如果不施以后期的再次富集作用，很多是没有经济价值的。再次富集主要取决于地层中元素的活化和转移。活化转移的介质可能多种多样：如通过地下水溶液的溶滤，变质作用过程中变质热液的溶出，岩浆热液活动等。
- 实验证明，直接从岩浆和岩浆分泌的热液中带出的成矿元素，在许多情况下并非是成矿作用时主要的物质来源，而从地层中转移出来的成矿元素，则往往构成成矿物质的主体。例如，我国绿岩带中的金矿，成矿元素主要来源于绿岩带中的镁铁质岩石，而成矿主要与中生代花岗岩浆活动有关。

(二) 层控矿床

n 3. 地层结构和层内构造的控制

- 层控矿床尽管首要的因素是地层控制，但绝非某一特定层位中均匀地布矿，更非整个地层的矿化均具工业意义。实际上，只是在那些有利于矿液活动和矿质富集的部位，才能形成工业矿体。
- 在一套地层中存在角度不整合面、平行不整合面、层间角砾岩层及其他空隙大而胶结虚弱的结合面。此外，地层在构造变动时产生的层间剥离、层间破碎、层间滑动、地层裂隙、网状裂隙等都有利于矿液的活动，并且是矿质沉淀的部位。当被活化的成矿物质或外来的成矿物质运移时，必然优先进入这些有利的构造部位，通过充填和交代而成矿。
- 地层的组合关系往往对成矿也有重要影响，如由页岩、泥灰岩、石灰岩和白云岩等构成的地层组合，矿化往往选择钙质地层交代，特别是页岩构成隔挡层时，矿化多处于页岩层下伏的碳酸盐岩层中，呈层状或似层状产出。这种现象以我国西南地区的汞、锑矿床最为典型。

(二) 层控矿床

n 4. 成矿作用和成矿物质的叠加

- 层控矿床往往具有明显的热液活动的标志，在含矿层位中出现的穿切地层的细脉（经常是微切割地层）表明含矿层位受到明显的热液叠加的改造。所谓改造，即指矿床或矿化地层于沉积形成后，受到另一次或多次地质作用而发生的各种改变。在各种改变中可以发生不同成矿物质来源所提供的矿质的叠加。因此，层控矿床一般是多成因的、多成矿阶段的和多物质来源的。这类矿床通常不仅具有外生特征，而且具有内生特征。

- n 综上所述，层控矿床虽然在许多问题上尚未取得一致意见，成矿机制也并非十分清楚，但是层控矿床的不断被认识和层控理论的发展，则不仅是成矿理论的需要，也是生产的需要。今后加强对此类矿床的研究，有重要的理论和实际意义。

四、板块构造与成矿作用

第二节 成矿规律

- n 板块构造理论是建立在大陆漂移和海底扩张基础上，将海洋和大陆作为统一整体的全球构造学说，人们在用板块构造理论研究地球动力学及大地构造演化时注意到板块构造环境与成矿作用的关系，尤其是不同板块边界的成矿问题。各种板块边界既是构造运动，岩浆活动及热液活动非常强烈的地带，同时由于板块边界类型不同，因而形成不同的岩石组合和不同的矿床类型。近年来，对板块内的热点-地幔柱成矿的研究取得了一些新的成果。各种类型的矿床与板块构造的关系归纳如下。

(一) 板块内部的矿床

n 1. 大洋板块内部的矿床

- 最主要的是深海中的锰铁结核，储量巨大，结核中含锰8%~40%，平均20%；含铁2.5%~26%，平均16%；还有Co、Ni、Cu、Pb、Zn、Ag等。人们正在设法开采这些矿石。
- 大洋玄武岩中的磁铁矿矿床，该类玄武岩被认为与大洋板块内部地幔柱构造有关，规模一般不大，开采条件复杂，工业意义不大。

n 2. 大陆板块内部的矿床

- 类型较多，成因也复杂，有南非布什维尔德层状镁铁质-超镁铁质杂岩体中的铬矿床，维特瓦特斯兰德金（铀）砾岩矿床，布什维尔德铂族元素矿床，萨德伯利型铜镍硫化物矿床，密西西比型铅-锌矿床及蒸发岩矿床，沉积型铀-钒矿床，与大陆溢流玄武岩有关的安卡拉-伊利姆式铁矿床，该类玄武岩被认为与大陆板块内部地幔柱构造有关。

n 3. 被动大陆边缘的矿床

- 为大西洋型大陆边缘，产出有钛、锆和磁铁矿的砂矿。此外，大陆架上还形成有磷块岩。

(二) 离散板块边界的矿床

n 1. 大洋中脊的矿床

- 主要有塞浦路斯型块状硫化物矿床，如塞浦路斯和纽芬兰等地的矿床，与蛇绿岩套有关的铬铁矿矿床，铜镍硫化物、石棉、金及铁锰沉积矿床。

n 2. 裂谷中的矿床

- 比较复杂，主要有与花岗岩-流纹岩-碱性花岗岩有关的锡、钽、钨矿化（东非裂谷、贝加尔裂谷等），红海阿特兰底斯的金属泥矿床；热水喷流型铅锌矿床（辽-吉裂谷），与层状镁铁质-超镁铁质杂岩体有关的钒、钛、铁矿床（攀西裂谷），油气盆地（北海ViKing中央地堑、尼日利亚三角洲）；成煤盆地（晚侏罗-早白垩世阜新煤田）。

n 3. 在盆岭期形成的矿床

- 这类矿床形成于陆内造山期以后或过渡期内，是在以拉伸为主的构造背景下形成的，但未形成狭长的裂谷带，主要矿床有浅成低温金、银、铜、锑、汞矿床，明矾石矿床等；碳酸盐岩中的层控铅锌矿床（美国东部阿帕拉契亚铅锌矿床）；碳酸盐岩中层控汞锑矿床；斑岩铜（钼）和斑岩铜（金）矿床（美国西部盆岭区）；硬石膏和石盐等盐类矿床；部分煤、油气矿床。

(二) 聚合板块边界的矿床

n 1. 大洋板块与大陆板块俯冲带中的矿床

- 以环太平洋斑岩型铜钼矿最为典型，规模大，数量多，还发育斑岩型金、钨、锡、铅锌矿等。其次是与斑岩型矿床有着密切时空及成因联系的浅成低温热液金、银、汞、锑等矿床。其他主要的矿床类型有：与中酸性花岗岩有关的热液脉型、矽卡岩型钨、锡、铋、铍、铀、铌、钽及稀土矿床，块状硫化物矿床（以黑矿为主），与镁铁质-超镁铁质杂岩体有关的铬铁矿、钒钛磁铁矿矿床（以阿拉斯加型为主），与火山作用有关的非金属矿床（自然硫、明矾石、硬石膏、沸石、叶蜡石、萤石等），边缘盆地的油气矿床（如波斯湾边缘前陆）和岩浆弧控盆地油气矿床（新生代安第斯盆地）。

n 2. 大陆板块与大陆板块碰撞接合部位（地缝合线）的矿床

- 发育有超镁铁质岩组合及大型铬铁矿矿床，如西伯利亚板块与俄罗斯板块交接的乌拉尔带，欧亚板块与印度板块的接合带，都有重要的铬铁矿矿床，斑岩型铜矿如玉龙铜矿、土屋铜矿、蒙古额登勒铜矿等。

四、板块构造与成矿作用

第二节

四、

板块构造与成矿作用

n (四) 转换边界的矿床

- 出现一些矿种如铜、钼、铬等，成矿作用不强，同时研究程度不够。

n 需要指出的是，按照板块构造理论较其他的构造观点对全球构造与成矿的关系进行分类更是科学性和系统性，但仍有一些问题需要进一步解决。主要有：

- ①古板块与成矿的关系；
- ②板块内部热点-地幔柱的成矿问题及与板块构造的关系；
- ③大型撞击构造与成矿的关系等。