

DOI: 10.13745/j.esf.2018.03.011

# 中国铬铁矿资源潜力分析及找矿方向

杨毅恒<sup>1</sup>, 曾乐<sup>2,\*</sup>, 邓凡<sup>2</sup>, 胡建中<sup>3</sup>

1. 北京信息科技大学, 北京 100085

2. 中国地质调查局 天津地质调查中心, 天津 300170

3. 中国地质大学(北京), 北京 100083

YANG Yiheng<sup>1</sup>, ZENG Le<sup>2,\*</sup>, DENG Fan<sup>2</sup>, HU Jianzhong<sup>3</sup>

1. Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100085, China

2. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China

3. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China

YANG Yiheng, ZENG Le, DENG Fan, et al. Geological characteristics and mineralization potential of chromite resources in China. *Earth Science Frontiers*, 2018, 25(3): 138-147

**Abstract:** Chromite is one of the strategic minerals and in great shortage in China. The country relies on import to meet its resources need as the gap between chromite supply and demand widens yearly due to limited reserves and production capacity. Based on the systematic analyses of the distribution characteristics and metallogenic types of chromite minerals in China, we divided chromite metallogenic zones into 4 level-I domains, 11 level-II provinces and 20 level-III belts. We also determined the forecasting parameters and established the prediction models: one for the intrusive body type ultrabasic rocks, and the other for the stratiform-like magmatic type chromite deposits. Using geological data—collected and tabulated for each province—and guided by GIS technology, we performed the delineation and optimization of the forecasting areas, and focused on the 3 selected level-III chromite prediction areas for resource evaluation. By estimation, chromite reserves may reach 500 million tons in the forecasting areas. Our data showed that the national chromite resources are 7.21532 billion tons in total, with 1.56559 and 5.64973 billion tons in demonstrated and predicted resources, respectively. Integrating new and old resources assessment data, it is believed that great potential exists for resource exploration in areas such as Saertuo Sea in Xinjiang, Luobusa in Tibet, and Dadaoerji in Gansu Province.

**Key words:** chromite; mineral characteristics; prediction model; mineralization potential

**摘要:** 铬铁矿是我国急缺的战略矿产之一, 主要来源依靠进口, 由于资源储量和生产量有限, 供需缺口连年加大。本文在全国重要矿产资源潜力评价数据成果基础上, 对全国铬铁矿资源进行潜力预测。通过对我国铬铁矿矿产分布特征、成矿类型的系统分析, 进行了成矿区带划分, 划分出 4 个 I 级成矿域、11 个 II 级成矿省和 20 个 III 级成矿带。综合成矿规律, 归纳出预测要素, 建立了两种预测评价模型, 分别为与超基性岩有关的侵入岩体型铬铁矿和与超基性岩有关的似层状岩浆型铬铁矿。在充分收集整理各省铬铁矿地质资料基础上, 以 GIS 的矿产资源预测与评价为手段, 开展了预测区的圈定与优选, 重点筛选出 3 个预测资源量较大可达到 500 万 t 以上的铬铁矿三级预测区, 进行了简单的资源评价, 探讨铬铁矿资源潜力, 提出找矿建议。评价数据显示, 全国铬铁矿资源总量 7 215.32 万 t, 累计查明铬资源量共计 1 565.59 万 t, 预测铬资源量共计 5 649.73 万 t。综合分析铬铁矿研究区已有工作成果和找矿进展, 结合全国重要矿产资源潜力评价最新成果, 认为在新疆萨尔托海、西藏罗布莎、甘肃大道尔吉等地区资源潜力巨大, 是主要找矿方向, 可作为重点找矿部署区。

收稿日期: 2017-10-15; 修回日期: 2018-03-12

基金项目: 中国地质调查局项目“全国重要矿产总量预测”(1212010633905, 1212010733806, 1212011121040)

作者简介: 杨毅恒(1958—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事矿产资源数据解析和矿产资源评价工作。E-mail: Yiheng623@163.com

\* 通讯作者简介: 曾乐(1990—), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事成矿规律研究与预测工作。E-mail: zenglecc@126.com

关键词: 铬铁矿; 矿产地质特征; 预测模型; 资源潜力分析

中图分类号: P618.33; P612 文献标志码: A 文章编号: 1005-2321(2018)03-0138-10

世界铬铁矿资源总储量丰富, 但分布极不平衡, 95%的铬铁矿资源集中于南非、哈萨克斯坦、俄罗斯等国家<sup>[1]</sup>, 可开采储量和探明储量以南非居首, 占世界总储量的60%, 其次为哈萨克斯坦, 占20%, 我国所占世界资源量比重仅在0.15%左右<sup>[2-3]</sup>。据国土资源部全国矿产资源报告(2017年)统计数据显示, 我国已发现铬铁矿产地约56处, 2016年探明资源量约1 233.19万t, 与2015年1 245.8万t的查明资源储量相比减少1%, 与“十一五”末相比减少16.4%。然而我国对铬铁矿的需求量与消耗量持续增长, 供需缺口急剧增大。截至2010年, 我国铬铁矿石进口量已增至866.2万t, 而年均产量仅约22万t, 进口量逐年增加, 对外依存度极高。世界铬资源的90%以上用于冶炼不锈钢, 相关数据显示, 世界不锈钢产量整体保持增长态势, 仅过去10年间, 世界不锈钢产量年增长率近7%, 我国作为不锈钢生产和消费大国, 占世界产量的50%。已有研究<sup>[4]</sup>指出, 我国不锈钢需求量在2020年可达2 200万t以上, 铬铁矿需求量仍将呈现大幅度增长趋势, 未来世界铬铁矿需求总体依旧保持增长, 且集中在以我国为主的亚洲市场。与此相反我国铬铁矿资源一直呈现储量少, 品位低的特点, 虽然在勘查找矿方面做过很多工作, 但仍未获得实质性的突破, 对于几乎完全依赖铬铁矿进口的我国, 开展全国铬铁矿潜力分析是十分必要的。

## 1 铬铁矿成矿地质特征

### 1.1 铬铁矿时空分布特征

我国铬铁矿资源已探明的56个矿区在空间上广泛分布于多个省市、自治区, 但储量分布相对集中(图1)。据全国资源评价统计数据<sup>[5]</sup>显示, 我国铬铁矿累计查明资源储量顺序排列如下: 西藏、内蒙古、新疆、甘肃、北京、青海、河北、吉林、湖北、陕西、山西、四川、云南等。资源量主要集中于西藏、内蒙古、新疆、甘肃地区, 保有储量占全国总保有储量的85%, 而其余9个省仅占15%。从行政区来看, 已查明的铬铁矿资源储量为: 西南地区632.2万t, 占40.3%, 资源量主要集中在西藏; 西北地区520.5万t, 占33.2%; 华北地区407.1万t, 占26%; 东北、华中地区查明资源量不足1%; 华东、华南地区则尚未查明有铬铁矿储量。

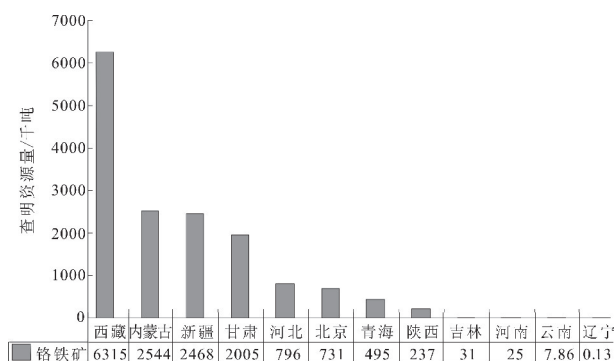


图1 全国12省铬铁矿累计查明资源储量对照图

Fig.1 Distribution of chromite reserves in 12 Chinese provinces

成矿时代方面, 我国铬铁矿从新太古代—中生代均有分布, 但从成矿规模和矿石品级看, 以中生代及古生代最为重要。多数学者认为, 我国最早的蛇绿岩型铬铁矿始于元古宙, 古生代是我国北方地区蛇绿岩型铬铁矿重要成矿期, 古生代早期有北祁连造山带成矿, 古生代晚期为兴蒙造山带成矿。早古生代铬铁矿床数量较多, 但规模较小, 均属中、小型。中生代铬铁矿主要分布于我国的西南地区, 并且探明资源量极大, 大型矿床均产于该时期<sup>[6]</sup>。典型代表有新疆的萨尔托海蛇绿岩型铬铁矿床、西藏的罗布莎蛇绿岩型铬铁矿床等。

### 1.2 铬铁矿成矿类型

按建造类型划分, 目前世界上已发现的原生铬铁矿床可分为两种基本类型: 一类为层状铬铁矿床, 零星分布于显生宙以前稳定地台层状镁铁—超镁铁杂岩中。矿体具有典型的岩浆堆晶层理, 铬尖晶石集合体与橄榄石、辉石等造岩矿物形成平行且稳定延伸的矿层, 通常具有巨大的矿床规模。资源储量可达世界总储量的70%以上, 但在我国尚未发现具有工业价值的该类矿床。另一类型铬铁矿呈豆荚状, 主要分布于显生宙以来造山带蛇绿岩中, 与地幔变质橄榄岩密切伴生, 上地幔岩浆活动痕迹及后期高温变形构造明显。该类矿体与层状铬铁矿矿体形态不同, 侧向延伸有限, 以豆荚状为典型特征断续出露, 我国铬铁矿床大多为此类型<sup>[7-11]</sup>。

从成矿岩浆分异观点出发, 铬铁矿成因分类又可分为岩浆早期(分凝)矿床和岩浆晚期矿床两大类<sup>[12]</sup>。我国的铬铁矿的成因类型主要为岩浆晚期矿床, 根据其形成的不同地质条件进一步分为两类: 一类产于以斜辉辉橄岩为主的纯橄岩—斜辉辉橄

岩型镁铁质岩中, 矿体多赋存于斜辉辉橄岩相或该岩相与纯橄榄岩相接触带附近的纯橄榄岩异离体中, 常成群、成带、分段集中分布, 是我国铬铁矿床的主要类型; 另一类主要产于纯橄榄岩为主的纯橄榄岩-单斜辉石岩型岩体中, 矿体多赋存在纯橄榄岩岩相内的粗粒-伟晶纯橄榄岩中, 规模一般较小, 占有一定比例, 但多为贫矿。

1.3 铬铁矿成矿区带

中国铬铁矿成矿域(I级)的划分与中国大陆在全球板块构造中的动力系统相关, 显生宙以来, 中国大陆主要受到古亚洲洋构造域、特提斯-古太平洋构造域和印度板块与欧亚板块俯冲碰撞构造域的控制, 并相应地划分出古亚洲洋、特提斯和环太平洋三大铬铁矿成矿构造域。需要指出的是位于中央造山带的秦祁昆造山带分割了塔里木-华北克拉通和扬子克拉通, 按其定义本将划入II级成矿区带, 但因其构造成矿意义重大, 可将其单独列为I级构造域。这样I级成矿构造域有4个。

中国铬铁矿的大区域成矿省(II级)的划分采用以地块为中心、包括周缘造山带之古板块作为划分成矿省的准则, 但这种划分在中国不同地区标准有些差异: 西部地区因为地体的裂解、洋盆俯冲-闭

合、地体的汇聚拼接及造山隆升等板块构造活动及相应之成矿作用界线清晰, 成矿构造单元(以III级为主)与大地构造分区能较好吻合; 而中国东部晚前寒武纪-古生代古板块体制受到中-新生代滨太平洋构造域的强烈改造, 成矿作用也以中-新生代为主, 并主要受控于新的地球动力学(如应力场), 但又受到某些先期构造(如基底之隆坳构造和大型断裂构造)的制约, 因而东部地区铬铁矿成矿省以克拉通和陆内造山带为划分标志。

中国铬铁矿的成矿区带的III级成矿带是进行成矿规律研究及矿产资源潜力评价和成矿预测的基础, 因而是成矿区带划分的核心。对铬铁矿的成矿规律与资源预测而言, 成矿区带无疑是资源预测的重点。但在III级成矿区带的划分原则上, 东、西部地区仍有些差异: 西部地区铬铁矿成矿带划分依据主要为地体边缘拼接碰撞所形成的造山带(缝合带), 且划分标志清晰; 而东部地区铬铁矿受到中新生代滨太平洋构造域的强烈叠加与改造, 形成陆内造山带, 因此东部地区的陆内造山带相当于区域性的III级成矿带。

I、II、III级成矿区带的划分和命名依照《中国成矿区带划分方案》<sup>[13]</sup>, 共有I级成矿域4个, II级成矿省11个, III级成矿区带20个(表1, 图2)。

表1 中国铬铁矿成矿区带划分表

Table 1 Classification of chromite ore zones in China

I级成矿域	II级成矿省	III级成矿区带
古亚洲(洋)成矿域 (I-1)	准噶尔成矿省(II-2)	唐巴勒-卡拉麦里 Cr-Cu-Mo-Au-Sn-W-Mo-Hg-硫铁-石墨-石棉-水晶-明矾石-煤-石油-天然气成矿带(III-2)
	塔里木成矿省(II-4)	塔里木板块北缘 Fe-Ti-Mn-Cu-Ni-Mo-Pb-Zn-Sn-Au-Sb-白云母-铬铁矿-铝土矿-硅灰石-红柱石-石油-天然气-玉石成矿带(III-12)
	大兴安岭成矿省(II-12)	东乌珠穆沁旗-嫩江 Cu、Mo、Cr 成矿带(III-48) 阿巴嘎-霍林河 Cr、Cu(Au)成矿带(III-49) 林西-孙吴 PbZnCuMoAu 成矿带(III-50)
秦祁昆成矿域 (I-2)	阿尔金-祁连(造山带)成矿省(II-5)	北祁连 Cu-Pb-Zn-Fe-Cr-Au-Ag-硫铁矿成矿带(III-21) 南祁连(含拉脊山)铅锌金铜铬成矿带(III-23)
	昆仑(造山带)成矿省(II-6)	柴达木北缘 Pb-Zn-Mn-Cr-Au-白云母成矿带(III-24)
	秦岭-大别造山带成矿(II-7)	西秦岭 Pb-Zn-Cu(Fe)-Au-Hg-Sb 成矿带(III-28) 北秦岭 Au-Cu-Mo-Sb-石墨-蓝晶石-红柱石-金红石成矿亚带(III-66A) 南秦岭 Au-Pb-Zn-Fe-Hg-Sb-RM-REE-V-蓝石棉-重晶石成矿亚带(III-66B) 东秦岭 Au-Ag-Mo-Cu-Pb-Zn-Sb-非金属成矿带(III-66)
特提斯成矿域 (I-3)	喀喇昆仑-三江成矿省(II-9)	西金乌兰-金沙江成矿带(III-33) 昌都-普洱(地块/造山带)Cu-Pb-Zn-Ag-Fe-Hg-Sb-石膏-菱镁矿-盐类成矿带(III-36) 墨江-绿春(小洋盆)Au-Cu-Mo-Pb-Zn 成矿带(III-34)
	大冈底斯成矿省(II-10)	班公湖-怒江成矿带(III-40)
	大喜马拉雅成矿省(II-11)	雅鲁藏布成矿带(III-44)
滨太平洋成矿域 (I-4)	吉黑成矿省(II-14)	吉中-延边(活动陆缘)MoAuAsCuZnFeNi 成矿带(III-55)
	华北成矿省(II-15)	辽东(隆起)Fe-Cu-Pb-Zn-Au-Cr 成矿带(III-56) 华北陆块北缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-成矿带(III-57)

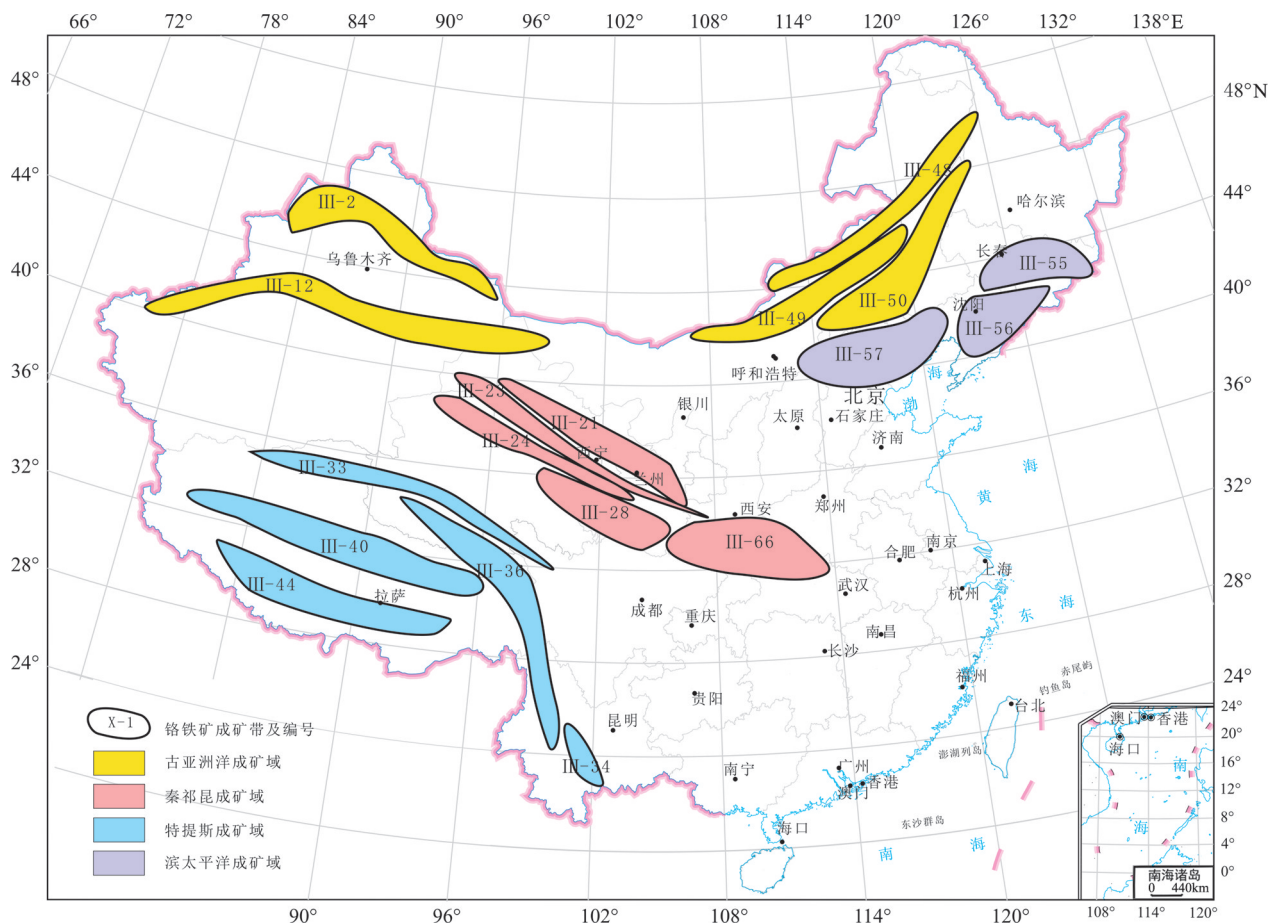


图 2 中国铬铁矿成矿区带分布图

Fig.2 Distribution of metallogenic belts of chromite ore in China

## 2 铬铁矿成矿预测模型

我国铬铁矿按成因类型及成矿条件,具有找矿潜力的预测评价类型为与超基性岩有关的侵入岩体。根据成矿作用和成矿地质条件的不同,分别划分了蛇绿岩型和岩浆型铬铁矿两种预测类型,矿产定量预测评价模型如下。

(1)蛇绿岩型铬铁矿,占总储量的 59%,其成矿多受蛇绿岩控制。矿床产于志留纪—石炭纪蛇绿混杂岩带内的超镁铁岩中,主要分布在新疆、西藏、青海、河南等地,典型代表有新疆的萨尔托海蛇绿岩型铬铁矿床、西藏的罗布莎蛇绿岩型铬铁矿床等。

(2)岩浆型铬铁矿,占总储量 41%。成矿环境多为地台凹陷带或增生褶皱系碳酸盐岩分布地区。矿床主要分布在内蒙古、河北、河南、吉林、辽宁、云南、北京。代表性矿床有长江中下游地区大冶铜绿山、封山洞,九江城门山、武山,铜陵铜官山、冬瓜山,以及滇东凹陷带的个旧、华南褶皱系的石录等矿床,

形成了长江中下游成矿带、燕山成矿带。

### 2.1 蛇绿岩型预测评价模型

关于蛇绿岩型铬铁矿的成因模型,以典型代表矿床罗布莎铬铁矿为例,一般认为其形成模式具有多阶段特征<sup>[14-15]</sup>,其形成由早期深部地幔底辟上升,引起部分熔融,成矿元素从矿物中释放,进行初始富集,随大洋持续扩张,被带至俯冲环境下。随洋内俯冲作用的进行,在俯冲带上发生岩石/熔体反应和再次的高度部分熔融作用,洋内弧俯冲带之上的弧间(弧后盆地)拉张环境下铬铁矿聚集成矿。根据典型蛇绿岩型铬铁矿模型可总结出我国蛇绿岩型铬铁矿的预测评价模型如下。

#### 2.1.1 地质环境

大地构造位置:弧后洋盆闭合条件下逆冲推覆构造岩浆带。

成矿环境:形成多与俯冲带之上的环境(SSZ)和大洋中脊的环境(MORB)及古生代大型推覆构造活动有关。

成矿时代:志留纪(S)、石炭纪(C)、侏罗纪(J)、

白垩纪(K)等。

含矿建造:以蛇绿混杂岩系为主。

含矿岩系:纯橄岩-斜辉辉橄岩岩相带。

2.1.2 矿床特征

矿物组合:矿石矿物为铬尖晶石,脉石矿物主要为蛇纹石,次为菱镁矿及绿泥石等。

矿石结构/构造:半自形-它形结构为主,少量半自形结构;准致密块状、稠密浸染状、稀疏浸染状、细脉浸染状、斑杂状构造为主,少量的松鸡羽毛状、斑杂条带状构造、角砾斑杂状构造。

围岩蚀变:片理化、滑石化等普遍发育,叶蛇纹石化、菱镁矿化、碳酸盐化、透闪石化、绢石化等不同地段发育程度不同,叶蛇纹石化、菱镁矿化在含矿相带局部相对更为发育,而绢石化则相反。

控矿条件:位于超镁铁岩体中的偏基性的纯橄岩-斜辉辉橄岩相带内;超镁铁杂岩体的纯橄岩、斜辉辉橄岩杂岩带。

2.1.3 主要预测要素

蛇绿岩型铬铁矿产出的大地构造环境,蛇绿岩型铬铁矿的主要成矿时代(多为泥盆-石炭纪),纯橄岩、斜辉辉橄岩、蛇绿岩岩铬铁矿产地,Cr、Co、Ni单元元素化探异常,蛇绿混杂岩建造(志留纪(S)、石炭纪(C)、侏罗纪(J)、白垩纪(K)),重要的控矿、导岩构造。

将化探相关的异常曲线叠加于矿床地质综合剖面上,形成罗布莎铬铁矿预测模型图(图3)。

2.2 与超基性岩有关的似层状岩浆型预测评价模型

此类型矿床属早期岩浆重力分异矿床,局部属偏晚期压滤式矿床。早期岩浆型矿床的形成受原生流动构造与重力分异作用的双重控制;早期矿床形成后,有较晚期的富矿的熔浆受外力影响,被压入到早期形成的矿体中,形成晚期压滤式矿床。

2.2.1 地质环境

大地构造位置:晋冀古陆块(II-1)和胶辽古陆块(II-2)两个II级构造单元。

成矿环境:俯冲带之上的环境(SSZ)和大洋中脊的环境(MORB);形成多与古生代大型推覆构造活动有关。

成矿时代:新太古代-中元古代、中生代为主。

含矿岩系:太古宙铬铁矿主要赋存于蛇纹岩、蛇纹石化纯橄岩、辉橄岩、橄橄岩岩相中。晚古生代铬铁矿含矿化岩石主要为蛇纹石化纯橄岩、透闪石化辉石岩、闪辉岩等岩体,具有工业价值的只有产于纯橄岩体中的铬铁矿。

2.2.2 矿床特征

矿物组合:金属矿物主要为铬尖晶石,脉石矿物主要为蛇纹石、滑石、蛭石、透闪石、方解石,少量次生磁铁矿、黄铁矿和磁黄铁矿。

矿石结构/构造:矿石结构为自形或半自形结构;矿石构造主要有以浸染状构造为主,多呈中等浸染状或稀疏浸染状,亦有致密块状、稠密浸染。

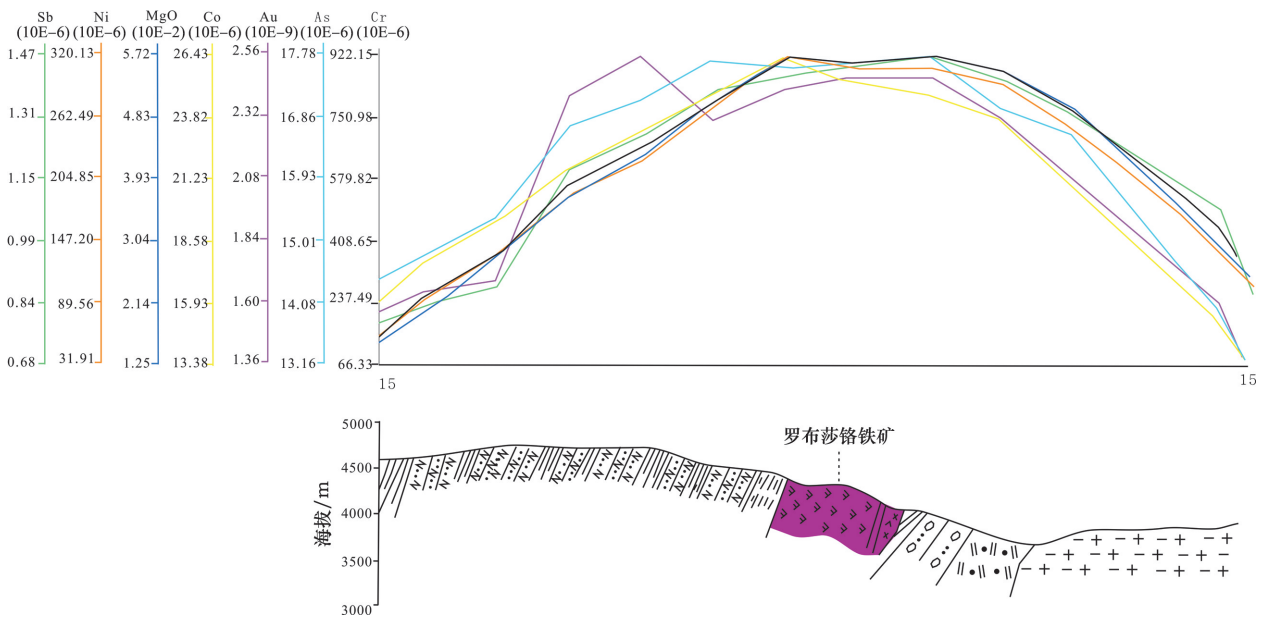


图3 罗布莎预测研究区预测模型图

(据西藏自治区铬铁矿潜力评价成果报告,2012<sup>[16]</sup>)

Fig.3 Research area prediction model of the Luobusha chromite deposits

围岩蚀变: 蛇纹石化、滑石化、透闪石化、蛭石化、绿泥石化。

控矿条件: 构成岩体的流面构造。

### 2.2.3 主要预测要素

岩浆作用、基性岩浆岩含矿建造、铁、铬矿种。在典型矿床剖面图上, 叠加铬元素的化探异常剖面, 构成预测模型图(图4)。

## 3 资源潜力评价

根据全国重要矿产资源潜力评价成果, 全国铬铁矿资源总量 72 153.26 千吨; 累计查明铬资源储量共计 15 655.94 千吨; 预测铬资源量共计 56 497.32 千吨(表2, 图5)。铬铁矿在我国主要分布于西藏罗布

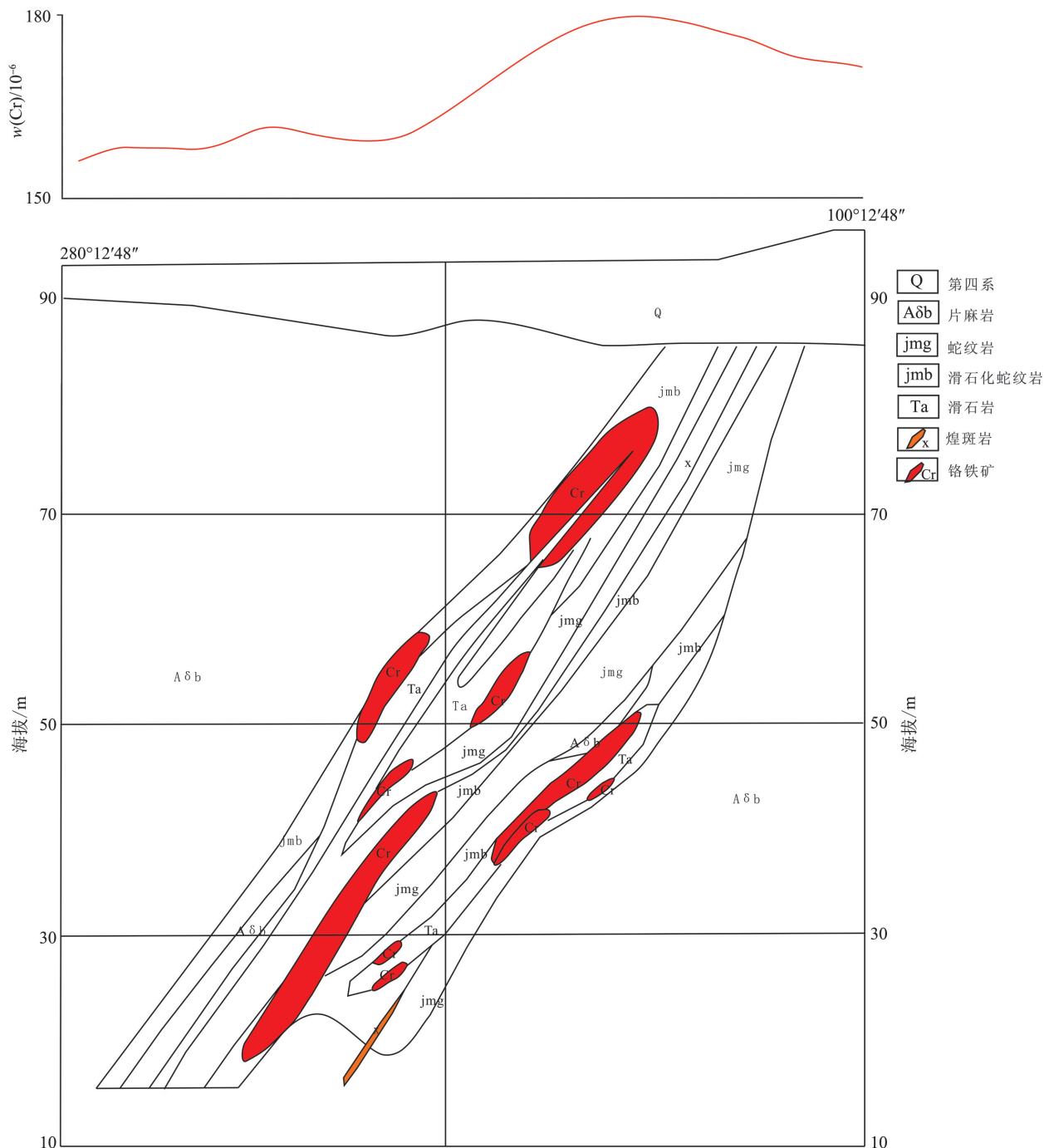


图4 遵化市毛家厂铬铁矿预测模型图  
(据河北省铬铁矿潜力评价总体成果报告, 2012<sup>[17]</sup>)

Fig.4 Research area prediction model of the Maojiachang chromite deposits

莎、内蒙古浩雅尔洪克尔、新疆准噶尔盆地西玛依勒山、甘肃肃北县大道尔吉、河北遵化与承德、青海祁连山等地区。主要矿床类型包括岩浆型和蛇绿岩型两种类型。

表 2 中国铬铁矿资源量统计表

Table 2 Statistics of chromite reserves in China

省份	查明资源量/千吨	预测资源量/千吨	资源总量/千吨
新疆	2 468.00	25 376.20	27 844.20
青海	495.00	2 433.00	2 928.00
西藏	6 315.00	10 204.00	16 519.00
甘肃	2 005.10	5 409.07	7 414.17
云南	7.86	835.04	842.90
吉林	31.00	83.07	114.07
辽宁	0.13	0.55	0.68
河南	25.04	22.39	47.43
河北	796.40	1 890.43	2 686.83
陕西	237.56	485.64	723.20
内蒙古	2 543.53	8 784.35	11 327.88
北京	731.32	973.58	1 704.90
总计	15 655.94	56 497.32	72 153.26

### 3.1 铬铁矿资源定量预测成果

本次全国潜力评价共有辽宁、吉林、河南、河北、内蒙古、甘肃、青海、陕西、新疆、西藏、云南、北京等 12 个省市、自治区对铬铁矿进行了预测,共获得铬铁矿预测资源量 56 497.31 千吨,排在前十的省(直辖市、自治区)为新疆、西藏、内蒙古、甘肃、青海、河北、北京、云南、陕西、吉林(图 6)。潜在资源主要分布于新疆、西藏、内蒙古、甘肃等省、自治区,占全国铬铁矿总预测资源量的 88%,其余各省潜在资源量较少,占全国总预测资源量的 12%。与查明资源量分布格局相一致,西部依然为铬铁矿资源重要矿产地。铬铁矿资源总量方面,新疆超过西藏跃居成为我国铬铁矿资源第一大省,随着地质工作程度的不断增加,未来铬铁矿分布格局可能还将随之改变。

全国铬铁矿预测资源量按深度分类统计显示,500 m 以浅预测资源量为 51 726.65 千吨,1 000 m 以浅预测资源量为 56 321.03 千吨,2 000 m 以浅预测资源量为 56 497.31 千吨(图 7)。

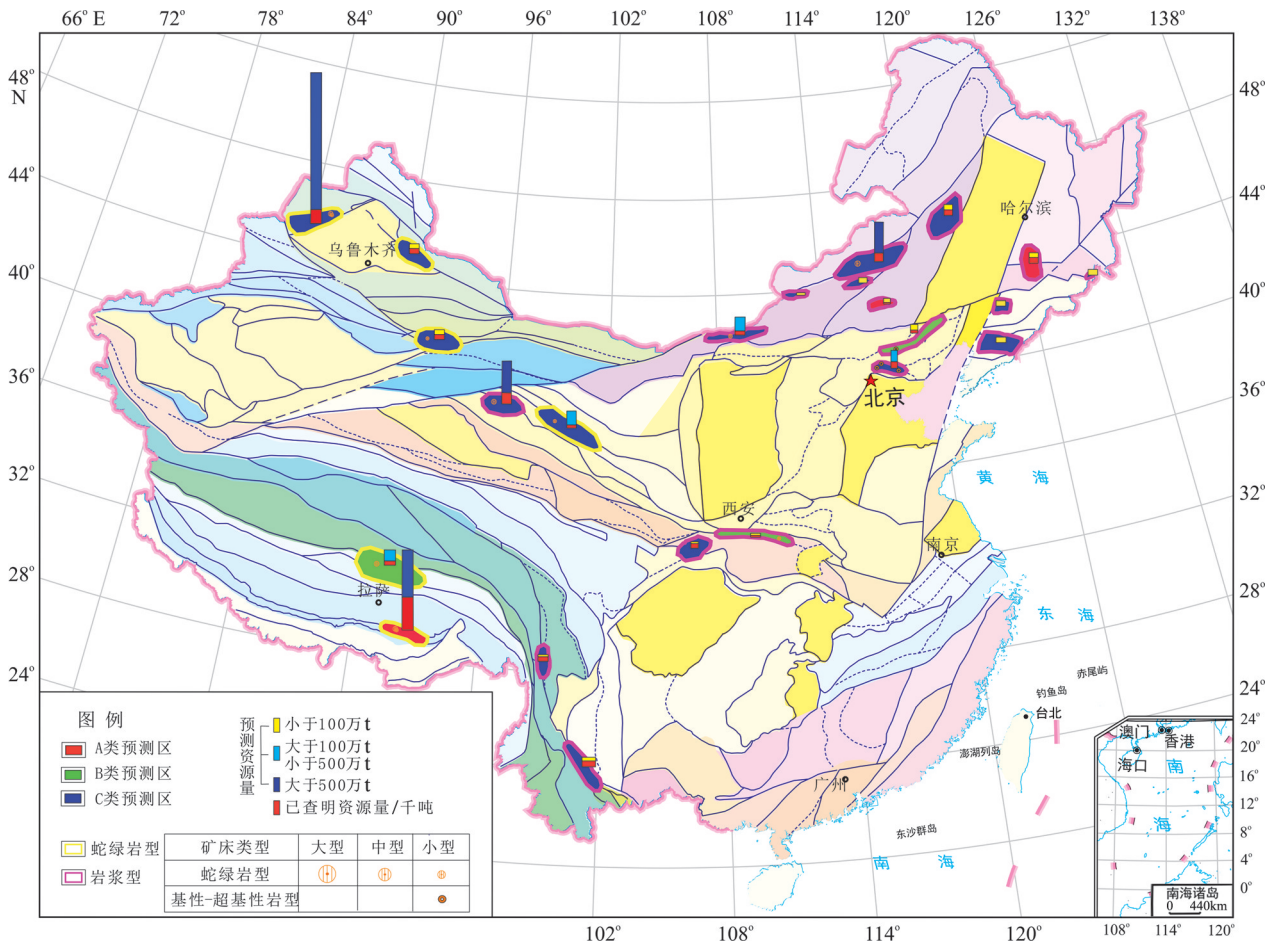


图 5 中国铬铁矿资源量分布图

Fig.5 Distribution of chromite reserves in China

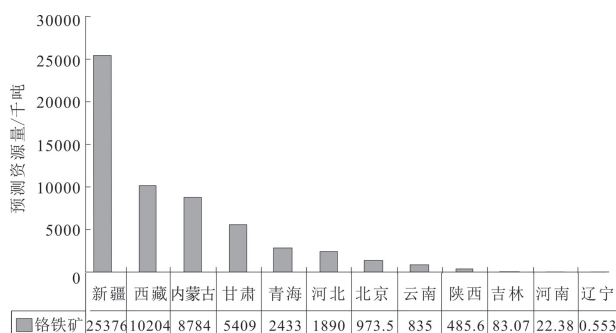


图6 全国12省(市、区)铬铁矿预测资源量统计分布图  
Fig.6 Distribution of predicted chromite resources in China

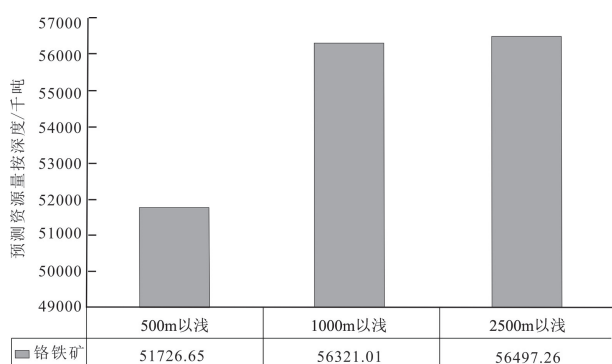


图7 全国铬铁矿不同预测深度预测资源量对比图  
Fig.7 Comparison of predicted chromite resources at different depths in China

全国铬铁矿预测资源量按地质可靠程度分类统计显示,334-1 预测资源量为 18 384.32 千吨,334-2 预测资源量为 21 628.26 千吨,334-3 为 16 484.73 千吨,分别占总预测资源量的 33%、38%和 29%。

按照目前技术经济评价,在未查明的铬铁矿资源量中,全国铬铁矿预测资源量按不同利用程度分类统计得出,可利用的铬铁矿源量为 27 005.28 千吨(48%),暂不可利用的为 29 492.03 千吨(52%)。

### 3.2 铬铁矿主要预测区的潜力分析

全国累计圈定 358 个铬铁矿最小预测区,在此基础上全国共圈定 45 个铬铁矿 3 级预测区(图 5)。在 3 级预测区中,预测资源量在 500 万 t 以上的铬铁矿预测区有 3 个(表 3),100 万~500 万 t 的铬铁矿预测区有 5 个,小于 100 万 t 的铬铁矿预测区有 37 个。

通过全面利用各省铬铁矿地质、地球物理、地球化学和遥感等资料,参考铬铁矿已查明储量和预测资源量等密度图进行综合研究,对比矿产预测类型的典型矿床预测要素特征,筛选出 3 个预测资源量在 500 万 t 以上的铬铁矿三级预测区。

#### 3.2.1 新疆萨尔托海三级预测区

萨尔托海预测区位于新疆北部准噶尔盆地西北缘玛依勒山东部至成吉思汗山一带。受达尔布特大断裂以及相伴生的次级断裂影响,区内广泛发育石炭系地层及华力西期的活动大陆边缘及后碰撞型的花岗岩类及 SSZ 型蛇绿岩组合。本预测区为达拉布特蛇绿混杂岩带。该带形成时代为泥盆纪到早石炭世。达拉布特蛇绿岩带底部的变质橄榄岩与下伏石炭系地层之间存在一个大的推覆构造,使底部的变质橄榄岩和蛇绿混杂岩逆冲到浅部,形成西准噶尔最长的蛇绿混杂岩带。11 个大的岩块中,萨尔托海是出露面积最大的岩体之一,岩体走向北东,呈不规则带状展布。断裂构造对岩体的控制明显。萨尔托海岩体主要由斜辉辉橄岩和少量的纯橄岩、斜辉橄岩、二辉橄岩组成。

萨尔托海岩体目前共发现矿群 26 个<sup>[18]</sup>。矿群长度多在 150~500 m,延深多在 55~160 m,矿床共发现矿体 524 个,长度一般 3~160 m,已发现的 106 个地表矿体和 418 个盲矿体,规模均较小,总的来说,矿体形态复杂多样,其中形态相对简单的透镜状、似透镜状矿体,规模较大,长度一般 30~160 m,真厚度一般 2~18 m,延深一般 20~110 m,探求的资源量可达 85% 以上;而形态更为复杂的囊状、似脉状、扁豆状矿体,规模较小,长度一般 3~55 m,真厚度一般 0.3~6 m,延深一般 3~30 m。

预测工作区按区域成矿环境和区域成矿特征显示,蛇绿岩型铬铁矿在区域成矿环境方面均形成于俯冲带之上的环境(SSZ)和大洋中脊的环境(MORB),与古生代大型推覆构造活动有关<sup>[19-20]</sup>。成矿时代多为泥盆纪—石炭纪,含矿建造以蛇绿混杂岩系为主<sup>[21-22]</sup>。

表 3 全国铬铁矿 3 级预测区一览表(大型以上)

Table 3 Summary of chromite level-III forecasting areas in China(large-sized and above)

编号	三级预测区名称	已探明资源量/千吨	预测资源量/千吨			矿产预测类型
			500 m 以浅	1 000 m 以浅	2 000 m 以浅	
1	萨尔托海三级预测区	2 427.424 1	23 522.089 8			蛇绿岩型铬铁矿
2	罗布莎三级预测区	5 682	7 106	8 315		蛇绿岩型铬铁矿
3	大道尔吉三级预测区	2 005.1	2 271.85	5 409.070 2		岩浆型铬铁矿



本次铬铁矿预测共划分了12个2级预测区和61个最小预测区。预测工作区经预测估算共得预测资源量2 537.62万t, 相比已探明的资源量246.80万t, 多出甚多, 显示新疆铬铁矿仍有较大的找矿潜力, 其中以萨尔托海预测工作区更具找矿前景, 特别是萨尔托海矿区的深部。建议对其开展以物探结合钻探进行外围及深部找矿。

### 3.2.2 西藏罗布莎三级预测区

该预测工作区位于雅鲁藏布江缝合带的南侧, 呈北西-南东向至近东西向展布。其构造分区属雅鲁藏布江蛇绿混杂岩带(VII-6-1), 成矿区带为仁布一曲松Cr(Pt)、Fe(Mn)、Au(Ag)、Cu、Sb宝玉石成矿亚带(CIV-1-5), 岩石类型为一套蛇绿混杂岩, 即基质和外来岩块组成, 基质为三叠系朗杰学岩群, 岩性为灰褐色板岩、硅泥质岩建造。外来岩块主要是地幔岩石组合序列、洋内岛弧火山序列及其他碳酸盐岩块体等。岩石呈中-细粒自形-半自形结构, 块状构造、浸染状构造、条带状构造。其成矿环境为洋中脊扩张环境, 近东西向展布的雅鲁藏布江缝合带是控制含矿超镁铁岩分布的大型构造带, 成矿时代为侏罗纪-白垩纪(辉长-辉绿岩Sm-Nd: (177+31) Ma<sup>[23]</sup>)。

罗布莎铬铁矿与“罗布莎岩体”密切相关, 罗布莎岩体呈近东西向展布, 向南倾, 延深大于800m。岩体北侧逆冲在白垩系和第三系砾岩之上, 南侧与上三叠统复理石地层断层接触<sup>[12]</sup>。铬铁矿的成矿作用在该岩体中形成2种不同成因的铬铁矿矿床: 一是形成于堆晶杂岩中的岩浆分凝式铬铁矿矿层, 以低品位浸染状矿石为特征; 另一种矿床类型则是具有地幔成因的豆荚状铬铁矿床, 产于地幔橄榄岩带的上部斜辉辉橄岩+纯橄橄榄岩杂岩带中, 全区高品位的工业矿体均来自这种成因类型<sup>[24]</sup>。典型矿床为罗布莎铬铁矿, 根据区内铬铁矿产出分布特征和工作程度, 本次选择了罗布莎式蛇绿岩型铬铁矿作为代表性的矿产预测类型。

本次铬铁矿预测共划分了18个2级预测区和29个最小预测区。全省累计查明铬资源储量6 315千吨, 预测铬资源量10 204千吨。西藏大部分超基性岩地区仍属于空白区, 尚未开展过系统的铬矿勘查及评价工作。本次研究区潜力评价对雅鲁藏布江西段铬铁矿成矿条件和找矿潜力进行地质评价。阿尔卑斯-特提斯喜马拉雅蛇绿岩带(包括我国罗布莎矿床), 是世界上最重要的铬铁矿成矿带<sup>[25-27]</sup>, 雅鲁藏布江西段蛇绿岩是其重要组成部分。研究区

内, 尤其是东坡-拉昂错-休古嘎布蛇绿岩带, 岩体规模大(拉昂错、东坡和当穷岩体出露面积分别为750 km<sup>2</sup>、300 km<sup>2</sup>和155 km<sup>2</sup>), 且均属方辉橄橄榄岩型, 地幔岩系主要由方辉橄橄榄岩和纯橄橄榄岩组成, 部分熔融程度比较高, 不仅出现较多的纯橄橄榄岩, 而且形成较大面积的纯橄橄榄岩相带, 有利于岩石中的成矿物质进入熔体富集成矿<sup>[6]</sup>, 没有遭受构造肢解破坏, 非常有利于寻找铬铁矿, 可以提供较大的找矿空间。到目前为止, 已经在拉昂错岩体发现铬铁矿化点49个, 在东坡岩体发现铬铁矿化点12个, 在当穷-休古嘎布地区发现铬铁矿化点58个<sup>[16]</sup>, 可以认为具有较大的找矿前景, 是本次找矿潜力评价的重要远景区。

### 3.2.3 甘肃大道尔吉三级预测区

大道尔吉铬矿预测工作区处于甘肃省西部祁连山西端, 属肃北县管辖。预测工作区大地构造位于秦祁昆造山系、中-南祁连弧盆系、中祁连岩浆弧, 仅图区西南部属于党河南山-拉脊山蛇绿混杂岩带。在中祁连岩浆弧野马南山基底杂岩带单元内, 北大河岩群构成中深变质陆核, 长城系等构成浅变质岩系, 并与变质陆核共同构成了野马南山结晶基底, 在结晶基底之上, 覆盖有上古生界、中生界和新生界组成的基底盖层。

区域地层主要为元古宇和新生界, 上古生界和中生界零星分布。属于南祁连地层分区的地层主要为早古生代地层和新生界。

预测工作区岩浆活动较强, 火山岩及侵入岩均有产出, 但以后者为主。侵入岩主要为加里东期壳源中酸性花岗岩, 以大岩基、岩株群分布于预测工作区中部。其次是时代归属尚有争议的基性-超基性岩, 呈岩墙、岩株或岩瘤状产出, 有加里东中期、晚古生代等方案, 本次评价中超基性岩体时代采用加里东中期。主要岩体大道尔吉-小道尔吉超基性杂岩即为本预测工作区的主要目标层。区域上分布的超基性杂岩对铬铁矿床的成矿起着决定性的控制作用。矿床赋存于超基性岩中, 所有铬铁矿矿体均产于纯橄橄榄岩中, 纯橄橄榄岩相是本区铬铁矿的含矿岩相。

大道尔吉预测工作区铬矿成矿地质环境为早古生代大洋中脊。典型矿床为大道尔吉式蛇绿岩型铬铁矿。

本次铬铁矿预测圈定3个2级预测区和野人沟、大道尔吉、小道尔吉等5个最小预测区。全省累计查明铬资源储量2 005.1千吨, 预测铬资源量5 409.1千吨。

## 4 结论

中国铬铁矿主要产于古亚洲洋构造域、秦祁昆构造域、特提斯构造域和滨太平洋四大构造域中,与古洋壳的俯冲消减以及古板块、地块或地体的相互拼接碰撞密切相关,作为古洋壳残片的超基性岩的蛇绿岩就定位在板缘造山带中,因此,中国铬铁矿多为蛇绿岩型。本次研究工作针对铬铁矿成矿规律和预测工作展开了研究,取得进展如下。

(1)各省铬铁矿地质、地球物理、地球化学和遥感等资料的综合研究表明,全国累计圈定 358 个铬铁矿最小预测区,在此基础上,全国共圈定 45 个铬铁矿 3 级预测区。在 3 级预测区中,预测资源量在 500 万 t 以上的铬铁矿预测区有 3 个,100 万~500 万 t 的铬铁矿预测区有 5 个,小于 100 万 t 的铬铁矿预测区有 37 个。

(2)对中国铬铁矿开展了成矿区带划分,将其划分为 4 个 I 级成矿域、11 个 II 级成矿省、20 个 III 级成矿带。

(3)根据对各造山带成矿地质背景、成矿地质要素的综合研究,结合物化探和典型矿床矿体地质剖面的剖析,建立了各预测区的成矿预测要素和铬铁矿预测模型,为开展铬矿产预测奠定了基础。

(4)对铬铁矿的资源储量按区域、深度、可利用性类别和可信度进行了统计分析,对储量较大的三级预测区进行了铬铁矿的资源量评价。

## 参考文献

- [1] US Geological Survey. Mineral commodity summaries 2015 [R]. Reston, Virginia: US Geological Survey, 2015: 196.
- [2] 杨经绥, 巴登珠, 徐向珍, 等. 中国铬铁矿床的再研究及找矿前景[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1141-1150.
- [3] 陈向阳, 谢群. 中国铬铁矿的现状与展望[J]. 甘肃科技纵横, 2006(5): 38.
- [4] 张炜. 世界铬矿资源需求分析及预测[J]. 资源与产业, 2016, 18(4): 87-91.
- [5] 中国地质调查局. 全国重要矿产资源潜力评价成果应用: 资源潜力评价与选区研究: 铬铁矿[R]. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所, 2012.
- [6] 鲍佩声, 王希斌, 彭根水, 等. 中国铬铁矿床[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1-260.
- [7] 鲍佩声, 王希斌. 对大道尔吉铬铁矿床成因的新认识[J]. 矿床地质, 1989, 8(1): 3-18.
- [8] 白文吉, 周美付. 新疆洪古勒楞蛇绿岩套中堆积杂岩的地球化学特征及成因[J]. 中国地质科学院院报, 1991, 24: 63-78.
- [9] 郝梓国. 新疆西准噶尔地区蛇绿岩与豆荚型铬铁矿床的成因研究[D]. 北京: 中国地质科学院地质研究所, 1988: 1-124.
- [10] 钟立峰. 藏南罗布莎蛇绿岩岩石学、地球化学及其构造环境研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2006: 1-106.
- [11] 熊发挥, 杨经绥, 刘钊. 豆荚状铬铁矿多阶段形成过程的讨论[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 820-839.
- [12] 朱明玉. 中国铬矿成矿规律[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 1-172.
- [13] 徐志刚. 中国成矿区带划分方案床[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [14] 周二斌, 杨竹森, 江万, 等. 藏南罗布莎铬铁矿床铬尖晶石矿物学与矿床成因研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(7): 2060-2072.
- [15] 熊发挥, 杨经绥, 巴登珠, 等. 西藏罗布莎不同类型铬铁矿的特征及成因模式讨论[J]. 岩石学报, 2014, 30(8): 2137-2163.
- [16] 西藏自治区地质调查院. 西藏自治区铬铁矿资源潜力评价成果报告[R]. 拉萨: 西藏自治区地质调查院, 2012.
- [17] 河北省地质调查院. 河北省铬铁矿资源潜力评价成果报告[R]. 石家庄: 河北省地质调查院, 2012.
- [18] 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局. 新疆维吾尔自治区铬铁矿矿产资源潜力评价成果报告[R]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局, 2012.
- [19] 田亚洲, 杨经绥, 张仲明, 等. 新疆萨尔托海高铝铬铁矿中异常矿物群的发现及意义[J]. 岩石学报, 2015, 31(12): 3650-3662.
- [20] 何世平, 时超, 王超, 等. 新疆西准噶尔萨尔托海蛇绿混杂岩形成时代及构造环境分析[J]. 地质科学, 2013, 48(4): 1033-1049.
- [21] 谭娟娟, 朱永峰. 新疆萨尔托海铬铁矿中的 Fe-Ni-As-S 矿物研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(8): 2264-2274.
- [22] 张建, 徐海山, 王登红, 等. 新疆萨尔托海铬铁矿造矿铬尖晶石蚀变特征及指示意义[J]. 地球学报, 2009, 30(5): 599-606.
- [23] 周肃, 莫宣学, MAHONEY J J, 等. 西藏罗布莎蛇绿岩中辉长辉绿岩 Sm-Nd 定年及 Pb, Nd 同位素特征[J]. 科学通报, 2001(16): 1387-1390.
- [24] 王希斌. 新疆西准噶尔地区蛇绿岩与豆荚型铬铁矿的成因研究[J]. 中国地质科学院院报, 1991, 23: 74-83.
- [25] 熊发挥, 杨经绥, 刘钊, 等. 西藏雅鲁藏布江缝合带西段发现高铬型和高铝型豆荚状铬铁矿体[J]. 岩石学报, 2013, 29(6): 1878-1908.
- [26] 许志琴, 杨经绥, 李文昌, 等. 青藏高原南部与东南部重要成矿带的大地构造定格与找矿前景[J]. 地质学报, 2012, 86(12): 1857-1868.
- [27] 李金阳, 杨经绥, 巴登珠, 等. 西藏罗布莎蛇绿岩中不同产出的纯橄岩及成因探讨[J]. 岩石学报, 2012, 28(6): 1829-1845.