

娄德波, 王登红, 肖克炎, 等. 中国镍矿预测类型及主要战略接续区[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 715-727.

Lou Debo, Wang Denghong, Xiao Keyan, et al. Prediction types and main successive strategic resource base areas of Ni ore deposits in China[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 715-727(in Chinese with English abstract).

中国镍矿预测类型及主要战略接续区

娄德波¹ 王登红¹ 肖克炎¹ 孙涛¹ 王全明² 阴江宁¹

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2. 中国地质调查局, 北京 100037)

摘要:为了充分展示和利用全国镍矿预测的思路及其主要成果, 本文根据矿产预测类型的划分标准, 将镍矿划分为岩浆型镍-铜硫化物矿、风化壳型镍矿和海相沉积型镍-钼-钒矿3种类型, 并系统总结了各矿产预测类型的基本特征、成矿规律、利用现状、预测要素和预测方法。在此基础上, 对中国镍矿从成矿地质背景、地球化学特征、矿床分布密集程度、成矿强度以及资源潜力方面进行了分析与综合, 结合矿床类型特点, 提出了喀拉通克、觉罗塔格、北山、辽吉、龙首山、祁曼塔格、墨江-金平和宝坛等8个战略接续区, 用以指导镍矿找矿工作部署。

关键词: 镍矿; 矿产预测类型; 定量分析; 战略接续区; 中国

中图分类号: P618.63; P612 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)03-0715-13

近年来, 随着中国不锈钢产业的迅速发展, 镍矿资源的需求也不断扩大, 至2006年, 中国已经成为世界第一大镍资源消费大国, 而在此背景下, 中国镍矿产品的对外依存度却持续升高, 话语权逐渐变小, 镍价格完全由外国主导, 造成该局面的因素很多, 其中重要因素之一是国内矿产勘查成效不佳, 镍矿资源自给率逐年下降造成的^[1-2], 因此提高中国矿产资源找矿水平, 扩大镍矿资源储量已成为当务之急。作为一项前瞻性和战略性任务, 开展中国镍矿资源潜力分析, 并在此基础上提出找矿战略接续区, 对于立足国内, 解决中国镍矿资源紧缺形势, 改善定价机制, 具有重要的实际意义。在此形势下, 2006年启动了全国矿产资源潜力评价项目, 该项目以矿产预测类型为主线, 在地质成矿规律指导下, 使用先进的GIS分析技术, 对地质调查长期积累的多源勘查数据进行预测要素提取与挖掘, 建立

了镍矿的区域预测模型, 在此基础上圈定了全国镍矿预测区, 并估算了潜在资源量^[3-4]。经过几年艰苦卓绝的工作, 在中国东部地区完成1:5万比例尺、西部地区完成1:20万比例尺的镍矿预测工作, 共圈定了各类镍矿最小预测区近400个, 分别估算了500 m以浅、1000 m以浅和2000 m以浅潜在资源量。此次预测成果较全面地反映了当前矿床地质研究和国内镍矿勘查信息资料水平, 是一份非常宝贵的资料数据, 如何利用该成果服务于社会, 有待政府进一步开发。本文试图利用此次研究成果, 系统总结镍矿预测类型的基本特点, 分析中国镍矿资源的潜力, 划分主要战略接续区, 为进一步找矿工作部署提供依据。

1 镍矿预测类型

矿产预测类型是从预测的角度对矿产资源的

收稿日期: 2013-11-27; 改回日期: 2014-03-25

资助项目: 中央公益性科研院所基本科研业务费专项(K1411)、国家自然科学基金项目(41002119)和中国地质调查局项目(1212011121040)联合资助。

作者简介: 娄德波, 男, 1979年生, 副研究员, 主要从事数学地质及矿产资源评价工作; E-mail: llddb_e@126.com。

一种分类,其核心是在成矿规律与矿产预测之间架起一座桥梁,以便于基于成矿规律的定性分析与基于计算机软件的定量评价能够逐渐实现“无缝链接”^[5-7]。其理论基础是成矿系列理论的矿床式,既高于具体矿床,又有一定的地域特色,因此矿产预测类型比一般的矿床类型更具有可操作性,完全可以在同一张中、大比例尺地质矿产图上实现从地质、矿产到物探、化探和遥感等各类信息的自然整合,从而实现利用综合信息开展定位和定量预测的目标^[6]。鉴于中国镍矿具有资源丰富且分布集中、探明资源储量大、矿石品位高,伴生组分稳定、综合利用价值大以及成矿条件优越、找矿潜力大等特点,本次潜力评价工作也将镍矿作为预测矿种之一。根据矿产预测类型的划分原则^[5-7],将中国镍矿预测类型主要划分为岩浆型镍-铜硫化物矿、风化壳型镍矿和海相沉积型镍-钼-钒矿3种类型,其基本特征、成矿规律、利用现状、预测要素及预测方法分述如下:

1.1 岩浆型镍-铜硫化物矿

岩浆型镍-铜硫化物矿又称基性-超基性镍-

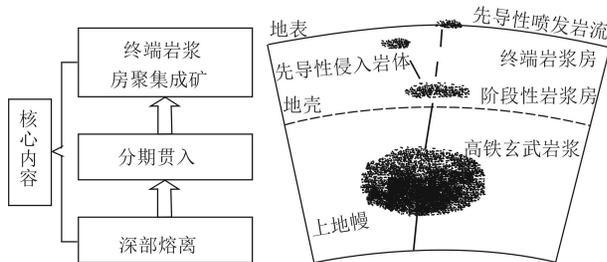


图1 岩浆型镍-铜(铂族元素)硫化物矿床成矿模式图^[5]

Fig.1 Genetic model of magmatic Ni-Cu (PGE) sulfide deposits^[5]

铜(铂)硫化物型矿,这类矿床与基性-超基性岩有关;镍、铜常共生,镍大于铜,常伴有铂族、钴等多种有用元素。在中国,该类矿床主要是与深断裂有关的深部熔离-贯入型矿床,其成矿模式如图1所示^[8]。岩石类型主要有超基性岩类、基性-超基性杂岩类和基性杂岩类,一般为铁质超基性岩,铁质基性岩较少。硫化物矿体主要产于岩体内,其中就地熔离型矿体,多呈似层状和透镜状分布于岩体的底部或中下部,与岩体中基性程度较高的岩相关系密切;深部熔离-贯入作用形成的矿体,其形态相对较复杂,除受岩相控制外,还受构造控制,常呈透镜状、板状、脉状、扁柱状和不规则状分布于岩体内,或直接产于围岩中,与围岩界线清楚。矿石中主要金属矿物有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿和黄铁矿等。围岩蚀变一般较强烈,有蛇纹石化、滑石化、阳起石化、透闪石化、菱镁矿化和方解石化等。该类矿床主要产于大陆边缘裂陷槽区、大陆裂谷和造山带后碰撞伸展3种构造环境;成矿时代主要为元古宙、晚古生代、三叠纪;分布区域主要有龙首山、东天山、阿勒泰、吉林东部、川西北、云南南部、广西宝坛等地;主要预测类型(矿床式)有金川式、喀拉通克式、黄山式、兴地式、煎茶岭式,小南山式、杏树台式、周庵式、赤柏松式、红旗岭式、五星式、向阳式、力马河式、杨柳坪式、金宝山式、大坡岭式、长基式^[9]。近几年在中国新疆坡北、青海夏日哈木等地也有重要发现,矿床级别已经达到超大型^[10-11]。该类矿床是中国镍矿床的主要类型,由于其所具有的品位高、杂质少和易选冶等特征,所以也是中国镍矿资源的主要来源。其主要预测要素及预测方法见表1。

表1 不同镍矿预测类型预测要素及预测方法

Table 1 Prediction factors and methods of different nickel prediction types

矿产预测类型	主要区域预测要素	预测方法	矿种
岩浆型	(1) 含矿建造: 基性-超基性杂岩体 (2) 控矿构造: 弛张型深大断裂或韧性剪切带 (3) 物探: 重磁梯度带及中小规模的重磁异常 (4) 化探: Ni、Cu、Co 等元素的呈串珠状分布的组合异常	定位预测: 特征分析或证据权方法; 定量预测: 成矿地质体体积法	镍、铜、钴、铂族元素
风化壳型	(1) 含矿建造: 为潜水面以上遭受风化淋滤作用的超基性岩 (2) 控矿构造: 区域性深大断裂 (3) 化探: 大规模的 Fe、Ni、Cr、Co、Au 地球化学异常	定位预测: 特征分析或证据权方法; 定量预测: 成矿地质体体积法	镍
海相沉积型	(1) 含矿建造: 由一套黑色岩系组成, 岩性主要为黑色硅质岩、炭质岩、磷质岩等 (2) 控矿构造: 裂陷盆地及同沉积断裂构造 (3) 化探: Ni、Mo、V、U 等元素地球化学异常	定位预测: 特征分析或证据权方法; 定量预测: 成矿地质体体积法	镍、钼、钒

1.2 风化壳型镍矿

风化壳型镍矿又称红土型镍矿,主要是指出露地表的含镍超镁铁质(超基性)岩石,受异常强烈的机械、化学风化淋滤作用,在地下潜水面以上及其附近,形成一定规模的风化壳氧化镍-硅酸镍矿,其成矿模式可以总结如图2^[12-14]。该类矿床一般由分布在上部的红土氧化镍矿层和下部的硅酸镍矿层组成。氧化镍矿层的矿物成分以表生的针铁矿、赤铁矿、锰土类、钴土类、铝土类以及少量粘土类矿物为主,硅酸镍矿的矿物成分以淋滤作用生成的绿高岭石、含镍的蛇纹石、暗镍蛇纹石、镍绿泥石、石英等矿物为主。风化壳矿体的形态和产状,受多种地质因素决定,有面型矿体、裂隙型矿体、接触喀斯特型矿体。在中国,主要分布在云南、广西、海南等热带-亚热带地区,成矿时代一般为第四纪。矿产预测类型(矿床式)有墨江式。近年来,随着全球经济的快速发展,镍的需求量日益剧增,开采深度日益加深、矿山开采难度加大,硫化物型镍资源日益减少;与此同时,在新喀里多尼亚、巴西、古巴等赤道附近国家发现了大型、超大型红土型镍矿床,全球镍资源分布格局发生了较大变化;在此形势下,全球镍行业将资源开发利用的重点放在红土型镍矿资源上面。另外,由于红土型镍矿开发技术的发展,使人们认识到红土型矿石中的镍和钴是完全可以提取的;其次,随着一系列大型硫矿床的发现,硫酸价格大幅度的下

跌,红土型矿石酸浸成本也随之降低;同时,在矿石冶炼方面,随着高压设备技术的改进与提高,部分难熔性金属矿石不再是冶炼中的难题^[12-14]。因此在中国南方,该类资源的开发利用具有一定的前景。其主要预测要素及预测方法见表1。

1.3 海相沉积型镍-钼-钒矿

海相沉积型镍-钼-钒矿又称黑色页岩型镍-钼-钒矿,主要是指早寒武世,在扬子地台与伸展构造背景有关的被动大陆边缘斜坡上的裂陷盆地,受同沉积断裂活动影响,使上地幔有关元素被热水(泉)循环体系带入裂陷盆地中,在相对深水的还原条件下,形成由黑色硅质岩、炭质岩、磷质岩等构成黑色岩系中,常富含Ni、Mo、V、As、Se、Re、Au、Ag、Pt、Pd等多元素矿化组合,并往往构成镍、钼、钒等矿床,其成矿模式如图3所示^①。矿体呈层状、似层状及透镜状产出。矿石矿物有:方硫镍矿、硫铁镍矿、辉砷镍矿、针镍矿、紫硫镍铁矿、硫钼矿、闪锌矿、黄铁矿等,其中镍品位在0.2%~7.0%,钼品位在0.2%~8%^[15]。该类矿床分布区域主要在贵州、湖南和湖北;矿产预测矿床式主要有遵义式、天门山式。由于该类矿床是一种多金属难处理复杂矿,因此长期以来在中国很少被利用(尤其是镍)。近年来,随着镍钼资源利用程度的加大,以及硫化物矿床保有资源储量的迅速减少,镍钼资源开发利用快速发展,尤其是镍钼矿采用加钙氧化焙烧-低温硫酸化焙烧-水浸处理工艺的日臻完善,不仅可以有较高的回收率(镍回收率92%,钼回收率96%)同时回收镍和钼,以及钒等有价值元素,而且环境友好,无污染,成本较低。因此初步展现了一定的应用前景。其预测要素及预测方法见表1。

综上所述,岩浆型矿床仍然是中国镍矿资源的主要来源,风化壳型和海相沉积型将越来越成为镍矿资源的有益补充。

2 镍矿资源潜力分析

2.1 镍矿资源统计分析

中国镍矿资源丰富,累积查明资源储量仅次于澳大利亚、新喀里多尼亚、巴西、俄罗斯、古巴、印度尼西亚、南非和加拿大,列世界第9位。中国镍资源

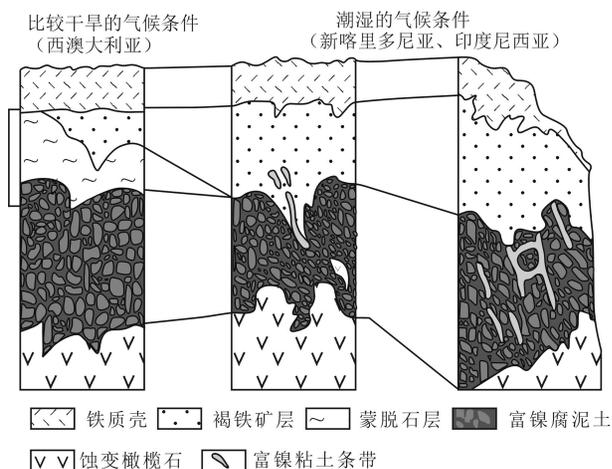


图2 风化壳(红土)型镍矿成矿模式图^[9]

Fig.2 Genetic model of laterite nickel deposits^[9]

①杨捷,金少荣,龙宣霖,等.贵州省镍钼钒矿资源潜力评价报告.2013:131-212.

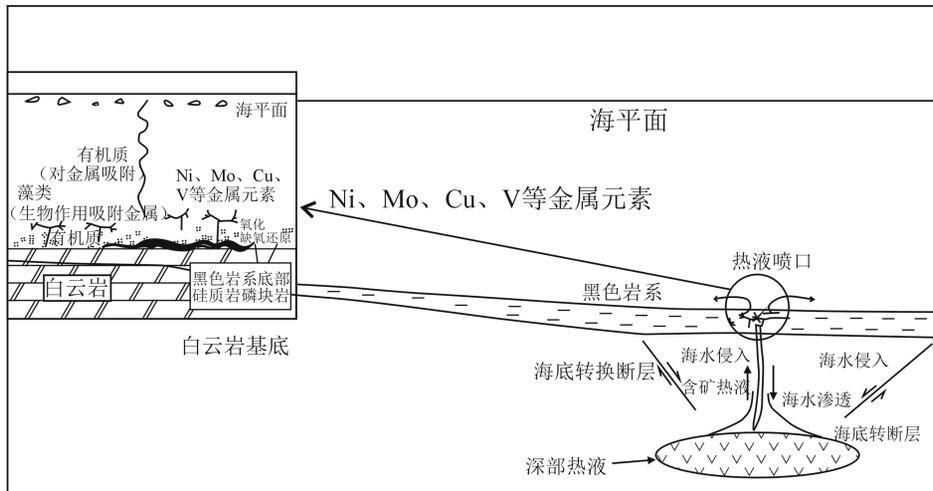


图3 沉积型镍钼钒矿成矿模式
Fig.3 Genetic model of sedimentary Ni-Mo-V deposits

分布广泛、但储量高度集中,全国31个省(区、市)中,19个省(区、市)查明有镍矿资源储量,但主要集中于甘肃、新疆、吉林和青海,合计占全国总量的79%;如果再加上四川、云南、广西3省(区)总计占全国的近90%。从类型上来看,中国镍矿类型与世界大致相同,但不同类型资源储量分布差异却较大,在世界上,岩浆型矿床占28%,风化壳型占72%,海相沉积型微乎其微;而在中国,岩浆型矿床占89%,风化壳型占8%,海相沉积型占3%(图4)。通过本次预测,由中国累计查明资源储量和预测资源量对比(图5~6),可以看出,中国镍矿还有很大的资源潜力。

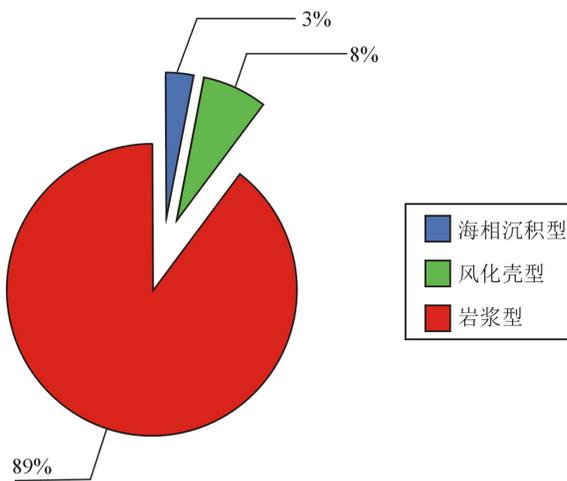


图4 中国不同类型镍矿查明资源储量对比图
Fig.4 Proportions of proved resources of different types of Ni ore deposits

另外,从中国已经发现矿床(点)规模可以看出,小型和矿化点占81%,随着勘探程度的加强,部分矿床(点)规模升级的可能性很大,预示着中国镍矿资源有着较大的潜力。

2.2 镍矿资源空间分布特征

为了更好地展示中国镍矿资源的空间分布特

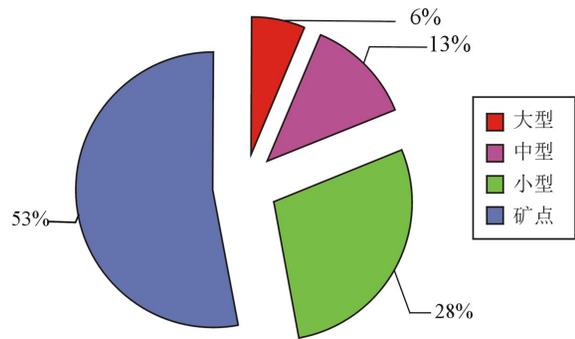


图5 镍矿床(点)规模分布图
Fig.5 Proportions of different sizes of Ni ore deposits

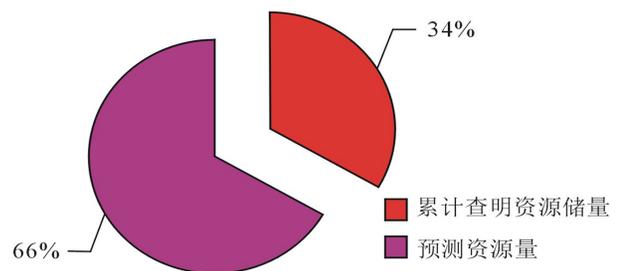


图6 镍矿资源前景对比图
Fig.6 Ratio of proved reserves to potential resources

征,指导找矿工作部署,笔者分别设计了镍成矿构造背景、地球化学省、矿床密度、成矿强度和资源潜力等5类图件,通过在全国层面上对它们进行分析和筛选,为战略接续区的确定提供依据。

2.2.1 镍成矿构造背景分布特征

成矿构造背景是在宏观上确定该类矿床找矿有利空间的重要依据,也是大地构造成矿学研究的重要内容之一,由于其在找矿工作中卓有成效,因此,总结和划分镍矿在中国产出的主要构造背景,对于指导找矿具有宏观意义。大地构造成矿学研究的目的是把地质构造单元与成矿物质单元相结合,把构造活动和成矿物质迁移富集作为一个整体来研究成矿的机理和演化规律,以及所形成矿产的时空分布规律,以求更好地预测新的含矿区和选择靶区,为进行有效的勘查提供科学理论依据^[6]。通过以往研究成果以及本次项目的研究,镍矿形成于以下构造背景,岩浆型主要形成于大陆边缘裂陷槽(金川式)、大陆裂谷(白马寨式)和造山带后碰撞

伸展环境(黄山式),海相沉积型矿床主要形成于裂陷盆地(遵义式),而风化壳型比较特殊,主要形成于南方热带-亚热带气候地区(墨江式)(图7)。

2.2.2 镍地球化学省分布特征

地球化学省被定义为岩石化学组分与地壳的平均值有显著的不同的相对较大范围的区域,这个省的位置及其范围可以提供具有相当经济意义的初始勘查靶区^[18]。本次镍矿地球化学省编图,采用1978—2002年,中国在28个省、自治区、直辖市开展的1:20万(少数为1:50万)区域地球化学调查成果资料。采样介质以水系沉积物为主,少数水系不发育地区采集土壤样品。1:20万区域地球化学调查采样密度一般为1~2个样品/km²,按每4 km²网格组合为1个样品送实验室分析。1:50万低密度样品,直接将单点样送实验室分析。覆盖面积650万 km²,1:20万图幅1299个,1:50万图幅18个,数据点142万个,近5540万个数据。在此基础上,以80 km×80 km为网格化单元,采用正则化数据处理方

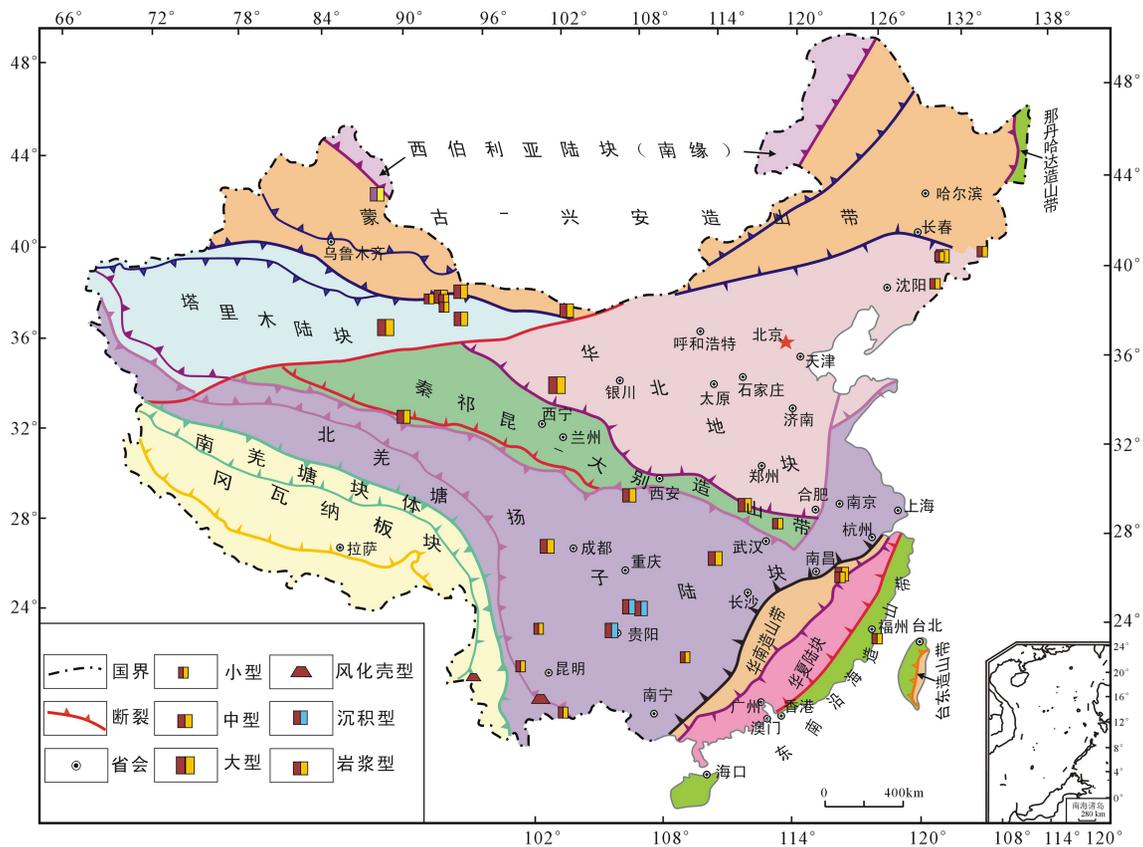


图7 中国镍矿成矿构造背景图^[17]
Fig.7 Metallogenic tectonic setting of Ni ore deposits in China^[17]

式,将数据拉伸保持在0~1,以0.2或0.3作为色阶,以0.2作为背景值,绘制镍地球化学省图件(图8),从图上可以看出,镍地球化学省主要受深大断裂以及基性—超基性火山岩和侵入岩有关,如新疆阿勒泰、西准噶尔、东天山、甘肃龙首山、青海东昆仑、西藏班公湖怒江、雅鲁藏布江、吉林红旗岭、川滇黔地区、广西宝坛、内蒙古索伦山等地区,这些地区的基性—超基性岩浆岩的规模控制着镍地球化学省的规模和强度。

2.2.3 镍矿床密度分布特征

矿床密度是指单位面积内矿床(点)出现的数目,反映了矿床(点)的分布的数量和趋势^[20]。事实上,除少数个别情况(例如,白云鄂博),大多数大型矿床都是与大大小小的同类矿床密切共生的,它们共同组成了矿床分布密集区。本次数据采用全国19个省份的338个镍矿床(点)数据,以80 km×80 km为网格化单元,并且采用正则化数据处理方

式,将数据拉伸保持在0~1。在此基础上以0.2或0.3作为色阶,以0.2作为背景值,绘制矿床密度异常如图9所示。可以看出主要的镍矿密集区包括新疆觉罗塔格、北山、甘肃龙首山、吉林红旗岭、川滇黔、云南墨江—金平、广西宝坛、湖南天门山、贵州遵义等地区。

2.2.4 镍成矿强度分布特征

矿床成矿强度是指单位面积内矿床的储量,反映了相应地区金属量的浓集趋势^[20]。本次数据采用全国19个省份的338个镍矿床(点)数据,以80 km×80 km为网格化单元,并且采用正则化数据处理方式,将数据拉伸保持在0~1。在此基础上以0.2或0.3作为色阶,也以0.2作为背景值,绘制矿床成矿强度异常图(图10)。从中可以看出,成矿强度较大地区主要分布在:新疆喀拉通克、觉罗塔格、北山、甘肃龙首山、青海祁曼塔格、吉林红旗岭、四川杨柳坪、云南墨江—金平、广西宝坛、陕西煎茶岭、河南

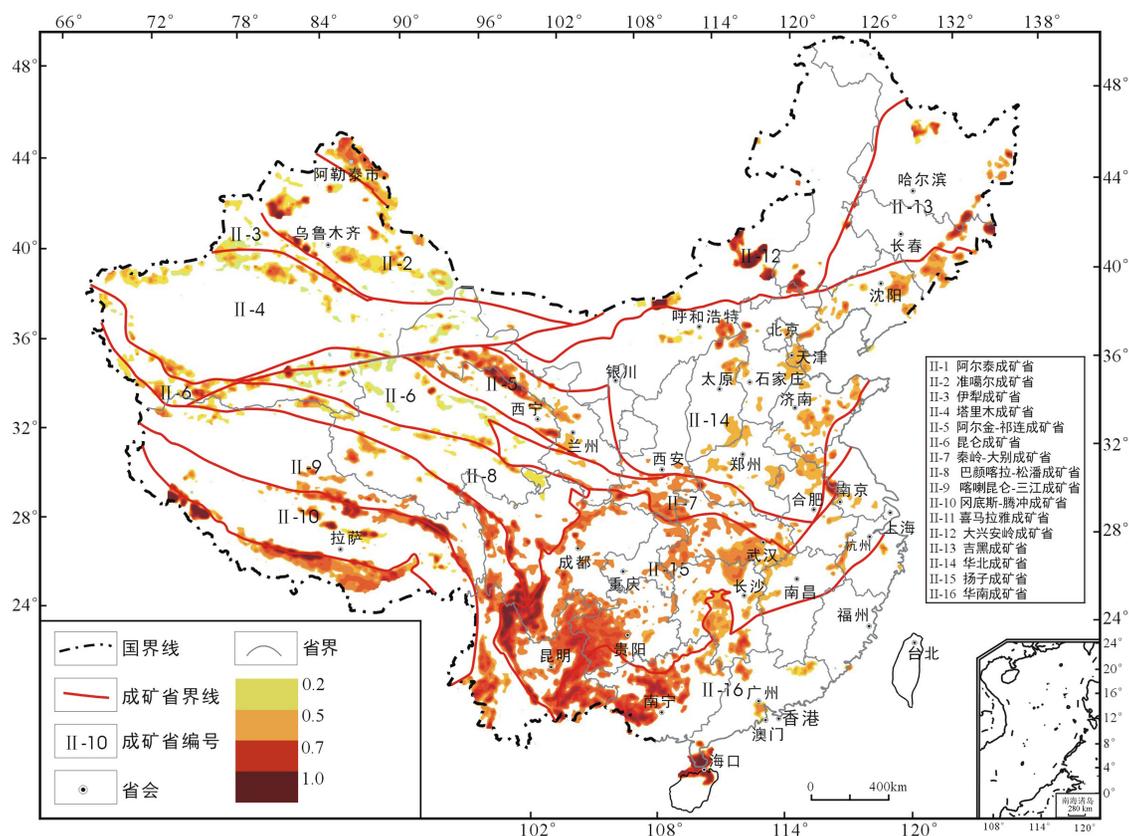


图8 镍地球化学省分布图^[19]

Fig.8 Map of Ni element geochemical provinces^[19]

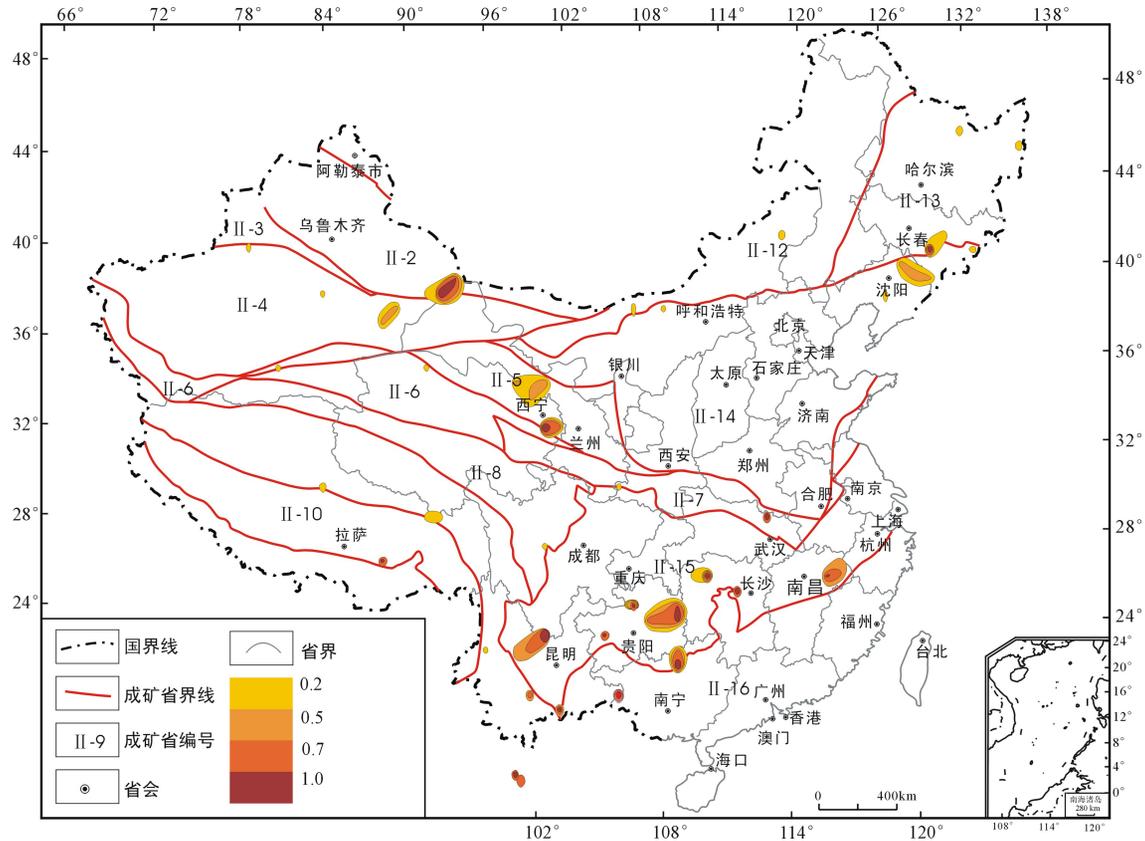


图9 中国镍矿床成矿密度图(编号对应成矿省见图8)^[19]

Fig.9 Map of Ni ore deposit density in China (for metallogenic province corresponding to serial number, see Fig.8)^[19]

周庵、江西德兴等地区。

2.2.5 镍预测潜力分布特征

矿床成矿潜力是指单位面积估算的潜在资源量的分布图。以通过地质参数体积法对全国镍矿预测所圈定各类镍矿近400个最小预测区在2000 m以浅预测的资源量为基础,以80 km×80 km为网格化单元,并且采用正则化数据处理方式,将数据拉伸保持在0~1。在此基础上以0.2或0.3作为色阶,以0.2作为背景值,绘制矿床成矿潜力(图11)。从中可以看出,中国镍矿资源潜力主要分布在新疆喀拉通克、觉罗塔格、北山、甘肃龙首山、吉林红旗岭、青海祁曼塔格、云南墨江—金平、河南周庵、湖南天门山、广西宝坛、陕西煎茶岭等地区。

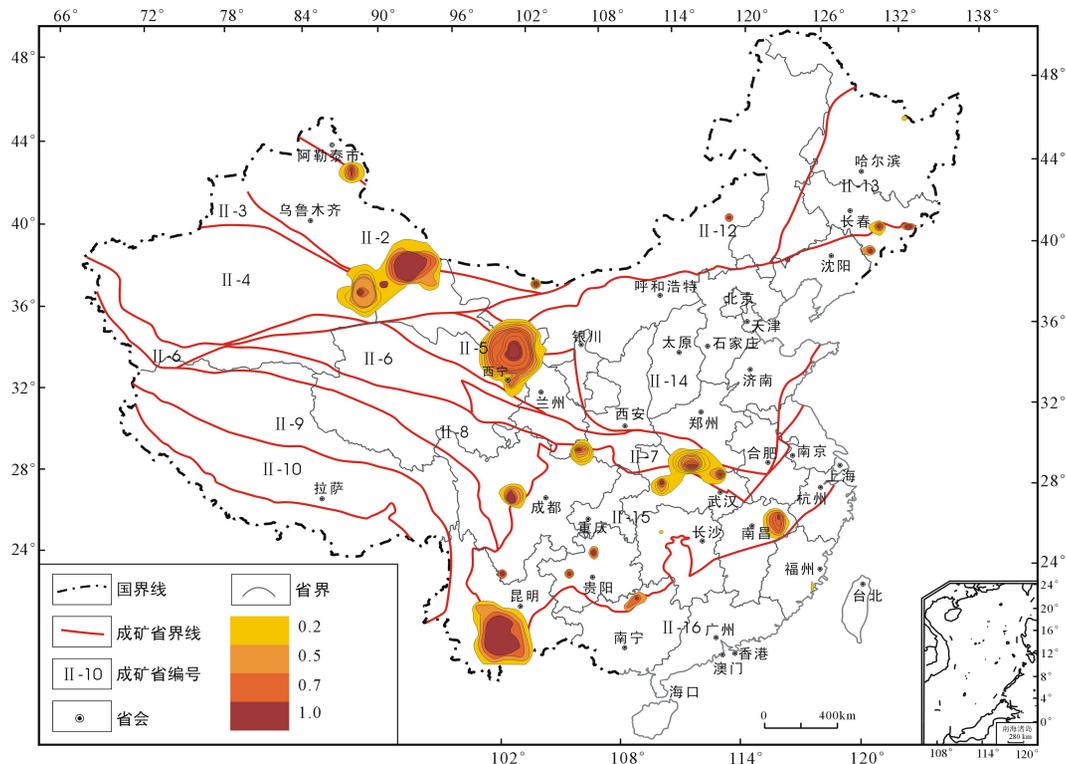
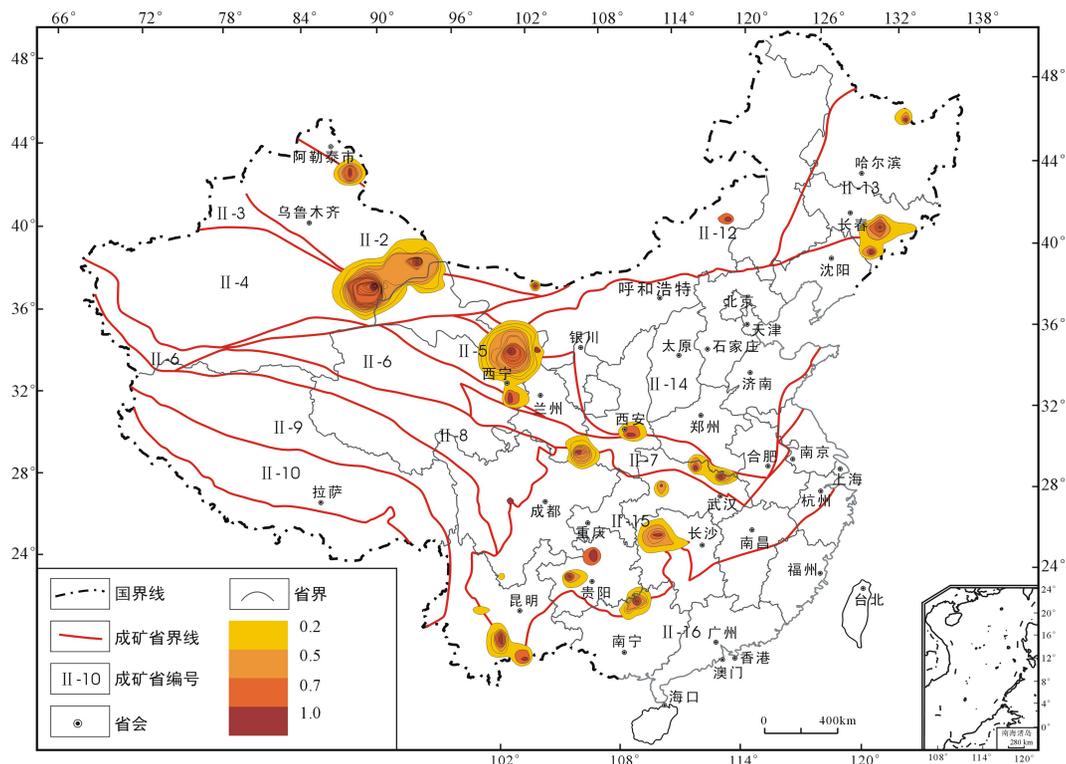
2.3 主要战略接续区

综合镍矿资源的成矿构造背景、地球化学省、矿床密度、成矿强度以及资源潜力,并结合不同类型矿床的利用现状,划分中国镍矿主要战略接续区包括:新疆喀拉通克、觉罗塔格、北山、辽吉(红旗

岭)、甘肃龙首山、青海祁曼塔格、云南墨江—金平、广西宝坛等8个战略接续区(图12)。

2.3.1 龙首山战略接续区

该区大地构造位置位于阿拉善地块西南缘。北以龙首山北缘断裂与潮水中新生代断陷相邻,南以南缘断裂与走廊过渡带分开。镁铁—超镁铁质岩体成北西向的带状展布,受龙首山隆起控制,东、西长约200 km,现称其为龙首山岩带,该岩带中镁铁—超镁铁质岩体分布约20余处,以产出金川超大型Ni—Cu—PGE岩浆硫化物矿床而著名^[21]。区域镁铁—超镁铁质岩体分布显然受深大断裂控制,但深大断裂本身极少有岩体存在,储岩场所受深大断裂附近的次级构造裂隙控制,龙首山地区镁铁—超镁铁质岩体无一例外全部侵位于深大断裂的上盘一侧围岩中。按岩石类型可划分为2类:一类是以金川岩体为代表的二辉橄榄岩体,包括塔马子沟岩体和毛草泉岩体等,主要分布于龙首山隆起的中段;另一类是以藏布台岩体为代表的单辉橄榄岩体,包括

图10 中国镍矿成矿强度图(编号对应成矿省见图8)^[19]Fig.10 Map of Ni mineralization intensity in China (for metallogenic province corresponding to serial number, see Fig.8)^[19]图11 中国镍矿成矿潜力图(编号对应成矿省见图8)^[19]Fig.11 Map of Ni mineral resource potential (for metallogenic province corresponding to serial number, see Fig.8)^[19]

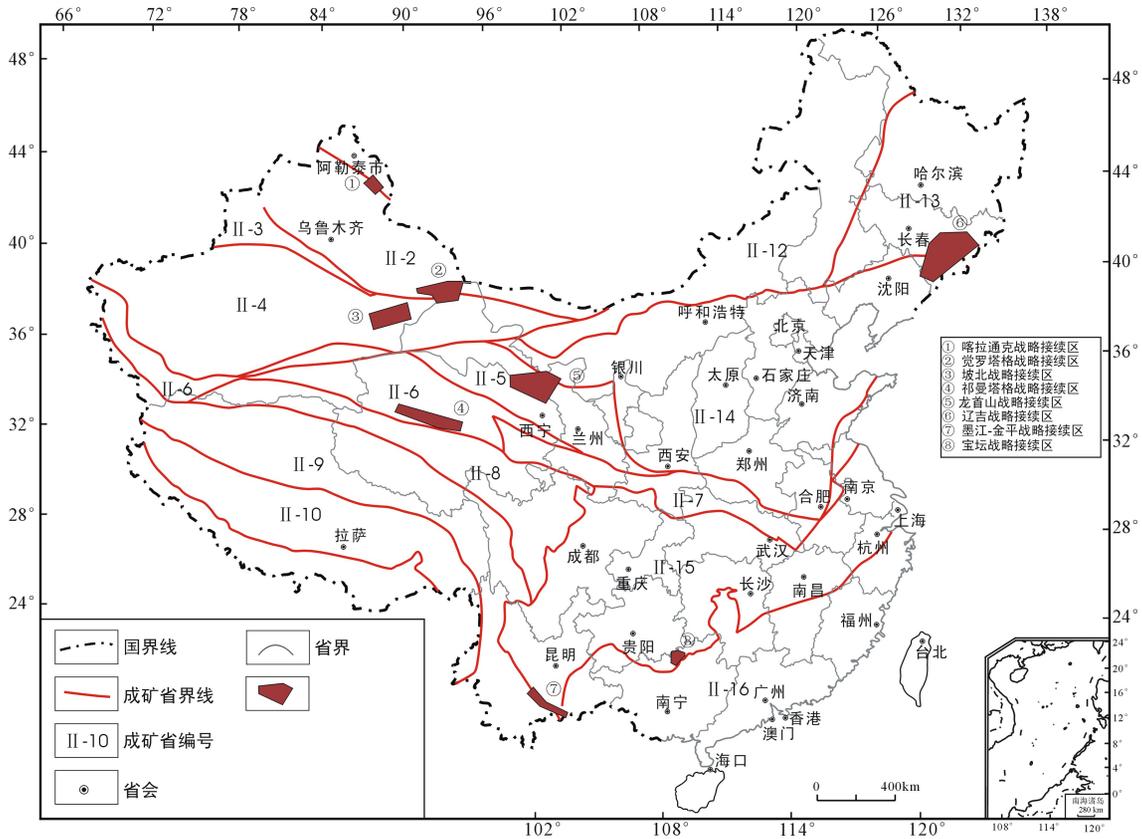


图 12 中国镍矿主要战略接续区分布图(编号对应成矿省见图 8)^[19]

Fig. 12 Map of the main strategic base areas of Ni resources in China (for metallogenic province corresponding to serial number, see Fig. 8)^[19]

青井子等岩体,它们主要分布于龙首山隆起的西段和东端,为不含矿岩体。中段金川超镁铁质岩体以二辉橄榄岩为主要特征,常见到橄榄石堆晶岩,其余镁铁质岩体以单辉橄榄岩为特征,该区查明资源储量占全国查明资源总量的42%。

2.3.2 坡北战略接续区

该区位于新疆塔里木板块东北部北山裂谷带内。区内出露的地层除第四系外仅见下石炭统红柳园组。红柳园组下亚组构成了基性超基性岩体的直接围岩。岩带内褶皱构造发育,轴向多为北东和北东东向。但由于大量岩体的侵入,使地层支离破碎或以残留顶盖出现,褶皱多被破坏而分辨不清。岩带内最主要的断裂构造为北东向白地洼深断裂,它直接控制着坡北岩带的分布。坡北岩带呈北东向分布,主要岩石类型为角闪辉长岩、苏长辉长岩、橄榄辉长岩、橄榄辉石岩和斜长岩。目前该岩带内发现的矿床主要有坡一、坡十、罗东、红石山、漩涡岭等矿床(点),尤其是近年来,坡一、坡十

进展巨大,资源量已达超大型规模,该区查明资源总量占全国查明资源总量的17%,显示出巨大的找矿潜力。

2.3.3 觉罗塔格战略接续区

该区在大地构造位置上处于觉罗塔格岛弧带和中天山地块。区内构造主要包括两条近北东东向大断裂带,即北部的康古尔韧性剪切带和南部的阿奇克库都克断裂带;区内地层主要为泥盆—石炭系火山岩,其中梧桐窝子组是一套海相喷发的基性熔岩,绿色—暗绿色细碧岩;干墩组是一套巨大的火山碎屑沉积岩和含炭硅质岩;雅满苏组,主要为一套双峰式的火山岩;阿奇克库都克断裂以南为一套前寒武纪变质岩。区内岩体主要为镁铁超镁铁岩类和花岗岩岩类,其中镁铁超镁铁类岩体主要分布在该两条大断裂带附近,岩石类型有橄榄岩、辉橄岩、橄辉岩、二辉岩、辉长苏长岩以及辉长岩和闪长岩,岩体规模较小,最大者不超过10 km²,该类岩石中往往产出镍铜硫化物矿床;目前区内已经发现的

矿床有黄山和图拉尔根2个大型矿床和香山、黄山南、二红洼、葫芦、土墩和马蹄、白石泉和天宇等中小型矿床^[22,23]。该区目前已经是中国第二大镍矿资源生产基地,查明资源储量占全国的7%。

2.3.4 祁曼塔格(夏日哈木)战略接续区

该区地处东昆仑造山带西段祁曼塔格地区。区域出露地层有下元古界金水口岩群、奥陶—志留系滩间山群,少量上泥盆统牦牛山组、下石炭统石拐子组及大干沟组。区域构造以北西向、近东西向断裂为主,北北西向、北东向断裂次之。岩浆活动强烈是区内最显著的一个特征,以华力西、印支期的中酸性岩体为主,多与不同时代的碳酸盐岩接触形成矽卡岩型铁多金属矿,尚有热液型、斑岩型铜钼多金属矿。华力西早期超镁铁质、镁铁质岩体出露较少,形成了夏日哈木式的铜镍硫化物矿床。青海省地矿局第五地质矿产勘查院经过两年的勘查,在格尔木市乌图美仁乡地区发现该矿床,已探获资源量镍达100万t以上、品位达0.78%。该矿的发现,实现了东昆仑地区及青海地质找矿矿种和类型上的重大突破,改写了青海无大型镍矿的历史^[10],并将进一步带动东昆仑地区乃至青海省镍矿找矿工作。该区查明资源储量占全国查明资源储量的3%,目前夏日哈木铜镍钴矿已经发现异常处有10余处,成带分布的化探异常显示了巨大的找矿潜力。

2.3.5 墨江—金平战略接续区

该区大地构造位置位于扬子地台边缘哀牢山构造带东南端的金平基性—超基性岩带上。区内构造主要有红河深大断裂、哀牢山深大断裂、九甲—安定深大断裂和墨江大断裂带。区内出露地层主要有哀牢山变质岩系,二叠系阳新统与乐平统,以及三叠系海陆交互相沉积及绿丰统陆相沉积,另有分布不广的侏罗系、古近—新近系和第四系陆相沉积。区内已发现的岩浆岩体有10余个,岩性主要为基性—超基性岩类,主要由辉石岩、辉长岩、橄榄岩、橄榄辉石岩、辉绿岩、苦橄岩、细晶辉石岩等组成,次为中碱性正长岩、正长斑岩、脉岩类煌斑岩等。目前区内已经发现多个矿床(点),其中规模矿床主要有墨江风化壳型镍矿和白马寨岩浆型镍矿,

查明资源总量占全国查明资源总量的4.2%。

2.3.6 喀拉通克战略接续区

该接续区位于新疆北部阿勒泰地区。大地构造位置上位于哈萨克斯坦—准噶尔板块北缘。区域构造上处于额尔齐斯构造带和可可托海—二台断裂交汇部位的南西侧。区内出露地层主要为下石炭统南明水组,其次有中泥盆统蕴都喀拉组、古近系古新一始新统红砾山组以及第四系全新统。含矿岩体岩石类型主要有辉长岩、橄榄苏长岩。在该接续区内有多个镍元素异常分布。区内已经探明喀拉通克大型镍铜硫化物矿床,该区虽然已发现矿床数较少,但是已探明资源储量和预测资源量规模都比较大,喀拉通克单矿床查明储量占全国的2%,该区已成为新疆乃至全国重要的镍矿资源基地。主攻矿种仍然是岩浆型镍铜硫化物矿床。

2.3.7 辽吉战略接续区

该区位于兴蒙造山带东段吉林褶皱带南部边缘。加里东期形成并演化至今的NE走向的辉发河深断裂作为矿田的南部边界,在整个区域地质演化和成矿作用过程中起着非常重要的作用。区内出露的地层为下古生界呼兰群,是一套由石榴石二云斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、白云母片岩等组成的变质岩系。区内基性超基性岩石类型主要有辉长岩、二辉岩、含长斜方辉石橄榄岩以及橄榄辉石岩等。区内已经发现的矿床有红旗岭、漂河川、长仁、彰项以及赤伯松等矿床(点)。该区查明资源总量占全国查明资源总量的2%。

2.3.8 宝坛战略接续区

该区在大地构造上位于桂北台隆九万大山褶皱带。区内出露地层主要有四堡群文通组、鱼西组的浅变质粉砂岩、粉砂质泥岩等。断裂构造主要包括北东向、北西向和南北向断裂,其中北东向的池洞大断裂和四堡大断裂延长均大于100 km,控制着镁铁质—超镁铁质岩体的产出。镍矿严格地受四堡期橄榄岩—辉长岩,辉长辉绿岩—辉石橄榄岩控制。区内产出大坡岭、池洞、四堡、文得、红岗山、陶家、田蓬、清明山等11处岩浆熔离型镍矿床(点),其中中小型矿床7处、矿点4处。该区查明资源总量占全国查明资源总量的不到2%。

3 结 论

(1)中国镍矿具有资源丰富,且分布集中;探明资源储量大,贫矿多,富矿少;镍矿床伴生组分稳定,综合利用价值大;成矿条件优越,找矿潜力大等特点。中国主要镍矿床类型有岩浆型镍-铜硫化物矿床、海相沉积型镍-铅-钒矿床和风化壳型镍矿。

(2)岩浆型硫化物仍然是中国镍矿资源的主要来源;风化壳型和海相沉积型,尤其是风化壳型将越来越成为弥补硫化物矿床不足的重要镍矿来源。

(3)综合镍矿资源的成矿构造背景、成矿地球化学省、成矿密度、成矿强度以及资源潜力,并结合不同类型矿床的利用现状,划分中国镍矿主要战略接续区包括:①喀拉通克;②觉罗塔格;③北山;④辽吉;⑤龙首山;⑥祁曼塔格;⑦墨江—金平;⑧宝坛等8个战略接续区。

参考文献(References):

- [1] 王瑞江,王义天,王高尚,等.世界矿产勘查态势分析[J].地质通报,2008,27(1):154-162.
Wang Ruijiang, Wang Yitian, Wang Gaoshang, et al. Analysis on the state of the worldwide mineral exploration[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(1): 154-162(in Chinese with English abstract).
- [2] 刘梦飞.中国镍业期待话语权[J].中国金属通报,2011,14:16-17.
Liu Mengfei. Chinese discourse power for Nickel[J]. China Metal Bulletin, 2011, 14: 16-17(in Chinese with English abstract).
- [3] 叶天竺,肖克炎,严光生.矿床模型综合地质信息预测技术研究[J].地学前缘,2007,14(5):11-19.
Ye Tianzhu, Xiao Keyan, Yan Guangsheng. Methodology of deposit modeling and mineral resource potential assessment using integrated geological information[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(5): 11-19(in Chinese with English abstract).
- [4] 肖克炎,叶天竺,李景朝,等.矿床模型综合地质信息预测资源量估算方法探讨[J].地质通报,2010,29(10):1404-1412.
Xiao Keyan, Ye Tianzhu, Li Jingchao, et al. Integrated geo-information modeling reserve estimation method[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(10): 1404-1412(in Chinese with English abstract).
- [5] 叶天竺.矿床模型综合地质信息预测技术方法理论框架[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(4):1053-1072.
Ye Tianzhu. Theoretical framework of methodology and integrated geological information for mineral resource potential assessment[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2013, 43(4): 1053-1072(in Chinese with English abstract).
- [6] 王登红,陈毓川,徐志刚,等.矿产预测类型及其在矿产资源潜力评价中的运用[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(4):1092-1099.
Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Zhigang, et al. Prediction type of mineral resources and its application in the assessment work of mineral resources potential[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2013, 43(4): 1092-1099(in Chinese with English abstract).
- [7] 陈毓川,王登红,李厚民,等.重要矿产预测类型划分方案[M].北京:地质出版社,2010:1-222.
Chen Yuchuan, Wang Denghong, Li Houmin, et al. Division for Prediction Types of Important Mineral Resources in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 1-222(in Chinese with English abstract).
- [8] 汤中立,钱壮志,姜常义,等.岩浆硫化物矿床勘查研究的趋势与小岩体成矿系统[J].地球科学与环境学报,2011,33(1):1-9.
Tang Zhongli, Qian Zhuangzhi, Jiang Changyi, et al. Trends of research in exploration of magmatic sulfide deposits and small intrusions metallogenic system[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(1): 1-9(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈毓川,王登红.重要矿产预测类型划分方案[M].北京:地质出版社,2010:138-145.
Chen Yuchuan, Wang Denghong. Division for prospecting types of important mineral resources in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 138-145(in Chinese with English abstract).
- [10] 李世金,孙丰月,高永旺,等.小岩体成大矿理论指导与实践—青海东昆仑夏日哈木铜镍矿找矿突破的启示及意义[J].西北地质,2012,45(2):185-191.
Li Shijin, Sun Fengyue, Gao Yongwang, et al. The theoretical guidance and the practice of small intrusions forming large deposits—The enlightenment and significance for searching break through of Cu-Ni sulfide deposit in Xiarihamu, East Kunlun, Qinghai[J]. Northwestern Geology, 2012, 45(2): 185-191(in Chinese with English abstract).
- [11] 苏本勋,秦克章,唐冬梅,等.新疆北山地区坡十镁铁-超镁铁岩体的岩石学特征及其对成矿作用的指示[J].岩石学报,2011,27(12):3627-3639.
Su Benxun, Qin Kezhang, Tang Dongmei, et al. Petrological features and implications for mineralization of the Poshi mafic-ultramafic intrusion in Beishan area, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(12): 3627-3639(in Chinese with English abstract).
- [12] 王瑞江,聂凤军,严铁雄,等.红土型镍矿床找矿勘查与开发利用新进展[J].地质论评,2008,54(1):215-224.
Wang Ruijiang, Nie Fengjun, Yan Tiexiong, et al. New

- Achievements of mineral exploration and utilization of the laterite nickel deposits[J]. *Geological Review*, 2008, 54(1): 215–224(in Chinese with English abstract).
- [13] Elias Mick. Lateritic nickel mineralization of the Yilgan craton[J]. *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 2006, 13: 195–210.
- [14] Gleeson S A, Butt C R M, Elias M. Nickel laterites: A review[J]. *Newsletter of the Society of Economic Geologists*, 2003, 4: 1, 12–18.
- [15] 张应文, 杭家华. 贵州沉积型镍钼钒矿成矿地质特征及找矿方向[J]. *矿产与地质*, 2008, 22(2): 116–120.
Zhang Yingwen, Hang Jiahua. Metallogenic geological characteristics and prospecting direction of the sedimentary Ni–Mo–V deposit in Guizhou[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2008, 22(2): 116–120(in Chinese with English abstract).
- [16] 陈国达, 黄瑞华. 大地构造成矿学[J]. *地球科学进展*, 1991, 6(2): 60–62.
Chen Guoda, Huang Ruihua. *Geotectonica et Metallogenia*[J]. *Advances in Earth Science*, 1991, 6(2): 60–62(in Chinese with English abstract).
- [17] 马丽芳. 中国地质图集[M]. 北京: 地质出版社, 2001, 41–44.
Ma Lifang. *Geological atlas of China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001, 41–44(in Chinese with English abstract).
- [18] 王学求, 徐善法, 迟清华, 等. 中国金的地球化学省及其成因的微观解释[J]. *地质学报*, 2013, 87(1): 1–8.
Wang Xueqiu, Xu Shanfa, Chi Qinghua, et al. Gold geochemical provinces in China: A micro- and nano- scale formation mechanism[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2013, 87(1): 1–8(in Chinese with English abstract).
- [19] 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 1–200.
Xue Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. *The Scheme of the Classification of the Minerogenetic Units in China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 1–200(in Chinese with English abstract).
- [20] 裴荣富, 熊群尧, 徐善法, 等. 中国金矿床(点)等密度图与成矿远景预测[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1999, 24(5): 449–454.
Pei Rongfu, Xiong Qun Yao, Xu Shanfa, et al. Isopycnal map of Chinese gold deposit (occurrences) and prediction of metallogenetic prospect[J]. *Earth Science——Journey of China University of Geosciences*, 1999, 24(5): 449–454(in Chinese with English abstract).
- [21] 文美兰, 罗先熔. 金川铜镍矿床多元地学信息找矿研究[J]. *中国地质*, 2013, 40(2): 594–601.
Wen Meilan, Luo Xianrong. A study of the ore-prospecting work based on multiple geosciences information in the Jinchuan Cu–Ni deposit[J]. *Geology in China*, 2013, 40(2): 594–601(in Chinese with English abstract).
- [22] 娄德波, 肖克炎, 王登红, 等. 新疆黄山—镜儿泉地区岩浆型镍铜硫化物矿床远景分析[J]. *中国地质*, 2013, 40(4): 1278–1289.
Lou Debo, Xiao Keyan, Wang Denghong, et al. A prospective analysis of magmatic Ni–Cu sulfide deposits in Huangshan–Jing'erquan area, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2013, 40(4): 1278–1289(in Chinese with English abstract).
- [23] 孙赫, 秦克章, 李金祥, 等. 东天山图拉尔根铜镍钴硫化物矿床岩相、岩石地球化学特征及其形成的构造背景[J]. *中国地质*, 2006, 33(3): 606–617.
Sun He, Qin Kezhang, Li Jinxiang, et al. Petrographic and geochemical characteristics of the Tulargen Cu–Ni–Co sulfide Deposit, East Tianshan, Xinjiang, and its tectonic setting[J]. *Geology in China*, 2006, 33(3): 606–617(in Chinese with English abstract).

Prediction types and main successive strategic resource base areas of Ni ore deposits in China

LOU De-bo¹, WANG Deng-hong¹, XIAO Ke-yan¹, SUN Tao¹,
WANG Quan-ming², YIN Jiang-ning¹

(1. *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*; 2. *China Geological Survey, Beijing 100037, China*)

Abstract: In order to exhibit and utilize the main ideas and results of national Ni ore resource potential, the authors put forward Ni resources prediction types, i.e., magmatic type, weathering crust type and marine sedimentary type, and summarize their basic characteristics, metallogenic regularity, utilization status, prediction factors and assessment methods. Based on analyzing the ore-forming geological background, ore geochemical features, intensity distribution, intensity of mineralization and potential resources, combined with the characteristics of all kinds of Ni ore deposits, the authors have assigned Ni resources to eight main successive strategic base areas, i.e., Kalatongk, Jueluotag, Beishan Mountain, Liaoji, Longshou Mountain, Qimantag, Mojiang-Jinping and Baotan, which can be used to guide the Ni ore exploration deployment.

Key words: Ni ore deposit; prediction type; digital analysis; successive strategic base areas of resources; China

About the first author: LOU De-bo, born in 1979, doctor, associate researcher, mainly engages in the study of mathematical geology and mineral resource assessment; E-mail: lldbb_e@126.com.