

孙涛, 王登红, 娄德波, 等. 中国成镍带与找矿方向探讨[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 1986-2001.

Sun Tao, Wang Denghong, Lou Debo, et al. Geological characteristics of the nickel metallogenic belts in China and the prospecting orientation[J]. Geology in China, 2014, 41(5): 1986-2001(in Chinese with English abstract).

中国成镍带与找矿方向探讨

孙涛¹ 王登红¹ 娄德波¹ 刘新星² 陈郑辉¹ 李立兴¹ 王成辉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. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要:中国镍资源丰富, 同时也是镍资源消费大国。矿床类型相对简单, 主要为岩浆型, 其次为海相沉积型和风化壳型3种。矿床形成时代从中一新元古代一直延续到新生代, 主要集中在新元古代和晚古生代两个高峰期; 空间分布较为集中, 主要分布在西北、西南和东北地区, 往往具有成群分布的特征。大陆边缘裂解、碰撞造山期后伸展以及地幔柱是形成中国镍矿床的3种重要构造背景。在全国Ⅲ级成矿区带的基础上, 以镍矿床的空间分布特征为基础, 以成矿规律和成矿条件为依据, 在全国范围内划分30个成镍带; 对东天山、甘一新北山、龙首山、吉中—延边、康滇、扬子南缘等6个成镍带的主要特征进行了简单叙述; 从成镍带的角度, 探讨了中国镍矿找矿方向, 认为深部找矿尤其值得重视。

关键词:成镍带; 找矿方向; 镍矿; 中国

中图分类号: P618.63; P612 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)06-1986-16

目前中国已查明镍矿矿床(点)339处, 其中超大型4处, 大型14处, 中型26处, 小型75处, 矿(化)点220处; 主要分布在19个省(区), 其中甘肃、新疆、青海、云南、四川、吉林、陕西、贵州、江西、内蒙古和河南等11个省(区)的合计保有储量, 占全国镍资源储量的90%以上。矿床主要集中在造山带或克拉通边缘等相对活动的构造单元, 如天山造山带、兴蒙—吉黑造山带、秦祁昆造山带、华北板块、扬子板块和塔里木板块边缘。以2006年以来开展的全国矿产资源潜力评价工作为基础, 课题组对金矿、铅锌矿、铬矿、锑矿等矿种的矿集区及其潜力进行了总结探讨^[1-4], 本文旨在通过对全国范围内成镍带的划分, 总结各重要成镍带的特征, 指出找矿方

向, 以服务于今后的地质找矿工作。

1 成镍带定义及划分原则

2006年以来开展的全国矿产潜力评价项目所取得的重要成果之一, 就是全面划分了全国的成矿区带^[5], 尤其是分出陆域范围内90个Ⅲ级成矿区带, 为成矿规律的总结和最小预测区范围的圈定发挥了重要作用。但是, 这一划分是综合性的、不分矿种的。为了满足单矿种矿产预测的需要, 划分以某一矿种为主的单矿种成矿区带就很有必要。

镍矿的成矿区带就叫做成镍带, 是在成矿要素背景下以镍矿产资源的分布特征(不考虑时代因素)为基础, 以镍矿的成矿规律和成矿条件为依

收稿日期: 2014-03-27; **改回日期:** 2014-09-12

基金项目: 国土资源部公益性行业专项(201411050)、中国地质大调查项目全国矿产资源潜力评价“重要矿产和区域成矿规律研究”项目(1212010633901)、“中国矿产地质与区域成矿规律综合研究(中国矿产地质志)”项目(1212011220369)和成矿作用与资源评价重点实验室开放研究项目(ZS1313)联合资助。

作者简介: 孙涛, 男, 1983年生, 讲师, 在站博士后, 主要从事镍矿成矿规律研究; E-mail: suntao06@126.com。

据,充分利用镍矿成矿模式和预测模型(包括典型矿床和区域成矿模式)的研究成果,将镍矿聚集程度比较高、又具有特定成矿背景的区域划分出来的。既反映目前中国镍矿的空间分布规律,同时也能反映镍矿成矿条件、成矿作用、成矿类型、成矿潜力等信息;一个成镍带内可能分布有不同成矿作用的多个矿床,但通常仍然以一种成矿作用为主导。

从矿产预测的角度,可将中国镍矿分为岩浆型、风化壳型、海相沉积型3种类型,分别集中在不同的地区,各自形成以岩浆型镍矿为主的镍矿成矿带(简称岩浆成镍带)、以风化壳型矿床为主的镍矿成矿带(简称风化成镍带)和以海相沉积成因镍矿为主的镍矿成矿带(简称沉积成镍带)。因此,以现有镍矿的空间分布特征(不考虑时代因素)为基础,以镍矿成矿规律和成矿条件为依据,充分利用典型镍矿成矿模式和预测模型(包括典型矿床和区域成矿模式)的研究成果,将镍矿聚集程度较高、又具特定成矿背景的地区划分为成镍带。其中,岩浆成镍带以镁铁质-超镁铁质岩体为物质基础,岩体分布区就是圈定成镍带的参考范围,以“控岩”大断裂作为成镍带的边界;对于风化成镍带,镍矿床的形成仍是以岩体为物质基础,但需要风化、淋滤等作用才能形成具有工业意义的矿床,其划分依据仍是以岩体分布为依据,同时参考表生成矿条件;沉积成镍带的物质基础为海相沉积地层,划分依据主要参考含矿层位的分布特征。

2 成镍带的划分结果

为与前人或其他项目组划分的成矿区带有所区别(很可能同名不同范围),本次将镍单矿种的Ⅲ级成矿区带简称为“成镍带”。在“中国成矿区带划分方案”的基础上,根据中国镍矿的空间分布规律、成矿作用及成矿地质条件,本文在全国范围内划分出成镍带30个(图1,表1)。其中,岩浆成镍带25个,风化成镍带4个,沉积成镍带1个。以是否含有大型矿床或镍资源量大小以及成矿条件和物、化、遥信息为依据,将成镍带分为重要的和一般的两个级别,其中重要成镍带有13个(除1个为风化成镍带外,其余均为岩浆成镍带),一般成镍带17个。

除海相沉积型镍矿床外,其他类型镍矿床(如岩浆型、风化壳型)都是以超镁铁质岩体为物质基

础,矿床的形成与超镁铁质岩体有着密切关系;所以,岩浆作用成镍带和风化作用成镍带的范围基本与超镁铁质岩体的分布范围基本一致。但是,考虑到与镍矿床相伴随产出的基性-超基性岩体常常沿着深大断裂带分布。因此,成镍带的范围也兼顾深大断裂(带)的影响范围,深大断裂两侧一定范围、深大断裂通过但地表没有基性-超基性岩体出露的地段也不能排除在“成镍带”之外(此时镍的地球化学异常尤其是“深穿透”信息较为重要)。需要特别注意的是,深大断裂可能是多期次活动的,幔源岩浆的侵入也是多期次的,而每次岩浆侵入活动的空间位置可能是变化的,因此,同一个成镍带可以涵盖多个成矿期的镍矿床,甚至可能出现“异时同位共存”的现象。当然,超镁铁质岩体在地表出露的面积往往很小,一般小于10 km²,属于小岩体范畴,在一些小比例尺图件上很难清楚地表示出来。因此,图面上没有岩体,但不见得客观上没有。同理,也正因为岩体小,即使是已经完成1:5万区域地质调查的地区,也可能有“漏掉”的岩体。

3 重要成镍带特征

在30个成镍带中以东天山、甘一新北山、龙首山、吉中一延边、峨眉山、扬子南缘等6个成镍带最为重要。

3.1 东天山成镍带(Ni₂)

位于塔里木板块东北部,北以大草滩断裂为界,南以卡拉布拉克-红柳河断裂为界,包括中天山和北天山的东部,即行政上的新疆吐鲁番市东部和南部、哈密市南部以及甘肃肃北县北部地区。该带长约420 km、最宽处达100 km,面积约4万 km²,呈北东东向展布的椭圆形(图1)。带内基底主要分布在中天山地区,为中一新元古代变质岩;盖层主要为泥盆系、石炭系滨-浅海相火山-沉积岩系;断裂构造主要有大草滩断裂、康古尔塔格-黄山断裂、苦水断裂、阿奇克库都克-沙泉子断裂。该成镍带内分布有多个镍矿床,且镁铁-超镁铁质岩体众多,据不完全统计可能有百余个,主要沿康古尔塔格-黄山断裂呈北东向展布(图2),多为透镜状岩盆,地表形态多为椭圆形,长轴方向与区域构造线方向一致(北东向),典型的矿床有黄山西、黄山东、图拉尔根、香山、黄山南、土墩、葫芦、圪塔山口、

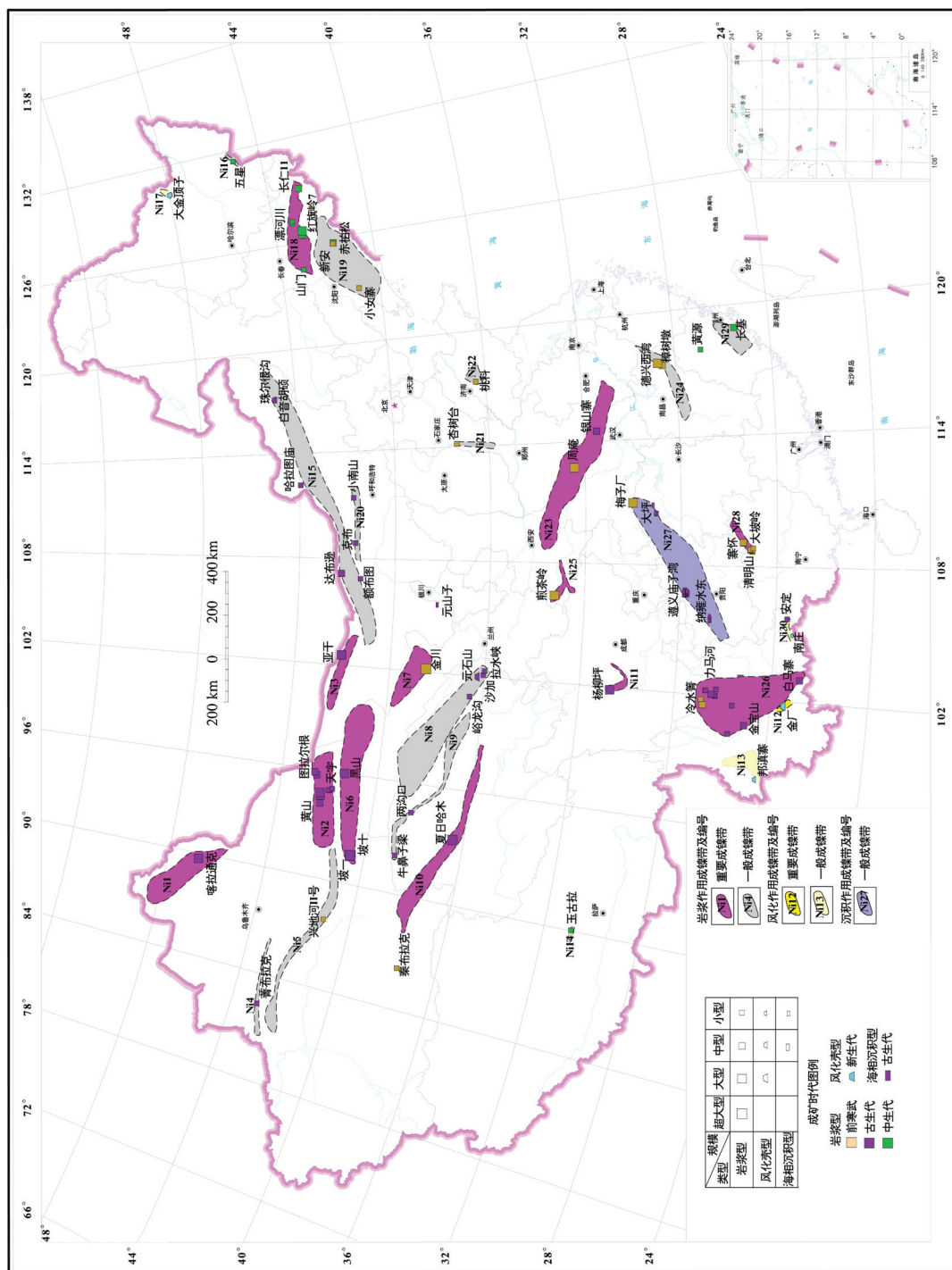


图1 中国成镍带分布概图(编号见表1)
(底图引自文献[5])
Fig.1 The distribution of nickel metallogenic belts in China

表1 中国成镍带特征简表
Table 1 Characteristics of nickel metallogenic belts in China

编号	成镍带名称	级别	类型	典型矿床(镍资源量(333)/万t)	占全国镍资源量比例/%
Ni1	南阿尔泰成镍带	重要	岩浆	喀拉通克(25.7)	1.8
Ni2	东天山成镍带	重要	岩浆	黄山(32.7)、黄山东(38.4)、图拉尔根I号(10.1)	9.5
Ni3	内蒙北山成镍带	重要	岩浆	亚干(10.7)	0.8
Ni4	西天山成镍带	一般	岩浆	筲布拉克(0.7)	0.1
Ni5	塔里木北缘成镍带	一般	岩浆	兴地塔格(0.4)	
Ni6	甘一新北山成镍带	重要	岩浆	坡十(96.8)、坡一(130)、黑山(10.0)	17.0
Ni7	龙首山成镍带	重要	岩浆	金川(552.6)	39.6
Ni8	南祁连成镍带	一般	岩浆	拉水峡(1.9)、裕龙沟(0.5)、元石山(15.6)	1.3
Ni9	柴达木北缘成镍带	一般	岩浆	牛鼻子梁(2.0)、两沟口(1.0)	0.2
Ni10	东昆仑成镍带	重要	岩浆	夏日哈木(100)	7.2
Ni11	丹巴成镍带	重要	岩浆	杨柳坪(36.8)	2.6
Ni12	墨江—绿春成镍带	重要	风化	墨江金厂(48.4)	3.6
Ni13	保山成镍带	一般	风化	邦滇寨(3.2)	0.2
Ni14	北冈底斯成镍带	一般	岩浆	玉古拉(1.3)	0.1
Ni15	白乃庙—锡林浩特成镍带	一般	岩浆	额布图(0.7)、达布逊(2.6)、珠尔很沟(2.3)	0.7
Ni16	太平岭成镍带	一般	岩浆	五星(1.0)	0.1
Ni17	太平沟成镍带	一般	风化	大金顶子(2.1)	0.2
Ni18	吉中—延边成镍带	重要	岩浆	红旗岭7号(16.0)、漂河川(0.8)、长仁(3.1)	1.9
Ni19	鞍山—通化成镍带	一般	岩浆	赤柏松(7.0)、新安(0.6)	0.6
Ni20	华北北缘西段成镍带	一般	岩浆	小南山(1.3)、克布(1.1)	0.2
Ni21	太行山南段成镍带	一般	岩浆	杏树台(0.3)	
Ni22	鲁西成镍带	一般	岩浆	桃科(小)	
Ni23	东秦岭成镍带	重要	岩浆	周庵(23.2)、银山寨(5.4)	2.1
Ni24	赣东北成镍带	一般	岩浆	德兴西湾(16.3)、樟树墩(9.9)	1.9
Ni25	扬子北缘成镍带	重要	岩浆	煎茶岭(34.3)	2.5
Ni26	康滇成镍带	重要	岩浆	白马寨(6.5)、金宝山(5.5)、力马河(2.3)、冷水箐(6.1)	2.2
Ni27	上扬子中东部成镍带	一般	沉积	纳雍水东(3.3)、庙子湾(3.2)、大坪(1.1)	2.2
Ni28	扬子南缘成镍带	重要	岩浆	大坡岭(1.9)、清明山(0.5)、寨怀(6.1)	1.0
Ni29	闽粤沿海成镍带	一般	岩浆	长基(4.7)、黄源(0.3)	0.4
Ni30	滇东南成镍带	一般	风化	南庄(1.4)、富宁安定(0.3)	0.1

注:镍资源量数据来自2012年底各省级潜力评价项目报告。

白石泉、天宇(表2),还有许多矿化点,如:二红洼、四顶黑山、咸水泉、马蹄、峡东等。岩体类型主要有3种:单式小岩体(图拉尔根、天宇)、复式小岩体(黄山西、黄山东、黄山南、香山、白石泉)、大型层状岩体(四顶黑山),其中单式小岩体和复式小岩体成矿条件较好。岩体形成年龄主要有340~370 Ma和270~301 Ma两期,其中270~301 Ma是该岩带主要的成矿期(表3),为早二叠世造山带后碰撞伸展背景下岩浆活动的产物。岩体分异整体较好,岩石类型从超基性的二辉橄榄岩、方辉橄榄岩、单辉橄榄岩到基性的苏长岩、辉长岩以及中性的辉长闪长岩和闪长岩等岩性均有发育,岩浆结晶分异作用可能是导致岩浆中硫饱和并发生硫化物熔离成矿的主要机制^[6,7]。

3.2 甘一新北山成镍带(Ni6)

位于塔里木板块的东北,新疆、甘肃北山造山带范围内,卡瓦布拉克—红柳河断裂以南、疏勒河断裂以北,西至罗布泊、东到甘蒙边界,该带长约700 km、宽处50~130 km,面积6.5万km²,呈椭圆形北东东向展布(图1)。甘一新北山具有古老的前寒武纪结晶基底,由古元古界北山岩群、长城系古硐井群和蓟县系爱尔基干群组成;盖层为寒武系、奥陶系及石炭系,岩性为稳定的浅海—半深海相沉积和灰岩—大理岩—砂岩—砂岩夹岩屑砾岩建造;断裂构造有红柳河断裂、蚕头山—小青山断裂、白地洼—淤泥河断裂、骆驼峰—矛头山断裂、牛圈子—洗肠井断裂等。带内矿床和镁铁—超镁铁岩体众多,

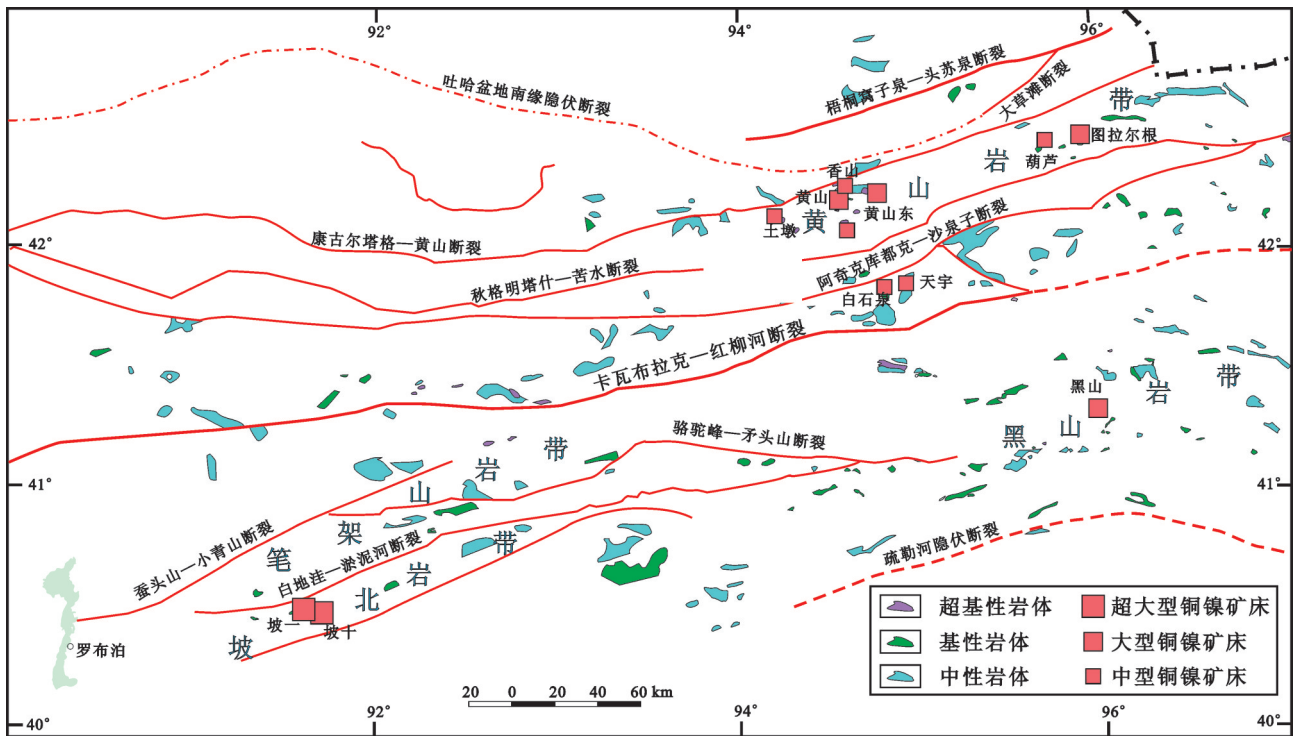


图2 东天山—北山地区镁铁-超镁铁岩体分布图
 Fig.2 The distribution of mafic-ultramafic intrusions in East Tianshan-Beishan area

包含有坡北岩带、笔架山岩带、黑山岩带(图2),受断裂控制明显;代表性矿床有坡十、坡一、黑山等,其中坡十和坡一均为超大型镍矿床,为近年来中国镍矿找矿的重大成果,是中国目前发现的最大的层状岩体——坡北岩体中基性程度最高的2个小岩体,主要由超镁铁岩石组成,岩石类型有:纯橄岩、二辉橄榄岩、方辉橄榄岩、单辉橄榄岩、橄辉辉石岩、橄辉辉长岩、辉长苏长岩;黑山矿床为大型镍矿床,岩体出露面积很小,岩体平面上形似“鸭梨”,剖面上呈上缓下陡的倒漏斗状,为多期次侵入的复式岩体,岩石类型有:二辉橄榄岩、橄辉辉石岩、辉长岩、角闪辉长岩。带内还发育有众多镁铁-超镁铁岩体,其中多数具有镍矿化,如:罗东、红石山、笔架山、漩涡岭、玉门关、黑山道、黑尖山、骆驼山、大山头、怪石山、四道梁等(表4),除黑山道、黑尖山、怪石山外,其他岩体在地表出露面积较大,多数呈不规则的椭圆状,长轴方向与构造线方向一致,呈北东东向展布,岩石类型从超基性到基性都见有发育,部分岩体蚀变较强,蛇纹石化强烈。用TIMS和SHRIMP方法分别测得坡北岩体中辉长岩锆石U-

Pb年龄为(274 ± 4)Ma和(278 ± 2)Ma^[8,9]、红石山岩体锆石U-Pb年龄为(282 ± 3)Ma^[10]、大山头岩体锆石U-Pb年龄为(359 ± 6)Ma^[11]、黑山岩体锆石U-Pb年龄为(356 ± 1)Ma^[12],以上测年结果表明,从西向东该带超镁铁质岩体年龄似乎有变老的趋势,在本带形成了独具特色的“坡北式”和“黑山式”镍矿。

3.3 龙首山成镍带(Ni7)

位于华北陆块西南缘龙首山隆起,北界为华北陆块北缘断裂西段高家窑—乌拉特后旗段,南界为龙首山断裂,该成镍带呈西窄东宽的似椭圆形状,该带长约290 km、宽处20~100 km,面积近2万km²,呈北西向展布(图1)。带内地层主要为龙首山岩群,岩性为黑云石英片岩、斜长角闪片岩、浅粒岩、镁质大理岩及黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩等^[13];断裂北西向为主,规模较大,多为逆冲断裂,是区域性断裂的一部分或其次级断裂,龙首山北缘大断裂具有多期活动特点,属控岩控矿构造,含矿岩体即沿该组断裂同向分布。带内分布有中国最大、世界第三大的镍矿床——金川矿床,矿床镍金属储量大于550万t,铜金属量大于350万t,富矿主要集中在矿

表2 东天山地区主要镁铁质-超镁铁质-超镍铁质岩体、铜镍矿体特征
Table 2 Characteristics of mafic-ultramafic intrusions and Cu-Ni orebodies in East Tianshan area

岩体	长(km)× 宽(km)	面积/km ²	地表岩体 形态	岩石组合	主要含矿岩性	矿石类型	矿体特征
黄山东	5.3×1.2	2.8	菱形 透镜体	角闪橄辉长岩、辉石角闪辉长岩、辉长闪长岩、辉长苏长岩、橄辉辉长苏长岩、辉闪橄辉岩	角闪橄辉辉长岩、 辉闪橄辉岩	块状矿石、稠密浸染状、稀疏浸染状、 星散状矿石	在超基性岩中下部位呈悬浮状、超基性岩与 基性岩的接触带两侧以及主体辉长岩下 部和边部中的脉状矿体
黄山	3.8×7	1.71	曹星状	橄辉岩、早闪橄辉岩、二辉岩、苏长岩、辉长苏 长岩、辉长岩以及辉长闪长岩	二辉岩、辉长苏长 岩、辉长闪长岩	海绵陨铁状、浸染状、稀疏浸染状、斑杂状构 造、角砾状构造、脉状构造、珠滴状构造	岩相带底部或凹陷部位
黄山南	5.2×1.3	4.22	透镜状	辉石角闪橄辉岩、橄辉岩、角闪辉石岩、 二辉橄辉岩、角闪辉长岩、苏长岩	辉长岩、橄辉岩、 橄辉岩	稀疏浸染状	超基性岩体底部，埋藏深度较大
香山	10×0.9	9	雁列 透镜状	辉长岩-辉石岩-橄辉岩、闪长岩-辉长岩	辉长岩、橄辉岩	海绵陨铁状、浸染状、斑杂状、块状构造	辉长岩一边或在辉长岩底部或边缘呈似层 状或脉状
二红洼	5.0×3.6	7.67	不规则浑 圆状	辉石闪长岩、二辉橄辉岩、辉长苏长岩、 橄辉辉长岩			
土墩	1.4×0.7	0.98	不规则 椭圆状	含长单辉(角闪)橄辉岩、磁铁矿化含长单辉 (方辉、二辉)橄辉岩、单辉辉橄岩	单辉橄辉岩、 含长二辉橄辉岩	稀疏浸染状矿石、稠密浸染状矿石及块状矿石	岩相带的底部，呈延长的透镜体状或条带状 分布，向下矿化有富集的趋势
葫芦	1.4×0.7	0.9	不规则 椭圆状	辉长闪长岩、辉长岩、辉石岩、辉橄岩、橄辉岩	橄辉岩、辉石岩	稀疏浸染状、稠密浸染状、团块状、星散浸染 状、条带状、块状	超镁铁质岩体的下部或底部，呈盆状或透镜 体状
图拉尔根	0.74×0.06	<0.005		角闪橄辉岩、辉石橄辉岩、角闪辉石岩、辉长岩	角闪橄辉岩、 辉长岩	块状、稠密浸染状、稀疏浸染状、海绵陨铁网 星点状、水滴状、团块状、细脉状、星点状	超镁铁质岩体的上部及顶部
四顶黑山		50	层状	辉长岩、角闪辉长岩、单辉橄辉岩、含长橄辉辉 石岩、橄辉苏长辉长岩、橄辉辉长岩、角闪石岩			

表3 东天山地区主要镁铁-超镁铁质岩体年龄数据
Table 3 Major ages of mafic-ultramafic intrusions in East Tianshan area

矿床或岩体名称	构造位置	测试方法和对象	年龄/Ma	资料来源
黄山东矿床	觉罗塔格造山带	Re-Os 等时线, 硫化物矿石	282±20	[23]
黄山东矿床	觉罗塔格造山带	Re-Os 等时线, 硫化物矿石	284±14	[24]
香山矿床	觉罗塔格造山带	Re-Os 等时线, 硫化物矿石	298±7.1	[25]
香山岩体	觉罗塔格造山带	SHRIMP 锆石 U-Pb, 角闪辉长岩	285±1.2	[26]
黄山东岩体	觉罗塔格造山带	SHRIMP 锆石 U-Pb, 黑云母橄榄苏长岩	274±3	[27]
黄山岩体	觉罗塔格造山带	SHRIMP 锆石 U-Pb, 闪长岩	269±2	[28]
二红洼岩体	觉罗塔格造山带	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb, 橄榄辉长岩	283.1±1.5	[29]
葫芦岩体	觉罗塔格造山带	Re-Os 等时线, 硫化物矿石	283±13	[30]
葫芦岩体	觉罗塔格造山带	SHRIMP 锆石 U-Pb, 辉长闪长岩	274.5±3.9	[31]
图拉尔根 I 号岩体	觉罗塔格造山带	SHRIMP 锆石 U-Pb, 辉长岩	300.5±3.2	[32]
		SHRIMP 锆石 U-Pb: 石英闪长岩	285±10	
白石泉杂岩体	中天山地块	辉长闪长岩	284±9	[33]
		辉长岩	284±8	
白石泉杂岩体	中天山地块	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb, 辉长岩	281.2±0.9	[34]
天宇	中天山地块	SIMS 锆石 U-Pb, 辉长岩	280 ± 2	[35]

床中部 I、II 矿区, 矿化率高达 47.8%。带内还发育众多镁铁-超镁铁岩体, 如: 茅草泉、西井、青石窑、藏布台、青井子、小口子、北海子、塔马子沟等(图 3), 除藏布台和青井子出露面积较大外, 其他岩体均为小岩体, 呈不规则透镜体状、北西向展布, 岩石类型主要有: 纯橄榄岩、含辉橄榄岩、二辉橄榄岩、含长二辉橄榄岩、橄榄辉石岩、辉石岩(表 5), 岩石基性程度高, 蚀变较强。金川含矿岩体形成于 $(831.8 \pm 0.6) \text{Ma}^{[4]}$, 茅草泉镁铁-超镁铁质岩体中单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 $(832.5 \pm 1.5) \text{Ma}^{[5]}$, 表明金川附近的镁铁-超镁铁岩体可能均形成于新元古代时期, 为大陆边缘裂解作用的产物。

3.4 吉中—延边成镍带(Ni18)

位于天山—兴蒙造山带南缘的东段, 包括吉中—延边镁铁-超镁铁质岩带(图 1); 北界为长春—吉林—蛟河隐匿对接带, 南界为华北陆块北缘断裂东段, 西以沈阳—四平—德惠—逊克断裂为界, 东至国界线附近; 呈不规则的透镜体状, 西宽东窄, 近东西向展布; 该带长约 400 km、宽处 30~100 km, 面积 3 万 km^2 。带内出露地层主要为鞍山群与呼兰群变质岩, 其次为准地槽型的石炭系与二叠系, 中生界为陆相的侏罗系与白垩系含煤碎屑岩与火山岩; 断

裂构造主要有华北陆块北缘断裂、塔溪—林口断裂、抚顺—密山断裂等。带内分布有众多镁铁-超镁铁质岩体, 仅红旗岭地区就有岩体超过 30 个, 岩体类型可分为 5 种; 其中红旗岭 7 号为大型矿床, 1 号为中型矿床, 3、9、32 等形成小型矿床, 另外还有一些有矿化岩体; 位于红旗岭矿区南西侧茶尖矿区有 1 号、6 号、新 6 号等, 北端三道岗矿区 1 号; 东北部漂河川矿区 4 号、5 号、115 号岩体; 在和龙长仁地区 4 号、11 号均形成具有工业意义的中小型矿床; 岩石类型包括斜长角闪石岩-角闪石岩型、辉长岩-辉石岩型、辉长岩-辉石岩-橄榄岩型、斜方辉石岩型、角闪橄榄岩型 5 种类型, 多呈透镜体状小岩体, 沿构造线方向展布, 红旗岭 7 号岩体和漂河川岩体分别形成于 $(216 \pm 5) \text{Ma}$ 和 $(216 \pm 5) \text{Ma}^{[6]}$, 这些镁铁-超镁铁岩体均形成于晚三叠世, 为造山带后碰撞伸展背景下幔源岩浆作用的产物。

3.5 康滇成镍带(Ni26)

位于扬子陆块西缘, 四川西部、云南东部, 西以哀牢山断裂为界, 东至小江断裂, 北达箐河断裂, 南至国界线, 总体呈倒立的葫芦状北宽南窄(图 1), 该带长约 500 km、宽处 50~250 km, 面积 9 万 km^2 。区内出露基底为古元古界哀牢山岩群、中元古界康定

表4 甘一新北山地区主要镁铁质-超镁铁质-超镁铁质-铜镍-镍质体、铜镍-镍质体特征
Table 4 Characteristics of mafic-ultramafic intrusions and Cu-Ni orebodies in Gansu-Xinjiang Beishan area

岩体	长(km)× 宽(km)	面积 /km ²	地表岩体 形态	岩石组合	主要含矿岩性	矿石类型	矿体特征
坡十	2×1.6	2.5	近椭圆形	斜长/角闪橄榄岩、橄榄辉石岩、橄榄角闪辉长岩、辉长岩	斜长/角闪橄榄岩	星点浸染状、稀疏浸染状、稠密浸染状、准块状	橄榄岩相底部或靠近其底部
坡一	2.5×1.0	2.3	椭圆形	纯橄榄岩、二辉橄榄岩、橄榄辉石岩、橄榄辉长苏长岩、辉长苏长岩、淡色辉长岩、斜长岩、石英闪长岩	二辉橄榄岩	星散浸染状、稀疏浸染状	橄榄岩相底部或靠近其底部
红石山	5.8×0.6	4.7	梭状	橄榄岩、橄长岩、辉长岩、橄榄辉长岩			
罗东	2×1.2	2.4	眼球状	斜长/角闪橄榄岩、辉石岩、橄榄辉长岩、辉长岩			
漩湾岭	4×2	5	不规则状	橄榄岩、橄长岩、辉长岩、橄榄辉长岩			
笔架山	6.8×2.6	13	不规则状	橄榄岩、橄长岩、辉长岩、橄榄辉长岩			
黑山	0.8×0.4	0.257	似“鸭梨”	角闪橄榄岩、橄榄角闪辉长岩、橄榄辉石岩、角闪辉长岩	角闪橄榄岩	块状、半块状、海绵状、半海綿状和星点状	角闪橄榄岩中下部悬浮状或底部接触带
黑尖山			透镜状	二辉橄榄岩、单辉橄榄岩、橄榄辉石岩			
黑帽顶			近椭圆形	蛇纹石化含长橄榄辉石岩、(含橄概)辉石岩、含长辉石岩、细粒角闪辉石岩			
东大泉			不规则状	橄榄辉石岩、辉石岩			
新月山			不规则状	蛇纹石化辉石岩			
马鬃山			近椭圆形	橄榄辉石岩、辉石橄概岩、蛇纹岩、辉长岩			
黑山道			近椭圆形	橄榄辉石岩、蚀变含长橄榄辉石岩、蚀变辉石岩			
辉铜山西			不规则状	橄辉岩、蚀变辉长岩			

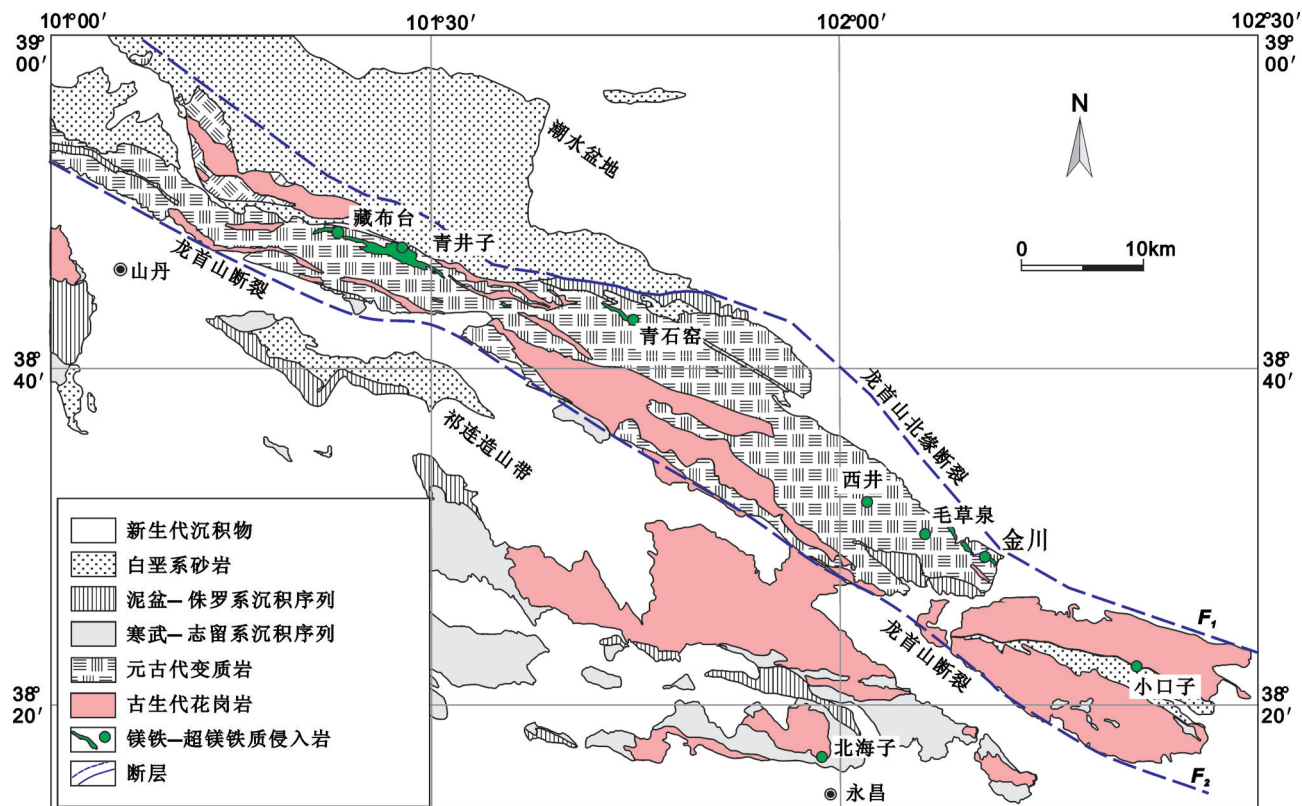


图3 龙首山地区地质简图(据文献[13]修改)

Fig.3 Simplified geological map of the Longshoushan area (modified after reference [13])

表5 龙首山地区镁铁质-超镁铁质岩体一览

Table 5 Mafic-ultramafic intrusions in the Longshoushan area

	岩体名称	岩石类型	分布特点	规模		侵入地层
				长/m	宽/m	
中段	金川	二辉橄榄岩、橄辉二辉岩、纯橄岩	岩墙状	6500	20~527	白家嘴子岩组
	V号异常	二辉橄榄岩	3个透镜状岩体	6.4~1.6	0.8~30	白家嘴子岩组
	塔马子沟	透闪石化橄榄岩、辉石岩	60多个岩脉状小岩体	大者: 170 一般 5~15	大者 40 一般数米	白家嘴子岩组
	墩子沟	次闪石化辉石岩	3个岩脉状岩体	平均 30	平均 3	白家嘴子岩组
	毛草泉	橄辉辉石岩、辉石岩、二辉橄榄岩	50多个透镜状岩体	最大者 100, 一般 3~30	10~20	塔马子沟岩组
中段	藏布台	角闪单辉岩、单辉橄榄岩	东宽西窄单斜岩墙	2348	120~400	石井组
	青井子	角闪单辉岩、单辉角闪岩、橄辉单辉岩	与道卜头岩体相连	最长 9500, 一般 30~300	最宽 380, 一般 2~40	石井组
	道卜头	角闪单辉岩、单辉角闪岩、橄辉单辉岩	与青井子岩体连为一体	最长 9500, 一般 30~300	最宽 380, 一般 2~40	石井组
	马莲井北	滑石岩、阳起石透闪片岩	透镜状	460	120	马莲井岩组
	苏大坂	蚀变角闪辉石岩和橄辉单辉岩	整个透镜状岩体	300	50~100	石井组
	西井	橄辉辉石岩、含长角闪岩	2个透镜状岩体	西岩体 600, 东岩体 80	岩体 60~100	东大山岩组
东段	青石窑	次闪石化橄辉辉石岩	岩株	1250	15~110	烧火筒沟组
	后山	辉长岩	长扁豆状	1200	300	龙首山岩群
	东水崖子	蛇纹石化滑石化橄辉岩、滑石岩	6个岩脉状岩体	最长 520, 一般 60~260	最宽 47, 一般 8~25	东大山岩组
	小口子	蛇纹石化橄辉岩、蚀变橄辉辉石岩	4个岩脉状小岩体	100~1540	10~126	东大山岩组
	小口子东	单辉橄辉岩、单辉岩、辉长岩	岩墙状	3200	最宽 500	东大山岩组
	大口子东	变辉绿岩	3个岩脉状小岩体	200~840	19~140	烧火筒沟组
	大口子	单辉橄辉岩、橄辉辉石岩、单辉岩	岩墙状	400	220~300	东大山岩组

群以及会理群,岩性为英云闪长岩、花岗质片麻岩夹斜长角闪片岩和厚层石英岩及板岩;盖层为泥盆系金宝山组、下二叠统、上三叠统云南驿组、上三叠统罗家大山组,为河湖相碎屑沉积;断裂构造有:程海—宾川断裂、元谋—绿汁江断裂、小江断裂、元江—红河断裂。带内分布的典型矿床有:冷水箐、力马河、金宝山、白马寨、朱布等,此外还有众多镁铁—超镁铁岩体,如高家村、打矿山、青矿山、清水沟、秧田沟、大岩子、小关河、唐家、花山、荒草坝、安定、瓦窑、牙牌、尾硐、牛栏冲、营盘街、龙楼、那孟等岩体(表6);这些矿床/岩体主要形成于两个时期:新元古代时期,如冷水箐((936±7) Ma^[7]);晚二叠世时期,如力马河、金宝山、白马寨等(大约260 Ma);前者可能与Rodinia超大陆裂解有关,后者可能与峨眉山大火成岩省有关。岩石类型主要为:异剥橄榄岩、二辉橄榄岩、方辉橄榄岩、单辉橄榄岩、橄榄辉石岩、辉石岩、苏长岩、辉长岩等。

3.6 扬子南缘成镍带(Ni28)

位于扬子陆块南缘,广西北部地区,总体呈近长方形北东向展布(图1),该带长约150km、宽处约

32 km,面积约5000 km²。区内地层有新元古界四堡群和丹洲群^[18]、震旦系以及古生界泥盆系;四堡群为半深海—深海相沉积建造的变泥砂质岩石、千枚岩、片岩夹火山碎屑岩、枕状熔岩和镁铁质—超镁铁质熔岩;丹洲群为陆相—浅海相—半深海相沉积建造的砾岩、砂岩、粉砂岩、碳酸盐岩;震旦系为滨浅海相砂岩、泥质钙质砂岩、长石砂岩和浅海相砂质页岩;古生代泥盆系为一套滨海—浅海相沉积的砾岩、含砾砂岩、粉砂岩、泥灰岩,泥晶灰岩、生物碎屑泥晶灰岩、层孔虫灰岩、白云岩。断裂构造有:四堡断裂、池洞断裂等。带内目前已发现的铜镍硫化物矿床(点)达16余个(图4),主要的矿床有大坡岭、小坡岭、陶家、清明山、地苏、满洞等,其中大坡岭矿床已达到中型规模;含矿岩体多呈岩床产出,个别呈岩盆状;还分布有众多镁铁—超镁铁岩体,如:九黄大山、田边、铜聋山、雨斗山、马漕山、满洞、仙人洞、山牛岭等;岩石类型主要有:二辉橄榄岩、单辉橄榄岩、辉石岩、辉长岩等,分布在扬子板块南缘,形成于新元古代时期^[19],可能与Rodinia超大陆裂解事件有关。

表6 峨眉山大火成岩省典型Cu-Ni-PGE矿床特征对比
Table 6 Characteristics of typical Cu-Ni-PGE deposits in ELIP

矿床	岩体形态	矿体产状	矿石结构构造	成矿元素组成
金宝山	岩席	似层状、透镜状	浸染状、斑块状、似海绵陨铁网状、角砾状构造、水滴状构造、脉状构造	贫Cu、Ni 富PGE
朱布	株状	边缘矿体(漏斗状)	浸染构造状构造	Cu-Ni-PGE型
力马河	株状	似层状、透镜状	块状、浸染状、海绵陨铁状	富CuNi 贫PGE
白马寨	岩席	似层状、条带状	海绵陨铁状、浸染状,斑杂状、斑点状	Cu-Ni-PGE型
杨柳坪	岩床	似层状、透镜状	致密块状、浸染状、海绵陨铁状、细脉浸染状、斑杂状	Cu-Ni-PGE型
冷水箐		透镜状		Ni-Cu-Co型
打矿山		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型
青矿山		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型
核桃树		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型
清水沟		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型
秧田沟		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型
大岩子		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型
杨合伍		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型
小关河		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型
黄土坡		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型
三棵树		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型
唐家		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型
花山		脉状、透镜状		Cu-Ni-PGE型

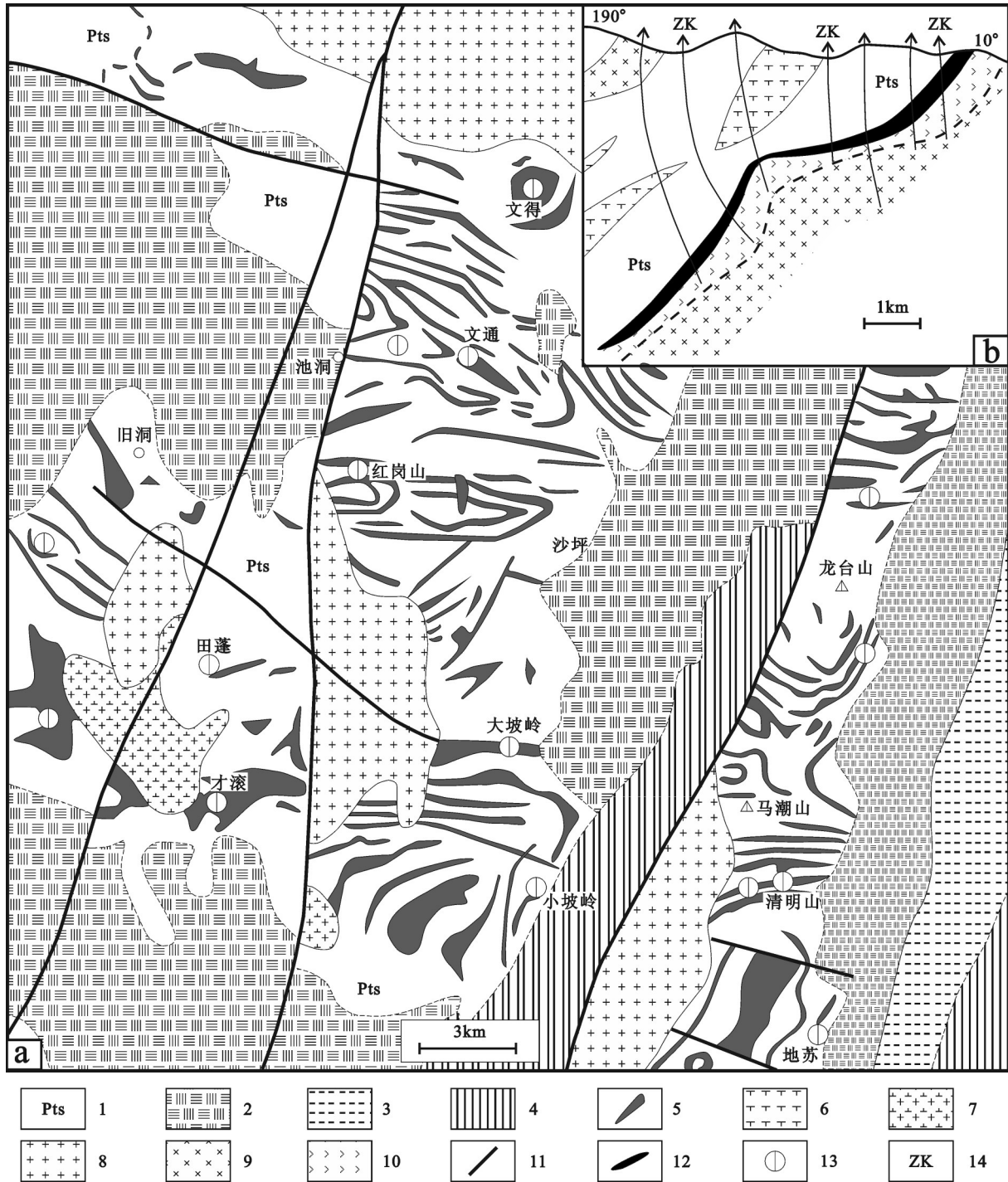


图4 宝坛镁铁质-超镁铁质岩体地质图(a)及剖面图(b)(据广西壮族自治区地质矿产局第七地质队, 1981^①)

1—四堡群; 2—丹洲群; 3—震旦系; 4—泥盆系; 5—镁铁质-超镁铁质岩体; 6—石英闪长岩; 7—花岗岩闪长岩;
8—黑云母花岗岩; 9—辉长辉绿岩; 10—辉石岩; 11—断裂; 12—矿体; 13—铜镍硫化物矿床(矿点); 14—钻孔

Fig. 4 Geological map of mafic-ultramafic intrusions in Baotan area (a) and cross section (b) (modified after No. 7 Geological Party, Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, 1981, unpublished data)

1—Sibao Group; 2—Danzhou Group; 3—Sinian; 4—Devonian; 5—Mafic-ultramafic intrusion; 6—Quartz diorite; 7—Granodiorite;
8—Biotite granite; 9—Gabbro diabase; 10—Pyroxenite; 11—Fault; 12—Cu-Ni orebody; 13—Cu-Ni sulfide deposit (ore spot); 14—Drill hole

①广西壮族自治区地质矿产局第七地质队. 广西罗城县大坡岭铜镍矿床详细普查地质报告. 1981.

4 找矿方向探讨

在全国范围内初步选出12个有利的镍矿找矿区带,其中6个为重点预测区带。现就6个重点地区的进一步找矿工作部署与开展提出建议:

(1)东天山成镍带(Ni2)与海西中晚期基性-超基性岩有关的岩浆型镍铜(铂)矿床。在该带上,主要岩石类型为镁铁-超镁铁质岩石,镁铁比值(m/f)主要在2~6.5,为铁质超基性岩。该带发育两期岩浆事件:270~300 Ma造山带伸展背景下幔源岩浆事件和340~370 Ma俯冲作用有关的幔源岩浆事件。在前人找矿勘查中,主要集中在270~301 Ma的岩体中,对340~370 Ma的幔源岩浆事件关注较少;事实表明,在东天山地区,存在大量的镁铁-超镁铁质岩体形成于340~370 Ma,如四顶黑山、图拉尔根Ⅱ、Ⅲ号岩体、咸水泉、马蹄等,这些岩体同样具有较好的成矿条件和成矿潜力;在四顶黑山岩体中,目前共发现有铜、镍矿化体31个,其中铜矿化体19个,镍矿化体11个,铜镍矿化体1个^[20],而且岩体中橄榄岩相、苏长岩相发育以及贵橄榄石+古铜辉石的矿物组合特征,具有形成铜镍(铂)矿床的有利条件^[21]。

(2)甘一新北山成镍带(Ni6)与海西中晚期基性-超基性岩有关的岩浆型镍铜(铂)矿床。在主要岩石类型为镁铁-超镁铁质岩石,镁铁比值(m/f)主要在2~6.5,为铁质超基性岩。该地区今后找矿工作的重点应放在两类成矿岩体,即约280 Ma与塔里木大火成岩省有关的基性-超基性岩体,该类岩体一般面积相对较大,产状较为平缓,多呈岩盆或岩床状;另一类岩体为350~370 Ma幔源岩浆作用有关的基性-超基性岩体,该类岩体一般为产状陡倾小岩体。在该带中,目前已发现有超大型镍矿床2个(坡一、坡十)、大型镍矿床1个(黑山),查明资源量占全国总资源量的17%(表1);还有很多矿化点和镁铁-超镁铁岩体(如红石山、旋窝岭、笔架山、怪石山、黑尖山、马鬃山等),许多岩体尚未进行勘查和研究工作,但岩体成矿条件较好,具有较好的成矿潜力。

(3)东昆仑成镍带(Ni10)与晚古生代幔源基性-超基性岩有关的镍铜(钴)矿床。在该带近年来发现了超大型镍矿床——夏日哈木镍钴矿床,仅26号异常中就赋存有百万t镍矿(资源量),其他异常

尚未取得较大突破;主要岩石类型为纯橄岩、二辉橄榄岩、方辉橄榄岩、橄辉方辉岩、含长二辉岩、方辉岩、暗色辉长苏长岩、辉长岩,镁铁比值(m/f)主要在2~6.5,为铁质超基性岩。可以在该成镍带,即柴达木地块周缘部署相应的勘查工作;在夏日哈木地区部署大比例尺物探、化探工作,激电、重力、磁法综合研究是发现隐伏岩体的重要手段和技术方法;26号异常可能存在岩浆通道,将其他异常(如25、27、28号异常)的地质特征与26号异常进行对比研究,结合钻探验证,可以实现找矿的突破。

(4)扬子南缘成镍带(Ni28)与新元古代Rodinia裂解事件有关的镍铜矿床。大陆边缘裂解背景是世界上镍矿成矿的重要构造背景之一。该带仅在广西北部宝坛地区就有数十个镁铁质-超镁铁质小岩体发育,并形成了多个镍矿床与矿化点,岩体多呈岩盘、岩床状;主要岩石类型为镁铁-超镁铁质岩石,镁铁比值(m/f)主要在2~6.5,为铁质超基性岩。该带发育的矿床较多,但资源量却相对较少,仅占全国总资源量的1%(表1),具有较大的找矿空间;另外,在宝坛西南方向约130 km的林洞地区也发育有众多镁铁质-超镁铁质小岩体,且成矿条件较好,但是由于工作条件有限,导致基础地质工作相对滞后,许多岩体都未开展相应的工作,致使找矿勘查工作未能取得较大进展。

(5)白乃庙—锡林浩特成镍带(Ni15)与晚古生代幔源基性-超基性岩有关的镍铜(铂)矿床。在该带上,主要岩石类型为镁铁-超镁铁质岩石,镁铁比值(m/f)主要在2~6.5,为铁质超基性岩。该带位于华北地台北边,属于中亚造山带组成部分;在该带东、西两侧分别为红旗岭和黄山镍矿密集区,由于该带研究工作相对较为薄弱,找矿工作未能取得较大突破;但在该带发育有大量的镁铁-超镁铁质小岩体,在造山带后碰撞伸展背景下,具备形成镍矿的有利条件。

(6)北冈底斯成镍带(Ni14)与中生代岩浆作用有关的镍铜矿床。在该带上,主要岩石类型为镁铁-超镁铁质岩石,镁铁比值(m/f)主要在2~6.5,为铁质超基性岩。该带工作程度很低,许多矿化点/岩体均未开展工作;近年来找矿工作取得了较大的突破,主要表现在铜、铅、锌等矿种上。该带岩浆作用发育,在造山带伸展有利的背景下,部署相应的物、

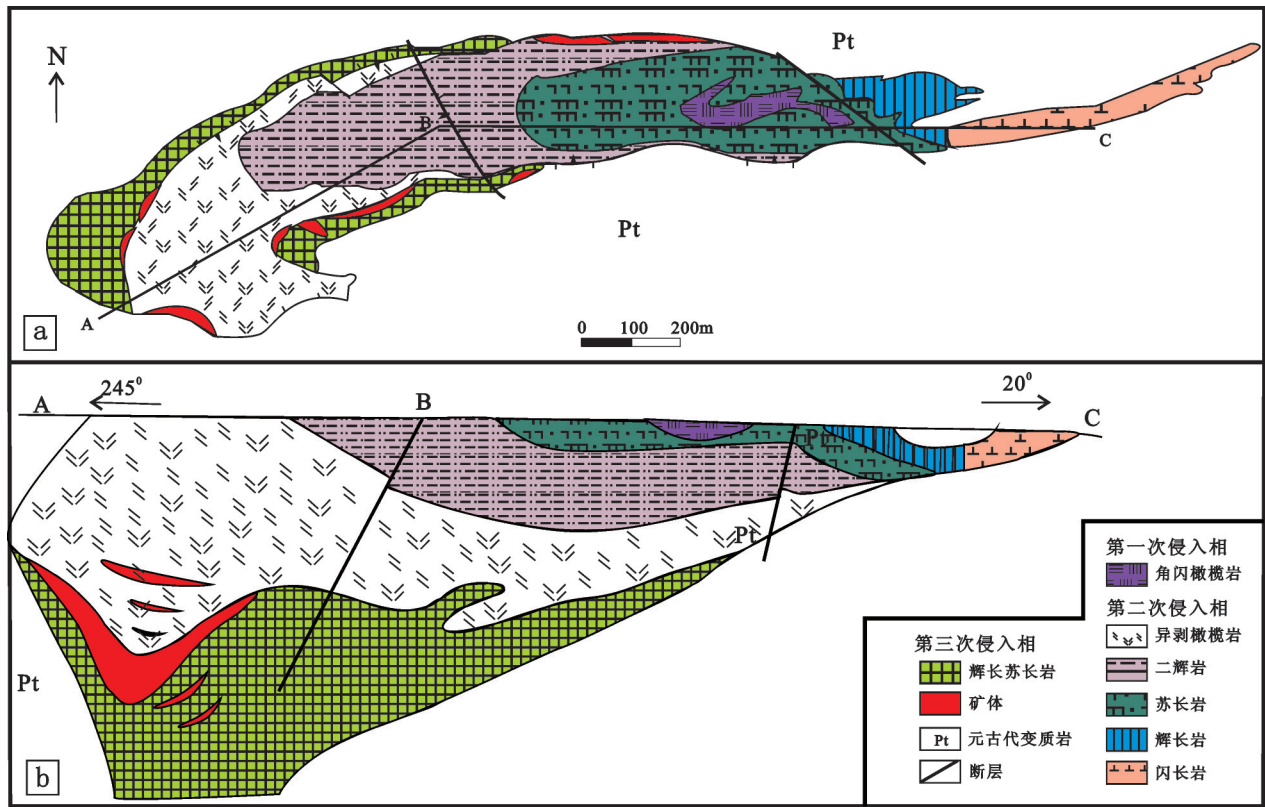


图5 新疆东天山黄山西含铜镍矿镁铁-超镁铁质岩体地质略图(a)和勘探线剖面图(b)(据文献[22]修改)
 Fig.5 Simplified geological map of the Huangshanxi Cu-Ni sulfide-bearing intrusion (a) and its typical cross section (b) (modified after reference [22])

化探工作,应该能取得镍矿的找矿突破。

另外,在龙首山成镍带、南阿尔泰成镍带、内蒙北山成镍带、塔里木北缘成镍带、柴达木北缘成镍带、康滇成镍带等6个区带也应该继续部署相应的找矿工作。“探边摸底”,在老矿山的外围以及深部将会取得找矿的突破;如在黄山矿床,目前的勘查程度尚未对岩体进行完全控制(图5),深部存在很大的找矿空间;其它岩浆型镍矿床也具有类似的特征,如黄山东、香山、大坡岭等(图4-b)。

5 结 语

镍矿是我国紧缺矿种之一。近年来,虽然在图拉尔根、坡北、夏日哈木等地区找矿方面取得了较大的突破,但是镍矿找矿工作仍然需要进一步的加强。本次工作在全国范围内划分出30个成镍带;其中东天山成镍带、甘一新北山成镍带、东昆仑成镍带、扬子南缘成镍带、白乃庙—锡林浩特成镍带以

及北冈底斯成镍带为6个重点预测区带。在岩浆成镍带,深部找矿无疑是大有可为的;在沉积成镍带,在保证环保、安全开发的前提下,要注意镍、铜、钼、钒、铀、铂族元素等的综合评价;在风化成镍带,尤其是云南墨江地区,尽管半个世纪以前评价过,但也不妨根据当前的技术经济条件重新加以评价,包括对原生矿的寻找。

致谢:中国地质科学院矿产资源研究所徐志刚研究员在写作过程中给予了指导和帮助;长安大学汤中立院士和钱壮志教授在岩浆铜镍硫化物矿床方面给予启发和指导,在此一并致以衷心的感谢!

参考文献(References):

[1] 王成辉,王登红,黄凡,等. 中国金矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 2012, 39(5): 1125 - 1142.
 Wang Chenghui, Wang Denghong, Huang Fan, et al. The major gold concentration areas in China and their resource potentials [J]. Geology in China, 2012, 39(5): 1125 - 1142 (in Chinese with

- English abstract).
- [2] 张长青, 芮宗瑶, 陈毓川, 等. 中国铅锌矿资源潜力和主要战略接续区[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 248–272.
Zhang Changqing, Rui Zhongyao, Chen Yuchan, et al. The main successive strategic bases of resources for Pb–Zn deposits in China [J]. *Geology in China*, 2013, 40(2): 248–272 (in Chinese with English abstract).
- [3] 朱明玉, 王成辉, 王登红, 等. 中国铬矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 995–1006.
Zhu Mingyu, Wang Chenghui, Wang Denghong, et al. The major chromium concentration areas in China and a discussion on their resource potential[J]. *Geology in China*, 2013, 40(4): 659–1006(in Chinese with English abstract).
- [4] 王永磊, 陈毓川, 王登红, 等. 中国锑矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1366–1378.
Wang Yonglei, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. The principal antimony concentration areas in China and their resource potentials[J]. *Geology in China*, 2013, 40(5): 1366–1378(in Chinese with English abstract).
- [5] 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, 2008: 1–138.
Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. The Scheme of the Classification of the Minerogenetic Units in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008: 1–138 (in Chinese).
- [6] 钱壮志, 孙涛, 汤中立, 等. 东天山黄山东铜镍矿床铂族元素地球化学特征及其意义[J]. 地质论评, 2009, 55(6): 873–884.
Qian Zhaungzhi, Sun Tao, Tang Zhongli, et al. Platinum group Elements Geochemistry and Its Significances of the Huangshandong Ni–Cu Sulfide Deposit, East Tianshan, China [J]. *Geological Review*, 2009, 55(6): 873–884 (in Chinese with English abstract).
- [7] Sun Tao, Qian Zhuangzhi, Deng Yufeng, et al. PGE and isotope (Hf–Sr–Nd–Pb) constraints on the origin of the Huangshandong magmatic Ni–Cu sulfide deposit in the Central Asian Orogenic Belt, NW China [J]. *Economic Geology*, 2013a, 108: 1849–1864.
- [8] 姜常义, 程松林, 叶书锋, 等. 新疆北山地区中坡山北镁铁质岩体岩石地球化学与岩石成因[J]. 岩石学报, 2006, 22(1), 115–126.
Jiang C Y, Cheng S L, Ye S F, et al. Litho geochemistry and petrogenesis of Zhongposhanbei mafic rock body at Beishan region, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22, (1): 115–126 (in Chinese with English abstract).
- [9] 李华芹, 陈富文, 梅玉萍, 等. 新疆坡北基性–超基性岩带 I 号岩体 Sm–Nd 和 SHRIMP U–Pb 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2006, 25(4): 463–469.
Li Huaqing, Chen Fuwen, Mei Yuping, et al. Dating of the No.1 intrusion of Pobei basic–ultrabasic rocks belt, Xinjiang, and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25(4): 463–469 (in Chinese with English abstract).
- [10] Ao Songjian, Xiao Wenjiao, Han Chunming, et al. Geochronology and geochemistry of Early Permian mafic–ultramafic complexes in the Beishan area, Xinjiang, NW China: Implications for late Paleozoic tectonic evolution of the southern Altai [J]. *Gondwana Research*, 2010, 18, 466–478
- [11] 闫海卿, 赵焕强, 丁瑞颖, 等. 甘肃北山大山头基性杂岩体 SHRIMP 锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. 西北地质, 2012, 45(4): 216–228.
Yan Haiqing, Zhao Huanqiang, Ding Ruiying, et al. Zircon SHRIMP U–Pb dating of the Dashantou basic complex and its geological significance in Beishan area, Gansu province [J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(4): 216–228. (in Chinese with English abstract)
- [12] Xie Wei, Song Xieyan, Deng Yufeng, et al. Geochemistry and petrogenetic implications of a Late Devonian mafic–ultramafic intrusion at the southern margin of the Central Asian Orogenic Belt [J]. *Lithos*, 2012, 144–145: 209–230.
- [13] 汤中立, 李文渊. 金川铜镍硫化物(含铂)矿床成矿模式及地质对比[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 1–209.
Tang Zhongli, Li Wenyuan. Geological Comparison and Metallogenic Mode of Jinchuan Ni–Cu (Pt) Sulfide Ore Deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 1–209 (in Chinese)
- [14] Zhang M J, Kamo S L, Li C S, et al. Precise U–Pb zircon–baddeleyite age of the Jinchuan sulfide ore–bearing ultramafic intrusion, western China [J]. *Miner. Deposita*, 2010, 45: 3–9.
- [15] 焦建刚, 汤中立, 闫海卿, 等. 金川铜镍硫化物矿床的岩浆质量平衡与成矿过程[J]. 矿床地质, 2012, 31(6): 1135–1148.
Jiao JianGang, Tang ZhongLi, Yan HaiQing, et al. Magmatic mass balance and metallogenic process of Jinchuan Cu–Ni sulfide deposit [J]. *Mineral Deposits*, 2012, 31(6): 1135–1148(in Chinese with English abstract).
- [16] Wu F Y, Wildea S A, Zhang G L, et al. Geochronology and petrogenesis of the post–orogenic Cu–Ni sulfide–bearing mafic–ultramafic complexes in Jilin Province, NE China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2004, 23: 781–797.
- [17] 沈渭州, 高剑锋, 徐士进, 等. 四川盐边冷水箐岩体的形成时代和地球化学特征[J]. 岩石学报, 2003, 19(1): 27–37.
Shen Weizhou, Gao Jianfeng, Xu Shijin, et al. Format on age and geochemical characteristics of the Lengshuiqing body, Yanbian, Sichuan province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(1): 27–37 (in Chinese with English abstract).
- [18] 高林志, 陆济璞, 丁孝忠, 等. 桂北地区新元古代地层凝灰岩锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1443–1452.
Gao Linzhi, Lu Jipu, Ding Xiaozhong, et al. Zircon U–Pb dating of Neoproterozoic tuff in South Guangxi and its implications for stratiagraphic correlation [J]. *Geology in China*, 2013, 40(5): 1443–1452(in Chinese with English abstract).
- [19] Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia: Did it

- start with a mantle plume beneath South China? [J]. *Earth Planet Science Letter*, 1999, 173, 171 – 181.
- [20] 孙新春, 程昱辰, 黄增保, 等. 甘新蒙北山北带北亚带甘肃段的岩浆岩地质特征[J]. *甘肃地质*, 2009, 18(3): 8 – 13.
Sun Xinchun, Cheng Yuchen, Huang Zengbao, et al. Geological characteristics of igneous rocks distributed in Gansu section of subnorth belt of Beishan mountain located in Border of Gansu–Xinjiang–Monglia [J]. *Gansu Geology*, 2009, 18(3): 8 – 13(in Chinese with English abstract).
- [21] 孙涛, 钱壮志, 汤中立, 等. 东天山四顶黑山层状岩体地质特征及成矿潜力分析[J]. *地球学报*, 2012, 33(1): 38 – 48.
Sun Tao, Qian Zhuangzhi, Tang Zhongli, et al. Geological characteristics and ore-forming potential of Sidingheishan stratified mafic–ultramafic intrusion in East Tianshan mountains [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2012, 33(1): 38 – 48(in Chinese with English abstract).
- [22] 李德惠, 包相臣, 张伯南, 等. 黄山铜镍成矿带地质、地球物理、和地球化学综合研究及找矿靶区优选报告[R]. 新疆305项目组报告, 1989: 1 ~ 418.
Li Dehui, Bao Xiangchen, Zhang Bonan, et al. Investigation of Geology, Geophysics and Geochemistry of the Huangshan Cu–Ni Metallogenic Belt for Mineral Exploration, Unpublished Report by National 305 Project Office in Xinjiang. 1989: 1–418. (in Chinese)
- [23] 毛景文, 杨建民, 屈文俊, 等. 新疆黄山铜镍硫化物矿床 Re–Os 同位素测定及其地球动力学意义[J]. *矿床地质*, 2002, 21(4): 323 – 310.
Mao Jingwen, Yang Jianmin, Qu Wenjun, et al. Re–Os dating of Cu–Ni sulfide ores from Huangshandong Deposit in Xinjiang and its geodynamic significance[J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21(4): 323–330 (in Chinese with English abstract).
- [24] Zhang Zuoheng, Mao Jingwen, Du Andao, et al. Re–Os dating of two Cu–Ni sulfide deposits in northern Xinjiang, NW China and its geological significance [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32: 204–217.
- [25] 李月臣, 赵国春, 屈文俊, 等. 新疆香山铜镍硫化物矿床 Re–Os 同位素测定[J]. *岩石学报*, 2006, 22(1): 245 – 251.
Li Yuechen, Zhao Guochun, Qu Wenjun, et al. Re–Os isotope dating of Xiangshan deposit, East Tianshan, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22 (1): 245– 251 (in Chinese with English abstract)
- [26] Qin K Z, Zhang L C, Xiao W J, et al. Overview of major Au, Cu, Ni and Fe deposits and metallogenic evolution of the eastern Tianshan Mountains, Northwestern China[C]//Mao J W, Goldfarb R J, Seltmann R, et al (eds.), *Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan* (London), 2003: 227–249.
- [27] 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁–超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. *科学通报*, 2004, 49(22): 2324 – 2328
Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, et al. SHRIMP zircon U–Pb ages of Karatongke No. 1 and Huangshandong Cu–Ni–bearing mafic–ultramafic complexes, North Xinjiang, and geological implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(22): 2424–2429 (in Chinese).
- [28] Zhou M F, Leshner C M, Yang Z, et al. Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni–Cu–(PGE) sulfide–bearing mafic intrusions in the Huangshan district, eastern Xinjiang, northwest China: Implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt [J]. *Chemical Geology*, 2004, 209: 233–257.
- [29] Sun Tao, Qian Zhuangzhi, Li Chusi, et al. Petrogenesis and economic potential of the Erhongwa mafic–ultramafic intrusion in the Central Asian Orogenic Belt, NW China: Constraints from olivine chemistry, U–Pb age and Hf isotopes of zircons, and whole–rock Sr–Nd–Pb isotopes [J]. *Lithos*, 2013b, 182–183: 185–199.
- [30] 陈世平, 王登红, 屈文俊, 等. 新疆葫芦铜镍硫化物矿床的地质特征与成矿时代[J]. *新疆地质*, 2005, 23(3), 230 – 233.
Chen Shiping, Wang Denghong, Qu Wenjun, et al. Geological features and ore formation of the Hulu Cu–Ni sulfide deposit, Eastern Tianshan, Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 2005, 23(3): 230 – 233(in Chinese with English abstract)
- [31] 孙涛, 钱壮志, 汤中立, 等. 新疆葫芦铜镍矿床锆石 U–Pb 年代学、铂族元素地球化学特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(11): 3339 – 3349.
Sun Tao, Qian Zhuangzhi, Tang Zhongli, et al. Zircon U–Pb chronology, platinum group element geochemistry characteristics of Hulu Cu–Ni deposit, East Xinjiang, and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(11): 3339 – 3349 (in Chinese with English abstract).
- [32] 三金柱, 秦克章, 汤中立, 等. 东天山图拉尔根大型铜镍矿区两个镁铁–超镁铁岩体的锆石 U–Pb 定年及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(2): 523 – 532.
San Jinzhu, Qin Kezhang, Tang Zhongli, et al. Precise zircon U–Pb age dating of two mafic–ultramafic complexes at Tulargen large Cu–Ni district and its geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(10): 3027 – 3035 (in Chinese with English abstract).
- [33] 吴华, 李华芹, 莫新华, 等. 新疆哈密白石泉铜镍矿区基性–超基性岩的形成时代及其地质意义[J]. *地质学报*, 2005, 79(4): 498 – 502.
Wu Hua, Li Huaqing, Mo Xinhua, et al. Age of the Baishiquan mafic–ultramafic complex, Hami, Xinjiang and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(4): 498 – 502. (in Chinese with English abstract).
- [34] 毛启贵, 肖文交, 韩春明, 等. 新疆东天山白石泉铜镍矿床基性–超基性岩体锆石 U–Pb 同位素年龄、地球化学特征及其对古亚洲洋闭合时限的制约[J]. *岩石学报*, 2006, 22(1): 153 – 162.
Mao Qigui, Xiao Wenjiao, Han Chunmin, et al. Zircon U–Pb age

and the geochemistry of the Baishiquan mafic-ultramafic complex in the Eastern Tianshan, Xinjiang province: constraints on the closure of the Paleo-Asian Ocean[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22: 153-162 (in Chinese with English abstract).

[35] Tang Dongmei, Qin Kezhang, Li Chusi, et al. Zircon dating, Hf-Sr-Nd-Os isotopes and PGE geochemistry of the Tianyu sulfide-bearing mafic-ultramafic intrusion in the Central Asian Orogenic Belt, NW China [J]. *Lithos*, 2011, 126: 84-98.

Geological characteristics of the nickel metallogenic belts in China and the prospecting orientation

SUN Tao¹, WANG Deng-hong¹, LOU De-bo¹, LIU Xin-xing²,
CHEN Zheng-hui¹, LI Li-xing¹, WANG Cheng-hui¹

(1. *MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*; 2. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China*)

Abstract: China has rich nickel resources and is also a country of much nickel resources consumption. The nickel deposits are composed of magmatic type, marine sedimentary type and weathering crust type in China. The formation epochs were from the Neoproterozoic to Cenozoic, with the Neoproterozoic and late Paleozoic being two peaks. The spatial distribution of nickel deposits is relatively concentrated: they are mainly distributed in Northwest, Southwest and Northeast China, frequently exhibiting clustered distribution. The continental margin breakup belt, the post-collision orogenic belt and the mantle plume are three important tectonic settings of the nickel deposits in China. In this paper, the authors divided the nickel deposits in China into 30 Grade-III nickel metallogenic belts on the basis of the Grade-III metallogenic belts, described briefly the spatial distribution characteristics, metallogenic regularity, metallogenic conditions and ore-forming features of the nickel deposits, summarized the main geological characteristics of six nickel metallogenic belts, which include East Tianshan, Gansu-Xinjiang Beishan, Longshoushan, central Jilin-Yanbian, Kang-Dian and southern margin of the Yangtze, and discussed the prospecting orientation for the nickel resources. It is held that the depth of the intrusion should be regarded as the favorable exploration target for the Ni sulfide deposit.

Key words: nickel metallogenic belt; prospecting orientation; Ni deposit; China

About the first author: SUN Tao, male, born in 1983, doctor, lecturer, mainly engages in the study of mineral deposits; E-mail: suntao06@126.com.