

# 中国铜镍(铂族)岩浆硫化物矿床 主要成矿构造背景

钱壮志<sup>1,2</sup>, 段俊<sup>2</sup>, 冯延清<sup>2</sup>, 徐刚<sup>2</sup>, 张江江<sup>2</sup>

(1. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 西安 710054; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054)

**[摘要]** 本文基于中国铜镍(铂族)岩浆硫化物矿床区域分布和找矿新进展及新的研究资料,对中国该类矿床的主要成矿构造背景进行总结研究,归纳出大火成岩省、克拉通边缘裂谷或陆内拉张环境、造山带碰撞后伸展环境和活动大陆边缘或岛弧4类重要成矿构造背景,与世界上该类矿床成矿构造背景比照,中国尚缺绿岩带、蛇绿岩带等构造背景的矿床实例。另外,中国的造山带碰撞后伸展环境大规模成矿也是世界上罕见的。由此,今后找矿勘查部署上应充分考虑上述4类成矿构造背景中的小岩体。

**[关键词]** 铜镍(铂族);岩浆硫化物矿床;成矿构造背景;主要类型;中国

**[中图分类号]** P618.41;P618.63;P612 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)02-0019-10

## 1 前言

区域成矿构造背景分析在成矿预测与找矿勘查选区部署中具有重要意义。世界上,与镁铁质-超镁铁质岩浆作用有关的铜镍岩浆硫化物矿床成矿构造背景主要有绿岩带(裂谷)、大陆边缘裂谷、造山带、蛇绿岩带、汇聚边缘带、岛弧、陨石撞击等<sup>[1]</sup>。汤中立等<sup>[2,3]</sup>在总结中国岩浆硫化物矿床类型中,将其主要构造背景总结为大陆陆内或边缘裂解背景、造山带后碰撞伸展背景和大火成岩省背景3类。本文基于近年来找矿新进展和新的研究资料,对中国该类矿床的成矿构造背景进一步总结,为今后找矿勘查方向提供背景依据。

## 2 成矿构造背景类型

依据已发现矿床成矿构造背景分析,中国铜镍(铂族)岩浆硫化物矿床成矿构造背景主要有4类,

即大火成岩省、克拉通边缘裂谷或陆内拉张环境、造山带碰撞后伸展环境和活动大陆边缘或岛弧(见图1,表1)。

### 2.1 克拉通边缘裂谷或陆内拉张环境

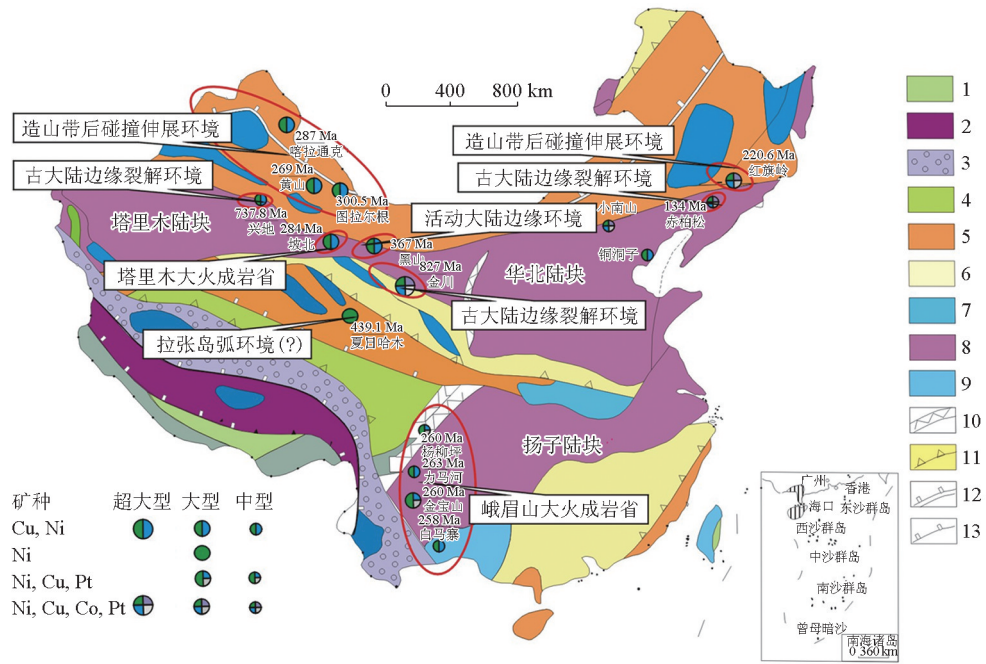
克拉通边缘裂谷或陆内拉张环境是我国重要的成矿构造背景之一,金川矿床即形成于该类环境。最近研究显示,位于塔里木陆块北缘的兴地塔格Ⅱ号岩体形成年龄为620 Ma,可能也与此类环境有关。

金川超大型铜镍(铂族)矿床位于华北陆块西南缘,金川岩体属于龙首山镁铁质-超镁铁质侵入岩带的组成部分,该岩群位于阿拉善地块西南缘的龙首山隆起区内(见图2)。龙首山地区在前长城纪已成为稳定的克拉通,肖序常等认为,中祁连的结晶基底在早前寒武纪与华北板块是连为一体的,后来才从华北板块中分裂出来。

**[收稿日期]** 2014-12-03

**[基金项目]** 中国工程院咨询项目(2013-04-XY-001);国家自然科学基金项目(41372101);中国地质调查局项目(1212011085061)

**[作者简介]** 钱壮志,1959年出生,男,陕西富平县人,教授,主要从事矿床学和区域构造与成矿的教学与研究工作;E-mail:zyxyqzz8@chd.edu.cn



1—新生代(喜马拉雅);2—白垩纪(晚燕山);3—侏罗纪(早燕山);4—三叠纪(印支);5—晚古生代(华里西);6—早古生代(加里东);7—微古陆块;8—前寒武纪陆块;9—叠置在古老褶皱带上的弧后和陆内盆地;10—叠瓦大山脉;11—消减带;12—准葛尔-贺根山缝合线;13—欧亚板块与其他板块缝合线

图1 中国铜镍(铂族)岩浆硫化物矿床成矿构造背景分布<sup>[4]</sup>

Fig. 1 Distribution of the tectonic setting of magmatic sulfide deposits in China<sup>[4]</sup>

表1 中国铜镍(铂族)岩浆硫化物矿床成矿构造背景

Table 1 The tectonic setting of magmatic sulfide deposits in China

成矿构造背景	代表矿床	岩体出露面积/km <sup>2</sup>	赋矿岩相	同位素年龄	年龄参考资料
克拉通边缘裂谷或陆内拉张环境	金川	约1.34	二辉橄榄岩、橄榄二辉岩	831.8 Ma	[5]
大火成岩省 峨眉山大火成岩省	白马寨	3号岩体约0.01	橄榄岩、橄榄辉石岩	259 Ma	[6]
	力马河	约<0.1	含长辉石橄榄岩、斜长橄榄辉石岩	263 Ma	[7]
	杨柳坪	约1.26	橄榄岩	260 Ma	[8]
	金宝山	约<2	辉石橄榄岩	260.6 Ma	[8]
塔里木大火成岩省	坡一	约2.5	单辉橄榄岩、二辉橄榄岩、纯橄岩	278±2 Ma	[9]
	坡十	约3.2	单辉橄榄岩、二辉橄榄岩、纯橄岩	289 Ma	[10]
碰撞后伸展环境	红旗岭	1号岩体,约0.2	辉石橄榄岩、橄榄辉石岩	216 Ma	[11]
	喀拉通克	<0.01	橄榄苏长岩、苏长岩和角闪苏长岩相	287Ma	[12]
	黄山	约1.71	橄榄岩	269 Ma	[13, 14]
	黄山东	约2.8	二辉橄榄岩	284 Ma	[12]
	香山东	约2.8	辉长苏长岩、角闪辉长岩、角闪单辉	274 Ma	[12]
	葫芦	约0.75	橄榄岩	285 Ma	[15,16]
	辉石岩、辉橄岩	约274.5 Ma	[17]		
活动大陆边缘或岛弧	图拉尔根	<0.005	角闪橄榄岩	300.5±3.2 Ma	[18]
	夏日哈木	1号岩体,约1.12	橄榄岩、二辉岩	439.1±3 Ma	[19]
	黑山	约0.25	方辉橄榄岩、角闪橄榄岩	357 Ma	[20]

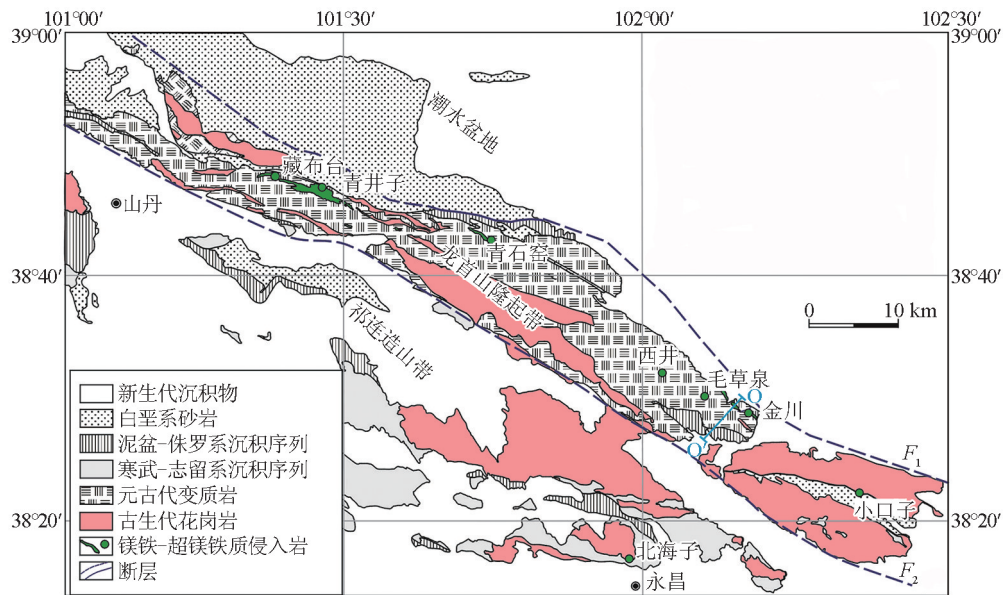


图2 龙首山地区简要地质图<sup>[24]</sup>

Fig. 2 Simplified geological map of Longshoushan region<sup>[24]</sup>

长期以来,研究者对金川铜镍硫化物矿床的年代学进行了大量的研究,近年研究结果显示,金川岩体的单颗粒锆石U-Pb年龄约831.8 Ma<sup>[5]</sup>。依据金川岩体的成岩年龄与Rodinia大陆裂解时间一致,李献华等<sup>[25]</sup>提出金川岩体是受Rodinia大陆裂解影响的结果。但金川岩体原生岩浆为拉斑玄武岩浆,MgO含量不到12%(wt),源区为富集的岩石圈地幔,不像峨眉山大火成岩省、塔里木大火成岩省那样,具有源自于地幔的多个层圈的物质组分特征。据陈向阳等研究<sup>[26]</sup>,龙首山地区存在新元古代韩母山群烧火筒沟组的砾状白云岩是大陆裂谷的典型沉积,其中存在震旦纪晚期的微古植物化石,并指出金川岩体的成岩年龄略早于砾状白云岩年龄。由此可见,金川岩体可能形成于大陆裂解时期的伸展构造环境。

## 2.2 大火成岩省环境

### 2.2.1 峨眉山大火成岩省

峨眉山玄武岩及共生的镁铁-超镁铁质侵入岩,以及少量花岗岩和碱性岩广泛分布于华南陆块西部,是我国被国际学术界认可的大火成岩省,其发育与峨眉地幔柱构造有关<sup>[27]</sup>。

在世界上,地幔柱背景下的大火成岩省巨量玄武岩岩浆活动可导致大规模成矿作用的发生,这种构

造环境也是世界上岩浆矿床形成的重要构造背景之一,典型范例如西伯利亚的Noril'sk-Talnakh超大型Ni-Cu-PGE硫化物矿床、南非与Bushveld杂岩体有关的PGE-Cu-Ni硫化物矿床以及铬铁矿床、美国Duluth杂岩体中的超大型Cu-Ni-PGE硫化物矿床、加拿大Coppermine River大火成岩省中的大型Ni-Cu-PGE硫化物矿床、北大西洋火成岩省Skaergaard岩体中的Pd-Au矿床。

我国峨眉山大火成岩省的面积较小,但其成矿作用多样在世界上也是罕见<sup>[28]</sup>,除大型超大型V-Ti磁铁矿外,有多个与镁铁-超镁铁质岩体有关的Cu-Ni-PGE硫化物矿床发育(见表1)。

### 2.2.2 塔里木大火成岩省

塔里木大火成岩省包括巨量的早二叠世大陆溢流玄武岩和一系列近乎同时代形成的镁铁质-超镁铁质岩侵入体或岩墙、碱性正长岩类、A型花岗岩类和长英质火山岩及火山碎屑岩,主要分布在塔里木盆地的中西部地区<sup>[29,32]</sup>(见图3),在东北部也有分布,主要为镁铁质-超镁铁质岩侵入体。大量的年代学数据统计结果表明,塔里木大火成岩省的岩浆活动主要集中在290~285 Ma和285~274 Ma两个阶段,其中后一阶段形成一系列镁铁质-超镁铁质岩侵入体及长英质的侵入岩<sup>[33]</sup>。

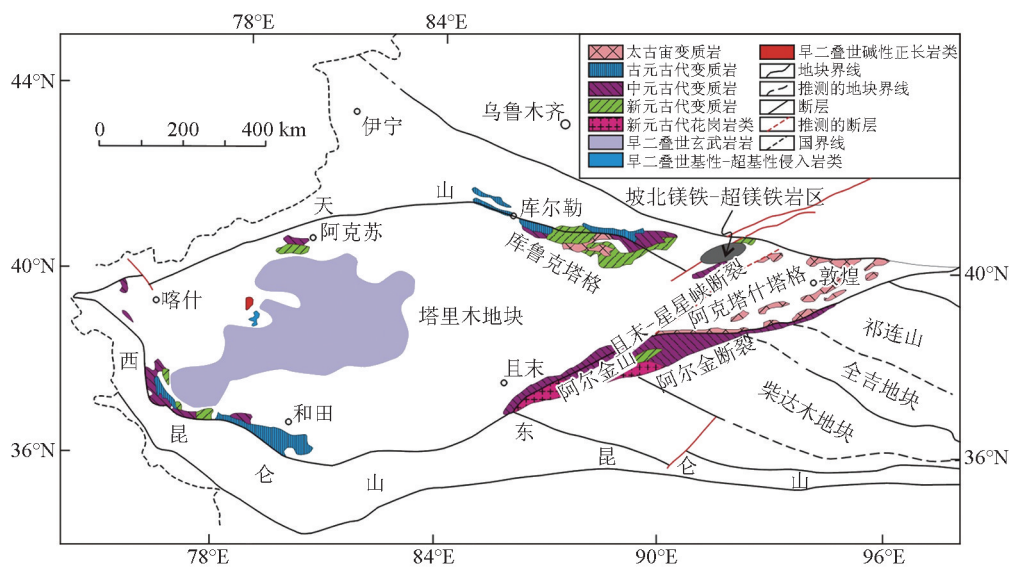


图3 塔里木地块地质概况及大火成岩省分布图<sup>[34,35]</sup>

Fig. 3 Schematic geotectonic map and distribution of large igneous province<sup>[34,35]</sup>

在该大火成岩省目前发现的坡一、坡十和罗东铜镍硫化物矿床,它们均与早二叠纪镁铁-超镁铁岩体有关。

### 2.3 造山带碰撞后伸展环境

在中国,与造山带碰撞后伸展构造背景有关的岩浆硫化物矿床主要分布在中亚造山带。中亚造山带位于西伯利亚板块和东欧-卡拉库姆-塔里木-中朝板块之间,是全球显生宙陆壳增生与改造最明显的地区,经历了增生造山、碰撞后伸展和大陆改造作用三个阶段<sup>[36]</sup>。古生代晚期被认为是中亚造山带陆缘增生和后碰撞转换的重要阶段<sup>[12,13]</sup>,发育大规模的具有低的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 值,正的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值A-I型花岗岩<sup>[37,38]</sup>和多处基性-超基性岩<sup>[12,13,39]</sup>。中亚造山带也是各种岩浆型金属矿床的重要产地,其中与岩浆硫化物矿床有关的岩体主要分布在新疆东天山-阿勒泰东部地区以及兴蒙造山带的东部。

#### 2.3.1 新疆东天山-阿勒泰东部地区

关于该地区镁铁质-超镁铁质岩体形成的构造环境,尚有与蛇绿岩有关<sup>[40]</sup>、与碰撞后伸展有关<sup>[12,13,41-43]</sup>、阿拉斯加型岩体<sup>[44-46]</sup>和与地幔柱有关<sup>[47-49]</sup>等不同认识。根据对该地区镁铁质-超镁铁质岩带和典型矿区的宏观地质特征以及地球化学研究,前人总结该区具有如下共性特点:a.岩浆沿着

区域线性分布;b.发育造山期后A型花岗岩<sup>[50]</sup>;c.石炭纪存在拉张背景下的形成的海相双峰式火山岩建造、弧后盆地及弧内盆地<sup>[43,50]</sup>;d.堆晶结构及层状相带仅局部断续发育<sup>[51-53]</sup>;e.超镁铁岩的 $m/f$ 值介于4.13~5.53,均属铁质超基性岩,绝大多数镁铁质岩石的 $m/f(\{(Mg^{2+}+Ni^{2+})/(Fe^{2+}+Fe^{3+}+Mn^{2+})\} \times 100)$ 为2.04~4.86<sup>[51]</sup>;f.岩浆演化所涉及的是以岩石圈运动为主导的、限于地幔浅部的构造-岩浆活动,尚未发现涉及下地幔的岩浆活动<sup>[54]</sup>。近年来,岩体的精确定年表明:新疆东天山-阿勒泰东部地区镁铁质-超镁铁质岩体大多形成于晚石炭世-早二叠世,应为碰撞后时期的产物<sup>[55]</sup>,但对后碰撞阶段开始于何时,还存在不同认识<sup>[39,56-58]</sup>,但是对于该区二叠纪地壳演化以及属于后碰撞阶段则没有异议。

在早二叠世碰撞后弛张构造阶段,该区大量镁铁-超镁铁岩沿深大断裂带上侵,形成了一系列铜镍岩浆硫化物矿床。这些成矿岩体常呈带状分布,主要出现在阿尔泰南部的喀拉通克矿集区、东天山地区的黄山-镜儿泉成矿带和东天山白石泉-天宇矿集区。从镁铁质岩石和铜镍硫化物矿床的分布来看,东天山成矿带是新疆东北部碰撞后伸展环境成矿的主要地区(见图4)。

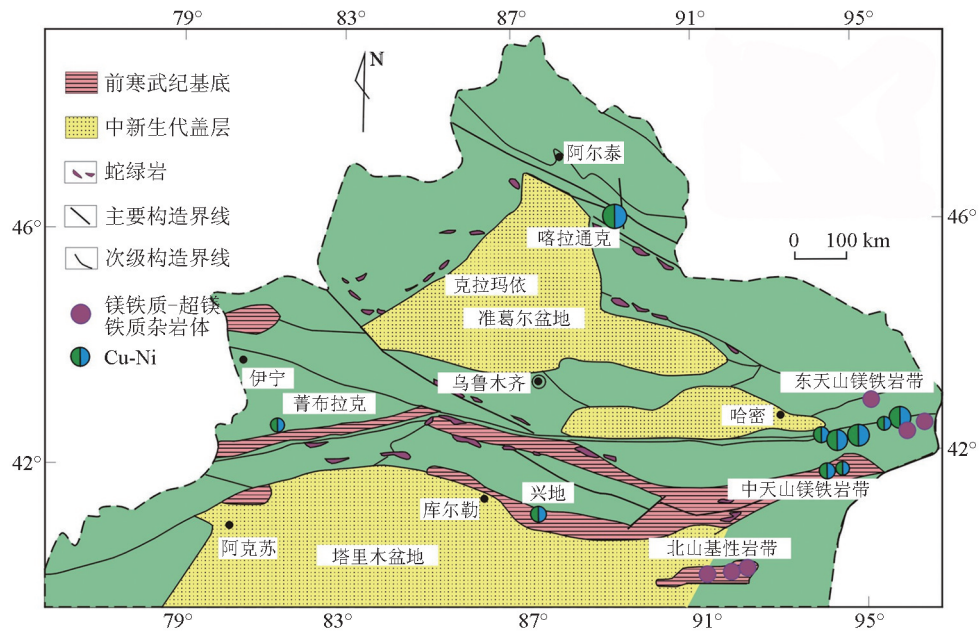


图4 新疆东天山-阿勒泰东部构造地质及铜镍矿床分布略图<sup>[50]</sup>

Fig. 4 Simplified tectonic geology and distribution of magmatic Cu-Ni sulfide deposit in northern Xinjiang<sup>[50]</sup>

### 2.3.2 兴蒙造山带东部地区

兴蒙造山带位于西伯利亚板块与华北板块之间的中亚造山带东段,古生代期间,该区不仅经历了多个微陆块之间的碰撞与拼合过程<sup>[59]</sup>,也经历了古亚洲洋的最终闭合,是我国诸多造山带中已知发

展历史最长、构造岩浆活动最为复杂的一条造山带。目前,在该区内的红旗岭地区已发现30多个镁铁质-超镁铁质杂岩体,且很多岩体与Cu、Ni矿床有成因上的联系<sup>[60]</sup>(见图5)。

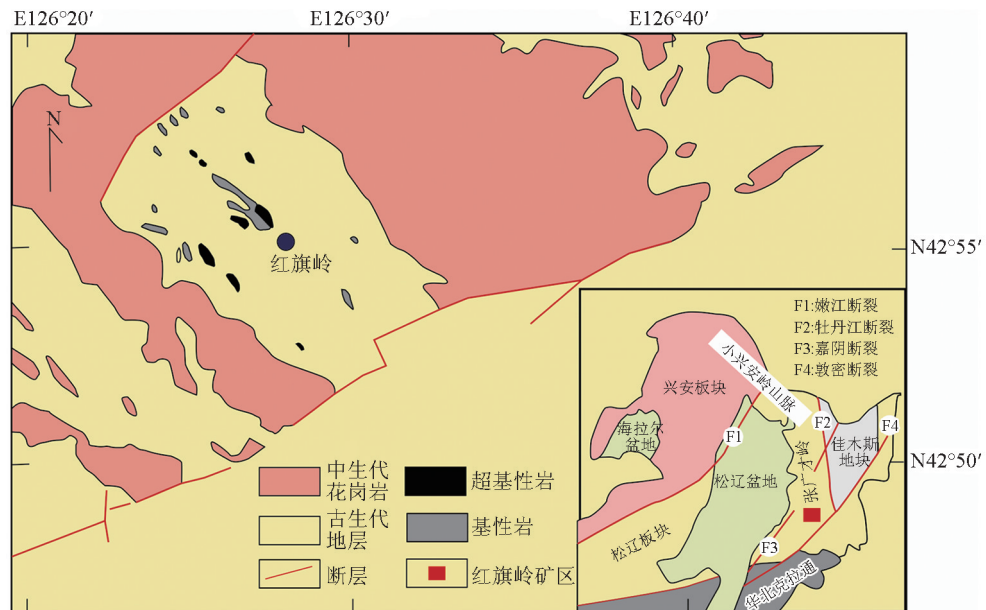


图5 红旗岭矿床区域地质略图<sup>[60,61]</sup>

Fig. 5 Simplified geological map of the Hongqiling deposit<sup>[60,61]</sup>

目前,东北地区的构造演化争议最大的是古亚洲洋最后闭合的时间和地点。传统上认为古亚洲洋的最终闭合时间为早二叠世末期。近年对红旗岭地区的研究表明,胡兰群角闪岩相变质作用发生在约240 Ma,同时红旗岭北部同碰撞花岗岩的锆石U-Pb年龄为246±4 Ma,因此推测华北克拉通和佳木斯地块的碰撞可能发生在早三叠世<sup>[60]</sup>。晚三叠世是东北地区A型花岗岩岩浆活动的重要阶段<sup>[62]</sup>,而A型花岗岩作为构造环境识别的重要岩石学标志主要形成于伸展的构造背景中<sup>[63]</sup>,表明东北地区在晚三叠世已处于伸展的背景下。

冯光英等<sup>[64]</sup>测得红旗岭1号超基性岩体锆石U-Pb年龄为220.6±2.0 Ma;孙立吉<sup>[65]</sup>测得红旗岭2号岩体辉长岩锆石U-Pb年龄为212.5±2.8 Ma现出Ma;Lv等<sup>[66]</sup>测得红旗岭7号岩体块状矿石硫化物Re-Os等时线年龄为208±21 Ma;刘金玉<sup>[67]</sup>测得3号岩体角闪

石<sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar年龄为228±3.1 Ma。这些测年结果表明含矿岩体与A型花岗岩同期,应该是属于伸展环境下的产物。

#### 2.4 活动大陆边缘或岛弧环境

该类环境是根据近年来对夏日哈木镍矿床的发现与初步研究,并结合黑山铜镍矿床的研究进展而初步确立的。对此尚有不同的认识,相关内容还需要深入研究,本文总结仅是初步的探索。

夏日哈木镍矿床位于青海省东昆仑造山带西段之东昆中早古生代花岗岩-变质岩岛弧带内(见图6)。在东昆仑地区,从北向南以东昆北、东昆中和东昆南三条岩石圈断裂为界,将东昆仑造山带划分为昆北带、昆中带和昆南带<sup>[68]</sup>。在早古生代期间,昆北带的构造属性为弧后盆地,昆中带为岛弧带,而昆南带对应于早古生代古洋盆<sup>[19]</sup>。

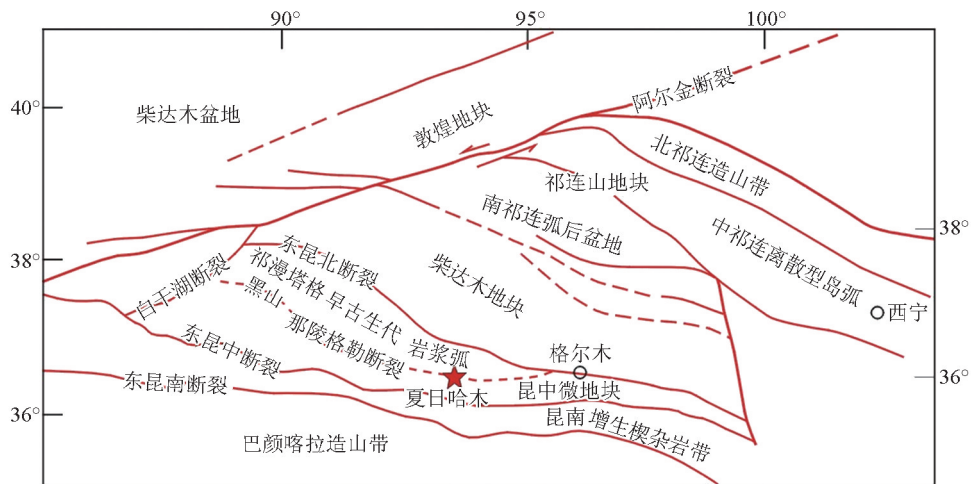


图6 柴达木地块周缘构造地质略图(凌锦兰据[69]修改)

Fig. 6 Simplified geological map of the around of Qaidam Block (modified by Ling after [69])

夏日哈木镍矿床是青海省第五地质矿产勘查院2011年发现的超大型矿床,李世金等<sup>[70]</sup>报导了条带状辉长岩的年龄为393.5±3.4 Ma,姜常义等(待刊)依据测得辉长岩锆石U-Pb年龄年龄为439 Ma,提出该岩体形成于拉张岛弧背景。凌锦兰等<sup>[19]</sup>结合前人研究资料分析认为夏日哈木I号岩体形成时,东昆中带尚处于岛弧带的B型俯冲环境。据此,并结合岩石地球化学和同位素地球化学数据分析,认为东昆中岛弧带属拉张型岛弧带,或在某一演化阶段处于拉张型应力场。在这种拉张型应力场作用

下,导致岛弧内部出现了岩石圈破裂带,夏日哈木岩体群即沿岩石圈破裂带侵位。

黑山大型铜镍矿床位于甘肃北山地区。据杨合群等<sup>[71]</sup>研究,认为该区以红柳河-牛圈子-洗肠井蛇绿岩带为界,南侧为塔里木-华北板块,北侧为哈萨克斯坦板块。进一步划分出两个二级构造单元:南侧为敦煌微板块,北侧是星星峡-早山微板块(见图7)。并指出该地区在古生代主要经历了震旦纪-奥陶纪古陆裂解及洋盆扩张阶段;志留-泥盆纪板块俯冲及碰撞造山阶段;石炭-二叠纪为陆内裂谷

阶段。

甘肃北山地区镁铁质-超镁铁质岩体形成年龄研究,黑山岩体橄榄角闪辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 357 Ma<sup>[20]</sup>;大山头岩体辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 359.3±5.7 Ma<sup>[72]</sup>。以上精确定年均显示区域内含矿或者矿化岩体形成于晚泥盆世。目前,对黑山及邻近的镁铁质岩体构造背景主要有如下认识:Xie 等<sup>[20]</sup>认为黑山侵入岩体形成于晚泥盆世,该地区晚泥盆纪火山岩显示了典型岛弧火山岩特征,黑山微量元素配分形式与泥盆纪火山岩很一致,也显示了黑山侵入体可能形成于与俯冲相关的构造背景机制

中。闫海卿等<sup>[72]</sup>对邻近黑山的大山头镁铁质杂岩体研究认为,其岩浆源区为富集岩石圈地幔,并且受到强烈的洋壳俯冲流体交代和地壳物质的同化混染。大山头-黑山一带洋壳俯冲作用在泥盆纪末依然影响着大陆边缘初始裂谷内的岩浆活动。李丽等<sup>[73]</sup>对怪石山铜镍矿化岩体(锆石 SHRIMP 年龄 353~405 Ma)研究认为,该岩体形成于活动大陆边缘的构造背景下。总体来看,大家趋向认为黑山矿床的构造背景属活动大陆边缘,明显不同于坡一、坡十等与东天山时代相近的铜镍矿化岩体(石炭纪末-二叠纪)。

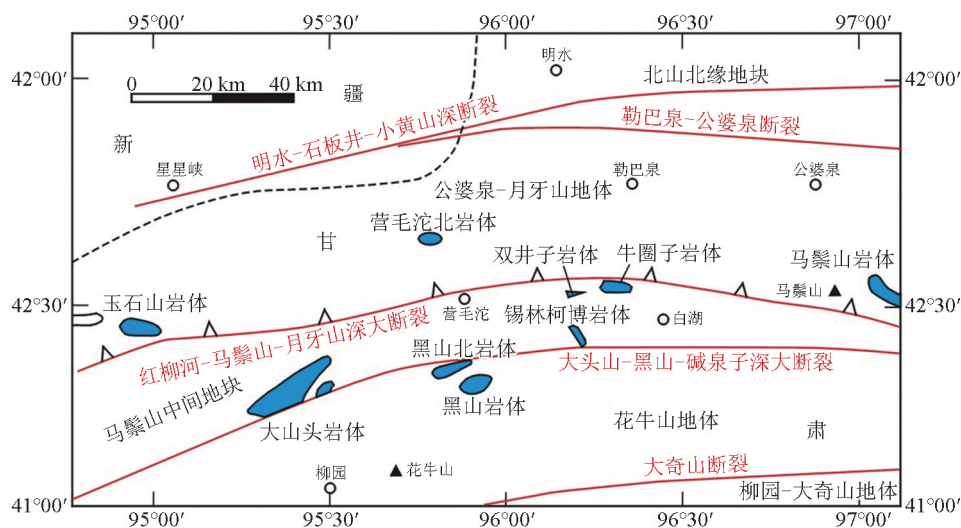


图7 甘肃北山地区构造与镁铁质-超镁铁质岩体分布图<sup>[72]</sup>

Fig. 7 Simplified tectonic geology and distribution of magmatic-ultramafic intrusion belts in Beishan area<sup>[72]</sup>

### 3 结语

大量勘查成果显示,中国与镁铁质-超镁铁质岩浆作用有关的铜镍岩浆硫化物矿床都发育在小岩体中<sup>[2,3]</sup>,在大型杂岩体中还未发现成矿实例。与世界上该类矿床成矿构造背景比照,中国的该类矿床主要形成在大火成岩省、克拉通边缘裂谷或陆内拉张环境、造山带碰撞后伸展环境和活动大陆边缘或岛弧环境等4类构造背景区,尚缺绿岩带、蛇绿岩带等构造背景的成矿实例。另外,中国的造山带碰撞后伸展环境大规模成矿也是世界上罕见。由此,我国今后对该类矿床的找矿勘查部署上,应充分考虑上述4类成矿构造背景中的小岩体。尤其是中国西部地区,以上背景区幅员辽阔,在这些区带中有的已经发现了重要的小岩体大矿床,说明它们成矿

条件优越,找矿潜力巨大,需要继续深入工作,在区域找矿工作基础上,筛选重点区带及靶区,部署勘查工作,发现新矿床,扩大资源远景,争取重大突破。

### 参考文献

- [1] Naldrett A J. Fundamentals of Magmatic Sulfide deposit[C]//Li CS and Ripley(eds), New developments in magmatic Ni-Cu and PGE deposits. Beijing: Geochemical Publishing House, 2009: 1-26.
- [2] 汤中立,钱壮志,姜常义,等. 中国超大型镍铜铂岩浆硫化物矿床预测[M]. 北京:地质出版社,2006.
- [3] 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.
- [4] Zhang Z M, Liu J G, Coleman R G. An outline of the plate tectonic of China[J]. Geological Society of America Bulletin, 1984, 95:295-312.
- [5] Zhang Mingjie, Kamo S L, Li C, et al. Precise U-Pb zircon-baddeleyite age of the Jinchuan sulfide ore-bearing ultramafic intru-

- sion, western China[J]. *Mineralium Deposita*, 2010, 45(1):3-9.
- [6] 石贵勇, 孙晓明, 王生伟, 等. 云南白马寨铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22(10):2451-2456.
- [7] Zhou Meifu, Arndt N T, Malpas J, et al. Two magma series and associated ore deposit types in the Permian Emeishan large igneous province, SW China[J]. *Lithos*, 2008, 103(3): 352-368.
- [8] 陶 琰, 马言胜, 苗来成, 等. 云南金宝山超镁铁岩体锆石 SHRIMP 年龄[J]. *科学通报*, 2008, 53(22):2828-2832.
- [9] 姜常义, 郭娜欣, 夏明哲, 等. 塔里木板块东北部坡—镁铁质—超镁铁质层状侵入体岩石成因[J]. *岩石学报*, 2012, 28(7):2209-2223.
- [10] 李华芹, 梅玉萍, 屈文俊, 等. 新疆坡北基性—超基性岩带 10 号岩体 SHRIMP U-Pb 和矿石 Re-Os 同位素定年及其意义[J]. *矿床地质*, 2009, 25(4):463-469.
- [11] Wu Fuyuan, Wilde S A, Zhang Guangliang, 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.
- [12] 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.
- [13] Zhou Meifu, Leshen C M, Yang Zhengxi, et al. Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni-Cu-(PGE) sulfide-bearing mafic-ultramafic intrusions in Huangshan district, eastern Xinjiang, northwest China: implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt[J]. *Chemical Geology*, 2004, 209: 233-257.
- [14] Qin Kezhang, Su Benxun, Sakyi P A, et al. SIMS zircon U-Pb geochronology and Sr-Nd isotopes of Ni-Cu-Bearing Mafic-Ultramafic Intrusions in Eastern Tianshan and Beishan in correlation with flood basalts in Tarim Basin (NW China): Constraints on a ca.280Ma mantle plume[J]. *American Journal of Science*, 2011, 311(3):237-260.
- [15] 秦克章, 王旭东. 吐哈盆地南缘古生代“天窗”卡拉塔格铜金矿化区的发现及其成矿潜力[J]. *中国地质*, 2001, 28(3):16-23.
- [16] 竺国强, 杨树锋, 陈汉林. 东疆香山铜镍含矿镁铁超镁铁杂岩体控岩控矿构造探讨[J]. *地质找矿论丛*, 1995, 10(3):1-13.
- [17] 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.
- [18] 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(10):3027-3035.
- [19] 凌锦兰, 柴周缘. 镁铁质—超美铁质岩体与镍矿床成因研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
- [20] 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.
- [21] 汤中立, 云 来. 华北古大陆西南边缘构造格架与成矿系统[J]. *地学前缘*, 1999(2): 71-283.
- [22] Zhang Chuanlin, Yang Dongsheng, Wang Hongyan, et al. Neoproterozoic mafic-ultramafic layered intrusion in Qurruqtagh of northeastern Tarim Block, NW China: Two phases of mafic igneous activity with different mantle sources[J]. *Gondwana Research*, 2011, 19(1): 177-190.
- [23] 肖序常, 陈国铭, 朱志直. 祁连山古蛇绿岩带的地质构造意义[J]. *地质学报*, 1978, 52(4):281-295.
- [24] Song Xieyan, Danyshevsky L V, Keays R R, et al. Structural, lithological and geochemical constraints on the dynamic magma plumbing system of the jinchuan Ni-Cu sulfide deposit, NW China[J]. *Mineralium Deposita*, 2012, 47(3):277-297.
- [25] 李献华, 苏 犁, 宋 彪, 等. 金川超镁铁侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *科学通报*, 2004, 49(4):401-402.
- [26] 陈向阳, 陈 博, 焦建刚. 甘肃省龙首山地区元古宙铜镍矿床成岩成矿地质背景探讨[J]. *甘肃地质*, 2008, 17(4): 11-16.
- [27] 徐义刚, 何 斌, 黄小龙, 等. 地幔柱大辩论及如何验证地幔柱假说[J]. *地学前缘*, 2007(2):1-9.
- [28] 胡瑞忠, 毛景文, 范蔚茗, 等. 华南陆块陆内成矿作用的一些科学问题[J]. *地学前缘*, 2010(2):13-26.
- [29] Yang Shufeng, Li Zilong, Chen Hanlin, et al. Permian bimodal dyke of Tarim Basin, NW China: Geochemical characteristics and tectonic implications[J]. *Gondwana Research*, 2007, 12(1): 113-120.
- [30] 厉子龙, 杨树锋, 陈汉林, 等. 塔西南玄武岩年代学和地球化学特征及其对二叠纪地幔柱岩浆演化的制约[J]. *岩石学报*, 2008, 24(5):959-970.
- [31] Zhang Chuanlin, Xu Yigang, Li Zhengxiang, et al. Diverse Permian magmatism in the TarimBlock, NW China: Genetically linked to the Permian Tarim mantle plume? [J]. *Lithos*, 2010, 119 (3-4):537-552.
- [32] Tian Wei, Campbell I H, Allen C M, et al. The Tarim picrite-basalt-rhyolite suite, a Permian flood basalt from northwest China with contrasting rhyolites produced by fractional crystallization and anatexis[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2010, 160(3):407-425.
- [33] Li Zilong, Chen Hanling, Song Biao, et al. Temporal evolution of the Permian largeigneous province in Tarim Basin in northwestern China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 42(5): 917-927
- [34] Lu Songnian, Li Huaikun, Zhang Chuanlin, et al. Geological and geochronological evidence for the Precambrian evolution of the Tarim Craton and surrounding continental fragments[J]. *Precambrian Research*, 2008, 160(1):94-107.
- [35] 励音琪. 塔里木早二叠世大火成岩省岩浆动力学及含矿性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [36] Khain E V, Bibikova E V, Kröner A, et al. The most ancient ophiolite of the Central Asian fold belt: U-Pb and Pb-Pb zircon ages for the Dunzhugur Complex, Eastern Sayan, Siberia, and geodynamic implications[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 199(3): 311-325.
- [37] Hu AiQin, Jahn B M, Zhang Guoxin, et al. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotopic evidence. Part I. Isotopic characterization of basement rocks[J]. *Tectonophysics*, 2000, 328(1): 15-51.
- [38] Jahn B M, Wu Fuyuan, Chen Bin. Massive granitoid generation in Central Asia: Nd isotope evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic[J]. *Episodes*, 2000, 23(2):82-92.
- [39] 李锦轶. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变[J]. *地质论评*, 2004, 50(3):304-322.
- [40] 白云来. 新疆哈密黄山—镜尔泉铜镍成矿体系的地质构造背景[J]. *甘肃地质学报*, 2000, 9(2):1-7.
- [41] 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1994.
- [42] 毛景文, 杨建民, 屈文俊, 等. 新疆黄山东铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定及其地球动力学意义[J]. *矿床地质*, 2002, 21 (4):323-330.
- [43] 秦克章, 方同辉, 王书来, 等. 东天山古生代板块构造分区、演化与成矿地质背景研究. *新疆地质*[J]. 2002, 20(4):302-308.
- [44] 胡受奚, 郭继春, 顾连兴, 等. 加里东造山带在天山构造格架中的主要地位及其构造地质特征[J]. *新疆地质科学*, 1990(1):



- 32-46.
- [45] 刘德权. 新疆板块构造与矿产分布[J]. 西北地质, 1983, 4(2): 1-12.
- [46] Xiao Wenjiao, Zhang Lianchang, Qin Kezhang, et al. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the Eastern Tianshan (China): Implications for the continental growth of central Asia [J]. *American Journal of Science*, 2004, 304(4): 370-395.
- [47] 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 新疆北部Cu-Ni-PGE硫化物矿床成矿系列探讨[J]. 矿床地质, 2002, 19(2): 147-154.
- [48] 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(2): 204-217.
- [49] Mao Jingwen, Pirajno F, Zhang Zuoheng, et al. A review of the Cu-Ni sulphide deposits in the Chinese Tianshan and Altay orogens (Xinjiang Autonomous Region, NW China): Principal characteristics and ore-forming processes[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32(2): 184-203.
- [50] 秦克章, 唐冬梅, 苏本勋, 等. 北疆二叠纪镁铁-超镁铁岩铜镍矿床的构造背景、岩体类型、基本特征、相对剥蚀程度、含矿性评价标志及成矿潜力分析[J]. 西北地质, 2012, 45(4): 83-116.
- [51] 夏明哲, 姜常义, 钱壮志, 等. 新疆东天山葫芦岩体岩石学与地球化学研究[J]. 岩石学报, 2008, 24(12): 2749-2760.
- [52] 孙 赫, 秦克章, 李金祥, 等. 地幔部分熔融程度对东天山镁铁质-超镁铁质岩铂族元素矿化的约束-以图拉尔根和香山铜镍矿为例[J]. 岩石学报, 2008, 24(5): 1079-1086.
- [53] 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.
- [54] 姜常义, 夏明哲, 钱壮志, 等. 新疆喀拉通克镁铁质岩体群的岩石成因研究[J]. 岩石学报, 2009(4): 749-764.
- [55] 孙 涛. 新疆东天山黄山东铜镍岩带岩浆硫化物矿床及成矿作用研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.
- [56] 韩宝幅, 洪大卫. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 396-404.
- [57] 李锦轶, 何国琦, 徐 新, 等. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(1): 148-168.
- [58] 王京彬, 徐 新. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿[J]. 地质学报, 2006, 80(1): 23-31.
- [59] 李春昱, 汤耀庆. 亚洲古板块划分以及有关问题[J]. 地质学报, 1983, 57(1): 1-10.
- [60] Wu F Y, Wilde 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(5): 781-797.
- [61] Wu Fuyuan, Jahn B, Wilde S, et al. Phanerozoic crustal growth: U-Pb and Sr-Nd isotopic evidence from the granites in north-eastern China[J]. *Tectonophysics*, 2000, 328(1): 89-113.
- [62] Wu Fuyuan, Sun Deyou, Li Huimin, et al. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis[J]. *Chemical Geology*, 2002, 187(1): 143-173.
- [63] 贾小辉, 王 强, 唐功建. A型花岗岩的研究进展及意义[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(3): 465-480.
- [64] 冯光英, 刘 燊, 冯彩霞, 等. 吉林红旗岭超基性岩体的锆石U-Pb年龄, Sr-Nd-Hf同位素特征及岩石成因[J]. 岩石学报, 2011, 27(6): 1594-1606.
- [65] 孙立吉. 红旗岭铜镍硫化物矿床地质地球化学特征及找矿技术方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [66] Lü Linsu, Mao Jingwen, Li Hongbo, et al. Pyrrhotite Re-Os and SHRIMP zircon U-Pb dating of the Hongqiling Ni-Cu sulfide deposits in Northeast China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2011, 43(1): 106-119.
- [67] 刘金玉, 郝爱华, 葛玉辉, 等. 红旗岭3号含矿岩体地质年龄及其岩石学特征[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(2): 321-326.
- [68] 张雪亭, 杨生德, 杨站君. 青海省板块构造研究[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [69] Song Shuguang, Zhang Lifei, Niu Yaoling, et al. Evolution from oceanic subduction to continental collision: a case study from the Northern Tibetan Plateau based on geochemical and geochronological data[J]. *Journal of Petrology*, 2006, 47(3): 435-455.
- [70] 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, 2013, 45(4): 185-191.
- [71] 杨合群, 李 英, 李文明, 等. 北山成矿构造背景概论[J]. 西北地质, 2008, 41(1): 22-28.
- [72] 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.
- [73] 李 丽, 杨永强, 王育习. 甘肃北山地区怪石山含铜镍矿化镁铁质-超镁铁质杂岩体的地球化学特征及成因机制[J]. 世界地质, 2010, 29(1): 16-27.

# Main metallogenic tectonic settings of magmatic Cu-Ni (PGE) sulfide deposits in China

Qian Zhuangzhi<sup>1,2</sup>, Duan Jun<sup>2</sup>, Feng Yanqing<sup>2</sup>, Xu Gang<sup>2</sup>, Zhang Jiangjiang<sup>2</sup>

(1. MOE Key Laboratory of Western China Mineral Resources and Geological Engineering, Xi'an 710054, China; 2. College of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**[Abstract]** This article summarized the main metallogenic tectonic settings of the magmatic Cu-Ni (PGE) deposits in China by the regional distribution characteristics, new progresses in exploration, and new research materials. It found out four important metallogenic tectonic settings which were large igneous province, rift on craton margin or intracontinental extensional environment, post-collisional extensional environment on orogenic belt, and active continental margin or island arc. Comparing the findings with other countries, the result showed that China lacks the magmatic sulfide deposits related to greenstone belt and ophiolite belt, but the large scale mineralization in the post-collisional extensional environment on the orogenic belt is quite rare in the world. Therefore, the prospecting direction should fully consider those small mafic-ultramafic intrusions which related to the four types metallogenic tectonic settings mentioned above.

**[Key words]** Cu-Ni(PGE) ; magmatic sulfide deposits; metallogenic tectonic setting; main types; China