

# 新疆北部晚古生代大规模岩浆成矿的地球动力学背景和战略找矿远景

李文渊<sup>1</sup>, 牛耀龄<sup>2,3</sup>, 张照伟<sup>1,4,\*</sup>, 张铭杰<sup>2</sup>, 高永宝<sup>1,4</sup>, 胡沛青<sup>2</sup>, 张江伟<sup>1</sup>, 谭文娟<sup>1</sup>, 姜寒冰<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054
2. 兰州大学 地球科学与矿产资源学院, 甘肃 兰州 730000
3. Department of Earth Sciences, Durham University, Durham DH1 3LE, UK
4. 长安大学 资源学院, 陕西 西安 710054

Li Wenyuan<sup>1</sup>, Niu Yaoling<sup>2,3</sup>, Zhang Zhaowei<sup>1,4,\*</sup>, Zhang Mingjie<sup>2</sup>, Gao Yongbao<sup>1,4</sup>, Hu Peiqing<sup>2</sup>, Zhang Jiangwei<sup>1</sup>, Tan Wenjuan<sup>1</sup>, Jiang Hanbing<sup>1</sup>

1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China
2. School of Earth Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China
3. Department of Earth Sciences, Durham University, Durham DH1 3LE, UK
4. School of Earth Sciences and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China

**Li Wenyuan, Niu Yaoling, Zhang Zhaowei, et al. Geodynamic setting and further exploration of magmatism-related mineralization concentrated in the Late Paleozoic in the northern Xinjiang Autonomous Region. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(4): 041-050**

**Abstract:** We report here our new perspectives on magmatism-related mineralization temporally concentrated in the Carboniferous-Permian periods in the vast region of the northern Xinjiang Autonomous Region. Our broad aim is to provide a conceptual basis for discussion towards an improved understanding of the mineralization and further exploration. We confirm the idea that the Devonian – Carboniferous magmatism and related mineralization in the region is a consequence of plate tectonics, and such mineralization may have well continued until the Triassic. The onset of the mantle plume activities in the region is poorly constrained, which may date back to the Late Carboniferous and prevailed in the Permian. The coexistence and coevality of the two tectonomagmatic processes resulted in the abundant mineralization and its variability in time and space. The major types of mineralization include (1) magnetite deposits hosted in the strata of Late Devonian/Early Carboniferous age (perhaps formed from volcanic flows as interpreted, but more like skarn/hydrothermal deposits in character), (2) porphyry/skarn Cu (and Mo) deposits of Late Devonian through Early Triassic age, and (3) Cu-Ni sulfide and Ti-V-magnetite deposits of Permian age associated with mafic-ultramafic intrusive complexes. The latter deposits that are widespread along orogenic belts are coeval ( $280 \pm 5$  Ma) with the hidden flood basalt in the Tarim Basin in southern Xinjiang (interpreted as a large igneous province or LIP). This observation suggests the possibility that the LIP may in fact be much greater in its spatial distribution. If proved, this will have profound implications for the Permian Ti-V magnetite and Cu-Ni sulfide mineralization in the region, i. e., the association of such known deposits with the orogenic belts may reflect

收稿日期: 2011-10-30; 修回日期: 2012-04-09

基金项目: 国家科技支撑重点项目(2006BAB01A01); 中国地质调查局地质大调查项目(1212010918024, 1212011121088, 1212011121092, 1212010911032)

作者简介: 李文渊(1962—), 男, 研究员, 博士生导师, 从事岩浆作用矿床及区域成矿研究。

\* 通讯作者简介: 张照伟(1976—), 男, 博士研究生, 主要从事岩浆铜镍矿床研究。E-mail: zhaowei@126.com

the tectonic exposure and more and larger deposits may in fact yet be discovered in more sites and over a much greater area away from the orogenic belts.

**Key words:** Northern Xinjiang; Carboniferous-Permian period; plate tectonics; large igneous province; coexistence of tectonic regime

**摘要:**新疆北部石炭—二叠纪存在大规模岩浆成矿作用,但对成矿地球动力学机制缺乏系统认识。在前人工作和我们近年来工作的基础上,文中扼要总结了我们的初步认识,旨在为深化研究奠定思想基础。文中指出新疆北部泥盆—石炭纪岩浆活动和成矿作用是板块构造的直接产物。石炭纪的板块消减及有关的岩浆作用可能一直持续到三叠纪。地幔柱岩浆作用的起始时间不详,可能在晚石炭世,但集中表现在二叠纪。两种岩浆构造体系在时间上的叠加和空间上的并存造就了成矿作用的集中爆发以及成矿类型上的时空变化。与之有关的成矿作用和相应的成矿类型主要有:赋存于晚泥盆世—早石炭世海相火山岩中的磁铁矿床(有火山岩浆喷溢成因的可能,但更具有夕卡岩型铁矿的特征)、泥盆纪末到早三叠世与中酸性侵入岩有关的斑岩型(夕卡岩型)铜(钼)矿床以及早二叠世与镁铁—超镁铁质侵入岩有关的岩浆铜镍硫化物矿床。后者与新疆塔里木盆地已知溢流玄武岩在时代上((280±5)Ma)的一致性意味着包括该溢流玄武岩的基性大火成岩省可能分布很广泛,波及北疆的相当地域。如这一推论能够证实,那么与之有成因联系的钒钛磁铁矿和铜镍硫化物矿化点/矿床的分布就不应只局限于已知造山带,应该分布更广。这里造山带的“成矿专属性”很有可能只是构造暴露而已。这一思路有助于我们研究新疆北部晚古生代岩浆成矿作用以及与岩浆作用有关的成矿作用,并对寻找同类矿床有战略指导意义。

**关键词:**新疆北部;石炭—二叠纪;板块构造;大火成岩省;构造体制并存

**中图分类号:**P541;P611 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2321(2012)04-0041-10

## 0 引言

岩浆矿床是岩浆演化的特殊产物,不同类型的矿床与特定的岩浆活动有成因联系<sup>[1-4]</sup>,不同的岩浆活动又与地质构造环境有成因联系。新疆北部晚古生代大规模岩浆成矿作用的多样性反映了岩浆作用的多样性及构造演化的特殊性<sup>[5-13]</sup>。新疆北部分布着为数众多的晚古生代岩浆矿床(图1),如与镁铁—超镁铁岩有关的铜镍矿床(喀拉通克、黄山、图拉尔根等)和钒钛磁铁矿床(香山西、瓦吉里塔格等),与中酸性侵入岩有关的斑岩(夕卡岩型)铜(钼)矿床(土屋—延东、哈腊苏、包古图等),赋存于海相火山—次火山岩中的磁铁矿床(查岗诺尔、备战、雅满苏等),以及与块状硫化物有关的铜多金属矿床(卡拉塔格)等。这些已知矿床主要分布在天山造山带和阿尔泰造山带,对新疆北部已发现的大中型矿床进行成矿时代统计<sup>[14-16]</sup>,表明形成时代主要集中在石炭—二叠纪(图2)。矿床类型多样,时间集中,分布广泛<sup>[17-20]</sup>。成矿作用的这种“集中爆发”在全球范围内具有独特性<sup>[21-22]</sup>,对其深入研究有多重意义,有助于认识全球晚古生代地质构造格局和亚洲大陆的形成和演化,同时也有助于建立成矿理论,指导区域找矿。

本文总结了新疆北部晚古生代与岩浆作用有关的矿床在地质学、矿床学、地球化学、地球物理等领域研究成果,分析了岩浆成矿作用的大地构造背景、岩浆作用类型、矿床地质特征、时空分布,探讨了这些矿床可能的动力学机制,提出未来研究的战略方向。

## 1 大地构造及区域地质背景

### 1.1 大地构造背景

新疆北部指塔里木盆地以北地区,包括阿尔泰山、东准噶尔和西准噶尔低山丘陵、准噶尔盆地、天山等山脉和盆地,属于中亚地区巨型盆岭地貌格局的重要组成部分。大地构造位置恰处于哈萨克斯坦、西伯利亚和塔里木3个古陆板块交汇复合部位。其大地构造演化比较复杂,元古宙大陆裂解,早古生代洋盆扩张,晚古生代板块增生边缘的地壳伸展及中生代板内演化基本奠定了目前新疆北部地质构造格架的基本轮廓。新生代以来的构造活动主要表现在对印度—欧亚板块碰撞的响应(差异性隆升与剥蚀)<sup>[23-26]</sup>。

### 1.2 地层

新疆北部地层出露齐全,从太古宇到第四系各时代的地层均有分布。太古宇仅出露于塔里木地块

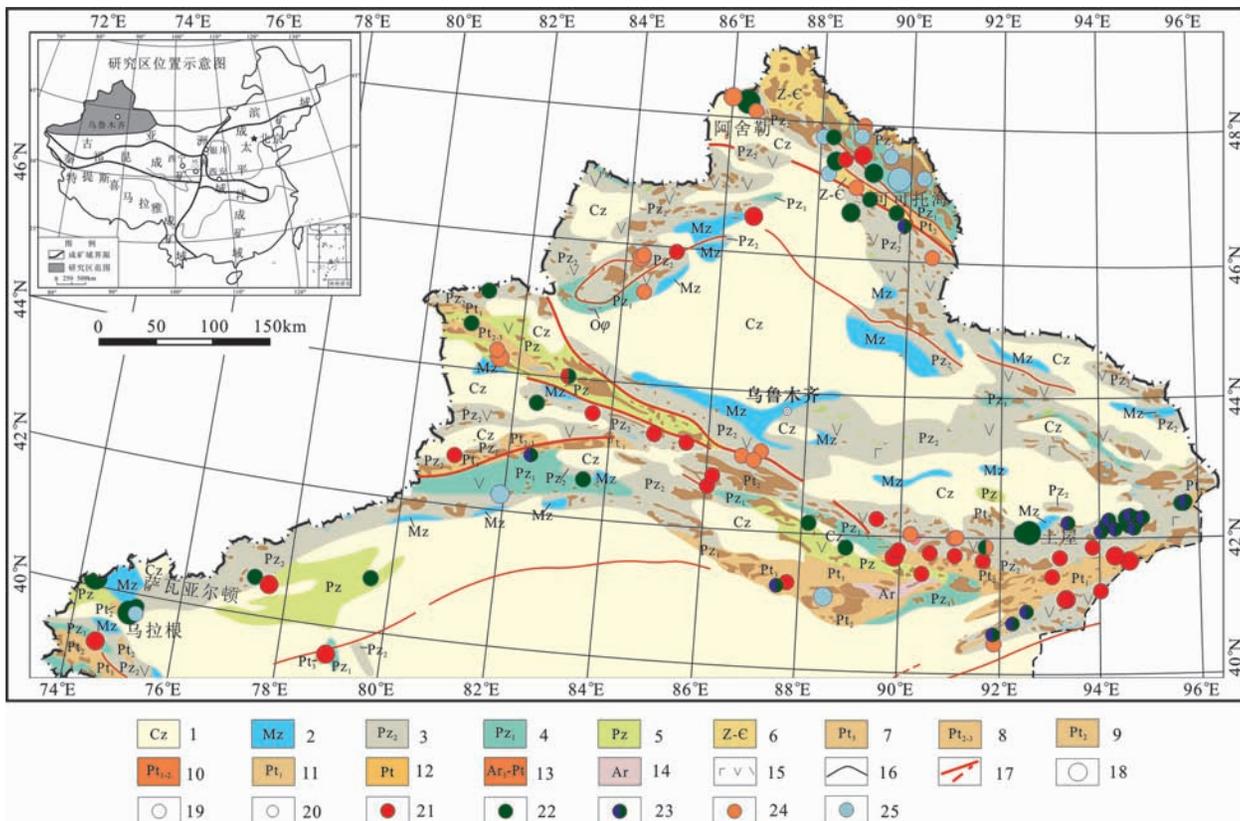


图1 新疆北部地质矿产分布图  
(据文献[14])

Fig. 1 Geological sketch map and metal mineralization distribution in the northern Xinjiang Autonomous Region

1—新生界;2—中生界;3—上古生界;4—下古生界;5—古生界;6—震旦系—寒武系;7—新元古界;8—中、新元古界;9—中元古界;10—古、中元古界;11—古元古界;12—元古宇;13—新太古界—元古宇;14—新太古界—中太古界;15—火山岩;16—地层界线;17—断层;18—超大型矿床;19—大型矿床;20—中型矿床;21—黑色金属矿床;22—有色金属矿床;23—铜镍矿点;24—贵金属矿床;25—稀有金属矿床。

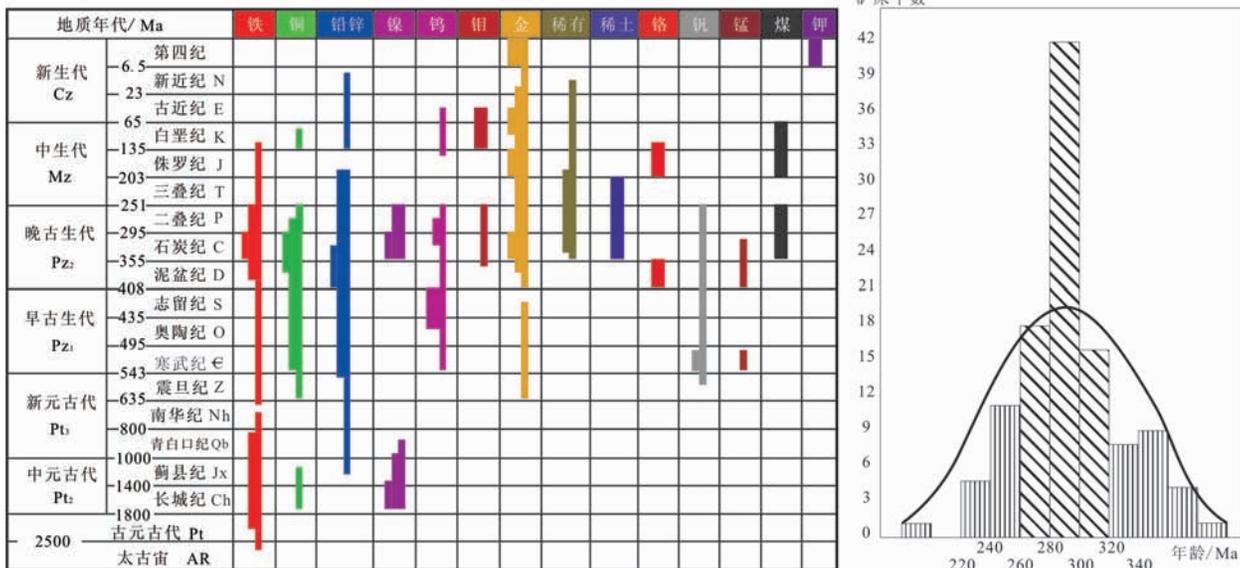


图2 新疆北部岩浆矿床成矿时代分布及直方图  
(据文献[15-16])

Fig. 2 Temporal distribution and histogram of magmatism-related ore deposits in the northern Xinjiang Autonomous Region

北缘的库鲁克塔格地区,主要为混合岩及片麻岩。元古宇主要分布于天山造山带内部及其两侧的微陆块上。古元古界及中元古界由混合岩、片麻岩、片岩、千枚岩、变质砂岩、石英岩及大理岩等组成。新元古界下部青白口系主要由碳酸盐岩、碎屑岩及少量片麻岩、片岩组成。新元古界中一上部的南华系和震旦系,则以发育裂谷火山岩及广泛出现冰碛岩为特点,在青白口系与南华系之间为不整合接触关系<sup>[27]</sup>。寒武系除准噶尔外,在其他地区均有分布。奥陶系出露于除天山东段以外的其余地区,与寒武系多呈整合接触,含丰富的笔石类、头足类等化石。在天山西段、准噶尔及新疆北山地区,奥陶系中出现少量火山岩夹层,局部地区奥陶系变质较深。志留系遍布于研究区内,塔里木地块北缘,志留系与奥陶系间呈不整合或平行不整合接触。泥盆系在塔里木地块北缘与志留系间多为整合过渡。在其他地区泥盆系与下伏地层的接触关系变化不定,既有整合也有不整合接触。部分地区缺失下泥盆统或未见底<sup>[28]</sup>。泥盆系中广泛发育有弧-盆体系火山岩,以天山和准噶尔地区为主。石炭系是分布极为广泛的

地层,含丰富的蠕类、珊瑚及腕足等化石。研究区内石炭系几乎总是呈角度不整合覆盖于下伏老地层之上。除塔里木地块北缘外,裂谷火山岩极为发育是石炭系的最大特征。中生界以陆相地层为主,含丰富的陆相化石,如恐龙、鱼类、植物及叶肢介等。中生界是重要的含煤层、生油层及储油层,还含有铀、石膏及岩盐等矿产。新生界在本区广泛分布,均为陆相地层。古近系和新近系发育齐全,含有石膏及石油等矿产。第四系有多种成因类型,如湖积、冲积、洪积、坡积、风积和冰川活动堆积等等,并含盐类及砂金等矿产<sup>[29]</sup>。

### 1.3 岩浆作用

大火成岩省是大规模岩浆活动在时间和空间上的集中表现。欧亚大陆已被证实存在的3个二叠纪的大火成岩省(图3),被认为是地幔柱作用的结果。峨眉山大火成岩省与西伯利亚大火成岩省所伴随的岩浆作用均产生了大规模的岩浆系列金属矿床,连同塔里木大火成岩省,总体呈北西走向展布在欧亚大陆上。夏林圻等研究认为<sup>[30-31]</sup>,新疆北部同样存在石炭—二叠纪的大火成岩省,作用范围为天山及

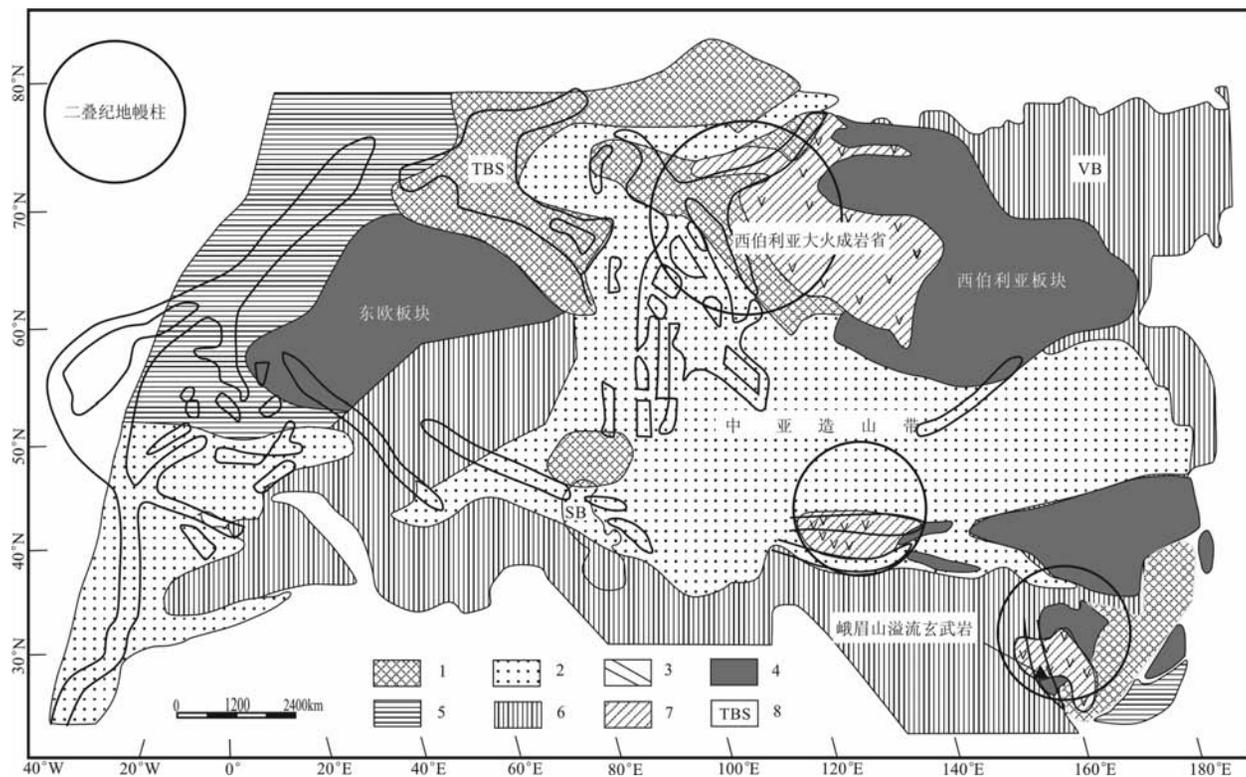


图3 欧亚大陆3个二叠纪大火成岩省分布 (据文献[16])

Fig. 3 Distribution of three large igneous provinces in the Eurasian Continent

1—1.6~0.5 Ga; 2—海西期; 3—二叠—三叠纪隆起; 4—>1.5 Ga; 5—加里东期; 6—中生代; 7—二叠—三叠纪溢流玄武岩; 8—TBS: 蒂曼—巴伦支海域; SB—西徐亚带; VB—维尔霍扬斯克带。

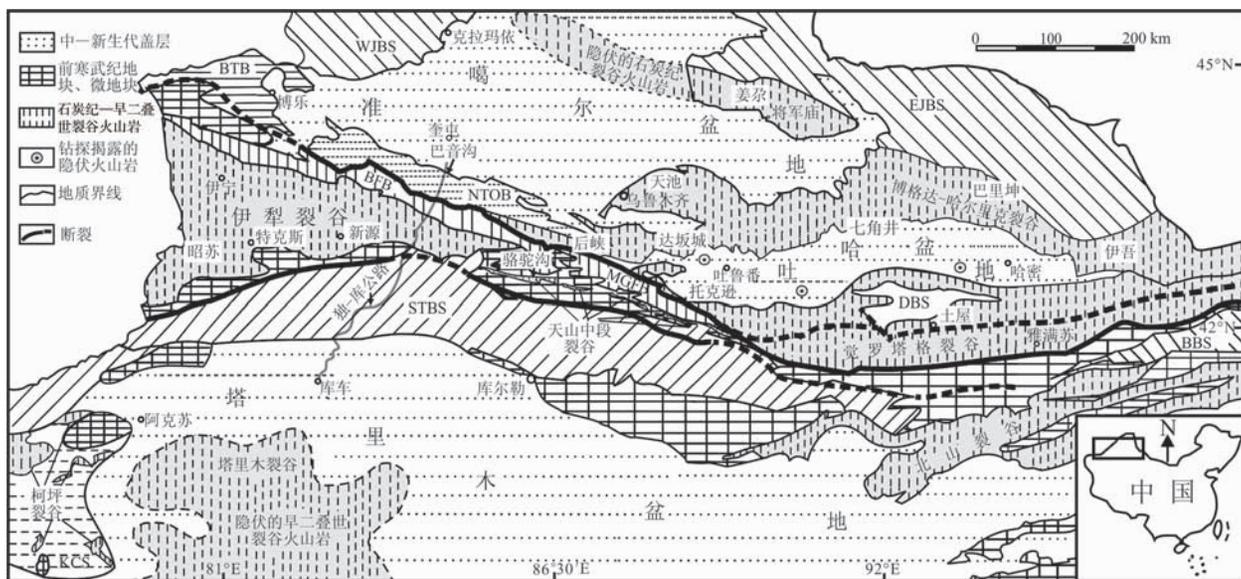


图4 新疆北部石炭纪—早二叠世火山岩分布图  
(据文献[35])

Fig. 4 Distribution of Carboniferous – Early Permian volcanic rocks in the northern Xinjiang Autonomous Region  
WJBS—西准噶尔沟-弧-盆系(早古生代—泥盆纪); EJBS—东准噶尔弧-盆系(早古生代—泥盆纪); BTB—博乐构造岩浆岩带(晚古生代); NTOB—北天山蛇绿岩带(石炭纪); BFB—博洛科努褶皱带(早古生代); MGF—米什沟—干沟褶皱带(早古生代); DBS—东天山大南湖泥盆纪弧-盆体系; STBS—南天山沟-弧-盆体系(早古生代—泥盆纪); KCS—柯坪陆棚区(新元古代—古生代); BBS—北山沟-弧-盆体系(早古生代)。

邻区,其岩浆作用形成了大量的内生金属矿床。该大火成岩省的概念更为广泛,包括了石炭纪聚敛板块边界岩浆作用的产物。但二叠纪的这些内生金属矿床是否与地幔柱有关,是否与被认同的塔里木大火成岩省存在联系是本文讨论的内容。

石炭纪晚期—二叠纪是新疆北部岩浆活动最为活跃的时期。这一时期岩浆活动的产物在空间上呈带状分布(图4),并且不同类型岩石表现出空间分带性,如喀拉通克、黄山—秋格明塔什、北山和管布拉克等基性—超基性杂岩带,东—西准噶尔、觉罗塔格和南天山等富碱花岗岩带,博格达、伊犁和北山等火山岩带<sup>[32-34]</sup>。

以上古生代晚期的岩浆活动,揭示出新疆北部在石炭纪中期统一大陆块体形成以后,经历了大规模的地壳伸展作用,产生比较强烈的壳幔相互作用,导致明显的地幔物质注入和地壳的垂向增生作用以及地壳物质的重新组合<sup>[23]</sup>。壳幔相互作用主要表现为喀拉通克和黄山等地幔源岩浆侵入到地壳之中或喷出到地表,以及幔源岩浆底侵,以热源的形式引起地壳物质重新组合产生大规模岩浆活动。地壳物质重组在这里是指新疆北部地壳在石炭纪晚期至二叠纪期间重熔形成中酸性岩浆,侵入地壳之中冷凝

结晶形成花岗质岩基或喷出地表形成比较年轻的火山岩。

## 2 与岩浆作用有关的主要矿床类型

新疆北部石炭—二叠纪以与岩浆作用密切相关的内生矿床为显著成矿特色。主要成矿类型有:(1)岩浆铜镍硫化物矿床、钒钛磁铁矿矿床,以东准噶尔北缘喀拉通克和东天山黄山、黄山东、图拉尔根、香山西等矿床为代表;(2)斑岩型铜(钼)矿床,以东天山土屋、延东、东戈壁和西准噶尔包古图、东准噶尔哈腊苏矿床为代表;(3)赋存于海相火山—次火山岩中的磁铁矿矿床,以西天山查岗诺尔、智博、备战和东天山雅满苏为代表。后两类矿床不是传统意义上的岩浆矿床,但我们强调的是与岩浆活动有关的矿床。此外,与岩浆作用有关的 VHMS 多金属矿床(如东天山卡拉塔格、小热泉子等)以及热液矿床(如阿希金矿等)本文暂不讨论。

### 2.1 铜镍硫化物、钒钛磁铁矿矿床

新疆北部是中国岩浆铜镍硫化物矿床重要产出地区之一,这类矿床主要形成于5个镁铁—超镁铁质侵入岩带中(图1)。库鲁克塔格构造带的兴地岩带

形成于元古宙<sup>[36]</sup>;西天山筭布拉克岩带成矿岩体具早古生代年龄<sup>[37]</sup>,但其形成的背景尚不清楚。目前研究得较为详尽的是阿尔泰造山带喀拉通克岩带和天山造山带觉罗塔格构造带的黄山岩带。连同近年发现的北山岩带,在这3个岩带中已发现的岩浆铜镍硫化物矿床均形成于早二叠世<sup>[38]</sup>。

黄山岩带东西向展布,位于觉罗塔格构造带中,长约270 km,呈分段成群集中出现的特点,有大小近20个岩体。图拉尔根矿床是近年发现的最主要矿床之一。岩体侵位于中石炭统中。岩体类型以中基性-超基性杂岩为主,属闪长岩-辉长苏长岩-辉石岩-橄榄岩组合。黄山岩带的岩体与喀拉通克相比,贫碱,但镁质含量高于喀拉通克。角闪二辉橄榄岩为主要含矿岩相;角闪石岩分布于岩体南北边缘。黄山镁铁质-超镁铁质岩体单颗粒锆石年龄为 $(286 \pm 1.2) \text{Ma}$ <sup>[39]</sup>,黄山东铜镍硫化物矿石的 Re-Os 等时线年龄为  $282 \pm 20 \text{Ma}$ <sup>[40]</sup>,均具类似于洋岛玄武岩(OIB)或“地幔柱”同位素特征,如  $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +6.6 \sim +7.8$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)} = 0.70308$ <sup>[41]</sup>。

喀拉通克岩带位于额尔齐斯断裂南侧,长约200 km,宽10~20 km,有8个镁铁-超镁铁侵入岩集中分布,仅中东部发现了工业矿体,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号岩体构成矿床。赋矿岩石类型为辉长岩类和闪长岩类,侵位于早石炭世南明水组。岩石以基性程度低为显著特点,以钙碱性系列与其他铜镍岩体相别。Ⅰ号岩体岩相呈环带状分布,中心黑云角闪橄榄苏长岩为主要赋矿岩相,内圈黑云角闪苏长岩,岩相底部产有铜镍硫化物矿体;岩体顶部和周边为闪长岩和石英闪长岩;边缘辉长辉绿岩,局部有铜镍硫化物矿体。基本为全岩矿化,主要为稀疏浸染状矿石,局部稠密浸染状,深部有块状矿石,不同类型矿石 Cu、Ni 含量变化较大。全岩 Rb-Sr 等时线年龄为  $285 \sim 298 \text{Ma}$ ,具“地幔柱”同位素特征,如  $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +5.1 \sim +6$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)} = 0.7033 \sim 0.70368$ <sup>[42-44]</sup>。

北山岩带坡十岩体 SHRIMP 锆石年龄为 $(289 \pm 13) \text{Ma}$ <sup>[45]</sup>,自南西向北东已发现坡十岩体、罗中岩体、坡一岩体、红石山岩体和笔架山岩体等矿化岩体。坡十岩体进行深部钻探发现数条铜镍硫化物矿化体,镍含量多在0.2%以下,但局部有铂族元素(PGE)富集。最近发现了一个富矿体,规模较大,至少是大型岩浆铜镍硫化物矿床。

## 2.2 斑岩型(夕卡岩型)铜(钼)矿床

新疆北部斑岩型(夕卡岩型)铜(钼)矿床亦较发育,主要分布在东天山及环准噶尔等地(图1)。东天山土屋、延东成矿斜长花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄为  $334 \sim 356 \text{Ma}$ <sup>[39,46]</sup>,辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为  $(322.7 \pm 2.3) \text{Ma}$ <sup>[47]</sup>。

西准噶尔包古图铜矿区域出露一系列中酸性小岩体(表1),编号为Ⅰ~Ⅹ号,岩性以花岗闪长岩、石英闪长岩为主,围岩为下石炭统包古图组。V号岩体探明为中型铜矿。含矿岩体锆石 SHRIMP 年龄为  $(311.4 \pm 3.3) \text{Ma}$ ,成矿期黑云母的 K-Ar 年龄为  $(296.0 \pm 3.7) \sim (297.3 \pm 3.8) \text{Ma}$ ,辉钼矿 Re-Os 年龄为  $310 \text{Ma}$ ,成矿时代为  $310 \sim 296 \text{Ma}$ (晚石炭世)。黄铜矿  $\delta^{34}\text{S}$  的变化范围为  $-2.4\% \sim -0.8\%$ <sup>[48-49]</sup>。

东准噶尔玉勒肯哈腊苏铜矿床铜矿化体产于斑状花岗岩、石英二长斑岩中,主要为浸染状和细脉浸染状矿石,伴有绢云母化、硅化、绿泥石化、绿帘石化等中低温热液蚀变。哈腊苏地区的含矿中酸性岩体从晚泥盆世到早三叠世均有,反映了该区复杂的成矿物质建造。哈腊苏斑岩的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  为  $+7.3 \sim +8.5$ ,卡拉先格尔斑岩  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  为  $+6.7 \sim +8.4$ ,具地幔特征。哈腊苏斑岩的  $\delta^{18}\text{O}$  为  $7.9\% \sim 8.6\%$ ,高于地幔岩浆的  $\delta^{18}\text{O} (< 6\%)$ 。这些数据表明岩浆起源于新生地壳(亦即洋壳或岛弧壳部分熔融的产物<sup>[50]</sup>,并在上升过程中有一定程度的地壳混染)<sup>[51]</sup>。

表1 东准噶尔哈腊苏斑岩型铜矿区岩石定年数据

Table 1 Dating of Halasu porphyry Cu deposits in the Eastern Junggar

矿床名称	岩石	测试方法	年龄/Ma	数据来源
希勒克特哈腊苏铜矿	花岗斑岩	锆石 U-Pb 法	$217.9 \pm 4.2$	文献[52]
玉勒肯哈腊苏铜矿	石英二长斑岩	锆石 U-Pb 法	$265.6 \pm 3.7$	文献[53]
希勒克特哈腊苏铜矿	花岗闪长斑岩	锆石 U-Pb 法	$375.2 \pm 8.7$	文献[52]
希勒克特哈腊苏铜矿	铜钼矿石	辉钼矿 Re-Os 法	$376.9 \pm 2.2$	文献[52]
玉勒肯哈腊苏铜矿	斑状花岗岩	锆石 U-Pb 法	$381.6 \pm 2.5$	文献[53]
希勒克特哈腊苏铜矿	花岗闪长斑岩	锆石 U-Pb 法	$381.0 \pm 6.0$	文献[54]

## 2.3 赋存于海相火山-次火山岩中的磁铁矿矿床

赋存于火山-次火山岩中的磁铁矿、VMS型铜矿化,主要分布于北天山西段和东段(雅满苏)。在西天山阿吾拉勒铁矿带,目前已发现松湖、雾岭、查岗诺尔、智博、敦德、备战6个主要铁矿床(图5),初步控制铁矿石资源储量约6.6亿t,预测资源量20亿t。其中,查岗诺尔磁铁矿,共圈出11个矿体。主矿体长2835m,厚41~120m,全铁品位30%~35%,探求资源量1.93亿t。区内出露地层主要为中石炭统则克台组,自下而上:(1)石英角斑岩和凝灰熔岩;(2)凝灰质千枚岩和角斑质凝灰岩,是铁铜矿主要赋矿层位;(3)细碧岩、角斑岩、凝灰岩、火山角斑岩、火山集块岩。这些岩相/层位是磁铁矿矿床的直接含矿围岩。在智博附近,古火山口的发现以及磁铁矿与海相火山岩的“层控关系”意味着这些磁铁矿床有可能属于矿浆喷溢型铁矿,尤其是备战、智博两个大矿<sup>[55-58]</sup>。这一成矿模型有一定道理,但尚不完善。首先,海底矿浆喷溢遇到海水会急剧冷凝(如洋中脊枕状熔岩),不会引起大规模热液蚀变。其次,喷溢在海底,尚无上覆地层,故火山岩地层中矿体上覆岩石不会有与矿化有关的热液蚀变。第三,铁矿浆应该是玄武岩浆演化晚期的产物<sup>[59]</sup>,铁矿石应该是Fe-Ti-V的成矿

元素组合。然而,这些铁矿石含Ti太低<sup>[55]</sup>,且矿层上、下盘普遍具有类似夕卡岩的蚀变岩组合(石榴石、阳起石和绿帘石等),而其局部夕卡岩十分发育,甚至出现石榴石岩,这在查岗诺尔矿床该特征非常明显。因此,玄武质岩浆(包括安山岩浆)与碳酸盐发生接触变质作用,富集铁成矿或富矿流体交代贯入含矿层位的可能性应该很大。成矿作用显然要晚于赋矿火山岩地层的时代,但究竟晚多少需要准确的成矿年龄。

东天山雅满苏铁矿床位于觉罗塔格晚古生代裂陷槽内。赋矿地层为下石炭统雅满苏组,磁铁矿体产于火山喷发不整合面之上的石榴石夕卡岩带中,被认为是火山-次火山“喷溢”-热液叠加矿床<sup>[38]</sup>。辉石安山玢岩 Rb-Sr 等时线年龄为(374±44)Ma,石榴石夕卡岩 Sm-Nd 等时线年龄为(352±47)Ma。成岩成矿作用发生于晚泥盆世—早石炭世<sup>[38]</sup>。我们初步认为雅满苏铁矿床可能在成因上与西天山阿吾拉勒铁矿(见上)类似。

## 3 晚古生代成矿爆发动力学机制

### 3.1 大规模岩浆作用与成矿时空关系

从区域成矿学的角度来看,新疆北部石炭—二

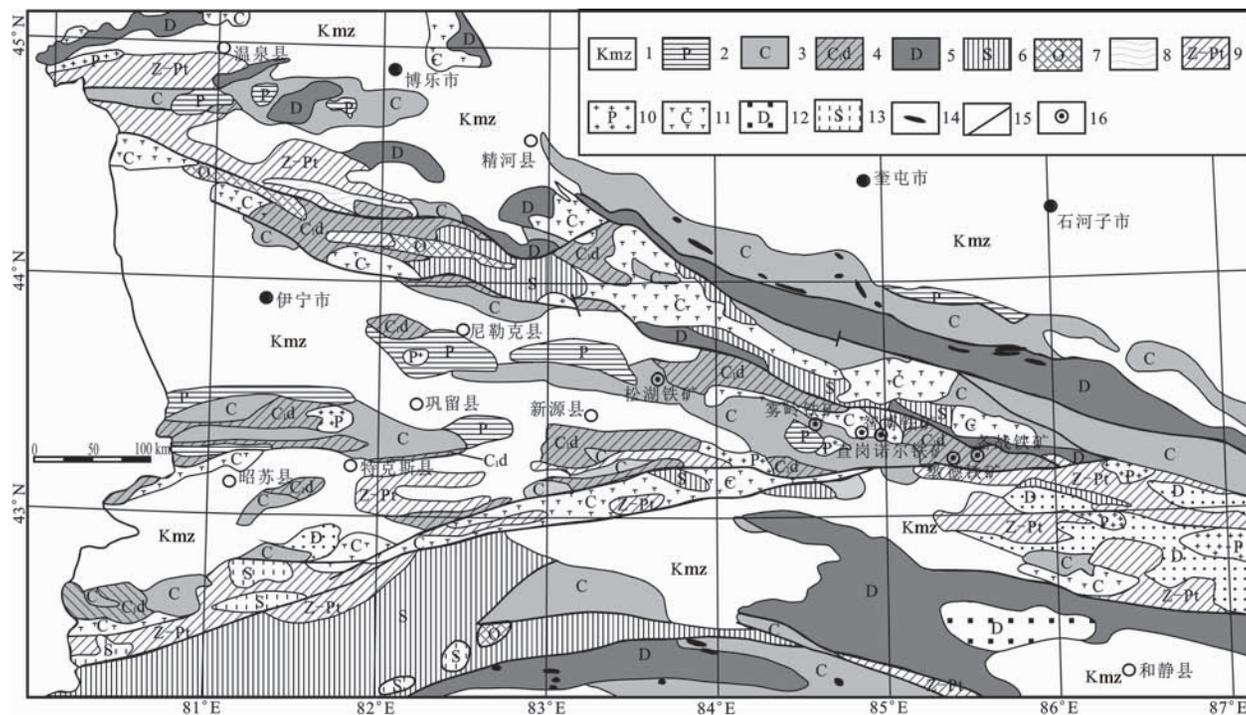


图5 西天山阿吾拉勒铁矿带查岗诺尔铁矿地质图

(据文献[14])

Fig. 5 Geological sketch map of the Chaganuoer Fe deposit in the Awulale iron ore belt of western Tianshan Mountain

1—中、新生界;2—二叠系;3—石炭系;4—下石炭统大哈拉军山组;5—泥盆系;6—志留系;7—奥陶系;8—寒武系;9—震旦系—元古宇;10—二叠纪花岗岩类;11—石炭纪花岗岩类;12—泥盆纪花岗岩类;13—志留纪花岗岩类;14—超镁铁岩;15—断裂带;16—铁矿床。

叠纪岩浆矿床成矿时代如此集中,可称为“成矿爆发”,成矿岩浆岩在该地域的广泛分布也可称为“大火成岩省”(LIP)<sup>[16,60]</sup>。这种概念的提出和强调有助于从区域地质时空演化上探讨矿床成因和成矿规律。但从严格意义上说,如果这些岩浆活动并不具备成因联系,那么称“大火成岩省”就不妥。板块构造和地幔柱构造是不同的概念,尽管二者在时空上可以共存但在成因上相互独立。事实上,新疆北部造山带泥盆—石炭纪记录的是板块构造岩浆活动的产物,如蛇绿岩、岛弧火山岩以及与活动大陆边缘有关的花岗岩类等。这不能说石炭纪时该区没有地幔柱的活动,但缺乏证据。洋岛玄武岩(如夏威夷、冰岛火山岩组合)沿这些造山带的存在与否、分布规模/规律等有助于客观评价该区石炭世是否有地幔柱影响。相反,北疆地区各造山带内二叠纪含矿超镁铁堆晶岩和南疆塔里木已知大火成岩省的同时性((280±5)Ma)<sup>[61-63]</sup>,表明二者可能有成因上的关联。

新疆北部就已知成矿时空关系来看,首先是泥盆—石炭纪火山岩—次火山岩型磁铁矿(准确成矿年龄有待核实),主要分布在西天山;其次是斑岩型铜矿,主要分布在东天山及环准噶尔盆地;而岩浆型铜镍矿则主要分布在东天山及阿尔泰等地,形成时间最晚,集中在280 Ma左右。这些矿床及其母岩体的赋存位置及形成时代反映该区地球动力学的时空演化,从大洋岩浆作用到俯冲带岩浆作用,到古亚洲洋的闭合以及闭合后的地幔柱作用<sup>[64-66]</sup>。

### 3.2 大规模岩浆作用与成矿动力学机制

新疆北部大地构造演化伴随板块俯冲、陆—陆碰撞而形成现今的构造格局。板块构造运动贯穿整个演化过程,发育在板块边界的岩浆作用为成矿提供了热源和物源,形成相应的内生金属矿床。多数斑岩型铜(钼)矿均属该种体制作用的结果,东天山雅满苏铁矿和西天山阿吾拉勒铁矿可能与板块构造岩浆作用有关,所有赋存在蛇绿岩套中的VHMS矿床也是板块构造的产物。但是与板块构造有关的岩浆作用难以解释分布面积广而形成时代一致(约280 Ma)的Cu-Ni硫化物和V-Ti-Fe矿床,其成因很可能与二叠纪地幔柱作用有关。板块构造和地幔柱活动在空间上的共存和在时间上的延续/叠加,导致了新疆北部晚古生代的成矿大爆发。

## 4 研究思路和目标

(1)新疆北部泥盆—石炭纪岩浆活动和成矿作用是板块构造的直接产物。石炭纪的板块消减及有关的岩浆作用可能在个别地段一直持续到三叠纪。地幔柱岩浆作用可能在晚石炭世开始,但集中表现在二叠纪。两种岩浆构造体系在时间上的叠加和空间上的并存造就了北疆成矿作用的集中爆发以及成矿类型上的时空变化。

(2)与板块构造有关的岩浆活动和成矿作用集中在板块边界(如洋中脊、岛弧、大陆岩浆弧、弧后盆地),因此地质记录中无例外地保存在造山带中(包括缝合线以及与俯冲有关的花岗岩类带)。对北疆各构造带深入仔细的全方位研究是寻找或扩大“板块构造矿床”找矿远景的战略途径,这包括某些铜镍矿床、铜铅锌块状硫化物矿床、“喷溢”型磁铁矿床和斑岩铜钼矿床等(及伴生金属)。

(3)地幔柱岩浆活动与板块构造无关,因此有关的成矿作用不一定保存在造山带。北疆钒钛磁铁矿和铜镍硫化物矿床是与地幔柱有关的典型矿床(板块边界构造活动频繁,不利于矿化)。它们与南疆塔里木已知“隐伏大火成岩省”的同时性((280±5)Ma)意味着二者可能有成因上的关联。北疆钒钛磁铁矿和铜镍硫化物矿床产于造山带有几个可能的原因:一是约280 Ma时古亚洲洋也许尚未闭合,北疆岩体地处海盆(如海台),是塔里木陆块(浅海相/陆相)溢流玄武岩的海相对应体,古亚洲洋闭合时保留在造山带。在这种情况下,形成大型富矿的几率不大。二是如果约280 Ma时古亚洲洋已经闭合,那么这些构造缝合带仍然是岩石圈薄弱带,是幔源“地幔柱”玄武岩浆的通道,可解释造山带的钒钛磁铁矿和铜镍矿化,但形成大型富矿的几率仍然不大。三是如果约280 Ma时古亚洲洋已经完全闭合,南—北疆构成同一大陆块体,那么幔源“地幔柱”玄武岩浆的侵入/喷发会非常广泛(如塔里木“隐伏”溢流玄武岩),而不仅仅侵位于已有的造山带。后者只是构造剥蚀出露的“表面现象”。这意味着,吐哈盆地甚至准噶尔盆地都有可能广泛分布的“隐伏”溢流玄武岩,因此成矿前景看好。

(4)近期研究目标包括:第一,确认北疆造山带钒钛磁铁矿和铜镍矿化岩体与塔里木已知“隐伏”溢流玄武岩的可能成因关系;第二,确认古亚洲洋的闭合

时限和北疆各造山带的最早“造山”时限;第三,探索吐哈盆地和准噶尔盆地“隐伏”溢流玄武岩是否存在。这些实质性的研究有助于正确认识晚古生代地幔柱作用和全球晚古生代地质构造格局和亚洲大陆的形成和演化,同时也有助于建立成矿理论,指导找矿。

我们非常感谢审稿人和编辑部的许多建设性的意见。

## 参考文献

- [1] Song X Y, Li X R. Geochemistry of the Kalatongke Ni-Cu-(PGE) sulfide deposit, NW China: Implications for the formation of magmatic sulfide mineralization in a postcollisional environment[J]. *Mineralium Deposita*, 2009, 44: 303-327.
- [2] 王京彬, 王玉往, 周涛发. 新疆北部后碰撞与幔源岩浆有关的成矿谱系[J]. *岩石学报*, 2008, 24(4): 743-752.
- [3] 周涛发, 袁峰, 张达玉, 等. 新疆东天山觉罗塔格地区花岗岩类年代学、构造背景及成矿作用研究[J]. *岩石学报*, 2010, 26(2): 478-502.
- [4] 韩春明, 肖文交, 崔彬, 等. 新疆北部晚古生代铜矿床主要类型和地质特征[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 74-89.
- [5] 肖文交, 舒良树, 高俊, 等. 中亚造山带大陆动力学过程与成矿作用[J]. *新疆地质*, 2008, 26(1): 4-8.
- [6] Chai F M, Zhang Z C, Mao J W, et al. Geology, petrology and geochemistry of the Baishiquan Ni-Cu-bearing mafic-ultramafic intrusions in Xinjiang, NW China: Implications for tectonics and genesis of ores[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32: 218-235.
- [7] 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 新疆北部镁铁-超镁铁质岩的PGE成矿问题[J]. *地学前缘*, 2010, 17(1): 137-152.
- [8] Liu W, Pan X F. Methane-rich fluid inclusions from ophiolitic dunite and post-collisional mafic-ultramafic intrusion: The mantle dynamics underneath the Palaeo-Asian Ocean through to the post-collisional period[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 242: 286-301.
- [9] 王金荣, 李泰德, 田黎萍, 等. 新疆博格达造山带晚古生代构造-岩浆演化过程: 火山岩组合及地球化学证据[J]. *岩石学报*, 2010, 26(4): 1103-1115.
- [10] Zhou M F, Zhao J H, Jiang C Y, et al. OIB-like, heterogeneous mantle sources of Permian basaltic magmatism in the western Tarim Basin, NW China: Implications for a possible Permian large igneous province[J]. *Lithos*, 2009, 113: 583-594.
- [11] 董连慧, 朱志新, 屈迅, 等. 新疆蛇绿岩带的分布、特征及研究新进展[J]. *岩石学报*, 2010, 26(10): 2894-2904.
- [12] 郭召杰, 韩宝福, 张元元, 等. 中亚造山带中生代壳幔相互作用特征与过程: 新疆北部幔源岩浆岩系对比研究[J]. *岩石学报*, 2010, 26(2): 431-439.
- [13] Zheng J P, Griffin, S Y, O'Reilly, et al. Granulite xenoliths and their zircons, Tuoyun, NW China: Insights into south-western Tianshan lower crust[J]. *Precambrian Research*, 2006, 145: 159-181.
- [14] 西安地质矿产研究所. 西北地区矿产资源找矿潜力[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [15] 李文渊, 张照伟, 高永宝, 等. 秦祁昆造山带重要成矿事件与构造响应[J]. *中国地质*, 2011, 38(5): 1135-1149.
- [16] Franco P J, Mao J W, Zhang Z C, et al. The association of mafic-ultramafic intrusions and A-type magmatism in the Tian Shan and Altay orogens, NW China: Implications for geodynamic evolution and potential for the discovery of new ore deposits[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32: 165-183.
- [17] Zhang Z C, Mao J W, Chai F M, et al. Geochemistry of the Permian Kalatongke Mafic Intrusions, Northern Xinjiang, Northwest China: Implications for the Genesis of Magmatic Ni-Cu Sulfide Deposits[J]. *Economic Geology*, 2009, 104: 185-203.
- [18] 李红霞, 郭锋, 李超文, 等. 晚古生代古亚洲洋俯冲作用: 来自珙春前山镁铁质侵入岩的年代学和地球化学记录[J]. *岩石学报*, 2010, 26(5): 1531-1540.
- [19] Jong K D, Wang B, Michel F, et al. New  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age constraints on the Late Palaeozoic tectonic evolution of the western Tianshan (Xinjiang, northwestern China), with emphasis on Permian fluid ingress[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2009, 98: 1239-1258.
- [20] 肖文交, 韩春明, 袁超, 等. 新疆北部石炭纪—二叠纪独特的构造: 成矿作用对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约[J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1062-1076.
- [21] Xiao W J, Windley B F, Huang B C, et al. End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: Implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2009, 98: 1189-1217.
- [22] Zhang Z H, Mao J W, Du A D, 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.
- [23] 肖序常, 何国琦, 徐新, 等. 中国新疆地壳结构与地质演化[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 197-233.
- [24] 朱志新, 李锦轶, 董连慧, 等. 新疆西天山古生代侵入岩的地质特征及构造意义[J]. *地学前缘*, 2011, 18(2): 170-179.
- [25] 李源, 杨经绥, 张健, 等. 新疆东天山石炭纪火山岩及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2011, 27(1): 193-209.
- [26] 木合塔尔·扎日, 吴兆宇, 吴昌志, 等. 东天山板块缝合区(带)的构造演化与多金属矿床成矿的关系[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2010, 35(2): 245-253.
- [27] 韩宝福, 郭召杰, 何国琦. “钎合岩体”与新疆北部主要缝合带的形成时限[J]. *岩石学报*, 2010, 26(8): 2233-2246.
- [28] 朱志新, 李锦轶, 董连慧, 等. 新疆南天山构造格架及构造演化[J]. *地质通报*, 2009, 28(12): 1863-1870.
- [29] 朱志新, 李锦轶, 董连慧, 等. 新疆西天山古生代侵入岩的地质特征及构造意义[J]. *地学前缘*, 2011, 18(2): 170-179.

- [30] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山古生代洋陆转化特点的几点思考[J]. 西北地质, 2004, 35(4): 9-20.
- [31] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山石炭纪大火成岩省与地幔柱[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 903-910.
- [32] 张传林, 周刚, 王洪燕, 等. 塔里木和中亚造山带西段二叠纪大火成岩省的两类地幔源区[J]. 地质通报, 2010, 29(6): 779-794.
- [33] 李兆丽, 杨经绥, 刘钊. 东天山中段火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(1): 181-192.
- [34] 李建忠, 吴晓智, 齐雪峰, 等. 新疆北部地区上古生界火山岩分布及其构造环境[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 195-206.
- [35] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山及邻区石炭纪一早二叠世裂谷火山岩岩石成因[J]. 西北地质, 2008, 41(4): 1-68.
- [36] 杨合群, 洛长义, 朱宝清, 等. 新疆兴地含铜镍基性超基性侵入体地质特征及成矿条件[J]. 西北地质科学, 1997, 18(2): 43-53.
- [37] 张作衡, 王志良, 王彦斌, 等. 新疆西天山菁布拉克基性杂岩体闪长岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 2007, 26(4): 353-360.
- [38] 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.
- [39] 秦克章. 新疆北部中亚型造山与成矿作用[R]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2000.
- [40] 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): 323-328.
- [41] 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [42] 李华芹, 陈富文. 中国新疆区域成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- [43] 王润民, 赵昌龙. 新疆喀拉通克一号铜镍硫化物矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [44] 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): 450-463.
- [45] 陈富文, 李华芹, 陈毓川, 等. 东天山土屋-延东斑岩铜矿田成岩时代精确测定及其地质意义[J]. 地质学报, 2005, 79(2): 256-261.
- [46] 芮宗瑶, 王龙生, 王义天, 等. 东天山土屋和延东斑岩铜矿床时代讨论[J]. 矿床地质, 2002, 21(1): 16-22.
- [47] 宋会侠, 刘玉琳, 屈文俊, 等. 新疆包古图斑岩铜矿床地质特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(8): 1981-1988.
- [48] 魏少妮, 程军峰, 喻达兵, 等. 新疆包古图 III 号岩体岩石学和锆石 SHRIMP 年代学研究[J]. 地学前缘, 2011, 18(2): 212-222.
- [49] 杨福全, 闫升好, 刘国仁, 等. 新疆准噶尔斑岩铜矿地质特征及成矿作用[J]. 矿床地质, 2010, 29(6): 956-971.
- [50] Niu Y L, O'Hara M J. MORB mantle hosts the missing Eu (Sr, Nb, Ta and Ti) in the continental crust; New perspectives on crustal growth, crust-mantle differentiation and chemical structure of oceanic upper mantle[J]. Lithos, 2009, 112: 1-17.
- [51] 杨文平, 张招崇, 周刚, 等. 阿尔泰铜矿带南缘希勒克特哈腊苏斑岩铜矿的发现及其意义[J]. 中国地质, 2005, 32(1): 107-114.
- [52] 薛春纪, 赵战锋, 吴淦国, 等. 中亚构造域多期叠加斑岩铜矿化: 以阿尔泰东南缘哈腊苏铜矿床地质、地球化学和成岩成矿时代研究为例[J]. 地学前缘, 2010, 17(2): 53-81.
- [53] 赵战锋, 薛春纪, 张立武. 新疆青河玉勒肯哈腊苏铜矿区酸性岩锆石 U-Pb 法定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 425-433.
- [54] 张招崇, 闫升好, 陈柏林. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年[J]. 科学通报, 2006, 51(13): 1565-1574.
- [55] 冯金星, 石福品, 汪帮耀, 等. 西天山阿吾拉勒成矿带火山岩型铁矿[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- [56] 汪帮耀, 胡秀军, 王江涛, 等. 西天山查岗诺尔铁矿矿床地质特征及矿床成因研究[J]. 矿床地质, 2011, 30(3): 385-402.
- [57] Zhu Y F. Zircon U-Pb and muscovite  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of the gold-bearing Tianger mylonitized granite, Xinjiang, northwest China; Implications for radiometric dating of mylonitized magmatic rocks[J]. Ore Geology Reviews, 2011, 40: 1-14.
- [58] 宋谢炎, 肖家飞, 朱丹, 等. 岩浆通道系统与岩浆硫化物成矿研究新进展[J]. 地学前缘, 2010, 17(1): 153-163.
- [59] Niu Y L. Generation and evolution of basaltic magmas: Some basic concepts and a hypothesis for the origin of the Mesozoic-Cenozoic volcanism in eastern China[J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11: 9-46.
- [60] Xia L Q, Xu X Y, Xia Z C, et al. Petrogenesis of carboniferous rift-related volcanic rocks in the Tianshan, northwestern China[J]. Geological Society of America Bulletin, 2004, 116(3): 419-433.
- [61] Qin K Z, Su B X, Sakyi P A, et al. Sm-Nd 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. 280 Ma mantle plume[J]. American Journal of Science, 2011, 311: 237-260.
- [62] 颀伟, 宋谢炎, 聂晓勇, 等. 新疆坡北铜镍硫化物含矿岩体岩浆源区特征及构造背景探讨[J]. 地学前缘, 2011, 18(3): 189-200.
- [63] 李彤泰. 新疆哈密市黄山基性-超基性岩带铜镍矿床地质特征及矿床成因[J]. 西北地质, 2011, 44(1): 54-60.
- [64] 刘平平, 秦克章, 苏尚国, 等. 新疆东天山图拉尔根大型铜镍矿床硫化物珠滴构造的特征及其对通道式成矿的指示[J]. 岩石学报, 2010, 26(2): 524-532.
- [65] 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): 3028-3035.
- [66] 胡沛青, 任立业, 傅飘儿, 等. 新疆哈密黄山东铜镍硫化物矿床成岩成矿作用[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 158-168.