

新疆晚古生代大陆边缘成矿系统与成矿区带初步探讨*

张连昌¹ 夏斌² 牛贺才² 李文铅² 方维萱³ 唐红峰³ 万博¹

ZHANG LianChang¹, XIA Bin², NIU HeCai², LI WenQian², FANG WeiXuan³, TANG HongFeng³ and WAN Bo¹

1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 矿产资源研究重点实验室, 北京 100029

2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

3. 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002

1. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

3. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

2005-12-20 收稿, 2006-04-22 改回.

Zhang LC, Xia B, Niu HC, Li WQ, Fang WX, Tang HF and Wan B. 2006. Metallogenic systems and belts developed on the late Paleozoic continental margin in Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5):1387-1398

Abstract The northern Xinjiang, located in centre position of Central Asia orogenic belt (CAOB), are characterized by intense continent accretion, tectonic and magma activity, abundant mineral resources in late Paleozoic. The metallogenic processes on the continental margin in late Paleozoic have two main stages including early-middle Devonian and early Carboniferous. Based on studies of regional geology and tectonic evolution, mineralization type of metal deposits, the metallogenic systems on late Paleozoic continent margin are divided into three types: (1) marine volcanics-basin-fluids system in active continent margin; (2) arc volcanic-intrusive system in active margin; (3) sediment basin-hydrothermal activity system in passive continent margin. On the basis of the metallogenic systems, metallogenic belts in northern Xinjiang are divided into: (1) volcanic massive sulfide (VMS-type) metallogenic belt in late Paleozoic active continent margin, southern Altaid; (2) porphyry copper-gold metallogenic belt in Almantai-Kalaxianer arc, southern Altaid-eastern Junggar; (3) porphyry Cu and volcanic hydrothermal Cu-Zn (Fe) metallogenic belt in active continent margin, eastern Tianshan; (4) porphyry Cu and hydrothermal Au metallogenic belt in intra-oceanic subduction, western Junggar; (5) porphyry Cu and hydrothermal Au metallogenic belt in active continent margin, western Tianshan; (6) SEDEX-type Pb-Zn-Cu metallogenic belt in passive continent margin of northwestern Tarim basin. This paper suggest that large and giant ore deposits can reflect the geologic and tectonic evolution, relations between the continent accretion and metallogenic processes are main researching contents of metallogenic system.

Key words Late Paleozoic, Continent margin, Continent accretion, Metallogenic system, Metallogenic belt, Central Asia orogenic belt

摘要 新疆地处中亚成矿域的中段, 古生代大陆边缘增生明显、构造和岩浆活动强烈、矿产资源丰富。古生代大陆边缘成矿作用主要集中在两个时期, 即以阿尔泰山南缘为主的早中泥盆世和以天山为主的早石炭世。本文在综合研究及与境外对比的基础上, 按照新疆地区晚古生代大陆边缘的构造动力学和成矿特征, 将研究区大陆边缘成矿系统划分为: 活动大陆边缘海相火山岩-盆地流体成矿系统, 活动大陆边缘火山岛弧-岩浆活动成矿系统和被动大陆边缘沉积盆地-热水活动成矿系统三类。同时对形成于大陆边缘的成矿区带进行划分, 主要包括: 阿勒泰山南缘晚古生代活动大陆边缘块状硫化物成矿带; 阿尔泰山南缘-东准噶尔活动大陆边缘卡拉先格尔岛弧斑岩铜金成矿带; 东天山晚古生代活动大陆边缘铜钼锌成矿区带; 西准噶尔洋内弧斑岩-浅成低温热液铜金成矿区带; 西天山(伊犁地块)活动大陆边缘金铜成矿区带; 塔里木板块被动大陆边缘沉积型铅锌成矿带。本文认为大陆增生与成矿作用的关系是矿床学和成矿系统研究的重要内容, 成矿区带是成矿系统发生成矿作用的响应, 而成矿系统是成矿区带形成的本质。

关键词 晚古生代; 大陆边缘; 大陆增生; 成矿系统; 成矿带; 中亚造山带

中图分类号 P618.5; P618.4

* 由国家重点基础研究计划项目(2001CB409805)和国家自然科学基金(40473028)的资助。

第一作者简介: 张连昌, 男, 1959年生, 博士, 从事矿床地质与地球化学研究, E-mail: Lczhang@mail.igcas.ac.cn

1 引言

新疆地处中亚成矿域的中段,古生代构造活动强烈、大陆增生明显、矿产资源丰富,形成多类大陆边缘成矿系统和多处成矿区带。近年来许多专家从不同角度对东西天山、东西准噶尔和阿尔泰等地区的一系列金属矿床进行了研究并划分了一些重点成矿区带(何国琦等,1990,1995;田培仁,1995;王京彬等,1998;李锦轶等,2002;秦克章等,2002;芮宗瑶等,2002; Zhang *et al.*, 2004a; Qin *et al.*, 2005),但前人提出的成矿区带多按矿产分布的自然单元来划分,未考虑成矿地质背景和构造演化。本文拟从成矿系统的角度,结合区域矿产的成矿作用和时空制约来划分成矿区带。我们认为成矿区带是成矿系统发生成矿作用的响应,而成矿系统是成矿区带形成的本质。

借鉴“中亚造山与成矿”973项目在古大陆边缘演化方面的研究成果(Li *et al.*, 2003; Xiao *et al.*, 2004a, b),本文通过研究古生代大陆边缘典型矿床(带),如位于阿尔泰南缘的阿舍勒铜锌矿、可可塔勒铅锌矿、蒙库铁(铜)矿和哈腊苏铜矿,位于西天山的莱历斯高尔铜钼矿、喇嘛苏铜矿、阿希金矿,和东天山的土屋-延东铜矿、雅满苏铁矿和小热泉子铜锌矿,西准的阔尔真阔腊金矿和包古图铜矿等十多处大-中型矿床,结合区域地质演化、古生代火山岩与中酸性侵入岩的时空分布和大陆双向增生及其对成矿作用的控制,探讨北疆地区古生代大陆边缘成矿系统和成矿区带。

通过对北疆地区古陆缘多金属成矿系统的研究,查明主要成矿系统和有关成矿区带产出的构造环境,揭示主要矿床类型之间的时空联系与演化规律;从矿床的时空组合作为构造环境的标志和限定,为中亚地区古生代地壳侧向增生、壳幔作用与古陆缘成矿系统模型的建立提供依据。同时利用古陆缘各成矿系统的成矿规律,指导大型矿集区的寻找。

2 新疆晚古生代大陆边缘成矿系统

成矿系统是指在一定地质时空域中,控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用过程,以及所形成的矿床系列和异常系列构成的整体,它是具有成矿功能的一个自然系统(翟裕生,1999)。结合前人(李锦轶等,2003,2006; Xiao *et al.*, 2004a, b)关于新疆及邻区晚古生代洋陆格局的认识,按照北疆地区晚古生代大陆边缘的构造动力学和成矿作用主要发生在泥盆-石炭纪的特点,本文将研究区晚古生代大陆边缘成矿系统划分为活动大陆边缘海相火山岩-盆地流体成矿系统(以阿尔泰南缘 VMS 矿床为例)、活动大陆边缘火山岛弧-岩浆活动成矿系统(以东天山南缘岛弧斑岩铜矿为例)、被动大陆边缘沉积盆地-热水活动成矿系统(以塔里木西北缘 SEDEX 型铅锌矿为例)三类(图 1,表 1)。

2.1 活动大陆边缘海相火山岩-盆地流体成矿系统

活动大陆边缘海相火山岩-盆地流体成矿系统,形成于板块汇聚边缘早期(弧间或弧后)拉张环境。该成矿系统以形成块状硫化物矿床为特征,典型矿床以阿舍勒铜锌矿、可可塔勒铅锌矿和东天山小热泉子铜矿床为例,该成矿系统在阿尔泰南缘最为发育。

对于阿尔泰南缘火山沉积盆地的构造环境,部分研究者认为与被动大陆边缘有关的裂谷环境(何国琦等 1990; 韩宝福等 1991; Wang *et al.* 1998; Chen *et al.* 1998)。但近年越来越多的学者认为与主动大陆边缘有关(Yu *et al.*, 1993; 牛贺才等,1999; 许继峰等,2001; Goldfarb *et al.* 2003; Xiao *et al.* 2004; Han *et al.*, 2005; 李锦轶等,2006)。牛贺才等(1999)在阿舍勒组火山岩中厘定出类玻镁安山岩、拉斑玄武岩及流纹英安岩。通过对岩石地球化学特征研究表明拉斑玄武岩形成于岛弧环境,玻镁安山岩是板块俯冲带上部被交代了的亏损地幔楔部分熔融的产物。万博和张连昌(2006)研究表明麦兹和克朗盆地容矿围岩下泥盆统康布铁堡组的岩石组合为流纹岩-玄武岩(细碧岩)-火山碎屑岩。这套火山岩的地球化学特征表明为钙碱性系列,说明康布铁堡组火山岩主要形成于岛弧环境。

对于阿尔泰南缘块状硫化物矿床成矿系统的形成过程,本文推测晚古生代早期古亚洲洋向西伯利亚陆块南缘(阿尔泰陆缘弧-岛弧)之下高角度斜向俯冲,形成了阿尔泰南缘弧-盆格局,在早期拉张条件下形成了阿舍勒、冲呼尔、麦兹、克朗等火山沉积盆地和海相火山-盆地流体成矿系统,与钙碱性火山作用有关的铜铅锌成矿作用(VMS 矿床)广泛发育,构成阿尔泰南缘多金属成矿带(图 2)。

2.2 活动大陆边缘火山岛弧-岩浆活动成矿系统

活动大陆边缘火山岛弧-岩浆活动成矿系统,形成于汇聚边缘晚期挤压岛弧-钙碱性中酸性(或埃达克质)岩浆活动环境。该成矿系统的矿床类型主要有斑岩铜矿、矽卡岩铜金矿和浅成低温热液金矿等,如西天山喇嘛苏铜矿、阿希金矿,东天山土屋-延东斑岩铜矿等。该成矿系统在东天山南缘古生代岛弧最为发育。

东天山土屋-延东斑岩铜矿带是亚洲大陆内部最重要的斑岩金铜成矿带之一,该成矿带为与活动大陆边缘深成岩浆弧有密切关系的斑岩-矽卡岩热液体系。目前所发现的土屋-延东斑岩铜矿、赤湖铜钼矿、雅满苏铁矿、沙泉子铜铁矿主要与活动大陆边缘的火山弧活动有密切关系,它们构成了东天山晚古生代活动大陆边缘金铜铁成矿系统。

结合东天山地区晚古生代区域构造演化(Xiao *et al.*, 2004b; Zhang *et al.*, 2004a),本文认为土屋-延东斑岩铜矿带含矿斜长花岗斑岩的形成机制为:古亚洲洋(或古天山洋)在晚泥盆-早石炭世向大南湖岛弧南缘发生低角度快速俯冲,俯冲洋壳在 75~90km 深处部分熔融形成埃达克质岩浆

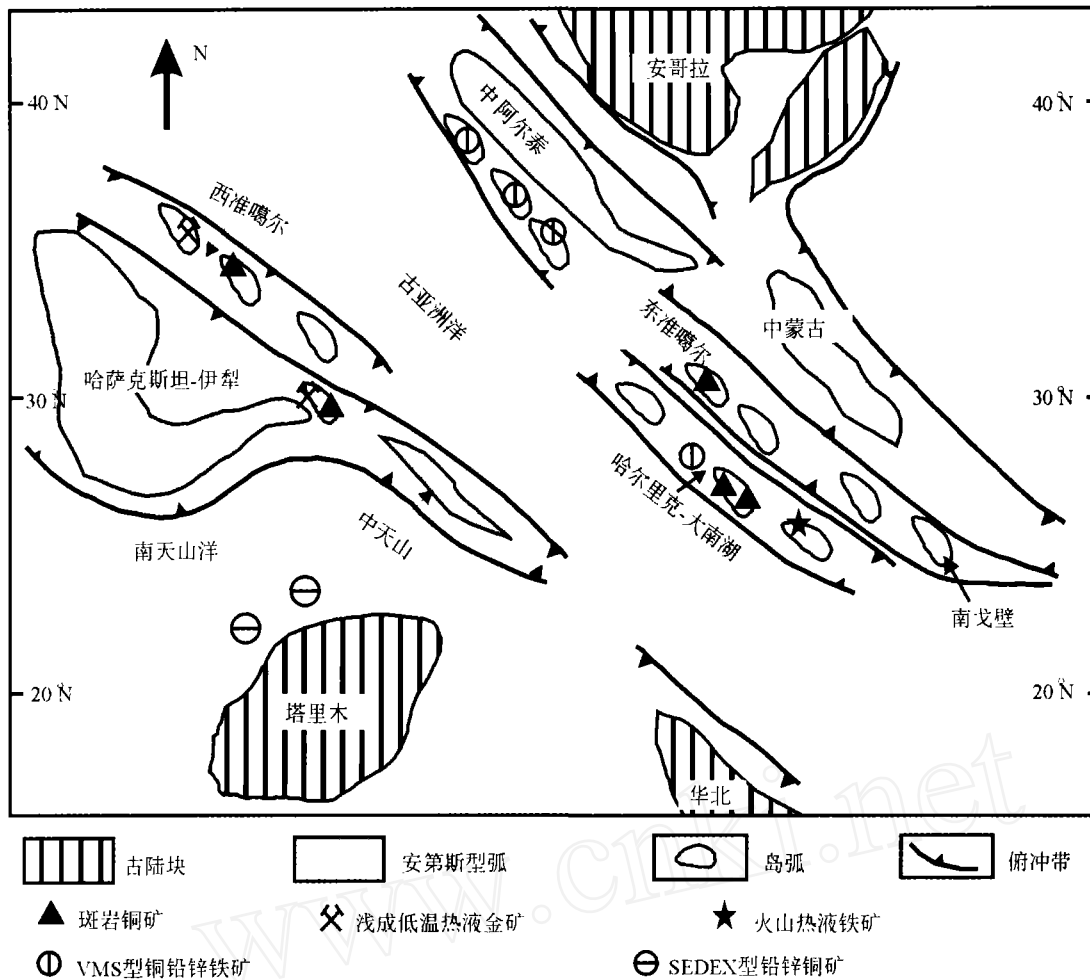


图1 新疆及邻区晚古生代(D₁-C₁)洋陆格局与成矿背景(洋陆格局修改自李锦轶等,2003)

Fig. 1 Late Paleozoic (D₁-C₁) reconstruction and mineralization setting of Northern Xinjiang and its neighboring area

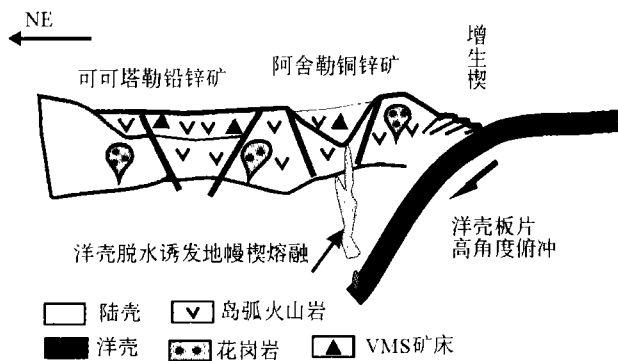


图2 活动大陆边缘海相火山岩-盆地流体成矿系统

Fig. 2 Marine volcanics-basin fluids system in active continent margin

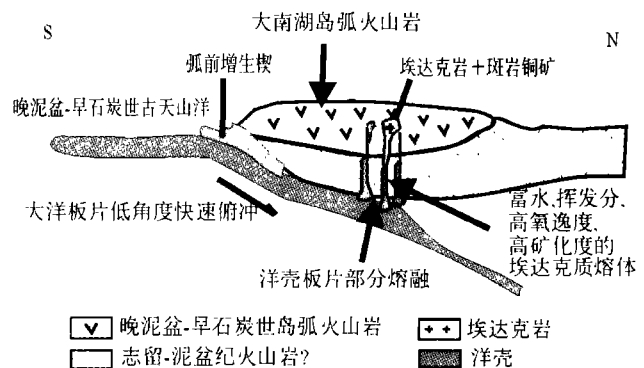


图3 活动大陆边缘火山岛弧-岩浆活动成矿系统

Fig. 3 Arc volcanic-intrusive system in active continent margin

(张连昌等,2004a),在熔融过程中同时析出金属,与埃达克岩岩浆一起上升,在岩体顶部富集成矿(图3)。

2.3 被动大陆边缘沉积盆地-热水活动成矿系统

被动大陆边缘沉积盆地-热水活动成矿系统主要发育于

塔里木板块的西北缘(西南天山),以陆缘裂陷盆地热水沉积型铅锌铜锑等矿床为特点。

晚古生代塔里木西北缘被动大陆边缘由台缘碳酸盐台地沉积建造组成。自晚古生代,塔里木大陆西南和西北缘开始出现开阔的陆棚浅海,同时台地内的同生断层发育,控制

表 1 新疆北部晚古生代大陆边缘成矿系统对比表

Table 1 Metallogenic systems on paleo-continental margin in northern Xinjiang

陆缘类型	构造部位	大陆增生方式	代表性成矿系统	主要矿种	成矿区带实例
主动陆缘	岛弧、陆缘岩浆弧、构造混杂岩、增生楔、弧后盆地	侧向增生(主)、垂向增生(次), 及岛弧拼贴	(1)海相火山-盆地流体型; (2)岛弧斑岩-浅成低温热液型	Cu、Au、Mo、Sn、Pb、Zn、Fe	阿尔泰山南缘阿舍勒晚古生代 CuZn 和可可塔勒 PbZn 矿带; 东天山土屋-延东晚古生代斑岩铜矿成矿带
	裂谷、同生断层、陆缘盆地、陆缘海	侧向增生为主, 垂向增生为次	(3)沉积盆地-热水沉积型	Pb、Zn、Cu、Fe、Mn、P	塔里木西南缘多金属成矿带; 塔里木西北缘多金属成矿带

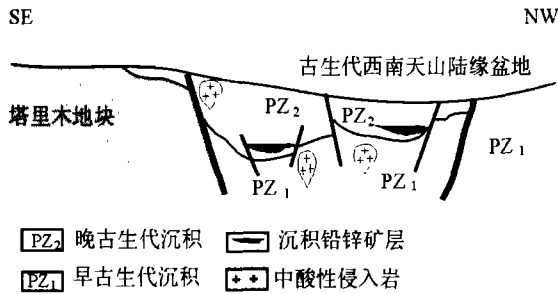


图 4 被动大陆边缘沉积盆地-热水活动成矿系统

Fig. 4 Sediment basin-hydrothermal activity system in passive continent margin

礁灰岩相-生物灰岩、白云岩、钙质细粉砂岩等的生成, 形成受地层岩性控制的 SEDEX 型铅锌矿床, 区内已知的大中型铅锌矿床均产于碳酸盐岩夹碎屑岩建造之中, 构成西南天山重要的铅锌成矿带, 如塔西南缘的克孜勒陶-库斯拉甫铅锌铜多金属成矿带和西北缘分布有霍什布拉克和坎岭等大中型铅锌矿床。

塔里木板块西北边缘在前寒武纪基底之上发育了古生代被动大陆沉积体系, 通过对泥盆纪铅锌 (SEDEX 型) 成矿系统的初步研究, 本文认为铅锌铜锡等成矿物质主要来源于深部下古生代 (寒武系-志留系) 沉积地层柱。沿断裂带下渗的海水和大气降水在富含成矿元素基底中循环, 萃取成矿物质, 并加温形成上升的热卤水, 喷流到裂隙盆地中, 形成上部的块状-层纹状主矿体和下部脉状-浸染状矿体 (邓贵安和蔡宏渊, 2004)。沉积铅锌矿床的形成受三级沉积盆地演化控制 (图 4)。

3 北疆地区晚古生代大陆边缘主要成矿区带

成矿 (区) 带是指一定时期地质、构造、以及成矿作用上具有共性的地区, 多呈狭长的带状分布。成矿带规模大小不一, 大成矿带的范围可与全球范围一二级构造单元或构造体系一致, 如古亚洲洋、环太平洋、特提斯成矿带等, 小成矿带范围可与地区级的构造单元一致。北疆地区晚古生代大陆边缘主要成矿区带归纳为 6 条 (图 5, 表 2)。

3.1 阿勒泰南缘晚古生代活动大陆边缘块状硫化物矿床成矿区带

3.1.1 可可塔勒陆缘弧/弧后盆地 Fe-Cu-Pb-Zn 成矿亚带

可可塔勒成矿亚带位于阿尔泰山南缘麦兹和克朗弧 (后) 盆地内, 呈北西-南东走向, 长约 200km, 最宽处达到 20km。该带是一个以铅、锌、铁和铜为主的多金属带。代表矿床包括可可塔勒铅锌矿、蒙库铁 (铜) 矿、铁木尔特铅锌铜矿等。目前已发现矿床 (点) 50 余处, 包括 2 个大型和近 10 个中型矿床。该区带铅、锌矿化和铜矿化全部赋存于下泥盆统康堡铁堡组上亚组 (第二火山旋回) 火山-沉积岩中。康堡铁堡组火山岩组合为流纹岩-玄武岩 (细碧岩)-火山碎屑岩, 元素地球化学研究表明早泥盆世火山岩为钙碱性系列。

3.1.2 阿舍勒弧内 (间) 盆地 Cu-Zn 块状硫化物成矿亚带

阿舍勒铜-多金属成矿亚带, 是矿区阿尔泰成矿带的东南延伸, 长 80km, 宽 2~16km。该亚带在构造上是受深断裂控制的狭窄断块, 断裂发育, 以北西向及近南北向为主, 容矿地层是下-中泥盆统阿舍勒组和中上泥盆统齐也组。多金属矿化赋存于阿舍勒组的中上部英安流纹岩火山喷发之后的火山间歇期, 矿体的直接围岩是凝灰岩及泥砂质、钙质陆源沉积岩。成矿亚带中的阿舍勒矿田是以铜为主的铜-黄铁矿、黄铁矿-铜-锌矿, 已发现大型阿舍勒铜-黄铁矿矿床和几个黄铁矿-铜-锌矿点。近年在阿舍勒铜矿外围珠万喀腊玄武安山岩中发现层状铜矿, 在多拉那勒-哲兰德地区发现斑岩型、砂卡岩型铜矿化和重晶石矿化, 其中铜矿化产于英安斑岩体内及接触带砂卡岩中, 矿化英安斑岩长 1700 米, 宽 20~30 米。地表铜品位 0.21~2.43%。研究表明该地区具有进一步找矿潜力。

3.2 阿尔泰山南缘-东准噶尔活动大陆边缘卡拉先格尔岛弧斑岩 Cu-Au 成矿带

卡拉先格尔岛弧斑岩 Cu-Au 成矿带, 位于富蕴-青河南部卡拉先格尔-喀拉萨依成矿带内。带内地层主要为中泥盆统北塔山组, 还有少量下石炭统南明水组, 海西期岩浆活动发育, 矿化严格受斑岩体控制。成矿带主要由希勒克特哈腊苏铜矿、卡拉先格尔铜矿和喀拉萨依铜矿等组成。

其中希勒克特哈腊苏铜矿, 位于原卡拉先格尔斑岩铜矿带内, 初步的研究和钻孔资料表明铜矿体受石英二长岩和花

表2 新疆北部晚古生代大陆边缘主要成矿区带对比表

Table 2 Metallogenic belts on paleo-continental margin in northern Xinjiang

主要成矿带	成矿亚带	地质特征	代表矿床
阿勒泰南缘活动大陆边缘块状硫化物矿床成矿(区)带	可可塔勒陆缘弧-弧后盆地 Fe-Cu-Pb-Zn 多金属成矿亚带	容矿岩石为下泥盆统康堡铁堡组上亚组火山-沉积岩。康堡铁堡组火山岩组合为流纹岩-玄武岩(细碧岩)-火山碎屑岩	可可塔勒铅锌矿、蒙库铁(铜)矿、铁木尔特铅锌铜矿
	阿舍勒弧内(间)盆地 Cu-Zn 块状硫化物成矿亚带	容矿地层是下-中泥盆统阿舍勒组和中上泥盆统齐也组。矿化赋存于阿舍勒组的中上部英安流纹岩火山喷发间歇期	阿舍勒铜锌矿,多拉那勒铜矿,珠万喀腊铜矿
(青河)卡拉先格尔岛弧斑岩 Cu-Au 成矿带	卡拉先格尔岛弧斑岩 Cu-Au 成矿(亚)带	地层主要为中泥盆统北塔山组,还有少量下石炭统南明水组。区内海西中晚期岩浆活动发育。矿化严格受石英闪长斑岩和花岗闪长斑岩控制	哈腊苏铜矿、卡拉先格尔铜矿和喀拉萨依铜矿
东天山活动大陆边缘 Cu-Mo-Fe 成矿区带	哈尔里克火山弧 Cu-Pb-Zn-Ag 成矿亚带	泥盆-石炭纪火山机构对多金属矿化具有明显的控制作用,容矿岩石为英安斑岩和安山玢岩	铜山铜矿、银山银多金属矿、金山金铜多金属矿
	大南湖岛弧 Cu-Mo 成矿亚带	出露地层为早石炭纪企鹅山群,岩性为玄武岩、安山岩、安山质角砾熔岩、火山角砾岩。容矿斑岩为具有埃达克岩特征的斜长花岗斑岩,部分为闪长玢岩	土屋、土屋东和延东斑岩铜钼矿床,以及灵龙、赤湖铜矿点
	雅满苏岛弧 Fe-Cu-Au 成矿亚带	容矿岩石为下石炭统雅满苏组海相火山岩系,主要由火山碎屑岩和细碧角斑岩组成	阿齐山、雅满苏、红云滩、赤龙峰、黑峰山、小尖山等铁铜矿床
西准噶尔洋内弧斑岩-浅成低温热液 Au-Cu 成矿区带	萨吾尔火山弧浅成低温热液 Au 成矿亚带	萨吾尔晚古生代岛弧带上,出露早石炭纪钙碱性安山质熔岩、火山碎屑岩及次火山岩等	阔尔真阔腊金矿床和布尔克斯岱金矿床
	达拉布特洋内弧斑岩 Cu 成矿亚带	区域出露的主要地层为下石炭统希贝库拉斯组 and 包古图组,二者主要岩性为凝灰质砂岩、夹玄武岩和安山岩。容矿斑岩为海西中晚期侵入的中酸性斑岩	包古图Ⅱ和Ⅴ号含铜斑岩体,Ⅰ、Ⅲ和Ⅳ号铜矿化斑岩体
西天山(伊犁地块)活动大陆边缘 Au-Cu 成矿区带	赛里木湖 Cu 多金属成矿亚带	地层为泥盆系火山碎屑岩和熔岩等,侵入岩为海西中期中酸性花岗岩	喇嘛苏斑岩-夕卡岩型铜矿、喇嘛萨依夕卡岩型铜矿和达巴特斑岩型铜钼矿
	博罗霍洛弧内火山盆地浅成低温 AuCu 成矿亚带	赋矿围岩多数为下石炭统大哈拉军山组火山岩,少数为浅成的二长斑岩	阿希金矿、京希开布拉克金矿、伊尔曼德金矿和莱历斯高尔钼矿
塔里木板块被动大陆边缘沉积型 Pb-Zn 成矿带	塔里木西北缘 Au-Hg-Sb 多金属成矿亚带	地层均为上志留统-下泥盆统含炭火山岩-硅质岩-细碎屑岩复理石建造	阿特巴西、库达申汞锑矿,萨瓦亚尔顿、萨瓦亚尔德锑金矿
	塔里木西北缘 Cu-Pb-Zn 多金属成矿亚带	容矿地层为晚古生代碳酸盐岩-碎屑岩建造	霍什布拉克铅锌矿床及若干铅锌铜矿化点

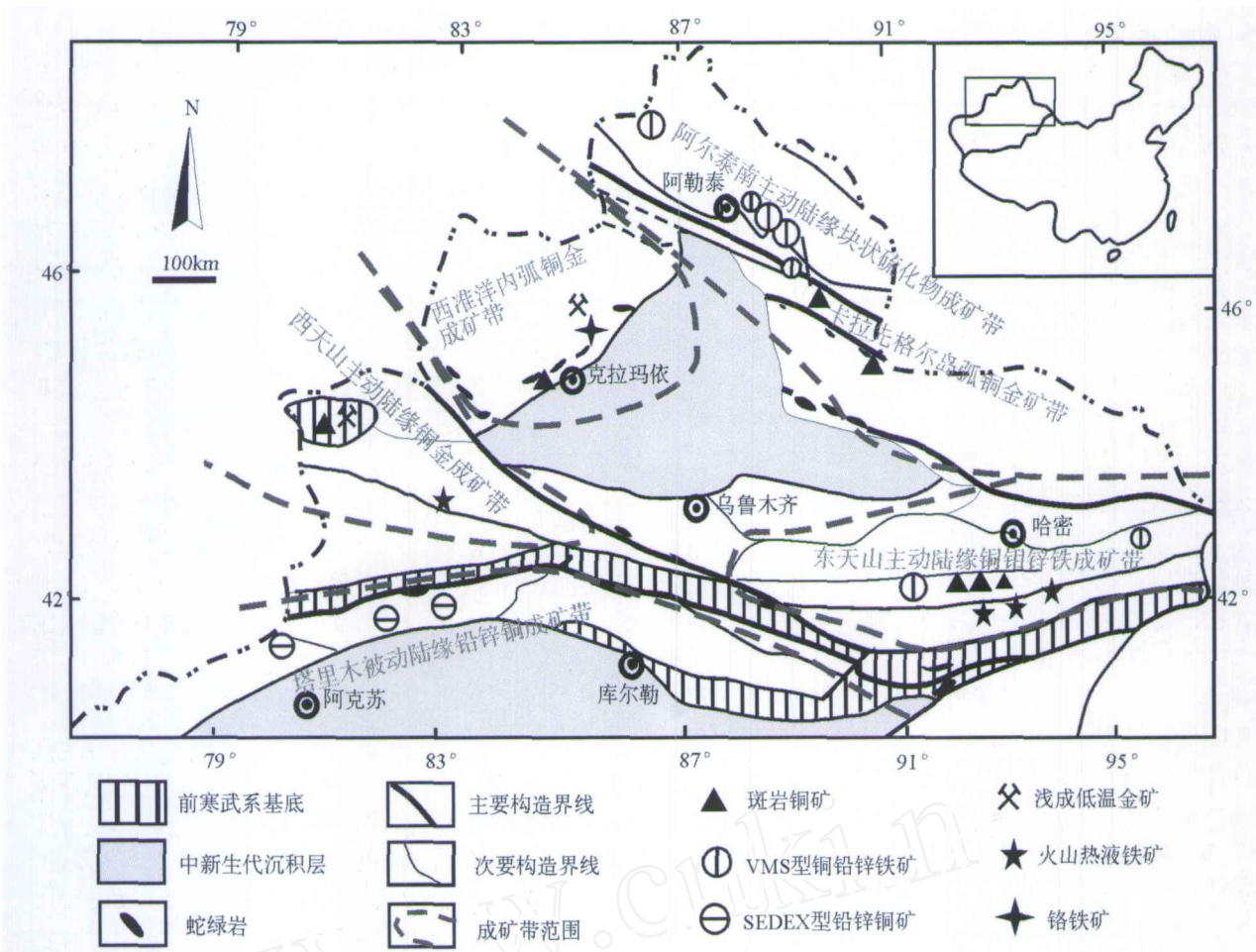


图5 北疆地区晚古生代大陆边缘成矿区带

Fig.5 Metallogenic belts of late Paleozoic continent margin in northern Xinjiang

岗闪长岩类控制,斑岩 Rb-Sr 等时线年龄为 323Ma(杨文平等,2005)。矿石具细脉-浸染状构造,金属矿物主要为黄铜矿和黄铁矿以及少量的磁铁矿、斑铜矿和镜铁矿,其中磁铁矿形成早于黄铜矿指示了岩浆具有较高的氧化状态。矿化蚀变分带与典型斑岩铜矿相似,岩体内见钾长石化、黑云母化、硅化和黄铁矿化,接触带见石英绢云母化,围岩见青磐岩化。岩石地球化学表明部分含矿斑岩具有埃达克岩的特征(杨文平等,2005;万博和张连昌,2006),具有高 Sr、低 Yb 和 Y、亏损重稀土、无负钨异常,以及低的 Sr 同位素初始值等特征。综上所述,卡拉先格尔斑岩铜矿带形成于晚古生代与洋壳俯冲有关的岛弧环境。

3.3 东天山晚古生代活动大陆边缘成矿区带

3.3.1 哈尔里克火山弧 Cu-Pb-Zn-Ag 成矿亚带

该成矿亚带位于泥盆-石炭纪哈尔里克火山岛弧带东段,卡拉麦里、吐哈盆地北缘 NEE 向断裂为控岩导矿深大断裂。区域地层以石炭系为主,下石炭统雅满苏组为一套海相火山岩建造,中石炭统居里得能组为一套浅变质岩系,其次为零星分布的泥盆系。区内侵入岩分布广泛、种类繁多,从超基性岩到中性岩均有出露,其中以酸性岩分布最为广

泛,多呈大型花岗岩基,属华力西中期产物。通过初步的地质调查,发现泥盆-石炭纪火山机构对多金属矿化具有明显的控制作用。目前在小石头泉多金属矿区已发现的矿床和矿点有铜山铜矿、银山银多金属矿、金山金铜多金属矿和铅山铅矿化点(方同辉等,2002)。

我们初步调查发现,铜山铜多金属矿区大面积出露英安斑岩和安山玢岩,围岩为遭受强烈褶皱变形的火山-沉积岩,英安斑岩和安山玢岩除有较强的蚀变外,变形较弱;矿床成因类型可能为与火山活动有关的次火山岩-斑岩型铜矿。银山银多金属矿床具有斑岩-脉状铜矿的一些特征,地表可见分布于红褐色安山玢岩与安山质凝灰岩和灰色玄武安山岩中的含铜石英脉。矿石的结构构造类型多样,有浸染状、角砾状、块状蚀变岩型和细脉状矿石。其中脉状矿石为多金属硫化物脉,硫化物矿物有黄铜矿、斑铜矿、辉锰矿、辉银矿和闪锌矿。角砾状矿石的角砾为蚀变火山岩/玄武安山岩,胶结物为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和辉银矿等硫化物和石英钾长石构成的脉体。块状蚀变岩型矿石主要由团斑状或网脉状硫化物(以黄铜矿和黄铁矿为主)和流体矿物石英和钾长石构成,局部可见钾化蚀变岩呈角砾状为石英脉包裹和穿切的现象。浸染状矿石的特征为细粒黄铁矿和黄铜矿

浸染状分布于蚀变的玄武安山岩中。这些不同结构构造矿石在空间分布上可能有一定的分带性。我们认为本地区的岛弧火山岩与大南湖地区具有相似性,除应继续寻找次火山热液型铜矿外,还应加强斑岩铜金矿的找矿工作。

3.3.2 大南湖岛弧 Cu(Mo)成矿亚带

古生代钙碱性火山-侵入岩及其有关的铜(金)矿床广泛分布于东天山大南湖岛弧带。土屋-延东铜矿带位于东天山晚古生代大南湖岛弧带,矿带近东西向展布,延长大于100公里,北临大草滩断裂,南距康古尔塔格断裂1~3km。矿带范围出露地层主要为下石炭统企鹅山群,岩性为玄武岩、安山岩、安山质角砾熔岩、火山角砾岩、岩屑砂岩、复成份砾岩和沉凝灰岩等。土屋-延东斑岩铜矿带包括土屋、土屋东和延东三个成型矿床以及灵龙、赤湖小型矿床(矿点),其中土屋和延东铜矿已达大型-特大型规模。土屋-延东斜长花岗斑岩是重要的容矿和控矿地质体。研究表明土屋-延东斑岩铜矿带容矿的斜长花岗斑岩的化学组成满足埃达克岩(Defant and Drummond, 1990)的条件。斑岩具有较高的LREE和较低的Y含量,相对亏损Nb、Ta、Ti和P,富集Sr,与典型岛弧火成岩有明显区别(张连昌等,2004b)。研究表明含矿斑岩Sr-Nd同位素组成接近MORB值,进而推测斜长花岗斑岩的岩浆起源于洋壳玄武质岩石的部分熔融。

3.3.3 雅满苏岛弧(后)Fe-Cu-Au成矿亚带

在阿齐克库都克断裂至雅满苏断裂之间,西起阿齐山,东止新疆甘肃边界,东西长达600余千米,南北宽约25~30千米,分布着一系列火山穹隆、火山凹陷和火山机构,与之相伴有一系列火山岩型铁铜金矿床,如阿齐山、雅满苏、红云滩、赤龙峰、黑峰山、小尖山等铁铜矿床,雅西-西北坡铜金矿(方维萱等,2006),构成东天山著名的铜铁金矿产富集区。

雅满苏铁矿位于雅满苏复背斜南翼,南以阿齐克塔格大断裂与卡瓦布拉克一星星峡中天地块相邻。含矿岩系为下石炭统雅满苏组中基性火山碎屑岩,主要岩性为流纹质-英安质凝灰岩、蚀变安山质晶屑凝灰岩、玄武质晶屑凝灰岩、基性角砾岩、集块角砾岩、大理岩等。矿体与围岩界线比较清晰,顶板为玄武质集块岩夹凝灰岩,多已蚀变为石榴石夕卡岩、复杂夕卡岩;底板为玄武集块岩夹大理岩透镜体。铁矿石中金属矿物以磁铁矿为主,呈半自形细粒状,次为假象赤铁矿、赤铁矿、褐铁矿、镜铁矿,伴生的金属硫化物以黄铁矿为主,次为黄铜矿及铅锌矿。非金属矿物主要以石榴石为主,次为绿泥石、阳起石、碳酸盐等。矿床成因为火山气液交代充填-富矿流体贯入的复合成因铁矿(王兴宝,2005)。

3.4 西准噶尔洋内弧斑岩-浅成低温热液成矿区带

3.4.1 萨吾尔火山弧浅成低温热液 Au 成矿亚带

萨吾尔浅成低温热液金成矿亚带,是新疆北部重要的金矿带,其中已发现了2个大中型金矿床、5个中小型金矿床和一系列金矿(化)点,阔尔真阔腊金矿床和布尔克斯岱金

矿床是该金矿带中两个最重要的金矿床。

萨吾尔晚古生代岛弧带上,出露钙碱性安山质熔岩、安山质熔结角砾岩、火山碎屑岩及次火山岩等。铷-锶法测得安山岩成岩年龄为343~347Ma,时代为早石炭世。并且两个矿床位于同一火山机构中,容矿围岩为同一火山活动旋回的安山岩、安山质熔结角砾岩及安山质凝灰岩,经地层对比,属下石炭统黑山头组。岩石地球化学分析表明(申萍等,2005)该套火山岩为岛弧环境形成的钙碱性岩石。火山机构环状、放射状断裂系发育,区域近东西向断裂叠加其上,二者控制了矿体分布;火山晚期热液浸染状及脉状矿化发育,形成硫化物型矿石。围岩蚀变主要为硅化、黄铁矿化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化。成矿阶段有黄铁矿阶段、细粒黄铁矿-硫化物阶段和石英-碳酸盐阶段。金矿床石英流体包裹体Ar-Ar年龄测定表明(申萍等,2005),成矿年龄为332~336Ma,说明成矿流体是伴随火山活动的发生而形成,但稍晚于火山活动。矿床地质和地球化学特征说明该矿床成因属与火山活动有关的浅成低温热液金矿。

3.4.2 达拉布特洋内弧斑岩铜矿成矿亚带

代表矿床为新近发现的包古图斑岩铜矿。包古图斑岩铜矿位于新疆西准托里金铜成矿带的东段、准噶尔盆地西北缘达拉布特大断裂的南侧。区域出露的主要地层为下石炭统希贝库拉斯组 and 包古图组,二者主要岩性为凝灰质砂岩、夹玄武岩和安山岩。新疆西准地区分布着各类中酸性侵入岩,既有巨大的岩基和中小型的岩株,也有超浅成相的岩枝或岩脉。西准侵入岩较为复杂,从中性的闪长岩、石英闪长岩,到中酸性的花岗闪长岩和酸性的二长花岗岩、碱性花岗岩均有出露。以NEE向的达拉布特断裂为界,断裂以南的包古图地区主要分布为石英闪长岩小岩株,一般面积数平方公里,有近20个小岩体;而断裂以北主要为花岗岩基分布区,著名的有铁厂沟、哈图、阿克巴斯套和庙尔沟花岗岩等。区域花岗岩类绝大多数侵位于石炭系地层中。前人的年代学研究表明(沈远超和金成伟,1993),包古图地区的小岩体Rb-Sr等时线年龄为323Ma,角闪石K-Ar年龄为322Ma,锆石U-Pb年龄为305Ma,而大的花岗岩基的年龄为270~230Ma。

在包古图地区已发现含铜矿的斑岩有II和V号小岩体,I、III和IV号也发现有铜矿化,其中以V号岩体铜矿化最为发育。作者初步研究发现,包古图斑岩铜矿含矿斑岩主量和微量元素组成基本满足埃达克岩(Defant and Drummond, 1990)的条件,即 $SiO_2 > 56\%$, $Al_2O_3 > 15\%$, $MgO < 3\%$, 贫Y和Yb($Y < 18\mu g/g$, $Yb < 1.9\mu g/g$), Sr高($> 400\mu g/g$), HREE明显亏损等(张连昌等,2006)。

关于西准的晚古生代泥盆-石炭纪构造环境有多种看法,主要包括弧后盆地(沈远超等1993;金成伟等1993)、小洋盆-残留海盆(朱宝清和冯益民,1994)和岛弧增生环境(王方正等,2002)。作者依据区域火山岩和斑岩地球化学特征,认为泥盆-石炭纪西准地区的地质环境并非弧后盆地和残余

海盆,可能是洋壳俯冲作用有关的岛弧环境。

3.5 西天山(伊犁地块)活动大陆边缘成矿区带

研究区位于伊犁地块的北缘,晚古生代由于受北侧准噶尔洋板块的俯冲作用影响,形成阿拉套-科古琴晚古生代岛弧带、博罗霍洛晚古生代弧内(后)盆地(Gao *et al.*, 1988)。根据矿化组合和分布特征,研究区从北到南可划分为2条东西向的成矿带:阿拉套-科古琴铜多金属成矿带、博罗霍洛金多金属成矿带。

3.5.1 阿拉套-科古琴岛弧铜多金属成矿亚带

阿拉套-科古琴晚古生代岛弧带北起阿拉山口-艾比湖-巴音沟断裂,南至科古琴山。与铜多金属成矿作用有关的地层主要为中元古代浅变质碳酸盐岩和硅质岩、泥盆系火山碎屑岩和熔岩等,侵入岩为海西中期中酸性花岗岩,这些岩石含铜丰度值远远高于地壳铜克拉克值,为铜矿床的矿源层。成矿作用明显与海西中期中酸性岩浆的侵入活动有关(赵振华等,2004),主要形成斑岩型和夕卡岩型的铜多金属矿床。铜多金属矿床分布明显受东西向区域性构造控制,从西到东有喇嘛苏斑岩-夕卡岩型铜矿、喇嘛萨依夕卡岩型铜矿和达巴特斑岩型铜矿(王志良等,2004)。

喇嘛苏铜矿床位于阿拉套-科古琴铜多金属成矿带西部,矿区出露地层为中元古界库西姆切克群大理岩化灰岩、白云质硅质灰岩、灰岩、板岩和千枚岩等。与成矿有关的侵入岩主要为花岗斑岩和花岗闪长斑岩,其侵位时代为海西中期。矿区构造复杂,从南至北是一个复式背斜,一系列东西向及南北向断裂发育,其中一近东西向的韧性剪切带横贯矿区,控制着岩浆岩和矿体的分布。矿体主要赋存在浅成中酸性岩体或岩体与地层的接触带,矿体一般呈层状、似层状、浸染状、脉状产出。矿石中原生金属矿物为磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、硫铜钴矿、辉钼矿等,脉石矿物主要为石榴子石、透辉石、石英、方解石和绿泥石。成矿作用有两种类型,先为斑岩热液矿化,后为夕卡岩矿化。研究表明该矿床为一斑岩-夕卡岩型铜矿床(魏合明等,1998;王志良等,2004)。

3.5.2 博罗霍洛弧内火山盆地浅成低温金铜矿亚带

博罗霍洛金多金属成矿带,位于科古琴山和阿吾拉勒山之间的博罗霍洛山地区,大地构造单元为一晚古生代弧内(后)盆地,NWW向的区域性断裂控制着火山盆地的展布。代表矿床有阿希金矿、京希开布拉克金矿、伊尔曼德金矿和莱历斯高尔铜矿等。

金多金属矿床主要产在吐拉苏-也里莫墩断陷火山盆地中,金矿床的赋矿围岩多数为下石炭统大哈拉军山组火山岩,少数为浅成的二长斑岩。近EW向的区域性断裂、SN向断裂和火山机构控制着金矿体的分布。金矿床主要有两种成因类型,浅成低温热液型和斑岩型,前者以阿希、京希布拉克和伊尔曼德金矿为代表,后者以塔吾尔别克和阿庇因迪金矿为代表,这些金矿床构成一个醒目的以阿希金矿为中心、

与火山岩有关的金成矿带。

阿希金矿位于博罗霍洛金多金属成矿带西部,矿区出露地层主要为下石炭统大哈拉军山组辉石安山岩、英安岩、火山角砾岩和凝灰岩,下石炭统阿恰勒河组海相碎屑岩和生物碎屑灰岩等。侵入岩主要为海西中期浅成二长斑岩。金矿体发育于火山机构边缘的环形断裂中,并受矿区南侧NWW向区域性断裂和后期南北向基底断裂控制。金矿体主要赋存在大哈拉军山组火山碎屑岩和火山熔岩中,研究表明这套火山岩具有岛弧火山岩的地球化学特征(朱永峰等,2005),阿希金矿为一低硫绢云母-冰长石型浅成低温热液型矿床(沙德铭,1998),吐拉苏晚古生代火山盆地具有更大的成矿潜力。

3.6 塔里木板块被动大陆边缘沉积型铅锌成矿带

3.6.1 塔里木西北缘金-铋-汞多金属成矿亚带

塔里木板块古生代被动陆缘巨厚碎屑沉积中,常发育含碳碎屑岩建造,其中盛产金-铋-汞矿床。其中金矿床产于志留纪-石炭纪地层中,为被动陆缘型含碳碎屑岩建造。周围岩浆作用不发育,岩层变质一般为低绿片岩相。矿化为低品位、大矿量、金-铋伴生,常达超大型规模,如南天山带萨瓦亚尔顿金铋矿床。该矿集区目前发现4个汞-汞铋矿床(阿特巴西、库达申等)、2个铋矿床、2个大型铋金矿床(萨瓦亚尔顿、萨瓦亚尔德)和2个铜金矿床。出露地层均为上志留统-下泥盆统含炭火山岩-硅质岩-细碎屑岩复理石建造(杨建国等,2004)。此类型矿床含矿围岩为被动陆缘拉张阶段沉积,但成矿时间目前未有定论,一般倾向于认为同生沉积时形成金矿源层,富集矿体则形成于一次较大的深层热流作用,后者并造成铋和汞的成矿,使中亚南天山成为世界最大的铋-汞矿带之一。

3.6.2 塔里木西北缘多金属成矿亚带

塔里木板块西北边缘在前寒武纪基底之上发育古生代典型的被动大陆沉积体系,通过对泥盆纪铅锌成矿系统研究,认为铅锌成矿受三级沉积盆地和后期构造改造复合控制。该矿集区目前发现2个汞-汞铋矿床、2个铋矿床、1个铜金矿床、1个中型铅锌矿床(霍什布拉克)及数个铅锌矿化点和锡(钼)矿(化)点。出露地层、沉积环境与东阿赖地区相似,为海西早期晚志留世-早泥盆世含碳酸盐岩-细碎屑岩建造,区内环状构造发育,是西南天山火山岩和酸性侵入岩最发育的地区。

4 有待深入研究的问题

4.1 大陆边缘侧向增生与成矿系统的关系

大陆边缘成矿系统是陆壳增生作用的产物,对成矿系统和成矿区带的研究也能为大陆侧向增生的认识提供依据。Sengor *et al.* (1993)曾认为弧岩浆作用和拼贴作用(侧向增生)是中亚造山带年轻陆壳生长的主要机制,而Jahn *et al.*

(2004)则提出这些年轻陆壳的形成主要与造山后幔源岩浆底侵作用(垂向增生)有关,并且花岗岩形成于早期底侵体的部分熔融。根据现代构造理论,在会聚板块边界,由于洋壳的俯冲产生岛弧或安第斯型的岩浆作用,使得陆壳得以增生;同时,洋底高原(包括洋内岛弧)也以地体的形式拼贴在大陆边缘。通过我们对新疆古生代大陆边缘的初步研究,表明大陆增生既有以弧岩浆作用(伴有拼贴增生)为主的侧向增生,也有与幔源岩浆底侵有关的垂向增生。对于大陆边缘而言,以侧向增生为主,垂向增生为次。

大陆增生与成矿作用的关系一直是矿床学和地球动力学研究的重要内容,也是现今矿床学研究的趋势所在。世界上广泛分布的斑岩铜矿与导致大陆侧向增生的俯冲带的密切空间联系,导致了该矿床形成与板块俯冲作用有关认识的确立。近年人们发现大多数斑岩铜矿的形成与岛弧和陆缘弧埃达克岩关系密切(Thieblemont *et al.*, 1997; Sajona and Maury, 1998; Oyarzum *et al.*, 2001),显然,这既是一个矿床学问题,又是一个地球动力学问题。埃达克岩将成矿作用与具体的地球动力学密切地联系在一起。研究表明(张连昌等,2004b,熊小林等,2005),东天山吐哈盆地南缘和阿尔泰山南缘矿化斑岩的属性是洋壳俯冲熔融成因的埃达克岩,同时反映该地区的构造环境为岛弧环境。

4.2 早古生代大陆边缘及其成矿特征

从组成岩石建造的构造背景看,中亚地区的地壳主要由前震旦纪地块、古生代岩浆弧和俯冲增生-碰撞杂岩等组成,其上叠加以晚石炭世至二叠纪的后碰撞杂岩和中生代-新生代陆相上叠盆地堆积物。目前已经获得的资料表明,新疆北部在奥陶纪-中志留世期间存在着与泥盆纪-早石炭世类似的板块俯冲作用,但是至今尚未发现与泥盆纪-早石炭世类似的早古生代活动陆缘型金属矿床(李锦铁等,2002),这是有待研究的问题。

4.3 新疆晚古生代大陆边缘成矿系统和成矿区带与境外对比

新疆周边国家分布着一系列大型-超大型金属矿床,这些矿床向国内如何延伸一直是大家关注的热点问题。本文依据晚古生代大陆边缘演化与成矿的特征做初步对比,其中包括:

(1)东天山-北山-南蒙古晚古生代构造-岩浆成矿带的对比。研究表明土屋-延东斑岩铜矿成岩成矿年龄在330~361Ma之间,南蒙古查干苏布尔加斑岩铜矿成矿年龄为360~367Ma(Watanabe *et al.*, 2001),可见东天山与南蒙古斑岩铜矿带成矿时代可以类比,均在365~330Ma之间。我们初步调研表明,东天山-蒙古南部晚古生代大陆边缘成矿带是亚洲大陆内部最重要的斑岩巨型金铜成矿带,现已探明的超大型-大型金铜矿床11处,成矿时代以晚古生代为主。南蒙古欧玉-查干矿化集中区,地处西伯利亚板块南缘蒙古南古

生代岛弧内,由欧玉陶勒盖、查干苏布尔加、奥尤特欧乌和奥尤特乌兰铜矿床以及一大批铜矿化异常区所构成。矿化集中区内先后探明铜储量2200万吨,黄金400t和钼60万吨,是迄今为止亚洲最大的铜矿区。初步研究表明欧玉-查干斑岩铜矿集中区发育于西伯利亚南缘古生代增生岛弧环境,与东天山土屋-延东斑岩铜矿形成环境相似。

(2)中国西天山-乌兹别克斯坦-吉尔吉斯斯坦晚古生代活动大陆边缘金铜铁成矿带的对比。中国西天山博罗科努山矿集区,与巴尔喀什铜金矿集区同处于巴尔喀什-伊犁地块上,成矿地质环境一致,实际上是巴尔喀什铜金成矿带、楚伊犁矿带的东延。从构造上看,巴尔喀什矿集区内的伊犁铜矿带已延伸至我国的阿吾拉勒山西段。离中国最近的哈萨克斯坦科克赛斑岩铜矿(Cu 164万t, Au 37t)和新疆的群吉萨依斑岩铜矿均位于伊犁河北侧。中国西天山博罗科努山矿集区目前已发现100余处铜、金和铅锌矿床(点),包括新疆伊宁阿希火山岩大型金矿、温泉喇嘛苏斑岩-矽卡岩中型铜矿,尼勒克县群吉萨依斑岩铜矿。哈萨克斯坦东部巴尔喀什铜金矿集区含33个铜矿和3个金矿,其中大型矿床有科翁腊德斑岩铜矿(790万t)、阿克斗卡斑岩铜矿(588万t)、科克赛斑岩铜矿(164万t)、博尔雷斑岩-矽卡岩铜矿、萨亚克矽卡岩铜矿和阿尔哈雷陆相火山岩金矿(72t)。该矿集区铜矿以斑岩型为主,还有矽卡岩、火山沉积和热液型,金矿主要为陆相火山岩型。斑岩铜矿集中分布于巴尔喀什-伊犁晚古生代火山-侵入岩带的边缘。

(3)新疆西南天山-中亚国家中天山成矿带的对比。许多同类型金矿床产于志留纪-石炭纪地层中,为被动陆缘型含碳碎屑岩建造。周围岩浆作用不发育,岩层变质一般为低绿片岩相。矿化为低品位、大矿量、金-锑伴生,常达超大型规模。如新疆南天山带萨瓦亚尔顿金锑矿床、乌兹别克斯坦穆龙套金矿、塔吉克斯坦吉拉乌金矿,均为超大型规模。

(4)新疆阿尔泰山南缘块状硫化物成矿带与矿区阿尔泰山成矿带的对比。矿区阿尔泰山典型矿床包括哈萨克斯坦的列宁诺戈尔斯克、季申、尼古拉耶夫、别列佐夫等大型铜矿床,它们均产于拉张环境的泥盆系火山岩及火山-沉积建造中,由早到晚组成铁-铅锌-铜锌金-含铜黄铁矿的完整序列。矿床数量之多,规模之大,均为世界罕见。新疆阿尔泰山南缘是该带的东延端部,也产相同的成矿系列。早泥盆世蒙库铁矿、可可塔勒及铁木尔特铅锌矿床代表剖面下部及近陆缘的矿床系列,中泥盆世阿舍勒铜-锌块状硫化物矿床代表拉张阶段剖面中上部矿化。但新疆与哈萨克斯坦在矿床规模和数量均无法对比,这是有待进一步研究的问题。

致谢 研究工作得到高俊、王京彬、肖文交、赵振华、徐新和秦克章研究员,以及陈汉林、Goldforb和Windley教授等的帮助,尤其是和肖文交研究员的讨论使作者受益匪浅,审稿人提出了宝贵的修改意见,在此一并表示衷心感谢。

References

- Defant MJ, Drummond MS. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere. *Nature*, 347: 662 - 665
- Deng GA, Cai HQ. 2004. Geological Character of Lead-zinc deposit of Huoshibulake in Xinjiang. In: He and Xu (eds.) The collected paper on Geology and minerals of Tianshan mountain, Xinjiang area, China. Beijing: Geological Publishing House, 179 - 186 (in Chinese with English abstract)
- Fang TH, Qin KZ, Wang SL. 2002. Geological character and exploration prospect of copper and multi-metal deposits in Xiaoshitouquan district, east Tianshan. *Xinjiang Geology*, 20: 371 - 374
- Fang WX, Gao ZQ, Jia RX. 2006. Metallogenic background and geochemical character of lower Carboniferous volcanic rocks in No. 371-Xibeipo copper-gold mineralization belt in the Yaxi area, east Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 215 - 224
- Gao J. *et al.* 1988. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, northwestern China. *Tectonophysics*, 287: 213 - 231
- Goldforb R, Mao JW, Craig Hart, Wang DH, Eric Anderson, and Wang ZL. 2003. Northern Xinjiang Uygur Autonomous Region, Northwestern China Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan. In: Mao, Goldforb, Seltmann, Wang, Xiao and Hart (eds.) Tectonic and metallogenic evolution of the Altay Shan. London: Proc. Vol. Interna. Symp. IGCP-473, IAGOD Guidebook Series 10: CERCAMS/NHM, 7 - 17
- Han CM, Xiao WJ, Zhao GC, Mao JW, Yang JM, Wang ZL, Yan Z, Mao QG. 2006. Geological characteristics and genesis of the Tuwu porphyry copper deposit, Hami, Xinjiang, Central Asia. *Ore Geology Reviews*, 29: 77 - 94
- Hang BF, He GQ. 1991. The Tectonics of Devonian marine volcanic in the southern margin of Altai, China. *Xingjing Geology*, 3: 89 - 100 (in Chinese)
- He GQ, Hang BF, Yue YJ. 1990. The Tectonic Evolution of Chinese Altai. *Xingjing Geology*, 2: 9 - 20 (in Chinese)
- He GQ, Liu DQ, Li MS, Song YL, Zhou RH. 1995. The Five stage model of crustal evolution and metallogenic series of chief orogenic belt in Xinjiang. *Xingjing geology*, 13: 99 - 196 (in Chinese with English abstract)
- Jahn BM, Capdevila D, Liu D, Vernon A and Badarch G. 2004. Sources of Phanerozoic granitoids in the transect Bayanhongor-Ulaan Baatar, Mongolia: geochemical and Nd isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth. *J. Asian Earth Sci.*, 23: 629 - 654
- Li HQ, Xie CF, Chang HL. 1998. Study on metallogenic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in north Xinjiang, China. Beijing: Geology Publishing House, 1 - 264 (in Chinese with English abstract)
- Li JY, Wang KZ, Li WQ, Guo HC, Song B, Wang Y. 2002. Tectonic evolution since the late Paleozoic and mineral prospecting in eastern Tianshan Mountains, NW China. *Xinjiang Geology*, 20(4): 295 - 301 (in Chinese with English abstract)
- Li JY, Xu X. 2004. Main problems of geological tectonics and mineralization processes in northern Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 22: 119 - 124
- Li JY, Xiao WJ, Wang HZ, Sun GH, Gao LM. 2003. Neoproterozoic-Paleozoic tectonostratigraphy, magmatic activities and tectonic evolution of eastern Xinjiang, NW China. In: Mao, Goldforb, Seltmann, Wang, Xiao and Hart (eds.) Tectonic and metallogenic evolution of the Altay Shan. London: Proc. Vol. Interna. Symp. IGCP-473, IAGOD Guidebook Series 10: CERCAMS/NHM, 7 - 17
- Li JY, He GQ, Xu X *et al.* 2006. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation. *Acta Geologica Sinica*, 80: 148 - 168
- Liu DQ, Tang YL, Zhou RH. 2001. Basic character of mineralization processes on Paleozoic orogen in Central Asia. *Xibei Geology*, 34: 1 - 10 (in Chinese with English abstract)
- Niu HC, Xu JF, Yu XY, Chen F, Zheng ZP. 1999. The geologic meaning of the discovery of andesite rich in magnesium in Altai, Xinjiang. *Chinese Science Bulletin*, 109: 1002 - 1004
- Oyarzun R, Marquez A, Lillo J, Lopez I, Rivera S. 2001. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism. *Mineralium Deposita*, 36: 794 - 798
- Qin KZ, Fang TH, Wang SL. 2002. Plate tectonics division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan Mountains, NW China. *Xinjiang Geology*, 20(4): 302 - 308 (in Chinese with English abstract)
- Qin KZ, Xiao WJ, Zhang LC, Xu XW, Hao J, Sun S, Li JL. 2005. Eight stages of major ore deposits in northern Xinjiang, NW-China: Clues and constraints on the tectonic evolution and continental growth of Central Asia. In: Jingwen Mao and Frank Bierlein editors: Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Springer, Volume 2: 1327 - 1330
- Rui ZY, Liu YL, Wang LS and Wang YT. 2002. The eastern Tianshan porphyry copper belt in Xinjiang and its tectonic framework. *Acta Geologica Sinica*, 76(1): 83 - 94 (in Chinese with English abstract)
- Sajona FG and Maury RC. 1998. Association of adakites with gold and copper mineralization in the Philippines. *Earth Planet. Sci.*, 326: 27 - 34
- Shen P, Shen YC, Liu TB, Li GM, Zeng QD. 2005. The Geochemistry and its significances of ore fluids in Kuoerzhenkela gold deposit, Xinjiang. *Science in China (ser. D)*, 35(9): 862 - 869
- Sengör AMC, Natal'in Burtman VS. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364: 299 - 307
- Thieblemont D, Stein G and Lescuyer JL. 1997. Epithermal and porphyry deposits: the adakite connection. *Earth Planet. Sci.*, 325: 103 - 109
- Tian PR. 1995. Tectonic and metallogeny in Centre Asia. *Ore Deposit and Geology*, 2: 95 - 101
- Wan B, Zhang LC. 2006. Sr-Nd-Pb isotope geochemistry and tectonic setting of Devonian polymetallic metallogenic belt on the Southern margin of Altaid, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 145 - 152
- Wang FZ, Yang MZ, Zheng JP. 2002. Geochemical evidence of the basement assembled by island arc volcanics terranes in Junggar basin. *Acta Petrologica et Mineralogica*. 21(1): 1 - 10 (in Chinese with English abstract)
- Wang JB, Qin KZ, Wu ZL, Hu J, Deng JN. 1998. Volcanic-Exhalative-Sedimentary lead zinc deposits in the Southern margin of the Altai, Xinjiang. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 209 (in Chinese with English abstract)
- Wang XB. 2005. Analysis of the geology and genesis of Yamansu Fe deposit. *Geology and Mineral Exploration*, 20: 125 - 128 (in Chinese with English abstract)
- Watanabe Y and Stein HJ. 2000. Re-Os ages for the Erdenet and Tsagaan Suvarga porphyry Cu-Mo deposits, Mongolia, and tectonic implications. *Econ. Geol.*, 95: 1537 - 1542
- Windley BF, Kröner A, Guo J, Li Y, Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic Geology of the Altai Orogen, NW China: New Zircon Age Data and Tectonic Evolution. *The Journal of Geology*, 110: 719 - 733
- Xiao W, Windley BF, Badarch G, Sun S, Li J, Qin K, Wang Z. 2004a. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids; implications for the growth of Central Asia. *Journal of the Geological Society*, 161: 339 - 342

- Xiao WJ, Zhang LC, Qin KZ, Sun S, Li JL. 2004b. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the Eastern Tianshan (China): Implications for the continental growth of central Asia. *Am. J. Sci.*, 304: 370-395
- Xiao XL, Tang YQ, Li JY. 1993. Tectonic evolution of the northern Xinjiang and its adjacent region. Beijing: Geological Publishing House. 1-180 (in Chinese)
- Xiong XL, Cai ZY, Niu HC, Chen YB, Wang Q, Zhao ZH, Wu JH. 2005. The late Paleozoic adakites in eastern Tianshan area and their metallogenic significance. *Acta Petrologica Sinica*, 21: 967-976 (in Chinese with English abstract)
- Xu JF, Chen FR, Yu XY, Niu HC, Zheng ZP. 2001. Kuerti Ophiolite in Altay Area of North Xinjiang: Magmatism of an Ancient Back-arc Basin. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20: 345-352
- Yang WP, Zhang ZC, Zhou G *et al.* 2005. Discovery of Xileketehalasu porphyry copper deposit in the Southern margin of Altai copper metallogenic belt. *Chinese Geology*, 32: 107-112 (in Chinese with English abstract)
- Yu XY, Mei HJ, Yang, XC. 1993. The volcanic and tectonic evolution of Erqis. In: Tu Guangzhi (ed.) *The earth science of the Northern Xinjiang*. Beijing: Geology Publishing House, 1-194 (in Chinese)
- Zhao ZH, Xiong XL, Wang Q. 2004. Association of late Paleozoic adakitic rocks and shoshonitic volcanic rocks in the Western Tianshan, China. *Acta Geologica Sinica*, 78: 68-72
- Zhang LC, Xiao WJ, Qin KZ, Ji JS, Yang XK. 2004a. Types, geological features and geodynamic significance of gold-copper deposits in the Kanggurtag metallogenic belt, eastern Tianshan, NW China. *Int. J. Earth Sci.*, 93: 224-240
- Zhang LC, Qin KZ, Ying JF, Xia B and Shu JS. 2004b. The relationship between ore-forming processes and adakitic rock in Tuwu-Yandong porphyry copper metallogenic belt, eastern Tianshan Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 259-268 (in Chinese with English abstract)
- Zhang LC, Wan B, Li WQ, Tang HF. 2006. Geochemistry and tectonic setting of copper-bearing porphyries on the southern margin of Tuha basin, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 225-235
- Zhu BQ, Feng YM. 1994. Plate tectonics and evolution in west Junggar of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 12(2): 91-105 (in Chinese with English abstract)
- 附中文参考文献**
- 邓贵安, 蔡宏渊. 2004. 新疆霍什布拉克铅锌矿床地质地球化学特征. 见何国琦, 徐新主编: 中国新疆天山地质矿产论文集. 北京: 地质出版社, 179-186
- 方同辉, 秦克章, 王书来, 王旭东, 惠卫东. 2002. 新疆小石头泉铜多金属矿床地质特征、找矿前景. *新疆地质*, 20: 371-374
- 方维萱, 高珍权, 贾润辛等. 2005. 东疆雅西371-西北坡铜金矿化带下石炭统火山岩地球化学特征与成矿背景. *岩石学报*, 22: 215-224
- 韩宝富, 何国琦. 1991. 中国阿尔泰山南缘泥盆纪火山岩带的大地构造性质. *新疆地质科学*, 3: 89-100
- 何国琦, 韩宝富, 岳永君. 1990. 中国阿尔泰山造山带的构造分区及构造演化. *新疆地质科学*, 2: 9-20
- 何国琦, 刘德权, 李茂松, 宋延龄, 周汝洪. 1995. 新疆主要造山带地壳发展的五阶段模式及成矿系列. *新疆地质*, 13: 99-196
- 金成伟, 沈远超, 张秀棋, 肖增岳. 1993. 西准噶尔岩浆活动及其与构造环境和金矿化的关系. 见涂光炽主编: 新疆北部固体地球科学新进展. 科学出版社, 137-150
- 李锦轶, 王克卓, 李文铅, 郭华春, 宋彪, 王瑜. 2002. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查. *新疆地质*, 20(4): 295-301
- 李锦轶, 徐新. 2004. 新疆北部地质构造和成矿作用的主要问题. *新疆地质*, 22: 119-124
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明, 朱志新. 2006. 新疆北部及邻区构造格架及其形成过程的初步探讨. *地质学报*, 80: 148-168
- 李华芹, 谢才富, 常海亮. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学. 北京: 地质出版社, p264
- 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 2001. 中亚古生代造山带成矿作用基本特征. *西北地质*, 34: 1-10
- 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1993. 新疆北准噶尔洋内弧及博宁岩系. *新疆地质*, 11(1): 1-12
- 毛景文, 杨建民, 韩春明. 2002. 东天山铜金多金属矿床成矿系统和成矿地球动力学模型. *地球科学*, 27(4): 413-424
- 牛贺才, 许继锋, 于学元, 陈繁荣, 郑作平. 1999. 新疆阿尔泰富镁火山岩系的发现及其地质意义. *科学通报*, 109: 1002-1004
- 秦克章, 方同辉, 王书来. 2002. 东天山板块构造分区, 演化与成矿地质背景研究. *新疆地质*, 20(4): 302-308
- 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 王义天. 2002. 新疆东天山斑岩铜矿带及其大地构造意义. *地质学报*, 76: 83-94
- 沈远超, 金成伟, 齐进英, 丁奎首. 1993. 西准噶尔金矿化集中区的成矿模式和形成机理. 见涂光炽主编: 新疆北部固体地球科学新进展. 科学出版社, 295-310
- 申萍, 沈远超, 刘铁兵, 李光明, 曾庆栋. 2005. 新疆阔尔真阔腊金矿田成矿流体地球化学及其意义. *中国科学(D)*, 35: 862-869
- 沙德铭, 田昌烈, 董连慧. 2003. 西天山中北段铜、金矿床成矿规律初探. *新疆地质*, 21(2): 185-189
- 田培仁. 1995. 泛论中亚构造与成矿. *矿产与地质*, 2: 95-101
- 万博, 张连昌. 2006. 新疆阿尔泰南缘泥盆纪多金属成矿带 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学与构造背景探讨. *岩石学报*, 22: 145-152
- 王方正, 杨梅珍, 郑建平. 2002. 准噶尔盆地岛弧火山岩地体拼合基地的地球化学证据. *矿物岩石学杂志*, 1: 1-10
- 王京彬, 秦克章, 吴志亮, 胡建辉, 邓吉牛等. 1998. 阿尔泰型火山喷流沉积型铅锌矿床. 北京: 地质出版社, p209
- 王志良, 毛景文, 张作衡, 左国朝, 王龙生. 2004. 西天山古生代铜金多金属矿床类型、特征及其成矿地球动力学演化. *地质学报*, 78: 836-847
- 王兴保. 2005. 雅满苏铁矿床地质特征及成因浅析. *地质找矿论丛*, 20: 125-128
- 隗合明, 王全庆, 宁晰春. 1999. 西天山北部大地构造背景与成矿关系及找矿预测. *西安工程学院学报*, 21(4): 14-18
- 许继峰, 陈繁荣, 于学元, 牛贺才, 郑作平. 2001. 新疆北部阿尔泰地区库尔提蛇绿岩: 古弧后盆地系统的产物. *岩石矿物学杂志*, 20: 345-352
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 朱宝清, 李锦轶, 赵民. 1992. 新疆北部及邻区大地构造. 北京: 地质出版社, p169
- 熊小林, 蔡志勇, 牛贺才, 陈义兵, 王强, 赵振华, 吴金花. 2005. 东天山晚古生代埃达克岩成因及铜金成矿意义. *岩石学报*, 21: 967-976
- 杨建国, 闫晔轶, 徐学义, 马中平, 赵仁夫, 姚文光. 2004. 西南天

- 山成矿规律及其与境外对比研究. 矿床地质, 23(1): 20-30
- 杨文平, 张招崇, 周刚, 等. 2005. 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. 中国地质, 32: 107-114
- 于学元, 梅厚均, 杨学昌. 1993. 额尔齐斯火山岩及构造演化. 新疆北部固体地球科学进展. 北京: 地质出版社, p194
- 翟裕生. 1999. 论成矿系统. 地学前缘, 6: 14-27
- 张连昌, 秦克章, 英基丰, 夏斌, 舒建生. 2004. 东天山土屋-延东斑岩铜矿带埃达克岩及其与成矿作用的关系. 岩石学报, 20: 259-268
- 张连昌, 万博, 李文铅, 唐红峰. 2006. 新疆吐哈盆地南缘铜矿带含矿斑岩的地球化学及形成环. 岩石学报, 22: 225-235
- 赵振华, 白正华, 熊小林, 等. 2004. 西天山北部晚古生代火山-浅侵位岩浆岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年. 地球化学, 32(4): 317-327
- 朱宝清, 冯益民. 1994. 新疆西准噶尔板块构造及其演化. 新疆地质, 2: 91-105
- 朱永峰, 张立飞, 古丽冰, 郭璇, 周晶. 2005. 西天山石炭纪火山岩 SHRIMP 年代学及其微量元素地球化学研究. 科学通报, 50: 204-214

www.cnki.net