

新疆西天山哈勒尕提-木祖克铁铜铅锌矿床 地质特征及成矿条件分析

王新利^{1,2}, 顾雪祥^{1,3}, 彭义伟¹, 章永梅^{1,3}, 章幼惠⁴, 张力强¹, 何格¹,
周超¹, 许杨⁴

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 鑫达金银开发中心, 北京 100038;
3. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 4. 中国冶金地质总局中南地质勘查院,
湖北 武汉 430081)

摘要: 哈勒尕提-木祖克铁铜铅锌矿床是近年来在新疆西天山博罗科努成矿带内发现的一处典型的矽卡岩型铜多金属矿床, 目前为中型规模, 有达到大型矿床的潜力。矿体赋存于大瓦布拉克岩体与上奥陶统呼独克达坂组(O_3h)大理岩、大理岩化灰岩的接触带。成矿受岩浆岩、地层岩性和接触带构造“三位一体”联合控制。大瓦布拉克岩体主要岩性为二长花岗岩和花岗闪长岩, 岩石地球化学显示高硅、准铝、低镁、富碱、富钾, 为I型花岗岩, 富集大离子亲石元素, 相对亏损高场强元素, 具俯冲带岩浆岩的地球化学特点。呼独克达坂组(O_3h)碳酸盐岩地球化学性质活泼且富含铜、锌, 有利于含矿热液交代成矿, 是区域找矿的优势层位。接触带构造既是成矿地球化学障, 又是良好的成矿热液运移通道, 直接控制着矿体的产出。

关键词: 地质特征; 成矿条件; 哈勒尕提-木祖克; 西天山; 新疆

中图分类号: P618.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-6540(2014)06-1099-14

Geological features and ore-forming conditions of the Halegati-Muzuke Fe-Cu-Pb-Zn deposit in West Tianshan Mountains, Xinjiang

WANG Xin-li^{1,2}, GU Xue-xiang^{1,3}, PENG Yi-wei¹, ZHANG Yong-mei^{1,3}, ZHANG You-hui⁴,
ZHANG Li-qiang¹, HE Ge¹, ZHOU Chao¹ and XU Yang⁴

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Xinda Gold & Silver Development Center, Beijing 100038, China; 3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4. Central South Institute of Geological Survey, China Metallurgical Geology Bureau, Wuhan 430081, China)

Abstract: Located in the Boluoke'nu metallogenic belt of the West Tianshan Mountains in Xinjiang, the newly discovered Halegati-Muzuke Fe-Cu-Pb-Zn deposit is a medium-sized skarn deposit, and may potentially become a large one. The orebodies occur at the contact zone between Dawabulake pluton and marble, marbleized limestone of the Upper Ordovician Hudukedaban Formation. Orebodies are controlled in trinity by the pluton, strata and structure of the contact zone. Dawabulake pluton consists mainly of monzogranite and granodiorite, and is rich in Si, Al, K, Na, LILE, and poor in Mg, HFSE. The pluton is I-type granite and has the magma characteris-

收稿日期: 2014-02-27; 修订日期: 2014-10-10

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2011BAB06B02-02)

作者简介: 王新利(1981-), 男, 博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事矿床地质研究工作, E-mail: wangxinli_cugb@163.com。

ties of subduction zone. The carbonates of Hudukedaban Formation (O_3h) are rich in Cu and Zn, which is favorable for mineralization through hydrothermal metasomatism, and hence this horizon is likely to become a favorable formation for regional prospecting. As a geochemical barrier and a pathway of hydrothermal fluids, the structure of contact zone controls the skarn orebodies.

Key words: geological features; ore-forming conditions; Halegati-Muzuke; West Tianshan Mountains; Xinjiang

新疆北部(常指中天山以北, 大约北纬 40° 以北的疆域)地处中亚巨型成矿带的中东部, 地质构造复杂, 壳幔作用强烈, 形成了大量的贵金属、有色及稀有金属矿床(胡霭琴等, 1997; 涂光炽, 1999; 廖启林等, 2001; 张桂林等, 2002; 董连慧等, 2006; 肖文交等, 2008; 申萍等, 2010)。铜是该区域的优势矿种之一, 成矿类型齐全(陈毓川等, 2008), 主要可划分为4种类型: 斑岩Cu-Mo-Au型、岩浆Cu-Ni硫化物型、VMS Cu-Pb-Zn型和矽卡岩Cu-Mo-Au-Ag型(韩春明等, 2006)。博罗科努成矿带是西天山重要的构造-成矿单元之一, 位于西天山北缘, 近年来这一带铜矿勘查成果显著, 相继发现了喇嘛苏、达巴特、宏庆、艾木斯呆依-可克萨拉、莱历斯高尔-3571和肯登高尓等一系列铜、钼(铁、铅、锌)矿床, 成为西天山勘查和研究的热点地区(王核等, 2001; 刘宽厚等, 2003; 杨金中等, 2003; 张作衡等, 2006; 朱明田等, 2010; 贾志业等, 2011; 薛春纪等, 2011)。但除了喇嘛苏、达巴特为中型矿床外, 其余皆为小型矿床。上世纪80年代末, 新疆地矿局第一区调大队在开展阿拉尔幅1:20万地质矿产调查工作时, 对哈勒尕提矿化点进行了地表检查工作。由于工作区自然环境恶劣, 一直未开展有效的地质勘查。2005年, 中国冶金地质总局中南地质勘查院开始对哈勒尕提-木祖克矿区开展预、普查, 2010年底完成了主矿体的详查工作, 初步确定为一中型矿床。该矿床的勘查突破, 增强了博罗科努山北段地质找矿的信心。

哈勒尕提-木祖克矿床位于新疆精河县与尼勒克县交界处, 矿区中心地理坐标为东经 $83^{\circ}02'30''$, 北纬 $44^{\circ}04'30''$ 。现已初步查明铜金属量19.07万吨(平均品位1.15%), 铁矿石量1201.78万吨(平均品位TFe 27.90%), 铅金属量0.64万吨(平均品位3.28%), 锌金属量3.66万吨(平均品位4.59%)。随着矿区勘查工作的深入展开, 有成为大型矿床的潜力。由于矿床刚取得勘查突破, 且地处高寒山区, 工作条件较差, 研究程度很低, 前人仅对矿床地质特征和成矿规律作过简要介绍(曹景良, 2005; 刘延年等, 2011; 涂其军等, 2012), 制约了对矿床成矿机制

研究以及对区域成矿规律更进一步的认识。本文在已有工作的基础上, 通过对该矿床地质特征的剖析, 分析其成矿条件和矿化规律, 以期对区域成矿规律研究及地质找矿工作有所帮助。

1 成矿地质背景

从全球视角来看, 新疆北部位于西伯利亚板块、卡拉库姆-塔里木板块、华北板块和东欧板块之间的中亚造山带核心部位(图1a), 地处古亚洲洋的南缘, 是显生宙全球大陆地壳生长最为显著的地区之一(高俊等, 2009; Gao et al., 2009, 2011), 经历了复杂的古生代碰撞造山和增生造山过程(Windley et al., 1990; Xiao et al., 2009)。新疆北部地理组成的基本特征是两山(阿尔泰山和天山)夹一盆(准噶尔盆地), 在长期的地质构造演化过程中, 形成了阿尔泰、西准噶尔、东准噶尔、西天山、东天山和西南天山等几个重要的构造单元(图1b)。博罗科努成矿带位于西天山北缘, 属哈萨克斯坦-伊犁板块北缘活动大陆边缘, 其性质为一叠加在前寒武系变质结晶基底之上的古生代活动大陆边缘(Gao et al., 1998; 高俊等, 2009)。参照冯京等(2011)的构造划分意见, 其北侧与赛里木地块及阿拉套-汗吉尕早晚古生代陆缘盆地相接, 东北侧与依连哈比尔尕早晚古生代弧前-海沟带为邻, 南侧为伊宁中央地块和阿吾拉勒晚石炭世-二叠纪裂谷带(图1b、1c)。

区域地层主要为古生界, 从老到新依次为: 中奥陶统奈楞格勒达坂组(O_2nl)海相粉砂岩夹灰岩; 上奥陶统呼独克达坂组(O_3h)海相灰岩夹长石砂岩、大理岩、大理岩化灰岩; 下志留统尼勒克河组(S_1n)灰岩、大理岩夹凝灰质粉砂岩; 中志留统基夫克组(S_2j)海相灰岩夹钙质粉砂岩和沉积灰岩; 上志留统库茹尔组(S_3k)海相粉砂岩、泥质粉砂岩夹灰岩; 上志留统博罗霍洛山组(S_3b)海相粉砂岩、粉砂质泥岩; 中泥盆统头苏泉组(D_2ts)海相安山岩、英安岩及凝灰岩; 中泥盆统汗吉尕组(D_2hj)海相泥质粉砂岩及粉砂质泥岩; 下石炭统大哈拉军山组(C_1d)安山

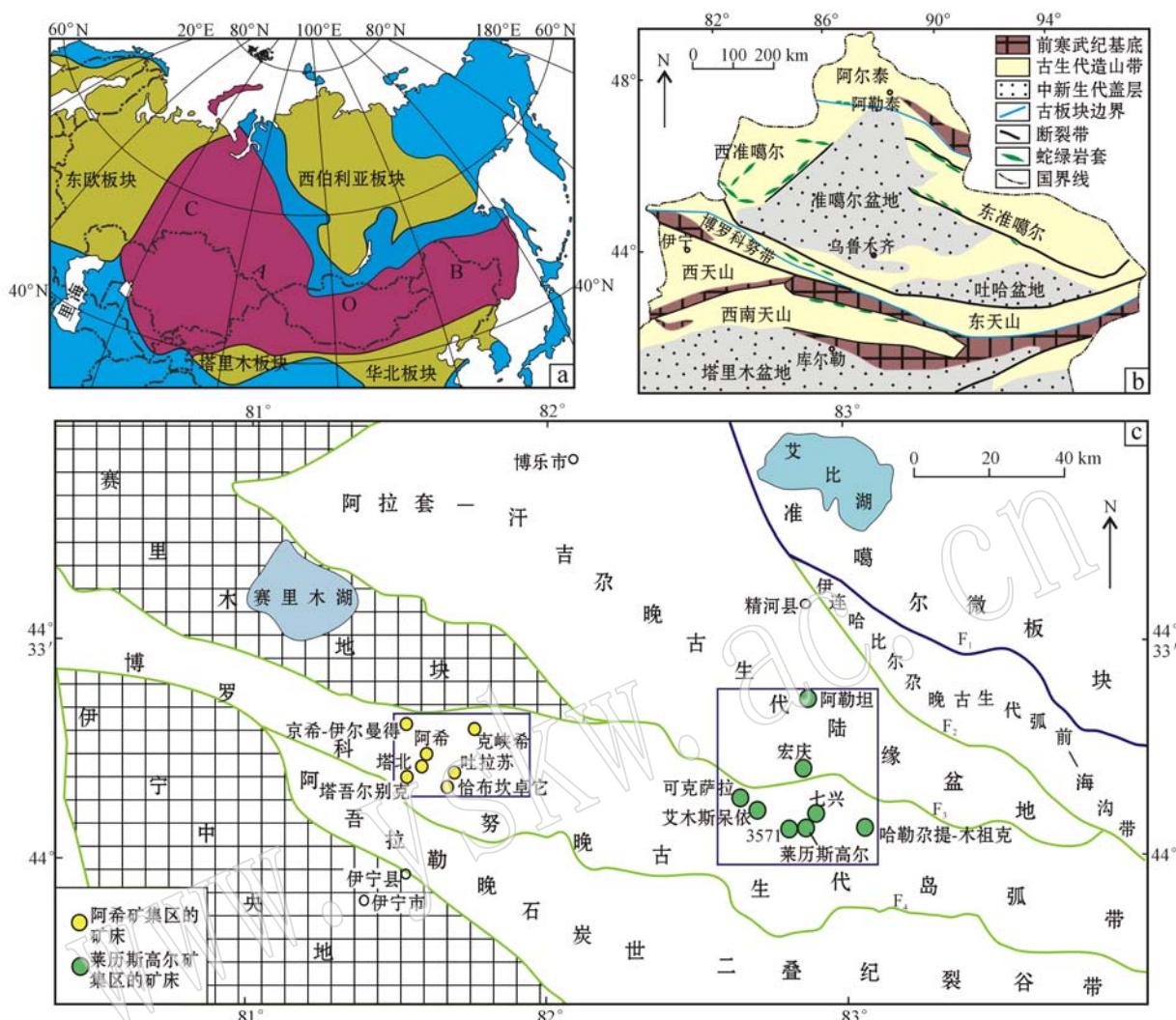


图1 中亚造山带构造略图(a, 据 Long *et al.*, 2011)、新疆北部地区主要构造单元(b, 据王玉往等, 2013 修改)和西天山区域构造单元简图(c, 据冯京等, 2011 修改)

Fig. 1 Tectonic sketch map of the Central Asia Orogenic Belt (a, after Long *et al.*, 2011), the main tectonic units in North Xinjiang (b, modified after Wang Yuwang *et al.*, 2013) and sketch tectonic map of the West Tianshan Mountains (c, modified after Feng Jing *et al.*, 2011)

F1—巴音沟-古尔图大断裂; F2—阿拉尔大断裂; F3—博罗科努山北缘大断裂; F4—伊犁盆地北缘大断裂

F1—Bayin'gou-Gu'erduo deep fault; F2—Ala'er deep fault; F3—North Boluoke'nu range deep fault; F4—North Yili basin deep fault

岩、流纹岩及火山碎屑岩;下石炭统阿克沙克组(C_1a)砂岩、粉砂岩;上石炭统东图津河组(C_2dt)粉砂岩、砂岩夹灰岩;上石炭统科古琴山组(C_2kg)泥质粉砂岩、砂岩;下二叠统乌郎组(P_1w)陆相紫红色细砂岩;古近系、新近系及第四系主要为冲、洪积物。

区域岩浆岩主要出露晚古生代(以泥盆纪-石炭纪为主)中、酸性侵入体,岩性包括花岗岩、二长花岗岩、钾长花岗岩、花岗闪长岩和石英闪长岩,与区域成矿关系密切,局部有少量玄武岩喷发。

区域构造以总体呈北西走向的深大断裂为主,从北到南依次为巴音沟~古尔图大断裂(图1c, F1)、阿拉尔大断裂(图1c, F2)、博罗科努山北缘大断裂

(图1c, F3)和伊犁盆地北缘大断裂(图1c, F4)。其中对本区成矿最为重要的是博罗科努山北缘大断裂,该断裂是博罗科努成矿带与赛里木地块和阿拉套-汗吉尕提古生代陆缘盆地的分界,形成时间早且长期活动,对其南北两侧的地层展布、岩浆活动和成矿作用均具有明显的控制作用(张作衡等, 2008)。

博罗科努成矿带的地质历史与北天山洋的形成及演化密切相关。北天山洋打开的时间尚未有确切的年龄报道,通过区域基底特征的对比及前寒武纪花岗岩的研究,李锦铁等(2006)认为在震旦纪打开,李锦铁等(2006)认为南华纪就有洋盆开启的迹象,但打开时间的上限应为早寒武世;随后洋盆持续扩

张,本区进入被动陆缘演化阶段;奥陶纪北天山洋向南部的伊犁地块俯冲消减(Xiao et al., 2008),大规模的俯冲活动集中在中泥盆世-晚石炭世早期,引发了一系列钙碱性岩体的侵入及火山喷发活动,形成的典型岩浆岩包括:喇嘛苏岩体(381~395 Ma, Zhang et al., 2008; 解洪晶等,2013)、达巴特岩体(316 Ma, 张作衡等, 2008)、莱历斯高尔岩体(346~362 Ma, 张东阳等, 2009; 薛春纪等, 2011)、科克赛岩体(302 Ma, 朱明田等, 2011)、肯登高尔岩体(313 Ma, 贾志业等, 2011)以及吐拉苏盆地内的大哈拉军山组火山岩(386 Ma, 安芳等, 2008)。在洋-陆俯冲的大背景下,在构造和热液的作用下形成了博罗科努颇具规模的铁、铜、钼、金、铅、锌多金属成矿系统(王新利等, 2013),矿化类型包括斑岩型(典型矿床为莱历斯高尔-3571铜钼矿床)、矽卡岩型(典型矿床为哈勒尕提-木祖克铁铜铅锌矿床)、浅成低温热液型(典型矿床为阿希金矿床)和热液脉型(典型矿床

为七兴银铅锌多金属矿床)。北天山洋的闭合时间争议也较大,主要有早石炭世(夏林圻等, 2002)、晚石炭世(Jong et al., 2009; Wang et al., 2009)和早二叠世(肖序常等, 1992; Gao et al., 1998; 李锦铁等, 2006)3种观点。西天山上二叠统红色磨拉石沉积建造的普遍发育,表明晚二叠世该区已全面进入陆内演化阶段,区域构造应力由挤压变为伸展(王博等, 2007)。

2 矿床地质特征

哈勒尕提-木祖克铁铜铅锌矿床地处博罗科努成矿带中段,由哈勒尕提铁铜矿段和位于其北西角的木祖克铅锌矿段组成(图2)。矿床赋存于花岗岩体与上奥陶统碳酸盐岩的接触带中,受岩浆岩-地层岩性-构造“三位一体”联合控制,是一个典型的矽卡岩型矿床。

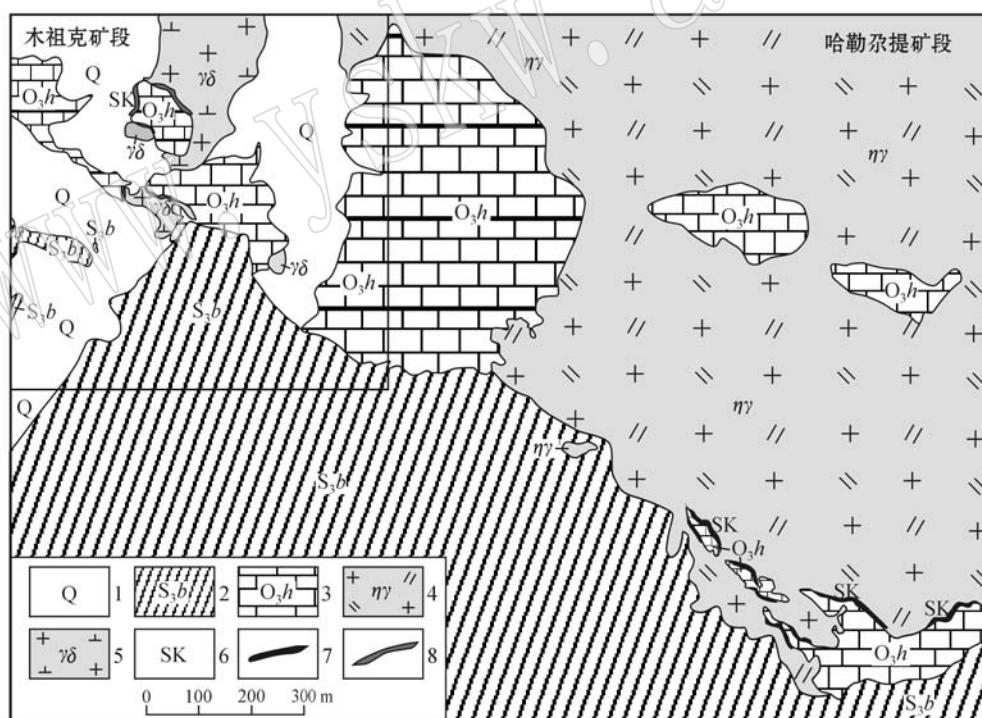


图2 新疆西天山哈勒尕提-木祖克矿床地质图(据中国冶金地质总局中南地质勘查院,2011^①修改)

Fig. 2 Geological map of the Halegati-Muzuke deposit, western Tianshan Mountains, Xinjiang (modified after Central South Institute of Geological Survey, China Metallurgical Geology Bureau, 2011^①)

1—第四系; 2—上志留统博罗霍洛山组; 3—上奥陶统呼独克达坂组; 4—二长花岗岩; 5—花岗闪长岩; 6—矽卡岩; 7—铁铜矿体; 8—铅锌矿体

1—Quaternary; 2—Upper Silurian Boluo昊卢oshan Formation; 3—Upper Ordovician Hudukedaban Formaiton; 4—monzonite granite; 5—granodiorite; 6—skarn; 7—iron-copper orebody; 8—lead-zinc orebody

^① 中国冶金地质总局中南地质勘查院. 2011. 新疆尼勒克县哈勒尕提矿区IV号铁铜矿体13-41线详查报告.

矿区出露的地层有上奥陶统呼独克达坂组(O_3h)、上志留统博罗霍洛山组(S_3b)和第四系(图2)。呼独克达坂组(O_3h)零星分布于矿区北部,岩性为灰白色大理岩、大理岩化灰岩。博罗霍洛山组(S_3b)大面积分布于矿区南部,在矿区西部有零星出露,岩性为灰黑色中厚层泥质粉砂岩。第四系主要分布于木祖克矿段的沟谷中,多为松散的坡积物和冲积物。

矿区出露的侵入岩为大瓦布拉克岩体,该岩体在哈勒尕提矿段主要为二长花岗岩,在木祖克矿段则为花岗闪长岩(图2),矿区并未发现二者之间的侵入现象,从岩性上应为渐变过渡关系。岩体从矿区北部呈不规则岩株状侵入呼独克达坂组(O_3h)和博罗霍洛山组(S_3b),呼独克达坂组(O_3h)部分呈捕虏体的形式“漂浮”在岩体中。岩体与围岩的接触界线清楚,但成矿对围岩具有选择性,即矽卡岩型铁铜铅锌矿体只赋存于花岗岩体与碳酸盐岩的接触带上(图2、3、4a),岩体与泥质粉砂岩的接触带则不成矿。近期勘查结果显示,在博罗霍洛山组(S_3b)中存在热液脉型铜矿化,但不成规模。矿区现已发现15个铁铜铅锌矿体,其中IV、V、VI号铁铜矿体为矿区的主要矿体,3个矿体铜金属总量为18.49万吨,占总资源/储量的97%。IV号矿体规模最大,矿体走向长约2300 m,埋深约480 m,呈不规则的“U”字形,局部波状舒缓(图3)。矿体最大厚度近40 m,平均厚度约5 m,铜金属量12.17万吨,占总金属量的63.82%。

矿石中主要金属矿物有磁铁矿、赤铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿,其次为黄铁矿、磁黄铁矿和辉钼矿(图4b~h,图5a~f)。非金属矿物有石榴石、透辉石、绿帘石、黝帘石、透闪石、绿泥石、石英和方解石(图4i~l,图5g~l);矿石构造主要有块状、浸染状、细脉浸染状和星散状构造等(图4b~h),矿石结构有他形粒状结构、自形-半自形粒状结构、交代残余结构、包含结构和填隙结构(图5a~f)。

矿区矿化及蚀变分带不太明显,但仍具一定的规律性:矿化垂向上从浅到深大体呈方铅矿-闪锌矿→磁铁矿-赤铁矿→黄铜矿-黄铁矿-磁铁矿-磁黄铁矿→辉钼矿的变化趋势;从岩体—矽卡岩—大理岩大致存在新鲜岩体(图6a、6b)→绿泥石化-碳酸盐化岩体(图6c)→绿泥石化、弱钾化岩体(图6d)→钾长石化岩体(图6e)→石榴子石-绿帘石矽卡岩(图5j)→

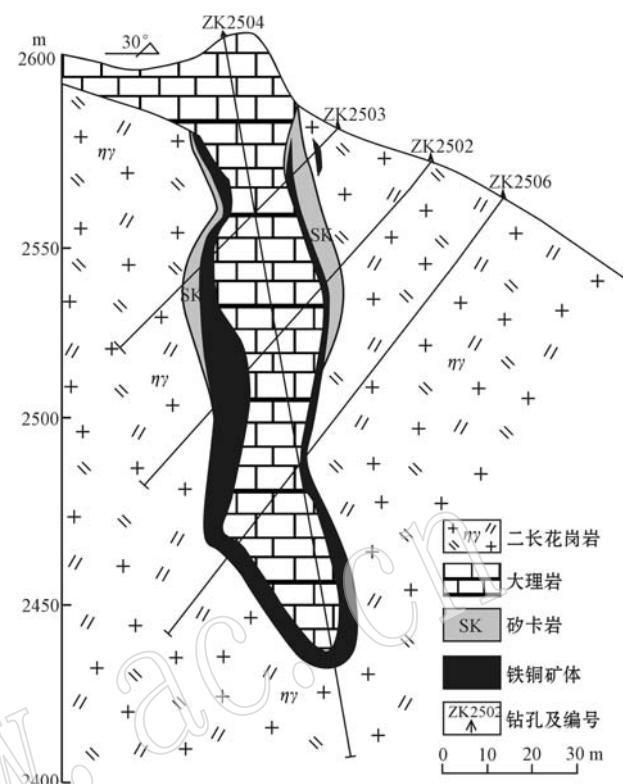


图3 新疆西天山哈勒尕提-木祖克矿床25勘探线剖面图
(据中国冶金地质总局中南地质勘查院,2011^①修改)

Fig. 3 Geological section along No. 25 exploration line of the Halegati-Muzuke deposit, West Tianshan Mountains, Xinjiang(modified after Central South Institute of Geological Survey, China Metallurgical Geology Bureau, 2011^①)

绿帘石-石榴子石矽卡岩→绿泥石-绿帘石矽卡岩(图5l)→绿泥石化角砾状大理岩(图6f)→绿泥石化大理岩(图6g)→石榴石化大理岩(图6h)→厚层块状大理岩(图6i)的分带特征。

根据矿物共生组合及相互之间的穿插、交代关系,成矿过程可以分为矽卡岩期、石英-硫化物期和表生期。其中矽卡岩期可细分为干矽卡岩阶段(I),形成石榴石、透辉石等无水硅酸盐矿物;湿矽卡岩阶段(II),形成绿帘石、黝帘石、绿泥石和磁铁矿,是本矿床铁的主要成矿阶段;氧化物阶段(III)形成了大量的赤铁矿。石英-硫化物期是矿床铜、铅、锌的主要成矿期,其中早阶段(IV)发育石英、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿和辉钼矿;晚阶段(V)发育方解石、石英、方铅矿和闪锌矿。表生期形成的矿物主要为孔雀石和褐铁矿。

^① 中国冶金地质总局中南地质勘查院. 2011. 新疆尼勒克县哈勒尕提矿区IV号铁铜矿体13-41线详查报告.



图4 哈勒尕提-木祖克铁铜铅锌矿床矿体产出及典型矿石特征

Fig. 4 Photographs of orebody occurrence and typical ore associations from the Halegati-Muzuke Fe-Cu-Pb-Zn deposit
 a—地表二长花岗岩体与大理岩的接触带, 接触界线清晰, 矿体即赋存于接触带中; b—块状磁铁矿矿石, 磁铁矿交代绿帘石; c—浸染状磁铁矿-赤铁矿矿石, 赤铁矿交代磁铁矿; d—块状黄铜矿矿石; e—黄铁矿矿石, 黄铁矿呈自形晶; f—浸染状磁黄铁矿矿石; g—浸染状方铅矿-闪锌矿矿石; h—浸染状辉钼矿矿石, 辉钼矿沿裂隙面发育; i—自形石榴石矽卡岩被石英交代, 可见石榴石环带; j—绿帘石交代石榴石, 二者被方解石脉切断; k—透闪石矽卡岩, 放射状构造; l—绿泥石交代绿帘石, 二者被方解石交代; Mgt—磁铁矿; Hem—赤铁矿; Ccp—黄铜矿; Py—黄铁矿; Po—磁黄铁矿; Gn—方铅矿; Sp—闪锌矿; Mot—辉钼矿; Grt—石榴石; Ep—绿帘石; Tre—透闪石; Chl—绿泥石; Cal—方解石

a—orebody in the contacting zone between monzonitic granite and marble, showing a clear boundary; b—massive magnetite ore, epidote is replaced by magnetite; c—disseminated magnetite-hematite ore, magnetite is replaced by hematite; d—massive chalcopyrite ore; e—pyrite ore, pyrite occurs as euhedral grains; f—disseminated pyrrhotite ore; g—disseminated gelenite-sphalerite ore; h—disseminated molybdenite ore, molybdenite occurs in the fracture zones; i—euheral zoned garnet replaced by quartz in skarn; j—garnet replaced by epidote; both of them are cut by fine calcite veins; k—tremolite skarn with radial structure; l—epidote replaced by chlorite; both of them are replaced by calcite; Mgt—magnetite; Hem—hematite; Ccp—chalcopyrite; Py—pyrite; Po—pyrrhotite; Gn—gelenite; Sp—sphalerite; Mot—molybdenite; Grt—garnet; Ep—epidote; Tre—tremolite; Chl—chlorite; Cal—calcite

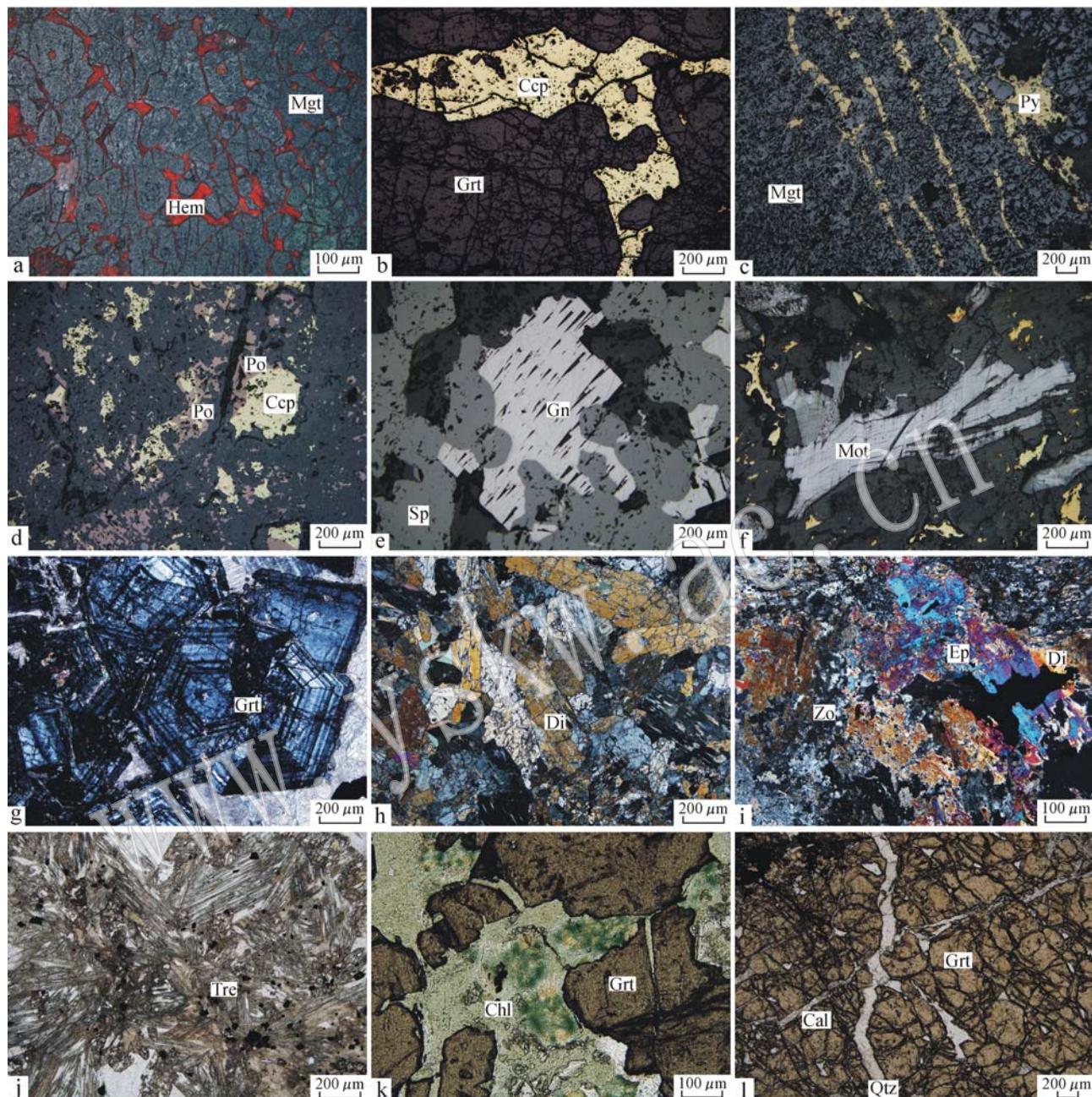


图 5 哈勒尕提-木祖克铁铜铅锌矿床矿石镜下特征

Fig. 5 Microscopic photographs of ores from the Halegati-Muzuke Fe-Cu-Pb-Zn deposit

a—磁铁矿粒间被赤铁矿充填, 赤铁矿显深红色内反射色(+); b—黄铜矿交代石榴石(-); c—细脉浸染状黄铁矿穿插、交代磁铁矿(-); d—磁黄铁矿交代黄铜矿(-); e—闪锌矿交代方铅矿(-); f—叶片状辉钼矿(-); g—自形粒状石榴石显环带结构(+); h—透辉石柱状节理, 二级黄干涉色(+); i—黝帘石一级灰白干涉色, 与绿帘石共生(+); j—放射状透闪石(-); k—绿泥石交代石榴石(-); l—石英、方解石细脉穿插石榴石(-); Mgt—磁铁矿; Hem—赤铁矿; Ccp—黄铜矿; Py—黄铁矿; Po—磁黄铁矿; Gn—方铅矿; Sp—闪锌矿; Mot—辉钼矿; Grt—石榴石; Di—透辉石; Ep—绿帘石; Zo—黝帘石; Tre—透闪石; Chl—绿泥石; Qtz—石英; Cal—方解石

a—hematite filling magnetite granule, with cardinal internal reflection color (+); b—garnets replaced by chalcopyrites (-); c—magnetite cut and replaced by veinlet disseminated pyrites (-); d—chalcopyrite replaced by pyrrhotines (-); e—galena replaced by sphalerite (-); f—foliaceous molybdenite (-); g—euhedral garnet grain with zoned texture (+); h—malacolite with columnar cleavage, exhibiting yellow interference color of second grade (+); i—zoisite coexistent with epidote, exhibiting gray interference color of first grade (+); j—radial tremolite (-); k—garnet replaced by chlorite (-); l—garnet cut by fine quartz or calcite veins (-); Mgt—magnetite; Hem—hematite; Ccp—chalcopyrite; Py—pyrite; Po—pyrrhotine; Gn—gelenite; Sp—sphalerite; Mot—molybdenite; Grt—garnet; Di—diopside; Ep—epidote; Zo—zoisite; Tre—tremolite; Chl—chlorite; Qtz—quartz; Cal—calcite

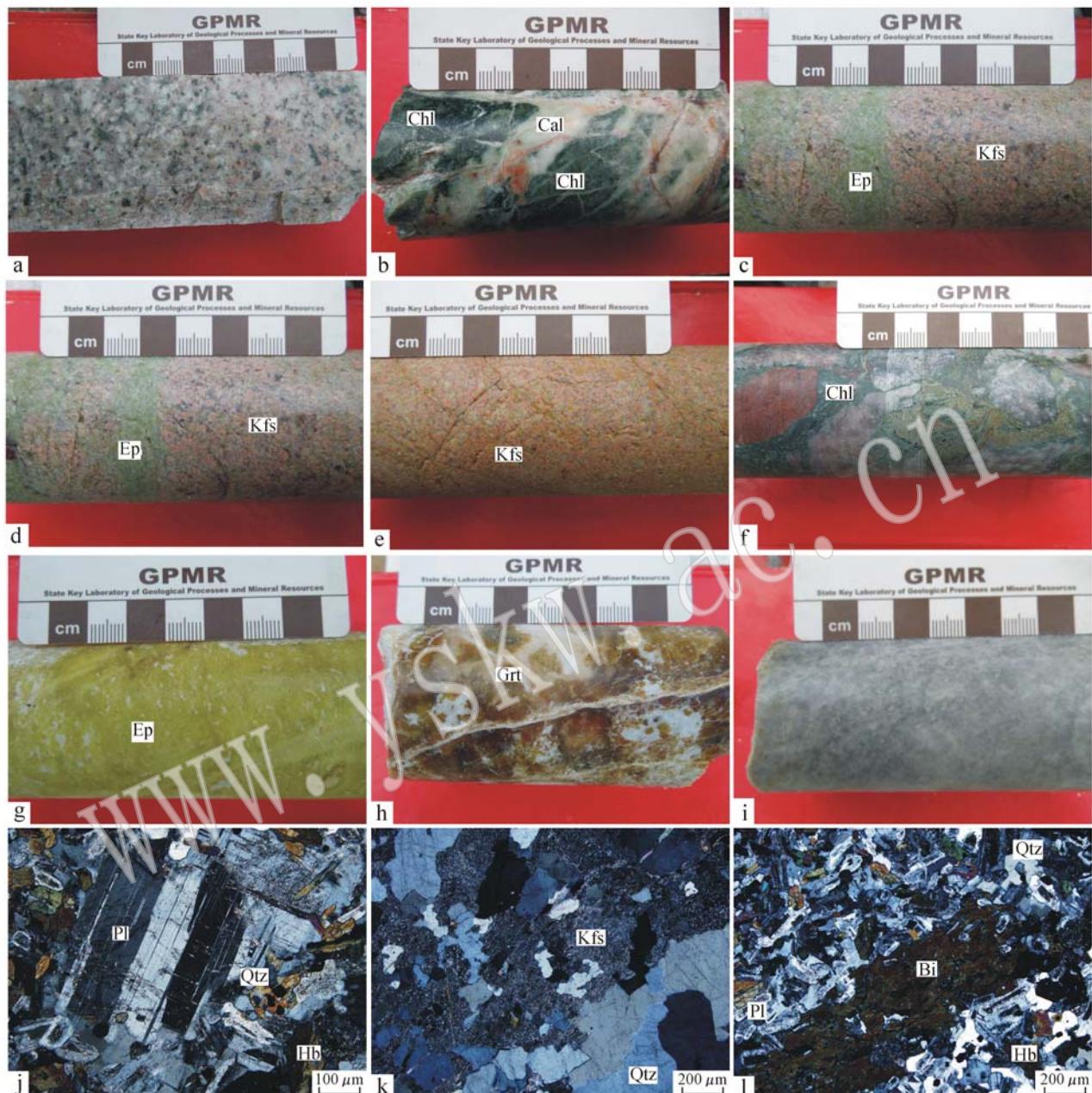


图 6 哈勒尕提-木祖克铁铜铅锌矿床岩体、围岩及蚀变

Fig. 6 Photographs of intrusions, host rocks and alterations from the Halegati-Muzuke Fe-Cu-Pb-Zn deposit

a—新鲜浅肉红色二长花岗岩; b—新鲜灰白色花岗闪长岩; c—绿泥石化、碳酸盐化花岗闪长岩; d—绿帘石化、弱钾化二长花岗岩; e—钾长石化二长花岗岩; f—绿泥石化角砾状大理岩; g—绿帘石化大理岩; h—石榴石化大理岩; i—厚层块状大理岩; j, k, l—二长花岗岩镜下照片(+); Chl—绿泥石; Cal—方解石; Ep—绿帘石; Kfs—钾长石; Grt—石榴石; Pl—斜长石; Qtz—石英; Bi—黑云母; Hb—角闪石

a—fresh pale red monzonitic granite; b—fresh gray granodiorite; c—chloritized and carbonatized granodiorite; d—epidotized and weak potash feldspathic monzonitic granite; e—potash feldspathic monzonitic granite; f—chloritized brecciated marble; g—epidotized marble; h—garnetized marble; i—massive marble; j, k, l—microphotograph of monzonitic granite (+); Chl—chlorite; Cal—calcite; Ep—epidote; Kfs—potassium feldspar; Grt—garnet; Pl—plagioclase; Qtz—quartz; Bi—biotite; Hb—hornblende

3 成矿条件分析

哈勒尕提-木祖克铁铜铅锌矿床是典型的矽卡岩型矿床, 成矿受岩浆岩、地层岩性和接触带构造“三位一体”联合控制。

3.1 岩浆岩条件

按照区域岩浆岩的侵入序列, 矿床成矿岩体-大瓦布拉克岩体形成于海西中期第三侵入期次, 出露面积约 30 km^2 , 是本区岩浆活动最为强烈时期的产物①。岩体呈不规则岩株状产出, 北界与下石炭统大哈拉军山组(C_1d)呈断层接触, 南界侵入上志留统博罗霍洛山组(S_3b), 上奥陶统呼独克达坂组(O_3h)呈残留体漂浮在岩体中。

根据岩性不同, 成矿岩体可细分为二长花岗岩和花岗闪长岩2类。其中二长花岗岩大面积出露于矿区东部, 多为浅肉红色, 中细粒花岗结构, 块状构造(图6a、6j、6k、6l)。主要矿物为石英(30%~35%)、斜长石(25%~30%)和钾长石(20%~25%), 次要矿物为黑云母(5%~10%)和角闪石(3%), 副矿物为磷灰石、榍石等。石英呈半自形-他形粒状, 波状消光, 粒度0.5~1.8 mm。斜长石呈板条状, 半自形-自形晶结构, 粒度0.15~2.2 mm, 发

育环带结构和聚片双晶。钾长石呈柱状, 他形晶结构, 表面发生泥化, 粒度1~3 mm, 可见卡氏双晶。黑云母呈棕褐色, 片状, 他形晶结构, 粒度0.3~1.5 mm, 局部发生绿泥石化。角闪石呈他形晶, 绿色, 粒度约0.2 mm。

花岗闪长岩主要出露在矿区北西部的木祖克矿段, 分布不连续, 主体呈灰白色, 略带浅肉红色, 中粗粒花岗结构, 块状构造(图6b)。由斜长石(40%±)、钾长石(15%±)、石英(25%±)、黑云母(10%±)、角闪石(8%±)及少量的副矿物组成。

矿区7件花岗岩类样品 SiO_2 含量为55.37%~75.27%, 平均67.59% (表1)。 Al_2O_3 含量为10.47%~15.39%, 平均12.52%。 MgO 含量为0.09%~6.31%, 平均为2.23%。 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 含量为4.47%~9.58%, 平均值7.11%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 介于0.52~3.45, 多数大于1, 表明碱质含量较高且富钾。在花岗岩类实际矿物含量QAP分类图解中, 大瓦布拉克岩体岩石类型为二长花岗岩和花岗闪长岩(图7), 与薄片镜下鉴定结果一致。岩体里特曼指数(σ)介于1.39~2.82, 属于钙碱性系列。在Rickwood(1989)的 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 图解中, 样品主要位于高钾钙碱性系列区域, 有两个点落入钙碱性系列和钾玄岩系列(图8a)。样品铝饱和指数A/CNK值为0.55~

表1 哈勒尕提-木祖克铁铜铅锌矿床成矿花岗岩类主量元素($w_{\text{B}}/\%$)测试结果及其有关参数

Table 1 Major element compositions($w_{\text{B}}/\%$) and related parameters of granite in the Halegati-Muzuke Fe-Cu-Pb-Zn deposit

样品号	HL-ZK 502-2	HL-ZK 502-11	HL-ZK 502-29	HL-ZK 1502-6	HL-ZK 1502-8	HL-ZK 1502-10	HL-ZK 1502-49
SiO_2	61.45	69.80	73.30	66.97	75.27	55.37	70.97
TiO_2	0.71	0.32	0.07	0.06	0.06	0.06	0.30
Al_2O_3	15.39	13.51	11.78	10.78	11.54	10.47	14.14
Fe_2O_3	6.58	2.73	0.58	2.10	0.41	8.33	2.80
MnO	0.13	0.05	0.02	0.11	0.05	0.40	0.05
MgO	2.37	1.36	0.09	3.25	1.30	6.31	0.92
CaO	5.49	2.42	1.32	2.06	1.38	7.72	2.99
Na_2O	3.48	3.76	3.18	2.19	3.62	0.93	3.53
K_2O	1.80	3.95	6.06	4.55	4.26	3.22	3.47
P_2O_5	0.22	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	0.10
LOI	1.16	2.21	1.08	2.82	1.64	3.20	1.61
Total	98.77	100.20	97.51	94.91	99.53	96.04	100.88
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	5.41	7.87	9.58	7.32	8.05	4.47	7.05
$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	0.52	1.05	1.91	2.08	1.18	3.45	0.98
A/CNK	0.87	0.91	0.83	0.88	0.88	0.55	0.94
A/NK	2.00	1.29	1.00	1.26	1.09	2.08	1.48
σ	1.51	2.22	2.82	1.90	1.92	1.39	1.75

注: 所有样品均在中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室采用岛津公司的X荧光光谱仪XRF-1800测定。

① 新疆地质矿产局第一区调大队五分队, 1991. 1:20万阿拉尔幅区域地质矿产调查报告.

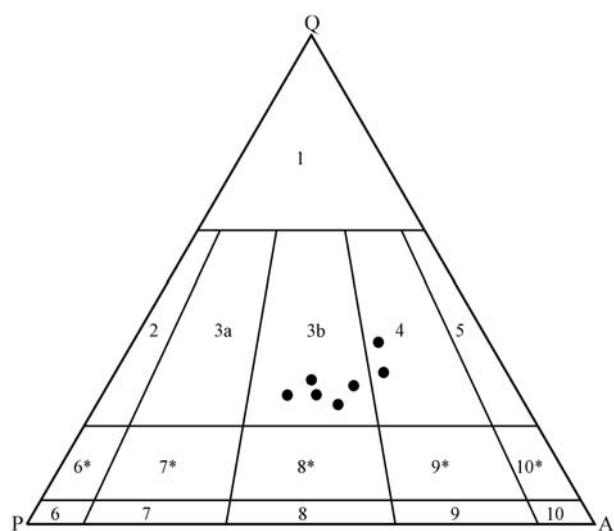


图 7 大瓦布拉克岩体 QAP 图解(底图据
Streckeisen, 1976)

Fig. 7 QAP classification diagram for the Dawabulake granites (after Streckeisen, 1976)

1—富石英花岗岩; 2—碱长花岗岩; 3a—正长花岗岩; 3b—二长花岗岩; 4—花岗闪长岩; 5—英云闪长岩; 6*—碱长石英正长岩; 7*—石英正长岩; 8*—石英二长岩; 9*—石英二长闪长岩;

10*—石英闪长岩、石英辉长岩、石英斜长岩; 6—碱长正长岩;
7—正长岩; 8—二长岩; 9—二长闪长岩; 10—闪长岩、辉长
岩、斜长岩

1—quartz-rich granite; 2—alkali-feldspar granite; 3a—granite; 3b—
monzogranite; 4—granodiorite; 5—tonalite; 6*—quartz alkali
feldspar syenite; 7*—quartz syenite; 8*—quartz monzonite; 9*—
quartz monzodiorite; 10*—Quartz diorite, quartz gabbro, quartz
anorthosite; 6—alkali feldspar syenite; 7—syenite; 8—monzonite;
9—monzobiorite; 10—diorite, gabbro, anorthosite

0.94, A/NK 值为 1.00~2.08, 表明岩石具有准铝质特征(图 8b)。A/CNK 值均小于 1.1, 具 I 型花岗岩的特征。从上述地球化学特征来看, 成矿的花岗岩类具有高硅、准铝质、低镁、富碱、富钾的特点, 与区域上喇嘛苏岩体、莱历斯高尔岩体及呼斯特岩体具有较为相似的特征(张东阳等, 2009; 解洪晶等, 2013)。

3.2 赋矿地层条件

矿区地层主要是上奥陶统呼独克达坂组(O_3h)碳酸盐岩和上志留统博罗霍洛山组(S_3b)细碎屑岩, 二者与大瓦布拉克花岗岩体均为侵入接触关系, 但矿体仅赋存于岩体与碳酸盐岩的接触带中, 这一成矿专属性特征就是赋矿地层对成矿控制的表现, 这

是因为大理岩、大理岩化灰岩地球化学性质活泼、易溶解, 利于含矿热液与其发生水岩反应形成矽卡岩化和矿化。矿区大理岩从构造上可分为角砾状大理岩和致密块状大理岩(图 6f, 6i), 前者与含矿矽卡岩带的空间关系更为密切。受岩体侵位和构造变形的影响, 近矿大理岩发生破碎致使裂隙发育, 泥质和铁质胶结大理岩角砾, 不纯的大理岩化学性质更为活泼, 围岩孔隙度和渗透率的增加, 扩大了化学反应的比表面积, 有利于成矿流体的渗滤、运移和交代, 使水-岩交代反应进行得更为充分(顾雪祥等, 2008), 为成矿准备了良好的条件。

从区域上来看, 上奥陶统呼独克达坂组(O_3h)碳酸盐岩中的铜、锌元素平均含量分别为 305×10^{-6} 和 212×10^{-6} , 高于克拉克值 3 倍以上, 且标准差大(分别为 602×10^{-6} 和 157×10^{-6}), 离散程度高^①, 意味着该地层在沉积阶段已经初始富集了部分成矿元素, 有可能为后期的热液成矿提供部分金属组分, 并有望成为铜、锌矿产的优势找矿层位, 矿床铅同位素研究也证实了呼独克达坂组地层提供了部分成矿金属的来源(待刊)。近年来, 新疆地矿局第七地质大队在精河县察汗莫顿一带的呼独克达坂组中勘查发现了艾木斯呆依-可克萨拉矽卡岩型铁铜矿床(图 1c), 似乎也暗示了这一点。

3.3 构造条件

本矿床褶皱、断层构造皆不发育, 成矿后的破碎构造亦不明显。构造对成矿的控制主要体现在区域性深大断裂对大瓦布拉克岩体侵位的控制和矿区接触带构造对矿体定位的控制。博罗科努山北缘大断裂贯穿全区, 呈 NW 向展布, 区内晚古生代中酸性侵入岩及与其有关的金属矿床多分布在其南侧。该断裂是一条超岩石圈断裂, 形成于加里东期, 具多期活动性。北天山洋壳向南部伊犁地块的俯冲脱水作用引起上地幔楔局部熔融, 形成的花岗质岩浆沿该深大断裂侵位上涌直接定位或与地壳发生一定程度的混染作用而后定位。大瓦布拉克岩体侵位即受该深大断裂控制, 岩体微量元素富集 K、Rb、Ba、Th 等大离子亲石元素, 相对亏损 Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素的特征, 以及富集轻稀土, 重稀土分异程度较轻的稀土元素配分特征, 具明显的俯冲带岩浆作用的特点(Wilson, 1989), 应为北天山洋俯冲消减活动的产物。

^① 新疆地质矿产局第一区调大队五分队, 1991. 1:20 万阿拉尔幅区域地质矿产调查报告.

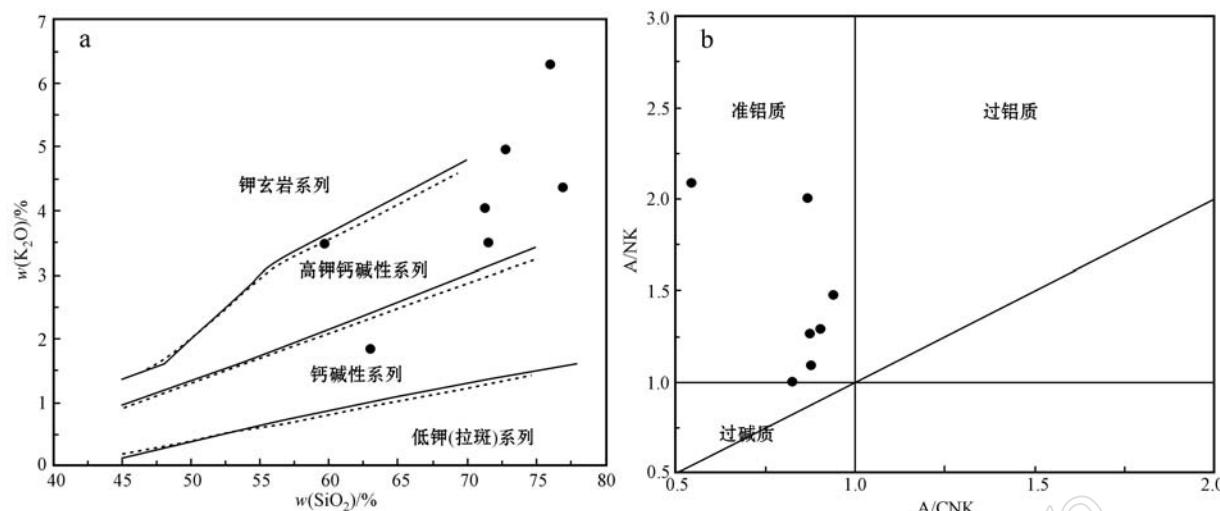


图 8 岩石系列划分的 K_2O - SiO_2 图解(底图据 Rickwood, 1989)和 A/NK - A/CNK 图解(底图据 Maniar 和 Piccoli, 1989)

Fig. 8 K_2O - SiO_2 diagram for classification of rock series (after Rickwood, 1989) and A/NK - A/CNK plot of the granodiorite (after Maniar and Piccoli, 1989)

成矿岩体与碳酸盐岩围岩的接触带直接控制着矿体的定位产出。接触带本身就是一个地球化学性质的转换带(地球化学障),岩体侵入造成接触带的碎裂甚至破碎,裂隙发育,使接触带又成为一个良好的透水层或流体运移的通道,沿接触带运移的含矿热液因为物理化学性质的突变而发生沉淀富集,所以成矿直接受控于接触带。矿区接触带的总体展布方向(NW向)与区域构造线近乎一致(图2)。接触带形态较简单,为一局部呈波状的U字形,深部接触带成矿较浅部更具优势,另外位于岩体边部凹凸中的矿体厚度更大、品位更高(图3)。

4 结论

哈勒尕提-木祖克铁铜铅锌矿床具有矽卡岩型矿床的典型特点。矿体赋存于大瓦布拉克岩体与上奥陶统呼独克达坂组(O_3h)大理岩、大理岩化灰岩的接触带。成矿岩体岩性主要为二长花岗岩和花岗闪长岩。岩石具有高硅、准铝质、低镁、富碱、富钾的地球化学特征,富集大离子亲石元素,相对亏损高场强元素,显示了俯冲带I型花岗岩的特点。呼独克达坂组碳酸盐岩地球化学性质活泼且富含铜、锌等成矿元素,有利于含矿热液与其发生交代反应形成蚀变和矿化,是本区域找矿的优势层位。矿区接触带构造既是一地球化学障,又是良好的成矿热液运移

通道,直接控制着矿体的产出。成矿受岩浆岩、地层岩性和接触带构造“三位一体”复合控制,是晚古生代北天山洋向南侧伊犁地块俯冲消减活动的产物。

致谢 野外工作中得到中国冶金地质总局中南地质勘查院曹景良、刘延年、左志远、何良武、鲁波、李旭成、徐冠隆、时雄涛等领导和技术人员的大力帮助,匿名审稿专家提出了宝贵的修改意见和建议,在此表示诚挚的感谢!

References

- An Fang and Zhu Yongfeng. 2008. Study on trace elements geochemistry and SHRIMP chronology of volcanic rocks in Tulasu Basin, Northwest Tianshan[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(12): 2741~2748(in Chinese with English abstract).
- Cao Jingliang. 2005. Geological characteristics and ore-searching directions in Halegati Cu-Fe deposit, Nileke county, Xinjiang[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 20(supplement): 120~124(in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan, Liu Dequan and Tang Yanling. 2008. Mineral Resources and Mineralization System in Tianshan, China (part 1)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 297~375(in Chinese).
- Dong Lianhui and Li Fengming. 2006. Metallogenetic regularity and

- prospecting targets of porphyry copper deposits in northern Xinjiang [J]. *Mineral Deposits*, 25(supplement): 293~296 (in Chinese with English abstract).
- Feng Jing, Xue Chunji and Wu Ganguo. 2011. *Mineral Resource Prospecting of Porphyry-related Cu-Mo-Au Deposits in Lailisigaoer-Dabate District, Western Tianshan* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~50 (in Chinese).
- Gao J, Li M S, Xiao X C, et al. 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan orogen, Northwestern China [J]. *Tectonophysics*, 287: 213~231.
- Gao J, Long L L, Klemd R, et al. 2009. Tectonic evolution of the South Tianshan orogen and adjacent regions, NW China: geochemical and age constraints of granitoid rocks [J]. *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, 98: 1 221~1 238.
- Gao J, Klemd R, Qian Q, et al. 2011. The collision between the Yili and Tarim blocks of the Southwestern Altaids: Geochemical and age constraints of a leucogranite dike crosscutting the HP-LT metamorphic belt in the Chinese Tianshan Orogen [J]. *Tectonophysics*, 499: 118~131.
- Gao Jun, Qian Qing, Long Lingli, et al. 2009. Accretionary orogenic process of Western Tianshan, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 28(12): 1 804~1 816 (in Chinese with English abstract).
- Gu Xuexiang, Dong Shuyi, Liu Li, et al. 2008. Ore-forming conditions and significance of unconformity in the mineralization of the Yi'nan Au-Cu-Fe deposit, Shandong, China [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 27(3): 254~268 (in Chinese with English abstract).
- Han Chunming, Xiao Wenjiao, Cui Bin, et al. 2006. Major types and characteristics of late paleozoic copper deposits in North Xinjiang, Northwest China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 74~89 (in Chinese with English abstract).
- Hu Aiqin, Zhang Guoxin, Wang Zhonggang, et al. 1997. *The Geological Evolution, the Diagenetic Regularity and the Metallogenesis in the Northern of Xinjiang* [M]. Beijing: Science Press, 210~238 (in Chinese).
- Jia Zhiye, Xue Chunji, Qu Wenjun, et al. 2011. Geology, S, Pb, O and H isotopic compositions and Re-Os chronology of Kendenggaoer Cu-Mo deposit in Xinjiang [J]. *Mineral Deposits*, 30(1): 74~86 (in Chinese with English abstract).
- Jong K D, Wang B, Faure M, et al. 2009. 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*, 98(6): 1 239~1 258.
- Li Jinyi, Wang Kezhuo, Li Yaping, et al. 2006. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountains [J]. *Geological Bulletin of China*, 25(8): 895~909 (in Chinese with English abstract).
- Liao Qilin, Wang Jingbin and Lai Jianqing. 2001. Basic metallogenetic characters of the large and medium-scale gold and copper deposits in Northern Xinjiang [J]. *Geological Review*, 47(6): 625~636 (in Chinese with English abstract).
- Liu Kuanhou, Zhuang Daoze and Jiao Xuejun. 2003. The assessing and anomaly-checking countermeasures of 1: 500000 regional geochemical exploration in the western Tianshan mountains, Xinjiang [J]. *Geology and Prospecting*, 39(6): 6~9 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yannian, Cao Jingliang, Li Shengfu, et al. 2011. Characteristic, metallogenesis and prospecting direction of skarn-type deposits in the Boluokenu metallogenic belt, West Tianshan, Xinjiang [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, (supplement): 371~372 (in Chinese with English abstract).
- Long L L, Gao J, Klemd R, et al. 2011. Geochemical and geochronological studies of granitoid rocks from the Western Tianshan Orogen: implications for continental growth in the southwestern Central Asian Orogenic Belt [J]. *Lithos*, 126: 321~340.
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geological society of America Bulletin*, 101: 635~643.
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. *Earth-Sciences Reviews*, 37: 215~224.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of minor elements [J]. *Lithos*, 22: 247~263.
- Shen Ping, Dong Lianhui, Feng Jing, et al. 2010. Distribution, age and metallogenetic characteristics of the porphyry copper deposits in Xinjiang, China [J]. *Xinjiang Geology*, 28(4): 358~364 (in Chinese with English abstract).
- Streckeisen A L. 1976. Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: A provisional attempt [J]. *Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Monatshefte*, 1: 1~15.
- Tu Guangzhi. 1999. On the Central Asia metallogenic province [J]. *Chinese Journal of Geology*, 34(4): 397~404 (in Chinese with English abstract).
- Tu Qijun, Feng Jing and Tian Jiangtao. 2012. Characteristics and analysis of metallogenetic conditions of related typical copper (molybdenum) and gold deposit in Boluokenu area of Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 30(2): 176~181 (in Chinese with English abstract).
- Wang B, Cluzel D, Shu L S, et al. 2009. Evolution of calc-alkaline to alkaline magmatism through Carboniferous convergence to Permian transcurrent tectonics, western Chinese Tianshan [J]. *International*

- Journal of Earth Sciences, 98(6): 1 275~1 298.
- Wang Bo, Shu Liangshu, Dominique C, et al. 2007. Geochronological and geochemical studies on the Borohoro plutons, north of Yili, NW Tianshan and their tectonic implication[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1 885~1 900(in Chinese with English abstract).
- Wang He, Peng Shenglin and Lai Jianqiang. 2001. Polygenetic compound mineralogenesis in the Lamasu copper deposit, Xinjiang[J]. Geotectonica et Metallogenesis, 25(2): 149~154(in Chinese with English abstract).
- Wang Xinli, Gu Xuexiang, Zhang Yongmei, et al. 2013. Temporal-spatial distribution, tectonic evolution and metallogenic response of the magmatic rocks in the Boluokenu metallogenic belt, West Tianshan, Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China, 32(5): 774~783(in Chinese with English abstract).
- Wang Yuwang, Wang Jingbin, Li Dedong, et al. 2013. Types, temporal-spatial distribution and metallogenic lineage of ore deposits related to mantle-derived magma in northern Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 32(2): 223~243(in Chinese with English abstract).
- Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis[M]. London: Unwin Hyman Press, 1~450.
- Windley B F, Allen M B, Zhang C, et al. 1990. Paleozoic accretion and Cenozoic re-deformation of the Chinese Tien shan Range, Central Asia[J]. Geology, 18(2): 128~131.
- Xia Linqi, Zhang Guowei, Xia Zuchun, et al. 2002. Constraints on the timing of opening and closing of the Tianshan paleozoic oceanic basin: evidence from Silurian and Carboniferous volcanic rocks[J]. Geological Bulletin of China, 21(2): 55~62(in Chinese with English abstract).
- Xiao W J, Han C M, Yuan C, et al. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of central Asia [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 32(2): 102~117.
- Xiao Wenjiao, Shu Liangshu, Gao Jun, et al. 2008. Continental dynamics of the central Asian orogenic belt and its metallogeny[J]. Xinjiang Geology, 26(1): 4~8(in Chinese with English abstract).
- Xiao W J, Windley B, Huang B C, et al. 2009. End-Permian to Mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaiids: Implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia[J]. International Journal of Earth Sciences, 98(6): 1 189~1 217.
- Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin, et al. 1992. The Tectonics of the Orthern Xinjiang and its Neighbouring Areas[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~169(in Chinese).
- Xie Hongjing, Wu Guang, Zhu Mingtian, et al. 2013. Geochronology, geochemistry and metallogenic implications of the Lamasu intrusion in western Tianshan, NW China[J]. Earth Science Frontiers, 20(1): 190~205(in Chinese with English abstract).
- Xue Chunji, Chen Bo, Jia Zhiye, et al. 2011. Geology, geochemistry and chronology of Lailisigao'er-3571 porphyry Cu-Mo ore-field, western Tianshan, Xinjiang[J]. Earth Science Frontiers, 18(1): 149~165(in Chinese with English abstract).
- Yang Jinzhong, Zhao Yuling, Wang Yongjiang, et al. 2003. Sedimentary environment and mineralization of Dahalajunshan formation in west Tianshan orogenic belt, Xinjiang[J]. Geology and Prospecting, 39(2): 1~5(in Chinese with English abstract).
- Zhang Dongyang, Zhang Zhaochong, Ai Yu, et al. 2009. Geochronology, geochemistry of the ores-bearing porphyries in the Lailisigao'er region, western Tianshan: Implications for tectonic setting and mineralization[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(6): 1 319~1 331 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guilin, Liang Jincheng, Nick H, et al. 2002. Patterns of structural controls on gold deposits in Tulasu volcanic basin, West Tianshan, Xinjiang[J]. Geology and Prospecting, 38(5): 24~29(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z H, Wang L S and Zuo G C. 2008. Metallogenic epoch and ore-forming environment of the Lamasu skarn-porphyritic Cu-Zn deposit, western Tianshan, Xinjiang, NW China[J]. Acta Geologica Sinica, 82(4): 731~740.
- Zhang Zuoheng, Mao Jingwen, Wang Zhiliang, et al. 2006. Geology and metallogenic epoch of the Dabate porphyry copper deposit in west Tianshan mountains, Xinjiang[J]. Geological Review, 52(2): 683~689(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zuoheng, Wang Zhiliang, Zuo Guochao, et al. 2008. Geologic, Tectonic Evolution and Copper Polymetallic Deposits Metallogenic Environment in the West Tianshan of Xinjiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~150(in Chinese).
- Zhu Mingtian, Wu Guang, Xie Hongjing, et al. 2010. Re-Os isotopic geochronology and fluid inclusion study of the Lailisigao'er porphyry Cu-Mo deposit in west Tianshan, Xinjiang NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(12): 3 667~3 682(in Chinese with English abstract).
- Zhu M T, Wu G and Xie H J. 2011. Geochronology and geochemistry of the Kekesai intrusion in western Tianshan, NW China and its geological implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(10): 3 041~3 054.

附中文参考文献

安 芳, 朱永峰. 2008. 西北天山吐拉苏盆地火山岩 SHRIMP 年代

- 学和微量元素地球化学研究[J]. 岩石学报, 24(12): 2 741~2 748.
- 曹景良. 2005. 新疆尼勒克县哈勒尕提铜铁矿地质特征及找矿前景[J]. 地质找矿论丛, 20(增刊): 120~124.
- 陈毓川, 刘德权, 唐延龄. 2008. 中国天山矿产及成矿体系(上册)[M]. 北京: 地质出版社, 297~375.
- 董连慧, 李凤鸣. 2006. 新疆北部斑岩铜矿规律及找矿方向[J]. 矿床地质, 25(增刊): 293~296.
- 冯 京, 薛春纪, 吴淦国. 2011. 西天山莱尔斯高-达巴特一带与斑岩相关的铜钼金矿产预测[M]. 北京: 地质出版社, 1~50.
- 高 俊, 钱 青, 龙灵利, 等. 2009. 西天山的增生造山过程[J]. 地质通报, 28(12): 1 804~1 816.
- 顾雪祥, 董树义, 刘 丽, 等. 2008. 山东沂南金-铜-铁矿床成矿条件分析—兼论不整合面的控矿作用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 27(3): 254~268.
- 韩春明, 肖文交, 崔 彬, 等. 2006. 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, 80(1): 74~89.
- 胡霭琴, 张国新, 王中刚, 等. 1997. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律[M]. 北京: 科学出版社, 210~238.
- 贾志业, 薛春纪, 屈文俊, 等. 2011. 新疆肯登高-铜钼矿地质和S、Pb、O、H同位素组成及 Re-Os 测年[J]. 矿床地质, 30(1): 74~86.
- 李锦铁, 王克卓, 李亚萍, 等. 2006. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J]. 地质通报, 25(8): 895~909.
- 廖启林, 王京彬, 赖键清. 2001. 新疆北部中-大型金、铜矿床的基本成矿特征[J]. 地质论评, 47(6): 625~636.
- 刘宽厚, 庄道泽, 焦学军. 2003. 新疆西天山 1:50 万化探成果评估与异常查证对策[J]. 地质与勘探, 39(6): 6~9.
- 刘延年, 曹景良, 李升福, 等. 2011. 新疆西天山博罗科努成矿带夕卡岩型矿床特征、成矿规律及找矿方向[J]. 矿物学报(增刊): 371~372.
- 申 萍, 董连慧, 冯 京, 等. 2010. 新疆斑岩型铜矿床分布、时代及成矿特点[J]. 新疆地质, 28(4): 358~364.
- 涂光炽. 1999. 初议中亚成矿域[J]. 地质科学, 34(4): 397~404.
- 涂其军, 冯 京, 田江涛. 2012. 新疆博罗科努地区典型铜(钼)金矿床特征及成矿条件分析[J]. 新疆地质, 30(2): 176~181.
- 王 博, 舒良树, Dominique C, 等. 2007. 伊犁北部博罗霍努岩体年代学和地球化学研究及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 23(8): 1 885~1 900.
- 王 核, 彭省临, 赖健清. 2001. 论新疆喇嘛苏铜矿床的多因复成矿作用[J]. 大地构造与成矿学, 25(2): 149~154.
- 王新利, 顾雪祥, 章永梅, 等. 2013. 新疆西天山博罗科努成矿带岩浆岩时空分布、构造演化与成矿响应[J]. 地质通报, 32(5): 774~783.
- 王玉往, 王京彬, 李德东, 等. 2013. 新疆北部幔源岩浆矿床的类型、时空分布及成矿谱系[J]. 矿床地质, 32(2): 223~243.
- 夏林圻, 张国伟, 夏祖春, 等. 2002. 天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束——来自震旦纪、石炭纪火山岩的证据[J]. 地质通报, 21(2): 55~62.
- 肖文交, 舒良树, 高 俊, 等. 2008. 中亚造山带大陆动力学过程与成矿作用[J]. 新疆地质, 26(1): 4~8.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1~169.
- 解洪晶, 武 广, 朱明田, 等. 2013. 西天山喇嘛苏岩体年代学、地球化学及成矿意义[J]. 地学前缘, 20(1): 190~205.
- 薛春纪, 陈 波, 贾志业, 等. 2011. 新疆西天山莱尔斯高-3571 斑岩铜钼矿床地质地球化学和成矿年代[J]. 地学前缘, 18(1): 149~165.
- 杨金中, 赵玉灵, 王永江, 等. 2003. 新疆西天山大哈拉军山组的沉积环境及其与成矿的关系[J]. 地质与勘探, 39(2): 1~5.
- 张东阳, 张招崇, 艾 羽, 等. 2009. 西天山莱尔斯高-1 带铜(钼)矿成矿年代学、地球化学及其意义[J]. 岩石学报, 25(6): 1 319~1 331.
- 张桂林, 梁金城, Nick H, 等. 2002. 新疆西天山吐拉苏火山盆地金矿的构造控矿规律[J]. 地质与勘探, 38(5): 24~29.
- 张作衡, 毛景文, 王志良, 等. 2006. 新疆西天山达巴特铜矿床地质特征和成矿时代研究[J]. 地质论评, 52(2): 683~689.
- 张作衡, 王志良, 左国朝, 等. 2008. 新疆西天山地质构造演化及铜多金属矿床成矿环境[M]. 北京: 地质出版社, 1~150.
- 朱明田, 武 广, 解洪晶, 等. 2010. 新疆西天山莱尔斯高-3571 斑岩型铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 26(12): 3 667~3 682.
- 朱明田, 武 广, 解洪晶, 等. 2011. 新疆西天山科克赛岩体年代学、地球化学及地质意义[J]. 岩石学报, 21(10): 3 041~3 054.