



编号 0258-7106(2010)05-0760-15

柴达木盆地南缘祁漫塔格—鄂拉山地区斑岩-矽卡岩矿床地质*

吴健辉¹, 丰成友², 张德全², 李进文², 余宏全²

(1 湖北国土资源职业学院, 湖北 荆州 434000; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要 柴达木盆地南缘祁漫塔格-鄂拉山地区发育斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床,成矿主元素为 Cu、Mo、Pb、Zn,大部分矿床伴生 Au、Ag。斑岩型和矽卡岩型(化)体共生于同一个矿区之中,是这类矿床的一个重要特点。与成矿有关的侵入体是印支期的中酸性小岩体,它们具有浅成-超浅成和高位等成岩特点。斑岩-矽卡岩矿床的成岩年龄和成矿年龄一致,形成于中三叠世至晚三叠世。它们是东昆仑造山带晚碰撞造山阶段壳-幔作用(幔源岩浆底侵-岩浆混合)的产物,与东昆仑地区这一时期的矽卡岩型铁多金属矿床、热液脉状多金属矿床,以及造山型金矿床共同构成了一个矿床成矿系列。

关键词 地质学;斑岩矿床;矽卡岩矿床;柴达木盆地南缘

中图分类号:P618.41;P618.65

文献标志码:A

Geology of porphyry and skarn type copper polymetallic deposits in southern margin of Qaidam Basin

WU JianHui¹, FENG ChengYou², ZHANG DeQuan², LI JinWen² and SHE HongQuan²

(1 Hubei Geosciences Professional College, Jingzhou 434000, Hubei, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Copper polymetallic deposits of porphyry and skarn type are well developed in southern margin of the Qaidam Basin, whose ore-forming elements are mostly copper, molybdenum, lead and zinc with accompanying elements of gold and silver. A prominent feature of such ore deposits is that mineralizations of porphyry type and skarn type coexist in the same ore deposit. Intrusive rocks related to mineralization are Indosinian intermediate-acid small intrusive bodies assuming hypabyssal and high-level emplacement features. Rock-forming and ore-forming ages of these deposits are consistent, being Middle to Late Triassic. They were formed under the crust-mantle interaction during the late collision of East Kunlun orogeny, forming a metallogenic series with skarn-type iron polymetallic deposits and hydrothermal veinlike polymetallic deposits and orogenic gold deposits of this stage.

Key words: geology, porphyry deposit, skarn deposit, southern margin of the Qaidam Basin

青海省柴达木盆地南缘属于东昆仑山系的北坡,自西向东分别是祁漫塔格山、布尔汉布达山和鄂

拉山。近年来,随着新一轮国土资源大调查的实施和中国地质找矿战略西移,在柴达木盆地南缘的西

* 本文得到中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(编号:K0901)、“十一五”国家科技支撑计划课题(编号:2006BAB01A06)和国土资源部百名优秀青年科技人才计划的联合资助

第一作者简介 吴健辉,女,1963年生,讲师,硕士,从事地质矿产勘查、教学与研究。Email:Yangorwjh@yahoo.com.cn

收稿日期 2010-02-22;改回日期 2010-05-13。张绮玲编辑。

段(即祁漫塔格山,又称祁漫塔格地区),陆续发现并勘查出多处斑岩和矽卡岩型铜多金属矿床,如乌兰乌珠尔(余宏全等,2007)、鸭子沟(李世金等,2008b)、索拉吉尔(丰成友等,2009)、卡尔却卡(李世金等,2008a;王松等,2009)等(图1)。20世纪70~80年代期间,在柴达木盆地南缘东段的鄂拉山地区,发现并勘查出了赛什塘、铜峪沟、日龙沟、什多龙等铜多金属矿床(宋治杰等,1995),在布尔汉布达山发现了托克妥斑岩型铜-金矿床。上述矿床的发现和对比研究表明,柴达木盆地南缘存在着—期与印支期构造-岩浆作用有关的斑岩-矽卡岩型铜多金属成矿作用,而且已经构成了一个NWW向的成矿带。尽管目前这些矿床的勘查程度还比较低,其中柴达木盆地南缘西段矿床的勘查工作程度特别低,因而许多问题难以定论,但是从总结规律、指导找矿的需要出发,初步总结出它们的地质特征和成因类型,是十分必要的。

1 地质背景

柴达木盆地南缘位于青海省的西部,是中央造山带的西部成员——秦祁昆造山系的一部分,经历了早古生代和晚古生代—早中生代的复合造山作用,发育多期(次)岩浆作用和成矿作用(张德全等,

2001;张雪亭等,2007;潘桂棠等,2009)。区域上自北向南可划分出6个次级构造岩浆带(图1):I、柴北缘(ϵ_3-S),II、柴达木地块(Pt_1)盆地(J-N),III、祁漫塔格-都兰(ϵ_3-T),IV、东昆仑北坡(O-T),V、东昆仑南坡(O-T),VI、宗务隆山-鄂拉山(C-T₃)。本文所讨论的矿床位于祁漫塔格-都兰、东昆仑北坡和宗务隆山-鄂拉山3个构造岩浆带中。这3个构造岩浆带的二级构造单元均属于东昆仑弧盆系(也称东昆仑造山带)(潘桂棠等,2009),它们均在前寒武纪基底上,经历了早古生代洋盆开合和加里东期褶皱造山,以及晚古生代—早中生代特提斯洋盆开合和晚华力西—印支褶皱造山作用。

1.1 祁漫塔格—都兰和东昆仑北坡构造岩浆带

古元古界金水口岩群,作为前寒武纪结晶基底,呈零星块体常见于东昆仑北坡构造带,早古生代滩间山群(晚寒武世—早奥陶世)岛弧型火山-沉积岩系广泛出露于祁漫塔格—都兰构造岩浆带,而祁漫塔格—都兰和东昆仑北坡构造带内,加里东期花岗岩类(奥陶纪—中泥盆世)广泛出露。上述表明,祁漫塔格—都兰和东昆仑北坡构造带曾经是早古生代东昆仑多岛弧盆系的一部分,其中东昆仑北坡为微陆块,祁漫塔格—都兰则是该微陆块北侧的岛弧带,岛弧火山-沉积岩系中的大理岩,是矽卡岩型矿床的有利成矿围岩。祁漫塔格—都兰和东昆仑北坡构造

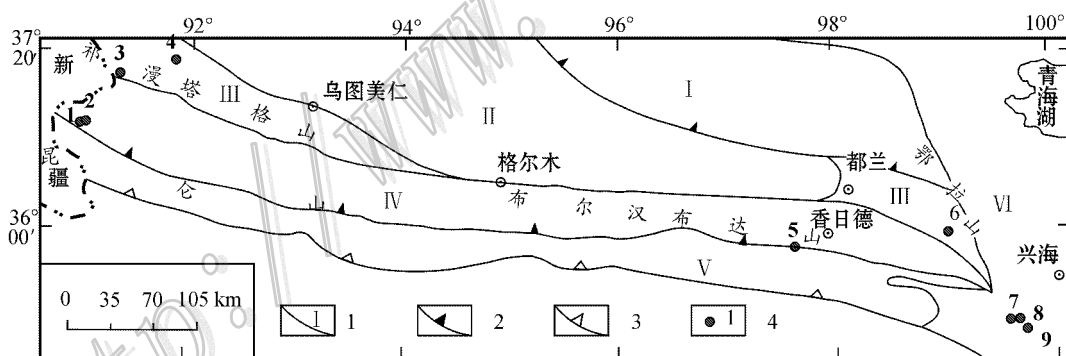


图1 柴达木盆地南缘斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床分布图

1—构造岩浆带边界及其序号;2—早古生代缝合带主断裂;3—晚古生代—早中生代缝合带主断裂;4—矿床及其序号。构造岩浆带:I—柴北缘(ϵ_3-S);II—柴达木地块(Pt_1)盆地(J-N);III—祁漫塔格—都兰(ϵ_3-T);IV—东昆仑北坡(O-T);V—东昆仑南坡(O-T);VI—宗务隆山-鄂拉山(C-T₃)。矿床编号及矿床名称见表1

Fig. 1 The distribution of copper polymetallic deposits of porphyry and skarn type in southern margin of the Qaidam Basin

1—Tectono-magmatic belts: I—Northern margin of the Qaidam Basin(ϵ_3-S); II—Qaidam block(Pt_1)basin(J-N); III—Qimantage-Dulan(ϵ_3-T); IV—North of East Kunlun(O-T); V—South of East Kunlun(O-T); VI—Zongwulongshan-Elashan(C-T₃). Serial

number and names of the deposits as for Table 1

岩浆带内与加里东期造山有关花岗岩类(中奥陶世—泥盆纪)的大量出现,说明祁漫塔格-都兰构造岩浆带是一个加里东期火山-侵入岩浆弧,而东昆仑北坡构造岩浆带则是一个加里东期侵入岩浆弧。晚古生代—早中生代期间,祁漫塔格-都兰和东昆仑北坡构造岩浆带均受制于区域南侧的古特提斯洋盆的闭合作用,从而出现大量石炭纪—三叠纪花岗岩类,显示这两个构造带在这一时段的陆缘造山岩浆弧之属性。晚三叠世陆相火山岩(鄂拉山组)常见于祁漫塔格-都兰构造岩浆带西段(祁漫塔格山)和东昆仑北坡构造岩浆带东端(鄂拉山),而晚三叠世花岗岩类则广泛分布于祁漫塔格-都兰构造岩浆带和东昆仑北坡构造岩浆带。这些晚三叠世火山岩和花岗岩类为陆相高钾钙碱性—钾玄岩质或强过铝质火成岩,它们是碰撞造山的产物(莫宣学等,2007),本文所讨论的斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床大多与这一期的花岗岩类之岩浆期后热液作用有关。

上述2个构造岩浆带的局部发育 NWW 向和 NE 向断裂构造,前者通常是斑岩-矽卡岩型铜多金属矿重要的控岩和控矿构造,后者则切穿 NWW 向断裂、花岗岩类岩体以及矿体。

1.2 宗务隆山-鄂拉山构造岩浆带

这是中央造山系中东昆仑和西秦岭两造山带的衔接转换部(孙延贵等,2004)。与祁漫塔格-都兰构造岩浆带和东昆仑北坡构造岩浆带不同的是,宗务隆山-鄂拉山构造岩浆带在晚古生代(石炭纪—二叠纪)时期,沿宗务隆山—同仁隆务峡及其以南的部分地区,在碰撞后地壳伸展背景下形成裂陷盆地或小洋盆,从而构成布青山—阿尼玛卿古特提斯洋的分支洋(张智勇等,2004),并于中—晚二叠世闭合。早—中三叠世时期,宗务隆山-鄂拉山构造岩浆带的南部(图1中的兴海一带)再一次拉张裂陷,形成了巨厚陆源复理石沉积(宋志杰等,1995),其中的碳酸盐岩和细碎屑岩分别成为本文所讨论的矽卡岩矿床和斑岩矿床的有利成矿围岩。晚三叠世鄂拉山组陆相火山岩不整合覆盖于早—中三叠世复理石沉积之上,同期的花岗岩类侵入体沿区域近东西向、北西向断裂侵入,其中的高位浅成侵入体(花岗闪长斑岩和花岗斑岩等)是斑岩-矽卡岩矿床的主要成矿母岩。

2 典型矿床

柴达木盆地南缘主要斑岩-矽卡岩型铜多金属

矿床的基本特征概括于表1,以下仅对3个典型矿床的主要特征作进一步补充描述。

2.1 卡尔却卡斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床

卡尔却卡铜多金属矿床是柴达木盆地南缘西段具有代表性的一个斑岩-矽卡岩型矿床,该矿床的基本特征见表1,这里只进一步阐述它的蚀变和矿化分带特征。

除少量第四纪浮土之外,卡尔却卡矿区地表出露的岩石主要为二叠纪—三叠纪花岗岩类,少量早古生代火山岩-碎屑岩-大理岩组合(滩间山群)呈捕掳体或顶垂体分布于花岗岩体内。矿区内的矽卡岩型矿(化)体全部产于滩间山群与花岗岩类接触带的矽卡岩中,斑岩型矿(化)体全部产于隐伏斑岩与花岗岩接触带(图2)。

2.1.1 斑岩型矿化

卡尔却卡矿区目前所发现的斑岩型矿化集中于矿区西北部,之所以如此,是因为只有这一带存在与斑岩型矿化有关的隐伏斑岩体。

这一带地表共圈出蚀变带3条,它们呈长大于1.5 km、宽40~150 m、走向NWW、倾向北东、倾角70~80°的带状,分布在似斑状黑云母二长花岗岩内的NWW向破碎带中(图2)。蚀变以黄铁绢英岩化为主,蚀变矿物主要有石英、绢云母、高岭石,并有较多的细(网)脉浸染状黄铁矿(地表多氧化成褐铁矿),偶见黄铜矿(地表多呈孔雀石)浸染于其中。

在上述蚀变带内,已经有个别钻孔打到了蚀变斑岩,根据残留石英斑晶和残留的长石板状形态,初步判断其原岩为花岗闪长斑岩或花岗斑岩,其与似斑状黑云母二长花岗岩呈侵入接触关系。在ZK3901钻孔见到的花岗闪长斑岩或花岗斑岩厚度达200 m,在该钻孔中的斑岩中心部位数十米(孔深)范围内,岩石钾长石化和硅化(统称钾-硅化)强烈,钾-硅化上、下两侧的斑岩和似斑状黑云母二长花岗岩,黄铁绢英岩化十分强烈。在钾-硅化蚀变的岩石中,除见黄铁矿外,还有少量黄铜矿,偶见辉钼矿,其Cu和Mo含量均不够工业品位。钻孔中,黄铁绢英岩化蚀变的岩石内,黄铜矿化普遍,其铜品位在0.15%以上的地段累计达117 m。除含铜之外,黄铁绢英岩化岩石还含金,品位 $w(\text{Au})$ 在 $0.075 \times 10^{-6} \sim 0.2 \times 10^{-6}$ 之间,平均 $\geq 0.1 \times 10^{-6}$ 的钻孔进尺愈350 m(李仕金等,2008a)。

由于该矿的工作程度还很低,加之地表露头较

表 1 柴达木盆地南缘主要的斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床地质特征

Table 1 Geological characteristics of the major copper polymetallic deposits of porphyry and skarn type in southern margin of the Qaidam Basin

序号*	矿床	矿区地质	蚀变、矿(化)体及矿石	参考文献
1	卡尔却卡,斑岩(Cu-Mo)-矽卡岩型(Cu-Mo-Zn-Pb),正在工作中,已经控制的 Cu 资源量达中型规模	矿区地层为下古生界滩间山群火山岩-碎屑岩-大理岩组合,呈捕虏体或顶垂体分布于花岗岩类岩体中。侵入岩岩石组合为晚华力西-印支期二长花岗岩-花岗闪长岩。与成矿有关的侵入体-矽卡岩型矿体与花岗闪长岩(锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(237±2)Ma),岩株有关。斑岩型矿(化)体与花岗闪长斑岩和黑云母花岗岩斑岩岩脉有关。发育 NWW 向和 NE 向 2 组断裂,前者是重要的控岩和控矿构造,NE 向断裂切穿 NWW 向断裂和花岗岩类岩体	蚀变:①斑岩型表现为以斑岩体为中心的钾化和硅化,向外侧为黄铁绢英岩化蚀变;②矽卡岩型表现为受侵入接触带和地层层间破碎带或滑脱带控制的矽卡岩化,已发现 3 条北西西向含矿矽卡岩带 矿(化)体:①斑岩型:产于硅化和黄铁绢英岩化蚀变带中。地表共圈出 10 条铜矿体(伴生钼、金),钻孔见铜品位在 0.1% 左右的矿化厚度逾 140 m;②矽卡岩型矿体呈透镜状、似层状,产于已发现的 3 条铜多金属矿化矽卡岩带中,其中 I 号矽卡岩带以铜、锌、铁为主;II 号矽卡岩带主要为铅、锌、共、伴生金和银;III 号矽卡岩带主要为铜、钼,并伴生金和银 矿石:斑岩型矿石具浸染状和细网脉浸染状构造,有用组分为 Cu,伴生 Mo、Au,矿石矿物主要是黄铜矿和黄铁矿;矽卡岩型矿石呈块状、浸染状和稠密浸染状构造,有用组分为 Cu、Mo、Fe、Zn、Pb、Ag、Au,矿石矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、黝铜矿、磁铁矿、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿等	李世金等,2008a;丰成友等,2009
2	索拉吉尔,矽卡岩型(Cu-Mo),正在工作中,规模不清	矿区地层为下古生界滩间山群大理岩和碎屑岩,呈捕虏体或顶垂体分布于花岗岩类岩体中。侵入岩岩石组合为印支期花岗闪长岩-二长花岗岩。与成矿有关的侵入体是中细粒黑云母花岗闪长岩岩株,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(237±2)Ma。矿区发育 NWW 向和 NE 向两组断裂构造,其中 NWW 向为区内主要控矿构造,由一系列相互平行、近等间距的 NWW 向断裂组成,常被北东走向平移断层切割,具多期活动特征	蚀变:以矽卡岩化为主,矽卡岩主要产于黑云母花岗闪长岩或黑云母二长花岗岩与滩间山群大理岩接触带,其次产于滩间山群内部大理岩与砂岩层间。主要有石榴石矽卡岩、透辉石钙铝榴石矽卡岩、透辉石符山石矽卡岩等 矿(化)体:铜钼矿化产于矽卡岩内,岩体与围岩接触带矽卡岩中矿化较强,已圈定 2 条主要的似层状、层状矿体。其中, M ₁ 矿体长 600 m,均厚 11.11 m,平均品位 Cu 1.40%、Mo 0.12%;M ₂ 矿体长 800 m,均厚 7.38 m,平均品位 Cu 2.28%、Mo 0.095% 矿石类型主要有浸染状、块状、条带状,矿石矿物主要为黄铜矿、辉铜矿、辉钼矿、孔雀石、蓝铜矿等。脉石矿物有透辉石、石榴子石、绿泥石、绿帘石、符山石、方解石等。矿石中的辉钼矿 Re-Os 年龄(238.8±1.3)Ma	丰成友等,2009
3	鸭子沟,斑岩(Cu-Mo)-矽卡岩型(Cu-Mo-Zn-Pb),正在工作中,规模不清	矿区地层主要是上三叠统鄂拉山组陆相火山-沉积岩系,其次为早古生界滩间山群碎屑岩-火山岩-碳酸盐岩组合。侵入岩岩石组合为晚华力西(?)印支期花岗闪长岩-二长花岗岩-正长花岗岩-钾长花岗岩,发育花岗闪长斑岩、闪长岩、闪长玢岩、辉绿岩及辉长岩等脉岩,与成矿有关的侵入体是钾长花岗岩岩株,地表出露面积约 0.8 km ² ,侵入于花岗闪长岩和二长花岗岩中,锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(224.0±1.6)Ma。区内发育 NWW 向、NNW 向和 NE 向 3 组断裂,均为区域 NWW 向主干断裂的次级断裂,是成矿流体运移和矿床就位的不利部位	蚀变:钾长花岗岩内外接触带发育钾化、绢云母化、青磐岩化、粘土化,岩体与滩间山群碳酸盐岩接触带发育矽卡岩化 矿(化)体:斑岩体内及接触带产出带状 Cu(Mo)矿(化)体,接触交代矽卡岩中产出透镜状 Cu-Mo 或 Pb-Zn 矿体,二者的规模均未控制 矿石:斑岩型矿石具浸染状和细网脉浸染状构造,矽卡岩型矿石呈块状和稠密浸染状构造,矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、斑铜矿等。矿石的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(224.7±3.4)Ma	李世金等,2008b

续表 1-1
Continued Table 1-1

序号*	矿床	矿区地质	蚀变、矿(化)体及矿石	参考文献
4	乌兰乌珠尔斑岩型(Cu-Mo),小型规模	除第四系沉积外,矿区大部为晚华力西期花岗岩类。侵入岩石组合为晚华力西期斑状斜长花岗岩-中细粒斜长花岗岩。与成矿有关的侵入体是北西西向花岗斑岩脉,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(215.1 ± 4.5) Ma。区内见 NWW 向、NEE 向及 NE 向断裂。NWW 向、NEE 向断裂构成区内主干断裂,沿其常见花岗岩脉、花岗斑岩脉及钾长花岗岩脉侵入	蚀变:主要有钾化、绢英岩化和青磐岩化,其次为碳酸盐化和高岭土化。自斑岩脉中心向外,可以划分出 3 个主要的蚀变带:钾化-绢英岩化带→绢英岩化带→青磐岩化带 矿(化)体:在接触带的绢英岩化带内圈定铜矿(化)体 9 个,呈似层状、透镜状、脉状产出,长 100~660 m,平均厚 1.02~39.84 m,平均品位 0.23%~2.66% 矿石:以浸染状和细(网)脉浸染状矿石为常见,矿石矿物为黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、锡石等,深部出现辉钼矿	余宏全等,2007
5	托克妥斑岩型(Cu-Au),小型规模	除少量金水口群(Ar ₃ Pt ₁ b)黑云斜长片麻岩外,矿区主要是花岗岩类侵入岩,包括晚华力西期花岗闪长岩和印支期花岗岩。与成矿有关的侵入体为 NW 向延长的椭圆形、面积约 1 100 × 600 m ² 的辉石闪长玢岩(中心相)闪长玢岩(外部相)岩体,最外部环绕的是爆破角砾岩,该岩体侵入于晚华力西期花岗闪长岩,推断其为印支期侵入体	闪长玢岩内部仅见微弱的钾长石化和绢云母化、岩体边缘大部分仅见微弱的绢云母化,岩体北部边缘的爆破角砾岩具强烈的硅化,可能与该地宽几厘米至几十厘米的斑岩脉有关,岩体外接触带的青磐岩化亦很微弱。矿化仅见于斑岩体北部强烈硅化、绢云母化的爆破角砾岩带内(角砾成分为花岗闪长岩)形成一 NWW 向长约 500 m、宽约 100 m 的矿化带。初步控制 2 条铜金矿体,其长 180~300 m,宽 5~20 m,铜品位 0.22%~2.56%,金含量 0.1~6.53 g/t。矿石矿物主要是黄铁矿,其次为黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿、方铅矿等,硫化物呈细(网)脉浸染状、团块状产于强绢英岩化、硅化的爆破角砾岩中。推断该矿区剥蚀较深	张德全等,2002。青海省东昆仑地区综合找矿预测与突破(科技报告)
6	什多龙砂卡岩型(Zn-Pb-Cu),锌铅达中型规模	矿区露出地层有前石炭系变质岩和石炭系下统大干沟组浅变质岩(碳酸盐岩、变细砂岩、含砾粗砂岩,其中碳酸盐岩和变细砂岩与成矿关系密切)。区内主要见有印支期花岗闪长岩、花岗斑岩,这两者与成矿关系密切。发育近东西向背、向斜,北部倾伏背斜,南部向斜。近东西向断层具导矿、容矿特征	蚀变:产于岩体外接触带碳酸盐岩和变细砂岩层间破碎带中的砂卡岩化和硅化 矿(化)体:矿体呈似层状矿体-透镜状,已圈定 21 个矿体,其中主矿体 2 个。矿体走向 45~100°,倾向南。矿体上部为 Pb、Zn,下部含 Cu 矿石:具浸染状构造-块状构造-网脉状构造-角砾状构造,主要金属矿物有闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿,主矿体铅:4.84%,锌:7.5%,伴生 Ag、Au	宋志杰等,1995;青海省有色地勘局八队,1995。青海省兴海县什多龙银铅锌矿床地质勘探报告(内部资料)
7	日龙沟砂卡岩型(Sn-Cu-Zn-Pb),锡达大型规模	矿区地层主要中、下三叠统变质碎屑岩、碳酸盐岩,局部夹火山碎屑岩组合,中部岩性段为主要含矿层。主矿体产于大理岩与变质粉砂岩、黑云石英片岩的接触部位或产于变质粉砂岩与黑云母千枚岩的接触部位。矿区北侧有印支期石英闪长岩岩株。矿区总体呈一走向近南北、向东倾斜的单斜构造,层间断裂发育,层间构造破碎带控制着矿体的产状	蚀变:受层间(大理岩与粉砂岩、片岩、千枚岩层间)构造破碎带控制的砂卡岩及其退化蚀变。蚀变矿物有透辉石、斧石、阳起石、绿帘泥石、黑绢云母、斜长石、石英、方解石、绢云母、绿泥石及少量石榴石、电气石等 矿(化)体:呈似层状-透镜状,已发现矿体 23 个,平均品位 Sn 0.378%,Cu 0.67%,Pb 2.18% Zn 3.03%。主矿体 2 个, M2-1 主矿体地表断续延长在 1 000 m,延深约 350 m,厚 0.8~4.2 m。主矿体中矿头部分由铅锌矿石组成,中部铜、锡含量较高,矿尾部分以锡为主。主要矿体的中、上部局部可构成金与银的表外矿体 矿石:主要为锡石-硫化物矿石,可细分为单组分(锡或铜或铅锌)矿石和多组分锡-多金属(铜、铅锌)矿石两大类,主要金属矿物有铅石、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿,少量黄锡矿、毒砂、白铁矿、辉钼矿等	王彬生,1990;田生玉,1999;青海省地矿局第三地质大队,1988。青海省兴海县日龙沟矿区锡-多金属矿普查地质报告(内部资料)

续表 1-2
Continued Table 1-2

序号*	矿床	矿区地质	蚀变、矿(化)体及矿石	参考文献
8	铜峪沟,矽卡岩型(Cu-Zn-Pb),大型规模	矿区地层岩石为中-下三叠统浅变质碎屑岩和碳酸盐岩组合,主要岩石有大理岩、变粉砂岩、变砂岩、变长石石英砂岩、钙质千枚岩、千枚岩、黑云千枚岩等,它们呈互层状或透镜状叠覆。矿区内仅见闪长玢岩、闪长岩脉,矿区外围有印支期石英闪长杂岩体(岩株)。控制主矿体的构造主要为铜峪沟短轴背斜两翼的层间滑脱带,背斜轴向北西-北北西,西翼地层倾角 50 度左右。矿区断裂发育,有 EW 向、NW 向、NNW 向、NE 向、NNE 向等,其中以 NNW 向断裂与成矿关系密切	蚀变:以矽卡岩化及其退化蚀变为主,矽卡岩带受褶皱翼部的层间(碎屑岩和碳酸盐岩层间)滑脱带控制。以石榴石矽卡岩、辉石矽卡岩及其过渡类型为最常见,矽卡岩中还叠加了硅化、碳酸盐化、阳起石化、绿帘石化、绿泥石化、绢云母化等水热蚀变 矿(化)体:矿体呈层状、似层状和透镜状,产于矽卡岩带内,主矿体 12 个,矿体长 80~1 700 m,厚 1.5~4 m, $\alpha(\text{Cu})$ 在 0.46%~1.36% 之间 矿石:以浸染状构造和块状构造为主,还见条带状构造、网脉状构造等。主要矿石矿物为磁黄铁矿,其次是黄铜矿和黄铁矿,还有方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、黄锡矿等,有用组分主要是 Cu,其次为 Pb、Zn,伴生 Au、Ag、Mo 等	宋治杰等,1995;田生玉,1999;张汉文,2000;2001,青海省地质局第三地质大队,1985.青海省兴海县铜峪沟矿区详细普查地质报告(内部资料)
9	赛什塘,矽卡岩(Cu-Zn-Pb)斑岩型(Cu-Mo),中型规模	矿区地层为中-下三叠统千枚岩、大理岩、灰岩及变质砂岩,侵入岩岩石组合为印支期中粒石英闪长岩-中细粒石英闪长斑岩-花岗闪长斑岩或英云闪长斑岩,与成矿有关的侵入体是呈小岩株或小岩枝出现的晚三叠世石英闪长斑岩,其全岩 K-Ar 年龄变化于 234~218 Ma。矿区内发育一向北西倾伏的背斜,轴向 315°,两翼次级褶皱十分发育,褶皱翼部层间滑脱带发育。成矿前和成矿期断裂 NW 向,成矿后断裂 NE 向和 EW 向	蚀变:①矽卡岩型:受侵入接触构造和褶皱翼部的层间滑脱带控制的矽卡岩化蚀变,矽卡岩带底部偶见镁矽卡岩(由镁橄榄石、尖晶石、方镁石等组成),向上为钙矽卡岩(石榴石矽卡岩、辉石矽卡岩及其过渡类型),矿体多赋存在退化蚀变的石榴石辉石矽卡岩中,矽卡岩中还叠加了阳起石、透闪石、绿泥石、金云母及方解石等水热蚀变矿物;②斑岩型:以斑岩体为中心,自内向外依次是钾化带、黄铁绢英岩化带 矿(化)体:以矽卡岩型为主,分为铜(硫)矿体、硫铁矿体、铅锌矿体及少量铁矿体,呈似层状、透镜状、扁豆状,具分支复合现象。矿体最长达 2 400 m,最大延深 600 m,厚为 1~20 m,最厚可达 30 m。在岩体与地层斜交侵入部位矿体最厚。斑岩型矿(化)体主要表现在石英闪长斑岩内接触带发育厚大的浸染状和细(网)脉浸染状含铜-硫化物矿化, $\alpha(\text{Cu})$ 在 0.1%~0.4% 之间 矿石:①矽卡岩型矿体的矿石最常见的有块状和浸染状两种构造,局部有条纹状、细脉状等,偶见团块状。矿石矿物主要为磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿及黄铜矿,还见有黝铜矿、方铅矿、闪锌矿、白钨矿、毒砂、方黄铜矿、斑铜矿等。②斑岩型:以浸染状和细(网)脉浸染状矿石为主,矿石矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、辉钼矿等	宋治杰等,1995;田生玉,1999;张汉文,2001;李东生等,2009

* 各矿床的序号同图 1。

差,目前尚无法在地质图上圈定该斑岩体以及围绕它所形成的蚀变带。但是,从 ZK3901 钻孔可以初步总结出卡尔却卡矿区斑岩型矿化的蚀变和矿化,空间上是以花岗闪长斑岩或花岗斑岩岩体为中心,向两侧(接触带)蚀变分带的模式。即中心是钾-硅化+Cu(Mo)矿化,向两侧为黄铁绢英岩化+Cu(Au)矿化。

2.1.2 矽卡岩型矿化

卡尔却卡矿区已经发现了 3 个矽卡岩带,它们集中于矿区的中北部,分别编号为 SK-I、SK-II 和 SK-III(图 2)。由于矽卡岩产出部位、构造控制和被

交代原岩不同,导致这 3 个矽卡岩带的蚀变和矿化分带差别较大。

规模和产状 SK-I 和 SK-III 断续长大于 2.5 km,宽 10~150 m 不等,走向北西西或近东西,倾向北北东,局部南南西,倾角一般大于 70°。SK-I 分布于似斑状黑云母二长花岗岩或花岗闪长岩外接触带的滩间山群地层(地层岩石为火山岩-大理岩组合)中,其通常距接触面数十米;SK-III 分布于花岗闪长岩或似斑状黑云母二长花岗岩与滩间山群(地层岩石仅为大理岩)的接触带上,矽卡岩或矿体的顶板或底板围岩是花岗岩类岩石。SK-II 断断续续,长大于

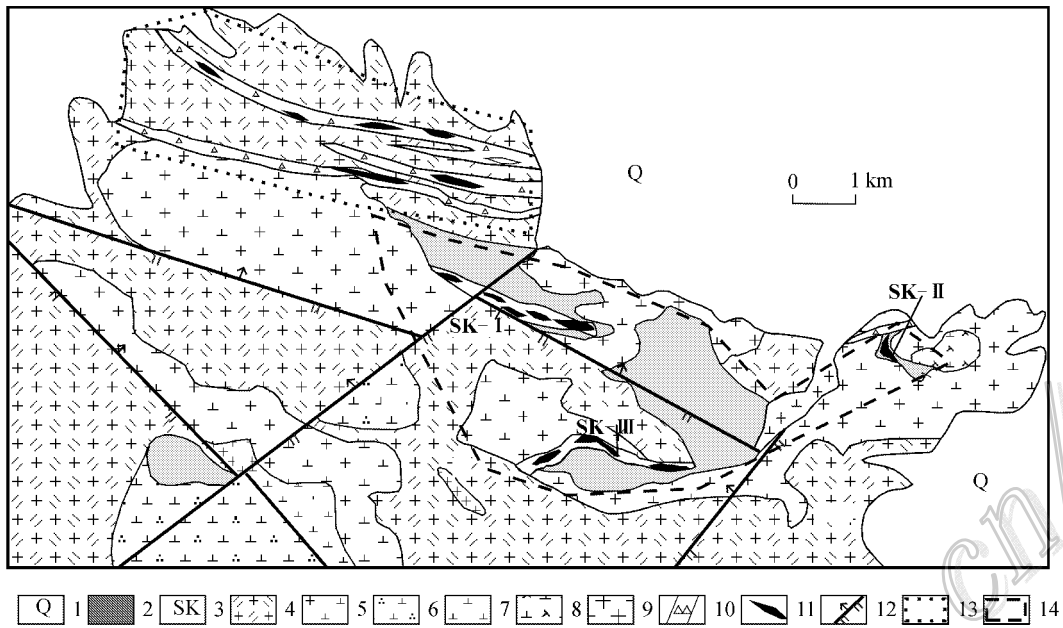


图2 卡尔却卡铜多金属矿区地质简图

1—第四系；2—滩间山群火山岩-碎屑岩-大理岩组合；3—矽卡岩；4—似斑状黑云母二长花岗岩；5—花岗闪长岩；6—石英闪长岩；7—闪长岩；8—闪长玢岩；9—花岗岩；10—破碎蚀变带；11—矿体；12—断层；13—斑岩型矿化区；14—矽卡岩型矿化区

Fig. 2 Geological sketch map of the Kaerqueka copper-polymetallic ore district

1—Quaternary；2—Volcanic-clastic-marble lithostratigraphic sequence of Tanjianshan Group；3—Skarn；4—Porphyritoid biotite monzonitic granite；5—Granodiorite；6—Quartz diorite；7—Diorite；8—Diorite porphyrite；9—Granite；10—Altered shatter zone；11—Ore body；12—Fault；13—Area of porphyry type mineralization；14—Area of skarn type mineralization

1 km,宽 10~100 m 不等,走向北北西-北西西,倾向北北东,倾角近于直立,分布于似斑状黑云母二长花岗岩或花岗闪长岩外接触带的滩间山群地层(地层岩石仅为大理岩)中,矽卡岩或矿体的顶板或底板通常距接触面数十米。

构造控制 控制卡尔却卡矿区矽卡岩的构造有2种:一是侵入接触构造;二是层间破碎带。

SK-III是主要受侵入接触构造控制的矽卡岩带,其形态和产状主要受岩体顶界面的形态起伏控制(图3)。SK-I和SK-II两个矽卡岩带受层间破碎带或滑脱带构造控制,它们的形态和产状基本受制于破碎带或滑脱带的形态和产状。其中,SK-I主要产于滩间山群地层中的火山岩(安山玄武岩或安山岩等)和大理岩层间破碎带中,产状与地层产状大体一致(图3);SK-II产于滩间山群中大理岩内的破碎带中,该破碎带有时大致顺层(NWW向),有时穿层(NNW向),因而导致矽卡岩带在走向上的产状变化较大(图2、图3)。

蚀变和矿化分带 3个矽卡岩带中的蚀变矿物通常有:辉石(透辉石-次透辉石)、石榴子石(钙铁榴

石为主)、符山石、硅灰石、阳起石、透闪石、绿帘石、斜长石、石英、方解石、绿泥石、绢云母。尽管3个矽卡岩带中的蚀变矿物组成大体相似,但是不同矽卡岩带中的蚀变矿物含量却相差较大,而且蚀变分带也不同。这可能主要与被交代的原岩不同有关。

SK-I矽卡岩带是产于外接触带,流体沿安山玄武岩或安山岩和大理岩界面向两侧岩石扩散交代的产物,该带的主要的矽卡岩矿物是辉石和石榴子石,退化蚀变矿物以阳起石、绿帘石、石英、方解石为主,其矽卡岩分带表现为安山玄武岩或安山岩一侧是以辉石石榴石矽卡岩和石榴石辉石矽卡岩为主,到大理岩一侧逐步过渡到以辉石矽卡岩为主。该矽卡岩带内已发现透镜状-似层状矿体20多个,成矿主元素以Fe、Zn、Cu为主。该带和祁漫塔格地区众多的矽卡岩型铁多金属矿床比较类似,从接触带向外依次出现Fe(矿石矿物以磁铁矿为主)→Fe-Cu(矿石矿物以磁铁矿和黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿居多)→Fe-Zn(矿石矿物以磁铁矿和黄铁矿、闪锌矿为主)组合(图3)。

SK-II矽卡岩带产于外接触带,是流体沿大理岩

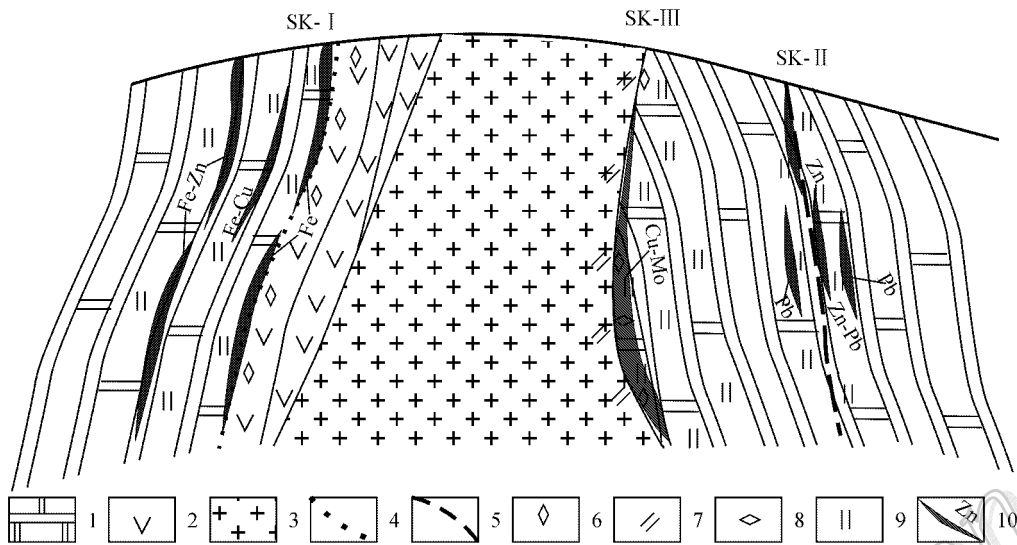


图 3 卡尔却卡铜多金属矿区矽卡岩及矿化分带示意图

1—大理岩；2—火山岩；3—花岗岩类；4—层间滑脱带；5—破碎带；6—石榴子石；7—斜长石；8—符山石；9—辉石；10—矿体

Fig. 3 Sketch map showing zonation of skarn and mineralization of the Kaerqueka copper-polymetallic ore district
1—Marble；2—Volcanic rocks；3—Granitoids；4—Interlayer detachment fault；5—Shatter zone；6—Garnet；7—Plagioclase；8—Vesuvianite；9—Pyroxene；10—Ore body

中的断裂构造交代的产物。该带的矽卡岩矿物主要是辉石,石榴子石较少,退化蚀变矿物主要有透闪石、方解石、石英等,矽卡岩分带大体为自构造中心以辉石矽卡岩为主,向两侧逐步成为矽卡岩化碎裂大理岩。该矽卡岩带主成矿元素是 Pb、Zn,伴生 Au、Ag,且局部有金工业矿体,目前已经圈出透镜状铅锌矿体 5 个。该带的矿化分带表现为从构造中心向外大体上为 Zn(辉石矽卡岩中,黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿为主)→Zn-Pb(辉石矽卡岩和矽卡岩化碎裂大理岩中,黄铁矿、闪锌矿、方铅矿为主)→Pb(矽卡岩化碎裂大理岩中,方铅矿为主)(图 3)。

SK-III 矽卡岩带产于花岗岩类岩体与大理岩接触带,是流体沿花岗岩类与大理岩界面向两侧扩散交代的产物,其矽卡岩矿物和退化蚀变矿物种类齐全、分带性好。矽卡岩总体上的分带表现为从岩体一侧的斜长石化,向大理岩一侧逐步变为符山石石榴子石矽卡岩→辉石石榴子石矽卡岩→辉石矽卡岩→矽卡岩化大理岩。该矽卡岩带主成矿元素以 Cu、Mo 为主(图 3),已圈定似层状-透镜状铜钼矿体 3 条。矿体长 290~600 m,平均厚 12 m,平均含铜 1.34%~2.79%,铜矿体中钼品位变化大,最低者 0.00 n×10⁻²,最高可达 59%(王松等 2009)。铜钼矿体多产于紧靠斜长石化花岗岩的辉石石榴子石矽卡岩中。

2.2 托克妥斑岩型铜-金矿床

这是柴达木盆地南缘中段(布尔汗布达山)目前唯一的斑岩型矿床。

除少量古元古宙金水口群片麻岩和加里东期超镁铁岩之外,托克妥矿区主要出露花岗岩类岩石,并以二叠纪花岗闪长岩(K-Ar 年龄 280 Ma)为主、三叠纪花岗岩为辅(图 4)。

2.2.1 与成矿有关的斑岩体

托克妥矿区与成矿有关的斑岩体,地表呈北西向延长的椭圆状,面积约 1 100×600 m²,沿北西向断裂侵入于二叠纪花岗闪长岩中(图 4)。该岩体分异相带明显,岩体中心相是辉石闪长玢岩,外部相为闪长玢岩,最外部环绕的是爆破角砾岩,其主体岩性为闪长玢岩,各岩相带之间为渐变过渡关系,从中心相的辉石闪长玢岩到外部相闪长玢岩,岩石结构逐步变细。在该岩体的北部边缘,有多条宽几厘米至数十厘米的斑岩脉伸入到爆破角砾岩中,并形成强烈的绢云母化、硅化蚀变和 Cu、Au 矿化。

该岩体岩石的最大特点是普遍富含钙质角闪石,表明岩浆具有富水的特点。同时,岩石斑状结构清晰,显示其属于岩浆快速冷却的产物,边部的爆破角砾岩更典型的浅成-超浅成侵入岩的特征。爆破角砾岩的原岩以围岩花岗闪长岩为主,胶结物是

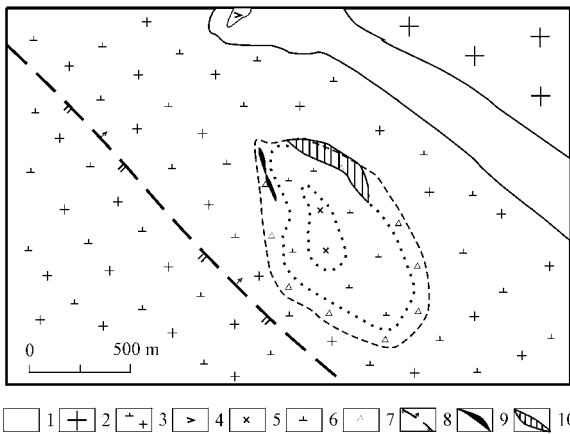


图4 托克受矿区地质简图

1—古元古宙片麻岩；2—三叠纪花岗岩；3—二叠纪花岗闪长岩；4—加里东期超镁铁岩；5—辉石闪长玢岩；6—闪长玢岩；7—爆破角砾岩；8—断裂；9—Au(Cu)矿体；10—Cu(Au)矿体

Fig. 4 Geological sketch map of the Tuoketuo ore district
1—Paleoproterozoic gneiss；2—Triassic granite；3—Permian granodiorite；4—Caledonian ultramafic rock；5—Pyroxene diorite porphyry；6—Diorite porphyry；7—Explosive breccia；8—Fault；9—Au(Cu) ore body；10—Cu(Au) ore body

闪长玢岩,但该岩体东部局部可见以闪长玢岩角砾为主的爆破角砾岩,可见该闪长玢岩体具有脉动侵位方式。

类似于托克受矿区闪长玢岩的同时代浅成-超浅成侵入体,在柴达木盆地南缘中段还有多处,如哈图、石灰沟、五龙沟等(钱壮志等,2000;罗照华等,2002)。据钱壮志等(2000)分析,托克受岩体中的辉石闪长玢岩 $\alpha(\text{SiO}_2)$ 在46%~51%之间,闪长玢岩 $\alpha(\text{SiO}_2)$ 在61%左右,均属高钾钙碱性系列,基本不具Eu负异常、轻稀土元素富集的特征。罗照华等(2002)获得了角闪石 $\text{Ar}-\text{Ar}$ 坪年龄为(226.4~0.4)Ma,等时线年龄为(222.2~3.3)Ma,证明其形成于印支期。

2.2.1 蚀变矿化特征

托克受矿区大多数岩石蚀变较弱,闪长玢岩内部具钾长石化(辉石闪长玢岩中钾长石化比较普遍)和绢云母化,闪长玢岩边缘具绢云母化,闪长玢岩岩体外接触带的花岗闪长岩有较弱的青磐岩化。仅在闪长玢岩岩体北部边缘的爆破角砾岩见强烈的硅化和绢云母化,可能与该地宽几厘米至几十厘米的斑岩脉有关。尽管围岩蚀变较弱,但自斑岩体中心到边缘蚀变类型具明显的环状分带性:斑岩体中心为钾长石化、绢云母化,边部为绢云母化、硅化,外接触

带为青磐岩化。

岩体边部的绢云母化蚀变带中,特别是绢云母化的爆破角砾岩内,普遍含有浸染状黄铁矿,局部偶见黄铜矿浸染于其中,但Cu含量大多不够工业品位,仅在岩体北部边缘强烈硅化和绢云母化的爆破角砾岩中,发现了较好的铜、金矿体。已初步控制矿体2个,其中一个矿体以金为主,铜品位亦达工业要求,另一个矿体以铜为主,共(伴)生金。二者均呈近北西向展布,倾向北东、倾角40~50°,长180~300m,宽5~20m,铜品位0.22%~2.56%,金含量0.1~6.53g/t。矿石矿物主要是黄铁矿,其次为黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿、方铅矿等,硫化物呈细(网)脉浸染状、团块状产于强绢英岩化、硅化的爆破角砾岩中。

需要指出的是,从目前已经掌握的资料推断,托克受矿区斑岩型铜矿不具备进一步找矿的前景,理由是闪长玢岩岩体上部已经遭受了强烈的剥蚀。其依据是爆破角砾岩只出露在岩体的周边,并且闪长玢岩岩体中心部位的钾长石化蚀变已经广泛出露地表,因此,岩体上部或顶部的爆破角砾岩以及硅化、绢云母化和泥化蚀变已经被剥蚀殆尽,与之相伴的斑岩铜矿的最好部分也就被剥蚀掉了。

2.3 赛什塘斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床

这是柴达木盆地南缘东段(鄂拉山地区)最具有代表性的一处斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床。其主要的矿床地质特征概括于表1,李东生等(2009)也对该矿床的地质特征进行了详细报道,这里仅对与成矿有关的侵入岩以及蚀变和矿化特征作进一步阐述。

2.3.1 与成矿有关的侵入体

一个中酸性岩浆杂岩体,分布于赛什塘矿区及其外围(田生玉,1999;李东生等,2009)。该杂岩体沿北西向褶皱轴部附近断裂侵入于中-下三叠统浅变质碎屑岩和碳酸盐岩中,其主体呈北西向岩舌,出露面积 $6 \times (0.4 \sim 1.1) \text{ km}^2$,由多次脉动侵位的中深成相石英闪长岩、浅成和超浅成相的细粒石英闪长岩及石英闪长斑岩、花岗斑岩、英云闪长斑岩、花岗闪长斑岩、石英斑岩组成。其侵入序次从早到晚为闪长岩→中粒石英闪长岩→细粒石英闪长(斑)岩→花岗闪长斑岩或英云闪长斑岩→花岗斑岩→石英斑岩。

石英闪长斑岩和细粒石英闪长岩与成矿有关,它们呈出露面积不大(0.09~0.8 km^2)、形态复杂的

小岩株、岩脉,分布于早期的中深成相石英闪长岩体北西部边,或侵入于早期的石英闪长岩中。石英闪长岩斑岩边部尚可见潜火山岩和爆破角砾岩(田生玉,1999;李东生等,2009),显示其属于超浅成相的高位侵入岩体。岩石具细粒结构或斑状结构,主要矿物为斜长石、石英、钾长石、黑云母、角闪石(12%~25%),个别见极少量的辉石。斑晶占20%~50%,主要为斜长石、其次为角闪石、黑云母、石英。副矿物有磷灰石、锆石、榍石、褐帘石,常见黄铁矿和黄铜矿。岩石的 $\omega(\text{SiO}_2)$ 57.86%~68.04%, $\omega(\text{K}_2\text{O})/\omega(\text{Na}_2\text{O})$ 0.42~1.75,属于中钾-高钾钙碱性系列。含矿斑岩体全岩蚀变(内接触带具强蚀变),且铜平均含量大于 500×10^{-6} ,Pb、Zn、Ag、As、Sn、Bi、Mo元素亦偏高,含矿岩体中的黑云母含铜量(0.008%~0.032%)也明显地高于不含矿岩体。实测剖面显示,由含矿斑岩体中心向外,岩石含铜量递增,至接触带最高,再向外又逐渐减少,表明铜含量的增高主要与热液蚀变有关(李东生等,2009)。

1:25万区域地质调查工作中在早期的石英闪长岩中获得的2个锆石U-Pb年龄值为(205.7±0.9)Ma和(223±28)Ma,前人在中酸性岩浆杂岩体的中粒石英闪长岩和石英闪长斑岩中获得的5个全岩K-Ar年龄值为234~218Ma(转引自詹发余等,2007)。尽管上述年龄数据的精度不高,但总体上显示岩体侵入时代主要为中-晚三叠世。

2.3.2 矿化类型

赛什塘矿区有2种主要的矿化类型:砂卡岩型和斑岩型,并以砂卡岩型为主。

砂卡岩型 截止1994年一期勘探结束,赛什塘矿区铜矿已经提交资源储量铜23万吨(Cu平均品位为1.23%),其绝大部分由砂卡岩型矿石构成。

矿体产于石英闪长岩或石英闪长斑岩与大理岩之接触带砂卡岩中(图5),且主要产于外接触带千枚岩与大理岩之层间砂卡岩内,走向NW、倾向SW(局部NE)。主矿体4个,呈似层状、透镜状、扁豆状,其中2号矿体的规模最大,其长达2400m,最大延深达600m,厚度一般为1~20m,最厚可达30m(参见李东生等,2009之图5)。矿石主要有用元素是Cu,常伴生Zn、Pb、W等,局部Pb、Zn可构成独立的工业矿体。

矿石以条带状、浸染状和块状构造为主,常具粒状结构和交代结构。金属矿物主要为磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿及磁铁矿,其次有方铅矿、闪锌矿、白钨

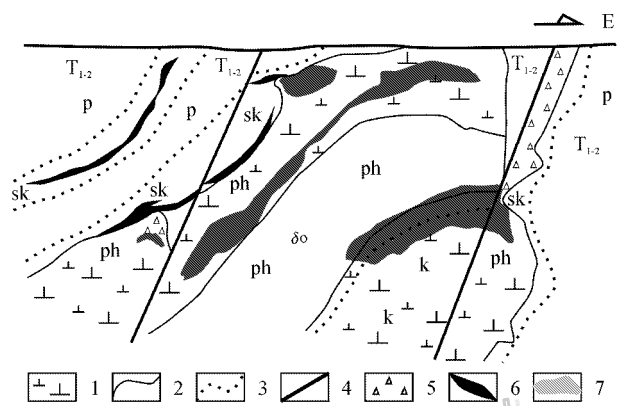


图5 赛什塘铜矿区蚀变分带示意图

1—石英闪长斑岩;2—地质界线;3—蚀变带界线;4—断裂;5—爆破角砾岩;6—砂卡岩型矿体;7—斑岩型矿(化)体; δo —石英闪长岩; T_{1-2} —中-下三叠统砂岩、千枚岩夹大理岩;p—青磐岩化带;sk—砂卡岩-角岩化带;ph—绢英岩化带;k—钾化带

Fig. 5 Sketch map showing alteration zonation of the Saishitang copper ore district

1—Quartz diorite porphyry; 2—Geological boundary; 3—Boundary of alteration zone; 4—Fault; 5—Explosive breccia; 6—Skarn type ore body; 7—Porphyry type mineralization; δo —Quartz diorite; T_{1-2} —Middle-Lower Triassic sandstone, phyllite and marble; p—Propylite; sk—Skarn-hornfels zone; ph—Phyllitic zone; k—Potassic alteration zone

矿及毒砂。磁铁矿主要分布在近岩体一侧的镁砂卡岩或辉石石榴石砂卡岩内,且局部形成磁铁矿矿体。黄铜矿和磁黄铁矿、黄铁矿一起常见于外侧的石榴石辉石砂卡岩中,闪锌矿和方铅矿则趋向于在更外侧的辉石砂卡岩内。因此,由岩体顶或底界向外,砂卡岩中的矿化大致具Fe→Cu→Pb-Zn的分带趋势。

斑岩型 赛什塘矿区目前已见到的斑岩型铜矿分布零星,且Cu品位较低,所以该类型铜矿在已提交的资源储量中所占比例极低。这主要是由于前人在矿区勘查中是以砂卡岩型矿(化)体为目标的,导致多数钻孔没有打到成矿岩体(在完工的103个钻孔中,仅46个钻孔打到了岩体),因而并不能说明赛什塘矿区不具备斑岩铜矿的找矿潜力。

位于赛什塘中酸性岩浆杂岩体北段的II号小岩株中普遍见细(网)脉-浸染状黄铁矿化和黄铜矿化,其中围岩蚀变强烈、微裂隙发育地段矿化增强,可以构成工业铜矿体,这就是赛什塘矿区的斑岩型铜矿。在已经打到岩体的钻孔中,有9个钻孔内的岩体中赋存有斑岩型铜矿体(李东生等,2009)。这些钻孔中见到的硫化物(黄铁矿和黄铜矿为主)矿化具有以

下特点:

(1)主要产于石英闪长斑岩体内接触带的强绢英岩化蚀变带(图5),蚀变越强矿化越好,钾化带内也有黄铁矿和黄铜矿化,但比绢英岩化蚀变带者差;

(2)金属硫化物(黄铁矿和黄铜矿以及少量磁黄铁矿)常呈细(网)脉-浸染状散布于主要由石英细(网)脉以及细鳞片状绢云母和粒状石英构成的绢英岩化蚀变岩中;

(3)石英闪长斑岩全岩蚀变、全岩矿化,其矿化面积和厚度大,但铜的品位低,大多未达工业要求。例如 ZK2305 钻孔中见细(网)脉-浸染状金属硫化物矿化累计进尺 85 m,其中大部分样品的 $\alpha(\text{Cu})$ 在 0.04%~0.22%,工业铜矿体的累计进尺不足 10 m。ZK2801 是全矿区斑岩铜矿见矿厚度最大的钻孔,在其见细(网)脉-浸染状金属硫化物矿化的 100 多米进尺中,只有 62.97 m 铜平均品位达 0.41%,余者铜品位都较低;

(4)矿石以细(网)脉-浸染状构造为主,金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿及少量磁黄铁矿,局部见辉钼矿等。在岩体中上部的绢英岩化蚀变岩中的黄铜矿含量通常要高于岩体中下部的钾化带中的黄铜矿含量,而辉钼矿的含量变化趋势则相反,从而显示了 Cu (上部)→ Cu-Mo (下部)的矿化分带趋势。

上述特点与斑岩铜矿是完全一致的。

2.3.3 蚀变分带

钾化带、绢英岩化带、矽卡岩-角岩化带和青磐岩化带 4 个蚀变岩相带构成了赛什塘矿区的蚀变分带(图 5)。

钾化带仅见于与成矿有关的小岩株之中下部,矿区地表极少见。热液蚀变矿物主要是钾长石(交代斜长石)和少量石英,或多或少地含热液绢云母和绿泥石,说明钾化带受到绢英岩化蚀变的叠加。见少量金属硫化物,以黄铁矿为主,偶见辉钼矿成细(网)脉-浸染状产于其中。

绢英岩化带位于钾化带之上(剖面上),平面上绢英岩化带分布在钾化带的外侧,主要分布于小岩体的上部及其外接触带,蚀变带宽达数百米。蚀变矿物组合为绢云母+石英±绿泥石,细鳞片状绢云母吞蚀、交代斜长石,石英呈糖粒状或细-网脉状产出,细(网)脉-浸染状黄铁矿、黄铜矿和磁黄铁矿普遍可见,黄铜矿含量较高处便构成斑岩型铜矿体。

矽卡岩-角岩化带产于岩体接触带或外接触带数百米范围内的中-下三叠统砂岩、千枚岩夹大理岩

中。矽卡岩有 2 种产状:一是受侵入接触构造控制,产于大理岩与岩体接触带,有时这种产状的矽卡岩底部偶见镁矽卡岩,向上过渡为钙矽卡岩(表 1);二是受层间构造控制、产于外接触带千枚岩与大理岩层间的钙矽卡岩。角岩化主要发育在外接触带的硅铝质岩石(砂岩、千枚岩)中,表现为石英重结晶、泥质矿物受热蚀变为黑云母和红柱石。在矽卡岩-角岩化带内,矽卡岩是局部的(因为大理岩是局部的),角岩化是普遍的蚀变。本矿区的矽卡岩型矿体全部赋存在该带中的矽卡岩内。

青磐岩化带位于最外侧的远接触带,蚀变矿物为绿泥石、绿帘石和方解石等,有少量黄铁矿。青磐岩化带内靠近岩体的一侧有时还穿插有矽卡岩-角岩化蚀变带(图 5),这主要是那里的地层中有大理岩,甚至有侵入岩枝。青磐岩化带内的外接触带层间矽卡岩,通常赋存有似层状铜矿体。

总之,赛什塘矿区显示出以成矿岩体为中心,向两侧的对称分带。成矿岩体自上往下是绢英岩化带→钾化带,由成矿岩体中心向两侧则是绢英岩化带→矽卡岩-角岩化带→青磐岩化带。

3 矿床地质特征

总结目前在柴达木盆地南缘发现的 10 多处斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床地质特征,发现这些矿床具有如下特点:

(1)就目前已发现的矿床(点)产地而言,这类斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床主要集中于柴达木盆地南缘的西段(祁漫塔格山一带)和东段(鄂拉山一带),中段(布尔汗布达山一带)只有托克妥一处成型矿床(图 1)。这究竟是柴达木盆地南缘中段工作程度低,这类矿床尚未发现,还是因为这一带成矿地质条件不利,目前还不得而知。

(2)斑岩型和矽卡岩型矿(化)体共生于同一个矿区之中,是这类矿床的一个重要特点,如卡尔却卡、鸭子沟、赛什塘等矿床就是典型的例子,因此,本文笼统地将它们的矿床类型称之为斑岩-矽卡岩型。之所以如此,主要是与成矿斑岩所侵入的围岩性质不同有关,当成矿斑岩侵入于细碎屑岩或花岗岩中时,形成斑岩型矿(化)体,而当成矿斑岩侵入于灰岩或大理岩时,则形成矽卡岩型矿(化)体。如果在一个矿区内,围岩既有细碎屑岩或花岗岩,也有灰岩或大理岩,那么斑岩型和矽卡岩型矿(化)体在同一个

矿区中共生。从这个意义上来说,那些目前只有矽卡岩型矿(化)体而尚未见到斑岩型矿化体的矿区,有找到斑岩型矿(化)体的可能性。

(3)不同地段的矿床(特别是矽卡岩型矿床)有不同的有利岩石地层:柴达木盆地南缘西段通常是下古生界滩间山群火山-沉积岩系(火山岩-碎屑岩-碳酸盐岩组合),柴达木盆地南缘东段通常是中-下三叠统复理石沉积岩系(变质碎屑岩-碳酸盐岩组合)。正是由于这一特点(即不同地区矿床受特定岩石地层控制),使得人们对这些矿床的成矿作用提出了“矿源层”或层控矿床的观点(宋治杰等,1995)。

(4)成矿主元素为Cu、Mo、Pb、Zn,不少矿床伴生Au、Ag,有些矿床还可以形成独立的金矿体。是否含金,取决于2个条件:一是成矿斑岩中幔源组分的高低,例如托克受矿区有独立的金矿体,其成矿斑岩是闪长玢岩-辉石闪长玢岩(表1);二是矿体围岩中是否有中基性火山岩,如卡尔却卡矿区矽卡岩矿体围岩中常见滩间山群玄武-安山岩,因而这类矿体中伴生金含量高。有些斑岩型和矽卡岩型矿床周边还产有热液脉型铜多金属矿床(点),它们可能构成一个成矿亚系列。

(5)具有比较典型的斑岩铜矿和矽卡岩型铜多金属矿蚀变矿物组合和蚀变分带。

(6)与成矿有关的岩浆岩为浅成、高位的中酸性或中基性小岩体,包括岩脉(如乌兰乌珠尔)小岩株,其时代属于中-晚三叠世。

4 讨论

4.1 成矿时代

印支期是柴达木盆地南缘地区岩浆活动和成矿作用的主要时期之一(莫宣学等,2007;张德全等,2001)。尽管已有的同位素测年数据不太多,但已经表明柴达木盆地南缘的这些斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床形成于印支期,并与印支期的中酸性岩浆作用有关。下面分别就该区矿床比较密集的西段和东段已经获得的测年数据,来讨论矿床的成矿时代。

西段已有多个矿床获得了高精度的同位素测年数据,例如乌兰乌珠尔、鸭子沟、卡尔却卡、索拉吉尔。其中,乌兰乌珠尔与成矿有关的花岗斑岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(215.1 ± 4.5) Ma(余宏全等,2007);鸭子沟与成矿有关的钾长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(224.0 ± 1.6) Ma,矿石

中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(224.7 ± 3.4) Ma,成岩与成矿的时间一致,正好属于印支晚期东昆仑地区发生强烈壳-幔相互作用并导致大量岩浆-热液活动的时期(李世金等,2008b);王松等(2009)报道了卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(237 ± 2) Ma;丰成友等(2009)获得的索拉吉尔矿床矽卡岩型矿石中辉钼矿 Re-Os 加权平均年龄(238.8 ± 1.3) Ma、Re-Os 等时线年龄为(239 ± 11) Ma。上述年龄数据说明,柴达木盆地南缘西段的这些斑岩-矽卡岩矿床的成岩和成矿年龄一致,形成于中三叠世至晚三叠世。

东段的矿床已经获得的成岩成矿年龄数据虽然很少,但是从以下几个方面可以判断它们也形成于中三叠世至晚三叠世。首先,这些矿床中与成矿有关的地层围岩时代属于早-中三叠世,与成矿有关的岩体侵入的最新地层时代也是早-中三叠世;其次是赛什塘、铜峪沟矿区的石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄值为(205.7 ± 0.9) Ma 和(223 ± 28) Ma,赛什塘矿区的中粒石英闪长岩和石英闪长斑岩的5个全岩 K-Ar 年龄值为234~218 Ma(李东生等,2009);第三,东段有个别矿床,如近年来发现的鄂拉山口铅锌银(伴生铜、金)矿床受控于晚三叠世火山机构,矿体赋存于晚三叠世鄂拉山组陆相火山岩中(王晓云等,2007)。

4.2 成矿地质背景

柴达木盆地南缘地区位于东昆仑弧盆系(潘桂棠等,2009)或东昆仑造山带(张德全等,2001;莫宣学等,2007)的北带。目前虽然在细节上还存在不少争论,但大多数学者均认为,晚古生代—早中生代时期,东昆仑卷入古特提斯构造体制,属于古特提斯造山系统的北缘。

根据大多数学者的研究结果,对该区域晚古生代—早中生代时期大地构造演化主要过程可以概述为:晚泥盆世—石炭纪,东昆仑南侧的布青山-阿尼玛卿洋盆及其 NEE 向的苦海-赛什塘分支洋开启;晚二叠世—早三叠世洋壳由南向北俯冲消减,形成类似于安底斯活动大陆边缘的弧火山岩类和弧花岗岩类;中三叠世进入碰撞造山期,晚三叠世进入碰撞-后碰撞造山阶段,早侏罗世发生后造山崩塌-隆升(张智勇等,2004;孙延贵等,2004;杨经绥等,2005;莫宣学等,2007)。

杨经绥等(2005)根据缝合带及其北部形成了多条巨大的三叠纪左旋走滑断裂系和同构造花岗岩

类,例如东昆仑南缘左旋走滑断裂(200~220 Ma)、阿尔金断裂的早期走滑剪切断裂系(220~230 Ma)以及柴北缘巨型左旋走滑断裂等,认为它们是三叠纪时期板块由南西向北东斜向碰撞的产物。巨型左旋走滑剪切、同构造花岗岩、后碰撞火山岩的同时出现,说明这些火山岩和侵入岩均是在俯冲后的松弛阶段形成,该阶段可以看作是俯冲板块折返阶段或逆冲地块的抬升阶段。

柴达木盆地南缘地区的斑岩-矽卡岩型矿床形成于中三叠至晚三叠世,亦即碰撞向后碰撞转换的地质构造背景之下,也相当于一些学者所称的“晚碰撞”环境(如侯增谦等,2006)。这一环境下的地质事件包括陆内斜向碰撞所导致的地壳缩短、加厚,大规模的逆冲、走滑和剪切,以及相应的岩浆和金属成矿作用。

东昆仑地区三叠纪花岗岩类非常发育,据统计,三叠纪花岗岩类占东昆仑造山带花岗岩类总面积的42%(莫宣学等,2007)。近年来,通过对多个岩体解剖和区域综合研究,显示这一地区的三叠纪花岗岩类形成与底侵的幔源岩浆和壳源岩浆混合作用有关,这些被解剖岩体的年龄介于222~242 Ma之间(罗照华等,2002;谌宏伟等,2006;莫宣学等,2007),与该地区的斑岩-矽卡岩型矿床的成岩成矿年龄相当。谌宏伟等(2006)还用板片断离-岩浆底侵-岩浆混合-拆沉作用的模型揭示了东昆仑在三叠纪加厚陆壳背景下大规模的花岗岩类的岩浆作用过程,亦即持续的俯冲-碰撞使得板片断离,导致软流圈减压熔融,玄武质岩浆底侵至下地壳底部,引起下地壳物质部分熔融产生长英质岩浆,两种岩浆混合形成壳幔混合成因花岗岩。随着下地壳底部冷却,基性岩逐渐形成榴辉岩相物质,较大的密度差导致榴辉岩相物质发生拆沉作用,软流圈物质上涌,直接与下地壳接触,再次引起下地壳物质的部分熔融,发生岩浆混合作用以及大规模的岩浆活动。尽管已经获得的数据不多,但这些数据支持该地区与斑岩-矽卡岩型矿床有关的花岗岩类属于壳幔混合成因这一结论(余宏全等,2007;王松等,2009;李东生等,2009),甚至有学者认为其具有埃达克岩的特征(詹发余等,2007),表明有部分成矿物质来源于地幔。

岩浆底侵过程中的岩浆混合作用,很好地解释了该地区中-晚三叠世斑岩-矽卡岩矿床成矿岩浆岩壳幔混合的成因机制。尽管目前研究程度还很低,有关这些矿床的成岩-成矿机制问题还不是十分清

楚,但是可以与青藏高原其他不同时期造山带内的碰撞造山成矿作用的成矿机制(侯增谦等,2006;杨志明等,2009)进行类比。

总之,柴达木盆地南缘祁漫塔格-鄂拉山地区的斑岩-矽卡岩型矿床形成于东昆仑弧盆系/造山带内的晚碰撞造山期,是岩浆底侵过程中形成的壳幔混合成因花岗岩类成矿作用的产物。

5 结 论

(1)柴达木盆地南缘祁漫塔格-鄂拉山地区发育斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床,成矿主元素为Cu、Mo、Pb、Zn,大部分矿床伴生Au、Ag。斑岩型和矽卡岩型矿(化)体共生于同一个矿区之中,是这类矿床的一个重要特点,与成矿有关的侵入体是中-晚三叠世小岩体,具有浅成-超浅成和高侵位特点。

(2)不同地段的矿床(特别是矽卡岩型矿床)有不同的有利岩石地层:柴达木盆地南缘西段通常是下古生界滩间山群火山-沉积岩系(火山岩-碎屑岩-碳酸盐岩组合),柴达木盆地南缘东段通常是中-下三叠统复理石沉积岩系(变质碎屑岩-碳酸盐岩组合)。当成矿斑岩侵入于细碎屑岩或花岗岩中时,形成斑岩型矿(化)体,而当成矿斑岩侵入于灰岩或大理岩时,则形成矽卡岩型矿(化)体。如果在一个矿区内,成矿斑岩所侵入的围岩既有细碎屑岩或花岗岩,也有灰岩或大理岩,则斑岩型和矽卡岩型矿(化)体在同一个矿区中共生。

(3)斑岩-矽卡岩矿床的成岩年龄和成矿年龄一致,形成于中三叠世至晚三叠世。这些矿床是晚碰撞造山阶段壳-幔作用(幔源岩浆底侵-岩浆混合)的产物,它们与东昆仑地区同一时期的矽卡岩型铁-多金属矿床、热液脉状多金属矿床,以及造山型金矿床构成一个矿床成矿系列。

References

- Chen H W, Luo Z H, Mo X X, Liu C D and Ke S. 2006. Underplating mechanism of Triassic granite of magma mixing origin in the East Kunlun orogenic belt[J]. *Geology in China*, 32(3): 386-395 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Li D S, Qu W J, Du A D, Shu S S, Wang S and Jiang J H. 2009. Molybdenite Re-Os isotopic dating of the Suolajier skarn-type Cu-Mo deposit in the Qimantage mountain, Qinghai Province, and its geological implication[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28

- (3):223-237(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Pan G T, Wang A J, Mo X X, Tian S H, Sun X M, Ding L, Wang E Q, Gao Y F, Xie Y L, Zeng P S, Qin K Z, Xu J F, Qu X M, Yang Z M, Zang Z S, Fei H C, Meng X J and Li Z Q. 2006. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II. Mineralization in late-collisional transformation setting[J]. Mineral Deposits, 25(5):521-543(in Chinese with English abstract).
- Li D S, Kui M J, Gu F B, Wang J J, Bai H X, Zhang F Y, Wang F M and Ma Y Q. 2009. Geological characteristics and genesis of the Saishitang copper deposit in Qinghai Province[J]. Acta Geologica Sinica, 83(5):719-730(in Chinese with English abstract).
- Li S J, Sun F Y, Wang L, Li Y C, Liu Z H, Su S S and Wang S. 2008a. Fluid inclusion studies of porphyry copper mineralization in Kaerqueka polymetallic ore district, East Kunlun Mountains, Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 27(3):399-406(in Chinese with English abstract).
- Li S J, Sun F Y, Feng C Y, Liu Z H, Zhao J W, Li Y C and Wang S. 2008b. Geochronological study on Yazigou polymetallic deposit in Eastern Kunlun, Qinghai Province[J]. Acta Geologica Sinica, 20(7):949-955(in Chinese with English abstract).
- Luo Z H, Ke S, Cao Y Q, Deng J F and Chen H W. 2002. Late Indosinian mantle-derived magmatism in the East Kunlun[J]. Geological Bulletin of China, 21(6):292-297(in Chinese with English abstract).
- Mo X X, Luo Z H, Deng J F, Yu X H, Liu C D, Chen H W, Yuan W M and Liu Y H. 2007. Granitoids and crustal growth in the East-Kunlun orogenic belt[J]. Geological Journal of China Universities, 13(3):403-414(in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Xiao Q H, Lu S N, Den J F, Feng Y M, Zhang K X, Zhang Z Y, Wang F G, Xing G F, Hao G J and Feng Y F. 2009. Subdivision of tectonic units in China[J]. Geology in China, 36(1):1-28(in Chinese with English abstract).
- Qian Z Z, Hu Z G and Li H M. 2000. Petrology and tectonic environment of Indosinian hypabyssal rock in the middle belt of East Kunlun Mountains[J]. J. Mineral Petrol., 20(2):14-18(in Chinese with English abstract).
- She H Q, Zhang D Q, Jing X Y, Tian S C, Zhu H P and Feng C Y. 2007. Characteristics and metallogenesis of Wulanwuzhuer porphyry copper deposit in Qinghai Province[J]. Geology in China, 34(2):306-314(in Chinese with English abstract).
- Song Z J, Zhang H W and Li W M. 1995. Metallogenic conditions and model of copper-multi-metal deposits in Ngola Shan region, Qinghai Province[J]. Northwest Geoscience, 16(1):134-144(in Chinese with English abstract).
- Sun Y G, Zhang G W, Guo A L and Wang J. 2004. Qinling-Kunlun triple junction and isotope chronological evidence of its tectonic processes[J]. Geology in China, 31(4):372-378(in Chinese with English abstract).
- Tian S Y. 1999. Relations between magmatic rocks and metallization of the Saishitang-Rilonggou ore field in Qinghai[J]. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals, 8(6):383-387(in Chinese with English abstract).
- Wang S, Feng C Y, Li S J, Jiang J H, Li D S and Su S S. 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granodiorite Kaerqueka polymetallic ore deposit, Qimantage mountain, Qinghai Province, and its geological implications[J]. Geology in China, 36(1):74-84(in Chinese with English abstract).
- Wang X Y, Yang B R, Huo H Q and Yang X B. 2007. Accommodating ore condition and mineralization rule research of Ag-Pb-Zn deposit in Ela mountain pass Qinghai Province[J]. Gold Science and Technology, 15(1):41-44(in Chinese with English abstract).
- Wang Y S. 1990. Geology and mineralization of the Rilonggou tin-poly-metallic deposit, Qinha[J]. Northwestern Geology, 21(2):43-48(in Chinese with English abstract).
- Yang J S, Xu Z Q, Li H B and Shi R D. 2005. The paleo-Tethyan volcanism and plate tectonic regime in the A'nyemaqen region of East Kunlun, northern Tibet Plateau[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 24(5):369-380(in Chinese with English abstract).
- Yang Z M and Hou Z Q. 2009. Porphyry Cu deposits in collisional orogenic setting: A preliminary genetic model[J]. Mineral Deposits, 28(5):515-538(in Chinese with English abstract).
- Zhan F Y, Gu F B, Li D S, Cao L Q and Kui M J. 2007. Tectonic environment of adakite in Eastern Kunlun Area, Qinghai, and its ore-forming significance[J]. Acta Geologica Sinica, 81(10):1353-1377(in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Feng C Y, Li D X, Xu W Y, Yan S H, She H Q, Dong Y J and Cui Y H. 2001. Orogenic gold deposits in the North Qaidam and East Kunlun orogen, West China[J]. Mineral Deposits, 20(2):137-146(in Chinese with English abstract).
- Zhang H W. 2000. On the hydrothermal sedimentary laws and tectonic environment of Tongyugou deposit and the relationship between hydrothermal and volcanic activity[J]. Northwestern Geology, 21(2):46-55(in Chinese with English abstract).
- Zhang H W. 2001. Mineralized feature, tectonic setting and metallogenic type of Tongyugou copper deposit, Qinghai Province[J]. Northwestern Geology, 34(4):30-42(in Chinese with English abstract).
- Zhang X T, Yang S D and Yang Z J. 2007. The plate tectonics of Qinghai Province- A guide to the geotectonic map of Qinghai Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-21(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z Y, Yin H F, Wang B Z, Wang J and Zhang K X. 2004. Presence and evidence of Kuhai-Saishitang branching ocean in copulae between Kunlun-Qinling Mountains[J]. Earth Science, 29(6):691-696(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 谔宏伟, 罗照华, 莫宣学, 刘成东, 柯珊. 2006. 东昆仑造山带三叠纪岩浆混合成因花岗岩的岩浆底侵作用机制[J]. 中国地质, 32(3):386-395.
- 丰成友, 李东生, 屈文俊, 杜安道, 王松, 苏生顺, 江军华. 2009. 青海祁漫塔格索拉吉矽卡岩型铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定

- 年及其意义[J]. 岩矿测试, 28(3):223-237.
- 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 莫宣学, 田世洪, 孙晓明, 丁林, 王二七, 高永丰, 谢玉玲, 曾普胜, 秦克章, 许继峰, 曲晓明, 杨志明, 杨竹森, 费红彩, 孟祥金, 李振清. 2006. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞转换成矿作用[J]. 矿床地质, 25(5):521-543.
- 李东生, 奎明娟, 古凤宝, 王建军, 柏红喜, 詹发余, 王发明, 马彦青. 2009. 青海赛什塘铜矿床的地质特征及成因探讨[J]. 地质学报, 83(5):719-730.
- 李世金, 孙丰月, 王力, 李玉春, 刘振宏, 苏生顺, 王松. 2008a. 青海东昆仑卡尔却卡多金属矿区斑岩型铜矿的流体包裹体研究[J]. 矿床地质, 27(3):399-406.
- 李世金, 孙丰月, 丰成友, 刘振宏, 赵俊伟, 李玉春, 王松. 2008b. 青海东昆仑鸭子沟多金属的成矿年代学研究[J]. 地质学报, 20(7):949-955.
- 罗照华, 柯珊, 曹永清, 邓晋福, 谌宏伟. 2002. 东昆仑印支晚期幔源岩浆活动[J]. 地质通报, 21(6):292-297.
- 莫宣学, 罗照华, 邓晋福, 喻学惠, 刘成东, 谌宏伟, 袁万明, 刘云华. 2007. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J]. 高校地质学报, 13(3):403-414.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(1):1-28.
- 钱壮志, 胡正国, 李厚民. 2000. 东昆仑中带印支期浅成-超浅成岩浆岩及其构造环境[J]. 矿物岩石, 20(2):14-18.
- 余宏全, 张德全, 景向阳, 关军, 朱华平, 丰成友, 李大新. 2007. 青海省乌兰乌拉珠尔斑岩铜矿床地质特征与成因[J]. 中国地质, 34(2):306-314.
- 宋治杰, 张汉文, 李文明, 张心广, 王维. 1995. 青海鄂拉山地区铜多金属矿床的成矿条件及成矿模式[J]. 西北地质科学, 16(1):134-144.
- 孙延贵, 张国伟, 郭安林, 王瑾. 2004. 秦-昆三向联结构造及其构造过程的同位素年代学证据[J]. 中国地质, 31(4):372-378.
- 田生玉. 1999. 青海赛什塘-日龙沟矿田岩浆岩与成矿的关系探讨[J]. 有色金属矿产与勘查, 8(6):383-387.
- 王松, 丰成友, 李世金, 江军华, 李东生, 苏生顺. 2009. 青海祁漫塔格卡尔却卡铜多金属矿区花岗岩闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. 中国地质, 36(1):74-84.
- 王晓云, 杨宝荣, 霍海清, 杨小斌. 2007. 青海省鄂拉山口银铅锌矿的赋矿条件和成矿规律研究[J]. 黄金科学技术, 15(1):41-44.
- 王移生. 1990. 青海日龙沟锡-多金属矿床地质特征及成矿作用[J]. 西北地质, 21(2):43-48.
- 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 史仁灯. 2005. 东昆仑阿尼玛卿地区古特提斯火山作用和板块构造体系[J]. 岩石矿物学杂志, 24(5):369-380.
- 杨志明, 侯增谦. 2009. 初论碰撞造山环境斑岩铜矿成矿模型[J]. 矿床地质, 28(5):515-538.
- 詹发余, 古凤宝, 李东生, 曹连强, 奎明娟. 2007. 青海东昆仑埃达克岩的构造环境及成矿意义[J]. 地质学报, 81(10):1353-1377.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 徐文艺, 阎升好, 余宏全, 董英君, 崔艳合. 2001. 柴北缘-东昆仑地区的造山型金矿床[J]. 矿床地质, 20(2):137-146.
- 张汉文. 2000. 青海铜峪沟铜矿床的热液沉积规律及形成环境-兼论热水作用与火山活动的关系[J]. 西北地质科学, 21(2):46-55.
- 张汉文. 2001. 青海铜峪沟铜矿床的矿化特征、形成环境和矿床类型[J]. 西北地质, 34(4):30-42.
- 张雪亭, 杨生德, 杨站君. 2007. 青海省板块构造研究——1:100万青海省大地构造图说明书[M]. 北京:地质出版社, 1-221.
- 张智勇, 殷鸿福, 王秉璋, 王瑾, 张克信. 2004. 昆秦接合部海西期苦海-赛什塘分支洋的存在及其证据[J]. 地球科学, 29(6):691-696.