青海祁漫塔格成矿带骆驼峰铜钼矿床 地质特征及成因探讨

杨宝凯1),徐美君1,2),苏旭亮1),张涛1),张学明1),赵永亮3),林贵3),薛斌1),赵闯1)

 1)青岛地质工程勘察院,山东青岛,266071;2)山东省地矿局城市地质与地下空间资源重点实验室, 山东青岛,266071;3)青海省第三地质勘查院,青海西宁,810029

内容提要:骆驼峰铜钼矿床是祁漫塔格成矿带新发现的斑岩型铜钼矿床,位于柴达木盆地西南缘,区内出露地 层主要为古元古界金水口岩群片麻岩类;岩浆岩以印支期花岗闪长岩类为主,花岗闪长岩为区内主要含矿岩性;构 造以北东向张性断裂为主,为区内主要的控矿构造。区内地表及外围矿体以热液脉型铜多金属矿为主,深部矿体 以斑岩型钼矿为主,总体形成以含钼斑岩体为中心的斑岩型钼矿,外围为热液脉型铜多金属矿的岩浆热液成矿系 列,从地表向深部总体具绿泥石化一钾化一硅化+绢英岩化的矿化蚀变分带特征,初步建立了"上铜下钼"的成矿 模式,今后的找矿思路是加强对斑岩体时空分布、成矿物质来源及成矿对比的研究,进一步建立找矿模型,为祁漫 塔格地区乃至东昆仑地区铜钼多金属矿床的找矿拓宽思路。

关键词:骆驼峰铜钼矿床;祁漫塔格;斑岩型矿床;找矿模型;成因探讨

祁漫塔格成矿带是青海省西部重要的成矿带, 已成为我国新的十大资源接替基地之一(Li Dongsheng et al., 2013), 优越的成矿地质条件造就 了该区丰富的矿产资源,目前已相继评价了卡尔却 卡、尕林格、虎头崖、野马泉、肯德可克等一系列大中 型多金属矿床(Huang Min et al., 2013; Liu Jiannan et al., 2013; Yu Miao et al., 2013; Zhang Aikui et al., 2013; Lai Jianging et al., 2015), 矿床类型以矽 卡岩型为主,随着青海省地质调查院、青海省第三地 质勘查院等地勘单位在祁漫塔格地区相继发现拉陵 灶火、克停哈尔等一系列斑岩型铜钼矿床(Chen Jing et al., 2013; Su Xuliang et al., 2014), 斑岩型 矿床逐渐成为祁漫塔格地区找矿工作的新亮点。近 两年青海省第三地质勘查院在克停哈尔邻区发现骆 驼峰斑岩型铜钼多金属矿床,采用算术平均法对铜 钼资源量进行估算,目前初步估算 334 铜矿石量 68.64 万吨,金属量 3815.67 吨,铜平均品位 0.56%;334 钼矿石量 239.74 万吨,金属量 1984.31 吨,钼平均品位 0.083%。本文在详实的野外地质

调查的基础上,对骆驼峰铜钼矿床地质特征、蚀变分 带及矿床成因进行初步探讨,为骆驼峰地区深部找 矿提供进一步的理论实践基础,以期推动祁漫塔格 地区斑岩型矿床的找矿工作。

1 区域成矿地质背景

研究区位于秦祁昆晚加里东造山系东昆仑造山带的祁漫塔格-都兰造山亚带,区域大地构造演化经历了四个阶段,即元古宙基底演化阶段,早古生代多岛洋演化阶段,晚古生代一中生代造山阶段和晚中 生代一新生代造山阶段(张爱奎等,2017)。

区域主要出露古元古界金水口岩群混合岩、片 麻岩;寒武-奥陶系滩间山群火山-沉积岩,上泥盆统 牦牛山组火山岩及碎屑岩。区域断裂构造发育,北 西-北西西向断裂构造了区域主体构造格架,后期北 东向断裂与之交汇处为成矿有利部位,区域岩浆岩 十分发育,自古元古宙至侏罗纪均有出露,以华力西 期、印支期中酸性岩浆岩为主,其中印支期岩体为区 域主要的成矿岩体,岩体的空间展布受区域构造控

引用本文:杨宝凯,徐美君,苏旭亮,张涛,张学明,赵永亮,林贵,薛斌,赵闯. 2019. 青海祁漫塔格成矿带骆驼峰铜钼矿床地质特征及成因探讨. 地质学报,93(s1):12~18, doi: 10.19762/j. cnki. dizhixuebao. 2019205.
Yang Baokai, Xu Meijun, Su Xuliang, Zhang Tao, Zhang Xueming, Zhao Yongliang, Lin Gui, Xue Bin, Zhao Chuang. 2019. Geological characteristics and genesis of the Luotuofeng copper-molybdenum deposit in the Qimantage metallogenic belt, Qinghai Province. Acta Geologica Sinica, 93(s1):12~18.

注:本文为青海省地质勘查基金项目(编号 2016020069kc031、2017042071kc021)资助成果。

收稿日期:2019-07-23;改回日期:2019-08-06;责任编辑:周健。

作者简介:杨宝凯,男,1986年生。工程师,主要从事矿产勘查工作。Email:yangbaokai@126.com。

制明显(图1)。

2 矿区地质特征

研究区构造主要为断裂构造,呈北东向展布,断

裂力学性质表现为张性,亦是区内主要的控矿构造, 局部显示分枝复合的特征,断裂构造内发育矿化蚀 变带。

骆驼峰矿区内出露的地层主要为古元古界金水





Fig. 1 Geological map of the Qimantage area in Qinghai Province showing the distribution of mineral resources (modified from Liu et al. ,2017)

1-第四系;2—上三叠统鄂拉山组;3—中石炭统缔敖苏组;4—上泥盆统牦牛山组;5—寒武系-奥陶系滩间山群;6—蓟县系狼牙山组;7—古元 古界金水口岩群;8—早侏罗世正长花岗岩;9—晚三叠世二长花岗岩;10—晚三叠世似斑状二长花岗岩;11—晚三叠世花岗闪长岩;12—中三 叠世花岗闪长岩;13—中三叠世英云闪长岩;14—早二叠世二长花岗岩;15—早二叠世似斑状二长花岗岩;16—早二叠世花岗闪长岩;17—早 二叠世石英闪长岩;18—早石炭世二长花岗岩;19—早石炭世石英闪长岩;20—晚泥盆世二长花岗岩;21—晚泥盆世花岗闪长岩;22—早-中泥 盆世超基性岩;23—早泥盆世似斑状二长花岗岩;19—早石炭世石英闪长岩;20—晚泥盆世二长花岗岩;21—晚泥盆世花岗闪长岩;22—早-中泥 盆世超基性岩;23—早泥盆世似斑状二长花岗岩;24—晚志留世二云母花岗岩;25—新元古代二长花岗岩;26—砂卡岩型矿床位置及编号 (①—冰沟南;②—虎头崖;③—迎庆沟;④—肯德可克;⑤—野马泉;⑥—四角羊-牛苦头;⑦—尕林格;⑧—它温查汉西;⑨—它温查汉);27— 沉积变质型矿床位置及编号(⑩—查可勒图;⑪—那西郭勒);28—岩浆熔离型矿床位置及编号(⑫—夏日哈木;⑬—哈西雅图);29—斑岩型矿 床位置及编号(⑭—乌兰乌珠尔;⑮—卡尔却卡;⑯—克停哈尔;⑰—骆驼峰;⑱—拉陵高里河沟脑);30—地质界线;31—不整合地质界线;32— 实测及推断断层;33—研究区范围

1—Quaternary; 2—Upper Triassic Elashan Formation; 3—Middle Carboniferous Diaosu Formation; 4—Upper Devonian Maoniushan Formation; 5— Cambrian-Ordovician Tanjianshan successions; 6—Jixianian Langyashan Formation; 7—Paleoproterozic Jinshuikou Group; 8—Lower Phanerozoic moyite; 9—Upper Triassic admellite; 10—Upper Triassic porphyroid admellite; 11—Upper Triassic granodiorite; 12—Middle Triassic granodiorite; 13—Middle Triassic tonalite; 14—Lower Permian admellite; 15—Lower Permian porphyroid admellite; 16—Lower Permian granodiorite; 17—Lower Permian quartz diorite; 18—Lower Carboniferous monzonitic granite; 19—Lower Carboniferous quartz diorite; 20—Upper Devonian monzonitic granite; 21—Upper Devonian granodiorite; 22—Lower-Middle ultrabasic rock; 23—Lower Devonian porphyroid admellite: 24—Upper Silurian two mica granite; 25—Neoproterozoic admellite; 26—skarn deposit and its number (①—Binggounan; ②—Hutouya; ③—Yingqinggou; ④—Kendekeke; ⑤— Yemaquan; ⑥—Sijiaoyang-Niukutou; ⑦—Galinge; ⑧—Tawenchahanxi; ⑨—Tawenchahan); 27—BIF deposit and its number (⑩—Chakelatu; ⑪)— Naxiguole); 28—magmtatic liquation deposit (⑫—Xiarihamu; ⑬—Haxiyatu); 29—porphyry deposit and its number (⑭—Wulanwuzhuer; ⑮)— Kaerqueka; ⑯—Ketinghaer; ⑰—Luotuofeng; ⑱—Lalinggaolihegounao); 30—geological boundary; 31—unconformable boundary; 32—measured and supposed fault; 33—study area 口岩群,总体呈北东-南西向展布,岩石变质变形强 烈,岩层无明显上下层序关系,接触面理为片麻理主 要为一套中深变质岩系,岩性主要为黑云斜长片麻 岩、黑云石英片岩。

研究区岩浆岩十分发育,岩石类型较简单,地表 主要出露的岩性为花岗闪长岩,花岗闪长岩形态不 规则,呈岩株状产出,出露面积约37km²,地表含矿 的花岗闪长岩呈近北东向的不规则椭圆状,出露面 积约3.6km²,深部发育隐伏的花岗闪长斑岩,呈近 南北向的不规则的椭圆状,分布面积约0.8km²,岩 体与围岩的接触带上多具同化混染现象,围岩蚀变 有硅化、钾长石化、碳酸盐化、绿帘石化、高岭土化 等。侵入岩体主要受北西西向断裂构造控制。

研究区内圈定了 4 条矿化蚀变带,长 400~2900m,宽 8~18m,总体走向 NE,倾向 NW,倾角 52°~80°,受北东向断裂控制明显,发育众多的次级 矿化带,带内岩性为构造碎裂岩、碎裂状花岗闪长 岩,沿裂隙面断续发育黄铜矿化、铜蓝矿化、孔雀石 化等矿化,分布不均匀,局部发育少量鳞片状辉钼 矿;带内圈定了 8 条铜矿体,2 条铜钼矿体(图 2)。



图 2 骆驼峰铜钼矿床地质略图 (据青海省第三地质勘查院,2018[●]修改) Fig. 2 Simplified geological map of the Luotuofeng

Cu-Mo deposit (modified from Qinghai Third Survey Research Institute, 2018[•])

1一古元古界金水口岩群片麻岩;2一花岗闪长岩;3一蚀变带;4— 铜矿体;5一铜钼复合矿体;6一断层;7一钻孔位置及编号;8一隐 伏钼矿体界线

1—Paleoproterozic Jinshuikou Group gneiss; 2—granodiorite; 3 alteration zone; 4—copper orebody; 5—copper and molybdenum body; 6—fault; 7—drill and its number; 8—buried molybdenum body boundary

3 矿体地质特征

研究区内地表圈定了 10 条热液型铜钼多金属 矿体,总体呈北东向展布,受 NE 向断裂构造控制明 显;深部圈定 3 条斑岩型铜钼矿体,2 条钼矿化体, 呈近水平似层状分布。

3.1 热液型铜钼矿体

主要分布于花岗闪长岩体构造裂隙中,矿体多 呈细脉状、透镜体状,其产状与构造破碎带基本一 致,呈串珠状分布,走向 NE,倾向 NW,倾角 57°~ 80°,矿体长 140~360m,厚 1.43~8.87m,Cu 品位 0.22%~3.18%,Mo 品位 0.04%~0.76%。赋矿 岩性为构造碎裂岩,沿裂隙面发育孔雀石化,局部可 见黄铜矿化,铜蓝矿化,矿体受 NE 向断裂构造控制 明显,矿床类型为热液型。

矿石类型为星点状一浸染状类型,脉石矿物为 长石、石英、黑云母、绿泥石等,主要金属矿物为黄铜 矿、黄铁矿、辉钼矿(图 3a、b)和少量磁铁矿。其中 黄铜矿呈半自形一他形粒状,大小一般 0.01~ 0.05mm,少量为 0.1~0.2mm,星散状、脉状分布, 局部尖角状、细脉状交代黄铁矿。黄铁矿呈半自 形一他形粒状,大小一般为 0.1~0.2mm,少量为 0.3mm~0.5mm,极个别可达 1~2mm,星散状分 布,脉石矿物主要为石英、斜长石、方解石、绿泥石、 绿帘石等。

3.2 斑岩型钼矿(化)体

钼矿(化)体为隐伏矿体,厚度较大且矿化较连续,赋存于花岗闪长岩体中,矿体形态呈似层状,控制钼矿体长 540~1180m,厚 2.30~10.87m,Mo 品位 0.036%~0.049%。钼矿体周围发育 10.2~62.5m 厚的钼矿化体,Mo 品位 0.01%~0.029%。目前尚未揭露到品位高、连续厚大的矿体,矿(化)体分布范围总体呈近水平状层状展布,分布在地表以下 100~400m 之间,深部未控制,含矿岩性主要为花岗闪长岩,矿化以硅化细网脉状、浸染状、薄膜状辉钼矿化(图 3c、d)为主,与岩体中硅化网脉状关系 密切,矿床类型为斑岩型。据钻孔深部岩心特征,深部发育岩脉状花岗闪长斑岩(图 3e、f),推测深部存 在隐伏的花岗闪长斑岩(图 3e、f),推测深部存

矿石类型为细网脉状、或细脉一浸染状类型,脉 石矿物为斜长石、石英、绿泥石、角闪石、黑云母等, 主要金属矿物为辉钼矿、黄铁矿,其中辉钼矿呈鳞片 状、细网脉状,半自形一他形粒状结构,浸染状构造, 局部为细网脉状构造。镜下呈鳞片状,叶片状,粒度



图 3 骆驼峰矿石特征及花岗闪长斑岩特征

Fig. 3 Characteristics of orebody and porphyry granodiorite of the Luotuofeng Cu-Mo deposit

(a)一黄铜矿矿石;(b)一辉钼矿矿石;(c)一硅化细网脉状辉钼矿;(d)一薄膜状辉钼矿;(e)一花岗闪长斑岩;

(f)一花岗闪长斑岩镜下特征;(g)一孔雀石化;(h)一绿泥石化;(i)一钾化

(a)—Chalcopyrite;(b)—molybdenite;(c)—silicification network molybdenite;(d)—pellicular molybdenite;

 $(e) - porphyry\ granodiorite; (f) - types\ of\ porphyry\ granodiorite\ under\ microscope; (g) - malachite; (h) - chloritization; (i) - potassic$

大小为 0.02~1.5mm,可见明显的反射多色性,部 分呈集合体状,局部较为集中分布于脉石矿物中。

3.3 矿化蚀变特征

骆驼峰地表发育不同方向的热液脉型铜矿,受 北东向断裂构造控制明显,地表矿化以孔雀石化、褐 铁矿化、硅化为主,普遍发育不同程度的绿泥石化。 深部 0~100m 岩石总体较破碎,岩性以花岗闪长岩 为主,另有少量的石英闪长岩,发育绿泥石化,靠近 地表褐铁矿化较强,向深部褐铁矿化减弱。100~ 200m 岩石较完整,岩性以花岗闪长岩为主,另有少 量的花岗闪长斑岩及钾长花岗岩,沿裂隙面发育不 同程度的钾化,自南向北钾化距离地表有变浅的趋 势。200m 以深岩性主要为花岗闪长岩及少量的花 岗闪长斑岩,花岗闪长岩较完整,为主要的含矿岩 性,矿化蚀变以硅化、绢英岩化为主,灰黑色硅化细 网脉是辉钼矿的典型的找矿标志,灰黑色硅化细网 脉越发育的地段,辉钼矿含量越高,花岗闪长斑岩总 体矿化蚀变较弱,局部沿裂隙面断续发育星点状、细 脉状薄膜状辉钼矿。

地表铜矿体直接相关的矿化蚀变为孔雀石化。 钼矿化围岩蚀变类型主要有绿泥石化、钾化、硅化、 绢英岩化,蚀变分带特征总体较为明显,其中硅化、 绢英岩化与钼矿化关系密切。

孔雀石化:主要沿地表构造裂隙面呈薄膜状发育,分布不均匀,由原生黄铜矿经分解蚀变产生(图 3g)。

绿泥石化:在地表普遍出现,分布不均匀,深部 主要位于 0~50m 处,分布于含暗色矿物的岩石中, 多由黑云母、角闪石蚀变产生(图 3h)。

钾化:地表零星出露,主要位于深部 50~110m 处,早期富含钾质的成矿热液对原岩矿物中的钠质 进行置换,形成钾长石,其显著特征是岩石呈浅肉红 色,钾长石颗粒粗大,岩石碎裂时,钾化沿节理发育 (图 3i)。

硅化:地表主要分布于构造蚀变带及周围,深部 主要分布于110m以深,分布不均匀,形态主要为灰 黑色细网脉状,脉宽0.1~3mm不等,常与辉钼矿、 黄铁矿、黄铜矿相伴生。

绢英岩化:在地表构造破碎带内较发育,深部与 硅化紧密伴生,是碱质交代和水解的综合作用过程。

4 讨论

4.1 矿床成因分析

骆驼峰矿区内地表北东向的断裂构造内发育热 液脉型铜钼矿,深部花岗闪长斑岩内发育斑岩型钼 矿。印支期是祁漫塔格地区岩浆活动爆发时期,受 昆南洋(布青山-阿尼玛卿洋)形成和消亡的影响,区 内晚古生代—早中生代造山旋回岩浆活动强烈(Xu Zhiqin et al., 2011, 2018)。

印支晚期,由于花岗闪长岩岩浆侵位较浅或与 围岩温度差异较大,随着深部含矿的花岗闪长斑岩 岩浆不断上侵、体积膨胀,使已经形成的花岗闪长岩 产生了较多北东向的构造裂隙,北东向构造裂隙为 热液脉型铜钼矿床提供了导矿及容矿通道;而深部 的含矿流体沿深部细小裂隙侵入,前期早已固结的 花岗闪长岩发生蚀变矿化作用,从而形成硅化细网 脉状钼矿化。似斑状花岗闪长斑岩主要形成于印支 晚期,显示印支晚期具较强的成矿能力,在斑岩型矿 床地表及外围还有大量的铜、铜钼矿,综合分析构成 了上部热液脉型铜钼矿+下部斑岩型钼矿的成矿系 列,矿床属岩浆热液成因。

4.2 找矿模型

目前骆驼峰铜钼矿区蚀变分带主要为硅化+绢 英岩化、钾化、绿泥石化,表明斑岩型矿床蚀变分带 的差异性,但硅化、绢英岩化、钾化等主要蚀变的存 在,具典型斑岩型矿床的特征。蚀变分带受多种地 质环境作用的影响,不可避免存在各种差异。

骆驼峰矿区内深部主要为斑岩型钼矿,地表主 要为热液脉型铜多金属矿,研究区外围克停哈尔主 要为热液脉型铜多金属矿,砂卡岩型铅锌等多金属 矿床,表明该地区的成矿作用由斑岩体中心向外围 推进,反映出成矿岩浆热液由高温向低温演化的趋势。构成了典型斑岩型钼矿+热液脉型多金属矿的 成矿系列,以深部斑岩型钼矿为成矿中心,其成矿温 度向周围逐渐降低,出现由钼→铜钼等多金属矿化 的分带性,总体构成了上铜下钼的成矿模式。蚀变 同时也具有一定的分带性特征,矿床属岩浆热液成 因。初步建立本区成矿模式(图 4)。



图 4 骆驼峰铜钼矿床成矿模型示意图

Fig. 4 Genetic model of the Luotuofeng Cu-Mo deposit 1一花岗闪长岩;2一花岗闪长斑岩;3一钼矿体;4一钼矿化体;5一铜 多金属矿体;6一绿泥石化带;7一钾化带;8一硅化及绢英岩化带; 9一蚀变分带界线;10一推测地质界线

1—granodiorite; 2—porphyry granodiorite; 3—molybdenum mineralization body; 4—molybdenum body; 5—copper polymetallic orebody; 6—zonation of chloritization; 7—zonation of potassic; 8 zonation of silicification and greisenization; 9—boundary of alteration zone; 10—supposed geological boundary

运用成矿系统理论与方法,根据现有的找矿成 果,结合祁漫塔格地区成矿地质背景,对祁漫塔格地 区斑岩型铜钼矿进行综合解析,加强斑岩体时空分 布,矿化蚀变分带、成矿物质来源及成矿对比的研 究,重视 NE 向断裂构造的研究,因为 NE 向断裂构 造可能是祁漫塔格地区岩浆与成矿流体的主要运移 通道,亦可是斑岩矿区的导矿构造和/或容矿构造, 进一步建立找矿模型,为祁漫塔格地区乃至东昆仑 地区的找矿拓宽思路。

5 结论

(1)矿床地质特征表明,骆驼峰铜钼矿床赋矿岩 性为花岗闪长岩,深部存在隐伏的花岗闪长斑岩体。

(2)结合区域成矿地质背景,骆驼峰矿床成矿时 代为印支晚期,矿床蚀变分带自上而下为绿泥石化、 钾化、硅化+绢英岩化。矿种分带自上而下为铜、 钼,构成了"上铜下钼"的成矿模型,反映出成矿岩浆 热液由高温向低温演化的趋势。矿床成因为岩浆热 液成因,找矿潜力较大。

致谢:野外实施过程中得到了青海省第三地质 勘查院各位同仁的帮助和支持。长安大学地球科学 与资源学院杨高学教授和王梦玺副教授对稿件提出 了诸多宝贵的意见和建议,在此表示诚挚的感谢!

注 释

● 青海省第三地质勘查院. 2018. 青海省格尔木市骆驼峰地区铁多 金属矿预查报告.

References

- Chen Jing, Xie Zhiyong, Li Bin, Li Shanping, Tan Shengxiang, Ren Hua, Zhang Qimei. 2013. Geological and geochemical characteristics of the Ore-bearing intrusions from the Lalingzaohuo Mo polymetallic deposit and its metallogenic significance. Geology and Exploration, 49(5):813~824 (in Chinese with English abstract).
- Feng Chengyou, Li Dongsheng, Wu Zhengshou, Li Junhong, Zhang Zhanyu, Zhang Aikui, Shu Xiaofeng, Su Shengshun. 2010. Major types, times-space, distribution and metallogeneses of polymetallic deposit in the Qimantage metallogenic belt, Eastern Kunlun area. Northwestern Geology, 43(4):10~17 (in Chinese with English abstract).
- Huang Min, Lai Jianqing, Ma Xiulan, Cao Deyun. 2013. Geochemical characteristics and genesis of Kendekeke deposit in Qinghai Province. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 23 (9): 2659 ~ 2670 (in Chinese with English abstract).
- Lai Jianqing, Huang Min, Song Wenbin, Su Shengshun, Wang Shouliang. 2015. Geochemical characteristics and source of ore-forming Materials of Kaerqueka copper polymetallic deposit in Qinghai Province. Earth Science—Journal of China University of Geoscience, $40(1): 1 \sim 16$ (in Chinese with English abstract).
- Li Dongsheng, Zhang Wenquan, Tian Chengsheng, Yan Chen, Wang Lijun, Jing Xiangyang. 2013. Discussion on the metallogenic characteristics and ore-prospecting methods of Qimantage region, Qinghai Province. Northwestern Geology, 46(4):131~141 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jiannan, Feng Chengyou, Zhao Yiming, Li Daxin, Xiao Ye, Zhou Jianhou, Ma Yongshou. 2013. Characteristics of intrusive rock, metasomatites mineralization and atteration in Yemaquan skarn Fe-Zn polymetallic deposit, Qinghai Province. Mineral Deposits, 32(1):77~93 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhigang, Zhang Aikui, Xia Youhe, Liu Yongle, Zhang Peiqing, Liu Guoyan. 2017. Characteristics and significance of the Naliguole BIF-type iron ore deposit in Qimantage Mountain, Qinghai Province. Geological Bulletin of China, 36(10):1841 ~1849 (in Chinese with English abstract).
- Su Xuliang, Zhao Yongliang, Zhao Chuang, Zhang Xueming, Li Hengheng, Liu Guoyan, Song Taotao. 2014. Prospecting thinking and model for Ketinghaer porphyry copper molybdenum deposit in the East Kunlun Mountains. Geology in China, 41 (6): 2048 ~ 2062 (in Chinese with English abstract).

- Wu Yuezhong, Qiao Gengbiao, Chen Denghui. 2011. A preliminary study on relationship between tectonic magmatism and mineralization in Qimantage area, Eastern Kunlun Mountains. Geotectonica et Metallogenia, 35(2):232 ~ 241 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Yang Jinsui, Li Haibing, Ji Shaocheng, Zhang Zeming, Liu Yan. 2011. On the tectonics of the India-Asia collision. Acta Geologica Sinica, 85(1):1~33 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Wang Qin, Sun Weidong, Li Zhonghai. 2018. The spherical structure of the earth and across-sphere tectonics. Geological Review, 64(2):261~282 (in Chinese with English abstract).
- Yu Miao, Feng Chengyou, Bao Guangying, Liu Hongchuan, Zhao Yiming, Li Daxin, Xiao Ye, Liu Jiannan. 2013. Characteristics and zonation of skarn minerals in Galinge iron deposit, Qinghai Province. Mineral Deposits, 32(1):55~76 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Aikui, Liu Guanglian, Feng Chengyou, Mo Xuanxue, Yang Liucheng, Liu Yongle, He Shuyue, Ma Yongshou. 2013. Geochemical characteristics and ore-controlling factors of Hutouya ploymetall deposits, Qinghai Province. Mineral Deposits, 32(1):94~108 (in Chinese with English abstract).

参考文献

- 陈静,谢智勇,李彬,李善平,谈生祥,任华,张启梅.2013.东昆仑拉 陵灶火钼多金属矿床含矿岩体地质地球化学特征及其成矿意 义.地质与勘探,49(5):813~824.
- 丰成友,李东生,吴正寿,李军红,张占玉,张爱奎,舒晓峰,苏生顺. 2010. 东昆仑祁漫塔格成矿带矿床类型、时空分布及多金属成 矿作用.西北地质,43(4):10~17.
- 黄敏,赖建清,马秀兰,曹德云.2013.青海省肯德可克多金属矿床地 球化学特征与成因.中国有色金属学报,23(9):2659~2670.
- 赖建清,黄敏,宋文彬,苏生顺,王守良.2015.青海卡尔却卡铜多金 属矿床地球化学特征与成矿物质来源.地球科学一中国地质大 学学报,40(1):1~16.
- 李东生,张文权,田承盛,颜琛,王丽君,景向阳.2013.青海祁漫塔格 地区主要矿床类型找矿方法探讨.西北地质,46(4):131~141.
- 刘建楠,丰成友,赵一鸣,李大新,肖晔,周建厚,马永寿.2013.青海 野马泉矽卡岩铁锌多金属矿区侵入岩、交代岩及矿化蚀变特 征.矿床地质,32(1):77~93.
- 刘智刚,张爱奎,夏友河,刘永乐,张培青,刘国燕.2017.青海祁漫塔 格那西郭勒 BIF 型铁矿床特征及意义.地质通报,36(10):1841 ~1849.
- 苏旭亮,赵永亮,赵闯,张学明,李恒恒,刘国燕,宋涛涛.2014.东昆 仑祁漫塔格克停哈尔斑岩型铜钼矿找矿思路突破及找矿模型. 中国地质,41(6);2048~2062.
- 伍跃中,乔耿彪,陈登辉.2011.东昆仑祁漫塔格地区构造岩浆作用 与成矿关系初步探讨.大地构造与成矿学,35(2):232~241.
- 许志琴,杨经绥,李海兵,嵇少丞,张泽明,刘焰.2011.印度-亚洲碰撞 大地构造.地质学报,85(1):1~33.
- 许志琴,王勤,孙卫东,李忠海.2018.地球的层圈结构与穿越层圈构造.地质论评,64(2):261~282.
- 于森,丰成友,保广英,刘洪川,赵一鸣,李大新,肖晔,刘建楠.2013. 青海尕林格铁矿床砂卡岩矿物学及蚀变分带.矿床地质,32 (1):55~76.
- 张爱奎,刘光莲,丰成友,莫宣学,杨六成,刘永乐,何书跃,马永寿. 2013.青海虎头崖多金属矿床地球化学特征及成矿-控矿因素研 究.矿床地质,32(1):94~108.
- 张爱奎,李东生,何书跃,赵俊伟,刘智刚,张勇.2017.青海省祁漫塔 格地区主要矿产成矿规律与成矿系列.北京:地质出版社,246 ~250.

Geological characteristics and genesis of the Luotuofeng copper-molybdenum deposit in the Qimantage metallogenic belt, Qinghai Province

YANG Baokai^{*1)}, XU Meijun^{1,2)}, SU Xuliang¹⁾, ZHANG Tao¹⁾, ZHANG Xueming¹⁾,

ZHAO Yongliang³⁾, LIN Gui³⁾, XUE $Bin^{1)}$, ZHAO Chuang¹⁾

1) Qingdao Geological Engineering Investigation Institute, Qingdao, Shandong, 266071;

2) Key Laboratory of Urban Geology and Underground Space Resourse, Shandong Provincial Bureau of Geology and

Mineral Resources, Qingdao, Shandong, 266071; 3) Third Exploration Institute of Geology of Qinghai Province,

Xining, Qinghai, 810029

* Corresponding author: yangbaokai@126.com

Abstract

The Luotuofeng copper-molybdenum deposit is a newly discovered porphyry deposit in the Qimantage metallogenic belt, and is located in the southwestern margin of the Qaidam Basin. Strata in the mining district are mainly gneiss of the Paleoproterozoic Jinshuikou Group. The magmatic rocks are dominated by the Indosinian granodiorite, and the ore-body occurs in the porphyaceous granodiorite. Moreover, the NE-trending extensional fault is the ore-controlling structure in the area. The vein-type copper polymetallic ore-bodies mainly occur in the surface and surrounding, whereas porphyry molybdenum occurs in the deep ore-bodies. Overall, this deposit is a porphyry-type molybdenum ore in the center, and the hydrothermal vein-type copper in the margin. The alteration zonation is characterized by chlorite, potassium, siliconation and smectite from the surface to the deep. Combined with previous studies, we proposed that is the Luotuofeng deposit is composed of copper in the upper and molybdenum in the lower. Therefore, the future prospecting work needs to strengthen the spatial and temporal distribution of porphyry intrusion, the source of ore-forming materials, and make a comparison of metallogenic model with other polymetallic deposit, which will contribute to establish a genetic model and broaden the method of prospecting for the Qimantage and even the eastern Kunlun area.

Key words: Luotuofeng copper-molybdenum deposit; Qimantage; porphyry deposit; prospecting model; genesis