文章编号:0258-7106(2013)01-0001-19

青海西部祁漫塔格地区主要矽卡岩铁多金属 矿床成矿地质背景和矿化蚀变特征^{*}

赵一鸣,丰成友,李大新,刘建楠,肖 晔,于 淼,马圣钞

(中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

摘 要 青海西部祁漫塔格地区砂卡岩铁多金属矿床分布广泛,目前已成为中国西部最重要和最有找矿潜力 的砂卡岩铁多金属成矿带。在大地构造上,该地区属东昆仑造山带,成矿主要与印支期(204~237 Ma)闪长岩、花岗 闪长岩和二长花岗岩有关,控矿地层包括蓟县系狼牙山组大理岩、硅质岩,奥陶系—志留系滩间山群大理岩、碎屑 岩、硅质岩、中-基性火山岩和石炭系结晶灰岩、碎屑岩等。区内发育3类砂卡岩,即钙砂卡岩、镁砂卡岩和锰质矽卡 岩,以前者为主。钙砂卡岩常伴生 Fe,Cu、M(Pb,Zn)矿化,镁砂卡岩主要伴生 Fe 矿化,锰质砂卡岩则伴生 Pb,Zn (Ag)矿化,矿石矿物组合多种多样,矿化具有一定的分带性。内接触带侵入岩广泛发育钾长石化,与砂卡岩类型一 起构成该类矿床的重要找矿标志之一。

Metallogenic setting and mineralization-alteration characteristics of major skarn Fe-polymetallic deposits in Qimantag area, western Qinghai Province

ZHAO YiMing, FENG ChengYou, LI DaXin, LIU JianNan, XIAO Ye, YU Miao and MA ShengChao (Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Fe-polymetallic skarn deposits are widely distributed in the Qimantag area of western Qinghai Province. Recently, this area has become a major metallogenic belt with most promising ore potential. Geotectonically, it belongs to Eastern Kulun orogenic belt. Mineralization is related to Indosinian (204~237 Ma) diorite, granodiorite and mozonitic granite. Ore-controlling strata are composed of marble and silicalite of middle Proterozoic Langyashan Formation, marble, clasolite, silicalite and andesite-basaltic volcanic rocks of Ordovician-Silurian Tanjianshan Group, and crystalline limestone and clasolite of Carboniferous period. In the ore deposits, three types of skarns are developed, i. e. calcic, magnesian and manganoan types, with the first type being dominant. Calcic skarn is commonly associated with Fe, Cu, Mo, (Pb, Zn) mineralization, magnesian skarn is mainly associated with Fe mineralization, and manganoan skarn is always associated with Pb, Zn (Ag) mineralization. Mineral assemblage of the ores is extremely varied and has certain zonation. Potassic metasomatic phenomena are very entensive in the endo-contact zones of the deposits. In addition to different types of skarns, potassic metasomatism also constitutes one of the important ore-searching indicators.

^{*} 本文得到中国地质调查局地质调查项目(编号:1212011085528、1212011121089) 国家自然科学基金项目(批准号:41172076) 和中国地 质调查局青年地质英才计划 编号 201112)的联合资助

第一作者简介 赵一鸣,男,1934年生,研究员,主要从事矿床地质地球化学研究。 收稿日期 2012-02-08;改回日期 2012-10-12。许德焕编辑。

Key words: geology, metallogenetic geological setting, geological characteristics of Fe-polymetallic deposits, skarn types, potassic metasomatic phenomena, Qimantag area, Qinghai

青海西部祁漫塔格地区位于柴达木盆地西南 缘、东昆仑造山带西段,是近几年查明的较有找矿远 景的砂卡岩型铁多金属成矿带。在地理位置上,该 地区东起青海省乌图美仁乡一带,西至青海与新疆 的边界,北与柴达木盆地相邻,西南与库木库里盆地 相接,东西长约550 km,南北宽约75 km(图1)。近 十年来,随着国家西部大开发战略的实施,在该地区 发现及扩大了一批大(中)型砂卡岩铁多金属矿床, 如卡而却卡、四角羊(牛苦头)、虎头崖、尕林格、野马 泉和肯德可克等,小型矿床和矿点星罗棋布,使该地 区成为中国十大新的战略资源接替基地之一(丰成友 等,2010;2011b;张爱奎等,2010;刘维等,2010)。

本文在野外调查和室内研究的基础上,着重对 该地区内卡而却卡、虎头崖、尕林格、野马泉、肯德可 克和四角羊等大(中)型砂卡岩铁多金属矿床的成矿 地质背景和矿化蚀变特征等进行了探讨。

1 成矿地质背景

1.1 构造

祁漫塔格成矿带位于柴达木盆地西南缘(图1)。 任纪舜等(1980)称该带为东昆仑中间隆起带。该成 矿带内的铁多金属矿床大多位于昆北构造带,仅个 别矿床(卡而却卡)位于昆中构造带(姜春发等, 1992)。

昆北构造带内构造活动强烈。褶皱以轴向 NWW向的复式背、向斜构造为主;断裂构造十分发 育,NWW向、NW向和近EW向断裂的交汇聚合部 位往往是岩体侵位和在有利围岩条件下矿体生成的 必要条件之一。



图 1 祁漫塔格地区砂卡岩铁多金属矿床分布略图(据丰成友等,2011b略作修改) 1一第四系;2一三叠系;3一石炭系;4一泥盆系;5一奥陶系一志留系;6一元古界;7一印支期花岗岩;8一海西期花岗岩; 9一加里东期花岗岩;10一断裂;11一铁多金属矿床;(1)卡而却卡;(2)鸭子沟;(3)乌兰乌珠尔;(4)景忍;(5)虎头崖; (6)肯德可克;(7)群力;(8)野马泉;(9)四角羊;(10)金鑫;(11)尕林格;(12)它温查汉

Fig. 1 Geological sketch map of Qimantag area, showing distribution of Fe-polymetallic skam deposit (modified after Feng et al., 2011b)

1—Quaternary: 2—Triassic: 3—Carboniferous: 4—Devonian: 5—Ordovician-Silurian: 6—Proterozoic: 7—Indosinian granite: 8—Hercynian granite: 9—Caledonian grantie: 10—Fault: 11—Fe-polymetallic deposit: (1) Kaerqueka: (2) Yazigou: (3) Wulanwuzhuer: (4) Jingren: (5) Hutouya: (6) Kengdekeke: (7) Qunli: (8) Yemaquan: (9) Sijiaoyang: (10) Jinxing: (11) Galinge: (12) Tawenchahan 1.2 控矿地层

祁漫塔格地区内出露的不同时代的地层很多, 太古宇、元古宇、寒武系—奥陶系、泥盆系、石炭系、 二叠系、三叠系和新生界都有 但控制成矿的有利地 层主要有 3 套 :中元古界蓟县系狼牙山组 ,下古生界 奥陶系—志留系滩间山群,上古生界石炭系。其中 又以滩间山群及石炭系最为重要。

蓟县系狼牙山组 主要见于虎头崖矿区 是该 矿区的主要控矿围岩之一,为一套碳酸盐岩和碎屑 岩的交互层,岩性为大理岩、白云质大理岩、石英砂 岩、含碳灰岩及硅质岩。

奥陶系—志留系滩间山群 主要见于肯德可 克、尕林格、虎头崖、卡而却卡和四角羊等矿区,是区 域内最重要的矽卡岩铁多金属矿床的控矿地层 岩 性组合比较复杂,有结晶灰岩、大理岩、白云质大理 岩、硅质岩、石英砂岩、变质粉砂岩、千枚岩和变质玄 武-安山岩等属含碳酸盐岩的火山-沉积岩系。

石炭系 包括下石炭统大干沟组(C₁dg)和上石 炭统缔敖苏组(C,d)。

大干沟组见于虎头崖矿区 岩性主要为结晶灰 岩、石英砂岩和石英岩屑砾岩等。

缔敖苏组是肯德可克、野马泉和四角羊矿区的 主要控矿围岩之一,其岩性为结晶灰岩、大理岩、白 云质灰岩、白云岩、石英砂岩等。

不同时代复杂多变的碳酸盐岩、碎屑岩和变质 中-基性火山岩地层组合,为矽卡岩铁多金属矿床的 形成提供了有利的赋矿围岩。

1.3 成矿岩浆岩

该地区岩浆活动强烈,类型较齐全,从超基性 岩、基性岩到中性岩、花岗岩类均有,活动时间长(从 加里东期、海西期、印支期到燕山期),但与铁多金属 矿化有关的岩浆岩多属印支期中-酸性侵入岩,包括 闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩等, 部分矿区还有少量辉长岩。岩体多呈岩株、岩舌等 形态产出,与围岩的接触面变化很大(李光明等, 2001 沣成友等 2012)。

已有资料表明,成矿岩体的时代均属印支期。 表1列出了该地区内一些成矿岩体的同位素年龄资 料。由该表可见 这些岩体的年龄集中在 218 Ma 至 239 Ma之间,说明其成岩成矿时代属于中—晚三叠 世。

从区域大范围看,该地区的岩浆岩具有较明显 的成矿专属性:___

以铁矿为主伴有铜、铅锌矿化的侵入岩 主要 有闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩, 局部有辉长 辉绿 岩 如尕林格、肯德可克和野马泉 矿区。

🖌 🔍 以铜矿为主伴有铁(钼、铅、锌、金)矿的有关侵 入岩 主要有花岗闪长岩和二长花岗岩 如卡而却 卡矿区。

以铜铅锌矿为主伴有铁矿的有关侵入岩 主要 为二长花岗岩 如虎头崖和四角羊矿区。

在邻区新疆境内,与矽卡岩钨、锡矿有关的侵入 岩则为花岗岩 如白干湖矿区(李大新等 2013)。

》表	₹1	祁漫塔格地区成矿	'岩浆岩的年龄
	`		

序号	矿区名称	岩石(矿物)名称	年龄/Ma	测试方法	资料来源
1	虎头崖	花岗闪长岩	235.4 ± 1.8	锆石 LA-ICP-MS U-Pb法	丰成友等 2011a
2	虎头崖	二长花岗岩	219.4 ± 1.4	锆石 SHRIMP U-Pb 法	丰成友等 2011a
3	卡而却卡	花岗闪长岩	237 ± 2	锆石 SHRIMP U-Pb 法	王松等 2009
4	卡而却卡	二长花岗岩	227 ± 2	锆石 SHRIMP U-Pb 法	王松等 2009
5	野马泉	A型花岗岩	204 ± 2.6	锆石 SHRIMP U-Pb 法	刘云华等 ,2006
6	鸭子沟	钾长花岗斑岩	224 ± 1.6	锆石 SHRIMP U-Pb 法	李世金等 ,2008
7	野马泉	含黑云母闪长岩	233.2	K-Ar 法	宋忠宝等 2010
8	肯德可克	二长花岗岩	230.5 ± 4.2	锆石 LA-ICP-MS U-Pb法	奚仁刚等 2010
9	肯德可克	二长花岗岩	229.51 ± 0.48	锆石 LA-ICP-MS U-Pb法	本文
10	尕林格	花岗闪长岩	229.4 ± 0.8	锆石 LA-ICP-MS U-Pb法	本文
11	卡而却卡	辉钼矿	239 ± 11	Re-Os 等时线	丰成友等 2009
12	鸭子沟	辉钼矿	224.7 ± 3.4	Re-Os 等时线	李世金等 2008
13	虎头崖	辉钼矿	224.1 ± 1.2	Re-Os 等时线	丰成友等 2011a
14	虎头崖	辉钼矿	229.9 ± 0.07	Re-Os 等时线	丰成友等 2011a

3

		Table 2 Geo	logical futures of main Fe-	polymetallic deposits in Qir	nantage area	
矿床名称	卡而却卡铜多金属矿床	尕林格铁多金属矿床	虎头崖多金属矿床	四角羊多金属矿床	肯德可克铁多金属矿床	野马泉铁多金属矿床
与成矿有 关岩浆岩	印支期二长花岗岩和花岗闪 长岩	印支期闪长岩、枯岗闪长岩、 二大花岗岩和辉大岩	印支期二长花岗岩	印支期二长花岗岩、斜长花岗 岩	印支期闪长岩、石英闪长岩、 二长花岗岩、花岗闪长岩	印支期闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长 岩、二长花岗岩
控矿地层	豫洞山群中,基性火山岩,结 晶灰岩、大理岩、板岩及千 枚岩	擁间山群碎層岩、中(偏基)性 火山岩夹大理岩、硅质岩	勤县系狼牙山组碳酸盐岩与 碎屑岩(石英砂岩、硅质岩) 互层,滩间山群大理岩夹中 -基性火山岩;石炭系大理 岩	滩间山群和上石炭统缔散苏 组大理岩、碎屑岩	滩间山群碎屑岩、火山岩、白 云质大理岩、硅质岩及上石 炭统碳酸盐岩	滩间山群大理岩、硅质岩夹玄武岩和上 石炭统四角羊组大理岩夹石英砂岩
控矿构造	近EW 向断裂构造破碎带,侵 入体与大理岩接触带	外接触带围岩的层间断裂构 造	矿体受侵入体外接触带层间 断裂破碎带控制	矿体受侵入体外接触带大理 岩中的层间断裂破碎带控 制	矿体受侵入体外接触带层间 断裂控制	矿体受侵入体外接触带层间断裂破碎 带控制
矿体产出 位置和形态	矿体呈透镜状、脉状和串珠状 产于侵入体与大理岩外接 触带及二长花岗岩中	矿体呈透镜状、似层状产于侵 入体外接触带滩间山群的 砂卡岩和蛇纹石交代岩中	矿体呈透镜状、似层状、脉状 产于侵入体外接触带大理 岩、硅质岩中	矿体呈似层状、透镜状产于侵 入体外接触带大理岩中	矿体呈透镜状、囊状产于侵入 体外接触带大理岩与碎屑 岩互层的层间破碎带	矿体呈较平缓的似层状、透镜状产于外 接触带大理岩中
金属组合	Cu, Pb, Zn (Fe, Mo, Au)	Fe, Pb, Zn, Cu (Co, Au)	Cu, Pb, Zn, Fe (Ag, Sn)	Cu, Pb, Zn, Fe (Ag)	Fe, Cu, Pb, Zn (Ag, Au, Co, Bi)	Fe, Pb, Zn, Cu (Ag, Co)
金属矿物	Cp, Bor, Py, Sph, Gn, Mol, Mt. 少量 He, Chal, Mal, Az, Au等	Mt,Mg-Mt,Po 为主, 次为 Sph. Gn. Py.少量 Cp. Bor	Cp, Sph. Gn. Py, Po, Mt: 少量 Bor, Mal. Cas	Cp. Sph. Gn. Mt. Po. Py: 少量 He. Bor: 微量 Ars. Mol. Telb	Mft. Sph. Gn. Cp. Po. 少量 He. Py. Bori 微量 Ni-Py. Ars. Chal. Cob. Sku. Au. Telb 等	Mt. Sph. Gn. Cp. Po. Py. 後量 Bru
矿石品位	w (G ₁) 0.29% ~ 3.28%; w(Z ₁) 0.94% ~ 2.06%; w(Pb) 2.2% ~ 3.44%; w(Mo) 0.123% (局 部); w(Au) 0.27 g/t ~ 3.63 g/t (部 分 节 体)	铁矿石: w(TFe) 37.83%, w(S)1.43%; 铅锌矿石: w(Pb) 3.71%, w(Zn) 3.5%; 钴金矿石: w(Co) 0.62% ~0.23%, w(Au) 0.3 g/r~4.2 g/t	w(Gi) 2.05%, w(Fb) 5.79%, w(Zi) 4.46%, w(Ag) 90 g/t	$w(\Omega_1)$ 0.23% \sim 1.48%, 平均 0.28%; $w(Pb)$ 0.39% \sim 3.27%, 平均 1.6%; $w(Zn)$ 0.75% \sim 3.87%, 平均2.1%	w(TFe) 34.12%	w(TFe) 33.98 %
砂卡岩和 组成矿物	钙砂卡岩: Gr. Di. HJ. Ves Act. 少量 S. Woll	钙砂卡岩: Gr. Dr. Ep. Wall. Fas: 镁砂卡岩: For. Chan. Sui: 锺质砂卡岩: Mir-Hi. And	钙砂卡岩: G., D. Ves, Ep. Has, Za; 镁砂卡岩: Ph. D: 锺质砂卡岩: Mr.Hi	钙砂卡岩:Gr. D. Ves. Ep: 锰 质砂卡岩:Mn-HH. Phx	钙砂卡岩: Ga, L3, Ves, Woll, Ep. Act: 镁矽卡岩: Month Phi.T.: 锰质砂卡岩: Mn-FR	钙砂卡岩: Gr. D. Woll. 次为 Ep. Ves. Has: 镁砂卡岩: For. Phl. Tr; 锰质砂 卡岩: Mn-Hd
退化热液交代矿物	Q, Cal. Flu, Chl, Ser	Q, Cal, Dol, Flu, Serp, Chl, Bru	Q, Cal, Chl, Flu, Ser, Dol, Pre, Zeo, Apo	Q. Cal, Chi, Ser, Flu	Q, Cal, Flu, Chl, Ser, Serp, Bru, Zeo	Q, Cal, Chl, Ser, Flu, Zeo, Serp
内接触带 蚀变现象	接触带二长花岗岩钾化现象明显,局部被交代成钾长石交星,局部被交代成钾长石交代岩,岩体中纲矿脉两侧有黄铁绵连岩化、泥化	接触带花岗闪长岩有钾长石化 和透辉石化现象,局部有基 性斜长石化	内接触带二长花岗岩遭受较强 的钾长石化	内核軸带二卡花肉岩遭受白运母化、砂卡岩化和砷卡石和	後触带附近的二长花岗岩等有 倒显的钾长石化	接触带闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩 遭到较强的钾长石化、局部有钠长石化
矿床规模	铜矿为中型	铁矿为大型	铜铅锌矿为大型	铜铅锌矿为大型	铁矿中型	铁矿为中型;铜铅锌矿为大型
资料来源	本文:王松等,2009:李大新等, 2011:丰成友等,2011b	本文;青海省第八地质队,1981	本文:张爱奎等,2010:胡杏花 等,2011:丰成友等,2011a	本文: 张爱奎等, 2010: 李洪普 等, 2010	本文;青海地质调查院,2011; 王力等,2003;奚仁刚等,2010	本文:张爱奎等,2010;青海第三地质矿产 勘查院,2011;宋宝忠等,2010
表内矿物作 矿: Dr—送 钙镁橄榄石 矿: Sal—3	7号: Act一阳起石: And一钙铁榴石 舒辉石: DA一白云石: Ep-绿帘石: 5: Mt-磁铁矿: N-Py-镶黄铁矿: 5: Mt-磁铁矿: Th- 透闪石	 Apo _ 鱼眼石: Aus - 毒砂: Aur - 1 Flu - 萤石: For - 実敏統石: Ga - 5 Or - 砷长石: Phi - 金云母: Phase - 3 Or - 荷长石: Phi - 金云母: Phase - 5 Ves - 符山石: Woll - 硅灰岩: Ze 	自然金: Ar 蓝铜矿; Bar 斑铜矿; 方铅矿; Ga-石榴子石; Has -吴约 - 锺三斜辉石; Pa-磁黄铁矿; Pa- - 沙沸石; Pa 黝帘石	, Bu—水镁石; Ca— 方解石; Ca= 闪石; Hu— 钙铁辉石; Fu—赤铁矿 -葡萄石; Py— 黄铁矿; Q—石英; S	锡石: Cual一挥铜矿; Cul一绿泥石; , Mal一孔雀石; Me-Mu一镁磁铁矿; e一方柱石; Suh一白钨矿; Sar—绢;	· Chon 粒硅镁石;Cdo 落砷钴矿;Cp 黄铜 · Mu-Hi - 霍钙铁滨石;Mai - 蒋钼矿;Mau - 云母;Seip - 蛇纹石;Sur - 方钴矿;Sph - 闪锌

表2 祁漫塔格地区主要铁多金属矿床地质特征

4

2013 年

尽管在各矿区地表或钻孔岩芯中,未见到闪长 岩、石英闪长岩、花岗闪长岩及二长花岗岩之间的相 互关系,但推测其可能属同时代(印支期)中-酸性侵 入岩的演化关系,因为它们不但形成时间相近(表 1).而且都不同程度地遭到接触交代热液蚀变作用。

该地区内闪长岩和花岗闪长岩的化学成分与国 内许多砂卡岩金属矿床中的大致相似(邱家骧等, 1995,赵一鸣等,2012),但花岗闪长岩和二长花岗岩 的 Na2O和 K2O 含量偏高,主要属于铝质高钾钙碱 性系列。陈丹玲等(2001)曾指出,该地区与成矿有 关的二长花岗岩类属于过铝质A型花岗岩,并认为其 形成于造山后的伸展环境。奚仁刚等(2010)和马圣钞 (2012)分别对肯德可克铁矿区和虎头崖多金属矿区内 的二长花岗岩进行研究后,也得出了同样的结论。

A 型花岗岩的主要特征是具有较高的 SiO₂、 Na₂O+K₂O、Fe/Mg、Ga/Al、Zr、Nb、Ga、Y、Ce 和较 低的 CaO、Ba、Sr(Collins et al., 1982; Whalen et al., 1987)。该地区的花岗岩类在地球化学上虽与 A 型 花岗岩相似,但与 Collins 等(1982)和 Whalen 等 (1987)所描述的澳大利亚东南部 A 型花岗岩类相 比,还有一定差别,主要反映在岩石中 Zr、Ce、Y 等微 量元素偏低。在与成矿的关系上,祁漫塔格地区的 花岗岩类与 Fe、Cu 多金属矿关系密切;但澳大利亚 东南部的 A 型花岗岩未见有与有关金属矿化关系的 报道。此外,祁漫塔格地区内有部分花岗岩类属于 I 型。

5

2 代表性矿床地质特征简介

本章节主要对卡而却卡、虎头崖、尕林格、野马 泉、四角羊和肯德可克等 6 个主要矿床的地质特征 (表 2)作一简介。

2.1 代表性矿床地质特征

2.1.1 卡而却卡铜多金属矿床

该矿床位于柴达木盆地西南缘的昆中构造带 (图1),由青海省地质调查院于2003年发现,成矿元 素组合以Cu、Zn、Mo为主,伴生有Fe、Pb、Au、Ag。 目前,该铜矿的规模已达中型(38.26万吨)。矿区内 出露的地层主要为奥陶系—志留系滩间山群(图2), 其主要岩性组合是大理岩、结晶灰岩、安山-玄武岩、 板岩及千枚岩。地层产状:倾向北东,部分矿段倾向 南西,倾角一般为75~85°。矿区内断裂构造较发 育,主要一组为NWW向,与成矿关系密切。矿区内 岩浆活动十分强烈,侵入岩均为印支期(227~237 Ma)中-酸性岩,其中,分布面积最大的为似斑状二长 花岗岩,其次是花岗闪长岩(图2)。



图 2 卡而却卡铜钼矿床索拉吉尔矿段地质略图(据青海省地质调查院 2007⁰资料修编)

1—奥陶系—志留系滩间山群大理岩;2—变质砂岩;3—似斑状二长花岗岩;4—黑云母花岗闪长岩;5—断裂;6—矽卡岩;7—铜钼矿床; 8—露天矿区;9—地层产状

Fig. 2 Geological sketch map of Suolajier ore block in the Kaerqueka Cu-Mo deposit

(rnodified after Qinghai Geological Survey, 2007)

1—Marble of Ordovician-Silurian Tanjianshan Group ; 2—Metasandstone ; 3—Porphyroid monzogranite ; 4—Biotite granodiorite ; 5—Fault ; 6—Skarn ; 7—Cu-Mo ore body ; 8—Openpit mine ; 9—Attitude of strata 经青海省地质调查院近几年的勘查工作,已控 制矿体 67 条(王松 2009),分为 A、B、C 和索拉吉尔 4 个矿段,包括铜矿体、锌矿体、铁矿体、铜锌矿体、铜 钼矿体、铅锌矿体和金矿体等。矿体主要与钙矽卡 岩伴生,常呈透镜状、似层状产于侵入岩和大理岩的 外接触带(图 2)或花岗岩内大理岩捕虏体中,部分铜 矿体则呈脉状(细脉浸染状)产于蚀变二长花岗岩 内,伴有钾化、硅化、绢英岩化等蚀变,属斑岩型矿 体。因此,卡而却卡矿床实际上是一个斑岩型-矽卡 岩型相复合的铜多金属矿床。其品位相对较富, u(Cu)为 0.15% ~ 3.28%,平均 1.39%,u(Cn)为0.94% ~ 7.16%,平均 2.90%,u(Pb)为 <math>2.2% ~ 3.44%,u(Mo)为 0.15%,u(Au)为 0.27~3.61 g/t。2.1.2 虎头崖铜多金属矿床

6

虎头崖矿区位于柴达木盆地西南缘的昆北构造 带,是青海省地质矿产局区域地质调查队于 1979~ 1981 年开展 1:20 万区域地质调查时发现的 ;2000~ 2003 年,青海省地质调查院对其进行了普查评价,确 定该矿床的规模达到中型以上 ;2007 年至今,先后由 湖南省有色地质 217 队、中铝云南铜业有限公司、青 海省第三地质矿产勘查院进行了详查,现已证实其 为一大型铜铅锌多金属矿床。

矿区内出露的地层较复杂,主要有蓟县系狼牙 山组大理岩与碎屑岩互层,奥陶系—志留系滩间山 群大理岩、碎屑岩夹中-基性火山岩,石炭系(包括下 统大干沟组和上统缔敖苏组)结晶灰岩、碎屑岩以及 上三叠统鄂拉山组火山凝灰岩等。矿区内褶皱、断 裂构造发育,构造线近 EW 向。岩浆侵入活动强烈, 主要为印支期(219.4~235.41 Ma)二长花岗岩(表 1),次有花岗闪长岩。侵入岩体与不同时代地层岩 性界面,特别是碳酸盐岩构造破碎带与花岗质侵入 岩体的接触部位,常发育矽卡岩化和铜多金属矿化。

目前已在该矿区的 7 个矿带内控制了各类矿体 42 条,包括铁、铜、铜(锌、锡)、铜铅锌等金属组合。 矿体呈透镜状、似层状、脉状,分别产于接触带及其 附近的大理岩中,并多与钙矽卡岩伴生(图3)。由岩 体至碳酸盐围岩方向,金属成矿元素显示出一定分 带,即 Mo→Fe Srt(Cu)→Cu Mc(Pb,Zn)→Pb Zn 相 应的蚀变由钾化、石榴子石化、透辉石化到绿泥石-碳酸盐化(丰成友等,2011a)。各类矿石的品位是: u(TFe)平均为28.82%,u(Cu)平均为2.05%,



Fig. 3 Geological section along No. 0 exploration line of VI ore belt in the Hutouya ore district
(modified after Third Geological Exploration Institute of Qinghai Province , 2009)

1—Marble ; 2—Silicalite ; 3—Monzogranite ; 4—Tectonic breccia ; 5—Skarnized marble ; 6—Cu-Pb-Zn ore body

u(Pb)平均为 5.79%, u(Zn)平均为 4.46%,
 u(Ag)平均为 90 g/t, 说明除铁矿石外,铜、铅、锌
 (银)矿石的品位也是较富的。

2.1.3 尕林格铁多金属矿床

尕林格矿床位于虎头崖矿区东偏北约 50 km 处,是一个隐伏矿床,整个矿区被厚逾 150~200 m 的第四系所复盖(图4)。上世纪 70 年代,原青海省 地质局一队用钻探工程对原青海省地质局物探队所 推断的磁异常进行了验证,发现其均为磁铁矿体所 引起。1979~1984年,由原青海省地质局八队和六 队进行了铁矿普查,确定其为一中型矽卡岩磁铁矿 矿床。2007年至今,青海省有色地勘局地质矿产勘 查院对该矿区进行了详查,初步证实其为一大型铁 矿床,铁矿资源量约为 1.5 亿吨,并伴生有 Pb、Zn (Co,Au)等有益组分。

矿体的容矿围岩属奥陶系—志留系滩间山群, 主要岩性为结晶灰岩、白云质大理岩、硅质岩、变质



图 4 尕林格铁多金属矿床 163 勘探线剖面图 (据青海省地质局第八地质队,1981年[●]资料修改) 1-第四系;2-大理岩;3-蛇纹石化白云质大理岩;4-硅质岩; 5--花岗闪长岩;6--透辉石砂卡岩;7--铁矿体

Fig. 4 Geological section along No. 163 exploration line of the Galinge iron-polymetallic deposit

(modified after No. 8 Geological Party of Qinghai Geological Bureau , 1981)

1—Quaternary; 2—Marble; 3—Serpentinized dolomitic mrble; 4—Silicalite; 5—Granodiorite; 6—Diopside skarn; 7—Fe ore body

粉砂岩和玄武-安山岩等。矿区内岩浆活动较强烈, 主要岩性为印支期(229 Ma)花岗闪长岩、闪长岩和 二长花岗岩,局部还有辉长岩。侵入岩在接触带附 近都遭到不同程度的钾化蚀变。矿区内的地层为一 NWW 向的向斜构造,该向斜的西段被花岗闪长岩 体阻截破坏。该矿区的南、北边缘各有一条大致呈 NWW 向展布的压性逆冲断裂,断裂面倾向北,倾角 50~70°。矿区内层间断裂发育,对矿体起到重要的 控制作用。

7

该矿床由 6 个矿群组成,呈 NWW 向展布,长约 14 km。 [、]]、]]] 矿群主要产于矿区西部的花岗闪 长岩与滩间山群白云质大理岩接触带附近的透辉石 矽卡岩和蛇纹石交代岩中,而]/、V、V] 矿群则主要 沿 NWW 向产于花岗闪长岩外接触构造破碎带内。 不同矿群的矿石种类各不相同:I、]]] 矿群以透辉石 磁铁矿为主;]] 矿群以蛇纹石-镁磁铁矿-磁黄铁矿为 主,局部可见钴、金矿石;]V和V 矿群主要是透辉石-磁铁矿-磁黄铁矿以及交代蚀变安山岩的磁铁矿-磁 黄铁矿,局部可见黄铜矿;V] 矿群以石榴子石-锰质 辉石-方铅矿-闪锌矿占优势。上述不同矿石类型看 来主要与交代不同岩性的围岩有关。

关于铁矿石的品位,早期普查后获知,亚(TFe) 平均为51.73% 属富矿石(赵一鸣等 2003),但随着 近几年勘查工作的进展,铁矿资源量不断扩大,但其 平均品位_亚(TFe)降低至 37.83%。

2.1.4 野马泉铁多金属矿床

野马泉矿床位于昆北构造带,西距虎头崖矿区约 25 km。该矿床于 20 世纪 60 年代末由青海省地 质局地质一队发现并检查评价,认为是一个小型矽 卡岩铁矿床。近几年来,青海省地质调查院对该矿 区开展了进一步的普查,确定其铁矿为中型,而铜、 铅、锌矿资源量有望达到大型。

矿区内的控矿地层主要是滩间山群大理岩、硅 质岩、角岩夹玄武岩,以及上石炭统缔敖苏组结晶灰 岩、大理岩和硅质岩等。与成矿关系密切的侵入岩 主要是印支期(233.2 Ma)黑云母闪长岩、花岗闪长 岩和二长花岗岩(表1)。接触带附近的平移隐伏断 层、逆断层和层间断裂构造对成矿起着明显的控制 作用(宋忠宝等 2010)。

根据地磁异常的分布,可将该矿区分为南、北2 个矿带,目前已分别发现各类矿体多达78条和72 条,均赋存于砂卡岩中(图5)。矿体规模大小不等, 呈薄板状、透镜状和不规则状产于岩体与滩间山群 及上石炭统的碳酸盐围岩接触带中。与铁矿体伴生 的矽卡岩主要为钙矽卡岩,包括透辉石矽卡岩、石榴 子石矽卡岩和石榴子石透辉石矽卡岩等;而与铅锌



Fig. 5 Geological section along No. 5 exploration line of M5 magnetic anomaly area in the Yemaquan ore district (modified after Sun et al., 2009)

1—Quaternary ; 2—Marble ; 3—Silicalite ; 4—Indosinian diorite ; 5—Skarn ; 6—Fe ore body ; 7—Zn-Fe ore body ; 8—Zn ore body

矿体伴生的砂卡岩则多为锰质钙铁辉石砂卡岩。从 岩体至外接触带碳酸盐围岩方向,矿化类型有一定 的分带性,即 Sn, Mo→Fe, Cu→Fe, Zn, Pb。但 Sn Mo只是矿化,无工业意义。主矿体大多位于外 接触带 50~200 m 范围内。

2.1.5 四角羊铅锌多金属矿床

四角羊矿床位于野马泉矿区东南约 12 km 处, 同属昆北构造带。它是青海省柴达木综合地质矿产 勘查院于 2008 年在该地区进行勘查时发现的一个 大型铅锌多金属矿床(李洪普等 2010)。

矿区内出露的地层主要是奥陶系—志留系滩间 山群和上石炭统缔敖苏组碳酸盐岩;容矿围岩以后 者为主。矿体呈似层状、透镜状主要产于印支期二



图 6 四角羊铅锌多金属矿区 23 勘探线剖面图 (据青海省柴达木综合勘查大队 2008⁹⁶修编) -第四系;2--含碳质灰岩;3--大理岩;4--砂卡岩化花岗岩; 5--砂卡岩化二长花岗岩;6--砂卡岩;7--铅锌矿体

Fig. 6 Geological section along No. 23 exploration line of the Sijiaoyang Pb-Zn polymetallic ore district

(modified after Chaidamu Comprehensive Geological Party of Qinghai Province , 2008)

1—Quaternary; 2—Carbon-bearing limestone; 3—Marble; 4—Skarnized granite; 5—Skarnized monzogranite; 6—Skarn; 7—Pb-Zn ore body

长花岗岩、斜长花岗岩内,以及缔敖苏组大理岩外接 触带(图6)。目前已圈出45条铅锌多金属矿体。矿 体规模大小不一,一般长50~300m,最长750m,厚 一般为1~15m,最厚达30~87m;产状较平缓,倾 向NNE或S,倾角3~35℃李洪普等,2010)。

与铜矿化有关的主要是由透辉石、石榴子石组 成的钙矽卡岩,而与铅锌矿化伴生的则为锰质钙铁 辉石矽卡岩。

2.1.6 肯德可克铁多金属矿床

肯德可克矿床位于虎头崖矿区东南约 7 km 处, 同属昆北构造带。该矿床是青海省地质局第一地质 队在 1970 年发现的 ;1977~1981 年进行了深部钻探

[●] 孙丰月等. 2009. 东昆仑成矿带重大疑难问题研究报告.

❷ 青海省柴达木综合勘查大队. 2008. 青海省格尔木市四角羊矿区铁多金属矿普查报告. 内部资料.

验证和详查 提交出铁矿资源量 7406.63 万吨,伴生 有锌、铅、铜、锡和金、银矿。1995~1997年,青海省 有色金属地勘局对该矿区开展了金矿普查,1998 年 发现了钴矿线索,新发现并圈定出金钴铋复合矿体 35条,提交了金矿资源量(333-334)9.5 吨。

矿区内出露的地层为奥陶系—志留系滩间山群 大理岩、白云质大理岩、硅质岩、杂砂岩、含碳钙质板 岩和上石炭统结晶灰岩、白云质大理岩,局部还有上 泥盆统火山岩。

在构造上,滩间山群、上泥盆统和上石炭统组成 了肯德可克向斜。矿区位于该向斜的北翼,地层近 EW 走向,倾向北,倾角 50~70°。矿区内断裂构造 发育,有3条规模较大的近 EW 向断裂,其中一条沿 硅质岩和含碳钙质板岩接触带附近延伸,控制了区 内含矿矽卡岩的分布(王力等,2003)。

与成矿有关的侵入岩为印支期(229.5~230.5 Ma)闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗 岩。

矿体呈似层状、透镜状、脉状产于侵入体外接触 带的大理岩和结晶灰岩中,其中,铁及金钴铋复合矿 体多赋存于滩间山群内,而有色金属矿体则主要赋 存于上石炭统内。在地质剖面上,下部是铁矿体,上 部则为多金属矿体,显示出一定的金属矿化分带性 (图7)。

2.2 矿体

该地区所有的矽卡岩铁多金属矿床都产在印支 期中-酸性侵入体外接触带不同时代(中元古代、奥 陶纪-志留纪和石炭纪)的大理岩(结晶灰岩),白云 质大理岩、碎屑岩、中-基性火山岩和硅质岩的层间 断裂破碎带中,而且以大理岩为主,一般离侵入体接 触面的距离不超过400~500 m。矿体往往成群成带 出现,每个矿区内都能圈出多达40至70余个矿体。 矿体规模大小不一,长几十米至1650 m,大多为几百 米;厚度变化也较大,从几十厘米到113 m;最大延深 可达600 m 左右。

矿体在空间上常有一定的分带性,从内接触带 向碳酸盐围岩方向,其总的分带趋势是:Cu(Mo)→ Fe(Cu,Sn)→Fe-Zn→Cu-Pb-Zn→Pb-Zn→Pb(Ag)。 有相当一部分矿体直接产于侵入体接触带(正接触 带),且以铁铜矿体为主,如尕林格(图4),野马泉(图 5)和卡而却卡矿区索拉吉尔矿段(图2)等。在岩体



图 7 肯德可克矿区 16 勘探线地质剖面(据青海省有色 金属地质勘查局地质矿产勘查院 2004 年[●]资料修编) 1—上石炭统白云岩、白云质大理岩、结晶灰岩;2—奥陶系—志留 系滩间山群硅质岩和硅质灰岩;3—石榴子石透辉石砂卡岩; 4—钙镁橄榄石砂卡岩;5—铁矿体;6—锌铁矿体;7—锌矿体; 8—铅矿体;9—硫铁)矿体;10—不整合面;11—断层;12—蚀 变带界线

Fig. 7 Geological section along No. 16 exploration line of the Kendekeke ore district (modified after Exploration Institute of the Qinghai Nonferrous Metall Geological Exploration Bureau, 2004)

1—Upper Carboniferous dolomite, dolomitic marble, crystalline limestone; 2—Silicalite and siliceous limestone of Ordovician-Silurian Tanjianshan Group; 3—Garnet diopside skarn; 4—Monticellite skarn; 5—Fe ore body; 6—Zn-Fe ore body; 7—Zn ore body; 8—Pb ore

body;9—S(Fe)ore body;10—Uncomformity;11—Fault; 12—Boundary of alteration zone

接触面转折所形成的凹陷部位,可形成矿体的相对 富集(图6)。离接触带有一定距离的碳酸盐围岩层 间断裂破碎带中有铜多金属矿体产出,如虎头崖Ⅴ、 Ⅶ矿带(图3)。在远离接触带的大理岩中,可能有受 层间断裂破碎带控制的热液充填交代型铜多金属矿 脉,并往往构成富矿体,如虎头崖Ⅷ矿带。有时,在 一个地质勘探剖面中,就可以看到这种分带现象,如 肯德可克 16 勘探线,矿体自下而上依次是:F€(S)→ Zn-Fe→Zn→Pb(图7),推断该处的侵入体可能隐伏 于深部,钻探尚未揭露。

另外,在少数浅成花岗岩类岩体的构造裂隙带 中,还可能有细脉浸染型(斑岩型)含铜蚀变带产出, 但铜品位较低(见后文),如卡而却卡矿床A区。

上述不同类型的矿体群 ,共同构成了东昆仑造 山带一个与印支期中-酸性侵入岩有关的矽卡岩铁 铜多金属矿床成矿系列。

2.3 矿石物质成分和矿石类型

矿石大类

该地区内铁多金属矿石的金属矿物主要有磁铁 矿、镁磁铁矿、赤铁矿(假象赤铁矿)、黄铁矿、磁黄铁 矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、闪锌矿、方铅矿;有少量 或微量辉钼矿、锡石、白钨矿、含钴毒砂、方钴矿、辉 砷钴矿、白铁矿、镍黄铁矿、自然金、银金矿、自然铋、 碲铋矿、红砷镍矿、辉砷镍矿、辉铋矿等;在氧化带, 还可出现褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿、铜蓝、黄钾铁钒 等。脉石矿物主要有透辉石、钙铁辉石、钙铝榴石、 钙铁榴石、锰钙铁辉石、锰三斜辉石、符山石、绿帘 石、黝帘石、阳起石、含氯绿钙闪石、透闪石、金云母、 镁橄榄石、粒硅镁石、蛇纹石、方解石、白云石、石英、 绢云母、绿泥石、萤石、重晶石和鱼眼石等。

大量的矿石光、薄片鉴定结果表明,该地区内矽 卡岩铁多金属矿床的矿石自然类型丰富多样 种类 繁多。根据含矿流体的成分、被交代围岩的岩性特 征和形成方式的不同,可将该地区的矿石分为5大 类 即钙矽卡岩型、镁矽卡岩型、锰质矽卡岩型、热液 充填交代型和斑岩型(细脉浸染型),以钙矽卡岩型 最为重要 热液充填交代型矿石往往形成富矿。每 个矿石大类 ,又根据矿石的主要矿物组合的不同分 成若干个矿石自然类型(表3)。

钙矽卡岩型矿石是该地区诸矿床中最重要的矿 石类型 无论是铁矿石或铜钼多金属矿石 且种类十 分多样。大部分矿石与透辉石、钙铁辉石、石榴子石 和符山石等钙矽卡岩矿物伴生。矿化在矽卡岩中很 不均匀,时有时无,时贫时富,复杂多变。金属矿物 主要交代上述矽卡岩矿物 如黄铜矿、闪锌矿交代石 榴子石矽卡岩(图8a、b),磁铁矿交代符山石矽卡岩

矿 区

 Table 3
 Natural type of main ores in Fe-polymetallic deposits
 结构构造 矿石自然类型

表 3 各矿床主要矿石自然类型

	蛇纹石-镁橄榄石-镁磁铁矿	稠密浸染状	尕林格
	粒硅镁石-镁磁铁矿	不规则团块状	尕林格
镁矽卡岩型	蛇纹石(± 镁绿泥石) 镁磁铁矿	浸染状构造	尕林格
	金云母-磁铁矿(± 黄铜矿)	块状构造	虎头崖
	透闪石-黄铜矿	不均匀浸染状构造	虎头崖
	透辉石-符山石-石榴子石-磁铁矿	似海绵陨铁结构	卡而却卡
	石榴子石、透辉石、黄铜矿	块状构造	卡而却卡
	石榴子石-透辉石-黄铜矿-磁铁矿	浸染状构造	卡而却卡
	石榴子石-透辉石-辉钼矿-黄铜矿	浸染状结构	卡而却卡
	石榴子石(±透辉石)闪锌矿-方铅矿-黄铜矿	块状构造	虎头崖
	透辉石-闪锌矿-方铅矿-黄铜矿	块状、网脉状构造	虎头崖
钙矽卡岩型	绿钙闪石(土阳起石)磁黄铁矿-磁铁矿	浸染状构造	尕林格
	钙铁辉石-石榴子石-磁黄铁矿-磁铁矿	块状构造	尕林格
	透辉石-黄铜矿	浸染状构造	四角羊
	石榴子石(± 透辉石) 黄铁矿-黄铜矿	细脉浸染状构造	四角羊
	透辉石-符山岩-磁铁矿(土磁黄铁矿)	不规则团块状	野马泉
	透辉石(钙铁辉石) 磁铁矿	块状、网脉状	肯德可克
	透辉石-符山岩-辉钼矿	浸染状构造	卡而却卡
	锰钙铁辉石-黄铜矿-斑铜矿-闪锌矿-方铅矿	块状构造	四角羊
	锰钙铁辉石-锰三斜辉石-磁铁矿-闪锌矿-方铅矿	不均匀浸染状	四角羊
墙灰砂下石空	锰钙铁辉石-方铅矿-磁黄铁矿	不规则团块状	野马泉
	锰钙铁辉石-方铅矿-闪锌矿	不规则团块状	野马泉 ,尕林格
	方解石-磁铁矿	块状构造	肯德可克
	方解石-闪锌矿-磁铁矿	块状构造	肯德可克
热液充填交代型	方解石-闪锌矿-方铅矿-黄铜矿	块状构造	虎头崖
	绢云母-萤石-锡石-磁铁矿	不均匀团块状构造	卡而却卡
	方解石-石英-黄铜矿-黄铁矿-方铅矿-闪锌矿	不均匀浸染状构造	卡而却卡
斑岩型	石英-绢云母(钾长石)黄铜矿-黄铁矿	细脉浸染状、浸染状	卡而却卡 A 区



图 8 矿石和砂卡岩的代表性显微照片

矿 床 地 质

a. 黄铜矿(黑色)交代石榴子石和透辉石 单偏光,卡而却卡;b. 闪锌矿(棕色)交代石榴子石矽卡岩 单偏光,虎头崖;c. 磁铁矿(黑色)交代符 山石(暗灰色)砂卡岩,正交偏光 野马泉;d. 蛇纹石(暗灰色)镁橄榄石-镁磁铁矿(黑色)正交偏光,尕林格;e. 粒硅镁石-镁磁铁矿(黑色)正 交偏光,尕林格;f. 闪锌矿和方铅矿(黑色)交代锰质钙铁辉石矽卡岩,正交偏光,野马泉;g. 闪锌矿(棕黑色)方铅矿(黑色)交代锰质钙铁辉 石砂卡岩,单偏光,四角羊;h. 石英-钾长石(暗灰色)交代岩,正交偏光,野马泉。矿物代号参见表2

Fig. 8 Representative photomicrographs of ores and skarns

a. Garnet and diopside replaced by chalcopyrite(black), plainlight, Kaerqueka; b. Garnet skarn replaced by sphalerite(brown), plainlight, Hutouya; c. Vesuvrianite skarn replaced by magnetite(black), crossed nicols, Yemaquan; d. Serpentine(grey black) forsterite-magnesiomagnetite(black) ore, crossed nicols, Galinge; e. Chondrodite-magnesiomagnetite(black) ore, crossed nicols, Galinge; f. Mn-hedenbergite skarn replaced by sphalerite and galena, crossed nicols, Yemaquan; g. Mn-hederbergite skarn replaced by sphalerite(brown black) and galena(black), plainlight, Sijiaoyang; h. Quartzorthoclase(dark grey) metasomatite, crossed nicols, Yemaquan

(图 8c)相应地,矿石结构构造也千变万化,有致密 块状、网脉状、细脉浸染状、浸染状、条带状、不规则 团块状和角砾状等构造构成自形、半自形或他形粒 状结构、交代残余结构等。在闪锌矿中往往有多量 细小黄铜矿构成乳滴状结构。

镁矽卡岩型铁矿石主要发育于尕林格矿区的西部组成蛇纹石-镁磁铁矿矿石、蛇纹石-镁橄榄石-镁 磁铁矿矿石(图 8d)等。蛇纹石主要交代了镁橄榄石 而成其假象。镁磁铁矿是该地区磁铁矿的主要组成 矿物,与一般磁铁矿不同的是,该矿物的α(MgO)达 到1.86%~7.88%,而卡而却卡和虎头崖矿区磁铁 矿的α(MgO)仅为0~0.22%,属一般磁铁矿。该地 区镁矽卡岩型铁矿石发育的原因是,被交代的大理 岩富镁,属富硅的白云石大理岩,其α(MgO)可达 15%~20%,α(SiO₂)为20%左右^Φ。

铅锌矿石常交代锰质钙铁辉石砂卡岩(图 8f、 g)这与国内外铅锌银)矿床的情况是一致的(赵一 鸣等,1990;2012)。但祁漫塔格地区锰质砂卡岩铅 锌矿石中的锰质砂卡岩矿物相对较单一,主要是锰 质钙铁辉石,局部有锰三斜辉石(如四角羊矿区)。 从该地区锰质砂卡岩铅锌矿的容矿碳酸盐围岩中未 发现沉积的含锰夹层看,其锰质可能主要是由含矿 流体带来的。

热液充填交代型矿石大多沿大理岩或白云质大 理岩断裂裂隙产出,主要为富矿石,尤其是铜铅锌矿 石,常呈致密块状构造。矿石与大理岩的界线非常 截然,与矽卡岩型矿石不同的是,其旁侧的围岩很少 有热液蚀变带。

斑岩型铜矿石仅见于卡而却卡矿床的 A 区,共 圈出3条铜矿化蚀变带,都产在似斑状黑云母二长 花岗岩体中。矿化蚀变带走向 NWW,产状近直立。 矿石矿物主要为黄铜矿,次有斑铜矿、辉铜矿和黝铜 矿等,脉石矿物为石英、钾长石、斜长石、绢云母。矿石以稀疏浸染状构造为主,次有网脉状构造。因此,这类矿石的铜品位不高,元(Cu)平均在0.15%~0.93%之间,而且,有相当一部分矿石的元(Cu)只有0.15%左右(王松 2009)。

在该地区以铁为主的铁多金属砂卡岩矿床(如 尔林格、肯德可克和野马泉)中,在硫化物较富集的 地段,其Au、Co、Bi的含量较高,如尕林格矿区,其 u(Au) - 般为 0.3 g/t ~ 0.7 g/t, u(Co)可达0.02% ~ 0.23%,少数钻孔中u(Au)可达 1.7 g/t ~ 2.7 g/t;肯德可克矿区伴生金矿的资源储量达 7.39吨,钴 376.5 吨,铋 3020 吨⁹。这是该地区矽 卡岩铁多金属矿的另一个特色。

2.4 矽卡岩及有关交代岩

砂卡岩是祁漫塔格地区铁多金属矿床中最重要和分布最广的接触交代岩,根据矿物共生组合、伴生金属矿化和被交代碳酸盐围岩岩性的不同,可分为3大类,即钙砂卡岩、镁砂卡岩和锰质砂卡岩。各类砂卡岩的主要砂卡岩矿物、退化交代矿物及可能伴生的金属矿物见表4。

2.4.1 钙矽卡岩

钙砂卡岩是分布最广泛的砂卡岩,也是最重要 的容矿交代岩,在该地区所有的矿区内都有大量产 出。它由一套十分典型的钙砂卡岩矿物组成,包括 透辉石、钙铁辉石、钙铁榴石、钙铝榴石、符山石、绿 帘石、黝帘石、绿钙闪石、阳起石、硅灰石和方柱石 等,以透辉石和钙铁榴石最发育。符山石、绿帘石和 绿钙闪石是交代内接触带花岗闪长岩、二长花岗岩 或玄武安山岩类的产物。这是因为在接触交代过程 中,Al₂O₃ 是属于惰性组分,基本上不发生大幅度迁 移,而方柱石仅见于卡而却卡矿区的部分大理岩中, 可能这类大理岩含有一定量的泥质。

[●] 青海省有色地勘局地质调查院、2007、青海省格尔木市尕林格铁矿区 V 矿群富铁矿详查报告、内部资料、

青海省有色地勘局地质矿产勘查院. 2004. 青海省格尔木市肯德可克矿区铁多金属矿资源量估算报告. 内部资料.

	Table 4 Classification of skarn	types and their mineral ass	emblages in Qimantage area	
矽卡岩类型	主要矽卡岩矿物	退化交代矿物	可能伴生的金属矿物	产出矿区
钙砂卡岩	 透辉石:Di 53.22~96.19;Hd 8.33 ~40.97;Jo 0.56-4.32 钙铁辉石:Di 33.89~46.84;Hd 52.51~61.79;Jo 0.65~4.32 石榴子石:Ad 52.57~99.21;Gra 0 ~73.64;Sp 0.79-5.12 符山石、绿帘石、±方柱石、硅灰石、 钾长石、绿钙闪石、阳起石 	石英、方解石、绢云母、绿泥 石、萤石、鱼眼石、沸石	磁铁矿、赤铁矿、黄铁矿、黄铜 矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅 矿、辉钼矿,有少量斑铜矿、辉 铜矿、锡石、白钨矿、自然金等	卡而却卡、虎头 崖、尕林格、肯 德可克、四角 羊、野马泉
镁矽卡岩	透辉石:Di 96.84~99.63;Hd 2.22 ~2.85;Jo 0.35-0.42 镁橄榄石、粒硅镁石、±钙镁橄榄石、 金云母、透闪石 ,偶见硼镁铁矿	蛇纹石、镁绿泥石(斜绿泥 石和叶绿泥石) 滑石、方 解石、白云石	镁磁铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、黄 铜矿、闪 锌 矿、方 铅 矿、黄 铁 矿、含钴毒砂	尕林格、虎头崖、 肯德可克
锰质矽卡岩	锰钙铁辉石: Di 1.74~36.85; Hd 42.61~80.06; Jo 11.48~33.83 石榴子石: Gra 18.62~61.74; Ad 37.40~80.06; Sp 0.26~2.13 锰三斜辉石、绿帘石、黝帘石	石英、方解石、绿泥石、萤 石、次生黑云母、沸石	闪锌矿、方铅矿、磁铁矿、黄铜 矿、黄铁矿、赤铁矿	四角羊、野马泉、 尕林格

表 4 祁漫塔格地区矽卡岩类型及矿物组合

透辉石的特点是 近接触带的透辉石粒度较粗 (0.2~0.3 mm), 而远离接触带的透辉石则极微细 (<0.05 mm)。钙铁辉石的生成明显晚于透辉石, 常见其交代透辉石。

钙矽卡岩中的退化热液交代矿物有方解石、石。 英、绿泥石、绢云母、萤石、鱼眼石、沸石等。伴生的 金属矿物相当多样,有磁铁矿、赤铁矿、黄铁矿、磁黄。 铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿,还有少量斑 铜矿、辉铜矿、锡石、白钨矿、自然金、银金矿等。

2.4.2 镁矽卡岩

镁矽卡岩主要见于尕林格、肯德可克和虎头崖 矿区的局部地段,被交代的围岩是富镁的白云石 (质)大理岩。镁矽卡岩的组成矿物为镁橄榄石、粒 硅镁石、钙镁橄榄石、金云母和透闪石。退化热液交 代矿物有蛇纹石、镁绿泥石(叶绿泥石和斜绿泥石)、 滑石、方解石、白云石、水镁石等。蛇纹石主要交代 镁橄榄石而呈其假象。如尕林格矿区西部的蛇纹石 镁磁铁矿和蛇纹石交代岩几乎全部系交代镁橄榄石 矽卡岩而成 ,交代后的半自形粒状镁橄榄石假象还 清晰可见(图 8d)。伴生的金属矿物有镁磁铁矿、磁 黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等。

2.4.3 锰质矽卡岩

锰质矽卡岩是赵一鸣等(1982a;1986;1990)研 究了福建马坑、大排 辽宁八家子和内蒙古白音诺等 与 Pb、Zn(Ag)多金属矿化有关的矽卡岩,并与国外 同类矽卡岩 Pb、Zn(Ag)矿床进行对比后,提出的一 个新的矽卡岩类型 其主要组成矿物有锰钙辉石、锰 钙铁辉石、锰三斜辉石、钙蔷薇辉石、锰铝榴石等。 含矿锰质矽卡岩往往产在距接触带有一定距离的碳 酸盐围岩中。

在四角羊、野马泉和尕林格等矿区的部分地段, 含铅锌 银 矿的矽卡岩主要属于锰质矽卡岩范畴, 其组成矿物为锰钙铁辉石 ,含少量锰三斜辉石。锰 钙铁辉石常呈长柱状、放射状集合体(图 8g),其粒径 可达 0.2~2 mm ,伴有较强烈的闪锌矿化和方铅矿 化 次有磁黄铁矿化、磁铁矿化、黄铜矿化等。 有些 光薄片中,可见到锰钙铁辉石呈细脉状交代透辉石 矽卡岩 说明其形成稍晚于钙矽卡岩。这类含矿锰 质矽卡岩也产于离侵入体接触带有一定距离的大理 岩中。

上述矽卡岩中石榴子石和辉石的主要成分见图 9和图10。

2.4.4 内接触带侵入岩的钾交代现象

祁漫塔格地区的诸矿区内,在二长花岗岩、花岗 闪长岩和闪长岩类与碳酸盐围岩的内接触带 广泛 发育钾长石化现象 ,钾长石化带的宽度从几米至几 十米不等。在未蚀变的二长花岗岩和花岗闪长岩 中,暗色矿物黑云母和角闪石以及副矿物磁铁矿保 存完好。 遭蚀变后, 岩石普遍退色, 变成肉红色, 黑 云母、角闪石和磁铁矿大部分消失 ,钾长石交代了斜 长石 实质上变为以石英和钾长石为主的交代岩(图 8h)

钾化退色蚀变前后 岩石化学成分的变化见表 5 和图 11。由该图、表可见 新鲜的二长花岗岩和花岗







闪长岩的 u(K₂O)一般为 2.49% ~4.17%, 蚀变后, u(K₂O) 骤增,达 5.47% ~7.20%;相应地,新鲜岩 石的 u(Na₂O) 一般为 2.63% ~4.10%, 钾化蚀变 后 Na₂O 有所带出, u(Na₂O) 降低成为 0.98% ~ 3.17%。钾化前岩石的 K₂O/Na₂O 比值为 0.66 ~ 1.38, 钾化后增加到 1.87~5.58。钾化后,由于角闪 石、黑云母、磁铁矿和斜长石的消失, 岩石的 u(CaO)



Fig. 11 Variation of K₂O before and after potassic alteration of monzogranites and granodiorites

和u(Fe₂O₃ + FeO)也有减少的趋势。上述岩石在蚀 变前后其化学组分的带进带出,与其矿物组合的变 化是可以完全对应的。

另外应该指出,在部分以铁为主的矿区(如尕林格和野马泉)内,闪长岩类和花岗闪长岩局部见有钠长石化现象,钠化岩石的𝔐(Na₂O)可高达6.70%~6.76%。其规律性目前尚不甚清楚,有待今后进一步研究。

2.5 成岩成矿阶段

祁漫塔格地区矽卡岩矿床的形成经历了一个较 漫长而复杂的过程。在此过程中,成岩成矿的物理 化学条件有较大变化,从而引起了交代矿物的不断 演化和更替。该过程可大致划分为下列几个阶段。 其主要交代矿物的生成次序及共生关系见图 12。 2.5.1 岩浆侵位和接触热变质作用阶段

在印支期中-酸性岩浆岩侵位时,岩浆熔融体释 放出的高温热能使接触带附近的各类围岩发生广泛 的接触热变质作用。灰岩、白云质灰岩重结晶变成 大理岩、白云质大理岩或结晶灰岩,碎屑岩变成变质 石英砂岩或变质粉砂岩甚至角岩;中-基性火山岩成 为变质火山岩;硅质岩也发生重结晶作用。接触热 变质带的宽度往往大于矿化矽卡岩带。在此阶段 内,热变质岩石基本上无新的物质成分的带入或带 出。

2.5.2 矽卡岩和钾化交代作用阶段

在岩浆侵位后的冷却过程中 ,深部的岩浆期后

表 5 二长花岗岩和花岗闪长岩遭受钾化前后岩石化学成分的变化

Table 5 Variation of chemical compositions of monzogranites and granodiorites before and after potassic alteration

矿区乃出石夕称						и (В У %						
1) 区区石口石杯	SiO ₂	TiO ₂	$\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$	$\mathrm{Fe_2O_3}$	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K_2O	烧失量	总和
四角羊												
未蚀变二长花岗岩	72.30	0.28	13.98	0.81	1.20	0.05	0.93	2.32	4.10	2.69	0.58	99.24
钾化二长花岗岩	71.05	0.33	14.96	0.03	1.61	0.05	1.81	1.29	0.98	5.47	1.50	99.08
卡而却卡												
未蚀变二长花岗岩	71.60	0.25	14.02	0.87	1.53	0.06	0.68	1.96	3.76	3.85	0.58	99.16
钾化二长花岗岩	76.41	0.05	12.55	0.17	0.47	0.07	0.08	0.25	2.33	6.45	0.60	99.43
虎头崖												
未蚀变二长花岗岩	72.45	0.24	13.78	0.98	1.35	0.07	0.49	1.45	3.82	4.22	0.35	99.20
钾化二长花岗岩	75.23	0.06	12.92	0.23	0.72	0.06	0.11	0.53	3.17	5.93	0.47	99.43
尕林格												
未蚀变花岗闪长岩	59.93	0.63	14.89	4.38	3.55	0.13	2.71	4.80	2.63	3.64	2.03	99.32
钾化花岗闪长岩	55.82	0.72	16.39	4.23	3.50	0.09	2.65	4.61	1.38	7.20	2.73	99.32
野马泉									100			
未蚀变花岗闪长岩	66.40	0.56	15.50	1.05	1.80	0.06	0.92	4.10	3.50	4.18	1.51	99.58
钾化花岗闪长岩	67.55	0.30	13.20	0.89	2.75	0.10	1.17	4.67	2.30	6.01	0.59	99.53

测试方法:X射线荧光光谱法;测试单位;核工业北京地质研究院分析测试中心。

高温气液流体沿侵入岩与碳酸盐围岩接触带及靠近 围岩构造裂隙带渗流,促使两者发生接触渗滤交代 作用,主要在外接触带围岩中形成了大量的由透辉 石、石榴子石等无水钙(镁)硅酸盐矿物组成的矽卡 岩,在与白云岩类接触的外带形成镁质矽卡岩。与 此同时,由于流体中钾化学势的增高,在内接触带的 侵入岩中发生了广泛的钾交代作用,形成了退色钾 化蚀变带。稍晚,在离接触带有一定距离的大理岩 中形成了锰质矽卡岩(晚矽卡岩阶段)。

2.5.3 磁铁矿氧化物交代阶段 🕥 💿

磁铁矿和镁磁铁矿紧随砂卡岩矿物的晶出而形 成,磁铁矿主要交代透辉石和钙铁榴石,局部伴有少 量锡石或白钨矿;镁磁铁矿主要交代镁橄榄石矽卡 岩。它们在侵入体接触带形成了各种铁矿体。在此 阶段内,还形成了多量的晚期含水矽卡岩矿物,如含 氯绿钙闪石、阳起石、绿帘石、粒硅镁石、透闪石、金 云母等。

2.5.4 金属硫化物交代阶段

随着含矿流体温度的降低和硫逸度的增高,在 离接触带有一定距离的砂卡岩和围岩中,形成了大 量的黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和方铅矿等 多金属硫化物。它们大多交代砂卡岩矿物,部分交 代先期生成的磁铁矿矿石或直接交代碳酸盐围岩。 其中,磁黄铁矿生成时间相对较早,一般见于较还原 的环境,黄铜矿、辉钼矿多交代钙矽卡岩,而闪锌矿 和方铅矿则主要交代锰质矽卡岩。在这一阶段 ,伴 有少量石英、方解石、绿泥石和萤石等脉石矿物。

15

产于浅成斑状花岗岩类中的黄铜矿矿化,其伴 生的脉石矿物主要是石英、钾长石、绢云母等交代矿物。

2.5.5 表生氧化淋滤作用阶段

1,00

主要见于地表附近的矿体,磁铁矿发生了假象 赤铁矿化,而金属硫化物则形成了褐铁矿、孔雀石、 蓝铜矿、铜蓝、黄钾铁钒等氧化淋滤矿物。

3 讨论

祁漫塔格地区是一个很有特色和找矿潜力的矽 卡岩铁多金属成矿带。其内的矽卡岩矿床不同于中 国东部地区的矽卡岩矿床,但又有某些共同点。

3.1 大地构造背景的不同

中国东部地区矽卡岩矿区的大地构造背景大多 为地台边缘褶皱带、台褶带、地台隆起区中的断裂坳 陷带,少数是优地槽褶皱带(赵一鸣等,1990)。而祁 漫塔格地区则属于东昆仑地槽褶皱带,其中的奥陶 系—志留系滩间山群则为优地槽型建造(姜春发等, 1992 涨爱奎等,2010;丰成友等,2011b)。

3.2 控矿地层围岩岩性的复杂性

中国东部地区矽卡岩矿床的地层围岩比较单 一,主要为厚层大理岩,如湖北鄂东南地区矽卡岩铁

	砂卡 岩	計 期	金属成	矿 期 (退 化 热 液	交代期)	表生期
矿物	早砂卡岩阶段	晚砂卡岩阶段	氧化物阶段	硫化物阶段	石英-碳酸盐阶段	氧化滤淋阶段
钙铝榴石						
钙铁榴石						
透辉石						
钙铁辉石	_					
锰钙铁辉石						
锰三斜辉石						
硅灰石						
符山石						
方柱石						
正长石						
钠长石						
镁橄榄石						
钙镁橄榄石						
粒硅镁石	-					
绿帘石	-					
黝帘石						
金云母	-					
绿钙闪石	-					
	-				92	
透闪石 磁铁矿	-					
(镁磁铁矿) 	-					
赤铁矿	-			()A las		
锡石	-		150			
日钨矿	-					
磁黄铁矿	-		AT I			
黄铁矿	-					
	-		A			
更知り	-		°.			
	-					
万相初	0					
迎胡花		0				
海洞和	W X					
海油封矿	X UN					
自然金						
五 革	- [[]]					
五 英						
黄石	-					
	-					
	-					
孔雀石	1					
蓝铜矿	1					
铜蓝	1					
黄钾铁钒	1					

图 12 祁漫塔格地区铁多金属矿床主要交代矿物的生成期次和共生关系

Fig. 12 Forming sequence and paragenesis of metasomatic minerals in iron-polymetallic deposits of Qimantage area

铜(金)矿床主要是三叠系大理岩,河北邯邢地区和 山东莱芜、金岭镇、济南等地矽卡岩铁(铜)矿床的围 岩主要是中奥陶统马家沟组大理岩或白云质大理 岩。但祁漫塔格地区的控矿围岩既有中元古界蓟县 系狼牙山组大理岩夹碎屑岩,又有奥陶系—志留系 滩间山群大理岩、白云质大理岩、碎屑岩、硅灰岩夹 中-基性火山岩,还有石炭系大理岩夹石英砂岩等。

3.3 成矿岩浆岩的特点

中国东部地区与矽卡岩铁(铜)矿床有关的岩浆 岩均属燕山期,或为闪长岩-二长岩系列(河北邯邢 地区和山东莱芜等地区),或是闪长岩-石英闪长岩-花岗闪长岩系列(鄂东南地区);在南岭地区,与矽卡 岩钨锡多金属矿床有关的岩浆岩主要是燕山期"S" 型花岗岩类。但祁漫塔格地区的成矿岩浆岩则为印 支期闪长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩(碱性花岗岩) 组合,而且,不同矿床的金属矿化组合各有所侧重, 这3类侵入岩也相应有所变化,导致在一个成矿带 范围内就反映出一定的成矿专属性。

3.4 矿化特征的复杂性和特殊性

在祁漫塔格地区的各主要矽卡岩矿床中,铁铜 钼铅锌等矿化俱全,只是有的矿区以铁为主(尕林 格、肯德可克、野马泉),有的以铜(钼)占优势(卡而 却卡),有的矿区铜铅锌都有,并伴生铁、锡等(虎头 崖),有的则以铅锌为主(四角羊),颇具特色。尤其 是一些以铁为主的矿床,其铁矿石中发育大量的磁 黄铁矿,说明其形成于相对还原的条件(中国地质科 学院地质矿产所,1978)。这类矿石在中国东部的矽 卡岩矿床中尚未发现。此外,在部分以铁为主的矿 床中,局部伴有金钴铋矿化,也实属罕见。

上述矿化组合特征可能与成矿岩浆岩组合是闪 长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩,并局部有辉长岩类有 关。这也是东昆仑造山带西段矽卡岩矿床的主要特 征之一。

中国东部地区,与矽卡岩铁矿床伴生的金属矿 化虽然比较多样,但在一定的成矿带内则相对单一。 例如,长江中下游地区主要是铁、铜(金);河北邯邢 和山东莱芜等矿区主要是铁,伴生钴,少数矿区有 铜;内蒙古黄岗是铁锡组合;只有辽宁八家子是一个 铁铜铅锌银多金属矿床,但以银为主(Zhao et al., 2003);另外,在东秦岭成矿带还有一个镁矽卡岩型 铁矿床(木龙沟),伴生铜钼铅锌(赵一鸣等,1982b), 但其规模只是中-小型。内蒙古东南部有一个矽卡 岩 Fe-Pb-Zn 矿床(浩布高),但其铁矿体规模很小 (赵一鸣等,1994)。

祁漫塔格地区矽卡岩铁多金属矿床矿化的复杂 性和特殊性不仅在中国其他地区罕见,而且在国外 的矽卡岩矿床中亦无先例。在 Einaudi 等(1981)和 Meinert 等(2005)关于国外矽卡岩矿床的综合论著 及其他有关文献中,也均未涉及过类似于祁漫塔格 地区的矽卡岩铁多金属矿床。

3.5 矽卡岩类型的多样性和侵入体内接触带 钾化的普遍性

祁漫塔格地区的砂卡岩铁多金属矿床中,砂卡 岩的类型比较齐全,包括钙砂卡岩、镁砂卡岩和锰质 砂卡岩。不同的砂卡岩类型对伴生的金属矿化具有 一定的指示作用.钙砂卡岩伴生 Fe,Cu(Mo)矿化.在 浅成酸性侵入体内,还可能出现斑岩型 Cu(Mo)矿 化,锰质砂卡岩伴生 Pb,2r(Ag)矿化,镁砂卡岩主要 伴生镁磁铁矿矿化,局部金云母脉中有 Cu,Zn 矿化。 上述矽卡岩类型与矿化类型之间的对应关系,可作 为评价该地区砂卡岩铁多金属矿床的重要标志之 一。这方面与中国其他地区的矽卡岩矿床具有共 性。但是,在中国东部地区的砂卡岩矿田或矿带中, 同时出现上述 3 类砂卡岩共存的情况很少见。

○ 在祁漫塔格地区各矿床侵入体的内接触带,广 泛发育钾长石化,表现为:岩石普遍退色蚀变,原岩 中的角闪石、黑云母和磁铁矿消失;岩石的化学成分 也相应发生变化,主要表现为 ∞(K₂O)增高, ∞(Na₂O)和 ∞(TFe)相对降低。因此,钾化成为另 一个重要找矿标志。在部分以铁为主的矿床中,局 部也见闪长岩类内接触带有钠长石化现象,但不普 遍。

中国东部地区矽卡岩型铁矿床(鄂东南和邯邢 等地)的闪长岩类内接触带,普遍发育钠长石化,而 且伴有透辉石化和/或方柱石化,仅在矽卡岩铜多金 属矿床的侵入体内接触带才发育钾长石化(赵一鸣 等,1990)。这是与祁漫塔格地区矽卡岩铁多金属矿 床的不同之处。

4 小 结

青海祁漫塔格矽卡岩铁多金属成矿带,是目前 中国西部最具找矿潜力的地区之一。它在中国乃至 世界上的矽卡岩成矿带中颇具特色,其主要成矿地 质背景和矿化蚀变特征可大致归纳如下:

(1)在大地构造上,该地区的矽卡岩铁多金属

矿床位于柴达木盆地西南缘东昆仑造山带的西段; 区内 NWW 向、NE 向与 NW 向断裂的交汇处,往往 控制着成矿岩浆岩的侵位和有关矿化;

(2)控矿地层包括蓟县系狼牙山组大理岩、硅 质岩 奥陶系—志留系滩间山群大理岩、白云质大理 岩、碎屑岩、硅质岩、中-基性火山岩,石炭系结晶灰 岩、碎屑岩等,以后两者为主;

(3)区内岩浆活动强烈,与成矿有关的侵入岩 为印支期(204~237 Ma)闪长岩、花岗闪长岩和二长 花岗岩等,部分以铁为主的矿区内还有辉长岩类。 这些侵入岩在岩石化学上属于铝质高钾钙碱性系 列,并具有较明显的成矿专属性;

(4)矿体主要受侵入体和碳酸盐围岩接触带的 控制,一般产于外接触带400~500 m 范围内,岩体 正接触带内大多以铁矿体为主,在离接触带有一定 距离的碳酸盐围岩的层间断裂中,有铜多金属矿体 产出,而在远离接触带的围岩中则可能有受断裂裂 隙控制的热液脉状多金属矿体出现;在少数浅成花 岗岩类岩体中还可能有斑岩型铜矿化产出。上述各 类矿体共同构成了一个与印支期中-酸性侵入岩有 关的砂卡岩铁多金属矿床成矿系列;

(5)蚀变矿化类型丰富多样,主要有5大类,即 钙矽卡岩型铁铜(钼、金)矿化,镁矽卡岩型铁矿化, 锰质矽卡岩型铅锌多金属矿化,热液充填交代型铁 多金属矿化和斑岩型铜矿化。矿体在空间上常有一 定的分带性,从侵入体内接触带到碳酸盐围岩,总的 分带趋势是:Cu(Mo)→Fe(Sn,Cu)→Fe-Zn→Cu-Pb-Zn→Pb(Ag);

(6)在侵入体内接触带,钾质交代普遍且强烈, 表现为钾长石交代斜长石,黑云母、角闪石和磁铁矿 大都消失,构成石英-钾长石交代岩,与矽卡岩类型 共同构成了该类矿床的重要找矿标志之一;

(7)成岩成矿作用可大致划分为 5 个阶段:① 岩浆侵位和接触热变质作用阶段;② 矽卡岩和钾化 交代作用阶段;③ 磁铁矿氧化物交代阶段;④ 金属 硫化物交代阶段;⑤ 表生氧化淋滤作用阶段;

(8)该地区的矽卡岩铁多金属矿床不仅在中 国,而且在世界上都具有一定的特色。

志 谢 在野外调查期间,张学文师傅为笔者 驾驶越野车奔波在崎岖的高原土路上,保证了野外 交通的方便和安全;于长富同志完成了全区各矿床 总共500余片探针光薄片的磨制;王登红研究员认 真仔细地审阅了本文,指出了一些不妥之处。在此 对他们的辛勤劳动表示衷心感谢!

参考文献/References

- 陈丹玲,刘 良,车自成,罗金海,张云翔.2001. 祁漫塔格印支期铝 质A型花岗岩的确定及初步研究[J]. 地球化学,30(6):540-546.
- 丰成友,李东生,屈文俊,杜安道,王 松,江军华,2009. 青海祁漫塔 格索拉吉尔砂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.
- 丰成友,李东生,吴正寿,李军红,张占玉,张爱奎,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体作用 [J].西北地质 43(4):10-17.
- 丰成友,王雪萍,舒晓峰,张爱奎,肖 晔,刘建楠,马圣钞,李国臣,李 大新. 2011a. 青海祁漫塔格虎头崖铅锌金属矿区年代学研究及 地质意义[]] 吉林大学学报(地球科学版),41(6):1806-1817.
- 丰成友 赵一鸣 李大新 刘建楠 肖 晔 李国臣,马圣钞. 2011b. 青 海西部祁漫塔格地区矽卡岩型铁铜多金属矿床的矽卡岩类型和 矿物特征[J]. 地质学报 82(7):949-955.
- 丰成友, 王 松 李国臣, 马圣钞, 李东生. 2012. 青海祁漫塔格中晚
 圭叠世花岗岩:年代学、地球化学及成矿意义[J]. 岩石学报, 28
 (2):665-678.
- 胡杏花,朱谷昌,刘 欢,李智峰,郑 纬,徐文海. 2011. 祁漫塔格矿 带虎头崖多金属矿床特征与成矿机理初探[J]. 地质与勘探,47 (2):216-221.
- 姜春发 杨经绥 ,冯秉贵 ,朱志直 ,赵 民 ,柴耀楚 , 等. 1992. 昆仑开 合构造 M]. 北京 地质出版社. 224 页.
- 李大新,丰成友,赵一鸣,李泽峰,刘建楠,肖 晔. 2011. 青海卡而却 卡铜多金属矿床蚀变矿化类型及砂卡岩矿物学特征[J]. 吉林大 学学报(地球科学版),41(6):1818-1830.
- 李大新,丰成友,赵一鸣,刘建楠,肖 晔,李国臣.2013. 东昆仑祁漫 塔格西段白干湖超大型钨锡矿田地质特征及其矿化交代岩分类 [j].矿床地质 3<u>(</u>).
- 李光明, 沈远超, 刘铁兵. 2001. 东昆仑祁漫塔格地区华力西期花岗 岩地质地球化学特征[J]. 地质与勘探(1):73-78.
- 李洪普,宋忠宝,田向东,芦文全,2010. 东昆仑四角羊铅锌多金属矿 床成矿地质特征及找矿意义[J]. 西北地质 A3(4):179-187.
- 李世金,孙丰月,丰成友,刘振宏,赵俊伟,李玉春,王 松.2008.青海 东昆仑鸭子沟多金属矿的年代学研究[]].地质学报 82(7):949-955.
- 刘 维,吴 岗. 2010. 国土资源大调查矿产资源评价成果[N]. 中国国土资源报,11月17日第7版.
- 刘云华 莫宣学 喻学慧,张雪亭,许国武. 2006. 东昆仑野马泉地区 景思花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学 报 22(10):2457-2463.

- 马圣钞.2012.青海祁漫塔格地区虎头崖铜铅锌多金属矿床蚀变矿 化分带及成因(硕士论文 [D].导师:丰成友.北京:中国地质科 学院矿产资源研究所.120页.
- 邱家骧(主编). 1995. 岩浆岩岩石学[M]. 北京:地质出版社. 340页.
- 青海省地质八队. 1981. 青海省格尔木县尕林格磁铁矿区 I、Ⅱ、Ⅲ 号矿群普查地质报告.
- 孙丰月 等. 2009. 东昆仑成矿带重大疑难问题研究报告[R].
- 青海地质调查院. 2011. 青海省格尔木市肯德可克地区铁多金属矿 调查评价 2011 年度设计[R].
- 青海省地矿局等三地质矿产勘查院. 2011. 青海省格尔木市野马泉 地区铁多金属矿普查 2004~2010 年工作总结及 2011 年工作安 排(R].
- 任纪舜,姜春发,张正坤,秦德余. 1980. 中国大地构造及其演化 [M]. 北京科学出版社. 124页.
- 宋忠宝,贾群子,张占玉,何书跃,陈向阳,全守村,栗亚芝,张雨莲,张 晓飞. 2010. 东昆仑祁漫塔格地区野马泉铁铜矿床地质特征及 成因探试[J]. 西北地质 A3(4):209-217.
- 王 力 孙丰月 陈国华 李碧乐 迟效国. 2003. 青海东昆仑肯德可 克金-有色金属矿床矿物特征研究 J]. 世界地质 22(1):50-56.
- 王 松. 2009.青海祁漫塔格地区卡而却卡铜多金属矿床地球化学 特征及成矿模式(硕士论文 [D],导师:丰成友.北京:中国地质 科学院矿产资源研究所.68页.
- 王 松,丰成友,李世金,江军华,李东生,苏生顺. 2009. 青海祁漫塔 格卡而却卡铜多金属矿区花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年 及其地质意义[J]. 中国地质 36(1):74-84.
- 奚仁刚 校培喜,伍跃中,董增产,过 磊,高晓峰. 2010. 东昆仑肯德 可克铁矿区二长花岗岩组成、年龄及地质意义[J]. 西北地质 43 (4):195-202.
- 张爱奎,莫宣学,李云平,吕 军,曹永亮,舒晓峰,李 华. 2010. 青 海西部祁漫塔格成矿带找矿新进展及其意义[J]. 地质通报,29 (7):1062-1074.

- 赵一鸣,伍家善,韩 发,罗镇宽. 1982b. 陕西洛南地区镁矽卡岩型 矿床的矿化蚀变特征和找矿标志[J]. 中国地质科学院矿床地质 研究所所刊,1:29-50.
- 赵一鸣, 谭惠静, 孙静华. 1982a. 福建马坑、阳山铁矿床的分带特征 及其与矿化分带的关系[J]. 岩矿测试, ((1):11-22.
- 赵一鸣. 1986. 交代岩分类及其含矿性初探 J]. 矿床地质 5(4):1-13.
- 赵一鸣,林文蔚,毕承思,李大新,蒋崇俊. 1990. 中国矽卡岩矿床 [M]. 北京 地质出版社. 354页.
- 赵一鸣,王大畏,涨德全,傅先政,鲍修坡,李鹤年,艾永福. 1994.内 蒙古东南部铜多金属矿成矿地质条件及找矿模式[M].北京 地 震出版社. 234页.
- 赵一鸣,吴良士,邓颂平,毕承思. 2003. 1/500万中国铁矿矿产资源 图及说明书[M]. 北京 地质出版社. 55页.
- 赵一鸣,林文蔚,毕承思,李大新,蒋崇俊. 2012. 中国矽卡岩矿床 [M]. 北京 地质出版社, 411页.
- 中国地质科学院地质矿产所 1978. 金属矿物显微镜鉴定[M]. 北京 地质出版社,700页.
- Collins W J, Beams S D, White A J R and Chappell B W. 1982. Nature and origin of A-type granites with paticural reference to southeastern Australia J. Contrib. Mineral. Petrol. , 80:189-200.
- Einaudi M T, Meinert L D and Newberry R J. 1981. Skarn deposits [J]. Econ. Geol. , 75th Anni. Vol: 317-381.
- Meinert L D, Dipple G M and Nicolescu S. 2005. World skarn deposits [J]. Econ. Geol., 100th Anni. Vol: 299-336.
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 95:407-419.
- ZhaoY M ,DongY G ,Li D X and Bi C S. 2003. Geology , mineralogy , geochemistry and zonation of the Baijiazi dolostone-hosted Zn-Pb-Ag skarn deposit , Liaoning Province , China J]. Ore Geology Reviews , 23:153-182.