

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 森, 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矽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矽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类矽卡岩, 即钙矽卡岩、镁矽卡岩和锰质矽卡岩, 以前者为主。钙矽卡岩常伴生 Fe、Cu、Mo(Pb, Zn)矿化, 镁矽卡岩主要伴生 Fe 矿化, 锰质矽卡岩则伴生 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, 与矽卡岩类型一起构成该类矿床的重要找矿标志之一。

**关键词** 地质学, 成矿地质背景, 铁多金属矿床地质特征, 矽卡岩类型, 钾质交代现象, 祁漫塔格地区, 青海  
中图分类号: P618.31 文献标志码: A

## 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 Kunlun 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, clastic, silicalite and andesite-basaltic volcanic rocks of Ordovician-Silurian Tanjianshan Group, and crystalline limestone and clastic of Carboniferous period. In the ore deposits, three types of skarns are developed, i. e. calcic, magnesian and manganous 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 manganous 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 extensive 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矽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)型矽卡岩铁多金属矿床,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)型矽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。

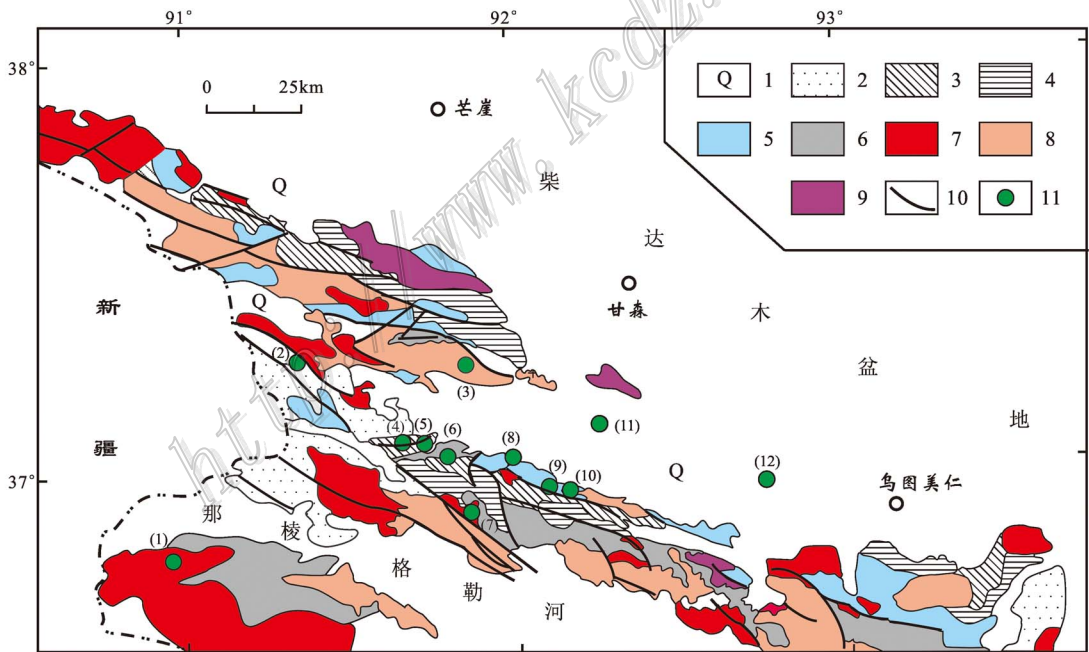


图 1 祁漫塔格地区矽卡岩铁多金属矿床分布略图(据丰成友等,2011b 略作修改)

- 1—第四系; 2—三叠系; 3—石炭系; 4—泥盆系; 5—奥陶系—志留系; 6—元古界; 7—印支期花岗岩; 8—海西期花岗岩;
- 9—加里东期花岗岩; 10—断裂; 11—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 skarn 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 granite; 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( $C_{1dg}$ )和上石炭统缔敖苏组( $C_{2d}$ )。

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; 丰成友等 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

Table 1 Ages of metallogenic intrusions in Qimientage area

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

表2 祁漫塔格地区主要铁多金属矿床地质特征  
Table 2 Geological features of main Fe-polymetallic deposits in Qimantage area

矿床名称	卡而却卡铜多金属矿床	尕楞格铁多金属矿床	虎头崖多金属矿床	四角羊多金属矿床	青德可克铁多金属矿床	野马泉铁多金属矿床	
成矿有关岩类	印支期二长花岗岩和花岗岩 二长花岗岩和辉长岩	印支期二长花岗岩	印支期二长花岗岩、斜长花岗岩	印支期二长花岗岩、石英闪长岩、二长花岗岩、花岗闪长岩	印支期二长花岗岩、石英闪长岩、二长花岗岩	印支期二长花岗岩、石英闪长岩、二长花岗岩	
控矿地质	滩洞山群中-基性火山岩、结晶灰岩、大理岩、板岩及千枚岩	滩洞山群闪长岩、中(偏基)性火山岩夹大理岩、硅质岩	蓟县系狼牙山组碳酸盐岩与碎屑岩(石英砂岩、硅质岩)互层;滩洞山群大理岩夹中-基性火山岩;石英系大理岩	滩洞山群和上石炭统统敦敏组大理岩、碎屑岩	滩洞山群碎屑岩、火山岩、白云质大理岩、硅质岩及上石炭统碳酸盐岩	滩洞山群大理岩、硅质岩夹石英砂岩	
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洞山群的砂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, Gm, Mol, Mt, 少量 He, Chal, Mal, Az, Au 等	Mt, Mg-Mt, Po 为主, 次为 Sph, Gm, Py, 少量 Cp, Bor	Cp, Sph, Gm, Py, Po, Mt; 少量 Bor, Mal, Cas	Cp, Sph, Gm, Mt, Po, Py; 少量 He, Bor; 微量 Ar, Mol, Telb	Mt, Sph, Gm, Cp, Po, 少量 He, Py, Bor; 微量 Ni, Py, Ar, Chal, Cob, Sku, Au, Talb 等	Mt, Sph, Gm, Cp, Po, Py, 微量 Bru	
矿石品位	$w(\text{Cu})$ 0.29% ~ 3.28%; $w(\text{Zn})$ 0.94% ~ 2.06%; $w(\text{Pb})$ 2.2% ~ 3.44%; $w(\text{Mo})$ 0.123% (局部); $w(\text{Au})$ 0.27 g/t ~ 3.63 g/t (部分矿体)	铁矿石: $w(\text{Fe})$ 37.83%, $w(\text{S})$ 1.43%; 铅锌矿: $w(\text{Pb})$ 3.71%, $w(\text{Zn})$ 3.5%; 铂金矿: $w(\text{Co})$ 0.62% ~ 0.23%, $w(\text{Au})$ 0.3 g/t ~ 4.2 g/t	$w(\text{Cu})$ 0.23% ~ 1.48%, 平均 0.28%; $w(\text{Pb})$ 0.39% ~ 3.27%; 平均 1.6%; $w(\text{Zn})$ 0.75% ~ 3.87%, 平均 2.1%	$w(\text{Cu})$ 0.23% ~ 1.48%, 平均 0.28%; $w(\text{Pb})$ 0.39% ~ 3.27%; 平均 1.6%; $w(\text{Zn})$ 0.75% ~ 3.87%, 平均 2.1%	$w(\text{Fe})$ 34.12%	$w(\text{Fe})$ 33.98%	$w(\text{Fe})$ 33.98%
砂岩岩和组成矿物	钙砂岩; Gr, Di, Hd, Ves, Act, 少量 So, Woll	钙砂岩; Gr, Di, Ep, Woll, Hss, 铁砂岩; For, Chon, Spl; 硅质砂岩; Mn-Hd, Ard	钙砂岩; Gr, Di, Ves, Ep, Hss, Zr; 铁砂岩; Phl, Di; 硅质砂岩; Mn-Hd	钙砂岩; Gr, Di, Ves, Ep; 硅质砂岩; Mn-Hd, Bpx	钙砂岩; Gr, Di, Ves, Woll, Ep, Act; 铁砂岩; Mn-Hd, Phl, T; 硅质砂岩; Mn-Hd	钙砂岩; Gr, Di, Woll, 次为 Ep, Ves, Hss; 铁砂岩; For, Phl, Tr; 硅质砂岩; 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, Chl, 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	接触带二长花岗岩岩化现象明显,局部被交代成钾长石交代岩,岩体中铜矿脉两侧有黄铁矿英岩化、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	内接触带二长花岗岩遭受白云母化、砂岩岩化和钾长石化	接触带附近的二长花岗岩有明显的钾长石化	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,局部有斜长石化	
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	铁矿为中型	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;丰成发等,2011b	本文;青海省第八地质队,1981	本文;张爱奎等,2010;胡杏花等,2011;丰成发等,2011a	本文;张爱奎等,2010;李洪普等,2010	本文;青海地质调查院,2011;王力方等,2003;龔仁刚等,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	

表内矿物代号: Act—阳起石; Ard—辉钼矿; As—毒砂; Au—自然金; Az—蓝铜矿; Br—斑铜矿; Bu—水镁石; Cal—方解石; Cas—锡石; Chal—辉铜矿; Ch—绿泥石; Chon—粒硅镁石; Cob—辉钨矿; Cp—黄铜矿; Di—透辉石; Dol—白云石; Ep—绿帘石; Flu—萤石; For—铁橄榄石; Gr—方铅矿; Gm—方辉石; Hs—绿帘闪石; Hd—辉铁辉石; He—赤铁矿; Mg-Mt—铁磁铁矿; Mn-Hd—锰钙铁辉石; Mn-Hd—辉铜矿; Mn-Hd—辉铜矿; Mol—透闪石; Mt—磁铁矿; Ni-Py—镍黄铁矿; O—钾长石; Phl—金云母; Pbx—辉三斜辉石; Po—磁黄铁矿; Pre—葡萄石; Py—黄铁矿; Q—石英; Sc—方柱石; Scl—白钨矿; Ser—绢云母; Serp—蛇纹石; Ssk—方铅矿; Sph—闪锌矿; Spl—尖晶石; Telb—透闪石; Tr—透闪石; Ves—符山石; Woll—硅灰石; Zeo—沸石; Zr—锆石

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矽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  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$  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)和马圣钊(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  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}/\text{Mg}$ 、 $\text{Ga}/\text{Al}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ga}$ 、 $\text{Y}$ 、 $\text{Ce}$  和较低的  $\text{CaO}$ 、 $\text{Ba}$ 、 $\text{Sr}$ (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  $\text{Zr}$ 、 $\text{Ce}$ 、 $\text{Y}$  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  $\text{Fe}$ 、 $\text{Cu}$  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。

## 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  $\text{Cu}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Mo}$  为主,伴生有  $\text{Fe}$ 、 $\text{Pb}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Ag}$ 。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  $75 \sim 85^\circ$ 。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)。

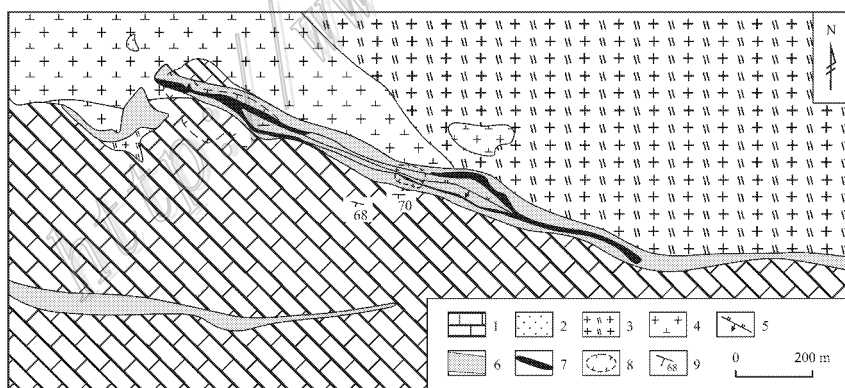


图 2 卡而却卡铜钼矿床索拉吉尔矿段地质略图(据青海省地质调查院, 2007<sup>①</sup>资料修编)

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 (modified 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—Open-pit mine; 9—Attitude of strata

① 青海省地质调查院, 2007. 青海省格尔木市卡尔却卡铜矿勘查工作总结及 2007 年工作安排. 内部资料.

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, $\alpha(\text{Cu})$ 为 0.15%~3.28%,平均 1.39%, $\alpha(\text{Zn})$ 为 0.94%~7.16%,平均 2.90%, $\alpha(\text{Pb})$ 为 2.2%~3.44%, $\alpha(\text{Mo})$ 为 0.15%, $\alpha(\text{Au})$ 为 0.27~3.61 g/t。

### 2.1.2 虎头崖铜多金属矿床

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 and 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  $\text{Mo} \rightarrow \text{Fe} \text{ Sr}(\text{Cu}) \rightarrow \text{Cu} \text{ Mo}(\text{Pb}, \text{Zn}) \rightarrow \text{Pb} \text{ Zn}$ , 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: $\alpha(\text{TFe})$ 平均为 28.82%, $\alpha(\text{Cu})$ 平均为 2.05%,

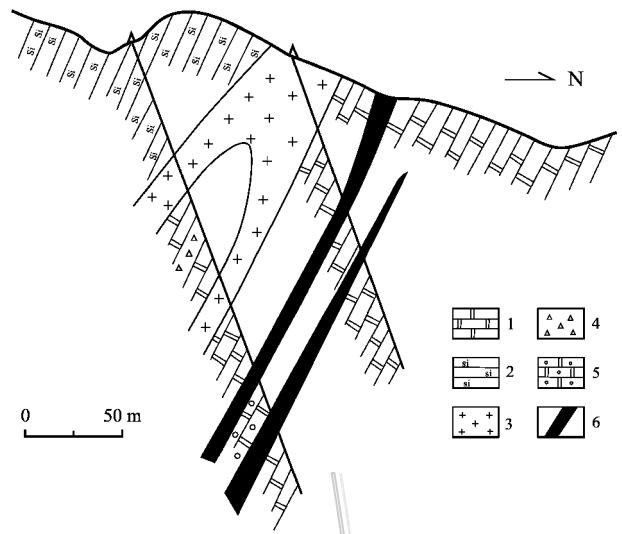


图 3 虎头崖矿区 VI 矿带 0 勘探线剖面图

(据青海省第三地质矿产勘查院,2009<sup>①</sup>修改)

- 1—大理岩;2—硅质岩;3—二长花岗岩;4—构造角砾岩;  
5—矽卡岩化大理岩;6—铜铅锌矿体

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

$\alpha(\text{Pb})$ 平均为 5.79%, $\alpha(\text{Zn})$ 平均为 4.46%, $\alpha(\text{Ag})$ 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,确定其为一大中型矽卡岩磁铁矿床。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,初步证实其为一大中型铁矿床,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

① 青海省第三地质矿产勘查院,2009. 青海省茫崖镇虎头崖地区多金属矿普查报告. 内部资料.

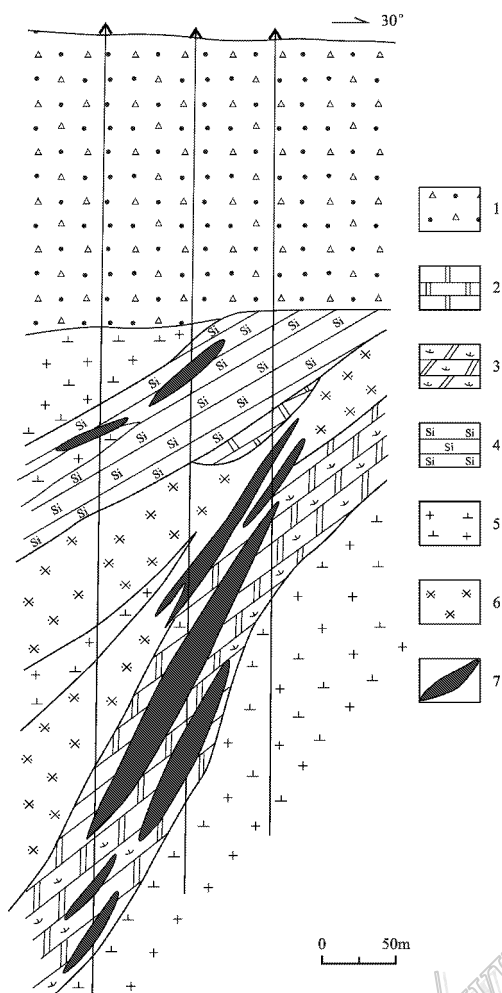


图 4 尕林格铁多金属矿床 163 勘探线剖面图

(据青海省地质局第八地质队, 1981 年<sup>①</sup>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—透辉石矽卡岩; 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 marble;

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。

该矿床由 6 个矿群组成, 呈 NWW 向展布, 长约 14 km。I、II、III 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 IV、V、VI 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、III 矿群以透辉石磁铁矿为主; II 矿群以蛇纹石-镁磁铁矿-磁黄铁矿为主, 局部可见钴、金矿石; IV 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; VI 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,  $w(\text{TFe})$  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  $w(\text{TFe})$  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、角闪玄武岩, 以及上石炭统缙歙苏组结晶灰岩、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, 均赋存于矽卡岩中 (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

① 青海省地质局第八地质队, 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. 内部资料.

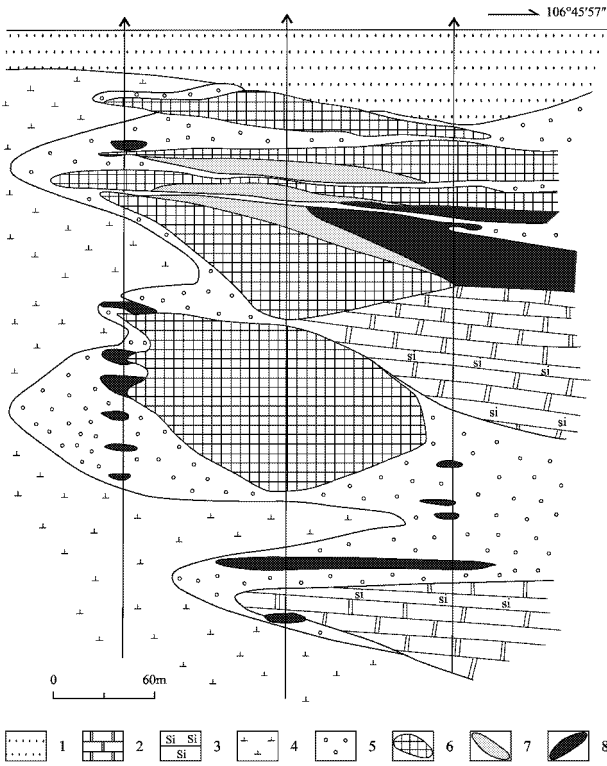


图5 野马泉矿区 M5 磁异常区 5号勘探线剖面图  
(据孙丰月等 2009 修改)

1—第四系; 2—大理岩; 3—硅质岩; 4—印支期闪长岩; 5—砂卡岩; 6—铁矿体; 7—锌铁矿体; 8—锌矿体

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  $Sn, Mo \rightarrow Fe, Cu \rightarrow Fe, Zn, Pb$ 。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锦苏组碳酸盐岩; 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

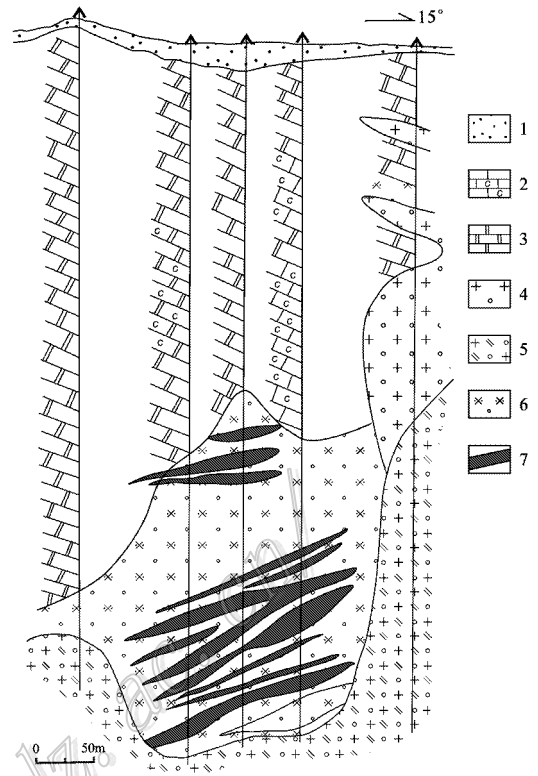


图6 四角羊铅锌多金属矿区 23 勘探线剖面图  
(据青海省柴达木综合勘查大队 2008<sup>①</sup> 修编)

1—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, 以及锦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 50~300 m, 最长 750 m, 厚一般为 1~15 m, 最厚达 30~87 m; 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、石榴子石组成的钙砂卡岩, 而与铅锌矿化伴生的则为锰质钙铁辉石砂卡岩。

### 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

① 孙丰月等. 2009. 东昆仑成矿带重大疑难问题研究报告.

② 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钼复合矿体 35 条,提交了金矿资源量(333-334)9.5 吨。

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°。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,铁及金钴钼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于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,如尔林格(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

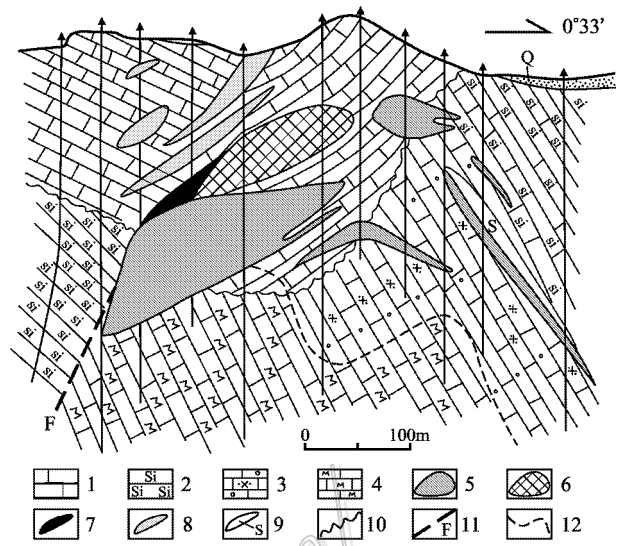


图 7 肯德可克矿区 16 勘探线地质剖面(据青海省有色金属地质勘查局地质矿产勘查院 2004 年<sup>①</sup>资料修编)  
1—上石炭统白云岩、白云质大理岩、结晶灰岩;2—奥陶系—志留系滩间山群硅质岩和硅质灰岩;3—石榴子石透辉石矽卡岩;4—钙镁橄榄石矽卡岩;5—铁矿体;6—锌铁矿体;7—锌矿体;8—铅矿体;9—硫(铁)矿体;10—不整合面;11—断层;12—蚀变带界线

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—Unconformity; 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、VI 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 VII 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:Fe(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。

① 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.

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

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、黄钾铁矾等。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

表3 各矿床主要矿石自然类型

Table 3 Natural type of main ores in Fe-polymetallic deposits

矿石大类	矿石自然类型	结构构造	矿区
镁矽卡岩型	蛇纹石-镁橄榄石-磁铁矿	稠密浸染状	尕林格
	粒硅镁石-磁铁矿	不规则团块状	尕林格
	蛇纹石(±镁绿泥石)-磁铁矿	浸染状构造	尕林格
	金云母-磁铁矿(±黄铜矿) 透闪石-黄铜矿	块状构造 不均匀浸染状构造	虎头崖 虎头崖
钙矽卡岩型	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	浸染状构造	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
	绿钙闪石(±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(±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	
锰质矽卡岩型	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
	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
热液充填交代型	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
	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

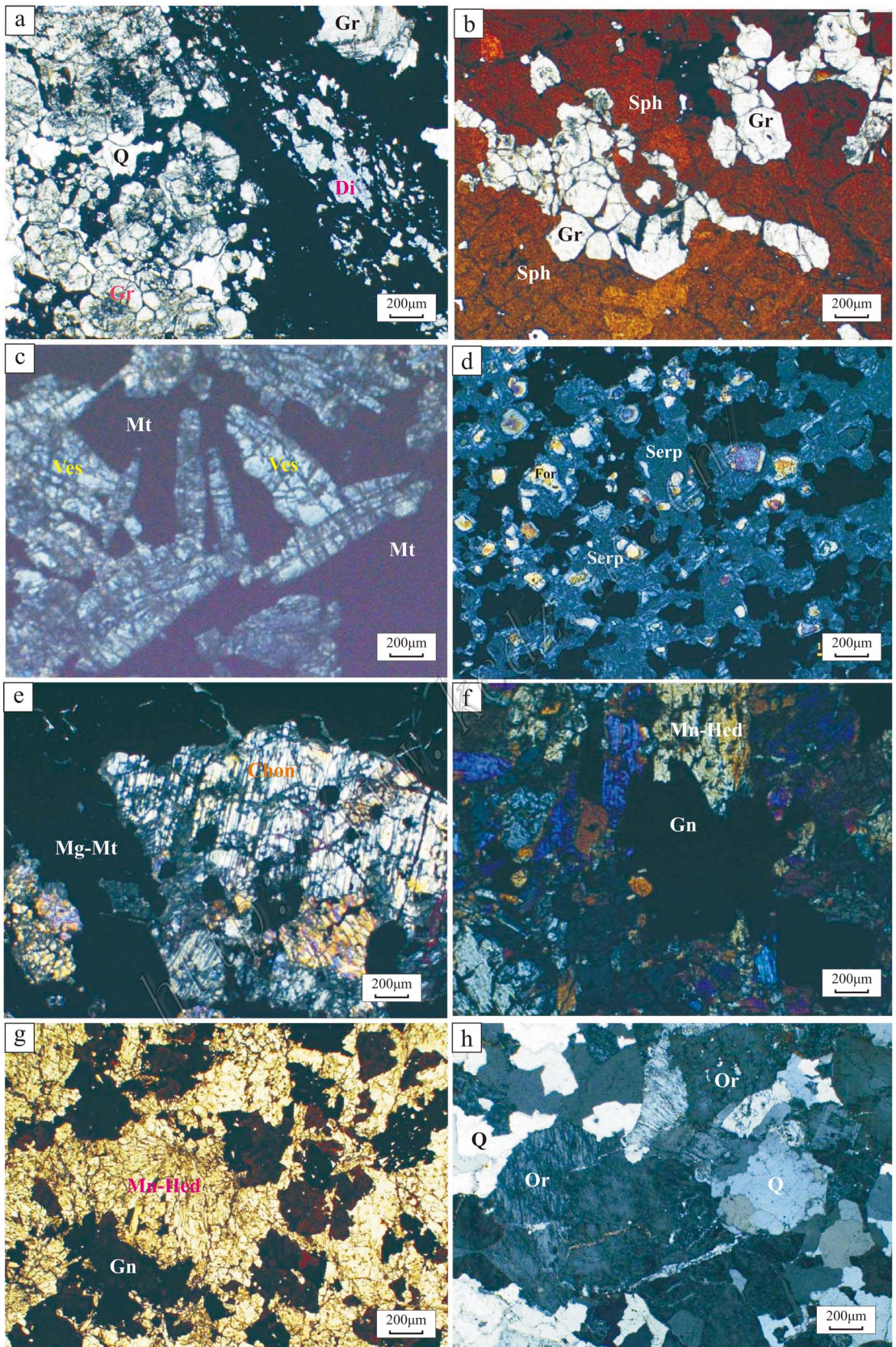


图 8 矿石和矽卡岩的代表性显微照片

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)交代石榴子石砂卡岩,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)交代锰质钙铁辉石砂卡岩,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. Vesuvianite 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-hedenbergite skarn replaced by sphalerite (brown black) and galena (black), plainlight, Sijiaoyang; h. Quartz-orthoclase (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。

镁砂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 $w(\text{MgO})$ 达到1.86%~7.88%,而卡而却卡和虎头崖矿区磁铁矿的 $w(\text{MgO})$ 仅为0~0.22%,属一般磁铁矿。该地区镁砂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 $w(\text{MgO})$ 可达15%~20%, $w(\text{SiO}_2)$ 为20%左右<sup>①</sup>。

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(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,与砂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, $w(\text{Cu})$ 平均在0.15%~0.93%之间,而且,有相当一部分矿石的 $w(\text{Cu})$ 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(如尕林格、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 $w(\text{Au})$ 一般为0.3 g/t~0.7 g/t, $w(\text{Co})$ 可达0.02%~0.23%<sup>②</sup>,少数钻孔中 $w(\text{Au})$ 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<sup>②</sup>。这是该地区砂卡岩铁多金属矿的另一个特色。

## 2.4 砂卡岩及有关交代岩

砂卡岩是祁漫塔格地区铁多金属矿床中最重要的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 钙砂卡岩

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, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 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。

① 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.

② 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.

表 4 祁漫塔格地区矽卡岩类型及矿物组合

Table 4 Classification of skarn types and their mineral assemblages 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
钙矽卡岩	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、含砷毒砂	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

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(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,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

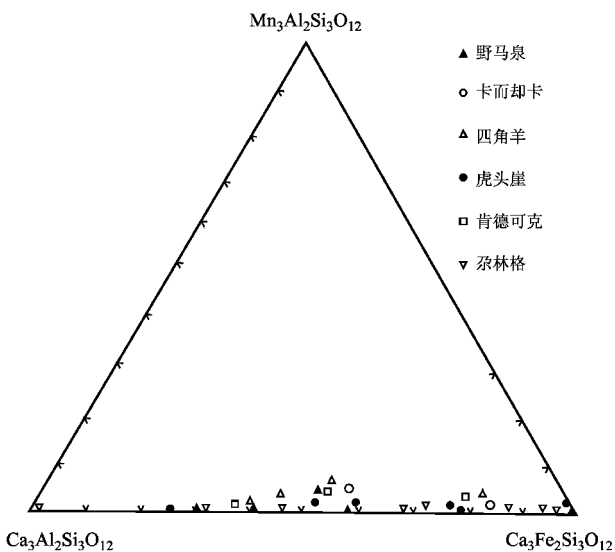


图9 祁漫塔格地区石榴子石成分三角图

Fig. 9 Compositional triangular diagram of garnets from Qimantage area

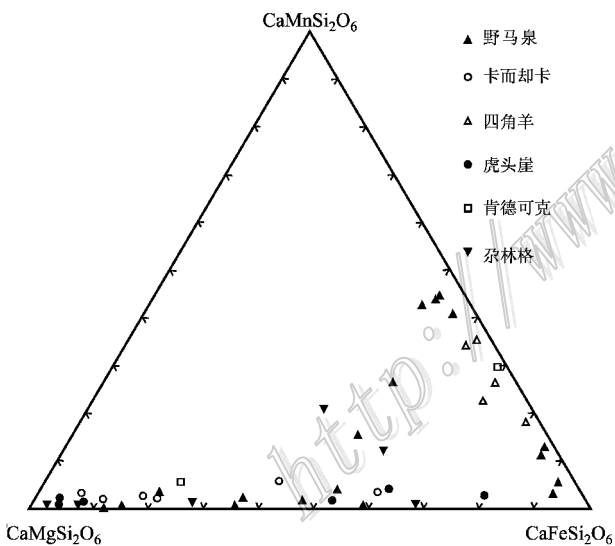


图10 祁漫塔格地区辉石成分三角图

Fig. 10 Compositional triangular diagram of pyroxenes from Qimantage area

闪长岩的  $w(K_2O)$  一般为 2.49% ~ 4.17%, 蚀变后,  $w(K_2O)$  骤增, 达 5.47% ~ 7.20%; 相应地, 新鲜岩石的  $w(Na_2O)$  一般为 2.63% ~ 4.10%, 钾化蚀变后,  $w(Na_2O)$  有所带出,  $w(Na_2O)$  降低成为 0.98% ~ 3.17%。钾化前岩石的  $K_2O/Na_2O$  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  $w(CaO)$

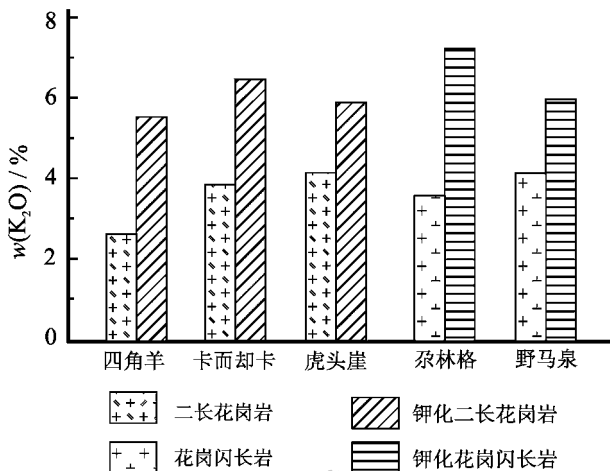


图11 二长花岗岩和花岗闪长岩钾化蚀变前后  $K_2O$  含量的变化

Fig. 11 Variation of  $K_2O$  before and after potassic alteration of monzogranites and granodiorites

和  $w(Fe_2O_3 + FeO)$  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  $w(Na_2O)$  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

矿区及岩石名称	$\sum(B)\%$											
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	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												
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矽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矽卡岩和围岩中, 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。它们大多交代矽卡岩矿物, 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。

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

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、黄钾铁矾等氧化淋滤矿物。

## 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拗陷带, 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; 张爱奎等, 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简单, 主要为厚层大理岩, 如湖北鄂东南地区矽卡岩铁

矿物	砂卡岩期		金属成矿期(退化热液交代期)			表生期
	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		—				
阳起石		—				
透闪石		—				
磁铁矿 (铁磁铁矿)		—				
赤铁矿			—			
锡石			—			
白钨矿			—			
磁黄铁矿			—			
黄铁矿				—		
毒砂				—		
黄铜矿				—		
闪锌矿				—		
方铅矿				—		
辉钼矿				—		
斑铜矿				—		
辉铜矿				—		
辉砷钴矿				—		
自然金				—		
石英	—	—				
方解石	—					
萤石						
蛇纹石						
绿泥石						
沸石						
鱼眼石						
针铁矿						—
孔雀石						—
蓝铜矿						—
铜蓝						—
黄钾铁矾						—

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,铁铜钨铅锌等矿化俱全,只是有的矿区以铁为主(尔林格、肯德可克、野马泉),有的以铜(钨)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),伴生铜钨铅锌(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

祁漫塔格地区的矽卡岩铁多金属矿床中,矽卡岩的类型比较齐全,包括钙矽卡岩、镁矽卡岩和锰质矽卡岩。不同的矽卡岩类型对伴生的金属矿化具有一定的指示作用:钙矽卡岩伴生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,锰质矽卡岩伴生Pb、Zn(Ag)矿化;镁矽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,可作为评价该地区矽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,在中国东部地区的矽卡岩矿田或矿带中,同时出现上述3类矽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 $w(K_2O)$ 增高, $w(Na_2O)$ 和 $w(TFe)$ 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) 控矿地层包括蓊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-酸性侵入岩有关的矽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-Zn→Pt(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.
- 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,李建楠,马圣钊,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[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 41(6): 1806-1817.
- 丰成友,赵一鸣,李大新,李建楠,肖晔,李国臣,马圣钊. 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, 85(7): 949-955.
- 丰成友,王松,李国臣,马圣钊,李东生. 2012. 青海祁漫塔格中晚三叠世花岗岩: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,李建楠,肖晔. 2011. 青海卡而却卡铜多金属矿床蚀变矿化类型及矽卡岩矿物学特征[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,李建楠,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, 32( ).
- 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, 43(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[J]. 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恩花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(10): 2457-2463.

- 马圣钊. 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[硕士学位论文]D]. 导师: 丰成友. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所. 120 页.
- 邱家骥(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. 青海省格尔木县尕斯库勒磁铁矿 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讨[J]. 西北地质, 43(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[硕士学位论文]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(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, 张德全, 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 particular 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.
- Zhao Y M, Dong Y G, Li D X and Bi C S. 2003. Geology, mineralogy, geochemistry and zonation of the Baijiazzi dolostone-hosted Zn-Pb-Ag skarn deposit, Liaoning Province, China[J]. Ore Geology Reviews, 23: 153-182.