

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.01.009

东昆仑西段卡而却卡铁铜多金属矿床 成矿模式及找矿模型

张大明, 张爱奎, 屈光菊, 逯登军, 王磷, 丁兆滨, 李有录

(青海省第三地质勘查院, 青海 西宁 810029)

摘要:卡而却卡铁铜多金属矿床是东昆仑成矿带西段典型矿床, 矿床成矿作用复杂, 但以往对矿床成矿模式与找矿模型研究薄弱, 制约了进一步找矿突破。笔者通过研究卡而却卡矿床成矿特征、成矿物理化学条件、成矿机制和矿床成因等, 建立了矿床成矿模式及找矿模型。研究认为矿床成矿时代为中三叠世; 成矿物质来源于岩浆、围岩和深部花岗斑岩; 矿床成因属接触交代型和热液脉型-斑岩型-隐爆角砾岩型, 分属 2 个不同的成矿系统, 即与花岗岩有关的矽卡岩成矿系统和与花岗斑岩有关的热液脉型-斑岩型-隐爆角砾岩型成矿系统。1:1 万详细地质填图+水系沉积物测量+磁法测量、激电、重力剖面测量是寻找该类型矿床的最佳找矿方法组合。

关键词:找矿模型; 成矿模式; 矿床; 卡而却卡; 东昆仑

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)01-0091-16

Metallogenic and Prospecting Model of Kaerqueka Iron-Copper Polymetallic Deposit in Western Segment of Eastern Kunlun

ZHANG Daming, ZHANG Aikui, QU Guangju, LU Dengjun, WANG Lin,
DING Zhaobin, LI Youlu

(The Third Institution of Qinghai Geological Prospecting, Xining 810029, Qinghai, China)

Abstract: The Kaerquka iron-copper polymetallic deposit is typical of deposit in the Western section of the East Kunlun metallogenic belt. The mineralization of ore deposits is complex, but the previous research on ore deposit metallogenic model and ore prospecting model is not enough, which restricts the breakthrough in ore prospecting. By studying the characteristics of mineralization, physical and chemical conditions of mineralization, mechanism of mineralization and genesis of the deposit, the metallogenic model and prospecting model of the deposit are established in this paper. The metallogenic age of the deposit is considered to be Middle Triassic. The metallogenic materials come from magma, surrounding rock and deep granitic porphyry. Genesis of deposit includes skarn-type and hydrothermal-vein-porphyry-hydrothermal-breccia type, which belongs to two different metallogenic systems. One is skarn metallogenic system related to granite, the oth-

收稿日期: 2019-03-20; 修回日期: 2019-09-06

基金项目: 青海省科技厅重大科技专项“柴达木盆地南北缘成矿系统与勘查开发示范”(2016-SF-A3), 青海省科技厅自然科学基金“东昆仑西段金矿成矿规律及找矿突破”(2019-ZJ-7009)

作者简介: 张大明(1986-), 男, 工程师, 主要从事地质调查及矿产勘查工作。E-mail: 382897940@qq.com

er is hydrothermal-vein-porphyry-hydrothermal-breccia metallogenic system related to granitic porphyry. The combination of 1 / 10, 000 detailed geological mapping, stream sediment survey, magnetic survey, induced electrical and gravity profile survey is the best prospecting method to find this type of deposit.

Keywords: Prospecting Model; Metallogenic Model; deposit; Kaerqueka; eastern Kunlun

卡而却卡铁铜多金属矿床位于青海省东昆仑西段祁漫塔格地区,该区是青海省重要的金属矿产勘查开发基地(张爱奎等,2010,2015;张爱奎,2012;宋忠宝等,2019)。矿床从2003年由青海省地质调查院发现,2009年开始转由青海省第三地质勘查院开展勘查工作至今。累计圈定10条矿带,估算铜铅锌金属资源量达 80×10^4 t,钼金属资源量达 2.07×10^4 t,铁矿石资源量达 $3\,692 \times 10^4$ t,金金属资源量达6 t。矿床多金属规模达到大型,铁、钼和金规模达到中型;截至目前,Ⅵ、Ⅶ矿带全面完成了详查,其余矿带基本完成了普查。以往研究主要对矿床地质、成矿年代学、岩石学、地球化学等开展了深入研究(李世金等,2008;王松等,2009;丰成友等,2009;李东生等,2010;赖健清等,2015;张爱奎等,2017;高永宝等,2018),并初步探讨了成矿模式和找矿预测前景(梁辉等,2015;汪冰等,2017;穆媛芮等,2017),但对矿床成矿机制、矿床成因等缺少系统性、全面性地研究,成矿模式研究仍较薄弱,找矿模型亦未建立起来。笔者结合最新勘查成果,通过对矿床成矿地质特征、物化探异常特征、控矿因素、成矿机制和矿床成因等全面分析研究,系统建立了矿床成矿模式、找矿模型及找矿方法组合,以期为区域找矿评价提供借鉴。

1 区域地质背景

矿床位于东昆仑成矿带,所处构造单元为北昆仑岩浆弧(王秉璋等,2009)。区域主要出露中元古界金水口岩群、奥陶系祁漫塔格群、上三叠统鄂拉山组及第四系。与成矿关系密切的地层主要是祁漫塔格群,其次是金水口岩群。金水口岩群为一套高级变质岩系,岩性主要有片麻岩、斜长角闪岩、大理岩等。祁漫塔格群为一套弧后盆地碎屑岩-中基性火山岩-碳酸盐岩组合,主要岩石类型有安山玄武岩、大理岩、变质砂岩等。安山玄武岩和大理岩是主要的赋矿围岩。区域构造以北西西向、北西向断裂为主,褶皱不甚发育,北西西向、北西向断裂控制着地

层、岩体和矿体的展布方向。区域岩浆活动频繁,侵入岩以华力西期和印支期中酸性岩为主,其次为加里东期,成矿与三叠纪侵入岩关系十分密切,加里东晚期岩体对成矿作用也有一定贡献(陈博等,2012)。

2 矿区地质特征

2.1 地层

矿区出露中元古界金水口岩群、奥陶系祁漫塔格群及第四系(图1)。金水口岩群呈北西—南东向带状零星分布于矿区南部和北部,与印支期侵入岩呈侵入接触关系,岩性主要有条带状混合岩、眼球状混合岩、黑云母斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、斜长片麻岩夹白云石大理岩。祁漫塔格群主要分布于矿区中部,与印支期侵入岩呈侵入接触关系,岩性主要为玄武岩、安山玄武岩、安山岩、大理岩、绢云石英片岩、硅质岩夹粉砂质板岩、钙质千枚岩、变砂岩等。

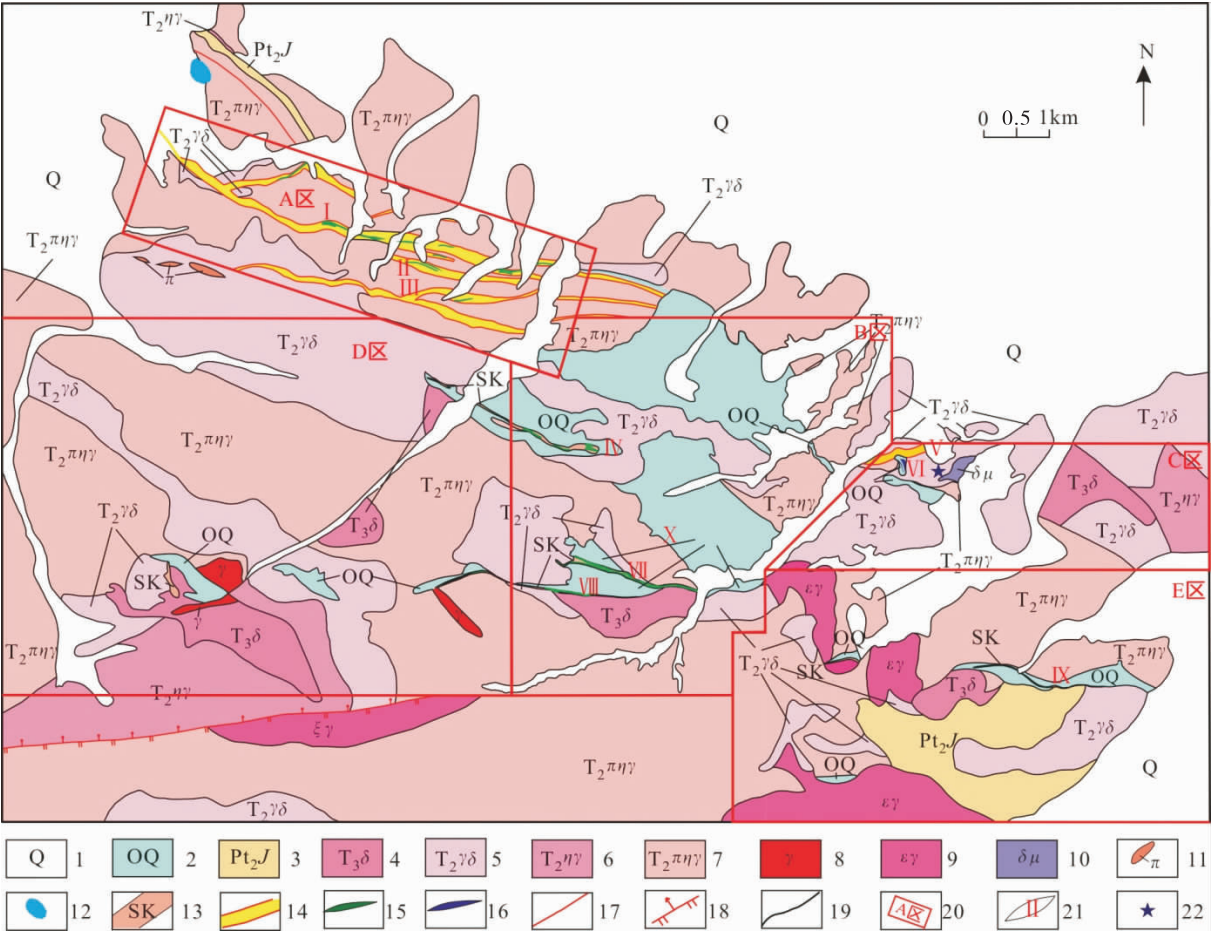
2.2 构造

矿区褶皱不发育,断裂则十分发育(图1)。北西西向断裂是区内的主干构造,走向一般为 $130^\circ \sim 160^\circ$,倾向北东,倾角为 $50^\circ \sim 70^\circ$,被北东向断层切割。矿区中部Ⅶ矿段断裂叠加于矽卡岩部位,带内岩石较破碎,主要发育碎裂岩,原岩主要为矽卡岩,其次有少量似斑状二长花岗岩。断裂具有多期活动的特点,成矿期为岩浆侵入和热液运移提供了通道,矽卡岩及矿体展布与断裂空间位置较吻合;断裂在成矿后仍具有强烈活动,矽卡岩及矿体具有较明显的破碎。北东向断裂一般形成10~50 m宽的断层破碎带,附近花岗岩中发育密集的间隔性劈理,断裂性质属于走滑逆断层。

2.3 岩浆岩

矿区侵入岩主要为印支期中酸性岩,其中矿区北西部发育隐爆角砾岩(图1)。

印支期侵入岩对成矿具有非常重要的作用。岩石类型主要有花岗闪长岩、(似斑状)二长花岗岩、闪长岩,其次有闪长玢岩、花岗斑岩、正长花岗岩、花岗岩脉等。岩体与祁漫塔格群碳酸盐岩或中基性火山



1. 第四系;2. 奥陶系祁漫塔格群;3. 中元古界金水口岩群;4. 晚三叠世闪长岩;5. 中三叠世花岗闪长岩;6. 中三叠世二长花岗岩;7. 中三叠世似斑状二长花岗岩;8. 花岗岩脉;9. 正长花岗岩脉;10. 闪长玢岩脉;11. 斑岩脉;12. 隐爆角砾岩;13. 砂卡岩;14. 破碎蚀变带;15. 铜(铜、铁)矿体;16. 铅锌(金)矿体;17. 性质不明断层;18. 逆断层;19. 地质界线;20. 勘查区;21. 矿带编号;22. 同位素测年采样点

图 1 卡而却卡矿区地质矿产图

Fig. 1 Geological and mineral map of Kaerqueka Mining Area

岩外接触带产出有接触交代矽卡岩型铁多金属矿产(王松等,2009;丰成友等,2009,2010;李碧乐等,2010;李大新等,2011;张雨莲等,2014;赖健清等,2015)。似斑状二长花岗岩体呈岩基或大岩株状,接触带整体向南倾,外接触带产出铜钼多金属矿;花岗闪长岩体呈岩株状,接触带形态十分复杂,外接触带产出铁多金属矿。东部 C 区花岗闪长岩蚀变较强,裂隙发育,黄铁矿化十分普遍,岩体内产出有金矿;花岗斑岩多呈岩枝状,侵入于似斑状二长花岗岩中,蚀变和矿化强烈,主要产有铜、金矿;闪长岩体呈岩株状,接触带整体向南倾,带内矿化很弱。

以往岩体中获得同位素年龄为(227.3±1.8)~(245.1±0.92)Ma(王松等,2009;王秉璋等,2009;

丰成友等,2012;高永宝等,2015;张爱奎等,2017)。本次研究在 C 区(图 1)采集花岗闪长岩同位素测年样品 1 件(KAS1TW36),在天津地质矿产研究所同位素实验室完成锆石 U-Pb 测年,获得同位素年龄为(241.46±0.51)Ma(表 1、图 2)。上述同位素地质年龄结果表明,矿区花岗岩体形成时代为中三叠世。

花岗闪长岩属于钙碱性-高钾钙碱性系列准铝质-弱过铝质“I”型花岗岩,总体显示出低 Si、高 Ti、高 Mg、高 Na 的特征,Eu 亏损不明显,高场强元素 Nb、Ta、Zr 弱亏损,Sr-Nd-Pb 同位素显示原始岩浆源区具有幔源物质的贡献,构造环境判别属于同碰撞环境(张爱奎等,2017)。似斑状二长花岗岩属

表 1 LA – MC – ICP – MS 锆石 U – Pb 同位素年龄测试结果表(10⁻⁶)
Tab. 1 Result of LA – MC – ICP – MS Zircon U – Pb Isotope Dating(10⁻⁶)

样品	含量		同 位 素 比 值									
	Pb	U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	err%	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	err%	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	err%	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th
KAS1TW36												
1	41	1 002	0.037 9	0.000 2	0.54	0.266 7	0.006 7	2.49	0.051 0	0.001 2	2.34	0.014 5
2	29	710	0.038 3	0.000 2	0.55	0.266 3	0.007 5	2.82	0.050 4	0.001 3	2.66	0.018 4
3	71	1 863	0.038 1	0.000 2	0.54	0.267 6	0.004 3	1.59	0.051 0	0.000 8	1.63	0.013 8
4	36	823	0.038 1	0.000 2	0.53	0.267 5	0.005 5	2.05	0.050 9	0.001 0	2.02	0.024 4
5	26	666	0.038 0	0.000 2	0.57	0.267 0	0.007 6	2.85	0.051 0	0.001 4	2.83	0.012 8
6	46	1 169	0.038 1	0.000 2	0.56	0.267 9	0.004 8	1.78	0.051 0	0.000 9	1.76	0.012 4
7	37	907	0.038 0	0.000 2	0.52	0.267 0	0.005 3	2.00	0.050 9	0.001 0	1.96	0.012 5
8	52	1 342	0.038 0	0.000 2	0.55	0.267 7	0.004 6	1.72	0.051 1	0.000 9	1.69	0.013 4
9	50	1 244	0.038 5	0.000 2	0.53	0.268 9	0.008 1	3.01	0.050 7	0.001 5	2.89	0.016 6
10	31	792	0.038 1	0.000 2	0.53	0.268 2	0.005 9	2.19	0.051 1	0.001 1	2.14	0.010 7
11	24	599	0.038 0	0.000 2	0.55	0.266 8	0.006 9	2.57	0.050 9	0.001 3	2.52	0.010 9
12	32	793	0.038 1	0.000 2	0.54	0.268 5	0.005 8	2.16	0.051 2	0.001 1	2.11	0.010 1
13	27	700	0.038 3	0.000 2	0.55	0.267 5	0.008 1	3.01	0.050 6	0.001 5	2.90	0.015 3
14	79	2 017	0.038 1	0.000 2	0.51	0.268 8	0.004 2	1.56	0.051 2	0.000 8	1.55	0.010 2
15	24	614	0.038 3	0.000 2	0.53	0.268 8	0.007 6	2.82	0.050 9	0.001 4	2.77	0.007 8
16	41	1 096	0.037 9	0.000 2	0.54	0.266 7	0.005 7	2.14	0.051 0	0.001 1	2.10	0.008 3
17	33	827	0.038 2	0.000 2	0.53	0.268 8	0.005 7	2.11	0.051 0	0.001 1	2.07	0.009 0
18	39	1 012	0.038 3	0.000 2	0.53	0.269 2	0.005 8	2.16	0.051 0	0.001 1	2.10	0.011 6
19	32	817	0.038 5	0.000 2	0.54	0.269 4	0.006 3	2.33	0.050 8	0.001 2	2.33	0.013 1
20	46	1 171	0.038 0	0.000 2	0.55	0.268 4	0.004 8	1.77	0.051 2	0.000 9	1.74	0.009 7
21	47	1 208	0.038 1	0.000 2	0.52	0.268 7	0.006 0	2.24	0.051 2	0.001 1	2.22	0.008 8
22	62	1 562	0.038 2	0.000 2	0.52	0.267 4	0.005 3	1.98	0.050 7	0.001 0	1.91	0.009 4
23	34	838	0.038 6	0.000 2	0.57	0.267 5	0.008 3	3.09	0.050 2	0.001 4	2.86	0.014 4
24	42	1 075	0.038 4	0.000 2	0.54	0.270 0	0.006 0	2.22	0.051 1	0.001 1	2.23	0.011 6
25	27	698	0.038 3	0.000 2	0.59	0.267 7	0.006 1	2.28	0.050 8	0.001 1	2.25	0.011 9

样品		同位素比值				年龄(Ma)					
KAS1TW36		1σ	err%	²³² Th/ ²³⁸ U	1σ	err%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
1		0.000 2	1.30	0.520 3	0.001 2	0.23	240	1	240	6	241
2		0.000 4	2.34	0.388 0	0.001 1	0.30	242	1	240	7	214
3		0.000 1	0.51	0.289 7	0.000 4	0.14	241	1	241	4	241
4		0.000 4	1.45	0.435 4	0.001 3	0.29	241	1	241	5	238
5		0.000 1	1.13	0.395 2	0.004 8	1.22	240	1	240	7	242
6		0.000 1	0.57	0.401 5	0.000 8	0.21	241	1	241	4	242

续表 1

样品		同位素比值				年龄(Ma)					
KAS1TW36	1σ	err%	²³² Th/ ²³⁸ U	1σ	err%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ
7	0.000 1	0.61	0.538 1	0.002 6	0.47	241	1	240	5	236	45
8	0.000 1	0.66	0.341 9	0.001 1	0.31	241	1	241	4	243	39
9	0.000 5	2.89	0.362 8	0.002 4	0.67	243	1	242	7	227	67
10	0.000 1	0.79	0.490 6	0.001 0	0.21	241	1	241	5	244	49
11	0.000 1	0.73	0.504 4	0.001 4	0.28	240	1	240	6	237	58
12	0.000 0	0.47	0.607 6	0.001 0	0.16	241	1	241	5	248	49
13	0.000 4	2.30	0.299 3	0.000 3	0.09	243	1	241	7	223	67
14	0.000 0	0.42	0.502 7	0.002 6	0.52	241	1	242	4	250	36
15	0.000 1	1.86	0.597 4	0.004 8	0.80	242	1	242	7	237	64
16	0.000 1	0.77	0.453 0	0.001 8	0.39	240	1	240	5	242	48
17	0.000 1	0.65	0.583 0	0.001 4	0.24	242	1	242	5	240	48
18	0.000 1	1.01	0.371 9	0.000 9	0.25	242	1	242	5	243	48
19	0.000 3	2.05	0.350 6	0.001 6	0.46	243	1	242	6	231	54
20	0.000 0	0.41	0.511 5	0.001 5	0.29	241	1	241	4	250	40
21	0.000 0	0.53	0.546 6	0.000 6	0.10	241	1	242	5	249	51
22	0.000 1	0.81	0.572 8	0.001 4	0.25	242	1	241	5	229	44
23	0.000 3	2.15	0.397 4	0.000 4	0.09	244	1	241	7	206	66
24	0.000 1	0.69	0.453 5	0.002 2	0.48	243	1	243	5	243	51
25	0.000 1	1.04	0.379 7	0.000 2	0.05	242	1	241	5	230	52

注:测试单位为天津地质矿产研究所。表中所列误差均为 1σ 误差;1~25 号点²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄加权平均值为(241±1)Ma。

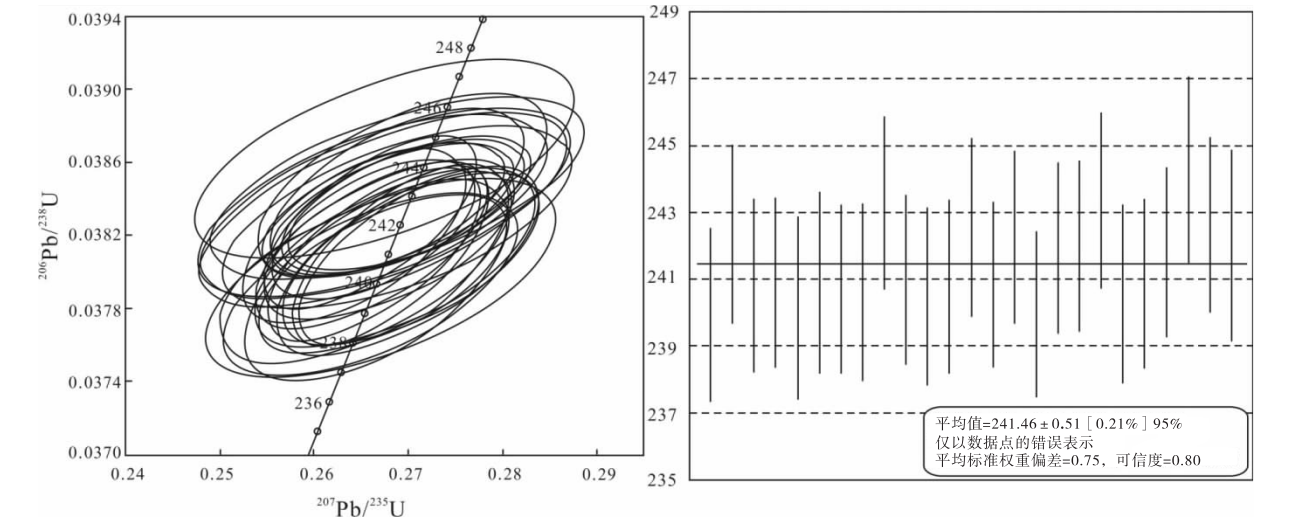


图 2 卡而却卡 KAS1TW36 样品²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵U 年龄谐和图及²⁰⁶Pb-²³⁸U 表面年龄加权平均值图

Fig. 2 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ concordant age diagram and weighted average $^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$ apparent age of sample KAS1TW36, Kaerqueka

钾钙碱性-钾玄岩系列准铝质-强过铝质“S”型花岗岩,具有高 Si、高 K、低 Ti、低 Mg 的特征,负 Eu 异常较明显,高场强元素 Nb、Ta、Zr 亏损不明显,构造环境判别属于同碰撞环境(张爱奎等,2017)。区域上研究认为,中三叠世是东昆仑古特提斯洋俯冲结束碰撞开始的时间(张玉等,2017)。根据区域地质演化、岩体同位素地质年龄、岩石地球化学特征和构造环境判别,笔者认为花岗闪长岩形成于俯冲-碰撞转换阶段俯冲洋壳板片前缘断离引起的壳幔岩浆作用和俯冲板片熔融而诱发的中下地壳熔融;似斑状二长花岗岩形成于中下地壳熔融后诱发的上地壳熔融。两类岩石实质是同期不同岩浆源区的产物。

隐爆角砾岩呈筒状,平面呈椭圆状,北西向展布,长大于 350 m,宽约 150 m(王磷等,2018)(图 1)。隐爆角砾岩具有典型的“爆破角砾结构”,角砾含量为 40%~60%,部分角砾呈不规则棱角状、撕裂状,部分呈次棱角状-次圆状,角砾具可拼接性,岩筒中部的角砾较小,外部的角砾较大,这与火山角砾岩具有明显差异(林仕良等,2003;刘继顺等,2005)。角砾成分较复杂,主要有似斑状二长花岗岩、花岗闪长岩、流纹岩、安山岩、花岗斑岩等,胶结物主要是岩粉、岩屑、硅质及硫化物。在隐爆角砾岩顶部发现有硅化壳。与山西灵丘支家地隐爆角砾岩(张会琼等,2012)对比来看,矿区隐爆角砾岩主要是爆裂相,边部存在震碎相(张爱奎等,2017)。

2.4 变质岩

矿区与成矿关系密切的变质岩是接触交代矽卡岩,岩石类型以透辉石矽卡岩、透辉石石榴子石矽卡岩、石榴子石矽卡岩、透闪石矽卡岩和绿帘石矽卡岩最为常见。

3 矿床地质

3.1 矿带、矿体特征

矿区圈定 10 条矿带(图 1),I、II、III 矿带产于似斑状二长花岗岩、花岗斑岩破碎蚀变带中,长 1.5~3.5 km,宽 40~150 m。IV、VI—X 矿带产于似斑状二长花岗岩、花岗闪长岩与祁漫塔格群接触带的矽卡岩中,其中 VI、VII、X 矿带规模较大,长 1~2.5 km,宽 10~200 m。V 矿带产于蚀变花岗闪长岩中,长为 0.9 km,宽 50~150 m。

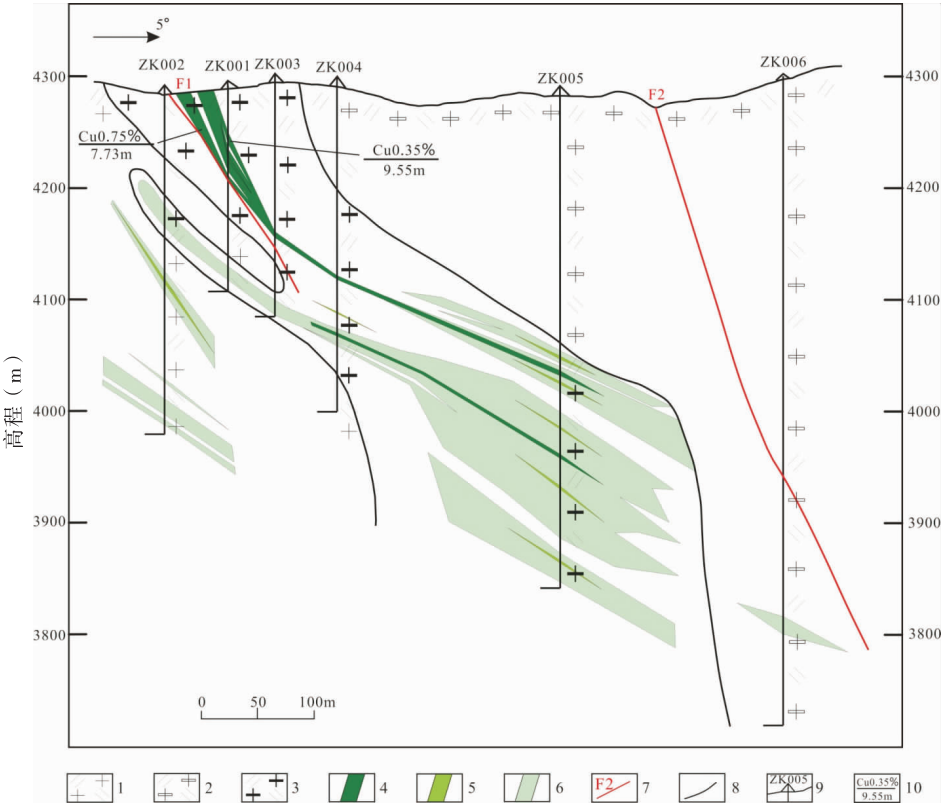
在 I、II、III 矿带圈出铜矿体 30 条,多呈脉状、

薄层状(图 3),矿体长 100~520 m,平均厚度为 1.01~8.16 m,Cu 品位为 0.22%~1.12%。在 IV、VI—X 矿带圈出矿体 141 条,多呈扁豆状、似层状或透镜状,矿体形态受接触带内的矽卡岩控制(图 4),主矿体长 400~1 740 m,平均厚度为 1.25~25.48 m,延深 140~777 m,Mo 平均品位为 0.038%~0.144%,Cu 平均品位为 0.26%~3.43%,Zn 平均品位为 0.81%~4.88%,Pb 平均品位为 0.44%~1.88%,TFe 平均品位为 35.47%~46.76%。在 V 矿带圈出 13 条金矿体,呈透镜状,产状较陡(图 5),主矿体长 300 m,厚度为 1.04~31.82 m,Au 品位为 1.19×10^{-6} ~ 3.02×10^{-6} ,单样最高品位达到 11.0×10^{-6} 。隐爆角砾岩筒中圈出主矿体 3 条,主要赋存于隐爆角砾岩胶结物中,矿体总体呈柱状,边部呈分支状(图 6),矿体长大于 400 m,宽大于 80 m,厚度为 1.39~78.63 m,最大厚度为 114 m,Cu 平均品位为 0.29%~0.64%,Pb 平均品位为 0.31%~1.20%,Zn 平均品位为 0.67%~8.86%,局部共生 Ag,品位为 66.3×10^{-6} ~ 88.0×10^{-6} 。

3.2 矿石特征

矿石类型与矿物组合:不同矿带矿石特征不尽一致,I、II、III 矿带矿石类型主要是黄铜矿矿石,地表有赤铜矿矿石和孔雀石蓝铜矿矿石;矿石矿物主要有黄铜矿、赤铜矿、蓝铜矿、孔雀石,少量磁铁矿、辉钼矿等;脉石矿物主要有石英、钾长石、斜长石、绢云母等。IV、VI、VII、VIII、IX、X 矿带矿石类型极其复杂,主要有黄铜矿矿石、含黝铜矿黄铜矿斑铜矿矿石、自然铜矿石、辉铜矿矿石、黄铜矿辉钼矿矿石、辉钼矿矿石、闪锌矿矿石、方铅矿闪锌矿矿石、黄铜矿方铅矿闪锌矿矿石、磁黄铁矿闪锌矿矿石、磁铁矿矿石、含金黄铜矿方铅矿闪锌矿矿石、含金闪锌矿矿石等;矿石矿物主要有黄铜矿、斑铜矿、黝铜矿、辉铜矿、自然铜、蓝铜矿、孔雀石、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿等;脉石矿物主要有透辉石、石榴子石、透闪石、绿帘石、硅灰石、绿泥石、阳起石、方解石、石英等。V 矿带矿石类型主要为含金黄铁矿矿石;矿石矿物主要是黄铁矿,其次是毒砂;脉石矿物主要是石英、斜长石、钾长石、角闪石、绢云母等;隐爆角砾岩型矿石以方铅矿闪锌矿矿石为主,其次是黄铜矿方铅矿闪锌矿矿石,矿石矿物主要是闪锌矿、方铅矿,其次是黄铜矿等。

矿石结构构造:I、II、III 矿带矿石结构主要有



1. 二长花岗岩;2. 似斑状二长花岗岩;3. 二长花岗斑岩;4. 大于 0.2%铜矿体;5. 大于 0.1%铜矿化体;
6. 大于 0.03%铜矿化体;7. 断层;8. 地质界线;9. 钻孔位置及编号;10. 品位(%) /厚度(m)

图 3 卡而却卡矿区 I 矿带 0 勘探线剖面图

Fig. 3 Profile of Exploration Line 0 in Ore Belt I of Kaerquka Mining Area

自形-半自形晶粒状结构、他形填隙结构、包含结构、压碎结构等, 矿石构造主要为稀疏浸染状构造、细脉浸染状构造; IV、VI、VII、VIII、IX、X 矿带矿石结构主要有半自形-他形粒状结构、交代结构、填隙结构, 矿石构造有浸染状构造、星点状构造、致密块状构造、脉状构造、网脉状构造、斑杂状构造等; V 矿带矿石结构以他形粒状变晶结构、半自形粒状结构、填隙结构为主, 矿石构造以稀疏-稠密浸染状构造、脉状构造为主; 隐爆角砾岩型矿石结构主要是他形粒状结构, 构造主要是角砾充填构造和浸染状构造。

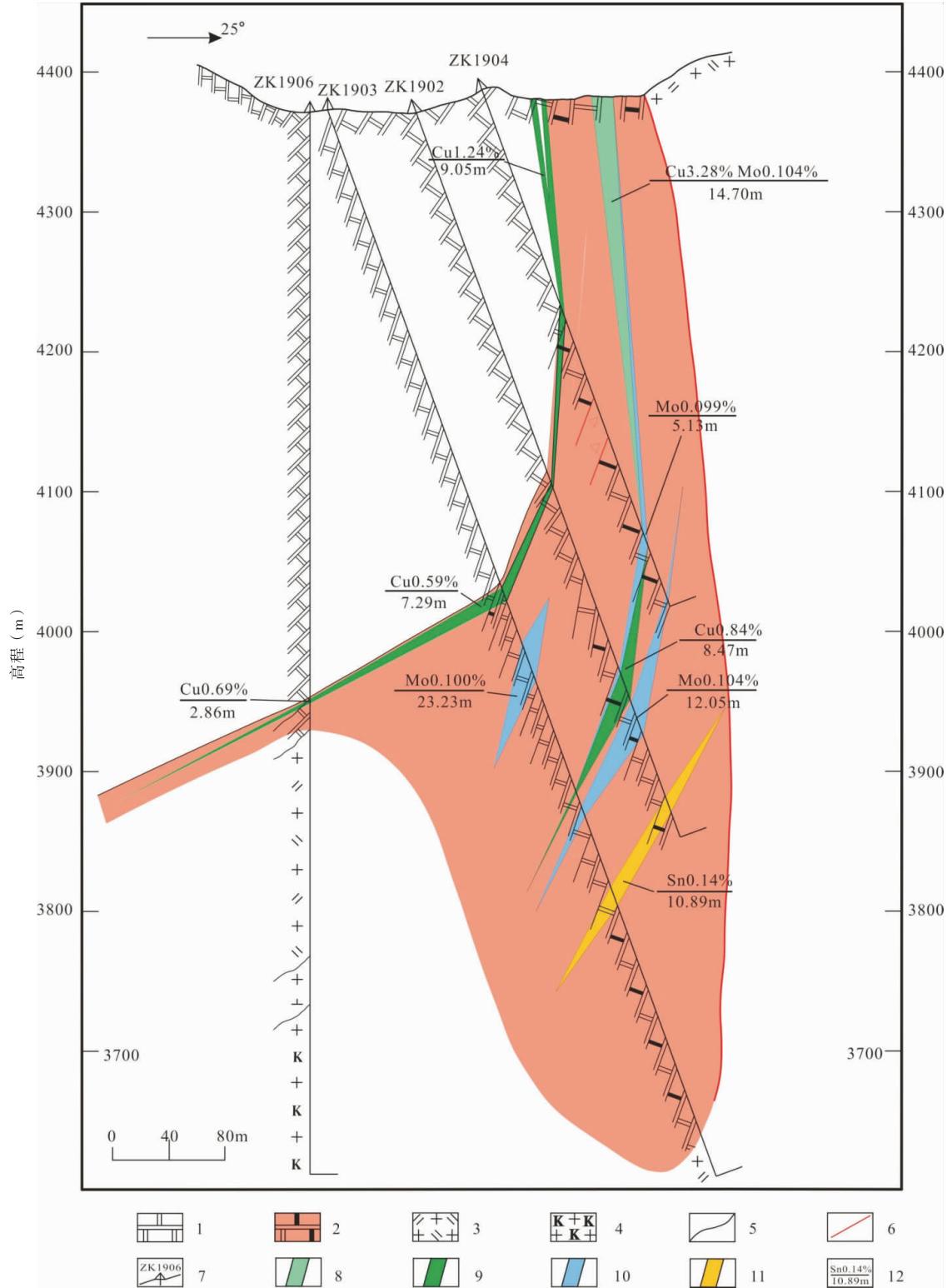
从矿石类型、矿物组合、矿石结构构造可以看出, 不同矿石具有较明显的差异。岩体接触带内矿石矿物以磁铁矿、辉钼矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿为主, 成矿方式以接触交代为主; 花岗岩蚀变带内矿石矿物以黄铜矿、黄铁矿为主, 成矿方式以热液充填为主; 隐爆角砾岩筒内矿石矿物以方铅矿、闪锌矿为主, 成矿方式以热液快速充填为主。

3.3 围岩蚀变

矿区围岩蚀变强烈, 岩体接触带附近主要发育矽卡岩化、硅化、钾化、角岩化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化等; 花岗(斑)岩蚀变带内主要发育硅化、绢英岩化、绿泥石化、碳酸盐化、高岭土化; 隐爆角砾岩型矿体围岩具有绿泥石化、泥化。矽卡岩型矿体围岩蚀变具有一定分带性, 从岩体向围岩, 出现钾化、绿帘石化、硅化→矽卡岩化、角岩化→绿泥石化、碳酸盐化的蚀变分带; V 矿带不具有明显的蚀变分带, I、II、III 矿带自中心向两侧具绢英岩化、硅化—绿泥石化—高岭土化蚀变分带, 但分带不十分明显, 且不对称。

3.4 成矿阶段及表生作用

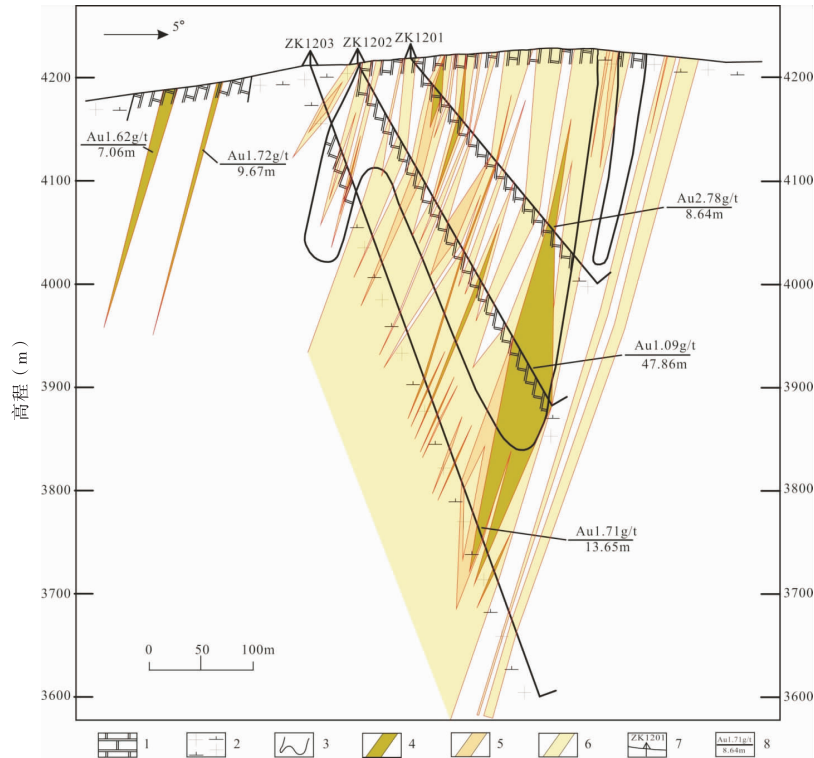
矿床经历了 3 个成矿阶段, 即与中三叠世花岗岩有关的矽卡岩阶段、石英硫化物阶段, 与花岗斑岩活动有关的热液阶段。矽卡岩成矿阶段主要形成各种钙、铁、镁、铝的硅酸盐矿物和磁铁矿、辉钼矿、白



1. 大理岩;2. 砂卡岩;3. 二长花岗岩;4. 钾长花岗岩;5. 地质界线;6. 性质不明断层;7. 钻孔位置及编号;8. 铜矿矿体;9. 铜矿体;10. 钼矿体;11. 锡矿体;12. 品位(%) / 厚度(m)

图 4 卡而却卡矿区Ⅶ矿带 19 勘探线剖面图

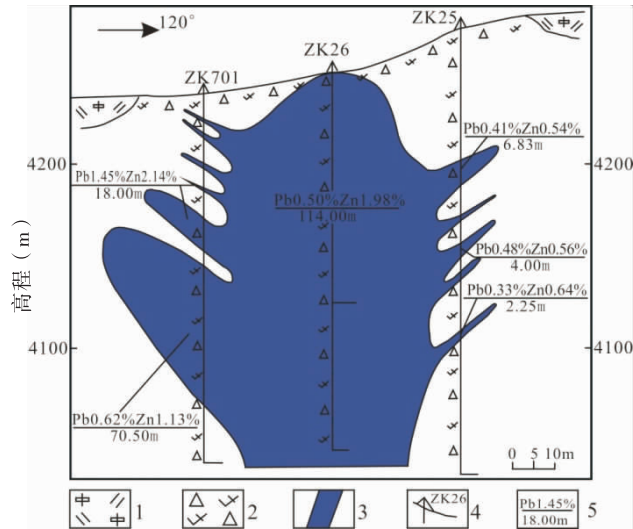
Fig. 4 Profile of Exploration Line 19 in Ore Belt VII of Kaerquka Mining Area



1. 大理岩;2. 花岗闪长岩;3. 地质界线;4. 大于 1.0×10^{-6} 金矿体;5. $0.5\times10^{-6}\sim1.0\times10^{-6}$ 金矿化体;6. $0.1\times10^{-6}\sim0.5\times10^{-6}$ 金矿化体;7. 钻孔位置及编号;8. 品位(%) /厚度(m)

图 5 卡而却卡矿区 V 矿带 12 勘探线剖面图

Fig. 5 Profile of Exploration Line 12 in Ore Belt V of Kaerquka Mining Area



1. 似斑状二长花岗岩;2. 隐爆角砾岩;3. 铅锌矿体;4. 钻孔位置及编号;5. 品位(%) /厚度(m)

图 6 卡而却卡矿区隐爆角砾岩纵向剖面图
(据张爱奎等,2017,略作修改)

Fig. 6 Vertical profile of hydrothermal-breccia in Kaerquka Mining Area

钨矿、黑钨矿、锡石等;石英硫化物阶段主要形成黄铜矿、斑铜矿、黝铜矿、辉铜矿、自然铜、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂等;斑岩活动热液阶段主要形成黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等。

表生氧化作用主要形成赤铜矿、蓝铜矿、孔雀石、针铁矿、赤铁矿等。

4 矿床成因与成矿模式

4.1 矿床成因

I、II、III 矿带铜矿化石英脉中发育气液两相、富气相、含子矿物三相、纯液相和纯气相 5 类包裹体。气相成分主要为 H₂O 和 CO₂, 其次为 CH₄、N₂、H₂、H₂S 和烃类, 显示为岩浆热液流体特征; 成矿流体为中高温、低密度流体, 流体盐度差异明显, 成矿流体演化过程中发生了强烈的流体不混溶, 对成矿起重要作用(李世金等,2008)。V 矿带金矿石 H、O 同位素显示, 含矿热液很可能是由岩浆水发展而成为成矿热液, 同时也不排除有大气降水的影响

(张爱奎等,2017)。矽卡岩矿带成矿流体分为高温、高盐度流体和中高温、低盐度流体2个端元,H、O同位素显示流体来自岩浆水(于森等,2014)。

I、II、III、V矿带矿体产于岩体蚀变带或破碎蚀变带内,成矿流体为中高温流体,S同位素显示S主要来源于岩浆;4条矿带岩体蚀变十分明显,尤其是V矿带花岗闪长岩具有面型蚀变;花岗闪长岩中早期黄铁矿压碎特征明显,但含矿性差,晚期黄铁矿多为脉状充填于裂隙中,表明成矿在花岗闪长岩形成之后,花岗闪长岩脉状、网脉状裂隙十分发育。笔者认为与深部隐伏斑岩侵位有关,V矿带金矿石中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 为10.5‰~10.8‰,反映矿石中的S来源单一,S主要来自岩浆热液(张爱奎等,2017),成矿物质可能来源于深部斑岩。矿区VII矿带多金属矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 介于3.1‰~11‰,均值为5.53‰,矿石中的S总体具有岩浆硫的特征,S主要来源于深源岩浆(徐国端,2010;王松等,2014;赖健清等,2015;张爱奎等,2017);矿区矽卡岩带矿体产于岩体与围岩外接触带矽卡岩中,矿石结构构造表明矿石形成于交代作用,成矿物质来源于岩浆和围岩。隐爆角砾岩成岩作用常常伴随热液成矿作用(SILLITOE et al.,1990;HENLY,1991;BARKER et al.,1991;PIRAJNO,1995;张会琼等,2012),浅成-超浅成中酸性斑岩体是隐爆角砾岩形成的决定性因素,矿区隐爆角砾岩出现大量花岗斑岩角砾,硫化物均呈胶结物形式出现,表明成矿物质来源于岩筒深部的花岗斑岩。

VII矿带辉钼矿Re-Os等时线年龄为(239±11)Ma(MSWD=0.48)(丰成友等,2009)、(245.5±1.6)Ma(MSWD=1.2)(高永宝等,2018),与矿区岩体同位素地质年龄相近,矿床成矿时代属于中三叠世。

中三叠世同碰撞环境下形成花岗质岩浆,上升侵位于祁漫塔格群,由于挥发组分的释放以及热能传递,与接触的碳酸盐岩或中基性火山岩发生物质交换,在接触带上产生大量矽卡岩,形成矽卡岩型铜、钼、铁、铅锌矿体。稍晚的斑岩活动,形成中高温热液脉型铜、金矿体,斑岩顶部气液聚集发生隐爆作用,并伴随铅锌热液成矿作用。

矿区IV、VI、VII、VIII、IX、X矿带位于岩体与祁漫塔格群接触带,具有明显的岩浆接触交代矽卡岩型成矿特征(王松等,2009;李东生等,2010;李碧乐等,

2010;李大新等,2011;于森等,2014)。I、II、III、V矿带及隐爆角砾岩型矿体形成与花岗斑岩关系密切,前者具有浅部热液脉型-深部稀疏浸染状、细脉浸染状低品位斑岩型成矿的特点。矿区存在矽卡岩型、热液脉型-斑岩型和隐爆角砾岩型矿体,笔者认为分属2个不同的成矿系统,即与花岗岩有关的矽卡岩成矿系统和与花岗斑岩有关的热液脉型-斑岩型-隐爆角砾岩型成矿系统,矿床成因属接触交代型和热液脉型-斑岩型-隐爆角砾岩型。

4.2 成矿模式

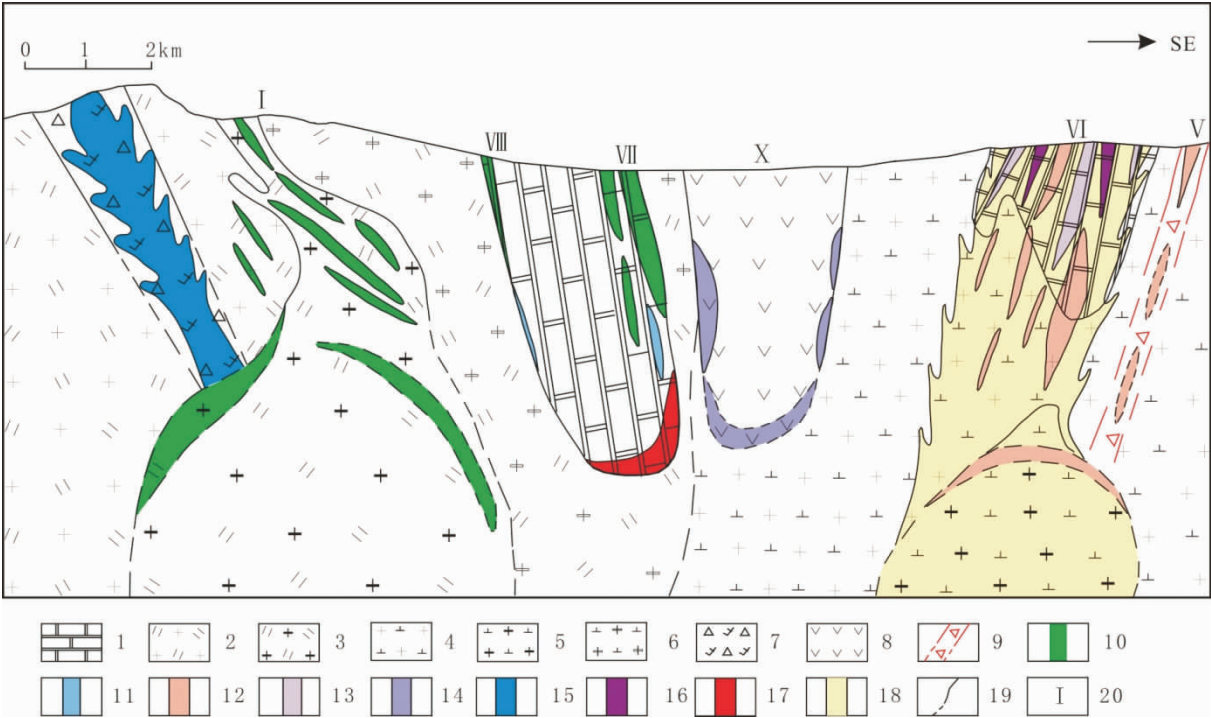
卡而却卡铁铜金多金属矿床形成于晚古生代一早中生代构造旋回同碰撞阶段,矿体产于侵入岩与祁漫塔格群外接触带矽卡岩,以及花岗(斑)岩(破碎)蚀变带、隐爆角砾岩中,成矿岩体主要有花岗闪长岩、似斑状二长花岗岩和花岗斑岩。矽卡岩型矿体的形成受围岩地层和围岩岩性、侵入岩、接触带、构造等因素的综合控制;热液脉型-斑岩型-隐爆角砾岩型矿体的形成受花岗斑岩和构造的控制,据此建立成矿模式(图7)。

4.3 找矿模型

(1)找矿地质标志。中三叠世俯冲-碰撞转换阶段俯冲洋壳板片前缘断离引起的壳幔岩浆作用和俯冲板片熔融,从而诱发的地壳熔融是矿床花岗岩形成的大地构造环境和深部机制。矿区位于昆北断裂(南支)附近,主体构造线呈北西西向,断裂控岩特征明显。控制矽卡岩带矿体的构造主要是岩体与祁漫塔格群形成的接触带;控制I、II、III、V矿带的构造主要是北西西向、近东西向断裂以及斑岩侵位过程中形成的裂隙;隐爆角砾岩筒是控制隐爆角砾岩型矿体的主要控矿构造,也是主要的储矿构造。

矿区成矿岩体主要是花岗闪长岩、似斑状二长花岗岩和花岗斑岩。花岗闪长岩属于钙碱性-高钾钙碱性系列准铝质-弱过铝质“I”型花岗岩,是VI、X矿带的成矿岩体,形成的矿种主要有铁、铅锌和金;似斑状二长花岗岩属于高钾钙碱性-钾玄岩系列准铝质-强过铝质“S”型花岗岩,是IV、VII、VIII、IX矿带的成矿岩体,形成的矿种主要为铜、钼;花岗斑岩是I、II、III、V矿带及隐爆角砾岩型矿体的成矿岩体,形成的矿种主要为铜、金和铅锌。侵入岩岩石类型和岩浆源区的差异是造成矿种差异的重要原因(张爱奎等,2017)。

矿区围岩主要是祁漫塔格群,地层内碳酸盐岩



1. 大理岩;2. 二长花岗岩;3. 二长花岗岩斑岩;4. 花岗闪长岩;5. 花岗闪长斑岩;6. 似斑状二长花岗岩;7. 隐爆角砾岩;8. 安山岩;
9. 破碎带;10. 铜矿体;11. 钼矿体;12. 金矿体;13. 锌矿体;14. 铁铜锌复合矿体;15. 铜铅锌复合矿体;16. 金锌复合矿体;17. 磁
铁矿体;18. 金矿化体;19. 地质界线;20. 矿带号

图 7 卡而却卡铁铜多金属矿床成矿模式图

Fig. 7 Map of metallogenetic model of Kaerquka Iron-Copper Polymetallic Deposit

和中基性火山岩属于易交代的岩石,为印支期岩浆热液交代提供了重要物质基础,对接触交代成矿十分有利。

(2)矿区地球物理特征。矿区磁异常显示为 2 大类异常,即面积性异常和局部异常(图 8);面积性异常为岩体引起,局部异常为岩体接触带部位磁性体局部富集的反映;局部异常形态规则,范围较小,部分异常呈强磁异常,部分异常属于低缓异常;强磁异常由地表磁铁矿引起,低缓异常由深部磁铁矿或磁黄铁矿引起。

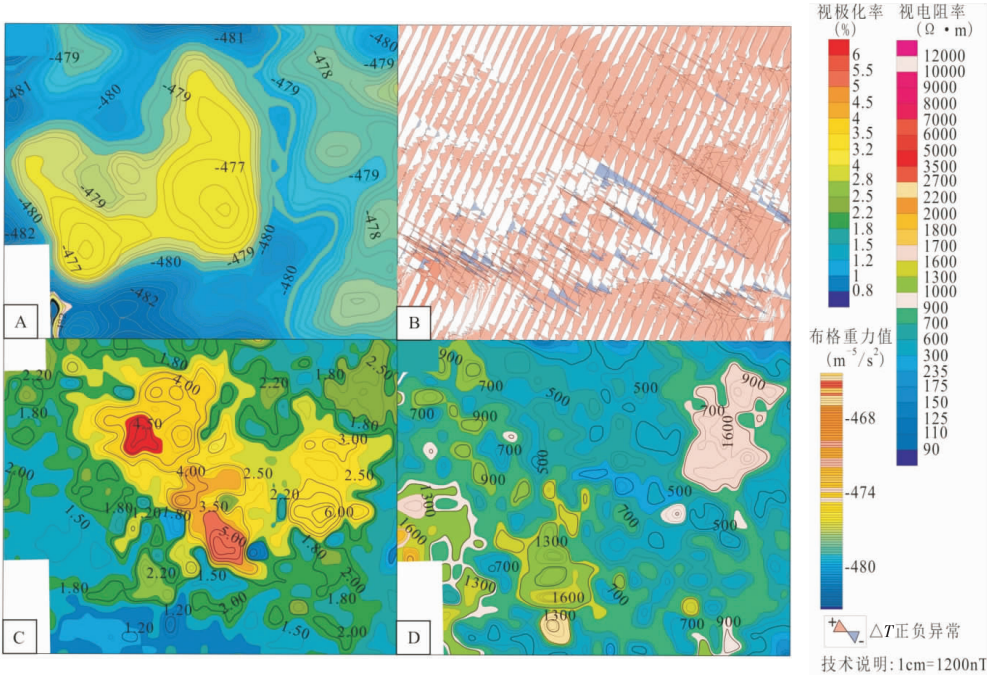
激电测量方法在东昆仑祁漫塔格地区是一种有效的地球物理勘探方法(高鹏等,2017)。矿区视极化率异常自北向南表现为低—高—低—高分带特征;视极化率异常体现了中浅部异常源的展布特点,视极化率低值区为第四系的反映;中低值区为岩体的反映;高值区为黄铁矿化的反映(图 8)。非线性变化的视电阻率高异常为金水口岩群和祁漫塔格群

的反映,变化较小的视电阻率中高异常为岩体的反映,变化较大的视电阻率中低异常为黄铁矿化的反映,变化较大的视电阻率低异常为第四系的反映。

矿区布格重力异常均为负值,高值区主要对应金水口岩群和祁漫塔格群,低值区对应第四系覆盖区,中值区对应中酸性侵入岩体(图 8)。

(3)矿区地球化学特征。地球化学测量在东昆仑地区矿产勘查中具有良好效果,地球化学测量在五龙沟、果洛龙洼大型金矿和浪木日铜镍矿等一批矿床中应用效果显著(侯长才等,2019;赵娟等,2018)。矿区 1:5 万水系沉积物异常主要有 9 处,异常元素组合复杂、强度较高,主元素为 Cu,伴生有 Pb、Zn、Au、Ag、Bi、Hg、W、Sn、Mo、As、Sb 等元素(图 9),各异常与已发现矿带较对应。

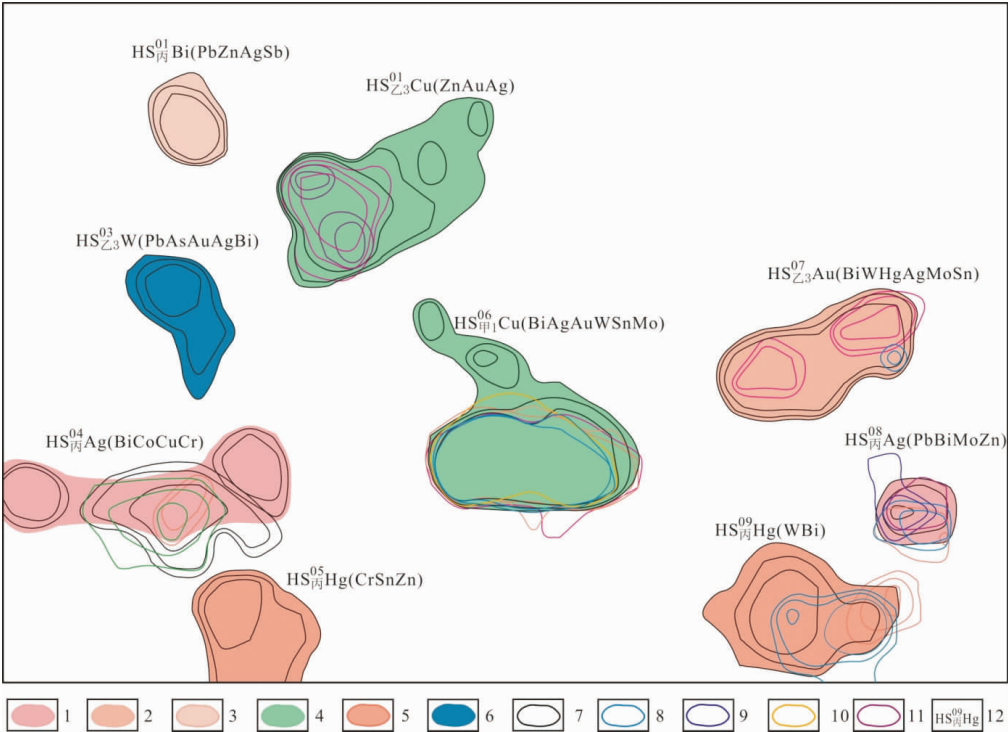
(4)找矿模型。综合上述,从地质标志、地球物理标志、地球化学标志和找矿方法组合建立找矿模型(表 2)。



A. 布格重力异常等值线平面图;B. 地磁异常剖面平面图;C. 视极化率异常等值线平面图;D. 视电阻率异常等值线平面图(图面范围同图 1)

图 8 卡而却卡矿区地球物理异常图

Fig. 8 Map of geophysical anomaly in Kaerqueka Mining Area



1. Ag 元素异常线;2. Au 元素异常线;3. Bi 元素异常线;4. Cu 元素异常线;5. Hg 元素异常线;6. W 元素异常线;7. Co 元素异常线;8. Mo 元素异常线;9. Pb 元素异常线;10. Sn 元素异常线;11. Zn 元素异常线;12. 异常编号

图 9 卡而却卡矿区水系沉积物异常图

Fig. 9 Map of stream sediment anomaly in Kaerqueka Mining Area

表 2 卡而却卡铁铜多金属矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型表

Tab. 2 Geology-Geophysics-Geochemistry prospecting model of Kaerquka iron-copper polymetallic deposit

分类		主要特征
地质标志	成矿时代	中三叠世
	大地构造环境	同碰撞(俯冲-碰撞转换)
	地层	祁漫塔格群
	围岩岩性	碳酸盐岩、中基性火山岩、矽卡岩、花岗岩、花岗斑岩、隐爆角砾岩
	构造	主体构造线呈北西西向,矽卡岩型矿体控矿构造是岩体与祁漫塔格群形成的接触带;热液脉型矿体控矿构造主要是北西西向、近东西向断裂以及斑岩侵位过程中形成的裂隙;隐爆角砾岩筒是控制隐爆角砾岩型矿体的主要控矿构造,也是主要的储矿构造
	岩浆岩	似斑状二长花岗岩、花岗闪长岩、花岗斑岩、隐爆角砾岩
	矿体特征	I、II、III矿带主要为热液脉型-斑岩型铜矿,浅部多呈脉状、薄层状;IV、VI—X矿带矿体为矽卡岩型矿体,以铁、铜、钼、铅锌矿为主,矿体形态复杂,受岩体接触带控制;V矿带主要为热液脉型金矿,呈透镜状;隐爆角砾岩型铅锌矿体赋存于隐爆角砾岩中,硫化物主要以胶结物形式存在
	矿石特征	I、II、III矿带矿石类型主要是黄铜矿矿石;IV、VI—X矿带矿石类型极其复杂,主要有黄铜矿矿石、含黝铜矿黄铜矿斑铜矿矿石、自然铜矿石、辉铜矿矿石、黄铜矿辉钼矿矿石、辉钼矿矿石、闪锌矿矿石、方铅矿闪锌矿矿石、磁黄铁矿闪锌矿矿石、磁铁矿矿石、含金黄铜矿方铅矿闪锌矿矿石、含金闪锌矿矿石等;V矿带矿石类型主要为含金黄铁矿矿石;隐爆角砾岩型矿石以方铅矿闪锌矿矿石为主
地球化学标志	围岩蚀变	岩体接触带附近主要发育矽卡岩化、硅化、钾化、角岩化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化等;花岗(斑)岩蚀变带内主要发育硅化、绢英岩化、绿泥石化、碳酸盐化、高岭土化;隐爆角砾岩型矿体围岩具有绿泥石化、泥化
	成矿期次	矿床形成经历了与中三叠世花岗岩有关的矽卡岩阶段、石英硫化物阶段,与花岗斑岩活动有关的热液阶段
	水系沉积物异常	Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Bi、Hg、W、Sn、Mo、As、Sb 等元素组合异常
地球物理标志	磁法	磁铁矿体可引起正负伴生、强度大、梯度陡的强磁异常,ΔT 极大值为 3 300 nT,埋深较大的隐伏复合矿体(如 M3-9)显示为低平缓异常,近地表出露的矽卡岩型铁多金属矿可引起正负伴生、强度大、形态规则、走向连续性好的强磁异常
	电法	激电中梯剖面所圈定的低阻高极化激电异常(视电阻率在 200 Ω·m 左右,视极化率比背景场高出 2%~3%)在无碳质地层以及黄铁矿化富集段,多为铁铜多金属矿富集部位
	重力	铁铜铅锌矿体引起的局部重力异常达 0.2~1 mGal,围岩为密度相对较高的祁漫塔格群时,出现一级异常上叠加一个更高的次级异常,围岩为密度相对较低的岩体时,异常曲线表现为幅值较大的似尖峰状异常
	综合地球物理标志	正极值大于 3 300 nT 正负伴生强磁异常、高重力局部异常(0.2~1 mGal)且对应 η _s >4%的视极化率异常及低阻异常组合,是卡而却卡矿区的重要找矿地球物理标志,需注意区分碳质地层及黄铁矿化较富集段的干扰异常
找矿方法组合		1:1万详细地质填图+水系沉积物测量+磁法测量、激电剖面测量、重力剖面测量

5 结论

(1)矿床成矿时代属于中三叠世,矿体产于侵入岩与祁漫塔格群外接触带矽卡岩,以及花岗(斑)岩(破碎)蚀变带、隐爆角砾岩中。矽卡岩型矿体严格受围岩地层和围岩岩性、侵入岩、接触带、构造等因

素控制,成矿物质来源于岩浆和围岩;热液脉型-斑岩型-隐爆角砾岩型矿体受花岗斑岩和构造综合控制,成矿物质来源于深部花岗斑岩。矿床成因属接触交代型和热液脉型-斑岩型-隐爆角砾岩型。

(2)中三叠世中酸性侵入岩与祁漫塔格群形成的矽卡岩接触带,花岗岩(破碎)蚀变带、隐爆角砾岩、花岗斑岩是最主要的地质标志。水系沉积物测

量所圈定的 Cu、Au、Mo、Ag、As、Sb、Pb、Zn、W、Hg 等元素组合异常,为主要的地球化学找矿标志;局部形态规则磁异常为岩体接触带部位磁性体富集的反映,视极化率异常体现了中浅部异常源的展布特点,重力异常能够有效地识别地层和岩体空间分布,可作为间接找矿标志。

(3)1:1万详细地质填图+水系沉积物测量+磁法测量、激电剖面测量、重力剖面测量是矿区最佳的找矿方法组合。

参考文献(References):

张爱奎,莫宣学,李云平,等. 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,2010,29(07):1062-1074.

ZHANG Aikui, MO Xuanxue, LI Yunping, et al. New progress and significance in the Qimantage metallogenic belt prospecting Western Qinghai China[J]. Geological Bulltin of China,2010,29(07):1062-1074.

张爱奎. 青海野马泉地区晚古生代—早中生代岩浆作用与成矿研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2012.

ZHANG Aikui. Studies on late Paleozoic-early Mesozoic magmatism and mineralization in Yemaquan area Qinghai province[D]. Beijing: China University of Geosciences,2012.

张爱奎,刘永乐,刘光莲,等. 青海祁漫塔格成矿带冰沟南地区成矿类型及找矿前景[J]. 西北地质,2015,48(04):125-140.

ZHANG Aikui, LIU Yongle, LIU Guanglian, et al. Mineralization Types and Prospecting Potential of Binggounan Area in Qimantage Metallogenic Belt Qinghai Province[J]. Northwestern Geology,2015,48(04):125-140.

宋忠宝,丰成友,陈向阳,等. 青海省中酸性侵入岩与斑岩型、矽卡岩型矿床[M]. 北京:地质出版社,2019.

SONG Zhongbao, FENG Chengyou, CHEN Xiangyang, et al. The Intermediate-acid Intrusive Magmatism and porphyry-skarn type deposits in Qinghai Province[M]. Beijing:Geological Publishing House,2019.

李世金,孙丰月,王力,等. 青海东昆仑卡卡多金属矿区斑岩型铜矿的流体包裹体研究[J]. 矿床地质,2008,27(03):399-406+382.

LI Shijin, SUN Fengyue, WANG Li, et al. Fluid inclusion studies of porphyry copper mineralization in Kaerqueka polymetallic ore district East Kunlun Mountains Qinghai Province[J]. Mineral Deposits,2008,27(03):399-406

+382.

王松,丰成友,李世金,等. 青海祁漫塔格卡尔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,2009,36(1):74-84.

WANG Song, FENG Chengyou, LI Shijin, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granodiorite in the Kaerqueka polymetallic ore deposit, Qimantage, Mountain, Qinghai Province, and its geological implications[J]. Geology in China,2009,36(1):74-84.

丰成友,李东生,屈文俊,等. 青海祁漫塔格索拉吉尔砂卡岩型铜钼矿床辉钼矿铼-钨同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试,2009,28(3):223-227.

FENG Chengyou, LI Dongsheng, QU Wenjun, et al. Re-Os I-sotopic Dating of Molybdenite from the Suolajier Skarn-type Copper-Molybdenum Deposit of Qimantage Mountain in Qinghai Province and its Geological Significance[J]. Rock and Mineral Analysis,2009,28(3):223-227.

李东生,张占玉,苏生顺,等. 青海卡而却卡铜钼矿床地质特征及成因[J]. 西北地质,2010,43(4):239-244.

LI Dongsheng, ZHANG Zhanyu, SU Shengshun, et al. Geological Characteristics and Genesis of the Kaerqueka Copper Molybdenum Deposit in Qinghai Province[J]. Northwestern Geology,2010,43(4):239-244.

赖健清,黄敏,宋文彬,等. 青海卡而却卡铜多金属矿床地球化学特征与成矿物质来源[J]. 地球科学—中国地质大学学报,2015,40(1):1-16.

LAI Jianqing, HUANG Min, SONG Wenbin, et al. Geochemical Characteristics and source of Ore-Forming Materials of Kaerqueka Copper Polymetallic Deposit in Qinghai Province, China[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences,2015,40(1):1-16.

张爱奎,李东生,何书跃,等. 青海省祁漫塔格地区主要矿产成矿规律与成矿系列[M]. 北京:地质出版社,2017.

ZHANG Aikui, LI Dongsheng, HE Shuyue, et al. Metallogenic regularity and minerogenic series of main deposits in Qimantage area, Qinghai Province, China[M]. Beijing:Geological Publishing House,2017.

高永宝,李侃,钱兵,等. 东昆仑卡而却卡铜钼铁多金属矿床成矿年代学:辉钼矿 Re-Os 和金云母 Ar-Ar 同位素定年约束[J]. 大地构造与成矿学,2018,42(01):96-107.

GAO Yongbao, LI Kan, QIAN Bing, et al. The Metallogenic Chronology of Kaerqueka Deposit in Eastern Kunlun: Evidences from Molybdenite Re-Os and Phlogopite Ar-Ar Ages[J]. Geotectonica Et Metallogenia,2018,42(01):96-107.

梁辉,张苏坤,张恒,等. 青海格尔木卡而却卡铜多金属矿床

- 地质特征与成矿模式[J]. 矿产与地质, 2015, 29(01): 7-13.
- LIANG Hui, ZHANG Sukun, ZHANG Heng, et al. Geological characteristics and metallogenic model of Kaerqueka copper polymetallic deposit in Geermu of Qinghai[J]. Mineral Resources and Geology, 2015, 29(01): 7-13.
- 汪冰, 张大明, 魏本赞, 等. 高分辨率遥感在青海卡尔却卡地区铜多金属矿找矿预测中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2017, 32(01): 107-113.
- WANG Bin, ZHANG Daming, WEI Benzan, et al. The application of high resolution remote sensing image to ore prediction in Skarn copper polymetallic deposit, Kaerqueka area, Qinghai[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2017, 32(01): 107-113.
- 穆媛芮, 朱玉芳, 孔婕, 等. 青海卡尔却卡地区遥感找矿信息提取研究[J]. 新疆地质, 2017, 35(02): 211-215.
- MU Yuanrui, ZHU Yufang, KONG Jie, et al. Research on Extraction of Remote Sensing Alteration Anomalies in the Kaerqueka District in Qinghai Province[J]. Xinjiang Geology, 2017, 35(02): 211-215.
- 王秉璋, 罗照华, 李怀毅, 等. 东昆仑祁漫塔格走廊域晚古生代-早中生代侵入岩岩石组合及时空格架[J]. 中国地质, 2009, 36(4): 769-782.
- WANG Bingzhang, LUO Zhaohua, LI Huaiyi, et al. Petro-tectonic assemblages and temporal-spatial framework of the Late Paleozoic-Early Mesozoic intrusions in the Qimantage Corridor of the East Kunlun belt[J]. Geology in China, 36(4): 769-782.
- 陈博, 张占玉, 耿建珍, 等. 青海西部祁漫塔格山卡尔却卡铜多金属矿床似斑状黑云二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2012, 31(Z1): 463-468.
- CHEN Bo, ZHANG Zhanyu, GENG Jianzhen, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb age of monzogranites in the Kaerqueka copper-polymetallic deposit of Qimantag, western Qinghai Province[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(2/3): 463-468.
- 丰成友, 李东生, 吴正寿, 等. 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[J]. 西北地质, 2010, (04): 10-17.
- FENG Chengyou, LI Dongsheng, WU Zhengshou, et al. Major Types, Time-Space Distribution and Metallogenesis of Polymetallic Deposits in the Qimantage Metallogenic Belt Eastern Kunlun Area[J]. Northwestern Geology, 2010, (04): 10-17.
- 李碧乐, 孙丰月, 于晓飞, 等. 青海东昆仑卡尔却卡地区野拉塞铜矿床成因类型及成矿机制[J]. 岩石学报, 2010, 26(12): 3796-3708.
- LI Bile, SUN Fengyue, YU Xiaofei, et al. Genetic type and mineralizing mechanism of the Yelasai copper deposit in Kaerqueka area, Eastern Kunlun, Qinghai Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(12): 3796-3708.
- 李大新, 丰成友, 赵一鸣, 等. 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), 2011, 41(6): 1818-1827.
- LI Daxin, FENG Chengyou, ZHAO Yiming, et al. Mineralization and Alteration Types and Skarn Mineralogy of Kaerqueka Copper Polymetallic Deposit in Qinghai Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41(6): 1818-1827.
- 张雨莲, 贾群子, 宋忠宝, 等. 青海省卡而却卡铜多金属矿床 A 区斑岩型和 B 区矽卡岩型成矿岩体特征对比[J]. 西北地质, 2014, 47(4): 114-122.
- ZHANG Yulian, JIA Qunzi, SONG Zhongbao, et al. Contrastive Study On Features of Ore-forming Rock Mass between Area A Porphyry Type and Area B Skarn type in Kaerqueka Copper Molybdenum Deposit in Qinghai Province[J]. Northwestern Geology, 2014, 47(4): 114-122.
- 丰成友, 王松, 李国臣, 等. 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, 2012, 28(2): 665-678.
- FENG Chengyou, WANG Song, LI Guochen, et al. Middle to Late Triassic granitoids in the Qimantage area, Qinghai Province, China: Chronology, geochemistry and metallogenic significances[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(2): 665-678.
- 高永宝, 李侃, 钱兵, 等. 东昆仑卡而却卡铜矿区花岗闪长岩及其暗色微粒包体成因: 锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学及 Sr-Nd-Hf 同位素证据[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 646-662.
- GAO Yongbao, LI Kan, QIAN Bing, et al. The genesis of granodiorites and dark enclaves from the Kaerqueka deposit in east Kunlun belt: Evidence from zircon U-Pb dating, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopic compositions[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 646-662.
- 张玉, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑东段阿拉思木辉长岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及洋盆闭合时限界定[J]. 中国地质, 2017, 44(03): 526-540.
- ZHANG Yu, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. Zircon U-Pb geochronology, geochemistry of the Alasimu gabbro in eastern section of East Kunlun Mountains and the closing time of Paleo-ocean basin[J]. Geology in China,

- 2017,44(03):526-540.
- 王磷,丁兆滨,张鹏. 青海省卡而却卡北隐爆角砾岩型锌多金属矿床找矿标志[J]. 中国锰业,2018,36(05):78-81.
- WANG Lin,DING Zhaobin,ZHANG Peng. Prospecting Criteria for North of Kaerqueka Breccia Zinc Polymetallic Deposit in Qinghai Province[J]. China's Manganese Industry,2018,36(05):78-81.
- 林仕良,雍永源,高大发. 西藏东部隐爆角砾岩特征及其含矿性[J]. 沉积与特提斯地质,2003,23(3):49-53.
- LIN Shiliang,YONG Yongyuan,GAO Dafa. Geological characteristics and ore contents in the cryptoexplosive breccias from eastern Xizang[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology,2003,23(3):49-53.
- 刘继顺,马光,舒广龙. 湖北铜绿山矽卡岩型铜铁矿床中隐爆角砾岩型金(铜)矿体的发现及其找矿前景[J]. 矿床地质,2005,24(5):527-536.
- LIU Jishun,MA Guang,SHU Guanglong. Discovery of cryptoexplosive breccia type Cu(-Au) orebodies in Tonglushan skarn-type Cu-Fe deposit of Hubei Province and ore-searching vista[J]. Mineral Deposits,2005,24(5):527-536.
- 张会琼,王京彬,王玉往. 山西灵丘支家地铅锌银矿隐爆角砾岩筒的岩相分带性研究及其勘查意义[J]. 地质论评,2012,58(6):1046-1055.
- ZHANG Huiqiong,WANG Jingbin,WANG Yuwang. A study on Lithofacies Zonation of Crypto-explosive Breccia Pipe in Zhijiadi Pb-Zn-Ag Deposit, Lingqu County, Northeastern Shanxi Province, and Its Exploration Significance [J]. Geological Review, 2012, 58 (6): 1046-1055.
- 于森,丰成友,赵一鸣,等. 青海卡而却卡铜多金属矿床流体包裹体地球化学及成因意义[J]. 地质学报,2014,88(5):903-917.
- YU Miao,FENG Chengyou,ZHAO Yiming,et al. Fluid Inclusion Geochemistry in the Kaerqueka Copper Polymetallic Deposit, Qinghai Province and Its Genetic Significances [J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88 (5): 903-917.
- 徐国端. 青海祁漫塔格多金属成矿带典型矿床地质地球化学研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2010.
- XU Guoduan. Geology Geochemistry of Polymetallogenic Metallogenic Belt Typical Deposit from Qinghai Qimantag[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology,2010.
- 王松,丰成友. 青海祁漫塔格卡而却卡铜多金属矿成矿物质来源探讨[J]. 中国煤炭地质,2014,26(12):1674-1803.
- WANG Song,FENG Chengyou. Discussion on Karqak Copper Polymetallic Ore Deposit Ore-forming Material Source in Qimantag Area, Qinghai[J]. Coal Geology of China,2014,26(12):1674-1803.
- 高鹏,耿涛,冀显坤,等. 东昆仑祁漫塔格地区激电测量中常见问题及解决方法[J]. 西北地质,2017,50(04):232-237.
- GAO Peng,GENG Tao,JI Xiankun,et al. Common Problems and Countermeasures About the Induced Polarization Method Used in Qimantag area, East Kunlun[J]. Northwestern Geology,2017,50(04):232-237.
- 侯长才,李玉莲,李永太,等. 青海东昆仑五龙沟地区化探次生晕觅金效果探讨[J]. 西北地质,2019,52(01):183-194.
- HOU Changcai,LI Yulian,LI Yongtai,et al. The Effect of Applying Geochemical Exploration Secondary Halo Anomalies to Prospect Gold Deposits in Wulonggou Area, East Kunlun, Qinghai Province[J]. Northwestern Geology,2019,52(01):183-194.
- 赵娟,许光,杨宝荣,等. 青海东昆仑地区 1:2.5 万地球化学测量方法技术及应用成果[J]. 西北地质,2018,51(01):209-217.
- ZHAO Juan,XU Guang,YANG Baorong,et al. Technique and Application Result of 1:25000 Geochemical Survey in East Kunlun, Qinghai Province [J]. Northwestern Geology,2018,51(01):209-217.
- SILLITOE R H,BONHAM Jr H F. Sediment-hosted gold deposit:Distal product of magmatic-hydrothermal Systems[J]. Geology,1990,18:157-161.
- HENLY R W. Epithermal gold deposits in the volcanic terranes[A]. Forster R P,ed. Gold metallogeny and exploration [C]. Blackie and Sons Ltd., Glasgow, 1991, 137-142.
- BARKER E M,ANDREW A S. Geological fluid inclusion and stable isotope studies of the gold-bearing breccia pipe at Kinston,Queensland,Australia[J]. Econ. Geol., 1991,86(4):810-830.
- PIRAJNO F. Volcanic-hosted epithermal systems in north-west Turkey[J]. S. Afr. J. Geol.,1995,98(1):13-24.