

青海尕林格地区铁多金属矿床的地质特征与地球化学特征

吴庭祥, 李宏录

青海省有色地勘局地质矿产勘查院, 西宁 810007

摘要: 尕林格地区铁多金属矿床的围岩为富钙铁砂卡岩类, 矿石类型为磁铁矿和硫化物磁铁矿矿石。矿石与围岩具相似的稀土元素地球化学特征, 显示其可能来自于同一源区。矿床形成于中高温条件, 形成过程中遭受了多次地质作用的改造。矿石矿物的硫、氧同位素组成表明, 成矿物质中硫主要为岩浆来源, 成矿流体中水则主要源于喷流热液。本研究认为尕林格铁-钴-铋金多金属矿为热水喷流沉积-砂卡岩化改造型矿床。

关键词: 铁多金属矿; 地质特征; 地球化学特征; 青海尕林格地区

中图分类号: P618.31 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2009)02-157-05

Geological and Geochemical Characteristics of the Iron-polymetallic Deposit in the Galinge Area, Qinghai Province

WU Ting-xiang, LI Hong-lu

Mineral Resource Exploration Center of Qinghai Nonferrous Metal

Geological Exploration Bureau, Xining 810007, China

Abstract: The wallrocks of the Galinge iron-polymetallic deposit are Ca and iron-rich skarns, in which the ores consist of magnetite and sulfide-magnetite. The ores share the similar rare earth element (REE) characteristics with the wallrocks, indicating that they were possibly derived from the same source region. The Galinge deposit, which had experienced multistage geological rebuilding, was formed under medium-high temperature. The isotopic compositions of sulfur and oxygen in the ore minerals suggested that the sulfur of ore-forming material was predominantly magmatic sulfur, and the water of ore-forming fluid mainly originated from exhalative hydrothermal fluid. The present study indicated that the Galinge Fe-Co-Bi polymetallic deposit was formed by exhalative-sedimentation and skarnization rebuilding.

Key words: iron-polymetallic deposit; geological characteristics; geochemical characteristics; Galinge area of Qinghai Province

尕林格矿区是在 1975 年原地质部航磁 902 队确认的 M512 航磁异常基础上, 经 1977 年进行的 15 万地面磁测检查发现的铁矿床。区内共圈定矿体 7 处, 除 3 号矿体产于捕虏体中外, 其他均产于大理岩层位中, 其中第 4 号、5 号矿体产于奥陶纪滩间山群 OS T^{r2} 段中, 第 6 号、7 号矿体产于 OS T^{r4} 段中, 第 1 号、2 号矿体在两个大理岩层位中均有矿化。矿石类型均为磁铁矿和含硫磁铁矿矿石, 且全铁含

量较高。该矿床经历了多期构造活动的影响, 但研究程度很低。本文主要从矿床的地质与地球化学特征初步探讨其成因。

1 矿区地质

矿区位于昆北加里东造山带铁-金多金属成矿带西段的祁漫塔格地区。赋矿地层为奥陶系滩间山群下岩组, 岩性为硅质岩夹砂岩、硅质泥质岩、泥质

岩和大理岩等。

矿区的基岩在区域上相当于滩间山群(OS_T)下部层位的碎屑岩夹火山岩组(OS_T¹)。依据钻孔揭露的岩芯对比,该岩性组自下而上可分为4个岩性段:灰—灰白色泥质硅质岩岩性段(OS_T^{r1})、灰白—乳白色大理岩岩性段(OS_T^{r2})、灰紫色硅质泥质岩岩性段(OS_T^{r3})和灰白—乳白色大理岩岩性段(OS_T^{r4})。此外,在 号矿群的 ZK19501 钻孔中见有黑云斜长片麻岩和黑云母石英角岩。

矿区的总体构造格架为一西段为岩体阻截破坏、向东沿南东东向延伸、轴部为英安岩的向斜构造,沿向斜轴部及近轴翼部(北翼)出现两条较大的纵张构造破碎带。区内断裂构造发育,断裂延伸与向斜轴大体一致,以张性为主,主要断裂为 F₁ 和 F₂。

区内岩浆活动较强烈,岩浆岩广布,种类繁多。西段主要为花岗岩—花岗闪长岩,东段以超浅成岩及火山岩为主。侵入岩主要有肉红色二长花岗岩、灰白色花岗闪长岩、石英闪长岩和闪长岩;部分钻孔深部见有蚀变辉长岩及蛇纹岩(蛇纹石化辉石岩)等基性—超镁铁岩;浅成岩类有英安岩和闪长玢岩等。

2 矿体特征和矿床地球化学特征

2.1 矿体特征

2.1.1 含矿围岩及其蚀变 矿体主要产于石英闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗斑岩、闪长玢岩与滩间山群的接触带,围岩主要为滩间山群下岩组的硅质岩夹砂岩、硅质泥质岩、泥质岩、大理岩等;以大理岩和硅质泥质岩为主。

围岩蚀变主要为矽卡岩化,包括透辉石矽卡岩、石榴透辉矽卡岩和镁橄榄石透辉石矽卡岩,局部有粒橄石矽卡岩和斧石矽卡岩,它们是矿体的直接围岩;围岩中常有钾长石化、绿泥石化、蛇纹石化、绢云母化、碳酸盐化、绿帘石化、透闪石化、滑石化和高岭土化。其中矽卡岩化、蛇纹石化与磁铁矿关系密切,绿泥石化和部分次闪石化与金属硫化物关系最为密切。

2.1.2 矿石特征 矿石分为磁铁矿石、硫化矿石、硫铁混合矿石及铅—锌矿石。

磁铁矿石以磁铁矿(氧化矿石为赤铁矿与褐铁矿)为主,伴有少量的磁黄铁矿和黄铁矿。硫化矿石以磁黄铁矿、黄铁矿为主,伴有少量的磁铁矿。硫铁混合矿石由磁铁矿、磁黄铁矿和黄铁矿组成;铅—锌矿石主要为方铅矿和闪锌矿,含少量磁铁矿和磁黄铁矿。铅—锌矿层与磁铁矿层紧密共生。矿石的矿物组成、化学组分复杂是本矿床的突出特点。金属矿物大多颗粒细小,晶形差,多呈他形—不规则

状,有其他矿物交代磁铁矿的现象。

2.1.3 脉石矿物特征 磁铁矿石的脉石矿物有透辉石、蛇纹石、方解石、石榴子石、绿泥石、阳起石、透闪石、绿帘石、斧石、符山石、斜长石、角闪石、石英、重晶石和磷灰石等;硫化矿石的脉石矿物有绿泥石、阳起石、透闪石、方解石、透辉石、镁橄榄石、蛇纹石、滑石、绿帘石、石榴子石、角闪石、斜长石、石英、重晶石、石膏、磷灰石合葡萄石等;铅—锌矿石主要的脉石矿物有透辉石、石榴子石、绿帘石、绿泥石、纤闪石、方解石和石英。硫铁混合矿石的脉石矿物介于铁矿石与硫化矿石间,脉石矿物与磁铁矿石、铅—锌矿石相似。

2.1.4 矿石结构构造 磁铁矿、磁黄铁矿矿石主要呈半自形—他形中细粒结构。半自形—自形中细粒结构见于铅—锌矿石及部分浸染状铁矿石。半自形—自形粗粒或不等粒结构见于少数磁铁矿石。磁黄铁矿、黄铁矿和黄铜矿填充于磁铁矿晶粒间,形成填隙结构。磁黄铁矿、黄铁矿形成的基底胶结结构也较常见。此外,还见有乳滴状结构、交代结构、镶嵌结构、不混溶连晶结构和放射状或束状结构。

矿石具致密块状、浸染状、条带状、细脉—网脉状、角砾状、花斑状及环状构造。

2.2 矿床地球化学特征

2.2.1 岩浆岩成岩年龄 矿区侵入岩的 K—Ar 法同位素定年结果(表 1)表明,矿区的侵入岩为印支期和燕山早期,岩浆活动表现为多期的特点。

表 1 尕斯库勒矿区侵入岩体的 K—Ar 年龄测定结果

Table 1 K—Ar dating results of the intrusions in the Galinge ore district

编号	岩石	测定对象	年龄/Ma	备注
M512-3	花岗闪长岩	全岩	178	K—Ar 法
	二长花岗岩	钾长石	201	
	黑云母花岗岩	黑云母	186	
M512-1	细粒闪长岩	全岩	177	

测试单位:中国地质科学院地质矿床所

2.2.2 成矿温度特征 尕斯库勒矿床的成矿温度测定结果表明,不仅不同矿物的形成温度不一样,即使同一矿物的形成温度也有较大差异。经核工业北京地质研究院爆裂法测定,一个磁黄铁矿包裹体测温结果为 280℃,4 个磁铁矿为 315~395℃,两个黄铁矿样品分别为 300℃ 和 345℃,一个白铁矿为 250℃。可见矿石矿物多形成于中高温条件;磁铁矿形成温度最高,磁黄铁矿、黄铁矿次之,白铁矿的形成温度最低。磁铁矿的形成温度显示较大的变化范围,可能代表矿床经历了不同期次成矿作用的叠加

与改造,这与磁铁矿被其他矿物交代的特征一致。

2.2.3 围岩常量元素和稀土元素特征 矿床中典型的矽卡岩化学成分为低硅,富钙和镁,贫碱。围岩的常量元素(表 2):SiO₂ 为 39.49%~46.73%,平均为 43.86%,Al₂O₃ 为 4.36%~11.73%,平均

8.26%,TiO₂ 为 0.32%~0.60%,平均 0.45%,TFe 为 5.80%~15.94%,平均 12.78%,K₂O、Na₂O 含量低;MgO 为 6.59~10.43%,平均 8.58%,CaO 含量 18.31%~29.33%,平均 22.85%,P₂O₅ 含量较低。应属于富钙铁矽卡岩类。

表 2 尔林格矿床围岩常量元素分析结果

Table 2 Major element contents of the wallrocks from the Galinge deposit

样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	TFe	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量
F-66	46.73	5.39	0.41	15.07	0.43	8.21	21.8	0.03	0.12	0.01	1.41	99.64
F-70	43.61	11.73	0.48	15.94	0.35	6.59	18.3	0.15	0.31	0.01	2.04	99.52
F-87	5.62	4.36	0.32	14.34	0.49	10.43	21.9	<0.01	<0.01	0.01	2.02	99.54
GI	39.49	11.56	0.60	5.80	0.36	9.07	29.3	<0.01	<0.01	0.18	3.19	99.58
典型岩浆矽卡岩	35~51	1~12	0.61	1~7	0.3~0.9	1~12	24~33	0~0.9	0.1~0.5	0.0~0.3		99~100

分析单位:西北大学大陆动力学国家重点实验室

从表 3 可看出围岩的稀土元素特征为: REE 值(53.9~146) ×10⁻⁶,平均 110 ×10⁻⁶,大部分为轻稀土富集型;LREE 值变化范围较大(40.6~106) ×10⁻⁶,平均为 71.4 ×10⁻⁶;HREE 值变化也大(12.9~60.5) ×10⁻⁶,平均为 38.1 ×10⁻⁶;LREE/HREE 值为 0.53~3.69,平均为 2.33。La/Sm 和 La/Yb 值变化范围均较大,分别为 0.62~6.70 和 0.87~14.8;(La/Yb)_N 值为 0.59~9.96;(Ce/

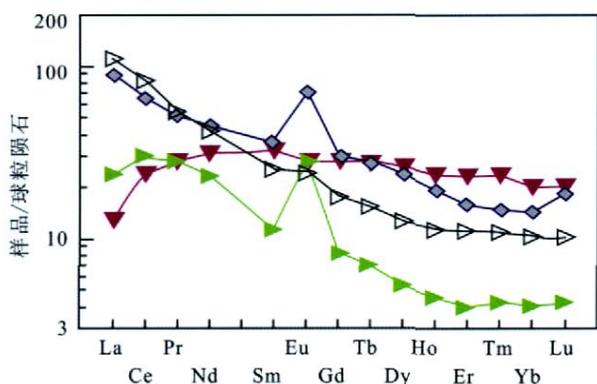
Yb)_N 值为 1.09~7.35;Gd/Yb 值变化范围不大(1.63~2.47),表明围岩的重稀土分馏不很明显。围岩的稀土元素配分曲线(图 1)大多呈较明显的右倾平滑线,呈现弱的负 Eu 异常到显著的正 Eu 异常, Eu 值为 0.92~2.93,表明在矽卡岩化作用过程中生成斜长石化而引起 Eu 的富集和 Eu 的正值,但不同类型岩石所受影响程度差异较大。

表 3 尔林格矿床围岩稀土元素特征表

Table 3 Rare earth element characteristics of the wallrocks from the Galinge deposit

样号	REE	LREE	HREE	LREE/HREE	La/Yb	La/Sm	Gd/Yb	(La/Y) _N	Eu	Ce	(Ce/Yb) _N
F-66	146	96.8	48.8	1.99	8.65	3.82	2.53	5.83	2.14	0.99	4.27
F-70	102	41.6	60.5	0.69	0.87	0.62	1.63	0.59	0.92	1.26	1.09
F-87	53.9	41.0	12.9	3.12	8.12	3.16	2.47	5.51	2.93	1.16	7.04
GI	136	106	30.0	3.53	14.8	6.70	2.03	9.96	1.16	1.05	7.35

分析单位:西北大学大陆动力学国家重点实验室



F-66(蓝色)——蚀变闪长岩,F-70(紫色)——钙矽卡岩,
F-87(绿色)——钙镁矽卡岩,GI(红色)——蚀变闪长岩;
F-66(blue)——altered diorite,F-70(purple)——Ca skarn,
F-87(green)——Ca-Mg skarn,GI(red)——altered diorite;

图 1 尔林格矿床围岩稀土元素特征图

Fig. 1 REE distribution patterns of the wallrocks from the Galinge deposit

2.2.4 矿石稀土元素特征 由表 4 可见,矿石的

REE值变化很大(7.16~138) ×10⁻⁶;LREE 值和 HREE 值的变化范围也很大,分别为(3.79~83.9) ×10⁻⁶和(2.38~53.6) ×10⁻⁶;LREE/HREE 值(1.09~2.01)表明为轻稀土略微富集型。变化极大的 La/Sm 值(0.004~196)表明矿石的轻稀土分馏非常明显;La/Yb 值为 0.05~3.71,(La/Yb)_N 值为 0.04~2.50,(Ce/Yb)_N 值为 2.36~4.40,均表明铁矿石为较弱的轻稀土富集类型。铁矿石的稀土元素配分曲线(图 2)呈不明显或略微右倾的平滑线。Eu 呈弱负异常(0.23~0.24)或者较大正 Eu 异常(1.66),表明铁矿石在矽卡岩化过程中斜长石带出或加入会造成 Eu 的负异常或正异常。矿石的 Ce 呈明显的正异常(Ce = 1.09~20.4),暗示成矿过程中成矿流体可能有少量沉积物的 Ce 的加入。这些特征反映铁矿石的形成过程较为复杂,可能是

多次富集改造的产物。总体而言,铁矿石的稀土元素特征与钙矽卡岩、钙镁矽卡岩的特征相似,反映二者可能来自同一源区;这两者之间的一些差别,表明

所含矿物成分的差异或成矿、改造过程中稀土元素(特别是轻重稀土)发生了明显的分馏。

表4 尕林格矿床矿石稀土元素特征

Table 4 Rare earth element characteristics of the ores from the Galinge deposit

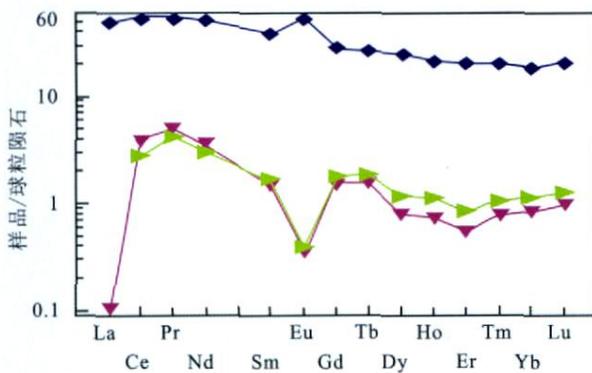
样号	REE	LREE	HREE	LREE HREE	La/ Yb	La/ Sm	Gd/ Yb	(La/ Y) _N	Eu	Ce	(Ce/ Yb) _N
F-72	7.16	4.77	2.38	2.01	0.16	0.10	2.22	0.111	0.24	5.48	4.40
F-73	7.29	3.79	3.49	1.09	0.05	0.004	1.95	0.036	0.23	20.4	2.36
F-58	138	83.9	53.6	1.57	3.71	1.96	1.89	2.50	1.66	1.09	2.92

表5 尕林格矿床硫同位素组成表

Table 5 Sulfur isotopic compositions of the Galinge deposit

样号	测定矿物	测定结果 (³⁴ S ‰)	范围(‰)	备注
78yF (M512)				
S2233	磁黄铁矿	2.43		
2234	磁黄铁矿	1.69		
2235	磁黄铁矿	2.03	- 0.34 ~	样品均采自
2253	白铁矿	1.09	5.63,	矿体及矿化
2255	黄铁矿	3.48	(2.64)	矽卡岩
2257	黄铁矿	4.73		
2258	黄铁矿	3.00		
2042	黄铁矿	5.63		
2202	黄铁矿	- 0.34		
79yF (M512)				
S396	磁黄铁矿	1.1		
397	磁黄铁矿	1.2		
398	磁黄铁矿	0.7		
399-1	黄铁矿	1.8		
399-2	磁黄铁矿	1.5	- 0.5 ~ 1.9,	
404	磁黄铁矿	1.7	(1.08)	
405	黄铁矿	1.5		
405-1	磁黄铁矿	1.0		
407	磁黄铁矿	1.9		
408	黄铁矿	1.0		
429	磁黄铁矿	0.1		
440	黄铁矿	- 0.5		

注:测定范围括号中数值为均值;分析者:宜昌地矿所同位素室



F-58 (蓝色):铁矿石;F-72(紫色):铁矿石;F-73(绿色):铁矿石;
F-58(blue):iron ore;F-72(purple):iron ore;F-73(green):iron ore

图2 尕林格矿床铁矿石稀土元素分布

Fig. 2 REE distribution patterns of the iron ores from the Galinge deposit

2.2.5 矿物的稳定同位素特征 如表5所示,磁黄铁矿、黄铁矿和白铁矿的³⁴S值组绝大部分为正值(- 0.5‰~ 5.63‰),表明硫主要来源于岩浆。这一范围也与矽卡岩型(³⁴S = - 2‰~ 7.5‰)的范围基本一致,暗示酸性侵入岩引起的矽卡岩化作用对于成矿物质硫的加入可能有所贡献。

据中国地质科学院矿产资源所测定,矿石中两个磁铁矿的¹⁸O分别为2.4‰和2.5‰(¹⁸O_{V-SMOW}‰);这个值明显区别于大气水(- 20‰~ 25‰)的组成,也不同于变质水(10‰~ 15‰)和岩浆水(3‰~ 25‰),而与地下热水(0.37‰~ 2.37‰)、大洋水(0‰)及亏损洋壳(1‰~ 4‰)的组成相近。因此,尕林格矿床成矿流体中的水可能主要来自奥陶系热水喷流沉积带来的热液,矽卡岩化过程中岩浆水的贡献不是特别明显。

综上所述,尕林格矿床的成矿物质硫主要来自岩浆作用,而成矿流体中的水则来自早期的热水喷流沉积作用。

3 矿床形成机理及结论

根据以上研究,笔者认为该矿床的成矿过程明显受奥陶系热水沉积和印支—燕山早期构造—岩浆活动的控制,经历了多期次成矿作用而成的矿床。因此,尕林格铁-钴-铋-金多金属矿为热水喷流沉积矽卡岩化改造类型的矿床。

试描述其成矿机制:奥陶纪时海底热水喷流沉积作用带来Co、Au、Cu、Bi、Ni、Pb、Zn和Fe等成矿元素,并初步富集。与此同时,盆地中形成了富含以上元素的硅质岩和碎屑岩,为后期热液改造成矿提供了物质基础。印支—燕山早期的矽卡岩化热液改造是主要的成矿期。较强的深部岩浆活动提供热源,使深部热液沿构造裂隙运移,导致硅质岩、含碳

泥硅质板岩发生 Si、Ca 双交代形成较为复杂的矽卡岩,成矿流体携带成矿物质的运移,促进了构造破碎带内顺层分布的矽卡岩富集成矿。

尕林格地区铁多金属矿体处于东西—北西西向断裂构造带格局中,发育晚奥陶世的滩间山群为主体的地层,矿床产于滩间山群与印支-燕山早期酸性侵入体的交接部位。区内与铁矿化相关的蚀变强烈,断裂带非常发育,还有多处多金属化探异常,有希望找到同类矿床。

参考文献 (References) :

- [1] 青海省地质调查院. 祁漫塔格造山带构造组成与演化及新构造运动(区域地质调查项目专题研究报告)[R]. 西宁, 2004. Geological Survey of Qinghai Province, Tectonic Form. Evolution and new tectonic movement of the Qimantage orogenic belt (Special research report of regional geology survey project) [R]. Xining, 2004. (in Chinese)
- [2] 潘彤, 罗才让, 等. 青海省金属矿产成矿规律及成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 2006. Pan Tong, Luo Cairang, *et al.* Metallogenic regularity and prognosis of metal resources in Qinghai Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006. (in Chinese)
- [3] 赵一鸣, 吴良士. 中国主要金属矿床成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2004. Zhao Yiming, Wu Liangshi. Metallogenic regularity of major metal mineral deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004. (in Chinese)
- [4] 张荣华, 等. 重要金属矿来源-迁移-堆积过程和化学动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2006. Zhang Ronghua, *et al.* Origin-migration-concentration processes and chemical dynamics of major metal mineral deposits[M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)
- [5] 曹永清. 东昆仑-柴达木盆地南北缘岩浆活动、构造演化、深部过程与成矿[D]. 中国地质大学(北京), 1999. Cao Yongqing. Magmatic activity, tectonic evolution, deep processes and mineralization in the south-north margins of eastern Kunlun-Qaidam basin [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1999. (in Chinese)
- [6] 罗照华, 邓晋福, 曹永清, 郭正府, 莫宣学. 青海省东昆仑地区晚古生代-早中生代火山活动的区域构造演化[J]. 现代地质, 1999, 13(1): 51 - 56. Luo Zhaohua, Deng Jinfu, Cao Yongqing, Guo Zhengfu, Mo Xuanxue. On Late Paleozoic-Early Mesozoic volcanism and regional tectonic evolution of east Kunlun, Qinghai province[J]. Geoscience, 1999, 13(1): 51 - 56. (in Chinese with English abstract)
- [7] 李通国, 李文胜, 刘建宏, 赵彦庆, 白云来. 矿床地球化学预测方法——以甘肃省地球化学块体为例[J]. 中国地质, 2003, 30(2): 192 - 198. Li Tongguo, Li Wensheng, Liu Jianhong, Zhao Yanqing, Bai Yunlai, Geochemical prognosis method of mineral deposits: A case study of the geochemical block in Gansu[J]. Geology in China, 2003, 30(2): 192 - 198. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王学求, 孙宏伟, 迟清华, 程志中, 赵善定. 地球化学异常再现性与可对比性[J]. 中国地质, 2005, 32(1): 135 - 140. Wang Xueqiu, Sun Hongwei, Chi Qinghua, Cheng Zhizhong, Zhao Shanding. Reproducibility and comparison of geochemical anomalies[J]. Geology in China, 2005, 32(1): 135 - 140. (in Chinese with English abstract)
- [9] 陈骏, 王鹤年. 地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2004. Chen Jun, Wang Henian, Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese)
- [10] 陈岳龙, 等. 同位素地质年代学与地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2005. Chen Yuelong, *et al.* Isotopic geochronology and geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005. (in Chinese)