

北祁连铜厂沟金矿含金黄铁矿 热电性分析与找矿标志研究^①

刘 军, 肖荣阁, 张汉成

(中国地质大学, 北京 100083)

摘 要: 根据铜厂沟金矿的矿区地质特征、含金黄铁矿热电性与微量元素分析等的研究, 认为铜厂沟矿区自东向西黄铁矿热电性主要为 N 型电子导型, 且有高负值→低正值→低负值→高负值变化趋势, 提出 Ag、As、Sb 元素高浓度特征是金矿富集的有利部位, 高硫黄铁矿与低硫黄铁矿混生或 P、N 导型黄铁矿混生是金矿富集的标志, 含金黄铁矿硫化物石英脉是有利的找矿标志。

关键词: 金矿; 找矿标志; 黄铁矿热电性; 北祁连; 铜厂沟

中图分类号: P618.51 文献标识码: A 文章编号: 1001-5663(2005)05-0517-06

1 区域地质背景

研究区位于青海省门源县青石咀镇西北部 50km 处, 北祁连托勒山—冷龙岭金矿集中区东段。

北祁连构造带地处青藏高原东北边缘, 东南与西秦岭造山带相连, 西北被阿尔金断裂带截断。上世纪 70 年代以前, 国内学者认为其属于古中国地台裂解后的加里东期地槽褶皱带^[1]。上世纪 80 年代以来, 由于板块构造、蛇绿岩、火山岩研究的进展, 对其属性提出不同的认识, 一些学者认为北祁连构造带是发育在新元古代大陆克拉通—西域板块背景上的陆内造山带^[2~6](图 1)。

2 矿区地质特征

2.1 地层

区内出露地层岩性主要为中寒武统泥质板岩、绿泥片岩、大理岩、蚀变闪长岩、蛇纹岩等, 其次为第四系残积层(图 2)。

矿区地层总体呈 EW 向展布, 中间出露片岩类, 两侧是大理岩断续分布, 矿区东部英云闪长岩体中有大理岩及蛇纹岩残留体呈条带状分布。根据地层展布特征, 总体构成一复式背斜构造。

2.2 构造

研究区内南北两侧分别被两条 EW 向区域性断层控制, 断层地貌显示为沟谷, 南侧 F₃ 断层走向为近 EW, 倾向 N, 倾角为 45°~70°; 北侧 F₂₅ 断层走向也为近 EW, 倾向为 SSW, 倾角为 57°~80°。

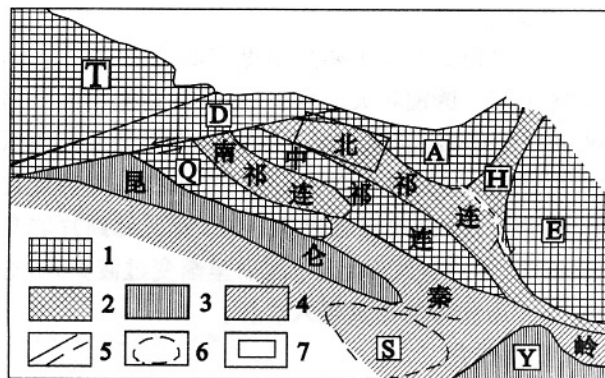


图 1 北祁连及邻近大地构造位置图
(据李春昱, 1980, 本报告略有修改)

Fig. 1 Geotectonic location of north Qilian and its adjacent area

- 1—地块 2—加里东造山带 3—华力西造山带 4—印支造山带
- 5—边界断裂 6—隐伏地块边界 7—研究区 T—塔里木板块
- D—敦煌地块 A—阿拉善地块 E—鄂尔多斯地块 Q—柴达木地块
- S—松潘隐伏地块 Y—扬子地块 H—贺兰山拗拉槽

^① 收稿日期: 2005-03-16 作者简介: 刘军(1979-), 男, 河北张家口市人, 在读博士研究生, 研究方向: 矿床学和矿床地球化学。
基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40073013)。

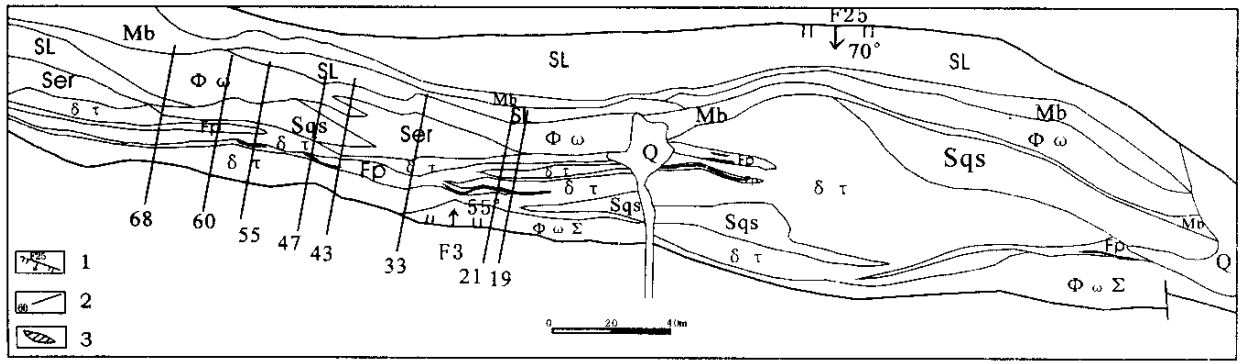


图2 青海省门源县铜厂沟金矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch of Tongchanggou gold ore field, Mengyuanxian, Qinghai province
 Q—第四系残坡积物 Ser—寒武系绿泥片岩 SL—寒武系硅质、泥质板岩 Mb—寒武系大理岩 Sqs—寒武系绢云母石英片岩 δτ—蚀变闪长岩 Fp—破碎蚀变岩带 φωΣ—蛇纹石化超基性岩 φω—蛇纹岩 1—断层及编号 2—勘探线及编号 3—矿体

矿区南侧 F_3 断层延伸稳定,挤压片理发育,根据断层面的擦痕、阶步分析, F_3 断裂属于压扭性质,断层面上盘向南西逆冲。 F_3 是区内主要控矿构造,断层面上盘派生的次级张扭性断层与 F_3 近于平行排列,倾角近于直立,其中含硫化物石英脉发育,是主要的含矿构造。该断层破碎具有多次活动性,早期活动被花岗岩闪长岩脉侵入,随后含金石英脉充填,之后再次发生破碎。

2.3 岩浆岩

区内岩浆岩体主要是加里东期英云闪长岩体,在矿区东部呈透镜状大面积出露,而向西则沿断层呈EW向线性展布。岩体边缘及EW向线性分布的英云闪长岩体中绿泥石化、绿帘石化普遍发育,局部硅化蚀变较强^[7],并受到围岩混染作用,镜下见到片岩角砾捕虏体,岩石呈灰绿色,与围岩呈渐变过渡关系,边界模糊。另外可见少量侵入岩脉。

2.4 变质作用

区内岩石地层经历多期多种类型变质作用:

(1)区域变质作用 本区地处会聚板块边缘,受板块俯冲影响,寒武系沉积岩和超基性岩经受高压低温变质作用,实质上形成一套构造混杂岩。岩石片理化发育,形成各种片岩类岩石。

(2)接触交代变质 加里东期英云闪长岩岩浆侵入,对围岩发生接触交代作用和热变质作用,在岩浆接触带附近蚀变较强,主要是硅化和绿泥石化蚀变,局部有碳酸盐化和绢云母化蚀变。

(3)动力变质作用 后期构造活动使岩石进一步破碎形成各种动力变质岩,并沿构造带形成挤压片理

化岩石及构造角砾岩等。

3 含金黄铁矿热电性与微量元素分析

3.1 理论依据

黄铁矿热电性测量是前苏联及国内找矿勘探中总结出的一种有效的矿(床)体快速定位预测技术方法,在国内外不同地区金矿^[8~10]的找矿勘探中,效果十分明显。

理论研究认为,黄铁矿形成过程中,存在微量元素通过类质同象替代作用进入黄铁矿晶格的现象,当Co、Ni替代Fe时,由于 $Co^{2+}(3d^7)$ 和 $Ni^{2+}(3d^8)$ 外层轨道上的电子均较 $Fe^{2+}(3d^6)$ 的多,从而产生施主能级,导致热电性显示电子导型(N型),热电系数 α 为负值;当As($4p^3$)替代S($3p^4$)时,由于外层电子减少,出现受主能级,导致热电性显示空穴型(P型), α 为正值;当周期表中同族的Se、Te替代S时,尽管外层电子相同,但Se、Te的原子半径较大,原子核对较外层电子的吸引力相对要小,电子容易释放出来,从而产生施主能级,热电性显示电子导型(N型), α 为负值。

另外,黄铁矿中若富硫,热电性则显示P型,而亏硫黄铁矿一般显示N型。利用这一特征,可进行金矿体空间变化规律及深部预测评价工作。

3.2 含金黄铁矿的热电性分析

本项工作目的是探讨不同标高矿化标型矿物的物理性质,从而进行找矿预测。因此,对已知1、2号矿带不同地段、不同标高含金黄铁矿进行采样,即从东到西,在现有不同水平位置坑道的采样(表1)。

不同深部形成的黄铁矿由于其形成温度和压力不同,其热电性也有差异。黄铁矿形成深度越大,它的成矿温度高,压力大,热电动势平均值(V_{np})趋于高负值的N型电子导型。反之,如果黄铁矿形成深度小,成矿温度低,压力小,黄铁矿的铁、硫组成近于理论值,

铜、钴、镍等阳离子替代物少,而砷、硒等阴离子替代物增加了,同时机械混入物也会增加,因此,空穴数也会增多。致使黄铁矿热电动势平均值(V_{np})值趋于正值,越浅其正值越大,为P型空穴导型。

表1 黄铁矿样品采样位置

Table 1 Location of pyrite sample

样品号	位置	样品号	位置	样品号	位置
PD19-1.1	19线 3750m	PD43	43线 3740m	PD10-1m1-1.1	21线 3750m
PD19-1.2		PD10-2	21线 3750m	PD10-1m1-1.2	
PD19-2		PD10-2Y1-1.1		PD10-1m1-2.1	
PD33-1.1	33线 3710m	PD10-2Y1-2.1		PD10-1m1-2.2	
PD33-1.2		PD10-2Y1-2.2		PD10-2m1-1.1	
PD33-2.1		PD10-2Y2-1.1		PD10-2m1-1.2	
PD33-2.2		PD10-2Y2-1.2		PD10-2m1-2.1	
PD68-1	68线 3630m	PD10-2Y2-2.1		PD10-2m1-2.2	
PD68-2		PD10-2Y2-2.2			

表2 黄铁矿样品热电系数测试结果表

Table 2 Measurement result of pyroelectricity parameters of pyrite sample

样号位置	粒度(目)	热电动势(mv)								导型	热电动势平均值 V_{np} (mv)	热电系数 α ($\mu\text{v}/\text{C}$)	位置
PD68 68线 3630m	80-120	-15.8	-16.8	-17.0	-16.2	-15.4	-17.1			N			中下 (近热端)
	120-180	-14.3	-16.5	-15.8	-15.3	-14.2	-15.7	-14.7	N	-15.48	110.285		
	<180	-14.1	-15.4	-15.1	-14.7	-14.9	-13.9	-15.9	N				
PD19 19线 3750m	80-120	-18.1	-16.6	-17.1	-16.6	-19.9	-17.8			N			中下
	120-180	-17.0	-16.2	-17.5	-17.2	-17.3	-16.8	-16.6	N	-16.39	-117.071		
	<180	-15.0	-15.6	-14.5	-14.1	-14.7	-14.1	-15.1	N				
PD10-2 21线 3750m	80-120	-7.1	-6.6	+2.0	+2.6	-2.2	-4.0			N			中上
	120-180	+4.1	+6.2	+2.8	+3.0	+2.5	+2.8	+1.4	P	2.62	18.714		
	<180	+6.8	+6.3	+9.2	+8.6	+4.9	+4.9	+4.2	P				
PD33 33线 3710线	80-120	-6.4	-9.0	-10.8	-11.9	-10.3	-10.8			N			中下
	120-180	-8.9	-9.8	-9.2	-9.0	-6.4	-8.0	-5.6	N	8.53	-60.929		
	<180	-7.2	-9.2	-6.4	-8.5	-8.1	-7.0	-8.1	N				
PD43 43线 3740m	80-120	-15.1	-21.0	-19.6	-20.1	-19.5	-24.5			N			中下
	120-180	-17.6	-14.1	-13.7	-13.3	-13.6	-15.9	-14.0	N	-15.76	-112.571		
	<180	-16.9	-13.5	-12.5	-11.7	-13.3	-12.3	-13.0	N				

注:样品由中国地质大学(北京)矿床教研室测试。

从含金黄铁矿热电系数测试结果(表2)可以看出,在铜厂沟矿区自东向西样品热电动势平均值(V_{np})主要为N型电子导型,且有高负值→低正值→

低负值→高负值变化趋势。其中68线(PD68)与43线(PD43)样品热电动势平均值(V_{np})分别为-15.48mv和-15.76mv,说明黄铁矿形成深度较大,应为矿体

中下近尾部,在这个区域找到矿的希望较小;但是在西部矿区 21 线(PD10-2)和 33 线(PD33)的 V_{np} 值分别为 2.62mv 和 -8.53mv,特别是 PD10-2 低正值的出现,表明其黄铁矿形成深度较浅,且说明沿矿体倾向延伸的深部追索应有扩大储量的希望。

3.3 含金黄铁矿的微量元素分析

矿区内黄铁矿粒度为 0.01~0.5mm,为了研究不同标高黄铁矿硫/铁比值与含金性的关系,我们选择粒度比较相近的 0.05~0.1mm 的黄铁矿进行电子探针分析。每个薄片选择 2 粒,每个颗粒测试 1~2 个点。含金黄铁矿电子探针分析结果如表 3。

表 3 黄铁矿样品电子探针分析表

Table 3 Electronic probe analysis table of pyrite sample

$\tau_{\omega_B}/10^{-2}$

位置号	样品号	S	Fe	Co	Ni	Sn	Cu	Sb	As	Te	Hg	Ag	Au	总量
19 线 3750m	PD19-1.1	50.79	45.34	0.86	0.30	0.52	0.30	0.12			0.31	0.34	1.11	100.00
	PD19-1.2	51.40	43.97	0.58	1.19	0.18	0.57	0.33		0.17		0.33	0.27	99.24
	PD19-2	52.74	44.82	1.25	0.25			0.28		0.03	0.15	0.48		100.00
33 线 3710m	PD33-1.1	52.10	45.71	0.01		0.54			0.31	0.46	0.42		0.45	100.00
	PD33-1.2	52.83	44.86	0.46	0.33	0.58		0.42			0.07	0.41	0.44	100.41
	PD33-2.1	52.18	44.47	1.25	0.52	0.32	0.63	0.20					0.33	100.00
	PD33-2.2	53.13	46.41	0.48	0.18		0.34				0.12	0.36	0.05	101.07
68 线 3630m	PD68-1	53.31	45.35	0.17	0.09	0.14				0.12			0.16	99.34
	PD68-2	51.93	45.39	0.41	0.13	0.07		0.34			0.36			98.62
21 线 3750m	PD10-2Y1-1.1	20.44	33.93	0.20		0.04		1.40	41.98		0.88	0.26	0.87	100.00
	PD10-2Y1-2.1	53.13	45.07	1.11	0.30			0.29		0.10				100.00
	PD10-2Y1-2.2	52.86	46.78					0.24				0.12		100.00
	PD10-2Y2-1.1	51.41	46.02	1.23				0.54	0.41	0.38				100.00
	PD10-2Y2-1.2	53.24	45.85	0.43			0.04					0.34	0.10	100.00
	PD10-2Y2-2.1	51.74	46.56	0.55	0.03	0.26		0.23	0.09	0.36	0.18			100.00
	PD10-2Y2-2.2	51.17	44.70	0.18			0.96	0.31	0.14		0.82		0.64	98.93
	PD10-1m1-1.1	51.40	43.02	0.40	2.68	0.44	0.31	0.66			0.29	0.37		99.59
	PD10-1m1-1.2	51.85	44.92	0.76		0.31	0.54		1.02		0.47		0.13	100.00
	PD10-1m1-2.1	51.32	45.60	0.46	0.84		0.11	0.46	0.16	0.31		0.24		99.50
	PD10-1m1-2.2	52.47	44.03	0.35	3.15									100.00
	PD10-2m1-1.1	51.73	45.95	0.82	0.66		0.03		0.37			0.00		100.00
	PD10-2m1-1.2	52.82	45.53	0.32	1.17					0.10				99.94
	PD10-2m1-2.1	53.15	44.83	1.01	0.69	0.02	0.30	0.17				0.14	0.65	100.96
PD10-2m1-2.2	51.95	45.94	0.36	0.25	0.20	0.30			0.20		0.36		99.55	

注:样品由中国地质大学(北京)电子探针室测试。

除了 PD10-2Y1-1.1 号样品为毒砂之外,其他样品均为黄铁矿样品,与标准黄铁矿分子式(FeS_2 ; $w(Fe)$ 为 46.67%; $w(S)$ 为 53.33%;S/Fe 为 1.143)相比,硫、铁均有亏损(表 4)。一般高温元素 Co、Ni、Sn、Cu 可以替代铁离子位,低温元素 As、Sb、Hg、Te 可替代硫离子位。

第 1、11、12、14、18、20、23 号样品的 S/Fe 比值小于标准黄铁矿的 S/Fe 比值(1.143,图 3),结合含金性分析,除了 1 号(PD19-1.1)样品外,低 S/Fe 比值的黄铁矿含金性均较差,或不含金。由于低 S/Fe 比值的黄铁矿一般属于高温成因,会有更多的高温元素替代铁,因而不利于金的进入。

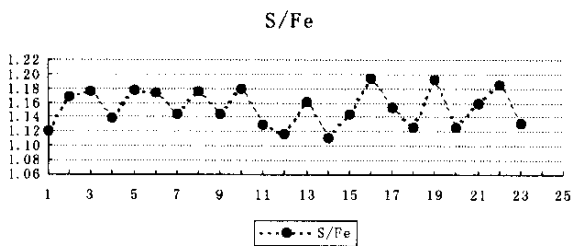


图3 黄铁矿 S/Fe 比值图解

Fig. 3 Diagram of S/Fe ratio of pyrite

从矿质运移的物理化学因素分析,金从高温低硫带迁出进入低温高硫带,一般在低硫到高硫的过渡带富集。因此,通常在高硫矿物与低硫矿物的混合带金富集成矿。本矿区含金黄铁矿的化学性质反映了这一规律,如 PD19、PD10-2Y1、PD10-2Y2、PD10-2m1 等样品高硫黄铁矿与低硫黄铁矿共生,Ag、As、Sb 元素显示高浓度特征,这些特征也与较好的金矿化地段相对应。位于矿体中的 PD10-2 黄铁矿样品的热电系数也反映 N、P 型混型特征,这与上述分析是一致的。

表4 黄铁矿特征参数计算表

Table 4 Calculation table of special parameters of pyrite $\omega_B/10^{-2}$

顺序号	样品号	样品 $\omega(S)$	样品 S/标准 S	样品 $\omega(Fe)$	样品 Fe/标准 Fe	样品 S/Fe	$\omega(Au)$
1	PD19-1.1	50.79	0.952313	45.34	0.971573	1.120203	1.11
2	PD19-1.2	51.4	0.963751	43.97	0.942216	1.168979	0.27
3	PD19-2	52.74	0.988876	44.82	0.96043	1.176707	
4	PD33-1.1	52.1	0.976876	45.71	0.979501	1.139794	0.45
5	PD33-1.2	52.83	0.990563	44.86	0.961287	1.177664	0.44
6	PD33-2.1	52.18	0.978376	44.47	0.95293	1.173375	0.33
7	PD33-2.2	53.13	0.996188	46.41	0.994501	1.144796	0.05
8	PD68-1	53.31	0.999563	45.35	0.971787	1.175524	0.16
9	PD68-2	51.93	0.973688	45.39	0.972644	1.144085	
10	PD10-2Y1-2.1	53.13	0.996188	45.07	0.965787	1.178833	
11	PD10-2Y1-2.2	52.86	0.991126	46.78	1.00243	1.12997	
12	PD10-2Y2-1.1	51.41	0.963938	46.02	0.986144	1.117123	
13	PD10-2Y2-1.2	53.24	0.998251	45.85	0.982501	1.161178	0.1
14	PD10-2Y2-2.1	51.74	0.970126	46.56	0.997716	1.111254	
15	PD10-2Y2-2.2	51.17	0.959438	44.7	0.957859	1.144743	0.64
16	PD10-1m1-1.1	51.4	0.963751	43.02	0.921858	1.194793	
17	PD10-1m1-1.2	51.85	0.972188	44.92	0.962573	1.154274	0.13
18	PD10-1m1-2.1	51.32	0.962251	45.6	0.977144	1.125439	
19	PD10-1m1-2.2	52.47	0.983813	44.03	0.943501	1.191687	
20	PD10-2m1-1.1	51.73	0.969938	45.95	0.984644	1.125789	
21	PD10-2m1-1.2	52.82	0.990376	45.53	0.975644	1.160114	
22	PD10-2m1-2.1	53.15	0.996563	44.83	0.960644	1.18559	0.65
23	PD10-2m1-2.2	51.95	0.974063	45.94	0.98443	1.130823	

4 结论

通过上述综合研究,可以得出了以下几点认识:

(1)黄铁矿热电性平均值的低正值的出现,表明其形成深度较浅,且说明沿矿体倾向延伸的深部追索应有扩大储量的希望。

(2)Ag、As、Sb 元素的高浓度特征是金矿富集的可利部位。

(3)高硫黄铁矿与低硫黄铁矿混生或P、N 导型黄铁矿混生是金矿富集的标志。

(4)含黄铁矿硫化物石英脉是有利的金矿化找矿标志。

参考文献:

- [1] 黄汲清,任纪舜,姜春发等. 中国大地构造基本轮廓[J]. 地质学报, 1977, 51(2): 117-135.
- [2] 汤中立,白云来. 华北古大陆西南边缘构造格架与成矿系统

[J]. 地学前缘, 1999, 6(2): 27-284.

- [3] 汤中立,白云来. 华北板块西南这缘大型、超大型矿床的地质构造背景[J]. 甘肃地质学报 2000, 9(1): 1-15.
- [4] 夏林圻,夏祖春,任有祥等. 祁连山及邻区火山作用与成矿[M]. 北京:地质出版社, 1998:1-55.
- [5] 冯益民,何世平. 祁连山大地构造作用[M]. 北京:地质出版社, 1995:1-19.
- [6] 葛肖虹,刘俊来. 北祁连造山带的形成与背景[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 223-230.
- [7] 李时新. 青海铜厂沟金矿床围岩蚀变特征与矿化[J]. 矿产与地质, 2001, 15(2): 98-101.
- [8] Kerrich, R., and Wyman, D. A., Geodynamic setting of mesothermal gold deposits: An association with accretionary tectonic regimes [J]. *Geology*, 1990, 18: 882-885.
- [9] Barley, M. E. and Groves, D. I., Supercontinental cycles and the distribution of metal deposits through time [J]. *Geology*, 1992, 20: 291-294.
- [10] Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, m., et al., Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types [J]. *Ore geology reviews*, 1998, 13: 7-27.

STUDY OF PYRITE PYROELECTRICITY AND PROSPECTING INDICATOR IN TONGCHANGGOU GOLD DEPOSIT, NORTH QILIAN

LIU Jun, XIAO Rong-ge, ZHANG Hang-cheng

(China University of Geosciences, Bei jing 100083)

Abstract: According to the geological characteristics of the Tongchanggou gold deposit and the pyroelectricity and rare earth elements of pyrite, it is thought that the pyroelectricity of pyrite from east to west in Tongchanggou is mostly N-type with a trend of changing as followings: high negative value→low positive value→low negative value→high negative value. According to the above evidences it is proposed that the characteristics of high concentration of composite anomaly of Ag、As、Sb、Fe indicate the favourable place of gold ore accumulation. The mixed-growth of the low and high sulphur pyrite or the mixed-growth pyrite of P-type and N-type are typomorphic minerals of gold deposit. The pyrite-bearing sulphide quartz vein is the best sign for prospecting.

Key Words: tongchanggou, gold deposit, prospecting indicator; pyrite, pyroelectricity, north Qilian