GEOLOGY AND PROSPECTING

Jane, 1991

黄铁矿热电系数用于找金的一个实例

刘靓娴* 肖树建

(中国有色金属工业总公司矿产地质研究院·桂林)

本文通过新疆萨尔托海工号金矿床的实例,阐明黄铁矿热电系数 法的工作原理、程序,以及在圈定金矿化体,预测隐伏金矿的应用情 况。

关键词: 黄铁矿热电系数;萨尔托海 I 号金矿床;预测隐伏金矿; 热电系数分布模式



原理及工作方法

黄铁矿作为一种半 导体,当其单晶在具有 一定温度差时,就产生

温差电动势,测量此一 电动势Δv,并除以单晶所承受的温度差值

 $(t_n - t_n)$ 即称为黄铁矿的热电系数(α)。

$$\alpha = \frac{\Delta v}{t_{\rm m} - t_{\rm R}} (\mu V/\mathcal{C})$$

温差的形成是用一个热电极和一个冷电 极同时接触单晶的不同部位,温差电势的观 测也同时用此两电极,控制热电极温度为 140℃,冷电极为室温,则可测出每个单晶的 热电系数。

热电系数值的不同,反映了黄铁矿导电 性质的不同, 它可分为4种导电类型, 即: ①空穴导电型(P型), α≥=100μV/℃; ②电子-空穴型(n-p型),100μV/℃>α≥ ≥0; ③空穴-电子导电型 (p-n型), 0> α≥-100μV/℃;④电子导电型 (n型), a <-100µV/℃。有时可将n-p型同 p-n型 合起来,统称为混合导电型。

黄铁矿的导电方式完全取决于它生成时

-7

的物理化学环境。实践证明,它和金及多金 属矿床的分布有密切关系。我们即通过在已 知矿床上确立这种关系,再根据导电类型不 同的黄铁矿之分布,来预测未知地段盲矿体 的。

具体工作一般采用以下程序。

采样:由于黄铁矿易风化,地表难于采 到"新鲜"的单晶,故主要采自坑道和岩 心,采样大小取决于样中黄铁矿 单 晶 的 多 少,要求加工后每个样至少能挑出20个单 晶。采样要求系统性,即一个剖面上应有较 多的钻孔或坑道,样品尽量均匀分布,以期 最终能明晰地勾划出各种导电类型的黄铁矿 在剖面上的空间位置。

加工: 样品粉碎后挑选0.2~1.0mm 的 黄铁矿单晶。每个样品应选出10~20颗单晶 以便测试,对于特殊要求的样,例如研究不 同晶形的热电系数值的样,则每种晶形都选 出10个以上的单晶。

测试:用热电系数测试仪测得每个单晶 冷热电极间温差电动势的值,再除以温度差,

参加此项工作的还有黄东、刘齐氏、王炎、王发 强、武润亭等同志。

即得该单晶的热电系数值。

成果表示:每个样品测10个单晶,其平 均值作为样品之α值。当1个样品的黄铁矿 具有明显的不同晶形时,它们往往反映了不 同成因,故需对不同晶形的样品,分别测 试,并统计平均值。不同岩性样品的热电系 数值,以直方图表示;不同导电类型样品的 空间分布规律,则以剖面图表示。

热电系数的统计分布规律

萨尔托海 I 号金矿(以下简称萨 I 金 矿)位于新疆西准噶尔的哈图金矿带上。金 矿化主要产于蚀变石英菱镁岩和蚀变玄武岩 中,分4种类型,即石英菱镁岩型、石英脉 型、蚀变破碎带型和蚀变玄武岩型,它们均 位于 I 号蚀变体内。远矿围岩为滑石绿泥石 岩, 浅部 (距地表200 m以上) 已被工 程 控 制,向下,矿体逐渐尖灭,深部情况尚不清 楚。1、2 号蚀变体在深部会合处,矿化能 否再次富集,迄无工程验证。

对矿区12个钻孔的岩心及2个中段的坑 道采黄铁矿样共753个,测试单晶8670个,其 结果分述于后。

1. 不同岩性的热电系数值

详见图1及表1,它们说明了:

(1)与矿化关系最密切的石英菱镁岩,包括滑石菱镁岩,主要表现为空穴 P型导电(占47%),其次为n-p型和 p-n型(占36%),少见的是电子 n型导电(占17%);
α的众值为150μV/℃。







(2)与矿化关系密切的蚀变玄武岩 (包括蚀变凝灰岩),统计曲线出现两个峰 值(230和0μV/℃),反映存在两种情况,即 与矿化关系密切的是多数(P型占42.8%), 部分不太密切(n-p和p-n型占33.9%),少 量远矿的为n型(占23.3%)。

(3)与矿化关系不密切的滑石绿泥石 岩,也有两个峰值(90和-230µV/℃)。大 部分作为远矿围岩的为 n型 (占 67%),少 量混入蚀变岩中或矿化带中 的 为 p 型 (占 18%)。

2. 不同产出部位的热电系数

见图2及表1。

(1) 矿体 据化验资料, Au>lg/t的
样,基本上是空穴导电(69%),电子导电型
极少(8.5%)。

-7

		44 1				
	总 样 数	空穴导电		电子导电		α φ (b), μV/A·C
		样数	%	样数	%	
	59	41	69	5	8.5	230

类

)

0

別

	数	样 数	%	样数	%	i
矿 体	59	41	69	5	8.5	230
近矿围岩	554	247	44.5	105	19	140
远矿围岩	2 5	2	8	21	84	- 220
石英菱镁矿	222	104	47	38	17	150
蚀变玄武岩	318	136	42.8	74	23.3	230, 0
滑石绿泥石岩	39	7	18	26	67	-230, 90
五角十二面体黄铁矿	117	65	55.5	24	20.5	205, -130
立方体黄铁矿	122	31	25.4	26	37.7	-130



图 2 不同产出部位黄铁矿之热电系数的直方图

左为矿体,中为近矿围岩,右为远矿围岩



表 1

黄铁矿晶形与含Au量的关系

代号		形	含Au(g/t)
PYc	以立方体为主, 偶见五角十	二面体, 粒径1~10mm不等	4.7
PYm	以立方体为主,少量五角十	二面体和他形粒状	12.8
PYf	五角十二面体,他形粒状偶	见立方体,粒径一般<1mm	120.36

(2) 近矿图岩 指蚀变岩,比矿体 空穴型相对减少(44.5%), n-p、 p-n型 (36.5%) 和 n型(19%) 相对增加。

(3)远矿图岩 指外围的滑石绿泥石 岩及其他围岩,以n型导电为主(84%),可 见由矿体→近矿围岩→远矿围岩,黄铁矿热 电性有一个由 p→n-p→p-n→ n 型导电的变 化规律。

3. 不同晶形的热电系数

详见图3和表1。

据新疆有色701队研究资料, 区内 黄铁 矿可分为3种类型,其晶形和含Au情况见 表2。

由表2可见,五角十二面体的黄铁矿含 Au远高于立方体, PY。和PY。(以立方体为 主)与金矿化无关, mPY_f 则为Au 的 主 要 载体,在蚀变岩型金矿中, PY,之 含 Au 量 达整个样品含Au量的53.44~60.12%。

含Au高的五角十二面体, 以 P型导电 为主,众值205^μV/℃,占55.5%,偶见电 子导电型 (众值-130µV/℃,占20.5%); 含Au低的立方体黄铁矿,则以电子 导 电 型 为主(37.3%,众值-130^μV/℃),空穴导 电型仅占25.4%。

4. 热电系数值与样品含Au量的关系 曲线

我们任意选了20个样进行含Au量分析, 结果列于表3。

根据表3作出用对数坐标表示的 Au 含 量与α值的相关曲线示于图4。

20个任选样品的含Au量分析结果

表 3

序号	样号	Au(g/t)	lgAu	€(#V/°C)	地 质 简 况
1	坑1-8	0.50	-0.30	307.96	石英脉矿体,上部
2	10-1-14	0.006	-2.22	-122.2	滑石菱镁岩,矿体前沿
3	10-4-8	0.004	-2.6	-270.8	石英菱镁岩,矿体上盘
4	10-2-36	0.35	-0.46	-10.6	石英菱镁岩,矿体上盘
5	10-4-9	0.015	-1.82	-204.42	石英菱镁岩,矿体上盘
6	10-3-19	3.75	0.57	348.67	石英脉矿体,下部
7	10-3-11	0.026	-1.585	126.55	石英脉矿体,上部前沿
8	坑−1−7	27.00	1.43	329.20	石英脉矿体,上部前沿
9	10-4-12	0.072	-1.14	217.7	石英菱镁岩,矿体前沿
10	12-1-9	0.70	-0.155	34.51	石英脉矿体,中部
11	坑-1-2	0.043	-1.37	-204.4	滑石绿泥石岩,蚀变体下盘
12	10-4-3	0+014	-1.85	-301.77	石英脉矿体,中部
13	10-3-15	14.00	1.15	200.88	石英脉矿体,中部
14	坑1-1	0.048	-1.32	-226.85	滑石绿泥石岩,蚀变体下盘
15	10-2-4	0.104	-0.98	-193.81	石英脉矿体,下部
16	10-2-16	4.80	0.68	- 359.29	蚀变玄武岩,矿体下部尖灭端
17	坑-1-18	6.80	0.83	297.35	石英脉矿体,下部
18	10-1-6	0.019	-1.73	-72.57	石英菱镁岩,矿体上盘
19	10-2-35	0.30	-0.52	242.48	滑石菱镁岩,矿体上盘
20	10-1-9	0.016	-1.80	-206.19	石英脉矿体,中部



图 4 Au含量与α值的关系曲线

从图 4 反映出:

(1) lgAu与a呈明显的线性正相关, 相关曲线有两条,其方程分别为:

 $lgAu = 0.0049 \cdot \alpha - 0.3$ (1)

 $lgAu = 0.0042 \cdot \alpha - 1.7$ (2)

相关系数分别为0.971和0.951。

(2) 两条直线的不同,主要在其与纵 轴的载距的不同,方程(1)为正常的相关 曲线,即当1gAu=0(亦即Au品位为1g/ 时), $\alpha > 70 \mu V / ℃$,接近 P 型导电黄铁矿, 当 $\lg A_u < 0.3$ (即 $A_u < 0.5g/t$) 时, $\alpha = 0$ 转入p-n和n型导电。这同上述热电性在不 同部位的情况是一致的。方程(2)在纵轴 上有很大的负截距,也就是说,很低的Au 含量 $(A_u = 0.02g/t)$ 就可以使热电系数 a 值>0,达到n-p和P型导电。分析组成方程 (2) 的7个样所处的地质部位,可以发现 它们都处于金矿体的前沿或上盘。这就是说, 在矿体的向上延伸部位,热电性之空穴导电 区远大于金的高含量区,即在金矿体上部有 一范围相当大的 P 导电"晕"。这是良好迹 象, 显示用热电性的 P 或n-p型导电区, 可 以预测深部尚未揭露的隐伏金矿体。

5. 根据上述统计分布规律可得如下认 识

(1) 黄铁矿的热电系数值(反映在导 电类型上) 与矿化富集程度,存在正相关关 系。 p型导电与金矿化对应, n型导电与无 矿围岩对应,中间存在一个混合型导电的过 渡区。

(2) α值与Au含量的这种正相关关系,又不是简单的一一对应的关系,两条相关曲线的存在,说明在金矿化地段的上方,可能存在一个 P导电区远大于金矿化地段的 "头晕"。这是热电系数能够预测隐伏的金矿 化地段的条件。为了证实这一现象,我们还须研究它的空间分布规律。

热电系数的空间分布规律

1. 黄铁矿热电性的分带

(1) 图 5 是举出苏联的一个例子。



▲ 5 办账来9 区員公9 汽电东政方布由
A, B, C-对应1, 2, 3 号矿体黄铁矿热电动势类型; 1-电子(n型); 2-空穴-电子(p-n型); 3-电子-空穴(n-p型); 4-空穴(p型);
5-不同类型热电场界线; 6-Au的等含量线;
7-钻孔与矿体相交位置在剖面上的垂直投影

由图 5 可见,从Au的浓集中心向外,依 次出现 P, n-p, p-n, n型导电的黄铁矿。 在(A)图(1号矿体)中,Au浓集中心 对应的是n-p型导电区,而 P导电区中心位 于Au中心的上前方;(B)图(2号矿体) 和(C)图(3号矿体)的左侧相同,P导 电区与Au一致,但稍偏上;(C)图右侧 P 导电区向下有较大延深,故认为该处含Au 最丰,后已得到证实。

(2)图6为萨 [金矿10剖面的地质概况、Au含量及热电性分布图,从中可见:

 ① 和上述苏联实例一样,由Au浓集中 心向外,热电性依次出现 P, n-p, p-n, n
 型导电分带,但 P导电区较 Au 的高含量
 (0.5~2g/t) 区要大,尤其在上部。

② 与上述例子不同的是,在深部又出现了一个规模更大的P型导电区,并明显地看出与上部P导电区并不相连,而且它不对应Au的高含量带。这似乎说明萨 I 矿在此处应分为上、下两个含矿段,即浅部已被中度剥蚀的含矿段和深部尚未揭露的含矿段,中间为一无矿(或贫矿)地段隔开。其标志是n和p-n导电区隔开的两个 P,n-p导电区。

2. 热电性沿矿带倾向、延深和走向上 的变化

(1)沿矿带延深的变化。以前引苏联 实例,按深度每100m间距分别采样测量,它 的统计结果表明:①随深度增加, P型导电 所占百分比减少,而由浅-深部、空穴导电 黄铁矿逐渐为电子导电黄铁矿所取代,这从 图 5 也反映出来了;②含Au富的矿段的P 型导电的黄铁矿比其他地段高。

(2)萨 [金矿10剖面,以深度每50m的间距沿矿带延深采样测量,其统计结果表明:①对含矿蚀变带而言,从0~200m,确实存在热电系数值逐渐下降的趋势(由165.3→98.1),导电类型由 P→n-P→n,P型导电由浅部的71%降为11.1%,而 n型导电则由0升为55.6%。这同苏联的例子是一



1-工业矿体, 2--细脉矿体, 3-含Au等值线, 4-坑道, 5-钻孔, 6-热电系数分区界线

致的,但200m以下,却再次出现 P型 导电 黄铁矿(占50%和62.5%),而且并不随Au的 平均含量明显增高(0.185和0.231g/t),说 明该 P型导电区应为深部尚未被揭露的隐伏 矿体的"头晕"。②Au含量的最高段在50~ 100m,而 P导电的极大值在0~50m处,说 明金矿体之上部,确实存在一个较大的 P型 导电区。但因10剖面浅部矿体顶端已遭剥蚀, 我们无法用它来判断该 P型"头晕"能向上 延伸多远。为此引用15线剖面(图7),该剖 面只有两个钻孔,1503孔在深部见了两小条 含金脉,其上部的1502孔未见矿,因此显然 该小脉属盲矿体,浅部矿在该剖 面 已 经 尖 灭。从图7可见,在15线深部有一明显的 P



图 7 萨 I 金矿15线热电系数分布图

导电区,而且至少可以由矿体向上延伸100 m,因此我们有理由认为,10线剖面深部的 P型导电区,应该是深部矿化前沿的反映。 萨 I 金矿热电性沿延深的变化,之所以与苏 联的例子不同,是因为它应存在浅部和深部 两个成矿体系的缘故。③矿体下部的尖灭 端,很快出现 P 导电区的尖灭而代之以 n 和 n-p型导电区,由图 6 看出, P 导电区与矿体 在下端应同时尖灭,最多不超过 矿 体 下 端 10 m。

向上有>100m的 P 导电的"头晕",向 下只有<10m的"尾晕",热电性空间分布规 律和图4的含金量的相关分析结果是一致的。

萨I金矿热电系数分带模式

概括统计资料(原始统计资料从略—— 编者)和空间分布规律并结合萨 I 金矿的具 体地质条件,可以建立起热电性的分带模式

-7



图 8 萨 I 金矿黄铁矿热电系数分带模式

1一超基性岩, 2一脉状金矿体, 3一深部矿化体

(图8), 其要点是:

1. 以金矿浓集中心为核心,热电性出现 p→n-p→p-n-n型导电的分带现象,但两者的重心并不完全一致,热电性的分带重心比金含量浓集中心的位置偏上。

 2.金矿带上部延伸部位,存在一个不 少于100m的 P 和n-p型导电的"头晕"。

 3. 矿体下部及两侧,热电性只出现狭 容的分带区。

4. P型导电区不仅是金矿的反映,更
 是含金蚀变岩的反映。

 5. 萨 I 金矿存在浅和深部两个隔开的 P型导电区,它们应该分别是浅部和深部两 种矿化作用的反映。

6. 萨 I 金矿在深部所存在的第二个 P 型导电区,其范围和强度都有超过浅部已知 矿 P型导电区的趋势,在地质上,它很可能 是第1、2号蚀变体在深部会合后金矿化重 新富集的反映,目前尚未验证。

 1. 黄铁矿热电系数的导电分区,与金 矿化富集之间有着极密切的联系。该参数是
 寻找、评价隐伏金矿的一项有用的参数。

2. 在金矿富集部位的上部,存在一个 P型导电区的"头晕",它的分布范围,至少 可以离开金矿富集部位100m,虽然我们还 无确切的资料说明它最远可以扩展的范围, 但仍不失为预测隐伏金矿化的有效手段。

 3. 热电系数的垂向分带,可以用来判 断金矿体的剥蚀水平。

4. 由于需要系统地采集黄铁矿样品,

目前其应用还只局限于在有大量钻孔、坑道 分布的矿区范围内。

多考文献

[1] Красникв, В.И., и др., «Советская гео логия» 1975, 8.

[2] Самарцев, И.Т. и др., «Записки всесоюзного минералогического общества» 1976. 5.

[3] Маконмова, З.М., «Разведка и охрана недр» 1984, 4.

[4] Ревякин, Д.С. и др., «Разведка и охран недр» 1978, 7.

[5] Никулин, В. Н. и др., «Разведка и охрана недр» 1986. 8.

A Practical Example of Gold Exploration by Measuring Thermoelectric Coefficient of Pyrits

Liu Liangxian Xiao Shujian

A practical gold exploration case of the No. 1 gold deposit in Sartohai, Uygur Autonomous Region of Xinjiang is given in this paper to illustrate the working principle and measuring process of the thermoelectric coefficient method and its application to delineate Au-bearing orc-body and prognosticate concealed gold deposits.

(上楼第34页)

3. 形成康山金矿斜方断层的局部三维 应变场方位为 ε_x : 122° \angle 10°, ε_y :343 \angle 76°, ε_{sim} :210° \angle 13°, \overline{c} 变比率为 $\varepsilon_x / \varepsilon_x = -0.71$ $\varepsilon_y / \varepsilon_z = 0.40$ 。

最后应当指出的是:

滑动模型、奇轴模型所依赖的假设很多, 因此在应用时必须注意到其适用的地质条 件,不能生搬硬套。

由于断裂构造的多期性,断层面上有时 能见到多方位擦痕,另外由于构造运动的叠 加改造或风化剥蚀作用,现在我们能够见到 的擦痕往往是最后一期构造运动的产物,应 用时必须注意到这一点。

附录	
野外实测断层产状	侧伏角
330°∠70°	20° S
256°∠75°	20°N
95°∠50°	45°S
335°∠75°	55°S
275°∠72°	12° N
140°∠75°	40°S
325°∠65°	25°S
275°∠70°	10°N
350°∠40°	45°S
280°∠65°	10° S
260°∠45°	20°N
255°∠70°	30°N
140°∠75°	55°N
345°∠70°	20°N
100°∠85°	水平

Three Dimensional Strain Analysis Method and Its Application in the Kangshan Gold Deposit

Zhang Yinqi, He Shaoxun, Duan Jiarui

Slide Model and singular axis model, together with their application in the Kangshan gold mining district are expounded in tais paper. It is considered that the NE and NNE striking ore-hosting faults in an oblique symmetry are formed by local stress fields which induced by the regional strain fields. The principal strain orientation and rate of the regional three dimensional strain field are also calculated.