

# 黄铁矿热电性特征在冀西石湖金矿床中的应用

曹 焯<sup>1</sup> 李胜荣<sup>1,2</sup> 敖 翀<sup>1</sup> 张华锋<sup>1,2</sup> 李真真<sup>2</sup> 刘小滨<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国地质大学岩石圈构造、  
深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:**介绍了黄铁矿热电性测量方法在石湖金矿找矿实践中的应用。黄铁矿是主要的载金矿物,可分为4个阶段。热电性测试研究得出如下结论,黄铁矿的导型组合从I $\Rightarrow$ IV成矿阶段的变化为P<N $\Rightarrow$ P $\geq$ N $\Rightarrow$ P>N $\Rightarrow$ P $\leq$ N;在矿化地段,由上而下, $\alpha_p$ 减小, $\alpha_N$ 增大;P%减小,N%增大;用电导型分布(P%)和 $\alpha_p$ 均值所作矿物学填图反映的结果基本一致,从中可以取得有关黄铁矿的形成温度、矿体的相对埋深、矿体特征、深部远景等标型信息。

**关 键 词:**金矿;黄铁矿;热电性;矿物学填图

**中图分类号:**P618.51      **文献标志码:**A      **文章编号:**1000-3657(2008)04-0746-08

矿物的热电性能够灵敏地反映矿物成分和晶体结构的某些细微差异,由此联系矿物形成的地质条件,可以取得黄铁矿等半导体矿物的热电性标型及其地质应用的多项标志。利用金属矿物和半导体矿物的热电性指导找矿,是一种廉价、快速、有效的测试方法,它可以节约大量的野外工作量和资金。从20世纪50年代开始,国外结合找矿工作的需要,对黄铁矿等常见半导体矿物热电性标型的研究取得了许多成果。特别是20世纪80年代以来,陈光远等<sup>[1]</sup>和李胜荣等<sup>[2]</sup>对黄铁矿热电性在金矿找矿和矿床评价方面的应用有专门的论述,并在胶东金矿区的乳山、三山岛、夏甸等金矿田的找矿勘探中取得了显著效果。前人利用黄铁矿的热电性对石湖金矿也作过一些研究<sup>[3,4]</sup>,得出黄铁矿VNP(补偿电动势)和矿化的关系等有益结论,但对101号金矿脉中黄铁矿的热电性缺乏详细的研究,由于101号脉是本区目前主要的开采对象,笔者在前人的基础上,对其中黄铁矿的空间分布特征及其相关参数进行了研究,探讨了黄铁矿热电性在空间上的演化规律。

## 1 矿区地质概况

石湖金矿位于太行山区河北省石家庄市灵寿县西北部山区,行政区划属灵寿县陈庄镇所辖。地理坐标为114°03'15"E~114°04'21"E,38°38'04"N~38°40'19"N,其大地构造位置在华北地台太行隆起区之东南部。矿区出露有太古宙的阜平杂岩,主要为角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩,夹少量浅粒岩、大理岩、斜长角闪岩和角闪磁石英岩(图1)。

区内构造发育,主体构造格局为阜平运动形成的近EW向复式褶皱和断裂构造,其次为燕山期形成的NNW、SN、NE和少量EW、NW向褶皱和断裂构造等,其中EW向深部断裂构造为主要的控岩和导矿构造,SN、NW向断裂构造为主要的控矿与容矿构造<sup>[5]</sup>。

区内出露的岩浆岩以燕山期中酸性花岗岩类为主,其中以麻棚岩体和赤瓦屋岩体出露面积最大,麻棚岩体达到64.5 km<sup>2</sup>,岩体的产出明显受北冶—麻棚—杨家庄深大断裂控制。岩体与围岩阜平群地层呈

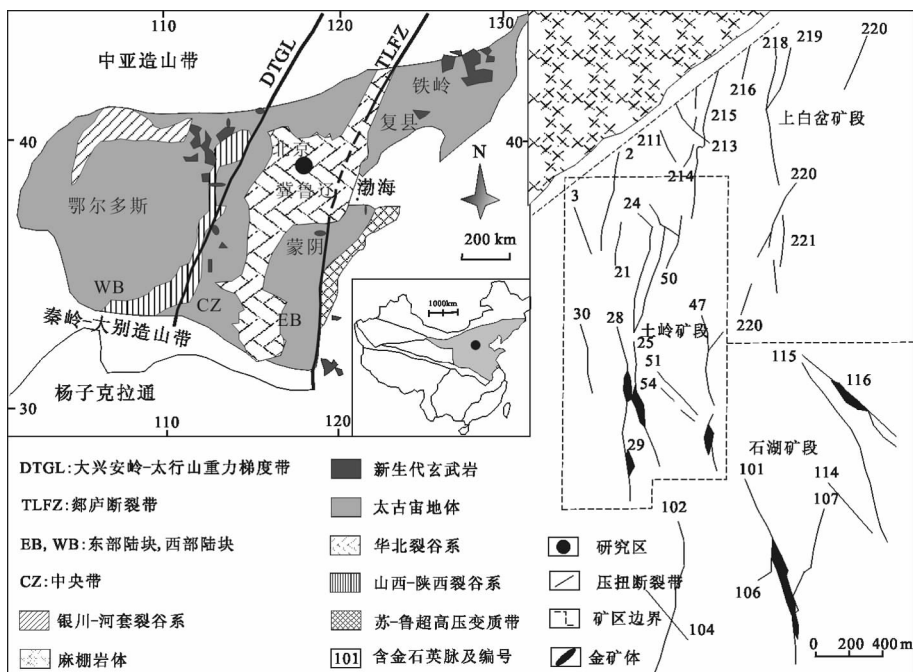


图 1 冀西石湖金矿区地质略图<sup>[8-10]</sup>

Fig.1 Geological sketch map of the Shihu gold district, western Hebei<sup>[8-10]</sup>

侵入接触, 据原冶金工业部第一地质勘查局 520 队 K-Ar 法同位素测年分析, 该岩体的生成年龄为 145 Ma<sup>[9]</sup>, 应为晚侏罗世岩浆活动产物。岩体的成因类型为 I 型花岗岩, 其成岩物质来自下地壳或上地幔<sup>[7-9]</sup>。

金矿化受断裂构造尤其脉带内次级构造的控制, 具有分支复合现象。101 号脉是石湖金矿的主体矿脉, 硅化蚀变破碎带长 3300 m, 宽 4.5~50 m, 走向近南北, 倾向东, 倾角 60~80°。在 101 号矿带中, 共圈定矿体 8 个, 其中主矿体 2 个, 即 101-2 和 101-4。两矿体均呈似板状或透镜状, 向南侧伏, 侧伏角 30°, 形态复杂, 东走向和倾向不太连续, 走向长 35~430 m, 最大倾斜延伸 420 m, 最厚 5.71 m, 最薄 0.27 m, 品位最高 342.7 g/t, 最低 1.79 g/t, 平均 10.12 g/t。两个矿体矿石量 142 万 t, 金金属量 13720 kg。在其他平行小矿体中探明矿石量 14 万 t, 金金属量 521 kg。

## 2 黄铁矿的产出特征

矿床中不同成因的黄铁矿, 由于生成条件的显著差别, 使其晶体截然不同。成矿环境的温压条件低, 溶液中硫、铁浓度低, 组分简单, 黄铁矿晶出速度

缓慢, 有利于立方体形态的热液早期黄铁矿生成。而当黄铁矿形成的温压条件相对较高, 溶液中硫、铁浓度高, 组分复杂, 黄铁矿晶出速度较快, 则有利于五角十二面体形态的黄铁矿生成。石湖金矿是含金多金属石英脉型矿床, 黄铁矿是主要的载金矿物, 它分为 4 个阶段:

Ⅰ 阶段黄铁矿, 粒度 0.1 mm, 立方体晶形, 呈星散浸染状产出, 共生矿物以石英为主, 夹少量镜铁矿。

Ⅱ 阶段黄铁矿, 粒度小于 0.1 mm, 呈五角十二面体晶形, 碎裂现象严重, 以条带、团块、脉状形式产出, 金常以包体金、裂隙金的形式赋存于该期黄铁矿中。

Ⅲ 阶段黄铁矿, 颗粒大小不一, 碎裂程度强烈, 晶形多为五角十二面体及复杂聚形, 呈条带状产出, 与方铅矿、闪锌矿等硫化物共生, 它的含金性好。

Ⅳ 阶段黄铁矿, 颗粒较大, 呈细脉状, 网脉状沿裂缝充填, 共生矿物为方解石和绿泥石。

总的来说, 石湖金矿区不同阶段黄铁矿热电系数  $\alpha$  及其常见值变化范围比较稳定, 但Ⅱ和Ⅲ两个主成矿阶段黄铁矿  $\alpha$  离散性相对较大, Ⅱ阶段- $\alpha$  集中区向高值区偏移, + $\alpha$  集中区也有此趋势; 导型

组合从 I  $\Rightarrow$  IV 阶段的变化为 P < N  $\Rightarrow$  P  $\geq$  N  $\Rightarrow$  P > N  $\Rightarrow$  P  $\leq$  N。

### 3 黄铁矿的热电性特征

#### 3.1 测试原理及应用

矿物的热电性包括热电系数和导电类型 (简称导型) 两层含义。热电系数是指处在温差条件下的半导体矿物, 由于温差形成的非平衡载流子由高温区向低温区扩散, 扩散的结果在半导体内形成了电场, 对外表现为温差热电势  $E/\mu\text{V}$ 。温差一定时,  $E$  达到一平衡值。热电系数(即为单位温差  $\Delta T/^\circ\text{C}$  时的热电

动势/ $(\mu\text{V}/^\circ\text{C})$ :  $\alpha = E/(T_H - T_D) = E/\Delta T$ 。矿物的导电类型有两种, 一种是电子型导电(N型), 是由施主(指杂质在带隙中提供带有电子的能级)杂质产生的导电; 另一种是空穴型导电(P型, 相当于正电荷流动), 是由受主(指杂质提供带隙中空的能级)杂质产生的导电<sup>[1]</sup>。热电性是黄铁矿最重要的标型性质之一, 用热电系数( $\alpha$ )来度量。金矿床中黄铁矿的热电系数在空间和时间上都有其规律性。黄铁矿的导型能反映介质的硫逸度, P型指示形成环境的硫逸度较高, 故一般亏硫的黄铁矿属N型, 亏铁者多属P型。矿体上部晚期较低温的黄铁矿  $\alpha$  为正值, 属于

表 1 石湖金矿区黄铁矿的热电性特征参数

Table 1 Thermoelectric parameters of pyrite in the Shihu gold district

海拔 标高/m	勘探线	N型电动势				出现频率/%	P型电动势				相对埋深 /m
		$\alpha / (-\mu\text{V}/^\circ\text{C})$			出现频率/%		$\alpha / (\mu\text{V}/^\circ\text{C})$			出现频率/%	
		最大值	最小值	平均值			最大值	最小值	平均值		
180	9	292.7	67.7	214.99	100	—	—	—	—	-136.2	
180	11	267.6	57.4	110.01	100	—	—	—	—		
180	13	231.9	7.3	97.97	51.35	287.2	1.4	130.58	48.65		
180	15	125.5	35	80.99	46.67	198.5	10.1	112.71	53.33		
180	17	167.4	28.2	105.36	90.32	112.4	6	55.9	9.68		
180	19	153.7	8.8	82.91	46.47	229.2	11.5	110.46	53.53		
180	21	167.6	20.7	96.81	71.79	226.7	10.2	88.1	28.21		
180	23	225.1	1.5	114.15	58.97	287.2	86.3	180.78	41.03		
180	25	275.8	10.1	107.82	77.42	182.1	36.8	105.11	22.58		
180	29.5	269.3	127.2	198.25	6.67	296.6	17.7	172.55	93.33		
220	3	253.3	7.2	102.54	96.67	10	10	10	3.33	-128.3	
220	5	238	28.6	150.53	80	280.6	11.8	126.02	20		
220	7	250.4	12	130.98	60	251.1	17.5	131.33	40		
220	9	266.8	21.6	151.81	96.97	2.8	2.8	2.8	3.03		
220	11	280.4	14.5	101.68	43.33	278.1	8.6	145.83	56.67		
220	17	273.6	14.5	133.73	64.52	271.9	11.6	163.98	35.48		
220	19	286.1	8.5	95.43	61.11	245.7	24.5	132.9	38.89		
220	23	256.9	27.6	132.13	80	289.5	5.6	185.15	20		
220	25	261	12.9	132.46	80	171.9	12.9	69.98	20		
220	29	270	8.6	143.81	50	237.3	7.1	133.75	50		
220	31	278.8	31.6	209.1	53.33	305.8	18.6	146.11	46.67		
260	5	272.1	17.3	121.17	96.67	8.9	8.9	8.9	3.33	-138.1	
260	7	137.4	5.8	68.58	70	288.6	8.7	159.92	30		
260	9	166.7	43.9	108.66	90	281	49.9	196.7	10		
260	11	133	36.1	86.83	90	14.6	10.2	12.1	10		
260	19	152.4	9	92.83	53.49	224.4	4.5	110.08	46.51		
260	21	259.2	6.3	93.19	47.89	295.7	10.2	168.34	52.11		
260	23	184.2	7.5	108.98	93.33	173.1	22.9	98	6.67		
260	27	284.7	7	81.4	26.67	278.9	16.1	150	73.33		
260	29	285.5	16	164.64	86.67	262.9	20.3	140.48	13.33		
260	31	290.3	2.9	132.97	55.56	276.9	7.3	145.4	44.44		
300	9	255.7	84.9	153.37	70	164.2	34.7	91.97	30	-139.9	
300	17	192.9	17.5	87.28	32.43	287.6	12.9	108.67	67.57		
300	19	270.1	10.2	104.52	57.89	247.1	1.4	103.38	42.11		
300	23	89.4	89.4	89.4	3.33	281	15.9	216.8	96.67		
300	25	157	15	50.51	39.58	277.4	4.4	86.11	60.42		
300	29	133	14.7	70.43	48.48	267	29.4	144.37	51.52		

续表 1

海拔 标高/m	勘探线	N 型 电动势				出现频率(%)	P 型 电动势			出现频率/%	相对埋深 (m)
		$\alpha / (-\mu V/^{\circ}C)$			最大值		$\alpha / (\mu V/^{\circ}C)$				
		最大值	最小值	平均值			最小值	平均值			
400	0	226	34.6	93.98	38.3	273.1	8.7	126.07	61.7		
400	1	224.8	7.4	85.29	80	218.1	50.9	136.58	20		
400	3	268	7.2	81.84	42.42	285.5	8.8	91.68	57.58		
400	5	130.1	10.1	58.21	39.47	257.6	1.5	110.64	60.53		
400	7	185.3	1.4	83.13	66.67	227.7	8.7	118.16	33.33		
400	9	236.1	27.9	95.84	28.57	250.4	5.9	103.39	71.43	-143.8 m	
400	11	153.2	4.4	69.17	20	286.1	10	139.68	80		
400	13	256.5	2.9	133.4	36.67	237.3	4.4	119.05	63.33		
400	21	134.1	14.7	61.71	32	288.6	5.8	128.98	68		
400	23	230.7	1.4	102.23	59.38	284.5	18.9	140.52	40.62		
400	25	257.9	5.8	137.13	74.42	250.7	13.1	105.84	25.58		
480	11	158.1	15.9	99.31	36.67	279	19.7	156.14	63.33		
480	15	275.4	57	151.07	96.67	57.5	57.5	57.5	3.33		
480	19.5	286.1	44.9	113.01	56.35	253.5	24	117.71	43.65	-129.6m	
480	23	224.5	11.7	104.5	46.67	267.7	4.2	135.89	53.33		
480	29	289.9	11.3	132.66	56.67	233.8	49	137.67	43.33		
560	5	177.5	9	70.43	30	271.7	16.2	161.38	70		
560	7	248.2	5.8	67.96	61.76	255.3	2.9	115.64	38.24		
560	7.5	274.1	19	164.48	55.26	264.6	8.9	171.48	44.74	-129.9m	
560	9	191.6	5.9	91.74	87.1	161.2	15.6	61.95	12.9		
560	11	176.6	9	69.94	30	291.9	18.8	180.62	70		
560	13	293.1	42.3	150.24	52.17	278.3	36.1	163.15	47.83		

注:“-”代表未检测出;重复测试精度:±0.5 μ v/°C。

P 型导电; 矿体下部早期较高温的黄铁矿  $\alpha$  为负值,属 N 型导电。 $\alpha$  值越大,含金性越好。所以,利用黄铁矿的热电动势可以确定金矿床的垂直分带和剥蚀程度,评价深部矿体乃至寻找盲矿体。

### 3.2 测试结果

本次测试由笔者在中国地质大学(北京)成因矿物实验室完成。从河北石湖金矿 7 个中段选样 63 件共计 2042 粒纯净黄铁矿单晶,用超声波在纯酒精溶液中清洗表面氧化膜和杂质后,在 BHTE-6 型热电仪上测试。根据大量的测试条件,设定  $\Delta T=67\pm 3^{\circ}C$ 。测试结果见表 1。

矿区 P 型黄铁矿的出现率(P%)是 41.8%,各中段 180 m、220 m、260 m、300 m、400 m、480 m 和 560 m 的 P%分别为 36.8%、30.6%、32%、60.1%、54.3%、41.4%和 46.9%,P 型黄铁矿的分布规律总体上表现为矿体下部较少,上部增多的趋势。这与一般规律,即在矿体轴向上,从矿体上部到矿体下部,热电系数值逐渐变小,到矿体尾部,一般都出现大量 N 型导电的黄铁矿是相符的。此外,本区黄铁矿化学成分研究<sup>[2]</sup>表明 Co、Ni、As、Sb、Te 等微量元素是

影响黄铁矿热电性的直接原因,即可能造成黄铁矿 N 型电导的 Co、Ni 含量随深度增加而增大,可能造成黄铁矿 P 型电导的 As、Sb 和 Te 则有随深度减少的趋势,它们的变化均呈韵律式,与黄铁矿  $\alpha_P$  及 P%随深度呈韵律式减小, $\alpha_N$  和 N%随深度呈韵律式增大具明显的相关性。图 2 显示,在 220 m 和 260 m 中段 P%突然减小,但 180 m 中段 P%再度回升,这是否预示着下一个矿体头部开始出现还有待勘探实践的证实。

## 4 讨论

### 4.1 成矿温度计算

黄铁矿的热电系数与其形成温度有一定的关系,P.A 戈尔巴乔夫(1964)利用大量数据做出黄铁矿热电性-温度图(图 3)。从该图获得线性方程;

$$t=(704.51-\alpha)/1.818 \quad (N \text{ 型})$$

$$t=3(122.22+\alpha)/5.0 \quad (P \text{ 型})$$

利用该方程计算得出石湖金矿黄铁矿形成温度范围为 74.2~386.7°C,其中 N 型黄铁矿的形成温度区间为 226.3~386.7°C,P 型黄铁矿的形成温度区间

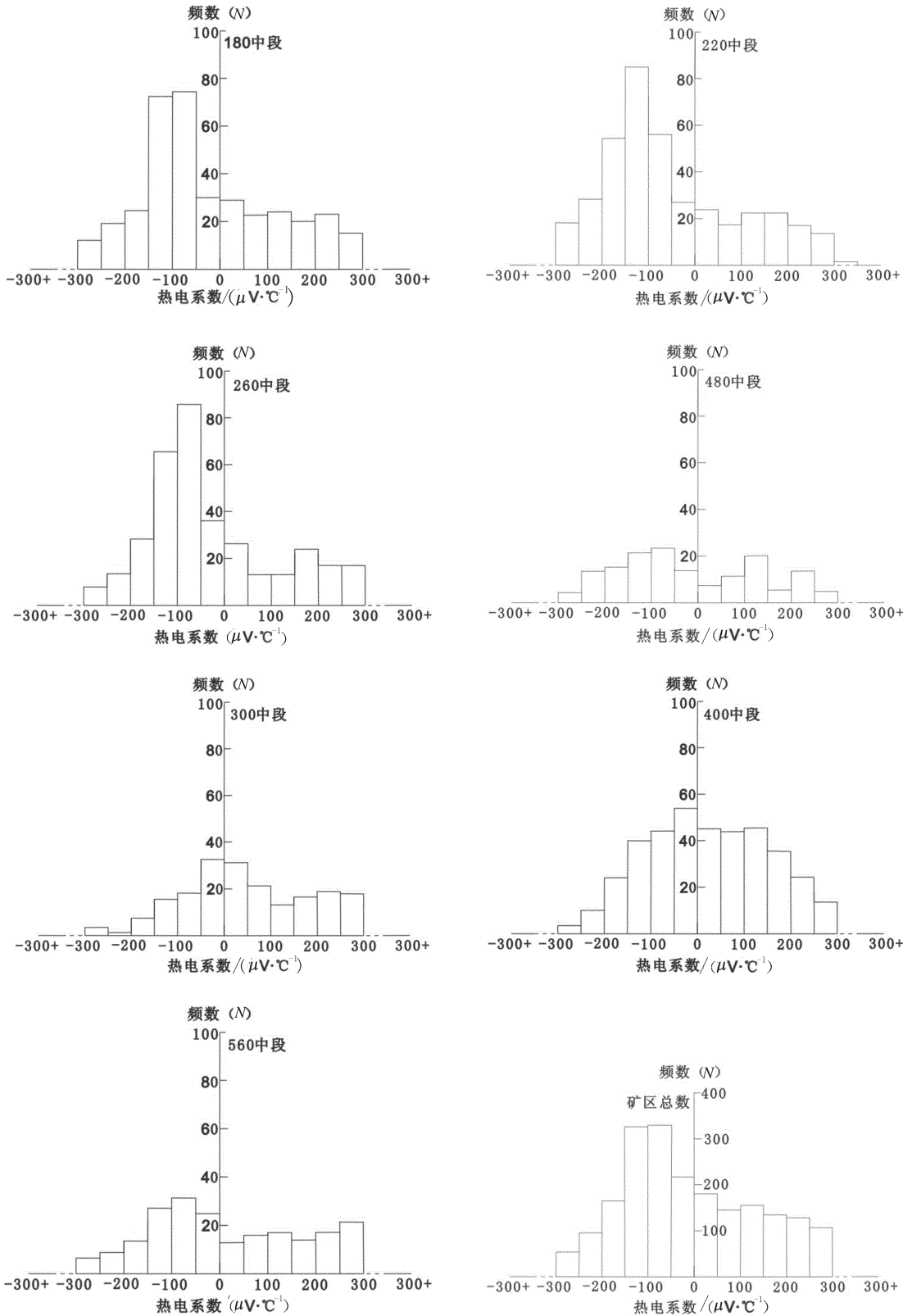


图 2 石湖金矿区黄铁矿热电系数分布直方图

Fig.2 Histogram of distribution of thermoelectric coefficients of pyrite in the Shihu gold district



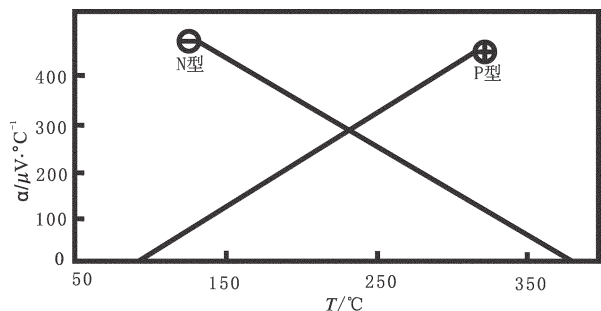


图 3 黄铁矿热电性—温度图<sup>[13]</sup>

Fig. 3 Relationship between thermoelectric properties and temperatures of pyrite<sup>[13]</sup>

为 74.2~256.8°C,主要集中在 154.9°C~325.5°C,表明该矿床为中低温矿床。

#### 4.2 矿体的相对埋深

由于黄铁矿热电性在矿体轴向上具有规律性变化,因此黄铁矿热电性可以反映矿床相对的埋藏深度。

经胡大千<sup>[4]</sup>统计分析,建立了石湖金矿矿体埋深与黄铁矿补偿电动势的关系式: $D_{埋深} = -207.9451 + 8.53V_{NP}$ ,其中  $V_{NP}$  为黄铁矿的补偿电动势,  $V_{NP} = V_p D_p - V_N D_N$ , 式中  $V_p$  是样品中 P 型黄铁矿的热电动势平均值,  $D_p$  为 P 型导电黄铁矿颗粒的百分含量,  $V_N, D_N$  则是对 N 型导电而言。

计算表明,矿体埋深范围为-128.3 m~-143.8 m,

平均-135.1 m,表明矿体产出稳定,在深部可能还会有稳定产出的矿段存在,有进行深部找矿的价值。

#### 4.3 热电性填图

根据 7 个中段 2042 粒黄铁矿样品的热电性测定,以勘探线为横坐标,标高为纵坐标,填制了石湖矿区 101-4 号矿体黄铁矿导型分布图(图 4)和  $\alpha_p$  均值分布图(图 5)并与金品位等值线对比,两图均有明显的规律性。

200 m 至 500 m 标高均有 P%的高值区出现,且向南侧伏等距分布。高值区基本都出现在富矿段,其特征为高值区与富矿段基本对应但略偏头部,以 300 m 标高 23 线的高值区出现在富矿体的头部最为明显。矿体上部高值区范围较大,下部较小,也反映了 P 型黄铁矿出现率向下部变小的趋势。例如 13 线以北基本为 P 型黄铁矿的空白区,但在 21 线和 31 线仍然有狭窄的 P%高值区出现。

图 5 和图 4 的特点基本相似,  $\alpha_p$  为 110  $\mu V/°C$ ~140  $\mu V/°C$  的高值区范围与富矿段基本对应,大于 200  $\mu V/°C$  的特高值区略偏富矿段头部;几组构造复合控制的特征更加突出,有自上而下高值区范围缩小趋势同样明显。

### 5 讨论和结论

矿物学填图是成因矿物学理论在找矿勘探中的重要手段之一<sup>[14]</sup>,利用黄铁矿的热电性参数填图

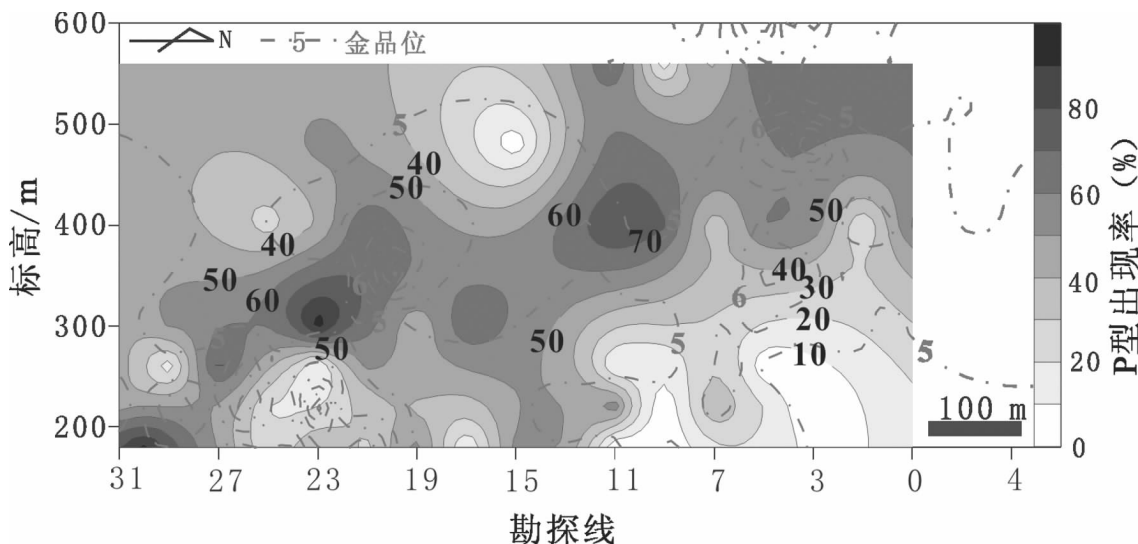


图 4 石湖矿区 101-4 号矿体黄铁矿 P 型分布图

Fig.4 Distribution of P-type pyrite of orebody No. 101-4 in the Shihu gold district

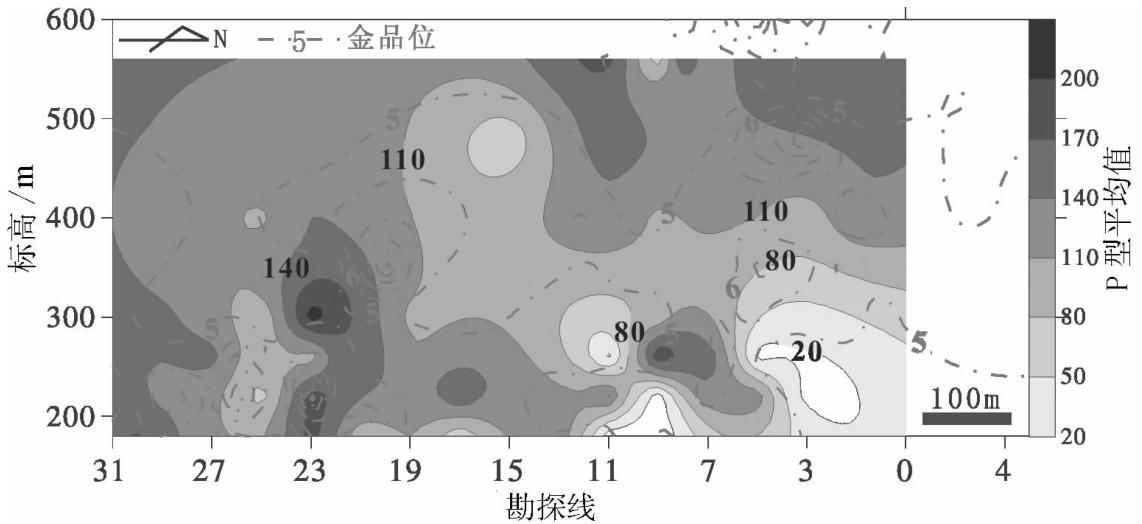


图5 石湖矿区101-4号矿体黄铁矿 $\alpha_p$ 均值分布图

Fig.5 Distribution of the mean thermoelectric coefficient  $\alpha_p$  of P-type pyrite of orebody No. 101-4 in the Shihu gold district

具有实际的标型意义,表现在:

(1)黄铁矿的形成温度:由导型空间分布可知,温度较高时, $\alpha_p$ 较低, $P/(P+N)$ 较小;反之 $\alpha_N$ 较低, $N/(P+N)$ 较小,由此计算的本区的成矿温度 $154.9^{\circ}\text{C}\sim 325.5^{\circ}\text{C}$ ,为一中低温矿床。

(2)矿体相对埋深:富矿段头部为 $\alpha_p$ 和 $P/(P+N)$ 特高值区(分别为 $>200\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 和80%);上部高值区范围大于下部;上部 $\alpha_p$ 和 $P/(P+N)$ 总体上高于下部。据此大体估计矿体的相对埋深范围为 $-128.3\text{m}\sim -143.8\text{m}$ ,平均 $-135.1\text{m}$ 。

(3)深部远景:根据高值区近等距分布特点,可判断富矿段的差异分布;估计23线至31线200m标高以下可能出现第四富矿段,总体上北部不及南部。

(4)矿体的稳定性:根据热电性变化梯度,可判断矿体金品位的稳定性大小和可能的演变方向。热电性变化梯度小,则矿体的稳定性大,反之亦然。 $\alpha_p$ 和 $P\%$ 变化梯度为正,金品位升高,反之降低。从矿体的相对埋深来看,本区黄铁矿热电性变化梯度相当小,推测矿体深部产出稳定,从560m到180m标高 $P\%$ 的变化梯度为负 $\rightarrow$ 正 $\rightarrow$ 正 $\rightarrow$ 负 $\rightarrow$ 负 $\rightarrow$ 正,呈韵律式分布。

#### 参考文献(References):

[1] 陈光远,孙岱生,殷辉安.成因矿物学与找矿矿物学[M].重庆:重庆出版社,1984:11-32.

Chen Guangyuan, Sun Daisheng, Yin Hui'an. Genetic Mineralogy and Prospecting Mineralogy [M]. Chongqing:Chongqing Press, 1984:11-32(in Chinese with English abstract).

[2] 李胜荣,陈光远,邵伟,等.胶东乳山金矿田成因矿物学[M].北京:地质出版社,1993:65-78.

Li Shengrong, Chen Guangyuan, Shao Wei, et al. Genetic Mineralogy of Rushan Gold Deposit in Jiaodong Peninsula [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1993:65-78(in Chinese with English abstract).

[3] 许虹,李鸿超,李高山.土岭—石湖金矿床黄铁矿找矿矿物学研究[J].地质找矿论丛,1992,7(4):67-73.

Xu Hong, Li Hongchao, Li Gaoshan. Prospecting mineralogy of pyrite in Tuling-Shihu gold deposit [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources, 1992, 7(4):67-73(in Chinese with English abstract).

[4] 胡大千.黄铁矿电子-空穴心在金矿找矿勘探中的应用[J].地质与勘探,1993,29(9):33-37.

Hu Daqian. Electron-Hole core characteristics of pyrite in application of Prospecting for gold deposit [J]. Geology and Prospecting, 1993, 29(9):33-37(in Chinese with English abstract).

[5] 张亚雄,陈松岭,彭省临,等.河北灵寿县土岭—石湖金矿田控矿构造研究[J].大地构造与成矿学,1996,20(1):71-80.

Zhang Yaxiong, Chen Songling, Peng Shenglin, et al. Study on the gold ore structure controlling to Tuling-Shihu gold deposit at Lingshou county in Hebei [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1996, 20(1):71-80(in Chinese with English abstract).

[6] 喻学惠,任健业,张俊霞.太行山中段铜金成矿条件及找矿方向[M].北京:地质出版社,1996:10-111.

Yu Xuehui, Ren Jianye, Zhang Junxia. Metallogenic Condition and

- Prospecting Direction of Cu-Au Deposit in Middle of Taihang Mountain [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 10-111 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张亚雄, 胡祥昭. 麻棚岩体特征及其与金矿成因关系研究 [J]. 中南矿冶学院学报, 1994; 25(3): 275-281.  
Zhang Yaxiong, Hu Xiangzhao. Research on the characteristics of Mapeng granitic intrusion and its contribution to the gold ore Metallogeny [J]. Journal of Central-south Institute Mineral metallogeny, 1994, 25(3): 275-281 (in Chinese with English abstract).
- [8] 刘伟, 戴塔根, 傅文杰, 等. 冀西石湖金矿成矿流体特征 [J]. 中国地质, 2007, 34(2): 335-340.  
Liu Wei, Dai Tagen, Fu Wenjie, et al. Characteristics of ore-forming fluids of the Shihu gold deposit, western Hebei [J]. Geology in China, 2007, 34(2): 335-340 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘伟, 戴塔根, 傅文杰, 等. 冀西石湖金矿矿体赋存规律及深部找矿前景 [J]. 地质与勘探, 2007, 43(3): 25-30.  
Liu Wei, Dai Tagen, Fu Wenjie, et al. Ore occurrence regularity and prospecting of Shihu gold deposit in the western Heibe Province [J]. Geology and Prospecting, 2007, 43 (3): 25-30 (in Chinese with English abstract).
- [10] 汤艳杰, 张宏福, 英基丰, 等. 太行山地区中、新生代玄武质岩浆的源区特征与时空演化 [J]. 岩石学报, 2006, 22(6): 1657-1664.  
Tang Yanjie, Zhang Hongfu, Ying Jifeng, et al. Source characteristics and temporal-spatial evolution of Mesozoic and Cenozoic basaltic magmatism in the Taihang mountains [J]. Acta Petrologica Sinica, 22 (6): 1657-1664 (in Chinese with English abstract).
- [11] 杨赞中, 石学法, 于洪军, 等. 矿物热电性标型及其在大洋地质找矿中的应用 [J]. 矿物岩石, 2007, 27(1): 11-17.  
Yang Zanzhong, Shi Xuefa, Yu Hongjun, et al. Thermoelectricity and its application to oceanic prospecting [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2007, 27(1): 11-17 (in Chinese with English abstract).
- [12] 崔艳合. 土岭—石湖金矿床中黄铁矿的成分特征及其成因意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 1993, 12(4): 371-381.  
Cui Yanhe. Chemical composition of pyrite from the Tuling-Shihu gold district and its genetic significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogical, 1993, 12(4): 371-381 (in Chinese with English abstract).
- [13] 候满堂. 陕西镇安太白庙金矿黄铁矿热电性特征研究及其應用 [J]. 黄金, 2000, 21: 5-9.  
Hou Mantang. Study and application of the thermoelectricity characteristics of pyrite of Taibaimiao gold deposit, Zhen'an county, Shanxi Province [J]. Gold, 2000, 21: 5-9 (in Chinese with English abstract).
- [14] Chen Guangyuan, Sun Daisheng, Shao Wei, et al. Atlas of Mineralogical Mapping in East Jiaodong Gold Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 73-95, 119-125.

## Application of thermoelectric properties of pyrite in gold exploration in the Shihu gold deposit, western Hebei

CAO Ye, LI Sheng-rong, AO Chong, ZHANG Hua-feng,  
LI Zhen-zhen, LIU Xiao-bin

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobng Technology, China University of Geosciences, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

**Abstract:** This paper introduces the application of the pyrite thermoelectric property measurements in gold exploration of the Shihu gold deposit. Pyrite is the main gold-carrying mineral. Four gold mineralization stages may be distinguished. The thermoelectric type assemblage of pyrite is  $P < N \Rightarrow P \geq N \Rightarrow P > N \Rightarrow P \leq N$  from mineralization stages I to IV. In the mineralization area, from the top downward when (P and P% decrease, (N and N% increase, which in the main coincides with the results of mineralogical mapping by using the distribution of pyrite type (P%) and the mean of the thermoelectric coefficient (P). Some typomorphic information such as formation temperatures of pyrite, relative burial depths of orebodies, characteristics of orebodies and prospects of the deep part may be obtained according to thermoelectric properties of pyrite.

**Key words:** gold deposit; pyrite; thermoelectric; mineralogical mapping

**About the first author:** CAO Ye, male, born in 1983, doctor candidate, mainly engages in the study of genetic mineralogy; E-mail: cykaiyang@163.com.