

矿物热敏参数测试仪及其在地质找矿中的应用

赵亨达 王忠荣

(辽宁省地质实验研究所, 沈阳 110032)

主题词 热敏参数测试仪 金矿 材料常数 电阻温度系数 杂质激活能

提 要 介绍了国内外第一台矿物热敏参数测试仪研制的原理、应用范围和对一些金属矿物、半导体矿物的测试情况以及仪器在浙江、赣南等地区金矿找矿中的初步应用。

利用矿物物理特性进行地质找矿,是目前正在应用的找矿方法。国内外第一台矿物热敏参数测试仪的研制成功,可以为矿物学研究提供新的物理参数*。在对浙江、赣南、辽宁等地区某些金矿床中的黄铁矿热敏参数测试研究中,取得了一定效果。

1 热敏特性

热敏特性是指半导体物质的电阻值随温度变化而显著变化的特性^[1]。

对绝缘体而言,其禁带很宽,一般在5—10 eV以上,其能带的导带中没有电子存在。当外界温度升高的情况下,由于其禁带很宽,满带中的电子很难跃迁到导带中,故绝缘体电阻值很大,且电阻值不随外界温度的变化而变化。因此绝缘体物质不存在热敏特性。

对金属而言,从能带结构上看,金属不存在禁带,满带与导带联在一起,故金属的电阻率很小,电导率很大,是良好的导体。当温度升高时,金属中参加导电的电子数目不变。而只有晶格振动加强,才使电导率下降,电阻率变大。所以,金属材料具有小的正电阻温度系数,因而也不具有热敏特性。

对于半导体材料,从能带结构上看,基本和绝缘体相似,只是禁带较窄,一般在0.01—5 eV,所以,可以依靠热激发,把满带中的电子激发到导带上去,而导带中的电子就具有导电作用。当温度升高时,电子被激发,载流子数目增加很快,电导率可以增加几个数量级。所以,半导体材料具有很大的负电阻温度系数。因此,只有半导体物质具有热敏特性。

2 热敏参数

2.1 材料常数 B_n

材料常数 B_n 是描述负电阻温度系数材料的一个常数,它是热敏材料的基本特性之一。

本文于1993年6月22日收到,1994年2月7日改回。

* 中国地质矿产报,1992年11月18日

B_n 的表达式为:

$$R_T = R_{T_0} \cdot \exp B_n \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (1)$$

R_T, R_{T_0} ——温度为 T, T_0 时半导体的电阻值;

B_n ——负电阻温度系数的半导体材料常数;

T_0 ——样品加热前的开氏温度;

T ——样品加热后的开氏温度;

exp——自然对数底 e 的指数。

该公式是一个经验公式,在小于 450°C 的温度范围内,对负电阻温度系数的半导体材料都适用。 B_n 的大小反映了材料激活能的大小,反映了在不同温度下,半导体材料电阻值的变化。

2.2 负电阻温度系数 $\alpha_{r,n}$

半导体材料的电阻温度系数是指在某一温度区域内,样品电阻值随温度的变化率与样品电阻值之比。其表达式为:

$$\alpha_{r,n} = \frac{dR_T}{dT} \cdot \frac{1}{R_T} \quad (2)$$

$\alpha_{r,n}$ ——半导体材料的电阻温度系数;

R_T ——样品在开氏温度 T 时的电阻值。

$\alpha_{r,n}$ 的大小反映了样品电阻值随温度变化的大小,反映了热敏材料的温度灵敏度。

2.3 杂质激活能 ΔE

根据半导体材料的导电机理,其电阻率 ρ 和杂质的激活能 ΔE 有如下关系:

$$\rho_T = \rho_\infty \cdot \exp \frac{\Delta E}{2KT} \quad (3)^{[1]}$$

ρ_T ——温度为 T 时的电阻率;

ρ_∞ ——温度为 ∞ 时的电阻率;

ΔE ——杂质在半导体材料中的激活能;

K ——玻尔兹曼常数。

杂质激活能是指杂质掺入高纯半导体中,在能带的禁带中所形成的施主能级的激活能或受主能级的激活能。仪器测出的 ΔE 值为样品的统计性杂质激活能。

2.4 常温电阻 R_n

常温电阻 R_n 指室温下测出的样品电阻值,它与样品的形状、大小及本身的性质有关。如果各样品粒度相近,其统计性测试结果则反映了样品的本身性质。

矿物热敏参数测试仪能方便地测得上述热敏参数,并自动打印出单颗粒和统计性测试结果。

3 一些矿物的热敏参数测试

表1至表5为锡石、磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、毒砂的热敏参数测试结果。表中, R_L 为

50℃的样品电阻值, R_H 为100℃的样品电阻值。

由表1至表5可以看出, 多数被测样品的 $R_L > R_H$, 为负电阻特性, 其 B_n 值为正, α_{tn} 为负, ΔE 为正。但个别样品 $R_L < R_H$, 为正电阻特性 (只有表3的15), B_n 值为负, α_{tn} 为正, ΔE

表1 锡石的热敏参数测试

Table 1 Heat-sensitive parameter measurements of cassiterite

参数 样号	R_L (Ω)	R_H (Ω)	B_n ($^{\circ}\text{K}$)	α_{tn} (1/K)	ΔE (eV)
1	842	602	808	-0.0077	0.0696
2	1009	582	1326	-0.0127	0.1142
3	1015	626	1164	-0.0111	0.1003
4	1076	655	1196	-0.0114	0.1030
5	1084	671	1155	-0.0110	0.0995
6	1113	712	1076	-0.0103	0.0927
7	1249	650	1573	-0.0150	0.1355
平均	1055	643	1186	-0.0113	0.1021

注表1—7, 9—12, 14中数据的测试者为笔者

表2 磁铁矿的热敏参数测试

Table 2 Heat-sensitive parameter measurements of magnetite

参数 样号	R_L (Ω)	R_H (Ω)	B_n ($^{\circ}\text{K}$)	α_{tn} (1/K)	ΔE (eV)
1	34100	13000	2324	-0.02227	0.20017
2	66100	31000	1824	-0.01749	0.15716
3	18300	6800	2385	-0.02287	0.20549
4	44500	20900	1821	-0.01746	0.15683
5	29900	12100	2180	-0.02089	0.18778
6	62600	28600	1837	-0.01809	0.16260
7	11700	2200	4027	-0.0386	0.34688
8	100	10	5549	-0.05319	0.47795
9	23000	6300	3120	-0.02991	0.26879
10	42900	15100	2516	-0.02411	0.21673
11	8900	2420	3138	-0.0301	0.27032
12	5300	1770	2642	-0.02533	0.22765
13	16800	7100	2075	-0.01989	0.17877
14	19700	9900	1658	-0.01589	0.14283
15	15200	8500	2047	-0.01962	0.17633
16	23300	9700	2111	-0.02024	0.1819
17	30500	13200	2018	-0.01934	0.17384
18	34400	16000	1844	-0.01768	0.1588
19	26400	14100	1511	-0.01444	0.13018
20	9900	2860	2992	-0.02868	0.25775
21	10560	7100	956	-0.00317	0.082399
平均	25436	10793	2411	-0.02311	0.20768

表 3 黄铜矿的热敏参数测试
Table 3 Heat-sensitive parameter measurements of chalcopyrite

样号	参数 R_L (Ω)	R_H (Ω)	B_n ($^{\circ}\text{K}$)	α_{tn} (1/K)	ΔE (eV)
1	630	490	605	-0.00580	0.052166
2	1030	480	1839	-0.01764	0.15848
3	400	340	391	-0.00375	0.033732
4	520	480	192	-0.00185	0.016608
5	640	600	155	-0.00149	0.01339
6	430	380	297	-0.002854	0.025654
7	662	575	339	-0.003253	0.029241
8	301	256	390	-0.00374	0.033614
9	620	510	470	-0.004511	0.040539
10	1740	1190	915	-0.008775	0.078859
11	510	460	248	-0.002392	0.021411
12	2210	2020	216	-0.002076	0.018655
13	440	350	551	-0.005286	0.047503
14	980	910	178	-0.001711	0.015376
15	860	890	-82	-0.0007919	-0.007117
16	450	390	344	-0.003305	0.029702
17	270	210	605	-0.005805	0.052166
18	1640	1280	597	-0.005724	0.051446
19	490	370	677	-0.006488	0.058308
20	500	440	308	-0.002955	0.026531
平均	766	631	462	-0.004430	0.039813

表 4 黄铁矿的热敏参数测试
Table 4 Heat-sensitive parameter measurements of pyrite

样号	参数 R_L (Ω)	R_H (Ω)	B_n ($^{\circ}\text{K}$)	α_{tn} (1/K)	ΔE (eV)
1	1380	1100	546	-0.0052376	0.047069
2	260	200	632	-0.0060601	0.05446
3	190	110	1317	-0.012624	0.11344
4	2890	2120	747	-0.0071563	0.064311
5	70	50	811	-0.007772	0.069843
6	30	20	977	-0.0093656	0.084165
7	100	60	1231	-0.011799	0.10603
8	4510	3770	432	-0.0041392	0.037198
9	10720	8090	678	-0.0065015	0.058427
10	130	80	1170	-0.011214	0.10078
11	740	570	629	-0.0060287	0.054178
12	810	570	847	-0.0081167	0.07294
13	2390	1810	669	-0.0064205	0.057699
14	450	330	747	-0.0071638	0.064378
15	7190	5750	539	-0.0051622	0.046391
16	110	80	767	-0.0073556	0.066102

续表

参数 样号	R_L (Ω)	R_H (Ω)	B_n ($^{\circ}K$)	α_{tn} (1/K)	ΔE (eV)
17	1410	1120	555	-0.0053185	0.047796
18	170	90	1532	-0.014690	0.13201
19	230	170	728	-0.006982	0.062746
20	1610	960	1246	-0.011943	0.10732
平均	1047	782	814	-0.0078050	0.070141

表 5 毒砂热敏参数测试

Table 5 Heat-sensitive parameter measurements of arsenopyrite

参数 样号	R_L (Ω)	R_H (Ω)	B_n ($^{\circ}K$)	α_{tn} (1/K)	ΔE (eV)
1	990	390	2245	-0.021517	0.19337
2	1910	60	8778	-0.084143	0.75616
3	120	40	2647	-0.025376	0.22804
4	170	110	1049	-0.010054	0.09036
5	200	140	859	-0.0082384	0.074035
6	20	10	1670	-0.016010	0.14388
7	30	10	2647	-0.025376	0.22804
8	30	10	2647	-0.025376	0.22804
9	40	10	3340	-0.032021	0.28776
10	30	10	2647	-0.025376	0.22804
平均	349	85	2853	-0.027349	0.24577

表 6 一些矿物的常温电阻(R_n)测试

Table 6 Ordinary temperature resistance(R_n)measurements of some minerals

不同矿物的 R_n 及单位 样号	辉铜矿 (Ω)	锡石 (Ω)	黄铁矿 (Ω)	磁铁矿 (Ω)	黄铜矿 (Ω)	白铁矿 (Ω)
1	447	200	420	79300	300	1830
2	390	269	30	41500	650	2210
3	507	1408	20	32900	1560	1560
4	490	278	142	75800	550	3440
5	1138	68	35	27100	7360	3160
6	3600	741	854	7500	790	1190
7	1638	167	20	53200	280	3360
8	3230	152	1181	99700	490	8910
9	1860	733	318	16400	210	2050
10	4780	340	98	9300	1130	4230
平均	1808	435.6	311.8	44270	1332	3194

为负，其产生正电阻特性的原因尚未深入研究。目前，均按负电阻特性的公式加以计算。室温时矿物电阻测试如表 6 所示。

由表 1 至表 6 可以看出，矿物热敏参数是矿物的一种物理属性。由于成矿条件的千差万别，因而，同种矿物不同地区的样品热敏参数也不一样，即使同一样品的不同颗粒，由于杂质成分及数量不同，其热敏参数测试值也不尽相同。对于不同矿物，由于其本身性质和成矿条件不同，热敏参数测试值就更不同了。

对金属矿物的研究得知，多数金属矿物都是半导体矿物，因而，具有热敏特性的矿物占矿物种类的很大比例。通过矿物热敏参数的测试进行地质找矿，已成为一种可靠手段。笔者对浙江、赣南、辽宁等地区金矿中的黄铁矿进行了热敏参数测试，取得了一定成效。由于同一样品的不同颗粒热敏参数值不同，故对矿物样品热敏参数的测试采用统计方法，一般同一矿物样品测试 15—20 个颗粒。

4 矿物的热敏图谱

矿物的热敏图谱反映了矿物电阻随温度变化的情况，绝大多数半导体矿物的电阻值随温度的升高而减小，呈负电阻特性（见图 1 中的曲线 1—4），而金属的电阻值则随温度的升高而增加，呈正电阻特性（见图 1 中的曲线 5）。

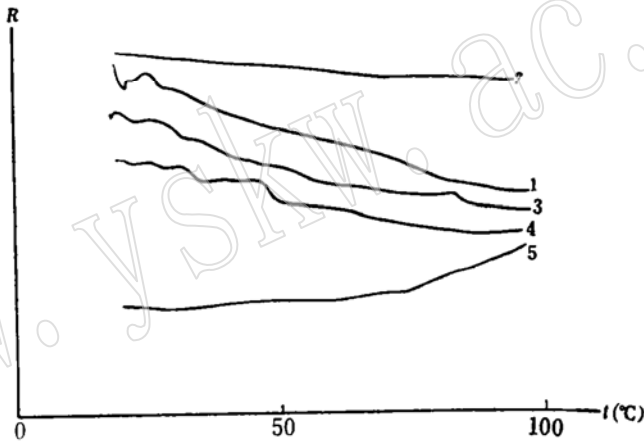


图 1 一些矿物的热敏图谱

1—黄铁矿；2—黄铜矿；3—毒砂；4—方铅矿；5—自然铋

Fig. 1 Heat-sensitive patterns of some minerals

1—Pyrite; 2—Chalcopyrite; 3—Arsenopyrite; 4—Galena; 5—Bismuth

t—温度； R—电阻，60Ω/cm（方铅矿 R 为 4 kΩ/cm）

5 黄铁矿热敏参数的测试与应用

5.1 浙江某金矿中黄铁矿的热敏参数

笔者测试了浙江某金矿中的 10 个黄铁矿样品，每个样品测试 15 个颗粒，其统计性测试

表 7 浙江某金矿中黄铁矿热敏参数测试
Table 7 Heat-sensitive parameter measurements of pyrite from a certain gold deposit in Zhejiang

样号 \ 参数	R_n (Ω)	R_L (Ω)	R_H (Ω)	B_n ($^{\circ}K$)	α_{Tn} (1/K)	ΔE (eV)
Py 1	27	15	15.5	-802.63	0.0077	-0.069
Py 3	26	22	21	-769.2	0.0075	-0.032
Py 7	2223	2173	2008	99.1	-0.0009	0.0685
Py 10	578	108	100	-383.8	0.0017	-0.031
Py 11	21	18	22	-1064	0.010	-0.092
Py 15	16	11	14	-717.6	0.0069	-0.062
Py 16	61	98	95	-165.8	0.0016	-0.014
Py 17	815	568	353	1019	-0.0098	0.077
Py 19	2687	1415	1061	597.7	-0.0057	0.052
Py 21	556	1213	581	985.1	-0.0094	0.085

表 8 浙江某金矿中黄铁矿样品的单矿物化学成分分析*
Table 8 Single mineral analyses of pyrite from a certain gold deposit in Zhejiang

样号 \ 元素	Fe	S	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Co
Py 1	46.06	53.41	12	16	718	21	35	1308
Py 3	45.81	52.26	75	69	17622	73	31	737
Py 7	45.70	54.13	231	458	208	21	50	430
Py 10	45.18	54.19	200	45	5087	280	43	536
Py 11	46.84	52.99	184	36	53	21	29	812
Py 15	45.90	53.56	25	10	3100	21	36	1408
Py 16	44.81	54.60	419	32	2743	127	45	1914
Py 17	45.94	53.34	4	70	1244	1544	1814	378
Py 19	44.47	51.02	9	161	42869	1136	600	84
Py 21	46.39	53.09	2	28	926	936	312	61

样号 \ 元素	Ni	Tc	As	TiO ₂	Se	Ba	Hg	Sb
Py 1	116	4	5	0.31	6	4	3	1
Py 3	325	4	26	0.03	0.3	0.1	5	2
Py 7	110	104	10	0.01	3	58	8	2
Py 10	142	6	9	0.01	1	0	4	3
Py 11	83	41	4	0.04	2	0.2	3	1
Py 15	122	4	12	0.04	0.3	5	4	2
Py 16	222	8	23	0.03	3	12	6	3
Py 17	135	8	337	0.17	0.4	2	6	13
Py 19	21	3	79	0.01	0.3	8	10	5
Py 21	31	0.1	1960	0.08	0.5	3	5	82

注：Fe、S、TiO₂为百分含量，其余为 10⁻⁶

* 由中国地质大学梅建明老师提供

数据见表7。这些样品的单矿物化学分析见表8。

通过对上述样品的数据处理,得出杂质激活能的均方差(δ)和相对均方差(δ'),从而发现 ΔE 相对均方差 δ' 绝对值高的样品($>200\%$)其金、银含量也高(见表9中Py16、Py3、Py7、Py10)。 R_L/R_H 值与金银含量关系见表10。从表10可看出如下规律:

表9 浙江某金矿中黄铁矿杂质激活能与金、银含量关系

Table 9 Relationship between activation energy of impurities and gold and silver contents of pyrite from a certain gold deposit in Zhejiang

样号	颗粒数	ΔE 变化区间 (eV)	ΔE 平均值 (eV)	ΔE 均方差 δ'	ΔE 相对均方差 $\delta'(\%)$
Py 16	15	-0.116—+0.184	-0.01428	0.0611	-427.9
Py 3	15	-0.190—+0.261	-0.0318	0.1021	-321.2
Py 7	15	-0.046—+0.055	+0.00853	0.0270	+317.5
Py 10	15	-0.143—+0.0841	-0.0330	0.0711	-215.2
Py 17	15	-0.065—+0.438	+0.07763	0.1035	+133.3
Py 21	15	+0.0166—+0.392	+0.08484	0.09655	+113.7
Py 15	15	-0.175—+0.0188	-0.06181	0.0572	-92.6
Py 1	15	-0.143—+0.097	-0.0691	0.0578	-83.6
Py 11	15	-0.190—+0.014	-0.09167	0.0638	-69.6
Py 19	15	+0.0078—+0.0978	+0.05148	0.02052	+39.8

样号	R_n (Ω)	R_L (Ω)	R_H (Ω)	Au 含量 ($\times 10^{-6}$)	Ag 含量 ($\times 10^{-6}$)
Py 16	61	98	95	419	32
Py 3	26	22	21	75	69
Py 7	2223	2173	2008	231	458
Py 10	578	108	100	200	45
Py 17	815	568	353	4	70
Py 21	556	1213	581	2	68
Py 15	16	11	14	25	10
Py 1	27	15	15.5	12	16
Py 11	21	18	22	184	36
Py 19	2687	1415	1061	9	161

表中:

$$\delta = \frac{\sum x^2 - nx^2}{n}$$

$$\delta' = \frac{\delta}{x} \times 100\%$$

(1) R_L/R_H 值为1.0—1.1的黄铁矿其金、银含量皆高,此为其特征。其经验公式为:

$$\Delta E' = \frac{(R_L/R_H - 1) \times 2 - 0.1}{10} \quad (4)$$

根据 $\Delta E - \Delta E'$ 的代数值相对大小,可以看出它们的金、银含量的相对高低,详见表11。公式(4)适用于 $1.0 < R_L/R_H < 1.55$ 的范围。由表11看出, $\Delta E - \Delta E'$ 的代数值大小顺序为:Py7、Py16、Py3、Py10,而黄铁矿金、银含量的高低顺序恰与其一致(样品Py10除外)。

表 10 浙江某金矿中黄铁矿 R_L/R_H 与金、银含量关系
Table 10 Relationship between R_L/R_H and gold and silver contents of pyrite from a certain gold deposit in Zhejiang

样号	R_L (Ω)	R_H (Ω)	R_L/R_H	ΔE (cV)	Au ($\times 10^{-6}$)	Ag ($\times 10^{-6}$)
Py 16	98	95	1.03	-0.01428	419	32
Py 3	22	21	1.05	-0.0318	75	69
Py 7	2173	2008	1.08	+0.00853	231	458
Py 10	108	110	1.08	-0.0330	200	45
Py 17	568	353	1.61	+0.07763	4	70
Py 21	1213	581	2.09	+0.08484	2	68
Py 15	11	14	0.78	-0.06181	25	10
Py 1	15	15.5	0.97	-0.0691	12	16
Py 11	18	22	0.82	-0.09167	184	36
Py 19	1415	1061	1.33	+0.05148	9	161

表 11 浙江某金矿中黄铁矿 $\Delta E-\Delta E'$ 与金、银含量关系
Table 11 Relationship between $\Delta E-\Delta E'$ and gold and silver contents of pyrite from a certain gold deposit in Zhejiang

样号	R_L/R_H	ΔE (cV)	$\Delta E'$ (cV)	$\Delta E-\Delta E'$ (cV)	Au ($\times 10^{-6}$)	Ag ($\times 10^{-6}$)
Py 16	1.03	-0.01428	-0.004	-0.010	419	32
Py 3	1.05	-0.0318	0	-0.0318	75	69
Py 7	1.08	+0.00853	0.006	0.00253	231	458
Py 10	1.08	-0.0330	0.006	-0.039	200	45

(2) R_L/R_H 值大于 2.0 的黄铁矿金、银含量低, 如: 样品 Py 21。

(3) R_L/R_H 值小于 1.0 的黄铁矿金、银含量居中, 如: 样品 Py 1、Py 15。

(4) $\Delta E+0.01 > \Delta E'$ 的黄铁矿金、银含量高, 如: 样品 Py 19。

5.2 赣南某金矿中黄铁矿的热敏参数

笔者测试了赣南某金矿中 7 个黄铁矿样品, 每个样品测试 20 个颗粒, 其统计性测试数据见表 12。样品的化学分析结果见表 13。 R_L/R_H 值与黄铁矿金、银含量的关系见表 14。从表 14 可以看出:

(1) 当 $1.1 < R_L/R_H < 1.55$ 时, 据公式 (4) 求得样品的 $\Delta E'$ 和 $\Delta E-\Delta E'$ 值, 列入表 14 中。由表 14 看出, $\Delta E-\Delta E'$ 的代数值越大, 黄铁矿含金、银量也越高 (Py 7 样品除外)。样品含金、银量从高至低的顺序为: Py 1, Py 3, Py 5, Py 2, Py 4, Py 6, 恰与 $\Delta E-\Delta E'$ 的代数值大小顺序一致。

由表 14 还可以看出: $\Delta E+0.01 > \Delta E'$, 黄铁矿的金、银含量高; $\Delta E+0.01 < \Delta E'$, 黄铁矿的金、银含量低。如表 14 中样品 Py 6 金、银含量低便符合上述规律。

(2) 当 $1.55 \leq R_L/R_H < 2$ 时, 若 $\Delta E \geq 0.10$, 则样品金、银含量高, 如样品 Py 7。

表 12 赣南某金矿中黄铁矿热敏参数测试

Table 12 Heat-sensitive parameter measurements of pyrite from a certain gold deposit in southern Jiangxi

参数 样号	R_n (Ω)	R_L (Ω)	R_H (Ω)	B_n ($^{\circ}\text{K}$)	α_{tn} (1/K)	ΔE (eV)
Py 1	899	1942	1559	838.6	-0.008	0.072
Py 2	2315	1047	782	814.3	-0.0078	0.070
Py 3	1262	932	731	729.9	-0.0069	0.062
Py 4	3583	2486	1612	1054	-0.0101	0.090
Py 5	2568	2251.5	1610	974.0	-0.0093	0.084
Py 6	2298	1521	1000	918.7	-0.008	0.079
Py 7	1484	811	441	1222	-0.0117	0.105

表 13 赣南某金矿中黄铁矿样品的单矿物化学分析*

Table 13 Single mineral analyses of pyrite from a certain gold deposit in southern Jiangxi

元素	样号	Py 1	Py 2	Py 3	Py 4	Py 5	Py 6	Py 7
S (%)		52.62	53.34	51.56	53.00	52.77	53.42	53.03
Fe (%)		45.64	46.29	45.62	46.18	45.64	46.24	45.81
Ti (%)		0.018	0.021	0.004	0.004	0.006	0.037	0.016
Sb (10^{-6})		48.0	4.4	56.5	6.1	15.3	5.6	26.5
Bi (10^{-6})		3.0	2.1	2.0	0.5	30.3	1.5	1.8
As (%)		0.607	0.198	1.64	0.248	0.414	0.179	0.054
Cu (%)		0.065	0.097	0.592	0.234	0.201	0.013	0.665
Zn (%)		0.135	0.208	0.259	0.262	0.230	0.008	0.069
Pb (%)		0.636	0.037	0.412	0.054	0.521	0.000	0.547
Ag (10^{-6})		464.5	89.3	421.7	827	3271	4.84	86.7
Au (10^{-6})		181.0	37.0	134.0	21.0	132.0	2.0	103.0
Ni (10^{-6})		15.0	32.0	5.0	5.0	2.0	192	129
Co (10^{-6})		460	450	7.0	12.0	7.0	48.0	34.0
Sc (10^{-6})		0.14	0.03	0.03	0.05	0.07	32.5	2.3
Tc (10^{-6})		0.05	0.16	0.12	0.14	0.07	0.09	0.54
Cr (10^{-6})		4.6	2.3	2.2	2.4	0.0	0.0	2.0

* 中国地质大学邵洁菡教授提供

表 14 赣南某金矿中黄铁矿 R_L/R_H 与金、银含量的关系
 Table 14 Relationship between R_L/R_H and gold and silver content of pyrite from a certain gold deposit in southern Jiangxi

样号	R_L (Ω)	R_H (Ω)	R_L/R_H	ΔE (eV)	$\Delta E'$ (eV)	$\Delta E - \Delta E'$ (eV)	Au ($\times 10^{-6}$)	Ag ($\times 10^{-6}$)	Ag、Au含量 顺序
Py 1	1942	1559	1.25	0.072	0.04	0.032	181.0	464.5	1
Py 2	1047	782	1.34	0.070	0.058	0.012	37.0	89.3	4
Py 3	932	731	1.27	0.062	0.044	0.018	134.0	421.7	2
Py 4	2486	1612	1.54	0.090	0.098	-0.008	21.0	82.7	5
Py 5	2252	1610	1.40	0.084	0.070	0.014	132.0	327.1	3
Py 6	1521	1000	1.52	0.079	0.094	-0.015	2.0	4.8	6
Py 7*	811	441	1.83	0.105	0.156	-0.051	103.0	86.7	

* Py7样品 $R_L/R_H = 1.83 > 1.55$, 故表中 Au、Ag 排序中设有该样品 (所有排序样品 $R_L/R_H < 1.55$)

6 结论

根据浙江、赣南等地区金矿床中黄铁矿的热敏参数测试应用, 可以初步总结出热敏参数测试在黄铁矿中的应用如下:

- (1) 若 $1.0 < R_L/R_H \leq 1.10$, 此类样品金、银含量皆高。
- (2) 若 $1.10 < R_L/R_H \leq 1.55$, 再据公式(4)分析:
 $\Delta E + 0.01 > \Delta E'$, 此类样品金、银含量高;
 $\Delta E + 0.01 < \Delta E'$, 此类样品金、银含量低。
- (3) $1.55 < R_L/R_H \leq 2.0$, 若 $\Delta E \geq 0.10$, 此类样品金、银含量较高。
- (4) $R_L/R_H > 2.0$, 此类样品金、银含量较低。
- (5) $R_L/R_H < 1.0$, 此类样品金、银含量居中。

以上规律是根据上述两个地区总结出来的, 还有待于在其它地区进一步验证。

在应用过程中得到了中国地质大学(北京)邵洁涟教授、梅建明老师的大力支持和帮助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 徐开先. 热敏电阻器, 北京: 机械工业出版社, 1981. 39—47.
- 2 陈立坚. 实用电子计算公式, 北京: 国防工业出版社, 1981. 16.

An Instrument for Measuring Heat-Sensitive Parameters of Minerals and Its Application to Geological Prospecting

Zhao Hengda, Wang Zhongrong

(Liaoning Institute of Geological Experiments, Shenyang 110032)

Key words: instrument for measuring heat-sensitive parameters; gold deposit; material constant; resistance temperature coefficient; activation energy of impurity

Abstract

The present paper deals with the physical principle and application range of the first instrument for measuring heat-sensitive parameters of minerals in the world as well as its effectiveness in measuring metallic and nonmetallic minerals. Its tentative application to the prospecting for gold deposits in Zhejiang and southern Jiangxi is also described.