

文章编号: 1001-1412(2000) 01-0072-05

黄铁矿在铀矿判盲中的意义

黄海玲

(核工业华南地质局 290 研究所, 广东 韶关 512026)

摘要: 与铀矿床伴生的黄铁矿, 其热导电性、主元素 Fe/S 比值及杂质元素 As, Sb, Hg, Co, Ni, Mo 的含量变化等都可用来判别铀矿体的剥蚀程度, 在铀矿找矿过程中具有一定的判盲意义。

关键词: 铀矿床; 黄铁矿; 判盲

中图分类号: P578.2⁺92; P619.14

文献标识码: A

随着找矿工作的深入, 出露地表的明矿越来越少, 今后找矿的对象将主要是盲矿。因此, 开展立体成矿规律及判盲标志的研究, 就成为今后扩大找矿领域, 解决纵深找矿问题的主要课题之一。

黄铁矿是铀矿床的重要伴生金属矿物之一, 富矿床尤然。与铀矿化有关的黄铁矿多呈胶状、偏胶状, 自纯程度低, 杂质含量高。唯其如此, 在铀矿找矿过程中, 通过对黄铁矿某些特征的研究, 往往会发现一些有重要判盲意义的信息。今以某复式岩体南部几个花岗岩型铀矿为例, 对此作一小议。

1 黄铁矿热导电性的判盲意义

黄铁矿是一种具半导体性质的不透明矿物, 而且是一种内部结构不很完备的半导体。按现代半导体理论, 半导体电子能谱是能极不连续系列, 通过半导体电流的电子聚集在两个“容许”能带范围内, 一个叫“满带”。因此, 内部结构不很完备的半导体, 通常可分为满带电子(P型)和空带电子(N型)两类。若载流子是空带电子, 则黄铁矿具电子导电性(N型), 若载流子是满带电子, 则黄铁矿具空穴导电性(P型)。因此, 当黄铁矿含有某种杂质离子、原子时, 晶体间隙有额外充填而引起晶格局部价键轨道畸变, 改变其导电性能。一般情况下, 阳离子或金属离子过剩, 常引起电子型导电(N型), 热电系数为负值, 反之阴离子或非金属离子过剩常为空穴型导电(P型), 热电系数为正值。热电系数为:

$$= V_{np} / t \times 1000 \text{ V/}$$

收稿日期: 1999-9-27;

修订日期: 1999-12-22

作者简介: 黄海玲(1969-), 女, 湖南人, 学士, 工程师。1989年毕业于南京大学地质系岩矿专业。现主要从事铀矿地质的岩矿工作。

式中: V_{np} 为补偿热电动势, 单位为 mV , t 为活化温度, 亦为温度差值。

控制黄铁矿热电性最主要的因素是黄铁矿中的微量元素。特别是 As, Sb, Co, Ni 的含量对其影响最大。其中 Co, Ni 类质同象置换黄铁矿中的 Fe , 而 Sb, As 类质同象则置换黄铁矿中的 S 。每个 As 原子进入黄铁矿晶格中将使黄铁矿晶格中增加一个空穴, Co 的 $3d$ 电子比 Fe 多 1, Ni 的 $3d$ 电子比 Fe 多 2, 它们进入黄铁矿晶格中将分别使黄铁矿增加 1 个或 2 个电子。而根据一般热液矿床原生晕垂向分带序列, Co, Ni 常为矿尾晕, 因而在矿体下部的黄铁矿中含量相对增高。 As, S 因其具挥发性常呈矿头晕, 使其在矿体上部黄铁矿中含量相对增高。一般矿体下部较早形成的黄铁矿成矿温度较高, 热电系数常呈电子型, 矿体上部较晚形成的黄铁矿成矿温度相对较低, 热电系数常呈空穴型。

与铀矿化有关的黄铁矿电子导型有 N 型、 P 型、 $N+P$ 型三种。国内外许多研究表明, 铀矿体上部一般 P 型(空穴型)黄铁矿带占多数, 中部 $N+P$ 型(混合型)黄铁矿带, 而下部为 N 型(电子型)黄铁矿带占多数。由取自 4362、6405 矿床的成矿期黄铁矿热电性测定结果看, 与铀矿化有关的黄铁矿, 以空穴导电性(P 型)和电子-空穴混合导电性($N+P$ 型)为主, 且具有垂直分带性: 沿铀矿体从上到下, 补偿热电动势、热电系数、空穴型样品数/样品总数比值逐渐增大, 表明电子导电性黄铁矿上多下少, 空穴导电性黄铁矿上少下多(表 1)。这一结论与大多数结论相反, 这与该区地块边成矿边上隆, 成矿热液活动从上到下、由早到晚, 成矿温度由高到低的逆向分带性有关, 这也与铀矿石实际测温结果十分相符。由于成矿地块上部温度较高, 因而富 Co, Ni 贫 As, S , 热电系数以电子型为主; 地块下部温度较低, 富 As, S 而贫 Co, Ni , 热电系数呈空穴型居多, 因而造成电子导电性黄铁矿上多下少, 空穴导电性黄铁矿上少下多这种状况。

表 1 成矿期黄铁矿热电性测定结果表

Table 1 Measurements of thermal conductivity for pyrites formed in the ore-forming stage

取样位置	测定样品数 (颗)	热 电 动 势		补偿热电动势	热电系数	空穴样品数	热电场类型	
		(V_p)	(V_n)	(V_{np})	()	(样品总数)		
		(mV)	(mV)	(mV)	($V/$)	(%)		
四 三 六 二 矿 床	245 中段	20	+ 194.70	- 348.10	- 7.67	- 54.80	35	电子-空穴型
	160 中段	20	+ 253.90	- 331.30	- 3.87	- 27.60	40	空穴-电子型
	145 中段	40	+ 1533.05	- 27.60	+ 75.27	+ 537.65	97.5	空穴型
六 四 矿 床	230 中段	20	+ 71.80	- 470.70	- 19.95	- 142.50	15	电子型
	185 中段	20	+ 479.40	0	+ 23.97	+ 171.20	100	空穴型

活化温度: 140

由上述结果, 我们还可以根据不同导电性黄铁矿的比例, 来大致判断铀矿床的剥蚀程度。

根据黄铁矿 P 型出现率(即空穴样品数/样品总数)大小可计算出矿体的剥蚀率,其结论与 P 型出现率大小成正比,如果黄铁矿 P 型出现率大,则表明此矿床剥蚀程度较深,剥蚀率较大,否则,则表明矿床剥蚀程度较浅,剥蚀率较小。这里,剥蚀率最大的是 6405 矿床的 185 m 层位,最小的是 6405 矿床的 230 m 层位。

2 黄铁矿主元素的判盲意义

黄铁矿的主元素为 Fe 和 S,其理论值是 $w(\text{Fe}) = 43.55\%$, $w(\text{S}) = 53.45\%$, $\text{Fe}/\text{S} = 0.875$, $\text{S}/\text{Fe} = 1.1482$ 。但在复杂的地质作用过程中,因都不同程度地混入了其它杂质元素,而出现非标准化学计量特点,使其主元素含量往往偏离理论值。

我们在不同矿床、矿点上共取了 8 个成矿期黄铁矿样品,其 $w(\text{Fe})$ 平均值为 46.65%, $w(\text{S})$ 为 48.42%,较理论值盈铁亏硫; Fe/S 比值平均为 0.96,高于理论值。这可以理解为该区铀成矿是在一种微弱富铁而又特别亏硫的封闭环境中进行的。4362 和 6405 矿床不同标高上黄铁矿的 Fe/S 比值,均显示了上小下大的变化特点(表 2),展现了铀矿体上部黄铁矿相对亏铁盈硫,铀矿体下部黄铁矿相对盈铁亏硫的变化趋势。说明下部成矿环境相对于上部来说,硫逸度更低,更趋向于封闭环境。我们可以据此判别铀矿体的剥蚀程度。如果 Fe/S 比值愈大,愈高于理论值,说明盈铁亏硫;接近于下部成矿环境,铀矿体的剥蚀程度较深。如果 Fe/S 比值愈小,愈接近理论值,表明环境亏铁盈硫,接近于上部成矿环境铀矿体的剥蚀程度较浅。

表 2 4362 和 6405 矿床不同中段黄铁矿主元素含量及其比值表

Table 2 Fe, S contents and the ratios of pyrite from different levels of 4362 and 6405 U- deposit.

矿床	剖面号	中段	Fe	S	Fe/S	S/Fe	U	备注
		m	$w(\text{B})/\%$				$w(\text{U})/10^{-6}$	
四三六一	31	245	46.83	51.27	0.913	1.0948	10.75	矿体中上部
		195	47.78	51.46	0.928	1.0770	28.40	矿体中部
		145	46.68	47.07	0.992	1.0073	1923.90	矿体中下部
六四	0	230	43.36	45.92	0.944	1.0590	23950	地表
五		186	43.67	45.14	0.967	1.0337	8877.10	矿体中下部
理论值			46.55	53.45	0.875	1.1482		

由表 2 可以看出,当黄铁矿的 Fe/S 比值愈接近理论值时,表明矿体剥蚀程度愈浅,愈高于理论值时,且偏离的数值愈大,则说明矿体的剥蚀程度愈深。所以,该比值可以用作判别铀矿体的剥蚀深度。

3 黄铁矿杂质元素的判盲意义

经单矿物分析,本区与铀矿化密切伴生的黄铁矿中,主要杂质元素为 As, Sb, Co, Ni, Pb, Zn, 其次为 Mo, Bi, Ag, Hg(表3)。

俯读表3,我们发现沿垂深方向, As, Sb, Co/Ni, (As+10Sb)/100Bi 明显地呈现出上低下高的变化趋势。从地球化学角度讲, As, Sb, Co 都有愈晚愈低温愈加富集的趋向。这是因为 As, Sb 可以取代部分 S 而进入黄铁矿晶格, Co 可以取代部分 Fe 而进入黄铁矿晶格,而这种取代越近晚期低温越易进行之故。这里特别值得一提的是 Co/Ni 比值,由矿体上部(或地表)往深部垂向增大十分明显,展示矿体上部相对富 Ni, 而矿体下部则相对富 Co, 同样印证了本地铀矿床成矿时温度上高下低的逆向分带性。因为就 Ni, Co 二价阳离子的八面体择位能而言, Ni^{2+} ($86.2481 \times 10^3 \text{ J/mol}$) 与 Co^{2+} ($100.4832 \times 10^3 \text{ J/mol}$) 差别明显,故 Ni 在成矿早期温度较高的环境下相对富集,而 Co 则在成矿晚期温度较低的环境下相对富集。由此也进一步佐证了本区铀成矿块体是边成矿边上隆,成矿时间上早下晚,成矿温度上高下低的逆向分带性的事实。根据上述变化特点,可以大致推测铀矿体的剥蚀深度,如果 As, Sb, Co/Ni, (As+10Sb)/100Bi 数值越大,表明越接近矿根相,剥蚀深度也越大;反之, As, Sb, Co/Ni, (As+10Sb)/100Bi 值越小,越接近矿体上部,剥蚀率越小。

表3 某些矿床、矿点不同标高黄铁矿杂质元素分析结果表

Table 3 Chemical analysis of pyrite from different levels.

矿床(点)	剖面号	标高(m)	As	Sb	Co	Ni	Pb	Zn	Mo	Bi	Ag	Hg	Co/Ni	(As+10Sb)/100Bi
			$w(B)/10^{-6}$											
4362 矿床	31	245	981.40	0.2	188.30	1403.38	142.80	156.00	1.62	8.06	2.80	2.25	0.13	1.22
		195	3445.60	36.30	6.08	34.88	204.00	98.00	2.78	0.68	3.30	0.38	0.17	56.00
		145	7864.80	37.55	12.54	45.34	392.65	395.25	8.67	1.44	5.24	0.44	3.60	57.22
6405 矿床	0	230	1773.50	40.70	55.56	32.55	5500.00	129.00	14.13	126.20	77.66	4.12	1.71	0.17
		185	6376.50	77.30	66.31	32.55	2790.00	161.00	112.30	113.30	50.30	1.50	2.04	0.63
水口 矿点		地表	3593.10	1409.90	12.50	23.25	72.00	76.00	217.40	1.05	11.48	37.25	0.54	476.47

至于表3中所列的 Mo 和 Hg, 其变化特点前者上低下高, 后者上高下低, 这是因为 Mo 属铀矿的矿尾晕元素, Hg 属铀矿的矿头晕之故, 这更是判别铀矿体剥蚀程度的标志, Mo 低、Hg 高则意味着剥蚀深度浅, Mo 高 Hg 低则意味着剥蚀深度大, 已进入矿根相。

综上所述, 能指示深部可能有隐伏铀矿体存在, 而非矿根相的黄铁矿, 应是 As, Sb, Co, Mo 含量低, Hg, Bi, Ni 含量高, Co/Ni, (As+ Sb)/Bi 比值小的黄铁矿; 反之, 则意味着矿体剥蚀程度高, 已进入矿体的下部, 深部找矿希望渺茫。如表3中所列水口铀矿点, 成矿期黄铁矿中 As, Sb, Mo 出现高含量, 相反, Bi, Ni 含量相对较低, 很可能就反映了矿体剥蚀程度较高, 已进入矿根相, 所以深部揭露矿化情况不佳。

4 几点结论

1. 黄铁矿是铀矿床中最普遍的伴生金属矿物之一。与铀矿化有关的黄铁矿多呈胶状、偏胶状,自纯程度低,杂质含量高,这是鉴别铀成矿期还是非成矿期黄铁矿的重要标志。

2. 黄铁矿的热电导性在铀矿找矿过程中有重要判盲意义。例如,4362,6405矿床空穴导电性黄铁矿(P型)有随深度增加而增加的变化趋势。因此,利用空穴样品数与样品总数的比值来判断铀矿体的剥蚀程度成为可能。

3. 黄铁矿中的Fe/S值愈接近理论值时,表明铀矿体的剥蚀程度愈浅;愈高于理论值时,且偏离的数值愈大,则说明矿体的剥蚀程度愈深。

4. 黄铁矿中As, Sb, Co, Mo含量低, Hg, Ni, Bi含量高,可能预示着深部有铀的盲矿体存在;反之,则意味着已进入矿根相,深部找矿希望不大。

5. 上述2、3、4点结论,适用于铀成矿作用垂直逆向分带性的情况;若属正向分带的话,则可以出现相反的情况。

参考文献:

- [1] 胡家燕. 贵州地质科技情报[J]. 1987, (2)-(3).

THE SENSES OF PYRITE IN DISCERNING BLIND ORES OF URANIUM DEPOSITS

HUANG Hai-ling

(Institute No. 290, South china Bureau of Geology, CNNC. Shaoguan 512026, China)

Abstract: Pyrite is associated with uranium deposits. Its thermal conductivity, Fe/S ratio and variation of As, Sb, Hg, Co, Ni, Mo can all be used to identify the original condition of uranium ore body. So pyrite has certain senses for discerning blind ores of uranium deposits.

Key words: uranium deposit; pyrite; discerning blind ore.