

成果与方法

黄铁矿热电性研究在谢家沟金矿评价中的应用*

张志启¹, 王建国², 邓军², 韦延光³, 闫顺令¹, 马启光¹, 刘娜¹

(1. 山东招远市金亭岭矿业有限公司, 山东 招远 265400; 2. 中国地质大学, 北京 100083; 3. 中国地质调查局, 北京 100011)

摘要: 谢家沟金矿是胶东地区新发现的大型金矿床, 矿床类型为“焦家式”与“玲珑式”的过渡类型。对矿床 3 种主要矿石类型、不同中段的 22 个矿石样品进行了黄铁矿热电性测试, 结果表明黄铁矿以 N 型导电为主, 早期形成的黄铁矿绢英岩中黄铁矿热电系数最大, 主成矿阶段形成的黄铁矿—黄铜矿绢英岩次之, 晚期的黄铁矿—黄铜矿石英脉最小; 从 +130m 中段到 +242m 中段, N 型黄铁矿的出现率逐渐变小, 热电系数也随之下降, 认为矿体的浅部已被剥蚀, N 型黄铁矿出现率表现较好的连续性说明深部资源潜力很大。

关键词: 金矿; 黄铁矿; 热电性; 谢家沟

中图分类号: P618.51; P574.1⁺9; P578.2⁺92

文献标识码: A

谢家沟金矿位于山东省招远市西南部, 是胶东地区新发现的大型金矿床。矿床位于招平断裂带与焦家断裂带之间, 矿石以绢英岩为主, 局部发育石英脉, 属“焦家式金矿”与“玲珑式金矿”的过渡类型金矿床^[1~3]。前人对胶东地区焦家式金矿和玲珑式金矿开展了大量关于载金矿物黄铁矿热电性的研究工作, 并利用此方法对 2 种类型的多个金矿床进行了成矿前景评价, 收到良好的效果^[4~12]。但对于该区过渡类型金矿床的黄铁矿热电性特征, 尚未开展系统的测试分析工作, 本文以谢家沟金矿不同矿石类型的含金黄铁矿为研究对象, 开展热电性标型特征研究, 为矿床的评价提供相关信息, 并为矿床进一步的找矿和勘探提供有益的参考依据。

1 基本原理

热电性是指半导体类矿物加热带电的性质。矿物热电性的基本原理是利用金属或半导体矿物在温差条件下产生的热电效应。通过固定黄铁矿颗粒, 并控制其两端温度差为一定值, 则不同黄铁矿颗粒的热电动势 (E) 的大小存在差别, E 为负值时, 矿物为电子导电 (n 型导电); E 为正值时, 为空穴导电 (p 型导电)。矿物热电系数 (μ) 是单位温度差的热电动势, 其

计算公式为^[7]:

$$\mu = E / t \times 1000 \quad (1)$$

式中: μ 为热电系数, 单位 $\mu / ^\circ\text{C}$; E 为热电动势, 单位为 mv; t 为温度差, 单位 $^\circ\text{C}$ 。

值的大小反映了矿物导电性质的差异, 它取决于矿物类质同像中杂质的种类和浓度, 以及晶体结构缺陷的类型与密度等^[7]。

黄铁矿矿物类质同像中杂质元素的种类、浓度与其形成时的温、压条件关系密切, 因此, 利用黄铁矿热电性标型特征可以推测成矿的温、压条件, 分析矿床的剥蚀程度, 并进行深部资源评价。

2 样品特征

谢家沟金矿为“焦家式金矿”与“玲珑式金矿”的过渡类型金矿床, 矿石类型复杂多样, 宏观上分为氧化矿石和原生矿石, 其中原生矿石是矿床主要矿石类型。据矿石矿物组合及产出特征, 又将其分为黄铁矿绢英岩、黄铁矿—黄铜矿绢英岩、多金属硫化物绢英岩和黄铁矿—黄铜矿石英脉等 4 种类型, 其中黄铁矿绢英岩、黄铁矿—黄铜矿绢英岩和黄铁矿—黄铜矿石英脉等类型矿石含有大量粒度较大的黄铁矿, 是本文的主要研究对象。3 种矿石类型的测试样品采自矿床中

收稿日期: 2005-07-27; 修订日期: 2005-11-02; 编辑: 孟舞平

作者简介: 张志启 (1962-), 男, 山东龙口人, 高级工程师, 主要从事金矿地质勘探工作。

规模较大,产状稳定的 3-4 号矿体,包括 +242 m, +170 m 和 +130 m 中段的 22 个样品,其中黄铁绢英岩型矿石 7 个,黄铁矿-黄铜矿绢英岩型矿石 11 个,黄铁矿-黄铜矿石英脉型矿石 4 个。

黄铁绢英岩型矿石:主要产于矿体的中部,硅化和绢英岩化强烈,是主成矿期早阶段的产物。金属矿物简单,主要是半自形晶、他形晶的黄铁矿,粒度相对较小,一般不超过 1 mm,呈斑点状、浸染状产出,占矿石体积 10%~20%左右。黄铜矿含量少,呈稀疏浸染状分布。矿石发育包含结构、交代溶蚀结构和压碎结构。该类矿石金品位一般 3~15 g/t。

黄铁矿-黄铜矿绢英岩型矿石:是矿体的主要矿石类型,金属矿物含量高,一般为矿石体积的 10%~40%,主要包括黄铁矿和黄铜矿,偶见方铅矿、辉铜矿等,矿石矿物呈斑点状、稠密浸染状、细脉状产出,局部为团块状。矿石发育交代溶蚀结构和交代残余结构。矿石金品位一般小于 10 g/t。

黄铁矿-黄铜矿石英脉型矿石:是成矿晚期和后期脉岩叠加成矿作用的产物,在矿体中普遍产出。本

文测试对象主要是成矿晚期形成的含金石英脉,它产于绢英岩型矿石中。矿石矿物主要是黄铁矿和黄铜矿,呈脉状、块状产出,一般占矿石体积 15%~60%。矿石发育交代溶蚀结构。脉石矿物主要是烟灰色石英。矿石金品位较高,一般大于 15 g/t。

3 黄铁矿热电性测试及结果

本文实验测试采用 XXR-1 型矿物热电系数测定仪,设定的温度差为 40 $^{\circ}$ C。对 22 个地质样品进行破碎,从每个样品中挑选不少于 20 粒粒度较大的黄铁矿单晶作为测试对象,测得的电动势直接从仪器上读取。测试结果(表 1)表明,黄铁矿以 N 型导电为主,占 70%以上。黄铁绢英岩型矿石黄铁矿的热电系数(- μ V/ $^{\circ}$ C)主要范围为 350~200,黄铁矿-黄铜矿绢英岩型矿石黄铁矿的(- μ V/ $^{\circ}$ C)主要为 300~200,黄铁矿-黄铜矿石英脉中黄铁矿的热电系数(- μ V/ $^{\circ}$ C)主要为 300~150。

表 1 谢家沟金矿黄铁矿热电性标型特征统计结果

样品 编号	中段 (m)	矿石类型	N 型 热电系数 / (- μ V/ $^{\circ}$ C)				P 型 热电系数 / (μ V/ $^{\circ}$ C)			
			最大值	最小值	平均值	出现率 / %	最大值	最小值	平均值	出现率 / %
4-99-6	242	Py + cpx	286	144	224	75	204	68	136	25
4-1204-5	242	Py + cpx	254	123	184	80	312	104	112	20
4-1205-8	242	Py + cpx	315	98	204	70	276	84	176	30
4-1205-6	242	Py	408	158	212	85	234	75	152	15
03145	242	Py	284	126	236	70	284	115	182	30
4-1210-23	170	Py + cpx	294	158	206	75	275	128	146	25
08211	170	Py + cpx	354	166	224	75	408	96	158	25
04214	170	Py + cpx	258	138	192	80	275	162	194	20
4-1210-18	170	Py + cpx	316	187	254	85	243	152	181	15
07181	170	Py	273	178	223	90	244	86	134	10
DGW07242	170	Py	303	192	242	85	272	154	195	15
05021	170	Py + cpxQ	388	144	232	80	248	164	186	20
07251	170	Py + cpxQ	314	204	254	85	254	128	168	15
X-71	130	Py	289	186	229	90	245	142	176	10
X-72	130	Py	412	196	258	95	304	166	189	5
X-74	130	Py	324	168	225	100	—	—	—	0
X-76	130	Py + cpx	312	182	214	95	268	99	148	5
X-87	130	Py + cpx	288	194	236	90	239	127	158	10
X-90	130	Py + cpx	316	189	217	95	284	169	182	5
X-52	130	Py + cpx	328	204	258	85	267	138	181	15
X-39	130	Py + cpxQ	304	224	258	80	244	108	178	20
X-69	130	Py + cpxQ	275	189	224	95	273	158	172	5

Py 为黄铁绢英岩型矿石,Py + cpx 为黄铁矿-黄铜矿绢英岩型矿石,Py + cpxQ 为黄铁矿-黄铜矿石英脉

4 结果与讨论

4.1 不同矿石类型黄铁矿热电性特征

从表 1 和图 1 可明显看出,不同类型矿石的黄铁矿均以 N 型导电为主,但其热电系数存在明显差别,其中黄铁绢英岩型矿石中黄铁矿的热电系数最大,主要集中在 350 ~ 200 (- $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$),最大值达 412 (- $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$);黄铁矿 - 黄铜矿绢英岩型矿石黄铁矿的热电系数主要为 300 ~ 200 (- $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$),最大值为 354 (- $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$);黄铁矿 - 黄铜矿石英脉中黄铁矿的热电系

数相对较小,主要集中于 300 ~ 150 (- $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)。根据矿石的宏观和微观特征,3 种类型的矿石分别形成于主成矿期的不同阶段,其中黄铁绢英岩形成于主成矿期的早期阶段,黄铁矿 - 黄铜矿绢英岩是矿床的主要矿石类型,产出最广,形成于主成矿期阶段,而黄铁矿 - 黄铜矿石英脉则主要形成于晚期阶段。因此,相对来说,成矿早期形成的 N 型黄铁矿较晚期形成的 N 型黄铁矿具有更大的热电系数值,可能与成矿作用演化是温度逐渐降低的过程有关。

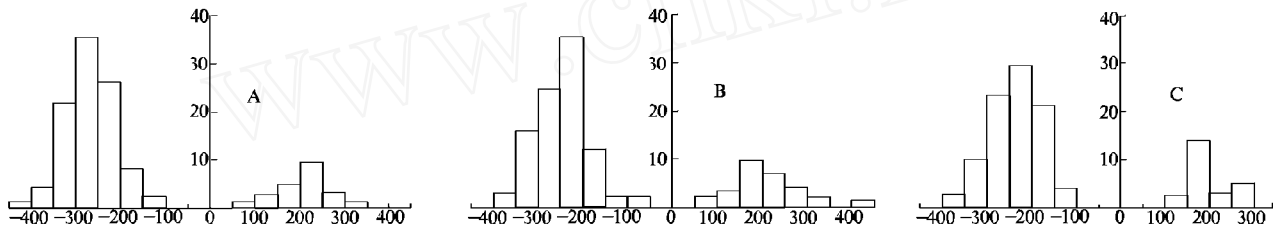


图 1 谢家沟金矿不同类型矿石黄铁矿热电系数统计直方图

A—黄铁绢英岩;B—黄铁矿-黄铜矿绢英岩;C—黄铁矿-黄铜矿石英脉

4.2 不同中段黄铁矿热电性特征

对 +242 m, +170 m 和 +130 m 3 个中段黄铁矿的热电性测试(表 1,图 2)表明,不同中段的黄铁矿的热电系数具有一定规律性变化,其中在 +242 m 中段,热电系数主要范围为 290 ~ 140 (- $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$);在 +170m 中段,其范围主要为 300 ~ 170 (- $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$),最大值为 388 (- $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$);在 +130 m 中段,其范围主要为 320 ~ 190 (- $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$),最大值达 412 (- $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)。总体上反映深部(+130 m)黄铁矿比浅部(+242 m)黄铁

矿的热电系数最大值及主峰范围值都更大,可能与矿体的深部较浅部具有更高的成矿温度和压力有关。

不同中段 N 型黄铁矿的出现率整体上表现出较好的一致性,且其绝对值大小也表现出一定规律性变化。在 +242 m 中段,N 型黄铁矿的出现率为 70 % ~ 85 %,在 +170 m 中段则为 75 % ~ 90 %,在 +130 m 中段为 80 % ~ 100 %。总体上反映了随深度增加,N 型黄铁矿出现率也呈现逐渐增加的趋势,这种现象可能也与深部成矿温度较高,压力也较大有关。

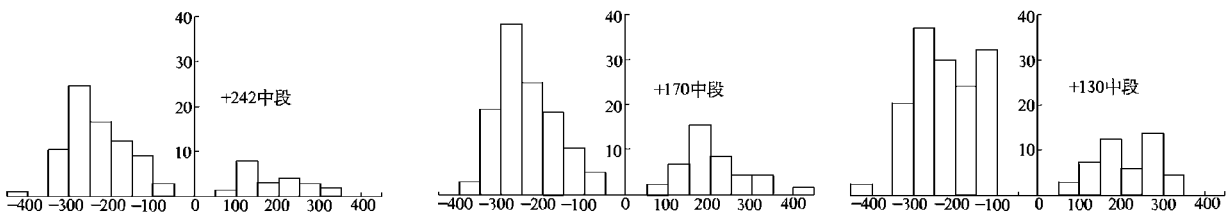


图 2 谢家沟金矿不同中段含金黄铁矿热电系数统计直方图

5 黄铁矿热电性特征在矿床评价中的应用

黄铁矿的导电类型及热电系数主要受类质同像中杂质元素的种类和浓度以及晶体结构缺陷等因素影响,并与成矿时的温、压条件关系密切。有研究成

果表明^[13],高温下结晶的黄铁矿中高价离子杂质易进入晶格,使黄铁矿中铁过饱和(硫空位)而呈 N 型电导;低温下低价离子杂质易进入晶格,使黄铁矿的硫过饱和(铁空位)而呈 P 型电导。另外,高温下结晶的黄铁矿晶体结构较为理想,低温下则结构缺陷明

显。因此,对于未发生倒转的岩浆热液型金矿床,矿体的深部成矿温度较高,压力也较大,而在矿体浅部的成矿温度相对较低,压力也较小,因此,对于一个理想的矿体,一般深部矿体中 N 型黄铁矿的趋势较大,而浅部矿体 P 型黄铁矿趋势较大^[11]。

对谢家沟金矿 3 种主要矿石类型、不同中段的黄铁矿单晶进行了热电性测试分析,结果表明总体上黄铁矿以 N 型导电为主,其出现率为 75%~90%,热电系数主要集中于 300~200($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$),推测矿体的浅部部分已遭受剥蚀。但从 +242 m, +170 m 到 +130 m 中段,N 型黄铁矿的出现率都保持了较好的连续性,说明矿体垂向上延伸到 +130 m 中段后还将继续延伸,深部资源潜力较大,这已得到最近探矿工程 112.5,122 和 125 勘探线上钻孔分别在 -200 m, -360 m 和 -260 m 中段见矿(平均品位分别为 5.5 g/t, 2.4 g/t 和 2.0 g/t)所验证。

参考文献

- [1] 韦延光, 邓军, 王建国, 等. 谢家沟剪切带蚀变岩型金矿地质特征及成因探讨 [J]. 黄金, 2005, 26 (4): 8~13.
- [2] 韦延光, 王建国, 邓军, 等. 山东谢家沟金矿流体包裹体研究及其地质意义 [J]. 现代地质, 2005, 19 (2): 224~230.
- [3] 韦延光. 山东招远市谢家沟-石城夼构造岩浆带金成矿系统研究 [D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2005.
- [4] 陈光远, 邵伟, 孙岱生. 胶东金矿成因矿物学与找矿 [M]. 重庆: 重庆出版社, 1989.
- [5] 孟繁聪, 孙岱生, 李胜荣, 等. 山东烟台南张家金矿黄铁矿的标型特征 [J]. 现代地质, 2001, 15 (2): 164~170.
- [6] 高振敏, 杨竹森, 李红阳, 等. 黄铁矿载金的原因和特征 [J]. 高校地质学报, 2000, 6 (2): 156~160.
- [7] 邵伟, 陈光远, 孙岱生. 黄铁矿热电性研究方法及其在胶东金矿的应用 [J]. 现代地质, 1990, 4 (1): 46~57.
- [8] 李胜荣, 陈光远, 邵伟, 等. 胶东乳山金矿金青顶矿区黄铁矿热电性研究 [J]. 有色金属矿产与勘查, 1994, 3 (5): 301~307.
- [9] 魏明秀. 山东后大雪金矿床黄铁矿的成因矿物学研究 [J]. 矿产与地质, 2000, 14 (2): 103~108.
- [10] 潘玉成. 山东金牛山金矿黄铁矿热电性研究 [J]. 黄金地质科技, 1994, (4): 65~69.
- [11] 李惠. 石英脉和蚀变岩型金矿床地球化学异常模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [12] 张理光, 孙振胜, 刘敬秀, 等. 焦家式金矿水-岩交换作用 [J]. 矿床地质, 1994, 14 (3): 261~272.
- [13] 邓军, 徐守礼, 方云, 等. 胶东西北部构造体系及金矿成矿动力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.

Applications of Pyrite Thermoelectricity on Xiejiagou Gold Deposit Assessment

ZHANG Zhi - qi¹, WANG Jian - guo², DENG Jun², WEI Yan - guang³, YAN Shun - ling¹, MA Qi - guang¹, LIU Na¹
(1. Jintingling Mining Industry Limited Corporation in Zhaoyuan City, Shandong Zhaoyuan 265400, China; 2. China University of Geosciences, Beijing, 100083, China; 3. China Geological Survey Bureau, Beijing, 100011, China)

Abstract: Xiejiagou gold deposit, a large scale type deposit found recently, is a transitional type deposit between Jiaojia gold deposit and Linglong gold deposit. Thermoelectricity of pyrite in 22 samples including three types of ores and different levels are studied in this paper. It is showed that the type of electric conduct was mainly N type. Pyroelectricity rate of iron - pyrite in beresite which was formed in early period is the maximum, the pyroelectricity rate of iron - pyrite and cooper - pyrite which was formed in major ore - forming period is reduced, and the rate is the minmum in iron - pyrite - cooper - pyrite quartz vein formed in late period. Accompanying with the phenomena that the occurrence rate of N type pyrite and the pyroelectricity coefficient decreased gradually from 130m to 242m above sea level. It is regarded that orebodies on the superficial part had been eroded. The continuity of the occurrence rate of N type pyrite indicated that there is a large resource potentiality in its deep part.

Key words: Gold deposit; pyrite; thermoelectricity; Xiejiagou