# 河北大西沟金矿床中石英热释光和黄铁矿热电性标型特征研究

邓 磊[1],王建国[2],李胜荣[2],曹 烨[2],要梅娟[2],王明燕[2]
(1. 长江大学 工程技术学院,湖北 荆州 434000;
2. 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)

**摘 要**: 河北大西沟金矿石英热释光与黄铁矿热电性特征研究表明,随着成矿阶段的演化,石英热释光曲线的峰形由复杂趋于简单,发光强度经历了一个先升高再降低的过程。黄铁矿热电性以 N 型为主,热电系数α值相对集中,离散范围小。通过石英热释光特征与黄铁矿热电性标型特征分析,结合成矿地质规律研究,对大西沟金矿床矿化远景提出了科学的评价,并指明了找矿方向。

**关键词**: 大西沟金矿床;热释光;热电性;河北省
**中图分类号**: P574 **文献标识码**: A **文章编号**: 1001-1412(2008)03-0213-05

## 0 引言

华北地台北缘是中国重要的金银多金属矿集中区之一,成矿类型多样,各类矿产星罗棋布,逐年都有新的发现,不断丰富着华北地台北缘多金属成矿带的内容。有不少学者对该地区进行了大量的研究,但相对于胶东地区来说,研究程度仍较显薄弱。大西沟金矿是区内较为典型的大型金矿床,通过对该矿床的研究,特别是通过对石英热释光与黄铁矿热电性标型的系统研究,有助于区内矿产资源的深入评价。

## 1 矿区地质概况

大西沟金矿床位于河北省丰宁满族自治县西北部的土城子镇,东经 116°27′15″,北纬 41°31′30″。大地构造位置处于华北地台内蒙地轴东段北缘的围场拱断束(Ⅱ级)上黄旗岩浆岩亚带(Ⅳ级),燕山期强烈活动的 NE 向上黄旗—乌龙沟深断裂为区内主要控矿构造(图 1)。

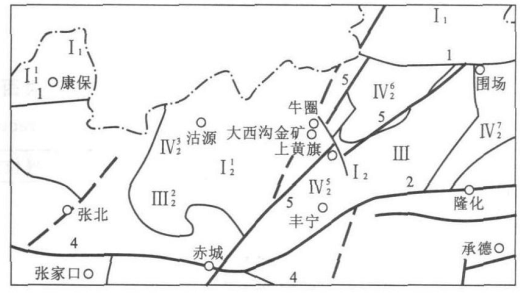


**图 1 大西沟金矿区域构造位置图**
Fig. 1 Regional geotectonic position of Daxigou gold deposit

金矿体严格受 NNE 向、NE 向两条断裂控制,多呈脉状、条带状、透镜状或不规则形状产出,与围岩没有明显的界线,矿化类型主要为蚀变岩型。

根据野外穿插关系、矿物共生组合和结构构造特点,大西沟金矿成矿作用可以划分为 4 个阶段:①黄铁矿 - 石英阶段(Ⅰ),石英呈乳白色,黄铁矿晶体粗大呈自形晶、半自形晶,基本不含矿;②石英 - 多金属硫化物阶段(Ⅱ),石英多为烟灰色,黄铁矿多为中细粒,半自形、他形晶发育,为主成矿阶段;③石英 - 绿泥石阶段(Ⅲ),石英呈灰白色,与稀疏浸染状黄铁矿共生,矿化较弱;④碳酸盐阶段(Ⅳ),几乎无黄铁矿产出,标志着整个成矿阶段的结束。

**收稿日期**: 2007-08-20

**作者简介**: 邓磊(1983-),男,湖北荆州人,硕士研究生,矿物、岩石、矿床专业。通信地址:湖北省荆州市沙市区南环路长江大学技术学院石油工程系,邮编:434000,E-mail:denglei520@163.com

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

## 2 石英天然热释光研究

### 2.1 石英热释光原理

热释光是由热能促使晶体中的亚能级电子转变成稳定基态时释放出光能的现象。石英是一种常见的磷光体,矿物形成时复杂的地质环境可使其产生晶体结构缺陷,故可形成热释光现象[1]。石英的热释光机理主要由于石英中 $Al^{3+}$ 取代 $Si^{4+}$ 形成晶体缺陷:电子空穴心 $O^{-}$-Al-$Me^{+}$ ($Me^{+}$ = $K^{+}$, $Na^{+}$, $Au^{+}$, $Ag^{+}$, 等)形成局部能级陷阱。它能捕获导带向低能级跃迁的电子,使之羁留在该局部能级上,构成所谓陷阱,陷阱里的电子要向低能级跃迁时,要获得一定能量使之回到导带上才能向低能级空位上转移,亦就是要吸收一定的能量跳跃陷阱,才能呈现发光性[2,3]。

### 2.2 石英热释光发光曲线分析

本次测试在中国地质大学(北京)成因矿物实验室完成。测试仪器为北京核仪器厂生产的 FJ-427A1 型微机热释光剂量仪。共挑选大西沟金矿 4 个不同成矿阶段的石英样品 9 件进行了测试,流程为:将样品粉碎至 40～80 目,用精度为 0.001 g 的电子天平称取质量为 2～6 mg 的样品,将样品置于热释光剂量仪中进行测试,升温程序参数和测试结果(表 1,表 2)。测试系统自动拟合并纪录了 4 个成矿阶段热释光特征参数:峰点温度、发光强度、积分强度,通过分析发光参数和发光特征图,发现本区各成矿阶段石英热发光有如下特征:

**表 1 升温程序第 5 套(解谱)测试参数**

Table 1 Parameters of the 5th temperature rising procedure

| 升温程序第 5 套(解谱) | 预热 | 读出 | 退火 |
|---|---|---|---|
| 温度 $T$/ ℃ | 25 | 500 | 480 |
| 时间 $t$/ s | 5 | 470 | 20 |
| 升温温度 $R$/ ℃·$s^{-1}$ | Max | 1 | Max |

**表 2 河北大西沟石英热释光特征数据**

Table 2 The heat release light characteristic data from quartz in Daxigou gold deposit

| 样号 | 成矿阶段 | 峰形 | 主峰位/ ℃ | 主峰位发光强度/ mR | 弱峰位/ ℃ | 弱峰位发光强度/ mR | 积分强度/ R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B11 | Ⅰ | 双峰形 | 313 | 837 | 224 | 400 | 0.804 |
| BJ2-2 | Ⅰ | 双峰形 | 302 | 1510 | 238 | 1315 | 1.11 |
| BC3-6 | Ⅰ | 双峰形 | 314 | 1551 | 235 | 806 | 0.79 |
| B07 | Ⅱ | 双峰形 | 207 | 43139 | 282 | 12721 | 1.76 |
| BC2-3 | Ⅱ | 双峰形 | 200 | 70819 | 284 | 21701 | 1.52 |
| BC2-5 | Ⅲ | 单峰形 | 195 | 3124 | | | 0.731 |
| BC2-6 | Ⅲ | 单峰形 | 205 | 6879 | | | 0.740 |
| B08 | Ⅳ | 单峰形 | 243 | 2154 | | | 0.708 |

黄铁矿 - 石英阶段(Ⅰ)的发光曲线形态均为不对称双峰,在 220～240 ℃与 300～320 ℃附近各有一个较为平缓的峰,二者发光强度相差不大;石英 —多金属硫化物阶段(Ⅱ)的发光曲线仍为双峰式,发光峰位置与Ⅰ阶段基本相同,但峰形较前者尖锐,发光强度高;石英 - 绿泥石阶段(Ⅲ)的发光曲线由复杂的双峰式变为简单的单峰式,峰形也较Ⅱ阶段平缓;近 200 ℃时有一个明显的低温峰,发光强度较高;碳酸盐阶段(Ⅳ)的发光曲线同为单峰式,约 180 ℃时出现一个较平坦的峰。

研究表明,从Ⅰ至Ⅳ阶段,石英热释光曲线由复杂趋于简单,发光峰温度由高至低,反映了石英形成的先后顺序,从而印证了该矿区成矿阶段的划分。陈光远[4]、王键[5]、杨殿范[6]等对胶东金矿和河北石湖金矿石英的热发光研究认为,含金石英热发光曲线趋于复杂化,为双峰和多峰型,不含金石英热发光曲线趋于简单化,为单峰型,与本文得出的结论一致。石英 - 多金属硫化物阶段发光曲线相对复杂,发光强度高且变化大,可能是由于在此成矿阶段受后期热液多次叠加作用[7],石英缺陷增加,导致 $Na^{+}$, $K^{+}$ 离子大量进入结构空隙而引起杂质缺陷[8],反映热历史与金的复杂成矿相适应。石英 - 绿泥石阶段和碳酸盐阶段发光曲线简单,发光强度小,说明形成环境简单,热液活动渐趋平静。由此可见,石英天然热释光不仅可以划分矿化阶段,而且还可利用其找矿。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

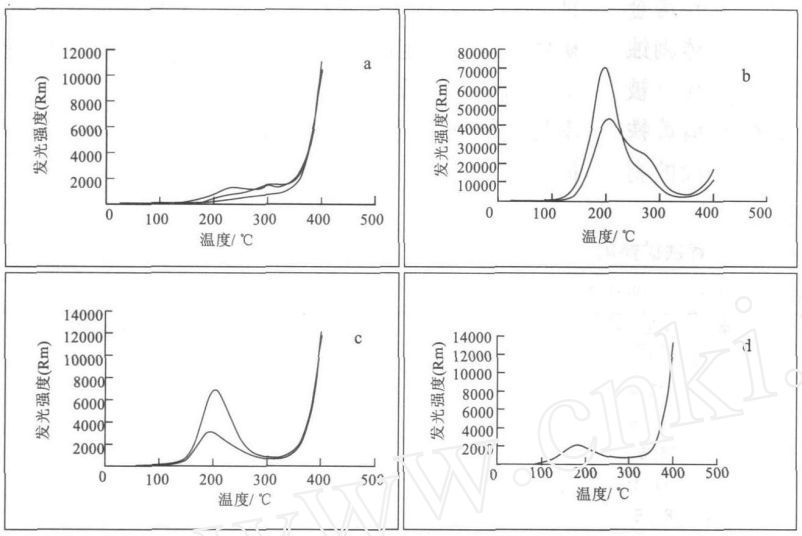


图 2　不同阶段石英热释光曲线图

Fig. 2　The heat release light patterns of quartz formed in different stages

a. 黄铁矿 - 石英阶段( Ⅰ) b. 石英 - 多金属硫化物阶段( Ⅱ)

c. 石英 - 绿泥石阶段( Ⅲ) d. 碳酸盐阶段( Ⅳ)

## 3　黄铁矿热电性研究

### 3.1　黄铁矿热电性研究原理和方法

矿物的热电性是指在热扰动的条件下,矿物晶体两端温度不同所产生的电势差。研究黄铁矿的热电性,可以获得矿床形成深度、温度、矿化程度以及矿床形成时的介质条件等方面的信息。黄铁矿是半导体矿物,有电子型(N 型)和空穴型(P 型)2 种导电形式。

热电性的测量是通过测量冷端与热端的电位差实现的。所谓的热电系数 α 是对应于单位温差(1 ℃)的热电势:

$$\alpha = \Delta E / \Delta T \times 1000$$

判断热电导型则是以冷端(相对于热端)的电性正负为标准,即 P 型黄铁矿冷端为正( $+\alpha$),N 型黄铁矿冷端为负( $-\alpha$)。热电性是对半导体矿物的能带结构及其中杂质元素分布的微观性状反映。热电性测量简单、方便。将矿物颗粒放置于冷端(一般为室温)平面上,用锥状热端(一般高出室温 10 ℃)压在颗粒上即可自动显示出正或负的 α 值,每分钟可测几十粒。

### 3.2　黄铁矿的电子导型

从河北大西沟金矿床金山一号、金山五号矿区的 9 件样品中每件选取约 30 粒纯净黄铁矿单晶,在纯酒精溶液中用超声波清洗表面氧化膜和杂质后,在中国地质大学(北京)成因矿物实验室 BHTE-06 型热电仪上测试,$\Delta T$ = (15 ± 2) ℃。

黄铁矿热电性的空间分布具有成带性,即矿体上部黄铁矿的热电系数 α 为正值,属 P 型空穴导电;矿体中部黄铁矿的热电系数或正或负,属电子 - 空穴或空穴 - 电子混合型导电性;矿体下部黄铁矿的热电系数 α 为负值,属 N 型电子导电。据此并结合表 3 和图 3,大西沟金矿的黄铁矿除了少数颗粒为 P 型空穴导电,其余样品均为 N 型电子导电。N 型黄铁矿热电系数变化范围为 - 28.6～ - 225.4 μV/ ℃,主要集中于 - 120～ - 180 μV/ ℃之间,极差为 60 μV/ ℃。上述特征表明部分矿体已经受到了一定程度的剥蚀,但黄铁矿热电系数离散范围较小,加之不同中段中不同程度地出现了 P 型导型,特别是 2 个矿区深部 P 型导型的出现,预示着矿床深部成矿还有一定的远景。

### 3.3　黄铁矿的热电系数与形成温度

黄铁矿的热电系数与形成温度有一定的关系,P. A. 戈尔巴乔夫(1964)年利用大量数据做出黄铁矿热电性 - 温度图(图 4)。从该图获得线性方程[9]:

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

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

利用该方程计算得出大西沟金矿黄铁矿形成温度范围为 106.4～327.6 ℃,主要集中在 250～320 ℃之间,与李建平(2006)[10] 包裹体测温数据(128～439 ℃)基本相符。

### 3.4　黄铁矿的热电系数与矿体剥蚀度

根据热电系数值求出黄铁矿的热电性参数 $X_{np}$(表 3),来确定金矿体的剥蚀切面[12]。

$$X_{np} = (2f_{\text{Ⅰ}} + f_{\text{Ⅱ}}) - (f_{\text{Ⅳ}} + 2f_{\text{Ⅴ}})$$

式中,$f_i$ 为样品中相应的补偿热电系数的黄铁矿百分比;$f_{\text{Ⅰ}}$ 为 $\alpha > 400$ μV/ ℃;$f_{\text{Ⅱ}}$ 为 $\alpha = 200$～400 μV/ ℃;$f_{\text{Ⅳ}}$ 为 $\alpha = 0$～200 μV/ ℃;$f_{\text{Ⅴ}}$ 为 $\alpha < -200$ μV/ ℃。然后根据热电性参数值计算矿体剥蚀率 $\gamma$(矿体剥蚀部分相对于总延伸的百分比):

$$\gamma = 50 - X_{np} / 4$$

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

从不同中段的剥蚀率可以看出河北大西沟金矿,金山一号和金山五号矿区第一、二中段矿体剥蚀率较高,且接近,均接近 75 %,说明此部分矿体已被剥蚀到尾部;但向下延伸至三中段,随着 P 型黄铁矿的出现,剥蚀率又有一个下降的趋势,三中段的剥蚀率平均为 68 %。大西沟金矿产于破碎蚀变带中,矿体呈现出一定的不连续性。部分矿体受后期构造活动抬升导致浅部矿体剥蚀率较高,而在深部剥蚀率的逐渐降低则意味着很可能会有盲矿体或隐伏矿体出现。

**表 3 黄铁矿热电性标型统计结果**

Table 3 The statistical thermoelectric typomorphic charateristics of pyrite

| 样号 | 采样位置 | 测定粒数 | 热电系数/μV·℃$^{-1}$ | N 型出现率/ % | 热电性参数 $X_{np}$ | 矿体剥蚀率 $\gamma$/ % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B10 | 金山 1 号一中段 | 30 | 55～- 248.2 | 97 | - 97 | 74.25 |
| BJ2 - 2 | 金山 1 号二中段 | 32 | - 55.9～- 225.4 | 100 | - 109 | 77.25 |
| BJ2-3 | 金山 1 号二中段 | 33 | - 42.6～- 192.9 | 100 | - 100 | 75 |
| BJ2-5 | 金山 1 号二中段 | 30 | 82.9～- 176.5 | 93 | - 86 | 71.5 |
| J3-2 | 金山 1 号三中段 | 38 | - 190.5～454.3 | 89 | - 81.5 | 70.4 |
| J3-6 | 金山 1 号三中段 | 32 | - 197.1～381.5 | 91 | - 81.2 | 70.3 |
| C1-1 | 金山 5 号一中段 | 41 | - 78.9～- 215.7 | 100 | - 107 | 76.75 |
| C2-3 | 金山 5 号二中段 | 31 | - 260～460 | 96 | - 87 | 74.25 |
| C3-5 | 金山 5 号三中段 | 32 | - 217～406 | 84 | - 75 | 68.75 |

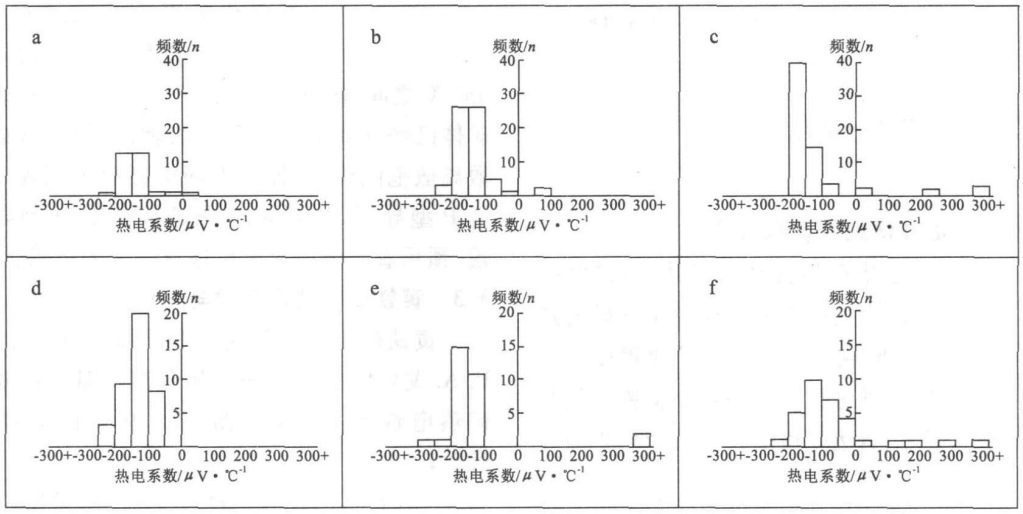


**图 3 大西沟各中段黄铁矿热电系数统计直方图**

Fig. 3 Histogram of statistical thermoelectric coeficients of pyrite from various levels of Daxigou gold mine

a. 金山 1 号一中段 b. 金山 1 号二中段 c. 金山 1 号三中段

d. 金山 5 号一中段 e. 金山 5 号二中段 f. 金山 5 号三中段

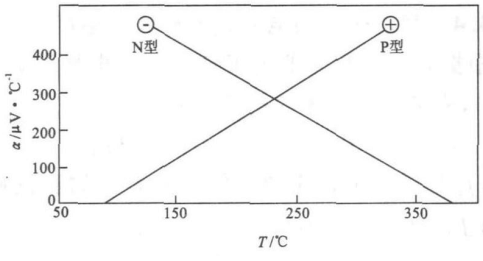


**图 4 黄铁矿热电性 - 温度图[11]**

Fig. 4 Thermoelectricity VS temperature diagram

## 4 结论

(1) 本区石英天然热发光曲线有单峰、双峰两种类型,金矿化好的主要为双峰型曲线,且峰位高、发光强度大;而单峰者,峰位低、发光强度小,金的质量分数一般比较低。

(2) 利用黄铁矿热电系数标尺测定的成矿温度为 250～320 ℃,与石英流体包裹体均一温度较为吻

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

合,该矿床为中低温热液矿床。

(3)黄铁矿热电导型多以 N 型出现,且热电系数α变化不大,说明其成矿环境变化较小。矿体虽然受到一定的剥蚀,但深部又有少量 P 型黄铁矿出现,剥蚀率随之减小,所以推测大西沟金矿深部金矿化前景较好。

## 参考文献:


[1] 刘东成. 赣中地区若干金矿床(点)石英热发光特征及地质意义[J]. 华东地质学院学报,1997,20(3):218-223.

[2] 蔡秀成(译). 矿物的谱学、发光和辅射中心[M]. 北京:科学出版社,1984:167-180.

[3] 吕瑞英. 新疆库布苏金矿石英标型特征研究[J]. 地球科学,1995,20(1):53-57.

[4] 陈光远. 胶东金矿成因矿物学与找矿[M]. 重庆:重庆出版社,1989.

[5] 王键. 栖霞金矿石英的成因矿物学研究[C]//中国金矿床成因矿物学和找矿矿物学论文集,1987:119-125.

[6] 杨殿范. 石湖金矿区石英的找矿信息研究[J]. 长春地质学院学报,1992,22:34-40.

[7] 吴尚全. 夹皮沟变质热液金矿床中石英天然热释发光研究[J]. 矿物岩石,1984,4(1):29-35.

[8] Humchison C S. Laborataory Handbook of Petrographic Techniques[M]. New York: John Wiley, 1973: 465-472.

[9] 谢玉玲,徐九华,钱大益,等. 太白金矿黄铁矿热电性及其在找矿中的应用[J]. 北京科技大学学报,1999,21(1):1-5.

[10] 李建平. 河北省丰宁县大西沟金矿地质地球化学特征及矿床成因探讨(硕士学位论文)[D]. 北京:中国地质大学(北京),2006:40-42.

[11] 苏文超. 黔西南烂泥沟金矿黄铁矿热电性研究及其找矿意义[J]. 黄金地质,1997,3(2):7-12.

[12] 候满堂. 陕西镇安太白庙金矿黄铁矿热电性特征研究及其应用[J]. 黄金,2000,21:5-9.


# RESEACH ON THE CHARACTERISTICS OF HEAT RELEASE LIGHT OF QUARTZ AND TYPOMORPH OF PYRITE FROM DAXIGOU GOLD DEPOSIT


**DENG Lei[1], WANG Jian-guo[2], LI Sheng-rong[2],**

**CAO Ye[2], YAO Mei-juan[2], WANG Ming-yan[2]**

(1 *Enginearing and Technology Institute of Changjiang University, Jingzhou* 434000, *Hubei, China;*

2 *Faculty of Earth Scinces and Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*)



**Abstract:** Results from the research on the characteristics of heat release light of quartz and pyrite typomorph from Daxigou gold deposit show the change of the heat release peak from complex to simple and light emination from temperature rise to drop. Thermoelectric property is dominated by N type with relative concentration of the thermoelectric coeficent values and the narrow discrete range. Combined with metallogenic and geological regularity research ore prospect of Daxigou gold deposit is scientifically evaluated on basis of the research on the heat release light and the typomorphic characteristics and the ore-searching direction pointed out.



**Key Words:** Daxigou gold deposit; heat release light; thermoelectricity; Hebei province


© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net