

热释光测量在河台金矿找矿上的应用^{*}

全亚荣, 李兆麟, 翟伟, 文拥军, 李文

(中山大学地球科学系, 广东 广州 510275)

摘要:介绍了热释光测量方法在广东河台金矿找矿试验中的应用. 研究发现, 宽峰型热释光曲线可以作为非矿的判别标志; 而指示为矿的热释光, 表现为强度大范围窄的低温尖峰型, 若矿体经历后期构造热作用, 其热释光要发生衰退, 则可表现为发光量很少的无峰型. 这表明, 热释光测量可以作为寻找金矿的一种简捷的辅助手段予以采用.

关键词:热释光; TL 曲线类型; 含金量; 河台金矿

中图分类号:P631 **文献标识码:**A **文章编号:**0529-6579(2001)06-0077-04

早在 1663 年波义尔^[1]就报告发现了热释光, 但直至 20 世纪 50 年代才引起人们的注意, 开始对这一现象进行研究^[2]. 最早的应用是利用固体的辐射效应而产生热释光的辐射剂量计. 利用古代陶器、岩石等的热释光作年代测定则是热释光剂量计应用而开拓出的一个新领域. 随着研究的深入, 热释光的应用逐步扩展至更多的方面. 近 10 年用热释光测量方法找金矿已取得一定成果, 表明含矿石英与非矿石英的热释光在强度和峰的位置方面的不同^[3,4], 展现出该方法在找矿方面也有着令人鼓舞的应用前景. 热释光之所以能够被用来寻找某些矿种, 其前提是含矿岩石与非矿岩石的热释光存在差异, 也就是岩石中某种成矿元素的含量不同其热释光是有差别的. 本文对广东河台金矿进行了研究, 以寻求不同金含量的岩(矿)石中石英的热释光是否具有不同的表现特点.

1 河台金矿的基本地质特征

河台金矿是一个典型的韧性剪切带糜棱岩型金矿床. 矿床位于四会—吴川断裂西北侧, 广宁—罗定断裂带的中部. 含矿岩石为震旦系云开群, 与糜棱岩、混合岩、混合花岗岩呈渐变过渡关系, 矿体产于韧性剪切带中并严格受糜棱岩带控制. 矿区内加里东期、海西期花岗岩体发育. 目前, 矿山已进入深部找矿开采阶段, 亟需对矿体延深情况作出评价. 开展用热释光测量方法寻

找金矿的研究就是配合这种找矿需求所作的一种尝试.

2 热释光测量

热释光(thermoluminescence, 简称 TL)是固体绝缘体受热后以冷光的形式释放其受辐照后晶格贮能的一种特征表现. 其发光过程可用陷阱的形象来描述^[5]. 这是一种不可重现的非常微弱的瞬时发光, 不同物质受到不同种类、不同剂量的辐照, 其热释光强度和发光曲线形态是不同的. 石英矿物由于分布广且具有良好的热释光特性, 而被用于天然热释光测量. 测试用样品全部采自地下坑道, 故为新鲜的矿石或岩石. 采集好的样品作避光保存. 室内取 100 g 样品粉碎至约 177 μ m(200 目), 然后经过磁选、淘洗及化学处理纯化而得到供测试用的石英试样. 热释光测量用北京 261 厂生产的 FJ-377 型热释光剂量仪. 测量条件设定为: 加热温度由室温至 500 $^{\circ}$ C, 升温速率 8.3 $^{\circ}$ C/s, 样品室氛围为空气, 每个样品作 3 次以上测定, 样重 23 mg, 测量过程由微机控制, 可输出各种数据及热释光曲线.

3 热释光曲线特征

河台金矿是产于韧性剪切带内的糜棱岩型金矿. 为此, 我们对金矿带内的糜棱岩及其围岩进行采样作热释光测定, 岩性包括糜棱岩、糜棱化混合岩、糜棱岩化石英片岩、混合岩、及石英脉

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49873018)

收稿日期: 2001-04-02; 作者简介: 全亚荣(1944—), 男, 副教授.

等共 25 个岩样，囊括了矿区内所有岩石类型。作热释光测量时，每个样品都作了 3 次以上的测试，但限于篇幅不可能把所有的测定结果都列出，这里只能给出其中具有代表性的热释光曲线（图 1）。根据全部 25 个测试样品 TL 曲线的形态和强度，可将其分为宽峰、尖峰、微峰和无峰 4 种类型。分述如下：

（1）宽峰型（图 1a） 发光曲线有明显的热释光峰，峰值温度 266 ~ 276 °C，发光峰的温度范围约 150 °C。属此类型的样品为 Th160-1、Th160-7、Th160-8、Th160-9、Th160-10、Th160-11、Th160-12、Th160-14 和 00-40-7。在这些样品中按热释光峰的强弱，又可分为发光强度 > 500 记数的强峰型（Th160-1、Th160-9、Th160-11），300 ~ 500 记数的中峰型（Th160-7、Th160-8、Th160-10、Th160-12、Th160-14）和 100 ~ 300 记数的弱峰型（00-40-7）。其中，Th160-8 和 Th160-14 为不太明显的双峰型，其主次峰的位置，前者分别为 267，334 °C，后者分别为 270，312 °C

（2）尖峰型（图 1b） 其显著特点是具有很强的发光峰，强度可达 3 000 ~ 5 000 记数，远远大于宽峰型的发光强度，而发光峰的温度范围却只有约 20 °C，形如一个特强的电脉冲。其另一特点是峰的位置在低温段 220 ~ 240 °C 左右。在所测定的样品中，Th160-4、Th160-5、00-46-1 和 80-56-4 等 4 个样品的 TL 曲线属此类型。

（3）微峰型（图 1c） 其特点是，可以看出有热释光峰存在，但强度很弱，均 < 100 记数，峰的位置与宽峰型相同，但范围较窄，为 100 °C。Th160-2 和 00-40-5 两个样品属此类型。

（4）无峰型（图 1d） 产生此类型曲线的有 Th160-3、Th160-6、Th8-6-17、Th8-6-18、Th0-38-1、80-56-6、80-6-2、280-XX-1、280-XX-2、280-XX-3 等 10 个样品。其中，Th8-6-17、Th8-6-18、Th0-38-1 和 80-6-2 的热释光量，小到与仪器样品室的热释光本底 TL0 为同一数量级；而 Th160-3、Th160-6、80-56-6、280-XX-1、280-XX-2、280-XX-3 等虽有微弱的热释光，但看不出有峰的形状，故统称为无峰型。

为明了起见，上述各样品热释光测量所得的表征参数列于表 1。

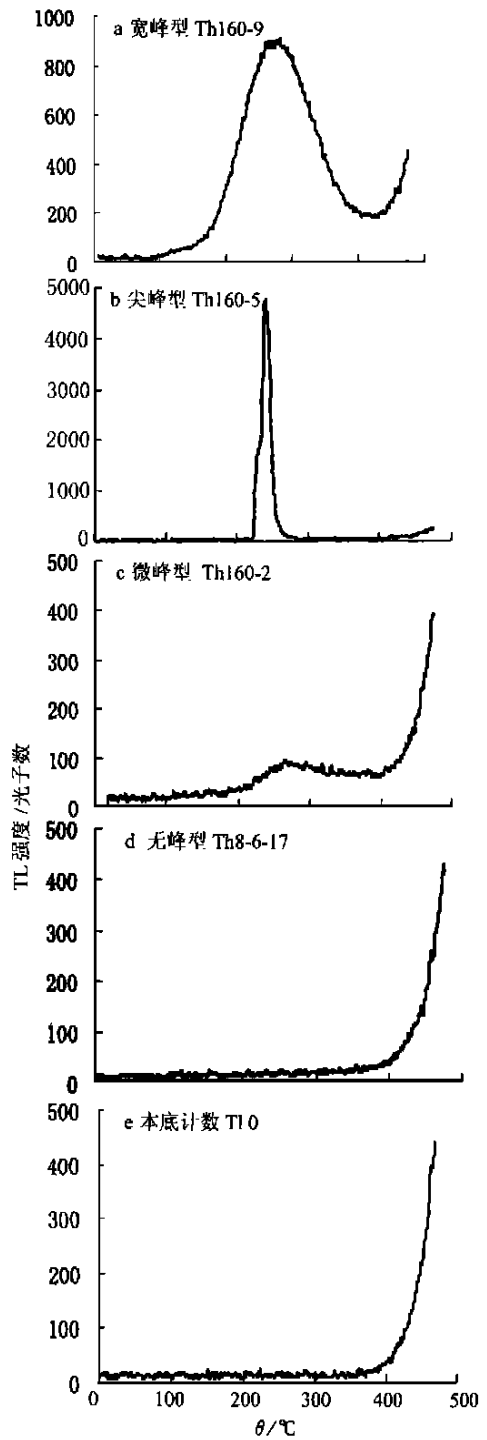


图 1 TL 发光曲线
Fig 1 TL glow curves

4 热释光曲线与金含量的关系

为探求天然石英的热释光曲线与岩（矿）石的含金量之间是否存在相关关系，对作了热释光测定的样品用化学分析和原子吸收光谱法进行化学元素含量分析。结果见表 2。对比表 1 和 2 可

表 1 各样品热释光测量结果的表征参数

Tab. 1 The token parameters of thermoluminescent measure of samples

样品编号	θ ℃	强度 光子数	曲线 类型	岩性
Th160-1	266	578	宽峰	混合岩
Th160-2	275	90	微峰	糜棱岩化混合岩
Th160-3			无峰	糜棱岩化混合岩
Th160-4	224	3310	尖峰	糜棱岩
Th160-5	240	4703	尖峰	糜棱岩
Th160-6			无峰	超糜棱岩
Th160-7	276	343	宽峰	糜棱岩
Th160-8	270	291	宽峰	初糜棱岩化混合岩
Th160-9	276	925	宽峰	混合岩
Th160-10	267	325	宽峰	糜棱岩化混合岩
Th160-11	267	786	宽峰	糜棱岩化混合岩
Th160-12	269	343	宽峰	糜棱岩化混合岩
Th160-14	270	431	宽峰	混合岩
Th8-6-17			无峰	糜棱岩
Th8-6-18			无峰	糜棱岩
Th0-38-1			无峰	糜棱岩化混合岩
00-40-5	266	89	微峰	超糜棱岩
00-40-7	266	161	宽峰	糜棱岩
00-46-1	229	5126	尖峰	糜棱岩
80-56-4	228	3432	尖峰	糜棱岩
80-56-6			无峰	糜棱岩化石英片岩
80-6-2			无峰	碎裂糜棱岩
280-XX-1			无峰	石英脉
280-XX-2			无峰	石英脉
280-XX-3			无峰	石英脉

表 2 样品化学元素含量分析结果¹⁾

Tab. 2 The analyzed results of chemical element content of testing samples

样品编号	$w(S)$ %	$\rho/(\mu g \cdot g^{-1})$						
		Au	Ag	Zn	As	Sb	Se	
Th160-1	0.06	0.01125	2395	0.0332	16	0.64	0.97	
Th160-2	0.03	0.007	0.18	50.56	1.10	0.72	1.14	
Th160-3	0.08	0.146	0.22	53.58	1.057	0.86	1.08	
Th160-4	1.43	2.90	3.84	67.37	35.18	0.92	1.44	
Th160-5	1.17	3.24	66.32	63.22	32.61	0.87	1.40	
Th160-6	0.71	0.55	0.35	54.98	6.64	0.61	1.09	
Th160-7	0.37	0.287	0.45	25.85	8.13	0.70	1.09	
Th160-8	0.30	0.35	3.69	26.68	1.089	0.69	0.99	
Th160-9	0.05	0.005	0.14	57.04	9.93	0.70	1.04	
Th160-10	0.07	0.003	0.49	103.05	5.52	0.69	1.21	
Th160-11	0.16	0.016	0.39	39.64	9.44	0.85	0.92	
Th160-12	0.10	0.015	0.22	41.67	7.98	0.67	1.03	
Th160-14	0.12	0.006	0.39	40.74	22.79	0.68	1.16	
Th8-6-17	5.99	14.14	41.92	105.21	9.84	0.72	2.07	
Th8-6-18	1.39	7.24	8.27	45.18	7.16	0.77	1.28	
Th0-38-1	0.05	0.004	0.18	24.41	13.62	0.88	1.25	
00-40-5	0.45	0.23	0.16	37.57	0.52	0.72	1.26	
00-40-7	0.13	0.020	0.14	113.61	4.08	0.97	1.11	
00-46-1	10.57	8.21	9.92	153.57	6.58	1.12	6.77	
80-56-4	2.17	3.86	5.76	178.4	1.04	0.90	1.26	
80-56-6	0.41	0.17	0.29	36.82	6.44	0.91	1.05	
80-6-2	0.99	0.17	3.88	116.82	17.11	1.11	1.21	
280-XX-1	0.27	0.15	0.62	26.54	2.16	0.87	1.11	
280-XX-2	0.11	3.79	0.27	19.90	13.09	1.30	1.18	
280-XX-3	0.03	0.07	4.01	55.72	6.48	0.86	1.10	

1) 中科院广州地球化学研究所胡光黔、高思登分析

以看出，在所测定的 25 个样品中，热释光曲线的类型与岩（矿）石中金的含量之间确实存在某种相关关系。

(1) 热释光峰的位置在 266 ~ 276 ℃ 的宽峰型或微峰型 TL 曲线的样品金的含量都很低。其中，除 Th160-7 和 Th160-8 外，其余均在 0.02 μg/g 以下。即使是含金量最高的 Th160-8 号样，也只有 0.35 μg/g，其 TL 峰强度为 291 记数；Th160-9 的 TL 峰强度最大，为 925 记数，但其金含量却仅有 0.005 1 μg/g，差不多是最低的（含金量最低的是 Th160-10，为 0.003 3 μg/g）。

(2) 热释光峰强度 > 3 300 记数，峰的位置在 220 ~ 240 ℃ 的尖峰型 TL 曲线的样品具有高的含金量，且 TL 强度大的样品其金的含量也高。例如，Th160-4 号样的 TL 峰强度为 3 310 记数，其金含量是 2.90 μg/g；Th160-5 号样峰的记数是

4 703，其含金量为 3.24 μg/g；00-46-1 号样的强度高达 5 126 记数，其金含量亦明显增加，为 8.21 μg/g。另外，从表 2 可以看出 00-46-1 号样硫的含量也特别高，达 10.75%，其余含硫量 > 1% 的样品（Th160-4，Th160-5，Th8-6-17，Th8-6-18，80-56-4）含金量也高，为 ≥ 3%。这说明样品的含硫量与含金量之间存在正相关性。研究表明，在元素地球化学中金常呈硫络合物迁移，故高的含硫量往往伴随着金的富集。另据对本区矿石中的包裹体测温发现，熔融包裹体、流体—熔融包裹体、不混熔二相液相包裹体以及气—液包裹体等，它们的均一化温度分别为 870，> 600，530 及 180 ~ 350 ℃，表明该矿区金矿形成经历熔体与溶液阶段，而具尖峰型曲线的 TL 峰位于 220 ~ 240 ℃ 之间，正好落于气—液包裹体的均一化温度范围之内，反映了该类矿石的形成

可能属于热液阶段。

(3) 在无 TL 峰的 10 个样品中, Th8-6-17、Th8-6-18 和 280-XX-2 等 3 个样品的含金量分别为 14.14、7.24 和 $3.79\mu\text{g/g}$, 而其余 7 个样品的含金量则明显减少, 最高的 Th160-6 号样也只有 $0.55\mu\text{g/g}$, 其他均 $< 0.2\mu\text{g/g}$ 。如上所说, 含矿石英具有强的热释光, 但这 3 个样品其热释光曲线与仪器的本底曲线几乎没有差别 (图 1d, e)。出现这种情况的合理解释是这些岩 (矿) 石受到某种后期的构造热作用令其热释光释放了出来, 因为这 3 个样品正好采自断裂构造附近。据矿区地质资料, 该区自显生宙以来, 经历了加里东—海西—印支及燕山运动等多次构造作用, 形成河台韧性剪切带蚀变糜棱型金矿床, 成矿后构造以断裂构造为主, 表现为断裂、压碎和节理, 绿帘石化、黝帘石化、绿泥石化、碳酸盐化、绢云母化、硅化、黄铁矿化、黄铜矿化发育等。构造运动的热作用会使矿体中矿物的热释光发生衰退, 而当从新累积的量尚少处于一种很低的水平时, 其结果是只有微弱的热释光或出现与仪器的本底曲线类似的情况。因此, 对这类样品需要结合成矿条件、构造作用、元素地球化学环境等才能作出评价。

5 结 语

由上面对河台金矿区岩 (矿) 石中石英的 TL 曲线与含金量关系的分析, 可以得到:

(1) 样品的热释光为宽峰型曲线, 且 TL 峰的位置在 $266 \sim 276\text{ }^{\circ}\text{C}$ 者, 该岩石的含金量很低, 均 $< 0.5\mu\text{g/g}$ 。因此, 在该矿区宽峰型热释光可以作为非矿的指示标志。

(2) 如果以 $3\mu\text{g/g}$ (3 g/t) 含金量作为区分矿与非矿的标准, 那么 TL 峰位于低温段 $220 \sim 240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的尖 (强) 峰型热释光曲线可作为指示矿的识别标志。

(3) 无峰型 TL 曲线的样品一般 (大部分) 是非矿样品, 但受到后期构造热扰动的矿体其热释光发生衰退以致也会出现无峰型 TL 曲线的情况, 就是说无峰型曲线不能给出矿与非矿的确切信息。在这种情况下须综合地质、地球化学资料才能作出判断。

(4) 样品化学元素含量分析结果表明, 含金量与含硫量具有正相关性。另外, 如果也以 $\geq 3\mu\text{g/g}$ 作为划分高含银量的标准, 那么本矿区银的含量往往伴随金的富集而增高 (280-XX-2 号样例外)。

(5) 热释光测量具有成本低、快速、高效的特点, 特别适合于大量样品的测定, 作为找金矿的一种辅助手段, 热释光曲线能提供出有用的地质信息。

参考文献:

- [1] BOYLE R. Experiments and considerations upon colours with observations on diamond that shines in the dark[M]. London: Henry Herringham, 1664.
- [2] DANIELS F, BOYD C A, SAUNDERS D F. Thermoluminescence as a research tool[J]. Science, 1953, 117: 343—349.
- [3] 范宏瑞. 石英热释光测量方法在金矿找矿上的应用[J]. 黄金科技动态, 1990, 4: 16—18.
- [4] 李兆麟, 杨荣勇, 毛艳华. 新疆鄯善县乔尔山金矿中含石英的天然热释光研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997, 16(增刊): 11—13.
- [5] AITKEN M J. Thermoluminescence dating[M]. London: Academic Press, 1985. 43—45.

Application of Thermoluminescent Measure to Mine Searching in Hetai Gold Mine

QUAN Ya-rong, LI Zhao-lin, ZHAI Wei, WEN Yong-jun, LI Wen

(Department of Earth Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Application of thermoluminescent measure (TL) in the gold mine of Hetai of Guangdong is presented in experimentation. The broad peak thermoluminescence indicates there is no gold mining, and the strong sharp peak thermoluminescence with low temperature indicates gold mining. The thermoluminescence of ore-body becomes the non-peak type after suffering from tectonic heat action in later period. These results indicate that thermoluminescent measure can be used as an assistant tool in gold mine searching.

Keywords: thermoluminescence; a type of TL glow curve; golden content; Hetai gold mine