

佳木斯地块金矿石英的热释发光与含金性

刘福来

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

主题词 石英 热释发光 标型 金矿床 佳木斯地块

提 要 乌拉嘎、平顶山、老柞山金矿是佳木斯地块三个重要的金矿。研究表明, 石英是金矿中重要的脉石矿物, 也是金的主要载体。SiO₂ 含量低于 98%, 而 $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 含量高于 1.3% 的石英为含金石英; 含金或富含金石英的热释发光谱以双峰或多峰为其主要特征。因此, 上述石英的标型特征可作为金矿床重要的找矿标志, 对佳木斯地块的矿点评价和扩大找矿远景有着重要的意义。

众所周知, 佳木斯地块是金矿床集中地区之一, 现已发现许多中大型金矿和矿化点, 其中最著名的有乌拉嘎金矿、平顶山金矿和老柞山金矿。在这些金矿中, 石英是重要的脉石矿物之一, 也是金的主要载体。依据野外观察及室内显微镜下的研究结果, 含金石英和不含金石英在其形态、分布、光学性质、晶胞参数、红外光谱, 尤其是化学成分和热释发光等方面的特征存在明显差异。因此, 佳木斯地块金矿石英的上述特征可提供该地区地质体含矿性评价和扩大找矿远景的重要信息。

1 石英的产状、分布及物性特征

平顶山、乌拉嘎和老柞山金矿含金石英和不含金石英在产状、分布及物性特征等方面存在较明显的差异。

平顶山金矿含金石英颜色主要为黄色、灰—灰黑色, 中细粒(0.002—0.5mm), 呈细脉状或网脉状分布, 与水云母及细粒的黄铁矿、毒矿共生。不含金石英主要为乳白—白色, 中粗粒(0.5—2mm), 呈规模较大的脉状分布, 与少量粗粒、自形—半自形的黄铁矿、毒砂共生。该矿区含金石英脉和不含金石英脉穿切部位金含量明显增高, 最高可达 1000(10^{-6}) 以上。

乌拉嘎金矿含金石英主要为灰黑色, 粒度细小($< 0.01\text{mm}$), 多呈不规则脉状或透镜状产出, 与细粒、它形黄铁矿和白铁矿共生, 多数石英的含金量 $> 1(10^{-6})$ 。而不含金石英多为灰白—白色, 粒度为 0.02—0.5mm 左右, 呈不规则的脉状产出, 与少量自形黄铁矿共生。

老柞山金矿含金石英多为烟灰色—灰黑色, 粒度细小($< 0.5\text{mm}$), 呈网脉状产出, 与细粒毒砂、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿及少量闪锌矿共生。不含金石英常呈白色, 中粗粒(0.5—3mm), 主要以脉状产出, 与粗粒毒砂或少量胶状黄铁矿、白铁矿共生。

综上所述, 颜色混杂(灰色—灰黑色)、与细粒它形金属硫化物共生的石英是重要的宏观找矿标志, 它们在上述三个金矿中大量出现的地段一般均构成矿体。

2 石英的化学成分特征

石英化学成分变化往往与含金性关系密切,研究表明,三个金矿中含金和不含金石英的化学成分存在明显差异,在三个矿区共进行35个石英样品的化学成分分析,其中具有代表性的18个石英样品的化学成分数据列入表1中。

从表中可见,平顶山金矿含金石英 SiO_2 含量低,为94.47%—97.43%之间,平均值为95.52%;相应的杂质组分 $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 含量高,为1.23%—1.78%,平均值为1.42%。不含金石英 SiO_2 含量明显偏高,为98.10%—98.46%,平均值为98.37%,杂质组分 $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 含量为0.33%—0.66%,平均值为0.41%,与含金石英对比具有明显偏低的特点。

乌拉嘎金矿含金和不含金石英的化学成分也存在明显差异,含金石英 SiO_2 含量为96.21%—97.68%,平均值为97.19%, $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 含量变化于1.52%—1.80%之间,平均值为1.65%。不含金石英 SiO_2 含量明显增高,而 $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 只有0.04%—0.62%,平均值为0.24%。

老柞山金矿含金和不含金石英的化学成分特征与平顶山、乌拉嘎金矿十分相似。含金石英 SiO_2 含量为94.30%—96.04%,平均值为95.28%, $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 含量为1.22%—1.42%,平均值为1.30%左右。不含金石英 SiO_2 含量均大于98.0%以上,而 $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 含量则降至0.54%以下。

上述研究表明,三个金矿石英的 SiO_2 与 $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 含量之间呈较明显的负相关关系, SiO_2 含量低($< 98\%$), $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 含量高($> 1.30\%$)为含金石英;而 SiO_2 含量愈高($> 98\%$), $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 含量愈低($< 0.90\%$)的石英则为不含金石英。因此,石英的上述成分特征是指示金矿化有用的成分标型。

3 石英的热释发光特征

许多矿物具有热释发光性质。不同成因的同种矿物,由于其形成的地质、地球化学条件的不同、其晶格缺陷、杂质元素含量、接受外界辐射及其热历史等均有差异,因此在加热过程中产生的热释发光效应也有所不同。据研究,石英的热发光灵敏度很高,峰值稳定性能快^[1]。近年来,将石英热释发光数据应用于金矿床含金性评价、阐明成因机制、获得找矿信息,已引起人们的广泛重视。

本文对平顶山、乌拉嘎和老柞山金矿共计68个石英样品进行热释发光测试,结果发现含金石英和不含金石英热释发光特征存在明显差异。下面将以石英热释发光参数和图谱为依据,重点探讨石英热发光的成因机制以及不同类型石英热发光谱与含金性关系。

3.1 样品的加工与测试条件

将所测试的石英样品粒度加工至0.125—0.154mm之间,样品重量为2mg,热发光仪的升温速度为10℃/秒,热释发光温度区间为0—400℃,应注意的是,选样不能混入其它杂质,尤其是金属硫化物。

表1 金矿床石英的化学成分
Table1 Chemical compositions of quartz from gold deposits

金矿	平顶山金矿						乌拉嘎金矿						老柞山金矿					
	不含金石英		含金石英		含金石英		不含金石英		含金石英		含金石英		不含金石英	含金石英				
样品号	Ym3-1	Pb1-16	P12-14	Ym4-3	Ym5-2a	Pb1-5	Ym5-2	210-1	J-01	170-3	170-2	J-15	274-1	J-11	X215-5	X255-1	X255-4	X255-9
SiO ₂	98.11	98.10	98.46	94.47	94.67	95.50	97.43	99.80	99.20	98.74	97.68	96.21	97.30	97.58	98.77	98.07	96.04	94.30
Al ₂ O ₃	0.24	0.22	0.25	0.72	0.36	0.64	1.56	0.0	0.0	0.38	1.26	1.36	1.18	1.16	0.14	0.22	0.41	0.55
K ₂ O	0.02	0.12	0.13	0.25	0.62	0.31	0.22	0.03	0.01	0.20	0.03	0.04	0.03	0.11	0.13	0.16	0.20	0.26
Na ₂ O	0.06	0.17	0.28	0.26	0.36	0.38	0.00	0.09	0.03	0.04	0.36	0.40	0.30	0.37	0.10	0.16	0.61	0.61
Ba	8.56	7.33	7.31	43.30	8.77	550.0	342.0	14.80	26.00	28.00	186.0	88.0	406	88.0	3.50	3.14	11.1	19.4
Sr	7.86	3.76	3.68	13.10	5.40	14.60	30.50	8.40	11.60	16.80	59.0	16.80	118	29.0	2.10	2.60	85.6	9.0
Cu	0.70	0.46	9.77	0.40	1.09	3.05	1.02	0.00	0.00	0.00	0.006	0.00	0.001	0.001				
Pb	2.60	2.83	2.50	4.96	0.41	68.30	19.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Zn	4.60	31.90	35.60	23.50	38.90	105.0	57.00	0.003	0.004	0.003	0.009	0.015	0.006	0.003				
As	16.02	13.33	26.7	44.74	28.05	9.81	509.10								30.1	44.1	46.8	184.0
Sb	2.56	13.88	7.18	1.23	0.86	1.13	2.04								0.44	0.53	2.9	12.8
Bi	0.15	0.51	0.77	0.20	0.21	0.19	0.25								2.90	3.2	0.44	59.2
Hg	0.16	6.66	0.08	0.045	0.419	0.21	0.27								1.01	0.04	1.01	0.04
Au	0.0007	0.1074	0.007	4.796	12.064	15.552	3.198	0.015	0.5525	0.435	9.9250	1.3625	5.1625	1.0325	0.136	0.036	1.062	2.033
Ag	0.68	0.11	0.042	1.95	15.20	3.05	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.07	0.075	20.20

氧化物为重量百分比, 元素为 $\times 10^{-6}$, 由长春地质学院化学分析室测定。

3.2 不同金矿床石英热释发光特征

本文对平顶山金矿测试 38 个石英样品, 其中 7 个具有代表性的热释发光参数列入表 2, 相应的热释发光谱见图 1— a_1 a_2 所示。含金石英热释发光谱特征大体相似, 具有偏右不对称双峰型或三峰型特点。当测试样品加热至 210—240 °C, 出现第一发光主峰, 发光强度为 3.0—7.8mR 之间。当样品加热至 280—310 °C 区间内, 出现第二发光峰, 但发光强度较之主峰减弱, 为 2.1—7.1mR 之间。部分样品加热至 360 °C 左右, 出现第三发光峰, 发光强度最弱, 为 0.8—0.9mR 之间。不含金石英热释发光特征也大体相似, 具有单峰、偏右不对称型的特点, 当样品加热至 250 °C 左右(个别为 280 °C) 出现发光峰, 发光强度较强, 为 5.8—7.8mR。

表 2 金矿床石英的热释发光参数

Table 2 Thermoluminescent parameters of quartz from gold deposits

金矿	样品号	发光峰温度(°C)	发光强度(mR)	热发光谱型	Au($\times 10^{-6}$)	
平顶山金矿	不含金	P _{D1} -16	250	5.8	单峰, 偏右不对称型	0.1074
		Y _{m3} -1	250	6.7	单峰, 偏右不对称型	0.0007
		P _{D2} -14	250	7.8	单峰, 偏右不对称型	0.0070
	含金	Y _{m5} -2a	220 280 360	3.5 2.7 0.9	偏右不对称三峰型	12.064
		P _{D1} -5	220 290 360	3.0 2.1 0.8	偏右不对称三峰型	15.552
		Y _{m5} -2	210 290	4.8 3.4	偏右不对称三峰型	3.1980
乌拉嘎金矿	不含金	210-1	300	6.0	单峰, 偏右不对称型	0.0150
		170-3	290	7.8	单峰, 偏右不对称型	0.4350
		J-01	290	8.5	单峰, 偏右不对称型	0.5525
	含金	J-15	220 310	2.0 1.2	偏右不对称双峰型	1.3625
		170-2	220 310	2.5 1.7	偏右不对称双峰型	9.9250
		J-11	210 310	4.3 1.7	偏右不对称双峰型	1.0325
		274-1	210 310	3.7 3.2	偏右不对称双峰型	5.1625
		X ₁₇₅ -1	290	3.8	单峰, 偏右不对称型	0.1360
老柞山金矿	不含金	X ₂₁₅ -5	290	6.7	单峰, 偏右不对称型	0.0360
		X ₂₅₅ -1	290	5.8	单峰, 偏右不对称型	0.0360
		X ₂₁₅ -4	220 300	3.7 2.5	偏右不对称双峰型	2.0330
	X ₂₅₅ -9	220 300	4.5 3.1	偏右不对称双峰型	1.0620	
	X ₂₅₅ -4	220 300	5.9 3.5	偏右不对称双峰型	1.0620	

中国地质大学(北京)成因矿物研究室测定。

乌拉嘎金矿含金石英, 不含金石英热释发光参数(表 2)和热释发光谱图(图 1— b_1 b_2)也存在明显差异。金矿中含金石英热释发光谱具有偏右不对称双峰型特点(图 1— b_2), 当样品加热至 210—220 °C 范围内, 出现第一发光主峰, 发光强度为 2.0—4.3mR。当样品加热至 310 °C 左右, 出现第二发光峰, 发光强度为 1.2—3.2mR 之间。不含金石英热释发光谱图(图 1— b_1)具有单峰、偏右不对称型的特点, 当样品加热至 290—300 °C 区间内, 出现发光峰、发光强度较强, 为 6.0—8.5mR 之间。

老柞山金矿含金, 不含金石英热释发光参数(表 1)和热释发光谱图(图 1— c_1 c_2)与平顶山、与拉嘎金矿均十分相似。含金石英热释发光谱图(图 1— c_2)具有偏右不对称双峰型特点, 发光峰的温度区间分别为 220 °C 和 300 °C 左右, 相应的发光强度分别为 3.7—5.9mR 和 2.

5—3.5mR 之间。

3.3 不同类型石英热释发光谱的成因机理

石英热释发光研究结果表明,平顶山、乌拉嘎、老柞山金矿不含金石英具单峰性质,发光峰的温度区间多数集中在 250℃—300℃ 区间,而含金石英具双峰、部分为三峰性质,发光峰的温度区间分别为 210—230℃、280—310℃ 和 360℃ 左右。

国外许多学者对石英的热释发光成因机理进行了较深入的研究,普遍认为在石英中可能有:电子心 $Ti^{3+}-Li^+$ 、 $Ti^{3+}-H^+$ 、 $Ge^{3+}-H^+$ 、 $Ge^{3+}-Na^+$ 、 Li^+ 、 $Ge^{3+}-Na^+$ 、 H^+ 、空穴心 $Al^{3+}-O^-$ 。石英中 200—230℃ 的发光峰与 $Al^{3+}-O^-$ 空穴心有关^[1], 260—300℃ 的发光峰与电子心 $Ti^{3+}-M^+$ 电子心有关^[2], 而 330—380℃ 发光峰与其它类型的电子心有关^[3]。三个金矿含金石英中 Al_2O_3 含量(详见表 1)明显偏高,因此在石英中所形成的 $Al^{3+}-O^-$ 空穴心浓度大,势必导致含金石英在 210—230℃ 范围内出现发光主峰,且发光强度较强,而该类石英在 280—310℃ 和 360℃ 出现的发光峰可能与 $Ti^{3+}-M^+$ 以及其它类型电子心有关。三个金矿中不含金石英 Al_2O_3 含量(详见表 1)明显偏低,在石英晶格中所形成的 $Al^{3+}-O^-$ 空穴心的浓度也相应偏低。因此,该类石英在 210—230℃ 范围内不出现发光峰,这是区别三个金矿的含金石英和不含金石英的重要标志之一。而该类石英在 250—300℃ 区间内出现的发光峰则可能与石英中存在浓度较高的 $Ti^{3+}-M^+$ 等电子心

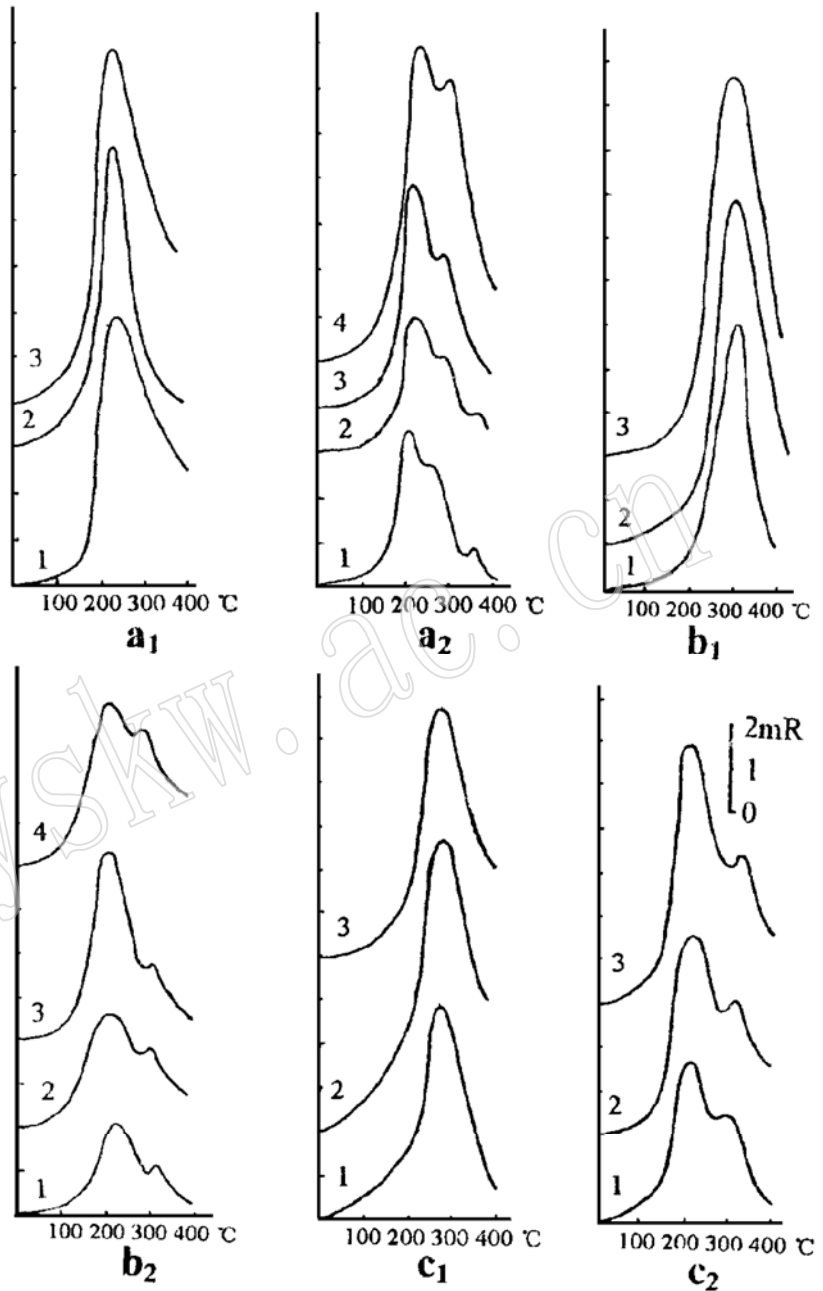


图 1 佳木斯地块金矿中石英的热释发光谱图

Fig. 1 quartz Thermoluminescence spectrum of quartz from gold deposits in JiaMuSi Massif

a—平顶山金矿; a₁—不含金石英, 1—P_{D1}-16, 2—Ym3-1, 3—P_{D2}-14, a₂—含金石英, 1—Ym5-2a, 2—PD₁-5, 3—Ym5-2, 4—Ym4-3; b—乌拉嘎金矿; b₁—不含金石英, 1—210-1, 2—170-3, 3—J-01, b₂—含金石英: 1—J-15, 2—170-2, 3—J-11, 4—274-1; c—老柞山金矿: C₁—不含金石英, 1—X₂₁₅-1, 2—X₂₁₅-5, 3—X₂₅₅-1, C₂—含金石英, 1—X₂₁₅-4, 2—X₂₅₅-9, 3—X₂₅₅-4

有关。

国内较系统的此类研究有胶东金矿石英热释发光研究^[1,3],几个金矿床共同规律是: Al^{3+} 、 Na^+ 、 K^+ 等杂质组分越多,发光曲线越复杂,易出现双峰或多峰的热释发光谱,本文的石英也具有相同的特点。

3.4 石英的热释发光与含金性的关系

从佳木斯地块三个金矿石英热释发光特征、其化学成分及Au含量的分析结果可以明显看出,三个金矿床的共同规律是,热释发光谱以双峰或多峰为主的石英,其 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 含量普遍偏高,为含金或富含金石英;而热释发光谱以单峰为主的石英,其 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 含量普遍偏低,为不含金或含金性差的石英。因此,石英的热释发光特征可作为指示佳木斯地块金矿化的一个重要物性标志。

陈光远^[1]、王键等^[2]对胶东金矿,杨殿范等^[4]对河北石湖金矿石英的热释发光研究认为,含金石英热释发光谱趋于复杂化,为双峰和多峰型,而不含金石英热释发光谱趋于简单化,为单峰型,与本文得出的结论一致。由此可见,采用石英热释发光谱来判断其含金性具有普遍意义。

4 结 论

通过对佳木斯地块平顶山、乌拉嘎和老柞山金矿石英的研究,得出以下几点结论:

1. 颜色混杂(灰白—灰黑色)、与细粒金属硫化物共生的石英为含金石英;乳白—白色石英为不含金石英。

2. SiO_2 含量低($< 98\%$), $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 含量高($> 1.30\%$)的石英为含金石英;而 SiO_2 含量高($> 98\%$), $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 含量低($< 0.90\%$)的石英为不含金石英。

3. 热释发光谱为双峰或多峰的石英为含金石英;而热释发光谱为单峰的石英为不含金石英,石英热释发光特征可作为指示佳木斯地块金矿化的一个重要物性标志。

4. 石英的热释发光谱的差异主要受其Al、K、Na等杂质元素含量高低,以及 Al^{3+} -O⁻空穴心和 Ti^{3+} -M⁺等电子心的种类和浓度高低所控制。

本文曾得到长春地质学院靳是琴教授的热心指教,在此表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- 1 陈光远等. 胶东金矿成因矿物学与找矿. 重庆: 重庆出版社, 1989.
- 2 吴尚全等. 夹皮沟变质热液金矿床中石英的天然热释发光研究. 矿物岩石, 1984, 4: 12—16.
- 3 王键等. 栖霞金矿石英的成因矿物学研究. 中国金矿床成因矿物学和找矿矿物学论文集. 1987, 119—125.
- 4 杨殿范等. 石湖金矿区石英的找矿信息研究. 长春地质学院学报, 1992, 22: 34—40.

Relationship between Thermoluminescence of Quartz and Its Gold Potential in Gold Deposits of Jiamusi Massif

Liu Fulai

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words: quartz; thermoluminescence; typomorphic character; gold deposit; Jiamusi Massif

Abstract

Wuliga, Pingdingshan and Laozuoshan gold deposits are three important gold deposits in Jiamusi Massif. Studies show that quartz is not only an important gangue mineral but a main carrier of gold as well. Quartz with SiO_2 content lower than 98% but $\sum(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ content higher than 1.3% is auriferous quartz, whose thermoluminescent spectra are characterized by double or multiple peaks. Therefore, these typomorphic characteristics serve as important ore prospecting indicators for gold deposits and are hence of great significance in evaluation of ore occurrences and broadening of ore prospecting vista in Jiamusi Massif