

河台金矿伽马能谱 K 异常成因探讨

朱江建^{1,2} 林 舸² 曾乔松² 龚贵伦³ 刘 彬⁴ 张 婧⁵

- (1. 北京矿产地质研究院, 北京 100012;
2. 中国科学院矿物学与成矿学重点实验室 广州地球化学研究所, 广东广州 510640;
3. 中国人民武装警察部队黄金第十一支队, 湖南宁乡 410600;
4. 中色地科矿产勘查股份有限公司, 北京 100012; 5. 北京勘察技术工程有限公司, 北京 100085)

[摘要]河台金矿是一个典型的与韧性剪切带有关的金矿床,也是目前粤西、桂东南已发现的最大的金矿床。为了给深边部找矿提供科学依据,本文对河台金矿伽马能谱 K 异常进行了研究。河台金矿动力变质分异期、热液期与表生期生成的富钾矿物只有绢云母,表明本区引起伽马能谱 K 高异常的矿物应为绢云母。这些绢云母可能成由于糜棱岩化过程与金-黄铁矿-石英热液蚀变过程中斜长石的绢云母化。其中,糜棱岩化过程引起的 K 高异常具有异常宽度小的特点,且具有指示糜棱岩带与矿体位置的意义。金-黄铁矿-石英阶段引起的 K 高异常具有异常宽度大的特点,且主要发育于糜棱岩带与不同岩性的接触带。伽马能谱 K 低异常则可能成由于热液成矿期中金-石英-多金属硫化物阶段的热液蚀变作用及低钾花岗岩伟晶岩脉的侵入。

[关键词] 伽马能谱 河台金矿 糜棱岩 K 异常

[中图分类号] P618 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2014)05-0961-10

DOI:10.13712/j.cnki.dzykt.2014.05.016

Zhu Jiang-jian, Lin Ge, Zeng Qiao-song, Gong Gui-lun, Liu Bin, Zhang Jing. The genesis for anomalous values of K from Gamma-ray spectrometric survey in the Hetai gold deposit [J]. *Geology and Exploration* 2014, 50(5):0961-0970.

0 引言

一些研究者在河台金矿运用了隐伏金矿床的遥感生物地球化学(徐瑞松等,1996)、热释光测量(全亚荣等,2001)、地球化学(黄栋林,2001;李兆麟等,2002)等找矿方法,并取得一定效果。然而由于勘探手段受限制,河台金矿深部和外围矿体的定位预测及该区隐伏矿产的快速综合评价仍相对滞后。经十几年的开采,河台金矿区探明的保有储量已不足1/2,而且低级别的储量占75%以上(刘振升,2004),目前已影响该矿山的可持续发展。鉴于河台金矿的找矿需要,本课题组继续在河台金矿开展地电化学测量(夏永健等,2008a;朱江建等,2011a)、EH4测量(王彪等,2009)、矿体统计分析预测(朱江建等,2012a)、数值模拟(朱江建等,

2012b)、矿体富集中心预测法(朱江建,2013)等找矿方法,且也取得一定效果。伽马能谱测量的应用(刘菁华等,2003、2004),尤其是伽马能谱测量应用于金矿找矿(冯维恒,1991、1992;潘勇飞等,1994;陈礼宽等,1996;陈礼宽等,1998;马俊孝等,1999;曾庆栋等,1999;邹为雷等,2000;张宝林等,2001),前人已取得了较好的应用成果。河台金矿可分为糜棱岩化成矿期(王鹤年等,1989;陈骏等,1993;何文武等,1993;姚德贤等,1995;翟伟等,2006;朱江建等,2011b)与热液成矿期(王鹤年等,1989;陈骏等,1993;何文武等,1993;Zhang *et al.*, 2001;翟伟等,2006)。前人研究表明,这两期均伴随着K含量的变化(王鹤年等,1989;周永章等,1994;龚贵伦,2011)。本文研究了糜棱岩化成矿期与热液成矿期K异常的分布规律与成因,并探讨伽马能谱测量中

[收稿日期]2014-03-20; [修订日期]2014-05-20; [责任编辑]郝情情。

[基金项目]老矿山典型矿床成矿规律总结研究(项目编号:121200113086300)和国家自然科学基金项目:广东河台金矿富矿包中金的超常富集机制研究(No. 41172082)资助。

[第一作者]朱江建(1985年-)男,2012获中国科学院研究生院博士学位,现为北京矿产地质研究院博士后,主要从事成矿预测与矿产勘查。E-mail: zjj3xsjl@163.com。

K 异常对成矿的指示意义。

1 矿床地质特征

河台金矿位于云开大山变质杂岩体北部、罗定 - 广宁断裂变质带和吴川 - 四会断裂变质带的交汇部位(图 1 左上角)。该矿北部出露震旦系局部混合岩化的石英云母片岩、石英岩等,南部出露奥陶系薄层浅变质砂岩、粉砂岩及薄层板岩,其通过 F_1 断裂与震旦系呈断层接触。 F_1 断裂是矿区主要的导矿构造之一,位于矿区南部,倾向北西,倾角 $55^\circ \sim 70^\circ$ (李新福等 2007)。含矿构造为糜棱岩带及发育于其中的脆性断裂。导矿构造与含矿构造在剖面上为“y”字型展布(图 1 右下角)。矿区西部出露黑云母斜长花岗岩,东部出露巨斑状黑云母二长花岗岩(图 1)。

河台金矿的金矿体主要分布于云西矿床(包含 9、19 号含矿糜棱岩)、高村矿床(11 号含矿糜棱岩)、后迳矿床(12、13 号含矿糜棱岩),它们在平面积呈左阶斜列产出(图 1)。本次对河台金矿的云西矿床实施伽马能谱测量研究(图 2)。云西矿床 9 号

糜棱岩带走向长 1300 m,宽 8 ~ 51 m,工程控制深度达 900 m 未尖灭,总体倾向 NW,倾角 $70^\circ \sim 85^\circ$,局部反倾。9 号糜棱岩带中的矿体倾向 NNW,倾角 70° 左右,大脉状产出,长一千多米,厚几十厘米到几十米,矿体膨大缩小明显(往往对应糜棱岩的膨大缩小部位),连续性差,从东向西,从上到下侧列产出,且主要沿糜棱岩的糜棱面理分布,矿体与围岩没有明显的界限。富矿体在平面上表现为左阶近等的分布规律,剖面上表现为向北东侧伏且相邻品位富集中心在侧伏方向上的距离为 85 ~ 179 m (朱江建等 2014)。云西矿床的 19 号糜棱岩带,总体走向 80° ,倾向北西,倾角 75° ,走向长 600 m 以上,厚 10 ~ 35 m。有一个钻孔最深控制到 10 水平,见矿工程稀疏,且为不见矿工程隔开,连不成矿体。

河台金矿可分为糜棱岩化成矿期(王鹤年等, 1989;陈骏等,1993;何文武等,1993;姚德贤等, 1995;翟伟等,2006;朱江建等 2011b)与热液成矿期(王鹤年等,1989;陈骏等,1993;何文武等,1993; Zhang *et al.* 2001;翟伟等 2006)。其中糜棱岩化成

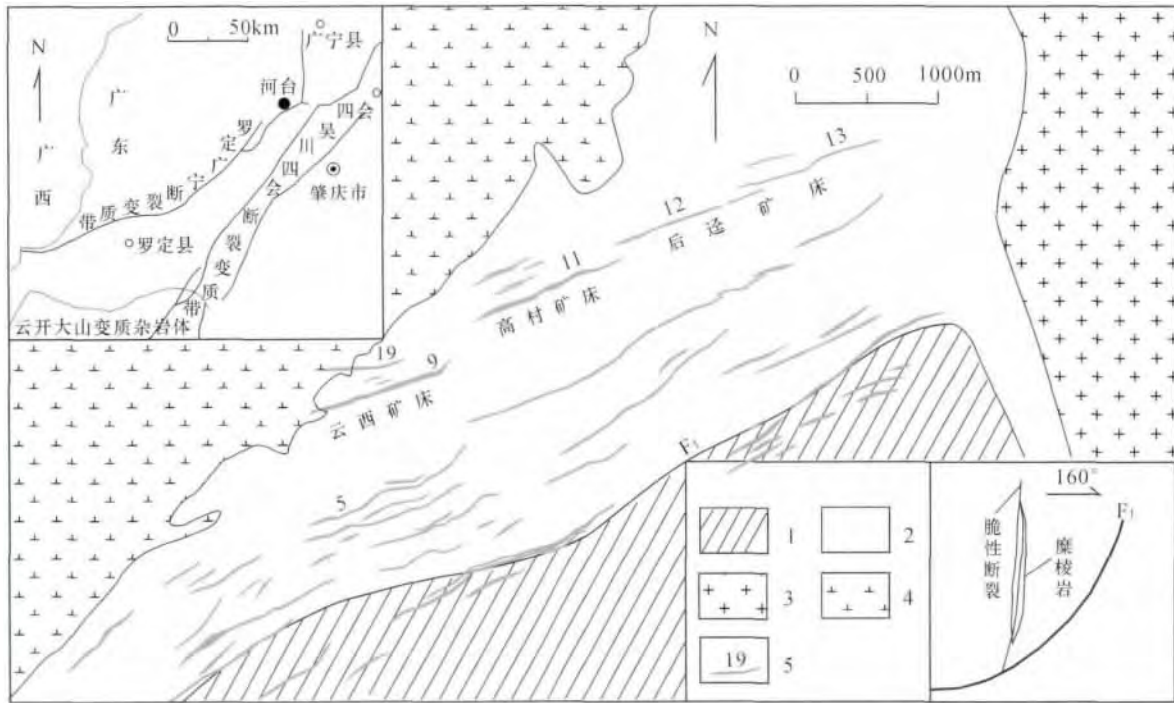


图 1 河台金矿区地质简图(据朱江建等 2011b、2012b 修改)

Fig. 1 Simplified geological map of the Hetai gold deposit, Guangdong Province, South China (modified from Zhu *et al.* 2011b, 2012b)

- 1 - thin-bedded epimetamorphic sandstone, siltstone and thin-bedded slate of Ordovician system; 2 - partial migmatitized quartz-mica schist and quartzite of Sinian system; 3 - macroporphyritic biotite monzonitic granite; 4 - biotite plagiogranite; 5 - mylonitized zones and their numbers

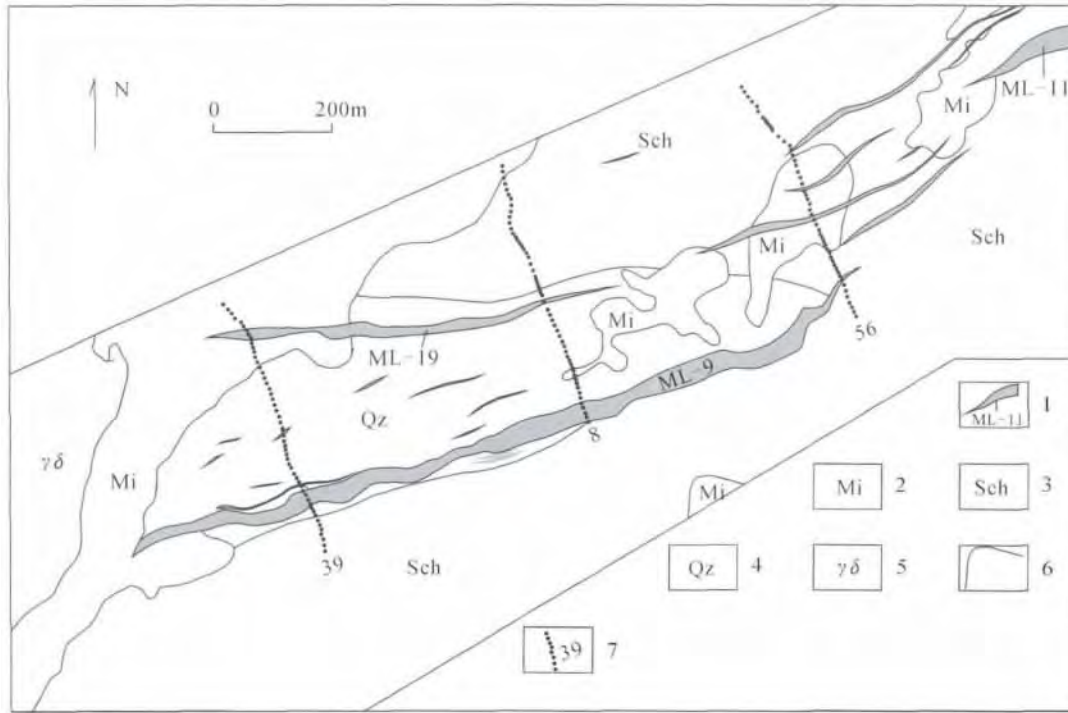


图 2 伽马能谱测量测点位置图

Fig. 2 Locations of Gamma-ray spectrometric survey

- 1 - 糜棱岩带及其编号; 2 - 混合岩; 3 - 以片岩为主的变质岩组合; 4 - 以片状石英岩为主的变质岩组合;
- 5 - 黑云母斜长花岗岩; 6 - 地质界线; 7 - 伽马能谱测量所在测线的位置及其编号
- 1 - mylonitized zones and their numbers; 2 - migmatite; 3 - metamorphic rock that mainly made of schist; 4 - the metamorphic rock that mainly made of quartzite; 5 - biotite plagiogranite; 6 - geological boundary; 7 - The line position of Gamma-ray spectrometric survey and their numbers

矿期形成小于 1g/t 的金矿化(姚德贤等,1995;陈骏等,1993)。热液成矿期是河台金矿主要的成矿期,据前人研究其总体可分为金-黄铁矿-石英阶段、金-石英-多金属硫化物阶段以及金-硫化物-碳酸盐阶段(王鹤年等,1989;陈骏等,1993;何文武等,1993;Zhang *et al.*, 2001;翟伟等,2006)。其中金-黄铁矿-石英阶段、金-石英-多金属硫化物阶段是河台金矿主要的热液成矿阶段。与矿化相关的蚀变作用主要有烟灰色的硅化与细粒它形的黄铁矿化。伴生金属矿物主要包括黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、菱铁矿、毒砂;非金属矿物主要有石英、绢云母。

2 伽马能谱 K 测量

2.1 实验条件

本次测量对象是放射性同位素 K^{40} 。为了保证实验结果的有效性,采用如下实验条件:

(1) 本次野外测量使用的仪器为加拿大生产的 SCINTREX GAD-6 伽马射线分光计(操作台)和 SCINTREX GSP-4 伽马射线探头。该仪器由微机控制,自动稳谱、灵敏度高、稳定性好;

(2) 本次野外测量前据标准模型进行了标定,相对误差小于 5.5%,仪器测量精度可满足研究工作的需要;

(3) 为了减少随机性的统计误差,本次尽可能延长每次测量的时间,确定每次测量时间为 30s;

(4) 测量点距为 10 m(斜距),每个测点测 4-10 次,取其平均值;

(5) 在基岩或原地残积物上进行测量。

2.2 测线布置

本次对河台金矿云西矿床的 39、8、56 线进行伽马能谱 K 测量研究,各测线由北往南进行测量,各测线测点的布置见图 2,各测线的测量点数、长度与采集到的数据见表 1。

表1 伽马能谱测量工作量统计表
Table 1 Workload statistics of Gamma-ray spectrometric survey

	点数	测线长度/m	采集到的数据量/个
39 测线	53	585	277
8 测线	55	560	275
56 测线	51	585	270
合计	159	1730	822

2.3 测量结果

各测点的 K 含量如表 2 所示。

3 讨论

3.1 河台金矿的富钾矿物

地壳中不同岩石的钾含量不同,它们含钾量的高低往往取决于富钾矿物的多少(表 3)。

河台金矿各成矿期生成的矿物见表 4。

表 3、4 表明,河台金矿动力变质分异期、热液期与表生期生成的富钾矿物只有绢云母,说明本区引起伽马能谱 K 高异常的应为绢云母。

3.2 各成矿期的 K 迁移聚集

3.2.1 糜棱岩化成矿期 K 的迁移聚集

河台金矿绢云母石英千糜岩流体包裹体中 K^+ 浓度较高,这为形成大量绢云母提供了物质条件(何文武等,1993)。刘伟(2004)通过镜下观察并统计表明,初糜棱岩中绢云母含量为 5%~25%,斜长石为 15%~35%;糜棱岩中绢云母含量为 20%~25%,斜长石含量为 5%~20%;超糜棱岩中绢云母含量为 20%~65%,斜长石含量为 1%~5%。夏永健(2008b)镜下统计表明,糜棱岩化岩石绢云母绿泥石含量为 5%~20%,斜长石含量为 30%~50%;糜棱岩绢云母含量为 20%~50%,斜长石含量为 20%;超糜棱岩绢云母含量为 20%~65%,斜长石含量为 1%~5%。以上研究表明,随着糜棱岩化程度的增强,富钾矿物绢云母的含量增多,长石含量减少。其可能的原因是剪切造成的细粒化可促使流体向糜棱岩带中汇聚(Oliver,2001;Musumeci,2002),从而有利于糜棱岩化过程中水岩反应的进行,而模拟实验表明水岩反应过程中斜长石向绢云母的转化很容易发生(Zhao *et al.*,2001)。Dipple 等(1990),由剪切带内样品的物质平衡计算表明,剪切带内表现为 K 聚集。这些都说明了糜棱岩化可形成 K 高异常。绢云母含量与糜棱岩化程度为正相关关系,结合含金糜棱岩的矿化强度与糜棱岩化程度也为正

相关关系(段嘉瑞等,1992),及大量绢云母在动力变质期的生成有利于热液成矿期硅化作用的进行(何文武等,1993),表明糜棱岩化形成的 K 异常带,具有指示糜棱岩带与矿体位置的意义。

3.2.2 热液成矿期 K 的迁移聚集

王鹤年等(1989)研究表明,从千糜岩到弱硅化绿泥石化方解石化千糜岩带,K 含量增加;周永章等(1994)的研究则表明,平均蚀变岩 K 含量增加,结合河台金矿的热液成矿期只有金-黄铁矿-石英阶段有绢云母的生成(表 4;刘伟,2004),表明文中提到的弱硅化绿泥石化方解石化千糜岩带及平均蚀变岩应为受金-黄铁矿-石英阶段热液蚀变的糜棱岩。说明热液期斜长石向绢云母转化(朱江建等,2012b),主要与金-黄铁矿-石英阶段有关。

王鹤年等(1989)研究还表明,从弱硅化绿泥石化方解石化千糜岩带到强硅化黄铁矿黄铜矿化千糜岩带(即矿体),K 含量减少;周永章等(1994)的研究则进一步表明,成熟蚀变岩(以黄铁矿黄铜矿及与之共生的硅化为特征,与矿石相当)K 含量减少。强硅化黄铁矿黄铜矿化千糜岩带与成熟蚀变岩的蚀变矿物组合(石英、黄铁矿、黄铜矿)与河台三个热液成矿阶段中金-石英-多金属硫化物阶段的矿物组合(石英、多金属硫化物)一致,表明文中提到的强硅化黄铁矿黄铜矿化千糜岩带与成熟蚀变岩,应为河台金矿受金-石英-多金属硫化物阶段蚀变的糜棱岩。说明了受金-石英-多金属硫化物阶段蚀变的糜棱岩 K 含量减少,其可能与金-石英-多金属硫化物阶段基本无含钾矿物生成(表 3、4)有关

3.3 各测线伽马能谱 K 异常特征与成因探讨

3.3.1 39 线伽马能谱 K 异常特征与成因探讨

39 线 19 号糜棱岩带(ML19)上方出现了明显的伽马能谱 K 高异常,异常宽度较小(与 19 号糜棱岩带的宽度一致)。9 号糜棱岩带(ML19)上方也出现了明显的 K 高异常,这两处糜棱岩带上方的伽马能谱 K 高异常应与糜棱岩化过程中斜长石绢云母化有关,也可能叠加了金-黄铁矿-石英热液蚀变过程中斜长石的绢云母化。9 号糜棱岩带矿体上方的 K 高异常相对较弱则可能成因而于其受金-石英-多金属硫化物阶段的蚀变作用。9 号糜棱岩带北西侧出现的较宽的 K 高异常(约 100 m)及混合岩、石英岩分界处的 K 高异常,可能成因而于金-黄铁矿-石英热液蚀变过程中产生富 K 的绢云母(图 3)。

表 2 伽马能谱测量各测点 K 含量表
Table 2 K content of Gamma-ray spectrometric survey at different points

测点编号	K 含量 / %	测点编号	K 含量 / %	测点编号	K 含量 / %	测点编号	K 含量 / %
39—1	2.9	39—41	6	8—28	2.9	54—13	4.8
39—2	4.4	39—42	5.6	8—29	3.1	54—14	3.7
39—3	3.3	39—43	4.8	8—30	3	54—15	3.2
39—4	3.3	39—44	3.8	8—31	2.2	54—16	2.9
39—5	3.2	39—45	3.6	8—32	2.5	54—17	3.3
39—6	3.5	39—46	4.4	8—33	2.4	54—18	3
39—7	3.6	39—47	4.3	8—34	2.4	54—19	3
39—8	3.7	39—48	4	8—35	2.8	54—20	4.6
39—9	3.9	39—49	3.9	8—36	2.5	54—21	4.4
39—10	4.3	39—50	3.8	8—37	2.6	54—22	4.1
39—11	4.1	39—51	4.1	8—38	2.7	54—23	3.9
39—12	4	39—52	4.4	8—39	2.3	54—24	5.3
39—13	6.1	39—53	4.2	8—40	2.3	54—25	6.1
39—14	3.5	8—1	4.9	8—41	3.1	54—26	3.9
39—15	2.7	8—2	4.6	8—42	2.5	54—27	3.5
39—16	3.3	8—3	6.4	8—43	2.4	54—28	4
39—17	3	8—4	6	8—44	2.2	54—29	5.5
39—18	3.4	8—5	6.3	8—45	3.1	54—30	3.3
39—19	3.3	8—6	4.9	8—46	2.4	54—31	4.8
39—20	2.4	8—7	5.2	8—47	2.3	54—32	3.8
39—21	2.6	8—8	5	8—48	2.2	54—33	4.3
39—22	2.5	8—9	5.6	8—49	3.5	54—34	5.4
39—23	2.9	8—10	5.2	8—50	5.7	54—35	3.2
39—24	3	8—11	4.6	8—51	4.6	54—36	3.2
39—25	2.4	8—12	4.3	8—52	7.3	54—37	3.3
39—26	3.2	8—13	4.5	8—53	6.1	54—38	3.5
39—27	4.8	8—14	4.3	8—54	5.4	54—39	4.4
39—28	5.3	8—15	4.5	8—55	4.2	54—40	3.5
39—29	5.7	8—16	3.8	54—1	4.6	54—41	3.5
39—30	5.2	8—17	3.7	54—2	5.4	54—42	3.4
39—31	6.9	8—18	3.8	54—3	4.1	54—43	3.6
39—32	5.7	8—19	4.6	54—4	3.4	54—44	2.5
39—33	5.4	8—20	3.3	54—5	3	54—45	3
39—34	6.2	8—21	3.1	54—6	2.8	54—46	3.8
39—35	6.8	8—22	3.4	54—7	3.7	54—47	4.1
39—36	6.6	8—23	3.6	54—8	4.2	54—48	4.4
39—37	5.8	8—24	3.5	54—9	4.2	54—49	3.5
39—38	7	8—25	3	54—10	5.7	54—50	3.8
39—39	5.4	8—26	3.6	54—11	5.8	54—51	3.8
39—40	5.5	8—27	3.8	54—12	6.4		

表 3 常见岩石的钾含量及常见富钾矿物的钾含量
(据周俊等, 1999, 修改)

Table 3 Potassium content of common rocks and common potassium bearing minerals
(modified after Zhou Jun et al., 1999)

常见岩石	钾含量/%	常见含钾矿物	钾含量/%
超基性岩	0.004	正长石	16.5
基性岩	0.83	钾微斜长石	16.5
中性岩(正长岩)	4.8	透长石	16.5 ±
酸性岩(富钙)	2.52	海绿石	4.95
酸性岩(贫钙)	4.2	白榴石	21.5
页岩	2.6	霞石	5-20
砂岩	1.07	金云母	7-10.3
碳酸盐岩	0.27	白云母/绢云母	11.8
粘土	2.5	黑云母	6.18-11.43

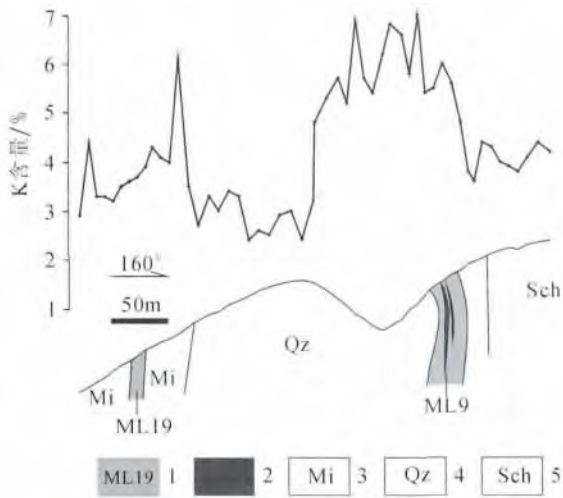


图 3 云西矿床 39 线伽马能谱 K 含量图

Fig. 3 K content of Gamma-ray spectrometric survey along prospecting line No. 39

- 1 - 糜棱岩带及其编号; 2 - 矿体; 3 - 混合岩; 4 - 以石英岩为主的变质岩组合; 5 - 以片岩为主的变质岩组合
- 1 - mylonitized zones and their numbers; 2 - orebody;
- 3 - migmatite; 4 - the metamorphic rock that mainly made of quartzite; 5 - metamorphic rock that mainly made of schist

3.3.2 8 线伽马能谱 K 异常特征与成因探讨

8 线 9 号糜棱岩带 (ML9) 上方也出现了明显的 K 高异常, 异常宽度与 9 号糜棱岩带的宽度一致。其可能与糜棱岩化过程中斜长石绢云母化有关, 也可能叠加了金 - 黄铁矿 - 石英热液蚀变过程中斜长石的绢云母化。而矿体上方 K 高异常相对较弱则可能成因其受金 - 石英 - 多金属硫化物阶段的蚀变作用。19 号糜棱岩带上方 K 异常不明显可能与

19 号糜棱岩带在该处糜棱岩化及金 - 黄铁矿 - 石英热液蚀变较弱有关; 该测线北侧混合岩与片岩分界处 K 高异常明显且范围较宽, 则可能成因其于混合岩与片岩分界处岩石较为破碎, 金 - 黄铁矿 - 石英热液沿这种较为破碎的接触带充填过程中产生广泛渗透, 从而产生较宽的绢云母化带 (图 4)。

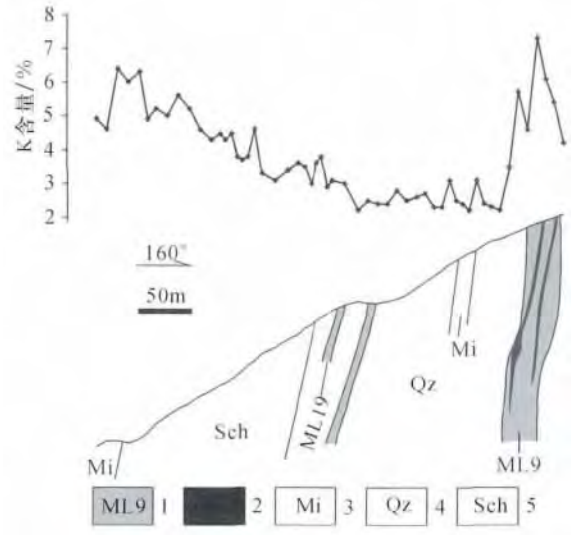


图 4 云西矿床 8 线伽马能谱 K 含量图

Fig. 4 K content of Gamma-ray spectrometric survey along prospecting line No. 8

- 1 - 糜棱岩带及其编号; 2 - 矿体; 3 - 混合岩; 4 - 石英岩; 5 - 片岩
- 1 - mylonitized zones and their numbers; 2 - orebody;
- 3 - migmatite; 4 - the metamorphic rock that mainly made of quartzite; 5 - metamorphic rock that mainly made of schist

3.3.3 56 线伽马能谱 K 异常特征与成因探讨

56 线 9 号糜棱岩带上方出现了 K 低异常。56 线地质剖面观察发现 9 号糜棱岩带南侧有花岗伟晶岩脉露出 (图 5)。花岗伟晶岩脉以斜长石、石英为主, 并含少量钾长石、黑云母。流体包裹体研究表明, 花岗伟晶岩石英流体包裹体中的 K⁺ (2.10%) 明显低于糜棱岩石英流体包裹体中的 K⁺ (3.01%) (王鹤年等, 1989); 富钙酸性岩往往表现为贫钾 (2.52%) 特征 (表 3)。据河台金矿内部资料^①, 花岗伟晶岩脉也具有富钙贫钾 (1.98% ~ 3.11%) 特征。以上研究指示 56 线 9 号糜棱岩带上方的 K 低异常很可能与其南侧侵入低钾的花岗伟晶岩脉有关; 67 号糜棱岩带 (ML67)、122 号糜棱岩带 (ML122)、124 号糜棱岩带 (ML124)、片岩与混合岩分界处 K 含量变化较大, 则可能成因其于富 K 的糜棱岩带与富 K 的岩性分界处附近侵入低钾的花岗伟晶岩脉 (图 5)。

表 4 河台金矿各成矿期生成的矿物(据龚贵伦 2011 修改)
Table 4 Minerals generated in different metallogenic periods in the Hetai gold deposit
(modified from Gong 2011)

成矿期 矿物	动力变质 分异期	热液期			表生期
		金-黄铁矿-石英阶段	金-石英-多金属硫化物阶段	金-硫化物-碳酸盐阶段	
绢云母					
石英					
黄铁矿					
自然金					
黄铜矿					
磁黄铁矿					
闪锌矿					
方铅矿					
菱铁矿					
方解石					
绿泥石					
辉铜矿					
铜蓝					
褐铁矿					

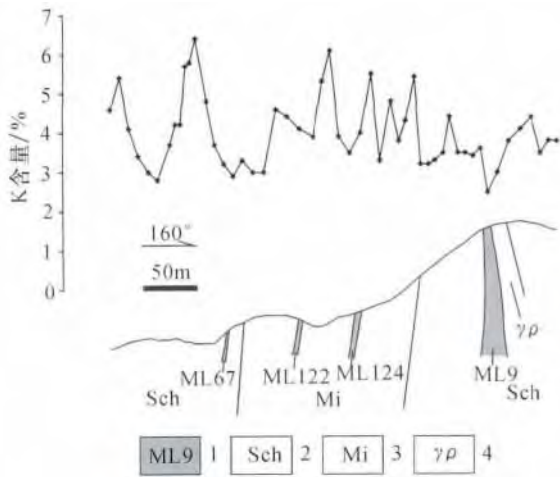


图 5 云西矿床 56 线伽马能谱 K 含量图

Fig. 5 K content of Gamma-ray spectrometric survey along prospecting line No. 56

- 1 - 糜棱岩带及其编号; 2 - 以片岩为主的变质岩组合;
- 3 - 混合岩; 4 - 花岗伟晶岩脉
- 1 - mylonitized zones and their numbers; 2 - metamorphic rock that mainly made of schist; 3 - migmatite; 4 - granite pegmatite

4 结论

(1) 河台金矿动力变质分异期、热液期与表生期生成的富钾矿物只有绢云母,说明本区引起伽马能谱 K 高异常的矿物应为绢云母。前人镜下统计

表明,随着糜棱岩化程度的增强,富钾矿物绢云母的含量增多,斜长石含量减少,指示了糜棱岩化过程中斜长石绢云母化的进行。糜棱岩化过程引起的 K 高异常具有异常宽度小的特点,且具有指示糜棱岩带与矿体位置的意义。本次镜下观察表明,热液期斜长石向绢云母转化是普遍现象,结合河台金矿的热液成矿期只有金-黄铁矿-石英阶段有绢云母的生成,表明前人提出的使 K 元素含量增多的弱硅化绿泥石化方解石化千糜岩带及平均蚀变岩应为受金-黄铁矿-石英热液蚀变的糜棱岩。金-黄铁矿-石英阶段斜长石绢云母化引起的 K 高异常具有异常宽度大的特点,且主要发育于糜棱化带与不同岩性的接触带。

(2) 强硅化黄铁矿黄铜矿化千糜岩带与成熟蚀变岩的蚀变矿物组合(石英、黄铁矿、黄铜矿)与河台三个热液成矿阶段中金-石英-多金属硫化物阶段的矿物组合(石英、多金属硫化物)一致,表明前人提到的使 K 含量减少的强硅化黄铁矿黄铜矿化千糜岩带与成熟蚀变岩,应为受金-石英-多金属硫化物阶段蚀变的糜棱岩。另外低钾花岗伟晶岩脉的侵入也可能引起伽马能谱测量的 K 低异常。

[注释]

- ① 陈友东等. 1992. 广东省高要市河台金矿区云西矿床地质勘探报告[R]. 河台金矿: 38

[References]

- Chen Jun ,Wang He-nian. 1993. Characteristics of REE and other trace elements within a shear zone of the Hetai gold deposit ,Guangdong province [J]. *Mineral Deposits* ,12(3) : 202 - 211 (in Chinese with English abstract)
- Chen Li-kuan ,Hu Xing-feng ,Xia Jian-ming , Xu Rui-xin. 1993. Application research on gamma energy spectrum prospecting in gold deposit in Ganyu and Donghai ,Jiangsu [J]. *Jiangsu Geology* 22(1) : 36 - 40 (in Chinese with English abstract)
- Chen Li-kuang ,Hu Xin-feng ,Yan Guo-shen ,Wu Qiao-liang. 1996. Rapid gold prospecting and application of γ - energy spectrum [J]. *Jiangsu Geology* 20(3) : 166 - 171 (in Chinese with English abstract)
- Dipple ,G M ,Wintsch R P ,Andrews M S. 1990. Identification of the scales of differential element mobility in a ductile fault zone [J]. *Metamorphic Geol* 8:645 - 661
- Feng Wei-hen. 1991. Typical examples of application of ground gamma spectrometry in gold prospecting [J]. *Jiangsu Geology* ,(4) 229 - 232 (in Chinese with English abstract)
- Feng Wei-heng. 1992. Gold ore exploration using ground gamma spectrum method [J]. *Geology and Prospecting* ,(9) : 42 - 47 (in Chinese with English abstract)
- He Wen-wu ,Zhang Wen-huai. 1993. Physical-chemical conditions for the ore-forming process of the Hetai gold deposit in Guangdong province and ore-prospecting directions [J]. *Mineral Deposits* ,12(2) : 120 - 128 (in Chinese with English abstract)
- Huang Dong-lin. 2001. Studies on minerogenic geochemistry of Hetai gold deposit [J]. *Gold Science and Technology* 9(6) : 15 - 21 (in Chinese with English abstract)
- Li Xin-fu ,Zhan Pei-ren. 2007. Ore potentiality analysis of mylonite zone of Hetai gold mine field [J]. *China Mine Engineering* ,36(1) : 13 - 16 (in Chinese with English abstract)
- Li Zhao-lin ,Li Zhao-lin ,Zhai Wei ,Huang Dong-lin ,Sun Kai ,Wen Yong-jun. 2002. Geochemical characteristics of gold and accessory elements in vertical and transverse sections and evaluation of Hetai ductile shear zone gold deposit [J]. *Geochimica* 31(5) : 473 - 480 (in Chinese with English abstract)
- Liu Jing-hua ,Wang Zhu-wen ,Tian Gang ,Hao Li-bo. 2003. Application of ground gamma-spectrometry in geological mapping in shallow overburden areas [J]. *Geology and prospecting* ,39(2) : 61 - 64 (in Chinese with English abstract)
- Liu Jing-hua ,Wang Zhu-wen ,Tian Gang. 2004. Quick delimiting boundary of geological mapping unit in shallow overburden areas by combining ground-gamma spectrometry with magnetic survey [J]. *Geology and Prospecting* 40(5) : 67 - 72 (in Chinese with English abstract)
- Liu Zhen-shen. 2004. Structural ore-controlling characteristics ,metallo-genic mechanism and ore-hunting orientation of Hetai gold deposit [J]. *Gold* 25(2) : 8 - 10 (in Chinese with English abstract)
- Ma Jun-xiao ,Li Zhi-tong ,Liu Hai-shan ,Yang Sen. 1999. Characteristics of ground gamma-ray spectrum in gold-bearing cataclastic alteration zone with an example of Xinjia district ,Jilin province [J]. *Journal of Precious Metallic Geology* 8(1) : 45 - 48 (in Chinese with English abstract)
- Musumeci G. 2002. Sillimanite-bearing shear zones in syntectonic leucogranite: Fluid assisted brittle ductile deformation under amphibolites facies conditions [J]. *Journal of Structural Geology* ,24(9) : 1491 - 1505
- Oliver N H S. 2001. Linking of regional and local hydrothermal systems in the mid-crust by shearing and faulting [J]. *Tectonophysics* ,335 : 147 - 161
- Pan Yong-fei. 1994. The application of gamma energy spectral method to the prospecting for gold deposits [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration* ,18(6) : 444 - 456 (in Chinese with English abstract)
- Quan Ya-rong ,Li Zhao-lin ,Zhai Wei ,Wen Yong-jun ,Li Wen. 2001. Application of thermoluminescent measure to mine searching in Hetai goldmine [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* 40(6) : 77 - 80 (in Chinese with English abstract)
- Xu Rui-song ,Ma Yue-liang ,Lü Hui-ping. 1996. Biogeochemical effects of gold and associated elements: a case study of the Hetai gold deposit [J]. *Geochimica* 25(2) : 196 - 203 (in Chinese with English abstract)
- Wang He-nian ,Zhang Jing-rong ,Dai Ai-hua ,Lin Jing-sheng ,Chen Chunting ,Ji Ming-jun. 1989. Geochemistry of the Hetai gold deposit in the altered mylonite zone [J]. *Mineral Deposits* 8(2) : 61 - 71 (in Chinese with English abstract)
- Xia Yong-jian ,Chen You-dong ,Wang Si-liang ,Gong Chao-yang ,Gong Guilun ,Zhang De-sheng ,Chen Guang-hao ,Lin Ge. 2008. Tentative investigation of absorption-electricity extraction for exploring gold in Hetai gold deposit [J]. *Gold* 29(9) : 7 - 10 (in Chinese with English abstract)
- Yao De-xian ,Sun Xiao-ming ,Yang Rong-yong. 1995. A study on the Occurrence of gold in Hetai gold deposit [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* ,34(4) : 82 - 87 (in Chinese with English abstract)
- Zeng Qing-dong ,Shen Yuan-chao ,Zhang Qi-ru ,Li Shen-zhi ,Yang Jinzhong. 1999. Gamma-ray spectrometry and prognostication of concealed gold ore body [J]. *Gold* ,20(1) : 4 - 7 (in Chinese with English abstract)
- Zhai Wei ,Li Zhao-lin ,Sun Xiao-ming ,Huang Dong-lin ,Liang Jin-long ,Miao Lai-cheng. 2006. SHRIMP zircon U - Pb Dating of the Hetai gold deposit in western Guangdong ,China and geological implications [J]. *Geological Review* 52(5) : 690 - 699 (in Chinese with English abstract)
- Zhang G L ,Clive B A ,Liang J C . 2001. Brittle origins for disseminated gold mineralization in mylonite: Gaocun gold deposit ,Hetai goldfield ,Guangdong Province ,South China [J]. *Economic Geology* ,96 : 49 - 59
- Zhang Bao-lin ,Gao Hao-zhong ,Hao Jun-jie ,Gao Hong-xing ,Han Jin-liang ,Liang Guang-he ,Cai Xin-ping ,Wang Jie. 2001. The γ - ray spectrometric survey of subaerial rocks in Puziwan gold deposit and its geological significance [J]. *Gold Science and Technology* ,9(2) : 1 - 6 (in Chinese with English abstract)
- Zhao C ,Hobbs B E ,Walshe J L. 2001. Finite element modelling of fluid-rock interaction problems in pore-fluid saturated hydrothermal/ sedi-

- mentary basins [J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 190 2277 - 2293
- Zhou Jun Zhu Jiang Chu Guo-zheng Hu Li-jun. 1999. The geochemical background of potassium resources and its exploitation [J]. Multi-purpose Utilization of Mineral Resources (4): 36 - 40 (in Chinese with English abstract)
- Zhu Jiang-jian Zeng Qiao-song Yi Jin Gong Chao-yang Li Xin-fu Huang Dong-lin Wang Si-liang Xia Yong-jian Gong Gui-lun Chen Guang-hao Lin Ge. 2011a. Prospecting application of absorption-electricity extraction method: A case study from Hetai gold deposit [J]. Geology and Exploration 47(5): 894 - 902 (in Chinese with English abstract)
- Zhu Jiang-jian Chen Guang-hao Gong Gui-lun Yi Jin Cai Jian-xin Gong Chao-yang Huang Dong-lin Zeng Qiao-song Lin Ge. 2011b. Structure-fluid mineralizing in the mylonitization process for the Hetai goldfield [J]. Earth Science Frontiers 18(5): 67 - 77 (in Chinese with English abstract)
- Zhu Jiang-jian Zeng Qiao-song Gong Gui-lun Yi-jin Lin Ge Chen Guang-hao. 2012a. Geostatistical analysis and prediction of orebodies: a case study from the Hetai gold orefield, western Guangdong province [J]. Geology and Exploration 48(2): 259 - 267 (in Chinese with English abstract)
- Zhu Jiang-jian Chen Guang-hao Zeng Qiao-song Gong Gui-lun Yi Jin Gong Chao-yang Huang Dong-lin Lin Ge. 2012b. Implication of synthetical methods in prospecting for the Hetai goldfield, western Guangdong [J]. Geotectonica et Metallogenia 36(2): 241 - 248 (in Chinese with English abstract)
- Zhu Jiang-jian Lin Ge Zeng Qiao-song Chen Guang-hao Wang Jing-bin. 2014. The nearly equidistant ore-controlling model by the anomalous belts of shear strains in the Hetai gold deposit [J]. Geology and Exploration 50(3): 454 - 463 (in Chinese with English abstract)
- Zou Wei-lei Shen Yuan-chao Li Guang-ming Liu Tie-bing. 2000. Research application of γ -ray spectrometric survey and electrogeochemical parameter technique in gold ore prospecting in jinchang gold ore deposit [J]. Gold Science and technology 8(6): 10 - 15 (in Chinese with English abstract)
- [附中文参考文献]
- 陈骏 王鹤年. 1993. 广东省河台含金剪切带中 REE 及其它微量元素含量和分布特征 [J]. 矿床地质 12(3): 202 - 211
- 陈礼宽 胡兴凤 颜国森 吴乔良. 1996. 伽玛能谱快速找金方法及其应用 [J]. 江苏地质 20(3): 166 - 171
- 陈礼宽 胡兴凤 夏建明 徐瑞馨. 1998. 江苏赣榆东海地区伽玛能谱找金方法应用研究 [J]. 江苏地质 22(1): 36 - 40
- 段嘉瑞 何绍勋 周崇智. 1992. 剪切带型金矿—以广东河台金矿为例 [J]. 地质与勘探 28(6): 6 - 11
- 何文武 张文淮. 1993. 广东河台金矿成矿物理-化学条件及找矿方向 [J]. 矿床地质 12(2): 120 - 128
- 黄栋林. 2001. 河台金矿床成矿地球化学研究 [J]. 黄金科学技术 9(6): 15 - 21
- 冯维恒. 1991. 伽玛能谱法找金实例 [J]. 江苏地质 (4): 229 - 232
- 冯维恒. 1992. 地面伽马能谱法找金及定量评价 [J]. 地质与勘探 (9): 42 - 47
- 龚贵伦. 2011. 广东河台金矿构造成矿与成矿模式研究 [D]. 北京: 中国科学院大学: 29
- 李新福 湛培任. 2007. 河台金矿田糜棱岩带含矿性分析 [J]. 中国矿山工程 36(1): 13 - 16
- 李兆麟 翟伟 黄栋林 孙凯 文拥军. 2002. 河台金矿床垂深及横向剖面 Au 及伴生微量元素地球化学特征及矿床深部评价事 [J]. 地球化学 31(5): 473 - 480
- 刘菁华 王祝文 田钢 郝立波. 2003. 地面伽马能谱测量在浅覆盖区地质填图中的应用 [J]. 地质与勘探 39(2): 61 - 64
- 刘菁华 王祝文 田钢. 2004. 地面伽马能谱测量与磁测联合对浅覆盖区地质填图单元的快速划分 [J]. 地质与勘探 40(5): 67 - 72
- 刘伟. 2004. 广东河台金矿矿床成因及成矿规律研究 [D]. 湖南长沙: 中南大学: 22 - 33
- 刘振升. 2004. 河台金矿区构造控矿特征、成矿机理与找矿方向 [J]. 黄金 25(2): 8 - 10
- 马俊孝 李之彤 刘海山 杨森. 1999. 含金破碎蚀变带地面伽玛能谱特征 [J]. 贵金属地质 8(1): 45 - 48
- 潘勇飞. 1994. 伽马能谱法找金矿 [J]. 物探与化探 18(6): 444 - 456
- 全亚荣 李兆麟 翟伟 文拥军 李文. 2001. 热释光测量在河台金矿找矿上的应用 [J]. 中山大学学报(自然科学版) 40(6): 77 - 80
- 王彪 任广利 王核 林舸 刘建平 朱江建. 2009. EH4 连续电导率法在广东省河台金矿的应用 [J]. 矿物学报(增刊) 562 - 563
- 王鹤年 张景荣 戴爱华 凌井生 陈础庭 季明钧. 1989. 广东河台糜棱岩带蚀变岩型金矿床的地球化学研究 [J]. 矿床地质 8(2): 61 - 71
- 夏永健 陈友东 王斯亮 龚朝阳 龚贵伦 张德圣 陈广浩 林舸. 2008a. 地电化学测量在河台金矿找矿中的试验研究 [J]. 黄金 29(9): 7 - 10
- 夏永健. 2008b. 粤西河台金矿成矿规律与成矿预测研究 [D]. 北京: 中国科学院大学: 10
- 徐瑞松 马跃良 吕惠萍. 1996. Au 及伴生元素生物地球化学效应研究—以广东河台金矿为例 [J]. 地球化学 25(2): 196 - 203
- 姚德贤 陈晓明 杨荣勇. 1995. 河台金矿床金赋存状态研究 [J]. 中山大学学报 34(4): 82 - 87
- 曾庆栋 沈远超 张启锐 李慎之 杨金中. 1999. 伽玛能谱测量与隐伏金矿体预测 [J]. 黄金 20(1): 4 - 7
- 翟伟 李兆麟 孙晓明 黄栋林 梁金龙 苗来成. 2006. 粤西河台金矿锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义 [J]. 地质论评 52(5): 690 - 699
- 张宝林 高浩中 郝俊杰 高洪兴 韩金良 梁光河 蔡新平 王杰. 2001. 堡子湾金矿区基岩伽玛能谱测量结果及其地质意义 [J]. 黄金科学技术 9(2): 1 - 6
- 周俊 朱江 储国正 胡礼军. 1999. 钾资源的地球化学背景及其开发利用 [J]. 矿产综合利用 (4): 36 - 40
- 周永章 涂光炽 E. H. Chown J. Guha 卢焕章. 1994. 热液蚀变过程中数学不变量的寻找及元素迁移的定量估计——以广东河台金矿田为例 [J]. 科学通报 39(11): 1026 - 1028
- 朱江建 曾乔松 易金 龚朝阳 李新福 黄栋林 王斯亮 夏永健 龚贵

- 伦 陈广浩 林舸. 2011a. 地电化学测量在河台金矿找矿预测中的应用 [J]. 地质与勘探 47(5): 894 - 902
- 朱江建 陈广浩 龚贵伦 易金 蔡建新 龚朝阳 黄栋林 曾乔松 林舸. 2011b. 广东河台金矿糜棱岩化过程构造 - 流体成矿研究 [J]. 地学前缘 18(5): 67 - 77
- 朱江建 曾乔松 龚贵伦 易金 林舸 陈广浩. 2012a. 矿体统计分析预测在粤西河台金矿的应用 [J]. 地质与勘探 48(2): 259 - 267
- 朱江建 陈广浩 龚贵伦 曾乔松 易金 龚朝阳 黄栋林 林舸. 2012b. 综合找矿方法在河台金矿找矿预测中的应用 [J]. 大地构造与成矿学 36(2): 240 - 247
- 朱江建. 2013. 矿体富集中心预测法 [J]. 矿物学报 33(2): 995 - 996.
- 朱江建 林舸 曾乔松 陈广浩 王京彬. 2014. 剪切应变异常带近等距控矿模式——以粤西河台金矿为例 [J]. 地质与勘探 50(3): 454 - 463
- 邹为雷 沈远超 李光明 刘铁兵. 2000. 金厂金矿伽玛能谱测量和地电化学参数法找矿预测应用研究 [J]. 黄金科学技术 8(6): 10 - 15

The Genesis for Anomalous Values of K from Gamma - Ray Spectrometric Survey in the Hetai Gold Deposit

ZHU Jiang - jian^{1, 2}, LIN Ge², ZENG Qiao-song², GONG Gui-lun³, LIU Bin⁴, ZHANG Jing⁵

(1. Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012;

2. Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640;

3. The 11th department of Gold Army of Chinese Armed Police Force, Ningxiang, Hunan 410600;

4. Sinotech Minerals Exploration Co. Ltd., Beijing 100012; 5. Beijing Explo - Tech Engineering Co. Ltd Beijing 100085)

Abstract: The Hetai gold deposit is the largest gold deposit in Western Guangdong and Southeastern Guangxi, which is related to the ductile shear zone. In order to find scientific basis and references for prospecting, this paper studied the anomalous values of K from Gamma-ray spectrometric survey in the Hetai gold deposit. The K bearing mineral generated in dynamic metamorphic differentiation period, hydrothermal stage and supergene stage in the Hetai gold deposit is only sericite, suggesting that high values of K from Gamma-ray spectrometric survey should be caused by sericite. The increasement of sericite should be caused by sericitization from plagioclase in the process of mylonitization and the alteration of gold-pyrite-quartz bearing hydrothermal fluid. The high value belts of K caused in the process of mylonitization are narrow, and can indicate the location of mylonites and orebodies. The high value belts of K caused by gold-pyrite-quartz bearing hydrothermal fluid are wide, and can indicate the location of mylonites and the contact zones of different rocks. Low values of K may be caused the alteration of gold-quartz-sulfide bearing hydrothermal fluid and invasion of granitic pegmatite.

Key words: gamma-ray spectrometric survey, Hetai gold deposit, mylonite, anomalous values of K