

doi: 10.11720/wtyht.2014.6.07

胡宝群,高海东,申玉科,等.玲珑金矿大开头矿区 Bi 特征及指示意义[J].物探与化探,2014,38(6):1134-1139.http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.07

Hu B Q, Gao H D, Shen Y K, et al. Bi anomaly of the Dakaitou ore district in the Linglong gold mine and its indication significance[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(6): 1134-1139. http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.07

玲珑金矿大开头矿区 Bi 特征及指示意义

胡宝群¹, 高海东², 申玉科³, 郭涛³, 吕古贤³, 武际春⁴

(1. 东华理工大学 地球科学学院, 江西 抚州 344000; 2. 江西省核工业地质调查院, 江西 南昌 330000; 3. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081; 4. 山东黄金矿业(玲珑)有限公司, 山东 招远 265419)

摘要: 在金矿床中, 金、铋常常相伴产出, 在金矿体周围存在明显的铋异常, 它可作为重要的指示元素。笔者研究了玲珑金矿不同岩石中铋与金含量之间的关系, 比较了基岩地球化学剖面中两元素的相关性, 采用电子探针分析了主要矿石矿物中铋和金的含量, 发现不同类型岩石中铋含量差异明显, 铋在矿体中含量远高于围岩, 在矿区中铋与金呈幂函数正相关, 铋原生晕规模大、衬度高, 与金都是以独立矿物相形式存在。在玲珑金矿化探找矿中, 铋含量高, 与金呈较好的正相关关系, 是最佳指示元素之一。

关键词: Bi; 指示元素; 金矿; 玲珑

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2014)06-1134-06

在金矿化探中, 不同元素具有不同的指示意义。早年在内蒙古赤峰地区金矿床化探研究中发现, 铋与金的分布规律和特征极为相似, 且铋的地球化学异常具有异常宽、峰值高等特点, 在金矿化探勘探中具有重要的指示作用^[1]。在构造地球化学叠加晕找矿应用中, 铋在单期次金成矿地球化学模式的轴向分带序列中为矿体后尾晕标志元素^[2]。在对玲珑金矿大开头矿区 47 号脉岩石地球化学特征分析中发现, 铋异常区一般存在金的异常^[3]。国内外许多金矿床中都伴生有较高含量的铋^[4-11]。在金矿地球化学勘探中, 铋存在明显异常, 常被作为重要的指示元素。因此, 研究金矿床中铋的存在形式以及金、铋之间的关系等, 具有重要的化探意义。

笔者选择玲珑大开头矿区, 研究了不同岩石中铋与金的含量, 对比基岩地球化学剖面中铋与金的变化规律, 采用电子探针分析了主要矿石矿物中金和铋的含量, 探讨本矿区中铋与金之间的关系, 铋在金矿化探中的意义, 为胶东地区金矿化探提供一些有用信息。

1 地质背景及工作方法

玲珑金矿田是胶东地区重要的金矿田, 包括东风、大开头、九曲和台上等几个矿区。在大开头矿区主要有 48、47、51 和 175-2 号矿脉, 这 4 条矿体总体上为东北走向, 倾向既有东南也有西北, 以东南倾向为主。大开头矿区金矿体的围岩主要为花岗岩, 次之为基性脉岩, 矿体或产于花岗岩的断裂破碎带中, 或产于基性岩脉穿插的花岗岩断裂破碎带中。矿区蚀变类型主要有钾化、绢云母化、硅化、黄铁矿化、碳酸岩化等。钾化蚀变为矿区发育面积最为广泛的蚀变, 主要特征表现是朱红色或淡红色。矿体的主要矿石矿物是自然金和银金矿, 以及黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等硫化物矿物, 脉石矿物主要有石英、方解石、粘土矿物等^[12-15]。金矿床类型主要有石英脉型, 其次为蚀变岩型。矿体主要为断裂破碎带及充填物组成。宏观上主要有 3 类矿石: 第一类为含金硫化物(主要是黄铁矿)石英脉矿体; 第二类为破碎蚀变岩矿体; 第三类为强钾化花岗岩中多条



A—乳白色石英含硫化物矿石,金含量 13.6×10^{-6} ; B—含大量黄铁矿的强硅化绢英岩化矿石,金含量 40.5×10^{-6} ; C—强钾化花岗岩中多条含硫化物线及细脉组成的矿体,金含量 66.8×10^{-6}

图1 玲珑金矿体主要矿石类型

含金硫化物—石英细脉组成的矿体^[3,8](图1)。

背景样尽量采集远离矿体,无蚀变或弱蚀变的岩石。井下矿体原生晕取样时,剖面线垂直切过矿体布置,矿体两侧对称、单数采样。样品先清洗、晾干,经破碎、缩分、粉碎至 200 目,50 g 待化探测试用。送澳实分析检测集团(广州)澳实矿物实验室测试,其中 Au 和 Ag 采用 DZG 93-09 金银矿石分析规程方法测试,Bi 等采用 DZG 20.03-1987 区域化探样品分析方法及质量管理办法测试。按总样数 5% 插入标样,10% 插入平行样,Ag 和 Bi 检出率为 100%,Au 检出率为 98%,3 个元素相对回收率为 100%~105%,合格率 100%。

2 各类岩石中铋与金的含量特征

矿体围岩玲珑似片麻状花岗岩和穿插其中的基性岩脉多发生不同强度的蚀变,矿体主要为石英脉型黄铁绢英岩化矿体。各类岩石和矿石中 Au 与 Bi 的含量统计参数见表 1。

由表 1 可知,背景区内的花岗岩 Au 和 Bi 含量都很低,明显低于大陆地壳的丰度值。与背景区花

岗岩相比,矿井内无矿化基性岩脉中的 Au 和 Bi 含量明显要高于背景区花岗岩中相应的含量,而与大陆地壳中的含量相近。另外,随着硫化物的加入,基性岩脉中 Au 和 Bi 的含量也明显增加。随着钾化的增强,即背景区—弱钾化—强钾化—含硫化物钾化的花岗岩演变系列中,Au 和 Bi 的含量明显增加,且 $w(\text{Au})/w(\text{Bi})$ 也明显增加。这表明在这个演变系列中,尽管两元素都明显增加,但 Au 增加更快。随着绢英岩化的增强,即背景区—绢英岩化—黄铁绢英岩化花岗岩演变系列中,Au 和 Bi 的含量也明显增加,且 $w(\text{Au})/w(\text{Bi})$ 也明显增加,同样这也表明在演变系列中,尽管两元素都明显增加,但 Au 增加更快。另外,在断层泥中虽然也有强烈绢英岩化等泥化作用,Bi 含量也很高,但 Au 的含量相对偏低。石英脉中 Au 和 Bi 的含量都很高,且发现无明显硫化物的石英脉中 Bi 含量也很高。无论是钾化的增强系列还是绢英岩化的增强系列,Au 和 Bi 的含量都随着蚀变矿化的增强而提高,显示出 Au 和 Bi 都是金矿化过程中相伴产生的产物。

总之,在本区不论是花岗岩还是基性岩脉,当发

表 1 大开头矿区各类岩石中金与铋的含量参数统计

分类	岩性	样品数	Au		Bi		$w(\text{Au})/w(\text{Bi})$	$C_v(\text{Au})/C_v(\text{Bi})$
			含量/ 10^{-6}	变异系数	含量/ 10^{-6}	变异系数		
背景区	未蚀变花岗岩	16	0.001	0.23	0.01	0.53	0.10	0.35
基性岩脉	无矿化基性岩脉	6	0.004	0.74	0.04	0.32	0.12	0.92
	含硫化物基性岩脉	3	0.081	0.59	0.20	0.32	0.38	0.42
钾化花岗岩	弱钾化花岗岩	9	0.014	1.41	0.04	1.03	0.37	0.85
	强钾化花岗岩	125	0.160	3.19	0.20	2.67	0.74	1.66
	含硫化物钾化花岗岩	18	0.865	1.44	1.79	2.62	1.44	1.41
绢英岩化花岗岩	绢英岩化花岗岩	92	0.363	3.59	0.47	2.55	0.74	1.63
	含硫化物绢英岩化花岗岩	40	10.334	1.91	5.14	1.52	2.06	1.06
	绢英岩化花岗岩断层泥	3	0.167	1.23	2.28	1.36	0.18	0.50
石英脉	石英脉	7	0.147	1.04	2.57	2.27	0.72	1.34
	含硫化物石英脉	40	5.550	2.17	3.98	1.90	2.19	1.40
大陆地壳(Taylor and McLennant,1985)			0.003		0.06		0.05	

注:表中的统计数据都取平均值; C_v 为变异系数,表 2 同。

生绢英岩化、钾化或黄铁矿化后,Au 和 Bi 的含量都会明显增加,且 $w(\text{Au})/w(\text{Bi})$ 比值也会随之增加。断层泥中 Bi 含量并不低,但 Au 含量不太高,结合本区地质背景作更大胆的推测:张性断裂才发生金矿化,而剪切和挤压断裂则不发生金矿化;可能是先发生张性断裂,并伴随依次发生钾化、绢英岩化、硅化,再发生挤压滑动和强烈水化作用而形成断层泥。

3 原生晕样品中铋与金的相关关系

对本次研究所采集的原生晕样品,按 Au 含量分段进行统计,如下表 2 所示。

由表 2 可知,分段统计后,Au 和 Bi 的含量有良好的正相关关系,可求出相关函数,发现两者之间具

表 2 大开头矿区原生晕样品中铋与金含量参数统计

金含量区间	样品数	Au		Bi		$w(\text{Au})/w(\text{Bi})$	$C_v(\text{Au})/C_v(\text{Bi})$
		含量/ 10^{-6}	变异系数	含量/ 10^{-6}	变异系数		
<0.01	81	0.004	0.72	0.03	1.50	0.18	0.77
[0.01, 0.10)	133	0.040	0.64	0.15	1.59	0.54	0.82
[0.100, 1.00)	85	0.365	0.68	1.16	2.28	0.94	1.05
[1, 10)	41	3.061	0.74	2.90	1.52	2.60	0.83
[10, 100)	18	29.92	0.78	13.76	0.75	2.13	0.41
≥ 100	1	957		105.0		9.11	

有良好的幂函数关系 $w(\text{Au}) = 0.6033w(\text{Bi})^{1.512}$, $R^2 = 0.9926$, 相关系数高,相关性明显。以 Au 含量 1×10^{-6} 为界,Au 含量低的样品中 Au 含量平均值小于 Bi 含量平均值,而 Au 含量高的样品中 Au 含量平均值大于 Bi 含量平均值。表现在 $w(\text{Au})/w(\text{Bi})$ 值上,Au 含量低的样品,该比值的平均值小于 1;而 Au 含量高的样品,该比值的平均值大于 1。把所采集的原生晕样品,按 Au 含量由高至低排列时,相应的 Bi 含量总体上也是由高到低排列,显示出 Au、Bi 间有近似正相关关系(图 2),作两元素的相关关系图,可见两元素间也呈良好幂函数正相关关系,得到两元素之间的幂函数 $w(\text{Au}) = 0.6067w(\text{Bi})^{1.1696}$, 相关系数 $R^2 = 0.7672$ 。

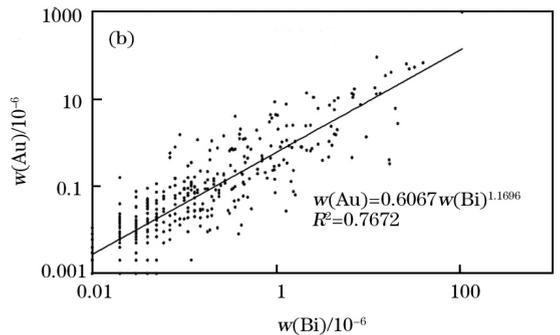
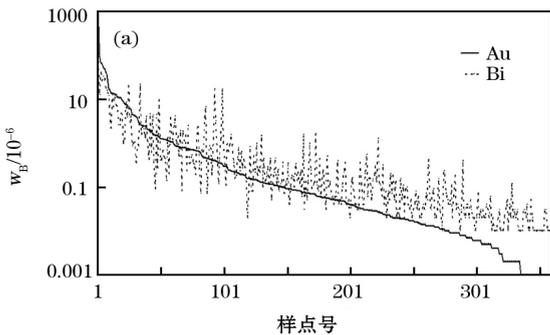


图 2 大开头矿区原生晕样品中铋与金的含量变化 (a) 及相关关系 (b)

4 主要岩类中铋与金的相关关系

按样品性质不同,把所采原生晕样品分为钾化花岗岩、绢英岩化花岗岩、石英脉和基性岩脉 4 个基本大类。在每一类岩石中,按 Au 含量由高到低对样品排序,了解 Au 含量由高到低变化时 Bi 含量的变化,以此研究各类样品中 Bi 与 Au 的含量变化规律和相关性(图 3)。

由图 3 可知,总体来看,4 个大类岩石中 Au 含量与 Bi 含量呈近似正相关,但两元素间不是线性正相关,也呈现出幂函数正相关。特别是当 Au 含量大于 0.01×10^{-6} 时,两者正相关关系更为明显。当 Au 含量低于 0.01×10^{-6} 时,Au 与 Bi 之间的正相关

性较弱,这是由于 Bi 的分析灵敏度为 0.01×10^{-6} 所造成的。因此,Au 含量低于 0.01×10^{-6} 时,Au 与 Bi 的相关性有待今后 Bi 的检出限降低后才能进一步分析。4 大类原生晕样品中,Au 和 Bi 的含量变化由高到低依次为含硫化物石英脉—(钾化花岗岩、绢英岩化花岗岩)—基性脉岩。

5 原生晕剖面中铋与金的相关关系

垂直切过矿体布置岩石地球化学剖面,在矿体中取 2、3 个样品,两侧围岩各取 2、3 个样,分析原生晕样品中 Au、Bi 的含量(图 4)。

由岩石地球化学剖面可见,在切过矿体的各原生晕剖面中,矿体处的样品 Au 和 Bi 为最高值,两侧

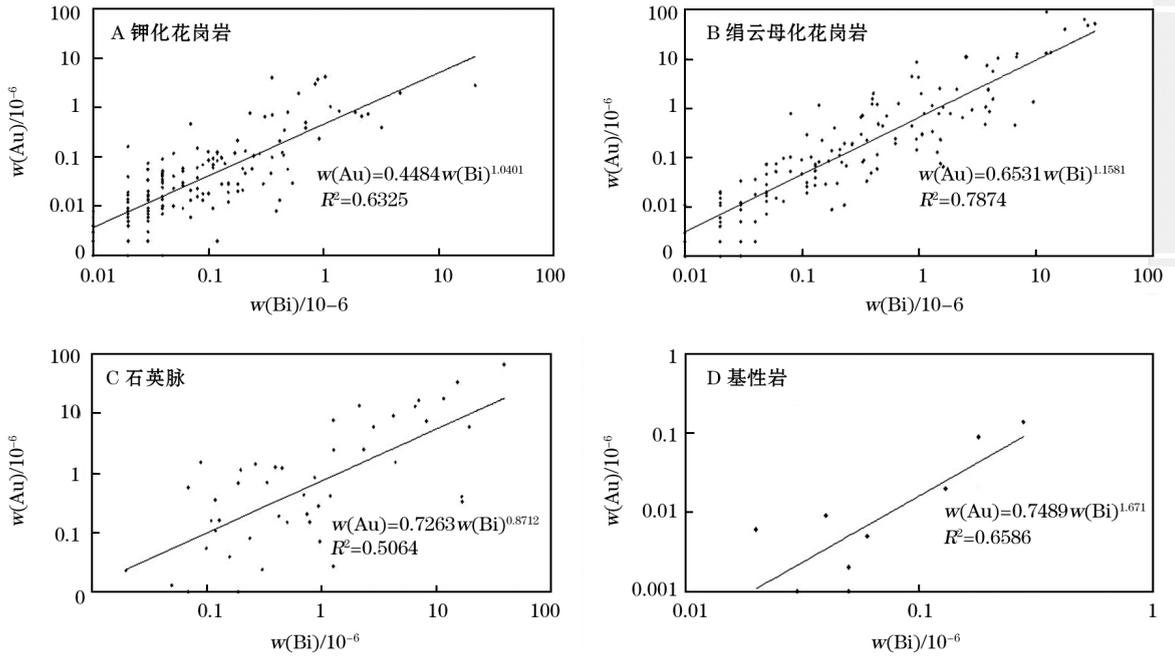


图3 玲珑金矿不同岩类中金与铋的关系

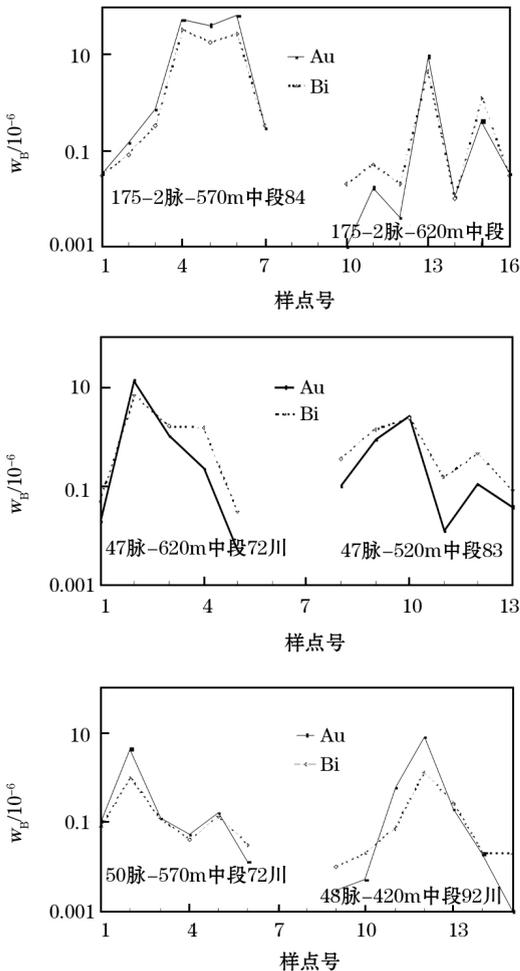


图4 大开头矿区岩石地球化学剖面 Au、Bi 分布

围岩样品中 Au 和 Bi 相对较低。由此可见,金矿体中 Bi 含量明显高于近矿围岩,衬度值高。在 6 个岩石地球化学剖面中,Au 和 Bi 含量的升降规律相同,有着良好的正相关关系。由此可知,Bi 对金矿体有良好的指示意义。相对来说,在金矿体中 Au 比 Bi 含量高,而从矿体向外过渡为近矿围岩时,Bi 的含量比例逐渐增高,大于 Au 的含量。这表明在成矿溶液就位成矿的过程中,Bi 比 Au 析出时间更早,更容易分布于金矿体尾部。这大概就是正常情况下,在轴向分带序列中,Bi 表现为尾晕元素的原因。

6 铋赋存状态的电子探针分析及相关讨论

为了研究 Bi 在主要矿石矿物中的赋存状态,选择 Au 的富矿石,切电子探针片,测定主要矿石矿物中 Au、Ag、Bi 等含量(表 3)。

由此可知,本区金矿物(主要为银金矿和含银自然金)中含少量的 Bi,Bi 含量介于 0.68%~1.06% 之间,平均值为 0.83%。黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿和碲银中几乎不含 Bi,表明在这些矿物中类质同象形式存在的 Bi 极少。在薄片中发现一粒碲铋矿,产于黄铁矿边部,其化学成分除了以 Te 和 Bi 为主外,还含少量的 S 和 Fe 及微量的 Au 和 Ag。

以上分析表明,如同 Au 在矿石中以独立金矿物存在于黄铁矿的裂隙中一样^[17],Bi 也是以独立矿物相形式存在于黄铁矿中,而不是主要以类质同象形式分布于硫化物等矿石矿物中。原生晕样中 Au

表3 大开头矿区主要矿石矿物中 Au、Ag 和 Bi 的含量

%

样号	矿物	Au	Ag	Bi	样号	矿物	Au	Ag	Bi
12-1	含银自然金	86.13	11.81	0.68	13-2	黄铁矿	0.00	0.02	0.00
12-2	银金矿	76.54	13.46	0.75	127-2	黄铁矿	0.06	0.01	0.00
12-3	银金矿	81.31	13.58	0.75	363-4	黄铁矿	0.00	0.01	0.00
12-4	银金矿	84.40	13.39	0.82	289-3	黄铁矿	0.59	0.00	0.00
13-1	银金矿	85.24	12.93	0.96	310-4	黄铁矿	0.15	0.00	0.00
13-3	银金矿	80.83	16.88	0.91	288-5	黄铁矿	0.00	0.00	0.00
13-4	含银自然金	89.29	10.97	1.01	115-2	黄铁矿	0.60	0.00	0.00
13-6	银金矿	77.42	16.91	0.87	288-1	方铅矿	0.00	0.03	0.00
127-1	银金矿	65.52	34.20	0.70	127-4	方铅矿	0.00	0.32	0.00
127-3	银金矿	62.35	39.57	0.68	363-1	方铅矿	0.00	0.15	0.00
289-2	银金矿	72.90	11.79	0.93	363-3	方铅矿	0.00	0.00	0.00
290-1	银金矿	82.55	11.65	0.91	115-1	方铅矿	0.00	0.00	0.00
290-2	银金矿	80.04	12.72	0.92	298-3	方铅矿	0.21	0.20	0.00
290-3	银金矿	79.69	10.09	1.06	288-3	闪锌矿	0.81	0.00	0.00
298-1	银金矿	73.92	17.78	0.74	288-4	闪锌矿	0.14	0.00	0.03
298-2	银金矿	82.84	14.53	0.70	115-3	闪锌矿	0.00	0.00	0.00
310-3	含银自然金	87.04	13.31	0.71	玲珑	黄铜矿 ^[14]	0.01	0.01	0.2
363-2	银金矿	80.36	14.42	0.80	玲珑	黄铜矿 ^[16]	0.06	0.10	0.6
	平均值	79.35	16.11	0.83	289-1	碲银矿(Te 含量 37.05%)	0.19	59.17	0.06
					13-5	碲铋矿(Te 含量 35.13%)	0.54	0.08	41.96

与 Bi 呈幂函数正相关关系,在原生晕剖面中两元素升降同步,且都是以独立矿物相形式存在。这些共同点显示出,Au 和 Bi 地球化学性质相近,沉淀富集规律相似。与 Au 相比,地壳中 Bi 的背景值高,测试难度要小一些。因此 Bi 是金矿找矿中除 Au 之外的最佳指示元素之一。

综上所述,在各种围岩中 Bi 与 Au 几乎是同步增减,两者间有较好的幂函数正相关,Bi 以独立矿物相存在,因此推测,Bi 的来源应是和 Au 相似,来源于成矿热液。鉴于区域内出露的主要是花岗岩和胶东群斜长角闪岩类老地层,且表 1 中未蚀变花岗岩中 Au 和 Bi 的含量都很低,判断 Au 和 Bi 来源于胶东群老地层的可能性更大。Bi 通常被认为是热液成矿系列中气化—高温阶段(350~500℃)富集的元素,处于轴向分带系列的中下部^[18]。因此,Au 和 Bi 在本矿中紧密共生,同步增减,也暗示着本矿床的金成矿作用经历了高温阶段。本矿床处于招远—平度大断裂带和玲珑大断裂的交汇处,区内断裂发育,并有大量的基性岩脉产出,可提供高温热液条件。

7 结论

(1)在金矿体中,铋的含量远高于围岩。在本区不论是花岗岩还是基性岩脉,当发生绢英岩化、钾化或黄铁矿化后,Au 和 Bi 的含量都会明显增加,且 $w(\text{Au})/w(\text{Bi})$ 比值也会随之增加。断层泥中 Bi 含量不低,但 Au 含量并不高。

(2)原生晕剖面中,Bi 与 Au 含量升降同步,显示出良好正相关关系。

(3)在大开头矿区各类岩石中,Bi 与 Au 含量总体上呈现出幂函数正相关。

(4)矿体中的 Bi 是以独立矿物相形式存在,这与 Au 的赋存特征相似。

(5)总之,金矿体中 Bi 的含量高,与 Au 呈较好的正相关关系,因此 Bi 是金矿化探的最佳指示元素之一。

参考文献:

- [1] 胡宝群,白丽红.内蒙古赤峰地区金矿床中铋的特征[J].物探与化探,2000,24(3):208-211.
- [2] 李惠.石英脉和蚀变岩型金矿床地球化学异常模式[M].北京:科学出版社,1991.
- [3] 高海东,胡宝群,吕古贤,等.玲珑金矿大开头矿区 47 号脉微量元素特征[J].地质力学学报,2013,19(1):53-62.
- [4] 任云生,刘连登,万相宗,等.狮子山矿田矽卡岩型金矿铋矿物与金矿化关系研究[J].矿物岩石,2004,24(2):41-45.
- [5] 钟长华,徐九华,丁汝福,等.阿尔泰萨热阔布金矿床的自然铋及其与金矿化关系[J].矿物岩石地球化学通报,2005,24(2):130-134.
- [6] 赵玉山,金成洙,关广岳.辽宁五龙金矿铋矿物与金矿化关系研究[J].矿物学报,1994,14(1):88-91.
- [7] McMartin I, Corriveau L, Beaudoin G.An orientation study of the heavy mineral signature of the NICO Co-Au-Bi deposit, Great Bear magmatic zone, NW Territories, Canada[J].Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 2011,11(4):293-307.
- [8] Tuomo O T,Randolph A K.Gold enrichment and the Bi-Au association in pyrrhotite-rich massive sulfide deposits, Escanaba trough,

- southern Gorda Ridge [J]. *Economic Geology*, 2005, 100 (6): 1135-1150.
- [9] Fuertes-Fuente M, Martin-Izard A, Nieto J G, et al. Preliminary mineralogical and petrological study of the Ortosa Au-Bi-Te ore deposit: a reduced gold skarn in the northern part of the Rio Narcea Gold Belt, Asturias, Spain [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2000, 71(2): 177-190.
- [10] 安国英. 青海省东昆仑地区地球化学异常特征及金矿靶区筛选与评价 [J]. *物探与化探*, 2013, 37 (2): 218-224.
- [11] 左立波, 汪明启, 王杰, 等. 非洲热带草原景观区金的次生晕特征及分散模式 [J]. *物探与化探*, 2013, 37 (4): 573-579.
- [12] 吕古贤, 孔庆存, 邓军. 山东玲珑和焦家金矿成矿深度研究与测算 [J]. *地质论评*, 1996, 42 (6): 550-559.
- [13] 孙国胜, 李绪俊, 姚凤良, 等. 玲珑金矿田矿物组合与地球化学分带及矿体定位预测意义 [J]. *地质与勘探*, 2002, 38(4): 28-32.
- [14] 张德宏, 张庆禧. 玲珑金矿田岩石地球化学测量及其找矿效果 [J]. *山东地质*, 1998, 14(1): 47-52.
- [15] 杨敏之. 金矿床围岩蚀变带地球化学——以胶东金矿床为例 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [16] 王安平, 于洪林, 姚杰. 山东招远玲珑金矿田黄铜矿特征研究 [J]. *黄金*, 2002, 23(12): 10-11.
- [17] 胡宝群, 高海东, 申玉科, 等. 玲珑金矿大开头矿区金的赋存特征及其成因意义 [J]. *东华理工大学学报*, 2013, 36(4): 1-7.
- [18] 阮天健, 朱有光. 地球化学找矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1985: 45-58.

Bi anomaly of the Dakaitou ore district in the Linglong gold mine and its indication significance

HU Bao-Qun¹, GAO Hai-Dong², SHEN Yu-Ke³, GUO Tao³, LYU Gu-Xian³, WU Ji-Chun⁴

(1. College of Earth Science, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China; 2. Jiangxi Institute of Geological Survey for Nuclear Industry, Nanchang 330000, China, 3. Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China; 4. Shandong Gold Mining (Linglong) Co., Ltd., Zhaoyuan 265419, China)

Abstract: In gold deposits, Au and Bi are often associated with each other. Around the gold orebody, there exists obvious Bi anomaly, which can serve as an important indicator element. The authors investigated the relationship between Bi and Au content in different rocks within the Linglong gold mine, comparatively studied the correlation of these two elements in the bedrock geochemical profile, and analyzed Bi and Au content in main ore minerals by means of electron microprobe analysis. Some conclusions have been reached: Bi values are remarkably different in different kinds of rocks, Bi values in the orebody are by far higher than its values in the wall rock, Bi and Au show power function positive correlation in the ore district, Bi primary halo is of large size and high contrast, and both Bi and Au exist as independent minerals. Geochemical prospecting in the Linglong gold mine shows that Bi is of high content, has fairly good positive correlation with Au and thus can serve as one of the best indicator elements.

Key words: Bi; indicator element; gold mine; Linglong

作者简介: 胡宝群(1965-),男,江西进贤人,教授,博士,主要从事岩矿地球化学科研和教学工作。