

山东玲珑金矿 50 号脉三维构造蚀变岩地球化学特征及深部预测

高海东^{1,2}, 胡宝群¹, 吕古贤³, 郭 涛³, 申玉科³, 李旺超¹

GAO Haidong^{1,2}, HU Baoqun¹, LÜ Guxian³, GUO Tao³, SHEN Yuke³, LI Wangchao¹

1. 东华理工大学地球科学学院, 江西 南昌 330000;

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

1. School of Earth Science, East China Institute of Technology, Fuzhou 330000, Jiangxi, China;

2. Nuclear Industry Geological Bureau of Jiangxi Province, Nanchang 330000, Jiangxi, China;

3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China

摘要:玲珑金矿深部找矿一直是矿床科研生产的难点,经济有效的矿体深部预测,是矿山可持续发展的必要手段。通过对玲珑金矿 50 号脉地质特征观察及已开采的不同中段的穿脉、沿脉按过矿剖面取样,并取未蚀变岩体作为背景样,测试主量元素及 14 个微量元素,以过矿剖面为单位,对比矿体及两侧围岩的地球化学特征,并计算元素间的相关性、聚类分析,统计不同蚀变岩体和矿体中微量元素平均值、标准值等,应用地球化学原生晕的方法在平面和纵切剖面上做原生晕地球化学图,从三维构造蚀变岩地球化学方法对 50 号脉深部进行成矿预测。结果表明:①50 号脉 As、Ag、Bi、Co、Mo 为 Au 的最佳指示元素;②从围岩到矿体, Au、Ag、As、Cu、Pb、Bi、Mo 等元素明显增高;③50 号脉原生晕垂直分带序列自上而下为 Mn→Mo→As→V→Bi→Co→Au→Ni→Cu→Ag→Pb→Sb→Zn, 表现为“反分带”序列,预测 50 号脉体在深部有较好的成矿前景。

关键词:原生晕;深部预测;构造蚀变岩;玲珑金矿

中图分类号:P618.51;P612 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2020)11-1793-14

Gao H D, Hu B Q, Lü G X, Guo T, Shen Y K, Li W C. Geochemical characteristics and deep prediction of tectonic alteration rocks in No. 50 vein of the Linglong gold deposit, Shandong Province. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(11): 1793-1806

Abstract: The deep prospecting of the Linglong gold deposit is always a difficult point in the scientific research and production of the deposit. In this paper, through the observation of geological characteristics of No. 50 vein and the sampling of cross vein and following-vein in different middle sections and with the undisturbed rock mass as the background sample, the authors determined the major elements and 14 trace elements. The geochemical characteristics of the orebody and surrounding rocks on both sides were compared by taking the ore-passing section as the unit, the correlation and cluster analysis of elements were conducted, and different altered rock masses and orebodies were counted. According to the average and standard values of trace elements, the geochemical primary halo method was used to map the primary halo on the plane and along the longitudinal section, and the metallogenic prognosis of No. 50 vein was carried out by using the geochemical method of three-dimensional structural altered rocks. The results are as follows: ①As, Ag, Bi, Co, Mo are the best indicator elements for Au in vein No. 50; ②The values of Au, Ag, As, Cu, Pb, Bi and Mo obviously

收稿日期:2020-03-12;修订日期:2020-04-23

资助项目:中国地质调查局项目《胶东招平断裂带中段构造解析与靶区验证》(编号:12120113096300)和国家自然科学基金项目《江西邹家山铀矿床中的重稀土富集成矿机制研究》(批准号:41472069)

作者简介:高海东(1983-),男,在读博士生,工程师,从事成矿理论及找矿研究。E-mail:363048252@qq.com

通讯作者:胡宝群(1965-),男,博士,教授,博士生导师,从事岩矿地球化学研究。E-mail:bqhu@ecit.cn

increase from surrounding rocks to the orebody; ③The vertical zonation sequence of primary halo of No.50 vein is $Mn \rightarrow Mo \rightarrow As \rightarrow V \rightarrow Bi \rightarrow Co \rightarrow Au \rightarrow Ni \rightarrow Cu \rightarrow Ag \rightarrow Pb \rightarrow Sb \rightarrow Zn$ from top to bottom, showing "reverse zonation" sequence. Based on the above research results and geological analysis, it is predicted that No. 50 vein body has a good metallogenic prospect in the deep part.

Key words: primary halo; metallogenic prognosis; tectonic altered rock; Linglong gold deposit

玲珑金矿田地质工作开展早,研究全面,在构造、蚀变、地球化学特征、年龄、成矿模式、机制等方面^[1-5]均有进展。前人通过对玲珑金矿围岩玲珑花岗岩、郭家岭花岗闪长岩测年,厘定玲珑金矿的成岩成矿为燕山期^[6],成矿流体沿断裂带上升充填就位于剪切张裂隙或裂隙网中^[7]。因成矿流体和围岩不同,形成不同类型的金矿体^[8]。金矿严格受构造控制,并存在垂直分带和空间展布规律^[9-11]。据此,前人通过 1:2000 岩石地球化学测量^[12]对矿区深部及外围找矿进行预测,并取得良好的效果;用构造静水压力等物理化学方法计算的成矿深度^[13-15]远大于目前的开采深度,深部依然有很大的成矿潜力,并应用构造物理化学、成矿规律、构造地球化学叠加晕等方法^[16-18],在胶东金矿深部及外围找矿取得了丰硕成果。

玲珑金矿大开头矿区开采垂直高差已超过 1000 m,后备资源紧缺,深部成矿一直是急需解决的问题,严重影响了矿区的正常生产,深部成矿预测

是玲珑金矿极为重要的工作之一^[19]。50 号脉曾为玲珑金矿的主要开采矿脉之一,本次踏勘发现,地表出露脉体宽且品位高,向深部延伸稳定,黄铁绢英岩等矿化蚀变普遍发育,但通过本次采样及现场调查发现,在 -520 m、-670 m 中段 50 号脉矿体品位、脉幅均变差,甚至无开采价值(图 1)。笔者以玲珑金矿大开头矿区 50 号脉为例,应用三维构造蚀变岩的微量元素地球化学分析法对 50 号脉深部进行成矿预测,为深部找矿工作提供理论依据。

1 矿床地质概况

玲珑金矿位于华北地台,胶辽地盾的胶北隆起区西北部,西侧与沂沭大断裂毗邻。区域内出露地层主要为第四系山前组(Q_s)和胶东岩群苗家岩组($ArjM$)。构造、岩浆活动强烈,主要控矿和容矿构造为中生代形成的北北东—北东—北东东向旋转压扭性断裂体系,与金矿直接相关的岩浆岩是玲珑型似片麻状黑云母花岗岩、郭家岭型花岗闪长岩和

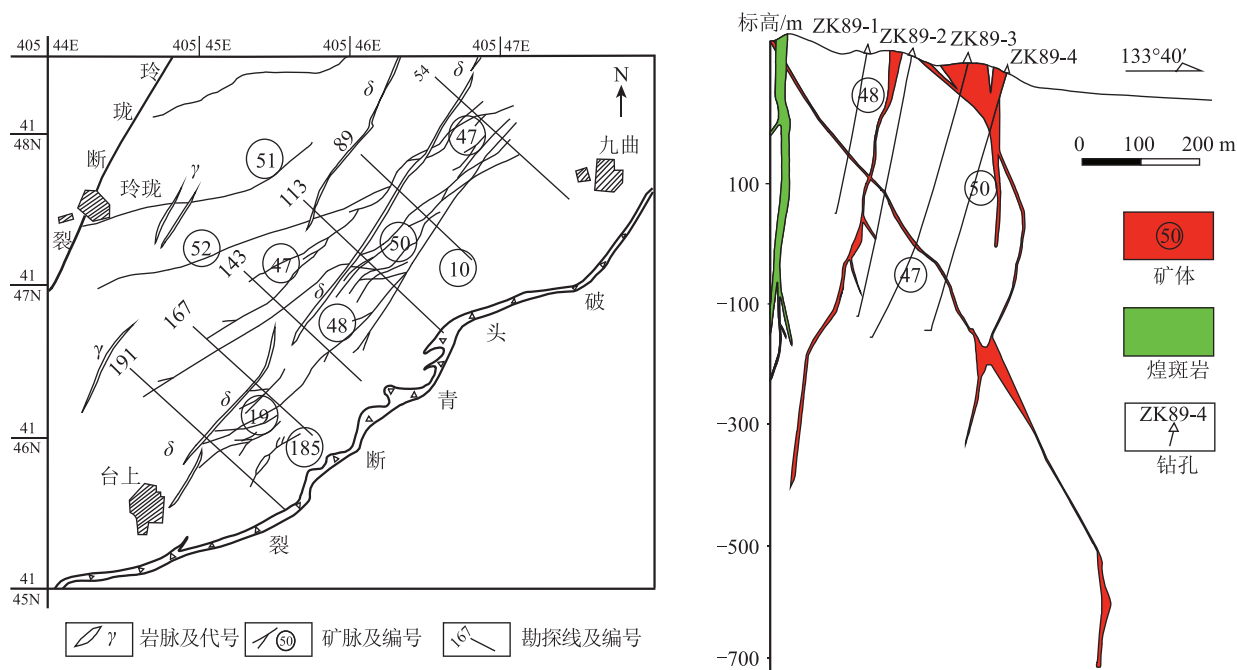


图 1 玲珑金矿田矿区地质略图(a)与大开头矿区 89 线地质剖面(b)(据参考文献[19]修改)

Fig. 1 Geological sketch map (a) and geological section along No. 89 exploration line of the Dakaitou mining area (b) of the Linglong gold deposit

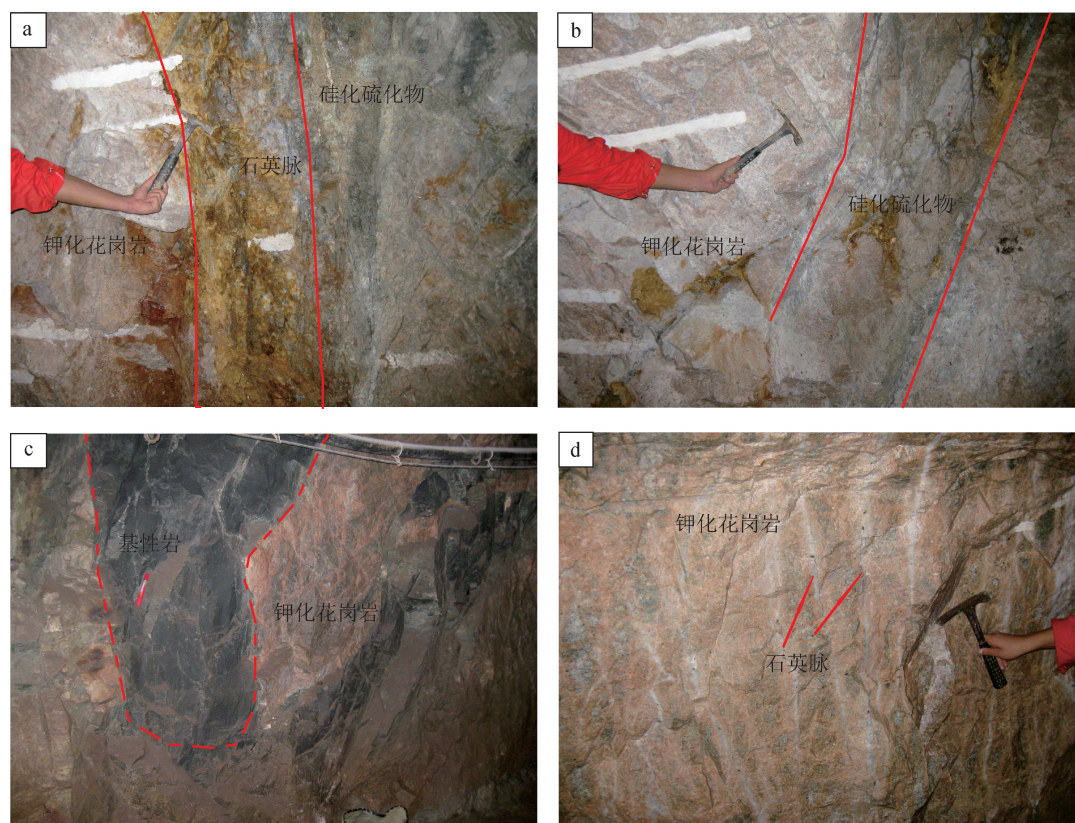


图 2 玲珑金矿大开头 50 号脉及围岩蚀变特征

Fig. 2 The characteristics of No. 50 vein and wall rock alteration of the Dakaitou mining area in the Linglong gold deposit

滦家河型中粗粒二长花岗岩 3 类。

50 号脉围岩主要为玲珑型似片麻状黑云母花岗岩, 浅部矿化好, 品位高, 脉体宽, 脉体走向 45° , 倾向 SE, 倾角 $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。由于 50 脉开采时间久, 很多中段已封闭, 故本次主要对 -420 m、-470 m、-570 m、-620 m 四个 50 号脉脉体裸露中段取样研究, 向下延伸到 -420 m 宽度收缩, 至 -570 m 中段规模变大, -620 m 中段矿化良好 (Au 品位可达 4.38 g/t), 4 个中段测得平均产状 $331^{\circ} \angle 75^{\circ}$, 深部脉体向南西向倾伏。矿体主要分为 2 类 (图 2): ①硅化硫化物, 墨绿色, 岩石松散, 多处见擦痕和小的构造透镜体。主要矿物为石英, 黄铁矿较发育, 部分含少量黄铜矿、方铅矿和闪锌矿, 少量呈斑点状分布在石英脉内部, 多数呈团块状、脉状充填于裂隙中; ②含石英脉, 灰白色-乳白色, 脉状, 主要分布于断裂带中心部位或钾化花岗岩裂隙中, 脉宽小于 1 m。乳白色石英脉穿插于烟灰色石英中, 常见细粒浸染状或团块状黄铁矿, 少量硫化物呈斑点状散落在石英脉

中。2 类矿体在空间上叠合存在, 均位于构造断裂带中或附近裂隙发育区域, 石英脉位于中心位置, 硅化硫化物位于石英脉两侧, 成浸染状或团块状充填于裂隙或接触带中。

50 号脉围岩蚀变类型有硅化、绢云母化、黄铁矿化、钾长石化、碳酸盐化 (方解石化、菱铁矿化)、钾 (钠) 长石化和氧化铁及绿泥石化^[20]。

硅化、绢云母化、黄铁矿化: 均为近矿围岩蚀变, 其中石英部分是原岩石英再生的, 部分由带入的 SiO_2 结晶; 绢云母呈自形鳞片的绢云母 (白云母) 脉充填在裂隙中或其他矿物颗粒之间; 黄铁矿则主要为带入成分。当蚀变强烈时, 原岩完全被新生的石英、绢云母和黄铁矿取代, 形成黄铁绢英岩或绢英岩, 是金矿体的直接围岩^[21]。

钾长石化: 分布较广泛的一种蚀变, 常产于蚀变带的外带或呈脉状沿花岗岩裂隙分布, 交代斜长石形成。在主干断裂中, 钾长石化带宽达几百米; 在石英脉两侧宽仅几米。

碳酸盐化:分布较广的蚀变,主要发育在中带,一般呈细脉或浸染状碳酸盐形式产出,部分为晚期方解石脉产出。

2 50 号脉金矿体元素含量特征

2.1 分析方法

已开采的-470 m、-570 m、-620 m、-670 m 中段,在垂向和水平方向上大致等间距在 50 号脉的川脉或沿脉开挖工程处,按过矿剖面,以矿体或构造为中心,按矿体→蚀变岩→围岩顺序对称采样,每个样 300~500 g。

样品由澳大利亚澳实分析检测(广州)有限公司澳实矿物实验室测试,按金矿原生晕要求共测试 14 种微量元素,其中 Au 和 Ag 测试采用中国 DZG 93—09 金银矿石分析规程方法,其他 As、Bi、Co、Cu、Hg、Mn、Mo、Ni、Pb、Sb、V、Zn 元素测试采用 DZG 20.03—1987 区域化探样品分析方法及质量管理,各元素分析精度参数见表 1。

2.2 50 号矿脉主量元素特征

矿体中 SiO_2 含量多低于 80%,可能是由于石英脉较窄,矿体两侧花岗岩中黄铁矿化蚀变型岩体中

Au 含量较高; CaO 、 Al_2O_3 、烧失量等较其他岩类表现为亏损,矿体中 CaO 较低说明碳酸盐化为后期热液蚀变; Na_2O 、 K_2O 等含量较低,多位于矿体两侧,为矿体外围蚀变,部分钾化含硫化物矿体中碱交代蚀变较强,较其他岩类表现为强富集; MnO 、 Cr_2O_3 含量多低于检测下限(表 2)。

2.3 金矿石微量元素含量

本次对 16 个过矿剖面取样,其中 8 号剖面为沿脉,按 10 m 间距,取巷道两壁蚀变花岗岩为围岩样品,拱顶构造通过处黄铁矿化、硅化蚀变岩为矿体取样,围岩为硅化、钾化花岗岩、基性沿脉,矿体分为硅化硫化物、石英脉 2 类,石英脉中 Au 含量变化较大,金主要以大颗粒或细脉状单矿物赋存在石英裂隙或边缘,分布极不均匀;硅化硫化物中 Au 含量变化较小,金主要呈细粒状赋存于半自形-他形硫化物晶体边缘和裂隙中,由于硫化物本身晶体较小,且分布相对均匀,Au 分布较平均,由于硫化物中方铅矿、闪锌矿的存在,Pb、Zn 含量远高于石英脉型矿体。与矿区背景值对比,矿体及近矿蚀变围岩 Au 表现为强富集,富集系数可达到 590.00 倍,Ag、As、Bi、Cu 富集程度较高,富集系数分别为 67.00、46.40、25.00、22.84;Co、Mn、Mo、Ni、V 表现为富集,富集程度较低。Sb 元素矿体明显富集,围岩部分检查值低于检查下限。Hg 元素大部分低于检测下限。

2.4 50 号矿脉元素含量相关性分析

对表 4 中的数据进行元素相关性统计,结果见表 5,Au 和 As、Ag、Zn、Bi、Co、Cu、Mn、Mo、Sb 为正相关,以 0.5 为阈值与 As、Ag、Bi、Co、Mo 有较大的相关性,与 V、Ni 呈负相关关系。Ag 和 Cu 相关性较大,相关系数为 0.76,与 As 相关系数为 0.6,Ag 和 Bi、Co、Cu、Mo 有较大的正相关,As 和 Pb、Bi 相关性较大,其中 As 和 Bi 相关性系数达 0.9,As 和 Hg、V 为负相关,Co、Ni、Bi、Mo 元素关系较密切,Ni 和 V 相关性较大,Pb 和 Zn 相关性较大。

2.5 50 号矿脉元素聚类分析

对表 4 中的数据进行元素聚类分析,分析结果如图 3 所示。以相似系数 25 为界,可将元素划分为 2 个群体:(I) Au、Ag、As、Sb、Pb、Zn、Cu、Mo、Hg;(II) Ni、V、Co。以相似系数 15 为界,将群体 I 中元素分为 3 个亚群:(I-1) Sb、Pb、Zn 元素;(I-2) Au、Ag、As、Cu、Mo 元素;(I-3) Hg 元素。亚群

表 1 玲珑金矿大开头矿区原生晕找矿分析精度参数
Table 1 Precision analysis of parameters about primary halo in the Dakaitou mining area of the Linglong gold deposit

检测项目	检出下限 / 10^{-6}	检出上限 / 10^{-6}	精密度 控制/%	准确度 控制/%
Au(低含量样)	0.001	10	10	6
Au(高含量样)	0.05	10000	10	6
Ag(低含量样)	0.01	25	10	10
As	0.1	250	10	10
Bi	0.01	250	10	10
Co	1	10000	10	10
Cu	1	10000	10	10
Hg	0.005	25.0	15	15
Mn	5	100000	10	10
Mo	0.05	250	10	10
Ni	1	10000	10	10
Pb	2	10000	10	10
Sb	0.05	250	15	15
V	1	10000	10	10
Zn	2	10000	10	10

表 2 玲珑金矿区背景样及背景值

Table 2 Background samples and background values of the Linglong gold deposit

	Au	Ag	As	Bi	Co	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
B-1	0.001	0.02	<0.1	0.01	1	2	<0.005	162	0.54	2	27	<0.05	4	12
B-2	<0.001	0.01	<0.1	0.01	1	<1	0.008	209	0.51	1	29	<0.05	1	7
B-3	<0.001	0.01	<0.1	0.01	1	<1	0.008	187	0.40	3	23	<0.05	2	7
B-4	0.001	0.01	<0.1	0.01	<1	<1	0.008	202	0.32	1	23	<0.05	130	65
B-5	<0.001	0.01	<0.1	0.01	1	<1	<0.005	134	0.38	1	26	<0.05	4	2
B-6	<0.001	0.02	<0.1	0.01	2	1	0.005	169	0.30	1	26	<0.05	3	11
B-7	<0.001	0.01	<0.1	0.01	1	<1	<0.005	91	0.48	1	32	<0.05	3	37
B-8	0.002	0.01	0.1	0.01	1	<1	0.008	174	0.35	<1	24	<0.05	2	30
B-9	<0.001	0.01	<0.1	0.01	1	<1	0.006	157	0.34	2	29	<0.05	3	33
B-11	<0.001	0.01	<0.1	0.03	1	3	0.010	113	0.23	5	21	<0.05	5	31
B-12	<0.001	0.01	<0.1	0.03	1	<1	<0.005	112	0.40	2	21	<0.05	3	35
B-13	<0.001	0.01	<0.1	0.01	1	<1	0.006	132	0.55	1	21	<0.05	2	7
B-14	<0.001	0.01	<0.1	0.01	1	<1	<0.005	81	0.32	1	25	<0.05	2	23
B-15	<0.001	0.01	<0.1	0.01	<1	<1	<0.005	147	0.38	<1	27	<0.05	3	25
B-16	<0.001	0.02	0.1	0.01	1	4	0.005	151	0.49	1	25	<0.05	3	12
平均值	0.001	0.01	0.1	0.01	1	3	0.007	148	0.40	2	25	<0.05	3	22
地壳元素丰度	0.004	0.08	2.2	0.004	25	63	0.08	1300	1.3	89	0.01	0.6	140	94

注:澳大利亚澳实分析检测(广州)有限公司澳实矿物实验室测试;Au 和 Ag 测试采用 DZG 93—09 方法,其他元素测试采用 DZG 20.03—1987

I-2 中的 Au、As、Ag 是本矿床的成矿元素,可形成具有一定规模、形态完整的地球化学晕;亚群 I-1 中的 Sb、Pb、Zn 和亚群 I-3 中的 Hg 为伴生元素,这些元素能形成良好的地球化学晕。Ag、As、Cu、Pb、Zn 元素均为亲硫元素,它们在成矿热液运移的过程中主要以 S 的络合物形式运移。亲硫元素和伴生元素出现在不同的聚类亚群,表明它们都在成矿作用过程中发生了运移、富集,但是沉淀时的物化条件及沉淀的顺序不同。

3 近矿蚀变围岩中元素含量特征

对表 4 中的数据按富矿体、硅化花岗岩、硅化硫化物、硅化蚀变岩、弱蚀变花岗岩、黄铁矿化花岗岩、基性岩、钾化花岗岩、石英脉分类统计,对比发现 50 号矿脉矿体及围岩 Au、Ag、Pb、Bi、Cu、Mo、Ni 含量较高。其中,硅化花岗岩中浓度克拉克值大于 1 的元素有 Ag、Bi、As、Pb、Mo;硅化硫化物中浓度克拉克值大于 1 的元素有 Ag、Bi、As、Pb、Mo、Zn;花岗岩中浓度克拉克值大于 1 的元素有 Bi、Pb、Mo;黄铁矿化花岗岩浓度克拉克值大于 1 的元素有 Ag、Bi、

As、Pb、Mo、Zn,钾化花岗岩中浓度克拉克值大于 1×10^{-6} 为有 Ag、Bi、Pb、Mo;石英脉中浓度克拉克值大于 1×10^{-6} 的元素有 Ag、As、Mo、Pb、Bi;金矿石中浓度克拉克值大于 1×10^{-6} 的元素有 Ag、As、Cu、Mo、Bi、Pb、Co、Ni、V、Zn(表 6)。

50 号矿脉不同类型蚀变岩中 Au、Ag、Cu、Mo、Bi、Pb 相对富集。由花岗岩→石英脉→钾化花岗岩→硅化蚀变岩→黄铁矿化花岗岩→金矿石,随着蚀变作用的叠加和增强,成矿元素 Au、Ag、As、Cu、Pb、Bi、Mo 增加,尤以 Au、Ag、Bi 显著。上述特征表明,在金的含矿热液蚀变过程中,Au、Ag、As、Cu、Pb、Bi、Mo、Sb、Co 是带入的元素,Ni、Mn、Zn 是带出的元素。

4 50 号脉轴分向带序列计算及深部预测

4.1 50 号脉轴向分带序列计算

应用原生晕地球化学方法^[23]对表 4 中的数据进行处理(表 7),得出 50 号脉原生晕自上而下为 Mn→Mo→As→V→Bi→Co →Au→Ni→Cu→Ag→Pb→Sb→Zn。中国金矿床原生晕综合轴(垂)向分

表 3 50 号脉主量元素含量
Table 3 The constant elements of No. 50 vein

															%
样品号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SrO	BaO	烧失量	总计
LL127	58.00	2.55	9.90	11.75	0.24	0.01	0.72	0.01	0.01	0.24	0.014	0.05	0.02	7.09	90.59
LL126	59.07	3.60	7.51	13.28	0.26	0.12	1.04	0.01	0.04	0.23	0.010	0.06	0.02	4.49	89.71
LL123	68.52	7.82	2.74	9.53	0.49	0.11	2.45	0.01	0.11	0.16	0.026	0.04	0.05	6.53	98.56
LL122	70.59	14.09	3.30	0.56	0.45	2.33	3.56	0.01	0.20	0.01	0.022	0.01	0.10	4.41	99.61
LL085	71.71	14.50	1.39	0.80	0.40	3.01	5.24	0.01	0.08	0.02	0.023	0.05	0.42	1.69	99.32
LL087	81.63	8.17	2.47	0.37	0.27	2.97	1.23	0.01	0.10	0.01	0.036	0.02	0.04	1.80	99.11
LL086	70.70	12.15	2.53	2.30	0.75	2.99	2.60	0.01	0.07	0.09	0.030	0.06	0.21	3.68	98.14
LL084	71.94	14.41	1.42	1.11	0.33	3.33	5.28	0.01	0.11	0.01	0.021	0.07	0.47	1.26	99.75
LL128	73.48	14.04	0.88	1.52	0.26	3.52	3.78	0.01	0.06	0.02	0.024	0.04	0.15	2.12	99.89
LL125	73.00	13.79	1.31	1.38	0.36	3.46	3.95	0.01	0.18	0.02	0.043	0.04	0.20	2.14	99.86
LL117	71.61	13.55	1.68	1.23	0.27	3.30	3.50	0.01	0.17	0.01	0.029	0.03	0.17	3.60	99.14
LL124	72.92	12.97	1.48	2.56	0.52	1.71	3.61	0.01	0.18	0.05	0.037	0.03	0.08	2.92	99.05
LL089	70.32	15.17	1.32	1.45	0.40	4.06	4.75	0.01	0.10	0.01	0.027	0.08	0.29	1.52	99.48
LL118	80.00	10.42	0.85	0.49	0.27	2.93	2.65	0.01	0.06	0.01	0.016	0.02	0.06	1.03	98.78
LL116	92.90	2.23	1.44	0.31	0.21	0.06	0.57	0.01	0.01	0.01	0.015	0.01	0.01	0.89	98.62
LL120	70.87	14.82	1.59	1.40	0.37	3.70	4.31	0.01	0.22	0.01	0.043	0.06	0.25	1.95	99.58
LL119	73.69	13.67	1.29	1.24	0.55	3.50	2.88	0.01	0.18	0.01	0.043	0.03	0.11	2.17	99.35
LL121	42.55	12.28	7.64	8.81	8.70	1.20	2.82	0.07	0.79	0.11	0.595	0.06	0.29	12.65	98.56
LL114	70.79	14.32	1.54	1.19	0.34	3.57	4.65	0.01	0.17	0.01	0.042	0.06	0.26	1.80	98.71
LL088	45.46	13.69	7.74	8.17	9.13	1.69	1.95	0.08	0.79	0.11	0.195	0.06	0.10	9.02	98.19
LL115	70.37	13.88	2.19	1.71	1.35	2.91	3.71	0.01	0.11	0.01	0.036	0.06	0.12	3.43	99.88

注:澳大利亚澳实分析检测(广州)有限公司澳实矿物实验室测试

表 4 50 号脉微量元素含量
Table 4 The trace elements of No. 50 vein

10 ⁻⁶																	
剖面 序号	样品 编号	样品野外定名	采样位置	Au	Ag	As	Bi	Co	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
1	LL084	钾化花岗岩	-620 m50 脉的 72 线	0.115	0.05	0.2	0.05	1	3	<0.005	139	0.59	<1	22	<0.05	4	18
	LL085	硅化硫化物(矿体)	-620 m50 脉的 72 线	0.224	0.25	3.4	0.15	3	3	<0.005	233	0.32	2	16	<0.05	4	9
	LL086	硅化碎裂花岗岩	-620 m50 脉的 72 线	0.116	0.29	7.8	0.44	5	7	<0.005	779	0.46	3	14	0.07	4	15
	LL087	硅化硫化物(矿体)	-620 m50 脉的 72 线	0.187	0.59	7.2	0.43	6	4	<0.005	188	0.67	3	6	0.06	3	7
	LL088	基性岩脉	-620 m50 脉的 72 线	0.002	0.03	0.1	0.05	35	20	<0.005	906	0.71	150	8	0.05	163	82
	LL089	硅化钾华花岗岩	-620 m50 脉的 72 线	0.032	0.04	0.9	0.04	2	9	<0.005	127	0.35	2	19	<0.05	5	14
2	LL114	钾化花岗岩	-670 m50#矿脉- 主巷道 88 川	0.005	0.01	0.2	0.02	2	9	<0.005	96	0.40	1	20	<0.05	3	14
	LL115	硅化碎裂花岗岩	-670 m50#矿脉- 主巷道 88 川	0.002	0.01	<0.1	0.02	3	8	<0.005	174	0.39	25	19	<0.05	15	25
	LL116	石英脉	-670 m50#矿脉- 主巷道 88 川	0.024	0.04	0.6	0.31	4	9	<0.005	98	0.92	3	<2	<0.05	3	7
	LL117	硅化硫化物(矿体)	-670 m50#矿脉- 主巷道 88 川	0.071	0.11	1.4	0.98	4	8	<0.005	90	0.54	4	11	0.06	5	10
	LL118	硅化、钾化花岗岩	-670 m50#矿脉- 主巷道 88 川	0.028	0.03	0.3	0.18	2	6	<0.005	74	0.64	2	7	<0.05	3	7
	LL119	钾化花岗岩	-670 m50#矿脉- 主巷道 88 川	0.007	0.02	0.2	0.04	1	6	<0.005	179	0.64	4	14	<0.05	5	10

续表 4-1

剖面 序号	样品 编号	样品野外定名	采样位置	Au	Ag	As	Bi	Co	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
3	LL120	钾化花岗岩	-570 m50#脉 88 川	0.009	0.02	0.6	0.02	2	10	<0.005	150	0.43	1	19	<0.05	4	15
	LL121	灰黑色基性脉岩	-570 m50#脉 88 川	0.006	0.07	<0.1	0.02	32	42	<0.005	972	1.09	190	5	<0.05	167	86
	LL122	硅化硫化物(矿体)	-570 m50#脉 88 川	1.215	0.43	11.1	0.46	2	13	<0.005	65	0.33	2	15	0.06	5	9
	LL123	含矿石英脉(矿体)	-570 m50#脉 88 川	1.500	11.80	5.7	0.09	2	3520	0.011	1310	0.46	2	18	<0.05	3	56
	LL124	硅化花岗岩	-570 m50#脉 88 川	0.068	0.87	2.2	0.09	2	366	<0.005	468	0.41	2	24	<0.05	5	14
	LL125	硅化钾化花岗岩	-570 m50#脉 88 川	0.085	0.18	2.9	0.10	2	44	<0.005	276	0.42	1	26	<0.05	3	30
	LL126	含矿石英脉(矿体)	-570 m50#脉 88 川	8.60	7.81	19.0	0.96	43	97	0.005	1745	3.25	18	37	0.09	3	9
	LL127	硅化硫化物(矿体)	-570 m50#脉 88 川	13.60	8.07	41.6	2.15	22	889	0.005	1905	2.05	4	94	0.17	2	12
4	LL128	钾化花岗岩	-570 m50#脉 88 川	0.090	0.06	1.3	0.04	1	18	<0.005	285	0.32	1	11	<0.05	3	14
	LL234	钾化花岗岩	-620 m50#脉的 71 川	0.072	0.15	4.6	0.14	2	23	<0.005	267	0.33	1	18	<0.05	3	13
	LL235	硅化硫化物(矿体)	-620 m50#脉的 71 川	4.38	4.11	20.3	0.87	8	58	<0.005	108	0.46	2	15	0.05	5	9
	LL236	矿化石英脉	-620 m50#脉的 71 川	0.407	0.29	5.5	0.19	2	10	<0.005	102	0.69	1	7	0.05	4	9
	LL237	黄铁矿化硅化蚀变岩	-620 m50#脉的 71 川	0.479	0.43	8.1	0.45	12	10	<0.005	4160	0.42	121	9	0.12	90	37
	LL238	钾化硅化花岗岩	-620 m50#脉的 71 川	0.098	0.21	0.7	0.13	2	9	<0.005	169	0.34	1	13	<0.05	4	9
	LL239	钾化花岗岩	-620 m50#脉的 71 川	0.009	0.04	0.9	0.04	2	6	<0.005	133	0.41	1	15	<0.05	3	10
5	LL240	硅化硫化物(矿体)	-620 m50#脉的 70 川	0.118	0.31	4.2	0.28	2	70	<0.005	201	0.39	2	15	<0.05	4	18
	LL241	钾化硅化花岗岩	-620 m50#脉的 70 川	0.029	0.26	3.0	0.15	1	80	<0.005	322	0.37	4	48	0.05	5	21
	LL242	黄铁矿化硅化蚀变岩	-620 m50#脉的 70 川	0.084	0.38	3.8	0.33	2	71	<0.005	246	0.37	1	85	0.07	4	29
	LL243	黄铁矿硅化蚀变岩矿体	-620 m50#脉的 70 川	0.047	0.08	2.0	0.05	2	14	<0.005	302	0.30	3	22	0.09	3	14
	LL244	硅化蚀变岩	-620 m50#脉的 70 川	0.015	0.14	1.0	0.06	2	18	0.013	650	0.32	<1	11	<0.05	3	9
	LL245	钾化、硅化花岗岩	-620 m50#脉的 70 川	0.051	0.06	0.6	0.06	1	7	<0.005	234	0.36	1	14	<0.05	3	9
6	LL246	弱钾化花岗岩	-620 m50#脉的 69 川	0.008	0.02	0.2	0.03	<1	5	<0.005	131	0.44	<1	17	<0.05	2	17
	LL247	钾化花岗岩	-620 m50#脉的 69 川	0.120	0.28	1.3	0.17	1	38	<0.005	130	0.37	<1	16	<0.05	3	13
	LL248	硅化硫化物(矿体)	-620 m50#脉的 69 川	2.96	2.99	27.8	0.85	3	70	<0.005	363	0.41	2	18	<0.05	3	17
	LL249	强硅化蚀变岩	-620 m50#脉的 69 川	0.279	1.07	6.2	0.95	3	60	<0.005	186	0.38	2	104	0.06	6	228
	LL250	钾化、硅化花岗岩	-620 m50#脉的 69 川	0.346	0.37	4.3	0.46	2	28	<0.005	129	0.38	1	24	<0.05	2	10
7	LL251	钾化花岗岩	-620 m50#脉的 67 川	0.130	0.65	3.4	0.21	1	151	<0.005	199	0.40	1	29	<0.05	3	16
	LL252	硅化硫化物(矿体)	-620 m50#脉的 67 川	1.035	4.05	46.9	1.15	5	25	<0.005	41	1.42	<1	2330	0.37	2	2140
	LL253	钾化、硅化蚀变岩	-620 m50#脉的 67 川	0.094	0.15	2.2	0.13	1	17	<0.005	219	0.28	1	23	<0.05	4	16
	LL254	硅化蚀变岩	-620 m50#脉的 67 川	0.115	0.24	2.2	0.12	2	23	<0.005	252	0.32	1	23	<0.05	3	13
	LL255	强硅化蚀变岩	-620 m50#脉的 67 川	0.076	0.07	0.6	0.06	1	6	<0.005	169	0.35	1	17	<0.05	4	19
8	LL256	硅化蚀变岩	-620 m50#脉 74-73 线沿脉	0.019	0.03	0.5	0.02	1	11	<0.005	238	0.47	<1	11	<0.05	1	9
	LL257	硅化蚀变岩	-620 m50#脉 74-73 线沿脉	0.053	0.06	1.9	0.06	2	7	<0.005	570	0.49	1	<2	<0.05	4	9
	LL258	黄铁矿化硅化蚀变岩	-620 m50#脉 74-73 线沿脉	0.001	0.01	0.3	0.01	2	8	<0.005	133	0.36	<1	20	<0.05	4	26
	LL259	硅化硫化物(矿体)	-620 m50#脉 74-73 线沿脉	1.420	0.55	6.6	0.27	3	6	<0.005	581	0.50	2	5	<0.05	5	8

续表 4-2

剖面 序号	样品 编号	样品野外定名	采样位置	Au	Ag	As	Bi	Co	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
8	LL260	硅化硫化物(矿体)	-620 m50#脉 74-73 线沿脉	1.170	0.32	4.8	0.14	2	4	<0.005	643	0.38	1	3	0.05	3	8
	LL261	硅化蚀变岩	-620 m50# 脉 74-73 线沿脉	0.351	0.21	4.9	0.12	2	5	<0.005	611	0.32	<1	6	<0.05	6	13
	LL262	硅化蚀变岩	-620 m50#脉 74-73 线沿脉	0.041	0.10	0.9	0.05	1	6	<0.005	144	0.41	1	21	<0.05	3	11
	LL263	硅化硫化物(矿体)	-620 m50#脉 74-73 线沿脉	1.550	0.56	6.0	0.40	2	7	<0.005	633	0.43	3	11	0.05	4	10
	LL264	硅化硫化物(矿体)	-620 m50#脉 74-73 线沿脉	1.105	0.51	4.9	0.20	5	4	<0.005	242	0.84	<1	8	<0.05	3	10
	LL265	硅化蚀变岩	-620 m50#脉 74-73 线沿脉	0.789	0.27	2.5	0.08	2	5	<0.005	211	0.45	1	12	<0.05	4	7
	LL266	硅化蚀变岩	-620 m50#脉 74-73 线沿脉	0.157	0.13	3.0	0.11	4	5	<0.005	444	0.51	1	7	<0.05	4	9
	LL267	硅化蚀变岩	-620 m50#脉 74-73 线沿脉	0.023	0.03	0.3	0.02	2	9	<0.005	222	0.59	1	2	<0.05	2	8
9	LL268	硅化、钾化蚀变岩	-620 m50#脉的 75 川	0.043	0.09	0.9	0.04	3	5	<0.005	105	0.31	1	10	<0.05	2	6
	LL269	硅化、钾化蚀变岩	-620 m50#脉的 75 川	0.017	0.02	0.7	0.02	3	4	<0.005	182	0.37	1	15	<0.05	3	9
	LL270	钾化花岗岩	-620 m50#脉的 75 川	0.008	0.04	1.3	0.39	1	<1	0.017	393	0.28	<1	14	0.05	4	<2
	LL271	黄铁矿化硅化蚀变岩	-620 m50#脉的 75 川	0.300	0.68	23.0	1.07	3	<1	<0.005	1190	0.25	14	54	0.13	11	49
10	LL323	硅质岩(矿体)	-570 m50#脉 72 线	0.103	0.12	2.5	0.08	2	<1	<0.005	346	0.40	8	<2	<0.05	17	13
	LL324	硅化硫化物(矿体)	-570 m50#脉 72 线	4.32	3.38	26.6	0.99	11	64	<0.005	74	1.62	3	75	0.06	4	5
	LL325	硅化弱钾化花岗岩	-570 m50#脉 72 线	0.117	0.28	10.7	0.12	2	18	<0.005	401	0.28	3	4	<0.05	4	5
	LL326	弱钾化花岗岩	-570 m50#脉 72 线	0.052	0.08	2.4	0.04	<1	16	<0.005	199	0.31	3	16	<0.05	3	2
	LL327	硅质岩	-570 m50#脉 72 线	0.162	0.21	3.8	0.13	2	14	<0.005	184	0.31	1	15	<0.05	5	18
	LL328	钾化花岗岩	-570 m50#脉 72 线	0.013	0.10	0.9	0.03	<1	14	<0.005	169	0.35	1	122	<0.05	3	15
	LL329	硅质岩	-570 m50#脉 74 线	0.009	0.02	0.2	0.03	1	1	<0.005	119	0.35	<1	15	<0.05	4	5
11	LL330	石英脉(矿体)	-570 m50#脉 74 线	1.245	0.42	5.7	0.40	2	1	<0.005	51	0.82	4	14	0.30	8	10
	LL331	硅化硫化物(矿体)	-570 m50#脉 74 线	0.292	0.25	3.2	0.11	2	5	<0.005	391	1.13	1	46	0.10	3	46
	LL332	石英脉(矿体)	-570 m50#脉 74 线	2.00	0.73	5.5	0.41	2	<1	<0.005	82	0.33	1	10	<0.05	2	3
	LL337	钾化花岗岩	-470 m50#脉 94 线	0.023	0.04	0.1	0.05	1	<1	<0.005	126	0.31	1	25	<0.05	3	26
12	LL338	硅化硫化物(矿体)	-470 m50#脉 94 线	0.110	0.18	2.0	0.21	<1	3	<0.005	220	0.25	1	23	0.08	3	16
	LL339	弱钾化花岗岩	-470 m50#脉 94 线	0.012	0.05	0.6	0.03	1	3	<0.005	348	2.54	1	18	0.08	3	9
	LL340	钾化花岗岩	-470 m50#脉 94 线	0.002	0.01	<0.1	0.02	<1	<1	0.006	139	0.26	1	21	<0.05	3	20
	LL341	钾化花岗岩	-470 m50#脉 94 线	0.001	0.01	<0.1	0.01	<1	1	0.010	199	0.40	1	24	<0.05	2	26
	LL342	硅化弱钾化花岗岩	-470 m50#脉 87 线	0.015	0.03	0.3	0.02	1	3	<0.005	337	0.35	1	14	<0.05	3	3
13	LL343	硅化花岗岩	-470 m50#脉 87 线	0.096	0.04	0.3	0.07	1	4	0.006	222	0.33	<1	11	<0.05	2	<2
	LL344	硅化硫化物(矿体)	-470 m50#脉 87 线	0.140	0.24	3.1	0.18	11	9	0.012	567	0.75	70	13	0.48	53	27
	LL345	弱钾化花岗岩	-470 m50#脉 87 线	0.007	0.04	0.8	0.02	1	3	<0.005	119	0.35	1	22	<0.05	3	12
	LL346	硅化弱钾化花岗岩	-470 m50#脉 87 线	0.002	0.02	<0.1	0.03	1	<1	0.007	95	0.33	1	24	<0.05	4	9

续表 4-3

剖面 序号	样品 编号	样品野外定名	采样位置	Au	Ag	As	Bi	Co	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
14	LL347	硅化钾化花岗岩	-470 m50#脉 77 线	0.040	0.04	<0.1	0.02	1	2	0.007	98	0.32	<1	22	<0.05	2	6
	LL348	硅化弱钾化花岗岩	-470 m50#脉 77 线	0.013	0.04	0.5	0.07	2	<1	0.008	166	0.30	2	16	<0.05	3	11
	LL349	硅化钾化花岗岩	-470 m50#脉 77 线	0.005	0.02	0.4	0.04	1	<1	0.005	179	0.25	3	14	<0.05	3	8
	LL350	硅化钾化花岗岩	-470 m50#脉 77 线	0.006	0.01	<0.1	0.02	<1	1	<0.005	123	0.29	1	14	<0.05	3	3
	LL351	硅化弱钾化花岗岩	-470 m50#脉 77 线	0.018	0.03	0.1	0.04	2	4	<0.005	104	0.42	1	15	<0.05	3	3
15	LL393	钾化花岗岩	-420 m50#脉 76 线	0.058	0.11	0.8	0.06	<1	4	0.007	210	0.33	1	17	<0.05	4	8
	LL394	硅化硫化物(矿体)	-420 m50#脉 76 线	0.152	1.14	7.0	0.80	1	6	0.005	59	1.97	1	84	0.06	3	15
	LL395	硅化硫化物(矿体)	-420 m50#脉 76 线	0.149	0.58	3.0	0.51	3	2	<0.005	568	2.96	1	89	0.08	4	9
	LL396	钾化花岗岩	-420 m50#脉 76 线	0.008	0.04	0.4	0.02	<1	3	<0.005	410	0.26	1	24	<0.05	1	6
16	LL404	花岗岩	-570 m50#脉 92 线	0.010	0.07	0.5	0.04	1	2	<0.005	118	0.28	1	19	<0.05	4	6
	LL405	硅化花岗岩	-570 m50#脉 92 线	0.054	0.23	2.4	0.13	1	12	0.007	354	0.42	4	7	0.13	4	12
	LL406	硅化硫化物(矿体)	-570 m50#脉 92 线	0.785	1.91	18.5	1.11	12	55	0.009	128	0.74	7	7	0.05	3	14
平均值				0.593	0.67	4.64	0.25	3.79	68.52	0.006	356.25	0.57	8.05	47.51	0.07	8.87	40.73
硅化硫化物(矿体)				1.749	1.53	12.5	0.61	6	65	0.008	365	0.91	6	144	0.12	6	120
石英脉(矿体)				2.300	3.52	7.0	0.39	9	727	0.008	565	1.08	5	17	0.15	4	16
玲珑矿区背景值				0.001	0.01	0.1	0.01	1	3	0.007	148	0.40	2	25	<0.05	3	22
元素富集系数				590.00	67.00	46.40	25.00	3.79	22.84	0.86	2.41	1.43	4.03	1.90	1.40	2.96	1.85

注:澳大利亚澳实分析检测(广州)有限公司澳实矿物实验室测试;Au 和 Ag 测试采用 DZG 93—09 方法,其他元素测试采用 DZG 20.03—1987

表 5 玲珑金矿大开头区原生晕中各元素相关性

Table 5 The analyses of correlation about zoning of the Dakaitou mining area in the Linglong gold deposit

	Au	Ag	As	Bi	Co	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
Au	1													
Ag	0.730	1												
As	0.700	0.600	1											
Bi	0.700	0.600	0.900	1										
Co	0.553	0.427	0.300	0.390	1									
Cu	0.251	0.764	0.100	0.108	0.060	1								
Hg	-0.061	0.148	-0.100	-0.021	-0.019	0.274	1							
Mn	0.387	0.380	0.300	0.296	0.501	0.270	0.067	1						
Mo	0.520	0.440	0.400	0.476	0.524	0.057	-0.089	0.250	1					
Ni	-0.019	-0.028	0.000	-0.022	0.684	-0.022	0.027	0.520	0.107	1				
Pb	0.055	0.222	0.600	0.308	0.025	-0.005	-0.043	-0.060	0.199	-0.037	1			
Sb	0.180	0.180	0.400	0.318	0.172	0.007	0.199	0.160	0.255	0.181	0.510	1		
V	-0.059	-0.065	-0.100	-0.060	0.662	-0.028	0.008	0.440	0.072	0.985	-0.040	0.100	1	
Zn	0.020	0.210	0.500	0.280	0.040	0.000	-0.030	-0.00	0.160	0.019	0.990	0.050	0.010	1

表 6 玲珑金矿 50 号脉各种岩性中元素特征
Table 6 The characteristics of elements in various rocks of No. 50 vein in the Linglong gold deposit

10 ⁻⁶											
富矿体			硅化花岗岩			硅化硫化物			硅化蚀变岩		
平均	标准	浓度	平均	标准	浓度	平均	标准	浓度	平均	标准	浓度
值	差	克拉克	值	差	克拉克	值	差	克拉克	值	差	克拉克
			弱蚀变花岗岩			黄铁矿化花岗岩			基性岩		
			平均	标准	浓度	平均	标准	浓度	平均	标准	浓度
			值	差	克拉克	值	差	克拉克	值	差	克拉克
			钾化花岗岩			石英脉					
			平均	标准	浓度	平均	标准	浓度	平均	标准	浓度
			值	差	克拉克	值	差	克拉克	值	差	克拉克
Au	2.03	3.69	0.58	0.31	0.93	0.22	0.09	0.06	0.7	0.75	0.2
									0.04	0.03	0.01
									0.66	0.54	0.19
Ag	2.26	3.55	28.24	0.33	0.72	4.18	0.6	7.5	0.3	0.27	3.75
									0.07	0.03	0.91
									0.96	1.37	12
As	9.17	10.53	4.17	3.55	5.92	1.61	4.6	2.09	3.35	2.52	1.52
									1.05	0.79	0.48
									13.91	16.01	6.32
Bi	0.52	0.54	129.85	0.15	0.21	36.9	0.53	132.5	0.18	0.16	45
									0.27	0.47	68.13
									0.527	0.41	131.79
Co	7.24	10.76	0.29	2.24	2.21	0.09	3.5	0.71	2.5	1.73	0.1
									2.25	1.26	0.09
									4.143	3.63	0.17
Cu	274.88	862.86	4.36	33.47	79.01	0.53	32.5	38.89	0.52	6	1.41
									8.25	4.92	0.13
									26.71	30.89	0.42
Mn	475.64	594.34	0.37	286	196.86	0.22	315	182.43	0.24	403.5	231.99
									183	97.56	0.14
									1008	1440.5	0.78
Mo	1.012	0.95	253.09	0.44	0.28	110.24	0.45	0.09	111.25	0.53	0.22
									131.88	0.428	0.16
									106.88	0.533	0.4
Ni	9	17.05	0.1	1.71	1.06	0.02	1.5	0.71	0.02	1.5	1
									2.25	1.5	0.03
									20.29	44.66	0.23
Pb	29.77	30.26	2.48	19.19	15.97	1.6	55.5	68.59	4.63	9.5	6.24
									13.5	8.96	1.13
									357.3	870.42	29.77
Sb	0.11	0.11	0.18	0.06	0.02	0.09	0.06	0.01	0.09	0.05	0
									0.12	0.12	0.2
									0.08	0.02	0.1
V	7.94	12.4	0.06	3.62	1.07	0.03	5	1.41	0.04	3.75	0.5
									3.5	1.29	0.03
									32.32	0.12	165
Zn	16.94	14.28	0.18	11.19	7.43	0.12	118.5	154.86	1.26	12	4.69
									0.13	3.42	0.1
									327	799.6	3.48
									2.83	0.89	5.98
									12.06	5.98	0.13
									11.36	5.86	0.12

表 7 玲珑金矿大开头 50 号矿脉原生晕元素分带浓集系数

Table 7 The concentration ratio about rock geochemical trace of No. 50 vein in the Linglong gold deposit

中段	Au	Ag	As	Bi	Co	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
-420	2.24	8.20	8.60	16.30	5.18	0.89	14.10	26.30	1.75	15.60	12.30	4.64	3.58
-470	1.03	0.20	2.20	3.53	7.16	0.76	11.50	12.80	8.94	7.96	19.90	10.20	6.82
-570	<u>74.50</u>	<u>68.30</u>	<u>47.20</u>	<u>31.80</u>	<u>47.50</u>	<u>84.80</u>	<u>36.00</u>	<u>27.20</u>	<u>41.80</u>	15.40	25.90	37.50	12.90
-620	21.30	22.00	39.70	28.70	27.50	11.10	31.90	18.50	32.40	<u>56.70</u>	<u>28.30</u>	35.80	<u>70.80</u>
-670	0.840	1.29	2.22	19.50	12.60	2.42	6.28	14.90	15.00	4.16	13.40	11.60	5.85
ΔH	13.40	299.00	4.46	8.23	10.30	164.00	-1.21	-0.14	24.50	0.80	2.71	7.47	23.50

注: 有下标线的数据为该元素在各中段中的最大值

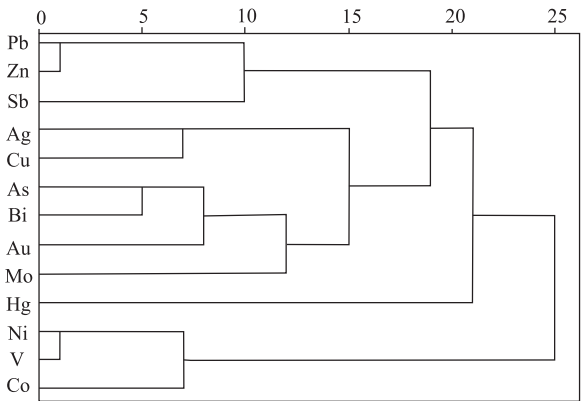


图 3 大开头 50 号脉原生晕样品中各元素聚类分析图解
Fig. 3 The cluster analysis about elements of zoning of No. 50 vein of the Dakaitou mining area

带序列^[24]从上而下为 Bi→I→As→Hg→F→Sb→Ba (矿体前缘及上部); Pb→Ag→Au→Zn→Cu (矿体中部); W→Bi→Mo→Mn→Ni→Cd→Co→V→Ti (矿体下部及尾晕)。对比发现,在 50 号矿脉下部,前缘晕的指示元素 Sb 出现在尾晕,中部晕的指示元素 Pb、Zn 出现在尾晕,表现为“反分带”;尾晕的指示元素 Mo、Mn 出现在上部。

4.2 50 号矿脉平面及剖面异常分带图

参考其他金矿床的原生晕参数^[16-18]特征,结合本次采样分析结果,确定原生晕地球化学异常浓度分带值(表 8)。

(1)50 号矿体的勘探线原生晕剖面特征

50 号脉体形成异常的元素有 Au、Ag、As、Co、Bi、Cu、Mn、Mo、Ni、V、Pb、Zn; Au 的异常内带显示出两个浓集中心,外带异常分为两支,其中一支下部未封闭。Co、Ni、V 浓集中心分布于 Au 浓集中心上部,Mn、Mo 内带浓集体分布于 Au 浓集中心两侧(图 4、图 5)。

表 8 原生晕异常浓度分带值

Table 8 Zonation of concentration values about geochemistry primary halo

分带	10 ⁻⁶													
	Au	Ag	As	Bi	Co	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn
内带(≥)	1	2	4	1.2	20	40	900	300	1	60	160	—	40	160
中带(≥)	0.1	1	2	0.8	10	20	600	250	0.7	30	80	1	20	80
外带(≥)	0.01	0.5	1	0.4	5	5	300	150	0.4	15	40	0.5	10	40

(2)50 号矿体的各中段水平方向原生晕剖面特征

50 号脉 Au 浓集体在标高-270~-520 m 处仅出现中带异常;标高-570~-620 m 的出现内带异常,在-570 m 中段 2 个浓集中心(65~89 勘探线间),-620 m 中段处与-570 m 中段相比,65 线原生晕规模增强,-670 m 中段只有外带异常;Ag、As、Ni、Mn、Co、Cu 浓集体分布与 Au 相似,Ag、Co 元素在-670 m 无浓集异常;Mn 浓集异常一般位于 Au 的浓集异常两侧。V、Mo、Pb 等元素在-470 m 等部位浓集中心较强。Zn 浓集体在-620 m 中段出现内带异常。Bi 元素浓集强度在-420 m、-570 m、-670 m 等中段均有中带异常出现,且异常范围比 Au 异常范围小。

5 讨 论

Ag、As、Bi、Zn、Cu、Sb 与 Au 元素呈正相关关系^[25],首先,与相近或相似微量元素本身的继承关系和晶体化学有关^[26],是很好的金矿指示元素;其次,亲硫元素流体中 As 的含量增加有利于 Au 析出^[27-28],这一地球化学特征与偏光镜及电子探针下可观察到 Au 常以单体矿物的形式赋存于黄铁矿或 Zn、Cu、Bi 等元素硫化物矿物的边缘、裂隙中^[29]—

上部,说明 50 号脉已接近矿体尾部,但头晕元素 Sb 同时出现在序列的下部,说明脉体在深部可能出现新的隐伏矿体。

区域上鲁东地区大范围的白垩纪热隆-伸展构造活动^[30],在构造形成过程中改变了压力、温度等条件进而影响化学平衡^[31]。断裂破碎带受到岩浆期后热液的多次交代蚀变,钾化、黄铁绢英岩化蚀变伴随围岩与流体中元素的置换迁移^[32]。由于元素的活动性受温度、压力、阴阳离子的络合关系等条件控制,不同元素在相同的物理化学条件下活动性也不同,断裂、热液的多次活动必然使围岩的矿物组合和化学成分上形成分带。围岩中分散的细粒金宿主矿物在多次流体交代作用下被破坏,通过可溶性硫代硫酸盐络合物的形式沿构造裂隙等通道迁移^[33]。当化学成分及温压条件达到新的平衡时再次沉淀富集,该物理化学平衡空间一般表现为微蚀变带及其次级断裂^[33-34]。

区域上胶东地区大部分金矿勘探成果均显示,地表 700 m 以下存在大量金矿,证实了第二成矿富集带^[35-37]。原生晕深部找矿预测理论方法不断完善,在甘肃早子沟应用深度范围已达 2000 ~ 2500 m^[38],长期的找矿实践证实,原生晕深部找矿是深部成矿预测有效可靠的方法手段。根据 50 号矿脉原生晕特征、逆分带序列等特征,推断其深部仍有较好的成矿远景。

6 结 论

(1) 玲珑金矿床 50 号脉 Au 和 As、Ag、Zn、Bi、Co、Cu、Mn、Mo、Sb 为正相关,与 V、Ni 成反相关关系。

(2) 由花岗岩→石英脉→黄铁矿矿化花岗岩→钾化花岗岩→硅化蚀变岩→金矿石,随着蚀变作用的叠加和增强,成矿元素 Au、Ag、As、Cu、Pb、Bi、Mo 增加,尤其以 Au、Ag 为显著,表明在金的含矿热液蚀变过程中,Au、Ag、As、Cu、Pb、Bi、Mo、Sb、Co 是带入的元素,Ni、Mn、Zn 是带出的元素。

(3) 50 号脉轴向分带序列中金矿前缘晕的指示元素 Sb 出现在尾晕,金矿中部缘晕的指示元素 Pb、Zn 出现在尾晕,表现为“反分带”,可能指示深部成矿作用叠加,金矿体深部还有延伸。

参考文献

[1] 冯景兰. 山东招远金矿纪略[J]. 地质评论, 1936, 1(4): 385-394.

- [2] 郭文魁, 段承敬. 山东招远玲珑金矿[J]. 地质评论, 1951, 16(1): 112-143.
- [3] 邓军. 山东招掖金矿带断裂构造分带与蚀变矿化分带关系研究[J]. 矿床地质, 1994, 13(增刊): 17-19.
- [4] 孙景贵, 胡受奚, 沈昆, 等. 胶东金矿区矿田体系中基性-中酸性脉岩的碳-氧同位素地球化学研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(1): 47-56.
- [5] 刘石年. 山东玲珑式金矿床矿体空间定位形式及其形成机制的探讨[J]. 地球科学, 1984, 4(1): 47-56.
- [6] 陈衍景, Franco P, 赖勇, 等. 胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境[J]. 岩石学报, 2004, 20(4): 907-923.
- [7] Chen Y J, Pirajno F, Qi J P. Origin of gold metallogeny and sources of ore-forming fluids, Jiaodong Province, eastern China[J]. International Geology Review, 2005, 47(5): 530-549.
- [8] 邓军, 王庆飞, 杨立强. 胶东西北部金热液成矿系统内部结构解析[J]. 地球科学进展, 2005, 30(1): 102-8.
- [9] 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, 1998: 1-120.
- [10] 刘星. 玲珑金矿床的矿化垂直分带[J]. 矿床地质, 1990, 9(3): 243-256.
- [11] 孙国胜, 李绪俊, 姚凤良. 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 吕古贤. 山东玲珑金矿田和焦家金矿田成矿深度的测算与研究[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(4): 337-342.
- [15] 陈柏林. 韧性剪切带型脉状金矿床成矿深度研究的思考[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 373-374.
- [16] 李惠, 张国义, 禹斌, 等. 构造叠加晕找盲矿法及其在矿山深部找矿效果[J]. 地学前缘, 2010, 17(1): 287-293.
- [17] 李惠, 张国义, 禹斌. 金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-48.
- [18] 李惠, 张文华, 刘宝林, 等. 中国主要类型金矿产的原生晕轴向分带序列研究及其应用准则[J]. 地质与勘探, 1999, 35(1): 32-35.
- [19] 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.
- [20] 吕承训, Norbert H M, Kenneth J B, 等. 胶东区域成矿断裂带蚀变年龄研究及其矿床学意义[J]. 地学前缘, 2017, 24(2): 140-150.
- [21] 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(自然科学版), 2013, 36(4): 357-363.
- [22] 黎彤. 化学元素的地球元素丰度[J]. 地球化学, 1976, (3): 167-174.
- [23] 蒋敬业, 程建萍, 祁士华, 等. 应用地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2006: 29-241.
- [24] 李惠, 张国义, 禹斌, 等. 构造叠加晕法是危机金矿山寻找接替资源的有效新方法[J]. 矿产与地质, 2005, 19(6): 683-687.
- [25] Bruno N E, Thompson T B. Gualcamayo mining District, Argentina: An example of Carlin-like Au deposits[J]. Ore Geology Reviews,

- 2019, 111: 95–103.
- [26] 胡宝群, 白丽红, 李满根, 等. 内蒙古赤峰地区金矿床中砷、锑、锰和锌的特征[J]. 物探与化探, 2009, 33(4): 389–394.
- [27] Guiraud J, Tremblay A, Jébrak T, et al. Stratigraphic setting and timing of the Montagne d'Or deposit, a unique Rhyacian Au-rich VMS deposit of the Guiana Shield, French Guiana[J]. Science Advances, 2020, 337: 95–103.
- [28] Kusebauch C, Gleeson S A, Oelze M. Coupled partitioning of Au and As into pyrite controls formation of giant Au deposits[J]. Science Advances, 2019, 24(2): 95–103.
- [29] 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.
- [30] 宋明春, 李杰, 李世勇, 等. 鲁东晚中生代热隆-伸展构造及其动力学背景[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2018, 48(4): 941–964.
- [31] 吕古贤. 构造动力成岩成矿和构造物理化学研究[J]. 地质力学学报, 2019, 25(5): 962–980.
- [32] 杜泽忠, 程志中, 姚晓峰, 等. 胶东谢家沟金矿热液蚀变作用过程的元素迁移规律[J]. 地质通报, 2020, 39(8): 1137–1152.
- [33] Kalinin Y A, Palyanova G A, Naumov E A, et al. Supergene remobilization of Au in Au-bearing regolith related to orogenic deposits: A case study from Kazakhstan[J]. Ore Geology Reviews, 2019, 109: 358–369.
- [34] 吕古贤, 李洪奎, 丁正江, 等. 胶东地区“岩浆核杂岩”隆起-拆离带岩浆期后热液蚀变成矿[J]. 现代地质, 2016, 30(2): 247–262.
- [35] 李洪奎, 李逸凡, 梁太涛, 等. 山东胶东型金矿的概念及其特征[J]. 黄金科学技术, 2017, 25(1): 1–8.
- [36] 宋明春, 宋英昕, 丁正江, 等. 胶东金矿床基本特征和主要争议[J]. 黄金科学技术, 2018, 26(4): 405–422.
- [37] 吕古贤, 霍庆龙, 袁月蕾, 等. 胶东金矿陆内构造岩浆核杂岩隆起拆离带蚀变成矿[J]. 地学前缘, 2017, 24(2): 95–103.
- [38] 汤磊, 林成贵, 程志中, 等. 甘肃省合作市早子沟金矿原生晕三维特征及深部找矿预测[J]. 地质通报, 2020, 39(8): 1173–1181.