

西藏隆子县恰嘎锑矿4号脉原生晕特征 及深部找矿预测

娄元林, 陈武, 陈东太, 黄青东智, 华利鹏

(中国人民武装警察部队黄金第十一支队, 西藏 拉萨 850000)

摘要:西藏隆子县恰嘎锑矿位于藏南错美-隆子锑金成矿带中东部, 该区成矿条件有利, 是找锑铅锌的良好靶区。研究表明: ①矿体原生晕发育, 且分带明显。②结合原生异常分布态势及其与矿体的关系, 成晕组分可以分为: 前缘元素(Cd、Hg、As)、近矿元素(上部为Pb、Zn, 中部为Sb, 下部为Cu、Au、Ag)、尾晕元素(Mn、Bi、Mo、W、Sn)。③对该区利用浓集中心法和分带指数法分别求出了相近的分带序列:Pb-Zn-Mn-Bi-Mo-W-Sn-Cd-Hg-As-Sb-Cu-Au-Ag-Ba。④深部找矿方面, 矿体很大可能向深部继续延伸或有盲矿体存在, 且该矿床为热液型矿床。⑤在原生晕系统研究的基础上构建了深部矿体评价的指标 $(Cd \times Hg \times As \times Sb)_D / (Bi \times Mo \times W \times Sn)_D$, 数据表明该指标随深度的增加有规律地降低, 是预测深部矿体资源潜力的有效指标。

关键词:恰嘎锑矿; 原生晕分带; 深部找矿预测; 西藏

中图分类号:P618.2

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2016)04-0146-19

The Primary Halo Characteristics of No. 4 Vein and Related Depth Prospecting Prediction of the Qiaga Dtibnite deposit in Longzi County, Tibet

LOU Yuanlin, CHEN Wu, CHEN Dongtai, HUANG Qingdongzhi, HUA Lipeng

(No. 11 Gold Geological Party of the CAPF, Lasha 850000, Tibet, China)

Abstract: The Qiaga stibnite deposit is located in the central east of the Cuomei-Longzi Sb-Au metallogenic belt of Southern Tibet, where has favorable mineralization conditions and serves an excellent target to prospect Sb, Pb and Zn deposits. The research results show that: ①The primary halos of ore bodies were developed very well, with a clearzonation of halo-formingelements. ②The halo-formingelements can be divided into three categories, that is the front elements (Cd, Hg and As), near-ore elements (Pb and Zn in upper part, Sb in middle part, and Cu, Au and Ag in lower part) and rear halo elements (As, Sn, Bi, Mo and W) through analyzing the the situation of primary abnormal distribution and its relationship with the ore bodies. ③Through using the accumulation centermethod and the Zoning index method respectively, the similar zoning sequence (Pb-Zn-Mn-Bi-Mo-W-Sn-Cd-

收稿日期: 2016-01-23; 修回日期: 2016-05-16

基金项目:西藏古堆地区金锑多金属矿产远景调查(1212011121236); 西藏哲古一日当一带铅锌锑多金属矿产调查评价(12120114083501)

作者简介:娄元林(1988-),男,湖南常德人,助理工程师,主要从事矿产地质调查及矿产勘查工作。E-mail: 420418599@

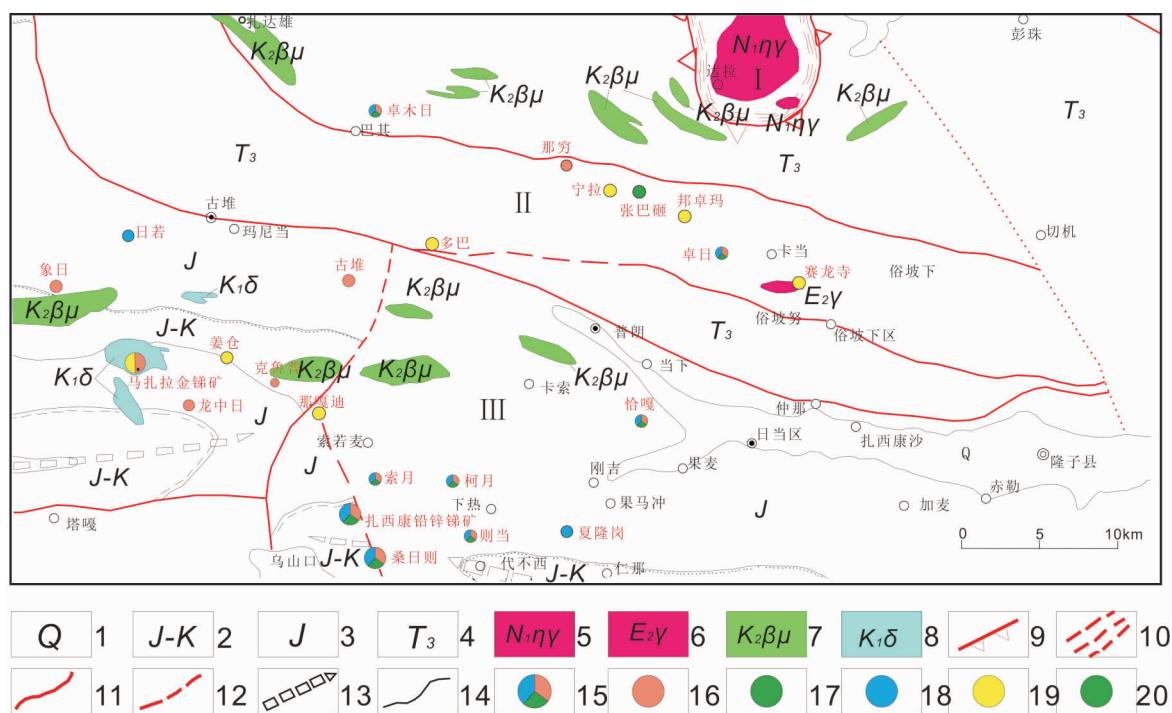
qq.com

Hg-As-Sb-Cu-Au-Ag-Ba) has been obtained. ④ As for the ore prospecting in depth, the ore bodies may extend downward or some blind ore bodies may be existed in the deep, and this stibnite deposit is hydrothermal metallic deposit. ⑤ On the basis of primary halos system research, the indexes of $(Cd \times Hg \times As \times Sb)_D / (Bi \times Mo \times W \times Sn)_D$ for estimating the deep ore have been constructed, and these indexes are regularly decreasing with the increasing of depth, which are effective criterions to evaluate the ore potential in depth.

Keywords: Qiaga stibnite deposit; primary halo zonation; depth prospecting prediction; Tibet

恰嘎锑矿位于西藏山南地区,行政区划归属为隆子县。工作区南侧有乃东县—错那县省道202线经过,北侧有隆子—日当—热荣—古堆—哲古—措美县级公路经过,交通较为方便。工作区为高原山区,区内最低海拔为4 000 m,最高4 630 m,平均4 400 m,相对高差630 m。在矿区西南部是著名的扎西康大型铅锌矿,东北部为查拉普大型金矿,北部有马扎拉中型锑金矿床,

附近还有姜仓金矿点、柯月锑铅锌多金属矿、象日锑矿点(图1),成矿地质条件优越,是寻找金锑铅锌多金属矿产的重要区段(杜光树等,1993;冯孝良等,1999;李光明等,2003;聂凤军等,2005;王军等,2001a,2001b;杨奇荻,2011;杨竹森等,2006;张刚阳,2012;郑有业等,2001,2007,2004,2003,2012,2004;董富权等,2012;董富权等,2015)。



1. 第四纪冰积、冲积、湖积; 2. 侏罗纪—白垩纪滨浅海碎屑岩建造,含火山碎屑岩建造; 3. 侏罗系海相碎屑岩建造,含火山碎屑岩建造、碳酸盐岩建造; 4. 晚三叠世海相碎屑岩建造,含火山碎屑岩建造; 5. 中新世二云二长花岗岩; 6. 始新世石英闪长岩; 7. 晚白垩世辉绿玢岩; 8. 未分岩脉; 9. 伸展剥离断裂; 10. 韧性剪切带; 11. 断层线; 12. 推测断层线; 13. 向斜构造及编号; 14. 地质界线; 15. 典型锑铅锌矿; 16. 典型锑矿; 17. 典型铅矿; 18. 典型锌矿; 19. 典型金矿; 20. 典型铜矿; I. 雅拉香波倾日变质核杂岩; II. 达拉—三安曲林褶冲束; III. 哲古错—日当褶冲束

图1 西藏古堆—隆子区域构造纲要及矿产分布图

Fig. 1 Tectonics outline and distribution of mine in Gudui-Longzi district, Tibet

1 区域成矿背景

恰嘎锑矿在大地构造上处于青藏高原南部喜马拉雅特提斯造山带中东部,地处喜马拉雅地块,北邻雅鲁藏布江结合带,经历了冈瓦纳古陆北缘自泛非运动以来长期的沉积-构造演变,特别是受三叠纪以来雅鲁藏布洋盆的扩张、消减、闭合,以及喜马拉雅地块与冈底斯地块的强烈碰撞造山和大规模的伸展拆离作用,造成了区内沉积作用类型复杂,岩浆活动、变质作用强烈,构造层次、构造样式、构造组合复杂多样,成矿条件优越(戚学祥等,2008;潘桂棠等,2013)。

区域地层属喜马拉雅地层区中的康马-隆子地层分区,主要出露有前寒武系、古生界、三叠系、侏罗系、白垩系及第四系等,它们之间分布很不均匀,相差较大。其中,三叠系、侏罗系的大范围出露,层序较齐全;区域上主要的锑矿和部分金、铅锌矿化产于侏罗系中,主要的金矿和部分锑、铅锌矿产于上三叠统涅如组中,具有较强的成矿专属性。

区域处于康马-隆子褶冲带中,以伸展剥离断裂和古堆隆子断裂为界(图 1),北部为逆冲推覆带,中部为雅拉香波何达拉花岗岩岩体为核心的变质核杂岩,南部为褶皱冲断带,其为本区提供了很好的导矿和容储矿的成矿基础。

侵入岩分布广泛,时间上从中生代—新生代均有岩浆活动,空间上侵入岩主要分布在西部和东北部;岩石类型齐全,从超基性岩(超镁铁岩)到酸性岩均有出露,且以中生代中-酸性岩浆岩最为广泛;成因类型多样,碰撞型、后碰撞型均有发育。在上三叠统涅如组二段中,发现火山岩,出露相对较少,集中在中部。

2 矿区地质特征

区内出露地层主要为下侏罗统日当组($J_1 r^2$)第二段灰黑色粉砂岩夹少量薄层灰岩及灰岩结核;中下侏罗统陆热组($J_{1-2} l^{1-3}$)第一段为灰黑色泥质粉砂岩夹中厚层灰岩,陆热组第二段为灰黑色粉砂岩夹薄层灰岩,陆热组第三段为灰黑色泥质粉砂岩夹中厚层灰岩;中侏罗统遮拉组($J_2 z^{1-2}$)第一段灰黑色粉砂质泥岩,遮拉组第二段砂粉质泥岩夹安山岩、

英安岩及玄武安山岩等;其次为第四系河流洪冲积物(Q)(图 2)。

该区位于古堆-隆子断裂南侧,卡索向斜转折端,区内构造主要发育有近南北向和近东西向断裂构造和轴向近东西的褶皱。

区内发育岩浆岩较多,主要呈东西向或近南北向以脉岩形式分布,出露岩性主要有煌斑岩、辉绿岩。煌斑岩:黄褐色,岩石主要由具斜长石假象的方解石和细片状黑云母、不透明尘点状钛铁氧化物、他形石英等组成,岩石发育圆形气孔,气孔中充填石英、碳酸盐,构成变余晶质结构,气孔状构造。岩石强烈蚀变,原岩矿物基本被碳酸盐交代,构成交代残留结构;辉绿岩:岩石主要由不定向的斜长石构成格架和充填格架空隙中的辉石及绢云母、黏土矿物、石英、碳酸盐等组成。自形-半自形粒状结构,辉长辉绿结构,块状构造。

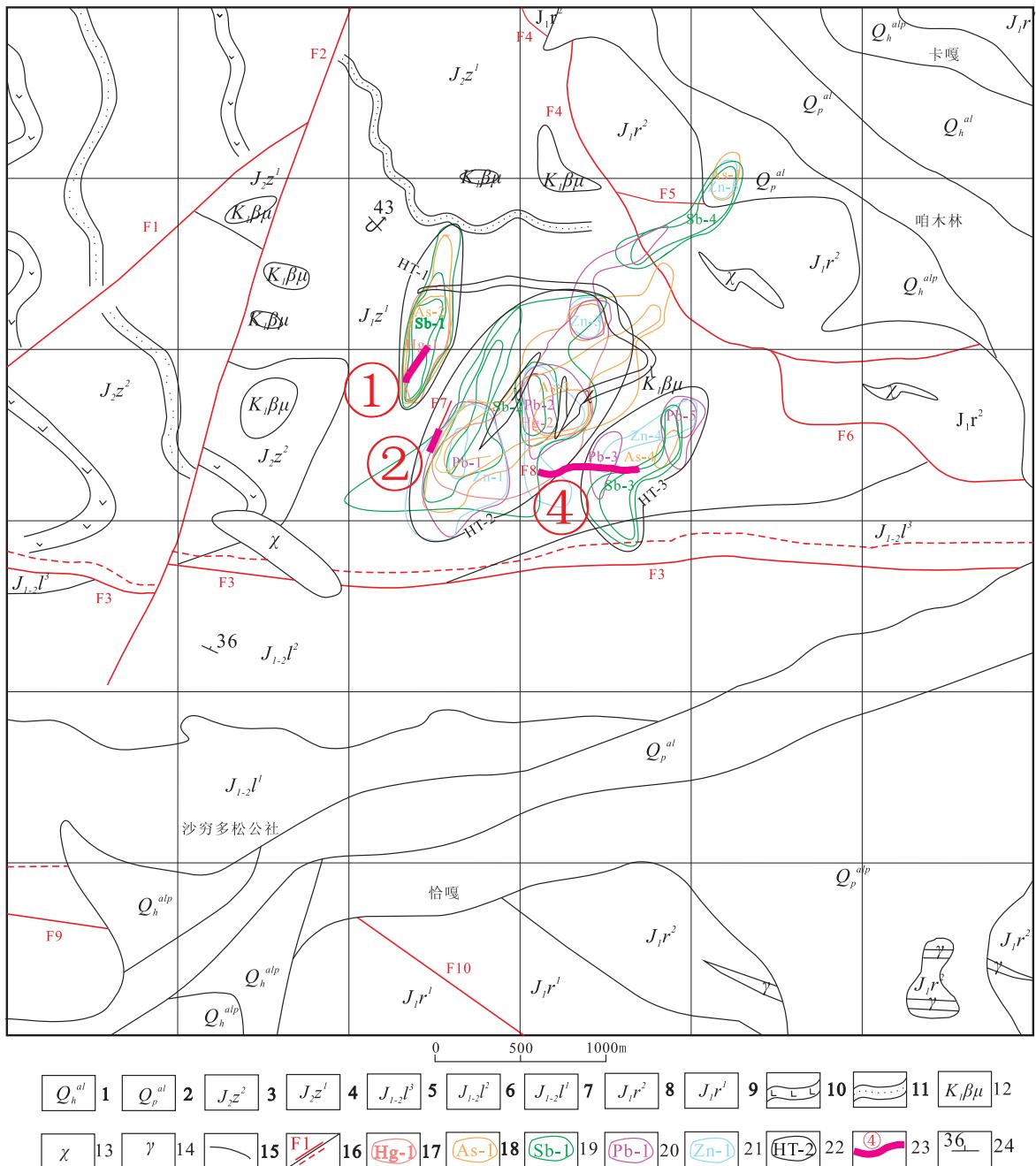
区内控制锑矿化的构造主要为南北向的断裂构造,出露地层主要为侏罗系遮拉组第一段灰-黑色粉砂质泥岩为主,在矿区的近南北向煌斑岩脉中见有辉锑矿细脉,煌斑岩脉为赋矿围岩。

3 矿化带地质特征

通过路线地质调查及工程揭露,区内已发现 2 个矿(化)点,分别为恰嘎锑矿和恰嘎铅锌锑多金属矿点。共揭露到 5 条脉,笔者将重点研究恰嘎铅锌锑多金属矿点中的 4 号脉的地质特征。

4 号脉地表由 D9、D8、D7、D6、TC076、TC077、TC078、TC079 八个工程控制,深部由 ZK4001、ZK4301、ZK4401、ZK4701 四个工程控制(图 3),走向近东西,宽 9~26 m,蚀变带中局部见石英脉,具方铅矿化、辉锑矿化、毒砂矿化、黄铁矿化、褐铁矿化,蚀变带中整体见碳酸盐化、黏土化、硅化。蚀变带受构造作用,岩性整体较破碎。整体产状:330°~55° \angle 28°~56°,延伸长约 300 m。Ag 品位为 1.6×10^{-6} ~ 98×10^{-6} , Pb 品位为 0.044%~5.25%, Zn 品位为 0.026%~1.37%, Sb 品位为 0.084%~2.10%。

4 号矿脉主要受断裂带控制,断裂产于煌斑岩与围岩的接触带附近,矿脉由矿化煌斑岩和断层角砾岩组成;在岩脉节理中充填辉锑矿细脉,厚度 1~20 mm;断层角砾岩中见有斑点状辉锑矿化。



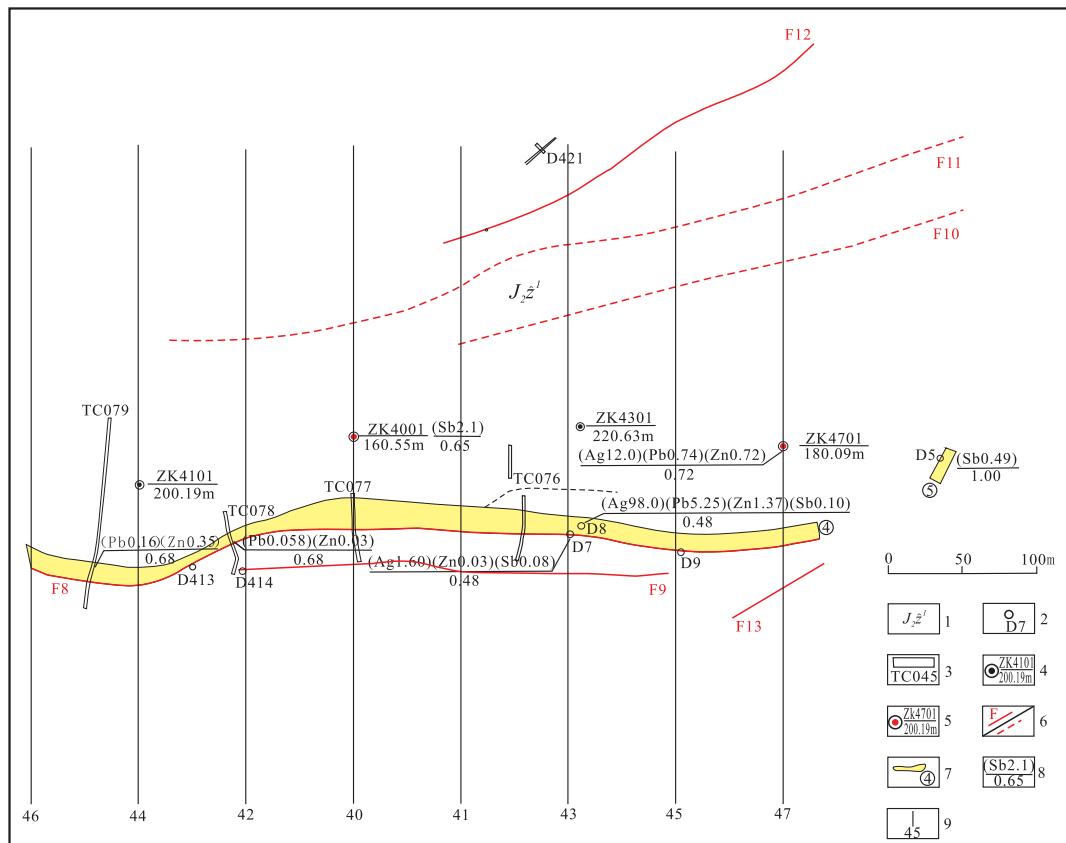
1. 第四系全新统冲积物; 2. 第四系更新统冲积物 3. 中侏罗统遮拉组第二段; 4. 中侏罗统遮拉组第一段; 5. 中下侏罗统陆热组三段; 6. 中下侏罗统陆热组二段; 7. 中下侏罗统陆热组一段; 8. 上侏罗统日当组二段; 9. 上侏罗统日当组一段; 10. 安山质玄武岩; 11. 砂岩条带; 12. 辉绿岩; 13. 烟斑岩; 14. 花岗细晶岩; 15. 地质界线; 16. 实测断层/推断断层; 17. Hg元素异常及编号; 18. As元素异常及编号; 19. Sb元素异常及编号; 20. Pb元素异常及编号; 21. Zn元素异常及编号; 22. 土壤剖面测量组合异常及编号; 23. 矿脉及编号; 24. 产状

图2 恰嘎重点检查区综合地质图

Fig. 2 The geological map of QiaGa stibnite deposit

矿石结构主要为自形、半自形晶结构；矿石构造主要为块状构造、条带状构造。矿石产出部位包括板岩与煌斑岩的内外接触带及煌斑岩内南北向构造

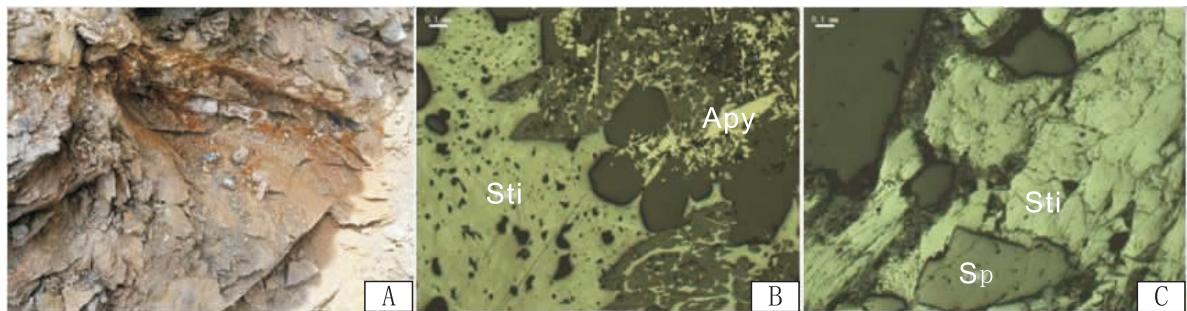
裂隙中。原生矿石的金属矿物主要为辉锑矿，其次为毒砂，具少量的方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、褐铁矿（图4）。



1. 中侏罗统遮拉组一段; 2. 地质点; 3. 探槽及编号; 4. 未见矿钻孔编号及孔深; 5. 见矿钻孔编号及孔深; 6. 断层;
7. 矿脉; 8. (元素)品位/厚度; 9. 勘探线及编号

图 3 恰嘎重点检查区工程平面图

Fig. 3 The engineering plan of the Qiaga stibnite deposit



A. 4号矿化蚀变带 TC077 中辉锑矿露头; B、C. 恰嘎锑矿矿石金属矿物显微特征; Sti. 辉锑矿; Apy. 毒砂; Sp. 闪锌矿

图 4 恰嘎锑矿矿石露头和显微特征图

Fig. 4 The outcrop and microscopic features of the Qiaga stibnite ore

4 原生晕分带特征

用原生晕找矿方法对矿体和成矿元素组合特征、原生晕分带序列等进行分析研究, 可以寻找可能

存在的隐伏矿(化)体。在该研究区前人还没有使用过原生晕找矿方法来找矿。因此, 笔者所述方法对于指导该地区的找矿前景具有重要意义。

4.1 样品的采集与分析方法

本次在对恰嘎钻孔进行详细编录的基础上, 对

4号脉共采集了152件原生晕样品(表1),样品采用“连续拣块法”,每隔5 m左右为一个样品,采样位置记录为每个样品的中点。

测试工作由中国人民武装警察部队黄金第十一支队实验室完成。检测用的主要仪器设备:原子吸收分光光度计、一米光栅、原子荧光分光光度计、

ICP等离子光谱仪、等离子体ICAPQ、X-荧光。检测方法:Au-泡塑富集-石墨炉原子吸收法,Ag、Sn-垂直电极-发射光谱法,As、Hg、Sb-氢化物-无色散原子荧光法,Ba、Co、Cu、Zn-icp全谱直读光谱法,Bi、Mo、Pb、W-icp等离子体质谱法,Mn-X射线荧光光谱法。

表1 恰嘎锑矿4号脉钻孔数据特征及标高统计表

Tab. 1 The drill data features and level statistics of No. 4 vein of the Qiaga stibnite deposit

钻孔号	原生晕 件数(个)	孔深 (m)	海拔 (m)	倾角 (°)	标高所对应的钻孔深度位置(m)				
					4 300	4 280	4 260	4 240	4 220
ZK4401	40	200.19	4 398.351	72.4	102.60	123.48	144.42	165.37	186.37
ZK4001	32	160.55	4 375.802	72.3	76.86	97.79	118.71	139.70	160.38
ZK4301	44	220.63	4 346.102	70.53	47.71	68.46	89.38	110.46	131.51
ZK4701	36	180.09	4 303.970	73.4	1.58	22.36	43.12	63.87	84.62

4.2 数据处理及异常下限

目前,在生产中应用比较广泛的方法是基于正态及对数正态分布的逐步剔除法(迭代法)来求取背景值,经过特高和特低含量剔除的数据被认为主要是背景含量,可以直接用这些数据算出背景值和异常下限(程小昆,2009)。笔者利用对数来替代原始数据,并对其进行统计分析(表2)。

笔者采用逐步剔除正态检验法确定背景值

和异常下限,首先对原始数据取对数,然后按照上述方法依次剔除特高值和特低值,然后对背景范围内的数据,按照对数背景值(X)加上2倍的对数标准离差求得对数异常下限(T),然后求取异常下限的反对数,得出异常下限值(Ca),以2倍、4倍的异常下限为界限分别圈出该矿床原生地球化学异常的中带($2Ca < X_i < 4Ca$)、内带($> 4Ca$)(表3)。

表2 恰嘎锑矿原生晕样品各元素地球化学特征参数表

Tab. 2 Elements chemical Features of the primary dispersion halos of Qiaga stibnite deposit

项目	logAu	logAg	logSb	logPb	logZn	logSn	logAs	logHg	logMo	logCd	logW	logBi	logBa	logCu	logMn
样品种数	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152
均值	0.34	-0.61	0.56	1.51	1.94	0.70	1.87	-0.69	-0.01	-0.63	0.61	-0.38	2.52	1.49	2.94
标准差	0.18	0.32	0.42	0.51	0.32	0.19	0.36	0.34	0.20	0.58	0.34	0.40	0.15	0.43	0.23
方差	0.03	0.10	0.18	0.26	0.10	0.04	0.13	0.12	0.04	0.34	0.11	0.16	0.02	0.18	0.05
偏度	0.15	0.15	-0.07	1.88	1.11	0.82	1.75	0.82	1.68	1.55	0.69	0.07	-0.34	-1.34	-0.38
峰度	-0.07	-0.19	1.41	4.35	4.14	3.35	5.35	1.89	5.58	2.50	-0.11	1.77	0.11	7.03	-0.19
极小值	-0.08	-1.32	-0.76	0.74	1.28	0.18	1.12	-1.29	-0.45	-1.41	0.05	-1.76	1.99	-0.79	2.27
极大值	0.81	0.26	1.90	3.60	3.59	1.59	3.68	0.85	0.96	1.73	1.47	0.76	2.84	2.68	3.41

注:单位:Au为 10^{-9} ,其他元素均为 10^{-6} 。

表3 成晕元素浓度分带参数表(10^{-6})
Tab. 3 Zoning parameters of halo-forming elements(10^{-6})

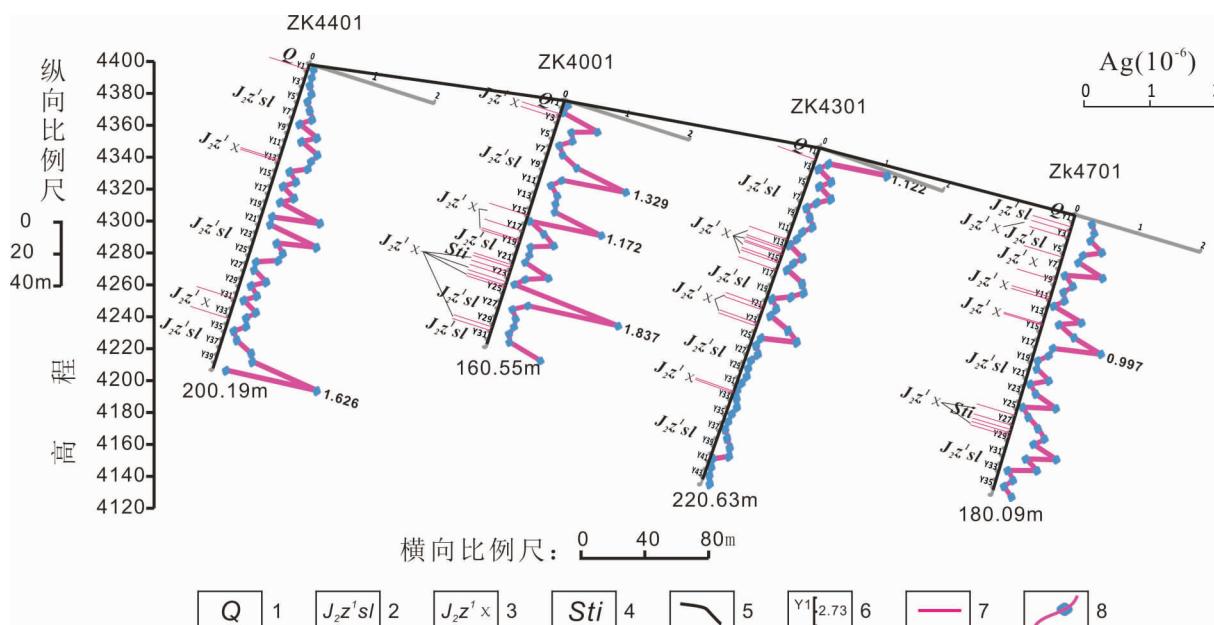
参数	Au	Ag	Sb	Pb	Zn	Sn	As	Hg	Mo	Cd	W	Bi	Ba	Cu	Mn
Ca	5	1	20	100	250	10	200	1	2	1.5	20	2.5	650	200	2 500
2Ca	10	2	40	200	500	20	400	2	4	3	40	5	1 300	400	5 000
4Ca	20	4	80	400	1 000	40	800	4	8	6	80	10	2 600	800	10 000

4.3 矿化带原生晕异常特征

按元素异常所圈出的3个分带,进行了各元素异常圈划,并且绘制了各元素的钻孔原生晕柱状剖面图,主要列出了几种成矿元素的剖面图,通过分析得出如下结论。

Ag元素含量基本低于异常下限,但约在标高4 240 m处均可见其异常高值点,各孔中高值异常均较小,在钻孔ZK4401、ZK4001高值点可达到I级,异常分布整体较分散(图5)。其中,ZK4401底部孔深约192.5 m处出现一个Ag单高值点,异常

值为1.626;ZK4001高值点较分散,主要分布孔深约42.5 m,72.5 m和122.5 m处,其高值均大于1.0,其主要岩性为青灰色粉砂质板岩,石英脉较发育,硅化较强,细粒黄铁矿呈团块状分布;黄褐色煌斑岩为斑状结构,块状构造,斑晶约30%,主要为黑云母、斜长石,基质约70%,主要为斜长石、角闪石等。同样,在ZK4001钻孔底部可见较高Ag异常值,约0.865,可见其在底部可有一定延伸。其他2孔以低值异常为主,其值均小于异常下限值1.0。



1. 第四系;2. 侏罗纪中统遮拉组一段板岩;3. 侏罗纪中统遮拉组一段煌斑岩;4. 辉锑矿脉;5. 地表界线;6. 采样位置及编号;
7. 地层界线;8. 元素含量变化曲线及高值点

图5 ZK4401-ZK470中Ag元素钻孔原生晕剖面平面图

Fig. 5 The drill primary halo profile map of Ag element in ZK4401-ZK470

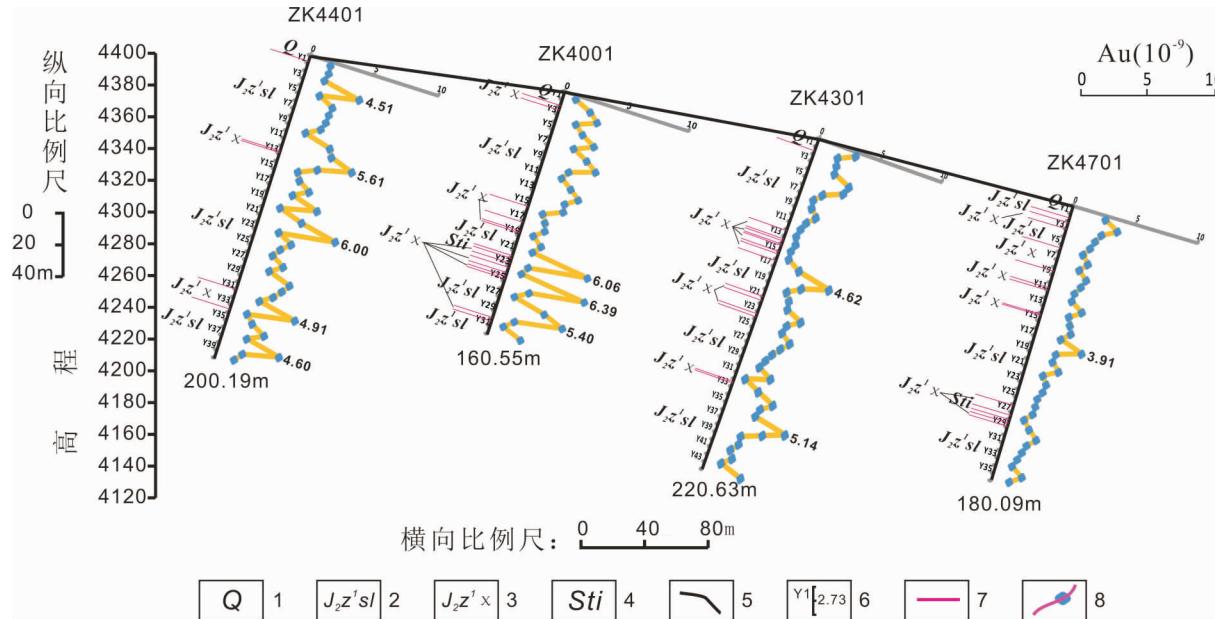
As元素分布较广泛,在钻孔ZK4001、ZK4301、ZK4701中都有异常高值点显示。在ZK4001中,孔深125~135 m处异常值较高,最高值达 1334.84×10^{-6} ,达到Ⅲ异常,岩性主要煌斑岩;在ZK4301中,

孔深100 m和200 m处异常值分别为 329.13×10^{-6} 、 369.83×10^{-6} ,均为Ⅰ异常,其岩性主要为粉砂质板岩;在ZK4701中,异常高值点分布连续且相对集中,主要位于矿化带的上部,部分延伸至地表界

面,部分有被剥蚀的可能,最高值为 4740.74×10^{-6} ,孔深0~50m处,部分高值为 $>800 \times 10^{-6}$,厚度约30m,整体异常值高于 400×10^{-6} ,达到Ⅱ异常,异常平均值为 991.92×10^{-6} ,主要岩性为粉砂质板岩,局部位置有煌斑岩脉。

Au元素异常表现为:钻孔ZK4401、ZK4001异常分布较好,但分布较分散(图6)。主要分布于矿

化带的中部和下部,异常高值点约分布于标高4260~4280m处,反映出一定的层位的带状性。在其他孔中,异常值均较低,均小于异常下限值 5.00×10^{-6} 。从高值异常来看,异常最高值出现在ZK4001中,为 6.39×10^{-6} ,其岩性主要为煌斑岩,硅化较强,其部位可见宽约2m的铅灰色细针状辉锑矿脉。



1. 第四系;2. 侏罗纪中统遮拉组一段板岩;3. 侏罗纪中统遮拉组一段煌斑岩;4. 辉锑矿脉;5. 地表界线;6. 采样位置及编号;
7. 地层界线;8. 元素含量变化曲线及高值点

图6 ZK4401~ZK4701中Au元素钻孔原生晕剖面平面图

Fig. 6 The drill primary halo profile map of Au element in ZK4401~ZK4701

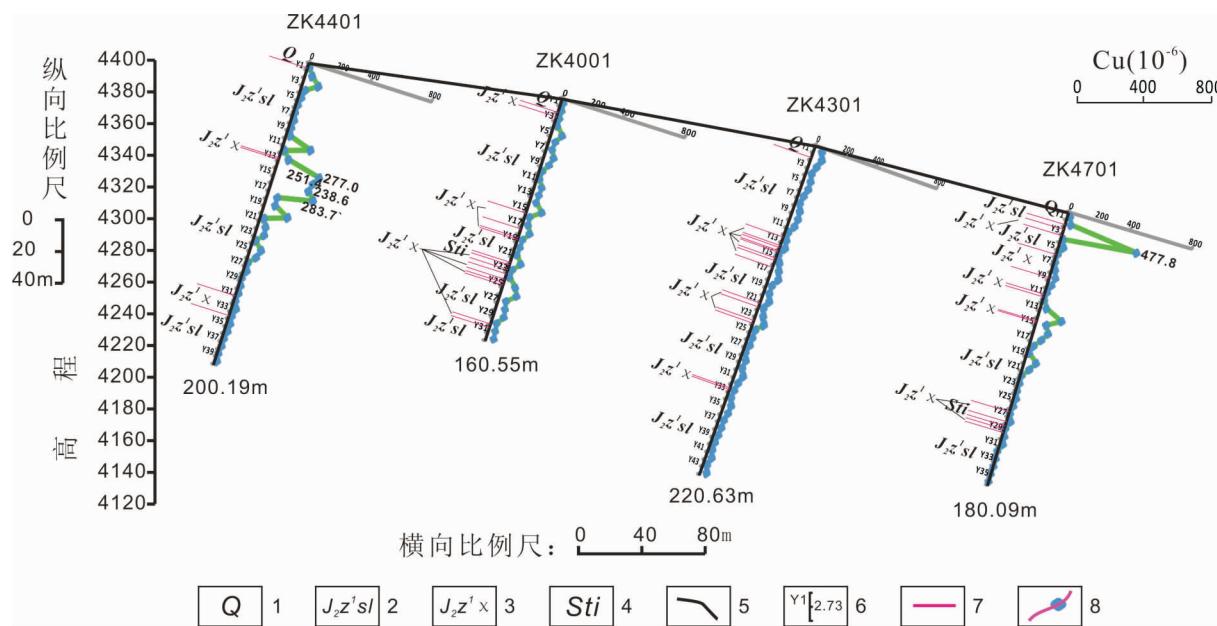
Ba元素异常整体呈现低值异常的特征,呈零散分布,仅在ZK4301钻孔中,孔深140~145m处异常值为 692.3×10^{-6} ,为Ⅰ异常,异常分布范围小,不连续且分散,岩性为粉砂质板岩。其他孔中没有明显异常分布。

Cd元素异常分布在ZK4401和ZK4701中明显,主要分布在矿化带的上部。在ZK4401中,高值异常分布明显,高值点异常呈连续且集中分布,最高值为 23.02×10^{-6} ,异常平均值为 4.48×10^{-6} 。位于孔深0~85m处,厚度约85m,岩性主要为粉砂质板岩,局部位置见有煌斑岩脉,与ZK4701相同,异常延伸至地表界面,部分有被剥蚀的可能;在ZK4701中,最高值为 53.11×10^{-6} ,异常连续且集中,孔深0~25m处,异常平均值为 13.94×10^{-6} ,大部达到Ⅱ甚至Ⅲ异常,主要岩性为粉砂质板岩夹

煌斑岩脉。在其他钻孔中,均没有明显的异常。

Cu元素异常在ZK4401和ZK4701中,高值异常主要分布在矿体的中、上部(图7)。最高值出现在ZK4701中,最高值为 477.8×10^{-6} ,达到Ⅱ异常,岩性主要为煌斑岩。在ZK4401中,元素异常分布连续且较集中,孔深60~85m,厚度约25m左右,主要岩性为粉砂质板岩。在其他孔中,异常均较低,均低于异常下限 200×10^{-6} 。

Hg异常表现为:除了ZK4401外,均有异常分布。高值异常在ZK4001、ZK4301和ZK4701中,主要分布在矿化带的中、上部,异常部位一般处于粉砂质板岩与煌斑岩的接触处,在ZK4001中,异常高值分布较为分散,其异常值处于异常下限 1.00×10^{-6} 附近;在ZK4301中,异常高值分布较连续且集中,孔深95~110m;在ZK4701中,最高值为 7.007×10^{-6} ,



1. 第四系;2. 侏罗纪中统遮拉组一段板岩;3. 侏罗纪中统遮拉组一段煌斑岩;4. 辉锑矿脉;5. 地表界线;6. 采样位置及编号;
7. 地层界线;8. 元素含量变化曲线及高值点

图 7 ZK4401—ZK4701 中 Cu 元素钻孔原生晕剖面平面图

Fig. 7 The drill primary halo profile map of Cu element in ZK4401—ZK4701

异常厚度可达 15 m 左右。

Mn 元素异常总体体现低值异常的特点。最高点出现在 ZK4701 中, 为 2546×10^{-6} , 其余有几个较低的异常点, 但其值均低于异常下限为 2500×10^{-6} , 不连续且分散; 在 ZK4001 中, 孔深 20~50 m, 异常平均值为 1923×10^{-6} , 低于异常下限。其他孔中的也没有明显的异常。

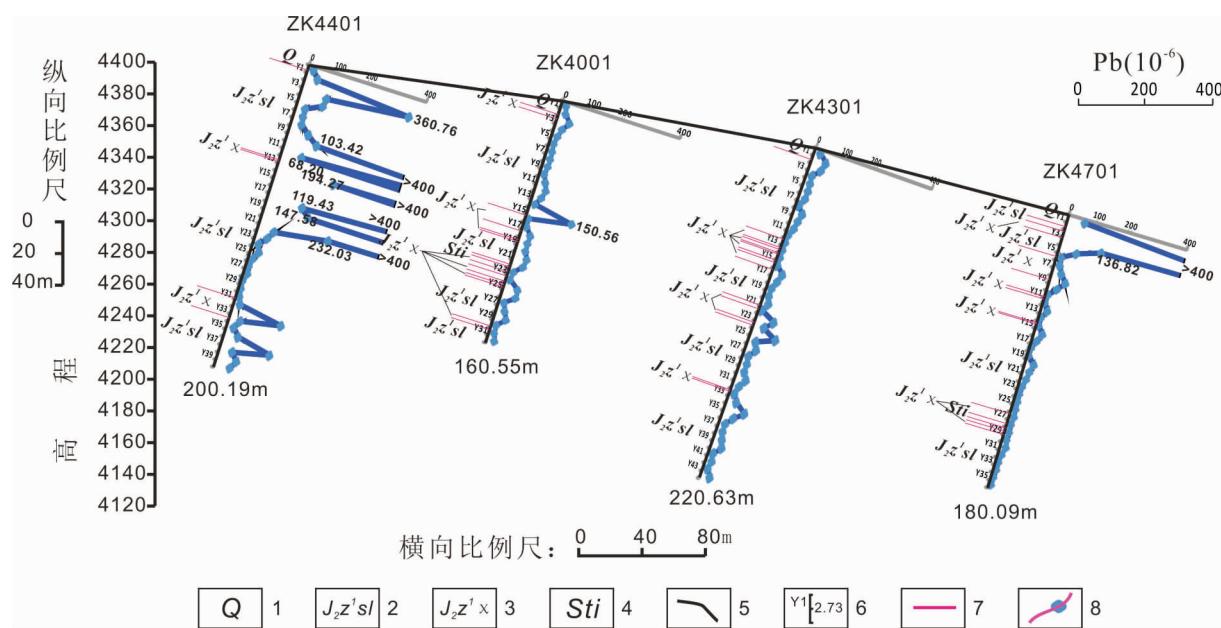
Mo 元素异常主要分布在 ZK4401 和 ZK4701 中, 高值异常主要分布在矿体的中、下部。在 ZK4401 中, 最高值异常为 9.07×10^{-6} , 达到Ⅲ异常, 异常分布连续, 其他高值点也达到Ⅱ异常, 孔深 105~125 m, 岩性主要为粉砂质板岩; 在 ZK4001 中, 高值异常主要分布在矿化带下部, 且有向下延伸的趋势, 高值异常为 4.87×10^{-6} , 达到Ⅱ异常, 主要岩性为粉砂质板岩。在其他孔中, 除 ZK4701 孔深 42.5 m 处异常值为 3.07×10^{-6} 外, 异常值均较低。

Pb 元素在 ZK4401 中异常分布连续且集中, 主要分布在矿体中、上部(图 8)。在矿体中部元素分布范围连续且集中, 孔深 45~105 m 处高值 $>400 \times 10^{-6}$, 厚度约 60 m, 主要岩性为粉砂质板岩, 局部见煌斑岩脉, 靠近地表孔深 10~15 m 处, 其值为 360.78×10^{-6} , 达到Ⅱ异常; ZK4701 靠近地表异常

分布连续, 孔深 0~25 m 处高值 $>400 \times 10^{-6}$, 厚度约 25 m, 部分异常延伸到地层界面, 部分有被剥蚀的可能。其他孔中, ZK4001 孔深 70~75 m 处元素异常值为 150.56×10^{-6} 外, 异常值均较低, 均低于异常下限 100×10^{-6} 。

Sb 元素主要分布在 ZK4401、ZK4001、ZK4701 中, 元素异常有明显的高值点(图 9)。高值异常点主要分布在煌斑岩与粉砂质板岩的接触部位, 高值异常出现在 ZK4001 中, 最高值为 80.19×10^{-6} , 达到Ⅲ异常, 孔深 108.55~110.35 m 处, 厚度约 2.8 m, 岩性为铅灰色细针状辉锑矿化。异常分布在 ZK4401 和 ZK4701 中, 分布较分散, 厚度约 10 m, 岩性主要为煌斑岩, 但在 ZK4701 孔深 138.44~139.83 m 处岩性为细针状辉锑矿。ZK4301 中几乎没有明显的异常。

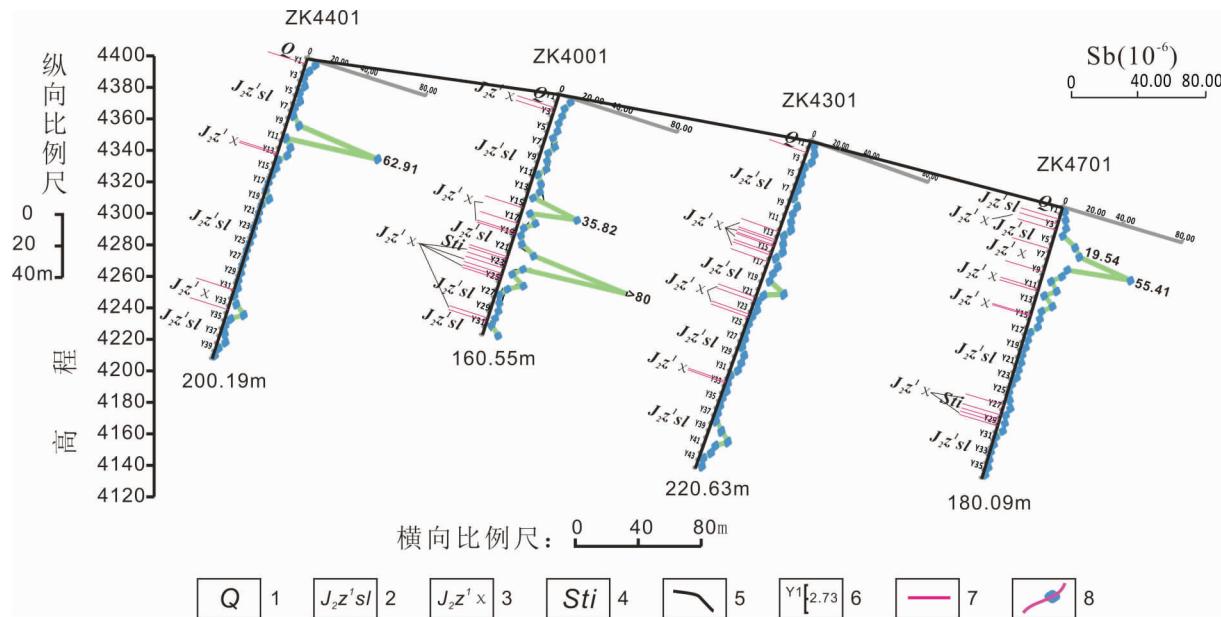
Sn 元素高值异常主要分布在矿化带的上、中部。在 ZK4001 中, 高值异常分布明显, 高值点异常呈零星分布, 且分布相对分散, 最高值为 38.8×10^{-6} , 主要岩性为煌斑岩; 在 ZK4701 中, 孔深 105~120 m, 元素异常平均值为 10.5×10^{-6} , 达到Ⅰ异常, 岩性主要为粉砂质板岩。其他孔中元素均没有明显的异常。



1. 第四系; 2. 侏罗纪中统遮拉组一段板岩; 3. 侏罗纪中统遮拉组一段煌斑岩; 4. 辉锑矿脉; 5. 地表界线; 6. 采样位置及编号;
7. 地层界线; 8. 元素含量变化曲线及高值点

图8 ZK4401 - ZK4701 中 Pb 元素钻孔原生晕剖面平面图

Fig. 8 The drill primary halo profile map of Pb element in ZK4401 - ZK4701



1. 第四系; 2. 侏罗纪中统遮拉组一段板岩; 3. 侏罗纪中统遮拉组一段煌斑岩; 4. 辉锑矿脉; 5. 地表界线; 6. 采样位置及编号;
7. 地层界线; 8. 元素含量变化曲线及高值点

图9 ZK4401 - ZK4701 中 Sb 元素钻孔原生晕剖面平面图

Fig. 9 The drill primary halo profile map of Sb element in ZK4401 - ZK4701

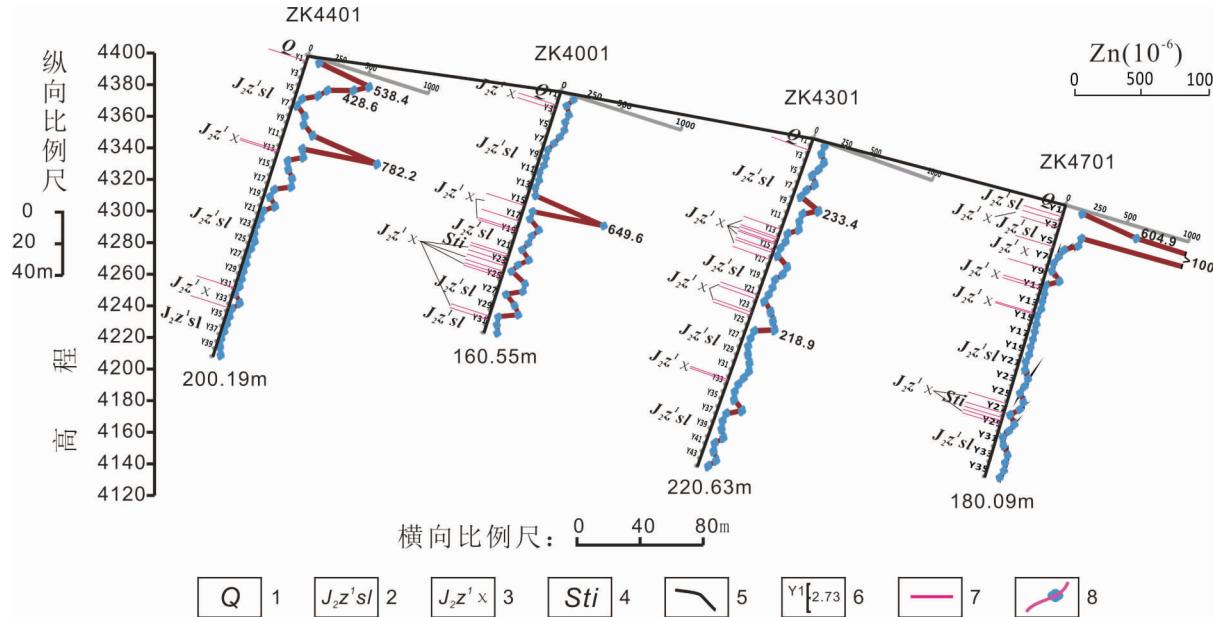
W元素从总体上看,分布较广,在各个钻孔中均有异常分布。在ZK4001和ZK4701中高值异常分布相对集中且连续,ZK4001中,连续厚度达

30 m,岩性主要为粉砂质板岩和煌斑岩;ZK4701中,连续厚度约70 m,且有向下延伸的趋势,岩性主要为粉砂质板岩。在ZK4401和ZK4301孔深65~

75 m 处有异常高值点, 分别为 24.98×10^{-6} 、 25.92×10^{-6} , 均达到 I 异常, 岩性主要为煌斑岩。

Zn 元素在钻孔 ZK4401、ZK4001、ZK4701 中均有高值分布, 且异常值较高(图 10)。主要分布于矿体的上部, 同时, 在 ZK4001 和 ZK4701 靠近地表处, 其值均大于 500×10^{-6} , 达到 II 及以上, 高值异常分布相对集中且连续, 连续厚度约 20 m, 部分异

常延伸到地层界面, 部分有被剥蚀的可能, 岩性主要为粉砂质板岩, 尤其 ZK4701 其孔深 10~15 m 处, 异常值高达 3847×10^{-6} 。从其他高值点来看, ZK4401 在孔深 15~20 m 处异常值为 782.2×10^{-6} , ZK4001 在孔深 70~75 m 处异常值为 649.6×10^{-6} , 均达到 II 异常水平, 其主要岩性为粉砂质板岩与煌斑岩的接触部位。ZK4301 异常值均较低。



1. 第四系; 2. 侏罗纪中统遮拉组一段板岩; 3. 侏罗纪中统遮拉组一段煌斑岩; 4. 辉锑矿脉; 5. 地表界线; 6. 采样位置及编号; 7. 地层界线; 8. 元素含量变化曲线及高值点

图 10 ZK4401-ZK4701 中 Zn 元素钻孔原生晕剖面平面图

Fig. 10 The drill primary halo profile map of Zn element in ZK4401-ZK4701

通过以上分析, 可以得出: Ag、Au、Zn、Pb、As 高值异常分布连续且集中, Pb、Zn 高值异常主要分布于矿体中、上部; Au、Ag、As 高值异常主要分布在矿体中下部, 且有向下富集的趋势。Sb、Cu、Hg、Cd 元素异常局部集中分布, 高值异常主要分布在矿体中、上部。W、Sn、Bi、Mo 整体异常零散分布, 且分布较分散, 有少数几个高值点异常, W、Mo 高值异常分布在矿体中下部, Sn、Bi 高值异常分布在矿体中上部。Ba、Mn 元素异常整体较低, 在各孔中均没有明显的异常分布。ZK4401、ZK4001、ZK4701 中除 Ba、Mn 外, 其他各元素高值异常分布均较大, 连续且集中分布。

4.4 矿化带原生晕轴向分带

轴向分带的计算方法有很多种, 分带指数法和浓集中心法就是比较常用的方法。其中, 分带指数

法把元素线金属量总和起来, 降低原始资料的偶然误差; 浓集中心法借鉴分带指数法的基本程式, 计算各元素的浓度中心。该方法结果与分带指数法完全一致, 且不需要标准化, 更为简单明了, 笔者用 2 种方法对数据进行了分析。

4.4.1 轴向分带序列计算方法

(1) 分带指数法: C. B. Grigorian 格里戈良分带指数法以元素异常的线金属量值为基础, 首先将所有元素的最大值处于同一数量级内, 即进行线金属量的标准化; 然后把同一标高上的所有元素的线金属量值(标准化后)加起来, 并用它来除各元素的值, 就得到分带指数, 每一元素的分带指数最大值所在的标高, 即为该元素在分带序列中的位置。由此可大致的确定轴(垂)向分带的初步序列。当同一标高上可能存在多个元素的分带指数最大值时, 各元素

在分带序列中更确切的位置由变异性指数(G)及变异性指数的梯度差(ΔG)来确定(A. A. BEUS, 1975)。

(2)浓集中心法:浓集中心法以同一元素的各截面线金属量为基础,首先计算单元素的线金属量的和,然后计算出各元素在各中段的富集系数(K_i)。每一元素的富集系数最大值所在的标高,即为该元素在分带序列中的位置。由此可大致的确定轴(垂)向分带的初步序列。当同一中段上可能存在多个元素的富集系数最大值时,各元素在分带序列中更确切的位置由浓集系数变异性指数(H)及浓集系数变异差(ΔH)来确定。

4.4.2 轴向分带序列的确定

垂直分带序列的确定以各元素大于异常下限的数据为研究目标,求出异常范围内的平均值,再通过异常元素平均值与背景值之差乘以相应的异常宽度,再乘以矿体与倾向间的夹角来求取异常元素线金属量(表4),再对成晕元素线金属量进行标准化。得到异常元素标准化线金属量(表5)。利用上述公式对标准化线金属量进行计算,分别求出分带指数和浓集系数(表6,表7)。

根据元素分带指数最大值所在中段位置和浓集系数最大值所在中段位置自上而下将所研究元素按顺序排列。对分带指数在同一中段出现多个分带指数最大值,根据变异性指数(G)和变异性梯度差(ΔG)来计算,得出元素序列的准确位置, ΔG 越大的元素,反映该元素向下积聚的趋势越大,则应越排在前面;根据浓集系数变异性指数(H)和浓集系数变异差(ΔH)原理,对在同一截面的矿床指示元素的先后顺序进行确切排序, ΔH 越大的元素,反映该元素向下聚集的趋势越大,则应越排在后面。由此,最终得出轴向分带的确切序列(由浅至深)(表8)。

4.4.3 原生晕分带序列的解释

由研究区矿体特征可知:矿体上部以铅锌为主,中部以锑为主,下部以金银铜为主;矿石中主要金属矿物为辉锑矿,其次为毒砂,具少量的方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、褐铁矿等。通过对表8数据的研究对比,发现分带指数法和浓集中心法2种方法得出的垂直分带序列(由上到下)分布大体一致;但分带序列在不同的钻孔中表现不同,其中ZK4401、ZK4301和ZK4701分带序列较接近,整体上符合矿区矿体整体分布特征,且在矿区地表见铅锌矿露头,钻孔中

铅锌矿化有强烈显示,表明铅锌矿体遭受剥蚀的可能性大,而钻孔ZK4301中部见一层辉锑矿均符合整体规律。综合上述,3个钻孔的分带序列(前缘元素为Cd、Hg、As;近矿元素为3类:上部为Pb、Zn,中部为Sb,下部为Cu、Au、Ag;尾晕元素为Mn、Bi、Mo、W、Sn)作为正常分带序列,分析得出该区的垂直分带序列由浅至深为:Pb—Zn—Mn—Bi—Mo—W—Sn—Cd—Hg—As—Sb—Cu—Au—Ag—Ba。在ZK4301中,近矿元素Pb、Zn位于分带序列的下部,预示着深部矿体有尖灭再现特征的可能。另外,在上述钻孔中,Hg元素均位于序列的中部,指示了矿体中部出现了前晕和尾晕叠加,结合矿体有尖灭再现的特征,预示了深部存在盲矿体的可能性比较大;尾晕元素Cu和Mo均位于分带序列的中上部,表明矿体遭受剥蚀的可能性大或者指示深部有盲矿体存在;As和Sb元素位于分带序列的中下部,表明这种现象可能与热液构造活动有关。总体来说,根据该原生晕分带序列,矿体很大可能向深部继续延伸或盲矿体存在,该矿床为热液型矿床。

5 矿化带深部预测

从20世纪90年代起至今,李惠在深部成矿预测方面的研究成果丰硕,国内对矿床原生晕的研究大多体现在对金矿床的隐伏矿预测方面,并在实际找矿应用中取得显著成果(李惠,2006)。但在其他矿种的矿床中仅见零星报道,应用到铅锌矿床方面的研究也远没有金矿床那么普及(陈云华,2005)。根据李惠总结出的应用叠加晕找盲矿的五大准则:前缘晕强、尾晕弱法则、反分带法则、反转法则、前缘晕、尾晕共存法则、前缘晕轴向下部异常强度增强趋势法则,均可预测深部有盲矿体存在(或原有矿体有向下延伸的可能)。

矿体原生晕深部定量评价是依据前缘元素组合累乘积与尾部元素组合累乘积比,比值的大小表示矿上晕元素相对于矿下晕元素的发育程度,比值越大反映出矿体头部晕特征越明显,深部矿体存在的可能性越大;反之,则反映出矿体尾部晕特征发育,深部存在矿体的可能性越小(孙华山,2008)。从矿体前缘至尾部,在比值的变化曲线中,若出现连续上升或下降,突然反转,这种现象预示着矿体向下延伸很大或深部有盲矿体(晁会霞,2005),同时该比值对

表 4 恰嘎锦矿成矿元素线金属量表($10^{-6} \times m$)
 Fig. 4 The halo-forming elements of linear metal quantity contrast of Qiaoga stibnite deposit($10^{-6} \times m$)

钻孔	中段	孔深(m)	Au	Ag	Sb	Pb	Zn	Sn	As	Hg	Mo	Cd	W	Bi	Ba	Cu	Mn	Σ 分带指 数法)
I	102.60~123.48	80.85*	13.10*	—	21 693.15*	—	104.65	567.08	6.39*	107.07*	7.79	55.95*	16.09*	17 064.50*	1 726.90*	12 741.00*	54 184.54	
II	123.48~144.42	52.20	4.30	—	—	—	94.15	694.71	3.04	12.93	—	22.50	7.61	8 005.50	264.30	4 264.00	13 425.23	
ZK4401	III	144.42~165.37	65.15	5.46	21.77	845.37	—	131.30*	1 768.91	4.99	—	10.15	54.82	8.45	2 349.50	—	3 814.50	9 080.37
W	165.37~186.37	57.60	8.57	113.97*	1 466.73	—	125.75	2 171.78*	4.67	—	10.86*	14.32	—	12 767.30	—	—	16 741.75	
Σ (浓集中心法)		255.80	31.43	135.75	24 005.26	—	455.85	5 202.48	19.09	120.00	28.80	147.59	32.15	40 187.00	1 991.20	20 819.50	—	
I	76.86~97.79	18.95	4.68	77.82	508.04	1 500.00	87.15	1 138.39	3.49	10.05	3.30	—	—	—	323.55	18 765.00	22 440.42	
II	97.79~118.71	37.50	5.94	576.00*	446.69	836.00	90.95	4 038.00*	8.94*	16.49	2.64	159.19*	2.61	—	348.60	27 294.00*	33 863.54	
ZK4001	III	118.71~139.70	61.40*	13.97*	133.43	638.27*	2 792.50*	137.70*	2 175.52	8.23	8.21	3.89*	24.70	7.19*	—	1483.60*	23 045.00	30 533.61
W	139.70~160.38	48.75	8.99	118.67	208.42	1 094.50	107.85	1 508.15	6.22	24.35*	2.31	82.62	3.21	2 640.00*	1 001.50	26 440.00	33 295.54	
Σ (浓集中心法)		166.60	33.57	905.92	1 801.41	6 223.00	423.65	8 860.06	26.89	59.10	12.14	266.52	13.01	2 640.00	3 157.25	95 544.00	—	
I	47.71~68.46	9.10	5.15	130.71*	—	674.00	118.60	1 922.84	6.56	7.08	2.78	202.48*	—	—	666.95*	37 585.00*	41 401.25	
II	68.46~89.38	32.95	6.69	114.72	178.76	1 396.50	119.10	1 553.27	7.88	7.79	1.76	179.01	2.59*	—	540.95	26 024.00	30 165.96	
ZK4301	III	89.38~110.46	41.55	3.98	129.67	—	—	113.30	2 818.96*	17.69*	—	1.45	151.27	—	—	631.20	18 360.00	22 269.07
W	110.46~131.51	69.85*	7.73*	18.13	1 098.74*	2 710.00*	160.60*	792.18	5.32	14.51*	5.35*	49.39	—	2 381.50*	592.40	4 908.50	12 814.19	
Σ (浓集中心法)		153.45	23.54	393.24	1 277.50	4 780.50	511.60	7 157.25	37.45	29.38	11.33	582.15	2.59	2 381.50	2 431.50	86 877.50	—	
I	1.58~22.36	76.10*	9.43	155.00	13 364.61*	24 900.50*	114.50*	11 434.14	11.26	—	348.48*	126.63	21.15	2 634.50	2 577.80*	13 415.00	69 183.09	
II	22.36~43.12	43.90	6.84	509.27*	434.33	—	38.65	33 202.12*	43.43*	21.60*	6.82	69.31	41.56*	2 235.50	200.30	19 095.50*	55 999.13	
ZK4701	III	43.12~63.87	47.50	5.36	176.79	165.90	—	92.25	1 814.36	8.66	8.05	6.30	85.30	25.45	2 251.00	202.80	10 126.50	15 016.23
W	63.87~84.62	46.60	10.22*	113.08	148.85	—	111.55	1 923.46	8.44	7.48	3.19	132.23*	36.30	2 722.50*	1 909.35	16 343.50	23 516.75	
Σ (浓集中心法)		208.10	31.84	954.14	14 113.70	24 900.50	406.95	48 374.07	71.78	37.14	364.80	413.47	124.46	9 843.50	4 890.25	58 980.50	—	

注: * 为最大值; — 为未达到异常下限值(下表同理)。

表5 恰嘎锑矿成矿元素标准化线金属量表($10^{-6} \times m$)
Fig.5 The halo-forming elements of standardized linear metal quantity contrast of Qiaga stibnite deposit($10^{-6} \times m$)

钻孔	中段	孔深(m)	Σ (浓集中心法)												Σ 分带指 数法)			
			Au	Ag	Sb	Pb	Zn	Sn	As	Hg	Mo	Cd	W	Bi	Ba	Cu	Mn	
		标准化系数	1 000	1 000	100	100	—	100	10 000	10 000	1 000,00	1 000,00	1	10	1	—		
I	102.60~123.48	80 850	13 100	—	21 633.15	—	10 465	5 670.84	63 900	10 707.00	7 790.28	55 950.00	16 090.00	17 064.5	17 269	12 741	333,290.77	
ZK4401	II	123.48~144.42	52 200	4 300	—	—	9 415	6 947.06	30 375	1 292.60	—	22 502.57	7 613.43	8 005.5	2 643	4 264	149,558.15	
ZK4401	III	144.42~165.37	65 150	5 455	2 177.45	845.37	—	13 130	17 689.14	49 910	—	10 151.46	54 817.00	8 446.72	2 349.5	—	3 814.5	233,936.14
ZK4401	IV	165.37~186.37	57 600	8 565	11 397	1 466.73	—	12 575	21 717.80	46 710	—	10 850.00	14 317.78	—	12 767.5	—	—	197,976.81
Σ (浓集中心法)			255 800	31 425	13 574.75	24 005.26	—	45 585	52 024.82	190 935	12 000.09	28 801.71	14 759.82	32 149.66	40 187	19 912	20 819.5	914,810.60
		标准化系数	1 000	1 000	100	100	10	100	10 000	10 000	1 000,00	10 000,00	100,00	10 000,00	10	10	1	—
I	76.86~97.79	18 950	4 675	7 782.35	50 804.09	15 000	8 715	11 383.95	34 930	10 046.87	32 968.82	—	—	—	—	3 235.5	18 765	217,256.57
ZK4001	II	97.79~118.71	37 500	5 935	57 600	44 668.82	8 360	9 095	40 380.00	89 400	16 492.92	26 353.13	15 919.00	26 114.82	—	3 486	27 294	408,598.70
ZK4001	III	118.71~139.70	61 400	13 970	13 343.3	63 827.00	27 925	13 770	21 755.16	82 345	8 211.66	38 900.00	2 469.98	71 900.00	—	14 836	23 045	457,698.10
ZK4001	IV	139.70~160.38	48 750	8 990	11 866.55	20 841.73	10 945	10 785	15 081.51	62 210	24 350.00	23 131.49	8 262.45	32 075.20	26 400	10 015	26 440	340,143.92
Σ (浓集中心法)			166 600	33 570	90 592.3	180 141.32	62 230	42 365	88 600.58	268 880	59 099.66	121 385.53	26 651.80	130 076.64	26 400	31 572.5	95 544	1,423,709.32
		标准化系数	1 000	10 000	100	10	100	100	10 000	1 000	1 000,00	10 000,00	100,00	10 000,00	10	100	1	—
I	47.71~68.46	9 100	51 450	13 071	—	6 740	11 860	19 928.43	6 559.65	7 082.50	27 809.43	20 248.00	—	—	—	66 695	37 585	278,129.02
ZK4301	II	68.46~89.38	32 950	66 900	11 472	1 787.61	13 965	11 910	15 532.68	7 879.95	7 785.64	17 592.56	17 901.02	25 900.00	—	54 095	26 024	311,695.46
ZK4301	III	89.38~110.46	41 550	39 750	12 967.35	—	—	11 330	28 189.60	17 690	—	14 466.66	15 127.47	—	—	63 120	18 360	262,551.07
ZK4301	IV	110.46~131.51	69 850	77 300	1 813.25	10 987.40	27 100	16 060	7 921.76	5 319.45	14 510.00	53 500.00	4 939.00	—	23 815	59 240	4 908.5	377,264.36
Σ (浓集中心法)			153 450	235 350	39 323.8	12 774.98	47 805	51 160	71 572.47	37 453.95	29 380.38	113 322.13	58 215.46	25 859.90	23 815	243 150	86 877.5	1,229,510.56
		标准化系数	1 000	1 000	100	1	100	1 000	1 000	1 000,00	1 000,00	100,00	1 000,00	10	10	1	—	
ZK4701	II	22.36~43.12	43 900	6 835	50 927	434.33	—	8 865	33 202.12	43 430	21 600.00	682.29	12 662.88	21 153.93	26 345	25 778	13 415	301,634.56
ZK4701	III	43.12~63.87	47 500	5 360	17 679.35	165.90	—	9 225	1 814.36	8 657.5	8 052.97	630.21	8 530.47	25 445.78	22 510	2 028	10 126.5	167,726.04
ZK4701	IV	63.87~84.62	46 600	10 220	11 307.55	148.85	—	11 155	1 923.46	8 437.5	7 481.70	319.40	13 223.00	36 296.32	27 225	19 093.5	16 343.5	209,774.78
Σ (浓集中心法)			208 100	31 840	95 413.5	14 113.70	24 900.5	40 695	48 374.07	71 781.5	37 138.14	36 479.68	124 455.67	98 435	48 902.5	58 980.5	980,957.15	

表 6 恰嘎锑矿成矿元素分带指数表

Tab. 6 Zoning indexes of primary halos of Qiaga stibnite deposit

钻孔	中段	Au	Ag	Sb	Pb	Zn	Sn	As	Hg	Mo	Cd	W	Bi	Ba	Cu	Mn
ZK4401	I	0.242 6	0.039 3	—	0.065 1 *	—	0.031 4	0.017 0	0.191 7	0.032 1 *	0.023 4	0.167 9	0.048 3	0.051 2	0.051 8 *	0.038 2 *
	II	0.349 0 *	0.028 8	—	—	—	0.063 0	0.046 5	0.203 1	0.008 6	—	0.150 5	0.050 9 *	0.053 5	0.017 7	0.028 5
	III	0.278 5	0.023 3	0.009 3	0.003 6	—	0.056 1	0.075 6	0.213 3	—	0.043 4	0.234 3 *	0.036 1	0.010 0	—	0.016 3
	IV	0.290 9	0.043 3 *	0.057 6 *	0.007 4	—	0.063 5 *	0.109 7 *	0.235 9 *	—	0.054 85 *	0.072 3	—	0.064 5 *	—	—
ZK4001	I	0.087 2	0.021 5	0.035 8	0.233 8 *	0.069 0 *	0.040 1 *	0.052 4	0.160 8	0.046 2	0.151 8 *	—	—	—	0.014 9	0.086 4 *
	II	0.091 8	0.014 5	0.141 0 *	0.109 3	0.020 5	0.022 3	0.098 8 *	0.218 8 *	0.040 4	0.064 5	0.039 0 *	0.063 9	—	0.008 5	0.066 8
	III	0.134 1	0.030 5 *	0.029 2	0.139 5	0.061 0	0.030 1	0.047 5	0.179 9	0.017 9	0.085 0	0.005 4	0.157 1 *	—	0.032 4 *	0.050 3
	IV	0.143 3 *	0.026 4	0.034 9	0.061 3	0.032 2	0.031 7	0.044 3	0.182 9	0.071 6 *	0.068 0	0.024 3	0.094 3	0.077 6 *	0.029 4	0.077 7
ZK4301	I	0.032 7	0.185 0	0.047 0	—	0.024 2	0.042 6	0.071 7	0.023 6	0.025 5	0.100 0	0.072 8 *	—	—	0.239 8	0.135 1 *
	II	0.105 7	0.214 6 *	0.036 8	0.005 7	0.044 8	0.038 2	0.049 8	0.025 3	0.025 0	0.056 4	0.057 4	0.083 1 *	—	0.173 6	0.083 5
	III	0.158 3	0.151 4	0.049 4 *	—	—	0.043 2 *	0.107 4 *	0.067 4 *	—	0.055 1	0.057 6	—	—	0.240 4 *	0.069 9
	IV	0.185 1 *	0.204 9	0.004 8	0.029 1 *	0.071 8 *	0.042 6	0.021 0	0.014 1	0.038 5 *	0.141 8 *	0.013 1	—	0.063 1 *	0.157 0	0.013 0
ZK4701	I	0.232 4	0.031 2	0.051 4	0.044 3 *	0.082 6 *	0.038 0	0.037 9	0.037 3	—	0.115 5 *	0.042 0	0.070 1	0.087 3	0.085 5	0.044 5
	II	0.145 5	0.022 6	0.168 7 *	0.001 4	—	0.029 4	0.110 0 *	0.143 9 *	0.071 6 *	0.002 3	0.023 0	0.137 7	0.074 1	0.006 6	0.063 3
	III	0.283 2 *	0.032 0	0.105 4	0.001 0	—	0.055 0 *	0.010 8	0.051 6	0.048 0	0.003 8	0.050 9	0.151 7	0.134 2 *	0.012 1	0.060 4
	IV	0.222 1	0.048 7 *	0.053 9	0.000 7	—	0.053 2	0.009 2	0.040 2	0.035 7	0.001 5	0.063 0 *	0.173 0 *	0.129 8	0.091 0 *	0.077 9 *

表7 恰嘎锑矿成矿元素浓集系数表
Tab. 7 Enrichment factor of halo-forming elements of Qiaga stibnite deposit

钻孔	中段	Au	Ag	Sb	Pb	Zn	Sn	As	Hg	Mo	Cd	W	Bi	Ba	Cu	Mn
		线金属量(M)														
ZK4401	I	0.32*	0.42*	—	0.90*	—	0.23	0.11	0.33*	0.89*	0.27	0.38*	0.50*	0.42*	0.87*	0.61*
	II	0.20	0.14	—	—	—	0.21	0.13	0.16	0.11	—	0.15	0.24	0.20	0.13	0.20
	III	0.25	0.17	0.16	0.04	—	0.29*	0.34	0.26	—	0.35	0.37	0.26	0.06	—	0.18
	IV	0.23	0.27	0.84*	0.06	—	0.28	0.42*	0.24	—	0.38*	0.10	—	0.32	—	—
ZK4001	I	0.11	0.14	0.09	0.28	0.24	0.21	0.13	0.13	0.17	0.27	—	—	—	0.10	0.20
	II	0.23	0.18	0.64*	0.25	0.13	0.21	0.46*	0.33*	0.28	0.22	0.60*	0.20	—	0.11	0.29*
	III	0.37*	0.42*	0.15	0.35*	0.45*	0.33*	0.25	0.31	0.14	0.32*	0.09	0.55*	—	0.47*	0.24
	IV	0.29	0.27	0.13	0.12	0.18	0.25	0.17	0.23	0.41*	0.19	0.31	0.25	1.00*	0.32	0.28
ZK4301	I	0.06	0.22	0.33*	—	0.14	0.23	0.28	0.18	0.24	0.25	0.35*	—	—	0.27*	0.43*
	II	0.21	0.28	0.29	0.14	0.29	0.23	0.22	0.21	0.26	0.16	0.31	1.00*	—	0.22	0.30
	III	0.27	0.17	0.33	—	—	0.22	0.39*	0.47*	—	0.13	0.26	—	—	0.26	0.21
	IV	0.46*	0.33*	0.05	0.86*	0.57*	0.31*	0.11	0.14	0.49*	0.47*	0.08	—	1.00*	0.24	0.06
ZK4701	I	0.34*	0.30	0.16	0.95*	1.00*	0.28*	0.24	0.16	—	0.96*	0.31	0.17	0.27	0.53*	0.23
	II	0.21	0.21	0.53*	0.03	—	0.22	0.69*	0.61*	0.58*	0.02	0.17	0.33*	0.23	0.04	0.32*
	III	0.23	0.17	0.19	0.01	—	0.23	0.04	0.12	0.22	0.02	0.21	0.20	0.23	0.04	0.17
	IV	0.22	0.32*	0.12	0.01	* 0.27	0.04	0.12	0.20	0.01	0.32*	0.29	0.28*	0.39	0.28	—

表 8 恰嘎锑矿成矿元素钻孔原生晕分带序列表
Tab. 8 Primary halos axial zoning sequence of Qiaga stibnite deposit

钻孔编号	分带指数法		浓集系数法
ZK4401	Pb - Mn - Cu - Mo - Bi - Au - W - Hg - Cd - Sn - Ag - Sb - Ba - As		Pb - Ba - Mo - W - Ag - Cu - Mn - Hg - Au - Bi - Sn - Cd - Sb - As
ZK4001	Pb - Zn - Cd - Sn - Mn - Hg - As - Sb - W - Bi - Ag - Cu - Ba - Au - Mo		Hg - Mn - As - Sb - W - Pb - Bi - Cd - Sn - Zn - Au - Ag - Cu - Ba - Mo
ZK4301	Mn - W - Bi - Ag - Hg - Cu - Sn - As - Sb - Ba - Mo - Zn - Pb - Cd - Au		Mn - Sb - W - Cu - Bi - As - Hg - Ba - Mo - Sn - Ag - Zn - Pb - Cd - Au
ZK4701	Cd - Pb - Zn - Sb - Hg - Mo - As - Au - Sn - Ba - Mn - Bi - Ag - W - Cu		Cd - Pb - Cu - Sn - Zn - Au - Bi - Mn - Sb - Mo - Hg - As - Ba - Ag - W

推测矿床的剥蚀深度、指导勘探工程的布置也同样拥有着重要的意义。

以元素分带指数值为基础,依据前晕元素组合与尾晕元素组合累乘比,选取 $(Cd \times Hg \times As \times Sb)_D / (Bi \times Mo \times W \times Sn)_D$ 做为构建深部矿体评价的指标,该指标自矿脉的头部至尾部(从浅部至深部)急剧降低(表 9)。例如,钻孔 ZK4001 头部(4 300 m 标高):136.50→中上部(4 280 m 标高):87.78→中下部(4 260 m 标高):

46.30→尾部(4 240 m 标高);3.70 和钻孔 ZK4701 头部(4 300 m 标高):1.45→中上部(4 280 m 标高):0.91→中下部(4 260 m 标高):0.01→尾部(4 2400 m 标高):0.001,该指标随深度的增加急剧降低。

因此,能够用于有效地预测深部 Pb、Zn 和 Sb 的资源潜力,对矿区深部矿体资源定量评价以及外围找矿都具有重要的参考价值,也更进一步证明了深部有隐伏矿存在或矿体向下延伸的可能。

表 9 Cd、Hg、As、Sb 和 Bi、Mo、W、Sn 分带指数及累乘比统计表

Tab. 9 The statistics of multiplicative ratio and zoning indexes in Cd、Hg、As、Sb and Bi、Mo、W、Sn

钻孔	中段	Cd	Hg	As	Sb	Bi	Mo	W	Sn	$(Cd \times Hg \times As \times Sb)_D / (Bi \times Mo \times W \times Sn)_D$
ZK4001	I	0.152	0.161	0.052	0.068	0.064	0.046	0.005	0.040	136.50
	II	0.064	0.219	0.099	0.141	0.064	0.040	0.039	0.022	87.78
	III	0.085	0.180	0.048	0.029	0.157	0.018	0.005	0.030	46.30
	IV	0.068	0.183	0.044	0.035	0.094	0.072	0.024	0.032	3.70
ZK4701	I	0.116	0.037	0.038	0.051	0.070	0.052	0.042	0.038	1.45
	II	0.002	0.144	0.110	0.169	0.138	0.072	0.023	0.029	0.91
	III	0.004	0.052	0.011	0.105	0.152	0.048	0.051	0.055	0.01
	IV	0.002	0.040	0.009	0.054	0.173	0.036	0.063	0.053	0.001

6 结论

笔者以恰嘎锑矿矿区地质特征为基础,运用地球化学找矿理论对研究区矿床原生晕特征进行较为深入的分析,主要探讨成矿元素的分带序列、元素组

合特征、异常元素与成矿关系等,对研究区内矿体延伸程度做出初步预测,主要得出如下结论。

(1) Ag、Au、Zn、Pb、As 高值异常分布连续且集中,Pb、Zn 高值异常主要分布于矿体中、上部;Au、Ag、As 高值异常主要分布在矿体中下部,且有向下富集的趋势。Sb、Cu、Hg、Cd 元素异常局部集

中分布,高值异常主要分在矿体中、上部。W、Sn、Bi、Mo 整体异常零散分布,且分布较分散,有少数几个高值点异常,W、Mo 高值异常分布在矿体中下部,Sn、Bi 高值异常分布在矿体中上部。Ba、Mn 元素异常整体较低,在各孔中均没有明显的异常分布。ZK4401、ZK4001、ZK4701 中除 Ba、Mn 外,其他各元素高值异常分布均较大,连续且集中分布。

(2)对原生晕异常分析可见:15 种成矿元素原生地球化学异常分布与矿化带基本对应,异常延伸和矿体延伸一致。结合原生异常分布态势及其与矿体的关系,成晕组分可以分为:前缘元素(Cd、Hg、As)、近矿元素(上部为 Pb、Zn,中部为 Sb,下部为 Cu、Au、Ag)、尾晕元素(Mn、Bi、Mo、W、Sn)。

(3)不同的钻孔所得出的分带序列不尽相同,该区利用浓集中心法和分带指数法分别求出了相近的分带序列。最终综合得出恰嘎辉锑矿垂直分带序列自上而下为:Pb-Zn-Mn-Bi-Mo-W-Sn-Cd-Hg-As-Sb-Cu-Au-Ag-Ba。

(4)深部找矿方面:将该区垂直分带序列与李惠等人总结的分带序列对比发现:在 ZK4301 中,近矿元素 Pb、Zn 位于分带序列的下部,预示着深部矿体有尖灭再现特征的可能;在上述钻孔中,Hg 元素位于序列的中部,可能指示了矿体中部出现了前晕和尾晕叠加,结合矿体有尖灭再现的特征,预示了深部存有盲矿体的可能性比较大;尾晕元素 Cu 和 Mo 均位于分带序列的中上部,表明矿体遭受剥蚀的可能性大或者指示深部有盲矿体存在;As 和 Sb 元素位于分带序列的中下部,表明这种现象可能与热液构造活动有关。总体来说,根据该原生晕分带序列,矿体很大可能向深部继续延伸或盲矿体存在,该矿床为热液型矿床。

(5)对所控矿体原生晕评价推测得出:矿体深部有较大延伸或存有盲矿体的可能性仍很大。在原生晕系统研究的基础上构建了深部矿体评价的指标 $(Cd \times Hg \times As \times Sb)_D / (Bi \times Mo \times W \times Sn)_D$, 该指标自矿脉的头部至尾部(从浅部至深部)急剧降低,以此可以定量评价矿体剥蚀程度以及深部矿体资源

潜力,对于矿区深部找矿及外围勘探都具有重要的意义。

参考文献(References):

- 陈云华,易慧,张强禄. 锡铁山铅锌矿床地球化学异常模式及找矿指标[J]. 矿产与地质, 2005, 19(6): 710-714.
- CHEN Yunhua, YI Hui, ZHANG Qianglu. Geochemical anomaly model and exploration indicator of the xiteshan lead and zinc deposit[J]. Mineral Resources and Geology, 2005, 19(6): 710-714.
- 程小昆. 广西珊瑚钨锡矿床地球化学异常特征及找矿预测 [D]. 广西:桂林理工大学, 2009:32-45.
- 董富权,谭军,王福华,等. 西藏古堆—隆子地区金锑矿地质特征及成因探讨 [J]. 四川地质学报, 2012, 32(SI): 24-32.
- 董富权,胡可卫,李武毅,等. 西藏隆子县恰嘎村辉锑矿地质特征及找矿潜力 [J]. 地质找矿论丛, 2015, 30(1): 98-102.
- DONG Fuquan, HU Kewei, LI Wuyi, et al. Geological characteristics and prospecting potentiality of Qiaga village stibnite property in Longzi county, Tibet[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2015, 30(1): 98-102.
- 杜光树,冯喜良,陈福忠,等. 西藏金矿地质[M]. 成都:西南交通大学出版社,1993:1-177.
- DU Guangshu, FENG Xiaoliang, CHEN Fuzhong, et al. the geology of the gold deposits in xizang[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 1993:1-177.
- 冯孝良,杜光树. 西藏金矿资源分布规律、矿化类型及找矿方向 [J]. 特提斯地质, 1999, 23:31-38.
- FENG Xiaoliang, DU Guangshu. The Distribution, Mineralization Types and Prospecting and Exploration of the Gold Deposits in Xizang[J]. Tethyan Geology, 1999, 23:31-38.
- 晁会霞. 新疆郑善梧南金矿床地球化学特征及隐伏矿预测 [D]. 西安:长安大学,2005.
- CHAO Huixia. Geochemical Characteristics and Prediction of Concealed Ore Body of Wunan Gold Deposit in Shanshan, Xinjiang[D]. Xi'an: Chang'an University, 2005.
- 李光明,王高明. 西藏一江两河地区成矿规律与找矿方向综

- 合研究报告[R]. 2003.
- 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成果[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-48.
- 聂凤军, 胡朋, 江思宏, 等. 藏南地区金和锑矿床(点)类型及其时空分布特征[J]. 地质学报, 2005, 79(3): 373-385.
- NIE Fengjun, HU Peng, JIANG Sihong, et al. Type and Temporal-Spatial Distribution of Gold and Antimony Deposits (prospects) in Southern Tibet, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(3):372-385.
- 潘桂棠, 王立全. 青藏高原及邻区大地构造图说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- 戚学祥, 李天福, 孟祥金, 等. 藏南特提斯喜马拉雅前陆断褶带新生代构造演化与锑金多金属成矿作用[J]. 岩石学报, 2008, 24(7):1638-1648.
- QI Xuexiang, LI Tianfu, MENG Xiangjin, et al. Cenozoic tectonic evolution of the Tethyan Himalayan foreland fault-fold belt in southern Tibet, and its constraint on antimony-gold polymetallic mineralogenesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(7):1638-1648.
- 孙华山, 孙林, 曹新志, 等. 胶西北上庄金矿床原生晕轴(垂)向分带特征及深部矿体预测的勘查地球化学标志[J]. 矿床地质, 2008, 27(1):65-70.
- SUN HS, SUN L, CAO XZ, et al. Axial/vertical zoning characteristics of primary halos and geochemical exploration indicators for deep ore body prognosis in Shangzhuang gold deposit, northwest Jiaodong peninsula, Shandong Province[J]. Mineral Deposits, 2008, 27(1):65-70.
- 王军, 张均, 郑有业. 西藏南部马扎拉金锑矿成矿规律初探[J]. 黄金科学技术, 2001, 9(4):5-11.
- WANG J, ZHANG J, ZHENG YY. Exploration on metallogenetic regularity of gold-antimony deposit in Mazhala, south Tibet[J]. Gold Science & Technolology, 2001, 9(4):5-11.
- 王军, 张均. 西藏南部马扎拉金锑矿成矿特征及找矿方向[J]. 黄金地质, 2001, 7(3):15-20.
- WANG J, ZHANG J. Metallogenetic characters and prospecting direction of the Mazhala gold-antimony deposit, southern Tibet[J]. Gold Geology, 2001, 7(3):15-20.
- 杨奇荻. 藏南马扎拉成矿流体特征及矿床成因研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2011, 7(3):15-20.
- 杨竹森, 侯增谦, 高伟, 等. 藏南拆离系锑金成矿特征与成因模式[J]. 地质学报, 2006, 80(9):1377-1391.
- YANG Zhusen, HOU Zengqian, GAO Wei, et al. Metallogenetic Characteristics and Genetic Model of Antimony and Gold Deposits in South Tibetan Detachment System [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(9):1377-1391.
- 张刚阳. 藏南金锑多金属成矿带成矿模式与找矿前景研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2012.
- ZHANG Gangyang. Metallogenetic Model and Prospecting Potential in Southern Tibet Au-Sb Polymetallic Belt [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2012.
- 郑有业, 陈静. 西藏措美县马扎拉金、锑矿控矿因素与成矿规律研究[R], 2001.
- 郑有业, 多吉, 马国桃, 等. 藏南查拉普岩金矿床特征、发现及时代约束[J]. 地球科学, 2007, 32(2): 185-189.
- ZHENG YY, DUO J, MA GT, et al. Mineralization characteristics, discovery and age restriction of Chalapu Hardrock gold deposit, southern Tibet[J]. Earth Science, 2007, 32(2):185-
- 郑有业, 范文玉. 西藏江孜—隆子金、锑多金属成矿带资源调查评价地质报告[R]. 2003.
- 郑有业, 孙祥. 西藏雅江流域锑金多金属大规模成矿机制与成矿预测[R]. 2012.
- 郑有业, 赵永鑫, 王萍, 等. 藏南金锑成矿带成矿规律研究及找矿取得重大进展[J]. 地球科学, 2004, 29(1):44-68.
- BEUS A. A., VGRIGORIAN S. Geochemical Exploration Methods For Mineral Deposits. Wilmette, Illinois, USA: Applied Publishing Ltd, 1975:120-125.