

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.03.012

引用格式:张建明,肖涛,程培生,等. 庐枞盆地北东缘西湾铅锌矿床原生晕地球化学特征及其对矿体圈连的指示意义[J]. 华东地质,2021,42(3):350-358.

# 庐枞盆地北东缘西湾铅锌矿床原生晕地球化学特征及其对矿体圈连的指示意义

张建明<sup>1</sup>,肖涛<sup>2</sup>,程培生<sup>1</sup>,王芝水<sup>1</sup>,李壮<sup>1</sup>,杜东旭<sup>1</sup>

(1.安徽省勘查技术院,安徽 合肥 230031;2.江西省地质矿产勘查开发局物化探大队,江西 南昌 330009)

**摘要:**西湾铅锌矿床位于长江中下游成矿带庐枞盆地北东缘,其赋矿围岩破碎溶蚀现象明显,地层和矿体产状难以辨识。为了准确圈连矿体,以原生晕地球化学特征研究为基础,以热液矿床原生晕找矿理论为指导,通过对西湾矿区钻孔岩石光谱样品进行测试,绘制原生晕剖面等值线图,研究原生晕浓度分带和轴向分带特征,探讨原生晕地球化学特征及其对矿体圈连的指示意义。聚类分析和因子分析发现,As、Sb、Pb、Zn、Ag、Mo与铅锌矿成矿关系密切。16号勘探线原生晕浓度分带和轴向分带特征表明:前缘晕指示元素为As、Sb,近矿晕指示元素为Pb、Zn、Ag,尾晕指示元素为Mo;轴向分带特征反映Ⅲ号矿体具“反分带”现象。轴向分带和指示元素的变化特征说明,西湾铅锌矿床成矿作用复杂,推测为多期次成矿或矿体沿倾向还有延伸。As、Sb、Pb、Zn、Ag、Mo的浓度分带特征对矿体的圈连具有较好的指示意义。

**关键词:**原生晕;地球化学异常;轴向分带;指示元素;矿体圈连;西湾铅锌矿床

**中图分类号:**P618.42;P618.43

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-1871(2021)03-350-09

原生晕指成矿作用过程中与矿体同时形成且分布于矿体周围的某些元素的地球化学异常<sup>[1-3]</sup>。20世纪80年代以来,国内外学者通过对原生晕进行研究,发现热液矿床原生晕具有明显的分带规律,即每个矿体都有独特的前缘晕、近矿晕和尾晕<sup>[4-7]</sup>。目前,国内原生晕找矿主要应用于金矿床<sup>[8]</sup>,在铅锌矿床中的应用较少。

庐枞盆地是长江中下游多金属成矿带的重要组成部分,区内铁、硫、铜及明矾石等矿产分布较广<sup>[9-20]</sup>。西湾铅锌矿床位于庐枞盆地北东缘,2010年开始,在系统总结区域成矿地质条件、成矿规律及控矿因素等基础上,安徽省勘查技术院通过大比例尺地磁、重力测量、综合物探剖面测量及钻探等勘查工作,在西湾地区孟湖里一带发现了首个产于三叠纪东马鞍山组灰岩中的西湾大型铅锌矿床。该矿床虽已具大型规模,但研究程度较低。本文通过对西湾矿区岩石样品进行测试,采用聚类分析和因子分析等相关统

计分析方法,分析成矿元素与成晕元素之间的关系。以16号勘探线为例进行钻孔原生晕地球化学特征研究,圈定地球化学异常,建立地球化学找矿预测标志,进一步指导矿体圈连,为深部找矿和隐伏矿预测提供依据,为庐枞盆地北东缘找矿勘查提供参考资料。

## 1 区域地质背景

庐枞盆地地处扬子地块北缘、郟庐断裂带南段,位于长江中下游断陷带内,是长江中下游成矿带的重要矿集区之一。中生代,该区进入强烈的板内变形阶段,发生了强烈的构造-岩浆活动,形成了一系列NNE向—NE向构造岩浆带,发育丰富的铁、铜、金等矿产<sup>[19-20]</sup>。

庐枞盆地地层主要为中三叠统一第四系,可分为基底地层、火山岩盖层、白垩系红层及第四系。断裂主要有NE向、NW向、近SN向和EW向深断裂,这些不同方向的断裂构成了该区独特的网络状断裂体

系<sup>[18]</sup>。盆地基底隆起、火山机构及其派生的环状及放射状断裂是重要的控岩、控矿构造。岩浆作用主要为燕山期火山岩-次火山岩活动及大规模的岩浆侵入活动,岩浆活动具多期次特点,岩石类型主要为中基性、中性、中酸性、中偏碱性火山岩<sup>[18]</sup>。区内主要金属矿产成矿均与燕山期岩浆活动和演化有关,盆地内及其周边已发现罗河、泥河、龙桥等大型铁矿及岳山铅锌矿、朱岗铅锌矿等,西湾铅锌矿床位于岳山铅锌矿床北东 4 km 处、朱岗铅锌矿床北东 7 km 处。

## 2 矿床地质特征

西湾铅锌矿床位于黄姑—黄泥岗—祈雨山背

斜核部及其南东翼,为第四系覆盖区。下伏地层主要为中三叠世东马鞍山组( $T_2d$ )、铜头尖组( $T_2t$ )和早白垩世龙门院组( $K_1l$ ),地层总体走向 NE,倾向 SE(图 1)。受断裂及基底隆起影响,孟湖里一带局部地层倾向 NW,倾角  $15^\circ \sim 30^\circ$ 。根据综合物探和钻探资料推测,矿区 NE 向断裂有 4 条( $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ ),是砖桥—黄屯—蜀山—杨桥基底断裂及其次级断裂在矿区的反映;NW 向断裂有 1 条( $F_5$ ),是庐江南—蜀山基底断裂(洪巷断裂)在矿区的反映(图 1)。推测孟湖里一带存在基底(膏岩层)隆起,局部形成小褶曲。矿区岩浆岩不发育,主要有西南部粗安斑岩和中北部周杨村闪长岩等。

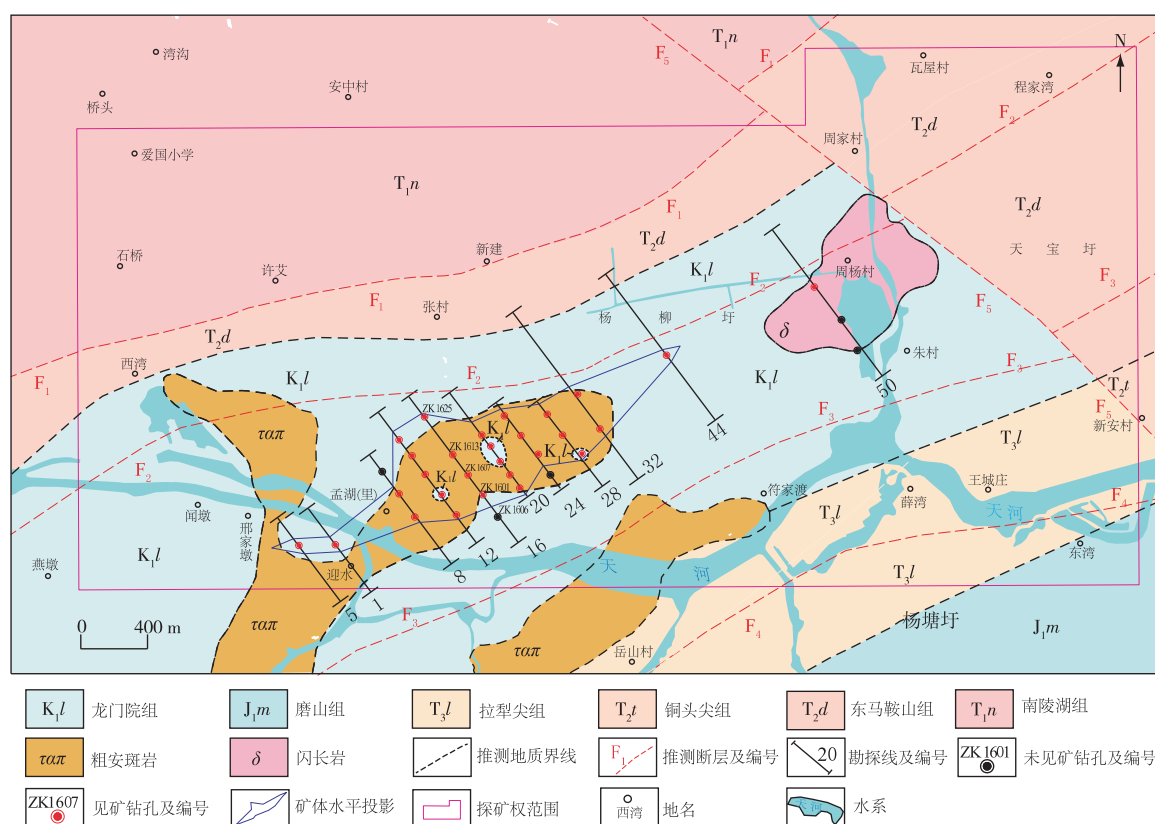


图 1 西湾矿区基岩地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of bedrock in Xiwan mining area

西湾铅锌矿床为隐伏矿床,共圈定 4 个主矿体(I、II、III、IV),以铅锌矿为主,个别为单铅或单锌矿体,局部含硫铁矿、重晶石矿。矿体主要赋存于中三叠世东马鞍山组角砾状灰岩及其上部次火山岩、龙门院组火山岩与东马鞍山组灰岩接触带附近,下部白云质灰岩、膏溶角砾岩中也有脉状铅锌矿(化)体分布(图 2)。矿体形态呈“V”型,整体走向

NEE(近  $60^\circ$ ),倾向 NW,倾角  $2^\circ \sim 62^\circ$ ,呈带状展布;矿体规模、大小不一,具膨胀、收缩、尖灭再现、分叉现象,呈似层状、透镜体、薄板状产出。矿石矿物成分简单,金属矿物主要为闪锌矿、方铅矿,其次为黄铁矿及少量黄铜矿、自然银等;非金属矿物除原岩蚀变矿物及交代残余矿物外,还有长石、方解石、硬石膏、重晶石、石英等。

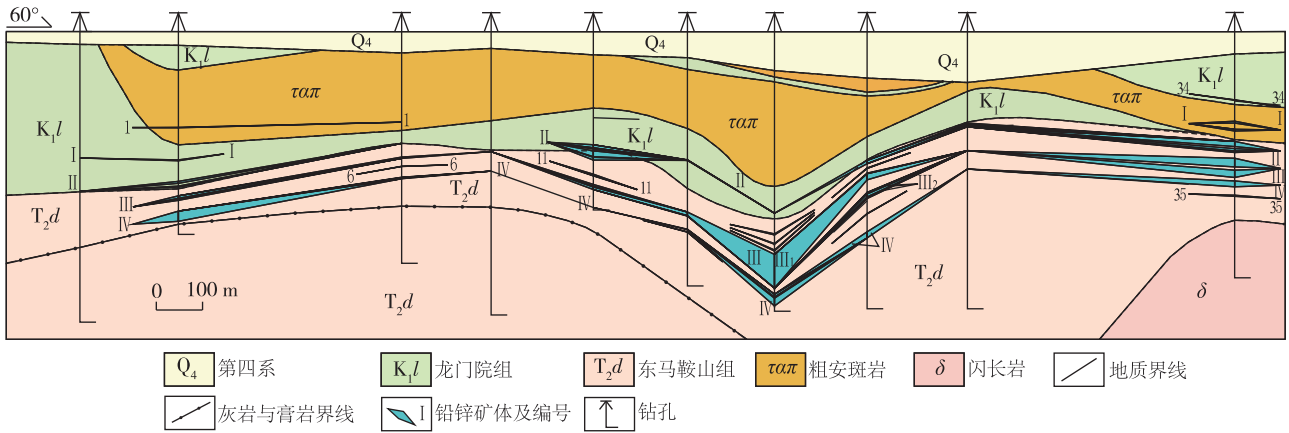


图 2 西湾铅锌矿纵Ⅱ线地质剖面图

Fig. 2 Geological section of line II in Xiwan lead-zinc deposit

3 样品采集及分析测试

对西湾铅锌矿区钻孔进行岩石样品采集, 钻孔位置见图 1。根据不同岩性、矿化及蚀变分别采样, 采用连续捡块法, 基本样长 10 m, 矿化蚀变较强区段加密采样, 基本样长 5 m。样品加工及测试在自然资源部合肥矿产资源监督检测中心完成, 严格按照《DZ/T 0248—2014 岩石地球化学测量技术规范》<sup>[21]</sup> 执行。样品分析采用火焰原子吸收分光光度法分析 Cu、Zn, 原子荧光光度法分析 As、Sb、Bi, 直读发射光谱法分析 Ag、Pb、Mo, 石墨炉原子吸收分光光度法分析 Au, 催化极谱法分析 W。各元素分析方法的检出限及报出率均满足规范要求, 分析质量符合要求。

4 元素相关性分析

4.1 地球化学背景

共采集西湾矿区钻孔原生晕岩石样品 1 680 件, 经参数统计(表 1)并与安徽省扬子地层区表壳丰度值<sup>[22]</sup>进行对比, 发现研究区 Pb、Zn、Ag、Sb 为强富集( $c_1 \geq 2$ ), As、Cu、W、Mo 为较强富集( $1.25 \leq c_1 < 2$ ), Au 为基本相当( $0.8 \leq c_1 < 1.25$ ), Bi 为强贫化( $c_1 < 0.4$ ); As、Sb、Cu、Ag、W 为强分异( $c_v \geq 0.7$ ), Pb、Zn、Bi、Mo、Au 为较强分异( $0.4 \leq c_v < 0.7$ )。综上所述, 西湾铅锌矿区 Ag、Sb 具高背景强分异特征, Pb、Zn 具高背景较强分异特征, As、Cu、W 具较高背景强分异特征, Mo 具较高背景较强分异特征。

表 1 西湾矿区岩心样品地球化学参数统计结果

Table 1 Statistical results of geochemical parameters of core samples in Xiwan mining area

元素	样品数/个		平均值 ( $\bar{x}$ )	标准离差 ( $s$ )	变异系数 ( $c_v$ )	浓集系数 ( $c_1$ )	异常下限 ( $T$ )	安徽省扬子地层 区表壳丰度值 <sup>[22]</sup>
	剔除前	剔除后						
As	1 680	1 506	11.50	10.50	0.91	1.98	32.50	5.80
Sb	1 680	1 501	1.65	1.24	0.76	3.51	4.13	0.47
Bi	1 680	1 314	0.09	0.06	0.66	0.41	0.20	0.22
Cu	1 680	1 504	26.70	20.60	0.77	1.41	67.80	18.94
Pb	1 680	1 126	41.00	27.50	0.67	2.45	96.00	16.72
Zn	1 680	1 270	126.40	86.10	0.68	2.61	298.60	48.39
Ag	1 680	1 242	278.30	300.00	1.08	2.78	878.00	100.03
W	1 680	1 596	1.52	1.15	0.76	1.26	3.82	1.21
Mo	1 680	1 580	1.64	1.04	0.64	1.50	3.73	0.84
Au	1 680	1 511	1.00	0.60	0.60	1.03	2.10	0.97

注:  $\bar{x}$  代表算术平均值;  $s$  代表标准离差;  $c_v$  代表变异系数;  $c_1$  代表浓集系数;  $T$  代表异常下限; Au、Ag 含量单位为  $10^{-9}$ , As、Sb、Bi、Cu、Pb、Zn、W、Mo 含量单位为  $10^{-6}$ 。

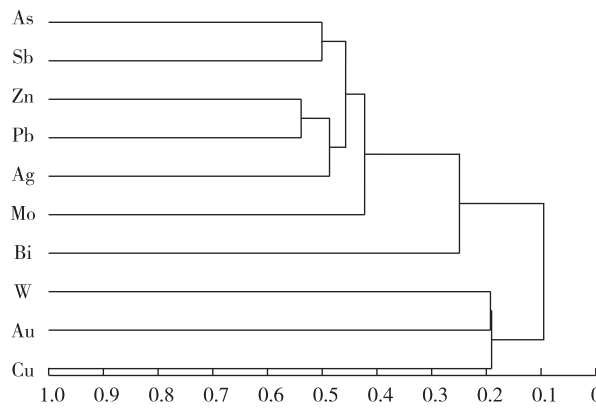
4.2 聚类分析

对西湾铅锌矿区 1 680 件钻孔原生晕样品分析数据进行 R 型聚类分析(图 3)。当相关系数  $R=0.42$  时,As、Sb、Pb、Zn、Ag、Mo 聚为一类,Cu、Au、Bi、W 聚为一类;当相关系数  $R=0.485$  时,Ag、Pb、Zn 聚为一类,Sb、As 聚为一类,Mo、Cu、Au、Bi、W 聚为一类。结合地质背景,认为研究区 Pb、Zn、Ag 为主成矿元素组合,As、Sb、Mo 为相关指示元素组合,Cu、Au、Bi、W 与铅锌矿成矿无关。

4.3 因子分析

因子分析可以分析成晕元素的共生组合关系,可以反映矿床成因并指导找矿勘查工作<sup>[2]</sup>。研究区 10 个元素因子分析结果(表 2)表明, $F_1$  因子由与成矿作用关系较密的 Pb、Zn、Ag、As、Sb、Mo 组成, $F_2$  因子由与成矿无直接关系的 Cu、Au 组成, $F_3$  因子由 Bi 组成, $F_4$  因子由 Zn 组成, $F_5$  因子由 W 组成,Zn 同时出现在  $F_1$  因子和  $F_4$  因子中,说明 Zn 成矿

具多期次多阶段性。可见,因子分析结果与 R 型聚类分析结果基本一致。



注:1 680 件岩石光谱样在置信度 95%时,相关系数临界值为 0.047 826 5;在置信度 90%时,相关系数临界值为 0.040 144。

图 3 西湾铅锌矿指示元素聚类分析谱系图  
Fig. 3 Hierarchical cluster graph of the indicator elements in Xiwan lead-zinc deposit

表 2 西湾矿区指示元素正交旋转载荷矩阵  
Table 2 Orthogonal rotationnal load matrix of indicator elements in Xiwan mining area

因子	As	Sb	Bi	Zn	Cu	Mo	W	Pb	Ag	Au	特征值	方差贡献/%	累积方差贡献/%
$F_1$	0.874	0.832	0.153	0.665	0.157	0.758	0.064	0.796	0.867	-0.142	4.14	41.41	41.41
$F_2$	0.002	0.056	0.011	0.028	0.851	0.305	0.472	-0.061	-0.071	0.746	2.00	20.03	61.45
$F_3$	0.140	0.156	0.965	-0.032	0.098	0.035	0.119	-0.009	0.032	0.436	0.90	9.05	70.49
$F_4$	0.033	-0.074	0.017	-0.664	-0.088	0.348	-0.001	-0.454	-0.010	-0.190	0.76	7.61	78.11
$F_5$	-0.085	0.196	0.075	0.034	0.077	0.129	0.847	-0.026	-0.120	-0.098	0.55	5.54	83.65

5 原生晕分带特征

原生晕是赋存于基岩中的由成岩成矿作用引起的岩石地球化学异常<sup>[2-3]</sup>。原生晕研究是建立在热液矿床原生晕轴向分带理论<sup>[23]</sup>基础上,以相关元素分带特征为研究对象,探讨其与成矿的相关关系。本文以西湾铅锌矿床 16 号勘探线为例进行原生晕特征研究。

5.1 浓度分带特征

研究浓度分带的前提是确定合理的异常下限,运用地球化学勘查数据一体化处理系统(Geochem Studio 软件)对样品进行数据处理,成矿元素(Pb、Zn、Ag)异常下限采用《热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿》<sup>[3]</sup>中的异常圈定方法圈定原生晕异常浓度

分带,即以各元素最低工业品位下推一个数量级后含量值的四分之一为异常下限,以异常下限 1、2、4 倍分别圈定异常的 3 个浓度分带(表 3)。其他指示元素(As、Sb、Bi、Au、Cu、W、Mo)确定异常下限的步骤如下:① 运用迭代剔除法按平均值±3 倍标准离差法逐步剔除数据的离群值,直到剔除后的数据基本符合正态分布;② 对剔除离群值后的数据进行统计分析,采用算术平均值+2 倍标准离差为异常下限值,结合区域地壳元素丰度值选取合适的异常下限圈定异常;③ 按照异常下限的 1、2、4 倍分别圈定异常的 3 个浓度分带(表 3)。异常下限的算法和内、外带的划分并非一成不变,实际成图中需不断调试,使各元素在原生晕剖面图上突显最佳分带效果。根据异常浓度分带值分别绘制西湾铅锌矿 16 号勘探线原生晕地球化学异常剖析图(图 4)。

表 3 西湾矿区原生晕异常浓度分带值统计结果

Table 3 Statistical results of zoning values of primary halo abnormal concentration in Xiwan mining area

分带	As/ $10^{-6}$	Sb/ $10^{-6}$	Bi/ $10^{-6}$	Cu/ $10^{-6}$	Pb/ $10^{-6}$	Zn/ $10^{-6}$	Ag/ $10^{-9}$	Au/ $10^{-9}$	W/ $10^{-6}$	Mo/ $10^{-6}$
外带	25.0	2.00	0.25	75	125	250	1 250	4.00	2.50	2.50
中带	50.0	4.00	0.50	150	250	500	2 500	8.00	5.00	5.00
内带	100.0	8.00	1.00	300	500	1 000	5 000	16.00	10.00	10.00
最低工业品位					5 000	10 000	50 000			

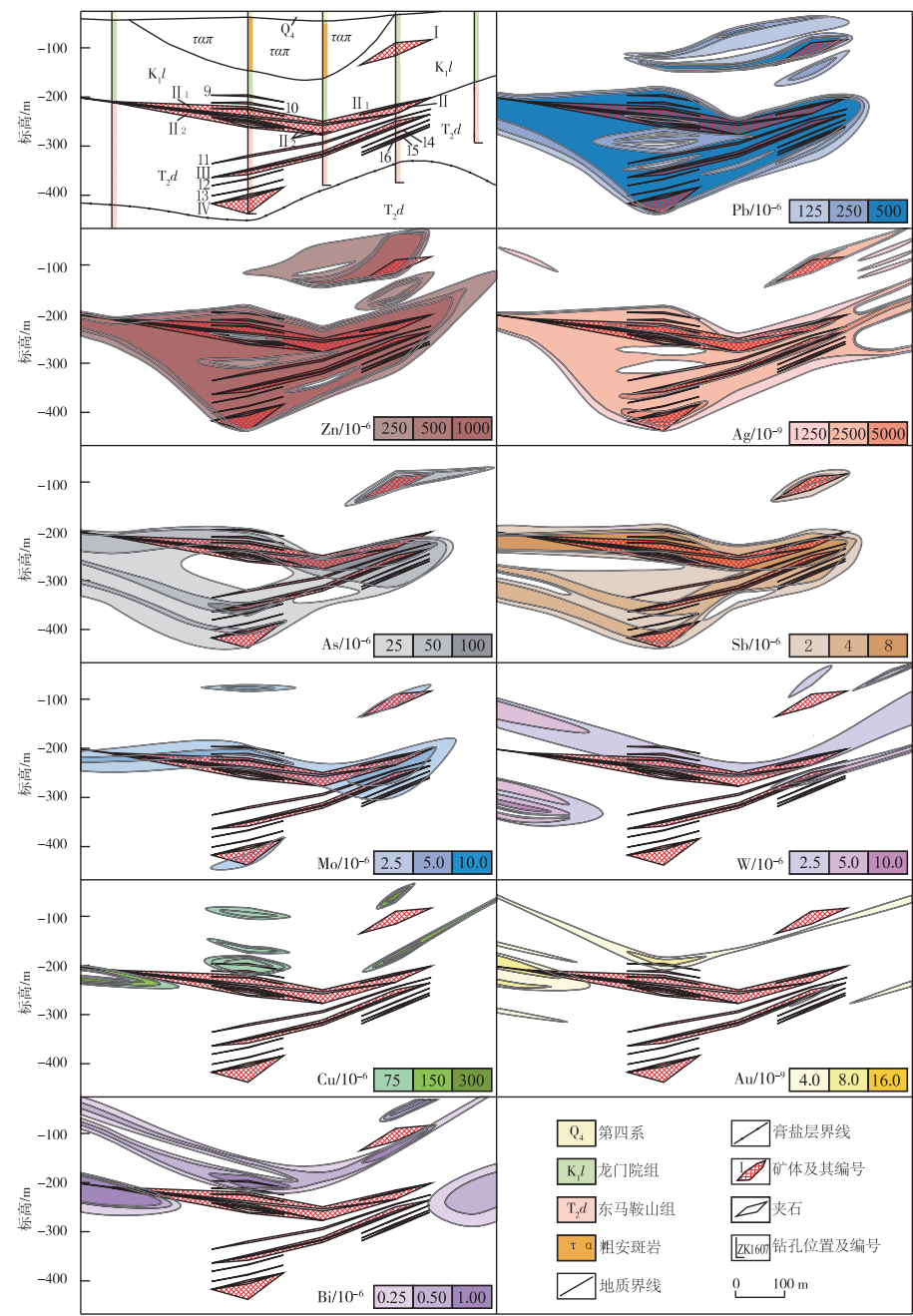


图 4 西湾铅锌矿床 16 号勘探线及原生晕地球化学异常剖析图

Fig. 4 Analysis of geochemical anomalies of the primary halo on the exploration line 16 of the Xiwan lead-zinc deposit

(1)As、Sb 浓度分带清晰,中、外带异常面积较大,内带异常面积较小,三级浓度分带齐全且展布特征相似。内带异常与铅锌矿体对应,为矿体的反映。

(2)Pb、Zn、Ag 浓度分带清晰,面积大,强度高,三级浓度分带齐全且展布特征相似。Pb、Zn 内带异常面积大,强度高,为矿体最直接的反映;Ag 内带异常面积较小,与铅锌矿体基本对应。

(3)与 Pb、Zn、Ag、As、Sb 异常相比,Mo 异常不发育,仅Ⅱ、Ⅳ号矿体附近有异常,Ⅱ号矿体附近发育中、外带异常,Ⅳ号矿体附近发育外带异常。

(4)Cu、Au、Bi、W 异常与铅锌矿体无明显的对应关系。

结合矿体空间分布、地球化学异常特征及成矿成晕元素相互关系,可将 As、Sb 作为前缘晕指示元素,Pb、Zn、Ag 作为近矿晕指示元素,Mo 作为尾晕指示元素。Ⅱ号矿体附近同时存在前缘晕、近矿

晕、尾晕,推测矿体沿倾向还有延伸。

5.2 轴向分带特征

在矿体剥蚀程度判定及深部盲矿体预测方面,原生晕轴向分带序列具有独特的地质意义<sup>[24]</sup>。应用较广的原生晕轴向分带序列研究方法有格里戈良分带指数法和广义衬值法<sup>[25-30]</sup>,本文采用格里戈良分带指数法改良法<sup>[26]</sup>对西湾铅锌矿床 16 号勘探线Ⅲ号矿体进行轴向分带研究。将各矿体样品分析数据进行平均,将采样位置中点标高作为各中段标高(表 4)进行标准化,使所有元素数值均统一到[0,1]数据区间(表 5);用格里戈良分带指数计算方法计算出新的分带指数(表 6),初步得出Ⅲ号矿体分带序列为(Mo、W、Ag、Au)-(Pb、Zn)-(As、Sb、Bi、Cu),括号表示重叠元素,最后根据重叠元素的变化梯度得出Ⅲ号矿体轴向分带序列为 Ag-W-Mo-Au-Zn-Pb-Sb-Cu-As-Bi。

表 4 16 号线矿体微量元素含量测试结果  
Table 4 Trace elements content of orebody in exploration line 16

矿体号	中段/m	As/10 <sup>-6</sup>	Sb/10 <sup>-6</sup>	Bi/10 <sup>-6</sup>	Cu/10 <sup>-6</sup>	Pb/10 <sup>-6</sup>	Zn/10 <sup>-6</sup>	Mo/10 <sup>-6</sup>	W/10 <sup>-6</sup>	Ag/10 <sup>-9</sup>	Au/10 <sup>-9</sup>
Ⅲ	-257.57	118.4	8.55	0.06	37.7	2 252.7	6 011.2	7.86	4.94	9 526	3.0
	-315.43	19.1	4.39	0.03	17.3	8 616.5	15 900.1	1.81	0.27	5 000	0.4
	-354.08	92.9	6.31	0.17	29.3	2 162.0	7 873.2	2.55	0.65	5 085	0.8

表 5 16 号线矿体微量元素标准化数据  
Table 5 Trace element-normalized data of orebody in exploration line 16

矿体号	中段/m	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Mo	W	Ag	Au	总和
Ⅲ	-257.57	1.000	1.000	0.207	1.000	0.014	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.221
	-315.43	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.000
	-354.08	0.744	0.462	1.000	0.585	0.000	0.188	0.121	0.081	0.019	0.130	3.329

表 6 16 号线矿体分带指数  
Table 6 Zoning index of orebody in exploration line 16

矿体号	中段/m	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Mo	W	Ag	Au
Ⅲ	-257.57	0.138	0.138	0.029	0.138	0.002	0.000	0.138	0.138	0.138	0.138
	-315.43	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000
	-354.08	0.223	0.139	0.300	0.176	0.000	0.057	0.036	0.024	0.006	0.039
	变化梯度	-1.61	-1.00	-10.48	-1.27	-256.79	8.84	3.82	5.70	24.70	3.54

西湾铅锌矿床Ⅲ号矿体轴向分带序列具“反分带”现象,即矿体头部出现尾晕元素 Mo,尾部出现前缘晕元素 As、Sb。原生叠加晕理论<sup>[31]</sup>认为,轴向

分带出现“反常、反分带”现象是多次成矿-成晕叠加的结果,且将反分带、前尾晕共存作为预测盲矿的重要标志。西湾矿床Ⅲ号矿体具“反分带”特征,揭



示其成矿作用较复杂,可能为多期成矿或深部矿体还有延伸。

## 6 矿体圈连

通过对比原生晕研究前后的矿体圈连情况(图5),探讨原生晕地球化学特征对矿体圈连的指示意义。

西湾铅锌矿床赋矿围岩中三叠世东马鞍山组灰岩溶蚀破碎现象明显,主矿体以浸染状为主,地层和矿体产状难辨识。原生晕研究前,矿体圈连以“就矿连矿”为原则,同时充分考虑矿体厚度和品位。G区段和B区段的矿体厚度和品位相差不大,故将其连接为一个主矿体,其他均作为单独矿体(图5(a))。原生晕研究后,根据原生晕地球化学异常特征(图4),首先对A、B、C 3个异常区段进行样品补采,经分析测

试,在火山岩和灰岩接触带上部火山岩中发现了铅锌矿体。根据原生晕地球化学异常剖析图(图4),结合新发现的铅锌矿体特征,对矿体进行重新连接(图5(b)),将赋存于灰岩与火山岩接触带附近的A、B、C 3个区段的矿体连接为一个矿体(Ⅱ号矿体),将矿体厚度和品位基本相当的D、E、F 3个区段的矿体连接为一个矿体(Ⅲ号矿体),将厚度较大、品位较高的G区段矿体单独连接(Ⅳ号矿体)。

矿体重新圈连后,Ⅱ号矿体赋存于灰岩与火山岩接触带附近,Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ号矿体赋存于中三叠世东马鞍山组角砾状灰岩中。矿体产状相对平缓,与相邻勘探线矿体的展布特征基本一致,更符合客观地质规律,说明原生晕地球化学特征对矿体的圈连具有较好指示。

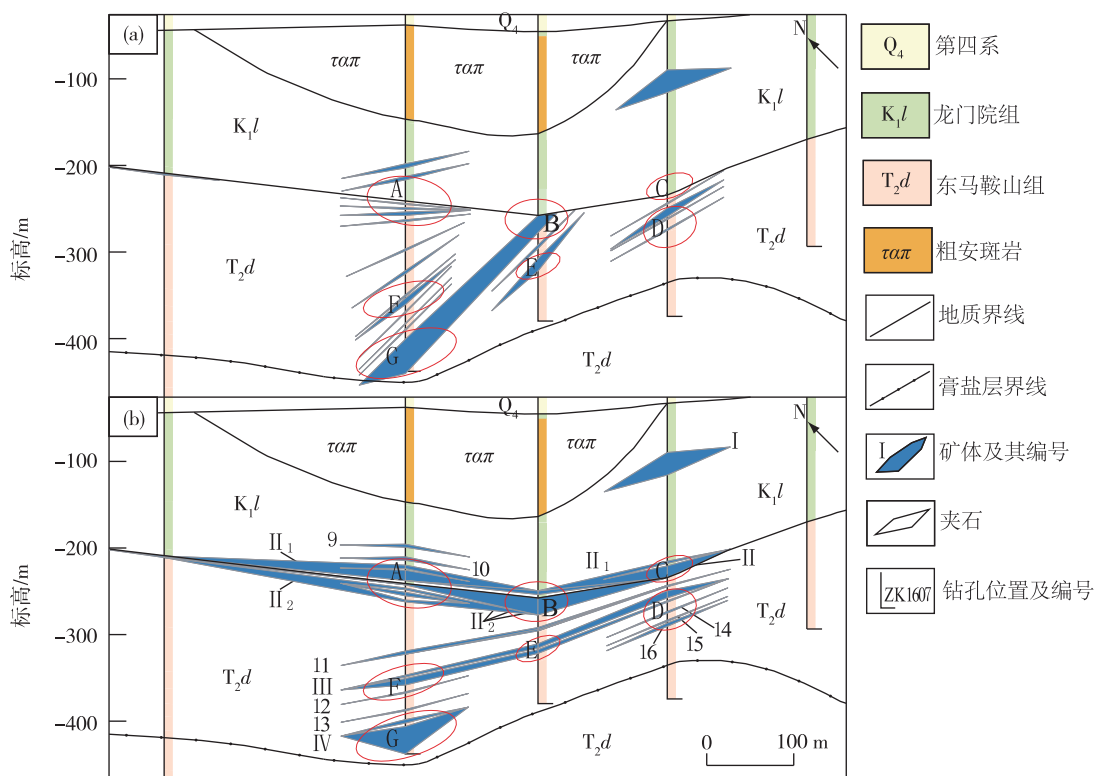


图5 原生晕研究前(a)、研究后(b)矿体圈连对比图

Fig. 5 Comparison of orebody circles before (a) and after (b) the primary halo study

## 7 结论

(1)西湾铅锌矿区原生晕地球化学特征显示,As、Sb、Pb、Zn、Ag、Mo与铅锌矿成矿关系密切,前缘晕指示元素为As、Sb,近矿晕指示元素为Pb、Zn、

Ag,尾晕指示元素为Mo。

(2)西湾铅锌矿床16号勘探线Ⅲ号矿体原生晕轴向分带特征具“反分带”现象,揭示其成矿作用较复杂,可能为多期成矿或深部矿体沿倾向还有延伸。

(3)西湾铅锌矿床原生晕地球化学异常与矿体

的对应关系表明,钻孔原生晕地球化学特征对矿体的圈连具有较好的指示。

## 参考文献

- [1] 刘雪敏,陈岳龙,李大鹏,等.内蒙古霍各乞铜多金属矿床原生晕地球化学特征及深部成矿远景评价[J].物探与化探,2012,36(1):1-7.
- [2] 杨德平,于学峰,王林钢,等.山东莱州曲家金矿原生晕地球化学分带性研究及地质意义[J].地球学报,2012,41(3):337-356.
- [3] 邵跃.热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M].北京:地质出版社,1997:1-6.
- [4] 李惠,禹斌,李德亮,等.化探深部预测新方法综述[J].矿产勘查,2010,1(2):156-160.
- [5] 李惠,禹斌,李德亮,等.构造叠加晕找盲矿法的创新与找矿新突破[J].黄金科学技术,2014,22(4):7-13.
- [6] 李惠,禹斌,李德亮,等.不同类型金矿深部盲矿预测的构造叠加晕模型[J].矿产与地质,2015,29(5):648-653.
- [7] 林成贵,程志中,庞振山,等.河南老里湾银铅锌矿床原生晕分带特征及深部矿体预测[J].矿产勘查,2020,11(1):53-64.
- [8] 刘崇民.金属矿床原生晕研究进展[J].地质学报,2006,80(10):1528-1537.
- [9] 赵文津.长江中下游金属矿找矿前景与找矿方法[J].中国地质,2008,35(5):771-802.
- [10] 翟裕生,姚书振,林新多.长江中下游地区铁铜矿床的类型、形成条件和成矿演化[J].地球科学,1983,22(4):95-106.
- [11] 徐锦龙,储东如,夏军,等.安徽沿江地区中晚三叠世沉积演化及其与印支早期金子运动关系的探讨[J].沉积与特提斯地质,2017,37(3):1-12.
- [12] 程培生,李文庆,何柳昌,等.综合物探在西湾铁多金属矿预查中的应用效果[J].物探与化探,2013,37(6):1003-1007.
- [13] 周涛发,范裕,袁峰.长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展[J].岩石学报,2008,24(8):1665-1678.
- [14] 赵文广,吴明安,张宜勇,等.安徽省庐江县泥河铁硫矿床地质特征及成因初步分析[J].地质学报,2011,85(5):789-801.
- [15] 陆三明,李建设,赵丽丽,等.庐枞矿集区龙桥式铁矿床含矿层位地球化学特征及找矿意义[J].岩石学报,2010,26(9):2577-2586.
- [16] 吴明安,侯明金,赵文广.安徽省庐枞地区成矿规律及找矿方向[J].资源调查与环境,2007,28(4):269-277.
- [17] 蔡晓兵,汪晶,岳运华,等.安徽省庐江县朱岗铅锌矿床地质特征及找矿方向[J].安徽地质,2015,25(3):161-166.
- [18] 李道志,许强平,付光明.安徽庐江何家冲地区热液脉型铜矿成矿条件及找矿方向[J].华东地质,2020,41(3):279-287.
- [19] 杨世学,张靖怡,张赞赞,等.安徽庐江泥河铁矿床赋矿闪长玢岩地球化学特征研究[J].华东地质,2017,38(4):241-249.
- [20] 吴旭升.安徽省庐江县钟山铁矿床地质特征及找矿方向[J].华东地质,2016,37(3):214-220.
- [21] 中华人民共和国地质矿产部.DZ/T 0248—2014 岩石地球化学测量技术规程[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [22] 赵华荣,杜建国,周存亭,等.安徽省域及地层区表壳元素丰度特征[J].物探与化探,2015,39(2):292-296.
- [23] 李惠,张国义,王支农,等.构造叠加晕法在预测金矿区深部盲矿中的应用效果[J].物探与化探,2003,27(6):438-440.
- [24] 孙莉,肖克炎,高阳.彩霞山铅锌矿原生晕地球化学特征及深部矿产评价[J].吉林大学学报:地球科学版,2013,43(4):1179-1189.
- [25] 叶庆森.指示元素垂向分带序列计算方法述评[J].物探化探计算技术,2014,36(3):335-341.
- [26] 王建新,臧兴运,郭秀峰,等.格里戈良分带指数法的改良[J].吉林大学学报:地球科学版,2007,37(5):884-888.
- [27] 朴寿成,连长云.一种确定原生晕分带序列的新方法——重心法[J].地质与勘探,1994(1):63-65.
- [28] 赵琦.原生晕垂直分带的元素比重指数算法[J].物探与化学,1989,13(2):157-159.
- [29] 张定源.银岩锡矿原生晕元素分带序列计算方法研究[J].地质与勘探,1989(6):45-49.
- [30] 邢利琦,刘炳璋.矿床原生晕地球化学分带性研究[J].四川地质学报,2011,31(4):489-492.
- [31] 李惠,禹斌,张国义,等.从原生晕、原生叠加晕到构造叠加晕:化探找盲矿法的发展与创新[J].地质找矿论丛,2016,31(1):92-98.



## Geochemical characteristics of primary halo of Xiwan lead-zinc deposit, northeastern margin of Luzong Basin and its significance to orebody delineation

ZHANG Jianming<sup>1</sup>, XIAO Tao<sup>2</sup>, CHENG Peisheng<sup>1</sup>, WANG Zhishui<sup>1</sup>, LI Zhuang<sup>1</sup>, DU Dongxu<sup>1</sup>

(1. *Anhui Institute of Exploration Technology, Hefei 230031, Anhui, China;*

2. *Geophysical and Geochemical Exploration Brigade, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Jiangxi Province, Nanchang 330009, Jiangxi, China*)

**Abstract:** Xiwan lead-zinc deposit is located in the northeaster margin of Luzong Basin, the Middle-Lower Yangtze metallogenic belt. It is difficult to identify the occurrence of strata and orebodies because of the heavy destroyed and corroded ore-bearing rocks. Therefore, in order to accurately delineate the orebodies, the primary halo geochemical characteristics are studied following the primary halo prospecting theory of hydrothermal deposits. Samples are collected from the boreholes of the No. 16 exploration line in Xiwan mining area, the contour map of the primary halo profile is drawn according to the spectral test results, the concentration zoning and axial zoning characteristics of the primary halo are distinguished and their indicative significance to delineating and connecting the orebodies are also discussed. Cluster analysis and factor analysis based on those different characteristics suggest that As, Sb, Pb, Zn, Ag and Mo are closely related to lead-zinc mineralization. Research on concentration zoning of primary halo in Xiwan lead-zinc deposit reveals that the front halo is indicated by As and Sb, the near-ore halo is indicated by Pb, Zn and Ag, and the tail halo is indicated by Mo. The axial zoning characteristics of primary halo reflect that the No. III ore bodies which shows features of “reverse zoning”. The change of the axial zoning and indicator elements indicate that the mineralization of Xiwan Pb-Zn deposit is complex, which is speculated to be multi-stage mineralization or orebody extend along the trend. Furthermore, zoning characteristics of concentrations of As, Sb, Pb, Zn, Ag and Mo have objective and intuitive significance for the delineation and connection of the orebodies.

**Key words:** primary halo; geochemical anomaly; axial zoning; indicator element; orebody delineation; Xiwan lead-zinc deposit