doi: 10.11720/wtyht.2026.1419
吴琦, 郎兴海, 吴昌益, 等. 西藏隆桑矿区土壤地球化学异常特征及找矿方向[J]. 物探与化探, 2026, 50(5): 823-835. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.1419
Wu Q, Lang X H, Wu C Y, et al. Soil geochemical anomalies and prospecting targets of the Longsang mining area, Tibet[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2026, 50(5): 823-835. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.1419

西藏隆桑矿区土壤地球化学异常特征及找矿方向

吴琦[1], 郎兴海[1], 吴昌益[1], 邓煜霖[2], 郑洪山[1], 李宸[1], 向佐朋[1], 詹宏宇[1], 冯德新[3], 郭柏卿[4], 王兆帅[5]

(1. 成都理工大学 地球与行星科学学院, 四川 成都 610059; 2. 成都理工大学 能源学院, 四川 成都 610059; 3. 西藏远海矿产勘查有限公司, 西藏 拉萨 850000; 4. 西藏华冠矿业有限公司, 西藏 拉萨 850000; 5. 山东省地矿工程集团有限公司, 山东 济南 250013)

摘 要: 西藏隆桑矿区位于冈底斯成矿带东段, 具有良好的成矿地质背景及成矿地质条件。为指导隆桑矿区找矿勘查工作部署, 通过 EDA 法探讨了隆桑矿区 1∶10 000 土壤地球化学测量结果中 Cu、Mo、Au、Ag、Pb、Zn 等 13 种元素的异常特征, 结果表明, 矿区主要成矿元素 Cu、Mo 呈现强富集、强变异特征, 具有较大的成矿潜力和找矿前景; 根据土壤地球化学综合异常结果, 共圈定异常区 2 个, 其中 J1 异常区位于矿区中西部, 规模大, Cu、Mo 异常元素套合较好, J2 异常区位于矿区中南部, 区内异常元素以 Cu 为主, Mo 异常不显著。对 J1、J2 异常区开展工程验证, 部署钻探工程初步揭露了 J1 异常区的深部铜钼矿体, 提出 J1 异常区的北西向矿体倾斜方向深部以及矿体 NE-SW 走向方向, 是未来隆桑矿区的重点找矿区域, 本次研究成果为矿区进一步的找矿工作部署提供了科学依据。

关键词: 隆桑矿区; 土壤地球化学特征; EDA 技术; 找矿潜力; 冈底斯成矿带
中图分类号: P632; P31 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-8918(2026)05-0823-13

0 引言

青藏高原地处特提斯成矿域东段, 历经了长期地质演化过程, 形成了以三江成矿带、冈底斯成矿带、班公湖—怒江成矿带及喜马拉雅成矿带为核心的铜多金属资源分布格局[1-5]。其中冈底斯成矿带位于青藏高原南部, 夹持于班公湖—怒江缝合带(BNSZ)与雅鲁藏布江缝合带(YZSZ)之间, 为一条近 EW 向的狭长地域, 长约 2 000 km、南北宽约 100 km, 与印度—雅鲁藏布江平行, 面积达 11 万 km^2 [6-9]。带内目前已发现多个大型—超大型斑岩型铜钼矿床, 主要集中分布在冈底斯成矿带东段[10-11]。20 世纪 60 年代以来, 土壤地球化学测量逐渐成为我国综合找矿的一种重要方法, 该方法通过分析土壤中元素分布与变化规律, 圈定与成矿作用相关的地球化学异常区, 以达到找矿目标[12-14]。在西藏雄村、甲玛、驱龙等大型—超大型矿床的发现过程中, 该技术被广泛应用, 并取得了突出的找矿效果[15-17]。

西藏隆桑矿区地处冈底斯成矿带东段, 是近年来该带新勘查、评价的重要矿区之一。前人对该矿区的地质特征、成岩—成矿时代和成矿潜力等开展了相关研究[18], 但对矿区下一步的找矿方向缺乏深入的探讨, 制约着矿区进一步的找矿工作部署。因此, 为推动隆桑矿区的找矿突破, 笔者在系统整理隆桑矿区 1∶10 000 土壤地球化学测量数据的基础上, 运用探索性数据分析法(EDA)对土壤测量数据进行分析处理, 揭示土壤地球化学特征并圈定综合异常

收稿日期: 2025-12-01; **修回日期**: 2026-07-13
基金项目: 西藏自治区科技计划项目(XZ202401YD0006); 国家深地科技重大专项(SQ2024AAA060124); 国家重点研发计划项目(2022YFC2905002); 成都理工大学珠峰科学研究计划(2024ZF11407); 新一轮找矿突破战略行动科技支撑项目(ZKKJ202405、ZKKJ202427)
第一作者: 吴琦(2001-), 男, 硕士研究生, 从事矿床地球化学研究工作。 Email: 54575547@qq.com
通讯作者: 郎兴海(1982-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事矿床学和矿产普查与勘探工作。 Email: langxinghai@126.com

区，对异常区部署钻探工程进行验证，指出矿区未来的找矿方向，为实现矿区找矿突破提供科技支撑。

1　区域地质背景

青藏高原由松潘—甘孜地块、羌塘地块、拉萨地块等多个小型地块由北向南组合构成（图 1a、b）[9,19]。其中拉萨地块位于青藏高原南部，其南侧以雅鲁藏布江缝合带（YZSZ）为界，北侧以班公湖—怒江缝合带（BNSZ）为界（图 1b）[1,20-21]，被狮泉河—纳木错蛇绿混杂岩带（SNMZ）和洛巴堆—米拉山断裂带（LMF）分为南拉萨、中拉萨及北拉萨 3 个次级地块（图 1b）[9,22-23]。南拉萨地块位于雅鲁藏布江缝合带（YZSZ）与洛巴堆—米拉山断裂带（LMF）之间（图 1c）[24-27]，记录了新特提斯洋洋壳俯冲及印度—亚洲大陆碰撞造山过程，并伴随着一系列大规模的岩浆作用和成矿作用[6,28-31]。南拉萨地块的岩浆活动频繁，主要包括：与拉萨地块从冈瓦纳大陆裂解相关的岩浆作用（晚泥盆世—早石炭世）[32-33]；与新特提斯洋壳北向俯冲消减相关的岩浆作用（晚三叠世—中侏罗世及晚白垩世）[34-35]；与印度—欧亚大陆碰撞初期新特提斯洋板片回转或断离有关的岩浆作用（古新世—始新世）[26,36]；与后碰撞岩石圈拆沉有关的岩浆作用（渐新世—中新世）[37]。同时，南拉萨地块成矿作用强烈，目前已发现朱诺、雄村、厅宫、努日、驱龙、甲玛和邦铺等斑岩—矽卡岩型铜多金属矿床[38-39]。

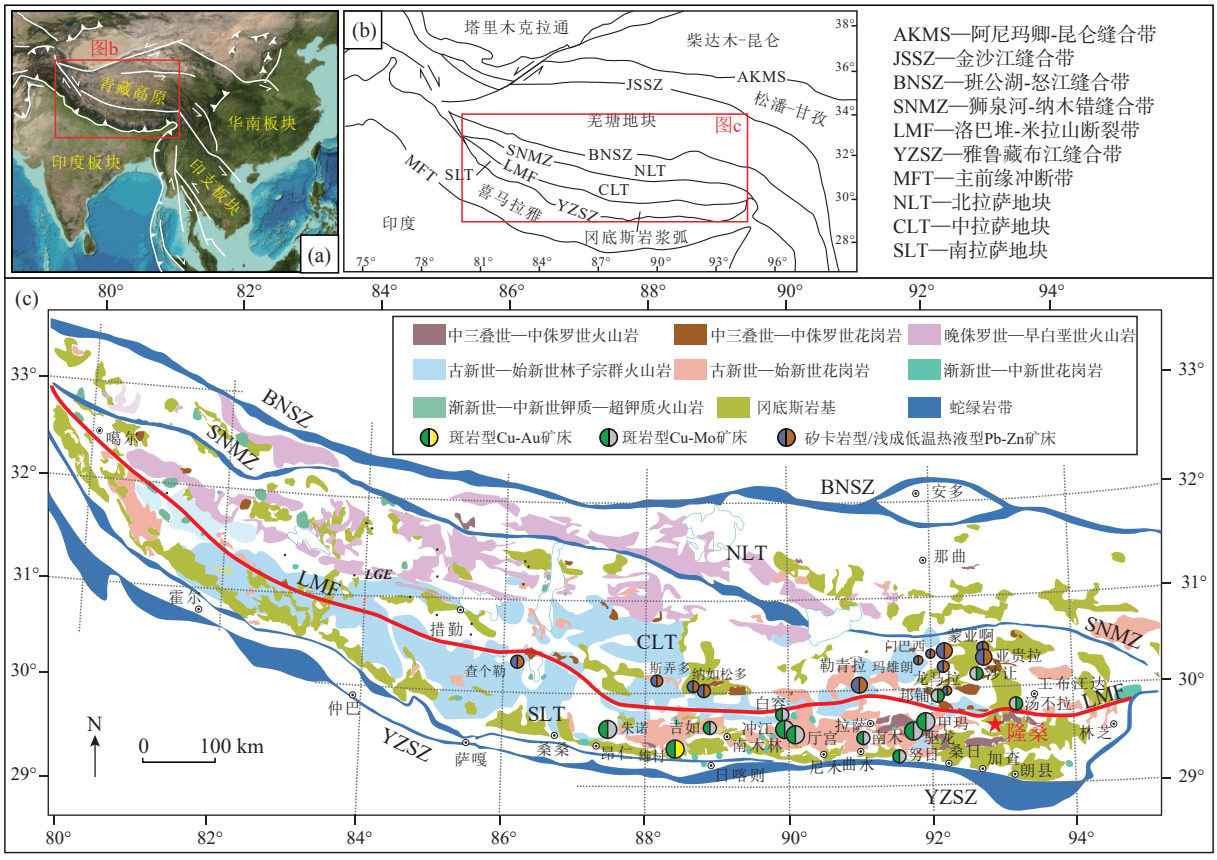


图 1　青藏高原大地构造（a）、拉萨地块地质（b）及区域矿床类型分布示意（c）

Fig. 1　The tectonic structure of the Qinghai-Xizang Plateau (a), the geology of the southern Lhasa block (b), and the schematic diagram of the distribution of regional mineral deposits (c)

2　矿区地质特征

隆桑矿区主要出露下—中侏罗统叶巴组（$J_{1\text{-}2}y$）火山岩系和第四系（Q）沉积层两套地层单元（图 2）。其中，叶巴组火山岩系以安山岩、英安岩为主要岩性，间夹少量火山碎屑岩、英安质含角砾凝灰熔岩及泥质板岩；第四系沉积层则以冰川成因的冰碛泥砾与河流成因的河床冲积砂、砾石及亚砂土为主要物质组成。区内断裂构造发育程度较高，构造线以近 EW 向和 SN 向两组断裂构造为主体（图 2）。其中，F_1、F_2 为矿区内的主控断裂构造，空间展布呈近 EW 向，集中分布于矿区北侧，倾向为 N—NE 向，倾角介于 60°~70°之间。

矿区岩浆活动强烈，区内岩浆岩具有多期次演化特征。地表主要出露黑云母花岗闪长岩，钻孔深

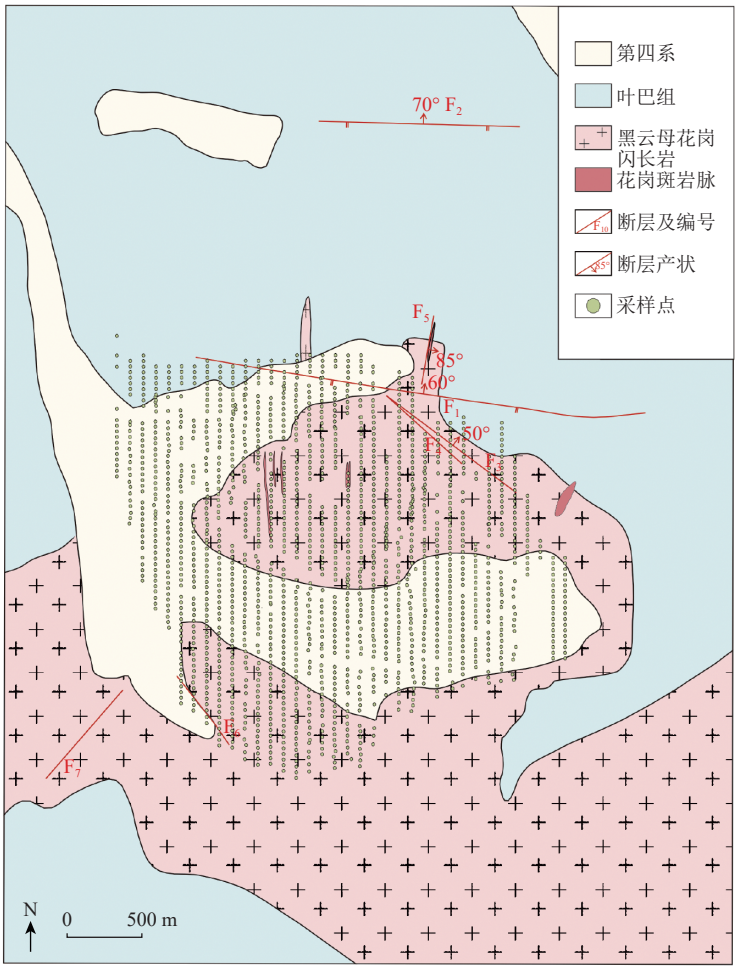


图 2　隆桑矿区地质及采样点分布

Fig. 2　Geology and sampling point distribution in the Longsang mining area

部揭露出黑云母二长花岗斑岩、粗粒似斑状花岗岩及花岗斑岩, 其中黑云母花岗闪长岩和黑云母二长花岗斑岩成岩年龄分别为 21.80±0.19 Ma 和 21.68±0.23 Ma [18]。区内蚀变作用强烈, 具有典型的斑岩型矿床蚀变分带特征, 主要发育弱钾化、绿泥石—绢云母化及黄铁绢英岩化。矿区内主要的含矿脉体包括石英—辉钼矿脉、辉钼矿脉、石英—黄铁矿—黄铜矿脉、绿泥石(黑云母)—硫化物脉, 其中辉钼矿脉中辉钼矿成矿年龄为 19.1±0.6 Ma[18]。

3　样品采集与数据分析

3.1　样品采集与测试

隆桑矿区的 1∶10 000 土壤地球化学测量按 100 m×40 m 的测网采样, 测线方向 0°, 共布设 40 条测线, 实际完成面积约 10 km^2, 样品均采集自接近基岩上部的残坡积层, 共采集 1 713 件土壤样品, 平均采样密度约 171.3 件/km^2(图 2)。样品测试元素为 Cu、Mo、Au、Ag、Zn、Pb、Hg、Bi、Cd、Co、Sb、Sn、W 共 13 种, 全部送至西南冶金分析测试中心实验室进行分析测试。其中 Cu、Mo、Au、Pb、Zn、Co、W、Cd 采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测试, Sb、Bi、Hg 采用原子荧光法(AFS)测定, Sn、Ag 采用发射光谱法(ES)测试。所检测样品报出率均大于 90%, 按样品的 30% 进行密码抽查, 密码检查合格率 100%, 内检合格率为 97.96%, 各元素的重复性检验一次合格率均大于 90%, 达到了监控质量的目的。本次全部送检样品均符合《地质矿产实验室质量管理规范》(DZ/T 0130—2006)中化探样品分析质量的相关要求, 化探测试结果质量可靠。

3.2　土壤地球化学参数特征

采用 SPSS 统计软件与 Excel 数据处理工具对 13 种土壤样品元素分析结果进行统计, 得到最小值、中位数、最大值、平均值、标准离差、变异系数、克拉克值及区域浓集系数等关键参数(表 1)。

根据数理统计分析结果, 矿区内 Mo、Au、Ag、Pb、Sb、Bi、W 的变异系数均大于 1.5, 属于强变异元素; Cu、Cd 的变异系数处于 1~1.5 之间, 属于中等变

异元素；Zn、Co、Sn、Hg的变异系数均小于0.7，属于弱变异元素；表明Mo、Au、Ag、Pb、Sb、Bi、W、Cu、Cd在矿区内离散程度相对较高，空间分布差异显著，呈现出极不均匀的特点。进一步分析区域浓集系数发现，Cu、Mo、Au、Ag、Bi、Pb、W的区域浓集系数均超过1.5，表现为显著富集特征；Cd的区域浓集系数为1.27，处于1.2~1.5之间，表现为明显富集；Co、Sn、Zn的区域浓集系数处于1.0~1.2附近，为正常幅度；Hg、Sb的区域浓集系数小于0.8，明显低于背景值，呈现贫乏。这一数据特征反映出矿区内Cu、Mo、Au、Ag、Bi、Pb、W在特定范围内呈现出显著的浓集效应，具备较高的富集成矿潜力，其中Cu、Mo、Ag、Bi和W的富集能力尤为显著，Au、Pb的富集能力次之。

表1　隆桑矿区土壤地球化学测量数据统计

Table 1　Statistics of soil geochemical measurement data in Longsang mining area

参数	Cu	Mo	Au	Ag	Pb	Zn	Sb	Cd	Bi	W	Co	Sn	Hg
最小值	7.79	0.71	0.16	0.05	20	25.2	0.15	0.02	0.16	1.24	1.55	1.38	0.002
中位数	69.7	8.17	2.86	0.28	47.5	85.8	1.02	0.19	1.26	12.5	12	3.15	0.03
最大值	3 713	557	148	16.7	1 064	832	67	7.2	136	922	55.8	11.5	0.17
平均值	134.32	25.43	9.21	0.45	71.59	93.72	1.37	0.35	2.21	26.73	11.56	3.16	0.03
标准离差	190.44	45.7	14.45	0.91	261.28	47.82	2.7	0.48	7.71	58.09	4.51	0.72	0.02
变异系数	1.42	1.8	1.57	2.04	3.65	0.51	1.97	1.39	3.5	2.17	0.39	0.23	0.66
克拉克值(西藏)	23.8	0.85	1.6	0.085	28.1	77.4	1.32	0.15	0.48	2.65	12.3	3.48	29.9
区域浓集系数	2.93	9.61	1.79	3.29	1.69	1.11	0.77	1.27	2.63	4.72	0.98	0.91	0

注：Au含量单位为10^{-9}，其余元素含量单位为10^{-6}；变异系数=标准差/平均值×100%；区域浓集系数=中位数/克拉克值×100%；克拉克值(西藏)引自李光明等[40]及韩鹏等[41]。

综上，隆桑矿区内Cu、Mo、Au、Ag、Bi分异特征显著，离散程度较高，显示出较强的富集能力，在不同地区具有明显的含量变化趋势。在单元素异常图上，这些特点则表现为局部异常区域，考虑矿区目前已发现的矿化主要以Cu和Mo为主，表明该矿区内Cu和Mo具有较大的成矿潜力，Au、Ag、Bi对找矿具有一定的指示意义。

3.3　元素地球化学分布组合特征

3.3.1　相关分析

为揭示矿区土壤中不同地球化学元素间的内在关联，对矿区内采集的1 713组土壤地球化学样品数据开展SPSS相关性分析，在置信水平取0.01时，相关系数临界值为0.062，得到各元素间的相关系数矩阵(图3)，图中圆形越大表示相关系数越接近1。其中Cu与Mo之间的相关系数为0.4，与W之间的相关系数为0.32，Mo与W之间的相关系数为0.49，三者同属斑岩型矿床的指示元素，表明其在成矿过程中有一定的地球化学关系，可用于指示潜在斑岩型矿化体。Ag与Pb之间的相关性系数为0.32，与Zn之间的相关系数为0.21，Pb与Zn之间的相关系数为0.49，三者为典型的多金属硫化物矿化元素，异常组合分布多指示多金属硫化物矿化中心。Bi与W的相关系数达到0.8，与Sn的相关系数为0.12，三者为高温热液元素，异常多指向热液中心。Hg与Au的相关系数为0.27，反映出矿区低温元素之间存在一定关联性。相关性分析结果表现出矿区深部斑岩型矿化和浅部低温热液型矿化并存的元素分带特性，Cu、Mo等典型的斑岩型矿化元素组合位于矿区深部，Hg、Au等元素组合位于矿区浅部。

3.3.2　聚类分析

采用SPSS软件对隆桑矿区土壤样品中的Cu、Mo、Au、Ag、Pb、Zn等13种元素数据进行R型聚类分析，建立相关矩阵(图4)。由图4所示，当欧氏距离取值为20时，隆桑矿区元素可划分为4类组合：Cu-Mo-W-Bi组合、Sn-Ag-Pb-Zn-Co组合、Au-Hg-Sb组合及Cd单元素组合。Cu-Mo代表了斑岩型Cu-Mo矿化的成矿元素组合，Ag-Pb-Zn及Au则反映了斑岩型Cu-Mo矿化外围的元素组合特征。

1)Cu-Mo-W-Bi组合。Cu、Mo、W、Bi归为一组，均为高温元素组合，指示这4种元素在矿区中可能存在共生或伴生的关系。其中Cu、Mo、W为斑岩型矿床典型的高温元素，表明矿区深部存在高温岩浆热液活动，指示存在斑岩型铜钼矿化或高温热液多金属矿化中心。

2)Sn-Ag-Pb-Zn-Co组合。Sn、Ag、Pb、Zn、Co归为一组，其中Sn指示中高温岩浆热液活动，与分布在矿区深部的铜钼矿化相关，Ag、Pb、Zn为典型的中温热液成矿元素，Co则常与热液蚀变有关，反映了斑岩型矿化向浅部演化过程中的垂向分带特征，为斑岩型Cu-Mo矿化外围的元素组合。

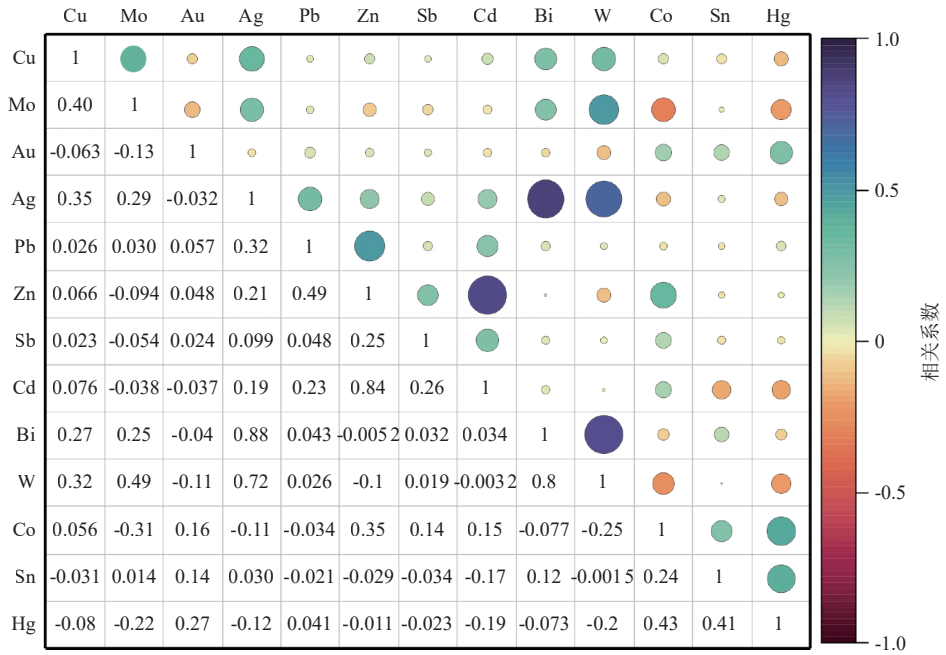


图 3　隆桑矿区土壤地球化学分析元素相关矩阵

Fig. 3　Correlation matrix of elements for soil geochemical analysis in Longsang mining area

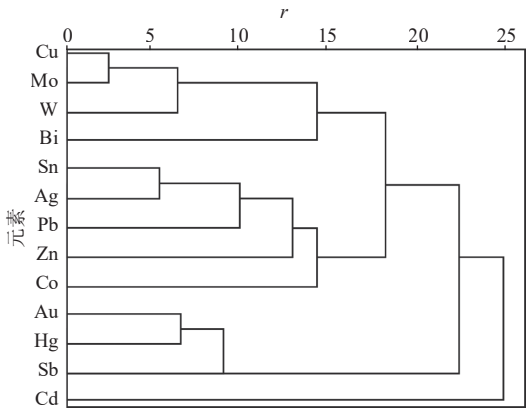


图 4　矿区土壤化学元素 R 型聚类分析谱系

Fig. 4　R-type cluster analysis lineage of soil chemical elements in the study area

3)Au-Hg-Sb 组合。Au、Hg、Sb 归为一类, 该元素组合为中低温元素组合, 与矿区浅部热液活动有关, 均为亲硫元素, 反映了矿区斑岩型铜钼成矿系统外围可能存在的中低温热液 Au-Hg-Sb 成矿作用。

4)Cd 元素。Cd 为典型的指示性伴生元素, 多出现在矿化外围多金属硫化物带或浅部叠加矿化, 指示本矿区存在多金属硫化物带或矿化中心。

3.3.3　因子分析

经 KMO 和 Bartlett 检验, 本次数据的 KMO 值为 0.572(>0.5), Bartlett 球形检验 Sig 值为 0(<0.05), 符合因子分析前提。据此, 采用 SPSS 软件对土壤地球化学数据进行主成分 R 型因子分析(表 2)。由表 2 可知, F1(Cu-Mo-W-Bi)因子方差贡献率最大, 为 24.442%, 可作为本区的主因子, 指示矿区的主导成矿系统为高温斑岩型铜钼矿化, Cu、Mo 为矿区主成矿元素, W、Bi 同为高温元素, 其异常反映出矿体存在于较深位置, 受剥蚀程度较低。F2(Sn-Ag-Pb-Zn-Co)因子方差贡献率为 18.293%, 该组合中元素 Ag、Pb、Zn 为典型的中温热液硫化物成矿元素, 反映了主成矿元素的前缘(外围)指示元素, Co 指示热液蚀变活动, Sn 为高温元素, 与早期高温热液活动有关。F3(Au-Hg-Sb)因子方差贡献率为 14.003%, Au、Hg、Sb 均为中低温元素, 与深部高温矿化形成垂向分带。F4 为 Cd, 方差贡献率为 8.171%。

表 2　隆桑矿区因子分析结果

Table 2　Factor analysis results of Longsang mining area

元素	F1	F2	F3	F4
Cu	0.500	0.033	0.088	0.262
Mo	0.584	−0.262	−0.080	0.127
Au	−0.187	0.158	0.715	0.272
Ag	0.478	0.185	0.226	−0.156
Pb	0.209	0.516	−0.038	−0.624
Zn	0.107	0.937	−0.130	−0.037
Sb	0.073	0.408	0.52	0.213
Cd	0.186	0.799	−0.335	0.409
Bi	0.837	−0.293	0.351	−0.040
W	0.876	−0.185	0.155	0.005
Co	−0.305	0.496	0.484	0.396
Sn	−0.076	0.514	0.424	0.004
Hg	−0.344	0.129	0.742	0.42
旋转后累积方差贡献率/%	24.442	42.735	56.738	64.909

4 土壤地球化学特征

4.1 单元素异常特征

探索性数据分析方法(exploratory data analysis, EDA)隶属于稳健统计学范畴, 与经典统计学相比, 其核心优势在于无需以数据服从正态分布作为前提假设, 有效突破了传统统计方法对数据分布形态的局限, 具备更强的适用性与稳健性[42,43-44], 在雄村、松树南沟等矿区[41, 45-46] 的勘查中起到了重要作用。因此本研究选择采用 EDA 法计算得出的异常下限值作为土壤元素异常圈定的核心参数, 具体步骤如下: 以采样点为中心, 分别选择大小不同的数据窗口, 采用大窗口提取区域地球化学背景值, 小窗口提取局部异常, 计算每个窗口内的数据平均值。然后, 通过移动平均法将小窗口的平均值减去大窗口的平均值, 得到每个采样点的剩余值, 用来反映局部异常强度, 计算出剩余值的下四分位数 (Q_1) 、中位数 (m) 、上四分位数 (Q_3) , 进而求得内散度 $S_h = Q_3-Q_1$, 同时以中位数为背景值, 依据 $Fu = Q_3+1.5S_h$ 公式计算异常下限, 计算结果如表 3 所示。将处理好的数据放入 Surfer 软件对其进行离散网格化处理, 采用泛克里金插值算法, 具体参数设置如下: 变异函数模型选用指数模型, 块金值设置为 0.1, 基台值取数据方差的 85%; 搜索半径设定为数据点平均间距的 3 倍, 最小邻近点数限定为 12 个; 考虑空间各向异性, 在 X / Y 方向设置 1.5∶1 的椭球搜索策略。通过交叉验证优化参数组合, 使预测误差均方根降低至原始数据的 5% 以下。该参数设置可有效平衡局部变异特征与全局趋势, 将高值点位移控制在网格间距的 1/2 范围内, 同时通过设置最大外推距离限制, 避免在空白区产生不合理的高值漂移现象, 同时使用线性分析法, 将异常图中存在的线性分布提出, 使用差值消除异常图中存在的线性问题。以表 3 所示异常下限值作为基准, 分别取其 1、2、4 倍的数值当作边界, 完成单元素异常图绘制(图 5)。

表 3 隆桑矿区土壤地球化学异常下限

Table 3 Lower limit of soil geochemical anomalies in Longsang mining area

参数	Cu	Mo	Au	Ag	Pb	Zn	Sb	Cd	Bi	W	Co	Sn	Hg
下四分位数(Q_1)	39.9	4	1.72	0.16	39	73.65	0.7	0.13	0.88	7.13	8.52	2.65	0.013
中位数(m)	69.7	8.17	2.86	0.28	47.5	85.8	1.02	0.19	1.26	12.5	12	3.15	0.03
上四分位数(Q_3)	164	25.7	11.2	0.49	70.9	99.7	1.21	0.35	1.95	25.1	14.3	3.62	0.04
内散度(S_h)	124.1	21.7	9.48	0.33	31.9	26.05	0.51	0.22	1.07	17.97	5.78	0.97	0.03
异常下限(Fu)	350.15	58.25	25.42	0.99	118.75	138.78	1.98	0.68	3.56	52.06	22.97	5.08	0.08

注: Au含量单位为10^{-9}, 其余元素含量单位为10^{-6}。

从图 5 可以看出, 矿区 Cu 异常强度高, 具清晰的三级浓度分带结构, 异常区整体呈 NW—SE 向展布于研究区中北部, 与 Mo、Bi、W 高温元素组合在区域中部呈现高度套合; 异常外围及边部则伴随 Au 异常显示。地质上, 该异常区西侧覆盖第四系沉积物, 中部异常浓集中心发育于黑云母花岗闪长岩体内, 北侧涉及下—中侏罗统叶巴组火山岩系, 且异常带与断裂构造及强烈蚀变带空间耦合, 地表可见良好的铜钼矿化露头。

Ag 异常强度较高, 元素套合性良好, 具显著的三级浓度分带及多个浓集中心。异常总体呈近 SN 向展布于研究区东北部, 与 Pb、Zn 异常局部融合, 且严格受断裂构造控制。异常区主要出露黑云母花岗闪长岩, 仅见少量零星异常散布于周边, 反映主成矿作用与岩体关系密切。

Sn、Hg、Co 异常主要分布于研究区南部, 其中 Co 与 Hg 异常整体空间叠合较好; Sn 异常除南部主体外, 其西北部与 Cu、Mo 高温异常区呈明显套合, 指示深部高温热液活动对浅部元素的叠加改造。

Cd 与 Sb 异常主要分布于研究区东部, 异常强度高, 三级浓度分带明显, 发育多个浓集中心。异常带主要产于黑云母花岗闪长岩与中侏罗统叶巴组火山岩系的接触带附近, 受岩性界面控制显著。

在隆桑矿区 1∶10000 土壤地球化学异常分布(图 5)中可以看出, 隆桑矿区主要以 Cu、Mo 异常为主, 伴有 Au、Ag、Pb、Zn 等元素异常。Cu、Mo 主要分布于矿区西北侧, 元素异常强度高、套合较好, 三级浓度分带明显, 元素峰值高; Ag 套合较好, 分布在矿区北侧和西南侧; Au 呈南北带状分布, 高值主要集中于西侧。整体来看, 隆桑矿区 Cu、Mo 异常的走向与展布方向大致相同, 存在明显的异常区域, 具有良好的找矿潜力。

4.2 综合异常区特征

综合研究区各元素地球化学参数统计特征、单

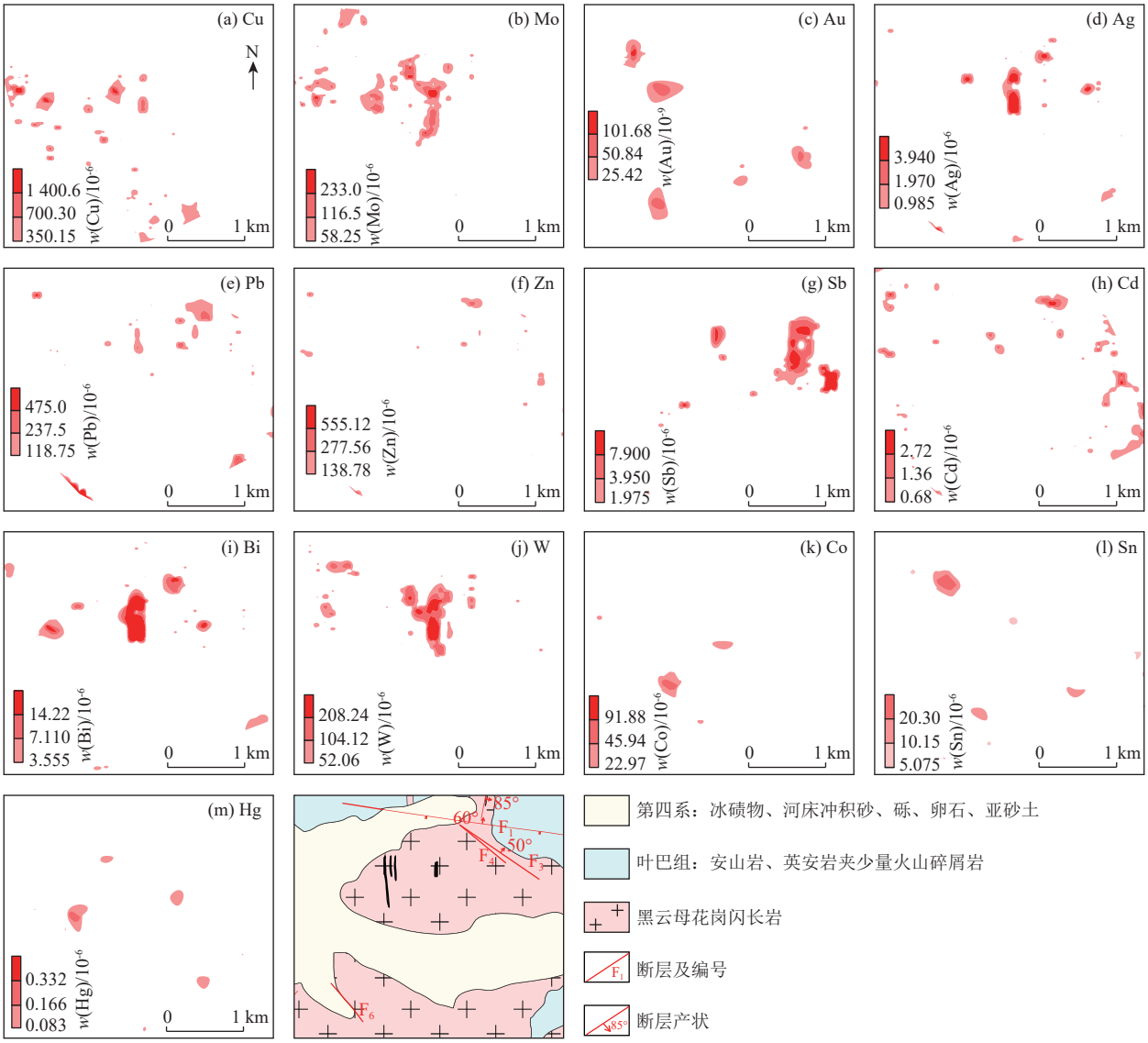


图 5　隆桑矿区 1 ∶ 10 000 土壤地球化学元素异常分布

Fig. 5　Distribution map of soil geochemical element anomalies in Longsang mining area 1∶10 000

元素异常特征、多元统计分析结果，同时结合研究区地形地貌特征与区域地质背景差异，优先选择多目标成矿指示元素异常空间叠合度高、范围匹配性好的区域，确保圈定区域内的元素组合与已知矿产类型或控矿地质体具有明确的成因关联，注重异常区域与有利成矿地质单元的空间重叠性。与此同时，为提升异常可靠性，对研究区内存在的“无效异常”进行针对性优化处理，对于元素异常叠加程度低、与成矿地质条件不匹配的区域，采取选择性去除或空间分割。基于以上原则，在单元素异常图基础上，鉴于该矿区地表出露 Cu、Mo 矿化，结合 Au、Hg、Sb 为矿区亲硫元素，W、Bi、Sn、Ag、Pb、Zn、Co 指示矿化的垂向分带特征，本次研究以 Cu、Mo 异常作为识别矿化中心的主要元素，共圈定出 2 处具有重要找矿指示意义的综合异常区，编号为 J1 和 J2(图 6)。

J1 综合异常区位于矿区中部偏西位置，面积约 2.25 km^2，西侧未完全封闭(矿区范围外未采样)，区域内元素以 Mo 为主，Cu 呈小规模团块状分布。Cu 最大值为 3 713×10^{-6}，最小值为 479×10^{-6}；Mo 最大值为 557×10^{-6}，最小值为 61.23×10^{-6}，异常区内主要成矿元素异常套合较好。异常区内的岩石类型主要为下—中侏罗统叶巴组和黑云母花岗闪长岩，地表发育黄铁绢英岩化蚀变，局部可见黄铜矿、辉钼矿。

J2 综合异常区位于矿区南部偏东位置，面积约 0.4 km^2，整体封闭，区域内元素以 Cu 为主，含少量 Mo。Cu 最大值为 909×10^{-6}，最小值为 378×10^{-6}；Mo 最大值为 63.67×10^{-6}，最小值为 59.38×10^{-6}，主要成矿元素异常套合较好。异常区内的岩石类型主要为下—中侏罗统叶巴组和黑云母花岗闪长岩。

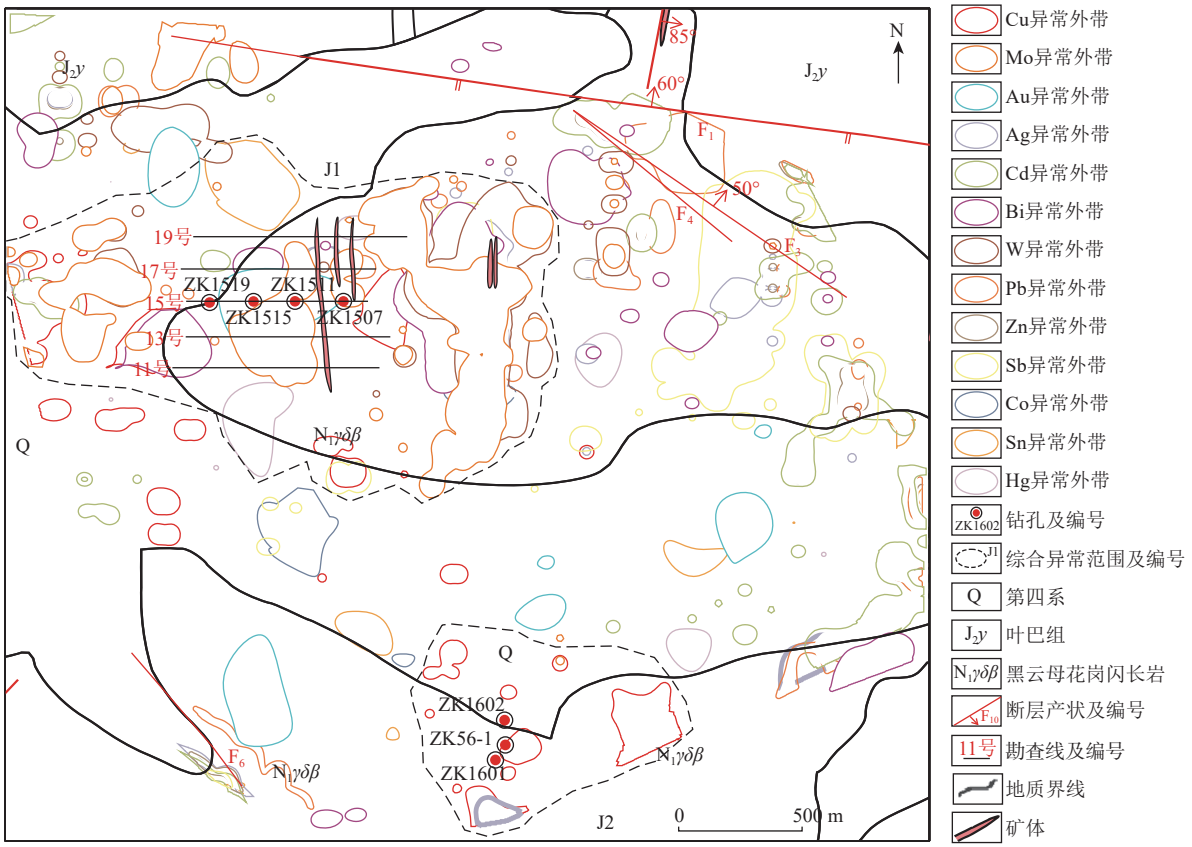


图 6　隆桑矿区土壤化学元素综合异常

Fig. 6　Comprehensive anomalies of soil chemical elements in the Longsang mine concentration area

5　工程验证与找矿方向

根据土壤地球化学异常特征，对上述 J1、J2 异常区开展了工程验证。

5.1　J1 异常区

目前共布设了 14 个钻孔进行异常验证，施工钻孔揭露了厚大铜钼矿体。以 15 号勘查线为例(图 7)，钻孔 ZK1515 揭露多层矿体，其中连续矿化段最厚为 128 m(137.25~265.2 m)，铜平均品位达到 0.22%；钻孔 ZK1519 也揭露多层矿体，其中连续矿化段最厚为 94 m(37.9~132.2 m)，铜平均品位达到 0.19%。钻孔所揭示的矿(化)体产状呈层状、似层状展布，倾角约为 15°，倾向 NE，主要产出于黑云母二长花岗斑岩(图 8a、b)和黑云母花岗闪长岩中(图 8c、d)。黑云母二长花岗斑岩为块状构造、斑状结构，主要由斑晶和基质组成，斑晶主要包括石英斑晶(约为 30%)、钾长石斑晶(约为 10%)和斜长石斑晶(约为 15%)，基质主要包括黑云母、石英、斜长石和钾长石；黑云母花岗闪长岩为块状构造、粗粒花岗结构，基质主要包括黑云母、石英、斜长石和钾长石，含少量角闪石。热液蚀变主要发育弱钾化(图 9a、b)和绿泥石—绢云母化蚀变(图 9c、d)，其中弱钾化主要为钾长石化和黑云母化，钾长石化发育形成蚀变晕，黑云母化发育形成团块状黑云母；绿泥石—绢云母化叠加在弱钾化上，是主要的赋矿蚀变，以黑云母、角闪石、斜长石等矿物被蚀变为绿泥石或绢云母为主，其中绢云母主要呈鳞片状沿其他矿物颗粒间隙或矿物裂隙充填，形成弥散状。矿石类型主要为细脉—浸染状铜钼矿石(图 9e~h)。验证结果表明，J1 异常区具有较大寻找大型斑岩铜钼矿床的潜力，从目前钻孔控制情况来分析，矿体倾斜方向的深部和走向方向尚未得到控制，未来找矿重点是进一步部署探矿工程控制 J1 异常区的北西部矿体倾斜方向深部以及矿体 NE—SW 走向方向的延伸情况。

5.2　J2 异常区

目前在 J2 区域已布设了少量钻探工程(ZK56-1、ZK1601、ZK1602，见图 6)进行验证，其中钻孔 ZK56-1 见到低品位铜钼矿化，矿化体厚度分别为 4.5~10.5 m、33~54 m，铜品位在 0.019%~0.24%、0.011%~0.17% 之间。钻孔揭露的低品位铜钼矿(化)体主要产出于黑云母二长花岗斑岩和黑云母花岗闪长岩中；热液蚀变以黄铁绢英岩化为主，伴随少量弱钾化现象；矿化主要为稀疏浸染状，并且主要集中在钻孔

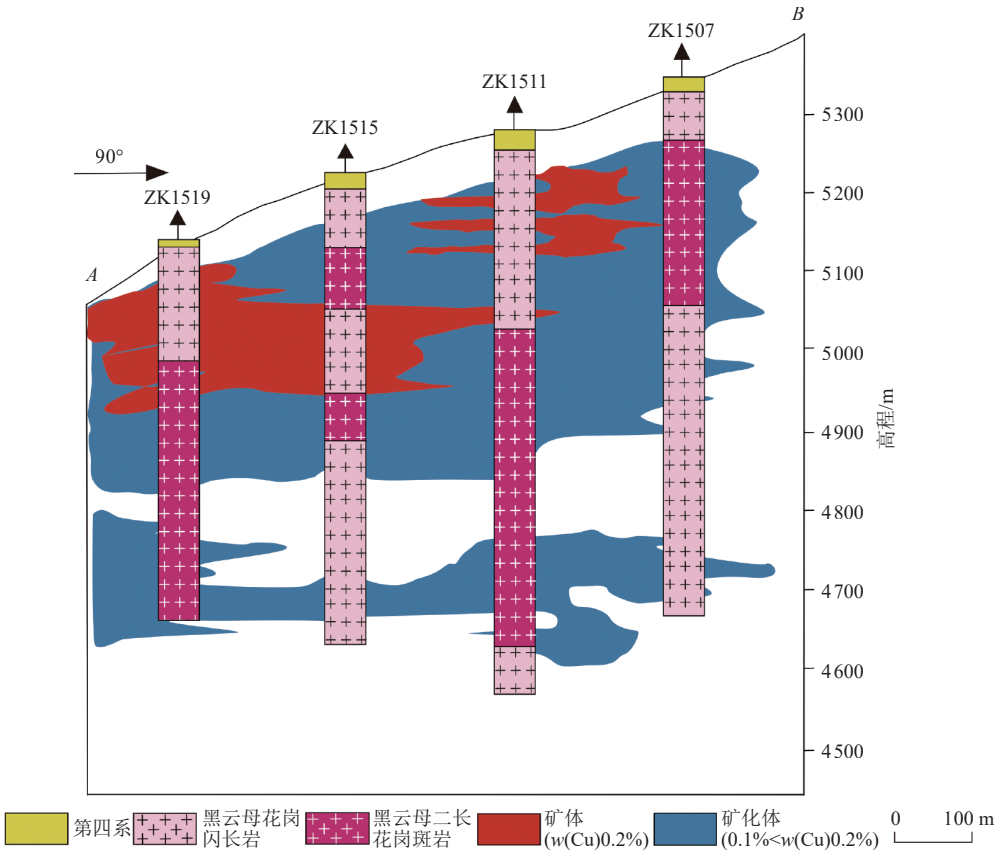
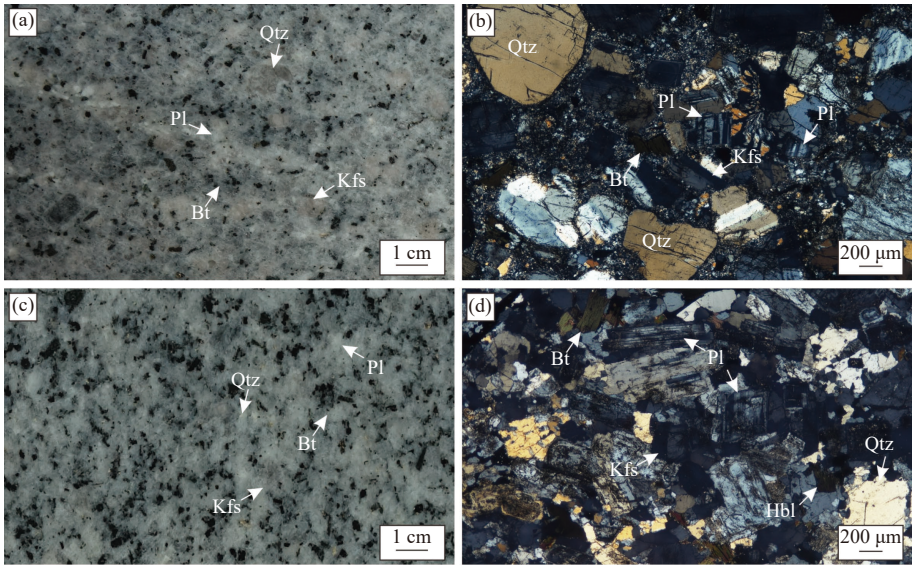


图 7　隆桑矿区 15 号勘探线剖面

Fig. 7　Profile of exploration line 15 in the Longsang mining area



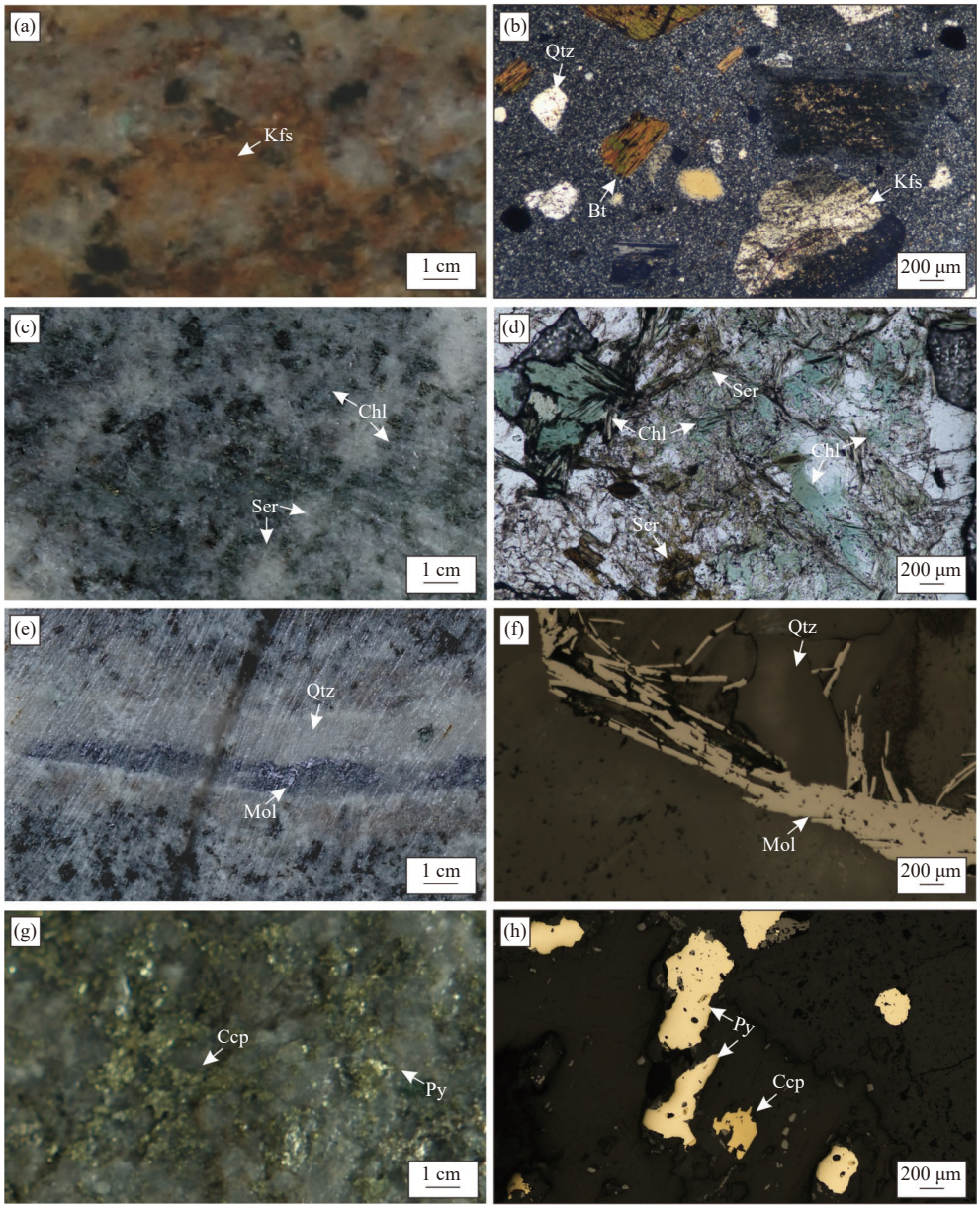
a—黑云母二长花岗斑岩; b—黑云母二长花岗斑岩显微照片; c—黑云母花岗闪长岩; d—黑云母花岗闪长岩显微照片; Bt—黑云母; Qtz—石英; Pl—斜长石; Kfs—钾长石; Hbl—角闪石

a—biotite monzogranite porphyry;b—microscopic image of biotite monzogranite porphyry; c—biotite granodiorite;d—microscopic image of biotite granodiorite; Bt—biotite; Qtz—quartz; Pl—plagioclase; Kfs—potassium feldspar; Hbl—hornblende

图 8　隆桑矿区 15 号线岩体手标本及镜下

Fig. 8　Hand specimen of the rock mass of Line 15 in Longsang mining area and under the microscope

浅部。从目前钻孔控制情况来分析, J2 异常区深部矿化较弱, 建议不作为目前矿区的重点勘查区域, 后期可结合 J1 异常区的找矿进展和对矿区矿化—蚀变特征的认识, 再进一步有针对性的部署探矿工程。



a—弱钾化; b—弱钾化显微照片; c—绿泥石-绢云母化; d—绿泥石-绢云母化显微照片; e—石英辉钼矿脉; f—石英辉钼矿脉显微照片; g—浸染状; h—浸染状显微照片; Bt—黑云母; Qtz—石英; Pl—斜长石; Kfs—钾长石; Ser—绢云母; Chl—绿泥石; Mol—辉钼矿; Ccp—黄铜矿; Py—黄铁矿

a—weak potassification; b—microscopic photo of weak potassification; c—chlorite-muscovite alteration; d— microscopic photo of chlorite-muscovite alteration; e—quartz-molybdenite vein; f—microscopic photo of quartz-molybdenite vein; g—disseminated; h—microscopic photo of disseminated; Bt—biotite; Qtz—quartz; Pl—plagioclase; Kfs—potassium feldspar; Ser—muscovite; Chl—chlorite; Mol—molybdenite; Ccp—chalcopyrite; Py—pyrite

图 9　隆桑矿区 15 号线蚀变、脉体手标本及镜下

Fig. 9　Alteration, vein body hand specimen and microscope of Line 15 in Longsang mining area

6　结论

1)通过对矿区 1∶10 000 土壤地球化学沉积物样品测试数据进行多元统计分析, 并结合各单元素异常特征分析, 确定 Cu、Mo 的成矿潜力较强, 是主要成矿元素。

2)矿区内共圈定 2 处综合异常区, 其中 J1 异常区规模较大, Cu、Mo 元素套合较好; J2 异常区内以 Cu 为主, Mo 含量较低。在 J1 异常区内布设钻探工程对其验证, 深部揭露出厚大铜钼矿体; 在 J2 异常区布设钻探工程对其验证, 浅部揭露低品位铜钼矿化体。

3)工程验证结果表明, J1 异常区目前重点是进一步部署钻探工程控制铜钼矿体的北西向深部和 NE—SW 走向方向的延伸情况, J2 异常区建议不作

为目前的重点勘查区域。

参考文献(References):

[1] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, 28: 211−280.

[2] Deng J, Wang Q F, Li G J, et al. Tethys tectonic evolution and its bearing on the distribution of important mineral deposits in the Sanjiang region, SW China[J]. Gondwana Research, 2014, 26(2): 419−437.

[3] 唐菊兴, 王勤, 杨欢欢, 等. 西藏斑岩—矽卡岩—浅成低温热液铜多金属矿成矿作用、勘查方向与资源潜力 [J]. 地球学报, 2017, 38(5): 571−614.
Tang J X, Wang Q, Yang H H, et al. Mineralization, exploration and resource potential of porphyry-skarn-epithermal copper polymetallic deposits in Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2017, 38(5): 571−614.

[4] 吴治君, 赵明峰, 张钟华, 等. 贵州省望谟县大观金矿成矿模式探讨 [J]. 西部探矿工程, 2018, 30(12): 135−137, 141.
Wu Z J, Zhao M F, Zhang Z H, et al. Discussion on metallogenic model of Daguan gold deposit in Wangmo County, Guizhou Province[J]. West-China Exploration Engineering, 2018, 30(12): 135−137, 141.

[5] 陈加杰, 高泓泽, 冷成彪, 等. 三江地区铜资源时空分布规律及成矿动力学背景研究进展 [J]. 岩石学报, 2025, 41(8): 2718−2730.
Chen J J, Gao H Z, Leng C B, et al. The spatio-temporal distribution and research advances on metallogenic geodynamic settings of copper resources in the Sanjiang region[J]. Acta Petrologica Sinica, 2025, 41(8): 2718−2730.

[6] 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化 [J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 521−533.
Pan G T, Mo X X, Hou Z Q, et al. Spatial-temporal framework of the gangdese orogenic belt and its evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(3): 521−533.

[7] 王立全, 潘桂棠, 朱弟成, 等. 西藏冈底斯带石炭纪—二叠纪岛弧造山作用: 火山岩和地球化学证据 [J]. 地质通报, 2008(9): 1509−1534.
Wang L Q, Pan G T, Zhu D C, et al. Carboniferous-Permian island arc orogenesis in the Gangdise belt, Tibet, China: Evidence from volcanic rocks and geochemistry[J]. Geological Bulletin of China, 2008(9): 1509−1534.

[8] 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 等. 西藏冈底斯带侏罗纪岩浆作用的时空分布及构造环境 [J]. 地质通报, 2008, 27(4): 458−468.
Zhu D C, Pan G T, Wang L Q, et al. Spatial-temporal distribution and tectonic setting of Jurassic magmatism in the Gangdise belt, Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(4): 458−468.

[9] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2011, 301(1-2): 241−255.

[10] 唐菊兴, 多吉, 刘鸿飞, 等. 冈底斯成矿带东段矿床成矿系列及找矿突破的关键问题研究 [J]. 地球学报, 2012, 33(4): 393−410.
Tang J X, Duo J, Liu H F, et al. Minerogenetic series of ore deposits in the east part of the gangdise metallogenic belt[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2012, 33(4): 393−410.

[11] 唐菊兴, 林彬, 杨欢欢, 等. 西藏斑岩—矽卡岩—浅成低温热液型矿床地质特征及找矿方向 [J]. 矿床地质, 2024, 43(6): 1223−1265.
Tang J X, Lin B, Yang H H, et al. Geological characteristics and prospecting direction of porphyry-skarn-epither-mal deposits in Xizang[J]. Mineral Deposits, 2024, 43(6): 1223−1265.

[12] 张善明, 冯罡, 张建, 等. 运用土壤地球化学寻找深部矿体的原理及方法 [J]. 地质与勘探, 2011, 47(6): 1114−1123.
Zhang S M, Feng G, Zhang J, et al. Principle and methods to search for ore bodies at depth using soil geochemistry[J]. Geology and Prospecting, 2011, 47(6): 1114−1123.

[13] 席明杰, 马生明, 朱立新, 等. 西藏羊八井—宁中地区水系沉积物中分散元素地球化学特征及其对找矿的指示意义 [J]. 地球学报, 2013, 34(6): 702−712.
Xi M J, Ma S M, Zhu L X, et al. Geochemical characteristics of dispersed elements in stream sediments of yangbajain-nyingzhong area, Tibet and their significance in ore prospecting[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2013, 34(6): 702−712.

[14] 陈焕元, 吕赟珊. 浙江铜山寺矿区土壤地球化学特征及找矿方向 [J]. 矿产勘查, 2016, 7(2): 329−338.
Chen H Y, Lu Y S. Soil geochemical characteristics and prospecting direction of Tongshansi mineralization area in Deqing county, Zhejiang[J]. Mineral Exploration, 2016, 7(2): 329−338.

[15] 郎兴海, 陈毓川, 唐菊兴, 等. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿集区 I 号矿体的岩石地球化学特征: 对成矿构造背景的约束 [J]. 地质与勘探, 2010, 46(5): 887−898.
Lang X H, Chen Y C, Tang J X, et al. Characteristics of rock geochemistry of orebody No. I in the Xiongcun porphyry copper-gold metallogenic district, Xietongmen County, Tibet: Constraints on metallogenic tectonic settings[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(5): 887−898.

[16] 陈陵康, 徐狮, 张恋, 等. 西藏驱龙矿区水文地球化学特征及找矿启示 [J]. 金属矿山, 2014(11): 100−104.
Chen L K, Xu S, Zhang L, et al. Hydrogeochemical characteristics and prospecting implications in qulong ore area, Tibet[J]. Metal Mine, 2014(11): 100−104.

[17] 祁婧, 唐菊兴, 林彬, 等. 西藏甲玛矿床则古朗北矿段花岗斑岩 U-Pb 年龄及地球化学特征 [J]. 地质学报, 2021, 95(3): 822−836.
Qi J, Tang J X, Lin B, et al. Zircon U-Pb age and geochemistry of the granite porphyry in northern Zegulang of Jiama deposit, Tibet[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(3): 822−836.

[18] 吴昌益, 郎兴海, 邓煜霖, 等. 西藏工布江达县隆桑斑岩型铜钼矿床成岩—成矿时代及成矿潜力 [J]. 地球科学, 2025, 50(11): 4337−4354.
Wu C Y, Lang X H, Deng Y L, et al. Diagenetic-metallogenic age and mineralization potential of longsang porphyry Cu-Mo deposit, gongbu Jiangda County, Xizang[J]. Earth Science, 2025, 50(11): 4337−4354.

[19] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. Cambrian bimodal volcanism in the Lhasa Terrane, southern Tibet: Record of an early Paleozoic Andean-type magmatic arc in the Australian proto-Tethyan margin[J]. Chemical Geology, 2012, 328: 290−308.

[20] Royden L H, Burchfiel B C, van der Hilst R D. The geological evolution of the Tibetan Plateau[J]. Science, 2008, 321(5892): 1054−1058.

[21] Xu Z Q, Dilek Y, Yang J S, et al. Crustal structure of the Indus-Tsangpo suture zone and its ophiolites in southern Tibet[J]. Gondwana Research, 2015, 27(2): 507−524.

[22] Zhu D C, Mo X X, Niu Y L, et al. Geochemical investigation of early Cretaceous igneous rocks along an east-west traverse throughout the central Lhasa Terrane, Tibet[J]. Chemical Geology, 2009, 268(3-4): 298−312.

[23] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau[J]. Gondwana Research, 2013, 23(4): 1429−1454.

[24] Hou Z Q, Duan L F, Lu Y J, et al. Lithospheric architecture of the Lhasa terrane and its control on ore deposits in the Himalayan-Tibetan Orogen[J]. Economic Geology, 2015, 110(6): 1541−1575.

[25] Yang Z M, Hou Z Q, Chang Z S, et al. Cospatial Eocene and Miocene granitoids from the Jiru Cu deposit in Tibet: Petrogenesis and implications for the formation of collisional and postcollisional porphyry Cu systems in continental collision zones[J]. Lithos, 2016, 245: 243−257.

[26] He Q, Lang X H, Li L, et al. U-Pb zircon age and geochemistry of the Cuocun gabbro in the southern Lhasa Terrane: Implications for early Cretaceous rollback of the Neo-Tethyan oceanic slab[J]. Geological Journal, 2021, 56(3): 1424−1444.

[27] Deng Y L, Lang X H, Wang X H, et al. Early Mesozoic arc-back-arc system in the leading edge of the Tibetan Plateau[J]. Lithos, 2021, 406-407: 106530.

[28] 唐菊兴, 王勤, 杨超, 等. 青藏高原两个斑岩—浅成低温热液矿床成矿亚系列及其“缺位找矿”之实践 [J]. 矿床地质, 2014, 33(6): 1151−1170.
Tang J X, Wang Q, Yang C, et al. Two porphyry-epithermal deposit metallogenic subseries in Tibetan Plateau: Practice of “absence prospecting” deposit metallogenic series[J]. Mineral Deposits, 2014, 33(6): 1151−1170.

[29] Lang X H, Tang J X, Li Z J, et al. U-Pb and Re-Os geochronological evidence for the Jurassic porphyry metallogenic event of the Xiongcun district in the Gangdese porphyry copper belt, southern Tibet, PRC[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 79: 608−622.

[30] Lang X H, Wang X H, Deng Y L, et al. Early Jurassic volcanic rocks in the Xiongcun district, southern Lhasa subterrane, Tibet: Implications for the tectono-magmatic events associated with the early evolution of the Neo-Tethys Ocean[J]. Lithos, 2019, 340-341: 166−180.

[31] Lang X H, Deng Y L, Wang X H, et al. Geochronology and geochemistry of volcanic rocks of the Bima Formation, southern Lhasa subterrane, Tibet: Implications for early Neo-Tethyan subduction[J]. Gondwana Research, 2020, 80: 335−349.

[32] Wang X H, Lang X H, Tang J X, et al. Early-Middle Jurassic (182~170 Ma) Ruocuo adakitic porphyries, southern margin of the Lhasa terrane, Tibet: Implications for geodynamic setting and porphyry Cu-Au mineralization[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2019, 173: 336−351.

[33] Wang X H, Lang X H, Tang J X, et al. Early Carboniferous back-arc rifting-related magmatism in southern Tibet: Implications for the history of the Lhasa terrane separation from Gondwana[J]. Tectonics, 2020, 39(10): e2020TC006237.

[34] Wang X H, Lang X H, Klemd R, et al. Subduction initiation of the Neo-Tethys oceanic lithosphere by collision-induced subduction transference[J]. Gondwana Research, 2022, 104: 54−69.

[35] Wang X H, Lang X H, Deng Y L, et al. Early Mesozoic magmatism records the tectonic evolution from syn- to post-collisional setting in the Central Lhasa subterrane, Tibet[J]. Lithos, 2022, 416-417: 106642.

[36] Li L, Xie H, Lang X H, et al. Petrogenesis of Early-middle Jurassic gabbros in southern Tibet with implications for crustal growth in the southern Lhasa subterrane[J]. International Geology Review, 2022, 64(12): 1755−1780.

[37] Zhao Z D, Mo X X, Dilek Y, et al. Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic compositions of the post-collisional ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Petrogenesis and implications for India intra-continental subduction beneath southern Tibet[J]. Lithos, 2009, 113(1-2): 190−212.

[38] Tang J X, Lang X H, Xie F W, et al. Geological characteristics and genesis of the Jurassic No. I porphyry Cu-Au deposit in the Xiongcun district, Gangdese porphyry copper belt, Tibet[J]. Ore Geology Reviews, 2015, 70: 438−456.

[39] Wang X H, Lang X H, Turlin F, et al. Copper behavior in arc-back-arc systems: Insights into the porphyry Cu metallogeny of the Gangdese belt, southern Tibet[J]. Mineralium Deposita, 2024, 59(1): 133−154.

[40] 李光明, 张林奎, 焦彦杰, 等. 西藏喜马拉雅成矿带错那洞超大型铍锡钨多金属矿床的发现及意义 [J]. 矿床地质, 2017, 36(4): 1003−1008.
Li G M, Zhang L K, Jiao Y J, et al. First discovery and implications of Cuonadong superlarge Be-W-Sn polymetallic deposit in Himalayan metallogenic belt, southern Tibet[J]. Mineral Deposits, 2017, 36(4): 1003−1008.

[41] 韩鹏, 郎兴海, 邓煜霖, 等. 西藏谢通门县雄村矿区外围土壤地球化学特征及异常评价 [J]. 物探化探计算技术, 2018, 40(6): 812−819.
Han P, Lang X H, Deng Y L, et al. Soil geochemical characteristics and abnormal evaluation of Xiongxcun district peripheral areas, Xietongmen county, Tibet[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 40(6): 812−819.

[42] 史长义. 勘查数据分析(EDA)技术的应用 [J]. 地质与勘探, 1993, 29(11): 52−58.
Shi C Y. Applicaton of the exploratory data analysis technique[J]. Geology and Prospecting, 1993, 29(11): 52−58.

[43] Tukey J W. Exploratory data analysis[M]. London: Pearson, 1977.

[44] Carranza E J M. Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS[M]. Amsterdam: Elsevier, 2009.

[45] 陈庚户, 郎兴海, 王兆帅, 等. 青海松树南沟金矿区土壤地球化学特征及异常评价 [J]. 物探与化探, 2025, 49(6): 1281−1290.
Chen G H, Lang X H, Wang Z S, et al. Geochemical characteristics and anomaly assessments of soils in the Songshunangou gold min-

ing area, Qinghai Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2025, 49(6): 1281−1290.

[46] 龚建生, 郎兴海, 王兆帅, 等. 西藏谢通门县雄村矿集区及其外围水系沉积物地球化学特征及异常评价 [J]. 物探与化探, 2025, 49(6): 1291−1302.

Gong J S, Lang X H, Wang Z S, et al. Geochemical characteristics and anomaly assessments of stream sediments in the Xiongcun ore concentration area and its periphery, Xietongmen County, Tibet[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2025, 49(6): 1291−1302.

Soil geochemical anomalies and prospecting targets of the Longsang mining area, Tibet

WU Qi [1], LANG Xing-Hai [1], WU Chang-Yi [1], DENG Yu-Lin [2], ZHENG Hong-Shan [1], LI Chen [1], XIANG Zuo-Peng [1], ZHAN Hong-Yu [1], FENG De-Xin [3], GUO Bai-Qing [4], WANG Zhao-Shuai [5]

(1. *College of Earth and Planetary Sciences*, *Chengdu University of Technology*, *Chengdu* 610059, *China*; 2. *College of Energy*, *Chengdu University of Technology*, *Chengdu* 610059, *China*; 3. *Tibet Yuanhai Mineral Exploration Co.*, *Ltd.*, *Lhasa* 850000, *China*; 4. *Tibet Huaguan Mining Co.*, *Ltd.*, *Lhasa* 850000, *China*; 5. *Shandong Provincial Geo-Mineral Engineering Co.*, *Ltd.*, *Jinan* 250013, *China*)

Abstract: The Longsang mining area in Tibet, located in the eastern section of the Gangdese metallogenic belt, boasts favorable geological settings and conditions for mineralization. To guide mineral exploration and prospecting in the mining area, this study investigated the anomalous characteristics of 13 elements (e.g., Cu, Mo, Au, Ag, Pb, and Zn) in the 1∶10 000 soil geochemical survey results using exploratory data analysis (EDA). The results of this study indicate that the primary ore-forming elements, Cu and Mo, in the mining area show strong enrichment and considerable variation, suggesting great metallogenic potential and promising prospects for ore exploration. Based on the soil geochemical integrated anomalies, two anomaly zones were delineated: J1 and J2. The J1 anomaly zone is distributed in the west-central part of the mining area, displaying a large scale and a high degree of overlap between Cu and Mo anomalies. In contrast, the J2 anomaly zone is located in the south-central part of the mining area. In this zone, Cu predominates among anomalous elements, while Mo anomalies are nonsignificant. Engineering verification was carried out for the two anomaly zones. Drilling engineering preliminarily revealed the presence of deep Cu-Mo ore bodies in the J1 anomaly zone. It is proposed that the deep part of the area along the dip direction of the ore body in the northwestern part of the J1 anomaly zone and the NE-SW strike of the ore body are key prospecting targets in the Longsang mining area. The results of this study provide a scientific basis for further prospecting arrangement in the mining area.

Key words: Longsang ore concentration area; soil geochemistry; exploratory data analysis (EDA); prospecting potential; Gangdese metallogenic belt

（本文编辑: 蒋实）