

刘攀峰, 文美兰, 杨龙坤, 等. 高原寒冷区地电化学提取技术试验与找矿预测[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 2000–2007.

Liu Panfeng, Wen Meilan, Yang Longkun, et al. Geo-electrochemical extraction technology test and the prospecting prediction in cold plateau area[J]. Geology in China, 2015, 42(6): 2000–2007(in Chinese with English abstract).

高原寒冷区地电化学提取技术试验与找矿预测

刘攀峰^{1,2} 文美兰^{1,2} 杨龙坤^{1,2} 李 杨^{1,2}

(1. 桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541006; 2. 桂林理工大学隐伏矿床研究所, 广西 桂林 541006)

摘要: 为确定地电化学提取技术在高原寒冷区的最佳工作技术条件, 选择在已有工程控制的青海尕斯库勒铜多金属矿 7 线剖面, 进行地电化学提取技术的对比试验, 确定一套适合高原寒冷区的地电化学提取技术。通过对比试验选定其技术指标为: 提取时间 48 h、供电电压 9 V、提取液硝酸浓度 15%、提取液用量 1000 mL、提取极距 1 m、提取材料为经处理过后的泡塑。采用优选的工作技术条件, 在矿区东南部未知区域开展隐伏矿勘查预测, 圈出了 4 个有利成矿靶区, 指导矿区下一步找矿工作部署。

关键词: 地电提取; 最佳技术条件; 铜多金属矿; 勘查预测; 高原寒冷区; 青海尕斯库勒

中图分类号: P631.3; P612 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)06-2000-08

Geo-electrochemical extraction technology test and the prospecting prediction in cold plateau area

LIU Pan-feng^{1,2}, WEN Mei-lan^{1,2}, YANG Long-kun^{1,2}, LI Yang^{1,2}

(1. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541006, Guangxi, China; 2. Research Institute of Prediction of Hidden Deposit, Guilin University of Technology, Guilin 541006, Guangxi, China)

Abstract: To better explore the best working technical conditions of geo-electrochemical extraction techniques in the cold plateau area, the authors chose 7 line sections of the engineering-controlled Gardaban copper polymetallic deposit in Qinghai for the contrastive experimental study with geo-electrochemical extraction technology, and designed a set of suitable geo-electrochemical extraction technologies for the cold plateau area. Through comparative tests, the authors determined the technical indicators: the extraction time is forty-eight hours, the service voltage is 9 V, the concentration and dosage of extracting solution are 15% and 1000 ml respectively, the pole pitch of extraction is 1 m, and the material of extraction is foam plastic. The optimal working technical conditions were adopted, and the prognostic work for concealed orebodies was conducted in the unknown area in the southeast part of the ore district. As a result, four favorable ore-prospecging targets were delineated, which can play the guiding role in the further ore-prospecging work.

Key words: geo-electrochemical extraction; optimal technical conditions; copper and polymetallic deposit; prospecting and

收稿日期: 2015-03-13; 改回日期: 2015-05-27

资助项目: 中国地质调查局项目(12120113101500)资助。

作者简介: 刘攀峰, 男, 1990年生, 硕士生, 从事矿产普查与勘探研究; E-mail: 1056763179@qq.com。

通讯作者: 文美兰, 女, 1974, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事地质、地球化学找矿研究; E-mail: meilanwen112@126.com。

prediction; cold plateau area; Gardaban in Qinghai Province.

About the first author: LIU Pan-feng, male, born in 1990, master candidate, mainly engages in mineral resource prospecting and exploration; E-mail: 1056763179@qq.com.

About the corresponding author: WEN Mei-lan, female, born in 1974, associate professor, master's supervisor, geochemistry major, engages in research and teaching on geology and exploration geochemistry; E-mail: meilanwen112@126.com.

地电提取技术是寻找深部盲矿的重要地球化学勘查方法,近年来得到较多的应用,取得了较好的找矿效果^[1-4]。本文通过青海高寒区尕大阪铜多金属矿已知勘探剖面的技术条件对比试验,提出了野外提取的优化工作条件。同时,通过对矿区的未知区进行地电勘查,为进一步找矿勘查圈定了靶区。

1 矿区概况

矿区位于青海省祁连县境内,海拔2700~3600 m,山势陡峻,年平均降雨量约400 mm,平均气温-1℃,属典型的高原寒冷气候。

矿区地处北祁连成矿带西山梁—尕大阪铜多金属成矿带,带内发现有西山梁、下柳沟、湾阳河、下沟等多个矿床^[5-7](图1)。区内主要出露的地层有下白垩统新民堡群和第四系,第四系广泛分布于矿

区南北两侧,沉积物为上更新统冰水堆积砂砾石层,厚度约20 m,下白垩统新民堡群分布于矿区中部,岩性为山麓河湖相沉积的紫红色砾岩、粗砂岩,沉积厚度为中间厚两边薄,该套地层为尕大阪铜多金属矿赋矿地层的主要上覆盖层,与下伏地层呈角度不整合接触。区内断裂、褶皱构造发育,其中NWW-SSE向逆冲断裂最发育、规模最大,为区内控矿构造,区内铜多金属矿均分布在该组断裂附近的含矿破碎蚀变带中^[8-10]。区内地表未出露侵入岩,深部见一套海相喷发火山岩,属中寒武统黑刺沟群上岩组。区内的硫化物矿床的形成与该套海相火山岩密切相关。

2 提取原理及技术方法

地电提取的基本原理是以地下岩石及地表松

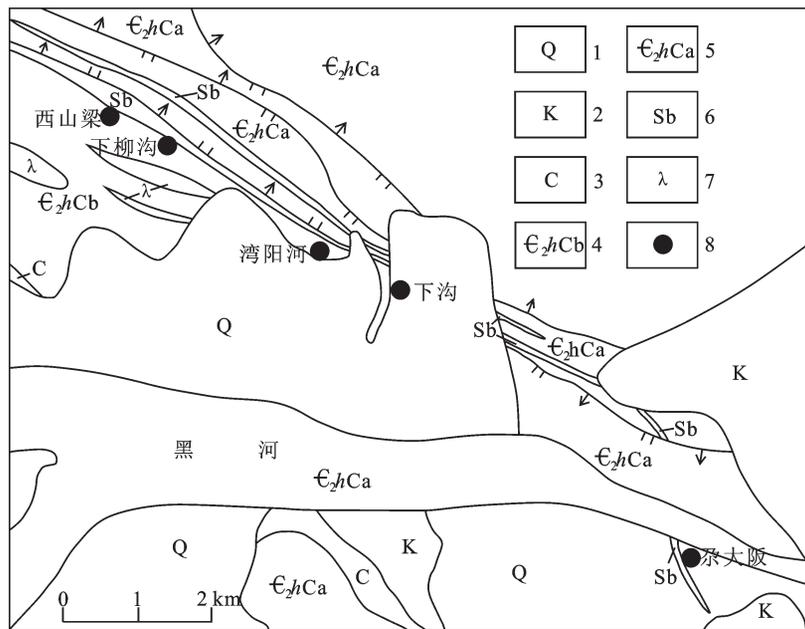


图1 西山梁—尕大阪地区地质简图

- 1—第四系;2—白垩纪砂岩;3—石炭纪灰岩和炭质页岩互层;4—中寒武统黑刺沟群上岩组变质中酸性火山岩;
- 5—黑刺沟群下岩组变质中基性火山岩;6—火山岩蚀变带;7—流纹斑岩;8—西山梁—尕大阪各矿床位置

Fig.1 Geological sketch map of Xishanliang-Gardaban area

- 1-Quaternary;2-Cretaceous sandstone;3-Carboniferous limestone interbedded with carbonaceous shale;4- Middle Cambrian intermediate-acid volcanic rock;5-Middle Cambrian intermediate- basic volcanic rock; 6-Volcanic rock alteration belt; 7-Rhyolitic porphyry;
- 8-Deposit location in Xishanliang-Gardaban area

散层中的离子动态平衡状态为基础,在外加电场的作用下,打破地下岩石中的离子动态平衡,促使离子向离子收集器中迁移^[11-14]。

地电提取方法主要选用具有极强吸附能力的活化高密聚醚型聚氨脂泡塑、导线、滤纸和碳棒组装成的提取器,放置在有机物影响较小的B层土壤中,并在硝酸作为活化剂的条件下进行提取。

3 样品处理及分析测试

提取样品(泡塑)处理在室内进行晾晒、编号、装袋,送桂林矿产地质研究院有色金属桂林矿产地质测试中心分析测试,测试仪器为美国热电 X series 电感耦合等离子体质谱仪。该质谱仪优点在于精密度好、灵敏度高、检出限低、多元素同时检测,可分析研究不同类型样品中痕量元素。本次测试各元素检出限及控制样监控限如表 1 和表 2 所示。

本次所有地电提取样品均符合相关测试分析要求,测试结果准确可靠。

4 技术条件研究

4.1 剖面地质特征

邕大坂矿区 7 线剖面总长 500 m,已施工的工程有钻孔 ZK701、ZK702、ZK703 和斜井(XJ1),圈定了 5 个矿体,其中 I、II 矿体具一定规模,其余矿体规模较小^[10]。

已知矿体均隐伏在第四系和白垩系之下,延伸与围岩片理基本平行,呈透镜状、似层状产出, I 矿体上部产状 35°∠55°,向下转而南倾,倾角大于 80°,水平延伸 400 m,厚 26.8 m,斜深 229 m,向深部分叉并尖灭, II 矿体产状与 I 矿体一致,长 524 m,厚 20.95 m,控制斜深 170 m,并向深部尖灭。矿石类型以浸染状为主,矿石矿物主要有黄铜矿、闪锌矿,少量黝铜矿、斑铜矿。矿石结构主要为他形中细粒状

结构,见文象交代结构、交代残余结构及熔蚀结构等。矿石构造以条带状构造、致密块状构造为主,角砾状构造偶见于矿体边部。矿石中 Cu 品位最高 12.52%,平均 1.01%; Pb 最高为 13.05%,平均 3.74%; Zn 最高为 17.12%,平均 3.29%; Cu、Pb、Zn 总含量最高为 31.87%,向深部 Cu、Pb、Zn 含量有变贫之势^[7]。

4.2 技术条件对比研究

本文主要通过对比不同提取时间、供电电压、提取液用量、提取液浓度、电极距离、供电与不供电等条件的提取效果^[15-16],确定最佳提取技术条件。

4.2.1 不同提取时间的对比

选择供电时间分别为 48 h 和 24 h、供电电压 9 V、硝酸浓度 15%、用量 1000 mL、电极间距 1 m,由图 2 可见 48 h 供电与 24 h 供电的提取量相差不大,从异常形态与位置来看,48 h 供电情况下,Cu、Zn、Ti、Ni 元素在 8~12 点号的异常明显,与矿体的位置也极为吻合,尤其是 Ti、Ni 元素最为明显。通过对比提取效果,显而易见 48 h 供电可以更清晰显示矿体赋存位置。

4.2.2 不同供电电压的对比

分别选择供电电压 9 V 和 12 V、供电时间 48 h、硝酸浓度 15%、用量 1000 mL、电极间距 1 m,通过对比(图 2),9 V 电压提取时,Ti、Ni 元素均有一“梯形”异常出现,主要集中在 8~12 点号,清晰对应主矿体和深部小矿体,Cu、Zn 元素在 9~11 点号出现一定宽度异常,与矿体赋存位置对应良好;12 V 电压提取时,Ti、Ni、Cu、Zn 元素均有较宽异常出现,但无规律可循,与矿体对应位置也有偏差。原因在于每种离子都有自己特定的极限电流密度,提取量的多少与电压的大小不成正比,通过加大电压的方式来获得更多的提取量是有限的。结合异常与矿体位置的对应情况,在野外进行地电提取时,采用低电压提取更能达到预期的效果。

表 1 X series 电感耦合等离子体质谱仪方法检出限

Table 1 Detection limit of X series inductively coupled plasma mass spectrometer method

元素	检出限/ 10^{-6}	元素	检出限/ 10^{-6}
Zn	0.03	Cu	0.5
Ti	0.5	Ni	0.5

表 2 精密度控制样监控限

Table 2 Precision control sample monitoring

含量范围	$\Delta \text{LgC} = \frac{\sum (\text{LgCi} - \text{LgCRI})}{4}$	$S = \frac{[\sum (\text{LgCi} - \text{LgCRI})^2 / (4-1)]^{1/2}}$
检出限 3 倍以内	$\leq \pm 0.25$	≤ 0.40
检出限 3 倍以上	$\leq \pm 0.15$	≤ 0.25
1%~5%	$\leq \pm 0.10$	≤ 0.17
>5%	$\leq \pm 0.05$	≤ 0.08

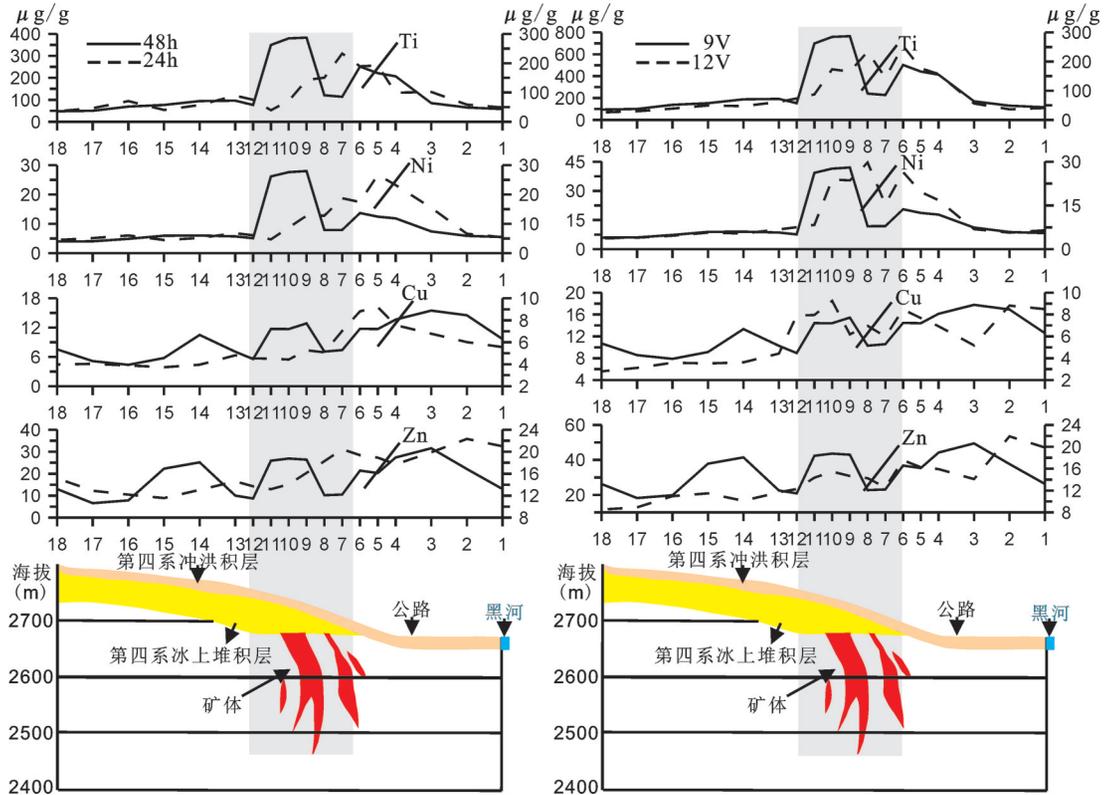


图2 不同提取时间、不同供电电压提取对比图

Fig.2 Comparison chart of different extraction time spans as well as different power supply voltage extractions

4.2.3 不同提取液的对比

不同提取液的对比主要从提取液用量和浓度两方面进行分析(图3):

在不同提取液用量对比中,选择硝酸用量分别为1000 mL和500 mL、供电电压9 V、供电时间48 h、硝酸浓度15%、电极间距1m,结果显示1000 mL的硝酸提取量要比500mL提取量要高,Ni、Ti、Cu、Zn等元素在矿体上方都出现异常,与矿体的位置也吻合,尤其Ni、Ti元素。加入提取液的目的是为了防止电极周围的碱化作用,阻止氢氧根与金属离子结合生成沉淀阻碍金属离子的提取,所以它的用量取决于土壤的酸碱度,本次野外工作中加酸剧烈气泡的试验现象也充分说明了碱性土壤的这一特点,所以在该地区选择提取液用量为1000 mL更合适。

选择硝酸浓度分别为15%和30%、供电电压9 V、供电时间48 h、硝酸用量1000 mL、电极间距1 m进行不同浓度的对比,结果显示浓度15%的异常形态比浓度30%的好,Ti、Ni、Cu、Zn的异常明显,多呈“梯形”形态,与矿体的位置对应良好,尤其是Ti、Ni

元素最为明显,浓度30%的异常呈一高一低“双峰”形态,与矿体赋存位置对应应有偏差,且提取量不及浓度15%。因此硝酸浓度的选择与工作区土壤的酸碱度密切相关,碱性越强,加入提取液的浓度应越高,但并不是说硝酸的浓度越高提取的效果就越好,硝酸浓度的过高反而会导致溶液中离子总数的增多,不利于金属离子向电极运移,从图3中各元素的提取量可明显看出,所以在该地区野外提取时应选择硝酸浓度为15%。

通过以上两方面的对比,笔者认为:在高原寒冷区地电提取技术中,1000 mL浓度15%的硝酸作为提取液提取效果较佳。

4.2.4 不同电极距离的对比

选择电极间距分别为1 m和2 m,供电电压9 V、供电时间48 h、硝酸浓度15%、硝酸用量1000 mL。从对比异常与矿体的对应效果看(图4):1 m电极距离提取时在主要矿体上方(5~12之间)出现一系列Ni、Ti、Zn、Cu等双峰异常,很好地反映出矿体的赋存位置;而2 m电极距离提取时,异常与主要

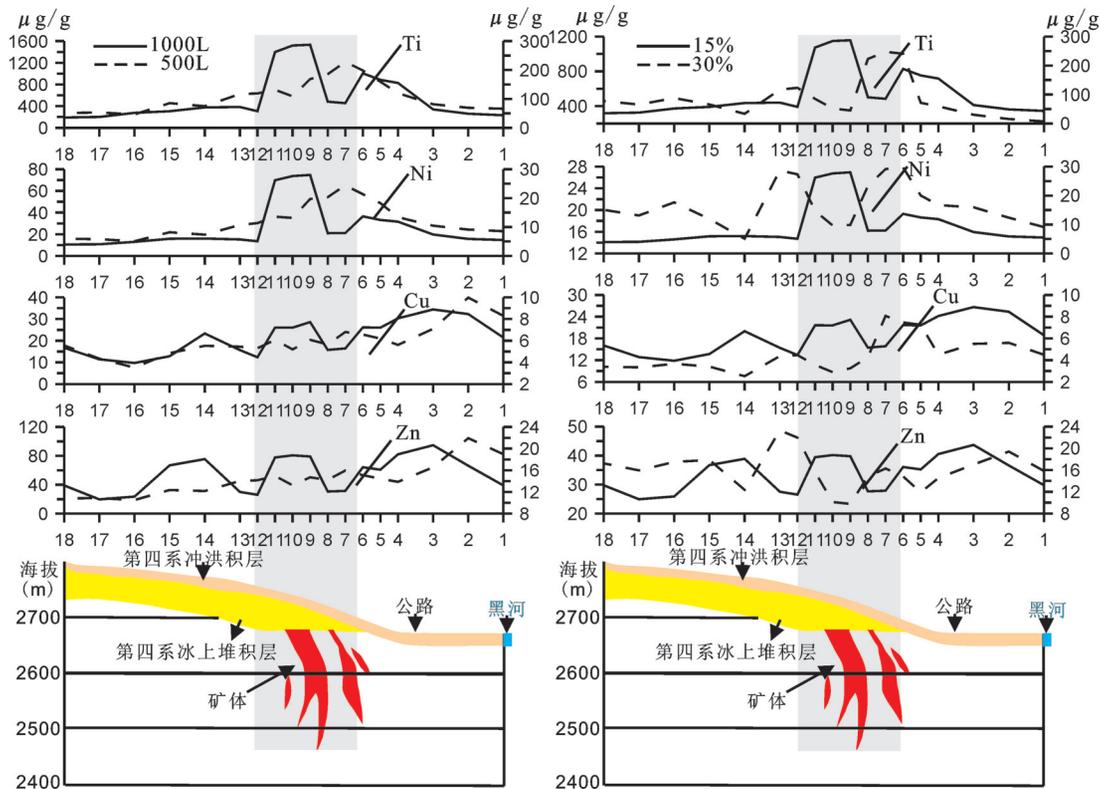


图3 不同提取液提取对比图

Fig.3 Comparison chart of different extraction liquid extractions

矿体位置对应发生明显偏差,无法清晰反映出矿体的赋存位置。笔者认为:增大电极间距使得电提取中的提取域范围发生改变,从而导致异常位置的偏移,所以在野外提取过程中应采取1 m的电极距离,以达到更好的找矿效果。

4.2.5 供电与不供电的对比

选择供电电压9 V、供电时间48 h、硝酸浓度15%、硝酸用量1000 mL、电极间距1 m与不供电、硝酸浓度15%、硝酸用量1000 mL、电极间距1 m进行试验对比,从图中(见图4)可以看出:供电提取的多数元素在隐伏矿体上方有明显的异常,异常位于剖面的8—12号点和4—7号点之间,很好的对应剖面的主要矿体和右侧深部小矿体;不供电提取的异常形态比较混乱,连续性较差,整体规律性不强,与矿体的空间对应关系差。因此认为在地电提取过程中,当没有外加电场的时候,金属元素以活动态的形式存在地表,几乎没有分布规律和运动规律,所测得的金属元素异常形态自然就会显得杂乱无章,毫无规律;当施加额定的外加电场后,电极周围土

壤(及所含的矿物)中的金属离子会定向迁移到电极并析出,电极附近的离子浓度降低,矿体周围的围岩及近地表松散层的离子晕局部离子平衡被破坏,为保持物质平衡,下部离子向上迁移,以达到上部离子的平衡,但下部离子的迁移导致该上迁离子源平衡遭到破坏,必须有深部离子的补充以达到新的平衡,这样逐级从深部向上补充,直至深部矿体。

通过上述对比试验研究表明,在高原寒冷区开展地电提取技术方法寻找隐伏金属矿时其技术条件选定为:提取时间为48 h、供电电压为9 V、提取液浓度为15%、提取液用量1000 mL、提取极距1 m、提取材料为经处理后的泡塑。

5 找矿预测

采用已知剖面地电提取技术条件对比试验优选的提取方案,在尕斯库勒矿区东南部布设7条北东向不等距测线,利用地电提取技术开展找矿预测研究,圈定异常强度较高、地质成矿条件较好的异常靶区。

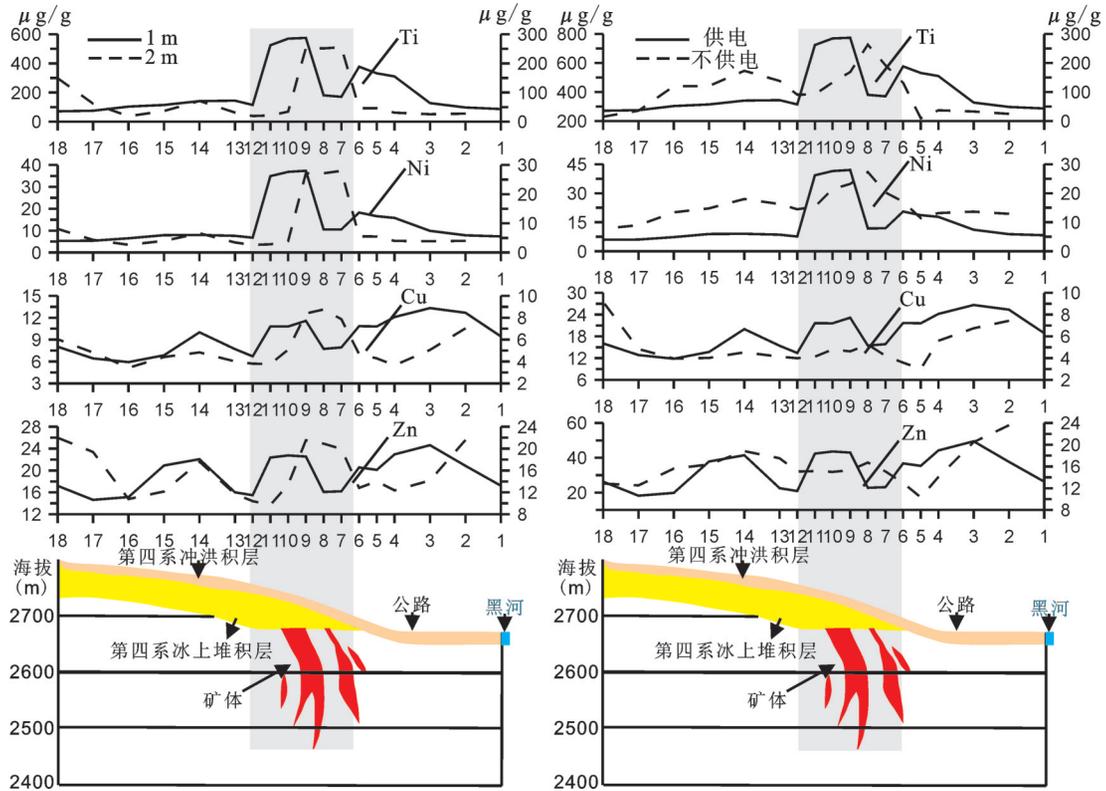


图4 不同电极间距、供电与不供电提取对比图

Fig.4 Comparison chart of different electrode intervals and power supplies and no power supply extraction

5.1 地电提取元素异常平面特征

文中主要从尕大阪矿区主成矿元素 Cu、Pb、Zn 异常进行分析^[17],具体特征如下:

Cu 异常特征(图5):异常规模较大,均跨越两条勘探线以上,测区内规模最大的异常沿区内主构造方向穿越整个测区,向东西方向均未封闭。异常在测区中部 544 线、560 线向东方向分支,但未复合。

Pb 异常特征(图5):多数异常跨越两条勘探线以上,个别呈单线异常,大多异常未封闭,异常在剖面间(尤其是 544 线与 560 线、568 线与 592 线之间)强度变化,形态变异细节不清。

Zn 异常特征(图5):异常分布范围较大,主要集中分布于 592 号线,多数异常跨越两条勘探线以上,展布方向与断裂走向十分吻合,向东分支,向西未封闭。推断该异常时有局部矿化或隐伏矿(化)体引起,值得进一步研究。

5.2 找矿预测

通过对尕大阪矿区主成矿元素 Cu、Pb、Zn 异常平面特征分析,按照异常形态、强度、规模,各元素

异常出现的空间位置、吻合程度,并结合地质特征,共圈定 4 个找矿靶区(图5),按其找矿潜力划分为 I、II、III 类三个等级。

I 类靶区:主要分布于测区西侧 520 至 544 测线之间,面积约为 0.504 km²。主成矿元素 Cu、Pb、Zn 异常集中于靶区的中部,异常规模、强度均较大,靶区南北两侧的 Cu、Zn 异常呈两条带状,Pb 异常呈单条带状,三种元素异常重合性较高。推断该地段存在隐伏矿体的可能性较大,可作为下一步工作重点。

II-1 类靶区:分布于测区西南侧 536 和 544 测线之间,约占面积 0.224 km²。主成矿元素 Cu、Pb、Zn 异常集中分布于 544 线,Cu 与 Zn 异常规模、强度一般,但吻合程度较高,Pb 异常与之相比稍差,因而该靶区可作为找矿有利部位。

II-2 类靶区:跨越 560、568 测线集于测区中部,面积约为 0.48 km²。主成矿元素 Zn 异常发育较好、规模大,分布于整个测区,Pb 异常主要分布于 560 线附近,Cu 异常不发育,但元素间异常重合性较好,结合其优越地质条件,位于推测断裂 Fx-2、

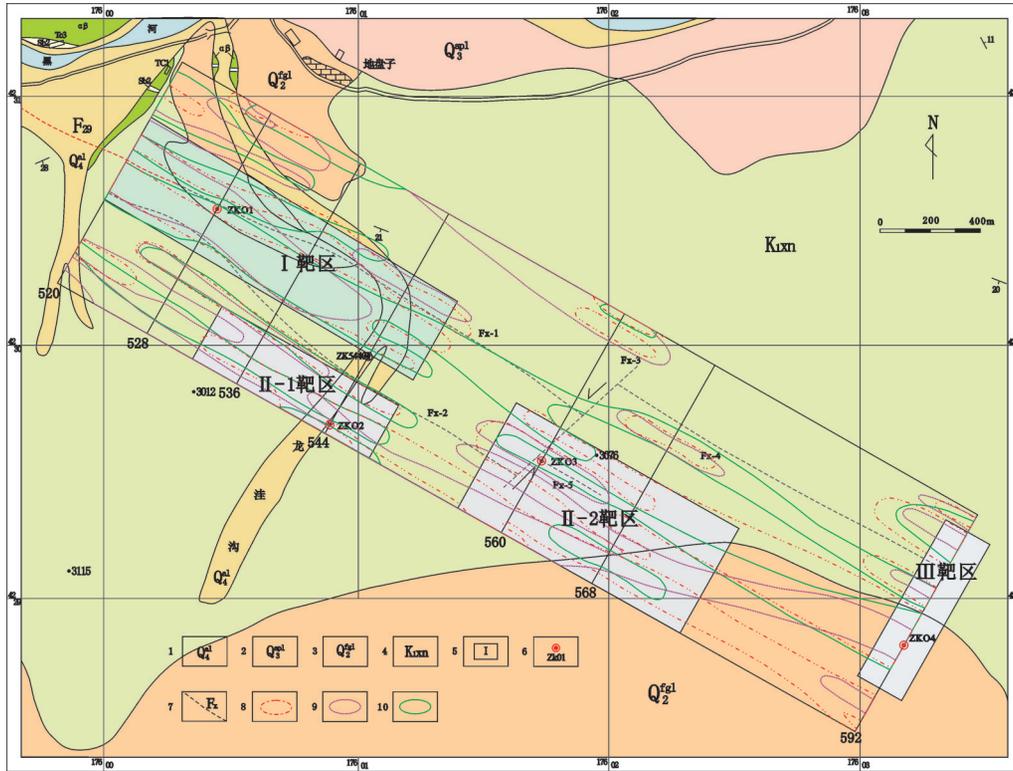


图5 尕大阪矿区地电提取技术找矿预测靶区图

1—第四系冲积砂砾石岩;2—第四系冲洪积砂土砂砾石岩;3—第四系冰土堆积砂土砂砾石岩;4—白垩系紫红色砂岩;5—找矿靶区及编号;
6—建议施工钻孔及编号;7—推断断层及编号;8—Cu异常;9—Pb异常;10—Zn异常

Fig.5 Map showing prognostic targets of the Gardaban mining area

1—Quaternary alluvial grit gravel layer; 2—Quaternary alluvial sand gravel; 3—Quaternary ice accumulation of sand gravel soil; 4—Cretaceous purple sandstone; 5—Target and its serial number; 6—Suggested drill hole and its serial number 7—Inferred fault and its serial number; 8—Cu anomaly; 9—Pb anomaly; 10—Zn anomaly

Fx-3、Fx-5 交汇处,认为该区找矿潜力较大。

Ⅲ类靶区:主要分布于测区东侧 592 线的两侧,面积为 0.288 km²。各元素异常多数呈单点分布在 592 线上,异常强度大,吻合程度高。因该区段异常向西线距过大,暂定为Ⅲ类靶区,认为该区段仍具有一定找矿潜力。

6 认识

(1)通过青海尕大阪铜多金属矿区已知剖面地电化学提取技术对比试验,表明利用地电提取技术在青海高原寒冷区寻找隐伏金属矿中有效果。

(2)在高原寒冷区开展地电提取技术方法寻找隐伏金属矿时其技术条件选定为:提取时间为 48 h、供电电压为 9 V、提取液浓度为 15%、提取液用量 1000 mL、提取极距 1 m、提取材料为经处理后

的泡塑。

(3)在异常特征分析及预测靶区划分的基础上,推测尕大阪已知矿体向深部东南方向延伸,可作为下一步工作的重点方向。

致谢: 本文撰写过程中得到了罗先熔教授的指导,特此感谢!

参考文献(References):

[1] 康明, 罗先熔. 金属矿床地电化学勘查方法研究现状及前景展望[J]. 地质论评, 2005, 04: 452-457.
Kang Ming, Luo Xianrong. The present and future of electrogeochemical method for metallic ore deposit prospecting [J]. Geological Review, 2005, 04: 452-457 (in Chinese with English abstract).

[2] 赖健清, 林才顺, 彭省临, 等. 凤凰山矿区地电提取法寻找隐伏铜矿的研究[J]. 地质与勘探, 2004, 40(3): 60-63.
Lai Jianqing, Lin Caishun, Peng Shenglin, et al. The

- geochemical extraction technique and ore prospecting for hidden copper deposits in the Fenghuang mine [J]. *Geology and Prospecting*, 2004, 40(3): 60–63(in Chinese with English abstract).
- [3] 文美兰, 罗先熔, 欧阳菲等. 地电化学法寻找隐伏金矿研究[J]. *矿产与地质*, 2008, 22(4): 347–352.
Wen Meilan, Luo Xianrong, Ouyang Fei, et al. The study of prospecting concealed gold deposit in geoelectro-chemical methods [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2008, 22(4): 347–352(in Chinese with English abstract).
- [4] 文美兰, 罗先熔. 金川铜镍矿床多元地质信息找矿研究[J]. *中国地质*, 2013, 40(2): 595–601.
Wen Meilan, Luo Xianrong. A study of the ore-prospecting work based on multiple geosciences information in the Jinchuan Cu–Ni deposit [J]. *Geology in China*, 2013, 40(2): 595–601(in Chinese with English abstract)
- [5] 任天祥, 李明喜, 徐耀先, 等. 高寒山区表生作用地球化学特征及区域化探方法的初步研究[J]. *地质论评*, 1983, 29(5): 428–436.
Ren Tianxiang, Li Mingxi, Xu Yaoxian, et al. A preliminary study of hypogene geo-chemistry and regional geochemical exploration techniques in high-cold mountainous regions [J]. *Geological Review*, 1983, 29(5): 428–436(in Chinese with English abstract).
- [6] 李春昱, 王荃, 张之孟, 等. 中国板块构造的轮廓[J]. *地球学报*, 1980, 2: 11–19.
Li Chunyu, Wang Quan, Zhang Zhimeng, et al. A preliminary study of plate tectonics of China [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 1980, 2: 11–19(in Chinese with English abstract).
- [7] 武明德, 雷有德, 张永善. 北祁连西山梁—尕斯库勒铜铅锌多金属成矿带找矿潜力[J]. *云南地质*, 2013, (03): 352–355.
Wu Mingde, Lei Youde, Zhang Yongshan. The prospecting potentiality of Xishanliang–Gardaban multimetallic metallogenic zone of N Qilian [J]. *Yunnan Geology*, 2013, (03): 352–355(in Chinese with English abstract).
- [8] 黄学强, 罗先熔, 李彦伟, 等. 高原寒冷区地电化学方法寻找隐伏铜多金属矿研究——以青海尕斯库勒矿区为例[J]. *地质与勘探*, 2012, 48(2): 344–351.
Huang Xueqiang, Luo Xianrong, Li Yanwei, et al. Application of the geoelectro-chemical method to prospecting hidden copper-polymetallic ore in cold plateau areas: A case study of the Gardaban mine in Qinghai Province [J]. *Geology and Prospecting*, 2012, 48(2): 344–351(in Chinese with English abstract).
- [9] 曹德智, 王玉德, 马占兰, 等. 郭米寺—尕斯库勒多金属矿带地质特征及综合信息找矿模型研究[J]. *西北地质*, 2006, 39(3): 12–19.
Cao Dezhi, Wang Yude, Ma Zhanlan, et al. Geological characteristics and prospecting model of the Guomis–Gadaban metallogenic zone[J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39(3): 12–19 (in Chinese with English abstract).
- [10] 祁正林, 李衍业. 北祁连下柳沟—尕斯库勒地区铜多金属矿田成因探讨[J]. *青海大学学报: 自然科学版*, 2010, 28(2): 37–41.
Qi Zhenglin, Li Yanye. Investigation on the forming reason of the copper multimetal deposit in the Xialiugou–Gadaban area of Northern Qilian [J]. *Journal of Qinghai University (Nature Science)*, 2010, 28(2): 37–41 (in Chinese with English abstract).
- [11] 刘吉敏, 刘占元. 地电化学勘探法在厚层覆盖区的应用研究[J]. *物探与化探*, 1990, 14(4): 255–265.
Liu Jimin, Liu Zhanyuan. The application of electrogeochemical exploration method in thick overburden areas [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 1990, 14(4): 255–265 (in Chinese with English abstract).
- [12] 罗先熔. 地球电化学勘查及深部找矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
Luo Xianrong. *Geo-electrochemical Prospecting Methods and Searching for Deep Ore Deposits* [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996(in Chinese with English abstract).
- [13] 罗先熔, 杨晓. 地电化学测量找寻隐伏矿的研究及找矿预测[J]. *地质与勘探*, 1989, 25(2): 43–51.
Luo Xianrong, Yang Xiao. Geoelectrochemical measurement for concealed ore deposit exploration and prognosis [J]. *Geology and Prospecting*, 1989, 25(2): 43–51 (in Chinese with English abstract)
- [14] 罗先熔, 康明, 欧阳菲, 等. 地电化学成晕机制、方法技术及找矿研究[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1–5.
Luo Xianrong, Kang Ming, Ouyang Fei, et al. Halo-forming Mechanism, Methodology and Application of Geoelectrochemical Technology in Exploration for Mineral Deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 1–5 (in Chinese with English abstract)
- [15] 付立春, 罗先熔, 欧阳菲. 地电化学提取条件的系统对比研究[J]. *地质与勘探*, 2006, 42(6): 62–66.
Fu Lichun, Luo Xianrong, Ouyang Fei. Contrast research of Geoelectrochemical exploration technique condition [J]. *Geology and Prospecting*, 2006, 42(6): 62–66 (in Chinese with English abstract).
- [16] 曹中焯, 罗先熔, 王培培, 等. 不同覆盖区地电化学提取法寻找铜镍矿对比研究[J]. *地质与勘探*, 2010, 46(3): 476–482.
Cao Zhonghuang, Luo Xianrong, Wang Peipei, et al. Comparative study of copper-nickel deposit exploration by the geoelectro-chemical extraction method indifferent overburden areas [J]. *Geology and Prospecting*, 2010, 46(3): 476–482(in Chinese with English abstract).
- [17] 李彦伟, 罗先熔, 黄学强, 等. 因子分析在青海尕斯库勒矿区找矿中的应用[J]. *桂林理工大学学报*, 2013, 33(S2): 147–150.
Li Yanwei, Luo Xianrong, Huang Xueqiang, et al. Application of factor analysis to ore exploration in the Gadaban claim [J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2013, 33(S2): 147–150(in Chinese with English abstract).