

化探原生晕与激电测量相结合找矿效果

——以新疆博乐市喇嘛苏外围地区多金属矿区为例

库瓦尼西别克·买买提朱马^{1,2)}, 陈川^{1,2)}, 展新忠^{1,2)}, 丁亚龙^{1,2)},
努尔喀纳提·马达依普¹⁾, 刘得磊^{1,2)}, 程红军^{1,2)}

1) 新疆大学地质与矿业工程学院, 乌鲁木齐, 830047;

2) 新疆大学新疆中亚造山带大陆动力学与成矿预测重点实验室, 乌鲁木齐, 830047

内容提要:新疆博乐市喇嘛苏外围地区地表岩石风化剥蚀严重, 直接找矿标志不明显, 以大功率激电中梯测量为辅助功能的大比例尺岩石地球化学测量方法对发现和圈定隐伏矿体起到了重要作用。根据化探原生晕元素组合特点及空间分布特征, 以单元素异常下限值和富集系数为划分标准, 圈定了六个Ⅲ级化探异常带, 异常评价初步认为 Cu—Zn—Pb—Ag—W—Sn—Mn—As—Au—Bi 多元素叠加异常的形成成为找矿有利区, 选元素共生组合特点较明显的异常带开展大功率激电工作进行化探异常的验证。在推断出的成矿有利部位布设钻孔并可见到矿体。

关键词:喇嘛苏外围; 原生晕; 激电异常; 隐伏矿体

近年来, 随着我国矿产资源的不断开发, 已探明的矿产资源即将枯竭, 多金属矿产勘探逐渐由浅部转入深部, 而传统的找矿方法并不能满足野外实践工作中的需求, 因此物探方法能有较大的勘探深度, 现已成为寻找隐伏矿体的重要手段。原生晕找矿方法是利用矿体或其他地质体周围赋存在岩石中的地球化学分散晕进行找矿的地球化学方法, 从 20 世纪 50 年代起到现在, 已发展成为地球化学找矿的最主要方法之一, 尤其是在找隐伏矿床方面更具优势(刘崇民, 2006)。地质矿产部物探所为研究金属矿找矿方法技术, 先后在我国西北、西南、东北、华北等地区对 Cu、Ni、Cr、Mo、Sn、Pb、Zn 等金属矿区开展了化探原生晕找矿的试验工作, 并获得显著成果(谢学锦等, 1961, 2010; 吴承烈, 1993; 刘崇民等, 1998; 邵跃, 1959; 欧阳宗圻等, 1990)。激发极化法作为一种地球物理勘探手段, 已经在矿产勘查各个方面得到了广泛的应用, 在多金属硫化物矿床的勘查中, 激发极化法是一种公认的、极其有效的勘查手段(李金铭, 2005; 陈长敬等, 2007)。国际上, 激发极化法最早可追溯到 20 世纪 30 年代, 国内于 20 世纪 50 年代末始研究和推广, 朱朝吉等(2009)运用大功

率激电在鄂拉山口发现隐伏矿体, 说明在具有常年冻土地段利用大功率激电找矿是行之有效的; 唐杰等(2010)在豫西南某金铜矿区采用双频激电法, 应用中梯扫面快速圈定异常分布, 采用激电测深装置了解极化体的空间赋存形态; 特别地, 目前近几年在勘查金属矿上运用大功率激电取得成功的实例也不在少数(林存国等, 2006; 周圣华等, 2007; 刘国辉等, 2009; 袁桂琴, 2012; 李宁生等, 2013; 罗强等, 2013;); 结合运用大功率激电和原生晕勘查金属矿的相对较小(柳建新等, 2012; 玉苏普艾力·喀迪尔等, 2015)。由此可以看出目前勘查金属矿所用方法较单一, 其中基于结合运用大功率激电和原生晕讨论还很少, 特别是对岩石风化剥蚀严重和直接找矿标志不明显区域研究还很薄弱。因此借鉴这些实践经验, 笔者等首先在博乐市喇嘛苏外围地区进行大比例尺岩石地球化学扫面工作, 根据大比例尺岩石地球测量异常元素组合特点分析, 确定化探异常区。其次, 根据该区域的铜矿赋存规律, 结合圈定的化探异常特征展开物探激电方面的找矿工作, 探查异常区内金属硫化物激电响应, 验证化探异常同时缩小找矿靶区的范围, 最终确定钻探工程的验证位

注: 本文为新疆维吾尔自治区自然科学基金(新疆温泉县喇嘛苏铜矿床成矿流体及成矿机制研究, 编号: 2016D01C067)的成果。

收稿日期: 2016-02-26; 改回日期: 2016-11-21; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.01.008

作者简介: 库瓦尼西别克·买买提朱马, 男, 柯尔克孜族, 1991年生。硕士研究生, 地球探测与信息技术专业。主要从事成矿预测研究工作。Email: 1441452257@qq.com。通讯作者: 陈川, 男, 副教授, 硕士生导师, 从事区域成矿预测及 3s 技术研究。Email: chenchen@sina.cn。

置并进行工程验证。本文对新疆博乐市喇嘛苏外围地区开展找矿方法技术组合研究,找出了便捷有效的技术方法组合,以适合在这种地貌—地质条件下开展快速有效的矿产勘查工作提供了科学依据。

1 地质概况

博乐市喇嘛苏外围地区位于西天山支脉别珍套山南坡,赛里木湖北西、喇嘛苏沟一带,行政区划隶属博尔塔拉蒙古自治州博乐市管辖,距博乐市西南90 km处,距312国道(乌伊公路)约43 km,有便道北通温泉县城、南连伊宁市,交通较为便利(图1)。大地构造位置属于塔里木古板块伊犁—星星峡弧盆带之赛里木湖早古生代弧前盆地的北缘,区内矿产资源丰富以金、铜、硫铁矿化为主,伴生有铅、银矿化,构成一个较典型的铜多金属矿化密集区带(杨军臣等,1998)。该带向西与前苏联南准噶尔铜多金属带相接,通过与邻区对比,表明西天山赛里木湖铜多金属成矿带具备铜多金属矿产成矿的条件(赖健清等,1998,1999)。

喇嘛苏外围地区内含矿地层主要为中元古界蓟县系库西木契克群下亚群可细分为3个岩性段:下段($Jxks^{a-1}$)为硅质岩、硅质结晶灰岩;中段($Jxks^{a-2}$)为结晶灰岩夹硅质岩、泥炭质灰岩;上段

($Jxks^{a-3}$)为变质泥灰岩、板岩、千枚岩。区内侵入岩主要是华力西中期的斜长花岗斑岩和花岗闪长斑岩、闪长玢岩、辉绿玢岩为主(图2)。斜长花岗斑岩主要布于喇嘛苏外围地区西北侧,呈脉状产出,主要为沿北西向断裂侵入,在岩体边缘常见有矽卡岩及矿化,矿化主要沿矽卡岩裂隙分布,表现为孔雀石化、褐铁矿化,局部可见铜蓝等氧化物;花岗闪长斑岩是喇嘛苏外围地区侵入规模最大、数量较多的岩类,约占侵入岩总面积的70%,岩体边部呈锯齿状,其形态轮廓反映了岩浆沿追踪断裂侵位的特征,在岩石的裂隙中常见由磁黄铁矿、黄铁矿、少量的磁铁矿等金属硫化物和石英组成的细网脉,孔雀石化沿岩石裂隙分布于石英细网脉中。喇嘛苏外围地区岩体普遍有较强的蚀变,主要有绢云母化、硅化、褐铁矿化、绿泥绿帘石化、碳酸盐化、钾化、钠长石化等蚀变,沿岩石裂隙面发育。区内褶皱构造不明显,断裂构造发育,因此断裂活动是成矿物质活化、迁移的主要动力来源。主断裂的走向西北,与地层走向呈一定的夹角。区内有许多次级断层,对成矿有一定的控制作用。

2 1: 5000 化探原生晕特征

根据喇嘛苏外围地区寻找矿种及相应指示元素

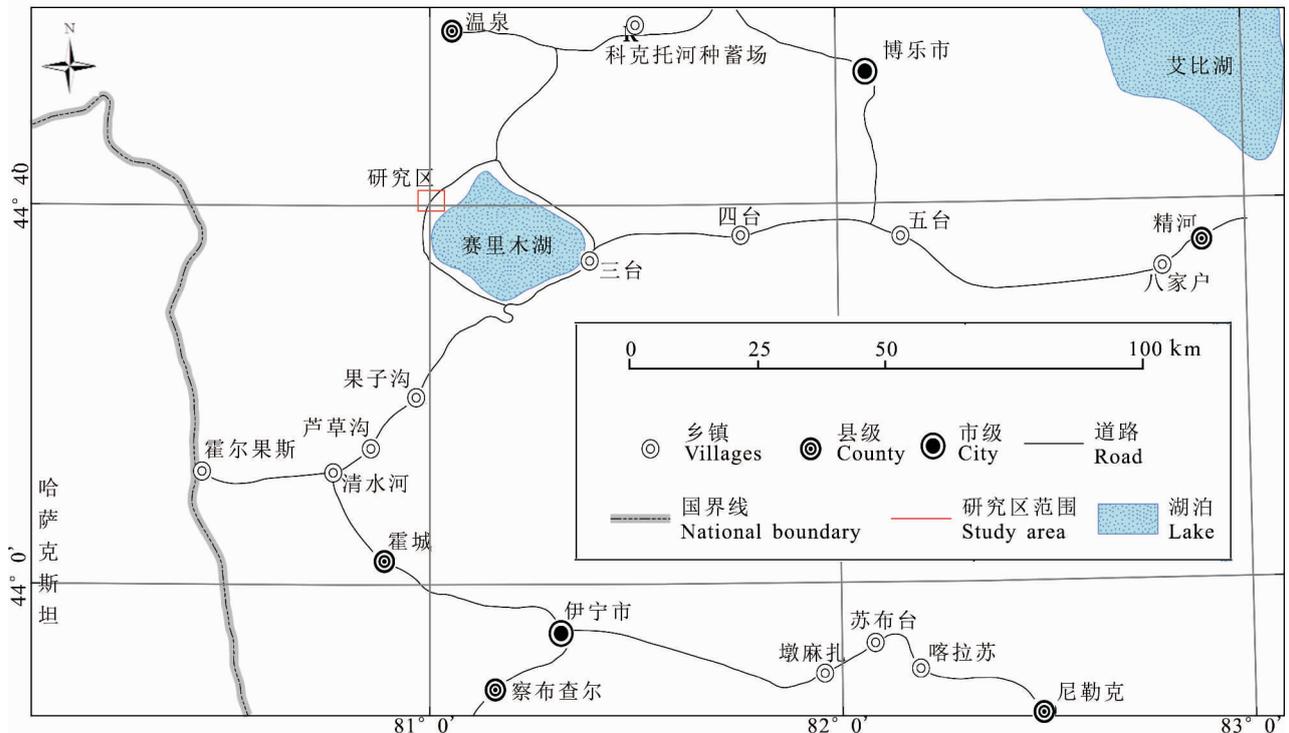


图1 新疆博乐市喇嘛苏地区交通位置图

Fig. 1 The traffic location map of the Lamasu area, Bole, Xinjiang

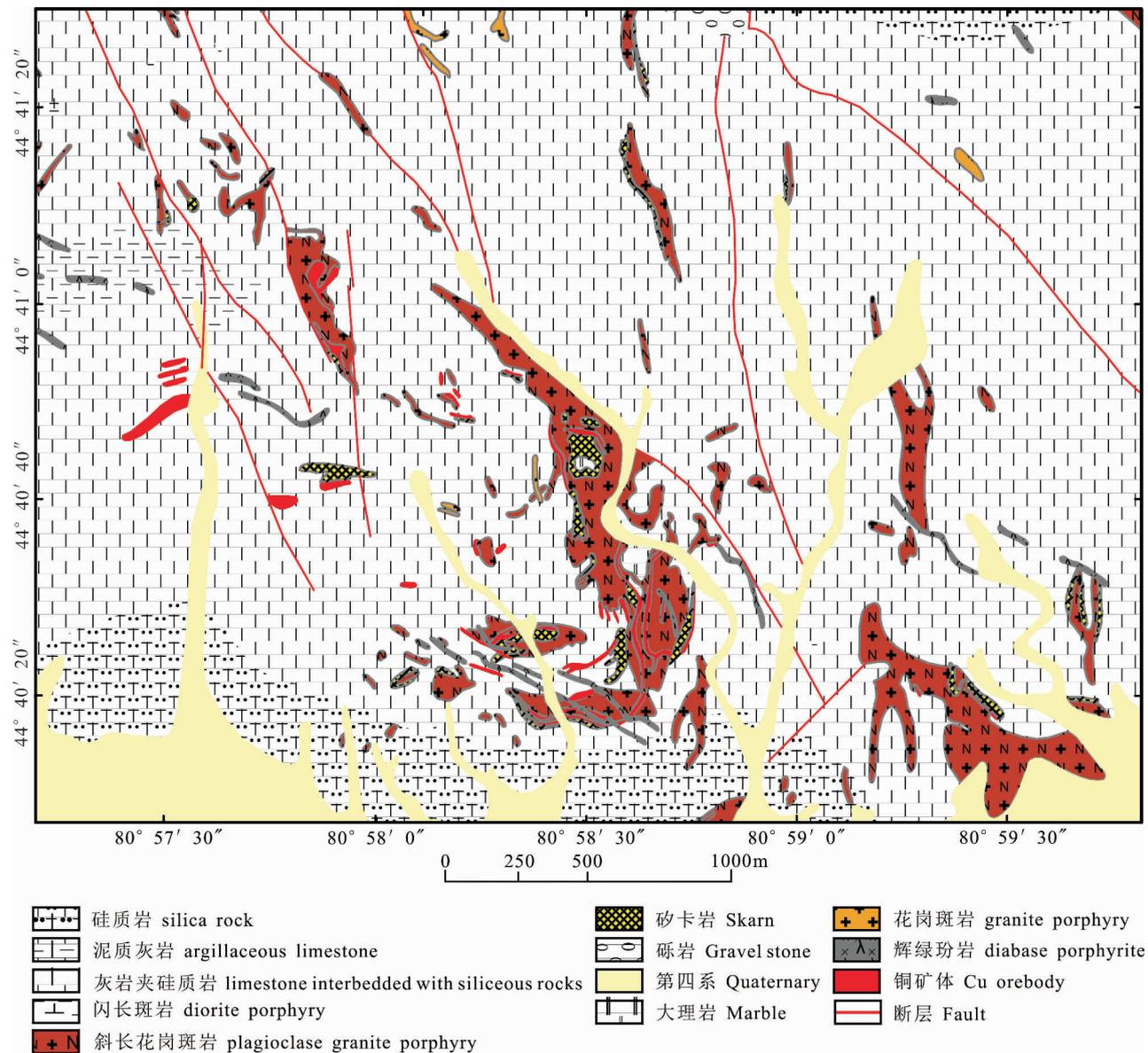


图 2 新疆博乐市喇嘛苏外围铜矿区岩体分布图

Fig. 2 The intrusives distribution in the peripheral area of the Lamasu copper deposit, Bole, Xinjiang

及地质特征,选择分析元素为 Cu、Zn、Pb、Ag、W、Sn、Mn、As、Au、Bi,首先对喇嘛苏外围地区基岩 33 种元素进行系统采集,采用高精度 X 荧光分析仪 (Innoxα-5000) 进行测量,分析基岩微量元素特征。然后对以上 10 种分析元素加以统计和定量分析,研究成矿元素的分布和富集规律,对化探异常进行详细解释和评价,为下一步找矿工作提供依据。

2.1 微量元素定量分析

由于地质作用过程的长期性、多期性和复杂性,导致部分元素的含量在地质体中呈现富集或贫化。这种富集或贫化是基于区域元素背景值基础之上的

高低变化,与地质体之间存在着一定的函数关系。通过对图幅中的所有剖面上的岩石化探样的光谱定量分析结果统计,将元素的富集与贫化以富集系数划分为四个级别,即 < 0.8 属贫化,0.8 ~ 1.0 正常,1.0 ~ 2.0 富集,> 2.0 强富集。绝大多数热液矿床,元素富集地段的矿化蚀变强度高、规模大、种类多、蚀变复杂,则成矿的潜力越大。矿化蚀变叠加强度在一定程度上反映了成矿潜力的大小,此值越大,说明元素的富集程度越高、分异程度越强烈,成矿的潜力越大(柳炳利,2012)。

由表 1 可知,喇嘛苏外围地区 Zn、Ag、Sn、As、Bi

表 1 新疆博乐市喇嘛苏外围地区微量元素地球化学参数表
Table 1 Trace elements parameters of the peripheral area of Lamasu, Bole, Xinjiang

元素	样品个数	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数	富集系数
Cu	1824	9	496045	1867.86	20107.21	10.76	3.99
Zn	1601	5.5	1847	89.49	89.51	1.01	1.92
Pb	1820	69	18323	1704.72	1262.11	0.74	2.47
Ag	1547	1	118	21.87	14.40	0.66	1.76
W	1623	4.8	1477	145.99	117.49	0.81	0.89
Sn	1563	13	13464	232.99	416.38	1.79	1.74
Mn	1623	4.8	1477	145.99	117.49	0.81	0.89
As	1488	4	1065	21.43	48.45	2.26	1.45
Au	1820	5.3	81	21.35	11.13	0.52	0.21
Bi	1543	44	24667	366.84	673.93	1.84	1.21

注: Au, Ag 含量单位为 10^{-9} , 其余元素含量单位为 10^{-6}

等元素富集系数均在 1.0 ~ 2.0 范围内, 说明这 5 种元素在勘查区是富集的。Cu、Pb 元素的富集系数均大于 2.0, 说明这些元素在勘查区为强富集元素。W、Mn、Au 元素均在 0.8 ~ 1.0 范围内, 属于正常元素。

2.2 化探异常特征及评价

将各元素异常套绘在一起, 据空间位置确定综

合异常的元素组合, 并统计计算综合异常中各元素异常的地球化学特征参数, 以此作为异常评价和评序的依据。本文在喇嘛苏外围地区共圈出综合异常 6 处 (ZY-1、YZ-2、YZ-3、YZ-4、YZ-5、YZ-6), 其 1: 5000 化探 (岩石地球化学测量) 平面异常等值线及综合异常范围划分 (图 3)。异常较好 YZ-2、YZ-3、YZ-4、YZ-5, 给出了以下的解释结果。YZ-2 主要由 Cu、Zn、Pb、Ag、As 组成, Cu、Pb、Zn 的含量都达到工业品位, 异常面积较大, 强度高, 异常吻合性好, 有明显的浓集中心和浓度分带, 区内出露岩石主要为斜长花岗斑岩, 花岗闪长斑岩及灰岩, 南北、北西、北东向构造较发育, 地表可见褐铁矿化、绿泥石化、孔雀石化, 通过野外查证所获得资料分析初步推断深部铜矿体引起的。YZ-3 异常区域主要元素组合 Cu、Pb、Ag、As, 异常基本呈规则状分布, 异常元素组合比较复杂, 异常套合好, 元素异常有明显的浓集中心, 且浓度分带为内、中、外等; Cu、Pb、Ag 峰值达到工业品位三倍, 属甲类异常, 区内出露岩石为花岗斑岩、花岗闪长斑岩

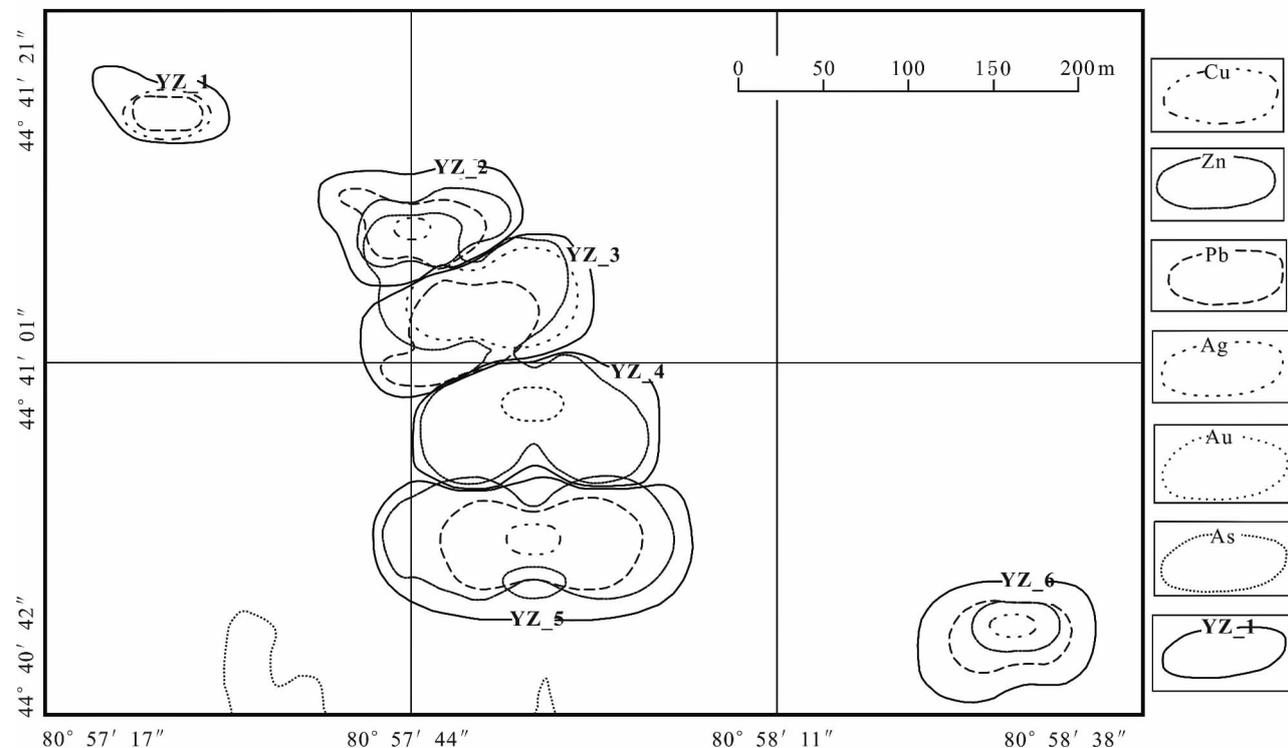


图 3 新疆博乐市喇嘛苏外围地区岩石地球化学测量 Cu、Zn、Pb、Ag、Au、As 综合异常图

Fig. 3 Integrated anomaly map of Cu, Zn, Pb, Ag, Au and As of geochemical measuring in Lamasu peripheral area, Bole, Xinjiang

及灰岩,北西向次级断裂构造较发育,地表见铁帽、褐铁矿化、黄钾铁矾化。铁帽中有时可见星点状分布的孔雀石,黄铜矿、黄铁原生矿。YZ-4 异常区域由 Au、As 组成,Au 的含量达到工业边界品位,异常规模较大,该异常范围矿化蚀变较明显,出露有花岗岩、斜长花岗岩、辉绿岩等岩体。YZ-5 异常区域主要为 Cu、Zn、Pb、Ag、As 等元素组合,Zn、Pb、Ag 峰值达到工业品位两倍,也属于甲类异常,异常规模大,异常吻合性较好,各元素异常有明显的浓集中心和浓度分带性,区内出露有花岗斑岩、花岗闪长斑岩、辉绿玢岩及灰岩,北东向主断裂、北西向次级断裂构造较发育,地表可见有褐铁矿化、黄钾铁矾化、孔雀石化、铜蓝等,初步推断异常由地表浅部黄铁矿—黄铜矿化所致。异常找矿潜力大,应对该异常进行该异常进行查证,查明异常源及规模。

3 化探异常的验证

化探异常的验证是地球化学找矿方法和工作的重要组成部分,并非所有的化探异常都能找到矿,或许只有矿化,有的甚至连矿化也发现不了,异常可能是由地质体引起的(钟仁等,2010;王和胜,1998)。因此对有效化探异常区开展进一步的验证工作,为取得良好的找矿效果奠定坚实的基础。激电极化法是以岩(矿)石、水的激发极化效应的差异为物性前提,用人工地下直流电流激发,以某种极距的装置形式,研究地下横、纵向激发极化效应的变化,以查明矿产资源和有关地质问题的方法。激电横向中梯和激电纵向中梯是激发极化法的两种不同装置测量,激电中梯装置是一次敷设供电极距(A、B),观测范围限于装置中部,且这个范围不应大于 AB 距的三分之二,AB 不动,移动 MN。本次工作首先对喇嘛苏外围地区地表出露的地质体进行了比较详细的物性测定工作,根据地质概况和化探异常特征,采用加拿大 GDD 公司生产的高精度大功率激电仪(GDD),选择喇嘛苏外围成矿前景较好的异常带,进行大功率激电横向中梯测量工作。激电横向中梯工作的测线方位 23°,AB = 1400m,测线间距为 100m,测点间距为 20m,测线总长为 42.7km。

3.1 岩石物性特征

岩石物性测定是为了更好的辨别不同岩性、矿物在地球物理性质上的差异,是进行电法勘探数据解释的前提和重点。事实证明,准确的使用物性参数可以保证电法勘探数据解释的质量。本次物性测定工作的仪器主要是重庆的 WDYX-2 岩样测试

信号源和 GDD 激电接收机。在喇嘛苏外围地区系统共采集了岩石、矿石以及岩芯标本共 75 块,剔除测量结果不稳定的标本,有效标本数数量为 63 块,测定结果如表 2。

表 2 新疆博乐市喇嘛苏外围地区岩(矿)石电性参数统计表

Table 2 Electrical parameter statistics of rocks (ore) in Lamasu peripheral area, Bole, Xinjiang

岩(矿)石名称	标本块数	η (%) (平均值)	ρ (Ωm) (平均值)
灰黑色灰岩	9	2.909	5453.398
硅质灰黑色灰岩	6	14.6	19610
砂卡岩化灰岩	8	4.741	23993.877
含矿蚀变灰岩	10	28.6	36325
花岗斑岩	3	8.1	6087
含矿矿化花岗斑岩	4	9.1	3063
闪长玢岩体	5	3.7	2874
含矿闪长玢岩体	8	41.1	15944
辉绿玢岩	4	9.4	28146
含矿辉绿玢岩	7	37.8	79534

通过上述物性特征的分析,笔者等认为在该区找铜矿(化)体,主要以中高极化率和低电阻率异常特征为主,在排除炭质的前提下,异常系硫化物引起的可能性较大。

3.2 激电异常特征及评价

据该喇嘛苏外围地区岩矿石的电性特征,在激电异常区中,低电阻率和高极化率异常是找矿的有利标志。在化探异常 YZ-2、YZ-3、YZ-4、YZ-5 区内,进行大功率激电横向中梯测量工作,共发现有意义的异常 6 处(图 4a 至图 4b 中 I、II、III、IV、V、VI)。从激电横向中梯视极化率平面等值线图和视电阻率平面等值线图来看,IP 异常表现为中低电阻高级化,极化率均在 2.0% ~ 2.6% 以上,峰值可达 3.2%,与之相对应的视电阻率为低阻—中阻,为典型的中低阻高级化特征(图 4a、b)。I ~ VI 激电异常呈条带状,与地层走向相同,该区域内有一条近北北西向主断裂及数条北北东向次级断裂,区内岩性主要为花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、花岗斑岩、泥质灰岩及结晶灰岩。激电剖面异常中心最明显,极化率变化范围为 0.5% ~ 3.2%,视电阻率范围较广,最高达到 3300 $\Omega \cdot \text{m}$ 。由激电剖面可知极化率从南西端迅速增大,到达峰值后缓慢减小,这一现象与地层向南西倾特征完全符合,异常南西部主要为花岗闪长斑岩,北部为灰岩,视电阻率值从北西部逐渐增

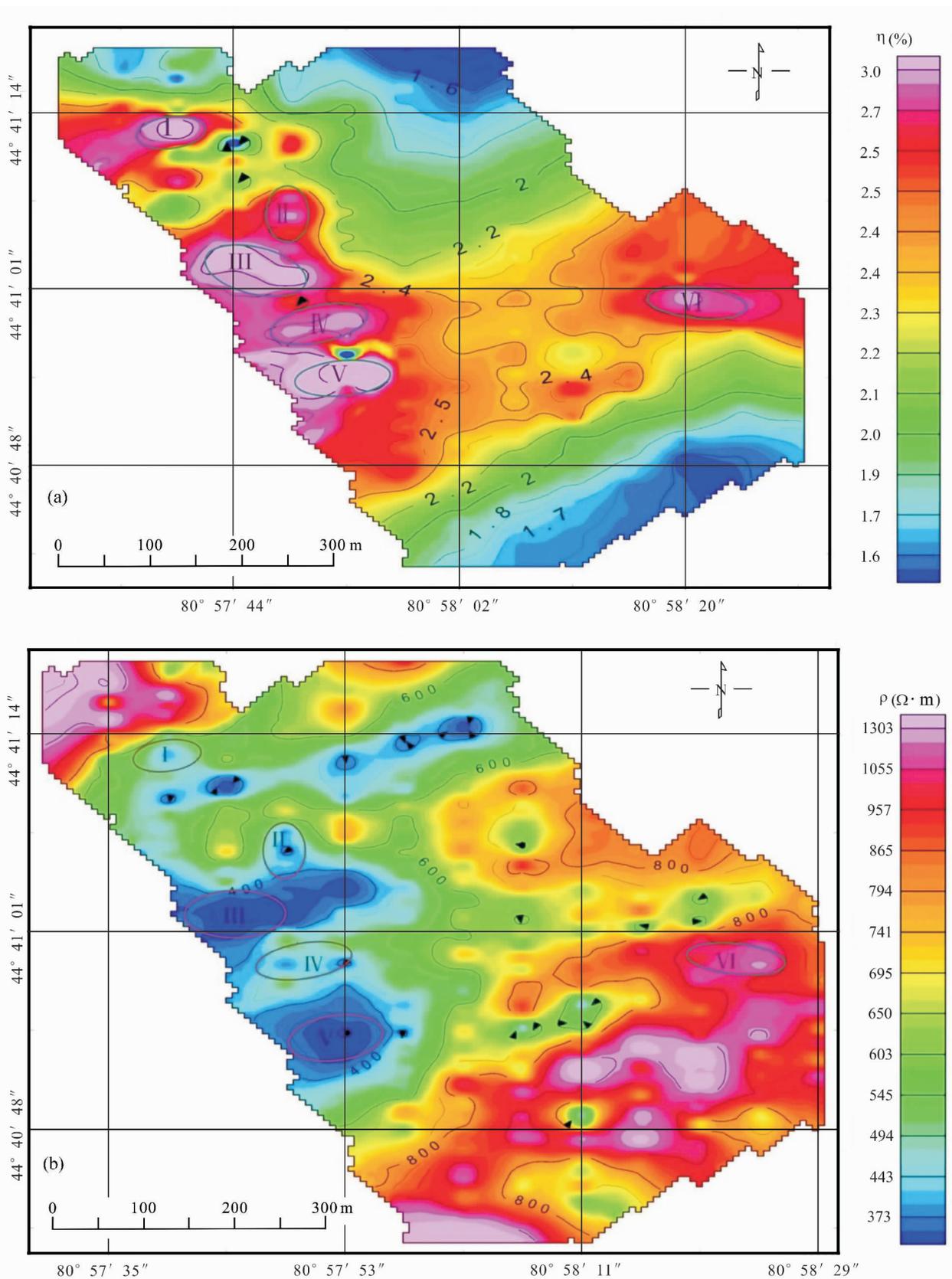


图 4 新疆博乐市喇嘛苏外围地区激电横向中梯极化率(a)和激电横向中梯电阻率(b)等值线平面图

Fig. 4 Contour map of the polarization(a) and resistivity (b) ratio in horizon detected by IP intermediate gradient method in Lamasu peripheral area , Bole , Xinjiang

加,过V异常中心后向南西迅速下降。激电异常在异常区呈条带状,地表发现铁帽、褐铁矿化、黄钾铁矾化、绿泥石化、孔雀石化带,铁帽中可见星点状分布的黄铁矿—黄铜为主的原生矿。极化率异常区与视电阻率相对应,是典型的低电阻率、高极化率区域,未发现影响极化率异常的炭质物质。经实地勘查,地表发现大面积矿化蚀变分布于灰岩裂隙中。由此推断认为,激电剖面的高级化中低电阻异常即为潜在矿化构造位置,是深部与铜伴生的金属硫化物的综合反映,而且该区成矿受到地层和断层控制,成矿条件较好,需要进行下一步钻探进行验证。

3.3 工程验证

据上述原生晕岩石地球化学测量以及大功率激电中梯等方法对喇嘛苏外围地区内矿化系统的综合探测,结合地质资料、遥感影像和实地勘察验证,在激电高异常区圈定了7个钻孔位置,钻孔设计为直孔,设计深度400m,推测的目标体最浅埋深为33m,

最大顶部埋深200m,目标体向南西方向倾斜,目标体平均厚度为53m。其中ZK01、ZK03、ZK04、ZK06、ZK05号见到矿体(图5a—d)。从表3可知,钻孔揭露的矿体最小顶部埋深为49m,最大顶部埋深为190m,矿体一般为层状,倾向南西方向,这些结果与探测推断结果基本一致。证明本次采用物化探综合方法在本区探矿效果较好,为该区今后的找矿工作指明了方向。

4 结论

本文以新疆博乐市喇嘛苏外围地区多金属矿带化探原生晕与激电测量相结合的找矿效果为实例,论述了化探原生晕与激电测量相结合的技术流程,取得了良好的找矿效果,形成了如下的认识:

(1)通过对成矿有关元素的统计与定量分析,初步了解了喇嘛苏外围地区的元素富集赋存特征,微量元素定量分析结果表明Cu、Pb等两种元素在

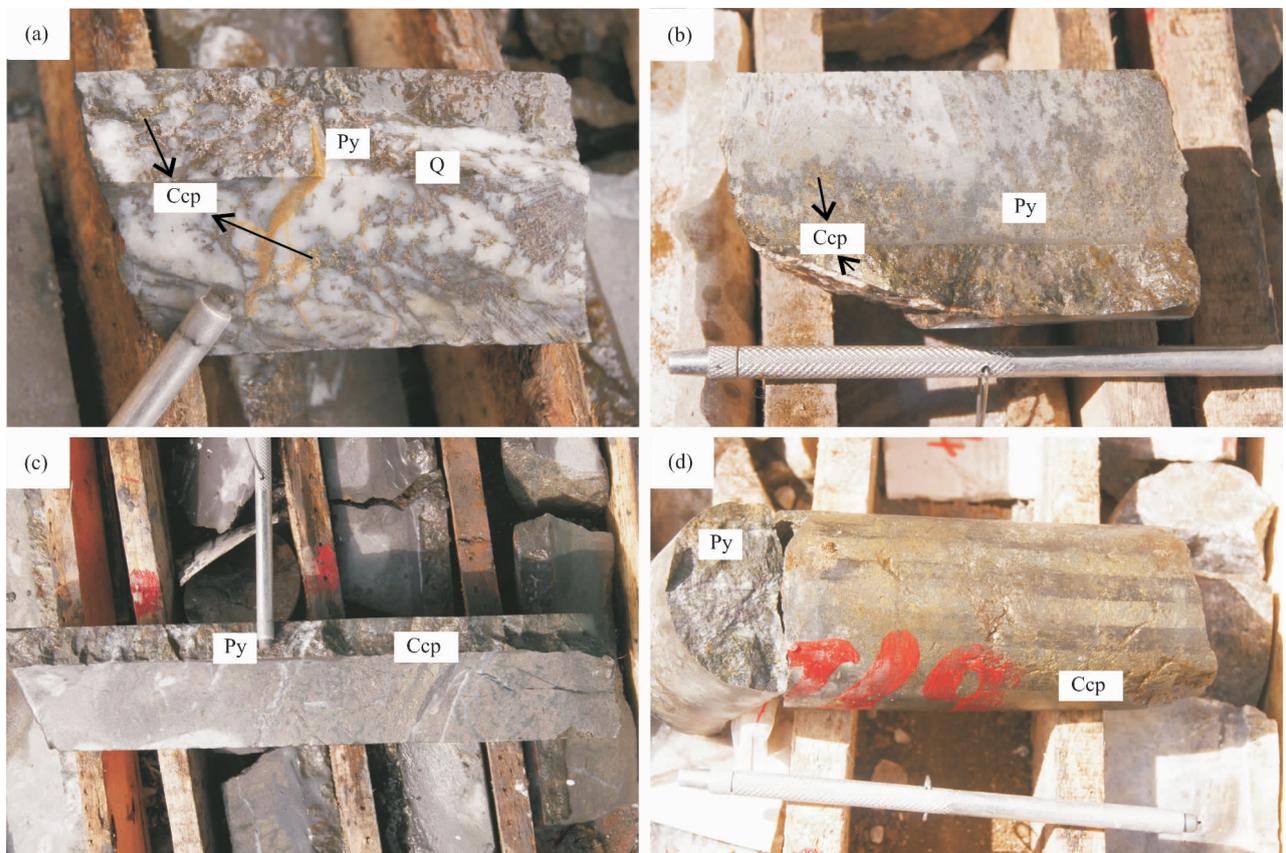


图5 新疆博乐市喇嘛苏外围地区钻孔工程查证见矿典型岩芯照片

Fig. 5 The typical mineralized core photos of drills for verification engineering in Lamasu peripheral area, Bole, Xinjiang
 (a) 含黄铜矿黄铁矿石英脉;(b) 浸染状黄铜矿—黄铁矿—石榴子石—透辉石矿石;(c) 稠密浸染状黄铜矿—黄铁矿—石榴子石—透辉石矿石;(d) 块状黄铜矿—黄铁矿。Ccp—黄铜矿;Py—黄铁矿;Q—石英
 (a) quartz veins with chalcopyrite and pyrite; (b) disseminated ore of pyrite—chalcopyrite—garnet—diopside ore; (c) dense disseminated ore of pyrite—chalcopyrite—garnet—diopside ore; (d) massive ore of chalcopyrite—pyrite。Ccp—chalcopyrite;Py—pyrite;Q—quartz

喇嘛苏外围地区内为强富集元素, Zn、Ag、Sn、As、Bi 等5种元素为富集元素, 结合元素共生组合特点, 初步圈定具有找矿意义的六个化探综合异常区。

表3 新疆博乐市喇嘛苏外围地区见矿钻孔中
矿体赋存位置表

Table 3 Orebodies position in drills of Lamasu
peripheral area, Bole, Xinjiang

钻孔号	矿体 层段数	层段 序数	矿体厚 度(m)	矿体顶 深(m)	见矿井位(m)
ZK01	2	1	2.45	86	86~92
		2	63.3	193	193~369
ZK03	2	1	11.7	64	64~103
		2	40.81	208	208~887
ZK04	1	1	35.5	190	190~380
ZK06	2	1	22.4	161	161.2~183.6
		2	9.2	354.9	354.9~368.8
ZK05	2	1	1.7	34.9	34.9~36.6
		2	19	172.1	172.1~210

(2)在化探异常范围内布置的大功率激电横向中梯测量, 可对化探异常实行验证并进一步缩小找矿靶区, 圈定区内金属硫化物富集地段, 相对高极化低电阻异常是寻找该型矿床的重要地球物理找矿标志。激电异常特征和化探异常基本吻合, 验证结果表明, Cu—Zn—Pb—Ag—W—Sn—Mn—As—Au—Bi 等多元素叠加异常的存在, 初步推断异常时深部铜、锌铅多金属引起的, 发现深部确实矿体存在, 异常体延伸方向与地表矿化基本一致。

(3)利用化探原生晕与激电测量相结合方法是快速、精确、有效、低成本的缩小找矿靶区, 并根据物化探异常特征, 结合异常区地质环境, 对物化探异常进行评价, 较精确判断主要成矿异常, 从而为确定主攻矿种提供重要依据。本文研究不仅具有重要的理论价值, 对指导这一类型矿床找矿预测以及在类似类型矿床进行推广实践也具有重要的意义。

致谢:野外及室内工作期间, 得到项目组成员的鼎力帮助, 在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

陈长敬, 张胜业, 曾歌明, 黄理善. 2007. 激发极化法在西藏某地铜矿区的应用效果. 工程地球物理学报, 4(4): 327~331.

赖健清, 彭省临. 1999. 喇嘛苏铜多金属矿床成矿作用研究. 有色金属矿产与勘查, 8(6): 1~2.

- 赖健清, 彭省临, 钟运鄂, 邵拥军, 王核. 1998. 新疆温泉县喇嘛苏铜多金属矿床成因初探. 有色金属矿产与勘查, 7(5): 1~6.
- 李金铭. 2005. 地电场与电法勘探. 北京: 地质出版社: 1~100.
- 李宁生, 赵福元, 佺阳, 周磊. 2013. 大功率激电在金属矿深部找矿中的应用. 石油天然气学报, 35(8): 54~56.
- 林存国, 王财富, 徐凤银, 郝宏建, 葛运华. 2006. 综合物化探技术在柴达木盆地的应用. 勘探技术, 6(64): 64~71.
- 柳炳利. 2012. 原生晕地球化学异常分析及深部盲矿预测. 成都: 成都理工大学出版社: 1~20.
- 刘崇民. 2006. 金属矿床原生晕研究进展. 地质学报, 80(10): 1528~1538.
- 刘崇民, 吴承烈, 徐外生. 1998. 中国主要类型铜矿勘查地球化学模型. 物探与化探, 22(3): 161~165.
- 刘国辉, 王天意, 徐国志, 吕继东. 2009. 大功率激电在内蒙古扎鲁特旗某多金属矿勘查中的应用. 工程地球物理学报, 6(5): 592~597.
- 柳建新, 曹创华, 童孝忠, 郭宏文, 邓小康, 甘佳雄, 刘文勤. 2012. 物化探方法在青海某多金属矿区的找矿效果. 物探与化探, 36(5): 705~711.
- 罗强, 金和海, 龚育龄. 2013. 大功率激电在福建建宁某铀矿勘察中的应用. 工程地球物理学报, 10(1): 57~61.
- 欧阳宗圻, 李惠, 刘汉忠. 1990. 典型有色金属矿床地球化学异常模式. 北京: 地质出版社: 1~263.
- 邵跃. 1959. 辽宁某铅锌矿区原生晕的研究. 地球物理勘探, (12): 12~18.
- 唐杰, 卢建伟, 刘勇. 2010. 双频激电法在豫西南某金铜矿勘查中的应用. 物探与化探, 34(5): 643~646.
- 王和胜. 1998. 化探异常筛选及查证工作方法. 辽宁地质, (4): 277~284.
- 吴承烈. 1993. 建立矿产地球化学模型—模式系统. 物探与化探, 17(3): 161~165.
- 谢学锦, 任天祥, 严光生, 奚小环, 刘大文, 王学求, 程志中, 成杭新, 周国华, 迟清华, 孙忠军. 2010. 进入21世纪中国化探发展路线图. 中国地质, 37(2): 245~266.
- 谢学锦, 陈洪才. 1961. 原生晕方法在地质普查勘查中的作用. 地质学报, 41(3~4): 273~284.
- 杨军臣, 崔彬, 李天福. 1998. 新疆博乐喇嘛苏铜矿床地质特征和成因研究. 地质论评, 44(1): 1~8.
- 玉苏普艾力·喀迪尔, 陈川, 刘雷. 2015. 新疆博格达东段多金属矿带化探原生晕与激电测量相结合的找矿效果. 现代地质, 29(3): 713~720.
- 袁桂琴, 杨少平, 孙跃, 石旭东, 王英秀, 李秀菊, 陈丽娟. 2012. 隐伏金属矿勘查中物化探方法技术应用研究. 物探化探计算技术, 34(6): 631~639.
- 钟仁, 赵志军, 廖蕾, 闫红. 2010. 综合物化探方法在乌兰德勒铅矿勘查中的应用. 物探与化探, 32(3): 275~280.
- 周圣华, 鄢云飞, 李艳军. 2007. 矿产勘查中的物化探技术应用与地质效果. 地质与勘探, 43(6): 57~62.
- 朱朝吉, 周肇武, 王智茂. 2009. 大功率激电在鄂拉山口寻找隐伏矿体中的应用. 地质与资源, 18(3): 214~216.
- Chen Changjing, Zhang Shengye, Zeng Geming, Huang Lishan. 2007&. The application of induced polarization method in a Tibet Copper Mine. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 4(4): 327~331.
- Lai Jianqing, Peng Xinglin. 1999&. Lamasu mineralization of Copper polymetallic Ore deposit study. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals, 8(6): 1~2.
- Lai Jianqing, Peng Xinglin, Zhong Yune, Shao Yongjun, Wang He.

- 1998&. On the genesis of the Lamasu Copper—polymetallic deposit in Wenquan Xinjiang. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 7(5):1~6.
- Li Jiming. 2005#. *Electric and electrical prospecting*. Beijing: Geol. Pub. House: 1~100.
- Li Ningsheng, Zhao Fuyuan, Wu Yang, Zhou Lei. 2013&. The application of high-power induced polarization (IP) in Metal Ore prospecting. *Journal of Oil and Gas Technology*, 35(8):54~56.
- Lin Cunguo, Wang Caifu, Xu Fengyin, Hao Hongjian, Ge Yunhua. 2006&. Application of integrated Geophysical and Geochemical exploration techniques in Qaidam Basin. *Exploration Techniques*. 6(64):64~71.
- Liu Bingli. 2012#. Primary halos Geochemical anomaly analysis and deep Blind Ore prediction. Chengdu: Chengdu University of Technology Press:1~20.
- Liu Chongmin. 2006&. Progress in studies on primary halos of Ore deposit. *Acta Geologica Sinica*, 80(10):1528~1538.
- Liu Chongmin, Wu Chenglie, Xu Waisheng. 1998&. The exploration Geochemical model for major types of Copper deposits in china. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 22(3):161~165.
- Liu Guohui, Wang Tianyi, Xu Guozhi, Lv Jidong. 2009&. Application of high-power IP to multi-metal Ores investigation in Zhalute county of inner Mongolia. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 6(5):592~597.
- Liu Jianxin, Cao Chuanghua, Tong Xiaozhong, Guo Rongwen, Deng Xiaokang, Gan Jiaxiong, Liu Wenjie. 2012&. The Effects of applying integrated Geophysical and Geochemical techniques to ore-prospecting work in a certain polymetallic Ore district in Qinghai. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 36(2):705~711.
- Luo Qiang, Jin Hehai, Gong Yuling. 2013&. The application of high-power induced polarization to Uranium prospecting. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 10(1):57~61.
- Ouyang Zhongqi, Li Hui, Liu Hanzhong. 1990#. Typical nonferrous Metal Ore deposit Geochemical anomaly pattern. Beijing: Geol. Pub. House. 1~263.
- Shao Yue. 1959#. Liaoning a Lead—Zinc mine research of primary halos. *Geophysical Prospecting*, (12):12~18.
- Tang Jie, Lu Jianwei, Liu Yong. 2010&. The application of dual-frequency IP method to the exploration of certain Gold—Copper Mine in Southw Est Henan province. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 34(5):643~646.
- Wang Hesheng. 1998&. Methods of selection and following ~ up for Geochemical exploration anomaly. *Liaoning Geology*, (4):277~284.
- Wu Chenglie. 1993&. The establishment of the Geochemical model—pattern system for Ore resources. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 17(3):161~165.
- Xie Xuejin, Ren Tianxiang, Yan Guangsheng, Xi Xiaohuang, Liu Dawen, Wang Xueqiu, Cheng Zhizong, Cheng Hangxin, Zhou Guohua, Chi Qinghua, Sun Zhongjun. 2010&. 21st Century's roadmap for exploration Geochemistry in china. *Geology China*. 37(2):245~266.
- Xie Xuejin, Chen Hongcai. 1961#. The role of primary halos method in Geological reconnaissance survey. *Acta Geologica Sinica*, 41(3~4):273~284.
- Yang Junchen, Cui Bin, Li Tianfu. 1998&. Geological features and genesis of the Lamasu Copper deposit in Bole County Xinjiang. *Geological review*, 44(1):1~8.
- Yusupu aili Kadier, Chen Chuan, Liu Lei. 2015&. Prospecting effect on Geochemical primary halos of polymetallic Ore Belt in Eastern Bogda Xinjiang combined with induced polarization survey. *Geoscience*, 29(3):713~720.
- Yuan Guiqin, Yang Shaoping, Sun Yue, Shi Xudong, Wang Yingxiu, Li Xiuju, Chen Lijuan. 2012&. The study of Geophysical and Geochemical on concealed Metal deposits exploration. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 34(6):631~639.
- Zhong Ren, Zhao Zhijun, Liao Lei, Yan Hong. 2010&. The application of the integrated Geophysical and Geochemical prospecting methods to the exploration of the Ulan Deleur Molybdenum deposit. *Geophysical & geochemical exploration*, 32(3):275~280.
- Zhou Shenghua, Yan Yunfei, Li Yanjun. 2007&. Application and efficiency of Geophysical and Geochemical exploration methods in present Ore prospecting. *Geology and Prospecting*, 43(6):57~62.
- Zhu Chaoji, Zhou zhaowu, Wang Zhimao. 2009&. Application of high-power induced polarization technique in seeking concealed Orebody in Elashankou Qinghai province. *Geology and Resources*, 18(3):214~216.

Geochemical Primary Halos Combined with IP Measurement Prospecting Effect: Taking Peripheral Area of Lamasu Polymetallic Deposit, Bole, Xinjiang, as an Example

Kuwanixibieke MAIMAITIZHUMA^{1,2)}, CHEN Chuan^{1,2)}, ZHAN Xinzhong^{1,2)}, DING Yalong^{1,2)},
Nurkanati MADAYIPU¹⁾, LIU Delei^{1,2)}, CHENG Hongjun^{1,2)}

1) *Institute of Geology and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi, 830047;*

2) *Xinjiang Key Laboratory for Geodynamic Processes and Metallogenic Prognosis of
Central Asian Orogenic Belt, Xinjiang University, Urumqi, 830047*

Objectives: At present, the combined work of metal deposit prospecting technology is seriously lagging behind, and the geophysical prospecting methods and the geochemical exploration methods are used in a single way. Based on the combination of the use of high power excitation and primary halo discussion is still very little, especially for the rock weathering and erosion is serious and the direct prospecting criteria is not obvious regional

research is still very weak. So learn from these experiences, the author in this study, adhere to the “scientific principle of gradual” work plan, in accordance with the “comprehensive analysis of geological, physical and chemical”, as the guiding ideology of prospecting. In a comprehensive collection of the Lamasu area related features of the data, summed up the analysis of various types of prospecting marks. Through the geological, geophysical and geochemical prospecting, engineering, sampling and testing work to carry out the Lamasu prospecting research combined technical method, find out the combination technology of convenient and effective way, to provide scientific basis for the exploration work in the topography and geological conditions to carry out the fast and effective mineral.

Methods: In this study we used the combination method of primary halo and IP survey, the first large scale rock geochemical work in Lamasu area, Bole, Xinjiang, according to the geochemical primary halo element assemblage characteristics and spatial distribution characteristics, the single element abnormal limit and enrichment coefficient as the division standard, the delineation of the six class III geochemical anomaly, and then according to the ore occurrence regularity of the region, the geochemical anomalies within the layout of the high power IP in the measurement work, can be subject to verification of geochemical anomalies and further reduce the prospecting target area, the delineation of metal sulfide enrichment area, culminating in the favorable ore-forming place drill hole arrangement inferred.

Results: The verification results show that the thought mainly in high polarization and low resistivity anomalies and multi element anomaly is Cu—Zn—Pb—Ag—W—Sn—Mn—As—Au—Bi Bole LAMASU peripheral region for copper deposits in important geophysical and geochemical prospecting.

Conclusions: Practice has proved that the use of the combination method of primary halo and IP measurement is feasible and effective, changed depending on the metallic ore exploration method used is single, prospecting method is unable to construct ore effective evaluation. This will greatly improve the accuracy of this type of ore deposits in the region to find ore prediction, shorten the cycle of mineral exploration, and has a wide range of practical value.

Keywords: Lamasu peripheral, Bole, Xinjiang; primary halo; IP anomaly; concealed ore body

Acknowledgements: This study was financially supported by Natural Science Foundation of the Xinjiang Uygur Autonomous Region (Lamasu copper deposits in Wenquan County of ore-forming fluid and ore-forming mechanism research, No. 2016 d01c067).

First author: Kuwanixibieke MAIMAITIZHUMA, male, Kyrgyz, born in 1991, master student of Earth Exploitation and Information Technology, main interests focus on metallogenic prognosis. Email: 1441452257@qq.com

Corresponding author: CHEN Chuan, male, born in 1974, professor, Master tutor, Engaged in the study of regional metallogenic prediction and 3S technology. Email: chenchuan@sina.cn。

Manuscript received on: 2016-02-26; Accepted on: 2016-11-21; Edited by: ZHANG Yuxu.

Doi: 10.16509/j.georeview.2017.01.008