DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2019.12001

激电与土壤化探方法在滇西北衙地区的勘查效果及应用前景

王 桥,唐发伟,杨 剑,张 伟,廖国忠

(中国地质调查局成都地质调查中心,四川 成都 610081)

摘要:为了获得北衙超大型金多金属矿床外围找矿工作的突破,本文在已知典型矿床模型上,开展直流激电与双频激电方法的对比试验研究。结果表明,两种方法都能有效揭示已知矿体的分布,但直流激电具有更强的抗干扰能力和更高的深部分辨率,所以直流激电方法可能更为适合北衙矿区。土壤化探资料揭示北衙远景区Ⅰ土壤里高丰度的铅锌含量对激电异常具有较大干扰。利用直流激电与土壤化探的方法组合,揭示了北衙远景区Ⅱ矿体的分布范围,取得了良好的应用效果,为北衙外围找矿提出了有效的技术方法组合建议。

关 键 词:激电;土壤化探;矿体赋存模型;北衙地区

中图分类号:P631;P632 **文献标识码**:A

0 引言

近年来,我国浅表矿藏资源已基本查明,找矿难度日益增大,这就需要提高勘查技术的水平。勘查技术方法有多种,不同的方法可以解决特定的地质问题。应用重力可以解译区域的地质构造、岩体的分布;磁法可以区分磁性与非磁性的岩矿体,在找矿远景区的划分中扮演重要的角色;电磁法能够分辨深大断裂及地层的分布,为地球动力学的研究提供科学支撑。地震技术在石油勘探的作用是不可替代的,能有效的指示圈闭、油气藏等的存在。激发极化法在矿产应用也是取得了一批有价值的成果。当然,某一类的方法在某个地区也不全都适用,这就需要在研究当地的实际地质条件下,结合方法技术的特点选用成熟有效的方法开展勘探。

双频激电具有观测速度快、测量精度高、受电流变化影响小、抗干扰能力强、装备轻便等优点,特别适合在中国西南山区这类海拔较高、地形条件复杂、自然条件恶劣的地区进行找矿工作(武炜等,2009;李华等,2010;王桥等,2016,2021;吴文贤等,2017;罗延钟,1982)。此外,频谱激电在石油、固体矿产等方面的勘查中取得一些有意义的成果(柳建新等,2004;苏朱刘等,2005;柳建新等,2012;吴之训,1987;杨振威等,2013;郭镜等,2020;廖国忠等,2020),但频谱激电仪设备普遍较为笨重,施工繁琐,在一定程度上类似于高密度电法,对接地的要求较高,某个电极由于不可抗因素引起的接地不理想,会使整个剖面测量结果受影响,且资料的处理没有成熟有效的方法,对成果资料的解释基本都是基于拟断面的探索。

北衙金多金属矿床经勘查揭露为超大型金矿床,在矿区的矿体已基本封边,但外围的找矿工作还没有大的突破,亟需有效的方法来提供找矿支撑。想要在地形条件复杂的北衙矿区外围找矿有所突破,需成熟有效的激电方法提供支撑,不采用频谱激电法,选择双频激电及大功率直流激电在矿区开展了方法的实验研究,通过效果比对,分析讨论了双频激电的在北衙地区应用可能存在的问题,最终确定直流激电在外围勘查远景,并取得一定的效果。

1 地质及成矿规律的认识

“三江”地区在大地构造上属于环球特提斯构造域的重要组成部分,地处阿尔卑斯-喜马拉雅巨

收稿日期:2019-12-09;**改回日期**:2020-05-18

作者简介:王桥(1984—),博士,高级工程师,主要从事地球物理应用及研究工作。E-mail:rambo_wq@163.com

资助项目:中国地质调查局项目(DD20190033),国家自然科学基金(41804144)

型造山带东段弧形转弯处,濒临特提斯构造域与太平洋构造域交接部位。北衙位于德格-中甸陆块、扬子陆块与兰坪－思茅陆块三个Ⅰ级构造单元结合部东侧。北衙地区属于华南地层大区,扬子地层区,丽江地层小区。发育古生界志留系、泥盆系以及二叠系,中生界三叠系,新生界始新统及上新统和第四纪地层。以三叠系最为发育,早古生代地层仅见于工作区的西北角,零星出露,峨眉山玄武岩作为盆地的"基底"分布于工作区的南部和东部。

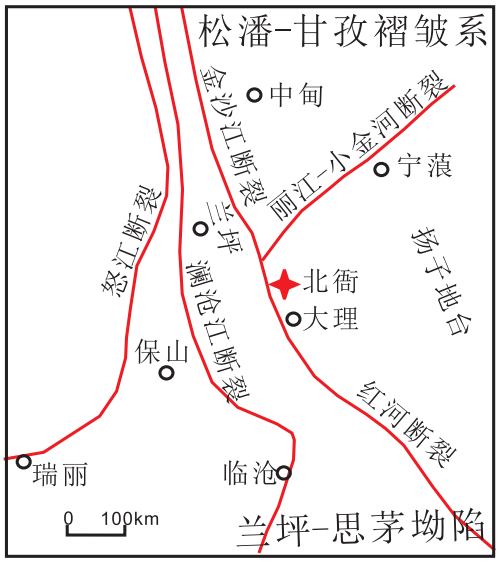

图 1 研究区构造纲要图

Fig. 1 Structure outline of the study area

北衙矿区成矿类型较为复杂,受多期富碱斑岩及复杂构造作用,而形成了区内南部的以北衙铁金矿区的 Fe、Au 为主,兼有 Cu、Pb、Zn、Ag 等多金属矿床为代表,富碱斑岩岩浆为成矿金属的主要来源,矿体受岩体、构造、地层三位一体控制(和中华等,2013)。北衙超大型金多金属矿床分为五个亚类型:富碱斑岩接触带矽卡岩型、层间破碎带型、岩性界面型、脉型、残坡积型(张胜涛和李敏娇,1995)。矽卡岩型、层间破碎带型及脉型矿床主要产在斑岩体附近的北衙组碳酸盐岩中,在整个矿区广泛分布,是具有代表性的矿床类型,也是在北衙外围具有找矿前景的矿床类型。残坡积型金矿主要分布在万洞山、陈家庄、北衙村、大沙地一带,产在第四系中,在北衙地区不具代表性。岩性界面型矿床是产在北衙组碳酸盐岩底部与晴田堡组碎屑岩分界面处,以芹河矿段为代表,呈薄层(一般小于 2m)产出。基于以上成矿规律认识,建立了图 2 所示的北衙矿区主要矿体覆存模式图,以期在矿区外围找到北衙式矿床。

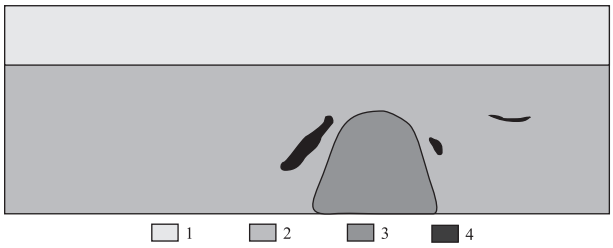

图 2 北衙矿区主要矿体赋存模式

1—第四系堆积物;2—北衙组碳酸盐岩;3—石英正长斑岩;4—矿体

Fig. 2 Occurrence model of main ore bodies in Beiya mining area

2 工作参数的确定

在典型的矿床模型上,开展方法试验,对比分析测量结果,优选成果贴近实际模型的方法。选取在北衙金矿区万洞山矿段,分别开展了时下成熟有效的激电方法试验,包括大功率直流激电及双频激电方法。

大功率直流激电与双频激电的采用相同工作装置,即中间梯度装置:考虑到万洞山矿段矿体最大埋深达 350m,供电极距 AB 为 2km,供电端 AB 极,各采用挖坑、浇灌饱和盐水、埋置 6 块 60×60cm 铜板的方式,以尽量的降低接地电阻(实际 AB 接地电阻约为 220～260Ω),增大供电电流;测量极距 MN 为 0.04km,测量点距 0.04km。不同的是,供电端:直流激电采用的是 10kW 大功率发电机兼整流源,双频激电采用电池箱组进行供电。由于已知矿体的走向为南北向,故采用东西向布置供电及测量系统,以促使矿体的极化作用达到最大,接收稳定可靠的电信号。

在埋设后供电电极后,选取三个试验点进行试验确定工作电压(图 3a 所示),位于剖面的中间位置。一般来说,中梯剖面的中间位置,测量的电信号会相对较弱,而越靠近 AB 极,测量电场信号会更强。如果剖面中间的测点电场信号能符合规范要求,那么是可以在整条剖面开展工作的。图 3,在三个试验点分别进行供电 500V(图 3b)、750V(图 3c)、1000V(图 3d)测试。500V 供电时,大功率直流激电与双频激电的测量电场都小,且测量值不稳定,获取的数据质量不高。改用 750V 供电时,两种方法的测量电场都稳定,符合规范的要求,选用

750V 的供电电压进行方法的优选试验。考虑到现有的双频仪器不支持 1000V 电压,只测试了大功率直流激电,测量的电场信号较 750V 时,有了一定的增强,但不明显。图 3e 显示大功率的供电电流及测量电场均高于双频的对应量。

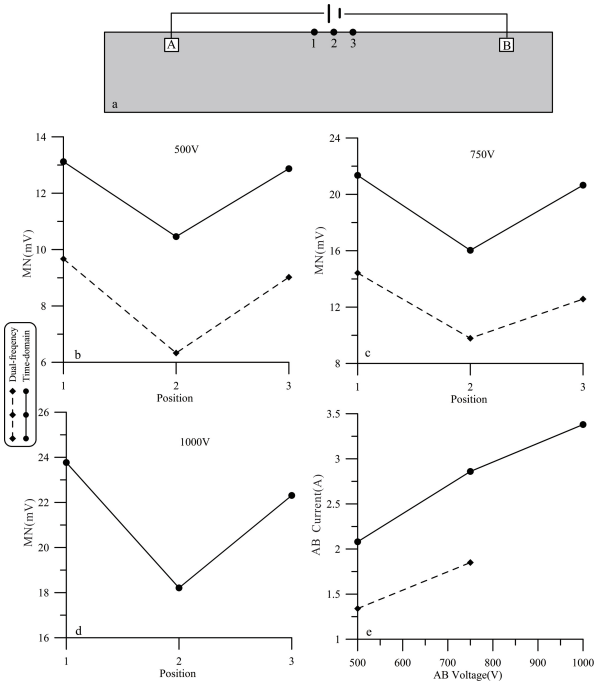

图 3　不同供电电压试验效果

a. 试验点分布图; b. 500v 供电试验点测量电场; c. 750v 供电试验点测量电场; d. 1000v 供电试验点测量电场; e. 不同供电电压对应的电流

Fig. 3　Test results of different supply voltages

3　测试方法

两种方法的测量效果图 4 所示,由于研究区的南部位于采坑边部,未能对异常进行封闭。从图 4 可看到,研究区北部两种方法的异常形态基本一致,在研究区南部,618850 ~ 618950 段异常有所差别。不同的是,直流激电产生视极化率异常的幅值总体高于视幅频率值。图 4a 中,视极化率极大值可达 6.1%,主要的高的视极化率异常值 Ms 大于 2.6%。图 4b 中,视幅频率极大值为 3.2%,高的幅频率值主要分布在 1.5% ~1.9%,且高异常的控制范围较视极化率小。对比图 4a 与图 4b,高视极化率异常能很好对应矿体的位置,高视幅频率异常也与矿体有一定的对应性,只是幅值偏低,易受干扰,增加了筛选异常的难度。

双频激电的异常幅值偏低可能跟北衙地区特殊

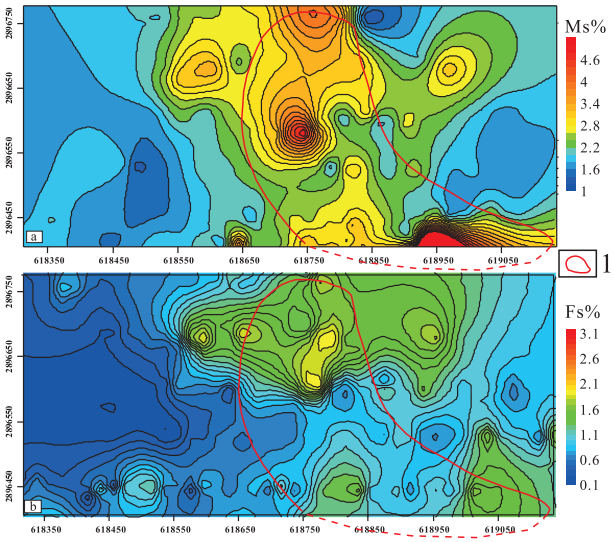

图 4　万峒山北部激电异常平面图

a. 视极化率异常图; b. 视幅频率异常图; 1—矿体平面位置

Fig. 4　IP anomaly of the north Wangdongshan

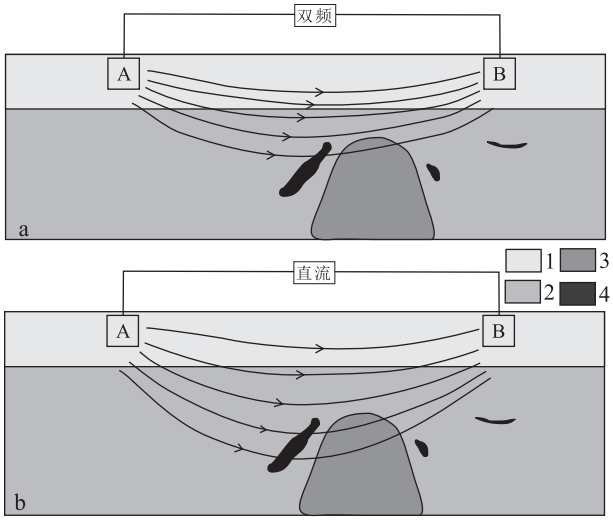

图 5　电流分布假想模型图

a. 双频激电电流分布图; b. 直流激电电流分布图。1—第四系堆积物; 2—北衙组碳酸盐岩; 3—石英正长斑岩; 4—矿体

Fig 5　Hypothetical model of current distribution

的地质环境有关。在北衙矿区,第四系覆盖厚达数十米,在北衙向斜盆地最厚的达百米有余,第四系以下的地层是北衙组碳酸盐岩。第四系属低电阻率,而碳酸盐岩属于高电阻率。根据这样的地质结构特点,构建了假想的电流分布图 5。双频激电的供电源是电池箱组,干电池在短路情况下,最大的电流才达 4 ~ 5A(张胜涛和李敏娇, 1995),而大功率发电机输出电流经过整流源输出的电流可达数十安培,也就是干电池的供电性能远不及大功率发射系统。对于双频的供电系统来说,在地表有一定

厚度的低阻层时,受高阻层的屏蔽作用,电流会主要集中在低电阻层,流经在高阻层中的目标地质体的电流有限(图 5a),不能促使异常体完全极化,致使产生较弱的幅频率异常。大功率的供电系统则相反,具有较强的供电能力促使电流能穿越高阻层的屏蔽,均匀分布于供电端 AB 中间 2/3 的位置(图 5b),充分的极化目标地质体,形成有效的激电异常。

视幅频率的异常幅值、控制范围小,容易受地层、岩体等因素的影响。对于北衙地区来说,北衙组碳酸盐岩是主要的含矿层位,不含矿的碳酸盐岩地层或者斑岩体也会富含一定丰度的矿质元素,可能会产生假的异常,对弱的视幅频率异常产生干扰,导致错误的异常判别。因此,在北衙地区对激发极化法的选择应考虑选择大功率的直流激电法。

4 勘查效果分析

结合地质、重磁等资料,如具有地表矿化露头以及高重高磁异常等,在北衙矿区外围,选取两个与北衙矿区类似地质背景的区域,开展激电法的勘查远景工作,工作装置、参数与模型试验区一致。根据激电成果提供的钻探选址,经工程验证揭露,在远景区Ⅰ钻孔在北衙组碳酸盐岩裂隙中见到少量的黄铜、铁矿化。分析总结远景区Ⅰ的经验后,在远景区Ⅱ中,则见到矿(化)体。

4.1 远景区Ⅰ分析与讨论

开展大功率激电中梯工作,获得视极化率平面图如图 6,其整体结果反映出东西两侧低中间条状高值分部,且北部低南部高的异常特征。远景区Ⅰ划分出三个异常区分别为 Ms1、Ms2、Ms3。由图 6 可见:Ms1 高值异常区位于测区北部,整体幅值在 2% ~4% 范围内,异常南北走向条带状分布,两侧为激电背景场 1.8% 以下,无特征高值。Ms2 高值异常区位于测区西南部,整体测值也在 2% ~4% 范围内,呈南北走向条带状分布,两侧为低值的激电背景场。Ms3 高值异常区位于东南部,整体呈“S”型展布,以东西向异常为主,该异常区范围大且整体高值突出,幅值基本分布在 6.5% 以上,部分区域高达 9%。Ms1 和 Ms2 高值异常区未完全封闭,可能异常会向南北方向延伸,而 Ms3 高值异常封闭完整。

结合地质资料,在高视极化率异常区布设了一个工程钻孔(图 6 所示)。钻孔显示:0 ~167.6m,

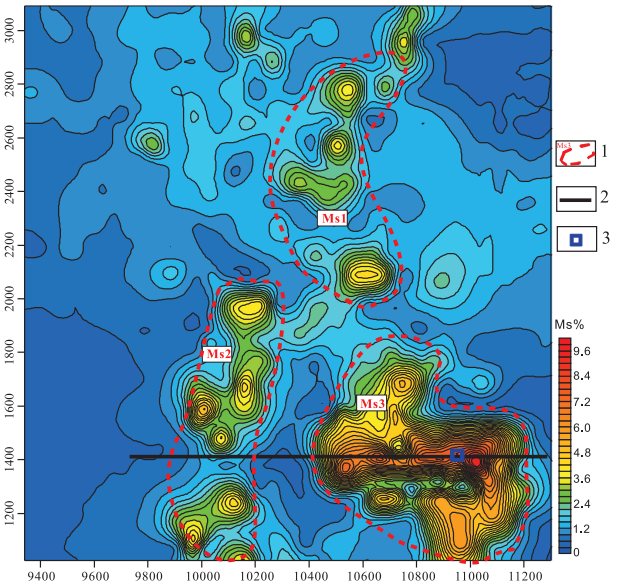

图 6 远景区Ⅰ视极化率异常图

1—异常及编号;2—土壤化探剖面;3—钻孔

Fig. 6 IP anomaly of peripheral area Ⅰ

破碎带,土黄色、土褐色黏土与角砾岩,破碎角砾状构造;该层岩石由角砾岩块及其胶结物构成,角砾以大理岩化灰岩为主。其中,147.85 ~167.55m:见沿节理、裂隙常穿插有方解石细脉及褐色铁泥质薄膜,由于大理岩化蚀变作用,灰质瘤界线多已模糊不清,仅以间隙内发育的铁泥质薄膜为标志,有少量孔雀石铜矿化现象,产于褐色铁泥质破碎状角砾间隙,或胶结物内;161.6 ~323.9m:以瘤状灰岩、砂屑灰岩、泥质灰岩为主,整体节理、裂隙密集发育,局部呈碎裂状,并有砖红色黏土。323.91 ~326.21m:进入青田堡组碎屑岩段,泥质粉砂结构,中厚层、厚层状构造,发育水平层理。整体节理、裂隙较为发育,并顺其有灰白色钙质、褐色铁泥质脉体及薄膜穿插发育。整个钻孔未见明显蚀变及金属矿化现象,说明工程验证的结果不理想。

隐伏矿大比例尺找矿预测中的关键科学问题之一是区分矿与非矿异常(彭省临等,2011),显然从钻探结果看 Ms3 异常应是非矿所引起的异常。与北衙矿区已知万硐山北部矿段平面激电异常对比来看,两个区域平面激电异常形状都较为“干净完整”,高低异常梯度带明显,属于正常激电异常形状,但从激电幅值来看,万硐山已知矿段激电异常幅值范围 2.8% ~4.6%,峰值 6%,而干海子远景区激电 Ms3 异常范围幅值 6% ~9%,峰值可达到 10.5%,从数量级上来看,属于非正常激电异常幅值,推测有可能炭质层或者其他干扰影响。影响激

电异常的主要因素包括石墨、碳质、黄铁、磁铁矿化等(罗延钟,1982;张赛珍和王式铭,1974),钻孔岩心资料显示石墨及碳质是不存在的,且只有零星的矿化现象,不足以产生图 4 中范围大、极值高的 Ms3 激电异常。对激电异常的评价,不考虑具体地质—地球物理条件,简单地把它当作区分矿和非矿异常的法宝乱用(罗延钟,1982)。土壤剖面的分析测试结果给出了引起高激电异常的原因。

全区水系沉积物分析认为,Pb 元素的平均丰度约为 80×10^{-6},Zn 元素的平均丰度值约为 150×10^{-6},可作为背景场值。如图 7 所示为土壤化探剖面,测试结果显示远景区Ⅰ土壤中 Pb、Zn 元素含量较高,两元素含量的相关性好,Zn 元素含量普遍高于 Pb 元素。整条剖面的 Pb、Zn 元素含量值均高于区域的背景场。特别是,在激电 Ms3 异常范围内,Zn 元素含量普遍都高于 1000×10^{-6},极值高达 3872×10^{-6};Pb 元素含量普遍高于 200×10^{-6},极值高达 1123×10^{-6}。在钻孔点位采集的土壤样品中 Pb 含量为 780×10^{-6}、Zn 含量达 2816×10^{-6}。这样看来,在远景区Ⅰ中高含量的 Pb、Zn 元素就是引起高激电 Ms3 异常的原因了,以致产生了错误的异常识别,同时,也平添了土壤元素于激电异常的筛选依据。

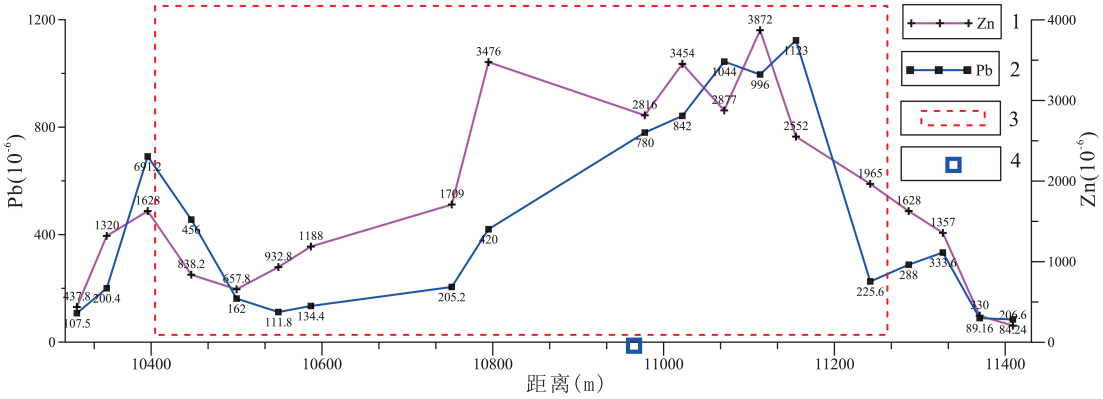

图 7　远景区Ⅰ土壤剖面

1—Zn 元素剖面;2—Pb 元素剖面;3—激电 Ms3 异常范围;4—钻孔点位

Fig. 7　Geochemical anomaly of soil in peripheral area Ⅰ

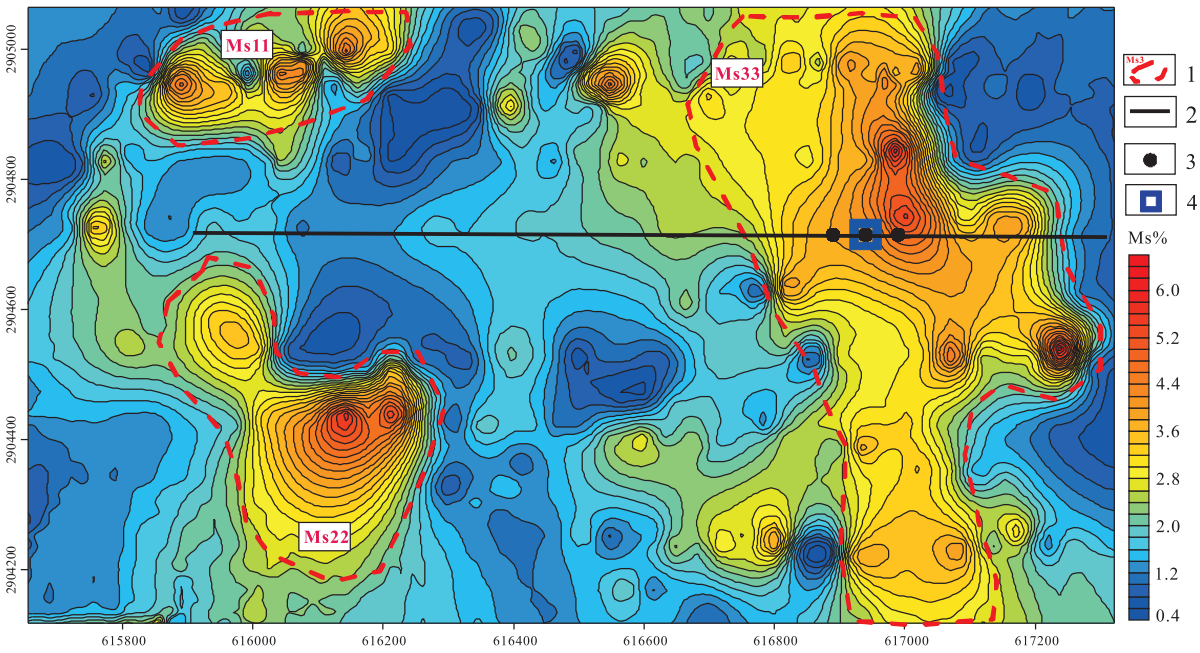

图 8　远景区Ⅱ视极化率平面异常图

1—异常及编号;2—土壤化探剖面;3—激电测深点;4—钻孔

Fig. 8　IP anomaly of peripheral area Ⅱ

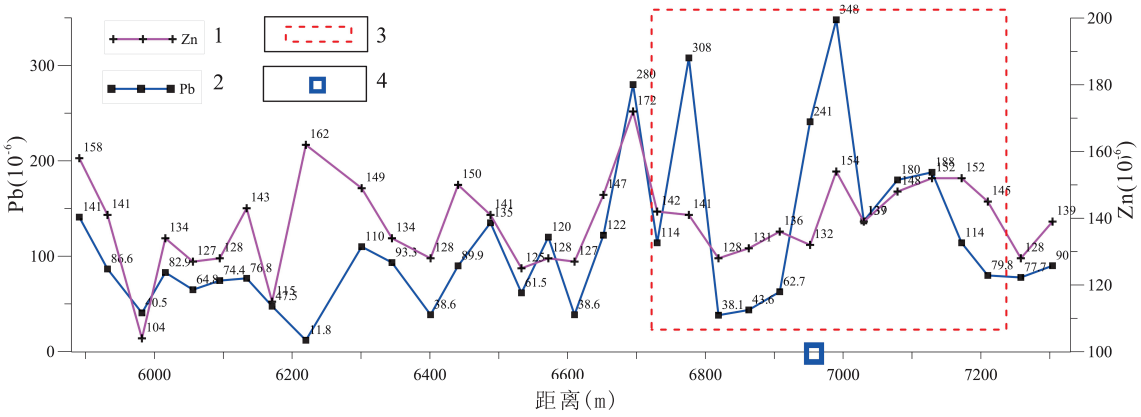

图 9 远景区Ⅱ土壤剖面

1—Zn 元素剖面;2—Pb 元素剖面;3—激电 Ms33 异常范围;4—钻孔点位

Fig. 9 Soil's geochemical anomaly of peripheral area Ⅱ

4.2 远景区Ⅱ效果

远景区Ⅱ视极化率平面图如图 8,其视极化率整体结果反映出东西两侧呈现高,中间低的异常特征。该测区同样可划分出三个异常区,由图可见:Ms1 高值异常区位于测区西北部,整体测值在 2.4% ~5% 范围内,异常区域较小,四周为无特征高值,异常区域封闭完整。Ms2 高值异常区位于测区西南部,整体测值也在 2% ~5% 范围内,周围为 1% 左右的激电背景场,异常区域封闭完整。Ms3 高值异常区位于测区东部,整体高值相对均匀分布,测值范围在 2.4% ~5%,呈南北走向条带状分布且覆盖广,高值异常区未完全封闭,异常向南北方向延伸。Ms33 异常与万峒山北部矿段的试验激电异常形态及主要异常幅值较为接近,属于正常激电异常形态,该地段存在矿(化)体的可能性较大。

在开展激电工作的同时增加了土壤化探剖面测量,对激电异常的有效性评价进行约束。图 9 为远景区Ⅱ的土壤分析结果,整条剖面的 Pb、Zn 元素含量不高,两元素含量的相关性好;Zn 元素含量值主要集中在背景场值上下;在进入激电 Ms33 异常范围,土壤中 Pb 元素含量明显增大且高于 Zn 元素含量。类比远景区Ⅰ,远景区Ⅱ的土壤金属元素的含量低,激电 Ms33 异常应是由矿(化)体引起的。在 Ms33 异常区内,开展了 3 个点的激电测深工作,点位见如图 8,以期查明矿(化)体的深部覆存部位。图 10 为远景区Ⅱ极化率测深解译及钻孔柱状图。在激电测深剖面,在近地表极化率幅值一般小于 2%,在标高 2250 ~2300m,三个测深点的极化率均达到 2.5% 以上,特别在 6990 号点存在一个明显的激电高异常。在标高 2000 ~2050m,三个测深点的极化率均达到较大值。激电测深极化率幅值正常,根据极化率的高低,解译了两个向西倾的高极化率体为矿(化)体。在图 8 中高视极化率的位置布置了工程,对激电解译的异常进行验证。

钻孔资料显示,岩心岩性以北衙组碳酸盐为主,钻遇晴田堡组碎屑岩完孔。0 ~70.9m,为含砾砂泥质黏土、含少量白云质角砾岩。70.9 ~389.7m,为北衙组碳酸盐岩,岩性以瘤状灰岩、泥质灰岩、白云质灰岩、白云岩为主,中厚层状构造;整体节理、裂隙较发育,顺其可见穿插的方解石细脉。其中,分别在 147.2 ~162.5m、260.37 ~276.48m、260.37 ~276.5m 见到三层十数米的石英正长斑岩与下伏地层呈侵入接触:灰白色,斑状结构,块状构造;整体较发育节理、裂隙,岩心表现较为破碎。全岩造岩矿物主要由石英、正长石及少量斜长石斑晶和长英质矿物基质构成。存在少量黄铜矿、磁铁矿等,呈微细粒浸染状稀疏分布。在 352.2 ~360.6m:脉状、团斑状及细粒浸染状黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿,其中,Pb 元素品位达 1.82%。389.7 ~401.6m 为晴田堡组碎屑岩,以砂岩为主,泥质粉砂结构,中厚层状构造,发育水平层理。整体节理、裂隙较为发育,并顺其有灰白色钙质、褐色铁泥质脉体及薄膜穿插发育。从钻孔资料看,设计的钻孔基本达到预期目标。

5 找矿意义与方向探讨

在金沙江 - 红河断裂带有北向南分布 7 个富碱岩区,中甸区、剑川区、永胜 - 宁蒗区、鹤庆 - 祥云区

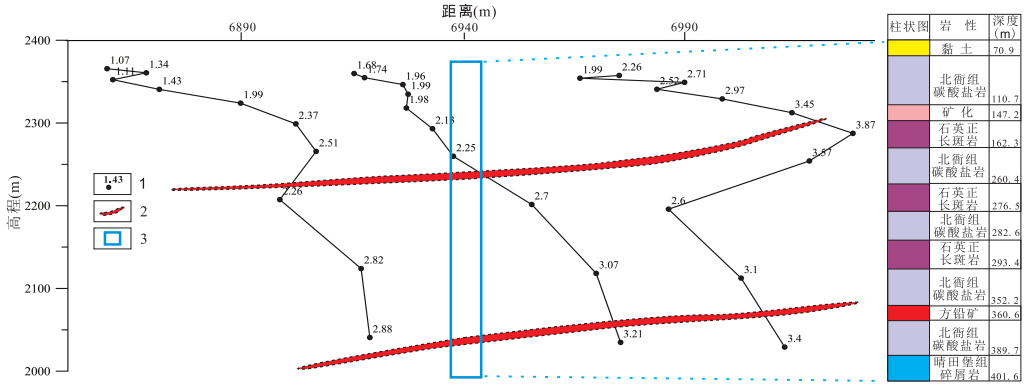

图 10　远景区Ⅱ极化率测深解译及钻孔柱状图

1—极化率幅值;2—解译矿(化)体;3—钻孔

Fig. 10　IP sounding interpretation of peripheral area Ⅱ and the drilling histogram

(哀牢山－金沙江断裂及其次级断裂和程海－宾川断裂控制)、姚安－华坪岩群、永平－巍山区、绿春－金平区(武炜等,2009;曾普胜等,2002),金沙江－红河断裂带控制着大区岩体的分布。北衙地区地属鹤庆－祥云区,代表性岩体是北衙石英正长斑岩带、松桂铺台山石英正长斑岩体及马厂箐花岗斑岩带。

北衙矿区断层主要有两组,一组近南北向,另一组近东西向,分布于北衙向斜两翼。近南北向断裂组为矿区内控矿断层,近东西向断裂组为破矿断裂。北衙矿区分布的 7 个斑岩体,万洞山岩体、红泥塘岩体、大沙地岩体、小米地岩体、桅杆坡岩体、笔架山东坡、笔架山西坡,岩体规模较小,多数石英正长斑岩与矿(化)有关,走向近南北向,受南北向的构造控制,矿区的主要矿床受岩体严格控制。

矿区土壤地球化学测量表明在已知矿床(点)地球化学异常规模大,元素组合分带与矿区围岩蚀变密切相关,一般在浅剥蚀区地表有以 Pb、Zn、Ag 为主的垂直分带,深剥蚀区则有环状水平分带,由内向外为 Mo-Cu-Au-Ag-Pb-Zn 同心环状地球化学晕。化探组合异常的分布范围与富碱斑岩体的出露范围相一致,并且与南无山环形构造也大体相当,这说明富碱斑岩活动范围与该区地球化学异常的展布一致。土壤化学异常一定程度上可以指示岩体的存在,但也要注意土壤中的高丰度的金属元素异常对激电异常的影响。万铜山北部矿段模型试验侥幸未遇到土壤中高丰度的金属元素的影响,远景区Ⅰ的激电异常则受 Pb、Zn 元素的影响致使异常的形态及幅值均偏离了试验模型,远景区Ⅱ的激电异常干净,设计的钻孔达到了预期目的。

从远景区Ⅱ钻孔结果看,地表存在 70.9m 的黏土层,两个矿(化)体产在石英正长斑岩附近的北衙组碳酸盐岩中,与前面总结的北衙式主要矿床的覆存模型(图 2)吻合,取得到令人满意的结果,应用该模型在外围找矿是有效的。钻孔中出现的 3 层均约 15m 厚的斑岩体,以岩枝形式产出。研究认为在远景区Ⅱ的南部可能存在主岩体,而钻孔见到的 3 层岩体应属于其岩枝,激电异常在该区南部没有封闭,因此,认为在远景区Ⅱ南部有较好找矿前景。

结合三个区的激电异常成果来看,高视极化率平面异常走向也都是近南北向,与大区内的主要构造、岩体走向基本保持一致,未来在寻找北衙式矿床时,应充分重视南北向的激电异常,东西向的异常可能跟破矿构造或土壤中的高丰度金属元素有关。同时,在没有合理有效的办法,确定布设供电电极方向时,应首先考虑选择东西方向供电的方式。从大量的钻孔岩心、露头及测井的物性统计来看,北衙组碳酸盐岩属高电阻率,石英正长斑岩属于中低电阻率,在电阻率测深剖面中,北衙式矿床是主要产在岩体与碳酸盐岩接触带及其附近的,对于工程布置来说,应尽量选择靠近电阻率梯度带上开展。

6　结论

(1)对于北衙地区来说,矿体严格受岩体控制,碳酸盐岩是富矿层位,主要的矿体多产在岩体与碳酸盐岩接触带附近,总结出北衙矿区主要矿体覆存模式。在两个远景区开展了应用推广,在远景区Ⅱ,成功见到两层矿(化)体,达到预期目的,说明应用该模型在指导北衙矿区外围找矿是有效的。

(2)在北衙地区,开展激电勘查工作,应先考虑选择大功率的直流激电法,并配合以土壤化探测试工作,可有效的筛选矿(化)致异常,提高激电的分辨率。

(3)怒江－红河断裂控制着7个富碱岩区分布,其次级断裂控制着北衙地区石英正长斑岩体的分布。北衙地区的矿床是受岩体严格控制的,从三个区的激电异常成果来看,高视极化率平面异常走向也都是近南北向,与大区内的主要构造、岩体走向基本保持一致,未来的找矿中应重视南北向的激电异常。

致谢:在此,对云金集团北衙矿业公司提供的矿区勘探线资料以及审稿老师提出的宝贵意见,一并表示衷心的感谢。

参考文献(References):

郭镜,焦彦杰,梁生贤,2021. 特提斯喜马拉雅铅锌锑金成矿带含碳质岩石中热液脉型矿床的综合电法勘探—以西藏扎西康铅锌锑多金属矿为例[J/OL]. 沉积与特提斯地质:1－17. DOI:10.19826/j.cnki.1009－3850.2020.10002

和中华,周云满,和文言,等,2013. 滇西北衙超大型金多金属矿床成因类型及成矿规律[J]. 矿床地质,32(2):244－258.

李华,艾斯卡尔,焦彦杰,等,2010. 频率域激电在西南山区多金属矿调查中的应用效果[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),37(6):673－678.

廖国忠,张伟,杨剑,等,2020. 湘西花垣地区铅锌矿勘查技术找矿模式探索——以大脑坡铅锌矿为例[J]. 沉积与特提斯地质,40(4):103－110.

柳建新,曹创华,童孝忠,等,2012. 综合物探方法在青藏高原某钼多金属矿的勘查效果[J]. 地质与勘探,48(6):1188－1198

柳建新,刘春明,佟铁钢,等,2004. 双频激电法在西藏某铜多金属矿带的应用[J]. 地质与勘探,40(2):59－61.

罗延钟,1982. 评价激电异常的新方法[J]. 国外地质勘探技术,1:18－25.

彭省临,邵拥军,张建东,等,2011. 金属矿山隐伏矿找矿预测理论与方法[J]. 地质通报,31(4):538－543.

苏朱刘,吴信泉,胡文宝,等,2005. 复视电阻率法在油气预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探,40(4):467－471.

王桥,王绪本, 杨剑,等,2016. 基于多元信息约束的隐伏矽卡岩型铁矿床的定位——以云南北衙金矿区红泥塘矿段为例[J]. 地球物理学报,59(12): 4771－4781.

王桥,杨剑,等,2021. 碳酸盐岩深覆盖区隐伏岩溶构造的音频大地电磁探测—以云南大关地区为例[J/OL]. 沉积与特提斯地质. https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009－3850.2021.08002.

吴文贤,曾琴琴,廖国忠,等,2017. 云南保山西邑大型隐伏铅锌矿区季节变化对大功率激电找矿效果的影响[J]. 沉积与特提斯地质,37(4):99－106.

吴之训,1987. 频谱激电法在几个金属矿区的应用效果[J]. 物探与化探,11(4):281－290.

武炜,张宝林,梁光河,等,2009. 双频激电法在我国西部两类典型覆盖区金属矿体预测中的应用[J]. 地质与勘探,45(6):669－675

杨振威,严加永,陈向斌,等,2013. 频谱激电法在安徽沙溪斑岩铜矿中的应用[J]. 地球物理学进展,28(4):2014－2023.

曾普胜,莫宣学,喻学惠,等,2002. 滇西富碱斑岩带的Nd、Sr、Pb同位素特征及其挤压走滑背景[J]. 岩石矿物学杂志,21(3)231－241.

张赛珍,王式铭,1974. 影响矿化岩石和矿石极化率(η)值的因素及其作用规律[J]. 地质学报,40(1):97－114.

张胜涛,李敏娇, 1995. 无汞锌—锰干电池的性能研究[J]. 电池,25(3):108－111.

Prospecting effects and their significances of induced polarization and soil geochemical methods in Beiya area, northwestern Yunnan

WANG Qiao, TANG Fawei, YANG Jian, ZHANG Wei, LIAO Guozhong
(*Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu* 610081, *China*)

Abstract: In order to make a prospecting breakthrough in the peripheral areas of Beiya, a super large gold polymetallic deposit in the northwest of Yunnan, this paper carries out a comparative experimental study of IP and dual-frequency IP methods in the known typical orebodies. The results show that both methods can effectively reveal the distribution of known ore bodies, but IP has a stronger anti-interference ability and a higher deep resolution, so IP is more suitable for Beiya area. Soil's geochemical data reveal that the high abundance of Pb and Zn in the soil of Beiya prospective area I has great interference on IP anomalies. The distribution range of orebody II in Beiya prospect area is revealed by using the combination of IP and soil's geochemical method, which has achieved good application effect and provided an effective technical method combination for the exploration of the peripheral area of Beiya in the future.

Key words: IP; Cover-saving mode of ore; Soil geochemical prospecting; Beiya area