

doi: 10.11720/wtyht.2018.2504

邱光辉,尹学爱,张启生,等.四极梯度测深在智利某铜矿区的应用[J].物探与化探,2018,42(5):1059-1063.http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.2504

Qiu G H, Yin X A, Zhang Q S, et al. The application of quadrupole gradient sounding to a certain copper mine in Chile [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(5): 1059-1063. http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.2504

四极梯度测深在智利某铜矿区的应用

邱光辉¹, 尹学爱², 张启生¹, 张海亮¹, 张慧佳¹

(1. 中化地质矿山总局山东地质勘查院, 山东 济南 250013; 2. 滨州学院, 山东 滨州 256603)

摘要: 针对智利某铜矿区地形高差大、垂向切割剧烈、常规对称四极装置跑极工作效率很低的情况, 提出用对称四极加中间梯度的联合装置进行测深, 即小极距用对称四极测深装置, 大极距用中梯测深装置。在该矿区同一测深剖面, 经过对称四极装置测深和联合装置(对称四极+中间梯度)测深反演结果的对比, 表明联合装置测深的反演结果基本等效于对称四极装置测深效果, 但联合装置工作效率更高, 更适合在地形复杂地区施工。

关键词: 激电测深; 中间梯度装置; 对称四极装置; 联合装置; 反演; 深部找矿; 复杂地形

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2018)05-1059-05

0 引言

四极梯度测深是寻找隐伏金属矿或深部矿的有效手段之一, 但其野外工作效率受地形影响较大。智利某铜矿区地形复杂, 垂向切割较大, 该矿区之前进行过一系列地质、化探及物探工作, 均因矿区施工难度大, 找矿工作迟迟没有突破。为了克服复杂地形给四极梯度测深工作带来的困难, 结合矿区的实际情况, 在充分分析对称四极装置和中间梯度装置各自优势的情况下, 革新了传统的布极方式, 研究出联合装置(对称四极+中间梯度)测深法。通过野外实践, 联合装置能节省大量的跑极工作量、提高测深工作的效率、降低跑错极的几率。依据联合装置测深成果布设的钻孔, 成功地在预定深度见矿, 进一步表明该方法具有很好的实用价值。

1 矿区地质概况

该区在大地构造位置上处于西部海岸山褶皱带与东部斑岩成矿带的中间地带——低温热液多金属成矿带。西侧紧邻延长一千多公里的南北向阿塔卡

玛断裂, 东侧为南北向的多明戈断裂。该区位于坎德拉里亚大型铜矿床的东南 15 km 处, 处于智利北部重要的成矿带上^[1]。

区内出露地层主要为白垩纪及第四纪地层(图 1)。白垩纪地层主要岩性为火山角砾岩、火山凝灰岩、流纹岩、流纹质英安岩、安山质熔岩、砂岩等。以安山岩的出露面积最大, 局部受热液影响发生较强的绿泥石和绿帘石化。第四系岩性为杂色砾石和钙质砂土, 分选较差, 磨圆一般, 物质来源比较复杂, 为松散堆积, 厚度从数米到上百米, 主要分布在山前沟谷或比较平坦的山顶。

受阿塔卡玛和多明戈断裂带的影响, 区内的断裂构造十分发育, 主要构造为断裂和广泛发育两组断裂交汇处的火山喷气构造, 主要走向有 NW 向、近 SN 向和 NE 向。

区内出露岩浆岩面积较大, 属于区域性嘎白沙德巴卡(Cabeza de Vaca)岩体的一部分。区内出露岩性主要为石英二长闪长岩, 局部有花岗闪长岩、闪长岩、二长闪长岩、细粒二长斑岩小岩株或岩脉出露。

区内主要蚀变有硅化、绢云母化、钠化、电气石化、镜铁矿化、黄铜矿化、高岭土化、绿泥石及绿帘石

收稿日期: 2017-01-05; 修回日期: 2018-03-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401384)

作者简介: 邱光辉(1979-), 男, 汉族, 山东济南人, 中国地质大学(武汉)地球物理专业硕士毕业, 高级工程师, 现主要从事地球物理找矿工作。
Email: wngqh@163.com

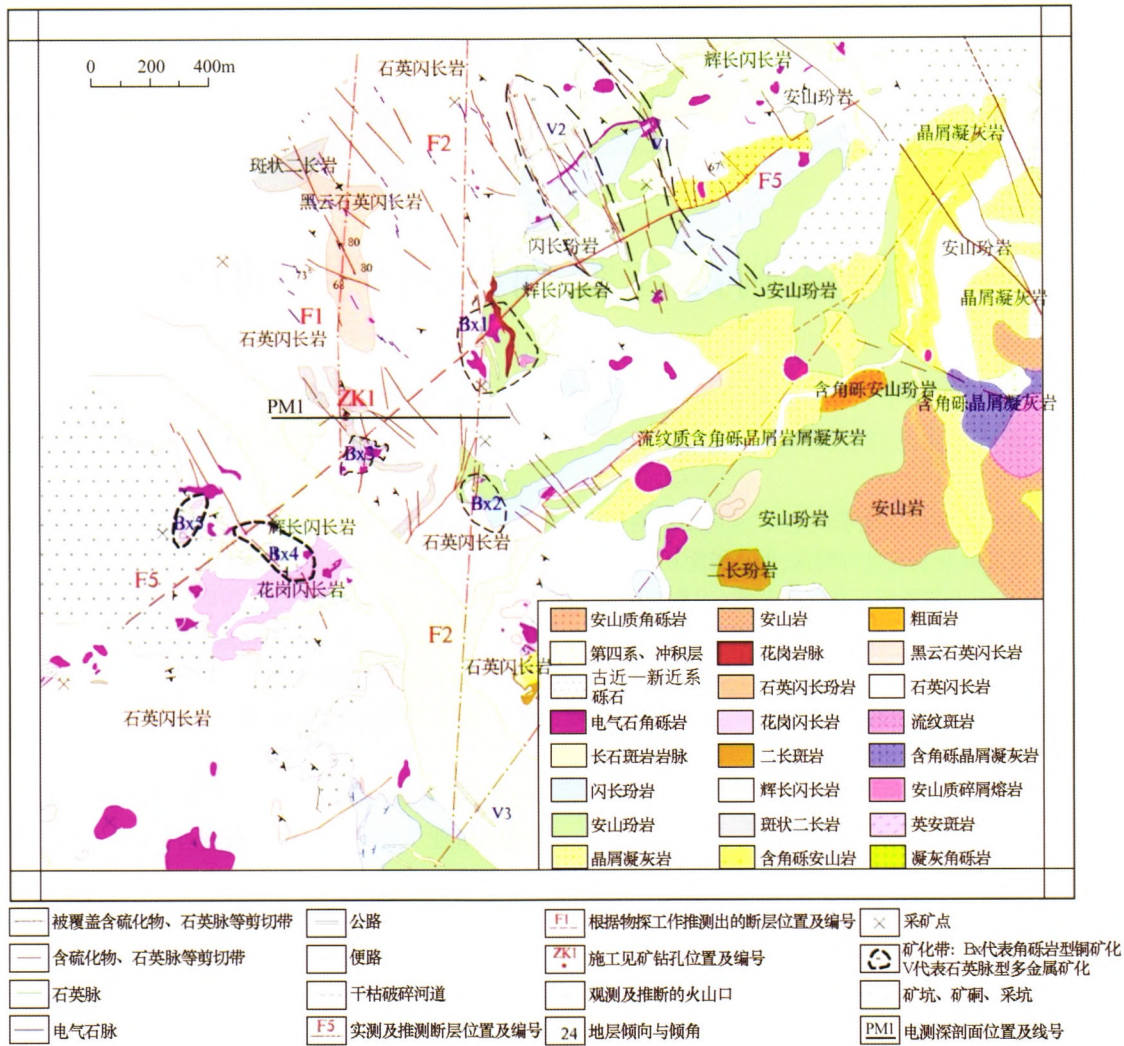


图1 矿区地质图

化等。

区内地表发现铜矿化点多处,局部达工业品位。

2 矿区地球物理特征

在区内选择部分典型的岩矿(化)石进行了物

性测试,下表中矿化岩石主要以黄铜矿化为主,其统计结果见表1。由表可知,区内矿化岩石与未矿化岩石极化率、电阻率均存在较大的差异,这种物性差异是在区内实施激电测深工作的地球物理前提,是利用激电测深方法寻找硫化矿物的依据。

表1 岩矿石极化率、电阻率测试统计

岩性描述	标本数	极化率变化范围	极化率平均值	电阻率变化范围	电阻率平均值
		%	%	$\Omega \cdot m$	$\Omega \cdot m$
晶屑凝灰岩	30	1.02~3.29	1.57	274~1835	827
凝灰岩	21	1.02~3.02	1.77	1094~6351	3023
电气石角砾岩	12	1.72~3.82	2.63	729~859	755
安山岩	18	1.92~3.64	2.32	242~8265	1976
花岗闪长岩	19	0.18~1.54	0.41	955~1255	4279
矿化绢云岩	6	5.69~13.21	8.04	253~1624	557
矿化电气石角砾岩	8	7.42~19.27	14.38	145~926	345
矿化角砾凝灰岩	26	8.42~23.43	16.61	162~1384	479
矿化石英二长岩	28	6.54~15.23	9.29	303~2052	662

3 联合装置与对称四极装置测深成果对比

MN 在 AB 之内的四极装置有对称、不对称和不对称等分类,其中四极梯度测深就包括对称四极测深和中间梯度测深^[2-4]。

3.1 装置形式介绍

中间梯度测深装置是 AB 极在一段测深剖面之外固定后,移动 MN 极做中间梯度剖面测量,再向外移动供电极,不断扩大供电极距,又再作中梯剖面测量,如此反复,即为中间梯度测深剖面测量,简称中梯测深剖面测量^[4](图 2)。

中间梯度测深法的优点是在野外跑极的时候,由于供电极大部分时间固定不动,仅需移动相距较近的两个测量电极,这样就节省了大量的跑极工作量,提高了测深的工作效率,降低了跑错极的几率。

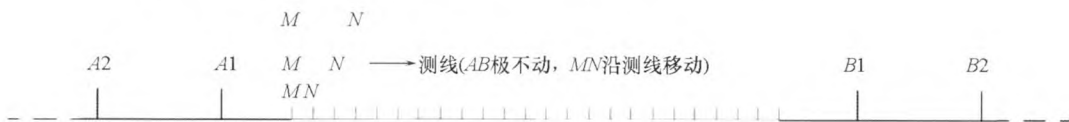


图 2 中梯测深装置

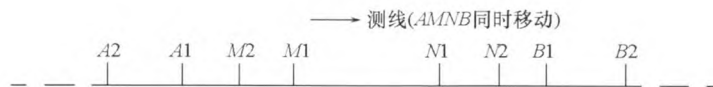


图 3 对称四极测深装置

本次工作采用了联合测深装置(对称四极+中间梯度)开展激电测深工作,就是借鉴了两种测深装置的优点。在小极距时采用对称四极进行测深,获取高分辨率的浅部地电信息,在大极距时采用中梯装置进行测深,其效率较高,并能获取更多的深部地电信息。

3.2 成果对比

对称四极装置和联合装置测深对比剖面安排在成矿地质条件较好的 PM-1 位置(图 1),剖面长 800 m,走向 90°。PM-1 横穿 NE 向和近 SN 向主干断裂交汇部位,该区域 NW 向分支断裂发育,地表有角砾岩型铜矿化零星发育。矿化位置岩性具有较高的极化率(表 1)。

本次联合装置采用“浅部利用对称四极测深+深部利用中梯测深”的混合四极测深方式,其中对称四极装置的 $AB/2 = 30, 50, 100, 150, 200, 300$ m;中间梯度装置的 $AB/2 = 400, 500, 650, 800, 1\ 000, 1\ 200, 1\ 500$ m;当 $AB/2 = 30$ m 时, $MN/2 = 5$ m;当

由于中梯测深装置还可以在主测线外的平行测线上同时进行测量,也可由多台单道接收机同时观测,该装置的优势进一步凸显,工作效率相较于其他装置成倍提高,工作成本大幅度下降。

对称四极测深装置是电极 A, M, N, B 按照一定的间距依次排列在一条直线上,当测量时,四个电极按照固定间距同时间、同方向移动点位进行剖面测量,再按一定比例向外移动供电极和测量电极,不断扩大供电极距,又再同向移动点位进行剖面测量,如此反复,即为对称四极测深剖面测量(图 3)。

对称四极测深法应用较普遍,因其解释理论成熟,异常形态较直观,且浅层分辨率较高,所以一般作为生产单位的首选测深方法。但其缺点也很明显,因其独特的装置形式,致使野外跑极工作量大增,导致工作效率低下,工作成本较高,特别是在地形复杂区域更是如此。

$AB/2 = 50 \sim 150$ m 时, $MN/2 = 10$ m;当 $AB/2 = 200 \sim 500$ m 时, $MN/2 = 20$ m;当 $AB/2 = 650 \sim 1\ 000$ m 时, $MN/2 = 30$ m;当 $AB/2 = 1\ 200 \sim 1\ 500$ m 时, $MN/2 = 40$ m。对称四极装置采用与联合装置一致的极距对,在此不再复述。

PM-1 测深剖面共布设 17 个测深点,点距 50 m,全长 800 m。该测深剖面利用四极混合电测深剖面反演软件(GranSINV 2.2)进行反演^[5-6],反演方法选用最小二乘法^[7-9]。图 4 为对称四极装置测深反演成果与联合装置测深反演成果的对比,可以看出两种装置测深反演出的异常体在形态上和位置上均基本一致,只是在细节上有细微差别,经分析^[10-12],应为装置系数导致的误差所致。细小的差异不影响异常体整体特征的基本一致性,所以两种装置反演成果在实用方面具有等效性。

由图 4 可以看出,极化率主异常体位于剖面 190 m 和 355 m 处,对应的电阻率异常特征为西倾且产状较陡的二个并排状低阻异常体,异常体总体表

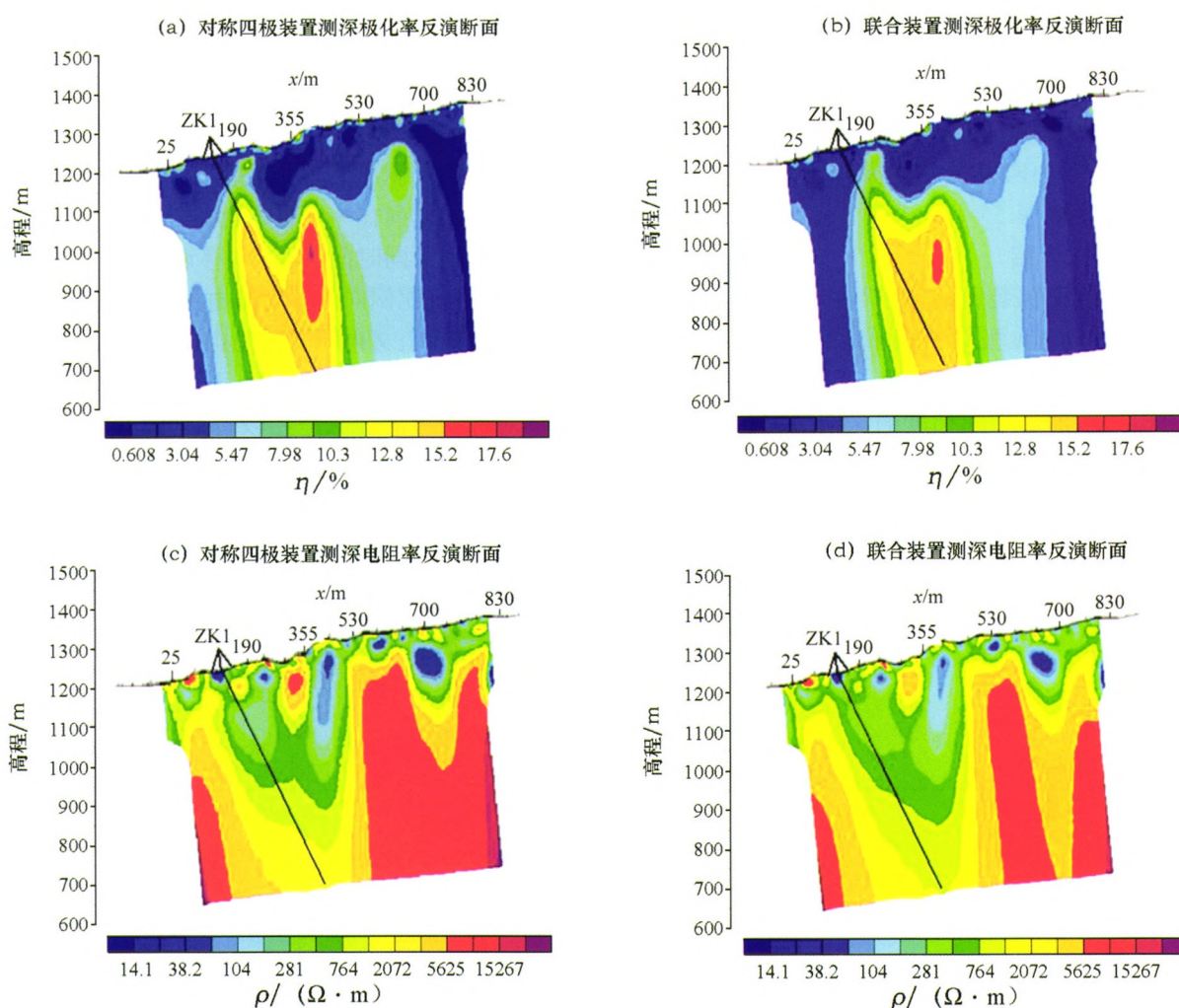


图 4 智利某铜矿对称四极装置(左)和联合装置(右)测深成果对比

现为低阻、高极化异常特征,结合岩性电性参数特征,推断低阻应为断裂带所致,高极化应为断裂带内赋存的硫化矿物所致。在平面位置上,这两个低阻异常体所处位置恰好与 F1、F5 断裂带吻合,从而进一步表明该处具有良好的成矿地质条件,应开展钻探深部验证工作。

根据上述分析,在剖面 150 m 处布置 ZK1 对剖面 190 m、355 m 处极化体进行深部验证。该孔开孔倾角 75°、开孔方位 90°,设计孔深 600 m,目的是打穿这两个低阻高极化异常体。该孔终孔深度 571.2 m,其中在孔深 193.2~194.8 m、246.5~248.8 m、268.5~275.8 m 和 462.6~467.6 m 处共计揭露 4 层铜矿体,矿体视厚度共计 16.2 m,矿体均受断裂破碎蚀变带控制。该钻孔在设计深度见到了铜矿体,进一步表明这两种装置测深反演结果具有等效性,以及依托这两种反演结果所进行的分析与推断解释具有较高的准确性。

4 结论

通过本次工作和前人的生产科研实践^[13-14]可知,联合装置测深成果基本等效于对称四极测深效果,并且整体上还提高了工作效率,降低了工作成本。所以,联合测深装置(对称四极+中间梯度)具有较高的实用价值,是值得推广的直流激电四极梯度测深新方法。

参考文献:

[1] 张立新,周佳,贾长顺.智利中北部海岸山脉中生代层控型铜(银)矿床[J].矿产勘查,2010,1(4):393-399.
 [2] 葛为中,吕玉增,丁云河.直流电法梯度测深剖面的研究及应用[C]//中国地球物理.北京:中国大地出版社,2008:200.
 [3] 葛为中,吕玉增,吴国富.直流电法中梯断面成像方法的研究[C]//中国地球物理.北京:中国科学技术大学出版社,2009:260.
 [4] 葛为中,吕玉增,丁云河.梯度电测深剖面法及其应用[J].物探

- 与化探, 2011, 35(2): 206 - 211.
- [5] 高建东. GDF 高密度电法二维正反演软件及模型测深结果 [C]//中国地球物理. 北京:地质出版社, 2007.
- [6] 吕玉增, 阮百尧. 高密度电法二维反演软件设计与实现 [J]. 桂林工学院学报, 2004, 24(4): 417 - 421.
- [7] 阮百尧, 村上裕, 徐世浙. 激发极化数据的最小二乘二维反演方法 [J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 1999, 24(6): 619 - 624.
- [8] Loke M H. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method [J]. Geophysical prospecting, 1996, 44: 131 - 152.
- [9] Loke M H. A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys [J]. Exploration Geophysics, 2003, 34: 182 - 187.
- [10] 翁爱华, 董瑞春. 利用归一化总梯度方法实现中梯激电剖面数据的解释 [J]. 物探与化探, 2005, 29(5): 435 - 437.
- [11] Zhou B, Greenhalgh S A. Rapid 2-D/3-D crosshole resistivity imaging using the analytic sensitivity function [J]. Geophysics, 2002, 67(2): 755 - 765.
- [12] 王式东. 中间梯度代替对称四极测深的可行性研究 [J]. 硅谷, 2012, 01(1): 75 - 76.
- [13] 吕玉增, 葛为中, 彭苏萍. 多极距中梯观测与反演研究 [J]. 物探与化探, 2013, 37(1): 92 - 97.
- [14] 杜利明, 武军杰, 杨金夺, 等. 梯度电测深方法在沂南金矿勘查中的应用 [J]. 物探与化探, 2013, 37(2): 225 - 228.

The application of quadrupole gradient sounding to a certain copper mine in Chile

QIU Guang-Hui¹, YIN Xue-Ai², ZHANG Qi-Sheng¹, ZHANG Hai-Liang¹, ZHANG Hui-Jia¹

(1. Shandong Geological Prospecting Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Jinan 250013, China; 2. Binzhou University, Binzhou 256603, China)

Abstract: In view of the fact that a certain copper mine in Chile is with great terrain elevation difference, sharp vertical cutting and low efficiency in running way of conventional symmetrical schlumberger units, this paper brings forward the proposal of utilization of complex unit combining symmetrical four-electrode and central gradient, that is to say, small polar distance is provided with symmetrical four-electrode detection device whereas large polar distance is provided with central gradient detection device. In the same sounding profile of the mine, the comparison of the sounding inversion results by symmetrical schlumberger unit and complex unit (symmetrical schlumberger + central gradient) indicated that the inversion results of the complex unit equals to the sounding effects of symmetrical schlumberger unit, but the complex unit is more efficient and more suitable for construction in complicated topography areas.

Key words: IP sounding; central gradient method; schlumberger; complex unit; inversion; deep prospecting; complex topography

(本文编辑:沈效群)