

大功率瞬变电磁在广西大厂外围深部找矿中的应用

王志豪, 张小路, 王钟

(桂林工学院 资源与环境工程系 广西 桂林 541004)

摘 要:为解决广西大厂矿山可持续发展的矿源问题,在其外围利用大功率(加大供电电流)瞬变电磁法进行新一轮深部找矿,取得良好效果,在已知矿上的探测结果与该矿体的已知资料基本吻合,也说明了该方法在未知区探测所发现的多个异常靶位是可靠的,从而达到了本次探测的目的。在大厂的这次成功应用证明大功率 TEM 在金属矿深部找矿中是一种行之有效的方法。

关键词:瞬变电磁法 深部找矿 广西大厂

中图分类号:P631

文献标识码:A

文章编号:1000-8918(2006)03-0194-05

广西大厂矿区是我国主要的锡金属矿区,已发现的 100#等矿体,已开采得差不多了。为了解决矿山可持续发展的矿源问题,近年来,矿山进行了多次找矿研究工作,但是,由于种种原因,未能取得明显的效果,其中,达不到应有的探测深度,是难以取得效果的关键问题。

瞬变电磁法作为近年来发展较快的一种较为直接、有效的物探方法,可在地质普查找矿中发现隐伏的、深埋的矿体,适用于剖面性、面积性工作。但起初人们总把其探测深度与所用回线边长直接联系起来,致使其没能在大型的深部找矿中得到广泛应用。后经理论与实践研究发现增加电流和适当加大边长都能增大探测深度,电流加大 2 倍效果,大致相当于边框增一倍。由于加大电流(或匝数)比加大边框容易得多,所以压制瞬时噪声一般宜先考虑采用增大电流,这也即是现在所提到的大功率瞬变电磁,它能在回线边长不变的情况下,有效地增大探测深度。基于大厂近年找矿的情况,我们将该法应用于大厂深部找矿研究中,并取得了良好的效果。

1 瞬变电磁基本原理

瞬变电磁法或称时间域电磁法,简称 TEM。在 20 世纪,最早是由原苏联学者在 30 年代末提出采用瞬变电磁信号解决地质构造问题,50 年代 TEM 用于金属矿勘查,60 年代以来得到发展,我国于 70 年代开始研究 TEM,80 年代投入生产。瞬变电磁法在我国随着理论的深化和仪器设备的国产化,应用领域越来越广,其探测效果也受到了实践的检验,从

矿产资源到工程地质勘查,瞬变电磁法越来越受欢迎。相对于其他地球物理方法,它具有探测深度大、信息丰富、受地形影响小及工效高等诸多优点,在解决深部岩层分界、构造填图、寻找矿产资源与水资源等方面,已取得了令人瞩目的成效。

瞬变电磁法是一种基于目标物的导电性,利用不接地回线或接地线源向地下发送一次脉冲磁场,在一次场的间歇期间,观测二次场的电法勘探方法。当不接地回线中有脉冲电流通过时,在回线的周围就形成了瞬变磁场,地下介质在磁场的激发下产生涡流场,其涡流场的大小与介质的导电性有关,通过研究地下介质的瞬变电磁响应达到寻找良导金属矿体的目的,这就是运用瞬变电磁法进行矿产勘查和解决地质问题的基本原理。

由于瞬变电磁法的观测是在脉冲间隙中进行,不存在一次场源的干扰,并且脉冲是多频率的合成,采用多种不同延时的观测,其主要频率成分不同,相应的时间场在岩层中的传播速度不同,勘查深度也不同,因此瞬变电磁法既有时间上的可分性,又有空间上的可分性。与普通直流电法相比较,瞬变电磁法具有分层能力强、勘探深度大、受地形影响小、异常形态简单直观、能同时完成剖面 and 测深工作的特点^[1]。

2 大厂矿区应用研究

2.1 地质与地球物理特征

已知的 100#矿体位于巴里—龙头山东侧一带,是大厂矿田西带中北段大厂背斜的一处局部隆起地

段。这里中泥盆统下部礁灰岩发育,已发现的 100# 和 105# 等矿体,均与礁灰岩有密切关系。

研究区位于大厂矿田西带,大厂背斜中北段的礁灰岩局部隆起区内。区内出露的地层有上泥盆统的同车江组灰岩及灰页岩互层(D_3^3)、扁豆状灰岩及条带状灰岩(D_3^2)、榴江组硅质岩(D_3^1)、中泥盆统纳标组泥灰岩页岩硅质岩(D_2^2)及生物礁灰岩(D_2^1)。中泥盆统纳标组下部巨厚生物礁灰岩(D_2^1)是主要含矿层位。区内出露的火成岩主要是花岗斑岩脉($\gamma\pi_3^3$),呈南北向产出。隐伏花岗岩体岩脊隆起带在研究区外的北东侧深部。区内褶皱构造表现为大厂背斜的局部隆起,长轴走向近南北,背斜核部出露地层为中泥盆统纳标组下部生物礁灰岩。区内断裂构造以大厂断裂为主,属压扭性逆断层,走向北西,位于研究区内的西侧。局部地段分解为三组,间距 200 m 左右。研究区内东侧尚有一条压扭性逆断层。此外,尚有多组横向正断层、逆断层和平推断层,龙头山北端局部地段纵横断裂构造比较复杂。

礁灰岩位于大厂花岗岩隆起带的西坡上,距岩脊约 800 m。礁灰岩处隐伏花岗岩岩脊西坡深度为 200 ~ 300 m 标高。礁灰岩隆起地段基本上沿大厂背斜轴的巴里山至龙头山一带分布。据已知钻孔资料构绘的礁灰岩顶界面等高线,给出了研究区内礁灰岩分布的基本形态。平面上呈近南北向长椭圆状。研究区内 46 ~ 70 线间为最高隆起地段。北端向北倾没至长坡深处,并被上覆岩系的盖层覆盖。南端向南倾没至上覆岩系的盖层之下。走向上,南北两端倾没的梯度变大。横向上,西侧陡倾,东侧缓倾。已知矿分布在礁灰岩隆起地段的中北部位,其他部位尚未控制。位于礁灰岩东西两侧的断裂构造,在地表上形成礁体的边界断裂。

研究区内锡多金属矿床与礁灰岩在空间上共生,这在大厂矿田是一个特例。由于礁灰岩质纯、岩石坚硬以及穹状形态,在褶皱过程中成为背斜的核心,礁脊轴与背斜轴一致,礁的两端因倾没使背斜轴线扭转,因此,礁的两端发生 2 个剪切带,并成为后来重要的成矿空间。此外,前后礁的顶界坡度不同,从而形成不对称背斜(东缓西陡)及相应的一套断裂系统,控制了研究区成矿构造系列。礁内,由于生物的体腔、体间、粒屑间空洞的不均匀分布,裂隙的发生和贯通也是不规则的。这些空间,原来曾经是储油构造,后来被高温高压的成矿溶液浸入,形成巨大的不规则形态锡多金属矿体,但仍保持与主构造线基本一致的分布方向^[2-3]。

通过前人^[4]对大厂矿田系统的岩石、矿石物理性

质研究,在大量标本物性测试的基础上,统计出矿田区域物性、长坡中段磁性及矿田西带与东带岩石与矿石物性对比特征。测试的物性参数有密度、磁化率、天然剩磁、电阻率和极化率。有关研究区内与这次工作有关的岩石 D_3^2 、 D_3^1 、 D_2^2 、 D_2^1 、 D_1 、 γ_3^2 的电阻率分别为 6×10^5 、 4×10^5 、 6×10^5 、 3×10^4 、 3×10^5 、 8×10^5 $\Omega \cdot m$,研究区矿石电阻率总体统计小于 1 $\Omega \cdot m$ 。发现研究区内矿体的电阻率特征与围岩的电阻率特征有显著的差异,电阻率差异达 10^3 以上,是本次投入大功率 TEM 法进行深部找矿研究的理想前提。

2.2 方法技术

本次野外数据采集仪器选用 TEMS-3S 瞬变电磁仪。

瞬变电磁测深有电偶源(双极接地源)和磁偶源(回线源)之分。由于电偶源野外接地施工困难,对装置敷设的要求较高,敷设回线需要严格水平,除收发同步外,还要测定收发间的几何位置,要有良好的通讯关系等,显然这些技术要求在山区是难以实现的。磁偶源却十分简单,回线作为负载既稳定又无须山地工程,回线敷设大体水平即可。收发关系要求不严,近区接收无须定点。这些技术的简单化是由磁偶瞬变电磁理论决定的。据此,TEMS-3S 采用适应山区应用的回线源同点装置,即重叠回线或中心回线装置。

理论研究表明,瞬变电磁测深的可探深度取决于场源是否有足够低的频率成分存在,以及场源是否有足够强的能量使低频感应电流形成的晚期瞬变场得到可靠的检测,即场源的低端频率及磁偶源的磁矩是深度探测的 2 个充要条件,缺一不可。此外,场源的频率范围对应于探测深度范围,场源的频率密度(频率含量的丰富程度)决定了探测的分辨能力。现有国外的各种瞬变电磁系统,为在时域内提高观测质量均采用双向周期脉冲电流为场源。加大周期脉冲场源的激励电流,势必增加电源的功率。在负载一定的条件下,只能依靠加大电压,高电压大电流的场源对器件的要求高,施工的安全难保障。TEMS-3S 是以与周期脉宽相同的单向脉冲为场源,有丰富的低频成分,其最低频率可达直流,且频谱为连续谱。这样 TEMS-3S 场源已具备了深部探测对频率的要求。由于频率的连续性,无疑将提高分辨地层的能力。TEMS-3S 的场源为摄影闪光灯原理研制成的。通过小电流、长时间对储能电容器进行充电后,对回线作短时间的放电,可得到很大的能量,也即获得很大功率。就方法的效果而言,单向强电流脉冲激励要优于常规的周期脉冲电流激励^[4]。

可见, TEMS-3S 完全具备大深度探测的能力, 理论上能满足本次探测的要求。

本次工作区测网 $200\text{ m} \times 50\text{ m}$ 。根据高峰矿对探测深度的要求及研究区内地质地电特征, 野外数据采集时的技术参数为: 重叠回线装置 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$, 供电时间 40 ms , 发射电流 100 A , 接收时间 80 ms 。探测深度预计可以达到 1000 m 。

2.3 应用效果

TEMS-3S 型瞬变电磁系统采用全域等间隔数据采集, 不设采样窗口(不分道)。为消除干扰和使用方便, 首先要对原始采样数据按一定时窗进行分段积分, 获得能反映瞬变衰减信息的若干时间道数据, 再对单支曲线进行圆滑处理, 滤掉干扰噪声, 增加有用信息量。使用经过预处理的响应电位-时间数据, 从响应电位数据中取若干时道的数据(取 $0.835 \sim 78.745\text{ ms}$ 共 16 个时间道数据), 绘制成各测线的 $1: 5\,000$ 多时道响应电位异常曲线剖面, 绘制晚时道响应电位的测线排列平面剖面图, 分析异常形态, 识别干扰, 确定地形的影响, 进行定性、定量推测等研究, 最后给出找矿靶位的三维定位空间, 并将响应电位异常剖面与地质解释剖面合并成综合剖面。

本次工作所得异常中 50 线、54 线、58 线均为 100# 已知矿体(包括采空区回填黄铁矿高含量的尾矿砂)异常。该异常带具有明显的向东北缓倾斜低阻体异常特征, 几条测线的异常特征十分相似, 其形态是: 西端头部为晚时道高响应不对称双峰电位曲线, 南西低, 北东高并与北东侧晚时道宽缓高响应电位异常相连, 范围较大。如图 1 是 54 线的地质-TEM 剖面, 由图中响应电位 2 峰值情况及用遗传算法反演得到该已知矿倾角在 40° 左右, 顶深在 520 m 左右, 延伸 220 m , 这与该矿体已知资料倾角 45° , 顶深 500 m , 延伸 200 m 基本吻合, 说明瞬变电磁在该区探测此大深度矿体是有效的, 且其探测精度也是可信的。另外根据所得的响应电位曲线形态, 发现还有叠加异常, 故在已知矿附近初步推得新矿体异常, 这还有待进一步验证。

通过瞬变电磁重叠回线装置在该区的探测, 发现了 2 个新的异常带, 分别定名为南带异常和 100# 号矿体深部异常。

南带异常指 70、72、76 测线中部呈北西向展布的异常带, 属未知异常带。图 2 为 72 线剖面, 由图可知该异常带属陡产状异常(因其响应电位 2 峰值幅值基本相当), 且属晚延时异常, 经定性分析及反演, 推测其异常深度约在 800 m 以下, 倾向北东, 倾

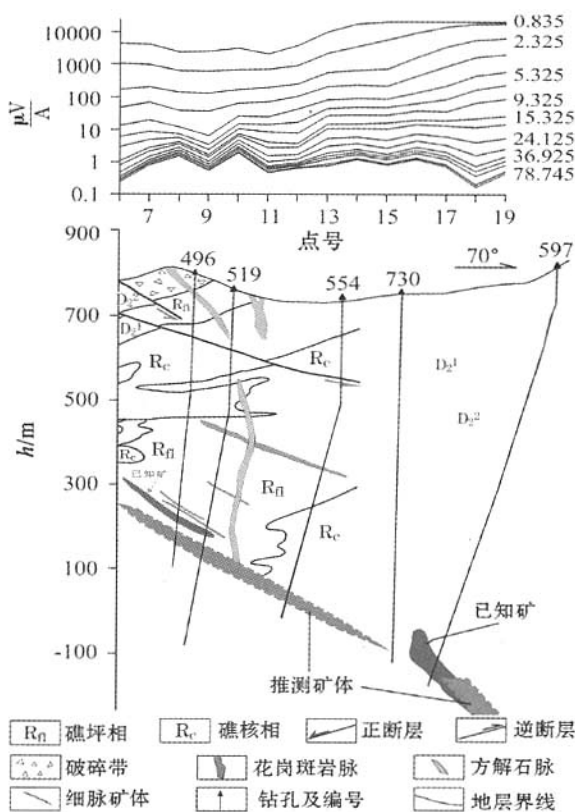


图 1 大厂 54 线地质-TEM 综合剖面

角 70° 左右, 延伸 200 多米。该异常靶位的规模较小, 属致密块状矿体极低电阻率特征类型。异常带的地质位置是礁体隆起的南端, 70 线和 72 线异常在 D_2^1 礁灰岩上, 76 线异常则在 D_2^2 泥灰岩页岩及硅质岩上, 礁体在该处已向深部倾没。根据异常带推测的靶位均在 800 m 以下, 靶位在礁灰岩中是肯定的。异常带附近有几个深钻孔, 深度均在 700 m 左右, 推测的靶位均 800 m 以下。异常带在 72 线与 76 线之间有明显的错断, 但地表未见横向平推断层。综上所述, 南带异常虽属未知, 但响应电位及反演电阻率仍与致密块状矿体相似, 因此推测为新发现的深部找矿靶位。2004 年, 矿山进行了深部工程验证。该异常 72 线的验证是在 327 m 标高(地表标高 720 m 左右)坑道中进行的, 钻孔深度 650 m 。由于含水地段构造破碎, 致使钻孔跑偏(未按设计钻孔方向进行), 虽未达到预期效果, 但已见到矿化带。为进一步确定矿体的具体位置, 正在进行再验证工程。在验证过程中, 矿山、地质、物探多方密切配合, 充分利用已有工程进行井中、坑道中的补充探测工作。通过研讨修正每一步验证工作的设计方案, 对取得验证的成功是十分必要的。

100# 号矿体深部异常带基本上反映了该矿体及残留矿体与尾矿砂充填的采空区。在 46 线(图 3)发现未知异常, 响应电位形态的异常主要有 2 处: 一

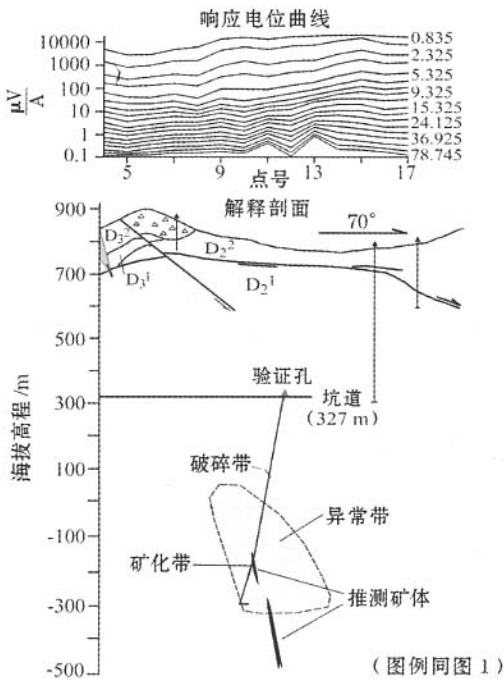


图2 大厂72线TEM-地质综合剖面

处在11点附近,倾向较缓,约30°,顶深约800 m,延深250 m;另一处在20点附近,异常反映倾向较陡,约60°,埋深820 m,延深150 m。从未知异常与已知矿异常对比及反演结果的相似性来看,46线的未知异常推测为100#已知矿体在礁体北端倾没斜坡上向北延伸是合理的。异常带上,局部地段早中时道上虽也有些叠加异常,但因其规模较小,异常较弱,对晚时道高响应电位异常没有影响。46线的未知异常推测的靶位深度比50线100#已知矿体深了200多米,46线与50线之间相隔200 m。而60线至50线间,每200 m的间隔距离降深只有100 m左右。在水平距离仅有200 m的范围内,46线的降深突然增大,这只能从礁体隆起形态的变化作出解释。研究区内礁体隆起的核心在50线以南,礁体向北被盖层覆盖,这表明50线向北,礁体沿走向方向处于降深梯度增大的斜坡地带,转折位置应在46线和50线之间,因此,在地质环境基本相似的条件下,46线未知异常推测为有前景的深部找矿靶位也是合理的。该异常的验证是在50 m标高坑道中用坑道钻进行的,目前正在施工中。

3 结论

本次在广西大厂矿区使用瞬变电磁重叠回线装置进行深部找矿,应用效果令人满意,其探测深度达到1 000 m,且通过对已知矿探测的试验研究,为所探得的未知异常可信性分析及解释都提供了有力的依据。本次探测的主要成果有:

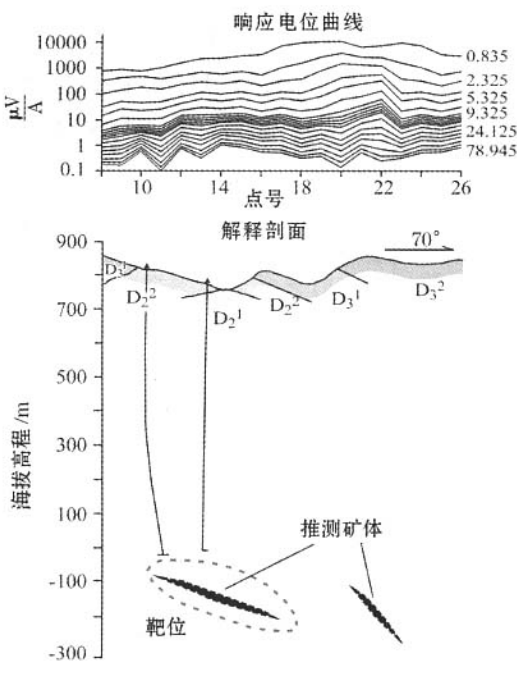


图3 大厂46线TEM-地质综合剖面

(1)发现了100#带、105#带及南带3个有意义的深部异常带异常,确定了深部找矿靶位。其中100#带北端的46线异常和南带异常,应是近期深入研究并进行验证的重点地段;105#带54线的南北均为未知,规模较大,可作为长期研究的重点。这为大厂矿田所面临的资源紧缺及如何解决矿山可持续发展等问题提供了可喜的前景。

(2)大功率TEM法在大厂礁灰岩地区进行深部找矿研究是行之有效的方法,有效探测深度可达到1 000 m。

(3)大功率TEM法野外数据采集质量是可靠的,并通过本次野外工作,总结出一组适合TEM-3S瞬变电磁仪进行深部探测的仪器接收参数。

(4)另外,边长较长的重叠回线瞬变电磁装置抗干扰能力也较强,地表及浅部小型良导体对大功率TEM法在本区发现的深部异常基本上没有影响。但大功率TEM法的地形影响问题应引起注意,它对异常位置及形态的解释都有很大影响,建议进行深入研究。

参考文献:

[1] 牛之琰. 时间域电磁法原理[M]. 长沙:中南工业大学出版社, 1992.
[2] 郇兆典. 大厂锡多金属矿床成矿模式及找矿远景[J]. 广西地质, 2002, 15(3).
[3] 秦来勇, 秦德先, 余阳先. 广西大厂细脉带锡矿体富集规律及隐伏矿体预测[J]. 华南地质与矿产, 2005 (1).
[4] 王庆乙. TEMS-3S瞬变电磁测深系统的研制[J]. 有色金属矿产与勘查, 1996 5(3).

THE APPLICATION OF HIGH-POWER TRANSIENT ELECTROMAGNETIC METHOD
TO DEEP ORE-PROSPECTING IN THE PERIPHERY OF
THE DACHANG ORE DISTRICT , GUANGXI

WAND Zhi-hao , ZHANG Xiao-lu , WANG Zhong

(Department of Resource and Environmental Engineering , Guilin Institute of Technology , Guilin 541004 , China)

Abstract : With the deepening of the study of the transient electromagnetic method , the application of this method has become increasingly extensive since its introduction to China in 1970s. To solve the problem of sustainable development of the Dachang mine , the authors carried out a new round deep prospecting in the periphery of Dachang by adopting high-power TEM. The result is satisfactory in that the inferred mine fits well with the known information. It is concluded that this prospecting method is effective in Dachang , and that the new anomaly targets delineated by high-power TEM is reliable. The successful application of the high-power TEM in Dachang shows that this technique is effective in deep prospecting of metallic deposits.

Key words : transient electromagnetic method (TEM) ; deep prospecting ; Dachang in Guangxi

作者简介 : 王志豪(1979 -) 男 , 内蒙古杭锦旗人 , 桂林工学院在读硕士研究生 , 应用地球物理专业。

上接 193 页

A STUDY OF THE RADIOACTIVE ANOMALY IN QUATERNARY SEDIMENTS
OF QAIDAM BASIN AND ITS GENETIC MECHANISM

WEI Xiang-rong^{1 2} , LONG Qi-hua²

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guangzhou 510640 , China 2. No. 270 Research Institute of China Nuclear Industry , Nanchang 330200 , China)

Abstract Geological , geophysical and hydrogeological means were applied to the study of radioactive anomalies in eastern Qaidam basin. Based on analyzing the depositional environment , hydrogeological environment and material composition of sand bodies in the anomalous area , this paper studied in detail the genesis of radioactive anomalies in Quaternary sediments (Q_{3-4}). Some conclusions have been reached : 1. The anomalies result from the leaching of Quaternary detrital minerals ; 2. The anomalies are spatially controlled by the mud-platform facies of Quaternary (Q_{3-4}) alluvial fan margin and the oxidation-reduction interface of phreatic water. It is thought that the anomalies are valuable in the study of metallogenic process , but have little significance in guiding ore prospecting work at depth.

Key words : genesis and mechanism , radioactive anomaly , eastern Qaidam basin

作者简介 : 魏祥荣(1963 -) 男 , 研究员级高级工程师。1986 年毕业于浙江大学地质系 , 中国科学院广州地球化学研究所在读博士 , 从事铀矿地质研究工作。