

“U”形电极阵列超前探测方法的数值模拟与实验

刘英^{1,2}, 刘树才^{1,2}, 刘鑫明^{1,2}, 易洪春^{1,2}

(1. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116; 2. 中国矿业大学 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室, 江苏 徐州 221008)

摘要: 提出一种新型的直流超前探测装置, 即“U”形电极阵列超前探测装置, 目的是提高直流超前探测的准确度, 更好地消除或减弱非前方异常的影响。利用该装置在计算机上进行了数值模拟, 并传统的三点三极超前探测的效果进行了对比, 之后又在实验室水槽中对该装置进行了物理实验。通过模拟结果以及一系列实验数据得知, 该装置对探测前方的异常地质体有一定的效果。

关键词: 直流超前探测; “U”形电极阵列; 矿井水文地质勘查

中图分类号: P631.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2012)02-0298-04

直流超前探测方法在煤矿及隧道水文地质勘查中应用较为广泛。主流的直流超前探测方法一般是以三点三极超前探测方法为基础^[1-4], 近年来, 一直朝着增加供电电极的方向发展^[5]。这一类方法的原理都是一样的, 在资料处理时都是根据点电极在地下形成的球面电场, 利用几何交汇原理消除非前方地质信息引起的异常^[6-7]。韩德品等人提出用七供电电极系进行井下直流电法超前探测, 取得了一定的效果^[8]。但是, 这一类探测方法仅仅是从一维的角度来判断掘进面前方的低阻异常, 其探测结果通常会受到底板、侧帮以及测线后方等多方面因素的影响, 误报率较高^[9-11], 对探测结果中存在的假异常, 依然难以有效克服。为此, 提出了一种“U”形电极阵列超前探测装置(以下简称 U 形装置), 利用该装置进行了数值模拟以及物理实验, 得到了较好效果。

1 装置设计

所谓 U 形装置, 即在测量时将电极排列成“U”形(图 1)。该装置的基本原理与普通的直流电阻率

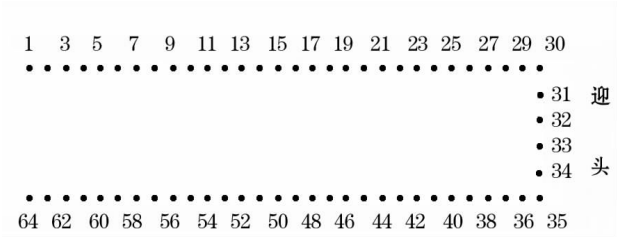


图 1 U 形装置示意

法相同, 都是由供电电极在地下介质中形成稳定电场, 由测量电极测量人工电场的电位或电位差, 从而推测地下或前方的地质构造以及寻找有用矿产。

在 U 形装置的数值模拟以及实验中, 测量时均采用二极(A—M)装置, 当其中某个电极供电时, 剩余的电极依次测量。例如, 当 5 号电极供电时, 从 6 号电极开始, 直到最后一根电极, 依次测量 5 号供电电极在该电极处的电位。由于目前还没有开发出针对 U 形装置的专用数据处理软件, 因此利用 AGI Earthimager 3D 电场模拟软件进行数据处理及成像。首先将采集到的数据转换成该软件的数据格式, 然后利用 AGI Earthimager 3D 电场模拟软件进行成像。最终形成的结果图是以“U”形测线为顶面的三维立方体图形。在资料解释时, 借鉴常规电阻率超前探测解释方法的基本原理, 判定测线下方的视电阻率分布情况即是对前方地质信息的反映, 从而判定前方异常^[12-18]。

2 地电模型的建立及数值模拟

首先, 利用 AGI Earthimager 3D 电场模拟软件建立观测系统以及地电模型, 对模型进行正演模拟, 得到视电阻率的空间分布, 利用得到的数据进行反演成像, 从而推断前方异常体的位置。其次, 针对已建立的模型, 再利用常规直流超前探测方法即三点三极法进行探测, 将探测结果成图。最后, 将反演结果、建立的模型和三点三极的探测结果进行对比, 分析该方法的可行性。

2.1 地电模型的建立

为了突出前方低阻体的异常,地电模型一模拟了只有低阻体存在时电场的分布特点。在超前探测迎头前方 30 m 处放置一条宽 10 m 的低阻异常带,相当于均匀大地介质中的含水区域;背景电阻率为 $100\ \Omega\cdot\text{m}$,低阻体电阻率为 $10\ \Omega\cdot\text{m}$,U 形装置电极间距为 2.5 m,三点三极装置电极间距 3 m。图 1 为模型一的示意。

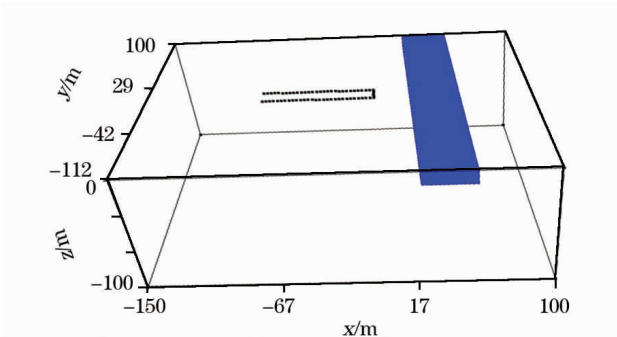


图 2 地电模型一示意

为了使模型更加贴近实际,根据理想状况下地下岩层电阻率的分布规律建立了地电模型二(图 3):板状高阻体位于测线下方 33 m 处,用来模拟地下的风化壳等高阻岩层,条状低阻体位于迎头前方 30 m 处,宽度 10 m,模拟前方含水低阻区域,装置电极间距与模型一相同,背景电阻率也为 $100\ \Omega\cdot\text{m}$,低阻体电阻率为 $10\ \Omega\cdot\text{m}$,添加的高阻体电阻率为 $1\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$,电极间距同样设置为 2.5 m。

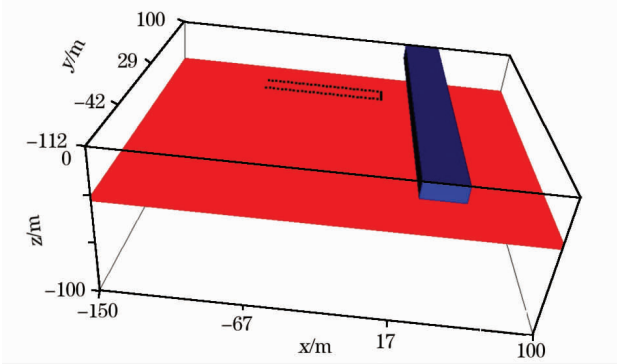


图 3 地电模型二示意

2.2 反演成像及成果解释

通过对所建立的理论模型进行数值模拟得出来

的数据进行反演,得到电阻率分布。图 4、图 5 分别为模型一、模型二的反演结果。

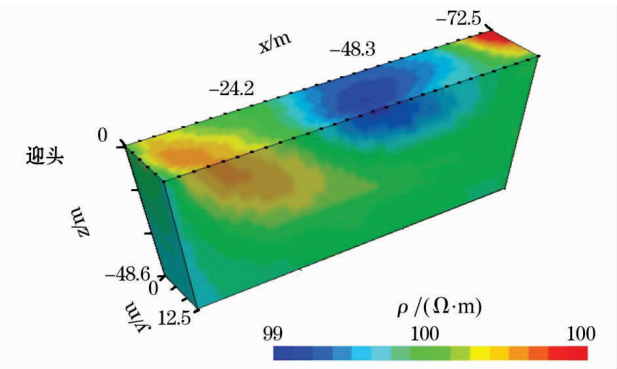


图 4 模型一的反演结果

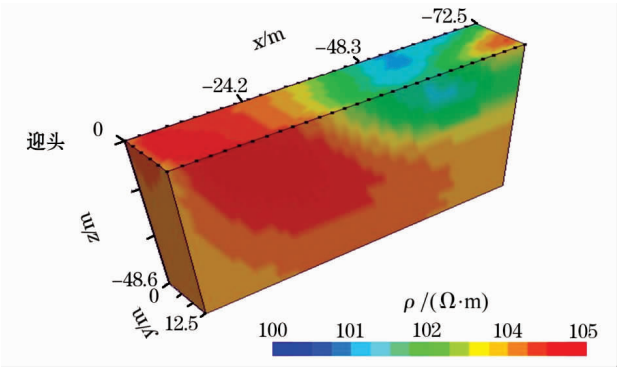


图 5 模型二的反演结果

反演结果显示,在测线的中部有低阻异常分布,根据常规电阻率法超前探测解释方法的基本原理,可以断定是前方低阻体造成的。将低阻异常存在的位置换算到迎头前方,与所建立的模型对比分析,可知低阻异常存在的位置与模型中低阻体的位置非常相近。模拟结果表明,U 形装置的探测效果达到了预期要求,结果比较理想。

2.3 三点三极超前探测的数值模拟

为了使三点三极超前探测的结果与“U”形超前探测的结果进行对比,使用了和前面相同的地质模型,而且测线的位置与前文中测线的位置相同。图 6、图 7 分别为模型一、模型二的三点三极探测模拟结果。

以上模拟结果显示,三点三极超前探测也能反映出前方低阻条带的低阻异常,只是异常范围较大,

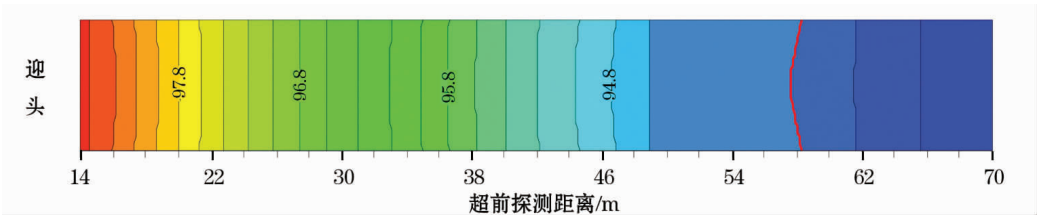


图 6 模型一的三点三极探测模拟结果

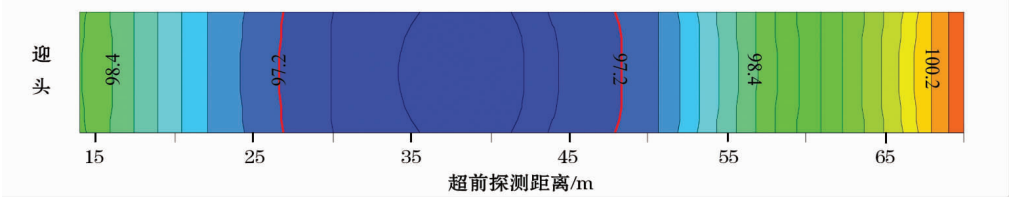


图 7 模型二的三点三极探测模拟结果

准确确定异常的具体位置有一定难度,而且 2 个模型的结果相差较大,数据的可靠性很难保证。将 2 种探测方法的结果进行对比分析,发现“U”形超前探测的结果能从三维的角度更加直观地显示出前方的低阻异常,并且异常范围相对精确。

3 室内物理模型实验

实验采用与计算机理论模拟中同样的电极排列方式,测线的排列参数如图 8 所示,电极间距为 3 cm,铜棒直径为 10 cm。

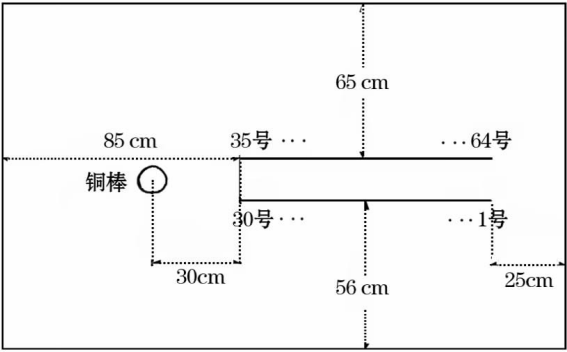


图 8 水槽模型测线布置示意

数据采集使用江苏东华测试技术有限公司生产的网络并行直流电法仪。该仪器不但具有高密度仪器一次布极即可完成全部数据采集的特点,更突出的是,当所有连接到该仪器的电极中的其中一个电极供电时,其余电极全部同时采集数据,符合 U 形装置的跑极方式。实验过程中, B 、 N 为无穷远极,

由于水槽空间有限,将无穷远极放置在水槽边界,位于测线的后方。

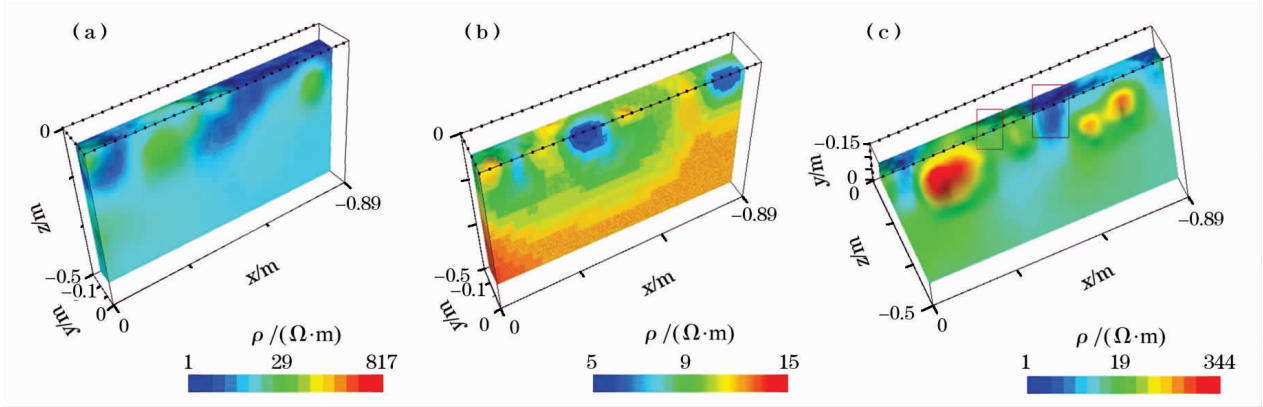
分别对测线前方没有铜棒、铜棒在测线前方 30 cm、铜棒在测线前方 30 cm 和 50 cm 处均放置一根铜棒等三种情形进行了实验。利用 AGI Earthimager 1.1 进行数据处理,得到了视电阻率分布,图 9 给出了三种情形下的三维模拟成像结果。

在对所得结果进行解释时,依然借鉴常规电阻率法超前探测解释方法的基本原理,将测线下方的视电阻率异常看作测线前方异常体的影响。

图 9a 可以看出,总体上电阻率在整个区域内的分布比较均匀,局部有 2 个不太明显的高阻异常区,推测是由水池底以及测线周围水池边界造成的,由于测线距离水池边界较远,因此推测异常反应主要来自水槽底部。

当铜棒在测线前方 30 cm 时,在测线上 30 cm 以及 75 cm 位置有两个明显的低阻异常区(图 9b),第一个低阻异常区出现的位置与铜棒所在的位置比较吻合,可以认为是铜棒的影响;第二个低阻异常区初步断定为测线正下方异常体的影响,后经检查,测线下方有金属排水孔。

当测线正前方 30 cm 和 50 cm 处均放置铜棒时,从图 9c 中可以看出,约 50 cm 处存在一个明显的低阻区域,30 cm 处的低阻异常并不十分明显,但是相对于两旁的视电阻率值来讲还是相对低阻区,推测这是铜棒对其造成的影响。



a—迎头前方无铜棒;b—铜棒在迎头前方 30 cm;c—铜棒分别在迎头前方 30 cm、50 cm

图 9 三种情形下的三维模拟成像结果

4 讨论

总体上讲,通过对所建立模型的计算机模拟可以看出,U形装置的探测效果比较理想,结果能够反映出测线前方低阻体的存在,以及前方低阻体的大致位置;水槽实验的效果虽然没有理论模拟的那样明显,也能反映出前方低阻体的位置。

U形装置仅仅为一种三维直流电阻率法超前探测的雏形。从水槽实验的结果中可以看出,测线下方的低阻体对U形装置的探测结果影响较大,容易混淆判断。若在巷道或隧道内布置两条互相垂直的“U”形测线,交叉排列,如图10所示,从三维的角度来进行超前探测,则能够消除测线下方异常地质体的影响,因此该方法具有进一步研究的价值。

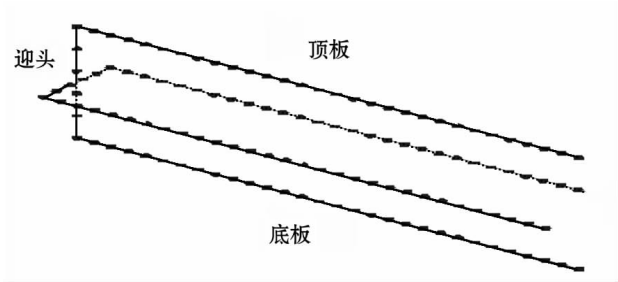


图10 三维“U”形直流超前探测示意

U形装置的探测结果虽然能大致反应出实际的地质信息,但是对于该装置的专门理论还未进行深入研究,因此只能定性评价该装置的实验效果。

利用直流电法进行超前探测,理论上可以达到较好的效果,但是目前没有一种十分有效的方法来充分发挥直流电法的优越性。直流电法超前探测的应用不是很普及。不能把研究重点只局限在几点几级超前探测的狭窄空间内,有必要研究新的直流超前探测的方法。同时,考虑到矿井以及隧道中环境的特殊性,如果在巷道中打电极,势必费时费力,而且如果遇到矿井环境不允许,例如存在防护网或岩石过于坚硬等情况,就限制了直流电法在井下的应

用,因此发展新型的矿井专用电极将对直流电法在矿井中的应用提供更广阔的空间。

参考文献:

[1] 韩德品,赵锴,赵丹. 矿井物探技术应用现状与发展展望[J]. 地球物理学进展,2009,24(5).

[2] 雷贵生,韩德品. 矿井电法探测工作面底板潜在突水构造中的应用[J]. 煤炭科学技术,2007,35(6).

[3] 王国华,杨居友,于景泉. 井下直流电法在掘进工作面超前探测中的应用[J]. 煤炭科学技术,2003,8.

[4] 王丰敏,高巍,王伟. 直流电法超前勘探技术的应用实践[J]. 中州煤炭,2008,6.

[5] 刘金峰,霍振奇. 直流电三点源超前探测技术的应用与创新[J]. 河北煤炭,2006,(6).

[6] 刘青雯. 井下电法超前探测方法及其应用[J]. 煤田地质与勘探,2001,29(5).

[7] 李金铭. 地电场与电法勘探[M]. 北京:地质出版社,2005:136-143.

[8] 韩德品,李丹,程久龙,等. 超前探测灾害性含导水地址构造的直流电法[J]. 煤炭学报,2010,35(4).

[9] 强建科,阮百尧,周俊杰. 三维坑道直流聚焦法超前探测的电极组合研究[J]. 地球物理学报,2010,53(3).

[10] 周丽,阮百尧,宁绍球,等. 聚焦电流法隧道超前探测模型实验[J]. 桂林学院学报,2009,29(1).

[11] 阮百尧,强建科,周俊杰. 三维坑道直流聚焦法超前探测技术[J]. 物探与化探,2009,33(6).

[12] 韩光,庄德玉,田劭,等. 矿井直流电法超前预报球体构造的初步理论及水槽实验研究[J]. 煤炭工程,2009,3.

[13] 刘树才,岳建华,刘志新. 煤矿水文物探技术与应用[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2005:58-74.

[14] 岳建华,刘树才. 矿井直流电法勘探[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2000.

[15] 黄俊革,阮百尧. 坑道直流电阻率法超前探测的快速反演[J]. 地球物理学报,2007,50(2).

[16] 程久龙,王玉和,于师建,等. 巷道掘进中电阻率法超前探测原理与应用[J]. 煤田地质与勘探,2000,28(4).

[17] 景小阳. 煤矿高密度电阻率仪的设计与实现[J]. 物探与化探,2011,35(1):52-57.

[18] 范涛. TEM 虚拟波场三维连续速度分析及其在隧道超前预报中的应用[J]. 物探与化探,2011,35(2):243-247.

NUMERICAL SIMULATION AND EXPERIMENTAL STUDY OF U-SHAPED DC ADVANCED DETECTION

LIU Ying^{1,2}, LIU Shu-cai^{1,2}, LIU Xin-ming^{1,2}, YI Hong-chun^{1,2}

(1. School of Resources & Earth Science, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China, 2. State Key Laboratory for Geomechanics & Deep Underground Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China)

[C]//Colorado;2010 SEG Annual Meeting,2010;1212

[2] 秦葆珊. 高精度磁测资料的特殊滤波处理[J]. 物探与化探, 1992,16(3):225.

[3] 宋莹,任金霞,李钟侠. 基于 Matlab 的 GUI 设计遗传算法优化

软件[J]. 计算机与现代化,2004,(10):15.

[4] 王巧花,叶平,黄民. 基于 Matlab 的图形用户界面(GUI)设计[J]. 煤矿机械,2005,(3):60.

THE APPLICATION OF Matlab GUI TO INTERACTIVE REJECTION OF DISTORTION POINTS IN MAGNETIC DATA

ZHOU Zhi-jie¹,ZHAO Wen-ju²,ZHAO Li²

(1. No. 2 Institute of Geological and Mineral Exploration, Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources ,Lanzhou 730020, China; 2. BGP, CNPC, Zhuozhou 072751, China)

Abstract:he high precision magnetic survey is liable to suffering many kinds of surface interference which cause data distortion; therefore, the distortion points must be rejected before processing. For the purpose of implementing interactive rejection of distortion points in magnetic data, the authors employed the functions of Matlab GUI, which are characterized by visualization, drawing and mouse case. In practical application, this method enhances the efficiency of rejecting distortion points in magnetic data and preserves most information of normal data points.

Key words:magnetic data;Matlab GUI;rejection of distortion point;user interaction; visualization

作者简介:周志杰(1974 -),男,工程师,2000 年 7 月毕业于长安大学,现从事磁、电法勘探与应用研究工作。



上接 301 页

Abstract: :This paper proposes a new type of DC advanced detection device, which is named the "U"-shaped DC advanced detection equipment, with the purpose of improving the accuracy of the DC advanced detection and better eliminating or weakening the impact of non-ahead geological faults. The authors used the computer to simulate the prospecting process by using the "U"-shaped device and compared the result with that of the traditional DC advanced detecting device. The expected conclusions were reached. As the desired effect was obtained, the authors also carried out the flume experiments using the "U"-shaped device. A series of experimental data and simulations have led the authors to believe that the "U"-shaped DC advanced detection devices is efficient in detecting geological faults in a certain degree.

Key words: DC advanced detection; "U"-shaped devices;mining shaft hydrogeological exploration

作者简介: 刘英(1987 -),男,中国矿业大学资源与地球科学学院地球探测与信息技术专业在读硕士。