

三维直流电阻率法在水源井探测中的应用研究

刘向红¹ 张平松² 孙林华¹ 陈 松¹

(1.宿州学院地球科学与工程学院,安徽 宿州 234000;2.安徽理工大学地球与环境学院,安徽 淮南 232001)

摘要:水是人类生存不可缺少的重要资源,也是制约区域经济发展的瓶颈。研究区域的主要供水层为灰岩裂隙水,利用直流电阻率法寻找地下水资源,布置了 2 个测站,共长 610 m,借助网络并行电法仪器设备 WBD-GD 采集数据,运用三维反演软件立体成像,根据实际需求选取了 6 个不同深度的水平切片,立体确定了水源井的大体位置,即既确定了水源井的平面位置,还确定了水源井的合理深度,后经验证效果显著,为山区石料厂的生产及生活提供了保障。

关键词:网络并行电法;视电阻率;三维反演;拟断面图;含水岩层

中图分类号: P641.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)05-1421-06

1 引言

我国目前的水资源还是比较缺乏的,特别是一些山区,水的因素严重限制着当地经济的发展,是人民生活与生产的瓶颈。因此,山区找水是促进当地经济发展的关键因素。以往,为了满足某些单位、地区的用水需要,常采取水文地质找水法,主要依据地貌来寻找构造破碎带,该方法简单方便,但准确率不高。为了提高找到地下水的效率及准确率,近年来涌现了一些新兴方法^[1]。地下含水地层与围岩的电阻率存在极大差异,干地层是高阻,含水层是低阻,基于这种典型差异为前提,可联合使用 CSAMT 与高密度电阻率法寻找不同深度的地下水^[2];激电法是利用激电二次场的大小与衰减快慢地不同推断岩体的含水情况,其最大的优点是受地形影响小,对岩溶裂隙水的水位埋深和相对富水带反映都比较直观;电测深法是研究垂向地质构造的地球物理方法,该方法主要用于探测地层、岩性在垂直方向的电性变化,解决与深度有关的地质问题,可寻找位移稳定的含水层,确定其顶底板埋深;放射性 α 法是利用地质的放射性特征,通过收集氦的 α 辐射体,并根

据收集量值的大小,推断地下构造及岩体的富水情况^[3];当然,目前应用的方法还有核磁共振法^[4-5]、瞬变电磁法^[6]等。

本文利用新的电法仪器设备(网络并行电法仪 WBD-GD),对上窑森林公园附近的石料厂水源井工程进行探测,借助三维反演技术对采集的数据做了处理,并取得了一定的成果。

2 网络并行电法探测技术及三维反演原理

直流电法探测是以探测区域的电性差异为基础的,由于被探测介质与其围岩介质存在较大的电性差异,因此可以用电法探测技术划分出异常情况。传统电法勘探有电测深、电剖面和高密度电法技术,本次探测中采用的是网络并行电法技术^[7-8]。

网络并行电法是在高密度电法勘探基础之上发展起来的一种新技术。它既具有集电测深和电剖面法于一体的多装置、多极距的高密度组合功能;同时,还具有多次覆盖叠加的优势,大侧向探测距离为电极控制段的长度。由于采用网络并行技术,在数据采集时具有同时性和瞬时性,使得电法图像更加真

收稿日期:2012-03-25;改回日期:2012-06-20

基金项目:安徽省煤矿勘探工程技术研究中心开放课题(2012YKF14)资助。

作者简介:刘向红,男,1983年生,硕士,助教;E-mail:liuxianghong10@163.com。

实合理,大大提高了视电阻率的时间分辨率。本次探测使用的网络并行电法仪,目前仪器有64道电极。传统的高密度电法仪器均为一次供电,有两个测量电极测一次电位值,电极间的转换依靠电极转换器实现,即为串行采集数据。网络并行电法,最大优势在于任一电极供电,可在其余所有电极同时进行电位测量,即并行采集电位,同时可清楚地反映探测区域的自然电位、一次场电位和二次场电位的变化情况,采集数据效率比传统的高密度电法仪大大提高,是电法勘探技术的新发展,是国内外率先使用的方法。传统的高密度电法仪采集方式分为二极、三极、偶极、对称四极、微分等多种温纳装置,每次采集选用某一种。而网络并行电法仪数据采集方式仅两种:AM法和ABM法(图1)。AM法:如测线上布置64个电极,则任一单电极(A极)供电时,其余63个电极(M极)同时采集电位,一次采集的数据可进行所有点电源场的电阻率反演,包括二极、三极等装置;ABM法:由任两个电极组成偶极供电(AB极),其余62个电极(M极)同时采集电位数据,一次采集的数据可进行所有双点电源场的电阻率反演,包括偶极、对称四极、微分装置。这样网络并行电法仪数据采集效率与串联采集相比,不仅采集效率大大提高,而且可进行多种装置电阻率反演,包括目前广泛使用的高密度电法和高分辨地电阻率法^[9-11]。

电阻率三维反问题的一般形式可表示为 $\Delta d = G\Delta m$

式中: G 为 Jacobi 矩阵; Δd 为观测数据 d 和正演理论值 d_0 的残差向量; Δm 为初始模型 m 的修改

向量。对于三维问题,将模型剖分成三维网格,反演要求参数就是各网格单元内的电导率值,三维反演的观测数据则是测量的单极-单极电位值或单极-偶极电位差值。由于它们变化范围大,一般用对数来标定反演数据及模型参数,有利于改善反演的稳定性。由于反演参数太多,传统的阻尼最小二乘反演往往导致过于复杂的模型,即产生所谓多余构造,它是数据本身所不要求的或是不可分辨的构造信息,给解释带来困难。Sasaki 在最小二乘准则中加入光滑约束,反演求得光滑模型,提高了解的稳定性。其求解模型修改量 Δm 的算法为:

$$(GTG + \lambda CTC)\Delta m = GT\Delta d$$

其中 C 是模型光滑矩阵。通过求解 Jacobi 矩阵 G 及大型矩阵逆的计算,来求取各三维网格电性数据。

3 工程概况及直流电法测线布置及工作量

安徽蚌埠景辉有限公司石料厂位于上窑森林公园附近,为满足生产和生活用水,须打井获得地下水源。该区地表层为第四系松散粘土层,厚薄不等,下覆基岩为泥页岩、灰岩,整体倾向南倾,其中灰岩内部裂隙主要为地下水的赋存区域,但其空间发育情况需用物探方法进一步查明。

2009年6月3日完成现场探测,测站布置如图2所示,共布置2个测站,其中测站1布置64个电极,测站2布置48个电极,两站测线总长610m(图2中深红色线所示范围)。数据采集采用AM法,分别采用恒流时间0.5s、2s进行采集,所得电场曲线

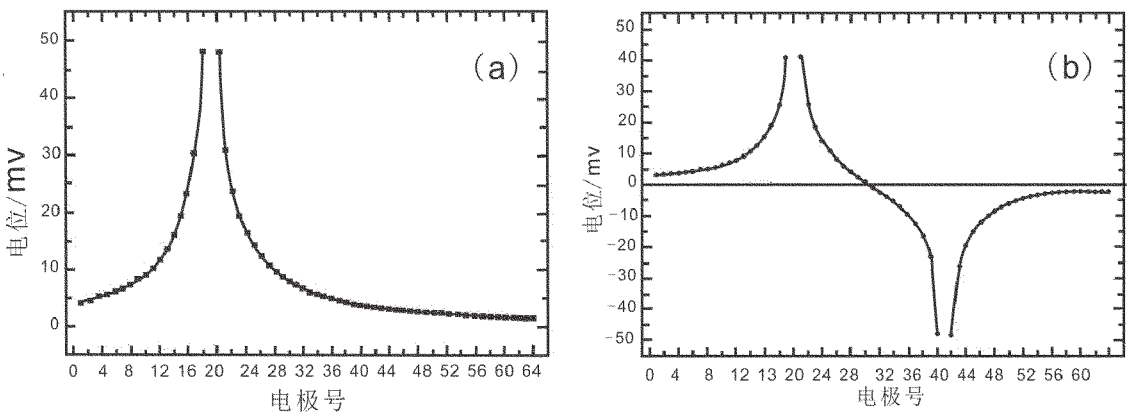


图1 网络并行电法采集电位图(a—AM法;b—ABM法)

Fig.1 Network parallel acquisition potential of the electrical method (a—AM; b—ABM)

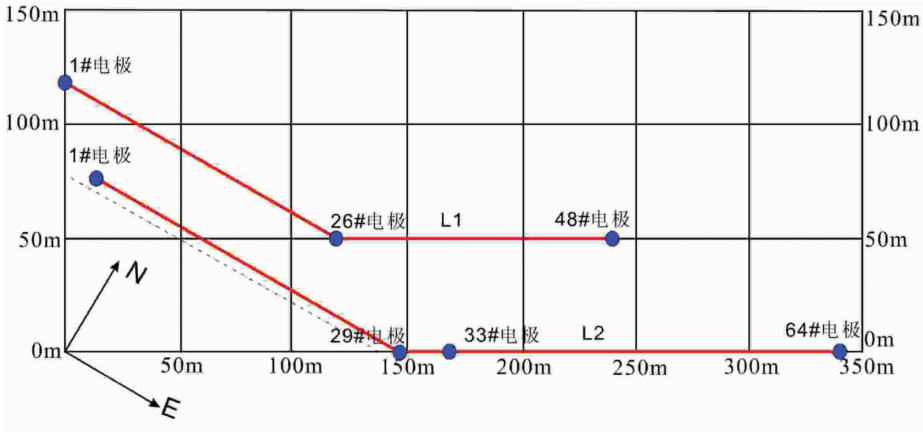


图 2 研究区所在位置(图中方形框区)

Fig.2 Location of the work area

一致,反映采集数据可靠。通过三维直流电法反演技术,将两站测线进行联合反演,获得探查区域内地下岩体电阻率分布情况。

4 探测结果分析

根据现场地形地物及测线、电极的分布情况,建

立相应坐标系统。通过对实测数据进行组合拼接,利用三维反演技术,得到三维数据体,图 3~8 是根据三维反演软件做出的结果图,限于篇幅按照不同的距离(-8 m、-15 m、-25 m、-38 m、-54 m、-65 m)选取的水平切片,通过填充相应颜色,直观反映地下空间电阻率的分布情况。图中不同的颜色代表不同值

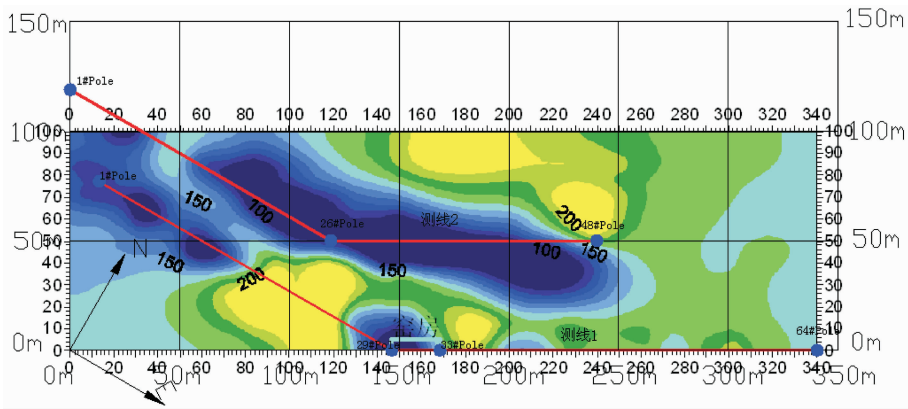


图 3 $H=-8\text{ m}$ 水平切片图

Fig.3 Horizontal slices ($H=-8\text{ cm}$)

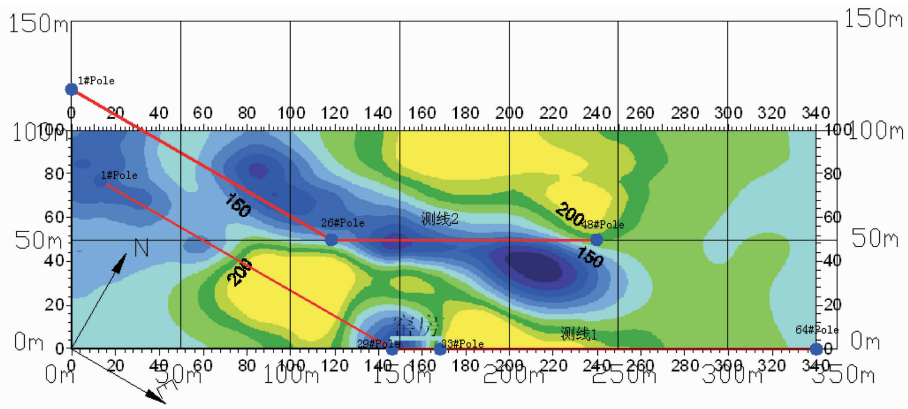


图 4 $H=-15\text{ m}$ 水平切片图

Fig.4 Horizontal slices ($H=-15\text{ cm}$)

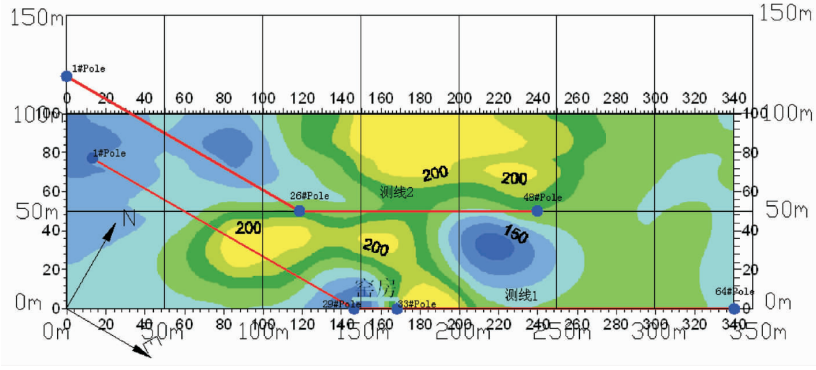


图 5 $H=-25$ m 水平切片图
Fig.5 Horizontal slices ($H=-25$ cm)

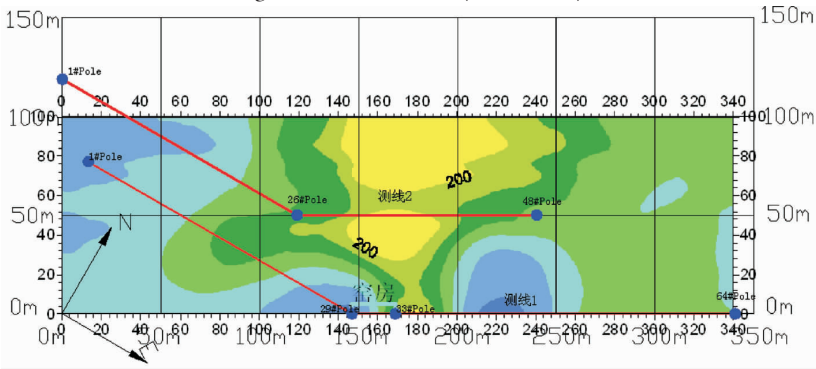


图 6 $H=-38$ m 水平切片图
Fig.6 Horizontal slices ($H=-38$ cm)

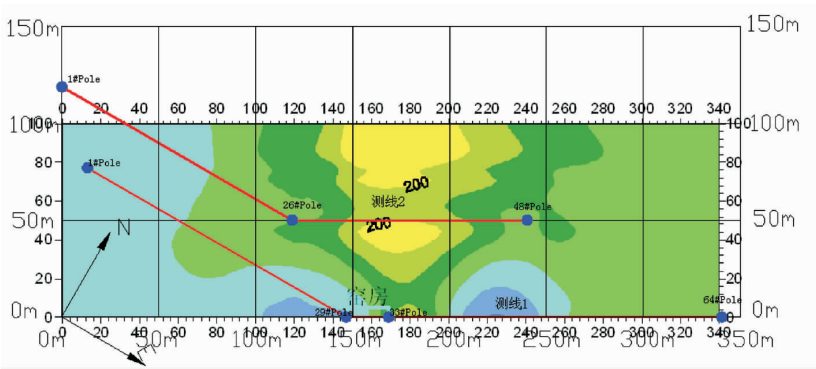


图 7 $H=-54$ m 水平切片图
Fig.7 Horizontal slices ($H=-54$ cm)

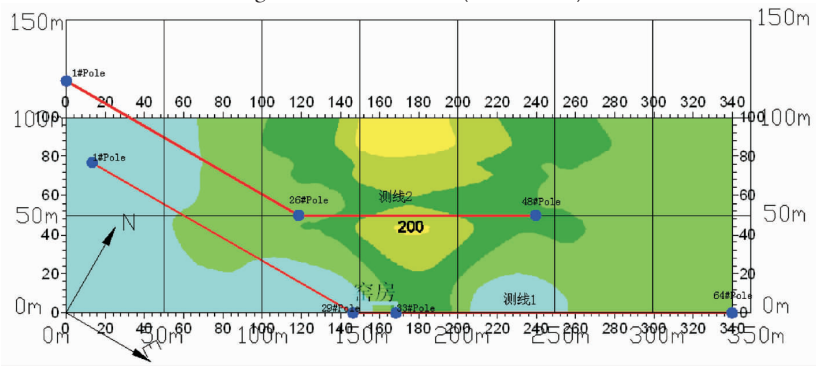


图 8 $H=-65$ m 水平切片图
Fig.8 Horizontal slices ($H=-65$ cm)

的电阻率,其中红色代表阻值较高的岩层,一般是不含水的岩层,蓝色代表阻值较低的岩层,一般代表含水岩层。

根据上述的判别标准,从图3中可以看出有2个主要的低阻区,由于该区岩性主要为灰岩,因此,推测低阻区主要为裂隙富水区,按照其空间位置依次标定为1号和2号低阻异常区:

1号低阻区位于路口窑房附近,低阻区范围相对较小,由于位于斜坡附近,该区汇水区较小,含水量也较小。目前所施工水源井在1号区附近,水量约1 t/h。该异常区深部中心区位于窑房西侧位置,若需在该区取水,最佳位置在窑房西南侧路边西侧。

2号低阻区位于路口窑房后边,浅部低阻区延展范围大,且地表平缓,利于获得地面降水补给。从不同深度的水平切片上看(图4~8)向深部延伸范围也较大,深度达50~70 m,异常中心位于路口窑房东侧60 m左右,钻孔深度达70 m。该异常区为本区取水最佳位置。

5 结论

岩石的结构特征及富水情况是影响其电阻率的关键因素。从第四系覆盖层到基岩(灰岩层),电阻率在纵向上呈升高的趋势。在基岩层如果裂隙发育并且含水,其电阻率在横向上会出现明显的变化趋势,存在灰岩裂隙水的地方电阻率较之围岩低。在这个前提下,利用直流电阻率法寻找地下水源比较可靠,借助网络并行电法仪器采集数据,实现了数据的高效、并行采集,数据处理通过三维反演软件可立体成像,更准确、直观地反映探测对象的赋存状态,对于水源井的定位效果显著。

参考文献(References):

- [1] 张福生. 电法找水[J]. 煤炭技术, 2002, 21(10):59-60.
Zhang Fusheng. DC to find water [J]. Coal technology, 2002, 21 (10):59-60(in Chinese).
- [2] 底青云, 石昆法, 王妙月, 等. CSAMT法和高密度电法探测地下水资源[J]. 地球物理学进展, 2001, 16(3):53-57.
Di Qingyun, Shi Kunfa, Wang Miaoyue, et al. CSAMT and high-density electrical method to detect underground water resources [J]. Advances in Geophysics, 2001, 16 (3):53-57 (in Chinese with

English abstract).

- [3] 唐慧杰, 陈冬君, 黄海玲. 物探找水方法概述[J]. 黑龙江水利科技, 2004(1):50-51.
Tang Huijie, Chen Dongjun, Huang Hailing. Geophysical find an overview of the water method [J]. Science and Technology of Water, 2004, (1):50-51(in Chinese with English abstract).
- [4] 李振宇, 李俊丽, 潘玉玲. 地面核磁共振找水方法综述[J]. 勘探地球物理进展, 2002, 25(6):55-58.
Li Zhenyu, Li Junli, Pan Yuling. Ground nuclear magnetic resource method review [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2002, 25(6): 55-58.
- [5] 董浩斌, 袁照令, 李振宇, 等. 核磁共振找水方法在河南某地区的试验结果[J]. 物探与化探. 1998, 22(5):343-347.
Dong Haobin, Yuan Zhaoling, Li Zhenyu, et al. The results of nuclear magnetic resonance method in a region of Henan [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1998, 22(5):343-347(in Chinese with English abstract).
- [6] 张玉良, 马安丽. 瞬变电磁法在基岩找水中的应用 [J]. 地下水, 2010, 32(4):120-121.
Zhang Yuliang, Ma Anli. The TEM to find the application of water in the bedrock [J]. Underground Water, 2010, 32 (4):120-121(in Chinese with English abstract).
- [7] 傅良魁. 电法勘探教程[M]. 北京:地质出版社, 1983.
Fu Liangkui. Electrical Prospecting Tutorials[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1983(in Chinese).
- [8] 张桂青. 电法勘探的现状与发展:中国矿业大学出版社, 1993.
Zhang Guiqing. Present Situation and Development of Electrical Prospecting:China University of Mining and Technology Press, 1993(in Chinese).
- [9] 王兴泰, 李小琴. 电阻率图像重建的左迪(Zohdy)反演及其应用效果[J]. 物探与化探, 1999, 20(3):228-233.
Wang Xingtai, Li Xiaoqin. Inversion and its application effect of image reconstruction of the resistivity Zohdy [J]. Geophysical and Geochemical Exploration. 1999, 20(3):228-233.
- [10] 王若, 王兴泰. 用改进的左迪反演法进行二维电阻率图像重建 [J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(3):239-344.
Wang Ruo, Wang Xingtai. Image reconstruction of two-dimensional resistivity inversion method using a modified Zohdy [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1998, 28(3):239-344(in Chinese with English abstract).
- [11] 张大海, 王兴泰. 二维视电阻率断面的最小二乘法反演[J]. 物探化探计算技术, 1999, 21(1):2-8
Zhang Dahai, Wang Xingtai. Least squares method inversion of two-dimensional apparent resistivity section [J]. Geophysical and Geochemical Exploration of Computing Technology, 1999, 21 (1):2-8(in Chinese with English abstract).

The application of three-dimensional DC resistivity method to the detection of water wells

LIU Xiang-hong¹, ZHANG Ping-song², SUN Lin-hua¹, CHEN Song¹

(1. School of Earth Science and Engineering, Suzhou University, Suzhou 234000, Anhui, China; 2. Department of Resources and Environmental Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, Anhui, China)

Abstract: Water is an indispensable resource for human survival, and is also a bottleneck restricting the development of regional economic development. The main water supply layer in the study area is limestone fissure water. The authors utilized the DC resistivity method to look for groundwater resource. Two survey stations were arranged, with the total length of 610 m, the network parallel electrical method instrument WBD-GD was adopted to collect data, the three-dimensional inversion software was used to realize 3D imaging, and six horizontal slices were selected at different depths so as to roughly determine the locations of the water source wells. The results determined not only the planar locations of the water sources wells but also their rational depths. Verification shows that the achievements obtained by the authors are very effective, which guarantee the production and life of the stone factory in the mountain area.

Key words: network parallel electrical method; apparent resistivity; three-dimensional inversion; proposed section diagram; aquifer rock

About the first author: LIU Xiang -hong, male, born in 1983, master, assistant professor; E-mail: liuxianghong10@163.com.