

王启军,胡延林,都兴锋,等. 高密度电阻率法在工程勘查中的应用. 地球物理学进展,2009,24(1):335~339
Wang Q J, Hu Y L, Li S J, *et al.* Application of the high-density resistivity method in project exploration. *Progress in Geophys.*
(in Chinese), 2009, 24(1):335~339

高密度电阻率法在工程勘查中的应用

王启军, 胡延林, 都兴锋, 李世军
(吉林省煤田地质物探公司, 长春 130033)

摘 要 阐述了高密度电阻率法的工作原理、仪器设备、测量装置及 20 余年的数据处理过程和体会. 利用桥梁基础勘察、隧道工程勘察两个应用实例, 论述了新老高密度电阻率观测系统的特点和应用范围, 结论是针对不同项目的勘查地质任务, 要采用不同的测量装置施工. 多年来工作成果表明: 高密度电阻率法在工程勘查中具有仪器轻便、施工便捷、数据采集量大、地质信息丰富、成果可信等优势, 是工程勘查领域一种可行有效的勘查方法. 文中也对该方法存在的问题进行了分析和评述.

关键词 高密度电阻率法, α_2 , A-MN-B 装置, 桥基、隧道勘查及应用效果

中图分类号 P631 **文献标识码** A **文章编号** 1004-2903(2009)01-0335-05

Application of the high-density resistivity method
in project exploration

WANG Qi-jun, HU Yan-lin, DU Xing-feng, LI Shi-jun
(Coalfield Geological and Geophysical Exploration Company of Jilin Province, Changchun 130033, China)

Abstract This paper start with the high density resistivity method work principle, instrument equipment, measuring installation, data processing more about twenty years development process, and through the two application instance which are the bridge foundation perambulation and the tunnel construction perambulation, have expounded the new and old high density electric resistivity observation system. And aim at different item of perambulation geology assignment, adopting different measure device construction. The geology progeny confirm that the high density resistivity method have the advantage of portability instrument, convenient construction, great data collection, abundance geology information, reliability progeny and so on. The high density resistivity method is a effective perambulation method in the perambulation domain. This paper have simple commentary about the problem in it.

Keywords high-density apparent resistivity method, α_2 , A-MN-B devices, bridge foundation, application effect in abutment and tunnel exploration

0 引 言

高密度电阻率方法是一种实用、有效的地球物理方法, 经过多年的实践探索, 目前已经广泛应用与我国的矿产开发及工程建设中^[1~10]. 在工程建设中, 随着我国国力的不断增强和基本建设的不断深入, 桥梁、隧道工程已经成为铁路、公路和水利水电等大型项目中的重要工程. 一般位于高山峻岭中, 地

形复杂, 常规的地质勘查方法施工较为困难, 只能进行选择性的勘查, 因此采用适宜的地球物理勘查方法, 对整个工程的覆盖层厚度、风化壳厚度、基岩面的埋深情况、地层赋存特征、地质构造特点、水文地质及不良地质灾害等问题开展勘查工作是非常重要的^[11]. 本文根据笔者多年来的工作体会, 论述高密度电阻率法的原理、方法及在工程勘查中的应用.

1 高密度电阻率法在我国的应用概述

1.1 地矿部系统率先开展研究

20 世纪 80 年代后期,我国原地质矿产部系统率先开展高密度电阻率法及其应用技术研究.高密度电阻率法是在常规电法基础上发展起来的新型物探方法,其工作原理与常规电阻率法一致,实际上是一种阵列勘探方法.野外测量只需按勘测目的一次布置几十或上百根电极在测量点位上,通过电缆连接到程控转换开关和测量仪器上来实现数据的快速自动采集.然后利用微机对测量数据进行处理、处理,取得该地电断面分布的各种物理解释结果.由此可见高密度电阻率法较常规电阻率法在许多方面有了更大的发展.其优势是一次性完成多点位自动测量,具有测点密集、成本低、效率高、地质信息丰富、高分辨、高精度、勘探能力强等特征.

1.2 工作及装置

近年来,随着电子技术、计算机技术的不断进步,高密度电阻率法的仪器由传统式高密度电法仪器,发展到新型智能化分布式高密度电法仪.测量装置也由最初的 3 种(α 、 β 、 γ)发展到目前的十几种.以重庆奔腾厂的 WGMD-6 型仪器为例,测量装置可支持 18 种,其中 α 排列、 β 排列、 γ 排列、 δA 排列、 δB 排列、 α_2 、自电 M、自电 MN、充电 MN、充电 M 等排列,适用于固定断面扫描测量; $A-M$ 、 $A-MN$ 、 $AB-M$ 、 $AB-MN$ 、 $MN-B$ 、矩形 $A-MN$ 、 $A-MN-B$ 、跨孔等电极排列,适用于变断面连续滚动扫描测量.野外施工中,装置的选择取决于探测地质对象和目的层的埋深,以取得最佳地质效果和最大有效勘探深度为宜.在工程勘查中我们多采用固定断面 α_2 和 $A-MN-B$ 变断面连续滚动 2 种电极排列装置施工(见图 1).两者均属于四极对称装置,最大的优势是 MN 始终为固定间距,从而减少了由于 MN 不断增大带来的勘查体积效应的影响,确保了观测精度,使分辨率为最佳.不同的是 α_2 测量断面为倒梯形; $A-MN-B$ 测量断面为矩形,对长剖面可以进行连续测量,大大的提高了野外工作效率.

1.3 数据处理及成果

高密度电阻率法的数据处理工作是将野外观测数据通过仪器自带的传输软件,传到计算机上,再利用其处理软件在计算机上进行数据处理.实例中所用的成果是采用 RES2DINV 高级高密度电阻率数据二维反演软件处理的.在处理中利用最小二乘法对实测视电阻率数据进行反演,反演过程中压制系

数随层厚的增加而增加.为了稳定反演过程,压制系数随层深度增加以 1.2 倍增加、迭代次数程序通常使用 4~6 次,收敛误差值一般小于 5%、并同时对面进行地形改正,最终获得视电阻率等值线剖面图、平面图等.这些图件形象、直观地反映地电断面的电性分布和构造特征,大大的提高了分析解释效果和精度.

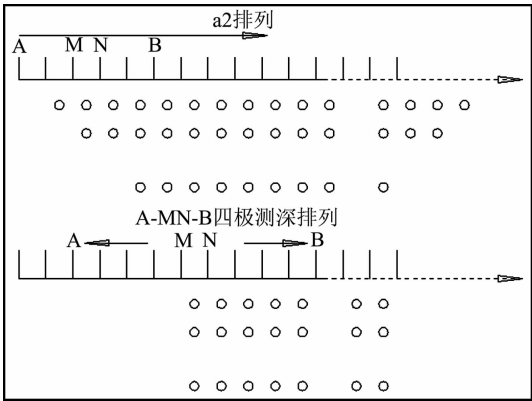


图 1 装置排列方式示意图

Fig. 1 Arrange manner device sketch map

2 高密度电阻率法研究及施工实例

2.1 桥基勘查实例

(1)任务:应用高密度电法进行桥基勘查的目的是查明建桥场地内,地下不均匀地质体的电性特征,分布形态及地质构造等,为进一步勘查工作和桥梁设计施工提供物探依据.以本单位负责勘查施工的某铁路 4 号新建铁路大桥为例,介绍高密度电阻率法在桥基勘查中的应用.

(2)建桥场地貌特征:河床(宽约 150 m)及一级阶地,桥的跨度约 400 m,相对高差 5 m.已知地质结构简单,上覆第四系碎屑堆积物,以河流相的卵石、各种粒度的沙及粘土组成;基岩为寒武系的中薄层灰岩、泥灰岩等组成.

(3)使用仪器:为我国重庆奔腾数控研究所研制的 WGMD-2 高密度电阻率测量系统.沿桥基主轴线布置测线一条.布置 6 个 $A-MN-B$ 方式的高密度断面完成.使用电极 60 根,电极距 5 m,剖面数为 22 层,有效控制深度近 40 m.

(4)勘查结果:图 2 为 4 号大桥桥基高密度勘查成果图.从电性反映上看:①上部视电阻率等值线呈现中间高,两边低的总体特征,中间视电阻率等值线 $>500 \Omega \cdot m$,应为以卵石、粗沙为主的第四系冲积

物盖层的电性反映;右边靠近山跟,视电阻率等值线在 $100\sim300\ \Omega\cdot\text{m}$ 间变化,应为以沙、粘土为主的第四系坡积物盖层的电性反映. ②中部视电阻率等值线 $<500\ \Omega\cdot\text{m}$ 的广大区段,应为以灰岩、泥灰岩为主的基岩溶蚀段,溶蚀的强弱体现在视电阻率上,溶蚀的强度愈大,视电阻率值愈低,反之视电阻率值愈高;从中部可见视电阻率等值线 $<200\ \Omega\cdot\text{m}$ 的

局部封闭圈应为溶洞的电性反映,后经打钻证实. ③下部视电阻率等值线 $>500\ \Omega\cdot\text{m}$,应为完整基岩的电性反映,从分布看完整基岩顶界面埋深 $20\sim50\ \text{m}$ 不等.

可以看出,利用高密度电阻率方法有效地查明了该桥基的地质构造问题.

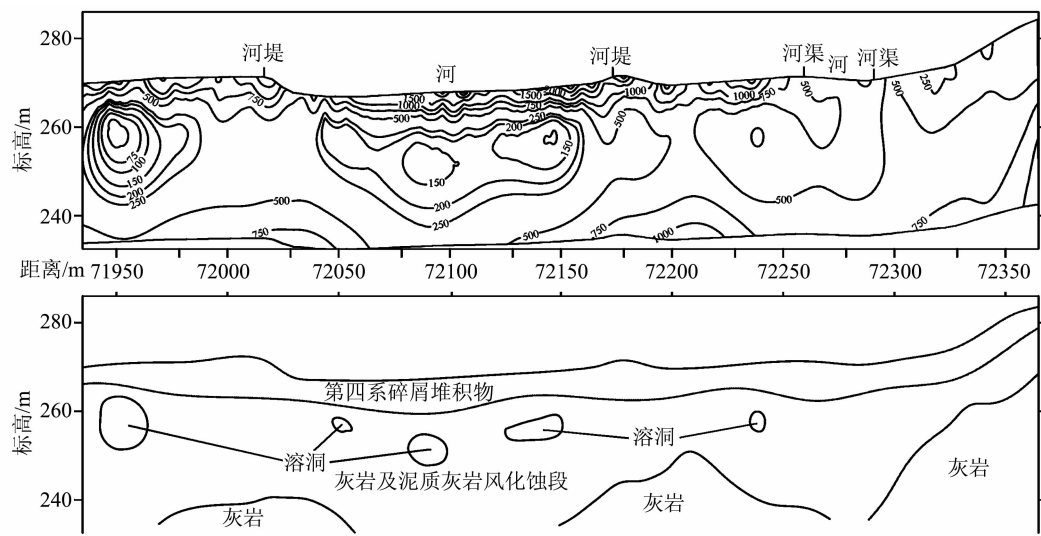


图 2 4号桥基电性地质剖面图
Fig. 2 No. 4 bridge foundation electric property section drawing

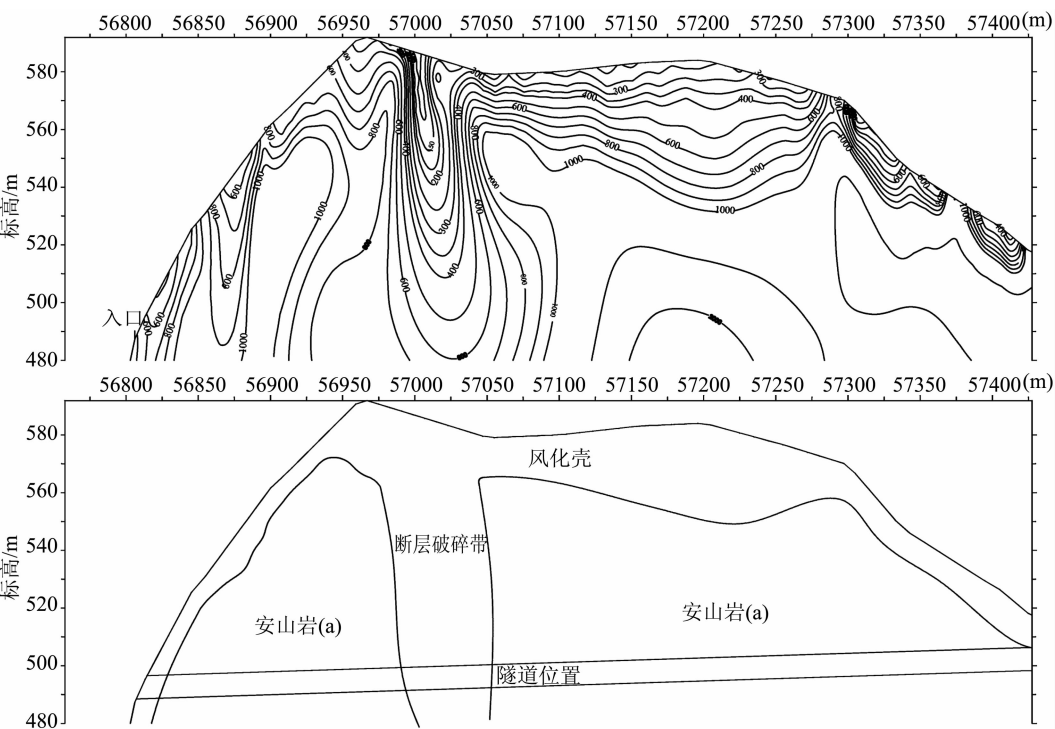


图 3 I号隧道电性地质剖面图
Fig. 3 No. I tunnel electric property section drawing

2.2 隧道勘查实例

(1)任务:高密度电法进行隧道勘查的地质任务是查明覆盖层及基岩风化壳的厚度,完整基岩顶界面的埋深,构造特征及隧道围岩的岩石类别等情况。

(2)特征:I号隧道所处的地貌特征为高山区,入口段相对高差近120 m、长度近600 m,山上树木发育,上覆较薄的第四系,基岩为侏罗系安山岩。由于地形复杂,隧道埋深近100 m, WGMD-2 型传统高密度仪无法施工、且完不成地质任务。

(3)仪器:采用新购进的 WGMD-6 分布式三维高密度电阻率成像系统完成外业工作。该系统的最大优势是功能齐全,施工便捷,具有处于国际领先的高达800 V 超高电压和最大3A 的超大电流,最大限度的提高了观测精度和分辨率,加大了有效勘探深度。此次勘查沿隧道轴线布置1条 α_2 固定倒梯形断面,采用电极数110根,电极距10 m,剖面数48层,最大有效控制深度在120 m左右。

(4)结果:图3为I号隧道入口段高密度勘查成果图。从电性分布可以看出,靠近地表视电阻率等值线一般 $<500 \Omega \cdot m$,且密集,一般平行地表展布,应为表土和基岩风化壳的电性反映,其宽度即为风化壳的厚度。在图左侧向上开口的低阻半封闭圈应为断层破碎带充水的电性反映。视电阻率等值线 $>500 \Omega \cdot m$ 的广大区域应为完整基岩的电性反映。从隧道的经过部位看,除入口处及断层碎屑带附近其围岩的类别较低外,其它均处于完整围岩中,其岩石类别较高。

同样,高密度电阻率法有效地完成了隧道勘查任务。

3 结 语

随着科学技术的不断进步,高密度电法仪器功能的不断完善,勘查精度和能力的不断提高,使高密度电法勘查领域不断的拓展,尤其在工程勘查领域以其施工便捷,数据采集量大、地质信息丰富、分辨高、解释方便、勘查能力强等优势,赢得了广泛的关注和重视。但在我们多年的实践过程中,也发现存在着一些问题,如最终物探成果在地形改正如何进一步反映地下地电体的真实特征、各地电层的相互干扰造成对探测深度及结果的影响等问题还有待于在今后的工作中不断研究解决。可以预见,通过对高密度新技术、新方法的不断开发应用,高密度电阻率电法这一全新的方法,将在工程勘查领域得到更加广泛的应用。

参 考 文 献 (References):

- [1] 吕惠进,刘少华,刘伯根. 高密度电阻率法在地面塌陷调查中的应用[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2): 381~386.
Lü H J, Liu S H, Liu B G. Application of resistivity tomography survey method in detecting ground subsidence[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(2): 381~386.
- [2] 黄俊革,阮百尧,王家林. 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): 619~624.
Huang J G, Ruan B Y, Wang J L. The fast inversion for advanced detection using DC resistivity in tunnel[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2007, 50(2): 618~624.
- [3] 吴子泉,尹成. 电阻率横向剖面法及其在隐伏断层探测中的应用研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(2): 625~631.
Wu Z Q, Yin C. Application of Schlumberger transverse profiling method to detecting buried faults[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2007, 50(2): 625~631.
- [4] 魏宝君. 一种新型随钻电阻率测井仪器的响应和刻度[J]. 地球物理学报, 2007, 50(2): 632~641.
Wei B J. Response and calibration of a new logging-while-drilling resistivity tool[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2007, 50(2): 632~641.
- [5] 苏永军,王绪本,罗建群. 高密度电阻率法在三星堆壕沟考古勘探中应用研究[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(1): 268~272.
Su Y J, Wang X B, Luo J Q. The archaeological application of high-density resistivity method to ditch exploration on Sanxingdui site [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(1): 268~272.
- [6] 祁民,张宝林,梁光河. 高密度电法的三维数据场可视化[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3): 981~986.
Qi M, Zhang B L, Liang G H. The visualization of three dimension data fields of high-density electrical technique[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2006, 21(3): 981~986.
- [7] 祁民,张宝林,梁光河,等. 高分辨率预测地下复杂采空区的空间分布特征——高密度电法在山西阳泉某复杂采空区中的初步应用研究[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1): 256~262.
Qi M, Zhang B L, Liang G H, et al. High-resolution prediction of space distribution characteristics of complicated underground cavities——Preliminary application of high-density electrical technique in an area of Yangquan, Shanxi [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2006, 21(1): 256~262.
- [8] 张志厚,刘国兴,唐君辉,韩江涛. 漠河地区天然气水合物远景调查之一——电法探测岩石性永久冻层的应用研究[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3): 887~895.
Zhang Z H, Liu G X, Tang J H, Han J T. The prospective investigation of gas hydrate in Mohe region——the application research of using electrical method to explore the ever frozen layer [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(3): 887~895.
- [9] 付长民,李帝铨,王光杰,底青云. 高密度电法数值模拟及其在寻找北京人头盖骨化石中的应用[J]. 地球物理学进展, 2008,

23(1):263~269.

Fu C M,Li D Q,Wang G J,Di Q Y. Numerical simulation of resistivity tomography and it's application in finding Beijing cranium fossil[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2008, 23(1):263~269.

[10] 黄俊革,王家林,阮百尧. 坑道直流电阻率法超前探测研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(5): 1529~1538.

Huang J G, Wang J L, Ruan B Y. A study on advanced detection using DC resistivity method in tunnel[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2006, 49(5): 1529~1538.

[11] 董浩斌,王传雷. 高密度电法的发展与应用[J]. 地学前缘(中国地质大学,北京),2003,10(1):171~176.

Dong H B, Wang C L. Development and application of 2D resistivity imaging surveys [J]. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences ,Beijing),2003,10(1):171~176.

查阅本刊网站获取详细信息
(<http://www.progeophys.cn>)

欢迎订阅《地球物理学进展》

2009 年《地球物理学进展》为双月刊,每年 6 期,每期定价 50 元,全年定价为 300 元。

订刊联系方式

- (1) 本刊编辑部(邮局汇款与单位电汇均可)
- 汇款地址 100029 北京市 9825 信箱《地球物理学进展》编辑部
- 电话传真 010-82998113,010-82998105,010-62369620
- 联系人 刘少华
- 电子邮件 shliu@cgs.org.cn, geophys@163.com
- 网 站 <http://www.progeophys.cn>
- 开户行 中国农业银行北京健德支行 账 号 190901040000456
- 收款单位 中国科学院地质与地球物理研究所
- (务必在注释行写上:购《地球物理学进展》款,同时写上您的姓名和联系地址)
- (2) 天津全国非邮发联合证订服务部
- 邮编地址 300385 天津市大寺泉集北里别墅 17 号
- 电话传真 022-23973378,022-23962479
- 网 址 <http://www.LHZD.com>
- E - mail LHZD@public.tpt.tj.cn