

doi: 10.11720/wyht.2018.0011

宫玉菲, 杨天春, 董邵宇, 等. 高密度电阻率法探测顶管注浆加固质量[J]. 物探与化探, 2018, 42(6): 1317-1320. <http://doi.org/10.11720/wyht.2018.0011>

Gong Y F, Yang T C, Dong S Y, et al. High density resistivity method for detecting grouting reinforcement quality of pipe jacking[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(6): 1317-1320. <http://doi.org/10.11720/wyht.2018.0011>

# 高密度电阻率法探测顶管注浆加固质量

宫玉菲<sup>1</sup>, 杨天春<sup>1,2</sup>, 董邵宇<sup>1</sup>, 蒋恺<sup>1</sup>

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 湖南科技大学 岩土工程稳定控制与健康监测省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 将高密度电阻率法应用于湘潭市某水源改迁工程加固注浆密实度检测, 根据数据处理及图像判译, 确定异常地层; 结合勘探成果, 检测出存在地下水富集区, 并进行开挖验证。实际结果证明了高密度电阻率法在顶管灌注密实度检测方面具有非常好的探测效果, 其低阻异常区与含水不密实区域对应。

**关键词:** 高密度电阻率法; 注浆加固; 密实度; 工程检测

**中图分类号:** P631      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2018)06-1317-04

## 0 引言

非开挖顶管法经常遇到土质松散、地下水丰富、易坍塌等问题, 影响正常施工或使用。为此, 在实践中常采用压密注浆法加固土体, 以提高地层的物理力学性能, 保证顶管施工顺利进行, 确保顶管长期安全地发挥作用<sup>[1]</sup>。压力注浆法加固地层是通过一定的压力将可固化的化学浆液或水泥浆液注入地层的裂隙或空隙, 以改善地层的物理力学性能。地层进行注浆加固后, 需要采用探测手段对加固效果进行检验, 常用的方法有钻孔法、挖深法、压水试验及物探方法<sup>[2]</sup>; 前三种方法不仅检测成本高, 且检测范围限于一点, 检测范围小, 而物探方法则具有快捷、方便、检测费用低等优点, 应用广泛<sup>[3-4]</sup>。文中通过对高密度电阻率法在湘潭市某水源改迁工程加固注浆密实度检测的应用实例, 对高密度电阻率法在注浆效果勘探的可行性、有效性进行了分析研究<sup>[5]</sup>。

高密度电阻率法的理论基础与常规电阻率法相同, 所不同的是方法技术。高密度电阻率法在数据

采集过程中组合电阻率剖面 and 电阻率测深<sup>[6]</sup>两种观测系统, 因而采集数据大, 数据观测精度高, 在典型不均匀的探测中取得良好的地质效果<sup>[7]</sup>。

## 1 工程概况

湘潭市三水厂水源改迁工程为湘潭中环水务有限公司在湘潭市河东江边至三水厂铺设的一条取水管, 采用顶管法进行施工, 顶管直径 1 200 mm, 长度约 150 m, 途中穿越滨江路及临近的湘江防洪大堤, 顶管埋深约为 15~20 m。

场地位于湘潭市河东沿江风光带, 原始地貌属湘江河流河漫滩—冲积 I 级阶地。在勘察范围及勘探深度内, 场地地层自上而下依次为人工填积的杂填土及素填土, 冲积而成的粉土、卵石以及下伏基岩强风化、中等风化粉砂质泥岩。场地主要见上层滞水、潜水和基岩裂隙水。通过 2016 年 1 月对水源改迁工程导流管顶管线型路基及防洪大堤灾害的检测, 探明了公路路基及防洪大堤内部的空洞及缺陷, 对施工区存在的空洞及缺陷进行了注浆加固处理。

收稿日期: 2018-01-04; 修回日期: 2018-03-14

基金项目: 湖南省教育厅资助科研项目(16K031); 湖南省自然科学基金省市联合基金资助项目(2016JJ5023)

作者简介: 宫玉菲(1995-), 女, 汉族, 山东潍坊人, 硕士, 主要研究方向为应用地球物理。Email: 1399663811@qq.com

通讯作者: 杨天春(1968-), 男, 汉族, 湖南津市人, 博士后, 主要从事地球物理方面的教学和科研工作。Email: ytc6803@163.com

## 2 顶管注浆加固质量检测

### 2.1 检测原理

本次检测主要是对注浆区域的注浆加固效果进行检测评价,高密度电阻率法的物理前提是地下介质间的导电性差异<sup>[8-9]</sup>。斯龙贝格装置即对称四极装置,其特点是  $AM = NB$ ,记录点取在  $MN$  的中点。当取  $AM = MN = NB = a$  时,这种对称等距排列便称为温纳装置。根据实测的视电阻率剖面进行计算、分析,便可获得地层中的电阻率分布情况,加固体密实度好,电阻率高;密实度差,电阻率低<sup>[10]</sup>。当岩溶路基注浆前后地下水条件未发生较大变化时,可通过对比注浆前后的视电阻率,来对岩溶路基的注浆质量进行检测评价<sup>[11]</sup>,从而可以划分地层,确定异常地层等。

### 2.2 野外工作布置及数据处理

本次勘探使用仪器为吉林大学工程技术研究所

研制的 E60M 型分布式高密度电阻率法仪。共布置 4 条测线(图 1),受施工场地条件限制,G01 号线布置在右侧人行道边,长度 69 m,点距 3 m;G02、G03、G04 号线分别布置在道路中间隔离绿化带中、河堤内侧坡的中部位置、河堤外侧坡的中部台阶位置,长度均为 93 m,点距均为 3 m,测线 50 m 附近对应顶管在地表投影位置,测线方向(及沿河堤方向)均与顶管方向大致垂直。

G01 测线上,顶管的水平投影位置位于该测线 29.5 m、33.1 m 附近;其余 3 条测线 G02、G03、G04 上,顶管的水平投影位置位于测线 50 m、53.6 m 附近。每条高密度测线上,均采用两种装置(斯龙贝格装置、温纳装置)进行观测,以便探测成果的相互对比验证。斯龙贝格装置可初步确定异常位置,与对称等距排列的温纳装置对比,进一步确定异常区域具体位置,使异常地层区域位置更加准确。利用 Res2dinv 高密度处理软件对采集数据进行处理,并对 G03、G04 测线探测成果图进行对比解释说明。

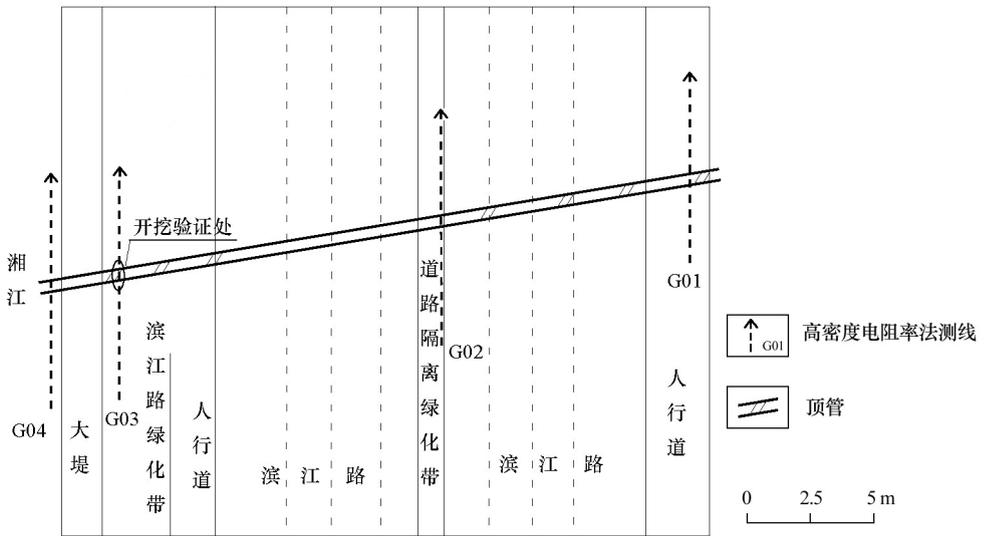


图 1 湘潭市某工程高密度电阻率法测线布置

### 2.3 成果解释

以 G03、G04 两条测线成果为例进行说明。图 2 为高密度电阻率法 G03 测线上两种装置的探测成果  $\rho_s$  等值线拟断面。图中显示,在顶管的正上方区域, $\rho_s$  的相对低阻异常范围相对较大,这可能与河堤本身由堆填土修筑有关,再加上施工中对土层介质的扰动、雨水的积累,地下水的富集等多因素所致;根据图 2 来看,该测线上 44~56 m(深度约 2~12 m)为相对低阻封闭异常, $\rho_s$  值小于  $30 \Omega \cdot m$ ,推测该区域范围内介质较松散,含水较丰富。

图 3a、图 3b 分别为高密度电阻率法斯龙贝格

装置、温纳装置的探测成果  $\rho_s$  等值线拟断面图。相对于前面 3 条高密度测线的探测成果而言,该测线上的探测结果  $\rho_s$  值普遍高一些,等值线的形态也凌乱一些,局部相对的高阻异常也多一些,这可能是前期注浆量相对大一些所致。

通过对图 3 的结果分析,在顶管周边区域 8~10 m 范围内,相对的低电阻率异常较少,只是温纳装置的探测结果中,在该测线上 48~52 m(深度约 12~14 m)范围内存在相对低的视电阻率异常,视电阻率  $\rho_s$  值小于  $50 \Omega \cdot m$ 。

该场地高密度电阻率法物探的解释参考实地地

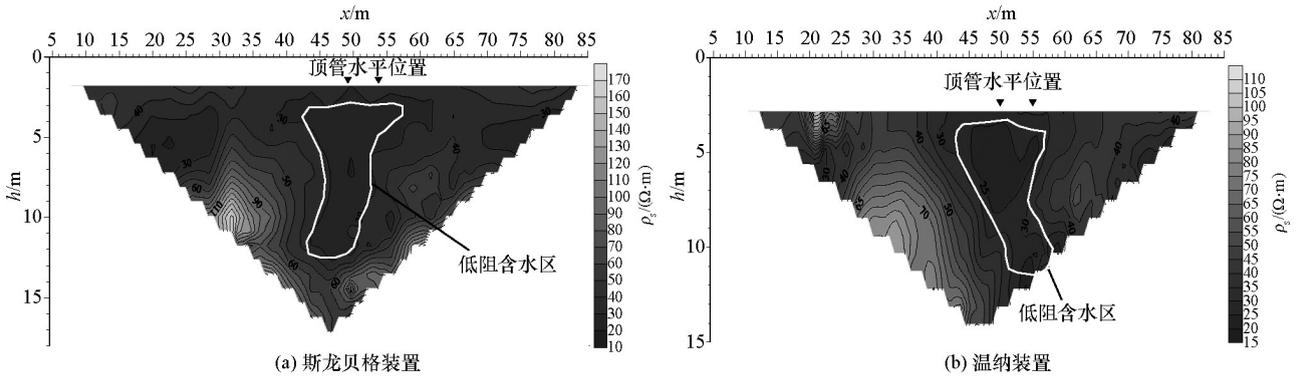


图 2 G03 线高密度电阻率法  $\rho_s$  拟断面

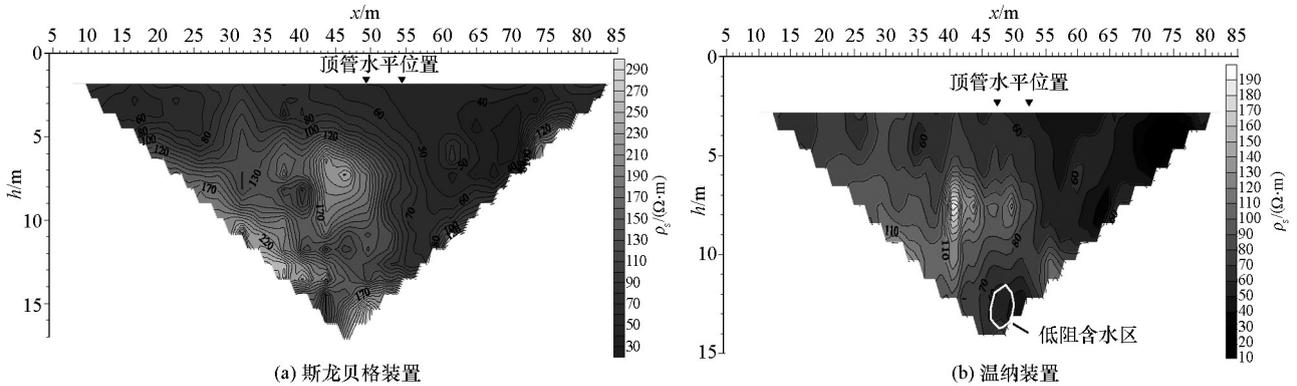


图 3 G04 线高密度电阻率法  $\rho_s$  拟断面

表 1 高密度电阻率法推断解释的异常位置

测线号	异常范围	备注
G01	① 剖面 27~31 m(深度约 7~12 m)	顶管的水平位置在测线 50 m、53.6 m 附近
	② 剖面 39~42 m(深度约 9~10 m)	
G02	① 剖面 44~55 m(深度约 8~12 m)	现场后期对高密度电阻率法测线 G03 上的异常进行了开挖查证
	② 剖面 60~67 m(深度约 6.5~8 m)	
G03	44~56 m(深度约 3~11 m)	
G04	48~52 m(深度约 12~14 m)	

质工程勘察资料。依据各地层电性的变化情况,经对收到的资料分析研究,以及本次高密度物探实测资料的反演处理成图,定性定量地解释推断如下。

沿导流管顶管线型周边区域 8~10 m 范围内,总体而言注浆较密实,未发现有空洞现象,只是局部存在少数地下水富集区。异常区域范围内介质较松散,为土层充填且含水较丰富。

### 3 开挖验证

本次地球物理勘探完成后,施工单位根据物探的初步成果,对高密度电阻率法测线 G03 上的异常进行了开挖查证(图 4)。开挖深度约 3 m,开挖位置位于该测线约 50 m 处。

根据附图的现场照片以及实地调查,地表及



图 4 延川南煤层气勘探区示意

3 m 以下地下介质主要为红色黏土,3 m 埋深之后土层变得潮湿,含水丰富,现场坑内可见较明显的渗水;在该开挖坑内施工单位进一步采用钢钎往下试探,也均为土层,没有空洞存在。

开挖查证情况说明,高密度电阻率法推测的低阻异常区可能主要是由于局部土层含水后所致,没有明显的空洞存在,这也进一步证明物探推断解释成果的正确。

#### 4 结语

高密度电阻率法可有效地对地层连续性进行勘探,在密实度检测中采用斯龙贝格装置和温纳装置可取得较好的勘探效果;温纳装置对地质体的垂直方向划分范围较准确,对水平变化较大的地质体反映相对较差,结合两种装置共同采集数据可提高探测深度、观测精度,使观测形式多样化。运用不同装置的高密度电阻率法应用领域将更加宽广,具有广阔的发展前景。

#### 参考文献:

[1] 龙西亭.对人工源频域电磁法视电阻率的探讨[J].物探与化探,2016,40(6):1178-1184.  
 [2] 屈利军.综合物探方法在湘中贫水山区找水中的应用[J].物探

与化探,2017,41(5):835-839.  
 [3] 周明凯.岩溶路基注浆加固质量无损检测方法应用研究[J].路基工程,2015(1):159-162,176.  
 [4] 严加永.高密度电阻率法的进展与展望[J].物探与化探,2012,36(4):576-584.  
 [5] 孙孝于.基于高密度电阻率法的水利工程枢纽区隐伏断层探测[J].河南科学,2017,35(9):1523-1528.  
 [6] 胡熠.高密度电阻率法岩溶路基注浆质量检测模型试验研究[J].水文地质工程地质,2014,41(3):86-91.  
 [7] 周官群.高密度电阻率法及地震反射共偏移法在九华山滑坡体探查中的应用[J].物探与化探,2015,39(4):872-876.  
 [8] Yaramanci U. Geoelectric exploration and monitoring in rock salt for the safety assessment of underground waste disposal sites[J]. Journal of Applied Geophysics, 2000, 44: 181-196.  
 [9] Liu L J. False anomaly recognition with horizontal differential field lines method in high-density electrical technique and its application in Xinlei Quarry, Jiuquan [J]. Global Geology, 2015, 18 (2): 140-144.  
 [10] 杨天春.高密度电阻率法在隐伏溶洞勘探中的应用[J].中国地质灾害与防治学报,2016,27(2):145-148.  
 [11] 蒋富鹏.高密度电阻率法在工程岩溶勘探中的应用[J].工程地球物理学报,2013,10(3):389-393.

### High density resistivity method for detecting grouting reinforcement quality of pipe jacking

GONG Yu-Fei<sup>1</sup>, YANG Tian-Chun<sup>1,2</sup>, DONG Shao-Yu<sup>1</sup>, JIANG Kai<sup>1</sup>

(1. Resource Environment and Safety Engineering College of Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 2. Key Laboratory of Geotechnical Engineering Stability Control and Health Monitoring of Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** In this paper, the high density resistivity method was applied to measure the compactness of grouting in a water reconstruction project in Xiangtan City, and its effectiveness was studied. The abnormal strata were determined according to data processing and image interpretation, and then in combination with the exploration results, the existence of groundwater-rich areas was detected and verified by excavation. The results show that the high density resistivity method has a very good detection effect in the measurement of pipe jacking compactness, and the low-resistivity anomaly area corresponds to the water-bearing undense area.

**Key words:** high density electrical method; grouting reinforcement; degree of density; engineering detection

(本文编辑:沈效群)