

文章编号: 1673-9469 (2019) 01-0046-05

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2019.01.010

高密度电法在顶管施工选址勘探中的应用

张晔楠¹, 王晓凡², 胡宝文², 宿辉², 刘忠良³, 马建国³, 董智杰³, 张利峰³

(1. 浙江同济科技职业学院建筑工程系, 浙江 杭州 311231; 2. 河北工程大学水利水电学院, 河北 邯郸 056001;
3. 河北省水利工程局, 河北 石家庄 050011)

摘要: 对施工区钻孔勘探发现该区域地层复杂, 存在大量卵石及其它坚硬岩石, 这对顶管掘进会造成很大影响, 需要为顶管施工选择合适、有效的施工场址, 降低卡钻概率。采用高密度电法技术勘探设备对施工区地层进行详细的勘测, 首先对施工区域附近断层层进行测量, 对比剖面反演图分析, 证明了高密度电法技术在对地层分布、岩层产状勘探解释上的可靠性, 最后采用温纳装置和斯伦贝格装置分别对拟施工区域进行勘测并取得了较好的效果, 初步为顶管施工拟定了一条卵石分布较少、卡钻概率较低的地下埋深走向, 也减少了钻孔勘探量。

关键词: 高密度电法; 顶管施工; 测量原理; 无损勘探

中图分类号: TE135

文献标识码: A

Application of High Density Electrical Method in Exploration of Pipe Jacking in Early Stage

ZHANG Yenan¹, WANG Xiaofan², HU Baowen², SU Hui², LIU Zhongliang³, MA Jianguo³,
DONG Zhijie³, ZHANG Lifeng³

(1. Department of Architecture and Civil Engineering, Zhejiang Tongji Vocational College of Science and Technology, Hangzhou Zhejiang 311231, China; 2. School of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Hebei University of Engineering, Handan city, Hebei province, 056001; 3. Hebei province water conservancy engineering bureau eight, Shijiazhuang city, Hebei province, 050011)

Abstract: Drilling exploration show that the construction area is complex. There are a lot of pebbles and other hard rock, which will have a great impact on the jacking of the pipe jacking. It is necessary to formulate a suitable and effective construction site for the pipe jacking construction and reduce the probability of stuck drilling. The high-density electrical method exploration equipment is used to carry out detailed surveys of the strata in the construction area. Firstly, the fault layer near the construction area is measured, which proves the reliability of high-density electric method technology in the exploration of stratum distribution and rock formation. Finally, The Wenner device and the Schlumberger device are used to survey the proposed construction area and good results are achieved. Initially, a grounding depth trend with less obstacles is proposed for the pipe jacking construction.

Key words: High-density electrical method; Pipe jacking; Non-destructive exploration

由于污水管道埋设工程所处地质环境条件复杂, 地层分布较多大粒径大体积卵石和含卵石泥岩, 给顶管施工掘进带来很大困难, 需要采用物探方法来查明地层的卵砾石分布情况。常用物探方法主要有地质雷达法、瞬变电磁法以及高密度电法。很多勘

察人员^[1-4]都采用高密度电法查明了详细的地层情况。本次勘探区地表导电条件较好且勘探深度在5~10 m范围内, 地质雷达法因其探测深度有限, 瞬变电磁法对浅层异常反应表现不明显, 而高密度电法集测深与剖面反映于一体, 可以很好地反映地层

收稿日期: 2019-01-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51704014); 金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室开发基金项目(ustbmslab201706)

作者简介: 张晔楠(1984-), 女, 河北平山人, 讲师, 硕士, 主要从事工程管理、结构工程方面研究。

分布情况及此次勘探任务需求。本文选择高密度电法在公路两侧选址布线测量查明卵石层分布情况，为顶管施工选址提供参考依据。

1 高密度电法测量原理

高密度电法测量主要依据不同地质体导电产生的电阻率变化，然后使用电测仪器在目标地层下建立地表电场，从而推断和解释地下地质体的分布和产状。因本次勘测主要采用温纳和斯伦贝格两种装置，所以介绍以下两种装置的测量原理^[5]。

1.1 温纳装置测量原理

温纳装置 (Wenner) 是对称四极装置，实地测量时不需要接远极线。如图 1 所示，A、B 为供电电极，M、N 为测量电极，装置系数 $K=2\pi a$ ，其中，a 为电极间距，n 为隔离系数， $AM=MN=NB=na$ ，四个电极等间距排列。测量时将 MN 范围内测得的视电阻率标在 MN 中点下，深度为 AM 的点上。如图 2 数据图形排列方式为梯形。

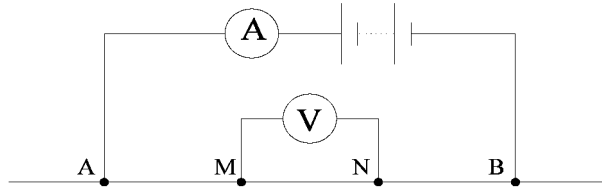


图 1 温纳装置示意图

Fig.1 Wenner device schematic

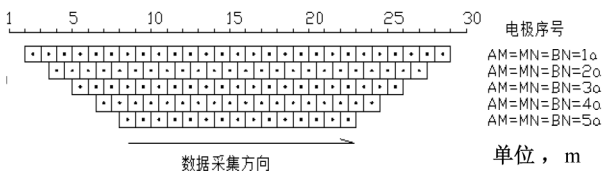


图 2 温纳装置数据采集图形排列方式

Fig.2 The pattern arrangement of data collection of Wenner device

1.2 斯伦贝格装置原理

斯伦贝格装置 (Schlumberger) 是对称四极装置，实地测量时不需要接远极线。如图 3 所示，A、B 为供电电极，M、N 为测量电极，装置系数 $K=2\pi n(n+1)a$ ，其中 a 为电极间距，n 为隔离系数， $MN=a$ ， $AM=NB=na$ 。测量时，当 AM 取定值时，即测某一深度同一层的视电阻率值，并把它表示在 MN 中点下 AO/2 深度处，通过相关处理软件将其

绘成灰阶图或色谱图，数据排列如图 4 所示的矩形。

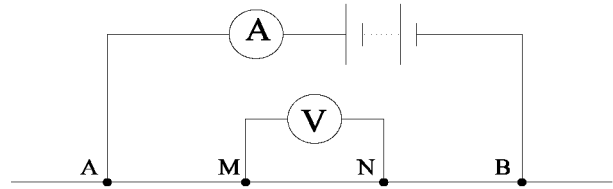


图 3 斯伦贝格装置示意图

Fig.3 Schlumberger device schematic

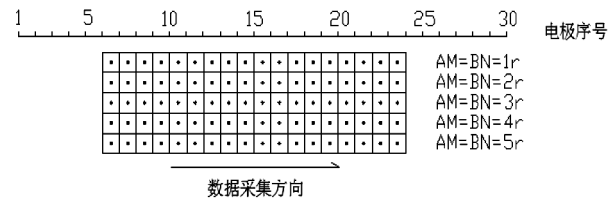


图 4 斯伦贝格装置数据采集图形排列方式

Fig.4 Data collection pattern arrangement mode of Schlumberger device

2 测线布置

本工程是邯郸市磁县和谐大道污水管道穿越南水北调中线干线配套工程，分两段横穿和谐大道，采用顶管施工技术。由于磁县和谐大道车流量大，乃进出城区交通主干道，不能对其实行断交，所以无法跨越公路填土测量。故本次测量依托南水北调中线工程干线 (以下简称干线) 在其东西两侧进行电极布线，如图 5 所示。

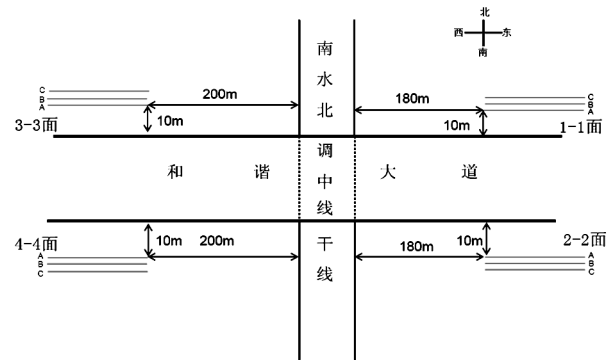


图 5 高密度电法测量布线示意图

Fig.5 Schematic diagram of high-density electrical method for measuring wiring

3 数据测量与处理解释

3.1 断崖试测

为保证高密度电法仪对此次测量结果的可靠性，通过实地勘查发现离现场不远处有 2 处断崖，如图

6、7所示,断崖上卵石层、粘土层等其他裸露岩层分布比较明显,采用温纳装置,因为其剖面向垂向变化具有很好的反映^[6-9]。实际量测发现1号断崖高4.3 m,长42 m;2号断崖坡角为70°,垂直高度7.4 m,长58 m,根据《水利水电工程物探规程SL326-2005》,选用32个电极,电极间距为1 m。

在断崖顶上铺设电极和电缆,采用温纳装置,使用32个电极,电极间距为1 m,测量数据经过RES2DINV软件反演结果如图8、9所示:

图8为使用温纳装置测量1号断崖面结果反演图,从图中可以看出,计算迭代次数为5次,RMS误差统计误差为5.9%,整个测量剖面长28.5 m,勘测深度为4.8 m,视电阻率变化范围为0~142Ω·m。图6中断崖剖面I号区域可以很明显看出存在大量砂卵石,其分布位置、深度与图8中I号区域出现的高阻区对照相吻合;图8中II号区域深1~2 m

为中低阻区,推测为含水砂砾土、含卵石土层,这与图6中II号区域对应吻合;图8中III号区域为低阻区,视电阻率变化范围为0~20Ω·m,推测为含水层,这与1号断崖右顶部上方出现的积水池区域对应吻合。由以上数据结果分析可以得出高密度电法测量的1号断崖面岩层分布大致与实际情况相对应。

图9为使用温纳装置测量2号断崖面结果反演图,从图中可以看出,计算迭代次数为5次,RMS误差统计误差11.9%,整个测量剖面长28.5 m,勘测深度为4.8 m,视电阻率变化范围为0~140Ω·m。图7中断崖剖面卵石层和粘土层分布比较明显,在0~1.2 m深度间(I号区域)分布着各种大小卵石,在1.2~2.5 m(II号区域)深度间为含水粘土层,2.5 m深度以下(III号区域)为含卵石砂砾土层,图9反演图中I号区域(高阻区)、II号区域(低阻区)、

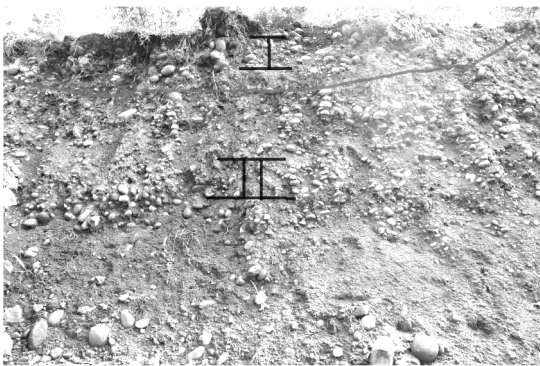


图6 1号断崖剖面实际拍摄图
Fig.6 Actual shot of no.1 cliff profile

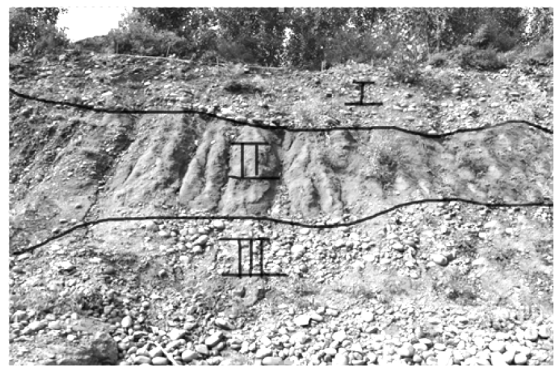


图7 2号断崖剖面实际拍摄图
Fig.7 Actual shot of no.2 cliff profile

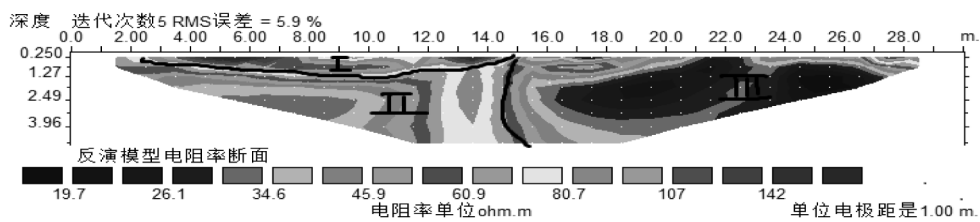


图8 温纳装置测量1号断崖面结果反演图
Fig.8 Inversion diagram of Wenner devices measurement of no.1 cliff face

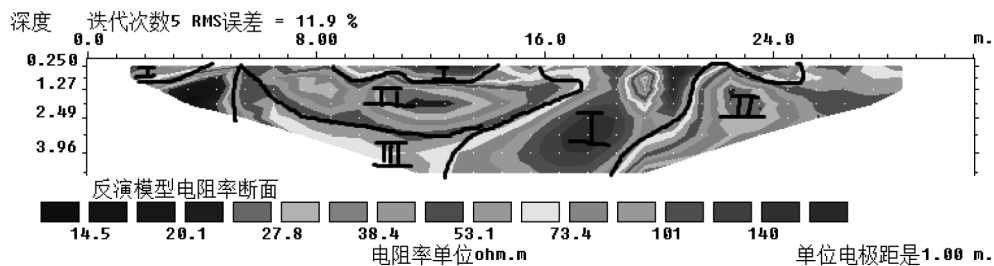


图9 温纳装置测量2号断崖面结果反演图
Fig.9 Inversion diagram of the Wenner devices measurement of no.2 cliff-plane

III号区域(中高阻区)分别与之相对应吻合, I号区域视电阻率变化范围为 100 ~ 140 Ω·m, 推测存在密集卵石层和强风化砂岩、灰岩, 现场经过挖掘发现有较多 1 500 cm³ 以上超大卵石和含卵石石英砂岩, 这进一步解释了反演图中IV号区域出现高电阻率的现象。

由对 1 号断崖面和 2 号断崖面的测量, 得出与实际勘测相吻合的结果, 证明了高密度电法对地层

分布、剖面解释产生较好的效果且具有较高的可靠度, 后期也可对测量区域选点钻孔勘探, 进一步佐证高密度电法技术对地层剖面解释的可行性。

3.2 实测选址

高密度电法仪采用骄鹏科技(北京)有限公司生产的 E60D 型号仪器, 根据《水利水电工程物探规程 SL326-2005》^[10], 对测量深度和剖面长度的估

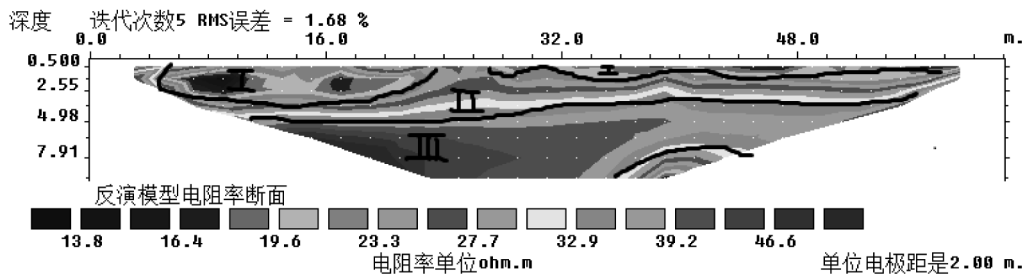


图 10 1-1A 测线温纳装置测量结果反演图

Fig.10 Inversion diagram of measurement result of 1-1 line Wenner device

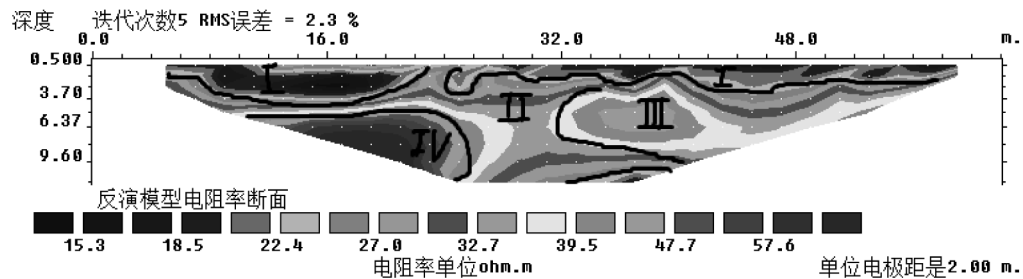


图 11 1-1A 测线斯伦贝格装置测量结果反演图

Fig.11 Inversion diagram of measurement results of 1-1 Schlumberger device

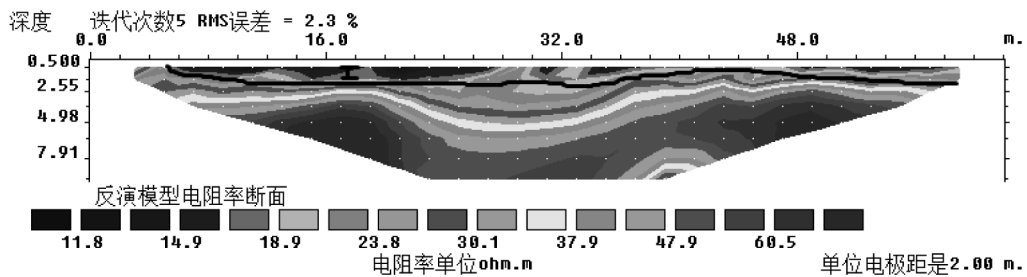


图 12 2-2A 测线温纳装置测量结果反演图

Fig.12 Inversion diagram of measurement results of the 2-2 line Wenner device

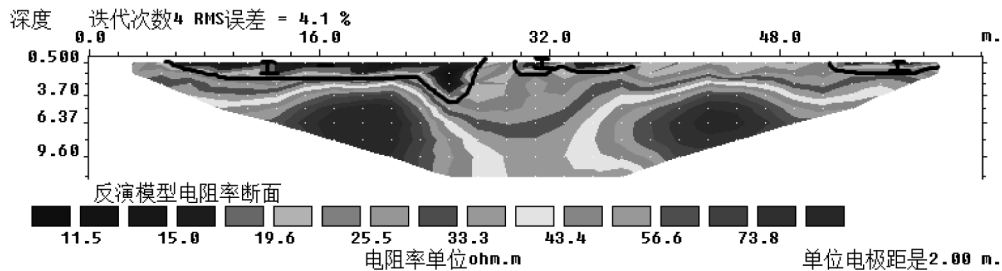


图 13 2-2A 测线斯伦贝格装置测量结果反演图

Fig.13 Inversion diagram of measurement results of 2-2 line Schlumberger device

算,采用温纳装置和斯伦贝格装置各测一次,测量电极使用数为32个,电极间距设置为2m。因为现场测量地形较平坦,地层周围无干扰,所以不需要进行地形校正,后期处理数据只需要剔除视电阻率异常点即可。测量原始数据后期经过高密度处理软件RES2DINV中最小二乘法反演程序处理解释,因文章篇幅有限,笔者选取1-1面A测线和2-2面A测线反演图加以解释说明。如图10~13所示:

从图10~图13中I号区域可以看出是低阻区,这是由于下雨测量路面有些地方积水,地层浅层渗水导致视电阻率低,呈现低阻区。部分地层测深区域为高阻区,视电阻率达到 $70\ \Omega\cdot\text{m}$ 以上,推测为卵石层活动区。

图10为1-1面A测线温纳装置测量视电阻率反演图,从图中可以看出测深垂向由上到下地层分布较明显,在测深4.3m处为土岩分界面。II号区域为高阻区,推断存在卵石、砂岩、泥岩等;III号区域为中高阻区,视电阻率在 $18\sim 27\ \Omega\cdot\text{m}$,推断为含水砾土层,不排除是采空区的可能。图11为1-1面A测线斯伦贝格装置测量视电阻率反演图,从图中可以看出由左至右地层划分较明显,即水平向分辨率较高,与温纳装置测量结果低阻区、高阻区的视电阻率变化范围基本一致,温纳装置靠近测线的端点,数据量越少,勘探深度较斯伦贝格装置浅,温纳装置反演图在距首电极 $38\sim 42\text{m}$,测深 $7.1\sim 9.6\text{m}$ 范围间出现一个低阻异常区,推测为断层含水破碎带,不同的是这在斯伦贝格装置反演图上没有明显反映。但两种装置测量结果都能很清晰的反映测量区域的地电情况。

图12为2-2面A测线温纳装置测量视电阻率反演图,图13为2-2面A测线斯伦贝格装置测量视电阻率反演图,两图中所测区域显示的视电阻率变化基本相同。图中高阻区、中高阻区、中低阻区、低阻区分布明显,温纳装置在垂向测深方向地层划分较为显著,斯伦贝格装置在水平向测量地层视电阻率区更有优势。

从各测量视电阻率结果反演图来看中低阻区为施工选址的最佳区域。1-1A测线面与2-2A测线面为对称面,两条测线面显示的中低阻区在同一轴线上,即可认为在此区域轴线上施工遇到卵石层概率较小,即位于测深 $5.8\sim 7.5\text{m}$,距首电极 $27\sim 35\text{m}$ 之间范围为顶管施工的最佳场地,在后来的施

工工作井挖掘中也证实了此区域卵石较少。

4 结论

1) 温纳装置和斯伦贝格装置视电阻率剖面反演图情况基本一致,两种装置对勘探区的地层情况都有较好的反映,在工程地质勘探中对垂向分辨率要求较高的勘探任务可以选用温纳装置;对水平分辨率要求较高的勘测任务可以选用斯伦贝格装置,对两种不同装置的深度探究及适用范围应是今后重点的研究内容。

2) 高密度电法在实际勘测中也具有它的局限性,其探测范围和探测深度往往达不到勘测任务的要求,各地层电性的干扰也会使后期数据的处理解释不能令人满意。在实际测量中,装置的选择、电极的布设、地形的改正及数据的校正等都应根据具体情况合理运用,需要结合地质资料进行分析。

参考文献:

- [1] 程勃,熊彬.高密度电法在桂林岩溶地区桥址勘探中的应用[J].工程勘察,2018,46(7):50-54.
- [2] 江巍,李锋,魏桦.高密度电法在北京市某垃圾坑勘探中的应用[J].勘察科学技术,2018(2):62-64.
- [3] 李波,屈利军,易安,等.高密度电法在不稳定斜坡勘察治理中的应用[J].工程勘察,2018,46(8):66-73.
- [4] 余凯,雷宛,慕阳,等.高密度电阻率法在岩溶探测中的应用[J].勘察科学技术,2016(1):54-56.
- [5] 李金铭,罗延钟.电法勘探新进展[M].北京:地质出版社,1996.
- [6] 吕玉增,阮百尧.高密度电法工作中的几个问题研究[J].工程地球物理学报,2005(4):264-269.
- [7] 程庆.高密度电法不同装置特点及勘探效果比较[C]//中国地球物理学会第二十七届年会.北京:中国地球物理学会,2011:1.
- [8] 肖宏跃,雷宛,雷行健.高密度电阻率法中几种装置实测效果比较[J].工程勘察,2007(9):65-69.
- [9] 马志飞,刘鸿福,叶章,等.高密度电法不同跑极方式的对比及效果分析[J].工程地质计算机应用,2008(3):11-15.
- [10] 中华人民共和国水利部.SL326-2005.水利水电工程物探规程[S].

(责任编辑 李新)