

## 高密度电法在某甘肃山地风电项目勘察中的应用

马文艳<sup>1</sup> 沐小兵<sup>2</sup>

1. 上海津旭电力设计有限公司, 上海 200433
2. 上海电力设计院有限公司, 上海 200025

**[摘要]** 山上风力发电场工程所处的环境与平原地区相比差别较大, 勘察方法也在很大程度上受山地场地条件的制约。随着科技的发展进步, 各种物探方法及技术的日渐成熟, 越来越多的山地勘察项目开始推行简易勘探结合物探的方式, 高密度电法便是较为常用的物探勘探方法之一。本文依据某甘肃山地风电项目, 分析高密度电法在岩土工程勘察中的技术应用, 总结其优点、缺点。

**[关键词]** 山地风电勘察; 高密度电法; 电阻率

DOI: 10.33142/aem.v6i11.14621 中图分类号: U451.3 文献标识码: A

### Application of High Density Electrical Method in the Survey of a Mountain Wind Power Project in Gansu Province

MA Wenyan<sup>1</sup>, MU Xiaobing<sup>2</sup>

1. Shanghai Jinxu Electric Power Design Co., Ltd., Shanghai, 200433, China
2. Shanghai Electric Power Engineering Co., Ltd., Shanghai, 200025, China

**Abstract:** The environment in which the mountain wind power plant project is located is significantly different from that in plain areas, and the survey methods are also largely constrained by the conditions of the mountainous site. With the development and progress of technology, various geophysical methods and technologies are becoming increasingly mature. More and more mountain exploration projects are implementing a combination of simple exploration and geophysical methods, and high-density electrical methods are one of the more commonly used geophysical exploration methods. This article analyzes the technical application of high-density electrical method in geotechnical engineering investigation based on a mountain wind power project in Gansu Province, and summarizes its advantages and disadvantages.

**Keywords:** mountain wind power exploration; high-density electrical method; resistivity

### 引言

山上风力发电场工程, 大多位于地形地貌复杂、海拔高差较大的山地区域, 风机多设置在坡度陡峭的山顶或山脊, 交通不便, 传统机动设备进场、周转搬运难度大, 受此局限, 导致设备进场受限或成本较高等情况。考虑成本及工期情况下, 外业勘探方式普遍采用地质调查、挖槽等, 勘察深度、精度难以达到精细化勘测。物探法仪器不仅具有仪器携带搬运灵活便捷、操作方法简易、耗时低又快、效果好的优点, 而且适用于各类复杂地质情况, 数据采集较广, 以点成面地反应出地面以下一定深度范围内的岩土层分布情况, 比传统点状勘探揭示的地质条件范围更广, 弥补传统机钻勘探的不足, 又为工程设计及施工提供了较完善的基础资料, 因此越来越多的勘探单位将物探应用于勘察工作中<sup>[1-5]</sup>。

### 1 高密度电法

#### 1.1 方法原理

高密度电法是一种布阵勘探方法, 其将所测剖面分割为间隔固定间距的测点, 测点插入电极, 利用特定装置及电极快速、自动采集地面下一定深度内电阻率数据, 以不同岩土层导电性差异为基准进行二维地电断面测量, 从而达到探查地下地质情况的目的。其工作原理与常规电阻率法

相近, 但优势极大, 首先其电极的布阵方式可以依据不同工程目的进行设置, 其次外业数据采集速度快、自动化或半自动化, 另外现场可及时对数据进行初始处理, 可实时判断数据异常情况并纠正工作方法得以重新采集数据。

高密度电法兼具剖面法与电测深法的效果, 并具有点距小, 数据采集密度大的特点, 可以将现场采集的巨大数据通过反演数据软件转换为电阻率纵剖面图, 依据剖面图结合规范、经验、区域地质资料等将地面以下特定深度范围内不同岩土层的分布情况译解出来。另外, 针对采集数据突变等异常区域结合构造、地质历史等进行初步判别解析, 为后续针对性勘探作出指导。

#### 1.2 设备组成

高密度电阻率法当采用不同的仪器型号时, 其外业操作步骤也存局部差异性, 投入本次探测工作的主要仪器设备见表 1。

表 1 仪器设备表

序号	仪器设备	型号	单位	生产厂家	数量	备注
1	多功能直流电法仪	WDJD-1	套	重庆奔腾数控技术研究有限公司	1	高密度电法数据采集

### 1.3 测试过程和方法

根据高密度电法勘探极距的设定包括供电电极距 AB 和测量电极距 MN 的确定。供电电极距 AB 取值一般与勘探目标埋深成正比关系，根据《铁路工程物理勘探规范》(TB1zk0013) AB 取值应大于等于 4H (H 为探测深度)。测量电极距 MN 取值以目标分布范围情况而定，其取值大小决定了横向分辨率。高密度电法作业期间，基本一次性将 AB、MN 布阵完成。通常情况下，经由仪器的电极转换开关控制，排列中的某两根电极既作为供电电极 AB，在下一组组合测量时又要作为测量电极 MN。外业作业时，尤其在设计勘探极距时，因探深、分辨率从一定程度上很难共同兼顾，故应充分考虑勘探目的(勘探深度、勘测范围)，并明确探查异常体的精度(如多大范围的异常体不能遗漏等)。

本次野外探测采用  $\alpha$  排列(温纳装置 AMNB)，电极距 5m，电极排列方式如下图 1:

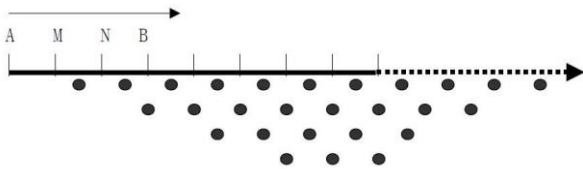


图 1 高密度电法  $\alpha$  排列示意图

测量断面为倒梯形，测量时  $AM=MN=NB$  为一个电极间距，A、B、M、N 逐点同时向右移动，得到第一条剖面线；接着 AM、MN、NB 增大一个电极间距，A、B、M、N 逐点同时向右移动，得到另一条剖面线；这样不断扫描测量下去，得到倒梯形断面。

### 1.4 测试数据处理

本次高密度电法反演所用的软件为高密度电阻率数据二维反演软件，它使用快速最小二乘法对电阻率数据进行反演，适用装置有温纳 ( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ )、偶极-偶极、(AB-MN 滚动)、单极-偶极 (A-MN 滚动、MN-B 滚动、A-MN 矩形)、二极 (A-M 滚动)、施伦贝格 (温施排列、四极测深滚动) 等。该软件地质模型多、可控性强、功能强大、反演速度快、反演结果显示直观，可带地形反演进行地形校正，是在工程物探领域中比较实用且效果较好的数据处理软件。

首先应针对外业采集数据进行数据编译及处理，针对异常数值判断其产生原因并选择性剔除，如接地不良、电极极化不稳引起的坏数据；转换数据文件格式，利用特定软件将原始数据文件转换导出成反演软件可识别的\*.dat 文件，转换期间应同步导入地形数据；数据反演，将数据调入反演软件，设置相关参数，以有限元法为计算网格参数，模型层厚度因数改为 1.0，依据所测剖面事实情况选择约束类型 (如 ROBUST 数据约束、模型约束等)，得出最优反演结果图。其数据处理流程见下图 2。

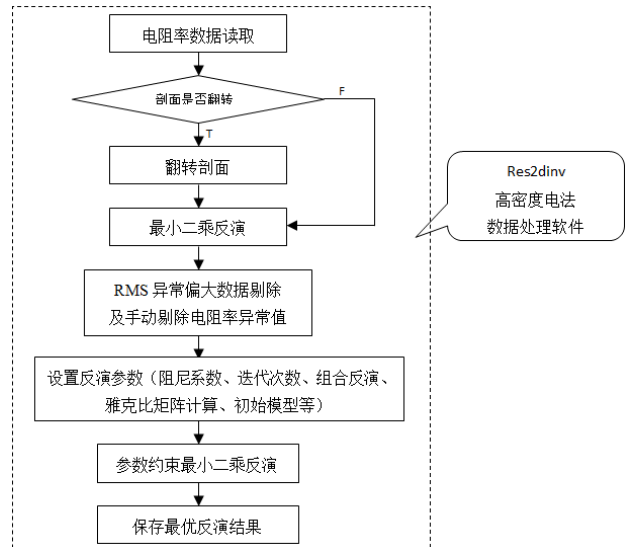


图 2 高密度电法数据处理流程

## 2 工程概况

拟建项目场地位于河西走廊东端，居甘肃省中部，属构造剥蚀中山地貌区 (见图 3)。工程区内地质条件较为简单，根据区域地质资料，本报告涉及区域按地层形成年代，从新到老分别为第四系上更新统-全新统风积层 ( $Q_{3-4}^{eol}$ ) 黄土状粉土、三叠系上统延长群 ( $T_3yn$ ) 砂岩和页岩组成，砂岩、页岩呈互层、夹层。场地南侧发育老虎山断裂，为全新世活动断裂，与场区最近距离约 2km。项目区建筑抗震设防烈度为 8 度，对应 II 类场地的基本地震加速度值为 0.20g，基本地震动加速度反应谱特征周期为 0.45s，设计地震分组为第三组。勘测期间，勘察深度范围未见地表水、地下水。工程区内未见不良地质，特殊岩土为季节性冻土、湿陷性黄土及风化岩。



图 3 项目区地形地貌缩影

## 3 工程应用

### 3.1 地层解译

为详细查明整个场区的地层分布情况，结合其他勘察方法 (探槽等) 每个风机布置两条不同电极距 (3m、6m) 测线 (测线重合)，根据不同电极距接地特点情况，3m 的物探成果最大可探测深度为 14m，主要用于风机位基覆界

面及强-中风化界面分层, 6m 的物探成果最大可探测深度为 28m 主要用于解译中深部有无软弱夹层等异常体。

某风机钻孔 B1zk 地层: 0~0.5m 黄土状粉土、0.5~6m 强风化砂岩、6~18.5m 中风化砂岩(柱状)、18.5~23.5m 中风化砂岩(破碎)。其物探解译剖面图如下:

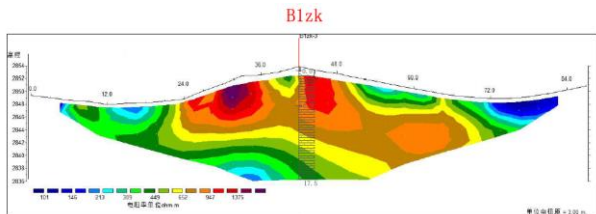


图 4 高密度解译剖面图(3m 极距)

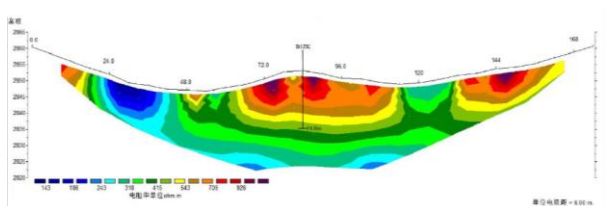


图 5 高密度解译剖面图(6m 极距)

从图 4、图 5 电法剖面分析可知, 3m 极距浅部地层与钻孔资料较为吻合, 6m 附近为强中风化界线; 6m 极距深部地层与钻孔资料较为吻合, 18m 附近阻值较上部区域偏低, 与钻探揭示下部岩芯较为破碎情况较为吻合。高密度

电法可以作为划分层面依据。

### 3.2 地基视电阻率

风电项目勘察往往要求土壤电阻率测试, 为接地设计等提供依据。本次选用手摇式接地电阻测量仪(ZC-8 型)进行相关测试工作, 并将其与同测点高密度电法反演的地基视电阻率数据进行比对, 见下表 2。

通过对场地内采用 ZC-8 仪器测量地基视电阻率及高密度电法测量地基视电阻率的数据进行对比可知, 两者地基视电阻率成果差异不大, 耦合程度高, 结果可靠。

### 4 结论及建议

高密度电法是一种布阵勘探方法, 其将所测剖面分割为间隔固定间距的测点, 测点插入电极, 利用特定装置及电极快速、自动采集地下面一定深度内电阻率数据, 以不同岩土层导电性差异为基准进行二维电断面测量, 从而达到探查地下地质情况的目的。其数据采集速度快、自动化或半自动化, 现场可实时判断数据异常情况、降低返工成本。上述工程案例表明, 采用高密度电法结合简易勘探, 可同时满足岩土层的划分及电阻率要求, 节省了勘察费用<sup>[6]</sup>。

但从本工程的物探解译剖面图上也可看出, 电阻率受富水性、岩层裂隙发育情况等影响, 局部阻值呈现一定的差异性。另外地表 1~2m 范围往往没有对应的解译成果, 针对覆盖层较浅的区域还需要探槽或洛阳铲核实覆盖层厚度。

表 2 两种测试方法相同深度地基视电阻率测试对比成果表

序号	测点	地层	深度 (m)	手摇式接地电阻测试仪		高密度电法		
				电阻率 (Ω·m)	平均电阻率 (Ω·m)	电阻率 (Ω·m)	平均电阻率 (Ω·m)	
1	T1	粉土	1	156	156.00	168	168.00	
			2	213		247		
		强风化基岩	3	348	280.50	375	311.00	
			4	467		507		
			5	587		653		
			6	499		632		
			7	477		576		603.00
			8	572		637		
			9	503		535		
			10	607		681		
2	T2	粉土	1	179	179.00	202	202.00	
			2	282		289		
		强风化基岩	3	322	329.67	367	363.67	
			4	385		435		
			5	488		509		
		中风化基岩	6	433	522.83	543	585.00	
			7	485		572		
			8	502		552		
			9	624		658		
			10	605		676		

目前我国在诸多工程领域中,已经开始普及高密度电法结合简易勘探的方式,科学选择勘察装置、合理设定探测线路与电极距等非常重要,应结合勘察工程的情况与特点制定完善的高密度电法技术应用计划,进一步提升勘察工作效果和水平<sup>[7]</sup>。

#### [参考文献]

- [1] 邓超文,周孝宇.高密度电法的原理及工程应用[J].西部探矿工程,2006(9):278-279.
- [2] 林志军.高密度电阻率法参数优化设计及工程应用研究[D].长春:吉林大学建设工程学院,2008.
- [3] 陈泉霖,陈新奇.高密度电法勘察岩土工程实例[J].中国煤田地质,2004,6(16):52-54.
- [4] 赵光辉.高密度电法勘探技术及其应用[J].矿产地质,2006,2(20):166-168.
- [5] 杜华光.高密度电法在工程地质勘察中的应用[J].路基工程,2008(4):110-111.
- [6] 谢晓峰,张兴杰.高密度电法在冲洪积地层勘察中的应用[J].山西建筑,2009,35(11):78-79.
- [7] 邓辉.高密度电法在岩土工程勘察中的技术应用分析实例[J].工程技术与设计,2022(1):1.

作者简介:马文艳(1986.7—),女,毕业院校:长安大学,学历:硕士,专业:地质工程,目前就职单位:上海津旭电力设计有限公司,职位:项目经理,目前职称:工程师。