

# 关于高密度电法在工程勘察领域的实践研究

马俊宁<sup>1,2</sup> 程真<sup>1</sup> 杨煜坤<sup>1</sup> 何晓兵<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局地球物理调查中心, 河北 廊坊 065000;

2. 中国地质大学(武汉) 远程教育学院, 湖北 武汉 430000)

**摘要:** 高密度电法具有测点密度高、数据全面、勘察数据准确等优点, 适用于水文、矿山和交通隧道等工程勘察工作, 为我国建筑工程行业发展奠定了坚实基础。技术人员可以运用高密度电法对隧道、矿井和河流等进行勘测, 对施工区域进行横向和垂直方向电性勘探, 运用专业电子仪器搜集勘测数据, 绘制更加直观、形象的二维地电断面图, 对施工区域不同性质岩体、土体界限、含水情况进行勘察, 运用水平差分场线法对数据进行分析, 制定精准的数据制定施工方案, 保证工程施工质量。

**关键词:** 高密度电法; 工程勘察; 技术特点; 运用策略

高密度电法是一种全新的地球物理勘探方式, 其中应用最多的是高密度电法仪, 这种仪器发射功率范围大、信号精度高、测试功能齐全、野外测试布线简单轻便, 被广泛运用于矿产勘测、石油勘察、水文勘察和不良地质现象等勘察领域。技术人员要积极推广高密度电法, 不断优化水平差分场线法, 做好野外测试布线工作, 对施工区域进行全方位、深度勘察, 例如运用高密度电法进行空洞勘察, 及时发现地表层下隐藏的安全隐患, 保证公路与桥梁施工安全; 运用于库区和滑坡勘察, 利用专业仪器对地下电性与周围介质进行勘测, 确认地下矿产资源分布情况; 还可以运用于地下水勘察工作, 对地下水溶洞、深层地下水量等进行勘察, 全面提升工程勘察质量, 为后续施工以及施工人员安全提供保障。

## 一、高密度电法技术概述

### (一) 高密度电法工作原理

高密度电法在电阻率法基本原理上发展而来, 把地下目标导体导电性的差异作为勘察数据, 根据电子、电阻率等数据来确定地下地质情况。高密度电法的工作原理是利用地下介质构成和分布的不均匀性, 导致发射电流分布情况发生变化, 再把介质电位改变转化为电阻率, 根据这些数据生成多方位投影数据资料, 并构建反演成像模型, 帮助勘察人员了解地下地质结构、资源储备等情况。技术人员可以把全部电极安装在测点上, 利用程控电极转换开关和微机工程电测仪便可实现数据的快速和自动采集, 提升工程勘察效率。

### (二) 高密度电法特征识别

高密度电法包括了电测深法和电剖面法, 分析地下介质结构和电阻率分布情况, 并运用系统生成多方位投影数据资料, 构建相应的工程勘察模型, 为后续工程施工奠定良好基础。高密度电法对区域地层分层勘测较为准确, 可以根据发射电流、电阻率变化等对地下岩层进行勘测。例如可以对施工区域地下岩溶或破碎带分布情况进行勘测, 及时发现地下空洞区、地下水, 便于工程师制定施工方案, 保证施工安全。例如技术人员可以运用高密度电法勘测岩石层, 当岩溶含水时, 检测仪器会监测到低阻, 反之, 则会出现高阻, 通过勘测岩性的变化, 提升工程勘察数据准确性。

### (三) 高密度电法勘探在工程勘察中的误差分析

数据全面、准确性高是高密度电法在工程勘察领域的优势, 为了进一步提升勘察数据准确性, 技术人员要对数据进行误差分析, 根据实际勘察情况进行数据分析, 进而提升投影图像和反演图像准确性, 为工程施工提供更加精准的数据。首先, 技术人员可以先对高密度电法仪搜集的数据进行分析, 找出其中重复的数据, 并把其平均值确定为 true 值, 以此为标准对数据进行筛选和计算。其次, 技术人员要及时检查接地装置和设备运行情况, 如果接地不好、设备运行不正常, 可能会导致数据出现异常或扭曲, 影响最终的勘察效果, 因此, 要及时对高密度电法检测设备进行检查, 确保数据的准确性。

## 二、高密度电法在工程勘察领域的技术优势

### (一) 自动采集数据, 误差率较低

高密度电法主要是运用程控电极转换器、电测仪来采集相关测量数据, 可以通过电极对区域内测点进行全方位勘察, 一次性布置好电极, 由设备自动采集好数据, 避免了人工手动操作的失误率, 还可以远程进行多次检测, 以获取更加全面的勘察数据。技术人员可以设置多个电极转换开关, 让设备可以自动转换测量电极, 利用电法处理辅助软件、Surfer 成图软件进行后期数据处理, 保证即使在一次性检测的基础上, 也可以获得较为准确的数据, 提升图像分辨率, 降低数据误差率。

### (二) 解决供电时间和极化补偿问题

高密度电法在工程勘察过程中会让电极产生极化电位, 这主要是由于地面本身存在的自然电位, 再加上在勘察过程中在地面插入了金属电极, 电极与地面接触后产生了电位, 导致勘察过程中伴随着电位产生。高密度电法相对于其他勘察方法, 数据采集速度较快, 设备供电完成会迅速转化为测量电极, 转化时间比较短, 计划电位会缓慢下降, 从而解决供电时间和极化补偿问题。

### (三) 有效降低其他电性的干扰

电法勘探会受到电缆、电极、勘察区域高压输电线等因素的影响, 技术人员需要进一步降低电磁感应, 降低其他电性对数据的影响。高密度电法数据监测时间短、电极转化时间短, 可以最大限度降低其他电性干扰, 还可以通过主机上的微型计算机对数

据进行分析,便于技术人员利用七点圆滑方法、五点圆滑方法来对数据进行反演处理和成像处理,以便获取更加准确的数据,为后续工程设计、施工方案设计、安全管理提供参考。

#### (四)适用于多种工程勘察工作

高密度电法相对于其他工程勘察方法适应性更强,适用于水文、建筑、空洞、桥梁隧道、地质勘察等领域,在野外勘察中具有很大的优势。首先,高密度电法设备体积相对较小,携带比较方便,因此被广泛运用于野外空洞、地下水、岩层和矿产资源勘察等工作中,并且可以实现数据自动采集,适用于野外恶劣环境,减轻了技术人员工作负担。其次,高密度电法可以对水下、岩层等进行勘察,满足不同工程勘察需求,还可以绘制较为准确的反演图像,因此受到工程勘察技术人员的青睐。

### 三、高密度电法在工程勘察领域的应用策略

#### (一)水平差分场线法的引入

视电阻率拟地电断面图是高密度电法最主要的反演图像之一,由于受到探测深度的影响,导致这一图像出现异常体产状不清或假异常等问题。目前,很多技术人员采用有限元法、有限差分法、最小二乘法等来对视电阻率拟地电断面图进行分析,重点对其中的边界值进行反演处理,这种处理方式会影响数据准确性和图像分辨率。为了解决这一问题,技术人员开始运用水平差分场线技术对视电阻率进行处理,把探测过程中收集到的视电阻率转化为矢量场中的一种场线,避开烦琐的数据处理,转而把视电阻率拟地电断面图这一标量场直接转化为以矢量场线,这样可以更加全面展示异常体中存在的电流走向,便于汇总出其电流分布规律。此外,技术人员还要对场线分布规律进行分析,找出场线分布异常的区域,从而推理出异常体存在的位置、影响范围和异常体形态,便于了解地下地质结构。例如技术人员可以利用水平差分场线法对野外农田地下勘察视电阻率拟地电断面图进行分析,分析图像中出现的空洞区、地下水区,利用场线绘制农田地下地质结构,确定其中异常体位置,以便判断农田地下水分布情况、岩层结构等,帮助农业部门确定机井位置、水库、水渠等修建位置,提升农业工程勘察质量。水平差分场线法可以帮助技术人员克服高密度电法工程勘察过程中出现的假异常等问题,对数据进行全面分析,绘制更加准确的反演图像,进一步发挥高密度电法工程勘察优势。

#### (二)空洞探测

高密度电法在地下空洞勘察中有着广泛运用,可以帮助煤矿开展地下采空区勘测,确定地下采空区位置、岩层结构和地下水分布情况,为煤矿地下开发、安全管理提供数据,保证井下作业安全,提升煤炭开采工程进度。首先,技术人员可以运用高密度电法仪对地下作业区进行全方位勘测,在作业区内设置多个测点,把电极片插入各个测点,对地下采空区地质情况进行勘察,重点探测。例如采空区岩层分布、地形条件和水文条件等,为后续采空区加固、安全管理施工提供数据支持,进一步提升采空区工程勘察工作质量,避免采空区安全事故的发生。技术人员可以运用高密度电法对矿区采空区数据进行深入分析,计算出各个区域的

电阻率,再根据这些电阻率绘制地下采空区视电阻率拟地电断面图,科学预判地下采空区可能出现的透水、坍塌或瓦斯爆炸等事故,从而帮助煤矿制定采空区安全管理方案,提升煤矿地下采空区治理质量。其次,由于地下地质结构比较复杂,再加上采空区自身岩层遭到了一定破坏,开采过后容易出现坍塌现象,对井下作业人员安全造成了威胁。技术人员可以利用高密度电法开展采空区安全工程勘察,对采空区煤层分布、岩层结构、土壤厚度等进行勘测,并绘制相关反演图像,明确采空区地下地质结构,协助煤矿明确采空区施工注意事项,例如明确高风险区,让施工人员避开危险区域,及时对采空区巷道进行加固,避免出现地面塌陷、坍塌和透水等事故,保证煤矿采空区施工安全,进一步推广高密度电法。

#### (三)库区勘察

高密度电法在水库和堤坝选址、建设工程勘察领域有着广泛运用,可以对库区施工周边区域进行全面勘察,对区域内隐伏地质构造进行探测,以便明确地下岩层结构、岩石类型,帮助施工方确定后续钻探位置、制定施工方案,保证库区施工阶段安全。第一,技术人员在库区工程勘察过程中,要精准设计测线位置,优化水库测线布设位置,以便后续确定水库和堤坝修筑位置。一般在,技术人员要根据高密度电法勘察数据来确定拟建坝轴线,在拟建坝轴线周边布设2-3条平行的勘探线,在勘察线周边设置勘测点,再一次进行勘察,在已知的水库坝址附近的垂直断层方向布设控制剖面,最后再布置短剖面,进一步明确库区隐伏断层位置,评估地下是否存在溶洞、空洞区域,避免在工程施工过程中出现坍塌等安全事故。第二,技术人员可以在短时间内运用高密度电法对库区进行多层次、多角度勘察,以便确定地下隐伏地质结构,例如地下溶洞、岩溶等区域,以便在后续钻探过程中避开危险区域,及时调整堤坝、水库施工方案,保证水利工程施工质量。例如技术人员在利用高密度电法勘察过程中,可以沿着库区坝轴线布设一些平行的测线,对库区断层区域进行深度勘察,以便绘制更加准确的追踪短剖面图和控制面图,帮助施工单位确定最终的库区施工位置和施工方案。

#### (四)滑坡探测

滑坡是建筑工程、地质工程等施工过程中最常见的事故,指的是岩体之间的自身滑动或基岩与覆盖层之间的滑动,是影响工程勘察、施工工程质量的关键要素之一。部分工程勘察单位会选择钻孔来进行勘探,但是由于钻孔深度有限,难以对地质结构进行全方位勘察,导致难以确定地下滑动面的具体形态和岩体结构,这给后续施工带来安全隐患。高密度电法通过对滑坡体滑动面电质和周围介质进行对比,绘制更加直观的高密度电法反演色谱,通过色彩对比来明确滑动面形态,判断是否会发生滑坡。随着高密度电法逐步普及,很多工程单位开始把这一技术和传统钻孔技术相结合,一方面可以运用高密度电法对施工区域进行深层次勘察,绘制更加全面的剖面图,了解地下岩体结构,及时科学预判容易发生滑坡的位置。另一方面可以运用钻孔技术获取相关岩体



样本,了解基岩、覆盖层和岩体结构,进一步明确滑动面形态和埋藏深度。

#### (五) 地下水找水工程

高密度电法在地下水找水工程中也有着广泛运用,对城市地下水开采、水网规划、地下水管道铺设等工程有着重要影响。随着我国城市化进程加快,居民用水、工业用水和商业用水需求量逐年增长,这给城市地下水供应带来了很大的挑战,如何精准寻找地下水、科学开展城市地下水工程是政府和相关企业的关注重点。第一,技术人员可以利用高密度电法对城市地下水进行勘察,尽可能多的发现新水源,可以深入城市周边进行野外勘察,在不同区域设置监测点,对地下水源、岩层结构和地质结构等进行勘察,确定新的地下水水源,便于水利部门做好水源保护工作。勘察人员可以利用高密度电法对野外溪流、河流等周边区域进行勘察,对该区域内的地质情况进行探测,可以结合钻孔技术,对监测点进行土壤检测、水源检测,确定地下水水质、水量等基本数据,为后续地下水开采工作提供科学数据。第二,技术人员可以运用高密度电法对地下水水质进行探测,例如对地下水中的铁、锰等含量进行检测,科学判定地下水水质,一旦发现地下水重金属含量超标、细菌超标,可以及时向相关部门报告,确保地下水水质,帮助施工部门避开水污染区域,进而保证地下水工程施工质量。

#### 四、结语

高密度电法数据精准、设备操作简单,适用于水库和坝址勘测、桥梁隧道勘察、地下水找水和矿区采空区勘察等领域,促进了我国工程勘察工作的开展,也为我国建筑行业发展提供了技术支持。我们要进一步推广高密度电法,利用其技术优势开展水文、农业、桥梁隧道和矿产勘探,获取最全面、准确的地下地质结构数据,为施工人员提供准确的数据,进一步提升工程勘探质量,还要对溶洞、断层、滑坡和矿产资源开采等工程勘察技术进行优化,坚持生态效益与经济效益相统一的原则,守护我们的绿水青山,提升工程勘察质量。



图一: 高密度电法实景图



图二: 高密度电法实景图

#### 参考文献:

- [1] 王德刚. 工程勘察中高密度电法勘探的运用探析 [J]. 工程建设与设计, 2020 (4): 2.
- [2] 兰怀慷, 钱明. 高密度电法在岩溶区工程勘察中的应用 [C]//2022年石油天然气勘查技术中心站第29次技术交流研讨会论文集.[出版者不详], 2022: 152-157.
- [3] 赵哲, 李想. 高密度电法勘探在工程勘察中的应用 [J]. 石油石化物资采购, 2022 (8).
- [4] 蔡洋洋. 高密度电法在岩溶塌陷勘察中的应用研究 [J]. 世界有色金属, 2022 (8): 4.
- [5] 潘纪顺, 王晓雷. 高密度电法在溶洞探测中的应用 [J]. 河南科技, 2022.

项目: 汉江流域宜城市自然资源综合调查

作者简介: 马俊宁 (1992-), 男, 2022年毕业于中国地质大学(北京), 本科, 助理工程师, 现主要从事综合地球物理调查、自然资源综合调查、水工环的研究工作。

通讯作者: 程真 (1985-), 男, 2006年毕业于河南理工大学, 本科, 工程师, 现主要从事地球物理调查、自然资源综合调查研究工作。