

浅谈工程物探中高密度电法的应用

王晓龙

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037000

摘要: 本文围绕工程物探中高密度电法展开研究,详细阐述了其基本概念与原理,深入分析了在地质勘察、水文地质调查、地基检测、地下空洞探测以及矿产资源勘查等方面的具体应用。通过研究表明,高密度电法凭借其独特优势,在工程物探领域发挥着重要作用,为工程建设等提供了可靠的地质数据支撑,对保障工程安全与质量具有重要意义。

关键词: 工程物探; 高密度电法; 地质勘察; 应用

引言

在现代工程建设中,准确把握工程场地的地质条件至关重要。工程物探作为一种高效、经济的地质勘察手段,能够在不破坏工程场地的前提下,获取地下地质结构信息。高密度电法作为工程物探的重要方法之一,以其数据采集效率高、分辨率高、成果直观等特点,在众多工程领域得到了广泛应用。本文将对工程物探中高密度电法的应用进行深入探讨,旨在为相关工程实践提供参考。

1 工程物探中高密度电法概述

高密度电法的核心在于利用地下介质的电性差异。地球内部的岩石、土壤、水体等物质,因矿物成分、孔隙结构、含水量的不同,会表现出各异的导电特性。比如干燥砂岩电阻率可达数千欧姆·米,而饱含地下水的黏土可能仅几十欧姆·米。这种天然的电性差异,构成了高密度电法勘探的物理基础。相较于传统电法勘探,高密度电法实现了技术革新。传统电法往往采用稀疏电极单点测量,数据获取效率低且易受干扰;而高密度电法通过一次性布设数十至上百根电极,组成阵列式测量系统。这些电极可灵活切换供电与测量模式,在同一测线完成多种极距组合的探测,如同给地下结构拍摄多焦段照片,获取的数据量和空间分辨率大幅提升。数据处理环节同样是高密度电法的优势所在,野外采集的海量数据经过专业软件处理,能够生成二维或三维视电阻率断面图。这些可视化图像就像地下地质体的“CT影像”,清晰呈现地层界面起伏、岩性变化及异常体分布,地质人员可直观识别断层、溶洞等地质构造,极大提高了工程勘察的精准度。正是这些技术特性,使高密度电法在地铁隧道选址、水库大坝隐患排查等复杂工程中屡建奇功,成为现代工程物探领域不可或缺的技术手段^[1]。

2 工程物探中高密度电法的基本原理

2.1 地下介质的电性差异

(1) 地球内部的岩石、土壤、地下水等地质体,其物质组成、微观结构和含水量决定了各自独特的电阻率。结晶岩类如花岗岩、闪长岩,矿物颗粒紧密镶嵌,电子传导路径有限,电阻率通常在1000-10000欧姆·米之间;而富含黏土矿物的页岩、泥岩,因颗粒细小、孔隙发育,遇水后孔隙被电解质溶液填充,电阻率可降至几十欧姆·米。(2) 土壤的电阻率受含水量影响尤为显著。干旱地区的砂土孔隙以空气为主,导电离子少,电阻率普遍超过500欧姆·米;湿润环境下的黏土或淤泥,因饱含水分与溶解离子,导电能力增强,电阻率常低于100欧姆·米。地下水的存在同样会改变介质导电性,当裂隙含水层被水体充满,原本高阻的岩体可因离子导电作用,整体电阻率下降一个数量级。这些由地质体固有属性产生的电性差异,构成了高密度电法探测的物质基础。当人工电场施加于地面,不同导电能力的地质体导致电流传导效率出现差异,进而引起地下电流场分布改变,最终在地表形成可测量的电位变化。

2.2 电流场分布规律

(1) 高密度电法探测时,通过供电电极向地下注入稳定直流电,在介质中构建人工电流场。在电阻率均匀的地层,如均质砂岩区域,电流线以电极点为中心呈辐射状均匀扩散。但当遇到地质结构变化,电流分布将发生显著改变。(2) 若地下存在低电阻率的积水溶洞或富水层,因其导电性能优越,电流会向该区域汇聚,导致周围电流密度增大;相反,高电阻率的岩脉或空洞因导电能力差,会迫使电流路径发生偏移,形成绕行现象。这些电流线的扭曲与重组,直接反映为地面测量电极间的电位差变化。技术人员通过测量不同电极对位的电位差异,并结合已知的供电电流强度,可获取各测点的视电阻率数据。将这些离散数据经专业软件处理后,生成视电阻率断面图,清晰呈现地下地质体的电性分布特征。

图中低阻区域通常对应富水层、软弱夹层或金属矿体，高阻区域则指示岩石完整带或空洞，为地质结构解译与工程决策提供直观依据^[2]。

3 工程物探中高密度电法的具体应用

3.1 地质勘察

在工程建设前期地质勘察阶段，高密度电法以其高效性与高分辨率，成为获取地下地质结构及岩性变化信息的核心技术手段。在山区公路建设场景中，复杂的地形地貌与频繁的构造运动使地层结构破碎、岩性变化复杂，传统勘察方法难以满足工程对高精度地质信息的需求。高密度电法通过沿公路拟建线路科学布置测线，测线间距通常控制在5~20米，电极间距依据探测深度与精度要求设为1~5米，实现连续、高密度的数据采集，有效弥补了传统方法的不足。以某山区高速公路勘察项目为例，当线路穿越褶皱构造区域时，利用高密度电法采集不同电极对间的电位差数据，因不同地层在物质组成、微观结构及含水量上的差异，其电阻率各不相同，在视电阻率断面图上形成明显的电性差异界面。经分析，第四系松散堆积层因颗粒松散、孔隙率高，电阻率在50~200Ω·m；强风化岩层因岩石结构破坏、裂隙与含水量增加，电阻率处于100~500Ω·m；中风化岩层裂隙发育减弱，电阻率升至300~1000Ω·m；未风化基岩结构完整，电阻率可达1000~5000Ω·m。据此，可精准划分地层界限，并依据电阻率随深度变化规律，确定岩石风化层厚度，为路基开挖深度设计和边坡支护方案制定提供关键依据，如根据风化层特性合理选择锚杆支护、挡土墙等方式保障边坡稳定。在沉积地层勘察方面，于河湖相沉积区域，砂层与黏土层交替分布导致明显的电阻率差异。干燥砂层电阻率约200~800Ω·m，饱水后降至50~200Ω·m；黏土层饱水时电阻率通常在20~80Ω·m。通过对高密度电法数据的精细处理与分析，可明确夹层的埋深、厚度及横向延伸范围，为公路桥涵基础选型避开不良夹层、选择稳定持力层，以及隧道选址规划线路提供详实地质资料，有效规避因岩性变化引发的不均匀沉降、塌方等工程风险，显著提升工程设计的科学性与安全性。

3.2 水文地质调查

在水文地质调查领域，高密度电法凭借对地下介质电阻率变化的敏感捕捉能力，成为探测地下含水层分布、评估富水性及监测地下水污染的核心技术手段。其工作原理基于地下水的赋存状态显著影响岩土体导电性，饱含地下水的介质因离子导电作用电阻率大幅降低，这种电性差异构成了含水层定位的物理基础。在

地下水水源勘探中，专业技术流程涵盖前期区域地质分析、测网设计与数据解译三个关键环节。首先依据区域水文地质图、地质剖面图等资料，结合地形地貌与构造特征，初步圈定潜在富水靶区；随后采用网格状测线布置，测线间距通常设为20~50米，电极间距依探测深度调整，通过多方向高密度数据采集构建地下电性结构模型。在视电阻率断面图中，低阻异常区域对应富水层位，技术人员通过分析异常形态（层状、条带状或不规则状）、埋深及延伸趋势，结合地层岩性与构造背景，可准确判定含水层类型。如孔隙含水层多呈连续层状分布于第四系松散堆积物中，裂隙含水层则与断裂带、节理密集带密切相关。在某西北干旱区找水项目中，通过高密度电法在隐伏断裂带两侧识别出低阻异常带，经抽水试验验证，该区域单井涌水量达60m³/d，为村镇供水井群布局提供了精准的地质依据。在地下水污染监测领域，高密度电法采用定期动态监测模式，通过对比不同时期的电阻率分布图像，量化污染物扩散过程。无机污染物如重金属离子会增强介质导电性，导致局部电阻率下降；有机污染物则可能因吸附作用改变孔隙结构，造成电阻率异常升高。在某化工园区周边监测项目中，每季度开展高密度电法测量，通过时序图像对比发现，含重金属废水渗漏形成的低阻污染晕以1.5~2.0米/月的速率向下游扩散。基于监测数据构建的污染迁移模型，为截污帷幕设计、抽注水井布局及原位修复方案制定提供了动态数据支撑，有效遏制了污染范围的进一步扩大^[3]。

3.3 地基检测

建筑物地基质量直接关系到建筑结构的安全与稳定，高密度电法在地基检测中主要用于评估地基土均匀性、密实度及探测软弱夹层。在高层建筑地基检测中，由于建筑物荷载大，对地基承载能力要求高，任何局部疏松或软弱区域都可能引发不均匀沉降。检测时，在地基表面按一定网格间距布置电极，进行高密度电法测量。正常情况下，地基土若密实均匀，其电阻率分布相对稳定；若存在局部疏松或软弱夹层，因孔隙比增大、含水量变化等因素，该区域电阻率会与周围土体产生差异。通过分析视电阻率断面图，可圈定出电阻率异常区域，确定其位置、范围及埋深。例如在某高层住宅地基检测中，发现局部区域视电阻率明显低于周边，经进一步钻探验证，该区域存在淤泥质土夹层，影响地基承载能力。根据高密度电法检测结果，工程人员针对性地采取地基加固措施，如采用深层搅拌桩或注浆加固，有效提高了地基的均匀性和承载能力，保障了建筑物的安全。此外，高密度电法还可用于检测地基处理效果，对

比处理前后的电阻率数据,评估地基加固的有效性。

3.4 地下空洞探测

地下空洞对工程建设和地面安全构成严重威胁,高密度电法利用空洞与周围岩土体的电阻率差异,可有效探测其位置和规模。空洞内部通常为空气或松散填充物,其电阻率明显高于周围岩土体,在视电阻率图像上呈现高阻异常特征。在城市地下空洞探测中,由于城市环境复杂,干扰因素多,探测前需进行详细的现场踏勘,合理选择电极排列方式和工作参数,以减少干扰影响。在道路下方空洞探测时,沿道路走向布置测线,采用较小的电极间距,提高探测分辨率。通过分析视电阻率断面图,高阻异常区域的形态、大小与空洞的位置、规模密切相关。例如,圆形高阻异常可能对应圆形空洞,长条状高阻异常可能指示条形空洞或采空区。在某城市地铁沿线地面塌陷隐患排查中,高密度电法探测发现多处高阻异常区域,经地质雷达和钻探验证,确定为废弃人防工程形成的空洞。根据探测结果,工程人员及时采取灌浆填充等处理措施,消除了地面塌陷隐患,保障了地铁运营和地面交通安全。此外,高密度电法还可用于探测岩溶地区的溶洞分布,为桥梁、隧道等工程设计提供重要地质资料^[4]。

3.5 矿产资源勘查

在矿产资源勘查领域,高密度电法可用于寻找金属矿和非金属矿。不同类型矿石因其矿物成分和结构不同,具有独特的电阻率特征,为利用高密度电法找矿提供了物理前提。对于金属硫化物矿床,如铜、铅、锌等硫化物矿体,由于其良好的导电性,电阻率通常较低,在视电阻率断面图中呈现低阻异常。在某铅锌矿勘查

中,通过在已知矿化带周边布置高密度电法测线,发现多处低阻异常区域。结合地质填图和岩石化学分析,确定这些低阻异常与铅锌矿化体密切相关,为后续钻探验证和矿体圈定提供了重要依据,有效指导了深部找矿工作。对于非金属矿,如石灰岩、石膏矿等,其电阻率相对较高,在视电阻率图像上表现为高阻异常。在石灰岩矿勘查中,通过高密度电法探测,可圈定出高阻的石灰岩分布范围,结合地形地貌和地质构造,判断矿体的延伸方向和厚度,为矿山开采设计提供基础数据。此外,高密度电法还可与其他物探方法(如磁法、重力法)联合应用,综合分析异常特征,提高找矿的准确性和可靠性。

结语

高密度电法以地下介质电性差异为基础,在工程建设、地质调查等领域成果斐然,为项目决策提供关键数据支撑。但该方法存在探测深度受限、易受环境干扰等不足,实际应用中需与其他手段协同作业。随着技术革新与设备升级,高密度电法将在复杂地质条件探测、深部资源勘查等方面持续突破,为多领域发展注入新动力。

参考文献

- [1]辛欢.浅探工程物探中高密度电法的应用[J].西部资源,2021(05):95-97.
- [2]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(04):52-53.
- [3]胡胜波,吕彪.工程勘察中高密度电法勘探的运用探析[J].四川水泥,2020(02):307.
- [4]娄利.高密度电法在城市地基勘查中的应用[J].能源技术与管理.2021(10):86-87.