

高密度电法在地面变形勘查中的应用探究

罗建波

湖南省自然资源调查所

摘要：高密度电法具小点距，数据采集密度大，施工效率高的特点，被广泛应用于岩溶探测及地质灾害勘查等领域，本文通过高密度电法结合地质调查、工程钻探成果，对高密度电法在地表浅部岩溶分布、岩土界面划分中的应用进行了分析研究。

关键词：高密度电法；不均匀沉降；浅部岩溶；岩土界面

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.15.048

前言

娄底市某小学老教学楼于2018年出现墙体开裂受损变形，2019年5月强降雨后，该教学楼墙体再次出现开裂，教学楼前水泥地坪紊乱的地面裂缝在强降雨后出现“冒浑水”、地坪前支挡墙大部分泄水孔较长时间泄水现象。由于该教学楼尚在使用中，而且紧邻新教学楼，一旦教学楼出现大的损毁可造成群体伤亡事件，加之周边还分布幼儿园及较多居民房屋，其社会影响力无法估量。此事引起自然资源局、教育局和当地政府等有关部门的高度重视。特委托专业地勘单位对该学校进行地质灾害的勘查工作，地勘单位专业技术人员通过现场的初步踏勘，结合当地的地质构造分析，认为该教学楼基础发生不均匀沉降的可能性较大，决定采取“地质填图+工程钻探+工程物探”相结合的勘查方式，通过对比，工程物探方法决定采取高密度电法。

工程物探勘查的任务目标：

- 1、利用高密度电法初步查明25m范围内不良地质的类型、分布范围和埋藏情况。
- 2、结合钻探资料解译物探成果，为下一步的施工治理提供基础资料。

本次勘察投入的设备为重庆地质仪器厂产DUK-2B型高密度电法观测系统；共布置了三条勘探线（L1~L3），勘探线平面布置如下图：

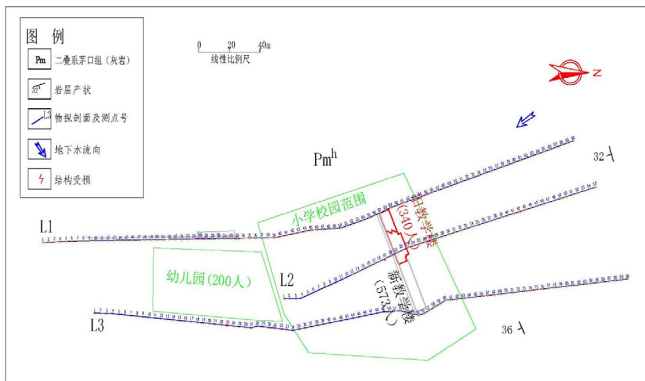


图1 高密度电法勘探线布置平面图

本次测线实际起止里程及完成的实物工作量如表1所示：

表1 工作量统计表

工作内容	测线号	工作量				
		起点编号	终点编号	点距(m)	测线长(m)	勘探点(个)
高密度电法	L1	1	90	4	356	90
	L2	1	55	4	216	55
	L3	1	90	4	354	90
合计					926	235

本次勘查作业依据为：

- (1) 《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7-2017；
- (2) 《地球物理勘查图图式图例及用色标准》DZ/T 0069-1993。

一、勘查区工程地质及水文地质条件

(一) 地形地貌

勘查区属溶蚀构造丘陵地貌，为覆盖型岩溶地貌区，总体为北高、南低的斜坡地形。其北部山顶总体走向为南西-北东向，为区内分水岭，最高海拔标高为354.4m，最低点位于小学校门口一带，海拔标高170.25m，最大相对高差184.15m，区内教学楼后斜坡坡度平均约20°，坡体为第四系基本覆盖，植被茂密，无岩溶漏斗、洼地等岩溶微地貌存在。此外，教学楼后为两边高中间低的凹槽地形，地类地形利于地下水汇集，地下水总体向小学一带径流。

(二) 地层岩性

根据工程地质测绘、钻探揭露地层岩性，勘查区出露的地层按新老顺序分别为第四系(Q)及二叠系茅口组厚层灰岩段(Pm^h)。各地层特征分述如下：

1、第四系(Q)

普遍分布于滑坡区，厚0.80-11.1m，平均厚8.00m，根钻孔揭露的岩性，可将勘查区第四系细分为2层，各自特征如下：

①填土

普遍分布于变形区及周边，厚度0.8-10.20m，其中教学楼以南地坪、幼儿园一带填土厚度较大。说明勘查区小学周边历史上曾有区域性填方工程活动，但填方厚度不均一。

根据钻孔资料，勘查区填土主要为杂填土。褐色、黄褐色，硬塑，湿润、成分较杂，由砖块、混凝土、灰岩、燧石等人工填充形成，表层失水后易形成网状裂隙。厚度0.80~10.2m，其中教学楼填土厚度为0.8-10.2m，平均填土厚度为5.77m。本层钻进过程较快，有

垮孔、缩径等现象，需下套管护壁。

②含碎石粉质黏土

残坡积成因，黄褐色，硬塑，湿润，松散-稍密，韧性中等，干强度中等，底部多含细角砾，土质均一。主要分布于教学楼前一带，均下伏于填土下，揭露厚度1.20~3.80m，平均厚度2.05m。本层钻进顺利，无垮孔、缩径现象。

2、二叠系茅口组厚层灰岩段 (Pm^h)

为勘查区下伏基岩，在滑坡区北部斜坡体上有基岩零星出露，出露岩性为灰岩。岩性为灰岩，浅灰色、灰色，泥晶结构，厚层-巨厚层状构造。岩石主要由方解石组成，发育不规则燧石团块及条带。本次施工钻孔揭露厚度8.30-17.70m，平均RQD值为38.2%，顶部多见黄褐色溶蚀裂隙，粗糙不平，微张~宽张，附着黄褐色黏土及充填方解石脉。本层未揭穿，厚度不详。

(三) 地球物理条件

据以往工作物性资料，各类岩石的视电阻率经验值，详见表2，其中视电阻率随孔隙度、含水率增大而减小。

表2 场地物性特征表

岩性	视电阻率 (Ω·m)
第四系(Q)	< n*10 ¹
茅口组灰岩(Pm ^h)	n*10 ² -10 ⁴
软土层、溶洞(充泥、充水)	< n*10 ¹

不同岩性之间电性差异明显，工作区内茅口组灰岩(Pm^h)岩层视电阻率最高，是相对高电阻率层；其他地层均为相对低电阻率层。本次勘查的目标体是软土层或溶洞(充泥、充水)，所以重点关注茅口组灰岩(Pm^h)中的低的电阻率畸变的位置。视电阻率差异使软土层或溶洞(充泥、充水)具备了一定的条件。因此，区内具有开展高密度电法的物性基础。

二、勘查方法技术

(一) 高密度电阻率法

采用施伦贝尔四极装置，向地下传入电流，电流流经目标地质体和地质界面时，由于目标地质体与围岩有较大的电性差异，将使正常的电流场产生畸变，通过观测，可发现高阻或低阻异常。通过分析这类异常的形态，可确定目标地质体的空间位置和规模。本地区目标异常是高阻背景下的低阻异常。

(二) 测网布置

原物探工作设计剖面线应与地质剖面线重合布设，由于原设计线位穿越大量房屋，为便于物探测线展布，同时物探测线为满足探测精度和探测深度要求，根据现场地形、地物分布特征，物探测线未完全与地质剖面线重合，进行了适当偏移调整，线距30-40m，点距4米。具体工作布置详见物探工作布置图(图1)。

(三) 野外数据采集

采用施伦贝尔四极装置，电极距4米，观测25层数据。最大供电电极距A0=102米，有效探测深度大于25

米。观测前进行接地电阻检查，本次采集最高供电电压420V，最小供电电流大于100mA，同时保证电极接地电阻小于2KΩ，测量时采取提高供电电压等手段保证电流读数大于100mA，电位差读数大于50mV，保证采集数据准确可靠。

(四) 室内资料整理

将野外采集的数据导入计算机，与野外记录仔细核对后，应用专业软件进行预处理后生成视电阻率反演断面图，为资料解释提供基础资料。

(五) 质量检查与评价

本工区共完成质检点30个，占总工作量的11.7%，视电阻率均方相对误差为4.33%。数据质量达到规范要求。

三、物探资料的解释及成果

(一) 解译原则

本次高密度电法工作解译原则：综合反演电阻率ρ断面图和相关地质、钻探资料，主要考虑电阻率断面图中背景值、低阻异常的形态、低阻异常值及其梯度值等因素，并结合实际地段所对应的地层岩性，对软土发育层及岩溶发育的埋深和规模进行判释。解释依据如下：

(1) 根据ρ值大小，并考虑地层岩性等因素，浅部ρ值≤200Ω·m，推测为第四系覆盖层；而ρ值大于200Ω·m且分布较均匀的相对高阻区域则对应为相对较完整的岩体。

(2) 依据ρ断面图上电阻率异常的等值线形态及走向趋势确定异常的边界，下伏基岩较完整时，电阻率等值线光滑连续，没有明显的扰动。存在软土层或者溶洞、溶槽(充水、冲泥)时，岩层的完整性和连续性遭到了破坏，在电阻率等值线图上表现为等值线扰动和低电阻特性。

(二) 探测成果

此次解译工作根据异常分布的位置和埋深，对勘查区内3条物探测线分别进行解译，解译成果如下：

L1测线：剖面电阻率值在50-2000欧姆米之间变化，电阻率值变化较大，但整体上呈上低下高的变化趋势，与浅部为第四系、深部为灰岩的地质结构相符。剖面中间存在4处较为明显的电阻率横向不连续，表现为浅部高阻背景下的低阻异常，通过地质调查与钻探资料解译认为，上述4处位置可能发育软土层，主要位于岩土界面交界处，一般发育深度4-12m(图2)。

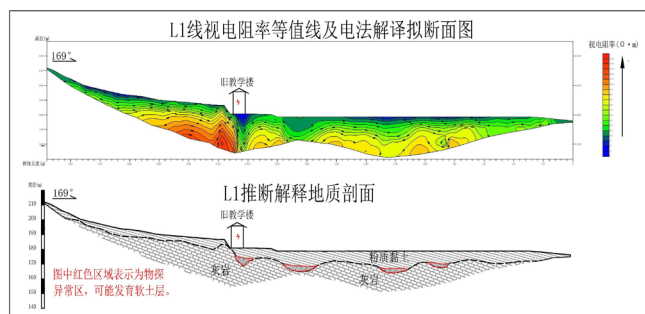


图2 L1线电阻率等值线断面图和解释地质剖面

L2测线：剖面电阻率值在50-1500欧姆米之间变化，电阻率值变化较大。整体上看在测点大号端（图3剖面左端），电阻率整体呈现高阻分布特征，一般大于500欧姆米，且连续性相对较好，说明该段岩体完整性较好；在测点小号端（图3剖面右端），这表现出明显的浅表低阻特征，与该段存在较厚的人工填土情况相符，但在局部位置又呈现相对低阻异常，电阻率横向不连续，通过地质调查与钻探资料解译认为，发育软土层可能性较大，主要位于岩土界面交界处，一般发育深度5-11m（图3）。

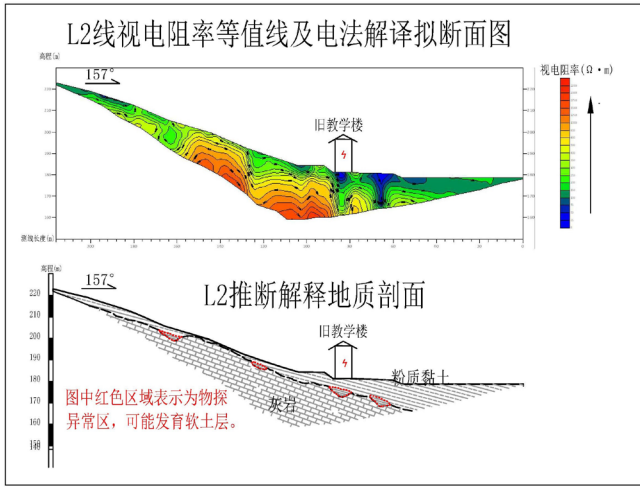


图3 L2线电阻率等值线断面图和解译地质剖面

L3测线：剖面电阻率值在50-2500欧姆米之间变化，电阻率值变化较大。整体上看在测点大号端（图4剖面左端），电阻率整体呈现高阻分布特征，一般大于500欧姆米，且连续性较好，说明岩体完整性较好；在测点小号端（图4剖面右端），这表现出明显的浅表低阻特征，与该段存在较厚的人工填土情况相符，该段内局部位置呈现相对低阻异常，电阻率横向不连续，通过地质调查与钻探资料解译认为，发育软土层可能性较大，主要位于岩土界面交界处，一般发育深度4-12m。

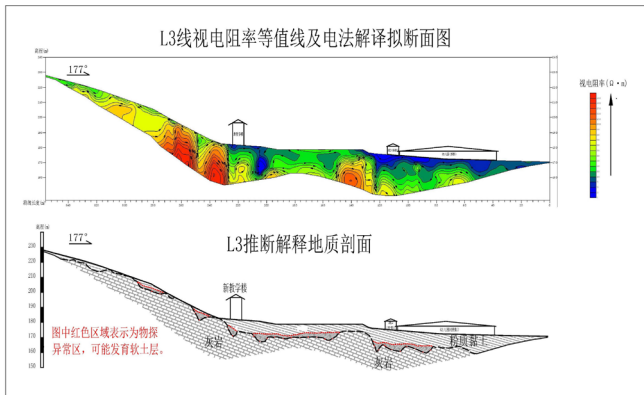


图4 L3线电阻率等值线断面图和解译地质剖面

四、防治成效

在物探报告成果提交后，地勘单位结合物探揭露成果和工程钻探成果，对对中心教学楼附近的物探异常区进行注浆加固处理，治理后，该学校教学楼趋于稳固，未出现加剧变形，学校可正常开展教学，治理效果良好，得到了社会的广泛赞誉。

五、结论

此次七星街镇中心教学楼的高密度电法勘探，较为有效的反映了该区域宏观地质形态，通过物探测线的综合解译和分析认为：

(1) 在测点大号端（勘探点编号较大一侧）电阻率整体呈现高阻分布特征，一般大于500欧姆米，且连续性相对较好，说明该段岩体完整性较好；在测点小号端（小学及幼儿园区域），这表现出明显的浅表低阻特征，与该段存在较厚的人工填土情况相符。

(2) 测线局部位置呈现相对低阻异常，电阻率横向不连续，通过地质调查与钻探资料解译认为，发育软土层可能性较大，主要位于岩土界面交界处，通过钻探成果对比，与实际情况基本相符。

参考文献

[1] 汤磊, 张琦. 等值反磁通瞬变电磁法和探地雷达法在基坑边坡地面变形勘查中的应用[J]. 资源信息与工程, 2020, 35(6): 34-39.

[2] 田银川, 李欣泽, 谢小国, 等. 高密度电法在四川某滑坡勘察中的应用[J]. 勘察科学技术, 2023(4): 57-60, 64.

[3] 沈旺. 高密度电法在岩溶勘察中的应用[J]. 江西建材, 2023(8): 198-199.

[4] 闫永峰. 高密度电法在滑坡体勘查中的应用[J]. 红水河, 2023, 42(5): 116-121.

作者简介：罗建波（1988.10-）男，汉，湖南省新化县，本科，工程师，从事地球物理勘察及地质灾害防治工作。