

# 综合物探方法在公路滑坡调查中的应用

陈文勇

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司 贵州 贵阳 550018

**摘要:** 为了更好地发挥出综合物探法的价值, 本文通过对综合物探法在公路滑坡调查中的应用进行了分析, 重点介绍高密度电法勘测场区内的覆盖层、强风化层厚度及岩体裂隙发育等地质情况, 评估滑坡风险; 介绍了测区地形地貌与物探条件, 对高密度电法勘测在测区中的应用进行了分析, 结果表明, 测区覆盖层和风化层厚度及岩溶发育情况, 覆盖层厚度在0~5m之间, 强风化层厚度在1~8m之间, 测区基岩裂隙较发育, 局部区域存在小型溶洞, 后续需要加强滑坡防治, 才能更好地保障工程建设安全。

**关键词:** 综合物探法; 公路; 滑坡调查

**前言:** 滑坡是山区公路建设中常见的地质灾害之一, 其特点是突发性强、危害性大。准确查明滑坡的范围、类型及潜在风险对于保障公路的安全运营至关重要。所以在公路滑坡调查的过程中, 有必要加强对综合物探方法的应用, 从而可以更好地评估公路地质情况, 并为后续的滑坡治理提供信息支撑, 有效降低公路施工建设、运营过程中发生滑坡风险, 带动公路工程建设实现更好的发展。

## 1 工程概况

贵州双龙航空港经济区XX道路工程, 双向六车道, 路基宽42.0m, 设计速度60km/h。建设大道K2+940~K3+400段挖方边坡全长460m, 轴线最大挖深约23m, 其中K3+221左28.3m~K3+243左32.2m段存在通信铁塔(外墙), 距离拟建道路路基边界仅3.5~7.5m, 当前设计方案为避免侵占该通信铁塔用地范围, 在K3+206~K3+246段左边坡采用垂直放坡, 将形成最大坡高约25m的垂直边坡。其余段落按设计1:1坡率开挖后, 形成左侧最大边坡高约18m(3级); 右侧最大边坡高约43.6m(6级), 上述很容易面临滑坡风险, 所以本次物探工作的主要目的是采用高密度电法, 完成对测区地质情况勘察, 重点关注测区内地质基岩强风化层厚度及岩体裂隙发育等地质情况, 评估滑坡风险, 保障工程建设安全。

## 2 测区地形地貌与物探条件

### 2.1 测区地形地貌

在本项目中, 所在的场区很容易受溶蚀构造作用影响, 地貌类型溶蚀—构造型低中山地貌, 地形起伏较小。区域内海拔在1120~1200m之间, 相对最大高差80m。轴线通过段地面高程为1129.9~1174.5m之间, 相对高差44.6m, 本段路堑位于陡斜坡地带, 地表主要分布旱地、灌木林地。本项目道路边坡位于村庄附近, 有

乡村道路至边坡附近, 交通较方便。项目位于赵家坡断层东南翼、堡庄断层东翼(据贵阳幅1:20万《构造体系图》), 受断层构造影响, 场区地层产状起伏变化较大, 局部存在小型褶曲发育, 但整体呈单斜产出, 综合产状为 $68^{\circ}\angle 20^{\circ}$ 。岩体节理很发育至发育, 节理间距20~350mm, 主要节理产状为 $310^{\circ}\angle 86^{\circ}$ ,  $200^{\circ}\angle 78^{\circ}$ ,  $6^{\circ}\angle 85^{\circ}$ 三组, 多为张节理, 节理间泥质充填, 结构面结合程度一般。

### 2.2 测区物探条件

在本项目中, 场区覆盖层为第四系残坡积层(Qel+dl)红粘土、碎石土, 下伏基岩为三叠系下统大冶组(T1d)薄层状灰岩夹泥质条带及钙质泥岩、偶夹灰岩、泥质灰岩。根据测区野外岩土体电阻率测量结果, 测区主要岩土层的地球物理参数如表1所示。测区范围内, 部分地区基岩出露, 或者距离住房比较近, 增加了电极布置的难度。

表1 测区地球物理特征参数表

岩性	电阻率 $\rho_s$ ( $\Omega \cdot m$ )	备注
碎石、红粘土	20~150	实测
灰岩夹泥质条带	500~2000	实测
钙质泥岩	100~500	实测

## 3 综合物探方法在高速公路滑坡调查中的应用

### 3.1 外业布置要求

根据物探勘察要求, 结合现场地形情况, 本项目开展了如下测线布置: 沿轴线左23m K3+060~K6+394和轴线K2+940~K2+3744布置2个排列纵向测线, 编号分别为: DF1~DF1'、DF2~DF2'; 分别过轴线K2+996、K3+056、K3+116、K3+206和K3+236横向布置5条横测线, 分别命名为DF3~DF3'、DF4~DF4'、DF5~DF5'、DF6~DF6'、DF7~DF7'。

### 3.2 综合物探工作方法

本次物探工作使用的重庆奔腾WGMD-9高密度电法仪,仪器工作性能良好,测量数据可靠<sup>[1]</sup>。在自检时,需要关注以下几个要点:(1)仪器性能检查:检查仪器的各项技术指标是否符合要求,例如测量范围、精度、分辨率等。(2)注意进行全量程校正,包括电位自检和极化率自检,确保仪器测量的准确性。(3)注重做好电极和电缆检查:检查电极的接触情况,确保电极与岩土体的接触良好,避免因接触不良导致的测量误差。(4)注意检查电缆的绝缘性能,确保电缆没有破损,各插头连接处干燥,避免因电缆问题影响测量数据质量。(5)要注意完成仪器系统自检,可以利用仪器自带的模拟器,完成对电位和极化率的自检,确保仪器系统的正常工作。(6)注意检查仪器的内置可充电锂电池,若长期不用,每三个月充电一次,避免电池自放电损坏。(7)在后续测量的过程中,注意实时监控测量数据,检查是否存在异常点,如发现异常点需进行校正。(8)对采集到的数据进行预处理,包括地形校正、去除异常值等,确保数据质量。(9)注意做好工作环境检查:确保仪器工作环境符合要求,避免在潮湿、有腐蚀性气体或温度过低的环境中工作。在下雨时,尽量不要开展工作,特别是地表积水太多时更不要开展工作。通过以上自检方法,可以确保物探高密度电法仪的性能完好,测量数据准确可靠,从而为后续的地质勘探工作提供可靠的数据支持。

在本项目中,开展物探工作前,需要注意保持电极周围环境干净整洁,注意将附近的杂草清除干净,目的是避免接地电阻因素对测量结果造成负面影响。在电缆与电极连接部位,为了防止发生漏电问题,需要采用绝缘胶带进行缠绕包裹,保障测量人员的安全。通过测量发现,覆盖层与基岩之间,视电阻率有所不同,其中表层碎石、红粘土部位与灰岩夹泥质条带、钙质泥岩相比,整体的视电阻率表现比较低。对后者而言,当岩石裂隙发育程度不断增加时,视电阻率变化非常明显,从“较高水平”突降为“较低水平”。上述这种明显的物性差异,为测量覆盖层、强风化层的厚度以及岩溶发育情况等创造了有利的条件。

对高密度电法而言,整体测量原理并不复杂。主要利用了高密度电通过不同性质、类型的地质体产生的电性差异来完成地质情况分析<sup>[2]</sup>。同时与其他常规的勘察方法相比,这种高密度电物探方法同时具备了传统的电剖面法以及电测深法的优势,所以最终可以获得更加全面的详细的勘探信息。比如通过这种物探方法,可以观察地质一定区域内的横向电性变化,同时还可以获得地质一定区域内垂向电性变化信息。所以可以更好地了解实际的地质情况。这种方法可以获得非常多的信息数据,实际的测点密度也非常高,所以有着非常大的应用优势,可以帮助勘探人员获得更多详细的地质勘探信息<sup>[3]</sup>。在本项目中,高密度电法具体测量情况如表2所示。

表2 高密度电法工作情况表

测线号	装置类型	电极数(个)	电极距(m)	观测层数	有效测量点数(个)
DF1~DF1'	温纳	60	5.5	16	312
DF2~DF2'	温纳	80	5.5	16	632
DF3~DF3'	温纳	60	4.0	16	312
DF3~DF3	温纳	60	4.0	16	312
DF3~DF3	温纳	60	4.0	16	312
DF3~DF3	温纳	60	4.0	16	312
DF3~DF3	温纳	60	4.0	16	312

高密度电法温纳装置的有效数据点数计算公式为: $((n-3) + (n-3m)) \times m/2 - m \times (m-1)$ ,其中:n代表电极数,m代表观测层数。

### 3.3 物探结果分析

#### 3.3.1 分析方法

在本项目中,针对采集得到的数据,先使用Surfer软件和二维电阻率反演成像软件的数据处理功能进行预处理,同时输入测线地面高程数据,作地形校正,再据经验在软件中合理设置解释所必需的参数<sup>[4]</sup>。这些准备工作完成后,运行软件进行反演解释,在解释过程中,随时

调整参数,以便使结果真实合理,计算结果用 $\rho_s$ 等值线图 and 电阻率色度图表现,两者结合,综合解释。

#### 3.3.2 数据处理分析及地质解释

在本项目中,通过应用综合物探法进行勘探,获得了大量的数据信息。然后基于相关理论,完成对地质数据的计算。同时结合物探实践经验,发现本次勘探深度在40m左右。最后,在数据处理方面,本次采用了Surfer软件。通过该软件,完成了 $\rho_s$ 等值线图绘制。同时搭配了高密度电阻率数据,完成了结果反演,最后以勘察的地质资料为依据,对本次物探结果解释如下:

(1) DF1~DF1': 经过勘测表明, 基岩局部处于出露状态, 厚度0~5m。强风化层厚度0.5~4m。在基岩表面, 溶沟溶槽发育。K3+242左23m~K3+262左23m段, 深度20~26m段溶洞发育, 内部充填大量大量的黏土。下伏基岩节理裂隙发育。

(2) DF2~DF2': 经过勘测表明, 基岩局部处于出露状态, 厚度0~5m。强风化层厚度2~20m。在基岩表面, 溶沟溶槽发育。下伏基岩节理裂隙发育。在K3+120约70m深度, 表现出低阻异常现象, 基于这一现象, 推测该区域存在裂隙发育情况。

(3) DF3~DF3': 经过勘测表明, 基岩局部处于出露状态, 厚度0~5m。强风化层厚度在1~8m。在基岩表面, 溶沟溶槽发育。下伏基岩节理裂隙发育。在K3+050右部位地下130m处于, 发现了低阻异常现象, 基于这一现象, 推测该区域存在裂隙发育情况。

(4) DF4~DF4': 经过勘测表明, 基岩局部处于出露状态, 厚度0~3m。强风化层厚度0.5~6m。在基岩表面, 溶沟溶槽发育。下伏基岩节理裂隙发育。在K3+056右5m-70m深度部位, 发现了低阻异常现象, 基于这一现象, 推测该区域存在裂隙发育情况。

(5) DF5~DF5': 经过勘测表明, 基岩局部处于出露状态, 厚度0~4m。强风化层厚度0.5~3m。在基岩表面, 溶沟溶槽发育。下伏基岩节理裂隙发育。在灰岩地层, 没有发现明显的岩溶异常。

(6) DF6~DF6': 经过勘测表明, 基岩局部处于出露状态, 厚度0~5m。强风化层厚度0.5~4m。在基岩表面, 溶沟溶槽发育。下伏基岩节理裂隙发育。在K3+206右50m深除, 发现了低阻异常现象, 基于这一现象, 推测该区域存在裂隙发育情况。

(7) DF7~DF7': 经过勘测表明, 基岩局部处于出露状态, 厚度0~5m。强风化层厚度0.5~4m。在基岩表面, 溶沟溶槽发育。下伏基岩节理裂隙发育。在K3+236深约8.5m、11.6m处, 发现了低阻异常现象, 基于这一现象,

推测该区域存在裂隙发育情况。

### 3.3.3 结论与评价

在本项目中, 通过开展物探工作对所在区域进行检查, 同时充分考虑地调及钻孔资料, 基本查清了测区覆盖层和风化层厚度及岩溶发育情况, 覆盖层厚度在0~5m之间, 强风化层厚度在1~8m之间, 测区基岩裂隙较发育, 局部区域存在小型溶洞。本次物探工作开展, 仪器性能良好, 野外测量的数据质量可靠有效, 解释结果符合《公路工程物探规程》(JTG/T C22-2009)要求, 能够为后续施工设计提供良好的指导。本项目在实际施工时, 受部分基岩裂隙发育以及局部小型溶洞的影响, 可能会面临一定的滑坡、滑塌风险<sup>[5]</sup>。

总结: 综上所述, 在公路滑坡调查中, 综合物探法发挥着非常重要的作用价值, 需要提高对该方法的应用重视程度。在实际应用的过程中, 需要结合实际工程项目, 积极探索各种有效的方法措施, 明确物探工作难点, 落实各种物探措施, 加强对物探数据信息的分析, 从而更好地发挥出综合物探在高速公路滑坡调查中的价值, 结合物探信息, 提供合理的建议, 从而更好地保护高速公路边坡的稳定性。

### 参考文献

- [1] 吕旭. 物探方法在岩土工程滑坡勘察中的应用及研究[J]. 西部探矿工程, 2024, 36(11): 55-58.
- [2] 方志江, 龚文剑, 张仰鹏, 等. 基于多种物探方法的公路下伏采空区病害识别与分析[J]. 市政技术, 2024, 42(10): 37-44+51.
- [3] 徐涛, 马小丰, 曹建伟. 综合物探方法对鄂西某高速公路隧道岩溶的探测效果研究[J]. 中国水运, 2024, (09): 146-149.
- [4] 李金翔, 彭宇彤. 高密度电法在贵州某高速公路初勘中的应用[J]. 青海交通科技, 2021, 33(01): 19-21.
- [5] 范子中. 高密度电法和瞬变电磁法在高速公路路基采空区的应用[J]. 西部探矿工程, 2020, 32(05): 153-155.