

# 高密度电法在云南省武定县滑坡勘查中的应用

王艳梅\* 瞿燕林

云南地质工程第二勘察院有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v8i6.2386

**[摘要]** 云南省是滑坡多发省份,每年都有一定量的滑坡事故发生。以云南省武定县万德镇滑坡为例,基于高密度电法探测对斜坡坡体的测定,明确测定出滑坡体内富水区域、土石界面及地下洞室的分布,从而为滑坡稳定性及成因分析提供更为有力的技术支持。

**[关键词]** 滑坡; 高密度电法探测; 富水区域

中图分类号: P642.22 文献标识码: A

Application of high-density electrical method in landslide exploration in Wuding County, Yunnan Province

Yanmei Wang\* Yanlin Qu

Yunnan Geological Engineering Second Investigation Institute Co., Ltd.

**[Abstract]** Yunnan Province is a region prone to frequent landslides, with a certain number of landslide incidents occurring annually. Taking the Wandeland slide in Wandetown, Wuding County, Yunnan Province as an example, this study employs high-density electrical resistivity method to investigate the slope body, clearly identifying the distribution of water-rich zones, soil-rock interfaces, and underground cavities within the landslide. This provides more robust technical support for landslide stability and causation analysis.

**[Key words]** landslide; High-density electrical detection; Water-rich area

## 前言

滑坡是指斜坡岩土体在重力作用或其他外力共同作用下,沿着软弱面或软弱带,整体或者分散地顺坡向下滑动的过程和现象。滑坡灾害是指自然因素或者人为活动引发的滑坡,造成人民生命和财产安全受到威胁的过程和现象。随着人口的快速增长,土地资源的过度开发利用,滑坡地质灾害已成为主要的地质灾害之一。云南省是滑坡多发性省份,每年都有一定量的滑坡灾害发生。滑坡的发生对人民的生活、地区的发展都造成了不容忽视的负面影响。为了有效的防止滑坡的发生,我们需对其产生的条件及影响因素进行充分的勘查。在滑坡地质灾害勘查过程中,勘查方法可以采用钻探、坑探、槽探及物探等多种方法相结合。在物探工作的基础上,结合钻探成果对物探资料进行验证和二次解释,从而提高物探成果的准确性。

## 1 高密度电法

滑坡勘查的主要方法包括:井探、槽探、洞探、电探、地震勘探及钻探。云南省内滑坡地质灾害最主要的勘查方法为钻探、井探及槽探。局部地区会增加采用电探、地震勘探等方法。

高密度电法具有一次布极可以完成纵、横向二维勘探过程,既能反映地下某一深度沿水平方向岩土体的电性变化,同时又

能提供地层岩性纵向的电性变化情况,具备电剖面法和电测深法两种方法的综合探测能力。

在滑坡治理项目勘查中,针对滑坡体岩性杂乱、视电阻率不均匀、差异大,滑床岩土体整体结构破坏较小、视电阻率较均匀,滑床与滑体导电性差异大等情况,可以有效地推断出潜在滑动面。在高密度电法中,填充型(水填充)地下洞室呈低阻特征,无填充的地下洞室呈高阻特征,从而可以明确的显示出地下洞室的存在与否及其类型。因此,高密度电法对于地下洞室探测十分有效。

## 2 工程实例

我院在开展云南省武定县万德镇某滑坡项目勘查治理时,前期采用高密度电法进行勘探工作后,结合后期的钻探、井探、槽探工程,对探测滑坡滑动面的位置、富水区及地下洞室的分布进行了进一步的验证与二次解释。

项目区位于云南省武定县,属大陆性亚热带高原季风气候区,全年降水量800~1000mm,相当于北亚热带湿润-半湿润气候。项目区及周边无河流通过,距离水库约500m。该工作区域藏匿于峡谷之中,其地形以高山峡谷为标志。项目区域的地形大致可分为平台、斜坡再至平台,呈现出东西方向的高低差异格局。其中,中学的校园平台区是最高点,该地海拔达到1835米。而中心

小学外围的平台则是最低点,海拔为1806.9米,这两点的高度相差约28米。未开挖前,初始地形坡度为 $25^{\circ}$ 至 $30^{\circ}$ 。随着开挖修路、建房等人类活动的开展,整体地势呈阶梯状,且地形逐渐变陡,坡度约 $20^{\circ}$ 至 $40^{\circ}$ 。该滑坡的左侧地带以斜坡为主,地势相对陡峭,该区域的坡度介于 $36^{\circ}$ 至 $40^{\circ}$ 。坡面可见数量较多的孤石,尺寸为1-3米,体积约 $10-15\text{m}^3$ 。滑坡中部区域已开垦为旱地,呈多级台阶状,每级高0.8至4.5米。滑坡区的右侧为斜坡,地形相对较为平缓,坡度介于 $20^{\circ}$ 至 $25^{\circ}$ 之间,经人工开垦旱地,整体呈多级台阶状,每级高0.5至2.0米。区内植被发育一般,主要以杂草、桉树、耕地为主。项目区内无有效的排水系统,校园局部区域(工具房区域)雨水排放至滑坡区内,滑坡体变形部位主要分布于滑坡后部中学校园内部和挡墙。

项目区域的地层主要由第四纪全新统的人工填土层( $Q_4^{pl}$ )和崩坡积层( $Q_4^{col+dl}$ )构成,下覆基岩主要由三叠系上统的舍资组( $T_3s$ )构成。

①第四纪全新统人工堆积层填土( $Q_4^{pl}$ ):该层主要为粉质粘土,夹少量碎石,呈现棕黄色、棕褐色,稍密,局部呈松散状,厚度为0.5米至3.00米,该层主要为建校、修建围墙的弃土弃渣,堆积区域位于校园内部及围墙外侧。

②第四纪全新统崩坡积层( $Q_4^{col+dl}$ ):该层主要分布于项目区顶部,由碎石、块石和粉质粘土组成,主要为棕黄色、红褐色,可-硬塑状。块石约5至12厘米,区域内局部分布孤石,主要为中等风化的石英砂岩,层厚10.0至18.00米。借助野外物探测试所收集的数据,该地层的电阻率数值波动幅度较大,地表湿度状况对其影响显著增强。石块、碎石层及分布的孤石均显现出较高的电阻性质。

③三叠系上统舍资组( $T_3s$ )强风化泥岩:该层为暗红色、蓝绿色,岩心多为短柱、碎块状,柱长5-10cm,节理较为发育,岩心完整程度差,属极软岩,岩体基本质量等级为V级。

④三叠系上统舍资组砂岩( $T_3s$ ):该层与泥岩呈互层状,主要为浅灰色、兰绿色,上部为强风化,岩心多为短柱、碎块状,柱长5-11cm,下部中风化呈柱状,长15-30cm,节理发育一般,岩体较为完整,较坚硬,岩体基本质量等级为VI级,RQD值为15%至40%之间。

旨在查清滑坡区域内地层分界、潜在滑动面的埋藏深度及地下洞穴的有无,以及可能对滑坡稳定性产生影响的含水源地等关键要素,特在滑坡区布设了三条工程物探剖面。

WT01—WT01'长度为176米,呈折线状,走向 $152-188^{\circ}$ ,分布于项目区中部位置。WT02—WT02'剖面,长度为118米,位于项目区后部,整体走向为 $164^{\circ}$ 。WT03至WT03',位于项目区右侧,全长约49米,其走向近 $90^{\circ}$ 。

在本次高密度电法实地数据采集阶段,我们选用了重庆奔腾仪器厂生产的WDA-1型超级数字直流电法仪。该设备采用温纳装置作为其设计核心,运用60路电极进行直接检测实验,电极之间距离约为1至2米。测量前,对系统接地电阻实施了检测,测量

期间确保了供电电流与电压的稳定。

以2D-RES二维高密度电法反演软件为基础构建模型,对测得的电阻率二维剖面数据执行反演分析,建立电阻率分布模型。随后,对模型正向演算输出与实测断面图像进行细致对照分析,持续对模型结构进行精确调整,并对比正演曲线与实测曲线,唯有当模型生成的断面曲线与实际测量的断面曲线在精度上满足既定标准时,才进行下一步操作。最终,积极搜集与实际状况一致的电阻率测量数值。接着,对同一测深层的剖面数据实施系统化整合,绘制视电阻率深度等值线图样。

考虑设计控制深度位于高密度电法观测装置的极限勘探深度,利用既有软件进行反演处理其边缘数据损失较多,不利于深部信息的拾取和增加探查深度,故也采用传统电性参数剖面的生成方法,绘制视电阻率( $\rho_s$ )等值线剖面作为解释的重要依据。

由于岩土体的电性特征与岩性、矿物成分及湿度密切相关,且高密度电法在测量中受测区地形变化影响较大。故在测量中因地形、地下水位及各向异性的变化,导致不同剖面的电性特征变化较大,解释中必须紧密结合地形、地质及水文地质条件进行综合分析,从变异性中寻找同一性,才能得到较为客观的物探解释结果。

对上述初步物探成果进行现场地质勘查和异常核对,并结合已知的地质资料进行综合推断,形成最后的综合解释成果。经野外高密度电法工作得出以下结果:

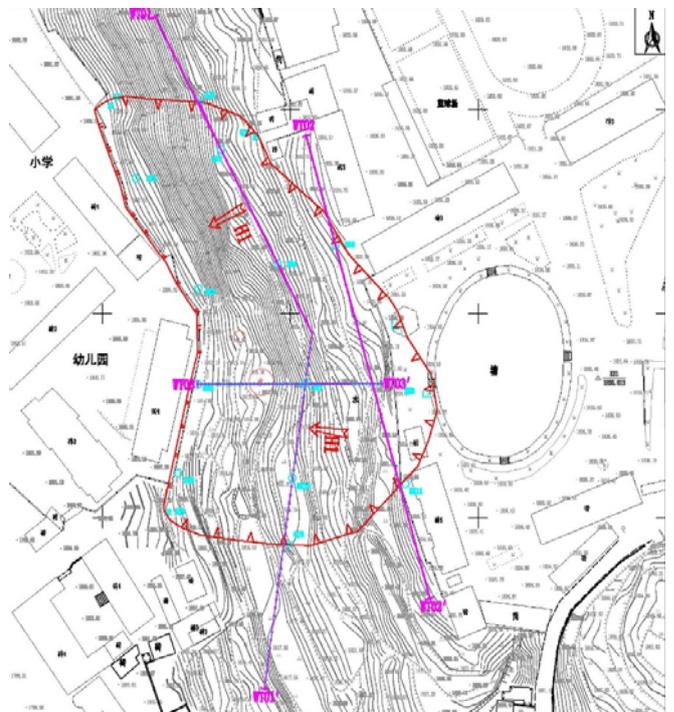


图1 项目区物探剖面布置图

WT01—WT01'剖面:①覆盖层:该剖面测得上部覆盖层厚度为11.5米至17.9米,截面测量的范围从0米至100米,该层碎

石、块石较多,部分区域分布孤石,呈现高电阻的特性。②基岩:下覆基岩起始深度为11.5米至17.9米,该层未揭穿。对于地下水位以下的基岩层,当岩体较为破碎,裂隙较发育时,裂隙内有水充填,整体呈低电阻特性。岩体完整时,裂隙一般发育,整体呈高电阻特性。③潜在滑面:通过相关数据及野外勘察资料,分析得出潜在滑面位于4.0~6.0米之间④地下洞穴:据分析,非填充或填充型地下洞室的出现概率较低。⑤富水区:主要位于剖面112至120米(ZK10周边)之间,距地面4.5至10.0米深度范围内,该富含水分的区域对边坡的稳定性产生了显著影响。

WT02—WT02'剖面:①覆盖层:该剖面测得上部覆盖层厚度为5.5米至11.8米该层碎石、块石较多,部分区域分布孤石,呈现高电阻的特性。②基岩:下覆基岩起始深度为5.5米至11.8米,该层未揭穿。对于地下水位以下的基岩层,当岩体较为破碎,裂隙较发育时,裂隙内有水充填,整体呈低电阻特性。③潜在滑面:通过相关数据及野外勘察资料,推测潜在滑面位于3.0~4.0m。④地下洞室:推测不存在无填充/填充型地下洞室。⑤在富水区:位于剖面92~103m,深度3.5~8.3m处(ZK11附近),该富含水分的区域对边坡稳定性影响较大。

WT03—WT03'剖面:①覆盖层:该剖面测得上部覆盖层厚度为4.0米至9.0米该层碎石、块石较多,部分区域分布孤石,呈现高电阻的特性。②基岩:未揭露基岩。③潜在滑面:通过相关数据及野外勘察资料,推测潜在滑面位于5.0~6.0m。④地下洞室:推测不存在无填充/填充型地下洞室。⑤富水区:位于剖面21~29m,深度3.0~7.5m处(ZK7附近),该富含水分的区域对边坡稳定性影响较大。

依据物探资料显示,项目区的富水区域主要分布于ZK7、ZK10及ZK11钻孔位置附近,依据勘察平面图可以看出,该区域主要位于校园内的池塘下部,且结合现场对校园内部池塘底部渗漏情况的调查,可以明确得出该富水区域的水源主要来源于校园内部的池塘渗漏。由于地表水、地下水对滑坡的稳定性影响较大,故在后期滑坡治理工程中对池塘的渗漏问题应给与必要的重视。

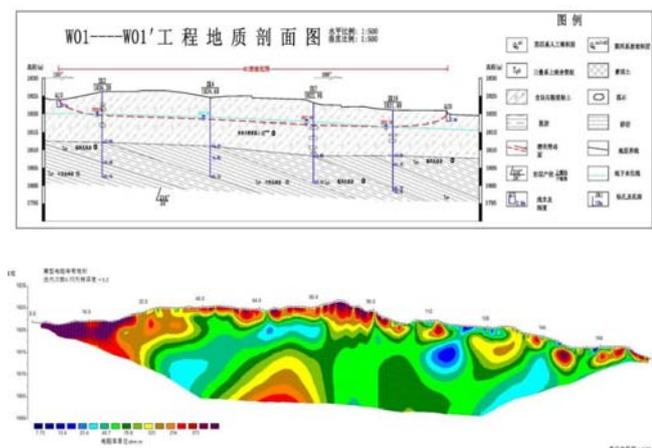


图2WT01—WT01'物探综合剖面图

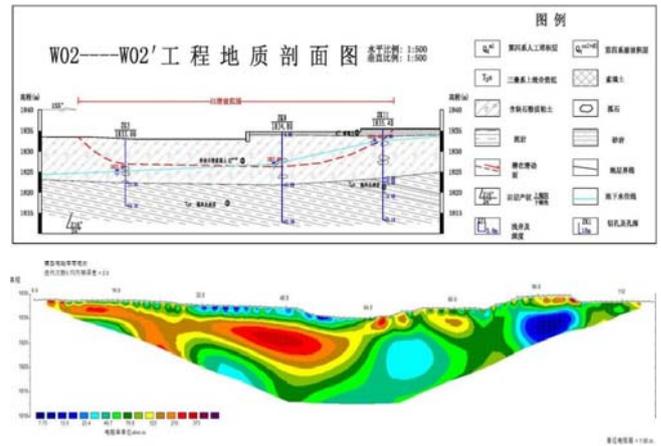


图3WT02—WT02'物探综合剖面图

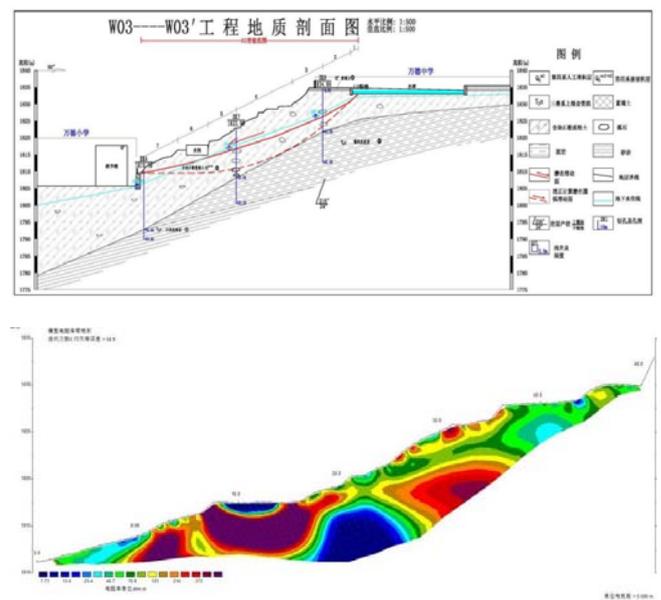


图4WT03—WT03'物探综合剖面图

### 3 结论

依据野外物探工作结果,结合现场勘探作业对比,高密度电法对于崩坡积层低电阻特征、崩坡积层中孤石高电阻特征及项目区基岩高电阻区的界线测定效果较为准确,对后期治理工程设计及施工中的开挖基槽等问题给予了有力的帮助。同时,高密度电法确定出斜坡体内的富水区域,明确了后部池塘渗水通道,对项目区中滑坡稳定性的评价起到了关键性的作用。本项目滑坡的发生主要原因之一是由于滑坡区后部池塘的持续渗水已在斜坡坡体内形成运移通道,使得斜坡坡体含水量增加,抗剪强度降低,下滑力增大,从而对斜坡的稳定性形成不利因素。结合物探测试结果,本次滑坡治理方案针对滑坡后部池塘进行防渗处理,从根本上解决了滑坡区范围内土体受池塘渗水软化的问题,从而使得滑坡防治治理效果较好。

### 【参考文献】

[1]张光保.褚家营巨型滑坡的高密度电法勘察及效果分析[J].地球物理学进展,2012,(12):2716-2721.

[2]徐盈娇,刘波.高密度电法和面波法在滑坡体勘查中的应用[J].山西建筑,2011,(1):81-82.

[3]张勇,蓝红珠.高密度电法在滑坡勘察中的应用[J].科技广场,2010,(9):178-180.

[4]刘栋,张帆宇,陈立等.高密度电法在黄土滑坡结构探测

与三维建模中的应用[J].地球物理学进展,2021,(10):1-9.

#### 作者简介:

王艳梅(1985--),女,汉族,内蒙古锡林郭勒盟人,硕士研究生,高级工程师,主要从事水文地质与工程地质方面的研究。