

滑坡勘查中的高密度电阻率法异常特征^{*}

肖宏跃¹, 雷 宛¹, 孙希蓐²

(1. 成都理工大学 信息工程学院, 四川 成都 610059;

2. 电子科技大学 通信与信息工程学院, 四川 成都 610054)

摘 要: 以某滑坡区为例, 使用高密度电阻率法对滑坡区的异常特征进行了研究, 并对获取的视电阻率断面进行了地形校正。结果表明, 对于沉积岩地区滑坡, 滑坡体与滑床间存在明显的电性差异, 根据经过地形改正的滑坡区视电阻率异常特征和断面, 更清晰和直观显示了滑坡体的纵向向展布、主滑动面的位置与埋深, 进而可圈定滑坡体的规模, 从而为滑坡治理提供可靠的地球物理依据。

关键词: 滑坡; 视电阻率异常; 地形校正; 沉积岩

中图分类号: P642.22; P631.3⁺22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)03-0027-05

0 前言

地壳运动地区和人类工程活动频繁的地区是滑坡多发区, 外界因素和作用, 可以使产生滑坡的基本条件发生变化, 从而诱发滑坡。主要的诱发因素有: 地震、降雨和融雪、地表水的冲刷、浸泡、河流等地表水体对斜坡坡脚的不断冲刷; 不合理的人类工程活动, 如开挖坡脚、坡体上部堆载、爆破、水库蓄(泄)水、矿山开采等, 还有如海啸、风暴潮、冻融等作用都可诱发滑坡。

滑坡体大多位于地形地貌起伏较大的山体较陡的山坡地带, 一般江、河、湖(水库)、海、沟的斜坡, 前缘开阔的山坡、铁路、公路和工程建筑物的边坡等都是易发生滑坡的地貌部位。10° < 坡度 < 40°, 整个坡为上下陡中间缓、上部成环状的坡形是产生滑坡的地形。如某地区产生滑坡(图1), 是位于公路的边坡, 平均坡度在30°左右。滑坡已切断了两条公路。该滑坡前后缘高差较大且塌滑体的面积相对不大, 对其进行勘探, 工作场地相对不开阔。针对这类工程地质问题勘探, 仅仅靠钻探的方法是不够的, 钻探设备笨重, 搬运困难, 加之勘探费用较高, 致使钻孔数量有限, 所取得的地质资料信息也相对较少, 整个滑坡区用几个钻孔查明滑坡体的规模, 纵、横向发育及

展布的情况, 滑坡体的空间形态特征、滑动面的埋深等问题是很困难的。所以要借助于工程物探的方法, 以其快速、高效、无损的特点, 弥补钻探的不足, 从而达到事半功倍的效果。



图1 某区滑坡发生时的照片

高密度电阻率法是工程地球物理勘探主要方法, 其作为轻便、快捷、经济有效的工程地质勘探与地下工程质量检测手段已被国内外工程界所共识。另一方面计算机数据处理与成像技术, 又把大量烦琐的数据计算、成像处理变得快速准确, 大大提高了探测效率和成功率, 因此该探测方法与其它物探方法相比具有更强的优越性, 目前在金属与非金属矿产、地质、构造、水文地质、工程地质灾害、考古、岩溶洞穴景观资源调查等领域得到了广泛的推广应用, 解决了诸多实际问题, 产生了很大的社会效益及经济效益^[1-3]。

* 收稿日期: 2007-09-27

基金项目: 国家科技攻关计划(2005BA901A03)

作者简介: 肖宏跃(1958-), 女, 四川成都人, 副教授, 研究方向为应用地球物理及工程与环境物探. E-mail: xiaohy@cdut.edu.cn

1 滑坡体地形、地质及地球物理特征

工区地处青藏高原东南缘向四川盆地过渡之高中山峡谷区。区内总体地势西北高东南低,山岭高程一般 2 500 ~ 3 500 m,河流水系发育,沟谷深切,谷岭高差 1 000 ~ 1 500 m,强烈的内外动力地质作用塑造了本区典型的侵蚀,构造地貌形态特征。区内地层,除石炭系、白垩系和第三系缺失外,其余各系均有不同程度出露,第四系松散堆积物主要分布于河谷及两岸低洼地带。

工区两岸山体雄厚,前段河谷较狭窄,其余段河谷较开阔,出露地层以三叠系砂岩夹炭质页岩、侏罗系砂页岩和志留系细晶白云岩夹薄层砂质灰岩,地层总体缓倾右岸偏上游,倾角一般 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$,第四系堆积物主要分布于左岸三交坪和右岸坡脚及河床。工作段河谷狭窄呈“V”字形,两岸地形上缓下陡,坝址谷地宽 30 ~ 50 m,枯期河水面宽 17 ~ 24 m。

本次高密度电阻率法探测的对象为滑坡体,该滑坡位于河左岸,测区内耕地较多,部分地段坡度较陡,覆盖层多为粉质粘土及碎石块土崩坡积堆积体,基岩为白云质灰岩。由电阻率露头法测定:该区覆盖层多为第四系堆积的崩坡积堆积体,电阻率为 $20 \sim 250 \Omega \cdot m$;基岩为灰岩电阻率呈高阻反映,其电阻率为 $500 \sim 1\,000 \Omega \cdot m$ 。滑坡体(第四系覆盖层)与未滑动部分(即基岩为滑坡床、滑坡体两侧及后缘不动体)的地层在电阻率值上存在明显的差异,一般相差 $500 \Omega \cdot m \sim 1\,000 \Omega \cdot m$,说明在该区开展高密度电阻率法具备了地球物理前提。

2 高密度电阻率法的数据采集

高密度电阻率法以岩、矿石之间电阻率差异为基础,通过观测和研究与这些差异有关的电场在空间上的分布特点和变化规律,查明地下地质构造和寻找地下电性不均匀体(岩溶、风化层、滑坡体等)。高密度电法相对于传统电阻率法采集数据量大,数据观测精度高,在电性不均匀体的探测中具有良好的地质效果。

高密度电阻率法的探测深度随着供电电极距的增大而增大,当隔离系数 n 逐次增大时电极距也逐次增大,对地下深部介质的反映能力亦逐步增加。由于测线的测点总数是固定的,因此,当极距扩大时,反映不同勘探深度的测点数将依次减

少。通常把高密度电阻率法的测量结果记录在观测电极的中点、深度为 na 的点位上,整条剖面的测量结果就表示成为一种倒梯形的电性分布剖面。

当电极排列间距为 Δx 时,测量电极距 $a = n \times \Delta x$,依次取 $n = 1, 2, \dots$,每个极距依固定的装置形式逐点由左至右移动来完成该极距的数据采集。对某一极距而言,其结果相当于电阻率剖面法,而对同一记录点处不同极距的观测又相当于一个电测深点。因此,高密度电阻率法实际上是电阻率剖面法和电阻率测深法的组合。

在工区沿坡面布置测线,按一定的间距打上电极(图2),用智能电缆连接,用接收仪完成数据的采集。

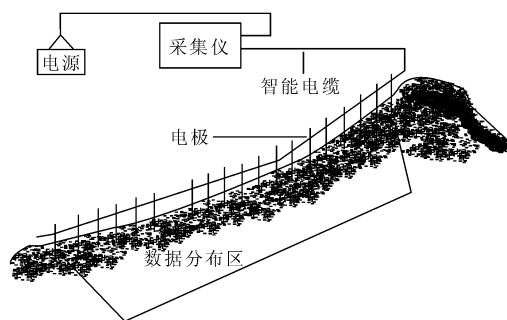


图2 高密度电阻率法数据采集图

高密度电阻率法工作中有多种电极排列方式,如温纳四极排列、偶极排列、联合三极排列、微分排列等装置。在本次工作中,根据现场实验,采用温纳四极排列(α 装置)。其参数为:

$$AM = MN = NB, AN = BM = 2a, \rho_s^\alpha = 2\pi\alpha \frac{\Delta U^\alpha}{I}。$$

3 高密度电阻率法的资料处理

高密度电阻率法的数据处理是把所测得的视电阻率,经数据格式转换、数据预处理、地形校正、正演和反演计算,最后得到视电阻成像色谱图并对其进行地质解释。

把格式转换好的视电阻率,经数据预处理消除坏点,保留数据较一致的数据点。并根据现场实验和与其它资料对比分析,选择正演、反演计算参数。把经预处理后的数据经地形校正,绘成原始测试数据的视电阻率成像色谱图。

反演计算是由所测得的高密度电阻率法原始数据色谱图,反演计算该剖面下的地电断面,确定地下岩石的真电阻率分布。反演采用最佳拟合法,给定一个初始地电断面,在初始断面上计算视电阻率的理论曲线,将理论曲线与实测曲线作

对比(拟合), 通过修改参数获得最佳拟合效果, 即高密度电法反演成像色谱图。

用反演得到地电断面图, 采用最小二乘法进行正演计算, 从而得到高密度电阻率法正演成像色谱图。当正演结果色谱图与原始数据色谱图结果一致性较高时, 说明反演地质剖面结果正确。资料处理流程如图 3 所示^[4-6]。

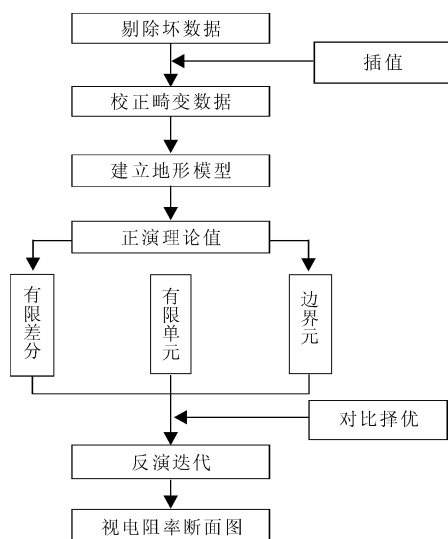


图3 高密度电阻率法数据处理流程图

4 滑坡勘查效果

本次工作采用高密度电阻法对滑坡体进行勘探,

其目的是查明该滑坡体的规模, 纵、横向发育及展布的情况, 滑坡体的空间形态特征、滑动面的埋深等问题。

该地区属于沉积岩地区, 由 Z 剖面地形改正前高密度电阻率反演断面图(图 4)所见地电断面图上电阻率分层明显, 在剖面约 40 ~ 80 m 处对应高程约 1 615 ~ 1 585 m、剖面 295 ~ 380 m 处对应高程约 1 530 ~ 1 505 m 处及剖面约 400 m 以后对应高程约 1 490 m, 这三处均为基岩出露地段, 电阻率值约为 500 ~ 1 000 $\Omega \cdot m$, 厚度 3 ~ 70 m 不等。在剖面约 80 ~ 295 m, 对应高程约 1 585 ~ 1 530 m 处, 出现一两端薄中间厚低阻覆盖层渐变带, 厚度为 0 ~ 36 m 之间, 其中剖面 100 m 处覆盖层最厚约 36 m, 在剖面 150 m 处厚度约 22 m, 在剖面 240 m 处厚度约为 10 m, 在 295 m 处该层已尖灭, 电阻率值为 20 ~ 200 $\Omega \cdot m$ 。该渐变带为滑坡体构成部分。在剖面 100 ~ 295 m, 埋深 20 ~ 70 m, 对应高程 1 545 ~ 1 510 m 为高阻基岩的顶界面, 厚度 30 ~ 70 m, 由浅至深电阻率逐渐变高 500 ~ 1 000 $\Omega \cdot m$, 基岩面基本为推测滑坡的主滑面即滑坡床, 见图 4 中 K 地层基本为推测滑坡主滑面。滑面形态与地面起伏形态基本一致, 在剖面 40 ~ 100 m 地段滑面较陡, 在剖面 100 ~ 240 m 地段滑面平直, 在剖面 240 ~ 400 m 地段滑面较缓, 平均坡度 30°左右。

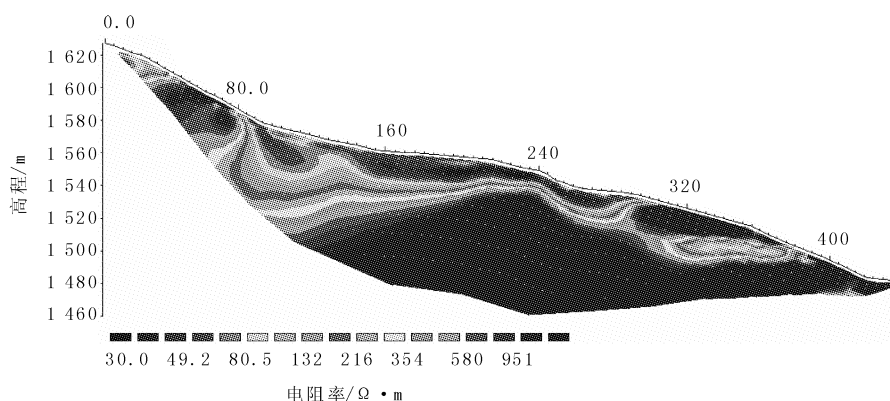


图4 Z剖面地形改正前高密度电阻率反演断面图

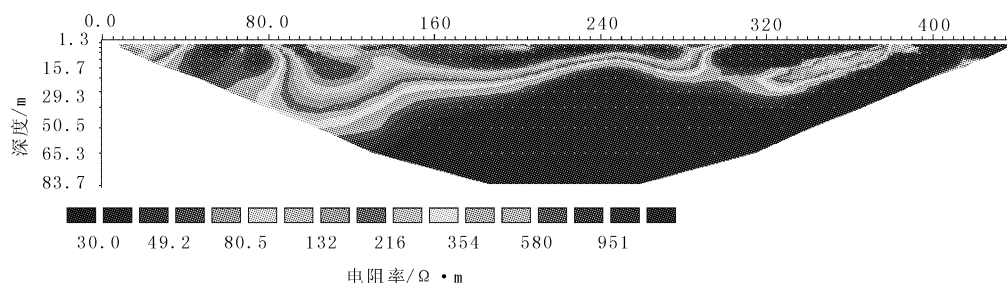


图5 Z剖面地形改正后高密度电阻率反演断面图

在大多数勘探运用中,由于都在较平地形上进行,故可以不考虑地形影响,然而在地形影响较大时,它导致视电阻率曲线严重畸变,有时淹没地质体的信息,有时歪曲有用信息,有时呈现假信息,使人们不能做出正确的推断解释,降低了电阻率法的解释精度,甚至导致错误的解释。因此研究地形影响及其改正方法,是提高山区高密度电法勘探地质效果的一个关键。图4是未经过地形校正高密度电法剖面断面图,它与真实的山坡地形是有很大的差异的,用该断面图提供高密度电法解释资料或指导布置钻孔会出现很大的偏差,所以本次采用边界元法进行高密度电阻率二维地形改正。

根据所采用的高密度电阻率法的装置类型,利用边界元法逐点计算出某记录点处的纯地形异常的视电阻率值 ρ_s^D ,然后用比较法进行地形改正。地形改正公式为 $\rho_s^G = \rho_s(\rho_s^D/\rho_1)$,式中 ρ_s^G 为地形改正后的视电阻率; ρ_s 为记录点实测的视电阻率值; ρ_1 为纯地形地下介质的电阻率。

经地形改正得到的高密度电阻率反演断面图(见图5),由图5可见:地电断面图上电阻率分层仍较明显,地形改正前后其基本形态不变,地层厚度略有变化,在剖面80~295 m,埋深为0~29 m处出现一低阻渐变带,电阻率值为20~200 $\Omega \cdot m$,为滑坡体构成部分。其组成物质多为松散崩坡积堆积体,该层厚度为3~29 m,其浅表层土体结构松散而富含地下水,所以电阻率值较低。在剖面为40~80 m、295~380 m及400 m以后,埋深为0~70 m处呈现高阻晕团,电阻率值为500~1 000 $\Omega \cdot m$,为基岩在地表的出露地段。基岩为灰岩电阻率呈高阻反映,电阻率值为500~1 000 $\Omega \cdot m$ 。在剖面为100~295 m,埋深为15~50 m,为高阻基岩的顶界面,厚度为30~65 m,由浅至深电阻率逐渐变高为500~1 000 $\Omega \cdot m$,基岩面基本为推测滑坡的主滑面即滑坡床,见图5中K地层基本为推测滑坡主滑面。以上的推断经钻孔验证精度达90%以上。

剖面80~295 m处为滑坡体,推测的滑坡体的长度为215 m,其厚度为6~36 m,平均厚度为25 m,滑坡面的宽约5 m,可以大致推算滑坡体规模即可滑动土方量约为26 875 m^3 。

综合其它沉积岩地区滑坡勘查,发现沉积岩地区的滑坡大多与软弱夹层有关,滑动面基本由软弱夹层演变而来。该类滑坡在电阻率呈成层性较好的分界面处形成滑坡面^[7-9]。

5 结论

使用高密度电阻率法查明滑坡体的规模,纵、横向发育及展布的情况,滑坡体的空间形态特征、滑动面的埋深等问题具有很好的效果,具有较广泛的实用性和准确性,从而产生较大的经济效益和社会效益。在实际工作中应注意以下情况:

(1) 在采用高密度电阻率法的异常特征勘查沉积岩地区滑坡中,由于覆盖层与基岩之间存在明显的电性差异,覆盖层多呈低阻闭合圈,而下伏基岩则为高阻反映,且连续性较好,所以能准确地推断出滑坡的主滑面。

(2) 高密度电阻率法是滑坡勘查较有效的物探方法之一,通过地电断面图的异常特征能较形象地反映异常体的形态、规模、产状及较准确推断出滑动面的埋深。甚至由高密度电阻率法资料可以大至推算出滑坡体产生滑坡的土方量。

(3) 高密度电阻率法剖面在地形起伏比较大时,地形引起的异常会使所探测目标的视电阻率异常形态与位置发生畸变和位移,因此必须对高密度电阻率法观测资料进行地形改正,从实例中可以看到,经过地形改正后高密度电阻率剖面图效果非常好。

(4) 为了更准确的对滑坡进行探测,得到更准确的物探数据,建议采用多种工程物探方法。在实际工作中应结合当地的地球物理条件,具体情况具体分析,先做实验,选取最适合工区地球物理条件的物探方法及装置,从而取得最佳的工程物探效果。

参考文献:

- [1] 肖宏跃,雷行健,雷宛. 高密度电阻率法延时性勘探在地质灾害监控预警中的应用[J]. 灾害学, 2008, 23(2): 38-41.
- [2] 黄小年,肖宏跃,雷宛,等. 高密度电阻率法在排石场稳定性评价中的应用[J]. 灾害学, 2007, 22(2): 77-81.
- [3] 张胜,韩许恒,李秉强,等. 高密度电在采空区勘测中的应用[J]. 灾害学, 2005, 20(4): 64-66.
- [4] 肖宏跃,雷行健,雷宛. 环境物探技术在岩溶勘察中的应用及其效果[J]. 灾害学, 2007, 22(3): 58-62.
- [5] 雷宛,肖宏跃,邓一谦. 工程与环境物探[M]. 北京:地质出版社, 2006.
- [6] 郭建强. 地质灾害勘查地球物理技术手册[M]. 北京:地质出版社, 2003.
- [7] 廖全涛,王建军,李成香,等. 高密度电法在滑坡调查中的应用[J]. 资源环境与工程, 2006, 20(4): 430-431, 435.

- [8] 谢尚平, 熊章强, 易清平, 等. 浅层地震和高密度电法在滑坡体勘察中的应用[J]. 东华理工学院学报, 2004, 27(4): 361 – 364.
- [9] 姜卫方, 万明浩, 赵永辉, 等. 地质雷达在滑坡面调查中的应用及效果分析[J]. 物探与化探, 2000, 24(3): 230 – 232, 240.

The Anomaly Characteristics of High-density Resistivity Method Used in Landslide Investigation

Xiao Hongyue¹, Sun Xiru² and Lei Wan¹

(1. *College of Information Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;*

2. *School of Communication and Information Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China*)

Abstract: Taking a landslide as an example, the anomaly characteristics of landslide area are studied by the use of high-density resistivity method and the terrain correction for apparent resistivity section is made. The results show that, for landslides in sedimentary areas, there exist obvious electric difference between landslide mass and slide bed. The characteristics of apparent resistivity anomaly and section with topographic correction in the landslide area clearly and intuitively show the vertical and lateral distribution of landslides and the position and depth of main sliding plane. So, the size of landslide mass can be delineated as the reliable geophysical basis for landslide control.

Key words: landslides; apparent resistivity anomaly; terrain correction; sedimentary