

高密度电阻率法在四川高川茶园沟滑坡勘察中的应用

程庆^{1,2}, 度先国^{1,2}, 葛宝^{1,2}, 李怀良^{1,2}, 王诗东^{1,2}

(1. 成都理工大学核技术与自动化工程学院, 四川 成都 610059; 2. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 将高密度电阻率法用于四川省高川乡茶园沟滑坡地质勘察中, 结合钻孔资料确定了滑坡体主滑动面的位置、基岩的埋深及含水程度, 为滑坡治理提供可靠的地球物理依据。

关键词: 高密度电阻率法; 滑坡勘察; 滑坡体; 滑动面

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2012)01-0069-04

高川乡茶园沟地处龙门山断裂带上, 是“5.12”大地震的强烈活动地区之一, 是次生地质灾害的高发区, 地震后在茶园沟产生了大量的滑坡、崩塌等次生地质灾害。茶园沟地区雨季雨量充沛, 当暴雨来临雨水不断的渗入滑坡体, 滑坡面不能提供足够的摩擦阻力阻止滑坡体下滑时, 很容易形成危害性更大的泥石流, 对茶园沟某重要设施所在地的安全造成极大威胁。因此需要查明茶园沟地区滑坡体的重要信息, 并对其危险性进行评估。

高密度电法在数据采集过程中结合了电阻率剖面和电阻率测深的两种方法观测系统, 采集数据量大, 观测精度高, 对电性不均匀体有良好的探测效果。通过该方法, 能够获得滑坡体的纵、横向发育及展布情况, 查明滑坡体空间形态特征、滑动面埋深及含水程度等, 有助于研究滑坡的发生规律, 合理地制定治理滑坡的方案^[1]。

1 地质、地球物理概况

勘察区位于绵阳安县境内S区, 大地地貌属龙门山系, 地势较高, 区内重峦叠嶂, 山脉走向北东—南西, 山峰林立, 沟谷纵横, 海拔最低500 m, 主要分布在1 200~2 000 m之间。根据水文地质调查, 滑坡区地下水类型主要为岩溶裂隙水、基岩裂隙水和山区松散层孔隙水; 山区松散层孔隙水主要赋存于结构松散的滑坡体堆积层中, 含水层岩性为残积和崩积的粉质黏土夹碎块石层, 在基岩与覆盖层的接触带附近透水性相对较好^[2], 地下水动态变化极其明显。

研究滑坡体就处在此区域范围内, 地形呈北西

高南东低, 为一起伏较大的阶梯状斜坡地貌, 坡体自然坡度在30°~40°; 在北西侧高山上局部较陡, 坡度较大。区内地面高程1 250~1 480 m, 相对高差230 m, 滑坡前缘宽达260 m, 纵向长140 m。滑坡体所在的斜坡, 不但坡面陡峭, 而且结构尤为复杂, 类型属顺层滑坡, 岩石成分兼有细晶灰岩、白云质灰岩及薄、中厚层状的炭硅岩, 板岩夹煤线, 同时在滑坡后缘以上地段还出露一层十余米的红色泥质板岩, 层面滑感明显, 遇水趋于软化。

据现场地质调查, 待查滑坡体主要以亚砂土、亚黏土、含灰岩与板岩成分的碎石土、块石、大块石为主。亚砂土、亚黏土的电阻率一般为100~200 Ω·m; 块石、碎石土电阻率一般为100~600 Ω·m; 大块石、块石及碎石电阻率一般为200~1 300 Ω·m; 块石、碎石土层分布不均匀, 有的以块石为主, 电阻率一般为500~1 000 Ω·m, 大者可达几千欧姆·米; 有的以碎石土为主, 电阻率一般为50~300 Ω·m^[5]。滑坡体一般来说比较松散, 地表水容易下渗, 导致电阻率降低, 特别是在滑坡体部位; 滑坡体与未滑动部分(即滑坡床、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, 一般相差几十至几百欧姆米, 这为开展高密度电阻率法勘探提供了良好的地球物理条件。

2 野外数据采集

为查明滑坡体的厚度、结构、空间展布以及下伏基岩埋深情况, 野外布设测线3条, 即沿滑坡体走向(SW—NE)布置2条基本平行、每条长约150 m的纵测线, 延伸至山脚, 同时垂直纵测线方向(NW—

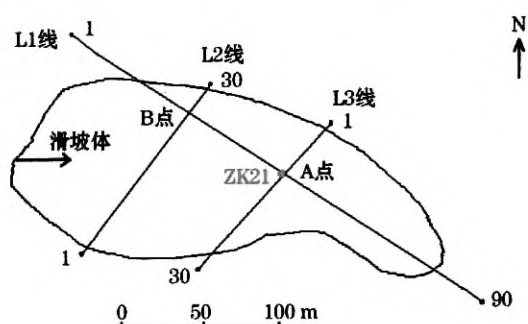


图1 测线布置示意

SE) 布置 1 条长约 450 m 的测线横跨整个滑坡体 (图 1)。

野外数据采集工作采用重庆地质仪器厂生产的 DUK-2A 60 道高密度电阻率法测量系统。考虑到滑坡体地表条件复杂, 相对于偶极装置、微分装置, 温纳装置的抗干扰能力更强^[6-7], 故野外数据采集采用 α 排列 (温纳装置)。因受地形因素的限制, 横断面测线布置 90 根电极, 改变测线时每次只移 30 根电极, 重复一半的电极以便整条测线剖面图拼接, 电极距 5 m, 记录层数为 10 层; 纵断面各测线分别布置 30 根电极, 电极距 5 m, 记录层数为 9 层。

3 成果资料解释

野外工作结束后, 采用吉林大学研制的 Geogiga RTomo 高密度电阻率数据处理系统进行数据处理。经过数据格式转换、剔除坏点、地形校正、反演等过程最后得到视电阻率成像色谱图。测区覆盖层主要

成分为碎石、大块石, 磨圆度差, 之间存在一定间隙, 不利于电流的传导, 图中一般表现为视电阻率较高的暗红色区域; 当表层堆积物或基岩破碎含水, 使得原本堆积物之间的空隙和基岩裂隙被雨水填充, 增加了原介质形态的导电性, 图上表现为低视电阻率区域; 当基岩面较完整, 整体电性差异不大, 视电阻率较一致。根据以上分析原则, 结合成果图上视电阻率的变化特征和地质调查资料, 给出合理的地质解释。

图 2 为 L1 测线的温纳十层视电阻率成像色谱图及地质剖面。L1 测线整体地形起伏较大, 局部较陡。测线剖面经过的地层岩性有: 震旦系水晶组三段 (Zs^3)、第四系覆盖层 (Q)。纵观该测线整条视电阻率剖面, 剖面横向视电阻率呈现高、低阻不均匀分布, 纵向局部呈现低视电阻率区域, 分析认为: 滑坡体局部土石比例差异较大, 大块石排列紊乱, 使得剖面整体含水分布不均匀, 导致视电阻率剖面成层效果不佳。在 180 ~ 190 m 之间, 剖面表层出现低阻异常区, 现场地形记录此处有地表径流, 因此推测异常为表层堆积物含水所致; 剖面底部的局部低阻异常推测可能为基岩破碎含水所致。根据以上分析, 在地质剖面图上标出了基岩面及覆盖层厚度, 推测 L1 和 L3 交点 A 处基岩埋深约 23 m, L1 和 L2 交点 B 处基岩埋深约 21 m。

图 3 为 L2 测线的温纳九层视电阻率成像色谱图及地质剖面。L2 测线位于滑坡体偏上部, 整体起

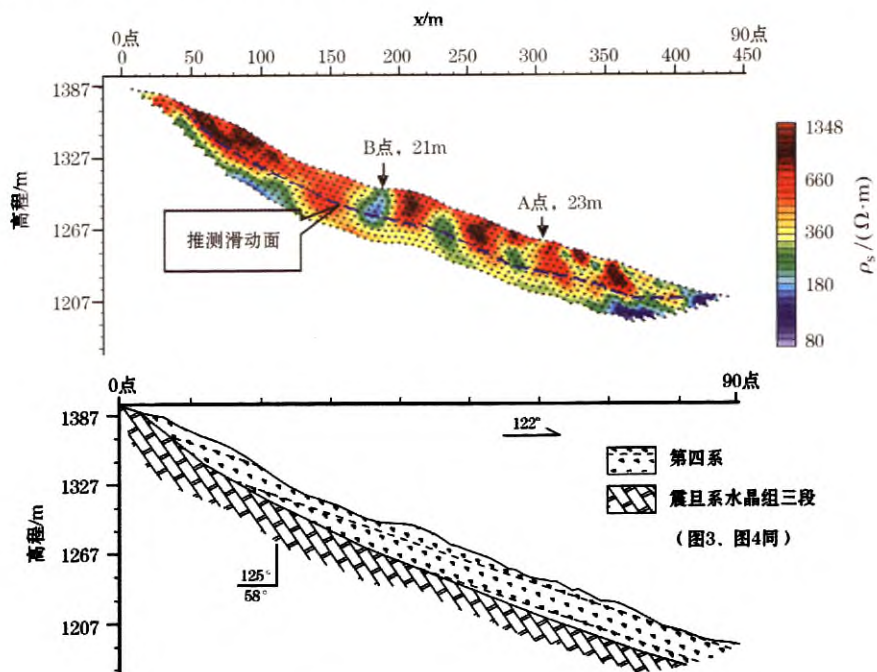


图2 L1 线反演视电阻率断面 (上) 及其地质剖面 (下)

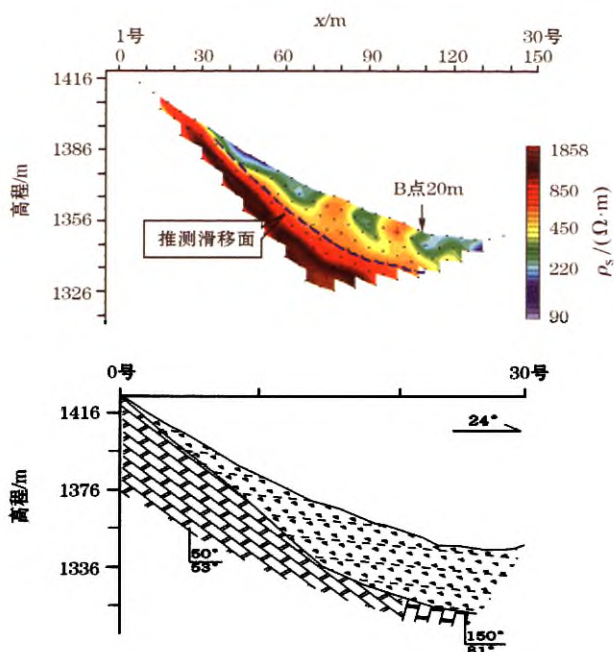


图3 L2线反演视电阻率断面及其地质剖面

伏很大,最高点与最低点高差近60 m。测线35~70 m处剖面表层呈低阻异常带,为滑坡体上部散布的粉质黏土层的反应;110~130 m处为堆积物含水丰富呈低阻态;电断面下部有一较完整的高阻层,推测为岩体致密,含水量少、完整性好的基岩的反应;滑坡体滑动面一般顺着岩层层面,且滑坡体与基岩之间视电阻率差异较大,依据地电断面中各电性层的分布情况可以推测滑动面的分布位置(图3中虚线所示)。L1与L2交点处B位置,推测覆盖层厚度约

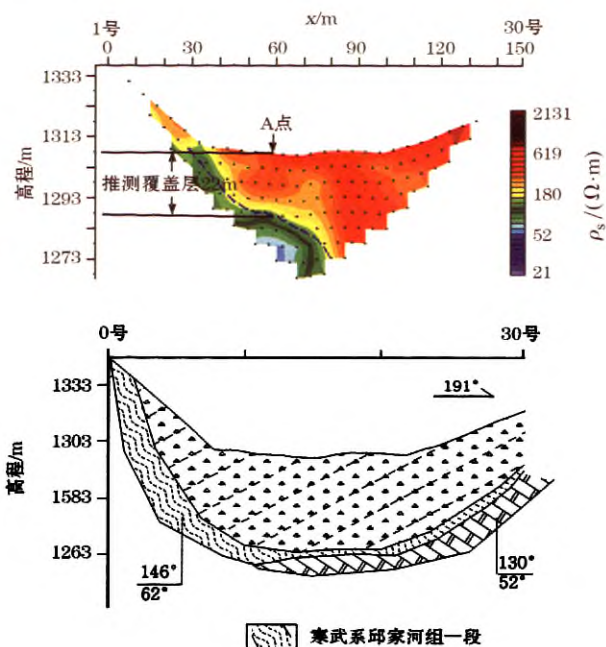
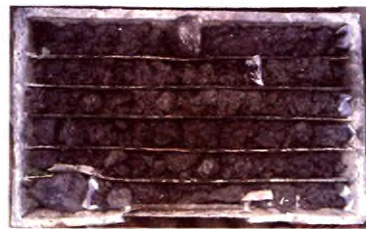


图4 L3线反演视电阻率断面及其地质剖面

20 m,而L1线在此处的覆盖层厚度约21 m,可看出不同测线在同一位置反映的覆盖层厚度较一致。

图4为L3线的温纳九层视电阻率成像色谱图及地质剖面。L3线测量起始位置与L2起始位置相反,位于滑坡体下部,整体起伏较大,经过的地层岩性有:震旦系水晶组三段(Z_3^3)、寒武系邱家河组一段(ϵ_g^1)、第四系覆盖层(Q)。从视电阻率剖面图可看出,剖面上部整体电性一致,呈现相对高阻,下部呈现低阻态,电阻率分层性较好。根据现场调查

地质时代	层底标高 m	层底深度 m	地层厚度 m	钻孔结构及 地层柱状图	地质-水文地质描述	稳定水位 m
Q	1376		6.8		碎石土。碎石成分为板岩、灰岩及白云岩,碎石粒径最大的14cm,一般5cm左右,最小的1cm左右,碎石呈棱角状,磨圆度较差,分选性较差,土质成分为亚砂土、亚粘土,土石含量比约5:5。	23.2
	1369.2	6.8			碎石土。成分为灰岩、白云岩及板岩,粒径最大的10cm,一般5cm左右,最小的1cm,碎石呈棱角状,无磨圆,分选性差,土质成分为砂土、亚砂土,土石含量比约为3:7。	
	1362.8	13.2	6.4		角砾石土夹碎石,成分为灰岩、白云岩及板岩,碎石粒径最大8cm,一般5cm,角砾石粒径一般1cm,其中碎石约占30%,土质成分为砂土、亚砂土,土石含量比约为2:8。	
	1357.6	18.4	5.2		碎石土。成分为板岩、灰岩及白云岩,粒径一般8cm左右,呈棱角状,分选性差,土质成分为砂土、亚砂土,土石含量比约为2:8。	
	1354.3	21.7	3.3		碎石土。成分为板岩、灰岩及白云岩,粒径一般5cm左右,呈棱角状,分选性差,土质成分为砂土、亚砂土,土石含量比约为4:6。	
	1350.6	25.4	3.7		较破碎的白云岩、灰质白云岩,已呈碎石状。	
	1349	27	1.6		相对完整的白云岩、灰质白云岩,最长岩芯约70cm,在28.5m处有一段含有黑色炭质的东西,染手。	
	1345.9	30.1	3.1			



ZK21表层岩芯



ZK21底层岩芯

图5 ZK21的柱状资料

发现, L3 测线经过的山坡处, 有基岩出露, 较为破碎, 因此推测剖面下部低阻区为基岩破碎含水所致, 图 4 中虚线所示即为推测的滑坡体滑移面。L1 与 L3 的交点 A 处, 推测覆盖层厚度约 22 m。

综合 3 个视电阻率成像色谱剖面, 滑坡体和未滑动部分视电阻率差异较大, 滑移面比较明显, 滑坡体物源厚度变化较大。总体看来, 在滑坡体中部, 地表覆盖层厚度大约为 20 m, 沿着山体往上覆盖层逐渐减小, 局部可见基岩出露, 在滑坡体往沟谷方向位置, 物源厚度较厚, 在 25 ~ 30 m 之间。

4 钻孔验证

为了验证高密度电法勘探的正确性, 在 L1 线与 L2 线相交的 A 处布设 ZK21。图 5 给出了 ZK21 的详细资料。从钻孔揭露的资料得知, 覆盖层主要为含灰岩、白云岩和板岩成分的碎石土、角砾石土, 碎石粒径平均约为 5 cm, 不同深度磨圆度存在较大差异, 但分选性均较差, 土石比例从表层 5: 5 到深层 1: 6 不断变化; 基岩埋深为 25.4 m, 且较破碎, 这与高密度电阻率法勘探推测 A 处基岩埋深约 23 m、含水较丰富相吻合。

5 结论

通过本次工作, 针对高密度电阻率法在野外实际工作中的特点, 总结出以下几条:

(1) 在野外数据正式采集前, 需要做不同排列采集方法的对比实验, 选择适合工区地质条件的最佳测量方法。

(2) 在野外采集数据时, 首先要检查主机及多功能电极转换仪供电是否正常, 保证电极和电缆连接良好, 在安插电极后需测量各电极的接地电阻值, 如阻值过高可在电极插地处适当浇水, 以减小接地电阻, 提高供电效率。

(3) 室内处理数据的时候, 在进行地形校正的同时, 注意对突变数据坏点的剔除。

(4) 为保证剖面端点处的解释深度, 在端点处有必要补充适当数量的电极点。为保证测量数据的可靠性, 进行少量的打钻对比验证非常必要。

(5) 由于地形因素的限制, 本次勘探测线布置较少, 不利于全面详细反映滑坡体形态特征, 在以后的勘探中, 如条件允许, 应该网格状布设多条测线。

参考文献:

- [1] 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).
- [2] 徐昌平. 高密度电法在滑坡体勘察中的应用[J]. 广州水利水电, 2006(6).
- [3] 王兴泰. 高密度电阻率法及其应用技术研究[J]. 长春地质学院学报, 1991(3).
- [4] 蔡运胜. 高密度电法探测地下牡蛎礁(滩)的实验[J]. 物探与化探, 2009, 33(6).
- [5] 王爱国, 马巍, 王大雁. 高密度电法不同电极排列方式的探测效果对比[J]. 工程勘察, 2007(1).
- [6] 吕玉增, 阮百尧. 高密度电法工作中的几个问题研究[J]. 工程地球物理学报, 2006, 2(4).
- [7] 孔繁良, 陈超, 孙冠军. 高密度电法在清江水布垭库区滑坡调查中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(2).

THE APPLICATION OF THE HIGH-DENSITY ELECTRICAL METHOD TO THE SURVEY OF CHAYUANGOU LANDSLIDE IN GAOCHUAN, SICHUAN PROVINCE

CHENG Qing^{1,2}, TUO Xian-guo^{1,2}, GE Bao^{1,2}, LI Huai-liang^{1,2}, WANG Shi-dong^{1,2}

(1. College of Applied Nuclear Technology and Automation Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. State Key Laboratory of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: This paper discusses the principle and method of the high-density electrical method. Using the high-density electrical method, the authors investigated geological landslide in Chayuangou area of Gaochuan, Sichuan Province. In combination with the borehole data, the position of the main sliding surface, the buried depth of the bedrock, and the water level for landslide were determined, thus providing reliable geophysical basis for tackling the landslide.

Key words: high-density electrical method; landslide survey; landslide; sliding surface

作者简介: 程庆(1984-), 男, 湖南人, 硕士研究生, 主要从事综合物探方法研究、物探仪器开发。