

高密度电法在查明滑坡体的应用

闫永峰

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v9i3.6173

[摘要] 为了查明西北某水库库坝区东岸滑坡体滑动层厚度、圈定滑坡体的空间分布;采用高密度电法对滑坡体进行探测。共布置4条高密度电法剖面,通过反演视电阻率曲线得到地质推断剖面图,进行解释分析。测试结果表明:库坝区东岸滑坡体滑动层较厚,东侧滑动层厚度在5~12.6m,西侧滑动层厚度在5.2~10.5m。高密度电法可以圈定滑坡体的大致分布和范围,且高效便捷,在滑坡体勘探实际应用中具有较好的适宜性。

[关键词] 高密度电法;滑坡体;视电阻率;测试成果

中图分类号: TV139.2+32 **文献标识码:** A

The application of high-density electrical method in identifying landslide

Yongfeng Yan

Xinjiang water resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] In order to investigate the thickness of the sliding layer and delineate the spatial distribution of the landslide on the east bank of a in Northwest China, high-density electrical resistivity tomography (ERT) was employed. Four high-density ERT profiles were set up, and the geological inference profiles obtained through inversion of the apparent resistivity curves, which were then interpreted and analyzed. The test results show that the sliding layer on the east bank of the reservoir relatively thick, with the thickness of the sliding layer on the east side ranging from 5 to 12.6 meters, and on the west side ranging from 5.2 to 10.5 meters. High-density ERT can delineate the general distribution and range of the landslide, and it is efficient and, showing good applicability in the exploration of landslides.

[Key words] High-density electrical method; landslide; apparent resistivity; test results

引言

大坝在长期运营的过程中,随着防渗体系在运行中出现不可避免的老化现象,将导致渗漏、散浸、管涌等不良现象,甚至会出现滑坡、塌方等严重后果,大坝滑坡将影响水库蓄容量,河道堵塞、造成水位上升。李富^[1]等对不同类型滑坡体的高密度电阻率法^[2-4]勘查电性特征来推断滑坡体的类型、物质组成,其结果对滑坡体勘查及后期治理、钻探施工起到指导作用。地形和地球物理条件较为复杂时,郭奇^[5]等采用电磁法对库区深厚滑坡体覆盖层探测。土石滑坡体地表地形复杂、结构松散,杜亚楠^[6]等采用微动探测,分层效果明显,为评价滑坡体稳定性、设计合理的治理方案提供了地球物理依据。冯宁^[7]在山体滑坡勘查中采用地微动探测技术,根据不同的横波速度分析各层的岩土体性质。刘道涵^[8]等通过直流电阻率法、音频大地电磁法电阻率参数分析滑坡体的地球物理探测研究,验证了电阻率参数的综合物理方法在滑坡体探测中的实用性和可靠性。高密度电法能够依据目标与背景介质之间电阻率存在差异的特性,其作

为一种高效无损的物理方法,能有效探测滑坡体规模。本文以西北某水库库坝区东岸滑坡体为例,介绍了滑坡体的地质简况,采用高密度电法查明滑坡体的滑动层厚度,为类似工程提供依据。

1 工程概况

西北某水库位于出山口上游1km处,该水库坝高30m,坝长300m,目前水库大坝已修建完成,溢洪道尚未完成。在前期地面调查阶段确定库坝区东岸发育一处滑坡隐患点,判定其处于不稳定状态。该滑坡体主要分为两段①南部库坝段,由于水库溢洪渠的施工需要,对斜坡进行了开挖,坡脚形成了临空面,且坡面未做排水措施,近些年,由于地区多次出现强降雨,该段发生滑动,挤压前缘挡土墙,占压水库溢洪道设计部位。②北部蓄水段为一老滑坡,在坡脚局部形成陡坎,在现状条件下基本稳定,后期到达蓄水后可能导致老滑坡变形失稳,轻则淤积水库,减少库容,重则产生涌浪致使坝体失稳破坏,严重威胁下游居民区。为此本次物探测试主要为查明北部蓄水段滑坡体位置、滑体厚度、滑坡体的结构及滑坡面(带)位置,完成滑坡体的初步勘查工作。

因此, 对该滑坡进行勘查工作, 论证水库蓄水后滑坡的稳定性, 论证治理必要性, 同时为南部库坝段滑坡提供防治建议。

2 工作布置、方法与技术

2.1 工作布置

北部蓄水段滑坡体测试工作主要沿滑坡自西向东纵向布设 1—1'、2—2'、3—3'、4—4' 共计4条高密度电法测试剖面。高密度电法测试剖面: 1—1' 号剖面方向约为 108° , 长度为420m; 2—2' 号剖面方向约为 89° , 长度为420m; 3—3' 号剖面方向约为 89° , 长度为420m; 4—4' 号剖面方向约为 73° , 长度为400m。

2.2 工作方法与技术

采用高密度电法测量系统进行数据采集, 工作方式采用高密度温纳装置进行施测。在复杂地形, 里程已确定的情况下, 哪边先布好线, 先测量哪边, 通过选择正序或反序测量, 选择从地形平坦的地区开始测量, 可有效提高工作效率。测量时, 仪器会实时显示当前测量的电压和电流波形。测量结束后, 操作员也可以单点查看测量波形图。通过观察波形, 判断信号强弱、AB/MN 接地是否良好、测量时的背景噪声等, 确保数据质量。

3 资料解释

电法类勘探主要是依据地层介质的电性差异, 从而达到寻找滑坡界面的目的。勘查区内为覆盖层(主要包含粉土、粘土、粉质粘土和卵砾石)、砾质土, 基底为泥砂岩互层。覆盖层呈高电阻率反应, 而下伏基岩则表现为低电阻率阻反应, 且连续性较好, 因此基覆界线较为明显。根据野外物探实测资料结合已有的勘查区地层资料可知: 勘查区内覆盖层(粉土、粘土、粉质粘土和卵砾石)电阻率值在 $20\sim 80\ \Omega\cdot\text{m}$; 砾质土电阻率在 $100\sim 500\ \Omega\cdot\text{m}$, 基岩为泥砂岩互层其电阻率在 $5\sim 30\ \Omega\cdot\text{m}$, 基岩与覆盖层之间存在电性差异, 满足电法勘探的物理前提。泥砂岩互层其电阻率在 $5\sim 30\ \Omega\cdot\text{m}$, 在基岩内电阻率大于 $30\ \Omega\cdot\text{m}$ 的高阻异常区推测为松散层, 该层存在滑动的可能性, 因此滑动面一般在该层的下部。根据地质条件、电阻率曲线形态、电性层的稳定性、连续性等综合判定覆盖层的层次, 确定基底起伏及埋深, 故地电断面的形态能较客观地反映深部地质特征。综上所述, 高密度电法解决勘查区滑坡地质问题方法是可行的, 存在其地球物理前提条件。

利用高密度线缆做联合剖面, $\rho_{\text{SA}}/\rho_{\text{SB}}$ 在一个曲线图上显示, 针对已测量完成的高密度剖面可做单点垂向测深, 测量完成可查看单点对数曲线图, 更能了解地质情况和地质构造。GH-Elec电法解释软件支持多种数据, 多种反演方法, 多种成图方式。

4 测试成果分析

4.1 1—1' 剖面测试成果

1—1' 号剖面, 测试点距为2m, 使用电极数量为210个, 长度420m, 沿坡脚往坡顶, 由西向东方向为 108° 布置。

1—1' 剖面视电阻率-地质推断剖面图解释如下: 剖面桩号0~80m位置, 第一层岩性推测为砾质土, 已知厚度变化范围0~

13.6m, 视电阻率 $100\sim 500\ \Omega\cdot\text{m}$; 第二层岩性推测为泥砂岩互层, 视电阻率在 $5\sim 30\ \Omega\cdot\text{m}$ 。剖面桩号80~360m位置, 第一层岩性推测为覆盖层(覆盖层主要以粉土、粉质粘土、卵砾石和粘土构成, 夹杂着少量粉细砂), 已知厚度变化范围3.1~14.3m, 视电阻率 $20\sim 60\ \Omega\cdot\text{m}$; 第二层岩性推测为泥砂岩互层, 视电阻率在 $5\sim 30\ \Omega\cdot\text{m}$ 。剖面桩号360~420m位置, 第一层岩性推测为砾质土, 已知厚度变化范围0~8.6m, 视电阻率在 $100\sim 500\ \Omega\cdot\text{m}$, 第二层岩性推测为泥砂岩互层, 视电阻率在 $5\sim 30\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

从1—1' 剖面视电阻率-地质推断剖面图推断整个滑坡带在剖面桩号68~293m之间, 其中桩号68~90m和桩号275~293m滑坡带界面在覆盖层上滑动, 滑动层厚度分别为0~5m和0~9.7m, 桩号90~275m滑坡带界面在泥砂岩互层上滑动, 滑动层厚度为5~11.1m, 整个滑坡带堆积带厚度在0~11.1m。根据地质钻孔资料反映, 剖面上覆盖层岩性为腐殖质土、粉土、粘土、粉质粘土和卵砾石, 基岩岩性为泥砂岩互层; 在已有钻孔位置物探资料基本与地质钻孔资料相吻合。

4.2 2—2' 剖面测试成果

测试点距为2m, 使用电极数量为210个, 长度420m, 沿坡脚往坡顶, 由西向东方向为 89° 布置。

2—2' 剖面视电阻率-地质推断剖面图解释如下: 在剖面桩号0~326m位置, 第一层为覆盖层(主要包含腐殖质土、粉土、粘土、卵砾石和粉质粘土), 已知厚度变化范围2.2~14.4m, 视电阻率在 $20\sim 80\ \Omega\cdot\text{m}$; 第二层为泥砂岩互层, 视电阻率在 $5\sim 30\ \Omega\cdot\text{m}$ 。剖面桩号340~420m位置, 第一层岩性为砾质土, 已知厚度变化范围0~14.4m, 视电阻率在 $100\sim 500\ \Omega\cdot\text{m}$; 第二层岩性为泥砂岩互层, 视电阻率在 $5\sim 30\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

从2—2' 剖面视电阻率-地质推断剖面图可知整个滑坡带在剖面桩号0~255m之间, 其中桩号0~45m和桩号207~255m滑坡带界面在覆盖层上滑动, 滑动层厚度分别为8.4~12.6m和0~6.4m, 桩号45~207m滑坡带界面在覆盖层和基岩岩层界面之间滑动, 滑动层厚度为2.3~8.4m, 整个滑坡带堆积带厚度在0~12.6m。根据地质钻孔资料反应, 剖面上覆盖层岩性为腐殖质土、粉土、粘土、粉质粘土和卵砾石, 基岩岩性为泥砂岩互层; 在已有钻孔位置物探资料基本与地质钻孔资料相吻合。

4.3 3—3' 剖面测试成果

测试点距为2m, 使用电极数量为210个, 长度420m, 沿坡脚往坡顶测, 由西向东方向为 89° 布置。

3—3' 剖面视电阻率-地质推断剖面图解释如下: 剖面桩号0~276m位置, 第一层为覆盖层(主要包含腐殖质土、卵砾石、粉土、中粗砂、中细砂、粗砂、粉质粘土和含卵砾石粉土及含砂砾石粉土), 已知厚度变化范围3.1~9.6m, 视电阻率在 $20\sim 80\ \Omega\cdot\text{m}$; 第二层为泥砂岩互层, 视电阻率在 $5\sim 30\ \Omega\cdot\text{m}$ 。剖面桩号276~420m位置, 第一层岩性为砾质土, 已知厚度变化范围0~11.8m, 视电阻率在 $100\sim 500\ \Omega\cdot\text{m}$; 第二层岩性为泥砂岩互层, 视电阻率在 $5\sim 30\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

从3—3' 剖面视电阻率-地质推断剖面图可知整个滑坡带在

剖面桩号0~158m之间,其中桩号0~75m滑坡带界面在基岩层上滑动,滑动层厚度为7.5~10.5m,桩号75~107m滑坡带界面在覆盖层和基岩岩层界面之间滑动,滑动层厚度为6.7~9.7m,桩号107~158m滑坡带界面在覆盖层中滑动,滑动层厚度为0~6.7m,整个滑坡带堆积带厚度在0~10.5m。根据地质钻孔资料反应,剖面上覆盖层主要为腐植质土、卵砾石、粉土、中粗砂、中细砂、粗砂、粉质粘土和含卵砾石粉土及含砂砾石粉土,基岩岩性为泥砂岩互层;物探资料基本与地质钻孔资料相吻合。

4.4 4-4' 剖面测试成果

测试点距为2m,使用电极数量为200个,长度400m,沿坡脚到山顶,由西向东方向73°布置。

4-4' 剖面视电阻率-地质推断剖面图解释如下:剖面桩号0~295m位置,第一层为覆盖层(岩性主要包含粉土、砂卵砾石和粉质粘土),已知厚度变化范围4.2~14.6m,视电阻率在20~80Ω·m;第二层为泥砂岩互层,视电阻率5~30Ω·m。剖面桩号295~400m位置,第一层岩性为砾质土,已知厚度变化范围0~12.8m,视电阻率100~500Ω·m;第二层岩性为泥砂岩互层,视电阻率在5~30Ω·m。

从4-4' 剖面视电阻率-地质推断剖面图可知整个滑坡带在剖面桩号0~229m之间,其中桩号0~75m和桩号200~229滑坡带界面在覆盖层中滑动,滑动层厚度分别为0~5.8m和0~5.2m,桩号75~200m滑坡带界面在基岩中滑动,滑动层厚度为5.5~9.8m,整个滑坡带堆积带厚度在0~9.8m。根据地质钻孔资料反应,剖面上覆盖层主要为腐殖质土、粉土、粉质粘土、含砾粉土、砂砾石、卵砾石和砂卵砾石,基岩岩性为泥砂岩互层;物探资料基本与地质钻孔资料相吻合。

4.5综合测试成果

综合分析4条物探测试剖面,滑动面主要在覆盖层内、基岩面及基岩层内三种形式出现。表1为滑动面分析统计表。

表1 滑动面分析统计表

剖面号	桩号(m)	滑动面类型	滑动层厚度(m)
1-1'	68~90	覆盖层内	0~5
	90~275	基岩内	5~11.1
	275~293	覆盖层内	0~9.7
2-2'	0~45	覆盖层内	8.4~12.6
	45~207	基岩面	2.3~8.4
	207~255	覆盖层内	0~6.4
3-3'	0~75	基岩内	7.5~10.5
	75~107	基岩面	6.7~9.7
	107~158	覆盖层内	0~6.7
4-4'	0~75	覆盖层内	0~5.8
	75~200	基岩内	5.5~9.8
	200~229	覆盖层内	0~5.2

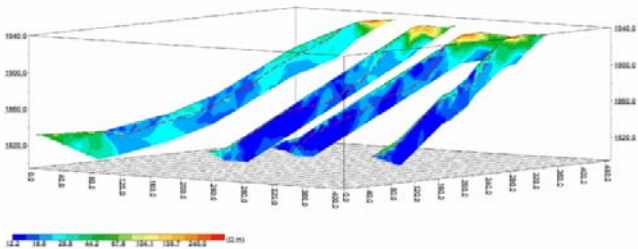


图1 综合视电阻率剖面图

由图1综合测试成果剖面图及表1,推测该区域1-1' 和2-2' 号剖面位置(西侧)滑坡线厚度较深,滑动层厚度为5~12.6m;3-3' 和4-4' 号剖面位置(东侧)滑坡线厚度较浅,滑动层厚度为5.2~10.5m。

5 结论

根据高密度测试资料和地质资料综合分析,测区覆盖层主要是粉土、粉质粘土和卵砾石,在河岸边上和山顶上为砾质土,基岩为泥砂岩互层。测区范围内覆盖层厚度最深14.6m,区域内基岩埋深较浅。滑动层主要在覆盖层内,部分在基岩面上或强风化基岩层内发生滑动,整个勘查区范围内,滑动层厚度一般为5~12.6m。

高密度电法可以大致圈出滑坡体厚度及其空间分布,由于物探资料解释受地形、电性差异等客观因素的影响,资料分析时需综合考虑钻孔、区域地质等资料,由已知到未知的分析过程,方能较大提高解释精度。本次勘查采用工程地质测绘和调查、工程钻探、槽探、物探和室内试验相结合的方法,能够较全面的探明滑坡体全貌,为后期处理滑坡体提供数据支撑。

[参考文献]

[1]李富,周洪福,葛华.不同类型滑坡体的高密度电阻率法勘察电性特征[J].物探与化探,2019,43(01):215-221.
[2]董耀,肖娟,刘岩.高密度电法在隧洞工程勘查中的应用[J].岩土工程技术,2022,36(01):70-73.
[3]张加刚,唐海燕,杨秀全.高密度电法在内蒙古西部地下水资源探测中的应用[J].勘查科学技术,2019,(04):62-64.
[4]朱瑞,李朝辉,时向阳.三维高密度电法在隐伏断层探测中的应用[J].人民黄河,2019,41(11):106-109+143.
[5]郭奇,宋伟健,陈鑫.电磁在库区深厚滑坡体覆盖层探测中的应用[J].东北水利水电,2018,36(05):61-62.
[6]杜亚楠,徐佩芬.土石混合滑坡体微动探测:以衡阳拜殿乡滑坡体为例[J].地球物理学报,2018,61(04):1596-1604.
[7]冯宁.地微动探测技术在山体滑坡勘查中的应用[J].中国新技术新产品,2023,(01):115-117.

[8]刘道涵,刘磊,陈长敬.基于电阻率参数的滑坡体综合地球物理探测研究[J].华南地质,2020,36(03):240-245.

作者简介:

闫永峰(1988--),男,汉族,河北保定人,本科,工程师,从事于地质勘探工作。