doi:10.11720/wtyht.2015.4.35

周官群,翟福勤,郝志超,等.高密度电阻率法及地震反射共偏移法在九华山滑坡体探查中的应用[J].物探与化探,2015,39(4):872-876.ht-tp://doi.org/10.11720/wtyht.2015.4.35

Zhou G Q, Zhai F Q, Hao Z C, et al. The application of the multi-electrode resistivity method and reflection seismic method to the landslide detection in the Jiuhua Mountain [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(4):872-876. http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.4.35

高密度电阻率法及地震反射共偏移法 在九华山滑坡体探查中的应用

周官群,翟福勤,郝志超,曹煜,陈兴海,陈光明,王宗涛,苗园园

(安徽惠洲地质安全研究院股份有限公司,安徽 合肥 230088)

摘要:地球物理探测方法在滑坡地质灾害探查中具有简单快捷的特点,可查明滑坡的地质信息,如滑坡体的厚度、 规模及发育特征等重要信息,进而进行钻孔布置,获取滑坡体稳定性计算所必须的物理力学参数。在九华山滑坡 体采用地震反射共偏移技术及高密度电阻率法对滑坡体进行联合探查,两种方法相互验证,减少多解性,效果明 显,获取的相关地质参数为滑坡的评估及治理提供了依据。

关键词:高密度电阻率法;地震反射共偏移法;九华山滑坡体探查

中图分类号: P631 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2015)04-0872-05

滑坡是指斜坡上的土体或者岩体,受河流冲刷、 地下水活动、雨水浸泡、地震及人工切坡等因素影 响,在重力作用下,沿着一定的软弱面或者软弱带, 整体或者分散地顺坡向下滑动的自然现象。对滑坡 体进行勘探,进行稳定性评价,并对可能发生的滑坡 地质灾害进行科学预测是极其重要的^[1-2]。

通常,滑坡体在滑动过程中产生的堆积物结构 松散,强风化的岩石之间的密度以及弹性波的传播 速度与原位岩体有较大的差异,这种介质体弹性差 异的存在为应用地震方法勘探提供了前提条件;同 时,由于滑坡体与基岩之间存在明显的电性差异,覆 盖层多呈低阻,而下伏基岩则表现为高阻反应,且连 续性较好,从而为用电法进行滑坡体厚度、滑面起伏 形态勘查,作山体稳定性评价提供了依据。

针对池州市九华乡 S219 省道 K19+300 段发生的滑坡地质灾害,采用高密度电阻率法探测,并通过 浅层地震反射共偏移法验证,获取更为有效的参数, 为滑坡体边坡治理和防治提供了物探依据。

1 探测方法的基本原理

1.1 高密度电阻率法

高密度电阻率法是在电阻率法基础之上发展起 来的一种探测技术^[3-7]。传统的多道高密度电阻率 法采集系统每次采样时最多有四个电极点在工作, 两个电极供电,两个电极测量,实际采集数据过程为 串行数据采集。而本次采用的为信号并行采集系 统^[8-10],这样一次采集的数据可以提取出任意装置 的数据。

从探测结果上看,并行信号采集的高密度电阻率技术可以实现数据采集的多次覆盖重复采样,一次供电,其余所有电极同时采集电位,使得数据具有同时性。根据电极观测装置的不同,数据采集方式分为两种:AM 法和 ABM 法。AM 法观测系统所测量的电位场为单点电源场,该方式布置与常规二极法相同。ABM 法采集数据所反映的是偶极子供电情况,为一对电流电极 AB 供电,1 根无穷远线作为公共 N 极,提供参照标准电位,当其中一对电极供电时,整条测线的其他电极均采集电位,一次可获得常规高密度电法的全部四极装置数据。通过获得的测量参数进行视电阻率计算与反演,即可获得地下介质的电阻率剖面,依据剖面中电性差异分析异常位置及特征,并与地质条件对应解释^[11]。

1.2 浅层地震反射共偏移法

反射共偏移法是依据反射波勘探原理(图1), 在单边排列的基础上选定最佳偏移距,即最佳反射 窗口,采用单道或多道叠加小步长顺移前进观测系 统。通过在避开面波、声波、直达波和折射波对有效 反射波干扰的"最佳接收窗口"内选择"最佳偏移距 道"的方法来实现反射地震探测。实际工作时,每 个记录道都采用相同的偏移距,每次激发,在选定的 偏移距处采用单个记录道接收,利用现代地震仪的 单道连续快速采集功能,重复上述过程便可获得反 映地下地质构造特征的地震反射时间剖面^[12]。



图 1 地震反射共偏移距法探测原理示意

2 S219 省道 K19+300 段滑坡地质灾害探查

2.1 测线布置和信号采集

根据现场边坡的地形条件及探测任务,现场布置1条地震测线和4条电法测线。其中地震测线沿着山坡从钻孔 ZK7-TJ1-TJ2 段进行反射共偏移探测,炮间距为2m,道间距1m,偏移距4m,步长2m顺移前进式观测方式。激发次数为42次,采用GeoPen-MiniSeis6(D)微型地震仪和TZBS系列(主频为100 Hz)传感器采集数据。

电法测线沿山坡走向布置 CX1、CX3、CX4 三条 横测线和顺山坡 CX2 一条纵测线。电极间距平均 为 2.5 m(图 2)。电法仪采用安徽惠洲地质安全研 究院股份有限公司自主研发的 WBD-1 型并行电法 仪。



图 2 电法测线布置示意

横测线 CX1 顺坡布置,共47 个电极,先后穿过 探槽 CT3、钻孔 ZK2、探井 TJ1、钻孔 ZK1。

纵测线 CX2 顺坡布置,共 52 个电极,先后穿过 探槽 CT1、探井 TJ1、探井 TJ2、钻孔 ZK7。

横测线 CX3 顺坡布置,共50 个电极,先后穿过 探槽 CT4、钻孔 ZK5、探井 TJ2、钻孔 ZK4。

橫测线 CX4 顺坡布置,共28 个电极,先后穿过 探槽 CT6、探槽 CT7。

现场数据采集全部进行了复测,复测结果基本 相同。每站数据采集采用 AM 法,各采用 0.5、2 s 恒 流供电方波采集数据一次,以校验电阻率数据采集 的可靠性。经数据解编表明,两次采集数据电阻率 基本一致,数据质量满足探测要求。

2.2 数据处理及资料解释

2.2.1 数据处理

地震数据在自行研制开发的 KDZ2.8 软件平台 上进行,通过时间域处理、预处理及修饰处理过程, 获得直达纵波平均速度为 0.65 m/ms。

由于电法测线沿边坡布置,受地形影响,不能按 传统的电法处理方法,所以沿山坡布置的电法数据 处理结果都是结合现场的地形起伏进行校正,并进 行二维视电阻率反演,增大结果的可靠性。同时根 据地形的变化来进行三维电阻率反演。边坡表层主 要以残坡积物以及强、中等风化的花岗岩为主,电阻 率值相对较低;下部基岩为花岗岩,电阻率值相对较高,以此作为电阻率值划分的依据。

2.2.2 地震结果及解释

从图 3 中可以看出有两组强反射相位:①TJ1~ TJ+14m 段覆盖物的厚度一般在 5~10 m 之间,解释 为潜在的滑动面;②TJ2-20m~TJ2+40m 在探井 TJ2 两侧有一组很强的反射相位,根据地质及现场推断 可能为残坡积物的覆盖范围,且覆盖物的厚度一般 在 10~18 m 之间,解释为潜在的滑动面。

2.2.3 电测深结果及解释

CX1 剖面顺坡向布置。从反演结果(图4)上可 以看出,该剖面覆盖层厚度变化相对较大,其中残坡 积物及强、中等风化的花岗岩厚度在 $3 \sim 15 \text{ m}$ 之间; 其电阻率值较高,为 $400 \sim 1500 \Omega \cdot \text{m}$,解释为基岩, 在 TJ1 和 ZK1 附近呈现高阻闭合圈,电阻率值在 $400 \sim 1000 \Omega \cdot \text{m}$ 之间;在 TJ1 的上坡方向标高+ $495 \sim +510$ 的位置存在一低阻带,电阻率值在 50Ω ·m 以下,且覆盖层的厚度相对较大,厚度在 $10 \sim 15$ m 之间,可能为残坡积物的滑体。

CX3 剖面沿顺坡向布置,地形起伏变化较大。 从反演结果(图 5)可以看出,覆盖层厚度变化相对 较大,残坡积物及强、中等风化的花岗岩厚度 3~20 m。基岩电阻率在 400~1 500 Ω·m;在 CT4 和 ZK5 测段表层以及 TJ2 附近呈现高阻闭合圈,电阻率值 高程/m



CT4 0 10 520 ZK5 240 500 460 高程/m 潜在滑 TJ2 879 480 ZK4 460 30 50 70 110 130 10 90 d/m

图 5 地形校正后的 CX3 反演剖面

为 400~800 Ω·m;在 ZK4 附近出现一低电阻率条 带,且其值在 50 Ω·m 以下,覆盖层的厚度大约 20 m。

CX4 剖面沿顺坡向布置,地形起伏变化较大。 从电阻率反演结果(图 6)可以看出,该剖面覆盖层 厚度变化相对较小。表层视电阻率值变化较小,在 50~250 Ω·m之间,其中在 CT6 与 CT7 之间呈现条 带状低阻闭合团,电阻率值在 50 Ω·m以下。基岩 电阻率在 400~1 500 Ω·m。

CX2 剖面顺山坡布置,地形起伏变化较小,因而 没有作地形校正。从电阻率反演结果(图7)可以看 出,该剖面覆盖层厚度变化相对较大,其中残坡积物 以及强、中等风化的花岗岩厚度在5~25 m之间。 基岩电阻率在400~1500 Ω·m,在CT1与TJ1覆盖 层的厚度相对较薄,在5~8 m之间,下覆花岗岩较 完整且连续性较好;在TJ2 附近两侧呈现低阻闭合 团,电阻率值在50 Ω·m以下,埋深15~20 m。电 法结果与地震结果吻合较好。







图 8 横测线 CX1 三维立体反演切片





2.3 综合探测结果分析

(1)从电阻率剖面可以看出,表层分布有低阻的黏土及风化砂(电阻率值在 20~70 Ω·m之间), 底部为高阻的花岗岩体(大于 400 Ω·m,由于地下水的影响,电阻率值偏低)。另外,高阻的花岗岩还 侵入到砂层之中形成岩脉,同时,在低阻残坡积物中 其底部不同深度的电阻率分布情况,从总体上反映 出探测区域内电阻率的变化情况,反演结果电测深



图 11 横测线 CX2 三维立体反演切片

有零星的相对高阻闭合圈存在,推断为滑动面。明显的低阻闭合圈可能是岩石强度较低、岩层含水量相对较高的软弱岩层的反映,该处也为潜在的滑动面。结合浅层地震探查结果进行分析,工作区内主要有三处明显的滑动面:① TJ1 和 ZK1 测段之间的 滑动面,滑面的深度在 5~10 m 之间,且 TJ1 斜上坡 方向滑面埋深相对较厚,达到 10 m;② 在 CT4 和 ZK4 测段之间的滑动面,滑面的深度在 5~20 m 之 间,且 ZK4 处滑面埋深相对较厚,达到 20 m;③ TJ2 南北两侧附近的滑动面,滑面的深度在 15~20 m 之 间,此滑动面为重点防患治理对象。

(2)该探测区域岩层产状与坡度角大致相同, 为地表水渗透提供了有利条件,加速了岩石的风化, 形成大量坡积物,为滑坡形成提供了物质来源。

(3)根据浅层地震和电法勘查成果,推测本次 探测区域内的滑坡体底部界面埋深一般为3~15 m, 最大埋深不超过 25 m。滑坡面位于强风化基岩面 附近。

根据以上分析,可推测几个滑坡面大致为圆弧状,因而推测本滑坡体为推移式滑坡:在滑坡形成初期,由于风化作用在滑坡前,山坡堆积大量坡积物; 在修建公路时,由于边坡的开挖,造成坡积物失衡, 重新进行应力分配,于是坡积物失稳,产生下滑力, 再加上大量雨水的润滑作用,而出现滑坡。

3 结论

现场探槽及探井资料表明,电法所获结果与现 场实际揭露情况基本一致,特别是经过地形校正后 的反演结果更加直观地反映出滑坡体的滑动面、埋 深及形态,可圈定滑坡体的存在范围。 电法结果与地震结果验证也一致,可反应该滑 坡体的大致形态,为后期的治理提供依据。

参考文献:

- [1] 李金都,周志芳,石昆法,等.滑坡体快速探测新技术应用研究
 [J].岩土力学,2005,26(增):271-274.
- [2] 唐邦兴.山洪泥石流滑坡灾害及防治[M].北京:科学出版社, 1994:242.
- [3] 江玉乐,周清强,黄鑫,等.高密度电阻率法在滑坡探测中的应用 [J].成都理工大学学报:自然科学版,2008,35(5):542-546.
- [4] 滕宏伟,岳顺,代高飞.高密度电阻率法在滑坡识别中的应用 [J].地下空间与工程学报,2006,2(4);688-693.
- [5] 郭秀军, 贾永刚, 黄潇雨, 等. 利用高密度电阻率法确定滑坡面 研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(10):1662-1669.
- [6] 刘盛东,吴荣新,张平松,等.高密度电阻率法观测煤层上覆岩 层破坏[J].煤炭科学技术,2001,29(4):18-22.
- [7] 吴荣新,刘盛东,周官群.高分辨地电阻率法探测煤矿地质异常 体[J].煤炭科学技术,2007(35):33-34.
- [8] 刘盛东,张平松.分布式并行智能电极电位差信号采集方法 [P].中国发明专利:zl200410014020.0,2006-7-26.
- [9] 张平松,刘盛东,吴荣新,等.采煤面覆岩变形与破坏立体电法 动态测试[J].岩石力学与工程学报,2009,28(9):1870-1875.
- [10] 刘盛东,王勃,周官群,等.基于地下水渗流中地电场响应的矿 井水害预警试验研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(2): 267-272.
- [11] 陈兴海,张平松,江晓益,等.水库大坝渗漏地球物理检测技术 方法及进展[J].工程地球物理学报,2014,11(2):160-165.
- [12] 刘保金,姬继法,徐朝繁,等.共偏移距地震反射波方法用于城市活断层探测[J].地震地质,2006,28(3):411-418.

The application of the multi-electrode resistivity method and reflection seismic method to the landslide detection in the Jiuhua Mountain

ZHOU Guan-Qun, ZHAI Fu-Qin, HAO Zhi-Chao, CAO Yu, CHEN Xing-Hai,

CHEN Guang-Ming, WANG Zong-Tao, Miao Yuan-Yuan

(Anhui Huizhou Geology Security Institute Co., Ltd., Hefei 230088, China)

Abstract: With the charaCTeristics of simplicity and quickness, multi-electrode resistivity method can find out the important landslide geological information such as the thickness, the range and the developmental characteristics of the landslide body in landslide geological hazards exploration; and then, through drill hole deployment, the physical-mechanical parameters which are indispensable to work out the stability calculation can be obtained. The testing results indicate that multi-electrode resistivity technology performs well in the exploration of landslide body, the result is the same as the reflection seismic total deviation detection technology, and the relevant geological parameters acquired can provide a basis for the evaluation and control of landslide.

Key words: multi-electrode resistivity method; reflection seismic method; landslide exploration in the Jiuhuashan Mountain

作者简介:周官群(1980-),男,研究生,高级工程师,安徽省煤炭学会水害防治专业委员会委员、安徽省国土资源厅专家库专家、中国煤炭学会矿井地质专业委员会委员、安徽省战略性新兴产业技术领军人才、国家科技创新创业人才。主要从事工程与环境地球物理勘探、工程与环境监测系统的科研、技术服务和成果转化工作。E-mail:gqzhou0605@126.com