

等值反磁通瞬变电磁在高陡不稳定斜坡勘察中的应用分析

邵军^{1,2} 黄建权²

1. 中南大学地球科学与信息物理学院; 2. 湖南省地球物理地球化学调查所

摘要: 针对山区高速公路隧道进出口地形起伏大的斜坡, 斜坡具有不稳定、高陡、覆盖层厚度分布不均等特征, 斜坡评价稳定性通常要查清滑坡面、地下水分布特征、岩土层结构等, 覆盖层厚度是斜坡稳定性计算的重要参数, 以大-永高速椿坪2号隧道出口的斜坡覆盖层厚度探测为例, 采用等值反磁通瞬变电磁方法, 调查隧道出口及周边覆盖层厚度, 物探成果推断经已知勘探钻孔信息标定, 物探推断结果与后期验证钻探揭露覆盖层厚度较吻合, 通过此次探测研究, 结果表明, 采用等值反磁通瞬变电磁能有效查明山区高速公路隧道进出口高陡斜坡覆盖层厚度, 为不稳定斜坡的计算、评价提供科学依据。

关键词: 等值反磁通瞬变; 覆盖层厚度; 视电阻率值; 不稳定高陡斜坡

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.10.038

引言

椿坪2号隧道属于构造侵蚀中山地貌, 地形起伏大, 工区标高为904~1216m, 最大高差312m, 山体自然坡度15~63°, 坡顶植被较发育, 隧道出口位于堆积体前缘。钻探揭露堆积体以松散的碎石土为主, 下部结构稍密, 无稳定的地下水位。山区极端暴雨天气, 不稳定斜坡易引发滑塌。基于此, 查明覆盖层厚度评价斜坡稳定性非常重要。

目前, 应用物探技术探测滑坡的方法较多, 2004年郭秀军等人^[1]研究不同装置下高密度电阻率法在滑坡勘察中应用, 2008年肖宏跃等人^[2]采用高密度电法对滑坡区异常进行研究, 2008年刘新华等人^[3]研究综合物探在防城区滑坡勘察中的应用, 有效去除滑坡范围, 滑坡面位置, 2009年朱自强等人^[4]开展三极测深在滑坡勘察中, 2010袁广祥等人^[5]采用综合物探在大型堆积体滑坡勘察。高密度电法^[6-7]在不同条件下研究滑坡取得较好的效果, 2007年赵伟等人^[8]在滑坡勘察中利用基阶和高阶模态的频散曲线进行综合研究, 张慧颖等人^[9]快速分析了碎石土滑坡的剪切波速度结构, 2020年许新刚等人^[10]研究了面波勘察中锤击、落重等震源的频谱成分, 分析了震源质量、高度、垫板材质等因素与面波信号的关系以及等, 2015年李好^[11]综合高密度电法和面波在滑坡探测中的应用, 验证方法有效性; 2005年李金都等人^[12]研究瞬变电磁方法和可控源音频大地电磁法在滑坡体快速探测中的应用, 分析表明结合少量钻探工作可快速实现滑坡体探测的目的。

高密度电阻率法, 主要受限于地形起伏大, 地表主要为干燥的松散碎石土, 测线展布受限, 电极供电、接收受限; 瑞雷面波, 受到地表碎石土的影响, 震源激

发、检波器接收受限, 隧道周边正在施工, 工程活动干扰较大; 传统的瞬变电磁, 早期数据存在电磁耦合干扰, 浅层勘探存在盲区, 影响浅层勘探应用。

基于此, 采用中南大学席振铎等人^[13]提出等值反磁通瞬变电磁法, 该方法采用的双线圈源比传统瞬变电磁法采用的单线圈源对地中心耦合场能量更集中, 因而提高探测的横向分辨率, 是浅层探测的一种有效方法, 不受地形、接地条件影响, 仪器轻便, 抗干扰能力强等优点, 已经在岩溶、采空区勘察^[14-16]中取得较好的勘探效果。在高陡边坡覆盖层厚度调查的应用研究较少, 因此, 在椿坪2号隧道出口开展等值反磁通瞬变电磁法探测高陡斜坡覆盖层厚度的研究。

一、等值反磁通瞬变方法原理

瞬变电磁的工作原理, 利用不接地回线向地下激发一次场, 在一次场断电后采用感应线圈测量地下二次场随时间的变化值, 从而达到解决地质问题的目的。等值反磁通瞬变电磁工作原理与传统的瞬变电磁一致, 采用上下大小相同的微线圈(直径小于1.0米), 如图1所示, 其发射电流相同, 方向相反, 因此, 在上下微线圈的几何中心水平面和无穷远处一次垂直磁场为零, 克服传统瞬变电磁早期电磁耦合干扰。

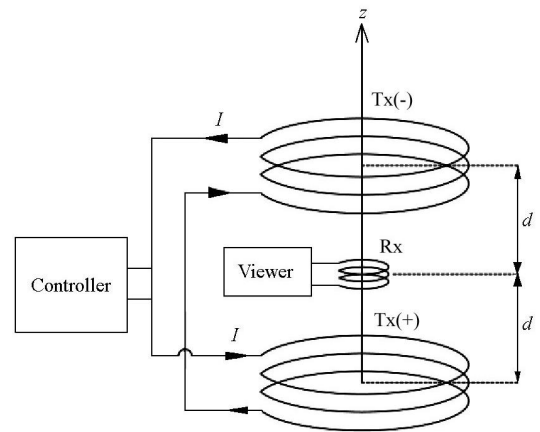


图1 等值反磁通瞬变电磁装置图(引自文献[16])

仪器设备及采集参数设置: 采用湖南多维地质科技有限责任公司生产的HPTEM-18型高精度瞬变电磁系统, 点距5m, 发送频率6.25Hz, 叠加次数100, 地表主要以碎石土堆积为主, 电阻率设置为200 Ω·m, 反演系数为0.1。

二、地质概况

(一) 地层岩性

根据工程地质调查资料, 边坡覆盖层主要为第四系覆盖层主要更新统崩坡积成因的碎石土, 覆盖层厚度变

化较大, 5~50m不等, 下伏基岩为二叠系栖霞组 (P_{1q}) 灰岩。

碎石土 (Q₄^{col+d1}) : 结构松散, 主要由玄武岩碎石、粉质黏土、砂土等组成, 主要为崩坡积和残积成因。

中风化灰岩 (P_{1q}) : 岩芯较破碎, 主要为碎块状, 少许柱状, 岩质较硬, 裂隙发育, 局部见溶蚀凹槽, 为中风化。

(二) 地球物理特征

通过收集工作区及现场测量, 统计了工作区主要岩性的电阻率变化范围, 第四系碎石土电阻率范围 50~550 Ω·m, 平均值 360 Ω·m; 完整灰岩电阻率值范围 500~3000 Ω·m, 平均值, 2100 Ω·m, 岩石物性经验, 各类岩石的视电阻率随孔隙度、含水率增大而减小。

碎石土与灰岩电阻率值有明显的差异, 提供了较好的地球物理前提条件。

三、物探结果分析

(一) 工作布置

测线布置如图2所示, 沿高速公路椿坪2号隧道方向左线、右线各布置1条测线, 垂直线路方向布置7条测线, 点距5m。

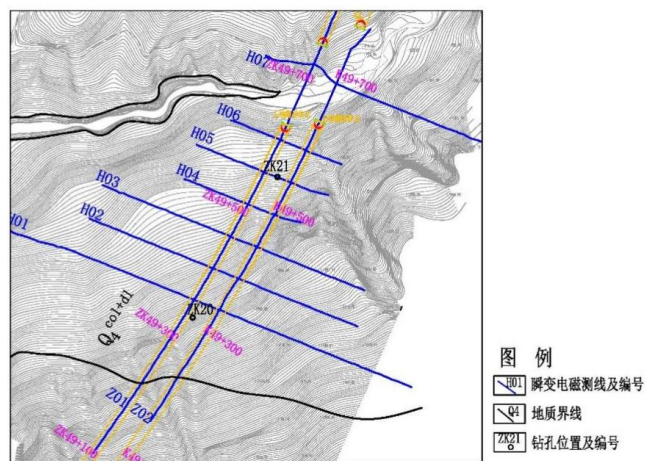


图2 物探工作布置图

(二) 物探成果推断分析

图3为Z01线等值反磁通瞬变电磁视电阻率剖面图, 在ZK49+330、ZK49+550有已知勘察孔XK20、XK21, 其中, XK20覆盖层厚度42m, XK21覆盖层厚度18.6m, 均需投影到剖面上, 综合钻探资料与视电阻率剖面标定, 推断第四系覆盖层视电阻率值范围100~550 Ω·m, 土、岩界面视电阻率值范围450~550 Ω·m, 其中, ZK49+600~640位于冲沟及两侧, 冲沟内有地表水流, 为含水段, 视电阻率整体降低。

覆盖层厚度特征: 基岩界面起伏较大, 推断覆盖层厚度范围8.6~42.3m, 平均厚度30.0m, 测线呈现两端相对较薄、中间相对较厚的特点。

各里程段覆盖层厚度特征: ZK49+100~140号测点, 厚度较小, 13~16m, 平均值为15.1m;

ZK49+140~260号测点, 厚度11~34m, 平均值22m, 近直线递增; ZK49+260~530号测点, 厚度36~42.3m, 平均值38.6m, 较均匀, 缓慢递增; ZK49+530~600号测点, 厚度33.3~39.1m, 平均值34.5m, 较均匀, 缓慢递减; ZK49+600~640号测点, 厚度9.6~33.3m, 平均值21.1m, 近直线递减; ZK49+700~800号测点, 厚度17.8~30.7m, 平均值22.7m, 前半段缓慢递增, 后半段近直线递减。

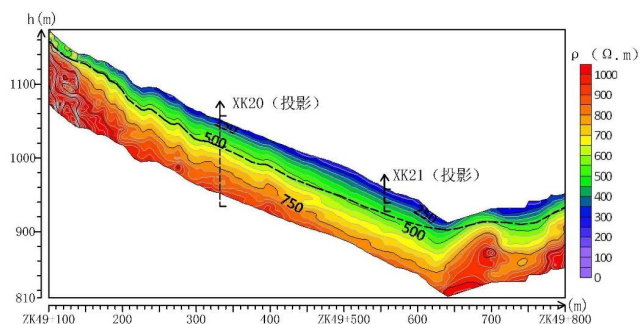


图3 Z01线等值反磁通瞬变电磁视电阻率剖面图

图4为H05测线等值反磁通瞬变电磁视电阻率剖面图, 120号测点有已知钻孔XK21, 170号测点布置验证孔CPBK5, 揭露覆盖层厚度20m, 土、岩界面视电阻率值约 500 Ω·m, 钻探验证结果与瞬变电磁视电阻率推断结果吻合。

覆盖层厚度整体特征: 基岩界面起伏较大, 推断覆盖层厚度范围20.6~36.7m, 平均厚度约29.1m, 0~200号测点, 覆盖层厚度整体上呈递减趋势。

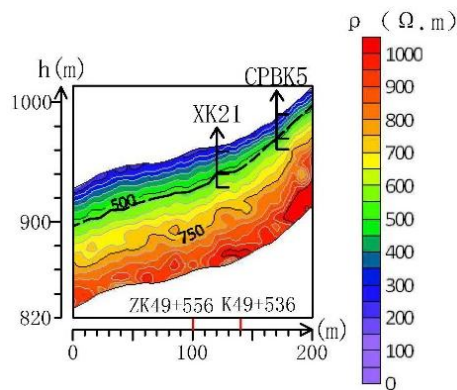


图4 H05线等值反磁通瞬变电磁视电阻率剖面图

综合钻探资料 (已知勘察孔与验证孔) 与等值反磁通瞬变电磁视电阻率剖面对应关系, 推断土、岩界面视电阻率值范围在450~550 Ω·m, 等值反磁通瞬变电磁推断覆盖层厚度结果准确、可靠。

(三) 剖面综合分析

综合等值反磁通瞬变电磁视电阻率剖面推断结果、钻探信息, 获得平面范围内不同测点第四系覆盖层厚度, 并绘制覆盖层厚度等值线平面图, 如图5所示。过左、右隧道, 拾取JD1、JD2测线覆盖层厚度, 结合地调资料, 绘制JD1、JD2测线地质断面图, 如图6所示。在

JD2测线布置两处验证孔CKBP4、CKBP2, 其中, CKBP4覆盖层厚度25.3m, CKBP2覆盖层厚度19.8m, 与覆盖层厚度等值线平面图较吻合。

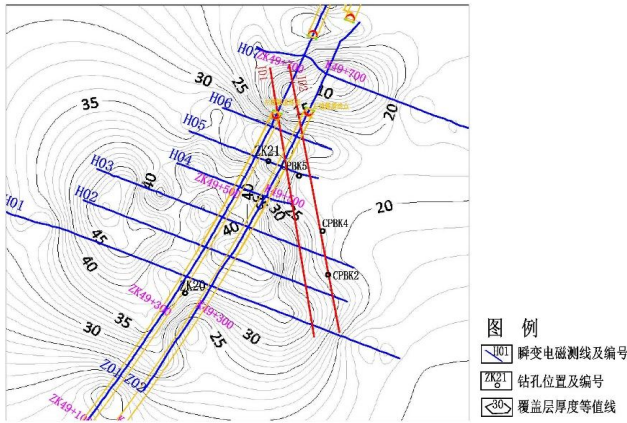


图5 第四系覆盖层厚度等值线平面图

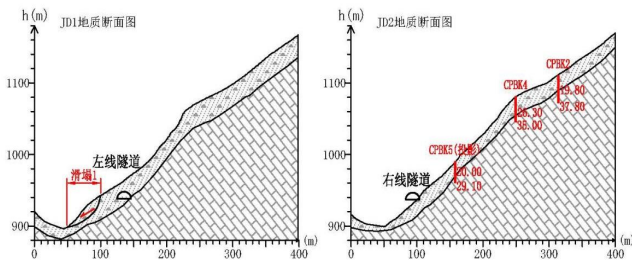


图6 JD1、JD2地质断面图

JD1线分析: 50~100号测点覆盖层厚度10.6~34.2m, 近直线增长, 地形起伏较大, 形成较大的临空面, 测量后已经发生滑塌, 200~250号测点覆盖层厚度26.8~33.6m, 厚度值近直线增长, 地形坡度较大, 形成较大的临空面, 需要进一步评估该段的稳定性。

JD2线分析: 50~120号测点覆盖层厚度7.8~27.1m, 近直线增长, 地形起伏较大, 形成较小的临空面; 200~260号测点覆盖层厚度20.8~25.1m, 厚度值近直线增长, 地形坡度较大, 形成较小的临空面, 需要进一步评估该段的稳定性。

四、结语

获得如下认识:

1、采用等值反磁通瞬变电磁法探测山区高速公路隧道进出口高陡不稳定斜坡覆盖层厚度, 探测结果准确可靠, 通过不同测点获得覆盖层厚度, 绘制平面等值线图, 获取不同剖面的覆盖层厚度数据, 为评价斜坡稳定性评价提供基础数据。

2、左线隧道50-100号测点已经发生滑塌, 左线200-250号测点岩土结构与之相似, 可能存在滑塌隐患, 需要进一步评估该段稳定性。

参考文献

[1]郭秀军, 贾永刚, 黄潇雨, 牛建军. 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 (10): 1662-1669.

[2]肖宏跃, 雷宛, 孙希蓊. 滑坡勘查中的高密度电阻率法异常特征[J]. 灾害学, 2008 (03): 27-31.

[3]刘新华, 张玉池, 温佩琳. 综合物探在防城区那勤滑坡勘察中的应用[J]. 工程勘察, 2008 (S1): 246-249.

[4]朱自强, 柳群义, 卿笃干, 鲁光银, 何现启. 滑坡勘探中的三极电测深法[J]. 工程勘察, 2009, 37 (02): 87-91.

[5]袁广祥, 唐民安, 吴琦, 崔江利, 潘继顺. 基于综合物探技术的大型堆积体滑坡勘察[J]. 工程勘察, 2010, 38 (11): 75-79.

[6]王磊, 蔡晓光, 李孝波, 苏占东, 常晁瑜, 彭达. 西吉县西南山区典型黄土地震滑坡高密度电法物探解译分析[J]. 地球物理学进展, 2020, 35 (01): 351-357.

[7]林松, 王薇, 邓小虎, 查雁鸿, 周红伟, 程邈. 三峡库区典型滑坡地质与地球物理电性特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 50 (01): 273-284.

[8]赵伟, 单娜琳. 在滑坡探测中多阶模态瑞利面波的利用[J]. 勘察科学技术, 2007 (03): 59-61.

[9]张慧颖, 徐兴倩, 苏立君, 李峰. 碎石土滑坡剪切波速度结构分析[J]. 工程勘察, 2016, 44 (04): 72-78.

[10]许新刚, 岳建华, 李娟娟, 张河瑞. 面波勘查技术及在滑坡地质调查中的应用研究[J]. 地球物理学进展, 2016, 31 (03): 1367-1372.

[11]李好. 高密度电法和瞬态瑞利波法在长江沿岸滑坡探测中的综合应用[J]. 工程勘察, 2015, 43 (05): 83-91.

[12]李金都, 周志芳, 石昆法, 宋汉周. 滑坡体快速探测新技术应用研究[J]. 岩土力学, 2005 (S1): 271-274.

[13]席振铎, 龙霞, 周胜, 黄龙, 宋刚, 侯海涛, 王亮. 基于等值反磁通原理的浅层瞬变电磁法[J]. 地球物理学报, 2016, 59 (09): 3428-3435.

[14]王银, 席振铎, 蒋欢, 侯海涛, 周胜, 范福来. 等值反磁通瞬变电磁法在探测岩溶病害中的应用[J]. 物探与化探, 2017, 41 (02): 360-363.

[15]高远. 等值反磁通瞬变电磁法在城镇地质灾害调查中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46 (03): 152-156.

[16]杨建明, 王洪昌, 沙椿. 基于等值反磁通瞬变电磁法的岩溶探测分析[J]. 物探与化探, 2018, 42 (04): 846-850.

作者简介:

邵军(1987-), 男, 汉, 湖南娄底, 工程师, 硕士研究生在读, 主要从事地球物理勘探工作。