

文章编号: 1001-1749(2023)06-0783-13

广东几种典型斜坡类地灾体的电性结构特征分析及物探解释方法研究

易隆科¹, 刘春艳², 张云斌²

(1. 广东省地质调查院, 广州 510000;

2. 广东省地质局 第三地质大队, 韶关 512000)

摘要: 针对近年来广东省内出现的地质灾害发生数量呈日益加剧的现象, 为提高物探在地灾勘查中的应用效率, 这里以“十三五”期间广东省内的地灾勘查成果资料为基础素材, 对广东省内的几种典型斜坡体的电性结构以地质-物性模型方式进行了实例分析研究, 归纳了其要点, 研究表明: 花岗岩型斜坡体风化层的电性结构分层可分出2个~3个物性界面层, 中微风化层之间普遍没有明显的物性界面, 基岩与上覆风化层之间普遍存在梯度变化的物性分界面; 沉积岩、变质岩型斜坡风化层与下伏基岩之间, 普遍存在一处高低阻截然变化接触的物性分界面; 构造成因型不稳定斜坡体中软弱结构面在电性结构面上, 一般以低阻带、梯度带、高低阻过渡带等形式出现; 广东省内的斜坡构造中的物性分界面(高低阻截然过渡带、梯度带等)往往与地质分界面(风化带、滑动面、断裂面、岩性分界面、层理面等)相吻合。这里的研究成果, 可为斜坡灾害的破坏机理、演化过程、灾情监测预警、灾后治理、物探方法选择及成果解释等后续研究工作提供参考。

关键词: 广东省; 斜坡地灾体; 电性结构特征; 物探解释方法

中图分类号: P 631 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.06.11

0 引言

广东位于华南沿海, 丘陵山地居多(占土地面积的60%), 地质环境条件脆弱, 地质灾害点多面广。同时广东是中国第一大经济省份, 经济总产值连年位居全国之首, 经济建设发展迅猛, 大量的修路、建房、建厂等工程建设对原有地质环境造成了较大的改变, 2019年地质灾害发生数量位列全国第五位, 呈现出日益加剧的趋势^[1-2]。

根据广东省地质环境监测总站组织实施的《广东省县(市、区)1:50 000地质灾害详细调查成果

集成》项目, 收集的近年来(2015年—2020年)省内各市区地质灾害详查成果统计: “十三五”期间, 全省共发生地质灾害1 155起, 造成多人伤亡; 截至2020年底, 全省在册地质灾害隐患点5 795处, 威胁总人口25.73万人, 潜在经济损失78.37×10⁸元。

按类型划分, 崩塌2 646处、滑坡1 654处、不稳定斜坡239处、泥石流77处、其他128处, 斜坡类地质灾害占比97.3%, 是最主要的地质灾害类型^[1]。

省内86个县市区地灾专项调查勘查项目中, 应用了物探勘查的项目中滑坡勘查项目占最大比例, 有50例, 占比55.56%; 崩塌勘查项目18例, 占比20%; 人工陡边坡勘查项目13例, 占比14.44%; 泥

收稿日期: 2022-10-17

基金项目: 《广东省县(市、区)地质灾害详细调查集成》(0835-210Z22805561)

第一作者: 易隆科(1989-), 男, 本科, 工程师, 主要从事矿产地质、区域地质、城市地质等工作, E-mail: yilongke@126.com。

石流勘查项目 3 例,占比 3.33%;总体斜坡类地质灾害勘查物探应用占比最大,占有应用物探勘查的项目比例的 90%。在物探方法手段应用上,主要有 4 种(高密度电法、多道瞬态面波、地质雷达、瞬变电磁法),其中高密度电法应用频率最高,共 81 次,占比 81%,是最主要的物探方法^[2]。

根据各项目成果中物探方法应用效果统计:①多道瞬态面波法能对坡体的浅层速度结构进行分层,但面波勘查反演得到的界面偏浅,对超浅层(5 m 以内)的分辨力欠佳,对含水率的变化反映较弱,施工时需要使用主动震源,其本身就是一个斜坡不稳定因素^[1-3];②地质雷达的探测深度和分辨力与探头频率、地下电阻率、介电常数等有关,对松散干燥堆积层穿透力高,对潜水面反映敏感,但低频段的天线块头大往往贴地性不好,在坡体勘查时施工困难,高频段的块头小施工方便但探测深度有限^[4-5];③瞬变电磁法施工较简便,对低阻异常体敏感,但在近年来广东省内地灾勘查中应用案例较少,在应对复杂地形及复杂地质结构勘查时,存在应用效果欠佳的情况^[2]。

高密度电法综合应用效果最好:①施工简便,对坡体扰动小,应用于斜坡类地质灾害的勘查,能对滑坡地质灾害的空间分布状态、地质结构及滑床埋藏情况、软弱夹层的分布、覆盖层厚度产生原因及滑坡体的大小和滑落方向均能进行详细的探查;②对崩塌(危险岩土体)空间分布状态、地质结构、断层分布情况、软弱层/面的分布、覆盖层厚度等能进行基本查清;③对泥石流的物质来源、可能形成的规模及发生原因等能做出初步解释;④对于人工陡边坡,能够查明边坡下方是否存在断层或破碎带及不同岩性接触带等不良地质体^[6-10]。

综上,斜坡类地质灾害近年来在广东省内发生的地灾类型中发生频率最高、危害强,对人民的生命财产威胁性最大,高密度电法应用案例最多、效果最好。

近年来广东省内地质灾害的发生有明显加剧的趋势,物探在地灾勘查中扮演了十分重要的角色,起到快速了解、排查、定性、预警等作用^[1-10],为提高勘查效率,急需对地灾物探勘查技术特点进行归纳研究,总结其技术要点。

笔者的研究素材主要来源于“十三五”期间广东省内的地灾勘查成果资料收集,研究思路是从物探方法在广东省内地灾勘查中的应用频率和效用的角度出发,选取综合应用效果最好的高密度电法为基

础,从物性、地质背景、物质组成等方面对典型斜坡电性结构以地质-物性模型(以广东省内发生的实例)的方式,研究了它的结构特征,建立了物性参数分布与斜坡工程力学性质之间的联系,为物探成果解释提供了基础素材依据。

以往的地灾物探解释,大都只做物理解释,研究程度较浅,成果资料不便于甲方直接利用,笔者通过典型斜坡体的地质-物性模型分析研究并结合自身多年一线工作经验及近年来省内的地灾勘查成果资料归纳总结,研究制订出了一套切实可行的物探解释方法,并通过实例分析示范了其解释过程,可为斜坡灾害的破坏机理、演化过程、灾情监测预警、灾后治理、物探方法选择及成果解释等后续研究工作提供参考依据,可为从事地灾工作的相关人员提供借鉴,对减灾防灾、助力广东省经济发展和人民的安居乐业具有十分重要的意义。

1 地灾地质环境背景

广东省地质灾害的形成、演变和发展既受自然环境影响也受人为因素的影响^[11-16]。自然环境的背景主要表现为:地质灾害具有地带性和区域性的发育规律,其形成发展及分布既受气候地形地貌、水文条件和外营力控制,地理上按垂直高度分带和水平上按纬度分带,又受到以地壳构造活动为主要营力控制下的区域地质构造和岩土特性的制约,有显著的区域性。

广东省自然环境的特点,在气候方面表现为温湿多雨,年平均气温自北而南为 19℃~24℃,年平均降雨 1 774 mm,暴雨、洪水、风暴频繁、河流发育,其中珠江水系覆盖全省大部。地貌上位于我国三大阶梯中最低一级的南部,以较低的山区丘陵为主,海拔一般 80 m~1 500 m,只有粤北和粤西少数山峰超过 1 500 m,沿海分布有三角洲和滨海平原,山地丘陵面积占全省总面积 75%以上。省内地形北高南低,由山地、丘陵过渡为台地平原的地势梯度明显。地质构造复杂多样,构造体系主要有五种:NE 或 NNE 向(华夏)构造,组成本区主要构造骨架,规模大分布广;南岭东西向构造带,主要表现为东西向花岗岩带及断裂;粤北呈山字型构造;NW 向构造,在沿岸表现特别明显,控制水系港湾展布,显示晚近地质时期的活动特点省内地层发育齐全;上古生界碳酸盐岩和滨海地区第四系软土层广泛分布,花岗岩发育,风化壳厚度一般较大^[11,15]。

由人类活动所影响的人为地质作用是诱发和加剧地质灾害的重要因素:①在丘陵台地区,由于人为的大面积乱砍滥伐,陡坡开荒,加剧了水土流失和河库淤积;②省内高速公路的建设、高速铁路的建设、地下铁路建设以及乡村公路建设,由于不注意斜坡体及其他防护,在道路穿越斜坡体时,没有采取有效的防护措施,尤其是在山区修建的公路,很多公路的边坡没有采取斜坡防护措施,有些甚至边坡挖得很陡,使斜坡失去了原有的平衡,这些人为的人工陡坡,在特定的灾害条件下,易产生崩塌、滑坡地质灾害;③近年来由于经济的发展,大量的厂房、民房拔地而起,很多厂房及民房在山边削坡而建,由于没能做好斜坡的防护措施,也易引发较多的崩塌、滑坡地质灾害;④在矿山开采过程中,大量抽排地下水,致使地下水位急剧下降而诱发地面塌陷、地面沉降及地裂缝等地质灾害,同时我省大大小小的采石场,乱开乱采现象较多,严重地破坏了山体平衡,再加上矿渣无序堆放,在特定的灾害条件下,极易产生崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害;⑤我省多年以来大面积垦

植坡地种果树,特别是垦植坡度 $>35^\circ$ 的坡地,造成了大面积的水土流失,这些水土流失区往往是崩塌、滑坡、泥石流灾害的发生地^[1]。

2 电性结构模型特征分析

广东省内的斜坡类地质灾害,与其表层坡积物、风化壳的发育厚度有着密切的关系。根据各县市“十三五”期间地灾勘查成果统计:全省所发生的滑坡案例中,典型的斜坡类地灾类型按地质背景成因主要有花岗岩型、变质岩型、沉积岩型、构造成因型等,绝大部分的灾害都分布于各种岩类的风化壳发育带,尤其在花岗岩类风化壳区域的案例相对较多,岩质边坡滑坡相对较少^[1-2]。因此,了解和掌握风化壳的类型、发育特征、空间分布结构,分析风化壳土层的结构、颗粒组成及电性结构特征等岩土条件,是查明斜坡类地质灾害的物质基础,建立起电物性参数分布与工程力学性质之间的重要桥梁(表1)。

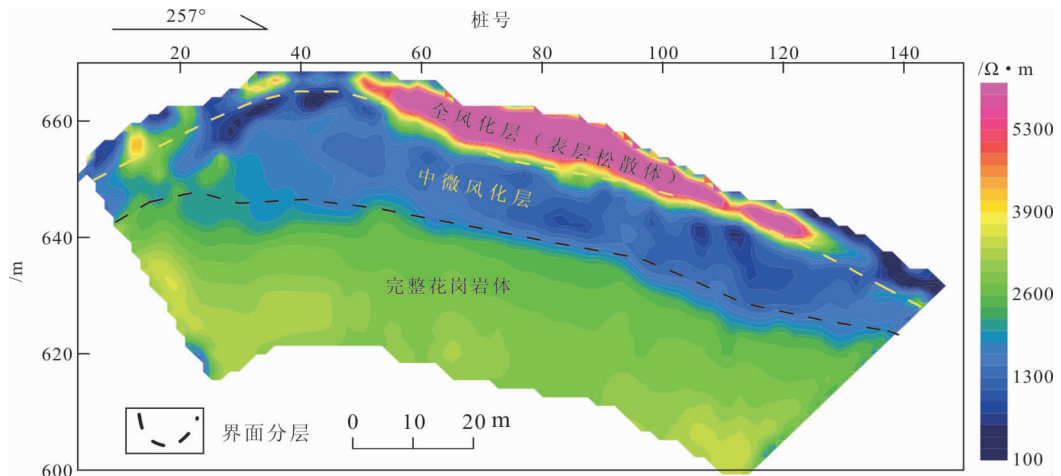


图1 花岗岩型风化层边坡电性结构模型图

Fig. 1 Electrical structure model of granite type weathered layer slope

表1 滑坡体物质的物性参数统计^[2]

Tab. 1 Statistics of physical parameters of landslide mass^[2]

类别	电阻率/ $\Omega \cdot m$	横波速度/ $m \cdot s^{-1}$	纵波速度/ $m \cdot s^{-1}$	平均密度/ $g \cdot cm^{-3}$
素填土	10~1200	80~200	400~800	1.5
淤泥	1~80	70~160	800~1200	1.6
淤泥砂、细砂	10~300	120~250	300~600	2
淤泥石英砂岩	100~5000	200~2000	800~3000	2.5
淤泥花岗岩	100~20000	200~5000	800~6000	2.6
淤泥碳酸盐岩	500~20000	600~5000	1200~6000	2.5
淤泥变质岩	100~20000	200~5000	800~6000	2.6

2.1 花岗岩型风化层斜坡岩土体

根据省内已有的区域地质调查资料,广东省内花岗岩以燕山期花岗岩为主,在全省出露面积较广,在珠三角主要经济区花岗岩出露面积占比约 45%。花岗岩风化壳在不同地区的发育厚度略有不同,粤东梅州市 16 m~19.5 m,河源市 5 m~8 m;粤西德庆县 23 m~26.5 m,最厚为 50 m,电白 17 m~20.9 m;粤北韶关 15 m~20 m;南部珠海市 30 m~50 m,广州市 16.7 m~23.5 m,局部大于 42 m,整体平均厚度在 5 m~27 m 之间^[3,8-9]。据钻孔资料,典型剖面上还可划分四个风化层(全、强、中、微风化层)。表层全风化带岩体普遍结构完全破坏,结构松散,饱水后粘性较强,降雨时易富水,雨停后也易疏水,是滑坡、崩塌的易发区。除表层松散全风化层外,其余 3 个层位含水率相对较稳定,与表层之间易形成相对隔水层,内部各层之间的物性差异属渐变过渡,无明显的物性分界面。研究清远市连山县城北面太保镇汪洞村后山边坡(图 1)^[1-2]的电性结构特征。

根据《广东连山县 1:50 000 地质灾害调查》项目调查发现,在连山县太保镇汪洞村后山发现一处滑坡地质灾害点,为查明滑坡体空间分布状态,在灾害发生的滑坡处布署多条高密度电法测线进行测量。勘查区为花岗岩区,断裂构造不发育,构造主要表现为节理裂隙,未风化的岩石坚硬、易碎、连续性好,不透水或微透水,岩石呈粒状结构,在地表氧化环境下极易风化,风化后岩石强度降低,裂隙发育,风化后的表层松散层以石英颗粒物为主,黏土含量较低。地势上北高南低,属低山地貌单元,测线布设在斜坡中下部,坡顶底高差约 55 m,所在斜坡坡向 260°,坡度为 15°~40°,靠坡脚处由于人工削坡建房,形成陡坎,高差 6 m~10 m,坡面植被发育。在山腰处,分布有深约 2 m、直径约 1.5 m 的地窖(村民用来储存生姜)十几个,均具有容水积水的能力,是雨水汇集下渗的收纳洞,人工陡坎和山腰地窖是边坡失稳根本原因。

据钻孔和物性测试结果比对:表层松散层厚约 5 m,物质组成以颗粒物为主,电阻率与含水量、黏土含量呈正相关,表层松散层在电法反演结果图(图 1)上呈以高阻为主的高低阻相间带(图 1 中黄色虚线以上部分);中微风化层厚约 10 m,岩芯软化,裂隙发育,黏土成分在 15%~25%左右,越往深处原岩结构越完整,含水率稳定,横向上物理性质相对较均一,据物性测试结果该层的电阻率在 800 $\Omega \cdot m$ ~1 700 $\Omega \cdot m$ 之间,在电法反演结果图中表现为物性

相对均一的等厚状相对低阻带(图 1 中黄色和黑色虚线之间);完整花岗岩体,岩芯完整,偶有节理裂隙发育,未见明显的张裂隙,物性测试结果均以高阻(2 500 $\Omega \cdot m$ ~5 000 $\Omega \cdot m$)特征出现。

花岗岩斜坡体的电性结构特征:在垂直方向上,电阻率整体以高、低、高三层结构的形式分布,表层松散孕灾体与下伏岩土层之间有明显的物性界面;在顺层方向上,表层松散风化层,因受含水率的影响,呈现出高低阻相间的特征,其他各层均呈均匀分布。

2.2 沉积岩型风化斜坡岩土体

沉积岩在广东省内主要以碎屑岩、碳酸盐岩、硅质岩、火山碎屑岩、黏土岩等岩性存在,以碎屑岩和碳酸盐岩出露面积最广,最具代表性^[11]。碎屑岩风化层厚薄差异性大,发育厚度通常 30 m 以内,普遍受褶皱和层理影响,岩层扭曲现象明显,质软性脆,表层风化土层为粘土和亚粘土,可塑~硬塑,属低~中压缩性土,含水量在 11.9%~42.5%之间,干旱季节,斜坡上风化土层的含水量偏低,一般为 13.5%~22%,风化土的粘聚力 C 为 15 kPa~30 kPa,内摩擦角 15°~22°,常形成泥包块、块夹泥等表层风化松散结构体,在降雨后易富水导致自重增加,通常是滑坡、崩塌等地质灾害的易发层,在垂直方向上,表层松散风化层与下伏完整基岩之间通常形成低高阻二元电性分层结构^[11-16]。碳酸盐岩的表层风化层通常较薄,普遍厚度在 10 m 以内,在碳酸盐岩边坡地区通常可以见到裸露基岩,其原因在于碳酸盐岩属化学沉积,岩层成分相对较纯净,风化残余少,风化层以黏土矿物为主要成分,普遍以粘性软土的形式存在,表层松散结构较薄,风化层与下伏基岩之间不存在明显的风化层过渡带,风化层与下伏完整基岩之间成低高阻二层电性分层结构,分层界面截然。以乐昌市黄圃镇东村村后山滑坡^[1-2]为例(图 2),分析其电性结构分层。

地灾点位于乐昌市黄圃镇东村村海堂岭组海堂岭后山约 200 m 处,由当地居民上报,据调查该地灾点变形迹象最早发生于 2014 年 4 月,之后持续变形,山体若干处、已出现 20 cm~80 cm 不等的拉张、剪切裂缝,半山坡中部有乡村公路通过,乡村公路局部基础土层下沉变形,出现裂缝等变形迹象。灾点所在区域地貌单元属山地地貌,地势总体上西北低东南高,表层风化松散层由粘粒、粉粒组成,可塑状为主,滑坡基岩岩性为泥盆纪灰岩,物理力学性质较好,质地坚硬,完整均一。

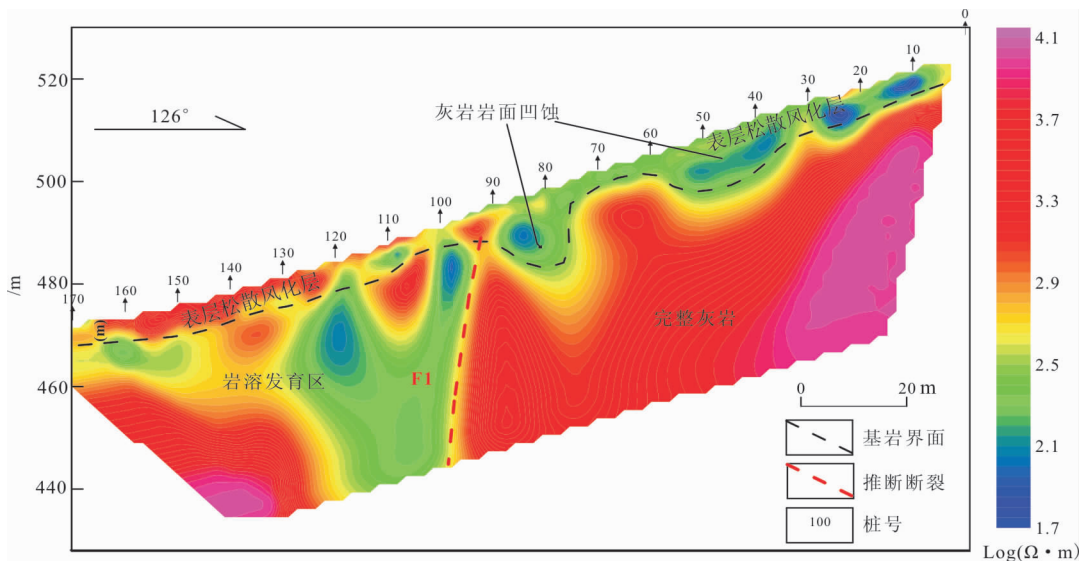


图2 碳酸盐岩型风化层边坡电性结构模型图

Fig. 2 Electrical structure model of carbonate weathered layer slope

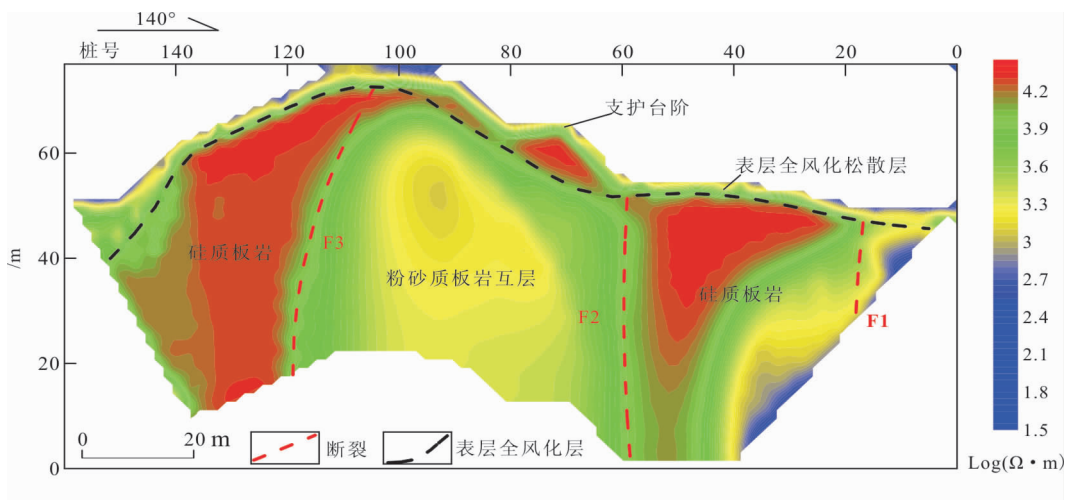


图3 变质岩型风化层边坡电性结构模型图

Fig. 3 Electrical structure model of metamorphic rock type weathered layer slope

据钻孔和物探反演结果对比:表层风化层平均厚约5 m,物质成分主要为黏土夹少量碎石块,对电阻率的影响主要为含水率,电阻率与含水率之间呈正相关,在图2中,整体表现为高低阻相间的顺层分布带,与下伏基岩之间存在明显截然过渡的梯度带。基岩层的物性特征以图2中的F1断裂为界,左侧部分因受断裂影响,岩溶发育较强,在物探反演成果图上呈现出高低阻相间的混合分布区,整体呈现出相对中低阻特征;右侧部分基岩在钻孔岩芯中变现为完整基岩,岩溶现象在发生在基岩表层,基岩内部未见明显的溶蚀现象,处于岩溶发育的初期,在图2中表现出相对高阻的特征。

灰岩斜坡体的电性结构特征:①在垂直方向上,表层松散风化堆积层与下伏基岩之间呈现出低高阻截然过渡的二层结构;②在顺层方向上,表层松散风化堆积层因受含水率的影响,呈现出高低阻相间的混层分布特征。基岩受构造及水溶蚀发育的影响,岩溶发育越强,溶洞裂隙越多,电阻率就越低,通常也会呈现出高低阻相间的特征。灰岩的基岩界面因受溶蚀发育的影响,通常是凹凸不平的界面,其滑动阻力相对较大,滑动面往往出现在切过基岩界面凹陷区顶部的切层面。

2.3 变质岩型风化斜坡岩土体

变质岩主要出露在粤东、粤西、珠三角,以粤西

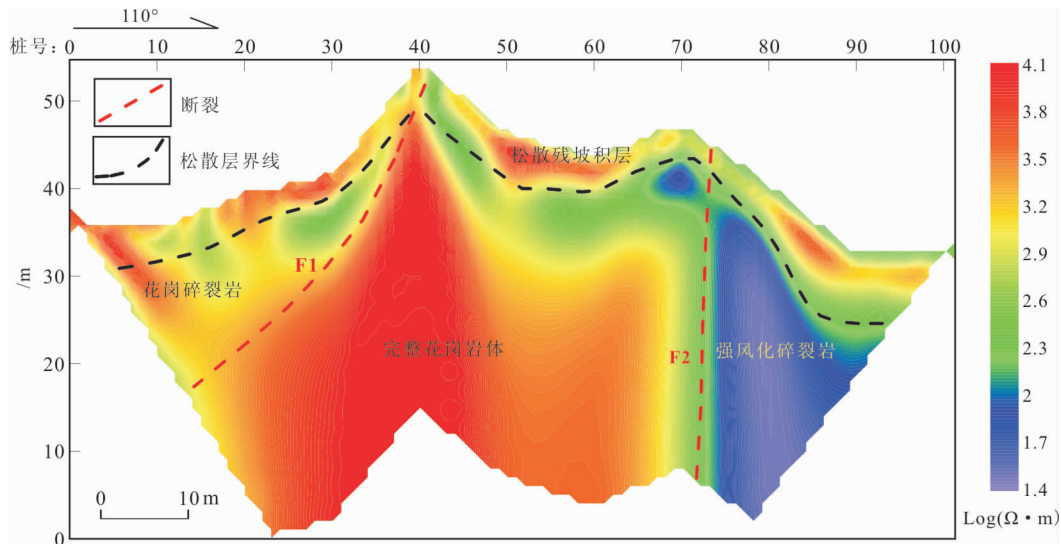


图4 构造成因型风化层边坡电性结构模型图

Fig. 4 Electrical structure model of structurally formed weathered layer slope

为主,有区域变质岩、动热变质岩、动力变质岩、接触变质岩、气液蚀变岩等,岩层结构以块状和层状分布,岩石脆硬,表层风化层主要表现为以黏土、粉土等夹10%~25%的岩屑碎石,透水性强,强风化与中微风化之间分层不明显,厚度普遍在20 m以内,总体上变质岩在电性结构上以全风化、完整基岩高低阻截然过渡二层结构分布较普遍^[3]。分析研究惠州市惠阳区淡水街道东华村委大埔石古坳组后山崩塌^[1-2](图3)的电性结构特征。

根据《广东省惠州市惠阳区1:50 000地质灾害调查》项目调查发现,在惠阳区淡水街道东华村委大埔石古坳组后山有一处崩塌地质灾害点(属岩土质边坡),出露地层为寒武系牛角河组板岩、硅质板岩、碳质板岩、粉砂质板岩互层,区域上属华南准地台,东南沿海断褶带,惠阳拗陷,经历了加里东、华力西期、印支、燕山、喜马拉雅各期的构造运动,加之大规模频繁的岩浆侵入的喷发运动,形成了以北东向为主,近东西向构造为辅的构造体系格局。

该边坡失稳属建筑用地削坡所致,虽然已做简易减荷载等支护治理,但治理方式不合理,削坡过陡(部分坡面 $>45^\circ$),未改变地表水的下渗条件,坡体未做防渗处理,再加上受断裂构造影响,表层松散岩土体,结构完整性差,成分组成为粉土夹块石,崩塌风险极大。

据钻孔和物探反演结果比对:表层松散层厚3 m~10 m,结构松散,粉土夹块石,未见原岩结构特征,含水率低,电阻率在 $1\ 200\ \Omega\cdot\text{m}\sim 5\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间,与下伏基岩体之间呈高低阻截然过渡的接触

状态,在桩号100~60之间属削坡所致高陡危岩体区段,表层松散结构体中块石含量高(物探反演结果图上表现为高阻),与下伏粉砂质板岩互层(中低阻)之间属高低阻截然过渡的接触。下伏基岩体有硅质板岩、粉砂质板岩互层两者之间属断裂接触关系,硅质板岩因其岩性完整性好,均一密实,质地坚硬而在图3中整体呈现出高阻特征,粉砂质板岩互层其本身结构为混层结构,岩性完整性较差,裂隙发育,存在一定的容水空间,质地较软易风化,在图3中整体呈现出中低阻特征。

变质岩斜坡岩土体电性结构特征:①在垂直方向上,电阻率整体以高低或低高阻过渡的二层结构的形式分布,表层松散孕灾体与下伏岩土层之间一般都有明显的物性界面;②在顺层方向上,电阻率整体呈现出中高阻特征,电阻率与其裂隙发育程度、含水率呈正相关。

2.4 构造成因型斜坡岩土体

构造成因型斜坡岩土体失稳,主要是以层理面、断裂结构面、贯通性节理裂隙发育带、软弱夹层等软弱面与坡面之间的交切关系来决定的,主要有5种交切关系(平叠坡、逆向坡、横交坡、顺向坡、斜交坡),以顺向坡最为不稳定,此类边坡类型一般为岩质边坡或岩土质边坡^[3]。分析研究广州市白云区钟落潭镇广州棕星纤维制品有限公司后山滑坡^[1-2](图4)的电性结构特征。

《广东省广州市白云区1:50 000地质灾害调查》项目的开展,调查发现了该处滑坡灾点,该点所处地貌单元属剥蚀残丘,地势总体上南东高北西低,

坡度为 $15^{\circ}\sim 60^{\circ}$, 靠坡脚处由于人工削坡建房, 形成陡坎, 高度为 3 m~20 m, 边坡滑坡体滑移面为层内错动带, 孕灾体、滑动面均受断裂控制。该灾点位于广从断裂带上, 断裂属正断层, 自从化市, 穿过神岗, 经白云山西侧延至三元里、越秀山西侧, 走向 58° , 倾向 328° , 倾角为 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$, 构造岩类型较复杂, 有硅化岩、构造角砾岩和糜棱岩等, 该断裂新构造期活动显著。岩性主要为白垩纪花岗岩, 受断裂影响, 侵蚀切割极强烈, 地形较陡峭, 岩石破碎, 在地表氧化环境下极易风化。风化后岩石强度降低, 微裂隙发育, 含风化裂隙水, 该组岩层全风化和强风化总厚度较厚, 局部大于 50 m, 极易发生崩塌、滑坡等地质灾害。

据钻孔和物探反演结果对比: 表层松散风化层为砂质粉土夹块石, 部分区域还保留有大块原岩, 表层松散风化层包含有中微风化状的块状岩, 均一性差, 微裂隙发育, 在降雨时易富水, 在图 4 中整体呈现出相对中高阻 ($600\ \Omega\cdot\text{m}\sim 2\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$, 块状岩表现为高阻) 相间的特征; 基岩因受断裂影响, 岩性差异性大, 物性差异也大, 图 4 中 F1 断裂左侧为花岗碎裂岩, 据钻孔揭露该岩体整体以大型块状碎裂, 张裂隙发育强, 整体呈现为相对高阻, 在 F1 与 F2 断裂之间的基岩相对较完整, 在图 4 中呈现出相对高阻特征, F2 断裂右侧基岩碎裂程度较高, 整体破碎, 泥砂质含量高, 强风化, 结构松散, 在图 4 中表现为相对低阻。

构造成因型斜坡岩土体电性结构特征: ①在垂直方向上, 整体呈现出高低阻二层结构, 在表层松散与下伏基岩之间存在明显的物性分界面; ②在顺层方向上, 表层松散层电阻率相对较均一, 基岩由于受断裂影响, 物性差异性较大, 电阻率与基岩的完整性呈正相关; ③F1 断裂因其顺层分布, 其上伏岩层为块状碎裂, 断裂上支角度陡, 顺层下滑力大, 容易在外因作用下, 在坡体的腰部产生剪出口(优势结构面出口)而发生滑坡, 与滑坡体间属顺向交切关系(不稳定交切关系), F2 角度接近垂直, 其右侧削坡角度陡, 岩体破碎, 故在该处边坡容易形成崩塌, 与坡体间属逆向交切关系(相对稳定交切关系)。

3 典型滑坡的物探解释方法研究

在地灾勘查中, 物探成果解释是串联起物性数据与地质灾害性状、成因、规模、变化趋势、空间形态等工程力学性质之间关联的桥梁, 物探解释方法在

地灾勘查中的可以起到的作用, 主要表现在: 通过分析、类比、解释等手段, 掌握灾害体的范围、分布、性质及现状, 并对灾害是否继续扩大的可能性做出迅速预判, 为后期预防和治理提供科学的基础资料, 对潜在的隐患灾害体、风险做出预测和评估, 并为制订下一步治理方案提供科学依据。

笔者通过典型斜坡体电性结构模型特征分析和多年的工作经验积累, 及收集近年来地灾勘查成果资料归纳总结: 一般情况下, 斜坡构造中的物性分界面(高低阻截然过渡带、梯度带等)往往与地质分界面(风化带、滑动面、断裂面、岩性分界面、层理面等)相吻合, 这是物探成果地质解释的基础。

结合广东省内现阶段地灾勘查治理的现实需求, 以方法有效、应用效果直接为前提, 制订了地灾物探解释完整步骤: 建立物理—地质模型(地质—电性结构模型)→异常判定(异常提取、划分)→异常分类及逐类/逐个解释→定性解释→定量解释→地质解释→提出验证工程位置及技术要求→物性测量(测井、岩芯测试、岩土标本测试等), 补充收集资料, 做进一步解释。此套解释方法, 笔者在实际工作中多次使用, 均取得良好的效果, 其中物性数据分布(反演结果)的地质意义(滑动层厚度、实际或潜在滑动面位置、成因、灾情发展趋势/稳定性评价等)解释最为关键, 是物探成果报告中最为精华的内容, 是关系到物探工作的成效的关键步骤, 也是我们主要探讨的内容。

3.1 风化层型斜坡类地灾物探解释方法研究

风化层型斜坡类(崩、滑、流)地灾是指孕灾层为风化层的地灾类型, 物探解释的主要内容有: 斜坡体物质层空间分布状态、地质结构判别、软弱夹层的分布、风化层(滑动层)厚度、滑动面划分、灾害形成机制、稳定性评价等方面^[1-2]。

解释方法: ①在反演结果的物性参数分布基础上, 渐变过渡层(中微风化层等)之间的划分, 主要参照钻孔岩芯样品及表层样品物性测试数据来划分对应的斜坡物质体空间分层; ②数值截然过渡带(梯度异常带), 普遍对应潜水面、表层松散风化层与下伏中微风化层之间的界面、风化层与下伏完整基岩之间的界面等, 在无钻孔数据参照前依据其自然覆盖层序划分, 在收集了地质、钻孔数据资料之后, 参照其数据资料再修正。

地质构造的判别主要依据区域地质资料、现场地质勘察、钻孔揭露结果、反演结果数据的空间分布形态、地质人员的认识等综合判别。

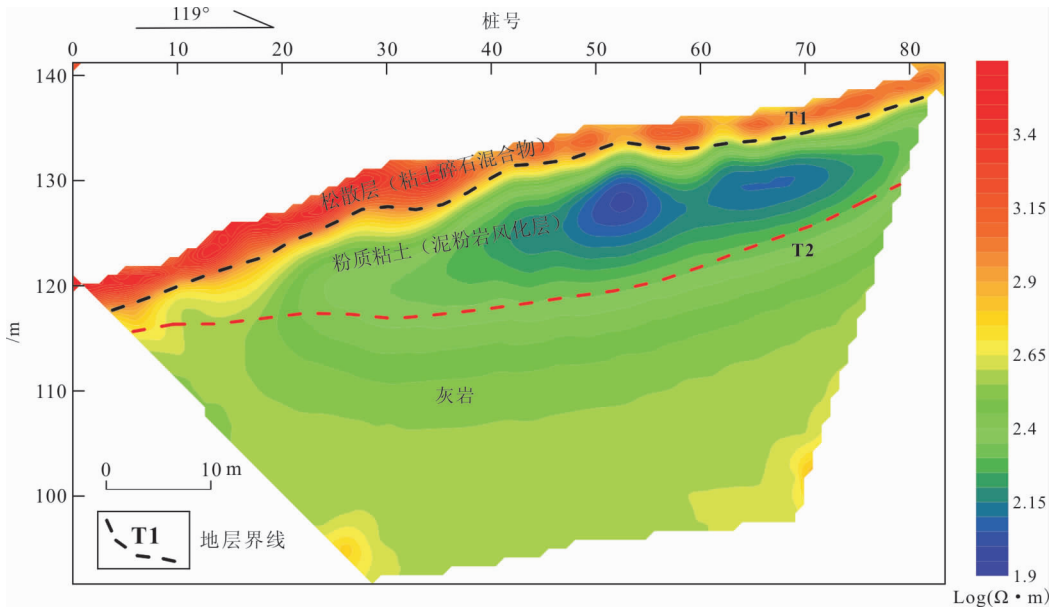


图 5 韶赣高速东行 573 段滑坡电性结构剖面图

Fig. 5 Profile of landslide electrical structure in 573 section of Shaogan expressway eastbound

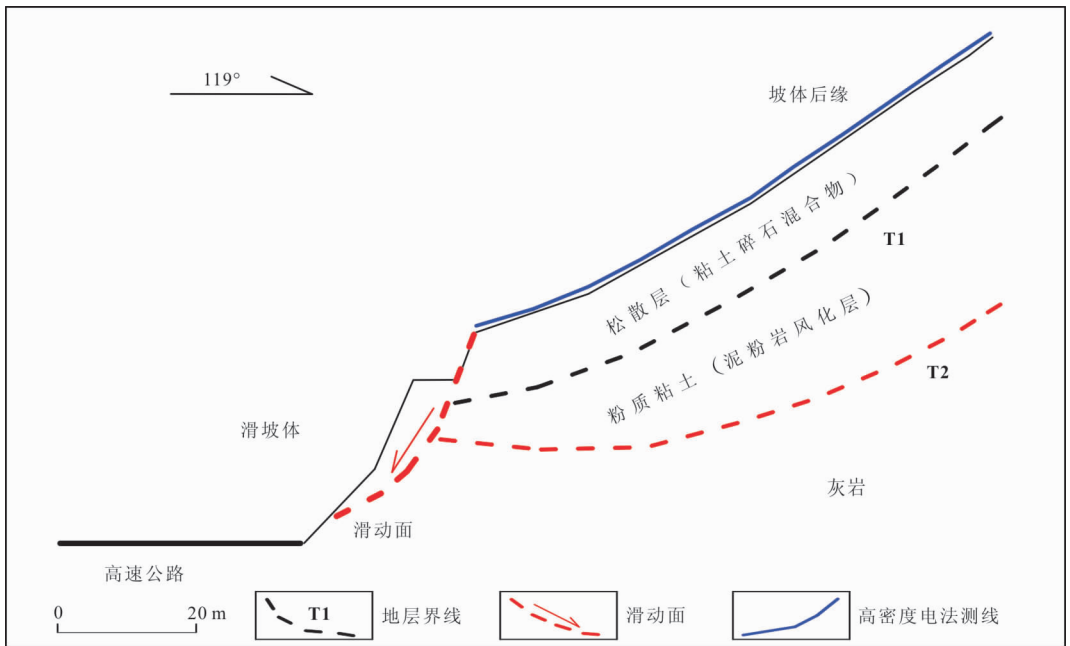


图 6 韶赣高速东行 573 段滑坡综合解释成果图

Fig. 6 Comprehensive interpretation results of landslide in section 573 of Shaogan expressway eastbound

软弱夹层的物性表征:普遍以低阻贯穿带(富水情况下)、高低阻截然过渡带(梯度异常带)的形式出现,其准确判别一般还需要地表勘察、钻孔揭露结果佐证;风化层(滑动层)厚度是计算灾害体体量的依据与滑动面的划分一同完成,滑动面的存在是划定不稳定斜坡的关键,滑动面的物性表征大部分情况下,以低阻贯穿带(富水情况下)、高低阻截然过渡带(梯度异常带)的形式出现,部分情况下与软弱夹层

重合,其划定需参考地表出现的滑坡迹象,在解释推断证据链上与其吻合。

另外,大部分早期发展阶段的不稳定斜坡虽然有顶部拉张裂缝、底部鼓胀体、“马刀树”、“醉汉林”等滑动迹象,但不一定存在滑动面,这时对滑动面的划定就以可能造成斜坡滑动失稳的优势结构面为准,推定潜在滑动面。

此外,还需考虑产生滑坡的另外一个基本因素,

即地表水下渗条件、滑动面相对隔水条件。

灾害形成机制的解释:从斜坡类地质灾害的灾害体物质来源、成因、可能的滑动轨迹、触发因素(自然、人为等)等方面解释它发展演化过程,解释时需考虑客观条件,做到有理有据。斜坡稳定性评价分定性评价和定量评价,物探解释一般以定性评价为主,定量评价为辅,主要依据物探资料对坡体物质组成、岩土体结构和结构面的发育情况、坡体的富水情况、雨水的下渗条件等以上4个要素进行解释,并参考《崩塌滑坡泥石流详细调查规范》中崩塌、滑坡稳定性野外判别依据进行定性判定,具体解释方法见实例分析。以韶赣高速东行573段滑坡(图5)为例^[1-2],分析其物探解释过程。

近期,广东省内出现了多年一遇的大范围持续多日的大雨、暴雨天气,韶赣高速公路两侧多处边坡发生了滑坡、泥石流等地质灾害情况。据现场勘察,滑坡主要发生在坡体前缘(在坡体前沿有完整的滑坡周界),属切层滑坡(图6),坡体后缘未见明显的拉张裂缝、剪切裂缝、“马刀树”、“大肚子”等滑动迹象,坡体后缘未滑动。

边坡上第四系覆盖物以泥粉砂岩风化残坡积物为主,为泥砂砾石混合物,泥砂与砾石含量分别约为70%、30%,结构松散。据钻孔揭露底层完整基岩为石炭纪灰岩,在灰岩与第四系松散堆积物之间存在一层厚度不一的泥粉岩全风化层(硬塑状、孔隙率小、含水率稳定、部分岩芯保存有原岩结构),表层泥砂混合物与底层基岩之间具有明显的电阻率差异,表层泥砂混合物电阻率根据其混合比例及结构密度不同,在几十到几千 $\Omega \cdot m$ 之间;底层基岩根据其孔隙率和含水率的不同,其电阻率在几百至几万 $\Omega \cdot m$ 之间,具备高密度电法测量的物理前提。

根据钻孔与物探反演结果比对:在图5中,表层松散层厚约3.5 m,厚度较均一,呈中高阻($300 \Omega \cdot m \sim 1\ 000 \Omega \cdot m$);粉质粘土层(泥粉岩风化层)顺坡方向,上厚下薄,平均厚度约10 m,呈中低阻($100 \Omega \cdot m \sim 600 \Omega \cdot m$);灰岩层整体呈中高阻($800 \Omega \cdot m \sim 3\ 000 \Omega \cdot m$),基岩顶界面呈圆弧状顺坡向展布;据钻孔和现场勘查,滑坡体中无明显的断裂构造出现,沉积层理顺坡向展布,无顺层分布的软弱夹层。

滑坡成因分析:高速公路建设施工形成的高陡坡面($>40^\circ$),在“龙舟水”(连续多日的大雨、大暴雨)的作用下,坡体前沿吸水饱和,自重增加,在水的作用下抗剪能力下降,超过了坡体的抗滑极限,进而

造成了滑坡(图6)。

坡体稳定性分析:据钻孔揭露,T1下伏的粉质粘土层,质地均匀,孔隙率小,含水率相对较低,呈硬塑状。该段部分岩芯用手掰开,发现还保留有原岩(泥岩)结构,其内聚力、液限、塑限相对较高。表层松散土层的松散结构,在持续性的大雨、大暴雨作用下,易渗透蓄水,承接了主要的降水,易形成饱和土体,饱水情况下呈现出低电阻率特征;在雨停之后又易排水,呈现出相对高电阻率情况。而下伏粘土层因孔隙率低,其含水率相对较稳定,下伏粘土层与松散土层之间形成了相对隔水层,故两者之间就形成了截然的高低电阻率分界面。不同的电阻率特性说明两者在雨水浸润下具有不同的稳定性。在雨水浸润下,表层松散层的稳定性差,其下伏的粉质粘土层的稳定性相对较高。

潜在滑动面分析:在极端暴雨天气(持续多日大雨、暴雨)的情境下,T1界面上的松散土层含水量增加,自重增加,状态改变(由硬塑状、可塑状态变成流动状态)。又因T1界面下的粉质粘土层的隔水作用,水在T1界面上形成鼓胀压力,使其抗滑力迅速下降。当下滑作用力大于抗滑力时,就会发生滑坡。

在坡体前缘,T1界面已形成剪出口,T1界面具备了滑坡形成的两个基本条件(贯通的优势结构面和较好的地表水入渗条件),坡体前缘已经发生了切层滑坡(图6),导致坡体后缘失去了部分坡脚支撑力,在极端条件下极易发生牵引式滑坡。

综上所述,T1界面为后缘坡体的潜在滑动面,T2界面为粘土层与灰岩之间的界面,在高密度电法测量反演结果界面上未呈现出截然的高低阻过渡界面。

据多处钻孔揭露,灰岩顶部界面呈现出较厚的风化层(填充型溶洞),故据此推断粘土层与灰岩之间耦合性相对较好。在灰岩顶界面往往会因溶蚀作用形成岩面凹蚀现象,会对其上覆土层形成“齿合”稳定作用,故T2界面相对T1界面较稳定。T2界面的前缘,虽然有滑坡体阻挡(图6),但滑坡体较薄且属松散结构,重力作用下的“压脚”能力有限。仍然属贯通的优势结构面的剪出口,在表层松散层滑动的情况下,因牵引作用,形成叠瓦状滑坡的可能,故将T2界面划分为二级潜在滑动面。

3.2 构造成因型斜坡类地灾物探解释方法研究

构造成因型斜坡地质灾害是指构造是其主要致灾因子的斜坡类地灾,在广东主要以岩质或岩土质边坡的形式出现,其本质是岩层中的软弱结构面(张

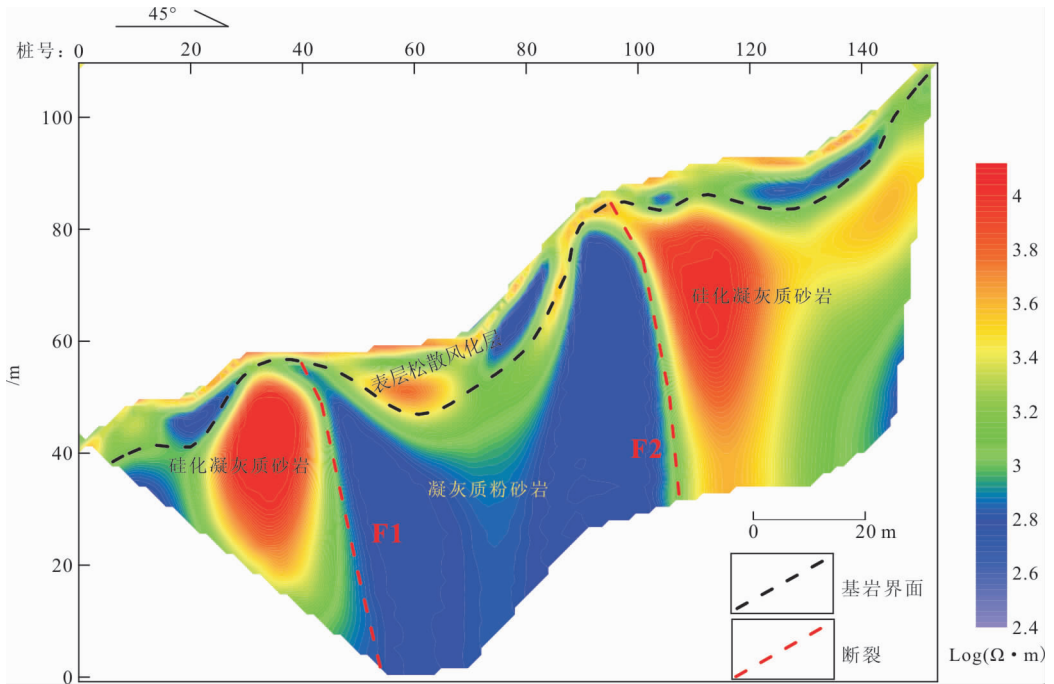


图 7 平山街道马朝路十七巷后山电性结构剖面图

Fig. 7 Cross section of electrical structure of Houshan, Lane 17, Mazhao road, Pingshan street

性断裂面/带、弱结合层理面、泥质层、碳质层、脆弱性密集节理带等)与岩土体之间的交切关系趋向于不稳定状态所致。在多种交切关系(平叠破、逆向坡、横交坡、顺向坡、斜交坡等)中,以顺向坡稳定性最差^[1-3]。广东省内多年未发生地震等大型自然灾害,岩质/岩土质边坡失稳的自然发生情况较少,常因为道路建设、工矿厂房及民房建设等人为活动对岩土体空间结构的稳定性认识不足,开挖边坡的高度和坡度不合理,未做支护治理,人为造成边坡临空面,并形成软弱结构面的剪出口,致使斜坡失稳。此类边坡的物探解释内容,除风化层型斜坡地灾解释内容外,还因注重软弱结构面的交切关系和贯通性解释。另外逆向坡、横交坡等虽然较稳定,发生滑坡的可能性小,但也常因坡陡、地势高、坡顶张裂隙(常表现为高阻特征)发育等原因而发生崩塌或切层滑坡^[1]。以广东省惠东县平山街道马朝路十七巷后山泥石流^[1-2]为例(图 7),分析其物探解释过程。

根据《广东省惠州市惠东县 1:50 000 地质灾害详查》项目调查发现,2018 年 9 月 1 日,由于强台风带来的连日暴雨作用下,平山街道马朝路十七巷后山发生泥石流灾害,直接威胁着山坡坡脚一带居民生命财产安全。据现场调查,山坡再次发生灾害的可能性极大,而且具有发育更大规模滑坡灾害的自身地质条件和外部诱发因素,一旦发生大规模滑

坡,将直接危及甚至摧毁坡脚一带居民楼房。

坡体上,表层土壤呈褐黄色、松散状,主要成份为粉质粘土、砂土、砾石等;基岩为中侏罗世龙潭坑组,凝灰质砂砾岩,凝灰质砂岩,在地表易风化,风化后裂隙发育,含风化裂隙水,风化层厚度一般在 2 m~20 m 之间,极易造成崩塌、滑坡等地质灾害的发生;区域上位于莲花山北东向深大断裂的北东侧,次级构造较多。

根据钻孔与物探反演结果比对:表层松散层是基岩风化后的残坡积层(图 7 中黑色虚线以上部分),结构松散,主要成分为粉质粘土夹砾石岩块,电阻率高低相间,与下伏基岩之间为高低阻截然过渡的界面,厚度为 2 m~10 m,在凝灰质粉砂岩上部堆积较厚;基岩岩层据其岩性结构不同,而具有不同的电阻率特征,硅化凝灰质砂岩质地坚硬,岩质密实,电阻率高,凝灰质粉砂岩岩性较软,受断裂影响,裂隙发育,风化程度较高,整体呈现出低阻特征;据现场观察,边坡上有两组断裂构造(图 7 中 F1、F2 断裂),均出露于地表,硅化凝灰质砂岩与凝灰质粉砂岩之间属断裂接触接触关系,断裂与坡面之间属逆交的交切关系。

泥石流成因分析:边坡属自然形成的高陡坡面(>40°),在强台风带来的连日暴雨作用下,坡体表层松散层吸水饱和,自重增加,性状改变(硬塑→流

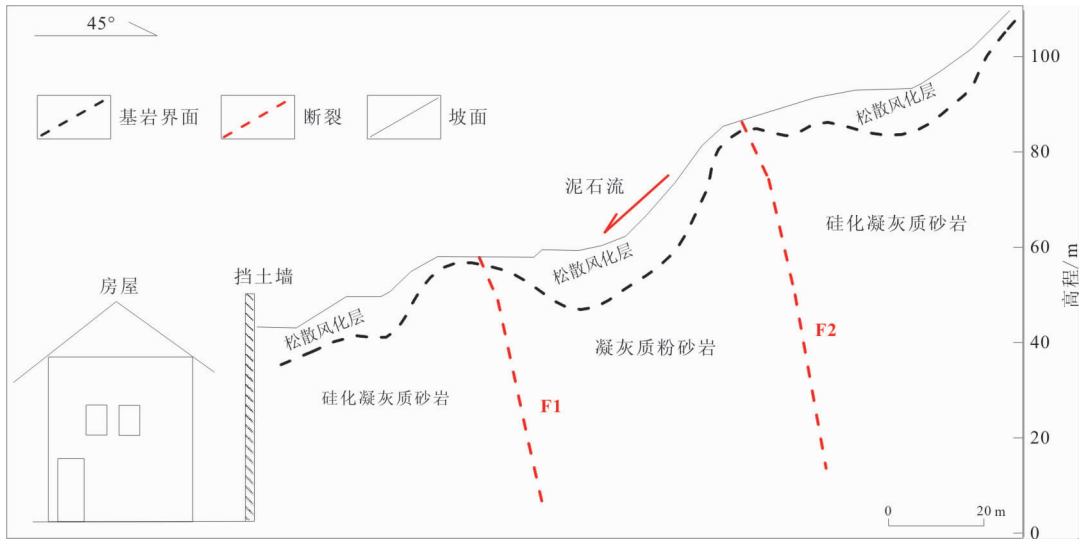


图 8 构造成因型边坡综合解释图

Fig. 8 Comprehensive interpretation diagram of tectonic genetic slope

塑),超过了表层松散层的附着极限,进而发生泥石流灾害(图 8)。

坡体稳定性及滑动面分析:斜坡体中有两处断裂分布,但其与坡面之间属逆交关系,此类斜坡体的岩体结构基本稳定性,岩层内发生滑坡的可能性较少,但松散风化层发生滑坡的可能性仍然存在。图 7 中的虚线为表层松散层与下伏基岩之间的界面,是一处物性分界面。表层松散层内部电阻率高低相间(据钻孔揭露是因其孔隙度、黏土含量、含水率不同所致),底层基岩体虽然不同岩性之间电阻率有区别,但整体都呈现出较均匀分布的高阻或低阻的稳定特征,说明其孔隙度、含水率相对较稳定,与上层松散土层之间呈相对隔水状态,下渗雨水容易淤积在表层松散层中,而使其自重增加,土层软化,进而可能发生滑坡或泥石流。表层松散风化层底界面(图 8 中虚线)为其潜在滑动面,凝灰质粉砂岩因其表层松散风化层较厚,其本身的岩性较软。据现场观察,其上层松散层凹蚀较深,故推断其上层松散层为泥石流的主要物源区。另外,因凝灰质粉砂岩上覆松散层易被雨水冲刷,其本身的松散结构也加快了分化的速度,与其接触的上层硅化凝灰质砂岩质地较硬,故其容易在 F2 断面上形成临空面,进而孕育出崩塌的风险,崩塌物质来源于 F2 断裂上层岩体。

4 结论

笔者通过对“十三五”期间广东省内的地灾勘查成果资料的综合研究及笔者多年的经验体会总结,

就省内的几种典型斜坡体的电性结构特征及相应的物探解释方法流程,有如下结论:

1)花岗岩型斜坡体风化层的电性结构分层可分出 2 个~3 个物性界面层,其中表层松散全风化层的电阻率因其含水率和孔隙率不同,普遍与下伏中微风化层之间属高低阻截然变化接触的物性分界面,中微风化层之间的电阻率分布属渐变过渡,普遍没有明显的物性界面,基岩与上覆风化层之间普遍存在梯度变化的物性分界面。沉积岩、变质岩型斜坡风化层普遍较薄,内部之间无明显物性界面,与下伏基岩之间普遍存在一处高低阻截然变化接触的物性分界面,两者之间以二层结构展布。构造成因型不稳定斜坡体,稳定性由贯穿型软弱结构面与坡面之间的交切关系来决定的,软弱结构面在电性结构面上,一般以低阻带、梯度带、高低阻过渡带等形式出现,其中顺向坡最为不稳定。

2)一般情况下,广东省内的斜坡构造中的物性分界面(高低阻截然过渡带、梯度带等)往往与地质分界面(风化带、滑动面、断裂面、岩性分界面、层理面等)相吻合,这是地灾物探成果的地质解释基础。

3)建立物理—地质模型(地质—电性结构模型)→异常判定(异常提取、划分)→异常分类及逐类/逐个解释→定性解释→定量解释→地质解释→提出验证工程位置及技术要求→物性测量(测井、岩芯测试、岩土标本测试等),补充收集资料,做进一步解释的物探解释方法流程,在多次实际工作使用中,均能取得良好的效果。在斜坡体物质层空间分布状态、地质结构判别、软弱夹层中贯通型优势结构面的分

布、风化层(滑动层)厚度、滑动面划分、灾害形成机制、稳定性评价等方面均能进行合理的地质解释,方便于甲方人员直接利用。

参考文献:

- [1] 刘春艳. 广东省重大(典型)地质灾害物探集成报告[R]. 广州:广东省地质环境监测总站,2022.
LIU C Y. Integrated geophysical exploration report of major (typical) geological disasters in Guangdong Province[R]. Guangzhou:Guangdong Geological Environment Monitoring Station, 2022. (In Chinese)
- [2] 刘春艳. 广东省县(市、区)地质灾害详细调查集成报告[R]. 广州:广东省地质环境监测总站, 2022.
LIU C Y. Integrated report on detailed investigation of geological disasters in counties (cities and districts) of Guangdong Province[R]. Guangzhou:General geological environment monitoring station of Guangdong Province, 2022. (In Chinese)
- [3] 庄文明, 黄继春, 李出安, 等. 广东省及香港、澳门特别行政区区域地质志[R]. 广州:广东省地质调查院, 2016.
ZHUANG W M, HUANG J C, LI C AN, et al. Guangdong geological survey institute, regional geological records of Guangdong province and Hong Kong and Macao Special Administrative Regions[R]. Guangzhou: Guangdong geological survey institute, 2016. (In Chinese)
- [4] 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—240.
JIANG W F, WAN M H, ZHAO Y H, et al. Application and effect analysis of geological radar in landslide surface investigation[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2000, 24 (3): 230—240. (In Chinese)
- [5] 杨成林, 陈宁生, 施蕾蕾. 探地雷达在赵子秀山滑坡裂缝探测中的应用[J]. 物探与化探, 2008, 32(2): 220—224.
YANG C L, CHEN N S, SHI L L. Application of ground penetrating radar in the detection of landslide cracks in Zhaozixiushan [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2008, 32 (2): 220—224. (In Chinese)
- [6] 严加永, 孟贵祥, 吕庆田, 等. 高密度电法的进展与展望[J]. 物探与化探, 2012, 36(4): 576—584.
YAN J Y, MENG G X, LV Q T, et al. Progress and prospect of high density electrical method[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36 (4): 576—584. (In Chinese)
- [7] 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(1): 215—221.
LI F, ZHOU H F, GE H. Electrical characteristics of high-density resistivity survey of different types of landslide[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43 (1): 215—221. (In Chinese)
- [8] 周锡明, 陈超, 王佩业. 高密度电法在山区浅表层结构调查中的应用[J]. 物探与化探, 2012, 36(2): 198—201.
ZHOU X M, CHEN C, WANG P Y. Application of high density electrical method in the investigation of shallow surface structures in mountainous areas[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36 (2): 198—201. (In Chinese)
- [9] 程庆, 庾先国, 葛宝, 等. 高密度电阻率法在四川高川茶园沟滑坡勘察中的应用[J]. 物探与化探, 2012, 36(1): 69—72.
CHENG Q, TUO X G, GE B, et al. Application of high density resistivity method in the investigation of Chayangou landslide in Gaochuan, Sichuan[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36 (1): 69—72. (In Chinese)
- [10] 徐启业, 陈廷芳, 杜晓晨, 等. 滑坡稳定性分析的高密度电阻率法[J]. 现代矿业, 2020, 609(1): 197—200.
XU Q Y, CHEN T F, DU X C, et al. High density resistivity method for landslide stability analysis[J]. Modern Mining, 2020, 609 (1): 197—200. (In Chinese)
- [11] 刘瑞华, 孙宁, 唐光良. 广东滑坡灾害的地质环境与致灾因素分析[J]. 热带地质, 2010, 30(1): 13—17.
LIU R H, SUN N, TANG G L. Analysis of geological environment and disaster causing factors of landslide disasters in Guangdong[J]. Tropical Geology, 2010, 30 (1): 13—17. (In Chinese)
- [12] 刘会平, 潘安定, 王艳丽, 等. 广东省的地质灾害与防治对策[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(2): 101—105.
LIU H P, PAN A D, WANG Y L, et al. Geological disasters and prevention countermeasures in Guangdong province[J]. Journal of Natural Disasters, 2004, 13 (2): 101—105. (In Chinese)
- [13] 燕丽萍. 广东省泥石流灾害综合分析[J]. 热带地质, 2009, 29(4): 335—339.
YAN L P. Comprehensive analysis of debris flow disasters in Guangdong Province[J]. Tropical Geology, 2009, 29 (4): 335—339. (In Chinese)
- [14] 林泽雨, 刘爱华. 广东地区滑坡灾害分布特征与预警措

施分析[J]. 人民长江, 2019, 50(1): 90—92.

LIN Z Y, LIU A H. Analysis of landslide disaster distribution characteristics and early warning measures in Guangdong[J]. People's Changjiang, 2019, 50 (1): 90—92. (In Chinese)

- [15] 周兴龙, 周丽红, 周兴华. 花岗岩风化层滑坡的成因机制分析[J]. 土木基础, 2018, 32(2): 165—168.
ZHOU X L, ZHOU L H, ZHOU X H. Genetic mechanism analysis of granite weathering layer landslide

[J]. Civil Engineering Foundation, 2018, 32 (2): 165—168. (In Chinese)

- [16] 熊金安, 汪磊. 深圳斜坡类地质灾害特征及成因分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2013, 24(3): 70—75.
XIONG J A, WANG L. Characteristics and cause analysis of slope geological disasters in Shenzhen[J]. Geological Disasters and Environmental Protection, 2013, 24 (3): 70—75. (In Chinese)

Analysis of electrical structure characteristics and geophysical exploration interpretation methods of several typical slope disaster—like bodies in Guangdong

YI Longke¹, LIU Chunyan², ZHANG Yunbin²

(1. Guangdong Geological Survey Institute, Guangzhou 510000, China;

2. The Third Geological Brigade of Guangdong Geological Bureau, Shaoguan 512000, China)

Abstract: Given the increasing number of geological disasters in Guangdong Province in recent years, in order to improve the application efficiency of geophysical exploration in geological disaster exploration, this paper takes the geological disaster exploration results in Guangdong Province during the "13th five—year plan" as the primary material, analyzes and studies the electrical structure of several typical slope bodies in Guangdong Province in the form of geological physical model, and summarizes its key points. On this basis, Combined with the author's own work experience for many years, a set of geophysical exploration interpretation methods are formulated through targeted research. The results show that the electrical structure of the weathered layer of granite type slope can be divided into 2~3 physical interface layers, there is generally no apparent physical interface between the medium and slightly weathered layers, and there is generally a gradient physical interface between the bedrock and the overlying weathered layer; There is a physical interface between the weathered layer of sedimentary rock and metamorphic rock slope and the underlying bedrock, where the high and low resistances change sharply; The weak structural plane in the tectonic unstable slope generally appears in the form of low resistivity zone, gradient zone, high and low resistivity transition zone on the electrical structural plane; The physical interface (high and low resistivity sharp transition zone, gradient zone, etc.) in the slope structure in Guangdong Province is often consistent with the geological interface (weathering zone, sliding surface, fault surface, lithologic interface, bedding surface, etc.); Establish physics—Geological model→anomaly determination→anomaly classification and class by class/interpretation→qualitative interpretation→quantitative interpretation→geological interpretation→put forward the location and technical requirements of the verification project→physical property measurement, supplement and collect data, and do further interpretation of the geophysical exploration interpretation method process, which can achieve good results in many practical work applications, and the results are convenient for Party A's personnel to use directly. The research results of this paper can provide a reference for the following research work, such as the failure mechanism, evolution process, disaster monitoring and early warning, post—disaster management, geophysical exploration method selection, and results interpretation of slope disasters.

Keywords: Guangdong province; slope disaster body; electrical structural characteristics; geophysical interpretation method