

高密度电法在不良地质体勘查中的应用

——以贵州德余高速公路石阡段为例

田 郁,蒙应华,刘 俊,张婷婷

(1. 贵州省地质调查院,贵州 贵阳 550081;2. 贵州省地质物探开发应用工程技术研究中心,贵州 贵阳 550081)

[摘 要]不良地质体是影响工程建设安全的主要地质灾害隐患,为查明拟建德余高速公路石阡段内的不良地质体成因类型及分布位置,采用高密度电阻率法,针对典型平台布设3条测线,探测结果查明了勘查范围内的电性结构特征,分析该区复杂的地质构造活动并推测各地层的完整形态,同时圈定了不良地质体的分布位置与大小,并结合钻探资料分析了勘查范围内的不良地质体主要为岩溶裂隙及溶蚀构造,并对其稳定性进行了评价,为高速公路的生产建设安全、减灾防灾等基础处理提供了地球物理技术支撑。

[关键词]高密度电法;德余高速公路;不良地质体;防灾减灾

[中图分类号]P631.3;TU47 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2022)01-0048-07

德余高速公路设计主线石阡段位于贵州省石阡县本庄镇-河坝场镇,沿线发现多处滑坡、崩塌堆积体及危岩体等不良地质体,地质情况复杂多变且地形切割较大,给高速公路的工程建设带来了极大安全隐患(成永刚等,2016),急需借助地球物理手段来查明地下不良地质体的分布范围及成因类型,再结合相应的施工措施,便可有效的避免不必要的地质灾害(冯淦清等,2002;张光保,2012;周越等,2021)。

近年来,地球物理勘探被广泛的应用于工程地质勘查中,特别是在采空区探测、岩溶路基探测、地质灾害调查、工程建设选址、隧道勘探等工程勘查中发挥着重要作用(何文勇,2009;邓娜,2009;杨海等,2014;朱兆荣等,2014;姜亚飞,2014;李波等,2018)。其中高密度电法是集电测深和电剖面为一体的新型地球物理勘探方法,采用一次布点多次采集,观测数据丰富、提供信息多,具有工作效率高、分辨率高、成本低等优点,其应用效果得到国内外

工程领域的认可(赵光辉,2006;严加永等,2012;黄彪,2019;羊文等,2021)。(王文龙,1995)利用高密度电法来探测洞穴、采空区、地裂缝以及秦岭地区隧道工程探测等,均取得了较好的效果;(蒋伟宏,1999)利用高密度电阻率成像技术直观、有效的展示出了铁路路基病害的位置、深度等;(张亮国,2004)利用高密度电法查明了沪蓉高速公路部分地区岩溶、破碎带的规模和位置;(黄凡等,2011)通过高密度电法对毕威高速公路某段路基和边坡的勘察,有效的查明了区内包括断层、岩溶、滑坡等不良地质体。

本文利用高密度电法对拟建德余高速公路石阡段开展物探勘查工作,查明了区内基础地质结构,圈定的崩塌堆积体、滑坡、溶蚀裂隙等不良地质体的位置及规模大小与钻探资料相吻合,并对不良地质体的稳定性进行分析评价,为高速公路的生产建设安全提供了有效的地球物理技术依据。

[收稿日期]2021-08-28 **[修回日期]**2022-01-13

[基金项目]贵州省地质物探开发应用工程技术研究中心(编号:黔科合[2016]平台人才5401)、贵州省地质矿产科研项目(编号:黔地矿科合[2020]28)。

[作者简介]田郁(1991—),女,工程师,主要从事电磁法方法研究及资料处理。

[通讯作者]蒙应华(1982—),男,高级工程师,长期从事物探方法技术研究工作。

1 勘查区地质背景

1.1 基础地质概况

勘查区内主要构造为河坝向斜,该向斜近南北向展布,展幅较大,纵向贯通拟建德余高速公路。部分不良地质体位于河坝向斜核部,其余不良地质体偏南东翼。地质推测河坝向斜南东翼存在与向斜核部走向一致的深大断裂构造,岩层受断裂构造影响形成了一系列褶皱,地质情况较为复杂,次级断层构造较为发育,岩层产状变化较大。

勘查区内主要出露地层有第四系(Q)、三叠系松子坎组(T_2s)、茅草铺组(T_1m),主要地层岩性由老至新简述如下:

(1)茅草铺组(T_1m):大面积出露于物探勘查区,厚度一般从几米至上百米,最厚地段约为130 m左右,产状变化较大,主要岩性为中风化、强风化灰岩、白云岩;

(2)松子坎组(T_2s):大面积出露于物探勘查区,主要岩性为中风化、强风化的灰绿色、灰黄色泥岩、碎屑岩、页岩夹泥质白云岩;

(3)第四系(Q):主要为一般性粘土、红粘土夹泥灰岩、石灰岩块石及碎石等残坡积物。多分布于勘查区地势低洼处及局部缓坡地带,厚度总体较薄。

1.2 地球物理特征

依据勘查区岩层标本电阻率资料统计,结合以往工作经验及实地情况,勘查区岩、土体电性大致可划分为第四系土层、泥质白云岩、粉砂岩、地下水、基岩(白云岩、灰岩)四大类,各岩、土体的电阻率(ρ)参数如下:

(1)第四系土层: $\rho=50\sim 200\ \Omega\cdot m$;

(2)泥质白云岩、粉砂岩: $\rho=n\times 10\sim 10^3\ \Omega\cdot m$;

(3)基岩: $\rho=n\times 10^2\sim 10^4\ \Omega\cdot m$;

(4)地下水: $\rho=n\times 10\ \Omega\cdot m$;

区内电性特征主要为第四系土层、泥质白云岩、粉砂岩电阻率相对较低,基岩电阻率相对较高。当各类岩石受到不同程度的破坏、溶蚀风化等,会形成裂隙或溶蚀管道,电阻率值会相应的产

生差异。本次探测目标为崩塌堆积体、滑坡、溶蚀裂隙等不良地质体,与围岩地层存在明显的电性差异,为高密度电法工作的开展提供了良好的地球物理条件。

2 方法技术及测线布置

2.1 高密度电法方法技术

高密度电法的基本工作原理与常规电阻率法大体相同,它是以岩土体的电性差异为基础的一种电法勘探方法,通过A、B电极向地下供电流I,然后在M、N极间测量电位差 ΔV ,从而可求得该点(M、N之间)的电阻率值(图1),根据实测的电阻率剖面进行计算、分析,便可获得地层中的电阻率分布情况,分析在施加电流作用下地层传导电流的分布规律,推断地下具有不同电阻率地质体的赋存情况(吕天江等,2021)。本次工作使用中地装(重庆)地质仪器有限公司生产的DZD-8多功能全波形直流电法仪,包含多种电极排列方式,其中温纳装置抗干扰能力强、垂向分辨率较高(马志飞等,2009),故本次野外数据采集采用温纳装置。

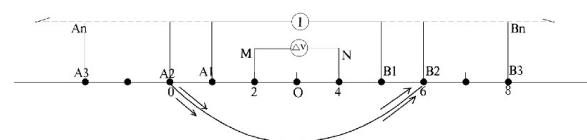


图1 高密度电法工作示意图

Fig. 1 Working diagram of high-density electrical method

2.2 测线布置

对德余高速公路设计主线石阡段附近的多处典型平台进行前期地质勘查,发现多处不良地质体,为进一步查明不良地质体的成因类型,在典型平台附近分别布设12、13、14三条高密度电法测量剖面,由于工作区地形起伏较大,且植被覆盖较厚,限制了物探测线长度,每条测线长均为300 m,测点距为5 m。三条测线相互平行且均垂直于德余高速设计主线,勘查区的具体位置及测线布置如图2所示,其目的是为了查明勘查区范围内的基础地质结构,确定不良地质体的位置及成因,并对其稳定性作出初步评价。

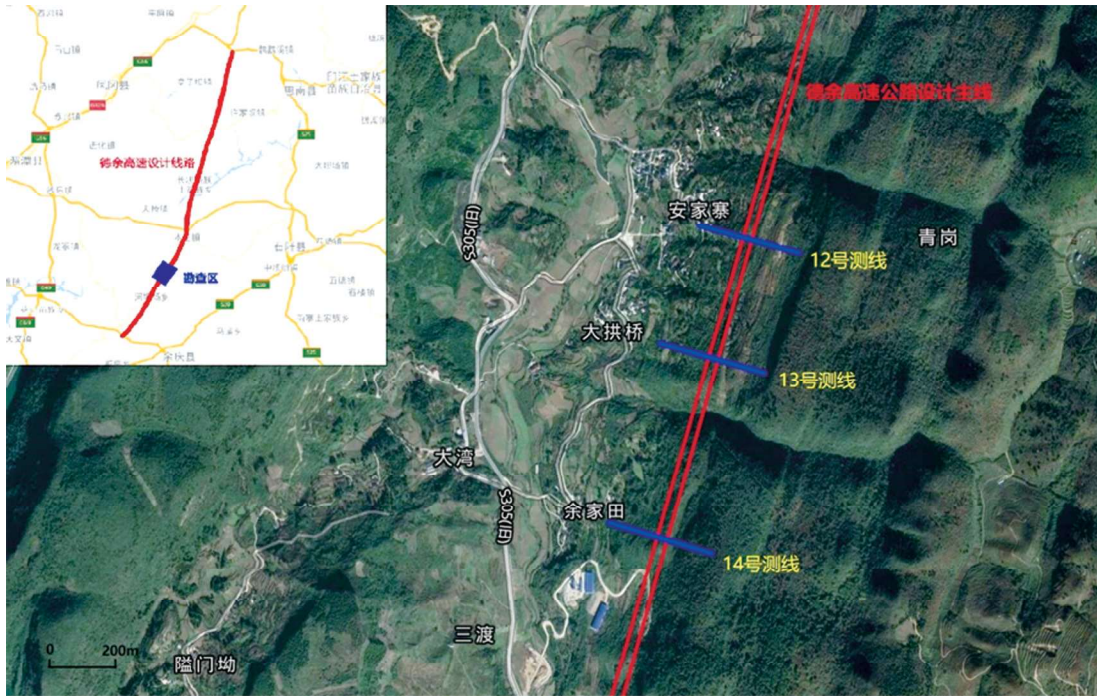


图2 勘查区位置及工作布置图

Fig. 2 Location of the exploration area and work deployment diagram

3 资料解译与成果分析

本次工作在德余高速公路设计主线石阡段附近,对典型平台开展了3条高密度电法剖面测量工作,将获得的原始数据经过数据转换、畸变点剔除、地形改正及反演计算后,最终获得各剖面的电阻率断面图,显示了地下一定范围内的电性结构特征。结合地质资料 and 不同岩、土体电性特征,对12、13、14号测线进行推断解释,其中图3、图4、图5分别为12、13、14号测线的综合推断解释图,横轴表示剖面长度,纵轴表示高程,剖面最大勘查深度约为65m。

从三条测线的电阻率断面图中可以看出,三条测线虽然相距400~600m,但物探异常形态特征相似度极高,测线整体地势呈左低右高,且地形起伏较大。三条剖面均在0-27号测点间地层整体表现为低电阻率区域,局部存在等值线波动情况,电阻率值约10~100Ω·m;在28-60号测点间表现为明显的高低电阻率相间分布,高低阻区域分界线明显,其中高阻区域规模相对较大,呈近乎直立分布,电阻率高达1000Ω·m以上。

结合地质踏勘认识及实地工作记录,该勘查区位于三叠系地层松子坎组(T_{2s})与茅草铺组(T_{1m})地层结合部位,其中剖面北西侧的低电阻

率区域,其地表出露岩性主要为碎屑岩、紫红、灰绿色页岩,浅表有第四系覆土,故推测该低阻区域主要为三叠系松子坎组(T_{2s})地层及第四系覆土,地层倾向为南东向,局部等值线波动区域推测是因为局部溶蚀、裂隙构造充水所致;剖面东南侧表现为高低电阻率相间的区域,地表出露岩性主要为白云岩、灰岩、泥质白云岩,故推测该区域主要为三叠系茅草铺组(T_{1m})地层。且在12号剖面27号测点、13号剖面25号测点、14号剖面27号测点位置为高低阻区域的一个明显分界面,表明两侧地层电性结构存在强间断面,推测存在断裂构造F(图中红色虚线表示),且三条剖面推测的构造应为同一条断裂,与地质推测深大断裂构造一致,断裂断层面倾向为南东向,倾角约为60°。

根据地质资料综合分析,勘查区处于河坝向斜核部,受构造活动的影响,地层受挤压后形成一系列的复式褶皱、裂隙错动等,才导致了剖面东南侧电性结构高低阻区域相间分布,构造活动特征较为明显,地质结构较为复杂,故推测剖面东南侧高低阻相间区域应为茅草铺组(T_{1m})地层受断裂构造活动影响形成的复式褶皱,褶皱完整形态如各剖面的电性-地质推测解译图中的黑色虚线所示,由于浅表地层受到风化剥蚀影响,最终形成目前的地层构造特征,其中高阻区域应为茅草铺组第三段(T_{1m}³)白云岩、灰岩地层,产状较陡近乎直

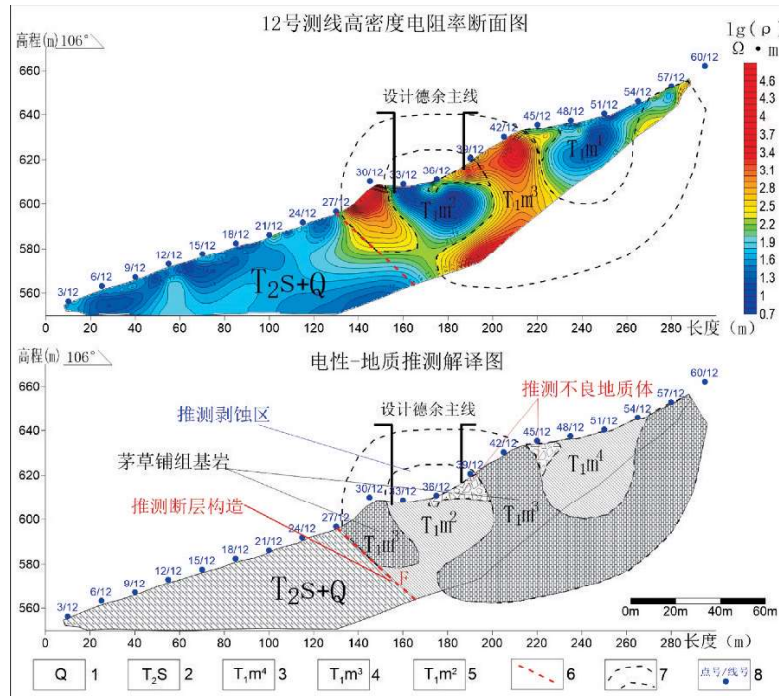


图 3 12号测线综合推断解释图

Fig. 3 Comprehensive inference and interpretation diagram of No. 12 survey line

1—第四系;2—三叠系松子坎组;3—三叠系茅草铺组第四段;4—三叠系茅草铺组第三段;5—三叠系茅草铺组第二段;6—推测断层构造;7—推测地层完整形态;8—测点编号

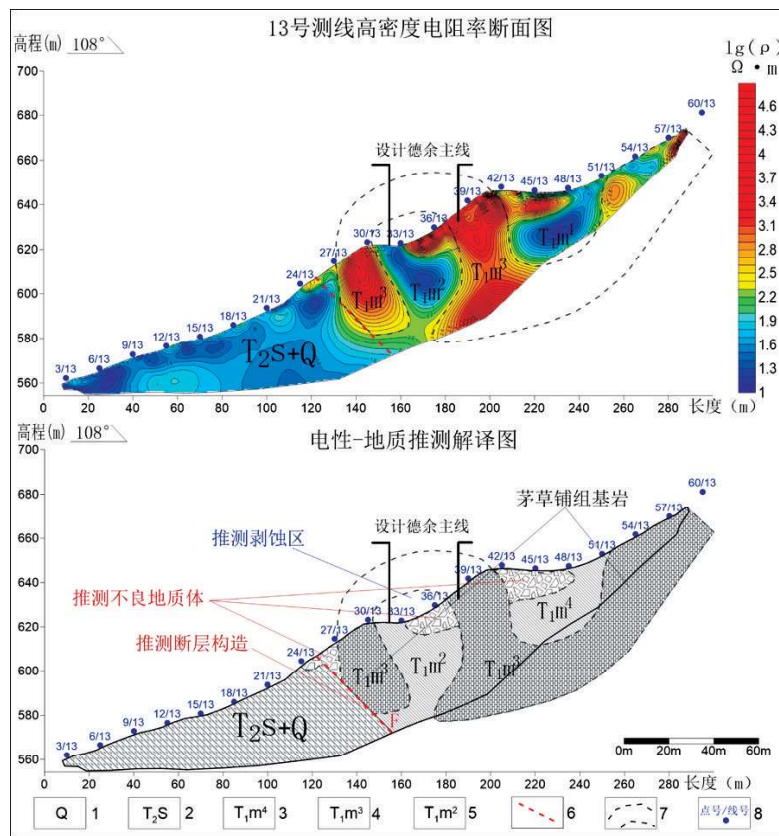


图 4 13号测线综合推断解释图

Fig. 4 Comprehensive inference and interpretation diagram of No. 13 survey line

1—第四系;2—三叠系松子坎组;3—三叠系茅草铺组第四段;4—三叠系茅草铺组第三段;5—三叠系茅草铺组第二段;6—推测断层构造;7—推测地层完整形态;8—测点编号

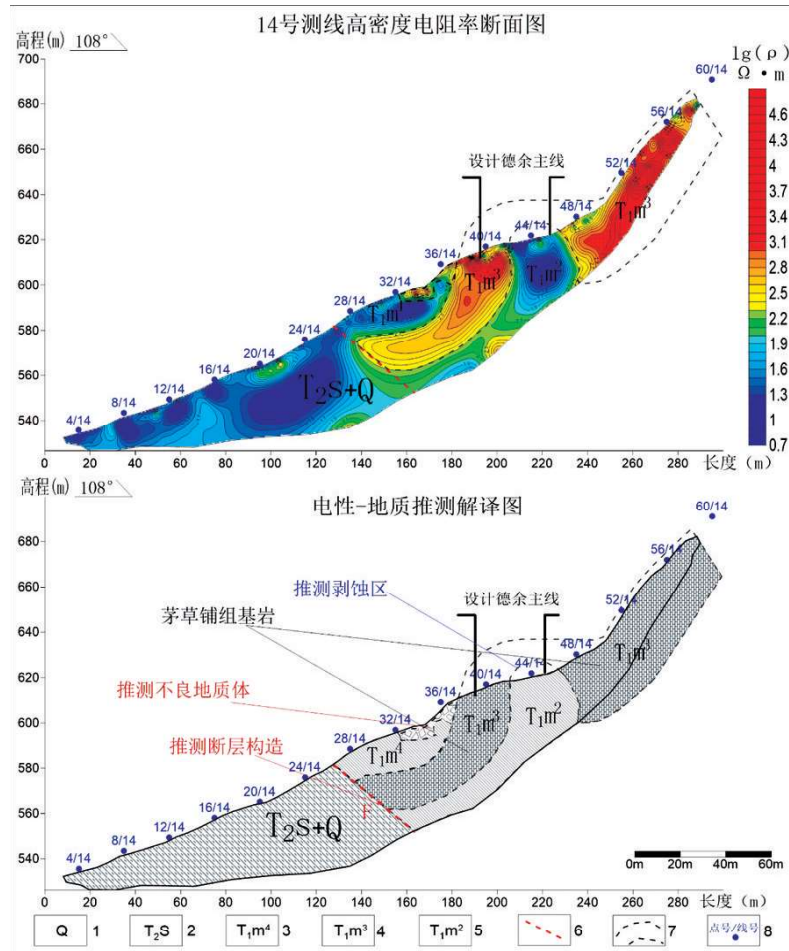


图5 14号测线综合推断解释图

Fig. 5 Comprehensive inference and interpretation diagram of No. 14 survey line

1—第四系;2—三叠系松子坎组;3—三叠系茅草铺组第四段;4—三叠系茅草铺组第三段;5—三叠系茅草铺组第二段;6—推测断层构造;7—推测地层完整形态;8—测点编号

立,低阻区域应为三叠系茅草铺组第二段(T_1m^2)及第四段(T_1m^4)泥质白云岩、粉砂岩地层。12号测线浅地表局部存在高阻异常区域,其中异常区域均分布在复式褶皱的两侧,推测为茅草铺组地层受外力破坏造成的岩石破碎区或裂隙等不良地质体;13号测线浅地表局部异常区域与12号测线一致,推测同为茅草铺组地层受外力破坏造成的岩石破碎区或裂隙等不良地质体;14号测线地层产状相对较平缓,地表局部高阻异常区范围较小,推测为茅草铺组第三段地层受风化搬运作用产生的岩石堆积物。三条剖面的电性结构特征整体对应性较好,推测地下地层总体为基岩的可能性较大,仅浅地表局部区域存在一定规模的不良地质体。

4 钻孔验证

根据上述综合解释推断,为进一步确认不良

地质体的成因类型及稳定性,在13号物探测线48号测点位置处进行钻孔验证,具体位置如图6所示,孔深23.8m,井中电视成像如图7所示,显示地层总体较为完整、且连续性较好。在深度0~2m范围内,地层颜色较深,结合井中电视成像视频可以看出,该段范围内植物根系较为发育,应为第四系覆土;在深度8.3~9.6m、19.2~19.7m等局部区域存在0.5~2m大小不等的空洞,与崩塌堆积体的碎石及不规则缺口特征不符,推测为岩石溶蚀形成的溶洞以及裂隙构造等。根据现场岩芯研究发现,岩芯为泥质白云岩、粉砂岩,进一步确定了该地层为三叠系茅草铺组基岩,且浅表局部不良地质体主要为溶蚀、裂隙构造。

5 结论

通过利用高密度电法对德余高速设计主线石

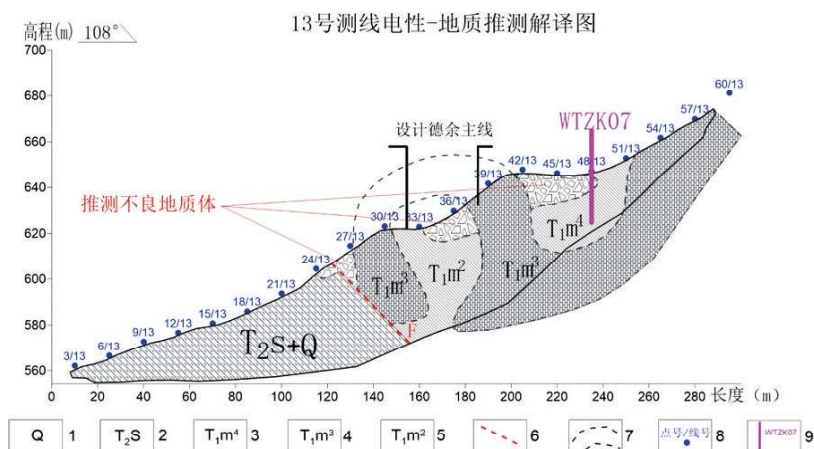


图 6 钻孔 WTZK07 在 13 号测线上的具体位置

Fig. 6 Specific position of drill hole WTZK07 on survey line 13

1—第四系;2—三叠系松子坎组;3—三叠系茅草铺组第四段;4—三叠系茅草铺组第三段;5—三叠系茅草铺组第二段;6—推测断层构造;7—推测地层完整形态;8—测点编号;9—钻孔位置

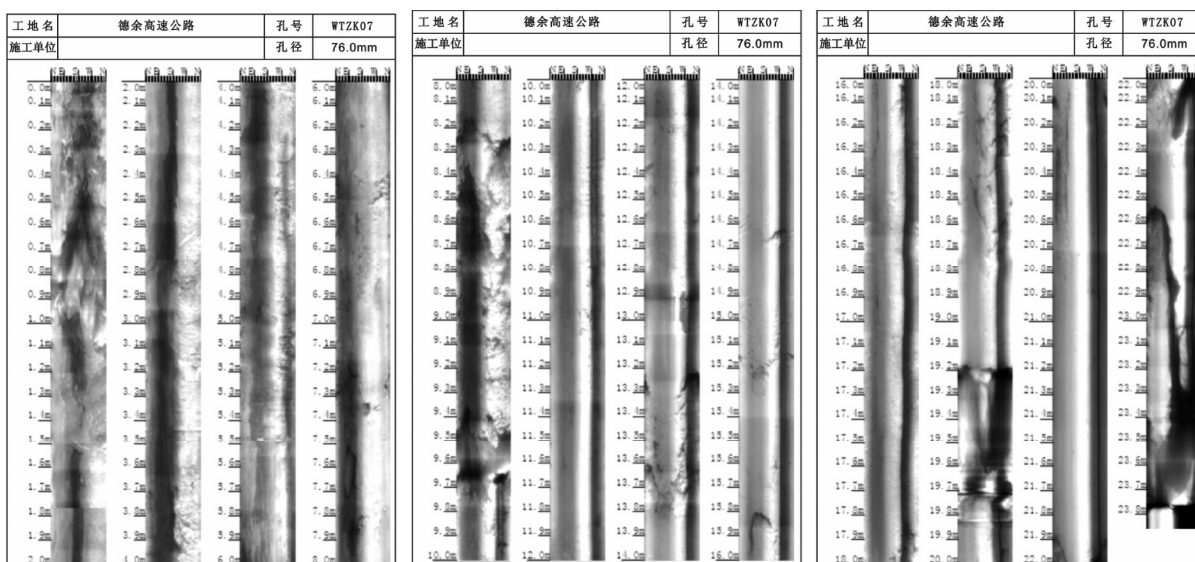


图 7 钻孔 WTZK07 的井中电视成像图

Fig. 7 Borehole TV image of drill hole WTZK07

阡段的典型平台开展物探测量工作,获得了清晰的电阻率断面图,查明了探测范围内的地层电性结构特征,推断了断裂构造的位置及走向,且分析了勘查区褶皱发育及岩层产状发生变化主要由向斜两翼地层受挤压变形所致,地质结构特征相对复杂,同时圈定了不良地质体的大小和分布位置。通过钻探资料进一步分析确定了勘查区内的不良地质体主要为溶蚀、裂隙构造,且均分布在德余高速公路设计主线的两侧。

由于高速设计主线两侧地形较陡,地层岩溶、裂隙较为发育,当受到地震或工程施工等外力的影响,容易产生崩塌而形成地质灾害,对高速公路的建设造成一定的安全隐患,建议适当放缓边坡

并加强边坡防护工作。通过本次勘查,表明了高密度电法对不良地质体反映的高效性和准确性,结合钻探资料有效分析了不良地质体的成因类型及其稳定性,为高速公路的建设提供了可靠的地球物理依据。

[参考文献]

成永刚,李光白,陈永祥. 2016. 藏区高烈度区高速公路不良地质体分析与防治[J]. 铁道工程学报,33(11):6-11.
 邓娜,江长森. 2009. 高密度电法在工程勘察中的应用实例[J]. 物探化探计算技术,31(6):577-581.
 冯淦清,何正文,洪宝宁. 2002. 不良地质条件引起高速公路软基病害的分析与防治[J]. 南京建筑工程学院学报,63(4):75-79.

- 黄彪,朱源婷. 2019. 高密度电法在武汉市生活垃圾填埋场的环境调查[J]. 贵州地质,36(3):261-266.
- 黄凡,谭大龙,杨德龙,等. 2011. 高密度电法在公路工程不良地质体勘察中的研究与应用[J]. 物探化探计算技术,33(6):601-605.
- 何文勇,俞仁泉. 2009. 高密度电法在山区高速公路地质灾害勘查中的应用[J]. 工程勘察,37(3):89-94.
- 蒋伟宏,蒋正红,王斌. 1999. 高密度电阻率成像技术及在铁路路基病害探测中的应用[J]. 西南交通大学学报,34(3):331-336.
- 姜亚飞,王万金. 2014. 贵州省安龙县戈塘镇大海子岩溶洪涝的治理及其工程意义[J]. 贵州地质,31(2):147-149.
- 李波,屈利军,易安,等. 2018. 高密度电法在不稳定斜坡勘察治理中的应用[J]. 工程勘察,46(8):66-73.
- 吕天江,陈先童,黄启霖,等. 2021. 不同物质(土质、岩质)的岩石滑坡体高密度电法异常特征区别[J]. 贵州地质,38(4):419-429.
- 马志飞,刘鸿福,叶章,等. 2009. 高密度电法不同装置的勘探效果对比[J]. 物探装备,19(1):52-55.
- 王文龙,陈天逵. 1995. 浅论高密度电阻率法在工程勘测中的应用效果[J]. 物探与化探,19(3):229-237.
- 杨海,葛良全,罗耀耀,等. 2014. 高密度电法在茶园沟填埋场选址中的应用[J]. 地球物理学进展,29(1):447-451.
- 严加永,孟贵详,吕庆田,等. 2012. 高密度电法的进展和展望[J]. 物探与化探,36(4):576-584.
- 羊文,张西君,冯娟,等. 2021. 充电法和高密度电法在贵州贞丰者相二金矿岩溶勘查中的应用[J]. 贵州地质,38(2):192-200.
- 张光保. 2012. 褚家营巨型滑坡的高密度电法勘察及效果分析[J]. 地球物理学进展,27(6):2716-2721.
- 张亮国,徐义贤,王云安. 2004. 高密度电法在沪蓉高速公路勘察中的应用[J]. 岩土工程技术,18(4):187-190.
- 赵光辉. 2006. 高密度电法勘探技术及其应用[J]. 矿产与地质,20(2):166-168.
- 周越,曾昭发,唐海燕,等. 2021. 公路勘察中滑坡体的地球物理特征与分析——以张榆线公路勘察为例[J]. 吉林大学学报,51(2):638-644.
- 朱兆荣,杨永鹏,韩龙武. 2014. 高密度电法在 G214 公路工程地质勘查中的应用[J]. 黑龙江大学学报,5(3):174-179.

Application of High-density Electrical Method in Unfavorable Geological Body Exploration Taken Shiqian Part of Deyu Expressway in Guizhou as a Example

TIAN Yu , MENG Ying-hua , LIU Jun , ZHANG Ting-ting

(1. Guizhou Geological Survey, Guiyang 550081, Guizhou, China; 2. Guizhou Engineering Research Center for Geological-geophysical Exploration Development and Application, Guiyang 550081, Guizhou, China)

[Abstract] Unfavorable geologic body is an important hidden geological hazard affecting the safety of engineering construction, high density resistivity method is used to find out the distribution location and genesis of the unfavorable geological body in Shiqian part of Deyu expressway, three survey lines were laid out for the typical platform. As a result, the electrical structure characteristics was found out in the working area, the complex geotectonic activity was analyzed and the complete situation of each layer was inferred, meanwhile the distribution position and size of unfavorable geological body is determined. With the drilling data, it's analyzed that the unfavorable geological body in the working area mainly are karst fracture and dissolution structure, the stability was also accessed, it will provide geophysical technical support for the safety of expressway production and construction.

[Key Words] High-density electrical method; Deyu highway; Unfavorable geologic body; Preventing disasters and reducing damages