

探地雷达在溶岩地区不良地质勘探中的应用分析

苏炳远¹, 宋文²

(1.海南省公路管理局 澄迈分局, 海南 澄迈 571900; 2.湖南理大交通科技发展有限公司, 湖南 长沙 410007)

摘要: 溶岩地区的高速公路会经常穿越不良地质路段, 为保证施工安全, 开展地质勘探是非常必要的。探地雷达作为一种应用较广泛、理论较成熟的物探方法, 可用于不良地质路段的补勘作业。文中利用探地雷达对张花(张家界—花垣)高速公路某不良地质路段进行地质勘探, 根据勘探结果结合工程实际情况, 对该地区地质情况进行了分析, 研究了地质构造对路基施工的影响, 为后期路基处治方案制订提供参考。

关键词: 公路; 探地雷达; 溶岩地区; 工程勘探

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)02-0060-03

中国西南山区溶岩分布广泛, 以广西、四川、云南、贵州最为发育(广西碳酸盐地区面积达全区面积的 41%)。在溶岩分布较广的地区施工, 突水突泥、坍塌、不均匀沉降等现象时有发生, 针对不良地质区域开展详细的地质勘探对于后期专项处治方案制订很有必要。现有勘探方法中, 钻探探测应用最广泛; 坑探工程勘探所得结果较精确, 可重现地质学细节, 但勘探周期长且成本高; 地球物理勘探是一种间接的勘探手段, 可便捷地探测地下地质情况, 但使用限制较大。随着 CT 电磁波透视技术、地质雷达分析技术等精度的日益提高, 利用这类设备可查明隐藏型、覆盖型岩溶场的规模、形貌特征和生长概况, 成为目前应用广泛的一类勘探方法。

1 探地雷达工作原理

探地雷达系统根据电磁脉冲反射原理设计, 主要由发射机、接收机、天线、分离器、信号处理机和终端设备等组成。其原理是通过高频无线电波确定介质内部物质分布规律: 向地下介质发射一定强度的高频电磁脉冲, 电磁脉冲遇到不同电性介质的分界面时产生反射或散射, 根据电磁波双程走时的长短差别确定探测目标的埋藏深度, 通过多测线的综合解译分析探测目标的形态, 通过分析电磁波波变化特征确定目标体的属性, 再结合理论分析达到对埋藏目标的探测域判断。实际应用时常采用的探测方法为剖面法, 即在地面上利用一对间距固定不变的天线, 沿测线以一定的点距移动进行测量。其应

用于不良地质区域勘测时的工作原理见图 1。

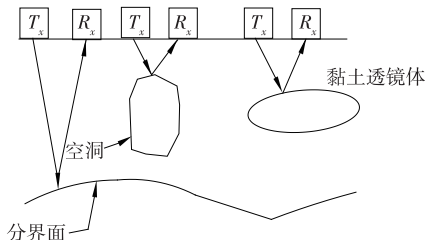


图 1 地质雷达探测岩层的原理示意图

2 张花高速某不良地质段勘探实例分析

2.1 工程概况

张花(张家界—花垣)高速公路是湖南省高速公路规划网“五纵七横”中第二横浏阳(赣湘界)至花垣(湘渝界)高速公路的组成部分, 主线全长 146.848 km, 沿线地形、地质复杂, 岩溶等不良地质发育。该地区岩溶发育严重, 其规模、结构具有相当大的不确定性, 且岩溶区主要隐伏于地下, 施工前期的工程地质勘察难以完全查明。利用地质雷达对其中 K76+095—200 路段(见图 2)进行勘探。该段属切方路基段, 最大切深位于 K76+140 右侧边坡, 为 8.262 m,



图 2 张花高速公路 K76+095—200 勘测路段全貌

路基已基本开挖至设计标高。路基开挖过程中揭露多处溶沟、溶槽、落水洞,其中 K76+175 左 9 m 处有一塌陷落水洞,洞口直径约 2 m,洞口周边岩体破碎,深度不明。

2.2 水文地质情况分析

2.2.1 地形、地貌

勘探路段原始地貌单元属构造剥蚀低山丘陵区,以溶蚀、侵蚀型构造为主。小里程为一垂直于路基方向发育的岩溶沟谷,大里程方向基本沿低山坡脚前展,地形起伏较大,地面标高为 490~570 m,左低右高。场地覆盖层较薄,斜坡多为人工开垦。路基已基本开挖至设计标高,场地受开挖影响原始地貌改变较大。

2.2.2 地质构造与地层岩性

勘探主要针对新华夏系武陵山二级隆起带中段一喀斯特地貌严重发育的区段,该段具有北东、北北走向的地质构造线,两者在永顺—保靖一带呈逐渐过渡关系。场地内的区域地质构造主要发生在燕山期。路基右侧开挖边坡的岩层产状为 $160^{\circ}\angle 15^{\circ}$,场地发育两组优势节理,其走向分别为 $240^{\circ}\angle 75^{\circ}$ 及 $305^{\circ}\angle 62^{\circ}$,密度均为 5~10 条/m。根据地质调查及前期勘察资料,勘探路段分布的地层主要为第四系全新统(Qh)黏土,下伏基岩为奥陶系下统(O1)白云质灰岩,地表黏土已经切去,裸露出基岩。基岩主要为白云质灰岩(O1n+f+h),呈灰色、中风化、隐晶质结构、中厚层状构造,岩质坚硬,节理裂隙发育,岩溶发育,以竖向形式发育为主。

2.2.3 水文地质

勘探路段处在相对较高位置,地表水不甚发育,附近未见明显水源。地下流体为基岩裂隙水和岩溶水。场地基岩裂隙发育,基岩裂隙水受季节变化影响明显,在雨季水量较大。

2.2.4 不良地质

探测路段基岩浅埋,经切方后基岩已出露。基岩为白云质灰岩,属可溶岩,不良地质主要为岩溶。

2.3 岩溶区勘探方案

勘探的主要工具为探地雷达,采用探地雷达为主的地球物理勘探手段,辅以工程地质调查。地表地质调查数量为 0.02 km²。探地雷达测线布置为顺路基方向,测线间的距离基本在 3 m 左右。雷达的技术参数及测点分布见表 1、表 2。

2.4 勘探结果分析

通过对物探区图像进行分析,可得到底层的溶

洞分布情况。选取 R1—R1'、R2—R2' 两组成像最为明显的实测图像进行分析。

表 1 勘探用 GSSI SIR—3000 型、IR—20 型高分辨率探地雷达的技术参数

项目	技术参数
天线	外置,兼容所有 GSSI 天线
数据储存	内部存储器:512 内存储存卡
闪存端口	接受行业标准的闪存方式或 IBM 微处理器,内存高达 2 GB
处理器	32-bit 英特尔 Strong Arm RISC 处理器,206 MHz
输入/输出	天线接口、直流电源、RS232 串行口(GPS 接口)USB 接口
工作温度/℃	-10~40
传输率/kHz	0~100

表 2 探地雷达测点分布

测线编号	长度/m	测点数/个	测线编号	长度/m	测点数/个
R1—R1'	100	1 001	R5—R5'	100	1 001
R2—R2'	100	1 001	R6—R6'	100	1 001
R3—R3'	100	1 001	R7—R7'	100	1 001
R4—R4'	100	1 001			

2.4.1 R1—R1'测线勘探结果及分析

R1—R1'测线起点位于 K76+096.8 左 13.4 m,终点位于 K76+197.2 左 13.7 m。其地质雷达扫描结果见图 3。

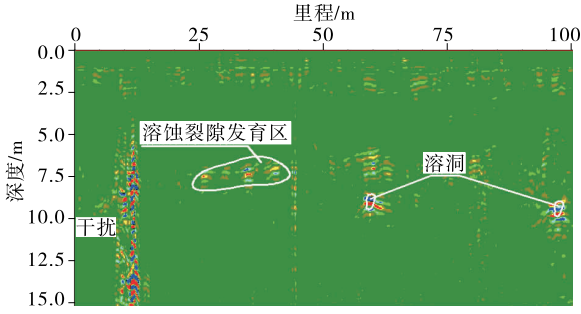


图 3 R1—R1'测线探地雷达勘探结果

由图 3 可知:整条测线雷达反射信号整体较强,同相轴连续性较差,局部雷达波振幅较大,局部存在干扰信号。推测测线探测深度范围内岩体总体较完整,溶蚀裂隙较发育,局部岩体较破碎,测线起点沿大里程方向 67~68 m 深度 9 m 左右处及 96~97 m

深度 9 m 左右处发育溶洞。

2.4.2 R2—R2'测线勘探结果及分析

R2—R2'测线起点位于 K76+096.55 左 10.45 m, 终点位于 K76+197 左 10.54 m。地质雷达扫描结果见图 4。

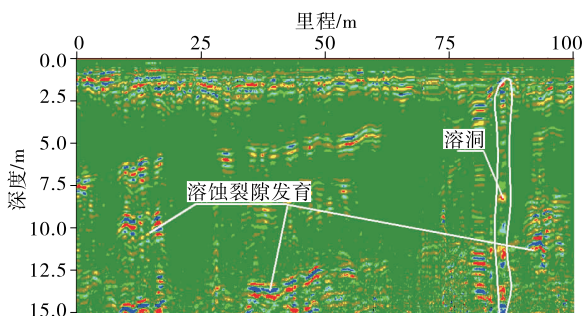


图4 R2—R2'测线探地雷达勘探结果

由图 4 可知:整条测线雷达反射信号整体较强,同相轴连续性稍差,局部振幅较大。推测测线探测深度范围内岩体总体稍完整,溶蚀裂隙较发育,局部岩体较破碎,测线起点沿大里程方向 80~82 m 处发育溶洞,溶洞发育深度超过探测深度。

2.4.3 勘探路段地质情况分析

通过对各测线扫描图像的分析,结合地质调查及前期地质勘察资料,对 K76+095—200 路段地质情况分析如下:

(1) 该路段覆盖层厚度薄,基岩基本出露,挖方至设计标高后,路基面所现均为基岩[奥陶系下统(O1n+f+h)白云质灰岩]。该岩石强度较高,基本呈单斜产出,节理裂隙较发育,岩溶发育,一般发育形式为溶沟、溶槽、溶蚀裂隙、落水洞等,溶蚀裂隙发育受节理控制明显;路基面下岩石完整性一般。

(2) 根据开挖面观察与物探结果,场地发育两组优势节理,其走向分别为 $240^\circ \angle 75^\circ$ 及 $305^\circ \angle 62^\circ$, 密度均为 5~10 条/m,场地发育的溶蚀裂隙受这两组节理控制明显,具有较好的方向性与延伸性。

(3) 除施工开挖所揭露岩溶洞穴外,根据雷达扫描图像,大部测线雷达反射信号较强,同相轴连续性均为一般或较好,局部振幅较大;探测深度范围内岩体总体较完整,岩溶发育,以溶蚀裂隙、落水洞、溶洞为主。根据物探探测情况,路基基底以下深度附近对路基具较大影响的岩溶形态主要有测线 R2—R2' 于 80~82 m 位置发育竖向溶洞,与 K76+175 左 9 m 位置揭露的落水洞位置吻合较好,推测为同一溶洞。勘察的岩溶区现场见图 5、图 6。

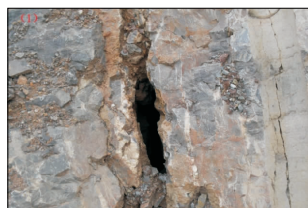


图5 边坡上溶蚀裂隙



图6 K76+175 左 9 m 落水洞

3 结论

(1) 溶岩地区的地质勘察仅凭前期的施工勘察还不能满足高速公路的施工要求,探地雷达作为一种应用较广泛、理论较成熟的物探方法,可用于不良地质路段的补勘。

(2) 根据张花高速公路 K76+095—200 不良地质段雷达勘探结果,该路段工程地质条件较复杂,地基岩石为奥陶系下统白云质灰岩,岩性较单一,岩石强度较高;场地岩溶发育,以溶沟、溶槽、溶蚀裂隙、落水洞为主。岩溶作为特殊地质不良体对路基影响较大,必须立即进行适当处治,以免对路基整体稳定性造成灾难性影响。

参考文献:

- [1] 胡业林,王祖访,王仁哲.工程电测 CT 仪系统研究[J].煤炭工程,2004(7).
- [2] 芦晴晴.探地雷达图像处理及其在探测地下空洞中的应用[D].洛阳:河南科技大学,2015.
- [3] 杨磊,张志勇,周峰,等.探地雷达在路基勘查中的应用[J].公路,2015(5).
- [4] 杨峰.岩溶地区路基病害勘察技术及处理方案研究[D].长沙:中南大学,2004.
- [5] 阿发友.高密度电法和地质雷达在断层及溶洞探测中的应用[D].贵阳:贵州大学,2008.
- [6] 温这文.纳黔路岩溶区路基稳定及处治技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2011.
- [7] 赵翠荣,施兴华,于景兰.探地雷达在公路检测中的适用性研究[J].公路交通科技:应用技术版,2014(12).