

公路路基下溶洞的探测与加固处理实践

胡朝彬^{1,2}, 戴苗³, 王宝勋^{1,2}, 张华⁴, 贺占海^{1,2}, 张进¹

(1. 天津华北地质勘查局, 天津 300170; 2. 天津华勘基础工程检测有限公司, 天津 300170; 3. 中国地震局地震研究所, 湖北 武汉 430071; 4. 广西壮族自治区地震局, 广西 南宁 530022)

摘要:为了弄清 318 国道野三关某段公路路基下溶洞的分布情况, 采用地质雷达圈定了溶洞的分布范围。经过对溶洞扰动区的稳定性分析, 选择注浆法对其加固处理, 在溶洞加固之后进行了复测, 效果显著。

关键词:路基; 溶洞探测; 地质雷达; 钻孔; 注浆

中图分类号: U416.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2010)08-0067-03

Detection and Reinforcement Practice of Karst Cave Beneath Roadbed/HU Chao-bin^{1,2}, DAI Miao³, WANG Bao-xun^{1,2}, ZHANG Hua⁴, HE Zhan-hai^{1,2}, ZHANG Jin¹ (1. Tianjin North China Bureau of Geo-exploration, Tianjin 300170, China; 2. Tianjin Huakan Foundation Engineering Testing Co., Ltd, Tianjin 300170, China; 3. Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Wuhan Hubei 430071, China; 4. Guangxi Seismology Bureau, Nanning Guangxi 530022, China)

Abstract: In order to make clear the karst cave distribution beneath roadbed at Yesanguan section of 318 national highway, GPR was used for delineating. By the analysis on the stability of the karst disturbed zone, the jet grouting method was chosen for the reinforcement. The strengthening region was detected again, and the effect is very significant.

Key words: roadbed; karst survey; GPR; drilling; jet grouting

0 引言

318 国道湖北宜昌至恩施段公路路基大都是山体岩石或者土层经夯实后直接作为路基。路基病害的产生主要因为可溶性岩的发育或者路基的土层发生了扰动。可溶性岩层是在水的化学和物理溶蚀作用下, 产生沟槽、裂隙、空洞以及陷穴现象。岩溶发育是可溶性岩在 CO₂ 和流动水的作用下进行的。路基岩溶发育区的洞与其岩及围岩与其上覆地层之间往往具有明显的物性差异。路基下溶洞的检测方法有地质雷达检测法、高密度电阻率法、自然电位法、视电阻率法、瞬变电磁法、电磁波层析成像法、瑞利面波法等。相比较而言, 地质雷达方法具有轻便快捷、高效、可视性强、探测精度高等特点, 它是一种采用中心频率在 10~2500 MHz 范围的高频电磁波来探测地下或建筑物内结构与特征的电磁探测技术。本工程我们采用地质雷达进行路基下溶洞检测, 可清晰的查明该段路基塌陷的范围、确定其边界。

国内外大量的观测资料分析结果表明, 当地下溶洞的范围较小而深度较大时, 溶洞的上覆岩体(土体)的移动可能不波及地表。而当溶洞的范围较大而深度较小时, 其上覆岩体的移动就会波及到

地表, 并引起地表下沉, 下沉所涉及的整个范围称之为下沉漏斗(或者称为下沉盆地)。塌陷区的存在, 会对交通运输造成巨大的潜在威胁。路基下的岩溶及土洞的整治一般需要进行注浆加固处理。注浆技术作为一种地基处理的方法已经为较成熟的技术方法, 它有施工方便、经济合理、工期较短、对周边环境影响小等特点, 其广泛应用于各种工民建、水利水电工程等岩溶地区的地基加固、地基补强处理中。

1 实地地质雷达测量及雷达图象解释

根据 318 国道湖北恩施野三关段某处现场条件与环境选择合理的天线频率与最佳时窗, 进行了合理布线。路基下溶洞埋置较浅时, 时窗设置不宜过大, 以有效突出异常体反射信号。目标体规模较小时, 探测天线的移动速度不能太快, 否则在雷达剖面上很难出现异常体所表现的双曲线特征。

现场检测采用加拿大 Sensor & Software 公司制造的 Pulse EKKO IV 型地质雷达系统。使用中心频率为 100 MHz 的天线进行探测; 数据采集过程中采样时间窗为 300 ns; 测点距为 0.2 m; 采用垂直叠加次数为 64 次/道。

收稿日期: 2009-12-01; 修回日期: 2010-05-12

作者简介: 胡朝彬(1981-), 男(汉族), 山东人, 天津华北地质勘查局天津华勘基础工程检测有限公司工程师, 硕士, 地球探测与信息技术专业, 从事基桩检测、地质雷达及工程质量检测、岩土勘查等方面的工作与研究, 天津市河东区广瑞西路 67 号, xiaodong1332@163.com。

在潜在的路基塌陷区路段垂直公路自西向东布置了5条检测剖面,分别编号为1、2、3、4、5号,各剖面长度均约为25 m,5条测线间的距离均为5 m,公路北侧为地质雷达剖面的起始点。图1为地质雷达测线布置及地质异常分布平面图,图中还标出了钻孔的布设位置。在检测过程中,发射与接收天线保持平行放置。根据路基的成分组成取路基中电磁波的平均传播速度为0.12 m/ns,其中上覆地层中雷达波的平均传播速度略低于基底的平均电磁波传播速度。图2给出了3号测线的地质雷达检测剖面。

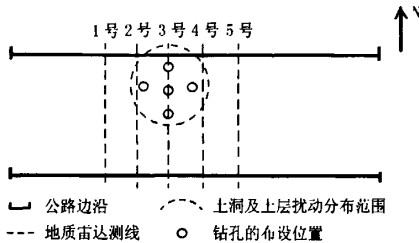


图1 地质雷达测线布置及地质异常分布平面图

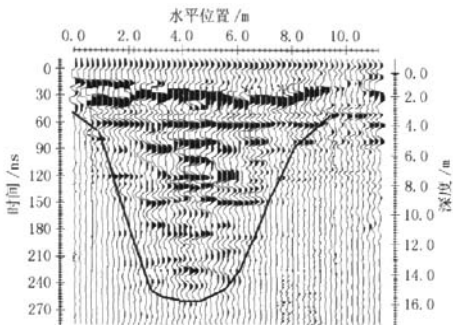


图2 3号测线地质雷达检测剖面图

图2为塌陷现场探测比较典型的雷达剖面图。地质雷达剖面上在0.8~9.0 m的水平位置上,该雷达记录清晰反映出一漏斗样式的土体扰动区域或者岩溶溶蚀松动区域,图2中勾画出扰动(或者松动)区域的轮廓图。根据该区地质情况分析,该处地下基岩为石灰岩(可溶性岩),地质雷达记录所反映的应为基岩面上发育的溶蚀槽;雷达记录显示该溶蚀槽主体宽度在2.4~7.0 m,该溶蚀槽内土体或者碎石组成的路基发生了严重的扰动,其扰动的最大深度约为15 m。未发生溶蚀的路基基岩在雷达剖面上显示雷达波比较平稳,未发生明显的雷达波强的发射,这一点从图2漏斗区域的两侧即可看出。

2 溶洞的稳定性分析与加固处理方法选择

由于湖北西部多雨水,很容易造成岩溶发育及

地表塌陷,上面由地质雷达探测出的岩溶发育的岩体松动或者土体的扰动很具有代表性。再者,由于大多数岩体都含有各类地质弱面,将岩体切割成一系列弱联接的嵌合体或各式各样的组合体,这种岩块体在围岩应力与自重及车辆振动共同作用下,溶岩破碎带顶板的块体可能发生移动,导致满足力学失稳和几何条件的块体先行垮落,并将这种过程传递给相邻的岩块体,随之垮落相继发生,顶板岩块的移动逐渐发展,破裂区逐渐扩大。

溶岩破碎区经过稳定后,即使暂时稳定,但由于自然条件的变化,还可能继续发展。为了确保路基的长期稳定,通常采用如下3种方法对溶洞或者土洞进行处理。

(1)开挖处理。该方法是根据场地的实际情况,将查明的溶洞直接凿开,再用碎石或混凝土回填,有地下水通过时则要保证其畅通。

(2)注浆处理。当开挖条件不具备时可采用注浆处理,注浆时要密切注意是否有跑浆现象,有则可以通过添加速凝剂或增加骨料比例等措施。

(3)路面连续配筋混凝土板跨越补强处理。这种方法是针对路基下溶洞的发育情况掌握不够全面,为了安全起见,用连续配筋混凝土板跨越进行补强处理。有两种做法:一是将该板直接作为路面,二是将该板置于沥青路混凝土路面层之下,要特别强调的是这种板采用了双层配筋结构,以增加其抗剪切性能。

笔者根据实际情况,建议选用注浆处理方法对地质雷达探测到的溶洞破碎区进行加固处理。

3 溶洞的加固方法与效果

3.1 溶洞的加固方法

溶洞(裂隙)注浆时注浆液从高压向低压方向运动,即首先填充地下无压地带如空洞、土洞、或半充填、全充填流动稀泥的溶洞或者裂隙破碎带,当充满之后,浆液必然将通过岩溶向压力最小的地表扩散并涌出地表。土层或溶洞充填物中的浆液流动垂直于土层等压线,并沿最短或最近的距离流动,在岩层中浆液流动主要顺岩溶裂隙扩散。由于岩溶发育的不均一、土层不均质,浆液必将呈不均匀扩散。另外,注浆施工时,将注浆套管嵌入基岩并与之固结呈封闭的注浆管,使浆液压入岩溶裂隙和溶洞中。浆液在岩溶中凭借压差寻找低压及岩溶薄弱环节直至返至地表,逐渐将路基范围内溶洞、裂隙封堵。

本工程经地质雷达探测到的路基下岩溶破碎带

扰动范围直径约10 m,根据地下扰动范围的异常现场分东南西北成正方形布置4个孔,中间布置1孔(如图1所示)。中间孔与周边四孔间距约3.6 m。注浆施工时,我们先施工周边4孔,以形成有效的止浆帷幕,阻挡浆液的外流;再施工中间孔。

3.2 注浆施工工艺

在钻孔施工时,不允许冲击钻孔,以防溶洞再次突然塌落。此次钻孔使用的是XY-100型钻机。钻孔孔径为108 mm,周围4孔钻孔深度为8.2~8.5 m,中间1孔钻孔深度为12.5 m(5孔孔深均根据地质雷达资料及钻孔取心综合确定的)。确定孔底均为破碎带相连,孔底沉渣较少。在钻孔之后预埋 $\varnothing 75$ mm PVC管。

在开始注浆前,进行简易压水试验,确定单孔吸浆量,5孔共需要注浆约 18.6 m^3 。注浆时应先用稀浆,再用浓浆,最后再用稀浆。

注浆时选用一般细度及强度浆材,即用普通水泥、粘土、粉煤灰、砂等作为充填材料。本工程主要采用水泥粉煤灰浆和水泥砂浆两种,填加适量水玻璃速凝剂。在考虑到设计及施工在凝结时间、结石率及结石体强度等方面的要求的同时,配比时水泥的用量尽量少。注浆泵采用ZJ-250/10型变量挡定量泵,其额定排量为 250 L/min ,注浆泵压力为10 MPa(压力表最大压力指数 $>10 \text{ MPa}$)。

灌浆压力是给予浆液扩散、充填、压实的能量,压力大有助于提高充实程度和结石体强度,但压力过大,易导致浆液冒入上部地基土中。我们按照相关规范要求按照以下标准控制:灌浆压力达到 3.0 MPa 持续稳定时间 $20 \sim 40 \text{ min}$,注浆量 $<50 \text{ L/min}$ 后才终止注浆。

施工中采用先低后高、先周边后中间的注浆顺序,即先施工周边帷幕孔,使溶洞形成一个周围帷幕,再施工中普通孔,这样,溶洞的充填效果非常明显。

3.3 注浆效果

~~~~~  
(上接第66页)

## 5 结语

目前该工程施工自设备进场至今,进展顺利,已完成全部防渗墙施工,经质量检测,均已达到设计指标,且未出现异常情况,为该项技术的推广应用取得了宝贵的经验。

在注浆完成之后的2个星期之后,我们对加固区块进行了地质雷达复测,发现路基下溶洞及其扰动区域在雷达剖面上基本没有异常反应。此项目完成2年多以来,没有出现任何质量问题,说明用注浆充填技术处理公路路基下潜伏的溶洞或土洞具有良好效果,获得很好的社会效益和经济效益。

## 4 结语

在岩溶地区溶洞一般较为发育,工程地质条件较为复杂,在基础施工时一定要查清地下地质情况,采取相应的处理方案。利用地质雷达可较清楚的探测出公路路基下溶洞及破碎区的位置及分布范围,进而确定溶洞的大体规模,选择适合的注浆压力及最大注浆量。溶洞破碎区经过稳定性分析,选用水泥、砂石、粉煤灰等进行注浆,可以有效的对其进行加固处理,保证路基的质量与安全。

## 参考文献:

- [1] 刘崧.物探方法在岩溶勘查中的应用综述[J].地质科技情报,1997,(2):38-45.
- [2] Annan AP. Ground-penetrating radar principles, procedures & applications [M]. Canada: Sensors and Software Inc, 2003.
- [3] Davis JL, Annan AP. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy [J]. Geophysical Prospecting, 1986, 37: 531-551.
- [4] 胡朝彬,邓世坤,梅宝.探地雷达在调查地下人工构(建)筑物中的应用[J].工程地球物理学报,2007,4(1):46-51.
- [5] 李铁汉,潘别桐.岩体力学[M].北京:地质出版社,1980.
- [6] 黎斌范,秋雁,等.岩溶地区溶洞顶板稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2002,21(4):532-536.
- [7] 任红旗.煤矿采空区钻孔注浆治理工艺[J].中国煤田地质,2001,13(2):102-103.
- [8] 胡朝彬,邓世坤,王宝勋,等.探地雷达用于人工挖孔桩桩底岩溶探测的应用研究[J].地质灾害与环境保护,2009,20(75):74-78.
- [9] 肖永贵,肖亚辉,等.用注浆法处理采空区[J].湖南交通科技,2002,28(3):19-20.
- [10] 王发民,石永泉,韩永昌.大溶腔岩溶地层的有效钻孔堵漏方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(3):15-17.

## 参考文献:

- [1] 白永年.中国堤坝防渗加固新技术[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [2] 刘才高,夏洪华.混凝土防渗墙在富水水库主坝除险加固中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(2).
- [3] 侯敏,赵建平.薄型抓斗在黄冈长孙堤防渗墙工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2002,(S1):284-285.
- [4] 编委会.地基与基础(第2版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [5] 秦训松.在深厚砂层中建造薄型塑性砼防渗墙施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2003,(3):4-6.