

微动勘探在路基隐伏岩溶探测的应用

李天¹ 徐密^{1*} 陈亚乾² 王嗣尹³

1 云南黄金矿业集团股份有限公司 2 云南科伦工程质量检测有限公司

3 云南省交通规划设计研究院股份有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i12.2099

[摘要] 地下隐伏岩溶给高速公路的运营带来塌陷和变形的风险,本文采用微动勘探进行路基隐伏岩溶探测,并采用剖面加立体结合的方式进行数据解译,划分岩溶发育段落和规模。结果表明,微动勘探能为岩溶地区高速公路的岩溶治理提供可靠的地球物理依据。

[关键词] 微动勘探; 路基岩溶; 岩溶探测

中图分类号: P624 文献标识码: A

Application of Microtremor Exploration in Hidden Karst Exploration of Roadbeds

Tian Li¹ Mi Xu^{1*} Yaqian Chen² Siyin Wang³

1 Yunnan Gold Mining Group Co. Ltd 2 Yunnan Kelun Engineering Quality Inspection Co.Ltd

3 Broadvision Engineering Consultants Co.Ltd.

[Abstract] Underground hidden karst poses a risk of collapse and deformation to the operation of highways. This article uses microtremor exploration to detect hidden karst in roadbeds, and uses a combination of profile and three-dimensional data interpretation to divide karst development sections and scales. The results indicate that microtremor exploration can provide reliable geophysical basis for karst treatment of highways in karst areas.

[Key words] Microtremor exploration; Roadbed karst; Karst exploration

引言

地下隐伏岩溶给公路的安全运营带来许多问题,主要表现在:①挖方段路基隐伏岩溶顶板变薄,基础稳定性变差增加岩溶塌陷的风险;②岩溶水文的不稳定变化使路面变形开裂;③填方段路基在地下水的长期冲刷软化下容易产生土洞。所以隐伏岩溶对运营期间的路基带来了许多风险和不稳定因素。

地球物理手段一般具有无损探测、效率高效、经济性好的特点,所以常被用于隐伏岩溶的探测。目前,路基岩溶地球物理勘探以电磁法为主,以地质雷达^[1]、瞬变电磁^[2]、高密度电法^[3]为代表,但是以上方法易受城镇复杂电磁环境和地下离散电流影响,数据质量一般不高,影响后期数据处理和解译。近年来,微动勘探常被用于岩溶探测、矿业资源勘查、工程地球物理勘察中^[4],该方法可获取瑞利波波速和横波波速等弹性力学参数,相较于电性参数,力学参数更利于工程设计的使用,所以也常被用以代替钻孔剪切波测试等工作。

本文以昆明市岩溶地区某运营高速公路为例,对其路面开裂段进行微动勘探,探测路基下方的岩溶发育情况。

1 工程概况

该高速公路在K28+700~+770段路面多处产生裂缝和中央隔离带挡墙开裂情况,此段处于岩溶发育区,初步判定与地下隐

伏岩溶有关,该段小里程为挖方段,大里程为填方段,沿线有高线塔,不适合电磁类物探技术作业,为探明地下岩溶发育情况本文采用微动勘探进行作业。

为满足本次探明路面以下20米岩溶发育情况的要求,对双向六个车道进行微动勘探工作,共布置8条物探测线,对应里程为K28+700~+770米,由于中央分隔带挡墙出现裂缝,故两侧的超车车道测线加密,各布置2条测线,其余车道各布置一条测线,测点间距2米。为保证道路通车安全,采用直线型台阵进行采集,一次性布设19个节点,每11个节点拼接1个数据点,台阵半径为10米,采集时长为15分钟,采样间隔2ms。

2 数据处理及解译

2.1 数据处理

首先对采集的数据进行拼接和滤波,将一次性布置的19个节点拼接为9个有效测点的地震数据格式,再对利用空间自相关(SPAC)法从各测点记录中提取瑞雷波频散曲线,除此之外还可以利用频率-波数滤波计算频散曲线,由于SPAC方法操作简便,作业效率高,故选用该种方式进行数据处理。本次采集过程中高速路上有大量车辆通行,为数据采集提供了有效的振动源,数据质量较好,频散有明显收敛,如图2所示的左幅行车道750测点所示的频散收敛性较好,拾取频率介于20~100Hz,探测深度可达25

米。最后绘制相速度等值线图,利用式(1)计算视S波速度。

$$v_{s,i} = \left[\frac{t_i \cdot v_{r,i}^4 - t_{i-1} \cdot v_{r,i-1}^4}{t_i - t_{i-1}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

式中 v_s 为视S波速度, v_r 为瑞雷波相速度, $t_i = 1/f_i$ 为周期, 对应的深度一般取半波长。计算出视S波速度后, 可根据相速度频散曲线算得视S波速度随深度的变化曲线(曲线) $v_s - h$, 再利用光滑差值等计算处理后, 即可得到视S波速度的剖面图。

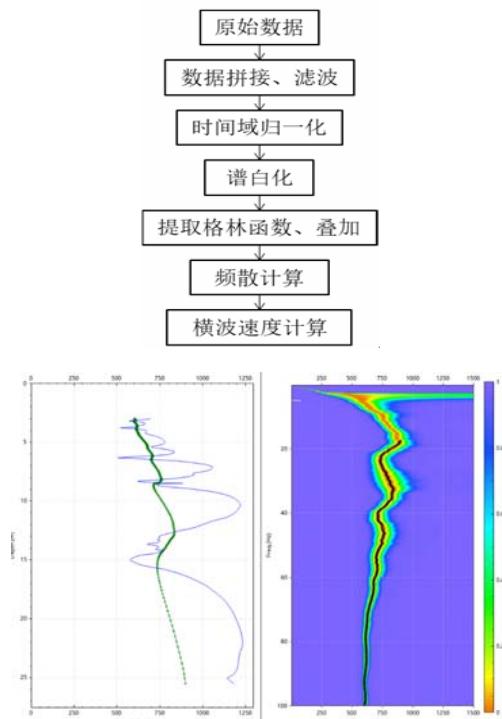


图1 数据处理流程及横波速度计算示意

2.2 数据成图及解译

本次微动勘探的横波速度剖面如图2所示, 依据现场情况和地质调查结果可以对图件进行地质解译, 可将剖面的速度异常分为三类:

(1) 浅部低速区: 位于路面以下约0~8米范围, 横波速度值介于300~500m/s, 呈现连片式低速异常, 局部区域可达500m/s以上, 推测为覆盖层, 以黏土、碎石、强-全风化白云岩为主, 局部高速区域以强-全风化白云岩为主, 代码为①。

(2) 中深部高速区: 位于路面以下约5~8米范围, 横波速度介于500~1000m/s, 推测为中风化白云岩, 代码为②。

(3) 中深部相对低速区: 位于白云岩内部, 横波速度介于500~600m/s, 呈现条带状或团块状低速异常, 推测为岩溶发育区: 条带状异常以岩溶裂隙发育为主, 内部有小型岩溶发育, 异常形态如图2(b)右幅应急车道剖面里程+715~+730和+740~+750所示; 团块状异常以溶洞发育为主, 充填物不明, 异常形态如图2(a)左幅行车道剖面里程+745~+750所示, 代码为③。

(图2为上下, 没有左右图)

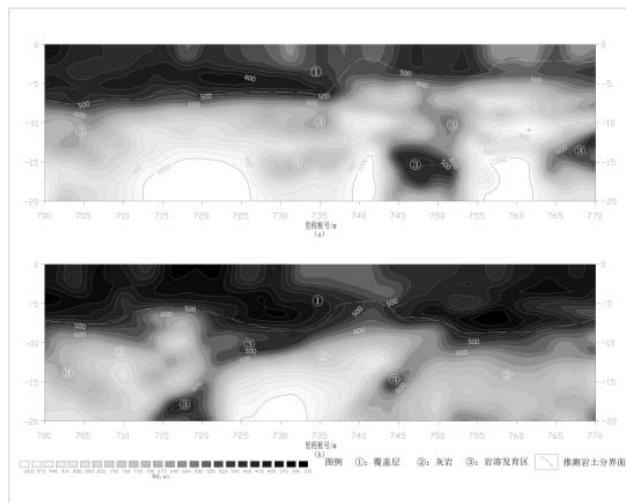


图2 微动勘探成果图

(a) 左幅行车道剖面 (b) 右幅应急车道剖面

2.3 路基岩溶评价

本次微动以单条测线方式进行采集, 所以物探成果以二维剖面为主, 但是岩溶发育是三维立体式的, 所以为直观显示物探异常, 在平面上划分岩溶发育区, 本文对8条测线的数据进行三维插值处理^[5], 然后利用插值数据做等深度的切片分析, 如图3所示。图中暗色区域的横波速度低于600m/s, 通过上节的地质解译可知, 该类区域为岩溶发育区, 上下两张图分别为路面下10米和15米的水平切片, 可以看出岩溶发育异常有由浅至深减弱的趋势, 结合剖面成果对测区的有规模的岩溶发育区做如下分析:

(1) 右幅里程+720~+735段: 该异常从应急车道一直向小里程方向延伸至超车车道, 结合图2(b)可以推测该异常为岩溶裂隙发育区, 该区长约15米, 宽约5米, 埋深8~20米。该异常规模较大且靠近路侧边沟, 为防止地表水沿此异常下渗, 完成探测后立即知会管理单位排查隐患, 随后管理单位在+730处发现边沟塌陷, 如图4所示, 塌陷下方有溶蚀裂隙向小里程方向延伸, 与探测结果一致。

(2) 右幅里程+745~+765段: 该异常从应急车道一直向小里程方向延伸至超车车道, 结合图2(b)可以推测该异常为岩溶裂隙发育区, 该区长约15米, 宽约5米, 埋深8~20米。

(3) 左幅里程+745~+755段: 该异常从超车道一直延伸至应急车道, 结合图2(a)可以推测该异常有溶洞发育, 异常长约5米, 宽约5米, 埋深10~18米。

利用岩土分界面将浅层的覆盖层数据剔除白化, 将白云岩的横波速度成立体三维图, 如图5所示。综合以上分析, 可以看出测区的岩溶整体较发育, 且基本靠近岩土分界面, 顶板厚度小, 地表水易顺路面坡面向小里程方面下渗, 流向岩溶发育区, 冲刷和软化覆盖层介质, 造成路基失稳, 所以在K750附近出现路面裂缝和中央隔离带开裂的情况。

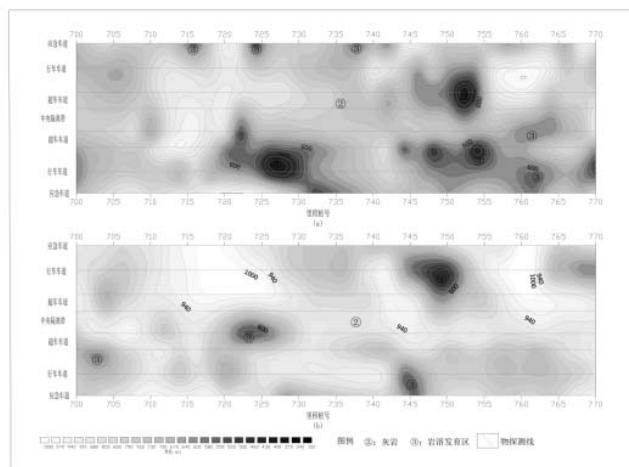


图3 横波速度切片

(a) 路面下10米切片 (b) 路面下15米切片



图4 右幅边沟塌陷照片

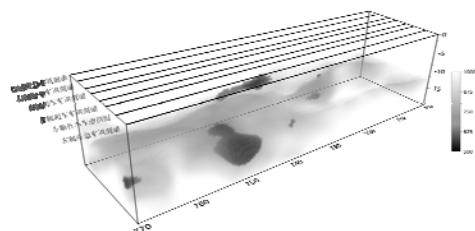


图5 岩溶模型刻画

3 结论

通过本次工程物探工作的实施,可以看出微动勘探用于路基探测在岩性分界和对岩溶反应的灵敏度较好,勘探异常和本次现场路面开裂和挡墙开裂的位置吻合,说明该方法精度高,分辨率好。并且采用无损作业,对路面不产生影响。利用该方法进行路基岩溶探测,可以克服电磁类方法不适合城镇复杂电磁环境的缺点,在数据采集阶段能利用高速公路车辆行驶作为有利的移动震源,对提升数据质量起到了关键作用。

参考文献

- [1]关艳丽,李天,侯秋平,等.地质雷达法在岩溶建筑场地精细化探测的应用研究[J].云南大学学报(自然科学版),2023,45(S1): 181-186.

- [2] 张学亮, 谢涛, 周炜, 等. 等值反磁通瞬变电磁和微动勘探在浅部岩溶探测中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(12): 157-166.

- [3] 赵杨杉,王洁,郑军,等.高密度电法三维可视化技术在工程场地岩溶探测中的应用[J].工程地球物理学报,2024,21(05): 784-792.

- [4]范长丽,贾慧涛,蔡向阳.微动在城区岩溶勘探中的效果研究[J].工程地球物理学报,2020,17(05):652-657.

- [5] 陈亚乾,李天,普新凯,等.高密度电法立体显示技术在岩溶探测中的应用[J].工程地球物理学报,2020,17(03):366-372.

作者简介：

李天(1992--),男,汉族,四川成都人,硕士研究生,工程师,研究方向:工程物探。

*通讯作者：

徐密(1985--),男,汉族,湖北咸宁人,大学本科学士学位,高级工程师,主要从事固体矿产勘查物探工作。