

微动法在划分岩溶塌陷隐患区域中的应用

梁东辉^{1,2,3)}, 徐虎^{1,2,3)}, 谭磊^{1,2,3)}, 刘福达^{1,2,3)}, 江树海^{1,2,3)}

1) 浙江广川工程咨询有限公司, 杭州, 310020;

2) 浙江省水利河口研究院(浙江省海洋规划设计研究院), 杭州, 310020;

3) 浙江省水利防灾减灾重点实验室, 杭州, 310020

关键词: 岩溶塌陷; 微动; 谱比积分; *HVSR*

岩溶塌陷是一种常见的地质灾害, 给人民的生命和财产造成了严重的安全影响, 划分岩溶塌陷的隐患区域可指导工程建设的选址和设计, 为地质灾害的防治提供技术支持。微动法是近年来广泛应用的被动源地震勘探方法, 为研究其在划分岩溶塌陷隐患区域的作用, 选择某典型岩溶塌陷区为试验场地进行微动法测量。本文提出了一种微动数据处理方法——谱比积分法, 该方法首先将三分量微动数据进行 *HVSR* (horizontal-to-vertical spectral ratio) 法处理, 然后对得到的 *HVSR* 曲线在 1~20 Hz 范围内进行积分运算, 获得该测点的谱比积分值。依次对场地每个测点的微动数据进行谱比积分法处理, 绘制试验场地谱比积分等值线平面图, 与现场塌陷调查资料对比分析。结果显示, 试验场地的塌陷坑基本分布在谱比积分值较大的区域, 说明微动谱比积分法可用来划分岩溶塌陷隐患区域。

1 场地概况及测量布置

试验场地的地貌类型为冲积平原, 地表为农田、果园和竹林, 地形平坦, 高程 27~31 m, 测区内无基岩出露, 东侧和南侧有河流经过, 中部有一条高压线横穿测区, 走向为 110°。试验场地内的 5 个钻探揭示的覆盖层厚度在 9.0~14.2 m 之间, 主要成分为粉质黏土、中砂、细砂, 下伏地层为石炭系石磴子组灰岩, 岩溶裂隙、溶洞较发育。根据现场调查, 试验场地共有大大小小的塌陷坑 25 个, 多成圆形, 半径 0.5~5 m。

为了探索微动法在划分岩溶塌陷隐患区域的可行性, 对试验场地进行微动法测量, 共布置 20

条平行测线, 测线走向为 30°, 测线间距和测点间距均为 10 m, 使用 RTK 测量仪器准确定点。依次对每个测点进行微动法测量, 采用三分量微动仪, 采样频率设置为 128 Hz, 采样时长 20 min。

2 方法原理

微动又称为地震背景噪声, 是地球表面时刻存在的微弱震动, 由自然因素或人文活动引起。在主动源地震勘探中, 微动信号被认为是无意义的干扰信号, 然而, 研究表明, 看似无规律的微动信号携带丰富的地下地质结构信息, 可用来做被动源地震勘探。因为微动法不需要特定的震源, 对环境无破坏, 近年来在国内外得到广泛的应用。微动法按照测量时检波器的布置形式分为台阵测量和单台测量。台阵测量利用多个检波器垂直方向的同步震动信号, 通过空间自相关法 (SPAC)、频率波数法 (FK)、地震干涉法等提取面波频散曲线; 单台测量采用三分量检波器, 通过 *HVSR* 法 (Nakamura, 1989) 处理, 将得到的 *HVSR* 作为传递函数的近似, 获取场地卓越频率。目前, 微动技术广泛应用于地下地质结构的探测中 (韩晨等, 2022)。

三分量微动原始数据包括三个正交分量的振动数据, 即两个水平分量 (南北方向和东西方向) 和一个垂直分量。因此微动信号水平分量和垂直分量之比有两个, 即 S_{NS}/S_Z 和 S_{EW}/S_Z , 其中 S_{NS} 、 S_{EW} 和 S_Z 分别是南北方向、东西方向和垂直方向的振幅谱。微动 *HVSR* 可按照 S_{NS}/S_Z 和 S_{EW}/S_Z 的算数平均值、几何平均值或均方根平均值来计算, 三种方法计算出来的 *HVSR* 形态基本一致。本文按几何平均值计算, 公式为:

注: 本文为浙江广川工程咨询有限公司国家高新技术企业技术研发项目 (编号: Y2206) 的成果。

收稿日期: 2023-04-10; 改回日期: 2023-04-30; 责任编辑: 周健。DOI: 10.16509/j.georeview.2023.s1.214

作者简介: 梁东辉, 男, 1990 年生, 硕士, 工程师, 主要从事地球物理探测技术研究; Email: liangkarst@163.com。

$$HVS R = \sqrt{\frac{S_{NS} \cdot S_{EW}}{S_z^2}} \quad (1)$$

一个可信的 $HVS R$ 曲线要满足以下 3 个条件 (SESAME, 2004) :

- (1) $f_0 > 10/l_w$;
- (2) $l_w \cdot n_w \cdot f_0 > 200$;
- (3) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$;
 $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$.

其中 f_0 为峰值频率, l_w 为时窗长度, n_w 为参与计算的窗口数量, σ_A 为 $HVS R$ 的标准差。

处理实测微动数据时, 首先选择合适的时窗长度, 按时窗长度将数据分成若干段, 分别对每段按照式 (1) 进行计算, 去除干扰较大的数据段, 将剩余数据段的 $HVS R$ 取平均值即为此测点的 $HVS R$ 结果。图 1 为第 6 测线 240 测点和第 11 测线 120 测点的微动 $HVS R$ 曲线图。

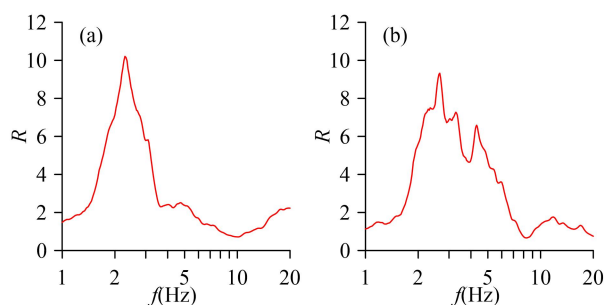


图 1 微动 $HVS R$ 曲线图

(a) —第 6 测线 240 测点; (b) —第 11 测线 120 测点

计算测点 $HVS R$ 在 1~20 Hz 范围内的积分, 如式 (2) 所示, 其中 S_{RI} 表示谱比积分, df 表示频率间隔。

$$S_{RI} = \sum_{f=1}^{20} HVS R(f) * df \quad (2)$$

依次将试验场地所有测点的微动数据按照式 (1) 和式 (2) 进行处理, 然后绘制场地谱比积分等值线图, 如图 2 所示。

3 结论

根据图 2 可知, 试验场地的 25 个塌陷坑中有 21 个分布于谱比积分值大于 40 的区域, 占总塌陷坑的 84%, 另外 4 个塌陷坑也位于谱比积分值较大的区域边缘; 在谱比积分值小于 32 的区域则没有

出现塌陷坑。这一现象说明, 本试验场地岩溶塌陷的发生与谱比积分值存在正相关性, 较高的谱比积分值预示着有较大可能性发生塌陷。

试验场地覆盖层为粉质黏土、细砂、中砂, 基岩为灰岩。在地质条件类似的其他场地, 可以应用微动谱比积分法来进行岩溶塌陷隐患区域的划分。

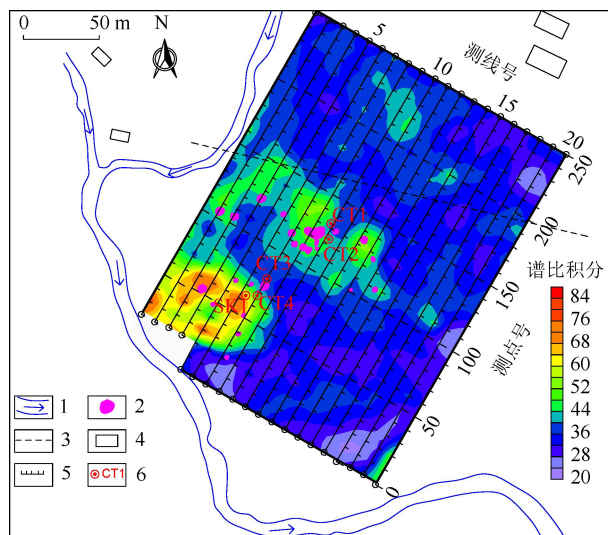


图 2 试验场地微动谱比积分等值线图

1—河流及流向; 2—塌陷坑; 3—高压线;
4—房屋; 5—测点; 6—钻孔及编号

参 考 文 献 / References

- 韩晨, 梁锋, 李海龙, 王涛, 张敏, 唐灵. 2022. 基于背景噪声的自相关与 $HVS R$ 联合成像在广东惠州市浅层结构探测中的应用. 地质论评, 68(4): 1413~1422.
- Nakamura Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report of RTRI, 30(1): 25~33.
- SESAME. 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. SESAME European research project.

LIANG Donghui, XU Hu, TAN Lei, LIU Fuda, JIANG Shuhai: Research on the application of microtremor in delineating potential karst collapse hazard zones

Keywords: karst collapse; microtremor; spectral ratio integration; $HVS R$