

基于瑞雷波频散特征的大区域岩溶发育规律试验研究

杨敏

中电建路桥集团有限公司

摘要:为进一步查明杭州市萧山区风情大道改建工程(金城路-湘湖路段)项目中岩溶区发育情况,分析评价场地稳定性及工程适宜性,解决施工中桩基础存在的严重隐患,采用微动探测技术采集岩溶发育区天然源面波信号,提取瑞雷波频散曲线反演得到地下视横波速度结构信息,结合地质及钻孔资料建立速度-深层地层模型,推测得到岩溶发育区的剖面形态,研究微动方法在岩溶发育区的应用效果。结果表明:(1)本岩溶区共存在12处异常,其中,异常长度在30m以下占58%共有7处,30m以上占33%共有4处,还有1处呈现直径20m圆形形态,埋深多分布在45~55m,其中10处异常涉及预设计基桩,影响厚度在10~30m。(2)岩溶工区地质条件不稳定,岩溶发育强烈均会影响施工,本次勘察能够有效的规避岩溶破碎带,为下一步工程施工提供依据。(3)天然源面波法对地层软弱层有较好的分辨能力,较适合软岩及密度度差异较大地区的工程勘探。

关键词:天然源面波法;微动勘探技术;岩溶发育区;反演

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.23.042

一、引言

我国地质条件多样,为使交通线路贯通需要修建大量隧道,隧道工程中存在的地质灾害大都由岩溶引起,因此施工前对岩溶区发育情况进行深入研究直接关系到施工人员的安全^[1]。岩溶区勘探主要采用钻探和物探。钻探作为局部探测手段不能整体反应地质条件,常用物探方法进行补充,常见物探方法有地震反射波法^[2],电磁波CT技术^[3],直流电法^[4],高密度法^[5-6]和地质雷达^[7-9]等勘查方法。地震反射波法施工简便,结果特征清晰;CT技术对于岩溶的延伸状况表达直观,高密度法数据丰富、分辨率高,地质雷达图像可以确定隐患地区,以上方法虽然可以做到整体探测,但类似于本研究区工程位置处于城区复杂环境的情况,容易受到噪声、电磁等干扰,大大降低勘探效率,直流电法虽然抗干扰能力强,但是其成层性较差。因此在城区溶洞区选择一种既准确又结果清晰的勘察方法尤其重要。

本文采用微动探测技术采集杭州市萧山区风情大道改建工程(金城路-湘湖路段)项目中岩溶发育区天然源面波信号,提取瑞雷波频散曲线反演得到地下视横波速度结构信息^[11-13],结合地质及钻孔资料建立速度-深层地层模型,推测得到岩溶发育区的剖面形态,研究微动方法在岩溶发育区的应用效果,分析评价场地稳定性及工程适宜性,为施工提供帮助。

二、工程背景及问题

(一)区域地质构造

根据对近场区主要断裂开展的野外地质调查、浅层人工地震勘探及热释光测年工作,该文认为近场区内存在北东向的湖州-临安断裂(F7)、马金-乌镇断裂(F8)、萧山-球川断裂(F10)、常山-漓渚断裂(F11)及江山-绍兴断裂(F12);北西向的长兴-

奉化断裂(F22)和孝丰-三门湾断裂(F24);近东西向的昌化-普陀断裂(F29)以及一些规模较小的断裂,这些断裂均为晚更新世以来不活动的断裂。但近场区内的马金-乌镇断裂、萧山-球川断裂为深大断裂,且早中更新世有活动,近场区内一些破坏性地震或有感地震在空间位置上与这两条断裂有关(历史上近场区最大地震为929年杭州5级地震),综合分析,近场具备发生5~6级地震的地震构造背景。与杭州地铁5号线工程线路相交的萧山-球川断裂(F10)、孝丰-三门湾断裂(F24)、盈丰-转塘断层(f2)、良渚-西兴断裂(f3)均为晚更新世以来不活动的断裂。根据《铁路工程抗震设计规范》(GB 50111-2006)和《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010),当抗震设防烈度小于VIII度或为非全新世活动断层时,可不考虑断层错动对拟建工程的影响。上述断裂未与本区间相交,可不考虑其对本工程的影响。

(二)岩溶分布特征

本场地不良地质作用主要为岩溶,主要发育于石炭系中统黄龙组(C2h)灰岩上部,第四系覆盖层较厚,属覆盖型岩溶;勘探过程中主要在风情大道与彩虹快速路交叉口西南侧发现部分钻孔内灰岩岩溶裂隙、溶孔发育,本次详勘阶段共有31个孔为灰岩钻孔,见溶洞孔28个,灰岩区域钻孔见洞率61.3%,线溶率2.55%~96.15%,根据国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011),本场地属岩溶强发育,溶洞顶板厚度0.00~3.00m不等,洞高0.10~12.50m,形态不规则,溶洞充填物多为软塑~软可塑状黏性土或含碎石黏土,部分溶洞充填物很少或无充填。

三、工程应用分析

(一)测试工作

天然源面波法是从自然界背景地震波动噪音(地脉动)中提取面波频散信息,以推断地层结构。

本次工作接收器按照一字型方式布置,接收器按照设计数字顺序布设,测点记录为装置中心,所有检波器与大线连接后,在监测端观察仪器是否正常采集数据,待仪器正常测量开始计时,根据探测要求决定采集时间,一般情况观测约30分钟,个别点需观测到一个小时。一个测点采集完成以后,关闭接收器,移位进行下一个点的测量。



图1 观测仪器(左)及低频拾震器(右)

(二) 勘察及分析过程

本次工作共完成天然源面波（微动）勘探测线9条，测点共计164个。综合各测线微动平面勘查结果，形成视横波等值线图及地球物理-地质推断图，对异常区进行分析整理，得到勘察结果。由于篇幅限制，本文提取三条重点异常区测线WD1、WD5、WD6开展分析。

WD1剖面起点坐标为X=71885，Y=86447，长389米，由46个测点组成。从剖面推断解译图上可以看出：

剖面纵向上视横波波速变化特征较明显，总体为低-高二层结构，视横波波速变化范围为100至400m/s。结合钻孔资料，具体分层如下：0-47米为浅部低速区，视横波波速小于250m/s，为粉质黏土反映。47米以下视横波波速显著增大，为含砾砂岩及灰岩综合反映。

WT-1异常中心位置位于剖面38米处，异常中心坐标为X=71879，Y=86485。异常影响宽度约20米，埋深约47.9米，异常影响厚度约26米。推测为黏土填充溶洞发育区，附近无预设计基桩。

WT-2异常中心位置位于剖面152米处，异常中心坐标为X=71869，Y=86599。异常影响宽度约50米，埋深约

52米，异常影响厚度约24米。推测为黏土填充溶洞发育区。附近存在NE6、NE7及FZ37右三个基桩，推测溶洞发育情况与地勘揭露钻孔基本吻合。该处溶洞发育范围宽度及厚度均较大，设计和施工时加强注意。

WT-3异常中心位置位于剖面268米处，异常中心坐标为X=71878，Y=86715。异常影响宽度约38米，埋深约53米，异常影响厚度约21米。推测为黏土填充溶洞发育区。附近存在NE10基桩，推测溶洞发育情况与地勘揭露钻孔基本吻合。该处溶洞发育范围宽度及厚度均较大，设计和施工时加强注意。

WT-4异常中心位置位于剖面320米处，异常中心坐标为X=71885，Y=86769。异常影响宽度约18米，埋深约53米，异常影响厚度约10米。推测为黏土填充溶洞发育区。附近存在NE12基桩，设计和施工时加强注意。

WT-5异常中心位置位于剖面350米处，异常中心坐标为X=71886，Y=86795。异常影响宽度约28米，埋深约51米，异常影响厚度约32米。推测为黏土填充溶洞发育区。附近存在NE12及NE13基桩，该处溶洞发育范围宽度及厚度均较大，设计和施工时加强注意。

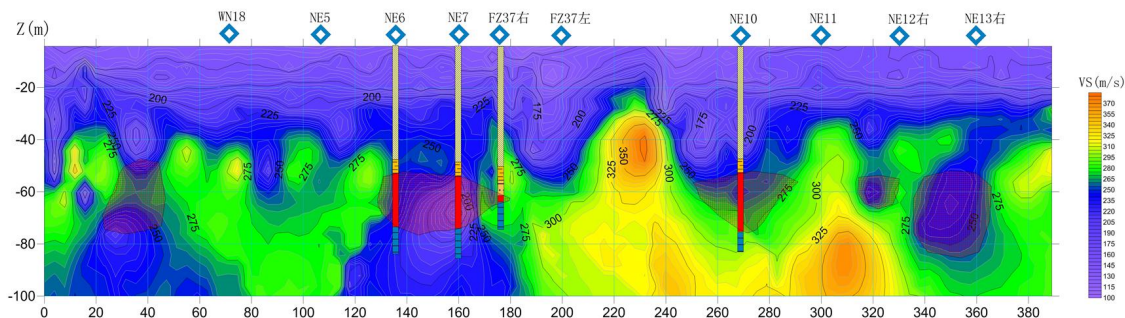


图2 WD1视横波等值线图及地球物理-地质推断图

WD5剖面起点坐标为X=71619，Y=86686，长219米，由23个测点组成。首先剖面0-60米段，浅部十米内视横波波速Vs已经超过500m/s，深部80米已经超过1500m/s，推测该异常区段为湘湖地铁塌陷后混凝土灌浆治理区。

剖面60-219米段纵向上视横波波速变化特征较明显，总体为低-高二层结构，视横波波速变化范围为100至1500m/s。结合钻孔资料，具体分层如下：0-40米为浅部低速区，视横波波速小于250m/s，为粉质黏土反映。40米以下视横波波速显著增大，为含砾砂岩及灰岩综合反映。

结合对比钻孔溶洞特征资料，将深度40米以下视横波波速Vs<250m/s的区域圈定为低速异常区，共2处，命名为WT-11及WT-10。具体特征解释如下：

WT-11异常中心位置位于剖面90米处，异常中心坐标为X=71709，Y=86670。异常影响宽度约10米，埋深约46米，异常影响厚度约23米。推测为黏土填充溶洞发育区，附近存在ES29、WN22及WN23三个基桩，推测溶洞发育情况与地勘揭露钻孔基本吻合。附近无预设计基桩。

WT-10异常与WD4线WT-10异常重合，故不再重复命名。中心位置位于剖面165米处，异常中心坐标为X=71772，Y=86660。异常影响宽度约70米，埋深约50

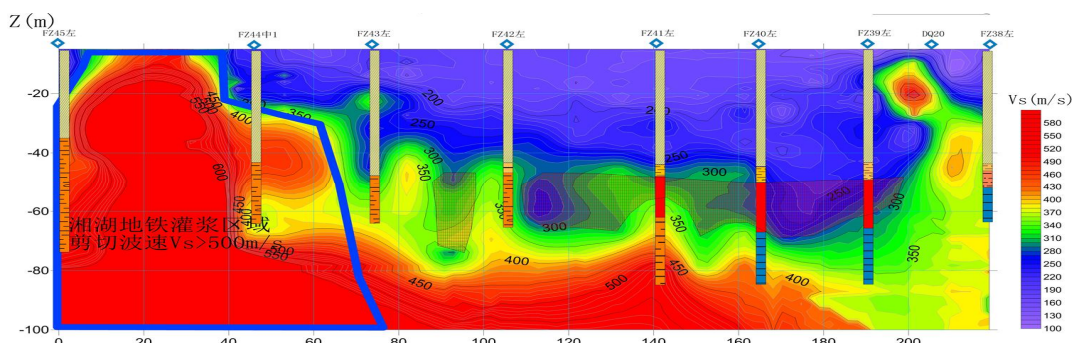


图3 WD5视横波等值线图及地球物理-地质推断图

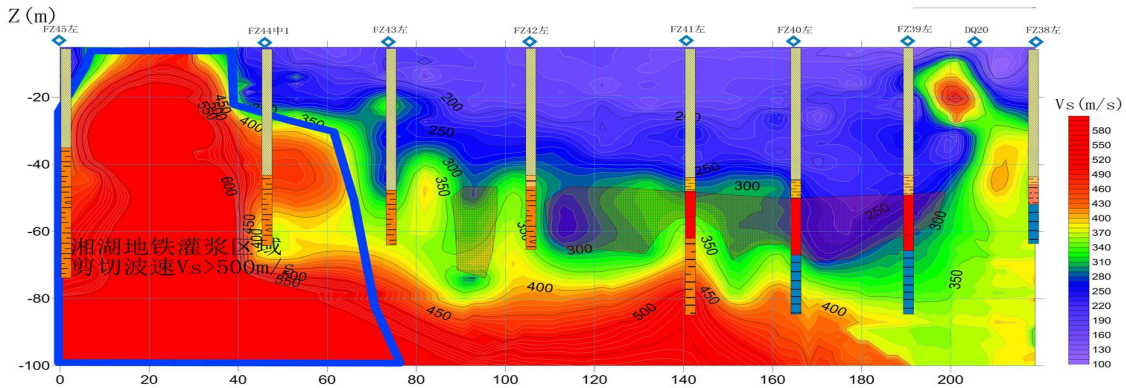


图4 WD6视横波等值线图及地球物理-地质推断图

米，异常影响厚度约15米。推测为黏土填充溶洞发育区，附近存在FZ39左、FZ40左及FZ41左三个基桩，推测溶洞发育情况与地勘揭露钻孔基本吻合。该处溶洞发育范围宽度及厚度均较大，设计和施工时加强注意。

WD6剖面起点坐标为X=71616，Y=86656，长208米，由22个测点组成。从剖面推断解译图上可以看出（图4）：

首先剖面20-50米段，浅部20米内视横波波速Vs已经超过500m/s，深部80米已经超过800m/s，推测该异常区段为湘湖地铁塌陷后混凝土灌浆治理区。

剖面50-208米段纵向上视横波波速变化特征较明显，总体为低-高二层结构，视横波波速变化范围为100至880m/s。结合钻孔资料，具体分层如下：0-47米为浅部低速区，视横波波速小于250m/s，为粉质黏土反映。47米以下视横波波速显著增大，为含砾砂岩及灰岩综合反映。

结合对比钻孔溶洞特征资料，将深度47米以下视横波波速 $V_s < 250\text{m/s}$ 的区域圈定为低速异常区，共2处，命名为WT-12及WT-10。具体特征解释如下：

WT-12异常中心位置位于剖面55米处，异常中心坐标为X=71671，Y=86646。异常影响宽度约25米，埋深约43米，异常影响厚度约18米。推测为黏土填充溶洞发育区，附近存在FZ44右1及WS13左两个基桩，推测溶洞发育情况与地勘揭露钻孔吻合情况较差。

WT-10异常与WD4和WD5线WT-10异常重合，故不再重复命名。中心位置位于剖面165米处，异常中心坐标为X=71772，Y=86636。异常影响宽度约60米，埋深约60米，异常影响厚度约20米。推测为黏土填充溶洞发育区，附近存在FZ39右及FZ41右三个基桩，推测溶洞发育情况与地勘揭露钻孔基本吻合。该处溶洞发育范围宽度及厚度均较大，设计和施工时加强注意。

四、结论

本文以杭州市萧山区风情大道改建项目为例，开展不良岩溶地质情况勘察，得出以下结论：

(1) 本次勘察共发现岩溶区12处异常，其中，异常长度在30m以下占58%共有7处，30m以上占33%共有4处，还有1处呈现直径20m圆状，埋深多分布在45~55m，其中10处异常涉及预设计基桩，影响厚度在10~30m。

(2) 岩溶工区地质条件不稳定，岩溶发育强烈均

会影响施工，本次勘察能够有效的规避岩溶破碎带，为下一步工程施工提供依据。

(3) 微动技术的使用能够很好地揭示出岩溶区地下岩体完整性及风化程度、岩层分界情况、覆盖层厚度、岩溶分布特点及其他不良地质情况，在岩溶地质调查分析中具有很好的应用前景。

参考文献

- [1] 许亮, 高誉玲. 隧道岩溶区围岩稳定性研究综述[J]. 交通世界, 2020, {4} (17):134-136.
- [2] 王学习. 地震反射法在岩溶勘探中的应用[J]. 内蒙古石油化工, 2018, 44 (07):122-124.
- [3] 刘俊, 彭佳斌. 电磁波CT技术在隧道基底岩溶勘探中的应用[J]. 甘肃科技, 2020, 36 (12):93-96.
- [4] 潘卫东, 韦涛. 直流电法在浅覆盖型充水岩溶勘探中的应用[J]. 工程勘察, 2021, 49 (07):75-78.
- [5] 杨小龙. 基于高密度电法的地质工程物探勘查技术研究[J]. 世界有色金属, 2019, {4} (21):123+125.
- [6] 孟凡松, 张刚, 陈梦君, 李怀良. 高密度电阻率法二维勘探数据的三维反演及其在岩溶探测中的应用[J]. 物探与化探, 2019, 43 (03):672-678.
- [7] 李斌. 地质雷达在阳山隧道岩溶发育段的应用研究[J]. 能源与环保, 2021, 43 (06):144-148.
- [8] 王雁南. 地质雷达在岩溶地区超前地质预报中的应用[J]. 工程技术研究, 2021, 6 (06):48-50.
- [9] 闭遗山, 梁明. 地质雷达在华南某工地岩溶勘察中的应用效果分析[J]. 工程地球物理学报, 2021, 18 (01):75-81.
- [10] 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.
- [11] 周鑫, 王文静, 李杨, 孟庆生. 微动探测技术在地质灾害勘察中的应用研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2021, 51 (08):58-64.
- [12] 田宝卿, 丁志峰. 微动探测方法研究进展与展望[J]. 地球物理学进展, 2021, 36 (03):1306-1316.
- [13] 陶鹏飞, 尹奇峰, 倪圣军, 钱征宇. 基于微动调查方法的尾矿库安全监测[J/OL]. 地球物理学进展:1-10[2021-07-13].

作者简介: 杨敏, 1981年8月13日, 男, 本科, 工程师, 研究方向: 施工技术。