

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.06.072

# 钻孔与管波相结合分析岩溶发育的方法研究

赵旭光<sup>1</sup>,王博<sup>2</sup>

(1.广州市市政工程设计研究总院有限公司,广东 广州 510060; 2.机械工业勘察设计研究院有限公司,陕西 西安 710043)

**摘要:**岩溶在我国发育广泛,且发育无规律性,特征极其复杂。在各类工程建设过程中,很难通过传统钻探手段查明岩溶发育情况,无法给出准确客观的岩溶发育范围。通过工程实例,综合钻孔资料与管波探测结果,将钻孔资料分析后岩溶的发育范围与钻孔资料结合管波探测成果分析后岩溶的发育范围进行对比分析,发现单一根据钻孔分析岩溶发育与钻孔结合管波分析岩溶发育两者确定的岩溶发育范围上有较大差异。通过具体分析,为岩溶发育判断提供一个新思路,进而为这类地区的相关设计、施工等提供更准确的工程地质依据。

**关键词:**地质钻孔、管波探测、岩溶发育范围

**中图分类号:** U412.2

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2023)06-0284-03

## 0 引言

随着我国城市建设的快速发展,为缓解日益拥堵的城市交通状况,给市民提供便捷的交通环境,城市内修建了大量的立交桥、跨线桥等桥梁工程,桥梁工程的建设,产生了大量的桩基工程,由于现代城市桥梁工程往往规模较大,故桩基础多为大直径桩,查明桩基持力层是保证桥梁设计施工的前提,因此桩基稳定持力层的确定对设计和施工尤为重要,也是保证桩基质量的前提和基础。

对于岩溶发育地区,溶洞大小不一、形状千变万化,溶洞分布无规则,这样复杂的地质情况下,常规大直径桩基采用一桩一钻的传统钻探手段往往无法完全反映桩径范围内持力层的情况,桩位溶洞的发育对冲桩施工带来困难,过程中经常发生塌孔、偏孔、卡锤、漏浆等情况<sup>[1]</sup>,严重时甚至会引发地面沉降。因此,准确探明溶洞的分布对于选择桩端持力层具有重要意义<sup>[2]</sup>。目前,广泛使用的岩溶物探方法有瞬变电磁法、跨孔CT法、单孔声波法、地质雷达法、管波探测法<sup>[3-8]</sup>等。

管波探测法在诸多物探方法中应用较为广泛且简便,勘察过程中找到溶洞范围尤为重要,管波探测法的优势在于以钻孔中心为轴心,其有限半径范围恰好能覆盖桥梁桩基尺寸范围,这种优势在探测桩径范围内基岩溶洞上尤为明显,也是目前应用最广之处<sup>[9]</sup>。根据弹性波理论,在弹性介质中传播的震动

按传播空间划分为体波和面波,体波包括横波和纵波,体波在无限空间中传播;面波包括瑞利波和勒夫波,面波在波阻抗的界面附近传播<sup>[9-10]</sup>。在充满液体的钻孔与周围地层之间形成一个明显的波阻抗,当波传播至该界面时就像一个新的“震源”,激发了沿钻孔轴方向传播的波,称为管波<sup>[11]</sup>。管波探测是一种有效、精确、能快速查明以钻孔为中心一定范围内岩溶、基岩裂隙带或断桩等不良情况分布的方法,弥补了勘察钻孔一桩一钻的不足,与之形成互补<sup>[12-13]</sup>。管波探测法的应用为设计、施工定桩长提供更加全面、可靠的地质依据。因此,本文以广州市花都区某道路桥梁工程为研究对象,通过将钻孔资料与管波探测结果相结合分析的方法,对岩溶范围进行了更准确的判定。

## 1 工程简介

本文以广州市花都区某道路桥梁工程为例,桥梁工程桩径主要为 $\varphi=1.2\text{ m}$ 、 $1.5\text{ m}$ 、 $1.8\text{ m}$ ,均为大直径桩基,勘察方案采用一桩一孔进行钻探施工。由于该处岩溶发育,钻探过程中揭露较多溶洞,且岩面起伏较大,溶洞发育没有规律性,经统计该范围内溶洞见洞率达62.5%,实际见洞率大于45%,根据《岩溶地区建筑地基基础技术规范》(DBJ/T 15-136-2018),该工程为岩溶强烈发育。查明桩基范围内岩溶发育情况是本工程勘察的关键。

## 2 勘察资料

本工程于详勘阶段完成0轴钻孔Z1、Z3,桩径均为1.50 m。由于设计方案调整,钻孔Z1、Z3偏离桩

收稿日期: 2022-07-05

作者简介: 赵旭光(1985—),男,工学硕士,高级工程师,注册岩土工程师,从事勘察设计工作。

位,重新对调整后桩位进行钻探,完成钻孔 Z1(B)与 Z3(B),其中钻孔 Z1(B)位于 Z1 东北侧 0.99 m,钻孔 Z3(B)位于 Z3 东北侧 1.09 m。钻孔孔口标高均在 9.10~9.20 之间,该区域典型的地质剖面详见图 1,钻孔位置关系详见图 2。本文详细分析了钻孔资料及管波探测解译结果,以便判断该位置的岩溶发育范围。

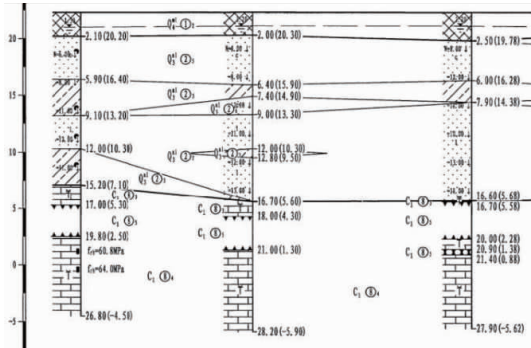


图 1 该区域典型地质剖面简图

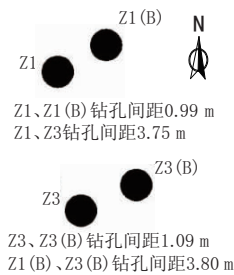


图 2 钻孔位置关系

### 3 根据钻孔结果分析岩溶发育范围

根据位置关系,将 Z1 对应 Z1(B)、Z3 对应 Z3(B) 进行对比分析,钻孔溶洞发育对比结果详见表 1,钻孔柱状图详见图 3。

表 1 钻孔溶洞发育情况对比

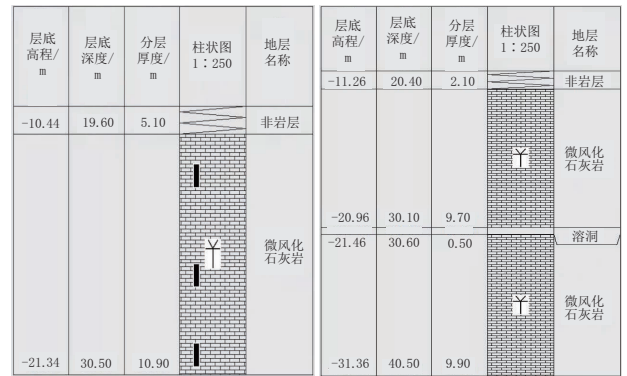
钻孔编号	Z1	Z1(B)	Z3	Z3(B)
岩面标高/m	-10.44	-11.26	-9.73	-9.05
是否揭示溶洞	否	是	是	否
溶洞顶板标高/m	—	-20.96	-16.43	—
溶洞高/m	—	0.5	2.7	—

根据表 1 及图 3,可初步推测分析钻孔及钻孔之间溶洞发育情况,具体分析结果如下:

(1) Z1(B)、Z3 各自揭露溶洞,其他位置无溶洞发育;

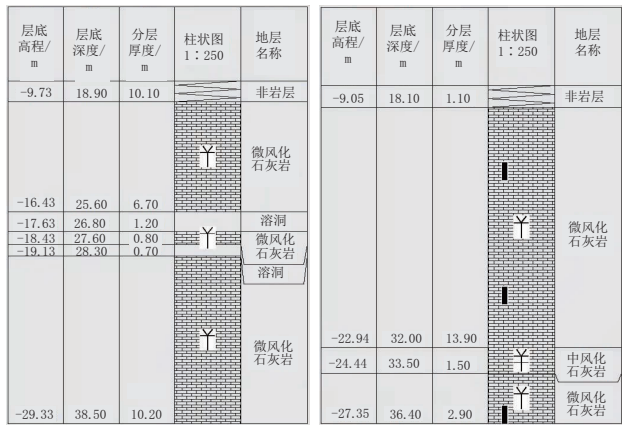
(2) Z1、Z1(B) 钻孔中心间距 0.99 m,两钻孔距离较近,岩面标高相差 0.82 m,如将 Z1 钻孔继续加深,推测在标高 -21.34~-22.00 m 范围内遇溶洞的可能性较大;

(3) Z1、Z1(B)、Z3、Z3(B) 四孔整体分析,根据钻孔揭露溶洞情况,推测 Z1、Z1(B)、Z3 间为岩溶发育



Z1 钻孔柱状图

Z1(B) 钻孔柱状图



Z3 钻孔柱状图

Z3(B) 钻孔柱状图

图 3 钻孔柱状图(该柱状图仅保留了岩层部分)

范围。

将以上三点分析简化为图 4。

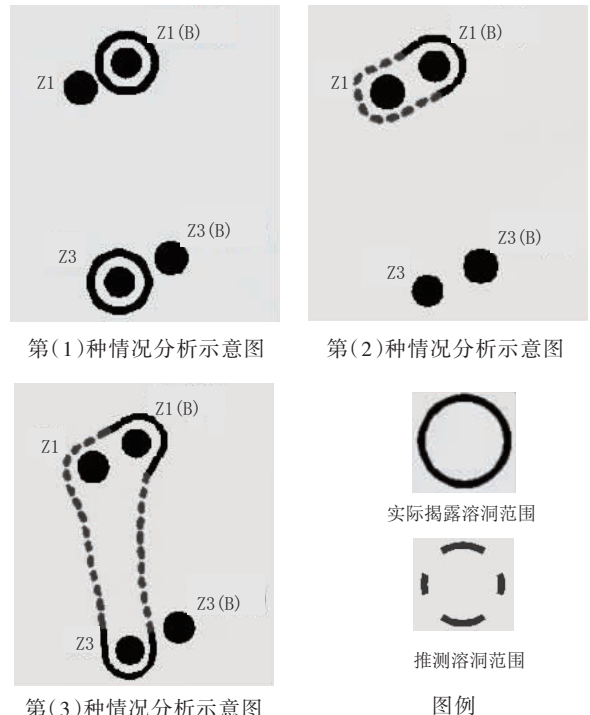


图 4 推测钻孔及钻孔间溶洞发育图

### 4 钻孔结合管波测试结果分析岩溶发育范围

管波探测法的原理是在充填液体的孔内用发射

探头发射信号,产生沿钻孔轴向传播的管波,判定孔旁岩溶裂隙和软弱夹层等所处位置。实测资料表明,管波的探测范围为管波的半波长,即以钻孔中心为轴心,半波长为半径的圆柱状区域,半径约1m左右,探测结果没有指向性<sup>[14-15]</sup>。

本工程在钻孔 Z1(B)、Z3(B)进行了管波探测,管波探测解释成果详见图 5。

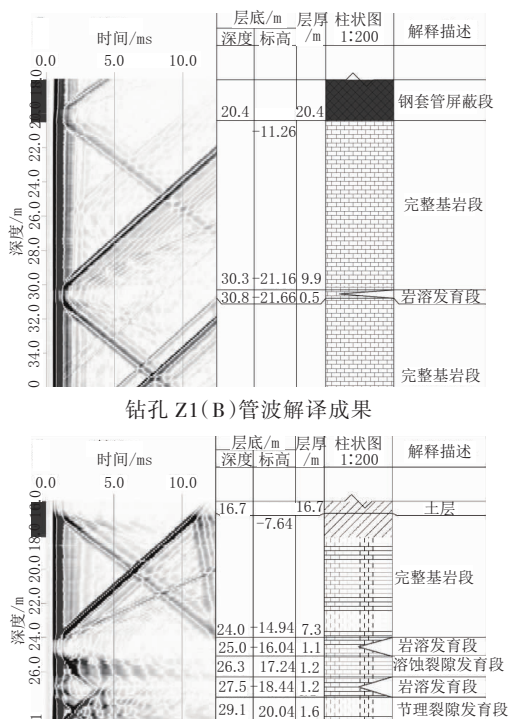


图 5 管波探测解释成果图

钻孔 Z1(B)管波探测结果显示,在标高 -21.16~-21.66 m 为溶洞,其他位置未探测到有溶洞,与钻孔 Z1(B)钻探结果基本相符,由于钻孔 Z1 与 Z1(B)间距为 0.99 m,管波探测范围为半径 1 m,由此判断钻孔 Z1 在管波探测范围内不存在溶洞,因此根据钻孔资料推测的 Z1 在标高 -21.34~-22.00 m 范围内遇溶洞的可能性较大的结论不准确。

钻孔 Z3(B)管波探测结果显示,在标高 -14.94~-18.44 m 为溶洞,Z3(B)钻孔未揭露溶洞,但距离钻孔 Z3(B)1.09 m 的 Z3 在标高 -16.43~-19.13 m 揭露溶洞,与钻孔 Z3(B)管波资料相差不大。由此推测,钻孔 Z3(B)在 -14.00~-20.00 范围大概率为半边溶蚀,该半边溶蚀与钻孔 Z3 所揭露的溶洞可能存在联通。

综上所述,根据钻孔资料结合管波探测资料,重新推测分析该范围的溶洞分布,具体详见图 6 中结合管波探测推测钻孔间溶洞关系图。

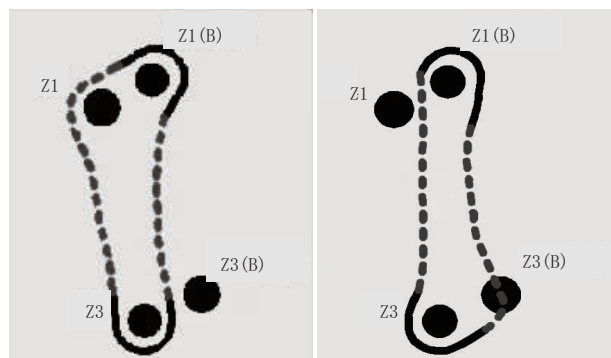


图 4 第(3)种情况分析示意图 结合管波推测钻孔间溶洞关系  
图 6 钻孔分析岩溶发育与钻孔结合管波分析岩溶发育结果对比

### 5 结 论

本文主要探讨了钻孔范围内的岩溶发育情况,一是根据钻孔资料分析岩溶发育范围,二是根据钻孔资料结合管波探测解译成果分析岩溶发育范围。对比两者所得出的结论,岩溶发育范围存在较大差异,具体详见图 4、图 6,较直观的反映了两种分析方法所得结论的差异,钻孔资料结合管波探测的方法更能反映出实际岩溶发育范围的情况。分析差异原因,主要在于钻孔资料仅能反映孔径范围内的岩层实际情况,单纯根据钻孔资料分析,工程经验或主观意识起到了决定性作用,存在一定的判断偏差。管波探测的应用,在钻孔的基础上增加了较大的探测范围,从而更准确的了解孔径范围外的岩层情况,能更精准的判断岩溶的发育范围,为设计施工提供准确的工程地质依据。

#### 参考文献:

- [1] 石振明,沈丹,彭铭,等.岩溶地区桩基施工溶洞处理技术——以吉安永和大桥桩基施工为例[J].工程地质学报,201,23(6):1160-1167.
- [2] 李容.跨孔 CT 法在岩溶区某大桥勘察中的应用[J].路基工程,2018(S1):141-144.
- [3] 晏军.岩溶隧道超前地质预报几种主要物探方法的选择与实践[J].隧道建设(中英文),2020,40(S1):327-336.
- [4] 俞仁泉,赵鹏辉,廖顺.跨孔电阻率 CT 法在岩溶精确勘探中的应用研究[J].灾害学,2019,34(S1):142-145.
- [5] 胡富彭,欧元超,付茂如.不同充填介质下的溶洞跨孔电阻率 CT 探查数值模拟[J].中国岩溶,2019,38(5):766-773.
- [6] 麦瑞浩.单孔声波测井与跨孔 CT 成像在岩溶地区地质勘探中的应用[J].中南公路工程,2004(2):141-144.
- [7] 周华贵,何一韬.海底岩溶盾构隧道勘察、设计及岩溶处理关键技术研究——以大连地铁 5 号线火梭区间海底隧道为例[J].隧道建设(中英文),2018,38(11):1830-1835.
- [8] 吴东升.岩溶强烈发育地区桥梁桩基础的勘察和设计[J].公路,2019,64(12):113-117.

(下转第 291 页)

表2 支撑轴力对比 单位:kN

基坑编号	支撑轴力	
	现场监测数据	理论设计值
第一道混凝土支撑	409~1 739	0~1 583
第二道钢支撑	358~762	31~1 285
第三道钢支撑	658~1 345	1 200~2 661
第四道钢支撑	545~1 183	1 050~2 364

钢支撑监测数据最大值与理论值差异的原因分析:设计时,钢支撑预加轴力按支撑轴力的70%进行预加,导致理论计算值偏大。实际现场施工时,支撑预加轴力未施加至设计值,导致基坑开挖时,轴力监测数据偏小。

### 4 结 语

本文以苏州某基坑工程为案例,通过理论计算

分析SMW工法桩的变形等规律,并结合现场施工监测数据进行验证,得到以下结论:

(1)SMW工法桩可作为深度15m左右基坑的围护结构,且在工期、环保、经济性上具有明显优势。

(2)15m基坑深度下,钢材承载力满足性能要求且有较大富余量。可通过减小支撑竖向距离,增加支撑层数,可控制基坑变形。

(3)随着基坑深度的增加,侧向水土压力逐渐加大。钢材与水泥土、水泥土最薄弱位置的抗剪,是关系到基坑安全的重要因素。通过增加SMW工法桩无侧限抗压强度,可提高基坑安全系数。

#### 参考文献:

[1] JGJ/T 199—2010, 型钢水泥土搅拌墙技术规程[S].  
 [2] JGJ 120—2012, 建筑基坑支护技术规程[S].

(上接第286页)

[9] 彭功勋,赵旭光,张陆军.管波探测法在广州西北部复杂岩体桩基勘察中的应用[J].广东土木与建筑,2018,25(11):5-9,16.  
 [10] 单娜林.工程地震勘探[M].北京:冶金出版社,2006.  
 [11] 李学文,郭金根,饶其荣.桩位溶洞探测新技术—管波探测法[J].工程地球物理学报,2005,2(2):129-133  
 [12] 李望明,吴述来,易强,等.利用管波信息进行定量解释的方法[J].物探与化探,2017,41(2):311-315.  
 [13] 马锦国.地震勘探在桩底岩溶探测的效果分析[J].工程地球物理学报,2019,16(2):168-173.  
 [14] 刘春生,石振明,刘夔,等.复杂岩溶地区桩位岩溶探测方法研究综述 [C]//第十五届全国工程物探与岩石工程测试学术文会论文集,2017:7-3.  
 [15] 林少忠.管波探测法在英德市北江三桥岩溶勘察中的应用[J].西南公路,2013(2):219-222.