

· 地基基础 ·



# $\phi 15$ m超大直径空心桩 在复杂岩溶地层中的应用

褚东升, 杨云安, 宋瑞斌

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

**摘要:** 以江西省吉安市井冈山经济技术开发区深圳大桥井冈山铁路跨线桥为依托, 根据桥梁上跨井冈山铁路和桥位处岩溶地层发育的特点, 提出综合采用弹性波CT法探测溶洞发育、超大直径空心桩替代钻孔灌注桩及桩底注浆加固等技术措施, 解决了复杂岩溶地层桥梁桩基础设计、施工中的诸多难题。介绍目前国内最大直径桥梁桩基础—— $\phi 15$  m超大直径空心桩在复杂岩溶地层中的应用。

**关键词:** 超大直径空心桩; 钻孔灌注桩; 复杂岩溶地层; 弹性波CT法; 注浆加固

中图分类号: U 655.54<sup>+</sup>4.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)02-0180-05

## Application of $\phi 15$ m super-large-diameter hollow pile in complicated karst stratum

CHU Dong-sheng, YANG Yun-an, SONG Rui-bin

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

**Abstract:** Based on Jinggangshan-Ji'an railway overpass bridge of Shenzhen bridge in Jinggangshan economic and technological development zone in Ji'an city, Jiangxi province, according to characteristics of bridge overpass railway and karst formations developing in situ, some technical measures are proposed to solve the difficulties in the design and construction of bridge pile foundation in complicated karst stratum. The measures include an elastic wave CT method in detecting karst conditions, the use of super large diameter hollow pile foundation to replace bored pile, and application of grouting reinforcement under foundation bottom. The proposed measures can solve pile problems in complicated karst formations, and  $\phi 15$  m super-large-diameter hollow pile is also the largest diameter pile foundation in bridge.

**Key words:** super-large-diameter hollow pile foundation; bored pile; complicated karst stratum; elastic wave CT method; grouting reinforcement

随着国民经济的快速发展, 铁路、公路等大型交通基础设施的建设规模越来越大, 桥梁桩基础的类型越来越多样化, 桩基础施工机械设备水平和对地质条件的适应性也越来越强。目前, 越来越多的桥梁桩基础修建在岩溶发育地区, 其中以钻孔灌注桩居多。在岩溶地层桥梁钻孔桩施工中, 遇到了诸多问题, 如地质勘察不准确、钻进过程中泥浆漏失、钻孔坍塌、钻头卡钻等, 且出现频率高、处理难度大。经过多年发展, 桥梁工

程界在处理桩基础溶洞问题方面已经取得了一定的实践经验, 而且已有不少文献<sup>[1-6]</sup>对岩溶地层桥梁桩基础勘察、设计、施工问题进行过介绍与研究, 但依然存在很多不足, 因此有必要进一步完善和提高。

本文依托江西省吉安市井冈山经济技术开发区深圳大桥井冈山铁路跨线桥工程, 介绍一种应用于复杂岩溶地层的桥梁桩基础—— $\phi 15$  m超大直径空心桩及其溶洞探测、注浆加固等技术。

收稿日期: 2013-11-12

作者简介: 褚东升(1987—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事桥梁工程、隧道与地下工程等方面工作。



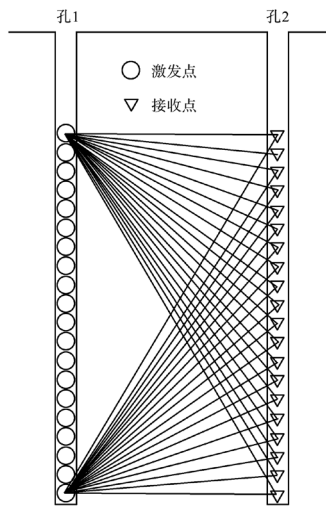
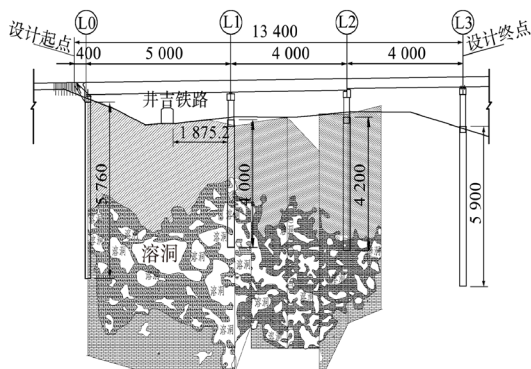


图2 弹性波CT成像系统

充填物)、溶蚀裂隙及上覆土层的对应关系,对速度色谱图作出地质解析,进而圈定被探测区域的基岩面、裂隙、溶洞和溶槽的分布、走向、大小、发育范围及是否有充填物等。

### 2.4 弹性波CT法探测结果及应用

本项目采用在原设计L1~L2号墩位及铁路两侧布设探测孔的方法,探测桥位区域的岩溶发育情况,探测孔深度为80 m左右。探测结果典型剖面见图3。



注:除桩号、高程以m计外,余均以cm为单位。

图3 弹性波CT探测结果典型剖面

探测结果显示,原设计L1号墩位处和井吉铁路路基下方发育贯通型大溶洞,自地表以下20 m左右开始发育,至76 m深度仍未有完整基岩,最大洞高达20余m。原设计L1号墩与铁路路基下方溶洞部分贯通,且二者距离较近,施工、运营期间相互影响不可避免。原设计L2号墩位处也有大量溶洞发育,但多为不贯通的小溶洞,地质情况比原设计L1号墩位处好。该区域地质情况为从原

设计L1号墩向L2号墩方向地质情况逐渐变好,岩溶发育逐渐减少。

为防止原设计L1号桩基施工对铁路路基带来安全隐患,在保持L0号桥台和L3号墩位置不变的情况下,考虑采取“改移墩位、加大跨径、避开大溶洞”的方案,对左幅桥梁上跨井吉铁路部分(L0~L3号轴)进行改跨设计。

因此,弹性波CT法的应用为本项目“改移墩位、避开大溶洞”方案提供了有力的地质依据,在岩溶地层探测中取得了明显的应用效果。

## 3 超大直径空心桩

### 3.1 超大直径空心桩的提出

本项目左幅L0号桥台桩基础在前期地质钻孔、管波探测中,均发现了溶洞,但由于工期紧张,经参建各方讨论,决定维持原设计钻孔桩方案。在施工0-1号桩时,钻孔至34.8 m高程(设计桩底高程24.8 m)时出现漏浆,后采取回填片石、水泥、混凝土等多种措施均无效果,最后不得不采用桩身四周钻孔注浆封堵溶洞的方法进行处理。0-1号钻孔桩处理溶洞前后花了5个多月时间,增加成本数十万元。

我国南方石灰岩地层较多,在岩溶地区钻孔桩施工中,漏浆、卡钻、塌孔等事故时有发生,轻则耽误工期,重则机倒人伤,经济损失可高达数百万元<sup>[5-6]</sup>。在复杂岩溶地层中,无论按照嵌岩桩还是摩擦桩进行设计,钻孔灌注桩的质量和安

全均得不到切实保证,需要寻求一种新的设计思路。鉴于本项目0-1号桩的经验,结合国内外已有工程实例,通过对改跨后新墩位的选址和桩基类型进行反复研究,拟采用 $\phi 15$  m超大直径空心桩的方案。

### 3.2 超大直径空心桩的设计

当岩溶地层具有一定覆盖层厚度时,对于中小跨径桥梁,可以充分利用土层的承载能力,设计出大直径挖孔空心桩基础<sup>[7]</sup>。空心桩桩底不进入岩层,避免对下方溶洞进行扰动,并可有效避免桩基强行穿越溶洞施工的种种病害。

按照结构计算原理,应该控制桩底一侧不出



## 4.2 加固原理

假定岩溶地层注浆加固后,加固体为密实地基,考虑到桩位处岩溶极其发育,空隙率大,偏于安全,加固后的地基按较密实土体来考虑。取竖向应力扩散角为 $\phi/4=15^\circ/4=3.75^\circ$ ,空心桩基底应力扩散至桩底以下 $3D$ (空心桩外径)深度时,附加应力 $P$ 小于 $10\text{ kPa}$ ,下卧土层应力主要为自重应力。故加固范围为:竖向至桩底 $3D$ 深度,平面大小为桩底 $3D$ 深度处的应力扩散范围。

## 4.3 加固要求

加固范围:桩底至注浆钻孔底内的局部软土、土洞、岩面不整合面、中风化岩体内的裂隙、溶洞、溶槽、溶沟等,保证注浆充填饱满。

钻孔深度:结合溶洞、裂隙发育位置及分布特征等条件综合确定,原则上要求从桩顶开始,至钻入桩底以下 $3D$ 深度,并保证钻孔进入溶洞底板以下不小于 $2\text{ m}$ 为止。

注浆材料:普通硅酸盐水泥、黏性土(或粉煤灰等)、水玻璃、水等,要求注浆材料 $7\text{ d}$ 强度不小于 $1.5\text{ MPa}$ , $28\text{ d}$ 不小于 $2.0\text{ MPa}$ 。

## 4.4 加固方案设计

采用“双外环钻孔注浆+中部桩底注浆”的方案。外环注浆如下:以空心桩中心为圆心,沿直径为 $19.5\text{ m}$ 和 $16.5\text{ m}$ 的圆周在空心桩外侧梅花形均匀布设两圈注浆孔,每圈 $24$ 个。中部注浆如下:以空心桩中心为圆心,沿直径为 $11\text{ m}$ 和 $4\text{ m}$ 的圆周在空心桩平面内均匀布设两圈注浆孔,外圈 $12$ 个,内圈 $4$ 个。注浆加固平面示意图6。

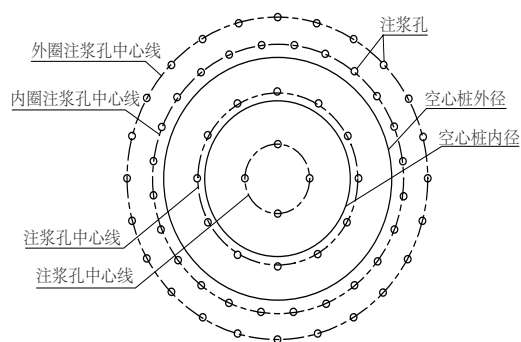


图6 注浆加固平面示意

## 4.5 质量检测、二次加固与监测要求

为保证注浆充填的密实性和加固体强度满足要求,需进行相应的质量检测 and 地层位移监测,

具体措施如下:

1) 再次进行CT探测。注浆充填加固完成不小于 $7\text{ d}$ 后,利用前期CT探测孔,再次进行CT探测,与前期结果进行对照分析,检验注浆充填是否密实和加固体强度是否满足设计要求。

2) 钻芯取样。CT检测对照分析难以确定加固效果时,以钻芯取样法对溶洞加固体进行检测,芯样 $7\text{ d}$ 强度不小于 $1.0\text{ MPa}$ 或 $28\text{ d}$ 不小于 $1.5\text{ MPa}$ ,取样率为注浆孔的 $5\%$ 。

通过CT探测与钻芯取样检测来判断加固体是否密实,溶洞或节理裂隙、溶蚀裂隙是否充填完整,注浆体固化后强度是否满足设计要求。钻芯取样孔可以作为二次加固注浆孔使用。

3) 二次加固。第一次加固后,若存在加固盲区或加固体强度未达到设计要求,需再次进行注浆充填或采用与袖阀管分层压实注浆技术相结合的方法继续加固,直至加固效果满足设计要求。

4) 地层位移监测。注浆加固过程中和加固完成至大桥竣工 $3$ 年内,要求对加固区及其周边进行地层位移监测,确保工程安全。

## 5 结语

1) 采用弹性波CT法可准确查明桥位处岩溶发育情况,为桥梁基础选址、设计、安全评估提供有力的地质依据,是一种值得推广的岩溶地层勘察探测手段。

2) 大直径挖孔空心桩替代钻孔灌注桩,解决了复杂岩溶地层钻孔过程中塌孔、漏浆、卡钻等难题,且承载力大,不对下方溶洞造成扰动,具有极大的经济效益和较强的安全性。 $\phi 15\text{ m}$ 超大直径空心桩是目前国内最大直径桥梁桩基础,值得在业内推广。

3) 采用桩底注浆加固充填溶洞的技术措施,可有效封闭桩底以下的溶洞,提高桩基础的安全系数;采用弹性波CT法进行验证扫描,结合钻芯取样等方法进行检测,可保证良好的注浆效果。

本文提出的超大直径空心桩设计、弹性波CT法探测、桩底注浆加固等技术措施是解决复杂岩溶地层桥梁桩基础设计、施工难题的一种有效手段,可为同类型桥梁桩基础设计和施工提供参考。

(下转第203页)