

自平衡法在大直径钻孔灌注桩检测中的应用研究

郑 曼

(国检测试控股集团上海有限公司,上海市 200120)

摘 要:进入新世纪,我国东南沿海经济发展快速,区域特点为软土地质、河流众多,桥梁建设不可避免,而桥梁的安全离不开钻孔灌注桩的支撑。以某软土地区某桥梁的钻孔灌注桩承载力检测为例,在满足项目要求的基础上比选出了自平衡法检测方案,并为项目的建设提供了支撑,可以为类似项目的大直径、大吨位钻孔灌注桩承载力检测方案设计提供一定价值的借鉴。

关键词:钻孔灌注桩;自平衡法;承载力检测

中图分类号: U412.35

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0275-04

0 引 言

东南沿海区域是中国经济改革开放以来发展速度最快的板块,这就带来了城市基础设施建设的如火如荼。以上海为代表的典型河流穿越型城市,不可避免的建设了一定数量的大中桥梁,而桥梁的安全离不开钻孔灌注桩的支撑^[1-3]。因此,研究软土地区钻孔灌注桩的检测很有必要,本文就是在这一背景下,针对某桥梁的大直径、大吨位钻孔灌注桩承载力检测开展研究,从经济和社会效益的角度为类似项目的检测方案提供借鉴和参考^[4-6]。

1 工程背景

拟建场地典型软土地层,项目为某公路新建双层桥面简支桁架梁桥,跨径 109 m,宽度 33.7 m。上层桥面为主线道路,双向六车道,桥梁荷载为公路 I 级,道路上下行分离,车行道宽度为 15 m。下层桥面为地面辅道,断面布置为双向四车道+非机动车道+人行道,桥梁荷载等级为城-A 级,也是上下行分离,单侧最小路幅宽度为 8 m。

上部结构主梁采用双层钢桁架,上下层桥面系采用带 U 肋的桥面板、横梁组成的横梁体系。主桥和引桥共用下部结构,采用两个双层门式框架,桥墩通过盖梁连接,基础采用 D1500 mm 钻孔灌注桩群桩基础。桥墩、承台采用 C40 混凝土,盖梁采用 C50 混凝土,桩基采用 C35 水下混凝土。下层桥墩顺桥

向尺寸 4 m,横桥向尺寸 2 m,上层桥墩顺桥向尺寸 2 m,横桥向尺寸 1.4~1.6 m,门式框架的桥墩间距 15.3 m,两个门式框架的净距 0.2 m。边承台顺桥向尺寸 5.7 m、横桥向尺寸 9.789 m,承台厚度 3.5 m,防水垫层厚度 0.1 m,承台下有 6 根 D1 500 mm 钻孔灌注桩。中承台顺桥向尺寸 6.25 m、横桥向尺寸 13.75 m,承台厚度 3.5 m,防水垫层厚度 0.1 m,承台下有 8 根 D1500 mm 钻孔灌注桩。

所检测钻孔灌注桩详细参数为:桩径 $\phi 1\ 500\text{ mm}$,桩长 81 m,单桩竖向抗压极限承载力设计预估值为 21 000 kN,持力层为上海典型的第⑨层灰色粉细砂,成桩方法采用钻孔灌注,桩身采用水下 C35 强度混凝土。

2 检测方法比选

钻孔灌注桩常用的检测方法有钻芯取样法、超声波透射法、低应变反射波法,高应变动力试桩法、静载荷试验法(含自平衡法、锚桩法及堆载法等)。钻芯取样法、超声波透射法、低应变反射波法为桩身完整性检测方法;高应变可检测承载力,也可检测完整性;静载荷试验包括锚桩法、堆载法及自平衡法为承载力检测的方法。

钻芯取样法通常主要用于检测桩身强度以及完整性。该方法不仅可以直观观察测量,还可以利用芯样测试强度,检测结果直观、清晰、可信度高。所留钻孔可以用同标号混凝土填充,可添加膨胀剂,以便后续被检桩可正常使用。但仅能反应采样部位的混凝土质量,检测存在较大的隐患,同时检测设备占地大、价格高,性价比较低。因此不推荐采用。

收稿日期:2023-01-13

作者简介:郑曼(1991—),女,学士,工程师,从事工程检测工作。

超声波透射法可以检测桩身完整性。其原理在于利用预先埋设的声测管,使得超声波在混凝土中顺畅传播,遇到缺陷会产生畸变信号。通过分析畸变波动特征,来判断混凝土缺陷的尺寸和位置等特点。优点是检测细致较准确,可以覆盖到埋设声测管的每一个截面。但检测结果仅能定性的判断桩身完整性,难以对缺陷进行定量分析,同时埋设与桩身等长的声测管导致费用较高。因此不推荐采用。

低应变发射法的原理为在桩顶部位采用小锤敲击,桩顶粘接的传感器可以接收到敲击所产生的应力波信号,之后基于应力波理论,利用反演分析手段对采集数据分析研究,对桩的完整性给出判断。具有机理清晰、简便易行、性价比高等优点,但受外界干扰较大,比如多个缺陷存在时只能测到首个缺陷的反射信号,而且如果缺陷渐变也难以进行判断,同时也难以对缺陷进行定量分析。不适合用来检测承载力,因此不推荐。

高应变动力试桩法可以用来检测桩身的完整性以及单桩的承载力。其原理采用重锤以自由落体击打桩顶,收集相应的数据进行计算分析,从而获得单桩竖向承载力和桩身完整性参数,也称为 Case 法或 Cap-wape 法。该方法可依据所测到的力和速度,对缺陷进行定量计算。但准确性不够高,设备昂贵,对场地和锤的要求高,易破坏桩头,且需要操作人员理论和实践水平双高。因此不推荐采用。

桩基静荷载堆载法是指利用压重平台反力装置,在桩顶堆加荷载,对过程中的荷载与沉降等数据进行记录,通过分析沉降曲线的特性,对被测桩的承载力进行测算。具有精度高、误差小的优点。但加载周期长,加载设备占地大,价格较贵,可达自平衡法 2~3 倍以上。因此不推荐采用。

桩基静荷载锚桩法是指利用锚桩反力装置,在桩顶由钢梁施加荷载,对过程中的荷载与沉降等数据进行记录,通过分析沉降曲线的特性,对被测桩的承载力进行测算。同样具有精度高、误差小的优点。但同时加载周期长,安全性欠佳,存在锚筋断裂等安全隐患。因此不推荐采用。

自平衡法主要适用于检测摩擦桩单桩承载力。首先需要根据试验的不同目的和条件,进行反复计算选取位置,之后在所选位置提前埋设特制的荷载箱(见图 1)用于后期加载,同时在浇筑前将配套用加压管以及护管、应力计及位移杆等测试用物从地下引到地面,最后再浇筑混凝土形成桩体。根据项目需

求的时间,通过加压从地面利用加压泵进行加载,进而使得桩身承受向下、向上两个相反方向的力。充分利用桩体自反力的特性,不仅可以获得向下方向加载的下部桩体数据,而且可以获得向上方向加载的上部桩体数据,相当于两组静载试验数据同时被获取。通过对参数之间关系的进行计算分析,进行测定桩基承载力等数据。

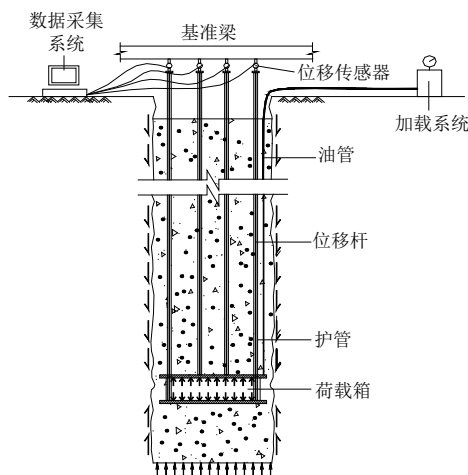


图 1 荷载箱工作原理示意图

该方法的优点是装置简单易操作,几乎不需要占用场地,还可同步进行多根测试;试验费用低于静载荷法 30%~60%;试验后的桩仍可正常使用。缺点是自平衡点的确定具有一定的难度(如平衡点位置偏差会导致荷载箱上下桩不能同时达到原拟定的极限条件,导致两端桩的极限承载力不等,由此导致得到的极限承载力偏低),结果不如静载荷准确,同时无法对端承桩的承载力进行检测。

综上所述,由于自平衡法具有简便快捷、费用低等优点,可用于为设计提供依据,也可用于验证工程桩的承载力。因此推荐本项目采用自平衡法进行检测。

3 自平衡法方案设计

3.1 检测目的及依据

检测目的:根据有关规范及设计要求,通过对工程桩的静载荷试验,了解待测桩极限抗压承载力是否满足设计要求。

检测依据:设计图纸,检测合同,《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2014),《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》(JGJ/T 403—2017)。

3.2 技术重难点

本项目桩基具有大直径(桩径 $\phi 1\,500\text{ mm}$)、大吨位(单桩竖向抗压极限承载力设计预估值为 $21\,000\text{ kN}$)的

特点,传统常规的堆载法受场地限制难以实施,经比选自平衡法对于该项目适用性佳。但应用中需要做好几个技术关键:(1)严格选取平衡点,依据地勘参数逐次渐近计算获取合适位置使得上下位移尽可能等量又同步;(2)荷载平衡箱的尺寸与待测桩基钢筋笼内径尺寸匹配,制作和焊接安装等技术要符合要求;(3)测桩时间选取合理(一般要求达到设计强度的85%以上),做好全程监控并详细记录各项数据;(4)检测技术后及时通过预埋管道进行压浆处理,确保工程桩质量。

3.3 平衡点选取

依据规范钻(挖)孔灌注桩的承载力容许值计算公式求出单桩轴向受压承载力容许值为24 590 kN>承载能力极限值21 000 kN。计算原理为需求位置点,使得上段桩极限桩侧摩阻力与桩身自重及之和A,近似等于下段桩极限桩侧摩阻力及极限桩端阻力之和B,并确保A、B均大于设计值10 500 kN。通过采用试算法,最终荷载箱选择在距桩底23 m处较为合适。最终加载值为 $2 \times 12\,295$ kN。

3.4 加载方案

荷载装置采用自平衡反力装置,埋设位置距桩底23 m,加载分级 $2 \times 12\,295$ kN/10级。

加荷系统见表1。

表1 加载系统参数

名称	编号	量程	有效期至
桩基静载荷测试分析系统	结-452	—	2022.12.15
荷载箱	2022030908	12 295/24 590 kN	2022.09.10

测试日期为2022.6.28~2022.6.29。加载方式:慢速维持荷载法。测读时间如下:

加载时对试桩位移量的观测时间:每级荷载施加后按第5、15、30、45、60 min测读位移,以后每隔半小时测读一次,当桩顶位移速率达到相对稳定标准时,可加下一级荷载;试桩位移相对稳定标准为每1 h的桩顶位移量不大于0.1 mm,并连续出现两次(从分级荷载施加后的第30 min开始,按1.5 h连续三次每30 min的位移观测值计算)。

卸载时,每级荷载维持1 h,按第15、30、60 min测读桩顶位移量,卸载至零后,应测读桩顶残余位移量,测读时间为15、30、60 min,以后每隔半小时测读一次,一般维持3 h。

试桩加载至拟定最大加载量达到相对稳定后终

止加载转为卸载。或出现规范规定的七种条件之一时,可终止加载。

3.5 检测结果分析方法

根据《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》(JGJ/T 403—2017)进行单桩竖向抗压极限承载力,应按式(1)计算:

$$Q_u = \frac{Q_{um} - W}{\gamma_1} + Q_{ud} \quad (1)$$

式中: Q_{um} 为上段桩的极限加载值,kN; Q_{ud} 为下段桩的极限加载值,kN; W 为荷载箱上段桩的自重与附加重量之和,kN; γ_1 为受检桩的抗压摩阻力转换系数。

首先利用等效转换方法,基于位移同步原则,将自平衡法测得向下(Q_d-s_d)和向上(Q_u-s_u)两条曲线,拟合转换为普通静载法得到的桩顶 $Q-s$ 曲线。

再依据规范要求确定上段桩极限加载值 Q_{um} 和下段桩极限加载值 Q_{ud} ,最后代入式(1)计算得到被检桩的单桩竖向抗压极限承载力。

4 检测结果与分析

试桩荷载箱加载分级按预估加载值12 295 kN来分级,分成10级,每级加载值为1 229.5 kN,首级加载按两倍2 459 kN分级荷载加载。加载曲线见图2~图4。

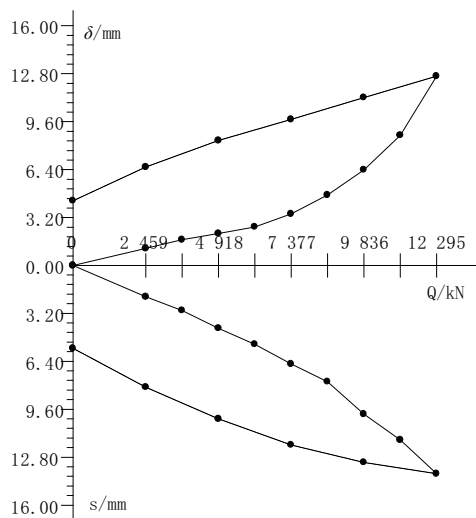


图2 Q-S 曲线图

该试桩在加载到12 295 kN,也就是第9级荷载时,上段桩向上位移 $Q \sim \delta$ 曲线呈缓变型, $\delta \sim \lg t$ 曲线呈平直型,向上最大位移量为12.65 mm,应取本级荷载量为极限承载力,故本次所测试桩上段桩的单桩竖向抗压极限承载力判定为12 295 kN;下段桩向下位移 $Q \sim S$ 曲线呈缓变型, $S \sim \lg t$ 曲线呈平直型,最大位移量为13.90 mm,本级荷载量为极限承载

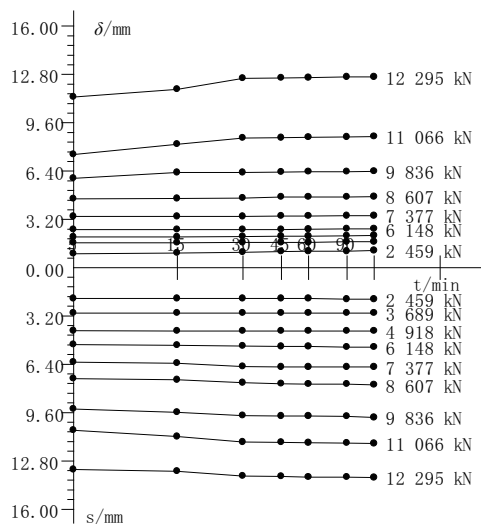


图3 S-lgt 曲线图

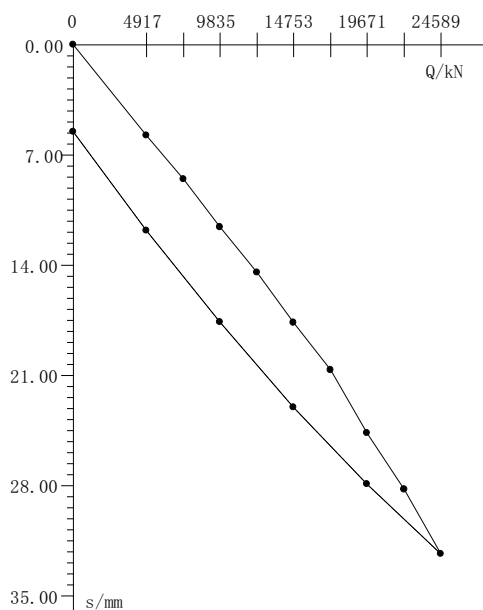


图4 Q-S 等效曲线

力,故本次所测试桩下段桩的单桩竖向抗压极限承载力判定为 12 295 kN。

试桩的单桩竖向抗压极限承载力 Q_u 为:单桩竖向抗压极限承载力 = 上段桩侧土极限摩阻力 + 下段桩极限承载力,按式(1)即为:

$$\frac{12\,295 - \pi \times 0.75^2 \times 58 \times 24.5}{\gamma_1} + 12\,295 \approx 22\,079\text{ kN}。$$

因此判定该项目试验桩单桩竖向抗压极限承载力为 22 079 kN。

5 结论

本文依托某大桥钻孔灌注桩承载力检测项目,依据项目特点和要求,综合比选出了最优的自平衡法检测方案,再通过估算、平衡点计算、分级加载等设计,给出了较为可靠的承载力判定,较好地满足了项目需求,可以为类似项目提供参考借鉴。

参考文献:

- [1] 高大钊,袁聚云,谢永利.土质学与土力学[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 何平,王雷,卞奕.自平衡法与堆载法的对比分析[J].工业建筑,2011(S1):37-39.
- [3] 韩庆祝,胡胜华,韩朝.桩基静载试验自平衡法测试原理及方法[J].资源环境与工程,2009(6):122-123.
- [4] 龚维明,戴国亮,蒋永生,等.桩承载力自平衡测试理论与实践[J].建筑结构学报,2002,23(1):82-88.
- [5] 马远刚,王邦楣.自平衡测试结果等效转换及超长桩应用[J].桥梁建设,2003(5):9-11.
- [6] 史佩栋,陆怡.Osterberg 静载荷试桩法 10 年的发展[J].工业建筑,1999,29(1):7-18.

(上接第 274 页)

4 结语

(1)本项目在全设计周期构建了环境模型及设计模型,并根据本项目实际特点及需求开展了 BIM+GIS 方案展示、BIM 与设计方案动态优化、吊杆深度优化、专业内及专业间碰撞检查等 BIM 应用相关工作。

(2)在本项目 BIM 技术应用上,通过 BIM 与设计深度融合,实现了设计质量提升;通过设计方案的

三维可视化展示,提高了沟通、汇报及决策的效率,通过标准化流程、信息化手段实现了数字化交付。所采用的 BIM 与设计强耦合的工作模式,可为复杂桥梁的设计全过程 BIM 技术应用提供借鉴。

参考文献:

- [1] 卢吉,高畅,陈飞,等.基于 BIM 的复杂空间异形钢拱桥拱肋施工校核研究[J].土木建筑工程信息技术,2021,13(3):51-54.
- [2] 李杰.横向非对称钢拱桥设计及 BIM 应用[J].城市道桥与防洪,2021(7):78-82,114.