

水利工程基桩静载检测试验分析

吴东升¹, 巩伦宝¹, 郭攀攀²

(1. 镇江市长江河道管理处, 江苏 镇江 212003; 2. 河海大学设计研究院有限公司, 江苏 南京 210098)

摘要: 静载试验是检测水利工程基桩承载力最直接可靠的方法。针对水利工程基桩静载检测方案的制定与优化, 结合谏壁节制闸工程基桩静载检测的实践, 探讨加强控制静载试验质量的有效措施, 以期提高基桩检测工作质量和结果可靠性。

关键词: 工程基桩; 静载检测; 研究

中图分类号: TV53+8.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2016)01-0019-04

水利工程, 主要是闸站等建筑物工程, 一般建设在软土地基上, 天然土承载力大多达不到设计要求, 需采用钻孔灌注桩、水泥土搅拌桩、预制桩等进行基础处理。基桩主要作用是承载上部结构荷载, 因此承载力检测是最主要的试验。基桩承载力直接影响水利建筑物工程的使用与安全, 而静载试验是检测承载力最直接可靠的方法。我们结合闸站等建筑物工程基桩静载检测的现状与需求, 介绍了水利建筑物工程基桩静载试验方案的制定与优化, 探讨了加强控制静载试验质量的有效措施。

1 基本原理简述

静载试验是在桩顶部逐级施加竖向压力、竖向拔力或水平推力, 观测桩顶部随时间产生的沉降、上拔位移或水平位移, 以确定相应的单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力或单桩水平承载力的试验方法。检测工作程序如图1。

根据所施加的荷载方向和测试结果的不同, 静载试验可分为竖向抗压静载试验、竖向抗拔静载试验、水平静载试验。根据各级荷载维持时间以及桩基沉降的收敛情况, 可以将静载试验方法分为慢速维持荷载法和快速加载法。

2 方案制定优化

据资料统计, 我国桩基 70% ~ 80% 分布在沿海地区和长江中下游软土地区。软土地基上闸站建筑高度通常不高, 其基桩的设计单桩承载力普遍不大。考虑工程桩验收检测时, 加载量不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2 倍, 选择最大加载 5000 kN 可满足常规检测需求。

静载试验设备主要由主梁、次梁、锚桩或压重等反力装置, 千斤顶、油泵加载装置, 压力表、压力传感器或荷重传感器等荷载测量装置, 百分表或位移传感器等位移测量装置组成。

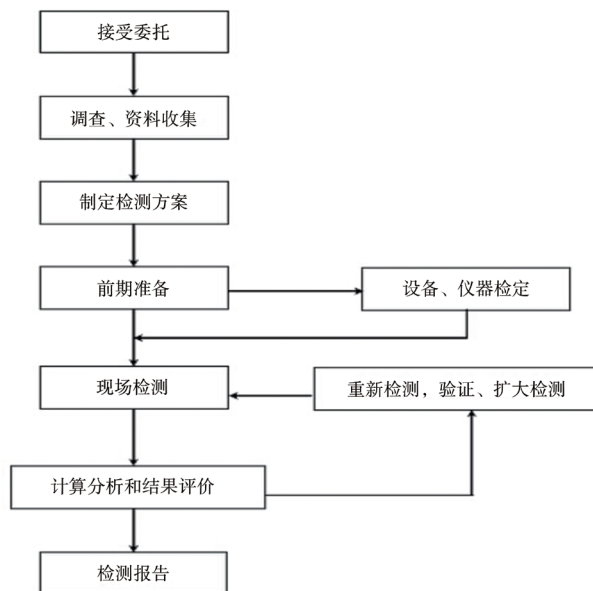


图1 检测工作程序

收稿日期: 2015-11-26

作者简介: 吴东升(1982-), 男, 本科, 工程师, 主要从事水利工程检测工作。

2.1 反力装置

反力装置可根据现场条件选择锚桩横梁反力装置、压重平台反力装置、锚桩压重联合反力装置。锚桩反力装置一般不受加载吨位限制且较经济,但在试验过程中需要观测锚桩的上拔量。受闸站基坑客观条件限制,大吨位压重时支座下压地基土并下沉,产生对基桩的负摩阻力,将对检测下压桩的初期受力产生不利影响,对上拔桩的中后期受力产生附加阻力。综合考虑配重块制作及运输成本,日常检测可准备 300 t 左右配重块,配重不足时再采用锚桩压重联合反力装置。见图 2。

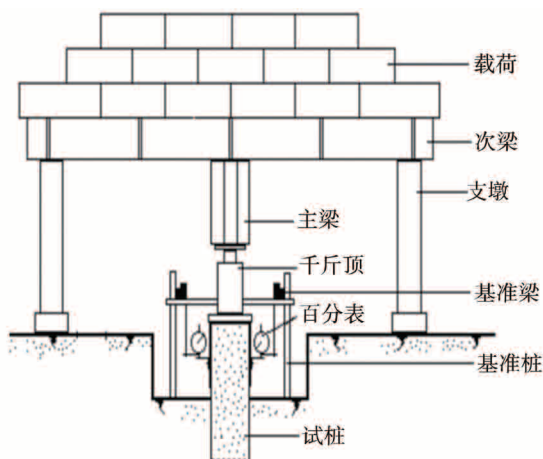


图 2 压重平台反力装置

2.2 荷载测量

静载试验均采用千斤顶与油压表相连的形式,通过油压传感器或测力传感器测量荷载。主流配置方案为双油路千斤顶配合一泵二顶超高压油泵,考虑到千斤顶最大加载不宜超过量程的 80%,可具体配备为:100 t 穿心千斤顶 1 台,可用于 ≤ 800 kN 的竖向抗压、竖向抗拔或水平承载力检测;320 t 千斤顶 2 台,可单台或双台并联用于 640 ~ 5120 kN 的竖向抗压承载力检测;一泵二顶超高压油泵 1 台。

因测力传感器易受大气温差及光线直射影响,故检测中使用油压传感器比较普遍,且油压传感器的准确度应优于或等于 0.5 级。

2.3 位移测量

位移(沉降)测量宜采用大量程的位移传感器,分度值/分辨力应优于或等于 0.01 mm,且测量误差不得大于 0.1% FS。沉降测定平面宜设置在桩顶以下 200 mm 的位置,测点应固定在桩身上;上拔量测量点宜设置在桩顶以下不小于 1 倍桩径的桩身上;水平位移测量的基准点应设置在与作用力

方向垂直且与位移方向相反的试桩侧面,基准点与试桩净距不应小于 1 倍桩径。

2.4 自动采集

采用自动加载控制无线远程传输记录系统,实现测试控制与记录判稳自动化,可保证测试数据准确、技术可靠。常用的有 JCQ-503 系列静力载荷测试仪、RSM-JC III 系列静载荷检测仪等。

3 现场检测规定

下面以竖向抗压静载为例,重点介绍慢速维持荷载法的现场加、卸载及记录等规定。

3.1 试验加、卸载规定

(1) 加载应分级进行,且采用逐级等量加载;分级荷载宜为最大加载值或预估极限承载力的 1/10,其中,第一级加载量可取分级荷载的 2 倍;

(2) 卸载应分级进行,每级卸载量宜取加载时分级荷载的 2 倍,且应逐级等量卸载;

(3) 加、卸载时,应使荷载传递均匀、连续、无冲击,且每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的 $\pm 10\%$ 。

3.2 慢速维持荷载法试验规定

(1) 每级荷载施加后,应分别按第 5 min、15 min、30 min、45 min、60 min 测读桩顶沉降量,以后每隔 30 min 测读 1 次桩顶沉降量;

(2) 沉降相对稳定标准:桩顶沉降量不得超过 0.1 mm/h,并连续出现 2 次(从分级荷载施加后第 30 min 开始,按 1.5 h 连续 3 次每 30 min 的沉降观测值计算);

(3) 当桩顶沉降速率达到相对稳定标准时,再施加下一级荷载;

(4) 卸载时,每级荷载维持 1 h,按第 15 min、30 min、60 min 测读桩顶沉降量后,即可卸下一级荷载;卸载至零后,应测读桩顶残余沉降量,维持时间不得少于 3 h,测读时间分别为第 15 min、30 min,以后每隔 30 min 测读一次桩顶残余沉降量。

3.3 下列情况之一,可终止加载

(1) 某级荷载作用下,桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 5 倍,且桩顶总沉降量超过 40 mm;

(2) 某级荷载作用下,桩顶沉降量大于前一级荷载作用下的沉降量的 2 倍,且经 24 h 尚未达到《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 第 4.3.5 条第 2 款相对稳定条件;

(3) 已达到设计要求的最大加载值且桩顶沉降达到相对稳定标准;

(4) 工程桩作锚桩时, 锚桩上拔量已达到允许值;

(5) 荷载 - 沉降曲线呈缓变型时, 可加载至桩顶总沉降量 60 ~ 80 mm; 当桩端阻力尚未充分发挥时, 可加载至桩顶累计沉降量超过 80 mm。

4 结果分析评价

单桩竖向抗压极限承载力应按下列方法分析确定:

(1) 根据沉降随荷载变化的特征确定: 对于陡降型 $Q-s$ 曲线, 应取其发生明显陡降的起始点对应的荷载值;

(2) 根据沉降随时间变化的特征确定: 应取 $s-lgt$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值;

(3) 符合《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 第 4.3.7 条第 2 款情况时, 宜取前一级荷载值;

(4) 对于缓变型 $Q-s$ 曲线, 宜根据桩顶总沉降量, 取 s 等于 40 mm 对应的荷载值; 对于 D (D 为桩端直径) 大于等于 800 mm 的桩, 可取 s 等于 0.05 D 对应的荷载值; 当桩长大于 40 m 时, 宜考虑桩身弹性压缩;

(5) 不满足本条第 1 ~ 4 款情况时, 桩的竖向抗压极限承载力宜取最大加载值。

5 实例介绍分析

谏壁节制闸坐落于镇江市谏壁镇, 位于长江与京杭苏南大运河交汇处。场地地表以下 30.5 m 深度内自上而下分为⑤ 1 粉质粘土、⑤ 2 粉质粘土、⑤ 2 t 粘土、⑤ 2 粉质粘土、⑥ 强风化花岗岩共 6 个工程地质层。

采用压重平台反力装置慢速维持荷载法检测单桩竖向抗压极限承载力, 整个试验过程执行《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014。

例如东岸桥头堡下 D-8 钻孔灌注桩, 设计桩长为 21 m, 桩端持力层为⑤ 2 粉质粘土, 设计单桩竖向抗压承载力特征值为 969 kN。根据规范及设计要求, D-8 被检桩最大加载值为 1938 kN, 加载共分 10 级, 分级荷载为 193.8 kN, 首级加载值为 387.6 kN, 以后每级加载增值为 193.8 kN, 直至预计最大加载值。试验采用 JQC-503B 静力载荷测试仪自动加载控制无线远程传输记录, 在已达到设计要求的最大加载值且桩顶沉降达到相对稳定标准时终止加载。

D-8 桩桩长 21 m, 桩径 800 mm。D-8 桩试验数据汇总表及 $Q-s$ 曲线和 $s-lgt$ 曲线如表 1 和图 3、图 4。

表 1 D-8 桩试验数据汇总表

荷载等级	桩顶荷载 (kN)	历时 (min)		沉降 (mm)	
		本级	累计	本级	累计
加载	1 2	388	120	120	0.98
	3	581	120	240	0.29
	4	775	120	360	0.26
	5	969	120	480	0.21
	6	1163	120	600	0.22
	7	1357	120	720	0.21
	8	1550	120	840	0.25
	9	1744	120	960	0.37
	10	1938	150	1110	0.51
	1	1550	120	1230	0.06
卸载	2	1163	60	1290	-0.08
	3	775	60	1350	-0.02
	4	388	60	1410	-0.18
	5	0	180	1590	-0.17

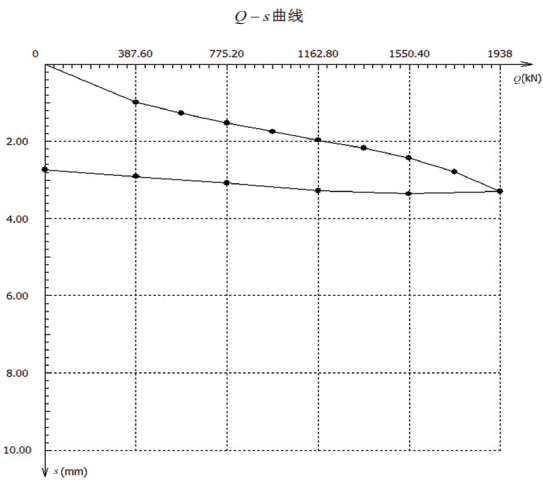


图 3 D-8 桩 $Q-s$ 曲线

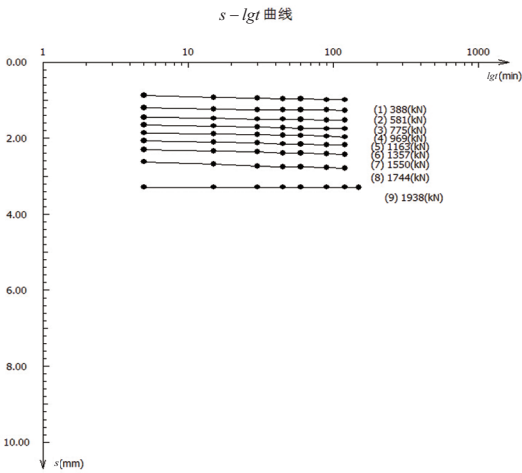


图 4 D-8 桩 $s-lgt$ 曲线

由表 1 可知, D-8 桩最大沉降量: 3.36 mm, 最

大回弹量: 0.63 mm, 回弹率 18.75%。D-8 被检桩的 $Q-s$ 曲线呈缓变型, $s-lgt$ 曲线间距无突变, 其尾部未见明显向下弯曲, 总沉降量为 3.36 mm < 40 mm, 故根据《建筑基桩检测技术规范》JJG106 中单桩竖向抗压静载试验有关规定可确定: D-8 被检桩的单桩竖向抗压承载力满足设计要求。

6 质量控制要点

6.1 试验准备阶段

(1) 收集地质勘察资料、桩基设计文件、现场施工记录, 了解施工工艺和施工中出现的异常情况。

(2) 最早检测开始时间: 对于灌注桩应保证龄期达到 28 d, 对于预制桩应不少于各类土体的休止时间。各类土体的休止时间: 砂土 7 d、粉土 10 d、非饱和黏性土 15 d、饱和黏性土 25 d。

(3) 混凝土桩头处理: 应先凿除松散破碎层和低强度混凝土, 使低应变检测法试桩的完整性。

(4) 桩头冲洗干净后浇筑桩帽, 强度宜提高一个等级且不低于 C30。距桩顶 1 倍桩径范围内, 宜用钢板护筒围裹, 或距桩顶 1.5 倍桩径范围内设置箍筋, 桩帽应设置钢筋网片 3~5 层。为使试验桩受力条件与设计条件相同, 试坑地面宜与承台底标高一致, 试验桩桩顶宜高出试坑底面。

6.2 反力装置架设

(1) 加载反力装置提供的反力不得小于最大加载量的 1.2 倍, 反力装置的全部构件不应产生过大的变形。

(2) 锚桩反力装置应选择比锚桩主筋大一号的钢筋作为拉筋, 且双面焊接保证焊缝长度。避免由于连接钢筋质量或工人焊接技术等原因, 加载后出现与锚桩连接的拉筋拉断或焊接开裂等, 致使反力装置失效试验失败。试桩前应进行锚桩抗拔受力核算, 避免锚桩上拔超标致使试验失败。

(3) 压重平台支墩尺寸较小时, 压重平台支墩施加于地基土的压应力可能会大于地基土承载力, 造成地基土破坏或明显下沉, 必要时在支墩下垫上钢板增大受力面积。控制主梁与千斤顶留有适当距离, 避免由于支承墩下沉, 致使试验前主梁压实千斤顶。

(4) 工字钢焊接制作的钢梁在静载试验中, 其下表面长度的中间位置受集中荷载的作用。钢梁承载能力与其高度成正比, 在其长度 6~8 m 时较适宜用于静载。如采用 2 根 8 m 长的 63C 工字

钢对拼焊接, 侧面从两边向长度中心由疏到密焊接加强肋板, 中间孔洞浇筑微膨胀钢筋混凝土, 先侧面后上下面用厚钢板整面焊接加强。

(5) 用钢筋混凝土预制方桩作配重, 在试验开始前一次性均匀稳固地放置在反力平台上, 加载方式常用慢速维持荷载法。预制方桩截面 0.5 m×0.5 m, 长 6 m, 约 3.75 t, 方便 16 t 或 25 t 吊车配合长度 6.8 m 或 13 m 卡车吊运。

6.3 仪器设备安装

(1) 基准梁稳定性直接关系沉降量数据的准确可靠, 基准桩打入深度应保证其稳固, 基准梁应有足够刚度抵抗挠曲变形, 基准梁长度应满足《建筑基桩检测技术规范》JJG106 要求。基准梁的一端应固定在基准桩上, 另一端应简支于基准桩上, 以减少温度变化引起的基准梁挠曲变形。

(2) 锚桩横梁及压重平台反力装置中, 试桩、锚桩(或压重平台支墩边)和基准桩之间的中心距离应 $\geq 4D$ 且大于 2.0 m, 用于验收检测的多排桩设计桩中心距离小于 4D 时, 可视情况放宽到 $\geq 3D$ 且大于 2.0 m。

(3) 直径或边宽大于 500 mm 的桩, 应在其两个方向对称安装 4 个位移测试仪表。油压传感器应安装在靠近千斤顶的下油路, 并应根据千斤顶率定曲线进行荷载换算。

(4) 试验设备安装检查完毕, 可对试桩施加一较小的荷载进行预压, 以消除量测系统或桩头处理等非桩身沉降。如一切正常卸载至零, 对百分表进行清零和方向辨识。

6.4 试验过程安全

(1) 压重平台架设作业时, 混凝土配重高度不宜超过 6 m, 做到平台的中心与桩头中心一致, 配重中心与平台中心一致, 避免平台偏心问题。

(2) 试验过程中应观察并分析桩偏心受力状态, 主要引起的因素有: 制作的桩帽轴心与原桩身轴线严重偏离, 支墩下的地基土不均匀变形, 用于锚桩的钢筋预留量不匹配致使锚桩之间承受的荷载不同步, 多个千斤顶实际合力中心与桩身轴线严重偏离。桩偏心受力可通过 4 个对称安装的百分表或位移传感器数据分析获得, 一般沉降差不宜大于 5 mm。

(2) 在测试仪控制软件中, 合理设置千斤顶行程报警限值, 避免配重不足或偏心时, 堆载一侧被顶起致使堆载平台倾覆。悬挂禁止和警示标志, 试桩过程中严禁进入试验区域。

(责任编辑: 王宏伟)