

桩身加载法静载试验在输电线路工程中的应用

郑伟文

(广东天信电力工程检测有限公司, 广州 510663)

摘要: 输电线路工程由于地点偏远, 在用传统的堆重静载进行承载力检测时往往存在困难, 桩身加载法静载试验能够很好地解决受场地条件的限制或吨位限制的问题, 而且测试简便, 经济快速, 已在多种桩型上得到应用, 特别是大直径和大吨位的灌注桩。文章选取两个典型的输电线路工程检测实例, 结合行业特点对桩身加载法静载试验进行分析和探讨, 对两种常见桩型均取得了较好的检测效果, 可为今后输电线路工程检测提供参考。

关键词: 桩身加载法; 静载; 承载力; 荷载箱

中图分类号: TU413.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)S1-0120-05

Application of Self-balanced Static Load Test in the Transmission Line Project

ZHENG Weiwen

(Guangdong Tianxin Electric Power Engineering Testing Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: Due to the remote location, there are difficulties in the transmission line project using the traditional pile static load bearing capacity test, the self-balanced static load test can solve the problem of limited the condition of the site or limited tonnage, which is simple and rapid economic, and has been applied in a variety of pile types, especially the pile with large diameter and large tonnage. In this paper, two typical test examples of transmission line engineering were selected, combined with the characteristics of the industry on the self-balanced static load test which was summarized and discussed, two kinds of common type of pile performed well, which can provide a reference for future in transmission line engineering detection.

Key words: self-balanced test method; static load; bearing capacity; load cell

传统的桩基载荷试验多采用堆载法和锚桩法, 需要现场解决几百吨甚至高达两三千吨的堆载物, 或者多打几根锚桩来解决加载的反力装置问题, 费用高昂且对场地要求高, 而由于行业的特殊性, 输电线路工程选址往往位于江河、山区等偏远位置, 静载试验大多难以进行, 或者为完成试验耗资巨大、时间长而导致工期延长。桩身加载法静载试验利用桩土体系自身互相提供反力, 无需加载反力装置, 不需搭建大型的反力平台, 试验装置简单且不

受场地等客观因素的影响, 近年来得到了广泛的推广应用, 目前交通、电力等行业及江西、广东等多个省份均有相应规程标准, 文章结合输电线路工程特点, 从两种常用基桩类型的工程检测实例, 分析桩身加载法静载试验中的优劣, 探讨桩身加载法静载试验在输电线路工程中的适用性。

1 荷载箱的位置及安装

桩身加载法静载试验是利用荷载箱上部桩的自重及桩侧摩阻力来提供反力, 同时向上和向下施加相同的作用力, 获得上、下两部分桩的 $Q-s$ 曲线, 从而求得桩的竖向抗压极限承载力, 荷载箱的埋设位置和安装质量直接影响试验的结果, 应视为整个试验的关键环节。荷载箱主要由活塞、顶盖、底盖

及箱壁四部分组成，在其顶、底盖上布置位移杆，荷载箱与钢筋笼连接后安装在桩身的平衡点，通过高压油管与油泵相连，试验时在地面通过高压油管给荷载箱施加压力，将顶盖与底盖向上下推开，产生向上和向下的推力。荷载箱应按照基桩的类型、截面尺寸和荷载大小进行设计，在安装使用前必须进行率定，试验时可根据荷载箱的率定曲线换算荷载值。

荷载箱的安装位置，应通过基桩的受力平衡点计算确定，原则上要根据勘察资料上给出的岩土层及其参数来确定，因此在确定安装位置前必须获取可靠的勘察资料。安装位置确定原则及要点：(1) 当极限端阻力大于极限侧摩阻力时，将荷载箱置于桩端，对于人工挖孔桩桩底应清除浮土，用高强度等级砂浆或混凝土将桩底抹平，厚度不小于 30 cm；对于钻孔灌注桩荷载箱埋设位置离桩底距离应大于 0.5 m，而且安装好荷载箱后要二次清孔；(2) 当极限端阻力小于极限侧摩阻力时，则应将荷载箱置于桩身某一平衡点处，使上、下段桩的极限承载力基本相等，钢筋笼纵向主筋在荷载箱位置处应断开，荷载箱在钢筋笼下放前与钢筋笼焊接在一起，对于钻孔灌注桩，在荷载箱与上段桩、下段桩之间都必须焊接喇叭筋，数量及直径与主筋相同。

荷载箱安装及浇注混凝土的过程必须安装时还应确保位移杆和油管的良好连接，出露桩顶长度需满足测试的要求。安装时位移管和油管要牢固绑扎在钢筋笼内侧，浇注混凝土时应提醒施工单位注意保护，防止被导浆管碰断；检测前桩头开挖时需有人监督开挖，避免位移管和油管被挖断。

2 试验控制要点

桩身加载法测试示意图如图 1 所示，试验采用慢速维持荷载法。荷载箱安装时需预先在钢筋笼内侧设置四根位移杆及位移杆护管，试验时在位移杆顶部安装位移传感器，各用两个位移传感器来测量上部桩的向上位移和下部桩的向下位移，桩径大时可适当增加位移杆的设置数量，同时可在桩顶安装两个位移传感器，用来测量桩顶的向上位移量。基准桩与试桩之间的中心距离应 ≥ 3 倍的试桩直径，且 ≥ 2.0 m，并确保不受温度、振动及其他外界因素的影响，以防止发生竖向变位，不建议用水管作为基准梁，建议用 ≥ 14 #槽钢作为基准梁。荷载箱

预估最大加载值所对应的油压值不应超过 50 MPa，油泵在最大试验荷载时的工作压力不应超过额定工作压力的 80%，上、下位移传感器安装完成后均要保证 ≥ 60 mm 的行程。

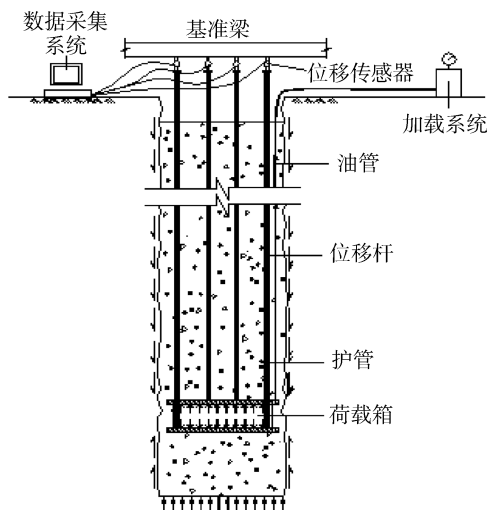


图 1 桩身加载法测桩示意图

Fig. 1 Sketch map of self-balanced static load test

试验前应进行预压，目的是打开荷载箱与钢筋笼的简易连接，并使荷载箱内各元件的工作协调一致，预压值不应超过承载力特征值的 10%，并记录预压后的沉降量，预压结束后应等待 ≥ 30 min 方可进行试验，以消除桩身回弹对位移的影响。试验的加载和卸载分级与传统的静载方法相同，位移测读间隔时间：每级加载后在第 5、15、30、45、60 min 各测读一次位移量，以后每隔 30 min 测读一次。稳定标准：在每级荷载作用下，在每 1 h 内的增量均 ≤ 0.1 mm，并连续出现两次。试验结束后应在荷载箱处进行高压灌浆处理。

3 检测实例

3.1 广东某 500 kV 线路工程(人工挖孔桩)

人工挖孔桩是输电线路工程中最常用的基桩型式之一，本工程试验桩为桩径 $\Phi 2$ 600 mm 的人工挖孔桩，桩长约为 13 m，现场为丘陵山区地带，塔基位于半山腰，堆重物 and 机械均无法到达，因此采用自平衡静载法进行单桩竖向抗压承载力检测。场地地质情况大致为：0 ~ 1.5 m 为填土；1.5 ~ 4.0 m 为粉质粘土；4.0 ~ 8.5 m 强风化砂岩；> 8.5 m 为中风化砂岩。设计单桩竖向抗压极限承载力值为 9.35 MN，共进行 3 根工程桩的试验。考虑到桩端

持力层为中风化砂岩,其端承力远大于侧摩阻力,荷载箱安装位置可以放在桩端处,其下用30 cm混凝土找平。由于桩径达到2.6 m,荷载箱的尺寸也较大,共安装了八个位移传感器进行测读,其中上位移两个、下位移四个、桩顶位移两个,测读数据结果表明试验过程中各同类位移传感器读数相差不大,说明荷载箱在受压时上下顶板受力均匀。试验结果如表1所示。

表1 桩身加载法静载试验结果汇总表(人工挖孔桩)

Tab. 1 Summary table of self-balanced static load test results (The manual digging pile)

受检桩号	桩径/m	设计极限承载力/MN	最大加载/MN	最大位移量/mm		极限承载力/MN	
				上	下	上	下
93-B	2.600	9.350	5.586	1.17	5.09	3.765	5.586
93-C	2.600	9.350	5.586	0.74	8.64	3.765	5.586
93-D	2.600	9.350	5.586	0.30	2.46	3.765	5.586

根据《电力工程基桩检测技术规程》(DL/T 5493—2014)规定(以下简称《规程》),单桩竖向抗压极限承载力可按式(1)计算。

$$Q_u = \frac{Q_{u上} - W}{\gamma} + Q_{u下} \quad (1)$$

式中: $Q_{u上}$ 为荷载箱上部桩的实测极限值; $Q_{u下}$ 为荷载箱下部桩的实测极限值; W 为荷载箱上部桩自重; γ 为荷载箱上部桩侧阻力修正系数,根据荷载箱上部土的类型确定,取加权平均值,该工程桩端持力层进入中风化砂岩层, γ 可取1.0。

试验时荷载箱最大加载值取值时应充分考虑荷载箱上部桩的自重,本工程中3根试验桩桩径、桩长均相同,上部桩自重约为1.821 MN,荷载箱最大加载值取5.586 MN。从试验结果来看,3根桩的向上和向下的位移较小,均能达到稳定标准,其中93-B的上、下位移曲线如图2、图3所示。根据《规程》的判定标准, $Q \geq 3.765$ MN, $Q \geq 5.586$ MN,3根桩的单桩竖向抗压极限承载力 $Q_u \geq 9.350$ MN,满足设计要求。

3.2 某特高压直流线路工程(钻孔灌注桩)

本工程为西电东送特高压直流线路,线路沿途海拔较高,工程全长近2000 km,大多数塔位交通不便,现场难以寻找到合适的堆载物,为确定基桩竖向抗压承载力选择桩身加载法静载试验,文章仅选取其中部分标段的5根桩的桩身加

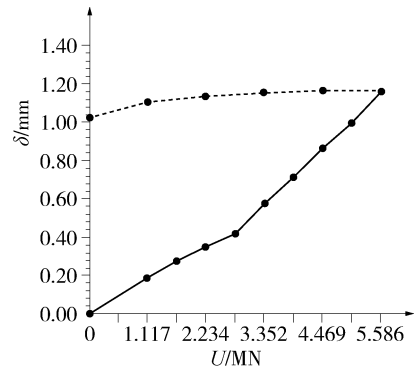


图2 93-B号桩上位移曲线图

Fig. 2 Upward displacement graph of pile No. 93-B

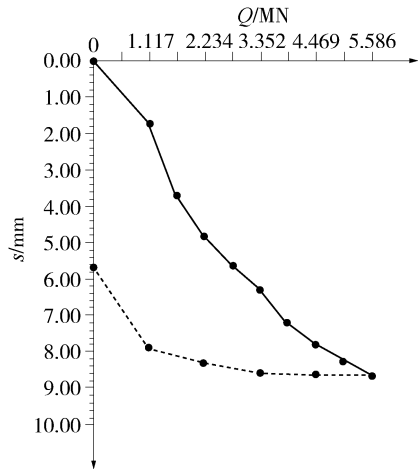


图3 93-B号桩下位移曲线图

Fig. 3 Downward displacement graph of pile No. 93-B

载法静载试验数据。受检桩桩径1.4~1.6 m,桩长约13~16.5 m,设计单桩竖向抗压极限承载力3.299~4.875 MN,由于塔位相距较远,场地地质情况差别比较大,其中5092#塔场地地质条件自上而下大致如下:0~1.5 m为圆砾混粉质粘土;1.5~7.8 m为硬塑粉质粘土;7.8~10.1 m为圆砾混粉质粘土;10.1~12.3 m为可塑粉质粘土;12.3~18.0 m为密实圆砾混粉质粘土。根据地质情况计算荷载箱埋设位置离桩底位置约0.5 m处,特别注意的是荷载箱埋设时在浇注混凝土前应进行二次清孔,以确保桩底沉渣厚度满足相关要求。试验时共安装6个位移传感器测读数据,其中上位移两个、下位移两个、桩顶位移两个,测读数据表明试验过程中各同类位移传感器读数均相差不大。5根桩试验结果如表2所示。

表 2 桩身加载法静载试验结果汇总表(钻孔灌注桩)

Tab. 2 Summary table of self-balanced static load test results (the bored pile)

受检桩号	桩径/m	设计极限承载力/MN	最大加载/MN	最大位移量/mm		荷载箱上部桩侧阻力修正系数 γ
				上	下	
5092-D	1.6	4.875	2.392	3.15	22.67	0.80
76-A	1.4	3.297	1.960	1.21	2.78	0.91
76-D	1.4	3.297	1.960	1.01	2.32	0.87
241-B	1.4	3.299	1.866	3.13	6.31	0.78
241-C	1.4	3.299	1.866	4.38	5.05	0.78

试验结果表明，5 根桩在最大试验荷载作用下均能达到稳定标准，测读到的上、下位移量均较小，根据《规程》的判定标准，单桩竖向抗压极限承载力均满足设计要求。图 4、图 5 分别是 5092-D 号桩上、下位移曲线图，从图中可以看出 5092-D 号桩的下位移虽然也能够达到稳定标准，但与上位移相比较，可能与桩端持力层为粉质粘土有关，端阻力接近完全发挥，或者桩底存在少量沉渣，说明荷载箱的位置放在桩底虽然能满足试验的要求，但上部侧阻力远大于下部端阻力，荷载箱的安装位置不宜太过于靠近桩底的位置。

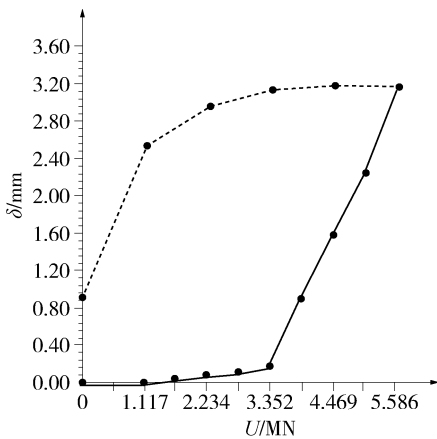


图 4 5092-D 号桩上位移曲线图

Fig. 4 Upward displacement graph of pile No. 5092-D

4 结论

1) 当输电线路工程由于场地、堆载物无法解决等因素造成传统的静载试验无法实施时，可采用桩身加载法静载试验进行承载力试验，相比而言，桩身加载法更加省时、省力、经济、安全，能够满足

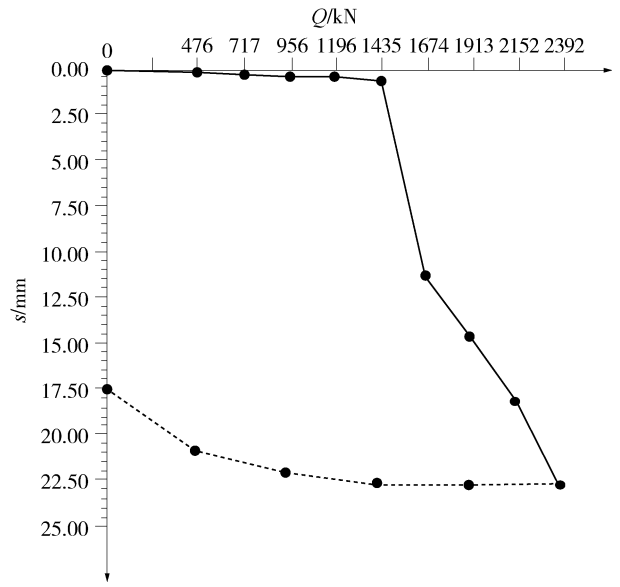


图 5 5092-D 号桩下位移曲线图

Fig. 5 Downward displacement graph of pile No. 5092-D

工程建设的需求，尤其适用于建设在不利地质条件场地的工程。

2) 荷载箱的安装位置须根据试桩位置的岩土情况确定，在确保能够满足承载力试验的前提下尽量放置在桩底，荷载箱放置桩端的优势在于无需将钢筋笼断开分成上下两段，减少了荷载箱与钢筋笼的焊接，而且现场施工更加容易操控，但需要注意加载时荷载箱下部出现不均匀沉降的情况，必要时可对荷载箱的下板采取加强措施。

3) 荷载箱及其主要配件的现场安装质量是试验能否成功的关键因素之一。在荷载箱安装过程中检测人员必须全程给予监督和协调，确保现场各个环节符合要求，如桩底土的扰动、桩底沉渣厚度、油管是否畅通、位移管安装是否满足要求等，由于荷载箱是预先埋设在桩身中，一旦安装过程出现异常得不到及时处理，就可能导致试验结果不准确甚至试验失败。

4) 虽然规范中允许将桩身加载法测得的上、下两段 $Q-s$ 曲线等效转换成传统静载法桩顶加压的 $Q-s$ 曲线，但目前尚缺少一定的地区对比资料，需要转换时要谨慎对待。

5) 采用桩身加载法进行承载力检测时，由于在桩施工时就要预先埋设荷载箱，需要事先就确定好桩位，无法满足工程桩随机抽检的要求，因此抽检桩位时应考虑所检测桩的代表性。

参考文献:

- [1] 国家能源局. 电力工程基桩检测技术规程: DL/T 5493—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
National Energy Administration. Technical code for testing of electric power engineering foundation piles: DL/T 5493—2014[S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [2] 广东省住房和城乡建设厅. 基桩自平衡法静载试验技术规程: DBJ/T 15-103—2014[S]. 北京, 中国城市出版社, 2014.
Guangdong Provincial Department of housing and urban rural construction. Technical specification for static loading test of self-balanced method of foundation pile: DBJ/T 15-103—2014[S]. Beijing, China City Press, 2014.
- [3] 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.
GONG W M, DAI G L, JIANG Y S, et al. Theory and practice of self-balanced loading test for pile bearing capacity [J]. Journal of Building Structures, 2002, 23(1): 82-88.
- [4] 徐风云. 桩承载力自平衡法的可靠性之质疑[J]. 公路, 2004(7): 12-19.
XU F Y. Reliability query of self-balanced load test for pile bearing capacity [J]. Highway, 2004(7): 12-19.
- [5] 林泽耿, 谭学民, 刘炳凯, 等. 基桩自平衡法检测的相关问题探讨[J]. 广州建筑, 2016, 44(1): 26-28.
LIN Z G, TAN X M, LIU B K, et al. Discussion on the problems in self-balanced loading test of pile foundations [J]. Guangzhou Architecture, 2016, 44(1): 26-28.
- [6] 何喜洋, 周雷靖, 胡云霞. 两段变直径桩的解析分析及工程应用[J]. 南方能源建设, 2016, 3(4): 88-91.
HE X Y, ZHOU L J, HU Y X. Analytical analysis and practice of two-segment variable diameter pile [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(4): 88-91.

(责任编辑 李辉)

中国能建广东院三个作品荣获南方电网公司“金点奖”

2017年11月22日至24日, 中国南方电网公司智能电网规划建设技术交流会议暨第五届“金点奖”大赛颁奖典礼在广州举行。南方电网公司党组成员、副总经理陈允鹏出席颁奖礼并作《发展智能电网助推能源转型》主旨报告。中国能建广东院牵头申报的“110 kV 模块化集成式户外变电站”项目获得金奖, “220 kV 模块化装配式户内变电站”和“220 kV 模块化装配式户外变电站”项目获优秀奖。

本次大赛共设置四个变电站设计命题(包括110 kV、220 kV 户内、外型式), 针对装配式技术在变电站应用进行评选; 一个变电站命题(110 kV 户外型式)针对集成式技术在变电站应用进行评选。

在集成式变电站比赛中, 中国能建广东院设计团队以丰富的智能变电站设计和竞赛经验为基础, 针对南网运维需求及特点, 开拓思路发散思维, 从生产、设计、施工及运维等多维化角度定制设计方案。获得金奖的“110 kV 模块化集成式户外变电站”方案使用了预制舱、就地化保护、集群测控、智能采集控制单元、智能交换机、隔离断路器、GIB 母线等行业领先的新产品新技术, 并提出了基于集成化设备的网络优化方案、“智能组件+一次主设备”的集成设计方案、基于模块化集成式变电站的创新智能运维方式, 采用集中布局与分散下放相结合布置方式, 实现了“标准化设计、工厂化加工、装配式建设”的变电站建设模式, 大力提升了变电站的集成化和智能化程度。

在装配式变电站参赛作品中, 中国能建广东院设计团队结合当今先进的材料科技和施工安装工艺, 以创新思维提出五防合一的装配式墙体、万向组装式的雨水井、采用蜂窝梁的一体化楼层电缆沟等装配构造方案, 使变电站方案具有更高的装配率、施工效率、经济性和可靠性。

“金点奖”大赛是中国南方电网公司为推动电网建设技术创新、提升公司电网建设质量组织的比赛。本届大赛以“汇聚金点 创新装配”为主题, 主要针对装配式、集成式技术在变电站的应用, 通过组织评选的方式, 广泛征集装配式变电站、集成式变电站设计方案。比赛自3月份启动以来, 共有50家单位积极参与, 提供了近100份作品。22位专家组成大赛专家组分3个小组对参赛作品进行评审, 最终评选出6个金奖和40个优秀奖。大赛有力推进了南方电网集成式变电站的技术发展和装配式变电站的标准建设。

(中国能建广东院)