

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.03.047

双荷载箱自平衡法桩基荷载试验及桩底注浆效果研究

李来龙

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:以某大桥主墩桩基的荷载试验为例,介绍双荷载箱自平衡法桩基荷载试验的工作原理、特点,以及试验要点。根据试验结果表明,双荷载箱法在大墩位桩基试验、研究桩端注浆效果测试中具备明显的优势。该技术可以解决传统静载试验和单荷载箱试验无法解决的问题,为工程的实际应用提供了解决问题的途径,在桥梁桩基中具有广泛的应用前景。

关键词:自平衡法;双荷载箱;桩底注浆;注浆效果

中图分类号:U443.15

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2021)03-0155-04

0 引言

在以往的工程中,传统桩基承载力测试方法采用堆载或者反力架法测试,随着桥梁规模和跨径的增大,桩基础的单桩极限承载力也越来越大,传统测试桩方法越来越困难,成本越来越高。

同时,对于桩底注浆的大吨位桩基,更是无法测试其承载力及注浆的效果,导致基桩的潜力不能合理发挥。自平衡法正好改进传统静载试验的缺点,很好地适应于长大直径桩承载力的测试。而采用双荷载箱的自平衡法又在单荷载箱的基础进一步节约成本、并能测试桩底注浆对桩承载力的提高程度。

图1为桩身荷载传递示意图。

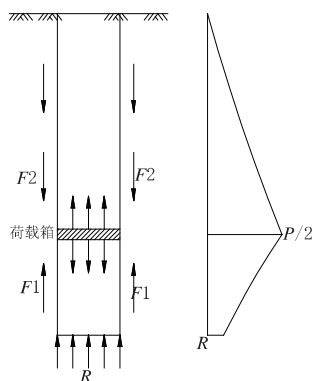


图1 桩身荷载传递示意图

1 双荷载箱自平衡法试验原理

1.1 传统自平衡法

自平衡法的基本出发点是利用试桩自身反力平

衡的原则,在桩端附近或桩身某截面处预埋经特别设计可用于加载的荷载箱,将桩身分成两段。试验时,在地面上通过油泵加压,随着压力增加,荷载箱将同时向上、向下发生变位,促使桩侧阻力和桩端阻力的发挥^[1]。此时,上下桩段的反力大小相等、方向相反,从而达到试桩自身反力平衡加载的目的。随着荷载箱压力不断增加,试桩桩土作用破坏,试验终止。通过上下桩段的Q—s曲线及相应的S—lgt曲线,采用合理的数据转换方法和承载力判定方法,即可确定试桩的极限承载力、桩侧及桩段阻力的分布情况^[2]。

桩基吨位越大、桩型越复杂,自平衡法静载试验的可操作性和经济性等优势就更加明显。但是,传统的单荷载箱形式的自平衡法也存在以下几点不足:

(1)荷载箱的理论埋设位置应当位于两段桩极限承载力相等的位置,但是由于实际地质情况的多变性,根据勘察报告计算参数预先估算的平衡点位置肯定会存在一定的偏差,导致上、下两段桩不可能同时达到破坏,从而导致上、下两段桩的极限承载力不相等,由此判定的极限承载力小于真实的极限承载力,故结果偏于保守。

(2)荷载箱为一次性投入,不可回收重复利用,随着加载吨位的增加,其自身造价也在不断增加。当桩基承载力较大时,满足试验要求的荷载箱需求尺寸也较大,在大幅增加造价的同时也为荷载箱的埋设增加了施工困难。

(3)设计中经常会采用桩底注浆的形式来提高桩基承载力、减少基础沉降。但桩底注浆后,桩身的平衡点位置就发生了改变,传统单荷载箱的形式难以对注浆后的桩基承载力和注浆效果进行测试。

收稿日期:2020-07-09

作者简介:李来龙(1974—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁工程设计工作。

1.2 双荷载箱自平衡法试验原理

为克服传统单荷载箱法的不足,提出采用双荷载箱的加载形式,即在桩身相应位置埋设两个荷载箱,将桩身划分为三个部分,见图2所示。两个荷载箱埋设位置满足三个要求:(1) $Q_b < Q_u + Q_m$, (2) $Q_m < Q_u$, (3) $Q_u < Q_b + Q_m$ (Q_u 、 Q_m 、 Q_b 分别为按地质报告计算的上、中、下三节桩的极限承载力)。双荷载箱自平衡法加载示意如图3所示。

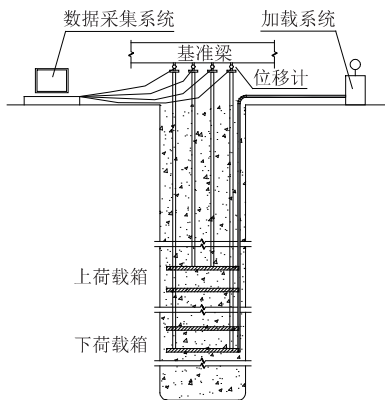


图2 双荷载箱埋设示意图

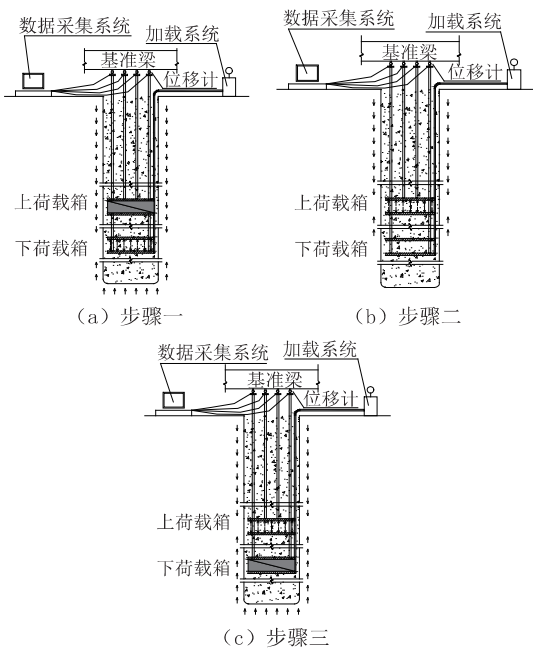


图3 双荷载箱自平衡法试验步骤示意图

(1)步骤一:将上荷载箱临时锁死,将上段桩和中段桩合成一个整体,对下荷载箱充油加压。由于 $Q_b < Q_u + Q_m$,下段桩先发生破坏,得到下段桩的桩侧阻力和端阻力极限值。

(2)步骤二:下荷载箱保持打开,此时中段桩和下段桩为断开状态,对上荷载箱充油加压。由于 $Q_m < Q_u$,中段桩先发生破坏,得到中段桩的桩侧阻力极限值。

(3)步骤三:将下荷载箱临时锁死,将中段桩和

下段桩合成一个整体,对上荷载箱充油加压。由于 $Q_u < Q_b + Q_m$,上段桩先发生破坏,得到上段桩的桩侧阻力极限值。

1.3 双荷载箱自平衡法的特点

通过双荷载箱自平衡法的工作机理,可以看出该优化方法具备以下特点:

(1)对于大吨位桩基,埋设两个小规格荷载箱的造价投入常常低于埋设一个大规格的荷载箱。

(2)荷载箱的埋设位置无需考虑桩身自身的平衡点位置,只需埋设在每个加载步骤试验需求的范围内即可。

(3)上、中、下三节桩在测试过程中都达到极限破坏,测试成果准确。

(4)由于荷载箱埋设位置的灵活性,可对桩底注浆前后分别对桩基承载力进行加载试验,可以直观有效地测试桩底注浆对桩基承载力的提高作用。

2 实际应用

2.1 工程概况

上海某跨越黄浦江的大桥主桥采用(49.55+75.45+296+75.45+49.55)m双塔双索面半漂浮体系预应力混凝土斜拉桥。每个主墩设置60根桩长81m的 $\Phi 1.8$ m钻孔灌注桩,以 $\textcircled{9}_2$ 粉砂层为桩基持力层。为控制沉降、提高桩基的承载力,每根桩均采用桩底注浆工艺。

根据地质报告计算,按规范估算桩基极限承载力值如表1所列。

表1 桩基极限承载力估算表

项目	压浆前		压浆后	
	数值	比例	数值	比例
桩侧阻力/kN	30 866	80.18%	35 445	69.90%
桩端阻力/kN	7 630	19.82%	15 260	30.10%
合计/kN	38 496	—	50 705	—

2.2 荷载箱的埋设

桩身内设置两个荷载箱,考虑进行注浆前、后分别测试极限承载力,根据测试原理和试验目的,荷载箱埋设位置如图4所示。

根据地质报告计算,注浆前、后 Q_u 、 Q_m 、 Q_b 的数值如表2所列。

由上表可知,荷载箱的埋设位置(见图4)满足 $Q_b < Q_u + Q_m$ 、 $Q_m < Q_u$ 、 $Q_u < Q_b + Q_m$ 三个条件。由此,确定两个荷载箱最大预估加载值为 $2 \times 20\ 000$ kN。

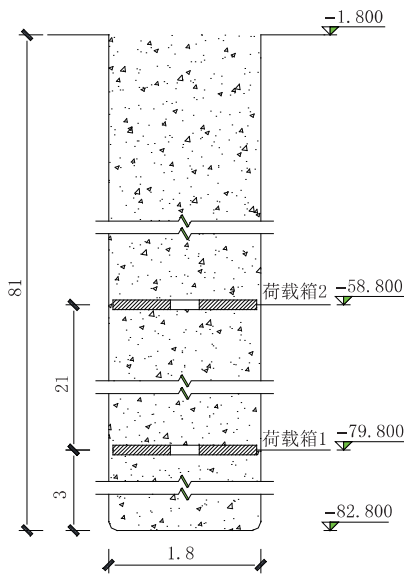


图4 荷载箱埋设位置图(单位:m)

表2 注浆前、后桩身承载力估算表

项目	注浆前/kN	注浆后/kN
Q_u	18 768	18 768
Q_m	10 573	14 235
Q_b	9 156	17 702

2.3 试验过程

桩身强度达到设计要求时,进行自平衡法试桩。加载方式采用慢速维持荷载法,逐级加载,每级加载预估加载值的1/15,第一级按两倍荷载分级加载。每级荷载作用下,上、下两段桩均达到相对稳定后再加下一级荷载,直到试桩破坏或者达到荷载箱极限加载值。卸载也分级进行,每级卸载为3倍加载荷载等级。每级荷载卸载后,观测两段桩的回弹量,稳定后,再卸下一级荷载^[3]。

表3为分级加、卸载数值表,图5为现场试验之实景。

表3 分级加、卸载数值表

项目	桩底注浆前/kN	桩底注浆后/kN
上荷载箱	每级加载	2 × 1 200
	每级卸载	2 × 3 600
下荷载箱	每级加载	2 × 600
	每级卸载	2 × 1 800

2.4 试验结果

2.4.1 各节桩极限承载力试验数据

由于桩底注浆对上段桩不产生影响,因此上段桩仅需测试一次即可,该项试验上段桩的极限承载



图5 现场试验之实景

力在桩底注浆后进行测试。各节桩极限承载力自平衡法的测试结果如表4所列。

表4 各节桩极限承载力试验数据一览表

项目	桩底注浆前/kN		桩底注浆后/kN			
	荷载箱最大加载值	级数	极限承载力取值	荷载箱最大加载值	级数	极限承载力
Q_u	2 × 15 600	12	15 600	2 × 19 200	15	18 000
Q_m	2 × 7 200	5	6 000	2 × 13 200	10	12 000
Q_b	2 × 8 400	13	7 800	2 × 16 800	13	15 600

注:上段桩在桩底注浆前未加载至破坏。

2.4.2 自平衡法桩基承载力计算公式

自平衡法测出的上段桩侧阻力方向向下,与常规侧阻力方向相反,反向侧阻力将使土层减压松散,故该法测出的侧阻力小于常规侧阻力,需要进行修正。因此,自平衡法桩基承载力计算公式为:

$$P_u = \frac{Q_u - W_u}{\gamma} + Q_m + Q_b$$

式中: Q_u 、 Q_m 、 Q_b 分别为上、中、下三段桩的加载极限值; W_u 为上段桩自重; γ 为上段桩抗拔修正系数,根据土层选用,该工程 $\gamma=0.8$ 。

2.4.3 试验结果

对试验数据进行汇总,桩基极限承载能力试验值如表5所列,试验值转换后的Q-s曲线如图6所示。

2.4.4 试验数据分析

(1)试桩压浆前单桩竖向抗压极限承载力为

表5 桩基极限承载力试验值一览表

项目	压浆前		压浆后	
	数值	比例	数值	比例
桩侧阻力 /kN	27 448	81.51%	35 095	73.93%
桩端阻力 /kN	6 225	18.49%	12 378	26.07%
合计 /kN	33 673	—	47 473	—

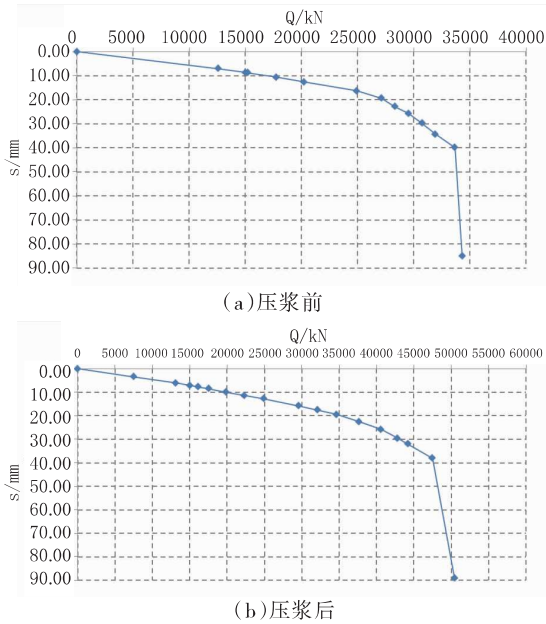


图6 Q-s 曲线转换图

33 673 kN,压浆后为 47 473 kN,提高了 40%的承载能力,与规范计算值基本一致,充分说明了桩底注浆技术是提高桩基承载能力的一项有效措施。

(2)试验数据相对于理论计算数据偏小,主要的原因因为桩底沉渣的影响较大,对桩底承载力比理论值减小较多。同时,在施工过程中对底部部分土层产

生了一定扰动,对土层的摩阻力产生了一定的影响。通过桩底注浆提高了桩基承载力,弥补了施工中可能产生的各种问题,确保桥梁的安全。

3 结论

(1)该工程的桩基桩底注浆后满足设计要求,是理论计算值的 1.2 倍,增加值不是太大,同时试验的数量较少,不宜对桩长进行较大优化。

(2)该工程完成了 50 000 kN 钻孔灌注桩的静载试验,这是常规方法很难实现的。且试验简单,试验费用省,与传统方法相比可节省试验总费用的 30% 左右。

(3)在试验中,上荷载箱最大加载值为 19 200 kN,下荷载箱最大加载值为 16 800 kN,如果采用单荷载箱进行试验,则至少需要在合适的位置配置 20 000 kN(测注浆前)和 28 000 kN(测注浆后)的荷载箱各一个。双荷载箱法有效减小了试验所投入设备的规模。

(4)国内目前对长大直径桩、桩底注浆桩等自平衡试验数据还较少。未来,随着双荷载箱,甚至多荷载箱技术的发展,根据大量可靠的试验数据结果,人们也能更加深入地了解桩底注浆的具体效果,从而达到更加合理有效的优化设计的目的。

参考文献:

- [1] 龚维明,戴国亮. 桩承载力自平衡测试技术及工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2006.
- [2] 周明星,王鹏,程宝辉. 自平衡试桩法关键问题探讨[J]. 桥梁建设, 2008.
- [3] JT/T 738—2009,基桩静载试验自平衡法[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com