

福建省工程建设地方标准

DB

工程建设地方标准编号： **DBJ/T13-183-2014**

住房城乡建设部备案号： **J12566-2014**

**基桩竖向承载力自平衡法静载试验
技术规程**

Technical specification for static loading test of
self-balanced method of vertical bearing capacity of
foundation pile

2014-01-22 发布

2014-03-01 实施

福建省住房和城乡建设厅 发布

福建省工程建设地方标准

基桩竖向承载力自平衡法静载试验

技术规程

Technical specification for static loading test of
self-balanced method of vertical bearing capacity of
foundation pile

工程建设地方标准编号： DBJ/T13-183-2014

住房和城乡建设部备案号： J12566-2014

主编单位：福建省建筑科学研究院

批准部门：福建省住房和城乡建设厅

施行日期：2014年3月1日

2014年 福州

关于批准发布省工程建设地方标准《基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术规程》的通知

闽建科[2014]2号

各设区市建设局（建委），平潭综合实验区交通与建设局：

由福建省建筑科学研究院主编的《基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术规程》，经审查，批准为福建省工程建设地方标准，编号为DBJ/T13-183-2014，自2014年3月1日起执行。在执行过程中，有何问题和意见请函告省厅建筑节能与科技处。

该标准由省厅负责管理。

福建省住房和城乡建设厅
二〇一四年一月二十二日

关于同意福建省《基桩竖向承载力自平衡法静载
试验技术规程》等两项地方标准备案的函

建标标备[2014]25号

福建省住房和城乡建设厅：

你厅《关于报送福建省工程建设地方标准〈基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术规程〉备案的函》（闽建科函[2014]5号），《关于报送福建省工程建设地方标准〈彩色路面应用技术规程〉备案的函》（闽建科函[2014]6号）收悉。经研究，同意该两项标准作为“中华人民共和国工程建设地方标准”备案，其备案号为：

《基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术规程》 J12566-2014

《彩色路面应用技术规程》 J12567-2014

该项标准的备案号，将刊登在国家工程建设标准化信息网和近期出版的《工程建设标准化》刊物上。

住房和城乡建设部标准定额司

二〇一四年二月十二日

前 言

本规程是根据福建省住房和城乡建设厅《关于印发福建省住房和城乡建设系统 2013 年第二批科学技术项目计划的通知》（闽建科[2013]26号）的要求，规程编制组经广泛调研，认真总结省内外基桩自平衡检测的实践经验和科研成果，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共有 5 个章节和 4 个附录，主要包括：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 现场检测；5 检测数据的分析与判定及附录等。

本规程由福建省住房和城乡建设厅负责管理，由福建省建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。各单位在执行过程中，如有意见或建议请寄送福建省住房和城乡建设厅建筑节能与科学技术处（地址：福州市北大路 242 号，邮编：350001）和福建省建筑科学研究院（地址：福州市杨桥中路 162 号，邮编：350025，传真：059183799249，E-mail: Lxi@fjjky.com），以供今后修订时参考。

本规程主编单位：福建省建筑科学研究院

本规程参编单位：福建省建筑工程质量检测中心有限公司
福建省建设工程质量安全监督总站
嘉博（福建）联合设计有限公司
福建勘察基础工程公司

本规程主要起草人：梁 曦 许国平 张添文 黄可明
施 峰 李 嫣 陈国林 蔡仙发
张雄水 章 东 曾 文 虞梦泽

本规程主要审查人：戴国亮 晏 音 吴平春 简文彬
黄跃森 林民勇 陈 苓 林 梁

目次

1	总则	1
2	术语、符号	2
2.1	术语.....	2
2.2	符号.....	2
3	基本规定	4
3.1	检测机构和检测人员.....	4
3.2	检测数量、位置和加载值.....	4
3.3	检测工作程序.....	5
3.4	同步检测、验证检测与扩大检测.....	7
3.5	检测报告.....	7
4	现场检测	9
4.1	仪器设备.....	9
4.2	设备安装.....	9
4.3	现场检测.....	10
5	检测数据的分析与判定	13
5.1	抗压桩检测数据的分析与判定.....	13

5.2 抗拔桩检测数据的分析与判定.....	14
5.3 承载力评价.....	15
附录 A 桩身内力测试.....	18
附录 B 测量系统的安装.....	23
附录 C 等效转换方法.....	25
附录 D 数据图表.....	28
本规程用词说明.....	29
引用标准名.....	30
附：条文说明.....	31

Contents

1	General provisions.....	1
2	Terms and symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	2
3	Basic requirement.....	4
3.1	General requierment.....	4
3.2	Test amount, test position and loading value.....	4
3.3	Working procedure.....	5
3.4	Synchronous testing, verification testing and expanding testing.....	7
3.5	Testing report.....	7
4	On-site testing.....	9
4.1	Equipment and instrument.....	9
4.2	Installation.....	9
4.3	On-site testing.....	10
5	Analysis and assessment of testing Data.....	13

5.1 Analysis and decision of data of compressive pile testing.....	13
5.2 Analysis and decision of data of uplift pile testing.....	14
5.3 Assessment of bearing capacity.....	15
Appendix A Pile Stress measurements.....	18
Appendix B Installation of measuring system	23
Appendix C Equivalent conversion method.....	25
Appendix D Data chart.....	28
Explanation of words in this specification.....	29
NormativeStandards.....	30
Addition: Explanation of provisions.....	31

1 总 则

1.0.1 为规范基桩竖向承载力自平衡法静载试验，使基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术合理、数据准确、安全可靠，制定本规程。

1.0.2 基桩竖向承载力自平衡法静载试验适用于软土、粘性土、粉土、砂土、碎石土以及岩层中的大直径钻孔灌注桩、人工挖孔桩、管桩等的承载力测试，尤其适用于传统静载试验方法难以实施的大吨位试桩以及水上试桩、坡地试桩、基坑底试桩、狭窄场地试桩等。

1.0.3 基桩竖向承载力自平衡法静载试验包括基桩竖向抗压静载试验和基桩竖向抗拔静载试验，分为施工前为设计提供依据的试验桩检测和施工后为验收提供依据的工程桩检测。

1.0.4 进行基桩竖向承载力自平衡法试验时除应执行本规程外，尚应符合国家和福建省现行有关标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

2.1.2 自平衡法静载试验 static loading test of self-balanced method

将特制的荷载箱置于桩身平衡点处，在荷载箱处逐级施加竖向荷载，观测位移，通过试验数据绘制上、下段桩的荷载—位移曲线，从而获得相应的单桩竖向抗压极限承载力、单桩竖向抗拔承载力的试验方法。

2.1.3 单桩竖向极限承载力 ultimate vertical bearing capacity of a single pile

单桩在竖向荷载作用下达到破坏状态前或者出现不适于继续承载的变形时所对应的荷载。

2.1.4 荷载箱 load cell

基桩自平衡法静载试验中特制的加载装置，它主要由活塞、顶盖、底盖及箱壁四部分组成。

2.1.5 平衡点 balanced point position

基桩在桩身某位置，其上段桩桩身自重及桩侧极限摩阻力之和与下段桩桩侧极限摩阻力及极限端阻力之和基本相等。

2.2 符号

Q ——自平衡法静载试验中施加的荷载、桩身轴力；

Q_u ——单桩竖向承载力极限值；

Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；

R_a ——单桩竖向承载力特征值；

Q_{su} ——上段桩的竖向抗拔极限承载力；
 Q_{xu} ——下段桩的竖向抗压极限承载力；
 W_p ——荷载箱上部桩的自重；
 W_l ——桩顶堆载的有效重量；
 γ ——向下、向上摩阻力转换系数；
 s_d ——桩顶位移；
 s_s ——荷载箱处向上位移；
 s_x ——荷载箱处向下位移；
 Q_d ——桩端的轴力；
 L ——上段桩长度；
 E_p ——桩身弹性模量；
 A_p ——桩身截面面积；
 u ——桩身周长；
 U_u ——单桩竖向抗拔极限承载力；
 U_{su} ——上段桩的竖向抗拔极限承载力。

3 基本规定

3.1 检测机构和检测人员

3.1.1 检测机构应具有地基基础工程检测的基桩承载力检测专项资质，并通过省级以上计量行政主管部门的计量认证。

3.1.2 检测人员应经过基桩自平衡法静载试验的专门培训，经考核合格并具有相应的上岗证书。

3.2 检测数量、位置和加载值

3.2.1 检测数量应符合下列规定：

1 施工前为设计提供依据的试验桩的检测数量在同一条件下不应少于 3 根，且不宜少于总桩数的 1%；当工程桩总数在 50 根以内时，不应少于 2 根。

2 施工后承载力验收检测的抽检数量，对单位工程内且在同一条件下的工程桩，不应少于总桩数的 1%，且不少于 3 根；当总桩数在 50 根以内时，不应少于 2 根。

3.2.2 试验桩的成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。

3.2.3 为设计提供依据的试验桩的桩位应符合设计要求。设计无要求时，宜选择在有代表性的地质条件处布置，并尽量靠近钻探孔或静力触探孔，其间距一般不宜大于 5 米。

3.2.4 单桩承载力验收抽样检测的受检桩选择除应同类型桩均匀随机分布外，宜符合下列规定：

- 1 设计方认为重要的桩；
- 2 局部地质条件出现异常的桩；
- 3 施工工艺不同的桩。

3.2.5 最大加载值应符合下列规定：

- 1 为设计提供依据的试桩，宜按设计要求执行。最大加载值可根

据地质勘察报告和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 计算的单桩极限承载力的(1.25~1.5)倍选定；

2 对工程桩抽样检测时，最大加载值应根据设计单位提供的单桩承载力极限值或设计要求的单桩承载力特征值的 2 倍选定。

3.3 检测工作程序

3.3.1 检测工作的程序，应按图 3.3.1 进行：

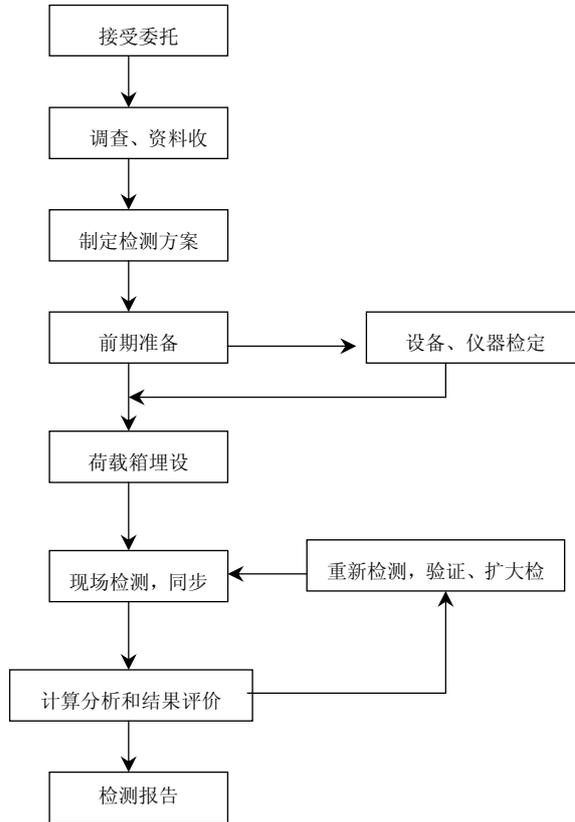


图 3.3.1 检测工作程序框图

3.3.2 调查、收集材料宜包含以下内容：

1 收集被检测工程的岩土工程勘察资料、桩基设计图纸、施工记录；了解施工工艺和施工中出现的异常情况；

2 明确各单位工程总桩数、试验桩选择、桩号；以及各试验桩荷载箱的设置、位置和最大加载值；

3 检测项目现场实施的可行性。

3.3.3 检测方案应包含以下内容：

1 工程概况、地质条件（各岩土层与桩基有关的参数、各试桩位置的地质剖面图或柱状图）、试验目的、试验要求及依据；

2 根据设计要求确定荷载箱的个数、位置和最大加载值；

3 试桩的施工要求和需施工单位配合的机械、人工等；

4 安全和质量的保证措施；

5 试验周期和进度。

3.3.4 前期准备应包括下列内容：

1 荷载箱的设计、生产、标定、试压；

2 仪器设备和计量器具的检查。

3.3.5 检测开始时间应同时符合下列规定：

1 灌注桩混凝土强度达到设计强度的 75%以上或按该强度算得的桩身结构承载力大于荷载箱单向最大加载值的 1.5 倍；

2 土体的休止时间除应符合本条第 1 款规定外，尚不应少于表 3.3.5 规定的时间。

表 3.3.5 休止时间

土的种类		休止时间 (d)
砂土		7
粉土		10
黏性土	非饱和	15
	饱和	25

3 后注浆桩除应满足本条第 1、2 款以外，检测开始时间应在注浆完成 20d 后进行，浆液中掺入早强剂时可于注浆完成 15d 后进行。

3.3.6 当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时，应采取有效的防护措施。

3.3.7 当发现检测数据异常时，应查找原因，或重新检测。

3.3.8 对工程桩抽样检测时，试验完后应在荷载箱处进行高压注浆。

3.4 同步检测、验证检测与扩大检测

3.4.1 对于进行竖向抗压承载力自平衡试验验收检测的灌注桩，宜在试验结束后进行基桩钻芯法试验，并截取混凝土芯样进行芯样试件抗压强度试验，钻芯法试验的检测长度为自桩顶起至荷载箱的上顶板。钻芯法试验和混凝土芯样试件抗压强度试验应按现行国家行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行。

3.4.2 当单桩承载力抽检结果不满足设计要求时，应分析原因，并经确认后扩大抽检，扩大检测采用的方法和检测数量应得到工程建设有关方的确认。

3.4.3 当需要对单桩竖向抗压承载力进行验证时，验证方法应采用传统静载试验。

3.4.4 桩身混凝土实体强度可在桩顶浅部钻取芯样验证。

3.5 检测报告

3.5.1 检测报告应结论准确、用词规范。

3.5.2 检测报告应包含以下内容：

1 委托方名称、工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，设计要求、检测目的、检测依据、工程概况、基础和结构型式、检测数量和检测日期；

2 地质条件描述、岩土体的力学指标；

- 3 试桩的桩号、桩位和相关施工记录；
- 4 检测方法、检测仪器设备和检测过程描述；
- 5 试桩的检测数据，实测与分析曲线、表格和汇总结果；
- 6 与检测内容相应的检测结论。

4 现场检测

4.1 仪器设备

4.1.1 自平衡试验采用的荷载箱的极限加载能力应不小于试验最大加载值的 1.2 倍。

4.1.2 荷载测量可用联接于荷载箱的压力表或压力传感器测定，根据荷载箱率定曲线通过并联于荷载箱中千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压并换算荷载。传感器的测量误差不应大于 1%，压力表精度应优于或等于 0.4 级。试验用压力表、油泵、油管在最大加载时的压力不应超过规定工作压力的 80%。

4.1.3 位移测量宜采用大量程百分表或位移传感器，其最大允许测量误差不应大于 0.1%FS，分度值/分辨力应优于或等于 0.01mm。每根试桩至少布置 2 组（每组 2 个，沿桩身对称布置）位移测量仪表，分别用于测定荷载箱处的向上、向下位移。有条件的情况下在桩顶宜增加 2 组位移传感器或百分表，用以量测桩顶位移。

4.1.4 当需要测试桩的分层侧摩阻力时，桩身内埋设传感器应按本规程附录 A 执行。

4.2 设备安装

4.2.1 荷载箱的埋设位置应根据地质勘察报告并按设计要求进行估算。竖向抗压试验应将荷载箱埋设在桩身平衡点处，以期使上、下段桩的承载力基本相等以维持加载。竖向抗拔试验荷载箱埋设在桩底。

4.2.2 荷载箱宜在成孔以后、混凝土灌注前设置。荷载箱应平放于桩横截面中心处，其位移方向与桩身轴线夹角不应大于 5°：

1 对于灌注桩，荷载箱的上下板分别与上下钢筋笼的钢筋焊接，荷载箱和上、下钢筋笼连接处应有局部加强措施；

- 2 对于管桩，荷载箱与上、下段桩焊接；
- 3 荷载箱放置在桩底时，可将荷载箱高于桩孔底 0.3m~0.5m 放置；
- 4 对于人工挖孔桩，在桩底放置荷载箱时，应用高强度等级混凝土及砂浆将桩底抹平。

4.2.3 位移测量系统应符合下列要求：

- 1 自平衡法静载试验的上位移杆(丝)宜固定在荷载箱顶板以上 20cm 左右的位置，下位移杆(丝)宜固定在荷载箱底板以下 20cm 左右的位置。位移测量系统的安装可按附录 B 中的图 B.1 进行；
- 2 采用位移杆测量装置时，必须保证刚度和垂直度；
- 3 保护位移杆(丝)的护套管与荷载箱顶盖焊接，焊缝应满足强度要求，并确保不渗漏水泥浆；
- 4 采用位移丝测量装置时应采取保证不受风力影响的措施。位移丝与位移计的安装可按附录 B 中的图 B.2 进行。

4.2.4 基准桩和基准梁应符合下列规定：

- 1 基准桩与试桩之间的中心距离应大于等于 3D(D 为桩身直径)且不小于 2.0m；基准桩应打入地面以下足够的深度；
- 2 基准梁必须有一定的刚度，一端应固定在基准桩上，另一端应简支在基准桩上；
- 3 固定和支撑位移计（百分表）的夹具及基准梁应避免气温、振动及其他外界因素的影响。

4.3 现场检测

4.3.1 桩顶部宜高出试坑底面，试坑底面宜与桩承台底标高一致。若检测需要堆放一定数量配重，则试桩混凝土桩头加固宜按《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 附录 B 执行。

4.3.2 加卸载应符合下列规定：

1 加载应分级进行。分级荷载为最大（预估）加载值的 1/10，第一级可按 2 倍分级荷载加载；

2 卸载也应分级进行。每级卸载量取加载时分级荷载的 2 倍，逐级等量卸载；

3 加卸载应均匀、连续、无冲击，每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的 10%。

4.3.3 位移观测和稳定标准应符合下列规定：

1 每级荷载施加后按第 5min、15min、30min、45min、60min 测读向上和向下位移，以后每隔 30min 测读一次；

2 试桩沉降相对稳定标准：每一小时内的向上、向下位移均不超过 0.1mm，并连续出现两次（从每级荷载施加后第 30min 开始，按 1.5h 连续三次每 30min 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 1h，按第 5min、15min、30min、60min 测读位移；卸载至零后，应测读桩顶残余变形，维持时间为 3h，测读时间为 5min、15min、30min，以后每隔 30min 测读一次。

4.3.4 加载终止条件及最终加载值：

1 对于单桩竖向抗压静载试验，加载终止条件和相应的最终加载值应分别从向上、向下两个方向按以下规定进行判定和取值。当处于平衡状态时，应两个方向都达到终止加载条件再终止加载。每个方向的加载终止条件和相应的极限加载值的取值按以下规定：

1) 某级荷载作用下，位移大于前一级荷载作用下位移的 5 倍，当位移能稳定时，宜继续加载至向下或向上位移超过 40mm；

2) 某级荷载作用下，位移大于前一级荷载作用下位移的 2 倍，且经 24h 尚未达到相对稳定标准；

3) 已达到设计要求的最大加载量或出现桩身破坏;

4) 当荷载 - 位移曲线呈缓变型时, 可加载至总位移 80mm~100mm; 在特殊情况下, 可根据具体要求加载至总位移量超过 100mm。

2 对于单桩竖向抗拔静载试验, 加卸载规定及位移稳定标准可参照本规程第 4.3.2 条和第 4.3.3 条执行。加载终止条件和相应的最终加载值的取值按如下规定:

1) 在某级荷载作用下, 向上位移量大于前一级荷载作用下的向上位移量 5 倍;

2) 按向上位移量控制, 当累计向上位移量超过 100mm 时;

3) 对于验收抽样检测的工程桩, 达到设计要求的最大上拔荷载值。

4.3.5 检测数据可按照本规程附录 D 中表 D 的格式记录。

4.3.6 当测试桩的分层侧阻力时, 测试数据的测读时间可依据本规程第 4.3.3 条的规定执行。

5 检测数据的分析与判定

5.1 抗压桩检测数据的分析与判定

5.1.1 确定单桩竖向抗压承载力时，应分别绘制向上、向下两个方向竖向荷载-沉降 ($Q-s$)、沉降-时间对数 ($s-lgt$) 曲线，需要时也可绘制其他辅助分析所需曲线。

5.1.2 当进行桩身内力测定时，应整理出有关数据的记录表，并按本规程附录 A 绘制桩身轴力分布图、计算不同土层的分层侧摩阻力。

5.1.3 上段桩极限承载力 Q_{su} 和下段桩极限承载力 Q_{xu} 可按下列方法综合分析确定：

1 根据位移随荷载变化的特征确定：对于陡降型 $Q-s$ 曲线，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：取 $s-lgt$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；

3 出现第 4.3.4.1 条第 2 款情况，取前一级荷载值；

4 对于缓变型 $Q-s$ 曲线可根据沉降量确定，下段桩极限承载力 Q_{xu} 取向下位移 $s_x=40\text{mm}$ 对应的荷载值，对直径大于或等于 800mm 的桩，可取 $s=0.05D$ (D 为桩端直径) 对应的荷载值；上段桩极限承载力 Q_{su} 取向上位移 $s_s=30\text{mm}\sim 40\text{mm}$ 对应的荷载值(桩周为软土取低值，非软土取高值)，当上段桩长度大于 40m 时，宜考虑桩身弹性压缩量；

5 当按上述四款判定桩的竖向抗压承载力未达到极限时，上段桩极限承载力 Q_{su} 和下段桩极限承载力 Q_{xu} 应取最大试验荷载值。

5.1.4 各试桩的单桩竖向抗压极限承载力

根据试桩的上段桩极限承载力 Q_{su} 和下段桩极限承载力 Q_{xu} ，可按下列式确定试桩单桩竖向抗压极限承载力：

$$Q_u = \frac{Q_{su} - W_p - W_l}{\gamma} + Q_{xu} \quad (5.1.4)$$

式中： Q_u —试桩的单桩竖向抗压极限承载力（kN）；

Q_{su} —试桩上段桩的竖向抗拔极限承载力（kN）；

Q_{xu} —试桩下段桩的竖向抗压极限承载力（kN）；

W_p —试桩荷载箱上部桩自重（kN）；

W_l —桩顶堆载的有效重量（kN）；

γ —试桩的向下、向上摩阻力转换系数，根据荷载箱上部土的类型确定：粘性土、粉土 $\gamma=0.8$ ；砂土 $\gamma=0.7$ ；岩石 $\gamma=1$ ，若上部有不同类型的土层， γ 按土层厚度加权取平均值。转换系数 γ 有条件时应根据实际情况确定。

5.2 抗拔桩检测数据的分析与判定

5.2.1 绘制上拔荷载 U 与桩顶上拔量 δ 之间的关系曲线（ $U-\delta$ ）和 δ 与时间 t 之间的曲线（ $\delta-\lg t$ 曲线）。

5.2.2 当进行桩身应力、应变测定时，应整理出有关数据的记录表，并按本规程附录 A 绘制桩身轴力分布图、计算不同土层的分层侧摩阻力。

5.2.3 单桩竖向抗拔极限承载力可按下列方法综合判定：

1 根据上拔量随荷载变化的特征确定：对陡变型 $U-\delta$ 曲线，取陡升起始点对应的荷载值；

2 根据上拔量随时间变化的特征确定：取 $\delta-\lg t$ 曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显弯曲的前一级荷载值；

3 当按上述两款判定桩的竖向抗拔承载力未达到极限时，桩的竖向抗拔极限承载力可取最大试验荷载值。

5.2.4 根据试桩的上段桩极限承载力 Q_{su} ，可按下列式确定试桩单桩竖向抗拔极限承载力：

$$U_u = U_{su} \quad (5.2.4)$$

式中： U_u —试桩的单桩竖向抗拔极限承载力(kN)；

U_{su} —试桩上段桩的竖向抗拔极限承载力(kN)。

5.3 承载力评价

5.3.1 施工前为设计提供依据的试验桩的单桩竖向极限承载力标准值，当各试验桩条件基本相同时，可按下列步骤与方法确定：

1 按 5.1 和 5.2 的方法确定 n 根正常条件试桩的极限承载力测定值 Q_{ui} ，下标 i 根据 Q_{ui} 值由小到大的顺序确定；

2 计算试桩极限承载力平均值：

$$Q_{um} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{ui} \quad (5.3.1-1)$$

3 计算每根试桩的极限承载力与平均值之比：

$$\alpha_i = Q_{ui} / Q_{um} \quad (5.3.1-2)$$

4 计算 α_i 的标准差 S_n ：

$$S_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - 1)^2 / (n - 1)} \quad (5.3.1-3)$$

5 确定单桩竖向极限承载力标准值 Q_{uk} ：

$$\text{当 } S_n \leq 0.15 \text{ 时, } Q_{uk} = Q_{um}; \quad (5.3.1-4)$$

$$\text{当 } S_n > 0.15 \text{ 时, } Q_{uk} = \lambda Q_{um}。 \quad (5.3.1-5)$$

5.3.2 折减系数 λ ，按下列方法确定：

1 试桩数 $n=2$ ，按表 5.3.2-1 确定；

表 5.3.2-1 折减系数 λ ($n=2$)

$\alpha_2 - \alpha_1$	0.21	0.24	0.27	0.3	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51
λ	1	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.9	0.88	0.87	0.85

2 试桩数 $n=3$ ，按表 5.3.2-2 确定；

表 5.3.2-2 折减系数 λ ($n=3$)

$\alpha_3 - \alpha_1$	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51
α_2								
0.84	—	—	—	—	—	—	0.93	0.92
0.92	0.99	0.98	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93
1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.93	0.92
1.08	0.98	0.97	0.95	0.94	0.93	0.91	0.90	0.88
1.16	—	—	—	—	—	—	0.86	0.84

3 试桩数 $n \geq 4$ 时，按下式计算：

$$A_0 + A_1 \lambda + A_2 \lambda^2 + A_3 \lambda^3 + A_4 \lambda^4 = 0 \quad (5.3.2-1)$$

$$\text{式中：} \quad A_0 = \sum_{i=1}^{n-m} \alpha_i^2 + \frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^{n-m} \alpha_i \right)^2 \quad (5.3.2-2)$$

$$A_1 = -\frac{2n}{m} \sum_{i=1}^{n-m} \alpha_i \quad (5.3.2-3)$$

$$A_2 = 0.127 - 1.127n + \frac{n^2}{m} \quad (5.3.2-4)$$

$$A_3 = 0.147 \times (n-1) \quad (5.3.2-5)$$

$$A_4 = -0.042 \times (n-1) \quad (5.3.2-6)$$

取 $m=1, 2, \dots$ 满足式 (5.3.2-1) 的 λ 值即为所求。

5.3.3 施工后为验收提供依据的工程桩检测的单桩竖向极限承载力标准值应根据试桩类型、试桩位置、实际地质条件、施工情况等综合确

定，当各试桩条件基本相同时，其单桩竖向极限承载力标准值的确定应符合下列规定：

- 1 参加统计的试桩结果，当满足其极差不超过平均值的 30%时，取其平均值为单桩竖向抗压极限承载力标准值；
- 2 对桩数为 3 根或 3 根以下的柱下承台，或工程桩抽检数量小于 3 根时，应取低值；
- 3 参加统计的试桩结果，当极差超过平均值的 30%时，应分析极差过大的原因，结合工程具体情况综合确定。必要时可增加试桩数量。

5.3.4 单位工程同一条件下的单桩竖向承载力特征值 R_a 应按单桩竖向极限承载力标准值的一半取值。

5.3.5 检测报告除应包括本规程第 3.5.2 条内容外，还应包括：

- 1 试桩的平面位置图和对应地质柱状图；
- 2 试桩的截面尺寸、长度、材料强度、配筋情况；
- 3 荷载箱埋设位置图；
- 4 加卸载方法，荷载分级；
- 5 按本规程 5.1 和 5.2 条要求绘制的曲线及对应的数据表，与承载力判定有关的曲线、数据以及承载力判定依据。将基桩自平衡法测得的上、下两段 $Q-s$ 曲线，等效转换为传统方法桩顶加载的一条 $Q-s$ 曲线的转换方法见附录 C；
- 6 当进行分层摩阻力测试时，还应有传感器类型、安装位置，轴力计算方法，各级荷载下桩身轴力变化曲线，各土层的桩侧极限摩阻力和桩端阻力。

附录 A 桩身内力测试

A.0.1 自平衡法基桩内力测试适用于混凝土预制桩、钢桩和桩身断面尺寸基本恒定的混凝土灌注桩，可得到桩侧各土层的分层摩阻力。

A.0.2 基桩内力测试宜采用应变式传感器或钢弦式传感器。根据测试目的及要求，宜按表 A.0.2 中的传感器技术、环境特性，选择适合的传感器。需要检测桩身某断面或桩底位移时，可在需检测断面设置沉降杆(丝)。

表 A.0.2 传感器技术、环境特性一览表

技术、环境特性	钢弦式传感器	应变式传感器
传感器体积	大	较小
蠕变	较小，适宜于长期观测	较大，需提高制作技术、工艺
测量灵敏度	较低	较高
温度变化的影响	温度变化范围较大时需要修	可以实现温度变化的自补偿
长导线影响	不影响测试结果	需进行长导线电阻影响的修正
自身补偿能力	补偿能力弱	对自身的弯曲、扭曲可以自补
对绝缘的要求	要求不高	要求高
静、动态测试	只适用于静态测试	静态、动态均适用

A.0.3 传感器设置位置及数量应符合下列规定：

1 传感器宜放在两种不同性质土层的界面处，以测量桩在不同土层中的分层摩阻力。在地面处（或以上）应设置一个测量断面作为传感器标定断面。传感器埋设断面距桩顶和桩底的距离不应小于 1 倍桩

径;

2 在同一断面处可对称设置 2~4 个传感器,当桩径较大时传感器数量取大值。

A.0.4 应变式传感器可视以下情况采用不同制作方法:

1 对混凝土桩,应变传感器的制作和埋设可视具体情况采用以下三种方法之一:

- 1) 在 600~1000mm 长的钢筋上,轴向、横向粘贴四个(二个)应变计组成全桥(半桥),经防水绝缘处理后,到材料试验机上进行应力-应变关系标定。标定时的最大拉力宜控制在钢筋抗拉强度设计值的 60%以内,经三次重复标定,应力-应变曲线的线性、滞后和重复性满足要求后,方可采用。传感器应在浇筑混凝土前按指定位置焊接或绑扎(泥浆护壁灌注桩应焊接)在主筋上,并满足规范对钢筋锚固长度的要求。固定后带应变计的钢筋不得弯曲变形或有附加应力产生;
- 2) 直接将电阻应变计粘贴在桩身指定断面的主筋上,应变计宜采用标距 3~6mm 的 350 Ω 胶基箔式应变计,不得使用纸基应变计。粘贴前应将贴片区表面除锈磨平,用有机溶剂去污清洗,待干燥后粘贴应变计。粘贴好的应变计应密封防护;
- 3) 将应变计或埋入式混凝土应变测量传感器按产品使用要求预埋在预制桩的桩身指定位置。

2 对钢桩而言其制作方法及要求同本条第 1 款的混凝土桩主筋上粘贴应变计的方法,也可以将应变式传感器直接固定在测量位置。

A.0.5 应变式传感器可按全桥或半桥方式制作,宜优先采用全桥方式。传感器的测量片和补偿片应选用同一规格同一批号的产品,按轴

向、横向准确地粘贴在钢筋同一断面上。测点的连接应采用屏蔽电缆，导线的对地绝缘电阻值应在 500M Ω 以上，使用前应将整卷电缆除两端外全部浸入水中 1h，测量芯线与水的绝缘；电缆屏蔽线应与钢筋绝缘；测量和补偿所用连接电缆的长度和线径应相同。

A.0.6 电阻应变计及其连接电缆均应有可靠的防潮绝缘防护措施；正式试验前电阻应变计及电缆的系统绝缘电阻不应低于 200M Ω 。

A.0.7 同一工程的检测应采用相同材质的电阻应变计。在选用电阻应变计、粘贴剂和导线时，应充分考虑试验桩在制作、养护和施工过程中的环境条件。对采用蒸汽养护或高压养护的预应力混凝土桩，应选用耐高温的电阻应变计、粘贴剂和导线。

A.0.8 电阻应变测量所用的电阻应变仪应具有多点自动测量功能，仪器的分辨力应优于或等于 1 $\mu\epsilon$ ，并有存储和打印功能。

A.0.9 弦式钢筋计应按主筋直径大小选择。仪器的可测频率范围应大于桩在最大加载时的频率的 1.2 倍。使用前应对钢筋计逐个标定，得出压力（推力）与频率之间的关系。弦式钢筋计通过与之匹配的频率仪进行测量，频率仪的分辨力应优于或等于 1Hz。

A.0.10 带有接长杆弦式钢筋计可焊接在主筋上；不宜采用螺纹连接。

A.0.11 测试数据整理应符合下列规定：

1 采用应变式传感器测量时，按下列公式对实测应变值进行导线电阻修正：

$$\text{采用半桥测量时： } \epsilon = \epsilon' \left(1 + \frac{r}{R}\right) \quad (\text{A.0.11-1})$$

$$\text{采用全桥测量时： } \epsilon = \epsilon' \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \quad (\text{A.0.11-2})$$

式中： ϵ ——修正后的应变值；

ϵ' ——修正前的应变值；

r ——导线电阻（ Ω ）；

R ——应变计电阻 (Ω)。

2 采用弦式传感器测量时,将钢筋计实测频率通过率定系数换算成力,再计算成与钢筋计断面处的混凝土应变相等的钢筋应变变量。

3 在数据整理过程中,应将零漂大、变化无规律的测点删除,求出同一断面有效测点的应变平均值,并按下式计算该断面处桩身轴力:

$$Q_i = \bar{\varepsilon}_i \cdot E_i \cdot A_i \quad (\text{A.0.11-3})$$

式中 Q_i ——桩身第 i 断面处轴力 (kN);

$\bar{\varepsilon}_i$ ——第 i 断面处应变平均值;

E_i ——第 i 断面处桩身材料弹性模量 (kPa),当桩身断面、配筋一致时,宜按标定断面处的应力与应变的比值确定;

A_i ——第 i 断面处桩身截面面积 (m^2)。

4 按每级试验荷载下桩身不同断面处的轴力值制成表格,并绘制轴力分布图。再由桩顶极限荷载下对应的各断面轴力值计算桩侧土的分层极限摩阻力和极限端阻力:

$$q_{si} = \frac{|Q_i - Q_{i+1}|}{u \cdot l_i} \quad (\text{A.0.11-4})$$

$$q_p = \frac{Q_n}{A_0} \quad (\text{A.0.11-5})$$

式中 q_{si} ——桩第 i 断面与 $i+1$ 断面间侧摩阻力 (kPa);

q_p ——桩的端阻力 (kPa);

i ——桩检测断面顺序号, $i=1, 2, \dots, n$, 并自桩顶以下从小到大排列;

u ——桩身周长 (m);

l_i ——第 i 断面与第 $i+1$ 断面之间的桩长 (m)。

Q_n ——桩端的轴力 (kN);

A_0 ——桩端面积 (m^2)。

5 桩身第 i 断面处的钢筋应力可按下式计算:

$$\sigma_{si} = E_s \cdot \varepsilon_{si} \quad (\text{A.0.11-6})$$

式中: σ_{si} ——桩身第 i 断面处的钢筋应力 (kPa);

E_s ——钢筋弹性模量 (kPa);

ε_{si} ——桩身第 i 断面处的钢筋应变。

A.0.12 采用位移杆(丝)测量位移时, 测量位移杆位移的检测仪器应符合本规程第 4.1.3 条的技术要求, 位移测试和桩身内力测试应同步。

附录 B 测量系统的安装

B.1 自平衡法静载试验位移测量系统的安装

自平衡法静载试验位移测量系统的安装示意图参见图 B.1。

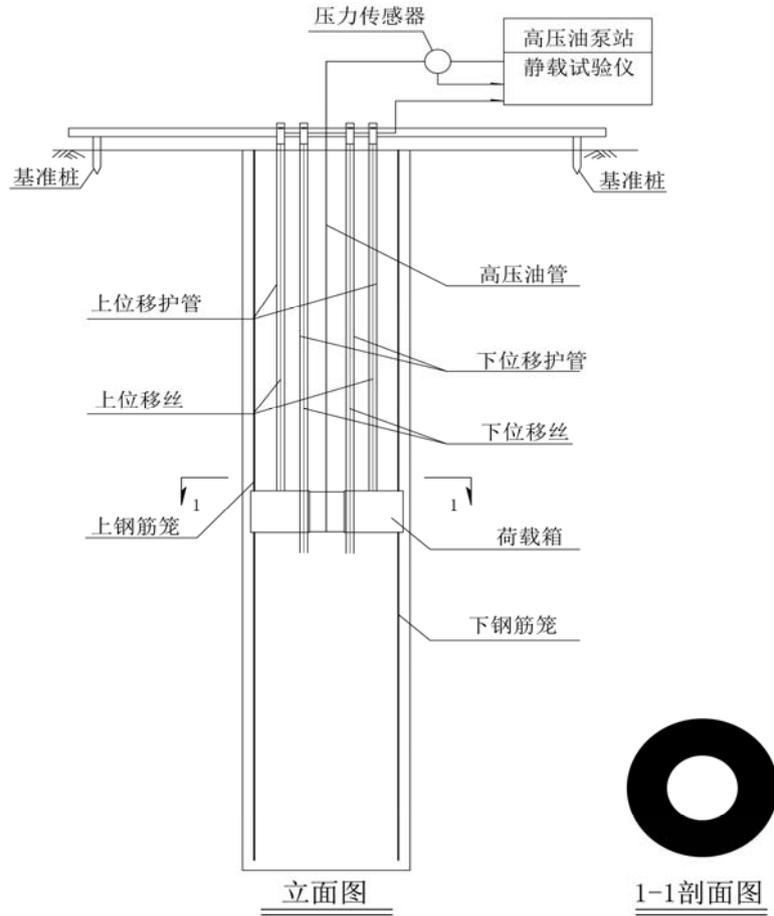


图 B.1 自平衡法静载试验位移量测系统的安装

B.2 位移丝和位移计的安装

采用位移丝测量装置时,位移丝和位移计的安装示意图参见图 B.2

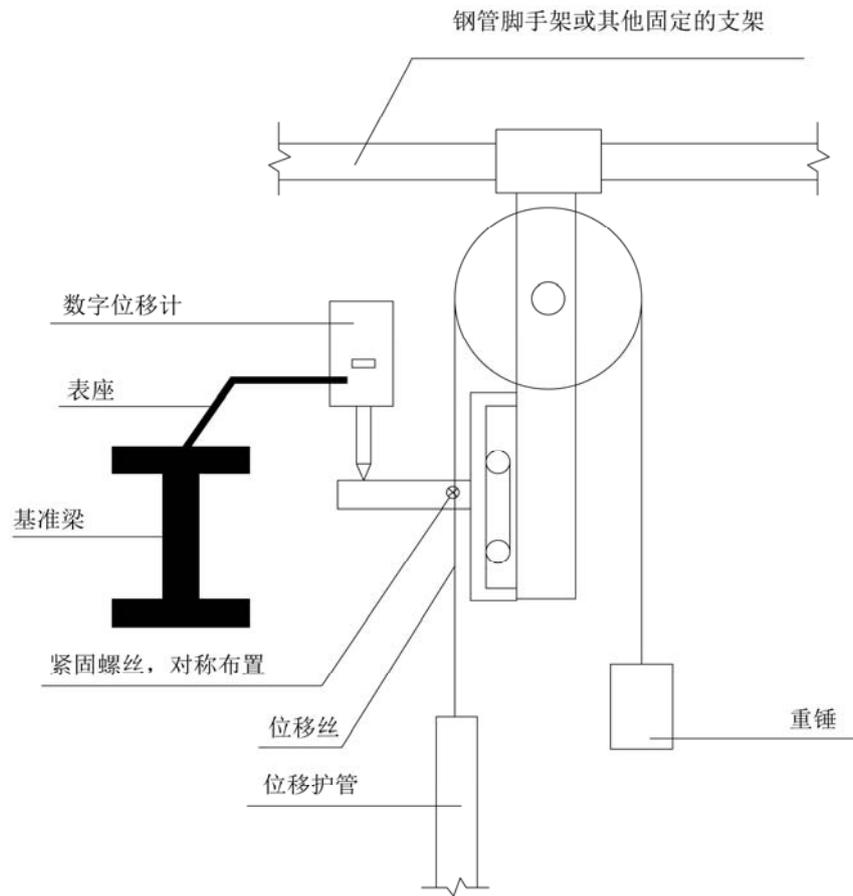
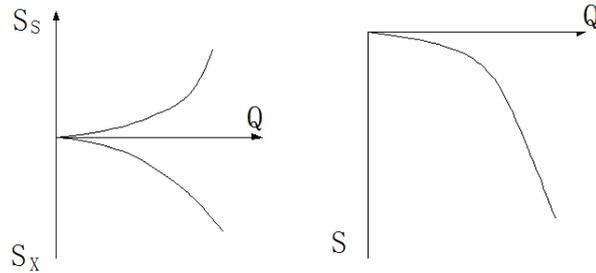


图 B.2 位移丝和位移计安装示意图

附录 C 等效转换方法

C.0.1 等效转换方法

将基桩自平衡法获得的向上、向下两条 $Q-s$ 曲线等效转换为相应传统静载试验的一条 $Q-s$ 曲线，以确定桩顶沉降。



(a) 基桩自平衡法曲线

(b) 等效转换曲线

图 C.1 基桩自平衡法结果转换示意图

C.0.2 转换假定

- 1 桩为弹性体；
- 2 等效的试验桩分为上、下段桩，分界面即为自平衡桩的平衡点 a 截面；
- 3 基桩自平衡法试验中的下段桩与等效受压桩下段的位移相等，即 $s_a = s_x$ ；
- 4 基桩自平衡法试验中，桩端的承载力—沉降量关系及不同深度的桩侧摩阻力—变位量关系与标准试验法是相同的；
- 5 桩上段的桩身压缩量 Δs 为上段桩桩端及桩侧荷载两部分引起的弹性压缩变形之和：

$$\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 \quad (\text{C.0.2})$$

式中： Δs_1 ——受压桩上段在荷载箱下段力作用下产生的弹性压缩

变形量 (mm);

Δs_2 —— 受压桩上段在荷载箱上段力作用下产生的弹性压缩变形量 (mm)。

6 计算上段桩弹性压缩变形量 Δs_2 时, 侧摩阻力使用平均值 q_{sm} ;

7 可由单元上下两面的轴向力和平均断面刚度来求各单元应变。

C.0.3 转换结果

1 根据假定 (C.0.2.5) 和 (C.0.2.6):

$$\Delta s_1 = \frac{Q_x L}{E_p A_p} \quad (C.0.3-1)$$

$$\Delta s_2 = \frac{(Q_s - W_p - W_l)L}{2E_p A_p \gamma} \quad (C.0.3-2)$$

式中: Q_x —— 某一位移对应的荷载箱向下加载值 (kN);

Q_s —— 某一位移对应的荷载箱向上加载值 (kN);

L —— 上段桩长度 (m);

γ —— 向下、向上摩阻力转换系数;

E_p —— 桩身弹性模量 (kPa);

A_p —— 桩身截面面积 (m²);

W_p —— 试桩荷载箱上部桩自重 (kN);

W_l —— 桩顶堆载的有效重量 (kN)。

将式 (C.0.3-1)、(C.0.3-2) 代入式(C.0.2-1), 可得桩身的弹性压缩量为:

$$\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 = \frac{[(Q_s - W_p - W_l) / \gamma + 2Q_x]L}{2E_p A_p} \quad (C.0.3-3)$$

$$\text{桩顶等效荷载为} \quad Q = (Q_s - W_p - W_l) / \gamma + Q_x \quad (C.0.3-4)$$

2 根据假定 (C.0.2.3) 与等效桩顶荷载 Q 对应的桩顶位移 s 。则有

$$s = s_x + \Delta s \quad (\text{C.0.3-5})$$

s_x 可直接测定, Δs 可通过计算求得; ν 符号含义同前。

附录 D 数据图表

将实测的自平衡法现场检测数据编制成表宜按表 D 的格式记录。

表 D 单桩竖向承载力自平衡法静载试验记录表

工程名称						桩号			日期				
加载级	油压 (MPa)	荷载 (kN)	测读 时间	向上位移 (mm)				向下位移(mm)				备注	
				表1	表2	本次	累计	表1	表2	本次	累计		
项目负责人:				校对:				记录:					

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

2 规程中指明应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定（或要求）”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 2 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB 50202
- 3 《建筑基桩技术规范》 JGJ 94
- 4 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106

福建省工程建设地方标准
基桩竖向承载力自平衡法静载试验
技术规程
DBJ/T13-183-2014
J12566-2014
条文说明

制订说明

《基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术规程》(DBJ/T13-183-2014)经福建省住房和城乡建设厅 2014 年 1 月 22 日以闽建科[2014] 2 号文批准公布,并经住房和城乡建设部 2014 年 2 月 12 日以建标标备[2014] 25 号文批准备案。

本规程制定过程中编制组进行了国内外基桩竖向承载力自平衡法静载试验的调查研究,总结了我国尤其是福建省工程建设基桩竖向承载力自平衡法静载试验的实践经验。通过在课题研究阶段的试验桩上采用高应变法、传统静载抗压试验法、传统静载抗拔试验法等多种试验方法进行与自平衡法的比对研究,并且结合省内外高承载力灌注桩工程的检测实例研究自平衡法在福建地区使用的适用性和应该解决的问题。

为便于广大设计、施工、科研、学校等有关单位人员,在使用本规程时能正确理解和执行条文规定,编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明,对条文规定的目的、依据、以及执行中需要注意的有关事项进行了说明,但是,本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规程规定参考。

目 次

1 总 则	34
2 术 语	37
3 一般规定	38
3.1 检测机构和检测人员.....	38
3.2 试桩数量、位置和加载值.....	38
3.3 检测工作程序.....	42
3.4 同步检测、验证检测与扩大检测.....	44
3.5 检测报告.....	45
4 现场检测	46
4.1 仪器设备.....	46
4.2 设备安装.....	47
4.3 现场检测.....	52
5 检测数据的分析与判定	55
5.1 抗压桩检测数据的分析与判定.....	55
5.2 抗拔桩检测数据的分析与判定.....	56
5.3 承载力评价.....	57

1 总 则

1.0.1 基桩自平衡法是基桩静载试验的一种新方法，是接近于竖向抗压(拔)桩的实际工作条件的试验方法。其原理是把一种特制的荷载箱与钢筋笼连接而安置于桩身的指定位置，将荷载箱的高压油管 and 位移杆引到地面。试验时，由高压油泵从地面平台通过油管对荷载箱内腔施加压力，箱盖与箱底被推开，作用力传递到桩身，从而调动桩周土的摩阻力与端阻力，荷载箱上部桩侧极限摩阻力及桩自重与荷载箱下部桩侧极限摩阻力及极限端阻力相平衡来维持加载，从而获得桩的竖向抗压和抗拔承载力。其测试原理见图 1。

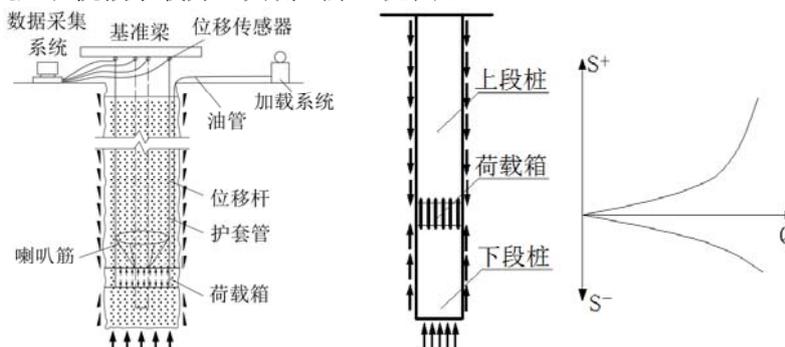


图 1 自平衡法静载试验原理示意图

基桩自平衡法具有许多优点：

- (1) 试验装置简单，不需要构筑庞大笨重的反力架及堆载物，试验省时、省力、安全、环保、占用场地少；
- (2) 安全性高，由于没有试桩压重平台堆载或锚桩钢梁，设备运输、安装和试验过程中的安全性都大大提高；
- (3) 试验费用较省，虽然埋入的荷载箱为一次性投入，但与传统静载法相比约降低 30%至 50%的费用，而且加载吨位越大，效益越明显；

(4) 自平衡试验后，通过压浆管对“平衡点”荷载箱进行压力灌浆后，基桩仍可作为“工程桩”使用；

(5) 在同一根桩上我们可采用双荷载箱或多荷载箱技术，也可以在同一桩端深度的不同的时间(后压浆试桩效果对比)进行试验；

(6) 加载可根据实际需要持续任意长时间，可方便的观测侧阻和端阻的静蠕变效果，同样沉降结束后也可方便的测得土阻力的恢复情况；

(7) 应用范围广泛：不仅可用于普通施工场地的试桩，对诸如高吨位试桩、水上试桩、坡地试桩、基坑底试桩、狭窄场地试桩、斜桩、嵌岩桩等情况下更显其优越性。

1.0.2 基桩自平衡法目前已用于除预制实心桩外的所有桩型，包括钻孔灌注桩，人工挖孔桩、管桩和深基础（沉井、地下连续墙），桩受力的形式有摩擦桩、端承摩擦桩、摩擦端承桩、端承桩、抗拔桩。由于自平衡法测试时需要在桩身或桩底预埋荷载箱，对于钻孔灌注桩而言，为了保证足够的操作空间和便于灌注混凝土的导管顺利通过，需要规定其为大直径钻孔灌注桩，即桩身直径应大于等于 800mm。对于端承型桩，桩端阻力大于桩侧阻力加上桩身自重，此时不仅需要荷载箱设置在桩底，并还需在桩顶堆置配重提供反力，或者采取缩小荷载箱面积以减小持力层的受力面积、增加嵌岩深度等措施创造平衡条件以判定基桩极限承载力。

其他深基础(沉井、地下连续墙等)的承载力测试可按本规程执行，但应用在深厚欠固结土层的竖向抗压静载试验时应做充分论证。

1.0.3 当荷载箱摆在桩端时，测出的上段桩承载力即为桩抗拔承载力。对于钻孔灌注桩，其主筋需要通长设置。

桩基工程一般按勘察、设计、施工、验收四个阶段进行，基桩试验和检测工作多数情况下分别放在设计和验收两阶段，即施工前和施

工后。大多数桩基工程的试验和检测工作确是在这两个阶段展开的，但对桩数较多、施工周期较长的大型桩基工程，验收检测应尽可能在施工过程中穿插进行。

因为设计和验收是完全不同的阶段，目的不同，所以要求也不同。施工前为设计提供依据的试验桩是指为设计和施工提供参考依据、确定技术经济合理性而进行的专门试验的桩，允许达到极限或破坏状态，试桩数量有一定统计方面的要求；施工后为验收提供依据的工程桩检测是从已施工完毕工程桩基中选取一个小样本的基桩进行试验检验，判定其是否满足设计要求，从而推定整体基桩施工质量能否被接受。验收检测的试桩不必达到极限或破坏状态。

1.0.4 福建省的岩土工程地质环境变化极大，从滨海软土到山区地质情况皆有，为保证基础建设质量，进行基桩检测，强调首先应按照本规程的规定严格实施，除此而外尚应符合国家现行强制性标准中的规定。

2.1 术语

2.1.5 平衡点

基桩在桩身某位置，其上段桩身自重及桩侧极限摩阻力之和与下段桩侧极限摩阻力及极限端阻力之和基本相等，实际上，试验人员只能根据理论计算值确定平衡点，该点跟实际的平衡点不可能完全吻合，这就要求试验项目负责人需要尽可能地积累地区经验值，使实际埋设位置尽可能地接近实际平衡点。

福建省的许多地区基岩埋藏较浅，嵌岩灌注桩的承载性状以端承型和摩擦端承型为主，理论的平衡点在该桩的桩身中不存在，此时实际操作中的平衡点在桩底。此时需要将荷载箱设置在桩底，并需在桩顶堆置配重提供反力，或者采取缩小荷载箱面积以减小持力层的受力面积、增加嵌岩深度等措施创造平衡条件。

3 一般规定

3.1 检测机构和检测人员

3.1.1 检测机构

这一条旨在加强对检测机构的检测设备、能力、技术水平、质量保证体系运行的考核与监督管理，以保证出具的检测结果客观、公正、可靠。

3.1.2 检测人员

由于自平衡检测时需综合考虑地质、设计、施工等因素的影响，这就要求从事桩基检测工作的技术人员应具有必要的桩基检测方面的理论基础和实践，并对岩土工程尤其是桩基工程方面的知识有充分了解。

自平衡技术是仍处于发展中的技术，对检测人员的素质、技术水平和实践经验要求都较高。因此，持有桩基静载检测资质证书的单位，还需要该单位的检测人员持有经考核合格后颁发的上岗证书。

3.2 试桩数量、位置和加载值

3.2.1 由于桩基检测是抽样检测而且要对桩基情况进行评价，所以严格规定如何确定检测数量是必要的，只是在满足抽样原则、抽样比例和检测数量的前提下，才能够对桩基做出正确的评价。本条中针对施工前为设计提供依据的试验桩检测和施工后为验收提供依据的工程桩检测的不同要求而对检测数量分别作出规定。

当设计有要求或满足下列条件之一时，施工前宜采用试验桩自平衡法静载试验确定单桩竖向抗压承载力特征值：

- 1 设计等级为甲级、乙级的建筑桩基；
- 2 地质条件复杂、施工质量可靠性低的建筑桩基；
- 3 本地区采用的新桩型或新工艺。

对满足以上条件之一的工程项目本条规定的为设计提供依据的试验桩的检测数量仅仅是下限，若实际中由于某些原因不足以为设计提供可靠依据或设计另有要求时，可根据实际情况增加试桩数量。另外，如果施工时桩参数发生了较大变动或施工工艺发生了变化，应重新进行试桩。如果施工区域地质条件单一，当地又有足够的实践经验，为设计提供依据的试验桩的检测数量可根据实际情况，由设计确定。

桩基工程属于一个单位工程的分部（子分部）工程中的分项工程，一般以分项工程单独验收。所以本条限定的施工后工程桩验收检测的范围是在一个单位工程内。在一个单位工程内“同一条件”是指由同一施工单位施工、桩型相同、持力层一致、桩身规格尺寸相同、桩长相近的基桩。

根据《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的有关规定，施工前为设计提供依据的试验桩检测桩如没有破坏又用于实际工程中应可作为验收的依据

3.2.2 由于自平衡法静载试验的受检桩是桩基施工前就确定好的，此条规定是为保证试验桩的施工质量和承载力与工程桩一致，使试验桩具有代表性而提出的。

进行自平衡法试验的桩需要埋设荷载箱，桩的施工工艺和质量是否还能达到现行有关标准、规范要求，实际操作中会遇到一些问题，主要有以下：

1、摩擦型桩在福建省的出现情况相对较少，但实际测试中也可能遇到，此时荷载箱埋设在桩身中段，试验后桩身在荷载箱处出现小断层，是否影响桩的竖向和水平承载力？

对此问题，应明确自平衡法试桩加载到极限状态，上下段桩分别施加的力约为总极限承载力的一半，故桩身材料不会发生破坏。桩周土层承载力随时间是可以恢复的，因此采用注浆填充荷载箱处试验断

层，使该处强度稍大于于桩身强度即可。因此，注浆量与注浆材料强度应根据具体试桩确定，高压注浆不仅可以填充荷载箱处断层，还可以根据要求在该处形成一个扩大头，形成一个套箍。浆液也可沿桩周上下渗透，提高该处承载力，如图 2 所示。因此不会影响其竖向承载性能。对于水平承载力而言，实际工程中，桩身平衡点（荷载箱的埋设位置）基本都远处于反弯点以下，其承受的水平承载力几乎为零，因此，可认为其对水平承载力也是没有影响的。

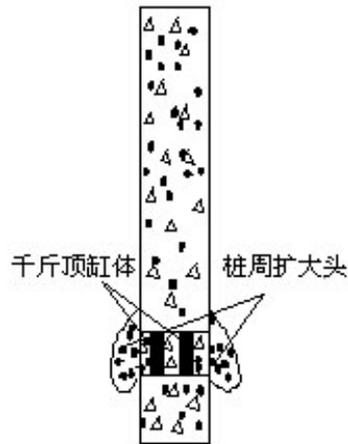


图 2 荷载箱处压浆示意图

2、端承型的钻孔灌注桩测试中，荷载箱埋设在桩底，是否影响二次清孔？是否会因桩底沉渣过大而影响基桩承载力，造成工程桩投入使用后沉降过大？

对此问题，如果基桩施工采用反循环清孔，则二次清孔不存在什么问题。如果是正循环清孔，桩底的原沉渣在试验时可被荷载箱充分压实，进行试验的桩不会因为沉渣而产生额外沉降，不影响工程桩安全。另外安放钢筋笼及荷载箱时箍筋会从孔壁土层削落部分泥沙。

对于荷载箱面积与孔径相同的情况，一般被削落的泥沙都落在荷载箱面上，清孔时容易清除；对于荷载箱面积小于孔径相同的情况，可以按图 3 所示的埋设方式，即在孔底中部超深位置安装荷载箱，使荷载箱顶面与原孔底标高相同或略低，同时适当增加扩底面积（增加

的面积基本与荷载箱面积相当), 这样即可进行二次清孔, 又保证桩底受力面积。

3.2.3 在检测数量、比例确定后按照一定原则事先确定桩位进行检测, 其检测结果及分析具有代表性和真实性, 可信度高。如果设计或监理方有另外的抽样原则, 应按设计或监理方的书面要求进行, 并在检测报告中予以说明。

3.2.4 大量测试结果表明: 按计算极限承载力加载桩达不到破坏。为达到优化设计目的, 试验桩最大加载值可取按地质报告计算的单桩极限承载力的 1.25~1.5 倍; 仅对工程桩承载力校核时最大试验荷载取单桩承载力特征值的 2 倍, 或按设计要求取值。

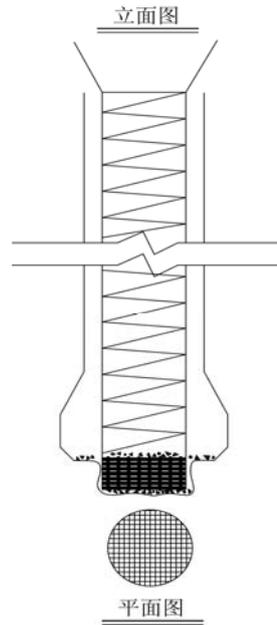


图 3 荷载箱安置示意图

3.3 检测工作程序

3.3.1 本条是检测机构应遵循的检测工作程序。实际执行检测程序中, 由于不可预知的原因, 如委托要求的变化、现场调查情况与委托方介绍的不符, 或在现场检测尚未全部完成就已发现质量问题而需要进一步排查, 都可能使原检测方案中的抽检数量、受检桩桩位、检测方法发生变化。检测方案并非一成不变, 可根据实际情况动态调整。

3.3.2 根据基桩检测工作的特殊性, 本条对调查阶段工作提出了具体要求。为了正确地对基桩质量进行检测和评价, 提高基桩检测工作的

质量，做到有的放矢，应尽可能详细地了解 and 搜集有关的技术资料，如：工程概况、建设、监理、设计、施工单位名称、岩土工程勘察报告、桩基设计图纸、施工记录、桩身混凝土强度抗压试验报告、桩顶实际标高等。另外，有时委托方的介绍和提出的要求是笼统的、非技术性的，也需要通过调查来进一步明确委托方的具体要求和现场实施的可行性；有些情况下还需要检测技术人员到现场了解和搜集。

3.3.3 本条提出的检测方案内容为一般情况下包含的内容，某些情况下还需要包括场地开挖、道路、供电、照明等要求。有时检测方案还需要与委托方或设计方共同研究制定。

3.3.4 检测所用计量器具必须送至法定计量检定单位进行定期检定，且使用时必须在计量检定的有效期之内，这是我国《计量法》的要求，以保证桩检测数据的准确可靠性和可追溯性。虽然计量器具在有效计量检定周期之内，但由于桩检测工作的环境较差，使用期间仍可能由于使用不当或环境恶劣等造成计量器具的受损或计量参数发生变化。因此，检测前还应加强对计量器具、配宰设备的检查或模拟测试；有条件时可建立校准装置进行自校，发现问题后应重新检定。

3.3.5 本条主要针对桩的休止期和桩身强度提出。混凝土是一种与龄期相关的材料，其强度随时间的增加而增加。在最初几天内强度快速增加，随后逐渐变缓，其物理力学、声学参数变化趋势亦大体如此。自平衡试验为双向加载，桩身产生的应力相当于传统试验的一半，故本条对桩身强度的要求比《建筑桩检测技术规范》的规定有所放宽。但若桩身混凝土强度过低，仍有可能引起桩身损伤或破坏。为分清责任，规定桩身混凝土强度应大于设计强度的 75%。

桩在施工过程中不可避免地扰动桩周土，降低土体强度，引起桩的承载力下降，以高灵敏度饱和黏性土中的摩擦桩最明显。随着休止时间的增加，土体重新固结，土体强度逐渐恢复提高，桩的承载力也

逐渐增加。成桩后桩的承载力随时间而变化的现象称为桩的承载力时间（或歇后）效应，我国软土地区这种效应尤为突出。研究资料表明，时间效应可使桩的承载力比初始值增长 40%~400%。其变化规律一般是初期增长速度较快，随后渐慢，待达到一定时间后趋于相对稳定，其增长的快慢和幅度与土性和类别有关。除非在特定的土质条件和成桩工艺下积累大量的对比数据，否则很难得到承载力的时间效应关系。另外，桩的承载力包括两层涵义，即桩身结构承载力和支撑桩结构的地基岩土承载力，桩的破坏可能是桩身结构破坏或支撑桩结构的地基岩土承载力达到了极限状态，多数情况下桩的承载力受后者制约。如果混凝土强度过低，桩可能产生桩身结构破坏而地基土承载力尚未完全发挥，桩身产生的压缩量较大，检测结果不能真正反映设计条件下桩的承载力与桩的变形情况。因此，对于承载力检测，应同时满足地基土休止时间和桩身混凝土龄期（或设计强度）双重规定，若验收检测工期紧无法满足休止时间规定时，应在检测报告中注明。

对于泥浆护壁灌注桩，土体休止时间宜适当延长。对于有经验的地区，对残积土、淤泥等休止时间可另行规定，但应在检测报告中注明。

近年以来后注浆工法在灌注桩中的应用十分广泛，因此本条特别补充了对后注浆桩检测开始时间的规定。

3.3.6 操作环境要求是按测量仪器设备对使用温湿度、电压波动、电磁干扰、振动冲击等现场环境条件的适应性规定的。

3.3.7 测试数据异常通常是因测试人员误操作、仪器设备故障及现场准备不足造成的。用不正确的测试数据进行分析得出的结果必然是不正确的。对此，应及时分析原因，组织重新检测。

3.3.8 由于试验后荷载箱中间出现缝隙，影响试桩的荷载传递，必须做相应的处理，荷载箱位置经注浆处理后的强度应满足桩身抗压的要

求。高压注浆的水泥强度等级应比制作桩身的高一级，灌浆压力不小于 2MPa，持续时间不少于 30s。

3.4 同步检测、验证检测与扩大检测

3.4.1 基桩竖向抗压承载力取决于岩土体的支承阻力和桩身结构强度。自平衡法所测定的极限承载力主要由岩土体的支承阻力所提供。因为自平衡法测试所施加的力相当于传统载荷试验加载值的一半，而且荷载是在桩的中下部开始传递，这与桩在使用过程中所受到的上部结构荷载的传递方式不同，所以自平衡法试验难以预示桩身结构破坏的可能性，这也是自平衡法长期以来的争议之处和在福建省的应用进展缓慢的原因之一。因此本条中提出，对竖向抗压自平衡法试验的验收检测，宜同步进行钻芯法试验和芯样试件抗压强度试验，就是通过这种方式评价桩身结构强度尤其是桩顶附近的混凝土强度是否满足设计要求。

3.4.2 通常，因初次抽样检测数量有限，当抽样检测中发现承载力不满足设计要求时，应会同有关各方分析和判断桩基整体的质量情况，如果不能得出准确判断、为补强或设计变更方案提供可靠依据时，应扩大检测。扩大检测数量宜根据地基条件、桩基设计等级、桩型、施工质量变异性等因素合理确定。

扩大检测数量宜根据地质条件、桩基设计等级、桩型、施工质量变异性等因素合理确定，并应经过有关各方确认。由于自平衡法检测需先进行荷载箱的预埋，从经济性的角度考虑很难做到增加预埋数量，因此扩大检测需要选择高应变法、传统静载试验或钻芯法测定桩底沉渣厚度并钻取桩端持力层岩土芯样检验桩端持力层等其他方法。

3.4.3 用准确可靠程度（或直观性）高的检测方法来弥补或复核准确可靠程度（或直观性）低的检测方法结果的不确定性，称为验证检测。

因此承载力的验证检测方法为传统静载试验。

3.4.4 当需要验证运送至现场某批次混凝土强度、或对预留的试块强度和浇注后的混凝土强度有异议时，可按结构构件取芯的方式，验证评价桩身实体混凝土强度。注意本条提出的桩实体强度取芯验证与3.4.1条中同步检测的钻芯法有差别，前者只要按《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784，在满足随机抽样的代表性和数量要求的条件下，可以给出具有保证率的检验批混凝土强度推定值；后者常因检测桩数少、缺乏代表性而仅对受检单桩的混凝土强度进行评价。

3.5 检测报告

3.5.2 本条规定了检测报告中应包含的一些信息和内容，其中检测过程的描述尚应增加荷载箱的安装记录，基准系统的安装记录等内容。不仅避免检测报告过于简单，也有利于委托方、设计及检测部门对报告的审查和分析。

3.5.3 试验时，组成荷载箱的千斤顶缸套和活塞之间产生相对位移，荷载箱处的混凝土被拉开（缝隙宽度等于卸载后向上向下残余位移之和），但桩身其它部分并未破坏，上下两段桩仍被荷载箱连在一起。试验后，通过位移杆护套管，用注浆泵将加入膨胀剂、不低于桩身强度的水泥浆注入，试桩就仍可作为工程桩使用。这是因为：

1、注浆不仅填满荷载箱处混凝土的缝隙，使该处桩身强度不低于试验前，而且还相当于桩侧注浆，使荷载箱以上20m左右范围内的桩身侧摩阻力提高40~80%。也就是说，试验后的桩经注浆处理承载力比原来要高；

2、试验时已将桩底沉渣和土压实，试验后的桩沉降量要比试验前小很多；

3、由于荷载箱置于桩的平衡点处（大都靠近桩底），该处桩身主要承受竖向压力，且数值不超过桩的竖向极限抗压承载力的一半。

4 现场检测

4.1 仪器设备

4.1.1 加载用的荷载箱是一特制的油压千斤顶，主要由活塞、顶板、底板及箱壁四部分组成。它需要按照桩的类型，截面尺寸和荷载等级专门设计生产，千斤顶的合力中心应与桩的轴线重合。它使用前必须经法定计量单位按不小于 1.5 倍预估极限承载力进行标定，同时防止漏油。荷载箱必须平放在桩中心，以防产生偏心轴向力。当荷载箱位移方向与桩身轴线方向夹角小于 5° 时，首先便于钢筋笼下放，其次，其偏心影响很小，甚至可忽略不计。同时荷载箱设计加载能力一般远超出要求加载力，以便按要求加载尚未达到桩极限承载力时可继续加载。

4.1.2 准确度等级一般是指仪器仪表测量值的最大允许误差，如采用惯用的弹簧管式精密压力表测定油压时，符合准确度等级要求的为 0.4 级，不得使用大于 0.5 级的压力表控制加载。当油路工作压力较高时，有时出现油管爆裂、接头漏油、油泵加压不足造成千斤顶出力受限，压力表在超过其 $3/4$ 满量程时的示值误差增大。所以，应适当控制最大加荷时的油压，选用耐压高、工作压力大和量程大的油管、油泵和压力表。

为了保证桩基的成桩质量及使用安全，要求荷载箱的构造应能保证荷载箱打开后留下的空间有利于水泥浆液的充分填充，埋在桩身的荷载箱外部形状设计在采用正循环清孔时应有利于沉渣的排出，避免沉渣滞留在荷载箱底部造成局部强度过低，以至于加载过程中荷载箱被压碎或变形过大，导致试验失败甚至影响桩身质量。为了减小荷载箱底板的变形量，要求荷载箱下板应采用刚性板。荷载箱的选用还可参照中华人民共和国交通运输部标准《基桩自平衡法静载试验用荷

载箱》(JT/T875-2013)的有关规定。

4.1.3 对于机械式大量程(50mm)百分表,《大量程百分表》JJG379规定的1级标准为:全程示值误差和回程误差分别不超过 $40\mu\text{m}$ 和 $8\mu\text{m}$,相当于满量程测量误差不大于0.1%。沉降测定平面应在千斤顶底座承压板以下的桩身位置,即不得在承压板上或千斤顶上设置沉降观测点,避免因承压板变形导致沉降观测数据失实。基准桩应打入地面以下足够的深度,一般不小于1m。基准梁应一端固定,另一端简支,这是为减少温度变化引起的基准梁挠曲变形。在满足本规程第4.2.4条的规定条件下,基准梁不宜过长,并应采取有效遮挡措施,以减少温度变化和刮风下雨的影响,尤其在昼夜温差较大且白天有阳光照射时更应注意。

此条提出增加2组传感器用以测量桩顶位移,是因为桩顶位移和荷载箱处的向上位移是不一样的,这样能够便于确定桩身压缩量。

4.2 设备安装

4.2.1 荷载箱的埋设位置:极限桩端阻力小于极限桩侧摩阻力时,荷载箱置于平衡点处,使上、下段桩的极限承载力基本相等,以维持加载;极限桩端阻力大于极限桩侧摩阻力时,荷载箱置于桩端,根据桩的长径比、地质情况采取桩顶配重、缩小荷载箱底板面积或通过小直径桩模拟试验进行模拟;试桩为抗拔桩时,荷载箱直接置于桩端;有特殊需要时,可采用双荷载箱或多荷载箱,以分别测试桩的极限端阻力和各段桩的极限侧摩阻力。荷载箱的埋设位置则根据特殊需要确定。

自平衡法的荷载箱埋设位置是一个重要的关键技术,对此根据工程实例及试桩经验,归纳了荷载箱在桩中合理的埋设位置,如图4所示。

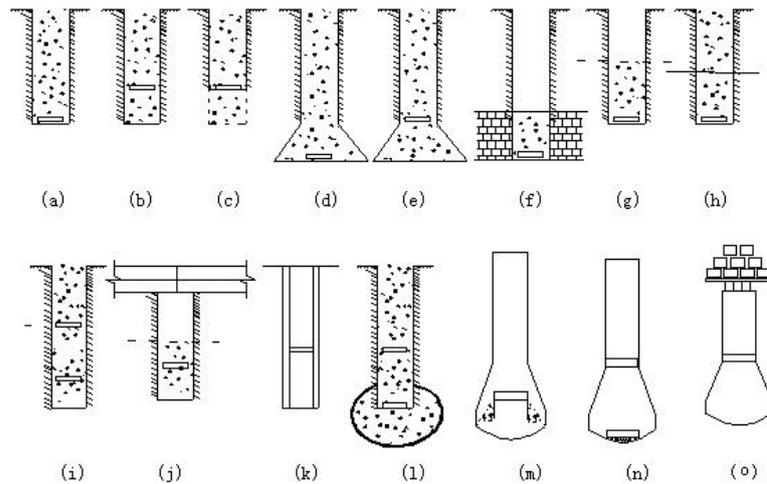


图 4 荷载箱放置位置示意图

图 4 (a) 是一般常用位置，即当桩身成孔后先在孔底稍作找平，然后放置荷载箱。此法适用于桩极限侧摩阻力与极限端阻力大致相等的情况，或极限端阻大于极限侧摩阻力而试桩目的在于测定极限侧摩阻力的情况。

图 4 (b) 是将荷载箱放置于桩身中某一位置，此时如位置适当，则当荷载箱以下的桩侧摩阻力与端阻力之和达到极限值时，荷载箱以上的桩侧阻力同时达到极限值。值得指出的是，目前美国测试均是荷载箱放置于桩端，而我国则拓宽了其摆放位置。

图 4 (c) 为钻孔桩抗拔试验的情况。由于抗拔桩需测出整个桩身的极限侧摩阻力，故荷载箱应摆在桩端，而桩端处无法提供需要的反力，故将该桩钻深，加大极限侧摩阻力。

图 4 (d) 为挖孔扩底桩抗拔试验的情况。

图 4 (e) 适用于大头桩或当预估桩极限端阻力小于桩极限侧摩阻力而要求测定桩极限侧摩阻力的情况，此时是将桩底扩大，将荷载箱

置于扩大头上。

图 4 (f) 适用于测定嵌岩段的极限侧摩阻力与极限端阻力之和。此法所测结果不致于与覆盖土层侧阻力相混。如仍需测定覆盖土层的极限侧摩阻力, 则可在嵌岩段侧阻力与端阻力测试完毕后浇灌桩身上段混凝土, 然后再进行试桩。

图 4 (g) 适用于当有效桩顶标高位于地面以下有一定距离时 (如高层建筑有多层地下室情况), 此时可将输压管及位移杆引至地面方便地进行测试。

图 4 (h) 适用于需测定两个或以上土层的极限侧摩阻力的情况。可先将混凝土浇灌至下层土的顶面进行测试而获得下层土的数据, 然后再浇灌至上一层土, 进行测试, 依次类推, 从而获得整个桩身全长的极限侧摩阻力。

图 4 (i) 采用二只荷载箱, 一只放在桩下部, 一只放在桩身上部, 便可分别测出三段桩极限承载力。

图 4 (j) 适用于在地下室中进行试桩工程。

图 4 (k) 为管桩测试示意图, 荷载箱做为桩段的连接件埋入到预定位置处, 位移杆护套管则从孔洞中引出地面。

图 4 (l) 为双荷载箱或单荷载箱压浆桩测试示意图。下荷载箱摆在桩端首先进行压浆前两个荷载箱测试, 求得桩端阻力和桩身承载力, 然后进行桩端高压注浆再进行两个荷载箱测试, 这样就可求得压浆对端阻力和桩承载力提高作用。

图 4 (m) 将荷载箱埋设在扩大头里面, 使得荷载箱底板两边成 45° 扩散覆盖整个扩大头桩端平面, 直接测量扩大头桩端全截面极限端阻力。

图 4 (n) 在人工挖孔扩大头桩中埋设两个荷载箱, 上荷载箱用于测量直身桩侧摩阻力, 下荷载箱用于测量单位极限端阻力, 再换算

成整桩端阻力，最后得到整桩极限承载力。

图4(o)在人工挖孔扩大头桩中由于桩极限侧摩阻力较小，无法测出上段扩大头端部承载力，这时可在桩顶施加配载提供反力。

4.2.2 灌注桩的荷载箱安装具体操作步骤如下：

- (a)护套管与钢筋笼焊接；
- (b)位移杆摆在护套管中；
- (c)位移杆与荷载箱焊接；
- (d)护套管与荷载箱焊接；
- (e)钢筋笼与荷载箱焊接；
- (f)下放钢筋笼。

荷载箱和上、下钢筋笼连接处应有加强措施的目的是为了防止桩身加载后局部受损，加强措施可用箍筋加密、设置两层钢筋网片等措施实现。另外在上钢筋笼和荷载箱顶板之间设置喇叭筋，即锥形导正钢筋，其作用是便于清底导管和灌注混凝土导管从荷载箱中部顺利通过。喇叭筋采用圆钢，一端与主筋焊

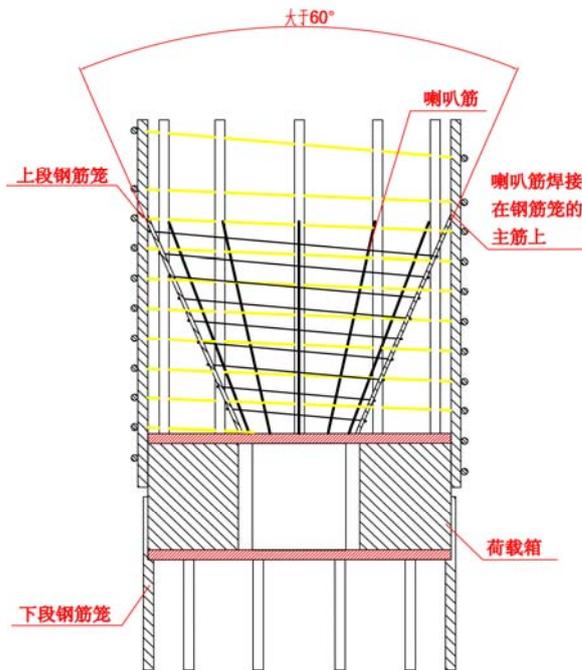


图5 喇叭筋与荷载箱的连接大样图

接，一端焊在环形荷载箱板内圆边缘处，其数量与主筋相同，直径不宜小于 16mm，喇叭筋与荷载箱的夹角应不小于 60°。喇叭筋与荷载箱的连接大样图见图 5 所示。

本条中第 3、4 款的规定是当荷载箱放置在桩端时，保证荷载箱底板受力均匀的措施，亦可以采用其他确保荷载箱底部受力均匀或与持力层充分接触的有效措施。

4.2.3 本条对自平衡法静载试验位移测点的安装进行规定。其中安装位置宜分别距离荷载箱顶、底板 20cm 左右，是为了避免位移测量收到荷载箱顶、底板变形的影响。

4.2.4 在试桩加卸载过程中，荷载传至试桩、基准桩周围地基土并使之变形。随着试桩、基准桩间相互距离缩小，地基土变形对试桩、基准桩的附加应力和变位影响加剧。

1985 年，国际土力学与基础工程协会（ISSMFE）根据世界各国对有关静载试验的规定，提出了静载试验的建议方法并指出：试桩中心到基准桩间的距离应“不小于 2.5m 或 3D”，这和我国现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》规定的“大于等于 4D 且不小于 2.0m”相比更容易满足（小直径桩按 3D 控制，大直径桩按 2.5m 控制）。

对于自平衡法，荷载箱一般布置在桩底或桩身中部，同时向上的力仅为传统堆载的一半，加载对地面位移的影响远小于传统堆载法的影响；此外超大吨位大直径桩试验荷载大、基准梁又难避免气候环境影响。考虑到以上两方面的原因，故本规程中对间距的规定放宽为“不小于 3D”，较传统规定略小。

4.3 现场检测

4.3.1 为便于沉降测量仪表安装，试桩顶部宜高出试坑地面；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。对于工程桩验收检测需要在桩顶堆放一定重量配重时，如果桩身荷载水平

较低时，允许采用水泥砂浆将桩顶抹平的简单桩头处理方法。

4.3.2 慢速维持荷载法是我国公认，且已沿用多年的标准试验方法，也是其他工程桩竖向抗压承载力验收检测方法的唯一比较标准，也是与桩基设计参数规定值获取的最可信方法。

慢速维持荷载法每级荷载持载时间最少为 2h。对绝大多数桩基而言，为保证上部结构正常使用，控制桩基绝对沉降是第一位重要的，这是地基基础按变形控制设计的基本原则。

4.3.3 按本规程第 4.3.3 条第 2 款，慢速维持荷载法每级荷载持载时间最少为 2h。对绝大多数桩基而言，为保证上部结构正常使用，控制桩基绝对沉降是第一位重要的，这是地基基础按变形控制设计的基本原则。在工程桩验收检测中，国内某些行业或地方标准允许采用快速维持荷载法，但其规定了较为宽松的沉降相对稳定标准，在工程应用中也有过许多争议。实际上如将“慢速法”的加荷速率与建筑物建造过程中的施工加载速率相比，显然“慢速法”加荷速率已非常快了，经验表明：慢速法试桩得到的使用荷载对应的桩顶沉降与建筑物桩基在长期荷载作用下的实际沉降相比，要小几倍到十几倍。因此本规程不建议采用快速维持荷载法。

4.3.4 当桩身存在水平整合型缝隙、桩端有沉渣或吊脚时，在较低竖向荷载时常出现本级荷载沉降超过上一级荷载对应沉降 5 倍的陡降，当缝隙闭合或桩端与硬持力层接触后，随着持载时间或荷载增加，变形梯度逐渐变缓；当桩身强度不足桩被压断时，也会出现陡降，但与前相反，随着沉降增加，荷载不能维持甚至大幅降低。所以，出现陡降后不宜立即卸荷，而使桩下沉量超过 40mm，以大致判断造成陡降的原因。

非嵌岩的长（超长）桩和大直径（扩底）桩的 Q-s 曲线一般呈缓变型，在桩顶沉降达到 40mm 时，桩端阻力一般不能充分发挥。前者

由于长细比大、桩身较柔，弹性压缩量大，桩顶沉降较大时，桩端位移还很小；后者虽桩端位移较大，但尚不足以使端阻力充分发挥。因此，放宽总沉降量控制标准是合理的。

此外当出现下列情况之一时，有条件情况下可采取相应措施继续试验：

1 累计向下位移超过 40mm 而累计向上位移不超过 5mm，不足以测定极限摩阻力时，可在桩底灌注水泥浆继续试验；

2 累计向上位移超过 40mm 而累计向下位移不超过 10mm，不足以测定极限端阻力时，可在桩顶适当增加配重或在桩周部位灌注水泥浆继续试验。

以上两条措施是基于防止单向位移出现过早而终止试验，从而达到试验目的或预定结果而采用的方法，因为：

(1)累计向下位移超过 40mm 而累计向上位移不足 5mm，不足以测定桩侧摩阻力极限值，所以有条件的情况下通过桩底灌注水泥浆，适当提高桩端阻力。此时为有利试验继续不控制向下位移量，因为向下位移越大桩端阻力可能越大，但增加的桩端阻力不能作为承载力的一部分。

(2)累计向上位移大于 40mm 而累计向下位移小于 10mm，不足以测定桩端阻力极限值，所以有条件的情况下需要通过桩顶增加配重或通过桩周灌注水泥浆，增加荷载箱以上的反力，以利于测定桩端阻力极限值。

4.3.6 当需要测试分层摩阻力时，在实际操作中根据需要位移的测读时间可以比本规程 4.3.3 条适当放宽，但每隔 30min 的测试次数不得少于 1 次。

5 检测数据的分析与判定

5.1 抗压桩检测数据的分析与判定

5.1.3 大量实践经验表明：当沉降量达到桩径的 10%时，才可能出现极限荷载（太沙基和 ISSMFE）；黏性土中端阻力充分发挥所需的桩端位移为桩径的 4%~5%，而砂土中至少达到 15%。对缓变型 Q-s 曲线，按 $s=0.05D$ 确定直径大于等于 800mm 桩的极限承载力大体是保守的，应该注意，当按本规程建议的位移确定极限承载力时，尚应考虑上部结构对桩基沉降的具体要求。

本条中，规定了上段桩极限承载力 Q_{su} 取向上位移 $s_s=30\sim40\text{mm}$ 对应的荷载值，这是考虑到福建地区的工程地质特点的。福建地区的地质条件复杂，且软土埋藏深厚，在自平衡法试验中，上段桩由于桩顶缺乏约束条件，多接近于自由端，因此上段桩桩周土体的本构模型以应变软化模型为主，实践中上段桩极限承载力在较小的向上位移下激发出来的情况比较多见，因此规定桩周土层为软土时上段桩极限承载力 Q_{su} 取向上位移 $s_s=30\text{mm}$ 对应的荷载值，可以满足试验需要，且大多更安全。

5.1.4 本法测试时，荷载箱上部桩身自重方向与桩侧阻力方向一致，故在判定桩侧阻力时应当扣除。本法测出的上段桩的摩阻力方向是向下的，与传统方法得到的摩阻力方向相反。传统加载时，侧阻力将使土层压密，而该法加载时，上段桩侧阻力将使土层减压松散，故该法测出的摩阻力小于传统方法的摩阻力，国内外大量的对比试验已证明了该点。

目前国外对该法测试值如何得出抗压桩承载力的方法也不相同。有些国家将上、下两段实测值相迭加作为桩抗压极限承载力，这样偏于安全、保守。有些国家将上段摩阻力乘以 1.5 再与下段桩迭加而得

抗压极限承载力。

我国则将向上、向下摩阻力根据土性划分，对于黏性土，向下摩阻力为向上摩阻力/(0.6~0.8)；对于砂土，向下摩阻力为向上摩阻力/(0.5~0.7)。本规程的取值不仅可完全满足工程要求，而且是偏于安全的。近期对比试验表明，转换系数不仅与土层有关，而且与桩型有很大关系。比如预制桩的转换系数要比灌注桩小一些，尤其是钢管桩，有时达到 0.5 左右。如果仍取与灌注桩相同的转换系数，会导致其承载力偏小。因此该条增加了备注，说明有条件时根据实际情况确定。

对于缓变型 Q-s 曲线，参照国外做法，将上下段桩按两根完全独立的试桩取极限值，对于工程而言，已具有足够精度。

5.2 抗拔桩检测数据的分析与判定

5.2.1 自平衡法进行抗拔试验相对传统抗拔试验更接近于实际情况下的受力状况。与抗压试验一样，一般应绘制 $U-\delta$ 曲线和 $\delta-\lg t$ 曲线，但当上述二种曲线难以判别时，也可以辅以 $\delta-\lg U$ 或 $\lg U-\lg \delta$ 曲线，以确定拐点位置。

5.2.3 当为设计提供依据时，应加载到能判别单桩抗拔极限承载力为止，或加载到桩身材料控制值。在对工程桩抽样验收检测时，可按设计要求控制最大上拔荷载，但应有足够的安全储备。

本条前两款确定的抗拔极限承载力是土的极限抗拔阻力与桩的自重标准值两部分之和。工程桩验收检测时，混凝土桩抗拔承载力可能受桩身抗裂等方面制约，而土的抗拔阻力尚未发挥到极限，此时一般取最大荷载或取上拔量控制值对应的荷载作为极限荷载，不能轻易外推。

5.3 承载力评价

5.3.1~5.3.2 本规程对竖向承载力的统计和评价分为施工前为设计提供依据的试验桩检测和施工后为验收提供依据的工程桩检测两方面进行，是基于两个阶段不同的特点。施工前为设计提供依据的试验桩检测采用的是极限承载力值折减系数的修正方法。虽然实际操作中对桩数大于等于 4 根时，折减系数的计算比较繁琐，但是这种方法依据数理统计的理论，能够综合反应单位工程同一条件下试桩的地质情况、施工质量等方面的影响，便于为设计方提供更有效的参考依据。

5.3.3 施工后为验收提供依据的工程桩检测的单桩竖向抗压承载力的统计基本按《建筑地基基础设计规范》(GB50007)的规定执行，因为验收检测本身是通过小样本来推断总体，样本容量愈小，可靠度愈低，则给工程使用带来的风险越大。而影响单桩承载力的因素复杂多变，当一批受检桩中有一根桩承载力过低，若恰好不是偶然原因造成，则该验收批一旦被接受，就会增加风险。因此规定极差超过平均值的 30% 时，首先应分析、查明原因，结合工程实际综合确定。例如同一条件下 5 根试桩的承载力检测值依次为 800、950、1000、1100、1150kN，平均值为 1000kN，单桩承载力最低值和最高值的极差为 350kN，超过平均值的 30%，则不得将最低值 800kN 去掉将后面 4 个值取平均，或将最低和最高值都去掉取中间 3 个值的平均值。应查明是否出现桩的质量问题或场地条件变异。若低值承载力出现的原因并非偶然的施工质量造成，按照本例建议采用以下方法进行统计：

1、计算 n 根试桩实测极限承载力平均值 $Q_{um}=1000\text{kN}$;

$$Q_{um} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{ui}$$

2、计算标准差 $\sigma_f=137\text{kN}$;

$$\sigma_f = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{ui} - Q_{um})^2 / (n-1)}$$

3、计算变异系数 $\delta=0.137$;

$$\delta = \sigma_f / Q_{um}$$

4、计算统计修正系数 $\gamma_s=0.87$;

$$\gamma_s = 1 - (1.704 / \sqrt{n} + 4.678 / n^2) \delta$$

5、计算标准值 $Q_{uk}=870\text{kN}$;

$$Q_{uk} = \gamma_s \cdot Q_{um}$$

此外，对桩数小于或等于 3 根的柱下承台，或试桩数量仅为 2 根时，应采用低值，以确保安全。对于仅通过少量试桩无法判明极差大的原因时，可增加试桩数量。

5.3.4 单桩竖向抗压承载力特征值是按单桩竖向抗压极限承载力标准值除以安全系数 2 得到的，综合反映了桩侧、桩端极限阻力控制承载力特征值的低限要求。