

福建省工程建设地方标准

DB

工程建设地方标准编号:DBJ/T 13-183-2022

住房和城乡建设部备案号: J 1 2 5 6 6 - 2 0 2 2

基桩竖向承载力自平衡法静载试验 技术标准

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

2022-08-09 发布

2022-12-01 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 技术标准

Technical standard 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/T 13-183-2022

住房和城乡建设部备案号: J 1 2 5 6 6 - 2 0 2 2

主编单位: 福建省建筑科学研究院有限责任公司

泉州市建设工程质量安全站

福州市勘测院

批准部门: 福建省住房和城乡建设厅

实施日期: 2 0 2 2 年 1 2 月 0 1 日

2022 年 福 州

福建省住房和城乡建设厅关于 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标准》的通知

闽建科〔2022〕11号

各设区市住房和城乡建设行政主管部门，各有关单位：

由福建省建筑科学研究院有限责任公司、泉州市建设工程质量安全站、福州市勘测院共同编制的《基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术标准》，经组织审查，批准为福建省工程建设地方标准，编号 DBJ/T 13-183-2022，自 2022 年 12 月 1 日起实施。原《基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术规程》DBJ/T13-183-2014 同时废止。在执行过程中，有何问题和意见请函告省厅科技与设计处。

该标准由省厅负责管理，具体技术内容由主编单位负责解释。

附件：基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术标准 DBJ/T
13-183-2022

福建省住房和城乡建设厅

2022 年 08 月 09 日

前 言

根据福建省住房和城乡建设厅《关于公布全省工程建设地方标准复审修编项目计划的通知》（闽建科〔2020〕13号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订本标准。

本标准的主要技术内容是：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。

本标准修订的主要技术内容是：1.调整部分参数和检测要求使其与行标相协调；2.调整现场试验判稳条件；3.增加桩身内力测试条款的细化及对应的附录；4.调整对位移测试系统的技术要求；5.调整等效转化的计算方法；6.补充桩顶配载的加载要求；7.多荷载箱下的试验方法；8.增加了附录 A“荷载箱的技术要求”；9.调整附录 E 的“自平衡法静载试验中的记录表格式”。

本标准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有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请函告福建省住房和城乡建设厅科技与设计处（地址：福州市北大路 242 号，邮编：350001）和福建省建筑科学研究院有限责任公司（地址：福州高新区创业路 8 号万福中心 3 号楼 18 层，邮编：350025，传真：059183799249，E-mail：Lxi@fjjky.com），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：福建省建筑科学研究院有限责任公司
泉州市建设工程质量安全站
福州市勘测院

本标准参编单位：福建省建研工程检测有限公司

福建磊鑫（集团）有限公司
福建省广泽建设工程有限公司
三明市城市建设发展集团有限公司
福建省建科院检验检测有限公司
浙江欧感机械制造有限公司
中建协和建设有限公司

本标准主要起草人：	郑 勇	程惠阳	张家金	虞梦泽
	陈光垕	梁 曦	庄艳雄	苏龙辉
	张民程	施 峰	许国平	蔡景润
	张雄水	练国平	陈秀辉	冯金健
	田其煌	钱芬芳	洪秀君	张添文
本标准主要审查人：	任 彧	晏 音	简文彬	蔡雪峰
	吴平春	黄跃森	谢鸿飞	林功丁
	姜拥政	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	一般规定	4
3.2	检测工作程序	5
3.3	检测报告	7
4	现场检测	9
4.1	仪器设备	9
4.2	设备安装	10
4.3	现场检测	11
5	检测数据的分析与判定	14
5.1	抗压桩检测数据的分析与判定	14
5.2	抗拔桩检测数据的分析与判定	15
5.3	承载力评价	16
附录 A	荷载箱的技术要求	20
附录 B	桩身内力测试	22
附录 C	测量系统的安装	25
附录 D	等效转换方法	27
附录 E	数据图表	31
	本标准用词说明	33

引用标准名录	34
附：条文说明	35

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Basic Requirements	4
3.1	General Requirement	4
3.2	Working Procedure	5
3.3	Testing Report.....	7
4	On-Site Testing	9
4.1	Equipment and Instrument.....	9
4.2	Installation	10
4.3	On-Site Testing	11
5	Analysis And Assessment of Testing Data.....	14
5.1	Data Analysis and Decision of Compressive Testing.....	14
5.2	Data Analysis and Decision of Uplift Testing	15
5.3	Assessment of Bearing Capacity.....	16
	Appendix A Technical Requirements for Load Cell	20
	Appendix B Pile Stress Measurement.....	22
	Appendix C Installation of Measuring System.....	25
	Appendix D Equivalent Conversion Method.....	27
	Appendix E Data Chart.....	31
	Explanation of Wording in This Standard.....	33

List of Quoted Standards	34
Addition:Explanation of Provisions.....	35

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

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，制定本标准。

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预制管桩、钢管柱、大直径混凝土灌注桩等的承载力测试。

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标准外，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极限承载力的试验方法。

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用于施加荷载的加载装置。

2.1.5 平衡点 balanced point position

基桩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的位置。

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} ——上段桩的极限加载值；
 Q_{xu} ——下段桩的极限加载值；
 Q_{mui} ——试桩中部第 i 段桩的极限加载值 (kN)；
 W_p ——荷载箱上部桩的自重；
 W_l ——桩顶配载的有效重量；
 γ_1 ——受检桩的抗压摩阻力转换系数；
 γ_2 ——受检桩的抗拔摩阻力转换系数；
 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 一般规定

3.1.1 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试验数量在同一条件下不应少于 3 根；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，不应少于桩基分项工程总桩数的 1%，且不少于 3 根；当总桩数在 50 根以内时，不应少于 2 根。

3.1.2 试验桩的成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。

3.1.3 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。

3.1.4 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。

3.1.5 最大加载值应符合下列规定：

1 自平衡静载试验最大加载值应满足设计对单桩极限承载力的检测与评价要求；

2 为设计提供依据的试桩，宜按设计要求执行。最大加载能力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；

3 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；

4 对于单桩竖向抗拔静载试验, 荷载箱的单向最大加载值不小于抗拔承载力特征值的 2 倍。

3.1.6 自平衡检测前, 应先进行桩身完整性检测, 灌注桩宜选用声波透射法进行完整性检测。

3.1.7 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。

3.2 检测工作程序

3.2.1 检测工作宜按接受委托、资料收集、方案制定、设备安装与成桩、现场检测、数据分析和结果评价、检测报告的程序进行(图 3.2.1)。

3.2.2 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。

3.2.3 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)、桩基设计要求、施工工艺、检测数量、受检桩选取原则;

2 根据设计要求确定荷载箱的规格、数量、埋设位置和最大加载值;

3 受检桩的施工要求、检测进度以及所需的机械和人工配合;

4 安全和质量的保证措施;

5 试验周期和进度。

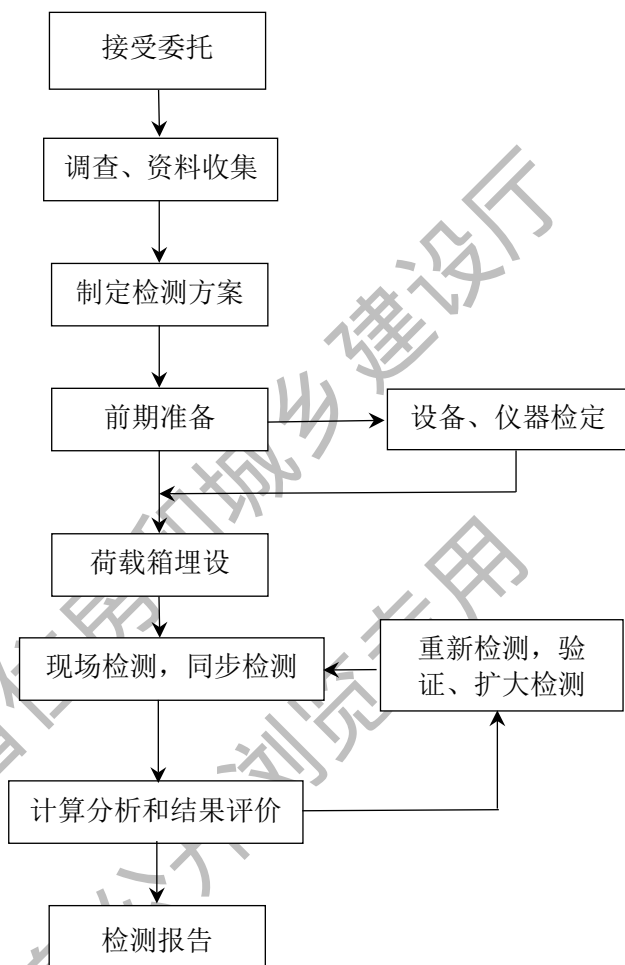


图 3.2.1 检测工作程序框图

3.2.4 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。

3.2.5 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 80% 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 3.2.5 规定的时间。

表 3.2.5 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

注：对于泥浆护壁灌注桩，宜适当延迟休止时间。

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。

3.2.6 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。

3.2.7 当发现检测数据异常时，应查找原因，验证或重新检测。

3.3 检测报告

3.3.1 检测报告应结论准确、用词规范。

3.3.2 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，基础和结构型式，层数，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量及检测日期；

2 地质条件描述，岩土体的力学指标及相应的地质柱状图；

3 受检桩的桩型、尺寸、桩号、桩位、桩顶标高、荷载箱参数、荷载箱位置及相关施工记录；

4 检测方法，检测仪器设备，检测过程描述及承载力判定依据；

5 受检桩的检测数据表，结果汇总表，实测与分析曲线，等效转换曲线；

6 当进行分层侧阻力和端阻力测试时，应包括传感器类型、安装位置、轴力计算方法、各级荷载下桩身轴力变化曲线、各土层的桩侧极限侧阻力和桩端阻力；

7 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 检测用仪器设备应在检定或校准的有效期内，检测前应对仪器设备检查调试。

4.1.2 检测所使用的仪器仪表及设备应具备检测工作所必需的防尘、防潮、防振等功能，并应能在适用温度范围内正常工作。

4.1.3 荷载箱应按基桩类型、检测要求及基桩施工工艺正确选用。荷载箱的技术要求应符合本标准附录 A 的规定。

4.1.4 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%。

4.1.5 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。每根试桩至少对称布置 2 组位移测量仪表，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。

4.1.6 测试桩侧阻力、桩端阻力、桩身截面位移时，桩身内传感器和位移杆(丝)的埋设应符合本标准附录 B 的规定。

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:

1 当受检桩为抗压桩, 预估极限端阻力小于预估极限侧摩阻力时, 应将荷载箱置于桩身平衡点处;

2 当受检桩为抗压桩, 预估极限端阻力大于预估极限侧摩阻力时, 可将荷载箱置于桩端, 并在桩顶施加配重措施, 所加配重量不小于预估极限端阻力与极限摩阻力差值的 1.2 倍;

3 当受检桩为抗拔桩时, 荷载箱应置于桩端;下部提供的反力不够维持加载时, 可采取加深桩长或后注浆措施;

4 当需要测试桩的分段承载力时, 可布置多层荷载箱, 埋设位置应根据检测要求确定。

4.2.2 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 1° :

1 对于灌注桩, 荷载箱宜在成孔以后、混凝土灌注前设置。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; 其中干作业成孔, 在桩底放置荷载箱时, 应用高强度等级混凝土或砂浆将桩底抹平。

2 对于预制混凝土管桩和钢管桩, 荷载箱与上、下段桩应采取可靠的连接方式;

3 荷载箱放置在桩底时, 荷载箱安装位置与桩底的距离不小于 0.5 倍桩径或扩大头直径, 且不小于 0.4m;

4.2.3 位移测量系统应符合下列要求:

1 位移测量系统的安装可按附录 C 中的图 C.0.1 进行;

2 采用位移杆测量装置时, 应保证刚度和垂直度;

3 保护位移杆(丝)的护套管应与荷载箱焊接, 多节护套管连接时可采用机械连接或焊接方式, 并确保连接处水泥浆不渗漏;

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。

位移丝与位移传感器的安装可按附录 C 中的图 C.0.2 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 基准梁必须有足够的刚度，一端应固定在基准桩上，另一端应简支在基准桩上；

3 固定和支撑位移传感器的夹具及基准梁应避免气温、振动及其他外界因素的影响，当基准梁暴露在阳光下时，应采取有效防护措施。

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 自平衡静载试验应采用慢速维持荷载法。加卸载应符合下列规定：

1 加载应分级进行。分级荷载为最大或预估加载值的 $1/10$ ，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 $\pm 10\%$ 。

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 试桩位移相对稳定标准：从每级荷载施加后第 30min 开始，按 1.5h 连续三次每 30min 的位移观测值计算，每小时内的向上、向下位移均不超过 0.1mm ，并连续出现两次；

3 当位移变化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 15min、30min、60min 测读位移后,即可卸下一级荷载;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 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,并取未能稳定方向的前一级荷载为单向最终加载值;
- 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,并取未能稳定方向的前一级荷载为单向最终加载值;
- 3) 已达到设计要求的最大加载量且向上和向下位移均达到本标准 4.3.4 条第 2 款相对稳定标准或出现桩身破坏,并取最大加载量为单向最终加载值;
- 4) 当荷载-位移曲线呈缓变型时,向上位移总量可加载至 40mm~60mm;向下位移总量可加载至 60mm~80mm;当桩端阻力尚未充分发挥时,可加载至向上位移总量超过 80mm,并取最大加载值为单向最终加载值;
- 5) 荷载已达荷载箱加载极限,或荷载箱上、下段位移已达到荷载箱最大行程,即可终止加载并取位移能够稳定的最后一级为最终加载值。

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

可参照本标准第 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 检测数据可按照本标准附录 E 中的格式记录。

4.3.6 当测试桩身应变和桩身截面位移时，数据的测读依据本标准第 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-位移 ($Q-s$)、位移-时间对数 ($s-\lg t$) 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，并按本标准附录 B 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 上段桩极限加载值 Q_{su} 和下段桩极限加载值 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 根据位移随时间变化的特征确定：取 $s-\lg t$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；

3 出现第 4.3.5.1 条第 1 款第 1、2 点情况，宜取前一级荷载值；

4 对于缓变型 $Q-s$ 曲线可根据位移量确定，上段桩极限加载值 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；下段桩极限加载值 Q_{xu} 取向下位移 $s_x=40\text{mm}$ 对应的荷载值，对桩径大于或等于 800mm 的桩，可取 $s=0.05D$ (D 为桩端直径) 对应的荷载值；

5 当按上述 1~4 款判定桩的竖向抗压承载力未达到极限时，应取上段桩最大试验荷载值为上段的极限加载值 Q_{su} ，下段桩最大

试验荷载值为下段的极限加载值 Q_{xu} 。

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加载值 Q_{su} 和下段桩极限加载值 Q_{xu} ，可按式确定试桩单桩竖向抗压极限承载力：

单荷载箱：

$$Q_u = \frac{Q_{su} - W_p - W_l}{\gamma_1} + Q_{xu} \quad (5.1.4-1)$$

多层荷载箱：

$$Q_u = \frac{Q_{su} - W_p - W_l}{\gamma_1} + Q_{mui} + Q_{xu} \quad (5.1.4-2)$$

式中： Q_u —试桩的单桩竖向抗压极限承载力（kN）；

Q_{su} —试桩上段桩的极限加载值（kN）；

Q_{xu} —试桩下段桩的极限加载值（kN）；

Q_{mui} —试桩中部第 i 段桩的极限加载值（kN）；

W_p —试桩荷载箱上部桩自重（kN）；

W_l —桩顶配载的有效重量（kN）；

γ_1 —试桩的抗压摩阻力转换系数，根据荷载箱上部土的类型确定：粘性土、粉土 $\gamma_1=0.8$ ；砂土 $\gamma_1=0.7$ ；岩石 $\gamma_1=1$ ，若上部有不同类型的土层， γ_1 按土层厚度加权取平均值。转换系数 γ_1 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，并按本标准附录 B 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 上段桩极限加载值 Q_{su} 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，可取最大试验荷载值。

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

$$U_u = \frac{Q_{su}}{\gamma_2} \quad (5.2.4)$$

式中： U_u —试桩的单桩竖向抗拔极限承载力(kN)；

Q_{su} —试桩上段桩极限加载值(kN)；

γ_2 —受检桩的抗拔摩阻力转换系数，同时存在抗压承载力要求的抗拔桩应取 1.0，对于无抗压承载力要求的抗拔桩，应根据实际情况通过相近条件的比对试验和地区经验确定，但不得小 1.1。

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} ：

当 $S_n \leq 0.15$ 时：

$$Q_{uk} = Q_{um}; \quad (5.3.1-4)$$

当 $S_n > 0.15$ 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 ($n=3$)

$\alpha_3 - \alpha_1$ α_2	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51
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:

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

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

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

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

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

$$A_4 = -0.04(n-1) \quad (5.3.2-6)$$

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 50% 取值。

5.3.5 按本标准 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 $Q-s$ 曲线转换方法见附录 D。

附录 A 荷载箱的技术要求

A.0.1 荷载箱应满足其所处场地环境类别中的耐久要求。荷载箱应在出厂前组装并做好防腐蚀措施。

A.0.2 荷载箱宜进行整体检定，加载分级数不宜少于五级，当无法进行整体检定时，可对组成荷载箱的液压缸逐一进行检定，液压缸应为同型号，且相同油压时的液压缸出力相对误差应小于 3%。

A.0.3 荷载箱的极限输出推力不应小于额定输出推力的 1.2 倍。

A.0.4 荷载箱检定或校准示值重复性不应大于 2.5%。

A.0.5 荷载箱空载启动压力应小于额定压力的 4%。

A.0.6 荷载箱在 1.2 倍额定压力下持荷时间不应小于 30min，在额定压力下持荷时间不应小于 2h，持荷过程中荷载箱不应出现泄漏、压力减小值大于 5% 等异常现象。

A.0.7 荷载箱打开压力应小于额定压力的 8%。

A.0.8 荷载箱有效行程应不小于 100mm，加长型有效行程应不小于 160mm。

A.0.9 上下位移通道应在荷载箱圆周方向均匀布置。

A.0.10 荷载箱的有效面积比应满足以下要求：

1 钻孔灌注桩荷载箱的有效面积比应为 $45\% < \rho < 60\%$ （荷载箱放置桩底时 $\rho > 45\%$ ）；

2 干作业成孔灌注桩荷载箱的有效面积比应为 $\rho > 45\%$ 。

3 荷载箱有效面积比应按下式计算：

$$\rho = \frac{A_h}{A_p} \times 100\% \quad (\text{A.0.10})$$

式中： ρ ——荷载箱有效面积比

A_h ——荷载箱截面面积 (m^2);

A_p ——桩身截面面积 (m^2)。

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

附录 B 桩身内力测试

B.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或已知的桩,可得到桩侧各土层的分层摩阻力及端阻力。

B.0.2 传感器设置位置及数量宜符合下列规定:

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。

B.0.3 当桩身应变与桩身位移需要同时测量时,桩身位移测试应与桩身应变测试同步。

B.0.4 测试数据整理应符合下列规定:

1 采用电阻式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:

$$\text{采用半桥测量时: } \varepsilon = \varepsilon' \left(1 + \frac{r}{R}\right) \quad (\text{B.0.4-1})$$

$$\text{采用全桥测量时: } \varepsilon = \varepsilon' \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \quad (\text{B.0.4-2})$$

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值。

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:

$$Q_i = \bar{\varepsilon}_i \cdot E_i \cdot A_i \quad (\text{B.0.4-3})$$

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:

$$q_{si} = \frac{|Q_i - Q_{i+1}|}{u \cdot l_i} \quad (\text{B.0.4-4})$$

$$q_p = \frac{Q_n}{A_0} \quad (\text{B.0.4-5})$$

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:

$$\sigma_{si} = E_s \cdot \varepsilon_{si} \quad (\text{B.0.4-6})$$

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。

附录 C 测量系统的安装

C.0.1 自平衡法静载试验位移测量系统的安装与连接见图 C.0.1。

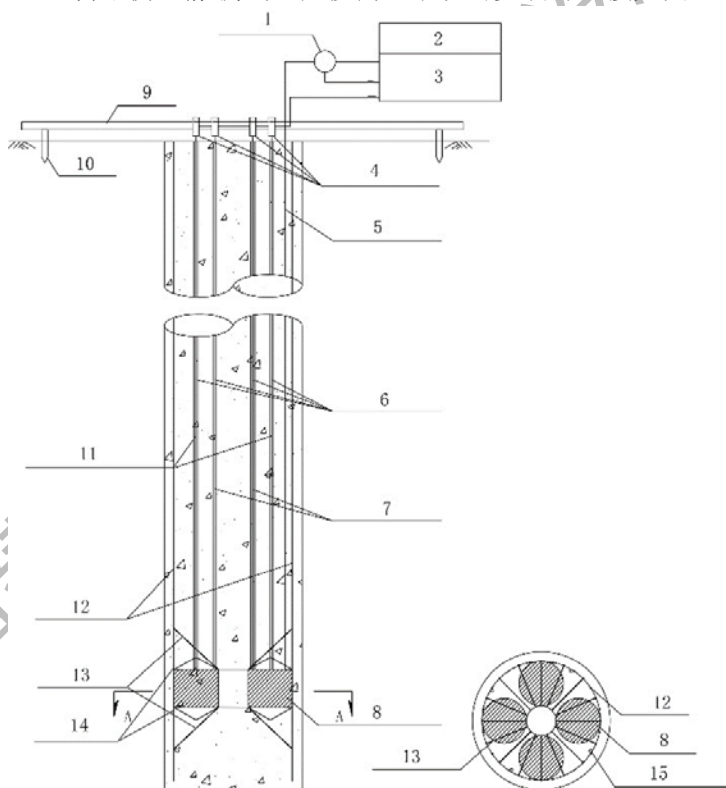


图 C.0.1 自平衡法静载试验位移测量系统安装与连接示意图

1-压力传感器； 2-高压油泵站； 3-静载测试仪； 4-位移测量系统； 5-高压油管； 6-位移护管； 7-下位移杆（丝）； 8-荷载箱； 9-基准梁； 10-基准桩； 11-上位移杆（丝）；

12-钢筋笼主笼； 13-导向筋（喇叭筋）； 14-L型加强筋； 15-声测管/注浆管；

C.0.2 采用位移丝测量装置时，位移丝和位移传感器的安装示意图见图 C.0.2。

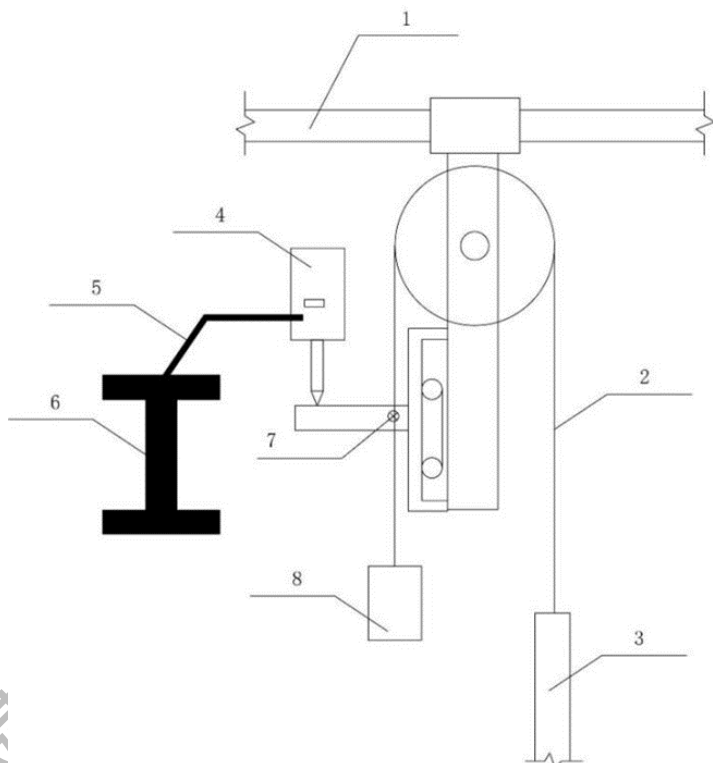


图 C.0.2 位移丝和位移传感器安装示意图

1-钢管脚手架或其它固定支架； 2-位移丝； 3-位移护管； 4-位移传感器； 5-表座； 6-基
准梁； 7-紧固螺丝，对称布置； 8-重锤；

附录 D 等效转换方法

D.1 桩身无内力测试元件

D.1.1 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，以确定桩顶位移。

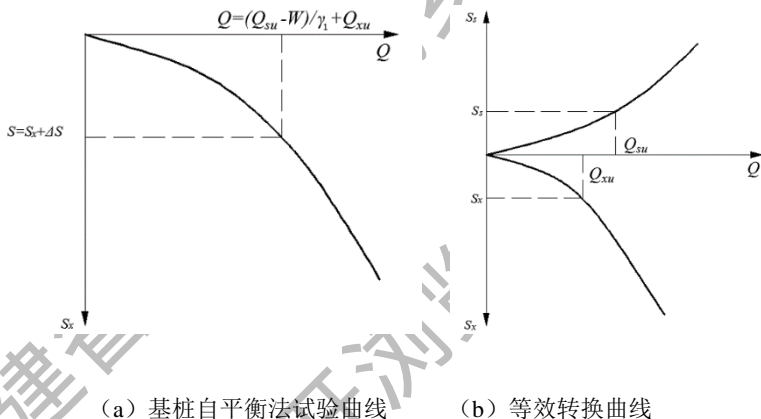


图 D.1 基桩自平衡法结果转换示意图

D.1.2 转换假定

- 1 桩为弹性体；
- 2 等效的试验桩分为上、下段桩，分界截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—位移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:

$$\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 \quad (\text{D.1.2})$$

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。

D.1.3 转换结果

1 根据假定 (D.1.2.5) 和 (D.1.2.6):

$$\Delta s_1 = \frac{Q_x L}{E_p A_p} \quad (\text{D.1.3-1})$$

$$\Delta s_2 = \frac{(Q_s - W_p - W_l)L}{2E_p A_p \gamma} \quad (\text{D.1.3-2})$$

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 ——桩顶配载的有效重量 (kN)。

将式 (D.1.3-1)、(D.1.3-2) 代入式(D.1.2-1), 可得桩身的弹性压缩量为

$$\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 = \frac{[(Q_s - W_p - W_l)/\gamma + 2Q_x]L}{2E_p A_p} \quad (\text{D.1.3-3})$$

桩顶等效荷载为:

$$Q = (Q_s - W_p - W_l)/\gamma + Q_x \quad (\text{D.1.3-4})$$

2 根据假定(D.1.2.3)与等效桩顶荷载 Q 对应的桩顶位移 s 。
则有

$$s = s_x + \Delta s \quad (\text{D.1.3-5})$$

s_x 可直接测定, Δs 可通过计算求得; γ 符号含义同前。

D.2 桩身有内力测试元件

D.2.1 等效转换方法

将荷载箱以上部分分割成 n 个单元(图 D.2.1), 任意单元 i 的桩轴向力 $Q(i)$ 和变位量 $s(i)$ 可用下列公式表示:

$$Q_{(i)} = Q_x + \frac{1}{2} \sum_{m=i}^n q_{sm} \{U(m) + U(m+1)\} h(m) \quad (\text{D.2.1-1})$$

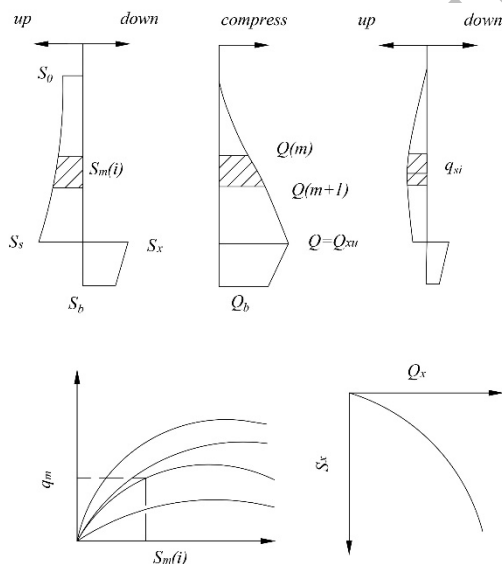
$$s(i) = s_d + \sum_{m=i}^n \frac{Q(m) + Q(m+1)}{A_p(m)E_p(m) + A_p(m+1)E_p(m+1)} h(m) \quad (\text{D.2.1-2})$$

式中: q_{sm} —— m 点 ($i \sim n$ 之间的点) 的桩侧摩阻力 (假定向上为正值) (kPa);

$U(m)$ —— m 点处桩周长 (m);

$h(m)$ ——分割单元 m 的长度。

D.2.2 由基桩自平衡静载试验测出的桩侧摩阻力 q_{si} 与单元中点位移量 $S_m(i)$ 的曲线，转换为传统桩顶加载的桩侧摩阻力与位移的曲线，采用荷载传递法进行迭代计算可获得等效桩顶荷载及桩顶位移。对于荷载还没有传到荷载箱处时，直接采用荷载箱上段桩曲线 Q_u-S_u 曲线进行转换。



图D.2.1 基桩自平衡静载试验的轴向力、桩侧摩阻力与变位量的关系

S_0 —桩顶位移； S_s ， S_x —荷载箱向上和向下位移量； S_b —桩端位移量； Q_x —荷载箱荷

载； Q_b —桩端轴向力； $S_{m(i)}$ — i 单元中点的位移量； Q_{si} — i 单元桩侧摩阻力

D.3 多层荷载箱

D.3.1 对于多层荷载箱，宜按本标准第D.1或D.2条的方法将每层荷载箱从下往上依次进行转换。

附录 E 数据图表

E.0.1 将实测的自平衡法现场检测数据编制成表宜按表 E 的格式记录。

表 E.0.1 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:			校对:				记录:					

E.0.2 自平衡静载试验的结果宜按表 E.0.2 的格式记录。

表 E.0.2 自平衡静载试验结果汇总表

工程名称		桩号		工程地点				
建设单位				施工单位				
桩型		桩径		桩长		桩底标高		
成桩日期		测试日期		加载方法				
加载 值	加载历时 (min)		向上位移 (mm)		向下位移 (mm)		桩顶位移 (mm)	
	本级	累计	本级	累计	本级	累计	本级	累计
项目负责：		校对：		记录：				

E.0.3 自平衡静载试验荷载箱宜按表 E.0.3 的格式记录。

表 E.0.3 自平衡静载试验荷载箱参数表

序号	桩号	桩径 (mm)	荷载箱 型号	荷载箱参数					距 桩 底 距 离
				外径 (mm)	内径 (mm)	高度 (mm)	额定 加载 能力	最大行 程 (mm)	
项目负责:			校对:			记录:			

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词如下：

- 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”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时的写法为：“应符合……的规定”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 《建筑与市政地基基础技术通用规范》GB 55003
- 4 《建筑基桩技术规范》JGJ 94
- 5 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 6 《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T 403

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
技术标准

DBJ /T13-183-2022

条文说明

修 订 说 明

《基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术标准》DBJ/T 13-183-2022, 经福建省住房和城乡建设厅 2022 年 08 月 09 日以闽建科〔2022〕11 号文批准发布, 并经住房和城乡建设部备案, 备案号为 J 12566-2022。

本标准是在《基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术规程》DBJ/T 13-183-2014 的基础上修订而成, 上一版的主编单位是福建省建筑科学研究院, 参编单位是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, 主要起草人员是梁曦、许国平。本次修订的主要内容是: 1.调整部分参数和检测要求使其与行标相协调; 2.调整现场试验判稳条件; 3.增加桩身内力测试条款的细化及对应的附录; 4.调整对位移测试系统的技术要求; 5.调整等效转化的计算方法; 6.补充桩顶配载的加载要求; 7.多荷载箱下的试验方法; 8.增加了附录 A“荷载箱的技术要求”; 9.调整附录 E 的“自平衡法静载试验中的记录表格式。

本标准制(修)订过程中, 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、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《基桩竖向承载力自平衡法静载试验技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，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标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

目 次

1	总 则	39
2	术语、符号	42
2.1	术 语	42
2.2	符 号	44
3	一般规定	45
3.1	试桩数量、位置和加载值	45
3.2	检测工作程序	50
3.3	检测报告	54
4	现场检测	55
4.1	仪器设备	55
4.2	设备安装	56
4.3	现场检测	62
5	检测数据的分析与判定	66
5.1	抗压桩检测数据的分析与判定	66
5.2	抗拔桩检测数据的分析与判定	67
5.3	承载力评价	68

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。

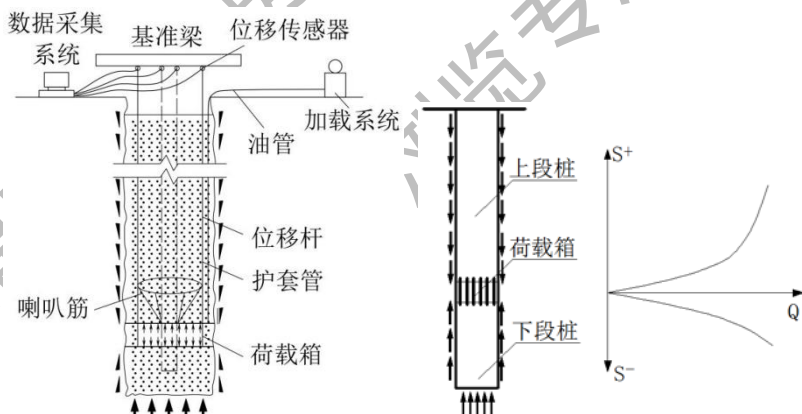


图 1 自平衡法静载试验原理示意图

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，包括冲(钻)孔灌注桩，干作业成孔灌注桩、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。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。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, 此时不仅需要将荷载箱设置在桩底, 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。

沉井、地下连续墙等其他深基础的承载力测试可按本标准执行, 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。

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。

1.0.3 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存在于设计和验收两阶段，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，验收检测应结合施工过程尽早穿插进行。

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，进行基桩自平衡法静载试验，强调首先应按照本标准的规定严格实施，除此而外尚应符合国家现行强制性标准中的规定。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.2 自平衡法静载试验

基桩自平衡静载试验是基桩静载试验的一种新方法。其主要装置是一种特制的荷载箱，它与钢筋笼连接并安置于桩身平衡点处。试验时，从桩顶通过输压管对荷载箱内腔施加压力，箱盖与箱底被推开，从而调动桩周土的摩阻力与端阻力，直至破坏，将桩侧土摩阻力与桩底土阻力迭加而得到单桩抗压承载力。

2.1.4 荷载箱

它主要由加载单元、上下连接板、上下位移杆、上下位移护管、油管、导流体、荷载箱附件、导管孔等组成。根据结构形式的差别可分为组合式荷载箱、一体式环形荷载箱和一体式桩端荷载箱三种。结构形式示意图如图 2-图 4 所示：

2.1.5 平衡点

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，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，理论的平衡点在部分桩的桩身中不存在，此时实际操作中的平衡点在桩底。在此情况下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。

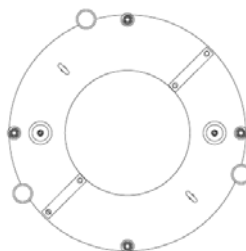
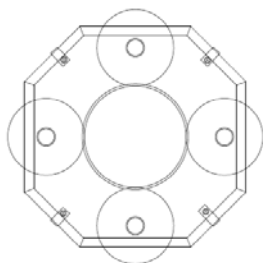
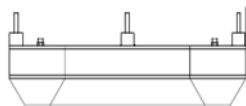
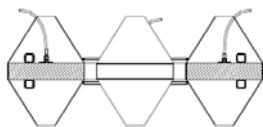


图 2 组合型荷载箱示意图

图 3 一体式环形荷载箱示意图

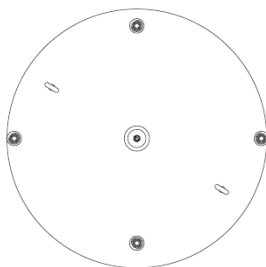
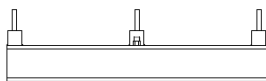


图 4 一体式桩端荷载箱示意图

2.2 符 号

2.2 对于上部桩的自重 W_P 的取值, 尤其大直径桩和长桩, 鉴于其对极限承载力的计算有一定影响, 故根据受检桩的地质情况,

上部桩的桩身在地下水位以下部位取浮重度，在地下水位以上部位取自身重度。

福建省住房和城乡建设厅
信息公开浏览专用

3 一般规定

3.1 试桩数量、位置和加载值

3.1.1 由于基桩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，施工前宜对试验桩采用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。

根据《建筑基桩检测技术规范》（JGJ106），在一个单位工程内“同一条件”指地基条件、桩长相近、桩端持力层、桩型、桩径、成

桩工艺相同。

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，对于采用自平衡法静载试验的桩，由于荷载箱顶升使荷载箱处桩身产生空隙，需高压注浆后方可作为工程桩使用。

3.1.2 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 5 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。

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？

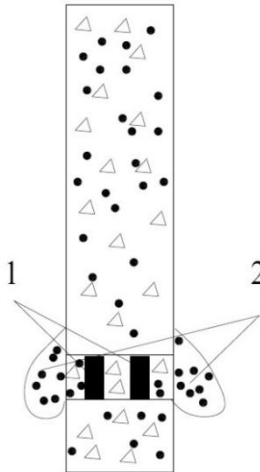


图 5 荷载箱处压浆示意图

1-千斤顶缸体； 2-桩周扩大头；

对此问题，若基桩施工采用反循环清孔，则二次清孔不存在什么问题。若是正循环清孔，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 6 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。

3.1.3~3.1.4 本条的制定是基于：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。

由于采用自平衡法检测承载力必须预先选定受检桩，预先选

定的受检桩数量不宜少于检测数量的 3 倍，且应在桩基施工结束后随即选择不少于 3 根（且每种同一条件的基桩不得少于 1 根）预先选定桩以外的基桩，采用高应变法检测其承载力；或随即选择不少于 5 根（且每种同一条件基桩不得少于 1 根）预先选定桩以外的基桩，采用钻芯法测定其沉渣厚度并检验桩端持力层。

按照现行规范要求不同施工工艺要求按不同的批进行。故删除了原版中关于“施工工艺不同的桩”应进行单桩承载力验收抽样的要求。

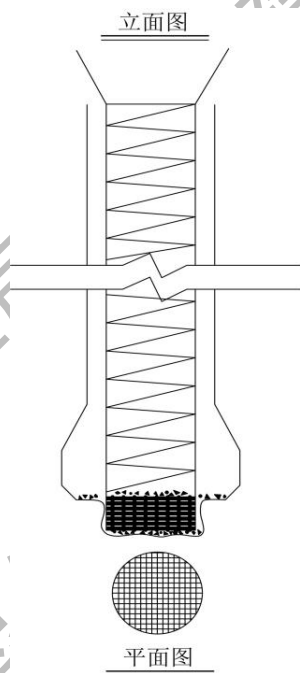


图 6 荷载箱安置示意图

3.1.5 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。

3.1.6 自平衡静载试验中,有时会因桩身缺陷、桩身截面突变处应力集中或桩身强度不足造成桩身结构破坏,故对于大直径灌注桩,建议在检测前后对试验桩进行声波透射法完整性检测,为分析桩身结构破坏的原因提供证据。

3.1.7 由于试验后荷载箱中间出现缝隙,影响试桩的荷载传递,为确保测试后正常使用,必须进行注浆处理,荷载箱位置经注浆处理后的强度应满足桩身抗压的要求。

试验时,组成荷载箱的千斤顶缸套和活塞之间产生相对滑移,荷载箱处的混凝土被拉开,产生的缝隙宽度等于卸载后向上向下残余位移之和,但桩身其他部位并未破坏,上下两段桩仍被荷载箱连在一起。试验后,通过位移杆(丝)护套管,用压浆泵将不低于桩身强度的水泥浆注入,受检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 10m 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。

高压注浆的水泥标号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。

自平衡法承载力检测不仅是检验施工的质量,而且也能检测设计是否能够达到工程的要求。施工前的试桩如果没有破坏,可在注浆后用于作为工程桩使用,同时可作为验收的依据。

3.2 检测工作程序

3.2.1 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。

3.2.2 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。

3.2.3 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。

3.2.4 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，以保证基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，但由于基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、配载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。

3.2.5 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《建筑基桩检测技术规范》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 80%。

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的双重规定，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。

注浆后静载试验是在后注浆水泥浆液的增强反应基本完成后进行，这里规定在注浆 20d 后进行是通常所需时间。当需要提前

试验时，应在水泥浆液中加入早强剂，此时可于注浆完成后 15d 进行试验。

3.2.6 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。

3.2.7 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，采用其它方式验证检测数据或组织重新检测。

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，必要时可在试验结束后进行基桩钻芯法试验同步检测，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。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备受诟病之处和在福建省的应用进展缓慢的原因。因此本条中提出，对竖向抗压自平衡法试验的验收检测，必须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。

对于检验桩端岩土性状和桩端持力层为目的的钻芯法试验，由于荷载箱处的阻碍，常规钻芯法试验难以准确穿过荷载箱中部的孔洞，导致无法达到检验目的。可采用预埋钢制或其它具有足够刚度的圆管的方式，圆管底部密封，随钢筋笼一起预埋，圆管底部穿过荷载箱底面，钻芯法试验时钻具可通过该圆管穿过荷载

箱位置，钻取荷载箱下部芯样和桩端持力层。钻芯法检测结束后应注浆封闭，注浆要求同 3.1.7 条。

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。注意此处提出的桩实体强度取芯验证与上文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。

2 当需要对单桩竖向承载力进行验证时，验证方法应采用传统静载试验。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 当单桩承载力抽检结果不满足设计要求时，应分析原因，并经确认后扩大检测，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。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。

3.3 检测报告

3.3.2 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。

4 现场检测

4.1 仪器设备

4.1.4 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,埋设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。

4.1.5 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%。

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 7 所示。

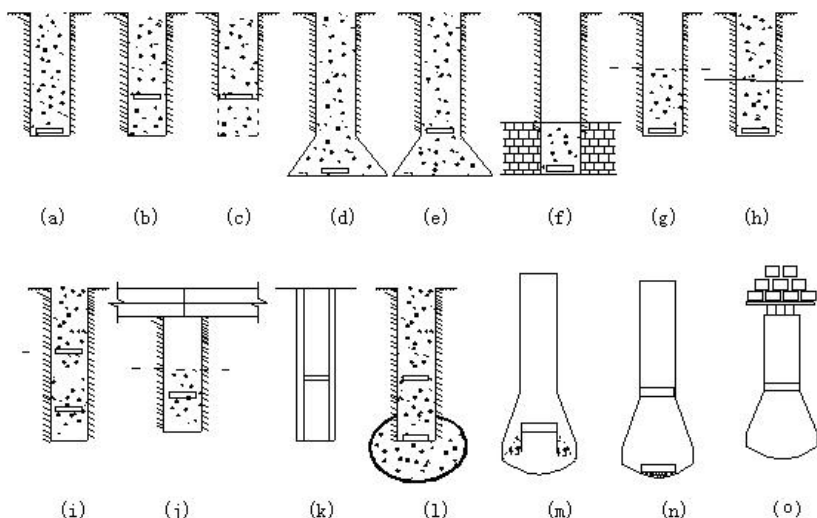


图 7 荷载箱放置位置示意图

图 7 (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 7 (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，目前美国测试均是将荷载箱放置于桩端，而我国则拓宽了其摆放位置。

图 7 (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 7 (d) 为挖孔扩底桩抗拔试验的情况。

图 7 (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 7 (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 7 (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 7 (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 7 (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 7 (j) 适用于在地下室中进行试桩工程。

图 7 (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 7 (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。双层荷载箱测试装置安装完毕后，测试按照先加载下荷载箱后加载上荷载箱的顺序进行。

图 7 (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 7 (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 7 (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 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 1° 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。

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。

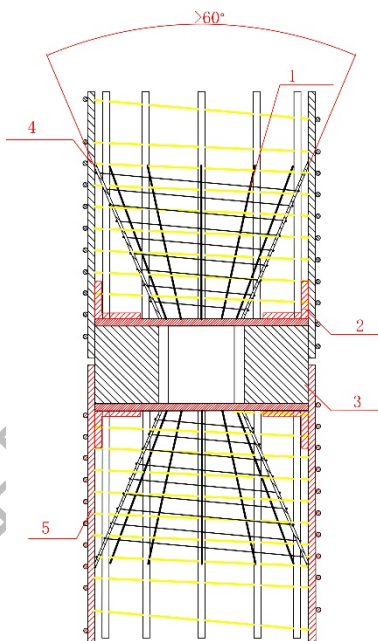


图 8 喇叭筋与荷载箱的连接大样图

1-喇叭筋； 2-L 型喇叭筋； 3-荷载箱； 4-上段钢筋笼； 5-下段钢筋笼；

钢筋笼在荷载箱处断开，荷载箱上下部和上、下钢筋笼分别连接，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 L 型加强筋、箍筋加密、设置两层钢筋网片等措施实现，其中 L 型加强筋直接不小于主筋，且不宜小于 16mm，数量不少于荷载箱内千斤顶的数量，且宜布置在荷载箱顶板和底板中心处。荷载箱上下应设置喇叭状导向钢筋，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。喇叭筋一端与主筋焊接，一端焊在环形荷载箱板内圆边缘处，其数量与主筋相同，导向筋宜采用直径不宜小于 16mm 的圆钢，喇叭筋与荷载箱的夹角应大于 60°。喇叭筋与荷载箱的连接大样图见图 8 所示。

对于预制混凝土管桩和钢管桩，荷载箱可选择打桩过程中焊接，也可在预制过程中同时制作，连接大样图可参考图 9 和图 10 所示。

图 9 预制混凝土管桩与荷载箱连接大样图

1-上段预制管桩； 2-位移管； 3-油管； 4-荷载箱（其中 4-1-上盖板；4-2-外支撑环；4-3-导向限位柱；4-4-下盖板；4-5-内支撑环）； 5、下段预制管桩；

本条中第 3 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 测试过程应确保位移护杆内部的通畅，防止水泥浆进入影

响测试结果。

使用位移杆进行测试时，应使用电焊、胶结或可靠的机械连接方式确保位移杆不应钢筋笼起吊和下放过程发生损坏。

采用位移丝进行测试时，可选择预埋一次性位移丝或选择使用可回收位移丝。可回收位移丝可使用声测管作为测试通道，使用前开启护管或声测管，下放位移丝并通过电磁伸缩装置分别固定于荷载箱顶板和底板附近，试验完成后位移丝收回。

检测过程还可使用电子位移传感器在桩体内测量荷载箱的打开量，其行程不应小于预计的荷载箱的最大行程，荷载箱打开量的测量应精确到不超过 0.1mm。位移传感器不少于 2 个，对称布置且等距于中轴线，且与中轴线平行布置。

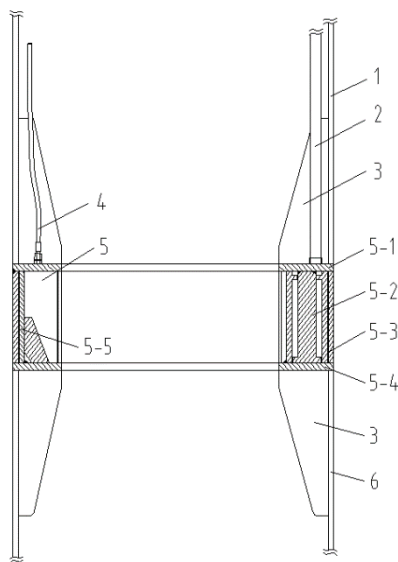


图 10 钢管桩与荷载箱连接大样图

1-上段钢管桩； 2-位移管； 3-筋板； 4-油管； 5-荷载箱（其中 5-1-上盖板； 5-2-导向限位柱； 5-3-外支撑环； 5-4-下盖板； 5-5-内支撑环）； 6-下段钢管桩；

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”,其中小直径桩按3D控制,大直径桩按2.5m控制,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。

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,故本标准中对间距的规定放宽为“不小于3D”,较传统规定略小。

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。在满足本标准第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。

4.3 现场检测

4.3.1 为便于位移测量系统的安装,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。

当上段桩阻力不足以与下段桩阻力平衡时,可增加桩顶配载,并将荷载箱加载至原设计荷载的110%至120%,使桩端阻力得到

充分的发挥。桩顶配载作为上段侧摩阻力+自重的补充,可根据现场情况选用预制砼块、钢材、块石等材料。

根据工况和试验目的的不同,桩顶配载的施加方法也有所区别。可将桩顶配载的加荷方法分为三种:

1 初始加荷:试验开始前预先将桩顶配载一次性加荷至极限值。该方法设备简单、操作方便,相当于增加了上段桩的总重量。但当桩顶配载和实际上段桩桩侧摩阻力之和大于下段桩身反力时,该方法无法得到实际的桩侧摩阻力。适用于下段桩身反力大于上段桩桩侧摩阻力的情况。

2 随分级加荷:随荷载箱的加荷分级将桩顶配载分级加荷,较合理的模拟了侧摩阻力的发挥方式,且上段桩的桩身压缩也分级逐步增大。但试验过程中由于桩身位移会影响千斤顶的出力数值,需实时调节千斤顶出力。适用于上段桩身反力远小于下段桩身反力的情况,并可通过计算获得分级摩阻力。

3 按需加荷:当上段桩反力不足时分级或一次性施加,可得到较为精准的上段桩侧摩阻力,并保证下段桩反力的完全发挥。若桩身没有明显上浮趋势,则桩顶配载可不使用,保证得到的侧摩阻力不因提前加载而受到干扰。适用于桩身上段反力与下段反力相差不大的情况。

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。

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，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。因此本标准不建议采用快速维持荷载法。

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位移超过上一级荷载对应位移 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，随着位移增加，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，而应使桩下沉量超过 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，在桩顶位移达到 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，桩顶位移较大时，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，放宽总位移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，从而达不到试验目的或预定结果而采用的方法。

- 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 当需要测试桩身应变和桩身截面位移时, 在实际操作中根据需要位移的测读时间可以比本标准 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 太沙基和 ISSMFE 指出：当沉降量达到桩径的 10% 时，才可能出现极限荷载；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，当按本标准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 $s_s = 30 \sim 40 \text{mm}$ 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 自平衡法竖向抗压静载测试时，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。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, 对于缓变型曲线, 按国外做法, 将上下段桩按两根完全独立的受检桩取极限值, 其上段桩摩阻力转换系数宜根据实际情况通过相近条件的对比试验和地区经验确定。

对于 γ_l , 根据全国范围内 35 个工程共 132 个对比数据可得, γ_l 取值的 95% 置信区间为 (0.50, 0.92), 均值为 0.71; 其中按土性划分, 粉土、黏性土的 γ_l 均值为 0.74, 95% 的置信区间为 (0.65, 0.83); 砂土的均值为 0.58, 95% 的置信区间为 (0.49, 0.66)。同时将这些对比数据接同时将对比数据按荷载箱埋深 L_c 划分进行分析, 得出 γ_l 的取值随着 L_c 的增大而减小。为保证安全性, 故将向上、向下摩阻力范围划分为: 长桩 (一般指 $L_c > 60\text{m}$) 及黏性土取 1.0, 短桩 (一般指 $L_c \leq 30\text{m}$) 或砂土取 0.8; 对于桩侧土为岩石中的情况, 鉴于对比数据很少, 偏于安全起见, γ_l 取 1.0。对于碎石土, 上下侧摩阻力比值关系可参考砂土执行。近期对比试验表明, 转换系数不仅与土层和桩长有关, 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。

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。

5.2.4 在桩顶压桩、桩底托桩、桩顶拔桩这三种加载方式中,桩顶压桩摩阻力最大,桩顶拔桩摩阻力最小。对于同时存在抗压承载力要求的抗拔桩,其受力机理和自平衡加载的上段桩一致,故 γ_2 取1.0。对于其他抗拔桩,应根据实际情况通过相近条件的比对试验和地区经验确定。根据相关论文中室内单桩的渗水力模型试验结果,表明不同的加载部位和加载方向对于桩的侧阻力的大小、分布和发展过程有重要的影响,试验中桩底托桩与桩顶拔桩的侧摩阻力之比为1.1。另外,在四个专门验证桩底托桩、桩顶拔桩两种加载方式的足尺试验中,托桩负摩阻力与拔桩负摩阻力之比最小为1.1。因此,为保证安全,对于无抗压承载力要求的抗拔桩, γ_2 取值不得小于1.1。

5.3 承载力评价

5.3.1~5.3.2 本标准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,建议按照以下方法进行统计:

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

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

2 计算标准差 $\sigma_f=137\text{kN}$;

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

3 计算变异系数 $\delta=0.137$;

$$\delta = \sigma_f / Q_{um} \quad (3)$$

4 计算统计修正系数 $\gamma_s=0.87$;

$$\gamma_s = 1 - (1.704 / \sqrt{n} + 4.678 / n^2) \delta \quad (4)$$

5 计算标准值 $Q_{uk}=870\text{kN}$;

$$Q_{uk} = \gamma_s \cdot Q_{um} \quad (5)$$

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。桩的承载力由岩土阻力和桩身强度控制。对于抗压试验，自平衡静载试验为双向加载，桩身产生的应力是传统试验的一半；对于抗拔试验，自平衡静载试验时桩身受压，传统试验桩身受拉，故自平衡静载试验可测出岩土阻力控制的承载力，无法得出桩身强度控制的承载力。桩身强度的检验可采取钻芯法等其他方法进行检测。