

云南省工程建设地方标准

桩身自反力平衡静载试验技术规程

Technical Specification for Static Loading Test of
Self-reaction Force of Foundation Piles

DBJ 53/T—106—2020

主编单位：云南省建筑科学研究院
国投工程检验检测有限公司
云南省岩土工程技术研究中心
批准部门：云南省住房和城乡建设厅
施行日期：2020年12月1日

云南出版集团
云南科技出版社
2020 昆明

云南省工程建设地方标准
桩身自反力平衡静载试验技术规程
Technical Specification for Static Loading Test of
Self-reaction Force of Foundation Piles
DBJ -53/T—106—2020

*

云南出版集团
云南科技出版社出版发行
(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码: 650034)
昆明理焯印务有限公司印刷 全国新华书店经销
开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 2.125 字数: 53 千字
2020 年 12 月第 1 版 2020 年 12 月第 1 次印刷
定价: 30.00 元
统一书号: 175587 · 054
版权所有 翻印必究

云南省住房和城乡建设厅文件

云建标〔2020〕101号

云南省住房和城乡建设厅关于发布 桩身自反力平衡静载试验技术规程的通知

各州、市住房和城乡建设局，滇中新区规划建设管理部，有关单位：

《桩身自反力平衡静载试验技术规程》已经省住房和城乡建设厅审查通过，现批准为云南省工程建设地方标准，编号为 DBJ 53/T—106—2020，自 2020 年 12 月 1 日起实施。

本规程由省住房和城乡建设厅负责管理，云南省建筑科学研究院负责解释。

云南省住房和城乡建设厅

2020 年 7 月 21 日

前 言

本规程是根据云南省住房和城乡建设厅《关于印发云南省2015年工程建设地方标准制订修订计划的通知》（云建标函〔2015〕188号）要求，由云南省建筑科学研究院、国投工程检验检测有限公司、云南省岩土工程技术研究中心牵头，会同其他11个单位成立《桩身自反力平衡静载试验技术规程》编制组（以下简称标准编制组）共同编制完成。

本规程共分为6章5个附录。其主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 检测要点；5. 检测数据分析与判定；6. 试验桩后处理。

本规程由云南省住房和城乡建设厅负责管理，由云南省建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。本规程在实施过程中，请各有关单位注意总结经验，积累资料，如发现不完善之处，请随时将有关意见和建议反馈至云南省建筑科学研究院（地址：云南省昆明市学府路150号，邮编：650223，E-mail：ynjky@tom.com）。

主编单位：云南省建筑科学研究院

国投工程检验检测有限公司

云南省岩土工程技术研究中心

参编单位：昆明市建设工程质量检测中心

云南合信工程检测咨询有限公司

昆明理工大学

云南建投第一勘察设计有限公司

云南建投基础工程有限责任公司

云南工程建设总承包股份有限公司

云南建投第五建设有限公司
云南建筑工程质量检验站有限公司
浙江欧感机械制造有限公司
云南农业大学
云南天启建设工程咨询有限公司

主要起草人：魏昶帆 吴 勇 刘东坤 丁 玎 唐 勇
许利东 赵宝生 赵 勇 周艳坤 黄初涛
董 林 崔 进 李文涛 林 伟 丁海涛
宁宏翔 刘 耀 王自忠 蔡 伟 陈 安
曹 慧 练国平 刘时宜 叶 鹏 陈芝轩
范明坤 李留富 郑绍奇 姜文涛 刘德克
彭文柏 杨 云 缪基英 杨继清 刘文治
王建国 蒋宝喜 杨树良 韦 志 刘世卫
李红兵 冯丽云 周学礼 杨 成 王晓燕
张 伟 梁海龙 刘 露 李 彬 江 强
刘浩杰 彭世玉 魏再寻 朱仁志 张九峰
马 刚 李超琦 余绍帆 辉龙贵

主要审查人员：甘永辉 徐国民 孔继东 陈晓嵘 刘利先
白建华 郝麦娟

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术 语	(2)
2.2	符 号	(3)
3	基本规定	(5)
3.1	检测数量与加载值	(5)
3.2	检测工作程序	(5)
3.3	检测结果和检测报告	(7)
4	检测要点	(9)
4.1	基桩承载力自平衡检测系统	(9)
4.2	仪器设备	(9)
4.3	设备安装	(11)
4.4	现场检测	(14)
5	检测数据分析与判定	(16)
5.1	试验数据分析	(16)
5.2	上段桩和下段桩极限加载值的确定	(16)
5.3	单桩极限承载力的判定	(17)
5.4	单桩竖向极限承载力标准值的确定	(18)
5.5	单桩竖向承载力特征值的确定	(19)

6 试验桩后处理	(20)
附录 A 检测报告基本信息	(21)
附录 B 桩身内力测试	(22)
附录 C 荷载箱系统安装	(27)
附录 D 自平衡法静载试验数据记录表	(29)
附录 E 等效转换方法	(31)
本规程用词说明	(37)
引用标准名录	(38)
条文说明	(40)

Contents

1	General Provisions	(1)
2	Terms and Symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic Requirements	(5)
3.1	The Number and Load Value of Test Pile	(5)
3.2	Testing Procedures	(5)
3.3	Test Results and Report	(7)
4	Testing Point	(9)
4.1	System for Self Balanced Testing of Foundation Pile Bearing Capacity)	(9)
4.2	Instruments and Equipments	(9)
4.3	Equipments Installation	(11)
4.4	Field Test	(14)
5	Test Data Interpretation	(16)
5.1	Test Data Interpretation	(16)
5.2	Determination of Ultimate Load Value of Upper Pile and Lower Pile	(16)
5.3	Calculate the Vertical Ultimate Bearing Capacity of Single Pile ...	(17)
5.4	Calculate the Standard Values of Vertical Ultimate Bearing Capacity of Single Pile	(18)
5.5	Calculate the Characteristic Value of Vertical Ultimate Bearing Capacity of Single Pile	(19)

6 The Test Pile Post-processing	(20)
AppendixA Basic Information of the Test Report	(21)
AppendixB Internal Force Testing of Pile Shaft	(22)
AppendixC System Installation of Load Cell	(27)
AppendixD Common Forms of Self-balanced Loading Test	(29)
Appendix E The equivalent Conversion Method	(31)
Explanation of Wording in This Specification	(37)
List of Quoted Standards	(38)
Explanation of Provisions	(40)

1 总 则

1.0.1 为在云南省建筑基桩自平衡静载试验中做到安全适用、技术先进、数据准确，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于房屋建筑及市政基础设施工程中的基桩竖向承载力检测。

1.0.3 桩身自反力平衡静载试验，除执行本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

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 self-balanced static loading test

在桩身中预埋荷载箱，利用桩身自重、桩侧阻力及桩端阻力互相提供反力的一种试验方法。

2.1.3 平衡点 balanced position

该位置以上桩身自重及桩侧摩阻力之和与该位置下段桩桩侧摩阻力及桩端阻力之和基本相等。

2.1.4 荷载箱 load cell

自平衡法静载试验中用于施加荷载的一种加载装置。

2.1.5 基准梁 referenced beam

用于固定测量基准系统的梁。

2.1.6 基准桩 referenced pile

用于固定基准梁的桩。

2.1.7 上段桩 upper pile

单一荷载箱位置以上的桩体。

2.1.8 中段桩 middle pile

双层荷载箱之间的桩体。

2.1.9 下段桩 lower pile

单一荷载箱位置以下的桩体。

2.1.10 上位移 upward displacement of upper pile

上段桩在荷载箱加压作用下产生的向上位移。

2.1.11 下位移 downward displacement of lower pile

下段桩在荷载箱加压作用下产生的向下位移。

2.1.12 桩身内力测试 measurement of internal force in pile

为计算荷载作用下桩侧阻力、桩端阻力进行的桩身应变、应力测试。

2.2 符 号

Q_u ——单桩竖向承载力极限值；

Q_{um} ——上段桩的极限加载值；

Q_{um} ——中段桩的极限加载值；

Q_{ud} ——下段桩的极限加载值；

Q_{pk} ——桩端极限阻力推定值；

R_a ——单桩竖向抗压（拔）承载力特征值；

q_s ——侧摩阻力；

Q_b ——桩端的轴力；

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 ——桩顶位移；

s_u ——向上位移；

s_d ——向下位移；

- u ——桩身周长；
- W ——荷载箱上段桩的自重与附加重量之和（kN），附加重量应包括设计桩顶以上超灌高度的重量、空桩段泥浆或回填砂、土自重；
- ψ_p ——大直径桩端阻力尺寸效应系数；
- A_{pd} ——荷载箱的有效面积；
- A ——荷载箱承压底板面积；
- A_p ——桩身截面面积；
- A_b ——桩端面积；
- E_p ——桩身弹性模量；
- L_u ——上段桩长度。

3 基本规定

3.1 检测数量与加载值

3.1.1 桩身自反力平衡静载试验的检测数量应满足设计要求，不应少于同一条件下桩基分项工程总桩数的 1%，且不应少于 3 根；当总桩数少于 50 根时，检测数量不应少于 2 根。

3.1.2 最大加载值的选定应按下列规定取值：

1 为设计提供依据的试验桩，应加载至桩侧与桩端的桩土体系破坏；最大双向加载量可按设计预估单桩极限承载力的 1.5 倍设定；

2 工程桩验收检测时，最大加载值不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2.0 倍。

3.2 检测工作程序

3.2.1 自平衡法静载试验检测工作的程序，应按图 3.2.1 进行。

3.2.2 检测单位应根据勘察、设计、施工等资料编制检测方案。检测方案应包括以下内容：

1 工程概况、地质条件、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个数、埋设位置和最大加载值；

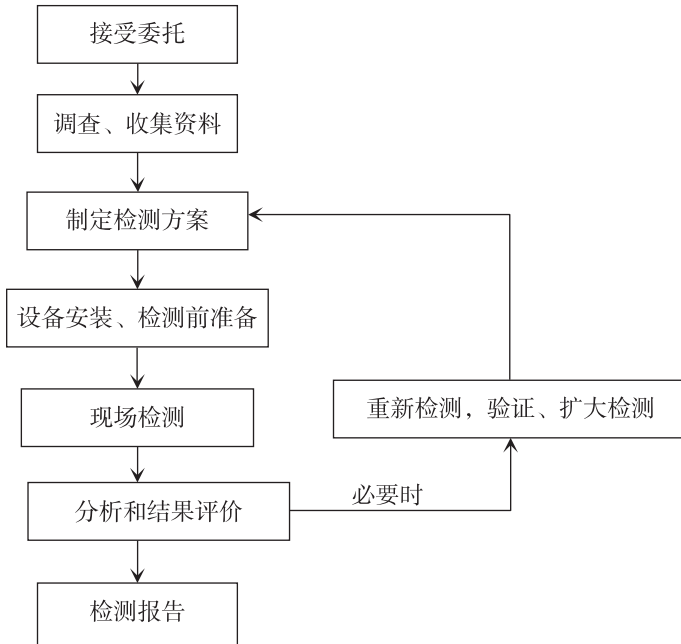


图 3.2.1 检测工作程序框图

3 受检桩的施工要求，检测进度以及所需的机械或人工配合；

4 受检桩的试验后处理要求。

3.2.3 测试桩的成桩工艺和质量控制应执行工程桩的相关技术标准。现场检测开始时间按以下规定执行：

1 对于基桩自平衡法静载试验，强度计算的桩身承载力大于荷载箱单向最大加载值的 1.5 倍，且桩身混凝土强度应不低于设计强度的 80%；

2 承载力检测前，土体的休止时间应符合《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定，见表 3.2.3；

表 3.2.3 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，宜适当延长休止时间。

3 当采用后注浆施工工艺时，除应符合本条第 1 款的规定外，注浆后休止时间不宜少于 20d；当浆液中掺入早强剂时，可于注浆完成后 15d 进行。

3.2.4 自平衡法静载试验前，应先进行桩身声波透射法完整性检测。

3.2.5 当单桩承载力检测结果不满足设计要求时，应分析原因并采用其他方法验证。

3.3 检测结果和检测报告

3.3.1 工程桩承载力验收检测应给出受检桩的承载力检测值，并评价单桩承载力是否满足设计要求。

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，勘察、设计、检测、监理和施工单位，基础，结构形式，层数，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量，检测日期，检测报告基本信息应符合附录 A 的规定；

2 地质条件描述、相应的地质柱状图；

3 受测桩的桩型、尺寸、桩号、桩位、桩顶标高、荷载箱参数、荷载箱位置以及相关施工记录；

4 加载、卸载方法，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、结果汇总表和相应的 $Q-s$ 、 $s-lgt$ 等曲线，转换为桩顶加载的等效转换数据表和等效转换 $Q-s$ 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 检测要点

4.1 基桩承载力自平衡检测系统

4.1.1 基桩承载力自平衡检测系统如图 4.1.1 所示。

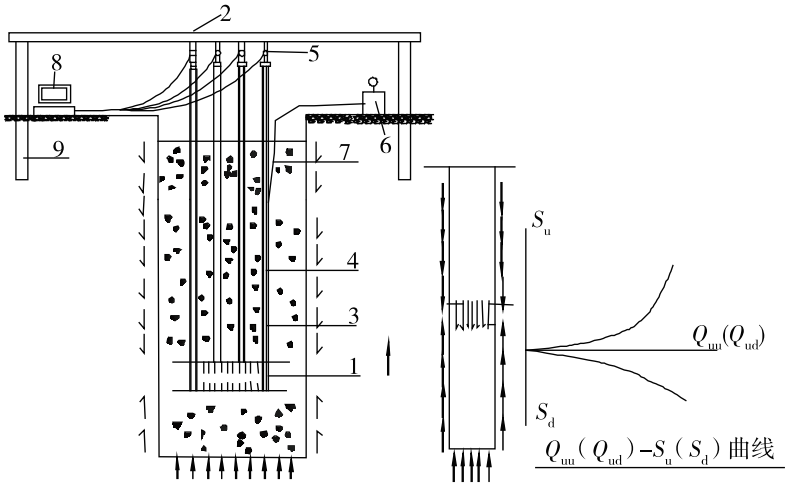


图 4.1.1 基桩自平衡法静载试验系统

- 1-荷载箱 2-基准梁 3-护套管 4-位移杆(丝) 5-位移传感器
6-油泵或水泵 7-液压管 8-数据采集仪 9-基准桩

4.2 仪器设备

4.2.1 检测用的计量器具应在检定或校准周期的有效期内，检测前应对仪器设备检查调试。

4.2.2 检测设备主要包括加载装置和位移量测系统。

1 加载装置由荷载箱、高压油管和加载油泵等组成。荷载由并联于荷载箱的压力表或压力传感器测定。压力表、加载油泵、油管在最大加载时的压力不应超过规定工作压力的 80%；

2 位移量测系统由位移传递装置、位移传感器、数据采集仪和电脑控制系统等组成。

4.2.3 荷载箱是基桩承载力自平衡检测中的关键设备，荷载箱的生产和检定必须遵守以下规定：

1 荷载箱应是具有相关资质生产厂家生产的合格产品；

2 试验加载采用专用荷载箱，并经国家法定计量单位校准标定合格；荷载箱出厂前必须试压，试压值不得小于额定加载值，且必须维持 2h 以上；

3 荷载箱在工厂试压和现场试验必须采用同一型号的压力表，压力表必须经过法定计量部门标定，且在规定的有效期内使用；

4 采用联于荷载箱的压力表测定油压，根据荷载箱率定曲线换算荷载；

5 荷载箱最大双向加载量应大于预估单桩竖向极限承载力的 1.5 倍；

6 荷载箱的外部形状应不妨碍成桩过程，有利于浮浆的排出；

7 荷载箱的行程不宜小于 10cm；

8 为保证荷载箱的同心度和同步性，荷载箱应在出厂前组装完毕，不允许在现场拼装。

4.2.4 检测用的计量器具应满足下列要求：

1 测压传感器或压力表精度均应优于或等于 0.5 级，量程不应小于 60MPa；

2 大量程百分表或位移传感器的测量误差不应大于 0.1% FS，分辨率优于或等于 0.01mm；

3 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。

4.3 设备安装

4.3.1 荷载箱的埋设位置应符合下列规定：

1 当预估极限端阻力小于预估极限侧阻力时，将荷载箱置于平衡点处；

2 当预估端阻力大于或等于极限侧阻力时，将荷载箱置于桩端，桩顶可提供一定量的配重措施；

3 对于抗拔桩，应将荷载箱埋设于桩端；向下的反力不够维持加载时，可采取加深桩长或注浆等措施，但荷载箱仍放于原桩端标高处；

4 当需要测试桩的分段承载力时，可采用双荷载箱或多荷载箱，埋设位置根据具体需要确定；

5 根据工程地质条件、桩基设计参数确定受检桩的平衡点，确定荷载箱的位置。

4.3.2 荷载箱应平放于钢筋笼中心，荷载箱位移方向与桩身轴线夹角不应大于 1° 。

4.3.3 荷载箱的上下连接板应分别与平衡点位置处的上下段钢筋笼的主筋焊接，荷载箱与钢筋笼可靠连接并应有加强措施，还应设置喇叭状的导向钢筋，导向钢筋应符合下列规定，荷载箱与

钢筋笼连接示意图见图 4.3.3。

- 1 导向钢筋一端与环形荷载箱内圆边缘处焊接，另一端与钢筋笼主筋焊接，焊接质量等级应满足荷载箱的安装强度要求；
- 2 导向钢筋的数量、直径与钢筋笼主筋相同；
- 3 导向钢筋与荷载箱平面的夹角应大于 60° 。

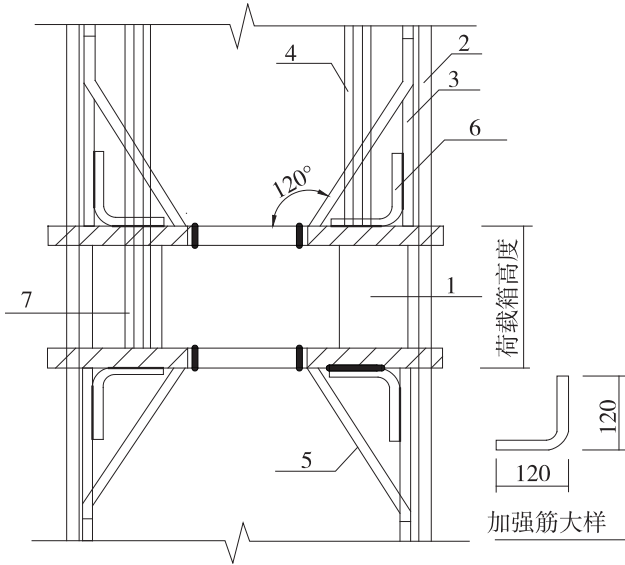


图 4.3.3 采用加强筋的荷载箱与钢筋笼连接示意图

- 1-荷载箱 2-压浆管 3-桩主筋 4-上位移管（杆） 5-导向钢筋
6-加强筋（数量、直径同主筋） 7-下位移管（杆）

4.3.4 荷载箱处上段桩的向上位移、下段桩的向下位移应各自采用一组位移传感器，每组不应少于 2 个测点，且应对称布置。有条件时，宜对桩顶的位移量进行监测，供试验参考使用。

4.3.5 位移杆（丝）与护套管应符合下列要求：

- 1 位移杆应具有一定的刚度；

2 保护位移杆（丝）的护套管与荷载箱焊接，多节护套管连接时可采用机械连接或焊接方式，焊缝应满足强度要求，并确保不渗漏水泥浆；

3 对桩顶外露的位移杆（丝）应做好标识，区分上位移和下位移。

4.3.6 基准桩和基准梁应符合下列要求：

1 基准桩与受检桩之间的中心距离应大于等于 3 倍的受检桩直径，且不小于 2.0m；

2 基准桩应打入地面以下足够的深度，应不小于 1m；

3 基准梁应具有足够的刚度，梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；

4 固定和支撑位移传感器的夹具及基准梁应减小受气温、振动及其他外界因素的影响，当基准梁暴露在阳光下时，应采取有效措施。

4.3.7 若试桩用作工程桩，试验结束后应对试桩进行后处理，方法与技术要求应符合本规程第 6 章的规定；注浆管数量应满足设计要求，设计未作规定时，注浆管数量不应少于 2 根，注浆管的构造及布置应能保证试验结束后产生的空隙能被充分填充。

4.3.8 声测管、注浆管和位移杆（丝）护套管在荷载箱部位应做成可伸缩结构，并进行可靠的密封处理，确保不渗漏水泥浆。

4.3.9 自平衡法静载试验，需测试桩身内力及桩周各土层的极限侧阻力时，应符合本规程附录 B 的规定；荷载箱系统的安装见附录 C。

4.4 现场检测

4.4.1 自平衡法静载试验应采用慢速维持荷载法。

4.4.2 试验加载卸载应符合下列要求：

1 试验前应进行预加载，荷载为最大加载值的 1/10，持续时间 30min 卸荷，检查测试系统的工作状态；

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

3 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；

4 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 $\pm 10\%$ ；

5 采用双层荷载箱时，宜先进行下荷载箱测试，后进行上荷载箱测试。

4.4.3 慢速维持荷载法试验步骤应符合下列规定：

1 每级荷载施加后，应分别按第 5min、15min、30min、45min、60min 测读位移，以后每隔 30min 测读一次位移；

2 位移相对稳定标准：每一小时内的位移增量不超过 0.1mm，并连续出现两次（从分级荷载施加后的第 30min 开始，按 1.5h 连续三次每 30min 的位移观测值计算）；

3 当本级荷载作用下，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，分别按第 15min、30min、60min 测读位移量后，即可卸下一级荷载；卸载至零后，应测读

残余位移，维持时间不得小于 3h，测读时间分别为第 15min、30min，以后每隔 30min 测读一次残余位移量。

4.4.4 荷载箱上段或下段位移出现下列情况之一时，即可终止加载：

1 某级荷载作用下，荷载箱上段或下段位移增量大于前一级荷载作用下位移增量的 5 倍，且位移总量超过 40mm；

2 某级荷载作用下，荷载箱上段或下段位移增量大于前一级荷载作用下位移增量的 2 倍，且经 24h 尚未达到本规程第 4.4.3 条第 2 款相对稳定标准；

3 已达到设计要求的最大加载量且荷载箱上段或下段位移达到本规程第 4.4.3 条第 2 款相对稳定标准；

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，大直径桩或桩身弹性压缩较大时取高值；当桩端阻力尚未充分发挥时，可加载至位移总量超过 80mm；

5 荷载已达荷载箱加载极值，或荷载箱上、下段位移已超过荷载箱行程。

4.4.5 检测数据宜按附录 D 中的格式记录。

5 检测数据分析与判定

5.1 试验数据分析

5.1.1 确定单桩竖向极限承载力时，应绘制荷载—位移（ $Q_{um}-s_u$ 、 $Q_{ud}-s_d$ ）曲线和位移—加荷时间对数（ s_u-lgt 、 s_d-lgt ）曲线；需要时也可绘制其他辅助分析曲线。

5.1.2 当进行桩身应力、应变测定时，应按本规程附录 B 的规定整理测试数据，绘制桩身轴力分布图，计算不同土层的桩侧阻力和桩端阻力。

5.1.3 基桩自平衡等效转换方法见附录 E。

5.2 上段桩和下段桩极限加载值的确定

5.2.1 上段桩极限加载值 Q_{um} 和下段桩极限加载值 Q_{ud} 应按下列方法综合确定：

1 根据位移随荷载变化的特征确定：对于陡变型 $Q_{um}-s_u$ 、 $Q_{ud}-s_d$ 曲线，取其发生明显陡变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： Q_{um} 取 s_u-lgt 曲线尾部出现明显向上弯曲的前一级荷载值； Q_{ud} 取 s_d-lgt 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；

3 符合本规程第 4.4.4 条第 1、2 款情况时， Q_{um} 和 Q_{ud} 应取前一级荷载值；

4 对缓变型 $Q_{uu}-s_u$ 、 $Q_{ud}-s_d$ 曲线可根据位移量确定，上段桩极限加载值 Q_{uu} 取对应向上位移 $s_u = 40\text{mm}$ 对应的荷载值，当上段桩长大于 40m 时，宜考虑桩身的弹性压缩量；下段桩极限加载值 Q_{ud} 取对应向下位移 $s_d = 40\text{mm}$ 对应的荷载值，对直径大于或等于 800mm 的桩，可取荷载箱向下位移量为 0.05 倍桩端直径对应的荷载值。

5.2.2 当不满足本规程第 5.2.1 条情况时，宜分别取向上、向下两个方向的最大试验荷载作为上段桩极限加载值 Q_{uu} 和下段桩极限加载值 Q_{ud} 。

5.3 单桩极限承载力的判定

5.3.1 基桩自平衡法静载试验判定单桩竖向承载力极限值可按下列公式计算：

单荷载箱：

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - W}{\gamma_1} + Q_{ud} \quad (5.3.1-1)$$

双层荷载箱：

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - W}{\gamma_1} + Q_{um} + Q_{ud} \quad (5.3.1-2)$$

式中： Q_u ——单桩竖向承载力极限值（kN）；

Q_{uu} ——上段桩的极限加载值（kN）；

Q_{um} ——中段桩的极限加载值（kN）；

Q_{ud} ——下段桩的极限加载值（kN）；

W ——荷载箱上段桩的自重与附加重量之和（kN）；

γ_1 ——受检桩的抗压摩阻力转换系数，宜根据实际情况

通过相近条件的比对试验和地区经验确定。当无可靠比对试验资料和地区经验时, γ_1 可取 0.8 ~ 1.0, 长桩及黏性土取大值, 短桩或砂土取小值。

5.3.2 基桩自平衡法静载试验判定单桩竖向抗拔极限承载力可按下式计算, 且不得大于由桩身配筋强度控制的承载力。

$$Q_u = \frac{Q_{um}}{\gamma_2} \quad (5.3.2)$$

式中: γ_2 ——受检桩的抗拔摩阻力转换系数, 承压型抗拔桩应取 1.0, 对于承拉型抗拔桩, 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, 且不应小于 1.1。

5.3.3 设计不考虑摩阻力时, 端承桩的单桩竖向抗压极限承载力按下式计算:

$$Q_u = Q_{pk} \quad (5.3.3)$$

式中: Q_{pk} ——桩端极限阻力推定值, $Q_{pk} = \psi_p \times Q_{ud} \times (A_{pd}/A)$;

A ——荷载箱承压板底面积 (m^2);

A_{pd} ——荷载箱的有效面积 (m^2);

ψ_p ——大直径桩端阻力尺寸效应系数, 按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中的相关规定取值。

5.4 单桩竖向极限承载力标准值的确定

5.4.1 参加统计的测试桩不少于 3 根时, 当满足极差不超过平均值的 30% 时, 可取其算术平均值作为单桩竖向抗压极限承载力标准值。

5.4.2 当极差超过平均值的 30% 时, 应分析极差过大的原因, 并结合工程具体情况综合确定极限承载力标准值; 不能明确极差

过大的原因时，可增加测试桩数量。

5.4.3 试验桩数量小于3根或桩基承台下的桩数不大于3根时，应取低值。

5.5 单桩竖向承载力特征值的确定

5.5.1 单桩竖向抗压（拔）承载力特征值（kN）按下式计算：

$$R_a = Q_u / 2 \quad (5.5.1)$$

式中： Q_u ——单桩竖向承载力极限值（kN）；

R_a ——单桩竖向抗压（拔）承载力特征值（kN）。

6 试验桩后处理

- 6.1.1** 试验桩用作工程桩使用时，试验桩的后处理应有专项方案，保证桩身在荷载箱段的工作性能。
- 6.1.2** 若下位移杆不当作注浆管使用时，应单独设置注浆管。
- 6.1.3** 注浆管应能承受 1.5MPa 以上静水压力，管体强度应能保证钢筋笼吊装和混凝土灌注过程中不至于破损。
- 6.1.4** 当采用高压注浆进行试验桩后处理，注浆材料宜用强度等级 42.5 以上的水泥浆，浆液的水灰比宜为 0.5~0.65，并渗入一定量的微膨胀剂，确保浆体强度达到桩身强度要求，无收缩。
- 6.1.5** 注浆前应先泵送清水冲洗试验后留下的空隙，直到相邻注浆管返回的水流变清澈，方可进行注浆。
- 6.1.6** 注浆时观察压力表和浆液注入情况，并做好记录。
- 6.1.7** 当注浆符合下列条件之一时，可终止注浆：
- 1 注浆总量达到理论注浆量，且注浆压力不小于 0.5MPa；
 - 2 浆液从另一注浆管冒出，相邻注浆管返回的浆液与注入浆液浓度相差不大。
- 6.1.8** 注浆压力长时间低于正常值或地面出现冒浆时，应更改为间歇注浆或调低浆液水灰比。间歇注浆时，间歇时间宜为 30min~60min。

附录 A 检测报告基本信息

A.0.1 检测报告基本信息宜按表 A.0.1 的格式记录。

表 A.0.1 检测报告基本信息

工程名称			
工程地点		委托编号	
检测数量		检测日期	
委托单位			
勘察单位			
设计单位			
监理单位			
施工单位			
检测单位			
基础		层数	
结构形式			
设计要求			
检测目的			
检测依据			
检测结论			
备注			

批准：

审核：

检测：

附录 B 桩身内力测试

B.0.1 自平衡法静载试验基桩内力测试适用于桩身横截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 桩身内力测试可根据测试目的、试验桩型及施工工艺选用电阻应变式传感器、振弦式传感器、滑动测微计或光纤式应变传感器。需要检测桩身某断面或桩底位移时，可在需检测断面设置位移杆（丝）。

B.0.3 传感器设置的位置和数量应符合下列规定：

- 1 传感器测量断面应设置在两种不同性质土层的界面处；
- 2 当分层岩土土层厚度较大时，宜在中间增加测试断面；
- 3 荷载箱上段桩或下段桩应在同一个土层设置两个测量断面作为传感器标定断面，第一个标定断面距离荷载箱距离宜在30cm~50cm，且与两个标定断面之间的距离相等；
- 4 传感器埋设断面距桩顶和桩底的距离不宜小于1倍桩直径；
- 5 传感器标定断面处应对称设置4个传感器，其他测量断面处可对称埋设2~4个传感器，当桩径较大或试验要求较高时取高值。

B.0.4 采用滑动测微计时，可在桩身内通长埋设1根或1根以上测管，测管内宜每隔1m设测标或测量断面一个。

B.0.5 应变传感器安装，可采用焊接或绑焊工艺将传感器固定在钢筋笼上。

B.0.6 电阻应变式传感器及其连接电缆，应有可靠的防潮绝缘防护措施；正式测试前，传感器及电缆的系统绝缘电阻不得低于200MΩ。

B.0.7 应变测量所用的仪器，宜具有多点自动测量功能，仪器的分辨力应优于或等于 $1\mu\varepsilon$ 。

B.0.8 振弦式钢筋计应按主筋直径大小选择，并采用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，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，得出压力与频率之间的关系。

B.0.9 带有接长杆的振弦式钢筋计宜焊接在主筋上，不宜采用螺纹连接。

B.0.10 滑动测微计测管的埋设应确保测标同桩身位移协调一致，并保持测标清洁，在浇筑混凝土前将测管绑扎在主筋上，并应采取防止钢筋笼扭曲的措施。

B.0.11 滑动测微计测试前后，应进行仪器标定，获得仪器零点和标定系数。

B.0.12 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.0.13 测试数据整理应符合下列规定：

1 采用电阻应变式传感器测量时，应按下列公式对实测应变值进行导线电阻修正：

采用半桥测量时按下式计算：

$$\varepsilon = \varepsilon' \left(1 + \frac{r}{R} \right) \quad (\text{B.0.13-1})$$

采用全桥测量时按下式计算：

$$\varepsilon = \varepsilon' \left(1 + \frac{2r}{R} \right) \quad (\text{B. 0. 13-2})$$

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 采用振弦式传感器测量时，应根据率定系数将钢筋计实测频率换算成力值，再将力值换算成与钢筋计断面处的混凝土应变相等的钢筋应变值；

3 采用滑动测微计测量时，应按下列公式计算应变：

$$e = (e' - z_0) \cdot k \quad (\text{B. 0. 13-3})$$

$$\varepsilon = e - e_0 \quad (\text{B. 0. 13-4})$$

式中： e ——仪器读数修正值；

e' ——仪器读数；

z_0 ——仪器零点；

k ——率定系数；

ε ——应变值；

e_0 ——初始测试仪器读数修正值。

4 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：

$$Q_i = \bar{\varepsilon}_i \cdot E_i \cdot A_i \quad (\text{B. 0. 13-5})$$

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), 当混凝土桩身断面、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)。

5 按每级试验荷载下, 应将桩身不同断面处的轴力值制成表格, 并绘制轴力分布图。桩侧土的分层极限摩阻力和极限端阻力:

$$q_{si} = \frac{|Q_i - Q_{i+1}|}{u \cdot l_i} \quad (\text{B. 0. 13-6})$$

$$q_p = \frac{Q_b}{A_b} \quad (\text{B. 0. 13-7})$$

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);

Q_b ——桩端轴力 (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);

A_b ——桩端面积 (m^2)。

6 桩身第 i 断面处的钢筋应力可按下式计算:

$$\sigma_{si} = E_s \cdot \varepsilon_{si} \quad (\text{B. 0. 13-8})$$

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。

B. 0. 14 指定桩身断面的位移及两个指定桩身断面之间的位移

差，可采用位移杆测量。位移杆（丝）应具有一定的刚度，宜采用内外管形式：外管固定在桩身，内管下端固定在需测试断面，顶端高出外管 100mm~200mm，并能与测试断面同步位移。

附录 C 荷载箱系统安装

C.0.1 基桩自平衡法静载试验荷载箱系统安装见图 C.0.1。

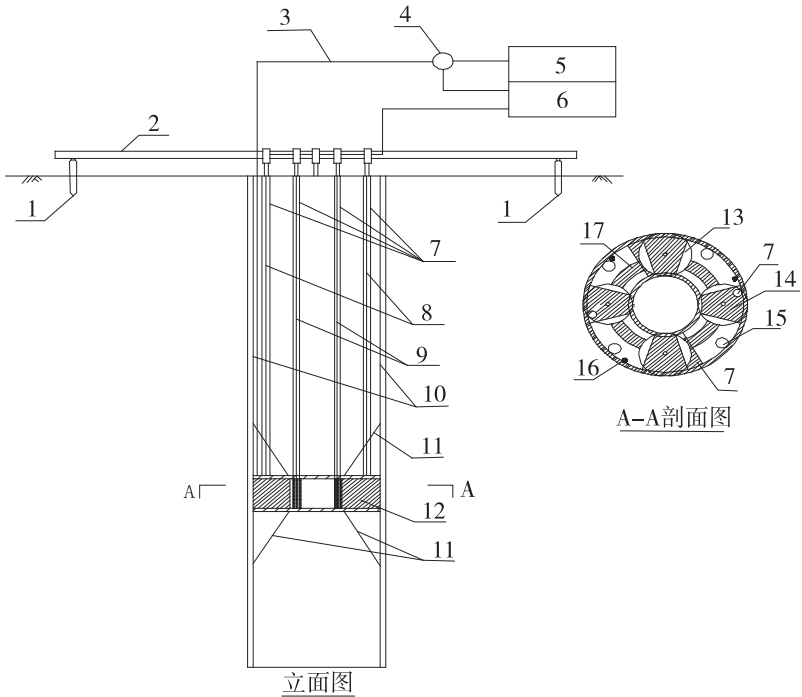


图 C.0.1 基桩自平衡法静载试验荷载箱系统安装

1-基准桩 2-基桩梁 3-液压管 4-压力传感器 5-油泵或水泵 6-数据采集系统 7-位移护套管 8-上位移杆(丝) 9-下位移杆(丝)
10-钢筋笼 11-导向钢筋 12-荷载箱 13-液压缸 14-连接板 15-声测管 16-连接钢筋 17-保护盒

C.0.2 常见的荷载箱类型有整体环形荷载箱、组合式荷载箱及埋设于桩底的荷载箱。

C.0.3 对于埋设于桩身的荷载箱，当桩径小于等于 1100mm 时，宜采用整体环形荷载箱；当桩径大于 1100mm 时，宜采用组合式荷载箱。

附录 D 自平衡法静载试验数据记录表

D.0.1 自平衡法静载试验的检测数据宜按表 D.0.1 的格式记录。

表 D.0.1 自平衡法静载试验记录表

工程名称															
工程地点															
受检桩编号		受检桩类型		桩径 (mm)		桩长 (m)									
桩端持力层		成桩日期		测试日期		加载方法									
荷载 编号	压力表 读数 (MPa)	荷载值 (kN)	记录 时间	间隔 (min)	位移计 (百分表)						平均位移 (mm)			温度 (℃)	突发情 况描述
					读数 (mm)						向上	向下	桩顶		
					1	2	3	4	5	6					

记录:

校核:

D.0.2 自平衡法静载试验的结果宜按表 D.0.2 的格式记录。

表 D.0.2 自平衡法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 (mm)				桩长 (m)		桩顶标高 (m)	
成桩日期		测试日期				加载方法			
荷载 编号	加载值 (kN)	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

记录:

校核:

D.0.3 自平衡法静载试验荷载箱宜按表 D.0.3 的格式记录。

表 D.0.3 自平衡法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 合格证 编号	荷载箱参数				
					外径 (mm)	内径 (mm)	高度 (mm)	额定加载能力 (kN)	荷载箱距桩底 距离 (m)

记录:

校核:

附录 E 等效转换方法

E.0.1 等效转换方法：将基桩自平衡法获得的荷载箱向上、向下两条 ($Q_{uu}-s_u$ 、 $Q_{ud}-s_d$) 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，如图 E.0.1 所示。

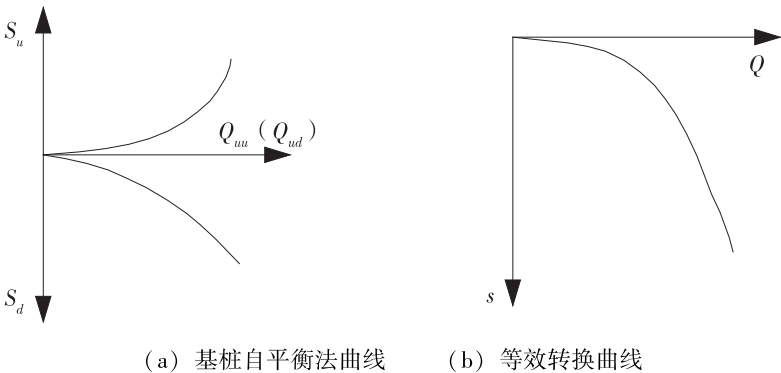


图 E.0.1 自平衡法结果转换示意图

E.0.2 转换假定应符合下列要求：

- 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；
- 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；
- 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—变位量关系与传统试验法是相同的；

5 桩上段的桩身压缩量 Δs 为上段桩底部及桩侧荷载引起的弹性压缩变形之和：

$$\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 \quad (\text{E. 0. 2-1})$$

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；

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。

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；

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。

E. 0. 3 桩身无钢筋计时的计算应符合以下规定：

1 根据附录中的 E. 0. 2 中的 5、6 款的假定：

$$\Delta s_1 = \frac{Q_{ud} L_u}{E_p A_p} \quad (\text{E. 0. 3-1})$$

$$\Delta s_2 = \frac{(Q_{uu} - W) L_u}{2E_p A_p \gamma_1} \quad (\text{E. 0. 3-2})$$

将式 (E. 0. 3-1)、(E. 0. 3-2) 代入式 (E. 0. 2-1)，可得桩身的弹性压缩量为：

$$\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 = \frac{[(Q_{uu} - W)/\gamma_1 + 2Q_{ud}] L_u}{2E_p A_p} \quad (\text{E. 0. 3-3})$$

桩顶等效荷载为：

$$Q = (Q_{uu} - W)/\gamma_1 + Q_{ud} \quad (\text{E. 0. 3-4})$$

2 据本规程附录 E. 0. 2 条中第 3 款的假定与等效桩顶荷载 Q

对应的桩顶位移 s_0 。则有：

$$s = s_d + \Delta s \quad (\text{E. 0. 3-5})$$

式中： s_d 可直接测定； Δs 可通过计算求得。

E. 0. 4 桩身有钢筋计时的计算应符合下列规定：

1 根据本规程附录 E. 0. 2 条中第 7 款规定，将荷载箱以上部分分割成 n 个单元，任意一单元 i 的桩轴向力 $Q(i)$ 和变位置 $S(i)$ 可用下式表示（示意图见图 E. 0. 4-1）：

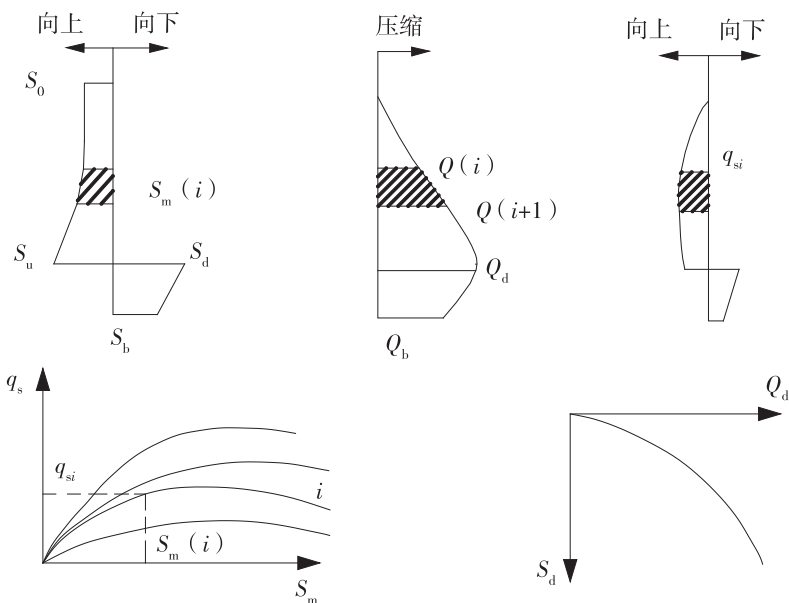


图 E. 0. 4-1 自平衡法的轴向力、桩侧摩阻力与变位置的关系

S_0 -桩头变位； S_u 、 S_d -荷载箱变位置； S_b -桩端变位置；

Q_d -荷载箱荷载； Q_b -桩端力

$$Q(i) = Q_j + \sum_{m=i}^n q_{sm} \{ U(m) + U(m+1) \} h(m) / 2$$

(E. 0. 4-1)

$$\begin{aligned}
 S(i) &= S_j + \sum_{m=i}^n \frac{Q(m) + Q(m+1)}{A_p(m)E_p(m) + A_p(m+1)E_p(m+1)} h(m) \\
 &= S(i+1) + \frac{Q(i) + Q(i+1)}{A_p(i)E_p(i) + A_p(i+1)E_p(i+1)} h(i)
 \end{aligned}
 \tag{E. 0. 4-2}$$

式中： Q_j —— $i=n+1$ 点（荷载箱深度）桩的轴向力（荷载箱荷载）（kN）；

S_j —— $i=n+1$ 点桩向下的变位量（m）；

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）；

$A_p(m)$ —— m 点处桩截面面积（ m^2 ）；

$E_p(m)$ —— m 点处桩弹性模量（kPa）；

$h(m)$ ——分割单元 m 的长度（m）。

2 单元 i （见图 E. 0. 4-2）的中点变位量 $S_m(i)$ 可用下式表示：

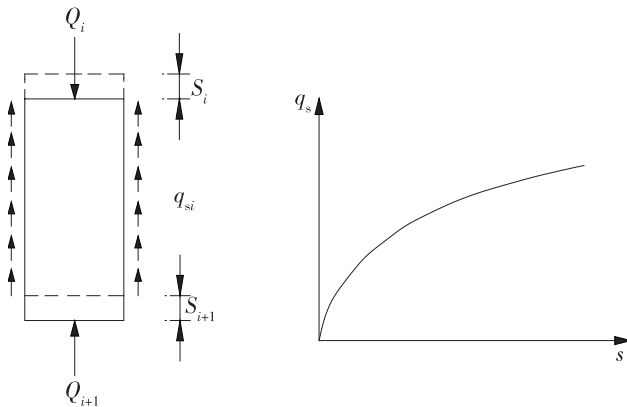


图 E. 0. 4-2 转换单元示意图

$$S_m(i) = S(i+1) + \frac{Q(i) + 3Q(i+1)}{A_p(i)E_p(i) + 3A_p(i+1)E_p(i+1)} \frac{h(i)}{2} \quad (\text{E. 0. 4-3})$$

将式 (E. 0. 4-1) 代入式 (E. 0. 4-2) 和式 (E. 0. 4-3) 中, 可得:

$$S(i) = S(i+1) + \frac{h(i)}{A_p(i)E_p(i) + A_p(i+1)E_p(i+1)} \left\{ \begin{array}{l} 2Q_j + \sum_{m=i+1}^n q_{sm} [U(m) + U(m+1)] h(m) + \\ q_{si} [U(i) + U(i+1)] \frac{h(i)}{2} \end{array} \right\} \quad (\text{E. 0. 4-4})$$

$$S_m(i) = S(i+1) + \frac{h(i)}{A_p(i)E_p(i) + 3A_p(i+1)E_p(i+1)} \left\{ \begin{array}{l} 2Q_j + \sum_{m=i+1}^n q_{sm} [U(m) + U(m+1)] h(m) + \\ q_{si} [U(i) + U(i+1)] \frac{h(i)}{4} \end{array} \right\} \quad (\text{E. 0. 4-5})$$

当 $i=n$ 时, 则:

$$S(n) = S_j + \frac{h(n)}{A_p(n)E_p(n) + A_p(n+1)E_p(n+1)} \left\{ \begin{array}{l} 2Q_j + q_{sn} [U(n) + U(n+1)] \frac{h(n)}{2} \end{array} \right\} \quad (\text{E. 0. 4-6})$$

$$S_m(n) = S_j + \frac{h(n)}{A_p(n)E_p(n) + 3A_p(n+1)E_p(n+1)}$$

$$\left\{ 2Q_j + q_{sn} [U(n) + U(n+1)] \frac{h(n)}{4} \right\}$$

(E. 0. 4-7)

3 用以上公式，由基桩自平衡法测出的桩侧摩阻力 q_{si} 与变位量 $S_m(i)$ 的关系曲线，将 q_{si} 作为 $S_m(i)$ 的函数，对于任意的 $S_m(i)$ ，可求出 q_{si} ，还可由荷载箱荷载 Q_j 与向下位移 S_j 的关系曲线求出 Q_j 。所以，对于 $S(i)$ 和 $S_m(i)$ 的 $2n$ 个未知数，可建立 $2n$ 个联立方程式。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 $Q_{uu}-s_u$ 曲线转换。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于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用词：

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用词：

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、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行时，写法为“可参照……”。

引用标准名录

- 1 《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》 JGJ/T 403
- 2 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 3 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 4 广西地方标准《基桩承载力自平衡法测试技术规程》
DBJ/T 45—031
- 5 浙江省地方标准《基桩承载力自平衡检测技术规程》 DB
33/T 1087
- 6 江苏省地方标准《基桩自平衡法静载试验技术规程》 DGJ
32/TJ 77
- 7 福建省地方标准《基桩竖向承载力自平衡法静载试验技
术规程》 DBJ/T 13—183
- 8 甘肃省地方标准《基桩承载力自平衡检测技术规程》 DB
62/T 25—3065

云南省工程建设地方标准

桩身自反力平衡静载试验技术规程

DBJ 53/T—106—2020

条文说明

编制说明

本规程是根据云南省住房和城乡建设厅《关于印发云南省2015年工程建设地方标准制订修订计划的通知》（云建标函〔2015〕188号）要求，由云南省建筑科学研究院、云南省建设工程质量检测中心有限公司、云南省岩土工程技术研究中心牵头会同其他11个单位共同编制而成。

本规程以国家行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T 403的章节安排和主体内容为基本构架，参考或借鉴了有关省（市、区）标准的一些适用内容，结合云南地区实际情况的基础上编制而成。

在编制过程中，2015年11月24日，由云南省建筑科学研究院召集省内13家企事业单位召开了标准编制的开题会议（暨编制组成立第一次工作会议），会议确定了规程编制需要进行的8个专题研究方向，并明确分工了各单位的编写章节内容及各单位后期进行的专题研究、资料收集、规程章节编写汇总工作；2017年6月5日，各单位的专题研究工作及初稿汇总工作已全部完成；2017年6月8日，编制组召开了由全体编制单位参加的第二次编制工作会议，会上对一年多以来专题研究进展情况及难点进行汇报，并对规程的初稿进行逐条讨论，将规程初稿由原先的61页压缩至40，内容安排也进行了相应的调整（规程包括6个章、3个附录），初步形成了征求意见稿；2017年6月20日，编制组召开了规程征求意见稿统稿及审稿工作会议（规程包括6个章、4

个附录)；2017年6月27日，规程形成征求意见稿并报送住建厅标准定额处进行规程网上征求意见，2017年9月7日收回全部意见共107条；针对所征集的意见，召开了规程征求意见稿的修改工作会议，编制组根据征求意见稿的反馈意见，进行逐条进行分析讨论，于2020年6月17日完成了规程的送审稿，确定了规程送审稿内容为6章5个附录。

目 次

1	总 则	(43)
3	基本规定	(44)
3.1	检测数量与加载值	(44)
3.2	检测工作程序	(44)
3.3	检测结果评价和检测报告	(47)
4	检测要点	(48)
4.2	仪器设备	(48)
4.3	设备安装	(49)
4.4	现场检测	(52)
5	检测数据分析与判定	(54)
5.1	试验数据分析	(54)
5.2	上段桩和下段桩极限加载值的确定	(54)
5.3	单桩极限承载力的判定	(55)
5.4	单桩竖向极限承载力标准值的确定	(56)
5.5	单桩竖向承载力特征值的确定	(57)
6	试验桩后处理	(58)

1 总 则

1.0.1 当前，建（构）筑物向高、重、大方向发展，各种大直径、大吨位桩基础应用越来越普遍，在狭窄场地、坡地、基坑底、水（海）上及超大吨位桩等情况下，传统的静载试验法（堆载法和锚桩法）受到场地和加载能力等因素的约束，以致许多大吨位和特殊场地的桩基础承载力得不到可靠的数据。

桩身自反力平衡静载试验是一种新方法，与传统静载试验相比有很多优势。主要表现为装置简单，试验省时、省力、安全、无污染，试验后荷载箱处注浆可作为工程桩使用，综合费用低。

1.0.2 本规程适用于建筑工程和市政桥梁工程基桩的竖向承载力检测与评价。本规程适用于钻孔灌注桩、人工挖孔桩、预制混凝土管桩以及钢管桩等的检测与评价，沉井、地下连续墙等其它深基坑也可参考本规程执行，不适用于预制实心桩的检测和评价。

3 基本规定

3.1 检测数量与加载值

3.1.1 本条规定的受检桩数量，与现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 一致。本条规定的检测数量仅仅是下限，可根据实际情况增加试桩数量。

3.1.2 本条明确规定为设计提供依据的静载试验应加载至桩的承载极限状态甚至破坏，即试验应进行到能判定单桩极限承载力为止。对于以桩身强度控制承载力的端承型桩，当设计另有规定时，应从其规定。

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进行估计，试验桩最大双向加载量可取按设计预估单桩极限承载力的 1.5 倍设定；仅对工程桩承载力校核时最大加载值取单桩承载力特征值的 2.0 倍，或按设计要求取值。

实际桩长与设计不吻合，由设计提供加载值，设计有要求时，按设计规定执行。

3.2 检测工作程序

3.2.1 本条图 3.2.1 是检测的一般工作程序。在实际过程中，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

进一步排查，都有可能使原检测方案中的检测数量、受检桩桩位发生变化。总之，检测方案并非一成不变，可根据实际情况动态调整。

3.2.2 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，应尽可能详细了解和搜集有关技术资料，并按表 1 填写受检桩设计施工概况表。所搜集的各种资料应为委托方提供的有关勘察、设计、施工单位的有效报告图件，设计单位的检测要求应为书面有效文本或在有效图件上文字注明。基础资料不齐全、试验检测所需数据不是书面有效文本或图件、检测场地不具备进场条件，不应组织检测。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。

表 1 受检桩设计施工概况表

桩号	桩横截面尺寸	混凝土设计强度等级 (MPa)	设计桩顶标高 (m)	检测时桩顶标高 (m)	施工桩底标高 (m)	施工桩长 (m)	成桩日期	设计桩端持力层	单桩承载力特征值或极限值 (kN)	备注
工程名称				地点				桩型		

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。为满足建设方在技术质量、安全及工期方面的要求，检测机构应根据现场情况，从仪器设备、人员组织、质量保证措施、安全措施、检测周期等方面认真编写有针对性的检测方案，并在检测过程中遵照实施。如需变更应及时与建设方协商。

3.2.3 本条主要是针对桩的休止期和桩身强度提出，同时强调测试桩的成桩工艺和质量控制应执行工程桩的相关技术标准。

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。桩基工程受季节气候，周边环境或工期紧的影响，往往不允许等到全部工程桩施工完并都达到28d龄期强度后再开始检测。自平衡试验为双向加载，桩身产生的应力是传统试验的一半，若桩身混凝土强度低，有可能引起桩身损伤或破坏。为分清责任，规定强度计算的桩身承载力大于荷载箱单向最大加载值的1.5倍，且桩身混凝土强度应不低于设计强度的80%。对采用后注浆施工工艺的桩，注浆后的休止时间应同时得到满足。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。

3.2.4 本条制定参照《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106。

相对于静载试验而言，完整性检测（除钻芯法外）方法作为普查手段，具有速度快、费用较低和检测数量大的特点，容易发现桩基的整体施工质量问题，至少能为有针对性的选择静载试验提供依据。所以，完整性检测安排在静载试验之前是合理的。自平衡法静载试验中，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，故建议在检测前后对试验桩进行完整性检测，为分析桩身结构破坏的原因提供证据。桩身完整性判别标准不同于《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中对桩身完整性判别标准。

3.2.5 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，应采用其它方法验证。倘若初次检测已基本查明质量问题的原因所在，则不宜盲目扩大检测，对于没有条件采用自平衡扩大检测时，可参照《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 相关条款进行。

3.3 检测结果评价和检测报告

3.3.2 本条规定了检测报告中应包括的内容，避免报告过于简单，保证报告的内容完整，今后利于委托方、设计及检测部门对报告的审查和分析。

4 检测要点

4.2 仪器设备

4.2.1 检测所用仪器应进行定期检定或校准，以保证基桩检测数据的准确可靠性和可追溯性。虽然测试仪器在有效计量检定或校准周期之内，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仪器仪表受损或校准因子发生变化。因此，检测前还应加强对测试仪器、配套设备的期间核查；发现问题后应重新检定或校准。

4.2.2 检测时一般采用加载油泵通过加压管加压，使荷载箱产生向上、向下的推力，通过控制油泵压力来控制荷载箱推力的大小；所有油管、接头都要有具有承受 60MPa 压力的能力。

4.2.3 荷载箱不得在现场拼装，以防止荷载箱位置安装不准确而造成加载力的偏心度过大。

4.2.4 对试验过程中加压系统所采用的仪器、仪表的性能、精度、量程做了要求，目的是为了保证试验中压力值真实、可靠，使各种人为或外界的影响降到最低限度；对试验过程中位移观测系统所采用的仪器、仪表的性能、量程、分辨率、示值总误差、位移测量仪表的数量做了要求，目的是为了保证位移检测数据真实、可靠，使各种人为或外界的影响降到最低限度。

4.3 设备安装

4.3.1 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或小直径桩模拟试验进行模拟；检测桩为抗拔桩时，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，以分别检测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。配重措施现场可采用堆土、堆砂、堆配重块等方法，但桩顶提供的配重措施不应妨碍现场检测工作。

4.3.2 当荷载箱位移方向与桩身轴线方向夹角小于 1° 时，荷载箱在桩身轴线上产生的力为99.9%所发出的力，其偏心影响很小，可忽略不计。试桩单位要进行现场监督安装及指导，确保施工放置钢筋笼不倾斜。

4.3.3 荷载箱的上下连接板应分别与上下钢筋笼的主筋焊接在一起，焊缝应满足强度要求。荷载箱上下应设置喇叭状的导向钢筋，其作用是为了钻孔灌注桩在灌注时导管能顺利通过荷载箱，避免导管的上下移动对荷载箱产生碰撞，从而影响荷载箱的埋设质量。导向钢筋的一端与主筋焊接，一端焊在环形荷载箱板内圆边缘处，导向钢筋数量、直径与钢筋笼主筋相同。导向钢筋与荷载箱平面的夹角应大于 60° 。

钢筋笼在荷载箱位置断开，上段钢筋笼的主筋与荷载箱上部牢固焊接在一起，下段钢筋笼的主筋与荷载箱下部牢固焊接在一起，焊缝应满足荷载箱安装强度要求，以避免施工过程中荷载箱脱落。荷载箱和下段钢筋笼重量较大，应分别在荷载箱的顶部和

底部主筋焊接位置处设 L 型加强筋，或现场施工条件允许时，可在荷载箱与钢筋笼主筋焊接处，直接把钢筋笼主筋加工成 L 型主筋后，再与荷载箱进行焊接，如下图 1 所示；必要时，荷载箱放置处宜采取增设两层钢筋网片等局部加强措施。荷载箱的刚度、强度应满足静载试验要求。

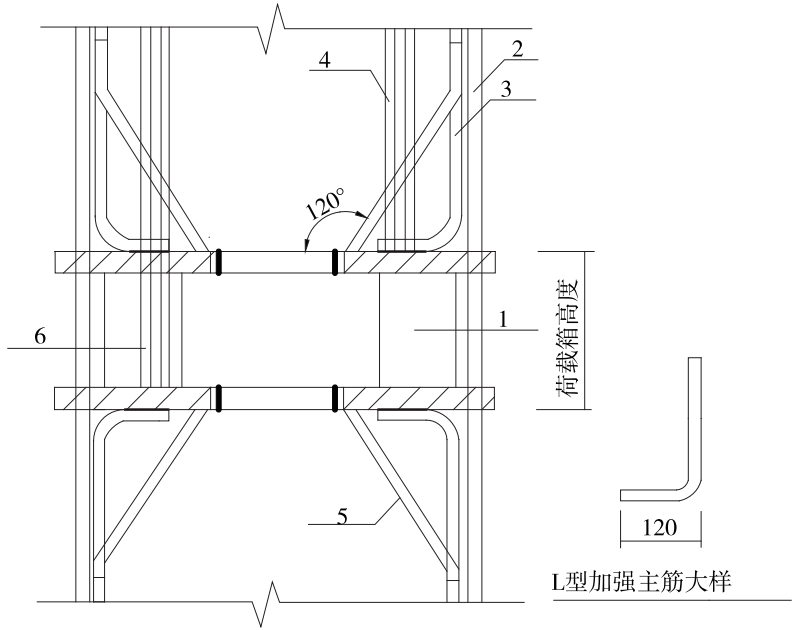


图 1 采用“L”型加强主筋的荷载箱与钢筋笼连接示意图

- 1-荷载箱的千斤顶 2-压浆管 3-桩主筋（L 型加强主筋）
4-上位移管（杆） 5-导向钢筋 6-下位移管（杆）

4.3.5 上下位移杆（丝）与钢筋笼宜在上连接钢板以上 20cm ~ 50cm 左右位置固定绑扎，并沿钢筋笼每隔 50cm 捆绑固定直至桩顶；位移丝在工地现场安装及保护较为困难，但位移杆容易实施，因此，优先采用位移杆。

位移杆（丝）与护套管连接的具体步骤为：（1）钢筋笼与荷载箱焊接；（2）位移杆（丝）摆在护套管中；（3）位移杆（丝）与荷载箱位移杆或位移丝固定端连接；（4）护套管与荷载箱套管连接；（5）护套管与钢筋笼绑扎；（6）下放钢筋笼。

4.3.6 在检测桩加卸载过程中，荷载传至检测桩、基准桩周围地基土并使之变形。随着检测桩、基准桩间相互距离缩小，地基土变形对检测桩、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：检测桩中心到基准桩间的距离应“小于2.5m或3D”，这和我国现行规范规定的“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）。大直径桩试验荷载大、基准梁又难免气候环境影响。考虑到现场试验中的困难，故本规程中对部分间距的规定放宽为“不小于3D”。

当基桩梁暴露在阳光、雨雪天气下，可采取现场搭设遮阳、遮雨棚等防护措施进行处理。

4.3.7 工程桩检测完毕后，为确保测试后检测桩能够正常使用，施工单位必须对测试桩的荷载箱部位进行试桩后处理，目前国内通常采用高压注浆处理技术。

试验时，组成荷载箱的千斤顶缸套和活塞之间产生相对滑动，荷载箱处的混凝土被拉开，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，通过注浆管，用高压注浆泵将水泥浆注入，确保检测桩能够正常发挥，仍可作为工程桩使用。主要原因有：

1 高压注浆能够使水泥浆填满荷载箱部位的空隙，且该处桩身强度不低于试验前；

2 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%，注浆处理后桩的承载力会有所提高；

3 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；

4 对于荷载箱埋设于桩端的情况，试验后对桩端进行高压注浆，相当于桩端持力层进行后注浆处理，能够明显提高桩端阻力，有效提高承载力。

4.3.8 加载过程，荷载箱打开后，荷载箱部位的桩体会被拉开，当有声测管、注浆管和位移杆（丝）护管在荷载箱部位设置伸缩结构，保证荷载箱顺利打开。同时可伸缩结构应得到可靠的密封处理，以免混凝土浇筑时水泥浆进入管内，导致试验失败或无法进行高压注浆。

4.3.9 对于施工前为设计提供依据的试验桩，通过在桩身埋设内力测试元件，并与桩的加、卸载试验同步进行桩身内力测试，可得到上段桩桩侧各土层的抗拔侧摩阻力、下段桩桩侧各土层的抗压侧摩阻力及桩端阻力，对于优化桩基设计具有十分重要的意义。

4.4 现场检测

4.4.1 本条制定参照《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106，是按我国的传统做法，对维持荷载法进行的原则性规定。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承载力验收检测方法的唯一标准。

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，为保证上部桥梁正常使用，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。

4.4.2 参考《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中分级加、卸载的规定。

4.4.3 抗压试验时因需要将上段桩承载力和下段桩承载力叠加，故试验过程中应分别控制上位移和下位移的变化情况。对抗压桩试验，当上位移和下位移均达到稳定标准或收敛标准时，方可加下一级荷载。

4.4.4 对于抗拔桩的自平衡法静载试验终止加载条件，按本条上段桩位移的规定进行判定；本条 40mm、60mm、80mm 的位移相关规定，参考国家现行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T 403 的规定。

5 检测数据分析与判定

5.1 试验数据分析

5.1.1 同一工程的一批检测桩曲线应按相同的沉降纵坐标比例绘制，满刻度沉降值不宜小于 40mm，当桩顶累计沉降量大于 40mm 时，可按总沉降量以 10mm 的整模数倍增加满刻度值，使结果直观、便于比较。

5.2 上段桩和下段桩极限加载值的确定

5.2.1 Q_{uu} 和 Q_{ud} 的确定参考了《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中单桩竖向极限承载力值 Q_u 的确定方法。

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；黏性土中端阻充分发挥所需的桩端位移为桩径的 4%~5%，而砂土中可能高到 15%。故本条第 4 款对缓变型 $Q-s$ 曲线，按 $s=0.05D$ 确定直径大于等于 800mm 桩的极限承载力大体上是保守的；且因 $D \geq 800\text{mm}$ 时定义为大直径桩，当 $D=800\text{mm}$ 时， $0.05D=40\text{mm}$ ，正好与中、小直径桩的取值标准衔接。应该注意，世界各国按桩顶总沉降确定极限承载力的规定差别较大，这和各国安全系数的取值大小、特别是上部结构对桩基沉降的要求有关。因此当按本规程建议的桩顶沉降量确定极限承载力时，尚应考虑上部结构对桩基沉降的具体要求。

关于桩身弹性压缩量：当进行桩身应变或位移测试时是已知

的；缺乏测试数据时，可假设桩身轴力沿桩长倒梯形分布进行估算，或忽略端承力按倒三角形保守估算，计算公式为 $\frac{QL}{2EA}$ 。

5.3 单桩极限承载力的判定

5.3.1 在自平衡法静载实验中，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是相反的。传统加载时，侧阻力将使土层压密，而自平衡法加载时，上段桩侧阻力将使土层减压松散，故自平衡法测出的摩阻力要小于传统方法测出的摩阻力，因此，引进受检桩的抗拔摩阻力转换系数 γ_1 ，目的是对自平衡法上段桩的负摩阻力进行修正，把上段桩负摩阻力转化成传统静载试验的正摩阻力。

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 γ_1 ，根据全国范围内 35 个工程共 132 个对比数据可得， γ_1 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_1 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)。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 $L>60\text{m}$ ）及黏性土取 1.0，短桩（一般指 $L\leq 30\text{m}$ ）或砂土取 0.8；对于桩侧土为岩石的情况，鉴于对比数据很少，偏于安全起见， γ_1 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；对于云南地区淤泥、淤泥质土、泥炭质土等特殊土层，宜根据实际情况通过相近条件的比对试验和地区经验确

定，当无可靠比对试验资料和地区经验时，受检桩的抗压摩阻力转换系数取 1.0。

5.3.2 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。对于抗压型抗拔桩，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影响，试验中桩底托桩和桩顶拔桩的侧摩阻力之比为 1.1。另外，在专门验证桩底托桩、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，对于承拉型抗拔桩， γ_2 取值不应小于 1.1。

5.3.3 对于端承桩来说，在计算单桩竖向抗压极限承载力时不考虑桩侧摩阻力，对结构更安全。

5.4 单桩竖向极限承载力标准值的确定

5.4.1~5.4.3 本条只适用于为设计提供依据时的竖向抗压极限承载力试验结果的统计，统计取值方法按《建筑地基基础设计规范》GB50007 的规定执行。前期静载试验的桩数一般很少，而影响单桩承载力的因素复杂多变。因为数有限的试验桩中常出现个别桩承载力过低或过高，若恰好不是偶然原因造成，简单算术平均容易造成浪费或不安全。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。例如一组 5 根检测桩的极限承载力值依次为 800、900、1000、1100、1200kN，平均值为 1000kN，单桩承载力最低值和最高值的极差为 400kN，超过平均值的 30%，则不宜简单地将最低值 800kN 去掉用后面 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情况。当低值承载力的出现并非偶然原因造成时，例如施工方法本身质量可靠性较低，但能够在以之后的工程桩施工中加以控制和改进，出于安全考虑，按本例可依次去掉高值后取平均，直至满足极差不超过 30% 的条件，此时可取平均值 900kN 为极限承载力；又如桩数为 3 根或 3 根以下承台，或以后工程桩施工为密集挤土群桩，出于安全考虑，极限承载力可取低值 800kN。

5.5 单桩竖向承载力特征值的确定

5.5.1 《建筑桩基技术规范》JGJ 94 规定的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统计值除以安全系数 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。

6 试验桩后处理

6.1.1 若试验桩当作工程桩使用时，应编写专项注浆方案，以此保障注浆质量，使桩身在荷载箱段维持工作性能。

6.1.2 当位移杆满足注浆管要求时，可在位移杆内注浆，首先应从一根下位移杆注入清水，从另一根下位移杆出清水形成闭合回路后，再进行高压注浆；当位移杆不能满足注浆管要求时，应设注浆管。

6.1.4 注浆方法可采用压力灌浆或真空灌浆法，应采用多次注浆。当有成熟经验时，可按经验方法进行注浆处理。压浆机械使用活塞式压浆泵，压力灌浆注浆压力根据施工现场实际情况确定，一般情况下为 $0.2\text{MPa} \sim 2.0\text{MPa}$ 。真空灌浆在压浆期间抽出的真空压力应保持在 $-0.08\text{MPa} \sim -0.1\text{MPa}$ 。注浆前可用清水灌注，确保注浆通道连通。水泥宜使用硅酸盐水泥或普通水泥，且不得结块，强度等级不应低于 42.5MPa 。外加剂宜采用低含水量、流动性好、具有微膨胀性等特性的外加剂。

6.1.5 注浆前一般要求对注浆管及空隙进行冲洗，把因荷载箱撑开时形成负压吸入的泥浆等杂质冲洗干净。

6.1.6 为确保压力灌浆处理效果，应严格按规范要求做好注浆记录。正常灌浆后，为确保桩内灌浆饱满，应对注浆管口进行封口保压，保压时间不小于 15min ，并记录灌浆量。