

备案号：J 1xxxx—20xx

浙江省工程建设标准

DBJ

DBJ 33/T 12xx—20xx

基桩承载力自平衡检测技术规程

Technical specification for self-balanced bearing
capacity testing of foundation pile

(征求意见稿)

20xx—00—00 发布

20xx—00—01 施行

浙江省住房和城乡建设厅 发布

前 言

根据浙江省住房和城乡建设厅《关于印发 2021 年度浙江省建筑节能与绿色建筑及相关工程建设标准制修订计划》（第一批）的通知（浙建设函〔2021〕145 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，结合浙江省的实际情况，参考有关国家标准、国内外先进经验，并在广泛征求意见的基础上，修订本规程。

本规程共分为 5 章和 3 个附录。主要内容包括：总则，术语和符号，基本规定，现场检测，检测数据的分析与判定。

本规程修订的主要内容：

1. 对原规程中的符号跟行业规范《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403-2017 进行了统一，且增加了部分符号；
2. 对自平衡检测法的范围进行了扩大，增加了预制管桩、钢管桩自平衡法静载试验的检测方法和具体要求；
3. 增加了自平衡法深层平板载荷试验的相关规定；
4. 增加了受检抗拔桩荷载箱、双荷载箱及位移杆（丝）护套的操作方法和埋设要求；
5. 对自平衡法专用设备荷载箱的相关规定进行了补充和完善；
6. 增加了等效转换法；
7. 引入了受检桩的抗拔摩阻力转换系数 γ_2 ；
8. 部分描述及要求同行业规范《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403-2017 进行了统一。

本标准由浙江省住房和城乡建设厅负责管理，由浙江大合检测有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或

建议，请将意见或有关资料寄送浙江大合检测有限公司（杭州市余杭区闲林街道安邦大厦，邮编：310023，邮箱：261878545@qq.com），以供修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人及主要审查人：

主 编 单 位：浙江大合检测有限公司

浙江省地矿建设有限公司

浙江鸿翔建设集团股份有限公司

参 编 单 位：

主要起草人：

主要审查人：

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	4
3.1	一般规定	4
3.2	检测工作程序	4
4	现场检测	7
4.1	仪器设备	7
4.2	仪器安装	8
4.3	现场测试	10
5	检测数据的分析与判定	12
5.1	分析数据	12
5.2	承载力判定	13
	附录 A 荷载箱的技术要求	15
	附录 B 自平衡静载试验数据记录表	16
	附录 C 等效转换方法	19
	本规程用词说明	22
	引用标准名录	23
	附:条文说明	24

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements.....	4
3.1	General Requirements	4
3.2	Testing Procedures.....	4
4	Field Test.....	7
4.1	Instrument and Equipments.....	7
4.2	Equipments Installation.....	8
4.3	Field Test	10
5	Test Results Analysis and Assessment.....	12
5.1	Results Analysis	12
5.2	Bearing Capacity Assessment.....	13
Appendix A	Technical Requirements of Load Cell.....	15
Appendix B	Data Sheets of Self-balanced Static Loading Test.....	16
Appendix C	Equivalent Conversion Method.....	19
	Explanation of Wording in This Specification.....	22
	List of Quoted Standards.....	23
	Addition: Explanation of Provisions.....	24

1 总 则

1.0.1 为保证基桩承载力自平衡检测工作质量，规范基桩承载力自平衡检测工作，做到安全适用、技术先进、数据准确、评价正，为设计、施工及验收提供可靠依据，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于基桩竖向承载力自平衡检测和评价。

1.0.3 基桩承载力自平衡检测除应执行本规程外，尚应符合国家和浙江省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 基桩承载力自平衡检测法 self-balanced method to test bearing capacity of foundation pile

基桩静载检测的一种方法，在成桩过程中，将荷载箱预埋在桩身平衡点处，在地面由高压油泵进行加载，根据检测数据绘制上、下段桩的荷载—位移曲线，从而得到检测桩的极限承载力。

2.1.3 平衡点 balanced position

基桩桩身某一位置，其上段桩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桩端极限阻力之和基本相等。

2.1.4 荷载箱 load cell

自平衡静载试验中用于施加荷载的加载装置。

2.1.5 自平衡法深层平板载荷试验 self-balanced static loading for deep plate load testing

自平衡法深层平板载荷试验是将荷载箱埋设在桩底，利用桩侧摩阻力和桩身自重提供反力，测试桩端土层在荷载箱底板下应力主要影响范围内的承载力和变形参数的一种原位试验方法。

2.1.6 基准梁 datum line beam

用于固定变形测量设备的刚性梁。

2.1.7 基准桩 datum line pile

用于固定基准梁的桩。

2.1.8 等效转换方法 equivalent conversion method

将自平衡静载试验的荷载箱向上、向下的荷载-位移曲线等效

转换为相应传统静载试验的荷载-位移曲线的方法。

2.2 符 号

2.2.1 几何参数

- D ——试桩直径；
- A_h ——荷载箱的面积；
- A_p ——桩身截面面积；
- L_u ——上段桩长度；
- L_z ——荷载箱埋深；
- u ——桩身周长。

2.2.2 作用与作用效应

- q_s ——侧摩阻力；
- Q_b ——桩端的轴力；
- Q_u ——单桩竖向抗压承载力极限值；
- Q_t ——单桩竖向抗拔极限承载力；
- Q_{uu} ——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；
- S ——桩顶位移；
- S_u ——荷载箱向上位移；
- S_d ——荷载箱向下位移。

2.2.3 其他

- E_p ——桩身弹性模量；
- W ——荷载箱上部桩的自重与附加重量之和，附加重量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；
- ρ ——荷载箱有效面积比；
- 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。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 基桩承载力自平衡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；当总桩数小于 50 根时，检测数量不应少于 2 根。

3.1.2 自平衡检测的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。

3.1.3 检测桩的成桩工艺和质量标准应与工程桩一致，在基桩自平衡检测前，宜进行检测桩完整性检测。

3.1.4 工程桩承载力检测应给出受检桩的承载力检测值，并应评价单桩承载力是否满足设计要求。

3.1.5 当单桩承载力不满足设计要求时，应分析原因，并经工程建设有关方确认后采用传统静载荷试验扩大检测。

3.1.6 现场检测期间，除应执行本规程的有关规定外，还应遵守国家安全生产的规定；当现场操作环境不符合仪器设备施用要求时，应采用有效防护措施。

3.2 检测工作程序

3.2.1 检测工作宜为接受委托、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、检测报告编制并提交（图 3.2.1）。

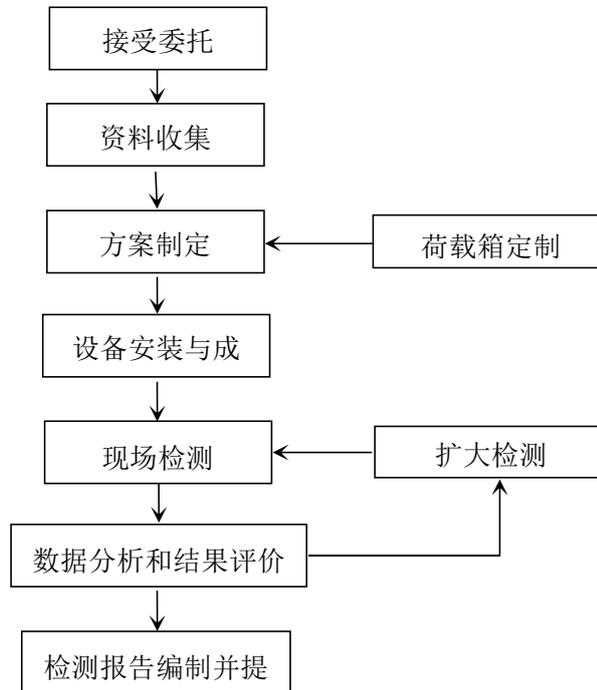


图 3.2.1 检测工作程序框图

3.2.2 检测机构应根据收集的资料，制定检测方案，检测方案宜包含下列内容：

- 1 工程概况，地基条件，桩基设计要求，施工工艺，检测数量，检测目的，检测要求，受检测选取原则；
- 2 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或人工配合；
- 4 安全措施和质保体系；
- 5 检测周期和进度。

3.2.3 检测开始时间应符合下列规定：

- 1 混凝土强度不应低于设计强度的 80%；
- 2 土体的休止时间不应少于表 3.2.3 规定的时间；

表 3.2.3 休止时间

土的类别		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，注浆后休止时间不宜少于 20d。

3.2.4 检测报告应包含下列内容：

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、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；

2 地基条件描述、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、荷载箱位置以及相关施工记录；

4 加、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 基桩承载力自平衡检测装置可由下列系统组成（图 4.1.1）。

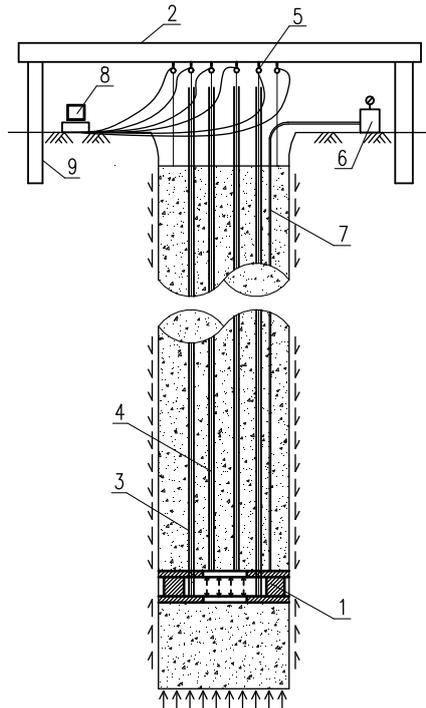


图 4.1.1 基桩自平衡静载检测系统

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；7—高压油管；8—数据采集仪；9—基准桩

4.1.2 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。

4.1.3 检测装置主要包括加载装置和位移量测系统，并符合下列规定：

1 加载装置由荷载箱、加压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宜超过规定工作压力的 80%，荷载箱极限加载能力应大于预估极限承载力的 1.2 倍；

2 位移量测系统由位移传递装置、位移传感器、大量程百分

表和测读系统等组成。

4.1.4 检测用的计量器具应满足下列规定：

- 1 压力传感器或压力表精度均不应低于 0.5 级，量程不应小于 60MPa，传感器的测量误差不应大于 1%；
- 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，分辨率不应小于 0.01mm。

4.2 设备安装

4.2.1 应在荷载箱上、下两个方向分别对称设置不少于两套位移传递装置，并配置位移量测设备。

4.2.2 基准梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；基准梁应具有足够的刚度，安装牢固；基准梁和大量程百分表的夹具应不受气温、振动及其他外界因素的影响。

4.2.3 检测桩和基准桩之间的中心距离不应小于 $2D$ ，且不小于 2.0m；基准桩应打入地面以下足够的深度，不宜小于 1.0m。

4.2.4 荷载箱安装应符合下列规定：

- 1 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规程附录 A 的规定；
- 2 荷载箱摆设位置应根据地质条件确定。荷载箱一般置于根据地质资料估算得到的平衡点下 1m-2m 处；
- 3 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，可布置双层荷载箱，埋设位置应根据检测要求确定；
- 5 荷载箱应平放于检测桩身中心，其荷载箱中心应与所检测桩中心一致，荷载箱位移变化方向与桩身轴线夹角不应大于 5° ；
- 6 荷载箱应在制作钢筋笼时埋置于钢筋笼的相应位置，并与钢筋笼主筋焊接在一起，焊接质量等级应满足荷载箱安装强度的要求并不应低于 III 级；

7 荷载箱上下应设置起导向和加固作用的喇叭型导向筋，导向筋与钢筋笼主筋相同，导向筋与荷载箱顶面的夹角应大于 60° ；上部桩钢筋笼与下部桩钢筋笼之间的连接强度不应大于荷载箱预估最大加载值的 $1/10$ ；

8 护管与荷载箱顶盖焊接，并与钢筋笼焊接成整体，护管应有确保不渗漏水泥浆的措施；

9 荷载箱与钢筋笼应按图 4.2.4 连接；

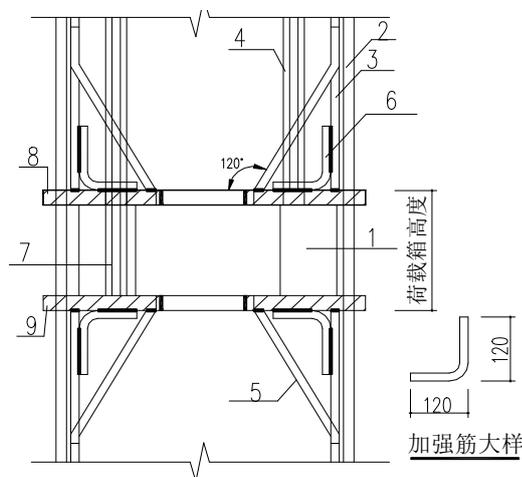


图 4.2.4 荷载箱与钢筋笼连接

- 1—荷载箱的千斤顶；2—压浆管；3—桩主筋；4—上位移管（杆）；
5—喇叭筋（数量直径同主筋）；6—加强筋（数量直径同主筋）；
7—下位移管（杆）；8—荷载箱上钢板；9—荷载箱下钢板

10 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。

4.2.5 位移杆（丝）与护套管应符合下列规定：

1 位移杆应具有一定的刚度，确保将荷载箱处的位移传递到地面；

2 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，焊缝应满足强度要求，并确保不渗漏水泥浆；

3 当护套管兼做注浆管时，尚应满足注浆管的要求。

4.2.6 检测结束后，应通过下位移护管对检测产生的桩身裂缝进行高压注浆处理，注浆量与注浆水泥浆强度应根据具体检测桩确定，水泥浆强度等级不应低于桩身混凝土强度等级。

4.3 现场测试

4.3.1 最大加载值应符合下列规定：

1 为设计提供依据的试桩，应加载值破坏，最大加载值可根据地质报告计算的单桩极限承载力的 1.2 倍或 1.5 倍选定；

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

4.3.2 自平衡静载试验应采用慢速维持荷载法。

4.3.3 试验加载卸载应符合下列规定：

1 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的 1/10，其中，第一级加载量可取分级荷载的 2 倍；

2 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；

3 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 $\pm 10\%$ ；

4 采用双荷载箱时，宜先进行下荷载箱测试，后进行上荷载箱测试。

4.3.4 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：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，每小时内的位移增量不超过 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，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。

4.3.5 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 4.3.4 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 4.3.4 条第 2 款稳定标准；

4 当荷载一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，可加载至总位移量超过 80mm；

5 荷载已达荷载箱加载极限，或荷载箱上、下段位移已超过荷载箱行程，即可终止加载。

6 对于抗拔试验，加载终止加载条件应符合下列规定：

1) 在某级荷载作用下，向上位移量大于前一级荷载位移量的 5 倍；

2) 在某级荷载作用下，向上位移量大于前一级荷载位移量的 2 倍，且经 24h 内尚未达到本规程第 4.3.4 条第 2 款相对稳定标准；

3) 按向上位移量控制，累计向上位移量超过 100mm；

4) 加载至设计要求的最大上拔荷载。

4.3.6 测试桩身应变和桩身截面位移时，数据的测读时间宜符合本规程第 4.3.4 条的规定。

4.3.7 检测数据宜按本规程附录 B 的格式记录。

5 检测数据的分析与判定

5.1 数据分析

5.1.1 检测数据的处理应符合下列规定：

1 应提供单桩竖向静载试验记录表和结果汇总表，数据记录应符合附录 B 的要求；

2 应绘制荷载与位移量的关系曲线和位移量与加载时间的单对数曲线，也可绘制其它辅助分析曲线；

3 当进行桩身应变和桩身截面位移测定时，应按现行行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403 附录 B 桩身内力测试的规定，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。

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

1 根据位移随荷载的变化特征确定时，对于陡变型曲线，应取曲线发生明显陡变的起始点对应的荷载值；

2 根据位移随时间的变化特征确定极限承载力，应取位移量与加荷时间的单对数曲线尾部出现明显弯曲的前一级荷载值；

3 当出现本规程第 4.3.5 条情况时，宜取前一级荷载值；

4 对缓变型曲线可根据位移量确定，上段桩极限加载值取对应位移为 40mm 时的荷载，当上段桩长大于 40m 时，宜考虑桩身的弹性压缩量；下段桩极限加载值取位移为 40mm 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 0.05D（D 为桩端直径）对应的荷载值；

5 当按本条第 1~4 款不能确定时，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和下段桩极限加载值。

5.1.3 自平衡静载试验测得的荷载-位移曲线宜等效转换为传统静载试验的荷载-位移曲线，转换方法宜符合本规程附录 C 的规定。

5.2 承载力判定

5.2.1 单桩竖向抗压极限承载力，应按下列公式计算：

单荷载箱：

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - W}{\gamma_1} + Q_{ud} \quad (5.2.1-1)$$

双层荷载箱：

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - W}{\gamma_1} + Q_{um} + Q_{ud} \quad (5.2.1-2)$$

其中：

$$\gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_{ii} h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

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），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，地下水位以下应取浮重度计算；

γ_1 ——受检桩的抗压摩阻力转换系数，对于桩侧土主要为粘性土、粉土 $\gamma=0.85$ ，对于砂土 $\gamma=0.75$ ；对桩侧土为多层土时采用按土层厚度的加权平均值；当无当地经验时，可取 1.0；对于岩层 $\lambda=1.0$ ；

γ_{ii} ——第 i 层桩侧土的桩侧抗拔与抗压阻阻比；

h_i ——第 i 层土的土层厚度；

5.2.2 单桩竖向抗拔极限承载力，应按下列公式计算：

$$Q_t = \frac{Q_{uu}}{\gamma_2} \quad (5.2.2)$$

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，但不得小于 1.1。

5.2.3 单桩竖向抗压（抗拔）承载力特征值应按单桩竖向抗压（抗拔）极限承载力的 50%取值。

5.2.4 由自平衡法深层平板载荷试验确定地基承载力，可根据国标《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011 的规定。

附录 A 荷载箱的技术要求

A.0.1 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.0.2 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.0.3 荷载箱检定或校准示值重复性不应大于 3%。

A.0.4 荷载箱空载启动压力应小于额定压力的 4%。

A.0.5 荷载箱应在 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.0.6 荷载箱有效面积比按下式计算。钻孔灌注桩荷载箱的值应为 $45\% < \rho < 60\%$ （荷载箱放置桩底时 $45\% < \rho \leq 100\%$ ），挖孔灌注桩荷载箱的值应为 $45\% < \rho \leq 100\%$ 。

$$\rho = \frac{A_h}{A_p} \times 100\% \quad (\text{A.0.6})$$

式中： A_h ——荷载箱的面积（ m^2 ）；

A_p ——桩身截面面积（ m^2 ）。

附录 C 等效转换方法

C.0.1 桩身无内力测试元件时，桩顶等效荷载、位移应按下列公式计算（图 C.0.1）。

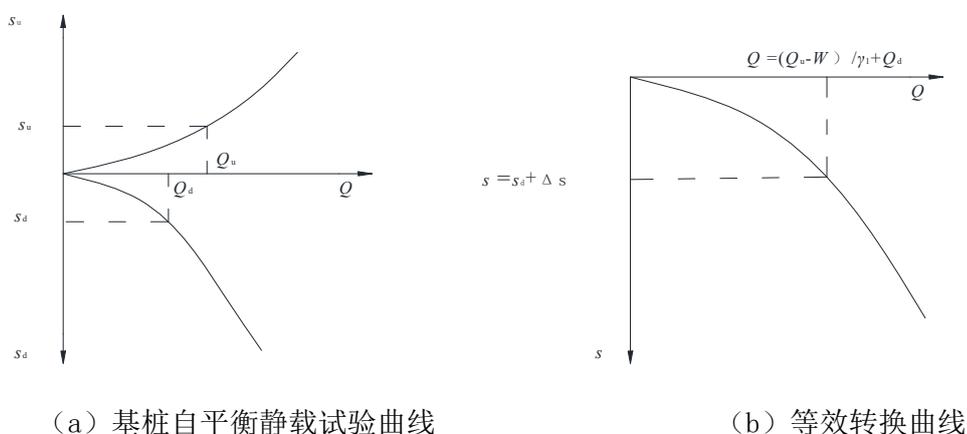


图 C.0.1 基桩自平衡静载试验结果转换示意图

$$Q = \frac{Q_u - W}{\gamma_1} + Q_d \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$s = s_d + \Delta s \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$\Delta s = \frac{[(Q_u - W) / \gamma_1 + 2Q_d] L_u}{2E_p A_p} \quad (\text{C.0.1-3})$$

式中： Q ——桩顶等效荷载（kN）；
 s ——桩顶等效位移（m）；
 Δs ——桩身压缩量（m）；
 L_u ——上段桩长度（m）；
 E_p ——桩身弹性模量（kPa）；
 A_p ——桩身截面面积（ m^2 ）。

C.0.2 桩身有内力测试元件时的计算应符合下列规定：

1 将荷载箱以上部分分割成 n 个单元（图 C.0.2），任意一单元 i 的桩轴向力 $Q(i)$ 和变位量 $s(i)$ 可用下列公式表示：

$$Q(i) = Q_d + \frac{1}{2} \sum_{m=i}^n q_{sm} \{U(m) + U(m+1)\} h(m) \quad (\text{C.0.2-1})$$

$$\begin{aligned} s(i) &= s_d + \sum_{m=1}^n \frac{Q(m) + Q(m+1)}{A_p(m)E_p(m) + A_p(m+1)E_p(m+1)} h(m) \\ &= s(i+1) + \frac{Q(i) + Q(i+1)}{A_p(i)E_p(i) + A_p(i+1)E_p(i+1)} h(i) \end{aligned} \quad (\text{C.0.2-2})$$

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

（kN）；

s_d —— $i=n+1$ 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），宜采用标定断面法确定；

$h(m)$ —— 分割单元 m 的长度（m）。

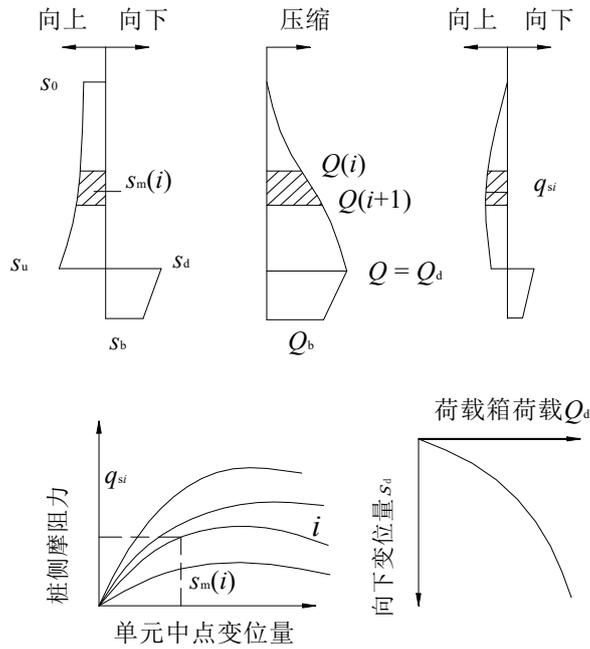


图 C.0.2 基桩自平衡静载试验的轴向力、桩侧摩阻力与变位量的关系

s_0 ——桩顶变位； s_u, s_d ——荷载箱向上和向下变位量； s_b ——桩端变位量； Q_d ——荷载箱荷载； Q_b ——桩端轴向力； $s_m(i)$ —— i 单元中点的变位量； q_{si} ——单元的桩侧摩阻力。

2 由基桩自平衡静载试验测出的桩侧摩阻力 q_{si} 与单元中点变位量 $s_m(i)$ 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。

C.0.3 对于双层荷载箱,宜按本规程 C.0.1 或 C.0.2 的方法将每层荷载箱从下往上依次进行转换。

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，可采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》 GB50007;
- 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ106;
- 《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》 JGJ/T403;
- 《基桩自平衡法静载试验用荷载箱》 JT/T875;
- 《建筑地基基础设计规程》 DB33/T1136;

浙江省工程建设标准

基桩承载力自平衡检测技术规程

Technical specification for bearing capacity test using
self-balanced method of foundation pile

DBJ 33/T 12xx—20xx

条文说明

(征求意见稿)

目 次

1	总 则.....	26
2	术语和符号.....	28
2.1	术 语.....	28
2.2	符 号.....	28
3	基本规定.....	29
3.1	一般规定.....	29
3.2	检测工作程序.....	30
4	现场检测.....	32
4.1	仪器设备.....	32
4.2	设备安装.....	32
4.3	现场测试.....	36
5	检测数据的分析判断.....	38
5.1	数据分析.....	38
5.2	承载力判定.....	39
	附录 A 荷载箱的技术要求.....	44

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、大吨位桩应用越来越普遍，确定桩基础承载力最可靠的方法是静载试验。静载试验法测试桩承载力，成果直观、可靠，通常认为是一种标准试验方法，它可作为其它检测方法的比较依据。然而在狭窄场地、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无法进行，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。

桩承载力自平衡检测与传统静载试验检测相比具有很多优势。主要表现为：

1 装置简单，不受场地条件和加载吨位的限制，不需运入数百吨或数千吨物料，不需构筑笨重的反力架，检测时省时、省力、安全、无污染。

2 可分别直接测得桩侧摩阻力与端阻力。

3 试验后利用位移护套管对荷载箱处进行缸内外压力注浆，试验桩仍可作为工程桩使用。

4 与传统方法相比，试验综合费用低，吨位越大，场地条件越复杂，效果越明显。

桩自平衡静载试验技术实用性强，成功应用于灌注桩、管桩、沉井、地下连续墙等深基础承载力测试，在我国 30 个省、自治区、直辖市以及很多个国家及地区的 3000 多个建筑、公路、铁路、码头、水利等重大工程中广泛应用。桩自平衡静载试验技术也已经在国外许多重大工程得到相应的验证。桩自平衡静载试验技术中所引用的基本理论准确，方法实用。我省原 2012 年制

定的浙江省《基桩承载力自平衡检测技术规程》DB33/T 1087-2012，在实际使用中取得了较好的经济及社会效应，但由于技术不断进步，基桩朝大、重方向发展，原有的技术规程已经不能适应工程建设发展。为规范基桩自平衡静载试验，使其在基桩静载试验中发挥更大作用，确保桩基础设计与施工技术先进、经济合理、安全实用，很有必要制定新的基桩自平衡静载试验技术标准，规范建筑行业自平衡静载试验，成果可作为目前现行行业标准《建筑基桩检测规范》JGJ106-2014的补充，也为以后重点土木工程的设计和施工提供一定的指导和依据。

1.0.2 原规程中规定自平衡方法适用于桩身直径不小于 600mm 的混凝土灌注桩，随着设备和检测技术的成熟基桩自平衡静载试验可用于粘性土、粉土、砂土、岩层等地质情况中的除预制实心桩外的所有桩型，包括钻孔灌注桩、人工挖孔桩、预制混凝土管桩以及钢管桩，沉井、地下连续墙等其它深基础也可参照执行。此方法能解决传统静载试验方法难以实施的大直径大吨位、狭窄场地、基坑底部、坡地、水上等基桩的检测问题。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。此方法同时适用于基岩深层平板载荷试验。

1.0.3 我省岩土工程地质环境变化大，为保证桩基础建设质量，进行基桩检测时，强调首先应按照本标准的规定严格实施，此外还应符合国家、行业和浙江省现行有关标准中的规定。与本规程有关的国家现行标准主要有：

- (1) 《建筑地基基础设计规范》GB 50007；
- (2) 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014；
- (3) 《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403；
- (4) 《基桩自平衡法静载试验用荷载箱》JT/T875；
- (5) 《建筑地基基础设计规范》DB33T1136-2017。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1~2.1.6 分别对基桩、基桩承载力自平衡检测法、平衡点、荷载箱、基准梁、基准桩、等效转换方法进行了定义。比原规程增加了等效转换方法。因设计等级为甲级的非嵌岩桩和非深原坚硬持力层的建筑桩基；设计等级为乙级的体形复杂，荷载分布不均或桩端平面以下存在软弱土层的建筑桩基，需进行建筑桩基沉降计算，而自平衡测试不能真实反映桩基在荷载作用下的沉降位移，故将应准自平衡试验的荷载-位移曲线等效转换为相应传统静载试验的荷载-位移曲线，并在成果中体现。

2.2 符号

2.2.1~2.2.3 为与行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403-2017 中的符号统一，本次修改且增加了相应的符号。对于上部桩的自重 W 的取值，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。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1 因总则中对基桩自平衡检测方法的适用范围进行了调整，原规程中的检测目的没必要作为条文单列，此处增加了一般规定这节，明确规定了检测数量、检测要求及扩大检测原则，弥补了原规程中部分缺少的内容。

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》JGJ106-2014一致。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 本条规定的最大加载值是指自平衡静载试验过程中向上及向下的最大加载值之和。

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，试验桩最大加载值可取按地质报告计算的单桩极限承载力的1.2倍~1.5倍；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（即需要满足按照此加载值实施后等效转换后，承载力满足设计要求的承载力特征值2.0倍的要求），或按设计要求取值。

3.1.3 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，建议在检测前后对试验桩进行桩身完整性检测，为分析桩身结构破坏的原因提供证据。

3.1.5 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。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，可按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014 相关条款进行。

3.2 检测工作程序

3.2.1 框图 3.2.1 是检测机构应遵循的检测一般工作程序。荷载箱的型号应根据受检桩参数进行选取。原框图中的设备、仪器检定改成荷载箱定制，显得更清楚。

3.2.2 根据多年来自平衡静载试验的应用，本节对原规程中的调查、资料收集、检测方案的内容进行了扩充，内容更为完整。

3.2.3 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，规定桩身混凝土强度不应低于设计强度的 80%。

本条所指的休止时间，首先应满足桩身强度，其次应根据桩侧土质情况确定，适当考虑桩端土质情况。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。

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。本条是经过大量工程试验后对休止时间进行了调整与明确，并与国家行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403-2017 进行了统一。

3.2.4 操作环境应满足按测量仪器设备对使用温度、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，在复杂场地，还应采取足够有效的安全措施。

3.2.5 本条明确了对受检桩的具体要求，同时增加了分层侧阻力和端阻力测试时，对传感器的要求，弥补了原规程的缺失内容。检测报告应根据所采用的检测方法和相应的检测内容出具检测结论。为使报告具有较强的可读性和内容完整，除众所周知的要求——报告用词规范、检测结论明确、必要的常规内容描述外，报告中还应包括检测原始记录信息或由其直接导出的信息，即检测报告应包含各受检桩的原始检测数据和曲线（ Q_u-s_u 、 Q_d-s_d 、 s_u-lgt 、 s_d-lgt 等），并附有相关的计算分析数据和曲线（转换为桩顶加载的等效转换数据表和等效转换荷载-位移曲线等）。本条之所以这样详尽规定，其目的就是希望避免检测报告仅有检测结果而无任何检测数据和曲线等现象。

4 现场检测

4.1 仪器设备

4.1.1 原检测系统图改为设备装置图，同时归并到仪器设备这一节且对原部分检测仪器名称进行了修改，更符合现实测试情况。

4.1.2~4.1.3 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、接头都要具有承受 60MPa 压力的能力。监测系统宜采用高度自动化的桩基静荷载检测分析仪，通过力、位移传感器按规范自动判定完成各级加、卸载操作，同时完成相应的数据采集、记录工作。

4.1.4 压力传感器或压力表精度，根据国家行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403-2017 的要求由优于或等于 0.4 级改成了均不低于 0.5 级。

4.2 设备安装

4.2.1~4.2.3 在基桩承载力自平衡检测时，浅表土层受扰动的因素很小，故对基准梁与基准桩的要求比堆载法及锚桩法的要求低；一般基准桩打入地面下 1m，基准桩与检测桩的中心距离不小于 2D，且不小于 2m 能满足检测要求；基准梁应一端固定另一端简支。其中基准桩打入地面下不宜小于 1.0m 为新增内容。

4.2.4 根据现在自平衡检测的多个案例，本节在原规程规定基础上增加了抗拔桩荷载箱和双荷载箱埋设要求。荷载箱的埋设位置：极限桩端阻力小于极限桩侧摩阻力时，荷载箱置于桩身平衡点处，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，根据上部桩和下部桩反力的相差值采取桩顶配重；受检桩为抗拔桩时，荷载箱直接

置于桩端；有特殊需要时，可采用双层荷载箱或多层荷载箱，以分别测受检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。

自平衡静载试验在国内至今已做了几千例工程。荷载箱的埋设位置是一个重要的关键技术，对此根据工程实例及检测经验，归纳了荷载箱在桩中合理的埋设位置（图 4-1）。

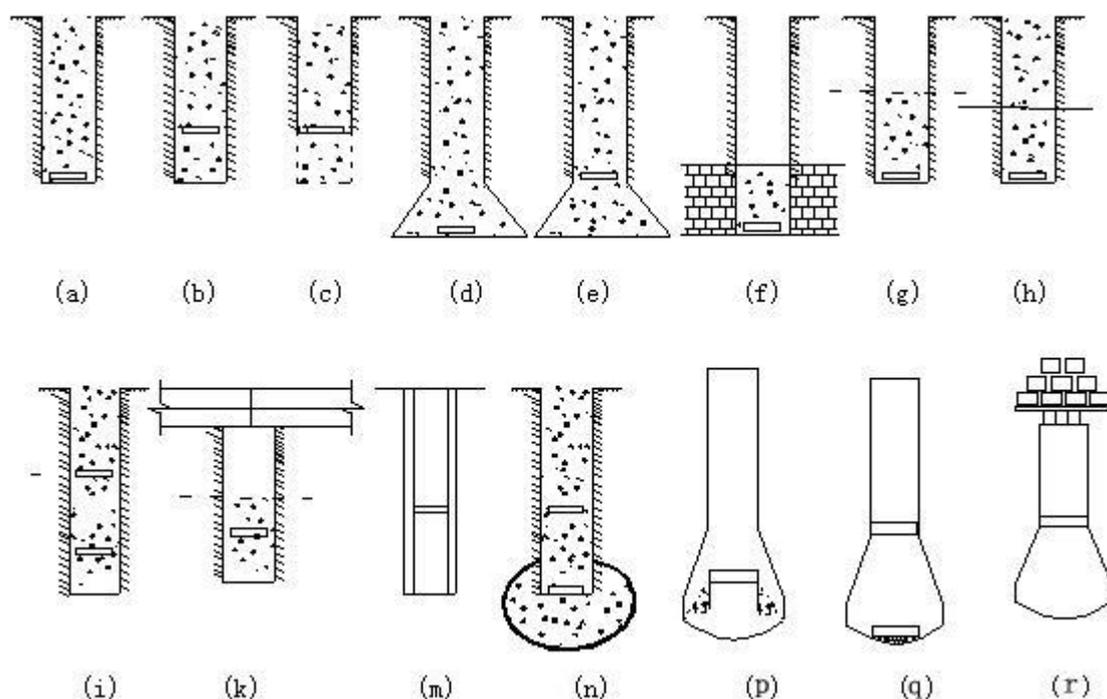


图 4-1 荷载箱放置位置示意图

图 1 (a) 是一般常用位置，即当桩身成孔后先在孔底找平，然后放置荷载箱。此法适用于桩预估极限侧摩阻力与预估极限端阻力大致相等的情况，或预估极限端阻大于预估极限侧摩阻力而检测目的在于测定极限侧摩阻力的情况。

图 1 (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。

图 1 (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 1 (d) 为挖孔扩底桩抗拔试验的情况。荷载箱摆在扩大头底部进行抗拔试验。

图 1 (e) 适用于大头桩或当预估桩极限端阻力小于桩预估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 1 (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，然后再进行检测。

图 1 (g) 适用于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（丝）引至地面方便地进行测试。

图 1 (h) 适用于需测定两个或以上土层极限侧摩阻力的情况。可先将混凝土浇筑至下层土的顶面进行测试而获得下层土的数据，然后再浇筑至上一层土进行测试，依此类推，从而获得整个桩身全长的极限侧摩阻力。

图 1 (j) 采用两只荷载箱，一只放在桩下部，一只放在桩身上部，可分别测出三段桩极限承载力。

图 1 (k) 适用于在地下室中进行检测的工程。

图 1 (m) 为管桩测试示意图，荷载箱作为桩段的连接件埋入到预定位置处，位移杆（丝）护套管则从孔洞中引出地面。

图 1 (n) 为双层荷载箱或单荷载箱注浆桩测试示意图。下荷载箱摆在桩端，首先进行注浆前两个荷载箱测试，求得桩端阻力和桩身承载力，然后进行桩端注浆再进行两个荷载箱测试，这样就可求得注浆对端阻力和桩承载力的提高作用。

图 1 (p) 将荷载箱埋设在扩大头里面，使得荷载箱底板两边呈 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 1 (q) 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 1 (r) 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。

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。当荷载箱和下段钢筋笼重量较大，仅仅靠钢筋笼主筋与荷载箱的焊接强度不能承受荷载箱和下段钢筋笼重量时，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。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。

钢筋笼之间设置导向筋，导向筋的一端与主筋焊接，一端焊在环形荷载箱板内圆边缘处，导向筋宜采用直径不小于 16mm 圆钢，其数量和直径同主筋。导向筋与荷载箱平面的夹角应大于 60°。

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。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。

对于双层荷载箱，每层荷载箱连接均应满足上述连接要求。

对于管桩，荷载箱应与上、下段桩焊接。

4.2.5 本条原规程中无，位移杆（丝）的埋设正确与否对测试精度影响较大，故对此进行了明确规定。位移杆与护套管连接具体操作步骤如下：

1 位移杆摆在护套管中；

- 2 位移杆、护套管与钢筋笼绑扎；
- 3 位移杆与荷载箱位移杆连接；
- 4 护套管与荷载箱护套管连接；
- 5 钢筋笼与荷载箱焊接；
- 6 下放钢筋笼。

采用位移丝进行测试时，试验前开启护管，下放位移丝，试验完成后位移丝收回。

4.2.6 检测时，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（缝隙宽度等于卸载后上、下残余位移之和），但桩身其它部分未破坏，上、下两段桩仍被荷载箱连在一起。我们在实际应用中是利用位移管在测试完毕后对此裂缝进行高压注浆，用高强度水泥填充此处裂缝，注浆量与注浆材料强度应根据具体试桩确定，一般水泥浆用量约为测试最大位移出现时空隙体积的 10 倍，必要时水泥浆可以掺入一定量的膨胀剂（如 HEA，UEA 等）或结构胶，在注浆过程中如发现另一根位移管有水泥冒出就说明注浆已基本完成。经过许多工程的应用，并经取芯验证发现注浆后的荷载箱断面裂缝已全部修复，事实上荷载箱处千斤顶是内外钢筒套结构，内、外筒一端分别通过上下钢板与钢筋笼焊接，形成了钢结构的机械连接，此截面上虽因加压试验形成裂缝，但裂缝断面处的抗压强度已由钢套筒和注浆体所承受，高压注浆不仅可以填充荷载箱断层，还可以根据需要在该处形成一个扩大头，浆液也可沿桩周上下渗透，提高了该处的承载能力。所以自平衡试桩法不会影响其竖向承载性能。另桩身平衡点荷载箱的埋设位置，都远在反弯点以下，其承受的水平荷载几乎为零，因此，对基桩水平承载力也是没有影响的。

4.3 现场测试

4.3.1 现场测试：本节对原规程中的现场检测内容进行了删减及完善，并参照现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014

和《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403-2017 的要求对最大加载值、加卸载方式、终止加载条件的原规程的条文内容进行了适当的修改，同行业标准的要求更加吻合。

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承载力验收检测方法的唯一比较标准。

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，为保证上部结构正常使用，控制桩基绝对沉降是第一位的，这是地基基础按变形控制设计的基本原则。

4.3.3~4.3.6 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，随着持荷时间或荷载增加，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）桩的荷载-位移曲线一般呈缓变型，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，放宽桩顶总沉降量控制标准是合理的。

对于抗拔桩的自平衡静载试验终止加载情况，按本条上段桩位移的规定进行判定。

5 检测数据的分析判定

5.1 数据分析

5.1 原规程此章节为“单桩竖向极限承载力”确定，内容较少，本次修改对数据分析处理要求进行了详细说明，并参考行业标准，对抗拔承载力的判断引入了受检桩的抗拔阻力转换系数的概念。

5.1.1 除 Q_u-s_u 、 s_u-lgt 、 Q_d-s_d 、 s_d-lgt 曲线外，一般还绘制 s_u-lgQ_u 、 s_d-lgQ_d 曲线。如为了直观反映整个试验过程情况，可给出连续的荷载-时间 ($Q-t$) 曲线和沉降-时间 ($s-t$) 曲线，并为方便比较绘制于一图中。同一工程的一批受检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。此条中增加的桩身应变和桩身截面位移测定的要求是原规程中没有的，在实际测试中应用较多，增加此条是必须的。

5.1.2 此条根据现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014 和《建筑基桩自平衡静载试验技术规范》JGJ/T403-2017 的要求对上、下段桩极限加载值 Q_{uu} 和下段极限阻力加载值 Q_{ud} 的确定要求内容进行了详细的描述， Q_u^+ 、 Q_u^- 符号跟现行行业标准 Q_{uu} 和 Q_{ud} 进行了统一。

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。

5.2 承载力判定

5.2.1 此条把原先过程中抗压极限承载力确定公式中的所有符号跟行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403-2017进行了统一，且增加了双荷载箱抗压极限承载力确定的公式；单桩竖向抗压试验时，荷载箱埋设在设计桩端标高以上，自平衡测试时荷载箱上段桩的自重与附加重量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。自平衡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、下两段实测值相叠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 再与下段桩叠加而得抗压极限承载力。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比对试验和地区经验确定。

关于 γ_1 的取值，国内外取值存在一定的差异，国外的大致取值范围在 0.67 到 1 之间。国内有关研究机构所做的大量对比试验认为：桩侧主要土层为粘性土、粉土 $\gamma_1=0.8$ ，桩侧土主要为砂土 $\gamma_1=0.7$ 可满足工程应用的精度要求，本规范结合国内外经验与浙江

省大量的对比试验 γ_1 值分别去 0.85 和 0.75。

单桩竖向抗拔极限承载力测试时，荷载箱一般置于桩基底部，当桩端不能提供足够的抗拔力时，应适当延长桩长。如不考虑抗拔时桩身出现裂缝的情况，则单桩竖向抗拔极限承载力的检测结果可取 $Q_u = Q_u^+$ 。

基桩承载力自平衡检测法在浙江应用以来，编制组在浙江不同地区的同一场地对同类型的桩进行了大量与传统方法的对比试验，得到了在极限荷载作用下两种方法在相同沉降时的 γ_1 值，其典型工程如下表：

表 5-1 典型工程的 γ_1 值

项目名称	试桩编号	桩径 (mm)	桩长 (m)	设计单桩竖向承载力特征值 (kN)	桩侧主要土层 (桩端持力层)	γ_1 值
杭州某工地 (一)	试桩 1	800	40.19	4500	淤泥质粘土 (卵石)	0.80
	试桩 2	800	40.08	4150		0.82
	试桩 3	800	38.87	4150		0.84
	试桩 4	700	38.85	3150		0.81
	试桩 5	700	39.25	3150		0.78
	试桩 6	700	40.13	3150		0.78
	试桩 7	800	42.05	4150		0.80
	试桩 8	800	39.75	4150		0.78
	试桩 9	800	38.60	4150		0.75
杭州某工地 (二)	试桩 1	1000	47.47	8500	粉质粘土、粉细砂圆砾 (其中试桩 1~试桩 4 为中风化钙质岩, 试桩 5~试桩 6 为圆砾)	0.77
	试桩 2	1000	45.75	8500		0.75
	试桩 3	1000	45.26	8500		0.78
	试桩 4	1000	44.37	8500		0.78
	试桩 5	800	26.34	3000		0.73
	试桩 6	800	26.20	3000		0.72
温州某工地 (一)	试桩 1	700	41.95	2900	淤泥、淤泥质粘土、粉质粘土 (中风化岩)	0.80
	试桩 2	700	59.31	2900		0.80
	试桩 3	700	64.40	2900		0.82
	试桩 4	700	41.02	3000		0.78
	试桩 5	700	48.06	3000		0.78
	试桩 6	700	46.39	3000		0.72
温州	试桩 1	700	46.31	2600	粉质粘土、粉砂 (卵石层)	0.72
	试桩 2	700	45.97	2600		0.70

某工地 (二)	试桩 3	600	46.10	1900		0.75
	试桩 4	600	46.38	1900		0.72
	试桩 5	700	51.60	2600		0.75
慈溪某工地	试桩 1	800	56.23	4800	粉质粘土、粉砂砾砂 (中风化岩)	0.78
	试桩 2	700	57.62	4800		0.75
	试桩 3	700	56.60	4800		0.75
	试桩 4	1300	58.55	9800		0.72
	试桩 5	1300	59.34	9800		0.73
	试桩 6	800	54.38	4800		0.76
余姚某工地	试桩 1	1200	35.80	8500	粉质粘土粉砂砾石 全风化凝灰岩 (中风化凝灰岩)	0.72
	试桩 2	1200	33.70	8500		0.68
	试桩 3	1200	45.50	8500		0.70
	试桩 4	1100	35.70	6000		0.72
	试桩 5	1100	45.50	6000		0.68
	试桩 6	800	46.80	3000		0.70
温岭某工地 (二)	试桩 1	900	64.00	7500	淤泥质粉质粘土及粘土 (其中试桩 1, 试桩 2 为中风化岩, 试桩 3, 试桩 4 为卵石)	0.78
	试桩 2	900	51.00	2500		0.80
	试桩 3	850	41.00	1700		0.80
	试桩 4	850	39.00	2800		0.75
	试桩 5	600	44.70	2050		0.76
温岭某工地 (二)	试桩 1	700	62.90	3720	粉质粘土、粉细砂、 圆砾 (中风化凝灰岩)	0.78
	试桩 2	700	62.90	3720		0.72
	试桩 3	800	62.90	4500		0.76
	试桩 4	800	67.80	4500		0.73
	试桩 5	700	50.00	2700		0.70
	试桩 6	800	50.10	3200		0.72

通过典型工程的对比试验数据表明：桩侧土主要为粘性土、粉性土、粉土时 γ_1 值在 0.75~0.84，桩侧土主要为砂土时 γ_1 值在 0.68~0.73，故规范对 γ_1 值取值在 0.8~1.0，使试验结果更加安全可靠。

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 5-1）。

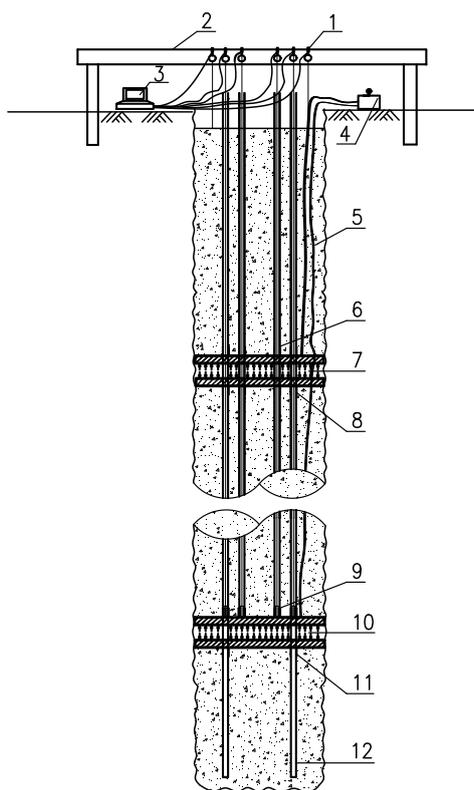


图 5-1 双层荷载箱测试装置示意图

1—位移传感器；2—基准梁；3—数据采集仪；4—加载设备；5—油管；
6—上顶板位移计；7—上荷载箱；8—下顶板位移计；9—上顶板位移计；
10—下荷载箱；11—下顶板位移计；12—位移护管

5.2.2 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。对于承压型抗拔桩，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， γ_2 取值不得小于 1.1。本条原规程中无 γ_2 的概念，引入 γ_2 概念后对抗拔桩的承载力取值更为安全且同行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403-2017 的要求进行了统一。

5.2.3 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。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。

附录 A 荷载箱的技术要求

A.0.1~A.0.6 荷载箱的技术要求引用现行行业标准《基桩自平衡法静载试验用荷载箱》JT/T875-2013。