

山东省工程建设标准

DBJ

DBJ/T14-055-2009

J 11342—2009

基桩承载力自平衡检测技术规程

Technical Code for Self-Balanced Testing of
Foundation pile Bearing Capacity

2009-01-05 发布

2009-03-01 实施

山东省建设厅

发布

山东省工程建设标准
基桩承载力自平衡检测技术规程
Technical Code for Self-Balanced Testing of
Foundation pile Bearing Capacity

主编单位： 山东省建筑科学研究院
山东省建设工程质量监督总站
山东铁正工程试验检测中心
批准部门： 山东省建设厅
实施日期： 2009年3月1日

2009·济南

前 言

基桩承载力自平衡检测法与传统静载检测法相比有独特优越性，在我省具有良好的推广应用前景。规程编制组经广泛调研，认真总结省内、外基桩自平衡检测经验，并在广泛征求意见的基础上制定了本技术规程。

本技术规程主要包括总则，术语和符号，检测机构和检测人员，设备仪器及安装，现场检测，检测数据的分析与判定等六部分内容及有关附录。

本规程在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，及时将修改意见寄送至山东省建筑科学研究院（地址：济南市无影山路 29 号，邮编 250031）

主编单位：山东省建筑科学研究院
山东省建设工程质量监督总站
山东铁正工程试验检测中心

参编单位：青岛市建筑材料监督检验站
泰安市建设工程质量监督站
东营市建筑工程质量检测站
德州市建设工程质量监督站
烟台市建设工程质量监督站
诸城市建设工程质量监督站
高密市建设工程质量监督站
广饶县建设工程质量监督站
蓬莱市建筑工程质量监督站
长清区建设委员会
杭州欧感科技有限公司

主编人员：张培学、宋义仲、崔桂林、张爽、鲁爱民、鞠庆海、朱锋

参编人员：王玉广、张峰、刘强、任鸿杰、崔全岳、姜传胜、于凯、刘炳强、臧运锋、李洪杰、宋娇、孙捷、安长征、刘洪伟、卜发东、米春荣、雷蕊、付军、张懿、王术江、徐勇、甄黎、张珊、李梅、毛宇新

目 次

1 总则	1
2 术语与符号	1
3 检测机构和检测人员	2
4 设备仪器及安装	2
5 现场检测	3
6 检测数据的分析与判定	3
附录 A	5
附录 B	8
附录 C	9
本规范用词说明	10
条文说明	11

1 总则

1.0.1 基桩自平衡检测法是利用桩自身反力的平衡实现对桩身的加载，是接近于竖向抗压（抗拔）桩的实际工作条件的一种试验方法，可确定单桩竖向抗压（抗拔）极限承载力和桩周土层的极限侧摩阻力、桩端土的极限端阻力。为确保基桩检测质量，统一基桩自平衡检测方法，使基桩质量检测工作符合安全适用，技术先进，数据准确，正确评价，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于粘性土、粉土、砂土、岩层中桩身直径大于 800 mm 的人工挖孔桩、钻孔灌注桩等，尤其适用于传统静载试桩难以实现的水上试桩、坡地试桩、基坑底试桩、狭窄场地试桩、超高承载力试桩等。当埋设有测量桩身应力、应变、桩底反力的传感器和位移杆时，可测定桩的分层侧阻力、端阻力和桩身截面的位移量。

1.0.3 为设计提供依据的试验桩，应加载至破坏，验证性试桩，可按设计要求的加载量进行。

1.0.4 对工程桩抽样检测时，加载量不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2.0 倍。抽样数量在同一条件下试桩数量不宜少于总桩数的 1%，工程总桩数在 50 根以内时不应少于 2 根，其它条件下不应少于 3 根。

1.0.5 承载力检测前桩身砼强度应达到设计要求值。

1.0.6 基桩承载力的检测除应执行本规程外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

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 自平衡检测法 Self-blancing test

在桩身某一部位施力，使得桩身向上和向下互为反力求达到力的平衡，从而求得单桩竖向承载力的一种试验方法。

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到达破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大荷载。

2.1.4 荷载箱 Loading box

自平衡检测法中放置于桩平衡点位置的用于施力的一种特制装置。

2.2 符号

Q_u ——单桩竖向抗压极限承载力；

Q_u'' ——上段桩竖向抗拔极限承载力；

Q_u^d ——下段桩竖向抗压极限承载力；

R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值；

Q ——单桩竖向抗压静载试验中施加的竖向荷载、桩身轴力；

s ——桩顶竖向沉降、桩身竖向位移；

s_u ——上段桩向上的竖向位移；

s_d ——下段桩向下的竖向位移；

G ——荷载箱上部桩自重标准值；

D ——桩直径；

A ——桩身横截面面积；

A_m ——模拟桩横截面面积；

E ——桩身材料弹性模量；

ε ——修正后的应变值；

ε_i ——第 i 断面处应变平均值；
 ε' ——修正前的应变值；
 r ——导线电阻；
 R ——应变计电阻。
 q_{si} ——桩第 i 断面与 $i+1$ 断面间侧摩阻力；
 q_p ——桩的端阻力；
 u ——桩身周长；
 l_i ——第 i 断面与第 $i+1$ 断面之间的桩长；
 Q_n ——桩端的轴力；
 A_0 ——桩端面积；
 σ_s ——钢筋应力；
 E_s ——钢筋弹性模量；
 ε_s ——钢筋应变；
 γ ——对应于不同土质桩荷载箱以上部分向下方向侧阻力极限值（相当于抗拔）换算成相同位置处桩向上方向侧阻力极限值（相当于抗压）的折减系数；

3 检测机构 and 检测人员

3.0.1 检测机构应通过计量认证，并具有地基基础现场检测专项资质。

3.0.2 检测人员应经过相关专业技术培训并考核合格，取得检测人员管理手册，持证上岗。

4 设备仪器及安装

4.0.1 自平衡检测加载采用的加荷装置，在检测前必须校准。荷载箱应平放于试桩中心，荷载箱位移方向与桩身轴线夹角不应大于 5° ，荷载箱极限加载能力应大于预估极限承载力的 1.5 倍。

4.0.2 荷载测量宜采用联于荷载箱的压力表或压力传感器，根据荷载箱率定曲线换算荷载。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%。

4.0.3 试桩位移测量宜采用位移传感器或大量程百分表，并应符合下列规定：

- 1 测量误差不应大于 0.1%FS，分辨力应优于或等于 0.01mm。
- 2 位移测量应对称布置两组以上检测仪表。
- 3 测定桩向上、向下位移的位移棒应焊接牢固，保护位移棒的护管不得有孔洞，护管与位移棒应留有足够空隙。
- 4 基准梁应具有一定的刚度，梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上。
- 5 固定和支撑位移计（百分表）的夹具及基准梁应避免气温、振动及其他外界因素的影响。

4.0.4 试桩和基准桩之间的中心距离应大于等于 3D 且不得小于 2.0m。

4.0.5 荷载箱应在成孔后混凝土浇捣前设置。护管与钢筋笼应焊接成整体，保证其垂直度和刚度，护管还应分别与荷载箱上下盖焊接，焊缝应满足强度要求，并确保护管不得渗漏出泥浆。荷载箱放置处宜有加强措施，可配置加密钢筋网 2 层。

4.0.6 荷载箱放置位置应根据地质报告进行估算，当预估端阻力小于侧阻力时，荷载箱应放置在桩身平衡点处，以期使上、下段桩的承载力近似相等以维持加载。

5 现场检测

5.0.1 试桩的成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。

5.0.2 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，则砼桩头处理宜按本规程附录 B 执行。

5.0.3 试验加卸载采用慢速维持荷载法，其加卸载方式应符合下列规定：

1 加载应分级进行，采用逐级等量加载；分级荷载宜为最大加载量或预估极限承载力的 1/10，其中第一级可取分级荷载的 2 倍。

2 卸载应分级进行，每级卸载量可取加载时分级荷载的 2 倍，逐级等量卸载。

3 加、卸载时应使荷载传递均匀、连续，无冲击，每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的 10%。

对工程桩作验证性试验，当有成熟地区经验时，可采用快速维持荷载法。

5.0.4 慢速维持荷载法试验步骤应符合下列规定：

1 每级荷载施加后应按第 5、15、30、45、60min 测读桩位移量，以后应每隔 30min 测读一次。

2 试桩位移相对稳定标准：每一小时内桩位移量不应超过 0.1mm，并连续出现两次（从分级荷载施加后第 30min 开始，应按 1.5h 连续三次每 30min 的位移观测值计算）。

3 当桩位移速率达到相对稳定标准时，应再施加下一级荷载。

4 卸载时，每级荷载应维持 1h，应按第 15、30、60min 测读桩位移量后，即可卸下一级荷载。卸载至零后，应测读桩残余位移量，维持时间应为 3 h，测读时间应为第 15、30min，以后应每隔 30min 测读一次。

5.0.5 当出现下列情况之一时，可终止加载。

1 某级荷载作用下，桩位移量大于前一级荷载作用下位移量的 5 倍。

2 某级荷载作用下，桩位移量大于前一级荷载作用下位移量的 2 倍，且经 24 h 尚未达到相对稳定标准。

3 已达到设计要求的最大加载量。

4 桩累计上拔量超过 100mm。

5 当荷载一位移曲线呈缓变型时，可加载至桩总位移量 60~80mm。

5.0.6 检测数据宜按本规程附录 C 附表 C.0.1、C.0.2 的格式记录。

5.0.7 检测桩侧阻力和桩端阻力时，检测数据的测读时间应符合第 5.0.4 条的规定。

6 检测数据的分析与判定

6.0.1 检测数据的整理应符合下列规定：

1 确定单桩竖向抗压（抗拔）承载力时，应绘制荷载一位移（ $Q-s$ ）、位移-时间对数（ $s-lgt$ ）曲线，需要时也可绘制其他辅助分析所需曲线。

2 当进行桩身应力、应变和桩底反力测定时，应整理出有关数据的记录表，并按本规范附录 A 绘制桩身轴力分布图，计算不同土层的分层侧摩阻力和端阻力值。

6.0.2 上段桩极限承载力 Q_u^u ，下段桩极限承载力 Q_u^d 应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：对于陡变（陡降或陡升）型 $Q-s$ 曲线，应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：应取 $s-lgt$ 曲线尾部出现明显变化的前一级荷载值。即下段桩取 s_d-lgt 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值，上段桩取 s_u-lgt 曲线尾部出现明显向上弯曲的前一级荷载值。

3 出现第 5.0.5 条第 2 款情况，应取前一级荷载值。

4 对于缓变型 $Q-s$ 曲线可根据位移量确定，宜取 $s=40\text{mm}$ 对应的荷载值；当整体桩长大于

40m 时,应考虑桩身弹性压缩量;对直径大于或等于 800mm 的桩,可取 $s=0.05D$ (D 为桩端直径)对应的荷载值。

5 当按上述四款判定上、下段桩的极限承载力未达到极限时,可取最大试验荷载值为极限承载力值。

6.0.3 单桩竖向抗压极限承载力 Q_u 应按下式确定:

$$\text{单桩竖向抗压极限承载力 } Q_u = \frac{Q_u^u - G}{g} + Q_u^d$$

对于粘性土、粉土 $\gamma=0.8$

对于砂土 $\gamma=0.7$

对于岩石 $\gamma=1.0$

6.0.4 单桩竖向抗压极限承载力统计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,应取其平均值为单桩竖向抗压极限承载力。

2 当极差超过平均值的 30% 时,不宜评价,应分析极差过大的原因。

3 对桩数为 3 根或 3 根以下的柱下承台,或工程桩抽检数量少于 3 根时,应取低值。

6.0.5 单位工程同一条件下的单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 应按单桩竖向抗压极限承载力统计值的一半取值。

6.0.6 检测报告应结论准确,用词规范。

6.0.7 检测报告应包含以下内容:

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

2 受检桩位对应的地质柱状图及相关地质条件描述。

3 受检桩的桩号、桩位和相关施工记录;

4 检测方法,检测仪器设备,检测过程叙述;

5 各桩的检测数据,实测与计算分析曲线、表格和汇总结果;

6 当进行分层摩阻力检测时,还应有传感器类型,安装位置,轴力计算方法,各级荷载下桩身轴力变化曲线,各土层的桩侧极限摩阻力和桩端阻力。

7 与检测内容相应的检测结论。

附录 A 桩身内力检测

A.0.1 基桩内力检测适用于混凝土预制桩、钢桩、组合型桩，也可用于桩身断面尺寸基本恒定或已知的混凝土灌注桩。

A.0.2 对竖向抗压静载试验桩，可得到桩侧各土层的分层抗压摩阻力和桩端支承力；对竖向抗拔静荷载试验桩，可得到桩侧土的分层抗拔摩阻力。

A.0.3 基桩内力检测宜采用应变式传感器或钢弦式传感器。根据检测目的及要求，宜按表 A.0.3 中的传感器技术、环境特性，选择适合的传感器，也可采用滑动测微计。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。

传感器技术、环境特性一览表

表 A.0.3

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

A.0.4 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，当桩径较大或试验要求较高时取高值。

A.0.5 应变式传感器可视以下情况采用不同制作方法：

1 对钢桩可采用以下两种方法之一：

(1) 将应变计用特殊的粘贴剂直接贴在钢桩的桩身，应变计宜采用标距 3~6mm 的 350 Ω 胶基箔式应变计，不得使用纸基应变计。粘贴前应将贴片区表面除锈磨平，用有机溶剂去污清洗，待干燥后粘贴应变计。粘贴好的应变计应采取可靠的防水防潮密封防护措施。

(2) 将应变式传感器直接固定在测量位置。

2 对混凝土预制桩和灌注桩，应变传感器的制作和埋设可视具体情况宜采用以下三种方法之一：

- (1) 在 600~1000mm 长的钢筋上，轴向、横向粘贴四个（二个）应变计组成全桥（半桥），经防水绝缘处理后，到材料试验机上进行应力-应变关系标定。标定时的最大拉力宜控制在钢筋抗拉强度设计值的 60% 以内，经三次重复标定，应力-应变曲线的线性、滞后和重复性满足要求后，方可采用。传感器应在浇筑混凝土前按指定位置焊接或绑扎（泥浆护壁灌注桩应焊接）在主筋上，并满足规范对钢筋锚固长度的要求。固定后带应变计的钢筋不得弯曲变形或产生附加应力。
- (2) 直接将电阻应变计粘贴在桩身指定断面的主筋上，其制作方法及要求同本条第 1 款钢桩上粘贴应变计的方法及要求。
- (3) 将应变砖或埋入式混凝土应变测量传感器按产品使用要求预埋在预制桩的桩身指定位置。

A.0.6 应变式传感器可按全桥或半桥方式制作，宜优先采用全桥方式。传感器的测量片和补偿片应选用同一规格同一批号的产品，按轴向、横向准确地粘贴在钢筋同一断面上。测点的连接应采用屏蔽电缆，导线的对地绝缘电阻值应在 500MΩ 以上，使用前应将整卷电缆除两端外全部浸入水中 1h，测量芯线与水的绝缘；电缆屏蔽线应与钢筋绝缘；测量和补偿所用连接电缆的长度和线径应相同。

A.0.7 电阻应变计及其连接电缆均应有可靠的防潮绝缘防护措施；正式试验前电阻应变计及电缆的系统绝缘电阻不应低于 200MΩ。

A.0.8 不同材质的电阻应变计粘贴时应使用不同的粘贴剂。在选用电阻应变计、粘贴剂和导线时，应充分考虑试验桩在制作、养护和施工过程中的环境条件。对蒸汽养护或高压养护的混凝土预制桩，应选用耐高温的电阻应变计、粘贴剂和导线。

A.0.9 电阻应变测量所用的电阻应变仪宜具有多点自动测量功能，仪器的分辨力应优于或等于 $1\mu\varepsilon$ ，并有存储和打印功能。

A.0.10 弦式钢筋计应按主筋直径大小选择。仪器的可测频率范围应大于桩在最大加载时的频率的 1.2 倍。使用前应对钢筋计逐个标定，得出压力（推力）与频率之间的关系。

A.0.11 带有接长杆弦式钢筋计可焊接在主筋上，不宜采用螺纹连接。

A.0.12 弦式钢筋计通过与之匹配的频率仪进行测量，频率仪的分辨力应优于或等于 1Hz。

A.0.13 当同时进行桩身位移测量时，桩身内力和位移测试应同步。

A.0.14 测试数据整理应符合下列规定：

- 1 采用应变式传感器测量时，按下列公式对实测应变值进行导线电阻修正：

$$\text{采用半桥测量时： } e = e' \left(1 + \frac{r}{R}\right) \quad (\text{A.0.14-1})$$

$$\text{采用全桥测量时： } e = e' \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \quad (\text{A.0.14-2})$$

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，应将钢筋计实测频率通过率定系数换算成力，再计算成与钢筋

计断面处的混凝土应变相等的钢筋应变变量。

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

$$Q_i = \bar{\varepsilon}_i \cdot E_i \cdot A_i \quad (\text{A.0.14-3})$$

式中 Q_i ——桩身第 i 断面处轴力 (kN)；

$\bar{\varepsilon}_i$ ——第 i 断面处应变平均值；

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

A_i ——第 i 断面处桩身截面面积 (m^2)。

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

$$q_{si} = \frac{Q_i - Q_{i+1}}{u \cdot l_i} \quad (\text{A.0.14-4})$$

$$q_p = \frac{Q_n}{A_0} \quad (\text{A.0.14-5})$$

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

q_p ——桩的端阻力 (kPa)；

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

u ——桩身周长 (m)；

l_i ——第 i 断面与第 $i+1$ 断面之间的桩长 (m)；

Q_n ——桩端的轴力 (kN)；

A_0 ——桩端面积 (m^2)。

5 桩身第 i 断面处的钢筋应力可按下式计算：

$$\sigma_{si} = E_s \cdot \varepsilon_{si} \quad (\text{A.0.14-6})$$

式中 σ_{si} ——桩身第 i 断面处的钢筋应力 (kPa)；

E_s ——钢筋弹性模量 (kPa)；

ε_{si} ——桩身第 i 断面处的钢筋应变。

A.0.15 位移杆宜采用内外管形式：外管应固定在桩身，内管下端应固定在需检测断面，顶端宜高出外管 100~200mm，并可与固定断面同步位移。

A.0.16 位移杆应具有一定的刚度；位移杆外径与外管内径之差宜小于 10mm，位移杆接头处应光滑。

A.0.17 测量位移杆的位移检测仪器应符合本规范第 4.0.3 条的技术要求。数据的测读应与桩顶位移测量同步。

A.0.18 当位移杆底端固定断面处桩身埋设有内力测试传感器时，可得到该断面处桩身轴力 Q_i 和位移 s_i 。

附录 B 混凝土桩桩头处理

- B.0.1** 混凝土桩应先凿掉桩顶部的破碎层和软弱混凝土。
- B.0.2** 桩头顶面应平整，桩头中轴线与桩身上部的中轴线应重合。
- B.0.3** 桩头主筋应全部直通至桩顶混凝土保护层之下，各主筋应在同一高度上。
- B.0.4** 距桩顶 1 倍桩径范围内，宜用厚度为 3~5mm 的钢板围裹或距桩顶 1.5 倍桩径范围内设置箍筋，间距不宜大于 100mm。桩顶应设置钢筋网片 2~3 层，间距 60~100mm。
- B.0.5** 桩头混凝土强度等级宜比桩身混凝土提高 1~2 级。

附录 C 载荷试验记录表

C.0.1 单桩竖向载荷检测宜按表 C.0.1 的格式记录。

单桩竖向载荷试验记录表

表 C.0.1

荷载 (kN)	观测时间 日/月时分	间隔时间 (min)	向上位移 (mm)						向下位移 (mm)								
			表 1	表 2	表 3	表 4	平均	累计	表 1	表 2	表 3	表 4	平均	累计			

C.0.2 单桩竖向载荷一位移汇总表宜按表 C.0.2 的格式记录。

单桩竖向载荷一位移汇总表

表 C.0.2

序号	荷载 (kN)	历时 (min)		向上位移 (mm)		向下位移 (mm)	
		本级	累计	本级	累计	本级	累计

本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：
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：
正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。
表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行的写法为“应按……执行”或“应符合……的要求（或规定）”。

条文说明

1 总则

1.0.1 自平衡检测法是在桩身某一平衡点位置埋设一个液压荷载箱，从桩顶通过高压油管对荷载箱内腔施加压力，在液压的作用下箱顶和箱底被推开，同时产生向上与向下的推力，从而调动桩周土的侧阻力和桩端阻力，加压一直至破坏，将桩侧土摩阻力与桩端土阻力迭加可得到单桩抗压极限承载力，其测试原理见图 1.0.1。自平衡检测法具有许多优点：

1 试验装置简单 与传统锚桩法或堆载静载法相比，既不需要占用较大场地，也不需要上千吨的堆载物，不需要构筑庞大笨重的反力架，试桩的准备工作时间省力，试验时安全，无环境污染。

2 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可以省缺锚桩的费用和承力架的投入费用。节省大量的试验费用，一般可降低约 30%—50%，吨位越大，试验费用节省得越明显。

3 试验桩可利用 自平衡检测完毕后，通过压浆管对试桩底和压力空腔进行压力灌浆处理，就可作为工程桩使用，这样也可以降低桩基工程的造价。

4 应用范围广泛 自平衡检测法不仅可用于普通施工场地的试桩，而且在水上试桩，坡地试桩，基坑底试桩，狭窄场地试桩，斜桩、嵌岩桩，高吨位试桩等情况下，更显其优越性。

5 利用桩的侧向阻力和端阻力互为反力，可测得桩侧阻力与端阻力。

1.0.2 自平衡检测法的原理是利用桩身反力的平衡实现对桩身的加载，与周围土的类型和桩施工工艺影响较小。近几年的实践表明，自平衡检测法适用于粘性土、粉土、砂土、岩层等地质情况中的人工挖孔桩、钻孔灌注桩等。尤其是对特殊工况如水上、坡地、基坑底、狭窄场地、超大承载力试桩等有明显优越性。对于超高承载力，超大尺寸桩的自平衡检测，比较经济有效的做法目前国内外都通常先进行模拟桩的检测，再根据实际尺寸换算求得超高承载力、超大尺寸桩的承载力。国内外研究表明，模拟桩的直径不应小于 800mm，以防尺寸效应带来误差。当埋设有测量桩身应力、应变、桩底反力的传感器和位移杆时，可测定桩的分层侧阻力、端阻力和桩身截面的位移量，这正是自平衡检测法的特点之一，具体桩身内力检测按附录 A 规定的方法执行。

1.0.3~1.0.5 基本引用《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106-2003)，引入这三条是为了进一步强调，而且为了自平衡检测体系的完整性和统一性。对 1.0.4 条当有条件时，宜加至单桩承载力特征值的 2.2~2.4 倍，这主要是基于这样一种情况考虑：3 根工程桩静载试验，分十级加载，其中一根第十级破坏，另两根桩都满足设计要求，按评定原则极限承载力取三棵桩的平均值，则单位工程的单桩竖向抗压承载力特征值不满足设计要求。但如果有一根满足设计要求的桩的最大加载量取为单桩承载力特征值的 2.2 倍或 2.4 倍，且试验证实其竖向抗压承载力不低于单桩承载力特征值的 2.2 倍或 2.4 倍，则单位工程的单桩竖向抗压承载力特征值满足设计要求。这样就可避免不必要的工程处理，便于工程桩竖向承载力的评定。对 1.0.5 条仅要求检测前砼强度应满足设计要求值，未对检测前的休止时间加以限制，主要是考虑自平衡检测法的加载方式与周围土的类型和桩施工工艺影响较小，且实际施加的力为总荷载的一半，况且只要满足砼强度达到设计要求的试验龄期对于土的休止时间也是足够。

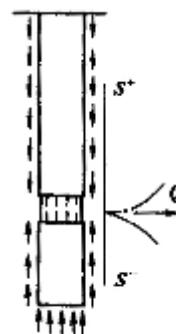


图 1.0.1 测试原理图

3 检测机构和检测人员

3.0.1 建工行业的基桩检测机构只有经国务院、省级建设行政主管部门检测资质认可和计量行政主管部门的计量认证考核合格后，才能合法进入检测市场开展相应的检测业务，本省依山东省建

筑工程管理局颁发的建设工程质量检测机构资质证书为准，实行这种考核办法旨在确认检测机构的计量检定，测试设备能力，人员技术水平，符合相关检测标准的情况，检测数据可靠性和质量管理体系的有效性，以保证出具的检测结果客观、公正、可靠。

3.0.2 由于基桩检测时需综合考虑地质、设计、施工等因素的影响，这就要求从事基桩检测工作的技术人员应经过学习、培训。具有必要的基桩检测方面的理论基础和实践，并随着新标准新规范的实施，及时更新知识，提高检测人员的业务素质、技术水平和实践经验，都需要培训、学习。本省依山东省建筑工程管理局颁发的建设工程质量检测机构检测人员管理手册为准，实现现场检测人员必须取得管理手册方能上岗。

4 设备仪器及安装

4.0.1 在自平衡检测中，加载用的荷载箱是一个关键部件，荷载箱是一个特制的油压千斤顶，它主要由活塞、顶盖、底盖及箱壁四部分组成。它需要按照桩的类型，截面尺寸和荷载等级专门设计生产，使用前必须按 1.5 倍极限承载力进行标定，防止漏油。荷载箱必须平放在桩中心，以防产生偏心轴向力。计算表明当荷载箱位移方向与桩身轴线方向夹角为 5° ，荷载箱在桩身轴线上产生的竖向力为施加力的 99.62%，夹角小于 5° ，其偏心影响很小，可忽略不计。考虑到荷载箱埋入桩砼中为一次性设备，所以设计加载能力一般要远超出要求加载力，同时由于预估单桩的极限承载力可能有偏差，为了不致于使试验因为荷载箱的设计加载能力不够而无法继续，要求荷载箱极限加载能力应大于预估极限承载力的 1.5 倍。

4.0.2~4.0.3 基本引用了《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2003),对仪器、仪表的精度、量程、测量误差、分辨力以及安装做了要求。

4.0.4 荷载箱一般布置在桩底或桩身中下部某个平衡点位置，向上的力仅为施加总力的一半，加载对地面位移的影响远小于传统静载试桩法的影响，因此试桩与基准桩的距离较传统方法要求略低。

4.0.5 在施工质量保证的情况下，可先浇捣荷载箱下的砼，然后安放荷载箱，再浇捣上部砼，如人工扩底挖孔桩，就可先浇扩大头部分砼，再设置荷载箱，位移棒的护管严禁有孔洞，以防水泥浆漏进包裹住位移棒。具体操作步骤如下：护管与钢筋笼焊接—位移棒摆放在护管中—位移棒与荷载箱焊接—护管与荷载箱焊接—下放钢筋笼。

4.0.6 当端阻力大于侧阻力时，可根据桩长径比，地质情况采取以下措施：

- 1 允许情况下，可适当增加桩长。
- 2 桩顶可提供一定量的配重。
- 3 端部宜采用模拟桩做法即端部桩直径变小，测试单位面积承载力极限值，以求与上部侧摩阻力达到平衡。再根据实际尺寸经换算后确定端阻力值。

荷载箱放置位置决定自平衡检测能否顺利完成的关键，如图 4.0.6 所示分别为几种情况予以说明。图（1）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，此法适用于桩侧阻力与桩端阻力大致相等的情况，或端阻力大于侧阻力而试桩目的在于测定侧阻力极限值的情况。图（2）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测阻力与桩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，这样上下段桩的承载力大致相等，确保检测顺利加载。图（3）为钻孔桩抗拔试验的情况，由于抗拔桩必须测出整个桩身的侧阻力，故荷载箱必须摆在桩端，而桩端处无法提供需要的反力，故将试桩钻深，使加长部分桩侧阻力及桩端阻力提供所需的反力。图（4）为挖孔扩底抗拔试验的情况，荷载箱摆在扩大头底部进行抗拔试验。图（5）适用于大头桩或当预估桩端阻力小于桩侧阻力而要求测定桩侧阻力极限值的情况，此时将桩底扩大，将荷载箱置于扩大头上。图（6）适用于测定嵌岩桩嵌岩段的侧阻力与桩端阻力之和。如仍需测定上部覆盖土层的极限侧阻力，则可在嵌岩段试验后浇灌桩身上段砼，然后再进行试桩。图（7）适用于桩端阻力远大于桩侧阻力而又比较经济地

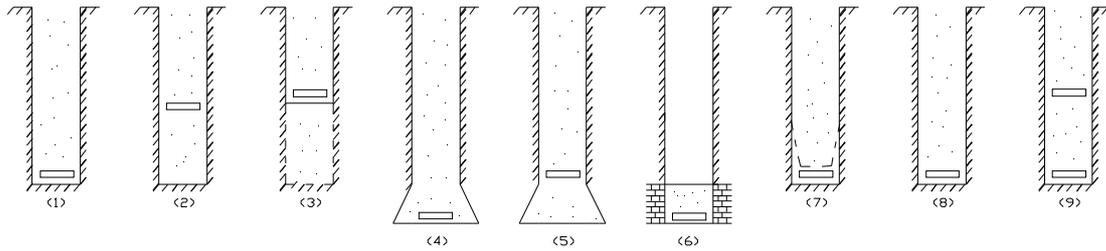


图4.0.6 荷载箱放置部位

测到桩极限承载力而采用模拟桩做法，用小直径桩测试单位面积承载力极限值，以求使上部侧摩阻力极限值得到充分发挥。图（8）若需测定两个或以上土层的侧阻力极限值，可先将砼浇灌至下层土的顶面进行测试而获及下层土的数据，然后再浇灌上一土层进行测试，依次类推，从而获得整个桩身全长的侧阻极限值。图（9）是采用二只荷载箱，一只放在桩下部，一只放在桩身某一部分，便可分别测出上、下段桩极限承载力。

5 现场检测

5.0.1 本条是为使试桩具有代表性而提出的。

5.0.2 因为自平衡检测仪器设备都在地面上，为便于位移测量仪表的安装，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一致，试坑地面宜与承台底标高一致。常规自平衡测试，桩头无需单独处理，当为增加侧摩阻力需要堆放一定数量配重检测时，砼桩头应进行处理。

5.0.3 明确试验加载采用慢速维持荷载法，这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，并对维持荷载法进行原则性规定，在试桩承载力检测前先进行完整性检测。

快速维持荷载法在国内从 20 世纪 70 年代开始应用，快速法由于每级荷载维持时间为 1h，各级荷载下的桩位移量相对慢速法要小一些，极限承载力较慢速法略高一些。在我国，如有些软土中的摩擦桩按慢速法加载，在 2 倍设计荷载的前几级，就已出现沉降稳定时间逐渐延长，即在 2h 甚至更长的时间内不收敛。此时，采用快速法是不适宜的。而也有很多地方的工程桩验收试验，在每级荷载施加不久，沉降迅速稳定，缩短持载时间不会明显影响试桩结果。在此，建议快速维持荷载法按下列步骤进行：

1 每级荷载施加后维持 1h，按 5、15、30min 测读桩位移量，以后每隔 15min 测读一次。

2 测读时间累计为 1h，若最后 15min 时间间隔的桩位移量增量与相邻 15min 时间间隔的位移增量相比未明显收敛时，应延长维持荷载时间，直至最后 15min 的位移增量小于相邻 15min 的位移增量为止。

3 终止加荷条件同慢速维持荷载法。

4 卸载时，每级荷载维持 15min，按第 5、15min 测读桩位移量后，即可卸下一级荷载。卸载至零后，应测读桩残余位移量，维持时间为 2h，测读时间为第 5、15、30min，以后每隔 30min 测读一次。

5.0.4~5.0.5 引用《建筑基桩检测技术规范》（JGJ106-2003）相关条文。

非嵌岩的超长桩和大直径（扩底）桩的 $Q-s$ 曲线一般呈缓变型，在桩顶沉降达到 40mm 时，桩端阻力一般不能充分发挥。前者由于长细比大、桩身较柔，弹性压缩量大，桩顶沉降较大时，桩端位移还很小；后者虽桩端位移较大，但尚不足以使端阻力充分发挥。因此，放宽桩顶总

沉降量控制标准是合理的。

6 检测数据的分析与判定

6.0.1 除 $Q-s$ 曲线、 $s-\lg t$ 曲线外，还有 $s-\lg Q$ 曲线方便帮助判定极限承载力。为使曲线图结果直观、便于比较，同一工程的一批试桩曲线应按相同的位移纵座标比例绘制，满刻度沉降值不宜小于 40mm。

6.0.2 世界各国按桩顶总沉降量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。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 $D=800\text{mm}$ ， $0.05D=40\text{mm}$ ，正好与中、小直径桩的沉降标准相衔接。

6.0.3 自平衡检测时，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排除。本法测出的上段桩的摩阻力方向是向下的，与常规静载试验所测桩摩阻力方向相反。传统方法加载时，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，故该法测出的桩摩阻力小于常规摩阻力，国内外大量的对比试验已证明了该点。

目前，国外对自平衡检测如何换算得出类似传统静载抗压桩承载力的方法不尽相同。有些国家将上、下两段实测值迭加作为桩抗压极限承载力，这样过于保守。有些国家将上段摩阻力乘以 1.5 再与下段桩迭加而得到桩抗压极限承载力。

我国则将向上、向下摩阻力根据土性划分，对于粘性土，向下摩阻力为 0.6~0.8 向上摩阻力；对于砂土向下摩阻力为 0.5~0.7 向上摩阻力，本规程对于粘性土、粉土 γ 取 0.8，对于砂土 γ 取 0.7，对于岩石 γ 取 1.0，可完全满足工程要求，而且是偏于安全的。

6.0.4~6.0.5 引用《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2003)对单桩竖向抗压极限承载力统计值和特征值取值作了规定。

6.0.6~6.0.7 引用《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2003)规定了检测报告中应包含的内容，避免检测报告过于简单，报告所反映的信息量要足够，也有利于委托方、设计及检测部门对报告的审查和分析。