

ICS 01.040.93

CCS P 22

DB21

辽宁省地方标准

DB21/T 3909—2024

大直径基桩自平衡法静载试验技术规程

Technical specification for self-balanced static loading test of large  
diameter foundation pile

2024-01-30 发布

2024-03-01 实施

辽宁省住房和城乡建设厅  
辽宁省市场监督管理局

联合发布

辽宁省地方标准

## 大直径基桩自平衡法静载试验技术规程

Technical specification for self-balanced static loading test of large  
diameter foundation pile

DB21/T 3909—2024

主编单位：辽宁省建筑设计研究院岩土工程有限责任公司

批准部门：辽宁省住房和城乡建设厅

施行日期：2024年3月1日

辽宁科学技术出版社

2024 沈 阳

# 前 言

根据辽宁省市场监督管理局文件《辽宁省市场监督管理局关于印发 2021 年辽宁省地方标准立项计划的通知》(辽市监发 [2021] 19 号) 的要求, 由辽宁省建筑设计研究院岩土工程有限责任公司会同有关单位经广泛调查研究, 认真总结实践经验, 参考有关国内外先进标准, 并在广泛征求意见基础上, 制定本规程。

本规程主要包括总则、术语和符号、基本规定、现场检测、测试数据的分析与判定等五部分内容及有关附录。

本规程由辽宁省住房和城乡建设厅负责管理, 由辽宁省建筑设计研究院岩土工程有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行本规程过程中如有意见, 请寄送至辽宁省建筑设计研究院岩土工程有限责任公司(地址: 辽宁省沈阳市和平区和平南大街 84 号; 邮政编码: 110005; E-mail: syytgs@126.com)。

本规程主编单位: 辽宁省建筑设计研究院岩土工程有限责任公司

本规程参编单位: 中建东设岩土工程有限公司

北方测盟科技有限公司

沈阳中冶检测工程有限公司

沈阳市勘察测绘研究院有限公司

辽宁省市政工程设计研究院有限责任公司

辽宁中冶勘察设计有限公司

大连市建筑工程质量检测中心有限公司

辽宁政测科技集团方正质检有限公司

营口市城乡建设与公用事业中心

锦州衡基检测有限公司

浙江欧感机械制造有限公司

南京赛宝液压设备有限公司

中国建筑第二工程局有限公司

北京城乡建设集团有限责任公司

辽宁冶地工程检测有限公司

国家电投集团东北电力有限公司抚顺热电分公司

中建东设工程技术(上海)有限公司

本规程主要起草人员: 刘忠昌 苏艳军 顾银锋 舒昭然(以下按姓氏笔画为序)

于国太 王双双 王林林 王秋实 王晓滢

王峰 王磊 朱光宇 任维军 刘升传

刘军 苏军 苏金强 张传波 张力佳

张忠仁 张恒兵 陈立柱 林国友 赵翔宇

赵德发 钟光强 徐香军 崔箫坡 葛宝玉

谭洪 戴悦

本规程主要审查人员: 龚维明 郝志鹏 王敏权 邢玉东 于永彬

杨元奎 苏维鼎

# 目 录

1 总 则.....	1
2 术 语 和 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 检测方案.....	4
3.3 检测程序.....	4
3.4 检测报告.....	5
4 现 场 检 测.....	7
4.1 仪器设备.....	7
4.2 设备安装.....	8
4.3 现场测试.....	9
5 数 据 分 析 与 判 定.....	11
附录 A 荷载箱埋设位置确定.....	15
附录 B 桩身内力测试.....	16
附录 C 工程桩后注浆处理要求及工艺.....	19
附录 D 荷载箱的技术要求.....	20
本标准用词说明.....	21
引用标准名录.....	22
附： 条 文 说 明.....	23

## Content

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	2
3	Fundamental Stipulations .....	4
3.1	General Stipulations .....	4
3.2	Testing Scheme .....	4
3.3	Testing Procedure .....	5
3.4	Testing Report .....	6
4	Field Inspection .....	7
4.1	Instrument and Equipment .....	7
4.2	Installation of Equipment .....	8
4.3	Field Test .....	10
5	Analysis and Judgment of Testing Data .....	12
Appendix A	Positioning of Load Cell .....	16
Appendix B	Internal Force Measurement of Pile Shaft .....	17
Appendix C	Grouting Requirement and Technology after Test .....	20
Appendix D	Technical Requirements of Load Cell .....	21
	Explanation of Wording in the Code .....	21
	List of Quoted Standards .....	22
Attached:	Explanation of Provisions .....	23

# 1 总则

1.0.1 为规范辽宁省行政区域内大直径基桩（以下简称基桩）自平衡法静载试验检测方法和技术要求，使检测工作符合安全适用、技术先进、经济合理、操作规范、评价准确的要求，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于各种岩土工程条件中的大直径基桩的竖向承载力检测与评价，特别适用于传统静载试验条件受限时的承载力检验，也可用于斜桩静载荷试验和地基载荷试验。

1.0.3 基桩自平衡法静载试验除应执行本规程外，尚应符合国家、行业和辽宁省现行有关标准的规定。

地方标准信息服务平台

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 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检测桩身承载力的试验方法。

#### 2.1.2 大直径桩 large diameter pile

桩身直径大于等于800mm的基桩。

#### 2.1.3 平衡点 balanced position

基桩上段桩的桩身自重（或自重与附加重量）及极限桩侧摩阻力之和与下段桩极限桩侧摩阻力及极限端阻力之和基本相等的位置。

#### 2.1.4 荷载箱 load cell

自平衡静载试验中预置于桩身内的加载装置。

#### 2.1.5 基准梁 reference beam

用于固定变形测量设备的刚性梁。

#### 2.1.6 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。

#### 2.1.7 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 抗力和材料性能

$Q_u$	——	单桩竖向抗压、抗拔极限承载力；
$Q_{uu}$	——	上段桩竖向抗压、抗拔极限承载力；
$Q_{ud}$	——	下段桩竖向抗压、抗拔极限承载力；
$E_p$	——	桩身材料等效弹性模量。

#### 2.2.2 作用与作用效应

$W$	——	荷载箱上段桩自重与附加重量之和；
$Q$	——	桩顶等效荷载；
$s$	——	桩顶等效位移。

#### 2.2.3 几何参数

$A_p$	——	桩身截面面积；
$A_D$	——	桩端截面积；
$A_{hd}$	——	荷载箱底板面积；
$L_{上}$	——	上段桩长；

- $D$  —— 桩端直径；  
 $d_{hd}$  —— 荷载箱底板直径。

#### 2.2.4 计算系数

- $\gamma$  —— 抗压侧阻力转换系数：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；  
 $C$  —— 基桩的侧阻分布系数；  
 $k$  —— 扩底桩尺寸系数。

地方标准信息服务平台



## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

3.1.1 基桩自平衡法静载试验适用于为设计提供依据的试验桩检测和工程桩的验收检测。

3.1.2 最大加载值应符合下列规定：

1 为设计提供依据的桩，按设计要求确定最大加载值，应加载至桩侧与桩端的岩土阻力达到极限状态，可取预估极限承载力的 1.2~1.5 倍；

2 工程桩验收检测最大加载值应满足设计对承载力的检测与评价要求，当设计无明确要求时最大加载值为设计特征值的 2 倍；

3 当设置多层荷载箱时上段桩荷载箱最大加载值取预估极限摩阻力的 1.2 倍。

3.1.3 基桩自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。

3.1.4 自平衡静载试验检测前，应先进行桩身完整性检测，大直径灌注桩宜优先采用声波透射法。

3.1.5 为设计提供依据的试验桩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。

3.1.6 工程桩承载力检测应评价受检桩单桩承载力是否满足设计要求。当检测结果不满足设计要求时，应分析原因或进行扩大检测。

3.1.7 工程桩承载力验收检测后，应在荷载箱位置处进行注浆处理，注浆处理后工程桩方可正常使用。

3.1.8 检测使用的计量器具均应在检定（校准、验证）有效期内，性能符合相应检测方法技术要求，所用的检测仪器设备实行唯一性编号。检测前应对仪器设备检查调试。

### 3.2 检测方案

3.2.1 检测单位应根据设计、勘察、施工等资料编制检测方案，检测方案宜包括以下内容：

- 1 工程概况、地质条件、桩基设计参数和施工工艺等；
- 2 试验目的、试验要求及试验依据、检测数量和受检桩选取原则；
- 3 荷载箱的规格、数量、埋设位置和预估最大加载值；
- 4 检测桩的施工要求、所需的机械或人工配合、检测进度计划等；
- 5 检测安全和质量保证措施等。

### 3.3 检测程序

3.3.1 基桩自平衡法静载试验检测程序，应按图 3.3.1 进行。

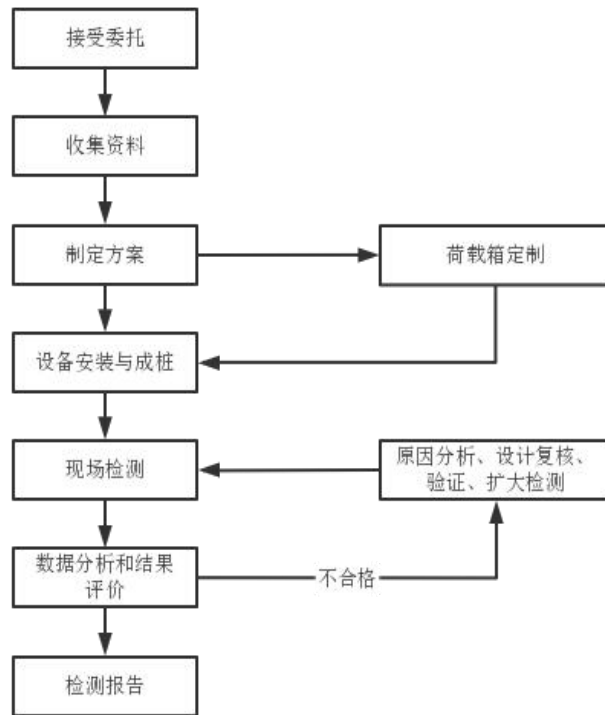


图 3.3.1 检测工作程序框图

### 3.3.2 检测开始时间应符合下列规定：

- 1 对于受检桩桩身混凝土强度应不低于设计强度的 80%，或按该强度计算的桩身承载力应大于荷载箱单向最大加载值的 1.5 倍；
- 2 检测前桩侧土体的休止时间不应小于表 3.3.2 规定的时间。

表3.3.2 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：1 当采用泥浆护壁灌注桩时，宜适当延长休止时间；

- 2 当采用后注浆施工工艺时，除符合本条第 1 款的规定外，注浆后休止期不宜小于 20d；当水泥浆中掺入早剂时，注浆后休止期不宜小于 15d。

## 3.4 检测报告

### 3.4.1 检测报告应包含以下内容：

- 1 工程名称、地点、委托方、建设、勘察、设计、监理、施工和检测单位，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 地质条件描述、土的力学指标和相应的地质柱状图；
- 3 受检桩的桩型、尺寸、桩号、桩身强度、桩顶标高、荷载箱参数、荷载箱位置、成桩工艺、施工日期、检测点平面布置图；
- 4 加载、卸载方法，检测仪器设备，承载力判定依据；

- 5 受检桩的检测数据，试验与计算分析曲线图表和试验数据汇总结果；
- 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。

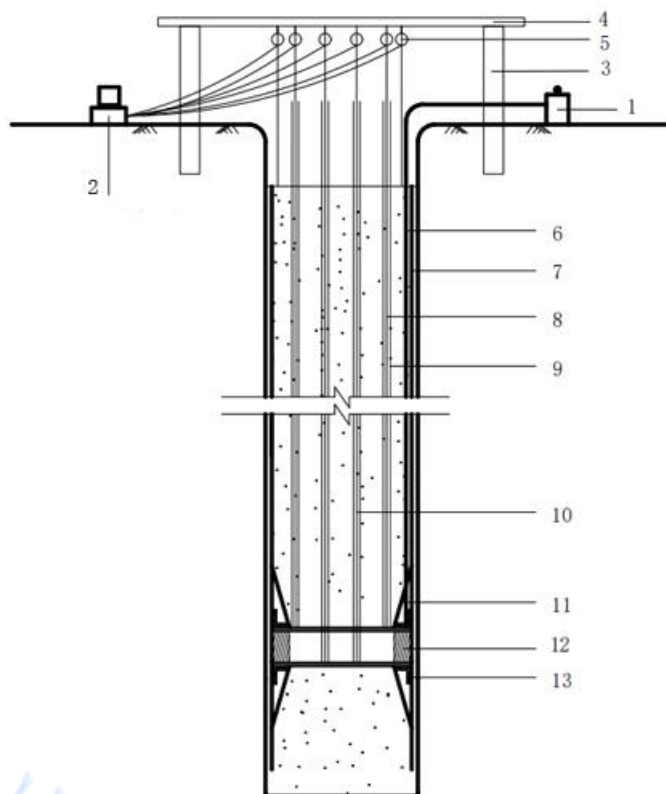
地方标准信息服务平台

## 4 现场检测

### 4.1 仪器设备

4.1.1 基桩自平衡静载试验系统由以下组成（图 4.1.1）：

- 1 荷载箱、高压油管、加载泵、油压测量仪表组成的加载系统；
- 2 位移传递装置、位移传感器、位移基准装置组成的位移量测系统；
- 3 采集压力和位移数据并据此对加载进行控制的数据采集与控制系统。



1—加压系统；2—加载控制与数据采集系统；3—基准桩；4—基准梁；  
5—位移传感器；6—高压油管；7—主筋；8—上位移杆（丝）；9—护套管；  
10—下位移杆（丝）；11—导向筋；12—液压千斤顶；13—L型加强筋

图 4.1.1 试验系统示意图

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、防震等功能，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定制。荷载箱的技术要求应符合本规程附录 E 的规定。

4.1.4 采用连接于荷载箱油路的压力传感器或压力表测定油压，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，压力表、油泵、油管在最大加载时的压力不应超过额定工作压力的 80%。

4.1.5 受检桩位移宜采用电子百分表测量，测量误差不应大于 0.1 %FS，分辨率不应低于 0.01mm。每根检测桩布置不少于 3 组，每组不应少于 2 个位移传感器对称布置，分别用于测定荷载箱处的向上、向下位移和桩顶位移。

## 4.2 设备安装

4.2.1 荷载箱埋设位置应符合附录 A 规定。

4.2.2 位移管（声测管）连接用套筒围焊，确保护管不渗浆，与钢筋笼固定成整体。

4.2.3 荷载箱与钢筋笼连接应符合下列规定：

- 1 荷载箱应平放于桩横截面同心处，荷载箱位移方向与桩身轴线夹角不应大于  $1^\circ$ ；
- 2 灌注桩的试验荷载箱安装宜按下图（图 4.2.3）进行；

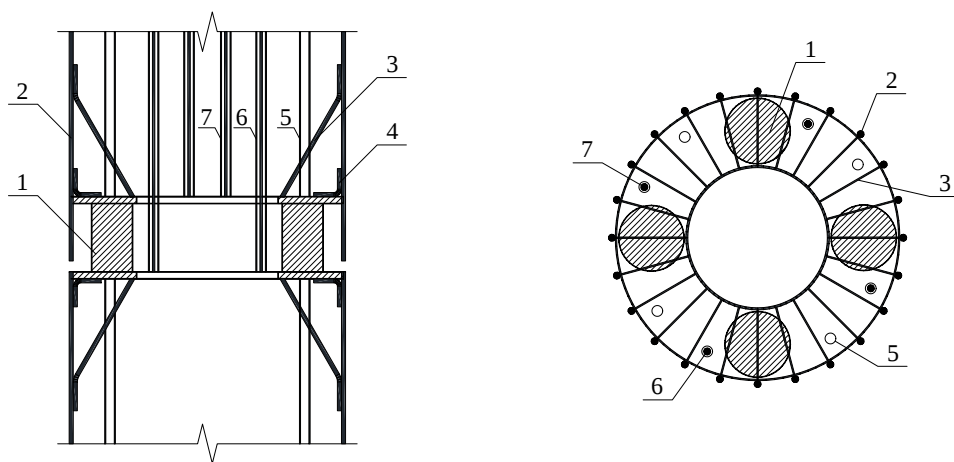


图 4.2.3 灌注桩荷载箱安装示意图

- 1—荷载箱；2—主筋；3—导向钢筋；4—L 形加强钢筋；5—声测管（注浆管）；  
6—下位移杆（丝）及护套管；7—上位移杆（丝）及护套管

3 钢筋笼与荷载箱焊接必须保持垂直，荷载箱的顶板和底板应通过 L 型加强筋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，L 型加强筋数量应与桩主筋等同，并应满足焊接长度要求；

4 在荷载箱上下部位设置导向钢筋，导向钢筋一端与荷载箱导管孔边缘处焊接，另一端与钢筋笼主筋焊接，荷载箱顶板底板均需布置，上部导向钢筋的数量、直径宜与主筋相同，下部导向钢筋数量可适当减少，导向钢筋与荷载箱平面夹角宜大于  $60^\circ$ ；

5 在荷载箱上下各 1.5 倍桩直径范围内钢筋笼箍筋应加密处理，其间距取 100mm。

4.2.4 对于预应力混凝土桩和钢管桩，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，位移杆宜采用直径 10mm~25mm 的钢管或圆钢；位移丝具有一定的刚度。应选用合适的配重使位移丝绷紧；

2 护套管内径与位移杆直径之比应大于 2；

3 采用位移丝时，其直径不得小于 0.3mm；

4 当采用后置位移丝时，声测管可兼做护套管，内径不应小于 40mm，壁厚不宜小于 3mm；当采用预埋位移丝时，应增设护套管对位移丝进行可靠的保护；

5 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；

6 位移杆滞空外漏长度不宜超过 500mm，并采取有效的固定措施；

7 应对上、下位移杆或护套管进行标记；

8 位移杆（丝）的护套管上口应封堵，以避免砂土、泥浆等进入管内；

9 位移杆或位移丝与护套管之间宜填充特殊材质填充材料，以保证位移杆或位移丝能在护套管自由滑动，以及减少位移杆或位移丝与护套管摩擦而引起位移数据失真。

**4.2.6** 下笼过程中，需要对位移管线和油管每隔 1.0m~2.0m 用扎丝（或绑带）绑扎牢固，并保证护套管的垂直度。

**4.2.7** 当空桩长度超过 2m 时，空桩部分需放置简易钢筋笼（不少于 8 根主筋，每 2m 设一道加强箍）用于引导保护管线。

**4.2.8** 为满足试验要求油路长度应大于量测系统外 3m。

**4.2.9** 桩身荷载箱位置浇筑技术要求

1 桩身混凝土宜采用细石混凝土，混凝土坍落度宜大于 200mm；

2 桩身混凝土灌注前除荷载箱埋设于桩底外，尚应计算好导管长度配置，确保导管底距荷载箱底控制在 2m 左右；

3 当混凝土接近荷载箱时，应控制导管拆除的节数，拔导管速度应放缓，确保导管底在混凝土内长度大于 5m，荷载箱上、下 2.5m 范围内浇注速率降低至正常速率的 1/2；当荷载箱上部混凝土大于 2.0m 时导管底端方可拔过荷载箱，正常浇混凝土至设计桩顶；

4 当荷载箱在桩端 2.0m 范围内时，应采用大料斗并在料斗内满料后正常速率开闸浇筑，放料过程应保证同步进料。

**4.2.10** 为避免机械挖断油路及位移装置，试桩部位开挖时先由人工准确定位后，方可采用机械配合人工开挖。

**4.2.11** 基准桩和基准梁应符合下列规定：

1 基准桩与受检桩之间的中心距离不应小于 3 倍的受检桩直径，且不应小于 2.0m；基准桩应打入地面以下足够的深度，不宜小于 1.0m；

2 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；

3 宜在位移量测系统上方及周围采取适当的遮挡防护措施，以减小位移传感器的夹具及基准梁受天气、周边震动及其他外界因素的影响，保证试验数据可靠。

### 4.3 现场测试

**4.3.1** 自平衡静载试验宜采用慢速维持荷载法，应采用全自动测试仪测试。

**4.3.2** 试验最大荷载值为预估最大加载值的 1/2，试验加、卸载应符合下列规定：

1 试验前应进行预加载，预加载的最大值不大于试验最大荷载值的 1/10；

2 加载应分级进行，采用逐级等量加载，每级荷载为最大荷载值的 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。

**4.3.3** 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:每级荷载作用下每一小时内的沉降量不超过 0.1mm,并连续出现两次(从每级荷载施加后的第 30min 开始,按 1.5h 连续三次每 30min 的沉降观测值计算);

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,每级荷载分别按第 15min、30min、60min 测读位移量,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。

**4.3.4** 荷载箱上段或下段位移出现下列情况之一时,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;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。

**4.3.5** 测试桩身应变和桩身截面位移时,试验加载前应测试各传感器初值,宜在每级荷载施加前后(包括卸载)分别测试一次。

## 5 数据分析与判定

**5.0.1** 应绘制桩身各分段的荷载-位移曲线、位移-加载时间单对数曲线，也可绘制其他辅助分析所需的曲线。

**5.0.2** 进行桩身应力、应变或桩身截面位移测定时，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；必要时也可绘制侧阻力分布、桩端阻力-荷载、桩端阻力-下段桩沉降关系等曲线。

**5.0.3** 上段桩极限承载力  $Q_{ul}$  和下段桩极限承载力  $Q_{ud}$  应根据曲线特征综合确定。

1 对于陡变型荷载-位移曲线，确定各段桩的极限承载力时应符合下列规定：

- 1) 应取曲线发生明显陡变的起始点对应的荷载值；
- 2) 应取位移-加载时间单对数曲线尾部出现明显弯曲的前一级荷载值；
- 3) 当出现破坏状态时，取前一级荷载值。

2 对于缓变型荷载-位移曲线，确定各段桩的极限承载力时应符合下列规定：

1) 上段桩极限加载值取荷载箱处向上位移总量等于 20mm~40mm 对应的荷载值，或按设计要求的位移总量取值；

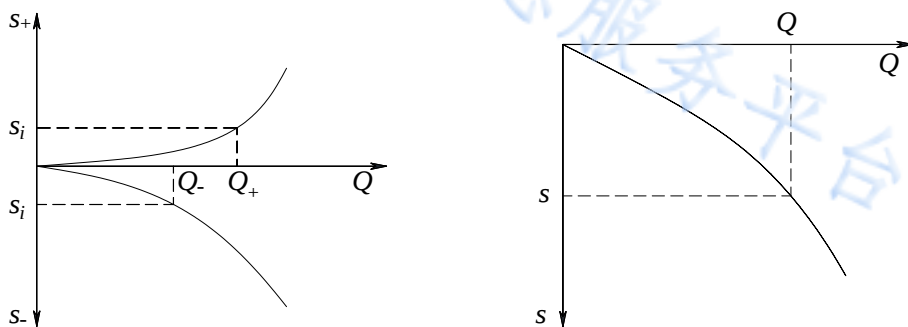
2) 下段桩极限加载值取荷载箱处向下位移总量等于 40mm 或 0.05D 桩端直径（二者取大值）对应的荷载值；

3) 当上段桩长或下段桩长大于 40m 时，宜考虑桩身弹性压缩量。

**5.0.4** 不满足本规程第 5.0.3 条情况时，上下段桩极限承载力宜分别取荷载箱处向上、向下的最大加载值。

**5.0.5** 基桩自平衡法静载试验测得的荷载-位移曲线，宜等效转换为相应传统静载试验桩顶加载时的荷载-位移曲线，工程竣工验收检测或试验桩无法确定上、下段桩极限承载力时可不进行等效转换。

**5.0.6** 等效转换方法可将自平衡法静载试验测得的荷载箱处向上、向下的荷载-位移曲线，等效转换为相应传统静载试验桩顶加载时的荷载-位移曲线（图 5.0.6）。等效转换适用于单层荷载箱，双层荷载箱可参照本方法分段进行转换。等效转换应满足位移连续条件，在自平衡法测得的向上、向下荷载-位移曲线上取某一位移值，分别求出与该位移值对应的 2 个荷载值，再进行等效转换。



(a) 自平衡法静载试验测试荷载—位移曲线

(b) 等效桩顶加载荷载—位移曲线



图 5.0.6 等效转换示意图

### 5.0.7 试验桩一般可采用简化转换法

在自平衡法静载试验测试荷载-位移曲线上，取分界截面向上、向下位移大小相等时的对应荷载，按下式进行转换：

$$Q = \frac{Q_{\uparrow} - W}{\gamma} + Q_{\downarrow} \quad (5.0.7-1)$$

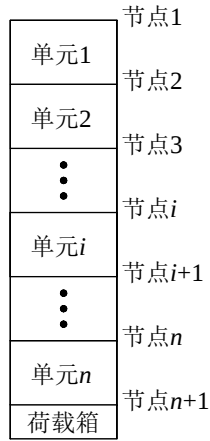
$$s = s_i + \frac{\frac{Q_{\uparrow} - W}{\gamma} + 2Q_{\downarrow}}{2E_p A_p} L_{\uparrow} \quad (5.0.7-2)$$

$$\gamma = \frac{\gamma_a h_1 + \gamma_s h_2}{h_1 + h_2} \quad (5.0.7-3)$$

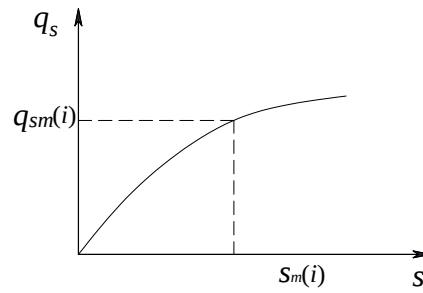
- 式中：
- $Q$  —— 桩顶等效荷载 (kN)；
  - $s$  —— 桩顶等效位移 (m)；
  - $Q_{\uparrow}$  —— 分界截面向上位移大小为  $s_i$  时的对应荷载 (kN)；
  - $Q_{\downarrow}$  —— 分界截面向下位移大小为  $s_i$  时的对应荷载 (kN)；
  - $W$  —— 荷载箱上段桩自重与附加重量之和 (kN)，附加重量包括桩顶配重或施加的反力、设计桩顶以上超灌段自重和空桩段回填土自重，地下水位以下应取浮重度计算；
  - $s_i$  —— 荷载箱向下分级位移 (mm)；
  - $L_{\uparrow}$  —— 上段桩长 (m)；
  - $A_p$  —— 桩身截面面积 (m<sup>2</sup>)；
  - $E_p$  —— 桩身等效弹性模量 (kPa)；
  - $\gamma$  —— 抗压侧阻力转换系数，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，灌注桩可根据上段桩长范围内的岩土类型确定：黏性土、粉土取 0.7~0.8，砂土、碎石土取 0.6~0.7，岩石取 0.8~1.0，若该范围内有不同类型的岩土层时，按土层厚度加权取平均值；
  - $\gamma_a$  —— 粉土、黏性土转换系数；
  - $\gamma_s$  —— 砂土、碎石土转换系数；
  - $h_1$  —— 上段桩粉土、黏性土厚度；
  - $h_2$  —— 上段桩砂土、碎石土厚度。

**5.0.8** 当采用桩身内力测试时，可采用荷载传递转换法从荷载箱处向上转换，直至桩顶。

- 1 将上段桩自上而下分为  $n$  个单元、 $n+1$  个节点 (图 5.0.8)，则任一节点  $i$  处  $Q(i)$ 、 $s(i)$ ：



(a) 上段桩单元划分



b) 单位面积侧阻—位移关系曲线

图 5.0.8 单元划分与侧阻本构关系

$$Q(i) = Q(i+1) + \frac{U(i) + U(i+1)}{2} h(i) q_{sm}(i) \quad (5.0.8-1)$$

$$s(i) = s(i+1) + \frac{Q(i) + Q(i+1)}{A_p(i)E_p(i) + A_p(i+1)E_p(i+1)} h(i) \quad (5.0.8-2)$$

- 式中：
- $Q(i)$  —— 第  $i$  个节点的等效荷载 (kN);
  - $s(i)$  —— 第  $i$  个节点的等效位移 (m);
  - $U(i)$  —— 第  $i$  个节点处桩周长 (m);
  - $h(i)$  —— 第  $i$  个单元的高度 (m);
  - $q_{sm}(i)$  —— 第  $i$  个单元中点处桩侧阻力 (kPa);
  - $A_p(i)$  —— 第  $i$  个节点处桩身截面面积 (m<sup>2</sup>);
  - $E_p(i)$  —— 第  $i$  个节点处桩身弹性模量 (kPa)。

2 根据单元  $i$  的中点位移值  $s_m(i)$ ，由单位面积侧阻-位移关系曲线求得  $q_{sm}(i)$ ， $s_m(i)$  由下式计算：

$$s_m(i) = s(i+1) + \frac{Q(i) + 3Q(i+1)}{A_p(i)E_p(i) + 3A_p(i+1)E_p(i+1)} \frac{h(i)}{2} \quad (5.0.8-3)$$

式中： $s_m(i)$  —— 单元  $i$  的中点位移值 (m)。

5.0.9 单桩竖向抗压极限承载力  $Q_u$ ，应按下式计算：

$$Q_u = \frac{Q_u^{\perp} - W}{\gamma} + Q_u^{\downarrow} \quad (5.0.9)$$

5.0.10 单桩竖向抗拔极限承载力，应按下式计算：

$$Q_u = \frac{Q_u^{\perp}}{\gamma_{\text{抗拔}}} \quad (5.0.10)$$

式中： $\gamma_{\text{抗拔}}$  —— 抗拔桩侧阻力转换系数，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。

5.0.11 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。

5.0.12 单桩竖向抗压（抗拔）极限承载力的统计取值，应符合下列规定：

1 同条件下，对参加统计算术平均的检测桩检测结果，当极差不超过平均值的 30% 时，可取其算术平均值为单桩竖向抗压（抗拔）极限承载力；

2 对参加算术平均的检测桩检测结果，当极差超过平均值的 30%时，应结合桩型、施工工艺、地基条件、基础形式等工程具体情况分析原因，综合确定极限承载力；不能明确极差过大的原因时，应增加检测桩数量；

3 检测桩数量小于 3 根或桩基承台下的桩数不大于 3 根时，应取低值；

4 不同条件的单个试验桩，不参与统计分析。

地方标准信息服务平台

## 附录 A 荷载箱埋设位置确定

### A.0.1 一般规定

1 当受检桩为抗压桩，预估极限端阻力小于预估极限侧阻力时，应将荷载箱置于桩身平衡点处，当条件具备时可采用双层荷载箱；

2 当受检桩为抗压桩，预估极限端阻力大于预估极限侧阻力时，可将荷载箱置于桩端，在不影响测读位移前提下，可在桩顶增加一定量的堆载或锚桩反力；

3 当受检桩为抗拔桩时，荷载箱应置于桩端；当荷载箱下部提供的反力不足时，可采取加大桩长等措施，但荷载箱仍应置于设计桩端标高；

4 当荷载箱埋置在桩端时，荷载箱距离桩端不宜少于 0.5D；

5 对于扩底灌注桩，宜将荷载箱放置在变截面位置，当桩长较长时宜采用双层荷载箱；

6 为准确测定试验桩极限承载力，超长的灌注桩宜采用多层荷载箱。

### A.0.2 平衡点位置可按下列式计算确定：

$$\sum u_i l_i q_{u上} \times \gamma_i + W = \sum u_i l_i q_{u下} + q_{up} \times A_D \quad (\text{A.0.2-1})$$

式中：  $W$  —— 荷载箱上段桩自重与附加重量之和（kN），附加重量包括桩顶配重或施加的反力、设计桩顶以上超灌段自重和空桩段回填土自重，地下水以下应取浮重度计算；

$u$  —— 桩身周长（m）；

$l$  —— 土层厚度（m）；

$q_u$  —— 侧摩阻力极限值（kPa）；

$A_D$  —— 桩端截面积（m<sup>2</sup>）；

$q_{up}$  —— 桩端持力层极限端阻力（kPa），嵌岩桩应计算桩端入风化岩嵌固力，按照相关规范进行深度修正；

$\gamma_i$  —— 折减系数，取抗压侧阻力转换系数的最大值。

## 附录 B 桩身内力测试

**B.0.1** 桩身内力测试适用于桩身横截面尺寸基本恒定或已知的桩，可得桩侧各土层的分层摩阻力及端阻力。

**B.0.2** 标定断面：在荷载箱上下 1~2 倍桩径范围内各设置一个测量断面作为传感器标定断面，标定断面处（荷载箱上部和下部）可对称设置 4 个应变传感器。

**B.0.3** 测量断面：传感器测量断面应设置在两种不同性质土层的界面处，且距桩顶和桩底的距离不宜小于 1 倍桩径，必要时可增加测量断面。

**B.0.4** 桩身内力测试宜根据测试目的、试验桩型及施工工艺选用电阻应变式传感器、振弦式应力传感器、滑动测微计、光纤应变传感器等传感器。

**传感器技术、环境特性一览表**

**表 B.0.4**

特性 \ 类型	振弦式传感器	电阻应变式传感器	滑动测微计	光纤应变计
传感器体积	大	较小	大	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	无蠕变问题	较小，适宜于长期观测
测量灵敏度	较低	较高	较高	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	温度变化范围较大时应修正	可以实现温度变化的自补偿
长导线影响	不影响测试结果	除非采用六线制，需进行长导线电阻影响的修正	下段桩存在导线影响问题，上段桩无影响	不影响测试结果
自身补偿能力	补偿能力弱	对自身的弯曲、扭曲可以自补偿	可通过标定解决零漂和温度影响	可以自补偿
对绝缘的要求	要求不高	要求高	无要求	要求不高
动态响应	—	好	—	较好
埋设工作量	大	大	大	较大

**B.0.5** 测试数据整理应符合下列规定：

- 1 根据选用的传感器，计算得出各测点处的应变值。
- 2 剔除异常数据后，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的桩身轴力：

$$Q_i = \bar{\varepsilon}_i \times E_i \times A_i \quad (\text{B.0.5-1})$$

式中： $Q_i$ ——桩身第  $i$  断面处轴力 (kN)；

$\bar{\varepsilon}_i$ ——第  $i$  断面处钢筋应变平均值，长期监测时应消除桩身徐变影响；

$E_i$ ——第  $i$  断面处桩身材料弹性模量 (kPa)；当混凝土桩桩身测量断面与标定断面两者的材质、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<sup>2</sup>)。

- 3 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。桩侧土的分层侧阻力和桩端阻力应分别按下列公式计算：

$$q_{si} = \frac{Q_i - Q_{i+1}}{u \cdot l_i} \quad (\text{B.0.5-2})$$

$$q_p = \frac{Q_n}{A_D} \quad (\text{B.0.5-3})$$

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

$q_p$ ——桩的端阻力 (kPa)；

$i$ ——桩检测断面顺序号；

$u$ ——桩身周长 (m)；

$l_i$ ——第  $i$  断面与第  $i+1$  断面之间的长度 (m)；

$Q_n$ ——桩端轴力 (kN)；

$A_D$ ——桩端面积 (m<sup>2</sup>)。

4 桩身第  $i$  断面处的钢筋应力可按下列公式计算：

$$\sigma_{si} = E_s \cdot \varepsilon_{si} \quad (\text{B.0.5-4})$$

式中： $\sigma_{si}$ ——桩身第  $i$  断面处的钢筋应力 (kPa)；

$E_s$ ——钢筋弹性模量 (kPa)；

$\varepsilon_{si}$ ——桩身第  $i$  断面处的钢筋应变。

**B.0.6** 指定桩身断面的位移以及两个指定桩身断面之间的位移差，可采用位移杆（丝）测量。位移杆（丝）应具有一定的刚度，宜采用内外套管形式，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 100~200mm，并能与测试断面同步位移。

**B.0.7** 传感器应力测量数据处理

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：

$$\varepsilon = \varepsilon' \left(1 + \frac{r}{R}\right) \quad (\text{B.0.7-1})$$

采用全桥测量时按下式计算：

$$\varepsilon = \varepsilon' \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \quad (\text{B.0.7-2})$$

式中： $\varepsilon$ ——修正后的应变值；

$\varepsilon'$ ——修正前的应变值；

$r$ ——导线电阻 ( $\Omega$ )；

$R$ ——应变计电阻 ( $\Omega$ )。

2 采用弦式传感器测量时，应根据率定系数将钢筋计实测频率换算成力，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变量。

3 采用滑动测微计测量时，应按下列公式计算应变：

$$e = (e' - z_0) \cdot K \quad (\text{B.0.7-3})$$

$$\varepsilon = e - e_0$$

(B.0.7-4)

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；

$\varepsilon$ ——应变值；

$e_0$ ——初始测试仪器读数修正值。

地方标准信息服务平台

## 附录 C 工程桩后注浆处理要求及工艺

**C.0.1** 为确保自平衡法试验测试后工程桩正常使用，必须对测试时荷载箱部位产生的缝隙进行后注浆处理。

**C.0.2** 注浆管应符合以下规定：

1 注浆管应采用钢管，采用丝扣连接或套焊，确保不漏浆，上下端加盖、管内无异物，应能承受 2.0MPa 以上静水压力；

2 注浆管也可采用下位移护管或者声测管代替；

3 注浆管数量宜根据桩径大小设置。对直径小于 1200mm 的桩，宜对称布置不少于 2 根注浆管；对直径大于等于 1200mm 且小于 2500mm 的桩，宜对称布置 4 根注浆管。

**C.0.3** 采用压力注浆进行试验桩后处理时，注浆强度应与桩身强度相匹配。为防止产生收缩裂缝，可在水泥浆中掺入适量微膨胀剂，或者采用无收缩灌浆料。

**C.0.4** 注浆前应根据荷载箱的残余行程计算理论注浆量。

**C.0.5** 注浆过程应符合下列要求：

1 注浆前应进行压水试验，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后，方可进行灌浆；

2 注浆流量不宜超过 75L/min；

3 注浆压力不应少于 2MPa；

4 观察压力表和浆液注入情况，并做好注浆记录。

**C.0.6** 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，保压持续时间不应少于 10 分钟；

2 浆液从另外注浆管冒出，相邻注浆管冒出的浆液浓度与注入浆液浓度相差不大时，封闭相邻注浆管管头，进行压力注浆。



## 附录 D 荷载箱的技术要求

### D.0.1 一般规定

- 1 荷载箱液压缸必须经有资质的法定计量单位校准或检定，并取得检定合格证书；
- 2 荷载箱应经耐压检验合格后方可出厂，现场不得拆卸或重新组装；
- 3 荷载箱应有铭牌，注明规格、额定压力、额定输出推力、质量、出厂编号、制造日期等，同时应配备产品合格证及产品说明书；
- 4 应按基桩类型、使用要求及基桩施工工艺选用相应规格的荷载箱。

### D.0.2 检定

- 1 荷载箱检定率为 100%，加载分级数不少于五级，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压力减小值大于 5%等异常现象；
- 2 荷载箱宜整体检定；
- 3 当整体检定受限制时，组成荷载箱的液压缸应为同型号，相同油压时的液压缸出力相对误差小于 3%。

### D.0.3 荷载性能

荷载箱的极限输出推力不应小于额定输出推力的 1.2 倍，荷载箱缸体行程不宜小于 150mm。

### D.0.4 荷载箱启动压力

荷载箱空载启动压力应小于额定压力的 4%。

### D.0.5 開箱压力

荷载箱打开压力应小于额定压力的 10%。

### D.0.6 荷载箱有效面积比

$$\rho = A_b / A_p$$

式中： $A_b$ -荷载箱投影面积（ $m^2$ ）

$A_p$ -桩身截面面积（ $m^2$ ）

灌注桩的荷载箱置于桩中时  $45\% < \rho \leq 60\%$ ，置于桩端时  $45\% < \rho \leq 100\%$

## 本标准用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

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的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”；非必须按所指明的标准执行的写法为：“可参照……”。

地方标准信息服务平台

## 引用标准名录

- |   |                     |            |
|---|---------------------|------------|
| 1 | 《建筑与市政地基基础技术通用规范》   | GB 55003   |
| 2 | 《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》 | GB 55032   |
| 3 | 《建筑地基基础设计规范》        | GB 50007   |
| 4 | 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》  | GB 50202   |
| 5 | 《建筑桩基技术规范》          | JGJ 94     |
| 6 | 《建筑桩基检测技术规范》        | JGJ 106    |
| 7 | 《建筑桩基自平衡静载试验技术规程》   | JGJ /T 403 |

地方标准信息服务平台

辽宁省地方标准

# 大直径基桩自平衡法静载试验技术规程

DB21/T 3909-2024

条文说明

地方标准信息服务平台

## 目 次

1 总 则 .....	1
3 基本规定 .....	2
3.1 一般规定 .....	2
3.3 检测程序 .....	2
4 现场检测 .....	4
4.1 仪器设备 .....	4
4.2 设备安装 .....	4
4.3 现场测试 .....	6
5 检测数据分析与判定 .....	7
附录 A 荷载箱埋设位置确定 .....	8
附录 B 桩身内力测试 .....	10

地方标准信息服务平台

# 1 总 则

**1.0.1** 基桩自平衡法静载试验利用桩身中预埋的荷载箱进行加载，由上段桩的桩侧阻力和下段桩的桩侧阻力和端阻力互为反力进行测试。与传统的静载试验相比，自平衡法具有许多优点：

1 装置简单，不受场地条件（陆地、水上）和加载吨位限制，不需运输上百吨至数千吨的钢梁和压重，试验省时、省力、安全、环保；

2 可分别测得桩侧阻力和桩端阻力；

3 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、传统静载试验很难实施时，效果越明显；

4 可省去传统方法所需的场地道路平整、锚桩施打、桩帽制作等工作；

5 方便进行多次测试和长期观测，加载设备预埋桩身，地面仪器设备简单；

6 工程桩采用该法进行抗拔检测时，桩身混凝土不会产生裂缝，因此不对桩身耐久性产生影响。

**1.0.2** 本规程适用于辽宁省行政区域内建筑、市政工程的大直径混凝土桩、预制桩及钢桩基础竖向承载力检测与评价，特殊条件下其它直径桩采用自平衡法静载试验时，可执行本规程。

基桩自平衡法静载试验可用于斜桩抗压与抗拔静载荷试验，通过该项检测技术可确定斜桩轴向抗压、抗拔极限承载力（如港口、桥梁、矿山等行业）。

地方标准信息服务平台

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.2** 试验桩的大量测试结果表明，按照岩土工程勘察报告预估的极限承载力加载，往往达不到桩侧与桩端的岩土阻力极限状态。为测得桩周岩土的极限承载力，宜将预估的极限承载力放大后作为最大加载值进行加载。若桩长较短或地层较差，放大系数可取 1.2；若桩长较长或地层较好，放大系数可取 1.5；对于强度高的嵌岩桩，放大系数可能达到 2.0 以上才会出现破坏。

工程桩的最大加载值，应满足按照此值进行试验后，得到的单桩竖向承载力极限值满足设计要求。抗压桩单桩竖向承载力极限值应达到承载力特征值的 2.0 倍。抗拔桩也可按 2.0 倍考虑，当设计要求按上拔量或裂缝控制加载时，应按设计要求执行。

**3.1.4** 本条规定的检测数量仅为下限，可根据实际情况增加试桩数量。但现实当中一些项目工程桩桩数小于 20 根，如按现有行业规范检测 2 根来进行检测造价成本较高且超过施工成本，故建议各单位工程的桩总数少于 20 根，且地质条件简单时，对每个单位工程的承载力抽检数量可取 1 根。

**3.1.5** 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。声波透射法等检出的荷载箱处异常不应直接判为桩身缺陷，宜结合自平衡静载试验的前几级加载情况，综合判定完整性。

**3.1.6** 当单桩承载力特征值不满足设计要求时，由原设计单位核算认可能够满足安全和使用后，可以验收；当单桩承载力特征值不满足设计要求时，应分析原因，并经工程建设有关方面确认后扩大检测。

**3.1.7** 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。

**3.1.8** 检测时，组成荷载箱的千斤顶缸套和活塞之间会产生相对滑移，荷载箱处的混凝土被拉开，但桩身其它部分未破坏，上、下两段桩仍被荷载箱连在一起。因荷载箱多在桩身下端，试验后通过位移管对此裂缝进行压力注浆，此段位移套管可采用技术手段软连接（或增加涨塞便于开孔注浆），且该部位桩身受力机理可知受力较小，故按前文要求注浆完成后受检桩仍可作为工程桩使用。

### 3.3 检测程序

**3.3.1** 检测程序是检测机构应遵循的检测一般工作程序。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。

**3.3.2** 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。

**3.3.3** 自平衡法为双向加载，桩身产生的应力是传统试验的一半，本规程规定检测时桩身混凝土强度不应低于设计强度的 80%。

地方标准信息服务平台



## 4 现场检测

### 4.1 仪器设备

4.1.3 荷载箱应根据受检桩的设计单桩竖向承载力等有关技术参数与正规的生产厂家定制。荷载箱的性能应满足按本规程试验过程中加、卸载，持荷稳定时间的规定要求。

4.1.4 为保证试验现场的人员安全，最大加载压力不应超过压力表、油泵、油管工作压力的 80%，一般为 50MPa。当受条件限制而需加载超过 50MPa 时，应采用耐压性能更好的配套试验设备，或者采用双荷载箱测试。

4.1.5 当桩径大于 2.5 m 时，应考虑增设位移测点数量，位移测点需均匀布置。

### 4.2 设备安装

4.2.1 当预估极限端阻力大于预估极限侧阻力时，可将荷载箱置于桩端，同时在桩顶通过配重或锚桩来提供加载所需反力的差值，并且配重或锚桩所能提供的反力不得小于此差值的 1.2 倍。当荷载箱埋置在桩端时，直接埋设桩端沉渣或浇筑过程容易造成空洞导致试验失败，故本规程对荷载箱距离桩端位置不宜少于 0.5d。

4.2.3 导向结构应根据现场情况在现场加工制作，数量和直径宜与主筋数相同，当相邻两根导向筋间距大于或小于导管直径的三分之二时，则应增加或减少导向筋数量，避免因导向筋间距过大下放导管过程卡导管及浪费。

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，导向筋其数量和直径宜等同主筋。导向筋与荷载箱平面的夹角应大于 60°。导向筋与荷载箱的连接大样图见图 1 所示。

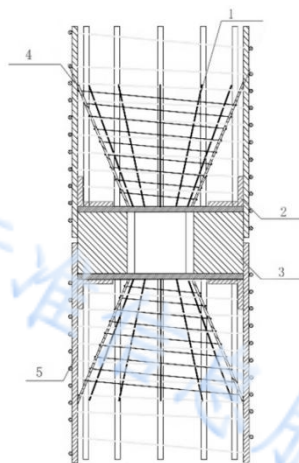


图 1 导向筋与荷载箱的连接大样图

1-导向筋；2-L 型导向筋；3-荷载箱；4-上段钢筋笼；5-下段钢筋笼

4.2.4 对于预应力混凝土管桩和钢管桩，荷载箱与上、下段桩焊接连接，焊接强度应符合现行国家有关标准的规定。

由于预应力混凝土管桩一般在工厂中按固定模数生产，平衡点位置未必刚好与模数相符，此时应特别制作一定长度（非标准模数）的管桩节段，以满足平衡点设置的要求。对于钢管桩，可直接在平衡点位置切割后焊接荷载箱。

对于双层荷载箱，每层荷载箱的连接均应满足上述要求。

对于预制混凝土管桩和钢桩，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 2 和图 3 所示。

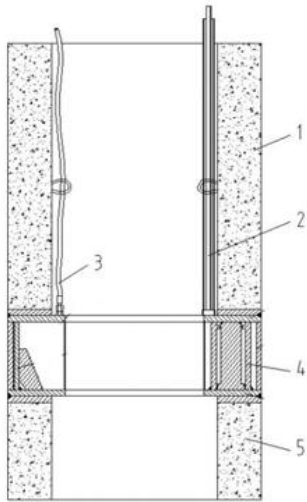


图 2 预制混凝土管桩与荷载箱连接大样图

1-上段预制管桩； 2-位移管； 3-油管；  
4-荷载箱； 5-下段预制管桩

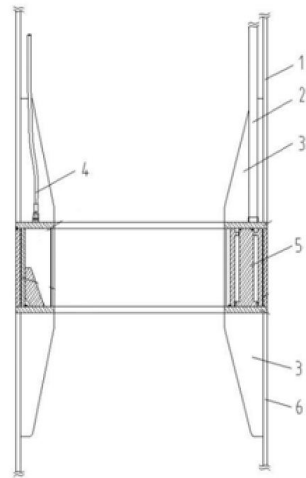


图 3 钢管桩与荷载箱连接大样图

1-上段钢管桩； 2-位移管； 3-筋板；  
4-油管； 5-荷载箱； 6-下段钢管桩

**4.2.4** 对桩身上部、下部位移测量可采用位移杆或位移丝进行传递，位移杆或位移丝应有护管进行保护，护管应确保不漏浆。也可采用满足试验要求的其他形式的位移传递装置。

具体操作步骤为：未浇灌混凝土前将位移杆(丝)的一端固定在待测量位移处（一般为荷载箱的上、下盖板），然后套入护管并将端部密封，再将护管沿桩身钢筋笼固定好，并对外露部分进行妥善保护并塞口，防止混凝土或泥土等进入护管。护管如果漏浆则不能得到待测量部位的真实位移。

应注意保护各测点及油管的外露部分，防止施工过程中破坏。注意上位移杆(丝)和下位移杆(丝)的区分，防止混淆，同时对外漏测点护管应固定，避免晃动测读位移不准。

当采用位移丝测量装置时，应使用足够的配重使位移丝系紧。根据工程经验，建议优先采用位移杆，位移丝因与护管之间的摩擦原因，测得的结果可能偏小。

**4.2.9** 桩身荷载箱位置浇筑技术要求。

Osterberg 对 O-cell 法多年应用进行了总结，得出了影响灌注桩承载力的两点教训：一是成孔方法欠佳导致侧阻削弱，尤其是护壁泥浆的不合理使用；二是清底不到位使得端阻难以发挥。此外，还有其他多种因素影响测试效果。因此，自平衡法要求检测人员必须全过程参与荷载箱焊接、钢筋笼下放、混凝土灌注等施工环节。

试验各方主体，包括检测方、施工方、监理方等均应认识到荷载箱上部、下部混凝土浇灌密实是确保试验成功的关键因素，如采取措施不当将会导致试验失败。因此施工时应特别留意对荷载箱以上和以下 2m 范围内混凝土的和易性、导管埋入混凝土中的深度以及控制好拔升速度，确保混凝土能浇灌密实。浇筑混凝土前配置导管时，导管接头应避免荷载箱。

对于桩径 1200mm 以内的桩混凝土宜采用细石混凝土，因荷载箱中部预留导管孔直径有限，同时施工现场采用的灌注导管直径不定，避免翻浆过程中卡导管影响其密实度。

自平衡法应用于抗拔试验时，荷载箱埋置于桩端，端承力对试验反力的提供占比一般较大，抗拔桩孔底沉渣厚度不应大于 50mm。为了达到此要求，对抗拔桩一般应增加施工桩长。

**4.2.11** 当自平衡静载试验无地面堆载及锚桩时，基准桩所受试桩的影响小于传统静载试验，基准梁的截面高度不宜小于其跨度的 1/40。

受检桩在加、卸载过程中，荷载会传至基准桩周围地基土并使之变形。当受检桩与基准桩间距离较近时，地基土变形对基准桩的变位影响加剧。对于扩底桩、嵌岩桩或桩长较短等，基准桩与受检桩中心距不应小于 4 倍受检桩直径，有条件时基准桩宜采用工程桩。

### 4.3 现场测试

**4.3.1** 正常条件下一般采用慢速维持荷载法。当在海上进行静载试验时易受风浪、潮流、季风、台风等影响，试验周期通常不能太长，可采用快速维持荷载法在较短时间内完成各项试验工作。

**4.3.2** 自平衡静载荷试验分级加载均为双向加载，实际分级荷载值为常规静载荷试验的 1/2。因此，本规程明确了试验最大荷载值是最大加载值的 1/2，实际分级荷载为预估最大加载值的 1/20，即单桩承载力特征值的 1/10。

地方标准信息服务平台

## 5 检测数据分析与判定

**5.0.2** 单桩竖向抗压承载力试验时，荷载箱埋设在设计桩端标高以上，自平衡测试时荷载箱上部桩身自重和桩顶以上空桩段内的物质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。

**5.0.5** 自平衡荷载试验后需要把加载值等效转换为桩顶荷载，相应的试验前需要确定荷载箱的每一级的荷载增量与普通单桩竖向抗压荷载试验并不相同，要将桩顶荷载等效转换为荷载箱加载值。

**5.0.6-5.0.8** 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 系数再与下段桩迭加而得抗压极限承载力。

我国将向上、向下摩阻力根据土性划分，对于黏性土，向下摩阻力为向上摩阻力的（0.6~0.8）倍；对于砂土，向下摩阻力为向上摩阻力（0.5~0.7）倍。近年来，我省在超高层建筑、一般民用建筑、市政、地铁、铁路、风电等领域基桩进行了一定数量的自平衡法静载试验，取得了宝贵数据，为编制本规程提供了科学依据。根据我们在黏土地区做的对比试验，灌注桩的转换系数为 0.73~0.8，本规程的取值是偏于安全的。预制桩和钢管桩的转换系数要比灌注桩小一些，尤其是斜桩的受力机理较复杂，其转换系数应根据实际情况通过对比试验确定。

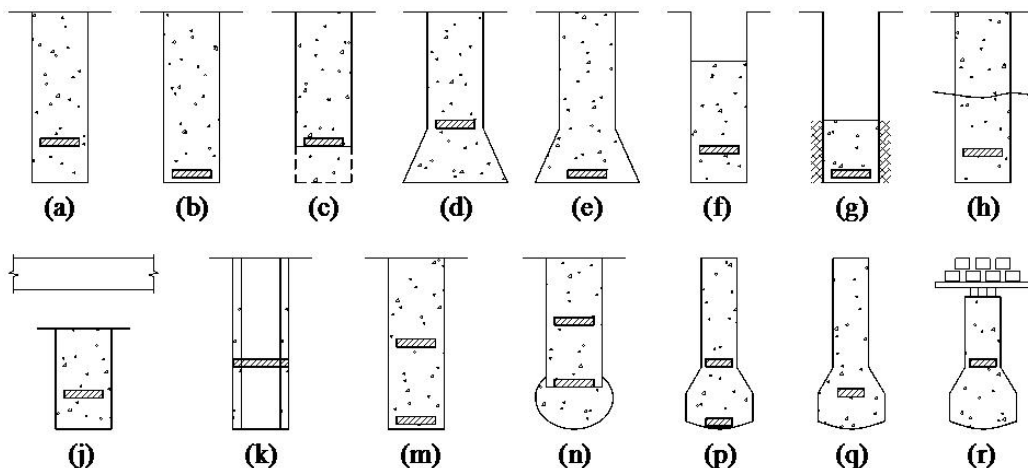
**5.0.9** 对于缓变型 Q-s 曲线，将上下段桩按两根完全独立的检测桩取极限值，对于工程而言，已具有足够安全度，可不必进行等效转换。

桩的承载力由岩土阻力和桩身强度控制。对于抗压试验，自平衡法静载试验为双向加载，桩身施加荷载是传统试验的一半，且桩顶受力最小，故自平衡法静载试验无法得出桩身强度控制的承载力。

**5.0.10** 自平衡法无法得出按钢筋抗拉强度控制的承载力或按抗裂要求控制的承载力。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  $\gamma_{\text{抗拔}}$  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， $\gamma_{\text{抗拔}}$  取值不得小于 1.1。

## 附录 A 荷载箱埋设位置确定

自平衡法的荷载箱埋设位置是一个重要的关键技术，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A.0.1所示总结归纳了荷载箱的安放位置，可供制定检测方案时参考。



图A.0.1 荷载箱的安放位置

图1 (a) 是一般常用位置，即将荷载箱置于桩身平衡点。当下段桩的桩侧阻力与桩端阻力之和达到极限时，上段桩的桩侧阻力同时达到极限。

图1 (b) 将荷载箱置于桩端，适用于预估极限侧阻力与预估极限端阻力大致相等的情况，或者预估极限端阻大于预估极限侧阻力但要测试极限侧阻力的情况，或者测试抗拔承载力的情况。

图1 (c) 为进行抗拔承载力测试，但荷载箱下部提供的反力不足，故将该桩加长，以提供试验所需的反力，但荷载箱仍置于桩端设计标高。

图1 (d) 的扩大头可代替图1 (c) 的加长段，或者用于测试扩大头承载力的情况。

图1 (e) 为荷载箱置于扩大头底部进行试验的情况，可按自平衡法深层平板载荷试验测试持力层（桩端）承载力，或者测试扩底桩的抗拔承载力。

图1 (f) 适用于桩顶设计标高位于地面以下一定深度时的测试，如地下室尚未开挖或者采用逆作法施工，此时可仅将位移杆（丝）及护套管、油管引至地面，无需接桩至地面即可测试。

图1 (g) 适用于单独测试嵌岩段承载力的情况，此时仅灌注嵌岩段桩身混凝土，故其承载力不会与上覆土层的承载力相混。如仍需测试上覆土层的承载力，则可在灌注土层中桩身混凝土后再次测试。

图1 (h) 适用于测试两个或两个以上土层侧阻力的情况。先将混凝土灌注至下层土顶面进行测试，然后再灌注至上一层土顶面进行测试。

图1 (j) 为上部空间受限时的情况，如在地下室中或基坑内支撑下进行测试。

图1 (k) 为预应力混凝土管桩或钢管桩的测试，荷载箱直接与上、下段桩焊接，位移杆（丝）及护套管、油管从中间孔洞引出至测试平台。

图1 (m) 为采用双层荷载箱，将桩身分成上、中、下三段，分别测试其极限承载力的情况。

图1 (n) 为注浆前、后测试的情况。先进行注浆前测试，然后进行桩底（或桩侧）注浆，再进行注浆后测试，从而获得同一根桩注浆前、后的承载力变化数据。可根据需要采用单层荷载箱或双层荷

载箱。

图1 (p) 在扩底桩中埋设双层荷载箱，上荷载箱测量上段直桩桩侧阻力，下荷载箱测量持力层（桩端）承载力，最后得到整桩承载力。

图1 (q) 将荷载箱埋设在扩大头里，直接测量扩大头桩端全截面承载力。

图1 (r) 为桩侧阻力小，无法测出扩底段承载力的情况，此时可在桩顶施加配重或利用锚桩提供部分反力。

#### A.0.2 荷载箱埋设位置确定方法

确定荷载箱位置方法基本分为三类：（1）规范经验公式法，（2）相似模拟试验法，（3）数值模拟分析法。以下对另外两种方法描述。

##### A.0.2.1 相似模拟试验法

各土层的桩侧摩阻力由Mohr-Coulomb准则确定，如下式所示：

$$\text{桩侧摩阻力计算公式: } q_s = \sum_{i=1}^n \tau_i A_i \quad \text{公式(A.0.2-4)}$$

$$\tau = \sigma_h \tan \phi + c \quad \text{公式(A.0.2-5)}$$

式中：  
 $\tau$  —— 土的抗剪强度，kPa；  
 $\sigma_h$  —— 各土层中点处自重应力下的侧向水平应力；  
 $\phi$  —— 土体的内摩擦角；  
 $c$  —— 土体的粘聚力；  
 $\tau_i$  —— 第  $i$  层土的抗剪强度；  
 $A_i$  —— 桩在第  $i$  层土层侧面积。

对于桩端阻力，由室内三轴模拟试验确定。取桩端地层土样置于三轴仪中，以求得试样的极限抗压强度。综合考虑等效截面理论和尺寸效应，可求出修正后的桩端阻力。

若受检桩为抗压兼抗拔桩并且承载力由抗压控制时，自平衡法可同时测得抗压、抗拔承载力，此时荷载箱应置于平衡点处。

##### A.0.2.2 数值模拟分析法

利用有限元分析法，在对桩的实际受力状态进行模拟分析的基础上，对桩承载力进行计算，通过计算推算出平衡点的位置。建模时采用Drucker-Prager弹塑性模型，对桩及桩周土进行剖分，用有限元数值分析求得桩与桩周各岩土层相互作用的法向应力及各岩土层的侧摩阻力，用试验法求得桩端极限承载力。数值模拟分析法需要足够的工程经验来确定模型参数，如果参数选择正确，则该法能准确模拟桩土相互作用，反之，若参数选择有偏差，则模拟精度低，影响计算结果。

## 附录 B 桩身内力测试

**B.0.2** 测量指定桩身断面的位移时，护套管固定在桩身，管底固定于待测断面；位移杆（丝）仅在下端与护套管管底相连接（即固定于待测断面）。测量两个或多个指定桩身断面之间的位移差时，可通过设置于各个断面的位移传递装置，测出各断面位移，再求其差值。

### **B.0.4** 内力测试传感器选择

**1** 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  $500\text{M}\Omega$  以上，使用前应将整卷电缆除两端外全部浸入水中  $1\text{h}$ ，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。

**2** 应变传感器安装，应遵循以下原则：

- 1) 混凝土桩可采用螺纹连接、焊接或绑焊等工艺将传感器固定在钢筋笼上；
- 2) 钢桩可将电阻应变计直接粘贴在桩身上，振弦式和光纤式传感器可采用焊接或螺栓连接固定在桩身上；
- 3) 带有接长杆弦式钢筋计宜焊接在主筋上，不宜采用螺纹连接；
- 4) 应变传感器采用焊接连接时应采取有效降温措施，防止因焊接温度过高损坏传感器；
- 5) 带有应变计的钢筋不得弯曲变形或有附加应力产生；
- 6) 传感器导线通过荷载箱时应在荷载箱内部预留不小于  $15\text{cm}$  导线。

**3** 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  $200\text{M}\Omega$ 。

**4** 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  $1\mu\varepsilon$ 。

地方标准信息服务平台