

江西省建设工程质量安全检测协会团体标准

备案号 01-2021

编号 T/JXSJSGCZLAQJCXH- 01-2021

基桩自平衡静载试验技术标准

Technical Standard for Static Loading Test of Self-
Balanced Method of Foundation Pile

2021-11-23 发布

2021-12-01 实施

江西省建设工程质量安全检测协会发布

前言

根据《江西省建设工程质量安全检测协会标准管理办法》要求，为规范基桩自平衡静载试验用荷载箱的设计、试验及验收，江西恒信检测集团有限公司在广泛调查与实际测试的基础上，参考国内外现行相关标准，邀请国内有关设计、勘察、施工、检测、质量监督、制造等单位共同参与本标准编制。

本标准主要技术内容是：总则、术语与符号、基本规定、试验要点、检测数据的分析与判定、注浆处理等。

本标准的某些内容涉及专利，涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与本标准主编单位协商处理，本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由江西省建设工程质量安全检测协会负责管理，江西恒信检测集团有限公司负责具体技术内容的解释。在执行本标准过程中如有意见或建议，请寄送江西恒信检测集团有限公司（地址：江西省南昌市高新区京东大道681号，邮政编码：330096，电子邮箱：hengxin222@163.com，传真：0791-88528202）。

本标准主编单位：江西恒信检测集团有限公司

江西崇信科技有限公司

江西诚规检测咨询有限公司

本标准副主编单位：南昌市建筑科学研究所

江西省润邦工程技术研究有限公司

浙江欧感机械制造有限公司

中核华东地矿科技有限公司

江西省建筑材料工业科学研究设计院

吉安市建筑工程质量检测中心

本标准参编单位：江西建院工程检测有限公司

江西省华昌建筑质量检测有限公司

江西省建筑技术促进中心

江西省检验检测认证总院计量科学研究院

江西瑞祥检测技术开发有限公司

江西省金石工程质量检测有限公司

江西开元工程检测技术有限公司

江西正鼎工程检测有限公司
南昌赣建工程质量检测中心
江西省宏建工程检测有限公司
江西省中天工程质量检测有限公司
江西天一建设工程检测中心
九江恒远建设工程质量检测有限公司
江西天祥检测技术开发有限公司
江西建诚工程检测有限公司
江西科力工程检测有限公司
江西瑞维工程检测有限公司
江西赣信工程检测有限公司
鹰潭宏达工程检测有限公司
江西省赣建三和智慧科技有限公司

本标准主编人员：刘恒军

本标准参编人员：万 斌 万先辉 王 刚 王 鹏 王小平 王飞荣
王双双 王志刚 王博宇 邓苏根 邓琼琼 艾绍日
吕 广 朱卫兵 刘 伟 刘 沙 刘 涛 刘广利
刘亚平 刘志钢 刘林峻 刘秋宇 刘恒红 汤志彪
汤明霞 许康萍 李 冰 李习解 李文堂 李承华
李星陵 杨 珑 杨 斌 杨建兵 吴远临 吴细平
吴海安 邹小明 张 妍 张 峰 张 翔 张长稳
张金远 张香玉 陆 平 陈 雄 陈从稳 陈丙水
陈志南 陈咸新 陈盛全 林 涛 易春昌 罗 顺
周 炜 周 雄 周亮娥 练国平 赵 磊 胡国栋
胡国强 胡鹏飞 胡福根 钟传兵 钟称发 饶建平
祖建辉 费书广 姚鹏飞 钱 崑 钱爱云 倪加能
徐 勇 郭 宏 郭培军 曹明明 康 敏 屠叶中
程 鹏 程国若 鲁 辉 曾昭云 曾晓庐 裘德利
熊 伟 熊日光 熊国金 樊晓飞 魏建智

（参编人员按姓氏笔画排序）

本标准审查人员：钱 勇 孙万红 赵抚民 蓝九元 郑有明 张鸿儒
李 建 杜根英 袁国清 熊建平 张晓军

目 次

1 总则	6
2 术语与符号.....	7
2.1 术语	7
2.2 符号	7
3 基本规定.....	9
3.1 试验目的和方法.....	9
3.2 检测工作程序.....	10
4 试验要点.....	12
4.1 仪器设备.....	12
4.2 设备安装.....	13
4.3 现场检测.....	14
5 检测数据的分析与判定.....	16
5.1 数据分析.....	16
5.2 承载力判定.....	17
6 注浆处理.....	18
6.1 一般规定.....	18
6.2 注浆技术要求.....	18
附录A 荷载箱的技术要求.....	19
附录B 检测系统的安装与连接.....	22
附录C 试验数据记录表.....	24
附录D 等效转换方法.....	26
本标准用词说明.....	30
引用标准名录.....	31
附：条文说明.....	32

Contents

1 General Provisions.....	6
2 Terms and Symbols.....	7
2.1 Terms	7
2.2 Symbols	7
3 Basic Requirements.....	9
3.1 Purpose and Method of Testing	9
3.2 Testing Procedures.....	10
4 Testing Point.....	12
4.1 Equipment.....	12
4.2 Installation.....	13
4.3 Field Test	14
5 Test Results Assessment and Report.....	16
5.1 Data and Analysis.....	16
5.2 Determination of Bearing Capacity.....	17
6 Grouting Treatment.....	18
6.1 General Requirements.....	18
6.2 Grouting Requirements.....	18
Appendix A Technology Requirements of Load Cell	19
Appendix B The Installation and connection of Test Equipment.....	22
Appendix C Test Data Sheets.....	24
Appendix D Equivalent Conversion Method.....	26
Explanation of Wording in This Specification.....	30
List of Quoted Standards.....	31
Addition: Explanation of provisions.....	32

1 总则

1.0.1 为规范基桩自平衡静载试验的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、数据准确、评价正确，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于江西省建设工程基桩的承载力检测和评价。

1.0.3 基桩自平衡静载试验除应执行本标准外，尚应符合国家、行业和江西省现行有关标准的规定。

1.0.4 本标准鼓励推广符合国家高新科技产业政策，使用绿色、节能、环保的新技术、新材料、新方法、新设备。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 浆液流动度 Fluidity of grout

单位容器内的浆液，在单位时间内，自由垂直通过单位直径、长度的细管流量，与单位容器内浆液总量的比。

2.1.2 工程桩验收 Acceptance of engineering pile

通过静载检测方法，对按施工图施工的基桩承载力是否符合设计要求的检验。

2.1.3 荷载箱双回路高压液管 Double circuit high pressure liquid pipe of load cell

由两根进、出荷载箱形成U型回路，用于为荷载箱推力加载和卸载的耐高压输液管。

2.1.4 缸内 inside the Hydraulic cylinder

荷载箱中串联数个缸体，缸体内活塞随加载液体推动，于缸体内形成的内腔空间。

2.1.5 缸内排液 Liquid discharge in Hydraulic cylinder

将加载后滞留于缸内的液体清空排出的技术处理。

2.1.6 缸内注浆 Grouting in Hydraulic cylinder

将后期强度不低于桩身混凝土设计强度的浆液有效注入缸内的技术处理。

2.1.7 缸外 outside the Hydraulic cylinder

试验时，组成荷载箱的液压缸的缸体和活塞之间产生相对滑移，荷载箱处的混凝土被拉开所产生的缝隙。

2.1.8 缸外注浆 Grouting outside the Hydraulic cylinder

通过位移丝护套管向缸外注入后期强度不低于桩身混凝土设计强度的浆液。

2.1.9 位移丝 Displacement wire

安装于荷载箱上下底板（或上下格构件）处，传递至地面仪器设备用于测试荷载箱加载时上下桩身位移变化的装置。

2.2 符号

2.2.1 几何参数

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 ——单桩竖向承载力极值；

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 其它

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，附加重量包括桩顶配重或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；

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；

ϕ ——荷载箱顶面以上各土层按土层厚度加权的内摩擦角平均值。

3 基本规定

3.1 试验目的和方法

3.1.1 基桩自平衡静载试验可应用于施工前为设计提供依据的试验桩检测和施工后为工程桩单桩承载力验收提供依据的工程桩检测。

3.1.2 基桩自平衡静载试验使用的荷载箱按其功能不同，可分为 I 类、II 类（见表 3.1.2）。工程桩验收检测应选择 I 类荷载箱，工程桩验收检测后，必须对荷载箱缸内、缸外缝隙处进行注浆处理，其浆液后期强度不应低于桩身混凝土设计强度，注浆处理按照本标准第 6 章节实施。

表 3.1.2 荷载箱类别

荷载箱	I 类	II 类
	能为单桩承载力检测提供有效推力	能为单桩承载力检测提供有效推力
应配备双回路高压液管；桩承载力检测完毕之后，能有效进行缸内、缸外缝隙处注入后期强度不低于桩身混凝土强度的浆液。	-	
单桩承载力检测完毕之后，能有效进行上下钢筋笼的刚性连接	-	

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；当总桩数小于 50 根时，检测数量不应少于 2 根。

3.1.4 基桩自平衡静载试验的试验最大加载值应满足设计对单桩极限承载力的检测与评价要求。

3.1.5 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。

3.2 检测工作程序

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

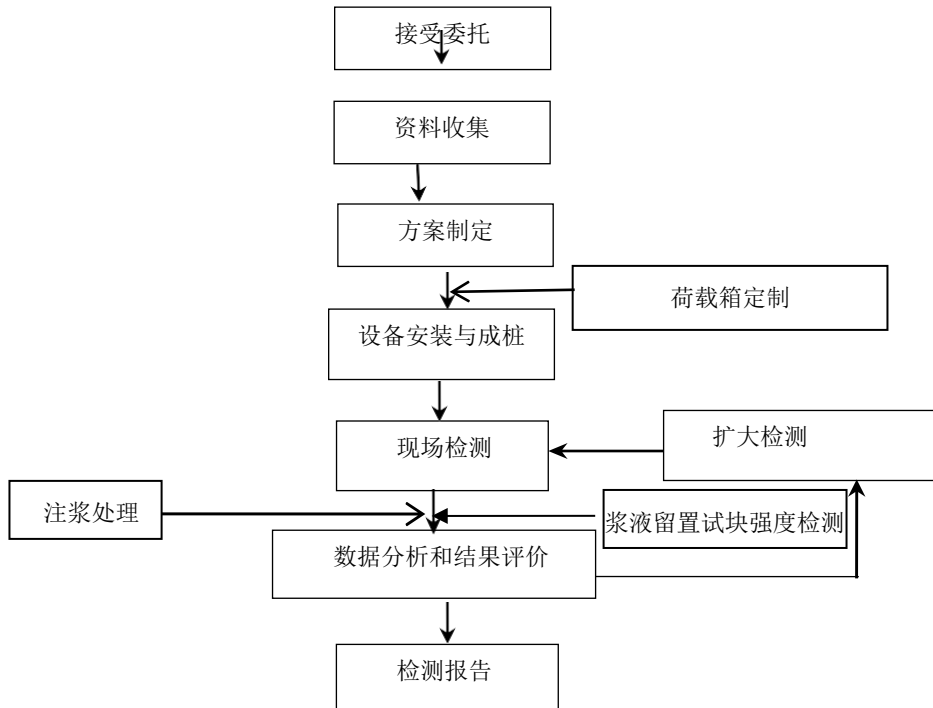


图 3.2.1 检测工作程序框图

3.2.2 检测机构应根据收集的资料，制定检测实施方案。检测方案宜包含以下内容：

- 1 工程概况、包括各岩土层与基桩有关的参数和各受检桩位置的地质剖面图或柱状图及地下水位等地基条件、检测依据、基桩设计要求、施工工艺、检测目的、检测要求。
- 2 荷载箱的类别、规格、数量、埋设位置（附计算书）和最大加载值。
- 3 受检桩的施工要求和所需的机械或人工配合等。

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。		

3.2.4 现场检测期间，除应执行本标准的有关规定外，还应遵守国家有关安全生产的规定。

3.2.5 检测报告应包含以下内容：

1 委托方名称、工程名称、工程项目地点，工程项目建设、勘察、设计、监理和施工单位，基础类型，结构形式，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量，检测日期。还可包括房屋建筑层数，市政、桥梁工程施工进度等信息。

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 工程桩自平衡静载试验完成后的注浆处理及浆液取样的影像资料、浆液留置试块强度检测报告与检测内容相应的检测结论。

4 试验要点

4.1 仪器设备

4.1.1 基桩自平衡静载试验系统，包括如下系统（见图4.1.1）：

- 1 加载系统：由荷载箱、高压液管和加载液压泵等组成；
- 2 位移量测系统：由位移传递装置、位移传感器等组成；
- 3 数据处理系统：由数据采集仪和电脑控制系统等组成；
- 4 不同类型基桩检测系统的安装与连接 见附录B。

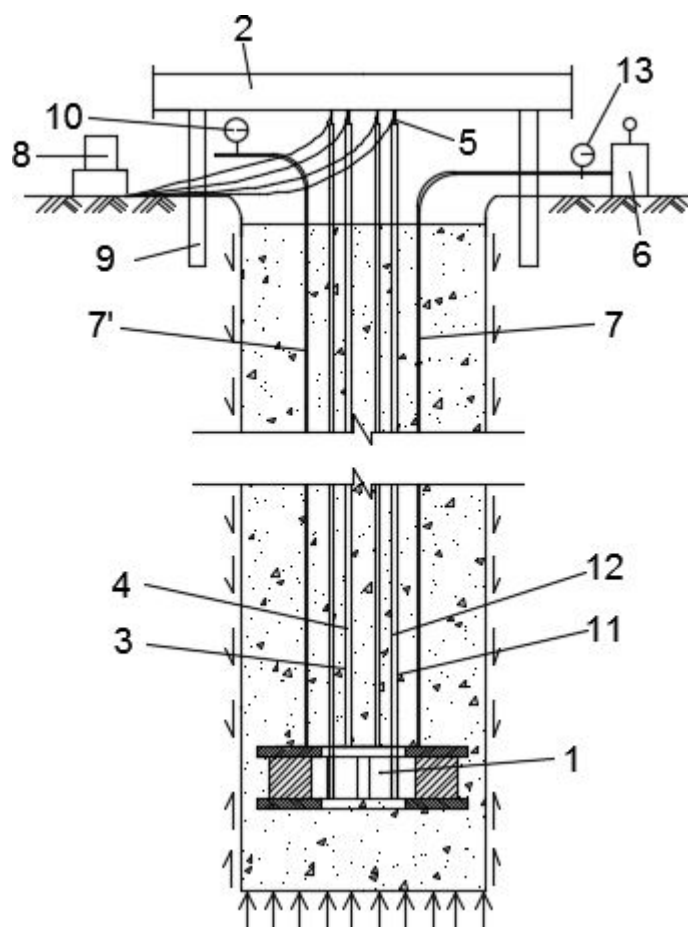


图 4.1.1 试验系统

1-荷载箱； 2-基准梁； 3-上护套管； 4-上位移丝（杆、或其它）； 5-位移传感器； 6-液压泵； 7(7')-高压液管； 8-数据采集仪； 9-基准桩； 10-压力表； 11-下护套管； 12-下位移丝（杆、或其它）； 13-压力表1。

4.1.2 检测用仪器应在检定或校准周期的有效期内，检测前应对仪器进行检查调试。

4.1.3 检测所使用的仪器仪表及设备应具备检测工作所必须的防尘、防潮、防震等功能，并能在适宜的温、湿度范围内开展工作。

4.1.4 荷载箱应检验合格后使用，技术要求应按本标准附录 A 执行。

4.1.5 采用连接于荷载箱高压液管的压力传感器或压力表测定液压，压力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，压力表、液压泵、液压管在最大加载时的压力不应超过规定工作压力的 80%。

4.1.6 位移传感器宜采用测量误差不得大于 0.1%FS、分辨力优于或等于 0.01mm 的有效检测装置。荷载箱处的向上、向下位移应各自采用一组位移传感器，每组不应少于 2 个，且应对称布置。

4.1.7 测试桩侧阻力、桩端阻力、桩身截面位移时，桩身内传感器位移丝（杆或其它）的埋设应按现行行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403 附录 B 执行。

4.2 设备安装

4.2.1 荷载箱的埋设位置应符合下列要求：

- 1 当预估极限端阻力小于预估极限侧摩阻力时，将荷载箱置于桩身平衡点处；
- 2 当预估极限端阻力大于预估极限侧摩阻力时，将荷载箱置于桩端，在桩顶提供一定量的配重；
- 3 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；
- 4 当受检桩为非扩大头端承灌注桩时，荷载箱应置于距桩底大于等于 2 倍受检桩直径，且不应小于 1.5m；
- 5 当受检桩为扩大头端承灌注桩时，荷载箱应置于桩底扩大头底部，且底部应保证足够的强度。

4.2.2 荷载箱埋设前的现场检查应符合下列要求：

- 1 对荷载箱进行加载，荷载箱活塞伸出长度 $\geq 2\text{cm}$ ；
- 2 荷载箱活塞能够完全复位；
- 3 对双回路高压液管进行通气检查。

4.2.3 荷载箱的连接应符合下列要求：

- 1 荷载箱应平放于桩身的中心，荷载箱位移方向与桩身轴线夹角不应大于 1° ；
- 2 对于灌注桩，试验荷载箱安装宜按本标准附录 B 进行；
- 3 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。

4.2.4 位移丝与护套管应符合下列要求：

1 位移丝宜采用不锈钢丝绳，直径宜 $\geq 1.5\text{mm}$ ，其性能指标应符合现行国家标准《不锈钢丝绳》GB/T 9944 的规定。

- 2 连接位移丝的砝码重量应 $\geq 2\text{Kg}$ ，其性能指标应符合现行国家标准《砝码》GB/T 4167

的规定。

- 3 位移丝应确保将荷载箱处的位移传递到地面，试验前应检验位移丝的有效性。
- 4 保护位移丝的护套管应确保不渗漏，耐压强度不应低于 8MPa。
- 5 在保证位移传递满足精度的前提下，也可采用其它形式的位移传递系统。

4.2.5 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 倍受检桩直径，且不小于 2.0m；基准桩宜选用可靠的三角架稳定支撑，确保在基桩自平衡静载试验过程中土体位移不会影响基桩位移测试精度要求。

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

4.2.6 基桩自平衡试验用数据采集仪应符合下列要求:

- 1 位移计变化值数据同时采集通道不应少于 4 个；
- 2 力传感器测值变化数据同时采集通道不应少于 2 个。

4.3 现场检测

4.3.1 基桩自平衡静载试验应采用慢速维持荷载法。

4.3.2 试验加、卸载方式应符合下列要求:

- 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 $\pm 10\%$ 。

4.3.3 慢速维持荷载法试验应符合下列规定:

- 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。

4.3.4 终止加载条件应符合下列规定：

1 荷载箱上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尚未达到本标准第4.2.4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位移达到本标准第4.2.4条第2款相对稳定标准。

(4) 当荷载—位移曲线呈缓变型时，可加载至荷载箱向上位移总量40mm~60mm（大直径桩或桩身弹性压缩较大时取高值）。

2 荷载箱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内尚未达到本标准第4.2.4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下段位移达到本标准第4.2.4条第2款相对稳定标准。

(4) 当荷载—位移曲线呈缓变型时，可加载至荷载箱向下位移总量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，可加载至总位移量超过80mm。

3 荷载已达荷载箱加载极限，或荷载箱两段桩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，数据的测读时间宜符合第4.2.4条的规定。

4.3.6 检测数据及注浆处理记录宜按附录C进行。

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，格式应符合附录C的要求。
- 2 应绘制荷载与位移量的关系曲线 $Q-s$ 和位移量与加荷时间的单对数曲线 $s-lgt$ ，也可绘制其他辅助分析曲线。
- 3 当进行桩身应变和桩身截面位移测定时，应符合现行行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T403 附录 B 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：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 $s-lgt$ 曲线尾部出现明显弯曲的前一级荷载值；
- 3 当出现本标准第 4.3.4 条第 1、2 款有关情况时，宜取前一级荷载值。
- 4 对缓变型 $Q-s$ 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。

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。

5.1.3 基桩自平衡静载试验测得的荷载箱上、下两段 $Q-s$ 曲线宜等效转换为传统静载试验的 $Q-s$ 曲线。转换方法应按附录D执行。

5.2 承载力判定

5.2.1 单桩竖向极限承载力，应按下列公式计算：

1 抗压

单荷载箱：

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

双荷载箱：

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

2 抗拔

$$Q_u = \frac{Q_{uu}}{\gamma_2} \quad (5.2.1-3)$$

式中： Q_u ——受检桩的单桩竖向承载力极限值（kN）；

Q_{uu} ——受检桩上段桩的极限加载值（kN）；

Q_{um} ——受检桩中段桩的极限加载值（kN）；

Q_{ud} ——受检桩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，附加重量包括桩顶配重或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；

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；

γ_1 、 γ_2 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。对于承压型抗拔桩 γ_2 取1.0，对于承拉性抗拔桩，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。

5.2.2 单桩竖向抗压（抗拔）承载力特征值应接单桩竖向抗压（抗拔）极限承载力的50%取值。

6 注浆处理

6.1 一般规定

6.1.1 浆液材料宜用强度等级P.O 42.5 以上的普通硅酸盐水泥，浆液的水灰比宜为 <0.6 ，并掺入一定量减水剂和微膨胀剂等外加剂，改善浆液性能。

6.1.2 注浆液应按后期强度不低于桩身混凝土设计强度等级要求进行配合比设计。

6.2 注浆技术要求

6.2.1 工程桩自平衡静载试验后应进行缸内排液，排液量 $\geq 90\%$ 。

6.2.2 按试配要求搅拌好的浆液对缸内及缸外进行注浆，应从出浆口处取样并制作试块。

6.2.3 注浆前应根据荷载箱的残余行程计算缸内外理论注浆量，充盈系数为 1.15~1.25。

6.2.4 注浆液留置试块应从出浆口取样制作，试块按 $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 160\text{mm}$ 进行制作，每根桩缸内、缸外各一组，每组3块。成型后的试块进行标养或等效快速蒸养。

附录A 荷载箱的技术要求

A.0.1 荷载箱应进行出厂检验，进入建设工程项目现场的荷载箱应经法定单位检验合格后使用，现场不得拆卸或重新组装。

A.0.2 荷载箱按固定液压缸的上下结构件类型可分为平板式荷载箱（见图A.0.2-1）和格构式荷载箱（见图A.0.2-2）。使用单位根据基桩工况需要选择荷载箱的类型。

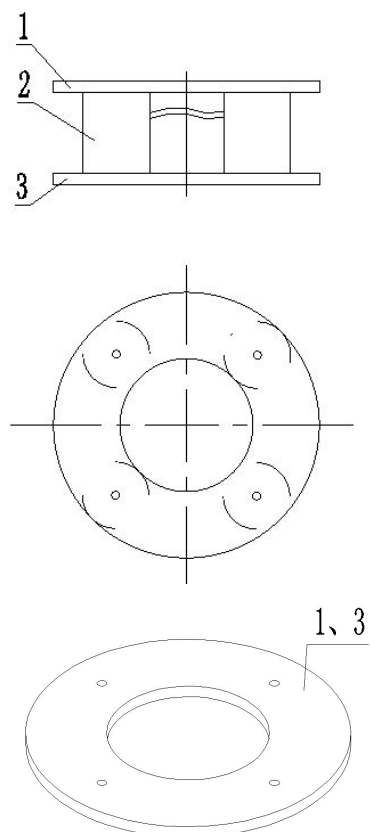


图 A.0.2-1 平板式荷载箱

1-上面板； 2-液压缸； 3-下底板。

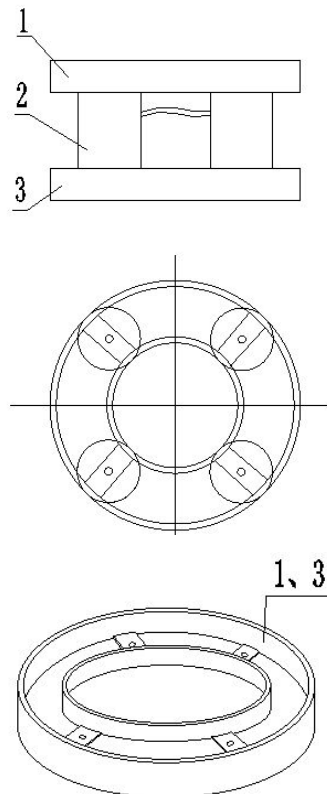


图 A.0.2-2 格构式荷载箱

1-上格构； 2-液压缸； 3-下格构。

格构式荷载箱的优点：

- 1 分液管安装于液压缸的顶部。①顶部是平面，不仅方便加工分液管的安装孔，便于安装分液管，而且能确保安装质量，不容易漏液；②分液管安装在缸体顶面，浇筑混凝土时，混凝土从缸体底部向上翻浆，由于缸体的阻力作用，浆液对液压管的作用力大大减小，分液管不受浇筑过程中混凝土的冲击，质量更有保证。
- 2 采用了位移丝同点监测上下位移的测试技术。①位移丝不设置接头，柔性套管不设置接头，避免了接头不牢固问题，减小摩阻力。②在非对称格构荷载箱的上格构件与下格构件之间安装拉杆，下格构件的内侧通过固定座垂直向上安装两根柔性护管，每根护管内分别安装一根上位移丝和一根下位移丝，上下位移丝采用不同颜色避免混淆，可同时测出同一位置的向上位移和向下位移，并通过基准梁的巧妙设置，操作方便，且能确保测试精度。

A.0.3 荷载箱的极限输出推力不应小于额定输出推力的 1.2 倍，行程不应小于 8cm。

A.0.4 I 类荷载箱应具备缸内排液性能，排液量 $\geq 90\%$ 。缸内排液性能测试方法如下，见图 A.0.4：

- 1 采用气泵（0.7MPa，60min/L）排出荷载箱内残存液体；
- 2 采用液体介质加载荷载箱至活塞行程 60mm，记录进液量 m_0 ；
- 3 采用气泵排出缸内用于加载的液体介质，记录排液量 m_1 ；
- 4 $m_1/m_0 \geq 90\%$ 。

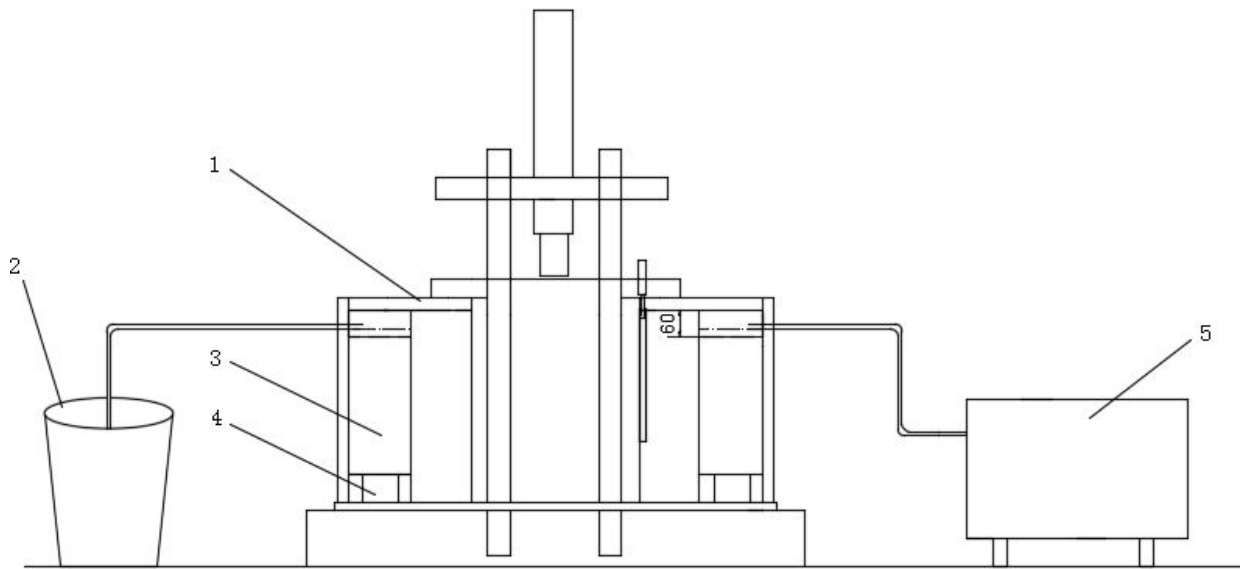


图 A.0.4 荷载箱缸内排液性能测试示意图

1-上面板；2-盛液容器；3-缸体；4-活塞；5-气泵。

A.0.5 抗拔试验，I类荷载箱应保证注浆处理后在荷载箱处断开的上下钢筋笼满足通长刚性连接要求。

A.0.6 进入建设工程项目现场的荷载箱存储时间不宜超过6个月，如超过有效期应重新按要求进行检验。当因各种原因，出现荷载箱埋设于桩身时间超过一年后进行基桩承载力检测情况时，应对基桩自平衡静载试验进行有效性评估或认证，并将有效性评估或认证报告作为基桩自平衡静载检测报告的附件。

附录B 检测系统的安装与连接

B.0.1 受检桩为灌注桩，检测系统的安装与连接情况，见图 B.0.1。

B.0.2 受检桩为预制管桩，检测系统的安装与连接情况，见图 B.0.2。

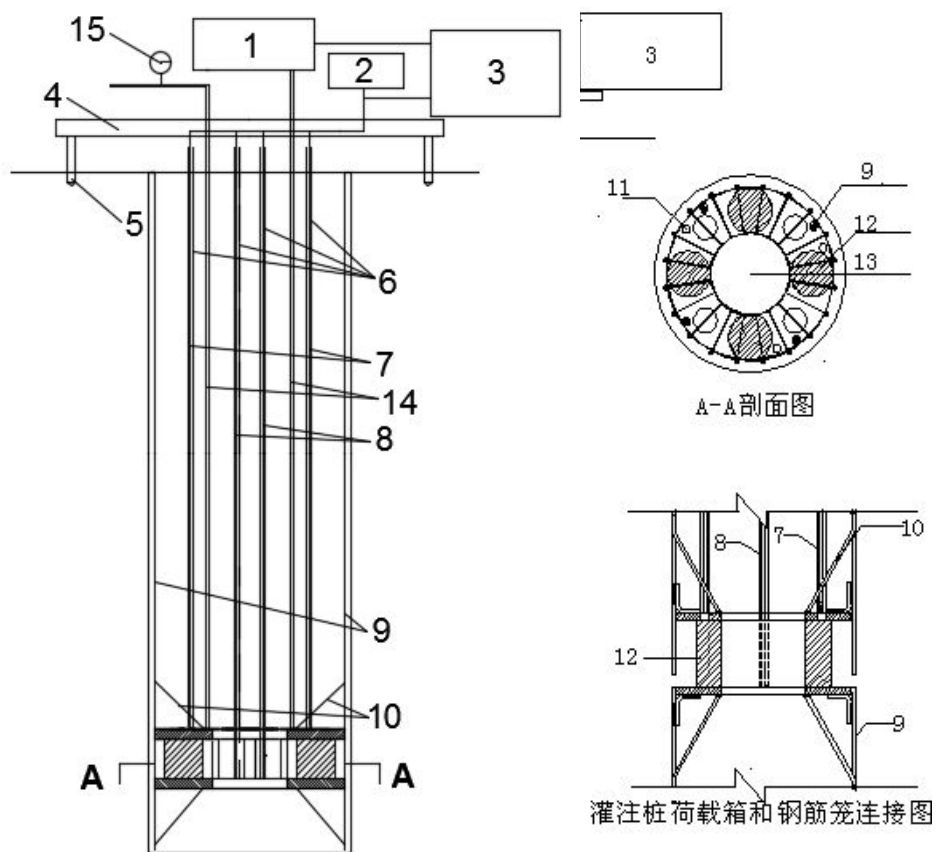


图 B.0.1 灌注桩的检测系统的安装与连接

- 1—加压系统；2—位移系统；3—静载测试仪（压力控制和数据采集）；4—基准梁；5—基准桩；
6—位移护管；7—上位移丝（杆、或其它）；8—下位移丝（杆、或其它）；9—主筋；10—导向筋（喇叭筋）；11—声测管；12—液压缸；13—导管孔；14—高压液管；15—压力表。

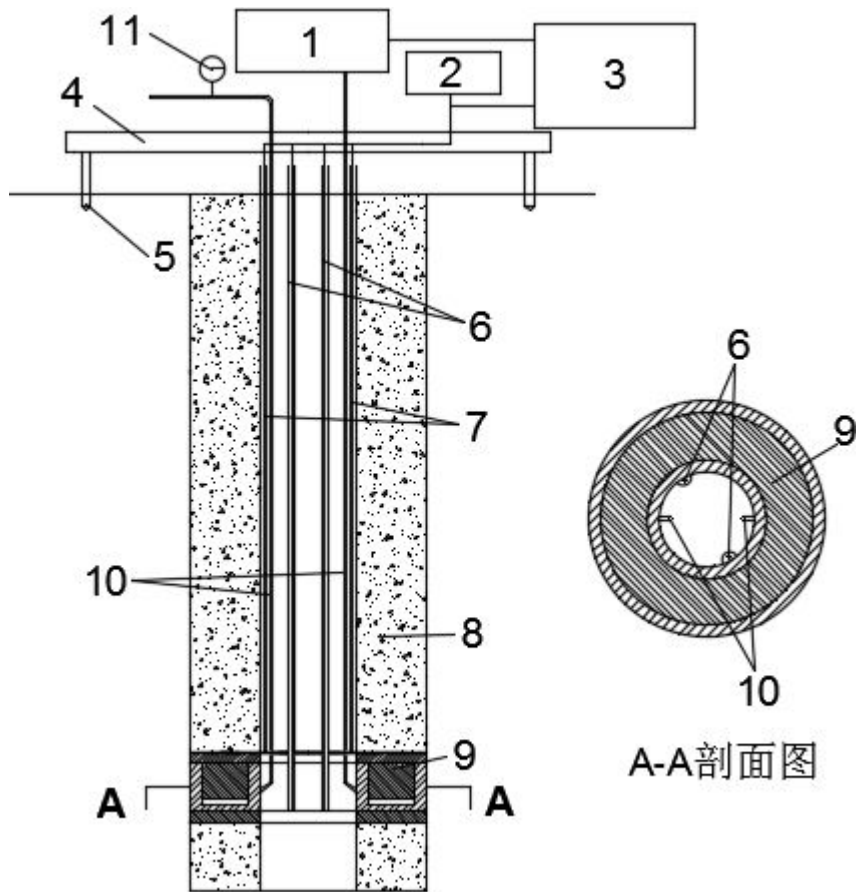


图 B.0.2 预制管桩的检测系统的安装与连接

1—加压系统；2—位移系统；3—静载测试仪（压力控制和数据采集）；4—基准梁；5—基准桩；
 6—下位移丝（杆、或其它）；7—上位移丝（杆、或其它）；8—管桩；9—预制管桩荷载箱；10—
 高压液管；
 11—压力表。

附录C 试验数据记录表

C.0.1 基桩自平衡静载试验用荷载箱埋设前检验宜按表 C.0.1 的格式记录。

表 C.0.1 基桩自平衡静载试验用荷载箱埋设前检验参数表

序号	桩号	荷载箱类型 I类/II类	桩径 (mm)	荷载箱型 号	活塞伸出长度 (mm)	活塞是否完 全复位	双回路高压液管 是否畅通

记录人：

校核人：

C.0.2 基桩自平衡静载试验的检测数据应按表 C.0.2 的格式记录。

表 C.0.2 基桩自平衡静载试验数据记录表

受检桩编号		受检桩类型		桩径(mm)		桩长(m)												
荷载箱类型		I类 / II类		作业条件		干作业 / 水下作业												
桩端持力层		成桩日期		测试日期		加载方法												
荷载 编 号	压力表 1读数 (MPa)	压力表 2读数 (MPa)	荷载值 (kN)	记录时间 (d h min)	间隔 (min)	各表读数(mm)						平均位移(mm)			温度 (°C)			
							1	2	3	4	5	6	向上	向下		桩顶		

记录人：

校核人：

C.0.3 基桩自平衡静载试验的结果宜按表 C.0.3 的格式记录。

表 C.0.3 基桩自平衡静载试验结果汇总表

工程名称		桩号		工程地点					
建设单位		施工单位							
桩型	桩径(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

记录人：

校核人：

C.0.4 基桩自平衡静载试验用荷载箱宜按表 C.0.4 的格式记录。

表 C.0.4 基桩自平衡静载试验用荷载箱参数表

序号	桩号	荷载箱类 型 I 类/II 类	桩径 (mm)	荷载箱 型号	荷载 箱数				
					外径 (mm)	内径 (mm)	高度 (mm)	额定加载能 力 (kN)	荷载箱埋 设位置

记录人：

校核人：

C.0.5 基桩自平衡静载试验后注浆处理宜按表 C.0.5 的格式记录。

表 C.0.5 基桩自平衡静载试验后注浆处理记录表

桩号	荷载箱型号	桩径 (mm)	桩身设计 强度	排液量 ≥90%	注浆 记录						试块 检测 强度
					注浆开 始时间	浆液取 样 时间	注浆结束 时间	理论注 浆 量 (ml)	实际注浆 量 (ml)	注浆及 取样 见证人	

注：本表为工程桩在基桩自平衡静载试验结束后的注浆处理记录表，本记录表应附：注浆影像资料（如：注浆照片、取样照片等）、试块检测强度报告，以保证注浆的可追溯性及对注浆质量评判的有效性验证。

记录人：

校核人：

附录D 等效转换方法

D.0.1 等效转换方法：将通过基桩自平衡静载试验获得的荷载箱向上、向下两条 $Q-s$ 曲线等效转换为相应传统静载试验的一条 $Q-s$ 曲线，以确定桩顶沉降，如图 D.0.1 所示。

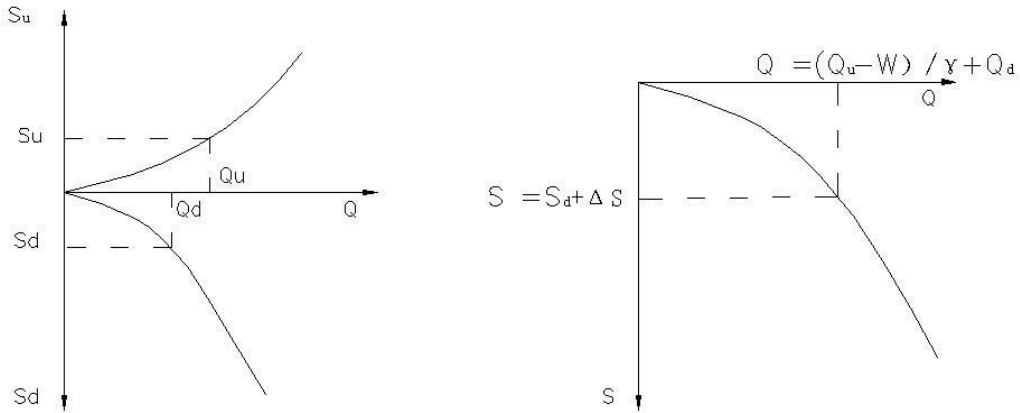


图 D.0.1 基桩自平衡静载试验结果转换示意图

(a) 基桩自平衡静载试验曲线 (b) 等效转换曲线

D.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，分界面即为桩的自平衡点 a 截面；
- 3 基桩自平衡法试验中的下段桩与等效受压桩下段的位移相等；
- 4 基桩自平衡静载试验中，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 Ds 为上段桩桩端及桩侧荷载两部分引起的弹性压缩变形之和：

$$Ds = Ds_1 + Ds_2 \quad (D.0.2-1)$$

式中： Ds_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；

Ds_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 Ds_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。

D.0.3 桩身无钢筋计时的计算应符合以下规定：

- 1 根据本规程附录D.0.2 中第5、6 款假定：

$$Ds_1 = \frac{Q_{ud} L_u}{E_p A_p} \quad (D.0.3-1)$$

$$Ds_2 = \frac{(Q_{uu} - W) L_u}{2E_p A_p \gamma} \quad (D.0.3-2)$$

将式 (D.0.3-1)、(D.0.3-2) 代入式(D.0.2-1)，可得桩身的弹性压缩量为：

$$Ds = D_s + D_s = \frac{[(Q_{uu} - W) / \gamma + 2Q_{ud}]L_u}{2E_p A_p} \quad (D.0.3-3)$$

桩顶等效荷载为:

$$Q = (Q_{uu} - W) / \gamma + Q_{ud} \quad (D.0.3-4)$$

2 根据本规程附录D.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 。则有:

$$s = s_d + Ds \quad (D.0.3-5)$$

式中: s_d 可直接测定, Ds 可通过计算求得; γ 符号含义同前。

D.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 D.0.2 条中第 7 款规定, 将荷载箱以上部分分割成 n 个点(见图 D.0.4-1), 任意一点 i 的桩轴向力 $Q(i)$ 和变位量 $s(i)$ 可用下式表示:

$$Q(i) = Q_d + \frac{1}{2} \sum_{m=i}^n q_{sm} \{U(m) + U(m+1)\} h(m) \quad (D.0.4-1)$$

$$\begin{aligned} s(i) &= s_d + \sum_{m=i}^n \frac{Q(m) + Q(m+1)}{A_p(m)E_p(m) + A_p(m+1)E_p(m+1)} h(m) \\ &= s(i+1) + \frac{Q(i) + Q(i+1)}{A_p(i)E_p(i) + A_p(i+1)E_p(i+1)} h(i) \end{aligned} \quad (D.0.4-2)$$

式中: Q_d ——荷载箱荷载 (kN);

s_d ——荷载箱向下变位量 (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 (m²);

$E_p(m)$ —— 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)。

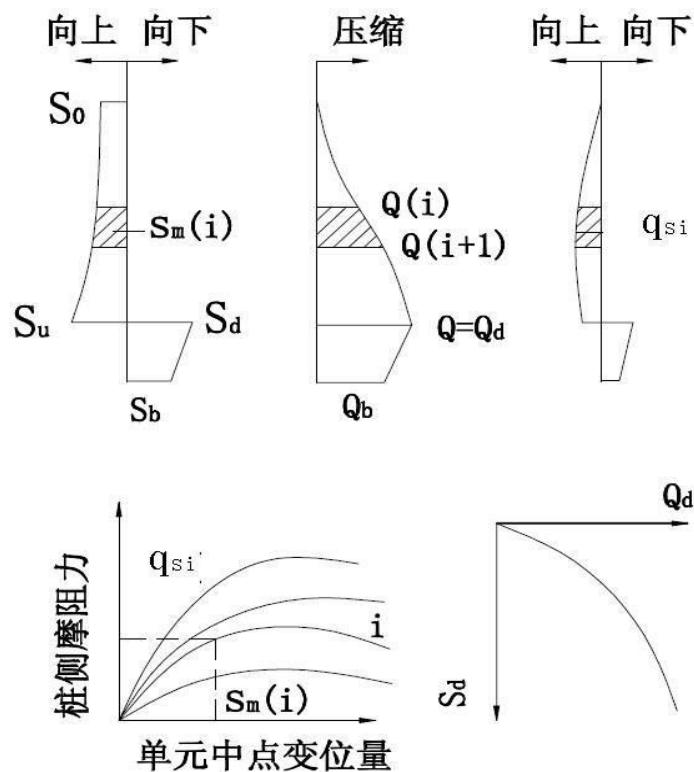


图 D.0.4-1 基桩自平衡静载试验中的轴量力、桩侧摩阻力与变位量的关系

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。

2 单元*i*(见图D.0.4-2)的中点变位量 $s_m(i)$ 可用下式表示：

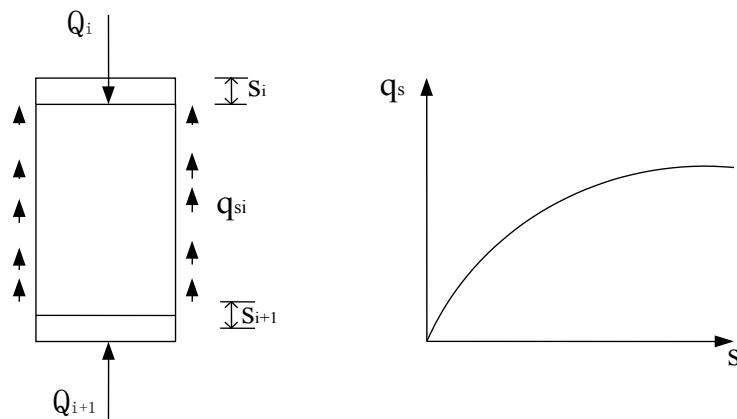


图 D.0.4-2 转换单元示意图

$$s_m(i) = S(i+1) + \frac{Q(i) + 3Q(i+1)}{A_p(i)E_p(i) + 3A_p(i+1)E_p(i+1)} \cdot \frac{h(i)}{2} \quad (D.0.4-3)$$

将式(D.0.4-1)代入式(D.0.4-2)和式(D.0.4-3)中，可得：

$$s(i) = s(i+1) + \frac{h(i)}{A_p(i)E_p(i) + A_p(i+1)E_p(i+1)} \left\{ 2Q_d + \sum_{m=i+1}^n q_{sm} [U(m) + U(m+1)] h(m) + q_{si} [U(i) + U(i+1)] \frac{h(i)}{2} \right\} \quad (D.0.4-4)$$

$$s_m(i) = s(i+1) + \frac{h(i)}{A_p(i)E_p(i) + 3A_p(i+1)E_p(i+1)} \left\{ 2Q_d + \sum_{m=i+1}^n q_{sm}[U(m) + U(m+1)]h(m) + q_{si}[U(i) + U(i+1)]\frac{h(i)}{4} \right\} \quad (D.0.4-5)$$

当 $i=n$ 时, 则

$$s(n) = s_d + \frac{h(n)}{A_p(n)E_p(n) + A_p(n+1)E_p(n+1)} \left\{ 2Q_d + q_{sn}[U(n) + U(n+1)]\frac{h(n)}{2} \right\} \quad (D.0.4-6)$$

$$s_m(n) = s_d + \frac{h(n)}{A_p(n)E_p(n) + 3A_p(n+1)E_p(n+1)} \left\{ 2Q_d + q_{sn}[U(n) + U(n+1)]\frac{h(n)}{4} \right\} \quad (D.0.4-7)$$

用以上公式, 将基桩自平衡静载试验测出的桩侧摩阻力 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_d 与向下位移 s_d 的关系曲线求出 Q_d 。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 - s_u 曲线转换。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

(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”。

引用标准名录

《建筑地基基础设计规范》 GB50007

《建筑桩基技术规范》 JGJ94

《建筑基桩检测技术规范》 JGJ106

《电子测量仪器通用规范》 GB6587

《砝码》 GB/T4167

《不锈钢丝绳》 GB/T 9944

《塑料 聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)模塑和挤塑材料 第2部分：试样制备和性能测定》 GB/T 15597.2

《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》 GB/T17671

《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》 JGJ/T403

江西省建设工程质量安全检测协会团体标准

基桩自平衡静载试验技术标准

T/ JXSJSGCZLAQJ CXH - 01-2021

条文说明

目 次

1 总则	34
2 术语与符号.....	35
2.1 术语	35
2.2 符号	35
3 基本规定.....	36
3.1 试验目的和方法.....	36
3.2 检测工作程序.....	37
4 试验要点.....	39
4.1 仪器设备.....	39
4.2 设备安装.....	40
4.3 现场检测.....	44
5 检测数据的分析与判定.....	45
5.1 数据分析.....	45
5.2 承载力判定.....	45
6 注浆处理.....	47
6.1 一般规定.....	47
6.2 注浆技术要求.....	48

1 总则

1.0.1 《桩身自反力平衡静载试验技术规程》DB36/J002-2006由于受当时技术条件的局限，仅仅注重于静载检测，忽视了对于工程桩单桩承载力验收检测后，荷载箱由检测设备转换为工程桩的组成部分，因此，该规程存在以下不足：

1 对于基桩自平衡单桩承载力检测后，未对因检测造成荷载箱处桩身裂隙有关注浆补强和质量验收做出应有的量化规定。

2 单桩承载力检测完成后，对于在荷载箱处断开的上下两端钢筋笼不能有效连接，未提出技术处理量化规定。

3 对检测之前的位移丝安装缺失明确可操作的规范性条文。

4 当受检桩桩底为扩大头端承桩时，对荷载箱埋设及荷载确定没有明确的规定。为解决上述问题，本标准重点增加了以下内容：

(1) 明确工程桩验收检测用荷载箱的技术要求。

(2) 增加注浆处理技术指导及行为规范章节。

(3) 增加荷载箱上下钢筋笼刚性连接装置的技术要求，确保检测后荷载箱处断开的上下钢筋笼满足刚性连接要求。

(4) 明确位移丝的使用要求及安装规范。

(5) 对受检桩桩底为扩大头端承桩，明确荷载箱埋设位置及上层土层提供反力荷载的计算方法。

1.0.2 本标准适用于建筑工程和市政、桥梁工程基桩的竖向承载力检测和评价。

1.0.3 我省地域辽阔，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、行业和江西省现行有关标准中的规定。

1.0.4 本条明确了基桩自平衡静载试验技术不局限于本标准，鼓励技术创新，如采用水介质加载、激光传感器位移测试，及校准后的荷载箱二维码溯源、GPS定位等节能节材智能化管理创新技术。

2 术语与符号

2.1 术语

基桩自平衡静载试验是基桩静载试验的一种方法。其主要装置是一种特制的荷载箱，它与钢筋笼连接并安置于桩身平衡点处。检测时，从桩顶通过双回路高压液管对荷载箱内串联缸体内腔输入加压液产生推力，箱盖与箱底被推开，从而调动桩周土的摩阻力与端阻力，直至破坏，将桩侧土摩阻力与桩底端阻力迭加而得到单桩竖向承载力。对于工程桩，检测后，通过双回路高压液管清空缸内加载液体，进行缸内注浆；通过位移丝护套管对缸外注浆，封闭处理荷载箱处桩身裂隙和固化荷载箱上下底板间的连接件，使之满足上下底板钢筋笼刚性连接要求。

2.2 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 试验目的和方法

3.1.1 本条明确基桩自平衡静载试验可用于施工前为设计提供依据的试验桩检测和施工后为验收提供依据的工程桩单桩承载力检测。与现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106一致。工程建设一般分为勘察、设计、施工、验收四个阶段，基桩试验和检测工作多数情况下分别放在设计和验收两阶段，即施工前试桩和施工后工程桩检测。

3.1.2 工程桩单桩静载承载力验收检测后，考虑受检桩需继续使用，荷载箱必须具备以下性能：

- 1 能将缸内液状加载介质有效清除，置换为后期强度不低于桩身混凝土设计强度的浆液；
- 2 能确保单桩承载力检测后，荷载箱处断开的上下钢筋笼满足刚性连接要求；
- 3 荷载箱因性能不同，分为 I 类、II 类；

3.1.3 本条规定的试验桩数量，与现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106一致。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。

“地基条件、桩长相近，桩端持力层、桩型、桩径、成桩工艺相同”即为本标准所指的“同一条件”。对于大型工程，“同一条件”可能包含若干个桩基分项（子分项）工程。同一桩基分项工程可能由两个或两个以上“同一条件”的桩组成，如直径 400mm 和 500mm 的两种规格的管桩应区别对待。

本条规定同一条件下的试桩数量不得少于 3 根，是保障合理评价试桩结果的低限要求。若实际中由于某些原因不足以为设计提供可靠依据或设计另有要求时，可根据实际情况增加试桩数量。另外，如果施工时桩参数发生了较大变动或施工工艺发生了变化，应重新试桩。

试验桩场地的选择应有代表性，附近应有地质钻孔。试桩位置应符合设计要求。设计无要求时，宜选择在有代表性的地质条件处布置，并尽量靠近钻探孔或静力触探孔，其间距不宜大于 5m。必要时，应根据设计要求在试验桩施工时安装测试桩身应变或变形的传感器，以得到试桩的侧摩阻力分布及桩端阻力，为设计选择桩基持力层提供依据。

桩基工程属于一个单位工程的分部（子分部）工程中的分项工程，一般以分项工程单独验收。承载力验收检测的工程桩数量限定在分项工程内。工程桩检测数量应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 执行。

3.1.4 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。如果一端已至极限，可采取相关措施保证另一端如何实现继续加载。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，应满足其规定。本条规定的最大加载值是指基桩自平衡试验过程中向上及向下的最大加载值之和。

大量试验结果表明：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 1.2~1.5 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等效转换后，承载力满足设计要求的承载力特征值的 2.0 倍要求），或按设计要求取值。

3.2 检测工作程序

3.2.1 图3.2.1 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。

3.2.2 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、检测试验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；必要时还需要检测技术人员到现场了解和搜集。

表 1.1 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)	桩顶设计标高 (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应包含的内容，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，取得其支持和同意。

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。基桩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，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。

桩在施工过程中不可避免地扰动桩周土，降低土体强度，引起桩的承载力下降，以高灵敏度饱和黏性土中的摩擦桩最明显。随着休止时间的增加，土体重新固结，土体强度逐渐恢复提高，桩的承载力也逐渐增加。成桩后桩的承载力随时间而变化的现象称为桩的承载力时间（或歇后）效应，我国软土地区这种效应尤为突出。研究资料表明，时间效应可使桩的承载力比初始值增长40%~400%。其变化规律一般是初期增长速度较快，随后渐慢，待达到一定时间后趋于相对稳定，其增长的快慢和幅度与土性和类别有关。除非在特定的土质条件和成桩工艺下积累大量的对比数据，否则很难得到承载力的时间效应关系。另外，桩的承载力包括两层涵义，即桩身结构承载力和支撑桩结构的地基岩土承载力，桩的破坏可能是桩身结构破坏或支撑桩结构的地基岩土承载力达到了极限状态，多数情况下桩的承载力受后者制约。如果混凝土强度过低，桩可能产生桩身结构破坏而地基岩土承载力尚未完全发挥，桩身产生的压缩量较大，检测结果不能真正反映设计条件下桩的承载力与桩的变形情况。因此，对于承载力检测，应同时满足地基土休止时间和桩身混凝土龄期（或设计强度）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 基桩自平衡静载试验现场检测存在一定的人身意外伤害风险，如安全用电、反力装置的搭设等。因此，本条对现场检测需遵守有关安全生产做了相应的规定。

3.2.5 本条制定除参照现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106外，还细化明确了自平衡静载试验报告应包含的内容。

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性，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、静载试验完成后的注浆及浆液取样的影像资料和注浆强度检测报告，并附有相关的计算分析数据和曲线。本条之所以这样详尽规定，其目的就是希望杜绝检测报告仅有检测结果而无任何检测数据和曲线等现象发生，增强检测结果的可溯性。

4 试验要点

4.1 仪器设备

4.1.1 荷载箱采用两根形成 U 形回路的高压液管，先后进行加载输液和压力验证/缸内排液和注浆。

4.1.2 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性、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。

4.1.3 具体应符合现行国家标准《电子测量仪器通用规范》GB 6587 中的规定。

4.1.4 荷载箱是一种特制的液压千斤顶。它需要按照桩的类型、截面尺寸和荷载箱等级专门设计生产及有资质的第三方检验单位检验合格。

如按照《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T 403的要求，荷载箱宜进行整体检定，但是，国家至今未发布荷载箱整体检定的有关标准，因此《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T 403中关于‘荷载箱宜进行整体检定’无法执行。另外，因荷载箱本身并不具有显示力值的指示器，因此单个荷载箱不属于计量器具，所以有关荷载箱的检定不可能列入国家强制检定目录。

荷载箱的极限加载能力应大于预估极限加载值的 1.2 倍。

4.1.5 本条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。

4.1.6 对试验过程中位移量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；鉴于试验造价高、检测周期长、取样数量少等特点，采集的数据量越丰富越好。有条件时宜进行桩顶位移测试，在桩顶布置一组位移传感器。也可通过在荷载箱内部设置位移传感器或测量缸内液体变化等方法进行位移量检测。

采用激光位移传感测试装置，可参照图4.1.6进行。

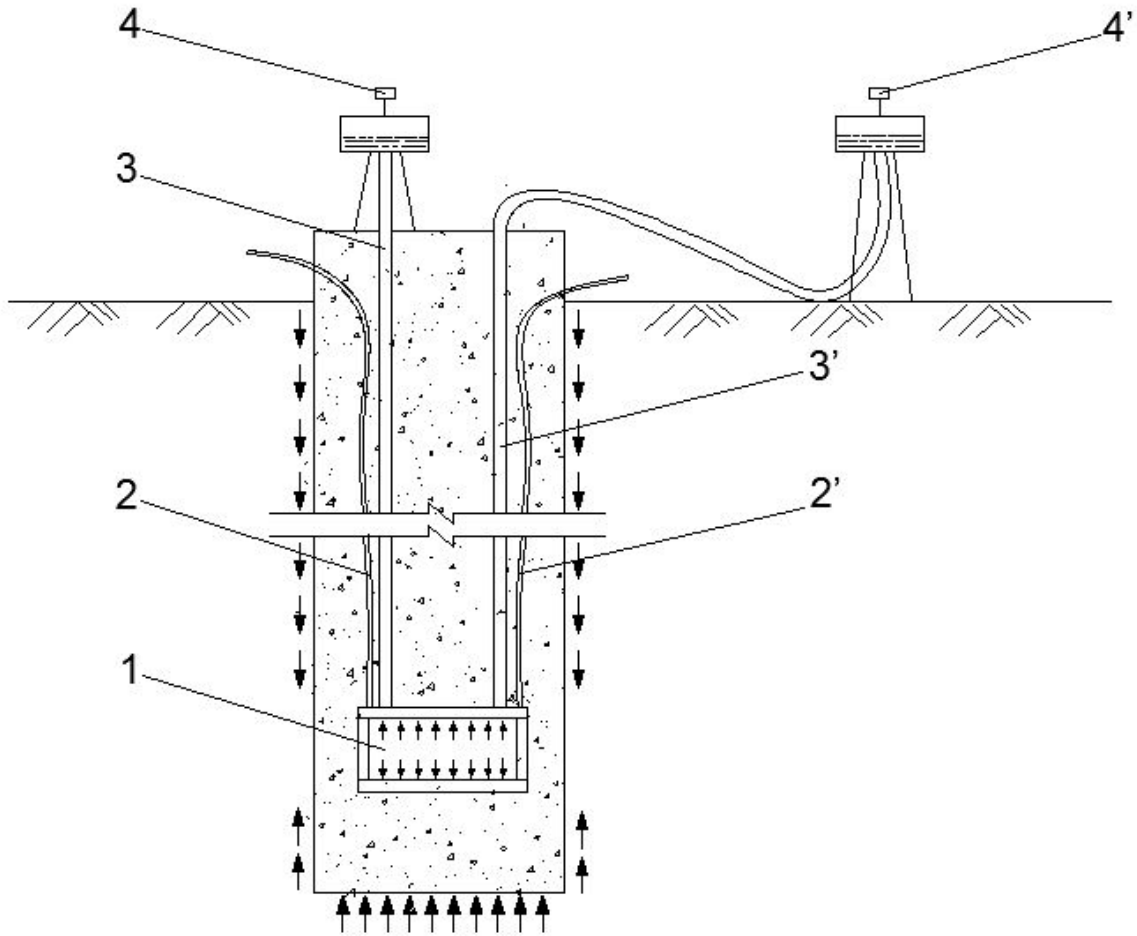


图 4.1.6 激光位移传感器测试图

1-荷载箱；2（2'）-高压液管；3（3'）-位移水护套管；4（4'）-激光位移传感器

4.1.7 本条规定了测试桩侧阻力、桩端阻力、桩身截面位移时的桩身内传感器的埋设要求，保证数据真实、可靠。

4.2 设备安装

4.2.1 挖孔桩扩底试验情况见图 4.2.1-1，荷载箱应置在扩大头底部，桩底承载力计算为桩底扩大头桩端全截面端阻力（即承载力特征值 R_a ），上部桩、土体荷重作为荷载量。

计算见图 4.2.1-2：

$$\text{下底面积：} \quad S_1 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi$$

$$\text{上顶面积：} \quad S_2 = \left(\frac{2L \times \tan \phi + D}{2}\right)^2 \pi$$

上部桩、土的体积: $V = \frac{(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2})}{3} \times L$

上部桩、土的重量 $W = V \times \gamma$ 应满足: $W \geq Ra$ 。否则, 应在桩顶提供一定量的配重。

对于扩底桩, 荷载箱埋设在扩底桩桩底时, 荷载箱直径取为较桩身直径小100mm, 荷载箱的上推力值为 Ra 。当上、下移量满足标准要求时, 检测极限承载力为 $Q \geq 2Ra$ 。

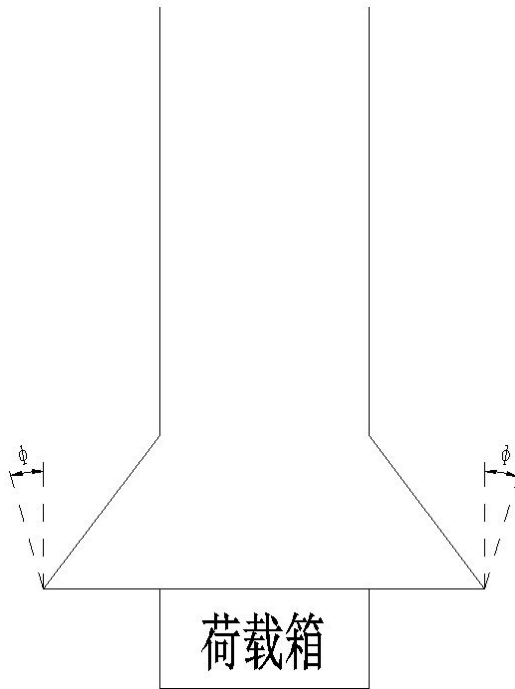


图 4.2.1-1

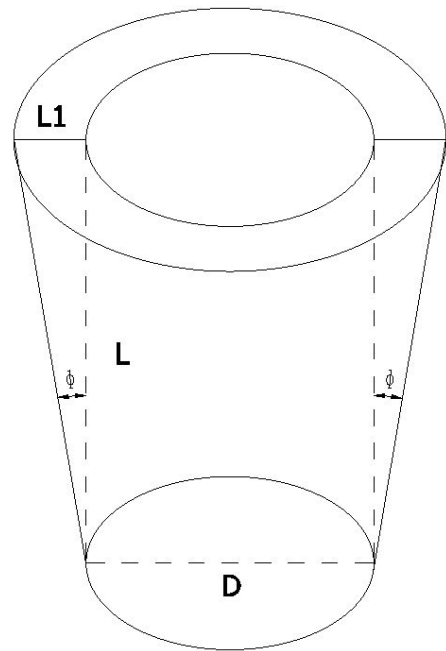


图 4.2.1-2

(L 为桩长, ϕ 为荷载箱顶面以上各土层按土层厚度加权的内摩擦角平均值 ($< 40^\circ$), D 为桩扩大头直径, γ 为桩、土的按土层厚度加权的容重平均值)

4.2.2 宜采用简易反力架模型在荷载箱埋设前对其进行现场检查, 见图4.2.2。

- 1 将被测荷载箱水平放置, 对其进行加载, 直至荷载箱活塞伸出长度 $\geq 2\text{cm}$, 停止加载;
- 2 安装检测架, 四个脚钩钩在荷载箱下格构 (下底板) 上, 千斤顶置于检测架中;
- 3 手摇动千斤顶, 产生的反力使荷载箱活塞复位;
- 4 拆除检测架, 完成检测。

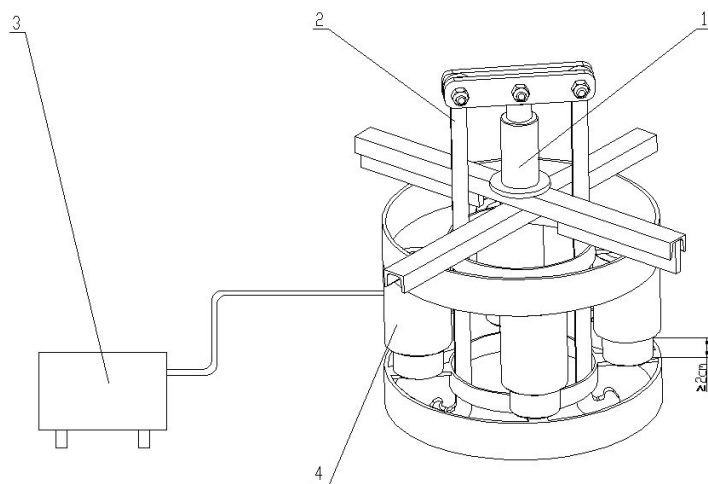


图 4.2.2 简易反力架示意图

1-千斤顶；2-检测架；3-气泵或液压泵；4-荷载箱。

对高压液管通气检查是确保双回路畅通，为后续的试验加载提供保证。

4.2.3 自平衡静载试验用荷载箱及位移传递系统的安装可参照附录 B 进行。荷载箱的顶部和底部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。荷载箱上下应分别设置喇叭状的导向钢筋，以便于导管通过。

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，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。

对于预制混凝土管桩等，荷载箱与上、下段桩应焊接牢固。

4.2.4 采用位移丝进行测试时，要考虑位移丝的强度以及其护套管是否能够承受混凝土的包裹力不影响位移丝在管内可上下无障碍移动。试验前应先行抽动位移丝，确定可自由抽动时方为有效。

位移丝与护套管连接具体操作步骤如下：

1 位移丝设置在护套管中；

- 2 护套管与钢筋笼绑扎；
- 3 护套管下端部与荷载箱位移固定处连接；
- 4 钢筋笼与荷载箱连接；
- 5 下放钢筋笼。

4.2.5 在受检桩加、卸载过程中，荷载传至受检桩、基准桩周围地基土并使之变形。为保证实验数据准确性，基准梁在基准桩之间跨度 L 不小于 6.0m 范围时，其挠度不应超过 $L/600$ 。

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：受检桩中心到基准桩间的距离应“不小于 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，故本标准中对部分间距的规定放宽为“不小于 $3D$ ”。

基准梁分为单一基准梁和复合基准梁，单一基准梁见图4.2.5-1，复合基准梁由多段梁拼接而成，中间悬挂砝码，见图4.2.5-2。



图 4.2.5-1 单一基准梁示意图

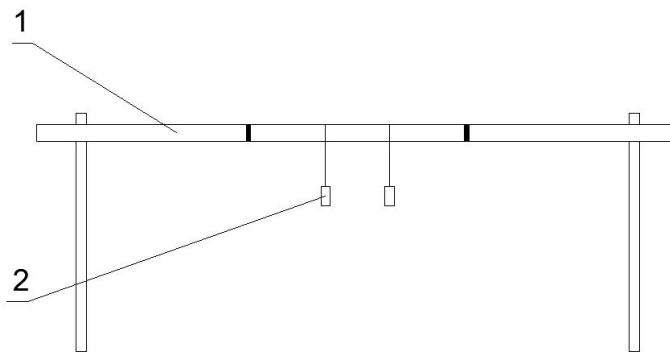


图 4.2.5-2 复合基准梁示意图

1-基准梁；2-砝码。

4.2.6 本条对基桩自平衡静载试验采用的数据采集仪提出了具体要求，本标准除应对加载力传感器的记录与控制外，还应对荷载箱加载后多个串联缸体内的压力是否平衡进行验证，为此，在输入荷载箱缸内双回路高压液端接入一加载控制力传感器，另一出荷载箱高压液管端同时接入一力传感器进行压力值验证。因此，采集仪的数据采集通道应同时满足荷载箱加载力值控制和验证的2个数据采集与不少于4个位移值变化的数据采集要求。

4.3 现场检测

4.3.1 本条制定参照现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106，慢速维持荷载法是我国公认，且已沿用几十年的标准试验方法，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。

4.3.2 本条是按我国的传统做法，对维持慢速荷载法进行的原则性规定。

4.3.3 慢速维持荷载法每级荷载持载时间最少为 2h。对绝大多数基桩而言，为保证上部结构正常使用，控制基桩绝对沉降是第一位重要的，这是地基基础按变形控制设计的基本原则。在工程桩验收检测中，国内某些行业或地方标准允许采用快速维持荷载法。国外许多国家的维持荷载法相当于我国的快速维持荷载法，最少持载时间为 1h，但规定了较为宽松的沉降相对稳定标准，与我国快速法的差别就在于此。1985 年 ISSMFE 根据世界各国的静载试验有关规定，在推荐的试验方法中，建议“维持荷载法加载为每小时一级，稳定标准为 0.1mm/20min”。当桩端嵌入基岩时，个别国家还允许缩短时间；也有些国家为测定桩的蠕变沉降速率建议采用终级荷载长时间维持法。

4.3.4 对于抗拔桩的自平衡法静载试验终止加载情况，按本条第 1 款的规定进行判定。

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，随着持载时间或荷载增加，变形梯度逐渐变缓；当桩身强度不足桩被压断时，也会出现陡降，但与前相反，随着沉降增加，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 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。前者由于长径比大、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。

4.3.5 本条规定了测试桩身应变和桩身截面位移的测读时间。

4.3.6 本条规定了现场试验数据及注浆处理的记录格式。

5 检测数据的分析与判定

5.1 数据分析

5.1.1 除 $Q-s$ 、 $s-lgt$ 曲线外，一般还绘制 $s-lgQ$ 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 的整数倍增加至满刻度值，使结果直观、便于比较。

5.1.2 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。因此当按本标准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。

5.1.3 本条明确规定了与传统 $Q-s$ 曲线间转换方法与参照依据。

5.2 承载力判定

5.2.1 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 的取值 95% 的置信区间为 (0.50, 0.92)，均值为 0.71；其中按土性划分，粉、粘性土的 γ_1 取值均值为 0.74，95% 的置信区间为 (0.65, 0.83)；砂性土的均值为 0.58，95% 的置信区间为 (0.49, 0.66)。同时将这些对比数据按 L_z 为荷载箱埋深划分进行分析，得出 γ_1 的取值随着 L_z 的增大而减小。为保证安全性，故将向上、向下摩阻力范围划分为：长桩（一般指 $L_z > 60\text{m}$ ）及黏性土取 1.0，短桩（一般指 $L_z \leq 30\text{m}$ ）及砂土取 0.8；对于桩侧土为岩石中的情况，鉴于对比数据很少，偏于安全起见， γ_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。

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。

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。对于其它抗拔桩，应根据实际情况通过相近条件的对比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，试验中桩底拖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拖桩、桩顶拔桩两种加载方式的足尺试验中，拖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 取值不得小于1.1。

5.2.2 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它方法进行检测。

6 注浆处理

6.1 一般规定

6.1.1 浆液基材主要为普通硅酸盐水泥，配以改善流动性和提高强度的外加剂材料。

6.1.2 由于加液管管径很小，仅 4~6mm，为了确保浆液能够顺利通过加液管进入荷载箱缸体内部，并通过荷载箱缸内沿另一高压液管传至地面，浆液必须有足够的流动性。

浆液流动度测试可采用如下测试方法，见图 6.1.2。

304 不锈钢定量漏斗直径 225mm、高度 220mm、容量 1500mL、锥度 1:0.9778，材质符合现行国家标准 GB/T 4237 要求。

亚克力管内径 4mm、长度 1000mm，材质应符合现行国家标准《塑料 聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 模塑和挤塑材料 第 2 部分：试样制备和性能测定》GB/T 15597.2 的规定。

定量容器容积为 2000mL。

1 配好的浆液盛满 1500mL 定量漏斗，记录浆液重量 m_0 。

2 打开阀，浆液顺着亚克力管流入定量容器中，持续 5 分钟，关闭阀，记录定量容器中的浆液重量 m_1 。

3 流动度：当浆液强度 $\leq 60\text{MPa}$ 时， $m_1/m_0 \geq 80\%$ ；当浆液强度 $> 60\text{MPa}$ 时， $m_1/m_0 \geq 60\%$ 。

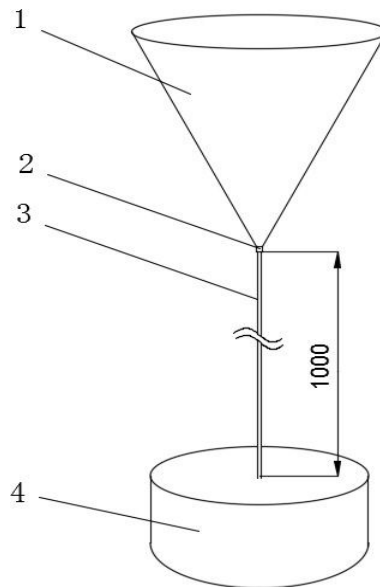


图 6.1.2 浆液流动度测试示意图

1-定量漏斗； 2-阀； 3-亚克力管； 4-定量容器。

浆液试块强度应按现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》GB/T 17671 执行。

6.2 注浆技术要求

6.2.1 为确保净浆注入缸内，需要对因加载而置留于缸内的液体排除干净，但是由于排液过程中难免会有一些液体残留于缸壁及双回路高压液管壁上，因此要求排液量 $\geq 90\%$ 。

6.2.2 对注入缸内及缸外的浆液取样，应用 $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 160\text{mm}$ 模具从荷载箱返至地面的出浆口取样，进行标养或等效快速蒸养后进行强度试验。

6.2.3 可通过缸内排液量复核基桩自平衡静载试验后桩的位移量，同时可复核需用浆液。考虑到刚性连接件用量及试样用量，充盈系数取 $1.15\sim 1.25$ 。自平衡检测属于破坏性检测，本着谁破坏谁修复的原则，注浆工作应由检测单位负责，成本列入检测费用。对于有特殊要求的工程桩，宜设置声测管或视频监控验证注浆质量，见图 6.2.3。

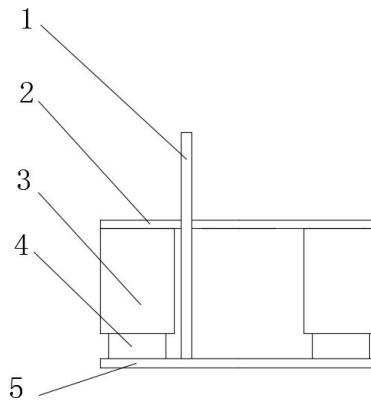


图 6.2.3 观察管安装示意图

1-观察管；2-上面板；3-缸体；4-活塞；5-下底板。

6.2.4 采用等效快速蒸养可以缩短试配时间。