

深圳市住房和建设局文件

深建标〔2021〕1号

深圳市住房和建设局关于发布 《大直径灌注桩静载试验标准》的通知

各有关单位：

现批准《大直径灌注桩静载试验标准》为深圳市工程建设标准，编号为 SJG 87-2021，自 2021 年 4 月 1 日起实施。

特此通知。



深圳市工程建设标准

SJG 87-2021

大直径灌注桩静载试验标准

Technical Code for Static Loading Test on
Large Diameter Bored Pile

2021-01-12 发布

2021-04-01 实施

深圳市住房和建设局 发布

前 言

根据《2019年深圳市工程建设标准制订、修订计划项目一览表》（深建设〔2019〕40号），标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国内先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本标准。

本标准的主要内容是：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.试验装置设计实施；5.单桩竖向抗压静载试验；6.单桩竖向抗拔静载试验；7.单桩水平静载试验；8.自平衡荷载试验和附录。

本标准由深圳市住房和建设局负责管理，由深圳市建设工程质量检测中心和中冶建筑研究总院（深圳）有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送深圳市建设工程质量检测中心（地址：深圳市南山区铁二路工程质量大厦，邮编518052）或中冶建筑研究总院（深圳）有限公司（地址：深圳市南山区留仙大道塘岭路1号金骐智谷大厦23层，邮编518055）。

本标准主编单位：深圳市建设工程质量检测中心

中冶建筑研究总院（深圳）有限公司

本标准参编单位：深圳市建筑科学研究院股份有限公司

深圳市勘察研究院有限公司

建设综合勘察研究设计院有限公司

东南大学

深圳市建筑工程质量安全监督总站

深圳市市政工程质量安全监督总站

深圳市福田建设工程质量检测中心

深圳市宝安区工程质量检测中心

深圳市南山区建设工程质量监督检验站

深圳市光明区建设工程质量安全监督站

深圳市工勘岩土集团有限公司

深圳市中地建设工程有限公司

深圳地质建设工程公司

深圳市建研检测有限公司

南京赛宝液压设备有限公司

本标准主要起草人员：杨志银 杨立 陈泽广 龚维明
蔡巧灵 刘小斌 肖兵 王琦玮
高翔 华洪勋 付文光 刘绪普
袁广州 耿光旭 孟照辉 李强
宋明智 曹文昭 张晓衡 李雁勤
罗军 于志敏 刘学

本标准参加人员：王幼明 王磊 禰东旭 刘德源 袁志远

本标准主要审查人员：黄强 唐孟雄 丘建金 钟冬波
施峰 刘小敏 金亚兵

本标准业务归口单位主要指导人员：郑晓生 郭晓宁 李伟雄 陈泽波
刘俊跃 胡荣

目 次

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	反力装置.....	5
3.3	仪器和设备性能.....	5
3.4	测试项目和数量.....	7
3.5	试验方案.....	7
3.6	试验报告.....	9
4	试验装置设计实施.....	10
4.1	一般规定.....	10
4.2	压重平台.....	10
4.3	锚桩横梁.....	13
4.4	压重锚桩联合.....	14
4.5	抗拔试验.....	15
4.6	水平试验.....	19
4.7	自平衡试验.....	21
5	单桩竖向抗压静载试验.....	23
5.1	一般规定.....	23
5.2	仪器设备安装.....	23
5.3	加卸荷与量测.....	24
5.4	数据分析与判定.....	25
6	单桩竖向抗拔静载试验.....	27
6.1	一般规定.....	27

6.2	仪器设备安装.....	27
6.3	加卸荷与量测.....	28
6.4	数据分析与判定.....	29
7	单桩水平静载试验.....	30
7.1	一般规定.....	30
7.2	仪器设备安装.....	30
7.3	加卸荷与量测.....	31
7.4	数据分析与判定.....	31
8	自平衡荷载试验.....	33
8.1	一般规定.....	33
8.2	仪器设备安装.....	33
8.3	加卸荷与量测.....	34
8.4	数据分析与判定.....	34
附录 A	常用千斤顶参数表.....	37
附录 B	常用反力梁参数图表.....	38
附录 C	双套筒设计施工要点.....	42
附录 D	桩端位移管安装要点.....	44
附录 E	桩身内力测试.....	46
附录 F	桩头处理及桩帽设计施工要点.....	49
附录 G	压重地基处理方法.....	51
附录 H	锚桩设计与施工要点.....	52
附录 J	锚桩横梁反力装置设计.....	56
附录 K	荷载箱技术要求及安装工艺要点.....	58
附录 L	自平衡荷载试验结果转换.....	60
	本标准用词说明.....	63
	引用标准名录.....	64
附：	条文说明.....	65

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	2
3	Basic Requirements.....	4
3.1	General Requirements.....	4
3.2	Reaction Arrangement.....	5
3.3	Instruments and Equipments.....	5
3.4	Testing items and Sampling number.....	7
3.5	Testing Schedule.....	7
3.6	Test Reporting.....	9
4	Reaction Arrangement Design and Installation	10
4.1	General Requirements.....	10
4.2	Weighted Platform.....	10
4.3	Anchored Reaction Frame.....	13
4.4	Combined Reaction Arrangement of Weights and Anchored Pile.....	14
4.5	Uplift Test	15
4.6	Lateral Resistant Test	19
4.7	Self-balanced Test.....	21
5	Vertical Compressive Static Load Test on Single Pile.....	23
5.1	General Requirements.....	23
5.2	Instrumentation.....	23
5.3	Lading, unloading and measuring.....	24
5.4	Data Interpretation	25
6	Vertical Uplift Static Load Test on single pile.....	27
6.1	General Requirements.....	27

6.2	Instrumentation.....	27
6.3	Loading, unloading and measuring.....	28
6.4	Data Interpretation	29
7	Lateral Static Load Test on Single Pile.....	30
7.1	General Requirements.....	30
7.2	Instrumentation.....	30
7.3	Loading, unloading and measuring.....	31
7.4	Data Interpretation.....	31
8	Self-balanced Loading Test.....	33
8.1	General Requirements.....	33
8.2	Instrumentation.....	33
8.3	Loading, unloading and measuring.....	34
8.4	Data Interpretation	34
Appendix A	Parameters of Common Jacks	37
Appendix B	Parameters for Common Reaction Frames	38
Appendix C	Key Points of Design and Construction of Double Casing.....	42
Appendix D	Key Points of Displacement Meter Installation at Pile Bottom.....	44
Appendix E	Testing Requirement on Pile Shaft Stress Measurement.....	46
Appendix F	Key Points of Design and Treatment of Pile Head and Pile Cap.....	49
Appendix G	Ground Treatment for Loading Test Site.....	51
Appendix H	Key Points of Design and Construction of Anchored Pile.....	52
Appendix J	Design of Anchored Reaction Frame.....	56
Appendix K	Specification of Osterberg Cell and Key Points of Installation.....	58
Appendix L	Test Results Conversion of Self-balanced Loading Test	60
	Explanation of Wording in This Standard.....	63
	List of Quoted Standards.....	64
	Addition: Explanation of Provisions.....	65

1 总 则

1.0.1 为了在大直径灌注桩静载试验中贯彻执行国家的技术经济政策，规范静载试验方法，做到安全适用、技术先进、数据准确、评价正确、经济合理、保护环境，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于深圳市建筑工程、市政工程和城市轨道交通工程的大直径灌注桩静载试验。

1.0.3 大直径灌注桩静载试验除应执行本标准外，尚应符合国家、广东省和深圳市现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 静载试验 static loading test

对桩顶部逐级施加竖向压力、竖向上拔力或水平推力，观测桩顶部随时间产生的沉降、上拔位移或水平位移，以确定相应的单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力或单桩水平承载力的试验方法。

2.1.2 大直径灌注桩 large diameter bored pile

直径大于或等于 800mm 的灌注桩。

2.1.3 自平衡荷载试验 self-balanced loading test

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

2.2 符号

2.2.1 抗力和材料性能

c_k ——土黏聚力标准值；

E_p ——桩身弹性模量；

F ——锚桩提供的下拉力；

f_{ak} ——场地地基承载力特征值；

f_{az} ——软弱下卧层顶面处经过深度修正后的地基承载力特征值；

Q_u ——单桩竖向承载力极限值；

q_s ——桩的侧摩阻力；

q_p ——桩的端阻力；

W ——荷载箱上部桩的自重与附加重量之和；

φ_k ——土内摩擦角标准值。

2.2.2 作用与作用效应

H ——单桩水平静载试验中作用于桩身的水平力；

P_z ——软弱下卧层顶面处附加压力值；

P_{cz} ——软弱下卧层顶处土的自重压力值；

p ——反力梁支座（基础）施加于地基的平均压力值；
 Q ——预计最大试验荷载、桩顶等效荷载；
 Q_b ——桩端的轴力；
 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、桩顶等效位移；
 s_u ——荷载箱向上位移；
 s_d ——荷载箱向下位移；
 U ——单桩竖向抗拔静载试验中施加的上拔荷载；
 Δs ——上段桩的桩身压缩量；
 ε ——应变值。

2.2.3 几何参数

A ——反力梁支座（基础）的总面积；
 A_h ——荷载箱的面积；
 A_p ——桩身截面面积；
 d ——桩径；
 L_u ——上段桩长度；
 L_z ——荷载箱埋深；
 u ——桩身周长。

2.2.4 其它

G_1 ——反力梁支座（钢筋混凝土垫块）重量；
 G_2 ——钢梁重量；
 G_c ——注浆量；
 α_s ——经验系数（注浆量计算）；
 ρ ——荷载箱有效面积比；
 γ_1 ——静载试验桩的抗压摩阻力转换系数；
 γ_2 ——静载试验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 大直径灌注桩静载试验应根据适用范围、试验要求，综合考虑场地地质条件、桩基设计参数、施工工艺和施工质量可靠性以及场地试验设备运输安装条件等因素，合理选择试验方法、准确分析判断试验结果。

3.1.2 大直径灌注桩静载试验宜符合以下程序：接受委托、收集资料、制定方案、现场试验装置设计和施工、仪器设备安装、加卸载及量测、分析数据、出具试验报告等环节。

3.1.3 大直径灌注桩静载试验可划分为设计阶段的试验桩试验和验收阶段的工程桩试验。试验桩的地质条件、施工工艺应具有代表性。试验桩试验宜加载至能确定单桩的极限承载力。

3.1.4 具有抗压功能的桩，符合下列情况时应进行试验桩试验：

1 设计等级为甲级且桩端持力层设置在残积土、砂卵石层；或在泥岩、炭质页岩等软质岩以及岩层破碎带；或在强风化（或全风化）的硬质岩层；或在岩溶发育场地；

2 采用新桩型、新工艺；

3 设计有要求、场地工程地质条件复杂；

4 可预见到验收阶段不具备静载试验条件的。

3.1.5 具有抗拔（浮）功能的桩，设计阶段应进行试验桩试验。

3.1.6 具有承受水平荷载功能的桩，地质条件复杂情况时应进行设计阶段试验桩试验。

3.1.7 验收阶段当抗压桩的设计桩端持力层为强风化岩（或更软弱岩土层）且单桩承载力特征值小于 25000kN 时，应进行工程桩单桩竖向抗压静载试验。

3.1.8 验收阶段对具有抗拔（浮）功能和承受水平荷载的桩，应分别进行工程桩单桩竖向抗拔静载试验和工程桩单桩水平静载试验。

3.1.9 工程桩的成桩工艺和质量控制标准应与试验桩一致。

3.1.10 工程桩试验宜在基坑开挖至桩顶设计标高后进行。确因现场条件不允许时，可在施工地面标高处进行，但需合理估算或测试桩顶以上桩段土层的侧阻力

(抗拔桩设计桩顶以上的桩身自重)、设定最大试验荷载,并在试验结果中扣除。

3.1.11 单桩竖向极限承载力标准值应通过单桩静载试验确定。当极限承载力标准值大于静载试验加载设备能力或传统静载试验条件受限时,可采用自平衡荷载试验并结合地区经验确定。

3.2 反力装置

3.2.1 静载试验的反力装置或方法可采用压重平台、锚桩横梁、反力桩、地基土、自平衡或其组合。

3.2.2 选择反力装置应遵循安全适用原则,兼顾经济合理性。应分析场地的适用性,首选单一方式。单一方式受限时,可采用两种方式的联合。应进行多方案技术、安全、造价和工期比选。试验方案设计时应预留试验过程中需要追加荷载时的措施、预留压重平台或留有压重高度的裕量。

3.2.3 静载试验反力装置可提供的反力总和不得小于预定最大试验荷载的1.2倍。

3.2.4 单桩竖向抗压静载试验宜优先选用压重平台反力装置。选用压重锚桩联合反力装置时,反力发挥应遵循先压后锚的原则,应预留能增加压重的条件,可根据试验中锚桩上拔量变化趋势及时补加压重。选用锚桩横梁反力装置时,可预留能补加压重平台的条件。

3.2.5 单桩竖向抗拔(水平)静载试验反力宜由地基土、反力桩提供。在安全有保障的前提下,也可采用工程桩作为反力桩。

3.3 仪器和设备性能

3.3.1 用于试验的仪器和设备应定期进行计量检定或校准,并确保其使用时在有效的检定或校准周期内。

3.3.2 用于试验的仪器设备应具有防止试验过程意外中断时的应急装置和措施。试验中途中断后又继续试验的,宜对试验数据做分析、说明后合理使用。

3.3.3 加载装置宜采用油压千斤顶。当采用多台千斤顶加载时,千斤顶型号和规格应相同,各千斤顶应并联同步工作。最大试验荷载下油泵、油管的工作压力不

应超过额定工作压力的 80%。常用千斤顶的性能参数见附录 A。

3.3.4 荷载测量和位移测量宜采用自动数据采集系统。

3.3.5 荷载测量系统应符合下列规定：

1 可采用压力表或压力传感器测定千斤顶油路的油压，再根据千斤顶校准结果换算成荷载，也可采用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定荷载；

2 压力表、压力传感器或荷重传感器的准确度应优于或等于 0.4 级；

3 压力表、压力传感器和荷重传感器的量程为 65MPa~100MPa；最大试验荷载对应的测量值宜控制在满量程的 80% 范围内。

3.3.6 位移测量系统应符合下列规定：

1 宜采用位移传感器(或大量程百分表、位移计)，测量误差不大于 0.1%FS，分辨力优于或等于 0.01mm；

2 可采用精密水准仪或全站仪；

3 可采用静力水准沉降测量系统。

3.3.7 自平衡荷载试验专用荷载箱的技术要求应符合行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T 403 的规定。荷载箱应符合以下规定：

1 荷载箱行程不宜小于 120mm；

2 荷载箱最大加载值对应油压值不宜超过 50MPa，出厂前必须进行试压，荷载箱空载启动压力应小于额定压力的 4%，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；

3 钻孔灌注桩荷载箱的有效面积比 ρ 应为 45%~60%（荷载箱放置在桩底时 45%~100%），挖孔灌注桩荷载箱的有效面积比 ρ 应为 45%~100%。荷载箱有效面积比应按下式计算：

$$\rho = \frac{A_h}{A_p} \times 100\% \quad (3.3.7)$$

式中： ρ ——荷载箱的有效面积比；

A_h ——荷载箱的面积（ m^2 ）；

A_p ——桩身截面面积（ m^2 ）。

3.4 测试项目和数量

3.4.1 试验桩试验宜使用钢筋计、滑动测微计、光纤等进行桩身内力测试，并应符合本标准附录 E 的规定。

3.4.2 试验桩抗压或抗拔静载试验宜监测桩端位移。可采用预埋位移管等方式进行监测，可按照本标准附录 D 中的方法安设位移管。

3.4.3 静载试验和自平衡荷载试验前后应检测静载试验桩、锚桩的桩身完整性。

3.4.4 试验桩数量应按设计或相关规范要求确定，且同类型桩不应少于 3 根。工程桩验收试验不应少于同类型桩总桩数的 1%且不少于 3 根；当工程桩总数小于 50 根时，不应少于 2 根。

3.5 试验方案

3.5.1 接受委托后，检测单位应收集下列资料、开展现场调查：

- 1 岩土工程勘察资料、桩基设计及施工资料、施工中出现的异常情况；
- 2 试验目的和委托方的具体要求；
- 3 进退场道路、试验现场环境、工期计划。

3.5.2 检测单位应根据收集到的资料和调查结果，分析试验的可行性，比选、推荐试验方法及反力装置，编制试验方案。试验方案应得到相关单位的认可。试验方案宜包含下列内容：

- 1 工程概况、工程地质条件、施工工艺；
- 2 试验目的、委托方的具体要求、桩基设计参数、由相关单位共同认可的试验方法、预计最大试验荷载、试验数量、静载试验桩抽样原则或桩位；
- 3 所需的试验仪器、机械设备、试验人员及进度安排；
- 4 桩头开挖、桩帽制作要求，场地整治、道路修筑、水电接驳等要求；
- 5 单桩竖向抗压静载试验用压重平台堆码方案、地基处理施工方案、锚桩设计施工方案、压重锚桩联合反力装置施工方案、自平衡设备安装方案，单桩竖向抗拔、水平静载试验反力装置方案；

6 需要测试桩身内力时,还应包括应力应变传感器或设备埋设安装平面(剖面)布置图和测量计算的内容;

7 加载装置、荷载测量系统、位移测量系统及其安装要点;

8 试验质量保证措施、现场设备安装和试验过程的安全生产措施。

3.5.3 工程桩试验时,静载试验桩在相关方的参与下应随机选取(自平衡法除外),符合下列情况的应优先选取:

1 施工过程中出现偏差的桩;

2 位于建筑结构重要部位或设计有特殊要求的桩;

3 工程地质条件复杂区域的桩;

4 采用不同施工工艺或不同施工单位施工的桩;

5 桩长较短、桩端持力层高程变化较大、桩端存在软弱下卧层、桩身有缺陷的桩。

3.5.4 试验开始时间应符合下列规定:

1 静载试验桩的混凝土应达到 28d 龄期或同条件养护试块达到设计强度;

2 应不小于桩周各土层的休止时间(表 3.5.4);

3 采用后注浆施工工艺的静载试验桩、锚桩,注浆后休止时间不宜少于 20 天,当掺入早强剂时,休止时间不宜小于 15 天;

4 使用锚桩时,锚桩的混凝土强度和桩侧土休止时间也应符合第 1 款和第 2 款规定;

5 使用自平衡荷载试验方法时的桩身混凝土强度不应低于设计强度的 80%。

表 3.5.4 土体休止时间

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。桩端持力层为遇水易软化的风化岩层,不应少于 28 天		

3.6 试验报告

3.6.1 试验报告应准确、清晰和客观地报告每一项试验结果。试验报告应结论明确、用词规范。

3.6.2 试验报告宜包含以下内容：

1 委托单位，委托日期，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，基础、结构型式，层数，桩基施工工艺、桩长、桩径、桩端岩土层岩性及风化程度、入岩深度，试验目的，试验依据、试验方法，试验数量，试验日期等；

2 场地工程地质情况概述；

3 静载试验桩的桩型、桩径、桩顶标高、桩长、持力层岩性及风化程度、入岩深度、桩号、桩位平面布置图和相关施工记录，桩位或其附近位置的工程地质钻孔柱状图或者剖面图；

4 锚桩及反力桩的桩长、桩径、材料强度、配筋、数量及平面布置等情况；

5 试验仪器设备、加载及卸载方式、荷载分级、试验过程描述；

6 试验数据、实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；

7 静载试验桩的单桩极限承载力、桩顶位移，评价与设计要求差异；

8 其它与试验内容相应的结论、意见和建议；

9 检测人员、报告编写人、审核人、批准人的签字，检测机构的检测专用章。

4 试验装置设计实施

4.1 一般规定

4.1.1 试验装置设计前应进行现场踏勘。应查看试验现场环境，根据试验要求检查进退场路线及道路承载能力。

4.1.2 应依据试验方案选取钢梁，钢梁（主梁及次梁）可参照附录 B 选用。试验装置设计应符合本标准附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H、附录 J、附录 K 和相关规范的规定。

4.1.3 应先施工静载试验桩，后施工锚桩、反力桩。

4.2 压重平台

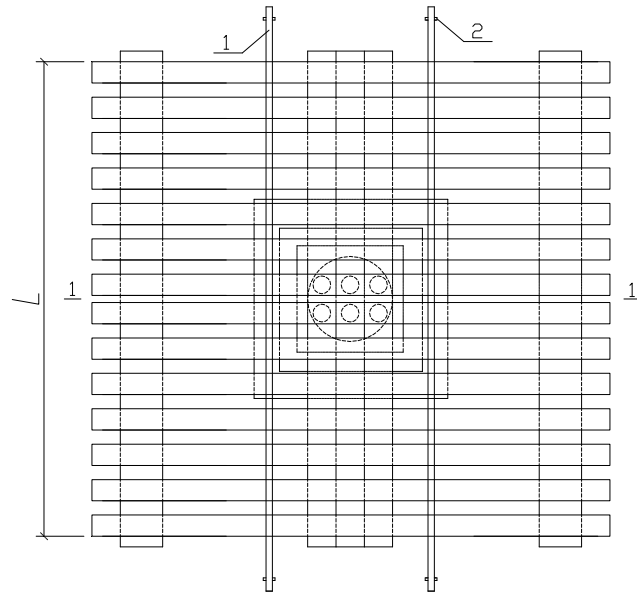
4.2.1 单独采用压重平台反力装置（图 4.2.1）时压重总荷重不宜超过 60000kN，高宽比不宜超过 1.5:1，平面宜按正方形布置。

4.2.2 压重平台施工前应制定方案，方案内容宜包括：

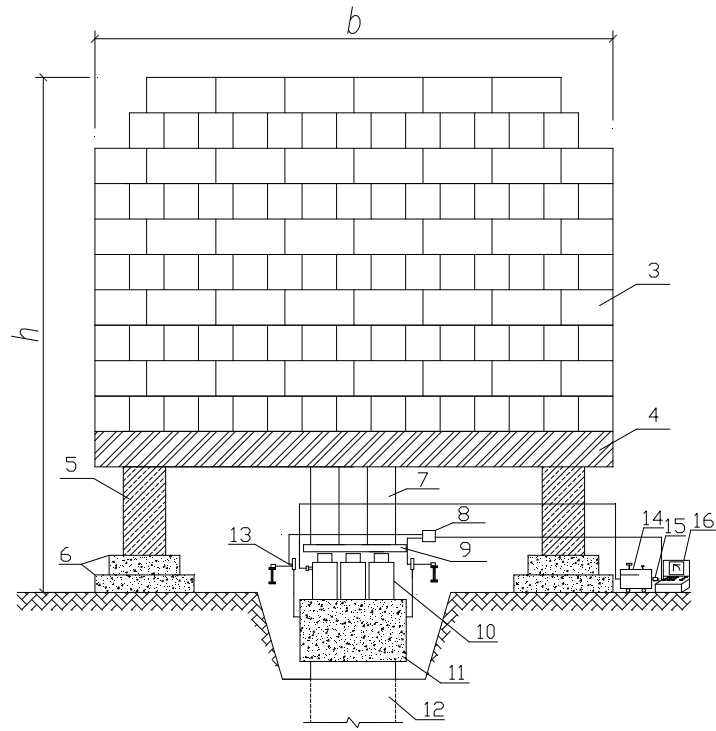
- 1 桩帽设计施工要求、千斤顶平面布置；
- 2 选用压重平台主梁、次梁的尺寸，主梁、次梁的平面、剖面布置图；
- 3 压重块的尺寸和单块重量，每层压重块的平面布置图；
- 4 压重平台支墩的平面、剖面布置图；
- 5 场地地基承载力计算书；
- 6 利用工程桩作为压重平台承重桩的桩头处理措施。

4.2.3 宜对静载试验桩桩头进行加固处理。桩头处理及桩帽设计施工除应符合本标准附录 F 的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 加固处理前应在桩头周围开挖试坑；
- 2 桩帽顶部宜高出试坑底面 50cm 以上；
- 3 应根据桩径、混凝土强度、预计最大试验荷载和千斤顶组合台数等条件进行桩帽设计施工，宜按照国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 验算桩帽混凝土局部受压和受冲切承载力。



(a) 平面图



(b) 1-1 剖面图

1—基准梁；2—基准桩；3—压重块；4—次梁；5—钢箱梁或混凝土支墩；6—钢箱板或钢筋混凝土板；7—主梁；8—控制盒；9—钢垫板；10—千斤顶；11—桩帽；12—静载试验桩；13—位移测量仪表；14—高压油泵；15—压力传感器；16—荷载测试仪； L —压重平台底座长度； b —压重平台底座宽度； h —压重平台高度

图 4.2.1 压重平台反力装置示意图

4.2.4 加载装置应符合本标准第 3.3.3 条的规定。千斤顶底面中心应与静载试验桩顶面几何中心重合。使用多台千斤顶时合力中心应与静载试验桩顶面的几何中心重合。

4.2.5 压重平台支墩应对称布置在静载试验桩两侧，压重平台荷重应作用在支墩中间位置。静载试验桩与压重平台支墩净距应大于或等于支墩宽度且大于 1.5m，当支墩宽度大于 2.5m 时，静载试验桩与压重平台支墩之间的净距可取 2.5m。

4.2.6 压重平台支墩作用于地基的压应力不应大于地基承载力特征值的 1.5 倍。地基承载力不足时宜加固处理，地基加固处理可按本标准附录 G 及深圳市技术规范《深圳市地基处理技术规范》SJG 04 进行。宜利用工程桩作为压重平台承重桩。

4.2.7 压重平台支墩可由钢筋混凝土压重块或钢箱板拼装构成。采用钢箱板支墩时应按国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定验算钢箱板受弯、受剪承载力和局部稳定性。

4.2.8 钢主（次）梁的尺寸、型号规格应相同。常用钢主（次）梁的承载能力、尺寸、计算参数等可参照本标准附录 B 选取。

4.2.9 压重堆码完毕尚未加载时钢次梁的承载力、最大试验荷载时钢主梁和次梁承载力应按国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 进行验算。次梁可按简支梁验算，主梁可按半跨悬臂梁验算；最大荷载工况下钢主（次）梁最大挠度不宜大于 $l/200$ 。

4.2.10 压重平台安装应符合下列规定：

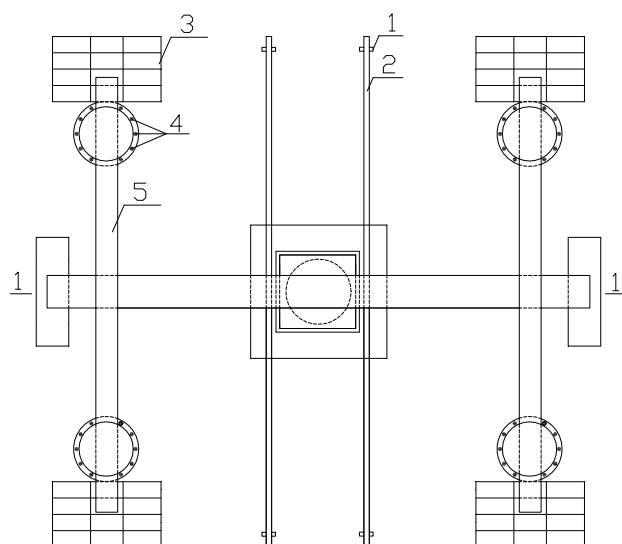
- 1 压重块应完整，没有贯穿裂缝和影响平稳堆码的缺陷；
- 2 压重块应排放整齐，块与块之间应紧挨，应逐层堆码，隔层应丁顺结合；
- 3 压重块应均匀稳固地放置于钢梁平台上；
- 4 压重平台合力中心应与静载试验桩顶面的几何中心重合；
- 5 压重块宜在试验前一次堆足；
- 6 在压重平台堆码过程中、堆码完成后至试验结束前，应对平台四角的沉降量进行监测，平台四个角的差异沉降不应大于 2%；
- 7 当差异沉降大于 2%时，应停止堆码，调整压重平台施工方案，或拆除压重平台对地基加固处理后重新堆码。

4.3 锚桩横梁

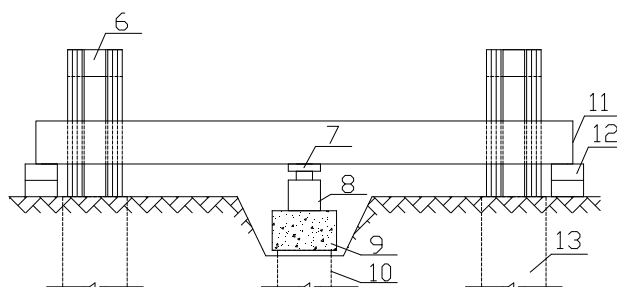
4.3.1 锚桩横梁反力装置适用于桩侧岩土层能提供足够抗拔力的场地。当锚桩提供的反力不足时，可采用压重锚桩联合反力装置。

4.3.2 锚桩布设（图 4.3.2）应符合下列规定：

- 1 锚桩数量不宜少于 4 根，宜以静载试验桩为中心对称布置；
- 2 锚桩与静载试验桩之间的中心距离应大于或等于 3 倍桩径（桩径取静载试验桩或锚桩中较大者）且大于 2.0m；
- 3 锚桩之间以及锚桩与周边区域桩的中心距离也应大于或等于 3 倍桩径且大于 2.0m。



(a) 平面图



(b) 1-1 剖面图

1—基准桩；2—基准梁；3—次梁支墩；4—连接钢筋；5—次梁；6—连接构件
7—钢垫板；8—千斤顶；9—桩帽；10—静载试验桩；11—主梁；12—主梁支墩；13—锚桩

图 4.3.2 锚桩横梁反力装置示意图

- 4.3.3 锚桩设计施工应符合附录 H 的规定。
- 4.3.4 当用工程桩作锚桩时，应由设计单位按本标准附录 H 对其符合性进行确认、并验算工程桩的抗拔承载力及抗裂性能。
- 4.3.5 静载试验桩桩头加固处理应符合本标准附录 F 的规定。
- 4.3.6 加载装置安装应符合本标准第 4.2.4 条的规定。
- 4.3.7 横梁系统宜用钢梁拼装。锚桩和横梁连接构造可采用本标准附录 J 的方式，连接构件和锚桩主筋宜采用机械连接或焊接连接。
- 4.3.8 最大试验荷载时反力平台钢梁（主梁和次梁）的承载力、整体稳定和局部稳定性及连接强度应按国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 进行验算。主、次梁宜采用简支边界条件。
- 4.3.9 采用锚具锚接方式时，应有针对钢筋被拉断、锚具失效飞出的防护、阻拦措施。

4.4 压重锚桩联合

- 4.4.1 压重锚桩联合反力装置适用于单桩竖向抗压静载试验时最大试验荷载较大、仅采用压重平台反力装置较困难、或仅采用锚桩横梁反力装置反力不足时的情形。
- 4.4.2 桩帽宜参照本标准附录 F 的规定施做。
- 4.4.3 加载装置安装应符合本标准第 4.2.4 条的规定。
- 4.4.4 锚桩宜以静载试验桩为中心对称布置，紧临压重平台的四角。静载试验桩、压重平台支墩、锚桩之间的中心距离应符合本标准第 4.2.5 条和第 4.3.2 条的规定。
- 4.4.5 反力梁和锚桩间的连接可按本标准附录 J 选用。采用锚具方式时应符合本标准第 4.3.9 条的规定。
- 4.4.6 压重平台支墩长度方向应和主梁方向平行。支墩下的地基应按方案平整或处理，地基承载力应满足本标准第 4.2.6 条的规定。
- 4.4.7 压重平台反力装置的压重总荷重不宜超过 36000kN，高宽比不应超过 1:1。连接锚桩的次梁上不宜放置压重块。
- 4.4.8 安装压重平台应符合本标准第 4.2.10 条的规定。连接有锚桩的次梁底标高

宜和压重块下的次梁底标高一致。

4.4.9 钢梁验算应符合本标准第 4.2.9 条的规定。

4.5 抗拔试验

4.5.1 试验前应依据试验方案踏勘现场、检查试验反力措施与方案的一致性。

4.5.2 采用天然地基或处理地基提供的反力时，静载试验桩中心与反力支墩边的距离应大于或等于 2 倍支墩宽度且大于 2m；反力梁的支承面中心应与支墩中心重合。应按下列公式验算反力梁支墩底部地基土上的压应力；

$$p \leq 1.5f_{ak} \quad (4.5.2-1)$$

$$p = \frac{G_1 + G_2 + Q}{A} \quad (4.5.2-2)$$

式中： p ——反力梁支座（基础）施加于地基的平均压力值（kPa）；

f_{ak} ——场地地基承载力特征值（kPa）；

G_1 ——反力梁支座（钢筋混凝土垫块）重量（kN）；

G_2 ——钢梁重量（kN）；

A ——反力梁支座（基础）的总面积（m²）；

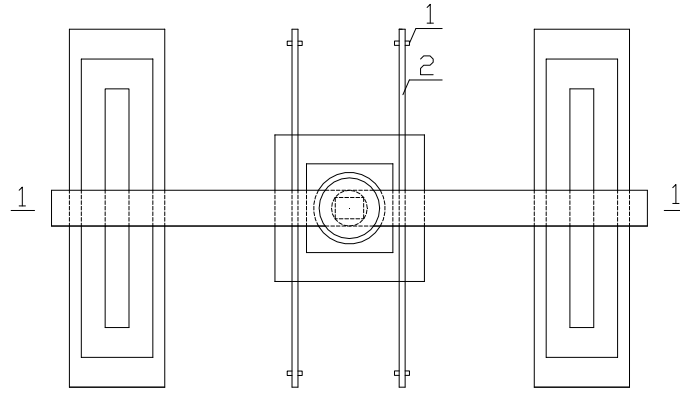
Q ——最大试验荷载（kN）。

4.5.3 采用反力桩提供支座反力时，反力桩设置应符合下列规定：

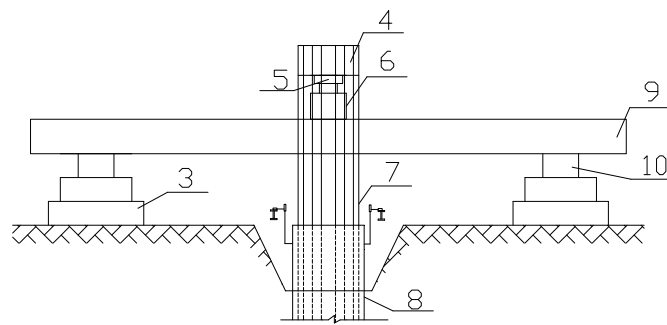
- 1 宜采用端承型桩，桩长宜超过静载试验桩；
- 2 应对称布置，静载试验桩中心和反力桩中心之间的距离应大于或等于 3 倍静载试验桩桩径或反力桩桩径且大于 2.0m；
- 3 各反力桩极限承载力之和不得小于最大试验荷载的 1.2 倍；
- 4 桩顶面应平整并具有足够的强度，荷载较大时可参照本标准附录 F 施做桩帽。

4.5.4 加载装置应符合本标准第 3.3.3 条的规定。

4.5.5 静载试验桩和反力梁连接构造可按本标准附录 J 的方式，也可使用固定式反力架、或锚板锚具连接方式（图 4.5.5）。连接构件和静载试验桩主筋宜采用机械连接或焊接连接。



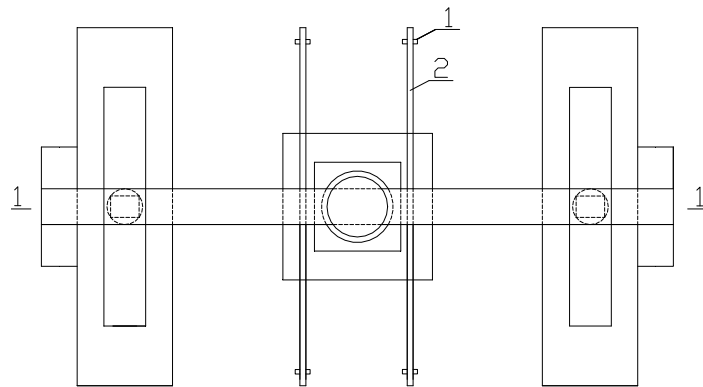
(a) 平面图



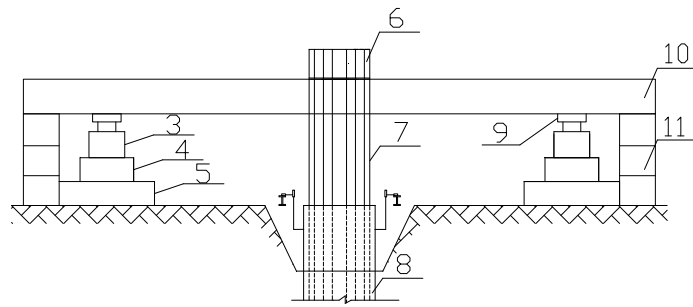
(b) 1-1 剖面图

1—基准桩；2—基准梁；3—反力支墩；4—连接构件；5—钢垫板；6—千斤顶；
7—连接钢筋；8—静载试验桩；9—主梁；10—反力梁

图 4.5.5-1 地基反力抗拔试验示意图（单千斤顶）



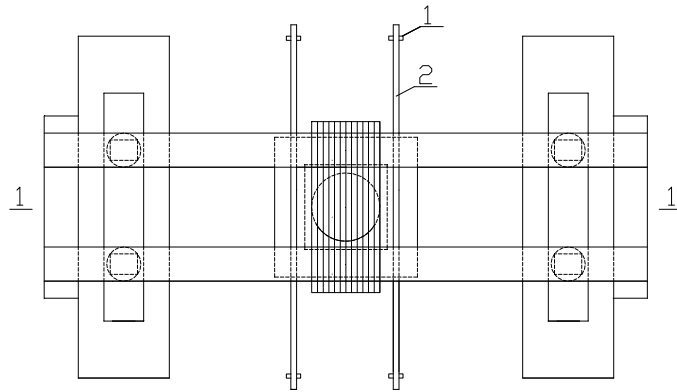
(a) 平面图



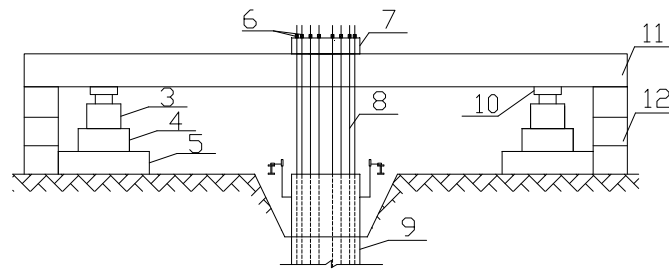
(b) 1-1 剖面图

1—基准桩；2—基准梁；3—千斤顶；4—反力梁；5—反力支墩；6—连接构件；7—连接钢筋；
8—静载试验桩；9—钢垫板；10—主梁；11—主梁支墩

图 4.5.5-2 地基反力抗拔试验示意图（双千斤顶）



(a) 平面图



(b) 1-1 剖面图

1—基准桩；2—基准梁；3—千斤顶；4—反力梁；5—反力支墩；6—锚具；7—锚板；8—连接钢筋；
9—静载试验桩；10—钢垫板；11—主梁；12—主梁支墩

图 4.5.5-3 地基反力抗拔试验示意图（4 千斤顶）

4.5.6 可按本标准第 4.3.8 条的规定验算预计最大试验荷载作用下，反力梁的受弯和受剪承载力、整体稳定性和局部稳定性。

4.6 水平试验

4.6.1 试验前依据试验方案踏勘现场，检查出露的岩土性状、桩头的开挖裸露状态、试验反力措施及反力桩。

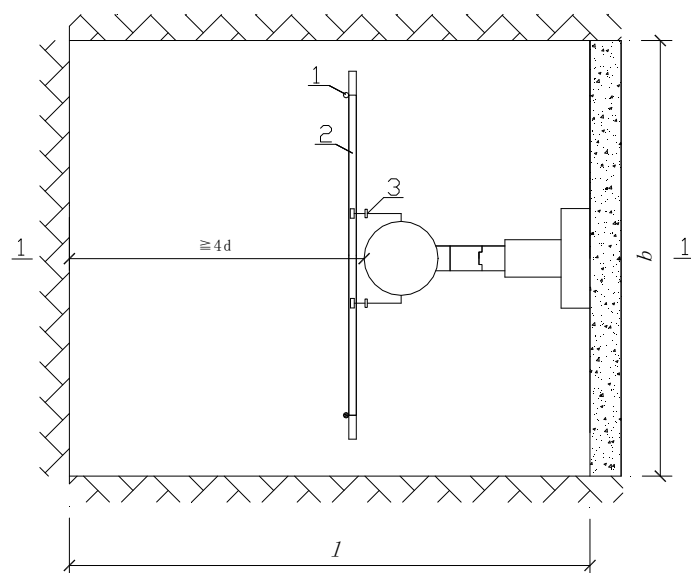
4.6.2 水平推力宜由试坑壁岩土体提供，当试坑壁岩土体反力不足时可由反力桩提供。反力系统承载能力应大于最大试验荷载的 1.5 倍，并应有足够的刚度。

4.6.3 利用坑壁岩土体作反力时，试坑设置和设备安装（图 4.6.3）应符合下列规定：

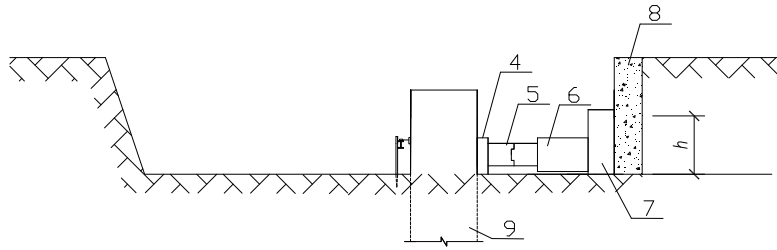
1 试坑开挖深度应和千斤顶直径、承台底标高协调确定，确保试验时千斤顶水平力作用点与承台底标高一致；

2 试坑宽度应大于 $3d$ （ d 为静载试验桩桩径）且大于 $(4+d)$ m；静载试验桩受力面背侧与坑壁的间距应不小于 $4d$ ；利用反力桩时反力桩和静载试验桩间距不少于 $3d$ ；

3 应在坑壁设置反力墙、反力板等。可采用钢筋混凝土压重块、钢板、钢梁或现浇混凝土板等，墙板与坑壁岩土体缝隙处应用混凝土或其它材料填筑密实。



(a) 平面图



(b) 1-1 剖面图

1—基准桩；2—基准梁；3—位移测量支点；4—钢垫块；5—球铰；6—千斤顶；7—反力支墩；
8—反力板（墙）；9—静载试验桩

图 4.6.3 反力板法水平静载试验装置示意图

4.6.4 反力墙的承载力宜按最大试验荷载作用下的被动土压力验算，并取不小于 1.5 的安全系数。

$$\text{被动土压力强度} \quad e_p = \gamma h k_p + 2c_k \sqrt{k_p} \quad (4.6.4-1)$$

$$\text{被动土压力系数} \quad k_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_k}{2} \right) \quad (4.6.4-2)$$

$$\text{反力} \quad F = l h e_p / k \quad (4.6.4-3)$$

式中： l ——反力板长度(m)；

h ——反力板中心点深度(m)；

k ——安全系数；

e_p ——被动土压力强度(kPa)；

k_p ——被动土压力系数；

c_k ——土黏聚力标准值；

φ_k ——土内摩擦角标准值。

4.6.5 利用反力桩时，反力桩的设置应符合下列规定：

- 1 水平刚度应大于静载试验桩、水平承载力临界值不小于最大试验荷载 1.5 倍；
- 2 与静载试验桩的净距不宜小于 2 倍静载试验桩直径；
- 3 单桩不能满足要求时，应采用双桩。

4.6.6 水平推力加载装置宜采用卧式油压千斤顶。最大试验荷载下油泵、油管的

工作压力不应超过额定工作压力的 80%。

4.6.7 水平推力作用点宜与桩基承台底面标高一致；千斤顶作用力应水平通过桩身轴线，千斤顶和试桩接触处应安置球形铰支座。

4.7 自平衡试验

4.7.1 试验前应根据静载试验桩的类型、使用要求、设计参数、最大试验荷载、施工工艺、试验要求等确定荷载箱规格、类型、埋设位置。

4.7.2 荷载箱在运输或转运过程中应正确吊装，避免箱体变形、油管接头受损，现场存放时宜采取措施保护荷载箱；安装荷载箱前应检查油嘴、油管是否完好。

4.7.3 单荷载箱的埋设位置应符合下列要求：

- 1 当计算极限端阻力小于极限侧阻力时，应埋设在桩身平衡点处；
- 2 当计算极限端阻力大于极限侧阻力时，应将荷载箱埋设于桩端，并在桩顶搭设压重平台施加相应重量的压重；
- 3 扩底桩的荷载箱宜埋设在扩大头之上；
- 4 抗拔静载试验时，荷载箱应埋设于桩端；下部反力不足时可采取加大桩长或后注浆措施。

4.7.4 双荷载箱的埋设位置宜根据地质条件、桩型及施工工艺等按照下列原则确定埋设位置区间：

- 1 上段桩承载力大于中段桩承载力；
- 2 上段桩承载力小于中段和下段桩承载力之和；
- 3 上段和中段桩承载力之和大于下段桩承载力。

4.7.5 位移杆（丝）与护套管应符合下列要求：

- 1 位移杆应具有一定的刚度，确保将荷载箱处的位移传递到地面位移测量系统；
- 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等方式，并确保不渗漏水或水泥浆；
- 3 对于双荷载箱，上、下荷载箱的位移杆（丝）、声测管等布局均需一致，便于上下统一安装；并应保持上、下荷载箱垂直度偏差不大于 1° ，便于导管通过；
- 4 当护套管兼做箱体位置局部注浆管时，尚应满足注浆管的要求。

4.7.6 荷载箱安装应符合本标准附录 K 的规定。

4.7.7 桩头超灌部分宜在试验后再破除。当必须试验前破除桩头时，应有可靠措施避免位移管和油管受损。

5 单桩竖向抗压静载试验

5.1 一般规定

5.1.1 试验桩试验时反力装置应能提供不小于 1.2 倍预估单桩竖向抗压极限承载力的荷载；

5.1.2 工程桩试验时反力装置应能提供不小于 2.4 倍单桩竖向抗压承载力特征值的荷载。

5.1.3 工程桩试验时最大试验荷载不应小于设计要求的单桩竖向抗压承载力特征值的 2.0 倍。

5.2 仪器设备安装

5.2.1 反力装置、加载装置应符合本标准第 4.1 至第 4.4 节的相关要求。

5.2.2 沉降测量基准系统安装应符合下列规定：

1 基准桩和静载试验桩、压重平台支墩边、锚桩之间的中心距离应符合表

5.2.2 的规定；

表 5.2.2 基准桩和静载试验桩、压重平台支墩、锚桩之间的中心距离

反力装置	压重平台	锚桩横梁	压重锚桩联合
基准桩与静载试验桩中心距离	$\geq 3d$ 且 $>2.0\text{m}$	$\geq 3d$ 且 $>2.0\text{m}$	$\geq 3d$ 且 $>2.0\text{m}$
基准桩与锚桩中心距离	\	$\geq 3d$ 且 $>2.0\text{m}$	$\geq 4d$ 且 $>2.0\text{m}$
基准桩与压重平台支墩净距离	$\geq 1.5B$ 且 $>2.0\text{m}$	\	$\geq 1.5B$ 且 $>2.0\text{m}$

注： d 为静载试验桩、锚桩设计直径，取其较大者。 B 为支墩宽度

2 基准桩宜采用刚度大的钢管，应牢固设置在稳定土层；

3 基准梁宜采用刚度大的桁架梁或格构梁，基准梁在自重状态下挠度应小于 $3l/1000$ (l 为基准梁支撑跨度)；梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；

4 基准桩、基准梁和固定沉降测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其它外界因素的影响。

5.2.3 沉降测量系统应符合本标准第 3.3.6 条的规定。应对称安置 4 个沉降测量

仪表并固定于基准梁上。

5.2.4 沉降测定平面宜设置在桩顶以下 200mm 的位置，测点应固定在桩身上。

有桩帽时，测点可设置在桩帽顶面。

5.2.5 基准桩沉降宜在各级荷载施加前和卸载前采用水准测量装置观测，基准点宜设置在稳定的位置，可架设在周边的桩顶上，水准测量装置分辨力宜达到 0.1mm。

5.2.6 使用锚桩横梁反力装置试验时应监测锚桩上拔量，当上拔量变化加快时，应采取补加荷载等措施。

5.2.7 荷载测量系统应符合本标准第 3.3.5 条的规定。

5.3 加卸荷与量测

5.3.1 试验加载应采用慢速维持荷载法，并同步测读数据。

5.3.2 试验加载、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，分级荷载宜为最大试验荷载或预估单桩竖向抗压极限承载力的 1/10，其中第一级可取分级荷载的 2.0 倍；

2 卸载应分级进行，采用逐级等量卸载，每级卸载量取加载时分级荷载的 2.0 倍；

3 加载、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 $\pm 10\%$ 。

5.3.3 慢速维持荷载法试验步骤应符合下列规定：

1 每级荷载施加完毕后按第 0、5、15、30、45、60min 测读桩顶沉降量，以后每隔 30min 测读一次；

2 沉降相对稳定标准：每 1h 内的桩顶沉降量不超过 0.1mm；

3 当桩顶沉降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，按第 15、30、60min 测读桩顶沉降量后，即可卸至下一级荷载，卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，维持时间为 3h，按第 15、30min 测读一次，以后每隔 30min 测读一次。

5.3.4 当对基准桩监测时，应同时测读桩顶沉降量和基准桩的竖向位移，桩顶的实际沉降量应根据基准桩的竖向位移测读值和桩顶沉降量的测读值确定。

5.3.5 当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 某级荷载作用下，桩顶沉降量增量大于前一级荷载作用下沉降量增量的 5 倍，且桩顶总沉降量已超过 80mm；

2 某级荷载作用下，桩顶沉降量增量大于前一级荷载作用下沉降量增量的 2 倍，且经 24h 尚未达到相对稳定标准；

3 当荷载-沉降 ($Q-s$) 曲线呈缓变型，可加载至桩顶沉降量 80mm；

4 已达到最大试验荷载。

5.3.6 试验过程中，当出现下列情况之一而提前终止试验时，试验结果不得作为验收依据。

1 由于加载系统漏油等原因，无法继续施加荷载；

2 压重平台钢梁弯曲变形或倾斜明显等原因，继续施加荷载可能导致反力装置失稳；

3 桩帽开裂、破损；

4 已达反力装置的最大承载能力，锚桩上拔位移速率变大；

5 当采用工程桩作锚桩时，锚桩上拔量已达到允许值。

5.4 数据分析与判定

5.4.1 试验结束后应绘制荷载-沉降 ($Q-s$)、沉降-时间对数 ($s-lgt$) 曲线。也可绘制其它辅助分析曲线，以及对应数据表。

5.4.2 单桩竖向抗压极限承载力可按下列方法综合分析确定：

1 根据沉降随荷载变化的下列特征确定：在某级荷载下 $Q-s$ 曲线发生明显陡降时取前一级荷载值；或取 $s-lgt$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；

2 出现本标准第 5.3.5 条第 2 款情况，取前一级荷载值；

3 $Q-s$ 曲线为缓变型时，可根据沉降量确定，可取 $s=0.05D$ (D 为桩端直径) 且嵌岩桩 $s \geq 60\text{mm}$ 、非嵌岩桩 $s \geq 80\text{mm}$ 对应的荷载值，当桩长大于 25m 时，宜

考虑桩身弹性压缩量，但单桩竖向抗压极限承载力对应的总沉降量不宜大于80mm；

4 工程桩在最大试验荷载下，未出现以上三款情况，且桩顶沉降达到相对稳定标准时，取最大试验荷载。

5.4.3 试验桩的单桩竖向抗压极限承载力的统计取值应符合下列规定：

1 数量不大于3根或桩基承台下的桩数不大于3根时，应取低值；

2 数量为4或5根，当极差不超过平均值的30%时可取其算术平均值，当极差超过平均值的30%时应结合桩型、施工工艺、工程地质条件、基础形式等具体情况分析原因综合确定，不能明确极差过大的原因时，宜增加试验桩数量；

3 数量大于或等于6根时，取用统计方法计算的标准值。

5.4.4 单桩竖向抗压承载力特征值应按单桩竖向抗压极限承载力的50%取值。

5.4.5 试验报告除应符合本标准第3.6.2条的规定外，尚应包括以下内容：

1 反力装置类型、压重平台总重量、锚桩横梁反力装置中反力梁平面布置图；

2 本标准第5.4.1条要求绘制的曲线及对应的数据表。

5.4.6 当 $Q-s$ 曲线形态异常时，可结合试验前后桩身完整性检测结果，对静载试验桩的桩身质量和承载能力进行综合分析评价，并对桩身存在缺陷在试验报告中予以说明。

6 单桩竖向抗拔静载试验

6.1 一般规定

6.1.1 试验桩试验时反力装置应能提供不小于 1.2 倍预估单桩竖向抗拔极限承载力的荷载，工程桩试验时提供的荷载应不小于 1.2 倍最大试验荷载。

6.1.2 试验桩施工时宜进行成孔质量检测，桩孔中、下部位有明显扩径现象时（设计有扩径、扩底要求的除外），成桩后不宜作为抗拔试验桩。试验桩单桩竖向抗拔静载试验宜加载至桩侧阻力达到极限状态或桩身材料达到设计强度。

6.1.3 工程桩试验时最大试验荷载不应小于设计要求的单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍，或使桩顶产生的上拔量达到设计要求的限值。对不允许带裂缝工作的工程桩可取设计方提供的最大试验荷载，但不宜低于特征值的 1.2 倍。

6.2 仪器设备安装

6.2.1 反力装置、加载装置应符合本标准第 4.1 节和第 4.6 节的相关要求。

6.2.2 上拔量测量基准系统安装应符合下列规定：

1 基准桩和静载试验桩、反力桩、反力支墩边之间的距离应符合表 6.2.2 的规定。

表 6.2.2 基准桩和静载试验桩、反力桩、反力支墩之间距离

反力装置	反力桩	反力支墩
基准桩与静载试验桩中心距离	$\geq 3d$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 3d$ 且 $> 2.0\text{m}$
基准桩与反力桩中心距离	$\geq 3d$ 且 $> 2.0\text{m}$	\
基准桩与反力支墩净距离	\	$\geq 1.5B$ 且 $> 2\text{m}$

注： d 为静载试验桩或反力桩设计直径，当静载试验桩或反力桩为扩底桩时， d 取扩底直径；
 B 为反力支墩宽度

- 2 基准桩宜采用刚度大的钢管，应牢固设置在稳定土层；
- 3 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；
- 4 基准桩、基准梁和固定沉降测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其

它外界因素的影响。

6.2.3 上拔量测量系统应符合本标准第 3.3.6 条的规定。应对称安置 4 个上拔量测量仪表并固定于基准梁上。

6.2.4 上拔量测量点可设置在钢筋笼内侧的桩顶面混凝土上或由非受力钢筋引出。

6.2.5 基准桩位移监测可按本标准第 5.2.5 条执行。

6.2.6 上拔荷载应作用在静载试验桩主筋上, 根据桩径和最大试验荷载合理选择连接构件连接反力装置。需要接长主筋时, 应使用同规格的钢筋搭接焊接; 使用锚具锚接时, 应有可靠遮挡措施阻拦突然失效飞出的锚具或拉断的钢筋。

6.2.7 荷载测量系统应符合本标准第 3.3.5 条的规定。

6.3 加卸荷与量测

6.3.1 加载宜采用慢速维持荷载法, 并同步测读数据。慢速维持荷载法的加卸载方式、试验步骤应符合本标准第 5.3.2 条和第 5.3.3 条的有关规定; 对不允许带裂缝工作的工程桩, 试验过程中应仔细观察桩身混凝土开裂情况。

6.3.2 当对基准桩监测时, 应同时测读桩顶上拔量和基准桩的竖向位移, 桩顶的实际上拔量应根据基准桩的竖向位移测读值和桩顶上拔量的测读值确定。

6.3.3 当最大试验荷载不小于设计要求的单桩竖向抗拔力特征值的 2.0 倍, 并符合下列情况之一时, 可终止加载:

- 1 已达到最大试验荷载, 桩顶上拔速率达到相对稳定标准;
- 2 在某级荷载作用下, 桩顶上拔量大于前一级上拔荷载作用下上拔量的 5 倍且累计上拔量大于 15mm;
- 3 累计桩顶上拔量超过 100mm。

6.3.4 对不允许带裂缝工作的工程桩, 符合下列情况之一时, 可终止加载:

- 1 已达到设计提供的最大试验荷载, 桩顶上拔位移速率达到相对稳定标准, 且桩身混凝土未出现开裂情况;
- 2 在某级荷载作用下, 桩顶上拔量大于前一级上拔荷载作用下的上拔量的 5

倍；

3 在某级荷载作用下，桩身混凝土出现开裂情况。

6.3.5 当工程桩验收抗拔静载试验出现本标准第 6.3.3 条第 2 款和第 3 款情形、后续仍需作为工程桩使用时，应测定其残余承载力。嵌岩桩残余承载力可在试验后进行再重新加载试验，非嵌岩桩可在桩侧土休止期后再次试验。

6.4 数据分析与判定

6.4.1 试验结束后应绘制上拔荷载-桩顶上拔量 ($U-\delta$) 关系曲线、桩顶上拔量-时间对数 ($\delta-\lg t$) 关系曲线。

6.4.2 单桩竖向抗拔极限承载力可按下列方法综合分析确定：

- 1 当出现本标准第 6.3.3 条第 1 款情况时，可取最大试验荷载；
- 2 当出现本标准第 6.3.3 条第 2 款情况时，可取前一级荷载值。

6.4.3 试验桩单桩竖向抗拔极限承载力，可按本标准第 5.4.3 条的统计方法确定。

6.4.4 单桩竖向抗拔承载力特征值应按单桩竖向抗拔极限承载力的 50%取值。

6.4.5 对不允许带裂缝工作的工程桩，试验结果的判定应符合下列规定：

1 当出现本标准第 6.3.4 条第 1 款情况时，可判定单桩竖向抗拔静载试验结果满足设计验收要求；

2 当出现本标准第 6.3.4 条第 2、3 款情况时，可判定单桩竖向抗拔静载试验结果不满足设计验收要求。

6.4.6 试验报告除应符合本标准第 3.6.2 条的规定外，尚应包含以下内容：

- 1 静载试验桩尺寸（宜绘制孔径曲线）及配筋情况；
- 2 本标准第 6.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表。

7 单桩水平静载试验

7.1 一般规定

7.1.1 单桩水平静载试验适应于确定桩顶自由条件下的单桩水平承载力。其它类型的单桩水平静载试验也可按本方法执行。

7.1.2 试验桩水平静载试验应加载至桩身破坏或桩顶水平位移达到 30mm（桩侧上部为软土时取 40mm），并获得水平临界荷载和水平极限承载力。试验桩不宜作为工程桩使用。

7.1.3 对工程桩试验，最大试验荷载宜由设计确定，但不应小于设计要求的单桩水平承载力特征值的 1/0.75（或单桩水平临界荷载）。

7.2 仪器设备安装

7.2.1 反力装置、加载装置应符合本标准第 4.6 节的要求。

7.2.2 水平位移测量基准系统安装应符合下列规定：

1 基准桩应设置在与静载试验桩位移相反的桩侧面，基准桩与静载试验桩净距不应小于 1 倍桩径且不宜小于 2m；

2 基准桩宜采用刚度大的钢管，应牢固设置在稳定土层；

3 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，基准梁应与水平作用力方向垂直；

4 基准桩、基准梁和固定位移测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其它外界因素的影响。

7.2.3 水平位移测量系统应符合本标准第 3.3.6 条的规定。应在水平力作用平面的静载试验桩两侧对称安装两个水平位移传感器；当需要测量桩顶转角时，尚应在水平力作用平面以上 500mm 的桩两侧对称安装两个水平位移传感器。

7.2.4 荷载测量系统应符合本标准第 3.3.5 条的规定。

7.3 加卸荷与量测

7.3.1 加载宜采用慢速维持荷载法。慢速维持荷载法的加卸载方式、试验步骤应符合本标准第 5.3.2 条和第 5.3.3 条的有关规定。

7.3.2 也可根据工程桩实际受力工况,选用单向多循环加载方式或设计要求的其它加载方式。采用单向多循环加载方式,试验加载、卸载方式和水平位移测量应符合下列规定:

1 应分级、逐级等量加载,分级荷载宜为预估单桩水平极限承载力或最大试验荷载的 1/10;

2 每级荷载施加后,恒载 4min 后可测读水平位移,然后卸载至零,停 2min 测读残余水平位移,至此完成一个加卸载循环;

3 每级荷载如此循环 5 次,试验不得中间停顿。

7.3.3 当出现下列情况之一时,可终止加载:

1 桩身折断;

2 水平位移达到设计要求的水平位移允许值;

3 当设计未规定水平位移最大控制值时,水平位移超过 30mm (软土中的桩或大直径桩不超过 40mm)。

4 荷载已达到最大试验荷载,并完成了加卸载全过程。

7.4 数据分析与判定

7.4.1 试验数据处理应符合下列规定:

1 采用慢速维持荷载法时,应绘制水平力-力作用点的水平位移($H-Y_0$)曲线、水平力-位移梯度($H-\Delta Y_0/\Delta H$)曲线、力作用点的水平位移-时间对数($Y_0-\lg t$)曲线和水平力-力作用点的水平位移双对数($\lg H-\lg Y_0$)曲线;

2 采用单向多循环加载方式时,应绘制水平力-时间-力作用点的水平位移($H-t-Y_0$)曲线和水平力-位移梯度($H-\Delta Y_0/\Delta H$)曲线。

7.4.2 单桩水平临界荷载可按下列方法综合分析确定:

1 取慢速维持荷载法 $H-Y_0$ 曲线或单向多循环加载法 $H-t-Y_0$ 曲线出现拐点时

的前一级水平荷载值；

- 2 取 $H-\Delta Y_0/\Delta H$ 曲线或 $\lg H-\lg Y_0$ 曲线上第一拐点对应的水平荷载值。

7.4.3 单桩水平极限承载力可按下列方法综合确定：

- 1 取桩身折断或受拉钢筋屈服时的前一级水平荷载值；
- 2 取慢速维持荷载法的 $H-Y_0$ 曲线发生明显陡降的起始点对应的水平荷载值，或 $Y_0-\lg t$ 曲线尾部出现明显弯曲的前一级水平荷载值；

3 取单向多循环加载法的 $H-t-Y_0$ 曲线发生明显陡降的起始点对应的水平荷载值；

- 4 取 $H-\Delta Y_0/\Delta H$ 曲线或 $\lg H-\lg Y_0$ 曲线上第二拐点对应水平荷载值；

5 对工程桩试验，荷载已达到最大试验荷载且桩顶水平位移达到相对稳定标准、完成了加卸载全过程的，可取最大试验荷载。

7.4.4 试验桩的水平极限承载力和水平临界荷载，可按本标准第 5.4.3 条的统计方法确定。

7.4.5 单桩水平承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 当桩身不允许开裂或灌注桩的桩身配筋率小于 0.65% 时，取水平临界荷载的 0.75 倍；

2 当桩身允许开裂或桩身配筋率不小于 0.65% 的灌注桩，也可取设计桩顶标高处水平位移规定值所对应荷载的 0.75 倍，对水平位移敏感建筑物取 6mm 对应的试验荷载值，对水平位移不敏感的建筑物取 10mm 对应的试验荷载值；且不大于裂缝宽度控制要求。

3 对工程桩试验，荷载已达到设计要求的最大试验荷载，且桩顶水平位移达到相对稳定标准时，可取最大试验荷载除以设计采用的安全系数。

7.4.6 试验报告除应符合本规程第 3.6.2 条的规定外，还应包含以下内容：

- 1 静载试验桩的截面尺寸及配筋情况；
- 2 本标准第 7.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表。

8 自平衡荷载试验

8.1 一般规定

- 8.1.1 本试验适用于确定单桩竖向抗压、抗拔承载力。
- 8.1.2 试验桩最大等效试验荷载宜为计算极限承载力的 1.2~1.5 倍。采用单荷载箱时荷载箱以上的反力不应小于预定最大试验荷载的 0.6 倍，反力不足时可采用压重荷载补偿。试验桩也可采用双荷载箱。
- 8.1.3 工程桩验收试验时最大等效试验荷载不应小于设计要求的单桩竖向抗压（拔）承载力特征值的 2.0 倍。工程桩验收试验宜采用单荷载箱。
- 8.1.4 有效桩长较短的不宜采用自平衡荷载试验进行抗压承载力试验。
- 8.1.5 桩端持力层是残积土、遇水软化强风化岩时不宜直接在设计桩端位置安装荷载箱进行抗拔承载力试验。
- 8.1.6 对于工程桩验收试验，自平衡荷载试验完成后应在荷载箱位置进行后注浆处理。

8.2 仪器设备安装

- 8.2.1 位移测量基准系统安装应符合下列规定：
- 1 基准桩与静载试验桩中心之间的距离应大于或等于 3 倍桩径且不小于 2.0m；
 - 2 基准桩宜采用刚度大的钢管，应牢固设置在稳定土层；
 - 3 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；
 - 4 基准桩、基准梁和固定沉降测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其它外界因素的影响。
- 8.2.2 位移测量系统应符合本标准第 3.3.6 条的规定。应同时设置荷载箱向上位移、荷载箱（或桩底）向下位移及桩顶位移三组测定平面，每组不少于 2 点，各组测点应对称布置。
- 8.2.3 荷载测量系统应符合本标准第 3.3.5 条的规定。

8.3 加卸荷与量测

8.3.1 应采用慢速维持荷载法加载和测读数据。慢速维持荷载法的加卸载方式、试验步骤、位移测量应符合本标准第 5.3.2 条和第 5.3.3 条的有关规定。采用双荷载箱时，宜先进行下荷载箱加载，后进行上荷载箱加载。

8.3.2 抗压试验当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 某级荷载作用下，荷载箱向上位移或荷载箱向下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~60mm；

2 某级荷载作用下，荷载箱向上位移或荷载箱向下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 当荷载-位移 ($Q-s$) 曲线呈缓变型时，可加载至荷载箱向上位移总量为 40mm~60mm，或向下位移总量可加载至 60mm~80mm（嵌岩桩取 60mm、非嵌岩桩取 80mm）；

4 荷载已达荷载箱加载极限，或荷载箱张开位移已超过荷载箱行程；

5 已达到最大试验荷载，荷载箱向上（下）位移达到相对稳定标准。

8.3.3 抗拔试验当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 在某级荷载作用下，荷载箱向上位移增量大于前一级荷载位移增量的 5 倍，且总位移量超过 40mm~60mm。

2 累计荷载箱向上位移量超过 100mm。

3 已达到最大试验荷载，荷载箱向上位移达到相对稳定标准。

8.4 数据分析与判定

8.4.1 应绘制荷载-位移 ($Q-s$)、位移-时间对数 ($s-lgt$) 曲线，也可绘制其它辅助分析曲线。

8.4.2 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 当出现第 8.3.2 条第 1 款或第 2 款情况时，宜取前一级荷载值；

2 当出现第 8.3.3 条第 1 款情况时，宜取前一级荷载值；

3 对缓变型荷载-位移 ($Q-s$) 曲线可根据位移量确定，上段桩极限加载值

取位移为 40mm 对应的荷载；下段桩极限加载值，嵌岩桩可取 $s=0.05D$ (D 为桩端直径) 且 s 不大于 60mm 对应的荷载值，非嵌岩桩，可取 $s=0.05D$ (D 为桩端直径) 且 s 不大于 80mm 对应的荷载值；当桩长大于 25m 时，宜考虑桩身弹性压缩量，但单桩竖向抗压极限承载力对应的总沉降量不宜大于 80mm；

4 当按本条第 1~3 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 (Q_{uu}) 和下段桩极限加载值 (Q_{ud})。

8.4.3 自平衡荷载试验测得的荷载-位移 ($Q-s$) 曲线宜等效转换为传统静载试验的荷载-位移 ($Q-s$) 曲线，转换方法应符合本标准附录 L 的规定。

8.4.4 根据静载试验桩的极限加载值，按下式计算极限承载力：

1 单桩竖向抗压承载力

单荷载箱：

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - W}{\gamma_1} + Q_{ud} \quad (8.4.4-1)$$

双荷载箱：

$$Q_u = \frac{Q_{uu} - W}{\gamma_1} + Q_{um} + Q_{ud} \quad (8.4.4-2)$$

2 单桩竖向抗拔承载力

$$Q_u = \frac{Q_{uu}}{\gamma_2} \quad (8.4.4-3)$$

式中： Q_u ——单桩竖向极限承载力 (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，附加重量包括桩顶配重或设计桩顶以上超灌高度的重量、空桩段泥浆或回填土自重，地下水位以下应取浮重 (kN)；

γ_1 ——抗压摩阻力转换系数； γ_1 宜根据实际情况通过相近条件的比对试验和经验确定。当无可靠比对试验资料和经验时， 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。

γ_2 ——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经验确定，但不得小于 1.1。

8.4.5 试验桩竖向极限承载力，可按本标准第 5.4.3 条的统计方法确定。

8.4.6 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。

8.4.7 试验报告除应符合本标准第 3.6.2 条的规定外，尚应包含以下内容：

- 1 荷载箱参数、荷载箱位置以及相关施工记录；补偿压重重量；
- 2 本标准规程第 8.4.1 条和第 8.4.3 条要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 3 测试分层侧阻力和端阻力的传感器类型、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。

附录 A 常用千斤顶参数表

A.0.1 常用千斤顶的型号、性能参数见表 A.0.1。

表 A.0.1 常用千斤顶参数表

型号	起重量 (t)	起重高度 (mm)	最低高度 (mm)	油缸外径 (mm)	活塞杆径 (mm)	工作压力 (MPa)	重量 (kg)
QF100T-12.5b	100	125	291	172	100	63.7	45
QF100T-16b	100	160	326	172	100	63.7	49
QF100T-20b	100	200	366	172	100	63.7	55
QF200T-12.5b	200	125	321	244	150	62.4	99
QF200T-16b	200	160	356	244	150	62.4	108
QF200T-20b	200	200	396	244	150	62.4	118
QF320T-20b	320	200	427	315	180	63.9	213
QF500T-20b	500	200	475	395	250	60.9	393
QF630T-20b	630	200	536	450	280	60.7	580
QF800T-20	800	200	577	550	320	62.4	1068
QF1000T-20	1000	200	620	600	360	61.6	1200
QF100T-200	100	200	360	185	140	63.8	55
QF150T-200	150	200	380	230	180	60	105
QF200T-200	200	200	390	265	200	62.5	120
QF320T-200	320	200	415	320	250	65	192
QF400T-200	400	200	450	348	280	64	245
QF500T-200	500	200	475	398	320	61	420
QF630T-200	630	200	510	450	360	61.9	595
QF800T-200	800	200	568	545	400	63.7	915
QF1000T-200	1000	200	610	600	450	62.9	1320
QF100-20	100	200	370	180	100	63.7	53
QF200-20	200	200	402	273	140	62.4	135
QF320-20	320	200	465	325	180	63.9	236
QF500-20	500	200	530	426	250	60.9	515
QF630-20	630	200	545	480	280	60.7	690
QF800-20	800	200	580	550	320	62.4	955
QF1000-20	1000	200	630	600	360	61.6	1280

附录 B 常用反力梁参数图表

B.0.1 常用钢主（次）梁的力学、几何参数见表 B.0.1 和表 B.0.2。

表 B.0.1 等截面钢箱梁参数表

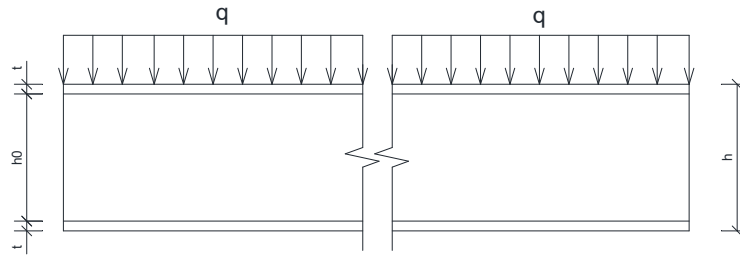
序号	钢梁 编号	截 面 类 型	承 载 力 (kN)	长×宽×高 (m)	材 质 编 号	自 重 (t)	挠度值 (mm)		几何尺寸 (mm)							截面参数						锚桩法 (工况III)	
							工 况 I	工 况 II	h	h ₀	b	b ₀	t _w	t _{w0}	t	A (mm ²)	I _x (mm ⁴)	W _x (mm ³)	I _y (mm ⁴)	W _y (mm ³)	S _x (mm ²)	承载力 (kN)	挠度 值 (mm)
1	14-4000 D	2	4000	14×0.5×1.0	Q345	13.8	27	29	1000	920	500	380	30	30	40	95200	1.31×10 ¹⁰	2.62×10 ⁷	3.16×10 ⁹	1.26×10 ⁷	1.59×10 ⁷	2000	27
2	14-3000 D	2	3000	14×0.5×0.9	Q345	12.4	29	30	900	830	500	380	30	30	35	84800	9.41×10 ⁹	2.09×10 ⁷	2.83×10 ⁹	1.13×10 ⁷	1.27×10 ⁷	1600	30
3	14-2000 D	2	2000	14×0.4×0.85	Q345	9.3	27	28	850	780	400	290	25	25	35	67000	6.63×10 ⁹	1.56×10 ⁷	1.34×10 ⁹	6.71×10 ⁶	9.51×10 ⁶	1000	26
4	12-10000 D	1	10000	12×0.6×1.4	Q345	20.6	13	/	1400	1320	600	480	30	30	40	166800	3.95×10 ¹⁰	5.64×10 ⁷	6.60×10 ⁹	2.20×10 ⁷	3.59×10 ⁷	5500	14
5	12-4000D	2	4000	12×0.5×0.9	Q345	10.6	24	22	900	830	500	380	30	30	35	84800	9.41×10 ⁹	2.09×10 ⁷	2.83×10 ⁹	1.13×10 ⁷	1.27×10 ⁷	2000	22
6	12-3000 D	2	3000	2×0.45×0.85	Q345	8.5	23	22	850	780	450	340	25	25	35	70500	7.21×10 ⁹	1.70×10 ⁷	1.83×10 ⁹	8.14×10 ⁶	1.02×10 ⁷	1500	21
7	12-2000 D	2	2000	12×0.4×0.8	Q345	6.3	23	21	800	740	400	300	20	20	30	53600	4.91×10 ⁹	1.23×10 ⁷	1.08×10 ⁹	5.39×10 ⁶	7.36×10 ⁶	1000	21
8	10-10000D	1	10000	10×0.55×1.2	Q345	14.6	11	/	1200	1120	550	430	30	30	40	144800	2.53×10 ¹⁰	4.22×10 ⁷	4.67×10 ⁹	1.70×10 ⁷	2.69×10 ⁷	5000	10
9	10-4000 D	2	4000	10×0.45×0.9	Q345	7.4	15	13	900	830	450	340	25	25	35	73000	8.28×10 ⁹	1.84×10 ⁷	1.92×10 ⁹	8.52×10 ⁶	1.11×10 ⁷	2100	13
10	10-3000D	2	3000	10×0.4×0.85	Q345	5.5	16	14	850	790	400	300	20	20	30	55600	5.68×10 ⁹	1.34×10 ⁷	1.13×10 ⁹	5.65×10 ⁶	8.04×10 ⁶	1500	14
11	10-2000D	2	2000	10×0.4×0.8	Q345	5.0	14	12	800	750	400	300	20	20	25	50000	4.41×10 ⁹	1.10×10 ⁷	1.04×10 ⁹	5.18×10 ⁶	6.69×10 ⁶	1200	14
12	8-8000D	1	8000	8×0.5×1.0	Q345	8.9	7	\	1000	840	450	410	20	20	80	122400	1.82×10 ¹⁰	3.65×10 ⁷	2.77×10 ⁹	1.23×10 ⁷	2.19×10 ⁷	5500	6
13	9.6-10000D	1	10000	9.6×0.5×1.2	Q345	12.5	9	\	1200	1040	500	460	20	20	80	142400	3.08×10 ¹⁰	5.13×10 ⁷	4.06×10 ⁹	1.63×10 ⁷	3.05×10 ⁷	5800	9
14	12-2000D	2	2000	12×0.4×0.8	Q345	5.2	28	27	800	760	400	360	20	20	20	46400	3.90×10 ⁹	0.97×10 ⁷	1.31×10 ⁹	6.56×10 ⁶	6.01×10 ⁶	800	21

注：1 钢箱梁编号规则为钢梁长度（m）—承载能力（kN）—D（等截面）；

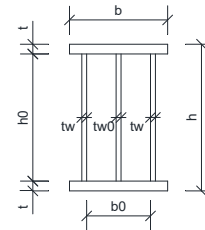
2 符号说明： h —截面全高、 b —翼缘板外伸宽度、 t —翼缘厚度、 t_w —两侧腹板厚度、 t_{w0} —中间腹板厚度、 h_0 —腹板计算高度、 b_0 —翼缘板在腹板之间无支撑宽度、 A —截面面积、 I —截面惯性矩、 W —截面模量、 S_0 —面积矩（计算点在翼缘）、 S_x —面积矩（计算点在主轴）；

3 截面示意图不包括钢梁内部加强构造部件；

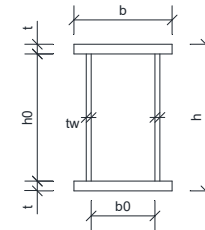
4 工况I指加载至最大荷载时的工况；工况II指在堆载已完成但还没有开始加载的工况；工况III指锚桩法距离梁端1米承受集中荷载。



等截面钢箱梁示意图



截面类型 1 示意图



截面类型 2 示意图

表 B.0.2 变截面钢箱梁参数表

序号	钢箱梁 编号	截面 编号	距梁端 部距离 (m)	截 面 类 型	承载力 (kN)	长×宽×高 (m)	材质 编号	自重 (t)	挠度值 (mm)		截面几何参数(mm)								截面计算参数				锚桩法 (工况III)		
									工况 I	工况 II	h	b	t	tw	tw ₀	h ₀	b ₀	A (mm ²)	I(mm ⁴)	W (mm ³)	S ₀ (mm ³)	S _x (mm ³)	承载力 (kN)	挠度值 (mm)	
1	14-15000B	1-1	0~3	2	15000	14×0.6×1.5	Q390	18.1	28.56	/	1500	600	35	35	16	0	1430	368	87760	2.84×10 ¹⁰	3.78×10 ⁷	1.54×10 ⁷	2.36×10 ⁷	7000	28.97
		2-2	3~4	2									65	“35+30”	16	0	1370	368	121840	4.53×10 ¹⁰	6.03×10 ⁷	2.80×10 ⁷	3.55×10 ⁷		
		3-3	4~5	1									90	“35+30+25”	16	20	1320	368	176640	6.12×10 ¹⁰	8.15×10 ⁷	3.81×10 ⁷	4.94×10 ⁷		
		4-4	5~7	1									110	“35+30+25+20”	16	20	1280	368	198560	7.06×10 ¹⁰	9.41×10 ⁷	4.59×10 ⁷	5.65×10 ⁷		
2	12-10000B	1-1	0~3	2	10000	12×0.6×1.5	Q345	11.9	18.80	/	1500	600	30	30	16	0	1440	368	82080	2.54×10 ¹⁰	3.39×10 ⁷	1.32×10 ⁷	2.15×10 ⁷	6000	41.52
		2-2	3~6	1									50	“30+20”	16	16	1400	368	127200	3.98×10 ¹⁰	5.30×10 ⁷	2.18×10 ⁷	3.35×10 ⁷		
3	10-10000B	1-1	0~3	2	10000	10×0.6×1.2	Q345	8.6	19.60	/	1200	600	30	30	20	0	1140	368	81600	1.60×10 ¹⁰	2.67×10 ⁷	1.05×10 ⁷	1.70×10 ⁷	6000	22.16
		2-2	3~5	1									50	“30+20”	20	0	1100	368	104000	2.32×10 ¹⁰	3.86×10 ⁷	1.73×10 ⁷	2.33×10 ⁷		
4	14-4000B	1-1	0~3	2	4000	14×0.6×0.9	Q390	9.0	41.21	70.36	900	600	25	25	12	0	850	600	50400	6.66×10 ⁹	1.48×10 ⁷	6.56×10 ⁶	8.73×10 ⁶	2500	54.99
		2-2	3~7	1									43	“25+18”	12	12	814	600	80904	1.07×10 ¹⁰	2.38×10 ⁷	1.10×10 ⁷	1.40×10 ⁷		
5	14-3000B	1-1	0~3	2	4000	14×0.5×0.9	Q345	8.1	35.74	61.19	900	500	25	25	12	0	850	500	45400	5.71×10 ⁹	1.27×10 ⁷	5.47×10 ⁶	7.64×10 ⁶	2000	50.84
		2-2	3~7	1									43	“25+18”	12	12	814	500	72304	9.11×10 ⁹	2.02×10 ⁷	9.21×10 ⁶	1.22×10 ⁷		
6	12-4000B	1-1	0~3	2	4000	12×0.6×0.9	Q345	6.9	29.21	48.45	900	600	25	25	12	0	850	600	50400	6.66×10 ⁹	1.48×10 ⁷	6.56×10 ⁶	8.73×10 ⁶	2500	36.82
		2-2	3~6	1									43	“25+18”	12	0	814	600	71136	1.03×10 ¹⁰	2.28×10 ⁷	1.10×10 ⁷	1.30×10 ⁷		
7	12-3000B	1-1	0~3	2	3000	12×0.5×0.9	Q345	6.2	25.25	42.15	900	500	25	25	12	0	850	500	45400	5.71×10 ⁹	1.27×10 ⁷	5.47×10 ⁶	7.64×10 ⁶	2500	42.45
		2-2	3~6	1									43	“25+18”	12	12	814	500	72304	9.11×10 ⁹	2.02×10 ⁷	9.21×10 ⁶	1.22×10 ⁷		
8	10-4000B	1-1	0~3	2	4000	10×0.5×0.9	Q345	5.1	20.32	33.26	900	500	25	25	12	0	850	500	45400	5.71×10 ⁹	1.27×10 ⁷	5.47×10 ⁶	7.64×10 ⁶	2500	23.89
		2-2	3~5	1									43	“25+18”	12	0	814	500	62536	8.70×10 ⁹	1.93×10 ⁷	9.21×10 ⁶	1.12×10 ⁷		
9	10-3000B	1-1	0~3	2	3000	10×0.4×0.9	Q345	4.1	20.18	33.71	900	400	20	20	12	0	860	400	36640	4.05×10 ⁹	9.00×10 ⁶	3.52×10 ⁶	5.74×10 ⁶	2000	25.46
		2-2	3~5	1									36	“20+16”	12	12	828	400	58608	6.65×10 ⁹	1.48×10 ⁷	6.22×10 ⁶	9.30×10 ⁶		

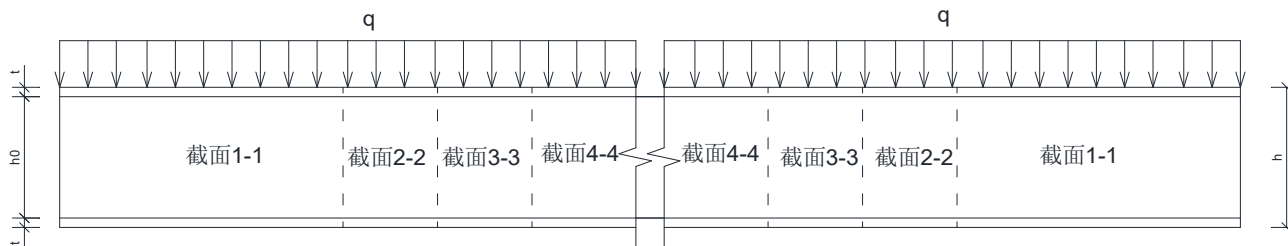
注：1 钢箱梁编号规则为钢梁长度 (m) —承载力 (kN) —B (变截面)；

2 符号说明：h—截面全高、b—翼缘板外伸宽度、t—翼缘厚度、tw—两侧腹板厚度、tw₀—中间腹板厚度、h₀—腹板计算高度、b₀—翼缘板在腹板之间无支撑宽度、

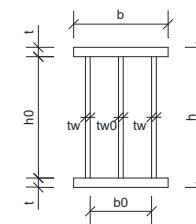
A—截面面积、I—截面惯性矩、W—截面模量、S₀—面积矩 (计算点在翼缘)、S_x—面积矩 (计算点在主轴)；

3 截面板件宽厚比等级不低于 S3 级，塑性发展系数取 1.05；

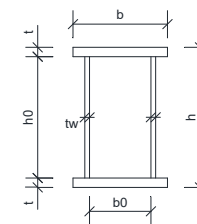
- 4 主梁在千斤顶布置区采取局部加强措施；次梁在梁两端以及与主梁接触部位采取局部加强措施；
- 5 编号 14-15000B 除按构造要求采取稳定措施外，在腹板之间采取局部稳定措施：截面 1-1、2-2、3-3 沿截面高度不少于 1 处局部稳定措施，截面 4-4 不少于 2 处局部稳定措施。编号为 12-10000B 的钢箱梁，截面 1-1 沿截面高度不少于 1 处局部稳定措施，截面 2-2 不少于 2 处局部稳定措施。编号为 10-10000B 的钢箱梁沿截面高度不少于 1 处局部稳定措施；
- 6 工况I指加载至最大荷载时的工况；工况II指在堆载已完成但还没有开始加载的工况；工况III指锚桩法距离梁端 1 米承受集中荷载。



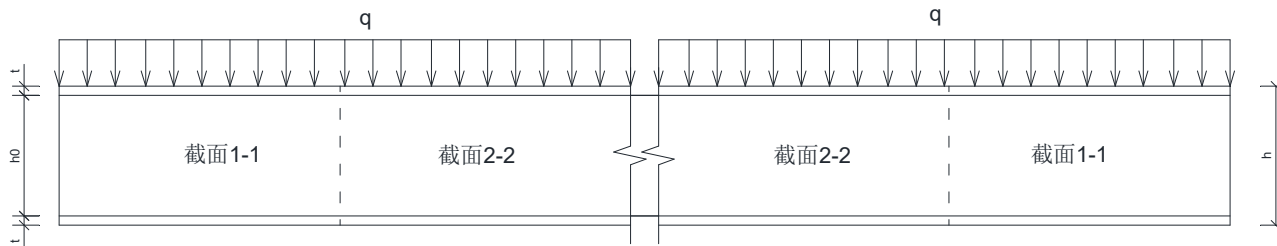
14-15000-B 变截面钢箱梁示意图



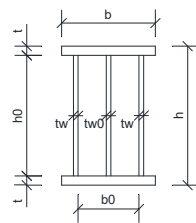
截面类型 1 示意图



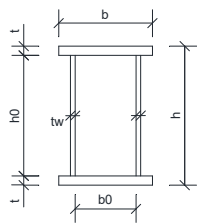
截面类型 2 示意图



其它变截面钢箱梁示意图



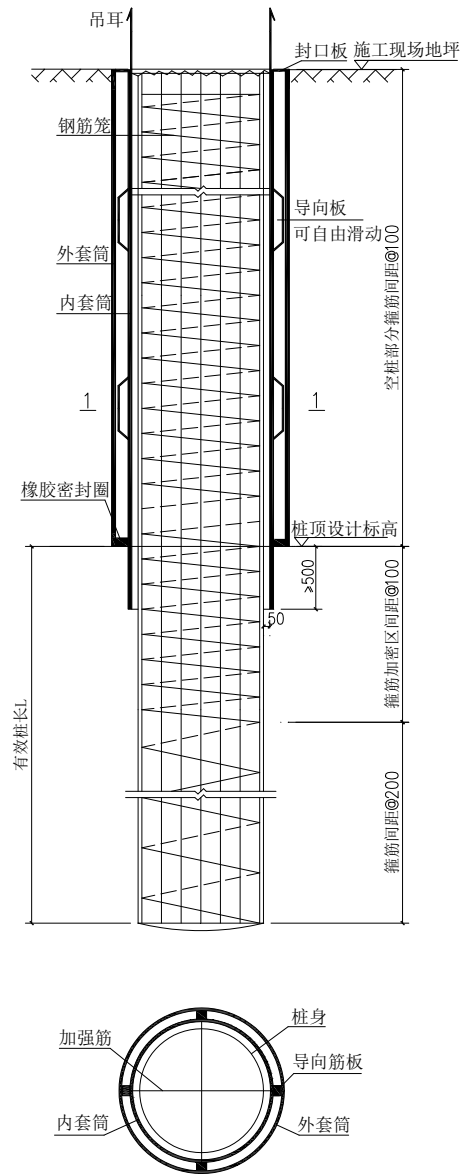
截面类型 1 示意图



截面类型 2 示意图

附录 C 双套筒设计施工要点

C.0.1 双套筒隔离法适用于灌注桩非有效段与地层的隔离，套筒可按图 C.0.1 制作。



1-1 剖面图

图 C.0.1 双套筒示意图

C.0.2 内、外套筒应采用 Q235B 钢材制作。桩径小于 1m 时套筒壁厚度不宜少于 10mm，桩径 1m~2m 时不宜少于 12mm，桩径 2m~3m 时不宜少于 16mm，桩径大于 3m 时不宜少于 20mm。

- C.0.3 套筒长度应满足非有效桩段的隔离及最大试桩荷载下的桩身稳定要求。
- C.0.4 内筒内径宜大于设计桩径 50mm~100mm，内外套筒净距宜为 40mm~60mm。
- C.0.5 内筒两端宜采用钢板、钢筋或钢管等加强筋撑紧内壁。套筒顶口与底口应焊接 200mm 宽度的钢板加强。
- C.0.6 内筒外应采用钢材焊接环向或纵向定位架兼导向板，定位架周向间距不宜大于 0.8m、纵向间距不宜大于 5m。
- C.0.7 应在内筒上均匀设置钢吊耳及钢牛腿，钢吊耳宜为 2~4 个，钢牛腿宜为 3~4 个。
- C.0.8 内筒高度宜从设计桩顶标高往下延长 0.5m~1.0m，当桩顶设计标高以下为不稳定土层时，应再延长至穿过该土层。
- C.0.9 外筒底端应设置密封圈与内筒密封，密封圈可采用橡胶、止水条等密封材料，宜设置 2~4 层，外套筒端部可使用多层土工布包裹。
- C.0.10 内外筒应在加工厂组装，应保持内外筒圆心重合，内外套筒宜在孔口处焊接固定键。现场应整体安装，不宜拆分。安装时封堵筒口处内外筒间的空腔，避免泥砂掉入。
- C.0.11 双套筒安装施工应符合下列规定：
- 1 先钻孔至外筒底端标高，成孔直径宜大于外套筒外径 40mm~60mm；
 - 2 再用与内套筒直径匹配的钻头向下钻入 0.5m~1.0m，用钻机动力头轻压套筒，使套筒进入预定的深度，当加压不能使套筒到达预定深度时，可用钻头在孔内掏挖内套筒中的土体，直至下到预定深度；
 - 4 安装时向内外套筒之间注入清水，安装完成后注满清水；
 - 5 双套筒安装到位后，宜将内筒上的牛腿搁置在预先设置好的固定平台上并进行固定，确保双套筒稳定；
 - 6 套筒固定完毕后，宜在外筒与桩孔壁之间的空隙内填充黏土球并进行分层夯实。
- C.0.12 试验时应割除孔口处固定键。

附录 D 桩端位移管安装要点

D.1 先装法

- D.1.1 该方法适用于试桩施工时同步安装位移管。
- D.1.2 位移管包括内管（位移杆）和外管（保护管），位移管应采用钢质管材，内管外径不宜小于 20mm，外管外径不宜小于 32mm，壁厚不小于 1.2mm。在位移管底端，内管和外管应可靠连接并密封。内管和外管间宜涂黄油。
- D.1.3 位移管宜对称安装两根。位移管在钢筋笼制作时同步安装，接长后的位移管长度宜与钢筋笼长度一致。位移管接长宜采用焊接、机械连接或钳压紧固。位移管平面布置应和后期桩帽制作、千斤顶摆放、基准梁架设位置、支墩方位协调。
- D.1.4 将首节位移管穿入首节钢筋笼内侧，位移管底端标高应在钢筋笼底端主筋折弯处，宜在桩底以上 0.5m~1.0m 范围。在主筋折弯处搭接焊两个弯折成 180 度的定位保护筋，将位移管底端插入保护筋内绑扎固定牢固，以防浇筑混凝土时发生上浮。
- D.1.5 第二节及之后位移管穿入的钢筋笼内，位移杆中部和上部位置需用扎丝绑扎，绑扎处远离管涨节接头。
- D.1.6 钢筋笼对接时，位移管对接应防止位移管和位移杆掉入桩孔内。可将第二节及之后钢筋笼底部位移杆用挂钩勾住，并在位移护管涨节处用扎丝绑紧防止起吊时脱落；对接完位移杆后用液压管钳钳紧内外管。
- D.1.7 位移管宜每 1.5m 在钢筋笼主筋上绑扎一次。绑扎后位移管应紧贴主筋，保持顺直。
- D.1.8 位移管顶端用专用堵头密封，并设置保护套防止破桩头时管头受损。
- D.1.9 安装导管、浇筑混凝土时注意保护位移管。后期破除桩顶标高以上超浇段混凝土时应有措施保护位移管。制作桩帽时，应将位移管接长至桩帽顶面。

D.2 后装法

- D.2.1 该方法适用于成桩后在桩身钻孔安装位移管。
- D.2.2 根据桩径大小，桩长径比，选择安装一根或两根位移管。安装位置应和

千斤顶摆放、钢梁和基准梁架设、位移计安装位置协调。方形桩帽宜在边线中点位置附近开孔，且尽量远离边线。

D.2.3 钻孔孔径不宜大于 100mm，应确保钻机垂直度，钻至距桩底 0.5m~1.0m 处终孔。钻孔后用高压风水清干净钻渣。当先施工桩帽时，宜在桩帽内预留垂直套管作为钻孔的通道，待桩帽混凝土达到要求的强度后钻孔。

D.2.4 位移管内管直径不宜小于 20mm，外管直径不宜小于 32mm，管壁厚度不小于 1.2mm。

D.2.5 内管和外管间宜涂黄油。

D.2.6 外管接长接头处应密封，位移管接长宜采用焊接、机械连接或钳压紧固。

D.2.7 注浆管与位移管一同送入孔底。

D.2.8 外管与孔壁之间宜采用 M30 水泥浆注满。注浆管宜留在孔内，防止抽拔注浆管时引起位移管向上位移。

附录 E 桩身内力测试

E.0.1 桩身内力测试适用于直径均匀的灌注桩。成孔后宜进行成孔质量检测。对于因塌孔等造成孔径变化较大、垂直度偏差大的桩不宜采用。

E.0.2 宜选用振弦式钢筋计、滑动测微计、分布式光纤、应变式钢筋计等传感器。埋设要求应符合行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 附录 A 的规定。

E.0.3 选用钢筋计时量程应和预计最大试验荷载对应的压（拉）应力相匹配。安装前应逐个标定，连接杆规格应和桩主筋一致，宜采用焊接工艺连接在主筋中。钢筋计应设置在两种不同性质土层的界面处，单一土层厚度较大时应加密安装，距桩顶和桩底的距离不宜小于 1 倍桩径。在桩顶应设置一个测量断面作为传感器标定断面（自平衡荷载试验在荷载箱附近）。传感器标定断面处应对称安装 4 个传感器，其它测量断面处可对称安装 2~4 个传感器。应采用有效措施保护好连接电缆防止混凝土浇筑和桩头开挖时造成损坏。

E.0.4 选用滑动测微计方式时，应安装两根测管，宜沿主筋绑扎在钢筋笼内侧。下放时在管内注满清水，保持管内水头高于桩孔中的液面高度。测管的平面布置应协调桩帽设计中其它设备安放位置及支墩方位。

E.0.5 选用分布式光纤时应首选双端测量技术。应均匀布设不少于 4 根传感光缆，传感光缆布设在钢筋笼上宜形成 U 型回路。光缆引线应从桩身侧面引出，出线位置应在桩顶标高 0.5m 以下。在混凝土浇筑过程中应做好桩头引线的临时固定与保护。

E.0.6 分布式光纤应变测试的解调仪采用双端测试时，应变测试误差应小于或等于 $10\mu\epsilon$ ，重复性应小于或等于 $20\mu\epsilon$ ，空间分辨率应小于或等于 50cm；采用单端测试时，应变测试误差应小于或等于 $35\mu\epsilon$ ，重复性应小于或等于 $50\mu\epsilon$ ，空间分辨率应小于或等于 100cm；

E.0.7 试验加载前应测试各传感器初值，宜在每级荷载施加前（或卸载前）测试。桩身位移测试应与桩身应变测试同步。

E.0.8 测试数据处理应符合下列规定：

- 1 采用振弦式钢筋计测试时，应根据率定系数将钢筋计实测频率换算成力，

再将力值换算成钢筋应变变量，断面处钢筋应变和混凝土应变协调；

2 采用滑动测微计测试时，应按下列公式计算各测点应变值：

$$e=K(e'-z_0) \quad (\text{E.0.8-1})$$

$$\varepsilon=e-e_0 \quad (\text{E.0.8-2})$$

式中： e ——测管中某测点仪器读数修正值（ $\mu\varepsilon$ ）；

e' ——测管中某测点的仪器读数（ $\mu\varepsilon$ ）；

z_0 ——仪器零点（ $\mu\varepsilon$ ）；

K ——率定系数；

ε ——应变值（ $\mu\varepsilon$ ）；

e_0 ——初始测试仪器读数修正值（ $\mu\varepsilon$ ）。

3 采用分布式光纤测试时，应按下列公式计算各测点应变值：

$$\varepsilon= (f-f_0)/C_s \quad (\text{E.0.8-3})$$

式中： ε ——应变值（ $\mu\varepsilon$ ）；

C_s ——频移应变标定系数（MHz / $\mu\varepsilon$ ）；

f ——光纤的布里渊散射光频移量（MHz）；

f_0 ——光纤的初始布里渊散射光频移量（MHz）。

4 在数据处理过程中，应将零点漂移大、变化无规律的数据删除，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：

$$Q_i=\bar{\varepsilon}_i \cdot E_i \cdot A_i \quad (\text{E.0.8-4})$$

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（ $\mu\varepsilon$ ）；

E_i ——第 i 断面处桩身混凝土弹性模量（kPa），当桩身断面、配筋一致时，宜取标定断面处的应力与应变的比值；

A_i ——第 i 断面处桩身截面面积（ m^2 ）。

5 将桩身不同断面处在每级试验荷载下的轴力值制成表格，并绘制轴力分布图。桩侧土的分层极限侧阻力和极限端阻力按下式计算：

$$q_{si} = \frac{|Q_{i+1} - Q_i|}{u \cdot l_i} \quad (\text{E.0.8-5})$$

$$q_p = \frac{Q_b}{A_0} \quad (\text{E.0.8-6})$$

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）；

Q_b ——桩端轴力（kN）；

i ——检测断面顺序号， $i=1, 2, \dots, n$ ，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 $i+1$ 断面之间的桩段长度（m）；

A_0 ——桩端面积（ m^2 ）。

6 桩身第 i 断面处的钢筋应力可按下式计算：

$$\sigma_{si} = E_s \cdot \varepsilon_{si} \quad (\text{E.0.8-7})$$

式中： σ_{si} ——桩身第 i 断面处的钢筋应力（kPa）；

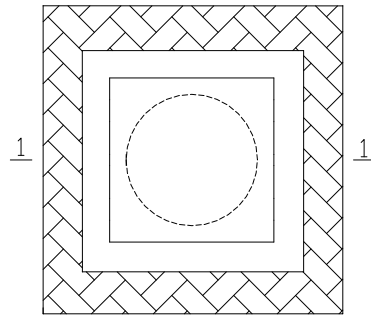
E_s ——钢筋弹性模量（kPa）；

ε_{si} ——桩身第 i 断面处的钢筋应变（ $\mu\varepsilon$ ）。

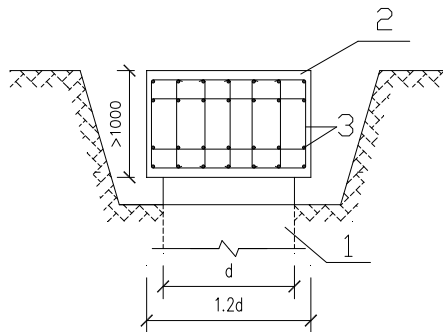
附录 F 桩头处理及桩帽设计施工要点

F.0.1 凿除混凝土灌注桩桩顶浮浆至密实混凝土、露出足够长度的主筋。

F.0.2 桩帽顶面宜和试坑顶面平齐或略高，桩帽中轴线应与桩截面的几何中心重合，可按图 F.0.2 所示大样制作。



(a) 平面图



(b) 1-1 剖面图

1—静载试验桩；2—桩帽；3—钢筋笼

图 F.0.2 灌注桩桩帽大样

F.0.3 桩帽截面宜大于原桩身截面，截面形状宜为方形。桩帽尺寸应考虑千斤顶的数量和布置，并协调位移杆、声测管、滑动测微管、钢筋计引线等预埋件位置及支墩方位。截面尺寸宜为 $1.2d \times 1.2d$ (d 为原桩身直径)，且不小于 $1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$ 。

F.0.4 桩帽高度不宜少于 1000mm，原桩身嵌入桩帽不宜少于 200mm。当桩帽承受较大弯矩时，应计算桩帽厚度及配筋量；桩帽局部受压和抗冲切承载力应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。

F.0.5 桩顶主筋应调直，各主筋应在同一高度上，全部直通至桩帽混凝土保护

层之下，当原桩身露出主筋长度不够时应加长，加长采用帮条焊接方式。

F.0.6 宜接长声测管、位移管、滑动测微管等预埋件，宜高于桩帽不小于 300mm。

F.0.7 桩帽混凝土强度宜高于桩身混凝土 1~2 个等级，且不得低于 C30。

F.0.8 当采用圆台扩大头桩帽构造，可在桩顶安装高度不小于 1m 的钢套筒，配螺旋箍筋，加密箍筋间距、增设三层钢筋网片，用高等级混凝土浇筑。

附录 G 压重地基处理方法

G.0.1 压重支墩下地基土承载力特征值宜采用平板载荷试验确定。也可根据场地勘察报告提供的岩土物理力学指标、原位试验结果按深圳市标准《地基基础勘察设计规范》SJG 01 确定。

G.0.2 压重应力扩散范围内存在软弱下卧层时，应按下式进行软弱下卧层地基承载力验算：

$$P_Z + P_{CZ} \leq f_{az} \quad (\text{G.0.2})$$

式中： P_Z ——软弱下卧层顶面处附加压力值（kPa）；

P_{CZ} ——软弱下卧层顶处土的自重压力值（kPa）；

f_{az} ——软弱下卧层顶面处经过深度修正后的地基承载力特征值（kPa）。

G.0.3 当压重平台支墩施加压力大于支墩区域地基土承载力特征值的 1.5 倍时，可采用下列方法进行处理：

1 对浅层软弱土层或不均匀土层采用换填、压实等方法。换填范围应依据压重平台重量、支墩底面积确定；换填质量标准应满足深圳市技术规范《深圳市地基处理技术规范》SJG 04 中换填垫层法的规定；

2 对深厚软土层可采用水泥搅拌桩、旋喷桩、刚性桩等复合地基处理方法。处理面积不宜小于支墩面积，应穿过软弱土层，选择承载力和压缩模量较高的土层作为持力层。复合地基承载力特征值可按深圳市技术规范《深圳市地基处理技术规范》SJG 04 规定计算。

G.0.4 当需要扩大支墩地基面积提高平台稳定性时，宜采用刚性组合钢箱板或在支墩区域浇筑钢筋混凝土承压板。钢筋混凝土承压板的设置应符合下列规定：

1 钢筋混凝土承压板在桩两侧对称浇筑，平面布置应和桩帽布置方向协调，厚度不宜小于 500mm，混凝土强度等级不宜小于 C30；

2 钢筋混凝土承压板下宜设置碎石或素混凝土垫层，厚度不宜小于 200mm；

3 钢筋混凝土承压板应按国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行截面受冲切、受剪和受弯承载力验算。

附录 H 锚桩设计与施工要点

H.1 设计

H.1.1 锚桩可根据工程地质条件、荷载大小、施工环境及施工机械条件等，选用灌注桩或管桩。当条件许可时，可采用人工挖孔扩底灌注桩。

H.1.2 锚桩宜以静载试验桩为中心对称布置。锚桩与静载试验桩之间的中心距离应大于或等于 3 倍桩径（桩径取静载试验桩或锚桩中较大者）且大于 2.0m，当采用扩底灌注桩时，桩径取扩底直径。

H.1.3 锚桩设计应符合下列规定：

1 花岗岩地层中的灌注桩竖向抗拔承载力特征值应不小于试验上拔荷载；其它岩性地层的灌注桩和 PHC 管桩竖向抗拔极限承载力应不小于试验上拔荷载的 1.2 倍；

2 应根据最大试验荷载和锚桩数量、平面布置、压重平台总重量，按广东省标准《建筑地基基础设计规范》DBJ 15-31 规定计算桩径、桩长、配筋；锚桩长度、桩径（包括扩底直径）不宜超过静载试验桩；

3 各锚桩设计承载力应相等、上拔荷载作用下变形应协调；

4 宜考虑锚桩偏心受荷情况。

H.1.4 对于桩端以上有一定厚度较好土层时，可采用扩底灌注桩。扩底端尺寸应符合下列规定：

1 扩底端直径与桩身直径之比 D/d ，应根据抗拔承载力要求及扩底端侧面土性状以及扩底施工工艺确定；挖孔桩的 D/d 不应大于 3，钻孔桩的 D/d 不应大于 2.5；

2 扩孔段扩孔角应根据实际成孔及土体自立条件确定，砂土可取 15° 、粉土、黏性土、强风化岩可取 $20^\circ\sim 30^\circ$ 。

H.1.5 泥浆护壁灌注桩宜采用后注浆工艺。后注浆应采取措施防止浆液侵入静载试验桩桩侧而影响其承载力。后注浆侧阻力增强系数根据类似工程经验取值。

H.1.6 灌注桩应符合下列构造要求：

- 1 应等截面通长配筋，钢筋接头优先采用机械连接；
- 2 纵向主筋应沿桩身周边均匀布置，其净距不应小于 60mm，否则应并筋处理。布筋应协调反力次梁连接构件的安装位置，次梁宽度范围内主筋宜截断、之外的宜加长加密，加密长度宜为桩顶以下 5d（d 为锚桩直径）。为便于施工可先不截断而全周长加密。
- 3 箍筋应采用螺旋式，直径不应小于 8mm，间距宜为 200~300mm；主筋内侧应每隔 2m 设一道直径不小于 16mm 的焊接加劲筋；
- 4 桩身混凝土强度等级不得低于 C25。

H.1.7 当试验所需反力不大时，可采用管桩作为锚桩。锚桩数量、布置应和反力构件形式和尺寸等协调。

H.1.8 管桩构造应符合下列规定：

- 1 根据地质条件合理选用桩尖；
- 2 宜采用单节桩管；多节时，应验算接头抗拉强度；
- 3 根据试验最大试验荷载和锚桩数量配置抗拔钢筋笼；
- 4 填芯混凝土深度应符合广东省标准《静压预制混凝土桩基础技术规程》DBJ/T 15-94 的规定，且不少于 3m，填芯部分有接缝时应从接缝处算起；

H.2 成桩施工

H.2.1 锚桩施工应采用成熟、可靠的工艺。锚桩施工期间应对静载试验桩采取保护措施，不得使静载试验桩及其它设备器件受损。

H.2.2 非扩大头灌注桩的施工宜按行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定执行；扩大头灌注桩的施工宜按行业标准《大直径扩底灌注桩技术规程》JGJ/T 225 的有关规定执行。

H.2.3 泥浆护壁灌注桩施工准备应充分，应使用优质泥浆。开孔后在保证施工安全和桩基质量的情况下应加快成孔、钢筋笼安装、清渣和混凝土浇筑速度，避免泥皮沉积过厚和桩侧土软化。

H.2.4 管桩施工应符合下列规定：

- 1 施工前宜在桩位钻孔核查土层性状，遇填石、孤石、厚砂层时应采取相应措施；

- 2 桩管不应大于 2 节，应避免桩尖接近或进入硬持力层时接桩；
- 3 采用焊接方式连接桩管时，应按广东省标准《静压预制混凝土桩基础技术规程》DBJ/T 15-94 的规定执行；
- 4 管桩收锤或终压标准以桩长结合锤击数、贯入度、终压值综合确定。

H.2.5 静载试验应在锚桩桩侧土达到休止时间要求且桩身强度满足设计要求后进行。

H.3 桩侧注浆施工

H.3.1 锚桩桩侧注浆工艺适用于泥浆护壁灌注桩的桩侧土加固。

H.3.2 桩侧注浆工艺可根据工程地质、水文地质状况、锚桩设计抗拔力、桩长及桩径等因素选择。宜采用预埋环管高压注浆工艺，也可采用预埋花管和袖阀管工艺。

H.3.3 进浆管和环管宜采用钢管，管壁厚度不宜小于 2.8mm，管径宜为 30mm~50mm（桩长时选用大值）；环管也可选用能承受不小于 10MPa 内压力的 PVC 管或橡胶管。

H.3.4 出浆孔平面布置应考虑避免加固半径侵入静载试验桩土体有效应力范围，可在断面上非均匀布置，环形管出浆孔的周向间距不宜大于 1.0m；孔径宜为 4mm~6mm，出浆孔开孔方向应面向桩外；预埋花管和袖阀管不应少于 2 条，每断面宜为 3 个出浆孔，管底端应封闭。

H.3.5 出浆孔竖向间距应根据地层状况、锚桩设计抗拔力及桩长等因素综合确定，地层单一时宜为 2.0m~4.0m，位置宜设置在粗粒土层的中下部，距桩顶及桩底端不宜少于 5m。

H.3.6 注浆施工前出浆孔孔口应封闭以防止浇筑混凝土时有浆液渗入。封闭材料可采用橡胶、不透水胶条、单向阀等，应能承受不少于 1.0MPa 的静水压力且应能抵抗砂石等硬物刮碰而不损伤。

H.3.7 预埋管应固定在锚桩钢筋笼外侧，可采用绑扎或焊接固定；钢筋笼安装时注浆管内宜注满清水；混凝土浇筑完成 24h 至 3d 内应采用清水开塞劈裂混凝土，疏通注浆管后封闭管口以防堵塞。

H.3.8 注浆作业宜于成桩后 1d~7d 进行。注浆顺序应先上后下，每层间隔时间

不宜少于 2h。

H.3.9 注浆水泥宜采用 P.O42.5R 或 P.O52.5R 水泥，饱和土中浆液水灰比宜为 0.45~0.65，非饱和的松散的碎石土及砂土宜为 0.5~0.6，非饱和的其它土宜为 0.7~0.9；水灰比不超过 0.5 时浆液中宜加入减水剂。

H.3.10 注浆量应根据桩径、桩长、桩侧地层、抗拔承载力增幅等因素综合确定，可按下式估算：

$$G_c = \alpha_s n d \quad (\text{H.3.10-1})$$

式中： G_c ——注浆量（t）；

α_s ——经验系数（t/m），可取 0.6~0.85；

n ——注浆断面数量；

d ——桩径（m）。

H.3.11 对于风化岩、非饱和黏性土及粉土，注浆压力宜为 2.0MPa~5.0MPa；对于饱和土宜为 1.0MPa~3.0MPa，其中软土取低值，密实土取高值。

H.3.12 浆液流量不宜超过 75L/min。

H.3.13 注浆总量应达到设计要求，当注浆总量达到设计值的 75%且注浆压力超过设计值时，可终止注浆。

H.3.14 当注浆压力长时间低于正常值或出现地面冒浆现象时，宜调低水灰比或改为间歇注浆，间歇时间宜为 30min~60min。

H.3.15 当桩侧注浆不能满足设计要求时，可采用后钻孔注浆工艺。可采用在已成桩近侧钻孔的花管、袖阀管注浆，或采用高压定喷注浆工艺等。采用后钻孔注浆工艺时应符合行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 等相关标准规定。

H.3.16 锚桩宜在注浆完成 28d 后使用。

附录 J 锚桩横梁反力装置设计

J.0.1 锚桩横梁反力装置由锚桩、主梁、次梁、拉杆、焊盘（或锚笼）等构成，次梁应放置在主梁上面，拉杆与次梁的连接可采用焊接或锚栓连接，并可按图

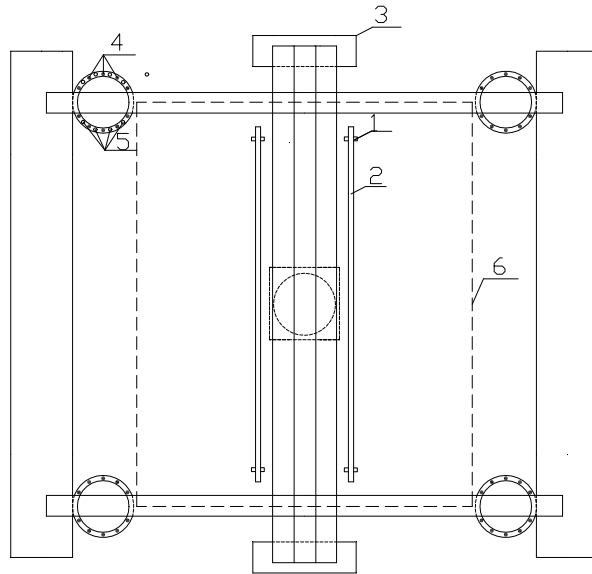
J.0.1 附加一定量压重。

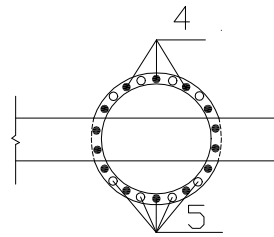
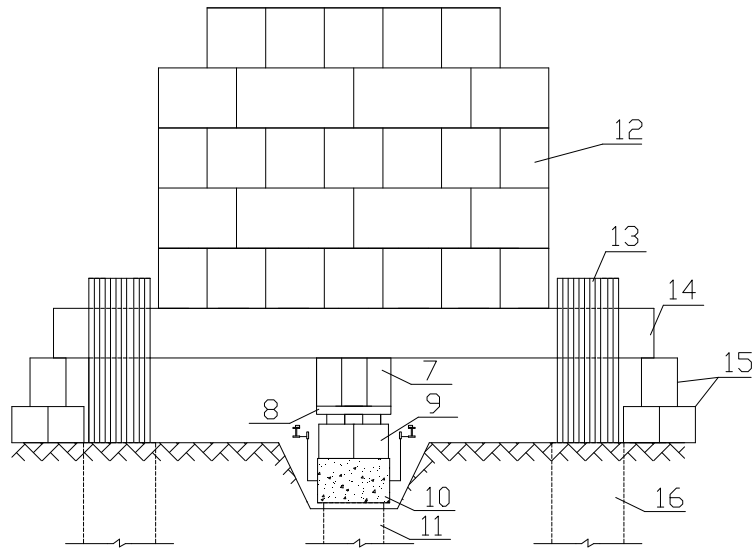
J.0.2 采用压重锚桩联合反力装置时应符合以下规定：

- 1 各锚桩承受的上拔力应平衡相等，压重应均衡对称布置；
- 2 拉杆应预留间隙，试验时先发挥压重反力，后发挥锚桩反力。

J.0.3 次梁宽度范围内的锚桩纵筋宜做截断处理，次梁外侧非截断部位纵筋应加密处理。若施工中无法对钢筋笼按试验要求严格定位，则钢筋笼全周长均应加密，加密长度为桩顶以下 $5d$ （ d 为锚桩桩径）范围。

J.0.4 拉杆与纵筋和焊盘（或锚笼）的连接强度、以及焊盘（或锚笼）与次梁接触部位的局部抗压强度，应不小于试验上拔荷载的 1.2 倍。





- 1—基准桩；2—基准梁；3—主梁支墩；4—连接钢筋（主筋）；5—连接钢筋（加密主筋）；
 6—压重物轮廓线；7—主梁；8—钢垫板；9—千斤顶；10—桩帽；11—静载试验桩；
 12—压重块；13—连接构件；14—次梁；15—次梁支墩；16—锚桩；

图J.0.1 锚桩反力装置（附加压重）、锚桩和次梁连接示意图

附录 K 荷载箱技术要求及安装工艺要点

K.0.1 自平衡荷载试验系统的安装与连接（图 K.0.1）应符合下列规定：

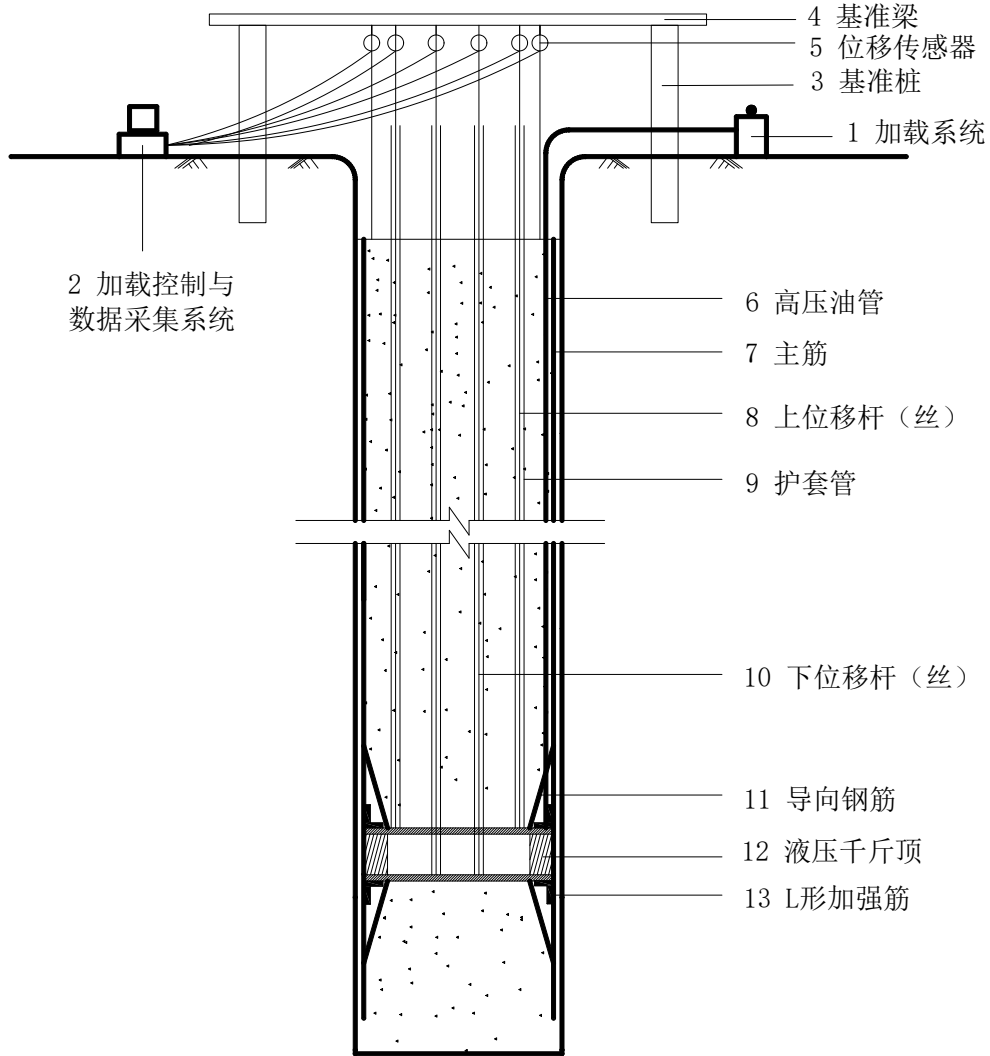


图 K.0.1 试验系统安装示意图

- 1 荷载箱中心应与钢筋笼中心重合，其位移方向与桩身轴线夹角不应大于 1° ；
- 2 上段桩和下段桩的钢筋笼之间的连接强度不应大于荷载箱预估最大荷载的 $1/10$ ；
- 3 荷载箱的顶部和底部应分别与上段桩、下段桩钢筋笼的主筋焊接在一起，焊缝强度应满足要求；
- 4 荷载箱的顶部和底部主筋焊接处应增设 L 型加强筋，长度不宜小于 120mm ，数量宜与主筋数量相同，当主筋数量较多时，可适当减少；

- 5 荷载箱以上和以下 3m 范围内箍筋应加密，间距不大于 100mm；
- 6 导向钢筋一端宜与荷载箱内圆边缘焊接，另一端与钢筋笼主筋焊接，数量和直径宜与钢筋笼主筋相同，与荷载箱平面的锐角夹角宜大于 60°；
- 7 钢筋笼主筋断开位置应在同一水平面上。

K.0.2 位移杆（丝）与护管的安装应符合以下规定：

- 1 护套管与荷载箱顶盖和底板应采用机械连接或焊接，焊缝强度应满足要求，并确保连接处不渗浆；
- 2 位移杆与引测部位及位移杆中间的接头应连接可靠；
- 3 位移杆宜采用直径 25mm~30mm 钢管；采用位移丝引测时应使用足够的配重使位移丝拉紧；
- 4 位移杆和护套管安装后应采取保护措施，并应对位移杆做好标识，确保试验时可区分上位移与下位移；
- 5 位移杆及其护套管宜伸出地面，开挖后进行试验时位移杆及护管应伸出桩顶面，浇筑混凝土前应先将护套管封口保护，以防杂物漏入。

K.0.3 油管埋设宜沿同一根护套管拉直并每隔 1m 绑扎固定，宜伸出地面不少于 1~2m；当开挖后进行试验时，钢筋笼宜伸出桩顶面 1~2m，油管应伸出桩顶面并牢固悬挂于钢筋笼内，并应采取保护措施。

K.0.4 场地开挖及凿除桩头时宜人工操作，严禁破坏位移管和油管。

附录 L 自平衡荷载试验结果转换

L.0.1 应将自平衡荷载试验获得的荷载箱向上、向下两条 $Q-s$ 曲线等效转换为传统静载试验的一条 $Q-s$ 曲线（图 L.0.1），以确定桩顶沉降。

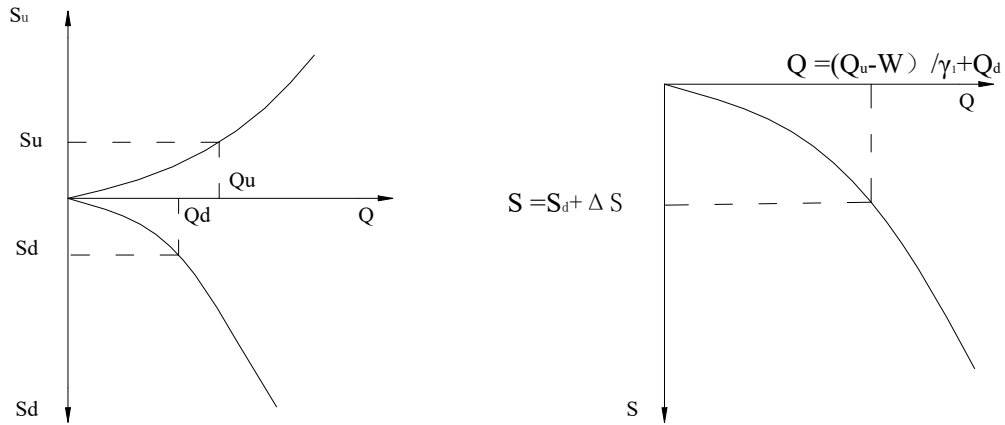


图 L.0.1 自平衡荷载试验结果转换示意图

L.0.2 等效转换应符合下列假定：

- 1 桩为弹性体；
- 2 等效桩分为上、下段桩，分界面为荷载箱安装截面；
- 3 下段桩与等效受压桩下段的位移相等；
- 4 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相同；
- 5 计算上段桩弹性压缩变形量时，桩侧摩阻力使用平均值；
- 6 可由单元上、下两截面的轴力和单元平均刚度来求各单元应变。

L.0.3 桩身无内力测试元件时的转换计算应符合以下规定：

- 1 桩顶等效荷载为：

$$Q = \frac{Q_u - W}{\gamma_1} + Q_d \quad (\text{L.0.3-1})$$

- 2 桩顶等效位移为：

$$s = s_d + \Delta s \quad (\text{L.0.3-2})$$

$$\Delta s = \frac{[(Q_u - W)/\gamma_1 + 2Q_d]L_u}{2E_p A_p} \quad (\text{L.0.3-3})$$

式中： Q ——桩顶等效荷载（kN）；
 Q_u ——上段桩的极限加载值（kN）；
 Q_d ——下段桩的极限加载值（kN）；
 s ——桩顶等效位移（m）；
 s_d ——下段桩的向下位移（m）；
 Δs ——上段桩的桩身压缩量（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（m²）。

L.0.4 桩身有内力测试元件时的转换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 L.0.4），任意一单元 i 的桩轴向力 $Q_{(i)}$ 和变位量 $s_{(i)}$ 可用下式计算：

$$Q_{(i)} = Q_d + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^n q_{sm} [U_{(m)} + U_{(m+1)}] h_{(m)} \quad (\text{L.0.4-1})$$

$$s_{(i)} = s_d + \sum_{m=1}^n \frac{Q_{(m)} + Q_{(m+1)}}{A_{p(m)} E_{p(m)} + A_{p(m+1)} E_{p(m+1)}} h_{(m)} \quad (\text{L.0.4-2})$$

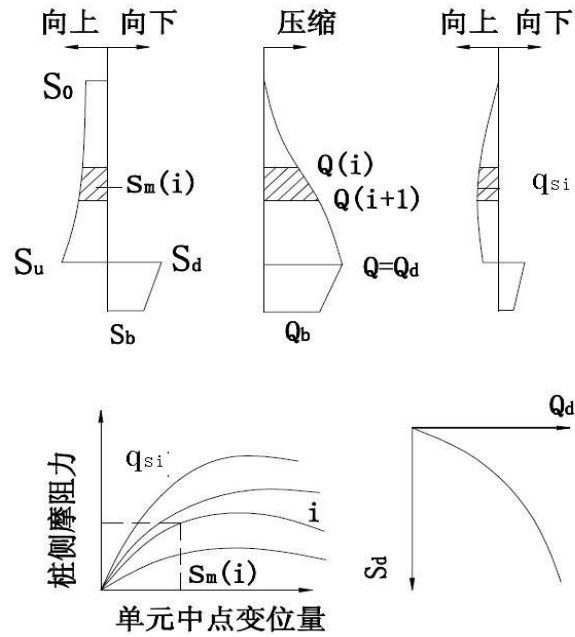
式中： q_{sm} —— m 点（ $i \sim n$ 之间的点）的桩侧摩阻力（假定向上为正值）（kPa）；

$U_{(m)}$ —— 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（宜采用标定断面法确定）（kPa）；

$h_{(m)}$ ——分割单元 m 的长度（m）。



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

图 L.0.4 基桩自平衡荷载试验轴向力、桩侧摩阻力与变位量的关系

2 由基桩自平衡荷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。

L.0.5 对于双荷载箱，宜按照第 L.0.3 条或第 L.0.4 条的方法将每个荷载箱从下往上依次进行转换。

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用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指明按其它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

- 1 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 2 《岩土工程勘察规范》 GB 50021
- 3 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202
- 4 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 5 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 6 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 7 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 8 《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79
- 9 《大直径扩底灌注桩技术规程》 JGJ/T 225
- 10 《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》 JGJ/T 403
- 11 《建筑地基基础检测规范》 DBJ 15-60
- 12 《建筑地基基础设计规范》 DBJ 15-31
- 13 《基桩自平衡法静载试验技术规程》 DBJ/T15-103
- 14 《锤击式预应力混凝土管桩基础技术规程》 DBJ/T 15-22
- 15 《静压预制混凝土桩基础技术规程》 DBJ/T 15-94
- 16 《岩溶地区建筑地基基础技术规范》 DBJ/T 15-136
- 17 《地基基础勘察设计规范》 SJG 01
- 18 《深圳市地基处理技术规范》 SJG 04
- 19 《深圳市建筑基桩检测规程》 SJG 09
- 20 《基坑支护技术标准》 SJG 05
- 21 《港口工程桩基规范》 JGJ 254
- 22 《滑动测微测试规程》 CECS 369
- 23 《基桩分布式光纤测试规程》 T/CECS 622

深圳市工程建设标准

大直径灌注桩静载试验标准

SJG 87-2021

条文说明

条文说明

本标准编制过程中，编制组对我市大直径灌注桩静载试验现状进行了广泛的研究，总结了我市大直径灌注桩静载试验的实践经验，同时参考了国内外的先进技术、方法标准，通过调研、征求意见，对制订的内容进行反复讨论、分析、论证，开展专题研究和工程实例验证等工作，为本标准制订提供了依据。

为了便于广大检测、建设、设计、施工、监理、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《大直径灌注桩静载试验标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明和解释。但是，本条文说明不具有与标准正文同等的效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则.....	69
2	术语和符号.....	70
2.1	术语.....	70
3	基本规定.....	71
3.1	一般规定.....	71
3.2	反力装置.....	73
3.3	仪器和设备性能.....	74
3.4	测试项目和数量.....	76
3.5	试验方案.....	77
3.6	试验报告.....	77
4	试验装置设计实施.....	78
4.1	一般规定.....	78
4.2	压重平台.....	78
4.3	锚桩横梁.....	81
4.4	压重锚桩联合.....	82
4.5	抗拔试验.....	86
4.6	水平试验.....	86
4.7	自平衡试验.....	87
5	单桩竖向抗压静载试验.....	89
5.1	一般规定.....	89
5.2	仪器设备安装.....	89
5.3	加卸荷与量测.....	89
5.4	数据分析与判定.....	90
6	单桩竖向抗拔静载试验.....	92
6.1	一般规定.....	92
6.2	仪器设备安装.....	92

6.3 加卸荷与量测.....	93
6.4 数据分析与判定.....	93
7 单桩水平静载试验.....	94
7.1 一般规定.....	94
7.2 仪器设备安装.....	95
7.3 加卸荷与量测.....	95
7.4 数据分析与判定.....	96
8 自平衡荷载试验.....	99
8.1 一般规定.....	99
8.2 仪器设备安装.....	100
8.3 加卸荷与量测.....	100
8.4 数据分析与判定.....	100

1 总 则

1.0.1 近年来深圳市建筑结构向超高、大体量、深埋置方向发展，相应桩基工程中新工艺、超长桩、超大直径桩不断涌现，但所用基桩承载力试验方法单一，基本仅采用压重平台方式，和工程实际需求差距较大。

长期试验实践表明，大直径高承载力灌注桩使用压重平台反力方式的静载试验在诸多方面存在不足。比如：一、因支墩荷载对桩受力产生动态大附加应力，使试验桩的试验工况和今后使用阶段的实际工况存在显著差异，因沉降测量系统的基准桩不可避免地受动态附加应力的影响在动态变化，给静载试验桩的承载力和变形试验数据带来误差，影响试验质量。二、因压重平台对场地及空间条件要求较高，静载试验桩的选取往往不能满足随机性，边桩、有内支撑结构的基坑中的桩、与周边建筑物相邻的桩等往往试验不了，样本往往代表性不足。三、较大荷载试验时，堆载高宽比大、荷重块之间无连接措施，安全隐患较大。四、试验进退场耗时长、占用工期久。五、设备进场道路修筑、荷载堆放区域地基处理等措施费高，各检测单位为取得资质投入的设备资金也多。

为克服上述困难，本编制组以正确引导、实现质量安全保障、造价经济合理、工期保障为目标，制定了本标准。

1.0.2 本市常见需要静载试验的是建筑工程、市政工程和城市轨道交通工程。对其它类型工程，比如公路、桥梁、铁路等基桩的静载试验因其特殊场地环境，也可参照本标准选取适宜的方法进行试验。

1.0.3 执行本标准的同时还应和上位标准协调，比如设计规范、验收标准、桩基检测规范等。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.3 静载试验除了对桩顶施加向下的竖向荷载、向上的竖向荷载或水平荷载、测量桩顶部随时间发生的荷载方向位移的方式外，还有在桩身中部或端部施加荷载的自平衡荷载试验，自平衡荷载试验是对传统静载试验方法的发展和补充。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 按桩径（设计直径 d ）大小对桩做了分类， $d \geq 800\text{mm}$ 的属于大直径桩。本地区灌注桩绝大多数采用 $d \geq 800\text{mm}$ 。和常规中小直径桩的静载试验相比，桩径大意味着试验荷载大，试验工作有一定的特殊性。

3.1.3 本条适用于抗压、抗拔和水平静载试验。

根据行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的要求，工程桩应进行承载力检测。在工程设计、验收、施工质量问题处理等不同阶段，宜根据技术要求因地制宜地采用静载试验。

静载试验俗称试桩，设计阶段试桩有试验后不做工程桩用的纯试验桩，也有试验后又用做工程桩的（工程桩兼做试验桩）。行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 规定，为设计提供依据的试验桩，应加载至桩侧与桩端的岩土阻力达到极限状态；当桩的承载力以桩身强度控制时，可按设计要求的加载量进行。

美国材料实验协会（ASTM）发布的 *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load (ASTM D1143-2012)*（深基础轴向静荷载标准试验方法）规定，条件允许时，基本荷载试验应做到试桩破坏以获得极限承载力，但不应超过试验装置的结构承载能力。英国标准化学会（BSI）1986 年颁布的 *Code of Practice for Foundations (BS 8004:1986)*（土木工程通用规范）规定，如果需要测试极限承载力，应先预估承载力，保证反力装置提供的反力足够。由于静载试验所需反力应在试验前确定，然后再准备相应的反力装置，考虑到桩身设计安全系数取值范围，建议单桩竖向抗压静载试验最大荷载取初步设计承载力特征值的 3.0 倍。

针对单桩竖向抗拔静载试验、单桩水平静载试验和自平衡荷载试验各自的特点，各方法对应的具体章节中规定了极限承载力试验的控制条件和要求。

3.1.4 香港土木工程署颁布的标准 *Pile Design and Construction* (*GEO Publication No. 1/2006*) (桩基础设计与施工), 是香港地区应用的主要标准。该标准中关于试验的必要性是这样表述的: 由于桩设计和施工中存在着诸多不确定性, 很难准确地预测桩的性能, 最好的办法是进行载荷试验。可在专门的试验桩上进行荷载试验, 或在工程桩上进行验证性荷载试验。

欧洲标准委员会颁布的 *Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules* (*EN 1997-1*) (欧标 7: 岩土工程设计—第一部分: 一般要求) 规定下列情况应进行载荷试验: 1、使用没有类似经验的桩或施工方法时; 2、没有类似的地层和受力经验时; 3、当理论和经验不足时; 4、施工过程中发现严重偏离预期、存在补充勘察无法解释的偏差时。载荷试验可用于: 1、验证施工的可靠性; 2、了解桩与地层相互作用关系 (包括沉降和极限荷载); 3、用于评估桩基础整体质量。

依据广东省标准《岩溶地区建筑地基基础技术规范》DBJ/T 15-136 的规定: 岩溶发育场地的设计等级为甲级的桩基应在桩基工程施工前进行试验桩的单桩承载力试验。该规范同时要求验收阶段承载力检测也应采用静载试验。

3.1.5 大直径灌注桩特别是抗拔 (浮) 桩, 在深圳地区出现不满足设计要求的情况时有发生, 尤其在花岗岩地层中更易出现。究其原因, 一般认为是由于花岗岩残积土组成颗粒级配不均匀, 渗透性大、遇水软化崩解、易扰动; 施工取土时使孔壁土层应力释放形成松动圈, 加上泥浆浸泡、钻头扰动, 孔壁花岗岩残积土会软化和明显松弛, 成桩后已不是原状的坚硬土层; 成桩后土体强度恢复需要较长时间、恢复程度还因土性而异, 在恢复时间不足时就做了现场静载试验。正是由于抗拔灌注桩时常出现不满足设计要求问题, 很有必要进行试验桩竖向抗拔静载试验。

3.1.6 在水运、港工、路桥工程中的桩在波浪力、风力、震动力、船舶撞击力及行车制动力作用下承受着水平方向的主动荷载。在建筑基坑、边坡工程中由于开挖、堆载或土体变形、滑动使桩被动承受水平荷载。前者桩上承受的荷载是比较明确的, 后者桩身承受的荷载影响因素多、桩土相互作用机理复杂, 设计计算理论方法还不成熟, 对此应在设计阶段进行试验桩单桩水平静载试验。

斜坡场地上的桩基工程，除了承受竖向荷载外还承受水平方向的滑坡推力，有时水平推力还比较大，在设计阶段也应进行试验桩水平静载试验。

3.1.7、3.1.8 以中（微）风化岩为持力层的大直径灌注桩，或单桩竖向抗压承载力特征值大于 25000kN 的大直径灌注桩，考虑试验造价、安全、工期等因素，可用较小直径试验桩的静载试验验证设计可靠度。逆作法施工场地、靠近基坑边的桩、电梯井下的桩、坡道下的桩、塔吊附近的桩、内支撑结构梁柱下的桩均无反力装置安装的场地条件，可按深圳市标准《深圳市建筑基桩检测规程》SJG 09 给出的途径检测。由于抗拔试验所需的反力比较容易获得，本标准未对竖向抗拔静载试验的最大试验荷载加以限制，应做尽做。

依据国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的规定，工程桩应进行承载力和桩身完整性检验。大直径灌注桩验收检测也不例外。单位工程桩基检测的方法、数量规定应满足深圳市标准《深圳市建筑基桩检测规程》SJG 09、广东省标准《建筑地基基础检测规范》DBJ/T 15-60 及行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的规定。

3.1.10 附录 J 提供了隔除桩顶以上桩段土层侧阻力的措施，主要用于试验桩试验，工程桩试验也可参考。

3.1.11 依据行业标准《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T 403，自平衡荷载试验适用于传统静载试验条件受限时的基桩竖向承载力检测和评价。

3.2 反力装置

3.2.1 本条所列各种反力装置中除了压重平台反力装置反力总量是明确的外，其余反力装置或方法的反力总量都存在不同程度的不确定性。为完成预定试验目标，在保证安全的前提下，通过试验过程中追加荷载的方式弥补这种不足，这需要在试验方案设计阶段预先考虑。

3.2.4 因压重总重量明确，故首选压重平台反力装置。省内已有 60000kN 压重平台试验的实例。同样原因，对压重锚桩联合反力装置，反力发挥应遵循先压后锚原则，将压重荷载用到接近最大，不足的反力用锚桩补充。虽然锚桩承载力

有不确定性大的缺点，但在特殊情形下也可单独采用锚桩横梁反力装置。本标准不推荐三种反力装置（或方法）联合使用，是为了避免各反力措施间相互干扰及实施中的困难。单独使用自平衡法时若上段桩反力不足可联合压重平台，一般不建议采用自平衡和锚桩横梁反力装置联合，因为锚桩和静载试验桩间土体应力场可能叠加削弱土体抗力。

为了减小压重平台反力装置引起的负摩阻力、对静载试验桩桩侧土产生的附加应力及对基准桩产生的位移，可采用锚桩横梁反力装置，但为了提高锚桩的可靠度，建议对灌注桩锚桩实施后注浆工艺。

3.2.5 单桩竖向抗拔（水平）静载试验时反力通常作用在地基土上，应验算地基土强度和稳定性。单桩水平静载试验采用单根工程桩作反力桩时，反力桩提供的水平抗力不应小于试验桩承载力，否则应使用两根工程桩共同作反力桩。试验过程应监测反力桩的变形，当发生可能使反力桩受损的较大变形时应停止试验，重新准备反力装置。

3.3 仪器和设备性能

3.3.2 静载试验过程较长，现场环境变化因素多、电压稳定性差，宜配备稳压设备，必要时可配置发电机。试验过程中，中途中断后又重新开始试验，习惯上桩顶沉降从 0 重新测读，不论从客观真实反映 $Q-s$ 关系还是严格执行验收标准，均应将首次试验的沉降计入最终试验结果，宜按两次循环加卸载方式分析处理。

3.3.3 美国材料实验协会（ASTM）发布的 *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load*（ASTM D1143-2012）（深基础轴向静荷载标准试验方法）要求千斤顶的行程应不低于试桩直径的 15%，宜安装球形铰支座。考虑我国试验时很大变形（80mm）后终止试验及锚桩上拔量限值（30mm），国内使用的千斤顶最大行程多是 200mm（附录 B），能涵盖静载试验桩变形范围。

3.3.5 国家标准《精密压力表》GB/T 1227-2017 中有四个精确度等级，分别是 0.1、0.16、0.25 和 0.4，0.4 级的基本误差限是量程的 $\pm 0.4\%$ 。

美国材料实验协会（ASTM）发布的 *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load*（ASTM D1143-2012）（深基础轴向静荷载标准试验方法）规定，荷载测量的精确度应在最大值的 5% 以内。如果各部件分别校准，其精确度应在最大荷载的 2% 以内；压力表和压力传感器的最小分辨率应小于或等于最大荷载的 1%，并应符合 *ASME B40.100*（压力计和压力表附件），其精度等级为 1A，允许误差 $\pm 1\%$ 。

香港土木工程署颁布的标准 *Pile Design and Construction*（GEO Publication No. 1/2006）（桩基础设计与施工）规定荷载测量精度在最大荷载的 2% 以内。

3.3.6 大直径灌注桩静载试验的压重平台重量和面积大，如果试验场地含水率高，打设的基准桩在试验过程中受到压重平台施加给地面的压应力动态变化而发生位移，此时采用无基准桩和无基准梁的水准沉降测量系统更具优势。当未对压重平台支墩下地基加固处理时宜采用精密水准仪、全站仪或静力水准仪。使用精密水准仪、全站仪或静力水准仪时可参照国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 中竖向位移监测的方法，可在 1 倍平台宽度范围外选择一处基准点或工作基点，也可选在周边桩顶面上。

英国标准化学会（BSI）1986 年颁布的 *Code of Practice for Foundations*（BS 8004:1986）（基础工程实施规程）规定，桩顶位移测量可选用光学或百分表任意一种测量方法，其中水准仪和塔尺测量精度不小于 0.5mm。香港土木工程署颁布的标准 *Pile Design and Construction*（GEO Publication No. 1/2006）（桩基础设计与施工）要求水准仪分辨力为 0.25mm。可见，采用水准测量是可行的，虽然测量精度比国内采用基准梁上架设百分表的方式要求低，但也适用。

关于位移测量仪表的分度值、测量精度，国外标准也普遍松于国内标准。美国材料实验协会（ASTM）发布的 *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load*（ASTM D1143-2012）（深基础轴向静荷载标准试验方法）规定：百分表或传感器最小刻度应为 0.25mm。测量桩身沉降的标尺不小于 150mm，最小刻度不小于 0.5mm，读数应精确至 0.1mm。测杆的最小刻度应为 1mm，读数精确至 0.1mm。

英国土木工程师学会（ICE）颁布的 *ICE Specification for Piling and*

Embedded Retaining Walls: 2007（打桩和预埋挡土墙规范）要求位移传感器或百分表读数精确至 0.1mm。

英国标准化学会（BSI）颁布的 *Code of Practice for Foundations (BS 8004:1986)*（基础工程实施规程）要求百分表分辨力最低 0.1mm。

3.3.7 自平衡荷载试验应采用有相应资质的专业生产厂家生产的专用荷载箱，具有产品合格证书，荷载箱应有铭牌注明规格、额定压力、额定输出推力、重量、内外径、出厂编号、制造日期等标识；荷载箱应经整体耐压检验合格后方可出厂，运输过程应避免碰撞，运到试验现场后应妥善保管，不得进行人为扰动、拆卸、现场拼装或重新组装；宜对组成荷载箱的液压缸逐一进行校准，各液压缸应同型号且相同油压时的液压缸出力相对误差应小于 3%，加载分级数不宜少于 5 级；有条件时宜进行整体校准时。

3.4 测试项目和数量

3.4.1 通过测试桩身内力可推算桩侧、桩端阻力。水平试验宜同时进行桩身受压区、受拉区内力测试。在浇筑混凝土时应保护预埋器件。养护、开挖土方、制作桩帽时应妥善保护预埋器件的出露部分。

3.4.2 本地区大直径抗压桩基本采用端承型桩，抗拔桩多数采用嵌岩桩。如果在静载试验的同时测得桩端位移随荷载变化的曲线，对掌握试验桩的实际工作性状会有很大帮助。采用滑动测微计监测桩身应变时，可由桩顶位移推算出桩端位移。

3.4.3 本条及本标准中的“静载试验桩”即桩基检测工作通常叫的“受检桩”。试验前后对锚桩、试验桩进行完整性检测，有助于调整试验准备措施及分析试验结果，采用灌注桩或有接头预制桩作为单桩竖向抗压静载试验用锚桩或单桩水平静载试验用反力桩时，试验准备阶段宜检测其桩身完整性。对于水平静载试验桩，常因推力过大造成桩身开裂或折断，试验完成后用低应变法验证很有必要。有些厂家生产的荷载箱上配置的位移测量通道可兼做声测管，可直接利用其进行声波透射法检测。

3.4.4 本地区采用的灌注桩基础，桩径和单桩承载力分布丰富多变，宜按持力层和施工工艺划分桩的类型。统计各类型桩总数时，首先应按桩承担的荷载功能分为抗压桩、抗拔桩和水平受荷桩三个大类，再按主要持力层的岩土风化程度或强度分成小类，试验数量是小类桩总数的 1%。由于大直径桩的尺寸效应明显，类型划分也要适当考虑桩径的变化，对较大直径的桩进行静载试验更安全。

依据行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106，验收阶段静载试验数量为各类桩总数的 1%且不少于 3 根（总数小于 50 根时抽检 2 根）。

3.5 试验方案

3.5.2 预埋装置的安装平面布置应考虑和千斤顶、位移管、应力应变传感器引线、滑动测微管、压重平台、锚桩、基准梁等位置的协调。

3.6 试验报告

3.6.2 当进行了桩身内力测试后，试验报告还应给出桩端位移、桩侧的岩土阻力分布、桩侧和桩端的承载力极限值。

报告结论中除了表述承载力数值外，还应表述其对应的沉降量。对于沉降量偏大的还可写上沉降较大（加大、变形加快）等字样，以响应变形控制的设计原则。意见和建议要围绕基桩工作机理，对荷载、抗力和变形的变化过程加以描述，以供设计和施工参考。

静载试验结果不满足设计要求时，可采用钻芯法验证持力层岩土性状和沉渣厚度，分析原因，采取针对性措施进行处理。

4 试验装置设计

4.1 一般规定

4.1.1 由于大直径灌注桩静载试验的重要性、实施的复杂性、试验费用高、占用工期长、安全隐患大等特点，正式试验前应进行大量周密的准备工作。本标准将各方法所需的试验前准备工作单独成章以突出其重要性，方便系统地实施准备工作，也符合试验工作先后顺序流程。

本条规定和“施工勘察”相似。若现状和原先预计的现场环境有异、场地不能满足原定反力装置对地基承载力的要求时，应及时和相关各方协商处理。还应根据试验设备进场、安装、退场等需要明确进退场路线、明确道路承载能力要求及场地处理要求。

4.1.2 试验所需措施常有：双套筒制安、荷载箱定制安装、应力变形监测器件安装、桩帽、场地地基处理设计施工、锚桩及反力桩等。

4.1.3 由于试验桩一般安装有各类传感器等设备，为了准确布置桩帽、支墩、锚桩、反力桩等，宜在试验桩施工后再进行其它措施施工。

4.2 压重平台

4.2.1 本省最大堆载重量已达 60000kN，规定此限以满足大多数工程需求。包括主梁、次梁、荷重块重量在内的压重平台的总重量不得小于预计最大试验荷载的 1.2 倍，60000kN 堆载重量可以对特征值 25000kN 的抗压桩实施验收试验。

最大试验荷载 30000kN 以下压重平台的高宽比（h/d）宜不超过 1:1。若对支墩下地面进行了换填、复合地基处理，浇筑了钢筋混凝土筏板的，高宽比（h/d）可放宽到 1.5:1。根据既往工程经验，最大试验荷载 50000kN 压重平台的高宽比不超过 1.5:1。平台过高会给堆码施工带来很大困难并且安全隐患大。

为了降低压重平台高度，荷重块宜采用混凝土块、钢渣混凝土块。最大试验荷载超过 50000kN 时可采用压重锚桩联合等反力装置。

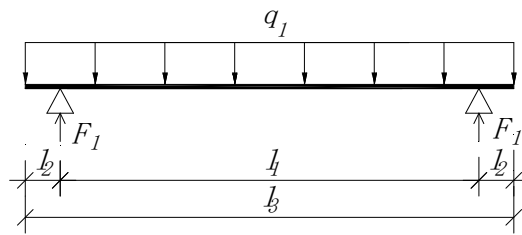
4.2.3 由于为试验专门施做的桩帽，试验结束后需要拆除，费时费工，也不经济，

可以在桩帽设计时考虑其今后作为基础的一部分。

4.2.5 本条规定参照了广东省标准《建筑地基基础检测规范》DBJ/T 15-60 中的规定。

4.2.6 平台重量通过支墩将荷载传给支墩下地基，故需验算压重荷载作用下试验场地承载力和变形。验算地基承载力时的压重包括压重块、钢次梁和支墩(钢箱板或钢筋混凝土荷重块)重量。地面是填土、淤泥质土等地基承载力低变形大的土层时应采取换填、搅拌桩、注浆等地基处理方式。由于大直径灌注桩静载试验的荷载水平高、平台体量大，从安全和工期角度出发对地基承载力提出了更严格的要求。

4.2.9 可按图 1 验算压重已堆码完毕但还没有开始加载时钢次梁的内力。可按图 2 验算最大试验荷载时钢主梁和次梁内力。



q_1 —堆载已完成但还未加载时次梁承受的均布荷载； F_1 —加载前次梁支座反力；
 l_1 —次梁支撑跨度； l_2 —次梁外挑长度； l_3 —次梁长度

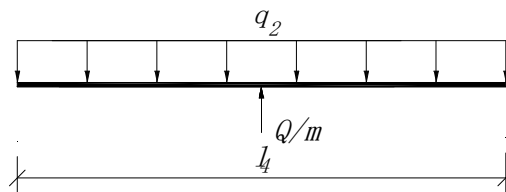
图 1 堆载已完成还未加载时钢次梁内力计算简图

$$q_1 = \frac{G_1}{nl_3} \quad (1)$$

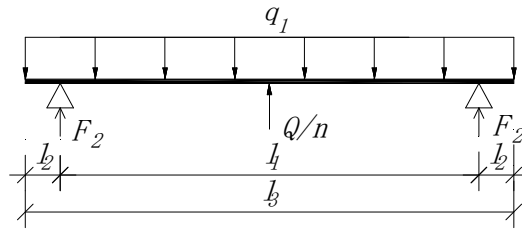
$$F_1 = \frac{q_1 l_3}{2} = \frac{G_1}{2n} \quad (2)$$

式中： G_1 —压重块重量；

n —次梁条数。



(a) 主梁内力计算简图



(b) 次梁内力计算简图

q_2 —预计最大试验荷载下主梁承受的均布荷载； F_2 —预计最大试验荷载下次梁支座反力；

Q —预计最大试验荷载； m —主梁条数； l_4 —主梁长度

图 2 加载至最大试验荷载时钢主（次）梁内力计算简图

$$q_2 = \frac{Q}{ml_4} \quad (3)$$

$$q_1 = \frac{G_1}{nl_3} \quad (4)$$

$$F_2 = \frac{q_1 l_3 - Q/n}{2} = \frac{G_1/n - Q/n}{2} \quad (5)$$

如果堆码重量不很大、又使用了承载力较高的次梁，次梁布置间距会较大，这时主梁应按多个集中荷载验算。

主梁、次梁产生弯曲变形后，堆码在其上的压重块因相互间没有连接而在块与块之间出现裂缝，对层间未丁顺结合方式堆码的压重平台，张开角度和梁的挠度变形呈比例关系。为防止压重平台变形过大、混凝土荷重块张开缝隙过大，应对钢梁的允许变形加以控制，建议主（次）梁最大挠度为 $l/200$ （ l 为半跨悬臂梁悬臂长度或简支梁支撑跨度）。附录 A 中列出了常用钢梁挠度的计算值。

4.2.10 本条差异沉降的规定参考了行业标准《危险房屋鉴定标准》JGJ 125 中危险状态时的房屋整体倾斜率限值。

当吊装过程中出现场地承载能力达不到要求的情形时，有采用边吊装边试验的方法，但需要对基准系统进行监控。如果在吊运 70% 码重前已出现差异沉降超标，就不宜采用该方式，需要卸除重新处理地基后再堆码。

4.3 锚桩横梁

4.3.2 为了避免静载试验桩和锚桩受荷后桩周土应力叠加，在钢梁长度允许的前提下，锚桩宜远离试验桩。计算间距用的桩径取试验桩和锚桩中较大者，当试验桩或锚桩为扩底桩时，取扩底直径。

4.3.3 由于深圳花岗岩地区抗拔桩不满足设计要求的现象时有发生，为使试验能顺利进行，反力计算使用锚桩的抗拔力特征值。还有则是本市基岩埋深浅，嵌岩抗拔锚桩使用特征值比使用极限值的造价增加并不太多。当使用管桩、非花岗岩地层的灌注桩做锚桩时，在施工质量可靠时，反力可以用抗拔承载力极限值。

深圳市建设工程质量检测中心长期的实测数据显示，上拔位移接近 20mm 左右后，桩侧土阻力将达到极限状态。锚桩设计时需注意最大试验荷载工况下锚桩的上拔位移不宜超过 20mm。在还没有成熟的抗拔桩上拔量计算方法之前，上述经验值可供设计参考。

4.3.4 使用工程桩做锚桩，静载试验桩有可能不在锚桩平面中心点，应验算偏心荷载下反力装置的强度、刚度和稳定性。

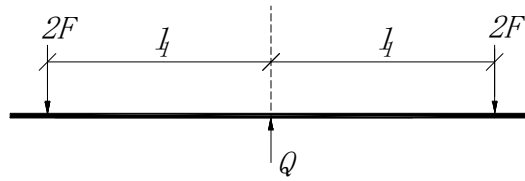
英国土木工程师学会(ICE)颁布的 *ICE Specification for Piling and Embedded Retaining Walls: 2007* (打桩和预埋挡土墙规范) 规定，采用工程桩作为锚桩时，上拔量不应超过桩基础设计荷载下沉降量的 50%。试验结束 48h 内进行桩身完整性检测。

4.3.5 由于使用锚桩横梁反力装置时的最大试验荷载不会很高，视具体情况可不施做桩帽，但需找平、加钢垫板。

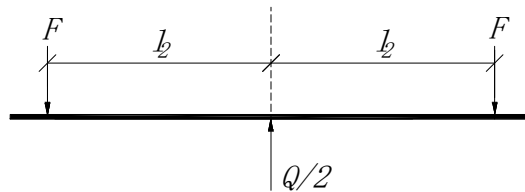
4.3.7 反力横梁宜采用箱型钢梁，采用工字钢梁时应验算平面外稳定性，必要时采取加肋等措施。连接构件和锚桩主筋搭接焊接长度不宜小于 10d。

4.3.8 主梁采用以次梁为支点的简支梁、次梁采用以锚桩为支点的简支梁按图 3 受力简图验算。和压重平台反力装置相比，单纯的锚桩横梁反力装置不存在荷

重块堆载体裂缝扩张的危险，可不验算钢主（次）梁挠度。



(a) 主梁（简支）受力计算简图



(b) 次梁（简支）受力计算简图

Q —预计最大试验荷载； F —锚桩提供的下拉力； l_1 —次梁受力点到千斤顶作用力中心线距离；
 l_2 —锚桩中心到次梁中心的距离

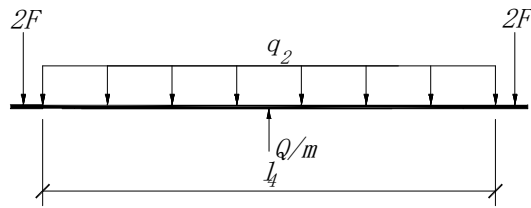
图3 锚桩主（次）梁受力计算简图

4.4 压重锚桩联合

4.4.7 压重锚桩联合反力装置中反力发挥顺序遵循先压后锚原则，因各锚桩的荷载变形特性有差异，加载至后期平台四角的不均匀变形难以避免，故在堆载高度上比单纯压重平台反力装置更严格些。考虑安全、造价、工期及多数检测单位设备条件和实测经历等因素，建议了压重锚桩联合时压重平台总荷重不宜超过 36000kN，不足的由锚桩弥补。当然，根据具体工程的特定条件，在保障安全的前提下，钢梁长度足够、压重平台承重方式可靠，压重平台总荷重可不受此限。

由于加载过程中，试验桩向下沉降、压重平台支墩下地面向上回弹、主次梁挠曲变形、锚桩向上位移、连接钢筋伸长等变形先后发生并动态变化，虽然要求先发挥压重反力，后发挥锚桩反力，但各自发挥反力的程度会通过变形协调动态调整。当超出变形协调的范围后，比如连接有锚桩的次梁底标高比荷重块下的次梁底标高高出较多时，有可能出现压重平台悬空的情况，试验时应密切关注，避免发生危险。必要时中断试验采取措施后继续试验。

4.4.9 主梁可按图 4 受力简图验算。次梁可参照本标准第 4.2.9 条和第 4.3.8 条规定验算。有多个主梁时， F 是锚桩的下拉力分摊到每根主梁上力。



q_2 —预计最大试验荷载下主梁承受的均布荷载； F —四根锚桩中每根锚桩提供的下拉力；

Q —预计最大试验荷载； m —主梁根数； l_4 —主梁计算长度

图 4 主梁受力计算简图

$$q_2 = \frac{Q - 4F}{ml_4} \quad (6)$$

以下是某工程试验桩采用压重锚桩联合反力装置静载试验的实例：

1 场地岩土条件、试验荷载

场地位于深圳市南山区后海。场地地质条件复杂，上覆淤泥层厚度最大达 11.50 m。试验桩桩径 1400 mm，3 根试验桩桩长 96~119 m（有效桩长）+20~28m（上部空桩部分），混凝土强度等级 C40，桩端位于强风化粗粒花岗岩下层，旋挖工艺施工，试验桩设计抗压承载力特征值 18800 kN。设计要求最大试验荷载 18800 kN×2=37600kN，需要最大反力 18800 kN×2×1.2=45120kN。

表 1 场地工程地质概况表

土层名称	岩土状态	层厚（m）	层顶高程（m）
素填土	松散~稍密	0.70~8.00	—
人工填石	松散~稍密	0.50~9.30	—
淤泥	流塑	0.60~11.50	-4.82~5.63
砾质黏性土	可塑~硬塑	8.70~38.80	-6.64~-4.08
粗粒花岗岩全风化层	坚硬土状	6.30~36.00	-43.68~-13.54
粗粒花岗岩强风化上层	坚硬土夹角砾状	10.10~35.00	-72.14~-29.42
粗粒花岗岩强风化中层	坚硬土夹碎块状	11.60~38.30	-92.38~-44.01

粗粒花岗岩强风化下层	碎块状	0.70~38.30	-125.51~-70.40
粗粒花岗岩中风化层	块状、少量短柱状	0.80~34.50	-150.51~-80.40
粗粒花岗岩微风化层	长短柱状、少量块状	1.60~8.90	-159.47~-87.88

2 主次梁规格、数量

选用主梁规格为 13m×0.55m×1.2m，次梁规格为 8m×0.55m×1m，荷载分别能达到 12000kN 和 8000kN。需用主梁 4 条，次梁 6 条。在次梁上方满布宽 0.85 米高 0.4 米长 12 米的钢梁构成压重堆码平台，使压重平稳堆放。

3 桩帽设计

4 条主梁的宽度为 4×0.55m=2.2m，用 6 个 800 吨千斤顶，千斤顶外径 560mm，最低高度 577mm，千斤顶布置方式：中心 1 个、其余 5 个紧挨中心沿圆周均匀布置，千斤顶轮廓构成直径为 1680mm 的圆周。

试坑开挖面积 3m×3m，深度 1.5 m，桩帽截面 2.2m×2.2m，高度 1.0m，桩帽上用细砂找平，上覆 2.2m×2.2m 厚度 50mm 的钢板，千斤顶顶端也放置 2.2m×2.2m 厚度 50mm 的钢板。

4 锚桩设计（平面布置、直径、长度、配筋）

考虑锚桩和试验桩间距要满足行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014 中 $\geq 4d$ 且 > 2 m，为了减少锚桩和试验桩之间的干扰，锚桩直径不宜大于试验桩直径，试验桩桩径 1400 mm，故锚桩与试验桩中心距离应 ≥ 5.6 m，选用常见直径 1200mm 的锚桩，桩端设置在试验桩桩端之上的强风化上（中）层，设置 4 根锚桩，假定所有锚桩受力相同且不考虑偏心受拉，则每根锚桩的抗拔承载力特征值应不小于 $45120 \div 4 = 11280$ kN，桩侧阻力、设计桩径、桩长及桩身配筋设计计算见下表 2、表 3。

表2 锚桩侧阻力特征值

地层分层	灌注桩桩侧阻力特征值 (kPa)	试桩周边场地各地层平均厚度 (m)	抗拔系数 λ
素填土	7	3.28	0.5
淤泥	2	5.18	0.1
砾质黏性土	27	23.95	0.6

全风化	55	19.33	0.7
强风化上	85	19.39	0.7
强风化中	100	24.33	0.8
强风化下	130	10.15	0.8

表3 锚桩设计和方案对比表

方案	压重 (kN)	锚桩单桩抗拔承载力特征值 (kN)	设计桩径 (mm)	设计桩长 (m)	混凝土灌注量 (m ³)
1	0	11280	1200	79.71	360.60
2	5000	10030	1200	75.57	341.85
3	10000	8780	1200	71.42	323.10

综合考虑锚桩的安全性、施工可靠性、场地和堆载的难易程度等因素选择方案3，即10000kN压重和4根71.42m长度的锚桩组成压重锚桩联合反力装置。其中每根锚桩自重约2000kN，作为储备未计算在总反力之中。

锚桩桩径1200mm，保护层厚度50mm，钢筋笼外径1100mm，纵筋采用30根HRB400级32钢筋，次梁压在钢筋笼中心处，次梁宽度范围内的10根纵筋需截断。由于静载试验中锚桩至少需要 $8780 \div (804.2\text{mm}^2 \times 360\text{N/mm}^2 \div 1000) = 30$ 根32钢筋，因此需在桩顶以下 $5d_1$ (d_1 为锚桩桩径)范围内加密纵筋，两侧各加10根HRB400级28钢筋，纵筋伸出锚桩桩顶不少于1.5m。

考虑锚桩的桩长较长，参考场地周边其它桩基工程经验，未对锚桩采用桩侧注浆加固措施。

5 连接构造

采用筒形连接件将锚桩受拉钢筋焊接在筒壁外侧。

6 试验结果

表4 试验结果汇总表

试验桩号 (#)	桩长 (m)	桩径 (mm)	最大试验荷载 (kN)	最大沉降量 (mm)	卸荷后残余沉降量 (mm)	卸荷后回弹率 (%)	单桩竖向抗压承载力检测值(kN)	单桩竖向抗压承载力极限值(kN)
1#	96.42	1400	38728	65.73	30.74	53.23	38728	≥ 38728
2#	100.32	1400	30080	107.68	68.95	35.97	22560	22560
3#	118.62	1400	41360	73.99	33.32	54.97	39334	39334

4.5 抗拔试验

4.5.1 检查时应核对主筋的直径和数量，验算最大试验荷载是否小于全部抗拔钢筋抗拉强度设计值。否则，试验中钢筋可能会被拉断，安全隐患大。

4.5.2 与抗压静载试验要求相比，抗拔试验时静载试验桩与反力支墩之间的距离规定地更严了。这是因为在抗压静载试验中，对试验桩加载时压重平台支墩卸载，试验桩卸载时压重平台支墩加载，而在抗拔静载试验中，试验桩加载时支座也加载，支座下土中应力影响区域逐步扩大会对试验桩侧阻力、基准桩变形产生影响。

4.5.3 端承型桩受荷后沉降小，桩间差异沉降小，有利于反力梁的稳定，常规千斤顶的行程也容易覆盖试验全程的位移。反力桩承载力应按深圳市规范《地基基础勘察设计规范》SJG 01 计算。规定反力桩桩长超过试验桩是为了减少反力桩桩端压应力作用在静载试验桩侧土体上影响试验结果的准确性。当设置 2 根反力桩使用 4 个千斤顶时，宜在反力桩头施作钢筋混凝土反力短梁，进行抗弯、抗受剪验算。

4.5.5 连接构件和静载试验桩主筋宜采用焊接连接时，连接构件和桩主筋搭接焊接长度不宜小于 10d。

4.6 水平试验

4.6.3 桩顶自由的单桩水平试验中假定桩顶处在半无限平面，因水平承载力一般都不大，迎面坑壁太近会影响抗力，这个间距宜不小于 4 倍桩径。试坑宽度考虑试验时基准桩与试桩净距不应小于 1 倍桩径且不宜小于 2m 的要求。行业标准《港口工程桩基规范》JGJ 254 规定：沿水平力方向桩与桩的中心距等于、大于 6~8 倍桩径或桩宽的水平承载桩，也可按单桩设计。即 6d 是考虑群桩效应的最小桩间距。该标准还规定在水平静载荷试验采取对顶时，其净距不应小于 5 倍桩径。

4.6.4 试坑深度较浅、坑壁反力不足时，可在坑外地面用压重堆载辅助。

4.6.5 使用工程桩做反力桩时，试验中应监测其变形。对因此而受损的桩应处理

后使用。

4.6.7 规定水平力作用点宜与实际工程的桩基承台底面标高一致，是因为如果水平力作用点高于桩基承台底面标高，试验时在相对承台底标高处产生附加弯矩，影响测试结果，也不利于将试验成果根据实际桩顶的约束予以修正。使用球形铰支座的作用是在试验过程中，保持作用力的方向始终水平和通过桩轴线，不随桩的倾斜或扭转而改变。

4.7 自平衡试验

4.7.1 因无统一规格，荷载箱均需定制加工。选用荷载箱时，应根据桩径确定荷载箱的直径，根据埋设位置和施工工艺确定荷载箱中间开洞尺寸，开洞尺寸除能够满足导管顺利穿过外还应保证翻浆质量。

4.7.2 荷载箱在运输时一般采用叉车装卸，荷载箱受力位置不正确时会使油管或油嘴受到破坏。在运输途中中转及在工地现场移动时均应注意正确吊装，否则油管或油嘴也容易遭到损坏，因此安装之前应仔细检查。由于工地现场环境条件差，建议荷载箱不要在工地现场长时间存放，短时间存放时还应有遮阳避雨措施。

4.7.4 荷载箱的埋设位置主要根据勘察资料给出的岩土层以及各土层的参数来确定。试验前一定要采用可靠的勘察资料，钻探孔位置距离桩中心一般不宜大于 5.0m。在岩面起伏较大或灰岩地区，5.0m 水平距离内的地质情况变化也会较大，这时候就要采用原桩位的钻孔资料以确保勘察资料的准确性。

在抗拔桩上安装时，当桩底岩土层强度不足，可在成桩时施工额外延长段，利用该延长段的侧阻力和端阻力共同提供试验所需反力。

双荷载箱的优点是能将桩侧和桩端的承载力全部发挥出来。采用双荷载箱时，应该根据试验目的和岩土资料确定各荷载箱的埋设位置，同时应注意加载顺序，以分别测定桩的极限端阻力和各段的极限侧阻力。安装时上、下荷载箱的声测管、位移杆（丝）的布局一致是便于上下统一安装；上、下荷载箱垂直度偏差不大于 1° 是为了便于导管通过。

4.7.5 桩身上部、下部位移的测量是通过位移杆或位移丝来传递，位移杆或位移

丝应有护套管保护，护套管应确保不漏浆。各测点外露部分应注意保护，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。

4.7.6 一般荷载箱在钢筋笼下放之前应与钢筋笼焊接在一起，钢筋笼在荷载箱位置处应断开。在施工质量保证的情况下，如人工挖孔桩，可也先浇筑荷载箱下部的混凝土，然后安放荷载箱，再浇筑灌上部混凝土。荷载箱位移方向与桩身轴线夹角小于 1° 时，偏心影响很小，可忽略不计。

4.7.7 位移丝或位移杆不得损坏，否则无法测得该处位移，导致试验数据不全或结果出现偏差。因此，在试验前破除桩头时应对位移管和油管严加保护。

5 单桩竖向抗压静载试验

5.1 一般规定

5.1.3 对工程桩验收试验，为验证 2.0 的设计安全系数，规定了最大加载量不应小于单桩承载力特征值的 2.0 倍。

5.2 仪器设备安装

5.2.2 大直径灌注桩静载试验使用的基准梁较长，最长已达 24 米，传统的槽钢梁或工字钢梁在刚度、重量和风阻方面都不及桁架梁或格构梁。

5.2.5 在大直径高承载力桩的静载试验中，试验桩、锚桩和支墩间距已经比较近，这时可用于设置基准桩和基准梁的空间非常有限。使用满足要求的长梁时，梁截面大、重量重、拼接后稳定性差，运输困难，经常还是使用短梁，这时基准桩和锚桩、支墩边间的距离难以满足规定，故应对不满足长度要求的基准梁支点（基准桩）竖向位移实施监测，复核试验桩沉降。

美国材料实验协会（ASTM）发布的 *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load (ASTM D1143-2012)*（深基础轴向静荷载标准试验方法）也有同样规定：利用水准仪或其它手段全过程监测基准梁和反力装置的稳定性。

5.3 加卸荷与量测

5.3.1 美国材料实验协会（ASTM）发布的 *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load (ASTMD1143-2012)*（深基础轴向静荷载标准试验方法）和欧洲标准 *Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules (EN 1997-1)*（欧标 7：岩土工程设计—第一部分：一般要求）：允许 7 种试验方法，建议采用快速法，其余 6 种为可选择的方法，包括维持荷载法、超载维持荷载法、等时间间隔加载法、等贯入速率法、等沉降增量法、循

环加载法。

香港土木工程署颁布的标准 *Pile Design and Construction (GEO Publication No. 1/2006)* (桩基础设计与施工) 介绍主要采用维持荷载法, 较少使用等贯入速率法。

英国土木工程师学会 (ICE) 标准 *ICE Specification for Piling and Embedded Retaining Walls: 2007* (打桩和预埋挡土墙规范) 中有循环加载和非循环加载维持荷载法。

英国标准化学会 (BSI) 标准 *Code of Practice for Foundations (BS 8004:1986)* (基础工程实施规程) 中有维持荷载法和匀速贯入法。

5.3.3 美国材料实验协会 (ASTM) 发布的 *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load (ASTM D1143-2012)* (深基础轴向静荷载标准试验方法) 中相对稳定判定标准是 0.25 mm/h。

英国土木工程师学会 (ICE) 标准 *ICE Specification for Piling and Embedded Retaining Walls: 2007* (打桩和预埋挡土墙规范) 中相对稳定判定标准是:

- 1 桩顶总沉降小于 10mm 时, 沉降速度小于 0.1mm/h;
- 2 桩顶总沉降 10~24mm 时, 沉降速度每小时小于 0.01 倍桩顶总沉降;
- 3 桩顶总沉降大于 24mm 时, 沉降速度小于 0.24mm/h。

5.3.6 本条所列情况均属试验未完成。对此将加载和反力系统调整后继续试验, 即按多循环方式加载至预定荷载, 该结果数据可做参考。使用锚桩横梁或压重锚桩联合反力装置, 在最大试验荷载前锚桩抗拔力即将达到极限时, 可及时补加压重继续试验。使用工程桩作锚桩时, 锚桩上拔量已达到允许值后补加重方可继续试验。锚桩上拔量的允许值与地层、桩长有关, 可按短桩 5mm、长桩 10mm 控制。深圳市建设工程质量检测中心大量实测结果显示, 灌注桩桩顶极限上拔量在 20mm~40mm。

5.4 数据分析与判定

5.4.2 本条第 3 款按变形控制原则确定单桩竖向抗压极限承载力, 对直径小于

800mm 的桩，宜取 $s=40\text{mm}$ 对应的荷载值。按本条第 4 款情况确定的单桩竖向抗压承载力，实际尚未达到极限状态，有时也被称为拟极限承载力。

5.4.3 设计时如果极差不超过平均值 30% 时，取多桩极限承载力的算术平均值为单桩竖向抗压极限承载力、再除以 2 作为单桩承载力特征值，验收时就很可能在以 2 倍特征值加载后出现不合格桩的情况。故本条第 3 款要求按国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》中方法和公式统计计算。

5.4.4 美国材料实验协会（ASTM）发布的 *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load (ASTM D1143-2012)*（深基础轴向静荷载标准试验方法）中安全系数取值给了工程师更大的主动性，取值可以为 2.5~4.0。

5.4.6 对有缺陷桩的处理应按有关程序进行。

6 单桩竖向抗拔静载试验

6.1 一般规定

6.1.2 工程桩验收试验时,对不允许带裂缝工作的工程桩,最大试验荷载宜由设计方计算确定。设计阶段进行过试验桩单桩竖向抗拔静载试验的,基于不因试验产生裂缝的原因,最大试验荷载可小于特征值的 2.0 倍、但不宜低于特征值的 1.2 倍,以留有一定的安全储备。

6.1.3 当上拔荷载不大,加载使用的钢梁、接长钢筋、锚板、锚具重量不可忽略,确定最大试验荷载、计算分级荷载时应计入该部分重量,最后在试验结果中予以扣除。

在广东省标准《建地基基础设计规范》DBJ 15-31、《建筑工程抗浮设计规程》DBJ/T 15-125、深圳市标准《地基基础勘察设计规范》SJG 01 中单桩抗拔承载力特征值计入了桩身自重,这和本章试验方法确定的抗拔承载力一致。而行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476 中单桩抗拔承载力特征值未计桩身自重,按本章方法试验的结果还应扣除桩身自重,相应的在确定试验分级荷载和最大试验荷载时还应加上桩身自重。即试验参数和结论应和设计采用的规范相统一。

6.2 仪器设备安装

6.2.6 静载试验桩和反力系统的连接可参照附录 J 提供的方式,或者使用不同规格的反力架锚固连接。接长主筋的构造要求可参照《混凝土结构设计规范》GB 50010 要求,搭接焊长度不小于 10d。

试验中如果出现桩顶上拔荷载未达到钢筋抗拉强度标准值而被拉断情况,意味着钢筋受力不均匀或钢筋原材可能不达标,应具体分析,视情况决定是否继续试验。

6.3 加卸荷与量测

6.3.1 也可采用多循环加、卸载方法模拟反复荷载作用工况。

6.3.3、6.3.4 在某级荷载作用下，桩顶上拔量大于前一级上拔荷载作用下的上拔量的 5 倍时，对不允许带裂缝工作的工程桩，可终止加载；对其它工程桩，累计上拔量应不大于 15mm 时仍可继续加载。

本市大量灌注桩抗拔试验显示，桩顶上拔位移在 20mm 左右、最高 30mm 后，桩土摩阻力将达到极限状态，之后若继续加载，荷载将不能维持、位移将持续增大。

6.3.5 为了能对破坏后的静载试验桩合理使用，应准确掌握其破坏后实际剩余的承载能力，以便于进行工程处理。残余承载力的概念和岩土体残余强度的概念类似，即 $U-\delta$ 曲线峰值过后荷载下降到该值时荷载维持不变。由于现有静载试验方法均是按等荷载增量控制加卸载，还不能按等变形方式控制，故只有通过二次试验的方法获得残余承载力，试验时荷载分级要小，视上拔量变化速率达到稳定标准的时间长短，综合判定残余承载力。

6.4 数据分析与判定

6.4.2 在某级荷载下 $U-\delta$ 曲线发生明显陡升、 $\delta-1gt$ 曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显弯曲的，意味着桩侧土已达到塑形变形状态，单桩竖向抗拔极限承载力取前一级上拔荷载值。按本条第 1 款确定的单桩竖向抗拔极限承载力尚未全部发挥。但当某级荷载作用下，桩顶上拔量大于前一级上拔荷载作用下的上拔量 5 倍，且累计上拔量不大于 15mm 的，可不按陡升段处理。但对于不允许出现裂缝的桩，上拔量变化速率突然变大意味着桩身混凝土被拉裂。

7 单桩水平静载试验

7.1 一般规定

7.1.1 根据桩顶不同的约束条件，水平静载试验有桩顶自由的、有桩顶不能自由转动的，也有带承台的（考虑承台的底面阻力和侧面抗力，以便充分反映桩基在水平力作用下的实际工作状态），还有桩顶施加垂直荷载的。这些都可根据设计要求参考本方法进行试验。

香港土木工程署颁布的标准 *Pile Design and Construction (GEO Publication No. 1/2006)*（桩基础设计与施工）中指出：桩的水平承载力受上覆压力的影响很大，因此，在试验布置中，地面标高应和工作状态一致，否则，应考虑到工程桩与试桩之间上覆压力的差异。试验荷载的性质应尽量与工作状态的实际受荷一致。在水平静载荷试验中一般采用较小的荷载增量。为了模拟风荷载、波浪荷载以及地震荷载，可以采用双向循环加载，比如反复推动和拉动桩身可能是最合适的加载模式。水平荷载试验很少能模拟通常的荷载组合，如承受竖向荷载、水平荷载和弯矩的群桩。可以将试验桩埋设在承台中来模拟桩头固定的情况。当用承台连接一组试验桩时，承台应避免与地面接触。

7.1.2 对试验桩做破坏性试验目的还在于，初步掌握场地及桩型性状，得到水平临界荷载和水平极限承载力为设计提供依据，为后续验收试验提供合理标准。由于承受水平荷载的桩，破坏是由于桩身弯矩引起的桩身结构破坏，试验桩不宜作为工程桩使用，工程桩不应兼做试验桩。

7.1.3 与竖向抗压、抗拔桩不同，混凝土桩在水平荷载作用下的破坏模式一般为弯曲破坏，极限承载力由桩身强度控制。行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 在确定水平承载力特征值时，是按桩身强度、开裂或允许位移等控制的。按设计要求的单桩水平承载力特征值的 $1/0.75$ 取值，是与本标准第 7.4.5 条的单桩水平承载力特征值按“相应试验值”进行折减的取值方法相对应。

7.2 仪器设备安装

7.2.3 需要测量桩身应变获得桩身应力和弯矩时，可按照行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中的规定执行。

7.3 加卸荷与量测

7.3.1 水平静载试验方法一般有单向单循环维持荷载法（慢速维持荷载法）、单向多循环维持荷载法、双向单循环维持荷载法、双向多循环维持荷载法，以及各种混合的试验方法。需要测量桩身横截面弯曲应变的试验桩宜采用慢速维持荷载法。

建筑边坡、基坑工程中，桩长期或较长时间承受水平荷载作用，慢速维持荷载法更符合其工况。单向多循环加载法常见于港工、水运、路桥工程，试验加卸载过程类似于波浪力、风力、震动力、船舶撞击力、行车制动力等作用。水平试验桩多为桩身结构破坏，为缩短试验时间，也可参照行业标准《港口工程桩基规范》JGJ 254。该规范规定：试验方法宜采用单向单循环水平维持荷载法，根据设计要求也可采用多循环等其它水平荷载试验方法；加卸载均应分级进行，加载时每级级差可取预计最大试验荷载的 1/10，卸载时可取 2 倍加载级；加载每级维持 20min，卸载每级维持 10min，从 0 开始，每隔 5min 测读一次，直到到达维持时间止。

美国材料实验协会（ASTM）发布的 *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Lateral Load (ASTMD 3966 – 07)*（深基础水平荷载试验方法）有三种方法，1、标准加载法：加载至设计荷载的200%，加载分10级，荷载持续时间从10min、15min、20min到末级的60min。2、额外加载法（Excess Loading）：加载分10级，加载至设计荷载的250%，荷载持续时间从10min、15min到末级的30min。3、循环加载法：分9个循环，加载至设计荷载的300%，荷载持续时间从10min、15min、20min到末级的60min。

7.3.2 单向多循环加载法可用于模拟地震荷载、风载、制动力等循环荷载。

7.3.3 本条规定的终止条件对于维持荷载法和单向多循环加载法均适用。对中长桩而言，承受水平荷载桩的破坏特征是弯曲破坏，即桩身发生折断，此时试验

自然终止。在工程桩验收试验中，终止加载条件可按设计要求或标准规范规定的水平位移允许值控制，考虑软土的侧向约束能力较差以及大直径桩的抗弯刚度大等特点，终止加载的变形控制值可取上限值。

7.4 数据分析与判定

7.4.1 当桩顶自由且水平力作用位置位于地面时，依据水平试验数据可推定地基土水平抗力系数的比例系数，绘制水平力-地基土水平抗力系数的比例系数（ $H-m$ ）、力作用点的水平位移-地基土水平抗力系数的比例系数（ Y_0-m ）曲线。 m 值可按下列公式计算：

$$m = \frac{(v_y H)^{\frac{5}{3}}}{b_0 Y_0^{\frac{5}{3}} (EI)^{\frac{2}{3}}} \quad (7)$$

$$\alpha = \left(\frac{mb_0}{EI} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (8)$$

式中： m ——地基土水平抗力系数的比例系数(kN / m⁴)；

α ——桩的水平变形系数(m⁻¹)；

v_y ——桩顶水平位移系数，由式（8）试算 α ，当 $\alpha h \geq 4.0$ 时（ h 为桩的人土深度），取值 2.441；

H ——作用于地面的水平力（kN）；

Y_0 ——水平力作用点的水平位移（m）；

EI ——桩身抗弯刚度（kN·m²）；其中 E 为桩材弹性模量， I 为桩身换算截面惯性矩；

b_0 ——桩身计算宽度(m)；对于圆形桩：当桩径 $d \leq 1m$ 时， $b_0 = 0.9(1.5d + 0.5)$ ；当桩径 $d > 1m$ 时， $b_0 = 0.9(d + 1)$ 。对于矩形桩：当边宽 $b \leq 1m$ 时， $b_0 = 1.5b + 0.5$ ；当边宽 $b > 1m$ 时， $b_0 = b + 1$ 。

地基土水平抗力系数的比例系数 m 的计算公式仅适用于水平力作用点至试坑底面的桩自由长度为零时的情况。试验得到的地基土水平抗力系数的比例系数 m 不是一个常量，而是随地面水平位移及荷载而变化的曲线。

低荷载水平下， m 值较高，随荷载增加桩侧土的塑性区逐渐扩展而降低。因此， m 取值应与实际荷载、允许位移相适应。

按桩、土相对刚度不同，水平荷载作用下的桩 - 土体系有两种工作状态和破坏机理，一种是“刚性短桩”，因转动或平移而破坏，相当于 $ah < 2.5$ 时的情况；另一种是工程中常见的“弹性长桩”，桩下段嵌固于土中不能转动，桩身产生挠曲变形，即本条中 $ah \geq 4.0$ 的情况。在 $2.5 \leq ah < 4.0$ 范围内，称为“有限长度的中长桩”。行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94对中长桩的 v_y 变化给出了具体数值（见表5）。因此，在按公式（7）计算 m 值时，应先试算 ah 值，以确定 ah 是否大于或等于4.0，若在2.5~4.0范围以内，应调整 v_y 值重新计算 m 值（有些行业标准不考虑）。当 $ah < 2.5$ 时，公式（7）不适用。

表5 桩顶水平位移系数 v_y

桩的换算埋深 ah	4.0	3.5	3.0	2.8	2.6	2.4
桩顶自由或铰接时的 v_y 值	2.441	2.502	2.727	2.905	3.163	3.526
注：当 $ah > 4.0$ 时取 $ah = 4.0$ 。						

7.4.2 单桩水平临界荷载是桩身受拉区混凝土开裂退出工作前的最大荷载。对于混凝土长桩或中长桩，随着水平荷载的增加，桩侧土体的塑性区自上而下逐渐发展扩大，最大弯矩断面下移，最后桩身结构破坏。所测水平临界荷载为桩身产生开裂前所对应的水平荷载。只有混凝土桩才会产生开裂，故只有混凝土桩才有临界荷载。

7.4.3 单桩水平极限承载力是对应于桩身折断或桩身钢筋屈服时的前一级水平荷载。

7.4.5 行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 中根据静载试验结果确定单桩水平承载力特征值，是把桩身强度、开裂或允许位移等作为控制条件的。以桩身配筋率0.65%为界，大于0.65%的由位移控制，即按水平位移10mm（敏感建筑物取6mm）对应的荷载的75%取为特征值；小于0.65%的由桩身强度控制，即特征值取临界荷载的75%；由永久荷载控制的再乘以0.8。同时，该规范中单桩水平承载力特征值以桩身配筋率0.65%为界有两个计算公式用于初步设计，

一个主要由桩身混凝土抗拉强度等参数控制、另一个主要由桩顶允许水平位移等参数控制。本条增加了单桩水平承载力特征值的其它取法，目的是适应不同设计工况及验收需要。

单桩水平承载力特征值除与桩的材料强度、截面刚度、入土深度、土性条件、桩顶水平位移允许值有关外，还与桩顶边界条件（嵌固情况和桩顶竖向荷载大小）有关。由于建筑工程基桩的桩顶嵌入承台深度通常较浅，桩与承台连接的实际约束条件介于固接与铰接之间，这种连接相对于桩顶完全自由时可减少桩顶位移，相对于桩顶完全固接时可降低桩顶约束弯矩并重新分配桩身弯矩。如果桩顶完全固接，水平承载力按位移控制时，是桩顶自由时的 2.60 倍；对较低配筋率的灌注桩按桩身强度（开裂）控制时，由于桩顶弯矩的增加，水平临界承载力是桩顶自由时的 0.83 倍。如果考虑桩顶竖向荷载作用，混凝土桩的水平承载力将会产生变化，桩顶荷载是压力，其水平承载力增加，反之减小。

桩顶自由的单桩水平静载试验得到的承载力和弯矩仅代表试桩条件的情况，要得到符合实际工程桩嵌固条件的受力特性，需将试桩结果转化，而求得地基土水平抗力系数是实现这一转化的关键。考虑到水平荷载-位移关系的非线性且 m 值随荷载或位移增加而减小，有必要给出 $H-m$ 和 Y_0-m 曲线并按以下确定 m 值：

- 1 可按设计给出的实际荷载或桩顶位移确定 m 值；
- 2 设计未作具体规定的，可取水平承载力特征值对应的 m 值。

8 自平衡荷载试验

8.1 一般规定

8.1.1 基桩自平衡荷载试验适用于黏性土、粉土、砂土、碎石土、岩石以及特殊性岩土的大直径灌注桩；特别适用于传统静载试验方法难以实施的坡地、基坑坑底、狭窄场地及极高承载力桩的静载试验。

8.1.2 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。

对超长桩，因土层较多、岩土力学参数不准确、施工工艺不合理等因素，使得平衡点难以真正确定，单荷载箱试验易导致某一段测不出极限值，试验结果偏保守，故推荐选用双荷载箱。根据设计目的和工程实际情况，当需要得到桩分段承载力、压浆前后桩承载力、深长嵌岩桩承载力、扩底桩承载力、液化土层桩承载力、冲刷效应桩承载力、土体卸载桩承载力时，宜采用双荷载箱。

8.1.3 传统单桩竖向抗拔静载试验因受桩身裂缝的控制，最大试验荷载可能达不到单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍。自平衡荷载试验因试验时桩身受压，在反力足够的情况下，应加载至单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍。

8.1.4 由于本市端承型桩的持力层基岩埋深较浅、单桩的端阻力高于侧阻力，桩长较短，不存在“平衡点”，这时使用自平衡法需要增加压重弥补反力不足。摩擦型桩的长度一般较长，可以计算出“平衡点”。

8.1.5 为检测桩端持力层是残积土、强风化岩上的抗拔桩，由于残积土、强风化岩可能遇水软化、崩解，仅靠桩端承载力不足以提供试验所需反力，这时可采用加大桩长的措施。

8.1.6 试验时，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向上向下残余位移之和），但桩身其它部位并未破坏，上下段桩仍通过荷载箱连接在一起，且荷载箱位置上下通过导向筋与荷载箱连接，能保证荷载箱位置混凝土浇筑质量和荷载传递。对于在工程桩上完成的抗压试验，为更好地保证试验后桩能正常使用，施工单位应对抗压

桩试验时荷载箱部位产生的缝隙进行后注浆处理。注浆是通过位移杆（丝）护套管或注浆管，用压浆泵将不低于桩身强度的水泥浆注入荷载箱张开位置。

荷载箱处进行后注浆后的强度应满足设计要求。注浆过程宜符合下列要求：

1 注浆前应对荷载箱缝隙进行压水清洗，向一管中压入清水，待另一管中流出的污水变成清水时，开始对荷载箱内的缝隙进行注浆；

2 注浆量宜按从一根注浆管注入，相邻注浆管冒出新鲜水泥浆来控制；

3 注浆压力不应小于 2MPa，持续时间不应少于 5 分钟。

8.2 仪器设备安装

8.2.1 因自平衡（或其和压重平台联合）静载试验，地面无（或者不大的）附加应力，可以使用长度和截面较小的基准梁。

8.2.2 桩顶位移的测量起辅助判断作用。桩顶位移因不含上段桩的压缩量，会略小于荷载箱向上位移，如两者之间相差较大，应分析原因。

8.3 加卸荷与量测

8.3.2 和本标准第 5.3.5 条第 3 款不同的是，此处位移是荷载箱向上位移和荷载箱（或桩底）向下位移。抗拔承载力试验时，向下位移仅作参考。

8.4 数据分析与判定

8.4.3 等效转换方法是将自平衡荷载试验测试得到的荷载箱处向上（向下）荷载—位移曲线等效转换为传统静载试验的桩顶荷载—位移曲线的方法。

8.4.4 自平衡抗压试验时，荷载箱埋设在设计桩端标高以上，试验时荷载箱上段桩的自重与附加重量方向与桩侧阻力方向一致，自平衡测出的上段桩的摩阻力方向是向下的，与传统静载试验得到的摩阻力方向相反，故在计算桩身受到向上的桩侧阻力时应当扣除。传统试验加载时，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。

式 8.4.4-1 和 8.4.4-2 中的 γ_1 宜按广东省标准《基桩自平衡法静载试验技术规程》DBJ/T15-103 中式 5.2.4-3 加权计算。

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，宜根据实际情况通过相近条件的比对试验和经验确定。即使出现抗拔转换系数 γ_2 小于 1.1 的情况，为保证安全， γ_2 取值不得小于 1.1。

8.4.6 桩的承载力由岩土阻力和桩身强度控制。对于抗压试验，自平衡荷载试验为双向加载，桩身中的应力是传统试验的一半；对于抗拔试验，自平衡荷载试验时桩身受压，传统试验桩身受拉，故自平衡荷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。