

江苏建科建筑技术培训中心

静载试验

—— 补充讲义 ——



季 鹏 研究员高级工程师

史晓伟 高级工程师

参培须知

- 1、参培学员应按课程表和分班表中的内容、时间及要求参加培训。
- 2、参培学员应服从教务安排，不得无故缺席、早退，认真做好笔记，课堂上应将手机调至静音或关机状态。
- 3、培训期间须爱护一切公物，禁止在课桌上乱写乱画，如有损坏须照价赔偿。严禁吸烟，不得随地吐痰，不得乱扔纸屑和其它杂物。
- 4、培训期间学员须自行保管好学习资料及财物，如有遗失责任自负。
- 5、学员食宿自理，住宿请按酒店入住要求办理相关手续。
- 6、参培企业**发票统一快递**，能力水平评价期间不予换领发票。
- 7、本期能力水平评价具体时间和准考证打印，请关注**江苏建科建筑技术培训中心网站 <http://jkpx.jsqjc.com/>**。
- 8、会务专用房间：民国楼一楼 B101 咨询电话：13770773113 田老师
- 8、培训地点：**南京市鼓楼区中山北路 178 号 华江饭店 民国楼二楼(V288)**。

培训地点路线图



2019年全省第四期建设工程质量检测人员培训班 培训课程及分班表

日期	时间		培训方式	培训项目	参培地区
11.19 ~ 12.09	全天		网络培训	静载试验（检测员班）	缴费完成后自动开通
			网络培训	静载试验（检测工程师班）	
			网络培训	锚杆承载力试验（检测员班）	
			网络培训	锚杆承载力试验（检测工程师班）	
			网络培训	取芯法检测（检测员班）	
			网络培训	取芯法检测（检测工程师班）	
11.24 周日	全天	09:30 ~17:30	报到、办理相关手续，领取培训讲义		
11.25 周一	上午	08:00 ~10:00	面授培训	高应变法检测（检测员班）	全省
	上午	10:00 ~12:00	面授培训	高应变法检测（检测工程师班）	全省
	下午	13:00 ~15:00	面授培训	声波透射法检测（检测员班）	全省
	下午	15:00 ~17:00	面授培训	声波透射法检测（检测工程师班）	全省
11.26 周二	上午	8:30 ~11:30	面授培训	低应变法检测（检测工程师）	全省
	下午	13:30 ~15:00	面授培训	低应变法检测（检测员班）	全省

备注：本期学员请按规定的分班班次参加培训。

目 录

第一章 概述	1
一、地基	1
二、建筑物基础	2
三、地基基础设计等级	2
四、地基基础工程检测	3
五、地基与基础试验现状	4
第二章 术语和符号	5
第一节 术语	5
第二节 符号	7
第三章 静载荷检测	10
第一节 概述	10
第二节 一般规定	11
第三节 基本理论	19
第四节 仪器设备	27
第五节 现场检测技术方法	32
第六节 数据的处理与资料整理	44
第七节 报告的编写	54
第八节 工程实例	56
第三章 静载荷检测思考题	65
第四章 地基及复合地基静载荷试验	66
第一节 概述	66
第二节 一般规定	67
第三节 基本理论	68
第四节 静载试验仪器设备	74
第五节 现场检测技术方法	75
第六节 数据的处理与资料整理	84
第七节 报告的编写、审签、资料归档	89
第四章 地基静载试验思考题	92

第一章 概述

随着我国经济建设的高速发展，建筑工程的发展日新月异。现阶段每年的用桩量超过数百万根，并且沿海地区和长江中下游软土地区地基处理规模大。如此大量的地基基础工程，其质量的保证，一直倍受建设、施工、设计、勘察、监理各方以及建设行政主管部门的关注。地基基础除因受岩土工程条件、基础与结构设计、基础—土体系相互作用、施工技术水平等因素的影响而具有复杂性外，地基基础的施工还具有高度的隐蔽性，发现质量问题难，事故处理更难。近年来，建筑中的质量问题和重大质量事故多与基础工程质量有关，其中有不少直接危及主体结构的正常使用与安全。因此，地基基础检测工作是整个建筑工程中不可缺少的重要环节，只有提高检测工作的质量和检测评定结果的可靠性，才能真正做到确保建筑工程质量与安全。

一、地基

在建筑物下支承建筑物基础的土体或岩体称之为建筑物地基。建筑物地基分为两类：未作加固处理即能满足建筑物荷载要求的地基称之为天然地基，这类地基从工程地质特性不同又分为：一般粘性土地基、砂类土或碎石类土地基、软弱地基、山区地基、湿性黄土地基、季节性冻土地基、膨胀土地基等。在建筑场地天然地基的承载力和变形不能满足上部建筑物需要时，一般采用地基处理的方法，即采用人工方法来提高地基土的承载力，改善其变形性质或渗透性质，以满足建筑物对地基变形和稳定性的需要。经人工处理后的建筑物地基称之为人工地基，例如填土地基、固结排水、石灰桩或灰土桩挤密地基、强夯地基等。在人工地基中，一类是处理地基，通过采用人工方法改善变形性质或渗透性质后的地基。如换填垫层、预压地基、压实地基、夯实地基和注浆加固等；另一类是在天然土层中设置不同刚度的加固体，如振冲碎石桩、土桩、灰土桩、砂石桩、生石灰桩、深层搅拌桩、旋喷桩、CFG 桩（水泥、粉煤灰、碎石桩）、灌注桩和预制桩等，由桩（竖向加固体）与桩周土体所组成的复合地基来承受建筑物的荷载。另外还有加筋、锚杆等（水平加固体、斜向加固体）。人工地基由于施工方便，造价较低，在建筑物竖向荷载比较小的多层住宅建筑或水池类构筑物中得到了较广泛的应用。

二、建筑物基础

由于地基土层的压缩性大，强度小，上部结构荷载一般不能通过墙、柱直接传给地基，必须在墙、柱底部与地基接触处适当扩大尺寸，把应力扩散后传给地基。这个建筑结构物的下部部份，即将结构所承受的各种作用传递到地基上的下部结构称为基础。基础按埋深条件分浅基础(埋深小于基础宽度的 1.5 倍~2 倍或埋深小于 5 米)、深基础(大于等于基础宽度的 2 倍或埋深大于 5 米)。桩基础属于一种深基础，它是指在天然土层中设置刚性桩体(灌注桩或预制桩)和连接于桩顶的承台组成桩基础。作用于承台上的建筑物荷载通过承台分配到每根桩，再由桩顶传递给桩周土体和桩端土体。

三、地基基础设计等级

《建筑地基基础设计规范》GB50007 所说的建筑物地基基础设计等级是按照地基基础设计的复杂性和技术难度确定的，划分时考虑了建筑物的性质、规模、高度和体型；对地基变形的要求；场地和地基条件的复杂程度；以及由于地基问题对建筑物的安全和正常使用可能造成影响的严重程度等因素。这与《建筑桩基技术规范》JGJ94 根据桩基损坏时造成建筑物的破坏后果(危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响)的严重性所划分的建筑桩基安全等级其作用是一致的。

地基基础设计等级 表 1-1

设计等级	建筑和地基类型
甲级	重要的工业与民用建筑物 30 层以上的高层建筑 体型复杂，层数相差超过 10 层的高低层连成一体建筑物 大面积的多层地下建筑物(如地下车库，商场、运动场等) 对地基变形有特殊要求的建筑物 复杂地质条件下的坡上建筑物(包括高边坡) 对原有工程影响较大的新建建筑物 场地和地基条件复杂的一般建筑物 位于复杂地质条件及软土地区的二层及二层以上地下室的基坑工程 开挖深度大于 15m 的基坑工程 周边环境条件复杂、环境保护要求高的基坑工程
乙级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物 除甲级、丙级以外的基坑工程
丙级	场地和地基条件简单，荷载分布均匀的七层及七层以下民用建筑及一般工业建筑物； 次要的轻型建筑物 非软土地区且场地地质条件简单、基坑周边环境条件简单、环境保护要求不高且开挖深度小于 5.0m 的基坑工程

四、地基基础工程检测

为了确保建筑物基础的工程质量而进行的现场试验，包括天然地基、处理地基、复合地基及其增强体单桩和复合地基载荷试验，单桩竖向抗压载荷试验，单桩竖向抗拔载荷试验、单桩水平向载荷试验、基桩低应变或高应变动力测试、声波透射法测试、钻芯法检测等称之地基基础工程检测。其目的是为工程提供承载力的设计依据，或对地基与桩基工程的施工质量进行检验，或为桩基施工选择最佳工艺参数，或为本地区采用的新桩型与新的地基处理工艺提出承载力的设计依据。基桩检测除应在施工前为设计提供依据的检测和施工后的验收检测外，尚应采取符合现行规范规定的检测方法或《建筑地基基础施工质量验收规范》（GB50202）规定的其他检测方法，进行桩基施工过程中的检测，特别是一些新方法（如摄像法、电磁法等）的使用，加强施工过程质量控制，做到信息化施工。如钻孔灌注桩施工中应提倡或明确规定采用一些成熟的技术和常规方法进行孔径、孔斜、孔深、沉渣厚度和桩端岩（土）性鉴别等项目的检验；对于打入式预制桩，提倡沉桩过程中的动力监测等。

地基基础载荷试验是在原位条件下，向地基或基础逐级施加荷载，并同时观测其变形规律的一种原位测试方法。它是确定天然地基、人工地基（复合地基、处理地基）和基桩承载力和变形特性的综合测试方法，也是确定某些特殊土地基特征指标的有效方法，又是原位测试（如静力触探、标准贯入试验、动力触探、基桩高应变动力测试等）赖以对比的基本方法。

当前地基与基桩静载荷试验所依据的技术标准有：

《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）

《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）

《建筑基桩检测技术规范》（JGJ106-2014）

《建筑地基检测技术规范》（JGJ340-2015）

《建筑地基处理技术规范》（JGJ79-2012）

《建筑地基基础工程施工质量验收规范》（GB50202-2018）

江苏省《建筑地基基础检测规程》（DGJ32/T 142-2012）

江苏省《建设工程质量检测规程》（DGJ32/T 21-2009）

五、地基与基础试验现状

在中国，地基基础测试技术经历了 60 多年的研究，并得到了迅速发展。伴随着改革开放，1972 年湖南大学周光龙教授提出了动力参数法；1978 年东南大学唐念慈教授，在国内首先将波动方程理论用于渤海 12 号平台钢管桩的动力测试，编制了 BF81 程序；1980 年甘肃建科所编制了以输入实测力波为初始条件的计算程序；中国建筑科学研究院地基所 1988 年编制了类似 CAPWAP/C 的 FEIPWAPC 程序并研制成功桩基动测系统 FEI。东南大学从 80 年代末起就已开发研制成功 PDAS 桩基分析仪并用于工程。1981 年四川省建科院与中国建科院合作研制成功了锤击贯入法，1982 年西安公路研究所与中国科学院电工研究所共同开发了水电效应法，20 世纪 90 年代我国相继颁布建工行业标准《基桩低应变动力检测规程》（JGJ/T93-95）和《基桩高应变动力检测技术规程》（JGJ106-97），标志着中国的基桩测试技术进入了一个蓬勃发展的阶段。

在江苏省，20 世纪 80 年代起全省高等院校、科研单位开始陆续研究地基基础测试技术，并取得了一批成果，实现了科研成果向工程应用的转换。全省各地逐渐将基桩检测新技术应用到桩基工程的质量控制中。

第二章 术语和符号

第一节 术语

地基 ground, foundation soils

支承基础的土体或岩体。地基分为天然地基、处理地基和复合地基。

天然地基 natural foundation soils, natural ground

在未经人工处理的天然土(岩)层上直接修筑基础的地基。可分为天然土地基和天然岩石地基。

处理地基 the foundation of treatment soils

为提高地基的承载力, 通过采用人工方法改善变形性质或渗透性质后的地基。

复合地基 composite ground, composite foundation

部分土体被增强或被置换, 而形成的由地基土和增强体共同承担荷载的处理地基。

基础 foundation

将结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分。

桩基础 pile foundation

置于岩土中的桩和连接于桩顶端的承台共同组成的基础。

基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

基础锚杆 foundation anchor

将基础承受的竖向受拉荷载, 通过锚杆的拉结作用传递到基础底部的稳定岩土层中去的锚杆。

单桩承载力 pile bearing capacity

指桩基础中单桩在不同使用状态下所能承受的荷载。

单桩静载试验 static loading test

在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和单桩水平承载力的试验方法(维持荷载标准法、维持荷载收敛法)。

平板载荷试验 plate loading test

在天然地基(含深部地基及大直径桩桩端土层)、处理土地基、复合地基的表面逐

级施加竖向压力，测量天然地基、处理土地基、复合地基的表面随时间产生的沉降，以确定天然地基、处理土地基、复合地基的竖向抗压承载力的试验方法。又分为深层平板载荷试验、浅层平板载荷试验两种。

岩石地基载荷试验 rock foundation loading test

在岩石地基的表面逐级施加竖向压力，测量岩石地基的表面随时间产生的沉降，以确定岩石地基的竖向抗压承载力的试验方法。

桩身内力测试 Measuring of internal load in pile

通过桩身应变、位移的测试，计算荷载作用下桩侧阻力、桩端阻力或桩身弯矩的试验方法。

标准贯入试验 standard penetration test (SPT)

用质量为 63.5kg 的穿心锤，以 76cm 的落距，将标准规格的贯入器，自钻孔底部预打 15cm，记录再打入 30cm 的锤击数，判定土的力学特性的一种原位试验方法。

圆锥动力触探试验 dynamic penetration test (DPT)

用一定质量的重锤，以一定高度的自由落距，将标准规格的圆锥形探头贯入土中，根据打入土中一定距离所需的锤击数，判定土的力学特性的一种原位试验方法。

静力触探试验 cone penetration test (CPT)

通过静力将标准圆锥形探头匀速压入土中，根据测定触探头的贯入阻力，判定土的力学特性的一种原位试验方法。

桩身完整性 pile integrity

反映桩身截面尺寸相对变化、桩身材料密实性和连续性的综合定性指标。

桩身缺陷 pile defects

使桩身完整性恶化，在一定程度上引起桩身结构强度和耐久性降低的桩身断裂、裂缝、缩颈、夹泥（杂物）、空洞、蜂窝、松散等现象的统称。

低应变法 low strain integrity test

采用低能量瞬态激振方式在桩顶激振，实测桩顶部的速度时程曲线，通过波动理论分析，对桩身完整性进行判定的检测方法。

高应变法 high strain dynamic test

用重锤冲击桩顶，实测基桩上部的速度和力时程曲线，通过波动理论分析，对单桩竖向抗压承载力和桩身完整性进行判定的检测方法。

声波透射法 cross hole sonic logging

在预埋声测管之间发射并接收声波, 通过实测声波在混凝土介质中传播的声时、频率和波幅衰减等声学参数的相对变化, 对桩身完整性进行判定的检测方法。

钻芯法 core drilling method

采用单动双管钻具钻取桩身混凝土和桩底岩土芯样以检测桩长、桩身缺陷及其位置、桩底沉渣厚度以及桩身混凝土的强度、密实性和连续性, 判定或鉴别桩底持力层岩土性状、判定桩身完整性类别的检测方法。钻芯法也可用于地下连续墙和复合地基竖向增强体等的检测。

第二节 符号

抗力和材料性能

c ——桩身一维纵向应力波传播速度 (简称桩身波速);

C_u ——地基土不排水抗剪强度;

E ——桩身材料弹性模量;

E_0 ——土的变形模量;

f_{ak} ——地基土的承载力特征值;

f ——混凝土芯样试件抗压强度;

f_s ——双桥探头的侧壁摩阻力;

f_{spk} ——复合地基的承载力特征值;

m ——地基土水平抗力系数的比例系数;

N ——标准贯入试验锤击数;

N_{10} ——轻型圆锥动力触探锤击数;

$N_{63.5}$ ——重型圆锥动力触探锤击数;

N_{120} ——超重型圆锥动力触探锤击数;

p_s ——单桥探头的比贯入阻力;

q_c ——双桥探头的锥头阻力;

Q_u ——单桩竖向抗压极限承载力;

R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值;

- v ——桩身混凝土声速；
 Z ——桩身截面力学阻抗；
 μ ——土的泊松比；
 ρ ——桩身材料质量密度。

作用与作用效应

- F ——锤击力；
 H ——单桩水平静载试验中作用于桩身的水平力；
 N_{\max} ——锚杆的最大试验荷载；
 p ——平板载荷试验中施加于承压板表面单位面积上的竖向抗压荷载；
 P_f ——剪损土体的总作用力；
 Q ——施加于单桩和地基的竖向抗压荷载，施加于锚杆轴向抗拉荷载；
 s ——沉降量；
 U ——单桩竖向抗拔静载试验中施加的上拔荷载；
 V ——质点运动速度；
 Y_0 ——单桩水平静载试验中水平力作用平面的桩身水平位移；
 δ ——单桩竖向抗拔静载试验中的桩顶上拔量。

几何参数

- A ——桩身横截面面积；
 b ——矩形桩的边宽，承压板直径或边宽；
 b_0 ——桩身计算宽度；
 B ——支墩宽度；
 d ——桩身直径（管桩外径），芯样试件的平均直径；
 L ——桩长。

计算系数

- A_c ——声波透射法波幅异常判断的临界值；
 J_c ——凯司法阻尼系数；
 α ——修正系数，摩阻比(%)，桩的水平变形系数；
 β ——高应变法桩身完整性系数；
 λ ——样本中不同统计个数对应的系数；

v_y ——桩顶水平位移系数；
 ξ ——混凝土芯样试件抗压强度换算系数。

其他

A_p ——声波波幅值；
 a ——声波信号首波峰值电压；
 f ——频率；
 n ——样本数量；
 T ——信号周期；
 t ——时间；
 v_0 ——声速的异常判断值；
 v_{01} ——异常小值判断值；
 v_{02} ——异常大值判断值；
 v_c ——声速的异常判断临界值；
 v_L ——桩身混凝土声速低限值；
 γ_Q ——载荷分项系数；
 γ_s ——统计修正系数；
 δ ——原位试验数据的变异系数；
 φ_i ——原位试验数据的试验值或试验修正值；
 φ_k ——原位试验数据的标准值；
 φ_m ——原位试验数据的平均值；
 σ_f ——原位试验数据的标准差；
 Δf ——幅频曲线上谐振峰间的频差；
 Δt ——速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差。

第三章 静载荷检测

第一节 概述

《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 对“静载试验 static loading test”的定义是：在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。

基桩静载试验的目的主要有：为工程提供承载力的设计依据，为基桩工程的施工质量进行检验和评定提供依据，为基桩施工选择最佳工艺参数，或为本地区采用的新桩型与提出承载力的设计依据。

基桩静载试验是在原位条件下，向原型基础和缩尺模型基础逐级施加荷载，并同时观测基础沉降规律的一种原位测试方法，是目前进行承载力和变形特性评价的最可靠的方法，也是其它方法（如基桩高应变法）与之进行比对的标准。

为了掌握基桩检测技术，基桩检测工程技术人员有必要充分了解当前基桩设计原理、基桩的工作机理、施工工艺、存在的质量问题，十分熟悉现场检测技术和影响检测结果的关键检测环节，深刻理解和掌握检测数据的分析处理技术和综合判定的方法。只有这样，才能胜任基桩检测的全过程检测工作，为工程建设提供准确、可靠、合理的检验成果。

几个基本概念：

地基 subgrade foundation soils：为支承基础的土体或岩体。

基础 foundation：将结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分。

桩基础 pile foundation：由设置于岩土中的桩和联接于桩顶端的承台组成的基础。

基桩 foundation pile：桩基础中的单桩。

第二节 一般规定

一、基桩检测方法和内容

1.试样必须源自受检地基基础工程，并采取见证的形式确定试样。试样应符合相关检测方法的技术要求。

2.地基基础的验收检测，试样数量应按下列原则确定：

- 1) 按单位工程计算，为设计提供依据的试样数量不计入验收检测的抽检总数；
- 2) 单位工程相同条件下的地基基础作为一个抽检批次；
- 3) 具体的抽检数量遵循各种检测方法的规定。

注：相同条件是指相近的地质条件，相同的地基类型、规格、设计要求、施工工艺等

3.验收检测的试样位置应在施工完成后随机确定，并应均匀分布，确定试样位置时还应考虑下列因素：

- 1) 局部地质条件出现异常；
- 2) 设计方认为重要；
- 3) 委托方认为必须选取；
- 4) 施工中有异常。

4.提供设计依据的单桩承载力，应通过单桩静载试验确定。

《建筑桩基技术规范》JGJ94 和《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 规定：设计等级为甲级、乙级，地质条件复杂、桩施工质量可靠性低，本地区采用的新桩型或新工艺以及设计有要求的桩基施工前应采用静载试验确定单桩竖向抗压承载力特征值。

5.工程桩应进行单桩承载力和桩身完整性抽样检测

工程桩应进行承载力检验是现行《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 和《建筑地基基础设计规范》GB50007 以强制性条文的形式规定的；混凝土桩的桩身完整性检测是 GB50202 质量检验标准中的主控项目。因工程桩的预期使用功能要通过单桩承载力实现，完整性检测的目的是发现某些可能影响单桩承载力的缺陷，最终仍是为减少安全隐患、可靠判定工程桩承载力服务。所以，基桩质量检测时，承载力和完整性两项内容密不可分，往往是通过低应变完整性普查找出基桩施工质量问题并得到对整体施工质量的大致估计。

6. 基桩检测方法应根据检测目的按表 3-1 选择。

检测方法及检测目的 表3-1

检测方法	检测目的
单桩竖向抗压静载试验	确定单桩竖向抗压极限承载力 判定竖向抗压承载力是否满足设计要求 通过桩身内力及变形测试、测定桩侧、桩端阻力； 验证高应变法的单桩竖向抗压承载力检测结果
单桩竖向抗拔静载试验	确定单桩竖向抗拔极限承载力 判定竖向抗拔承载力是否满足设计要求 通过桩身内力及变形测试，测定桩的抗拔摩阻力
单桩水平静载试验	确定单桩水平临界和极限承载力，推定土抗力参数 判定水平承载力是否满足设计要求 通过桩身内力及变形测试，测定桩身弯矩
钻芯法	检测灌注桩桩长、桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度，判断或鉴别桩端岩土性状，判定桩身完整性类别
低应变法	检测桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别
高应变法	判定单桩竖向抗压承载力是否满足设计要求； 检测桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别 分析桩侧和桩端土阻力
声波透射法	检测灌注桩桩身缺陷及其位置，判定桩身完整性类别

表 3-1 所列 7 种方法是基桩检测中最常用的检测方法。对于冲钻孔、挖孔和沉管灌注桩以及预制桩等桩型，可采用其中多种甚至全部方法进行检测；但对异型桩、组合型桩，表 3-1 中的 7 种方法就不能完全适用（如高、低应变动测法和声透法）。因此在具体选择检测方法时，应根据检测目的、内容和要求，结合各检测方法的适用范围和检测能力，考虑设计、地质条件、施工因素和工程重要性等情况确定，不允许超适用范围滥用。同时也要兼顾实施中的经济合理性，即在满足正确评价的前提下，做到快速经济。

二、检测工作程序

1.检测工作的程序，应按图 3-1 进行：

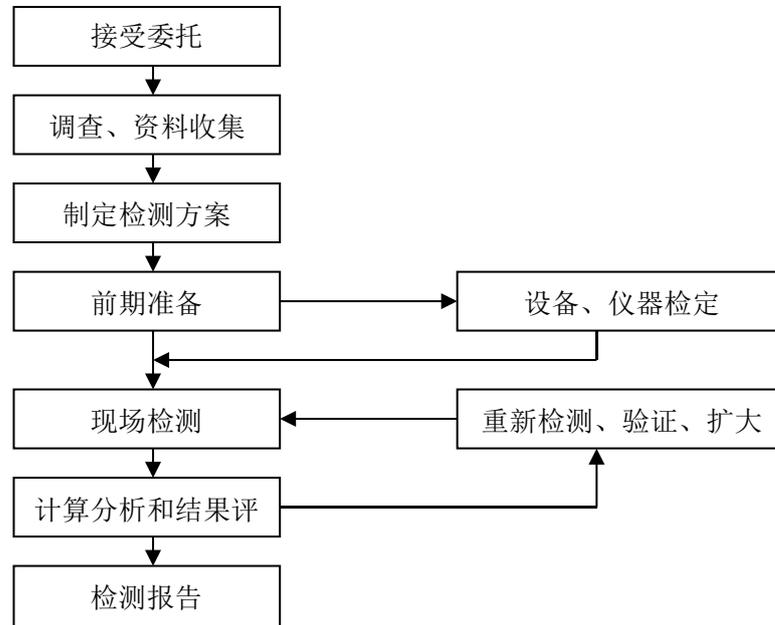


图3-1 检测工作程序

框图 3-1 是检测机构应遵循的检测工作程序。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抽检数量、受检桩桩位、检测方法发生变化。如首先用低应变法普测（或扩检），再根据低应变法检测结果，采用钻芯法、高应变法或静载试验，对有缺陷的桩重点抽测。总之，检测方案并非一成不变，可根据实际情况动态调整。

2.调查、资料收集阶段宜包括下列内容：

收集被检测工程的岩土工程勘察资料、桩基设计图纸、施工记录；了解施工工艺和施工中出现的异常情况。

进一步明确委托方的具体要求。

检测项目现场实施的可行性。

3.应根据调查结果和确定的检测目的，选择检测方法，制定检测方案。检测方案宜包含以下内容：工程概况，检测方法及其依据的标准，抽样方案，所需的机械或人工配合，试验周期。

本条提出的检测方案内容为一般情况下包含的内容，某些情况下还需要包括桩头加固、处理方案以及场地开挖、道路、供电、照明等要求。有时检测方案还需要与委托方或设计方共同研究制定。

4.检测前应对仪器设备检查调试。

此项工作的目的是保证仪器设备处于正常工作状态，从而确保检测数据的准确性。

5.检测用计量器具必须在计量检定周期的有效期内。

检测所用计量器具必须送至法定计量检定单位进行定期检定，且使用时必须在计量检定的有效期之内，这是我国《计量法》的要求，以保证基桩检测数据的准确可靠性和可追溯性。虽然计量器具在有效计量检定周期之内，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计量器具的受损或计量参数发生变化。因此，检测前还应加强对计量器具、配载设备的检查或模拟测试；有条件时可建立校准装置进行自校，发现问题后应重新检定。

6.检测开始时间应符合下列规定：

当采用低应变法或声波透射法检测时，受检桩混凝土强度至少达到设计强度的70%，且不小于15MPa。

当采用钻芯法检测时，受检桩的混凝土龄期达到28d或预留同条件养护试块强度达到设计强度。

承载力检测前的休止时间除应达到本条第2款规定的混凝土强度外，当无成熟的地区经验时，尚不应少于表3-2规定的时间。

休止时间 表3-2

土的类型		休止时间(d)
砂土		7
粉土		10
粘性土	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。

休止期可以这样来理解：沉桩施工中的挤土、钻进、捶击振动作用，不同程度的扰动了地基土的天然结构，会引起高灵敏土的触变、粉细砂土或粉土的振动液化、桩周土的隆起等现象，使桩周土体结构强度严重削弱，桩体上浮，桩周摩阻力和桩端阻力急剧下降，导致基桩承载力严重降低。随着沉桩结束后时间的增加，桩周土体中超孔隙水压力的逐步消散，触变与液化现象的逐步消失，桩周土体的逐步固结，地基土抗剪强度的

逐步提高，地基土对桩的支承力即基桩承载力不断提高。在厚层的软塑或流塑状态的淤泥质土层中，桩基施工所引起对地基土的结构扰动更为严重，波及范围更为广泛。基桩施工结束后，基桩竖向承载力随着时间的增长速率由快变慢的衰减过程，是基桩竖向承载力的演变过程。整个过程将延续比较长的时间，反映了基桩承载力有明显的时间效应。

混凝土是一种与龄期相关的材料，其强度随着时间的增加而增加。在最初几天内强度快速增加，随后逐渐变缓，其物理力学、声学参数变化趋势亦大体如此。桩基工程受季节气候，周边环境或工期紧的影响，往往不允许等到全部工程桩施工完并都达到 28d 龄期强度后再开始检测。为做到信息化施工，尽早发现桩的施工质量问题并及时处理，同时考虑到低应变法和声波透射法检测内容是桩身完整性，对混凝土强度的要求可适当放宽。但如果混凝土龄期过短或强度过低，应力波或声波在其中的传播衰减加剧，或同一场地由于桩的龄期相差大，声速的变异性增大。因此，对于低应变法或声波透射法的测试，规定桩身混凝土强度应大于设计强度的 70%，并不得低于 15MPa。钻芯法检测的内容之一即是桩身混凝土强度，显然受检桩应达到 28d 龄期或同条件养护试块达到设计强度，如果不是以检测混凝土强度为目的的验证检测，也可根据实际情况适当缩短混凝土龄期。高应变法和静载试验在桩身产生的应力水平高，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，桩身混凝土应达到 28d 龄期或设计强度。另外，桩身混凝土强度过低，也可能出现桩身材料应力-应变关系的严重非线性，使高应变测试信号失真。

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，以高灵敏度饱和粘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。

7.施工后，宜先进行工程桩的桩身完整性检测，后进行承载力检测。当基础埋深较大时，桩身完整性检测应在基坑开挖至基底标高后进行。

相对于静载试验而言，本规范规定的完整性检测（除钻芯法外）方法作为普查手段，具有速度快、费用较低和抽检数量大的特点，容易发现桩基的整体施工质量问题，至少能为有针对性的选择静载试验提供依据。所以，完整性检测安排在静载试验之前是合理的。当基础埋深较大时，基坑开挖产生土体侧移将桩推断或机械开挖将桩碰断的现象时有发生，此时完整性检测应等到开挖至基底标高后进行。

8.现场检测期间，除应执行本规范的有关规定外，还应遵守国家有关安全生产的规定。当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时，应采取有效的防护措施。

操作环境要求是按测量仪器设备对使用温湿度、电压波动、电磁干扰、振动冲击等现场环境条件的适应性规定的。

9.当发现检测数据异常时，应查找原因，重新检测。

测试数据异常通常是因测试人员误操作、仪器设备故障及现场准备不足造成的。用不正确的测试数据进行分析得出的结果必然是不正确的。对此，应及时分析原因，组织重新检测。

10.检若测结果不符合设计要求，应由原检测机构扩大检测。扩大检测宜采用原方法，并应符合下列规定：

- 1) 单桩承载力试验、平板载荷试验、锚杆及土钉试验、钻芯法等应按不满足设计要求的测点数量加倍检测。
- 2) 低应变法、声波透射法、高应变法等发现的Ⅲ、Ⅳ类桩之和大于抽检桩数的 10% 时，应按原抽检比例扩大检测。因未埋设声测管而无法采用声波透射法扩大检测时，应改用钻芯法，检测数量参照本规程有关规定。
- 3) 动力触探试验、静力触探试验、标准贯入试验等发现的不满足设计要求的孔数大于已检孔数的 30% 时，应按不满足设计要求的孔数加倍检测。

11.当所采用的检测方法不能满足工程需要或对检测结果有怀疑时，应进行验证检测，并符合下列规定：

- 1) 采用平板载荷试验方法，验证静力触探试验、动力触探试验、标准贯入试验等方法的土（岩）层承载力和变形特性的检测结果。
- 2) 采用高应变法、钻芯法，验证低应变法的检测结果。
- 3) 采用钻芯法，验证声波透射法的检测结果。
- 4) 采用单桩竖向抗压静载试验，验证高应变法的承载力结果。
- 5) 采用水平荷载试验或竖向抗拔静载试验，验证预制桩桩身的疑似缺陷（含接头缺陷）。
- 6) 采用开挖方式，验证桩身的疑似浅部缺陷。

12.验证检测和扩大检测完成后，检测机构应向委托方提交全部检测结果。

三、检测数量

1.当设计有要求或满足下列条件之一时，施工前应采用静载试验确定单桩竖向抗压承载力特征值：

- 1) 设计等级为甲级、乙级的桩基；
- 2) 地质条件复杂、桩施工质量可靠性低；
- 3) 本地区采用的新桩型或新工艺。

检测数量在同一条件下不应少于 3 根，且不宜少于总桩数的 1%；当工程桩总数在 50 根以内时，不应少于 2 根。

施工前进行单桩竖向抗压静载试验，目的是为设计提供依据。对设计等级高且缺乏地区经验的地区，为获得既经济又可靠的设计施工参数，减少盲目性，前期试桩尤为重要。本条规定的试桩数量和第 1~2 款条件，与《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑桩基技术规范》JGJ94 基本一致。考虑到桩基础选型、成桩工艺选择与地区条件、桩型和工法的成熟性密切相关，为在推广应用新桩型或新工艺过程中不断积累经验，使其能达到预期的质量和效益目标，增加了本地区采用新桩型或新工艺时也应进行施工前静载试验的规定。对于大型工程，“同条件下”可能包含若干个子单位工程（子分部工程）。本条规定的试桩数量仅仅是下限，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。

对于端承型大直径灌注桩，当受设备或现场条件限制无法做静载试验时，可按《建筑地基基础设计规范》GB 50007 进行深层平板载荷试验、岩基载荷试验，或同条件下的小直径桩的静载试验中，通过桩身内力测试，确定端承力参数。

2.对单位工程内且在同一条件下的工程桩，当符合下列条件之一时，应采用单桩竖向抗压承载力静载试验进行验收检测：

- 1) 设计等级为甲级的桩基；
- 2) 地质条件复杂、桩施工质量可靠性低；
- 3) 本地区采用的新桩型或新工艺；
- 4) 挤土群桩施工产生挤土效应。

抽检数量不应少于总桩数的1%，且不少于3 根；当总桩数在50 根以内时，不应少于2 根。

注：对上述第 1~4 款规定条件外的工程桩，当采用竖向抗压静载试验进行验收承载力检测时，抽检数量宜按本条规定执行。

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。所以本规范限定的工程桩承载力验收检测范围是在一个单位工程内。本条同时规定了在何种条件下工程桩应进行单桩竖向抗压静载试验及抽检数量低限。与第一条规定条件相比，现对第4 款增加条件说明如下：

挤土群桩施工时，由于土体的侧挤和隆起，质量问题（桩被挤断，拉断，上浮等）时有发生，尤其是大面积密集群桩施工，加上施打顺序不合理或打桩速率过快等不利因素，常引发严重的质量事故。有时施工前虽做过静载试验并以此作为设计依据，但因前期施工的试桩数量毕竟有限，挤土效应并未充分显现，施工后的单桩承载力与施工前的试桩结果相差甚远，对此应给予足够的重视。

3.对于端承型大直径灌注桩，当受设备或现场条件限制无法检测单桩竖向抗压承载力时，可采用钻芯法测定桩底沉渣厚度并钻取桩端持力层岩土芯样检验桩端持力层。抽检数量不应少于总桩数的10%，且不应少于10 根。

4.对于承受拔力和水平力较大的桩基，应进行单桩竖向抗拔、水平承载力检测。检测数量不应少于总桩数的1%，且不应少于3 根。

对于上覆竖向荷载不大的构筑物，如烟囟、埋深及水浮力大的地下结构、送电线路塔等基础中的桩，荷载最不利组合为拔力或推力，承载力静载试验以竖向拔桩或水平推桩为主，并非所有的工程桩承载力检验都要做竖向抗压试验。

四、检测机构和检测人员

1.检测机构应通过计量认证，并具有基桩检测的资质。

建工行业的基桩检测机构只有经国务院、省级建设行政主管部门检测资质认可和计量行政主管部门的计量认证考核合格后，才能合法地进入检测市场开展相应的检测业务。实行这种考核办法旨在确认检测机构的计量检定、测试设备能力、人员技术水平、符合相关检测标准的情况、检测数据可靠性和质量管理体系的有效性，以保证出具的检测结果客观、公正、可靠。

2.检测人员应经过培训合格，并具有相应的资质。

由于基桩检测时需综合考虑地质、设计、施工等因素的影响，这就要求从事基桩检测工作的技术人员应经过学习、培训，具有必要的基桩检测方面的理论基础和实践，并对岩土工程尤其是桩基工程方面的知识有充分了解。

在各种基桩检测方法中，动力检测技术涉及的学科较多，且仍处于发展中，对检测人员的素质、技术水平和实践经验要求都很高。因此，持有工程桩动测资质证书的单位，还需要该单位的检测人员持有经考核合格后颁发的上岗证书。

第三节 基本理论

桩是埋入土中的柱形杆件，其作用是将上部结构的荷载传递到深部较坚硬、压缩性小的土层或岩层上。总体上可考虑按竖向受荷与水平受荷两种工况来分析桩的承载性状。

一、竖向受压荷载作用下的单桩工作机理

单桩竖向抗压极限承载力是指桩在竖向荷载作用下到达破坏状态前或出现不适于继续承载的变形所对应的最大荷载，由以下二个因素决定：一是桩本身的材料强度，即桩在轴向受压、偏心受压或在桩身压曲的情况下，结构强度的破坏；二是地基土强度，即地基土对桩的极限支承能力。

在竖向受压荷载作用下，桩顶荷载由桩侧摩阻力和桩端阻力承担，且侧阻和端阻的发挥是不同步的，即桩侧阻力先发挥，先达极限，端阻后发挥，后达极限；二者的发挥过程反应了桩土体系荷载的传递过程：在初始受荷阶段，桩顶位移小，荷载由桩上侧表

面的土阻力承担, 以剪应力形式传递给桩周土体, 桩身应力和应变随深度递减; 随着荷载的增大, 桩顶位移加大, 桩侧摩阻力由上至下逐步被发挥出来, 在达到极限值后, 继续增加的荷载则全部由桩端土阻力承担。随着桩端持力层的压缩和塑性挤出, 桩顶位移增长速度加大, 在桩端阻力达到极限值后, 位移迅速增大而破坏, 此时桩所承受的荷载就是桩的极限承载力。由此可以看出, 桩的承载力大小主要由桩侧土和桩端土的物理力学性质决定, 而桩的几何特征如长径比, 侧表面积大小, 桩的成桩效应也会影响承载力的发挥。

桩土体系的荷载传递特性为桩基设计提供了依据, 设计部门可根据土层的分布与特性, 合理选择桩径、桩长、施工工艺和持力层, 这对有效发挥桩的承载能力、节省工程造价具有十分重要的作用。

1、侧阻影响分析

从桩的承载机理来看, 桩土间的相对位移是侧摩阻力发挥的必要条件, 但不同类型的土, 发挥其最大摩阻力所需位移是不一样的, 如粘性土为 5~10mm, 砂类土为 10~20mm 等等。大量实验结果表明, 发挥侧阻所需相对位移并非定值, 桩径大小、施工工艺和土层的分布状况都是影响位移量的主要因素。

成桩效应也会影响到侧摩阻力, 因为不同的施工工艺都会改变桩周土体内应力应变场的原始分布, 如挤土桩对桩周土的挤密和重塑作用, 非挤土桩因孔壁侧向应力解除出现的应力松弛等等; 这些都会不同程度的提高或降低侧摩阻力的大小, 而这种改变又与土的性质、类别, 特别是土的灵敏度、密实度和饱和度密切相关。一般来说, 饱和土中的成桩效应大于非饱和土的, 群桩的大于单桩的。

桩材和桩的几何外形也是影响侧阻力大小的因素之一。同样的土, 桩土界面的外摩擦角 δ 会因桩材表面的粗糙程度不同而差别较大, 如预制桩和钢桩, 侧表面光滑, δ 一般为 $1/3\varphi \sim 1/2\varphi$ (φ 为土的内摩擦角), 而对不带套管的钻孔灌注桩、木桩, 侧表面非常粗糙, δ 可取 $2/3\varphi \sim \varphi$ 。由于桩的总侧阻力与桩的表面积成正比, 因此采用较大比表面积(桩的表面积与桩身体积之比)的桩身几何外形可提高桩的承载力。

随桩入土深度的增加, 作用在桩身的水平有效应力成比例增大。按照土力学理论, 桩的侧摩阻力也应逐渐增大; 但实验表明, 在均质土中, 当桩的入土超过一定深度后, 桩侧摩阻力不再随深度的增加而变大, 而是趋于定值, 该深度被称为侧摩阻力的临界深度。

对于在饱和粘性土中施工的挤土桩, 要考虑时间效应对土阻力的影响。桩在施工过

程中对土的扰动会产生超孔隙水压力，它会使桩侧向有效应力降低，导致在桩形成的初期侧摩阻力偏小；随着时间的增长，超孔隙水压力逐渐沿径向消散，扰动区土的强度慢慢得到恢复，桩侧摩阻力得到提高。

2、端阻影响分析

同侧摩阻力一样，桩端阻力的发挥也需要一定的位移量。一般的工程桩在桩容许沉降范围里就可发挥桩的极限侧摩阻力，但桩端土需更大的位移才能发挥其全部土阻力，所以说二者的安全度是不一样的。

持力层的选择对提高承载力、减少沉降量至关重要，即便是摩擦桩，持力层的好坏对桩的后期沉降也有较大的影响；同时要考虑成桩效应对持力层的影响，如非挤土桩成桩时对桩端土的扰动，使桩端土应力释放，加之桩端也常常存在虚土或沉渣，导致桩端阻力降低；挤土桩成桩过程中，桩端土受到挤密而变得密实，导致端阻力提高；但也不是所有类型的土均有明显挤密效果，如密实砂土和饱和粘性土，桩端阻力的成桩效应就不明显。

桩端进入持力层的深度也是桩基设计时主要考虑的问题，一般认为，桩端进入持力层越深，端阻力越大；但大量实验表明，超过一定深度后，端阻力基本恒定。

关于端阻的尺寸效应问题，一般认为随桩尺寸的增大，桩端阻力的极限值变小。

端阻力的破坏模式分为三种，即整体剪切破坏、局部剪切破坏和冲入剪切破坏，主要由桩端土层和桩端上覆土层性质确定。当桩端土层密实度好、上覆土层较松软，桩又不太长时，端阻一般呈现为整体剪切破坏，而当上覆土层密实度好时，则会呈现局部剪切破坏；但当桩端密实度差或处在中高压缩性状态，或者桩端存在软弱下卧层时，就可能发生冲剪破坏。

实际上，桩在外部荷载作用下，侧阻和端阻的发挥和分布是较复杂的，二者是相互作用、相互制约的，如因端阻降低的影响，靠近桩端附近的侧阻会有所降低等等。

3、常见的单桩荷载-位移（ $Q\sim s$ ）曲线

常见的单桩荷载-位移（ $Q\sim s$ ）曲线见图 3-2，它们反映了上述的几种破坏模式。

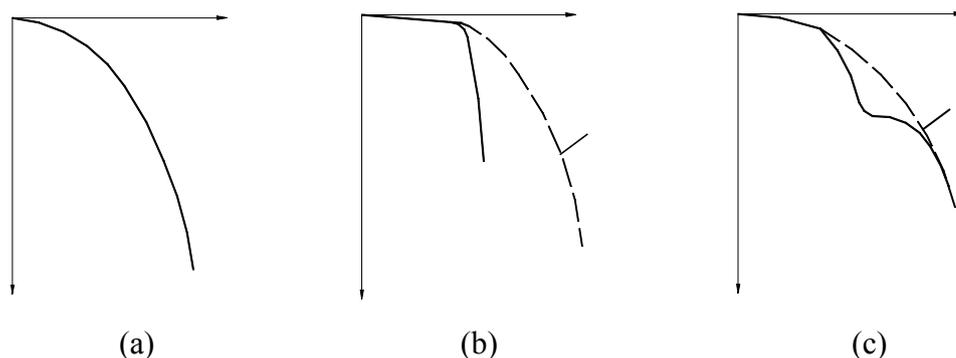


图 3-2 桩的竖向抗压破坏模式

(1) 桩端持力层为密实度和强度均较高的土层（如密实砂层、卵石层等），而桩身土层为相对软弱土层，此时端阻所占比例大， $Q\sim s$ 曲线呈缓变型，极限荷载下桩端呈整体剪切破坏或局部剪切破坏，如图 3-2 (a) 所示。这种情况常以某一极限位移 s_u 确定极限荷载，一般取 $s_u=40\sim 60\text{mm}$ ；对于非嵌岩的长（超长）桩（ $L/D>80$ ），一般取 $s_u=60\sim 100\text{mm}$ ；对于直径大于或等于 800mm 的桩或扩底桩， $Q\sim s$ 曲线一般也呈缓变型，此时极限荷载可按 $s_u=0.05D$ (D 为桩端直径) 控制。

对于缓变型的 $Q\sim s$ 曲线，极限荷载也可辅以其它曲线进行判定，如取 $s\sim \lg t$ 曲线尾部明显弯曲的前一级荷载为极限荷载，取 $\lg s\sim \lg Q$ 第二直线交会点荷载为极限荷载，取 $\Delta s\sim Q$ 曲线的第二拐点为极限荷载等等。

(2) 桩端与桩身为同类型的一般土层，端阻力不大， $Q\sim s$ 曲线呈陡降型，桩端呈刺入（冲剪）破坏，如软弱土层中的摩擦桩（超长桩除外）；或者端承桩在极限荷载下出现桩身材料强度的破坏或桩身压曲破坏， $Q\sim s$ 曲线也呈陡降型，如嵌入坚硬基岩的短粗端承桩；这种情况破坏特征点明显，极限荷载明确，如图 3-2 (b) 所示。

(3) 桩端有虚土或沉渣，初始强度低，压缩性高，当桩顶荷载达一定值后，桩底部土被压密，强度提高，导致 $Q\sim s$ 曲线呈台阶状；或者桩身有裂缝（如接头开裂的打入式预制桩和有水平裂缝的灌注桩），在试验荷载作用下闭合， $Q\sim s$ 曲线也呈台阶状，如图 3-2 (c) 所示。

二、竖向拉拔荷载作用下的单桩工作机理

现有的抗拔计算公式一般可分为理论计算公式与经验公式。理论计算公式是先假定不同的桩基破坏模式，然后以土的抗剪强度及侧压力系数等参数来进行承载力计算，由于抗拔剪切破坏面的不同假定，以及设置桩的方法对桩周土强度指标的影响的复杂性和

不确定性，使用起来比较困难。经验公式则以试桩实测资料为基础，建立起桩的抗拔侧阻力与抗压侧阻力之间的关系和抗拔破坏模式。总的来说，桩基础上拔承载力的计算还是一个没有从理论上很好解决的问题，在这种情况下，现场原位试验在确定单桩竖向抗拔承载力中的作用就显得尤为重要。

单桩竖向抗拔静载荷试验就是采用接近于竖向抗拔桩实际工作条件的试验方法，确定单桩的竖向抗拔极限承载能力，是最直观、可靠的方法。国内外桩的抗拔试验常用的方法是慢速维持荷载法。

当埋设有桩身应力、应变测量传感器时，或桩端埋设有位移测量杆时，可直接测量桩侧抗拔摩阻力分布，或桩端上拔量。具体做法可参照竖向抗压静载试验有关内容进行。

单桩竖向抗拔静载试验一般按设计要求确定最大加载量，为设计提供依据的试验桩应加载至桩侧土破坏或桩身材料达到设计强度。

为设计提供依据的试验桩，为了防止因试验桩自身质量问题而影响抗拔试验成果，在拔桩试验前，宜采用低应变法对混凝土灌注桩、有接头的预制桩检查桩身质量，查明桩身有无明显扩径现象或出现扩大头，接头是否正常，对抗拔试验的钻孔灌注桩可在浇注混凝土前进行成孔检测。发现桩身中、下部位有明显缺陷或扩径的桩不宜作为抗拔试验桩，因为其桩的抗拔承载力缺乏代表性，特别是扩大头桩及桩身中下部有明显扩径的桩，其抗拔极限承载力远远高于长度和桩径相同的非扩径桩，且相同荷载下的上拔量也有明显差别。对有接头的 PHC、PC 和 PTC 管桩应进行接头抗拉强度验算，确保试验顺利进行；对电焊接头的管桩除验算其主筋强度外，还要考虑主筋墩头的折减系数以及管节端板偏心受拉时的强度及稳定性。墩头折减系数可按有关规范选取，而端板强度的验算则比较复杂，可按经验取一个较为安全的系数。

1、破坏模式、极限状态

在上拔荷载作用下，桩身首先将荷载以摩阻力的形式传递到周围土中，其规律与承受竖向下压荷载时一样，只不过方向相反。初始阶段，上拔阻力主要由浅部土层提供，桩身的拉应力主要分布在桩的上部，随着桩身上拔位移量的增加，桩身应力逐渐向下扩展，桩的中、下部的上拔土阻力逐渐发挥。当桩端位移量超过某一数值（通常为 6~10mm）时，就可以认为整个桩身的土层抗拔阻力达到极限，其后抗拔阻力就会下降。此时，如果继续增加上拔荷载，就会产生破坏。

承受竖向拉拔荷载作用的单桩其承载机理同竖向受压桩有所不同。首先抗拔桩常见的破坏形式是桩—土界面间的剪切破坏，桩被拔出或者是复合剪切面破坏，即桩的下部

沿桩—土界面破坏，而上部靠近地面附近出现锥形剪切破坏，且锥形土体会同下面土体脱离与桩身一起上移。当桩身材料抗拉强度不足（或配筋不足）时，也可能出现桩身被拉断现象。其次是当桩在承受竖向拉拔荷载时，桩—土界面的法向应力比受压条件下的法向应力数值小，这就导致了土的抗剪强度和侧摩阻力降低（如桩材的泊松效应影响），而对复合剪切破坏可能产生的锥形剪切体，因其土体内的水平应力降低，也会使桩上部的侧摩阻力有所折减。

承受上拔荷载单桩的破坏形态可归纳为图 3-3 所示的几种形态。

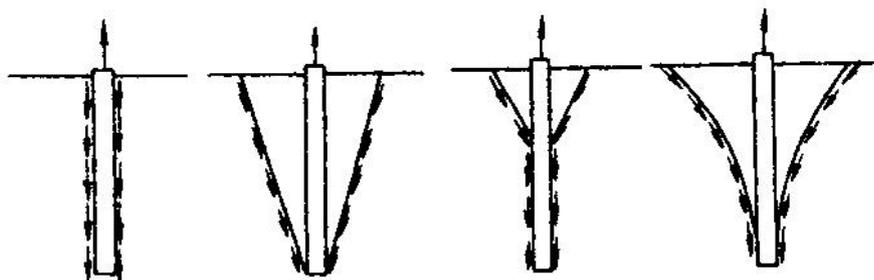


图 3-3 竖向抗拔荷载作用下单桩的破坏形态

关于桩侧抗拔土阻力峰值与桩顶上拔位移量的关系，大致有两种观点：第一种观点认为桩侧最大抗拔土阻力与桩径 D 有关。Resse 1970 年的试验表明：坚硬粘土中钻孔桩的受压侧阻力在桩顶相对位移（ $0.005 \sim 0.02$ ） D 时达最大值，并由此推出上拔位移量比下压位移要大些，可取为 $0.02D$ 。另外一种观点则认为，桩侧最大抗拔土阻力与桩顶位移之间的关系比较固定，基本上与桩径无关。就目前对抗拔桩的研究水平来看，后一种观点比较符合实际。

桩的抗拔承载力由桩侧阻力和桩身重力组成，而对上拔时形成的桩端真空吸引力，因其所占比例小，可靠性低，对桩的长期抗拔承载力影响不大，一般不予考虑。桩周阻力的大小与竖向抗压桩一样，受桩土界面的几何特征、土层的物理力学特性等较多因素的影响；但不同的是，粘性土中的抗拔桩在长期荷载作用下，随上拔量的增大，会出现应变软化的现象，即抗拔荷载达到峰值后会下降，而最终趋于定值。因而在设计抗拔桩时，应充分考虑抗拔荷载的长期效应和短期效应的差别。如送电线路杆塔基础由风荷载产生的拉拔荷载只有短期效应，此时就可以不考虑长期荷载作用的影响，而对于承受巨大浮托力作用的船闸、船坞、地下油罐基础以及地下车库的抗拔桩基，因长时间承受拉拔荷载作用，因而必须考虑长期荷载的影响。

为提高抗拔桩的竖向抗拔力，可以考虑改变桩身截面形式，如可采用人工扩底或机械扩底等施工方法，在桩端形成扩大头，以发挥桩底部的扩头阻力等等。

另外，桩身材料强度（包括桩在承台中的嵌固强度）也是影响桩抗拔承载力的因素之一，在设计抗拔桩时，应对此项内容进行验算。

2、影响单桩竖向抗拔承载力的主要因素

影响单桩竖向抗拔承载力的因素很多，归纳起来有以下几个方面：

（1）桩周围土体

桩周土的性质、土的抗剪强度、侧压力系数和土的应力历史等都会对单桩竖向抗拔承载力产生一定的影响。一般说来，在粘土中，桩的抗拔极限侧阻力与土的不排水抗剪强度接近；在砂土中，桩的抗拔极限侧阻力可用有效应力法来估计，砂土的抗剪强度越大，桩侧单位面积的极限抗拔侧阻力也就越大。

（2）桩自身因素

桩侧表面的粗糙程度越大，则桩的抗拔承载力就越大，且这种影响在砂土中比在粘土中更明显；此外，桩截面形状、桩长、桩的刚度和桩材的泊松比等都会对单桩竖向抗拔承载力产生不同程度的影响。曾有试验证明，粗糙侧表面桩的抗拔极限承载力是光滑表面桩的 1.7 倍。

（3）施工因素

在施工过程中，桩周土体的扰动、打入桩中的残余应力、桩身完整性、桩的倾斜角度等也将影响单桩竖向抗拔承载力的大小。

（4）休止时间

从成桩到开始试验之间的休止时间长短对单桩竖向抗拔承载力影响是明显的；另外，桩顶的加载方式、荷载维持时间、加载卸载过程等对单桩竖向抗拔承载力也有影响。

三、水平荷载作用下的单桩工作机理

单桩水平静载试验采用接近于水平受荷桩实际工作条件的试验方法，确定单桩水平临界荷载和极限荷载，推定土抗力参数，或对工程桩的水平承载力进行检验和评价。当桩身埋设有应变测量传感器时，可测量相应水平荷载作用下的桩身应力，并由此计算出桩身弯矩分布情况，可为检验桩身强度、推求不同深度弹性地基系数提供依据。

桩顶实际工作条件包括桩顶自由状态、桩顶受不同约束而不能自由转动及桩顶受垂直荷载作用等等。JGJ106 中的试验桩为桩顶自由的单桩，但对带承台桩的水平静载试验及桩顶不同约束条件下的水平承载桩试验可参照执行。

桩所受的水平荷载部分由桩本身承担，大部分是通过桩传给桩侧土体，其工作性能主要体现在桩与土的相互作用上，即当桩产生水平变位时，促使桩周土也产生相应的变形，产生的土抗力会阻止桩变形的进一步发展。在桩受荷初期，由靠近地面的土提供土抗力，土的变形处在弹性阶段；随着荷载增大，桩变形量增加，表层土出现塑性屈服，土抗力逐渐由深部土层提供；随着变形量的进一步加大，土体塑性区自上而下逐渐开展扩大，最大弯矩断面下移，当桩本身的截面抗拒无法承担外部荷载产生的弯矩或桩侧土强度遭到破坏，使土失去稳定时，桩土体系便处于破坏状态。

按桩土相对刚度（即桩的刚性特征与土的刚性特征之间的相对关系）的不同，桩土体系的破坏机理及工作状态分为二类，一是刚性短桩，此类桩的桩径大，桩入土深度小，桩的抗弯刚度比地基土刚度大很多，在水平力作用下，桩身象刚体一样绕桩上某点转动或平移而破坏；此类桩的水平承载力由桩周土的强度控制；二是弹性长桩，此类桩的桩径小，桩入土深度大，桩的抗弯刚度与土刚度相比较具柔性，在水平力作用下，桩身发生挠曲变形，桩下段嵌固于土中不能转动；此类桩的水平承载力由桩身材料的抗弯强度和桩周土的抗力控制。

对于钢筋混凝土弹性长桩，因其抗拉强度低于轴心抗压强度，所以在水平荷载作用下，桩身的挠曲变形将导致桩身截面受拉侧开裂，然后渐趋破坏；当设计采用这种桩作为水平承载桩时，除考虑上部结构对位移限值的要求外，还应根据结构构件的裂缝控制等级，考虑桩身截面开裂的问题；但对抗弯性能好的钢筋混凝土预制桩和钢桩，因其可忍受较大的挠曲变形而不至于截面受拉开裂，设计时主要考虑上部结构水平位移允许值的问题。

影响桩水平承载力的因素很多，包括桩的截面刚度、材料强度、桩侧土质条件、桩的入土深度和桩顶约束条件等等；工程中通过静载试验直接获得水平承载力的方法因试验桩与工程桩边界条件的差别，结果很难完全反应工程桩实际工作情况；此时可通过静载试验测得桩周土的地基反力特性，即地基土水平抗力系数（它反映了桩在不同深度处桩侧土抗力和水平位移的关系，可视为土的固有特性），为设计部门确定土抗力大小进而计算单桩水平承载力提供依据。

水平静载试验一般按设计要求的水平位移允许值控制加载，为设计提供依据的试验桩宜加载至桩顶出现较大的水平位移或桩身结构破坏。

第四节 仪器设备

基桩静载试验由加载系统、反力系统、测量（荷载、变形、时间）系统三部分组成。

一、加载、反力系统

加载、反力系统由加载稳压设备和反力装置组成，其目的是保证提供足够的反力通过加载设备将荷载传到桩的预定部位。

1、加载设备

试验加载无论是竖向抗压、抗拔或水平推力均宜采用油压千斤顶加载。

当采用两台及两台以上千斤顶加载时应并联同步工作。为此，采用的千斤顶型号、规格应相同，同时须保证在进行竖向承载力试验时千斤顶的合力中心应与桩轴线重合，在进行水平承载力试验时作用力合力应水平通过桩身轴线。

2、反力装置

单桩竖向抗压静载试验可根据现场条件选择锚桩横梁反力装置、压重平台反力装置、锚桩压重联合反力装置、地锚反力装置。

单桩竖向抗拔静载试验可采用反力桩（或工程桩）或天然地基提供支座反力。

单桩水平静载试验水平推力的反力可由相邻桩或专门设置的反力结构提供。

在单桩竖向静载试验中反力是通过钢梁提供给桩顶的。同一钢梁在不同工况下，其受力状态或是不同的，允许使用的最大试验荷载是不同的。如图 3-4，压重平台反力装置的主梁和次梁是受均布荷载作用，而锚桩横梁反力装置的主梁和次梁受集中荷载作用，集中荷载作用点与试验桩（主梁）、锚桩（次梁）的相对位置有关，而且集中荷载作用点的位置直接影响主梁和次梁所承受的弯矩荷载。

表 3-3 给出了钢梁的荷载与应力、挠度的关系。

钢梁的荷载与应力、挠度的关系 表 3-3

	压重平台反力装置的主梁	锚桩横梁反力装置的主梁
最大剪应力 (千斤顶处)	$Q/2$	$Q/2$
最大弯矩	$QL/8$	$QL/4$
最大挠度	$QL^3/(128EJ_x)$	$QL^3/(48EJ_x)$
梁端部最大 转角	$QL^2/(48EJ_x)$	$QL^2/(16EJ_x)$
适用条件	梁受均布荷载作用,总荷载为 Q , 主梁长 L	千斤顶在主梁的正中间,次梁的集中荷载作用在 主梁的两端端部。
备注	E 为钢梁的弹模, J_x 为惯性矩, EJ_x 为梁的抗弯刚度	

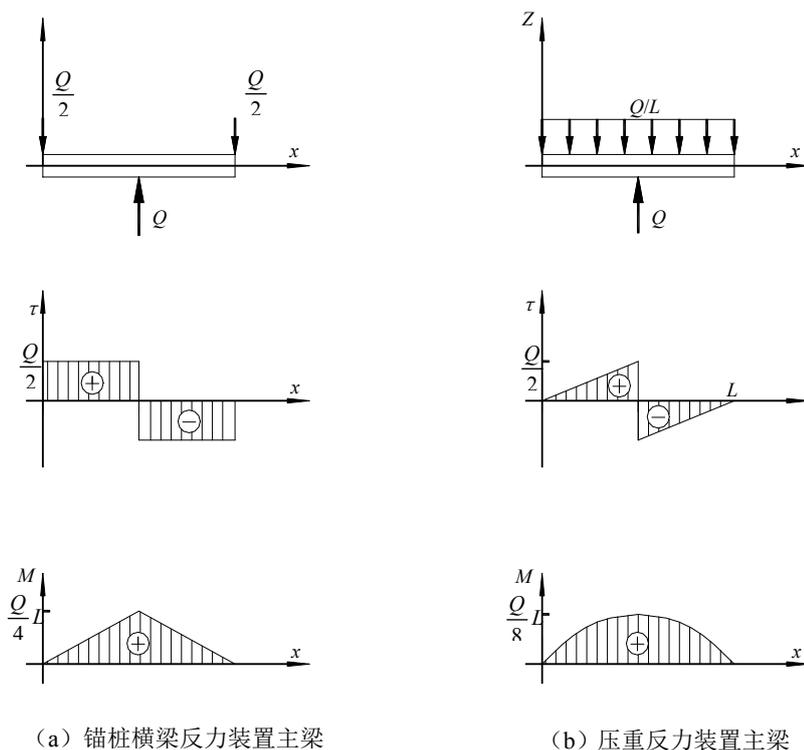


图 3-4 静载试验钢梁受力示意

由受力分析可知：

主梁的最大受力区域在梁的中部，因此，在实际加工制作主梁时，一般在主梁的中部（约占 1/4 至 1/3 主梁长度）进行加强处理。

二、荷载测量装置

静载试验均采用千斤顶与油泵相连的形式，由千斤顶施加荷载。荷载测量可采用以下两种形式，一是通过用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定，二是通过并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶率定曲线换算荷载。

用荷重传感器测力，不需考虑千斤顶活塞摩擦对出力的影响；用油压表（或压力传感器）间接测量荷载需对千斤顶出力进行率定，受千斤顶活塞摩擦的影响，不能简单地根据油压乘活塞面积计算荷载，同型号千斤顶在保养正常状态下，相同油压时的出力相对误差约为 1%~2%，非正常时可高达 5%。

目前市场上有两类千斤顶：一类是单油路千斤顶，只有一个油嘴，进油和回油（加载或卸载）都是通过这个油路，压力表连接在该油路上；另一种是双油路千斤顶，有上下两个油嘴，进油路接在千斤顶的下油路，压力表也连接在该油路上，油泵通过该油路对桩进行加载，回油路接在千斤顶的上油路。不论采用哪一类千斤顶，油路的“单向阀”（又称止油阀）应安装在压力表和油泵之间，不能安装在千斤顶和压力表之间，否则压力表无法监控千斤顶的实际油压值。

近几年来，许多单位采用自动化静载试验设备进行试验，采用荷重传感器测量荷重或采用压力传感器测定油压，实现加卸荷与稳压自动化控制，不仅减轻检测人员的工作强度，而且测试数据准确可靠。关于自动化静载试验设备的量值溯源，不仅应对压力传感器进行校准，而且还应对千斤顶进行校准，或者对压力传感器和千斤顶整个测力系统进行校准。

压力表一般由接头、弹簧管、传动机构等测量系统，指针和度盘等指示部分，表壳、罩圈、表玻璃等外壳部分组成。在被测介质的压力作用下，弹簧管的末端产生弹性位移，借助轴杆经齿轮传动机构的传动并予放大，由固定于齿轮轴上的指针将被测压力值在度盘上指示出来。精密压力表使用环境温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，空气相对湿度不大于 80%，当环境温度太低或太高时应考虑温度修正。采用压力表测定油压时，为保证静载试验测量精度，压力表准确度等级应优于或等于 0.4 级（即压力表的示值误差不大于 0.4%），不得使用 1.5 级压力表作加载控制。目前市场上用于静载试验的油压表的量程主要有 25MPa、40 MPa、60 MPa、100 MPa，应根据千斤顶的配置和最大试验荷载要求，合理选择油压表。最大试验荷载对应的油压不宜小于压力表量程的 1/4，避免“大秤称轻物”；同时为了延长压力表的使用寿命，最大试验荷载对应的油压不宜大于压力表量程的 2/3。

采用荷重传感器和压力传感器同样存在量程和精度问题，一般要求传感器的测量误差不应大于 1%。

千斤顶校准一般从其量程的 20%或 30%开始，根据 5~8 个点的校准结果给出率定曲线（或校准方程）。选择千斤顶时，最大试验荷载对应的千斤顶出力宜为千斤顶量程的 30%~80%。当采用两台及两台以上千斤顶加载时，为了避免受检桩偏心受荷，千斤顶型号、规格应相同且应并联同步工作。

三、变形测量装置

变形测量装置包括基准梁、基准桩和百分表或位移传感器。其目的是准确测量桩在各级荷载下的变形特征。

1、基准梁

基准梁和基准桩问题是实际试验中看似简单但又容易忽视的问题，实际试验中，应避免一些违反规范要求的做法，如简单地将基准梁放置在地面上，或不打基准桩而架设在砂袋（或红砖）上；基准桩打的不够深、不稳；基准梁长度不符合规范要求；基准梁的刚度不够，产生较大的挠曲变形；未采取有效措施防止外界因素对基准梁的影响。宜采用工字钢作基准梁，高跨比不宜小于 1/40，尤其是大吨位静载试验，试验影响范围较大，要求采用较长和刚度较大的基准梁，有时由于运输和型钢尺寸的限制，需要在现场将两根钢梁组合或焊接成一根基准梁，如果组合或焊接质量不好，会影响基准梁的稳定性，必要时可将两根基准梁连接或者焊接成网架结构，以提高其稳定性。另外，基准梁越长，越容易受外界因素的影响，有时这种影响较难采取有效措施来预防。

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，以减少温度变化引起的基准梁挠曲变形。在满足规范规定的条件下，基准梁不宜过长，并应采取有效遮挡措施，以减少温度变化和刮风下雨、振动及其他外界因素的影响，尤其在昼夜温差较大且白天有阳光照射时更应注意。一般情况下，温度对沉降的影响约为 1~2mm。

2、基准桩

国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 要求试桩、锚桩（压重平台支墩边）和基准桩之间的中心距离大于 4 倍试桩和锚桩的设计直径且大于 2.0m。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：试桩中心到锚桩（或压重平台支墩边）和到基准桩各自间的距离应分别“不小于 2.5m 或 3D”，小直径桩按 3D 控制，大直径桩按 2.5m 控制，这和我们

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。高层建筑物下的大直径桩试验荷载大、桩间净距小（规定最小中心距为 $3D$ ），往往受设备能力制约，采用锚桩法检测时，三者间的距离有时很难满足“大于等于 $4D$ ”的要求，加长基准梁又难避免产生显著的气候环境影响。考虑到现场验收试验中的困难，且加载过程中，锚桩上拔对基准桩、试桩的影响一般小于压重平台对它们的影响，因此，规范 JGJ106 对部分间距的规定放宽为“不小于 $3D$ ”，具体见表 3-4。

试桩、锚桩（或压重平台支墩边）和基准桩之间的中心距离 表 3-4

反力装置	试桩中心与锚桩中心 (或压重平台支墩边)	试桩中心与基准桩中心	基准桩中心与锚桩中心 (或压重平台支墩边)
锚桩横梁	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$
压重平台	$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$
地锚装置	$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$

注：1 D 为试桩、锚桩或地锚的设计直径或边宽，取其较大者。

2 如试桩或锚桩为扩底桩或多支盘桩时，试桩与锚桩的中心距尚不应小于 2 倍扩大端直径。

3 括号内数值可用于工程桩验收检测时多排桩设计桩中心距离小于 $4D$ 的情况。

4 软土地压重平台堆载重量较大时，宜增加支墩边与基准桩中心和试桩中心之间的距离，并在试验过程中观测基准桩的竖向位移。

3、百分表和位移传感器

沉降测定平面宜在桩顶 200mm 以下位置，最好不小于 0.5 倍桩径，测点应牢固地固定于桩身，即不得在承压板上或千斤顶上设置沉降观测点，避免因承压板变形导致沉降观测数据失实。直径或边宽大于 500mm 的桩，应在其两个方向对称安置 4 个百分表或位移传感器，直径或边宽小于等于 500mm 的桩可对称安置 2 个百分表或位移传感器。

变形测量宜采用位移传感器或大量程百分表，对于机械式大量程（ 50mm ）百分表，《大量程百分表》JJG379 规定的 1 级标准为：全程示值误差和回程误差分别不超过 $40\mu\text{m}$ 和 $8\mu\text{m}$ ，相当于满量程测量误差不大于 0.1% 。因此《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 要求变形测量误差不大于 $0.1\%FS$ ，分辨力优于或等于 0.01mm 。常用的百分表量程有 50mm 、 30mm 、 10mm ，量程越大、周期检定合格率越低，但变形测量使用的百分表量程过小，可能造成频繁调表，影响测量精度。

第五节 现场检测技术方法

根据试验目的不同，基桩静载试验分为单桩竖向抗压静载试验、单桩竖向抗拔静载试验和单桩水平静载试验。

一、单桩竖向抗压静载试验

1、试验依据及试验方法

《建筑基桩检测技术规范》JGJ106

《地基基础设计规范》GB50007

试验方法有慢速维持荷载法、快速维持荷载法。水平荷载试验还有单向多循环加载法。

江苏省《建筑地基基础检测规程》DGJ32/TJ142

试验方法维持荷载标准法、维持荷载收敛法。水平荷载试验还有单向多循环加载法。

2、试验数量的确定

当设计有要求或满足下列条件之一时，施工前应采用静载试验确定单桩竖向抗压承载力特征值：

- 1 设计等级为甲级、乙级的桩基；
- 2 地质条件复杂、桩施工质量可靠性低；
- 3 本地区采用的新桩型或新工艺。

检测数量在同一条件下不应少于 3 根，且不宜少于总桩数的 1%；当工程桩总数在 50 根以内时，不应少于 2 根。

单桩承载力和桩身完整性验收抽样检测的受检桩选择宜符合下列规定：

- 1 施工质量有疑问的桩；
- 2 设计方认为重要的桩；
- 3 局部地质条件出现异常的桩；
- 4 施工工艺不同的桩；
- 5 承载力验收检测时适量选择完整性检测中判定的 III 类桩；
- 6 除上述规定外，同类型桩宜均匀随机分布。

3、检测的时机

由于成桩过程中，对地基土体产生了扰动使土体提供的阻力明显降低，不同土性的土体强度恢复所需要时间不尽相同；对于现场浇筑的混凝土桩，尚需要桩身混凝土达到设计强度。

现行标准对休止期的规定 表 3-5

JGJ106		GB50007	
土的类型	休止时间(d)	土的类型	休止时间(d)
砂土	7	砂土	7
粉土	10	-----	-----
粘性土	非饱和	粘性土	15
	饱和	饱和软粘土	25
对于泥浆护壁灌注桩，宜适当延长休止时间。			

4、现场试验装置及控制要求

1) 两种典型的试验装置

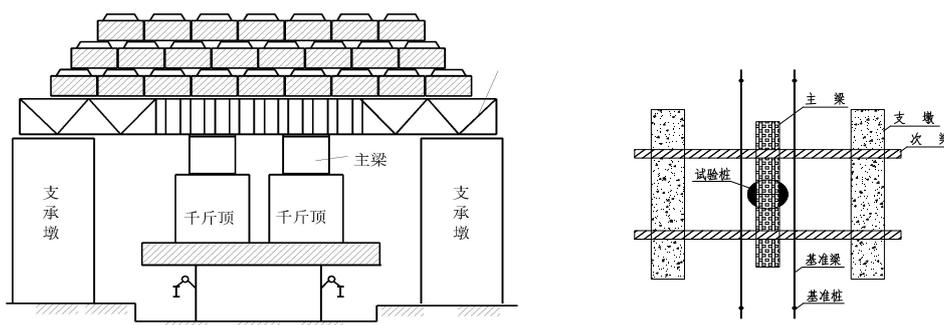


图 3-6 堆载试验装置示意图

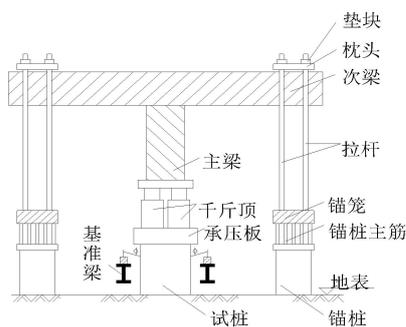


图 3-7 锚桩试验装置示意图

2) 现场检测安装控制要求

试桩桩顶平面保持平整，并具有足够的强度。对混凝土灌注桩应按 JGJ106 附录 B“混凝土桩桩头处理”要求进行处理。

试验的沉降测量系统的安装距离（试桩、支墩边或锚桩、基桩桩）是否符合相应标准的要求，在有关标准中无具体要求的以 JGJ106 为准，并对基准梁给予应有的保护。

试验荷载（堆载反力平台），荷载应一次堆上，保持荷载的平衡，确保荷载重心穿过试桩中心，荷载总量不得少于预定最大加载的 1.2 倍（支墩的荷载在无相应连接措施情况下不应计入总荷载量）。

对于锚桩反力平台，应验算锚桩提供的有效反力（验算钢筋截面、焊接强度、试验装置的偏心及单桩抗拔承载力）大于最大加载的 1.2 倍。

加载测力装置中，千斤顶的出力中心应与桩中心重叠，与主梁的受力中心重叠，确保反力能高效传递到桩顶。

对于大吨位竖向抗压静载试验，当采用堆载反力平台时，现场尚须对支墩部位的地基土强度进行验算，确定支墩面积，确保试验开始时地基受力在允许的范围内，同时应考虑大面积支墩和地基受高应力水平时，地基沉降对基准系统的影响，有相应的措施予以控制。

5、现场试验

1) 慢速维持荷载法现场试验技术控制要求

现场试验装置安装完成后，现场试验时主要是预压、加载分级、测读时间、判稳标准、荷载的维持、终止加载条件。现场试验时应按试验依据的标准给予控制。

2) 快速维持荷载法现场试验技术控制要求

JGJ106 规定“施工后的工程桩验收检测宜采用慢速维持荷载法。当有成熟的地区经验时，也可采用快速维持荷载法”，因而快速维持荷载法是有使用条件限制的，即“有成熟的地区经验”，亦即若采用快速维持荷载法，就需提供成熟的地区经验作为支撑，反之提不出相应的成熟地区经验就不可采用快速维持荷载法。

《建筑地基基础检测规程》DGJ32/TJ142

维持荷载收敛法还应符合下列规定：

1 采用逐级加卸载，第一级加载取分级荷载的 3 倍，第二级加载取分级荷载的 5 倍，第三级加载取分级荷载的 7 倍，第四级加载取分级荷载的 8 倍，第五级加载取分级荷载的 9 倍，第六级加载取分级荷载的 10 倍；卸载可分为 3 级，第一级取分级荷载的 5 倍，第二级取分级荷载的 3 倍，第三级卸载至零。

2 沉降趋于收敛条件：每级荷载作用下，连续两次出现后 10 min 沉降增量小于前 10 min 沉降增量（从每级开始记录后的第 40min 开始计算）。

3 当桩的沉降趋于收敛时，再施加下一级荷载。加载时，每级荷载的维持时间不得少于 1h，第六级荷载的维持时间至少为 2h。

4 卸载时，每级荷载维持 20min，即可卸下一级荷载。卸载至零后，继续记录 20min。

6、现场试验的记录要求

检测记录的原则要求在“实验室资质认定评审准则”中作出以下规定：

所有工作应当时予以记录。要求在现场检测过程中所做的各项工作均应实时记录；

对电子存储的记录也应采取有效措施，避免原始信息或数据的丢失或改动。要求采用电子仪器采集的数据在存储、修改方面要有相应的控制措施，以保证原始数据的安全、真实；

每次检测和/或校准的记录应包含足够的信息以保证其能够再现。要求记录的信息充分到能够通过查阅记录复现原检测现场；

记录应包括参与抽样、样品准备、检测和/或校准人员的标识。对检测过程和人员责任的要求。

总的来说，现场记录要及时、充分、完整，记录的存储要安全、可靠。

慢速维持荷载法现场试验技术控制要求对比表 表 3-6

项目	GB50007	JGJ106	说明
预压	1~2 级		检查加载与观测系统
加载分级	8~10	10 级等量, 第一级可取分级荷载的 2 倍	以 10 级等量为宜。
测读时间间隔 min	5、10、15、15、15、30、30.....	5、10、15、15、15、30、30.....	一致
判稳标准	桩的沉降量连续两次在每小时内小于 0.1mm 时可视为稳定。	每一小时内的桩顶沉降量不超过 0.1mm, 并连续出现两次	区别在于“小于”和“不超过 (即小于等于)”
终止加载条件	1. 当荷载-沉降(Q-s)曲线上有可判定极限承载力的陡降段, 且桩顶总沉降量超过 40mm。	1. 某级荷载作用下, $\Delta s_{n+1}/\Delta s_n > 5$ 时。(当桩顶沉降能相对稳定且总沉降量小于 40mm 时, 宜加载至桩顶总沉降量超过 40mm。)	当 $\Delta s_{n+1}/\Delta s_n > 5$ 时, 可认为出现“陡降段”。
	2. $\Delta s_{n+1}/\Delta s_n \geq 2$, 且经 24 小时尚未达到稳定。	2 $\Delta s_{n+1}/\Delta s_n \geq 2$, 且经 24 小时尚未达到相对稳定标准。	一致
		3 已达到设计要求的最大加载量。	主要针对检验性试验
		4 当工程桩作锚桩时, 锚桩上拔量已达到允许值。	提供的反力已达最大, 再加载试验无法进行。
	3. 25m 以上的非嵌岩桩, Q-s 曲线呈缓变型时, 桩顶总沉降量大于 60-80mm。	5 当荷载~沉降曲线呈缓变型时, 可加载至桩顶总沉降量 60~80mm。	对缓变型 Q-s 曲线的最小总沉降量控制要求。
	4. 在特殊条件下, 可根据具体要求加载至桩顶总沉降量大于 100mm。	6 在特殊情况下, 可根据具体要求加载至桩顶累计沉降量超过 80mm。	
	(桩底支承在坚硬岩(土)层上, 桩沉降量很小时, 最大加载量不应小于设计荷载两倍。)		
卸载分级、观测	每级卸载值为加载值的两倍。	每级卸载量取加载时分级荷载的 2 倍。	一致
	卸载后隔 15min 测读一次, 读两次后, 隔半小时再读一次, 即可卸下一级荷载。全部卸载后, 隔 3-4 小时再测读一次。	每级荷载维持 1h, 按第 15、30、60min 测读桩顶沉降量后, 即可卸下一级荷载。卸载至零后, 应测读桩顶残余沉降量, 维持时间为 3h, 测读时间为第 15, 30min, 以后每隔 30min 测读一次	统一全部卸载后, 应观察 3h。
荷载的维持	未作规定	变化幅度不得超过分级荷载的 $\pm 10\%$ 。	应按 JGJ106 执行

注: 1. Δs_n --第 n 级荷载的沉降增量; Δs_{n+1} --第 n+1 级荷载的沉降增量。

针对单桩竖向抗压静载试验，记录的信息应至少反映以下内容：

1) 检测目的：确定单桩竖向抗压极限承载力，判定竖向抗压承载力是否满足设计要求，通过桩身内力及变形测试、测定桩侧、桩端阻力，验证高应变法的单桩竖向抗压承载力检测结果。

2) 检测依据的技术标准和方法：试验依据何种技术标准进行，采用什么方法（慢速维持荷载法、快速维持荷载法、等速率加载法等）。

3) 试验桩的特性和状态：试验桩型、尺寸、休止时间或养护时间，试验桩顶标高与设计是否一致等。

4) 试验桩的处理情况：试验桩顶如何处理、锚桩如何处理及如何连接、用天然地基作为支墩支承面地基强度是否满足要求。

5) 使用的仪器设备名称、技术指标、检定/校准状况。

6) 现场测试系统的安装情况：包括反力装置、荷载测量装置、沉降测量装置，需有实际的现场信息来说明各系统的安装能够满足相应技术标准的要求。

7) 现场试验中的观测数据（指仪器、仪表的示值）中间计算数据（如各级沉降量的计算，用以现场判稳）和异常情况说明（补载、地基受力后是否正常、使用锚桩反力平台时，锚桩受力后是否开裂、锚桩上拔量）

8) 试验时的环境条件：天气条件、现场振动情况等。由于应变式或钢弦式测力计存在温度补偿问题。

二、单桩抗拔静载试验

1、试验依据的技术标准

《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 《地基基础设计规范》GB50007

试验方法有慢速维持荷载法。

2、试验数量的确定

检测数量不应少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根。可参照第一节内容。

3、检测的时机

可参照第一节内容。

4、现场试验装置及控制要求

1) 两种典型的试验装置

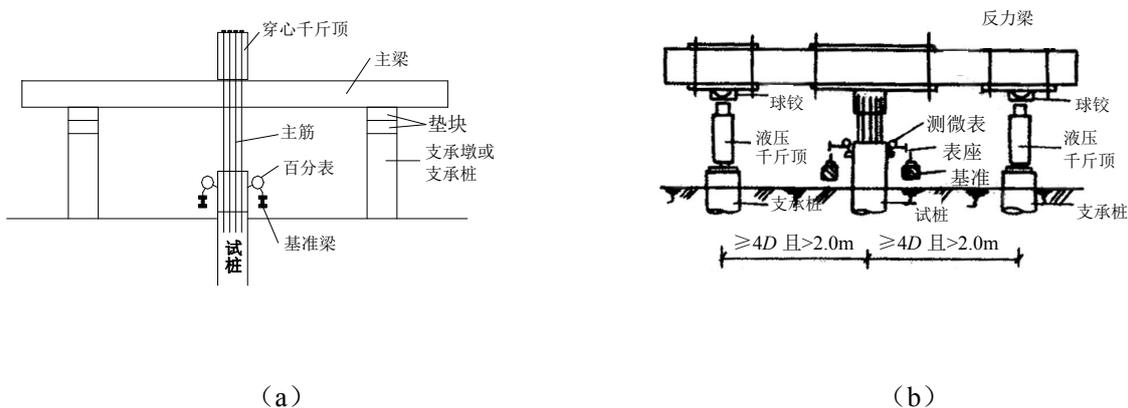


图 3-8 抗拔试验装置示意图

单桩竖向抗拔静载试验设备主要由主梁、次梁（适用时）、反力桩或反力支承墩等反力装置，千斤顶、油泵加载装置，压力表、压力传感器或荷重传感器等荷载测量装置，百分表或位移传感器等位移测量装置组成。

2) 现场检测安装控制要求

① 荷载测量

抗拔试验反力装置宜采用反力桩（或工程桩）提供支座反力，也可根据现场情况采用天然地基提供支座反力；反力架系统应具有不小于 1.2 倍的安全系数。

采用反力桩（或工程桩）提供支座反力时，反力桩顶面应平整并具有一定的强度，为保证反力梁的稳定性，应注意反力桩顶面直径（或边长）不宜小于反力梁的梁宽，否则，应加垫钢板以确保试验设备安装稳定性。

采用天然地基提供反力时，两边支座处的地基强度应相近，且两边支座与地面的接触面积宜相同，施加于地基的压应力不宜超过地基承载力特征值的 1.5 倍，避免加载过程中两边沉降不均造成试桩偏心受拉，反力梁的支点重心应与支座中心重合。

加载装置采用油压千斤顶，千斤顶的安装有两种方式：一种是千斤顶放在试桩的上方、主梁的上面，因拔桩试验时千斤顶安放在反力架上，比较适用于一个千斤顶的情况，特别是穿心张拉千斤顶，当采用二台以上千斤顶加载时，应采取一定的安全措施，防止千斤顶倾倒或其他意外事故发生。如对预应力管桩进行抗拔试验时，可采用穿心张拉千斤顶，将管桩的主筋直接穿过穿心张拉千斤顶的各个孔，然后锁定，进行试验，如图 3-8a。另一种是将两个千斤顶分别放在反力桩或支承墩的上面、主梁的下面，千斤顶顶主梁，如图 3-8b，通过“抬”的形式对试桩施加拔荷载。对于大直径、高承载力的桩，宜采用后一种形式。

②荷载测量

静载试验均采用千斤顶与油泵相连的形式，由千斤顶施加荷载。荷载测量可采用以下两种形式，一是通过用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定，二是通过并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶率定曲线换算荷载。传感器的测量误差不应大于 1%，压力表精度应优于或等于 0.4 级。试验用压力表、油泵、油管在最大加载时的压力不应超过规定工作压力的 80%。一般说来，桩的抗拔承载力远低于抗压承载力，在选择千斤顶和压力表时，应注意量程问题，特别是试验荷载较小的试验桩，采用“抬”的形式时，应选择相适应的小吨位千斤顶，避免“大秤称轻物”。对于大直径、高承载力的试桩，可采用两台或四台千斤顶对其加载。当采用两台及两台以上千斤顶加载时，为了避免受检桩偏心受荷，千斤顶型号、规格应相同且应并联同步工作。

③上拔量测量

桩顶上拔量测量平面必须在桩顶或桩身位置，安装在桩顶时应尽可能远离主筋，严禁在混凝土桩的受拉钢筋上设置位移观测点，避免因钢筋变形导致上拔量观测数据失实。

试桩、反力支座和基准桩之间的中心距离的规定与单桩抗压静载试验相同。在采用天然地基提供支座反力时，拔桩试验加载相当于给支座处地面加载。支座附近的地面也因此会出现不同程度的沉降。荷载越大，这种变形越明显。为防止支座处地基沉降对基准梁的影响，一是应使基准桩与反力支座、试桩各自之间的间距按单桩竖向抗压试验要求执行，二是基准桩需打入试坑地面以下一定深度（一般不小于 1m）。

5、现场试验

在拔桩试验前，对混凝土灌注桩及有接头的预制桩采用低应变法检查桩身质量，目的是防止因试验桩自身质量问题而影响抗拔试验成果。

对抗拔试验的钻孔灌注桩在浇注混凝土前进行成孔检测，目的是查明桩身有无明显扩径现象或出现扩大头，因这类桩的抗拔承载力缺乏代表性，特别是扩大头桩及桩身中下部有明显扩径的桩，其抗拔极限承载力远远高于长度和桩径相同的非扩径桩，且相同荷载下的土拔量也有明显差别。

对有接头的 PHC、PTC 和 PC 管桩应进行接头抗拉强度验算。对电焊接头的管桩除验算其主筋强度外，还要考虑主筋墩头的折减系数以及管节端板偏心受拉时的强度及稳定性。墩头折减系数可按有关规范选取，而端板强度的验算则比较复杂，可按经验取一个较为安全的系数。

单桩竖向抗拔静载试验宜采用慢速维持荷载法。需要时，也可采用多循环加、卸载

方法。慢速维持荷载法可按下面要求进行。

1) 加卸载分级

加载应分级进行, 采用逐级等量加载; 分级荷载宜为最大加载量或预估极限承载力的 1/10, 其中第一级可取分级荷载的 2 倍。终止试验后开始卸载, 卸载应分级进行, 每级卸载量取加载时分级荷载的 2 倍, 逐级等量卸载。

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

2) 桩顶上拔量的测量

加载时, 每级荷载施加后按第 5、15、30、45、60min 测读桩顶沉降量, 以后每隔 30min 测读一次。卸载时, 每级荷载维持 1h, 按第 5、15、30、60min 测读桩顶沉降量; 卸载至零后, 应测读桩顶残余沉降量, 维持时间为 3h, 测读时间为第 5、10、15、30min, 以后每隔 30min 测读一次。

试验时应注意观察桩身混凝土开裂情况。

3) 变形相对稳定标准

在每级荷载作用下, 桩顶的沉降量在每小时内不超过 0.1mm, 并连续出现两次, 可视为稳定 (由 1.5h 内的沉降观测值计算)。当桩顶上拔速率达到相对稳定标准时, 再施加下一级荷载。

4) 终止加载条件

当出现下列情况之一时, 可终止加载:

- (1) 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 5 倍。
- (2) 按桩顶上拔量控制, 当累计桩顶上拔量超过 100mm 时。
- (3) 按钢筋抗拉强度控制, 钢筋应力达到钢筋强度标准值的 0.9 倍。
- (4) 对于验收抽样检测的工程桩, 达到设计要求的最大上拔荷载值。

如果在较小荷载下出现某级荷载的桩顶上拔量大于前一级荷载下的 5 倍时, 应综合分析原因。若是试验桩, 必要时可继续加载, 当桩身混凝土出现多条环向裂缝后, 其桩顶位移会出现小的突变, 而此时并非达到桩侧土的极限抗拔力。

6、现场试验的记录要求

试验资料的收集与记录可参照竖向抗压静载试验的有关规定执行。

三、单桩水平静载试验

1、试验依据的技术标准

《建筑基桩检测技术规范》JGJ106

试验方法单向多循环加载法、慢速维持荷载法。

2、试验数量的确定

试验数量应根据设计要求及工程地质条件确定，不应小于总桩数的 1%，且不少于 3 根。

3、检测的时机

可参照第一节内容。

4、现场试验装置及控制要求

1) 两种典型的试验装置

试验装置与仪器设备见图 3-9。

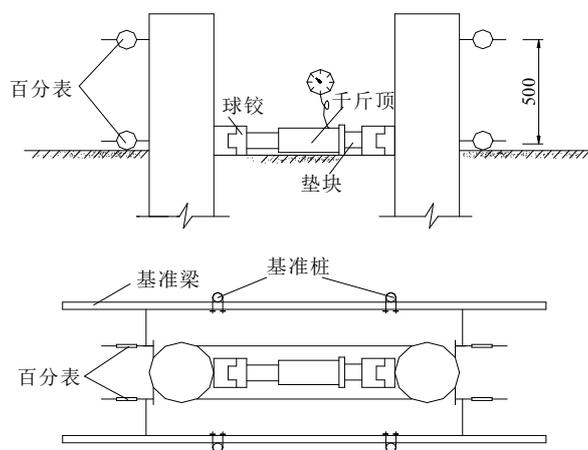


图 3-9 水平静载试验装置

2) 现场检测安装控制要求

①加载与反力装置

水平推力加载装置宜采用油压千斤顶（卧式），加载能力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍。采用荷重传感器直接测定荷载大小，或用并联油路的油压表或油压传感器测量油压，根据千斤顶率定曲线换算荷载。

水平力作用点宜与实际工程的桩基承台底面标高一致，如果高于承台底标高，试验时在相对承台底面处会产生附加弯矩，会影响测试结果，也不利于将试验成果根据桩顶

的约束予以修正。千斤顶与试桩接触处需安置一球形支座，使水平作用力方向始终水平和通过桩身轴线，不随桩的倾斜和扭转而改变，同时可以保证千斤顶对试桩的施力点位置在试验过程中保持不变。

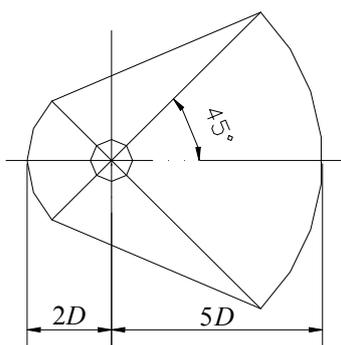
试验时，为防止力作用点受局部挤压破坏，千斤顶与试桩的接触处宜适当补强。

反力装置应根据现场具体条件选用，最常见的方法是利用相邻桩提供反力，即两根试桩对顶，如图 3-8 所示；也可利用周围现有的结构物作为反力装置或专门设置反力结构，但其承载能力和作用方向上刚度应大于试验桩的 1.2 倍。

②量测装置

桩的水平位移测量宜采用大量程位移计。在水平力作用平面的受检桩两侧应对称安装两个位移计，以测量地面处的桩水平位移；当需测量桩顶转角时，尚应在水平力作用平面以上 50cm 的受检桩两侧对称安装两个位移计，利用上下位移计差与位移计距离的比值可求得地面以上桩的转角。

固定位移计的基准点宜设置在试验影响范围之外（影响区见图 3-10），与作用力方向垂直且与位移方向相反的试桩侧面，基准点与试桩净距不小于 1 倍桩径。在陆上试桩可用入土 1.5m 的钢钎或型钢作为基准点，在港口码头工程设置基准点时，因水深较大，可采用专门设置的桩作为基准点，同组试桩的基准点一般不少于 2 个。搁置在基准点上的基准梁要有一定的刚度，以减少晃动，整个基准装置系统应保持相对独立。为减少温度对测量的影响，基准梁应采取简支的形式，顶上有篷布遮阳。



D : 桩径或桩宽

图 3-10 试桩影响区

当对灌注桩或预制桩测量桩身应力或应变时，各测试断面的测量传感器应沿受力方向对称布置在远离中性轴的受拉和受压主筋上，埋设传感器的纵剖面与受力方向之间的

夹角不得大于 10° ，以保证各测试断面的应力最大值及相应弯矩的量测精度（桩身弯矩并不能直接测到，只能通过桩身应变值进行推算）。对承受水平荷载的桩，桩的破坏是由于桩身弯矩引起的结构破坏；对中长桩，浅层土对限制桩的变形起到重要作用，而弯矩在此范围里变化也最大，为找出最大弯矩及其位置，应加密测试断面。《规范》规定，在地面下 10 倍桩径（桩宽）的主要受力部分，应加密测试断面，但断面间距不宜超过 1 倍桩径；超过此深度，测试断面间距可适当加大。

5、现场试验

单桩水平静载试验宜根据工程桩实际受力特性，选用单向多循环加载法或与单桩竖向抗压静载试验相同的慢速维持荷载法。单向多循环加载法主要是模拟实际结构的受力形式，但由于结构物承受的实际荷载异常复杂，很难达到预期目的。对于长期承受水平荷载作用的工程桩，加载方式宜采用慢速维持荷载法。对需测量桩身应力或应变的试验桩不宜采取单向多循环加载法，因为它会对桩身内力的测试带来不稳定因素，此时应采用慢速或快速维持荷载法。水平试验桩通常以结构破坏为主，为缩短试验时间，可采用更短时间的快速维持荷载法，例如《港口工程桩基规范》（桩的水平承载力设计）JTJ254 规定每级荷载维持 20min。

1) 加卸载方式和水平位移测量

单向多循环加载法的分级荷载应小于预估水平极限承载力或最大试验荷载的 $1/10$ ，每级荷载施加后，恒载 4min 后可测读水平位移，然后卸载为零，停 2min 测读残余水平位移。至此完成一个加卸载循环，如此循环 5 次，完成一级荷载的位移观测。试验不得中间停顿。

慢速维持荷载法的加卸载分级、试验方法及稳定标准应按“单桩竖向抗压静载试验”一章的相关规定进行。测量桩身应力或应变时，测试数据的测读宜与水平位移测量同步。

2) 终止加载条件

当出现下列情况之一时，可终止加载：

①桩身折断。对长桩和中长桩，水平承载力作用下的破坏特征是桩身弯曲破坏，即桩发生折断，此时试验自然终止。

②水平位移超过 30~40mm（软土取 40mm）。

③水平位移达到设计要求的水平位移允许值。本条主要针对水平承载力验收检测。

6、现场试验的记录要求

检测数据可按表 3-7 的格式记录。

单桩水平静载试验记录表 表 3-7

工程名称						桩号		日期		上下表距		
油压 (MPa)	荷载 (kN)	观测 时间	循 环 数	加载		卸载		水平位移 (mm)		加载 上下 表读 数差	转 角	备注
				上 表	下 表	上 表	下 表	加载	卸载			

检测单位: 校核: 记录:

第六节 数据的处理与资料整理

一、单桩竖向抗压静载试验

1、检测数据的处理

1) 确定单桩竖向抗压承载力时, 应绘制竖向荷载-沉降 ($Q-s$) 曲线、沉降-时间对数 ($s-lgt$) 曲线; 也可绘制其他辅助分析曲线;

2) 当进行桩身应变和桩身截面位移测定时, 应按规范 JGJ106 附录 A 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。

确定单桩竖向抗压承载力时, 检测数据的整理首先应列出各级荷载下的沉降量总表, 绘出荷载与沉降 ($Q-s$)、沉降与时间对数 ($s-lgt$) 关系曲线, 有时还应绘出 $s-lgQ$ 曲线及其它分析曲线, 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。同一工程的一批试桩曲线, 应按相同的沉降纵坐标比例绘制, 满刻度沉降值不宜小于 40mm, 当桩顶累计沉降量大于 40mm 时, 可按总沉降量以 10mm 的整模数倍增加满刻度值, 使结果直观, 便于比较。

2、结果的判定

1) 单桩竖向抗压极限承载力的确定

单桩竖向抗压极限承载力值是针对某试桩而言的，可按下列方法综合分析确定：

(1) 根据沉降随荷载变化的特征确定：对于陡降型 $Q-s$ 曲线，应取其发生明显陡降的起始点对应的荷载值。

(2) 根据沉降随时间变化的特征确定：应取 $s-lgt$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值。

(3) 符合加载终止条件②（某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍，且经 24h 尚未达到相对稳定标准）时，宜取前一级荷载值。

(4) 对于缓变型 $Q-s$ 曲线，宜根据桩顶总沉降量，取 s 等于 40mm 对应的荷载值；对 D （ D 为桩端直径）大于等于 800mm 的桩，可取 s 等于 $0.05D$ 对应的荷载值；当桩长大于 40m 时，宜考虑桩身弹性压缩。

(5) 不满足本条第 1~4 款情况时，桩的竖向抗压极限承载力宜取最大加载值。

(6) 按上述方法判断有困难时，《建筑地基基础设计规范》（GB50007）提出可结合其它辅助分析方法综合判定。对桩基沉降有特殊要求者，应根据具体情况选取。

对于上述判定标准的几点说明：

①一些地区如：上海地区规范对于钢桩的单桩竖向抗压极限承载力作了如下规定：当桩长不超过 40m 时，可取 $s=100\text{mm}$ 所对应的荷载为单桩竖向极限承载力。当桩长超过 40m 时，取桩长每增加 10m，沉降量相应增加 10mm 所对应的荷载值为单桩竖向极限承载力。

② $s-lgt$ 曲线的形态，能比较灵敏地反映桩土体系的工作状态，即竖向荷载与桩顶沉降的演变特征。在第一拐点（比例界限或临塑荷载）前， $s-lgt$ 曲线为等间距的近似水平或微倾斜的直线，反映了该阶段各级荷载的沉降速率较小，并很快趋于稳定，桩周土基本不出现塑性变形。第一拐点以后， $s-lgt$ 曲线仍为直线，但间距有所增大，斜率缓慢变大，表明桩周土塑性变形区逐渐开展。当竖向荷载大于第二拐点后， $s-lgt$ 曲线的斜率及间距急骤增大，甚至在尾部出现明显的向下弯曲，表明桩端以下土体已进入塑性破坏状态。对于支承摩擦桩， $s-lgt$ 曲线尾部常常不出现明显向下弯曲的特征，此时，尚需考虑曲线间距的变化和一定量值的桩顶下沉条件，取 $s-lgt$ 曲线间距明显增大，且桩顶沉降量达到 20~30mm 以上的前一级荷载为极限荷载。根据上海地区的统计，对于缓变形的灌注桩或预制桩，在极限荷载状态下对应的沉降值一般为 30~50mm。

③大量实践经验表明: 当沉降量达到桩径的 10% 时, 才可能出现极限荷载(太沙基和 ISSMFE)。粘性土中端阻充分发挥所需的桩端位移为桩径的 4~5%, 而砂土中至少达到 15%。故对缓变型 $Q-s$ 曲线按 $s=0.05D$ 确定直径大于等于 800mm 桩的极限承载力是安全可靠的。且因 $D \geq 800\text{mm}$ 时定义为大直径桩, 当 $D=800\text{mm}$ 时, $0.05D$ 等于 40mm, 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。因此当按规范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。

④加载终止时已达到桩身材料的极限强度或桩顶出现明显破坏现象时, 可取终止试验荷载的前一级荷载。

综上所述, 应用确定单桩竖向极限承载力的 (1)~(6) 条准则以及四条补充说明, 来综合分析判断单桩竖向极限承载力值。要求试验分析人员具有桩基工程的理论基础和丰富的实践经验, 既要充分发挥单桩的竖向极限承载力, 还要考虑单桩竖向极限承载力还与桩身施工质量、桩的入土时间、桩的打入顺序、桩在群桩中的位置、被测桩的代表性等多种因素的关系。

2) 为设计提供依据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) 对参加算术平均的试验桩检测结果, 当极差不超过平均值的 30% 时, 可取其算术平均值为单桩竖向抗压极限承载力; 当极差超过平均值的 30% 时, 应分析原因, 结合桩型、施工工艺、地基条件、基础形式等工程具体情况综合确定极限承载力; 不能明确极差过大的原因时, 宜增加试桩数量。

(2) 试验桩数量小于 3 根或桩基承台下的桩数不大于 3 根时, 应取低值。

3) 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。单桩竖向抗压极限承载力特征值统计值的确定

对于为设计提供依据时的竖向抗压极限承载力试验结果的统计, 统计取值方法按照《建筑地基基础设计规范》GB50007 的规定执行。前期静载试验的桩数一般很少, 而影响单桩承载力的因素复杂多变。为数有限的试验桩中常出现个别桩承载力过低或过高, 若恰好不是偶然原因造成, 简单算术平均容易造成浪费或不安全。因此规定极差超过平均值的 30% 时, 首先应分析、查明原因, 结合工程实际综合确定。例如一组 5 根试桩的承载力值依次为 800、900、1000、1100、1200kN, 平均值为 1000kN, 单桩承载力最低值和最高值的极差为 400kN, 超过平均值的 30%, 则不宜简单地将最低值 800kN 去

掉将后面 4 个值取平均，或将最低和最高值都去掉取中间 3 个值的平均值。应查明是否出现桩的质量问题或场地条件变异。若低值承载力出现的原因并非偶然的施工质量造成，可依次去掉高值后取平均，直至满足极差不超过 30% 的条件；又如桩数为 3 根或 3 根以下承台，或以后工程桩施工为密集挤土群桩，出于安全考虑，极限承载力可取低值。

3、验证与扩大检测

验证检测是针对检测中出现的缺乏依据、无法或难于定论的情况所进行的同类方法或不同方法的检验过程，以做到结果评价的准确和可靠。扩大检测是针对初次抽检发现的基桩承载力不能满足设计要求，或完整性检测中 III、IV 类桩比例较大时所进行的同类方法的再次抽样检测。验证检测与扩大检测的数量，宜根据地质条件、桩基设计等级、桩型和施工质量变异性等因素合理确定，并经有关方认可。

1) 验证检测

采用基桩静载试验作验证检测可在下列情况下采用：

(1) 对静载试验结果有争议时，应查明原因。属于检测方未按操作规程导致检测结果不准确，建设方有权终止检测方的合同，另行选择检测机构进行验证检测。

(2) 对高应变法提供的单桩承载力有争议时，一般应改用静载试验进行验证检测。当高应变法检测遇到下列情况之一时也可采用静载法检验，并以静载试验结果为准。

① 桩身存在明显缺陷，无法判定桩的竖向承载力。包括高应变检测时单击贯入度大，桩底同向反射强烈、侧阻力、端阻力波反射弱，波形出现竖向承载性状明显与地质资料不符等情况。

② 嵌岩桩桩底同向反射强烈，且在时间 $2L/C$ 后无明显端阻力反射。

(3) 对低应变检测中不能明确完整性类别的桩或 III 类桩，可以根据实际情况采用静载法对承载力进行验证。因工程桩的预期使用功能要通过单桩承载力实现，完整性检测的目的是发现某些可能影响单桩承载力的缺陷，最终仍是为减少工程安全隐患，提高工程桩承载力判定的可靠性。

(4) 检测机构发现静载检测数据异常时，如荷载与沉降量不符合基桩 $Q-s$ 曲线规律时，应查找原因，重新检测。

2) 扩大检测

单项工程的基桩承载力或成桩质量未达到设计要求时，不得仅对不合格桩进行处理即予以验收，应由监理单位或建设单位会同勘察、设计、施工单位共同研究确定扩大检测的方法和数量，并报告质量监督机构。扩大检测应采用原检测方法或可信度更高的检测方法，如静载试验等。

采用静载试验进行扩大检测可在下列情况下采用：

(1) 当基桩低应变动测揭示，预制桩接头存在裂隙(接头脱开)或灌注桩笼底部位存在断裂时，宜采用静载法对接头脱开状态予以验证，并复核单桩承载力是否满足设计要求。

(2) 工程桩静载荷试验的承载力不能满足或局部不能满足设计要求时，应由有关各方共同分析原因，提出进一步检测的方法和数量，共同研究确定处理方案。

①属于勘察原因使基桩承载力不足或局部地区不足时，应适当增加静载检测数量，辅以补充勘察手段，将承载力不足地区范围圈定，并由设计提出补强措施。

②因受检桩休止期不足时，应等待休止期满足规范要求后对原受检桩进行承载力复测。

③因施工桩长不足或桩身存在严重缺陷时，应适当增加检测数量予以核实后进行加固处理。对于未进入持力层的基桩、或连接接头脱开的桩，可采取复打或复压措施以提高基桩承载力。

4、快、慢速法极限承载力比较

快速维持荷载法在国内从 20 世纪 70 年代就开始应用，我国港口工程规范从 1983 年 (JTJ 2202)、上海地基设计规范从 1989 年 (DBJ—08—11) 起就将这一方法列入，与慢速法一起并列为静载试验方法。快速法由于每级荷载维持时间为 1h，各级荷载下的桩顶沉降相对慢速法确实要小一些。表 3-8 列出了上海市 23 根摩擦桩慢速维持荷载法试验实测桩顶稳定时的沉降量和 1h 时沉降量的对比结果。从中可见，在 1/2 极限荷载点，快速法 1h 时的桩顶沉降量与慢速法相差很小 (0.5mm 以内)，平均相差 0.2mm；在极限荷载点相差要大些，为 0.6~6.1mm，平均 2.9mm。相对而言，“慢速法”的加荷速率比建筑物建造过程中的施工加载速率要快得多，慢速法试桩得到的使用荷载对应的桩顶沉降与建筑物桩基在长期荷载作用下的实际沉降相比，要小几倍到十几倍。所以，规范中的快慢速试桩沉降差异是可以忽略的。

稳定时的沉降量 s_W 和 1h 时的沉降量 s_{1h} 的对比 表3-8

荷载点	s_W 与 s_{1h} 之差		s_{1h}/s_W (%)	
	幅度	平均	幅度	平均
极限荷载	0.57~	2.89	71~96	86
1/2 极限荷载	0.01~0.51	0.20	95~100	98

关于快慢速法极限承载力比较，根据上海市统计的 71 根试验桩资料 (桩端在粘性土中 47 根，在砂土中 24 根)，这些对比是在同一根桩或桩上条件相同的相邻桩上进行

的，得出的结果见表 3-9。

快速法与慢速法极限承载力比较 表3-9

桩端土类	快速法比慢速法极限荷载提高幅度
粘性土	0~9.6%，平均 4.5%
砂土	-2.5%~9.6%，平均 2.3%

从中可以看出快速法试验得出的极限承载力较慢速法略高一些，其中桩端在粘性土中平均提高约 1/2 级荷载，桩端在砂土中平均提高约 1/4 级荷载。

有些软土中的摩擦桩，按慢速法加载，在 2 倍设计荷载的前几级，就已出现沉降稳定时间逐渐延长，即在 2h 甚至更长时间内不收敛。此时，采用快速法是不适宜的。而也有很多地方的工程桩验收试验，在每级荷载施加不久，沉降迅速稳定，缩短持载时间不会明显影响试桩结果；且因试验周期的缩短，又可减少昼夜温差等环境影响引起的沉降观测误差。

二、单桩抗拔静载试验

1、检测数据的处理

数据处理应绘制上拔荷载-桩顶上拔量 ($U-\delta$) 关系曲线和桩顶上拔量-时间对数 ($\delta-\lg t$) 关系曲线。

2、结果的判定

1) 单桩竖向抗拔极限承载力应按下列方法确定

① 根据上拔量随荷载变化的特征确定：对陡变型 $U-\delta$ 曲线，应取陡升起始点对应的荷载值。

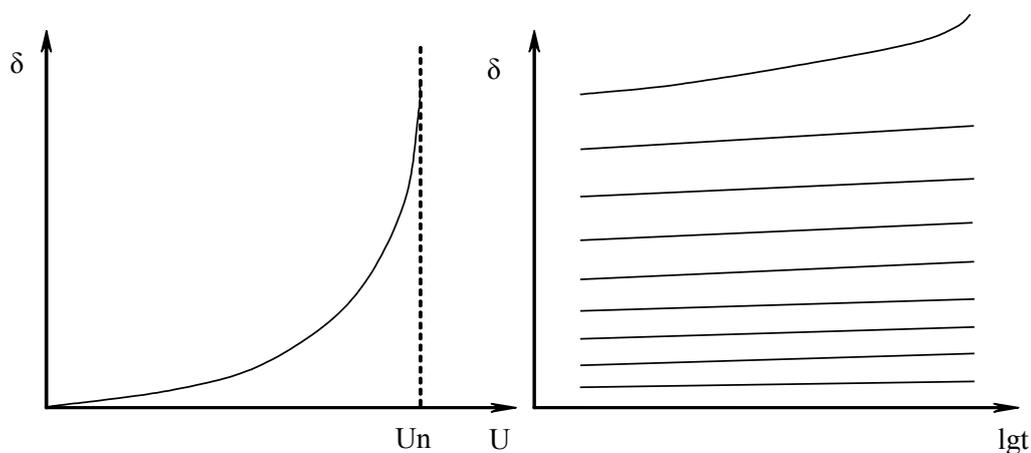


图 3-11 单桩抗拔试验荷载试验 $U-\delta$ ， $\delta-\lg t$ 曲线

② 根据上拔量随时间变化的特征确定：应取 δ - $\lg t$ 曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显弯曲的前一级荷载值。

③ 当在某级荷载下抗拔钢筋断裂时，应取前一级荷载值。这里“断裂”是因钢筋强度不够情况下的断裂。如果因抗拔钢筋受力不均匀，部分钢筋因受力太大而断裂，应视该试验无效并进行补充试验。不能将钢筋断裂前一级荷载作为极限荷载。

④ 未出现上述三种情况，工程桩验收检测时，混凝土桩抗拔承载力可能受抗裂或钢筋强度制约，而土上的抗拔阻力尚未发挥到极限，一般取最大荷载或取上拔量控制值对应的荷载作为极限荷载，不能轻易外推。

2) 为设计提供依据的单桩竖向抗拔极限承载力，可按单桩竖向抗压静载试验方法确定。

3) 当验收检测的受检桩在最大上拔荷载作用下，未出现上述第 1~3 款情况时，单桩竖向抗拔极限承载力应按下列情况对应的荷载值取值：

- ① 设计要求最大上拔量控制值对应的荷载；
- ② 施加的最大荷载；
- ③ 钢筋应力达到设计强度值时对应的荷载。单桩竖向抗拔承载力特征值

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。当工程桩不允许带裂缝工作时，应取桩身开裂的前一级荷载作为单桩竖向抗拔承载力特征值，并与按极限荷载 50%取值确定的承载力特征值相比，取低值。

三、单桩水平静载试验

1、检测数据的处理

1) 采用单向多循环加载法时绘制试验成果曲线：

a、水平力—时间—作用点位移 (H - t - Y_0) 关系曲线 (见图 3-12)；

b、水平力—位移梯度 (H - $\Delta Y_0/\Delta H$) 关系曲线。

2) 采用慢速维持荷载法时绘制试验成果曲线：

a、水平力—力作用点位移 (H - Y_0) 关系曲线；

b、水平力—位移梯度 (H - $\Delta Y_0/\Delta H$) 关系曲线；

c、力作用点位移—时间对数 (Y_0 - $\lg t$) 关系曲线；

d、水平力—力作用点位移双对数 ($\lg H$ - $\lg Y_0$) 关系曲线。

3) 绘制水平力、水平力作用点水平位移—地基土水平抗力系数的比例系数的关系曲线 ($H-m$ 、 Y_0-m)。

4) 对埋设有测量桩身应力或应变传感器时，尚应绘制下列曲线，并列表给出下列数据：

- a、水平力作用下桩身弯矩分布图；
- b、水平力—最大弯矩钢筋拉应力 ($H-\sigma_s$) 曲线。

2、结果的判定

1) 水平临界荷载的确定

单桩水平临界荷载 H_{cr} 可按下列方法综合确定：

①取单向多循环加载法时的 $H-t-Y_0$ 曲线或慢速维持荷载法时的 $H-Y_0$ 曲线出现拐点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。

③取 $H-\sigma_s$ 曲线的第一拐点对应的水平荷载值。

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开展扩大，最大弯矩断面下移，最后形成桩身结构的破坏。所测水平临界荷载 H_{cr} 为桩身产生开裂前所对应的水平荷载。因为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。

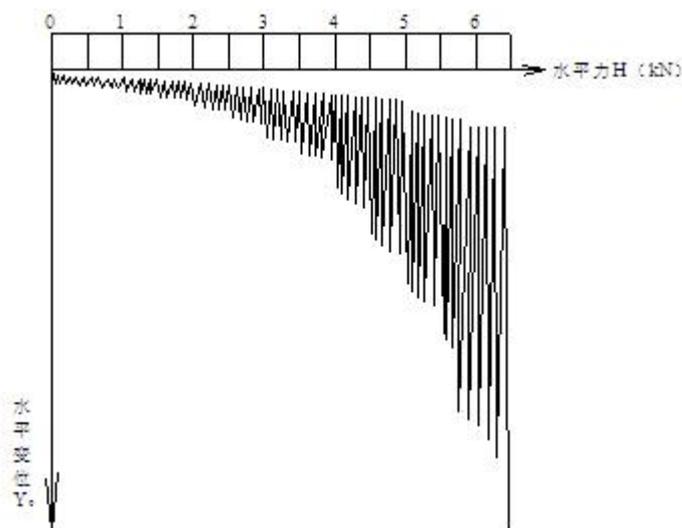


图 3-12 单向多循环卸载法 H_0-t-Y_0

2) 水平极限承载力综合确定

单桩水平极限承载力可根据下列方法综合确定：

①取单向多循环加载法时的 $H-t-Y_0$ 曲线产生明显陡降的前一级、或慢速维持荷载法时的 $H-Y_0$ 曲线明显陡降的起始点对应的水平荷载值。

②取慢速维持荷载法时的 Y_0-lgt 曲线尾部出现明显弯曲的前一级水平荷载值。

③取 $H-\Delta Y_0/\Delta H$ 曲线或 $lgH-lgY_0$ 曲线上第二拐点对应的水平荷载值。

④取桩身折断或钢筋屈服时的前一级水平荷载值。

3) 地基土水平抗力系数的确定

当桩顶自由且水平力作用位置位于地面处时,地基土水平抗力系数的比例系数 m 可根据试验结果按下列公式确定:

$$m = \frac{v_y \cdot H^{5/3}}{b_0 Y^{5/3} (EI)^{2/3}} \quad 3-1$$

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb}{EI}} \quad 3-2$$

式中 m ——地基土水平抗力系数的比例系数 (kN/m^4), 该数值为地面以下 $2(d+1)$ 米深度内各土层的综合值;

α ——桩的水平变形系数 (m^{-1});

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);

v_y ——桩顶水平位移系数, 由上式试算 α , 当 $ah \geq 4$ 时 (h 为桩的入土深度), 其值为 2.441;

EI ——桩身抗弯刚度 ($\text{kN} \cdot \text{m}^2$), 其中 E 为桩身材料弹性模量, 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: 当直径 $D \leq 1\text{m}$ 时, $b_0 = 0.9(1.5D + 0.5)$

当直径 $D > 1\text{m}$ 时, $b_0 = 0.9(D + 1)$

对于矩形桩: 当边宽 $B \leq 1\text{m}$ 时, $b_0 = 1.5B + 0.5$

当边宽 $B > 1\text{m}$ 时, $b_0 = B + 1$

上述地基土水平抗力系数随深度增长的比例系数 m 值的计算公式仅适用于水平力作用点至试坑地面的桩自由长度为零时的情况。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”, 桩身产生挠曲变形, 桩下段嵌固于土中不能转动, 即 $ah \geq 4.0$ 的情况。在 $2.5 \leq ah < 4.0$ 范围内, 称为“有限长度

的中长桩”。《建筑桩基技术规范》JGJ94 对中长桩的变化给出了具体数值（见表 3-10）。因此，在按式（3-1）计算值时，应先试算值，以确定是否大于或等于 4.0，若在 2.5~4.0 范围以内，应调整值重新计算值（有些行业标准不考虑）。当 $ah < 2.5$ 时，式（3-1）不适用。

桩顶水平位移系数 v_y 表 3-10

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

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。

4) 为设计提供依据的水平极限承载力和水平临界荷载，可接单桩竖向抗压静载试验的统计方法确定。

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，可取水平临界荷载的 0.75 倍作为单桩水平承载力特征值。

② 对钢筋混凝土预制桩、钢桩和桩身配筋率不小于 0.65% 的灌注桩，可取设计桩顶标高处水平位移所对应荷载的 0.75 倍作为单桩水平承载力特征值；水平位移可按下列规定取值：

a 对水平位移敏感建筑物取 6mm；

b 对水平位移不敏感建筑物取 10mm。

③ 取设计要求的水平允许位移对应的荷载作为单桩水平承载力特征值，且应满足桩身抗裂要求。

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、土质条件、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。由于建筑工程的基桩桩顶嵌入承台长度通常较短，其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值随荷载或位移增加而减小, 有必要给出从 $H-m$ 和 Y_0-m 曲线并按以下考虑确定 m 值:

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

与竖向抗压、抗拔桩不同, 混凝土桩(除高配筋率桩外)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。在单桩水平承载力特征值 H_a 的确定上, 不采用水平极限承载力除以某一固定安全系数的做法, 而是把桩身强度、开裂或允许位移等条件作为控制因素。也正是因为水平承载桩的承载能力极限状态主要受桩身强度(抗弯刚度)制约, 通过水平静载试验给出极限承载力和极限弯矩对强度控制设计是非常必要的。

抗裂要求不仅涉及桩身强度, 也涉及桩的耐久性。③虽允许按设计要求的水平位移确定水平承载力, 但根据《混凝土结构设计规范》GB 50010, 只有裂缝控制等级为三级的构件, 才允许出现裂缝, 且桩所处的环境类别至少是二级以上(含二级), 裂缝宽度限值为 0.2mm。因此, 当裂缝控制等级为一、二级时, 按③确定的水平承载力特征值就不应超过水平临界荷载。

第七节 报告的编写

一、编制报告的原则要求

检测报告是最终向委托方提供的重要技术文件。作为技术存档资料, 检测报告首先应结论准确, 用词规范, 具有较强的可读性; 其次是内容完整、精炼, 常规的内容包括:

- (1) 委托方名称, 工程名称、地点, 建设、勘察、设计、监理和施工单位, 基础、结构型式, 层数, 设计要求, 检测目的, 检测数量, 检测日期;
- (2) 地质条件描述;
- (3) 受检桩的桩号、桩位和相关施工记录;
- (4) 检测方法, 检测仪器设备, 检测过程叙述;
- (5) 受检桩的检测数据, 实测与计算分析曲线、表格和汇总结果;

(6) 与检测内容相应的检测结论。特别强调的是，报告中应包含受检桩原始检测数据和曲线，并附有相关的计算分析数据和曲线，对仅有检测结果而无任何检测数据和曲线的报告则视为无效。

二、单桩竖向抗压静载试验

试验报告除应满足第一节内容外，还应内容完整，结论明确、准确，符合相应规范要求。报告内容包括工程概况，如工程名称、试验地点、时间、试验点平面位置图及该工程有关的建设、设计、勘察、施工、监理单位等；工程地质概况包括桩基入土深度与土层关系、土层的性质以及在竖向、水平向的演变关系、持力层的承载特性等；桩基工程的结构特点（基础、结构形式、层数）、桩的设计参数包括桩的砼强度等级、截面尺寸（管桩应注明壁厚）、布桩密度、配筋量及配筋深度等；桩基施工参数包括沉桩机具性能和沉桩参数等；试验方法包括测试原理、荷载分级、稳定标准、终止加载条件、卸载要求等；设计要求、检测目的、检测依据等；测试所用的仪器、设备、加载与测量系统原理及量测精度等；试验结果包括沉降量汇总表、压力与沉降、沉降与时间对数曲线、单桩竖向极限承载力、单桩竖向极限承载力标准值或单桩竖向承载力特征值的确定过程、分析过程中异常情况说明、对工程建议等。

资料归档时应将出具的报告副本和原始报告一起归档。原始报告应包括试验方案、各种原始记录表、选桩表、检测合同、异常情况说明、分析过程的审签意见、报告所引用的设计、施工、勘察资料等。

三、单桩竖向抗拔静载试验

试验报告编制、审签、归档：具体内容与要求可参照单桩竖向抗压载荷试验的有关规定进行。包括受检桩位置对应的地质柱状图、受检桩尺寸和配筋情况、加卸载方法、荷载分级、各级上拔荷载的上拔量表、上拔荷载与上拔量的 $U\sim\delta$ 曲线、上拔量与时间对数 $\delta\sim Lgt$ 曲线、承载力判定依据等。当进行抗拔摩阻力测试时，应有传感器类型、安装位置、轴力计算方法、各级荷载下桩身轴力变化曲线、各土层中的抗拔极限承载力。

四、单桩水平静载试验

试验报告编制、审签、归档等应参照单桩竖向抗压静载试验方法进行。在检测报告中除满足单桩竖向抗压静载荷试验所要求的报告内容外，尚应包括受检桩的截面尺寸、配筋、加卸载方法、荷载分级、检测数据表及其水平荷载试验成果曲线、承载力判定依据等。当进行钢筋应力测试并由此计算桩身弯矩时，应有传感器类型、安装位置、内力计算方法、绘制的曲线及其观测数据表。

第八节 工程实例

工程实例一

某工程采用静压预制方桩，设计桩截面为 400mm×400mm，单桩承载力设计值为 1000kN，要求试桩最大试验荷载 2000kN，这里仅介绍 9# 桩的试验结果，试验荷载与沉降数据汇总表如表 3-11。 $Q-s$ 曲线和 $s-lgt$ 曲线见图 3-13。

显然， $\Delta s_3/\Delta s_2=16.06\text{mm}/3.14\text{mm}>5$ ，根据 JGJ106-2003 第 4.3.8 条，终止加载条件的第一款“某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 5 倍。”加载至第三级后即可卸载，但是，依据该条的“注：当桩顶沉降能相对稳定且总沉降量小于 40mm 时，宜加载至桩顶总沉降量超过 40mm。”则应继续加载，试验数据表明，自第五级荷载后，在每级荷载作用下，桩均能稳定且沉降量不大，而且在最大试验荷载作用下，桩的沉降仍能稳定。

该桩的极限承载力为 400kN（根据过去的有关做法， $\Delta s_4/\Delta Q_4=23.26\text{mm}/200\text{kN}>0.1\text{mm/kN}$ ，极限承载力取为 600kN，由此也说明采用不同的规范标准可能得出不同的试验结论）。这个承载力反映的是该桩所代表的那一类桩的承载力，造成承载力低的原因可能是桩接头脱接，但该桩经静载试验后竖向承载力可满足设计要求，就竖向抗压荷载而言，无须对该桩再进行处理。对同类型桩，应有针对性地制定扩大检测方案或处理方案，如果是接头问题，还应考虑脱接对水平荷载等影响。

某工程 9# 桩荷载与沉降数据汇总表 表 3-11

	荷载级次	荷载 (kN)	维持时间(min)	本级沉降量 (mm)	累计沉降量 (mm)
加载	1	200	120	0.66	0.66
	2	400	120	3.14	3.80
	3	600	120	16.06	19.86
	4	800	180	23.26	43.12
	5	1000	120	1.17	44.29
	6	1200	120	1.39	45.68
	7	1400	120	1.47	47.15
	8	1600	120	1.79	48.94
	9	1800	120	2.62	51.56
	10	2000	120	1.82	53.38
卸载	1	1600	60	0.14	53.24
	2	1200	60	0.41	52.83
	3	800	60	1.08	51.75
	4	400	60	2.12	49.63
	5	0	60	4.06	45.57

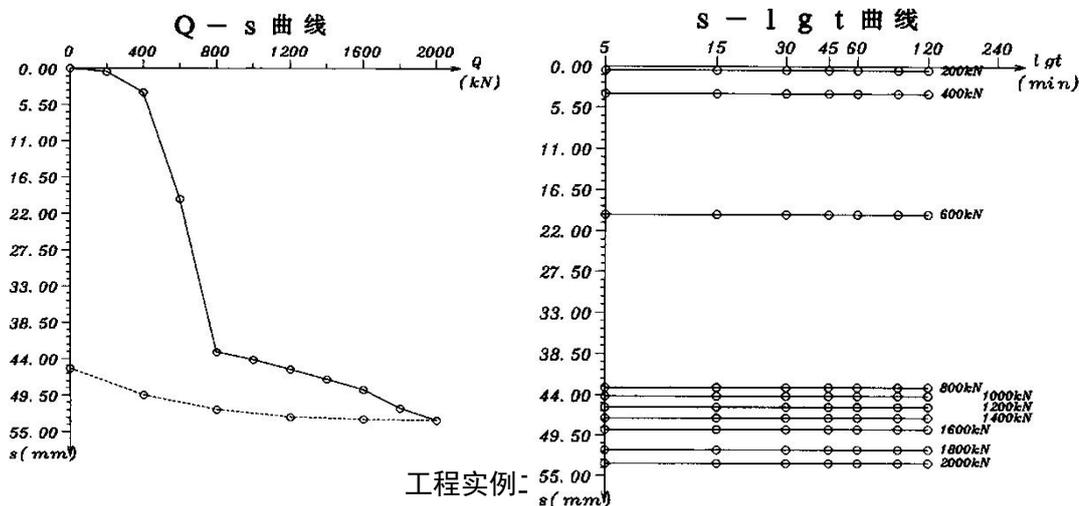


图 3-13 某工程 9# 桩静载曲线图

工程实例二

某综合楼拟建主楼 15 层，副楼 9 层，地下室一层，框架结构，建筑面积 21262m²。勘察报告表明，场地内地质条件复杂，地层变化大，在勘察深度范围内，岩层以上的工程地质层为：①素填土；②粗砂；③粉质粘土；④岩层。岩层变化大，炭质灰岩、泥质页岩、石英砂岩交错存在，岩层内裂隙、溶洞发育。

本工程的基础采用冲孔灌注桩，混凝土设计强度等级为 C35，桩径为φ800mm 和 φ1200mm 两种。由于岩层深度变化大，造成桩长变化大，最短的只有 12.0m，最长的达 45.20m，持力层为微风化岩。（三根桩的施工参数见表 3-12）

为防止桩顶混凝土在较大荷载作用下被压碎, 在 $\phi 800\text{mm}$ 试桩桩顶处设置一边长为 1.2m, 厚 1.5m 的立方柱形钢筋混凝土桩帽, 在 $\phi 1200\text{mm}$ 试桩桩顶处设置一边长为 1.8m, 厚 1.8m 的立方柱形钢筋混凝土桩帽。

检测桩的有关参数 表 3-12

试验序号	工程桩号	桩径(mm)	入土桩长(m)	单桩承载力设计值(kN)	最大试验荷载(kN)	桩端持力层	备注
1	15	1200	42.80	12000	24000	微风化岩	
2	51	1200	17.00	12000	24000	微风化岩	
3	66	800	14.00	6000	12000	微风化岩	

静载试验采用快速维持荷载法进行, 由压重平台反力装置提供荷载反力, 压重为混凝土试件, 每个试件重 5t。 $\phi 800$ 桩用 4 只 YQ500 千斤顶并联反力加载, $\phi 1200\text{mm}$ 桩用 6 只 YQ500 千斤顶并联反力加载, 采用自动检测仪进行加荷和测读桩顶沉降。

试验结果表明: 15 号桩桩长超过 40m, 虽然桩端持力层为岩层, 但呈现摩擦型桩的变形形态, 总沉降比较大; 51 号桩为典型的端承型桩, 沉降较小; 66 试桩 $Q-s$ 曲线为陡变形, 当荷载加到 4800kN 时, 沉降量很小, 加 6000kN 级时沉降急剧增加, 荷载无法稳定, 检测仪上显示的残余荷载约为 3000kN, $Q-s$ 曲线出现陡降段。为分析原因, 试验后对该桩进行了钻芯法检测, 钻芯结果表明该桩持力层中含有溶洞, 溶洞顶板已被破坏。最后 66 号桩被定作废桩处理。

工程实例三

上海某工程位于上海浦东陆家嘴, 楼高 88 层, 基础采用 $\Phi 914.4 \times 20\text{mm}$ 钢管桩, 先后采用 D100 型柴油锤与 HA30 型液压锤进行沉桩施工, 其中进行静载荷试验并进行桩身内力测试的 ST-1 桩桩长 80m, 总锤击数 7797, 最终贯入度为 6mm/击。该场地地质情况见表 3-13, 沿桩身 9 个断面安装了电阻应变计, 位置见图 3-14。

ST-1 桩初压最大试验荷载为 16188kN, 相应沉降量为 179.03mm, $Q-s$ 曲线见图 3-15; 复压最大试验荷载为 16500kN, 相应沉降量为 128.70mm, $Q-s$ 曲线见图 3-16; 最终判定 ST-1 桩极限承载力为 15000kN。

图 3-17 为 ST-1 桩初压静载试验时的桩身各段轴力测试曲线（其中两个断面的应变计因打桩时受损不能给出结果），此时对应的桩顶荷载为 14910kN、桩顶沉降量为 95.73mm。

土层主要参数表 3-13

土层编号	土层名称	含水率 w %	容重 γ kN/m ³	孔隙比 e	塑性指数 I_p	内摩擦角 ϕ (°)	内聚力 c kPa	静止侧压力系数 K_0	压缩模量 E_s MPa	标贯击数 N	比贯阻力 P_s MPa
1	填土										
2	褐黄色粉质粘土	35.1	18.5	1.00	15.5	15.0	12	0.48	3.59	2.0	0.70
3	灰色淤泥质粉质粘土	38.9	18.1	1.10	13.1	16.3	8	0.54	4.12	2.0	0.54
4	灰色淤泥质粘土	49.2	17.3	1.37	20.2	9.7	10	0.61	2.66	<1	0.50
5	灰色粉质粘土	34.5	18.5	0.98	14.5	15.8	9	0.55	5.15	5.0	0.85
6	暗绿色粉质粘土	23.3	20.1	0.67	14.8	14.9	36		11.10	20.0	2.48
7-1	草黄色砂质粉土	31.0	18.4	0.93		22.9	3		11.26	34.7	12.80
7-2	草黄、青灰色粉细砂	26.9	18.9	0.80		26.5	0		16.44	>50	23.73
8	灰色砂质粉土	32.2	18.6	0.93		23.5	4		9.14	>50	18.40
9-1	灰色砂质粉土	33.2	18.7	0.93		27.5	0		14.52	48.8	
9-2	灰色细砂夹中粗砂	24.1	19.6	0.71		22.0	0		16.00	>50	

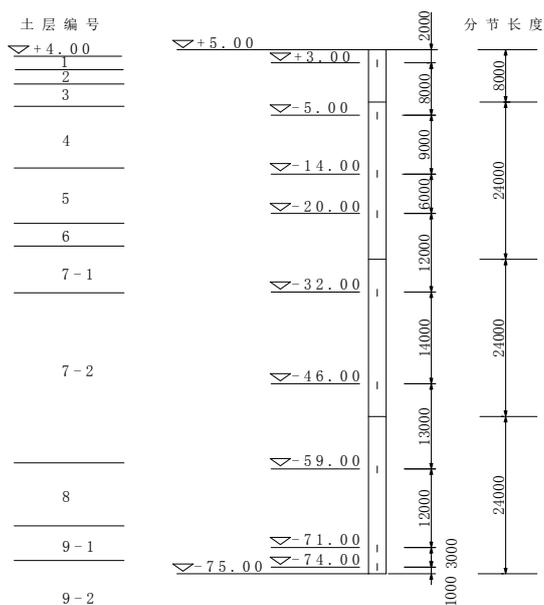


图 3-14 地层剖面及应变计安装位置图

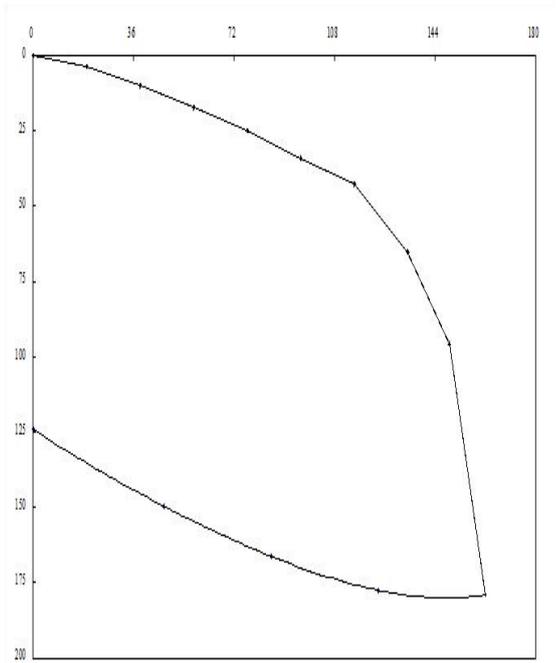


图 3-15 ST-1 桩初压荷载—沉降曲线

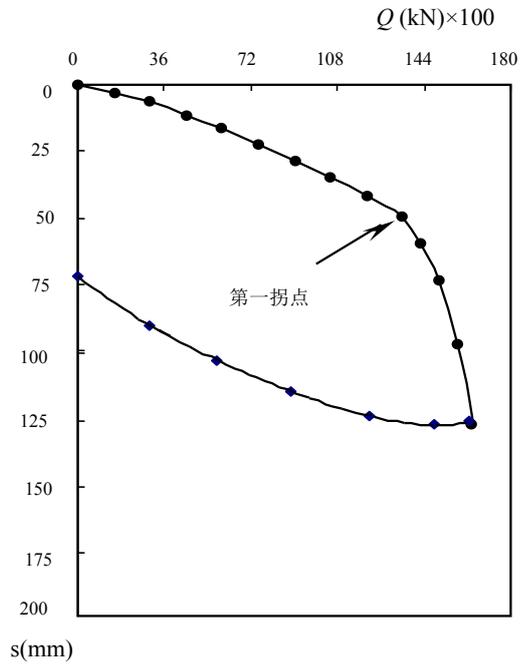


图 3-16 ST-1 桩复压荷载—沉降曲线

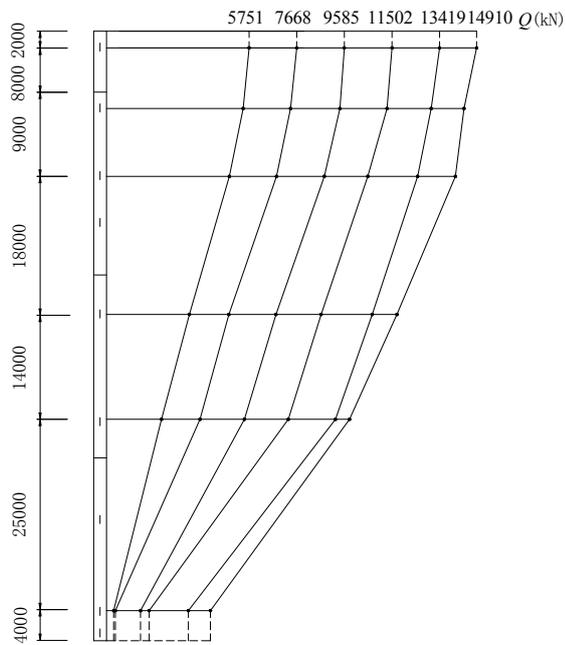


图 3-17 实测桩身轴力分布图

由实测轴力结果, ST-1 钢管桩在试验荷载 14910kN 时的桩身弹性变形可根据公式:

$\Delta S = \frac{Q \cdot L}{EA}$ (式中 Q 为桩身轴力) 计算, 其中钢管桩单位长度抗压刚度

$EA = 2.06 \times 10^5 \text{MPa} \times 561.68 \times 10^{-4} \text{m}^2 = 11570.6 \text{MN/m}$ 。按分段桩身轴力计算桩身弹性变

形如下:

第一段: $\Delta s_1 = 14910 \times 2 / 11570.6 = 2.577 \text{mm}$

第二段: $\Delta s_2 = (14910 + 14399) / 2 \times 8 / 11570.6 = 10.132 \text{mm}$

第三段: $\Delta s_3 = (14399 + 14054) / 2 \times 9 / 11570.6 = 11.066 \text{mm}$

第四段: $\Delta s_4 = (14054 + 11701) / 2 \times 18 / 11570.6 = 20.033 \text{mm}$

第五段: $\Delta s_5 = (11701 + 9791) / 2 \times 14 / 11570.6 = 13.002 \text{mm}$

第六段: $\Delta s_6 = (9791 + 4188) / 2 \times 25 / 11570.6 = 15.102 \text{mm}$

第七段: $\Delta s_7 = 4188 \times 4 / 11570.6 = 1.448 \text{mm}$

则累计桩身弹性变形 $s = s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5 + s_6 + s_7 = 73.36 \text{mm}$ 。由此可以看出, 桩身的弹性变形占桩顶变形的 76.6%, 桩端位移为 22.37mm。从桩身内力测试结果看, 该桩在桩顶荷载为 7668kN 时, 端阻 (-71.0m 处轴力估算) 发挥还很少 (358kN), 加载至 9585kN 后, 才有快速增加的趋势 (1370kN), 如桩顶荷载为 11502kN、13419kN 和 14910kN 时, 分别为 1729kN、3298kN 和 4188kN。显然桩端阻尚有发挥潜力。另外, 该桩虽为开口打入, 但由于休止后钢管内的土芯产生闭塞 (土芯高度与入土深度之比为 91%) 效应, 大大提高了桩端阻力, 不过作为控制建筑物沉降角度讲, 这部分潜力不宜再进一步挖掘。

工程实例四

拟建某大厦采用框架剪力墙结构, 高 20 层, 建筑面积 70000m²。场地的地质情况如下: ①素填土; ②淤泥; ③粉质粘土; ④粘性土; ⑤强风化花岗混合岩; ⑥中风化花岗混合岩; ⑦微风化花岗混合岩。

本工程的基础采用预应力管桩, 桩径为 $\Phi 500 \text{mm}$, 桩长在 25m 到 35m 之间, 最初单桩试验抗拔承载力为 1200kN, 后来根据第一根试桩的试验结果调整为 900kN。所做上拔静载试验的三根桩的有关参数见表 3-14。

静载试验采用慢速维持荷载法进行，由试验桩两侧的工程桩提供荷载反力。使用 2 台 QF200 千斤顶并联进行加载，百分表测读试桩上拔量。

图 3-18 为 150#、223#和 285#试桩的 $U-\delta$ 曲线，在最大试验荷载或破坏荷载前，各级荷载作用下上拔量较快趋于稳定。

检测桩的有关成桩参数 表 3-14

试验序号	工程桩号	桩径 (mm)	入土桩长 (m)	最大试验荷载 (kN)	配桩情况	接桩方法	备注
1	150	500	30.5	2000	10+10+10	焊接	
2	223	500	27.6	1400	11+9+7	焊接	
3	285	500	33.0	1400	12+12+9	焊接	

150#桩预计最大抗拔试验荷载为 2000kN，试验加载至第 7 级 1400kN 时，上拔量不大，为 6.03mm，加下一级荷载时，管桩接口脱焊，终止试验,未做卸载观察。223#和 285#试桩在最大试验荷载 1400kN 作用下上拔量均能稳定。从本工程可以看出，影响管桩抗拔力有两个因素，一个是桩侧土摩阻力、另一个是桩身材料强度及管桩接口粘合力。对于设计值较小的抗拔桩来说，决定抗拔力大小的一般是桩侧土摩阻力；对于设计值较大的抗拔桩来说，决定抗拔力大小的一般是管桩接口粘合力。

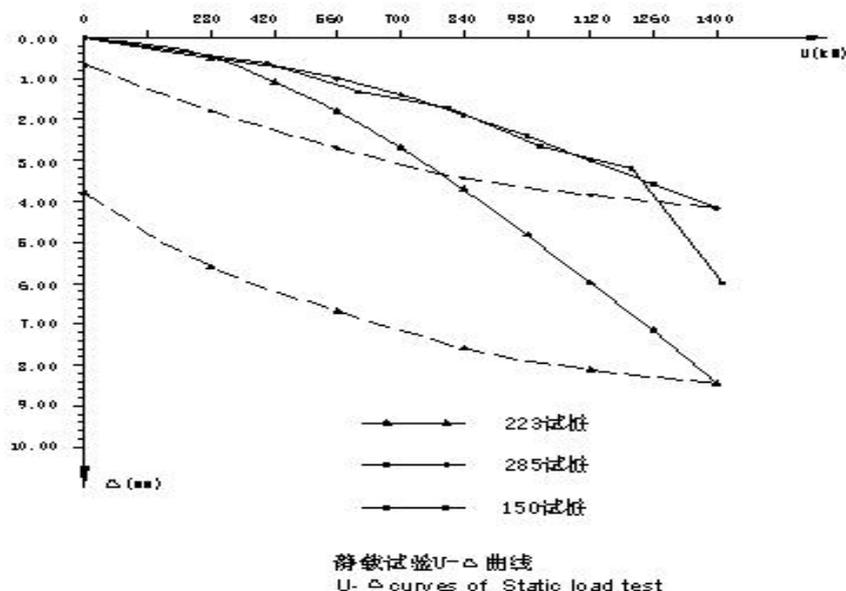


图 3-18 150 号、223 号和 285 号桩静载试验 $U-\delta$ 曲线

工程实例五

北京电视中心总建筑面积 17 万平方米，由综合业务大楼（高度 246m，地上 28~41 层，地下 3 层）、多功能演播中心、生活服务中心和纯地下部分组成。本工程属于大底盘多塔建筑群。由于上部建筑荷载大且集中，为满足承载力和沉降控制要求，在综合业务大楼、演播中心和服务中心布置了抗压桩；同时因纯地下部分和局部多功能演播中心空旷内庭配重不够，不能抵抗相应结构设防水位的水浮力，因此布置了抗浮桩。

抗浮桩设计采用 $\phi 800\text{mm}$ 灌注桩，旋挖成孔，有效桩长 25m，混凝土强度等级 C35，竖向抗拔承载力特征值 U_a 为 2700kN，配筋为 12 $\Phi 25$ (HRB335)；为满足桩身抗裂要求，采用后张预应力，配筋为 12 $\phi^s 15.2$ (1860MPa)。为提高桩的抗拔承载力，在距桩底以上 1m、9m 和 17m 三个位置埋设压浆阀进行桩侧后压浆，桩周土层描述和后压浆位置见图 3-19。

由于设计单桩抗拔承载力特征值很高，为证实设计意图能否实现，专门设置了一根试验桩，除不配预应力筋并将主筋改为 24 $\Phi 32$ 外，其他条件完全与工程桩相同，该试验桩的上拔荷载-位移曲线见图 3-20。由图可见：上拔荷载加至 6000kN， $U-\delta$ 曲线未出现陡变，卸载回弹率较大，证明以桩周土控制的抗拔承载力特征值超过了 2700kN。

根据《混凝土结构设计规范》GB50010 对试验桩进行抗裂验算，当控制桩身裂缝宽度为 0.2mm 时，允许的上拔荷载仅为 2300kN。在本例中，上拔荷载加至 6000kN 时裂缝宽度增加近 4 倍，而有趣的是上拔试验完成后进行低应变检测，未发现桩身存在缺陷，且桩头附近也未发现混凝土开裂。

由本实例可知，如果桩不允许带裂缝工作或控制裂缝宽度不超过 0.2mm，对桩的抗拔承载力起控制作用的是抗裂要求。所以这就是为什么工程桩设计要采用后张预应力的原因（桩身施加预应力约为 4.3MPa）。

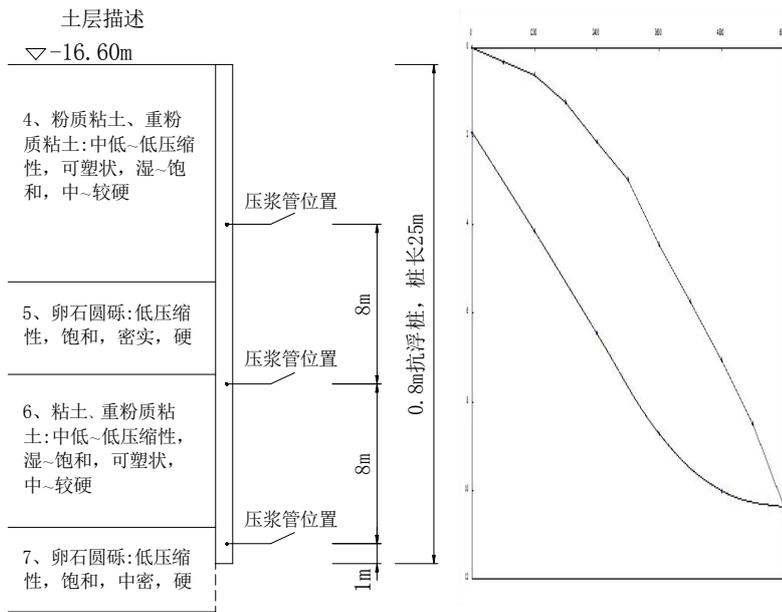


图 3-19 地层剖面和桩侧后压浆位置图 3-20 试桩的 $U-\delta$ 曲线

第三章 静载荷检测思考题

1. 桩基与基桩的概念和区别？
2. 基桩的分类及施工过程中常见的质量问题。
3. 现场静载试验有几种装置，并分述各类装置的相关技术要求。
4. 单桩在受竖向抗压、抗拔、水平荷载作用时的工作机理。
5. 单桩竖向抗压试验典型 $Q-s$ 曲线有哪几种类型、并理解各阶段桩土作用的状态。
6. 单桩竖向抗压试验有哪几种试验方法，理解各方法的适用条件及结果的区别。
7. 单桩竖向抗拔试验有哪几种试验方法，理解各方法的适用条件。
8. 单桩水平试验有哪几种试验方法，理解各方法的适用条件及所能得出的结果。
9. 单桩竖向抗压、抗拔、水平试验的现场试验记录应包含哪些内容？
10. 单桩竖向抗压、抗拔、水平试验报告中应包含哪些对应的图表？
11. 单桩竖向抗压承载力特征值应如何确定？
12. 单桩竖向抗拔承载力特征值应如何确定？
13. 单桩水平临界荷载应如何确定？
14. 单桩水平承载力特征值如何确定？
15. 试述 JGJ106 中提出的“同一条件”包含什么涵义？
16. 试述 JGJ106 标准中的各类静载试验的数量要求？
17. 试述现场静载试验的试验时机？
18. 试述单桩竖向抗压试验现场的关键控制环节。
19. 对慢速维持荷载法中“维持荷载”是如何理解的，JGJ106-2003 标准中作了怎样的规定。
20. 在埋设有应力计的静载试验中应如何观测，数据分析时遵循什么原理。

第四章 地基及复合地基静载荷试验

第一节 概述

一、地基、处理地基与复合地基的基本概念

支承基础的土体或岩体称为地基。这类地基从工程地质特性不同又分为：一般粘性土地基、砂类土或碎石类土地基、软弱地基、山区地基、湿性黄土地基、季节性冻土地基、膨胀土地基等。

为提高地基的承载力，通过采用人工方法改善变形性质或渗透性质后的地基称为处理地基。处理地基由同一种材料组成，可以由单一土体或其它加固材料，如水泥等与土体均匀混合组成的人工地基。如强夯地基、换填垫层地基、排水固结地基、压密注浆地基等。这类地基的承载特性类似于承载力较高的天然地基，它具有加固区土体性质得到全面改良、物理力学性质基本均一，已构成了加固区范围内的均质地基。当地基加固处理的厚度小于基础的相应受压层厚度时，实际上组成了上硬下软的双层地基。此时直接位于基底下的处理土层，有效的对基底压力起到扩散作用，载荷试验的结果往往只反映上部处理土层的承载力和变形特性，在应用载荷试验结果时，还应考虑对软弱下卧层进行变形验算。

复合地基是指部分土体被增强或被置换，而形成的由地基土和增强体共同承担载荷的处理地基。在荷载作用下，土体和增强体共同承担荷载的作用。根据地基中增强体的方向又可分为水平向增强体复合地基和竖向增强体复合地基。竖向增强体习惯上称为“桩”，竖向增强体复合地基通常称为桩体复合地基，是本教材讨论的重点内容之一。通常在众多根桩（竖向增强体）所加固的地基中，选取一根桩或多根桩及其影响的桩周土体所组成的单元体（简称单桩或多桩复合地基）作为复合地基承载力的研究对象。

复合地基与桩基都是采用以桩的形式处理地基，但后者属于基础范畴，两者有本质区别。复合地基中高粘结强度的桩体与基础往往不是直接接触的，而是通过厚度为 20~30cm 的垫层（碎石或砂石垫层）来过渡，而桩基中桩体与基础直接相连成整体。复合地基中桩体（竖向增强体）顶部应设褥垫层，以使桩体（竖向增强体）与地基土共同发挥承载作用。通过褥垫层厚度的改变，可以调节桩、土竖向荷载的分担比例。严格说来，复合地基是由桩、桩间土和褥垫层共同组成的。它属于地基范畴，具有地基的特性，基础底面下复合地基中附加应力分布随深度也具有非线性扩散性质。由于竖向增强体与周围土体刚度相差较大，附加应力的影响深度在桩体部位较深，在桩间土部位较浅，附加应力实际分布状态比较复杂。

二、地基、复合地基的主要类型

建筑物地基分为两类：一是未经加固处理即能满足建筑物荷载要求的地基称之为天然地基，这类地基从工程地质特性不同又分为一般粘性土地基、砂类土或碎石类土地基、软弱地基、山区地基、湿性黄土地基、季节性冻土地基、膨胀土地基等；还有经人工处理后的建筑物地基，例如填土地基、石灰桩或灰土挤密地基、强夯地基等称之为人工地基。

复合地基中高应力区分布在竖向增强体所在深度范围内，竖向增强体以下与天然地基相近。复合地基按桩体强度可分为柔性桩复合地基和刚性桩复合地基两类。柔性桩复合地基的桩体强度小于外荷载，在外荷载作用下产生鼓胀破坏；刚性桩复合地基的桩体强度大于外荷载，在外荷载作用下产生刺入破坏。复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定，结合增强体（桩体）和其周边土的载荷试验结果经验确定。复合地基载荷试验，是确定复合地基承载力的基本方法，根据《建筑地基处理技术规范》（JGJ79）规定，复合地基载荷试验和增强体（桩体）单桩载荷试验的检测数量通常按增强体（桩体）总数的 1.0% 内选择。除作复合地基载荷试验、增强体（桩体）载荷试验外，尚应对增强体（桩体）作一定数量的桩身质量检验。

第二节 一般规定

地基及处理地基载荷试验应参考第三章的基本规定，还应包含以下内容（参见江苏省《建筑地基基础检测规程》（DGJ32/T 142-2012））：

一、地基检测包括确定地基承载力、变形参数和评价岩土性状、地基施工质量。

二、确定承载力和变形参数应选择浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验和岩石地基载荷试验；评价岩土性状、地基均质性及施工质量可选用标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、钻芯法等。

三、处理地基从施工结束到开始试验的间歇时间应符合设计规定，当设计无要求时应符合相关规范规定。

四、采用钻芯法抽检岩石地基时，单位工程抽检数量不得少于 6 个孔，钻孔深度应满足设计要求，每孔芯样截取一组三个芯样试件。岩石地基特性复杂的工程应增加抽检孔数。当岩石芯样无法制作成芯样试件时，应进行岩石地基载荷试验。对强风化岩、全风化岩宜采用平板载荷试验，试验点数不应少于 3 点。

五、天然地基、处理地基的承载力检测，可采用平板载荷试验，抽检数量为每单位工程不应少于 3 点，1000m² 以上的工程，每 100 m² 不少于 1 个点，3000m² 以上的工程，超过 3000 m² 部分每 300 m² 不少于 1 个点，每一独立基础下至少有 1 点，基槽每 20 延米应有 1 点。

六、复合地基（含增强体）应采用平板载荷试验方法进行单桩或多桩复合地基承载力检测，复合地基中的增强体还应进行单桩竖向承载力检测。

复合地基中的竖向增强体施工质量检测，采用钻芯法、标准贯入试验、圆锥动力触探试验等方法；如采用水泥粉煤灰碎石桩等具有高粘结强度增强体处理方式时应进行桩身完整性检测。

第三节 基本理论

一、地基变形的基本概念

建筑物地基中作用有两种应力：一种是土体自重作用下的应力（自重应力），另一种是建筑物荷载作用下地基土中超过自重应力的那一部份应力增量称之附加应力。通常地基土在自重应力作用下的变形已经完成，建筑物荷载作用所引起的附加应力是地基土产生新的变形的根源。

基础底面下地基土中附加应力分布随深度具有非线性扩散性质。据实测资料证实条形基础在 1.5 倍基础宽度深处的附加应力相当于基底压力的 50%左右，主要受力层相当于条形基础下 3 倍基宽的深度。独立基础在深度 0.5 倍基础宽度处的附加应力相当于基底压力的 50%左右，主要受力层相当于独立基础下 1.5 倍到 2 倍基础宽度的深度。可见地基载荷试验（方形或圆形压板）的结果主要反映了压板下 1.5-2.0 倍基宽深度范围内持力层的变形特性。两倍压板宽度以下，附加应力已减小到基底压力的 10%以下，已可以不考虑附加应力对地基变形的影响。对于 0.5m² 的承压板，有效影响深度约 1.10~

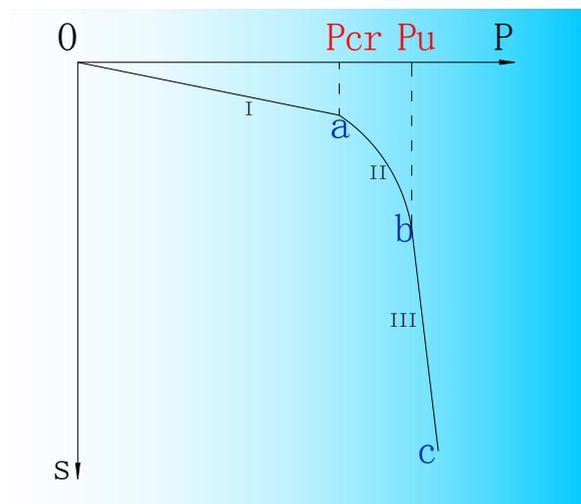


图 4-1 地基变形的三个阶段

1.50m。由此可见, 地基浅层平板载荷试验往往只反映了建筑物下浅层地基的变形特性。当地基的主要受力层由性质相差悬殊的多层土组成时, 宜分层进行载荷试验或用不同面积的载荷板在同一试验深度进行。也可以补充其它原位测试手段, 如轻便触探、标贯试验、静力触探等, 对建筑场地的变形特征作出综合判定。为了了解深部地基的承载力和变形特征, 在有条件的地方, 可以进行深层平板载荷试验。

在竖向荷载作用下地基土的变形可划分为三个阶段:

(1) 直线变形阶段(压密阶段): 当竖向荷载小于临塑荷载(比例极限) P_{cr} 时, 地基土在竖向荷载作用下的变形近于直线关系, 此时地基土的变形是由于土的孔隙体积的减小即压密所引起, 如图 4-1 中的 Oa (I) 阶段。

(2) 局部剪切阶段: 当竖向荷载 $p_{cr} < p < P_u$ 时, 地基变形与竖向荷载间不再是直线关系, 随荷载增大, 地基变形迅速增大。此时压板下地基土在发生压密的同时, 压板两侧基础边缘处的应力首先达到极限平衡, 土体产生剪切而发生塑性变形区, 并随荷载的增加, 塑形变形区范围逐渐扩大, 下沉量显著增大。对软土地基, 在竖向荷载作用下, 基础底板下的地基土

除产生竖向变形外, 还会产生较大的侧向位移, 加速了地基基础的沉降, 如图 4-1 中的 ab (II) 阶段。

(3) 完全破坏阶段: 当荷载继续增大到 $p \geq p_u$ 后, 压板连续急剧下沉, 即地基土中的塑性变形区不断扩大。

在软弱地基土中, 基础的竖向位移产生沿基础周边的竖向剪切, 使基础不断向下刺入。在压缩性较小的密实砂土或粘性土地基中, 由于塑性区的不断扩大而形成连续滑动面, 土从载荷压板下挤出来, 形成隆起的土堆, 此时地基完全破坏, 即基础压板丧失稳定, 如图 4-1 中的 bc (III) 阶段。显然, 作用在基础底面上的实际荷载绝不容许达到极限荷载 p_u , 而应有一定的安全系数, 一般安全系数采用 2~3, 《建筑地基基础设计规范》(GB50007) 虽未提出安全系数的明确概念, 但从地基土层承载力特征值取极限荷载值的一半足以说明, 地基土层承载力特征值取值时采用的安全系数为 2。一般情况下, 地基变形的三个阶段是难以明确划分的, 只有对砂土和密实的粘性土地基比较典型。

为了使地基载荷试验的结果能较好地描绘出地基土的变形特征, 试验前应施加预压荷载, 预压荷载(包括设备重量)应等于卸去压板以上土的自重, 其相应的沉降量不计。加荷等级可分为 8-12 级, 以后每级荷载增量, 对较坚硬的土(硬塑或可塑粘性土)不超过 25-50kPa, 对于松软的土(软塑或流塑状态的淤泥或淤泥质土), 不超过 10-25kPa。地基载荷试验施加的总荷载不应少于设计荷载值的 2 倍, 或应尽量接近土的极限荷载。

二、复合地基变形特性

复合地基在刚性基础下的变形特性比较复杂，随桩体与土体的相对刚度（如桩体材料性质、桩土应力比、面积置换率等因素）的变化而变化。根据桩体材料性质，可将复合地基分为：

(1) 散体材料桩复合地基：有碎石桩（振冲、挤密、干振）复合地基、碴土桩及砂桩复合地基、强夯置换墩体复合地基、柱锤冲扩桩复合地基等；

(2) 一般粘结强度桩复合地基：有灰土桩复合地基、石灰桩复合地基、土挤密桩复合地基、水泥土桩（深层搅拌桩、粉喷桩）复合地基、夯实水泥土桩复合地基等；

(3) 高粘结强度桩复合地基：有 CFG（水泥、粉煤灰、碎石）桩复合地基、素砼桩复合地基、碎石压力灌浆桩（树根桩）复合地基等。

实践证明：复合地基承载力大小，取决于桩体刚度与桩周土体刚度间的匹配关系。由于桩体刚度大，单位面积桩体分担的荷载也大，竖向应力的传递深度也大。通常对复合地基施加竖向荷载后，随着时间的增长，桩土间应力会相对转移。荷载施加初期，土承担的荷载大于桩承担的荷载。随着荷载的增加，应力逐渐向桩体转移，桩间土承担的荷载比例逐渐减少，桩承担的荷载比例逐渐增大。当桩和土承担的荷载各占 50% 之后，在桩身强度满足的条件下，随着桩长的增加，桩承担的荷载势必愈来愈大于桩间土承担的荷载。同样，当竖向荷载达到一定的量值后，在恒定的荷载作用下，桩承担荷载比（ δ_p ）随桩长增加、桩距减小、土体强度降低、褥垫层厚度减小而增大。为了充分发挥复合地基中桩土的共同作用，以获得最佳的经济指标，桩体强度和桩长应根据桩周土体的强度作适当调整，使桩土应力比处于相对合理。实践证明：对于一般粘结强度桩复合地基，如深层搅拌桩复合地基，桩与桩间土并非同时会达到极限荷载，尤其在水泥掺量较低时，这一现象更为突出。一般桩体到达极限荷载后，上部桩体被压碎，其深度一般距桩顶（2~5）d。对于 8 字形水泥搅拌桩，复合地基中桩的最大轴力约位于桩顶下 3m 以内，而单桩竖向荷载作用下的最大轴力位于桩顶下 5.0m 以内。说明复合地基中桩的主要受力段上移，如适当提高桩顶下（5~8）d 范围内的桩体强度，对提高复合地基的承载能力有一定作用。实践证明，在碎石桩复合地基中，当桩长大于 2.5 倍基宽时，再增加桩长对提高复合地基承载能力作用不大。石灰桩模量高于碎石桩，荷载传递深度大于碎石桩，但由于桩身强度不高，随桩长的增加端阻力发挥愈来愈小。CFG 桩由于桩体强度较高，能全长发挥侧阻力，桩长较短时端阻力也能得到较好地发挥。提高复合地基的承载力，应通过调节褥垫层的厚度、桩体强度及桩长，以控制桩土荷载分担比，充分发挥桩周土体的承载作用。

三、复合地基参数

1、复合地基参数物理意义

复合地基承载力受多个因素控制, 正确理解复合地基各参数的物理意义十分重要, 现分述如下:

(1) 桩土应力比 n : 复合地基竖向荷载中, 作用于桩顶应力与作用于桩间土应力之比称为桩土应力比。复合地基中桩土应力比不是常数, 当荷载小于某一定值 p_0 时, 桩土应力比随荷载的增大而增大; 当荷载大于某一定值 P_0 时, 桩土应力比随荷载增大而减少; 荷载为某一定值 p_0 时, 桩土应力比达到峰值。通常柔性桩的桩土应力比 $n \leq 10$, 刚性桩的桩土应力比 n 为 $15 \sim 40$ 。

(2) 面积置换率 m : 复合地基中桩体所占据的面积与桩土总面积之比称为平均面积置换率。面积置换率反映了复合地基中桩体的面积分布密度。一般来说, 在同一建筑场地在同等条件下, 面积置换率愈高, 复合地基加固效果愈好。面积置换率的采用, 必须考虑复合地基中竖向增强体与土体的协调作用, 不是面积置换率愈高愈好。同一工程中因荷载分布的变化, 面积置换率也应作相应改变。复合地基载荷试验的位置应选择在有代表性的地段和基础底面标高处, 并在技术钻孔附近。这里所指的有代表性地段, 既考虑到建筑场地的工程地质条件, 又要考虑到面积置换率的变化。对于规模较大的单体工程, 如面积置换率为不同时, 应分别取单元体检测其承载力。对于规模较小的单体工程, 在场地地质条件比较均匀时, 试验通常选择面积置换率中等偏低的位置, 以保证检测结果对整个建筑场地而言, 既发挥了复合地基的承载潜力, 又偏于安全。

(3) 等效影响圆直径 d_e : 是指复合地基中与加固单元体 (一根桩及桩周加固土体) 面积相等的圆面积的直径, 是确定复合地基载荷试验承压板面积的重要参数。

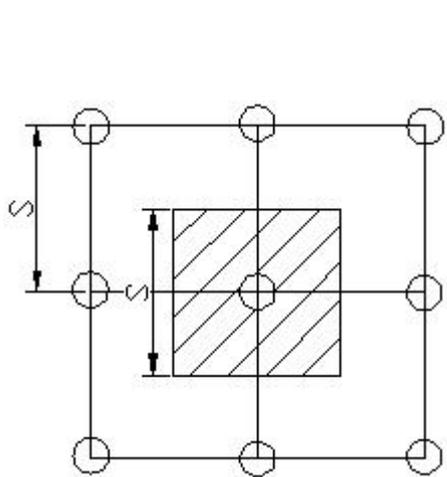
2、复合地基参数计算

根据竖向增强体 (桩体) 的分布形态, 其计算方法如下:

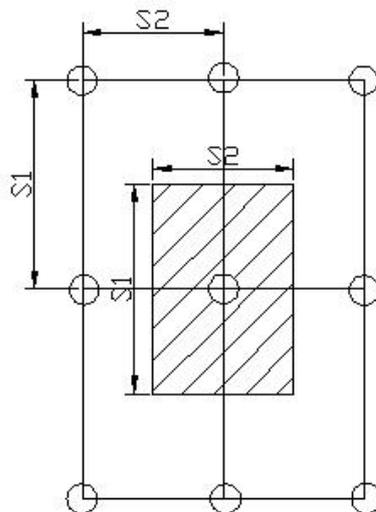
(1) 竖向增加体 (桩体) 为整片分布时, 单桩复合地基载荷试验承压板面积、等效影响圆直径及面积置换率的计算公式列于表 4-1。承压板形状应根据布点方式参照表 4-1 确定。

竖向增强体整片分布时单桩复合地基参数计算 表 4-1

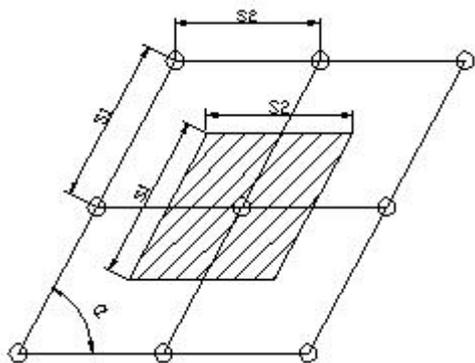
计算式 布点方式	名称	桩距(横 向间距) S_1	排距(纵 向间距) S_2	单元体面积 (压板面积) A	面积置换率 m		等效面积圆直 径 d_e	压板形状 选择
					式 1	式 2		
正方形		S	S	S^2	$\frac{\pi d^2}{4 S^2}$	$\frac{d^2}{1.28 S^2}$	$1.13S$	方形压板
矩形		S_2	S_1	$S_1 S_2$	$\frac{\pi d^2}{4 S_1 S_2}$	$\frac{d^2}{1.28 S_1 S_2}$	$1.13\sqrt{S_1 S_2}$	矩形压板
平行四边形		S_2	$S_1 \sin \alpha$	$S_1 S_2 \sin \alpha$	$\frac{\pi d^2}{4 S_1 S_2 \sin \alpha}$	$\frac{d^2}{1.28 S_1 S_2 \sin \alpha}$	$1.13\sqrt{S_1 S_2 \sin \alpha}$	圆形压板
等边三角形		S	$\frac{\sqrt{3}}{2} S$	$\frac{\sqrt{3}}{2} S^2$	$\frac{\pi d^2}{2\sqrt{3} S^2}$	$\frac{d^2}{1.1 S^2}$	$1.05S$	



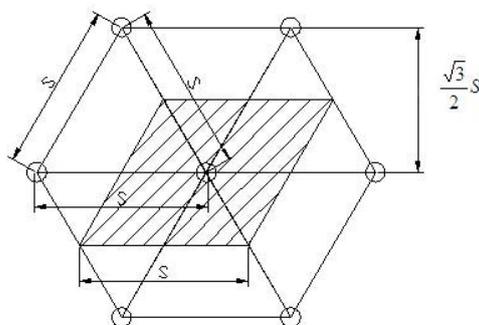
(a) 正方形分布



(b) 矩形分布



(c) 平行四边形（等腰三角形）分布



(d) 等边三角形分布

图 4-2 整片复合地基参数计算

(2) 条形基础下竖向加固体呈单排或双排分布时，通常取一个加固单元体（含一根或两根桩及桩周土体）长度面积相等的圆面积的直径为等效影响圆直径。此时单桩或双桩复合地基载荷试验承压板面积呈矩形，单排桩或双排桩的桩距为一个加固单元体长度，即矩形承压板的长度，其宽度等于基础宽度。由图 4-2 表明：单排或双排桩的压板面积为 Sb 等效影响圆直径为 $1.13\sqrt{sb}$ ，排桩的面积置换率为 $\pi d^2/4sb$ ，双排桩的面积置换率为 $\pi d^2/2sb$ 。

③独立基础下的复合地基，通常作单桩复合地基载荷试验，试验承压板为圆形或方形，压板面积 $A=F/n$ （ F 为基础面积， n 为基础下桩数）。对于重要工程，宜作多桩复合地基载荷试验，试验承压板尺寸与基础尺寸相同，一般选择桩数较少的基础进行，这种情况下承压板形状根据布点方式选择正方形、矩形或圆形。

综上所述，复合地基载荷试验所采用的承压板面积可以根据桩体纵横向间距及布点方式作出准确计算。但考虑到操作的可行性，实际采用的压板面积与计算面积间的误差，应不超过 $-5\% \sim +10\%$ 之内。

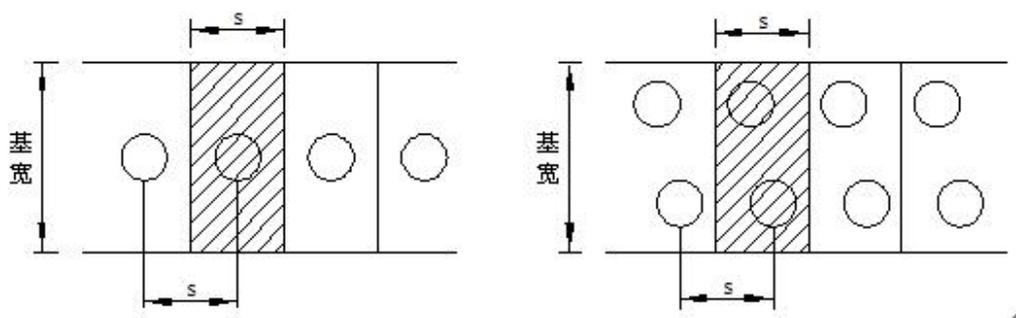


图 4-3 条形分布复合地基参数计算

第四节 静载试验仪器设备

一、主要仪器设备

各类地基或增强体单桩竖向载荷试验通常由加荷系统、反力系统和观测系统三部份组成。加荷系统包括刚性承压板、立柱、油压千斤顶等。反力系统通常采用堆重系统或地锚（锚桩）系统。观测系统包括时间记录设备、位移传感器（或大量程百分表）、基准梁、基准桩等。位移传感器（或大量程百分表）应牢固固定，位移传感器（或大量程百分表）的触杆应与光滑平面接触。基准梁的一端固定在基准桩上，另一端应与基准桩简支，并远离沉降影响区。

二、试验准备工作

检测单位承接地基或增强体单桩载荷试验后，应首先到现场进行踏勘，详细收集建筑场地的工程地质资料，以掌握试验区土层分布、土层性质、持力层的承载特性等。对于增强体单桩，还应掌握桩的入土深度与桩周及桩端土层的关系，掌握桩的设计与施工参数，包括桩长、桩型、截面尺寸等其他一切影响增强体单桩承载力的因素，如桩身施工质量、桩的入土时间、桩的打入程序、试桩在群桩中的位置、被测桩的代表性、试桩周围环境条件（有否震动源、道路与路面状态）、施工过程中出现的异常情况、委托方的具体要求、检测项目现场实施的可行性等。

根据设计对地基或增强体单桩承载力的要求，选择加载方式，包括压板尺寸、主次梁及千斤顶、配重等，并编制地基或增强体单桩载荷试验方案。千斤顶最大压力值应满足预估加压荷载的 1.2 倍。千斤顶最大压力值过低，会使加载值不能满足设计要求，最大压力值过高，会降低压力判读精度。通常千斤顶的最佳压力范围在其最大量程的 20%~80%之内。根据调查结果和确定的检测目的，选择检测方法，制定检测方案。试验方案应包括以下内容：工程简介（包括：工程名称，建设、勘察、设计、施工、监理及检测单位；设计与施工参数、基桩或地基处理施工原始记录；抽样方法等），试验方法简介（包括桩顶处理、试验目的、要求及试验设备配置清单，还包括检测数量、最终加载量、检测依据标准、试验装置简图、休止龄期、荷载分级、观测时间间隔、稳定标准、终止加载条件、试验资料整理等内容），试验方案还应包括质量安全保证措施及检测人员网络图。

第五节 现场检测技术方法

一、地基土载荷试验

1、试验依据的技术标准

《建筑地基基础设计规范》(GB50007)指出：地基评价宜采用钻探取样、室内土工试验、触探、并结合其它原位测试方法进行。设计等级为甲级的建筑物应通过载荷试验，为设计提供承载力和变形演算的更可靠指标。《建筑地基基础设计规范》(GB50007)附录 C、D、H 分别列出了浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验、岩基载荷试验要点。既有建筑地基土载荷试验应遵照《既有建筑地基基础加固技术规范》(JGJ123)执行，具体操作步骤可参照《建筑地基基础设计规范》(GB50007)的有关规定执行。

地基土载荷试验适用于具有足够厚度的天然地基，采用浅层或深层平板载荷试验可确定承载板下应力主要影响范围内地基土层的承载力和变形参数。岩石地基载荷试验适用于确定完整、较完整、较破碎岩石地基作为天然地基或桩基础持力层时的承载力。

2、试验点位置选择

天然地基载荷试验点应布置在有代表性的地点和基础底面标高处，且布置在技术钻孔附近。当场地地质成因单一、土质分布均匀时，试验点离技术钻孔距离不宜超过 10m，反之不应超过 5m，也不宜小于 2m。试验点位置的严格控制，目的使载荷试验反映的承压板影响范围内地基土的性状与实际基础下地基土的性状基本一致。当然，在实际操作时，要真正做到试验点处地基土的性状能真实反映建筑场地地基土的性状是比较困难的，只能通过对现场地质条件的详细分析，使选择的检测点能代表建筑场地地基土的基本性状，并通过一定测试数量控制，以达到检测结果尽可能具有代表性。

3、试验方法

1) 浅层平板载荷试验

(1) 试验采用正方形或圆形刚性承压板，承载板面积不应小于 0.25m^2 ，对于软土地基不应小于 0.5m^2 。板底高程应与基础底面标高相同。为使地基载荷试验的压板真正处在无埋深条件下，试坑长度和宽度应大于载荷板相应尺寸的 3 倍。试验土层顶面应保持水平，并保持土层的原状结构和天然湿度。开挖试坑时应避免对基土结构产生扰动，为此，只有到安装承压板前才将试验土层面以上预留的 20-30cm 厚的原土清除。为使压板和地基土接触良好，压板与地基土的接触面处宜采用 10-20mm 厚度的中、粗砂层找

平，其厚度不超过 20mm。对流塑状粘性土、松散砂层，在压板周围应铺设 20-30cm 保护层，以防止试压过程中对试验土层的扰动。

(2) 加荷装置通常采用三种形式：

①直接堆重荷载平台：由刚性承压板、立柱、堆重平台组成。荷重块可根据荷载分级在堆重平台上每次均匀对称堆放。量测仪表每年应送国家法定计量单位检定，并出具合格证书；试验装置应有遮挡设施，严禁日光直射基准梁。荷载量测精度应达到最大加压荷载的 1%，由此来选择加载设备。

②压重平台反力装置：由刚性承压板、压重平台反力架、千斤顶等组成。根据设计要求将相当于最大加载值 1.2 倍的荷载在试验前一次施加。试验加载压力通常由油压千斤顶控制。

③地锚系统反力装置：由刚性承载系统组成。

(3) 加荷等级分级不少于 8 级，最大加载量不应少于设计荷载值的 2 倍。第一级可取 2 倍加载分级量，以后逐级等量加载。每级荷载在其维持过程中，应保持数值的稳定。《建筑地基基础设计规范》GB50007 推荐的加荷方法是慢速维持载法。采用重物直接加载时，要注意重物的对称均匀、平稳堆放。每次荷载施加后第一小时内按间隔 10min、10 min、10 min、15 min、15 min 进行测读，以后每隔半小时测读一次，直至沉降稳定。

(4) 稳定标准：当连续二小时内每小时的沉降量不超过 0.1mm 时，则认为已趋稳定，可加下一级荷载。（上海地区规范 DGJ08-11 在条文说明中指出：软土地基的稳定标准可取每小时的沉降量不超过 0.15mm。这是考虑到上海地区的软土地基强度更低、变形更大，为充分发挥地基的承载力而提出的。）

(5) 为了确定地基的极限承载力，应加载至地基破坏，或出现下列条件之一时，可终止加载：

- ①承压板周围的土明显出现侧向挤出；
- ②沉降量急骤增大，荷载~沉降（ $p\sim s$ ）曲线出现陡降段；
- ③在某级荷载下 24 小时内沉降速率不能达到稳定；
- ④沉降量与承压板的宽度或直径之比大于或等于 0.06。

《建筑地基基础设计规范》（GB50007）规定，沉降量与承压板的宽度或直径之比应大于或等于 0.06，即可终止试验。（但上海规范 DGJ08-11 将 s/b 对应的荷载取为极限荷载为 0.10）

当满足①、②、③三种情况之一时，其对应的前一级荷载可定为极限荷载。

2) 深层平板载荷试验

(1) 加荷等级可按预估极限承载力的 1/10~1/15 分级施加。

(2) 每级荷载后的观测时间间隔、稳定标准同浅层平板载荷试验。

(3) 当出现下列情况之一时，可终止加载：

①沉降量急骤增大，荷载~沉降（ $p\sim s$ ）曲线上有可判定极限承载力的陡降段，且沉降量超过 $0.04d$ （ d 为承压板直径）；

②在某级荷载下，24 小时内沉降速率不能达到稳定标准；

③本级沉降量大于前一级沉降量的 5 倍；

④当持力层土层坚硬，沉降量很小时，最大加载量不小于设计荷载的 2 倍。

3) 岩基载荷试验

(1) 测量系统的初始稳定读数观测：加压前，每隔 10 分钟读数一次，连续三次读数不变可开始试验。

(2) 加载方式：单循环加载，荷载逐级递增直至破坏，然后分级卸载。

(3) 加载分级：第一级加载值为预估设计荷载的 1/5，以后每级 1/10。

(4) 沉降量测读：加载后立即读数，以后每 10 分钟读数一次。

(5) 稳定标准：连续三次读数之差均不大于 0.01mm 。

(6) 终止加载条件：当出现下列现象之一时，即可终止加载：

①沉降量读数不断变化，在 24 小时内，沉降速率有增大趋势；

②压力加不上或勉强加上而不能保持稳定；

③若由于加载能力限制，荷载也应增加到不少于设计要求（设计荷载）的两倍。

(7) 卸载观测：每级卸载为加载时的 2 倍，如为奇数，第一级可为 3 倍。每级卸载后，隔 10 分钟测读一次，测读三次后可卸下一级荷载。全部卸载后，当测读到半小时回弹量小于 0.01mm 时，则认为稳定。

二、处理地基及复合地基载荷试验

1、处理地基载荷试验

处理地基分两种情况：一种是处理范围和深度都较大，已超过主要持力层深度，这类处理地基可视作均质地基，其承载特性类似于承载力较高的天然地基。另一种处理地基的受力特性相当于上硬（处理深度内）下软（软弱下卧层）的双层地基。一般在建筑

物基础下，处理地基的加固层深度是有限的，基础下的受压层深度往往超过上部处理土层的厚度。为保证静载荷试验的有效影响深度不小于地基处理层的厚度，对于换填垫层地基（砂和砂石垫层、土垫层、粉煤灰垫层、矿渣垫层、灰土垫层地基等）及压密注浆地基，载荷试验压板边长或直径不小于垫层厚度（或压密注浆厚度）的 1/3，并满足压板面积不小于 1m²，对夯实地基，不宜小于 2m²。当处理土层厚度较大，载荷试验压板边长和直径难以满足不小于垫层厚度（或压密注浆厚度）的 1/3 时，可分层进行载荷试验。对于换填垫层地基，宜用静载荷试验确定其承载力。

处理地基载荷试验的应参照《建筑地基处理技术规范》（JGJ79）附录 A 进行，载荷试验压板边长或直径应满足不小于处理层厚度的 1/3。处理地基除根据设计要求作静载荷试验外，还必须按《建筑地基基础工程施工质量验收规范》（GB50202）的规定，对地基处理层的施工质量进行检验：如换填垫层的施工质量检验必须分层进行，应在每层的压实系数符合设计要求后铺填上层土。采用环刀法测定换土垫层的密度；采用贯入法或动力触探法检验垫层的施工质量等。采用环刀法检验垫层的施工质量时，取样深度应位于每层压实厚度的 2/3 深度处。检测点数量，对于大基坑，每 50-100m² 不应少于 1 个检测点；对于基槽，每 10-20m 不应少于 1 个点；每个独立柱基不应少于 1 个点。采用贯入法或动力触探法检测垫层施工质量时，每分层检测点的间距应不小于 4m。对于压密注浆地基，通常采用动力触探法检验施工质量，检验点数量为 2%~3% 的压密注浆点。

当处理地基竣工验收采用载荷试验检验承载力时，每个单体工程不宜少于 3 点，对于大型工程则应按单体工程的数量或工程的面积确定检验点数，处理地基载荷试验的操作步骤同复合地基载荷试验。

2、复合地基载荷试验

根据《建筑地基基础设计规范》（GB50007）的规定，复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定，或采用竖向增强体的载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定。同时在条文编制说明中指出：由于复合地基竖向增强体种类多，复合地基设计承载力表达式不能完全统一，必须按地区经验由现场试验结果确定。《建筑地基处理技术规范》（JGJ79）指出：对已选定的地基处理方法，宜按建筑物地基基础设计等级和场地复杂程度，在有代表性的场地上进行相应的现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以检验设计参数和处理效果，《建筑地基处理技术规范》（JGJ79）附录 B 列出了复合地基载荷试验要点。综上所述，复合地基载荷试验是确定复合地基承载

力和变形特性的基本方法: 对于大型工程包括重要工程, 采用的载荷板尺寸应尽量与基础宽度相适应, 或采用多桩复合地基载荷试验; 对于一般工程, 可做单桩复合地基载荷试验。由于复合地基是依靠桩(竖向增强体)与桩周土体共同协调作用来承担建筑物荷载的, 因此单桩竖向载荷试验的结果不能确切地反映复合地基承载力和变形特征, 与单桩复合地基的试验结果通常会出现矛盾, 其检测结果只能作为参考。在进行复合地基评价时, 应以复合地基载荷试验结果为主要评定依据。

由于建筑物基础的尺寸往往远大于载荷试验承压板的尺寸, 且考虑到大面积荷载的长期作用结果与小面积短时荷载作用的结果有差异, 因此, 对于人工加固地基, 包括处理地基和复合地基, 地基载荷试验的结果必须考虑尺寸效应和时间效应的影响。根据《建筑地基基础设计规范》(GB50007)要求, 在复合地基工程质量检验方面, 除作必要的载荷试验外, 尚应进行竖向增强体的连续性、均匀性及强度检验和对周边土的质量检验, 其方法包括开剖、钻芯、标贯试验等原位测试手段, 详见表 4-2 所示。对挤密碎石桩应采用动力触探法检验桩身质量, 对水泥土桩、低强度素混凝土桩、水泥粉煤灰碎石桩(CFG 桩), 应对桩身的连续性和桩身强度进行检验。根据复合地基工程的质量检验结果。通过综合分析手段, 对建筑场地复合地基的承载力和变形特性作出综合评价。地基土为欠固结土、膨胀土、湿陷性黄土、可液化土等特殊土时, 检测内容还应考虑土体的特殊性质, 应参照有关规范进行。

1) 复合地基载荷试验的一般要求

(1) 一般情况下应加载至复合地基或桩体(竖向增强体)出现破坏或达到终止加载条件, 也可按设计要求的最大加载量加载。最大加载量不应小于复合地基或单桩(竖向增强体)承载力设计值的 2 倍。

(2) 承压板边缘(或试桩)与基准桩之间的距离, 以及承压板(或试桩)与基准桩、压重平台支墩之间的距离均不得小于 2m, 基准梁应有足够的刚度, 基准桩打入地面的深度不应小于 1m。

(3) 加荷装置宜采用压重平台装置, 量测仪器应有遮挡设备, 严禁日光直射基准梁。每个单体建筑在同一设计参数和施工条件下的测试数量不少于总桩数的 1%, 并不小于 3 个(见表 4-1); 试验间歇时间不应少于 7-28d。

2) 复合地基载荷试验要点

复合地基载荷试验要点如下:

(1) 本试验要点适用于单桩复合地基载荷试验和多桩复合地基载荷试验。

(2) 复合地基载荷试验用于测定承压板下应力主要影响范围内复合地基的承载力和变形参数。复合地基载荷试验应采用方形(矩形)或圆形的刚性承压板,其压板面积应按实际桩数所承担的处理面积确定,通常取一根桩或多根桩所承担的处理面积,其计算方法见复合地基参数计算。承压板的中心位置应与一根桩或多根桩所承担的处理面积的中心位置(形心)保持一致,并与荷载作用点重合。当同一工程的面积置换率为多种时,对于重要工程,应分别对几种置换率取有代表性的位置进行检测,对于一般工程可选择面积置换率相对较低,作用荷载相对较大的位置进行测试。

(3) 承压板底面高程应与基础底面设计高程相同。试验标高处的试坑长度和宽度,应不小于载荷板相应尺寸的3倍。基准梁支点应设在试坑之外。载荷板底面下宜铺设中、粗砂或砂石,碎石垫层,垫层厚度取50~150mm,桩身强度高时宜取大值。承压板安装前后都应保持试验土层的原状结构和天然湿度,应防止试验基坑开挖后受雨水浸泡或对压板下试验土层的扰动,必要时压板周围基土复盖30cm的保护土层。

(4) 在正式加载前,单桩或多桩复合地基应进行预压,预压量不大于上覆土的自重。加荷等级分8~12级,最大加载压力不应小于设计要求压力值的2倍。加荷方法应采用慢速维持荷载法,每级压力在其维持过程中应保持数值的稳定。

(5) 每加一级压力前后,应测读承压板沉降量一次,以后每半小时读记一次,直至本级沉降稳定。

(6) 稳定标准:当1小时内的沉降量小于0.1mm时即可加下一级荷载。

(7) 当出现下列现象之一时,试验即可终止:

①沉降急剧增大土被挤出或承压板周围的土明显地出现隆起;

②沉降 s 急骤增大,压力~沉降($p\sim s$)曲线出现陡降段,或压板的累计沉降量已大于其宽度或直径的6%,或不小于100mm。

③当不出现极限荷载,而最大加载量已达到设计要求的2倍。

(8) 每级卸载量为加载量的两倍等量进行,每卸一级,间隔半小时读记回弹量,待卸完全部荷载后间隔3小时读记总回弹量。

复合地基载荷试验及原位测试要求 (摘自 JGJ79-2012) 表 4-2

地基类型	检测内容		检测龄期 d	其它原位检测	备注
	施工质量检验	竣工验收检验			
振冲碎石桩地基 振冲砂土地基	桩体采用重型动力触探; 桩间土采用标贯、静力触探 桩孔数 2%	复合地基载荷试验 1%, ≤ 3 点	粉质粘土 21d; 粉土 14d; 砂土 或杂填土 7d	碎石桩体采用 重型动力触探; 桩间土采用标贯、静力触探	测点的代表性, 桩间土测点应在振冲点围成 单元形心处, 桩 体检测在振冲 点中心处, 深度 不小于桩长
沉管砂石桩	桩体采用重型动力触探; 桩间土采用标贯、静力触探 桩孔数 2%	复合地基载荷试验和单桩载荷试验 1%, ≤ 3 点	粉质粘土 21d; 粉土 14d; 砂土 或杂填土 7d	桩体采用动力触探; 桩间土 采用标贯、静力触探、动力 触探或其它	1、桩间土检验 位置在等边 Δ 或 正方形中心 2、数量不少于 桩孔数的 2%
CFG 桩	施工记录、混合料塌落度、桩数、桩位偏差、褥垫层厚度、夯填度、试块抗压强度等	复合地基载荷试验和单桩载荷试验, 1%, ≤ 3 点	28d	检验桩身结构完整性; 总桩数的 10%	
夯实水泥土桩	成桩质量检验 2%, 一般随机检查干密度和施工记录	复合地基载荷试验和单桩载荷试验, 1%, 且单体工程复合地基载荷试验 ≤ 3 点; 对重要工程或大型工程尚应作多桩复合地基载荷试验	28d	24h 取水泥土测定干密度或测定 N_{10} 与干密度比较判断桩身质量	触探点位置在桩径方向 1/4 处。
水泥土搅拌桩 (湿法、干法)	3d 内用 N_{10} 检验均匀性; 1%, 不少于 3 根。7d 后开挖桩顶下 0.5 米桩段检查均匀性、成桩直径; 5%。	作复合地基载荷试验和单桩载荷试验; 1%, ≤ 3 点 对变形严格要求工程, 28d 后, 采用双管单动取芯强度, 0.5%, ≤ 6 点	28d	触探和载荷试验检验桩身质量有怀疑时, 取芯作抗压强度检验; 0.5%, 且不少于 6 根	

地基类型	检测内容		检测龄期 d	其它原位检测	备注
	施工质量检验	竣工验收检验			
高压喷射 注浆法	成桩质量检测开挖、取芯、标贯等检验; 施工孔数 2%, ≤ 6 点	复合地基载荷试验和单桩载荷试验, 1%, 且单体工程复合地基载荷试验 ≤ 3 点	28d		检测点位置: 代表性桩位; 施工异常部位; 地基复杂对注浆质量可能有影响的部位
灰土挤密 桩; 土挤密 桩	成桩后测定桩体灰土或土填料平均压实系数 $\bar{\lambda}_c$, 桩总数 1%, ≤ 9 根; 桩间土平均挤密系数 $\bar{\eta}_c$, 测井数桩总数 0.3%, 每个单体 ≤ 3 个	载荷试验 $\leq 1\%$ 总桩数, 每个单体复合地基载荷试验数量 ≤ 3 点	桩孔质量检测在成孔后及时进行; 承载力试验在成桩 14-28d	对消除湿陷性, 除前述成桩检测, 应进行现场浸水静载荷试验 GB50025 湿陷性黄土规范	对灰土桩身强度怀疑, 尚应检测消石灰与土的体积配合比
柱锤冲扩 桩	7-14d 桩体和桩间土重型动力触探 2%, ≤ 6 点	复合地基载荷试验 1%, ≤ 3 点	14d	基槽开挖后应检查桩位、桩径、桩数、桩顶密实度及槽底土质情况	
多桩型	先施工处理液化; 先施工处理湿陷; 降低或减小后施工增强体对已施工增强体影响	多桩复合地基载荷试验和单桩载荷试验, 1%, 且单体工程多桩复合地基载荷试验 ≤ 3 点		散体材料增强体检测 \leq 其总桩数 2%	具有粘结强度增强体, 完整性检测 \leq 其总桩数 10%

3) 复合地基中增强体单桩载荷试验

复合地基中增强体桩的受力状态与一般建筑基桩有一定区别, 其单桩竖向承载力的检测方法参照《建筑地基处理技术规范》(JGJ79) 附录 C 进行。

附录 C 复合地基增强体单桩静载荷试验要点

C.0.1 本试验要点适用于复合地基增强体单桩竖向抗压静载荷试验。

C.0.2 试验应采用慢速维持荷载法。

C.0.3 试验提供的反力装置可采用锚桩法或堆载法。当采用堆载法加载时应符合下列规定:

- 1 堆载支点施加于地基的压应力不宜超过地基承载力特征值;
- 2 堆载的支墩位置以不对试桩和基准桩的测试产生较大影响确定, 无法避开时应采取有效措施;
- 3 堆载量大时, 可利用工程桩作为堆载支点;
- 4 试验反力装置的承重能力应满足试验加载要求。

C.0.4 堆载支点以及试桩、锚桩、基准桩之间的中心距离应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 的规定。

C.0.5 试桩前应对桩头进行加固处理, 水泥粉煤灰碎石桩等强度高的桩, 桩顶宜设置带水平钢筋网片的混凝土桩帽或采用钢护筒桩帽, 其混凝土宜提高强度等级和采用早强剂。桩帽高度不宜小于 1 倍桩的直径。

C.0.6 桩帽下复合地基增强体单桩的桩顶标高及地基土标高应与设计标高一致, 加固桩头前应凿成平面。

C.0.7 压力表架设置位置宜在桩顶标高位置。

C.0.8 开始试验的时间、加载分级、测读沉降量的时间、稳定标准及卸载观测等应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 的规定。

C.0.9 当出现下列条件之一时可终止加载:

- 1 当荷载-沉降 (Q-s) 曲线上有可判定极限承载力的陡降段, 且桩顶总沉降量超过 40mm;
- 2 $\Delta s_{n+1}/\Delta s_n \geq 2$, 且经 24h 沉降尚未稳定;
- 3 桩身破坏, 桩顶变形急剧增大;
- 4 当桩长超过 25mm, Q-s 曲线呈缓变型时, 桩顶总沉降量大于 60 mm -80mm;
- 5 验收检验时, 最大加载量不应小于设计单桩承载力特征值的 2 倍。

注: Δs_n —第 n 级荷载的沉降增量; Δs_{n+1} —第 n+1 级荷载的沉降增量。

C.0.10 单桩竖向抗压极限承载力的确定应符合下列规定:

- 1 作荷载-沉降 (Q-s) 曲线和其他辅助分析所需的曲线;
- 2 曲线陡降段明显时, 取相应于陡降段起点的荷载值;
- 3 当出现本规范第 C.0.9 条第 2 款的情况时, 取前一级荷载值;
- 4 Q-s 曲线呈缓变型时, 取桩顶总沉降量 s 为 40mm 所对应的荷载值;
- 5 按上述方法判断有困难时, 可结合其他辅助分析方法综合判定;

6 参加统计的试桩, 当满足其极差不超过平均值的 30% 时, 应分析离差过大的原因, 结合工程具体情况确定单桩极限承载力; 需要时应增加试桩数量。工程验收时应视建筑物结构、基础形式综合评价, 对于桩数少于 5 根的独立基础或桩数少于 3 排的条形基础, 应取最低值。

C.0.11 将单桩极限承载力除以安全系数 2, 为单桩承载力特征值。

第六节 数据的处理与资料整理

一、天然地基土载荷试验

1、地基土极限承载力确定

通常将满足浅层地基载荷试验终止加载条件 (1) (2) (3) 的前一级荷载定为极限荷载。即满足下列条件之一的前一级荷载定为极限荷载:

(1) 对于浅层平板载荷试验, 承压板周围的土明显的出现侧向挤出, 反映在压板周围地面土出现隆起。对于深层平板载荷试验, 本级沉降量大于前一级沉降量的 5 倍。

(2) 沉降 s 急骤增大, 荷载—沉降 ($p-s$) 曲线出现陡降段。对于深层平板载荷试验, 同时应满足沉降量超过 $0.04d$ 。

(3) 在某一级荷载下, 24 小时内沉降速率不能达到稳定。

2、浅层与深层平板载荷试验测点土承载力特征值的确定

(1) $p-s$ 曲线上有明确的比例界限 (p_{cr}) 时, 取该比例界限所对应的荷载值。

(2) 当极限荷载小于对应比例界限荷载值的 2 倍时, 取极限荷载值的一半。

(3) 当不能按上述二款确定时, 对浅层地基载荷试验 (如压板面积为 $0.25 \sim 0.50m^2$), 或深层平板载荷试验, 可取 $s/b=0.01 \sim 0.015$ 所对应的荷载, 但其值不应大于最大加载量的一半。对于较硬的地基土取高值, 对于较软的地基土取低值。

3、土层的地基承载力特征值 f_{ak} 的确定

同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点, 当试验实测值的极差不超过其平均值的 30%, 取此平均值作为该土层的地基承载力特征值 f_{ak} , 如只有两个测点取低值。

对于极差超过规定的测点, 应通过综合分析判断, 找出其原因。属于局部地基软弱所引起, 应对局部地基作加固处理。但在承载力统计时, 可将局部软弱部位测点排除在外。

4、岩石地基承载力的确定

(1) 对应于 $p\sim s$ 曲线上起始直线段的终点为比例界限。符合终止加载条件的前一级荷载为极限荷载。将极限荷载除以 3 的安全系数，所得值与对应于比例界限的荷载相比较，取低值。

(2) 每个场地载荷试验的数量不应少于 3 个，取最小值作为岩石地基承载力特征值。

(3) 岩石地基承载力不进行深宽修正。

5、关于双层地基载荷试验结果的评价

当建筑场地基础底面以下分布有一层低压缩土层时，如硬塑状态的粘性土、中密至密实砂土、分层压实填土等，与软弱下卧层构成了上硬下软的双层地基。此时直接位于基底下的坚硬土层对基底压力起到扩散作用。受压板面积限制，在双层地基表面的载荷试验结果，往往只反映了上部较坚硬土层的承载力和变形特征。建筑物基础的实际尺寸远远大于承压板尺寸，荷载传递深度较深，宜对软弱下卧层作变形验算。由于实际土层往往是非均质土或土层，土层变化较为复杂，载荷试验反映的地基土的承载力与变形特性往往与实际情况不一致，故在应用地基载荷试验结果时，必须考虑尺寸效应的影响。切不可单一的根据浅层地基载荷试验的结果对建筑场地地基土的承载力和变形特性作机械、教条的评判。

6、应关注的事项

通常将地基承载力分为极限承载力和容许承载力。地基土处于极限平衡状态时所能承受的最大荷载即为极限荷载，称之地基土极限承载力。确定地基土极限承载力最基本的方法是地基载荷试验，判定依据是荷载与沉降的 ($p\sim s$) 曲线，或沉降与时间对数 ($s\sim \lg t$) 曲线等。将曲线上由局部剪切阶段向完全破坏阶段演变时的界限荷载，即直线陡降段起点对应的荷载，定为地基土的极限承载力。将保证地基具有足够稳定性，并能满足建筑物所能承受的允许变形能力的荷载定为地基土的容许承载力。地基土的容许承载力是指地基稳定并有足够安全度的承载能力，它相当于地基极限承载力除以一个安全系数。可见地基土的极限承载力和容许承载力术语，含有明确的物理概念，通常地基土的容许承载力取地基土极限承载力的二分之一。《建筑地基基础设计规范》(GB50007) 所指的测点土承载力特征值、试验土层承载力特征值都是地基容许承载力的一种表达形式。测点土承载力特征值，是针对某一测点而言的。试验土层承载力特征值 f_{ak} 是指建筑场地某一地基土层承载力特征值的统计值，可作为设计值采用。规范 GB50007 对试验土层承载力特征值下了定义，是指由载荷试验测定的地基土压力变形曲线线性变形段

内规定的变形所对应的压力值，其最大值为比例界限值。测点土承载力特征值是指具体测点位置，在基础底面标高处地基土处在基础压板埋深为零的条件下的实测数值。在地基计算中采用的承载力值是根据建筑物基础的实际埋深和宽度进行修正后的承载力值。通常当建筑物地基强度较高或者荷载较小时，一般既满足了地基计算中承载力特征值的条件，同时也满足了地基变形值不大于允许变形值的条件。规范 GB50007 规定建筑物地基计算应满足承载力计算的有关规定：设计等级为甲、乙级的建筑物，均应进行地基变形计算；地质条件复杂不均或者结构荷载相差较大、地基土较软弱时，即使满足了承载力条件，也因差异沉降过大而结构出现开裂。因此，在此类地基上的丙类建筑物在作地基计算时还必须进行变形验算。对于经常受水平荷载作用的高耸结构物、挡土结构和建造在斜坡上的建筑物，以及开挖深基坑时，还要作地基稳定验算，才能保证建筑物的安全。

二、处理地基及复合地基载荷试验

1、处理地基载荷试验

由于处理地基的承载力和变形特性类似于承载力相对较高的天然地基，其测点土承载力特征值的确定、处理地基承载力特征值的确定均可参照地基土浅层平板载荷试验方法进行，即测点承载力特征值的确定应符合下列规定：

- (1) 当 $p-s$ 曲线上有比例极限时，取该比例极限所对应的荷载值；
- (2) 当极限荷载小于对应比例极限荷载值的两倍时，取极限荷载值的一半；
- (3) 当不能按上述两条要求确定时，可取 $s/b=0.01$ 所对应的荷载，但其值不应大于最大加载量的一半。

处理地基承载力特征值的确定方法是：同一单体工程参加统计的试验点数量不应少于 3 点，当满足其极差不超过平均值的 30% 时，可取其平均值为处理地基承载力特征值。当极差超过平均值的 30% 且测点承载力特征值大于或基本大于设计要求值时，可删去最高值后取平均值为建筑场地处理地基承载力特征值。当个别测点实测值偏小，且极差超过平均值的 30% 时，应针对场地的工程地质条件、施工因素及检测时的气象因素等，综合分析其原因，提出局部加固处理建议，在地基承载力特征值统计时可将实测值偏小的测点排除在外。

2、复合地基载荷试验

1) 复合地基承载力特征值的确定

将满足终止加载条件①、②的前一级荷载定为极限荷载, 将压力~沉降 ($p\sim s$) 曲线上, 直线变形阶段的终点对应的压力定为比例界限。复合地基承载力特征值可按下列三条之一确定:

①当压力~沉降曲线上极限荷载能确定, 且该值不小于对应比例界限压力值的 2 倍时, 可取比例界限; 当其值小于对应比例界限的 2 倍时, 可取极限荷载值的一半;

②当压力~沉降曲线是平滑的光滑曲线时, 可按相对变形值 (s/b) 或 (s/d) 确定:

a 对沉管砂石桩、振冲碎石桩和柱锤冲扩桩复合地基, 可取 s/b 或 $s/d=0.01$ 所对应的压力。

b 对灰土挤密桩、土挤密桩复合地基, 可取 s/b 或 $s/d=0.008$ 所对应的压力。

c 对水泥粉煤灰碎石桩 (CFG 桩) 或夯实水泥土桩复合地基: 当以卵石、圆砾、密实粗中砂为主的地基, 可取 s/b 或 $s/d=0.008$ 所对应的压力; 当以粘性土、粉土为主的地基, 可取 s/b 或 $s/d=0.01$ 所对应的压力。

d 对水泥土搅拌桩或旋喷桩复合地基, 可取 s/b 或 $s/d=0.006-0.008$ 所对应的压力, 桩身强度大于 1.0MPa 且桩身质量均匀时可取高值。

e 对有经验的地区, 也可按当地经验确定相对变形值, 但原地基土为高压缩性土层时, 相对变形值的最大值不应大于 0.015 。

f 复合地基载荷试验, 当采用边长或直径大于 2m 的承载板进行试验时, b 或 d 按 2m 计算。

g 按相对变形值确定的承载力特征值不应大于最大加载压力的一半。

注: 相对变形值 s/b 或 s/d 中, s 为载荷试验承压板的沉降量; b 和 d 分别为承压板的宽度 (边长) 和直径。对矩形压板, d 为与压板面积相等的等效影响圆直径, 计算方法见表 4-1。复合地基承载力特征值的单位为 kPa 。

从大量的复合地基载荷试验资料发现, 压力与沉降关系是一条比较平缓的光滑曲线, 一般看不出有明显的拐点, 相邻两级压力所对应的沉降量之比也无一定规律, 因而难以根据规范第①条的规定, 判定测点复合地基承载力特征值。考虑到国外对天然地基土载荷试验, 多数按控制变形方法确定承载力特征值的趋向, 建议按相对变形值, 即压板平均沉降量 s 与压板宽度 b 或直径 d 之比, 确定测点复合地基承载力特征值为主要方法。采用相对变形值 s/b 或 s/d 判定复合地基承载力特征值不仅比较符合复合地基的受力特性, 也有利于复合地基承载力取值方法的统一, 有利于检测结果的比较。

2) 建筑场地复合地基承载力特征值 f_{spk} 的确定:

①试验点数量不应少于 3 点, 当满足极差不超过平均值的 30% 时, 可取其测点平均值为建筑场地复合地基承载力特征值。

②当极差超过平均值的 30%时, 且测点承载力特征值大于或基本大于设计要求值, 可舍去极差超过平均值 30%的高值后取平均值为建筑场地复合地基承载力特征值。当个别测点检测值偏低或过大, 且极差已超过平均值的 30%时, 应针对场地的工程地质条件、施工因素及检测时的气象因素等, 找出该测点检测值偏低或过大的原因提出处理意见, 需要时应增加试验数量, 并结合工程具体情况确定复合地基承载力特征值。工程验收时应视建筑物结构、基础形式综合评价, 对于桩数少于 5 根的独立的独立基础由于测点所在位置天然地基过于软弱所引起时, 应探明软弱地基范围作局部加固处理, 在统计复合地基承载力特征值时应将此测点排除在外。

三、应关注的事项

1、复合地基的测试龄期问题

水泥加固土是水泥与地基土的拌和物, 它的强度与被加固土的性质、状态、水泥掺入比以及龄期等因素有关。试验资料表明, 水泥土的强度随龄期的增加而增大。一般情况下, 7d 时水泥土可达到标准强度的 30%~50%; 30d 可达到标准强度的 60%~75%; 90d 为 180d 的 80%; 而 180d 以后, 水泥土强度仍在增长。另据电子显微镜观察, 水泥土的硬凝反应也需要 3 个月才能完成。为了降低造价, 对承重搅拌桩试块国内外都取 90d 龄期为标准龄期。对起支挡作用承受水平荷载的搅拌桩, 为了缩短养护期, 水泥土强度标准取 28d 龄期为标准龄期。从抗压强度试验得知, 在其他条件相同时, 不同龄期的水泥土抗压强度间关系大致呈线性关系, 其经验关系式如下:

$$f_{cu7}=(0.47\sim 0.63)f_{cu28}$$

$$f_{cu14}=(0.62\sim 0.80)f_{cu28}$$

$$f_{cu60}=(1.15\sim 1.46)f_{cu28}$$

$$f_{cu90}=(1.43\sim 1.80)f_{cu28}$$

$$f_{cu90}=(2.37\sim 3.73)f_{cu7}$$

$$f_{cu90}=(1.73\sim 2.82)f_{cu14}$$

上式 f_{cu7} , f_{cu14} , f_{cu28} , f_{cu60} , f_{cu90} 分别为 7, 14, 28, 60, 90d 龄期的水泥土立方体抗压强度。因此在竖向荷载作用下, 选用龄期 3 个月时间的立方体强度作为水泥土的标准强度是比较合适的。综上所述, 水泥土搅拌桩复合地基载荷试验的最合适龄期应为 3 个月, 这是工程进度所不能允许的, 从兼顾水泥加固土强度随龄期增长的变化规律及工程进度要求, 水泥土搅拌桩复合地基的测试龄期宜不少于 28d。

2、复合地基承载力特征值的估算

规范 GB50007 指出: 复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定, 或采用增强体的载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定。规范 JGJ79 提出了初步设计时可按下式估算:

(1) 对散体材料增强体复合地基

$$f_{spk}=[1+m(n-1)]f_{sk}$$

(2) 对散体材料增强体复合地基

$$f_{spk}=\lambda m R_a/A_p+\beta(1-m)f_{sk}$$

式中 f_{spk} —复合地基承载力特征值 (kPa);

n —复合地基桩土压力比, 可按地区经验取值

λ —单桩承载力发挥系数, 可按地区经验取值

m —面积置换率, 其值等于 A_p/A , 即一根桩体的截面积 A_p 与一根桩所分担的加固面积 A 之比;

R_a —单桩竖向承载力特征值 (kN), 宜按现场单桩载荷试验确定;

f_{sk} —处理后桩间土承载力特征值 (kPa), 宜按当地经验取值。

β —桩间土承载力折减系数, 宜按地区经验取值。

由于复合地基中主要受力段上移, 公式计算中采用单桩竖向承载力特征值计算桩体实际所受的力所产生的结果有偏大效应, 虽通过桩间土承载力折减系数 β 作了综合调正, 但由于 β 值取值幅度大, 使计算公式误差较大, 难以为工程所采用。

第七节 报告的编写、审签、资料归档

一、地基土载荷试验

试验报告编制、审签、资料归档按下述办法进行:

(1) 现场原始记录包括工程名称、测点位置、试验现场环境 (有否振动等)、气象描述, 试验的详细观测记录 (应由持证上岗人员的签字), 试验异常情况记录等。

(2) 报告内容完整、结论明确、准确, 符合《建筑地基基础设计规范》GB50007 的要求。报告内容应包括工程概况、工程地质概况、测试方法和试验结果。工程概况包括试验地点、时间、试验点平面布置图、该工程有关的建设、设计、勘察、施工、监理

单位等。工程地质概况包括土层分布、压板标高与土层关系、土的物理力学性质等。测试方法包括测试原理、荷载分级、稳定标准、终止加载条件、卸载要求以及设计要求、检测目的、测试所用仪器、设备、加载与测量系统原理及量测精度等。试验结果包括沉降量汇总表、压力与沉降、沉降与时间对数曲线、结论与分析过程、异常情况说明等。

(3) 资料归档应将出具的报告副本和原始报告及资料一并归档。原始报告及资料应包括试验合同、试验方案、各种原始记录表、情况说明、分析过程的审签意见、报告所引用的设计、施工、勘察资料、千斤顶的率定曲线、静载荷试验进行过程中的运行记录等。

二、处理后地基载荷试验

检测报告结论明确、准确，符合相应规范要求，报告结论的主要内容应包括：

①根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ79)，结合本工程的实际情况（换填垫层、预压地基、压实地基、夯实地基和注浆加固等），按规范附录 A.0.7 所规定对应取值，得出各测点处理后的地基承载力特征值。

②据各测点实测值统计（同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点），其极差不超过平均值的 30%时，取其平均值为本建筑场地处理地基承载力特征值。

③检测过程中异常情况说明：包括影响承载力评定的异常情况，极差偏大的原因分析，需要时应增加试验数量并结合工程具体情况确定处理后地基的承载力特征值。还有地基局部加固建议等。

处理后地基载荷试验报告编制、审签、资料归档可参照地基土载荷试验要求进行。

三、复合地基载荷试验

检测报告结论明确、准确，符合相应规范要求，报告结论的主要内容应包括：

①根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ79)，结合本工程的实际情况，按规范附录 B.0.10 所规定对应取值，得出各测点单桩（或多桩）复合地基承载力特征值。

②据各测点实测值统计（同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点），其极差不超过平均值的 30%时，取其平均值为本建筑场地复合地基承载力特征值。

③检测过程中异常情况说明：包括影响承载力评定的异常情况，极差偏大的原因分析，需要时应增加试验数量并结合工程具体情况确定复合地基的承载力特征值。工程验收时应视建筑物结构、基础形式综合评价，对于桩数少于 5 根的独立基础或桩数少于 3 排的条形基础，复合地基承载力特征值应取低值。还有地基局部加固建议等。

复合地基载荷试验报告编制、审签、资料归档可参照地基土载荷试验要求进行。

四、复合地基增强体单桩静载荷试验

检测报告结论明确、准确，符合相应规范要求，报告结论的主要内容应包括：

①根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ79)，结合本工程的实际情况，按规范附录 C.0.10 所规定对应取值，得出各测点单桩竖向承载力极限实测值。

②据各测点实测值统计（同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点），其极差不超过平均值的 30%时，取其平均值为本建筑场地复合地基增强体单桩竖向承载力极限值。

③检测过程中异常情况说明：包括影响承载力评定的异常情况，极差偏大的原因分析，并结合工程具体情况确定处理后地基增强体单桩竖向承载力极限值；需要时应增加试桩数量。工程验收时应视建筑物结构、基础形式综合评价，对于桩数少于 5 根的独立基础或桩数少于 3 排的条形基础，应取低值。

⑤单桩极限承载力除以安全系数 2，为单桩承载力特征值。

复合地基增强体单桩静载荷试验报告编制、审签、资料归档可参照建筑基桩单桩竖向静载荷试验要求进行。

第四章 地基静载试验思考题

- 1.地基岩土试验有几种方法,各方法有何区别,为什么?
- 2.地基岩土在受外荷作用时的变形特征是什么?
- 3.人工处理地基的方法有哪些?
- 4.复合地基与人工处理地基的关系是什么?
- 5.如何判定地基处理形式是复合地基?
- 6.除复合地基以外的人工处理地基静载荷试验的方法应参照哪个技术标准?为什么?
- 7.地基、人工处理地基、复合地基静载荷试验变形观测系统的设置有哪些要求?
- 8.地基、人工处理地基、复合地基静载荷试验试验面的处理有哪些规定?为什么?
- 9.复合地基静载试验时,为何应考虑置换率 m 来选取荷载板尺寸?
- 10.地基、复合地基、处理地基承载力的判定各是什么?有何区别与联系?
- 11.处理地基的压板尺寸的选取有何要求?为什么?
- 12.人工处理地基的验收除静载荷试验以外,还应采用什么方法予以检验?
- 13.复合地基按增强体的刚度不同,可分为哪几种类型?
- 14.复合地基的工作机理是什么?这种地基处理型式有何优点?
- 15.在确定岩基载荷试验的承载力特征值时,安全系数的取值与其他地基岩土试验的安全系数取值有何不同?如何理解?
- 16.地基岩土、处理地基、复合地基现场静载试验过程中,应控制哪些关键环节?
- 17.复合地基设计过程中如何确定复合地基承载力?
- 18.广泛使用的深层搅拌桩复合地基中搅拌桩水泥土的标准养护龄期是多少?为什么?养护龄期与水泥土强度有何关系?
- 19.在确定地基土、处理地基时为何应结合工程地质条件进行综合判定?
- 20.在承载力判定方面基桩与地基岩土、处理地基及复合地基有何异同?

肩负行业责任，为检测人员素质保驾护航！



☎ 025-8545 8112
<http://jkpx.jsgcjc.com>
E-mail: jianketrain@163.com
江苏建科建筑技术培训中心