

刘屠梅 赵竹占 吴慧明 著

桩基检测技术与实例

PILE TESTING TECHNOLOGY

中国建筑工业出版社

基桩检测技术与实例

PILE TESTING TECHNOLOGY

刘屠梅 赵竹占 吴慧明 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

基桩检测技术与实例 / 刘屠梅, 赵竹占, 吴慧明著.
北京: 中国建筑工业出版社, 2006

ISBN 7-112-08023-1

I. 基... II. ①刘... ②赵... ③吴... III. 桩基础—
检测 IV. TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 006962 号

责任编辑: 徐纺 邓卫
封面设计: 邵怡

基桩检测技术与实例

叶军献 主编

刘屠梅、赵竹占、吴慧明 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

上海腾飞照相制版印刷厂 制版

北京密东印刷有限公司 印刷

*

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 12¹/₄ 字数: 300 千字

2006 年 4 月第一版 2006 年 4 月第一次印刷

印数: 1-5000 册 定价: 26.00 元

ISBN 7-112-08023-1

(13976)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

序

随着我国国民经济持续快速发展，基础设施、工业项目投资不断增加，一大批能源、交通、水利和城市大型公用设施等各类工程建设项目已经建成或正在投入建设。在工程施工中，桩基是建设工程中应用最广泛的一种基础形式，桩基工程质量直接关系到主体结构的质量安全，但因其属于地下或水下隐蔽工程，施工质量较难控制，桩基检测是判定桩基质量的重要手段和依据，因此，保证桩基检测质量是工程建设不可缺少的一个重要的环节。

桩基检测目前主要包括基桩桩身质量检测、基桩承载力检测。桩基检测技术原理涉及土（动）力学、工程地质、桩基设计理论、桩基施工技术、波动振动理论、计算机应用技术等多门理论与技术；现场检测技术涉及到不断更新的仪器设备的操作、现场原始数据的判读等。对桩基工程检测人员来说，在具备多学科理论知识、熟练掌握现场检测技术基础上，还必须积累大量的工程检测经验才能对桩基工程质量给出一个合理的判定、规范的表述。本书最大的特点是，就基桩检测原理理解上、现场检测过程中、检测结果评价上常易出现的问题进行了归纳和总结，并增设了大量的检测工程实例，充分突出本书的实用性。本书是作者长期从事桩基检测技术的研究和实践的总结，相信会对广大土木工程、岩土工程工作者有所助益。



200二年一月

前言

桩基工程是目前应用最为广泛的基础形式,合理正确的桩基检测方法是控制桩基工程施工质量的保障手段,客观准确的桩基检测数据是工程质量评定的重要依据。桩基检测技术是综合了的多门学科和技术的系统工程,是吸收了大量工程经验的实用技术。本书共分九章,第一章介绍了桩基检测涉及到的桩基基础知识、桩基施工技术;第二章综述了桩基检测技术的分类与选用方法;第三~第八章对现行桩基桩身质量及承载力各项检测方法的应用原理进行了系统归纳,详细介绍了各项检测的现场检测技术和结果评价方法,总结和解释了检测原理和检测技术中易出现的问题,并列举了大量的工程实例;第九章增设了桩基自平衡法承载力检测新技术,目的是使读者了解桩基检测最新技术,也促进该方法的推广和使用。

本书由浙江省建筑业管理局叶军献高工主编,第一、二、三章由叶军献高工、浙江省建筑业管理局刘屠梅(教授级高工)编写;第四、五、六章由浙江省地球物理应用技术研究赵竹占(教授级高工)、冶金部建筑研究院徐攸在(教授级高工)编写;第七章由浙江环宇建设集团有限公司陶红雨(高工)、南京水利科学研究院罗琪先(教授级高工)编写;第八章由陶红雨编写,第九章由东南大学土木工程系戴国亮(教授)、赵竹占编写。全书由宁波市鄞州城乡建设工程技术有限公司吴慧明博士负责整理编排,赵竹占负责审核。本书得到宁波市鄞州城乡建设工程技术有限公司的大力协助。限于时间及作者水平,本书缺点、错误及不当之处尚请读者批评指正。

编者

2006年1月

目 录

第 1 章 桩基基础知识

1.1 桩基础简介	1
1.2 建筑桩基重要术语	1
1.3 桩的分类	2
1.4 桩在荷载作用下的破坏模式	4
1.5 桩基竖向承载力与沉降变形计算	5
1.6 桩基础质量检验与验收	9
1.7 桩基础常见质量事故分析	10

第 2 章 基桩检测技术概述

2.1 基桩检测目的及意义	15
2.2 基桩检测基本术语	15
2.3 基桩检测方法分类及适用条件	15
2.4 基桩检测的抽样及检测方法的选用	18
2.5 验证检测与扩大检测	20
2.6 基桩检测工作程序	20

第 3 章 基桩静载试验

3.1 单桩竖向抗压静载试验	24
3.2 单桩抗拔静载试验	31
3.3 单桩水平向抗压静载试验	33
3.4 静载试验方案的编写	36
3.5 静载试验值得注意与研究的问题	37

3.6 单桩竖向抗压静载试验检测方案实例·····	39
3.7 单桩竖向抗压静载试验报告实例·····	46
3.8 静载试验现场检测表格汇总·····	51

第4章 应力波理论分析

4.1 直杆一维波动方程·····	55
4.2 直杆一维波动方程的波动解·····	56
4.3 直杆中波的传播·····	57
4.4 杆件截面的变化·····	59
4.5 杆件侧摩阻力作用·····	60

第5章 基桩反射波检测

5.1 反射波法测定桩身质量的基本原理·····	61
5.2 反射波法测试仪器·····	66
5.3 现场测试·····	67
5.4 室内资料处理·····	70
5.5 常见问题·····	73
5.6 工程实例·····	84

第6章 基桩高应变动力检测

6.1 概述·····	93
6.2CASE 法高应变承载力检测原理·····	94
6.3CASE 法高应变基桩完整性检测原理·····	104
6.4 曲线拟合法高应变检测原理·····	106
6.5CASE 法的现场测试技术·····	113
6.6 室内资料处理·····	118
6.7 应注意的问题·····	120

6.8 工程实例	123
----------	-----

第7章 声波透射法检测

7.1 基本声学理论	128
7.2 基桩声波透射法检测基本原理	141
7.3 超声波检测仪与声测管	142
7.4 现场测试	145
7.5 室内资料处理	147
7.6 常见的问题	152
7.7 工程实例	153

第8章 钻芯法检测

8.1 钻芯法检测技术概述	159
8.2 钻芯法现场操作	160
8.3 芯样试件抗压强度试验	163
8.4 钻芯法检测资料的分析判定及检测报告编写	166
8.5 钻芯法现场检测表格汇总	169

第9章 基桩自平衡法承载力检测

9.1 概述	170
9.2 自平衡试桩法原理	171
9.3 现场测试技术	176
9.4 自平衡法应用中应注意的问题	178
9.5 自平衡法在基桩研究领域的应用	181
9.6 工程实例	183

第1章 桩基基础知识

1.1 桩基础简介

建筑地基分为天然地基与人工地基。无须经过处理可直接承受建筑物荷载的地基称为天然地基，反之，需通过地基处理技术处理的地基称为人工地基。广义地讲，人工地基可以分为：

(1) 均质地基、多层地基：通过改良或置换，改善地基土的物理力学性质，提高地基土的抗剪强度、增强土体压缩模量或减少土的渗透性。

(2) 复合地基：通过在地基中设置竖向或水平向增强体，增强体与原地基土形成复合地基，以提高地基土承载力、减少地基沉降。

(3) 桩基础：在地基中设置桩，通过桩将荷载传递到深层土体中。

水泥搅拌桩、低强度等级混凝土灌注桩、CFG桩、灰土桩、碎石桩等，是在土中设置的竖向增强体，均属复合地基范畴，虽被称为桩，但不是桩基工程。本书中所讲的众多基桩检测技术，一般来说，不能无条件地应用到复合地基中。

早在新石器时代，人们就已采用木桩搭设水上住所，这可以看作最原始的桩基工程。近代，无论桩的材料还是成桩工艺都得到快速发展，目前主要有预制混凝土桩、就地混凝土灌注桩、钢桩等多种桩型，施工工艺有打入、压入、钻孔等多种方法。桩基工程应用领域也越来越广泛，大量应用于工业与民用建筑、道路桥梁、海上采油平台等。

桩基工程与岩土工程地质条件、基础和结构类型、荷载特征、桩土相互作用体系、施工技术及相关因素有关，是地下高度隐蔽性工程。目前已建立了比较完善的桩基理论体系，就桩基工程的勘察、选型与布置、设计原则、计算方法、施工、质量检查与验收等方面，编制了众多的规范、规程，以指导桩基工程的勘察、设计、施工及验收。

建筑基桩检测是桩基质量检查与验收中的一个关键部分，也是桩基工程施工中不可缺少的重要环节；同时作为基桩检测人员，如果不能充分了解岩土工程地质勘察、桩基设计理论、桩基施工技术，就无法保证基桩检测工作的质量、无法确保检测结果评定的可靠性。

在介绍基桩检测理论与实践之前，有必要介绍一些与桩基工程相关的理论与技术。

1.2 建筑桩基重要术语

桩基础——由设置于岩土中的桩和连接于桩顶端的承台共同组成的基础。分低桩承台桩基与高桩承台桩基。

单桩基础——采用1根基桩（通常为大直径桩）以承受和传递上部结构（通常为柱）荷载的独立基础。

群桩基础——由2根以上基桩组成的桩基础。

基桩——桩基础中的单桩。

复合桩基——由桩和承台下地基土共同承受荷载的桩基。

复合基桩——包含承台底土阻力的基桩。

单桩竖向极限承载力——单桩在竖向荷载作用下到达破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大荷载。它取决于土对桩的支承阻力和桩身材料强度，一般由土对桩的支承阻力控制，对于端承桩、超长桩和桩身质量有缺陷的桩，可能由桩身材料强度控制。

单桩竖向承载力特征值——表示正常使用极限状态计算时采用的承载力值，其涵义为在发挥正常使用功能时所允许采用的抗力设计值。

群桩效应——群桩基础受竖向荷载后，由于承台、桩、土的相互作用使其桩侧摩阻力、桩端阻力、沉降等性状发生变化而与单桩明显不同，承载力往往不等于各单桩承载力之和，称之为群桩效应。群桩效应受土的力学性质、桩距、桩数、桩的长径比、桩长与承台宽度比、成桩方法等多种因素的影响。

负摩阻力——桩身周围的土由于自重固结、自重湿陷、地面附加荷载等原因而产生大于桩身的沉降时，土对桩侧表面所产生的向下摩阻力。在桩身某一深度处的桩与土的位移量相等，该处成为中性点。中性点是正、负摩阻力的分界点。

闭塞效应——开口管桩沉入过程中，桩端土一部分被挤向外围，一部分涌入管内形成“土塞”。土塞受到管壁摩阻力作用将产生一定压缩，土塞高度及闭塞程度与土的力学性质、管径、壁厚及进入持力层的深度等诸多因素有关。闭塞程度直接影响端阻力发挥、桩的破坏性状及桩的承载力。称此为“闭塞效应”。

1.3 桩的分类

桩的分类方法很多，针对基桩检测，现选取几种主要的分类方法。

1. 按成桩方法对土层影响分类

不同成桩方法对桩周围土层的扰动程度不同，将影响到桩承载能力的发挥和计算参数的选用。一般分为：

(1) 挤土桩。在成桩过程中，桩周土被挤密或挤开，土的原状结构遭到破坏，土的工程性质有很大改变。如打入或静压预制桩。

(2) 部分挤土桩。在成桩过程中，桩周土受轻微扰动，土的原状结构和工程性质变化不明显。如开口式钢管桩。

(3) 非挤土桩。成桩过程中，将与桩体积相同的土挖出，因而桩周土较少受到扰动，但有应力松弛现象。如挖孔或钻孔灌注桩。

2. 按桩的使用功能分类

(1) 竖向抗压桩。按抗压桩的荷载传递机理可分为：

1) 摩擦桩。在极限承载力状态下, 外荷载主要由桩侧摩阻力承担, 桩端阻力很少, 一般不会超过 10%。如饱和软土中的桩。

2) 端承桩。在极限承载力状态下, 外荷载主要由桩端阻力承担, 一般不考虑桩侧摩阻力。如长径比较小的嵌岩桩可视为端承桩, 但长径比较大时, 由于桩本身压缩, 桩侧摩阻力可部分发挥。

3) 摩擦端承桩、端承摩擦桩。外荷载由桩侧摩阻力与桩端阻力同时承担, 侧摩阻力与端阻力的分配比例与桩径、桩长、持力层刚度、软土层厚度等有关。如穿过软土层进入砂砾持力层的桩。

(2) 水平受荷桩。桩身要承受水平力引起的弯矩, 由桩侧土的被动土压力承担, 或由水平支撑和桩锚来平衡。

(3) 抗拔桩。由桩侧摩阻力抵抗桩上的抗拔荷载。

(4) 复合受荷桩。同时承受较大竖向荷载和水平荷载的桩。

3. 根据桩径大小分类

(1) 大直径桩。桩径 $d \geq 800\text{mm}$, 在设计中考虑挤土效应与尺寸效应。

(2) 中等直径桩。桩径介于 $250\text{mm} \sim 800\text{mm}$ 之间的桩。

(3) 小桩。桩径 $d \leq 250\text{mm}$, 一般长径比较大。

4. 根据桩身材料分类

(1) 混凝土桩。又分就地灌注桩与预制桩, 是目前应用最广泛的桩型。

(2) 钢桩。主要有钢管与型钢两大类。

(3) 组合材料桩。指由两种材料组成的桩, 现应用很少。

桩基检测主要针对前两种桩型。

5. 根据成桩方法分类

(1) 打入桩。将预制桩用击打或振动法打入地层至设计标高。

(2) 静压桩。利用无噪声的机械将预制桩压入设计标高。

(3) 就地灌注桩。按成孔工艺分为:

1) 沉管灌注桩。将钢管打入土中成孔, 然后灌注混凝土, 并在灌注过程中将钢管拔出或留在土中。

2) 钻孔灌注桩。使用机械成孔, 如冲击钻机、旋转钻机等机械。一般没有护壁或采用泥浆护壁, 对孔周土层不产生扰动。

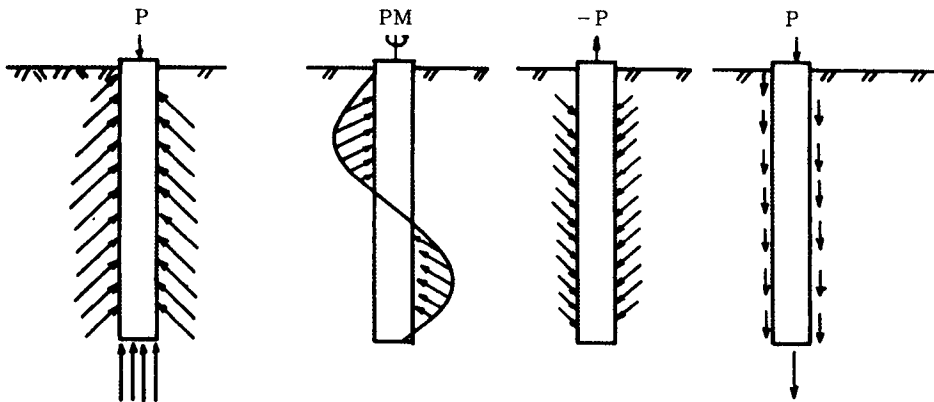
3) 挖孔灌注桩。使用人工或机械, 在有护壁或无护壁的条件下成孔。

4) 螺旋桩。在木桩或混凝土桩的端部接一段螺旋钻头, 用旋转机械将桩拧入土中至设计标高。现已很少采用。

1.4 桩在荷载作用下的破坏模式

1. 桩在荷载作用下的工作方式

当桩还没有承受荷载时，作用在桩杆表面的是水平向的土压力；随着桩顶竖向荷载的增加，桩侧的摩擦力发挥出来，这两者的和就是侧摩阻力。作用在桩端的反力主要是竖直向上的，这就是桩的端阻力。桩的承载力包括两部分，即侧摩阻力和端阻力，这两者之比取决于地基土的地层分布及力学性质、桩的尺寸与设置方法及总荷载的大小(图 1-1(a))。如果桩上作用的是水平力及力矩，那么桩上的应力分布将是不对称的，桩杆将承受弯矩(图 1-1(b))；如果桩上作用的是上拔力，那么侧摩阻力的方向与图 1-1(a)中相反(图 1-1(c))；如果桩打在上部地层为欠固结的土中，则土对桩身产生向下的负摩阻力(图 1-1(d))。



(a) 桩侧摩阻力和端阻力 (b) 桩周土侧向抵抗力 (c) 强摩阻力 (d) 负摩阻力

图 1-1 桩的荷载传递形式

2. 桩的破坏模式

桩的破坏模式主要取决于桩周土的抗剪强度、桩的类别与施工方式及桩的荷载传递类型等条件。

图 1-2 给出了摩擦桩、端承摩擦桩、摩擦端承桩和端承桩的不同破坏模式简图，图中显示了桩周土层和桩端持力层的抗剪强度相对值以及常规桩荷载—桩顶沉降关系曲线(Q-s 曲线)。

第一种情况——摩擦桩。桩顶荷载由桩侧土阻力来承担，而桩端土较软，当桩顶荷载不断增加时，桩侧土阻力也不断得以发挥直至全部发挥，当桩顶荷载超过桩侧土阻力后，Q-s 曲线呈现某一斜率后的急速下降趋势，此时的桩侧土出现刺入破坏，桩再也无法承受上部荷载的压力。(图 1-2(a))

第二种情况——端承摩擦桩。桩顶荷载大部分由桩侧摩阻力承受，小部分由桩尖的桩端阻力承受，此种地层土的抗剪强度均匀，桩出现刺入剪切破坏。曲线不出现明显的破坏现象。(图 1-2(b))

第三种情况——摩擦端承桩。桩穿过抗剪强度较低的地层后，端承在高强度的土层中，当桩顶的荷载不断增加时，较小的桩侧摩阻力发挥完后，桩端阻力得到充分发挥，随后将出

现整体剪切破坏, 因为桩端以上的软弱土层不能阻止滑动土楔的形成。此种现象在打入式短桩工地常出现。(图 1-2(c))

第四种情况——端承桩。打入式预制桩或钻孔嵌岩灌注桩, 桩周土较软时, 桩尖端承在坚硬的中、微风化基岩上或高强度的地层中, 对于桩身没有约束力和侧向抵抗力, 桩的破坏是在经受了弹性压缩变形后出现纵向压曲, 有明显的破坏荷载。这种情况往往是与桩身的材料强度有关。(图 1-2(d))

第五种情况——上拔桩。上拔荷载由侧摩阻力来抵抗, 当上拉荷载抵消桩的侧摩阻力后, 桩侧土进入塑性变形。

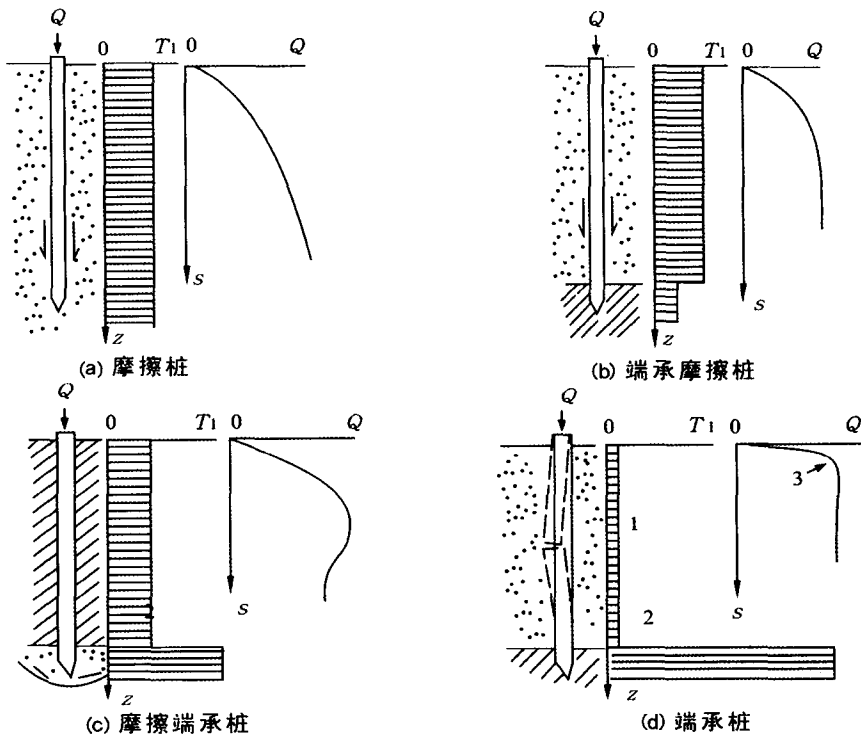


图 1-2 桩破坏模式示意图

其实, 桩在打入土层后, 其顶部加上荷载, 桩的被动受力和各部位的应变是很复杂的, 因此在分析桩的受力和 $Q-s$ 曲线的同时, 应综合各方面的资料来解释桩的破坏机理。

1.5 基桩竖向承载力与沉降变形计算

1. 建筑地基基础设计等级

根据地基复杂程度、建筑物规模和功能特征以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度, 将地基基础设计分为三个设计等级, 见表 1-1。

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 体形复杂，层数相差超过10层的高低连成一体的建筑物 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
乙级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物
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物及一般工业建筑物；次要的轻型建筑物

所有等级建筑均应满足承载力要求，以下建筑物的桩基础还应进行沉降计算。

(1) 设计等级为甲级的建筑物桩基础；

(2) 体形复杂、荷载不均匀或桩端以下存在软弱下卧层，地基基础设计等级为乙级的建筑物桩基础；

(3) 摩擦型桩基础。

当有可靠地区经验时，对地质条件不复杂、荷载均匀、对沉降无特殊要求的端承桩基也可不进行沉降计算。

2. 单桩竖向承载力与沉降变形基本理论

桩顶竖向荷载由桩侧摩阻力与桩端阻力承受，桩侧摩阻力一般先于桩端阻力发挥出来。

当桩顶受荷时，桩身压缩导致桩土间相对位移，于是桩侧受到向上的摩阻力，荷载因此传到土体中。桩身压缩变形及桩土间的相对位移，随深度而递减。随着荷载增加，桩身下部桩侧摩阻力逐渐增大直至全部发挥，端阻力也得到充分发挥，基桩达到极限承载力状态。基桩沉降由基桩本身压缩变形、持力层变形组成。

土是散粒体结构，是复杂多样的三相体非线性材料。桩、土荷载传递也是非线性的，其数学模型很难有简单的数学解，所以在进行理论计算分析时，桩侧摩阻力宜采用线性简化，桩端阻力可采用 Winkle 地基或其他模型，桩基础最终沉降变形宜按单向压缩分层总和法。

对重要建筑可采用在桩身埋设量测元件，较为准确地测定桩身轴力、桩身变形等，以此推算桩侧摩阻力。

3. 单桩承载力的计算

(1) 承载力设计要求

$$\text{轴心竖向力作用下: } Q_k \leq R_a \quad (1-1)$$

$$\text{偏心竖向力作用下: } Q_{ik\max} \leq 1.2R_a \quad (1-2)$$

式中 Q_k —— 相应于荷载效应标准组合轴心竖向力作用下任一单桩的竖向力；
 $Q_{ik\max}$ —— 相应于荷载效应标准组合偏心竖向力作用下单桩的最大竖向力；
 R_a —— 单桩竖向承载力特征值。

(2) 满足承载力设计时桩身混凝土强度要求

$$\text{桩轴心受压时 } Q \leq A_p f_c \psi_c \quad (1-3)$$

式中 f_c —— 混凝土轴心抗压强度设计值，按现行《混凝土结构设计规范》取值；
 Q —— 相应于荷载效应基本组合时的单桩竖向力设计值；
 A_p —— 桩身横截面积；
 ψ_c —— 工作条件系数，预制桩取 0.75，灌注桩取 0.6 ~ 0.7（水下灌注桩或长桩用低值）。

4. 单桩竖向承载力特征值的确定方法

(1) 地基基础设计等级为甲级、乙级的建筑物，单桩承载力特征值应通过单桩竖向静载试验确定。在同一条件下的试桩数量，不宜少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根。这就是常说的“设计试桩”。

当桩端持力层为密实砂卵石或其他承载力类似的土层时，对单桩承载力很高的大直径端承型桩，可采用深层平板载荷试验确定桩端土的承载力特征值。

(2) 地基基础设计等级为丙级的建筑物，可采用静力触探及标准贯入试验参数确定。

(3) 初步设计时单桩竖向承载力特征值可用下式估算：

$$R_a = q_{pa} A_p + u_p \sum q_{sia} l_i \quad (1-4)$$

式中 R_a —— 单桩竖向承载力特征值；

q_{pa} 、 q_{sia} —— 桩端阻力、桩侧摩阻力特征值，由当地静载试验结果与桩侧、桩端土层的物理力学性质指标进行统计分析算得；

A_p —— 桩底端横截面面积；

u_p —— 桩身周边长度；

l_i —— 第 i 层岩土厚度。

当桩端嵌入完整或较完整的硬质岩中时，可按下式估算单桩竖向承载力特征值：

$$R_a = q_{pa} A_p \quad (1-5)$$

式中 q_{pa} —— 桩端岩石承载力特征值。

5. 影响单桩竖向承载力的因素

(1) 桩侧土的性质与土层分布：桩侧土的强度与变形性质影响桩侧阻力的发挥性状与大小。

- (2) 桩端土层的性质：桩端持力层的类别与性质直接影响桩端阻力的大小和沉降量。
- (3) 桩的几何特征：桩的直径、长度及其比值是影响桩总侧摩阻力与总端阻力的比值、桩端阻力的发挥程度和单桩承载力的主要因素之一。
- (4) 成桩效应：挤土桩、部分挤土桩、非挤土桩三大成桩工艺，影响到桩的承载力及其随时间的变化。一般说饱和土中的成桩效应大于非饱和土中的、群桩中的大于单桩中的。
- (5) 成桩桩身质量。

6. 例题

【例题 1-1】一钢筋混凝土预制桩的截面为 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ ，桩长 12m 。场地土层分布情况和根据邻近桩静荷试验得出的轴向荷载 550kN 时各土层平均摩阻力见表 1-2。假定桩端以下的中砂符合 Winkle 地基假定，中砂基床系数 $k_s=4 \times 10^4\text{kN/m}^3$ ，桩身弹性模量 $E_p=29\text{kN/mm}^2$ 。估算桩顶荷载 550kN 时桩身轴力、桩侧阻力、桩端阻力及基桩沉降量。

土层分布情况和各土层平均摩阻力

表 1-2

土层编号	土层类别	土层厚度 (m)	侧摩阻力 (kPa)
1	粉土	3.0	25
2	黏土	7.0	20
3	中砂	2.0	35

【解】桩身轴力、桩侧摩阻力、桩端阻力的计算见表 1-3。

桩身弹性压缩量计算：

$$\sum \delta_z = \sum \frac{N_i l_i}{A_p E_p} = \frac{1}{160000 \times 29} \times (490 \times 3000 + 318 \times 7000 + 150 \times 2000) = 0.85(\text{mm})$$

按假定，桩端单位面积压力 $\delta = \frac{N_1}{A_p} = k_s \delta_1$ ，而 $k_s=4 \times 10^4\text{kN/m}^3=4 \times 10^{-5}\text{kN/mm}^3$

$$\delta_1 = \frac{N_1}{A_p k_s} = \frac{94}{160000 \times 4 \times 10^{-5}} = 14.69(\text{mm})$$

桩端持力层变形计算： $S = \sum \delta_z + \delta_1 = 0.85 + 14.69 = 15.54(\text{mm})$

桩身轴力、桩侧阻力、桩端阻力计算

表 1-3

土层编号	各层桩侧摩阻力 $\mu_p \tau_i l_i$ (kN)	各土层层底处桩的轴力 (kN)	各土层桩身平均轴力 N_i (kN)
1	$1.6 \times 3 \times 25 = 120$	$550 - 120 = 430$	$(550 + 430) / 2 = 490$
2	$1.6 \times 7 \times 20 = 224$	$430 - 224 = 206$	$(430 + 206) / 2 = 318$
3	$1.6 \times 2 \times 35 = 112$	$206 - 112 = 94$	$(206 + 94) / 2 = 150$

以上是在一些假设条件下所进行的简化计算。应当指出,单桩的轴向荷载传递是比较复杂的。桩的截面位移 δ_z 、桩端位移 δ_1 、桩顶沉降 δ_0 与桩侧摩阻力 τ_z 的关系, τ_z 的实际分布图形和极限值,桩土之间有无发生相对滑移等都影响着桩的工作性状,即影响着桩的荷载传递和桩顶的沉降量。

1.6 桩基础质量检验与验收

1. 桩基础质量检验验收与基桩质量检测

桩基础属隐蔽工程,要保证桩基础施工质量,必须对桩基础的所用材料、施工方法、施工工序、成桩质量、桩位等进行质量控制与检验。基桩与桩基础是两个不同的概念,基桩质量检测是桩基础质量检验与验收的一部分,主要指对成桩桩身质量及单桩承载力的控制与检测。

桩基础质量检验与验收,在不同阶段有不同的目的和方法。

2. 施工前质量检验与验收(设计试桩阶段的质量检验)

(1) 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的桩基工程:

- 1) 建筑地基基础设计等级为甲级、乙级的;
- 2) 地质条件复杂、施工质量可靠性低差的;
- 3) 本地区采用新桩型或新工艺的;
- 4) 设计要求的。

(2) 打入式预制桩有下列要求之一时,应采用高应变法进行试打桩的打桩过程检测:

- 1) 控制打桩过程中的桩身应力;
- 2) 选择沉桩设备和确定工艺参数;
- 3) 选择桩端持力层。

(3) 进行设计试桩的目的

为设计提供可靠的设计依据,为施工确定可行的施工方法与施工工艺、提供合理的施工参数。

(4) 设计试桩质量检验与验收的内容及方法

- 1) 设计试桩施工质量控制同本节第3小节中的工程桩施工质量控制;
- 2) 采用高低应变动力检测、钻芯取样、埋管超声等方法检测桩身质量;
- 3) 采用单桩竖向抗压静载试验确定单桩承载力,预制桩还可以采用高应变法监测桩身应力与锤击能量传递比。

3. 施工阶段质量检验与验收(工程桩施工质量检验)

(1) 质量验收目的