

基桩质量检测技术

(第二版)

陈 凡 徐天平 陈久照 关立军 编著

中国建筑工业出版社

基桩质量检测技术

(第二版)

陈 凡 徐天平
陈久照 关立军 编著

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

基桩质量检测技术/陈凡等编著. —2版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2003. 2

ISBN 978-7-112-14981-0

I. ①基… II. ①陈… III. ①桩基础—工程质量—检测
IV. ①TU473. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 293640 号

基桩质量检测技术

(第二版)

陈 凡 徐天平 编著
陈久照 关立军

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京盈盛恒通印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 25 1/4 字数: 630 千字

2014 年 7 月第二版 2014 年 7 月第十二次印刷

定价: 66.00 元

ISBN 978-7-112-14981-0

(23011)

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)

本书共 5 篇 19 章，分别介绍了单桩静载荷试验（竖向抗压、竖向抗拔、水平）、高应变和低应变动力检测法（高应变法，低应变反射波法和机械阻抗法）、钻芯法、声波透射法等四大类七种检测方法。除介绍各种方法的适用范围、仪器设备、现场检测和室内分析技术外，还介绍了与检测技术相关的基本理论、桩的基本知识以及正处于发展或进一步完善中的新的质量检测技术。为了便于读者理解书中内容和提高检测数据分析能力，书中提供了一些典型的实例分析。

书中融入了近年来国内外学者及本书作者在基桩质量检测技术方面的实验和理论研究成果，配合新发布实施的《建筑基桩检测技术规范》的宣传贯彻工作，对其中的重点、难点问题，穿插在书中相应章节进行了深入的讲解。

本书适合从事岩土工程的勘察设计、施工、质量监督检测、监理等技术人员，特别是专门从事基桩质量检测工作的质检人员使用。

* * *

责任编辑 王 梅 杨 允

责任设计 董建平

责任校对 张 颖 刘梦然

第二版前言

《桩基质量检测技术》一书，自2003年11月第一版至今，已陆续重印了十次。本书对从事桩基质量检测工作和岩土工程试验研究的专业技术人员，起到了入门培训、技术支持和检测经验传播的基础作用；对涉及检测技术的深层次理论与探讨，起到了较好的引领作用；对桩基的勘察、设计、施工、监理等技术人员也有一定的借鉴作用。同时，本书作为当时的《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106—2003的主要宣贯教材，对桩基质量检测人员完整正确地理解规范、系统全面地掌握桩基检测及其数据分析技术发挥了积极有效的作用。

2003年至今已逾十年，我国的桩基用量翻了近一倍，大量的工程实践促进了包括桩基质量检测在内的桩基工程技术的发展。本书此次修订，编者结合十年来桩基检测技术的发展和2014新版《建筑桩基检测技术规范》的修订情况，增删和修改了以下内容：

1. 增加了桩基检测及其结果分析判定的典型实例；
2. 介绍了包括编者在内的专家学者近年来的理论研究成果以及相关学科知识在桩基检测中的合理运用；
3. 为保证本书与2014新版《建筑桩基检测技术规范》以及此前陆续修订的2011版《建筑地基基础设计规范》和2008版《建筑桩基技术规范》的协调一致性，对书中部分内容进行了增删；
4. 对检测方法在某些特定条件下暴露出的局限性以及2014新版《建筑桩基检测技术规范》的重点修订内容进行了较详细地讲解。

这次修订编写工作，得到很多兄弟单位、同行以及出版社编辑的支持与帮助，在此，特表感谢。

由于修改和补充的内容较多，同时受编写人员水平所限，书中会有错漏之处，敬请读者批评指正。

编者

2014年1月于北京

第一版前言

基础工程是建筑工程的重要组成部分，万丈高楼从地起，地基基础工程的质量直接关系到整个建筑物的结构安全，直接关系到人民生命财产安全。桩基础是主要的基础形式之一，而且随着高层建筑的层高增加，或结构体型复杂、层数相差悬殊的建筑以及地下空间的开发利用越来越广泛，桩基础是许多建(构)筑物的首选或必选基础形式。我国每年的用桩量超过300万根，如此大的用桩量，如何保证质量，一直备受建设、施工、设计、勘察、监理各方以及建设行政主管部门的关注。同时由于我国地质条件复杂，桩基工程除因受岩土工程条件、基础与结构设计、桩土体系相互作用、施工以及专业技术水平和经验等关联因素的影响而具有复杂性外，桩的施工还具有高度的隐蔽性，从而使得桩基工程的设计、施工、质量检测等方面往往比上部建筑结构更为复杂，更容易存在质量隐患。大量的事实表明：工业与民用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，其中有不少是由于桩基工程的质量问题，而直接危及主体结构的正常使用与安全。

20世纪80年代以来，我国基桩检测技术、特别是基桩动测技术得到了飞速发展，这对基桩检测人员的素质提出了更高的要求，既需要有岩土工程、桩基设计与施工等方面的知识，也需要有振动理论、波动理论等方面的知识；既要能够操作仪器设备、熟悉测试技术，又要掌握计算机技术，善于对数据进行综合分析。

本书主要内容包括单桩静载荷试验(竖向抗压、竖向抗拔、水平)、钻芯法、高应变和低应变动力检测法、声波透射法等四大类七种检测方法。除介绍各种方法的适用范围、仪器设备、现场检测和室内分析技术、检测数据的分析评价原则外，还介绍与检测技术相关的基本理论、桩的基本知识以及正处于发展或进一步完善中的基桩质量检测技术。

书中融入了近年来国内外学者及本书作者在基桩质量检测技术方面的实验和理论研究成果，深入浅出地分析了试验、研究结果和典型工程实例。对静载试验预埋元件的测试技术、声测管倾斜的修正方法、测量传感器的动态性能及其校准、动测中的尺寸效应、钻芯法测斜以及检测中容易出错的环节进行较详细阐述；配合相关标准规范、特别是最近发布施行的《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106—2003的宣传贯彻工作，对其中的重点、难点问题，穿插在书中相应章节进行了较深入的讲解。

本书的问世，相信能促进基桩检测技术进步，提高检测工作水平，对从事岩土工程试验研究、施工质量检测、勘察设计、施工、质量监督、监理等技术人员，特别是专门从事基桩质量检测工作的质检人员有所裨益。

第一版前言

本书第一篇由关立军(中国建筑科学研究院)编写,第二篇由徐天平(广东省建筑科学研究院)、关立军、陈凡(中国建筑科学研究院)编写,第三篇由陈凡(中国建筑科学研究院)编写,第四篇由陈久照(广东省建筑科学研究院)编写,第五篇由徐天平编写。全书由陈凡主编。

基桩检测技术发展迅速,由于作者学术水平和实践经验有限,书中肯定有不少缺点、错误,恳请广大读者批评指正。

编者

2003年8月于北京

目 录

第一篇 基 本 知 识

第 1 章 概论	2
1.1 桩的应用历史	2
1.2 桩身完整性和承载力检测方法的分类	2
第 2 章 桩的基本知识	4
2.1 桩的分类	4
2.2 桩的承载机理	6
2.3 桩的设计基本知识	10
2.4 常见桩的施工基本知识	11
2.5 常见的基桩质量通病	14
第 3 章 基桩质量检测基本规定	17
3.1 概述	17
3.2 检测程序及相关技术内容	18
参考文献	25

第二篇 桩 的 静 载 试 验

第 4 章 单桩竖向抗压静载试验	28
4.1 概述	28
4.2 桩的极限状态和破坏模式	30
4.3 仪器设备及桩头处理	33
4.4 检测技术	43
4.5 检测数据分析	47
4.6 桩侧阻力和桩端支承力测试分析技术	50
4.7 其他静载试验方法简介	56
4.8 自平衡法静载试验技术	60
4.9 静载试验中的若干问题	64
4.10 工程实例	66
第 5 章 单桩竖向抗拔静载试验	72
5.1 概述	72
5.2 破坏模式、极限状态	73
5.3 仪器设备	74

5.4	检测技术	76
5.5	检测数据分析	77
5.6	工程实例	78
第 6 章	单桩水平静载试验	83
6.1	概述	83
6.2	仪器设备及安装	84
6.3	检测技术	85
6.4	检测数据的分析与判定	86
6.5	检测报告要求的内容	88
6.6	工程实例	88
	参考文献	95

第三篇 桩的低应变、高应变动力检测

第 7 章	概述	98
7.1	历史回顾	98
7.2	高应变与低应变的划分	100
7.3	动测法在分项工程验收中的作用	100
第 8 章	基本理论	104
8.1	一维波动方程及其解答	104
8.2	应力波的相互作用和在不同阻抗界面上的反射和透射	110
8.3	波形频域分析	116
8.4	基于一维波动理论的桩-土相互作用的数值解模型	118
8.5	锤与桩土体系的匹配问题和静动法	122
8.6	尺寸效应问题	129
第 9 章	仪器设备	141
9.1	激振设备	141
9.2	检测仪器	143
9.3	动测传感器测量原理	145
9.4	动测传感器的冲击响应特性	151
9.5	动测仪器、传感器的校准	158
第 10 章	低应变法测试与分析	162
10.1	桩身完整性判定的理论方法	162
10.2	适用范围	168
10.3	低应变法现场检测技术	171
10.4	检测数据分析与判定	174
第 11 章	高应变法测试与分析	185
11.1	土阻力测量	185
11.2	承载力计算方法——凯司法	186

11.3 桩身完整性和打桩拉应力测量	191
11.4 适用范围	194
11.5 高应变法现场检测技术	195
11.6 检测数据分析与判定	208
11.7 工程实例	216
11.8 限制条件	222
参考文献	223

第四篇 声波透射法

引言	228
第 12 章 基本理论	229
12.1 波动与声波	229
12.2 振动与波	229
12.3 波的类型与形式	232
12.4 波动方程	235
12.5 波在弹性固体介质中的传播速度	237
12.6 波的能量和能量密度	239
12.7 声场	241
12.8 声波在两种介质界面上的传播规律	244
12.9 声波在固体介质中传播时的能量衰减	247
12.10 声波在混凝土中传播的特点	249
12.11 混凝土声波透射法检测中使用的声波	251
12.12 声波信号的频域分析	252
第 13 章 仪器设备	255
13.1 混凝土声波仪	255
13.2 声波换能器	260
第 14 章 检测技术	271
14.1 灌注桩声波透射法检测的适用范围	271
14.2 混凝土声学参数与检测	273
14.3 现场检测	282
第 15 章 检测数据分析与结果判定	291
15.1 测试数据的整理	291
15.2 数据分析与判断	292
15.3 桩身混凝土缺陷的综合判定	303
15.4 声测管的斜管测距修正	306
15.5 影响桩身缺陷纵向尺寸检测精度的因素	311
15.6 检测报告	312
15.7 声波透射法检测混凝土灌注桩工程实例分析	312

15.8 声波层析成像(CT)技术	338
参考文献	344

第五篇 钻 芯 法 检 测

第 16 章 概述	346
16.1 钻芯法检测结构混凝土强度	346
16.2 钻芯法检测预应力混凝土强度	347
16.3 混凝土立方体试件强度检验评定	348
16.4 钻芯法检测混凝土灌注桩	350
第 17 章 钻芯设备及检测技术	353
17.1 钻芯法设备的选择和安装	353
17.2 钻头的选择	354
17.3 冲洗液	357
17.4 钻机操作	357
17.5 钻芯技术	358
17.6 现场记录	359
17.7 检测要求	361
17.8 钻孔处理	362
17.9 基桩钻芯孔内摄像检测技术	362
17.10 钻芯孔测斜	365
第 18 章 芯样试件制作与抗压试验	368
18.1 混凝土芯样截取原则	368
18.2 岩石芯样截取原则	369
18.3 芯样制作	369
18.4 芯样试件抗压强度试验	372
第 19 章 检测数据分析与评价	374
19.1 标准试件强度与钻芯法芯样强度对比试验研究	374
19.2 灌注桩芯样强度与标准试件强度对比试验研究	378
19.3 每组芯样强度代表值的确定	383
19.4 混凝土桩芯样强度检测值	383
19.5 持力层的评价	384
19.6 成桩质量评价	385
19.7 工程实例	388
参考文献	393

第一篇 基本知识

第 1 章 概论

第 2 章 桩的基本知识

第 3 章 基桩质量检测基本规定

第 1 章 概 论

1.1 桩的应用历史

桩基础是历史悠久、应用广泛的一种基础形式，在距今 12000~14000 年历史的智利古文化遗址中就已经发现了桩的雏形^[2]。我国考古学家在陕西半坡村遗址和浙江省东部余姚市河姆渡村遗址出土了大量木结构遗存，证实了先人在 7000 年前就开始采用木桩插入土中支承房屋。今上海市的龙华塔和山西太原的晋祠圣母殿，都是现存的北宋年代修建或重建的桩基建筑物^[1]。早期使用的桩都是木桩。

木桩的使用经历了漫长的历史时期，直至 19 世纪 20 年代，人类才开始使用铸铁板桩修筑围堰和码头。19 世纪后期，随着钢、水泥、混凝土和钢筋混凝土的相继问世和大量使用，制桩材料发生了根本变化，为桩基础的飞跃发展提供了条件。

以混凝土或钢筋混凝土为材料的一类桩型，首先是由俄国工程师斯特拉乌斯在 1898 年率先提出的，即就地灌注混凝土桩；到 1901 年，美国工程师雷蒙德又独立提出了沉管灌注桩的设计，我国上海在 20 世纪 30 年代修建的一些高层建筑就采用了沉管灌注桩基础。

20 世纪初，钢桩和钢筋混凝土预制桩相继问世并得到广泛应用，如美国密西西比河上的钢桥就大量采用了型钢桩基础。到了 30 年代，欧洲一些国家也开始广泛使用钢桩。二次大战后，随着冶炼技术的发展，各种直径的无缝钢管被作为桩材用于基础工程。1949 年美国雷蒙德混凝土桩公司最早用离心机生产了中空预应力钢筋混凝土管桩。我国从 50 年代开始生产预制钢筋混凝土桩，50 年代末，铁路系统开始生产使用预应力钢筋混凝土桩，而且随着大型钻孔机械的发展，又出现了钻孔灌注桩或钢筋混凝土灌注桩。20 世纪 60~70 年代，我国也研制生产出预应力钢筋混凝土管桩，并广泛应用于桥梁和港口工程中^[1]。

自此以后，随着桩基础应用领域的扩宽，机械设备和施工技术不断得到改进与发展，产生了各种新桩型和新工法，为桩在复杂地质条件和环境条件下的应用注入了勃勃生机。今天，桩基础已成为高层建筑、大型桥梁、深水码头和海上石油平台等采用的主要基础形式，而且随着工程的需要，人们在桩的施工技术、桩型的开发应用和设计理论方面又不断研究探索，使桩基技术得到蓬勃发展。

1.2 桩身完整性和承载力检测方法的分类

基桩的承载力和完整性检测是基桩质量检测中的两项重要内容，按其完成设计与施工质量验收规范所规定的具体检测项目的方式^[10]，形式上可以分为三类检测方法^[11]：

1.2.1 直接法：顾名思义，即通过现场原型试验直接获得检测项目结果或为施工验收提供依据的检测方法。在桩身完整性检测方面主要是钻孔取芯法，即直接从桩身混凝土中钻取芯样，以测定桩身混凝土的质量和强度，检查桩底沉渣和持力层情况，并测定桩长。承载力检测包括了单桩竖向抗压(拔)静载试验和单桩水平静载试验，前者用来确定单桩竖向抗压(拔)极限承载力，判定工程桩竖向抗压(拔)承载力是否满足设计要求，同时可以在桩身或桩底埋设测量应力(应变)传感器，以测定桩侧、桩端阻力，也可以通过埋设位移测量杆，测定桩身各截面位移量；后者除用来确定单桩水平临界和极限承载力、判定工程桩水平承载力是否满足设计要求外，还主要用于浅层地基土水平抗力系数的比例系数的确定，以便分析工程桩在水平荷载作用下的受力特性；当桩身埋设有应变测量传感器时，也可测量相应荷载作用下的桩身应力，并由此计算桩身弯矩^[9]。

1.2.2 半直接法：是指在现场原型试验基础上，同时基于一些理论假设和工程实践经验并加以综合分析才能最终获得检测项目结果的检测方法。主要包括以下三种：①低应变法。在桩顶面实施低能量的瞬态或稳态激振，使桩在弹性范围内做弹性振动，并由此产生应力波的纵向传播，同时利用波动和振动理论对桩身的完整性做出评价的一种检测方法，目前应用最广泛的低应变检测方法是反射波法，其物理力学意义明确、测试设备轻便简单、检测速度快、成本低，是基桩质量(完整性)普查的良好手段。②高应变法。在桩顶实施重锤冲击，使桩产生的动位移量级接近常规静载试桩的沉降量级，以便使桩周岩土阻力充分发挥，通过测量和计算判定单桩竖向抗压承载力是否满足设计要求及对桩身完整性做出评价的一种检测方法，主要包括锤击贯入试桩法、波动方程法和静动法，其中波动方程法是我国目前常用的高应变检测方法。高应变动力试桩物理力学意义较明确，检测准确度相对较高，而且检测成本低，受检桩的选择具有较好的随机性，抽检数量较静载试验大，而且可用于预制桩的打桩过程监控和桩身完整性检查，但受测试人员水平和桩-土相互作用模型等问题的影响，这种方法在判定竖向抗压承载力方面仍有一定的局限性，尚不能完全代替静载试验而作为确定单桩竖向抗压极限承载力的设计依据。③声波透射法。通过在桩身预埋声测管(钢管或塑料管)，将声波发射、接收换能器分别放入声测管内，管内注满清水为耦合剂，换能器可置于同一水平面或保持一定高差，进行声波发射和接收，通过对声波在混凝土中传播的时间、波幅及主频等声学参数的测试与分析，对桩身完整性做出评价。该方法一般不受场地限制，测试精度高，在缺陷的判断上较其他方法更全面，检测范围可覆盖全桩长的各个横截面，但由于需要预埋声测管，抽样的随机性差，且对桩身直径有一定的要求，检测成本也相对较高。

1.2.3 间接法：依赖直接法已取得的试验成果，结合土的物理力学试验或原位测试数据，通过统计分析，以一定的计算模式给出经验公式或半理论、半经验公式的估算方法。由于地质条件和环境条件的复杂性，施工工艺、施工水平及人员素质的差异性，该方法对设计参数的判断有很大的不确定性，所以只适用于工程初步设计的估算。如根据地质勘察资料进行单桩承载力与变形的估算，这在我国《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《港口工程桩基规范》JTS 167—4、《铁路桥涵设计规范》TBJ 2等相应规范中有明确规定；在新修订的《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106(以下篇章简称《规范》)中没有涉及此类方法。

第2章 桩的基本知识

2.1 桩的分类

2.1.1 按制桩材料分类

2.1.1.1 木桩

木桩利用天然原木作为桩材，适用于地下水位以下地层^[6,8]，在这种条件下木桩能抵抗真菌的腐蚀而保持耐久性。单根木桩长度一般为十余米，不利于接长。由于其承载力和刚度等力学特性及耐久性均较差，加之我国木材资源不足，目前已很少使用。

2.1.1.2 混凝土桩

混凝土桩承载力高、刚度大、耐久性好，可承受较大的荷载；桩的几何尺寸可根据设计要求进行变化，桩长不受限制，且取材方便，因此是当前各国广泛使用的桩型。它又可分为预制混凝土桩和就地灌注混凝土桩两大类。

预制混凝土桩多为钢筋混凝土桩，主要在工厂集中生产，强度等级一般为 C30~C60，截面边长 250~600mm，单节长度几米至十几米，可以根据需要连接成所需桩长。为减少钢筋用量、有效抵抗打桩拉应力，提高桩身抗弯、抗裂和抗腐蚀的能力，又发展了预应力钢筋混凝土桩，目前我国的预应力钢筋混凝土桩多为圆形管桩。管桩按施加预应力工艺的不同，分为先张法预应力管桩和后张法预应力管桩两种，强度等级 PC 和 PTC 桩为 C60 或 C70，PHC 桩为 C80，直径 300~1000mm，一般单节长度 5~13m，节间连接主要采用电焊连接法，底桩一般采用十字形、锥形或开口型桩尖^[2]。

就地灌注混凝土桩就是在现场成孔后直接灌注混凝土而成的一种桩型。根据受力需要，桩身可放置不同深度的钢筋笼，也可不配钢筋。桩的直径可根据设计需要确定^[1]。

2.1.1.3 钢桩

主要分为钢管桩、型钢桩和钢板桩三种^[2]。

钢管桩由各种直径和壁厚的无缝管制成，不但承载力高，刚度大，而且韧性好，易贯入，具有很高的竖向承载能力和水平抗力；桩长也易于调节，接头可靠，容易与上部结构结合；但其价格昂贵(约为混凝土桩的 3~4 倍)，现场焊接质量要求严格，使用时施工成本高。

型钢桩与钢管桩相比，断面刚度小，承载能力和抗锤击性能差，易横向失稳，但穿透能力强，沉桩过程挤土量小，且价格相对便宜，有重复利用的可能，常用断面形式为 H 形和 I 形。

钢板桩的承载力高，重量轻，可以打入较硬的土层和砂层，且施工方便，速度快，主要用于临时支挡结构或永久性的码头工程，常用断面形式为直线形、U 形、Z 形、H 形和管形。

2.1.1.4 组合桩

组合桩是一种由两种或两种以上材料组合而成的桩,如混凝土桩和木桩的组合,在钢管桩内填充混凝土,在旋喷或搅拌形成的水泥土中植入型钢、电线杆或PHC管桩^[12]等,以充分发挥各种材料的性能和降低造价。近年来,这类桩型的工程应用已取得了进展。

2.1.2 按成桩时对地基土的影响程度分类

2.1.2.1 非挤土桩

非挤土桩也称置换桩,包括干作业挖孔桩、泥浆护壁钻(冲)孔桩、套管护壁灌注桩、抓掘成孔桩和预钻孔埋桩等。这类桩在成桩过程中,会把与桩体积相同的土排除,桩周土仅受轻微扰动,但会有应力松弛现象,而废泥浆、弃土运输等可能会对周围环境造成影响。

2.1.2.2 部分挤土桩

包括开口钢管桩、型钢桩、钢板桩、预钻孔打入桩和螺旋成孔桩等。在这类桩的成桩过程中,桩周土仅受到轻微扰动,其原始结构和工程性质变化不明显。

2.1.2.3 挤土桩

包括各种打入、压入和振入桩,如打入的预制方桩、预应力管桩和封底钢管桩,各种沉管式就地灌注桩。在这类桩的成桩过程中,桩周围的土被压密或挤开,土层受到严重扰动,土的原始结构遭到破坏而影响到其工程性质,而且挤土效应有时会导致地面隆起和土体的侧向位移,对周边环境产生影响当施工质量好、方法得当时,挤土桩单方混凝土所提供的承载力较非挤土桩和部分挤土桩高。

2.1.3 按桩的功能分类

2.1.3.1 抗压桩

在一般工业与民用建筑中,桩所承受的荷载主要为上部结构传来的竖向荷载。按桩的承载性状可分为:

(1) 摩擦型桩:指桩顶荷载全部或主要由桩侧阻力承担。根据侧阻力分担外荷载的比例,又可分为纯摩擦桩和端承摩擦桩;

(2) 端承型桩:指桩顶荷载全部或主要由桩端阻力承担。根据端阻力发挥的程度和分担外荷载的比例,又可分为纯端承桩和摩擦端承桩。无论是端承摩擦桩还是摩擦端承桩,其端阻和侧阻分担荷载的大小均与桩径、桩长、桩周土层情况和持力层刚度有关。

2.1.3.2 抗拔桩

主要用来承受竖向上拔荷载,如船坞抗浮力桩基、送电线路塔桩基、高层建筑附属地下车库桩基以及污水处理厂水处理建(构)筑物桩基,其外部上拔荷载主要由桩侧阻力承担。

2.1.3.3 水平受荷桩

主要用来承担水平方向传来的外部荷载,如承受地震或风所产生的水平荷载。港口码头工程用的板桩、基坑支护中的护坡桩等都属于这类桩。桩身刚度大小是其抵抗弯矩力的重要保证。

2.1.3.4 复合受荷桩

既承受竖向荷载,又承受水平荷载,且荷载均较大的桩。

2.1.4 按成桩方法分类

2.1.4.1 打(压)入桩

主要指预制桩。成桩方法是按预定的沉桩标准,以锤击、振动或静压方式将桩沉入地

层至设计标高。为减小沉桩阻力和沉桩时的挤土影响,可辅以预钻孔沉桩或中掘方式沉桩,当地层中存在硬夹层时,也可辅以水冲方式沉桩,以提高桩的贯入能力和沉桩效率。施工机械包括自由落锤、蒸汽锤、柴油锤、液压锤和静力压桩机等。我国目前常见的打入桩有钢筋混凝土预制桩和钢桩,主要以柴油锤施打。

2.1.4.2 就地灌注桩

直接在地基土上用钻、冲、挖等方式成孔,就地浇注混凝土而成的桩。按成孔工艺主要分为:

(1) 沉管灌注桩:采用无缝钢管作为桩管,以落锤、柴油锤或振动锤按一定的沉桩标准将其打入土层至设计标高,然后灌注混凝土,灌注混凝土过程中,边锤击或边振动,边拔管,至最后成桩。沉管桩适用于不存在特殊硬夹层的各类软土地基,其成桩质量受施工水平、土层情况及人员素质等因素的制约,是事故频率较高的桩型之一。

(2) 钻(冲)孔灌注桩:利用机械设备并采用泥浆护壁成孔或干作业成孔,然后放置钢筋笼、灌注混凝土而成的桩。钻孔的机械有冲击钻、螺旋钻、旋挖钻等。它适用于各种土层,能制成较大直径和各种长度,以满足不同承载力的要求;还可利用扩孔器在桩底及桩身部位进行扩大,形成扩底桩或糖葫芦形桩,以提高桩的竖向承载能力。同打入桩相比,钻(冲)孔灌注桩施工工艺复杂,施工过程不易控制,易出现质量问题,且成孔速度慢,工期长,当有泥浆护壁时,泥浆池占地大且污染环境。

(3) 人工挖孔灌注桩:利用人工挖掘成孔,在孔内放置钢筋笼、灌注混凝土的一种桩型。相对钻孔桩和沉管桩,挖孔桩的施工设备简单,对环境的污染少,承载力大且单位承载力的造价便宜,适用于持力层埋藏较浅,地下水位较深,单桩承载力要求较高的工程。这种桩对土层的适用性强,既可用在人工填土层、黏土层、粉土层、砂土层、碎石土层和风化岩层中,又可在黄土、膨胀土和冻土中使用。

(4) 挤扩多支盘灌注桩:是在原有等截面混凝土桩基础上,使用专用液压挤扩支盘设备——挤扩支盘机,经高能量挤压土体而成型支盘模腔,合理地与现有桩工机械配套使用,灌注混凝土而成的一种不等径桩型。由于存在挤扩分支和承力盘的作用,该桩型的侧阻和端阻得到了较大提高,单方混凝土承载力也较其他灌注桩高。分支和承力盘宜在一般黏性土、粉土、细砂土、砾石、卵石和软硬交互土层中成型,但不宜在淤泥质土、中粗砂层及易液化砂土层中分支和成盘。

2.1.5 按桩直径大小分类

小直径桩, $d \leq 250\text{mm}$; 中等直径桩, $250\text{mm} < d < 800\text{mm}$; 大直径桩, $d \geq 800\text{mm}$ 。

2.2 桩的承载机理

桩是埋入土中的柱状、管状、筒状或板状的受力杆件,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^[1,2]。

2.2.1 竖向受压荷载作用下的单桩

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