



桩基工程检测手册

ZHUANGJI GONGCHENG
JIANCE SHOUCE

● 罗骥先 王五平 主 编

第三版



人民交通出版社
China Communications Press

Zhuangji Gongcheng Jiance Shouce

桩基工程检测手册

第三版

罗骥先 王五平 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

桩基础工程的试验和质量检验评定是一项重要工作。本手册是将近年来有关桩基工程检测方面的各类方法汇总编撰而成。本手册包括以下内容:概论,灌注桩成孔质量检测,桩基静载试验,桩基低、高应变动力检测,桩基承载力静动法(Statnamic)检测,灌注桩声波法检测,灌注桩试件强度检验与钻芯法检测,水泥土搅拌桩检测,碎石桩检测。书中对每种检测方法的原理、仪器设备、步骤、检测结果的处理与分析均进行了较为详细的叙述,并列出了每种方法的工程应用实例。

本手册除了介绍传统的、现行的测试方法外,还汇集了当前桩基检测工作中许多新技术和新设备,如桩承载力自平衡测试法、灌注桩 CT 扫描成像技术、静动法等技术,以及最新的各类检测设备。

本手册是一本实用性强、内容全面的工具书,是从事桩基工程设计、施工、监理、检测等技术人员的实用参考书,也可作为高等院校土木工程专业的选修课教材及桩基检测人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

桩基工程检测手册/罗骥先,王五平主编. —3 版.

—北京:人民交通出版社,2010.8

ISBN 978-7-114-08479-9

I. ①桩… II. ①罗… ②王… III. ①桩基础—检测—技术手册 IV. ①TU473.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 148083 号

书 名:桩基工程检测手册(第三版)

著 作 者:罗骥先 王五平

责任编辑:吴有铭 李 农

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盛通印刷股份有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:30

字 数:755千

彩 插:2

版 次:2010年8月 第3版

印 次:2010年8月 第1次印刷 累计第5次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08479-9

印 数:9001~13000册

定 价:78.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《桩基工程检测手册》(第三版)

编委会

主编:罗骐先 王五平

委员:(以姓氏笔画为序)

王五平	王雪峰	宋人心	宋智通
吴有铭	罗骐先	周国钧	金初阳
盛崇文	龚维明	傅翔	

前 言

随着我国工程建设事业的蓬勃发展,桩基础在高层建筑、桥梁、重型厂房、港口码头、海上采油平台,以及核电站等大型工程中大量采用,已成为我国工程建设中最重要的一种基础形式。桩基础工程的造价通常占土建工程总造价的1/4以上。桩基础工程的质量直接关系到整个建筑物的安危。桩基础通常在地下或水下,属隐蔽工程。桩基础施工程序繁,技术要求高,施工难度大,容易出现质量问题。因此,桩基础工程的试验和质量检验尤为重要,设计前、施工中和施工后都要进行必要的试验和检验。随着我国基本建设的迅猛发展,桩基础的大量应用,从事桩基础工程检测的队伍也日益壮大。

随着科学技术的发展,桩基工程检测技术也在不断更新和提高,新的理论、新的方法将不断涌现。本手册是将有关桩基工程检测方面的各类方法汇总编写而成。为了力求全面、完整和实用,书中对每种检测方法的原理、仪器设备、步骤、检测结果的处理与分析均作了较为详细的叙述,并列举了每种方法的工程应用实例。本手册除了介绍传统的测试方法外,也汇集了当前桩基检测工作中许多新的技术和设备,如桩基承载力自平衡法测试、灌注桩CT扫描成像技术、桩基承载力静动法检测等,以及最新的各类检测设备。本手册中的桩基工程大多指的是刚性桩,如钢桩、钢筋混凝土桩;同时也含用于复合地基的柔性桩,如水泥土搅拌桩、碎石桩。

本手册包括以下内容:概论;灌注桩成孔质量检测;桩基静载试验;桩基低应变动力检测;桩基高应变动力检测;桩基承载力静动法(Statnamic)检测;灌注桩声波法检测;灌注桩试件强度检验及钻芯法检测;水泥土搅拌桩检测;碎石桩检测。附录包括各类检测的有关规程。

自本书第二版出版以来,桩基工程检测方面的许多标准进行了修订,一些新标准颁布实施,特别是检测技术及设备发展迅速,第三版针对上述变化作了修订。由于低应变动力检测法中的水电效应法已较少使用,新近颁布的标准不再提低应变动力检测单桩承载力,因此第三版删除了这两部分内容。

本书是一本实用性较强的手册,希望能对从事桩基工程设计、施工、监理,特别是从事检测工作的人员有所帮助,也可作为高等院校土木工程专业的参考书或选修课教材。

本书第一、七章由南京水利科学研究院罗骥先(教授级高工)编写;第二章由南京水利科学研究院傅翔(高级工程师)编写;第三章由东南大学龚维明(教授)编写;第四章由南京水利科学研究院王五平(教授级高工)编写;第五章由武汉岩海公司王雪峰(教授)编写;第六章由南京水利科学研究院宋智通(高级工程师)、

金初阳(教授级高工)编写;第八章由南京水利科学研究院宋人心(高级工程师)编写;第九章由原冶金部建筑研究总院周国钧(教授级高工)编写;第十章由南京水利科学研究院盛崇文(教授级高工)编写。本书第三版由罗骥先(教授级高工)、王五平(教授级高工)主编。南京水利科学研究院唐修生参加了本书第一版书稿的整理、汇编工作。

本书得到南京水利科学研究院出版基金的资助;人民交通出版社为本书作了精心编排。

在本书编写过程中,许多单位和个人给予了热情支持和帮助,提供了许多宝贵的资料。在此谨向他们表示深切的感谢。

桩基工程检测技术内容广泛,发展迅速,限于篇幅及作者水平,书中缺点、错误及不当之处在所难免,尚望读者批评指正。

罗骥先
二〇一〇年五月
于南京秦淮河畔

目 录

第一章 概论	1
第一节 桩基的分类	1
第二节 桩基工程常见的质量问题	3
第三节 桩基工程的检测	5
第二章 灌注桩成孔质量检测	8
第一节 成孔质量检验标准	8
第二节 成孔质量检测	11
第三节 成孔质量检测工程实例	28
第三章 桩基静载试验	33
第一节 常规静载试验	33
第二节 桩承载力自平衡测试法	45
第四章 桩基低应变动力检测	63
第一节 概述	63
第二节 反射波法	67
第三节 机械阻抗法	99
第五章 桩基高应变动力检测	117
第一节 波动方程半经验解析解法(CASE 法)	118
第二节 CASE 法改进及 CASE 综合分析法讨论	121
第三节 波动方程拟合分析法本构模型	127
第四节 波动方程拟合分析法计算原理	132
第五节 拟合步骤及拟合参数影响	135
第六节 拟合法讨论及应用实例	138
第七节 高应变法桩基动测系统	141
第八节 现场测试技术	144
第六章 桩基承载力静动法(Statnamic)检测	155
第一节 基本原理	156
第二节 静动法确定桩承载力	157
第三节 静动法试验装置和试验过程	159
第四节 静动法试验曲线分析	159
第五节 工程实例	161
第六节 静动法的适用范围	164
第七章 灌注桩声波法检测	166
第一节 概述	166
第二节 声学原理	167
第三节 混凝土声学参数与测量	185

第四节	非金属超声检测设备	198
第五节	超声法检测混凝土质量	207
第六节	超声法检测混凝土灌注桩混凝土质量	221
第七节	灌注桩声波层析成像(CT)技术及串式换能器	240
第八章	灌注桩试件强度检验与钻芯法检测	246
第一节	混凝土试件强度检验	246
第二节	灌注桩钻芯法检测	251
第九章	水泥土搅拌桩检测	274
第一节	水泥土搅拌桩概述	274
第二节	水泥土搅拌桩的强度检验	289
第三节	轻型动力触探检测法	292
第四节	取芯检测法	298
第五节	竖向静力载荷试验法	301
第十章	碎石桩检测	311
第一节	概述	311
第二节	载荷试验	311
第三节	动力触探检测桩身密实度	313
第四节	工程实例	313
附录一	中华人民共和国行业标准《建筑基桩检测技术规范》 (JGJ 106—2003)	319
附录二	中国工程建设标准化协会标准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》 (CECS 21:2000)	404
附录三	江苏省工程建设标准《基桩自平衡法静载试验技术规程》 (DGJ32/TJ 77—2009)	427
附录四	中华人民共和国交通行业标准《基桩静载试验 自平衡法》 (JT/T 738—2009)	451
参考文献		466

第一章

概论

桩基础是最古老的基础形式之一。早在新石器时代,人类在湖泊和沼泽地里栽木桩搭台作为水上住所。我国在汉朝已用木桩修桥。到宋代,桩基技术已比较成熟。上海市的龙华塔和山西太原市晋祠圣母殿都是现存的北宋年代修建的桩基建筑物。早期的桩多为木桩。

19 世纪 20 年代开始使用钢板桩修筑围堰和码头。到 20 世纪初,美国出现了各种形式的型钢,在密西西比河上的钢桥开始大量采用钢桩基础,其后在世界各地逐渐推广,并逐渐发展成为包括钢桩、钢板桩、钢管桩及异形断面钢桩等类型。

20 世纪初钢筋混凝土预制构件问世后,出现了钢筋混凝土预制桩。我国从 20 世纪 50 年代开始生产预制钢筋混凝土桩,多为方桩,以后又广泛采用抗裂能力高的预应力钢筋混凝土桩。1949 年,美国雷蒙德混凝土桩公司最早用离心机生产预应力混凝土管桩。20 世纪 60 ~ 70 年代,我国也研制生产出大型的预应力钢筋混凝土管桩,并将其应用于桥梁、港口工程中。

以混凝土或钢筋混凝土为材料的另一种类型的桩是就地灌注混凝土桩。20 世纪 20 ~ 30 年代已出现沉管灌注混凝土桩。20 世纪 30 年代上海修建的一些高层建筑的基础就曾采用过沉管灌注混凝土桩。随着大型钻孔机械的发展,出现了钻孔灌注桩。20 世纪 50 ~ 60 年代,我国的铁路和公路桥梁就开始大量采用钻孔灌注桩和挖孔灌注桩。随着桩基施工技术的提高,灌注桩的桩径、桩长也不断增大。目前我国桥梁工程中最大桩径已超过 5m,基桩入土深度已达 100m 以上。

由于钻孔灌注桩的出现,桩的直径日益增大,以致很难对桩、柱和墩给出明确的界限。本章中桩的分类暂不考虑桩尺寸的影响。

第一节 基桩的分类

根据桩本身的力学特性可把桩分为两大类:柔性桩和刚性桩。柔性桩桩体本身由柔性或半柔性材料构成,多用于复合地基中。目前工程中常常采用的水泥土搅拌桩、碎石桩属于这一类。刚性桩桩体本身由刚性材料构成,其本身可构成一受力构件。工程上所谓的“桩”大多指的是刚性桩。按不同的分类方法可把桩分为若干类。

一、按成桩方法对土层的影响分类

不同成桩方法对周围土层的扰动程度不同,直接影响到桩承载能力的发挥和计算参数的选用。一般按成桩方法可分为挤土桩、部分挤土桩和非挤土桩三类。

1. 挤土桩,也称排土桩。在成桩过程中,桩周围的土被挤密或挤开,使周围的土层受到严重扰动,土的原始结构和工程性质有很大改变。这类桩主要包括打入或压入的木桩、混凝土桩;打入的封底钢管桩和混凝土管桩;沉管式灌注桩等。

2. 部分挤土桩,也称微排土桩。在成桩过程中,桩周围的土仅受到轻微的扰动,土的原始结构和工程性质变化不明显。这类桩主要包括打入的小截面工字型或 H 型钢桩、钢板桩、开

口式钢管桩和螺旋桩等。

3. 非挤土桩,也称非排土桩。在成桩过程中,将与桩体积相同的土挖出,因而桩周围的土较少受到扰动,但有应力松弛现象。这类桩主要包括各种类型的挖孔和钻孔灌注桩、井筒管桩和预钻孔埋桩等。

二、按桩材分类

根据桩的材料,可分为木桩(包括竹桩)、钢桩、混凝土桩(包括钢筋混凝土桩)和组合桩。

1. 木桩。天然圆木或加工后的方木作为桩。

2. 钢桩。早期使用的是铸铁板桩,现在使用的主要为型钢和钢管两大类。型钢有各种形式的板桩,主要用作临时支挡结构或永久性码头工程。钢管桩由各种直径和壁厚的无缝钢管制成。

3. 混凝土桩。混凝土桩是目前世界各地应用最广泛的桩。它可分为预制混凝土桩和就地灌注混凝土桩两大类。

预制混凝土桩是在预制厂或施工现场附近预先制作,配置钢筋,一般为边长 250 ~ 600mm 的方桩,单节长度 10 ~ 20m,可根据需要连接成各种长度。为减少钢筋用量和提高抗裂能力,后来又发展了预应力钢筋混凝土桩。除了常用的方桩,还有利用离心原理生产的大尺寸的预应力钢筋混凝土管桩。预制桩一般是打入或压入地下。

就地灌注混凝土桩需要在设计位置上成孔,根据桩受力情况放入不同深度的钢筋笼,然后灌注混凝土成桩。灌注桩桩径从 600mm 到数米,长度可达百米以上。

4. 组合桩。组合桩是指一根桩用两种材料组成,如泥面以下用木桩,水中部分用混凝土桩。这种桩早期曾用,现在已很少使用。

三、按桩的功能分类

按桩的功能主要为承受轴向垂直荷载、水平荷载或两种兼而有之,可把桩分为抗轴向压桩、抗横向压桩和抗拔桩。

1. 抗轴向压桩

一般的工业民用建筑和桥梁的基桩,在正常条件下(不考虑地震),主要承受从上部结构传来的垂直荷载。抗轴向压桩进一步按桩的荷载传递机理又划分为:

(1)摩擦桩。外部荷载主要通过桩身侧表面与土层的摩阻力传递给周围的土层,桩尖部分承受的荷载很小,一般不超过 10%。这类桩基的沉降较大。

(2)端承桩。通过软弱土层后桩尖嵌入基岩的桩,外部荷载通过桩身直接传给基岩,桩的承载力主要由桩的端部提供,一般不考虑桩侧摩阻力的作用。

(3)端承摩擦桩。在荷载作用下,桩的端阻力和侧壁摩阻力都同时发挥作用。这也是最常用的桩。这类桩的端阻力和侧阻力所分担荷载的比例与桩径、桩长、软土层的厚度,以及持力层的刚度有关。若进一步划分,这类桩又可分为端承摩擦桩(侧摩阻力成分居多)和摩擦端承桩(端阻力成分居多)。

2. 抗横向压桩

桩身要承受弯矩,其整体稳定性则靠桩侧土的被动土压力或水平支撑和拉锚来平衡。港口码头工程用的板桩,基坑的支护桩等都属于该类桩,主要承受作用在桩上的水平荷载。

3. 抗拔桩

主要抵抗作用在桩上的抗拔荷载,如水下抗浮力桩基、牵缆桩基、输电塔、发射塔桩基、桥梁工程的锚桩等。

当然,许多建筑物的桩要求同时承受轴向荷载和水平荷载,或同时要考虑拉和压的作用。

四、按成桩方法分类

随着科学技术和施工机械的发展,不断出现一些新的成桩方法和工艺,这里仅介绍常用成桩方法所形成的桩。

1. 打入桩。

将预制桩用击打或振动的方法打入地层至设计标高。打入的机械有自由落锤、蒸汽锤、柴油锤、压缩空气锤和振动锤等。遇到难于通过的较坚实的地层时,可辅之以射水枪。预制桩包括木桩、混凝土桩和钢桩。

2. 就地灌注桩。

按成孔的工艺又可分为以下若干类:

(1) 沉管灌注桩。将钢管(钢壳)打入土层到设计标高,然后灌注混凝土。灌注混凝土过程中可逐渐将钢管拔出。

(2) 钻孔灌注桩。使用机械成(钻)孔,一般设有护壁或泥浆护壁,不扰动周围土层。钻孔的机械有冲击钻、旋转钻(还可分为正循环、反循环等)、长螺旋和短螺旋等,适用于不同的土层。

(3) 人工挖孔灌注桩。人工取土成孔,类似古代的打井方式,一般采用砖护壁或不护壁,多用于短粗桩,但也有用于桩长 20 多米的情形。在黄土地区用洛阳铲取土成孔的桩也可归入此类。

(4) 夯扩桩、复打桩、支盘桩、树根桩等。为提高灌注桩的承载力,可用管内锤击法或扩孔器将桩的端部扩大,也可将桩身局部扩大,借以改变受力状况。形成扩底的为夯扩桩;桩身出现多个“突起”的为支盘桩;桩身直径小,在土中呈多方向的为树根桩等。

3. 静压桩。利用无噪声的液压机械将预制桩压至设计标高。

4. 螺旋桩。在木桩或混凝土桩的端部安装有螺旋钻头,借旋转机械将桩拧入土层至设计标高。这种桩现已较少使用。

5. 水泥土搅拌桩,又可分为深层搅拌桩和粉喷桩。这种桩是利用特制的深层搅拌机械,将水泥、土混合在一起搅拌施工成桩,属复合地基的柔性桩。

6. 碎石桩。在软基中设置一群碎石桩体,碎石桩体和原来的软基共同组成复合地基,也属于复合地基柔性桩。

第二节 桩基工程常见的质量问题

桩基工程是隐蔽工程,施工难度大、技术要求高,许多情况还是水下灌注混凝土,容易出现质量问题。现就不同类型的桩作一简要叙述。

一、沉管灌注桩

沉管灌注桩分为锤击沉管、振动沉管和压力沉管三种工艺。这种桩质量不够稳定,施工故障率高。其主要问题有:

1. 锤击或振动过程的振动力向周围土体扩散,沉管周围的土体以垂直振动为主,而一定距

离后的土层水平振动大于垂直振动,再加上侧向挤土作用,极易振断初凝的邻桩,软硬土层交界处尤为严重。

2. 若管距小于三倍桩径,沉管过程可能会使地表土体隆起,从而在邻桩桩身产生一竖向拉力,使初凝混凝土拉裂。

3. 拔管速度过快,管内混凝土灌注高度过低,不足以产生一定的排挤压力,在淤泥层易产生缩颈。

4. 地层存在有承压水的砂层,砂层上又覆盖有透水性差的黏土层时,孔中灌注混凝土后,由于动水压力作用,沿桩身至桩顶出现冒水现象,冒水桩一般都会演变成断桩。

5. 振动沉管采用活瓣桩尖时,活瓣张开不灵活,混凝土下落不畅,引起断桩或混凝土密实度差的现象时有发生。当桩尖持力层为透水性良好的砂层时,若沉管和混凝土灌注不及时,易从活瓣的合缝处渗水,稀释桩尖部分的混凝土,使得桩端阻力丧失。

6. 预制桩尖混凝土质量不满足要求,沉管时被击碎塞入桩管内,拔管至一定高度后,桩尖下落且被孔壁卡住,桩身的下段无混凝土,产生俗称的“吊脚桩”。

7. 钢筋笼埋设高度控制不准。

二、冲、钻孔灌注桩

在地下水位较高的场地进行灌注桩施工时,成孔方法有冲抓式、旋挖式、冲击式、回转式和潜钻式等。成孔过程采用就地造浆或制备泥浆护壁,以防止孔壁坍塌。混凝土灌注采取带隔水栓的导管水下灌注混凝土工艺。灌注过程操作不当容易出现以下问题:

1. 由于停电或其他原因,灌注混凝土没有连续进行,间断一定时间后,隔水层凝固,形成硬壳,后续混凝土无法下灌,只好拔出导管,一旦泥浆进入管内必然形成断桩。而如用增大管内混凝土压力等办法冲破隔水层,形成新的隔水层,破碎的老隔水层混凝土必将残留在桩身中,造成桩身局部混凝土低劣。

2. 水下灌注混凝土的桩径不宜小于 600mm。桩径过小,由于导管和钢筋笼占据一定空间,加上孔壁摩擦作用,混凝土上升不畅,容易堵管,形成断桩或钢筋笼上浮。

3. 泥浆护壁成孔,对不同土层,应配制不同密度的泥浆,否则孔壁容易坍塌。

4. 正循环法清孔时,应根据孔的深浅,控制洗孔时间或孔口泥浆密度。清孔时间过短,孔底沉渣太厚,将影响桩端承载力发挥。

5. 混凝土和易性不好时,易产生离析现象。

6. 导管连接处漏水时将形成断桩。

三、人工挖孔灌注桩

在地下水丰富的场地采用人工挖孔灌注桩容易发生以下质量问题:

1. 地下水渗流严重的土层,易使土壁崩塌,土体失稳塌方。

2. 土层出现流沙现象或有动水压力时,护壁底部土层会突然失去强度,泥土随水急速涌出,产生井涌,使护壁与土体脱空,或引起孔形不规则。

3. 挖孔时如果边挖边抽水,地下水位下降时,护壁易受到下沉土层产生的负摩擦作用,使护壁受到拉力,产生环向裂缝,护壁所受的周围土压力不均匀时,又将产生弯矩和剪力作用,易引起垂直裂缝。而桩制作完毕,护壁和桩身混凝土结为一体,护壁是桩身的一部分,护壁裂缝破损或错位必将影响桩身质量和侧阻力的发挥。

4. 孔较深时,若没有采用导管灌注混凝土,混凝土从高处自由下落易产生离析。
5. 孔底水不易抽干或未抽干情况下灌注混凝土,桩尖混凝土将被稀释,降低桩端承载力。

四、混凝土预制桩

混凝土预制桩大多用柴油锤、蒸汽锤或自由落锤打入土中。打桩过程容易发生以下质量问题:

1. 打桩时应选用合适的锤垫和桩垫。垫层过软会降低锤击能量的传递,打入困难;垫层过硬,增大锤击应力,容易击碎桩头。一般最大锤击应力不容许超过混凝土抗压强度的 65%。
2. 打桩的拉应力易引起桩身开裂。打桩拉应力的产生及大小与桩尖土的特性、桩侧土阻力分布、入土深度、锤偏心程度和垫层特性有关。若桩较长,桩尖土质较差,锤击入射压力应力波从桩尖反射为拉力波,最大拉应力大多发生在打桩初期桩身中部一定范围,约(0.3~0.7)倍桩长位置;当桩尖土质较坚硬,入射波在桩尖的反射仍为压力波,压力波传至桩顶,此时锤已回跳离开桩顶,应力波因而就从自由桩顶反射形成拉力波,这时最大拉应力一般发生在桩的上部。当拉应力超过混凝土抗拉强度时,混凝土将开裂。
3. 桩锤选用不合适,桩将难于打至预定设计标高或不满足贯入度要求。
4. 桩头钢筋网片设置、配筋不符合要求或桩顶混凝土保护层过厚,桩顶不平,桩身混凝土强度等级低于设计要求等,打桩时都易击碎桩头。
5. 桩距设计不合理,或打桩次序安排不合理,往往导致打桩时将邻近桩挤压折断。
6. 桩在运输、起吊过程中,支点和吊点的选择、配置不合理,导致桩身断裂。
7. 桩尖遇到硬土层、孤石或障碍物,因锤击次数过多,冲击能量过大引起桩身破裂或折断。

第三节 桩基工程的检测

鉴于桩基工程的重要性,设计工作需要校核。桩基础在施工中容易出现各种质量问题,因此桩基工程的试验、检测、验收工作非常重要。其试验、检测、验收的手段就是对桩基础进行原位检测和对混凝土的取样检测。

检测工作包括:施工前的检测,目的是为设计及施工方案提供校核、修改的依据;施工中的检测,目的是监督施工过程,保证施工质量,达到设计要求;施工后的检测,目的是对施工质量进行验收、评估和对质量问题的处理提供依据。

一、检测目的及方法

根据检测的目的,可采用不同的检测方法,如表 1-1 所示。

桩基检测方法及检测目的

表 1-1

检测方法	检测目的	检测时间
各类成孔检测法	孔径、垂直度、沉渣厚度	成孔后立即检测
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	桩身混凝土强度达到设计要求; 休止期:砂土,7d;粉土,10d;黏土,非饱和,15d;饱和,25d

续上表

检测方法	检测目的	检测时间
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	同上
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,测定桩身弯矩和挠曲	同上
钻芯法	检测灌注桩桩长、桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度; 判定或鉴别桩底岩土性状,判断桩身完整性类别	28d 以上
低应变法	检测桩身缺陷及其位置,判定桩身完整性类别。受桩长桩径限制,多用于中小桩	混凝土强度达到设计强度的 70%,约 14d 左右
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,判断桩身完整性类别; 分析桩侧和桩端土阻力	同静载试验
静动法	确定桩竖向抗压极限承载力	同静载试验
声波透射法	检测灌注桩桩身混凝土的均匀性、桩身缺陷及其位置,判定桩身完整性类别。不受桩长桩径限制,多用于大中型桩	混凝土强度达到设计强度的 70%,约 14d 左右;或达到一定的强度
动力触探法	现场检测水泥搅拌桩桩身强度; 现场检测碎石桩桩身密实性	水泥搅拌桩:7d 或 7d 以内; 碎石桩:成桩后
取样试件试验	检测混凝土是否达到设计要求的强度等级	28d

二、检测规程

国内有关桩基检测的规程有许多个,有国家标准、行业标准,也有地方标准。行业规范有建筑行业、铁道行业。地方标准,据不完全统计,有上海市、深圳市、浙江省、福建省、广东省等。交通部于 2004 年 11 月 1 日颁布了推荐性行业标准《公路工程基桩动测技术规程》(JTG/T F81-01—2004)。

这些标准中,检测的方法大致相同,但颁布日期、具体内容、运用范围、检测数量、分析方法等均有所不同。这一方面反映了不同行业、不同地区的特点;另一方面从不同颁布时间和内容的差异上,也反映了对桩基检测各种方法认识上的发展、变化。以建筑行业标准为例,《基桩低应变动力检测规程》(JGJ/T 93—95)、《基桩高应变动力检测规程》(JGJ 106—97)曾对全国桩基动测产生了很大影响,使动测技术的运用达到一个新的高潮。2003 年 7 月 1 日建设部新颁布了《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2003),同时废止 JGJ 106—97。与老规程相比,新颁布的《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2003)在内容上有些明显的变化。

(1)把基桩静载试验、钻芯法检测包括进去,形成桩基(刚性)检测的完整规程;

(2)对低应变法只提出检测桩身完整性和判断缺陷的程度和位置,去掉了对承载力、桩长的检测和对桩身混凝土强度等级的估计;

(3)对高应变法的应用范围作出某些限制;

(4)对声波透射法的判断方法作了一些改进;

(5)对抽检数量和验证与扩大检测作了更详细的规定。

《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2003)是这些年来在桩基检测中实践、认识的结果,代表了当前对各种桩基检测方法的一种新的认定。当然,随着科学技术的进步,各种检测方法还会不断发展、提高,也还有更新的检测方法出现,到那时人们的认识也会随之改变。

谈到新的检测方法,目前在测定承载力的自平衡法、静动法以及检测桩身混凝土缺陷的CT扫描就是例证。自平衡法已在包括润扬长江大桥在内的许多工程的桩基承载力检测中运用。交通运输部于2009年颁布了行业标准《基桩静载试验 自平衡法》(JT/T 738—2009)。静动法在国外已进入实用阶段,国内也已引进使用。声波CT扫描已在灌注桩声波检测中试用成功。这些方法有的还没有纳入规程,甚至还没有普遍推广,但作为一种新技术、新方法,本书也专门列出章节予以介绍,希望读者在认识、使用过程中对这些新方法、新技术起到推动和发展的作用。

检测规程中还有许多建筑行业以外的其他行业规程和相当数量的地区规程。这些规程与《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2003)在颁布时间上虽然有前后之分,但这些规程也反映这些行业和地区的特点,以及因这些特点而产生的对各种检测方法的认可程度、应用范围、抽检数量等方面的差异,如交通、铁道行业,桥梁桩基较多,在完整性和缺陷检测中更倾向于声波法的运用。这些差异是一种客观存在,限于篇幅和考虑到有些规程正在或将要修订,因此书中没有一一列出,读者可根据实际情况,查阅有关规程,遵照执行。

第二章

灌注桩成孔质量检测

灌注桩是建筑物常用的基桩形式之一,它将上部结构的荷载传递到深层稳定的土层或岩层上,减少基础和建筑物的不均匀沉降。灌注桩的施工分为成孔和成桩两部分,其中成孔是灌注桩施工中的第一个环节。成孔作业由于是在地下、水下完成,质量控制难度大,复杂的地质条件、施工中的失误等,都有可能导致塌孔、缩颈、桩孔偏斜、沉渣过厚等问题。

成孔质量的好坏直接影响到混凝土浇注后的成桩质量;桩孔径偏小则使得成桩的侧摩阻力、桩尖端承力减小,整桩的承载能力降低;桩孔扩颈将导致成桩上部侧阻力增大,而下部侧阻力不能完全发挥,同时单桩的混凝土浇注量增加,费用提高;桩孔偏斜在一定程度上改变了桩竖向承载受力特性,削弱了桩基承载力的有效发挥,并且孔斜还易产生吊放钢筋笼困难、塌孔、钢筋保护层厚度不足等问题;桩底沉渣过厚使桩长减小,对于端承桩则直接影响桩尖的端承能力。因此,灌注桩在混凝土浇注前进行成孔质量检测对于控制成桩质量显得尤为重要。

目前,我国桩基检测中的成孔质量检测技术尚不普及,但随着行业管理力度的加大、施工水平的提高、监理制度的完善,成孔质量检测作为桩基工程检测中的一个重要部分,将日益受到重视和加强。

第一节 成孔质量检验标准

我国的国家标准以及交通、建筑等行业颁布的有关桩基础施工技术及验收规范中,对混凝土灌注桩成孔质量的检验内容、检验标准、检查方法等提出了具体规定和要求,成孔质量检验的内容包括桩孔位置、孔深、孔径、垂直度、沉渣厚度、泥浆指标等。现摘录国家标准及交通、建筑行业的桩基成孔质量检验标准及检查方法的有关内容如下。

一、国家标准

《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2002)中对灌注桩成孔质量的检验内容、检验标准及检查方法进行了规定^[2]。

(一) 检验内容及检验标准

1. 成孔的桩位、孔径、垂直度允许偏差(表 2-1)

灌注桩的平面位置和垂直度的允许偏差 表 2-1

序号	成孔方法		桩径允许偏差(mm)	垂直度允许偏差(%)	桩位允许偏差(mm)	
					1~3根、单排桩基垂直于中心线方向和群桩基础的边桩	条形桩基沿中心线方向和群桩基础的中间桩
1	泥浆护壁钻孔桩	$D \leq 1000\text{mm}$	± 50	< 1	$D/6$, 且不大于 100	$D/4$, 且不大于 150
		$D > 1000\text{mm}$	± 50		$100 + 0.01H$	$150 + 0.01H$
2	套管成孔灌注桩	$D \leq 500\text{mm}$	-20	< 1	70	150
		$D > 500\text{mm}$			100	150

续上表

序号	成孔方法		桩径允许偏差 (mm)	垂直度允许偏差 (%)	桩位允许偏差 (mm)	
					1~3根、单排桩基垂直于中心线方向和群桩基础的边桩	条形桩基沿中心线方向和群桩基础的中间桩
3	干成孔灌注桩		-20	<1	70	150
4	人工挖孔桩	混凝土护壁	+50	<0.5	50	150
		钢套管护壁	+50	<1	100	200

注:①桩径允许偏差的负值是指个别断面。

②采用复打、反插法施工的桩,其桩径允许偏差不受上表限制。

③ H 为施工现场地面标高与桩顶设计标高的距离, D 为设计桩径。

2. 成孔的孔深、泥浆相对密度、沉渣厚度指标

(1)孔深允许偏差为+300mm,只深不浅,嵌岩桩应确保进入设计要求的嵌岩深度;

(2)泥浆相对密度(黏土或砂性土中)允许值为1.15~1.20;

(3)沉渣厚度允许值:端承桩 ≤ 50 mm,摩擦桩 ≤ 150 mm。

(二) 检查方法(表2-2)

成孔质量检查方法

表2-2

项目	桩位	孔深	垂直度	桩 径	泥浆相对密度	沉 渣 厚 度
检查方法	基坑开挖前量护筒,开挖后量桩中心	只深不浅,用重锤测,或测钻杆、套筒长度	测套管或钻杆,或用超声波探测,干施工时吊垂球	井径仪或超声波检测,干施工时用钢尺量,人工挖孔桩不包括内衬厚度	用比重计测,清孔后在距孔底50cm处取样	用沉渣仪或重锤测量

二、行业标准

(一) 交通行业标准

《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)中对钻、挖孔混凝土灌注桩的成孔质量检验内容、检验标准及检查方法作出了规定^[11]:

1. 钻、挖孔在终孔和清孔后,应进行孔位、孔深检验。

2. 孔径、孔形和倾斜度宜采用专用仪器测定,当缺乏专用仪器时,可采用外径为钻孔桩钢筋笼直径加100mm(不得大于钻头直径),长度为4~6倍外径的钢筋检孔器吊入钻孔内检测。

3. 钻、挖孔成孔的质量标准(表2-3)。

钻、挖孔成孔质量标准

表2-3

项 目	允 许 偏 差
孔的中心位置(mm)	群桩:100;单排桩:50
孔径(mm)	不小于设计桩径
倾斜度	钻孔:小于1%;挖孔:小于0.5%
孔深	摩擦桩:不小于设计规定; 支承桩:比设计深度超深不小于50mm