

# 桩基检验手册

徐攸在  
编著

中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 桩基检验手册

徐攸在 编著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书介绍了桩基检验的各种方法和原理。共13章：绪论；桩基的一般规律；超声波法检测桩的完整性；频域法检测桩的完整性；时域法检测桩的完整性；钻孔取芯法检测桩的完整性；桩身材料的检验；静荷载试验检验桩承载力；频域法检测桩的承载力；时域法检测桩的承载力；凯斯法检测桩的承载力；CAPWAP法检测桩的承载力；静动法检测桩的承载力。

本书可供桩基设计、施工、检测和监理人员使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

桩基检验手册/徐攸在编著. —北京：中国水利水电出版社，1999  
ISBN 7-5084-0172-7

I. 桩… II. 徐… III. 桩基础-经验-手册 IV. U443.15-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 64514 号

书 名	桩基检验手册
作 者	徐攸在 编著
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	水利电力出版社印刷厂
规 格	850×1168 毫米 32 开本 5.875 印张 113 千字
版 次	1999 年 12 月第一版 1999 年 12 月北京第一次印刷
印 数	0001—5100 册
定 价	18.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

桩基是各种建筑物的基础形式之一，属于隐蔽工程范围，它的质量优劣直接关系到整个建筑物的安危。正因为桩基是隐蔽工程，所以其检测和事故后的处理均较困难，因此需要在设计前和施工后都进行必要的试验和检测，以保证桩基工程的质量。

目前，桩基在我国的建设工程中应用很广泛，但迄今尚没有一本适合我国近代桩基工程检验的统一规定。从某些桩基工程事故来看，其原因固然与桩基的质检不严、检验方法不当、测试水平不高以及疏于监理等有关，但也与缺乏统一的桩基检验标准有关。本书正是有鉴于此而编写的，希望对从事于桩基设计、施工、检测和监理工作的人员有所帮助。作者虽然从事桩基工程多年，但不可能面面俱到，只能尽自己的知识水平编写此书，不当之处，在所难免，望广大读者予以指正。

本书是一本有关桩基检验的较实用和精练的手册，不涉及过多的理论，但简要地说明了各种检测方法的原理。本书遵照并引用了各有关国家标准、规程和有关规定，但也不完全拘泥于这些规定，作者对有些规程中的某些明显错误作了修正或补充。本书仅适用于大量的垂直受荷的桩基，不涉及水平受荷的桩和挡土的板桩等，对于这些桩，读者可参考本书有关内容，另行考虑。

检验桩的方法，传统的有：超声波法、钻孔取芯法和静荷载试验法等，但这些传统方法都存在一定的缺点，如超声波法要预埋管，从而使施工单位事先有所准备，失去了对桩质量抽检的意义；钻孔取芯法，对桩身有一定损害，不属于非破损性检验；静荷载试验法虽能提供较为可靠的承载力资料，但耗费过大，周期长，难以满足桩基工程的需要。近20年来，桩的动测技术得到了迅速的发展，成为非破损性检测桩的有力武器，有的方法已广泛地应用于工程中，并取得了良好的效果。本书对各种动测方法以及传统的检测方法都予以了介绍，本书对所介绍的各种方法的优缺点不予以评论，但作者提醒读者，必须根据桩基工程的特点，选择适当的测试方法，并且要符合该方法所要求的适用条件。考虑到技术的发展和应用的范围，本书未介绍波动方程法中的史密斯(Smith)法和我国的锤击贯入法，需要时，读者可查阅有关的专门资料和文献。当然，桩的检测方法和技术肯定会有新的发展和改进，所以本书中所介绍的内容虽然在目前还是比较先进的，但可以预料，随着时间的推移，有些内容肯定将会被淘汰。

本书共分13章。第一章至第二章，介绍桩基的一般规律和桩基检测的一般规定，这对桩基检测·监理以及设计和施工人员来说，都是必须掌握的基本知识；第三章至第七章，介绍目前国内外广泛应用的检测桩完整性的一些主要手段；第八章至第十三章，介绍国内外检测桩承载力的方法，其中，静动法在我国虽然尚未正式应用于桩基工程中，但作者认为，该方法在基本原理和检

测桩承载力的实际效果上有突出的优点，故本书予以介绍。

桩基的检验是一项难度较大的工作，情况比较复杂，很难用一本手册全部概括。多年的实践经验告诉我们，在桩基检验上应该遵循如下原则：在桩基的检测上应该从严，尽可能地将桩的质量问题查细、查明；但对缺陷桩的处理上，则应根据具体情况（如工程性质、实际受荷情况、桩的工作条件、缺陷的严重程度及位置等），本着对人民生命和财产负责的精神，由设计、施工、检测和监理人员共同商讨，分别采取不同的处理措施。

本书在编写过程中，得到了许多单位与个人的热情支持，作者对此表示感谢，尤其是李荣强、吴庆曾、濮存亭、沈保汉等，他们给作者提供了宝贵的资料，作者谨向他们表示深切的谢意。

**徐攸在**

1999年6月25日

## 主 要 符 号

- $A$ ——桩截面面积、振幅  
 $A_m$ ——声波波幅平均衰减值  
 $A_{i,j}$ ——第  $i$  测点第  $j$  次所测波幅值  
 $a$ ——加速度  
 $b$ ——桩截面宽度、直线方程斜率  
 $c$ ——系数、阻尼系数、波速  
 $D$ ——桩扩大端外径、声测管内径  
 $d$ ——桩径、声测管内径、芯样试件直径  
 $d'$ ——换能器外径  
 $E$ ——弹性模量  
 $F$ ——力、内力、芯样试件抗压试验中最大的力  
 $F_a$ ——惯性力  
 $F_d$ ——下行波产生的桩内力  
 $F_v$ ——上行波产生的桩内力、土的静阻力  
 $F_V$ ——阻尼力  
 $f_{stn}$ ——静动力  
 $f$ ——频率  
 $f_{cu}^c$ ——混凝土芯样试件抗压强度  
 $f_{cu,k}$ ——设计要求的混凝土抗压强度标准值  
 $f_{cu,min}^c$ ——混凝土芯样试件抗压强度最小值  
 $H$ ——落距

- $h$ ——回弹高度、混凝土芯样试件高度
- $J$ ——阻尼系数
- $K$ ——安全系数、弹簧常数、声时曲线的斜率
- $K_d$ ——桩土体系的动刚度
- $K_t$ ——桩侧刚度
- $K_s$ ——桩土体系的静刚度
- $L$ ——桩长、两检测管外壁间净距
- $L'$ ——界面距桩顶距离
- $L_{cr}$ ——桩的临界长度
- $M$ ——桩的质量
- $m_{icu}^c$ ——混凝土芯样试件抗压强度平均值
- $m$ ——桩土体系参振质量
- $m_0$ ——穿心锤(或落球)质量
- $N$ ——桩身内力、导纳
- $N_w$ ——波数
- $n$ ——桩数
- $P$ ——桩顶荷载
- $P_a$ ——桩的容许承载力
- $P_b$ ——桩底端阻力
- $P_{cr}$ ——桩的临界荷载
- $P_s$ ——桩侧总摩擦力
- $P_u$ ——桩的极限荷载
- $Q$ ——加荷阶段最大弹性位移
- $Q_m$ ——卸荷阶段桩侧土的最大弹性位移
- $Q_0$ ——激振力幅值



- $Q_u$ ——卸荷阶段桩底土的最大弹性位移
- $R$ ——土阻力
- $R_d$ ——土的动阻力
- $R_L$ ——重新加载水平
- $R_N$ ——负阻力
- $R_r$ ——反射系数
- $R_s$ ——土的静阻力
- $R_t$ ——透射系数
- $R_v$ ——最大静阻力
- $S$ ——桩的沉降量、桩的缺损长度
- $S_{fcu}^c$ ——混凝土芯样试件抗压强度标准差
- $T$ ——周期
- $t$ ——时间、实测声时
- $\bar{t}$ ——平均声时
- $t'$ ——声时修正值
- $t_{i,j}$ ——第  $i$  点第  $j$  次实测声时
- $t_o$ ——声测系统的延迟
- $U$ ——位移
- $v'$ ——速度
- $v'_i$ ——入射波速度
- $v'_r$ ——反射波速度
- $v'_t$ ——透射波速度
- $v$ ——速度
- $v_c$ ——纵波在桩身内的速度
- $v_d$ ——下行波速度

- $v_p$ ——混凝土中纵波速度、声速
- $v_{pm}$ ——混凝土中纵波的平均速度
- $v_t$ ——声测管管壁中的声速
- $v_{toe}$ ——桩尖质点运动速度
- $v_u$ ——上行波速度
- $v_w$ ——水中声速
- $W$ ——位移
- $Z$ ——深度、波阻抗
- $\alpha$ ——水电效应法中换算系数、声波衰减系数、混凝土芯样不同高径比的强度换算系数
- $\beta$ ——系数、静动刚度比
- $\beta_v$ ——调整系数
- $\gamma$ ——容重
- $\varepsilon$ ——回弹系数
- $\eta$ ——桩截面的缺损率、桩的动静刚度测试对比系数
- $\nu$ ——泊松比
- $\xi$ ——动静刚度对比系数
- $\rho$ ——密度
- $\sigma$ ——应力、压强、标准差、均方差
- $\sigma'_A$ ——(相对)波幅标准差
- $\sigma'_t$ ——(相对)声时标准差
- $\sigma_v$ ——声速标准差
- $\omega$ ——圆频率

## 作者简介



**徐攸在** 冶金部建筑研究总院抗震所顾问总工。1956年毕业于哈尔滨工业大学土木系。从事土力学及地基基础的教学、设计及科研工作40多年；在国内外发表论文50多篇；编著出版了《桩的动测新技术》、《盐渍土地基》等专著；科研成果《季节性冻土地基》获全国科学大会奖、《共振试桩法》获中国专利银奖、《盐渍土地基》获国家科技进步奖；并享受政府特殊津贴。

曾担任国际土力学与基础工程协会第三技术委员会委员、中国振动工程学会理事，兼土动力学专业委员会秘书长、中国深基础协会名誉理事、中国《岩土工程学报》编委会副主任等职。

# 目 录

---

前 言

主要符号

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 桩基检测的目的及检测的桩数 .....	2
第二节 桩基检测方法的选择 .....	5
第三节 桩基检测的基本要求 .....	7
第四节 桩基的验收 .....	10
<b>第二章 桩基的一般规律</b> .....	13
第一节 桩的传力机理及桩身应力 .....	13
第二节 群桩的作用 .....	15
第三节 刚性承台的作用 .....	16
第四节 桩承载力的基本概念 .....	18
第五节 桩承载力的离散性 .....	19
第六节 嵌岩桩的承载力 .....	21
第七节 加荷速率对桩承载力的影响 .....	22
<b>第三章 超声波法检测桩的完整性</b> .....	25
第一节 基本原理及适用范围 .....	25
第二节 检测仪器及检测方法 .....	28
第三节 检测结果及其分析 .....	35
第四节 应用实例 .....	39
<b>第四章 频域法检测桩的完整性</b> .....	42
第一节 基本原理及适用范围 .....	42

第二节	检测仪器及检测方法 .....	47
第三节	应用实例及分析 .....	49
<b>第五章</b>	<b>时域法检测桩的完整性 .....</b>	<b>52</b>
第一节	基本原理 .....	52
第二节	测试技术 .....	56
第三节	影响桩顶速度曲线的因素 .....	59
第四节	应用实例 .....	65
<b>第六章</b>	<b>钻孔取芯法检测桩的完整性 .....</b>	<b>70</b>
第一节	概述 .....	70
第二节	检测设备及方法 .....	71
第三节	应用实例 .....	74
<b>第七章</b>	<b>桩身材料的检验 .....</b>	<b>76</b>
第一节	钢桩的材质检验 .....	76
第二节	钢筋混凝土桩的材质检验 .....	78
<b>第八章</b>	<b>静荷载试验检测桩承载力 .....</b>	<b>87</b>
第一节	概述 .....	87
第二节	检测设备及方法 .....	93
第三节	应用实例 .....	96
<b>第九章</b>	<b>频域法检测桩的承载力 .....</b>	<b>100</b>
第一节	基本原理及适用范围 .....	100
第二节	检测仪器及方法 .....	104
第三节	应用实例 .....	105
<b>第十章</b>	<b>时域法检测桩的承载力 .....</b>	<b>109</b>
第一节	基本原理 .....	109
第二节	检测仪器及方法 .....	112
第三节	应用实例 .....	116
<b>第十一章</b>	<b>凯斯 (CASE) 法检测桩承载力 .....</b>	<b>120</b>
第一节	基本原理 .....	120

第二节	检测设备与方法 .....	125
第三节	应用实例及结果分析 .....	134
<b>第十二章</b>	<b>CAPWAP 法检测桩承载力 .....</b>	<b>137</b>
第一节	基本原理及计算步骤 .....	137
第二节	应用实例 .....	144
<b>第十三章</b>	<b>静动法检测桩的承载力 .....</b>	<b>149</b>
第一节	基本原理 .....	150
第二节	检测装置及试验过程 .....	154
第三节	试验结果分析 .....	156
第四节	应用实例 .....	159
主要参考文献	.....	168

# 第一章 绪 论

桩基是应用较广泛的基础形式之一,它可以将荷载通过桩侧的摩阻力、桩底的阻力传到桩底处的持力层上。在有些地区(如软土地区、地震区等),桩基是较可靠的一种基础形式,在一定地质条件下,对某些工程来说,桩基可能成为唯一的选择。但桩基也是较昂贵的基础形式,一根普通的钢筋混凝土桩,根据其桩长和桩径大小,其价格可为 900 元、9000 元,甚至上万元。因此,充分发挥桩的作用,保证满足设计的需要,是桩基工程的关键。

目前,我国桩基施工队伍庞杂,施工工艺各异,施工机具也良莠不齐,桩基的施工质量不佳是较为普遍的问题,甚至有偷工减料的现象,如果不及时查出并采取补救措施,将会对整个工程造成不可估量的损失,这已被许多严重的桩基工程事故所证实,对此不能有任何侥幸的思想。但是,从另一方面来看,我国的桩基工程中,也确实存在着严重的浪费现象,最主要的是没有充分发挥桩的承载力,设计者没有按照规定的程序,根据试验资料提供的桩承载力进行设计,而是按自己保守的估算来设计桩数和桩长等,从而造成了桩基工程的极大浪费,即使随后对工程桩的检测试验结果表明原设计是保守的,也已造成了既成事实。

由此可见,无论从保证桩基工程的质量和需要

还是避免桩基工程的浪费角度考虑，都必须及时进行桩基的检验和测试。本书除了介绍几种传统的检测方法外，还介绍一些近 20 年来新发展的桩的检测方法。采用这些方法，并根据本书所阐明的精神和原则，就可以给桩基设计提供可靠的依据，并保证桩基工程的施工质量。

有的建设单位或设计单位未进行桩基的检验和测试，固然是由于对检测在桩基工程中的重要作用认识不足，但也有的是嫌传统的检测方法（如抽芯、超声波检测、静荷载试验等）成本高、耗时长、数量少，尤其对检测的桩，因施工单位事先可以知道（如超声波检测和静荷载试验），从而使检测结果失去了代表性。因此，本书也介绍一些近 20 年来新发展起来的桩的检测新方法，它们成本较低，耗时少、检测的覆盖面大，使检测结果更具有代表性，并已在国内外桩基工程中得到应用。

另外，还有必要指出，桩基检测的结果虽然可以给桩基的设计和处理提供依据，但是桩的检测与桩基的设计和处理是两回事，后者还要根据工程的具体情况来确定。换句话说，即使某桩的检测结果相同，但在不同的工程中，可能因荷载情况、桩的工作条件、群桩的桩数、工程地质条件等的不同，其设计和处理的结果也不同。

## 第一节 桩基检测的目的 及检测的桩数

### 一、桩基检测的目的

桩基检测的目的主要有两个：一个是为桩基的设计



提供合理的依据；另一个是检验工程桩的施工质量，是否能满足设计要求。

第一个目的通常是通过在建筑现场的试桩上实现的。为了给设计提供合理的依据，试桩可为不同桩径、不同桩长、不同型式、甚至采用不同的施工工艺。

第二个目的则是通过对工程桩抽样检测来达到的。为了使检测结果具有代表性，必须随机抽样检测，并保证有一定的检测数量。如果因种种原因，万不得已而不能进行抽样检测时，也至少应根据现场掌握的施工情况，分别好坏进行检测。

## 二、桩的检测数目

桩的检测数目应根据具体情况来定。桩身材料性质（钢桩、木桩、钢筋混凝土桩）、桩的类别（预制桩、灌注桩）、桩的施工方法（人工挖孔桩、机械成孔桩）、承台下的桩数（独桩、少桩、多桩）、土质条件（土质复杂、土质简单）、地下水条件（水下成孔桩、水上成孔桩）、工程重要性（一般工程、重要工程）、检测的精度以及桩的施工水平等，都对确定检测的桩数有影响。无视具体情况，硬性规定一个检测桩数，显然是不合理的。

我国的 GBJ7—89《建筑地基基础设计规范》规定：对于一级建筑物（如重要的工业与民用建筑物等），在同一条件下（相同的土质条件和相同的桩型）的试桩数量，不宜少于总桩数的 1%，并不应少于 3 根；对于二级建筑物（如一般的工业与民用建筑物）桩基的检测桩数则未作具体规定。而在实际执行上述规定时，往往在不满足同一条件的情况下，均以不少于总桩数的 1% 或 3 根桩