

桩基础设计与检测

ZHUANGJICHU SHEJI YU JIANCE

©王靖涛 丁美英 李国成

华中科技大学出版社
<http://press.hust.edu.cn>

TU473.1
W-433.2

桩基础设计与检测

王靖涛 丁美英 李国成

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

桩基础设计与检测/王靖涛 丁美英 李国成

武汉:华中科技大学出版社,2005年9月

ISBN 7-5609-3401-3

I. 桩…

II. ①王… ②丁… ③李…

III. 桩基础-设计-检测

IV. TU97

桩基础设计与检测

王靖涛 丁美英 李国成

责任编辑:徐正达

封面设计:潘 群

责任校对:刘 竣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:10.25

字数:231 000

版次:2005年9月第1版

印次:2005年9月第1次印刷

定价:14.50元

ISBN 7-5609-3401-3/TU·30

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书系统地阐述了桩基础设计与检测理论。第一部分介绍了桩荷载传递机理、承载力和变形特性、设计原理和方法;第二部分首次运用波传播反问题理论分析了桩基础承载力和完整性的反演问题,给出了确定桩承载力和检测完整性的两个新方法。本书还运用人工神经网络系统,实现了桩基承载力计算的自动化。本书内容新颖,反映了当前桩基设计和应力波检测的最新研究成果;理论联系实际,给出了大量工程实例。本书可供高等院校土木工程专业师生作为教材使用,也可作为有关工程技术人员的参考用书。

前 言

桩基础(简称桩基)是一种古老的基础形式。它的力学原理正确,通过桩的形式可以充分发挥深部土层的承载能力,同时它又具有施工简便的特点,因此桩基不仅延续至今,而且结合现代的施工技术还获得了进一步的发展,成为当前基础工程中一种普遍采用的重要基础形式。

本书主要内容包括两大部分:一是桩的分类、桩荷载传递机理、桩基承载力的确定方法、桩基设计和桩基施工中的一些问题;二是桩基应力波检测理论和方法,包括桩基完整性检测和单桩承载力测定,以及相应的检测技术和工程应用实例。

随着我国建筑工程的高速发展,高层建筑、海港码头、桥梁、重型工业厂房和粮仓等都广泛使用桩基,目前我国每年的用桩量达100万根以上。如何设计好桩基,使之既满足桩承载力和安全性要求,又降低成本,对我国工程建设具有重大意义。同时,随着现代科学技术的发展,桩基的类型、施工工艺和设备、桩基理论和设计方法都有了很大的进展。本书不仅系统地阐述了桩基理论和设计方法,还尽量将国内外的最新科技成果介绍给读者。

桩基深埋于地下,是个隐蔽工程。虽然桩基设计理论和施工方法已有了很大提高,然而,地质条件的复杂性、岩土性质的多变性和现场施工的局限性,致使桩承载力的设计值与桩的实际承载能力有时还有较大的差别,在施工时桩身中也会出现各种缺陷。因此,为了保障桩基的质量,进行桩基检测就十分必要了。长期以来,桩基检测采用的是静荷载试验方法。由于它是破坏性检测,成本高,检测周期长,因此被检测的桩数目较少,难以满足基础工程的广泛需要。随着工程建设规模的扩大和现代科学技术的发展,一种无损检测技术——桩基应力波检测应运而生,并自20世纪80年代以来获得了迅速的发展和广泛的应用,现已成为基础工程建设过程中一个必不可少的组成部分。

桩基应力波检测是一项复杂的高技术。它的理论基础是波传播反问题理论。本书系统地讲述了与桩基应力波检测相关的应力波基础理论,比较全面地评述了国内外桩基应力波检测中应用广泛的主要方法和最新研究成果,详细地介绍了动力验桩的试验和测量技术,并给出了较多的工程实例测量结果。

桩基应力波检测理论比较复杂,影响试验结果的因素较多,需要对桩基质量和承载能力进行综合评价。因此要求检测人员深刻理解、掌握分析理论和测量技术,同时还必须勇于实践,取得经验。这样才能对检测结果作出正确的分析和判断。

编 者

2005年1月

目 录

绪论	(1)
0.1 桩基应用简介	(1)
0.2 桩基应力波检测的发展和应用	(2)
第1章 桩的类型与选型	(5)
1.1 概述	(5)
1.2 桩的分类	(6)
1.2.1 按功能分类	(6)
1.2.2 按桩土相互作用特点分类	(7)
1.2.3 按桩材分类	(7)
1.2.4 按成桩方法分类	(8)
1.3 各类桩的类型、特点与适用条件	(9)
1.3.1 预制桩的类型、特点与适用条件	(9)
1.3.2 灌注桩的类型、特点与适用条件	(12)
1.4 桩型与成桩工艺的选择	(19)
练习题	(21)
第2章 桩基承载力的确定	(22)
2.1 桩荷载的传递机理	(22)
2.2 负摩阻力	(24)
2.3 单桩竖向承载力的确定	(26)
2.3.1 静荷载试验	(26)
2.3.2 按公式计算单桩承载力	(28)
2.4 群桩竖向承载力的确定	(35)
2.4.1 群桩的工作原理	(35)
2.4.2 承台下土对荷载的分担作用	(36)
2.4.3 桩基础的承载力计算	(36)
2.4.4 桩基础的沉降计算	(40)
2.5 桩的水平承载力的确定	(41)
2.5.1 概述	(41)
2.5.2 水平静荷载试验	(42)
2.5.3 按理论计算水平承载力	(45)
2.6 桩基施工中的一些问题	(49)

2.6.1 打入桩	(49)
2.6.2 灌注桩	(50)
练习题	(51)

第3章 桩基础结构设计 (52)

3.1 设计的内容和步骤	(52)
3.2 桩的类型和几何尺寸	(52)
3.3 桩的数量和布置	(54)
3.3.1 桩的数量	(54)
3.3.2 桩的间距	(54)
3.3.3 桩在平面上的布置	(54)
3.4 桩基中各桩的荷载验算	(56)
3.5 桩身结构设计	(57)
3.5.1 钢筋混凝土预制桩	(57)
3.5.2 灌注桩	(58)
3.6 承台设计	(59)
3.6.1 构造要求	(59)
3.6.2 承台计算	(60)
3.6.3 柱下桩基承台弯矩的计算	(60)
3.6.4 柱下桩基础独立承台受冲切承载力的计算	(61)
练习题	(67)

第4章 应力波理论基础 (68)

4.1 振动	(68)
4.1.1 质量-弹簧系统的自由振动	(68)
4.1.2 质量-弹簧系统的强迫振动	(69)
4.1.3 阻尼自由振动	(70)
4.1.4 阻尼强迫振动	(72)
4.2 应力波	(73)
4.2.1 概述	(73)
4.2.2 谐波	(74)
4.2.3 Fourier 变换和信号频谱	(75)
4.3 长杆中的纵波	(78)
4.3.1 控制方程	(78)
4.3.2 杆中谐波	(80)
4.3.3 D'Alembert 解	(80)
4.4 波在边界上的反射和透射	(82)

4.4.1 固定端和自由端的反射	(82)
4.4.2 波在间断面上的反射和透射	(83)
练习题	(84)
第5章 单桩承载力及土性参数的反演	(85)
5.1 Smith 法	(85)
5.1.1 力学模型	(85)
5.1.2 数值计算	(87)
5.1.3 Smith 法的应用与发展	(89)
5.2 Case 法	(91)
5.2.1 基本公式	(91)
5.2.2 承载力的计算	(94)
5.2.3 锤击能量与桩身应力	(96)
5.2.4 土阻力公式的另一个推导方法	(97)
5.3 CAPWAP 法	(98)
5.3.1 力学模型	(99)
5.3.2 土阻力的确定	(100)
5.3.3 CAPWAP 法的应用与改进	(102)
5.4 WANG-PCP 法	(104)
5.4.1 模型参数和数据参数	(104)
5.4.2 反演方法	(105)
5.4.3 土阻力波的动力光弹性实验	(107)
5.4.4 工程应用	(109)
5.5 WANG-PCPN 法	(112)
5.5.1 人工神经网络模型	(113)
5.5.2 网络的建立与训练	(115)
5.5.3 应用实例	(116)
练习题	(117)
第6章 桩基完整性检测	(118)
6.1 声脉冲反射波法	(118)
6.2 测量结果的解释与分析	(120)
6.3 WANG-PIP 法	(129)
6.3.1 波阻抗的反演	(129)
6.3.2 试验验证	(130)
6.4 低应变法的局限性	(132)
练习题	(134)

第7章 桩基应力波检测的试验方法和技术 (135)

7.1 测量的基本知识 (135)

7.1.1 概述 (135)

7.1.2 测量仪表的基本性能 (136)

7.1.3 测量误差 (138)

7.2 传感器 (139)

7.2.1 加速度计 (139)

7.2.2 应变传感器 (140)

7.3 数据采集 (142)

7.3.1 二进制代码 (142)

7.3.2 信号采样 (143)

7.4 数据处理、分析、显示和存储 (146)

7.5 试验方法 (148)

7.5.1 高应变试验方法 (148)

7.5.2 低应变试验方法 (150)

练习题 (152)

参考文献 (153)

绪 论

0.1 桩基应用简介

桩基础(简称桩基)是最古老的基础形式之一。早在有文字记载之前,人类就懂得在地基条件不良的河谷和洪积地带采用木桩来支承房屋。1982年在智利发掘的文化遗址中的桩,距今已有12 000~14 000年。

桩基经久耐用。我国古代许多建造于软弱地基上的重型、高耸建筑以及历史名桥,都是成功地运用了桩基才抵御住无数次地震灾害和海浪冲击而仍不失当年雄姿的。如饱经风霜的上海龙华塔(977年重建)至今仅略有倾斜;山西太原晋祠圣母殿(建于1023—1031年)仍无明显不均匀沉降;而闻名中外的北京市郊卢沟桥(重建于1189—1192年),虽已局部损坏,但尚能承受四百多吨的大型平板车正常运行。这些建筑都是我国古代木制桩基的典范。

为了满足各种结构物的要求,适应各种不同地质条件和施工方法,在工程实践中采用了各种不同类型的桩和桩基础。

根据桩基承台底面位置的不同,可将桩基础分为高桩承台基础和低桩承台基础(简称高桩承台和低桩承台)。

高桩承台的承台底面位于地面(或局部冲刷线)以上,基桩部分沉入土中,可避免或减少水下作业,施工较为方便。高桩承台在桥梁工程中应用较广。

低桩承台的承台底面位于地面(或局部冲刷线)以下,基桩全部沉入土中,其受力性能好,能承受较大的水平外力。低桩承台多用于高层建筑及桥台基础。

根据受力条件不同,桩可分为柱桩(或端承桩)和摩擦桩。柱桩主要依靠桩底土层抵抗力支承竖向荷载,桩穿过较软弱土层,桩底支承在岩层或硬土层(如密实的大块卵石层)等实际非压缩性土层上,沉降量甚微,故桩侧摩阻力可忽略不计,全部竖向荷载由桩底岩层抵抗力承受。摩擦桩主要依靠桩侧面与土的摩阻力支承竖向荷载。桩穿过并支承在各种压缩性土层中。一般情况下,桩基沉降量较大,桩底土层也支承部分竖向荷载。

通常,柱桩承载力较大,基础沉降小,较安全可靠。但若岩层埋置很深,沉桩困难,则可采用摩擦桩。

此外,根据桩基所承受水平外力的大小不同,还可设置成竖直桩(水平外力小)和斜桩(水平外力大)。斜桩的特点是能承受较大的水平荷载,但需要有相应的施工设备和工艺,其倾斜坡度一般可取 $1/8\sim 1/3$ 。

根据桩的施工方法不同,桩通常可分为预制桩、灌注桩和管柱基础三类。

桩穿过不同性质的土层将上部结构荷载传递给桩周土层和桩底土层,形成复杂的桩土共同作用系统。目前,研究荷载传递的方法有弹性理论法、有限元法和传递函数法等。一般认为,传递函数法较能反映桩土共同作用的情况,较为实用。

桩的侧阻力和端阻力与它们所在位置处桩土间的相对位移密切相关,并随位移的增长而逐渐发挥。20世纪60年代以来,在桩基的研究和分析中曾采用过常值模式、线性模式、弹塑性

和非线性三阶段模式等。试验资料和分析表明,后一模式比较符合桩土作用性状。

单桩承载力的深度效应也已引起工程界的高度重视,并已反映在某些设计规范中。桩端阻力随进入持力层深度的变化特征值——临界深度与土的种类、桩径及土本身的极限压力值等有关。经验数据表明,桩端阻力的影响范围,一般为桩径的3~10倍。同时,考虑上覆土层影响、软下卧层影响等不同条件下的桩端阻力计算方法,也已得到不断完善。

群桩的工作性状是同桩群、土、承台相互作用联系在一起的,承载力计算已形成了一些传统模式,但是否考虑或如何考虑承台分担荷载作用,已是我国桩基工程研究工作的“热点”。充分利用承台底地基土体的承载能力,减少桩数,无疑将有利于提高经济效益,加速桩基工程的发展,但也必须重视试验、工程试点和实测,以及考虑共同作用机理、基桩性状变化等进行综合分析计算,以确保桩基工程的安全可靠。

群桩基础的沉降计算大体可分为三大类。第一类是基于布辛奈斯克(Boussinesq)课题的“等代墩基分层总和”法,其实质是浅基沉降计算的延伸;第二类是基于明特林(Mindlin)课题的弹性理论法,包括叠加法、相互影响系数法、沉降比结果法;第三类是以原位测试土性参数的经验估算法,适于难以采取原状土样的粉土、砂土。我国工程界常用的是等代墩基分层总和法,其计算值往往大于实测值。

20世纪60年代以来,许多国家已逐步建立起以可靠性方法为理论基础的规范体系。桩基是结构体和岩土体相结合的共同作用体系,同时具有结构体和岩土体的特点。因此,利用可靠度理论研究桩基问题,既对利用结构体的已有成果有利,又能较好地体现上下部结构之间的连续性。关于桩基的可靠性分析,国际上报道不多,国内自80年代中期以来,研究十分活跃,从定值设计法向可靠度方法转轨已成目前桩基工程设计的发展趋势。

0.2 桩基应力波检测的发展和应用

1883年,St. Venant 首先分析了一个一端固定的有限长的杆在自由端被一刚体撞击的受力情况,给出了应力波在杆中传播的解答。这种情况虽然与打桩有区别,但这项分析还是提供了打桩时应力波在桩中传播的基本规律。1931年Issacs指出,打桩是波的传播过程,可用一维波动方程来描述。1932年Fox在许多简化条件下,给出了一个打桩分析的波动方程解答,后来这方面研究一直没有大的进展。直到60年代初,随着大型电子计算机的出现与发展,用数值方法求解波动方程已成为可能。1960年Smith提出了一个描述锤-桩-土系统的离散的数学模型,借助于电子计算机,用差分法求得了相应的解答,并给出了土和系统单元参数的建议值。

沿着这个方向,许多学者进一步研究和发展的Smith方法,这个方法称为“波动方程”分析,最初用于预估桩承载力和桩中应力,后来也用于沉桩能力分析上。

从1964年至1975年的12年间,美国Case技术学院(现为Case Western Reserve大学)Goble领导的研究小组进行了桩基应力波检测技术和理论分析的系统研究,取得了丰硕的成果。在测量技术方面,这个小组改进了应变测量技术,设计了可重复使用的应变传感器。采用模拟-数字转换技术,利用计算机方便地存储和处理测量数据,完善了力和速度的测量系统。1972年,这个研究小组成立了“桩动力公司”(PDI),并开始生产打桩分析仪(PDA)。

在理论研究方面,这个小组的主要贡献是以在桩顶直接测量的力和速度时程曲线作为求解波动方程的边界条件。这样就避免了不易确定的锤子和垫层性能影响,为桩承载力的精确计算创造了条件。在作了许多假定之后,他们推导出了波动方程的一个准封闭解。这个推导方法

就是著名的 Case 法。此法利用在桩头附近测得的桩截面上承受的力和质点速度作为输入数据,通过简单的计算公式,即可获得桩的极限承载力。这个方法简单,具有现场实时处理功能,因而获得了广泛应用。但它在确定桩承载力时,必须凭经验给出桩尖处的阻尼系数,且仅能提供总的承载力,而不能给出摩阻力沿桩身的分布和端阻力。针对这种情况,这个小组又发展了 Case 法、Rausche 法等,于1972年提出了一个桩波动方程分析程序,简称CAPWAP 法。这是桩波动方程分析的一个突破性进展。这种分析技术也以桩顶力和速度时程曲线作边界条件,然而它却能给出摩阻力沿桩身的分布和端阻力以及模拟静载试验的荷载-沉降曲线,同时还可提供土层的阻尼系数、极限静阻力、最大弹性位移等物理力学参数,而不需要人为地设定。从而大大地减少了桩极限承载力确定中的经验成分。

当今各种波探测技术的理论基础均属波传播反问题范畴。桩基应力波检测也不例外,它的理论基础也是波传播反问题理论。波传播反问题是指利用在物体表面测得的波动响应后,反过来推断物体内部波源或介质的物理力学性状,是反问题中应用最广泛的一类。它包括两大类:一是介质反问题(inverse medium problems),二是波源反问题(inverse source problems)。前者对已知刺激从波的边界响应推断介质的物理力学性状,一般表现为反演波动方程系数。后者是对已知介质从测量得到的边界数据确定发射波源的性质,表现为控制方程的力源项反演。桩基完整性检测属于介质反问题,而桩基承载力确定属于波源反问题。基于波传播反问题理论,王靖涛提出了一个确定单桩承载力方法(WANG-PCP)和桩完整性定量分析方法(WANG-PIP)。其实,从反问题理论观点来看,CAPWAP 法也是一种求解反问题的方法,即用不断反复求解正问题的方式来求解反问题。

在桩基应力波检测的高应变试验(Case 试验方法也称为高应变试验方法)中,在桩顶测得的回波信息,正是由桩土之间摩擦力激发出来的。根据在桩顶连续测得的质点速度和压力时程曲线来反演各土层的阻力和相应的土性参数是个典型的多参数、多波源反问题。在对桩顶回波响应与土阻力之间内在关系的分析基础上,王靖涛提出了一个半解析半数值的反演方法,开辟了一条特征线法逐步积分与局部迭代相结合的反演途径,给出了一套土性参数新的调整方法。他所得到的 WANG-PCP 程序的输入数据仍是高应变试验中测得的桩顶压力和速度曲线的结果,与 CAPWAP 法得到的结果相同。这些结果涉及桩的极限承载力、侧摩阻力沿桩身的分布和端阻力、各土层的土性参数(最大静阻力、最大弹性位移、阻尼系数)、在应力波传播过程中桩身任一截面承受的力和质点速度、模拟静载试验的荷载-沉降曲线等。

最近,这个方法又得到了进一步的改进,人工神经网络方法已引入土性参数调整过程中,实现了桩周土性参数调整的自动化。这更便于工程技术人员的使用。由于神经网络方法具有自学习和自适应能力,通过在某一地区的工程应用,它的计算精度可以不断提高。

1966年,美国芝加哥市的两座高层建筑物基础的墩基出了问题,要求提供一种检验已浇注墩基的可靠方法。Baker 和 Khan 提出了8种检测墩基缺陷的可能方法,其中提到3种不同的地震波及波速测量方法,但认为地震波法经验有限,结果还是不肯定的。Steinbach 和 Vey 对应力波传播法在探测桩及墩基缺陷方面做了比较系统的研究。他们首先在实验室内进行了铝棒和混凝土棒的模型试验。试验结果显示了这种方法用于探测混凝土断裂的可能性。随后又进行了现场试验,证实了应力波传播法可以用来探测混凝土桩及墩基的断裂。由于这个方法快速、无损、经济,所以发展很快,后来被命名为声脉冲反射法,也称低应变法。

TNO 研制了一系列桩完整性检测的基桩诊断系统(FPDS),并将这项技术推广到了世界各地。

早在1979年,Rausche等人就提出可以采用Case试验方法来检测桩的完整性。他们引入了一个定量描述桩身中缺陷的完整性因子——桩身缺陷处下部和上部波阻抗之比。用这个指标可以对桩身中缺陷处损坏的严重程度进行分类。他们还给出了计算这个因子的一种方法,后来将确定承载力的CAPWAP法用于低应变试验结果的分析,提出了一个桩完整性分析的信号拟合方法,称为PITWAP法。这个方法以桩测量的力或假设的力作为输入数据计算桩顶的速度,并将它与测量值进行比较。这里土阻力的分布是不知道的,必须参考邻近桩的结果。若计算的和测量的速度曲线不一致,则将调整桩的模型,重复上面分析直到实现最佳拟合为止。在低应变试验中,通常仅测量桩顶的加速度(通过数值积分转变为速度),因此力的时程曲线是不完全知道的(在撞击过程的早期,力与速度成正比);同时土阻力分布也不能精确了解。这些都会给计算结果带来较大误差。

在低应变试验中,仅测量桩顶的质点加速度时程曲线。从波传播反问题理论分析可知,欲反演出桩中某些截面的波阻抗变化,仅知道桩顶速度响应是不够的。由于边界条件不足,这个反演问题是“欠定”的,为此必须补充一定的条件。王靖涛提出了一个桩基完整定量分析方法,通过波传播的分析、给出了一个近似的补充条件,然后直接反演波动方程的系数。这种方法比较简单,可在现场对试验数据进行实时处理。

应力波理论在沉桩能力分析、打桩系统的性能分析和打桩监测等方面还有许多重要的应用,这里就不一一列举了。

应力波理论在桩基上的应用研究是在基础工程需要的推动下发展起来的。一开始它就与工程实践紧密结合,以应力波理论为基础,在计算机、数值计算方法、传感器和数据采集等发展所提供的条件下,现已发展成为一项高技术。经过近40年在理论和测量技术上的发展和大量的工程实践,该项技术日趋成熟,为建筑物基础检测提供了快速、无损、经济、可靠的方法,在基础工程中发挥了越来越重要的作用。许多国家已将动力检测方法列入地基基础设计与施工规范中。我国已制定了相应的行业标准《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106—2003)。

第1章 桩的类型与选型

1.1 概述

承受竖向荷载的桩是通过桩侧摩阻力和桩端阻力将上部荷载传递到深部土(岩)层的,因而桩的竖向承载力和桩所穿过的整个土层的状况,与桩底持力层的性质、桩的外形和尺寸密切相关。承受横向荷载的桩是通过桩身将荷载传给侧向土体的,其横向承载力与桩侧土层的抗力系数、桩身的抗弯刚度与强度密切相关。在工程实际中,以承受竖向荷载为主的桩基居多。

桩基可由单根桩构成,如一柱一桩;多数情况下是由多根桩组成的群桩,荷载通过承台传递给各桩桩顶。当承台与地面接触形成低承台群桩基础时,承台、桩、土将相互影响,共同作用,使群桩的承载性状发生较大变化并趋于复杂。

影响桩基承载力的因素甚多,主要有以下几方面。

(1) 桩身所穿越土层的强度、变形性质和应力历史

桩基的竖向承载力受桩身所穿越的全部土层的影响,而横向承载力主要受靠近地面的上部土层的影响。桩侧土层若处于欠固结状态,在后期固结过程产生的压缩变形可能对桩身产生负摩阻力。

(2) 桩端持力土层的强度和变形性质

桩端持力土层对竖向承载力的影响程度,随桩的长径比(L/D)的增大而减小,随桩与土的模量比(E_p/E_s)的增大而提高,随持力土层与桩侧土层的模量比(E_{s0}/E_{s1})的增大而增大。

(3) 桩身与桩底的几何特征

桩身的比表面积(侧表面积与体积之比)越大,桩侧摩阻力所提供的承载力就越高。因此,为提高桩的竖向承载力,可将桩身截面做成如图 1.1.1 所示的三角形、六边形、环形、“十”字形、“H”形等异形截面桩,或做成楔形、螺旋形、“糖葫芦”形等变截面桩。为提高桩端总阻力,常将桩端做成扩大头。桩身的横向刚度越大,对于减小横向荷载下桩的位移和桩身内力的效果越明显,因而横向荷载方向桩身可做成如图 1.1.2 所示的矩形、“T”形、“I”形、“8”字形(二圆桩相切)、“十”字形等异形桩,或将承受弯矩较大的上段做成如图 1.1.2 所示的变截面桩。

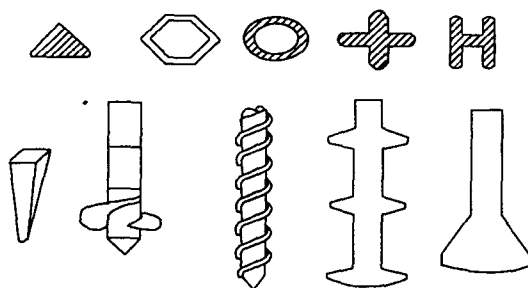


图 1.1.1 受竖向荷载的异形桩

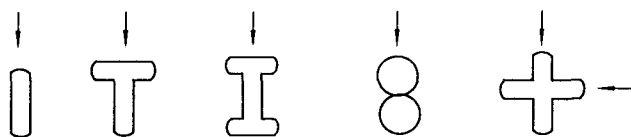


图 1.1.2 受横向荷载的异形桩

(4) 桩体材料强度

当桩端持力层(如砂卵石、基岩等)的承载力很高时,桩体材料的强度可能制约桩的竖向承载力,因而合适的混凝土标号和配筋,对充分发挥桩端持力层的承载性能以提高竖向承载力十分重要。对于受横向荷载的桩,其承载力在很大程度上受桩体材料强度制约,因此选择合适的混凝土标号和受弯的桩段配置适量的钢筋,对提高其横向承载力十分重要。

(5) 群桩的几何参数

桩的排列、桩距、桩的长径比、桩长与承台宽度之比等几何参数对承台、桩、土的相互作用和群桩承载力影响较大,设计时应根据荷载、土质与土层分布、上部结构特点等综合分析,优化确定。

(6) 成桩方法

成桩方法与工艺对桩侧摩阻力和桩端阻力都有一定影响。非饱和土特别是粉土、砂土中的打入式桩,其侧摩阻力和端阻力会因沉桩挤土效应而提高。采用泥浆护壁成孔的灌注桩,泥浆稠度过大形成的桩侧表面的“泥膏”会大大降低摩阻力,过厚的孔底沉淤会导致端阻力明显降低。

1.2 桩的分类

1.2.1 按功能分类

1. 承受轴向压力的桩

各类建筑物、构筑物的桩基大体都是以承受竖向荷载为主的,基桩桩顶以轴向压力荷载为主,如图 1.2.1(a)所示。

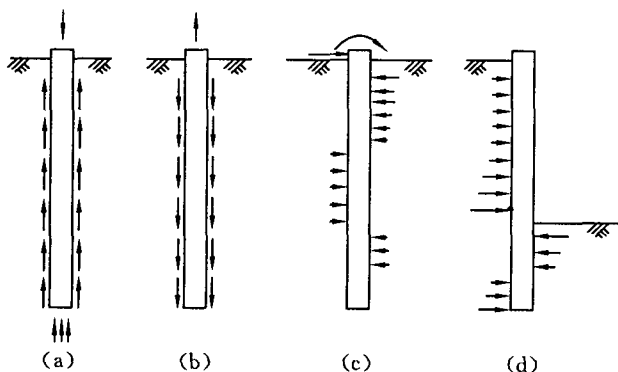


图 1.2.1 不同功能的桩

(a)受压桩 (b)抗拔桩 (c)横向荷载主动桩 (d)横向荷载被动桩

2. 承受竖向拔力的桩

水下建筑抗浮力桩基、牵缆桩基、输电塔和微波发射塔桩基等,其主要功能以抵抗拔力为主,基桩荷载以轴向拔力为主,如图1.2.1(b)所示。

3. 承受横向荷载的桩

外荷载以力或力矩形式在与桩身轴线垂直的方向(横向)作用于桩,使桩身横向受剪、受弯,这种情况下的桩称为横向荷载桩。横向荷载桩又分为主动桩和被动桩,分别如图1.2.1(c)、(d)所示。

1.2.2 按桩土相互作用特点分类

1. 竖向荷载桩

(1) 摩擦桩

竖向荷载下基桩所发挥的承载力以侧摩阻力为主时,这种情况下的桩统称为摩擦桩。以下几种情况均可视为摩擦桩:

1) 桩端无坚实力层且不扩底;

2) 桩的长径比很大,即使桩端置于坚实力层上,由于桩身压缩量过大,传递到桩端的荷载较小;

3) 灌注桩桩底残留较厚的虚土、沉渣形成一压缩性高的褥垫,致使坚实力层无法充分发挥其承载性能;

4) 预制桩沉桩过程由于桩距小、桩数多、沉桩速度快,使已沉入桩上涌,桩端阻力明显降低。

(2) 端承桩

竖向荷载下基桩所发挥的承载力以端阻力为主时,这种情况下的桩统称为端承桩。以下两种情况属于这一类:

1) 桩端置于坚实土层(砂、砾石、卵石、坚硬老粘土等)或岩层中,且桩的长径比不太大;

2) 桩底扩大。

2. 横向荷载桩

(1) 主动桩

桩顶受横向荷载,桩身轴线偏离初始位置,桩身所受土压力因桩主动变位而产生。风力、地震力、车辆制动力等作用下的建筑物桩基均属于主动桩。

(2) 被动桩

沿桩身一定范围内承受侧向土压力,桩身轴线被该土压力作用而偏离初始位置。深基坑支护桩、坡体抗滑桩、堤岸支护桩等均属于被动桩。

1.2.3 按桩材分类

1. 木桩

木桩适合在地下水位以下地层中工作,因在这种条件下木桩能耐真菌的腐蚀而保持耐久性。当地下水位离地面深度较大而桩必须支承于地下水位以下时,可在地下水位以上部分代之以钢筋混凝土桩身,将其与下段木桩相连接。地下水位变化幅度大的地区不宜使用木桩。我国木材资源不足,因此工程实践中早已趋向于不采用木桩。

2. 钢桩

钢桩可根据荷载特征制作成各种有利于提高承载力的截面,如图1.1.1所示。管形和箱形

截面桩的桩端常做成敞口式,以减小沉桩过程的挤土效应;当桩壁轴向抗压强度不够时,可将挤入管、箱中的土塞挖除,灌注混凝土。“H”形钢桩沉桩过程的排土量较小,沉桩贯入性能好。此外,“H”形桩的比表面积大,用于承受竖向荷载时能提供较大的摩阻力。为增大桩的摩阻力,还可在“H”形钢桩的翼缘或腹板上加焊钢板或型钢。对于承受侧向荷载的钢桩,可根据弯矩沿桩身的变化情况局部加强其截面刚度和强度。

钢桩除具有上述截面加工的易变性外,还具有抗冲击性能好、节头易于处理、运输方便、施工质量稳定等优点。钢桩的最大缺点是造价高,按我国价格,相当于钢筋混凝土桩的3~4倍。按照当前国情,钢桩还只能在极少数深厚软土层上的高重建物或海洋平台基础中使用。

3. 钢筋混凝土桩

钢筋混凝土桩的配筋率较低(一般为0.3%~1.0%),而混凝土取材方便、价格便宜、耐久性好。钢筋混凝土桩既可预制又可现浇(灌注桩),还可采用预制与现浇组合,适用于各种地层,成桩直径和长度可变范围大。因此,桩基工程中绝大部分都是钢筋混凝土桩,桩基工程的主要研究对象和主要发展方向也是钢筋混凝土桩。

1.2.4 按成桩方法分类

1. 预制桩

多年来,钢筋混凝土预制桩是建筑工程的传统的主要桩型。20世纪70年代以来,随着我国城市建筑的发展,施工环境受到越来越多的限制,预制桩的应用范围逐步缩小。但是,在市郊的新开发区,预制桩的使用是基本不受限制的。预制桩有如下特点:

1) 预制桩不易穿透较厚的砂土等硬夹层(除非采用预钻孔、射水等辅助沉桩措施),只能进入砂、砾、硬粘土、强风化岩层等坚实持力层不大的深度。

2) 沉桩方法一般采用锤击,由此产生的震动、噪声污染必须加以限制。

3) 沉桩过程产生挤土效应,特别是饱和软粘土地区,沉桩可能导致周围建筑物、道路、管线等的损坏。

4) 一般说来预制桩的施工质量较稳定。

5) 预制桩打入松散的粉土、砂、砾层中,由于桩周和桩端土受到挤密,其侧摩阻力因土的加密和桩侧表面预加法向应力而提高,桩端阻力也相应提高。基土的原始密度越低,承载力的提高幅度就越大。当建筑场地有较厚砂、砾层时,一般宜将桩打入该持力层,以大幅度提高承载力。当预制桩打入饱和软粘土时,土结构受到破坏并出现超孔隙水压,桩承载力存在显著的时间效应,即随休止时间而提高。

6) 建筑工程中预制桩的单桩设计承载力一般不超过3 MN,而在海洋工程中,由于采用大功率打桩设备,桩的尺寸大,其单桩设计承载力可高达10 MN。

7) 由于桩的贯入能力受多种因素制约,因而常常出现因桩打不到设计标高而截桩,造成浪费。

8) 预制桩由于承受运输、起吊、打击应力,要求配置较多钢筋,混凝土标号也要相应提高,因此其造价往往高于灌注桩。

2. 灌注桩

当前,灌注桩在我国已形成多种成桩工艺、多类桩型,使用范围已扩大到土木工程的各个领域。从国际上的情况看,灌注桩正朝两个方向迅速发展,即大直径巨型桩和小直径($d \leq 250$ mm)微型桩。前者桩身直径大至4 m,扩底直径达9 m,其设计承载力,桩端支承于硬