

JIZHUANG JIANCE JISHU

周东泉
主编

基桩检测技术

周东泉 主编

中国建筑工业出版社

基桩检测技术

周东泉 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

桩基检测技术/周东泉主编. —北京: 中国建筑工业出版社,
2010. 11

ISBN 978 - 7 - 112 - 12719 - 1

I. ①基… II. ①周… III. ①桩基础 - 检测 IV. ①TU473. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 233754 号

本书共分 7 章, 就桩基检测进行了全面、深入、详细的剖析与阐述, 紧密结合行业现行规范, 重点放在理论联系实际, 尤其注重工程实践。具体内容包括: 基础知识、静荷载试验、钻孔取芯法、低应变检测、高应变检测、声波透射法、新技术概述。阐述方式深入浅出, 逐层展开, 步步深入, 内容详尽, 易于读者掌握、理解和接受, 适合广大地基基础设计、施工、监理、行业管理部门尤其是生产实践第一线的地基基础检测技术人员使用。

* * *

责任编辑: 牛 松

责任设计: 张 虹

责任校对: 马 赛 刘 钰

桩基检测技术

周东泉 主编

*

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

北京嘉泰利德公司制版

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 15 1/4 字数: 380 千字

2010 年 12 月第一版 2010 年 12 月第一次印刷

定价: 36.00 元

ISBN 978 - 7 - 112 - 12719 - 1

(19977)

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)

编写委员会

主 编：周东泉

副 主 编：高 飞

参 编 人：徐福贵 张维民 王吉良 吴 滨 何立新 王长海
周尊儒 安明月 关雅坤 张 建 于 雷 王殿海
高晓旭 田利东 黄延东

主编单位：黑龙江省建设工程质量监督管理总站
黑龙江省寒地建筑工程质量检测中心
黑龙江省瑞盛建设工程质量检测有限责任公司

参编单位：哈尔滨开发区明矩工程质量检测有限公司
哈尔滨新立建设工程质量检测有限公司
齐齐哈尔市建设工程质量检测中心
牡丹江市科研建筑工程质量检测有限公司
牡丹江明月地基基础工程检测有限责任公司
佳木斯三江建设工程质量检测有限公司
大庆石化工程质量检测有限责任公司

序

随着我省工程建设的不断加大，桩基工程项目也日益增多。众所周知，桩基具有高度隐蔽性，桩基的工程质量问题直接危及主体结构的正常使用与安全。我省建设工程桩基检测工作已开展多年，桩基检测为我们准确判定和掌握建设工程桩基质量提供了科学依据，此项工作在验证桩基础的真实质量、保障桩基础安全牢固方面发挥了积极作用。

桩基检测技术是一门边缘学科，同时也是一门交叉学科，涉及岩土工程、桩基工程、应力波理论、信号处理、机械电子、计算机等诸多学科。同时，桩基检测技术尤其是动测技术仍属发展中的技术，尚谈不上成熟与完善。因此，桩基检测人员除了应具有良好的职业道德、高度负责的责任心以外，还应具有扎实的理论知识和丰富的实践经验。另一方面，随着建设事业的发展，现实工作中碰到的新的问题越来越多，情况越来越复杂，对于检测精度的要求越来越高，但是现有桩基检测水平距离实际需要尚有不小的差距。对于桩基检测人员通过上岗考试，获取上岗证书只是行业准入的最基本要求，工程界的要求迫使桩基检测人员必须适时接受继续再教育，完善知识结构，不断提高操作技能与检测水平，才能与之适应。同时，继续教育培训也是上岗证书有限期延长、换证的基本依据之一。继续教育一般根据桩基检测中普遍存在的技术问题，有针对性地进行讲解，培训内容与实际工作相联系，具有很强的指导性意义。

为了做好我省广大从事桩基检测的工程技术人员培训与继续教育的工作，推动我省桩基检测技术水平的提高，更好地服务于我省工程建设，总站管理科组织有关专家集体编写了这本培训教材。这本教材从广大处于生产实践第一线桩基检测人员的实际需要出发，紧密结合行业现行规范，尤其注重密切联系工程实际。首先介绍了桩基检测人员应该掌握的有关岩土工程、桩基工程、计量学、基本规定等基本知识，其次全面、系统地阐述了明确纳入行业现行规范的各种桩基检测技术，除了理论知识，还包括现场检测注意事项、疑难问题的处理、数据分析技巧等。最后适当介绍了国内国外桩基检测技术的最新动态。

本书作者均来自科学研究与生产实践的第一线，他们长期从事桩基检测技术的研究与实践，理论功底深厚，实践经验丰富。本书的写作是从普通检测人员的视角出发，尽量避免教科书式晦涩的理论推导，力图用通俗、简单的语句把复杂问题说清楚，让读者易于理解与接受。我相信本书的出版，必将推动我省桩基检测技术水平的提高！

黑龙江省建设工程质量监督管理总站站长 王公山
研究员级高级工程师

2010年8月

前 言

桩基础是处理软弱地基、减少建筑物沉降的有效方法之一。随着我国建筑事业的迅速发展,桩基得到广泛的应用。但由于桩基是地下隐蔽工程,受施工工艺、地质条件、建筑材料等诸多因素影响,任一环节的失误,都有可能影响到桩身的质量,从而直接影响上部结构的安全。因此,其质量检测成为桩基工程质量控制的重要手段。

基桩检测技术虽然看似简单,但是实际上涉及工程地质、桩基工程、土动力学、应力波理论、机械电子、数字信号处理等诸多学科,是一门多学科的交叉边缘学科,尤其是检测技术,对于检测人员的素质、技术水平和实践经验要求都很高。因此,基桩检测人员除了应具有良好的职业道德、高度负责的责任心以外,还应具有扎实的理论知识和丰富的实践经验。另一方面,随着建设事业的发展,现实工作中碰到的新的问题越来越多,情况越来越复杂,对于检测精度的要求越来越高,但是现有基桩检测水平距离实际需要尚有不小的差距。对于基桩检测人员通过上岗考试,获取上岗证书只是行业准入的最基本要求,工程界的要求迫使基桩检测人员必须适时接受继续再教育,完善知识结构,不断提高操作技能与检测水平,才能与之适应。同时,继续教育培训也是上岗证书有限期延长、换证的基本依据之一。继续教育一般根据基桩检测中普遍存在的技术问题,有针对性地进行讲解,培训内容与实际工作相联系,具有很强的指导性意义。

为了做好我省广大从事基桩检测的工程技术人员培训与继续教育的工作,切实提高我省基桩检测技术水平,我们编写了这本培训教材。这本教材紧密结合行业现行规范,尤其注重密切联系工程实际。首先介绍了基桩检测人员应该掌握的有关岩土工程、桩基工程、计量学、基本规定等基本知识,其次全面、系统地阐述了明确纳入行业现行规范的各种基桩检测技术,除了理论知识,还包括现场检测注意事项、疑难问题的处理、数据分析技巧等。最后适当介绍了国内国外基桩检测技术的最新动态。本书共分7章,就建筑工程基桩检测进行了全面、深入、详细的剖析与阐述,紧密结合行业现行规范,重点放在理论联系实际,尤其注重工程实践。具体内容包括:基础知识、静荷载试验、钻孔取芯法、低应变检测、高应变检测、声波透射法、新技术概述。阐述方式深入浅出,逐层展开,步步深入,内容详尽,易于读者掌握、理解和接受,适合广大桩基设计、施工、监理、行业管理部门尤其是基桩检测技术人员使用。本书编写过程中,作者参考了众多同行的研究成果以及文献、资料,恕不一一列举,在此谨致谢意!特别要感谢研究员级高级工程师、黑龙江省建设工程质量监督管理总站王公山站长欣然为本书作序!

基桩检测技术发展迅速,加之时间仓促及编者学术水平、实践经验有限,书中难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

目 录

第1章 基础知识	1
1.1 岩土工程基础知识	1
1.2 计量学基础知识	4
1.3 桩基础基础知识	6
1.4 桩基础承载力的影响因素	15
1.5 桩的竖向荷载传递机制	18
1.6 基桩检测基本知识	22
1.7 基桩检测依据规范	27
1.8 检测工作基本流程	30
1.9 基桩检测技术管理	39
思考题与习题	44
第2章 静荷载试验	50
2.1 一般原则	50
2.2 反力装置与仪器设备	55
2.3 静荷载试验过程	65
2.4 数据处理与结论提交	70
2.5 桩身内力测试	76
思考题与习题	78
第3章 钻孔取芯法	85
3.1 一般原则	85
3.2 仪器设备	88
3.3 现场试验	89
3.4 室内试验	93
3.5 结论提交	94
思考题与习题	98
第4章 低应变检测	101
4.1 一般原则	101
4.2 基本原理	109
4.3 仪器设备	118

4.4 现场试验	121
4.5 信号分析与处理	125
4.6 结论提交	131
思考题与习题	142
第5章 高应变检测	150
5.1 一般原则	150
5.2 试验装置与仪器设备	157
5.3 试验过程	163
5.4 信号处理与分析	166
5.5 分析方法与结论提交	170
思考题与习题	186
第6章 声波透射法	192
6.1 一般原则	192
6.2 基本原理	195
6.3 仪器设备	200
6.4 现场试验	202
6.5 数据处理	205
6.6 结论提交	208
思考题与习题	213
第7章 新技术概述	217
7.1 模型试验	217
7.2 桩的产品质量检验	220
7.3 桩的施工过程控制	221
7.4 桩的偏位与垂直度检测	223
7.5 桩的完整性检测新技术	224
7.6 桩的承载力检测新技术	228
思考题与习题	233
参考文献	235

第 1 章 基础知识

1.1 岩土工程基础知识

1.1.1 岩土的物理力学指标

1. 土的三相比比例指标

不同成分和结构的土中，土的三相之间具有不同的比例。土的三相组成的重量和体积之间的比例关系不同，则土的重量性质（轻、重情况）、含水性（含水程度）和孔隙性（密实程度）等基本物理性质各不相同，并随着各种条件的变化而改变。例如对同一成分和结构的土，地下水位的升高或降低，都将改变土中水的含量；经过压实，其孔隙体积将减小。这些情况都可以通过相应指标的具体数字反映出来。表示土的三相比比例关系的指标，称为土的三相比比例指标，亦即土的基本物理性质指标，包括土的颗粒比重、重度、含水量、饱和度、孔隙比和孔隙率等。

2. 无黏性土的紧密状态

无黏性土包括碎石土、砂土、粉土。无黏性土的紧密状态是判定其工程性质的重要指标，综合反映了无黏性土颗粒的岩石和矿物组成、粒度组成、颗粒形状和排列等对其工程性质的影响。

3. 黏性土的物理特征

粘性土随着本身含水量的变化，可以处于各种不同的物理状态，其工程性质也相应地发生很大的变化。

4. 土的基本物理力学指标

土的三相组成特性，构成了其许多物理力学特性。

土的基本物理力学指标主要有：

(1) 界限含水量：黏性土由一种物理状态向另一种物理状态转变的界限状态所对应的含水量；

(2) 液限：土由流动状态转入可塑状态的界限含水量，是土的塑性上限，称为液性界限，简称液限；

(3) 塑限：土由可塑状态转为半固体状态时的界限含水量为塑性下限，称为塑性界限，简称塑限；

(4) 塑性指数：土的液限与塑限之差值；

(5) 液性指数：土的天然含水量与塑限差值与塑性指数之比值；

(6) 渗透系数：土被水透过称为土的渗透性，水在土孔隙中流动则为渗流。在一定水力梯度下，渗流速度反映土的渗透性强弱，渗透系数是渗流速度与水力梯度成正比的比例系数；

(7) 内摩擦角与黏聚力：土的抗剪强度由滑动面上土的黏聚力和土的内摩阻力两部分组成，摩阻力又与法向应力成正比，其中内摩擦角反映了土的摩阻性质。因而内摩擦角与

黏聚力是土抗剪强度的两个力学指标。

5. 土的力学特征

固体土粒和水的可压缩量小,土的压缩可视为土中孔隙体积的减小。压缩性不同的土,其压缩曲线的形状是不一样的。曲线愈陡,说明随着压力的增加,土孔隙比的减小愈显著,因而土的压缩性愈高。所以,曲线上任一点的切线斜率就表示了相应压力作用下土的压缩性。为了便于比较和应用,通常采用压力间隔 $P_1 = 0.1 \text{ MPa}$ 和 $P_2 = 0.2 \text{ MPa}$ 所得的压缩模量。

6. 土的动力特性

在振动作用下,土体会发生一系列不同于静力作用下的物理力学现象。一般而言,土体在动荷载作用下抗剪强度将有所降低。并且往往产生附加变形。

土体在动荷载作用下抗剪强度降低及变形增大的幅度除取决于土的类别和状态等特性外,还与动荷载的振幅、频率及加速度有关。

1.1.2 岩土工程勘察报告的阅读

1. 岩土工程勘察报告的特点和构成

岩土工程勘察报告不同于以前的工程地质勘察报告。国家标准《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001)对勘察报告提出了更高的要求:对工程地质条件进行客观反映;对岩土工程条件进行分析和评价;对不良地质作用提出整治方案;做出评价结论和提出合理化建议。

岩土工程勘察报告通常由3部分组成:

(1) 文字报告部分包括:工程概况;勘察目的;勘察方法;执行标准;勘察工作的布置原则及工作量完成情况;场地岩土工程、水文地质条件;岩土工程分析与评价;结论与建议。

(2) 图件部分一般包括:拟建物与勘察点平面位置图;工程地质剖面图;钻孔柱状图;静力触探曲线图。

(3) 表格部分一般包括:土工试验综合成果表;物理、力学性指标统计表;地下水水质分析报告;工程建设场地抗震性能评价结论报告表。

3个部分通过有机的组合构成了完整的岩土工程勘察报告。

2. 岩土工程勘察报告判读的方法

(1) 文字报告部分

可以初步了解拟建项目的工程概况、坐标系统和高程系统、场地地基土分层情况及其他深度方向上的组合特点、地下水类型及腐蚀性评价、地下水的初见及稳定水位埋深、岩土工程分析与评价、对场地做出的结论性评价及为设计和施工提出的建设性建议。

(2) 拟建物与勘察点平面位置图

拟建建筑物在场地中所处的位置,拟建物与已建物的相关位置、拟建物的平面尺寸、勘探孔与拟建物位置的关系、勘探孔数量、孔口高程、孔深、地下水位埋深及勘探的性质、场地的地形起伏特点。

(3) 工程地质剖面图及钻孔柱状图的判读

工程地质剖面一般是由西至东(或由北向南、或是垂直地层走向的勘探孔连线),把同一轴线上的勘探点连成一线而构成剖面线,而剖面图则是同一剖面线上连接起来的勘探

点所有信息和数据在垂向的展示,可以了解到同一剖面上勘探孔所揭露的地基土在剖面的纵横向展布变化情况。钻孔柱状图主要反映了钻孔自上而下所揭露出的土层的名称、编号、土性、特征及厚度(层厚及标高)。通过勘探的柱状图和工程地质剖面图的联合阅读,可建立拟建场地地基土的地下空间的分布情况。

(4) 土工试验综合成果表

土工试验综合成果表是按取样勘探孔按自上而下的取样顺序,通过室内土工试验所取得的数据,按物理、力学性指标记编而构成。

(5) 物理力学性指标统计表

将同一土层的若干个土试样的试验数据进行分析、统计后而得出的物理力学性指标汇总,给出土层土样的统计数量、最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数等项指标,为设计人员在地基与基础设计时使用。

1.1.3 施工设计图纸的阅读

施工图按照专业分工的不同,可分为建筑施工图、结构施工图和设备施工图。建筑施工图(简称建施)主要表示建筑物的整体布局、外部造型、内部布置、细部构造、装饰装修和施工要求等,包括总平面图、建筑平面图、建筑立面图、建筑剖面图、建筑详图等。结构施工图(简称结施)主要表示房屋的结构设计内容,如房屋承重构件的布置、构件的形状、大小、材料等,包括结构平面布置图、结构详图等。设备施工图(简称设施)包括给水排水、采暖通风、电器照明的各种施工图,其内容有各工种的平面布置、系统图样等。编排顺序一般是按:图纸目录、施工总说明、建筑施工图、结构施工图、设备施工图、装饰装修图等。一般按图纸内容的主次关系也会系统地安排在一起。例如基本图在前,详图在后;全局性的图在前,局部图在后;布置图在前,构件图在后;先施工的图在前,后施工的图纸在后等。

桩基检测人员更为关心的是结构施工图(结施)中的桩基础部分。对于规模较大的住宅小区、高架道路等,在编制检测方案、现场检测时都要用到建筑总平面图等。

1. 桩基础设计图

桩位平面布置图:确定基桩的数量;找到图纸上的指北针,确定试桩的位置。

桩基设计详图:试桩的配筋

设计说明:施工要求、桩的类型、单桩承载力、拟定加载量、加载方法、荷载维持方法、休止期、试桩选取原则、试验标准等。

注意单桩承载力设计值、特征值、极限承载力等概念的区别。

2. 标高

标高表示建筑物某一部位相对于基准面(标高的零点)的竖向高度,是竖向定位的依据。

标高按基准面选取的不同分为绝对标高和相对标高。绝对标高是以一个国家或地区统一规定的基准面作为零点的标高。我国规定以青岛附近黄海的平均海平面作为标高的零点;相对标高是以建筑物室内地面为零点测出的高度尺寸。

注意试桩、工程桩桩顶标高不同时试验加载量的区别。

3. 单位

注意力的不同单位之间的换算关系。

1m = 1000mm

1kN = 1000N

1kPa = 1000Pa

1MPa = 1000kPa

1kPa = 1kN/m²

1t = 10kN

1t = 1000kg

1h = 60min

1min = 60s

1.1.4 桩基础施工记录的阅读

1. 预制桩：桩机型号、桩锤规格、锤击数、贯入度、终压力、倾斜度、偏位等。

(1) 贯入度：打桩施工时，最后贯入度的测定和记录；对于落锤、单动汽锤和柴油锤取最后 10 击的入土深度；而对于双动汽锤取最后 1 分钟的桩入土深度。

(2) 终压力：静力压桩施工过程中可以得到每根桩的压桩阻力，对判定桩的承载力和桩身质量是最直接的依据；压桩阻力所反映的是桩体压入土中所需要克服的动阻力（桩尖贯穿端部土层时的冲剪力，与桩端土的类别和性质直接有关，同时也与桩长、桩距及桩群大小等因素有关），压桩阻力不等于桩的承载力。

在黏性土中，压桩过程中的阻力最小，经过休息，土的强度逐渐恢复与增长，因此，承载力通常显著地高于压桩阻力；粉砂就相反，压桩时急剧升高的孔隙水压力夸大了桩的阻力，经过休息，孔隙水压力消散，端阻力下降，桩的承载力常会低于压桩阻力。

2. 灌注桩：护筒材料、内径及顶端高程、钻孔记录、孔径、孔深、孔斜、沉渣厚度、充盈系数等。

充盈系数是指混凝土灌注桩施工时实际浇筑的混凝土数量（m³）与按桩孔计算的所需混凝土数量之比。一般为 1.05 ~ 1.1，在软土中为 1.2 ~ 1.3，在一些砂层中甚至超过 1.3。充盈系数可以作为判定成桩质量的一个依据，充盈系数偏小说明存在缩径，过大说明存在塌孔。

1.2 计量学基础知识

1.2.1 计量单位与单位制

计量单位应一律采用《中华人民共和国法定计量单位》。内容包括：国际单位制单位（基本单位、具有专门名称的导出单位和辅助单位）；国家选定的非国际单位制单位；由以上单位构成的组合形式的单位。

1.2.2 量值溯源与能力验证

任何一级质量检验机构，无论是在正常的检测活动中，还是在接受各种形式的认可、认证中，计量器具的量值溯源或比对以及其他形式的证明其准确性的验证，都是一个实验室必不可少的工作内容。

量值溯源性是通过一条具有规定不确定度的不间断的比较链，使测量结果或测量标准的值能够与规定的参考标准联系起来的一种特性。它要求实验室针对自己检测标准的相关

量值，主动地与上一级检定机构取得联系，追溯高于自己准确度（一般遵循 1/10 或 1/3 法则）的量值与之比较，确定自己的准确性。

能力验证是有组织、有计划地考核各实验室相关参数的试验水平；比对是在无法直接实现量值溯源的前提下，所进行的相关量值的数据比对，二者均能间接证明相关量值的准确性。无法直接溯源的原因很多，有非标仪器问题，有量级较高国内无法溯源问题，甚至还有考虑经济效益，无法满足“就地就近、简洁便利”的原则而主动放弃溯源的问题。

质量技术监督局和有关行业主管部门、行业协会，都可以在一定范围组织开展能力验证工作。

1.2.3 误差与测量不确定度

由于仪器、实验条件、环境等因素的限制，测量不可能无限精确，物理量的测量值与客观存在的真实值之间总会存在着一定的差异，这种差异就是测量误差。

测量不确定度从词义上理解，意味着对测量结果可信性、有效性的怀疑程度或不肯定程度，是定量说明测量结果的质量的一个参数。实际上由于测量不完善和人们的认识不足，所得的被测量值具有分散性，即每次测得的结果不是同一值，而是以一定的概率分散在某个区域内的许多个值。虽然客观存在的系统误差是一个不变值，但由于我们不能完全认知或掌握，只能认为它是以某种概率分布存在于某个区域内，而这种概率分布本身也具有分散性。测量不确定度就是说明被测量之值分散性的参数，它不说明测量结果是否接近真值。

误差是客观存在的，不以人们的认识程度而改变。不确定度与人们对被测量和影响量及测量过程的认识程度有关。

不确定度愈小，反映出测量水平就愈高。反之，不确定度愈大，反映的测量水平愈低，一个完整的测量结果应包括被测量值的估计值及分散性参数两个部分。

1.2.4 有效数字与数值修约

有效数字，是指在分析工作中实际能够测量到的数字。所谓能够测量到的是包括最后一位估计的，不确定的数字。我们把通过直读获得的准确数字叫做可靠数字，把通过估读得到的那部分数字叫做存疑数字。把测量结果中能够反映被测量大小的带有一位存疑数字的全部数字叫有效数字。

四舍五入规则是人们习惯采用的一种数字修约规则。四舍五入修约规则，逢五就进，必然会造成结果的系统偏高，误差偏大，为了避免这样的状况出现，尽量减小因修约而产生的误差，在某些时候需要使用四舍六入五留双的修约规则。

四舍六入五留双规则的具体方法是：当尾数小于或等于 4 时，直接将尾数舍去；当尾数大于或等于 6 时，将尾数舍去并向前一位进位；当尾数为 5，而尾数后面的数字均为 0 时，应看尾数“5”的前一位：若前一位数字此时为奇数，就应向前进一位；若前一位数字此时为偶数，则应将尾数舍去。数字“0”在此时应被视为偶数；当尾数为 5，而尾数“5”的后面还有任何不是 0 的数字时，无论前一位在此时为奇数还是偶数，也无论“5”后面不为 0 的数字在哪一位上，都应向前进一位。

按照四舍六入五留双规则进行数字修约时，也应像四舍五入规则那样，一次性修约到指定的位数，不可以进行数次修约，否则得到的结果也有可能是错误的。

1.3 桩基础基础知识

1.3.1 桩基础的发展历史

桩基础是最古老的基础形式之一。有关文献资料表明,在人类有历史记载以前,就已经在地基土条件不良的河谷及洪积地区采用桩基础来建造房屋。在许多不同文化时期的初期,都可以找到桩基础的房屋。1982年在智利发掘的文化遗址所见到的桩,距今大约有12000~14000年。根据历史文物遗址的发掘揭示,中国最早的桩基础距今大约有7000多年,是在浙江宁波附近的河姆渡,作为古代干阑式木结构建筑的基础是有圆木桩、方木桩和板桩组成的桩基础。圆木桩直径在6~8cm之间,板桩厚2.4~4.0cm,宽10~50cm,木桩均系下部削尖,入土深度最深达115cm。这是最早的桩的雏形。桩基础用于桥梁,历史也极为悠久。据《水经注》记载,公元前532年在今山西汾水上建成的三十墩柱木柱梁桥,即为桩柱式桥墩。秦代的渭桥、隋朝的郑州超化寺、五代的杭州湾大海堤、南京的石头城和上海的龙华塔等,都是古代桩基础的典范。

表1-1给出了桩基技术发展历史的简要概括。不过,桩基技术的内涵是如此的丰富,读者显然不能期望能从一张表格中了解到桩基技术发展历史的全貌。但在桩基技术发展的历史过程中,下述几点情况应予以特别的注意:

(1) 桩基技术的发展受工业化的影响巨大,如水泥工业的问世,现代钢铁工业的高速发展,以及化学工业的崛起,都使桩基技术及其应用形成了一个独特的时期或阶段。而且,由于某一地区或国家的历史及环境背景,往往出现最古老的桩型和现代化的桩型同时共存,例如,至今木桩在某些地区和工程中仍有应用。

(2) 由于桩型及施工工艺的不断推陈出新,无论是在桩基的设计理论和概念上,还是在桩的效用,都产生了许多实质性的变化,桩的应用及成桩工艺比过去更为多样化和复杂了。特别是在桩基的设计和施工领域中提出了许多新的甚至是“离经叛道”的概念,例如,塑性支承桩概念、复合桩基理论、桩基逆作法,热加固成桩……,等等。在桩的应用上,除了承受竖向荷载外,还用以承受斜向的甚至是水平向的荷载,而且在有些情况下,桩仅用于改善桩周围土的承载力,而不是由桩直接承担结构物的荷载。

(3) 随着桩基技术的改良和发展,桩已不只是单独地被应用,在许多情况下,它与其他的基础形式或工艺联合应用,例如,化学灌浆排桩联合护壁等,以适应上部建筑的超重荷载、深基坑开挖等的需要。此外,桩的发展趋势表明,桩身的超高强度、大直径、超长度、无公害沉桩工艺,以及完美的施工控制技术等已经成为未来桩基改良和发展的重要内容。

(4) 桩基的施工监测和检测应工程的需要已形成一项相当丰富有效的技术。

1.3.2 桩基础的适用条件

桩基础通常作为荷载较大的结构(建筑)物的基础,具有承载力高、稳定性好、沉降量小而均匀、便于机械化施工、适应性强等特点。对下述情况,一般可考虑选用桩基础方案:

桩基技术的发展历史阶段

表 1-1

阶段	年代	主要桩型	特 点
初期阶段	人类有历史记载以前~19 世纪	木桩 石桩	①有天然材料制作而成, 桩身较短, 桩径小; ②桩竖直设置, 主要用于传递竖向荷载; ③多设置于地基条件不良的河谷及洪积地区; ④采用简单人工锤打沉桩
发展阶段	19 世纪中叶~20 世纪 20 年代	除天然材料做成的桩外, 主要是混凝土桩和钢筋混凝土桩	①受水泥工业出现及其发展的影响; ②桩型不多, 开始使用打桩机械沉桩; ③桩基设计理论和施工技术比较简单, 处于“萌芽”阶段; ④桩身尺寸有所扩大, 桩径约 30cm, 桩长 9~15m; ⑤土力学的建立为桩基技术的发展提供了理论基础
现代阶段	第二次世界大战后~现在	除钢筋混凝土桩外, 发展了一系列的桩系, 如钢桩系列、水泥土系列、特种桩(超高强度、超大直径、变截面等)系列, 以及天然材料的砂桩、灰土桩和石灰桩等	①发展了众多的新型的桩型, 形成现代桩基的各种不同体系; ②桩基技术和理论引进了其他学科的先进的研究成果, 大大地拓宽了它的研究领域和深度, 桩的应用范围大大扩展; ③人工沉桩被复杂的机械和专门化的工艺代替

(1) 地基上层土的土质太差而下层土的土质较好; 或地基土软硬不均; 或荷载不均, 不能满足上部结构对不均匀变形限制的要求。

(2) 地基软弱或地基土性特殊, 如存在较深厚的软土、可液化土层、自重湿陷性黄土、膨胀土及季节性冻土等, 采用地基改良和加固措施不合适。

(3) 除承受较大竖向荷载外, 尚有较大的偏心荷载、水平荷载、动力或周期性荷载作用。

(4) 上部结构对基础的不均匀沉降相当敏感; 或建筑物受到大面积地面超载的影响。

(5) 地下水位很高, 采用其他基础形式施工困难; 或位于水中的构筑物基础, 如桥梁、码头、采油平台等。

(6) 需要长期保存、具有重要历史意义的建筑物。

通常, 当软弱土层很厚, 桩端达不到良好地层时, 桩基设计时应考虑基础沉降问题。目前, 桩基设计思想正在由过去单纯的承载力控制向承载力和变形双控制过渡, 按地基容许沉降量大小设计桩基的思想正在逐步得到推广。

1.3.3 桩基础的分类

(1) 按竖向荷载下单桩的受力性状分类:

1) 摩擦型桩 (图 1-1a): 桩顶竖向荷载全部或主要由侧阻力承担的桩。根据桩侧阻力分担荷载的大小, 摩擦型桩可分为摩擦桩和端承摩擦桩两类。

① 摩擦桩: 桩顶竖向荷载几乎全部由桩侧阻力承担, 桩端阻力相比之下可以忽略。常见的该承载类型的桩有: 深厚软土层中的桩 (桩端无较硬持力层), 桩的长径比很大 (例如 $L/d > 50$) 的桩; 桩底沉渣较厚的桩 (即使桩端持力层坚硬) 等。

② 端承摩擦桩: 桩顶竖向荷载大部分由桩侧阻力承受, 小部分由桩端阻力承担的桩。

这种类型的桩实际工程较常见。例如当桩的长径比不很大，桩端持力层为硬的黏性土或砂类土，这时，桩除侧阻力外还有一定的端阻力。

2) 端承型桩 (图 1-1b): 桩顶竖向荷载全部或主要由桩端阻力承担的桩。根据桩端阻力发挥的程度和分担荷载的比例，端承型桩可分为端承桩和摩擦端承桩两类。

① 端承桩: 桩顶竖向荷载由桩端阻力承担的桩。北方常见的长径比较小的扩底灌注桩即属于该类型; 另外桩底嵌入基岩的短桩也属于典型的端承桩。

② 摩擦端承桩: 桩顶竖向荷载主要由桩端阻力承担, 小部分由桩侧阻力承担的桩。例如长径比并不是很小的扩底灌注桩即属于此类型。

承载性状的两个大类和四个亚类是根据其在极限承载力状态下, 总侧阻力和总端阻力所占份额而定。承载性状的变化不仅与桩端持力层性质有关, 还与桩的长径比、桩周土层性质、成桩工艺等有关。

(2) 按作用功能分类:

建筑桩基在使用状态下, 按桩的抗力性能和工作机理可分为四类:

1) 竖向抗压桩: 主要承受竖向荷载的桩, 应进行竖向承载力计算, 必要时, 还需计算桩基沉降, 验算软弱下卧层的承载力。

2) 竖向抗拔桩: 主要承受竖向上拔荷载的桩, 应进行桩身强度和抗裂计算及上拔承载力计算。

3) 水平受荷桩: 主要承受水平荷载的桩, 应进行桩身强度和抗裂验算以及水平承载力和位移验算。

4) 复合受荷桩: 承受竖向、水平荷载均较大的桩, 应按竖向抗压 (或抗拔) 桩及水平受荷桩的要求进行验算。

(3) 按承台位置分类:

桩基础一般有高承台桩基和低承台桩基之分, 如图 1-2 所示。

1) 所谓低承台桩基是指桩身全部埋于土中, 承台底面与地基土接触的桩基。一般工业与民用建筑的桩基础绝大部分是低承台桩基。

2) 高承台桩基是指桩身上部露出地面而承台底与地面不接触的桩基。在码头、海洋石油钻井平台等工程中应用的是一种高承台桩基。

(4) 按桩身材料性质可分为三类: 混凝土桩、钢桩和组合材料桩。

1) 混凝土桩可分为灌注桩、预制桩两类:

① 在现场采用机械或人工成孔, 就地灌注混凝土成桩, 称为灌注桩。灌注桩可在桩内设置钢筋笼, 也可不设钢筋笼。目前经常使用的灌注桩类型有机械钻 (冲) 孔混凝土灌注桩、人工挖孔

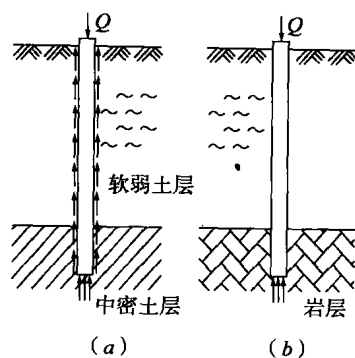


图 1-1 桩的承载性状
(a) 摩擦型桩; (b) 端承型桩

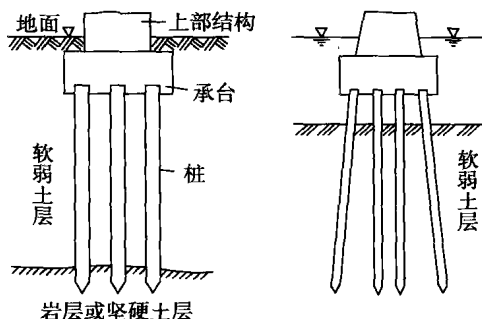


图 1-2 低承台和高承台桩基示意图

桩、树根桩等。锤击或振动沉管灌注桩基本上已被淘汰。

② 预制桩是在工厂或现场预制成型的混凝土桩，有实心（或空心）方桩、管桩。为提高其抗裂性和节约钢材可做成预应力管桩，为减小沉桩挤土效应可做成敞口预应力管桩。预应力管桩按混凝土强度等级分为：预应力混凝土管桩（代号 PC）、预应力混凝土薄壁管桩（代号 PTC）、预应力高强混凝土管桩（代号 PHC）。PC 及 PTC 桩的混凝土强度等级一般为 C60，PHC 桩的混凝土强度等级一般为 C80。

2) 钢桩主要有钢管桩、H 型钢桩以及使用量较小的钢轨桩。

3) 组合材料桩，是指用两种材料组合的桩，例如钢管桩内填充混凝土，或上部为钢管桩下部为混凝土桩等形式的组合桩。

(5) 按成桩方法对土层的影响将桩分为非挤土桩，部分挤土桩和挤土桩三类。

1) 非挤土桩，也称排土桩。在成桩过程中，将与桩体积相同的土取出，因而桩周围的土较少受到扰动，但有应力松弛现象。这类桩主要有各种形式的挖孔或钻孔桩。此类桩的直径和长度可以根据工程地质条件和设计需要人为控制，能提供较高的单桩竖向极限承载力，通常用于高层建筑的塔楼基础，桥梁基础及架空通讯、电力线路的杆、塔基础等。

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，土的原状结构和工程性质的变化不明显。这类桩主要有打入小截面的 I 型和 H 型桩，钢板桩、开口式钢管桩和螺旋桩等。

3) 挤土桩，也称非排土桩。在成桩过程中的挤土作用，使桩周土重塑扰动，侧向压应力增加。对于非饱和土，由于土受挤而增密。土愈松散黏性愈低，其增密幅度愈大。对于饱和黏性土，由于瞬时排水固结效应不显著，体积压缩变形小，引起超孔隙水压力，土体产生横向位移和隆起。这类桩主要有打入或压入的预制混凝土桩；打入的封底钢管桩和混凝土管桩，以及锤击或振动沉管灌注桩、端夯扩灌注桩等。

大量实践表明，成桩挤土效应对桩的承载力、成桩质量、环境等有很大影响。尤其在饱和软土中设置挤土桩，如设计和施工不当，就会产生严重的挤土效应，导致未初凝的灌注桩桩身缩小甚至断裂，桩上浮或移位，地面隆起，从而降低桩的承载力；有时还会损坏邻近建筑物；桩基施工后，还可能因饱和软土中孔隙水压力消散，土层产生再固结沉降，使桩产生负摩阻力，导致桩基承载力降低，增大桩基沉降。因此，正确选择成桩方法和施工工艺，是桩基设计与施工中的重要环节。

(6) 按桩径大小分类：

1) 小桩：桩径 $d \leq 250\text{mm}$ 。由于桩径小使施工机械及施工方法简单，适宜于在施场地狭窄的情况下采用。小桩多数用于基础加固（树根桩或静压锚杆桩托换）和复合桩基。

2) 中等直径桩：桩径 $250\text{mm} < d < 800\text{mm}$ 。这类桩在工业与民用建筑中使用广泛，成桩方法和工艺繁多。

3) 大直径桩：桩径 $d \geq 800\text{mm}$ 。这类桩可根据建筑物荷载大小及持力层的埋深灵活选择桩长和直径，以提供较高的单桩承载力。除大直径钢管桩外，多数为钻、冲、挖孔灌注桩。通常用于高重型建（构）筑物基础，或用于桥梁基础，并可实现柱下单桩的结构形式。

(7) 按桩轴线分类：

1) 直桩：水平外力和外力矩不大、桩的自由长度（即地面以上的桩身长度）不长、