

S

实用建筑工程系列手册

erial Handbooks of Building Construction

实用桩基工程手册



史佩栋 主编

中国建筑工业出版社

实用建筑工程系列手册

实用桩基工程手册

史佩栋 主编

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

实用桩基工程手册/史佩栋主编. -北京: 中国建筑工业出版社, 1999

(实用建筑工程系列手册)

ISBN7-112-03796-4

I. 实… II. 史… III. 桩基础-手册 IV. TU473

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 05575 号

本手册为“实用建筑工程系列手册”之一种, 它以桩的发展简史及其类型与用途为引导, 以桩基工程勘察为起点, 系统地介绍了桩基的承载理论、设计计算、施工技术和测试与检验技术。全书分六篇 40 章: 第一篇导论 (2 章); 第二篇桩的承载力与变位 (7 章); 第三篇桩基设计与计算 (11 章); 第四篇桩基施工技术 (10 章); 第五篇桩的特殊应用及事故防治 (5 章); 第六篇桩基测试与检验技术 (5 章)。全书内容侧重于工程实用。其中每一篇章均可分别满足桩基领域不同专业日常工作的需要, 而各篇相联又是桩基学科的一部体系完整、覆盖面广的大型工具书。

本手册由我国 20 余位知名专家学者分工合作, 堪称我国桩基工程界和学术界在世纪之交对本学科的一次全面总结和展望。全书反映了我国迄今在桩基领域所达到的理论技术水平和所积累的工程经验, 并引入了国内外的部分新技术、新思路和新观点。

本手册可供建筑、市政、铁道、公路、港口、水利、水电、地矿等部门从事桩基勘察、设计、施工、监理、监督、试验、检测等工作的工程技术人员和有关科研院所研究人员及高校教师、学生、研究生等日常参考应用。

实用建筑工程系列手册

实用桩基工程手册

史佩栋 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 60 $\frac{3}{4}$ 字数: 1554 千字

1999 年 5 月第一版 1999 年 5 月第一次印刷

印数: 1—5000 册 定价: 81.00 元

ISBN7-112-03796-4

TU·2937 (9083)

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)

《实用桩基工程手册》编审委员会

主 编	史佩栋		
主 审	刘金砺		
副 主 编	张旷成	刘祖德	茜平一
	王 离	柳 春	施 峰 (常务)
	咸大庆	(常务)	
编 审 委 员	高大钊	黄 强	朱小林
	陈竹昌	桂业琨	杨克己
	李席珍	刘惠珊	陈晓平
	蔡长赓	严忠英	刘小敏
	王天龙		
秘 书	张美珍	张 瑾	

编 审 分 工

第一篇

第一章 史佩栋撰、刘金砺审

第二章 张旷成撰、高大钊审

第二篇

第三章 朱小林撰、史佩栋审

第四章 朱小林撰、史佩栋审

第五章 朱小林撰、史佩栋审

第六章 朱小林撰、史佩栋审

第七章 刘祖德撰、史佩栋审

第八章 杨克己撰、朱小林审

第九章 刘祖德撰、史佩栋审

第三篇

第十章 陈晓平撰、葛平一审

第十一章 葛平一撰、刘祖德审

第十二章 蔡长庚撰、葛平一审

第十三章 葛平一撰、刘金砺审

第十四章 葛平一撰、刘金砺审

第十五章 李席珍撰、黄强审

第十六章 刘惠珊撰、史佩栋审

第十七章 杨克己撰、史佩栋审

第十八章 葛平一撰、刘祖德审

第十九章 刘祖德撰、史佩栋审

第二十章 刘祖德撰、史佩栋审

第四篇

第二十一章 王离撰、桂业琨审

第二十二章 王离、蔡长庚撰、桂业琨审

第二十三章 史佩栋、常本元撰、严忠英审

第二十四章 桂业琨撰、王离审

第二十五章 赵安定撰、史佩栋审

第二十六章 王离、蔡长庚撰、桂业琨审

第二十七章 刘小敏撰、桂业琨审

第二十八章 史佩栋、赵安定撰、桂业琨审

第二十九章 刘小敏撰、桂业琨审

第三十章 尹海卿撰、史佩栋审

第五篇

第三十一章 刘祖德撰、史佩栋审

第三十二章 刘祖德撰、黄强审

第三十三章 赵安定撰、史佩栋审

第三十四章 葛平一撰、陈晓平审

第三十五章 刘祖德撰、史佩栋审

第六篇

第三十六章 柳春撰、陈竹昌审

第三十七章 柳春撰、王天龙审

第三十八章 施峰撰、陈竹昌审

第三十九章 施峰撰、陈竹昌审

第四十章 施峰撰、陈竹昌审

序

桩基础被广泛应用于建筑、桥梁、港口和近海工程，已成为岩土工程的一个重要领域和学科。工程建设规模的不断扩大和相关产业的迅速发展，促使桩基技术全面进步，从桩型、成桩工艺、检测技术到设计计算理论与方法都不断有所创新。我国改革开放以来，通过成千项在各类地质和环境条件下桩基工程的成功实践，解决和处理了大量桩基工程的疑难问题和事故，并且面向工程建设开展科学研究，积累了一批有关桩基设计、计算、施工、监理、检测等方面的新经验新成果，丰富了桩基工程的知识宝库。另一方面，在我国的桩基工程实践中，也还存在一些误区，造成了本可避免的浪费和事故，例如在岩石强度高于桩身混凝土强度，或桩的长径比很大的情况下采用扩底桩；在桩的长径比很大且上覆土层较好的情况下忽略桩的侧阻力而将桩嵌入新鲜基岩；在饱和土层中采用密集的挤土桩或施工时沉桩速率过快，引起断桩或桩体上抬；在软土地区基坑开挖程序失当，导致基桩倾斜侧移；在高水位场地抽降水失当，造成桩身混凝土水泥浆流失或周围建筑物偏沉；等等。因此，将正反经验进行总结归纳，将新的先进实用技术条理化，融入于既有的桩基设计、施工、检测的理论与方法中，对于进一步提高我国桩基工程的技术水平无疑是十分有益的。高兴地看到了编撰此侧重于实用的桩基工程手册的专家们充分注意到了这一点。衷心希望本手册能有助于促进我国桩基工程的技术进步。

刘金砺

1999年2月

前 言

在世纪之交，编审委员会受中国建筑工业出版社之托，经过一年多的紧张工作，现将此《实用桩基工程手册》奉献给广大读者。

本手册分六篇 40 章：第一篇导论（2 章）；第二篇桩的承载力与变位（7 章）；第三篇桩基设计与计算（11 章）；第四篇桩基施工技术（10 章）；第五篇桩的特殊应用及事故防治（5 章）；第六篇桩基测试与检验技术（5 章）。

鉴于桩基工程是当今我国和世界的一大热点技术学科，其理论和技术日新月异不断演进，在实践中又形成了勘察、设计、施工、监理、监督、试验、咨询等一系列紧密相关的部门和专业分工，我们对手册内容作上述安排，旨在使其中的每一篇章都能分别满足上述不同专业部门日常工作的需要，而各篇相联，它又成为本学科的一部体系完整、覆盖面广的大型工具书，能为涉及桩基领域的所有人员服务，并为学科的建设和发展奠定新的基础。

本手册由史佩栋拟订编写框架，组织撰稿审稿，并最后统稿定稿。全书 20 余位作者和审稿人都是我国桩基工程领域知名的专家学者或后起之秀；他们来自我国用桩规模最大的 7 个省市、5 个部门和 5 所院校，其工程经历遍及全国乃至国外；他们各献其长，相互配合，从而形成了本手册编审群体的极大优势。因此，本手册实际上是我国桩基础工程界和学术界在世纪之交对本学科的一次较全面的总结和展望。全书反映了我国迄今在本学科所达到的理论技术水平、所积累的工程经验和科研成果以及最新的科技动态，还引入了部分国外先进经验、工程实例和适用技术，以资借鉴。

本手册贯穿各篇章的指导思想是立足于阐明理论、原理和技术，侧重于工程实用。对于工程中至关重要的标准、规范，鉴于科技的发展常领先于标准、规范的制订，本手册凡涉及我国现行标准、规范或规程之处，一方面对其作充分诠释以利于贯彻实施，另一方面不受其具体约束，而同时介绍有关的新方法、新技术，或进行比较研究，以开阔读者思路，促进科技进步。

通览全书还可以看到，本手册除了对现有浩瀚的文献进行较系统的综合介绍外，还反映了一系列新思路、新观点。例如：提出了广义桩的概念，把水泥土和加劲水泥土桩等纳入了桩的范畴；除了介绍桩在传统意义上的各种功能外，还以专篇介绍了桩在解决工程问题中愈来愈发挥重要作用的各种特殊应用，诸如围护、纠倾、隔离、促沉等功能；把上部结构与地基基础共同作用的设计方法扩大应用于各类建构筑物；对疏桩基础，分述了控沉疏桩和协力疏桩；对桩基震害这一工程难题，根据实测典型震害资料分析，提出了桩基抗震设计的实用方法和措施等等。

本手册的特点还在于：对各类建筑物、结构物、包括桥梁、港口、码头、高耸杆塔和动力机器等的桩基的设计计算，对各种型式的承台结构的设计计算均作了具体介绍；对各种传统的和新出现的重要桩型及其在陆上、水上和嵌岩施工均分别有所阐述；对桩的测试，除了静载、动测外，还介绍了各种模型试验和原型观测；对静载试桩，除了传统方法外，还介绍了桩底加载法和桩身中部加载法等等。书中许多内容尚为同类书籍所未见。

希望读者有此一册，可赖以处理各类工程建设中所遇到的各种桩基问题。

在手册付梓之际，编者由衷感谢各位作者和审稿人的通力合作；感谢中国建筑工业出版社有关领导和责任编辑咸大庆副编审对出版本手册的重视与关注；感谢支持本手册编审工作的原机械部勘察研究院刘强高级工程师，山东黄河河务局牟玉玮高级工程师，河姆渡遗址博物馆王凌浩副馆长，交通部第二航务工程勘察设计院詹明高级工程师、黄素怀高级工程师，交通部三航局科研所叶柏荣副总工程师，铁道部丰台桥梁工厂钱树青总工程师等；没有大家的热情帮助，本手册的问世是不可能的。更应感谢本书所引用的大量文献资料的众多作者，他们的宝贵成果为本手册提供了丰富的素材，惜因篇幅所限，未能逐一注明文献出处，请予鉴谅。

最后必须说明，由于编者水平有限且时间较紧，本手册很可能存在许多缺点疏误；我们诚挚地恳请同行专家和广大读者提出批评建议，以便有幸再版时进行修订补充。

史 佩 栋

1999年1月10日于建设部浙江泛华设计院

目 录

序	
前言	
第一篇 导论	1
第一章 桩的类型与用途	3
第一节 概述	3
第二节 桩的分类	4
第三节 桩的用途	5
第四节 我国的桩型体系	6
第五节 我国的主要桩型在各类工程 中的应用概况	7
第六节 我国香港特别行政区的桩型	8
第七节 选择桩型应考虑的因素	8
第八节 桩基技术前瞻	11
第二章 桩基工程勘察	13
第一节 桩基勘察的主要任务	13
第二节 勘察阶段的划分与勘察要点	15
第三节 勘探点的平面布设	17
第四节 勘探点深度设计	19
第五节 原位测试要点	22
第六节 取土试样和原位测试数量及 室内试验要点	31
第七节 不同桩型的勘察评价要点及 工程实例	33
第二篇 桩的承载力与变位	47
第三章 单桩在竖向受压荷载下 的性状	49
第一节 单桩竖向受压的极限状态	49
第二节 竖向受压单桩的荷载传递性状	50
第三节 单桩桩侧阻力的分析	52
第四节 单桩桩端阻力的分析	56
第五节 单桩桩侧阻力与桩端阻力的 综合分析	60
第四章 单桩竖向受压承载力	62
第一节 由桩身强度确定单桩承载力	62
第二节 用静力法计算单桩承载力	68
第三节 原位测试法确定单桩承载力	82
第四节 按经验方法确定单桩承载力	91
第五节 按荷载传递函数法确定单桩 承载力	103
第六节 由打桩公式估算单桩承载力	111
第五章 群桩竖向受压承载力	114
第一节 群桩竖向受压的工作性状	114
第二节 整体破坏的群桩承载力	116
第三节 非整体破坏的群桩承载力	117
第四节 群桩遇软弱下卧层的承载力 计算	124
第六章 桩基的沉降	128
第一节 单桩的沉降计算	128
第二节 单桩沉降的分层总和法	129
第三节 弹性理论计算单桩沉降法	129
第四节 剪切变形传递法	137
第五节 单桩沉降计算的其他方法	140
第六节 群桩沉降的模型试验和现场 观测	144
第七节 半经验半理论的群桩沉降 工程计算方法	150
第八节 弹性理论群桩沉降计算方法	158
第九节 群桩沉降计算的简单经验方法	172
第七章 桩的抗拔承载力	180
第一节 概述	180
第二节 等截面桩的抗拔承载力	181
第三节 扩底桩的抗拔承载力	190
第四节 嵌岩式锚桩基础抗拔承载力	196
第八章 水平荷载下桩的承载力 与位移	200
第一节 概述	200
第二节 水平荷载桩承载力与变位的 分析计算方法	202
第三节 水平力作用下群桩的性状及	

承载力	228	设计与计算	373
第九章 桩基负摩擦力问题	235	第一节 概述	373
第一节 单桩负摩擦力问题	235	第二节 控沉疏桩基础设计与计算	374
第二节 群桩负摩擦力问题	241	第三节 协力疏桩基础设计与计算	387
第三节 减小负摩擦力影响的措施	243	第十五章 动力机器桩基础设计	
第三篇 桩基设计与计算	247	方法	393
第十章 桩基设计原则与方法	249	第一节 概述	393
第一节 桩基设计原则	249	第二节 机器基础的设计要求	393
第二节 桩基概率极限状态设计方法	252	第三节 桩基的动力性能	394
第三节 桩基的系统分析设计方法	262	第十六章 桩基抗震设计与计算	414
第十一章 一般建(构)筑物低承		第一节 桩基典型震害与抗震经验综述	414
台桩基设计与计算	271	第二节 单桩的抗震承载力设计值	418
第一节 概述	271	第三节 桩基抗震设计方法	419
第二节 桩的类型、截面尺寸和桩长的		第四节 液化土中的桩基	422
选择	272	第五节 承台-桩-土共同作用的桩基	
第三节 桩基竖向承载力设计值	273	分析法	426
第四节 桩基水平承载力设计值	282	第六节 桩基的地震时程分析法简介	427
第五节 桩数及桩的布置	285	第七节 桩基抗震计算例题	430
第六节 桩基验算	288	第十七章 抗滑桩设计与计算	438
第七节 桩基结构设计	296	第一节 概述	438
第十二章 桩基承台结构设计与		第二节 港工地基规范法	439
计算	302	第三节 桩的绕流阻力法	442
第一节 概述	302	第四节 防治滑坡工程中常用的悬臂	
第二节 单桩竖向力的计算	302	桩简化法	444
第三节 矩形低桩承台的设计计算	303	第十八章 桥梁、码头及近海平台桩基	
第四节 承台构造	310	设计与计算	449
第五节 矩形承台计算实例	312	第一节 概述	449
第六节 正多边形低桩承台的设计		第二节 水下桩基设计计算	455
计算	323	第三节 桩基与岸坡的相互作用及其	
第七节 正多边形承台计算实例	326	计算	466
第八节 两桩承台的设计计算	338	第四节 水对桩的侵蚀、腐蚀及相应	
第十三章 高层建筑桩筏、桩箱基础		的防护措施	472
设计与计算	345	第五节 水下桩基础的构造设计	475
第一节 概述	345	第六节 柔性靠船墩(桩)设计计算	
第二节 桩筏、桩箱基础设计与计算	348	实例	477
第三节 桩筏(箱)基础设计计算的		第七节 近海平台桩基设计与计算	480
其他问题	355	第十九章 高压输电线路杆塔桩基设计	
第四节 地基、桩筏(桩箱)基础与上		与计算	485
部结构共同作用设计概念	360	第一节 概述	485
第五节 上部结构与桩筏(桩箱)基础		第二节 灌注桩基础	487
的共同作用分析	365	第三节 直埋式钻孔桩基础	492
第十四章 建(构)筑物疏桩基础		第四节 打入式预制桩基础	493

第五节 桩基础复合地基	497	第七节 预应力大管桩沉桩施工	573
第六节 其他几种杆塔桩基	497	第八节 预应力大管桩嵌岩施工	580
第二十章 提高桩基水平承载力的结构 构造措施	502	第九节 施工中常见质量缺陷的原因 分析与处理	583
第一节 概述	502	第十节 工程实例	585
第二节 提高主动桩或桩基水平承载 力的措施	503	第二十四章 钢管桩、型钢桩及 钢板桩施工	588
第三节 提高被动桩或桩基水平承载 力的措施	507	第一节 钢管桩施工	588
第四篇 桩基施工技术	511	一、概述	588
第二十一章 预制钢筋混凝土桩 施工	513	二、常用钢管桩的类型与规格	590
第一节 概述	513	三、钢管桩的主要附件	592
第二节 规格型号	514	四、钢管桩的制作	592
第三节 制作与吊运	516	五、施工机械选用	593
第四节 打桩锤	521	六、沉桩施工	597
第五节 打桩架	527	七、施工质量控制与标准	601
第六节 锤击法施工	532	八、钢管桩施工常见问题及对策	606
第七节 静压法施工	535	第二节 H型钢桩施工	609
第八节 预制桩基础的工程质量标准 及问题	542	一、概述	609
第二十二章 预应力混凝土管桩 施工	546	二、常用H钢桩的规格及制作误差	610
第一节 概述	546	三、施工机械	611
第二节 预应力管桩的生产工艺与规格	547	四、沉桩施工	611
第三节 预应力管桩适用的地质条件 及其优缺点	549	五、施工常见问题与对策	612
第四节 不宜应用预应力管桩的地质 条件	551	第三节 钢板桩施工	613
第五节 锤击法施工	553	一、概述	613
第六节 静压法施工	562	二、钢板桩的型式及构造	613
第七节 管桩基础的工程质量问题	565	三、钢板桩的施工机具	615
第二十三章 预应力混凝土大 直径管桩施工	568	四、钢板桩的打入	618
第一节 概述	568	五、钢板桩的拔除	621
第二节 预应力大管桩的型号、规格 和力学性能	569	第二十五章 各种沉管灌注桩施工	626
第三节 预应力大管桩的构造	570	第一节 概述	626
第四节 预应力大管桩的制作	571	第二节 夯扩灌注桩	628
第五节 预应力大管桩的吊运、堆存 和装运	572	第三节 平底大头灌注桩	630
第六节 预应力大管桩的质量标准	573	第四节 大直径沉管灌注桩	634
		第五节 CFG桩	635
		第二十六章 人工挖孔灌注桩施工	639
		第一节 概述	639
		第二节 挖孔桩的施工技术	642
		第三节 挖孔桩施工安全	647
		第四节 挖孔桩特殊施工技术	648
		第五节 质量检验与常见问题	651
		第二十七章 机械成孔灌注桩施工	654
		第一节 概述	654

第二节 正反循环钻孔施工法	657	第二节 限沉桩	776
第三节 螺旋钻成孔施工法	668	第三节 杠杆加压纠倾法	779
第四节 旋挖成孔施工法	671	第四节 隔离桩在防倾纠倾中的功用	780
第五节 冲击成孔施工法	674	第五节 摩擦桩基促沉纠倾法	781
第六节 摇管成孔施工法	682	第六节 砍桩纠倾法	782
第七节 钢筋笼制作与混凝土灌注施工	687	第七节 应力转移桩防倾法	783
第八节 灌注桩后压浆施工	692	第八节 自动桩式纠倾系统	785
第九节 工程实例	696	第九节 深基坑外邻房桩式软托换	785
第二十八章 水泥土与加劲水泥土		第三十二章 桩在深基坑支护工程	
搅拌桩施工	699	中的设计与应用	788
第一节 概述	699	第一节 概述	788
第二节 搅拌桩适用的地质与环境条件	699	第二节 桩排式支护结构分类	789
第三节 搅拌桩的用途	700	第三节 不同桩型的适用条件	792
第四节 搅拌桩的分类	700	第四节 桩排式支护结构的破坏形态	792
第五节 搅拌桩的直径与加固深度	702	第五节 坑壁土压力计算	793
第六节 搅拌桩的布桩形式	703	第六节 桩排式支护结构计算	795
第七节 搅拌桩成桩机理	704	第七节 钢筋混凝土支护桩排的配筋	
第八节 水泥土的物理力学特性与长期		原则	798
稳定性	705	第八节 桩锚支护结构的优化设计	798
第九节 搅拌桩的施工准备	712	第三十三章 桩在建(构)筑物增层	
第十节 搅拌桩的施工机械与工艺	713	加载时的设计与应用	800
第十一节 搅拌桩的质量检验	720	第一节 概述	800
第十二节 工程实例	721	第二节 增层加载时基础处理的方式	800
第二十九章 高架路及桥梁桩基		第三节 两层建筑物增层至七层	802
施工	729	第四节 三层建筑物增层至六层	804
第一节 概述	729	第五节 四层建筑物增层至十层	804
第二节 陆地路桥桩基施工	730	第三十四章 发生挠曲弯断桩的桩基	
第三节 水上工作平台建造	736	补强设计	807
第四节 水上桩基施工	741	第一节 概述	807
第五节 工程实例	751	第二节 竖向荷载下被动曲桩的挠曲	
第三十章 港口码头桩基施工	753	和内力分析计算方法	808
第一节 桩的类型	753	第三节 发生弯曲桩工程的增桩补强	
第二节 水上施工设备	753	设计	818
第三节 锤击沉桩	757	第四节 工程实例	821
第四节 水冲沉桩	769	第三十五章 桩基工程事故及防治	824
第五节 静力压桩	771	第一节 概述	824
第六节 振动沉拔桩	771	第二节 打入式预制桩事故分析与处理	826
第七节 嵌岩灌注桩施工	771	第三节 钻孔灌注桩事故分析与处理	828
第五篇 桩的特殊应用及事故防治	773	第四节 沉管灌注桩事故分析与处理	830
第三十一章 桩在纠正建(构)筑物倾		第五节 环境变异引起桩基工程事故分	
斜中的设计与应用	775	析与处理	831
第一节 概述	775	第六节 防止桩基工程事故发生的治	

本措施	832	四、动力参数法	910
第七节 监理工程师在深基础工程中的		五、声波透射法	915
作用和职责	834	六、水电效应法	919
第六篇 桩基测试与检验技术	837	第三十八章 桩的模型试验	922
第三十六章 单桩静载试验	839	第一节 概述	922
第一节 概述	839	第二节 模型试验相似律	922
第二节 单桩竖向抗压静载试验	839	第三节 模型试验设计	924
第三节 单桩竖向抗拔静载试验	854	第四节 室内模型试验	925
第四节 单桩水平静载试验	859	第五节 现场模型试验	926
第五节 Osterberg 试桩法	869	第六节 离心机模型试验	927
第三十七章 桩基动测技术	874	第七节 试验实例	929
第一节 概述	874	第三十九章 桩基设置与工作时的	
第二节 基桩高应变动力试桩法	875	原型观测	936
一、发展现状	875	第一节 概述	936
二、Smith 波动方程法	875	第二节 原型观测的目的和方法	936
三、Case 法	878	第三节 原型观测工程实例	938
四、实测曲线拟合法	894	第四十章 桩基质量检验与验收	951
五、锤击贯入试桩法	897	第一节 概述	951
六、打桩公式法	897	第二节 桩基成桩质量检验	951
七、动静试桩法	899	第三节 桩身完整性检测	952
第三节 基桩低应变动测法	900	第四节 单桩承载力的检测	954
一、发展现状	900	第五节 桩基工程验收	955
二、机械阻抗法	901	主要参考文献	956
三、反射波法	907		

第一篇 身 论

第一章

桩的类型与用途

第一节 概 述

桩的应用至今至少已有 12000 年至 14000 年历史。这是美国肯塔基大学的考古学家于 1981 年 1 月根据在太平洋东南沿岸智利的蒙特维尔德附近的森林里发现的一间支承于木桩上的木屋,经放射性碳 60 测定后所作的论断。

我国的考古学家于 1973 年至 1978 年在浙江省余姚市河姆渡村发掘了新石器时代的文化遗址,出土了占地约 4 万 m^2 的大量木结构遗存,其中有木桩数百根(圆桩直径约 $\phi 60 \sim \phi 180\text{mm}$ 不等,方桩截面约 $60\text{mm} \times 100\text{mm}$ 至 $150\text{mm} \times 180\text{mm}$ 不等,板桩厚度约 $14 \sim 40\text{mm}$,宽度约 $100 \sim 500\text{mm}$ 不等),经测定,该处浅层和深层文化层大约分别距今 6000 年至 7000 年。这是全球迄今发现的规模最大的木桩遗存。

人类应用木桩经历了漫长的历史时期。直到 19 世纪后期,钢、水泥、混凝土和钢筋混凝土相继问世,先被应用于桥梁、房屋等的各种上部结构,接着均被成功地用来作为制桩材料。

自此以后,木桩与钢桩和钢筋混凝土桩在世界各地并存了几十年。到了 20 世纪 50 年代以后,世界上除了盛产木材的地区外,在大部分地区一方面由于木材资源不足,另一方面由于木材作为制桩材料其性能已不能满足时代的要求,木桩乃渐渐被钢筋混凝土桩和钢桩所代替,约至 70 年代基本不用木桩。

百余年的应用历史证明,混凝土和钢是远比木材更为合适的制桩材料,并且采用混凝土和钢制桩,其意义不仅是摆脱了木材资源不足的困难,更重要的是它给古老的打桩技术注入了勃勃生机,增添了无限活力,迎来了巨大变化。这些变化突出地表现在:

1. 桩的长度和几何形状,包括其横截面、端部形状,乃至整个桩身的形状,不再象木桩那样受天然材料的限制,而可以根据设计作种种变化;

2. 钢桩、混凝土桩和钢筋混凝土桩的强度、刚度等力学特性均远比木桩为高,它们具有更好的贯入性能,能承受更大的冲击,能担负更大的荷载和水平力,并且更为耐久;

3. 制桩和沉桩工艺大为改观。千百年来木桩只能利用木材预先加工制备而后打入土中。钢桩虽亦属预制打入桩,但钢管桩可按照设计需要制成大小不同的管径,又可采取开口或闭口打入;而型钢桩可制成各种截面,并可制成各种钢板桩,等等。另一方面,将混凝土用于制桩,既可在现场或工厂预制,并且借鉴房屋、桥梁等上部结构的成熟经验,又可就地灌注,还可发展预应力制桩工艺。

于是,随着机械设备的不断改进,产生了名目繁多的各种桩型和工法;随着桩的用途不断拓宽以及用桩场地地质和环境条件的种种变化,施工技术和机械设备又不断得到改进

与发展；随着人们对桩的承载性能、设计方法、检测技术等等的不断探索研究，新的桩型和新的设计施工方法又不断呈现。如此不断互相促进，以致在 20 世纪中叶，特别是自 80 年代以来，桩基技术蓬勃发展，不论在我国或在国际上均成了令人瞩目的科技热点之一。

第二节 桩 的 分 类

桩按制桩材料分 有木桩、钢筋混凝土桩和钢桩，已如第一节所述，但广义而言，在地基处理技术中尚有水泥土桩、CFG 桩、石灰桩、二灰桩、灰土桩，以及碎石桩等。

人们的传统观念常将水泥土桩等后几类桩视为柔性桩或非刚性桩，而置于传统的桩的范畴之外。鉴于“复合桩基”理论与实践的兴起，以及桩作为受力结构和地基处理手段的两重性发展，并且在某些应用中几乎所有的柔性桩与刚性桩都能参加工作，因此本手册将水泥土桩等列入了讨论范围；唯碎石桩因属“散体”桩，纯属地基处理技术，故未予列入。

最近的试验研究表明，水泥土桩在桩身中下部水泥土强度有保证的前提下，桩身轴力有效传递深度可达 25m 以上，在长期荷载作用下呈现接近刚性摩擦桩的特性。另一方面，在水泥土桩内插入型钢（或预制桩、钢筋笼）的加劲水泥土桩，已表明水泥土桩具有亦柔亦刚的特性，更宜将其纳入桩的范畴。

桩按桩身的制作方法分 基于上述广义桩的概念，乃有预制、灌注和搅拌三类。预制桩包括木桩、钢桩及混凝土桩。预制混凝土桩可在工厂或施工现场预制；灌注桩有沉管成孔、钻孔冲孔、抓掘成孔、螺旋成孔和人工挖孔；搅拌桩有水泥浆搅拌和水泥粉体喷射搅拌。

桩按其直径或截面尺寸分 有大直径、中等直径和小直径桩之分，此分类常用于灌注桩。但各国（地区）和各专业的分类界线不尽相同，主要视施工习惯及桩型性状等不同而区分。例如，我国《建筑桩基技术规范》（JGJ94—94）将 $\geq \phi 800\text{mm}$ 的灌注桩视为大直径灌注桩，而在《港口工程预应力混凝土大直径管桩设计与施工规程》（JTJ/J261—97）中则将 $\geq \phi 1200\text{mm}$ 的预应力混凝土管桩视为大直径管桩；我国香港特别行政区则将 $\geq \phi 600\text{mm}$ 的灌注桩视为大直径灌注桩。至于小直径桩一般均指 $\leq \phi 250\text{mm}$ 的桩，也称为微型桩，多用于地基浅层处理和旧建筑物基础托换加固。

灌注桩正向着大直径和小直径两个方向发展。

桩按其端部形状分 预制桩有尖底、平底之分；钢管桩有开口、闭口之分；沉管灌注桩有采用预制圆锥形桩尖或平底桩靴之分；人工挖孔桩和机械成孔桩均有平底或锅底之分。预制桩和沉管灌注桩采用平底具有压密桩端土层的效果。钢管桩采用开口具有减轻挤土影响的作用。

桩按其纵向截面形状分 有柱状桩、板桩、楔形桩或锥形桩之分；柱状桩又有直身桩、扩底桩、多节桩、竹节桩、表面带螺纹的桩等。

桩按其横向截面形状分 有圆形、管形、正方形、矩形、十字形、H 形、箱形、三角形、多角形等。

桩按其扩底方法分 对于中小直径沉管灌注桩而言，有预（制）扩（底）、振（动）扩（底）、夯（击）扩（底）、挤（压）扩（底）等法；对于大直径灌注桩而言，有人工扩底、机械扩底等。