

ZHUANG JICHU SHEJI ZHINAN

桩基础设计指南

林天健 熊厚金 王利群 编著

● 中国建筑工业出版社

TU473.12

L60

桩基础设计指南

林天健 熊厚金 王利群 编著

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

图书在版编目(CIP)数据

桩基础设计指南/林天健等编著. —北京:中国建筑工业出版社, 1999
ISBN 7-112-03770-0

I. 桩… II. 林… III. 桩基础-设计-指南 IV. TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 01981 号

本书全面系统介绍了现代桩基设计的理论和实用方法,反映了当代世界上桩基设计领域的先进技术、科研新成果和工程实践经验,书中也包括了国内外桩基设计现有的计算公式和方法以及有关图表。

全书共分八章,分别为:绪论,静荷载作用下桩基的工作性能,桩基设计通论,求解桩基问题的有限元方法,特殊环境下的桩基,沉桩施工控制设计—理论与工艺,深基坑支护体系中排桩设计理论及其应用评述,桩基设计与岩土工程化学。

本书适用于从事桩基工程的工程技术人员、基础工程科研工作者以及有关专业的大专院校师生学习、参考。

桩基础设计指南

林天健 熊厚金 王利群 编著

*

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

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 35 1/4 插页: 4 字数: 864 千字

1999 年 5 月第一版 1999 年 5 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 53.00 元

ISBN 7-112-03770-0

TU·2914 (8987)

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)

序 言

桩是一类古老而又应用广泛的工程结构。桩基技术及其理论至今已发展为一门丰富多彩的学科分支。现代桩基工程的规模和难度越来越大,工程实践需要理论指导与经验总结,一本能反映桩基工程最新发展而又实用的参考书,无疑是设计和施工人员希望获得的“武器”,作为一个力学工作者,我乐于向读者推荐本书。

采得百花蜜,换取千家甜。林天健等同志有多年桩基工程实践经验,他们又博采众家之长,汇集整理了众多研究者与工程师的宝贵经验与理论成果。犹如辛勤的蜜蜂,将酿成的蜜奉献给同行们。相信这本书定会带给人们极大的方便。

我对桩基谈不上是内行,但我确信理论和应用力学是一切工程技术通向现代化的桥梁。作为本书的第一个读者、作为一名力学工作者,我愿援引本书作者的一句话,作为序言的结束:

——如果桥能让您寻出一条路,我愿是桥,永远是桥!

武际可
北京大学教授
1995年6月20日

前言

近 20 多年来,软土地基上高层建筑物及大荷载构筑物的兴建越来越多,基础设计和施工的难度越来越大。由于工程建设的需要,提出和发展了形形色色的桩型和施工工法,有关这些技术和理论的报道和论述,有的散见于有关的文献和著作中,但实际上大多数只是作为工程实录资料保存于某些工程单位或工程技术人员个人手中。现时,关于桩基设计理论及施工工法方面的全面、系统的论述著作可以说是绝少,这种情况既影响了这门学科向更高水平发展,也使广大的桩基设计施工人员经常做着大量的重复的研究或计算工作。而且,更令人惋惜的是,一些优良的桩型或设计理论未为工程界知晓或推广,有些设计者只习惯于用一些常规传统桩型,选桩必选预制桩、挖孔桩;施工必用锤击、钻挖,有点“除却巫山不是云”的偏爱。笔者在工程实践中,曾多次遇到这样的事例,建设单位或施工单位以“非传统”、“新方法”为借口,拒绝采用某种优良的桩型,即使它技术上较合理、经济上又省钱,却宁愿多花几百万去选用那些对于该工程来说是劳民伤财的桩型。

一方面是庄严的工作,一方面是无知与浪费,这是当前基础工程领域的现实。这绝不是危言耸听,浏览一下沿海软土地区,特别是珠江三角洲,几乎随处可以看到倾斜的楼房,开裂的结构物和地面,“纠偏”已成为一门专业。可惜的是,对于桩基学这门意义重大的学科分支,一些高水平的数学家和力学家往往不屑一顾,而身在“江湖”的工程技术人员们,他们凭借自己的智慧、胆识和历经失败积累起来的经验,却为桩基科学提供了丰富的“养料”和信息,有用现时高深数学力学理论还未必能完善解决的难题解决方法,也有只用一般简单力学原理就能“救危楼于未倾,补天地之不足”的绝妙技术思路。可以想象,若将所有这些汇集起来,再补充入有关的应用公式和图表,集成一本既有理论又有实践的册子,将会给桩基设计和施工人员带来多么大的方便。当然,这样的一本书,不可能是作者的个人科研成果,作者只是起汇集和评述的作用,其中自然也包括了作者在科研和工程实践中提出的成果和一些新的见解。

在编写本书时,作者力图在深度与广度、国内与国外、过去与现在、理论与实用,……等方面均能做到较完美的结合。读者会从本书目录中所列内容看出,作者力图展示出桩基科学的真面目,桩基设计理论及施工工法的内容非常丰富,它的重要工程意义也无需在这里再来评价,有幸从事这个专业工作的我们,愿以这本不成熟的书献给正在基础工程研究和实践中探索的千千万万同行。如果这本书能够在一定程度上有助于桩基设计施工人员解决工作中的难题以及减少他们找参考书的困难,我们就感到那许多个不眠的写作之夜是十分值得的了。

正如许多作者在他们的著作的前言结束时要说的,我们也“怀着感激的心情准备接受旨在改进本书的所有读者的批评和建议”。

本书除第 4 章(求解桩基问题的有限元方法)系由陕西机械学院岩土工程研究所李宁教授主笔撰写并由林天健补充外,其余各章均由林天健、熊厚金和王利群等三人编写。全书脱

稿后承蒙北京大学武际可教授千里来书,热情作序,并向读者推荐,谨在此表示深切的感谢!

最后,还应该指出,本书中引用了不少桩基科学研究者和工程师们的研究成果和资料,作者除在有关章节中注明外,也尚有一些漏注的,谨在此一并表示谢意和歉意。

目 录

序言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 桩的定义及分类	1
1.2 桩基与桩基技术	6
1.3 桩基技术的历史回顾	6
1.4 桩基技术的现代进展及趋向	8
1.5 桩基技术面临的挑战	9
参考文献	10
第 2 章 静荷载作用下桩基的工作性能	11
2.1 桩基的工作性能	11
2.1.1 单桩的工作性能	11
2.1.2 群桩的工作性能	27
2.1.3 承受负摩擦力的竖直桩	56
2.1.4 抗拔桩、斜桩和承受斜向力的桩	61
2.1.5 特种用途桩及特殊类型桩	71
2.2 桩基的荷载传递分析	79
2.2.1 基本概念	79
2.2.2 荷载传递机理	79
参考文献	117
第 3 章 桩基设计通论	119
3.1 从设计角度看桩基	119
3.1.1 采用桩基的可能性和必要性	119
3.1.2 桩的几何特征部位	120
3.1.3 设计对桩基的要求	127
3.2 桩基的设计思想	127
3.3 桩基设计的内容和步骤	128
3.3.1 桩基设计的内容和设计原则	128
3.3.2 桩基设计的步骤	130
3.4 桩基的设计准则	133
3.4.1 设计计算理论与方法	133
3.4.2 设计计算的深度和广度	142
3.4.3 规范的意义及其在桩基设计中的作用	143
3.4.4 疏桩基础设计理论	146
3.4.5 数值方法和电子计算机的应用	146
3.4.6 复合地基计算理论	148

3.5 荷载、荷载组合与荷载凝聚	149
3.5.1 荷载的确定	150
3.5.2 荷载组合	159
3.5.3 荷载凝聚	160
3.5.4 荷载的不确定性	160
3.6 桩型的选择	161
3.6.1 桩型选择的原则	161
3.6.2 设计中对桩型选择的考虑	169
3.7 桩的布置	169
3.7.1 桩的布置原则	169
3.7.2 桩的平面布置	172
3.7.3 桩的竖向布置	175
3.8 桩基结构型式	185
3.8.1 设计中对桩基结构型式的考虑	186
3.8.2 桩基结构型式工程实例	187
3.9 桩的几何尺寸和构造	192
3.9.1 桩径与桩长	192
3.9.2 特殊桩段的几何尺寸	194
3.9.3 桩的构造	199
3.10 承台的几何尺寸和构造	213
3.10.1 定义	213
3.10.2 承台的几何形状和尺寸	214
3.10.3 承台的构造	224
3.11 桩基的承载能力	225
3.11.1 桩基的竖向承载力	226
3.11.2 桩基的水平承载力	291
3.12 桩基的沉降	296
3.12.1 单桩的沉降计算	296
3.12.2 群桩的沉降计算	326
3.13 桩基设计的工程实例	353
参考文献	372
第4章 求解桩基问题的有限元方法	376
4.1 桩身的有限元模型	377
4.1.1 二维桩身单元	378
4.1.2 三维桩身单元	378
4.2 桩-土共同作用分析	379
4.2.1 桩-土相互作用模型	379
4.2.2 数值分析实施步骤	383
4.2.3 土体力学模型的数值实现	385
4.2.4 影响桩-土相互作用的几个因素	386
4.3 动力试桩非线性有限元分析	389
4.4 有限元法在桩基设计其它方面的应用	393
4.5 桩基设计的有限元分析程序	396

参考文献	397
第5章 特殊环境下的桩基	398
5.1 软弱土地层中的桩基	398
5.1.1 设计中的考虑	398
5.1.2 软土地层中桩基设计的新理论和新方法	398
5.1.3 软土地区桩基的设计原则	403
5.2 填土地层中的桩基	403
5.2.1 填土地层的特点	403
5.2.2 设计中的考虑	404
5.2.3 填土地层中桩基工程实例	408
5.3 黄土地区中的桩基	410
5.3.1 湿陷性黄土地层的工程特点	410
5.3.2 设计中的考虑	412
5.3.3 湿陷性黄土地区中桩基设计工程实例	415
5.4 膨胀土地区中的桩基设计	418
5.4.1 膨胀土地层的工程特点	419
5.4.2 设计中的考虑	425
5.4.3 设计参数与计算公式	428
5.4.4 膨胀土地区中桩基设计工程实例	437
5.5 冻土地区中的桩基设计	440
5.5.1 冻土地层的工程特点	440
5.5.2 设计中的考虑	441
5.5.3 设计参数与计算公式	442
5.5.4 工程实例	444
5.6 岩溶地区中的桩基设计	446
5.6.1 岩溶地层的工程特点	446
5.6.2 设计中的考虑	446
5.6.3 设计参数与计算公式	448
5.6.4 岩溶地区中桩基设计工程实例	451
5.7 抗震设防区的桩基设计	453
5.7.1 设计中的考虑	453
5.7.2 国外关于地震设防区桩基设计的若干作法	455
5.7.3 抗震设防区桩基的桩型选用及桩身设计	457
5.8 临水或水中桩基础的设计	461
参考文献	462
第6章 沉桩施工控制设计——理论与工艺	464
6.1 收锤标准评述	464
6.2 收锤标准控制原理及分析	466
6.3 沉桩施工控制设计要点	472
参考文献	472
第7章 深基坑支护体系中排桩设计理论及其应用评述	473
7.1 问题的提出	473

7.2 关于荷载分析	473
7.3 关于结构计算	475
7.4 深开挖支护系统计算的近似理论	477
参考文献	479
第8章 桩基设计与岩土工程化学	480
8.1 桩基的化学灌浆处理	480
8.1.1 桩基化学灌浆的工程意义	480
8.1.2 桩基化学灌浆的工艺及灌浆桩基的工作机理	481
8.1.3 桩基化学灌浆处理效果的力学分析	486
8.1.4 灌浆处理工程实例	489
8.2 藉化学作用成桩的理论及方法	491
8.2.1 化学作用成桩机理	491
8.2.2 化学作用成桩方法	494
8.3 岩土工程化学向桩基工程的新领域渗入	495
8.3.1 桩基施工中静破碎技术的引进	495
8.3.2 超高强混凝土的问世与应用	496
8.3.3 有机高分子化学灌浆材料引入桩基工程	496
8.3.4 “绿色化学”对桩基设计思想的影响	496
参考文献	497
附录A 符号说明	498
附录B “ m ”法的原理和方法	531
B-1 什么是“ m ”法?	531
B-2 “ m ”法的内容和解算方法	533
参考文献	536
附录C 现代异形桩及其力学特点的理论评述	537
C-1 现代异形桩的主要类型及技术特征	537
C.1.1 按截面形状划分(附表C-1)	537
C.1.2 按纵断面形状划分(附表C-2)	538
C.1.3 异形桩的技术特征	539
C-2 异形桩的工作机理及力学特点	543
C.2.1 H型桩	543
C.2.2 三角形桩	548
C.2.3 十字形桩	549
C.2.4 I形桩	549
C.2.5 其它杂形桩	550
C.2.6 组合桩	551
C-3 几种主要异形桩有关承载力与沉降(或变形)若干问题	551
C.3.1 关于异形桩承载力的补充评述	551
C.3.2 关于异形桩沉降(或变形)的补充评述	552
参考文献	552
专业名词索引	554
作者简介	559

第1章 绪 论

1.1 桩的定义及分类

桩是设置于土中的竖直或倾斜的基础构件或支护构件,它的横截面尺寸比长度小得多。从历史发展来看,桩是一种比较古老的基础型式,也是迄今应用最为广泛的建筑物基础或支护构件。严格地说,一般在工程实践中所谓的“桩”,指的应该是“桩基”,它是包括桩和桩间土在内的一种深基础。通常将直径较大而桩长较短的桩称之为“墩”,它多见于承载力很大的端承桩。在某些情况,人们往往将打入土中用以防渗阻水的构件亦称为桩,例如钢板桩等。

桩的种类繁多,按不同的分类标准可以划分出不同的桩型,在桩基应用的漫长历史年代中,人们研制和发展出形形色色的桩。有的深基础,例如地下连续墙,它通过比较长而薄的构件把荷载传递到地基上,其作用类似于桩,可广义地称之为“桩墙”。为了直观和明确地了解桩的分类,表 1-1 中给出了桩的型谱;图 1-1 中给出了桩的截面、桩身、桩尖与扩大桩脚的不同形式。工程实践中常见的其他分类分别见表 1-2、表 1-3 和表 1-4。

桩 的 型 谱

表 1-1

序号	桩 型 (按桩身材料划分)	制桩方式	桩 种 (按成桩工艺划分)	截 面 形 状					桩 身 形 状		
							异形 T、H、I		扩底	竹节	等截面
1	钢 筋 混 凝 土 桩	预 制 桩	常规锤击桩	✓							✓
2			低配筋桩								
3			预应力钢筋混凝土桩		✓						✓
4			冷拔丝预应力管桩			✓					
5			槽板桩								
6			异形桩				✓	✓			
7			射水桩	✓	✓						
8			预钻孔桩		✓						
9			静压预制桩	✓	✓						
10			静压振动预制桩	✓							
11		灌 注 桩	锤击沉管灌注桩		✓						
12			静压振动沉管灌注桩		✓						
13			内击式沉管灌注桩		✓				✓		
14			高强度嵌岩灌注桩		✓						
15			双模管振动扩底灌注桩		✓				✓		

续表

序号	桩 型 (按桩身材料划分)	制桩方式	桩 种 (按成桩工艺划分)	截 面 形 状					桩 身 形 状		
							异形 T、H、I		扩底	竹节	等截面
16	钢 筋 混 凝 土 桩	灌 注 桩	钻(冲)孔灌注桩		✓						
17			人工挖孔灌注桩		✓						
18			钻孔墩		✓						
19			Barrettes 桩	✓							
20			低压灌浆桩(树根桩)		✓						
21		预 制 灌 注 组 合 桩	预制-灌注组合桩		✓						
22			多分支承力盘混凝土桩								
23			预制扩大头灌注桩		✓				✓		
24			薄壁管接长灌注桩		✓	✓					✓
25	钢 桩	工 厂 预 制 桩	静压钢管桩			✓					
26			开口钢管桩			✓					
27			钢板桩								
28			植入钢桩				✓				
29			常规实心钢桩				✓				
30	天 然 材 料 桩	预 制 或 现 场 灌 注	石桩	✓							
31			砂桩		✓						
32			灰土桩(土桩)		✓						
33			石灰桩		✓						
34			木桩		✓						
35			竹桩			✓					
36			碎石桩		✓						
37	水 泥 土 桩	现 场 搅 拌	深层粉体喷射搅拌桩		✓						
38			深层水泥搅拌桩		✓						
39			旋喷桩		✓						
40			加筋水泥搅拌桩		✓						
41	砂 浆 桩	现 场 压 注	砂浆防渗板桩				✓				
42			灌浆桩		✓						
43	特 种 (改 良) 型	预 制 或 现 场 灌 注	(夯、压、爆、振)扩桩		✓				✓		
44			预应力高强度竹节桩								
45			灌浆处理桩		✓						
46			高承载摩擦钻孔桩		✓						
47			热加固处理桩								
48			变截面桩								
49			超大直径桩								
50			减沉桩		✓						
51											

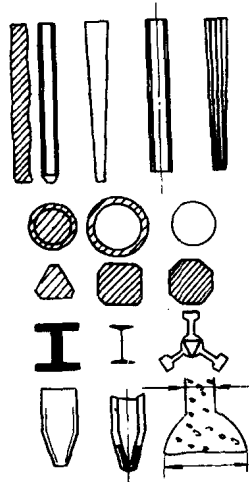


图 1-1 桩的截面、桩尖
与扩大桩脚的不同
形式(摘自文献[1.1])

桩的施工类型^[1.4]

表 1-2

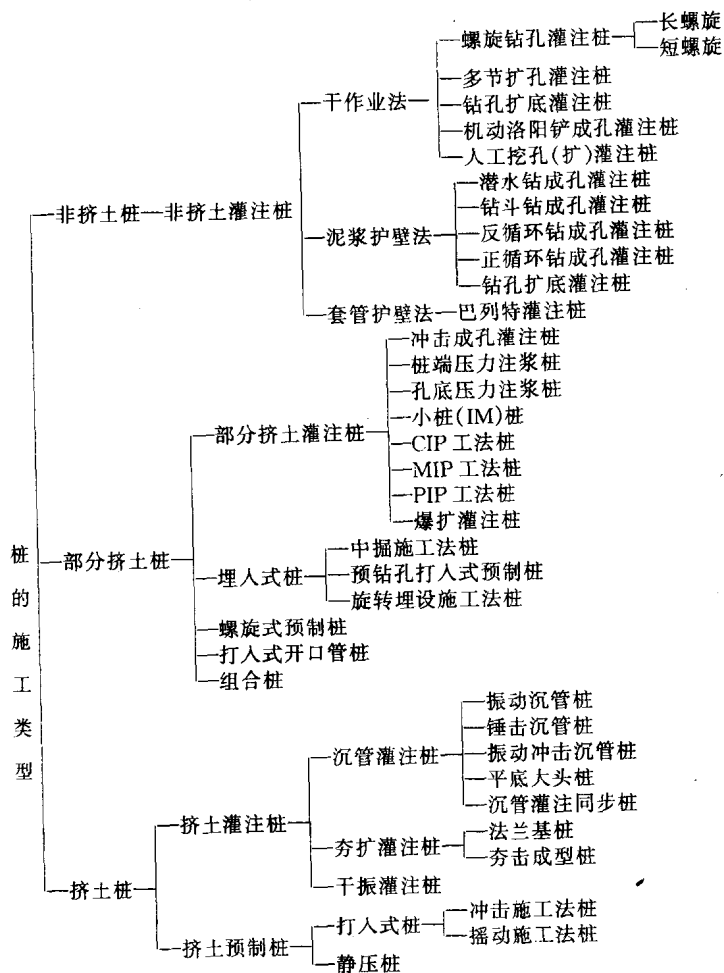
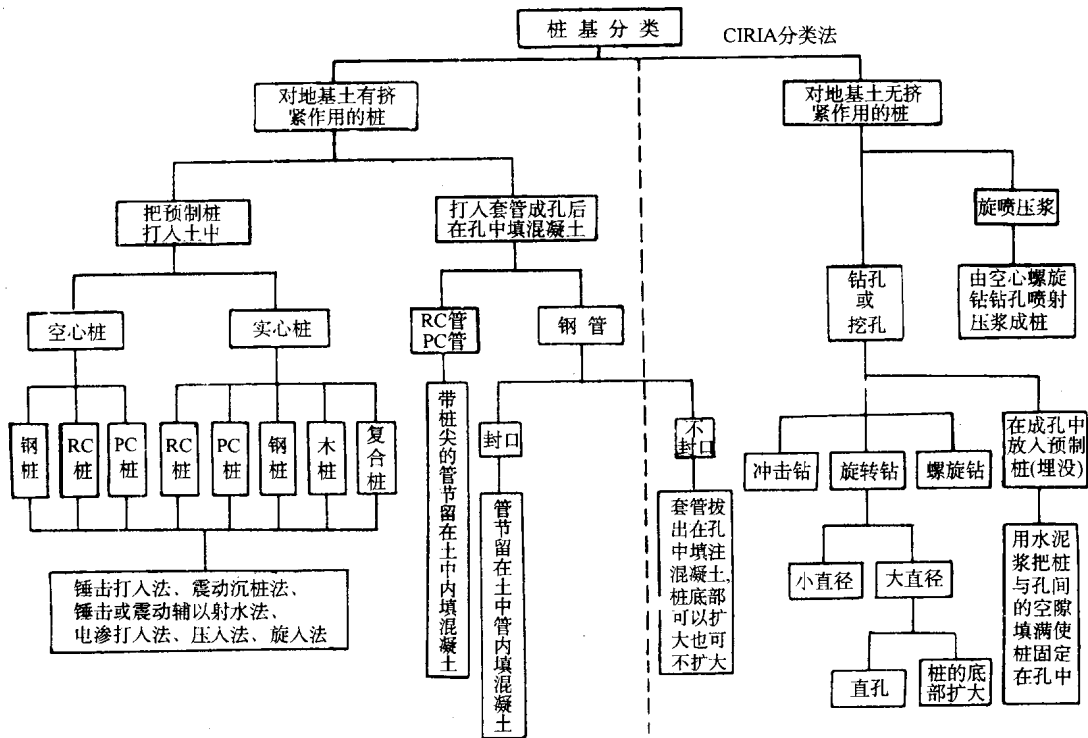


表 1-3



横向荷载下桩的分类^[1.6]

表 1-4

桩 分 类	桩 顶 自 由		
计 算 方 法	Broms 法	“m”法	美国规范
刚 性 桩	$\bar{h} \leq 1.5$	$\bar{h} \leq 2.5$	$\bar{h} \leq 2.0$
半 刚 性 桩	$1.5 < \bar{h} < 2.5$	$2.5 < \bar{h} < 4.0$	$2.0 < \bar{h} < 4.0$
柔 性 桩	$\bar{h} \geq 2.5$	$\bar{h} \geq 4.0$	$\bar{h} \geq 4.0$
桩 分 类	桩 顶 嵌 固		
计 算 方 法	Broms 法	“m”法	美国规范
刚 性 桩	$\bar{h} \leq 0.5$	$\bar{h} \leq 2.5$	$\bar{h} \leq 2.0$
半 刚 性 桩	$0.5 < \bar{h} < 2.25$	$2.5 < \bar{h} < 4.0$	$2.0 < \bar{h} < 4.0$
柔 性 桩	$\bar{h} \geq 2.25$	$\bar{h} \geq 4.0$	$\bar{h} \geq 4.0$

注:1. 布诺姆斯(Broms)法系指 Broms 提出的粘性土中桩的计算方法,其中 $\beta = \sqrt[5]{kD/4EI}$ 。

2. “m”法中, $\alpha = \sqrt{\frac{mb_0}{EI}}$ 。

3. 美国规范系指美国混凝土学会 1973 年推荐的《钻(挖)孔桩基础设计与施工规范》。其中,桩土特征系数 $\alpha =$

$$\sqrt{\frac{mb_0}{EI}}$$

以上 α 、 β 计算式中的符号涵义见以下有关章节。

分类是一种常用的晰化技巧,它可使桩基所暗含的信息有一定程度的显露或使桩的设置过程清晰。因此,要求分类能表达或限定各类桩的特性或包含现代桩的所有桩型。可惜的是,现有的一些分类方法既有交叉重叠之处,又有简单片面之弊,尽管分类的依据不同,例如按桩的制作材料、成桩方法、截面形状、桩的功能、受力情况、桩长、桩身强度,……等等,但不同情况下,分类的意义和重要性也不相同。兹将上述各表中未列入的桩型简列于表 1-5 中。

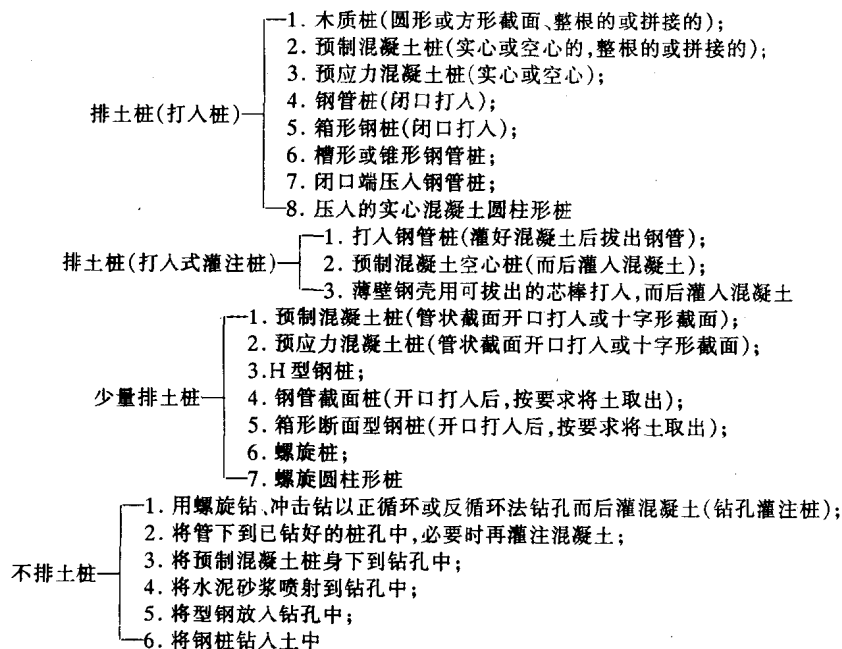
根据其他方法的桩的分类

表 1-5

分类依据	桩 种	桩 型	主 要 特 征
荷载传递机理	预 制 或 现场灌注	摩擦桩	桩上垂直荷载主要由桩侧摩阻力承受
		摩擦端承桩	桩的极限荷载主要由桩端极限阻力承受
		端承桩	桩上垂直荷载主要由桩端阻力承受
		端承摩擦桩	桩的极限荷载主要由桩侧极限阻力承受
功 能	预 制 或 现场灌注	支承桩	承受上层建筑物传下的垂直荷载及水平荷载,起支承作用
		加固桩	改善桩周土体的承载力起地基加固作用
		支护桩	承受横向荷载,对深基坑开挖,坡体滑动起支护作用
成桩排土效应	预 制 或 现场灌注	排土桩	桩打入或压入土中而使桩周土受到排挤
		少量排土桩	土可进入桩的空心截面或螺旋钻进,有少量排土
		不排土桩	采用钻孔或挖孔将土挖除或钻孔植桩,不排土
桩土相互作用	预 制 或 现场灌注	主动桩	桩身所受土压力因桩主动变位而产生
		被动桩	沿桩身一定范围内承受侧向土压力或负摩擦力
桩 轴 方 向	预 制 或 现场灌注	竖桩	桩为竖向设置
		斜桩	桩为斜向设置
桩顶结构形式	预 制 或 现场灌注	桩-柱基础	柱下独立桩基础,几乎没有调整差异沉降能力
		桩-梁基础	框架柱基础通过基础梁传递给桩,整体刚度较好
		桩-墙基础	剪力墙或实腹筒壁下的桩基础
		桩-筏基础	通过整块钢筋混凝土板把柱-墙集中荷载分配给桩
		桩-箱基础	利用地下空箱结构把上部荷载分配给桩,刚度大

英、美等国对桩的划分^[1.7]

表 1-6



顺便指出,在某些必要的情况下,桩也可与其他基础形式或地基加固方法联合使用,构成联合的基承或支护形式,在那些情况下,新的基础结构形式已与通常所谓“桩基”的概念不同,它们的施工工艺和工作机理将在本书有关的章节中再作简要的介绍和评述。

1.2 桩基与桩基技术

桩基,一般是指当利用设置在地基中的桩(或墩)来加固地基时桩和桩间土联合构成的一种复合地基,而且主要是纵向增强体复合地基。在桩基中,桩体是纵向增强体,而桩间土体则为基体。随着地基处理技术的发展,桩的应用已不只限于承受轴向荷载的情况,工程实践中出现了以承受横向荷载为主的围护桩、抗滑桩、锚桩等,因此,广义的“桩基”概念应该也包括这种类型的桩及其基体。

在工程实践中,有些人往往混淆了“桩”与“桩基”的概念,以桩代替桩基,例如说“桩基与土的相互作用”这样的提法,应该是“桩基础与土的相互作用”,桩是一种深基础,但不等同于桩基。定义与概念的混乱往往可能导致计算上的失误或施工与设计的要求不符。

桩的多种类型以及它们的丰富多彩的功能,使得它几乎可以用于各种工种地质条件和各种类型的工程中。不同的桩基各以其不同的工作机理和特点来适应某一具体的特定的工程,因此,采用什么桩型和如何充分发挥桩基的潜力,是桩基技术首先要考虑的两个问题。所谓“桩基技术”,应该是指桩基设计与施工的方法和工艺的总称。也和其他的地基处理方法一样,桩基技术的发展也是“实践在先、理论计算在后”的,但是,由于它的丰富的内涵,使得它仍然具有一种特殊魅力,“引无数英雄竞折腰”。君不见许许多多基础工程科学工作者和工程师们毕生投身桩基技术研究,“衣带渐宽终不悔,为伊消得人憔悴”!?

桩基技术,这个现代的、正在迅速发展和被广泛应用的、也是最古老的基础工程方法,现已形成了一个庞大的复杂的体系,它们将在本书以后的章节中再详细分别介绍。

1.3 桩基技术的历史回顾

桩基技术的发展有着悠久的历史,正如文献[1.1]所指出的:“在人类有历史记载以前,就已经在地基土条件不利的河谷及洪积地区采用了桩基这种基础工程方法;在许多不同文化时期的初期,都可以找到桩基的房屋。”我国最早的桩基距今已有七千多年,据历史文物遗址的挖掘揭示,我国历史上最早的桩是在浙江省宁波市附近的河姆渡,作为古代干阑式木结构建筑的基础是由圆木桩、方木桩和板桩这三种形式木桩组成的桩基础。圆木桩直径一般在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,在世界上也属罕见^[1.2]。

桩基的使用经历了漫长的历史年代,但在水泥未问世以前,实际上能利用的桩型只是由天然材料制成的桩体如木桩和石桩。特别是木桩,我国可说是迄今仍在个别地区使用着。19世纪中叶以后,由于水泥工业的出现和发展,钢筋混凝土在建筑工程中开始应用,于是出现了混凝土桩和钢筋混凝土桩。但在初期阶段,由于所采用的混凝土强度和钢筋强度都较低,钢筋混凝土的计算理论也尚未建立,那时的钢筋混凝土桩,无论从桩型或桩基施工技术来看,都还是比较“低档”的。只是在20世纪20年代特别是第二次世界大战以后,桩基的理

论和技术才有了更大的发展,桩的应用范围也不断扩大,出现了形形色色的、花样繁多的桩型,例如预应力钢筋混凝土桩、高强度钢筋混凝土桩以及钢桩等。桩基从古老的、简陋的形式发展成为现代桩基的各种不同体系过程中,桩的形式、规格和工作机理都有了质的变化。

表 1-7 给出了桩基技术发展历史的简要概括,关于各种不同桩系的发展历史,将在本书相应的章节中再分别叙述。不过,桩基技术的内涵是如此的丰富,读者显然不能期望从本书了解到有关桩基技术发展历史的全貌,这是可以理解的。不过,在桩基技术发展的历史过程中,下述的几点情况是应该特别指出的:

桩基技术发展历史阶段 表 1-7

阶 段	年 代	主 要 桩 型	特 点	备 注
初期阶段	人类有历史记载以前(我国在七千多年以前)~19 世纪	木桩 石桩	1. 由天然材料作成,桩身较短,桩径小; 2. 桩身竖直设置,主要用于传递房屋的竖向荷载; 3. 多设置于地基条件不利的河谷及洪积地区; 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. 桩身规格有所扩大,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	
现代化阶段	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,例如钢桩系列、水泥土桩系列、特种(超高强度、超大直径、变截面等)桩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它学科的先进科学成果,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. 桩基技术的发展受工业化的影响巨大,例如水泥工业的问世,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与最现代化的桩型同时共存,例如木桩在我国 40~50 年代仍在应用。

2. 由于桩型及施工工艺的不断推陈出新、千变万化,量变的结果导致了质变,无论是在桩基的有关理论概念上抑或是桩的效用上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。特别是在桩基设计和施工领域中提出了许多崭新的甚至是离经叛道的概念,例如疏桩理论,桩基逆作法,热加固成桩……,等等。在桩的应用上,除了承受竖直荷载外,还用以承受斜向的甚至是水平的荷载,而在有些情况下,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,以适应上层建筑的超重荷载、深基坑开挖等的需要。此外桩的发展趋向表明,桩身的超高强度、大桩径、超长、无公害沉桩工