

Optimum Design & New Technology
of Pile Engineering



桩基优化设计 与施工新技术

主 编 顾国荣 张剑锋 桂业琨
副主编 许丽萍



人民交通出版社
China Communications Press

Optimum Design & New Technology of Pile Engineering

桩基优化设计与施工新技术

顾国荣 张剑锋 桂业琨 主 编
许丽萍 副主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了我国近年来桩基工程在勘察、设计、施工、测试方面的新工艺、新技术和新方法,在有限篇幅内力求体现桩基工程勘察、设计、施工、测试一体化思路,充分反映桩基工程的一体化发展趋势,其中桩基优化设计方法及其在工程中的成功应用是对传统设计思路的完善和补充。全书共分十一章,包括:桩基础技术概论、桩基工程勘察、桩基优化设计、预制桩施工技术及设备、灌注桩施工技术及设备、特种桩型施工技术及设备、基坑围护工程的桩墙技术及设备、沉桩施工的环境效应、桩荷载试验、桩动力测试、桩基信息化施工技术。各章均附有经典工程实例介绍,具有较高的参考价值。

本书可供从事桩基工程设计和施工的人员参考使用,亦可供土建领域技术人员及大专院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

桩基优化设计与施工新技术 / 顾国荣等主编. —北京:
人民交通出版社, 2011.2
ISBN 978-7-114-08364-8

I. ①桩… II. ①顾… III. ①桩基础—设计②桩基础—
—工程施工 IV. ①TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 062850 号

书 名: 桩基优化设计与施工新技术

著 作 者: 顾国荣 张剑锋 桂业琨

责任编辑: 曲 乐 王文华

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.cccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 34.5

字 数: 827 千

版 次: 2011 年 2 月 第 1 版

印 次: 2011 年 2 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08364-8

定 价: 68.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《桩基优化设计与施工新技术》编写人员名单

主 编:顾国荣 张剑锋 桂业琨

副主编:许丽萍

章 节 号		章 节 名	编 写	审 稿
第一章 桩基础技术概论	第一节	桩的起源和发展	张剑锋	桂业琨
	第二节	桩的分类和选型		
	第三节	桩基础应用中的主要问题		
	第四节	桩基础的发展趋向		
第二章 桩基工程勘察	第一节	勘察工作的重要性	辛 伟	许丽萍
	第二节	软土的工程性质		
	第三节	软土地区勘察的手段与方法		
	第四节	勘察工作量的布置原则及应注意的问题		
	第五节	桩基工程勘察需重点解决的技术问题		
	第六节	桩基工程勘察实例		
第三章 桩基优化设计	第一节	桩基优化设计的基本概念	杨石飞 李晓勇 张 璐	顾国荣
	第二节	类比法桩基优化设计的方法		
	第三节	桩基优化设计内容		
	第四节	案例分析		
第四章 预制桩施工技术及设备	第一节	静压桩的设备选型及适用条件	魏建华 樊向阳 刘伯峰 王 禹	徐 枫
	第二节	静压桩的施工技术		
	第三节	静压桩施工的过程控制		
	第四节	静压桩沉桩可行性分析		
	第五节	打入桩的设备选型及适用条件		
	第六节	打入桩的施工技术及选型		
	第七节	打入桩施工的过程控制		
第五章 灌注桩施工技术及设备	第一节	灌注桩施工技术及设备选型	赵福生 金宗川 高倚山 张金宝 黄立伟	孙 福
	第二节	旋挖扩底灌注桩——AM 工法施工技术		
	第三节	灌注桩的后注浆技术		

续上表

章 节 号		章 节 名	编 写	审 稿
第六章 特种桩型施工技术及设备	第一节	载体桩施工技术及设备	沈保汉 杨启安 周志道 王 伟 刘冀豪	沈保汉 周志道 顾国荣 孙君平
	第二节	锚杆静压桩施工技术及设备		
	第三节	树根桩施工技术及设备		
	第四节	DX 挤扩灌注桩施工技术及设备		
第七章 基坑围护工程的桩墙技术及设备	第一节	排桩式围护挡土墙施工技术	李象范 沈保汉 王美云	桂业琨 李象范 刘富华 张剑锋
	第二节	全套管钻孔咬合桩施工技术及设备		
	第三节	型钢水泥土搅拌墙(SMW 工法)技术及设备		
第八章 沉桩施工的环境效应问题	第一节	沉桩噪声影响	王 浩	魏道琛
	第二节	沉桩振动影响		
	第三节	沉桩挤土效应		
	第四节	非挤土桩施工的环境问题		
	第五节	减小沉桩施工对环境影响的工作方法		
第九章 桩荷载试验	第一节	静力试桩	刘华清	唐 坚 杨石飞
	第二节	自平衡测试技术		
第十章 桩动力测试	第一节	低应变动测法	唐 坚 刘华清	程永峰
	第二节	高应变动测法		
	第三节	混凝土灌注桩超声波检测		
第十一章 桩基信息化施工技术	第一节	桩基信息化施工与管理方法	李 韬	陈 晖
	第二节	信息采集、存储与管理		
	第三节	信息分析与预测		
	第四节	桩基信息化施工案例分析		

前 言

近年来,我国桩基工程发展迅猛,许多新工艺、新技术如雨后春笋般涌现,同时,桩基工程也出过不少问题,许多单位和个人都总结积累了不少经验。另外,由于受以往体制影响,我国桩基工程领域长期以来对各种各样的标准、规范依赖性过强,形成了照本宣科、不求甚解、生搬硬套的做法,不能很好地与现场施工条件、地质条件结合,要么保守浪费,要么事故频发,因此很有必要提倡在地基基础勘察、设计、施工方面进行优化分析和风险控制。有鉴于此,为系统地总结经验,推广新技术,促进行业发展,人民交通出版社于2007年底委托编者编写《桩基优化设计与施工新技术》一书,自2009年形成初稿至今,几易其稿,今终与读者见面。

《桩基优化设计与施工新技术》以实用、紧密结合工程实践为编写原则,以优化设计为体系核心,以勘察设计新方法、施工新工艺、测试新技术为手段,始终贯穿勘察、设计、施工、测试一体化思路。全书共分十一章,包括:桩基础技术概论、桩基工程勘察、桩基优化设计、预制桩施工技术及设备、灌注桩施工技术及设备、特种桩型施工技术及设备、基坑围护工程的桩墙技术及设备、沉桩施工的环境效应、桩荷载试验、桩动力测试、桩基信息化施工技术。其中第三章桩基优化设计总结了桩基优化设计的方法、原理和考虑因素,阐述了在确保安全前提下如何合理控制桩基工程造价及风险。第四章预制桩施工技术及设备紧扣目前沉桩施工技术难点,在收集大量工程实例基础上提出的控制要点和估算方法已在许多工程中得到验证。第十一章桩基信息化施工技术阐述了今后桩基施工信息化控制的必然趋势。各章节总结汇总了近年来大量工程实践及科研成果,许多工程案例都具有非常高的参考价值。

本书由顾国荣、张剑锋、桂业琨任主编,由许丽萍任副主编,参加各章编写和

审核工作的有：沈保汉、辛伟、杨石飞、陈晖、徐枫、王浩、魏建华、李象范、王美云、李韬、李晓勇、唐坚、孙福、金宗川、刘伯峰、樊向阳、魏道琛、赵福生、周志道、高倚山、王伟、张璐、刘富华、刘华清、张金宝、黄立伟、程永峰、王禹、刘冀豪、杨启安、孙君平。

虽然本书编者尽了很大努力，但限于学识水平，错误不妥之处在所难免，敬请读者不吝指正。

作 者

2010 年 10 月

目 录

第一章 桩基础技术概论	1
第一节 桩的起源和发展.....	1
第二节 桩的分类和选型.....	7
第三节 桩基础应用中的主要问题	11
第四节 桩基础的发展趋向	16
本章参考文献	24
第二章 桩基工程勘察	26
第一节 勘察工作的重要性	26
第二节 软土的工程性质	28
第三节 软土地区勘察的手段与方法	32
第四节 勘察工作量的布置原则及应注意的问题	39
第五节 桩基工程勘察需重点解决的技术问题	40
第六节 桩基工程勘察实例	56
第三章 桩基优化设计	65
第一节 桩基优化设计的基本概念	65
第二节 类比法桩基优化设计的方法	95
第三节 桩基优化设计内容.....	105
第四节 案例分析.....	148
本章参考文献.....	154
第四章 预制桩施工技术及设备	155
第一节 静压桩的设备选型及适用条件.....	155
第二节 静压桩的施工技术.....	166
第三节 静压桩施工的过程控制.....	173
第四节 静压桩沉桩可行性分析.....	175
第五节 打入桩的设备选型及适用条件.....	195
第六节 打入桩的施工技术及选型.....	208
第七节 打入桩施工的过程控制.....	217
本章参考文献.....	218
第五章 灌注桩施工技术及设备	221

第一节	灌注桩施工技术及设备选型	221
第二节	旋挖扩底灌注桩——AM工法施工技术	231
第三节	灌注桩的后注浆技术	263
第六章	特种桩型施工技术及设备	277
第一节	载体桩施工技术及设备	277
第二节	锚杆静压桩施工技术及设备	287
第三节	树根桩施工技术及设备	306
第四节	DX挤扩灌注桩施工技术及设备	321
	本章参考文献	337
第七章	基坑围护工程的桩墙技术及设备	339
第一节	排桩式围护挡土墙施工技术	339
第二节	全套管钻孔咬合桩施工技术及设备	346
第三节	型钢水泥土搅拌墙(SMW工法)技术及设备	371
	本章参考文献	385
第八章	沉桩施工的环境效应问题	388
第一节	沉桩噪声影响	388
第二节	沉桩振动影响	390
第三节	沉桩挤土效应	394
第四节	非挤土桩施工的环境问题	409
第五节	减小沉桩施工对环境影响的工作方法	412
	本章参考文献	414
第九章	桩荷载试验	417
第一节	静力试桩	417
第二节	自平衡测试技术	426
	本章参考文献	448
第十章	桩动力测试	450
第一节	低应变动测法	450
第二节	高应变动测法	467
第三节	混凝土灌注桩超声波检测	490
	本章参考文献	509
第十一章	桩基信息化施工技术	510
第一节	桩基信息化施工与管理方法	510
第二节	信息采集、存储与管理	513
第三节	信息分析与预测	518
第四节	桩基信息化施工案例分析	528
	本章参考文献	543

第一章 桩基础技术概论

第一节 桩的起源和发展

桩基础是最古老的基础形式,早在有文字记载的史前,人类在构筑遮风挡雨的住房的时候采用桩来支承。首先是干阑式建筑,这种高架木屋,先民不仅用来居住,而且也作仓储和圈养牲畜之用。特别是在地基条件不良的河谷和冲洪积层采用木桩是最好的选择(图 1-1)。

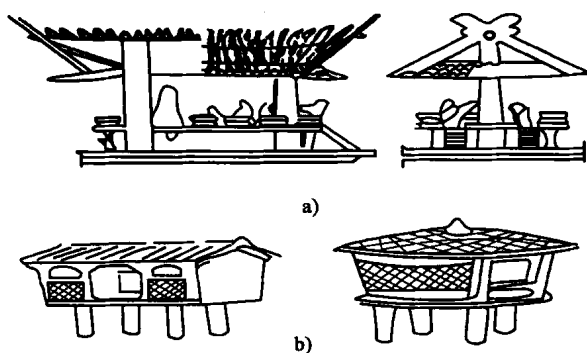


图 1-1 从历史文物所见到的“干阑式建筑”

a)出土的青铜储器盖上的图案;b)出土汉墓的随葬品

桩在中国的起源为距今 6 000~7 000 年的新石器时代。中国考古学家于 1973 年和 1978 年相继在浙江省东部余姚市的河姆渡村发掘了新石器时代的文化遗址(图 1-2),出土了占地约 4 万 m^2 的木桩和木结构遗存。经测定,其浅层第二、第三文化层大约距今 6 000 年,深层第

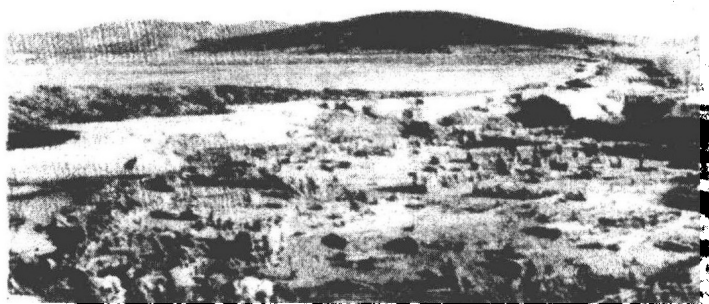


图 1-2 河姆渡出土木桩现场

四文化层大约距今 7 000 年,这是太平洋西岸迄今发现的时间最早的一处文化遗址。1982 年在南美洲智利发掘的一处文化遗址所见到的木桩则年代更为久远,大约距今 12 000~14 000 年。可见桩基础是人类进步史上一笔重要的文化遗产,是人类文明的结晶。我国古代许多雄伟壮丽的历史建筑,历久弥坚,正是成功地运用了桩基础,才抵御了无数次地震灾害和海浪冲刷而至今不失当年雄姿。例如建于公元 247 年的上海龙华塔(图 1-3);10 世纪筑成的杭州湾大海塘的石砌岸壁(图 1-4),是最早采用木桩基础而完好保存至今的著名工程;山西太原晋祠圣母殿亦为木桩基础,历经几百余年保存完好。可见,桩基础源远流长,是建筑工程不可或缺的基本结构要素之一。

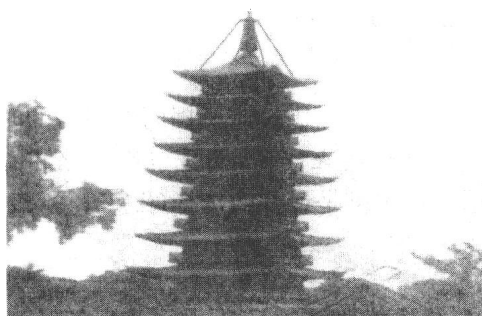


图 1-3 建于木桩上的上海龙华塔



图 1-4 经海潮长期冲刷后暴露的杭州湾海塘的排桩基础

中华人民共和国成立之前,20 世纪 20 年代或稍晚一些,在软弱地基上建造 3~4 层的房屋,常用的都是木桩,一般都是几米长,大头直径约 $\phi 300\text{mm}$ 。直至 20 世纪 30 年代上海外滩号称万国建筑博览会的许多大型建筑物,也大多采用木桩或是木桩上端接上一段混凝土桩管的复合桩。1943 年,中华人民共和国成立前我国第一高楼——上海国际饭店(图 1-5),高 83.8m,地下二层,地上 22 层,常称 24 层,是我国历史上采用木桩支承的最高建筑和最后一座高楼。19 世纪后期,国际上生产了混凝土桩和钢筋混凝土桩,中国随之于 20 世纪 20 年代开始采用钢筋混凝土预制桩和灌注桩,从而出现了木桩、混凝土桩和钢筋混凝土桩三者并举的时期。著名的杭州钱塘江大桥(建成于 1937 年),就是同时采用了木桩和钢筋混凝土预制桩。

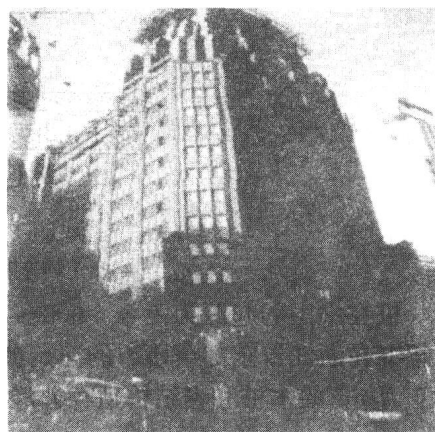


图 1-5 用木桩支承的中华人民共和国成立前我国第一高楼——上海国际饭店,高 83.8m,24 层

桩基础的大规模应用与发展还是在中华人民共和国成立之后,改革开放之后的 30 年则进入了桩基工程的鼎盛时期,目前当代中国的桩基技术已经步入世界先进行列。20 世纪 50 年代首先在一些大型工程中采用钢筋混凝土预制桩,取得了桩基设计施工的初步经验,建立了自己的施工队伍和装备,打下了桩基工程行业发展的基础。到了 20 世纪 60 年代,钻孔灌注桩和爆扩桩迅速发展,为在不同地区不同地层中应用桩基础提供了可能性,也推动了桩基的科学研究。70 年代后期,随着建设事业的发展,桩基础更是突飞猛进,无论是桩型的创新还是施工技术的进步,

无论是应用的广度还是研究的深度,都是前所未有的。20 世纪 70 年代早期的桩型主要是预制方桩,打桩设备最大为 100kN 单动蒸汽锤,最大冲击力为 3 600kN,很难贯入中密的砂层。从宝钢开始,在桩型上引进了日本的钢管桩和打桩设备,柴油锤取代了蒸汽锤,大大增加了锤击能量和入土深度,满足了工程规模不断扩大、结构荷重不断提高的要求。

在宝钢,钢管桩成为强度高、贯入深的重力桩型,前后使用几十万米。继宝钢之后,石洞口电厂、外高桥电厂(图 1-6)等大型电厂,花园饭店、世贸中心等高层建筑,杨浦大桥(图 1-7)等桥梁墩台等也都使用高强度的钢管桩。图 1-8 是建于钢管桩上的上海环球金融中心及其近旁的金茂大厦,矗立于上海浦东陆家嘴金融贸易区中心的 101 层超高层建筑,屋顶高度达 492m,观光天阁高达 472m,当前均居世界第一。

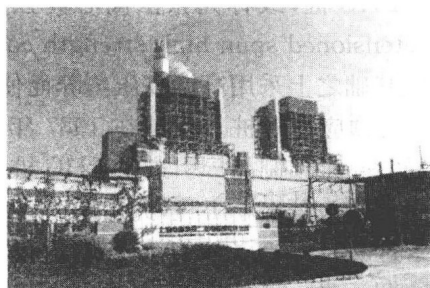


图 1-6 建于钢管桩上的外高桥电厂



图 1-7 杨浦大桥主桥

除了钢管桩以外,上海地区和一些重大电力工程中也应用了 H 型钢桩,华北电力设计院承担的深圳妈湾电厂和华东电力设计院承担的扬州第二发电厂(图 1-9)都应用了卢森堡 HP360×410×176(翼板宽度为 410mm,腹板高度为 360mm,每米质量为 176kg)H 型钢桩。当时我国还不能生产,但现在我国马鞍山钢铁公司已能大量生产并出口世界各地,由于 H 型钢桩穿透能力较强,在特殊地质条件下有一定的适应性,因此也是钢桩中常用的一种桩型。

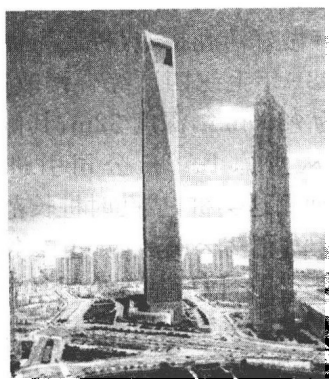


图 1-8 支承于钢管桩上的上海环球金融中心及其近旁的金茂大厦



图 1-9 建于 H 型钢桩上的扬州第二发电厂

进入 20 世纪末以后,随着高强度预应力管桩的引进,在打入桩占了主导地位,钢桩的应用就明显减少了。

PHC 桩,或称先张法离心高强度预应力混凝土管桩 (pretensioned spun high strength concrete pile),是在离心管桩基础之上采用高温高压蒸养而使其强度提高到 C80~C85 的预应力管桩。我国在 1987 年由交通部第三航务工程局混凝土预制品厂引进了 PHC 桩的制造技术和设备,开始用于码头等水上工程,此后不久,广东省的有关单位也引进了这一技术。1989 年华东电力设计院设计的外高桥电厂一期工程,第一个在上海地区的重大工程中进行了 $\phi 800\text{mm}$ 、长达 70 余米的超长桩的试桩工程,为在电力工程和其他工程建筑中的推广和应用奠定了基础。PHC 桩以其强度高、工厂化生产、制作周期短、适应的地层较广、经济性较好,成为打入桩的主力桩型,目前大直径($\phi 1200\text{mm}$)的管桩(图 1-10)也已能生产并投入应用。



图 1-10 $\phi 800\sim\phi 1200\text{mm}$ 大直径 PHC 桩

近年来,在近海工程和海洋平台的基础工程中,直径大于 1m 的钢管桩在跨海大桥得到较多的应用,如东海大桥(图 1-11)通航主跨的边墩为 $\phi 1500\text{mm}$ 的钢管桩,杭州湾大桥和舟山马迹山港码头工程也采用 $\phi 1500\text{mm}$ 的钢管桩,桩长在 62~85m 之间。就上海而言,早在 20 世纪 60 年代初,已经采用钻孔灌注桩建造了市区及近郊的一些桥梁。当时缺少现代化的成桩机械,只能采用人工推磨成孔的大锅锥,后来逐步由泥浆



图 1-11 东海大桥主跨

护壁发展到清水护壁(利用孔内黏性土自然造浆),并保持孔内水位,防止潜蚀和塌孔。1965 年上钢厂 3 号转炉改建工程曾做过钻孔灌注桩试验,但与预制打入桩相比,承载力偏低,而放弃使用。1975 年在公交公司电车修配厂又一次进行了钻孔灌注桩的试验,采用潜水电钻成孔,桩的设计直径为 $\phi 600\text{mm}$,入土深度为 25.8m,试桩极限承载力为 980~1 078kN,明显偏低,原因是没有做好清孔措施,桩底淤泥沉积厚达 0.8~1.0m。1981 年毛织四厂综合楼改造,又做了两根试桩,直径为 $\phi 800\text{mm}$,深度 32m,其侧壁摩

阻力与端阻力与电车修配厂相似。1983 年上海基础公司从西德 BACE 公司引进一台 NVC120/2 型成桩机,可施工 $\phi 900\text{mm}$ 的 Benoto 桩(法国首先使用这类桩,成孔时桩长范围内用钢套管护壁,以防塌孔,浇混凝土后将钢套管拔除);以后在上海雁荡公寓、混凝土二分厂及中山北路立交桥做过 9 根试桩,但试桩结果还是达不到上海一般经验;以后基础公司采取了向桩底周围压浆等措施,取得较好效果,但因成孔机械依赖进口,成孔后尚需采取附加措施,因此 Benoto 桩未能推广。与此同时,上海探矿厂等单位研究开发了磨盘钻成桩机,以泥浆护壁,正循环清孔,经过不断研究改进,在浇捣水下混凝土时用首罐混凝土集中在大漏斗中冲击清除部分孔底残余沉淤,使沉淤厚度不大于 10cm,桩的垂直极限承载力得到了提高,形成 GPS 系列

钻机,风行全国。20世纪90年代初期,有关经验和操作方法已被列入上海市地方标准《钻孔灌注桩施工规程》(DBJ 08-202-92)。钻孔灌注桩的桩径和深度也在不断发展之中,房屋建筑的桩径由 $\phi 600\text{mm}$ 、 $\phi 800\text{mm}$ 扩大到 $\phi 1\,000\text{mm}$ 和 $\phi 1\,200\text{mm}$,甚至更大;桥梁地基早在20世纪70年代就用过直径 $1\sim 1.5\text{m}$ 的钻孔灌注桩,如奉浦大桥引桥的桩直径为 1.5m ,长度为 50m ,进入上海第⑨层砂层。桩的入土深度创纪录的更多,1988年上海恒丰大楼直径 $\phi 850\text{mm}$ 、桩长为 75m ,而山东黄河大桥则有直径 $4\,000\text{mm}$ 、深度 104m 的超大超深纪录。

大直径超深度的钻孔灌注桩在大桥工程中应用更多,例如东海大桥主跨桥墩均采用 $\phi 2\,500\text{mm}$ 的钻孔灌注桩,深度达 118m ,经过后注浆处理,修正后的单桩极限承载力达 $52\,000\text{kN}$ 。而杭州湾跨海大桥D13墩的钻孔灌注桩直径为 $\phi 2\,800\text{mm}$,桩长 120m ,也采取桩端注浆,预估极限承载力为 $60\,000\text{kN}$,而试桩结果则高达 $74\,473\text{kN}$ 。

世博地下变电所工程(图1-12),是当今世界堪称第一的超高压、大直径、超埋深的地下工程。其直径达 130m ,埋深 35.5m ,地下5层,从城市周边将超高压的电流从地下输至市中心,以确保全市供电安全,保证世博会的成功举办。这个工程下设861根直径 $\phi 800\text{mm}$ 的抗浮钻孔灌注桩,深度 82m ,采用后注浆技术;另设92根直径 $\phi 950\text{mm}$ 的支承桩,进入上海⑨₂层粗砂层,挡土支护系统的壁板桩厚 $1\,200\text{mm}$,深度 64m ,这样的规模在世界建筑史上也属罕见。

随着工程建设的发展,特别是地下工程围护结构的需要,一些异型桩大为发展,其中最为重要的是桩墙技术(地下连续墙)、咬合桩、水泥土搅拌桩和劲性水泥土墙(SMW),图1-13是正在吊装的壁板桩(Barrette)的钢筋笼。

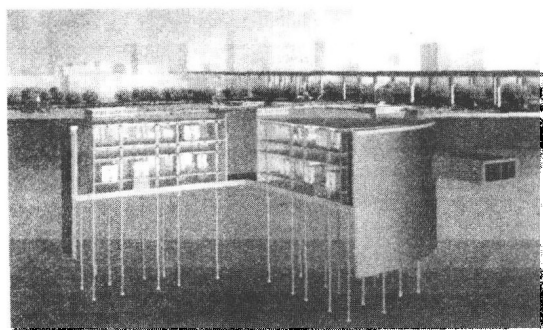


图 1-12 上海 500kV 静安(世博)地下变电所

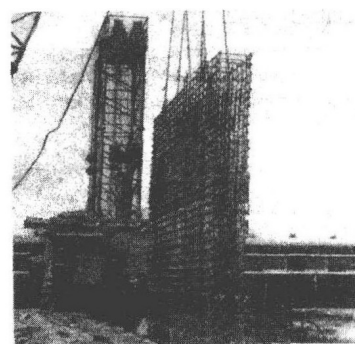


图 1-13 正在吊装的壁板桩(Barrette)的钢筋笼

地下连续墙支护技术由意大利始创,至今已有五十余年的历史,上海和全国各地已广泛应用于高层建筑、地铁车站、引水或排水隧道以及地下停车场、地下商场、地下水库等地下建筑物。

地下连续墙适用于工程难度大,槽壁入土深的工程。开挖深度大的是著名的上海轨道交通4号线董家渡长达 290m 的深层盾构段修复工程。这段盾构隧道向南切入临江大厦地下室底板竖墙,向东伸入黄浦江中 60m ,向西紧邻南浦大桥上匝道 50cm ,基坑开挖过程中要确保相邻建筑的安全,其难度可想而知。本工程创造了多项上海以至国内乃至世界第一,国内软土地基最深的槽壁—— 65.5m ,上海最深的基坑—— 41m 。从2003年7月1日发生险情到2007年7月9日轨交4号线全线贯通,经过34个月的努力奋斗,上海工程建设者们创造了一个工程

奇迹,延展在申城地下空间。值得一提的是,为了清除深埋地下已损毁隧道内的盾构管片,使用了世界上最大的深层障碍物清除全回转钻机——日本车辆株式会社生产的两台 RT-260 全套管回转钻机,其垂直度由 1/500 达到了 1/1 000,这在国内还是首次应用,而且达到了高精度。图 1-14 是这种钻机在硬质岩石内钻进,最大深度已达 132.75m。

与上海软土相比,北京的地基土强度要高一些,但是随着地下空间的开发和利用,超深基坑也不断增多。图 1-15 是国家大剧院在夜幕下的美丽雄姿,深基坑达到地下 32.5m,地下连续墙深达 41m,在我国北方地区是创纪录的。

在桩基础迅速发展的同时,浅层地基的桩基和复合地基的桩工技术也得到广泛的应用和发展,例如用于地基加固和基础托换的树根桩,用于纠偏和加固的锚杆静压桩,用于加固和处理液化地基的振冲碎石桩和干振碎石桩,用于围护结构重力式挡土墙的水泥土搅拌桩,以及石灰桩、钢渣桩等。

树根桩(root piles):与上述一些大直径的桩相比,树根桩是一种小型的钻孔灌注桩,通常的直径是 7.5~25cm,它是用钻机钻孔,然后放入钢筋笼或者一根型钢,同时放入注浆管,注入水泥浆或混凝土而成桩。树根桩可以是单根的,也可以是成束的;可以是垂直的,也可以是倾斜的。

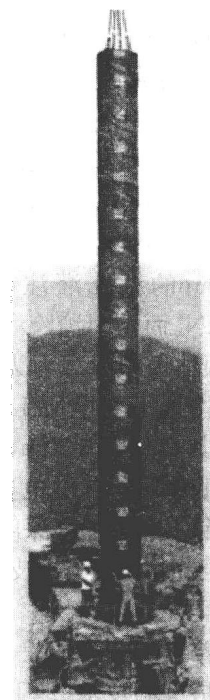


图 1-14 在岩石中钻进的 RT 钻机

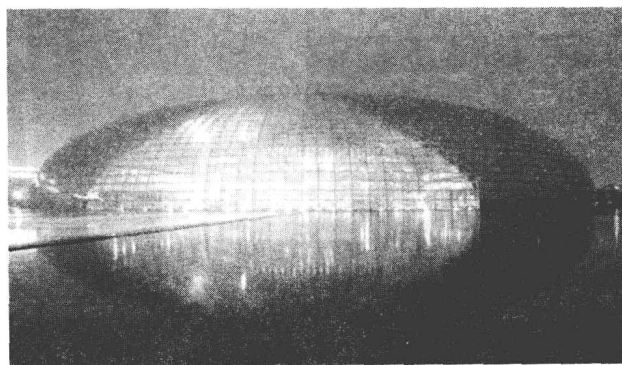


图 1-15 夜幕下的国家大剧院

树根桩目前广泛应用于地基加固和托换工程中,我国从 20 世纪 80 年代开始试验研究和应用于苏州虎丘塔(图 1-16)的纠偏和地基加固。上海应用树根桩加固地基的工程实例甚多,比较典型的是上海延安东路外滩天文台的加固保护。该建筑已有百余年的历史,是上海市的保护性建筑,由于修建延安东路越江隧道距天文台外缘仅 18m,加固其地基是很必要的。上海隧道工程设计院采用两排树根桩形成一道防坍的地下墙,桩径 25cm,桩长 30m,取主筋 4 ϕ 25,箍筋 ϕ 8@500,桩端伸入隧道盾构底标高以下 4.5m,计 143 根。经过加固,天文台安然屹立在黄浦江畔。

沉降控制复合桩基:上海地区 8 层以下的多层房屋大量采用沉降控制复合桩基,充分发挥了桩土共同作用的效果,充分发挥了桩的承载力的极限状态,控制了基础的沉降量,节约了地基加固的费用,上海地方规范已经作出了规定。

中国幅员辽阔,地层岩性复杂多变,除了沿海沿江软土地基之外,湿陷性黄土、膨胀土、内陆湖沼相地层以及大陆架海域都有使用桩基的可能,桩基础都是重要的分项工程。进入改革开放的年代,国家建设以前所未有的速度跨越式前进,桩基工程也是与时俱进,蓬勃发展,从理论创新到工程实践,形成了中国特色社会主义条件下的桩基工程学,涵盖了比较成熟的桩基工程理论、设计方法及配套施工技术,以及较完善的国家行业和地方规范与标准。

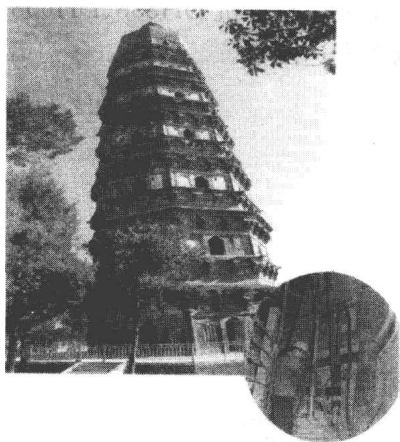


图 1-16 苏州虎丘塔地基加固工程

第二节 桩的分类和选型

早期的桩受到材料和施工条件的限制主要是木桩,随着技术的进步就有了混凝土桩、钢筋混凝土桩和钢桩等不同材料的桩,桩型也有了许多不同的类型,能够适应不同的环境条件和地质条件。

20 世纪 80 年代以来,随着国民经济持续高速增长,中国建设出现了空前的大规模用桩时期。据估计,中国近 10 年来,每年的用桩数量都在 5 000 万根以上,稳居世界各国之首。支承于桩基上的高层、超高层建筑超过万幢,跨越长江、黄河、珠江、黄浦江、钱塘江等大江大河上的大桥、特大桥也以百计,21 世纪初,上海的东海大桥、浙江的杭州湾大桥都是建于桩基上的跨海大桥,其规模和长度也在国际领先。

以成桩条件来区分桩型,则总体上可分为预制桩和灌注桩两类,但从材料和制桩工艺、桩身形状、沉桩(成桩)工艺等方面进行分类,则有更多的不同类型。

浙江省建筑行业协会地下工程分会会长史佩栋教授根据桩的材料、成桩工艺、桩身和桩尖形状、沉桩和施工工艺等要素,列出了中国现今的桩型体系,如图 1-17 所示。可以看出,中国的桩型适应性非常强,不同的制桩材料并存,不同的制桩工艺并存,大中小直径(截面)并存,钻进、锤击、振动与静压施工方法并存,机械成孔与人工挖孔并存,先进工艺和传统工艺并存。桩型和桩基工程显示了一种文化,一种有中国特色的推陈出新的文化和技术。

(1)对于预制桩来说,目前主要的桩型是钢筋混凝土桩、预应力混凝土管桩和钢桩。钢筋混凝土桩主要是传统的尖底方桩,但也有三角形桩、空心方桩和管桩,都是以落锤、振动锤或静压贯入土中,在上部有硬土层的情况下,或是为了减少挤土效应,也可采取预钻孔打入。

高强度预应力管桩(PHC 桩)是目前应用最广泛的一种桩型,由于高强度、耐锤击、贯入性能好,单桩承载力甚至高于钢管桩,因此在许多场合取代了价格较为高昂的钢管桩,其造价在承载力相当情况下比钻孔灌注桩便宜 30%。相应的打桩机械也在不断改进,锤击能量不断增大,工作效率不断提高。以上海工程机械厂为代表的生产厂家,引进了日本车辆的履带式三支

点全液压打桩机 DH558、DH658 和德国 DELMAG 柴油锤,国产品牌的工程机械已外销至美国等发达国家。

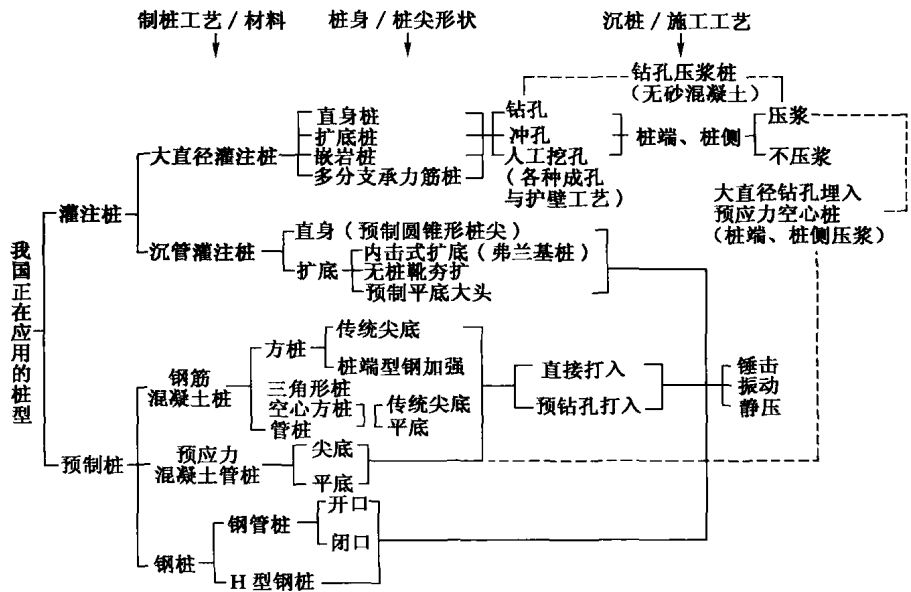


图 1-17 中国现今的桩型体系

随着技术的逐渐成熟,相关的规范和标准也渐趋完善,特别是预应力管桩的国家图集和地方标准都已问世,统一了质量要求和规格标准。

(2)目前国内常见的钻孔灌注桩,已是成孔方法较新、接近国际先进水平的工艺,而人工挖孔桩,则是最古老的工艺之一,二者和谐共存,这是富有中国特色文明的一个范例。中国许多城市只要地质条件适合,人工挖孔桩就是一种高效、优质而又特别经济的成桩工艺。华东电力设计院负责设计的福州电厂、青岛电厂等大型电厂都成功地应用了人工挖孔桩,而且得到了合作伙伴德国西门子的认可。这些年来,南京、北京、青岛等城市由于在施工中发生了人身伤亡等事故,当地建委下发了禁令,不允许随意采用人工挖孔工艺,这是政府负责任的表现,关爱人民的生命安全。青岛发电厂的人工挖孔桩在经过充分的研究论证和试验,提出了详细的施工工艺和安全措施,经过市政府的特批,才得以贯彻实施。现在电厂已安全运行多年,为青岛市的迅速发展作出了巨大贡献。

钻孔灌注桩是桩基工程最为常用的主力桩型,它适用于各种不同的地层条件,没有挤土作用和噪声,在城市中心地带和建筑物密集的地区对环境的影响较小,对于超深和超长的桩基施工也没有大的困难,因此这种桩型遍布天南海北,在全国各地广为使用。

钻孔灌注桩由于成孔条件的不同,施工设备和工艺也有许多形式。除了常见的回转钻进

的钻孔桩以外,还有冲孔桩、内击式扩底桩(弗兰基 Frank 桩)等。最近十年引进了德国宝峨、意大利土力、日本车辆 ED 系列等外国旋挖式钻机,其特点是用抓斗旋挖取土,改变了泥浆排放的缺点,改善了环境条件,在控制系统方面也更为现代化,这种工艺很快风行全国,后来居上。目前国内厂商如三一重机等也已能够生产,并已出口国外。

在桩身形状方面,除了传统的直身等直径外,扩底桩首先引起重视。早在 1981 年,北京市