

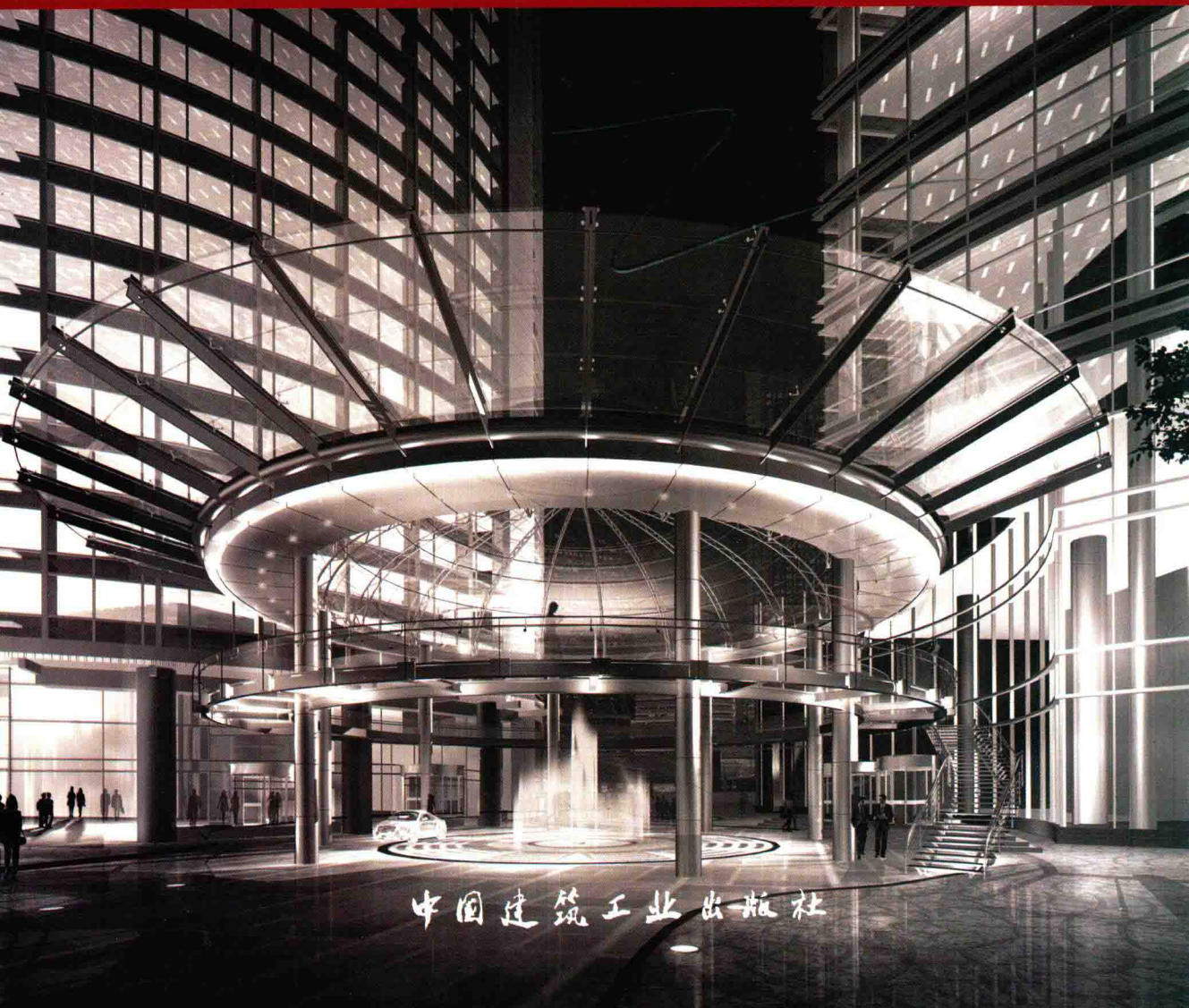


高等学校规划教材

GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

桩基工程 (第二版)

张乾青 张忠苗 主 编
张广兴 副主编



高等学校规划教材

GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

桩基工程

(第二版)

张乾青 张忠苗 主编

张广兴 副主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

桩基工程/张乾青等主编. —2 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 2

高等学校规划教材

ISBN 978-7-112-21604-8

I. ①桩… II. ①张… III. ①桩基础-高等学校-教材 IV. ①TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 297181 号

本书是按照教育部颁布的高等学校土木工程专业本科与研究生教育培养目标、培养方案和课程教学大纲要求, 注册土木工程师(岩土) 考试内容要求及最新国家标准《建筑地基基础设计规范》、《建筑桩基技术规范》、《岩土工程勘察规范》等要求编写的桩基工程学教材。内容上以工业民用建筑桩基工程为主, 兼顾交通、港口、桥梁、水利、电力等领域桩基工程。本书在阐明桩基工程学基本原理和计算方法、施工方法、检测方法的同时, 尽可能介绍一些新成果、新理论、新技术、新方法。写作方式上简明、易懂, 强调学生对基本概念的理解, 并结合工程实例分析培养学生的学习兴趣和动手能力。

全书共分为 10 章, 内容主要包括: 绪论、桩基工程勘察、竖向抗压荷载下桩基受力性状、竖向抗拔荷载下桩基受力性状、水平荷载下桩基受力性状、桩基础设计、桩基工程施工、桩基工程后注浆技术及其工程应用、桩基工程检测、桩基工程事故实例分析。

本书结构严谨, 内容翔实, 通俗易懂, 配有大量图表, 使读者能够快速深入理解桩基工程中的相关问题。通过桩基工程具体案例分析, 旨在帮助读者掌握桩基工程问题的计算理论与分析方法, 培养读者解决桩基工程问题的基本能力和创新能力。

本书可作为高等学校土木工程、水利工程、港口工程、道路工程、桥梁工程等专业高年级本科生和研究生的专业教材, 也可作为广大注册土木工程师(岩土) 资格考试相关内容的复习教材, 同时可供土木工程、水利工程、港口工程、道路工程、桥梁工程等专业技术人员和研究人员使用。

本书制作有教学 PPT, 有教学需要者可向作者索取 (zjuzqq@163.com)。

责任编辑: 杨 允 王 梅 吉万旺

责任校对: 刘梦然

高等学校规划教材
桩基工程 (第二版)

张乾青 张忠苗 主编

张广兴 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 33¼ 字数: 818 千字

2018 年 5 月第二版 2018 年 5 月第九次印刷

定价: 69.00 元

ISBN 978-7-112-21604-8

(31228)

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)



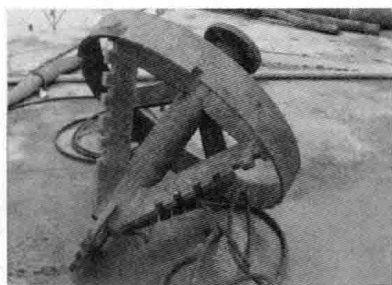
桩基础高层建筑



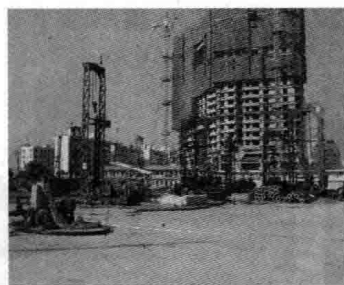
钻孔灌注桩开挖后



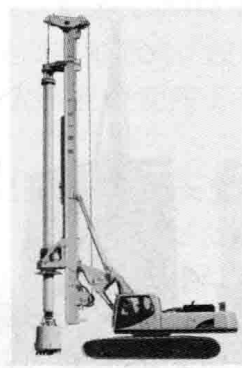
钻孔桩机械扩底钻头



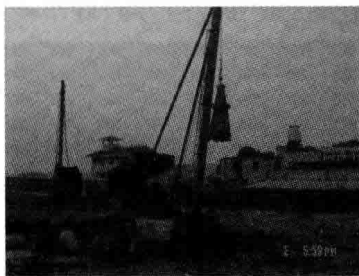
钻孔桩普通钻头



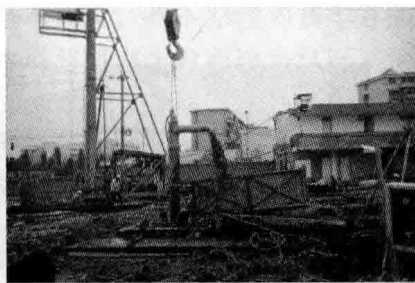
钻孔桩施工



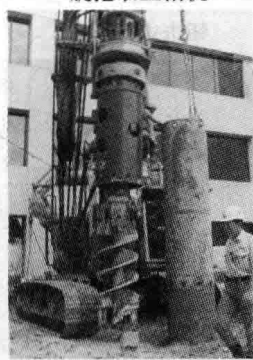
旋挖取土钻机



冲击灌注桩



钻孔桩气举反循环清孔



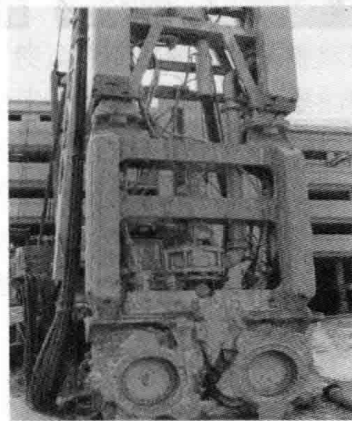
螺旋取土钻



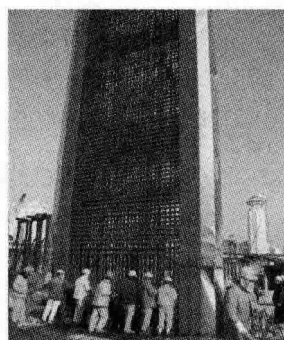
SMW 工法



抓斗式成槽机



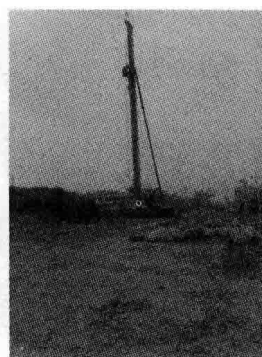
旋转式成槽机



地下连续墙钢筋笼



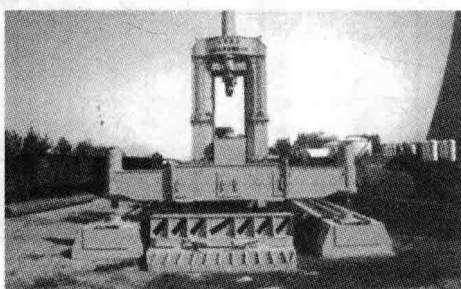
人工挖孔桩灌注前



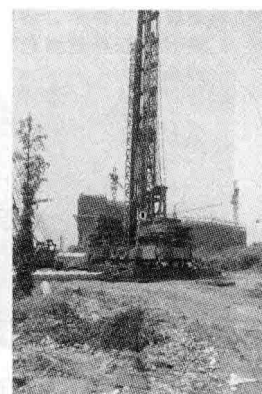
振动式沉管灌注桩桩架



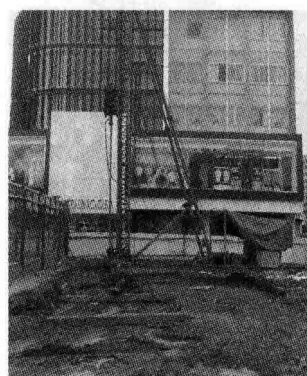
锤击式打桩机



抱压式静力压桩机



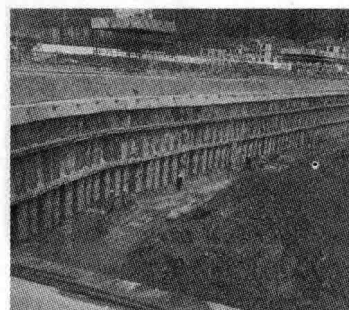
顶压式静力压桩机



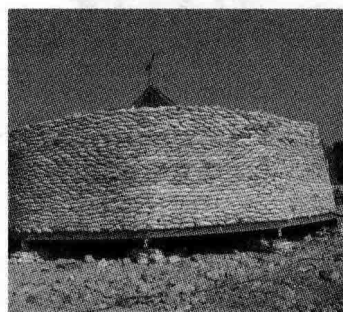
水泥搅拌桩



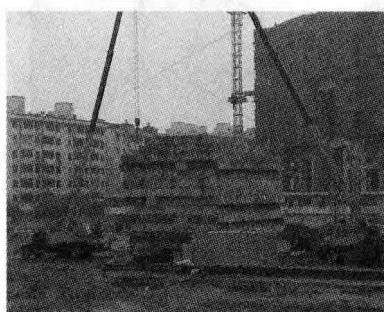
抗拔锚杆桩



基坑围护桩



沙包堆载法抗压静载试验



水泥块堆载法抗压静载试验



锚桩法抗压静载试验

第二版前言

随着城市建设规模的日益扩大,土地资源越来越有限,加之施工、设计和建造水平的不断提高,高层建筑和大型工业建筑物不断涌现。中国已成为世界高层建筑建造大国,200米以上竣工高层建筑连续10年世界第一。高层建筑的大量修建给广大土木工作者提供了机遇,同时也提出了挑战。桩基础具有整体性好,竖向承载力高,基础沉降小,调节不均匀沉降能力强,抗倾覆能力强等优点,是高层和超高层建筑的主要基础形式。桩是促进我国经济发展的地下推手,在我国成为世界第二大经济体的伟大事业中发挥了重要作用。

桩基工程是一门实践性和理论性很强的学科,其设计指导思想是在确保长久安全的前提下,充分发挥桩土体系力学性能,做到既经济合理,又施工方便、快速、环保。这就要求桩基工程从业人员以相关规范为依据,从桩基工程的基本原理出发,综合考虑结构形式、场地条件、施工条件和经济条件等,确保建筑物的长久安全。桩基础虽已被广泛使用,但桩基承载特性存在理论研究与工程实践间的矛盾,桩基工程实践中出现了不少问题。因此,对桩基工程相关理论知识、桩基事故的原因分析和相关处理措施的成功经验进行系统介绍具有重要的意义。

本书强调学生对桩基工程学基本概念、基本原理和基本方法的掌握,内容上按照教育部颁布的高等学校土木工程专业本科与研究生教育培养目标、培养方案和课程教学大纲要求,注册土木工程师(岩土)考试内容要求及最新相关规范和标准等要求编写,以理论研究、现场测试和工程实践相结合的方法对桩基工程中的相关问题进行了系统阐述。本书在第一版的基础上对内容进行了整合和完善,全书共分为10章,主要内容包括:绪论、桩基工程勘察、竖向抗压荷载下桩基受力性状、竖向抗拔荷载下桩基受力性状、水平荷载下桩基受力性状、桩基础设计、桩基工程施工、桩基工程后注浆技术及其工程应用、桩基工程检测、桩基工程事故实例分析。

本书结构严谨,内容翔实,通俗易懂,配有大量图表,使读者能够快速深入理解桩基工程中的相关问题。通过桩基工程具体案例分析,旨在帮助读者掌握桩基工程问题的计算理论与分析方法,培养读者解决桩基工程问题的基本能力和创新能力。本书可作为高等学校土木工程、水利工程、港口工程、道路工程、桥梁工程等专业高年级本科生和研究生的专业教材,也可作为广大注册土木工程师(岩土)资格考试相关内容的复习教材,同时可供土木工程、水利工程、港口工程、道路工程、桥梁工程等专业技术人员和研究人员使用。

本书得到了国家自然科学基金(51778345, 51408338),山东省自然科学基金JQ 201811,山东大学青年学者未来计划科研基金(2017WLJH32)的资助,在此表示感谢。感谢课题组成员在理论研究及现场试验中给予的帮助和指导,感谢山东高速工程检测有限公司辛公峰教授级高工和徐嵩基高工、浙江理工大学俞峰教授、浙江大学城市学院

张世民教授和孙苗苗副教授、青岛理工大学刘俊伟副教授、山东科技大学房凯副教授、青岛绿城建筑设计有限公司王华强高工、中国地质大学吴文兵教授和梁荣柱副教授、山东大学崔伟副教授、张健、刘善伟、冯若峰、李晓密、郑晓、吕高航等研究生为本书所提的宝贵建议和意见。对于为本研究提供现场试验条件和配合的工程技术人员和合作单位，在此一并表示衷心的感谢。

本书在编写过程中主要参考并依据国家《建筑地基基础设计规范》、《建筑桩基技术规范》、《岩土工程勘察规范》、《混凝土结构设计规范》、《公路桥涵设计规范》、《港口工程桩基规范》等，同时也参考了相关桩基工程、基础工程与岩土工程的专业书籍，谨此向书中引用内容的作者表示深深的谢意。

由于作者水平和能力有限，书中难免存在不当之处和引用不规范之处。作者将以感激的心情诚恳接受旨在帮助改进本书的所有读者任何批评和建议。本书制作有教学 PPT，有教学需要者可向作者索取（zjuzqq@163.com）。

张乾青

2017 年 12 月于山东大学千佛山校区

第一版前言

万丈高楼平地起，基础必须要牢固。桩基础是建筑工程、桥梁工程、港口工程和海洋工程中的主要基础形式之一，在我国有着广泛的应用。桩基工程是一门实践性和理论性都很强的学科。但目前桩基础的工程实践和理论研究还存在一些脱节，导致桩基础在应用中出现了不少问题。如某些房屋基础由于设计和施工不当出现沉降过大或不均匀沉降，给国家和人民造成了巨大的经济损失。所以，加强专业人员的培训培养教育是一项崇高而艰巨的事业。本书将介绍成功的经验与失败的教训及桩基设计施工的正确理念。桩基设计的指导思想是，在确保长久安全的前提下，充分发挥桩土体系力学性能，做到既经济合理，又施工方便、快速、环保。要求设计施工人员依据规范又不僵硬地套用规范，从桩基工程的基本原理出发，考虑上部结构荷载、地质条件、施工技术、经济条件来正确地设计与施工桩基础，目的是保证建（构）筑物的长久运行安全。

诚然，基础工程等各类手册不少，土力学与工程地质学教科书也不少，但到目前为止，我国还没有真正意义上的《桩基工程》教科书，这是笔者编写本书的主要理由之一。理由之二是笔者从事桩基工程实践和研究 20 多年，十年磨一剑，参与了浙江省包括最高建筑在内的几百项重大重点工程的桩基础设计咨询和试验工作，并积累建立了 6500 根试桩的试验数据库，有必要将这些工程经验贡献出来。理由之三是笔者在浙江大学为研究生和高年级本科生开设《桩基工程》课程 10 多年，指导从事桩基工程科学研究的研究生已毕业 20 多名，在教学工作中也急需一本《桩基工程》教材。本书强调学生对桩基工程学基本概念、基本原理和基本方法的掌握，在内容上按照国家《建筑地基基础设计规范》、《建筑桩基技术规范》和国家注册土木工程师、注册结构工程师要求及教育部最新教学大纲要求来编写。全书共分十章，内容包括绪论、桩基工程勘察、抗压桩受力性状、桩基沉降计算、抗拔桩受力性状、水平桩受力性状、桩基础设计、桩基工程施工、支护桩设计、桩基工程试验与检测。

本书从现场测试、理论研究与工程实践相结合的角度出发，在写作方式上从桩基静载试验入手，先直观的介绍抗压桩、抗拔桩、水平受荷桩在试验时反映出的承载力与变形特性，以便让学生掌握桩受力的感性知识。同时通过工程实例，对各种桩基的受力机理、计算理论和方法、施工工艺、勘察检测、事故处理等一系列问题进行了系统阐述。在版式上突出了每章开始时，提出带启发性的在学完本章后应掌握的关键内容，做到有的放矢，事半功倍。在教学方式上本书针对现代多媒体电脑教学的要求制作了教学 PPT。在与国际接轨上全书桩基工程学关键词都附有中英文对照。本书是主编者及课题组 20 多年教学、科研和工程实践相结合经验的一个总结，旨在培养学生掌握桩基工程问题的分析方法和解决桩基工程问题的基本能力及创新能力。

本书由国家重点学科浙江大学岩土工程研究所、浙江大学软弱土与环境土工教育部重点实验室博士生导师张忠苗教授主编。张忠苗教授、张广兴讲师主要编写并统稿。山东省

交通研究所辛公锋博士参加第4章编写；浙江省地震局周新民博士、浙江大学施茂飞参加第10章部分编写；北京航空航天大学朱建明副教授参加第2章编写；浙江大学岩土工程研究所韩同春副研究员参加第9章部分编写；浙江省地矿工程公司周洪川、浙江大学张功奖参加第8章部分编写。此外，浙江省建筑设计研究院副院长李志飏博士，浙江大学建筑设计研究院总工程师干刚博士，浙江省城乡规划设计研究院方鸿强教授级高工，温州市建筑设计院副院长李朝晖教授级高工，浙江大学城市学院张世民副教授，浙江省工程物探勘察院魏玉轮教授级高工、李建华高工，浙江绿城建筑设计院宋仁乾工程师、包风工程师、任光勇工程师和浙江大学曾国熙教授、吴世明教授、陈云敏教授、龚晓南教授、陈仁朋教授、丁浩江教授、王立忠教授、夏唐代教授、张我华教授、唐晓武教授、蔡袁强教授、凌道盛教授、施雪飞、张宇、骆剑敏、陈建平、鲍远成、张先永、潘月赞、张锡焰、章国强、章丽斌、骆剑华、陈志祥、张云飞及学生喻君、邹健、竺松、沈慧勇、王华强、张乾青、贺静漪、林巍等都提出了宝贵意见。感谢建筑工业出版社王梅编辑等为本书的出版付出的辛勤工作。本书承蒙北京市建筑工程研究院沈保汉教授、国家重点学科同济大学岩土工程研究所周健教授、中国土木工程学会秘书长张雁教授主审。由于桩基工程学学科不断发展，新问题层出不穷，新方法不断出现，而人类重在继承与发扬，让学生掌握必须的基本知识，因此，本书在编写过程中主要参考并依据国家《建筑地基基础设计规范》、《建筑桩基技术规范》、《教育部教学大纲》、《岩土工程勘察规范》、《注册岩土工程师考试大纲要求》、《注册结构工程师考试大纲要求》、《注册建筑师考试大纲要求》、《混凝土结构设计规范》、《公路桥涵设计规范》、《港口工程桩基规范》。同时也参考了相关桩基工程、基础工程与岩土工程的专业书籍，谨此向书中引用内容的作者表示深深的谢意。本书得到了国家自然科学基金资助（基金编号：50478080），在此表示感谢。

由于编者水平和能力的限制，书中难免存在许多不当之处。编者将以感激的心情诚恳接受旨在改进本书的所有读者的任何批评和建议。

张忠苗

2007年07月于浙江大学求是园

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 地基基础问题	1
1.3 大型工程成功基础形式	8
1.4 桩基的定义和分类	10
1.5 桩基的作用	11
1.6 桩基设计思想	12
1.7 桩的发展过程	12
1.8 桩基工程新技术	17
1.9 桩基工程学的研究方法	26
1.10 本课程对学生的学习要求	26
第 2 章 桩基工程勘察	29
2.1 概述	29
2.2 桩基勘察目的	29
2.3 岩土工程勘察分级	30
2.4 岩土工程勘察点线距布置方法	32
2.5 岩土工程勘察方法	33
2.6 勘探点平面和深度设置原则	35
2.7 岩土的工程分类	36
2.8 岩土参数的物理意义	40
2.9 工程勘察报告编写及内容	45
2.10 勘察报告的阅读及桩基设计应考虑的因素	47
2.11 桩型选择和桩基优化	48
第 3 章 竖向抗压荷载下桩基受力性状	50
3.1 概述	50
3.2 竖向抗压单桩静载试验	50
3.3 桩土体系的荷载传递	80
3.4 桩侧阻力	82
3.5 桩端阻力	89
3.6 竖向抗压荷载下单桩极限承载力的计算方法	93
3.7 竖向抗压荷载下单桩沉降计算方法	105
3.8 竖向抗压荷载下群桩受力性状	126
3.9 竖向抗压荷载下群桩极限承载力计算方法	133

3.10	超高层群桩基础受力性状现场试验分析	138
3.11	竖向抗压荷载下群桩沉降的计算方法	143
3.12	桩基负摩阻力	164
3.13	竖向抗压桩基沉降计算实例	169
第4章	竖向抗拔荷载下桩基受力性状	174
4.1	概述	174
4.2	竖向抗拔单桩静荷载试验	174
4.3	抗拔桩的受力机理	182
4.4	抗拔桩与抗压桩承载特性的异同	185
4.5	竖向抗拔桩极限承载力的确定	189
4.6	竖向抗拔单桩变形计算	193
4.7	竖向抗拔群桩变形计算	200
4.8	抗拔桩设计方法	201
4.9	竖向抗拔群桩基础抗拔承载力计算实例	204
第5章	水平荷载下桩基受力性状	206
5.1	概述	206
5.2	水平荷载作用下单桩静载试验	206
5.3	水平受荷桩受力机理	212
5.4	水平荷载作用下单桩变形计算方法	216
5.5	水平荷载作用下群桩变形计算方法	224
5.6	水平受荷桩的设计	226
5.7	提高桩基抗水平力的技术措施	232
5.8	水平受荷桩承载特性计算实例	233
第6章	桩基础设计	236
6.1	概述	236
6.2	地基基础的设计原则	236
6.3	桩基础的设计思想、原则与内容	241
6.4	按变形控制的桩基设计	244
6.5	桩型的选择与优化	246
6.6	桩的平面布置	247
6.7	桩基持力层的选择	253
6.8	桩长与桩径的选择	254
6.9	承台中基桩承载力计算与平面布置	256
6.10	承台结构设计与计算	260
6.11	桩基础抗震设计	267
6.12	特殊条件下桩基设计原则	273
6.13	后注浆桩设计	277
6.14	桩土复合地基设计	277
6.15	刚柔复合桩基设计	286

6.16 算例分析	290
第7章 桩基工程施工	298
7.1 概述	298
7.2 桩基工程施工前调查与准备	298
7.3 预应力管桩的施工	300
7.4 预制混凝土方桩的施工	311
7.5 钢桩的施工	314
7.6 沉管灌注桩的施工	318
7.7 钻孔灌注桩的施工	325
7.8 人工挖孔灌注桩的施工	349
7.9 挤扩支盘灌注桩的施工	353
7.10 大直径薄壁筒桩的施工	357
7.11 静钻根植桩的施工	360
7.12 水泥搅拌桩的施工	364
7.13 钻孔咬合桩的施工	369
7.14 碎石桩的施工	369
7.15 静压锚杆桩的施工	371
7.16 树根桩的施工	371
第8章 桩基工程后注浆技术及其工程应用	373
8.1 概述	373
8.2 钻孔灌注桩施工存在的问题	373
8.3 后注浆技术的定义及作用	375
8.4 后注浆技术的分类	376
8.5 后注浆技术理论	382
8.6 后注浆技术设计	390
8.7 后注浆桩承载力计算方法	395
8.8 后注浆桩承载特性计算方法	399
8.9 常见注浆事故及处理措施	403
8.10 后注浆桩工程实例分析	415
第9章 桩基工程检测	433
9.1 概述	433
9.2 基桩主要检测内容和检测方法	433
9.3 基桩现场成孔质量检测	434
9.4 桩身完整性检测	439
9.5 基桩承载力检测	463
第10章 桩基工程事故实例分析	475
10.1 概述	475
10.2 预应力管桩偏位事故实例分析	475
10.3 基桩承载力不足事故实例分析	482

10.4	同一建筑刚性桩与柔性桩沉降差过重大事故实例分析	492
10.5	钻孔灌注桩预埋注浆管无法打开事故实例分析	503
10.6	基桩桩身质量事故实例分析	510
参考文献		523

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

随着城市建设规模的日益扩大,土地资源越来越有限,加之施工、设计和建造水平的不断提高,高层建筑和大型工业建(构)筑物不断涌现。截止至 2017 年底,我国 200m 以上竣工高层建筑连续 10 年居世界第一,2016 年更是以 84 座的数量占全球竣工总量的 67%。方兴未艾的超高层竞赛仍在全国各地开展,待修建的超高层建筑高度不断被刷新。桩基础具有整体性好,竖向承载力高,基础沉降小,调节不均匀沉降能力强,可承受风荷载或地震荷载引起的巨大水平力,抗倾覆能力强等优点,是高层和超高层建筑的主要基础型式。桩基础也被广泛应用于高速铁路、高速公路、桥梁、港口码头和大型构筑物等工程中。桩是促进我国经济发展的地下推手,在我国成为世界第二大经济体的伟大事业中发挥了重要作用。合理使用桩基础既能有效控制建(构)筑物沉降变形,又能提高建(构)筑物的抗震性能,从而确保建(构)筑物的长期安全使用。

桩基础虽已被广泛使用,但桩基承载特性存在理论与工程实践间的矛盾。由于设计、施工和地质条件等各方面的原因,桩基工程实践中出现了不少问题。如何在确保建(构)筑物长久安全的前提下,充分发挥桩土体系力学性能,做到所设计桩型既经济合理,又施工方便快捷、环保是目前桩基设计中的关键问题。这就要求桩基工程从业人员以相关规范为依据,从桩基工程的基本原理出发,综合考虑结构形式、场地条件、施工条件和经济条件等,确保建(构)筑物的长久安全。因此,有必要通过专业系统学习掌握桩基础的基本理论和设计施工方法。

1.2 地 基 基 础 问 题

如何解决建(构)筑物地基基础承载力不足和变形过大的问题?建(构)筑物为何使用桩基础?什么条件下使用桩基础?如何解决桩基工程中遇到的各种问题?本书将介绍桩基工程的基本原理,桩基设计、施工、检测的各类方法及各种桩基工程问题的处理措施。首先本节将介绍几个典型地基基础问题。

1.2.1 比萨斜塔倾斜事故

比萨斜塔是意大利比萨大教堂的一座钟楼,塔高 55m。该钟楼于 1173 年 9 月 8 日破土动工,建到第 4 层时出现倾斜,1178 年被迫停工,1272 年重新开工,1278 年又停工,1360 年再次复工,直到 1370 年全塔竣工,建塔前后历时近两百年。

该钟楼呈圆柱形,塔身 1 至 6 层由优质大理石砌成,塔顶 7 至 8 层由轻石料和砖砌成,全塔总荷重为 145MN,地基承受接触压力高达 500kPa。塔身自北向南倾斜,倾角约

5.5°，塔顶偏离竖向中心线的水平距离多达 5m，倾斜已达极危险状态（见图 1-1）。

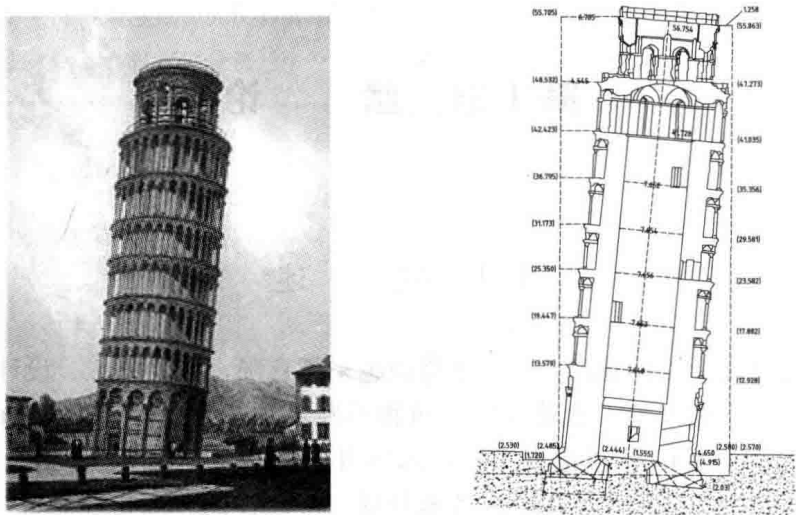


图 1-1 比萨斜塔

经分析发现，造成比萨塔倾斜的主要原因是塔身基础面积较小，上部荷载大于淤泥质黏土和砂土组成地基的承载力，且土层厚度不均，形成塔身偏心荷载，导致塔身倾斜，地基的后期塑性变形使倾斜不断加剧。需要说明的是，比萨斜塔旁边还建造有主教堂（始建于 1063 年，1092 年建成）和洗礼堂（始建于 1153 年，13 世纪末建成），地质条件相似，但由于主教堂和洗礼堂基础底面积大，总高度相对较低，地基的单位面积荷载相对较小，所以主教堂和洗礼堂虽有沉降，但沉降基本均匀，未影响正常使用。该工程如果使用桩基础，则不会出现倾斜现象，也就不会存在现在的比萨斜塔了。

1.2.2 强夯法处理地基承载力不足事故

浙西某工业园区 1 号厂房为单层钢结构厂房，场地地貌为山前残坡积相，地面西北低东南高，场地统一使用填土进行了回填整平（原始地面耕植土淤泥等填前未处理）。回填后勘探结果表明该场地内填土层厚度不均，在 0.40~6.40m 之间。1 号厂房采用独立承台浅基础形式，并对厂房采用强夯法处理，设计要求处理后的地基竖向承载力特征值达到 150 kPa。独立承台基础施作在强夯处理后的地面上，承台与承台间采用简单条形地梁连接。强夯采用重 20t 的外包钢板钢筋混凝土夯锤，夯锤底面直径 2m，夯锤落高 8.5m，夯击能量为 1700kN·m。采用跳夯施工，分两遍进行。强夯法完成后进行了荷载板试验，其结果表明强夯法处理后的地基竖向承载力特征值为 230kPa，满足设计要求。然而，单层钢架厂房钢架柱施工 15 天时（屋顶尚未施工）发现 1 号厂房独立承台基础有不同程度的沉降，且西北处沉降大，东南处沉降小，不均匀沉降差较大。

由图 1-2 实测沉降结果可知，1 号厂房地基强夯处理后不满足相关规范对沉降差的要求，且独立基础的沉降有持续发展的趋势。

根据独立承台沉降等值线图 1-2 和填土层厚度等值线图 1-3 可知，独立承台沉降较大处位于填土层厚度等值线图中一“簸箕形”斜坡处（1-4 轴和 J-M 轴之间区域），“簸箕”尾端沉降量最大（K-4 轴相交处的柱子）。总的来说，填土层厚度大的区域独立基础沉降量较大，填土厚度小的区域独立基础沉降量较小。1 号厂房处耕土层厚度（图 1-4）和

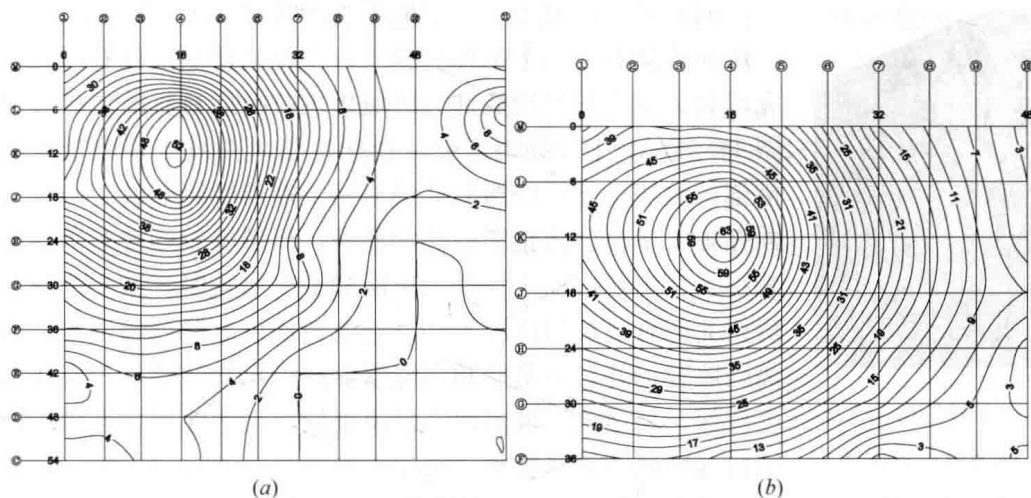
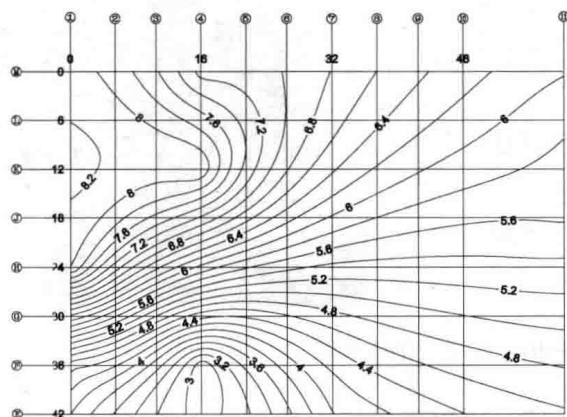


图 1-2 1 号厂房处独立承台沉降等值线图 (沉降: mm; 厂房尺寸: m)

(a) 记录时间: 2008 年 10 月 24 日; (b) 记录时间: 2008 年 11 月 12 日

图 1-2 中独立承台沉降量的大小对应得较好, 即在耕土层厚度最大处恰好对应 1 号厂房处的最大沉降量。

由于填土和耕土的压缩模量相对较低 (该场地填土的压缩模量为 3.8MPa , 耕土的压缩模量为 2.9MPa), 且填土不是分层碾压填筑, 而是用填土对场地进行回填且一次填好, 填土密实度无法保证。实际施工过程中验槽时发现下部有较大石块, 填土层的压密程度无法保障, 这也给填土层后期发生沉降留下了隐患。同时耕土位于场地较深处且为相对软弱下卧层, 强夯法的加固深度有限, 加固效果不能保证。1 号厂房独立承台过大沉降的产生主要为耕土层压缩、上部填土层压缩及填土层密实度不均匀综合作用的结果。因此, 独立承台沉降量较大的区域发生在地填土层和耕土层厚度较大的区域。对于填土层厚度严重不均匀且场地深处有相对软弱下卧层的场地, 采用强夯法处理地基无法保证后期沉降。也就是说, 对于同一土层厚度差异较大且场地深处有相对软弱下卧层的场地 1 号厂房场地, 单独采用强夯法处理地基是不恰当的。



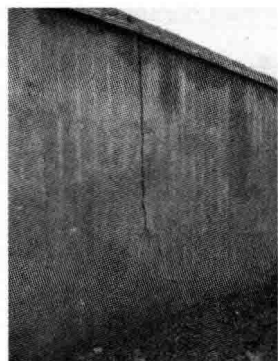


图 1-5 1 号厂房西北处
临近工地围墙开裂情况

同时强夯法施工工艺对地基加固效果也有一定的影响。1 号厂房西北部有另一个工程在施工，工程场地周围设有围墙，强夯完成后，该工程的围墙部分区域出现裂缝，且长度贯穿墙高，如图 1-5 所示。1 号场地强夯法处理地基时并没有采取较好的隔振措施，致使 1 号厂房西北部处另一工地的围墙开裂。施工过程中强夯施工单位为防止围墙继续开裂，离围墙较近处的 1 号厂房处减小了夯击能，加之该处填土层和耕土层较厚，这会造成 1 号厂房西北部有效加固深度不够，进而造成该区域沉降过大。而在距离围墙较远处，夯击能基本能够保证满足设计要求，有效加固深度较深，加之该区域的填土层厚度较小，这使得 1 号厂房距离围墙较远区域的沉降较小。

通过上述分析可知，1 号厂房独立承台过大沉降的产生主要为场地中耕土层压缩、上部填土层压缩及填土层密实度不均匀综合作用的结果。同时，1 号厂房西北处夯击能不足也是造成 1 号厂房西北处独立承台沉降过大的原因。针对深部耕土层压缩、上部填土层压缩及填土层密实度不均匀的情况，可采用独立承台和地面的加固方案，独立承台采用桩基础进行加固。由于现场地表填土中混有大小不一的石块，宜采用冲击灌注桩加固该场地独立承台。鉴于 1 号厂房内部场地地面日后需堆重物，为防止地面较厚填土层发生较大工后沉降，对现地面采用灌水泥浆加固。灌浆后水泥浆液可充填填土中的空隙，固化填土，使填土的压缩性显著降低，从而达到提高填土强度加固地面的目的。

1.2.3 某高层建筑夯扩桩基础沉降过大事故

武汉某 18 层住宅所处场地为深湖区沉积地层，上部 0~4m 为近期填筑的杂填土，4~20m 左右为高灵敏度的淤泥层，20m 以下为中细砂层（中密以上），且中细砂层的顶界面呈坡状（图 1-6）。该建筑物群桩基础设计采用直径 426mm 的夯扩桩，桩端进入持力砂层的深度仅 1~1.5m，共布桩 336 根，设计单桩竖向极限承载力要求为 2200kN。当该建筑施工至结构结顶时沉降过大且不均匀沉降严重，最终被迫爆破拆除。

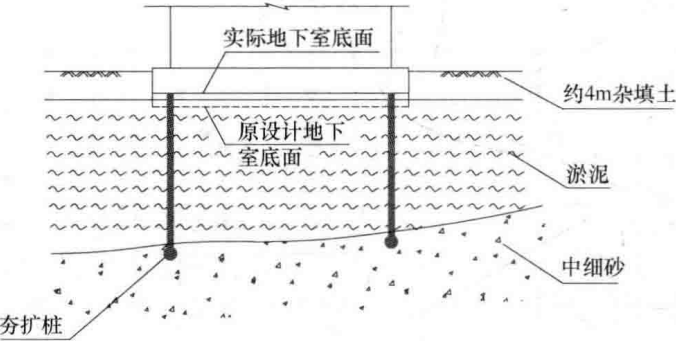


图 1-6 武汉某 18 层住宅因桩基事故爆破拆除

该桩基事故的主要原因是：桩型选择不合理。所用夯扩桩入持力层中细砂仅 1m 多，扩底形成可转动球铰，整个桩身位于稀软淤泥层内，300 多根桩打桩产生的挤土效应导致桩侧土和桩端土结构完全破坏。虽然基础的基底埋深 3m，但埋深部分周围是松散杂填土层且其下为淤泥层。一旦承受水平向外力，336 根夯扩桩几乎可自由绕其底端铰转动。同