



世纪高等教育土木工程系列规划教材

基础工程

第2版

金喜平 邓庆阳 主编

Tumen Gongcheng Xilie Guihua Jiaocai



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

基 础 工 程

第 2 版

主 编	金喜平	邓庆阳
副主编	朱天志	宋志斌
参 编	李 政	董艳英 孟胜国
主 审	卢廷浩	



机 械 工 业 出 版 社

本书是 21 世纪普通高等教育土木工程系列规划教材之一,是为了满足本科宽口径、大土木的专业需要,结合现代基础工程发展趋势,按照土木工程专业培养高级应用型人才的要求进行编写。本书注意淡化理论推导,突出应用性,使理论联系工程实际,力求实用性强。

本书共分为 12 章,除绪论外,内容包括:天然地基的浅基础设计原理;浅基础结构设计;筏形基础;箱形基础;桩基础;沉井基础;地下连续墙;地基处理;特殊土地基;建筑基坑支护工程;地基基础工程事故分析及处理;地基基础抗震与动力机器基础。

本书是按照我国最新的相关规范来编写的,可作为普通高校土木工程专业基础工程教材,也可作为土木工程技术人员参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

基础工程/金喜平, 邓庆阳主编. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2014. 4

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-45443-4

I. ①基… II. ①金…②邓… III. ①基础 (工程) —高等学校 —教材
IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 009287 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 马军平 责任编辑: 马军平 李 帅

版式设计: 霍永明 责任校对: 申春香

封面设计: 张 静 责任印制: 乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2014 年 4 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21 印张 · 518 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-45443-4

定价: 42.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

序

随着 21 世纪国家建设对专业人才的需求,我国工程专门人才培养模式正在向宽口径方向转变,现行的土木工程专业包括建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等 8 个专业的内容。经过几年的教学改革和教学实践,组织编写一套能真正体现专业大融合、大土木的教材的时机已日臻成熟。

迄今为止,我国高等教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名在第 36 位,与我国科技人员总数排名第一的现状形成了极大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员,特别是工程应用型技术人才供给不足。

科学在于探索客观世界中存在的客观规律,它强调分析,强调结论的唯一性。工程是人们综合应用科学理论和技术手段去改造客观世界的客观活动,所以它强调综合,强调实用性,强调方案的优选。这就要求我们对工程应用型人才 and 科学研究型人才的培养实施不同的方案,采用不同的教学模式,使用不同的教材。

机械工业出版社为适应高素质、强能力的工程应用型人才培养的需要而组织编写了本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,结合现行土木工程的专业建设需要,富有特色、有利于应用型人才的培养。本套系列教材的编写原则是:

1) 加强基础,确保后劲。在内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后发展具有较强的后劲。

2) 突出特色,强化应用。本套系列教材的内容、结构遵循“知识新、结构新、重应用”的方针。教材内容的要求概括为“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通“大土木”教学内容的基础上,挑选出最基本的内容、方法及典型应用实例;“新”指在将本学科前沿的新技术、新成果、新应用、新标准、新规范纳入教学内容;“广”指在保证本学科教学基本要求前提下,引入与相邻及交叉学科的有关基础知识;“用”指注重基础理论与工程实践的融会贯通,特别是注重对工程实例的分析能力的培养。

3) 抓住重点, 合理配套。以土木工程教育的专业基础课、专业课为重点, 做好实践教材的同步建设, 做好与之配套的电子课件的建设。

我们相信, 本套系列教材的出版, 对我国土木工程专业教学质量的提高和应用型人才的培养, 必将产生积极作用, 为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

江見鯨

第五分册 土木工程专业基础工程 (第2版) 东南大学出版社 2015年12月

第 2 版前言

《基础工程》第 1 版自 2006 年出版以来，得到了土建类专业广大师生的欢迎，为满足广大师生需求，《基础工程》第 2 版在第 1 版的基础上进行了较大幅度的修订。按照新修订的 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》、GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》、JGJ 6—2011《高层建筑筏形与箱型基础技术规范》、JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》、GB 50025—2004《湿陷性黄土地区建筑规范》、JGJ 79—2012《建筑地基处理技术规范》、JGJ 120—2012《建筑基坑支护技术规程》等规范对教材涉及的相关内容进行了修改，对本书各章后的习题进行了修订，同时，根据读者提出的意见和建议，在第 1 章中增加了地基承载力验算的内容，全书增加了地基基础抗震与动力机器基础一章。

本书修订时继续遵循“概念准确，基础扎实，突出应用，淡化过程”原则，注重与工程实际紧密结合，强化应用能力的培养，以满足“卓越工程师教育培养计划”要求，同时与注册岩土工程师考试结合，增强学生职业能力的训练。

全书共分为 12 章，包括：天然地基浅基础设计原理；浅基础结构设计；筏形基础；箱形基础；桩基础；沉井基础；地下连续墙；地基处理；特殊土地基；建筑基坑支护工程；地基基础工程事故分析及处理；地基基础抗震与动力机器基础。

本教材第 2 版由河北科技师范学院金喜平、太原理工大学阳泉学院邓庆阳任主编，河北科技师范学院朱天志、宋志斌任副主编。河海大学卢廷浩教授主审。

具体修订编写分工如下：金喜平（绪论；第 1 章、第 3 章、第 10 章）、邓庆阳（第 2 章、第 6 章、第 8 章）、朱天志（第 4 章、第 7 章）、宋志斌（第 5 章、第 12 章）、李政（第 9 章）、董艳英（第 11 章）；全书插图及资料由李政、董艳英整理。

本书在修订过程中，得到了机械工业出版社的大力支持，对此，全体编者表示深切的谢意。

本书作为应用型本科土建类专业教材，也可作为相关专业工程技术人员的参考书。由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请广大读者、同行不吝赐教。

编 者

第1版前言

本书是21世纪普通高等教育土木工程系列规划教材之一，是为了满足本科宽口径、大土木的专业需要，结合现代基础工程发展趋势，按照土木工程专业培养高级应用型人才的要求进行编写。本书适用于土木工程专业建筑工程、公路与城市道路工程、桥梁工程等方面，也可供土木工程技术人員参考阅读。

基础工程是土木工程专业的一门主要课程。编者结合长期的教学实践经验，着重在以下几方面做了一些工作：

1. 本教材遵循“概念准确，基础扎实，突出应用，淡化过程”原则，淡化理论推导，重在应用理论去解决基础工程问题，使得教材具有理论结合工程实际的特点。

2. 在本规划系列教材中，注重本书与本系列《土力学》教材中内容的衔接。删减与土力学重复部分内容，注重衔接自然，使教材内容简明扼要，重在应用。

3. 注重紧密结合工程实际，加强对学生应用能力的培养。在教材内容体系组织上，注重引入大量的设计计算例题，使理论紧密与工程实际相结合，培养及提高学生的应用能力，用以满足土木工程专业培养高级应用型人才的要求及满足大土木工程的发展及需要。

4. 章后小结便于学习。书中各章后的小结是便于帮助读者总结、概括、归纳每章的主要内容，使读者对每章内容有一个清晰了解，并便于复习。

5. 章后习题结合工程实际。章后习题注重结合工程实际。一些习题选择接近工程实际的设计计算实例；一些习题类型结合注册工程师考题等，以培养读者综合应用知识的能力。

本书在读者已掌握土力学基本理论的前提下，参照我国最新颁布的有关十多种规范和规程进行编写，以便读者了解最新规范的内容，从而更好地掌握基础工程课程内容。

本书共11章，包括：天然地基的浅基础设计原理；浅基础结构设计；筏形基础；箱形基础；桩基础；沉井基础；地下连续墙；地基处理；特殊土地基；

建筑基坑支护工程；地基基础工程事故分析及处理。为便于读者学习，本书每章后均附有习题。

本书由金喜平、邓庆阳任主编，朱天志、李政参编。具体编写分工如下：绪论、第5章、第10章；由金喜平（河北科技师范学院）编写；第1~2章、第8章由邓庆阳（太原理工大学阳泉学院）编写；第6章由孟胜国（太原理工大学阳泉学院）编写；第3~4章、第7章由朱天志（河北科技师范学院）编写；第9章由李政（河北科技师范学院）编写；第11章由董艳英（河北科技师范学院）编写。全书插图、资料由董艳英整理。河海大学的卢廷浩教授审阅了书稿并提出了许多宝贵意见和建议，在此表示衷心感谢。

本书在编写的过程中，参阅了相关资料和一些院校优秀教材的内容，均在参考文献中列出，在此向有关作者谨表谢意。由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬希读者批评指正。

编者

目 录

序

第2版前言

第1版前言

绪论	1
0.1 地基与基础工程	1
0.2 基础工程的重要性	2
0.3 基础工程现状及发展方向	3
0.4 基础工程课程特点及学习要求	4
第1章 天然地基的浅基础设计原理	6
1.1 概述	6
1.2 地基基础设计原则	8
1.3 基础类型及基础方案选用	15
1.4 基础埋置深度	19
1.5 地基承载力确定	23
1.6 地基承载力验算	27
1.7 基础底面尺寸	32
本章小结与讨论	42
习题	43
第2章 浅基础结构设计	46
2.1 概述	46
2.2 无筋扩展基础的设计	47
2.3 扩展式基础的设计	51
2.4 柱下钢筋混凝土条形基础	67
2.5 柱下交梁基础	72
2.6 地基基础与上部结构共同作用的概念	75
本章小结与讨论	76
习题	77
第3章 筏形基础	78
3.1 概述	78
3.2 筏形基础的地基验算及构造要求	79
3.3 筏形基础内力简化计算方法	84
3.4 筏形基础算例	87
本章小结与讨论	89
习题	89
第4章 箱形基础	90
4.1 概述	90

4.2 箱形基础埋深及构造要求	92
4.3 箱形基础的地基验算	94
4.4 箱形基础内力计算方法	95
4.5 箱形基础构件强度计算	101
本章小结	104
习题	104
第5章 桩基础	105
5.1 概述	105
5.2 桩基础和桩的分类	108
5.3 竖向荷载作用下单桩工作性能	112
5.4 单桩竖向承载力的确定	116
5.5 群桩竖向承载力及沉降验算	127
5.6 桩基础的水平承载力	140
5.7 桩基础设计	149
本章小结与讨论	167
习题	168
第6章 沉井基础	170
6.1 概述	170
6.2 沉井的类型及构造	171
6.3 沉井基础的设计与计算	175
6.4 沉井基础算例	186
6.5 沉井施工	193
本章小结与讨论	196
习题	197
第7章 地下连续墙	199
7.1 概述	199
7.2 地下连续墙的设计原则	202
7.3 地下连续墙设计与计算	204
7.4 地下连续墙的施工	204
本章小结与讨论	209
习题	209
第8章 地基处理	210
8.1 概述	210
8.2 换填法	215
8.3 强夯法和强夯置换法	219
8.4 排水固结法	222
8.5 复合地基	227
8.6 砂石桩法	235
8.7 水泥土搅拌法	237
8.8 水泥粉煤灰碎石桩法	241
本章小结与讨论	246
习题	247

第 9 章 特殊土地基	248
9.1 概述	248
9.2 湿陷性黄土地基	248
9.3 膨胀土地基	254
9.4 红黏土地基	256
9.5 软土地基	257
9.6 冻土地基	259
本章小结与讨论	260
习题	261
第 10 章 建筑基坑支护工程	262
10.1 概述	262
10.2 基坑维护墙体类型及特点	264
10.3 基坑支护工程的设计原则及内容	266
10.4 作用于支护结构上的水平荷载	267
10.5 排桩式维护墙体的设计计算方法	269
本章小结与讨论	282
习题	282
第 11 章 地基基础工程事故分析及处理	284
11.1 常见地基与基础工程事故分类及原因	284
11.2 地基基础工程事故预防及处理	287
11.3 地基基础加固方法	290
本章小结与讨论	298
习题	299
第 12 章 地基基础抗震与动力机器基础	300
12.1 概述	300
12.2 地震影响及破坏形式	302
12.3 地段和场地类别	304
12.4 土体的振动液化	307
12.5 地基基础抗震设计	312
12.6 动力机器基础设计	317
习题	321
参考文献	322

绪 论

【本章要求】 了解基础工程概念及重要性,了解基础工程现状及发展方向,掌握基础工程课程特点及学习要求。

【本章重点】 基础工程课程特点及学习要求。

0.1 地基与基础工程

基础工程的研究对象是地基与基础问题。

1. 基础

基础是建筑物在地面以下的结构部分。基础是建筑物本身的组成部分,应满足强度、刚度和耐久性要求。

基础的作用是支撑上部结构荷载,并将荷载传给地基。基础应有一定的埋置深度,使基础底面进入到好的土层中。

基础按埋深可分为浅基础和深基础。

浅基础是相对于深基础而言的,两者差别主要在施工方法及设计原则上。浅基础的埋深通常不大,用一般的施工方法进行施工,施工条件及工艺简单。浅基础有无筋扩展基础(如毛石基础、素混凝土基础等)及扩展基础(钢筋混凝土基础)等。

深基础系指埋深较大的基础。由于深基础埋深较大,可利用地基深部较为坚实的土层或岩层作为持力层。深基础是采用特殊的结构形式、特殊的施工方法完成的基础。深基础的施工需要专门设备,且施工技术复杂,造价高、工期长。深基础主要有桩基础、沉井基础、地下连续墙等类型。

2. 地基

承受基础荷载的那部分土体称为地基。地基应满足强度、稳定性、变形要求。

当地基为多层土时,与基础底面相接触的土层称为持力层。持力层直接承受基础底面传给它的荷载,故持力层应尽可能是工程性质好的土层。

持力层下面的土层称为下卧层。注意地基土层可能不止一层,凡在持力层下面的土层均称为下卧层。

此外地基可分为天然地基、人工地基。前者地基不经过人工处理,直接用来作建筑物地基的天然土层;后者是经过人工地基处理后才满足建筑物地基要求的土层。显然,采用天然地基是最经济的。

0.2 基础工程的重要性

0.2.1 地基基础工程事故造成的危害

建筑物事故的发生,许多与地基问题有关,主要反映在地基强度破坏、失稳或地基产生过大的变形。常见的地基工程事故分类如下:

(1) 地基强度不足造成工程事故 地基强度问题引起的地基工程事故主要表现在地基内形成滑裂面,引起地基滑动,从而使建筑物倒塌,这是重大的工程事故,后果是灾难性的。

(2) 地基失稳工程事故 地基失稳通常是土坡失稳(土坡产生滑坡及坍塌现象),会导致附近建筑物(构筑物)破坏。

(3) 地基变形过大造成工程事故 地基变形超过规定的允许值时,影响了建筑物的正常使用,严重者使建筑物发生倒塌破坏。

(4) 地基其他工程事故 地下水在地基土中的渗流及水位升降导致地基变形,产生沉降;地震造成的地基破坏;此外地下工程的兴建等,均可导致地基有效应力发生变化,造成地基工程事故。

(5) 基础工程事故 除了上述的地基工程事故外,由于设计、施工不当易造成基础工程事故,轻者影响建筑物的正常使用,重者影响建筑物的安全。

0.2.2 基础工程的重要性

1. 基础是隐蔽工程

由上述地基基础工程事故造成的危害可知,地基基础工程存在于地下,是隐蔽工程,一旦发生事故,难于补救和挽回。影响基础工程的因素很多,稍有不慎,就可能给工程留下隐患,造成地基基础工程事故。这不仅是基础工程事故,它还使得上部建筑物发生破坏、倒塌,给国家财产造成巨大的损失,甚至造成重大的人身伤亡事故。所以基础工程的优劣直接关系到建筑物的安危,应当慎重对待。

大量的工程实践表明,整个建筑工程的成败,在很大程度上取决于基础工程的质量和水平,建筑物事故的发生,有很多与基础工程问题有关。由此可见,基础工程设计与施工质量优劣,直接关系到建筑物的安危,基础工程的重要性是显而易见的。

2. 基础工程造价占土建总造价及工期有很大的比例

随着我国基本建设的发展,城市建设向多层、高层和地下建筑发展是必然趋势。加之人均土地资源有限,因此地基基础工程向着地基基础技术复杂、工程量大、工期长方向发展。

基础工程造价占土建总造价的比例明显上升。大量地基基础工程事故表明,基础工程需慎重对待,要深入了解地基情况及相关勘测资料,精心设计施工,才能使基础工程既安全又经济合理,以保证工程质量。

0.3 基础工程现状及发展方向

(1) 基础工程学科 是研究地基基础强度、刚度、稳定性的规律及设计、施工、检测与维护各种地基、基础的专门学科。

基础工程学科与土木工程的许多学科相关。如涉及力学、土力学、工程地质学、钢筋混凝土结构、建筑材料、建筑施工等多个学科,综合性强。

(2) 基础工程现状 随着我国经济发展及土木工程建设的需要,特别是计算机和计算技术的引入,使基础工程无论在设计理论上,还是在施工技术上,得到了迅速的发展,出现了诸如补偿式基础、桩-筏基础、桩-箱基础;在平面设计上,出现了三角形、十字形、扇形、双曲线形等复杂异形平面。

与此同时,在地基处理技术方面,出现了许多方法,如置换法、预压法、压实和夯实法、挤密法等,同时复合地基理论也得到了发展。

此外还有各种土工聚合物和托换技术,都是近几十年来创造和完善的方法。这些方法在土建、水利、桥隧、道路、港口、海洋等有关工程中得到了广泛应用,并取得了较好的经济技术效果。

由于深基础开挖和支护工程的需要,还出现了地下连续墙、深层搅拌水泥挡墙、锚杆支护及加筋土等支护结构形式。

由于基础工程是地下隐蔽工程,再加上其影响因素复杂,使得基础工程这一领域变得十分复杂,虽然目前基础工程理论及施工技术有了较大的发展,但仍然有许多问题值得深入研究和探讨。

(3) 有关基础工程的规范、规程 在大量理论研究与实践经验积累的基础上,有关基础工程的各种设计与施工规范或规程也相应问世,并日趋完善。这为基础工程设计与施工方面做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量提供了充分的理论与实践经验的依据。

(4) 基础工程的发展方向 计算机的应用和实验测试技术自动化程度提高,标志着本学科进入了一个新时期。

1) 基础工程理论研究将不断地深入。基础工程理论向着以地基变形作为控制设计理论的方向发展,同时继续研究地基、基础和上部结构相互作用的理论及计算方法、深基坑支护理论及计算方法,继续发展复合地基理论及计算方法等。由于计算机的广泛应用,许多地基及基础工程计算方法将不断地出现并得到应用,且伴随有相应的实验手段来验证计算方法,成为解决基础工程问题的有利手段。

2) 现场原位测试技术和基础检测技术将深入发展。为了获得地基的第一手资料,尽量减少取土样以影响试验结果的质量,原位测试技术和方法将有很大的发展,同时,相应的测试数据的采集及资料的整理将不断完善,并向着标准化的方向发展。

3) 地基基础工程的勘察、试验及地基处理的新设备增多,为地基基础工程的研究及地基加固创造了良好条件。

4) 基础形式及施工方法将不断地发展。基础的形式和施工方法将不断地创新,特别是高层建筑物数量的增多,使得深基础类型得以发展;基础平面设计也向着复杂的异形平面发展。由于深基础的需要,深基坑的开挖及支护工程将成为基础工程的重要内容。

5) 地基处理技术将不断发展。地基处理技术和方法将会不断完善, 新技术及方法将会陆续出现。地基处理向着基础工程按照现场地基的特点, 准确选择最适宜该工程的地基处理方法。

6) 其他方面。房屋的增层工程及基础的托换技术将得到发展及应用, 对已有建筑物的地基将会进行正确的评价, 使得地基加固与托换技术得以提高并广泛地应用。

0.4 基础工程课程特点及学习要求

0.4.1 基础工程课程特点

(1) 基础工程是重要的专业课程 基础埋置于地下, 属于隐蔽工程。基础工程的优劣, 直接关系到建筑物的安危, 因此, 基础工程是十分重要的工程。同样, 基础工程课程是土木工程专业的重要专业课。学好这门课程, 对于将来从事地基基础工程的设计、施工、检测与维护, 是十分重要的。

(2) 基础工程课程内容广泛, 综合性强 基础工程课程涉及诸多的土木工程专业基础课及专业课, 又由于地基土的复杂多变, 不像上部结构那样, 有许多标准图可供参考, 基础工程设计一般没有标准图可供参考。因此, 要具有综合应用土木工程各个学科理论知识的能力, 同时要全面掌握和正确应用基础工程的基本原理、方法、技术来解决基础工程中的复杂多变的实际问题。

(3) 基础工程涉及的规范多 一般土木工程专业课(如钢结构、砌体混凝土结构)涉及的规范种类较少, 标准明确, 而基础工程课程却不同, 涉及的规范种类多, 而且目前还没有各行业统一的地基基础设计规范, 同时各行业又存在一定的差别, 有许多不协调之处, 这给学习带来不便。另外要注意, 只靠国家规定的标准是不够的, 一些地区性的规范、规程、规定及经验也很重要。

0.4.2 学习要求

学习基础工程课程时, 要求应用以学习过的基本知识, 结合有关结构知识及施工技术知识合理分析和解决地基基础问题, 注重理论联系实际, 培养分析和解决地基基础工程问题的能力。

学习时要注意: 基础工程课程具有不同性及经验性。不同性体现在本学科中因为没有完全相同的地基, 几乎找不到完全相同的工程实例。在处理基础工程问题时, 必须注意不同情况进行不同的分析。经验性体现在解决地基基础问题时, 注意有一定程度的经验性。因此, 本课程有较多的经验公式, 而且有关地基及基础方面的规范就是理论及经验的总结。学习时, 除了学习全国性地基基础设计规范外, 还要了解地区性的规范及规程, 并注意世界各国的规范各有不同。

讲究学习方法, 要仔细分析各种理论及公式的基本假定及使用条件, 对于公式的推导只作了解, 要把注意力放在理解、应用公式上, 并结合当地的基础工程实践经验加以应用。避免千篇一律地不分地区而机械套用理论公式、规范。

本书共分 12 章。除绪论外, 内容包括天然地基的浅基础设计原理; 浅基础结构设计;

筏形基础；箱形基础；桩基础；沉井基础；地下连续墙；地基处理与复合地基；特殊土地基；建筑基坑支护工程；地基基础工程事故分析及处理；地基基础抗震与动力机器基础。根据专业需要，建议按授课学时，选修某些内容。

本书采用 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》，为方便起见，以下章节将其简称为《地基基础规范》。

一个成功的基础工程是土力学、工程地质学、结构设计和施工技术等多学科知识的综合运用，并与工程实践经验完美的组合。由于基础工程属于隐蔽工程，高质量的勘察、设计及施工是决定基础工程成败的关键。