

高校土木工程专业规划教材

基础工程

钱德玲 主编

JICHU GONGCHENG

中国建筑工业出版社

高校土木工程专业规划教材

基 础 工 程

钱德玲 主编
林斌 李凡 副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

基础工程/钱德玲主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2009

高校土木工程专业规划教材.

ISBN 978-7-112-11068-1

I. 基… II. 钱… III. 地基-基础 (工程)-高等学校-教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 151623 号

《基础工程》是一门理论性和实践性较强的土木和水利工程专业基础课, 是各项建筑工程基础设计的必修内容。本教材涉及各种基础类型、基础设计的计算过程、规范要求和设计要点, 并针对新版《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008), 在教学内容上也进行了更改, 以适应新规范的使用要求。另外, 根据高等学校土木工程专业教学大纲, 为了适应新世纪土木工程教学要求和人才培养, 本教材在书写时力求语言精炼、重视学科基础理论以及强调新技术和新方法在工程中的应用。

内容包括第 1 章绪论、第 2 章浅基础、第 3 章连续基础、第 4 章桩基础、第 5 章地基处理、第 6 章土工合成材料、第 7 章挡土墙设计、第 8 章基坑工程、第 9 章特殊土地基和第 10 章动力机器基础, 各章后均附有思考题和习题。

本书可作为高等学校土木工程 (建筑工程、岩土工程、道桥工程、地下工程等) 和水利工程等专业的教材, 也可作为土木和水利工程科研人员和工程技术人员的参考书。

* * *

责任编辑: 郭 栋 吉万旺

责任设计: 崔兰萍

责任校对: 刘 钰 王雪竹

高校土木工程专业规划教材

基 础 工 程

钱德玲 主编

林斌 李凡 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24¼ 字数: 590 千字

2009 年 10 月第一版 2009 年 10 月第一次印刷

定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-11068-1

(18314)

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)

前 言

《基础工程》是《土力学》的后续课程，两者之间紧密联系，也可以说是土力学的理论在基础工程中的应用。在教材编写方面，要求各章节突出重点、溶解难点和细化计算点。因此，本教材强调例题的作用，以此提高读者的理解能力和满足初学者可读和易懂的要求。

本书在基础设计过程中，强调地基基础设计原则，密切结合规范，特别是新版桩基规范《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)，使第4章桩基础的内容变动较大。第2章浅基础除了常规的基础设计内容以外，根据近年来高层建筑的兴起和结构设计的复杂程度，强调了联合基础的设计，特别是双向偏心的计算。第5章地基处理反映了近年来地基处理的常用方法，侧重于各类地基处理方法的作用和机理。第7章挡土墙设计内容丰富，结合规范，介绍了近年来挡墙类型和相应的计算原理和方法，并配有各种计算方法的例题。第8章基坑工程侧重于基坑内力分析和计算原理，并附有实例计算过程。

总之，在编写过程中，注重概念准确和明晰、语言精练和通畅，力求易读易懂，特别是例题更有助于帮助读者掌握书中理论知识和复杂的计算过程。

《基础工程》由合肥工业大学教授钱德玲博士主编，全书一共有10章，第1章和第10章由钱德玲博士编写，第2章由合肥工业大学卢坤林和安徽工业大学谢胜华博士编写，第3章由合肥工业大学朱朝辉老师编写，第4章由安徽理工大学林斌博士编写，第5章由合肥工业大学查甫生博士编写、第6章和第9章由合肥工业大学姚华彦博士编写，第7章由合肥工业大学朱林老师编写，第8章由合肥工业大学李凡博士编写。

本书组织了三个大学一些具有丰富教学经验又有实际工程经验的教师参与了编写，他们在编写过程中除了完成繁重的教学和科研任务外，利用宝贵的休息时间，集中精力完成了各章的编写任务，在此向他们表示衷心的感谢！

由于时间紧和限于作者水平，书中难免出现不妥或错误之处，敬请读者指出，我们尽快改正并不甚感谢。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 基础工程的概念	1
1.2 基础工程的重要性及其工程意义	2
1.3 基础工程的发展沿革和研究内容	4
1.4 本课程的特点和学习要求	5
思考题	6
本章参考文献	6
第 2 章 浅基础	7
2.1 概述	7
2.2 地基基础的类型	11
2.3 基础埋置深度的确定	14
2.4 浅基础地基承载力的确定	16
2.5 基础底面尺寸的确定	21
2.6 无筋扩展基础设计	31
2.7 扩展基础设计	34
2.8 联合基础设计	46
2.9 减轻建筑物不均匀沉降危害的措施	51
思考题	56
习题	56
本章参考文献	57
第 3 章 连续基础	58
3.1 概述	58
3.2 地基、基础和上部结构的共同作用	58
3.3 地基计算模型	63
3.4 文德勒地基上梁的计算	67
3.5 地基梁的数值分析法	81
3.6 柱下条形基础	88
3.7 筏形基础与箱形基础	99
3.8 刚性基础地基反力、沉降和倾斜计算的数值分析方法	105
3.9 补偿性基础设计概要	107
思考题	110
习题	111
本章参考文献	111

第4章 桩基础	112
4.1 桩基础概述	112
4.2 桩的分类	114
4.3 竖向荷载下单桩的工作性能	119
4.4 单桩竖向承载力的确定	124
4.5 桩基计算	136
4.6 桩的水平承载力与位移	145
4.7 桩基础设计	153
思考题	170
习题	170
本章参考文献	171
第5章 地基处理	172
5.1 概述	172
5.2 复合地基	175
5.3 换土垫层法	179
5.4 深层密实法	184
5.5 排水固结法	201
5.6 化学加固法	212
5.7 托换技术	227
思考题	230
习题	230
本章参考文献	231
第6章 土工合成材料	232
6.1 概述	232
6.2 加筋技术及加筋土的作用机理	234
6.3 边坡加筋	239
6.4 堤坝软基加筋	243
6.5 建筑物地基加筋	248
思考题	251
习题	252
本章参考文献	252
第7章 挡土墙设计	253
7.1 概述	253
7.2 挡土墙类型及作用荷载	253
7.3 重力式挡土墙设计	257
7.4 薄壁式挡土墙设计	271
7.5 加筋土挡土墙设计	280
思考题	292
习题	292

本章参考文献·····	293
第8章 基坑工程 ·····	294
8.1 基坑工程概述·····	294
8.2 围护结构形式及适用范围·····	296
8.3 围护结构侧压力计算·····	300
8.4 悬臂式支护结构设计·····	301
8.5 单支点支护结构设计·····	302
8.6 基坑稳定性·····	306
8.7 地下水控制·····	311
8.8 基坑工程监测·····	312
8.9 基坑工程设计实例·····	316
思考题·····	322
习题·····	322
本章参考文献·····	323
第9章 特殊土地基 ·····	324
9.1 概述·····	324
9.2 湿陷性黄土地基·····	324
9.3 膨胀土地基·····	331
9.4 软土地基·····	337
9.5 红黏土地基·····	340
9.6 岩溶和土洞地基·····	342
9.7 盐渍土地基*·····	345
9.8 冻土地基*·····	349
思考题·····	351
习题·····	351
本章参考文献·····	351
第10章 动力机器基础 ·····	352
10.1 概述·····	352
10.2 场地与震害的关系·····	353
10.3 基础抗震·····	355
10.4 地基动力参数·····	360
10.5 实体式机器基础振动设计理论及计算方法·····	363
10.6 锻锤基础的设计·····	372
10.7 曲柄连杆机器基础设计简述·····	379
思考题·····	382
习题·····	382
本章参考文献·····	382

第 1 章 绪 论

1.1 基础工程的概念

“万丈高楼平地起”，所有土木和水利工程，包括建筑工程、港口工程、路（坝）基工程、桥梁工程、隧道工程等各类建（构）筑物，均坐落在地球表面地层上。任何建筑物都必须有牢固的基础，地基基础是建筑物的根本。一般来说，所有的建（构）筑物，均可分为上部结构和地下基础两大部分。通常以室外地面整平标高（或河床最大冲刷线）为基准，基准线以上部分称之为上部结构，基准线以下部分称之为基础。

基础埋藏于地面之下支承上部结构自重以及作用于建筑物上的各种荷载，并将荷载扩散传递给持力层和下卧层，起到承上启下的作用。一般说来，按基础的埋置深度，基础可以分为两大类：浅基础和深基础。

通常把埋置深度不大（小于或相当于基础底面宽度，一般认为小于 5m）、可用简便施工方法进行基坑开挖和排水的基础，称为浅基础，如柱下独立基础、条形基础、筏形基础、交叉梁基础和箱形基础等。

当土层性质不好，需要利用深部良好的地层，且需采用专门的施工方法和机具建造的基础（通常埋置深度大于 5m）称为深基础，如桩基、沉井、沉箱、地下连续墙、桩箱基础和桩筏基础等。

基础工程包括基础的设计和施工，以及与此有关的工程地质勘察、基础施工所需的基坑开挖、支护、降水和地基加固等。根据土力学原理，建筑物上部结构的荷载是通过基础传至土层，直到荷载影响很小的一定深度范围，故一般可将建筑物荷载作用下产生的不可忽略的附加应力和变形的那部分地层，称为建筑物的主要受力层（如图 1-1 所示的应力泡）。地基的作用和基础的作用不同，它主要是直接承受来自基础传递的全部荷载，并保证建筑物和基础的稳定和正常工作。

地基可分为天然地基和人工地基。不需要对地基进行处理就可以直接放置基础的天然土层称为天然地基；反之，当天然地基不能满足建（构）筑物对地基强度和变形的要求时，可对地基进行处理，经过加固处理后的地基称为人工地基。人工地基依其性状大致可分为三类：均质地基、双层地基和复合地基。在地基受力层范围内，基础底面下直接承受荷载、对地基起主要作用的土层或基础直接搁置其上的土层，称为地基的持力层。持力层之下受荷载影响较小的土层，称为地基的下卧层。如图 1-1 所示。

基础的功能决定了基础设计必须满足以下三个基本要求：

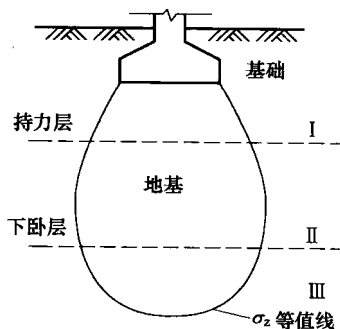


图 1-1 地基与基础示意图

(1) 强度要求：通过基础而作用在地基上的荷载不能超过地基的承载力，保证地基不因地基土中的剪应力超过地基土的强度而被破坏，并且应有足够的安全储备；

(2) 变形要求：基础的设计还应保证基础沉降或其他特征变形值不超过建筑物的允许值，保证上部结构不因沉降或其他特征变形过大而受损或影响正常使用；

(3) 上部结构的其他要求：基础除满足以上要求外，还应满足上部结构对基础结构强度、刚度和耐久性的要求。

基础的设计和施工，不仅要考虑上部结构的具体情况和要求，而且还要考虑地基的具体条件。实践证明，一般情况下，探明了持力层范围内土层的情况，就能分析和评价地基的稳定性以及地基的主要变形量。当然，这仅说明下卧层处于相对次要的地位，当出现软弱下卧层时，还要对其进行强度和变形的验算。

1.2 基础工程的重要性及其工程意义

地基与基础是各类建筑物的重要组成部分，总称为基础工程。它的设计、施工和监测，都直接关系到建筑物的安全、经济和正常使用。地基基础造价占土建总造价相当大的比例，在软土地区，其比例可达 20% 以上，甚至 40%。这样高的造价既要求设计和施工必须保证建筑物的安全和正常使用，同时也提出是否能选择更合适的优化设计方案和施工方法，以降低造价，这就需要正确的理论依据和丰富的实践经验。

根据统计资料显示，地基和基础工程的质量问题，占总事故的 21%。在建筑结构设计 and 施工过程中，人们普遍认为最难驾驭的并不是上部结构，而是该工程地基和基础的问题。建筑物的上部结构尽管千变万化，形态各异，但是在电子计算机普遍应用的今天，它们基本上都是在设计和施工中可以被预知和掌握的。而对于建筑群所在场地的地下土层分布则不然，一般来说，人们除了在设计前通过几个钻孔获得土样试验的物理和力学指标外，也只能在施工后，通过槽底的钎探结果了解槽底的表层信息，至于更深层、更复杂的情况却不能全面掌握，往往凭经验加以处理，这就容易产生误差，甚至错误，从而造成建筑物建成后的倾斜或损坏。此外，地基基础都是地下隐蔽工程，工程竣工后，难以预测后期的结果，一旦发生事故就很难补救，甚至造成灾难性的后果。下面以发生严重事故的基础工程实例为例，进一步说明基础工程的重要性。

1) 加拿大特朗斯康谷仓地基事故

建于 1941 年的加拿大特朗斯康谷仓 (Transcona Grain Elevator)，平面呈矩形，长度 59.44m，高度为 31.00m，宽度为 23.47m。容积为圆筒仓，每排 13 个仓，5 排，总计 65 个圆筒仓组成。谷仓的基础为整块钢筋混凝土筏板基础，基础厚度 61cm，基础埋深为 3.66m。1911 年该仓开始施工，1913 年秋完工。谷仓自重 20000t，相当于装满谷物后总重量的 42.5%。1913 年底开始装谷物，10 月底谷仓装了 31822m³ 谷物时，发现谷仓下沉，一小时沉降达 31.5cm，结构物向西倾斜，并在 24h 内，整个谷仓倾倒（图 1-2），倾斜度达 26.53°，谷仓西端下沉 7.32m，东端上抬 1.52m。

经检查，该谷仓工程未做地基勘察。如按太沙基公式计算地基承载力 f ，采用其下黏土层无侧限抗压强度平均值 100kPa，则地基承载力 f 为 278.6kPa，小于谷仓地基破坏时的基础底面压力 329.4kPa。若用 $q_{\text{umin}} = 70.0\text{kPa}$ 计算，则 $f = 193.5\text{kPa}$ ，更远小于谷仓

基础滑动时的实际基底压力。

加拿大特朗斯康谷仓的破坏是因为谷仓事先未做勘察，盲目进行设计，设计荷载远超过地基的承载力，导致谷仓发生地基整体滑动破坏。

2) 上海展览中心馆沉降

上海展览中心馆原称上海工业展览馆，位于上海市区延安中路北侧。展览馆中央大厅为框架结构、箱形基础，展览馆两翼采用条形基础。箱形基础为两层，埋深 7.27m，箱基顶面至中央大厅顶部塔尖总高 96.63m。地基为高压缩性淤泥质软土。展览馆于 1954 年 5 月开工，当年年底实测地基平均沉降量为 60cm。1957 年 6 月，中央大厅四周的沉降量最大达 146.55cm，最小为 122.8cm（图 1-3）。

1979 年 9 月，展览馆中央大厅累计平均沉降量为 160cm。从 1957~1979 年共 22 年的沉降量仅 20 多厘米，不及 1954 年下半年沉降量的一半，说明沉降已趋向稳定，展览馆开放使用情况良好。但是，由于地基严重下沉，导致建筑物室内外连接、内外间的水、暖、电管断裂，为继续使用付出了相当大的代价。

3) 墨西哥市艺术宫沉降

墨西哥首都墨西哥市艺术宫，是一座巨型的具有纪念性的早期建筑。该艺术宫于 1904 年落成，至今已有 100 余年的历史。该市处于四面环山的盆地中，古代时期是一个大湖泊，因周围火山喷发的火山灰沉积和湖水蒸发，经漫长年代湖水干涸，形成目前的盆地。



图 1-3 上海展览中心馆

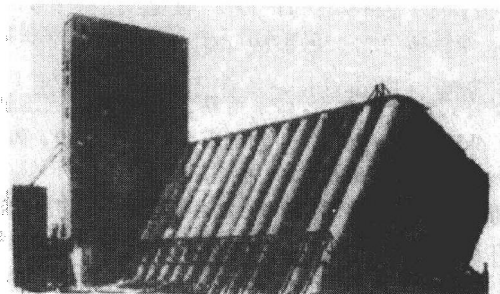


图 1-2 加拿大特朗斯康谷仓

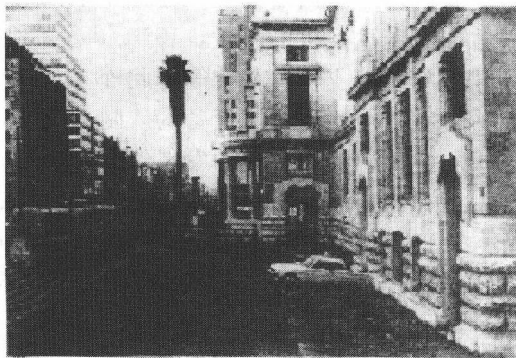


图 1-4 墨西哥市艺术宫

艺术宫地基表层为人工填土与砂夹卵石硬壳层，厚度 5m；其下为高压缩性淤泥，天然孔隙比高达 7~12，天然含水量高达 150%~600%，层厚 25m，为世界罕见的软弱土。

这座艺术宫由于软弱地基而造成严重下沉,沉降量竟高达4m,邻近的公路下沉2m,公路路面至艺术宫门前高差达2m。参观者需步下9级台阶,才能从公路进入艺术宫(图1-4)。沉降造成室内外连接困难和交通不便,内外网管道修理工程量增加,这是地基沉降最严重的典型实例。

国内外基础工程事故的种类归纳起来有:地基严重下沉、建筑物倾斜、建筑物墙体及基础开裂、地基滑动或溶蚀、斜坡失稳、坝基管涌等。基础工程事故具有突发性、灾害性和全局性的特点,因此,地基和基础一旦发生破坏,不仅导致工程破坏,还殃及鱼池,危害四邻。

由此可见,基础工程在整个建筑工程中的重要性是显而易见的,必须认真对待,坚持做到细致勘探、周密设计、精心施工,以杜绝各类基础工程事故的发生。这也是学习基础工程学科的重要性之所在。

1.3 基础工程的发展沿革和研究内容

基础工程是一项古老的技术,发展至今已是一门专门的学科。2000多年来在世界各地建造的宫殿楼宇、高塔亭台、长城运河、古道石桥等工程,无论是至今完好,还是不复存在的,都凝聚着无数历史人物的智慧。18~19世纪,人们在大规模建设中遇到了许多与岩土工程相关的问题,促进了岩土力学的发展,例如法国科学家C. A. 库伦(Coulomb)在1773年提出了砂土抗剪强度公式和挡土墙土压力的滑楔理论;法国学者J. 布辛奈斯克(Boussinesq)在1885年提出了竖向集中荷载作用下半无限弹性体应力和位移的理论解答。先驱者们的科学结晶为土力学的建立奠定了基础。1925年太沙基发表了第一本比较系统完整的著作《土力学》,标志着土力学的建立为一个完整的工程学科。太沙基与R. 佩克(Peck)在1948年发表的《工程实用土力学》中,将理论、测试和工程经验密切结合,推动了土力学和基础工程学科的发展。该书的发表,标志着“土力学及基础工程”真正成为一门工程学科。1936年在哈佛召开了第一届国际土力学及基础工程学术会议至今,特别是在21世纪初以来,把基础工程学科推向了现代化。

伴随着理论研究的逐步完善,基础工程应用技术也有了较大的发展。如1893年美国芝加哥人工挖孔桩的问世,1950年意大利米兰地下连续墙的出现,1957年德国首先采用土层锚杆桩墙支护深基坑等;此外,全液压抓斗、长螺旋钻进设备、正(反)循环回转钻进等成孔(或槽)机械设备的研制与应用,都极大地提高了基础工程施工的生产效率。

在我国,基础工程的发展伴随着华夏五千年的文明史。考古工作者发现人类早在五千年前就建有房屋,当时的基础很简单,如浙江省余姚河姆渡文化遗址,其房屋底层是架空在埋于地下的木桩基础上的;西安半坡村遗址中的基础是夯实的红烧土和陶瓷片;洛阳王湾仰韶文化遗址,其基础是在墙下挖槽,槽内填卵石夯实,类似于近代换土填层处理的人工地基。

春秋战国时期,夯土的基础与城墙已有相当高的水平。玉门关一带的汉长城用砂、砾石和红柳或芦苇层层压实,至今其残垣仍有5~6m高。很多古代建筑,如隋朝的赵州石拱桥、郑州超化寺、晋祠的圣母殿水池等,都是由于基础工程的牢固,方能历经千百载地下水活动、多次地震或强风后而安然屹立至今。到了元明清年代,我国的基础工程得到

了进一步发展,如北京故宫三大殿使用灰土台基,天安门用群桩基础,前门采用了木筏基础等,这些都反映出了我国数百年前一些高大重型建筑的基础工程水平。

随着岩土工程及其他相关学科的不断发展,基础工程在设计、计算理论和方法、施工技术和机械设备等方面都有了长足的进展。20世纪90年代以来,颁布实施的现行规范、规程有《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《公路桥涵地基及基础设计规范》(JTG D63—2007)、《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2003)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001, 2009年版)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001, 2008年版)、《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—1999)、《既有建筑地基基础加固技术规范》(JGJ 123—2000)等。这些现行规范规程是基础工程各个领域取得的科研成果和工程经验的高度概括,反映了基础工程的发展水平。

目前,基础工程的关注点之一是在设计计算理论和方法方面的研究和探讨,包括考虑上部结构、基础与地基共同工作的理论和设计方法,概率极限状态设计理论和方法,优化设计方法,数值分析方法和计算机技术的应用等。另外,随着高层建筑和大跨度大空间结构的涌现、地下空间的开发等,与之密切相关的两种技术也得到极大的重视。其一,桩基础技术,其中桩土共同工作理论,新的桩基设计控制理论——变形控制理论,桩基非线性分析和设计方法,桩基承载力和沉降的合理估算,新桩型(如大直径成孔灌注桩、预应力管桩、挤扩支盘桩、套筒桩、微型桩等)的研究开发,后注浆技术在桩基工程中的应用,桩基础的环境效应等,都成为研究和开发的热点。其二,深基坑开挖问题,研究的重点放在土、水压力的估算,基坑支护设计理论和方法的深化——优化设计、静态设计和动态设计、考虑时空效应的方法等;新基坑支护方法(如复合土钉墙、作为主体结构应用的地下连续墙、锚杆挡墙等)的开发研究;基坑开挖对环境的影响;逆作法技术的应用等。

我国地域辽阔,由于自然地理环境不同,分布着多种多样的土类。某些土类(如湿陷性黄土、软土、膨胀土、红黏土和多年冻土等)还具有不同于一般土类的特殊性质。作为地基,必须针对这些土的各种特性采取不同的试验方法和处理措施进行分析和研究。此外,由于大量人类工程活动进入山区,还出现了许多山区常见的地基问题。因此,地基基础问题的发生和解决的方法带有明显的区域性特征。

在地基处理方面,进一步完善复合地基理论、对各类地基处理方法和机理的深化研究以及施工及检测技术的改进也是基础工程学科所关注的问题。对于深水和复杂地质条件下的基础工程,例如特大型桥梁、水工结构和近海工程等,重要的是深入研究地震、风和波浪冲击的作用,以及发展深水基础(超长大型水下桩基、新型沉井等)的设计和施工方法。

1.4 本课程的特点和学习要求

基础工程是一门理论性和实践性较强的土木类专业课程,是岩土工程学的组成部分,是高等院校土木类专业学生以及从事工程设计、生产第一线的技术、质量管理和工程监理等技术人员必备的知识。本课程涉及土力学、工程地质学、结构力学、弹性力学、塑性力学、动力学等学科领域,其内容广泛,综合性强,学习时应该突出重点,兼顾全面。

本课程的特点是根据建筑物对基础功能的特殊要求,首先通过勘探,试验,原位测试等,了解岩土层的工程性质,然后结合实际工程,运用土力学及基础工程的基本原理,综合分析岩土层与基础工程结构物的相互作用及其变形与稳定的规律,做出合理的基础工程方案和施工技术措施,确保建筑物的安全与稳定。原则上,是以工程要求和勘探试验为依据,以岩土体与基础共同作用和变形与稳定分析为核心,以优化基础方案与建筑技术为灵魂,以解决工程问题确保建筑物安全与稳定为目的。

读者在学习本课程时,应该重视基础工程的基本知识,培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力;同时学会利用土力学知识,结合结构计算和施工知识,合理地解决基础工程问题。通过学习使读者掌握浅基础、桩基础、基坑支护和地基处理方法的基本原理、适用范围、作用和机理等内容,具备合理选择基础类型与基坑支护方法的能力;掌握常用的基础与基坑工程的设计计算知识,并具备常见的基础工程设计计算能力;熟悉常用的深基础与基坑工程施工技术方法、常用机具与施工工艺,并具有工程施工组织与管理的能力。

希望读者充分认识本课程的特点,掌握理论联系实际的方法,学习基础工程重在实践,通过实践,才能理解理论知识,才能学到基础工程的真实含义。此外,要能够正确使用《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》、《建筑基坑支护技术规程》等现行规范或规程,解决地基基础设计中所遇到的有关问题。强调现行规范与地区经验的结合,并应充分考虑地基、基础和上部结构的共同作用,重视施工质量和现场测试工作。

思 考 题

1. 基础工程在土木和水利工程中的地位如何?
2. 为什么要学习《基础工程》?
3. 你打算如何学好《基础工程》?

本章参考文献

1. 代国忠主编. 土力学与基础工程. 北京:机械工业出版社, 2008
2. 华南理工大学, 浙江大学, 湖南大学编(莫海鸿, 杨小平主编). 基础工程. 北京:中国建筑工业出版社, 2005
3. 李仁平, 李飞主编. 基础工程. 北京:中国水利水电出版社, 知识产权出版社, 2006
4. 建筑地基基础设计规范(GB 50007—2002). 北京:中国建筑工业出版社, 2002
5. 杨九宏编. 地基基础工程. 大连:大连理工大学出版社, 1999
6. 蔡伟铭, 胡中雄编. 土力学与基础工程. 北京:中国建筑工业出版社, 1991
7. 陈希哲编著. 土力学地基基础. 北京:清华大学出版社, 2002

第2章 浅基础

2.1 概述

2.1.1 地基基础的重要性和复杂性

通常把建筑物在地面以上的部分称为上部结构，在地面以下的结构部分称为基础，承受建筑物荷载的地层称为地基，因此建筑物通常是由上部结构、基础和地基三部分组成。

1. 地基基础的重要性

地基基础是建筑物的根基，根基不牢将危及整个建筑物的安全。地基基础的工程量、造价和施工工期，在整个建筑工程中占相当大的比重，如高层建筑的地基基础造价超过主体工程的 $1/4 \sim 1/3$ 。基础工程是隐蔽工程，稍有不慎就有可能给工程留下隐患，且工程竣工验收时难以检验。大量工程实践表明，建筑物事故的发生常常由地基基础事故所引起，地基基础事故的预兆不易察觉，一旦失事，往往就已经危及主体结构或使用功能，难以补救。

2. 地基基础的复杂性

基础工程质量问题的复杂性是地基本身组成的复杂性和建设工程的多样性所决定的。由于岩土의 复杂性、勘测工作的有限性等造成岩土工程的不定性和经验性，必然构成地基基础设计潜在的复杂性。基础工程既要与上部结构可靠连接，承担所有建设工程的荷载，又要把建设工程的全部荷载平稳、牢固地传给地基，必然决定了地基基础工程设计的复杂性。

2.1.2 浅基础设计内容与所需资料

1. 地基基础设计内容

地基基础的设计内容及步骤通常如下：

- (1) 阅读和分析建筑物场地的地质勘察材料和建筑物的设计资料，进行相应的现场勘察和调查；
- (2) 选择基础的结构类型和建筑材料，并进行基础平面布置；
- (3) 选择持力层，确定合适的基础埋置深度；
- (4) 根据地基的承载力和作用在基础上的荷载，初步计算基础的底面尺寸；
- (5) 根据地基计算，包括地基持力层和软弱下卧层（如果存在）的承载力验算，以及按规定需要进行的变形验算，根据验算结果修改基础底面尺寸；
- (6) 进行基础的结构和构造设计（对基础进行内力分析、截面计算并使其满足构造要求）；
- (7) 绘制基础设计施工图，编制工程预算和工程设计说明书。

2. 所需资料

设计浅基础时要充分掌握拟建场地的工程地质条件和地基勘察资料，在仔细研究地基勘察资料的基础上，结合考虑上部结构类型、荷载的性质及大小和分布、建筑布置和使用

要求以及拟建基础对周围环境的影响，即可选择基础类型和进行基础平面布置，并确定地基持力层和基础的埋置深度。

2.1.3 地基基础设计原则

1. 地基基础的设计等级

建（构）筑物的安全和正常使用，不仅取决于上部结构的安全储备，还要求地基基础有一定的安全度。因为地基基础是隐蔽工程，所以不论地基或基础哪一方面出现问题或发生破坏，都很难修复，轻者影响使用，重者导致建（构）筑物破坏，甚至酿成灾害。因此，地基基础设计在建（构）筑物设计中举足轻重。根据地基复杂程度、建筑物规模、功能和特征，以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度，《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2002）将地基基础设计分为三个设计等级，设计时应根据具体情况按表 2-1 选用。

地基基础设计等级 表 2-1

设计等级	建筑和地基类型
甲级	重要的工业与民用建筑物； 30 层以上的高层建筑物； 体形复杂，层数相差超过 10 层的高低层连成一体建筑物； 大面积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场等）； 对地基变形有特殊要求的建筑物； 复杂地质条件下的坡上建筑物（包括高边坡）； 对原有工程影响较大的新建建筑物； 场地和地基条件复杂的一般建筑物； 位于复杂地质条件及软土地区的两层及两层以上地下室的基坑工程
乙级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物
丙级	场地和地基条件简单，荷载分布均匀的七层及七层以下民用建筑物及一般工业建筑物； 次要的轻型建筑物

2. 地基基础的设计原则

基础工程设计的目的是设计一个安全、经济和可行的地基与基础，保证上部结构物的安全和正常使用，因此，基础工程的基本设计计算原则是：

- (1) 地基设计应具有足够的强度，满足地基承载力的要求。
- (2) 地基与基础的变形满足建筑物正常使用的允许要求。
- (3) 基础本身有足够的强度、刚度和耐久性。

地基与基础方案的确定主要取决于地基土层的工程地质与水文地质条件、上部结构类型与荷载条件、使用要求、材料与施工技术等因素。基础方案应作不同方案的比较，选择较为适宜与合理的设计方案与施工方案。《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2002）规定，地基基础的设计与计算应满足承载力极限状态和正常使用极限状态的要求。根据建筑物地基基础设计等级及长期荷载作用下地基变形对上部结构的影响程度，地基基础设计应符合：

- (1) 所有建筑物的地基计算均应满足承载力计算的有关规定。
- (2) 设计等级为甲级、乙级的建筑物均须按地基变形设计。
- (3) 建筑物情况和地基条件复杂的丙级建筑物地基，也应验算建筑物的变形，确保建

筑物不因地基沉降影响正常使用。

(4) 对经常受水平荷载作用的高层建筑、高耸结构和挡土墙等，以及建造在斜坡上或边坡附近的建筑物和构筑物，还应验算其稳定性。

(5) 基坑工程应进行稳定性验算。

(6) 当地下水埋藏较浅，建筑地下室或地下构筑物存在上浮问题时，须进行抗浮验算。

2.1.4 建筑结构可靠度和极限状态设计

为了在建筑设计上做到技术先进，经济合理，安全使用，建筑物宜采用以概率理论为基础的极限状态设计，简称为概率极限状态设计方法。这种方法以失效概率或结构可靠度指标代替以往的安全系数。

结构的工作状态可以用荷载效应 S （指荷载在结构或构件内引起的内力或位移等）和结构抗力 R （指抵抗破坏或变形的能力）的关系描述，令

$$Z=R-S \quad (2-1)$$

称 Z 为功能函数。显然，当 $Z>0$ 或 $R>S$ 时，结构处于可靠状态；当 $Z<0$ 或 $R<S$ 时，结构处于失效状态；当 $Z=0$ 即 $R=S$ 时，结构处于极限状态。

由于影响荷载效应和结构抗力的因素很多，各个因素又有许多不确定性，都是一些随机变量， R 和 S 自然也是随机变量。最简单的情况是假定 R 和 S 的概率分布为正态分布，则按概率理论，功能函数 Z 也是正态分布的随机变量，可用图 2-1 表示。图中 $f(Z)$ 为 Z 的概率密度函数， μ_Z 为 Z 的平均值， σ_Z 为 Z 的标准差， p_f 为曲线下的阴影面积与总面积之比，称为失效概率， β 值称为结构可靠性指标。如果能对荷载效应和结构抗力进行概率分析，从而确定功能函数的平均值 μ_Z 和标准值 σ_Z ，就可求得概率密度函数 $f(Z)$ ，从而计算 Z 的失效概率 p_f 和结构可靠性指标 β 。

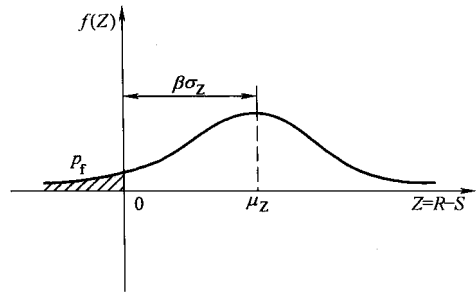


图 2-1 功能函数的概率分布

用 p_f 和 β 来评价结构的可靠性比单一安全

系数更为合理，无疑是今后努力发展的方向。但是由于影响 R 和 S 的因素很多，且缺乏统计资料，当前直接用概率分析方法计算结构的可靠度还较困难，于是只能采用较为实用的极限状态设计方法。这种方法要求结构物必须满足如下两种极限状态的要求。

(1) 承载能力极限状态：这是结构的安全功能要求，即让结构物发挥其最大限度的承载能力，荷载效应若超过此种限度，结构或构件即发生强度破坏，或者丧失稳定性。

(2) 正常使用极限状态：这是结构物的使用功能要求，如若变形超过某一限度，就会影响结构物的正常使用和建筑外观。

考虑可靠性的要求，在进行极限状态设计时，在荷载效应中应以荷载乘以分项系数和组合系数作为设计值；在抗力中，应以强度的标准值乘以分项系数作为设计值。这些系数，一般都是分别考虑了各个参数的离散性，根据概率统计得出，所以这种极限状态设计是建立在概率理论基础上的极限状态设计。

2.1.5 地基基础的极限状态设计

地基、基础和上部结构是一幢建筑物不可缺少的组成部分，显然应该在统一的原则下，用同一种方法进行设计。但是地基与基础和上部结构是两种性质完全不同的材料，各有其特殊性，自然在设计方法中应该得到反映。例如上部结构构件的刚度远比地基土层的刚度大，在荷载作用下，构件产生的变形往往并不大，而相应的地基土则相反，往往产生较大的变形。因此地基的极限状态设计也必定要反映自身的这一特点。

根据《建筑地基基础设计规范》，为保证建筑物的正常使用，地基必须满足两种极限状态的要求。

(1) 承载能力极限状态，表示为

$$p \leq f_a \quad (2-2)$$

式中 p ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面处的平均压力值，kPa；

f_a ——修正后的地基承载力特征值，kPa。

(2) 正常使用极限状态，表示为

$$\Delta \leq [\Delta] \quad (2-3)$$

式中 Δ ——相应于荷载效应准永久组合时，建筑物地基的变形；

$[\Delta]$ ——建筑物地基的变形允许值。

2.1.6 荷载及荷载效应组合

1. 作用在基础上的荷载

(1) 永久荷载：在结构使用期间，其值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计。例如结构自重、土压力、预应力等。

(2) 可变荷载：在结构使用期间，其值随时间变化，或其变化与平均值相比不可以忽略不计的荷载。例如建筑物楼面活荷载、屋面活荷载、风荷载、雪荷载等。

2. 荷载取值

(1) 标准值：荷载的基本代表值，为设计基准期（为确定可变荷载代表值而选用的时间参数）内最大荷载统计分布的特征值。

(2) 组合值：对可变荷载，使组合后的荷载效应在设计基准期内的超越概率（类似失效概率），能与该荷载单独出现时的相应概率趋于一致的荷载值，或使组合后的结构具有统一规定的可靠指标的荷载值。

(3) 准永久值：对可变荷载，在设计基准期内，其超越的总时间约为设计基准期一半的荷载值。

3. 荷载效应组合

(1) 正常使用极限状态下

标准组合：

$$S_k = S_{G_k} + S_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Q_{ik}} \quad (2-4)$$

准永久组合：

$$S_k = S_{G_k} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Q_{ik}} \quad (2-5)$$

(2) 承载力极限状态下