

十二五

高等教育“十二五”住建部规划教材
普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

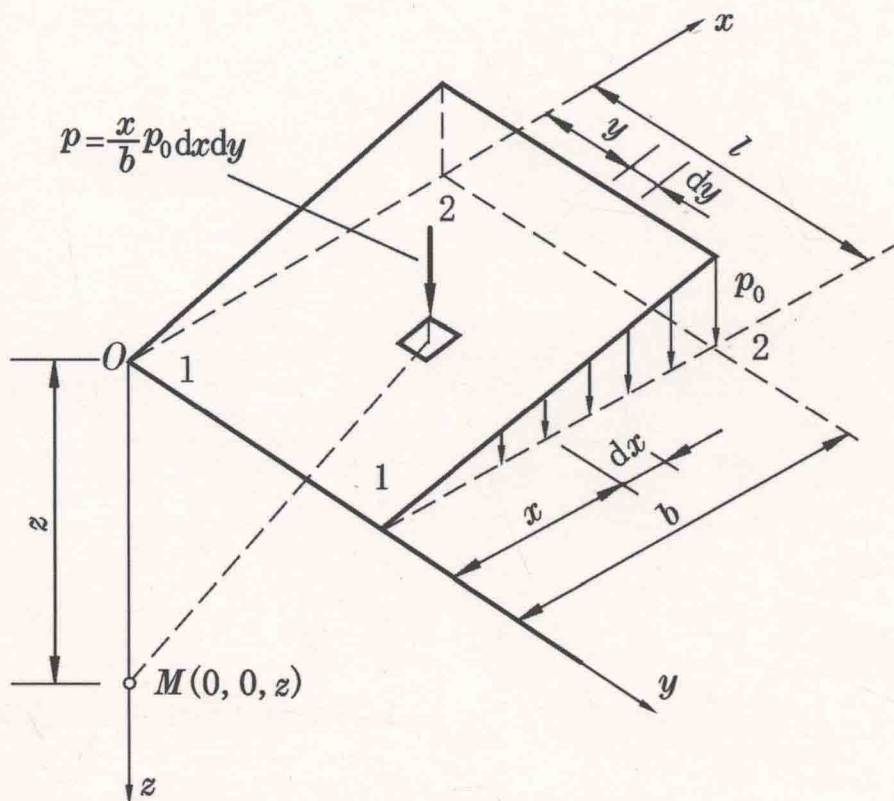
基础工程

——土力学与基础工程（下）

JICHU GONGCHENG

赵明华 主编

邹新军 副主编



WUTP



武汉理工大学出版社



普通高等教育“十二五”住建部规划教材
普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

基础工程

——土力学与基础工程(下)

主 编 赵明华

副主编 邹新军



武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

基础工程——土力学与基础工程(下)/赵明华主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2018. 11
ISBN 978-7-5629-5713-3

I. ①基… II. ①赵… III. ①土力学-高等学校-教材 ②基础(工程)-高等学校-教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 330445 号

项目负责人:汪浪涛 高 英

责任校对:陈 平

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:889×1194 1/16

印 张:14

字 数:453 千字

版 次:2018 年 11 月第 1 版

印 次:2018 年 11 月第 1 次印刷

定 价:32.00 元

责任编辑:汪浪涛

装帧设计:橙子工作室

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87785758 87384729 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

为适应国家关于土木工程专业“宽口径”培养、“卓越工程师”计划等战略要求,在武汉理工大学出版社的组织和大力支持下,根据普通高等学校土木工程专业系列教材编委会提出的教材选题与编审原则,编写了本书。

本书分为上、下两册:上册为土力学部分,下册为基础工程部分。其内容结构与编排体系是根据高等学校土木工程专业指导委员会编制的《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》与《高等学校土木工程本科指导性专业规范》等要求精心组织而成,可作为土木工程专业所开设的“土力学”和“基础工程”两门核心课程的课程用书。

上册土力学部分系统地阐述了土的性质与工程分类、土中应力计算、土的变形性质与地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力理论与挡土墙设计以及地基承载力与边坡稳定等土力学核心内容。

下册基础工程部分重点介绍了天然地基上的浅基础设计、桩基础设计以及基坑工程设计;对沉井基础、墩基础以及地下连续墙等其他深基础的设计计算方法与施工工艺等进行了简要介绍;并对我国区域性地基及其常用的地基处理技术等进行了讨论。

本书上册由赵明华任主编,陈昌富任副主编,分为7章,其中:第1、6章由湖南大学赵明华编写,第2章由湖南大学刘晓明编写,第3章由湖南大学张玲编写,第4章由湖南大学赵衡编写,第5章由湖南大学邹新军编写,第7章由湖南大学陈昌富编写。

本书下册由赵明华任主编,邹新军任副主编,分为7章,其中:第1章由湖南大学赵明华编写,第2章由湖南大学邹新军编写,第3章由湖南大学杨明辉编写,第4章由长沙理工大学刘建华编写,第5章由湖南大学陈昌富编写,第6章由湖南大学张玲编写,第7章由湖南大学刘晓明编写。

本书由浅入深、概念清晰、层次分明、重点突出、理论联系实际,力求反映最新的土力学研究成果与基础工程学科的新发展,并适当吸取了国内外较为成熟的基础工程新理论、新工艺、新技术,既可作为高等学校土木工程专业(包括建筑工程、桥梁工程、道路工程、岩土工程、工程管理等专业方向)的教材,又可供土木工程专业技术人员阅读参考,同时还可作为国家注册土木工程师(岩土)等执业资格注册考试辅导用书。

诚然,一本好的教材,往往要通过反复使用,发现其存在的问题,经多次修订方能逐步完善。限于编者水平,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2018年8月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 基础工程发展概况	(2)
1.3 本课程的特点和学习要求	(3)
2 天然地基上的浅基础设计	(5)
2.1 概述	(5)
2.1.1 无筋扩展基础	(5)
2.1.2 扩展基础	(6)
2.1.3 柱下条形基础	(7)
2.1.4 筏形基础	(7)
2.1.5 壳体基础	(8)
2.1.6 岩层锚杆基础	(8)
2.2 地基基础设计的基本规定	(8)
2.2.1 地基基础设计等级	(9)
2.2.2 设计的基本原则	(9)
2.2.3 作用效应与抗力限值	(10)
2.2.4 稳定性要求	(10)
2.3 基础埋置深度的选择	(11)
2.3.1 建筑结构条件与场地环境条件	(11)
2.3.2 工程地质条件	(11)
2.3.3 水文地质条件	(12)
2.3.4 地基冻融条件	(12)
2.4 地基承载力	(14)
2.4.1 按土的抗剪强度指标确定	(15)
2.4.2 按地基载荷试验确定	(16)
2.4.3 按地基规范承载力表确定	(17)
2.5 基础底面尺寸的确定	(19)
2.5.1 按地基持力层的承载力计算基底尺寸	(19)
2.5.2 软弱下卧层的验算	(21)
2.6 地基变形验算	(23)
2.6.1 地基变形特征	(23)
2.6.2 地基变形验算	(25)
2.7 无筋扩展基础设计	(26)
2.7.1 台阶宽高比	(26)
2.7.2 其他构造规定	(27)
2.8 扩展基础设计	(28)

2.8.1	扩展基础的构造要求	(28)
2.8.2	墙下钢筋混凝土条形基础的底板厚度和配筋计算	(30)
2.8.3	柱下钢筋混凝土独立基础的底板厚度和配筋计算	(31)
2.9	柱下钢筋混凝土条形基础设计	(37)
2.9.1	地基基础与上部结构相互作用的概念	(37)
2.9.2	柱下钢筋混凝土条形基础设计	(37)
2.10	筏形基础设计	(41)
2.10.1	构造要求	(41)
2.10.2	筏形基础的结构和内力计算	(42)
2.11	减轻不均匀沉降损害的措施	(45)
2.11.1	建筑措施	(45)
2.11.2	结构措施	(48)
2.11.3	施工措施	(49)
	思考题	(49)
	习题	(50)
3	桩基础	(52)
3.1	概述	(52)
3.1.1	桩基础的适用性	(52)
3.1.2	桩基设计内容	(52)
3.1.3	桩基设计原则	(53)
3.2	桩和桩基的分类与质量检测	(54)
3.2.1	桩基的分类	(54)
3.2.2	桩的分类	(54)
3.2.3	桩的质量检验	(58)
3.3	竖向荷载下单桩的工作性能	(58)
3.3.1	桩的荷载传递	(59)
3.3.2	桩侧摩阻力和桩端阻力	(59)
3.3.3	单桩的破坏模式	(60)
3.3.4	桩侧负摩阻力	(61)
3.4	单桩竖向承载力的确定	(62)
3.4.1	按材料强度确定	(63)
3.4.2	按单桩竖向抗压静载荷试验确定	(63)
3.4.3	按土的抗剪强度指标确定	(65)
3.4.4	按静力触探法确定	(65)
3.4.5	按经验参数确定	(66)
3.4.6	按动力试桩法确定	(70)
3.4.7	桩的抗拔承载力	(70)
3.4.8	单桩竖向承载力特征值	(71)
3.5	桩的水平承载力与位移	(71)
3.5.1	水平荷载下基础的受力特性	(72)
3.5.2	单桩水平静载荷试验	(72)

3.5.3	水平受荷桩的内力及位移分析	(74)
3.6	群桩基础计算	(78)
3.6.1	群桩的工作特点	(78)
3.6.2	承台下土对荷载的分担作用	(79)
3.6.3	复合基桩的竖向承载力特征值	(79)
3.6.4	桩顶作用效应简化计算	(80)
3.6.5	基桩竖向承载力验算	(81)
3.6.6	桩基软弱下卧层承载力验算	(82)
3.6.7	桩基竖向抗拔承载力及负摩阻力验算	(82)
3.6.8	桩基水平承载力验算	(83)
3.6.9	桩基沉降验算	(84)
3.7	桩基础设计	(85)
3.7.1	收集设计资料	(85)
3.7.2	桩型、桩长和截面尺寸选择	(85)
3.7.3	桩数及桩位布置	(86)
3.7.4	桩身截面强度计算	(87)
3.7.5	承台设计	(89)
	思考题	(93)
	习题	(94)
4	沉井及其他深基础	(95)
4.1	概述	(95)
4.1.1	沉井的作用及适用条件	(95)
4.1.2	沉井的分类	(95)
4.1.3	沉井基础的构造	(97)
4.2	沉井的施工	(98)
4.2.1	旱地沉井施工	(99)
4.2.2	水中沉井施工	(100)
4.2.3	泥浆套和空气幕下沉沉井施工简介	(100)
4.2.4	沉井下沉过程中遇到的问题及处理	(101)
4.3	沉井的设计与计算	(102)
4.3.1	沉井作为整体深基础的计算	(102)
4.3.2	沉井施工过程中的结构强度计算	(106)
4.3.3	浮运沉井计算要点	(109)
4.4	沉井基础算例	(110)
4.4.1	设计资料	(111)
4.4.2	沉井高度及各部分尺寸	(112)
4.4.3	荷载计算	(112)
4.4.4	基底应力验算	(112)
4.4.5	横向抗力验算	(112)
4.4.6	沉井自重下沉验算	(113)
4.4.7	刃脚受力验算	(113)

4.4.8	井壁受力验算	(115)
4.5	地下连续墙	(116)
4.5.1	地下连续墙的施工	(118)
4.5.2	地下连续墙的设计与计算	(121)
4.6	其他深基础简介	(124)
4.6.1	墩基础	(124)
4.6.2	沉箱基础	(125)
	思考题	(125)
	习题	(126)
5	基坑工程	(127)
5.1	概述	(127)
5.2	基坑支护结构的类型及适用条件	(127)
5.2.1	基坑支护结构的常见类型	(127)
5.2.2	基坑支护结构安全等级及设计内容	(129)
5.2.3	基坑支护结构的选型	(130)
5.3	基坑支护结构上的水平荷载	(131)
5.3.1	支护结构上土压力的特点及计算方法	(131)
5.3.2	地下水位以上土压力计算	(132)
5.3.3	地下水位以下水、土压力计算	(132)
5.4	排桩、地下连续墙支挡结构设计计算	(133)
5.4.1	悬臂式桩、墙支挡结构计算	(133)
5.4.2	单层支点桩、墙支挡结构计算	(136)
5.4.3	多层支点桩、墙支挡结构计算	(138)
5.4.4	土层锚杆与内支撑	(140)
5.4.5	稳定性验算	(142)
5.5	土钉墙设计计算	(145)
5.5.1	土钉墙支护结构参数的确定	(145)
5.5.2	土钉墙整体滑动稳定性验算	(146)
5.5.3	土钉承载力计算	(146)
5.6	基坑开挖地下水控制与施工监测	(148)
5.6.1	地下水控制	(148)
5.6.2	基坑现场监测	(150)
	思考题	(151)
	习题	(151)
6	地基处理	(153)
6.1	概述	(153)
6.1.1	软弱地基的特征	(153)
6.1.2	地基处理方法分类	(154)
6.1.3	地基处理设计、监测与检验	(155)
6.2	换土垫层法	(156)
6.2.1	换土垫层法的原理	(156)

6.2.2	换土垫层法的适用范围	(156)
6.2.3	垫层的设计	(157)
6.2.4	施工要点	(159)
6.2.5	质量检测	(160)
6.3	碾压法与夯实法	(160)
6.3.1	机械碾压法	(160)
6.3.2	振动压实法	(160)
6.3.3	重锤夯实法	(160)
6.3.4	强夯法	(161)
6.4	排水固结法	(163)
6.4.1	加固原理与应用条件	(163)
6.4.2	排水固结法的组成	(165)
6.4.3	砂井堆载预压法设计计算	(166)
6.4.4	排水固结法施工简介与现场观测	(169)
6.5	置换及拌入法	(169)
6.5.1	砂石桩法	(169)
6.5.2	水泥粉煤灰碎石桩法	(172)
6.5.3	深层搅拌法	(173)
6.5.4	高压喷射注浆法	(174)
6.6	复合地基	(175)
6.6.1	复合地基的概念与分类	(175)
6.6.2	复合地基作用机理及设计参数	(176)
6.6.3	桩体复合地基承载力确定	(177)
6.6.4	复合地基沉降计算	(178)
6.7	土工合成材料	(180)
6.7.1	特点和适用范围	(180)
6.7.2	作用原理	(180)
6.8	托换技术	(181)
6.8.1	基础托换	(181)
6.8.2	纠偏托换	(184)
	思考题	(185)
	习题	(186)
7	区域性地基	(187)
7.1	概述	(187)
7.2	湿陷性黄土地基	(187)
7.2.1	湿陷性黄土的特征和分布	(187)
7.2.2	黄土湿陷性机理和影响因素	(188)
7.2.3	黄土地基湿陷性评价	(189)
7.2.4	湿陷性黄土地基的工程处理措施	(191)
7.3	膨胀土地基	(191)
7.3.1	膨胀土特征与分布	(191)

7.3.2 膨胀土地基的危害	(192)
7.3.3 膨胀土膨胀影响因素	(192)
7.3.4 膨胀土地基评价	(193)
7.3.5 膨胀土地基的工程处治措施	(195)
7.4 山区地基与红黏土地基	(196)
7.4.1 土岩组合地基	(196)
7.4.2 岩溶地基	(197)
7.4.3 土洞地基	(198)
7.4.4 红黏土地基	(199)
7.5 盐渍土与冻土地基	(200)
7.5.1 盐渍土地基	(200)
7.5.2 冻土地基	(203)
7.6 地震区地基与动力机器的地基	(206)
7.6.1 地震区地基	(207)
7.6.2 动力机器的地基	(209)
思考题	(211)
习题	(211)
参考文献	(212)

1 绪 论

1.1 概 述

任何建筑物都建造在一定的地层(土层或岩层)上。通常把支承基础的土体或岩体称为地基。未经人工处理就可以满足设计要求的地基称为天然地基。若地基软弱、承载力不能满足设计要求,则需对地基进行加固处理(例如采用换土垫层、深层密实、排水固结、化学加固、加筋土技术等方法进行处理),加固处理后的地基则称为人工地基。

基础是将建筑物承受的各种荷载传递到地基上的实体结构(图 1.1)。房屋建筑及附属构筑物通常由上部结构及基础两大部分组成,基础是指室内地面标高(± 0.00)以下的结构。带有地下室的房屋,地下室和基础统称为地下结构或下部结构。公(铁)路桥梁通常由上部结构、墩台和基础三大部分组成,墩台及基础统称为下部结构。公路涵洞、挡土墙等人工构造物,通常由洞身或墙身及其基础两部分组成。基础应埋入地下一定深度,进入较好的地层。根据基础的埋置深度不同可分为浅基础和深基础。若基础埋置深度不大(一般指浅于 5 m),只需经过挖槽、排水等普通施工程序就可建造起来的称为浅基础;反之,若浅层土质不良,须将基础埋置于较深的良好土层,并需借助特殊施工方法建造的称为深基础(如桩基、墩基、沉井和地下连续墙等)。

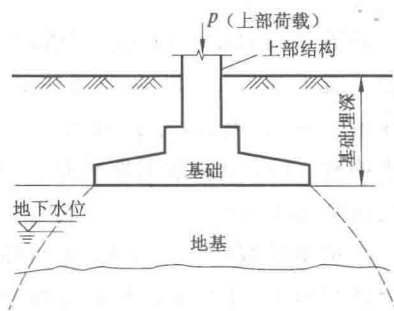


图 1.1 地基及基础示意图

地基与基础是建筑物的根本,统称为基础工程。它是研究基础或包含基础的地下结构与施工的一门科学,亦称为基础工程学。基础工程既是结构工程中的一部分,又是独立的地基基础工程。基础设计与施工也就是地基基础设计与施工。其设计必须满足三个基本条件:①作用于地基上的荷载效应(基底压应力)不得超过地基容许承载能力或地基承载力特征值,保证建筑物不因地基承载力不足造成整体破坏或影响正常使用,具有足够防止整体破坏的安全储备;②基础沉降不得超过地基变形容许值,保证建筑物不因地基变形而损坏或影响其正常使用。③挡土墙、边坡以及地基基础保证具有足够防止失稳破坏的安全储备。荷载作用下,地基、基础和上部结构三部分彼此联系、相互制约。设计时应根据地质勘察资料,综合考虑地基-基础-上部结构的相互作用、变形协调与施工条件,进行经济技术比较,选取安全可靠、经济合理、技术先进、环境保护和施工简便的地基基础方案。

基础工程勘察、设计和施工质量的好坏将直接影响建筑物的安全性、经济性和正常使用。基础工程施工常在地下或水下进行,往往需挡土挡水,施工难度大,在一般高层建筑中,其造价约占总造价的 25%,工期约占总工期的 25%~30%。若需采用深基础或人工地基,其造价和工期所占比例更大。此外,基础工程为隐蔽工程,一旦发生事故,损失巨大,补救十分困难,因此在土木工程中具有十分重要的作用。

随着我国基本建设的发展,大型、重型、高层建筑和有特殊要求的建筑物日益增多,在基础工程设计与施工方面积累了不少成功的经验。国外也有不少成功的典范,然而也有不少失败的教训。例如 1913 年建造的加拿大特朗斯康谷仓(图 1.2),由 65 个圆柱形筒仓组成,高 31 m,宽 23.5 m,其下为筏板基础,由于事先不了解基底下埋藏有厚达 16 m 的软黏土层,建成后贮存谷物时,基底压力(320 kPa)超过了地基极限承载力,致使谷仓西侧突然陷入土中 8.8 m,东侧抬高 1.5 m,仓身整体倾斜 $26^{\circ}53'$ 。这是地基发生整体滑动、建筑物丧失稳定性的典型范例。由于该谷仓整体性很强,筒仓完好无损。事后在筒仓下增设 70 多个支承于基岩上

的混凝土墩,用 388 个 50 t 的千斤顶将其逐步纠正,但其标高比原来降低了 4 m。

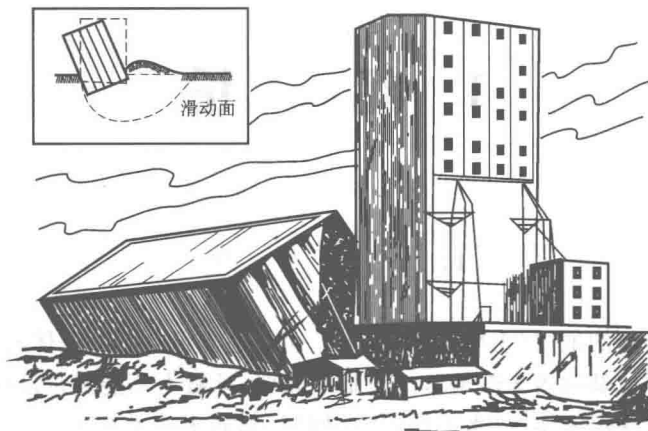


图 1.2 加拿大特朗斯康谷仓的地基破坏情况

世界著名的意大利比萨斜塔,1173 年动工,高约 55 m,因地基压缩层不均、排水缓慢,北侧下沉 1 m 多,南侧下沉近 3 m。1932 年曾灌注 1000 t 水泥也未奏效,每年仍下沉约 1 mm。意大利政府自 1990 年至 2001 年斥资 2500 万英镑,花了 11 年时间才将其修复。再如我国 1954 年兴建的上海工业展览馆中央大厅,因基底中约有 14 m 厚的淤泥质软黏土,尽管采用了深 7.27 m 的箱形基础,建成后当年仍下沉 0.6 m,目前大厅平均沉降达 1.6 m。

大量事故教训充分表明,对基础工程必须慎重对待。只有深入地了解地基情况,掌握勘察资料,经过精心设计与施工,才能保证基础工程经济合理,安全可靠。

1.2 基础工程发展概况

基础工程既是一项古老的工程技术,又是一门年轻的应用学科。由于生产的发展和生活上的需要,人类很早就已创造出了自己的地基基础工艺。例如我国都江堰水利工程、举世闻名的万里长城、隋朝南北大运河、黄河大堤、赵州石拱桥以及许许多多遍及全国各地的宏伟壮丽的宫殿寺院、巍然挺立的高塔等,都因奠基牢固,即使经历了无数次强震强风仍安然无恙。又如秦代修筑驰道时采用的“隐以金椎”(《汉书》)的路基压实方法,以及至今仍采用的灰土垫层、石灰桩、瓦渣垫层和水撼砂垫层等,都是我国自古已有的传统地基处理方法。再如北宋初著名木工喻皓(公元 989 年)建造开封开宝寺木塔时,考虑到当地多西北风,将建于饱和土上的塔身向西北倾斜,以便在风力作用下渐趋复正,解决了建筑物地基的沉降问题。我国木桩基础的使用更是源远流长,如河姆渡文化遗址中发现的 7000 年前钱塘江南岸沼泽地带木构建筑下的木桩为世所罕见,公元前 532 年在今山西汾水上建成的三十墩柱木柱桥梁(《水经注》)以及秦代所建渭桥等也都为木桩基础,再如郑州隋朝超化寺打入淤泥的塔基木桩(《法苑珠林》)、杭州湾五代大海塘工程木桩等都是我国古代桩基技术应用的典范,事实有力地证明了我国古代劳动人民在工程实践中积累了丰富的土力学与基础工程知识。只是由于当时生产力发展水平的限制,还未能提炼成为系统的科学理论。直到 18 世纪中叶,人们对土在工程建设方面的特性,尚停留在感性认识阶段。

作为本学科理论基础的土力学始于 18 世纪兴起工业革命的欧洲。大规模的城市建设和水利、铁路的兴建面临着许多与土相关的问题,促进了土力学理论的产生和发展。1773 年,法国库仑(Coulomb)根据试验提出了著名的砂土抗剪强度公式,创立了计算挡土墙土压力的滑楔理论。1857 年,英国朗肯(Rankine)从另一途径提出了挡土墙的土压力理论,有力地促进了土体强度理论的发展。此外,1885 年,法国布辛奈斯克(Boussinesq)提出了弹性半空间表面作用竖向集中力的应力和变形的理论解答;1922 年,瑞典费兰纽斯(Fellenius)提出了土坡稳定分析法等。这些古典的理论和方法,至今仍不失其理论和实用价值。

通过许多学者的不懈努力和经验积累,1925年,美国太沙基(Terzaghi)在归纳发展已有成就的基础上,出版了第一本土力学专著,较系统完整地论述了土力学与基础工程的基本理论和方法,促进了该学科的高速发展。1936年国际土力学与基础工程学会成立,并举行了第一次国际学术会议,从此土力学与基础工程作为一门独立的现代科学而不断取得进展。许多国家和地区也都定期地开展各类学术活动,交流和总结本学科新的研究成果和实践经验,出版各类土力学与基础工程刊物,有力地推动了本学科的发展。

中华人民共和国成立后,大规模的社会主义经济事业的飞跃发展,促进了我国基础工程学科的迅速发展。我国在各种桥梁、水利及建筑工程中成功地处理了许多大型和复杂的基础工程,取得了辉煌的成就。例如,利用电化学加固处理的中国历史博物馆地基,解决了施工期短、质量要求高的困难;长江上建成的几十座长江大桥(武汉、南京等)及其他巨大工程中,采用管柱基础、气筒浮运沉井、组合式沉井、各种结构类型的单壁、双壁钢围堰、大直径扩底墩等一系列深基础和深水基础,成功地解决了水深流急、地质复杂的基础工程问题;上海钢铁总厂以及全国许许多多高层建筑的建成,都为土力学与基础工程的理论和实践积累了丰富的经验;而三峡工程和小浪底工程的基础处理,将我国基础工程的设计、施工、检测提高到一个新的水平。自1962年以来,我国先后召开了12届全国土力学与基础工程会议,并建立了许多地基基础研究机构、施工队伍和土工试验室,培养了大批地基基础专业人才。不少学者对基础工程的理论和实践做出了重大贡献,受到了国际岩土界的重视。

近年来,我国在工程地质勘察,室内及现场土工试验,地基处理,新设备、新材料、新工艺的研究和应用方面,取得了很大的进展。各种地基处理新技术在土建、水利、桥隧、道路、港口、海洋等有关工程中得到了广泛应用,取得了较好的经济技术效果。随着电子技术及各种数值计算方法对各学科的逐步渗透,土力学与基础工程的各个领域都发生了深刻的变化,许多复杂的工程问题得到了相应的解决,试验技术也日益提高。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等也相继问世或日臻完善,为我国基础工程设计与施工做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量提供了充分的理论与实践依据。我们相信,随着我国社会主义建设的向前发展,对基础工程要求的日益提高,我国土力学与基础工程学科也必将得到新的更大的发展。

1.3 本课程的特点和学习要求

本课程是土木工程专业的一门主干课程。内容与工程地质学、工程力学以及结构设计和施工等几个学科领域相关联,综合性、理论性和实践性很强。因此必须很好地掌握上述先修课程的基本内容和基本原理,为本课程的学习打好基础。

全书分为7章:第1章为绪论;第2章主要介绍了天然地基上的浅基础(扩展基础、筏形基础及箱形基础等)的基本构造、设计计算方法,以及地基承载力的确定方法;第3章从单桩到群桩,介绍了桩基础的基本设计理论和受力分析方法;第4章介绍了沉井基础、墩基础、地下连续墙等的设计计算方法;第5章对我国常用基坑工程支护结构的计算方法进行了介绍;第6章重点介绍了我国目前常用的几种地基处理方法的设计与施工及复合地基基本理论;第7章简要介绍了我国区域地基(例如湿陷性黄土、膨胀土、冻土、盐渍土、红黏土及山区地基等)的基本设计计算方法和要求。

我国幅员辽阔,由于自然地理环境的不同,分布着各种各样的土类,不同的土类具有各自的特殊性质而必须针对其特性采取相应的工程措施。因此,地基基础问题具有明显的区域性特征。此外,天然地层的性质和分布也因地而异,且在较小的范围内可能变化很大。故基础工程的设计,除需丰富的理论知识外,还须有较多的工程实践知识,并通过勘探和测试取得可靠的有关土层的分布及其物理力学性质指标的资料。因此,学习时应注意理论联系实际,通过各个教学环节,紧密结合工程实践,提高理论认识和增强处理地基基础的能力。

基础工程的设计和施工必须遵循法定的规范、规程。但不同行业有不同的专门规范,且标准也尚未完全统一,故本课程所涉及的规范、规程比较多。因此,在课堂讲授和理论学习阶段应以学科知识体系为主,弄清

基础工程设计和施工中的主要内容和基本方法;在课程设计中,可根据不同专业方向,使用、熟悉各自的行业规范,进行具体工程的设计实践训练。

本课程与材料力学、结构力学、弹性力学、建筑材料、建筑结构及工程地质学等学科有着密切的关系,本书在涉及这些学科的有关内容时仅引述其结论,要求理解其意义及应用条件,而不把注意力放在公式的推导上。此外,基础工程几乎找不到完全相同的实例,在处理基础工程问题时,必须运用本课程的基本原理,深入调查研究,针对不同情况进行具体分析。因此,在学习时必须注意理论联系实际,才能提高分析问题和解决问题的能力。

2 天然地基上的浅基础设计

本章提要

先简要介绍了浅基础类型及地基基础设计的基本规定,然后重点介绍天然地基上浅基础的设计计算方法,主要包括:基础埋置深度的选择、地基承载力的确定、基础底面尺寸的确定、地基变形特征量与验算要求、柱下条形基础和筏形基础的设计,并给出了相应算例。对地基-基础-上部结构相互作用的概念也做了简单介绍,并给出了减轻地基不均匀沉降危害的建筑、结构及施工措施。要求熟悉浅基础的类型及其选用与设计计算原则;掌握地基承载力的确定方法,以及常用基础结构的设计计算方法。

2.1 概 述

地基是指支承基础的土体或岩体,而基础将结构所承受的各种作用传递至地基,是连接地基与上部结构的承上启下结构。地基按是否经过处理分为天然地基和人工地基,而基础可按埋置深度、施工方法及是否考虑基础侧面摩阻力分为浅基础和深基础两类,本章主要讨论天然地基上的浅基础设计。

浅基础是相对深基础而言的,其差别主要在于设计原则与施工方法。浅基础的埋深通常不大,一般只需采用普通基坑开挖、排水的施工方法建造,施工条件和工艺都较简单;深基础(包括桩基础、墩基础、沉井基础及地下连续墙基础等)则需借助于特殊的施工方法和机具进行深埋,施工条件较为困难,工艺也更复杂,但很难用一个固定的埋置深度来区别浅基础和深基础。正因为埋深不大,浅基础设计时只考虑基底地基土的承载能力,不考虑基底以上土体抗剪强度的作用,且忽略基础侧面与土之间的摩阻力;而深基础由于需考虑侧壁摩阻力的有利作用,其承载力的确定和设计方法也就不同。

为保证地基基础设计的安全与经济,我国制定了相应的设计规范,并根据理论研究 with 工程实践的发展而不断加以修订。但因种种原因,截至目前,现行的地基基础设计规范仍然分行业制定和执行,如:适用于工业与民用建筑领域的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)(以下简称《建筑地基规范》)和交通运输部的标准《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)(以下简称《路桥地基规范》)等。为便于阐述,若无特殊说明,本章将以《建筑地基规范》为主,兼顾《路桥地基规范》。

工程中的浅基础类型较多,了解浅基础的常用类型和适用条件有助于基础选型与合理设计。

2.1.1 无筋扩展基础

无筋扩展基础是指用砖、毛石、混凝土、毛石混凝土、灰土或三合土等材料组成的,且不需要配置钢筋的墙下条形基础或柱下独立基础(图 2.1),适用于多层民用建筑和轻型厂房。因采用抗压性能较好,而抗拉、抗剪性能较差的材料所建造,无筋扩展基础需具有非常大的截面抗弯刚度以保证受荷后不发生挠曲变形和开裂,故习惯称其为“刚性基础”。无筋扩展基础设计时一般只需规定基础的材料强度与质量、限制台阶宽高比、控制建筑物层高及地基承载力,因而一般无须进行繁杂的内力分析和截面强度计算。

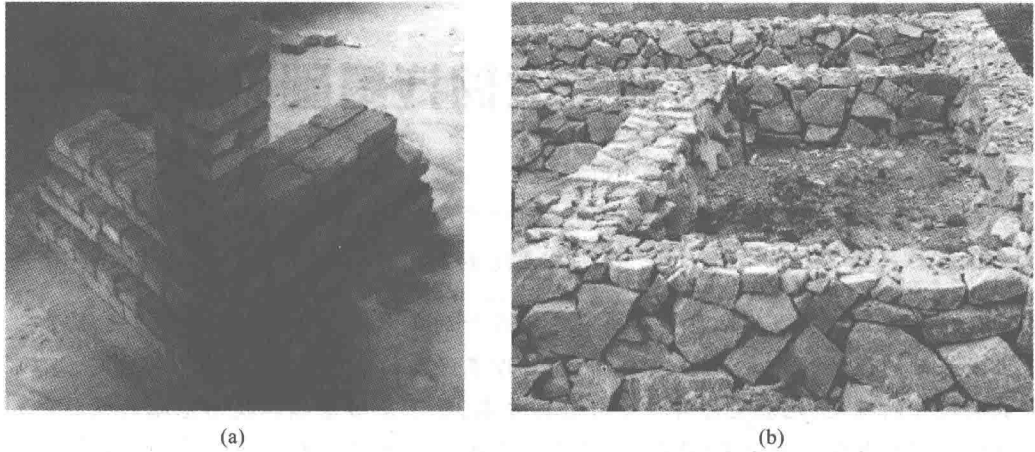


图 2.1 无筋扩展条形基础示例

(a) 砖基础; (b) 毛石基础

2.1.2 扩展基础

扩展基础是指柱下钢筋混凝土独立基础和墙下钢筋混凝土条形基础。当基础荷载较大、地质条件较差时,为了满足无筋扩展基础的宽高比要求,基础的基底尺寸与埋深须相应增大,给基础布置和地基持力层选择、基坑开挖与排水等带来不便,且可能提高工程造价;此外,无筋扩展基础还有用料多、自重大等缺点。为此,对于竖向荷载较大、地基承载力不高以及承受水平力和力矩荷载等情况,可考虑采用抗弯和抗剪性能好的钢筋混凝土基础。由于这类基础的高度不受台阶允许宽高比的限制,故适宜于需要“宽基浅埋”的场地,如:当软土地基表层有一定厚度的“硬壳层”时,便可考虑采用这类基础形式,利用该层作为地基持力层。由于钢筋混凝土基础以钢筋受拉、混凝土受压为特点,即当考虑地基与基础相互作用时,将考虑基础的挠曲变形,因此,相对于“刚性基础”(无筋扩展基础)而言,也可称其为“柔性基础”、“弹性基础”。

独立基础(也称“单独基础”)是整个或局部结构物下的无筋或配筋的单个基础,柱、烟囱、水塔、高炉、机器设备基础多采用独立基础。独立基础是柱基础中最常用和最经济的形式,其所用材料主要根据柱的材料、荷载大小和地质情况而定。现浇钢筋混凝土柱多采用现浇钢筋混凝土独立基础,基础截面做成阶梯形[图 2.2(a)]或锥形[图 2.2(b)]。预制柱一般采用杯口基础[图 2.2(c)]。烟囱、水塔、高炉等构筑物常采用钢筋混凝土圆板或圆环基础及混凝土实体基础(图 2.3),也可用壳体基础。

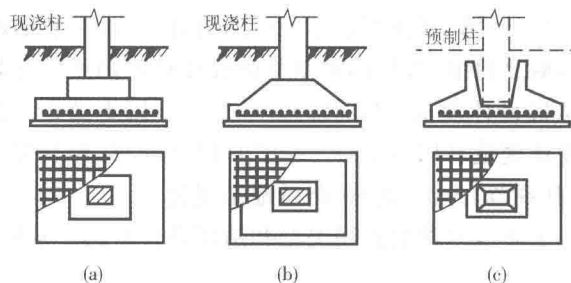


图 2.2 钢筋混凝土柱下单独基础

(a) 阶梯形; (b) 锥形; (c) 杯形

条形基础是指基础长度远大于其宽度的一种基础形式,按上部结构形式,可分为墙下条基和柱下条基两种;墙下条基又有无筋和配筋两种。墙下无筋扩展基础在砌体结构中得到广泛应用,材料及构造要求按前述方法设计。当上部墙体荷重较大而土质较差时,可考虑采用“宽基浅埋”的墙下钢筋混凝土条形基础。墙下钢筋混凝土条基一般做成板式(或称“无肋式”),如图 2.4(a)所示,但当基础纵向的荷载及地基土压缩性不均匀时,为增强基础的整体性和抗弯能力,减小不均匀沉降,常采用带肋的基础[图 2.4(b)]。

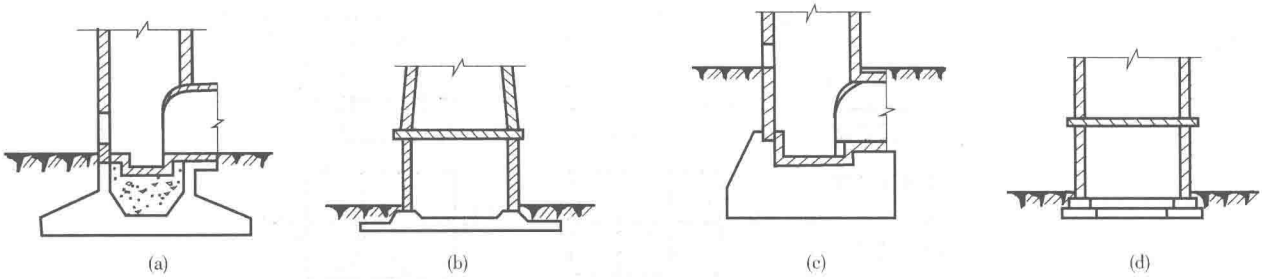


图 2.3 烟囱、水塔基础

(a), (b) 圆板基础; (c) 实体基础; (d) 圆环基础

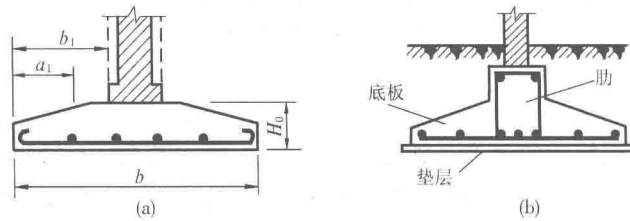


图 2.4 墙下钢筋混凝土扩展基础

(a) 无肋; (b) 有肋

2.1.3 柱下条形基础

当地基软弱而荷载较大时,若采用柱下扩展基础,可能因基底面积很大而使基础边缘互相接近甚至重叠,为增加基础的整体性并方便施工,可将同一排的柱基础连通成为柱下钢筋混凝土条形基础(图 2.5)。若仅是相邻柱相连,又称作联合基础或双柱联合基础。

采用柱下钢筋混凝土条形基础不能满足地基基础设计要求时,可采用交叉条形基础(亦称交梁基础或十字交叉条形基础)(图 2.6)。这种基础在纵横两向均具有一定刚度,当地基软弱且两个方向的荷载和土质不均匀时,交叉条形基础具有良好的调整不均匀沉降的能力。

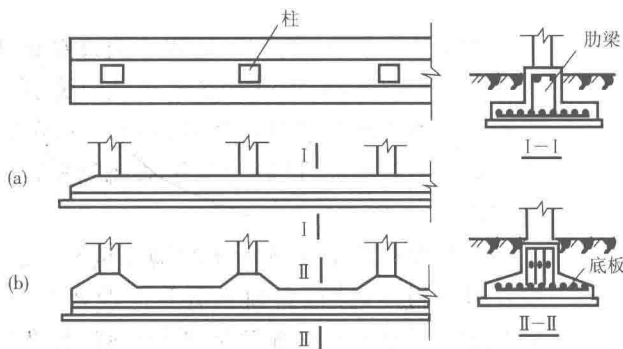


图 2.5 柱下条形基础

(a) 等截面; (b) 柱位处加腋

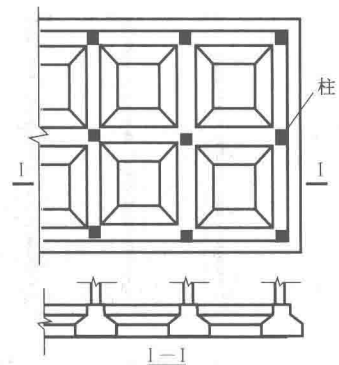


图 2.6 柱下十字交叉条形基础

2.1.4 筏形基础

荷载很大且地基软弱,采用交叉条形基础也不能满足要求时可采用筏形基础(也称筏板基础),即用钢筋混凝土做成连续整片基础。筏形基础因基底面积大,可减少基底压力,并有效增强基础整体性,其在构造上好像倒置的钢筋混凝土楼盖,可分为平板式[图 2.7(a)]和梁板式[图 2.7(b)]两种。

筏形基础在框架、框架剪力墙及剪力墙等高层建筑物中应用较多,亦可用于砌体结构。南方地区多层住宅有的采用筏形基础并直接置于地表土层,称之为无埋深筏基,但北方应用时须考虑抗冻与采暖要求。