



普通高等教育土木工程特色专业系列教材

CIVIL ENGINEERING

基础工程

王照宇 李富荣 主 编
张荣兰 沈广军 副主编



国防工业出版社
National Defense Industry Press



普通高等教育工本工在行巴专业系列教材

基 础 工 程

王照宇 李富荣 主 编
张荣兰 沈广军 副主编

國防工業出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书根据高等院校土木工程专业“基础工程”课程教学大纲的要求,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,根据勘察、设计和施工等最新规范编写而成。本书突出应用性,使理论联系工程实际,力求实用性强。本书共7章,包括绪论、刚性基础与扩展基础、连续基础、桩基础、沉井基础、地基处理、特殊土地基。

本书可作为高等院校土木工程、岩土工程、水利工程及相关专业教材,也可作为大中专院校相关专业的教学参考书及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程 / 王照宇, 李富荣主编. —北京: 国防工业出版社, 2012. 3

普通高等教育土木工程特色专业系列教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 07869 - 5

I. ①基... II. ①王... ②李... III. ①地基 - 基础
(工程) - 高等学校 - 教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 014539 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 12¼ 字数 213 千字

2012 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

普通高等教育土木工程特色专业系列教材 编委会

主 任 李建宇

副主任 荀 勇 吴其胜

委 员 (按姓氏拼音排序)

崔清洋 焦宝祥 李 飞 刘训良 施鲁莎

王延树 杨建明 于小娟 周 乾 周咏馨

前 言

“基础工程”是土木工程专业必修的专业课程之一,而且是与实际工程密切相关的课程。随着科学技术的进步,新的研究成果不断涌现,同时结合国内外在地基基础方面的工程实践经验,在此基础上,各相关规范均做了较大的修订,因此,为了使得本书与规范一致,并尽量反映比较新的科研成果,本书做了相应的修订工作,对部分内容进行了增减。

本书力图反映学科发展的新水平,反映基础工程的成熟成果与观点。本书在内容编写上,既注意先进性与实用性的协调,又注重新规范和新成果的引用,既正确讲述基本概念与设计原理,又通过具体算例说明相关设计计算方法,参照算例解决实际工程设计问题。

本书由王照宇、李富荣任主编,张荣兰、沈广军任副主编。王照宇撰写第1、2章;李富荣撰写第6、7章;张荣兰撰写第4、5章;沈广军撰写第3章。全书由王照宇制订编写大纲和负责全书的统稿工作。

限于编者水平,不妥之处在所难免,恳请读者给予批评指正。

作 者

2011 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 地基及基础的概念	1
1.2 基础工程学科发展概况	3
1.3 本课程的特点和学习要求	5
第 2 章 刚性基础与扩展基础	7
2.1 概述	7
2.1.1 刚性基础的构造要求	7
2.1.2 钢筋混凝土扩展基础构造	9
2.2 基础埋置深度的选择	11
2.2.1 建筑结构条件与场地环境条件	11
2.2.2 工程地质条件	13
2.2.3 水文地质条件	13
2.2.4 地基冻融条件	14
2.3 地基承载力特征值	16
2.3.1 按土的抗剪强度指标确定	17
2.3.2 按地基载荷试验或触探试验确定	17
2.3.3 按规范承载力经验公式确定	19
2.4 刚性基础与扩展基础的设计计算	20
2.4.1 地基承载力验算	20
2.4.2 软弱下卧层验算	23
2.4.3 基础和地基的稳定性验算	25
2.4.4 钢筋混凝土扩展基础结构设计	26
2.4.5 地基变形验算	30
2.5 减轻建筑物不均匀沉降危害的措施	33

2.5.1	建筑物体型应力求简单	33
2.5.2	限制建筑物的长高比	34
2.5.3	合理布置纵横墙	34
2.5.4	合理安排相邻建筑物之间的距离	34
2.5.5	设置沉降缝	35
2.5.6	控制与调整建筑物各部分标高	35
2.6	结构措施	36
2.6.1	减轻建筑的自重	36
2.6.2	减少或调整基底的附加压力	36
2.6.3	增强基础刚度	36
2.6.4	采用对不均匀沉降不敏感的结构	36
2.6.5	设置圈梁	36
2.7	施工措施	37
	复习思考题	37
	习题	38
第3章	连续基础	40
3.1	概述	40
3.2	地基、基础与上部结构共同工作的概念	41
3.2.1	地基、基础与上部结构的关系	41
3.2.2	基础刚度的影响	42
3.2.3	地基软硬的影响	43
3.2.4	上部结构刚度的影响	45
3.3	柱下条形基础	47
3.3.1	应用范围	47
3.3.2	截面类型	48
3.3.3	设计要点	48
3.4	十字交叉基础	50
3.4.1	应用范围	50
3.4.2	设计要点	51
3.4.3	三种节点荷载分配	51
3.5	筏形基础	53

3.5.1	应用范围	53
3.5.2	筏形基础内力的计算及配筋要求	53
3.5.3	筏形基础的承载力计算要点	53
3.6	箱形基础	54
3.6.1	概述	54
3.6.2	箱形基础的特点	54
3.6.3	箱形基础的适用范围	55
3.7	补偿性基础概要	55
	复习思考题	56
第4章	桩基础	58
4.1	概述	58
4.1.1	桩基础的组成与特点	58
4.1.2	桩基础的适用性	58
4.1.3	桩基础设计原则	59
4.2	桩的分类和选用	61
4.2.1	桩的分类	61
4.2.2	桩的选用	63
4.3	竖向承压桩的荷载传递	64
4.4	竖向承压桩单桩承载力的确定	66
4.4.1	单桩竖向承载力的概念和确定原则	66
4.4.2	单桩竖向极限承载力的确定方法	67
4.4.3	单桩竖向承载力特征值	76
4.4.4	复合基桩竖向承载力特征值	77
4.5	桩的抗拔承载力与桩的负摩阻力	80
4.5.1	桩的抗拔承载力	80
4.5.2	桩的负摩阻力	82
4.5.3	减小负摩阻力的工程措施	86
4.6	桩在水平荷载下的现状及承载力确定	86
4.6.1	水平荷载作用下单桩的工作性状	86
4.6.2	单桩水平承载力的确定	88
4.6.3	基桩水平承载力的确定	92

4.7	桩基的沉降计算	93
4.8	桩基础的设计	99
4.8.1	桩型、桩长和截面尺寸的选择	99
4.8.2	确定单桩或基桩承载力特征值	101
4.8.3	确定桩的数量及其平面布置	101
4.8.4	验算桩基承载力和沉降量	104
4.8.5	桩身结构设计	109
4.8.6	桩基承台设计与计算	113
	复习思考题	130
	习题	131
第5章	沉井基础	134
5.1	概述	134
5.1.1	沉井	134
5.1.2	沉井的应用范围	136
5.1.3	沉井的类型与构造	136
5.2	沉井的施工	139
5.2.1	沉井的施工概述	139
5.2.2	沉井施工中的问题及处理措施	139
5.3	沉井的设计	141
5.3.1	沉井结构设计的内容和步骤	142
5.3.2	沉井标高初步设计	142
	复习思考题	143
第6章	地基处理	144
6.1	概述	144
6.1.1	地基处理的概念及目的	144
6.1.2	地基处理方法的分类和适用条件	145
6.1.3	地基处理方案的选择	145
6.2	换土垫层法	148
6.2.1	垫层的主要作用	148
6.2.2	垫层设计	148
6.3	强夯法	151

6.3.1	概述	151
6.3.2	加固机理及适用条件	152
6.3.3	施工技术参数及基本施工步骤	153
6.4	排水固结法	155
6.4.1	排水固结法原理与应用	155
6.4.2	砂井预压	156
6.5	砂桩	160
6.5.1	概述	160
6.5.2	加固机理	160
6.5.3	砂桩技术参数	161
6.5.4	填砂量	163
6.5.5	砂桩长度	163
6.5.6	垫层	163
6.5.7	砂桩复合地基承载力	164
6.6	深层搅拌桩	164
6.6.1	概述	164
6.6.2	加固机理	165
6.6.3	水泥搅拌桩有关技术参数	166
6.6.4	水泥搅拌桩质量检验	167
6.6.5	水泥搅拌桩复合地基承载力	168
6.7	灌浆法	169
6.7.1	灌浆的主要目的	169
6.7.2	灌浆材料	169
6.7.3	灌浆机理	169
	复习思考题	171
第7章	特殊土地基	172
7.1	湿陷性黄土地基	172
7.1.1	黄土的特征和分布	172
7.1.2	湿陷性黄土地基的勘察与评价	173
7.1.3	湿陷性黄土地基的工程措施	176
7.2	膨胀土地基	178

7.2.1	膨胀土的特征	178
7.2.2	膨胀土地基的勘察与评价.....	179
7.2.3	膨胀土地基计算	180
7.2.4	膨胀土地基的工程措施	181
复习思考题		183
参考文献		184

第1章 绪 论

1.1 地基及基础的概念

一般建(构)筑物都建造在一定的土(岩)层上,通常把直接承受建(构)筑物荷载影响的土(岩)层称为地基。当上部结构荷载和自重不大,地基未加处理就可满足设计要求的称为天然地基;如果地基软弱,其承载力不能满足设计要求,需对其进行加固处理(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),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下部结构(如图1-1所示),一般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(一般浅于5m),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、

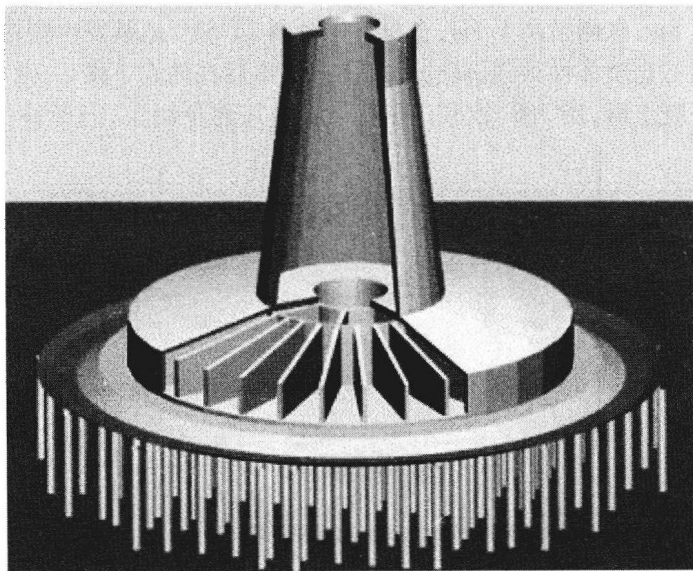


图1-1 基础示意图

墩基、沉井和地下连续墙等)。

地基与基础是建筑物的根本,统称为基础工程。其设计必须满足两个基本条件:① 作用于地基上的荷载不得超过地基承载能力,以保证地基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。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危、经济和正常使用。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 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,一旦失事,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。

随着大型、重型、高层建筑和大跨径桥梁等的日益增多,在基础工程设计与施工方面积累了不少成功的经验和工程典范,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 31m,宽 23.5m,筏板基础,因事先不了解基底下有厚达 16m 的软黏土层,建成后储存谷物时,基底压力(320kPa)超出地基极限承载力。使谷仓西侧突然陷入土中 8.8m,东侧抬高 1.5m,仓身整体倾斜 $26^{\circ}53'$,地基发生整体滑动、丧失稳定性。因谷仓整体性很强,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 50t 的千斤顶将其逐步纠正,但标高比原来降低了 4m。

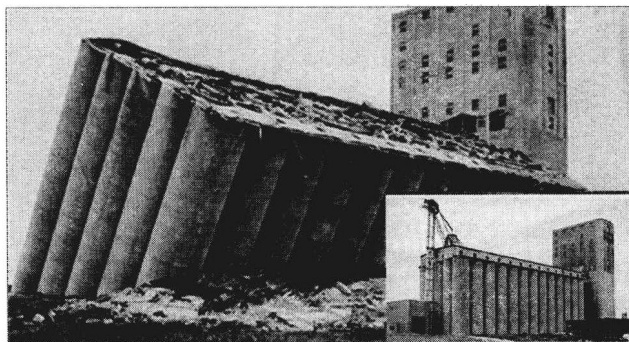


图 1-2 加拿大特朗斯康谷仓

世界著名的意大利比萨斜塔(图 1-3),1173 年动工,高约 55m,因地基压缩层不均、排水缓慢,北侧下沉 1m 多,南侧下沉近 3m。1932 年曾灌注 1000t 水泥也未奏效,每年仍下沉约 1mm。再如我国 1954 年兴建的上海工业展览馆中央大厅,因基底下约有 14m 厚的淤泥质软黏土,尽管采用了深 7.27m 的箱形基础,建成后仍当年就下沉 0.6m,目前大厅平均沉降达 1.6m。

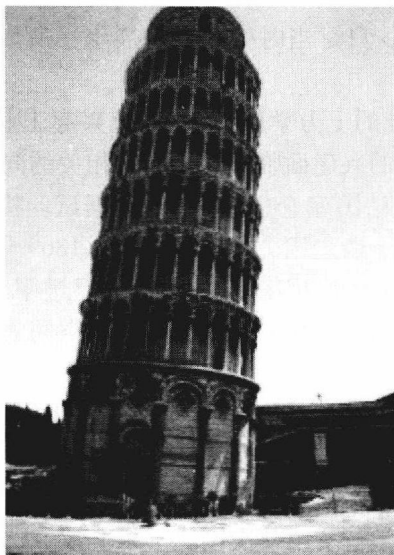


图 1-3 意大利比萨斜塔

大量事故充分表明,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 基础工程学科发展概况

基础工程学是一门古老的工程技术和年轻的应用科学。远在古代人类就创造了自己的地基基础工艺。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,虽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》)路基压实方法;至今常用的石灰桩,灰土、瓦渣垫层和水撼砂垫层等古有的传统地基处理方法。再如北宋初著名木工喻皓建造开封开宝寺木塔时(公元 989 年),因当

地多西北风而将建于饱和土上的塔身向西北倾斜,以借长期风力作用而渐趋复正,克服建筑物地基不均匀沉降。我国木桩基础更是源远流长。如钱塘江南岸发现的河姆渡文化遗址中 7000 年前打入沼泽地的木桩世所罕见;《水经注》记载的今山西汾水上木柱梁桥(公元前 532 年),以及秦代的渭桥(公元前 221—公元 206 年,《三辅黄图》)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。只是当时生产力发展水平所限而未能提炼成系统的科学理论。

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。1869 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,法国布森涅斯克(Boussinesq)提出的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;瑞峰兰纽斯(Fellenius, 1922)提出的土坡稳定分析法等,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《土力学》一书,他被认为是土力学的奠基人。1936 年成立了国际土力学与基础工程学会,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取得不断进展。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。

新中国成立后,大规模的社会主义经济事业的飞跃发展,促进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;万里长江上建成的十余座长江大桥(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;再如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,必将我国基础工程的设计、施工、检测提高到一个新的水平。我国自 1962 年以来,先后召开了八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、施工队伍和土工实验室,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相应得到了解决,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应问世或日臻完善。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。许多内容涉及工程地质学、土力学、结构设计和施工等几个学科领域,内容广泛,综合性、理论性和实践性很强,因此必须很好地掌握好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。

我国地域辽阔,由于自然地理环境的不同,分布着各种各样的土类。某些土类作为地基(如湿陷性黄土、软土、膨胀土、红黏土、冻土以及山区地基等)具有其特殊性质而必须针对其特性采取适当的工程措施。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,且在较小范围内可能变化很大。故基础工程的设计,除需要丰富的理论知识外,还需要有较多的工程实践知识,并通过勘察和测试取得可靠的有关土层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问题的能力。

基础工程的设计和施工必须遵循法定的规范、规程。而不同行业又有不同的专门规范,且各行业间不尽平衡。作为土木工程专业,涉及住房和城乡建设部、交通运输部、铁道部等部门,国家标准也尚未完全统一,故本课程所涉及的规范规程比较多。因此建议,在课堂上讲授和理论学习阶段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;而在课程设计中,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、弹性理论、建筑材料、建筑结构与工程地质等有着密切的关系,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。