

新世纪土木工程系列教材

基础工程

赵明华 主编 徐学燕 副主编



高等教育出版社

新世纪土木工程系列教材

基 础 工 程

赵明华 主 编
徐学燕 副主编

高等教育出版社

内容提要

本教材是新世纪土木工程系列教材之一,是根据教育部关于拓宽专业面,教材要面向 21 世纪的要求编写的,适用于土建类土木工程专业。本教材内容既重视本学科基础理论和知识的阐述,也注意反映我国目前工程实践,介绍本学科的新进展、新技术和新工艺,并与我国现行的有关规范或规程等保持一致。力求将知识的传授与能力的培养结合起来。

本书除绪论外共九章,包括地基基础的设计原则,刚性基础与扩展基础,柱下条形基础、筏形和箱形基础,桩基础,沉井基础,基坑工程,特殊土地基,地基处理,地震区地基基础等。各章后附有相应的思考题和习题。

本书既可作为土木工程专业以及相关专业的基础工程课程教材,也可供从事土木工程研究、设计和施工等工作的工程技术人员参考。此外,为便于学生自学,本书将配套出版相应的多媒体教学课件。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程 / 赵明华主编. —北京: 高等教育出版社,
2003
ISBN 7-04-011598-0

I. 基... II. 赵... 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(2002)第 099183 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 17.75
字 数 410 000

版 次 2003 年 1 月第 1 版
印 次 2003 年 1 月第 1 次印刷
定 价 22.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

基础工程是关于建(构)筑物在设计和施工中有关地基和基础问题的学科,是土木工程专业的主干课程。该课程的先导课程及相关课程为工程地质与水文地质、材料力学、结构力学、弹性力学、土力学等。

随着科学技术的发展,国内外高层建筑、大型桥梁等工程大量兴建,基础工程的理论和技术日新月异,特别是各项新的国家标准的颁布,使基础工程的设计和施工都有了新的准绳。为了更好地适应我国土木工程专业培养方案的需要,本书根据高等学校土木工程专业的教学要求,以原建筑工程和交通土建工程专业的基础工程课程内容为主,兼顾其他,并适当吸取国内外比较成熟的基础工程新理论、新工艺、新技术,结合我国新规范编写,适用于土木工程专业基础工程课程。

本书由湖南大学赵明华和哈尔滨工业大学徐学燕主编,湖南大学陈昌富,西南交通大学于志强、吴兴序、富海鹰,哈尔滨工业大学齐加连、邱明国等参加编写,东南大学张克恭先生主审。绪论、第5,7章由赵明华编写,第1章由徐学燕编写,第2章及第3章的3.1~3.4节由齐加连编写,第3章的3.5节由邱明国编写,第4章由于志强编写,第6章由陈昌富编写,第8章由富海鹰编写,第9章由吴兴序编写。

基础工程在本科教学中有40~60学时,书中第9章供选讲。各学校可根据学时多少进行取舍。

本书主审张克恭先生认真、细致地审阅和修改了全书,并提出了许多极为有益的建议,高等出版社的编辑同志也为本书的出版付出了艰辛的劳动,在此致以诚挚的谢意。

限于编者水平,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者
2002.11.16

目 录

绪论	1	§ 5-1 概述	140
第 1 章 地基基础的设计原则	5	§ 5-2 沉井的施工	144
§ 1-1 概述	5	§ 5-3 沉井的设计与计算	149
§ 1-2 地基基础设计原则	8	§ 5-4 沉井基础算例	160
§ 1-3 地基类型	14	§ 5-5 地下连续墙深基础简介	167
§ 1-4 基础类型	19	思考题与习题	169
§ 1-5 地基、基础与上部结构共同工作	23	第 6 章 基坑工程	170
思考题与习题	27	§ 6-1 概述	170
第 2 章 刚性基础与扩展基础	28	§ 6-2 排桩、地下连续墙支护结构	174
§ 2-1 概述	28	§ 6-3 水泥土桩墙支护结构	182
§ 2-2 基础埋置深度的选择	31	§ 6-4 土钉支护结构	186
§ 2-3 地基承载力	35	§ 6-5 基坑稳定性分析	190
§ 2-4 刚性基础与扩展基础的设计计算	40	§ 6-6 地下水控制	194
思考题与习题	49	思考题与习题	198
第 3 章 柱下条形基础、筏形和箱形基础	51	第 7 章 特殊土地基	200
§ 3-1 概述	51	§ 7-1 概述	200
§ 3-2 弹性地基上梁的分析	52	§ 7-2 软土地基	200
§ 3-3 柱下条形基础	57	§ 7-3 湿陷性黄土地基	203
§ 3-4 筏形基础	65	§ 7-4 膨胀土地基	210
§ 3-5 箱形基础	74	§ 7-5 山区地基及红粘土地基	216
思考题与习题	80	§ 7-6 冻土地基及盐渍土地基	221
第 4 章 桩基础	82	思考题与习题	225
§ 4-1 概述	82	第 8 章 地基处理	226
§ 4-2 竖向荷载下单桩的工作性能	89	§ 8-1 概述	226
§ 4-3 单桩竖向承载力的确定	95	§ 8-2 复合地基理论	228
§ 4-4 桩的水平承载力确定	108	§ 8-3 换填垫层法	233
§ 4-5 群桩基础计算	116	§ 8-4 排水固结法	236
§ 4-6 桩基础设计	127	§ 8-5 重锤夯实法和强夯法	239
思考题与习题	138	§ 8-6 桩土复合地基法	241
第 5 章 沉井基础	140	§ 8-7 灌浆法和化学加固法	245
		§ 8-8 土工合成材料加筋法	248
		§ 8-9 托换技术	249

思考题与习题	252	§ 9-3 地基基础抗震设计	256
第9章 抗震地基基础	253	§ 9-4 液化判别与抗震措施	265
§ 9-1 概述	253	思考题与习题	270
§ 9-2 地基基础的震害现象	254	参考文献	272

绪 论

1. 地基及基础的概念

任何建筑物都建造在一定的地层(土层或岩层)上,通常把直接承受建筑物荷载影响的地层称为地基。未加处理就可满足设计要求的地基称为天然地基;软弱、承载力不能满足设计要求,需对其进行加固处理的(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)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。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(图 1)。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(一般浅于 5 m)、只需经过挖槽、排水等普

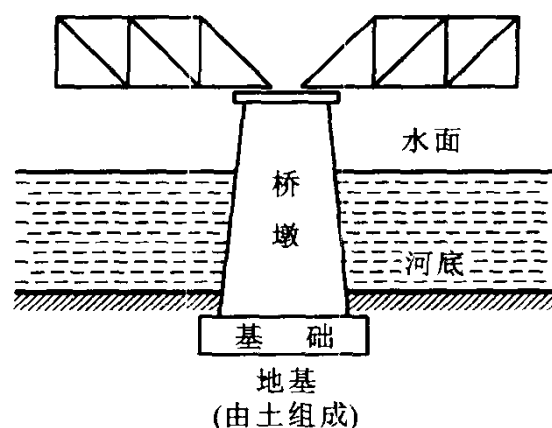


图 1 地基及基础示意图

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(如桩基础、沉井基础等)。

基础工程是研究基础或包含基础的地下结构设计与施工的一门科学,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 2),由 65 个圆柱形筒仓组成,高 31 m,宽 23.5 m,采用了筏板基础,因事先不了解基底下有厚达 16 m 的软粘土层,建成后贮存谷物时,基底压力(320 kPa)超出地基极限承载力。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 $26^{\circ}53'$,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,用了 388 个 50 t 的千斤顶才将其逐步纠正,但标高比原来降低了 4 m。

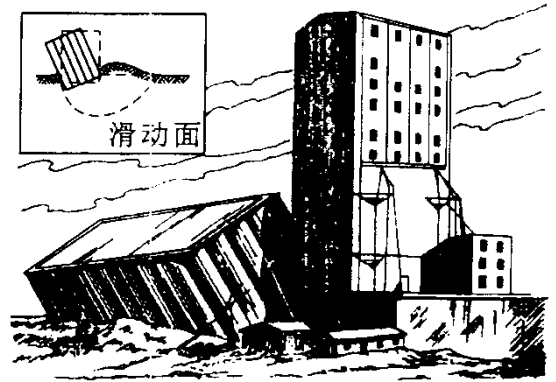


图 2 加拿大特朗斯康谷仓的地基破坏情况

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 1 000 t 水泥也未奏效,每年仍下沉约 1 mm。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 14 m 厚的淤泥质软粘土,尽管采用了深 7.27 m 的箱形基础,建成后仅当年就下沉 0.6 m,目前大厅平均沉降达 1.6 m。

大量事故充分表明,必须慎重对待基础工程。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。

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青的应用科学。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 7 000 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三十墩柱木柱梁桥(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,英国兰金(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, 1885)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;瑞典费兰纽斯(Fellenius, 1922)提出的土坡稳定分析法等等,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;长江上建成的十余座长江大桥(在武汉、南京等地)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、双壁钢围堰及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,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作出了重大贡献,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、保护环境、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事业的向前发展,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。

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、红粘土、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。但不同行业有不同的专门规范,且各行业间不尽平衡,土木工程专业培养学生培养涉及建设部、交通部、铁道部等部门,各部委标准也尚未

完全统一,故本课程所涉及的规范规程比较多。因此,在课堂上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、弹性理论、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。

第 1 章

地基基础的设计原则

§ 1-1 概述

基础是连接工业与民用建筑上部结构或桥梁墩、台与地基之间的过渡结构。它的作用是将上部结构承受的各种荷载安全传递至地基,并使地基在建筑物允许的沉降变形值内正常工作,从而保证建筑物的正常使用。因此,基础工程的设计必须根据上部结构传力体系的特点、建筑物对地下空间使用功能的要求、地基土的物理力学性质,结合施工设备能力,坚持保护环境考虑经济造价等各方面要求,合理选择地基基础设计方案。

进行基础工程设计时,应将地基、基础视为一个整体,在基础底面处满足变形协调条件及静力平衡条件(基础底面的压力分布与地基反力大小相等,方向相反)。作为支承建筑物的地基如天然地基,或经过人工处理则为人工地基。基础一般按埋置深度,施工方法分为浅基础与深基础。荷载相对传至浅部受力层,采用普通基坑开挖,敞坑排水施工方法的浅埋基础称为浅基础,如砖混结构的墙下条形基础、柱下单独基础、柱下条形基础、十字交叉基础、筏形基础,高层结构的箱形基础等。采用较复杂的施工方法埋置于深层地基中的基础称为深基础,如桩基础、沉井基础、地下连续墙深基础等。本章将介绍各种地基类型、基础类型与基础工程设计的有关基本原则。

1-1-1 基础工程设计的目的

土木工程结构设计时,应根据结构破坏可能产生的后果(危及人的生命,造成经济损失,产生社会影响等)的严重性,采用不同的安全等级。建筑工程结构应按表 1-1 划分为三个安全等级;公路工程结构应按表 1-2 划分为三个设计安全等级。现行的 GB 50007—2002《建筑地基基础设计规范》(以下简称《地基规范》)将地基基础设计分三个设计等级(表 1-3)。现行 GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》规定根据建筑使用功能的重要性划分为四个抗震设防类别(表 1-4)。现行 JGJ 120—99《建筑基坑支护规程》规定根据支护结构破坏后果划分 3 个安全等级(表 1-5)。

同时,在设计规定的期限内,结构或结构构件只需进行正常的维护(不需大修)即可按其预定目的使用。此期限为结构的设计使用年限(表 1-6)。

根据具体的地基基础设计等级,设计使用年限分类,首先应根据结构在施工和使用中的环境条件和影响,区分下列三种设计状况:

1. 持久状况

在结构使用过程中一定出现,持续期很长的状况,如结构自重、车辆荷载。持续期一般与设计使用年限为同一数量级。

2. 短暂状况

在结构施工和使用过程中出现概率较大,而与设计使用年限相比,持续期很短的状况,如施工和维修等。

3. 偶然状况

在结构使用过程中出现概率很小,且持续期很短的状况,如火灾、爆炸、撞击等。

表 1-1 建筑结构的的安全等级

安全等级	破坏后果	建筑物类型
一级	很严重	重要的建筑
二级	严重	一般的建筑
三级	不严重	次要的建筑

注:① 对特殊的建筑物其安全等级应根据具体情况另行确定;

② 地基基础设计等级按抗震要求设计安全等级,尚应符合有关规范规定。

表 1-2 公路工程结构的设计安全等级

安全等级	路面结构	桥涵结构
一级	高速公路路面	特大桥、重要大桥
二级	一级公路路面	大桥、中桥、重要小桥
三级	二级公路路面	小桥、涵洞

注:有特殊要求的公路工程结构,其安全等级可根据具体情况另行规定。

表 1-3 地基基础设计等级

设计等级	建筑和地基类型
甲级	重要的工业与民用建筑; 30 层以上的高层建筑; 体型复杂,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 2 层及 2 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 7 层及 7 层以下民用建筑及一般工业建筑; 次要的轻型建筑物

表 1-4 建筑抗震设防分类

抗震设防类别	抗震建筑类型
甲类	地震时可能发生严重次生灾害的建筑
乙类	地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的建筑
丙类	除甲、乙、丁类以外的一般建筑
丁类	抗震次要建筑

表 1-5 基坑侧壁安全等级

安全等级	破坏后果
一级	支护结构破坏,土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下工程结构施工影响很严重
二级	一般
三级	不严重

注:有特殊要求的建筑基坑侧壁安全等级可根据具体情况另行确定。

表 1-6 设计使用年限分类

类别	设计使用年限/年	举 例
1	1~5	临时性结构
2	25	易于替换的结构构件
3	50	普通房屋和构筑物
4	100	纪念性建筑和特别重要的建筑结构

对三种设计状况,工程结构均应按承载能力极限状态设计。对持久状况,尚应按正常使用极限状态设计。对短暂状况,可根据需要按正常使用极限状态设计,对偶然状况,可不按正常使用极限状态设计。

1-1-2 基础工程设计的任务

对于不同的设计状况,可采用不同的结构体系,并对该体系进行结构效应分析。结构效应分析是基础工程设计的主要任务。首先是基础结构作用效应分析,确定由于地基反力上部结构荷载作用在基础结构上的作用效应,即基础结构内力:弯矩、剪力、轴力等。其二应根据拟定的基础截面进行基础结构抗力及其他性能的分析,确定基础结构截面的承受能力及其性能。当按承载能力极限状态设计时,根据材料和基础结构对作用的反应,可采用线性、非线性或塑性理论计算。当按正常使用极限状态设计时,可采用线性理论计算;必要时,可采用非线性理论计算。其计算的结果均应小于基础材料的抵抗能力。例如轴压基础,基础内部的压应力应小于基础材料的轴心抗压强度。

有关地基承载力计算、地基变形计算、地基基础稳定性计算,按照两种极限状态设计的分析,

详见下节介绍。

§ 1-2 地基基础设计原则

1-2-1 概率极限设计法与极限状态设计原则

目前正在发展的极限状态设计法,从结构的可靠度指标(或失效概率)来度量结构的可靠度,并且建立了结构可靠度与结构极限状态方程关系,这种设计方法就是以概率论为基础的极限状态设计法,简称概率极限状态设计法。该方法一般要已知基本变量的统计特性,然后根据预先规定的可靠度指标求出所需的结构构件抗力平均值,并选择截面。该方法能比较充分地考虑各有关影响因素的客观变异性,使所设计的结构比较符合预期的可靠度要求,并且在不同结构之间设计可靠度具有相对可比性。例如原子能反应堆的压力容器、海上采油平台等。但对一般常见的结构使用这种方法设计工作量很大。其中有些参数由于统计资料不足,在一定程度上还要凭经验确定。

整个结构或结构构件超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求,此特定状态应称为该功能的极限状态。极限状态分为下列两类:

(1) 承载能力极限状态。这种极限状态对应于结构或结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形或变位。当基础结构出现下列状态之一时,应认为超过了承载能力极限状态。

- ① 整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡(如倾覆等);
- ② 结构构件或连接因超过材料强度而破坏(包括疲劳破坏),或因过度塑性变形而不适于继续承载;
- ③ 结构转变为机动体系;
- ④ 结构或结构构件丧失稳定(如压屈等);
- ⑤ 地基丧失承载能力而破坏(如失稳等)。

(2) 正常使用极限状态。这种极限状态对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。当结构、结构构件或地基基础出现下列状态之一时,应认为超过了正常使用极限状态。

- ① 影响正常使用或外观的变形;
- ② 影响正常使用或耐久性能的局部破坏(包括裂缝);
- ③ 影响正常使用的振动;
- ④ 影响正常的其他特定状态。

由以上的建筑物功能要求,长期荷载作用下地基变形对上部结构的影响程度,地基基础设计和计算应该满足以下设计原则:

- ① 各级建筑物均应进行地基承载力计算,防止地基土体剪切破坏,对于经常受水平荷载作用的高层建筑,高耸结构和挡土墙,以及建造在斜坡上的建筑物,尚应验算稳定性;
- ② 应根据前述基本规定进行必要的地基变形计算,控制地基的变形计算值不超过建筑物的地基变形特征允许值,以免影响建筑物的使用和外观;
- ③ 基础结构的尺寸,构造和材料应满足建筑物长期荷载作用下的强度、刚度和耐久性的要求。同时也应满足上述两项原则的要求。另外力求灾害荷载作用(地震、风载等)时,经济损失

最小。

1-2-2 地基基础设计资料

1. 荷载资料

一般建筑物结构设计时,将上部结构、基础与地基三者分开独立进行。以平面框架柱下条形基础的结构分析为例:分析时首先假设基础为固端支座求解荷载作用下框架柱内力和柱脚集中反力,将该反力作为基础结构承受的外荷载施加于基础顶面,又假设基底反力是线性分布的,根据静力平衡条件求解基础内力和基底分布反力;柱脚内力,基底反力作为基础结构承受的荷载求解基础内力。进行地基计算时,则将基底反力反向施加于地基,作为外荷载根据不同的地基模型求解地基的附加应力与变形,从而验算地基承载力和基础沉降(图 1-1)。梁式桥桥面作为上部结构,假设下部结构的桥墩或桥台为固端支座,求解梁结构内力和支座集中反力,再假设下部结构的基础为不动支座,求解墩台内力和底面的反力,该反力作为外荷载施加于基础顶面,其余分析同上(图 1-2)。因此基础工程设计的第一份资料是按相关规范计算的传至基础顶面和底面的荷载(包括竖向轴力、水平剪力和弯矩)。

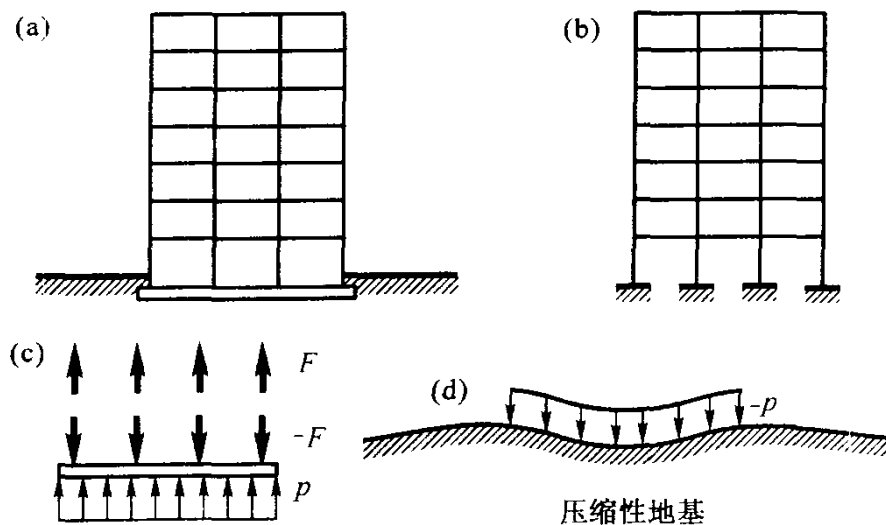


图 1-1 地基、基础、上部结构的常规分析简图

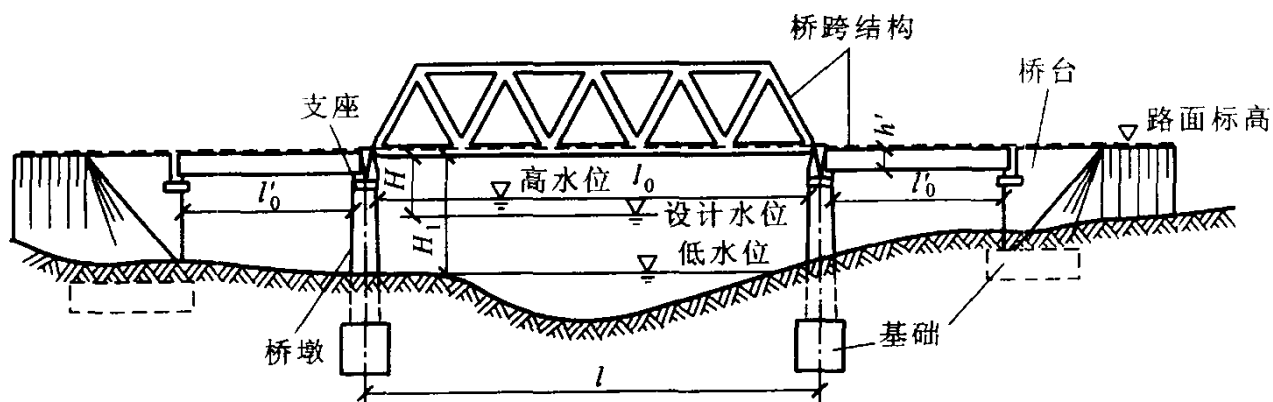


图 1-2 梁式桥概貌

地基基础设计时,所采用的荷载效应最不利组合与相应的抗力或限值应按下列规定:

(1) 按地基承载力确定基础底面积及埋深或按单桩承载力确定桩数时,传于基础或承台底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合。相应的抗力应采用地基承载力

特征值或单桩承载力特征值。

(2) 计算地基变形时,传至基础底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合,不应计入风荷载和地震作用。相应的限值应为地基变形允许值。

(3) 计算挡土墙土压力、地基或斜坡稳定及滑坡推力时,荷载效应应按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合,但其荷载分项系数为1.0。

(4) 在确定基础或桩台高度、支挡结构截面、计算基础或支挡结构内力、确定配筋和验算材料强度时,上部结构传来的荷载效应组合和相应的基底反力,应按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合,采用相应的荷载分项系数。

当需要验算基础裂缝宽度时,应按正常使用极限状态荷载效应标准组合。

(5) 结构重要性系数 γ_0 取值不应小于1.0。

2. 岩土工程勘察资料

基础结构是以下部的地基作为依托。上部结构荷载传至基础结构时,基础截面的计算内力小于基础材料的抗力,满足相关规定后,将在基础底面连续向下传递荷载至地基。因此,基础工程设计的第二份资料是反映有关地基抗力性能的岩土工程勘察报告。

(1) 岩土工程勘察报告应提供下列资料:

- ① 有无影响建筑场地稳定性的不良地质条件及其危害程度;
- ② 建筑物范围内的地层结构及其均匀性,以及各岩土层的物理力学性质;
- ③ 地下水埋藏情况、类型和水位变化幅度及规律,以及对建筑材料的腐蚀性;
- ④ 在设防区应划分场地土类型和场地类别,并对饱和砂土及粉土进行液化判别;
- ⑤ 对可供采用的地基基础设计方案进行论证分析,提出经济合理的设计方案建议;提供与设计要求相对应的地基承载力及变形计算参数,并对设计与施工应注意的问题提出建议;
- ⑥ 当工程需要时,尚应提供:深基坑开挖的边坡稳定计算和支护设计所需的岩土技术参数,论证其对周围已有建筑物和地下设施的影响;基坑施工降水的有关技术参数及施工降水方法的建议;提供用于计算地下水浮力的设计水位。

(2) 地基评价宜采用钻探取样、室内土工试验、触探,并结合其他原位测试方法进行。甲级建筑物应提供载荷试验指标、抗剪强度指标、变形参数指标和触探资料;乙级建筑物应提供抗剪强度指标、变形参数指标和原位测试资料,丙级建筑物应提供触探及必要的钻探和土工试验资料。

(3) 各级建筑物均应进行施工验槽。如地基条件与原勘察报告不符时,应进行施工勘察。

设计者应通过阅读《岩土工程勘察报告书》,熟悉建筑物场地的地层分布情况,每层土的厚度、均匀程度、物理力学性质指标,从而根据上部结构力系的特点(中心受压、偏心受压)和使用要求合理选择基础持力层(基础底面直接受压土层)。确定持力层的地基承载力时,大部分情况下可直接使用勘察报告书的结果。对于甲级建筑物并缺乏当地建筑经验物资料时,承载力值应以现场载荷实验为依据,以避免造成设计失误。

对于地质条件复杂的地区,要全面细致地阅读报告及附件内容。例如场地的地质构造(断层、褶皱等),不良地质现象(泥石流、滑坡、崩塌、岩溶、塌陷等),避开不稳定的区域,查清分布规律、危害程度,在确保场地稳定性的条件下进行结构设计。如不能改变场地区域,必须预先采取有力措施,防患于未然。对报告书中的结论和建议,应结合具体工程,判断其适用性,发现问题应

及时与勘察部门联系解决。基础工程施工过程中,地基持力层、桩周土层均可肉眼直接观察或用简单仪器测试,此时是校核报告书成果可靠性的最佳时机。可以及时发现地基勘察中失真的数据与未发现的问题。例如某工业厂房,主厂房为 18 m 跨度的单层钢筋混凝土排架结构,长 66 m,高 25 m,另一侧输煤廊为钢筋混凝土框架结构,跨度 6 m,长 72 m,高 25 m,设置 4 台 1 000 kN 输煤吊斗。主厂房排架柱采用条形钢筋混凝土基础,输煤廊框架柱采钢筋混凝土筏片基础,厂房内每台锅炉下设钢筋混凝土独立基础。春季开工复查发现锅炉二层操作平台的框架挑梁端部与输煤廊框架二层平台梁挤紧,竖向有明显错动迹象,挑梁端部混凝土撕裂,外皮剥落,从撕裂的裂缝方向分析,及水准仪测量结果得知,锅炉基础已向输煤廊方向发生倾斜,两端高差约 15 mm,同时二层通道墙体产生开裂。为查明基础倾斜原因于基础底面下布置深 2 m 的探坑 9 个,并取土样进行物理、力学指标试验。结果表明部分基础下持力层的地基承载力特征值 f_{ak} 为 105~150 kPa,该土层距地基承载力特征值为 200 kPa 的土层约 1.4~0.4 m。根据上部结构传递荷载与基础底面积计算基础底面压力均大于地基承载力特征值。两者的验算结果见表 1-7。

表 1-7 作用效应与抗力设计值

基 础	作用效应 S/kPa (基底压力)	抗力设计值 R/kPa (地基承载力特征值)	R/S
锅炉基础	179/168	141.7/118	0.79/0.70
框架柱基础	172/169	141.7/118	0.82/0.70
排架柱基础	156.8/139	141.7/118	0.90/0.85

注:分子为最大压应力,分母为平均压应力

由上表可见抗力与作用效应比 R/S 除个别外,均小于 0.87。参照《工业厂房可靠度鉴定标准》,该厂房和锅炉基础应定为 d 级,继续使用是不允许的,必须加固处理。

发生该工程质量事故的原因是设计者选择的持力层($f_a = 200 \text{ kPa}$) 在岩土工程勘察报告中 1 号,2 号,3 号,4 号,8 号 5 个钻孔剖面图内只有 8 号孔基础底面进入设计持力层土约 0.7 m,其余 4 孔处基底均未进入设计持力层(距持力层分别约为 1.4 m,2.0 m,1 m,0.4 m)。即基础底面有部分未座落到要求的持力层上,因而在荷载作用下,基础产生倾斜。同一标高处土层不同的状况,一般在基坑验槽时,可以发现并得到彻底补救。此时是验证岩土工程勘察报告资料与实际土层是否吻合的最佳时机。遗憾的是在基坑验槽时,已发现存在耕植土,但未能进行施工勘察,因而未能查明耕植土的深度与范围,只是对暴露出来的有限范围进行换填。后证实即便换填的砂垫层下仍有耕植土,说明耕植土清除不彻底,丧失了最佳的补救机会,造成了工程质量事故。

3. 原位测试资料

基础工程设计第三份资料应是地基承载力,单桩竖向承载力以及地基压缩模量和变形模量等的原位测试报告。目前,人们对土体力学行为,基础工程结构承载能力的正确认识,几乎大部分来源是静载荷实验,即土体与基础工程结构的原位测试。即使在计算机技术充分发展和应用的今天,也是如此。对于设计等级为甲级的地基基础工程,通过地基土的静载荷实验得到各级荷