



土木工程本科应用型系列教材

基础工程

主 编 刘熙媛 副主编 肖成志 李雨润

JICHU GONGCHENG

中国建材工业出版社

土木工程本科应用型系列教材

基 础 工 程

主 编 刘熙媛

副主编 肖成志 李雨润

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/刘熙媛主编. —北京:中国建材工业出版社,
2009.11

(土木工程本科应用型系列教材)

ISBN 978-7-80227-623-9

I. 基… II. 刘… 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 194449 号

内 容 简 介

本书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编写。本书注重理论联系工程实际,突出应用性。通过相关规范条文的引用,使其实用性更强。

本书共分八章,内容包括:绪论、天然地基浅基础设计的基本理论、浅基础结构设计、桩基础、沉井基础、地下连续墙、基坑工程、地震区地基基础问题。

本书按照我国最新的相关规范编写,可作为普通高校土木工程专业的基础工程教材,亦可作为从事土木工程勘察、设计、施工技术人员的参考书。

土木工程本科应用型系列教材

基础工程

主 编 刘熙媛

副主编 肖成志 李雨润

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:18.75

字 数:477 千字

版 次:2009 年 11 月第 1 版

印 次:2009 年 11 月第 1 次

书 号:ISBN 978-7-80227-623-9

定 价:38.00 元

本社网址:www.jcbs.com.cn

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906

前言

《基础工程》是土木工程专业的主干课程，是《土力学》的后续课程。该课程主要研究与建（构）筑物地基和基础设计、施工有关的问题。

伴随着土木工程建设项目的迅猛增长，基础工程学科的相关理论与实践日新月异。近几年来，各行业又陆续颁布实施了一批新的国家和行业标准，例如：《建筑桩基技术规范》（JGJ 94—2008），《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63—2007）和《铁路桥涵地基和基础设计规范》（TB 10002.5—2005）等。为了更好地适应我国土木工程专业培养方案的需要，本书以原建筑工程和交通土建工程专业的工程课程为主，结合各行业新规范进行编写，适用于土木工程专业本科的基础工程课程。

本书编写主要遵循的原则如下：

1. 强调基本概念、基本原理与基本方法。本书力图准确阐述基础工程学中的基本概念和原理，使读者在理解和掌握基本原理的基础上掌握各种基础设计计算的内容、步骤和方法。
2. 反映我国相关规范编制建设的最新成果。本书主要根据新颁布的《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2002）、《建筑桩基技术规范》（JGJ 94—2008）编写，并适当反映《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63—2007）等相关规范的内容。
3. 注重紧密结合实际工程，侧重应用性。通过引入设计计算例题，使理论与实际工程紧密结合，培养并提高学生的应用能力。章后习题同样注重结合工程实际，同时结合国家注册土木工程师的考题，培养读者综合应用知识的能力。
4. 适当吸收国内外基础工程比较成熟的新技术。本书充分考虑基础工程学科的发展新方向和水平，努力反映新成果与观点，以使教学内容适应我国 21 世纪土木工程建设发展的趋势。

本书由河北工业大学刘熙媛副教授主编。河北工业大学肖成志副教授、李雨润副教授担任副主编。燕山大学曹海莹讲师参编。全书由刘熙媛副教授统稿。

本书各章节内容及编写情况如下：

第一章	绪论	刘熙媛	河北工业大学地下工程系
第二章	天然地基浅基础设计的基本理论	曹海莹	燕山大学土木工程系
第三章	浅基础结构设计	李雨润	河北工业大学地下工程系
第四章	桩基础	刘熙媛	河北工业大学地下工程系
第五章	沉井基础	肖成志	河北工业大学地下工程系
第六章	地下连续墙	肖成志	河北工业大学地下工程系
第七章	基坑工程	肖成志	河北工业大学地下工程系
第八章	地震区地基基础问题	李雨润	河北工业大学地下工程系

本书在编写过程中，引用了相关国家及行业标准，参阅了一些院校优秀教材的内容及相关研究成果，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，恳请读者批评指正。

编者
2009年9月

目 录

第一章 绪论	1
第二章 天然地基浅基础设计的基本理论	5
第一节 概述.....	5
第二节 浅基础的类型及其方案的选用.....	9
第三节 基础埋置深度的确定	19
第四节 地基承载力的确定	24
第五节 基础底面尺寸的确定	31
第六节 地基变形验算	36
第七节 地基稳定性评价	43
第八节 减轻不均匀沉降危害的措施	47
第九节 地基基础与上部结构共同作用分析原理	53
第十节 特殊土地基上的基础工程	58
思考题	66
习题	66
第三章 浅基础结构设计	68
第一节 概述	68
第二节 无筋扩展基础	71
第三节 墙下条形基础	75
第四节 柱下独立基础	79
第五节 柱下钢筋混凝土条形基础	83
第六节 弹性地基上梁的计算	91
第七节 柱下十字交叉条形基础.....	101
第八节 筏形基础.....	106
第九节 箱形基础.....	115
思考题.....	125
习题.....	125
第四章 桩基础	128
第一节 概述.....	128
第二节 基桩的分类与特点.....	132
第三节 竖向荷载作用下单桩的工作性能.....	138

第四节	单桩竖向承载力的确定	142
第五节	竖向荷载作用下的桩基计算	149
第六节	桩基沉降计算	158
第七节	水平荷载作用下的桩基计算	165
第八节	承台的设计与计算	174
第九节	桩基础常规设计步骤	184
第十节	变刚度调平设计	188
第十一节	软土地区减沉复合疏桩基础	192
	思考题	194
	习题	194
第五章	沉井基础	196
第一节	概述	196
第二节	沉井的类型和构造	197
第三节	沉井的施工	201
第四节	沉井的设计与计算	208
	思考题	220
	习题	220
第六章	地下连续墙	221
第一节	概述	221
第二节	地下连续墙的静力计算	222
第三节	地下连续墙的施工	232
	思考题	236
	习题	236
第七章	基坑工程	237
第一节	概述	237
第二节	基坑支护结构的类型和特点	238
第三节	支护结构设计的荷载	246
第四节	基坑支护结构设计	250
第五节	基坑的稳定性分析	261
	思考题	267
	习题	267
第八章	地震区地基基础问题	268
第一节	概述	268
第二节	地震引起的地基失稳	274
第三节	地基基础抗震设计原则	285
	思考题	291
	参考文献	292

第一章 绪 论

一、地基及基础的基本概念

任何结构物都建造在一定的土层之上,因此,上部结构的全部荷载都由它下面的土层承担。受上部结构荷载影响的那部分土层称为地基。建筑物向地基传递荷载的下部结构,称为基础,如图 1-1 所示。

通常,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,因此,持力层应尽可能选择工程性质较好的土层。持力层下面的土层称为下卧层。当持力层下的地基土层不只一层时,凡在持力层下面的土层均称为下卧层。

实际工程中,根据土层变化情况、上部结构的要求、荷载大小及分布特点、施工技术水平等可以采用不同类型的地基和基础。

基础按照埋深可以分为浅基础和深基础两类。

浅基础一般埋深不大,是只需经过挖槽、排水等普通施工程序建造的基础。一般认为埋深小于 5m 属于浅基础。浅基础四周的摩阻力可忽略不计。

深基础是采用特殊施工方法和设备建造的埋深大于基础宽度的基础,包括桩基础、沉井基础、地下连续墙等。

地基可以划分为天然地基和人工地基。开挖基坑后可以直接修筑基础的天然地层称为天然地基。当天然地层土质不能满足上部结构关于强度、变形及稳定性的要求时,必须经过人工加固或处理后才能修筑基础的地基,称为人工地基。

基础工程包括地基及基础的设计与施工。为了支承上部结构传来的荷载,地基应满足强度、稳定性及变形的要求。而基础作为下部结构,应满足强度、刚度和耐久性的要求。选择地基基础方案时,从安全、经济、合理的角度出发,应优先选择天然地基上的浅基础。

二、基础工程的发展概况

基础工程是一项古老的工程技术。远古先民在史前建筑活动中,就已经创造了自己的地基基础工艺。我国西安半坡村新石器时代遗址和殷墟遗址的考古挖掘,都发现有土台和石础。著名的隋朝石工李春建造的河北赵县赵州桥将桥台基础置于密实砂土层上,一千多年沉降仅为几厘米。

桩基础是一种古老的传统深基础。我国浙江余姚河姆渡村发现的木桩距今约 7000 多年。在世界范围内,桩基础的应用历史可追溯至距今 12000 年以前。美国考古学家在南美智利沼泽地上就发现了一间支承于木桩上的木屋,经过放射性 C_{60} 测定,发现其距今至少已有 12000

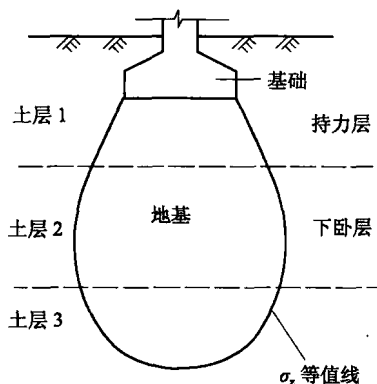


图 1-1 地基和基础的示意图

年至 14000 年。

桩基础被普遍地应用于各类建筑物与构筑物下,各类水利、港口、桥梁工程也经常采用桩基。近年来,随着我国大量高层、超高层建筑的兴建,桩基础的理论研究、设计、施工及检测技术均有了很大提高。

20 世纪 70 年代以来,桩基础设计在满足承载力要求的基础之上,开始考虑变形控制设计。变形问题在桩基础理论与实践中被提高到控制设计的高度,其核心问题是考虑桩土相互作用,更进一步则要考虑上部结构、基础、桩及土的相互作用。目前,减沉复合疏桩基础、复合桩基、沉降控制复合桩基(上海)、变刚度调平设计等,其核心都是桩与土共同承担荷载,通过满足上部结构对沉降和差异沉降的控制来指导桩基础设计,使桩基设计理念发生根本性的变革。国内外已经有不少经典设计实例。

在港口、码头的建设以及边坡抗滑桩等设计中,桩以承担水平荷载为主。此外,大型桥梁、高速铁路等也大量采用了桩基础,桥墩下桩基础承担巨大的水平地震荷载作用;海洋采油平台下桩基础设计除了要考虑地震作用外,还要考虑波浪循环荷载、冰凌撞击等的作用以及地震荷载作用下砂土液化区等。桩基础在水平荷载作用下的性状研究受到相当重视,一般认为桩基本身抗震性能较好,但日本阪神地震后拆除建筑物时发现很多桩基在地震荷载作用下已破坏,桩本身在强震时的抗震问题也引起人们的重视。

高层、超高层建筑一般具有较大的基础埋深,城市地下空间的开发利用,提出了与基础工程相关的深、大基坑开挖与支护问题。因此,基坑工程学随着高层建筑和地下工程兴建而日益受到重视。Terzaghi 等人自 20 世纪 30 年代就开始了对于基坑开挖的研究。深基坑的支护结构与土相互作用、土压力、边坡稳定、地下水与渗流问题、深开挖对环境的影响评估与控制等均是基坑工程学重点研究的问题。目前,国内最深的基坑深度将近 50m,如润扬长江公路大桥北锚深度达 48m,北京国家大剧院基坑深度最大达 32.6m,天津站综合交通枢纽工程基坑最大深度达 31m,这些都对工程技术人员提出了巨大挑战。由于城市建筑与道路的日趋密集,城市中心区的深基坑周围条件越来越复杂,对基坑支护设计的要求越来越严格,以目前的土力学及数值分析方法的发展水平,对岩土工程师是巨大的挑战。

近年来,随着计算机技术和数值分析方法的不断发展,传统浅基础的设计水平得到了提高,考虑上部结构—基础—地基共同作用的设计方法被逐渐采用,从而使地基基础的设计水平得以提高。同时,现场原位测试技术和基础工程质量检测技术也有了很大发展。许多新的测试仪器和测试手段已被广泛应用。测试数据采集和资料整理自动化、试验设备和试验方法的标准化等方面均在不断发展。此外,各种不同类型的地基处理新技术因需要而产生和发展,成为基础工程中的一个重要发展课题。

三、基础工程的重要性

基础工程是地下隐蔽工程。同时,由于地基土是自然历史的产物,其工程地质条件极其复杂且不同地区差异巨大,因此,基础工程这一领域变得十分复杂。虽然目前基础工程设计理论和施工技术比几十年前有了突飞猛进的发展,但仍有许多问题值得研究和探讨。

上部结构事故的发生,许多与地基问题有关,主要反映在地基强度破坏、失稳或地基变形过大。工程事故一旦发生,不但对结构自身产生破坏,而且将影响到附近建筑物的正常使用,甚至造成人员伤亡。

建成于 1913 年的加拿大特朗斯康谷仓由 65 个圆筒仓组成,高 31m,宽 23.5m,其下为筏

形基础。建成后初次贮存谷物，谷仓西侧突然陷入土中 8.8m，东侧上升 1.5m，仓身倾斜 $26^{\circ}53'$ 。分析原因发现，其基础下埋藏有厚达 16m 的软黏土层，贮存谷物后谷仓基底压力达到 320kPa，超过了地基极限承载力，地基发生整体滑动破坏，如图 1-2 所示。

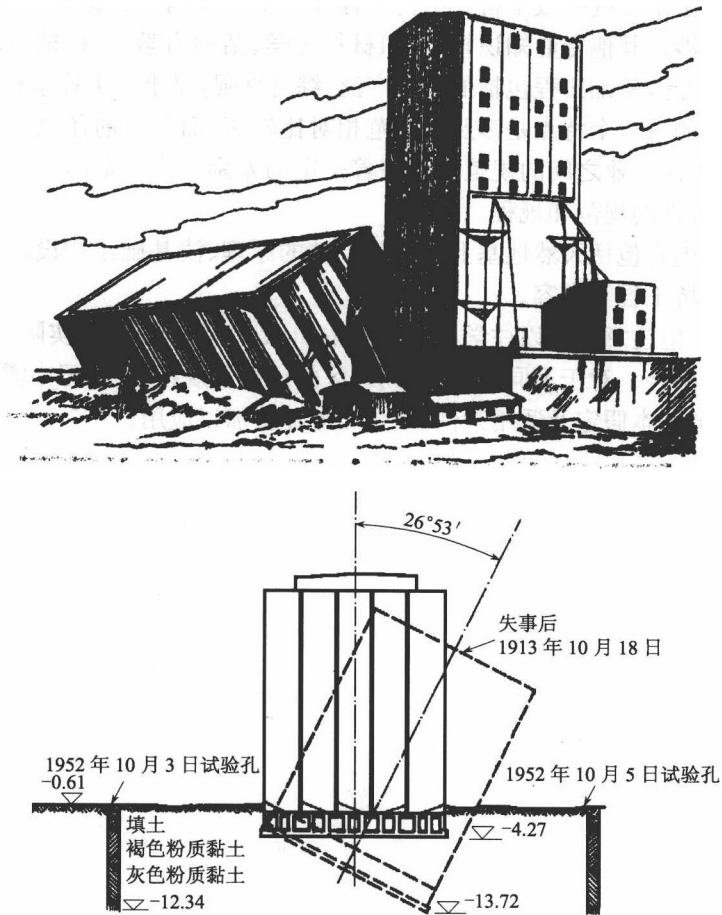


图 1-2 加拿大特朗斯康谷仓地基基础工程事故

上海展览中心位于上海市延安中路北侧。中央大厅为框架结构，采用箱形基础，箱形基础顶面至中央大厅顶部塔尖高为 96.63m，基础埋深 7.27m。两翼展览馆采用条形基础，地基为高压缩性淤泥质土。该展览馆于 1954 年开工，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处为 146.55cm，1979 年 9 月中央大厅平均沉降量达到 160cm。由于沉降量过大，导致中央大厅与两翼展览馆的连接，室内外连接的水、暖、电管道开裂等，严重影响了正常使用。分析其产生的原因，发现该基础没有进行变形计算，仅保证了强度要求，而变形要求没有得到保证。

上述两个实例表明，基础工程质量的优劣直接关系到建筑物的安危，基础工程的重要性显而易见。

在我国，随着基本建设规模的不断扩大，城市建设向地下发展成为必然趋势。地铁、地下停车场等地下工程项目不断涌现。地基基础工程向着施工技术复杂、工程量大、工期长的方向不断发展。因此，基础工程的造价在土建总造价中的比例不断上升。为了保证基础工程的质量，切实做到既安全又经济合理，就必须深刻认识基础工程的重要性，慎重对待基础工程的设

计及施工。

四、课程特点、内容及学习方法

基础工程学是土木工程一级学科中结构工程和岩土工程两个二级学科的重要组成部分。基础工程学的内容涉及其他专业知识较多,如材料力学、结构力学、工程地质、土力学、混凝土结构设计原理等,因此,基础工程包括的内容广泛、综合性强,是土木工程学科重要的专业课。

基础工程课程的另一个特点是涉及的规范相对比较多,而且目前还没有各行业统一的地基基础设计规范,不同行业之间的规范仍存在着一定的差别。除了全国性的地基基础设计规范外,还有许多地区性的规范和规程。

本课程的主要内容包括天然地基上浅基础设计的原理、浅基础结构设计、桩基础、沉井基础、地下连续墙、基坑工程等内容。

学习本课程时,应注意应用以往学习过的基本知识,注重理论联系实际。在不同地区,应注意与当地经验的结合。对于不同行业、不同地区的规范和规程,在学习中需仔细分析各种理论及公式,注重理解基本假定及适用条件,结合当地经验加以应用。

第二章 天然地基浅基础设计的基本理论

第一节 概 述

建筑物可分为地上部分(上部结构)和地下部分(基础),基础是连接上部结构与地基之间的过渡结构,起承上启下的作用。地基基础工程设计首先要选择方案。常见的地基基础设计方案有:天然地基或人工地基上的浅基础;深基础;深浅结合的基础(如桩—筏、桩—箱基础等)。上述每种方案中各有多种基础类型和做法,可根据实际情况加以选择。基础的形式和布置,要合理配合上部结构的设计,满足建筑物整体的要求,同时要做到便于施工、降低造价。天然地基上结构比较简单的浅基础最为经济,如能满足要求,宜优先选用。

本章将讨论天然地基上浅基础设计的基本问题。这些问题与土力学、工程地质学、砌体结构和钢筋混凝土结构以及建筑施工课程关系密切。天然地基上浅基础设计的原则和方法,也适用于人工地基上的浅基础,只是采用后一种方案时,尚需对所选的地基处理方法进行设计,并处理好人工地基与浅基础的相互影响。

地基基础设计是土木工程结构设计的重要组成部分,我国制订了相应的设计规范,并经过了数十年的工程实践和几次大的修改。需要说明的是,我国现行的地基基础设计规范仍然分行业制定和执行。如《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—2005)和《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)等。为了便于问题的阐述,若无特别注明,本章将以《建筑地基基础设计规范》为主。

天然地基上浅基础的设计内容和一般步骤为:

(1)充分掌握拟建场地的工程地质条件、地质勘察资料以及水文调查报告。例如:各土层类型、工程特性和物理性质指标、是否有软弱夹层、软弱下卧层的埋深和厚度、不良地质现象等。

(2)在研究上述资料的基础上,结合上部结构的类型、荷载的大小、性质和分布情况,建筑布置和使用要求,并充分考虑当地的建筑经验、施工条件、材料供应情况以及环境保护的要求等综合因素,拟定基础的类型和平面布置方案。

(3)确定基础埋置深度和持力层的位置。

(4)确定地基承载力,并按照地基承载力确定基础的底面尺寸。

(5)进行必要的地基变形与稳定性验算,使地基的稳定性得到充分保证,并使地基的沉降不会引起结构的损坏,或者影响建筑物的外观和正常使用。

(6)进行基础结构设计,按照基础布置进行内力分析、截面计算和满足构造要求,从而保证基础具有足够的强度、刚度和耐久性。

(7)绘制基础施工图,并进行必要的技术说明。基础施工图应清楚表明基础的布置、各部分的平面尺寸和剖面,注明设计地面或基础底面的标高。如果基础的轴线与建筑物的轴线不一致,应加以标明。如建筑物在地下有暖气沟等设施,也应标示清楚。至于所用材料及其强度等级等方面的要求和规定,应在施工说明中提出。

上述浅基础设计的各项内容是互相关联的。设计时可按上列顺序,首先选择基础材料、类型和基础埋深等参数,然后逐步进行计算。如发现前面的选择不妥,则需修改设计,直至各项计算均符合要求为止。设计人员可根据具体工程情况,采用优化设计方法,以提高工程的设计质量。需要注意的是,如果地基软弱,为了减轻不均匀沉降造成的危害,在进行基础设计的同时,尚需从整体上对建筑设计和结构设计采取相应的措施,并对施工提出具体要求。

一、基础设计的基本原理^①

基础承受上部结构的作用并对地基表面施加压力(基底压力),同时,地基表面对基础产生反力(地基反力)。两者大小相等,方向相反。基础所承受的上部荷载和地基反力应满足平衡条件。地基土体在基底压力作用下产生附加应力和变形,而基础在上部结构和地基反力的作用下则产生内力和位移,地基与基础互相影响、互相制约。进一步说,地基与基础之间,除了荷载的作用外,还与它们抵抗变形或位移的能力有着密切关系。而且,基础及地基也与上部结构的荷载和刚度有关。即地基、基础和上部结构都是互相影响、互相制约的。它们原来互相连接或接触的部位,在各部分荷载、位移和刚度的综合影响下,一般仍然保持连接或接触,墙柱底端的位移、该处基础的挠曲和地基表面的沉降相一致,满足变形协调条件。上述概念,可称为地基—基础—上部结构的相互作用。

基底压力一般并非呈直线(或平面)分布,它与土的类别性质、基础尺寸和刚度以及荷载大小等因素有关。在地基软弱、基础平面尺寸大、上部结构的荷载分布不均等情况下,地基的沉降和受力将受到基础和上部结构的影响,而基础和上部结构的内力和变位也将调整。如按常规方法计算,墙柱底端的位移、基础的挠曲和地基的沉降将各不相同,三者变形不协调,且不符合实际。而且,地基不均匀沉降所引起的上部结构附加内力和基础内力变化,未能在结构设计中加以考虑,因而也不安全。只有进行地基—基础—上部结构的相互作用分析,才能合理进行设计,做到既降低造价又能防止建筑物遭受损坏。目前,这方面的研究工作已取得进展,人们可以根据某些实测资料和借助电子计算机,进行某些结构类型、基础形式和地基条件的相互作用分析,并在工程实践中运用相互作用分析的成果。

为了简化计算,在工程设计中,通常把上部结构、基础和地基三者分离开来,分别对三者进行计算:将上部结构底端视为固定支座或铰支座,不考虑荷载作用下各墙柱端部的相对位移,并按此进行内力分析;而对基础与地基,则假定地基反力与基底压力呈直线分布,分别计算基础的内力与地基的沉降。这种传统的分析与设计方法,可称为常规设计法。这种设计方法,对于良好均质地基上刚度大的基础和墙柱布置均匀、作用荷载对称且大小相近的上部结构来说是可行的。在这些情况下,按常规设计法计算的结果,与进行地基—基础—上部结构相互作用分析的差别不大,可满足结构设计可靠度的要求,并已经过大量工程实践的检验。

我国为了与国际接轨,从20世纪80年代开始在建筑工程领域内使用了概率极限状态设计原则。现行的建筑工程设计规范均按照这个原则要求制定。以结构的可靠度指标(或失效概率)来度量结构的可靠度,并且建立结构可靠度与结构极限状态方程关系,这种设计方法就

① 《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)第3.0.2条款中规定,极限状态可分为下列两类:

- (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。例如地基丧失承载能力而失稳破坏。
- (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。例如地基因为变形过大而影响上部结构的正常使用或者外观。

是以概率论为基础的极限设计方法,简称概率极限设计方法。该方法一般要已知基本变量的统计特征,然后根据预先规定的可靠度指标求出所需的结构抗力平均值,并选择截面,能比较充分地考虑各有关影响因素的客观变异性。但是,对一般常见的结构使用这种方法设计工作量很大,尤其是在地基基础设计中,其中有些参数因为统计资料不足,在很大程度上还要凭经验确定。

整个结构或结构的一部分(构件)超过某一特定状态下就不能满足设计规定的某一功能要求,这一特定状态称为该功能的极限状态。对于结构的极限状态,均应规定明确的标志及限值。

结构极限状态采用结构极限状态方程 $g(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ 描述,其中:结构功能函数 $g(\cdot)$ 中的基本变量 x_i 系指结构上的各种作用和材料性能、几何参数等;进行结构可靠度分析时,也可采用作用效应和结构抗力作为综合的基本变量;基本变量作为随机变量考虑。

结构按极限状态设计应满足下列要求:

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0 \tag{2-1}$$

当仅有作用效应和结构抗力两个基本变量时,结构按极限状态设计应满足下列要求:

$$R - S \geq 0 \tag{2-2}$$

式中 S ——结构的作用效应;

R ——结构抗力。

二、地基基础的设计等级

根据地基复杂程度、建筑规模和功能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》将地基基础设计分为甲级、乙级和丙级三个设计等级,设计时应根据具体情况,按照表 2-1 采用相应等级。

表 2-1 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物; 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的建筑物; 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二层及二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及一般工业建筑物; 次要的轻型建筑物

而《公路桥涵地基与基础设计规范》中对安全等级的定义是:“为使结构具有合理的安全性,根据工程结构破坏所产生后果的严重程度而划分的设计等级。”可见两个行业的规范对于基础设计等级的定义在内涵上具有相似性。

三、地基基础设计的基本原则和规定❶

为了保证建筑物的安全与正常使用,根据建筑物的安全等级和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下述三项基本原则:

(1)在防止地基土体剪切破坏和丧失稳定性方面,应具有足够的安全度。因此各级建筑物应满足地基承载力计算要求;对基坑工程、经常受水平荷载作用的高层建筑、高耸结构和挡土墙等,以及建筑在斜坡上或边坡附近的建筑物和构筑物,应进行稳定性验算;对地下水埋藏较浅,建筑地下室或者地下构筑物存在上浮问题,还应进行抗浮验算。

(2)控制地基的变形,使之不超过建筑物的地基变形允许值,以免引起基础和上部结构损坏或者影响建筑物的正常使用功能和外观。对设计等级为甲级、乙级的建筑物均应进行地基变形设计。表 2-2 所列范围内设计等级为丙级的建筑物可不作变形验算。

表 2-2 可不作地基变形计算设计等级为丙级的建筑物范围

地基主要受力层情况	地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)			$60 \leq f_{ak} < 80$	$80 \leq f_{ak} < 100$	$100 \leq f_{ak} < 130$	$130 \leq f_{ak} < 160$	$160 \leq f_{ak} < 200$	$200 \leq f_{ak} < 300$
	各土层坡度(%)			≤ 5	≤ 5	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
建 筑 类 型	砌体承重结构、框架结构(层数)			≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 6	≤ 6	≤ 7
	单层 排架 结构 (6m 柱距)	单	吊车额定起重量(t)	5~10	10~15	15~20	20~30	30~50	50~100
		跨	厂房跨度(m)	≤ 12	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
		多	吊车额定起重量(t)	3~5	5~10	10~15	15~20	20~30	30~75
			跨	厂房跨度(m)	≤ 12	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30

❶ 《建筑地基基础设计规范》第 3.0.2 条款规定:所列范围内设计等级为丙级的建筑物可不作变形验算,如有下列情况之一时,仍应作变形验算:

- ① 地基承载力特征值小于 130kPa,且体型复杂的建筑;
- ② 在基础上及其附近有地面堆载或相邻基础荷载差异较大,可能引起地基产生过大的不均匀沉降时;
- ③ 软弱地基上的建筑物存在偏心荷载时;
- ④ 相邻建筑距离过近,可能发生倾斜时;
- ⑤ 地基内有厚度较大或厚薄不均的填土,其自重固结未完成时。

《铁路桥涵地基和基础设计规范》第 1.0.4 条款规定:“桥涵地基基础的设计,应保证具有足够的强度刚度、稳定性、耐久性和符合规定的沉降控制,并按满足 100 年设计使用的年限设计。”

《建筑地基基础设计规范》第 3.0.4 条款规定,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限值应按下列规定执行:

- 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,传至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,但其分项系数均为 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 基础设计安全等级、结构设计使用年限、结构重要性系数应按有关规范的规定采用,但结构重要性系数 γ_0 不应小于 1.0。

续表

地基主要受力层情况	地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)		$60 \leq f_{ak} < 80$	$80 \leq f_{ak} < 100$	$100 \leq f_{ak} < 130$	$130 \leq f_{ak} < 160$	$160 \leq f_{ak} < 200$	$200 \leq f_{ak} < 300$
	各土层坡度(%)		≤ 5	≤ 5	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
建筑类型	烟囱	高度(m)	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 75		≤ 100
	水塔	高度(m)	≤ 15	≤ 20	≤ 30	≤ 30		≤ 30
		容积(m ³)	≤ 50	50~100	100~200	200~300	300~500	500~1000

- 注：① 地基主要受力层系指条形基础底面下深度为 $3b$ (b 为基础底面宽度)，独立基础下为 $1.5b$ ，且厚度均不小于 5m 的范围(二层以下一般的民用建筑除外)；
- ② 地基主要受力层中如有承载力特征值小于 130kPa 的土层时，表中砌体承重结构的设计，应符合《建筑地基基础设计规范》的有关要求(详见本章第八节)；
- ③ 表中砌体承重结构和框架结构均指民用建筑，对于工业建筑可按厂房高度、荷载情况折合成与其相当的民用建筑层数；
- ④ 表中吊车额定起重量、烟囱高度和水塔容积的数值系指最大值。

(3)基础的材料、形式、尺寸和构造除能适应上部结构、符合使用要求、满足上述地基承载力(稳定性)和变形要求外，还应满足对基础结构的强度、刚度和耐久性的要求。

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限值见表 2-3。

表 2-3 荷载效应组合

序号	设计计算内容	荷载效应的组合值(方式)	抗力及限值
1	确定： (1)基础底面积； (2)基础埋深； (3)桩数	标准组合值 $S_k = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \cdot S_{Qik}$	地基承载力特征值； 单桩承载力特征值
2	计算地基变形	准永久组合值 $S_k = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} \cdot S_{Qik}$	地基变形允许值
3	计算： (1)挡土墙土压力； (2)地基或斜坡稳定； (3)滑坡推力	基本组合 (取分项系数为 1.0) $S = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum \psi_{ci} \cdot S_{Qik}$	
4	确定： (1)基础高度； (2)承台高度； (3)支挡结构截面。 计算： (1)基础或支挡结构内力； (2)确定配筋和验算材料强度	基本组合： $S = \gamma_G \cdot S_{Gk} + \gamma_{Q1} \cdot S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \cdot \psi_{ci} \cdot S_{Qik}$ 永久荷载效应控制时基本组合可简化为： $S = 1.35S_k$	

第二节 浅基础的类型及其方案的选用

一、浅基础的类型

了解浅基础的常用类型和适用条件,对基础设计的合理选型很有帮助。浅基础的类型很多,为了阐述问题的方便,可按照基础材料、受力特点和构造类型三个角度对浅基础进行分类。

(一)按基础材料分类

基础应具有承受荷载、抵抗变形和适应环境影响的能力,即要求基础具有足够的强度、刚

度和耐久性。选择基础材料,首先要满足这些技术要求,并与上部结构相适应。

常用的基础材料有土、砖、毛石、灰土、三合土、混凝土和钢筋混凝土等。下面简单介绍这些基础的性能和适应性。

1. 土筑基础

对于土坝、路基而言,一般为具有一定压实度要求的土筑基础。它好比放在地上的柔软薄膜,可以随着地基的变形而任意弯曲。基础上任一点的荷载传递到基底时不可能向旁边扩散分布,就像直接作用在地基上一样,其基底反力分布与作用于基础上的荷载分布完全一致。

2. 砖基础

砖砌体具有一定的抗压强度,但抗拉强度和抗剪强度低。砖基础所用的砖,强度等级不低于 MU10,砂浆不低于 M5。在地下水位以下或当地基土潮湿时,应采用水泥砂浆砌筑。在砖基础底面以下,一般应先做 100mm 厚的 C10 混凝土垫层。砖基础取材容易,应用广泛,一般可用于 6 层及 6 层以下的民用建筑和砖墙承重的厂房。

3. 毛石基础

毛石是指未加工的石材。毛石基础采用未风化的硬质岩石,禁用风化毛石。由于毛石之间间隙较大,如果砂浆粘结的性能较差,则不能用于多层建筑,且不宜用于地下水位以下。但毛石基础的抗冻性能较好,北方也用来作为 7 层以下的建筑物基础。

4. 灰土基础

灰土是用石灰和土料配制而成的。石灰以块状为宜,经熟化 1~2d 后过 5~10mm 筛即可使用。土料应以有机质含量低的粉土和黏性土为宜,使用前也应过 10~20mm 的筛。石灰和土料按体积配合比为 3:7 或 2:8,加适量水拌合均匀后,在基槽内分层夯实。灰土基础宜在比较干燥的土层中使用,其本身具有一定的抗冻性。在我国华北和西北地区,广泛用于 5 层及 5 层以下的民用建筑。

5. 三合土基础

三合土是由石灰、砂和骨料(矿渣、碎砖或碎石)加水混合而成。施工时石灰、砂、骨料按体积配合比为 1:2:4 或 1:3:6 拌合均匀后再分层夯实。三合土的强度较低,一般只用于 4 层及 4 层以下的民用建筑。

6. 混凝土基础

混凝土基础的抗压强度、耐久性和抗冻性比较好,其强度等级一般为 C15 以上。这种基础常用在荷载较大的墙、柱处。如在混凝土基础中埋入体积占 25%~30% 的毛石(石块尺寸不宜超过 300mm),即做成毛石混凝土基础,可以节省水泥用量。

7. 钢筋混凝土基础

钢筋混凝土是基础的良好材料,其强度、耐久性和抗冻性都较理想。由于它承受力矩和剪力的能力较好,故在相同的基底面积下可减少基础高度。因此常在荷载较大或地基较差的情况下使用。

(二)接受力特点分类

建筑物或构筑物基础的沉降、内力以及基底反力的分布,除了与地基因素有关外,还受基础及上部结构的制约。此处只限于考虑基础本身刚度的作用而忽略上部结构的影响。以下讨论柔性基础和刚性基础两种极端情况。

1. 刚性基础

指受压极限强度较大,而受弯、受拉极限强度较小的材料所建造的基础。习惯上把无筋基