



普通高等学校土木工程专业新编系列教材

基础工程

(第三版)

富海鹰◎主编 冯君◎副主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

基础工程

(第三版)

富海鹰 主编
冯 君 副主编

中国铁道出版社

2019年·北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了土木工程中常用的基础类型及其工作原理、计算理论、设计方法和施工技术。全书共分七章,包括地基基础的设计要求和分析方法,浅埋基础,柱下条形基础、筏形和箱形基础,桩基础,沉井基础,动力机器基础与地基基础抗震,主要章节均附有较多的算例。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/富海鹰主编.—3版.—北京:中国铁道出版社,2019.2

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

ISBN 978-7-113-25488-9

I. ①基… II. ①富… III. ①基础(工程)-高等学校-教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 022807 号

书 名: 基础工程(第三版)

作 者: 富海鹰 主编

责任编辑: 李丽娟 刘红梅

编辑部电话: (010)51873135

电子信箱: lh_729@foxmail.com

编辑助理: 刘 荷

封面设计: 王镜夷 崔丽芳

责任校对: 王 杰

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

版 次: 1992年8月第1版 2019年2月第3版 2019年2月第1次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 19.25 字数: 485 千

书 号: ISBN 978-7-113-25488-9

定 价: 52.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

第三版前言

本教材第二版于2000年8月出版发行,是原国家教委批准的“九五”普通高等教育国家级重点教材,已经重印过17次。在第二版教材出版至今的近20年间,我国土木工程建设飞速发展,岩土工程勘察、设计及科研水平进步明显,基础工程相关规范也作了修订。为了反映工程技术及科学研究的最新成果,满足培养新时代土木工程建设人才的需求,编者对第二版教材进行了较为全面的修编。

本次修编除参照了最新规范和标准外,还结合了多年来教学过程中学生和授课教师的反馈意见。本次修编内容及特点如下:

(1)内容重新编排,实现了建筑基础和桥梁基础并重。教材内容在涵盖基础工程基本原理和基本方法的同时,立足国内工程建设实际情况,在讲解具体设计方法时,将建筑基础和桥梁基础分开讲述,方便不同专业的学生学习。

(2)增加了“地基基础的设计要求和分析方法”及“动力机器基础与地基基础抗震”两章内容。

(3)删除了原有的专门讲述基础施工的章节,简化后并入各基础设计章节中。删除了原有的深基坑支护结构和降低地下水位一章。原沉井基础一章删除了沉箱基础和地下连续墙并箱基础内容。

本书由西南交通大学多年从事基础工程教学的老师共同编写,由富海鹰任主编,冯君任副主编,吴兴序主审。编写分工如下:富海鹰编写第1章、第7章,张俊云编写第2章和第3章,彭雄志编写第4章,毛坚强编写第5章,冯君编写第6章。

在本书编写过程中,西南交通大学土木工程学院岩土工程系于志强、周立荣、朱明、肖清华、魏星等老师提出了很多宝贵意见,同时也得到了西南交通大学土木工程学院及教务处的大力支持和帮助,在此致以衷心的感谢。

由于编者水平所限,本书不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

二〇一八年九月

第二版前言

本教材是根据国家教委批准的“九五”普通高等教育国家级重点教材立项选题的通知,在由李克钊主编,中国铁道出版社1992年出版的高等学校教材《基础工程》的基础上进行修订的。

第一版教材是按照当时的教学大纲编写的,符合当时的教学要求。根据目前高等学校教学改革和专业调整的需要,为了适应大学本科土木工程专业拓展知识面以及国家有关工程规范和标准的完善和修订,有必要对第一版教材进行修改和补充。修订后,全书除绪论外,共八章。其中绪论,第三章柱下条形基础、筏形基础和箱形基础以及第七章深基坑支护结构和降低地下水位为新增写的。第二章增加了按建筑地基基础设计规范要求房屋基础设计计算及地基基础可靠性分析简介等内容。第五章对桩基础的设计计算作了重新改写,并增加了根据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—1994)按概率极限法进行桩基计算的内容。第六章则增加了地下连续墙并箱基础一节。第八章地基基础的抗震设计,增加了房屋建筑地基基础抗震设计的内容,并根据新的抗震设计规范的设计思想和原则进行了重写。除此之外,对原书其他章节的内容,只作局部的更新和增删。从总体上看,此次修订在内容上较原书有较大的增加,各高校教师可根据教学时数有重点地选择适合教学需要的内容。

本书由西南交通大学李克钊任主编,罗书学任副主编,赵善锐主审。参加编写工作的有:西南交通大学陈禄生(第一章和第七章),罗书学(第二章),夏永承(第三章和第五章),李克钊(绪论、第四章、第六章和第八章)。

在本书编写过程中,西南交通大学土木工程学院土力学及基础工程教研室毛坚强、吴兴序等老师提出了很多宝贵意见,刘成宇教授、周京华教授提供了部分资料,曾参加第一版编写的北方交通大学吴灿然教授也给予了大力支持,在此对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,本书不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

二〇〇〇年五月

目 录

| | |
|-----------------------|-----|
| 第1章 绪 论 | 1 |
| 1.1 地基和基础 | 1 |
| 1.2 基础工程的重要性 | 2 |
| 1.3 基础工程的发展概况 | 3 |
| 1.4 本课程的特点及学习要求 | 4 |
| 复习思考题 | 5 |
| 第2章 地基基础的设计要求和分析方法 | 6 |
| 2.1 地基基础设计的一般要求 | 6 |
| 2.2 地基基础设计的计算分析方法 | 7 |
| 2.3 地基基础设计的概率极限状态设计方法 | 10 |
| 2.4 荷载与荷载组合 | 13 |
| 复习思考题 | 24 |
| 第3章 浅埋基础 | 25 |
| 3.1 浅埋基础的类型 | 25 |
| 3.2 基础埋置深度的确定 | 27 |
| 3.3 地基计算 | 32 |
| 3.4 桥梁墩台浅埋基础设计 | 47 |
| 3.5 无筋扩展基础和扩展基础设计 | 57 |
| 3.6 浅埋基础的施工方法 | 71 |
| 复习思考题 | 77 |
| 第4章 柱下条形基础、筏形和箱形基础 | 81 |
| 4.1 概 述 | 81 |
| 4.2 地基、基础与上部结构的共同作用 | 82 |
| 4.3 地基模型 | 84 |
| 4.4 文克勒地基上梁的分析 | 87 |
| 4.5 柱下条形基础 | 96 |
| 4.6 筏形基础 | 114 |
| 4.7 箱形基础 | 129 |
| 复习思考题 | 135 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| 第 5 章 桩基础 | 137 |
| 5.1 概 述 | 137 |
| 5.2 轴向压力作用下单桩的工作特性 | 147 |
| 5.3 利用现场试验确定单桩抗压极限承载力 | 152 |
| 5.4 单桩抗压承载力的计算方法 | 155 |
| 5.5 单桩抗拔承载力 | 168 |
| 5.6 单桩的横向承载力 | 169 |
| 5.7 群桩基础的抗压承载力 | 171 |
| 5.8 群桩基础的抗拔承载力及水平承载力 | 174 |
| 5.9 桩基承载力的验算 | 175 |
| 5.10 桩基础的沉降计算..... | 179 |
| 5.11 桩基结构的变形和内力计算..... | 181 |
| 5.12 桩基础的结构设计..... | 199 |
| 5.13 桩基础的设计..... | 208 |
| 5.14 桩基础的施工..... | 223 |
| 5.15 桩身混凝土质量检测..... | 233 |
| 复习思考题..... | 234 |
| 第 6 章 沉井基础 | 237 |
| 6.1 概 述 | 237 |
| 6.2 沉井基础类型和构造 | 238 |
| 6.3 沉井施工 | 243 |
| 6.4 沉井基础设计与计算 | 246 |
| 6.5 沉井基础设计计算例 | 258 |
| 复习思考题..... | 268 |
| 第 7 章 动力机器基础与地基基础抗震 | 269 |
| 7.1 概 述 | 269 |
| 7.2 地基土动力参数 | 271 |
| 7.3 实体式基础振动计算理论 | 275 |
| 7.4 实体式基础设计 | 278 |
| 7.5 地基及基础震害 | 282 |
| 7.6 建筑基础抗震设计 | 284 |
| 7.7 桥梁基础抗震设计 | 292 |
| 7.8 地基的液化判别与抗震措施 | 296 |
| 复习思考题..... | 300 |
| 参考文献 | 301 |

基础工程(Foundation Engineering)的研究对象是各种建(构)筑物的基础与地基,它主要是土力学、岩石力学、结构设计原理、工程地质等课程的基本原理在建(构)筑物基础、地基设计中的综合应用与实践。

1.1 地基和基础

图 1-1 和图 1-2 分别为房屋建筑体系、桥梁建筑体系的示意图。不论哪种体系,都由“上部结构—基础—地基”三者构成整体。上部结构的荷载通过基础传给地基;基础对上承受荷载,对下传递荷载,在保证自身结构不破坏的前提下,有效调整应力在基础底面的大小及分布并协调基础与地基的变形;地基支撑上部结构与基础,在荷载作用下不能产生破坏或超过容许值的变形。

在图 1-1 所示的房屋建筑体系中,房屋及其相关恒荷载、活荷载属于上部结构,其下是基础,承受房屋和基础荷载并维持稳定的那部分地层为地基。

在图 1-2 所示的桥梁建筑体系中,桥塔、主缆、吊索、桥面、桥墩合为上部结构,其下是基础,承受桥梁、基础荷载并维持桥梁稳定的那部分地层为地基。

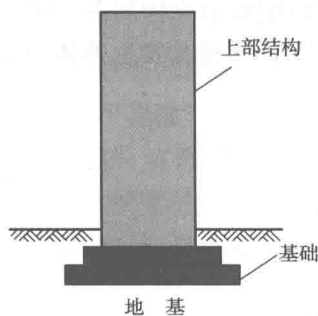


图 1-1 房屋建筑体系示意图

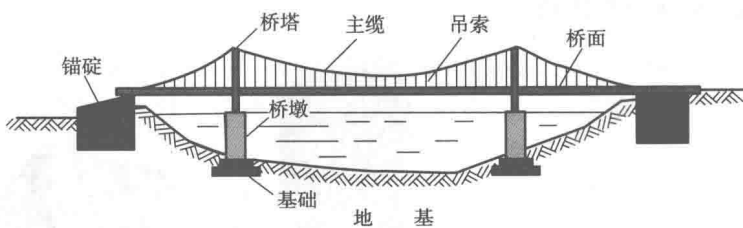


图 1-2 桥梁建筑体系示意图

按照基础埋深、施工方法的不同,可将基础分为浅基础和深基础两大类。浅基础是指埋置深度小于或等于基础宽度(一般认为小于 5 m)且施工工艺比较简单的基础,通常包括独立基础、条形基础、筏形基础和箱形基础等。深基础是指浅层土质不良,需将基础埋置于深处的好土层时,借助于特殊的施工方法建成的基础,通常包括桩基础、沉井基础、沉箱基础和地下连续墙等。

地基是指受建筑物荷载影响的那部分地层,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。当天然地层不能满足上部结构的承载要求时,必须经过人工处理才能建造基础的地基,称为人工地基。

基础工程包括地基及基础的设计与施工。为保证建筑的安全和正常使用,地基基础的设计必须满足以下三个基本要求:

(1)强度要求。通过基础而作用于地基上的荷载不能超过地基的承载能力,保证地基不发生破坏,并且应有足够的安全储备。

(2)变形要求。基础的设计应保证基础沉降或其他特征变形不超过上部结构的允许值,保证上部结构不因变形过大而受损或影响正常使用。

(3)基础结构本身应满足强度、刚度和耐久性的要求,在地基反力作用下不会发生强度破坏,并且具有改善地基沉降和不均匀沉降的能力。

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。

1.2 基础工程的重要性

一座牢固的建筑物,必须有坚实的基础,以保证建筑物的安全和使用年限。基础工程的勘察、设计和施工质量直接关系建筑物的安危,而且由于地基与基础位于地面以下,属于隐蔽工程,一旦发生质量事故,其补救和处理往往比上部结构困难得多,有时甚至是不可能的。

图 1-3 反映了建于 1913 年的加拿大特朗斯康谷仓的破坏情况。谷仓的平面为矩形,长 59.44 m,宽 23.47 m,高度为 31 m,由 65 个圆柱形筒仓组成,采用钢筋混凝土筏板基础。设计时对地基未作勘察,不了解基底下有厚达 15 m 左右的软黏土层,仅根据对邻近建筑的调查决定了地基承载力。建成后于当年 9 月开始均匀地向谷仓内装载谷物,至 10 月发现谷仓产生大量快速沉降,1 h 内的垂直沉降量竟达到 30.5 cm,在其后的 24 h 内谷仓大幅度倾斜,倾斜后谷仓的西侧下沉达 7.32 m,东侧则抬高了 1.53 m,倾斜角达 $26^{\circ}53'$ 。因谷仓整体性很强,筒仓本身完好无损。事后在筒仓下设置了 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扶正,但扶正后的高程比原来降低了 4 m。后经测算,谷仓倾斜前的基底实际压力达到了 330 kPa 左右,超出了地基的极限承载力,是一起典型的因地基发生整体滑动而丧失稳定性的实例。

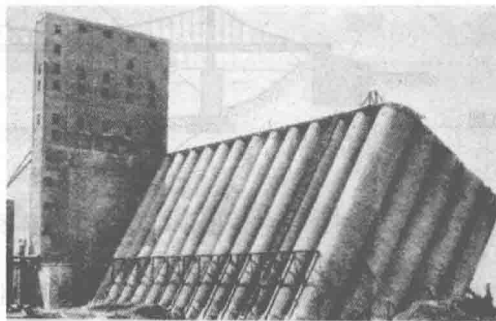


图 1-3 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故

由于地基不均匀沉降引起的建筑物倾斜和开裂现象是极为普遍的。著名的意大利比萨斜塔就是因为不均匀沉降造成的(图 1-4)。比萨斜塔位于比萨市北部,是比萨大教堂的一座钟塔,于 1173 年动工,1370 年竣工,塔身高约 55 m,共 8 层,建成后因地基压缩层产生不均匀沉降,使塔的北侧下沉近 1 m,南侧下沉近 3 m,塔身倾斜约 5.5° ,塔顶离开铅垂线的距离已达 5.27 m,为我国虎丘塔偏斜值的 2.3 倍。幸亏该塔使用的大理石材质优良,在塔身严重倾斜的

情况下尚未出现裂缝。比萨斜塔建成后曾经数次加固,但效果甚微,每年仍下沉约 1 mm,倾斜尚有加速迹象,已成了一座名副其实的危塔。

基础工程的费用占建筑物总造价的比例,视其复杂程度和设计、施工的合理与否,可以在百分之几到百分之几十之间变动。地基及基础在土木工程中的重要性是显而易见的。设计者应精心设计、精心施工并认真地进行质量检测,避免发生地基基础事故,保证基础工程的经济合理和安全可靠。



图 1-4 意大利比萨斜塔

1.3 基础工程的发展概况

基础工程是一项古老的工程技术。例如我国在洛阳王湾发掘出新石器时代的房屋遗址,其墙基都是先挖沟槽,再填以红烧土碎块;在浙江河姆渡文化遗址发现的木桩距今已有 7 000 余年。在世界范围内,1982 年在智利考古中发现的木桩,距今已达 12 000 年之久。

我们祖先在基础工程的修建上展现出了卓越才能。北宋初年(公元 989 年),著名工匠喻皓在建造开封开宝寺木塔时,因当地多西北风而将建于饱和黏土地基上的塔身有意向西北倾斜,欲借风力的长期作用扶正塔身,以克服地基的不均匀沉降对塔的影响。宋代(977 年)开始建造的上海龙华古塔,地基为淤泥和软黏土,建造时舍弃一般浅基础方案,而采用了木桩基础,并使用三合土对木桩进行了隔离防腐处理,直至今日仍安然无恙。龙华古塔比闻名的比萨斜塔尚早建 200 年,但对基础的设计却大大高明于比萨斜塔。隋朝李春于公元 595~605 年主持修建的河北赵州安济桥,1 400 多年来经受无数次地震与洪水考验,仍完好无损。从现代技术的角度来看,我国 1 000 多年前能用黏性土作为地基修筑推力极大的拱桥,而且地基承载力的利用恰到好处,确实令人惊叹。美国土木工程师协会也于 1991 年将赵州桥选为第 12 个“国际土木工程里程碑”。在建桥史上独树一帜的还有建于北宋年间(公元 1053~1059 年)的福建泉州的万安桥,该桥桥位处水深流急,潮汐涨落频繁,基础修建极为困难,故采用特殊的修建方法,即先在桥梁的墩位处抛投大块石,再在其上移植蛎房(即蚝),利用蛎房的繁殖将抛投的块石胶结为整体,再在其上成功地修建了桥梁。

基础工程同时也是一门年轻的应用科学。尽管人类在长期的发展过程中在地基和基础工程方面积累了丰富的经验,但直到 18 世纪才开始形成该门学科的理论基础。18 世纪 70 年代,法国工程师和物理学家库仑(C. Coulomb)提出了土的抗剪强度理论和土压力的滑动土楔理论,作为基础工程学理论基石的土力学才开始逐步建立自己的理论体系。随后,在众多学者的长期努力之下,太沙基(K. Terzaghi)于 1925 年出版了《土力学》一书,奠定了土力学的理论框架,有力地促进了土力学与基础工程学科的发展。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个学科分支开始在世界范围内蓬勃发展。

自中华人民共和国成立后,大规模的经济建设促进了基础工程学科在我国的迅速发展并取得了辉煌的成就。在公路、铁路、港口、房屋、大坝、电站和海洋石油等工程领域,为充分利用天然地基的承载力,改进和发展了多种结构形式的浅基础;为适应各种复杂条件下的桥梁和高

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

层房屋的建设,大力发展了深基础技术。自20世纪60年代以来,随着工程经验的积累和技术的进步,桩基础尤其是钻孔灌注桩逐步成为我国最广泛使用的深基础,在保证成桩质量及质量检测、提高桩基承载力并减少沉降的工艺措施方面也取得了令人瞩目的成就。近年来我国的高速铁路和高速公路发展迅速,与之相适应的是在长江、黄河等大江大河和近海区域的大型桥梁工程中大量使用了大直径灌注桩、预应力管桩、管柱、钢管桩、多种形式的浮运沉井、组合式沉井等一系列新型深基础和深水基础,成功地解决了在地质和水文条件极为复杂的情况下修建大型桥梁基础的技术问题。如江阴长江公路大桥采用的当时国内平面尺寸最大的沉井基础,苏通大桥采用的世界上规模最大、入土最深的群桩基础,均反映出我国基础工程建设水平达到了新高度。

另一方面,根据全国和各地区长期积累的工程实践经验和科学研究成果,针对不同行业和地区已编制完成一系列有关地基基础的勘察、设计和施工规范和规程。随着计算机的飞速发展,基础工程设计及计算方法与手段也发生了巨大的变化。目前许多大型设计单位已具备较完备的计算机辅助设计及管理系统,如PKPM地基基础设计。地基基础计算除了传统的解析法、设计图表法外,为了适应越来越复杂的边界条件,数值分析在基础工程设计项目中应用越来越广泛。有限单元法和有限差分法是两种较为常用的数值方法。在这些方法中,首先将研究对象离散为网格,包含单元和节点;然后赋予单元本构关系,在节点上施加荷载或位移边界条件,基于节点建立平衡方程组;最后求解这些方程组,得到各节点物理量的数值解。应用于岩土工程问题分析的行业类有限元程序有PLAXIS、GEOSTUDIO等,有限差分程序有FLAC。另外ABAQUS等大型通用有限元程序也能解决大量的岩土工程问题,在高校教学和科研中应用广泛。

1.4 本课程的特点及学习要求

本课程是土木工程专业的主干课程,主要内容是各类地基和基础的设计与施工。本教材共7章,包括浅基础、桩基础、沉井基础及地基基础的抗震设计等内容。

本门课程的许多内容涉及工程地质学、土力学、结构与施工等课程,内容广泛,综合性很强。同学们应熟练掌握并善于应用上述先修课程的基本原理和基本方法,才能赢得本课程学习的主动权。由于自然地理环境不同,土层性质差异较大,使得基础工程具有明显的区域性特征。实践中要充分重视地基勘察,有针对性地采取恰当的设计、施工方案,并在工作中不断总结积累经验。

基础工程是一门工程实际应用课程,需要引入大量的相关规范的技术要求和具体规定,这给初学者的学习带来了一定困难。同学们在学习本课程的时候要注意掌握基本的原理和方法,要勤于思考、动手练习,通过习题和课程设计培养自己解决工程实际问题的能力。

值得说明的是,很多行业均涉及基础工程,而不同行业又有不同的专门规范,因此书中涉及的规范较多,其中主要有:《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10093—2017)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《铁路工程抗震设计规范》(GB 50111—2006)。由于各行业的规范出于不同的考虑和习惯,相互之间某些方面差别较大,这些情况给本书的编写带来不少麻烦和困难。书中引用有关规范时,一般沿用其原来的符号,必要时加以注释以免误解。学生学习时应

注意了解和区别不同规范各自的规定及相关术语。当然,学生在学习过程中不可能也不必要掌握所有规范的内容,只需了解有关规范的基本精神,懂得在今后的实际工作中如何查阅和使用规范即可。



复习思考题

- 1-1 什么是地基? 什么是基础?
- 1-2 什么是浅基础? 什么是深基础?
- 1-3 地基基础设计必须满足哪三个基本要求?

地基基础的设计要求和 分析方法

2.1 地基基础设计的一般要求

地基和基础是建筑体系的重要组成部分,因为基础埋置于地基之中,两者之间密切相关,设计时必须认真考虑其相互间的影响,所以在进行基础设计时通常将两者合并在一起进行设计,故常称为地基基础设计。

地基基础设计是整个建筑物设计的重要组成部分,设计的主要目标是保证建筑物的安全与正常使用。对于任何建筑物,其地基基础的设计都应满足如下的要求。

(1) 地基不会破坏和失稳

保证地基在外荷载作用下不发生破坏,是地基最基本的要求。因此,无论上部结构为何种形式以及地基土层情况如何,都必须进行地基承载力的验算;地基持力层下若有软弱下卧层,还需要验算软弱下卧层的承载力。对于经常受水平荷载作用的高层建筑或高耸结构、建于斜坡或坡顶的建(构)筑物、挡土墙等还需要验算地基的稳定性。

(2) 地基的变形不超过容许值

过大的地基沉降会影响上部结构的正常使用,而不均匀沉降则可能导致上部结构的开裂、损伤,甚至破坏,因此,在地基基础设计中,需要将地基的变形控制在允许范围之内。实际上,有时地基变形可能取代承载力而成为地基基础设计的控制因素。

(3) 基础结构满足强度、刚度和耐久性要求

基础结构的材料、尺寸和构造若选择不当,在荷载作用下,基础自身也会出现开裂、破坏或变形过大等问题,也会因混凝土或钢筋的腐蚀出现耐久性的问题,因此,基础结构应满足建筑物长期荷载作用下的强度、刚度和耐久性要求。

此外,在特定情况下,地基基础设计还需要满足相应的特殊要求。例如:当地下水埋藏较浅,建筑地下室或地下构筑物存在地下室上浮问题时,基础还应满足抗浮的要求;基础承受较大的水平荷载时,基础也应满足滑动稳定性和抗倾覆的要求。

一般情况下,设计桥梁墩台基础时,应收集如下资料:

(1) 线路、桥梁及墩台资料。包括线路等级、线路平纵断面设计、桥孔布置、桥跨结构的具体情况,桥跨及其上部附属结构的重量,墩台材料及尺寸等。

(2) 地形资料。包括中线处的河床纵断面、水流方向等。

(3) 水文、气象资料。包括设计频率水位、常水位、施工水位、低水位和施工水位的流速与流量,冲刷深度,洪水季节和施工季节,当地最大风速、气温及冻结深度等。

(4) 工程地质资料。包括钻孔柱状图、地质剖面图,图上应标明各土层的厚度及物理、力学性质、土中无大孤石、岩面高程及其产状,基岩中无断层、溶洞、破碎带等。

(5) 其他资料。包括工期要求,施工设备及技术条件,当地料源、交通、电力等供应情况。

在进行房屋基础设计时,需要收集以下资料:

- (1)建筑场地的地形图和工程地质勘察资料;
- (2)建(构)筑物的平面、立面及剖面图;
- (3)作用在基础上的荷载;
- (4)建筑材料的供应情况及施工技术条件。

根据上述设计资料,即可进行地基基础设计。地基基础设计的一般程序是:先确定基础的类型,并确定其相关尺寸,然后进行地基基础有关设计内容的验算,若验算不通过,则需要修改基础的尺寸或埋深,甚至修改结构形式和基础方案再进行验算,直到地基基础设计的各项内容都满足要求。

当然,满足上述要求的基础方案可能不止一个,这就需要从安全性、经济性和合理性三个方面综合比较,择优选用。

基础设计的安全性是地基基础设计必须满足的技术要求,如地基不会破坏和失稳、变形不超过容许值、基础有足够的强度和刚度等。

基础设计的经济性是要求在设计中通过运用先进的技术和手段,充分把握基础的特性,通过多个方案的比较,寻求最佳设计方案,使设计的基础造价最低。

基础设计的合理性指基础的持力层选择、几何尺寸等布置合理,能充分发挥基础的承载能力,并减少基础的内力,施工相对简单易行。设计中按准确的内力计算结果确定基础材料强度等级和配筋率,要求设计既能满足构造要求,又不过量配置材料。

建筑物整体是上部结构、基础和地基有着内在联系的共同作用系统,基础设计时必须综合考虑上部结构的特征和荷载、地基岩土的物理力学性质、基础的选型布置和材料特性、施工方法及其环境影响、工程的可靠度和造价等多种因素,这些因素既各具特点,又密切联系,构成了一个复杂、多层次的设计系统。因而,基础工程的设计必须运用系统分析的理念,以安全、经济、合理作为设计目标,以规定的设计原则和施工、环境等要求作为约束条件,将土工设计原理和土与结构物的作用机理作为优化模型的理论基础,运用优化技术和工程经验对期望目标进行寻优,以使建筑物各组成部分充分协调,保证整个工程设计的预定功能和目标的实现。

在地基基础设计时,还应注意可能遇到的不良工程地质问题:

- (1)基础位置应避开断层、滑坡、挤压破碎带、溶洞、黄土陷穴与暗洞或局部软弱地基等不良地质,避免造成地基基础隐患。
- (2)基础不应设置在软硬不均匀的地基上,防止基础在荷载作用下产生较大的不均匀沉降。
- (3)当基础因其他原因不能避开不良工程地质条件时,应加强工程地质勘探,务必准确地查明地质情况,以供设计者使用。
- (4)在岩面起伏较大、倾斜且抽水困难的地基上,不宜采用明挖基坑、砌筑基础的施工方法。

2.2 地基基础设计的计算分析方法

2.2.1 上部结构、基础及地基的相互作用

上部结构—基础—地基构成了一个完整的建筑结构体系,只不过我们从工程的概念出发,将它分为上部结构、基础(下部结构)和地基,而实际上,作为一个整体中的一部分,它们之间的受力和变形是相互作用、相互影响、密不可分的。如图 2-1 所示,当上部结构受外荷载作用时,

不但在其自身结构内产生内力并发生变形,而且荷载要传至基础及地基,使基础和地基受力并发生变形。类似地,当地基因某种原因发生沉降时,也将导致基础及上部结构的受力和变形。同样,基础的受力也将导致地基及上部结构的受力及变形。因此,严格地讲,为获得合理的计算结果,设计计算时应将上部结构、基础、地基同时考虑,也就是说,即使我们仅需得到上部结构的受力和变形情况,计算时也应同时考虑基础及地基。同理,对基础进行设计计算时,也应同时考虑到上部结构及地基。

从力学的观点看,结构的计算无外乎是力的平衡及变形的协调问题。因此,所谓考虑上部结构、基础、地基的共同作用,实际是不仅要求上部结构、基础、地基各自处于平衡状态且变形协调(连续),而且要求上部结构—基础之间、基础—地基之间的内力连续,变形协调。但实际计算时要做到这点并不容易,在设计工作中,其计算分析方法可分为三种:

- (1) 不考虑上部结构—基础、基础—地基之间的协调关系;
- (2) 仅考虑基础—地基之间的协调关系;
- (3) 考虑上部结构—基础、基础—地基之间的协调关系。

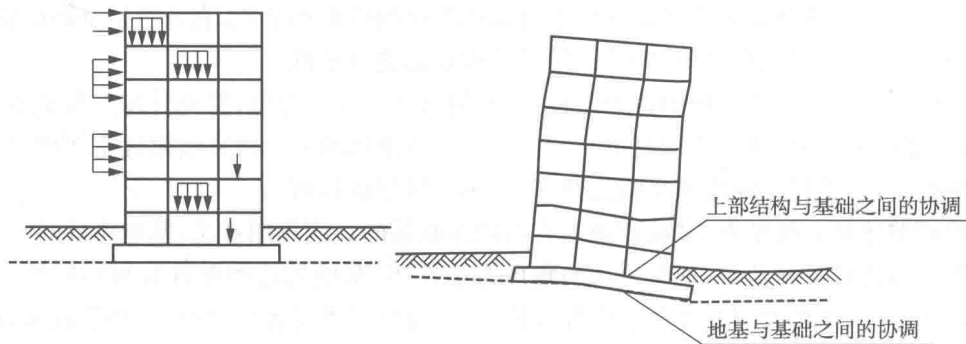


图 2-1 上部结构—基础—地基的受力与变形

2.2.2 不考虑上部结构—基础、基础—地基之间协调关系的分析方法

这是最早使用的一种计算方法。计算时将上部结构、基础、地基分割为三个独立体进行计算分析。以图 2-2 为例,计算时可将上部结构的底端看作固定端,应用结构力学的方法计算出结构的内力和变形及底端的反力;然后将此反力反向作为施加在基础上的荷载,并假设基础为刚性体且地基反力为线性分布,这样就可求出基础底面的反力分布;再将此反力反向作用于地基,即可求得地基内的应力及地基的变形。

在计算过程中,将上部结构底端的反力反向后作为荷载作用于基础,基础底面的反力反向后作为荷载作用于地基,显然,上部结构—基础及基础—地基之间的作用力是连续的,即满足大小相等、方向相反的牛顿第三定律。但我们也可看到,在计算过程中,并没有考虑上部结构—基础及基础—地基之间变形协调的问题,上部结构的底端作为固定端不发生任何位移,基础被看作是刚性的,上部结构—基础—地基之间的变形是不协调的,如果将简化的计算模型与图 2-1 中所示的结构的变形图相对比,则更可一目了然。由此可知,计算简单是该法的主要优点,这也是该法在目前的设计计算中还在应用的原因,如静定分析法、倒梁法、倒楼盖法等。由于该法的计算模型与实际情况相差较大,因此其计算结果的误差相应也大。

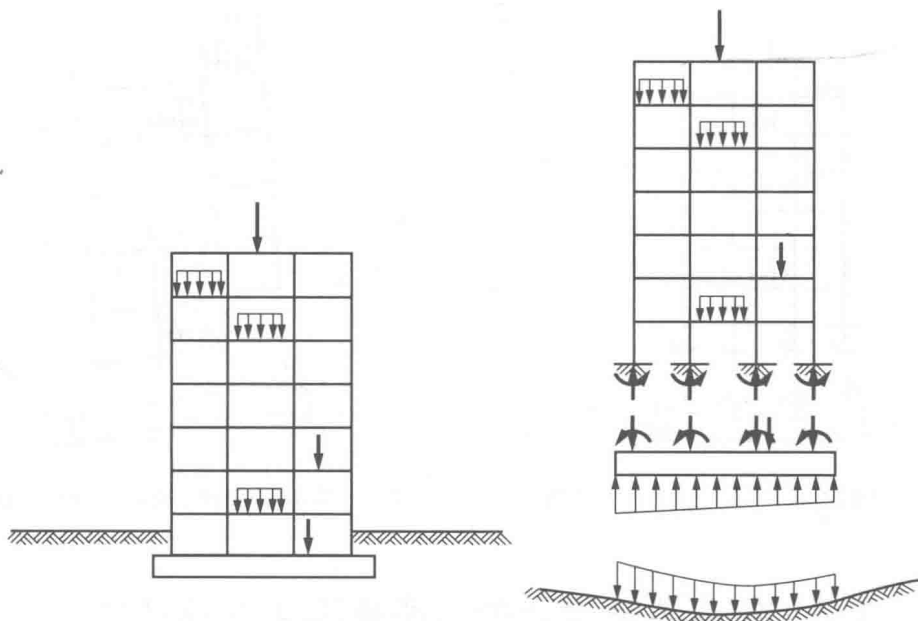


图 2-2 不考虑上部结构—基础—地基之间的相互作用

2.2.3 仅考虑基础—地基之间协调关系的分析方法

该法在计算时不考虑上部结构—基础之间的变形协调,但考虑基础—地基之间的变形是协调的,显然,较之前一种方法有一定的改进。如图 2-3 所示,上部结构的底端仍简化为固定端,计算出其内力、变形及底端反力。将反力反向施加于基础,注意此时基础与地基是作为一个整体考虑的,因此,上部结构—基础之间的变形是不协调的,而基础—地基之间的作用力是连续的,变形是协调的。

2.2.4 考虑上部结构—基础、基础—地基之间协调关系的分析方法

该法在计算时将上部结构、基础、地基作为一个整体考虑,因此,上部结构—基础、基础—地基之间的作用力是连续的,变形是协调的。

显然,与前两种方法相比,这种方法最为合理,其计算结果与实际结构的受力及变形情况也最为接近。但其计算也较前两种方法复杂得多,只有借助计算机进行编程计算,这种方法才可能真正得到应用。图 2-4 所示为用有限元法计算上部结构—基础—地基共同作用的模型,其中将地基划分为有限单元体来模拟。

考虑上部结构—基础—地基的共同作用对高层建筑(包括上部结构及基础)的设计计算尤其重要,它可以使设计更为合理经济。共同作用的分析计算方法也是目前高层建筑领域的一个重要的研究课题。

在上述计算方法中,以对地基的模拟最为复杂和困难,这是因为:上部结构及基础一般可简化为梁、板、柱等有限个构件的组合进行计算,而且材料的力学性质比较明确;而地基则近似为一个半无限体,且是天然形成的,地层的分布及岩土材料的性质复杂多变,很难准确掌握和模拟。

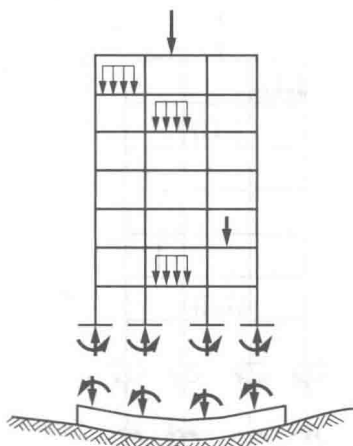


图 2-3 仅考虑基础—地基之间的相互作用

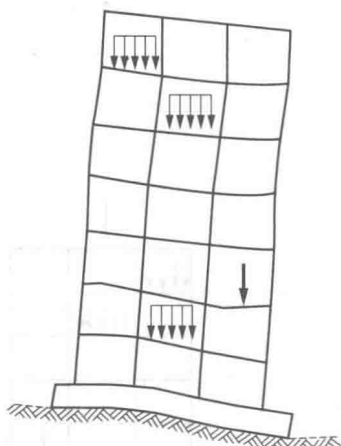


图 2-4 考虑上部结构—基础—地基之间的相互作用

2.3 地基基础设计的概率极限状态设计方法

2.3.1 地基基础定值设计法的缺陷

工程的安全性和安全评价方法是所有工程设计中的首要问题。长期以来,在地基基础设计中大多是按容许状态设计,部分采纳极限状态设计的要领,这两种评价方法所对应的设计方法都可归类为定值设计方法。定值设计方法的基本特点是以经验为主来确定安全系数,从而度量地基基础的可靠性,它将不确定的因素和参数都定值化,把未知的一切不确定因素都归结到安全系数上,试图以一个安全系数来笼统反映所有设计中的不确定性,认为只要满足了认定的安全系数,地基基础的安全性就得到了保证。然而在实际工程中也有安全系数较大,原认为较安全的设计却发生破坏的案例。

在地基基础设计中,传统的安全系数 K 为地基抗力 R 与荷载效应的 S 的比值。由于地基土的变异性以及作用荷载变化的随机性,使得地基抗力 R 和荷载效应 S 都是随机变量,它们都围绕各自的平均值呈现一定规律变化(图 2-5)。因此,地基抗力 R 和荷载效应 S 都不是定值。对于同一地基、相同基础形式,实际安全系数 K 并非定值;对于不同的地基情况和基础形式,其抗力 R 的变异特征也不相同。因此,采用同一安全系数的设计,实际的安全度并非一定相同。事实上,引入安全系数本身就是增加了一个不确定因素,即使地基基础设计中采用了较大的安全系数,也未必一定能保证安全。图 2-5 中 R 、 S 频率分布曲线相交形成的阴影面积表示了工程失效概率 P_f ($R < S$) 区间,表明工程在使用年限内发生 $R < S$ 的概率,即工程不能完成预定功能的概率。失效概率不仅可以准确地表明工程的安全度,而且可以成为比较所有工程系统或结构安全程度的统一尺

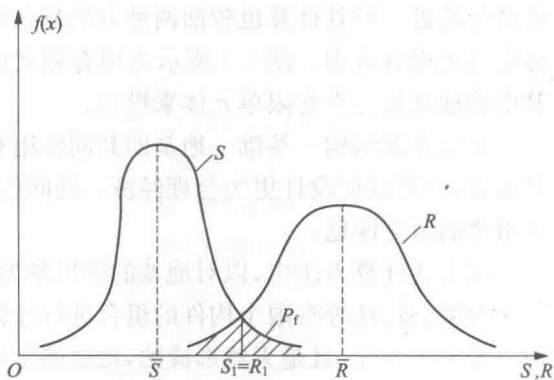


图 2-5 荷载效应、抗力频率分布