



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

建筑结构

(工业与民用建筑专业)

主编 吴承霞 陈式浩



高等教育出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

建 筑 结 构

(工业与民用建筑专业)

主 编 吴承霞 陈式浩
责任主审 刘伟庆
审 稿 郑廷银 叶燕华

高等教育出版社

内容简介

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校工业与民用建筑专业教学指导方案》中主干课程建筑结构设计教学基本要求,并参照建设行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的中等职业教育国家规划教材。

本书主要包括:混凝土结构、砌体结构、地基基础、建筑结构抗震和钢结构五部分,其中的建筑结构抗震、钢结构两部分为选学部分,即建筑结构的基本设计原则、钢筋和混凝土的力学性能、钢筋混凝土受弯构件承载力计算、钢筋混凝土受压构件承载力计算、预应力混凝土构件基本知识、多层及高层结构、砌体材料及砌体的力学性能、砌体结构构件承载力计算、混合结构房屋、地基土基本知识、建筑基础、建筑结构抗震构造措施、钢结构的材料及设计方法、钢结构的连接、钢结构构件的计算、钢屋盖。

本书全部依据新修订的国家标准和规范编写。本书结合中等职业学校的特点,知识涵盖面宽,浅显易学,内容实用。

本书可作为中等职业学校工业与民用建筑专业教材,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构/吴承霞,陈式浩主编. —北京:高等教育出版社,
2002.12

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-04-011628-6

I. 建... II. ①吴...②陈... III. 建筑结构—专业学校—教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 099216 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 北京印刷二厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 19.25
字 数 460 000
插 页 1

版 次 2002 年 12 月第 1 版
印 次 2002 年 12 月第 1 次印刷
定 价 23.90 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

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教取成[2001]1号)的精神,我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从2001年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为教材选用提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

教育部

11 05 月 2 下 2001

前言

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校工业与民用建筑专业教学指导方案》中主干课程建筑结构教学基本要求,并参照建设行业有关职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的中等职业教育国家规划教材。

本书着重强调建筑结构知识的应用,突出培养学生解决实际问题的能力,要求学生领会结构受力原理,重点掌握施工中遇到的结构构造问题,掌握施工图表达的内容。通过工程案例分

析,使学生加深对所学知识的印象并激发学习兴趣,使其掌握建筑结构的基本原理和知识,从而有效地保证建筑工程质量,减少人为建筑工程事故的发生。同时,本书注重建筑结构的新规范、新技术、新工艺及新标准的应用。

本教材的学时数为 76~132 学时,各章学时分配见下表(供参考):

章次	绪论	第一章	第二章	第三章	第四章	第五章	第六章	第七章	第八章
学时数	1	3	2	10	6	3	18	2	5
章次	第九章	第十章	第十一章	*第十二章	*第十三章	*第十四章	*第十五章	*第十六章	
学时数	14	6	6	8	6	10	12	16	

书中打 * 号的章节为管理岗位培养目标的必学内容,操作岗位培养目标可不学。

本书由吴承霞、陈式浩担任主编。绪论、第十、十一章(部分)由浙江东阳职业中专陈式浩编写;第一、二、三章由浙江东阳职业中专李正兴编写;第四、五章由浙江东阳职业中专胡仲洪编写;第六章由广州市建筑工程学校黄明权编写;第七、八、九、十一(部分)、十二章由河南省建筑工程学校吴承霞编写;第一、十三、十四、十五、十六章由河南省建筑工程学校张渭波编写。

本书通过全国中等职业教育教材审定委员会审定,由南京工业大学刘伟庆教授担任责任主审,南京工业大学郑廷银副教授、南京工业大学叶燕华副教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,对新修订的标准和规范学习理解不够,书中错误和缺点在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2002 年 5 月 20 日

目 录

绪论	1
复习思考题	3
第一章 建筑结构设计的基本原则	4
第一节 建筑结构荷载及其效应	4
第二节 结构的可靠性	7
第三节 结构的极限状态	7
第四节 概率极限状态设计法的实用设计 表达式	8
复习思考题	11
第二章 钢筋和混凝土的力学性能	12
第一节 钢筋和混凝土共同工作的原理	12
第二节 钢筋混凝土材料的力学性能	13
复习思考题	17
第三章 钢筋混凝土受弯构件承载力 计算	18
第一节 受弯构件的一般构造	18
第二节 受弯构件正截面承载力的计算	21
第三节 受弯构件斜截面承载力的计算	34
第四节 工程质量事故案例	46
复习思考题	49
第四章 钢筋混凝土受压构件承载力 计算	51
第一节 受压构件的构造要求	51
第二节 轴心受压构件承载力的计算	54
第三节 偏心受压构件承载力的计算	57
复习思考题	62
第五章 预应力混凝土构件基本知识	64
第一节 预应力混凝土的基本概念	64
第二节 施加预应力的方法	65
第三节 预应力混凝土结构的材料	66
* 第四节 预应力损失和张拉控制应力 的概念	67
* 第五节 预应力混凝土结构的构造要求	69

复习思考题	71
第六章 多层及高层结构	72
第一节 多层及高层房屋的结构体系	72
第二节 钢筋混凝土楼盖	79
第三节 钢筋混凝土楼梯	101
第四节 框架结构	105
第五节 结构施工图平面整体表示方法	109
复习思考题	117
实例一 某框架结构施工图	118
第七章 砌体材料及砌体的力学性能	125
第一节 砌体材料	125
第二节 砌体的种类及力学性能	127
复习思考题	130
第八章 砌体结构构件承载力计算	132
第一节 受压构件的承载力计算	132
第二节 砌体局部受压	137
复习思考题	139
第九章 混合结构房屋	140
第一节 墙体承重体系及房屋的静力计算 方案	140
第二节 墙、柱的高厚比验算	143
第三节 刚性方案房屋的计算	148
第四节 混合结构房屋构造要求	151
第五节 砌体结构常见裂缝及倒塌事故 原因分析	157
第六节 混合结构施工图的识读	161
复习思考题	166
实例二 某混合结构施工图	167
第十章 地基土基本知识	176
第一节 地基土的物理性质及工程分类	176
第二节 岩土工程勘察与地基承载力	181
复习思考题	185
第十一章 建筑基础	186
第一节 基础的类型	186

第二节 基础埋置深度及地基承载力				第三节 偏心受力构件	258
计算	190			复习思考题	261
第三节 基础的构造要求	196			* 第十六章 钢屋盖	263
复习思考题	201			第一节 钢屋架的形式和构造	263
* 第十二章 建筑结构抗震构造措施	202			第二节 屋盖支撑	266
第一节 建筑抗震的基本知识	202			第三节 钢屋架的计算	268
第二节 钢筋混凝土框架结构的抗震				复习思考题	271
构造	207			附录	272
第三节 多层砌体房屋的抗震构造	215			附录一 荷载计算用表	272
复习思考题	222			附录二 钢筋和混凝土力学性能表	279
* 第十三章 钢结构材料及设计方法	223			附录三 钢筋混凝土受弯构件承载力计算	
第一节 钢结构的材料	223			用表	282
第二节 钢结构的设计方法及设计指标	230			附录四 双向板按弹性分析的计算系数表	285
复习思考题	233			附录五 常用砌体材料的砌体力学性能表	289
* 第十四章 钢结构的连接	234			附录六 砌体结构构件承载力影响系数表	290
第一节 焊接连接	234			附录七 轴心受压钢结构构件的稳定系数	
第二节 螺栓连接	245			表	291
复习思考题	249			附录八 型钢表	293
* 第十五章 钢结构构件的计算	251			实例三 某钢屋架施工图	
第一节 轴心受力构件	251			参考文献	299
第二节 受弯构件	255				

绪 论

一、建筑结构的概念和分类

建筑结构是指建筑物中用来承受荷载和其他间接作用(如温度变化引起的伸缩、地基不均匀沉降等)的体系。通常它又被称为建筑物的骨架。在房屋建筑中,组成结构的构件有板、梁、屋架、柱、墙、基础等。

根据所用材料的不同,建筑结构分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构等。

由于木结构存在着强度低、易燃、易腐、结构易变形等诸多缺点,且其产量又受自然条件的限制,现已极少采用,本书不作介绍。

(一) 混凝土结构

1. 概念

以混凝土为材料的结构称为混凝土结构,它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构三种。素混凝土是不放钢筋的混凝土,常用于路面、垫层和一些非承重结构;在混凝土构件的适当部位放入钢筋即是钢筋混凝土结构;预应力混凝土结构是在结构或构件中配置了预应力钢筋并施加预应力的结构。

2. 优缺点

混凝土结构的优点是强度高、耐久性好、耐火性好、可模性好、整体性好、易于就地取材等。缺点是自重大、抗裂性较差,一旦损坏修复较困难。

3. 工程应用

混凝土结构最早在欧洲应用,距今已有 170 多年的历史。目前,混凝土结构已成为现代最主要的、应用最普遍的结构形式之一,它广泛应用于厂房、住宅、写字楼等多层和高层建筑中,在桥梁工程、特种结构、水利及其他工程中也有大量应用。

4. 发展方向

混凝土材料主要的发展方向是高强、轻质、耐久、提高抗裂性和易于成型;钢筋的发展方向是高强、较好的延性和良好的锚固性能。在未来的工程结构中,随着新型建筑结构形式的发展,随着新施工技术、新施工工艺的使用,将会有更多的工程采用混凝土结构。

(二) 砌体结构

1. 概念

砌体结构是指用砖、石或砌块为块材,用砂浆砌筑的结构。砌体结构根据所用块材的不同,又分为砖砌体、石砌体和砌块砌体三大类。

2. 优缺点

砌体结构的主要优点是能就地取材、造价低廉、有很好的耐火性和较好的耐久性、保温隔热性能好、施工方便。其缺点是自重大、强度较低、抗震性能差、砌筑工作量大。

3. 工程应用

砌体结构有悠久的历史,我国古代就用砌体结构建造城墙、佛塔、穹拱殿和拱桥等。隋代李春所造的河北赵县安济桥迄今已 1 400 多年,桥净跨 37.37 m,为世界上最早的单孔空腹式石拱桥。目前,在我国砌体结构主要用于建造大量的低层、中高层民用建筑(无筋砌体一般可建 5~7 层,配筋砌体可建 8~18 层)。此外,水塔、小型水池、小型工业厂房及仓库等也可用砌体结构建造。

4. 发展方向

砌体结构作为一种应用量大、面广的传统结构形式,在我国必将继续完善、发展。其发展方向应考虑“节土”、“节能”、“利废”的基本国策,积极发展新材料——推广应用空心粘土砖,发展粘土砖的替代产品,加强对高强砖及高粘结强度砂浆的研究;积极推广应用配筋砌体结构;加强对防止和减轻墙体裂缝构造措施的研究;提高砌体结构的施工技术水平和施工质量。随着建筑业的发展,砌体结构必将在现代化建设中发挥更大的作用。

(三) 钢结构

1. 概念

用钢板和各种型钢(角钢、工字钢、H 型钢等)制作而成的承重构件或承重结构统称为钢结构。

2. 优缺点

钢结构具有承载力高、重量轻、材质均匀、抗震性好、施工速度快等优点。但钢结构也存在易锈蚀、耐久性和耐火性较差、造价高等缺点。

3. 工程应用

钢结构是由生铁结构逐步发展来的,中国是最早用铁建造承重结构的国家。从 1705 年建造的四川泸定大渡河桥,到 1957 年建成的武汉长江大桥、1968 年建成的南京长江大桥,无不标志着我国钢结构的发展水平。目前,钢结构主要用于大跨度屋盖、高层建筑、重型工业厂房、桥梁结构、板壳结构及塔桅结构中。

4. 发展方向

钢结构的主要发展方向是积极发展高强度钢材,不断革新结构型式,应用钢—混凝土组合构件。随着科学技术的发展,钢结构将会有更美好的未来。

二、地基与基础的概念

各种建筑都需要一个坚固的基础,一幢房屋建筑,基础造价要占到总造价的 1/5,甚至 1/3。因此,对地基基础问题必须引起足够的重视。

基础是建筑物的下部承重结构。建筑物荷载通过基础传到地层,地层中产生应力和变形的那部分土层(岩层)称为地基。地基一般包括持力层与下卧层,埋置基础的土层称为持力层,在基础范围内持力层以下的土层称为下卧层。为保证建筑物安全,基础应埋置在良好的持力层上。同时,地基应满足的基本要求是有足够的强度且变形不能过大。

基础设计必须根据地基条件——地质勘探报告进行,不能盲目套用,以免发生工程事故。

三、建筑抗震的概念

地震是一种自然灾害,强烈地震在瞬间就可对地面建筑物造成严重破坏。我国是一个多地震国家。

震国家,地震区分布范围广,地震损失严重。

工程抗震被认为是防御地震灾害、减轻地震损失的一项切实有效的措施,其目的是寻求最合理的抗震设计,使在地震时能够保证结构物的安全。

四、本课程的任务和学习方法

(一) 本课程的任务

本课程是工业与民用建筑专业的一门重要专业课,内容包括:混凝土结构、砌体结构、地基基础、建筑结构抗震和钢结构五部分。本课程的任务是了解建筑结构计算的基本原则,掌握混凝土结构、砌体结构和钢结构基本构件的计算方法,理解建筑结构构件及基础的构造要求,能正确识读结构施工图。

“建筑结构”是每位将从事建筑施工的人员必须掌握的一门专业知识,是正确理解和贯彻设计意图、确定施工方案和组织施工、处理建筑施工中的结构问题、防止发生工程事故、保证工程质量所必须具备的知识。

本教材是根据我国现行规范和标准:《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)、《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《钢结构设计规范》、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)和国标《混凝土结构施工图整体表示方法制图规则和构造详图》(00G101),以及现行其他有关建筑结构规范编写的。这些规范和标准是我国在建筑结构方面的科研成果和工程实践经验的结晶,也是工程设计、施工的重要依据。

(二) 学习方法

1. 注意和其他课程的关系

本课程与建筑力学、建筑材料、建筑识图与房屋构造、建筑施工技术等课程有着密切的关系,因此,在学习过程中要根据要求对相关课程进行必要的复习,并在运用中得到巩固和提高。

2. 注意理论联系实际

由于建筑结构课理论性较强,有些概念不易理解。因此,在学习时要经常深入工地,深入施工现场,通过现场参观,增加感性认识,提高学习兴趣,加深对所学理论知识和构造要求的理解。

3. 学习上要有科学严谨的态度和一丝不苟的学风

要熟读结构施工图,掌握图纸表达的内容,领会结构设计意图及受力原理。在工程建设中要自觉遵守国家有关规范、标准,严格按照科学规律办事,坚决杜绝施工时偷工减料、不按图施工等现象。

复习思考题

- 1 什么是建筑结构?
- 2 建筑结构按材料不同分为几类?各有什么优缺点?
- 3 学习本课程的任务是什么?

第一章 建筑结构的基本设计原则

第一节 建筑结构荷载及其效应

建筑结构在施工和使用期间要承受各种外力的作用,如人群、雪、风、自重等直接作用在建筑结构上,此外,温度变化、地基不均匀变形、地面运动等,也会间接作用在结构上。在建筑工程中通常将直接作用在结构上的外力称为荷载。

一、荷载的分类

结构上的荷载可分为三类:

(1) 永久荷载。在结构使用期间,其值不随时间变化,或其变化与平均值相比可以忽略不计,或其变化是单调的并能趋于限值的荷载。例如结构自重、土压力、预应力等。

(2) 可变荷载。在结构使用期间,其值随时间变化,且其变化与平均值相比不可忽略的荷载。例如楼(屋)面活荷载、风荷载、雪荷载、安装荷载、吊车荷载、积灰荷载等。

(3) 偶然荷载。在结构使用期间不一定出现,一旦出现,其值很大且持续时间较短的荷载称偶然荷载。例如地震力、爆炸力、撞击力等。

二、荷载代表值

在建筑结构设计时,对不同的荷载和不同的设计要求,应采用不同的代表值,以使之能更确切地反映它在设计中的特点。《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)规定:

对永久荷载应采用标准值作为代表值;对可变荷载应根据设计要求采用标准值、组合值、频遇值或准永久值作为代表值;对偶然荷载应根据建筑结构使用的特点确定其代表值。

(1) 荷载标准值。它是荷载的基本代表值,指结构在使用期间可能出现的最大荷载值。统一由设计基准期(50年)最大荷载概率分布的某个分位值来确定。有永久荷载标准值(G_k)和可变荷载标准值(Q_k)。荷载标准值参见附表1-1、附表1-2和附表1-3。

(2) 可变荷载组合值。当结构同时承受两种或两种以上的可变荷载时,考虑到荷载同时达到最大值的可能性较小,因此除主导荷载(产生最大荷载效应的荷载)仍以其标准值为代表值外,对其他伴随荷载,可以将它们的标准值乘以一个小于或等于1的荷载组合值系数作为代表值,称为可变荷载组合值,即

$$Q_c = \psi_c Q_k \quad (1-1)$$

式中 Q_c ——可变荷载组合值;

ψ_c ——可变荷载组合值系数,取值见附表1-2、附表1-3;

Q_k ——可变荷载标准值。

(3) 可变荷载频遇值。在设计基准期内,其超越的总时间为规定的较小比率或超越频率为规定频率的荷载值。它相当于在结构上时而或多次出现的较大荷载,但总是小于荷载的标准值。其值等于可变荷载标准值乘以可变荷载频遇值系数:

$$Q_f = \psi_f Q_k \quad (1-2)$$

式中 Q_f ——可变荷载频遇值;

ψ_f ——可变荷载频遇值系数,取值见附表 1-2、附表 1-3。

(4) 可变荷载准永久值。在设计基准期内,其超越的总时间约为设计基准期一半(可以理解为总持续时间不低于 25 年)的荷载值。也就是经常作用于结构上的可变荷载。其值等于可变荷载标准值乘以可变荷载准永久值系数:

$$Q_q = \psi_q Q_k \quad (1-3)$$

式中 Q_q ——可变荷载准永久值;

ψ_q ——可变荷载准永久值系数(≤ 1.0),取值见附表 1-2 和附表 1-3。

三、荷载分布形式

(1) 均布面荷载。在均匀分布的荷载作用面上,单位面积上的荷载称为均布面荷载,其单位为 N/m^2 或 kN/m^2 (图 1-1a)。

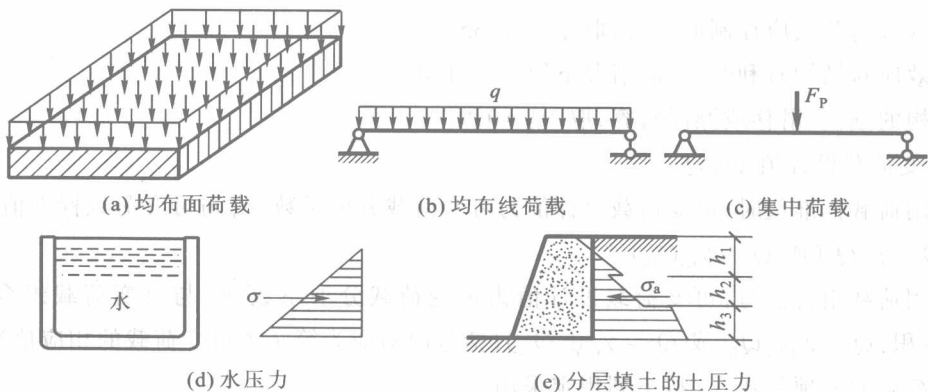


图 1-1 荷载的分布形式

(2) 均布线荷载。沿跨度方向单位长度的均布荷载称为均布线荷载(图 1-1b),其单位为 N/m 或 kN/m 。如果已知均布面荷载,则乘以荷载分布宽度,就得到沿长度方向的均布线荷载。

(3) 非均布线荷载。单位长度上的线荷载不是均匀分布时,称为非均布线荷载,例如游泳池壁上的水压为竖向三角形分布(图 1-1d),挡土墙墙背上的土压力为三角形或梯形分布(图 1-1e)。

(4) 集中荷载。集中地作用于微小面积上的荷载,可以近似地认为集中作用于一点的荷载,称为集中荷载(图 1-1c)。

【例 1-1】某钢筋混凝土大梁宽度为 200 mm,高为 500 mm,已知钢筋混凝土自重为 $25 kN/m^3$,试计算沿跨度 L 方向自重引起的线荷载标准值是多少?

【解】线荷载(每米重力) $g_k = \frac{\text{总重力}}{\text{跨度}} = \frac{25 kN/m^3 \times 0.2 m \times 0.5 m \times L}{L} = 2.5 kN/m$

自重引起的线荷载标准值为 2.5 kN/m 。

【例 1-2】某现浇钢筋混凝土(自重见上题)走道板板厚 70 mm , 板面水泥砂浆厚 20 mm , 板底纸筋灰厚 5 mm , 已知水泥砂浆自重 20 kN/m^3 , 纸筋灰自重 16 kN/m^3 。求板面均布面荷载的标准值。

【解】板自重: $0.07 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1.75 \text{ kN/m}^2$

板面水泥砂浆: $0.02 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 0.40 \text{ kN/m}^2$

板底纸筋灰: $0.005 \text{ m} \times 16 \text{ kN/m}^3 = 0.08 \text{ kN/m}^2$

每平方米总重力(面荷载): 2.23 kN/m^2

即板面上永久荷载的标准值为 2.23 kN/m^2 。

四、荷载设计值

荷载设计值为荷载分项系数与荷载代表值的乘积。

1. 永久荷载设计值 G

永久荷载设计值为永久荷载分项系数 γ_G 与永久荷载标准值 G_k 的乘积, 即 $G = \gamma_G G_k$ 。

永久荷载分项系数按下列规定采用:

对由可变荷载效应控制的组合, 取 $\gamma_G = 1.2$;

对由永久荷载效应控制的组合, 取 $\gamma_G = 1.35$;

当其效应对结构有利时, 一般情况下取 $\gamma_G = 1.0$;

对结构的倾覆、滑移或漂浮验算, 取 $\gamma_G = 0.9$ 。

2. 可变荷载设计值 $Q(Q_i)$

当采用荷载标准值时, 可变荷载设计值为可变荷载分项系数 γ_Q 与可变荷载标准值 $Q_k(Q_{ik})$ 的乘积: $Q = \gamma_Q Q_k$ (或 $Q_i = \gamma_{Qi} Q_{ik}$)。

当采用荷载组合值时, 可变荷载设计值为可变荷载分项系数 γ_Q 与可变荷载组合值 $Q_c = \psi_c Q_k$ 的乘积: $Q = \gamma_Q \psi_c Q_k$ (或 $Q_i = \gamma_{Qi} \psi_{ci} Q_{ik}$) (括号内对应为第 i 个可变荷载的相应值)。

可变荷载的分项系数 γ_Q 按下列规定采用:

一般情况下取 $\gamma_Q = 1.4$;

对标准值大于 4 kN/m^2 的工业房屋楼面结构的活荷载取 $\gamma_Q = 1.3$ 。

五、荷载效应

荷载效应是指由于施加在结构上的荷载产生的结构内力与变形, 如拉、压、剪、扭、弯等内力和伸长、压缩、挠度、转角等变形以及产生裂缝、滑移等后果。在分析荷载 Q (永久或可变荷载) 与荷载效应 S 的关系时, 可假定两者之间呈线性关系, 即

$$S = CQ$$

其中 C 是荷载效应系数。比如一根受均布荷载 q 作用的简支梁, 其支座处剪力 V 为 $\frac{1}{2}ql$, $\frac{1}{2}l$

就是荷载效应系数; 跨中弯矩 $M = \frac{1}{8}ql^2$, $\frac{1}{8}l^2$ 就是荷载效应系数; 等等。

第二节 结构的可靠性

一、结构的功能要求

任何建筑结构都是为了满足所要求的功能而设计的。建筑结构在规定的设计使用年限内,应满足下列功能要求:

(1) 安全性。即结构在正常施工和正常使用中能承受可能出现的各种作用,在设计规定的偶然事件发生时及发生后,仍能保持必需的整体稳定。

(2) 适用性。即结构在正常使用条件下具有良好的工作性能。例如不发生过大的变形或振幅,以免影响使用,也不发生足以令用户不安的裂缝。

(3) 耐久性。即结构在正常维护下具有足够的耐久性能。例如混凝土不发生严重的风化、脱落,钢筋不发生严重锈蚀,以免影响结构的使用寿命。

结构的安全性、适用性和耐久性总称为结构的可靠性。

二、结构的可靠性

结构的可靠性也可以这样定义:结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的能力。这里所说的“规定的时间”,一般指基准使用期,即 50 年;“规定的条件”,一般指正常设计、正常施工、正常使用条件,未考虑人为的过失。

结构可靠性的定义概念外延显然比安全性大,结构可靠度则是可靠性的定量指标。《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)(以下简称统一标准)对可靠度的定义是:“结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率”。由此可见,结构可靠度是可靠性的概率度量。

第三节 结构的极限状态

一、极限状态的概念

结构的可靠度设计,判断其功能是否满足要求常以“极限状态”为标志,并以此作为结构设计的准则。

结构从开始承受荷载直至最终破坏要经历不同的阶段,处于不同的工作状态。当结构安全可靠地工作,能够完成预定的各项功能时,处于可靠或有效状态;反之则处于不可靠或失效状态。这里所谓的失效,不仅包括因强度不足而丧失承载能力、结构发生倾覆、滑移、丧失稳定等,同时包括结构变形过大、裂缝过宽而不适于继续使用等状态。

有效状态和失效状态的分界,称为极限状态。极限状态实质上是一种界限,是建筑结构失效的标志,结构的设计工作就是以这一临界状态为准则进行的。统一标准对于极限状态作了明确的定义:整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求,此特定状态为该功能的极限状态。

二、极限状态的分类

统一标准根据结构的功能要求,将极限状态分为二类,并规定了明确的标志及限值。

1. 承载能力极限状态

超过这一极限状态后,结构或构件就不能满足预定的安全性的要求。当结构或构件出现下列状态之一时,即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(如阳台、雨篷的倾覆)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),或因过度变形而不适于继续承载;
- (3) 结构转变为机动体系(如构件发生三铰共线而形成机动体系丧失承载力);
- (4) 结构或结构构件丧失稳定(如长细杆的压屈失稳破坏等);
- (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

超过这一极限状态,结构或构件就不能完成对其所提出的适用性或耐久性的要求。当结构或构件出现下列状态之一时,即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(如过大的变形使房屋内部粉刷层脱落,填充墙开裂);
- (2) 影响正常使用或耐久性能的局部损坏(如水池、油罐开裂引起渗漏,裂缝过宽导致钢筋锈蚀);
- (3) 影响正常使用的振动;
- (4) 影响正常使用的其他特定状态(如沉降量过大等)。

由上述两类极限状态可以看出,结构或构件一旦超过承载能力极限状态,就可能发生严重破坏、倒塌,造成人身伤亡和重大经济损失。因此,应该把出现这种极限状态的概率控制得非常严格。而结构或构件出现正常使用极限状态的危险性和损失要小得多,其极限状态的出现概率可适当放宽。所以,结构设计时承载能力极限状态的可靠度水平应高于正常使用极限状态的可靠度水平。

三、结构极限状态方程

结构和结构构件的工作状态 Z ,可以由该结构构件所承受的荷载效应 S 和结构抗力 R 两者的关系来描述,即

$$Z = R - S \quad (1-4)$$

上式称为结构的功能函数,用来表示结构的三种工作状态:

当 $Z > 0$ 时(即 $R > S$),结构处于可靠状态;

当 $Z < 0$ 时(即 $R < S$),结构处于失效状态;

当 $Z = 0$ 时(即 $R = S$),结构处于极限状态。

第四节 概率极限状态设计法的实用设计表达式

一、概念

结构设计的原则是抗力 R 不小于荷载效应 S 。事实上,由于抗力、荷载效应等总是存在着

不定性,它们都是随机变量。因此,要绝对地保证 R 总大于 S 是不可能的。在一般情况下,抗力还是有可能小于荷载效应,使结构处于失效状态的。这种可能性的大小用概率来表示就是失效概率。综合考虑结构具有的风险和经济效果,只要失效概率小到人们可以接受的程度,就认为结构设计是可靠的。

二、概率极限状态设计法的计算内容

进行结构和结构构件设计时,既要保证它们不超过承载能力极限状态,又要保证它们不超过正常使用极限状态。为此,需要进行下列计算和验算:

(1) 所有结构构件均应进行承载力计算,必要时进行结构的倾覆和滑移验算;地震区的结构尚应进行结构构件的抗震承载力计算。

(2) 对使用上需要控制变形值的结构构件,应进行变形验算。

(3) 对混凝土结构构件的裂缝控制情况,应进行裂缝控制验算。

(4) 对直接承受吊车的构件,应进行疲劳强度验算。

三、极限状态实用设计表达式

为应用方便,统一标准提出了一种便于实际使用的设计表达式,即采用基本变量的标准值(荷载标准值、材料强度标准值等)和分项系数(荷载分项系数、材料强度分项系数等)来表示的方式,其设计表达式如下:

(一) 承载力极限状态设计表达式

结构构件的承载力设计应根据荷载效应(内力)的基本组合和偶然组合(必要时)进行,并以内力和承载力的设计值来表达,其设计表达式为

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1-5)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数;

S ——内力组合设计值;

R ——构件承载力设计值。

1. 结构重要性系数 γ_0 的确定

统一标准根据建筑结构破坏可能产生的后果(危及生命、造成经济损失、产生社会影响等)的严重程度,将建筑结构划分为三个安全等级。重要的房屋,如影剧院、体育馆和高层建筑等为一级;大量一般房屋为二级;次要建筑,如临时房屋为三级。对特殊要求的建筑,安全等级可视情况另行确定。

对安全等级取为一级、二级和三级的结构构件,其结构构件的重要性系数分别不应小于 1.1、1.0 和 0.9。

2. 内力组合设计值 S 的确定

对于基本组合,其内力组合设计值可从下列组合中取最不利值确定:

由可变荷载效应控制的组合:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{Qik} \quad (1-6)$$

由永久荷载效应控制的组合:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{Qik} \quad (1-7)$$

式中 S_{Gk} ——按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值；

S_{Qik} ——按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值，其中 S_{Q1k} 为诸可变荷载效应中起控制作用者。

γ_{Qi} ——第 i 个可变荷载的分项系数，其中 γ_{Q1} 为可变荷载 Q_1 的分项系数，应按 GB 50009—2001 的规定取值；

ψ_{ci} ——可变荷载 Q_i 的组合值系数，应分别按 GB 50009—2001 的规定采用；

n ——参与组合的可变荷载数。

其余符号意义同前。

偶然组合是指一个偶然作用（如地震、爆炸等）与其他可变荷载相结合。由于其发生的概率很小，持续的时间较短，但对结构造成的危害极大，具体的设计表达式及各种系数值，应符合专门规范的规定。

3. 构件承载力设计值 R 的确定

结构构件承载力设计值的大小，取决于构件截面的几何尺寸、构件材料的用量、种类以及强度等诸多因素。所以， R 是一个与上述诸因素有关的函数，将在以后的学习中讨论。

（二）正常使用极限状态设计表达式

对于正常使用极限状态，应根据不同的设计要求，采用荷载的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计，使变形、裂缝、基底应力等荷载效应的组合值符合下式的要求：

$$S \leq C \quad (1-8)$$

式中 S ——变形、裂缝、基底应力等荷载效应的组合值；

C ——设计对变形、裂缝、基底应力等规定的相应限值。

结构构件的变形、裂缝、基底应力等荷载效应组合值 S 的计算，属于正常使用极限状态，它与承载能力极限状态相比，处于结构的两个不同的工作阶段，因而需要采用不同的荷载效应代表值和荷载效应组合值进行计算。

在荷载保持不变的情况下，由于混凝土的徐变等特性，裂缝和变形将随着时间的推移而发展。因此，在讨论裂缝和变形的荷载效应组合时，应该区分荷载持续作用时间的长短。当考虑荷载的短期效应时，可根据不同的设计要求，分别采用荷载的标准组合或频遇组合；当考虑荷载的长期效应时，可采用荷载的准永久组合。 S 值在不同荷载效应组合下的计算式参见《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)第 3.3 条。

应当指出的是，正常使用极限状态要求控制的不仅仅是结构构件的变形、裂缝等常见现象，也包括地基承载力的设计，因为后者的实质是控制地基沉降，同属一类。

【例 1-3】 已知由永久荷载产生的弯矩标准值 $M_{gk} = 10 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ，起控制作用的可变荷载产生的弯矩标准值 $M_{qk} = 15 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ，安全等级为二级，求弯矩设计值。

【解】 本例中，

$$\gamma_0 = 1.0, \gamma_G = 1.2, \gamma_{Q1} = 1.4$$

$$S_{Gk} = M_{gk} = 10 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad S_{Q1k} = M_{qk} = 15 \text{ kN} \cdot \text{m}$$