

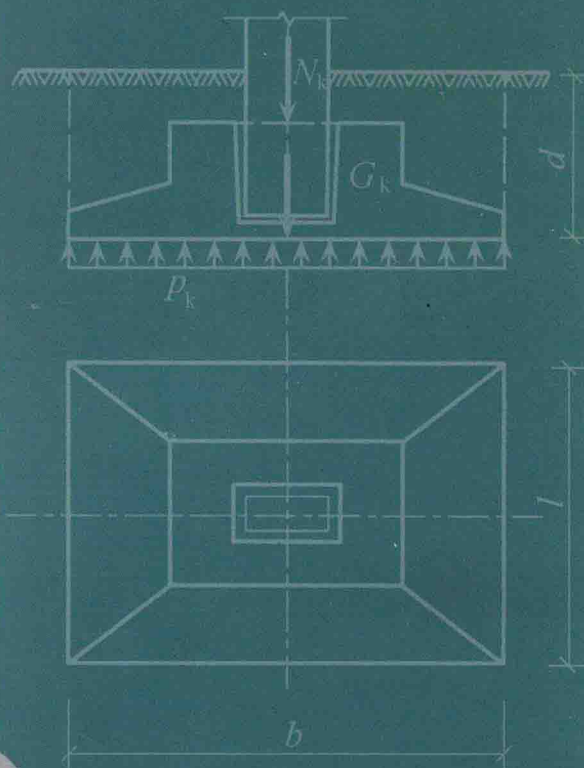


高等学校土木工程专业指导委员会推荐规划教材
高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材
总主编 何若全

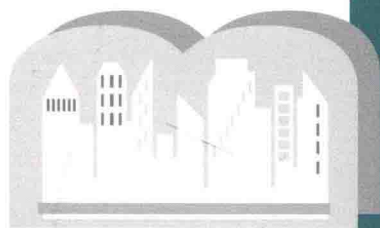
混凝土结构设计 (第2版)

HUNNINGTU
JIEGOU SHEJI

主 编 梁兴文
副主编 李 艳
 李 波
 邓明科
主 审 童岳生



重庆大学出版社





高等学校土木工程专业指导委员会推荐规划教材

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

总主编 何若全

混凝土结构设计 (第2版)

HUNNINGTU
JIEGOU SHEJI

主 编 梁兴文
副主编 李 艳
李 波
邓明科
主 审 童岳生

常州大学图书馆
藏书章

重庆大学出版社



本书为高等院校土木工程专业的专业课教材,内容包括概论、混凝土梁板结构、单层工业厂房混凝土结构、混凝土框架结构设计等,是根据最新颁布的国家标准和规范而编写的。

本书着重阐明各种混凝土结构整体设计的基本概念和方法,对结构方案设计、结构分析方法和确定结构计算简图等内容有比较充分的论述,有利于培养读者的创新能力;对各主要结构给出了比较完整的设计实例,有利于初学者掌握基本概念和设计方法;每章附有小结、思考题和习题等。本书文字通俗易懂,论述由浅入深,循序渐进,便于自学理解。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供相关专业的设计、施工和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计/梁兴文主编.--2版.--重庆:
重庆大学出版社,2017.11
高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材
ISBN 978-7-5624-7769-3

I.①混… II.①梁… III.①混凝土结构—结构设计
—高等学校—教材 IV.①TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 239102 号

混凝土结构设计

(第2版)

主 编 梁兴文

副主编 李 艳 李 波 邓明科

主 审 童岳生

策划编辑:林青山 王 婷

责任编辑:林青山 版式设计:莫 西

责任校对:邹小梅 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

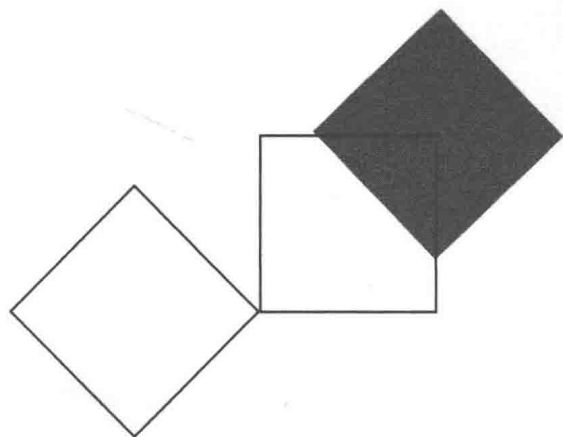
开本:787mm×1092mm 1/16 印张:21.75 字数:545千

2018年6月第2版 2018年6月第2次印刷

印数:3 001—5 000

ISBN 978-7-5624-7769-3 定价:49.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究



编委会名单

总主编：何若全

副总主编：杜彦良

编委（以姓氏笔画为序）：

邹超英

桂国庆

刘汉龙

卜建清

王广俊

王连俊

王社良

王建廷

王雪松

王慧东

仇文革

文国治

龙天渝

代国忠

华建民

向中富

刘凡

刘建

刘东燕

刘尧军

刘俊卿

刘新荣

刘曙光

许金良

孙俊

苏小卒

李宇峙

李建林

汪仁和

宋宗宇

张川

张忠苗

范存新

易思蓉

罗强

周志祥

郑廷银

孟丽军

柳炳康

段树金

施惠生

姜玉松

姚刚

袁建新

高亮

黄林青

崔艳梅

梁波

梁兴文

董军

覃辉

樊江

魏庆朝

总序

进入 21 世纪的第二个十年,土木工程专业教育的背景发生了很大的变化。《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》正式启动,中国工程院和国家教育部倡导的“卓越工程师教育培养计划”开始实施,这些都为高等工程教育的改革指明了方向。截至 2010 年底,我国已有 300 多所大学开设土木工程专业,在校生达 30 多万人,这无疑是世界上该专业在校大学生最多的国家。如何培养面向产业、面向世界、面向未来的合格工程师,是土木工程界一直在思考的问题。

由住房和城乡建设部土建学科教学指导委员会下达的重点课题“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的研制,是落实国家工程教育改革战略的一次尝试。“专业规范”为土木工程本科教育提供了一个重要的指导性文件。

由“高等学校土木工程本科指导性专业规范”研制项目负责人何若全教授担任总主编,重庆大学出版社出版的《高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材》力求体现“专业规范”的原则和主要精神,按照土木工程专业本科期间有关知识、能力、素质的要求设计了各教材的内容,同时对大学生增强工程意识、提高实践能力和培养创新精神做了许多有意义的尝试。这套教材的主要特色体现在以下方面:

(1) 系列教材的内容覆盖了“专业规范”要求的所有核心知识点,并且教材之间尽量避免了知识的重复;

(2) 系列教材更加贴近工程实际,满足培养应用型人才对知识和动手能力的要求,符合工程教育改革的方向;

(3) 教材主编们大多具有较为丰富的工程实践能力,他们力图通过教材这个重要手段实现“基于问题、基于项目、基于案例”的研究型学习方式。

据悉,本系列教材编委会的部分成员参加了“专业规范”的研究工作,而大部分成员曾为“专业规范”的研制提供了丰富的背景资料。我相信,这套教材的出版将为“专业规范”的推广实施,为土木工程教育事业的健康发展起到积极的作用!

中国工程院院士 哈尔滨工业大学教授

沈世钊

前 言

(第2版)

与本书内容相关的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)局部修订于2015年颁布。为此,需要对本书第1版进行修订。第2版除对第1版的不妥之处进行修改外,主要作了以下修订:根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)局部修订的有关内容,主要包括“取消 HRBF335、限制使用 HRB335 和 HPB300 钢筋”“HRB500 钢筋抗压强度设计值由原来的 410 N/mm^2 改为 435 N/mm^2 ”“对轴心受压构件,当钢筋的抗压强度设计值大于 400 N/mm^2 时应取 400 N/mm^2 ”,以及对吊环钢筋的使用规定等,对本书的相关内容进行了修订。

参加本书修订工作的除了原作者梁兴文、李艳、李波、邓明科外,还有杨克家、寇佳亮、车佳玲、王英俊和韩春。

本书由资深教授童岳生先生主审,他提出了许多宝贵的意见。研究生邢朋涛、陆婷婷、胡翱翔、王照耀、王莹、刘利利、戚帧婷、翟天文、徐明雪等为本书做了部分计算及绘图工作,在此对他们表示衷心的感谢!

本书第2版可能会存在新的不足和谬误,欢迎读者批评指正。

编 者

2018年1月

本书是根据新颁布的房屋建筑工程国家标准以及《土木工程专业规范》的规定而编写的。书中介绍了房屋建筑工程中混凝土结构的设计方法,包括概论、混凝土梁板结构、单层工业厂房混凝土结构、混凝土框架结构等,内容侧重于混凝土结构的整体设计,与《混凝土结构基本原理》(重庆大学出版社,2011年10月)一书配套使用。本书是高等学校土木工程专业本科生的主干课程教材,亦可作为本专业大專生的教学用书,并可供从事实际工作的建筑结构设计人员参考使用。

前 言

(第 1 版)

本书是根据新颁布的房屋建筑工程国家标准以及《土木工程专业规范》的规定而编写的。书中介绍了房屋建筑工程中混凝土结构的设计方法,包括概论、混凝土梁板结构、单层工业厂房混凝土结构、混凝土框架结构等,内容侧重于混凝土结构的整体设计,与《混凝土结构基本原理》(重庆大学出版社,2011年10月)一书配套使用。本书是高等学校土木工程专业本科生的主干课程教材,亦可作为本专业大專生的教学用书,并可供从事实际工作的建筑结构设计人员参考使用。

混凝土结构整体设计主要包括下列内容:选择结构方案和结构体系,进行结构布置;建立结构计算简图,选用合适的结构分析方法;计算作用(荷载)、作用(荷载)效应,并进行作用(荷载)效应组合;构件截面设计及构件间的连接构造等。其中结构方案设计是关键,其合理与否对结构的可靠性和经济性影响很大。为此,书中用较多的篇幅介绍了结构方案设计的主要内容。建立结构计算简图和选用结构分析方法是结构设计的一个重要内容,本书除在各章对不同结构分别论述其计算简图和分析方法外,还在第 1 章集中论述了这个问题,以引起读者对此问题的重视。鉴于读者已在《结构力学》课程中学习了结构分析的一般方法,所以本书仅介绍结构分析的简化分析方法。结构简化分析方法除可用于手算外,其解决问题的思路对培养学生分析问题和解决问题的能力以及创新能力均有帮助,因此本书对各种简化分析方法作了较详细的论述。第 3、4 章均有结构抗震设计内容,编写时将其中的共同部分放在第 1 章,教师授课时可将第 1 章有关的抗震内容与第 3 章一起讲述。

本书着重与理论与实践相结合,力求对基本概念论述清楚,使读者通过对有关内容的学习,熟练地掌握结构分析方法;书中有明确的计算方法和实用设计步骤,力求做到能具体应用;特别是对各主要结构附有完整的工程设计实例,有利于初学者对基本概念的理解和设计方法的掌握。为了便于学习,每章有小结、思考题和习题等内容,这对教学要求、自学理解、巩固深入、熟练掌握都是有益的,能提高教学效果。

本书由西安建筑科技大学梁兴文(第 1 章、3.8~3.10 节、4.8 节)和邓明科(第 4 章)、河南理工大学李艳(第 2 章)以及长安大学李波(第 3 章)编写。由资深教授童岳生先生主审,他提出了许多宝贵意见。研究生车佳玲、党争、尧智平、王英俊和徐洁,为本书绘制了插图。特在此对他们表示深切的感谢。

本书在编写过程中参考了大量国内外文献,引用了一些学者的资料,这在本书末的参考文献中已予列出。

希望本书能为读者的学习和工作提供帮助。鉴于作者水平有限,书中难免有错误及不妥之处,敬请读者批评指正。

编者
2013年10月
(魏 1 亲)

。前已出版而宝殿的《新编土木工程专业工程力学》及《新编土木工程专业工程力学》等书,其内容均与本门专业工程力学,特别是混凝土结构设计,密切相关。本书在编写过程中,参考了这些书的相关内容,特别是《新编土木工程专业工程力学》(魏 1 亲)一书,其内容与本门专业工程力学密切相关。本书在编写过程中,参考了这些书的相关内容,特别是《新编土木工程专业工程力学》(魏 1 亲)一书,其内容与本门专业工程力学密切相关。

。本书在编写过程中,参考了国内外文献,引用了一些学者的资料,这在本书末的参考文献中已予列出。希望本书能为读者的学习和工作提供帮助。鉴于作者水平有限,书中难免有错误及不妥之处,敬请读者批评指正。

。本书在编写过程中,参考了国内外文献,引用了一些学者的资料,这在本书末的参考文献中已予列出。希望本书能为读者的学习和工作提供帮助。鉴于作者水平有限,书中难免有错误及不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

| | | |
|-----|-----------|-----|
| 1.1 | 一般说明 | 1 |
| 1.2 | 混凝土结构设计内容 | 2 |
| 1.3 | 作用及作用效应 | 4 |
| 1.4 | 混凝土结构分析 | 11 |
| 1.5 | 结构设计要求 | 16 |
| 1.6 | 地基承载力验算 | 19 |
| | 本章小结 | 20 |
| | 思考题 | 20 |
| 2 | 混凝土梁板结构 | 21 |
| 2.1 | 概述 | 21 |
| 2.2 | 单向板肋梁楼盖设计 | 26 |
| 2.3 | 双向板肋梁楼盖设计 | 56 |
| 2.4 | 柱支承双向板楼盖 | 72 |
| 2.5 | 装配式混凝土楼盖 | 81 |
| 2.6 | 楼梯 | 85 |
| 2.7 | 悬挑结构 | 94 |
| | 本章小结 | 96 |
| | 思考题 | 96 |
| | 习题 | 97 |
| 3 | 单层厂房结构 | 99 |
| 3.1 | 结构类型和结构体系 | 99 |
| 3.2 | 结构组成及荷载传递 | 100 |
| 3.3 | 结构布置 | 104 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 3.4 | 构件选型与截面尺寸确定 | 113 |
| 3.5 | 排架结构内力分析 | 120 |
| 3.6 | 柱的设计 | 139 |
| 3.7 | 柱下独立基础设计 | 146 |
| 3.8 | 装配式单层钢筋混凝土柱厂房的抗震概念设计 | 154 |
| 3.9 | 装配式单层钢筋混凝土柱厂房的横向抗震计算 | 156 |
| 3.10 | 装配式单层钢筋混凝土柱厂房的纵向抗震计算 | 162 |
| 3.11 | 单层厂房排架结构设计实例 | 168 |
| | 本章小结 | 207 |
| | 思考题 | 208 |
| | 习题 | 209 |
| 4 | 混凝土框架结构 | 211 |
| 4.1 | 多、高层建筑混凝土结构概述 | 211 |
| 4.2 | 框架结构的结构方案设计 | 215 |
| 4.3 | 框架结构的计算简图及荷载计算 | 220 |
| 4.4 | 竖向荷载作用下框架结构内力的近似计算 | 224 |
| 4.5 | 水平荷载作用下框架结构内力和侧移的近似计算 | 227 |
| 4.6 | 荷载组合的效应设计值及构件设计 | 241 |
| 4.7 | 框架结构的构造要求 | 244 |
| 4.8 | 框架结构的抗震设计 | 247 |
| 4.9 | 框架结构的基础 | 260 |
| 4.10 | 设计实例 | 267 |
| | 本章小结 | 303 |
| | 思考题 | 304 |
| | 习题 | 304 |
| | 附录 | 307 |
| | 附表 1 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数表 | 307 |
| | 附表 2 双向板计算系数表 | 314 |
| | 附表 3 风荷载特征值 | 319 |
| | 附表 4 5~50/5 t 一般用途电动桥式起重机基本参数和尺寸系列 (ZQ1—62) | 323 |
| | 附表 5 钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距(m) | 324 |
| | 附表 6 I 形截面柱的力学特性 | 325 |
| | 附表 7 框架柱反弯点高度比 | 326 |
| | 参考文献 | 336 |



混凝土结构设计概论

本章导读:

- **基本要求** 了解混凝土结构设计的基本内容以及结构分析的基本原则和分析模型;掌握结构方案设计的内容和原则、5种结构分析方法的基本概念和适用范围、风荷载和地震作用计算方法以及结构设计要求。
- **重点** 结构方案设计的内容和原则;5种结构分析方法的基本概念和适用范围;风荷载和地震作用计算方法。
- **难点** 混凝土结构分析模型;地震作用计算方法。

1.1 一般说明

混凝土结构是以混凝土为主要材料制成的结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、混合结构及配置各种纤维的混凝土结构等。

素混凝土一般用于基础、重力式挡土墙、支墩、地坪等主要承受压力的结构。钢筋混凝土可用于承受压力、拉力、弯矩、剪力 and 扭矩等各种受力形式的构件或结构。由于预应力混凝土具有抗裂性好、刚度大和强度高特点,故一般用于制作跨度大、荷载重以及有抗裂、抗渗等要求的构件或结构。

钢-混凝土组合结构是由型钢和混凝土或钢筋混凝土相组合而共同工作的一种结构形式,兼有钢结构和钢筋混凝土结构的一些优点。钢管混凝土结构、型钢混凝土组合结构、钢-混凝土组合梁等是典型和应用广泛的组合结构形式。

混合结构是由钢框架(框筒)或型钢混凝土框架(框筒)或钢管混凝土框架(框筒)与混凝土核心筒组成的结构,是目前高层特别是超高层建筑结构的主要结构形式,如上海中心(高632 m)和深圳平安金融中心(高648 m)等均为混合结构。

纤维混凝土结构是指在普通混凝土中掺入适当的各种纤维材料而形成纤维增强混凝土,其

抗拉、抗剪、抗折强度和抗裂、抗冲击、抗疲劳、抗震和抗爆等性能均有较大提高,因而在抗爆、抗冲击、抗震等结构中得到较大发展和应用。

单层混凝土建筑结构主要用于单层工业厂房、仓库、影剧院、体育馆等单层空旷房屋,这种结构一般由屋盖和钢筋混凝土柱组成,根据房屋的功能不同和跨度大小,屋盖可采用钢筋混凝土梁板结构、拱或薄壳、折板以及钢筋混凝土屋架或钢屋架等。

多层建筑混凝土结构是指 2~9 层或房屋高度不大于 28 m 的住宅和房屋高度不大于 24 m 的其他民用建筑结构。除上述单层、多层混凝土建筑结构外,其余为高层建筑混凝土结构。多、高层建筑的竖向承重混凝土结构可采用框架、板柱、剪力墙、框架-剪力墙、板柱-剪力墙和筒体等结构体系。

在多、高层建筑结构中,楼盖或屋盖基本上都是钢筋混凝土结构。混凝土结构的基础均采用钢筋混凝土基础。

1.2 混凝土结构设计内容

混凝土结构设计的基本内容包括结构方案设计、结构内力和变形分析、作用效应组合、构件及其连接构造设计以及绘制施工图等。

1.2.1 结构方案设计

结构方案设计是整幢建筑结构设计是否合理的关键,应满足结构受力合理、技术先进以及尽可能达到综合经济技术指标较优的原则要求;在与建筑方案协调时应考虑结构体型(高宽比、长宽比)适当,传力途径和构件布置能够保证结构的整体稳固性,避免因局部破坏引发结构连续倒塌。

结构方案设计主要包括结构体系选择、结构布置和主要构件截面尺寸估算等内容。

(1) 结构体系选择

根据建筑的用途及功能、建筑高度、荷载情况、抗震要求和所具备的物质与施工技术条件等因素选用合理的结构体系。在初步设计阶段,一般须提出两种以上不同的结构方案,然后进行方案比较,综合考虑,选择较优的方案。

(2) 结构布置

在结构体系选择的基础上,选用构件形式和布置,确定各结构构件之间的相互关系和传力路径,主要包括定位轴线、构件布置和结构缝的设置等。结构的平、立面布置宜规则,各部分的质量和刚度宜均匀、连续;结构的传力途径应简捷、明确,竖向构件宜连贯、对齐;宜采用超静定结构,重要构件和关键传力部位应增加冗余约束或有多条传力途径。结构设计时应通过设置结构缝将结构分割为若干相对独立的单元,应根据结构受力特点及建筑尺度、形状、使用功能等要求,合理确定结构缝的位置和构造形式;宜控制结构缝的数量,应采取有效措施减少设缝对建筑功能、结构传力、构造做法和施工可行性等造成的影响,遵循“一缝多能”的设计原则,采取有效的构造措施。

(3) 构件截面尺寸的估算

梁、板等水平构件的截面尺寸一般根据刚度和构造等条件,凭经验确定;柱、墙等竖向构件

的截面尺寸一般根据侧移(或侧移刚度)和轴压比的限值来估算。

1.2.2 结构内力与变形分析

结构分析是指根据已确定的结构方案和结构布置以及构件截面尺寸和材料性能等,确定合理的计算简图和分析方法,进行作用(荷载)计算,通过计算分析准确地求出结构内力和变形,以便根据计算结果进行构件设计。

计算结构上的作用(荷载)是进行结构分析的前提。作用(荷载)计算就是根据建筑结构的实际受力情况计算各种作用(荷载)的大小、方向、作用类型、作用时间等,作为结构分析的主要依据之一。

确定结构计算模型,包括确定结构力学模型、计算简图和采用的计算方法。计算简图是进行结构分析时用以代表实际结构的经过简化的模型,是结构受力分析的基础,计算简图的选择应分清主次,抓住本质和主流,略去不重要的细节,使得所选取的计算简图既能反映结构的实际工作性能,又便于计算。计算简图确定后,应采取适当的构造措施使实际结构尽量符合计算简图的特点。计算简图的选取受较多因素的影响,一般来说,结构越重要,选取的计算简图应越精确;施工图设计阶段的计算简图应比初步设计阶段精确;静力计算可选择较复杂的计算简图,动力和稳定计算可选用较简略的计算简图。

1.2.3 作用(荷载)效应组合

作用(荷载)效应组合是指按照结构可靠度理论把各种作用(荷载)效应按一定规律加以组合,以求得在各种可能同时出现的作用(荷载)作用下结构构件控制截面的最不利内力。通常,对结构在各种单项荷载作用下分别进行分析,得到结构构件控制截面的内力和变形后,根据在使用过程中结构上各种荷载同时出现的可能性,按承载能力极限状态和正常使用极限状态用分项系数与组合值系数加以组合,并选取各自的最不利组合值作为结构构件和基础设计的依据。

1.2.4 结构构件及其连接构造的设计

根据结构荷载效应组合结果,选取对配筋起控制作用的截面不利组合内力设计值,按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行截面的配筋计算和裂缝宽度、变形验算,计算结果尚应满足相应的构造要求。构件之间的连接构造设计就是保证连接节点处被连接构件之间的传力性能符合设计要求,保证不同材料结构构件之间的良好结合,选择可靠的连接方式以及保证可靠传力所采取可靠的措施等。

1.2.5 结构施工图绘制

结构施工图是全部设计工作的最后成果,是进行施工的主要依据,是设计意图最准确、最完整的体现,是保证工程质量的重要环节。结构施工图绘制应遵守一般的制图规定和要求。

1.3 作用及作用效应

1.3.1 一般说明

结构上的作用分为永久作用、可变作用和偶然作用。建筑结构中的屋面、楼面、墙体、梁柱等构件自重以及找平层、保温层、防水层等质量都是永久作用(荷载)。永久荷载标准值可按结构构件的设计尺寸和材料单位体积的自重计算确定。可变作用包括楼、屋面活荷载、雪荷载、风荷载等,其标准值均可按《建筑结构荷载规范》(以下简称《荷载规范》)确定。偶然作用包括强烈地震、爆炸、撞击等引起的作用,其值可按相应的国家标准确定。

本节简要说明风荷载和地震作用的计算方法。

1.3.2 风荷载

1) 作用于承重结构上的风荷载标准值

当计算主要承重结构时,垂直于建筑物表面上的风荷载标准值 w_k (kN/m^2)按下式计算:

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \quad (1.1)$$

式中 w_0 ——基本风压, kN/m^2 ,是指风荷载的基准压力,一般按当地空旷平坦地面上 10 m 高处 10 min 平均的风速观测数据,经概率统计得出 50 年一遇最大值确定的风速,再考虑相应的空气密度,按公式 $w_0 = \rho v_0^2 / 2$ (ρ 为空气密度; v_0 为基本风速)确定的风压;

μ_z ——风压高度变化系数;

μ_s ——风荷载体型系数;

β_z ——高度 z 处的风振系数。

风压高度变化系数是指某类地表上空某高度处的风压与基本风压的比值,该系数取决于地面粗糙度。地面粗糙度分为 A、B、C、D 四类:A 类指近海海面和海岛、海岸、湖岸及沙漠地区;B 类指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇;C 类指有密集建筑群的城市市区;D 类指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。风压高度变化系数可根据房屋计算点的高度和地面粗糙度,由附表 3.1 查得。

当风流动经过建筑物时,会对建筑物的不同部位产生压力或吸力,空气流动还会产生漩涡,会使建筑物局部的压力或吸力增大。实测表明,建筑物表面上的风压分布是很不均匀的,与房屋的体型和尺寸等有关。风荷载体型系数是指建筑物表面所受到的平均风压力或吸力与基本风压的比值,它表示建筑物表面在稳定风压作用下的静态压力分布规律。风荷载体型系数一般都是通过实测或风洞模拟试验的方法确定,《荷载规范》规定:

①房屋与附表 3.2 中的体型类同时,可按附表 3.2 的规定采用。

②房屋与附表 3.2 中的体型不同时,可参考有关资料采用;当无资料时,宜由风洞试验

确定。

③对于重要且体型复杂的房屋,应由风洞试验确定。

风对建筑物的作用是不规则的,风压随风速、风向的紊乱变化而不停地改变。通常把风作用的平均值看成稳定风压或平均风压,实际风压是在平均风压上下波动的。平均风压使建筑物产生一定的侧移,而波动风压使建筑物在该侧移附近左右振动。对于高度较大、刚度较小的建筑,波动风压会产生不可忽略的动力效应,在设计中必须考虑。目前采用增大风荷载的办法来考虑这个动力效应,将风压值乘以风振系数。风振系数是指结构总响应与平均风压引起的结构响应的比值。《荷载规范》规定,对于高度大于 30 m 且高宽比大于 1.5 的房屋,应考虑风压脉动对结构产生顺风向风振的影响。顺风向风振响应计算应按结构随机振动理论进行。对于可仅考虑第一振型影响的竖向悬臂型结构(例如,高层建筑、构架、塔架、烟囱等高耸结构),结构在 z 高度处的风振系数 β_z 按下式计算:

$$\beta_z = 1 + 2gI_{10}B_z\sqrt{1 + R^2} \quad (1.2)$$

式中 g ——峰值因子,可取 2.5;

I_{10} ——10 m 高度名义湍流强度,对应 A、B、C 和 D 类地面粗糙度,可分别取 0.12、0.14、0.23 和 0.39;

R ——脉动风荷载的共振分量因子;

B_z ——脉动风荷载的背景分量因子。

脉动风荷载的共振分量因子按下式计算:

$$R = \sqrt{\frac{\pi}{6\zeta_1} \frac{x_1^2}{(1 + x_1^2)^{4/3}}} \quad (1.3)$$

$$x_1 = \frac{30f_1}{\sqrt{k_w w_0}} \quad (x_1 > 5) \quad (1.4)$$

式中 f_1 ——结构第 1 阶自振频率,Hz;

k_w ——地面粗糙度修正系数,对 A、B、C 和 D 类地面粗糙度,分别取 1.28、1.0、0.54 和 0.26;

ζ_1 ——结构阻尼比,对钢筋混凝土及砌体结构可取 0.05。

对体型和质量沿高度均匀分布的高层建筑,脉动风荷载的背景分量因子按下式计算:

$$B_z = kH^{a_1}\rho_x\rho_z \frac{\phi_1(z)}{\mu_z(z)} \quad (1.5)$$

式中 $\phi_1(z)$ ——结构第 1 阶振型系数,可由结构动力计算确定;对于外形、质量和刚度沿高度分布比较均匀的弯剪型高层建筑,可按《荷载规范》表 G.0.3 取值,也可近似取 $\phi_1(z) = z/H$,其中 z 为计算点到室外地面的高度;

H ——结构总高度,m;

ρ_x ——脉动风荷载水平方向相关系数;

ρ_z ——脉动风荷载竖直方向相关系数;

k, a_1 ——系数,按表 1.1 取值。

表 1.1 系数 k 和 a_1

| 粗糙度类别 | | A | B | C | D |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 高层建筑 | k | 0.944 | 0.670 | 0.295 | 0.112 |
| | a_1 | 0.155 | 0.187 | 0.261 | 0.346 |

脉动风荷载的空间相关系数 ρ_z 和 ρ_x 可按下列规定确定:

① 垂直方向的相关系数 ρ_z :

$$\rho_z = \frac{10\sqrt{H + 60e^{-H/60}} - 60}{H} \quad (1.6)$$

式中, H 为建筑总高度(m), 对 A、B、C 和 D 类地面粗糙度, H 的取值分别不应大于 300 m、350 m、450 m 和 550 m。

② 水平方向的相关系数 ρ_x :

$$\rho_x = \frac{10\sqrt{B + 50e^{-B/50}} - 50}{B} \quad (1.7)$$

式中, B 为结构迎风面宽度(m), $B \leq 2H$ 。

2) 作用于围护结构上的风荷载标准值

当计算围护结构时, 垂直于围护结构表面上的风荷载标准值, 应按下列式计算:

$$w_k = \beta_{gz} \mu_{s1} \mu_z w_0 \quad (1.8)$$

式中, β_{gz} 为高度 z 处的阵风系数, 按附表 3.3 确定。

风力作用在建筑物表面上, 压力分布很不均匀, 在角隅、檐口、边棱处和在附属结构的部位(如阳台、雨篷等外挑构件), 局部风压会超过平均风压。因此, 计算围护构件及其连接的风荷载时, 式(1.8)中的风载体型系数 μ_{s1} 可按下列规定采用:

① 封闭式矩形平面房屋的墙面及屋面可按《荷载规范》表 8.3.3 的规定采用。

② 檐口、雨篷、遮阳板、边棱处的装饰条等突出构件, 取 -2.0。

③ 其他房屋和构筑物可按附表 3.2 规定体型系数的 1.25 倍取值。

另外, 计算围护构件风荷载时, 除应考虑建筑物外部风压力外, 还应考虑由于建筑物洞口等影响而产生的内部压力, 其局部体型系数取值应按《荷载规范》的相关规定采用, 不再赘述。

1.3.3 计算地震作用的基本原则

地震发生时, 对结构既可能产生任意方向的水平作用, 也可能产生竖向作用。一般来说, 水平地震作用是主要的, 但在某些情况下也不能忽略竖向地震作用。我国的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010) (以下简称《抗震规范》) 对此作出如下规定:

① 一般情况下, 应至少在建筑结构的两个主轴方向分别计算水平地震作用, 各方向的水平地震作用应由该方向抗侧力构件承担(如该构件带有翼缘、翼墙等, 尚应包括翼缘、翼墙的抗侧力作用)。

② 有斜交抗侧力构件的结构, 当相交角度大于 15° 时, 应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。这是考虑到地震作用可能来自任意方向, 故要求对有斜交抗侧力构件的结构, 应

考虑对各构件最不利方向的水平地震作用,最不利方向一般为与该构件平行的方向。

③质量和刚度分布明显不对称的结构,应计入双向水平地震作用下的扭转影响;其他情况,应允许采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。这是因为同一建筑单元同一平面内质量、刚度分布不对称,或虽在本层平面内对称,但沿房屋高度方向不对称的结构,地震作用下可能产生明显的扭转效应,使结构产生附加内力,故应考虑扭转影响。

④8度和9度时的大跨度和长悬臂结构及9度时的高层建筑,应计算竖向地震作用。震害表明,地震烈度为8度时,跨度大于24m的屋架、2m以上的悬挑阳台和走廊等震害严重;9度或9度以上时,跨度大于18m的屋架、1.5m以上的悬挑阳台和走廊等震害严重甚至倒塌;对于较高的高层建筑,其竖向地震作用产生的轴力在结构上部是不可忽略的。因此,对上述情况下的结构,应计算其竖向地震作用。

1.3.4 计算地震作用的反应谱法

根据大量的强震记录,求出结构在不同自振周期或频率时的地震最大反应,取这些反应的包线,称为反应谱。以反应谱为依据进行抗震设计,则结构在这些地震记录为基础的地震作用下是安全的,故称反应谱法。利用反应谱,可很快求出各种地震干扰下的反应最大值。

用反应谱法计算结构的地震反应,应解决两个主要问题:计算建筑的重力荷载代表值;根据结构的自振周期确定相应的地震影响系数。

1) 重力荷载代表值

重力荷载代表值是指结构和构配件自重标准值和各可变荷载组合值之和,是表示地震发生时根据耦合概率确定的“有效重力”。各可变荷载的组合值系数,应按表1.2采用。

表 1.2 可变荷载的组合值系数

| 可变荷载种类 | | 组合值系数 |
|---------------------|---------|-------|
| 雪荷载 | | 0.5 |
| 屋面积灰荷载 | | 0.5 |
| 屋面活荷载 | | 不计入 |
| 按实际情况计算的楼面活荷载 | | 1.0 |
| 按等效均布荷载 计算的楼面活荷载 | 藏书库、档案库 | 0.8 |
| | 其他民用建筑 | 0.5 |
| 吊车悬吊物重力 | 硬钩吊车 | 0.3 |
| | 软钩吊车 | 不计入 |

注:硬钩吊车的吊重较大时,组合值系数宜按实际情况采用。

2) 地震影响系数

地震影响系数 α 是单质点弹性体系的绝对最大加速度与重力加速度的比值,它除与结构自振周期有关外,还与结构的阻尼比等有关。根据地震烈度、场地类别、设计地震分組和结构自振周期以及阻尼比的不同,地震影响系数 α 按图1.1采用。图1.1所示的曲线就是以结构自振周期为横坐标、地震影响系数 α 为纵坐标的反应谱曲线,或简称为 α 反应谱曲线。现对该曲线说