



普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材



混凝土及砌体结构

主编 武永彩 孙晓倩 侯志成



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

混凝土及砌体结构

主 编 武永彩 孙晓倩 侯志成
副主编 黄倩倩



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

混凝土及砌体结构/武永彩,孙晓倩,侯志成主编. —武汉:武汉大学出版社,2019.6

普通高等教育“十二五”规划教材.普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

ISBN 978-7-307-20734-9

I.混… II.①武… ②孙… ③侯… III.①混凝土结构—高等学校—教材 ②砌体结构—高等学校—教材 IV.①TU37 ②TU36

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第026567号

责任编辑:方竞男

责任校对:李嘉琪

装帧设计:范英

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮箱:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:北京虎彩文化传播有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:14.75 字数:401千字

版次:2019年6月第1版 2019年6月第1次印刷

ISBN 978-7-307-20734-9

定价:45.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前言

西安思源学院土木工程专业的混凝土及砌体结构是陕西省精品资源共享课。本书作为其教学成果,是依据高等学校土木工程指导委员会制定的“土木工程专业”技术类课程中的混凝土结构教学大纲,并结合培养实践应用型人才的实际要求编写而成的,旨在为土木工程专业提供一部主干技术基础课程的教材,并从市场需求和教学实际出发为社会培养具有“关键能力”的技术人才。通过学习本书的内容,学生应掌握各类混凝土结构及砌体结构的基本知识、基本原理、基本技能,并具有从事混凝土结构构件、砌体结构的设计和识图能力。

本书依据我国《混凝土结构设计规范(2015年版)》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图(现浇混凝土框架、剪力墙、梁、板)》(16G101-1)、《建筑抗震设计规范(2016年版)》(GB 50011—2010)及其他相应标准编写而成。

混凝土结构是由一些基本构件组成的,例如受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件、预应力混凝土构件等。本书主要介绍混凝土结构构件、砌体结构的受力性能和设计计算方法,包括钢筋混凝土材料的基本性能、基本构件的性能分析、设计计算、构造措施和构件性能分析;砌体的主要构件如圈梁、挑梁、过梁及砌体的主要构造要求,混合结构房屋墙和柱的设计等内容。本书在讲述理论的同时,注重理论与实践的结合,针对每个知识点给出了相应的计算例题,以增强学生的理解能力。同时,本书附录附有相应构件施工图纸,以提高学生实践中的识图能力。

本书由西安思源学院土木工程系武永彩、孙晓倩、侯志成担任主编,黄倩倩担任副主编,李媛、王思怡、孙召英担任参编。具体编写分工为:第1、2章由孙召英编写;第3章由孙晓倩编写;第4章由武永彩编写;第5章由黄倩倩编写;第6章由王思怡编写;第7章由侯志成编写;第8章由李媛编写。

在本书编写过程中,得到了西安思源学院的鼎力支持,同时参阅了较多的文献资料,在此谨向西安思源学院和这些文献的作者致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不妥或疏忽之处,敬请读者批评指正。

编者

2019年1月

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导模式转变为建设性、发现性的学习,从被动学习转变为主动学习,由教师传播知识到学生自己重新创造知识。这无疑锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,逐步配备基本数字教学资源,主要包括:

文本:课程重难点、思考题与习题参考答案、知识拓展等。

图片:课程教学外观图、原理图、设计图等。

视频:课程讲述对象展示视频、模拟动画,课程实验视频,工程实例视频等。

音频:课程讲述对象解说音频、录音材料等。

数字资源获取方法:

- ① 打开微信,点击“扫一扫”。
- ② 将扫描框对准书中所附的二维码。
- ③ 扫描完毕,即可查看文件。

更多数字教学资源共享、图书购买及读者互动敬请关注“开动传媒”微信公众号!



目录

1 绪论	(1)
1.1 混凝土结构概述	(2)
1.2 混凝土结构的发展及应用概况	(4)
1.3 学习本课程应注意的问题	(5)
知识归纳	(6)
思考题	(7)
2 混凝土结构设计方法	(8)
2.1 极限状态设计方法的基本概念	(9)
2.2 概率极限状态设计方法	(13)
知识归纳	(17)
思考题	(17)
3 受弯构件	(18)
3.1 梁板的受力状态和基本构造	(19)
3.2 受弯构件正截面的受力特性	(23)
3.3 受弯构件正截面受弯承载力计算	(28)
3.4 受弯构件斜截面承载力计算	(38)
3.5 楼盖	(45)
3.6 梁板的平法施工图识读	(48)
3.7 实践教学:识读钢筋混凝土框架结构梁、板平法施工图	(53)
知识归纳	(54)
思考题	(54)
计算题	(55)
4 受压构件	(56)
4.1 受压构件的基本知识	(57)
4.2 轴心受压构件	(59)
4.3 偏心受压构件	(64)
4.4 柱	(85)
知识归纳	(91)
思考题	(91)
计算题	(92)
5 受拉构件及预应力结构	(93)
5.1 受拉构件	(94)

5.2 预应力混凝土结构基本知识	(99)
5.3 预应力混凝土构件施工工艺	(108)
5.4 预应力损失	(111)
知识归纳	(123)
思考题	(124)
6 受扭构件	(125)
6.1 概述	(126)
6.2 矩形截面纯扭构件的受扭承载力计算	(129)
6.3 矩形截面复合受扭构件承载力计算	(134)
知识归纳	(139)
思考题	(140)
计算题	(140)
7 框架、剪力墙结构	(141)
7.1 高层建筑结构的基本知识	(142)
7.2 框架结构的基本知识	(144)
7.3 剪力墙及短肢剪力墙结构	(153)
7.4 短肢剪力墙结构	(161)
7.5 一榀框架结构恒荷载计算实例	(163)
知识归纳	(174)
思考题	(175)
计算题	(175)
8 砌体结构	(177)
8.1 砌体结构的基本知识	(178)
8.2 圈梁、过梁、挑梁及砌体结构的构造措施	(188)
8.3 砌体构件承载力的计算	(196)
8.4 混合结构房屋墙和柱的设计	(202)
知识归纳	(208)
思考题	(209)
计算题	(209)
附录 1	(211)
附录 2	(221)
参考文献	(228)



数字资源目录

绪 论

课前导读

内容提要

本章主要介绍了混凝土结构的一般概念及优缺点，重点阐述了性质不同的两种材料(钢筋和混凝土)共同工作的原理，简要介绍了钢筋混凝土结构在工程中的应用及发展前景，并对混凝土结构课程的特点及学习方法提出了建议。

知识目标

了解混凝土结构的一般概念，钢筋混凝土结构在工程中的应用及发展前景；掌握混凝土结构的优缺点，钢筋和混凝土共同工作的原理。

能力目标

通过本章的学习，学生应该对钢筋混凝土结构有一定的认识，对本课程的特点也有一定的了解，并具有认识和鉴别钢筋混凝土结构与构件的能力。

学习方法

根据本章内容，学生应该重视对实验的观察、对钢筋混凝土构件的观察等实践教学环节，扩大知识面。

数字资源



本章微课

1.1 混凝土结构概述

1.1.1 混凝土结构的定义

混凝土结构是指以混凝土为主要材料制作的结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构及钢管混凝土结构。

(1) 素混凝土结构

素混凝土结构是由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构,在建筑工程中一般只用作基础垫层或室外地坪。

(2) 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构是由钢筋、混凝土两种力学性能不同的材料组成共同受力的结构。混凝土的抗压强度较高,而抗拉强度却很低,一般仅为抗压强度的 $1/20 \sim 1/8$,并且混凝土在荷载作用下具有明显的脆性破坏。钢筋的抗拉强度和抗压强度都较高,在荷载作用下,显示出良好的变形性能,但不能单独承受压力荷载。将混凝土和钢筋科学、合理地结合在一起形成钢筋混凝土,就可以充分发挥它们的性能优势,明显提高结构或构件的承载能力和变形能力。如图 1-1 所示,素混凝土梁和钢筋混凝土梁的截面尺寸、跨度及荷载相同,混凝土强度等级均为 C20。试验结果表明,当 $P=8 \text{ kN}$ 时,素混凝土梁即发生断裂破坏,并且破坏是突然发生的,无明显预兆。而钢筋混凝土梁破坏前的变形和裂缝都很充分,呈现出明显的破坏预兆,且破坏荷载提高到 36 kN 。

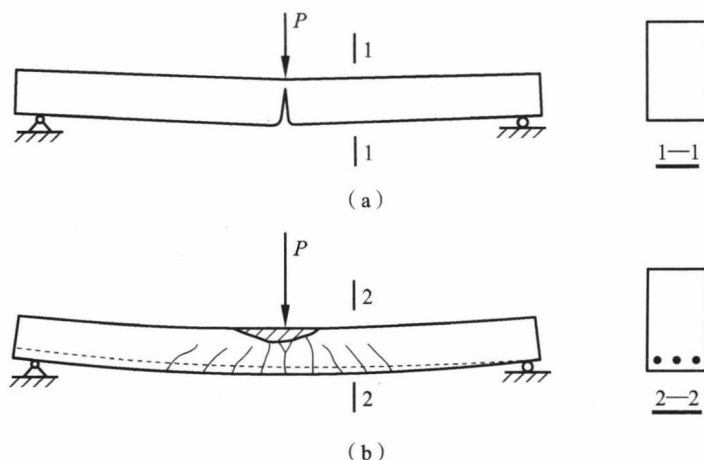


图 1-1 素混凝土梁与钢筋混凝土梁的破坏比较

(a) 素混凝土梁; (b) 钢筋混凝土梁

(3) 预应力混凝土结构

由于混凝土的抗拉强度和抗拉极限应变很小,钢筋混凝土结构在正常的荷载作用下一般是带裂缝工作的,这是钢筋混凝土结构最主要的缺点。为了克服这一缺点,可在结构承受荷载之前,在荷载作用下可能开裂的部位,预先人为地施加压应力,以抵消或减少外荷载产生的拉应力,以使构件在正常的荷载作用下不开裂,或者延迟开裂,从而达到减少裂缝宽度的目的,这种结构称为预应力混凝土结构。

(4) 钢管混凝土结构

钢管混凝土,即在薄壁钢管内填充普通混凝土,将两种不同性质的材料组合而形成的复合结构,它是将钢管结构和钢筋混凝土结构的优点结合在一起而发展起来的新型结构。钢管混凝土结构能够更有效地发挥钢材和混凝土两种材料各自的优点,同时克服钢管结构容易发生局部屈曲的缺点。

1.1.2 钢筋混凝土结构的主要优缺点

钢筋混凝土结构是混凝土结构中应用最多的一种,也是应用最广泛的建筑结构形式之一。它不但被广泛应用于多层与高层住宅、宾馆、写字楼、教学楼,以及单层与多层工业厂房等民用与工业建筑中,而且应用于道路桥梁、码头、水塔、烟囱、核反应堆等特种结构中。钢筋混凝土结构之所以应用得如此广泛,主要是因为它具有如下优点。

(1) 合理用材

钢筋混凝土结构合理地利用了钢筋和混凝土两种不同材料的受力性能,使混凝土和钢筋的强度得到了充分的发挥,特别是预应力混凝土应用以后,在更大的范围内取代了钢结构,降低了工程造价。

(2) 耐久性好

与钢结构相比,钢筋混凝土结构有较好的耐久性,它不需要经常的保养与维护。在钢筋混凝土结构中,钢筋被混凝土包裹而不致锈蚀;另外,混凝土的强度还会随时间增长而略有提高,故钢筋混凝土有较好的耐久性。而且对于在有侵蚀介质存在的环境中工作的钢筋混凝土结构,可根据侵蚀的性质合理地选用不同品种的水泥,从而达到提高耐久性的目的。

(3) 耐火性好

相对钢结构和木结构而言,钢筋混凝土结构具有较好的耐火性。在钢筋混凝土结构中,由于混凝土耐热性能好而钢筋包裹在混凝土里面受到保护,火灾时钢筋不至于受热过快达到流塑状态使结构整体破坏。

(4) 整体性好

相对砌体结构而言,钢筋混凝土结构具有较好的整体性,适用于抗震、抗爆结构。另外,钢筋混凝土结构刚性较好,受力后变形小。

(5) 就地取材

混凝土所用的砂、石料可就地取材。另外,可以将工业废料如矿渣、粉煤灰用于混凝土中。

(6) 可模性好

可根据建筑、结构等方面的要求将钢筋混凝土结构浇筑成各种形状和尺寸。

钢筋混凝土结构除了具有以上优点外,也存在一些缺点,主要包括结构自重大,抗裂性能差,现浇的钢筋混凝土结构费工时较多,且施工受季节气候条件的限制,模板耗费量大等。但随着技术的不断发展,这些缺点可以逐渐被克服。例如,采用轻质、高强的混凝土,可克服自重大的缺点;采用预应力混凝土,可改善易开裂的缺点;采用预制构件,可减少工时、缩短工期。

1.1.3 钢筋混凝土中配筋的作用

素混凝土梁在集中荷载作用下具有以下受力特点:

① 梁的上截面受压、下截面受拉;

② 当梁的跨中截面受拉区边缘拉应力达到混凝土的抗拉强度时,下部混凝土很快开裂,梁就会突然发生断裂破坏,如图 1-1(a)所示,破坏无明显预兆,属于脆性破坏,梁的承载力很低。梁的开

裂荷载 P_{cr} 和破坏荷载 P_u 基本相等。

③ 梁在破坏时上部受压区产生的压应力远小于混凝土的抗压强度,混凝土的抗压性能未被充分利用。

而如果在受拉区配置适量的受拉钢筋,形成钢筋混凝土构件,构件受力就会显示出另一种新的受力情况。如图 1-1(b)所示,当荷载达到 P_{cr} 时,梁的受拉区出现裂缝,但并未破坏,受拉区拉力转由钢筋承担。荷载继续增加,受拉钢筋首先屈服,裂缝进一步向上扩展延伸。因受压区混凝土达到抗压强度被压碎,梁随即破坏。

破坏荷载 P_u 明显高于开裂荷载 P_{cr} ,两种材料的强度均得到充分的利用,具有明显的破坏预兆,属于延性破坏。

由此可见,将这两种性能极不相同的材料结合在一起共同工作,发挥各自抗拉、抗压强度的优点,就会使梁具有较高的承载能力和较好的经济效益。

1.1.4 钢筋与混凝土能够结合在一起共同工作的主要原因

① 钢筋和混凝土两种材料的线膨胀系数相近。钢材的线膨胀系数为 $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,混凝土的线膨胀系数为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。当温度变化时,两种材料不会产生较大的相对变形,而使两种材料之间的黏结受到破坏。

② 钢筋混凝土结构中的钢筋和混凝土之间有咬合作用而产生黏结力,黏结力的存在使二者结合为整体,在荷载的作用下能共同工作,协调变形。

③ 混凝土包裹在钢筋的外部,可使钢筋免于腐蚀或高温软化。

1.2 混凝土结构的发展及应用概况

1.2.1 材料的发展

目前,随着材料技术的不断进步,钢筋和混凝土均向高强度发展。

对于钢筋的发展,《钢筋混凝土用钢 第2部分热轧带肋钢筋》(GB/T 1499.2—2018)中,取消了 335 MPa 级钢筋,增加了 600 MPa 级钢筋,形成了 400 MPa、500 MPa、600 MPa 强度系列级别。对长度允许偏差、重量允许偏差标准都适当加严,该标准整体水平达到了国际先进水平,这些都对推广与应用高强度带肋钢筋、促进节能减排具有重大意义。国外预应力钢筋则趋向于采用高强度、大直径、低松弛钢材,如热轧钢筋的屈服强度达到 $600 \sim 900 \text{ N/mm}^2$ 。

对于混凝土的发展,工程上已开始使用 C80~C100 强度等级的混凝土,而试验室配置出的最高强度已达 266 N/mm^2 。为了减轻自重,各国都在发展各种轻质混凝土,如加气混凝土、陶粒混凝土等,其重力密度一般为 $14 \sim 18 \text{ kN/m}^3$,强度可达 50 N/mm^2 。为了改善混凝土的工作性能,国内外正在研究和应用在混凝土中加入掺合料以满足各种工程的特定要求,如纤维混凝土、聚合物混凝土等。

1.2.2 计算理论的发展

从计算理论上,最初混凝土结构的内力计算和截面承载力设计都是按照弹性方法进行的。到了 20 世纪 30 年代,截面设计方法由弹性算法改进为按破损阶段算法。20 世纪 50 年代,随着对钢筋混凝土的进一步研究和生产经验的积累,以及将数理统计方法用于结构设计中,于是出现

了极限状态设计法。

我国在 20 世纪 50 年代初期,钢筋混凝土的计算理论由按弹性方法的允许应力的计算法过渡到考虑材料塑性的按破损阶段设计法。随着科学研究的深入和经验的积累,于 1966 年颁布了按多系数极限状态计算的设计规范《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG 21—1966),1970 年起又提出了单一安全系数极限状态设计法,并于 1974 年正式颁布了《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—1974),1991 年我国又颁布了近似全概率的可靠度极限状态设计法的国家规范《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—1989),2002 年又发布全面修改后的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002),而现行的《混凝土结构设计规范(2015 年版)》(GB 50010—2010)(以下简称《规范》)则修改了正常使用极限状态验算的有关规定。

1.2.3 混凝土结构在土木工程中的应用概况

混凝土结构在 19 世纪初期开始得到应用,它与石、砖、木、钢结构相比是相当年轻的。而后生产的需要,促进了人们对钢筋混凝土性能实验的发展、计算理论的探讨和施工方法的改进。进入 20 世纪以后,混凝土结构在土木工程各个领域取得了飞速的发展和广泛的应用。到 1920 年就已先后建造了许多混凝土建筑物、桥梁、码头和堤坝。20 世纪 30 年代,钢筋混凝土开始应用于空间结构,如薄壳、折板,其间,预应力混凝土结构也得到了广泛的研究与应用。第二次世界大战以后,重建城市的任务十分繁重,必须加快建设速度,于是加快了钢筋混凝土结构工业化施工方法的发展,工厂生产的预制构件也得到了较广泛的应用。

目前,随着混凝土和钢筋材料强度不断提高,钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构已应用到土木工程的各个领域,应用范围也在不断向大跨和高层发展,成为一种主要的土木工程结构。图 1-2 所示的上海环球金融中心,其结构为钢筋混凝土结构(SRC 结构)与钢结构。其地上 101 层,地面以上高度为 492 m。它具有世界上最高的观景台、一个五星级豪华旅馆,以及零售空间。同时,上海环球金融中心的楼板高度也超越了台北 101 大楼。

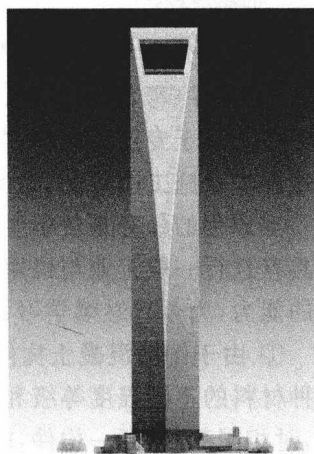


图 1-2 上海环球金融中心

1.3 学习本课程应注意的问题

1.3.1 课程特点

混凝土及砌体结构是一门综合性较强的应用科学。其发展需综合运用数学、力学、材料科学和施工技术成就,并涉及许多领域,以建立自己完整的设计理论、结构体系和施工技术。近年来,电子计算机技术及现代化的测试技术等新的科学技术成就被逐渐应用于钢筋混凝土学科的研究,促使这门学科的面貌发生了巨大的变化,并逐渐向新的更高的阶段发展,这也决定了我们学习和研究的方向。

1.3.2 与先修课程之间的联系

本课程应在修完材料力学、建筑材料、荷载与结构设计方法等课程的基础上进行学习。这些课

程与本课程有必然的联系,但也有很大的不同。例如,我们所学过的材料力学是研究线弹性基本构件内力和变形问题,而混凝土及砌体结构是一门非线性复合材料力学,既有材料非匀质、非线性问题,又有两种材料的复合问题。原来在材料力学中学过的各种解决问题的思路可以借鉴,而计算理论和计算公式不能照搬,但可以互相对比以加深理解。

由于混凝土受力的复杂性,目前还没有建立比较完整的混凝土强度理论。钢筋混凝土结构和构件是由两种材料组合而成,其受力性能受材料内部组成和外部因素(荷载、环境等)影响,因此,钢筋混凝土构件的计算理论和计算公式有很多是根据实验研究得出的半理论半经验公式,初学者往往不易接受。它不像学习高等数学、材料力学、结构力学等课程,其计算原理和计算公式是根据较系统而严密的数学、力学逻辑运算推导而得出。本课程学习时会感到“理论性不强、影响因素太多、杂乱而抓不住重点”。因此,学习时要特别注意,由于钢筋混凝土构件的计算公式是建立在实验基础上的,故它的适用范围和条件尤为重要。

1.3.3 课程任务

本课程分为“基本构件”和“结构设计”两部分。其中,“基本构件”部分包括基本理论、设计方法、各类构件(弯、剪、压、拉、扭)的受力性能、受力计算和配筋构造,是学习结构设计的基本知识,它在性质上属于专业基础课;“结构设计”部分包括梁板结构、单层厂房和砌体结构的设计计算方法、构造要求及施工图绘制,是实践性很强的专业课。

本课程的任务是使学生掌握混凝土结构及砌体结构的基本概念、基本理论和基本技能,从而初步具有进行一般工业与民用建筑结构的设计能力,分析和处理施工及使用中出现的一般性结构问题的能力,为今后继续学习、适应科学技术发展奠定理论基础。

① 由于钢筋混凝土构件是由混凝土和钢筋两种力学性能相差很大的材料所组成,故存在选定两种材料的不同强度等级和两种材料所用数量的配比问题,而这种配比可由设计者自行确定。因此,对相同荷载、同一构件,就可以设计出多个均能满足使用要求的结果,也即问题的解答不是唯一的。这和数学、力学习题的解答不相同。正是由于材料的配比具有选择性,因此,当比值超过了一定的范围,就会引起构件受力性能的改变。为了防止构件出现非预期的破坏状态,往往对钢筋混凝土构件的计算公式规定出它们的适用条件,有时还规定某些构造措施来保证,故在学习时不能忽视这些规定。

② 钢筋混凝土结构是一门综合性的应用学科,需要满足安全、适用、经济以及施工方便等方面的要求。这些要求一方面可通过分析计算来满足,另一方面应通过各种构造等来保证。

这些构造措施或是计算模型误差的修正,或是实验研究的成果,或是长期工程实践经验的总结,它们与分析计算同为本学科中重要的组成部分。学习时对构造要求应加强理解,通过反复应用来掌握。

③ 本课程是实践性很强的一门学科,学习时除阅读教材外,还应了解有关规范,完成有关习题和课程设计,并认真进行设计计算和绘制必要的配筋图。通过实践,熟悉设计方法和构造措施。

【知识归纳】

(1) 混凝土结构是以混凝土为主要材料制成的结构。这种结构充分发挥了钢筋和混凝土两种材料各自的优点。在混凝土中配置适量的钢筋后,可使构件的承载力大大提高,构件的受力性能也得到显著改善。

(2) 钢筋和混凝土两种材料能够有效地结合在一起共同工作,主要基于三个条件:钢筋与混凝土之间存在黏结力,两种材料的线膨胀系数很接近,混凝土对钢筋起保护作用。这是钢筋混凝土结构得以实现并获得广泛应用的根本原因。

(3) 混凝土结构有很多优点,也存在一些缺点。应通过合理设计,发挥其优点,克服其缺点。

(4) 本课程主要讲述混凝土结构构件的设计原理,与材料力学既有联系又有区别,学习时应注意比较。

【思考题】

- 1-1 钢筋和混凝土的受力性能有何不同?为什么它们能共同工作?
- 1-2 钢筋在混凝土结构构件中主要起哪些作用?
- 1-3 混凝土结构如何分类?
- 1-4 钢筋混凝土结构主要有哪些优点和缺点?
- 1-5 本课程有哪些主要特点?



习题与
参考答案

混凝土结构设计方法

课前导读

□ 内容提要

本章主要介绍以概率理论为基础的极限状态设计法的基本概念,包括作用、作用效应、结构抗力、结构可靠度、可靠概率和失效概率、结构的可靠指标、荷载代表值和材料强度代表值等。在此基础上,介绍了具体设计时采用的极限状态分类、承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计计算方法、结构分析的一般概念。

□ 知识目标

了解结构上的作用、作用效应和结构抗力的概念及其随机特性,混凝土结构设计方法的理论基础——可靠度理论;掌握我国规范的设计方法——概率极限状态设计法。

□ 能力目标

通过本章的学习,学生应该初步具备对多种因素进行综合分析的能力。

□ 学习方法

根据本章学习内容,学生应该在理解的基础上采用对比分析法,在掌握基本理论的基础上分析其与材料力学不同的地方,并要注意难点、抓住重点。

□ 数字资源



2.1 极限状态设计方法的基本概念

2.1.1 结构的功能要求(结构的可靠性)

结构设计的目的,是所设计的结构能满足各种预定的功能要求,建筑结构应具备以下功能要求。

(1) 安全性

建筑结构在正常施工和正常使用时应能承受可能出现的各种荷载、外加变形、约束变形的作用,以及在偶然事件(如地震)发生时和发生后能保持结构必需的整体稳定性,不发生坍塌。

(2) 适用性

建筑结构在正常使用时,应能满足预定的使用要求,如不发生影响正常使用的变形和裂缝。

(3) 耐久性

建筑结构在正常维护下,材料性能虽随时间变化,但仍能满足预定功能要求。如不会由于保护层碳化或裂缝宽度开展过大导致钢筋锈蚀,混凝土不会严重风化、老化、腐蚀而影响结构的使用寿命。

结构的安全性、适用性和耐久性统称为结构的可靠性,即结构在规定的时间内、规定的条件下完成预定功能的能力。

2.1.2 设计基准期与设计使用年限

设计基准期是为确定可变作用及与时间有关材料性质等取值而选用的时间参数。《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)采用的设计基准期为50年。

设计使用年限为设计规定的结构或构件不需要进行大修即可按其预定目的使用的时期。设计使用年限可按《建筑结构可靠性设计统一标准》(GB 50068—2018)确定,也可按业主要求确定。如安全等级为二级的房屋建筑结构设计使用年限为50年。各类工程结构设计使用年限往往是不一致的,如桥梁的设计使用年限一般比房屋建筑长,大坝的设计使用年限则更长。

注意:结构的设计使用年限虽与其使用寿命有联系,但不等同。超过设计使用年限的结构并不是不能使用,而是它的可靠度降低了。

2.1.3 结构的极限状态

结构设计中,结构的可靠性是用结构的极限状态来判断的。若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的要求,则此特定状态就称为该功能的极限状态,也就是结构濒于失效的一种状态。极限状态可分为两类:承载能力极限状态和正常使用极限状态。

(1) 承载能力极限状态

承载能力极限状态是指结构或构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形状态。当超过承载能力极限状态后,结构或构件就不能满足安全性的要求,这关系生命、财产的安危,应严格控制出现这种极限状态的可能性。

当结构或结构构件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

正常使用极限状态是指结构或构件达到正常使用或耐久性能中某项规定限值的状态。当超过正常使用极限状态后,结构或构件就不能满足适用性和耐久性的要求。例如:

- 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损坏(包括裂缝);
- ③ 影响正常使用的振动;
- ④ 影响正常使用的其他特定状态。

砌体结构应按承载能力极限状态设计,并满足正常使用极限状态的要求。根据砌体结构的特点,砌体结构正常使用极限状态的要求,一般情况下可由相应的构造措施来保证。

2.1.4 结构上的作用、作用效应、结构的抗力

2.1.4.1 结构上的作用

结构上的作用是指施加在结构上的集中或分布荷载,以及引起结构外加变形或约束变形的原因。前者称为直接作用(习惯上称为荷载),后者称为间接作用(如地基变形、混凝土收缩、徐变、温度变化或地震等引起的作用)。

① 《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)将结构上的荷载分为以下三类。

a. 永久荷载(恒荷载)。

在结构使用期间,其值不随时间变化,或变化与平均值相比可以忽略不计,或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。

b. 可变荷载(活荷载)。

在结构使用期间,其值随时间变化,且变化与平均值相比不可以忽略不计的荷载。例如,楼面活荷载、屋面活荷载和积灰荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载等。

c. 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很短的荷载。例如,爆破力、撞击力。

② 荷载的代表值。

在结构设计时,应根据不同极限状态的要求计算荷载效应。《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)对不同的荷载给予了相应的规定量值,荷载的这种量值,称为荷载的代表值。不同荷载在不同的极限状态下,应采用不同的荷载代表值。永久荷载以其标准值作为代表值;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。

a. 永久荷载的标准值。

一般材料和构件的单位自重可取其平均值,对于自重变异较大的材料和构件,自重的标准值应根据对结构的不利状态取上限值或下限值。