

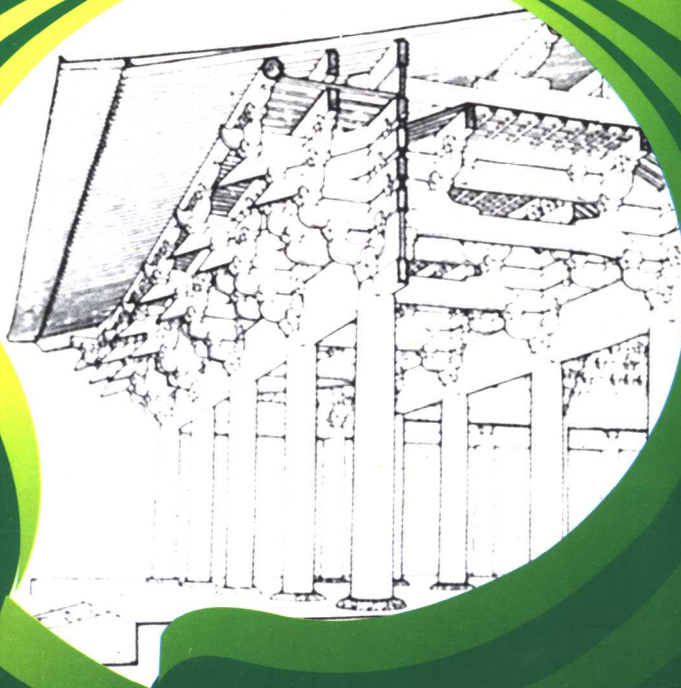
Architectural Structure

建筑结构

(上册)

陈 蓓 林 茂 主 编
陈 鹏 副主编

上海交通大学出版社



建 筑 结 构

(上册)

陈 蓓 林 茂 主 编
陈 鹏 副主编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书根据国家建设部高职高专土建类专业指导委员会的基本要求及有关最新规范编写,力求体现高职高专教育的特点。全书分为上、下两册。上册主要内容是建筑结构的计算理论、混凝土结构;下册主要内容是砌体结构、钢结构、建筑结构抗震和结构施工图。本书较全面地将不同材料组成的建筑结构的计算理论和方法进行整合,同时增加结构施工图部分,突出高职教育培养应用型工程技术人才的要求和特点。

本书可作为高等职业教育建筑工程专业的教材,也可作为相近专业如建筑学、施工管理、工程监理、工程造价、房地产管理等专业的教材,以及作为土木工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构. 上册/陈蓓,林茂主编. —上海:上海交通大学出版社,2006

ISBN 7-313-04423-2

I. 建… II. ①陈…②林… III. 建筑结构—高等学校—教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 049476 号

建筑结构

(上册)

陈蓓 林茂 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

上海交大印务有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.75 字数:361 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

印数:1~5 050

ISBN 7-313-04423-2/TU·063 定价:23.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

高等职业教育培养的是一线岗位的应用型技术人才,它以培养学生的岗位职业能力为目标,遵循理论与实践并重的原则组织教学,毕业生除应具备一定的专业理论知识外,更应具有较强的解决实际问题的能力。本书根据建设部高职高专土建类专业指导委员会的基本要求编写,全书力求体现高职高专教育的特点,使本教材更具有针对性、先进性、实用性、综合性、科学性,理论部分按“必需、够用”的原则编排,在讲清基本概念和基本原理的基础上,密切结合我国的工程实际,尽量做到理论联系实际、深入浅出,同时积极采用国家及行业最新技术标准和技术规范。

全书共分两册,上册主要内容是建筑结构的计算理论、混凝土结构;下册主要内容是砌体结构、钢结构、建筑结构抗震和结构施工图。全书较全面地将不同材料组成的建筑结构的计算理论和方法进行整合,同时增加结构施工图部分,突出高职教育培养应用型工程技术人才的要求和特点。本课程参考学时为 160 学时。

本书上册由泰州职业技术学院陈蓓、扬州职业大学林茂任主编,泰州职业技术学院陈鹏任副主编,沙洲工学院张洪尧、泰州职业技术学院张军、钱军参与编写;上册编写得到了泰州职业技术学院潘立本教授、钟文乐副教授、陈红秋副教授的指导和帮助,在此表示衷心感谢。下册由四川建筑职业技术学院夏建中任主编,四川建筑职业技术学院夏建中、林兴萍、吴大友,泰州职业技术学院陈蓓、张军、陈廷柱参与编写。本书由扬州大学刘雁教授主审。

鉴于编者的水平和能力有限,书中错误和不足在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2006 年 3 月

目 录

0 绪论	1
0.1 建筑结构的概念及类型	1
0.1.1 建筑结构的定义及组成	1
0.1.2 建筑结构的类型	1
0.2 建筑结构的历史与发展趋势	4
0.2.1 建筑结构的歷史	4
0.2.2 建筑结构的發展趨勢	5
0.3 本課程的內容及學習目標	7
1 建筑結構計算基本理論	8
1.1 建筑結構荷載	8
1.1.1 荷載的分類	8
1.1.2 荷載代表值	8
1.2 極限狀態設計法	9
1.2.1 結構的功能	10
1.2.2 結構功能的極限狀態	10
1.2.3 結構的極限狀態方程	11
1.2.4 結構可靠度與失效概率	12
1.2.5 實用設計表达式	13
1.2.6 混凝土結構的耐久性	16
1.3 附錄	18
2 钢筋混凝土材料的物理和力学性能	22
2.1 混凝土	22
2.1.1 混凝土的强度	22
2.1.2 混凝土的变形	24
2.2 钢筋	26
2.2.1 钢筋的类型	26
2.2.2 钢筋的成分、性能、品种和级别	27
2.2.3 钢筋的强度和变形	28
2.2.4 钢筋的冷加工	28
2.3 钢筋和混凝土的粘结力	29
2.3.1 粘结的作用	29

2.3.2 影响粘结力的主要因素	30
2.4 钢筋的锚固和连接	31
2.4.1 钢筋的锚固	31
2.4.2 钢筋的连接	32
2.5 附录	33
3 钢筋混凝土受弯构件	36
3.1 构造要求	36
3.1.1 梁	36
3.1.2 板	40
3.1.3 混凝土保护层	41
3.2 受弯构件正截面承载力计算	43
3.2.1 受弯构件正截面的破坏特征及适筋梁正截面的工作阶段	43
3.2.2 单筋矩形截面	47
3.2.3 双筋矩形截面	53
3.2.4 单筋 T 形截面梁	57
3.3 受弯构件斜截面承载力计算	63
3.3.1 受弯构件斜截面破坏形式	63
3.3.2 斜截面受剪承载力计算的基本公式及适用条件	66
3.3.3 承载力计算	69
3.3.4 保证斜截面受弯承载力的构造措施	71
3.4 受弯构件变形及裂缝宽度验算简介	76
3.4.1 受弯构件变形验算	76
3.4.2 受弯构件裂缝宽度验算	81
3.5 附录	83
4 钢筋混凝土受扭构件	86
4.1 概述	86
4.2 纯扭构件的受力性能及设计计算方法	86
4.2.1 纯扭构件的受力性能	86
4.2.2 矩形截面受扭构件承载力计算公式	88
4.2.3 受扭构件截面的限制条件	89
4.2.4 受扭构件的最小配筋率	89
4.3 矩形截面弯剪扭构件承载力计算	89
4.3.1 弯扭构件的承载力计算	89
4.3.2 剪扭构件的受剪、受扭承载力	90
4.3.3 弯剪扭构件的配筋计算	91
4.4 受扭构件的配筋构造要求	91

5 钢筋混凝土轴向受力构件	94
5.1 轴心受压构件	94
5.1.1 轴心受压构件的构造要求	94
5.1.2 轴心受压构件的破坏形态	95
5.1.3 普通箍筋柱的截面承载力计算	96
5.1.4 螺旋箍筋柱简介	98
5.2 偏心受压构件	100
5.2.1 偏心受压构件的构造要求	100
5.2.2 偏心受压构件的破坏形态	101
5.2.3 对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	102
5.2.4 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算简介	107
5.3 受拉构件	108
5.3.1 构造要求	108
5.3.2 正截面承载力计算	108
5.3.3 偏心受拉构件斜截面承载力计算	111
5.3.4 裂缝宽度验算	111
6 预应力混凝土构件	114
6.1 预应力混凝土的基本概念	114
6.1.1 预应力混凝土的基本原理	114
6.1.2 预应力混凝土的材料	115
6.1.3 预应力混凝土的分类及预加应力的方法	115
6.2 张拉控制应力	117
6.3 预应力损失	118
6.4 预应力混凝土构件的构造要求	119
6.4.1 先张法构件	120
6.4.2 后张法构件	120
7 钢筋混凝土楼盖	122
7.1 现浇钢筋混凝土楼盖	122
7.1.1 概述	122
7.1.2 单向板肋形楼盖	123
7.1.3 双向板肋形楼盖简介	144
7.2 装配式楼盖	149
7.2.1 铺板式楼盖的布置方案	150
7.2.2 铺板式楼盖的预制构件	150
7.2.3 装配式楼盖的连接构造	152
7.3 钢筋混凝土楼梯	152

4 建筑结构(上册)

7.3.1 钢筋混凝土楼梯类型	152
7.3.2 现浇楼梯的计算与构造	153
7.3.3 装配式楼梯的类型与构造	165
7.4 附录	167
8 钢筋混凝土结构单层厂房	181
8.1 单层厂房的结构组成及受力特点	181
8.1.1 单层厂房的结构组成	181
8.1.2 单层厂房的受力特点	182
8.2 单层厂房的结构布置	184
8.2.1 标准结构构件和模数	184
8.2.2 柱网及变形缝	184
8.2.3 支撑体系	186
8.2.4 梁柱体系	190
8.3 主要构件的类型	194
8.3.1 屋面板	194
8.3.2 屋架与屋面梁	196
8.3.3 吊车梁	198
8.3.4 排架柱	199
8.3.5 柱下基础	201
8.4 排架柱	201
8.4.1 排架柱的构造要求	201
8.4.2 牛腿的受力特点及构造	203
8.4.3 柱的吊装验算	207
9 多层及高层钢筋混凝土结构	209
9.1 框架结构	209
9.1.1 框架结构的类型	209
9.1.2 框架结构的布置	210
9.1.3 现浇框架构造	211
9.2 剪力墙结构	220
9.2.1 受力特点	220
9.2.2 构造要求	222
9.3 框架-剪力墙结构	224
9.3.1 受力特点	224
9.3.2 构造要求	226



绪 论

0.1 建筑结构的概念及类型

0.1.1 建筑结构的定义及组成

组成工业与民用房屋建筑(包括基础在内)的承重骨架体系,称为建筑结构。承重骨架承受着各种“作用”,这里的“作用”是指能使结构产生效应(内力、变形)的各种原因的总称。作用可分为直接作用和间接作用两类。直接作用是指作用在结构上的各种荷载,如土压力、构件自重、楼面和屋面活荷载、风荷载等,它们能直接使结构产生内力和变形。间接作用则是指地基变形、混凝土收缩、温度变化和地震等,它们在结构中引起外加变形和约束变形,从而产生内力。

0.1.2 建筑结构的类型

建筑结构可按所用材料和承重结构的类型来分类。

1. 按所用材料来分

1) 混凝土结构

以混凝土材料为主所形成的结构称为混凝土结构。混凝土结构包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构三种。

素混凝土结构指由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构。素混凝土的抗压强度比砌体高,但其抗拉强度很低。素混凝土构件只适用于受压构件,且破坏比较突然,故在工程中极少采用。

钢筋混凝土结构指由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构。在混凝土构件的适当部位放入钢筋,便得到钢筋混凝土构件。与素混凝土构件相比,钢筋混凝土构件的力学性能大为改善。素混凝土梁,由于混凝土抗拉性能很差,当荷载较小时其受拉区边缘混凝土的应变就达到混凝土的极限拉应变,随之出现裂缝,导致梁脆性断裂而破坏,但此时梁受压区的混凝土压应力还远小于混凝土的抗压强度。钢筋混凝土梁则完全不同,当其受拉边混凝土开裂后尚不会断裂,而可继续增加荷载。此时开裂截面的拉力将由钢筋承担,直至钢筋拉应力达到屈服强度,裂缝迅速向上延伸,受压区面积减小,受压区混凝土应力增大,最终导致混凝土压应力达到抗压强度,混凝土受压区边缘应变达到其极限压应变而被压碎,梁才告破坏。因此,钢筋混凝土梁能充分发挥钢筋的抗拉性能和混凝土的抗压性能,大大提高梁的承载

能力。

在受压为主的构件中,通常也配置一定数量的钢筋来协助混凝土分担一部分压力以减小构件的截面尺寸,此外钢筋还可改善构件受压破坏的脆性性质。

钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料所以能结合在一起共同工作的原因是:

(1) 硬化后的混凝土与钢筋的接触面上会产生良好的粘结力,使两者可靠地结合在一起,从而保证构件受力后,钢筋和其周围混凝土能共同变形。

(2) 钢筋与混凝土的温度线膨胀系数接近(钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$),当温度变化时,不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的粘结力。

(3) 混凝土可以防止钢筋锈蚀,使钢筋与混凝土可长期可靠地共同工作。

钢筋混凝土结构应用范围十分广泛,除工业与民用建筑,如多层与高层住宅、办公楼、大高度的大会堂、剧院、展览馆和单层工业厂房等采用钢筋混凝土建造外,其他特种结构,如烟囱、水塔、水池等,也多采用钢筋混凝土建造。

预应力混凝土结构指由配置预应力筋再通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构。一般在构件使用前,预先对其使用时的受拉区混凝土施加一定的压应力,与钢筋混凝土构件相比,它的抗裂性能大大提高,构件受荷后裂缝很小或不裂,构件的刚度较大,在同样的跨度和荷载作用下,截面尺寸可以较小,且可采用高强度钢筋。

钢筋混凝土结构除了能合理利用钢筋和混凝土两种材料的性能外,还具有以下一些优点:

(1) 强度高。钢筋混凝土的强度很高,适用于做各类承重结构,近代许多高层建筑,都是采用钢筋混凝土建造的。

(2) 耐久性好。因为钢筋包裹在混凝土中,在正常情况下,它可保持长期不生锈,而混凝土的强度又能随龄期的增长还有所增加。因此,钢筋混凝土结构耐久性极好,几乎不必维修。

(3) 可模性好。根据工程的需要,可制成各种形状的结构和结构构件,这样,就给选择合适的结构形式提供了有利条件。

(4) 耐火性好。混凝土材料耐火性能是比较好的。钢筋在混凝土保护层的保护下,在发生火灾后的一定时间内,不致很快达到软化温度而导致结构破坏。

(5) 可就地取材。钢筋混凝土除钢筋和水泥外,所需大量砂石材料可就地取材,便于组织运输,为降低工程造价提供了有利条件。

(6) 抗震性能好。钢筋混凝土结构因为整体性好,具有一定的延性(结构受力后允许变形的能力),在地震烈度较高地区,常采用钢筋混凝土建造层数较多的建筑以及烟囱、水塔等。

钢筋混凝土除具有上述优点外,也还存在着一些缺点,如自重大,抗裂能力差,现浇时耗费模板多,工期长等。随着生产和科学技术的发展,钢筋混凝土的这些缺点正在逐步得到克服。如采用轻骨料混凝土,以减轻混凝土的自重,采用预应力混凝土提高构件的抗裂性,以及采用预制钢筋混凝土构件克服模板耗费多和工期长等缺点。

2) 砌体结构

由块体(砖、石材、砌块)和砂浆砌筑而成的墙、柱作为建筑物主要受力构件的结构称为砌体结构,它是砖砌体结构、石砌体结构和砌块砌体结构的统称。

砌体结构的主要优点是易于就地取材,造价低廉;具有良好的耐火性及耐久性;具有良好的保温、隔热、隔音性能;施工简单,技术容易掌握和普及,也不需要特殊的设备;砌块砌体可节约土地,使建筑向绿色、环保方向发展。砌体结构在我国房屋建筑中占有很大比例。在现代建

筑中,除用于单层和多层建筑外,在特种结构中,如烟囱、水塔、小型水池和重力式挡土墙等也广泛应用砌体结构。

砌体结构除具有上述一些优点外,还存在着自重大、强度低、抗震性能差等缺点。

在实际工程中,砌体结构主要用于房屋结构中的竖向承重构件(如墙、柱等),而水平承重构件(如梁、板等)多为钢筋混凝土结构。这种由两种及两种以上材料作为主要承重结构的房屋称为混合结构。

3) 钢结构

钢结构是指以钢材为主制成的结构。其主要优点是材料强度高、自重轻、塑性和韧性好、材质均匀;便于工厂生产和机械化施工,便于拆卸;抗震性能优越;无污染、可再生、节能、安全,符合建筑可持续发展原则等,钢结构的发展是 21 世纪建筑文明的体现,钢结构的应用正日益增多,在高层建筑及大跨度结构(如屋架、网架、悬索等)中应用较广。其中轻钢结构是近十年来发展最快的领域,在美国采用轻型钢结构占非住宅建筑投资的 50% 以上。这种结构工业化、商品化程度高,施工快,综合效益高,市场需求量很大。轻钢住宅的研究开发已在各地试点,是轻钢发展的一个重要方向,目前已经有多种的低层、多层和高层的设计方案和实例,因其可做到大跨度、大空间,分隔使用灵活,而且施工速度快、有利抗震的特点,必将对我国传统的住宅结构模式产生较大冲击。

钢结构的主要缺点是,容易锈蚀、耐久性和耐火性能差、工程造价和维护费用较高等。

4) 木结构

木结构是指全部或大部分用木材制成的结构。木结构具有就地取材、制作简单,便于施工,抗震性能好等优点。近年来,由于木材产量受到自然生长条件的限制,为保护自然生态环境,木材使用受到国家严格限制,目前在房屋建筑中可采用人造木等新型复合材料。

2. 按承重结构类型来分

1) 砖混结构

砖混结构是指由砌体结构构件和其他材料制成的构件所组成的结构。例如,竖向承重构件用砖墙、砖柱,而水平承重构件用钢筋混凝土梁、板所建造的结构,就属于砖混结构。

由于砖混结构具有就地取材,施工方便,造价低廉等优点,所以,砖混结构在我国应用颇为广泛。它多用于六层以下的住宅、旅馆、办公楼、教学楼以及单层工业厂房中。

2) 框架结构

框架结构是由纵梁、横梁和柱组成的结构。目前,我国框架结构多采用钢筋混凝土建造。

框架结构具有建筑平面布置灵活,可任意分割房间,容易满足生产工艺和使用要求等优点。它既可用于大空间的商场、工业生产车间、礼堂、食堂,也可用于住宅、办公楼、医院、学校建筑。因此,框架结构在单层和多层工业与民用建筑中获得了广泛应用。

框架结构比砖混结构的强度高,有较好的延性和整体性,因此其抗震性能较好。

3) 框架-剪力墙结构

计算表明,房屋在风荷载或地震作用下,靠近底层的承重构件的内力(弯矩 M , 剪力 V) 和房屋的侧向位移随房屋高度的增加而急剧增大。因此,当房屋高度超过一定限度后,再采用框架结构,框架梁、柱尺寸就会很大,这样,房屋造价不仅增加,而且建筑使用面积也会减小。在这种情况下,通常采用框架-剪力墙结构。

框架-剪力墙结构是在框架纵、横方向的适当位置,在柱与柱之间设置几道厚度大于140mm的钢筋混凝土墙体而成的。由于在这种结构中剪力墙平面内的侧向刚度比框架的侧向刚度大得多,所以,在风荷载或地震作用下产生的剪力主要由剪力墙来承受,一小部分剪力由框架承受,而框架主要承受竖向荷载。由于框架-剪力墙结构充分发挥了剪力墙和框架各自的优点,因此,在高层建筑中采用框架-剪力墙结构比框架结构更经济合理。

4) 剪力墙结构

剪力墙结构是由纵、横向的钢筋混凝土墙所组成的结构。这种墙体除抵抗水平荷载和竖向荷载作用外,还对房屋起围护和分割作用。这种结构适用于高层住宅、宾馆等建筑。

因为剪力墙结构的墙体较多,侧向刚度大,所以它可以建得很高。目前,我国剪力墙结构多用于12~30层住宅、宾馆建筑中。

5) 筒体结构

随着房屋层数的进一步增加,结构需要具有更大的侧向刚度,以抵抗风荷载和地震的作用,因而出现了筒体结构。

筒体结构是用钢筋混凝土墙围成侧向刚度很大的筒体,其受力特点与一个固定于基础上的筒形悬臂构件相似。为了满足采光的要求,在筒壁上开有孔洞,这种筒叫做空腹筒。

当建筑物高度更高,侧向刚度要求更大时,可采用筒中筒结构。这种筒体由空腹外筒和实腹内筒组成,内外筒之间用自身平面内刚度很大的楼板相联系,使之共同工作,形成一个空间结构。筒体结构多用于高层或超高层(高度 $H \geq 100\text{m}$)公共建筑中,如饭店、银行、通讯大楼等。

6) 大跨结构

大跨结构是指在体育馆、大型火车站、航空港等公共建筑中所采用的结构。在这种结构中,竖向承重结构构件多采用钢筋混凝土柱,屋盖采用钢网架、薄壳或悬索结构等。近几十年来,由于计算机的迅速推广和应用,使钢网架的内力分析从冗繁的计算中解放出来,钢网架获得了广泛的应用。我国首次采用钢网架的建筑是北京首都体育馆,它的屋盖宽度为99m,长度达112.2m,用钢量仅为 65kg/m^2 。嗣后,上海体育馆、福州体育馆、南京体育馆等也相继采用了这一新的屋盖体系。

7) 排架结构

排架结构由屋架(或屋面梁)、柱和基础组成。屋架与柱顶铰接,柱与基础刚接。在屋面荷载作用下屋架本身按桁架计算。当柱上有荷载作用时,屋架只起两柱顶的连系作用,相当于一个链杆。

排架结构多采用装配式体系。它广泛用于生产较重或尺寸较大产品的生产车间。如汽车制造、冶金等单层厂房。

0.2 建筑结构的歷史与发展趋势

0.2.1 建筑结构的歷史

建筑结构在我国有着悠久的历史。

大量的考古发掘资料表明,我国黄河流域的仰韶文化遗址就发现了公元前5000~前3000年的房屋结构痕迹。至西周时期(公元前1134~前771年)已有烧制的瓦,在战国时期(公元前

403~前 221 年)有了烧制的砖。到东晋(公元317~419 年)砖的使用已十分普遍。砖的出现使人们开始广泛地大量修建房屋、城防建筑等。

石料的应用历史也是十分悠久的。多用于建造桥梁、房屋的台基、栏杆等。金字塔(建于公元前2700~前 2600 年)、万里长城、安济桥等都是结构发展史上的辉煌之作。

隋朝(公元581~617 年)石工李春所建的安济桥(位于河北省赵县),净跨为37.37m,拱高7.2m,宽约9m,为单孔空腹式石拱桥。据考证,它是世界上最早的空腹式拱桥。该桥不仅因其造型艺术高超而为后人所赞美,而且在材料使用、结构受力和经济上也都达到了极高的成就。安济桥迄今已逾1300余年,虽经历洪水和大地震的袭击,但仍完好无损。

17 世纪工业革命后,随着资本主义国家工业化的发展,建筑、铁路和水利工程的兴建,推动了建筑结构的发展。17 世纪 70 年代开始使用生铁,19 世纪初开始用熟铁建造桥梁和房屋,这是钢结构出现的前奏。自 19 世纪中叶开始,在冶金业中冶炼并轧成强度很高、延性好、质地均匀的建筑钢材,随后又生产出高强钢丝、钢索。于是钢结构获得了蓬勃的发展。新的结构形式,如桁架、框架、网架和悬索结构不断推出。建筑结构的跨度从砖(石)结构、木结构的几米、几十米发展到钢结构的百米、几百米,直到现代的千米。建筑高度也不断增加,达到现代的几百米。如 2005 年建成的润扬大桥由南汊悬索桥和北汊斜拉桥等部分组成,悬索桥主跨 1490 米,为中国第一、世界第三的大跨径悬索桥,斜拉桥主跨 406 米。润扬大桥是目前我国第一座刚柔相济的组合型桥梁,也是国内标准最高、规模最大、科技含量最高的特大型桥梁工程之一。1999 年建成的江阴长江大桥,全长2888m,主跨1385m,其跨度居世界悬索桥第四。英国的亨伯钢索桥跨度达1410.8m,美国芝加哥的钢结构西尔斯大厦为 110 层,高443m。

19 世纪 20 年代波特兰水泥制成后,混凝土相继问世。由于混凝土抗拉强度低,应用受到限制。随后出现了钢筋混凝土结构。使混凝土受压,钢筋受拉,发挥两种材料各自的优点。从而,20 世纪初以来,钢筋混凝土结构广泛应用于建筑工程各个领域。由于钢筋混凝土结构有抗裂性能差、刚度低的缺点,20 世纪 30 年代出现了预应力混凝土结构,使混凝土的应用范围更为广泛。混凝土的出现给建筑带来新的、经济和美观的建筑结构形式。这不能不说是建筑工程发展的一次飞跃。

混凝土结构使用至今已约有 150 年的历史。与钢、木和砌体结构相比,由于它在物理力学性能及材料来源等方面有许多优点,所以其发展速度很快,应用也最广泛。

我国是使用混凝土结构最多的国家,在高层建筑和多层框架中大多采用混凝土结构。在民用建筑中也采用了定型化、标准化的装配式钢筋混凝土构件。已建成的 88 层的上海金茂大厦,高420.5m,是我国目前最高的高层建筑。电视塔、水塔、水池、冷却塔、烟囱、贮罐、筒仓等特殊构筑物也普遍采用了钢筋混凝土和预应力混凝土。上海电视塔高468m,其高度为亚洲第一。此外,在大跨度的公共建筑和工业建筑中,钢筋混凝土桁架、门式刚架、拱、薄壳等结构形式也有广泛应用。在国外,朝鲜平壤 105 层的柳京饭店高达319.8m,加拿大多伦多的预应力混凝土电视塔高达549m,是有代表性的钢筋混凝土高层建筑和预应力混凝土构筑物。正在兴建的长江三峡水利枢纽工程,大坝高186m,坝体混凝土用量达 $1527 \times 10^4 \text{ m}^3$,是世界上最大的水利工程。随着改革开放的深入,我国混凝土结构的应用将更加广泛,更加丰富多彩。

0.2.2 建筑结构的的发展趋势

虽然建筑结构已经历了漫长的发展过程,但至今仍生机勃勃,不断发展。概括起来,建筑

结构主要有以下发展趋势:

1. 理论方面

随着研究的不断深入、统计资料的不断积累,结构设计方法将会发展至全概率极限状态设计方法;衡量结构安全的可靠度理论也在逐渐发展,目前有学者提出全过程可靠度理论,将可靠度理论应用到工程结构设计、施工与使用的全过程中,以保证结构的安全可靠;随着模糊数学的发展,模糊可靠度的概念正在建立,计算机的发展使工程结构计算向精确化方向发展。结构的非线性分析是发展趋势,非线性分析的主要方法是有限元法。对混凝土等材料进行非线性有限元分析目前还不太成熟,学者们正在对有关问题进行深入研究。

2. 材料方面

混凝土将向轻质高强方向发展。目前,美国已制成C200的混凝土;我国已制成C100的混凝土。估计不久混凝土强度将普遍达到 100N/mm^2 ,特殊工程可达 400N/mm^2 。目前,高强混凝土的塑性性能不如普通混凝土,研制塑性好的高强混凝土是今后的发展方向。轻质混凝土主要是采用轻质集料,轻质集料主要有天然轻集料(如浮石、凝灰石等)、人造轻集料(页岩陶粒、黏土陶粒、膨胀珍珠岩等)、工业废料(炉渣、矿渣粉煤灰陶粒等)。轻质混凝土的强度目前一般只能达到 $5\sim 20\text{N/mm}^2$,开发高强度的轻质混凝土是今后的方向。为改善混凝土抗拉性能差、延性差的缺点,在混凝土中掺入纤维是有效的途径。掺入的纤维有钢纤维、耐碱玻璃纤维、聚丙烯纤维或尼龙合成纤维等。碾压混凝土也是近年来发展较快的新型混凝土,它可用于大体积混凝土结构、公路路面及机场道面,其特点是施工机械化程度高、效率高、劳动条件好、工期短。除此之外,许多特种混凝土如膨胀混凝土、聚合物混凝土、浸渍混凝土等也在研制、应用之中。

高强钢筋目前也发展较快。现在强度达 $400\sim 600\text{N/mm}^2$ 的高强钢筋已开始应用,今后将会出现强度超过 1000N/mm^2 的钢筋。目前,高强钢筋主要是冷轧钢筋,包括冷轧带肋钢筋和冷轧扭钢筋。为减小裂缝宽度,焊成梯格形的双钢筋也在开始应用。

砌体结构材料的发展方向也是轻质高强,途径之一是发展空心砖。国外空心砖的抗压强度普遍可达 $30\sim 60\text{N/mm}^2$,甚至高达 100N/mm^2 以上,孔洞率也达40%以上。另一个途径是在粘土内掺入可燃性植物纤维或塑料珠,煅烧后形成气泡空心砖,它不仅自重轻,而且隔声、隔热性能好。砌体结构材料另一个发展趋势是高强砂浆。

钢结构材料主要是向高效能方向发展。除提高材料强度外,还应大力发展型钢。如H型钢可直接作梁和柱,采用高强螺栓连接,施工非常方便。压型钢板也是一种新产品,它能直接作屋盖,也可在上面浇上一层混凝土作楼盖。作楼盖时压型钢板既是楼板的抗拉钢筋,又是模板。

3. 结构方面

结构向高层、大跨、地下发展。世界最高结构、最大跨结构和地下结构的纪录不断被刷新。

空间网架发展十分迅速,最大跨度已逾百米。悬索结构、薄壳结构也是大跨度结构发展的方向。

高层砌体结构也开始应用。为克服传统体系砌体结构水平承载力低的缺点,一个途径是使墙体只受垂直荷载,将所有的水平荷载由钢筋混凝土内核芯筒承受,形成砖墙-筒体体系;另

一个途径就是对墙体施加预应力,形成预应力砖墙。

组合结构也是结构发展的方向,目前型钢混凝土、钢管混凝土、压型钢板叠合梁等组合结构已广泛应用,在超高层建筑结构中还采用钢框架与内核芯筒共同受力的组合体系,能充分利用材料优势。

0.3 本课程的内容及学习目标

本书分上、下两册。内容以建筑结构为主(上册第1章~第9章,下册第1章~第10章),包括结构设计方法、混凝土结构、砌体结构、钢结构、建筑结构抗震基本知识等,并介绍了建筑结构施工图(下册第10章)。通过该课程的学习,能了解建筑结构的设计方法,掌握钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构基本构件的计算方法,理解结构构件的构造要求,能正确识读建筑结构施工图,并能处理建筑施工中的一般结构问题。

本课程是工程监理、建筑工程技术等专业的主干专业课。学习时应注意以下几点:①要理论联系实际。本课程的理论本身就来源于生产实践,它是前人大量工程实践的经验总结。因此,学习本课程时,应通过实习、参观等各种渠道向工程实践学习,加强练习、课程设计等,真正做到理论联系实际。②要注意与力学课的联系和区别。本课程所研究的对象,除钢结构外都不符合均质弹性材料的条件,因此力学公式多数不能直接应用,但通过几何、物理和平衡关系建立基本方程来说,二者是相同的。所以,在应用力学原理和方法时,必须考虑材料性能上的特点,切不可照搬照抄。③要注意培养综合分析问题的能力。结构问题的答案往往不是唯一的,即使是同一构件在给定荷载作用下,其截面形式、截面尺寸、配筋方式和数量都可以有多种答案,这时往往需要综合考虑适用、材料、造价、施工等多方面因素,才能做出合理选择。④要注意学习有关规范。建筑结构设计的任务是选择适用、经济的结构方案,并通过计算和构造处理,使结构能可靠地承受各种作用。为使设计人员在一般情况下能有章可循,各国均根据自身的科技发展和经济状况不断制订出符合当时国情的各种设计标准和规范。我国现行的建筑结构设计标准和规范有:《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068—2001)、《建筑结构荷载规范》(GB50009—2001)、《砌体结构设计规范》(GB50003—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)、《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)、《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)、《钢结构设计规范》(GB50017—2003)等。这些标准和规范是我国建国以来,在建筑结构方面的科研成果和工程实践经验的结晶,是我国目前建筑结构设计的重要依据,也是编写本书的主要依据。结构设计规范是国家颁布的关于结构设计计算和构造要求的技术规定和标准,设计、施工等工程技术人员都必须遵循,熟悉并学会应用有关规范是学习本课程的重要任务之一,因此学习中应自觉结合课程内容学习有关规范,以达到逐步熟悉并正确应用之目的。

思考题

0.1 什么是建筑结构?按照所用材料的不同,建筑结构可以分为哪几类?各有什么特点?

0.2 钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料为什么能一起共同工作?



建筑结构计算基本理论

1.1 建筑结构荷载

使结构产生内力或变形的原因称为“作用”，分直接作用和间接作用两种。荷载是直接作用，混凝土的收缩、温度变化、基础的差异沉降、地震等引起结构外加变形或约束的原因称为间接作用。间接作用不仅与外界因素有关，还与结构本身的特性有关。例如，地震对结构物的作用，不仅与地震加速度有关，还与结构自身的动力特性有关，所以不能把地震作用称为“地震荷载”。

结构上的作用使结构产生的内力（如弯矩、剪力、轴向力、扭矩等）、变形、裂缝等统称为作用效应或荷载效应。荷载与荷载效应之间通常按某种关系相联系。

1.1.1 荷载的分类

《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)(以下简称《统一标准》)指出，结构上的作用可按随时间或空间的变异分类，还可按结构的反应性质分类，其中最基本的是按随时间的变异分类。按作用时间的长短和性质，荷载可分为三类：

1. 永久荷载

在结构设计使用期间，其值不随时间而变化，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，结构的自身重力、土压力、预应力等荷载，永久荷载又称恒荷载。

2. 可变荷载

在结构设计使用期内其值随时间而变化，其变化与平均值相比不可忽略的荷载。例如，楼面活荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载等，可变荷载又称活荷载。

3. 偶然荷载

在结构设计使用期内不一定出现，一旦出现，其值很大且持续时间很短的荷载。例如，爆炸力、撞击力等。

1.1.2 荷载代表值

虽然任何荷载都具有不同性质的变异性，但在设计中，不可能直接引用反映荷载变异性的各种统计参数，通过复杂的概率运算进行具体设计。因此，在设计时，除了采用能便于设计者使用的设

计表达式外,对荷载仍应赋予一个规定的量值,称为荷载代表值。荷载可根据不同的设计要求,规定不同的代表值,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)(以下简称《荷载规范》)给出荷载的四种代表值:标准值、组合值、频遇值和准永久值。

1. 荷载标准值

荷载标准值是荷载的基本代表值,而其他代表值都可在标准值的基础上乘以相应的系数后得出。荷载标准值是指其在结构的使用期间可能出现的最大荷载值。

永久荷载标准值:对于结构或非承重构件的自重,由于变异性不大,一般以其平均值作为荷载标准值,即可按结构构件的设计尺寸和材料或结构构件单位体积(或面积)的自重平均值确定。对于自重变异性较大的材料,在设计中应根据其对结构有利或不利的情况,分别取其自重的下限值或上限值。

可变荷载标准值:在设计基准期(确定可变荷载代表值而选用的时间参数)内按最大荷载概率分布的某个分位值确定。当有足够资料而有可能对其统计分布作出合理估计时,则在其设计基准期最大荷载的分布上,可根据协议的百分位,取其分位值作为该荷载的代表值,原则上可取分布的特征值(例如均值、众值或中值),国际上习惯称之为荷载的特征值。实际上,对于大部分自然荷载,包括风雪荷载,习惯上都以其规定的平均重现期来定义标准值,当无充分资料时,可根据已有的工程实践经验,分析判断后协议一个公称值作为荷载标准值。《荷载规范》已给出了各种可变荷载标准值的取值,设计时可直接查用。见附表1-1、附表1-2。作用于楼面上的活荷载,并非以附表1-1中所给的标准值同时满布在所有楼面上,因此在确定梁、墙、柱和基础的荷载标准值时,应将楼面活荷载标准值予以折减,附表1-3为《荷载规范》第4.1.2条的规定。

2. 可变荷载准永久值

指在结构上经常作用的荷载值,它在规定的期限内具有较长的总持续期,它对结构的影响犹如永久荷载。可变荷载准永久值为可变荷载标准值乘以荷载准永久值系数。如住宅楼面活荷载标准值为 2.0kN/m^2 ;准永久值系数 $\Psi_q=0.4$;则活荷载准永久值为: $2.0 \times 0.4 = 0.80\text{kN/m}^2$ 。

3. 可变荷载组合值

当两种或两种以上可变荷载在结构上同时考虑时,由于所有荷载同时达到其单独出现时可能达到的最大值的概率极小,因此,除主导荷载(将产生最大荷载效应的荷载)仍可以其标准值为代表值外,其他伴随荷载均应取小于其标准值的组合值为荷载代表值。可变荷载组合值为可变荷载标准值乘以荷载组合值系数。

4. 可变荷载频遇值

可变荷载在设计基准期内,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。可变荷载的频遇值系数乘以可变荷载标准值即为可变荷载频遇值。

1.2 极限状态设计法

以概率理论为基础的极限状态设计方法,简称为概率极限状态设计法,又称为近似概率