

★ 服务热线: 400-615-1233
★ 配套精品教学资料包
★ www.huatengedu.com.cn



J IANZHU JIEGOU

建筑结构



策划编辑: 刘建
责任编辑: 高宇
封面设计: 黄燕美



定价: 45.00元

高等职业教育土建系列创新教材

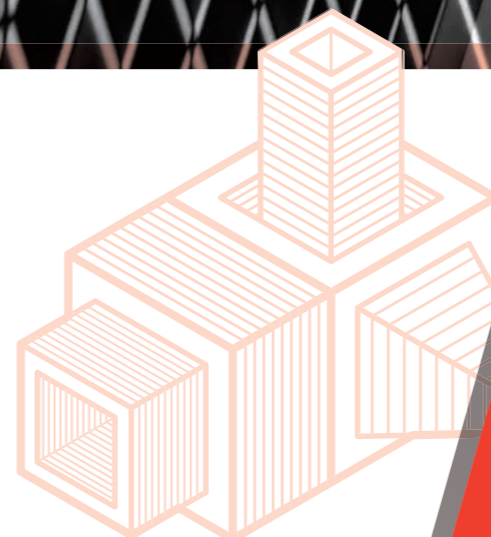
建筑结构

主编 刘颖 李艳敏

北京邮电大学出版社




高等职业教育土建系列创新教材
▶ “互联网+” 新形态教材



J IANZHU JIEGOU

建筑结构

主编 刘颖 李艳敏

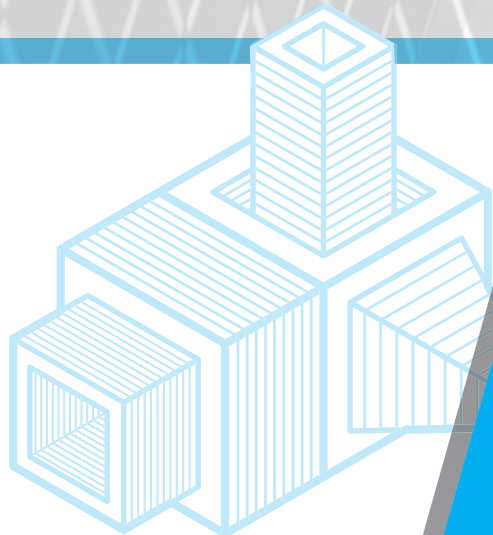
 北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高等职业教育土建系列创新教材
“互联网+”新形态教材

J
JIANZHU
JIEGOU

建筑结构

主 编 刘 颖 李艳敏
副主编 吴金燕



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书以我国现行的建筑结构规范为基础进行编写。全书主要内容包括绪论、建筑结构计算基本原则、钢筋混凝土受弯构件、钢筋混凝土纵向受力构件、钢筋混凝土楼盖、砌体结构、钢结构、建筑结构抗震设计。本书可作为高等职业院校土建类专业的教材,也可供相关人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构 / 刘颖, 李艳敏主编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2022. 4
ISBN 978-7-5635-6620-4

I. ①建… II. ①刘… ②李… III. ①建筑结构—高等职业教育—教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2022) 第 045648 号

书 名: 建筑结构
主 编: 刘 颖 李艳敏
责任编辑: 高 宇
出版发行: 北京邮电大学出版社
社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)
E-mail: publish@bupt.edu.cn
经 销: 各地新华书店
印 刷: 三河市龙大印装有限公司
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张: 14.75 插页 1
字 数: 305 千字
版 次: 2022 年 4 月第 1 版 2022 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-6620-4

定 价: 45.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话:400-615-1233

“建筑结构”是职业院校土建类专业开设的一门专业基础课,对培养土建类专业学生的职业技能具有关键作用。本书从高等职业教育的实际特点出发,以应用为目的,结合学生特点对教学内容进行调整,以“必需、够用”为原则,以讲清概念、强化应用为教学重点。本书在内容上加强了知识的针对性、实用性,注重学习新知识、新技术、新工艺,使学生适应现代发展需要,具备一定的可持续发展能力;在阐述方法上力求做到深入浅出、循序渐进。

本书以我国现行的建筑结构规范为基础进行编写,其教学内容可按 64~84 学时安排,推荐学时分配见下表。

序 号	内 容	推荐学时
0	绪论	2
1	建筑结构计算基本原则	6~8
2	钢筋混凝土受弯构件	16~20
3	钢筋混凝土纵向受力构件	6~8
4	钢筋混凝土楼盖	24~30
5	砌体结构	4~6
6	钢结构	4~6
7	建筑结构抗震设计	2~4
总计		64~84

本书在内容编排和设计上着力突出以下特点。

(1) 本书内容以计算难度较大、应用较广泛的钢筋混凝土结构为主,介绍了钢筋混凝土基本构件的设计方法,还以楼盖结构为例介绍了钢筋混凝土结构体系的分析思路和设计方法。

(2) 本书在内容阐述上力求深入浅出、层次分明、图文并茂,使教材内容简单易学。

(3) 本书注重理论联系实际,在需要计算的环节都给出了相应的例题,以便读者更好地掌握理论知识。教材每个模块的最后都设置了丰富的习题,以便读者巩固所学知识。

本书由天津城市建设管理职业技术学院刘颖、李艳敏任主编,由天津城市建设管理职业



技术学院吴金燕任副主编。具体编写分工为刘颖编写模块 1 并完成本教材的统稿、修改与定稿工作;李艳敏编写绪论、模块 2 至模块 5、附录;吴金燕编写模块 6 和模块 7。

在编写本书的过程中,编者参考了相关图书、规范、图片及其他资料,在此谨向这些文献资料的作者表示深深的谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请各位读者批评指正。

编 者



结论

.....	1
教学目标	1
0.1 建筑结构的 基本概念	1
0.1.1 建筑结构的定义和组成	1
0.1.2 建筑结构的分类	2
0.2 建筑结构的 发展概况	10
0.2.1 结构设计理论方面	10
0.2.2 建筑结构材料方面	11
0.2.3 工程实践方面	12
0.3 关于 建筑结构课程	13
0.3.1 建筑结构课程的课程内容和学习目标	13
0.3.2 建筑结构课程的学习要求	14
思考与练习	14



模块 1

建筑结构计算基本原则

.....	16
教学目标	16
1.1 结构上的作用 和结构抗力	16
1.1.1 作用的概念	16
1.1.2 荷载的分类	16
1.1.3 荷载代表值	17
1.1.4 荷载设计值	19
1.1.5 荷载效应	20
1.1.6 结构抗力	20
1.2 建筑结构的 功能要求和极限状态	20
1.2.1 建筑结构的 功能 要求	20
1.2.2 建筑结构的 极限 状态	21
1.3 极限状态 设计法	22
1.3.1 承载能力极限状态实用表达式	22
1.3.2 正常使用极限状态实用表达式	23
思考与练习	25



模块 2

钢筋混凝土受弯构件 28

教学目标	28
2.1 钢筋混凝土受弯构件的构造要求	28
2.1.1 钢筋混凝土受弯构件的截面形式及尺寸	28
2.1.2 钢筋混凝土受弯构件的配筋构造	30
2.1.3 混凝土的构造要求	36
2.2 正截面承载力计算	38
2.2.1 单筋矩形截面受弯承载力	38
2.2.2 单筋 T 形截面受弯承载力	47
2.3 斜截面承载力计算	53
2.3.1 斜截面的破坏形态	54
2.3.2 斜截面抗剪承载力的计算	55
2.3.3 保证斜截面受弯承载力的构造措施	60
2.4 挠度和裂缝宽度验算	64
2.4.1 挠度验算	64
2.4.2 裂缝宽度验算	66
思考与练习	70



模块 3

钢筋混凝土纵向受力构件 74

教学目标	74
3.1 钢筋混凝土受压构件的构造要求	75
3.1.1 钢筋混凝土受压构件的截面形状及尺寸	75
3.1.2 混凝土强度等级	75
3.1.3 纵向钢筋的构造要求	75
3.1.4 箍筋的构造要求	75
3.2 轴心受压构件承载力计算	76
3.3 单向偏心受压构件承载力计算	81
3.3.1 偏心受压构件的破坏特征	81
3.3.2 单向偏心受压构件承载力计算基本公式	82
3.4 钢筋混凝土受拉构件正截面承载力计算	87
3.4.1 受拉构件的构造要求	87
3.4.2 轴心受拉构件正截面承载力计算	87
3.4.3 偏心受拉构件正截面承载力计算	87
3.5 钢筋混凝土偏心受力构件斜截面受剪承载力计算	89
3.5.1 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	90

3.5.2 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	90
思考与练习	91



模块 4

钢筋混凝土楼盖

教学目标	93
4.1 钢筋混凝土楼盖的分类	93
4.1.1 按施工方式分类	93
4.1.2 按结构布置分类	94
4.2 现浇钢筋混凝土单向板肋梁楼盖的构造和计算	96
4.2.1 结构平面布置	96
4.2.2 计算简图与荷载	97
4.2.3 连续梁(板)按弹性理论计算内力	99
4.2.4 连续梁(板)按塑性理论计算内力	101
4.2.5 板、梁的配筋构造	104
4.3 现浇钢筋混凝土单向板肋梁楼盖设计实例	107
思考与练习	119



模块 5

砌体结构

教学目标	122
5.1 砌体材料	122
5.1.1 块材	123
5.1.2 砌筑砂浆	124
5.1.3 配筋砌体	125
5.2 砌体房屋的承重方案	127
5.2.1 横墙承重方案	127
5.2.2 纵墙承重方案	127
5.2.3 纵横墙混合承重方案	128
5.2.4 内框架承重方案	129
5.3 砌体房屋静力计算方案	129
5.3.1 房屋的空间工作性能	129
5.3.2 刚性方案	132
5.3.3 弹性方案	134
5.3.4 刚弹性方案	135
5.3.5 《砌体规范》对横墙的要求	135
5.4 墙、柱的高厚比验算	136
5.4.1 高厚比的定义	136



5.4.2	允许高厚比	138
5.4.3	一般墙、柱的高厚比验算	140
5.4.4	带壁柱墙的高厚比验算	140
5.4.5	带构造柱墙的高厚比验算	141
5.5	无筋砌体基本构件	144
5.5.1	受压构件	144
5.5.2	局部受压	152
5.6	砌体结构的构造措施	162
5.6.1	墙、柱一般构造要求	162
5.6.2	防止或减轻墙体开裂的主要措施	164
	思考与练习	167



模块 6

钢结构 171

	教学目标	171
6.1	建筑钢材的力学性能及强度设计值	171
6.1.1	建筑钢材的力学性能	171
6.1.2	建筑钢材的强度设计值	172
6.2	钢结构的连接	173
6.2.1	焊缝连接	173
6.2.2	螺栓连接	179
	思考与练习	184



模块 7

建筑结构抗震设计 187

	教学目标	187
7.1	地震基础知识	187
7.1.1	地震的成因及类型	187
7.1.2	震级与烈度	188
7.2	抗震设计基础知识	188
7.2.1	抗震设防	188
7.2.2	概念设计	190
7.3	多(高)层钢筋混凝土结构的抗震设计及构造措施	192
7.3.1	抗震设计的一般规定	192
7.3.2	框架结构的抗震构造措施	193
7.3.3	抗震墙结构的抗震构造措施	195
7.4	多层砌体结构的抗震设计及构造措施	196
7.4.1	多层砌体结构的平面与立面设计	196

7.4.2 多层砌体结构的抗震构造措施	199
7.5 多(高)层钢结构的抗震构造措施	204
7.5.1 多(高)层钢结构的一般规定	204
7.5.2 多(高)层钢框架结构的抗震构造措施	205
思考与练习	206



附录

.....	208
-------	-----

附录 1 钢筋的公称直径、公称截面面积及理论重量	208
附录 2 各种钢筋间距时每米板宽内钢筋截面面积(mm^2)	209
附录 3 均布荷载和集中荷载作用下等跨连续梁的内力系数	211
附录 4 砌体结构构件受压承载力影响系数 φ	223

参考文献	227
-------------------	------------

绪论



教学目标

- (1) 理解建筑结构的内涵。
- (2) 熟悉建筑结构的组成与分类。
- (3) 了解建筑结构的发展概况。
- (4) 初步了解建筑结构课程与力学课程的区别与联系。
- (5) 了解建筑结构课程的课程内容、学习目标和学习要求。

0.1 建筑结构的基本概念

0.1.1 建筑结构的定义和组成

建筑是建筑物与构筑物的总称,是人们为了满足日常生活和社会活动的需要而建造的空间环境。一般把直接供人们生产、生活或进行其他活动的房屋或场所叫作建筑物,如住宅、学校、体育馆、办公楼、商场、医院、车间等;而把间接供人们使用的建筑叫作构筑物,如水坝、烟囱、蓄水池、水塔等。

建筑结构是建筑中的受力骨架,是由若干个基本构件通过一定的方式连接形成的,能够长期安全可靠地承受其上各种作用的平面或空间体系。建筑结 构是建筑物的承重骨架部分,不等同于建筑物,如门、窗等建筑配件以及框架填充墙、隔墙、屋面、楼地面、装饰面层等都不属于建筑结构的范畴。

建筑结构的基本构件包括水平构件、竖向构件和基础。水平构件主要包括板和梁。板用以提供活动面并直接承受和传递竖向荷载及自身质量;梁是板的支撑构件,承受和传递板传来的荷载及自身质量。竖向构件包括柱、墙等,用以支撑水平构件并承受水平荷载。基础的作用是将柱及墙等传来的上部结构荷载传给地基。建筑结构构件还包括拉(压)杆、拱、壳、薄膜、索等。

建筑结构可分为上部结构和下部结构。上部结构通常指天然地坪(或±0.000)以上的



部分,以下的部分则称为下部结构。上部结构又包括水平结构体系和竖向结构体系两部分。

根据结构构件受力特点的不同,建筑结构构件可分为受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件、受剪构件等。受弯构件的截面上有弯矩作用,一般情况下还有剪力作用。梁、板是工程结构中典型的受弯构件;截面上受压力作用的构件称为受压构件,如柱、承重墙、屋架中的压杆等;受拉构件是指截面上有拉力作用的构件,如屋架中的拉杆;受压构件和受拉构件有时还伴有剪力的作用;以剪力作用为主的构件称为受剪构件,如无拉杆的拱支座截面处。在实际工程中,受剪构件很少。

建筑结构的设计使用年限应按《建筑结构可靠性设计统一标准》(GB 50068—2018)的规定采用,见表 0-1。

表 0-1 建筑结构的设计使用年限

类别	设计使用年限/年
临时性建筑结构	5
易于替换的结构构件	25
普通房屋和构筑物	50
标志性建筑和特别重要的建筑结构	100

建筑结构的设计使用年限是设计规定的一个时期,在这一时期内,只需正常维修(不需大修)就能完成预定功能,即房屋建筑在正常设计、正常施工、正常使用和维护下所应达到的使用年限。

0.1.2 建筑结构的分类

建筑结构可按不同的方法进行分类。

1. 按材料划分

按所使用材料的不同,建筑结构可分为木结构、砌体结构、混凝土结构、钢结构及混合结构。

1) 木结构

木结构指全部或大部分用木材制成的结构。木结构易于就地取材、制作简单,是一种宝贵的可再生资源,符合可持续发展的需要。木结构建筑具有很强的保温隔热能力,在使用过程中,可以节省大量的电能和热能,达到很好的节能减排效果。在木结构房屋中居住,人们可以获得舒适感。木结构建筑相对较轻,在地震中吸收的地震力也较小,具有优异的抗震性能。

但由于受木材自然生长条件的限制,以及木结构有易燃、易虫蛀、易腐蚀和结构变形大的缺点,木结构多用于农村房屋的屋盖,也用于园林景观建筑。

随着现代科技的高速发展,产生了胶合木结构以及木-混凝土混合结构等能克服木结构缺点的新型木结构。在现今倡导绿色建筑的浪潮下,木结构建筑将会有更广阔的发展空间,

成为多层建筑的首选。

2) 砌体结构

砌体结构是用砖、砌块、石块通过砂浆铺缝砌筑而成的结构,一般用于中小型烟囱、水塔、水池、挡土墙、房屋及基础、拱桥等。目前我国大多数民用房屋是砌体结构,严格地说是混合结构,墙、柱采用砌体材料,梁、板采用混凝土材料。

砌体结构具有可就地取材、造价低廉、保温隔热隔音性能好、耐火及耐久性好、施工设备简单、施工方法简单等优点,但也存在自重大、强度低、整体性较差、抗震性能较差等缺点。在砌体结构房屋中设置圈梁和构造柱,加强墙、构造柱、圈梁之间的连接,可增强砌体结构的整体性及抗震性能。

3) 混凝土结构

以混凝土为主制作的结构称为混凝土结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。

(1)素混凝土结构。素混凝土结构是指无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构,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。钢筋混凝土结构是配置普通受力钢筋的混凝土结构。混凝土的抗压强度较大,而抗拉强度较小,不宜受拉或受弯。钢筋的抗拉强度和抗压强度都很大,但单独受压时容易失稳,且钢材易腐蚀、生锈。混凝土和钢筋结合在一起工作时,混凝土主要承受压力,钢筋主要承受拉力,并且混凝土把钢筋包裹在里面,可防止钢筋锈蚀。这样就有效地利用了两种材料的长处,并能明显提高构件的承载能力和变形性能。因此,钢筋混凝土结构广泛应用于民用和工业建筑中,也大量应用于特种结构(如烟囱、水塔、水池)、公路、桥梁、隧道、矿井、水利工程、海洋工程中。

钢筋混凝土结构主要具有以下优点。

①可模性好。钢筋混凝土结构可以根据需要浇筑成各种形状和尺寸,以便选择合理而美观的结构形式。

②造价较低。钢筋混凝土结构充分发挥了钢筋和混凝土两种材料的优点,因而造价较低。

③耐火性好。当火灾发生时,钢筋在混凝土保护层的保护下,不至于很快达到软化温度而导致结构破坏。

④耐久性好。钢筋被混凝土包裹,不易生锈和腐蚀;密实的混凝土有较高的强度和较好的耐久性。钢筋混凝土结构一般不需要维护,使用寿命较长。

⑤整体性好。整体现浇式钢筋混凝土结构和装配整体式钢筋混凝土结构的整体性能较好,具有良好的抗震、抗风、抗撞击和抗爆炸冲击能力。

⑥取材容易。混凝土中用料最多的砂、石等可就地取材,既可降低运输成本,又可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料,有利于环境保护。

钢筋混凝土结构的缺点是自重大、抗裂性能差、现浇施工时耗费模板多、工期长、隔音隔



热性能差。这些缺点正逐步得到克服:预应力混凝土可提高抗裂性,高强混凝土可改善防渗性能,轻质高强混凝土可减轻结构自重和改善隔音隔热性能,预制钢筋混凝土构件可节省模板和缩短工期。

(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都很小,所以钢筋混凝土结构在正常使用荷载作用下一般是带裂缝工作的。为了克服这一缺点,可在结构承受荷载之前,在正常使用荷载作用下可能开裂的部位,人为地施加压应力,以抵消或减小外荷载产生的拉应力,从而使构件在正常使用荷载作用下不开裂,或者延迟开裂、减小裂缝宽度。这种配置预应力钢筋的混凝土结构称为预应力混凝土结构。预应力混凝土结构能有效延缓开裂,提高构件的抗裂性能和刚度,并可节约钢筋,减轻自重。但其构造、计算和施工均较复杂且延性差。延性是指结构、构件或截面的延性,是指从钢筋屈服至达到最大承载能力(或达到最大承载能力后,承载能力没有明显下降)期间的变形能力。延性差的结构、构件或截面,后期变形能力小,在达到最大承载能力后会突然发生脆性破坏。因此,结构、构件或截面应具有一定的延性。

预应力混凝土结构的应用非常广泛,特别是在大跨度或承受动力荷载的结构以及不允许开裂的结构中得到了广泛的应用。在房屋建筑工程中,预应力混凝土结构不仅应用于屋架、屋面板、楼板、檩条、吊车梁、柱、墙板、基础等构件,而且在大跨度、高层房屋的现浇结构中也得到了应用。

4) 钢结构

钢结构是由钢板和各种型钢,如工字钢、槽钢、角钢、T型钢及薄壁型钢等制成的,常应用于大跨度结构房屋、桥梁、高层建筑、高耸建筑(电视塔、高压塔)、重工业或有动力荷载的厂房、壳体结构等。

钢结构具有以下特点。

(1) 高强质轻。钢材的强度大,在承受同样荷载的情况下,其用量比别材料少,能减轻结构自重。

(2) 材质均匀,各向同性,材料弹性范围大。这与材料力学的基本假设相符合,故结构计算与实际情况的吻合度较好。

(3) 材料的塑性、延性和韧性好。结构对超载、动力荷载、冲击荷载、地震作用、台风的抵抗和适应性强,结构可靠度高。

(4) 制造简便,易于实现工业化大生产;施工安装周期短;无污染、可再生、节能、安全,符合建筑可持续发展的原则。

(5) 耐火性能差。当温度达到 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢结构的材质会发生较大变化;当温度达到 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢结构会瞬间崩塌,完全丧失承载能力。

(6) 易腐蚀,需要经常用油漆进行维护,故维修养护费用高。

(7) 密封性能好。钢结构的水密性和气密性均较好。

5) 混合结构

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。砖混结构就是典型的混合结构。目前,钢与混凝土组合结构也应用得非常广泛。

(1) 型钢混凝土组合结构。型钢混凝土组合结构包括组合型钢骨混凝土结构[如图 0-1(a)所示的实腹式型钢混凝土梁截面]和钢管混凝土结构[如图 0-1(b)所示的钢管混凝土柱截面]。

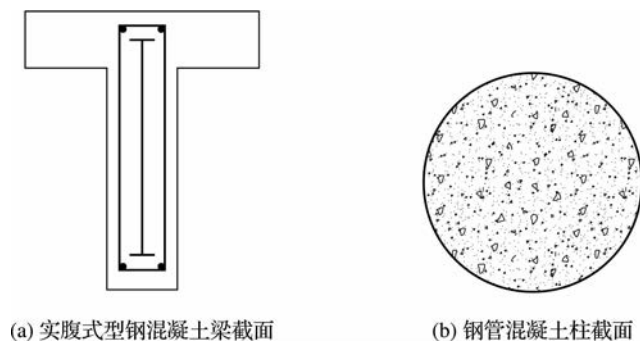


图 0-1 型钢混凝土组合结构

组合型钢骨混凝土结构是把型钢埋入钢筋混凝土中的一种独立的结构形式。由于在钢筋混凝土中增加了型钢,型钢以其固有的强度和延性及型钢、钢筋、混凝土三位一体的工作使型钢混凝土组合结构具备了比传统的钢筋混凝土结构承载力大、刚度大、抗震性能好的优点。与钢结构相比,型钢混凝土组合结构具有防火性能好、结构局部和整体稳定性好、节省钢材的优点。有针对性地推广和应用此类结构,对我国多(高)层建筑的发展、优化及改善结构的抗震性能都具有极其重要的意义。

国内外试验表明,型钢混凝土组合结构在低周反复荷载作用下具有良好的滞回特性和耗能能力。尤其是配置了实腹式型钢的型钢混凝土组合结构构件的延性、承载力、刚度,更优于配置了空腹式型钢的型钢混凝土组合结构构件。

钢管混凝土也称钢管套箍混凝土,是将一层薄壁钢管包裹在素混凝土外边形成的组合结构,多用于柱。钢管混凝土结构的构造特征决定了其核心混凝土强度能够得到充分发挥,维持较高的抗压承载力和较好的延性,具有较好的抗震性能和耐火性能。钢管混凝土结构按截面形式的不同可以分为矩形截面钢管混凝土结构、圆形截面钢管混凝土结构和多边形截面钢管混凝土结构。其中,圆形截面钢管混凝土结构和矩形截面钢管混凝土结构应用得最为广泛。

(2) 压型钢板混凝土组合楼板。压型钢板混凝土组合楼板(见图 0-2)利用凹凸相间的压型薄钢板做衬板与现浇混凝土浇筑在一起,支承在钢梁上构成整体型楼板。压型钢板混凝土组合楼板主要由楼面层、组合板和钢梁三部分组成,适用于大空间建筑和高层建筑,在国际上已被普遍采用。压型钢板混凝土组合楼板具有施工周期短、现场作业方便、建筑整体性优于预制装配式楼板的优点;缺点是因需多道小梁,楼层所占净高较大,且压型钢板板底需做防火处理。

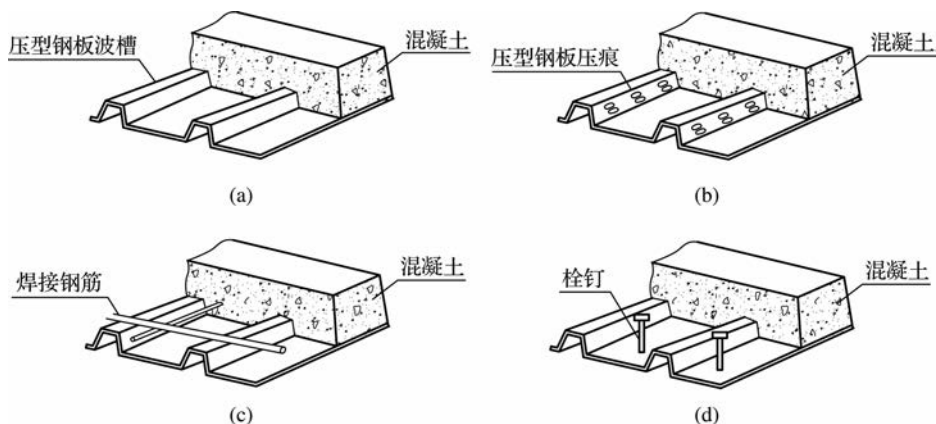


图 0-2 压型钢板混凝土组合楼板

2. 按承重结构类型划分

按建筑主体结构的受力体系不同,建筑结构可分为框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构、排架结构、悬索结构、壳体结构、网架结构、膜结构等。

1) 框架结构

框架结构(见图 0-3)由梁、板、柱组成,具有平面布置灵活、造型活泼、易于形成大空间和满足多功能要求的特点。框架结构的延性较好、抗侧移刚度小,其侧向位移会随房屋高度的增加而急剧增大,这使框架结构的建筑高度受到限制。在 7 度抗震设防区,现浇钢筋混凝土框架结构的最大适用高度为 50 m,当抗震设防为 8 度时,最大高度为 40 m。框架结构适用于多层和高层办公楼、旅馆、医院、学校、住宅、商场等内部有较大空间要求的房屋以及各种多层工业厂房和仓库等。



图 0-3 框架结构

2) 剪力墙结构

剪力墙结构的墙体同时承受竖向荷载和水平荷载。剪力墙是结构墙,又称抗震墙。因

为它的抗侧移刚度大,所以抵抗水平方向的地震作用和风荷载的能力强。剪力墙的侧向位移很小,适于建造较高的房屋;但剪力墙的间距不太大,因而平面布置不太灵活,多用于建造12~30层的住宅、旅馆等开间小的房屋。剪力墙结构平面布置如图0-4所示。

3) 框架-剪力墙结构

框架-剪力墙结构是在框架结构的纵横两个方向的部分柱间设置剪力墙。这种结构充分发挥了框架和剪力墙结构各自的优点,在高层建筑中得到广泛应用,多用于15~25层的房屋,一般不宜超过30层。框架-剪力墙结构平面布置如图0-5所示。

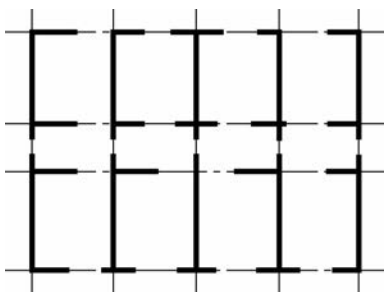


图 0-4 剪力墙结构平面布置

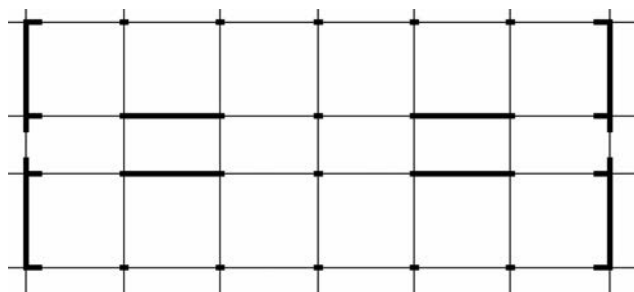


图 0-5 框架-剪力墙结构平面布置

4) 筒体结构

将剪力墙卷成竖向的空筒,就形成实腹筒。实腹筒一般由电梯井、楼梯间、管道井等组成,开孔少,因其常位于房屋中部,故又称核心筒。由布置在房屋四周的密排立柱(柱距一般为1.22~3.0 m)和截面高度很大的梁(称为窗裙梁,梁高一般为0.6~1.22 m)组成的筒体结构又称框筒或空腹筒,如图0-6(a)所示。筒体单元紧密并立连成一体,则称成束筒。

根据房屋高度及其所受水平力的不同,筒体结构可以布置成核心筒结构、框筒结构、筒中筒结构(通常用框架做外筒,用实腹筒做内筒)[见图0-6(b)]、框架-核心筒结构[见图0-6(c)]、成束筒结构和多重筒结构等形式。由于筒体实际上是由纵横两个方向的剪力墙构成的封闭空间结构,比剪力墙结构具有更大的抗侧移刚度,因而可以做得很高。筒体结构多用于30层以上的高层和超高层建筑中。

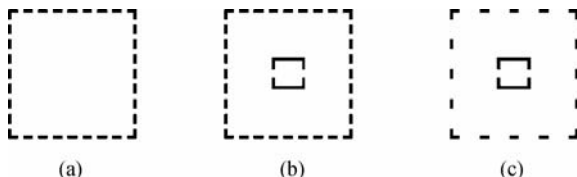


图 0-6 筒体结构

5) 排架结构

排架结构(见图0-7)由屋架(或屋面梁)、柱和基础构成横向平面排架,作为主要承重体系,



再通过屋面板、吊车梁、支撑等纵向构件将横向平面排架连接起来,构成整体的空间结构。排架结构常用于高大空旷的单层建筑物,如工业厂房、飞机库和影剧院的观众厅等;主要用于单层厂房,其柱顶用大型屋架或桁架连接,再覆以装配式的屋面板。根据需要,有的排架建筑屋顶还要设置大型天窗,有的则沿纵向设置吊车梁。由于排架结构房屋的刚度小、重心高、需承受动荷载,因此需要安装柱间支撑和屋盖部分的支撑,还要在两端山墙处设置抗风柱。



图 0-7 排架结构

6) 悬索结构

悬索结构是由柔性受拉索及边缘构件或支撑塔架组成的承重结构。索的材料可以采用钢丝束、钢丝绳、钢绞线、链条、圆钢以及其他受拉性能良好的线材。悬索结构能充分利用高强材料的抗拉性能,可以做到跨度大、自重小、材料省、易施工。中国是世界上最早应用悬索结构的国家之一,在古代就曾用竹、藤等材料做吊桥来跨越深谷。明朝成化年间(1465—1487年)已用铁链建成雾虹桥。近代的悬索结构除用于大跨度桥梁工程以外,还用在体育馆、飞机库、展览馆、仓库等大跨度结构中。悬索桥如图 0-8 所示。



图文
雾虹桥及摩崖
石刻

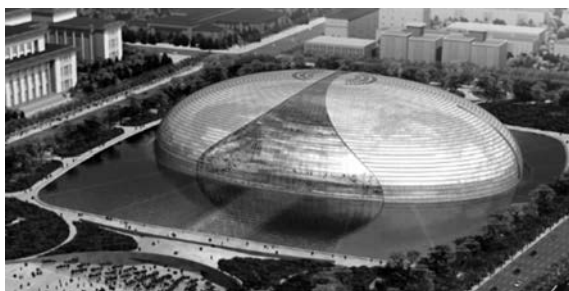


图 0-8 悬索桥

7) 壳体结构

壳体结构是由曲面形板与边缘构件(梁、拱或桁架)组成的空间结构。壳体结构具有很好的空间传力性能,能以较小的构件厚度形成承载能力强、刚度大的承重结构,能覆盖或围

护大跨度的空间而不需要中间支柱,能兼作承重结构和围护结构,可以节约结构材料。壳体结构可做成各种形状,以适应工程造型的需要,因而广泛应用于工程结构中,如大跨度建筑物顶盖、中小跨度屋面板等。工程结构中采用的壳体结构多由钢筋混凝土做成,也可用钢、木、石、砖或玻璃板做成。位于北京人民大会堂西侧的国家大剧院(见图 0-9)采用的就是壳体结构,该结构被分成数十块,分批由 600 t 的巨型履带吊车吊装而成。



图文
中国国家大
剧院

图 0-9 中国国家大剧院

8) 网架结构

网架是格构化的板,可称为网板。网架是由桁架发展而来的,梁的中间受力不大的部位挖去后形成桁架,桁架相互交叉联合起来就形成网架。网架是空间桁架或立体桁架。网架多采用钢结构,但也有部分采用钢筋混凝土结构。网架结构的杆件一般用钢管,节点多为空心球。网架与桁架相比,支承跨度进一步增大,材料消耗减少很多,并且整体性好、空间刚度高,是一种良好的抗震结构形式,尤其对大跨度建筑有明显的优越性。上海体育馆的屋盖采用的就是网架结构,其为一圆形建筑物,直径为 110 m,屋盖挑出 5 m。

9) 膜结构

自 20 世纪 70 年代以来,透光、防水、高强、光洁、抗老化且易清洗的膜材料不断涌现,促进了膜结构的发展。

膜结构是由多种高强薄膜材料及加强构件(钢架、钢柱或钢索)通过一定方式使其内部产生一定的预张应力以形成某种空间形状,作为覆盖结构,并能承受一定外荷载作用的一种空间结构形式。膜结构可分为充气膜结构和张拉膜结构两大类。充气膜结构是靠室内不断充气,使室内外产生一定压力差(一般为 10~30 mm 水柱),室内外的压力差使屋盖膜布受到一定的向上的浮力作用,从而实现较大的跨度。张拉膜结构则通过柱及钢架支承或钢索张拉成型。“水立方”(见图 0-10)是国内首次采用 ETFE 膜结构的建筑物,也是目前世界上面积最大、功能要求最复杂的膜结构系统。



图文
国家游泳中心

图 0-10 “水立方”

0.2 建筑结构的发展概况

0.2.1 结构设计理论方面

1. 允许应力法

结构设计最初按弹性理论的允许应力法,把材料看成理想的弹性体,设计要求结构在使用时任何一点的应力不得超过其允许应力值。允许应力值等于材料强度(f)除以安全系数(k),其设计表达式为 $\sigma_{\max} \leq [\sigma] = f/k$ 。允许应力法的特点是以降低材料强度取值的方法来保证构件的安全性, k 根据经验确定。

2. 极限状态法

极限状态法问世于 20 世纪 50 年代中期,这个方法规定了承载能力、变形和裂缝等极限状态,用超载系数、材料匀质系数和工作条件系数 3 个分项系数代替单一的安全系数,要求荷载效应最大值(S_{\max})不超过截面最小抗力(R_{\min}),即 $S_{\max} \leq R_{\min}$ 。极限状态法的特点是在荷载及材料强度的取值上开始引入数理统计的方法,再结合经验确定一些系数,因此被称为半概率半经验的极限状态法。

自 20 世纪 70 年代以来,以数理统计为基础的结构可靠度理论进入工程实用阶段。目前许多国家已采用这种以概率理论为基础的极限状态法。这种理论的显著特点是运用概率理论对结构可靠性的度量做出科学的回答,明确可靠度的定义及计算公式,但由于还存在一定的近似性,因此被称为近似概率法。目前,我国结构设计计算所采用的是以概率理论为基础的极限状态设计法。

目前,有学者提出将全过程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。随着计算机技术的不断发展,工程结构计算正向精确化方向发展,结构的非线性分析成为发展趋势。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法。

0.2.2 建筑结构材料方面

1. 混凝土材料

混凝土材料将朝高性能、智能化和绿色化方向发展。

1) 高性能

混凝土的高性能主要体现在高的工作性、高强度和高的耐久性方面,如水工混凝土的抗渗、寒冷地区的抗冻、机场和公路混凝土路面的抗冲耐磨、海工或化工混凝土工程的抗酸性侵蚀、大体积混凝土的抗裂等。高的工作性可通过复合超塑化剂来实现,使得混凝土无须振捣,靠自重流平模板的每一个角落,即自流平混凝土。高强度可以通过复合各种纤维来实现。目前,美国已制成 C200 的混凝土,我国已制成 C100 的混凝土。高的耐久性根据具体要求不同而复合不同的材料,如复合化学纤维、超细矿物掺合料或引气剂等可提高混凝土的抗渗性和抗冻性,复合高炉矿渣和粉煤灰可有效提高混凝土抗硫酸盐的侵蚀能力。

2) 智能化

所谓智能化,就是在混凝土原有组分的基础上复合智能型组分,使混凝土材料成为具有自感知和记忆、自调节、自修复特性的多功能材料。自感知混凝土就是在混凝土基材中复合部分导电相,使混凝土具备本征自感应功能。例如,在混凝土中加入具有温敏性的碳纤维,可使混凝土具有热电效应和电热效应。

3) 绿色化

混凝土虽然拥有众多优势,但是其对环境的影响也不容忽视,其生产和应用给生态环境带来许多不利的影响。所以,混凝土就必然面临这一问题所带来的冲击,可持续经济、循环经济、节能减排等一系列国家政策要求混凝土必须走绿色之路。将占混凝土质量 80%左右的天然骨料(砂石料)全部用工业废料和建筑垃圾代替,具有重要意义。将工业废料(如高炉矿渣和煤矸石)和建筑垃圾(如拆迁后的废砖和废旧混凝土)破碎后,经过分级、清洗和配比,可以制成再生骨料(再生砂石),再用其部分或全部代替天然骨料制成混凝土(再生混凝土)。这种再生骨料的替代率越高,混凝土的绿色度就越高。

2. 高强钢筋

高强钢筋快速发展。现在强度达 $400\sim 600\text{ N/mm}^2$ 的高强钢筋已开始应用,今后还将出现强度超过 $1\ 000\text{ N/mm}^2$ 的高强钢筋。

3. 砌体结构材料

砌体结构材料向轻质、高强方向发展。空心砖能有效减小材料自身的质量,国外空心砖的抗压强度可达 $30\sim 60\text{ N/mm}^2$,甚至超过 100 N/mm^2 ,空洞率也达 40%以上。高强砂浆也是砌体结构材料的发展趋势。

4. 钢结构材料

钢结构材料朝高效能方向发展,除提高材料强度外,还应大力发展型钢。如 H 型钢可



直接作为梁和柱；压型钢板可直接作为屋盖，也可在上面浇一层混凝土作为楼盖。

0.2.3 工程实践方面

为满足社会生产发展和人们生活的需要，现代建筑逐步朝大跨度、高层、造型奇特的方向发展，这也是建筑科技发展的集中体现。

大跨度结构向空间钢网架、悬索结构、薄壳结构发展。空间钢网架的最大跨度已超过 100 m。

我国在高层建筑方面起步较晚，但发展较快。20 世纪 80 年代，我国最高的建筑是深圳国际贸易中心大厦（高 160 m，50 层）。1999 年建成了我国当时最高的超高层建筑——金茂大厦（地上 88 层，地下 3 层，高 420.5 m）。2008 年建成的上海环球金融中心（见图 0-11），地上 101 层，高 492 m。2018 年投入使用的北京第一高楼——中国尊（见图 0-12），即中国中信大厦，地上 108 层，地下 7 层，高 528 m。



图文
北京中信大厦



图 0-11 上海环球金融中心



图 0-12 中国尊

建筑造型朝新、奇、特方向发展，通过融合当地文化，形成各具特色的地标性建筑物。CCTV 主楼（见图 0-13）高约 234 m，总建筑面积约为 $44 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，由两座斜塔组成，两座斜塔的顶部以 14 层高的悬臂结构相连，主楼下部设有 9 层群楼和 3 层地下室。哈尔滨大剧院（见图 0-14）总建筑面积达 $7.9 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，包含 1 600 座大剧场和 400 座小剧场，坐落于松花江北岸江畔，远远望去，张力十足的曲线结构很像雪峰，与冰城的北国风光默契呼应。建筑造型的新、奇、特也给建筑结构设计提出了更高的要求。



图 0-13 CCTV 主楼



图 0-14 哈尔滨大剧院



图文
哈尔滨大剧院

0.3 关于建筑结构课程

0.3.1 建筑结构课程的课程内容和学习目标

建筑结构课程是建筑工程技术、工程监理、建筑工程管理等专业的主干课程。

1. 课程内容

按内容的性质,建筑结构课程可分为结构基本构件和结构设计两大部分。根据受力与变形特点的不同,结构基本构件可归纳为受弯构件、受拉构件、受压构件和受扭构件。根据材料的不同,建筑结构课程包括混凝土结构、砌体结构和钢结构等内容。

2. 学习目标

通过学习,了解建筑结构计算的基本原则,掌握钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构基本构件的设计计算方法,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。



0.3.2 建筑结构课程的学习要求

1. 要注意同力学课程的区别和联系

本课程所研究的对象,除钢结构外都不符合匀质弹性材料的条件,因此力学公式多数不能直接应用,但从利用几何、物理和平衡关系建立基本方程的角度来看,两者是相同的。所以,在应用力学原理和方法时,必须考虑材料性能的特点,切不可照搬照抄。

2. 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、配筋方式和数量也可以有多种答案。这时往往需要综合考虑适用、材料、造价、施工等多方面因素,才能做出合理的选择。

3. 要重视各种构造措施

现行实用的结构计算方法一般只考虑了荷载的作用,其他影响(如混凝土收缩、温度变化、地基不均匀沉降等的影响)难以用计算公式表达。规范根据长期工程实践经验,总结出了一些构造措施来考虑这些因素的影响,它与结构计算是结构设计中相辅相成的两个方面。因此,学习时不但要重视各种计算,还要重视构造措施的理解及应用。

4. 要注意学习有关标准、规范和规程

本课程的学习必须与我国现行的有关标准、规范和规程紧密结合。现行的有关标准、规范和规程主要包括《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《建筑结构可靠性设计统一标准》(GB 50068—2018)、《混凝土结构设计规范(2015年版)》(GB 50010—2010)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《钢结构设计标准》(GB 50017—2017)等。

5. 要加强识图能力的培养

识图能力对于本课程相关专业学生来说是非常重要的。为了培养识图能力,一方面要注意掌握基本的结构概念,另一方面应理解和熟悉有关结构的构造要求,学习时可参阅《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》(16G101)系列图集,该图集事实上具有某些制图标准的性质。



思考与练习

1. 思考题

- (1)什么是建筑结构? 建筑结构由哪些基本构件组成?
- (2)建筑结构有哪些分类方法? 各可分为哪几类? 各有什么特点?
- (3)钢筋混凝土结构有哪些优点和缺点?
- (4)本课程的学习目标和学习要求是什么?

(5)学习本课程要注意哪些问题?谈谈你自己的打算。

(6)与本课程密切相关的规范和图集有哪些?

2. 单项选择题

(1)建筑结构基本构件中能提供活动面,并直接承受和传递竖向荷载及自身质量的构件是()。

A. 板 B. 梁 C. 柱 D. 墙

(2)建筑结构中能将上部荷载传给地基的基本构件是()。

A. 梁 B. 柱 C. 墙 D. 基础

3. 多项选择题

(1)建筑结构是一个受力骨架,其基本构件包括()。

A. 水平构件 B. 竖向构件 C. 基础 D. 地基

(2)我国规范规定的结构设计使用年限包括()。

A. 5年 B. 25年 C. 50年 D. 100年