

普通高等教育“十一五”规划教材

建筑结构设计原理

李章政 熊峰 编著



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”规划教材

建筑结构设计原理

李章政 熊 峰 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书分为四篇,共15章。第一篇为结构设计原理基础;第二篇混凝土结构,详细介绍了混凝土结构材料的性能,混凝土构件(受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件)的受力特点、构造要求和承载力计算,以及预应力混凝土构件等;第三篇砌体结构构件,主要内容包括砌体的力学性能、无筋砌体构件承载力、配筋砌体构件承载力;第四篇钢结构构件,介绍了建筑钢材的性能、钢结构连接和钢结构构件计算。

本书可作为高等院校土木工程、建筑等专业师生的教材,也可供相关领域工程技术人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构设计原理/李章政,熊峰编著. —北京:化学工业出版社,2009.5
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-05251-3

I. 建… II. ①李…②熊… III. 建筑结构-结构设计-高等学校-教材 IV. TU318

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第055689号

责任编辑:满悦芝

文字编辑:荣世芳

责任校对:周梦华

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张22 字数588千字 2009年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:39.80元

版权所有 违者必究

前言

土木工程是工科中最古老的专业，也是最具活力的专业。长达两百年的发展使其人才培养体系日趋完善并与时俱进，各类课程既保留了基本理论又不断引入创新成果。众所周知，“建筑结构设计原理”是土木工程专业最重要的课程之一，它研究建筑结构的构成规律、各类外在荷载作用以及结构的承载能力，讲述不同材料构件的设计方法和构造要求。长久以来它被分为三门课程：“钢筋混凝土结构”、“钢结构”以及“砌体结构”，其中不乏重复和交叉的内容，学时要求特别长。随着高教改革的不断深入，目前国内大多数院校都在向强基础、宽专业方向发展，压缩专业课已成为一种趋势。事实上，高等教育并非终身教育，学生毕业后面临不断的技术创新，只有继续学习方可跟上时代的步伐。从这个意义上来说，高等教育只是学生职业生涯的基础，掌握专业基本理论是今后继续教育的根基。在这样的背景下，我们重新编写了“建筑结构设计原理”，将原有的三大结构课程整合，分离出基本理论，将共有的内容如结构上的荷载作用和结构设计统一方法集中编写，然后将各类材料构件设计原理独立成篇。整个体系既互相呼应以加强结构设计方法的贯通，又突出不同材料的特点，为工程应用打下了基础。

“建筑结构设计原理”在土木工程专业知识体系中是一门承上启下的课程。相对数学、力学等基础课程，它有着强烈的专业背景，而对后续的专业课程它又承担着理论基础的角色。因此，本书在编排上抓住这一特点。首先，强调它的基础性，除了系统地讲述理论体系，还安排了大量的习题，帮助学生掌握概念，熟悉计算方法；其次，强调它的工程性，书中插入了大量的工程图片，包括5.12汶川大地震中建筑结构的破坏，使学生在学基础理论的过程中结合工程实践，了解可能的应用，同时也加深了对书本知识的理解。

编者长期从事土木工程专业的教学、科研与工程项目咨询工作，对如何传授建筑结构设计知识有一定的体会，因此集多年的思考编写了该教材。作为课程体系和教学方法改革的一种探索，本书不可避免地存在着缺点和不足，恳请读者提出宝贵意见，在此致以衷心的感谢！

编者

2009年元月于四川大学

目 录

第一篇 结构设计原理基础

第1章 绪论	2
1.1 建筑和建筑结构	2
1.2 建筑结构的类型和特点	3
1.3 建筑结构构件体系	8
1.4 结构设计理论的发展过程	9
1.5 课程的性质和学习要求	10
思考题	11
选择题	11
第2章 结构上的荷载及其取值	13
2.1 建筑结构设计基本规定	13
2.2 建筑结构上的荷载及其分类	14
2.3 永久荷载代表值	15
2.4 可变荷载代表值	17
思考题	21
选择题	21
计算题	22
第3章 建筑结构设计方法	23
3.1 结构功能要求和极限状态	23
3.2 概率分布与保证率	24
3.3 结构可靠度理论	27
3.4 结构极限状态设计方法	29
思考题	32
选择题	32
计算题	33

第二篇 混凝土结构

第4章 混凝土结构材料的性能	35
4.1 混凝土的力学性能	35
4.2 混凝土的性能指标取值	41
4.3 钢筋的种类及其性能	43
4.4 钢筋的性能指标取值	47
4.5 钢筋与混凝土的黏结	48

思考题	50
选择题	51
计算题	52
第 5 章 混凝土受弯构件	53
5.1 混凝土受弯构件的一般构造规定	53
5.2 混凝土受弯构件正截面受力特点	57
5.3 混凝土受弯构件正截面承载力	62
5.4 混凝土受弯构件斜截面承载力	72
5.5 混凝土受弯构件裂缝宽度验算	84
5.6 混凝土受弯构件挠度验算	88
思考题	91
选择题	92
计算题	93
第 6 章 混凝土受压构件	96
6.1 混凝土受压构件及其构造要求	96
6.2 混凝土轴心受压构件正截面承载力计算	99
6.3 混凝土偏心受压构件正截面承载力计算	104
6.4 混凝土偏心受压构件斜截面承载力计算	119
6.5 混凝土偏心受压构件裂缝宽度验算	120
思考题	122
选择题	122
计算题	123
第 7 章 混凝土受拉构件	125
7.1 混凝土受拉构件的受力特点及构造要求	125
7.2 混凝土轴心受拉构件承载力计算	127
7.3 混凝土偏心受拉构件承载力计算	127
7.4 混凝土受拉构件裂缝宽度验算	131
思考题	132
选择题	132
计算题	133
第 8 章 混凝土受扭构件	134
8.1 受扭构件的受力特点及构造要求	134
8.2 混凝土矩形截面纯扭构件承载力计算	138
8.3 混凝土矩形截面弯剪扭构件承载力计算	140
8.4 混凝土 T 形和 I 形截面受扭构件承载力计算	144
思考题	145
选择题	145
计算题	146
第 9 章 预应力混凝土构件	147
9.1 预应力混凝土概述	147
9.2 预应力的施加方法	152
9.3 张拉控制应力和预应力损失	158
9.4 预应力混凝土轴心受拉构件设计	165
思考题	175

选择题	175
计算题	176

第三篇 砌体结构构件

第 10 章 砌体的力学性能	178
10.1 砌体结构材料	178
10.2 砌体结构的类型	182
10.3 砌体的受压性能	185
10.4 砌体的其他受力性能	188
10.5 砌体的强度指标取值	190
思考题	192
选择题	192
计算题	193
第 11 章 无筋砌体构件承载力	194
11.1 无筋砌体构件整体受压承载力计算	194
11.2 无筋砌体构件局部受压承载力计算	198
11.3 无筋砌体构件受弯承载力计算	206
11.4 无筋砌体构件受拉受剪承载力计算	208
思考题	209
选择题	209
计算题	211
第 12 章 配筋砌体构件承载力	212
12.1 网状配筋砖砌体受压构件承载力	212
12.2 组合砖砌体受压构件承载力	216
12.3 配筋砌块砌体构件承载力	223
思考题	226
选择题	226
计算题	227

第四篇 钢结构构件

第 13 章 建筑钢材的性能	229
13.1 建筑结构钢的品种和规格	229
13.2 建筑钢材的力学性能	232
13.3 钢结构选材要求	240
13.4 钢材及其连接的强度取值	242
思考题	244
选择题	245
计算题	246
第 14 章 钢结构连接	247
14.1 钢结构的连接方法	247
14.2 焊缝连接的特性和构造要求	249
14.3 焊缝连接计算	255
14.4 普通螺栓连接	265
14.5 高强度螺栓连接	273

思考题	275
选择题	276
计算题	276
第 15 章 钢结构构件计算	278
15.1 钢结构轴心受力构件	278
15.2 钢结构受弯构件	288
15.3 钢结构偏心受力构件	303
思考题	308
选择题	308
计算题	309
附录 设计计算用表格	311
参考文献	342

第一篇 结构设计原理基础



历史上第一栋高楼于1883年诞生于美国芝加哥，高55m，由铁柱钢梁承重，成为人类居住、办公向空中发展的里程碑。1931年建成的纽约帝国大厦，高度达到381m，被称为摩天大楼。从那时起，中国人就梦想建造自己的高楼大厦。建造高楼要求结构设计理论、建筑材料、建筑设备和施工技术等都要达到相当高的水准。1998年建成上海金茂大厦，88层，高度为421m，是当时中国的第一高楼；2008年在金茂大厦附近落成上海环球金融中心，101层、高492m；台北101大楼，因大楼共101层得名，高度达到508m，为目前世界第一高楼。2008年底开工建设的上海中心，主体结构高580m，总高度达到632m，该楼预计于2014年投入使用。摩天大楼的设计和建造，中国已处于世界领先水平。

第1章 绪论

1.1 建筑和建筑结构

1.1.1 建筑

建筑乃建筑物的简称，是主要供人们生产、生活或从事其他活动的场所。有工业建筑、民用建筑、农业建筑、园林建筑之分，其中工业建筑（各种厂房）和民用建筑（住宅、商场、学校、医院等）习惯上称为“工民建”。建筑或建筑物又被人们称为房屋或楼房，它由建筑师构思创作，结构工程师、造价工程师和水、电、设备等其他专业工程师参与形成蓝图，最后由建造师和建筑工人（历史上称为工匠）将纸上物变成地面实体。所以，建筑牵涉面广，是一个系统工程，具有庞大的行业队伍，历史悠久。

美观或美学上的要求是房屋的外在特质，取决于建筑师这种特殊艺术家的艺术细胞，好的建筑是一件艺术品，给人以美的感受，往往成为一个地方或一座城市的标志。

1.1.2 建筑结构

房屋的骨架部分称为建筑结构，它由基础、立柱（或墙体）、大梁、楼板、屋盖系统组成。建筑结构要承担各种外部作用，如荷载、温度变化、地基不均匀沉降、地震等。房屋的安全性、适用性和耐久性属于房屋的内在特质。内在特质取决于结构，即取决于结构工程师的正确设计，取决于建造师和建筑工人的精心组织、精心施工，取决于监理工程师的质量监控。

结构设计应遵循的原则是“技术先进、经济合理、安全适用、确保质量”共十六个字。结构的安全和适用是结构赖以存在的基础，所以任何类型的建筑结构都必须满足以下基本要求。

（1）平衡 在静力荷载作用下，建筑结构整体和结构的任何一部分相对于地基不发生运动，即要求静止于地面。平衡是结构与机构的根本区别。所以，建筑结构整体或结构的任何一部分都应当是几何不变的。

在阵风、设备振动、地震等动力作用下，结构整体或其中某一部分会发生相对运动，产生位移、速度和加速度，这些参量需由动力学方程求解。

（2）稳定 建筑结构整体或结构的一部分作为刚体不允许发生危险的运动。所谓危险运动是指作为刚体失去稳定，如挑梁或雨篷倾覆、房屋倾斜。倾斜不大时虽然不会导致倒塌，但是会影响使用，比如意大利比萨斜塔曾一度关闭，苏州虎丘塔倾斜至今未对游客开放；倾斜过大会导致倒塌，比如1924年杭州雷峰塔倾塌。这种危险运动可能是由于结构自身不够强大所致，也可能是由于结构立足的地基产生不均匀沉降和滑移等造成。图1-1所示的屋倾楼倒就是结构失去了稳定所致，带来的损失很大，设计上应该避免这种悲剧的发生。所以我国抗震设计规范

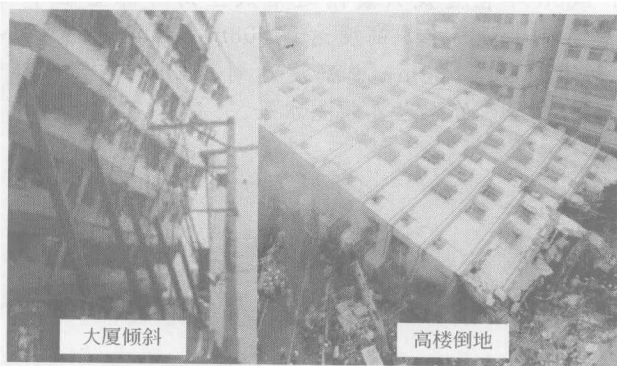


图 1-1 整体失去稳定

要求建筑结构大震不倒，就是在遭遇千年一遇的地震烈度时，建筑结构作为整体不能倒塌。

(3) 承载能力 结构或结构的任何一部分在预计的荷载作用下，必须安全可靠，具备足够的承载能力（抵抗破坏的能力）、一定的材料强度储备。承载能力不足，严重时可导致柱毁、墙裂、梁断、屋塌，影响结构安全，影响人的生命、财产安全。图 1-2 为建筑结构承载力不足导致的房塌、柱毁实际案例，教训惨重，应为设计、施工者戒！



图 1-2 建筑结构承载力不足的教训

(4) 适用 建筑结构应当满足建筑物的使用目的，不应出现影响正常使用的过大变形、过宽的裂缝、局部损坏、振动等。

1.2 建筑结构的类型和特点

1.2.1 按材料分类

根据结构所用材料不同，建筑结构可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构、木结构和混合结构五类。

1.2.1.1 混凝土结构

混凝土结构属于现代结构类型，它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。

混凝土是由水泥、水、细骨料（砂）、粗骨料（碎石、卵石）和掺合剂（减水剂、增塑剂、早强剂等），经搅拌、浇筑、成型后制成的人工石材，它是建筑工程领域中应用极为广泛的一种建筑材料。混凝土的抗压强度较高，而抗拉强度则较低。因此，未配置受力钢筋的素混凝土结构的应用受到限制，一般只用作基础垫层或室外地坪、基础墙、柱墩等，不能用在承受拉力、弯矩的结构构件中。

钢筋混凝土结构中配置有受力的普通钢筋、钢筋网形成的钢筋骨架，承载能力和变形性能显著提高。预应力混凝土结构中除配置有普通受力钢筋外，还配有预应力钢筋，变形性能进一步改善，抗裂能力明显提高。钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构都由钢筋和混凝土两种材料组成，它们能够结合在一起有效地共同工作，主要是由于下述三个方面的原因。

① 钢筋与混凝土的接触面上存在黏结强度，能够传递两者之间的相互作用力，使之共同受力。

② 钢筋与混凝土的温度线膨胀系数很接近，钢筋为 $1.2 \times 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$ ，混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$ 。当温度变化时，钢筋和混凝土的变形基本相等，不会破坏两者之间的黏结，能够保证结构的整体性。

③ 钢筋包裹于混凝土之中，避免了与大气的接触，不会锈蚀，从而保证了耐久性。

钢筋混凝土结构是目前应用最广泛的结构，具有节省钢材、就地取材、耐火耐久、可模性好、整体性好等多项优点。钢筋混凝土结构的缺点表现在结构自重大，抗裂性能差，现浇

结构模板用量大、工期长,隔热隔声效果较差。随着科学技术的进步,这些缺点正在被逐一克服。采用轻质高强混凝土,可以克服自重大的缺点;采用预应力混凝土结构可以控制裂缝宽度,甚至可以保证在使用过程中不开裂;采用预制构件,可减少模板,缩短工期。

1.2.1.2 砌体结构

由砖、石、混凝土砌块等块体材料和砂浆经砌筑而成的结构,称为砌体结构。砌体结构大量用于居住建筑(住宅)和一般民用房屋(办公楼、商店、宾馆、医院、教学楼等),其中以砖砌体的应用最为广泛。



图 1-3 施工中的砖砌体结构

砌体结构是古老的建筑结构之一,能够延续至今,说明自身具有优势。砌体结构的优点在于:

- ① 取材方便,造价低廉;
- ② 良好的耐火性和耐久性;
- ③ 保温、隔热、隔声,节能效果好;
- ④ 施工简单,技术容易普及。

砌体结构也存在一些不足,那就是材料强度低、结构自重大、整体性差、施工劳动强度大。图 1-3 为施工中的砖砌体结构,主要靠人工操作。

1.2.1.3 钢结构

钢结构是指以钢材为主制作的结构,属于现代结构类型。根据所用钢材截面尺寸的大小,钢结构又分为普通钢结构和轻型钢结构两种。

钢结构的优点在于材质均匀,强度高,构件截面尺寸小、重量轻,可焊性好,制造工艺简单、便于机械化施工,无污染、可再生;钢结构的缺点是钢材易腐蚀,维护成本高,耐火性较差,造价较高。

1.2.1.4 木结构

木结构是以木材为主制作的结构,是一种古老的建筑结构。图 1-4 为保留下来的仍然在使用的山区民居和具有一定历史的老街,这种结构通常为二层或三层,梁、柱、楼板均为木材制作,为了耐久性要求,一般都要上油漆,屋面为小青瓦,属于轻型屋盖,可以看出历史的厚重,也是“秦砖汉瓦”的传承。



图 1-4 古老的木结构

由于受自然条件的限制,我国木材资源缺乏,木材使用受到国家的严格限制。目前仅在山区、林区和部分农村地区建房,才采用木结构,城市区域、乡镇居民点等已不再修建木结构房屋。在古建筑的维修中,要求修旧如旧,仍然采用木结构,仿古结构如武汉的黄鹤楼、南昌的滕王阁等都采用的是钢筋混凝土结构。

在一些地方,仍有用木材制造一般厂房的屋架,如图 1-5 所示的平面桁架结构:上弦和受压腹杆采用木材,下弦和受拉腹杆采用角钢或钢筋。

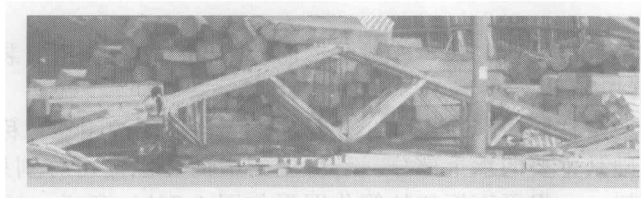


图 1-5 木屋架

木结构的优点在于制作简单、自重轻、容易加工，缺点是易燃、易腐、易受虫蛀、变形较大。

北美加拿大和一些欧洲国家，地方广阔，而人烟稀少，木材资源比较丰富。一些开发商开发出了装配式木结构楼房，如图 1-6 所示。它采用所有构件工厂制作、现场安装的施工工艺，可以修到五层到六层，成为名副其实的洋房别墅。科学技术的进步，使古老的木结构焕发出了青春。

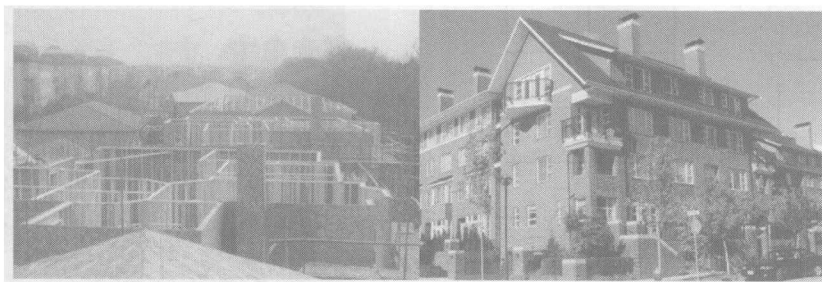


图 1-6 新式木结构洋房

1.2.1.5 混合结构

由两种或两种以上材料为主制作的结构称为混合结构。

① 钢木结构：图 1-5 所示的屋架，由钢制拉杆和木制压杆组成钢木混合桁架。

② 砖木结构：老式多层砌体房屋，多采用砖木结构。砖墙、砖柱作为竖向承重构件，木梁、木楼板作为水平承重构件，再配上瓦屋盖。

③ 砖混结构：现代多层砌体房屋，一般采用砖混结构。砖墙、砖柱作为竖向承重构件，钢筋混凝土作为水平承重构件（钢筋混凝土梁、钢筋混凝土楼板、钢筋混凝土屋盖）。

④ 钢-混凝土混合结构：超高层建筑中的混合结构一般是钢-钢筋混凝土混合结构，由钢框架或钢骨混凝土框架与钢筋混凝土筒体结构所组成的结构体系共同承受竖向作用和水平作用。上海金茂大厦、上海环球金融中心、台北 101 大楼，其结构形式都是采用的钢-混凝土混合结构。

1.2.2 按结构受力性能分类

根据结构受力性能不同，建筑结构可分为平面结构和空间结构两类，每类中又包含若干种结构型式。

1.2.2.1 平面结构

平面结构是指构件平行布置，传力途径主要沿平面内，空间作用不明显的一类结构型式。这类结构设计计算时按平面力系分析，可减少内力计算的工作量。

(1) 排架结构 屋面横梁或屋架在柱顶处铰接，柱脚与基础固接，横梁（屋架）、柱、基础是主要的承重部分。每根横梁和相应的柱形成一榀平面排架，简化图形如图 1-7(a) 所示。假设横梁刚度无穷大，则在外荷载作用下柱顶的水平位移相等，该结构为一次超静定

结构。

排架结构主要用于单层工业厂房，一般是钢筋混凝土结构，预制安装；对吊车吨位大的重型厂房，可采用钢结构。

(2) 框架结构 梁与柱之间刚性连接、柱与基础固接形成的刚架，称为框架结构。框架结构中，梁、柱、基础是主要的承重部分。沿房屋的横向和纵向可分别划分出若干榀框架，每榀框架成为平面刚架。一榀平面框架的简化图形如图 1-7(b) 所示，该示意图为四层二跨框架。框架结构在内力分析时属于高次超静定结构，手工计算时需要专门的方法：如竖向荷载作用下可用分层总和法（力矩分配）计算内力，水平荷载作用下可采用反弯点法或修正反弯点法（ D 值法）计算内力。

框架结构的房屋在多层和高层建筑中应用广泛，可以是钢筋混凝土框架，也可以是钢框架。图 1-8 为钢筋混凝土框架结构房屋，其中墙体只起维护、分隔作用，不参与受力。这种维护墙、隔墙统称为填充墙，又叫自承重墙。

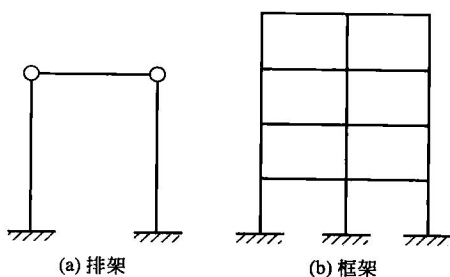


图 1-7 排架和框架简图

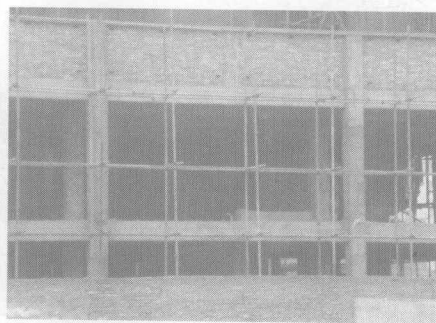


图 1-8 钢筋混凝土框架结构房屋

(3) 剪力墙结构 纵横布置的成片的钢筋混凝土墙体主要承受水平荷载引起的截面剪力，故称为剪力墙。其中从顶层到基础贯通的剪力墙为落地剪力墙，从顶层向下不连通到基础、通过梁柱支撑的剪力墙为框支剪力墙。剪力墙与钢筋混凝土楼盖、屋盖整体连接，形成剪力墙结构。剪力墙结构多用于高层建筑。

图 1-9 为施工中的含剪力墙结构的房屋，左边为剪力墙、右边为框架，这种结构又可称为框架-剪力墙结构。

(4) 筒体结构 筒体包括由多片剪力墙围成的核心筒，由密柱深梁组成的框筒等。这种结构的抗侧移能力和抗扭能力都很强，通常用于高层和超高层建筑。在实际应用中，有框架-核心筒、筒中筒和多束筒等型式。图 1-10 为筒体结构应用的典范，其中左图为马来西亚石



图 1-9 钢筋混凝土剪力墙结构房屋



图 1-10 筒体结构

油双塔大厦, 1998 年建成, 结构型式为钢筋混凝土框架-核心筒, 总高 452m; 右图为位于美国芝加哥的西尔斯大厦, 1974 年建成, 结构型式为钢结构多束筒, 总高 442m。

1.2.2.2 空间结构

承重构件布置成空间形状, 三维受力, 不能简化为平面力系, 而只能按空间力系进行受力分析的结构, 称为空间结构。空间结构跨越能力远远超过平面结构, 所以又称为大跨度空间结构, 主要用于使用上需要大空间的体育场馆、歌舞剧院、航站楼、飞机库等建筑。古代空间结构有拱券结构、穹顶结构、薄壳结构, 现代空间房屋结构的型式多种多样, 主要有以下几种。

(1) 网格结构 由若干杆件按照某种有规律的几何图形通过节点连接起来的空间结构称为网格结构。网格结构中, 平者为网架、曲者为网壳。网架、网壳结构的基本受力构件是二力杆件, 承受轴向力作用, 截面受力均匀, 可充分利用材料的强度。杆件一般由钢管制作。

21 世纪初, 四川大学先后建成两座体育馆——望江体育馆和江安体育馆, 如图 1-11 所示。望江体育馆为网壳结构 (左图), 江安体育馆为网架结构 (右图)。

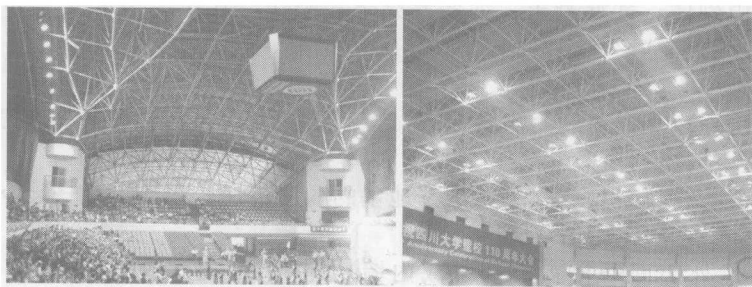


图 1-11 网格结构实例

(2) 悬索结构 悬索结构是以只能承受拉力的钢索作为基本承重构件, 并将索按照一定规律布置所构成的一类结构体系。悬索结构包括索网、侧边构件和下部支承结构三大部分, 主要用于体育建筑、工业车间、文化生活建筑及特殊构筑物等。

(3) 膜结构 膜结构也称织物结构, 是 20 世纪中后期发展起来的一种新型大跨度空间结构型式。它以织物材料为膜材, 由气压支撑或柔性支承结构使膜面产生一定的预张力, 从而形成具有一定刚度、能够覆盖大空间的结构体系。

单一的充气膜结构已很少采用。索穹顶结构是新型的膜结构, 它由一系列连续的拉索和数量较少的压杆构成主要受力体系, 覆以膜材, 构成完整的屋盖。1988 年汉城 (今韩国首尔) 奥运会体操馆 (图 1-12, 直径 120m) 首次采用这种结构型式, 其后许多国家的体育场馆纷纷效仿, 并做了一些技术上的改进。

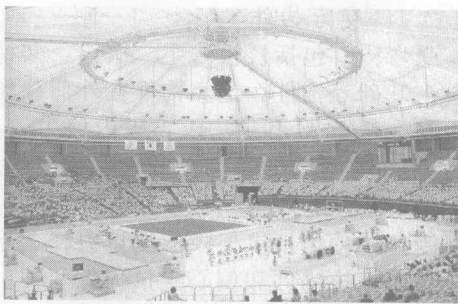


图 1-12 新式膜结构——索穹顶结构

(4) 管桁结构 由薄壁钢管形成的桁架称为钢管桁架结构或管桁结构。它与一般桁架结构的区别在于连接节点的方式不同: 一般桁架采用节点板连接, 管桁结构在节点处采用杆件直接焊接的相贯节点。

管桁结构近年来在大跨度空间结构中得到了广泛的应用。

1.3 建筑结构构件体系

建筑结构是房屋的承重骨架，该骨架的组成部件称为构件。构件是结构的基本单元，建筑设计原理就是以构件作为研究对象，讨论各构件的设计方法。

1.3.1 基本构件及传力途径

1.3.1.1 基本构件

建筑结构的基本构件按位置和作用可分为水平构件、竖向构件和基础三类。

(1) 水平构件 水平构件包括梁、楼板等构件，用钢或钢筋混凝土制作。水平构件的作用是承受竖向荷载，如构件自重、楼面（屋面）荷载。

(2) 竖向构件 竖向构件包括墙、柱等构件，由钢、钢筋混凝土制作，也可由砌体充任。竖向构件的作用，一是支承水平构件（承担其力）；二是承受水平荷载，如风荷载、水平地震作用。

(3) 基础 基础位于结构的最下部。人们将基础称为下部结构，基础以上的结构称为上部结构。基础可由砌体、素混凝土、钢筋混凝土等制作，其作用是承受上部结构传来的荷载，并经扩散后传给地基。

1.3.1.2 传力途径

单层、多层房屋以竖向荷载为主要荷载，控制结构设计；高层和超高层房屋以水平荷载为主要荷载，控制结构设计。

竖向荷载通过板→梁→柱→柱下基础→地基的顺序传递，或通过板→墙→墙下基础→地基的途径传递。

水平荷载通过外墙面→楼盖→柱（或内墙）→柱下基础（或墙下基础）→地基的方式传递。

所以，板、梁、柱、墙和基础是建筑结构中受力、传力的基本构件，它们承受的内力不同，变形形式也不相同。

1.3.2 基本构件受力分类

根据上述基本构件受力状态的不同，可将构件分为受弯构件、受拉构件、受压构件和受扭构件四类。

1.3.2.1 受弯构件

受弯构件包括楼板，主、次梁，楼梯的梯段梁、梯段板、平台梁和平台板，扩展式钢筋混凝土基础等构件。这类构件在外荷载作用下，产生弯曲变形、轴线挠曲、截面转动。梁截面内存在弯矩 M 和剪力 V ，板内剪力较小，以承担弯矩为主。设计时需要考虑抗弯承载力（或正应力强度）和抗剪承载力（或剪应力强度）两个方面的条件。

1.3.2.2 受拉构件

受拉构件包括屋架中的受拉腹杆、下弦杆件以及其他结构中设置的拉杆等构件。受拉构件分轴心受拉构件和偏心受拉构件两种。

轴心受拉构件横截面上只存在轴心拉力 N ，仅产生沿轴线方向的伸长变形，截面上受力均匀。对钢构件而言，这种受力方式是最好的受力方式；但对钢筋混凝土构件来说，这种受力却并不好，因为混凝土受拉开裂后退出工作，全部拉力将由钢筋承担；对砌体结构而言，如果受拉截面沿通缝，那将是很糟糕的，因为通缝只有砂浆，抗拉能力很低。

偏心受拉构件，又称为拉弯构件。截面上承担轴心拉力 N 和弯矩 M 的作用，构件产生沿轴线方向的伸长和弯曲两种变形。偏心受拉构件可能全截面受拉，也可能部分截面受拉、部分截面受压。截面上应力分布不均匀，偏心方向一侧的拉应力大、边缘达到最大值，另一

侧的拉应力小（或为压应力）。

1.3.2.3 受压构件

受压构件包括墙、柱、屋架上弦杆和受压腹杆等构件。受压构件分轴心受压构件和偏心受压构件两种。

轴心受压构件截面上仅存在轴心压力 N ，引起沿轴线方向的压缩变形。截面上压应力分布均匀，构件较短时需考虑强度问题，构件较长时需要考虑压杆稳定问题，还要考虑纵向弯曲的影响。

偏心受压构件，又称为压弯构件。截面上承受轴心压力 N 和弯矩 M 的作用，构件产生沿轴线方向的压缩和弯曲两种变形。偏心受压构件可能全截面受压，也可能部分截面受压、部分截面受拉。截面上应力分布不均匀，偏心方向一侧的压应力大、边缘达到最大值，另一侧的压应力小（或为拉应力）。

1.3.2.4 受扭构件

受扭构件包括雨篷梁（挑檐梁）、框架结构的边梁等构件。纯扭构件在工程上很少见，往往是以弯扭、剪扭、弯剪扭的面目出现，构件产生组合变形。构件横截面上同时存在正应力和剪应力，钢构件需要用强度理论计算折算应力（等效应力、相当应力），钢筋混凝土构件采取分别计算钢筋、相应部位钢筋叠加的方法设计这类构件。

1.4 结构设计理论的发展过程

有巢氏构木为巢，土木方兴，建筑的历史已有数千年。古代建筑结构设计和建造都是工匠凭经验而为之，没有理论指导。先秦著作《考工记》、北宋官方颁布的《营造法式》、清代雍正年间颁布的《工部工程做法则例》和民间流传的《鲁班经》等，都是工程经验的总结。它们都可以指导生产实际，但往往导致构件截面大、材料利用率低、使用空间狭窄等缺陷。

建筑结构设计理论始于 19 世纪西方国家，迄今为止还不到 200 年的历史。最先出现的容许应力法，应用了上百年；而后发展起来的极限状态设计法也有大约 50 年的工程实践。

1.4.1 容许应力法

法国人纳维 1826 年出版《材料力学》一书，提出了容许应力法。这一方法被结构设计所采用，一直到 20 世纪 60 年代，它对其他工程结构的设计现在仍然还有影响。

容许应力法以弹性理论为基础，确定结构（构件）特定部位的应力，使其不超过容许应力，便能保证安全、可靠：

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_k}{K} \quad (1-1)$$

式中 σ ——由标准荷载与构件截面公称尺寸所计算的应力，MPa 或 N/mm^2 ；

$[\sigma]$ ——材料的容许应力，MPa 或 N/mm^2 ；

σ_k ——材料标准强度（极限应力），MPa 或 N/mm^2 ，塑性材料如钢材取屈服极限，脆性材料如砖、石取强度极限；

K ——大于 1 的安全系数，用以考虑各种不确定性因素的影响，凭工程经验取值。

容许应力法中，一切量值都是确定值，这一方法属于定值法。该法计算简单，至今材料力学仍将其作为重点内容讲授，并反复进行强度条件的三类计算。这种方法的缺陷在于不能从定量上度量结构的可靠度，更不能使各类结构安全度达到同一水准。容易让人将安全系数与构件的安全度等同，一些人错误地认为只要给定了安全系数，结构就百分之百可靠；或认为安全系数大结构安全度就高。实践中，安全系数在砖、石砌体结构中取值最大，但并不能说明砌体结构比钢结构、比钢筋混凝土结构更安全。定值法无法考虑材料的变异、抗力的变