



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

建筑结构

高向玲 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

014032385

TU3-43

45



普通高等教育“十二五”规划教材

建筑结构

高向玲 编著



北京
冶金工业出版社

2014



北航

C1720740

TU3-43

45

288580110

内 容 提 要

本书从建筑结构的整体概念出发,简述了建筑结构的发展历史,建筑结构总体设计原则及设计方法,建筑结构常用材料的力学性能,建筑结构上荷载的基本类型及计算取值依据,建筑结构的基本体系等结构总体上的概念,进而根据建筑结构所用的材料不同,分别论述了钢筋混凝土结构基本构件(受弯、受剪、受压、受拉、受扭等基本构件)的承载力计算,以及单向板、双向板、楼梯和雨篷的结构设计,钢筋混凝土基本构件的变形以及裂缝宽度的验算,预应力混凝土构件的基本概念;砌体结构的静力计算方案以及受压构件的承载力计算,配筋砌体的基本类型,砌体结构中的特殊构件(圈梁、过梁、墙梁和挑梁)的概念及基本设计原则;钢结构的连接方式及其承载力计算,轴心受力构件的强度以及稳定性计算,受弯、拉弯、压弯构件的强度以及稳定性计算,钢结构的防腐蚀、隔热和防火措施;建筑钢结构的布置、构件选型和主要构造。

本书为高等院校建筑学以及相关专业的“建筑结构”课程的教材,也可作为非结构工程专业学生了解结构工程的教学用书,也可供建筑、结构设计人员和土木工程专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构/高向玲编著. —北京:冶金工业出版社,
2014.4

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6486-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 031614 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6486-8

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京印刷一厂印刷

2014 年 4 月第 1 版, 2014 年 4 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 18 印张; 479 千字; 276 页

39.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

本书是根据教育部和同济大学城市规划与建筑学院的“建筑结构”课程教学大纲进行编写的,主要作为建筑学以及相关专业的学生“建筑结构”课程的教材和非结构工程专业学生了解结构工程的教学用书,也可作为建筑、结构设计人员和土木工程人员的参考资料。

从2010年起,住房和城乡建设部陆续颁布了新的建筑结构工程设计、施工的相关规范。本书完全参照新的规范编写。同时,结合自己多年教授建筑学、历史建筑保护、城市规划等专业“建筑结构”课程所积累的一些经验,编写过程中,更加注重结构体系的概念及构成,以及结构体系的整体受力特点,力求通过学习本书,可以让读者从整体上掌握结构体系的概念。

“建筑结构”课程教学大纲中要求建筑学及相关专业的学生应了解结构在建筑设计中的重要地位,建筑结构的基本概念、基本设计原则、建筑材料的基本性能,不同结构承重体系的主要构成。为此,本书从总体到局部,从结构选型、建筑结构的简单理论到结构基本构件设计计算,均予以详细论述,以使学生对建筑结构有一个比较完整的了解。为了使建筑专业学生能在建筑设计中进行正确合理的结构选型,本书阐明了建筑结构的基本体系,并结合工程实例介绍了建筑结构的新概念和新体系。书中第6章~第8章就三大结构体系即钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构的基本构件受力原理及设计方法分别进行了叙述。

有云:简洁是智慧的灵魂。又云:具体的是深刻的。本书力求按大纲规定的深度对各章内容进行简洁而清楚的叙述,并且介绍国内外一些较新的建筑结构概念与形式,以期使学生能从中通过思考获得智慧,开拓思路。本书有相应的例题来展示相关内容,以期使读者能从中通过感悟获得深刻的理解。书中配有一定的复习思考题,使学生能够理解并牢固地掌握所学内容。

在编写的过程中,参阅了一些文献(个别文献是网络上的课件,因信息不全,无法在参考文献中列出),在此向文献作者表示最诚挚的谢意。特向同济大学王心田教授表示感谢。

由于编写时间紧迫及限于编者的学识,书中不足之处,敬请读者批评指正。

高向玲

2013 年秋于同济大学

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
冶金建设工程	李慧民 主编	35.00
建筑工程经济与项目管理	李慧民 主编	28.00
土木工程安全管理教程(本科教材)	李慧民 主编	33.00
建筑施工技术(第2版)(国规教材)	王士川 主编	42.00
现代建筑设备工程(第2版)(本科教材)	郑庆红 等编	59.00
土木工程材料(本科教材)	廖国胜 主编	40.00
混凝土及砌体结构(本科教材)	王社良 主编	41.00
岩土工程测试技术(本科教材)	沈 扬 主编	33.00
工程地质学(本科教材)	张 荫 主编	32.00
工程造价管理(本科教材)	虞晓芬 主编	39.00
土力学地基基础(本科教材)	韩晓雷 主编	36.00
建筑安装工程估价(本科教材)	肖作义 主编	45.00
高层建筑结构设计(第2版)(本科教材)	谭文辉 主编	39.00
土木工程施工组织(本科教材)	蒋红妍 主编	26.00
施工企业会计(第2版)(国规教材)	朱宾梅 主编	46.00
工程荷载与可靠度设计原理(本科教材)	郝圣旺 主编	28.00
流体力学及输配管网(本科教材)	马庆元 主编	49.00
土木工程概论(第2版)(本科教材)	胡长明 主编	32.00
土力学与基础工程(本科教材)	冯志焱 主编	28.00
建筑装饰工程概预算(本科教材)	卢成江 主编	32.00
建筑施工实训指南(本科教材)	韩玉文 主编	28.00
支挡结构设计(本科教材)	汪班桥 主编	30.00
建筑概论(本科教材)	张 亮 主编	35.00
Soil Mechanics(土力学)(本科教材)	缪林昌 主编	25.00
SAP2000 结构工程案例分	陈昌宏 主编	25.00
理论力学(本科教材)	刘俊卿 主编	35.00
岩石力学(高职高专教材)	杨建中 主编	26.00
建筑设备(高职高专教材)	郑敏丽 主编	25.00
岩土材料的环境效应	陈四利 等编著	26.00
混凝土断裂与损伤	沈新普 等著	15.00
建设工程台阶爆破	郑炳旭 等编	29.00
计算机辅助建筑设计	刘声远 编著	25.00
建筑施工企业安全评价操作实务	张 超 主编	56.00
现行冶金工程施工标准汇编(上册)		248.00
现行冶金工程施工标准汇编(下册)		248.00



北航

C1720740

目 录

1 绪论	1
1.1 结构形式与建筑设计的关系	2
1.2 结构形式与使用空间的创造	4
1.2.1 建筑物对使用空间的要求	4
1.2.2 建筑物的使用要求与结构的合理几何体形相结合	5
1.3 结构形式与视觉空间的创造	6
1.3.1 结构构成的空间界面	7
1.3.2 空间的划分与组织	8
1.3.3 结构形式美与空间造型	10
1.4 结构与建筑材料的关系	14
1.4.1 合理选用结构材料	14
1.4.2 选择能充分发挥材料性能的结构	15
2 荷载与结构计算简化原则	17
2.1 建筑结构上作用的类型	17
2.2 永久荷载	18
2.3 屋面和楼面活荷载	19
2.4 风荷载	21
2.5 地震作用	25
2.5.1 地震产生的原因	25
2.5.2 震级和烈度	25
2.5.3 地震基本烈度	28
2.5.4 三水准二阶段抗震设计方法	28
2.5.5 工程结构的分类与设防标准	29
2.5.6 地震作用的计算方法	29
2.5.7 抗震概念设计	33
2.6 温度作用	33
复习思考题	34
3 结构设计的方法	36
3.1 概率极限状态设计法的基本概念	36
3.1.1 确定分项系数的理论基础	36
3.1.2 分项系数和组合值系数的确定	38

3.2 结构设计方法	40
复习思考题	41
4 建筑材料	42
4.1 砌体材料的种类及其强度指标	42
4.1.1 块材的种类及其强度指标	42
4.1.2 砂浆的种类及其强度指标	43
4.1.3 新型墙体材料	44
4.1.4 砌体的种类	44
4.1.5 砌体的力学性能	45
4.2 钢筋和混凝土材料性能	48
4.2.1 钢筋的材料性能	48
4.2.2 混凝土的材料性能	50
4.3 钢材	53
4.3.1 钢种与钢号	53
4.3.2 钢材规格	54
4.3.3 钢材的主要力学性能	54
4.3.4 钢材的选用	55
复习思考题	56
5 结构体系与典型布置	57
5.1 结构总体布置原则	57
5.2 结构的水平体系	61
5.2.1 钢筋混凝土楼(屋)盖	61
5.2.2 屋架结构	66
5.2.3 网架	67
5.2.4 膜结构	72
5.3 结构的竖向体系	72
5.3.1 单层厂房	72
5.3.2 砌体结构房屋	76
5.3.3 高层建筑结构	78
5.3.4 建筑物的基础	97
复习思考题	102
6 钢筋混凝土结构构件的设计估算	103
6.1 钢筋混凝土构件的形成和特点	103
6.1.1 钢筋混凝土构件的形成	103
6.1.2 钢筋混凝土构件的特点	105
6.1.3 钢筋与混凝土间的粘结	105

6.2 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	107
6.2.1 概述	107
6.2.2 矩形截面梁的加载试验	107
6.2.3 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	108
6.2.4 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	113
6.2.5 单筋T形截面受弯构件正截面承载力计算	115
6.3 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	119
6.3.1 概述	119
6.3.2 受弯构件无腹筋梁的斜截面抗剪承载力试验研究	121
6.3.3 受弯构件有腹筋梁的斜截面抗剪承载力计算公式	121
6.4 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	126
6.4.1 概述	126
6.4.2 纯扭受力状态试验研究	126
6.4.3 纯扭构件承载力计算	127
6.4.4 矩形截面钢筋混凝土弯、剪、扭构件承载力计算	128
6.5 钢筋混凝土多跨连续梁、板结构	131
6.5.1 单向板肋梁楼盖的内力分析	131
6.5.2 双向板内力计算	137
6.5.3 单向板肋梁楼盖的设计	139
6.6 楼梯、雨篷的设计	143
6.6.1 楼梯	143
6.6.2 雨篷	144
6.7 钢筋混凝土受压构件承载力计算	145
6.7.1 概述	145
6.7.2 轴心受压构件承载力计算	145
6.7.3 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	149
6.7.4 受压构件斜截面受剪承载力计算	154
6.8 钢筋混凝土受拉构件承载力计算	155
6.8.1 概述	155
6.8.2 轴心受拉构件的正截面受拉承载力计算	155
6.8.3 偏心受拉构件正截面的承载力计算	155
6.8.4 受拉构件斜截面受剪承载力计算	157
6.9 预应力混凝土构件	158
6.9.1 预应力混凝土的基本概念	158
6.9.2 预应力混凝土的材料	161
6.9.3 预应力损失值的计算	161
6.10 钢筋混凝土构件的裂缝宽度和变形验算	164
6.10.1 概述	164
6.10.2 最大裂缝宽度计算	165

6.10.3 钢筋混凝土受弯构件变形计算	168
复习思考题	170
7 砌体结构	173
7.1 砌体结构房屋的静力计算方案	173
7.1.1 房屋静力计算方案的确定	173
7.1.2 三类静力计算方案的计算简图	175
7.2 房屋的内力计算	176
7.2.1 计算单元的确定	176
7.2.2 刚性方案房屋墙、柱的内力计算	176
7.2.3 弹性方案房屋墙、柱的计算	179
7.2.4 刚弹性方案房屋墙、柱的计算	181
7.3 墙、柱高厚比验算	181
7.3.1 墙柱的计算高度	182
7.3.2 墙、柱的高厚比验算	182
7.4 无筋砌体受压承载力计算	186
7.4.1 无筋砌体受压破坏的特点	186
7.4.2 砌体受压构件的承载力计算	186
7.5 配筋砌体	190
7.6 墙体设计中的其他问题	191
7.6.1 梁垫	191
7.6.2 过梁	192
7.6.3 挑梁	193
7.6.4 墙梁	194
7.6.5 圈梁	194
7.7 砌体结构房屋抗震设计	196
7.7.1 砌体结构房屋的震害	196
7.7.2 砌体结构房屋抗震设计的基本规定	197
7.7.3 房屋抗震构造措施	199
复习思考题	200
8 钢结构	202
8.1 概述	202
8.1.1 钢结构的特点	202
8.1.2 钢结构的组成体系	202
8.1.3 钢结构和钢构件的设计特点	203
8.2 钢结构的连接	203
8.2.1 构件间的连接节点	203
8.2.2 焊缝连接	206

8.2.3 普通螺栓连接	210
8.2.4 高强螺栓连接	213
8.2.5 螺栓群的计算	216
8.3 轴心受力构件	220
8.3.1 轴心受拉构件	221
8.3.2 轴心受压构件	222
8.4 受弯构件	229
8.4.1 受弯构件的截面类型和应用	229
8.4.2 强度计算	229
8.4.3 刚度计算	231
8.4.4 整体稳定性计算	231
8.4.5 局部稳定性计算	233
8.5 拉弯构件和压弯构件	236
8.5.1 拉弯和压弯构件的强度计算	236
8.5.2 拉弯和压弯构件的刚度计算	236
8.5.3 压弯构件的稳定计算	236
8.6 钢结构的制作、运输和安装	239
8.7 钢结构的防腐蚀、隔热和防火措施	239
8.7.1 钢结构的防腐蚀	239
8.7.2 钢结构的防火和隔热	240
8.8 建筑钢结构的布置、构件选型和主要构造	240
8.8.1 大跨度钢结构	241
8.8.2 高层建筑钢结构	242
复习思考题	243
附录	246
参考文献	276

1 绪 论

建筑结构作为建筑物的骨架而形成人类活动的建筑空间,以满足人类的生产生活需求及对建筑物的美观要求(结构的建筑功能)。

英国第一位建筑作家——亨利·沃顿在《建筑的要素》中提到:“良好的建筑有三个条件:坚固、实用和令人愉悦。”一座好的建筑物,其首要条件是坚固,而这源于建筑的结构体系。

著名建筑大师贝聿铭先生在回答“建筑教育的重点”这一问题时,提到了这样三个原则:(1)结构或构造等工程科学是与建筑有密切关系的,理应彻底了解,不过建筑师本身并不一定要算,但一定要懂得怎样算,因为先会算才知道从中间求变化;(2)其他与工程并重的,以及对建筑材料特质的理解与运用(如木材、石材、混凝土、钢铁、玻璃等,甚至如何做、如何改良)都是很重要的;(3)最重要的是对我国民族历史、固有文化、社会情形等必须透彻了解,中国有许多宝贵的好东西值得保存,也就是说要将我们固有的好文化整理保存并渗揉在建筑里。以上三个原则是建筑设计的基础。贝聿铭先生自己的建筑作品——中国香港中国银行大厦(图1-1)正是对以上三个原则最完美的体现。

结构形式、施工技术以及建筑材料直接影响建筑设计。在古代,建筑材料仅有木材与砖石,因此限制了建筑的跨度。随着拱这种结构形式被人们掌握,建筑跨度得到极大提高,如石拱桥、拱顶教堂。其后,随着电梯技术的发展,以及钢材性能的提高,20世纪30年代出现了大量高层建筑,如1931年建成的美国帝国大厦(图1-2)。科学技术的发展、新的结构材料的出现催生了新的结构形式,从而促进建筑形式的巨大变革,如索、膜结构。图1-3为北京奥运会游泳馆水立方新颖的膜结构。

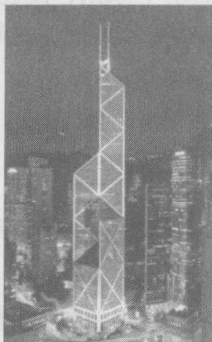


图 1-1 中国香港中国银行大厦



图 1-2 美国帝国大厦



图 1-3 水立方

著名的意大利建筑师及结构师奈尔维(Nervi)在他的《结构在建筑中的地位》一书中这样说:“现在建筑设计所要求的新的、宏伟的结构方案,使得建筑师必须要理解结构构思,而且应达到这样一个深度和广度:使其能把这种基于物理学、数学和经验资料之上而产生的观念,转化为一种非同一般的综合能力,转化为一种直觉和与之同时产生的敏感能力。”奈尔维作品——罗马奥林匹克小体育馆,建于1956年,如图1-4所示。结构概念是建筑物赖以生存的基础,建筑师只有掌握它,并在建筑设计的初期就自觉地运用它,才能设计出真正优秀的建

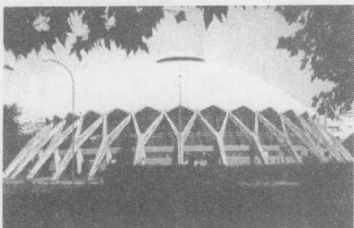


图 1-4 罗马奥林匹克小体育馆

筑。对建筑师而言,从整体上把握结构的概念,掌握结构体系的选择以及布置,远比了解结构计算重要。正是出于上述原因,我国的注册建筑师考试中对“建筑结构”有以下要求:(1)对结构力学有基本了解,对常见荷载、常用建筑结构形式的受力特点有清晰的概念,能定性识别杆系结构在不同的荷载下的内力图及变形形式。(2)了解混凝土结构、钢结构、砌体结构、木结构等结构类型的力学性能特点、使用范围及主要构造。(3)了解多层、高层及大跨

度建筑结构选型的基本知识;了解建筑抗震设计的基本知识;了解各类结构形式在不同的抗震烈度下的使用范围;了解天然地基和人工地基的类型及选择的基本原则。同时,对“建筑材料”的要求如下:了解建筑材料的基本分类;了解常用材料的性能、检验及检测方法,以及其在使用中的基本化学原理、尺寸稳定性及施工中的允许误差和合理使用范围。掌握一般建筑构造的原理与方法;能正确选用材料,合理解决一般构造与连接;能判断各种材料的优劣,处理施工中出现的各种问题。本书的编写基于以上原则和目标,主要介绍建筑结构的基本概念,包括建筑物所承受的作用力,建筑结构的基本构件,各种建筑材料的基本特性以及各种结构体系的特性和应用。

在正确设计、施工及正常使用条件下,建筑结构应该具有抵御可能出现的各种作用的能力(建筑结构的安全功能)。此外,建筑结构的工程造价及用工量分别占建筑物造价及施工用工量的30%~40%,建筑结构工程的施工工期占建筑物施工总工期的40%~50%(建筑结构的经济指标)。为了使建筑物设计符合技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的要求,建筑结构方案设计(包括结构选型设计)占有重要地位。结构方案设计和选型的构思是一项很细致的工作,只有充分考虑各种影响因素并进行全面综合分析后才能选出优化的方案。

建筑物的形式和风格总是与构成它的材料和结构方式相适应的。一种形式和风格在长期实践中定型、成熟之后,就称为“定式”。当然,建筑的形式和风格总是要反映人们的审美习惯的,人们的审美习惯是时代文化的一部分,至于到建筑上,它又是在利用一定的材料和结构方法的条件下,经长期建筑实践而形成的。建筑实践,离不开物质生产的基本原则,既要经济、合理、适用,又要便于施工。人类正在实践中不断探索能够经济、合理地充分发挥新材料、新结构潜力的新形式和新风格,并逐步形成新的建筑体系和结构体系。

1.1 结构形式与建筑设计的关系

结构是房屋的骨架,是建筑物赖以存在的基础。建筑材料和建筑技术的发展决定着结构形式的发展,而结构形式对建筑的影响是最直接和明显的。

从建筑史可以看到,建筑物一经出现,建筑与结构就结下了不解之缘。

例如,古埃及的神庙,当时的建筑技术决定它只能采用简单加工的石梁和石柱建造,这就自然形成了粗壮坚实的形象。石梁不能建造大跨度结构,也就创作不出大空间的建筑,所以石庙内部只能巨石林立。卡纳克的阿蒙神庙(图1-5)是在很长时期内陆续建造起来的,总长366m,宽110m,前后六道大门,而以第一道最为高大,它高43.5m,宽113m。大殿内部净宽103m,进深52m,密排着134根柱



图 1-5 古埃及的阿蒙神庙

子。中央两排12根柱子高21m,直径3.57m,上面架设着9.21m长、重达65t的大梁;其余的柱子高12.8m,直径2.74m。由于技术水平所限,这座大殿里的柱子,长细比只有1:4.66,柱间净空小于柱径,但柱子如此粗壮、密集的结构形式却制造出了神秘的感觉空间。

后来,罗马人发明了拱券结构,于是便建造了具有大跨度室内空间的建筑,形成了与以前大不相同的建筑风格,图1-6为罗马的大角斗场。公元120~124年兴建的万神庙(图1-7),作为奉祀诸神的神殿,其穹顶直径43m的纪录直到20世纪才被打破,穹顶的圆眼(直径为8.2m的采光圆孔)使阳光泻入万神庙。

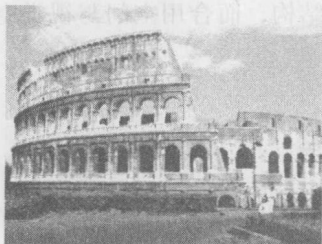


图1-6 大角斗场



图1-7 万神庙(罗马)

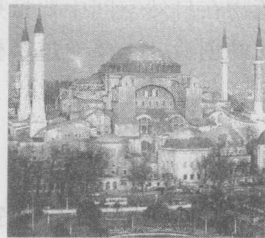


图1-8 圣索菲娅大教堂

中世纪由于建筑技术发展,拱券结构得到进一步发展,由拜占庭建筑(屋顶造型采用穹窿顶,于公元532~537年修建的圣索菲娅大教堂(图1-8)就是其典型的代表)到哥特式拱顶,结构形式和建筑风格愈来愈多样化。哥特式建筑(Gothic architecture)是一种兴盛于13~15世纪的建筑风格,尖塔高耸,采用尖形拱门、肋状拱顶与飞拱结构,建造于1163~1250年间的巴黎圣母院(图1-9)是典型的哥特式建筑。

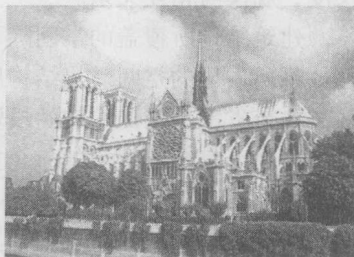


图1-9 巴黎圣母院

19世纪后半期以来,在建筑上广泛地采用钢结构和钢筋混凝土结构,于是引起了建筑的革命性变化。由于社会的需要,技术条件的发展,促进了大跨度建筑和高层建筑的空前发展。20世纪,由于新型的建筑材料、施工技术及结构理论飞速发展,促进了一大批新型结构形式的涌现和新型结构体系的产生,如网架结构、悬索结构、薄壁结构、充气结构、混合结构、高层结构体系等。可以看出,建筑发展历史与结构发展历史密切相关,而它们更是建筑材料和建筑技术的发展史。

目前,世界上跨度最大的建筑是世纪之交的千年穹顶(The Millenium Dome),该馆位于英国伦敦泰晤士河南岸格林尼治,是当今世界跨度最大的屋盖,穹顶酷像飞碟,直径320m。目前,世界上最高的建筑是迪拜的哈利法塔(160层,高828m),哈利法塔的建筑采用了一种具有挑战性的单式结构,由连为一体的管状多塔组成,具有太空时代风格的外形,基座周围采用了富有伊斯兰建筑风格的几何图形——六瓣的沙漠之花。哈利法塔的平面为“Y”形,中部是一个六边形的钢筋混凝土核心筒,周边有三个翼。每个翼又有自己的高性能混凝土核心筒和周边柱群,翼与翼之间通过中部六边形的钢筋混凝土核心筒相互支撑(图1-10)。

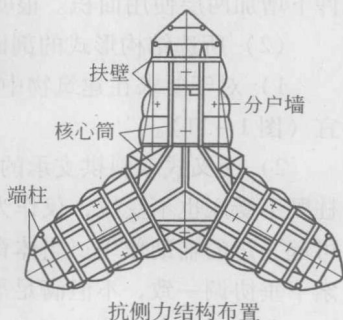


图1-10 哈利法塔

我国大跨度和高层建筑的发展也很快,如已建成北京国家体育场(主体建筑呈空间马鞍椭圆形,外部为钢结构,外形犹如鸟巢,南北长333m,东西宽294m,高69m)、高492m的上海环球金融中心,以及正在建设中的总高度632m的上海中心、高660m的深圳平安国际金融中心大厦等。

当一座建筑还没有任何设施的时候,却有了支撑房屋的“骨骼”——即采用一定材料,按照一定力学原理而营造的建筑结构。建筑结构既处于自然空间之中,又处于建筑空间之中。发展至今,建筑空间又可分解为受功能要求制约的合用空间和受审美要求制约的视觉空间。建筑物在自然空间中要抵抗外力的作用得以“生存”,首先要依赖于结构,而合用空间与视觉空间的创造,也要通过结构的运用才能实现。

1.2 结构形式与使用空间的创造

1.2.1 建筑物对使用空间的要求

不同功能建筑物对合用(使用)空间有不同的要求,根据这些要求可大体确定建筑物的尺度、规模与相互关系。

建筑结构所覆盖的空间除了能容纳建筑物的使用空间外,还包括非使用空间,其中包括结构体系所占用的空间。当结构所覆盖的空间与建筑物的使用空间接近时,可以提高空间的使用效率、节省围护结构的初始投资费用、减少照明采暖空调负荷、节省维修费用。因此,这是降低建筑物全寿命期费用的一个重要途径。为此,在结构设计时要注意以下两点:

(1) 尽可能降低结构构件的高度:

1) 大跨度平板网架结构是三维空间结构,整体性及稳定性较好,结构刚度及安全储备均较大。因此,与一般平面结构相比,平板网架结构的构造高度可小些,从而使室内空间得到较充分利用。例如,钢桁架构造高度约为跨度的 $1/8 \sim 1/2$,而平板网架结构的构造高度仅为跨度的 $1/25 \sim 1/20$ 。

2) 多层或高层建筑的楼盖采用肋梁结构体系时,梁的高度约为跨度的 $1/14 \sim 1/12$ 。当采用密肋楼盖时,由于纵横十字交叉的肋间距较密而构成刚度较大的楼盖,楼盖高度可取跨度的 $1/22 \sim 1/19$ 。当柱距为9m时,采用肋梁体系的梁高约为70cm,而密肋楼盖的高度仅约为47cm,即每层可减少结构高度23cm。对于30层的高层建筑则可在得到同样的使用空间的效果下,降低建筑物高度 $30 \times 0.23\text{m} = 6.9\text{m}$,即约可降低2个楼层的高度,或在同样建筑物高度条件下增加两层使用面积。很明显,这样做的经济效益是很高的。

(2) 所选结构形式的剖面应与建筑物使用空间相适应:

1) 对于要求在建筑物中间部分有较高空间的房屋(如散粒材料仓库),采用落地拱最适宜(图1-11)。

2) 交叉式双斜拱支承的悬索屋盖(图1-12),其悬索结构完全由双斜拱支持,拱下的立柱既不受压也不受拉,仅作为外围玻璃窗的装饰杆件,但当屋面偶受不对称荷载或水平荷载时可起一定的辅助作用。当体育馆选用上述结构形式时,两侧看台座位沿拱向上升高与屋顶的悬索下垂协调一致,不但满足了功能要求而且能使室内空间利用较经济,立面造型亦较新颖轻巧。典型的工程实例为1953年建成的美国北卡罗来纳州的Raleigh体育馆,跨度达91.5m,建筑面积6500m²。

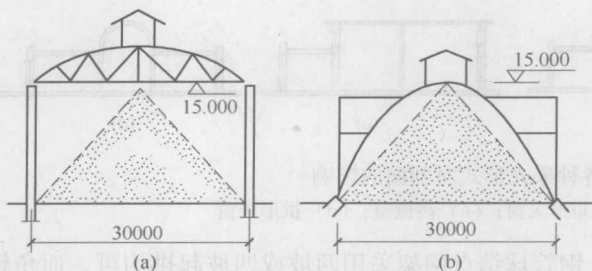


图 1-11 结构形式与建筑物使用空间关系示意图

(a) 屋架结构形式; (b) 落地拱结构形式

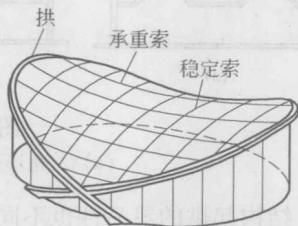


图 1-12 双斜拱支承的悬索屋盖

1.2.2 建筑物的使用要求与结构的合理几何体形相结合

1.2.2.1 建筑物的声学条件与结构的合理几何体形

大型厅堂建筑在声学条件上要求有较好的清晰度和丰满度,要求声场分布均匀并具有一定的混响时间,还要求在距声源一定距离内有足够的声强。在结构选型设计中应注意到结构的几何体形对于声学效果的影响。

(1) 声聚焦。当曲面屋盖曲率半径 R 值小于屋顶高度的一半时,即 $R < H/2$,声聚焦点将不在人体高度范围内产生,而当 $R > 2H$ 时,反射声线将接近于平行,可避免声聚焦现象。因此,为了得到良好的声学效果,应尽量选择曲率半径较大的曲面屋盖。此外,下垂的凹曲面屋顶可避免声聚焦,例如倒置的壳体单元及悬索结构。图 1-13 为声音在不同曲面上的反射示意图。

(2) 平面形式对声学效果的影响。一些薄壳、悬索、网架等所具有的圆形或椭圆形平面形式,容易产生声场分布不均匀,出现声聚焦和沿边反射等缺点(图 1-14b)。若屋顶采用平面(图 1-14a)或对屋顶进行一定的处理(图 1-14c),则可改善这种不足。



图 1-13 声音在不同曲面上的反射示意

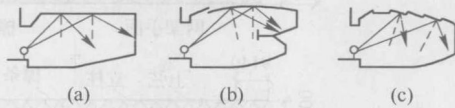


图 1-14 观众厅的几种剖面形状

(a) 声音反射较均匀; (b) 声音反射有聚焦;

(c) 声音反射均匀

1.2.2.2 采光照明与结构的合理几何图形

当结构覆盖空间很大时,天然采光是一个影响建筑使用功能的重要问题,在结构选型设计中应充分注意由此带来的影响。传统的方法是在屋盖的水平构件上设置“Ⅱ”形天窗。通过多年的实践及理论分析,人们认识到此种方法具有种种缺陷,如突出屋面的天窗架重心高、刚度差、连接弱,不利于抗震;此种天窗还使结构所覆盖的非使用空间加大,室内天然采光照度也不均匀。利用桁架上下弦杆之间设置下沉式天窗,在结构受力、空间利用与采光效果方面都比“Ⅱ”形天窗优越,另外比“Ⅱ”形天窗优越的还有目前常用的网架结构、桁架结构、拱结构、穹顶结构等天窗形式。图 1-15 为几种常用天窗的形式对建筑物剖面的影响。

1.2.2.3 排水与结构的合理几何图形

在结构选型设计中,屋面排水是另一个需着重考虑的问题。例如,大跨度平板网架结构一般通过起拱来解决屋面排水问题,然而由于网架结构单元构件组合方案不同以及结点构造方案

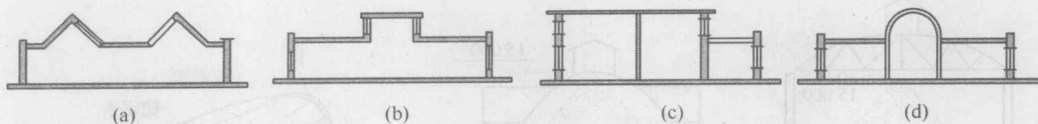


图 1-15 各种采光形式对剖面的影响

(a) 三角形天窗; (b) 矩形天窗; (c) 高侧窗; (d) 拱形天窗

不同, 结构起拱的灵活性也不同。例如, 钢管球结点网架采用两坡或四坡起拱均可, 而角钢板结点网架宜用两坡起拱, 正方形平面周边支承两向正交斜放交叉桁架型网架适于四坡起拱, 而两向正交正放交叉桁架型网架只适于两坡起拱, 正交正放抽空四角锥网架起拱较方便, 而斜放四角锥网架起拱较困难。

此外, 网架起拱后因改变各杆件长度或增大焊缝缝隙均使制作及拼装工作复杂化, 因此, 不少工程采用在上弦结点上加小立柱的方法来找坡。但采用小立柱方案也具有若干缺点。美国哈特福市体育馆 (图 1-16) 的屋盖结构为 $91.4\text{m} \times 109.7\text{m}$ 的网架, 于 1978 年 11 月 18 日凌晨由于大雪整体坍塌。事后专家组对事故进行分析, 认为造成事故的原因是多方面的, 包括荷载计算、网架结点构造、施工质量等, 但其中一个原因是: 水平面上刚度很大的屋面系统, 如设计在网架上弦平面内可对网架起一定支撑作用, 而哈特福市体育馆工程中在网架顶上设置的小立柱, 将屋面系统和网架分开而削弱了此作用, 造成网架整体坍塌。

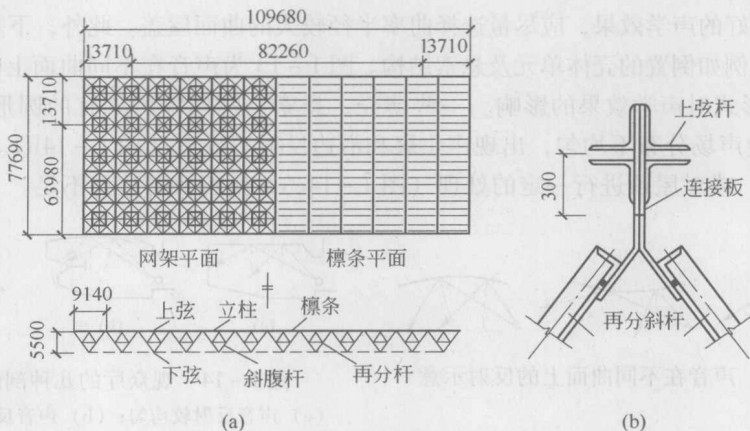


图 1-16 哈特福市体育馆

(a) 网架平面与剖面; (b) 上弦与再分杆节点

1.3 结构形式与视觉空间的创造

人们对建筑环境的感受是通过感觉器官得到的, 而对于建筑艺术的欣赏莫过于视觉。从这个意义上讲, 建筑形象的创造, 就是视觉空间的创造。视觉空间与合用空间具有不同的内涵, 但它们都是从建筑之“本”——结构中孕育出来的。

在现代建筑结构形式的设计中, 不仅要很好地考虑和解决建筑功能方面的问题, 还必须运用逻辑思维与形象思维, 合理组织和确定结构各个部分的传力体系, 对建筑艺术创作有一番艺匠经营。因此, 视觉空间的形成也像合用空间那样, 是与一定的结构形式构思紧密联系的。