

国外大学优秀教材——土木工程系列（翻译版）

建筑结构设计(下册)

The Design of Building Structures

(美) W.舒勒尔 著

罗福午 吴之所 宋昌永 译



清华大学出版社



国外大学优秀教材——土木工程系列(翻译版)

建筑结构设计(下册)

The Design of Building Structures

(美) W. 舒勒尔 著

罗福午 吴之昕 宋昌永 译

清华大学出版社

北 京

Simplified Chinese edition copyright © 2006 by **PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS.**

Original English language title from Proprietor's edition of the Work.

Original English language title: The Design of Building Structures, first edition **by** Wolfgang Schueller, Copyright © 1996

EISBN: 0-13-346560-8

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as **Prentice hall, Inc.**

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macao).

本书中文简体翻译版由培生教育出版集团授权给清华大学出版社在中国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区)出版发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2003-0570

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。
版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构设计/(美)舒勒著;罗福午,吴之昕,宋昌永译. —北京:清华大学出版社,2006. 12
(国外大学优秀教材 翻译版. 土木工程系列)
书名原文: The Design of Building Structures
ISBN 7-302-12609-7

I. 建… II. ①舒… ②罗… ③吴… ④宋… 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(2006)第 014869 号

责任编辑: 徐晓飞 赵从棉

责任校对: 焦丽丽

责任印制: 孟凡玉

出版发行: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机: 010-62770175

投稿咨询: 010-62772015

地址: 北京清华大学学研大厦 A 座

邮编: 100084

邮购热线: 010-62786544

客户服务: 010-62776969

印刷者: 清华大学印刷厂

装订者: 三河市金元印装有限公司

经销: 全国新华书店

开本: 185×230 印张: 24.75 字数: 524 千字

版次: 2006 年 12 月第 1 版

印次: 2006 年 12 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7-12609-7/TU·283

印数: 1~3000

定价: 155.00 元(上、下册)

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: 010-62770177 转 3103 产品编号: 008519-01

目 录

(上册)

译者序	I
前言	III
第 1 章 建筑结构概述	1
1.1 设计的一般决定因素	6
1.1.1 建筑物所处的环境	6
1.1.2 建筑设计问题概述	7
1.1.3 建筑物功能	7
1.1.4 防火安全措施	8
1.1.5 建造和经济	13
1.2 力学科学的早期起源	15
1.3 结构的几何形状	22
1.4 支承结构	29
1.4.1 作为一个整体的建筑物	31
1.4.2 结构体系	33
1.4.3 力的流程	43
1.4.4 尺寸效应及其经验法则	46
1.5 基本的结构构件	49
1.5.1 梁	50
1.5.2 楼盖和小坡度屋盖结构	52
1.5.3 柱	53
1.5.4 墙体	56
1.5.5 接头	63
第 2 章 基本结构概念	67
2.1 建筑物的荷载	70
2.1.1 恒载	73

II 建筑结构设计

2.1.2	活载	77
2.1.3	风和地震荷载	84
2.1.4	水和土压力荷载	85
2.1.5	体积变化受到约束时的荷载: 隐性荷载	85
2.1.6	动力荷载	87
2.1.7	异常荷载	89
2.1.8	荷载组合	89
2.2	静力学	90
2.2.1	力的性质	90
2.2.2	力系	91
2.3	梁和柱的内力	102
2.3.1	荷载、剪力和弯矩之间的关系	104
2.3.2	梁的类型: 边界条件的影响	105
2.3.3	荷载类型和荷载布置	109
2.4	截面特性	115
2.4.1	形心	115
2.4.2	截面二次矩或惯性矩	118
2.5	一般材料特性	121
2.5.1	材料的力学特性	122
2.5.2	建筑材料	126
2.5.3	材料的比较	130
2.6	应力和变形	132
2.6.1	简单应力	132
2.6.2	梁中应力	134
2.6.3	浅梁的弹性变形	140
2.6.4	弯曲构件概述	146
2.7	扭转	151
2.7.1	圆形截面	151
2.7.2	非圆闭合截面	154
2.7.3	开口截面	154
2.8	预应力	155
2.8.1	预应力基本概念	155
2.8.2	预应力原理在各类结构体系中的应用	159
2.9	土和基础	163

2.9.1	土的特性	164
2.9.2	基础体系	166
2.9.3	浅基础尺寸的确定	168
习题		174
第3章 一般构件类型的近似结构设计		177
3.1	材料	178
3.1.1	结构钢材	178
3.1.2	结构木材	181
3.1.3	钢筋混凝土	188
3.2	梁的设计	194
3.2.1	钢梁	197
3.2.2	钢板梁	210
3.2.3	木梁	213
3.2.4	组合木梁	224
3.2.5	钢筋混凝土梁	229
3.2.6	预应力混凝土梁	247
3.2.7	钢材和混凝土的组合梁	254
3.3	受拉构件的设计	257
3.3.1	单个结构型钢和组合钢构件	257
3.3.2	圆钢、方钢和扁钢	262
3.3.3	钢缆	263
3.3.4	木受拉构件	264
3.4	柱和梁柱设计	265
3.4.1	钢柱	270
3.4.2	木柱	281
3.4.3	钢筋混凝土柱	286
3.5	连接的设计	295
3.5.1	钢材的连接	298
3.5.2	木材的连接	312
3.5.3	钢筋混凝土的连接	314
3.6	简单钢筋混凝土柱和墙基础的设计	315
习题		322

IV 建筑结构设计

第4章 建筑物的侧向稳定	330
4.1 侧向荷载作用	330
4.1.1 风荷载	333
4.1.2 地震荷载	342
4.1.3 荷载组合	359
4.2 建筑物受到侧向力作用的反应	362
4.2.1 水平或倾斜建筑面的隔板效应	363
4.2.2 建筑物的侧移	369
4.2.3 竖向抗侧力结构的侧向力分布	380
4.2.4 倾覆	393
4.3 水压力和土压力荷载:地下室墙和挡土墙	395
4.3.1 地下室墙	398
4.3.2 挡土墙	401
习题	406
第5章 框架、拱和桁架	409
5.1 框架	409
5.1.1 引言	409
5.1.2 一般设计考虑	412
5.2 矩形框架	419
5.2.1 单层单跨框架	419
5.2.2 单层多跨框架	446
5.2.3 多层刚性框架	457
5.2.4 空腹桁架	460
5.3 斜框架	461
5.3.1 一般结构概念简介	462
5.3.2 住宅建筑中的坡屋顶结构	468
5.3.3 山墙形框架结构	477
5.4 拱	484
5.4.1 历史发展	486
5.4.2 拱在荷载作用下的反应	491
5.4.3 普通拱的初步设计	503
5.4.4 小型砌体拱	507

5.5 桁架	510
5.5.1 基本的桁架特性	511
5.5.2 普通桁架的初步设计	517
5.6 大跨度骨架结构	527
5.6.1 悬臂结构	527
5.6.2 梁式建筑物	532
习题	537
 (下册)	
第 6 章 空间构(网)架	541
6.1 空间构(网)架的发展	542
6.2 简单的单层空间构(网)架	545
6.2.1 案例	545
6.2.2 空间静力学概述	548
6.3 多层空间构(网)架	556
6.3.1 设计需考虑事项	556
6.3.2 空间网架平板屋盖	570
6.3.3 平板双层空间网架的近似设计	573
6.3.4 其他双层空间网架	582
习题	585
第 7 章 折板结构	587
7.1 折板结构的类型	588
7.2 一般混凝土、钢、木折板屋盖的结构设计	592
习题	606
第 8 章 壳体结构	607
8.1 薄壳和骨架式壳体结构概述	608
8.1.1 自然界里的曲面结构	608
8.1.2 建筑中曲面结构的发展	610
8.1.3 面的分类	623
8.1.4 薄膜力	627

VI 建筑结构设计

8.1.5	壳体结构的特征	629
8.1.6	壳体的材料	632
8.2	筒形壳体	642
8.2.1	筒形壳体的类型	643
8.2.2	圆筒形壳体中的薄膜力	647
8.2.3	筒形壳体的近似设计	649
8.2.4	筒形网格结构	659
8.2.5	非对称壳式梁	662
8.3	薄壳和骨架式圆屋顶	663
8.3.1	圆屋顶的类型	663
8.3.2	球形圆屋顶薄壳的薄膜力	672
8.3.3	薄壳圆屋顶的结构性能	676
8.3.4	混凝土薄壳圆屋顶的近似设计	680
8.3.5	骨架式圆屋顶的近似设计	684
8.3.6	其他形状穹顶的近似设计	689
8.4	双曲线抛物面	692
8.4.1	双曲线抛物面的形状	693
8.4.2	薄膜力分析	699
8.4.3	支承结构系统	703
8.4.4	双曲抛物面扭壳的结构性能和近似设计	705
8.5	其他壳体的形式	714
	习题	721
第9章	悬挂式屋盖结构	723
9.1	一般准则	725
9.1.1	稳定考虑	726
9.1.2	拉力锚固	726
9.1.3	材料	730
9.1.4	荷载	735
9.2	单索	736
9.2.1	横向荷载作用下索的反应	738
9.2.2	径向荷载作用下索的反应	753
9.2.3	预拉索	757

9.2.4 动力特性·····	759
9.3 索梁和索桁架·····	761
9.4 索支承屋盖结构·····	764
9.4.1 单柱和多柱索支承梁·····	765
9.4.2 斜拉桥·····	767
9.4.3 斜拉屋盖结构·····	769
9.5 简单悬挂式屋盖·····	780
9.5.1 引言·····	780
9.5.2 双层简单悬挂式屋盖·····	784
9.6 预应力薄膜和索网·····	785
9.6.1 边支承马鞍形屋盖结构·····	786
9.6.2 拱支承鞍形面结构和柱支承锥形面结构·····	788
9.6.3 鞍形预应力薄膜的近似设计·····	794
9.6.4 边缘构件的近似设计·····	799
9.7 杂交张拉面结构·····	805
9.8 充气结构·····	809
9.8.1 气承结构·····	810
9.8.2 充气结构·····	830
9.8.3 其他柔性壳结构·····	833
9.9 典型薄膜结构的屋面细部·····	833
9.10 受拉基础·····	836
习题·····	838
第 10 章 高层建筑结构 ·····	843
10.1 高层建筑结构体系概述·····	847
10.1.1 基本概念·····	847
10.1.2 结构效能的考虑·····	851
10.2 高层建筑结构中力的传递·····	853
10.3 高层建筑结构基本性能·····	855
10.4 一般高层建筑结构简要概述·····	858
10.4.1 基本结构·····	858
10.4.2 新一代高层建筑结构·····	867

附录 A 结构设计用表	873
附录 B 部分习题的答案	898
参考文献	901
索引	907

第 6 章 空间构(网)架

虽然建筑物是三维空间的,但其支承结构常常被看作是由平面结构(例如水平平面和竖向平面)组装而成的,除非该建筑物从本质上属于真正三维的。空间构架只是三维结构中的一组特殊群体,三维结构则包括壳体、折板、受力面层体系、多面体结构、筒体结构,等等。

空间网架由不在同一平面内的线性构件组成。这样布置直杆可以使力以空间方式而不是以通常的平面方式传递。由于空间网架里杆件是以三维空间方式排列的,因此结点便成为最为关键的部位,尤其是在可能有很多构件必须连接在一起时。结点的类型还决定着是刚性连接还是铰接。空间桁架采用铰接结点,而空间网架采用的是刚性结点,尽管**空间网架**这个词通常也用来指三维空间的桁架。

空间网架可以形成单层或多层的网格。单层空间网架是一些折叠的或弯曲的外壳,换句话说就是三维的表面结构。犹如薄壳那样,它们是轴向结构体系,在垂直于其网格面的方向上几乎没有任何抗弯能力,只有横跨结点间的单个格杆能起到梁的作用。**单层空间构架**是基于其空间几何结构(也就是它的外轮廓)利用折叠或弯曲而产生承载力的。它们可以按其表面的形状,即根据由其构件系统形成的图案,加以有机组合,如我们将在第 8 章讨论的。杆件构成的骨架可以独立发挥作用,也可以与其面层共同发挥组合作用。本章只对图 6-1 中所示的这种类似圆屋顶的多面体式的外壳结构体系做一简要讨论。

多层空间网架是通过增加空间多面体单元而产生的,从而形成新的大体量的空间建筑物。相对单层体系,多层结构具有弯曲刚度而不需要有曲率,因此它可以像一块平板那样受力。一个熟悉的例子是水平双层空间网架屋盖,其高度是其强度的决定因素。应当记住,从稳定性考虑,可能需要将一个单层圆屋顶变为双层体系,正如过去 Buckminster Fuller 对他的一些网架圆屋顶所采取的措施那样,通过其外形及其面层高度来同时提供强度和刚度。

将结构设计中的平面思维转换到内力传递的空间处理如今已可通过计算机来实现,计算机程序可以处理物理现象中错综复杂的相互作用。与平面桁架结构相似,空间网架的初步设计应该按铰接考虑,这样它的杆件只承受轴向力、结点处不传递任何力矩。因为主要内力是轴向的,可以假定荷载直接作用于铰结点,杆件重量与桁架变形这些影响可视为微不足道的,在初步设计中可以忽略。

6.1 空间构(网)架的发展

我们可以在周围的有机世界和无机世界中寻觅到空间网架结构的源头,这里既有微小尺度的也有大尺度的实例,它们的物理规律可以从其可见的几何构成得以反映。大自然中能展示表面网格结构原理和空间构成特征的例子不胜枚举。这里只举几个例子,如:蜂巢的六棱柱、植物组织的细胞结构、海绵骨架的多孔结构以及晶体整齐划一的重复排列,所有这些都是在空间单元集合从而形成三维几何图案的例证。晶体的结构决定了晶体可见的外形,如雪花的美丽结构或原子的内部排列,都是典型的空间构架结构几何排列的实例。大自然经过漫长的岁月才形成了这些结构,也就允许它们以最小的付出来得到回报。可以认为,大自然用轻型的骨架结构获得最佳的强度是符合经济原则的。显然,设计师应该研究大自然的几何学并从中受到教益,例如一片树叶的结构方式,是由树叶茎干分支出的叶脉网络相互交织在整个叶面上;又如放射目(radiolaria,一种深海单细胞动物)以极为精致的细胞壁骨架组成了它的极微小的网格面层(见图 8-1)。

D'Arcy Thompson 在他所著的《成长与形态》(*On Growth and Form*)(1917 年首版)一书中对生物学结构及其形成进行了研究,该书因同时涉及建筑学和生物学,对 20 世纪 60 年代的实验性设计师有着巨大影响。Frei Otto 在他的德国斯图加特大学轻型结构研究所里,联合了生物学家、建筑师及结构工程师从美学、功能、形态学和生物静力学方面对自然结构进行了研究。该研究所的 Johann-Gerhard Helmcke 将硅藻属的外壳和放射目的骨架作为完美的轻型结构加以研究,因而在 20 世纪 60 年代末颇负盛名。

从几何学或超自然的观点来看,空间网架的起源可追溯到古希腊时代。毕达哥拉斯和柏拉图的思想用数量和几何形状诠释宇宙。柏拉图通过划分五个基本的几何体将理念世界与物质世界联系起来:立方体、四面体、八面体、二十面体和十二面体分别与土、空气、火、水以及宇宙相对应。伊斯兰教的几何装饰从柏拉图的外形和比例相互作用的理论中演化出来,随后对哥特式时代的空间建筑的风格产生了影响。中世纪柏拉图思想的复苏导致了对欧几里得几何学的大胆挑战。后期哥特式教堂错综的带肋圆屋顶为 Nervi 对飞机库的设计提供了灵感,这些飞机库利用预制的网格肋架作为联方网拱顶,始建于 1940 年的意大利。它们是曾经建造的为数不多的钢筋混凝土空间网架结构的代表。

空间结构的概念演化自游牧部落和农业社区简陋木屋或住宅的各种不同的框架体系,演化自平面桁架、中世纪的拱顶以及圆屋顶结构。通过对文艺复兴时期的径向带肋砖石圆屋顶结构的研究,巴洛克时期的建筑设计更精细地运用了几何学及结构学。在哥特式时期,Guarini 于 1687 年以令人眼花的、纵横交错的群拱演绎了骨架构造,做成意大利 Turin(都灵)S. Lorenzo 圆拱屋顶及其塔楼的支承。19 世纪混凝土和钢材的发展实现了用更轻、跨度更大的圆屋顶结构,替代了传统的木桁架和实体的砌筑圆拱屋顶。早期的圆

拱屋顶只是在水平环上加设径向肋,将拱连接在一起。随着先进的材料、制作技术和分析方法的出现,圆拱屋顶慢慢地发展为格构式的壳体结构。1863年,J. W. Schwedler(施威德勒)在柏林建成了第一个有支撑的圆拱屋顶,这种结构体系被称为施威德勒氏圆屋顶,也许这就是第一个轻型面层结构。这座建筑物的几何外形明显地反映出标准构件的重复使用,表征预制和大规模生产这些新观念。体轻、预制以及同种杆件重复使用,这些方面的考虑都是空间构架结构设计的基本要素。

空间结构的概念也是从中世纪的墙体,尤其是斜面陡峭的教堂屋盖的木构架发展而来,这种屋盖构架的复杂程度在桁架结构体系中发展到了一个很高的层次。在1570年,Palladio大概是第一个将三角形桁架实际运用于桥梁建设的设计者。尤其从几何学角度而言,19世纪桁架设计达到了高峰期。桁架不仅被富有想像地应用于桥梁设计,而且在建筑上也被用做多功能空间的屋盖支承结构,如:火车站、展览馆、仓库、冬季花园及大型市场。1889年巴黎博览会机械陈列馆的人字桁架结构设计达到了375ft(114m)这一令人难以置信的跨度,从而开创了将铁、玻璃、钢材及混凝土等新材料的使用和制造及施工方式综合考虑的设计新理念。1851年Paxton在伦敦建造的水晶宫常常被看作一个范例。它通过展示框架-玻璃结构的极度轻盈和表现规模化、机械化、标准化和模式化生产的设计新理念(换句话说,也就是将建筑体系及其特征都与由多种重复构件组成的空间构架紧密联系起来),为构架确立了独立地位。

多层空间网架是直接从19世纪的平面桁架结构中发展而来的。尽管巴黎埃菲尔铁塔(1889)实际是平面结构的组合体,它仍是一个著名的空间框架实例。同样,1890年在苏格兰Edinburgh附近建造的独具匠心的Firth of Forth(福斯海湾)悬臂铁路桥也显示出向空间桁架结构发展的趋势;然而,它的用铆钉固定的钢管截面还是非常巨大的。

August Föppl于1881年发表了关于空间网架的论文,Gustave Eiffel将他的论文作为其分析塔式建筑的理论基础。世界级天才Alexander Bell的著作发表于世纪之交,他被誉为空间网架的创始人。他沉迷于研究通过四面体的形式、以最轻的材料获取强度。他的空间网架结构由四面体和八面体组成,并将之应用于载人风筝、多层机翼以及一座瞭望塔。1905年,为了使第一架飞机飞起来,赖特兄弟应用空间桁架作为飞机的基本结构。Buchminster于20世纪20年代发明了第一座通过张拉形成整体的结构(1927)和Dymaxion House(1928),他因此而成为公众关注的焦点人物。

法国工程师Robert Le Ricolais于20世纪30年代中期从对自然界中空间结构的研究中得到启示,提出了双层网架的想法,因此他成为第一批提供空间网架经济性证据的人之一。他于1940年提出了著名的三向双层网格结构。1955年当他成为建筑界的资深元老时,他仍在美国费城的宾夕法尼亚大学艺术学院继续研究空间实验结构。他把被他定义为“橡皮泥的几何学”的拓扑学作为结构设计的中枢。

1940年,Max Mengerhausen运用他著名的MERO连接方式在德国柏林建造了

他的第一座空间网架结构。在北美洲,空间网架结构规模化生产的方法始于20世纪50年代初加拿大人 A. E. Fentiman 的 Triodetic (三极)体系 and 美国人 C. W. Attwood 的 Unistrut (单支柱)体系。法国设计师 Stephane du Chateau 于20世纪50年代末推出了他第一个空间网架体系。同期, Konrad Wachsmann 在为美国空军设计著名的空间网架悬臂飞机库时展现了非凡的美感,他的设计令很多建筑师备受鼓舞,他从某个角度预见了20世纪80年代 Philip Johnson 设计 Crystal Cathedral 倡导的观念。Konrad Wachsmann 1961年出版的《建筑的转折点》(*The Turning Point of Building*)一书很大程度地影响了20世纪60年代的建筑师,书中陈述了基于工业化和大规模生产的新建筑学。

另一个空间网架结构的先驱是 Zygmunt Makowski, 他在英国萨里大学所做的分析与实验研究以及发表的诸多著作作为更好地了解这个领域及其进一步发展做出了很大贡献。1970年他负责完成了第一批大跨度空间结构之一的伦敦希思罗机场净跨 453ft (138m) 的波音 747 喷气飞机机库。

然而,在19世纪50年代末及60年代,空间网架闻名于世不仅仅是因为其用于屋盖,换句话说,不仅仅是工程师眼中的高效的大跨度结构体系,同时,作为60年代有机建筑学组成部分的多面体集成的衍生,还是城市空间和建筑居住空间几何学意义上的开创者。例如,1957年 Louis Kahn 和 Anne Griswold Tyng 针对一个 616ft (188m) 高的建筑物提出了巨型空间网架概念,该建筑的主要楼层属于空间网架的一部分并由多个 66ft (20m) 高的四面体支承。Yona Friedman 和 Eckhard Schulze-Fielitz 在多层空间网架的基础上建立了他们的城市巨型建筑。按乌托邦式的传说改变环境的例子有 Warren Chalk 设计的“水底城”(Underwater City) 和 Peter Cook 设计的“插接城”(Plug-in-city), 他们的设计以 Archigram 团体的理念将多面体和空间网架融合为一体。1969年, Alfred Swenson 以双层周边空间网架作为墙体结构设计了一座150层的巨型筒体建筑。

在众多建筑设计师中, Alfred Neumann, Zvi Hecher, David Emmerich, Moshe Safdie 设计的多面体建筑及 Keith Critchlow 的理论研究相当受大众欢迎, 他们的设计一般应用于高密度社区建筑和紧急庇护场所。我们也不应忘记在 Buckminster Fuller 的熏陶下用多面体和构架穹顶建造的嬉皮士社区这样的反传统建筑。

三维结构的理念在20世纪60年代大行其道,这在1967年的蒙特利尔世界博览会及1970年的大阪世界博览会上那些大胆的空间网架结构中得到体现。在先驱们的实验作品中,大概要数 Buckminster Fuller 在1967年蒙特利尔世博会上展出的美国竞技场网架顶设计最为经典了。90年代新一代设计师们在这些实验作品基础上继续发扬光大,如 Renzo Piano 设计的复合型整体张拉结构以及 Wendel R. Wendel 的在外太空自由飞翔的空间结构,如太空站、工作台、反射望远镜装置及大型天线。

6.2 简单的单层空间构(网)架

6.2.1 案例

图 6-1 所示为典型的多面体建筑物或屋盖单元。这些各色各样的不同形状是通过变换及反复尝试产生的。依据图形中心以各种规则多边形为底面的四个基本棱锥,通过平移、旋转、截断和局部拼装,同时直观地对图形作出选择,便可演变出很多不同的形状。

图 6-2 所示为一些建筑物的典型实例。这些例子清楚地展示出空间网架体系的多样性。这些实例涉及的范围从小型的遮棚(如图(a))到大型的体育场(如图(i));从简单的三维空间形状(如图(c)、(d)、(e)、(h)、(i))到不常见的多面体屋盖(如图(a)、(b)、(g));从复杂的折叠屋盖(如图(f))到美国费城由 Frank Lloyd Wright 设计的平面呈不规则六边形的 Beth Sholem 犹太教堂的有机玻璃塔(图(j),1954 年)。

接下来,按历史顺序简要地讨论图 6-2 中的一些实例。

由 Eduardo Torroja 设计的西班牙首都马德里大学城医院的圆形手术室(1934 年,图 6-2(h))展现了一座早期的现代三维结构的范例。该手术室的放射状水平梁和中央 30ft(9m)的多面体及竖向天窗框架组成了一个连续结构,多面体天窗顶部的环梁受压而底部的环梁则受拉。70ft(21m)跨度的混凝土屋盖结构与周围的柱子铰接。

由 Kilham Beder & Chu 设计的纽约 Chappaqua 图书馆,其单层主藏书室的金字塔形屋盖结构由一根五月柱型的中心柱支承(1977 年,图 6-2(c))。与改进的单柱体系类似,这根中心柱所支承的八根水平径向梁从有坡度的吊架上悬臂伸出。Piet Blom 设计的荷兰 Helmond 作为社区住宅的“树屋”(1977 年,图 6-2(b))是由三层旋转的木框架立方体组成,下面由混凝土柱作为“树干”支承着,这些“树干”同时还为“树屋”提供了竖向的通道。

新泽西州牧场 Brendan Byrne 竞技场的双层倾斜圆屋顶是一个净跨为 372ft×414ft(113m×126m)的结构(1981 年,图 6-2(d)),由 Skilling、Helle、Christiansen、Robertson 等工程师共同设计。其结构构架体系包括一些双向 16.5ft(5m)深的拱式箱形钢桁架(同时提供了狭小通道体系),由八个内含楼梯与电梯的箱形钢塔支承。八个钢塔之间由 50ft(15m)深的悬臂墙桁架连接,该墙桁架支承着屋盖次桁架及外墙。后张钢缆作为拉力环用来平衡拱的向外推力,同时控制横向的变形。

美国北卡罗来纳州大学 Chapel Hill 篮球馆(1986 年,图 6-2(e))的中心带有织物天窗的拱形钢屋盖,跨度达到近 400ft(122m),是由 Geiger 事务所设计的。其屋盖结构由四个沿对角线布置的箱形拱式桁架(同时用做天桥人行道)组成,它们将整个屋盖划分为沿周边的四个矩形区和四个三角形区以及中心处的一个稍带曲边的矩形区。拱的侧向推

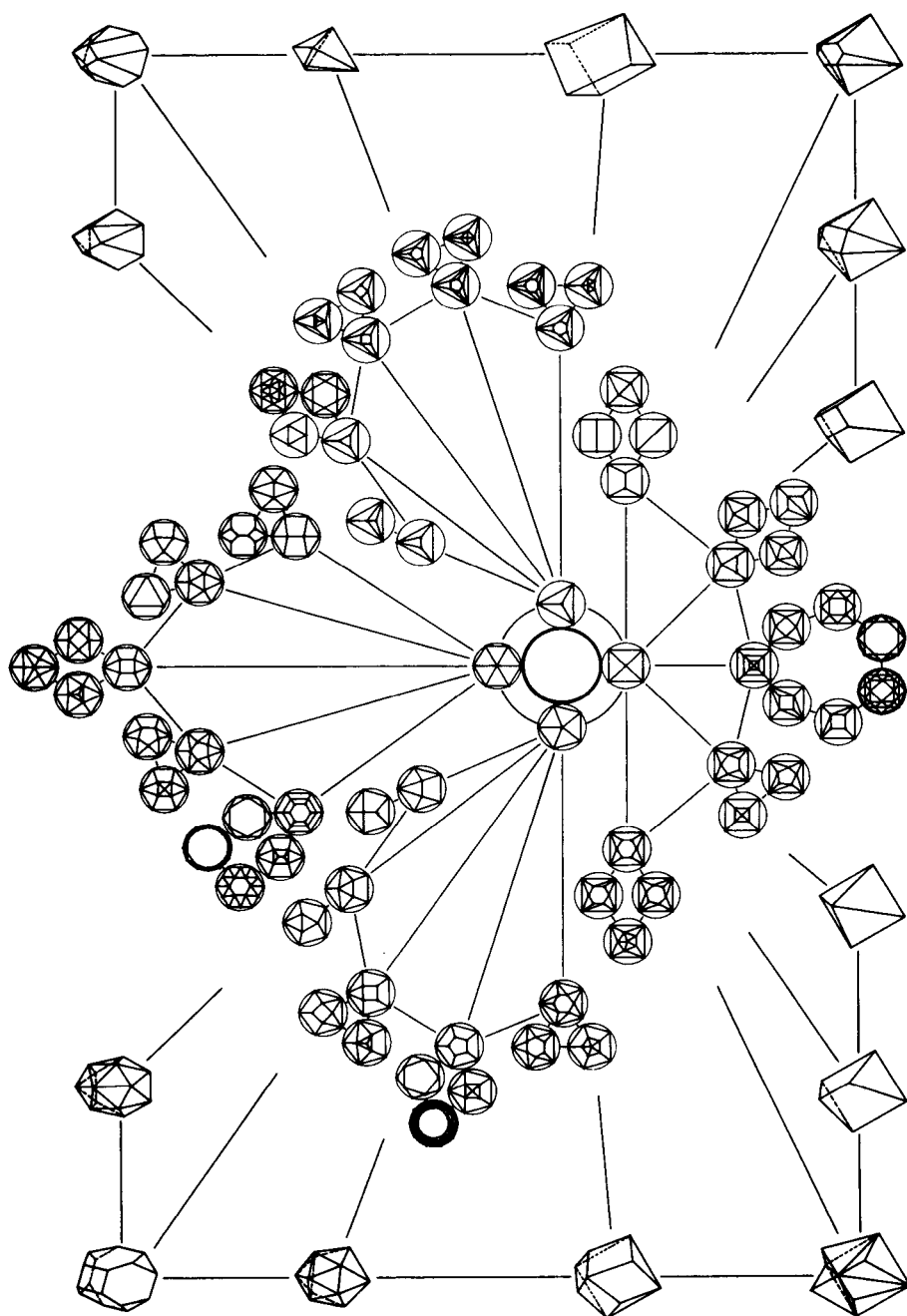


图 6-1 多面体屋盖结构