

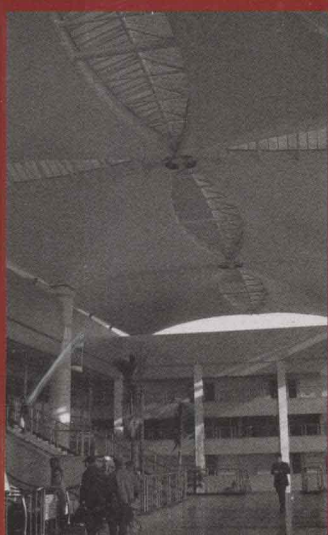
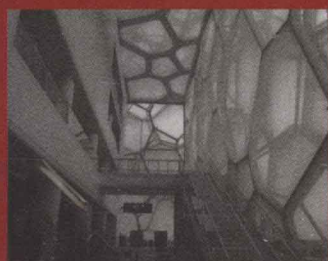
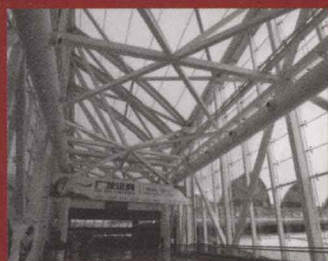
普通高等教育“十二五”省级规划教材

# 建筑结构选型

## 与实例解析

Building Structure Matching & Architecture Appreciation

● 杨海荣 冯敬涛 编著



郑州大学出版社

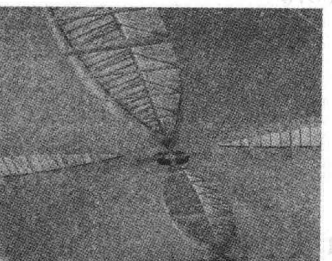
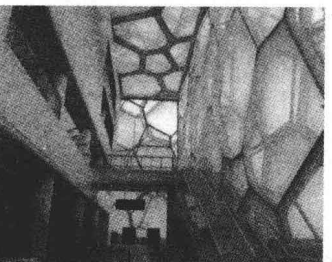
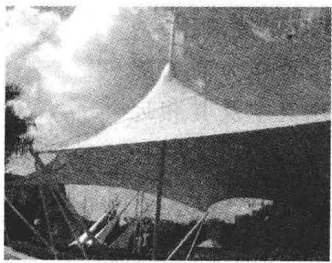
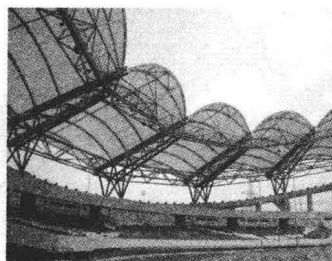
普通高等教育“十二五”省级规划教材

杨海荣 冯敬涛

# 建筑结构选型 与实例解析

Building Structure Matching & Architecture Appreciation

● 杨海荣 冯敬涛 编著



 郑州大学出版社



## 内容简介

本书结合建筑专业的特点,言简意赅地介绍了各种常用建筑结构形式,结合各种结构形式,精选了160余个具有代表性的工程实例及1000余张建筑图片,穿插在各个章节之中,进行分析讲解。本书图文并茂、深入浅出,可作为高等院校建筑学及其相近专业的建筑结构选型课程的教材,也可作为建筑学及其相近专业教学、自学及设计的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑结构选型与实例解析/杨海荣,冯敬涛编著. —郑州:  
郑州大学出版社,2011.2  
ISBN 978-7-5645-0288-1

I. ①建… II. ①杨…②冯… III. ①建筑结构-结  
构形式 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 197571 号

郑州大学出版社出版发行  
郑州市大学路40号  
出版人:王 锋  
全国新华书店经销  
郑州文华印务有限公司印制  
开本:787 mm×1 092 mm  
印张:19.25  
字数:459千字  
版次:2011年2月第1版

邮政编码:450052  
发行电话:0371-66966070

1/16

印次:2011年2月第1次印刷

---

书号:ISBN 978-7-5645-0288-1

定价:39.00元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

# 前 言

## Preface

---

本书根据高等教育建筑学专业建筑结构选型课程教学大纲要求,面向工程实际,结合作者多年设计、施工与教学经验,以建筑学“建筑结构选型”课程讲义为基础,经多次试用、修改、完善而成。本书具有以下特点:

1. 结构概念言简意赅。本书结合建筑专业的特点,深入浅出地介绍了各种常用建筑结构形式,包括大跨建筑结构形式、多层建筑结构形式、高层及超高层建筑结构形式等。本书以简洁凝练的语言介绍了上述结构形式的概念、常见形式、受力特点、适用范围及相应尺度等,便于读者对各种常用建筑结构形式的认识和理解,也便于随时查阅。

2. 工程实例丰富直观。本书密切联系工程实际,精选了160余个具有代表性的工程实例及1000余张建筑图片,穿插在各个相关章节之中。建筑涉及大剧院、会展中心、展览馆、博物馆、科技馆、教学楼、音乐厅、各类体育场馆、机场、候车厅、宾馆、银行、商业建筑、商住楼、写字楼、住宅等各类民用建筑类型。本书简述了其工程概况,结合其结构选型特点详细分析、讲解了其建筑造型。便于读者巩固和强化对各类建筑结构形式的认识,拓展建筑创作思路,从而更准确地进行建筑方案的结构选型,更成熟地进行各类建筑方案的构思。

3. 关键词中英文对照。本书中所有结构形式的名称均为中英文对照,部分国际著名的建筑师及建筑作品名称也采用了中英文对照,便于读者对相关英文文献的检索及阅读。

本书由华北水利水电学院建筑学院杨海荣、河南省第一建筑工程集团有限责任公司冯敬涛编写,全书由杨海荣统稿。

编者水平所限,本书不当之处,敬请批评指正。

编者

2010年5月

1 概 论 .....	1
1.1 问题的提出 .....	1
1.2 结构选型的意义 .....	3
1.3 结构选型的目标 .....	3
1.4 结构选型的原则 .....	4
1.5 现代建筑的结构体系 .....	8

### 上篇 大跨度建筑结构体系

2 桁架结构 .....	11
2.1 桁架结构受力特点和适用范围 .....	11
2.2 桁架结构基本形式 .....	12
2.3 桁架结构设计要点 .....	16
2.4 桁架结构的其他形式 .....	16
3 刚架结构 .....	30
3.1 刚架结构受力特点和适用范围 .....	30
3.2 刚架结构的形式 .....	31
3.3 刚架结构的建筑造型 .....	36
4 拱 结 构 .....	42
4.1 拱结构受力特点和适用范围 .....	42
4.2 拱结构的形式 .....	43
4.3 拱结构的建筑造型 .....	44
5 薄壁空间结构 .....	57
5.1 概述 .....	57
5.2 圆顶壳 .....	60
5.3 筒壳 .....	65
5.4 折板 .....	71
5.5 扁壳 .....	78
5.6 双曲扁壳 .....	79
5.7 椭圆抛物面壳 .....	80
5.8 双曲抛物面扭壳 .....	84



6	网架结构	91
6.1	概述	91
6.2	网架结构体系及其形式	91
6.3	网架结构支承方式	96
6.4	网架结构构造	102
7	网壳结构	107
7.1	概述	107
7.2	网壳结构形式	107
7.3	网壳结构选型	134
8	悬索结构	136
8.1	概述	136
8.2	悬索结构受力特点和适用范围	138
8.3	悬索的变形特点	139
8.4	悬索结构的形式	140
9	薄膜结构	153
9.1	概述	153
9.2	薄膜结构的特点	153
9.3	薄膜结构的材料	153
9.4	薄膜结构的类型	154
10	其他大跨度建筑结构形式	180
10.1	混合空间结构	180
10.2	斜拉混合结构	195
10.3	悬挑结构	208

**下篇 多高层建筑结构体系**

11	砌体结构	217
11.1	概述	217
11.2	砌体结构分类及适用范围	218
11.3	砌体结构的布置方案	221
11.4	砌体结构的抗震措施	225

12	框架结构	228
12.1	概述	228
12.2	框架结构分类	229
12.3	适用范围	236
12.4	框架结构布置形式	236
13	纯剪力墙结构	240
13.1	概述	240
13.2	适用范围	240
13.3	结构布置	241
13.4	钢筋混凝土剪力墙结构设计要点	241
14	框架剪力墙(抗震墙)结构	243
14.1	概述	243
14.2	适用范围	243
14.3	结构布置原则	244
14.4	框架剪力墙(抗震墙)结构设计要点	244
15	框支剪力墙结构	249
15.1	概述	249
15.2	适用范围	251
16	筒体结构	255
16.1	概述	255
16.2	适用范围	257
16.3	筒体结构类型	257
17	超高层结构的其他形式	275
17.1	概述	275
17.2	结构体系	275
18	建筑体型与结构布置	283
18.1	建筑体型	283
18.2	结构布置	294
18.3	结构尺寸	297
	参考文献	300

# 1 概 论

## 1.1 问题的提出

对于初学建筑的同学,常常受到这样一些问题的困扰:不同高度的住宅为什么有的是砖混结构,有的是剪力墙结构?同是多层建筑,为什么有的是框架结构,有的是砌体结构?面对纷繁复杂的建筑形式,如何判定其结构类型?如何有效地选用结构形式去完成建筑的创作意图呢?建筑设计与结构选型如何配合运用呢?

作为建筑师,谁不希望自己的设计作品能够从图纸变为建筑呢?谁不渴望自己的得意之作能够长存于世间呢?这个过程实现虽然夹杂着许多复杂的因素,但是,仅从作品自身而言,它的结构合理性及附带产生的造价经济性也是决定它实现与否的关键。而这一方面却往往被不少设计师忽视或是轻视。从某种意义上说,对结构的关注与否,直接关系到建筑作品的实现与否。我们不妨看看几位世界顶级设计大师的实例。

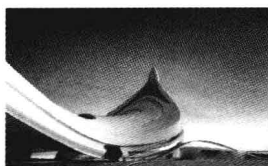
### 1.1.1 “未建成大师”之惑

伊拉克裔英国设计师扎哈·哈迪德(Zaha Hadid)(图1.1),2004年荣获普利兹建筑奖,获得了世界多个最顶尖的建筑设计竞赛殊荣。她的设计作品造型新颖、独特而富有创意,常常令人有耳目一新的惊艳之感(图1.2)。但是,这样一位才华横溢的设计师,她的作品却鲜有建成,即使建成的作品也时被诟病。原因很简单:她的作品不能使内部功能充分合理地满足,更为甚者,她的作品造型缺乏结构的合理性,甚至到了以当代建筑技术的能力无法实现的地步。扎哈·哈迪德因此有了“纸上谈兵的建筑设计师”的称号。带着这样的遗憾,扎哈·哈迪德曾多年淡出建筑界,而将自己的才华挥洒在高档装饰品的设计上,并因此获得了巨大的财富和褒奖。近几年,国际上,特别是中国的建筑市场上又出现了扎哈·哈迪德及其团队的身影。

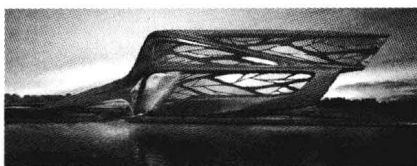


图 1.1 扎哈·哈迪德

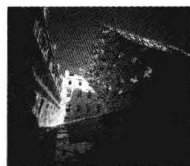




(a)



(b)



(c)

图 1.2 扎哈·哈迪德的作品

日本设计师(Arata Isozaki)矶崎新(图 1.3),被称作“未建成大师”,一位颇有想法也颇具争议的设计师,他的许多极富灵感的作品,因结构上的无法实现而多年沉寂在图纸中。他曾一度在建筑界销声匿迹。图 1.4 是他 1960 年的设计作品“空中城市”,这个受中国传统建筑文化中斗拱造型的启发而创作的超高层建筑方案,由于结构上的原因,至今依然是个空中楼阁。2000 年建成的卡塔尔国家图书馆(图 1.5)似乎圆了矶崎新“空中城市”的梦,但是,无论从建筑高度上,还是从建筑结构和造型上来分析,都会发现,两者有着很大的差别。所以,严格地说,“空中城市”方案依然是一个未建成建筑。



图 1.3 矶崎新

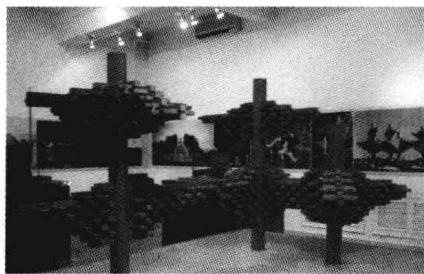


图 1.4 空中城市

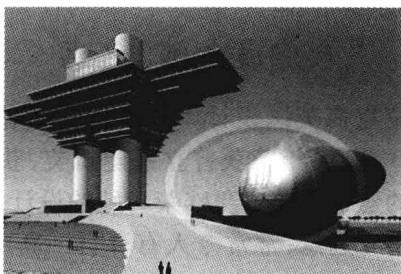


图 1.5 卡塔尔国家图书馆

如何不重蹈大师的覆辙?如何让建筑构思变得更理性一些?更务实一些?务实和理性,绝对不是平淡无奇,它应该是建筑师更负责任的设计本分。当然,实现这一点,也需要建筑师有坚实的结构理论知识作基础。

### 1.1.2 造型与结构统一之美

西班牙建筑师圣地亚哥·卡拉特拉瓦(Santiago Calatrava)(图 1.6)毕业于西班牙巴伦西亚建筑与城市设计专业,并在瑞士苏黎世联邦工学院获结构工程博士学位。拥有建筑师和工程师双重身份的他,对结构和建筑美学之间的互动有着精准的掌握。卡拉特拉瓦认为,建筑的美态能够由力学的工程设计表达出来,而大自然之中的形态美,同时亦有着惊人的力学效果。或许正是

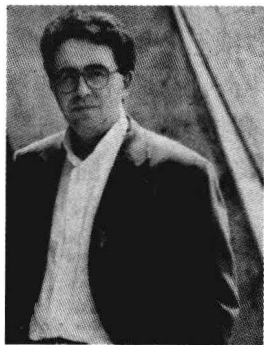
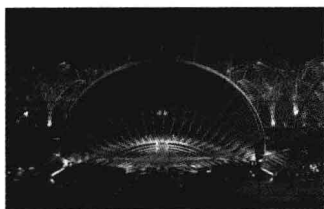


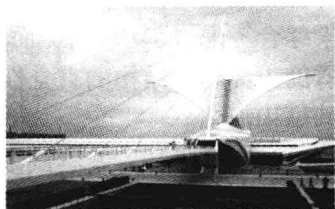
图 1.6 卡拉特拉瓦



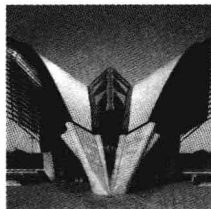
基于这样的理念,卡拉特拉瓦的作品才会充满力度、动感与生态美(图 1.7)。也正是基于他坚实的结构理论知识,卡拉特拉瓦的作品才得以频频建成于世,并被世人久久称道。



(a)西班牙里斯本车站



(b)美国密尔沃基美术馆



(c)法国里昂TGV车站

图 1.7 卡拉特拉瓦的部分作品

## 1.2 结构选型的意义

古罗马建筑大师维特鲁威(Vitruvius)曾在他的《建筑十书》中指出,建筑的三个基本要素是美观、适用和坚固。“美观”是指建筑作品最表象、最易被人记住的建筑造型,它决定着建筑作品的风格,传递着建筑师对建筑的理解,媒介着建筑师与人们的交流。“适用”指的是建筑的实用功能,要求建筑作品所提供的空间序列真正有用,符合建筑的意图,满足人们对建筑空间的各项功能要求。“坚固”是最基本的特征,它是建筑物保存自身的实际完整性和作为一个物体在世界上存在的能力。多少年来,世界各地的建筑师将这三个基本要素奉为经典,但是,践行起来又充满矛盾。

一个优秀的建筑作品,不仅需要建筑的语言和设计方法去成就,它同时也需要适当的结构形式去配合完成。建筑的三个基本要素“美观”、“适用”和“坚固”与结构形式密不可分。现代建筑技术日新月异,为建筑师拓展了更广阔的创作空间。建筑师们已不再如过去一样总是将结构包裹在建筑装饰材料与建筑造型之中,而是让结构构件成为建筑造型的一部分甚至整体。建筑的“美观”越来越多地吸纳着结构的特征。美国芝加哥的约翰·汉考克中心、法国的蓬皮杜艺术中心、香港汇丰银行、香港中国银行、中国北京的国家大剧院等建筑的出现,例证着结构形式对建筑造型的影响和引导。在这些建筑中已经分不出是先有建筑还是先有结构形式了,建筑造型与结构形式已成了相辅相成的一体。层出不穷的建筑新技术、新材料将结构形式由传统的砖石结构推进成各种丰富的结构类型。砌体结构、框架结构、剪力墙结构、筒体结构、拱、悬索、网架、薄膜……各类的结构形式从结构承重到建筑综合造价等都有各自最适合的建筑高度、建筑跨度、建筑空间和建筑造型,是建筑的“美观”、“适用”与“坚固”的有力保证。

“讲究工程,讲究结构,讲究文化,讲究造价”是中国科学院院士吴良镛先生对建筑创作的理解和诠释。

## 1.3 结构选型的目标

作为建筑专业人员,对结构的学习是必不可少的。学习结构选型的目标,可以概括为



三个阶段。

第一阶段:能够判断建筑的结构类型。

通过结构选型的学习,能够初步判断出一个建筑的结构类型。这需要结合建筑的高度、功能、内部布局、材料等因素综合考虑,反复判断。而这一过程,便是对结构选型反复练习和强化的过程,这种训练有助于提高对结构的直觉性。

第二阶段:能够确定方案的结构形式。

在第一阶段的基础上,对自己的建筑设计方案尝试多种结构形式的类型,对比不同结构形式的优劣,最终确定方案的结构形式。不断尝试的过程中,对各种结构类型的特点掌握会越来越牢固。

第三阶段:能够结合结构理念构思建筑方案。

在建筑构思的整个过程中,随时结合结构的类型、特征、形成的造型等去考虑,在建筑方案造型生成的同时也基本确定了结构的类型。这样的建筑创作过程才是理智的、经济的、积极的。建筑专业人士对结构选型理念的掌握,最高目标还是要实现建筑构思与结构理念的双剑合璧。这需要通过对结构选型的长期研习,逐渐达到这一境界。

## 1.4 结构选型的原则

结构选型能力的历练是有章可循的。笔者认为,在建筑创作过程中,可以通过对结构选型三原则的反复揣摩,日积月累,终成正果。结构选型三原则可以概括为以下三点。

### 1.4.1 建筑的功能

建筑是功能的载体。建筑高度、建筑层高、建筑布局、内部空间划分、建筑材料等均是建筑功能的具体体现。不同的建筑功能,决定着建筑结构类型的优与劣。图 1.8 至图 1.10 显示的三个工程虽然均是二三十层高的高层建筑,而其建筑功能却不尽相同,因此,适用的结构类型也明显不同。图 1.8 为高层住宅楼,房间的开间和进深尺度都不算大,这样的建筑功能,国内采用较多的是钢筋混凝土全剪力墙结构。图 1.9 是一座商住楼,上部是小空间的住宅,下部是空间较大、内部分隔灵活的商场、银行。这样的建筑功能,采用框支剪力墙结构更为实用、合理。图 1.10 为高层写字楼,内部空间需要开敞,且便于时常变换分隔,采用框架剪力墙结构较为理想。



图 1.8 剪力墙结构:高层住宅楼



图 1.9 框支剪力墙结构:商住楼



图 1.10 框架剪力墙结构:写字楼

### 1.4.2 建筑的造型

建筑造型的千差万别,使结构选型的优化作用更为突出。即使是相同的建筑类型,对于迥异的建筑造型,适用的结构形式也是大相径庭的。图 1.11 至图 1.13 均为机场的候机楼。图 1.11 是纽约 TWA 环球航空公司候机楼,如蝴蝶振翅的动感造型是由钢筋混凝土的双曲抛物面扭壳来完成的。图 1.12 是丹佛国际机场候机楼,轻盈婉约朦胧的屋盖造型,采用的是点支承悬挂薄膜结构。图 1.13 是广州新白云机场,巨大的羽翼展翅造型是由立体桁架结构实现的。



图 1.11 双曲抛物面扭壳:纽约 TWA 环球航空公司候机楼



图 1.12 点支承悬挂薄膜结构:丹佛国际机场候机楼





图 1.13 立体桁架结构:广州新白云机场

### 1.4.3 建筑的造价

结构选型对建筑造价的影响很大,结构在建筑的总造价中所占的比例有时可达到60%以上。因而,建筑资金的投入金额,直接影响着建筑结构选型的方案。

“珠江边两块石头”或称“圆润双砾”是扎哈·哈迪德设计的广州歌剧院(图 1.14),这个方案号称没有一片垂直墙面。建设之前,仅中方与之配套的结构施工图图纸绘制便花费了整整一年;建设过程中,结构设计方、施工方、声学设计师都面临着前所未有的挑战。这一切使建筑的造价节节攀升。在中国现有的经济水平下,建设这样一个建筑是否合理,自然成了一个充满争议的话题。



图 1.14 广州歌剧院(效果图)

图 1.15 是矶崎新在上海的新作——上海艺术大酒店(即喜马拉雅中心)。建筑下部造型奇特的裙房部分是由 33 根 45 m 高的异形柱组成的异型结构,矶崎新称之为“林”,这部分是矶崎新最为得意的地方,这也是该工程耗资最大的地方。当年,矶崎新说服戴志康(证大投资集团董事长)投资 2 亿元为该工程买单,现在,建设中的新作已耗资达 20 亿元依然未完工。

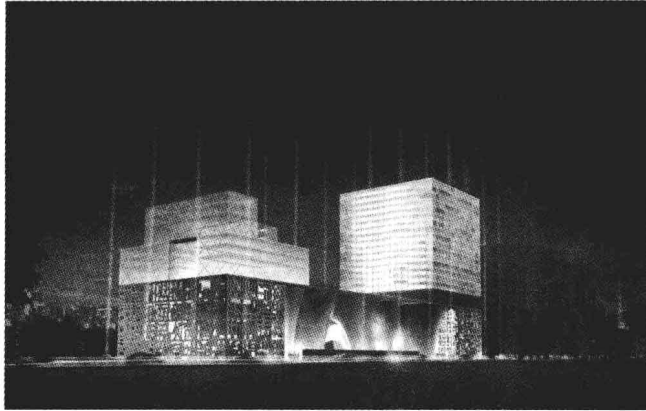


图 1.15 上海艺术大酒店

并不是每个建筑师都有那份幸运——找到一位为自己梦想买单的业主。建筑师应该具备在有限的资金支持下也能成就理想作品的的能力。

图 1.16 是卡拉特拉瓦为雅典奥运会打造的主场馆。这个场馆并不是一座新建筑。它在奥运会之前已使用了 20 年之久。卡拉特拉瓦为建筑拉起两根长 304 m, 高 80 m 的大型拱梁, 用拱梁联系钢缆拉起总面积超过 10 000 m<sup>2</sup>, 总重量 16 000 t 的纤维板屋顶。建筑的有盖座位因此由 35% 增加至 95%, 体育馆的造型也因卡拉特拉瓦妙笔生花的设计而焕然一新。



图 1.16 雅典奥运会主场馆

## 1.5 现代建筑的结构体系

现代建筑的各种结构体系(structure system of modern building),可以简单地概括为平面结构体系和空间结构体系,参见图 1.17。按照建筑高度和跨度的不同,建筑物又可概括为低层、多层、高层、超高层及大跨等形式,每种形式分别适用于不同的结构体系,参见图 1.18。

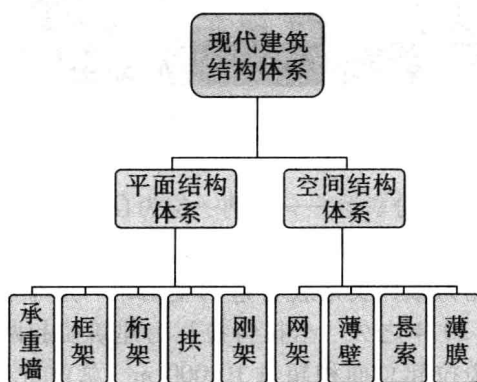


图 1.17 现代建筑结构体系

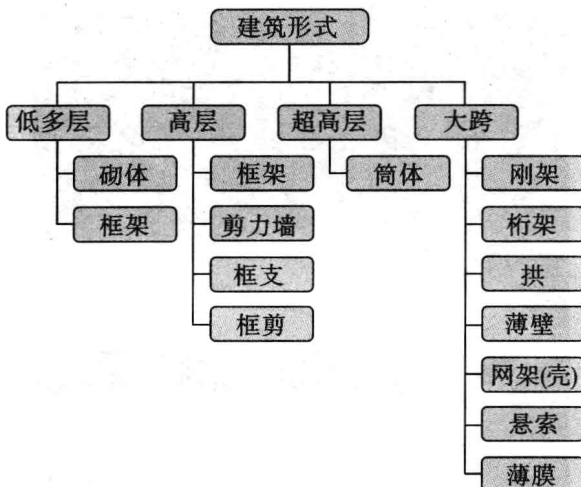
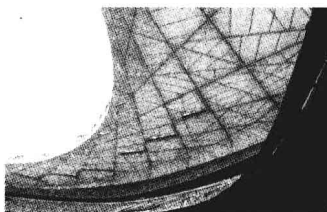
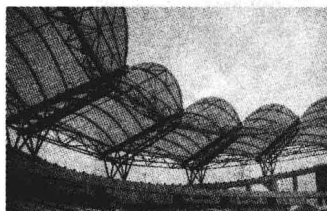
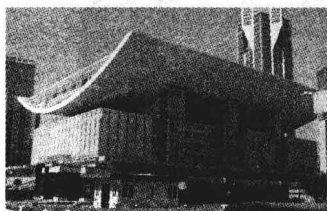
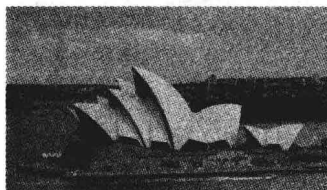


图 1.18 建筑形式与常用的结构体系

# 上篇

## 大跨度建筑结构体系





鸟儿的飞翔、蝴蝶的展翅、花朵的绽放……都会使人类的灵感大增,创造出许许多多与之形似、堪与之媲美的建筑造型。受现代仿生学的影响,有损于现代新技术的支持,大跨建筑显示出前所未有的生机与活力[图(a)~(f)]。现代大跨建筑发展于19世纪末,建成于1889年巴黎世界博览会上的机械馆(采用三铰拱钢结构,跨度达115 m)、建成于1913年的波兰百年大厅(钢筋混凝土肋穹顶,直径达65 m)等便是那个时代的精品。



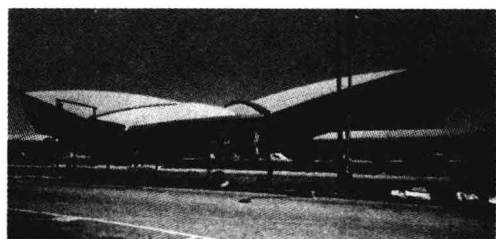
(a)



(b)



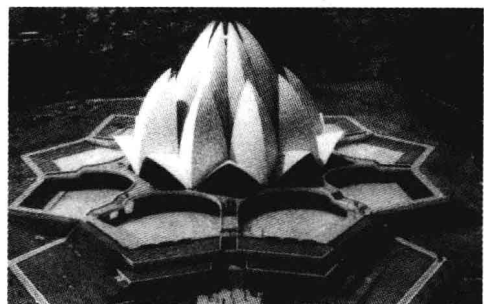
(c)



(d)



(e)



(f)

历经百年发展,目前,大跨建筑主要应用于民用建筑的展览馆、博物馆、影剧院、体育场馆、飞机场航站楼等。在工业建筑中主要应用于大型工业厂房等。随着建筑技术、建筑材料的不断发展与创新,大跨建筑的结构形式更趋成熟与多样化,桁架、刚架、拱、网架、网壳、圆顶、筒壳、折板、悬索、薄膜等都是常用的大跨结构形式,由它们组合而成的混合空间结构更是产生了丰富多样的建筑造型。