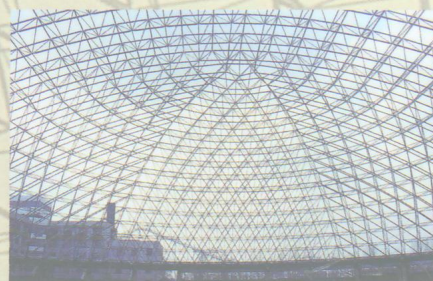
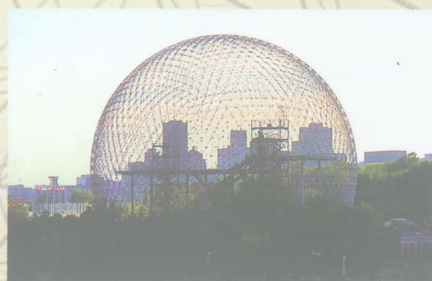


CONCEPT OF LONG-SPAN STRUCTURE

大跨建筑结构构思与结构选型

梅季魁 刘德明 姚亚雄 著



中国建筑工业出版社

TU208.5
2003423

大跨建筑结构构思与结构选型

梅季魁 刘德明 姚亚雄 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

大跨建筑结构构思与结构选型/梅季魁等著. -北京:
中国建筑工业出版社, 2002

ISBN 7-112-05620-9

I.大... II.梅... III.建筑, 大跨度结构-结构设计 IV.TU208.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 110101 号

大跨建筑结构构思与结构选型

梅季魁 刘德明 姚亚雄 著

中国建筑工业出版社 出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店 经销

上海海洋电脑彩印有限公司 制版

上海腾飞照相制版印刷厂 印刷

开本: 889 × 1194mm 12开

印张: 15³/₄ 字数: 364千字

2002年12月第一版 2002年12月第一次印刷

印数: 1-2000册 定价: 98.00元

ISBN 7-112-05620-9

TU 4945 (11259)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退还

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

绪 言

结构问题,在专业分工相当细化的今天,似乎与建筑师的本职工作不大相干,但是建筑师在建筑创作过程中却无法抛开它而特立独行。实践表明,建筑构思必须与结构构思同步进行,而且也只能由建筑师本人兼顾完成。

建筑师作结构构思需要掌握一定的构思方法和手法,以便灵活运用结构技术,构思出合体的结构方案,满足建筑构思的需要。显然,这方面的工作难度不小,但建筑师只能面对事实,知难而进,接受挑战。

本书几位作者走上工作岗位的时间迟早不一,但对建筑设计中的结构问题的关注,却都是起因于建筑教学和工程设计的需要。

早在20世纪50年代后期,我国建筑教育有较大改革,高校师生有了教学结合生产的良好环境。我校师生获得了体育场馆等大跨建筑设计的机遇,接触到较多的结构等技术问题。从中体会到,大跨建筑的结构对建筑空间和形体的构建有着举足轻重的作用。建筑师对结构的认识,不仅要看到结构对建筑构思的制约作用,更应看到结构是大跨建筑创作的一个有力手段。大跨建筑的形体特点很强,对屋盖结构的要求并不满足于单纯的覆盖,而是要量体裁衣,创造独具特点的形体。因而,建筑师掌握结构构思方法和选型手法,是卓有成效的完成建筑创作不可缺少的一个前提。

我国建筑教育的结构课程,尽管在不断改进,日渐贴近建筑学的需要,但不可否认,距离仍然不小。一般性结构常识多,较

少涉及应用方法和技巧。接受这种结构教育的学生和从业建筑师,面对建筑个性要求日益强烈的设计任务,往往比较茫然,不善运用结构手段进行建筑创作,其后果是可想而知的。

建筑和结构随着科学技术的发展,分化成两个独立的学科,但是建筑工程本身历来是各种专业知识交融而成的综合产品。因此,建筑与结构各自深化发展的同时,更需要专业间知识的渗透和工作的紧密配合。

建筑与结构专业之间的架桥联通是一项艰巨的有待深入研究的跨学科工作。国内外偶有这方面的著作问世,为消除专业隔阂,增强合作做出了许多有益贡献,但从整体看,这方面工作的开展还是很不够的。

建筑师既应有概念性的结构知识,更需要掌握一定的结构选型技巧。前者一般通过结构授课可以获得,而后者该去何处寻求?

就世界范围看,新颖结构形式的层出不穷和建筑与结构有机结合杰出作品的辈出,都是有其一定的规律和手法的。一些作品的结构形式看似非同一般,但从构成角度看,其结构选型手法却是很普通和常见,其出众之处在于结构构思的巧妙,既不是不可企及的高超手法,也不是以高投入换取高技术而让人望而却步,这正是值得深思并努力探求的。作者就是在上述诸多事实促使下,关注和研究结构构思和选型,试图克服大跨建筑设计的技术障碍,开创一条顺畅的创作道路。20世纪70年代后期,大跨建筑在我国显露出广泛发展迹象之时,作者在哈尔滨建筑工程学院建筑系

(2000年更名为哈尔滨工业大学建筑学院)尝试性地开出了结构选型课程。该课试图从建筑学角度探讨结构构思方法和结构选型手法,它无意取代结构课程,而是充实和丰富它,活跃设计思想,开阔设计思路。这种探索性课程,无论是观念还是内容都不可能立即十分清晰和完整,但它确因针对性强、思想活跃和重视应用而受到同学的欢迎。该课在教学中不断充实和完善而延续下来,至今仍是受学生欢迎的课程之一,其讲稿成为撰写本书的腹稿。

本书探讨结构构思和选型问题的主要途径是分析总结前人的大量实践经验,是在温故知新的认知道路上的求索。因此,它既不是全面的历史总结,也不是各种新作的荟萃,而是对一些较有代表性作品的解读,从中寻找规律、归纳手法。

大跨建筑涵盖范畴很广,建筑类型也较多,本书仅选择与人们社会生活紧密相关的大空间公共建筑物为论述对象,如体育、游乐、博览、交通、会堂、商场等建筑。这些建筑虽然各有特性,但它们所用的结构则有较多的共性,可以做综合的讨论。完整的大跨建筑结构包括屋盖、支柱和基础,其中对建筑创作影响最为明显的莫过于屋盖。因此,本书为讨论的简练,将论述重点定位在屋盖结构。

本书读者对象为建筑学专业师生和建筑师,兼供结构专业师生和结构师的参考。

本书的基本内容有如下四个方面:认识、知识、方法和手法、评析。

一、专业合作应有某些基本共识,建立起共同的观念基础。本书将其列为第一章,称作概说;

二、建筑师进行结构构思需要有一定的结构基本知识。但建筑师掌握的结构知识由于多种原因,深浅不一,本书将大跨结构的概要知识列为第二章,供结构构思参考;

三、结构构思方法和选型手法是本书着重探讨的课题,列为第三章;

四、一件设计作品的结构构思和选型,一般既有成功之处,也会有不足的一面。因此,对设计作品需要作科学的客观评价,以利学其成功经验、汲取其失误或失败的教训。本书选择一部分在某些方面较有代表性的作品作些评析,列为第四章。

结构构思和选型问题,毕竟是跨越建筑学和建筑结构两大学科领域且属新兴的边缘学科,有许多问题需要深入的探讨。本书只是一次尝试,谬误和不足在所难免,有赖读者和专家指正。同时,期望这一学科能得到更多人的关注并取得长足的发展。

本书绪言、第一章、第三章由梅季魁执笔,第二章由姚亚雄执笔,第四章由刘德明执笔,全书由梅季魁统稿。

梅季魁 刘德明 姚亚雄 2002年10月

目 录

绪言

001	第一章 概说
001	第一节 发展与进步
001	一、大空间公共建筑的发展
005	二、大跨结构技术的进步
014	第二节 矛盾与化解
014	一、建筑与结构
016	二、矛盾的化解
016	第三节 建筑师与工程师
016	一、建筑师职责
017	二、结构工程师的任务
017	三、专业合作
018	第二章 大跨结构的基本知识及其运用
018	第一节 结构概述
018	一、全面认识结构
019	二、结构的分类
021	三、结构的力学规律
023	四、结构的构成
023	五、结构的可靠性
024	第二节 大跨建筑的结构特点
024	一、大跨建筑结构的受力特点
025	二、大跨建筑结构的组成
027	三、大跨建筑结构的几何形式
032	四、大跨建筑的基本结构形式
059	五、新型结构简介

069	第三章 结构构思与结构选型
069	第一节 结构构思
069	一、结构构思基础知识
070	二、结构构思的依据
077	三、结构构思目标、重点和方法
084	第二节 结构选型手法之一——调度参数
087	第三节 结构选型手法之二——构件置换
092	第四节 结构选型手法之三——结构剪切
092	一、对象与起因
092	二、剪裁方法
097	第五节 结构选型手法之四——结构组合
097	一、同类型结构组合
108	二、不同类型结构组合
115	第四章 结构构思实例评析
115	第一节 结构形态与建筑环境
116	一、体量的处理
120	二、形体的协调
128	三、材质的呼应
131	四、气候的影响
133	五、文脉的隐喻与象征
138	第二节 结构形态与建筑空间
138	一、空间契合与利用
151	二、内部空间环境的创造
155	第三节 结构形态与建筑造型
155	一、基本原则
156	二、实例剖析

第一章 概 说

建筑工程设计分成建筑、结构、水、暖、电等诸多专业，一般简称为建筑、结构、设备三大专业。而一项设计任务的完成，既应有专业的分工，更需要专业的合作。一般情况下，各专业在建筑方案初步构想基础上提出各自专业设计方案，并经过相互交织、协调、修改等过程最后综合为共同的设计作品。其中，结构与建筑的关联程度明显大于设备专业，因而结构专业介入建筑方案设计的时间也最早。

大空间公共建筑结构与建筑的关联程度也远大于一般民用建筑，其建筑空间的围合、形体的构筑、形象的塑造都与结构紧密相关。结构本身则受力学规律支配，其整体形状、受力特点、构件的粗壮与精巧、适用范围等都有内在的规定，这对建筑设计有很强的制约，对建筑构思有着巨大影响。另一方面，如果以积极态度看待结构、善加运用结构，则可以由被动变为主动，创造出别具特色的建筑作品，于是结构会上升为建筑创作的一种表现手段。

大空间公共建筑是应用大跨结构的重要市场，容易闪现出“亮点”，展示结构技术的最新成就和结构造型的魅力。同时大空间公共建筑的空间形态和建筑造型的发展倾向又常常影响某些大跨结构形式的发展。总之，结构与建筑在大空间公共建筑设计中有着很强的依存、制约和促进关系。

大跨结构的应用和发展又是以经济的

发展、科技的进步及社会需求的兴旺为前提。因此，我们在探讨大跨建筑结构构思和选型之前，需要对某些相关问题做些概括性的了解，取得必要的共识，以利后续各章的讨论。

第一节 发展与进步

一、大空间公共建筑的发展

（一）国内

1949年新中国诞生后，特别是20世纪70年代末实行改革开放政策以来，我国大空间公共建筑久旱逢甘雨，发展迅速、成果丰硕、成就辉煌。

体育建筑直接关系人民群众身心健康并体现精神文明建设的水平。我国体育设施在共和国成立之时只有3000个简陋场馆，其数量和质量都难以同几亿人民的需要相称。经过50多年的大力建设，体育设施无论数量、质量都有了巨大的飞跃和长足的发展。据统计，截至1995年底，我国已拥有各种体育设施615000多个，是1949年解放时的216倍。其中，与大跨结构直接有关的体育馆、游泳馆等室内体育设施由解放前的79座发展到15000多座。20世纪90年代最后5年的建设量尚无权威性统计，但从前5年室内体育设施建成6860座，增长速度高达81.3%的情况和全国各地大



图1-1 北京奥林匹克中心

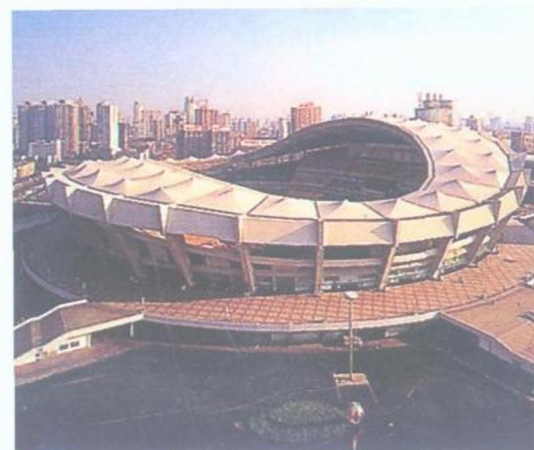


图1-2 上海体育场鸟瞰

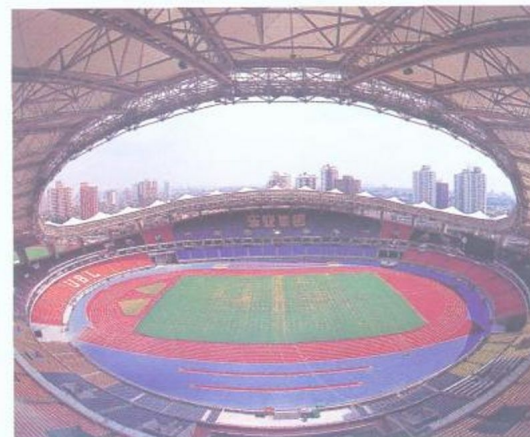


图1-3 上海体育场内景

中城市以及一些经济发展较快的沿海中小城市，甚至乡镇以及相当多的高等学校纷纷建设各种规模的现代体育馆、游泳馆等室内体育设施的实际情况看，当在10000座以上，建设规模十分可观(图1-1~21)。

同时，空间规模不断扩大、跨度不断增加，目前已有6000人以上的大型体育馆几十座，其跨度在80m以上，有些已超过百米，一些大型体育场的雨篷，其悬挑长度在50~70m之间也为数不少。

我国体育设施虽然取得了辉煌的建设成就，但还是跟不上人民群众生活需要，有较大的缺口，若同经济发达国家相比，则体育设施数量还处于国际中低水平。由此，可以预计，我国体育设施在经济快速发展的支撑下会有辉煌的建设远景，为大跨结构的发展开拓出更为广阔的市场。

博览建筑，在经济高速发展的促使下也出现了一派迅猛发展势头。各省市为适应经济和科技信息交流、产品展销以及文化教育等的需要，纷纷建设规模较大的现代化展览馆和博物馆。北京即将建设四五十万平方的国际展览中心，上海、广州、深圳在兴建几十万平方米的会展中心。全国各地在近十多年里兴建了各种展览馆和博物馆，其规模和设施水平都有大幅度的提高。

交通建筑，特别是航空港建筑发展迅速，规模巨大。几乎每个省和直辖市都兴建了十分现代化的，规模巨大的候机厅，如北京已建成的首都机场新候机楼，上海浦东机场候机楼和正在修建的广州花都国际机场候机楼，其规模巨大，设施一流。几乎各省市中心城市也都建设起现代化机场候机楼，如哈尔滨、沈阳、大连、天津、青



图1-4 广东奥林匹克中心体育场



图1-5 上海体育馆



图1-6 深圳体育馆

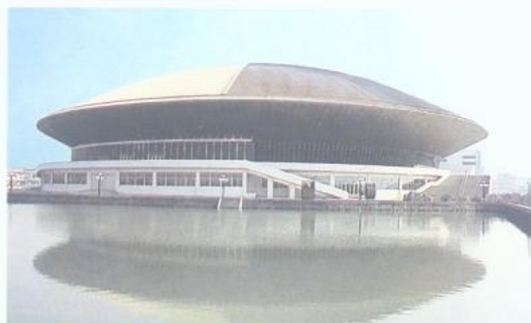


图1-7 天津体育馆

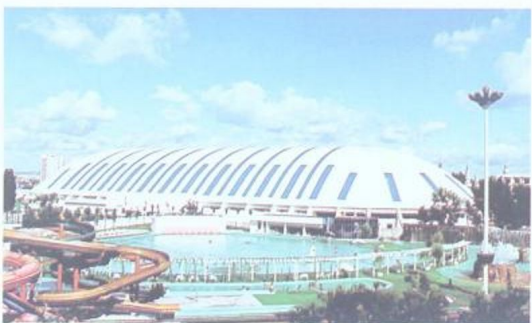


图1-8 黑龙江速滑馆外景



图1-9 黑龙江速滑馆内景



图1-10 北京石景山体育馆外景



图1-11 北京石景山体育馆内景

岛、烟台、南京、杭州、福州、厦门、珠海、深圳、海口、三亚、昆明、重庆、成都、桂林、长沙、武汉、西安等地。这些机场都不同程度地采用了各种空间结构形式，成为现代空间结构一个重要的展示场（图1-22~27）。

剧场、音乐厅已在全国各地提到建设日程，一部分经济实力较强的城市，已率先建设起现代化的国际一流的剧院和音乐厅。

近些年，又涌现出许多新型文化娱乐休闲建筑，如集体育、娱乐、休闲于一体的戏水乐园，在哈尔滨、大庆、长春、沈阳、大连、北京、上海等地已建成多座，其大厅跨度较大，小者几十米，大者已逾百米（图1-28~31）。国内大空间公共建筑在近20多年的发展尚不止上述所列举的项目，实际建设更为广泛，型式更为丰富多彩。总的看，大空间公共建筑的发展颇快，规模巨大，跨度越来越大，对大跨结构的促进和依赖日趋显著和紧密。

设计市场的培育。我国大空间公共建筑蓬勃发展的同时，也培育了比较发达的设计市场。近些年来，我国相当数量的体育馆、会展中心、机场、剧院、音乐厅等大空间公共建筑实行了国内外公开招标设计，这对提高设计质量和设计人员业务素质都起到了重大的推动和促进作用。国内设计人员在激烈的国际设计竞赛中得到了锻炼并迅速涌现了一批高水平设计人才和设计实体，在与国际强手竞争中崭露头角并取得越来越好的成绩。我国更多的大空间公共建筑设计是由国内设计人员承担，他们的创新意识和业务水平通过实践锻炼都有显著的提高，已接近和达到了国

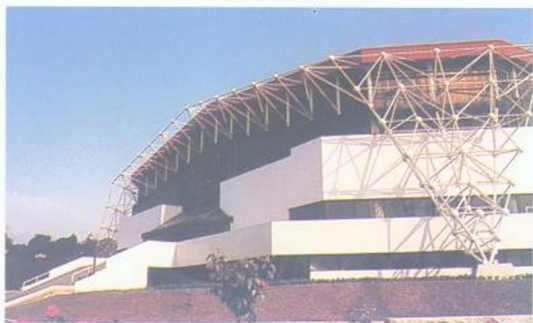


图1-12 北京体育大学体育馆



图1-13 长春五环体育馆



图1-14 广州天河体育馆外景

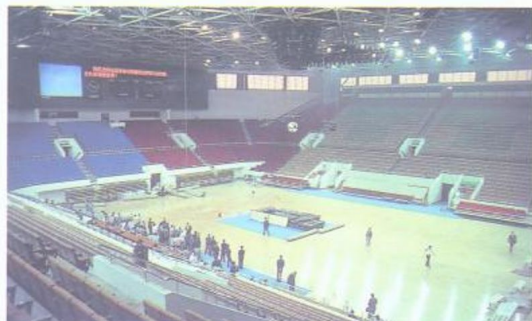


图1-15 广州天河体育馆内景



图1-16 吉林冰球馆外景



图1-17 吉林冰球馆内景



图1-18 北京朝阳体育馆外景

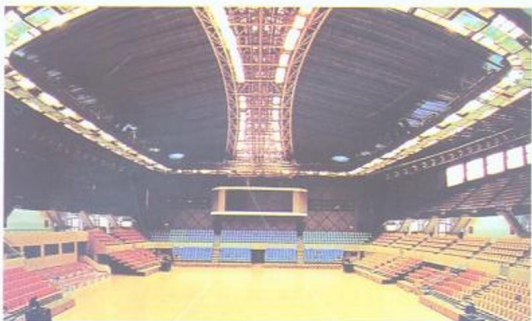


图1-19 北京朝阳体育馆内景

际先进水平。

设计市场的发展与健全和高水平设计人才的培育与涌现,为我国大空间公共建筑的健康发展奠定了坚实的技术基础,这是近20年来令人最为欣慰且颇具深远意义的成就。

(二) 国外

国外经济发达国家,大空间公共建筑的建设已有较长的历史和卓著的成就,而其发展势头未见减弱,依然生机勃勃。西方国家为举办重大国际体育赛事,如奥运会(夏季及冬季)、洲际运动会、大学生运动会以及一些单项重大赛事,如世界杯足球赛等,依然大兴土木建设现代化的体育中心和大型场馆,而大型展览中心、会展中心、文化中心以及大型航空港的建设也是此起彼伏、不断发展。这些举世瞩目的大型建设项目,常常展示出设计理念的创新。新技术、新材料、新设备的广泛应用,推动着设计的发展和技术的进步。

1960年罗马奥运会由奈尔维设计的两座钢丝网水泥网壳结构的体育馆(图1-32~35)。1964年东京奥运会由丹下健三设计的悬索结构代代木游泳馆和篮球馆(图1-36~37),1968年墨西哥奥运会由坎德拉设计的马拉卡纳圆顶体育馆,1972年慕尼黑奥运会由施莱希和弗莱·奥托设计的索网结构的奥林匹克公园体育场馆(图1-38~39),1976年蒙特利尔奥运会由泰雷伯尔设计的装配式钢筋混凝土雨篷的体育场和薄壳屋盖的自行车比赛馆(图1-40~41),1988年汉城奥运会由盖格尔设计的索杆支承的膜结构的击剑馆和体操馆(图1-42~43),1996年亚特兰大奥运会索杆支承膜结构的佐治亚穹顶(图1-44~



图1-20 广州天河游泳馆外景



图1-21 广州天河游泳馆内景



图1-22 首都机场候机楼外景



图1-23 首都机场候机楼内景

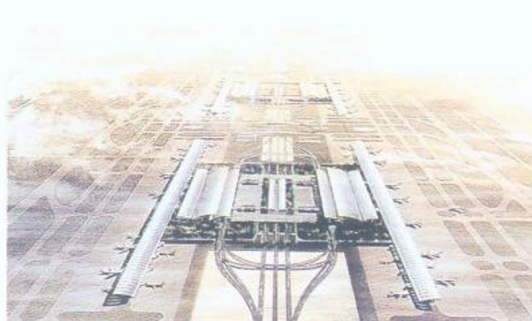


图1-24 上海浦东机场候机楼外景

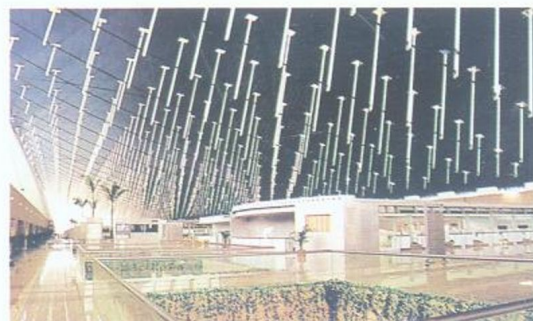


图1-25 上海浦东机场候机楼内景



图1-26 珠海机场候机楼外景



图1-27 珠海机场候机楼内景

45),以及法国格勒诺布尔冬奥会的双层钢筋混凝土薄壳交叉组合屋盖的冰球馆(图1-46~47),1988年卡尔加里冬奥会的装配式钢筋混凝土格构式薄壳速滑馆(图1-48~49),日本长野冬奥会的一些体育馆(图1-50~51),法国世界杯足球赛圣丹尼大球场(图1-56)等。这些杰出的建筑作品在设计创新、应用新结构、新材料和新技术方面做出了具有里程碑性的贡献,有力地推动了现代建筑艺术和建筑技术的发展。

此外,美国北卡罗来纳州罗利体育馆(图1-52~53),意大利都灵展览馆(奈尔维设计)(图1-54~55),伊利诺伊大学钢筋混凝土薄壳结构的圆顶体育馆(图1-57),埃洛·沙里宁设计的纽约机场TWA候机楼,华盛顿杜勒斯机场候机楼、耶鲁大学冰球馆(图1-58~59),美国庞蒂雅克室内体育场,加拿大温哥华哥伦比亚省室内体育场等北美十多座充气结构体育场馆(图1-60~63),布鲁塞尔博览会美国馆和苏联馆(图1-64~65),大阪博览会的美国馆和联邦德国馆(图1-66),蒙特利尔博览会的美国馆(图1-67),活动屋盖的匹兹堡冰球馆,福冈棒球馆,多伦多天穹体育馆等,以及一些薄膜和薄壳等结构也都在不同的历史时期在应用新结构、新技术、新材料方面起到过典范作用(图1-68~75)。

二、大跨结构技术的进步



图1-28 沈阳夏宫外景



图1-29 沈阳夏宫内景

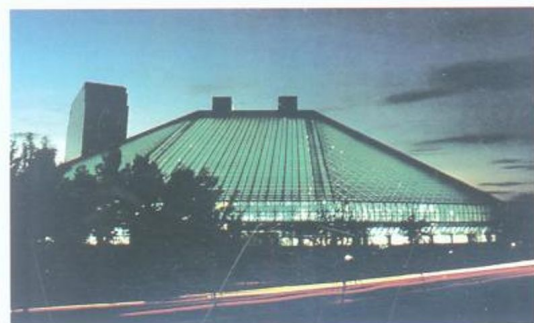


图1-30 哈尔滨梦幻乐园外景



图1-31 哈尔滨梦幻乐园内景

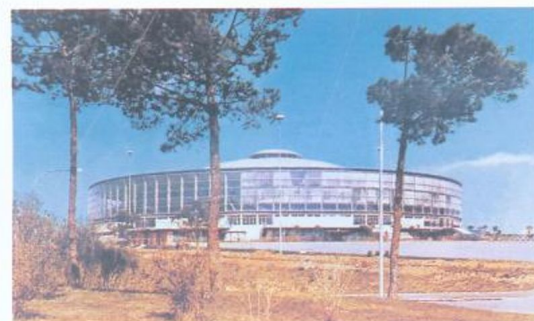


图1-32 罗马大体育馆外景

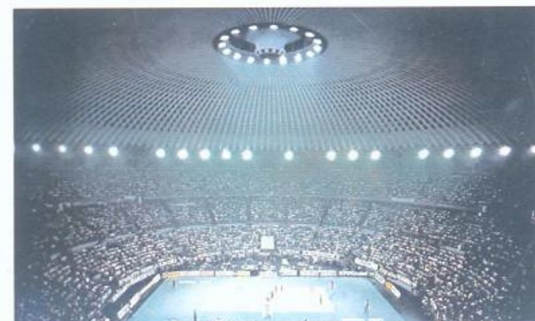


图1-33 罗马大体育馆内景



图1-34 罗马小体育馆外景

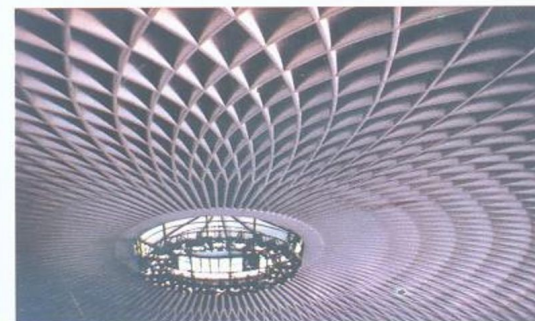


图1-35 罗马小体育馆内景

大跨建筑的蓬勃发展,为大跨结构的发展和技术的进步开拓了天地,并为其提供了强劲的动力。1945年第二次世界大战结束至今已有50多年,虽然世界各地局部战乱不断,但对多数国家来说却提供了50多年的和平建设环境,为大跨结构的发展创造了良好的契机,使得大跨结构取得了长足的进步。这种喜人的成就在我国和世界经济发展国家都是十分瞩目的。

(一) 我国大跨结构技术的发展

1949年中华人民共和国成立至20世纪70年代末,限于经济实力不足,大跨结构的应用和研究虽有所发展,但步伐较小,成就不够显著。进入20世纪80年代,改革开放的春风吹向各个角落,大跨结构特别是经济先进的空间结构有了巨大的发展,技术上也取得了令人瞩目的进步。

空间结构在我国的应用相当广泛,如体育馆、展览馆、航空港、火车站、汽车站、影剧院、会堂、商场以及飞机库、厂房、仓库等各种工业建筑都可找到空间结构的踪影,而且逐步成为这类建筑首选的结构型式。空间结构型式也趋于多样化,如网架、网壳、悬索以及膜结构都在国内大兴土木高潮中以崭新的面貌在各地纷纷亮相,受到人们的欢迎和喜爱,并成为大空间公共建筑创造新颖形象、塑造独特个性的有力手段。

网架结构在我国发展较早,并相当普遍,其建设数量最大,据统计,截至1992年底,我国已建成2000多座网架结构屋盖,总面积达300万平方米。

网架结构有较多优点,如用钢量比桁架等平面结构少得多,重量轻,施工简便(螺栓球节点),工期短,以及造价低,抗



图1-36 东京代代木篮球馆及游泳馆外景



图1-37 东京代代木游泳馆内景



图1-38 慕尼黑奥林匹克公园

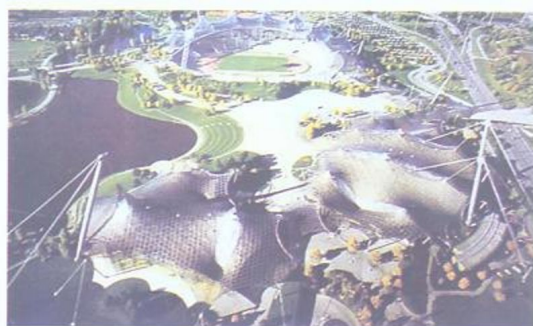


图1-39 慕尼黑奥林匹克公园冰球馆与游泳馆鸟瞰



图1-40 蒙特利尔体育中心体育场外景(奥运前后)

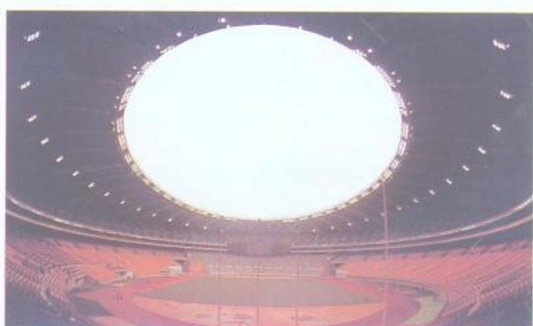


图1-41 蒙特利尔体育中心体育场内景

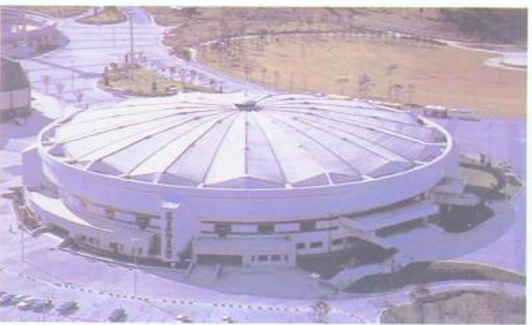


图1-42 汉城奥运会击剑馆鸟瞰



图1-43 汉城奥运会击剑馆内景

震性能好,刚度大,等等。网架的适用范围也相当广泛,小至一二十米的雨篷,大至上百米的屋盖(如哈尔滨梦幻乐园戏水大厅104m跨的屋盖)。从建筑设计角度看,网架结构对建筑平面空间布局的制约相对较小,外观轻快平直,对建筑体形影响也较小,给建筑创作留有较大的构思余地,颇受建筑师的青睐。

网架结构设计理论经过多年的研究和大量实践的检验修正,已比较成熟,并培育了比较强大的设计和理论研究队伍,足以胜任各种网架结构设计任务。施工技术较成熟,经验丰富,并形成了专业化生产和施工厂家50多家,在祖国各地广阔市场上展开激烈的竞争,推动着网架结构技术的发展。

网壳结构源于薄壳并具网架结构特点的一种新的空间结构形式。它既有靠空间体形受力的优点,又有工厂生产构件现场安装的施工简便、快速的长处,因而它以受力合理,刚度大,自重轻,体形美观多变,技术经济指标好而成为大跨结构中备受关注的一种结构形式。

网壳结构体形多样,如球面网壳、双曲扁网壳、柱面网壳、扭网壳(双曲抛物面网壳),并有多种组合形式,这为大跨建筑设计创造各种平面空间形状和新颖独特的建筑形象提供了有力的手段。建筑师对它情有独钟也就不足为奇。然而,网壳结构只有保持合理的空间体形才具备受力合理的特点。因而,对建筑的平面空间形状有很强的制约作用,对建筑体形有决定性的影响。于是,建筑师在运用网壳结构构思建筑方案时,常常会感到不如在平面结构那样运用自如,而要颇费心思,经过

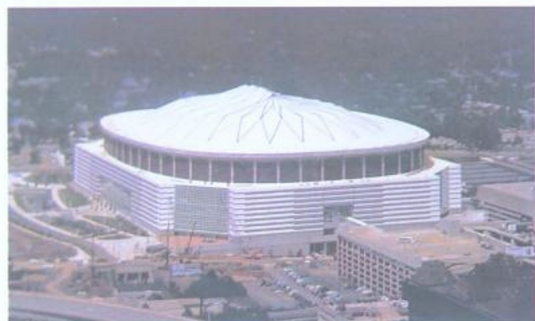


图1-44 亚特兰大佐治亚体育馆鸟瞰



图1-45 亚特兰大佐治亚体育馆内景



图1-46 法国格勒诺布尔冰球馆鸟瞰



图1-47 格勒诺布尔冰球馆内景



图1-48 加拿大卡尔加里速滑馆鸟瞰



图1-49 卡尔加里速滑馆内景



图1-50 日本长野冬奥会速滑馆外景



图1-51 长野冬奥会速滑馆内景

反复推敲斟酌才有可能取得圆满的成果。

我国网壳结构在 20 世纪五六十年代虽有所兴建,但受材料施工水平等影响,建设量不多,仅有几座,发展不快。进入 20 世纪 80 年代,网壳结构同空间结构一样得到了迅猛的发展,20 世纪 80 年代建成各类网壳建筑近 80 座,90 年代尚无权威性统计,估计在百座以上。

20 几年来,各种网壳结构形式在我国都有所应用,如球面网壳、柱面网壳、扭网壳、双曲扁网壳以及双曲抛物面网壳等。网壳既有双层也有单层的应用,并且有两片、三片、四片的组合网壳,以及单双层交错的组合。其用材以钢管为最多,而钢筋混凝土和型钢也有少量应用。网壳的应用天地也相当广阔,如体育馆、游泳馆、健身房、体育场雨篷、影剧院、会议厅、餐厅、旅馆休息厅、机场候机厅、展览馆、游乐厅、商场以及机库、煤仓、油罐、工业厂房等建筑。

随着大跨建筑的蓬勃发展,人们审美情趣的提高和对建筑个性化的追求,网壳结构必将有更大的发展,不断绽放出异彩纷呈的美丽花朵。

悬索结构在我国的发展始于 20 世纪 50 年代后期和 20 世纪 60 年代。1961 年我国第一座现代悬索结构的北京工人体育馆建成,圆形轮辐式双层悬索,直径 94m。1967 年浙江省人民体育馆建成,椭圆平面,马鞍形双曲抛物面正交索网结构,长径 80m,短径 60m。这两座建筑的结构形式之先进和建筑形象之新颖都达到了国际上较先进的水平。其后受当时不利的政治经济环境影响,未能得到进一步发展。进入 20 世纪 80 年代,国家政治经济形势发生巨

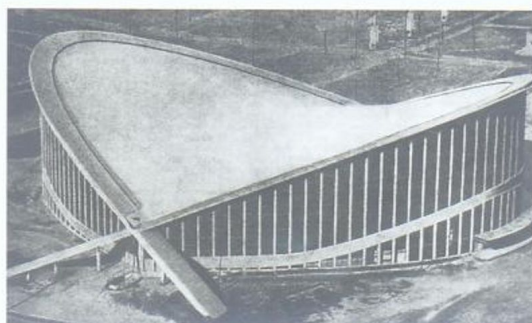


图 1-52 罗马体育馆

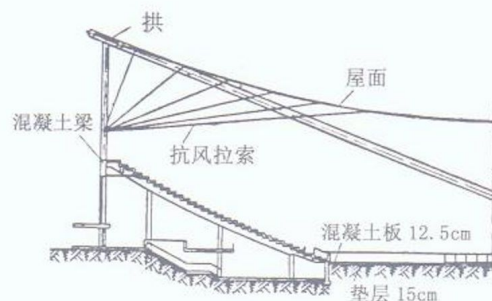


图 1-53 罗马体育馆侧面

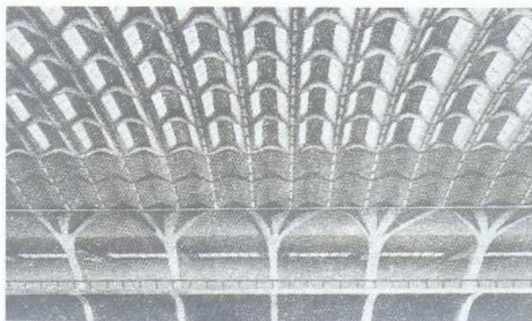


图 1-54 都灵展览馆内景 1



图 1-55 都灵展览馆内景 2



图 1-56 巴黎圣丹尼足球场

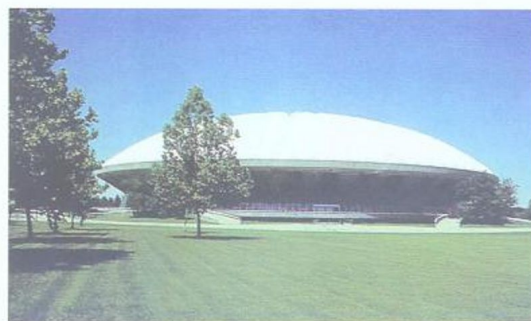


图 1-57 伊利诺伊大学体育馆



图 1-58 耶鲁大学冰球馆外景

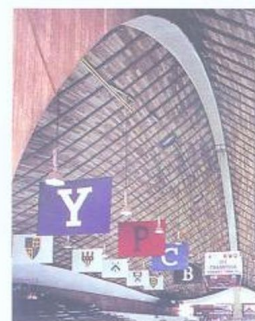


图 1-59 耶鲁大学冰球馆内景

变，悬索结构也迎来了充满勃勃生机的春天。

悬索结构由于将结构内力的拉压分开，分别由长于受拉的钢索及长于受压的钢筋混凝土或木结构承受拉力和压力，发挥各自专长，而使其受力合理，耗材省，成为十分先进的结构形式。悬索结构多数是以曲面形式出现，建筑轮廓流畅，形体优美而广受建筑师欢迎，是打破单调平直的平行六面体建筑体形的有力手段。因此进入 20 世纪 80 年代在良好的政治经济环境下，悬索结构得到了较快的发展。

近 20 年来，我国悬索结构的形式也有了很大的发展。轮辐式双层索系、双曲抛物面索系、索桁架平面索系、索桁架空间索系、单层平面索系、伞形单层辐射索系、悬挂索网、斜拉屋盖，以及组合式索网屋盖都有诸多实际工程建成。在结构形式多样化方面做出了重要贡献，并为现代大跨建筑设计创造个性化作品提供了有利的条件。

近几年，我国悬索结构又在向膜结构及组合结构方向延伸，在力学上成为承力的主体，在建筑造型上成为颇具张扬气势的主要构件。

广泛的工程应用促进了悬索结构理论和实验的研究，几乎每一项重大悬索结构工程，都做了模型试验或现场实测，为我国悬索结构走上科学发展的轨道奠定了基础。我国悬索结构的理论研究已达到了国际先进水平，理论和实践经验的积累又为悬索结构进一步的发展铺平了道路。

薄膜结构以其材质轻薄透光、表面光洁亮丽、形状飘逸多变而受到人们的欢迎。然而，这种国际上新兴的结构形式，由于



图 1-60 庞蒂亚克体育馆鸟瞰



图 1-61 庞蒂亚克体育馆内景



图 1-62 温哥华体育馆鸟瞰



图 1-63 温哥华体育馆内景

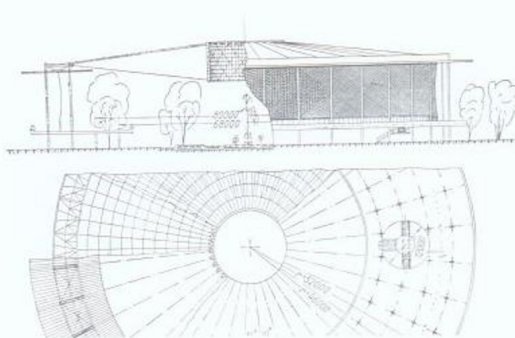


图 1-64 布鲁塞尔博览会美国馆

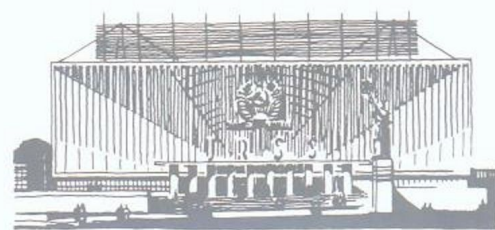


图 1-65 布鲁塞尔博览会苏联馆

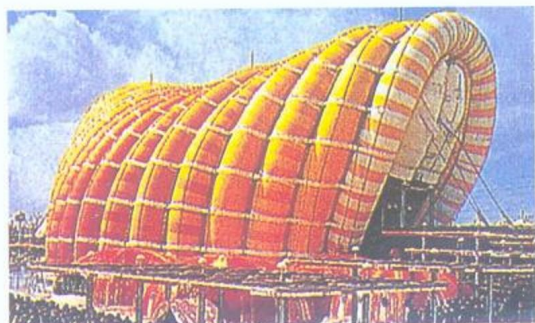


图 1-66 大阪博览会富士馆



图 1-67 蒙特利尔博览会联邦德国馆

膜材造价较高和使用寿命相对较短,而使我国一些工程项目投资方踌躇不前,尚未得到广泛应用。1997年上海体育场雨篷采用了聚氟乙烯(特氟隆)膜材,覆盖面积达36100m²。我国已有厂家研制生产膜材,其品质虽然与进口膜材尚有差距,相信经过一段时间的研制开发,会有所提高。膜结构的设计理论已引起国内学术界的重视和着手研究,并出现了专门从事膜结构制作与安装的企业,这为膜结构的开发和应用建立了一定的技术储备。膜结构在我国虽然尚处于起步阶段,但其特点诱人,应用前景光明。

(二) 国外现代大跨结构的发展

现代大跨空间结构在西方发达国家出现较早,得到很大的发展,成果丰硕,推动了世界各国空间结构的发展。

钢筋混凝土壳体结构在欧美都有所发展,如意大利、法国、西班牙以及墨西哥等国对钢筋混凝土壳体结构的发展做出了重要贡献。美国钢筋混凝土结构在五六十年代也有所发展,并有一些杰出的作品问世,但由于工费高,施工慢而未在美国得到更大的发展。预制钢筋混凝土空间结构在东西方不时有惊人的作品出现,如意大利奈尔维发明了钢丝网水泥结构,其断面很薄,一般在1~3cm,却能承受巨大的外力,并有很好的弹性。奈尔维的一些设计作品,如意大利都灵展览馆、罗马奥运会大小体育馆都受到建筑师的极高评价,堪称结构与建筑有机结合的典范。墨西哥工程师坎德拉在钢筋混凝土薄壳方面也做出了杰出的贡献。他设计出很薄的双曲抛物面薄壳(墨西哥大学宇宙线试验室)和优美的餐厅,并在扭壳结构方面取得了非凡



图 1-68 挪威利勒哈默尔速滑馆



图 1-69 巴黎贝西体育馆



图 1-70 佛罗里达大学体育馆



图 1-71 利雅得体育场



图 1-72 悉尼奥运会体育场



图 1-73 美国丹佛机场候机楼



图 1-74 沙特阿拉伯吉达机场候机楼

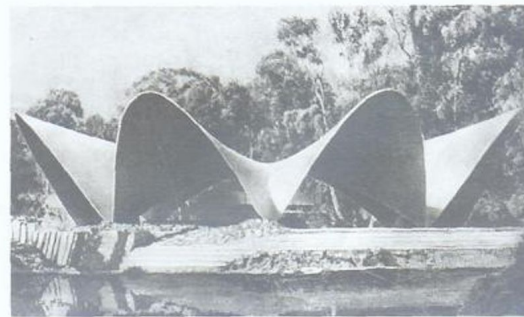


图 1-75 墨西哥城咖啡厅