

全国高校建筑学专业应用型课程规划推荐教材

建筑结构选型

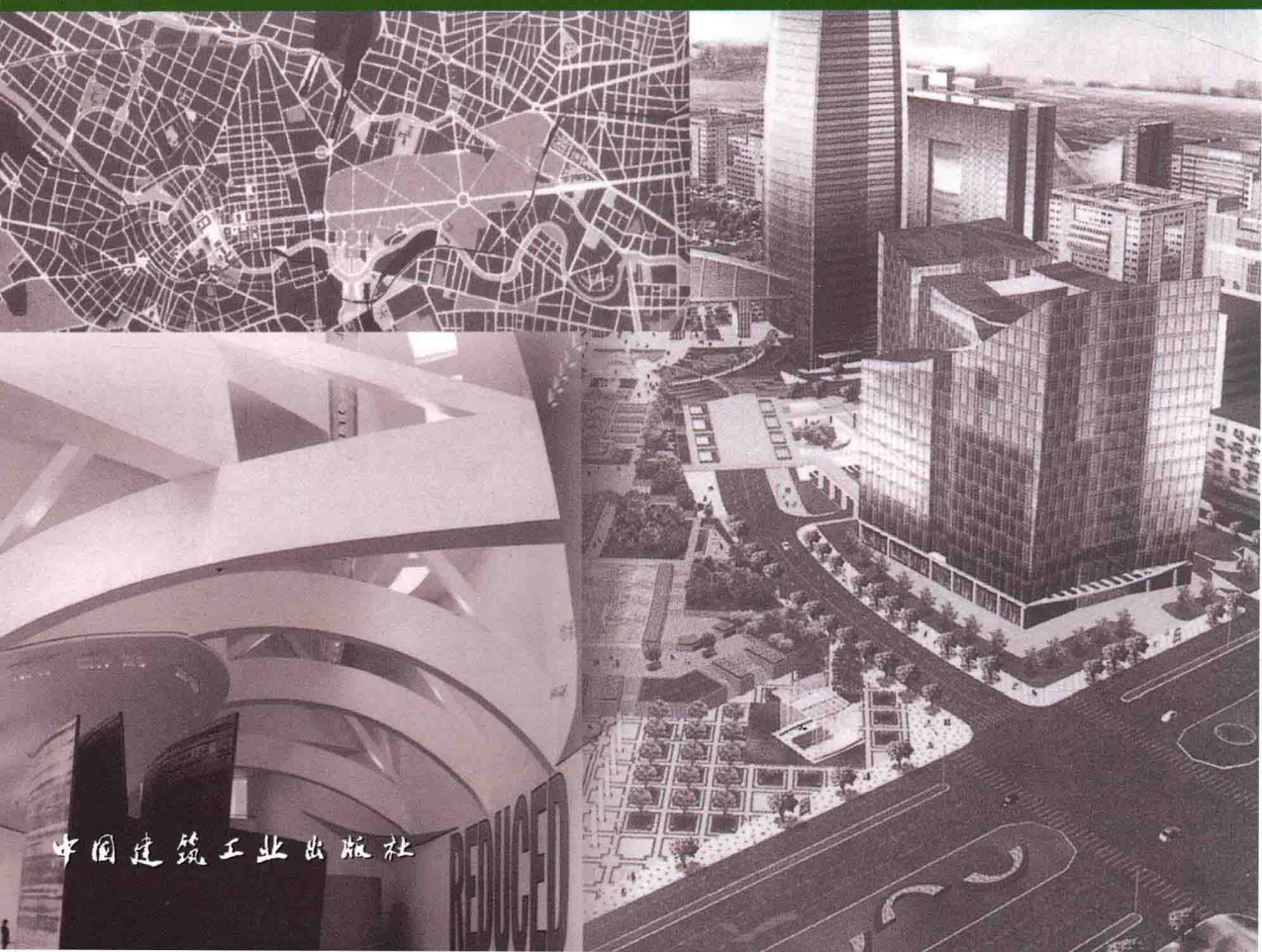
BUILDING STRUCTURE SELECTION

朱轶韵 主编

Zhu Yiyun ed.

潘秀珍 副主编

Pan Xiuzhen subed.



中国建筑工业出版社

全国高校建筑学专业应用型课程规划推荐教材

建筑结构选型

BUILDING STRUCTURE SELECTION

朱轶韵 主编

Zhu Yiyun ed.

潘秀珍 副主编

Pan Xiuzhen subed.

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构选型/朱轶韵主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 8

全国高校建筑学专业应用型课程规划推荐教材

ISBN 978-7-112-19685-2

I. ①建… II. ①朱… 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 (2016) 第 194961 号

责任编辑: 陈 桦 王 惠

责任设计: 李志立

责任校对: 李欣慰 刘 钰

全国高校建筑学专业应用型课程规划推荐教材

建筑结构选型

BUILDING STRUCTURE SELECTION

朱轶韵 主编

Zhu Yiyun ed.

潘秀珍 副主编

Pan Xiuzhen subed.

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京盈盛恒通印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13¼ 字数: 269 千字

2016 年 9 月第一版 2016 年 9 月第一次印刷

定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-19685-2

(29060)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

— 本系列教材编委会 —

编委会主任： 沈元勤 何任飞

委 员： (按姓氏笔画排序)

王 跃 戎 安 沈元勤 何任飞

李延龄 李孝宋 张宏然 吴 璟

陈 桦 陈新生 孟聪龄 胡振宇

洪惠群 高 健 袁逸倩

— Publishing Directions —

— 出版说明 —

进入 21 世纪,随着城市化进程的加快,建筑领域的科技进步,市场竞争日趋激烈,设计实践积极探索,建筑教育和研究显得相对滞后。师徒传承已随着学校一再扩招成为历史,建筑设计教学也不仅仅是功能平面的程式化设计,外观形象的讨论和传授。如何拓宽学生的知识领域,培养学生的创造精神,提高学生的实践能力?建筑院校也需要从人才市场的实际需要出发,以素质为基础,以能力为本位,以实践为导向,培养建设行业迫切需要的专门人才。

2006 年初,中国建筑工业出版社组织北京建筑工程学院、南京工业大学、合肥工业大学、广州大学、长安大学、浙江工业大学、三江学院等院校的教师召开了全国高校建筑学专业应用型课程规划推荐教材编写讨论会。建设部人事教育司何任飞副处长到会并发表重要讲话。会议中各位代表充分交流了各校关于建筑学专业应用型人才培养的教学经验,大家一致认为应用型人才培养是社会发展的现实需要,以应用型人才培养为主的院校应在建筑学专业教学大纲的指导下体现自己的特色和方向。会议在深入探讨和交流的基础上,确定了全国高校建筑学专业应用型课程规划推荐教材第一批建设书目。

本套教材的出版是为了满足建设人才培养的需要,满足社会和教学的需要,选择当前建筑学专业教学中有特色的、有成熟教学基础的课程,与现有的建筑学教材形成互补。陆续出版的教材有《建筑表现》、《建筑模型》、《建筑应用英文》、《建筑设计基础教程》、《建筑制图》、《建筑施工图设计》、《建筑设计规范应用》、《调查研究科学方法》、《建筑师职业教育》,作者是来自各个学校具有丰富教学经验的专家和骨干教师,教材编写严谨、科学、追求高质量。希望各个学校在教学实践中给我们提出宝贵意见,不断完善,使本系列教材更加符合教学改革和发展的实际,更加适应社会对高等专门人才的需要。

— 目录 — Contents —

第 1 章 概述	1
1.1 建筑物的功能要求	2
1.2 建筑的物质技术条件对结构选型的影响	6
1.3 建筑结构的艺术表现力	14
1.4 房屋结构的荷载分类	16
第 2 章 钢筋混凝土楼盖	19
2.1 概述	20
2.2 现浇肋梁楼盖	20
2.3 密肋楼盖	23
2.4 无梁楼盖	24
2.5 钢-混凝土组合楼盖	25
第 3 章 砌体结构	27
3.1 砌体结构的优缺点	29
3.2 砌体结构的常用材料	30
3.3 砌体结构的墙体布置方案及结构 选型要点	31
第 4 章 高层房屋结构体系	38
4.1 高层建筑结构概述	39
4.2 框架结构	45
4.3 框架—剪力墙结构	50
4.4 剪力墙结构	56
4.5 筒体结构	64
4.6 巨型框架结构	75
第 5 章 多层和高层钢结构	83
5.1 多层和高层钢结构房屋的特点	84
5.2 多层、高层钢结构设计原则	85
5.3 多、高层钢结构的基本构件	88
5.4 多、高层钢结构的结构类型、适用 范围及基本要求	89
5.5 钢结构的楼盖	97
第 6 章 拱结构	98
6.1 拱结构的特点	99
6.2 拱结构的形式	100
6.3 拱结构的主要尺寸	101
6.4 拱结构屋盖布置	102
6.5 拱结构支座处理	102

6.6	工程实例	104
第7章	刚架结构	106
7.1	刚架结构的特点	107
7.2	刚架结构的形式	107
7.3	刚架结构的主要尺寸	109
7.4	刚架结构节点构造	109
7.5	工程实例	110
第8章	桁架结构	113
8.1	桁架结构的特点	114
8.2	桁架结构的形式	115
8.3	桁架的构造	119
8.4	工程实例	119
第9章	网架结构	122
9.1	网架结构的特点	123
9.2	网架结构的分类	123
9.3	网架结构的杆件节点类型	128
9.4	网架结构的主要几何尺寸	131
9.5	网架结构的支承	132
9.6	网架结构的选型	134
9.7	工程实例	136
第10章	网壳结构	137
10.1	网壳结构的特点	138
10.2	网壳结构的形式	138
10.3	网壳结构的选型	143
10.4	工程实例	144
第11章	斜拉网格结构	146
11.1	斜拉网格结构的概念	147
11.2	斜拉网格结构的特点	147
11.3	斜拉网格结构的形式和分类	148
11.4	斜拉网格结构的选型	150
11.5	工程实例	152
第12章	索杆张力结构	154
12.1	索杆张力结构的特点	155
12.2	张弦梁结构	155
12.3	索穹顶结构	159
12.4	弦支穹顶结构	164
12.5	环形张力索桁结构	168
12.6	工程实例	171
第13章	膜结构	173
13.1	膜结构的概念	174
13.2	膜结构的特点	174

13.3	膜结构的形式和分类	175
13.4	膜结构的材料	178
13.5	膜结构的选型	180
13.6	工程实例	181
第 14 章	新型结构体系	183
14.1	复合混凝土抗震结构体系	184
14.2	CL 体系	187
14.3	保温砌模现浇钢筋混凝土网格 抗震墙承重体系	189
14.4	建筑模网混凝土抗震墙体结构体系	193
14.5	密肋复合墙结构体系	197
14.6	配筋砌块砌体结构	198
	参考文献	201

Chapter 1 Introduction

第 1 章 概 述

建筑工程设计的主要内容一般包括建筑设计、结构设计、设备设计。一栋成功的建筑是建筑师、结构工程师、设备工程师等许多专业人员创造性合作的产物，因此设计过程中各专业密切配合、互相协调合作，不断修改完善设计，才能满足建筑、结构、设备等各方面的要求。其中，建筑是龙头，结构是骨架。建筑创作的空间和形式与建筑结构体系有着密不可分的关系，建筑师应当全面了解各种结构形式的基本力学特点及其适用范围，才能在创作建筑空间时以统筹者的角色全盘考虑建筑设计，选择最适宜的结构体系，满足建筑安全、适用、经济合理的要求。

建筑结构是作为建筑物的基本受力骨架而形成的人类活动空间，以满足人类的生产、生活需求及对建筑物的审美要求。结构是建筑物赖以存在的物质基础。无论工业建筑、居住建筑、公共建筑或者某些特种构筑物，都必须承受结构自重和外部荷载的作用（如楼面活荷载、风荷载、雪荷载和地震作用等）、变形作用（如温度变化引起的变形、地基沉降、结构材料的收缩和徐变变形等）以及外部环境作用（如阳光、雷雨、和大气污染等）。结构失效将带来生命和财产的巨大损失。建筑师在建筑设计过程中应充分考虑如何更好地满足结构最基本的功能要求。古罗马的维多维奇（Vitruvius）曾为建筑确定基本要求：坚固、适用和美观，这至今仍是指导建筑设计的基本原则。在这些原则中，又以坚固最为重要，它由结构形式和构造所决定。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最直接最明显。

建筑方案设计和结构选型的构思是一项综合性、创造性且复杂而细致的工作，只有充分考虑各种影响因素并进行科学的全面综合分析，才有可能得到合理可行的结构选型结果。一般而言，建筑物的功能要求、建筑结构材料、施工技术、结构设计理论和计算手段等物质技术条件及经济因素是影响结构选型主要因素，下面将影响结构选型的主要因素作简要介绍，以便学习参考。

1.1 建筑物的功能要求

建筑物的功能要求是建筑物设计中应考虑的首要因素，功能要求包括空间要求、使用要求以及美观要求。

1.1.1 空间要求

建筑物的三维尺度、体量大小和空间组合关系都应根据建筑功能对建筑物客观空间环境的要求加以确定。例如，体育馆设计中首先考虑根据比赛运动项目定出场地的最小尺度及所要求的最小空间高度，然后再根据观众座位数量、视线要求和设备布置等最后定出建筑物跨度、长度和高度。

工业建筑则应考虑车间的使用性质、工艺流程及工艺设备、垂直及水平运输要求，以及采光通风等要求初步定出建筑物的跨度、开间及最低高度。比如，我国酒泉卫星发射中心的火箭垂直总装测试厂房是承担神舟五号载人飞船发射任务的核心工程，它的总高达 93.75m，相当于 30 多层的高楼（图 1-1），是亚洲当时最高的单层建筑。这座巨型垂直厂房采用的是钢筋混凝土巨型刚架—多筒体空间结构体系，是世界上航天发射建筑中的首创。厂房拥有世界最重的箱形屋盖，13030t 的屋盖高 15m，跨度 26.8m，距离地面 81.6m，跨度大、空间高、自重大。高 74m，整体质量达 350 余吨的厂房大门堪称亚洲第一大门。垂直总装厂房，技术厂房与勤务塔的两项功能合二为一，机房密布，技术设施健全而先进，可容纳千余人同时工作。垂直测试厂房使火箭从检测到运送发射的过程中都处于垂直状态，避免了从水平检测再到垂直发射而产生的诸多不利因素，创造了当时钢筋混凝土结构火箭垂直总装测试厂房世界第一，混凝土箱型屋盖高、大、重为世界第一，单层钢筋混凝土厂房高度世界第一，混凝土框架支撑高度世界第一的纪录。

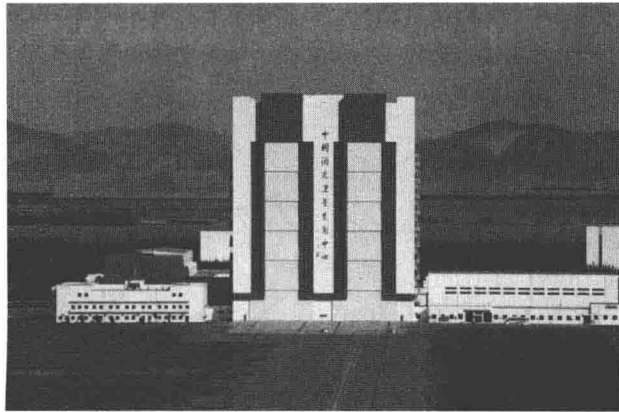


图 1-1 酒泉卫星发射中心的火箭垂直总装测试厂房

建筑结构所覆盖的空间除使用空间外，还包括非使用空间，后者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以及节省维修费用。因此，这是降低建筑物全寿命期费用的一个重要途径。为了达到此目的，在结构选型时要注意以下两点：

(1) 结构形式应与建筑物使用空间的要求相适应

例如：体育馆屋盖选用悬索结构体系时，场地两侧看台座位向上升高与屋盖悬索的垂度协调一致，既能符合使用功能要求又能经济有效地利用室内空间，立面造型也可处理成轻巧新颖的形状。图 1-2 为我国在 20 世纪 60 年代建成的北京工人体育馆，建筑平面为圆形，能容纳 15000 名观众。比赛大厅直径 94m，外围为 7.5m 宽的环形框架结构，共 4 层，为休息廊和附属用房。大厅屋盖采用圆形双层悬索结构。

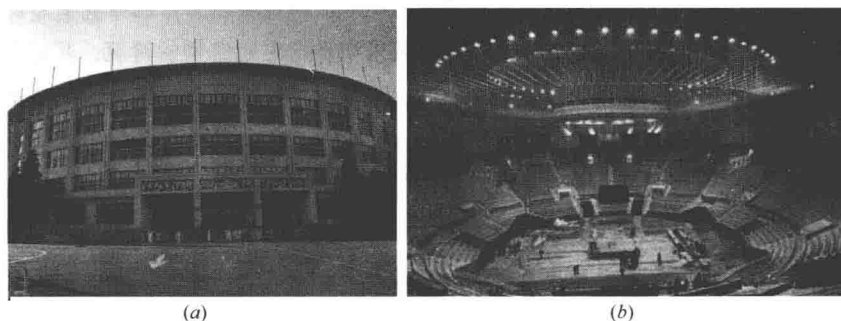


图 1-2 北京工人体育馆

(a) 外景；(b) 内景

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。例如，湖南某盐矿 2.5 万吨散装盐库在结构选型中比较了两种方案，方案 I 为钢筋混凝土排架结构，方案 II 为拱结构，如图 1-3 所示。方案 I 的缺点是 $3/5$ 的建筑空间不能充分利用，而且盐通过皮带运输机从屋顶天窗卸入仓库时，经常冲击磨损屋架和支撑，对钢支撑和屋架有不利影响，因而没有采用。方案 II 采用落地拱，由于选择了合适的矢高和外形，建筑空间得到了比较充分的利用。

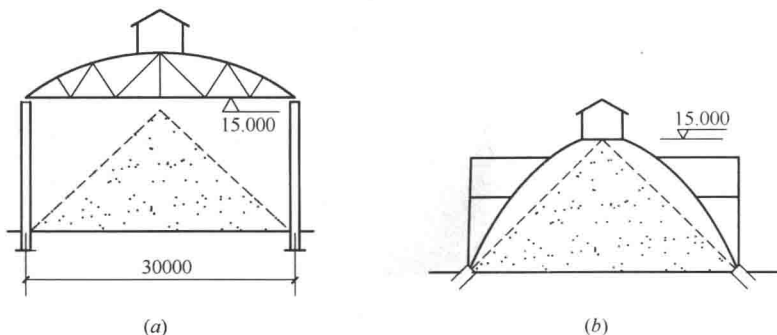


图 1-3 盐库两种结构方案

(a) 排架结构方案；(b) 拱结构方案

(2) 尽量减小结构体系本身所占用的空间高度

例如：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。因此平板网架结构的构造高度可较一般平面结构降低,从而使室内空间得到较充分的利用。例如,钢桁架结构构造高度为跨度的 $1/12\sim 1/8$,而平板网架结构的构造高度仅为跨度的 $1/25\sim 1/20$ 。

多层或高层建筑的楼盖采用肋梁结构体系时,梁的高度为跨度的 $1/14\sim 1/12$ 。当采用密肋楼盖时由于纵横十字交叉的肋的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700mm,而密肋楼盖的高度仅为470mm,即每层可减少结构高度230mm。对于层数为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 $30\times 0.23\text{m}=6.9\text{m}$,即可降低约2个楼层的高度,或可在同样建筑物高度条件下增加两层使用空间。这样的经济效益是很明显的。

1.1.2 建筑物的使用要求与结构的合理几何形体相结合

建筑的使用要求涉及面很广,除了使用空间的大小、形状及其组成关系外,诸如建筑的声学条件、采光、照明、通风、排水等要求,对结构形式的确定都有着直接的影响,而这些因素时常在我们考虑结构方案时容易忽视的问题。

(1) 建筑物的声学条件与结构的合理几何形体

在结构选型设计中应注意和善于利用结构几何形体对于声学效果的影响。这方面,我国北京天坛回音壁是人们熟悉的实例(图1-4)。现代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。

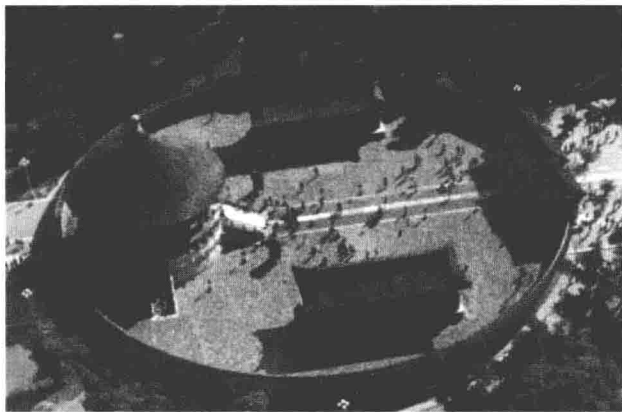


图 1-4 北京天坛回音壁

(2) 采光照明与结构的合理几何图形

传统的方法是在屋盖的水平构件(屋架)上设置“Π”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。首先屋盖结构传力路线迂回曲折,水平构件跨中弯矩增大。此外,天窗和挡风板突出屋面使风荷载作用下

的屋盖构件、柱、基础的受力增大。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。此外室内天然采光照度也不均匀。而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，可通过结构单元的适当组合，形成高侧采光或顶部采光，也可直接在屋盖结构所形成的顶界面上开设采光口或采光带。这些措施使得适应屋盖结构合理几何体形的灵活性加大。



图 1-5 国家游泳中心

北京国家游泳中心，即“水立方”，总建筑面积约 80000m²，其中地下部分不少于 15000m²，长宽高为 177m×177m×30m。它的膜结构是世界之最——ETFE 膜，呈透明状，能为场馆内带来更多的自然光（图 1-5）。

(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。由于网架结构单元构件组合方案不同以及节点构造方案不同，结构起拱的灵活性也不同。例如钢管球节点网架采用两坡起拱或四坡起拱均可，而角钢板节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。为了保证屋盖结构具有比较合理的几何体形，排水处理应因势利导，结合使用空间形状、天然采光形式、内庭院布置以及室内垂直支撑结构的利用等，作灵活多样的不同考虑。

1.2 建筑的物质技术条件对结构选型的影响

建筑的物质技术条件主要指房屋用什么建造和怎样去建造的问题。它一般包括建筑的材料、结构、建筑施工技术和建筑中的各种设备等。它对结构选型的影响起着决定性的作用。

结构形式有很多，如梁板、拱、刚架、桁架、悬索、薄壳等。组成结构的材料有钢、木、砖、石、混凝土及钢筋混凝土等。结构的合理性首先表现在组成这个结构的材料的强度能不能充分发挥作用。随着工程力学和建筑材料的发展，结构形式也不断发展。人们总是想用最少的材料，获得最大的效果。以下两点是我们在确定结构形式时应当遵循的原则：

(1) 选择能充分发挥材料性能的结构形式

由于构件轴心受力比偏心受力或受弯状态能更充分利用材料的强度，因此人们根据力学原理及材料的特性创造出了多种形式的结构，使这些结构的构件处于无弯矩的状态或减小弯矩峰值，从而使材料的抗拉和抗压性能得到充分发挥。

从图 1-6 可看出，轴心受力构件截面上的应力分布均匀，整个截面的材料强度都得到充分利用。受弯构件截面上的应力分布非常不均匀，除了上下边缘达到强度指标之外，中间部分的材料没有充分发挥作用。因此应该把中间部分的材料减少到最低限度，把它集中到上下边缘处，这样就形成了受力较为合理的工字形截面杆件。以承受集中荷载的简支梁（图 1-7a）为例，从矩形

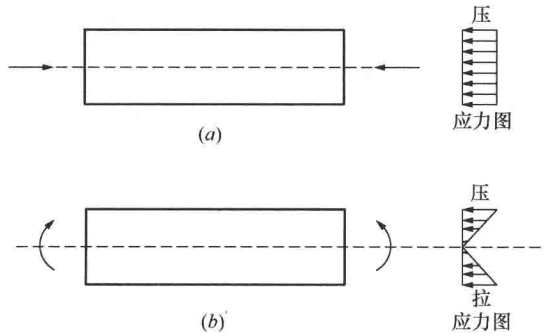


图 1-6 构件受力图

(a) 中心受压；(b) 受弯

截面改变为工字形截面（图 1-7b），受力就较为合理了。再进一步，我们还可以把梁腹部的材料挖去，形成三角形的孔洞，于是梁就变成了桁架结构（图 1-7c）。

桁架结构，在结点荷载作用下，各杆件处于轴心受力状态，受力较为合理，适用于较大跨度的建筑。桁架的上弦受压，下弦受拉，它们组成力偶来抵抗弯矩；腹杆以所承受轴力的竖向分量来抵抗剪力。从这里可以进一步看出，桁架比工字形截面梁更能发挥材料的力学性能。

从图 1-7 (a) 还可以看出，梁的弯矩图呈折线形（接近抛物线），跨中最大两端为零。因此在矩形桁架中各个杆件的内力有大有小，不能使每一根杆件的材料强度都得到充分利用。于是，再进一步把桁架的外轮廓线与弯矩图的形状一致起来，使受力更加合理，如图 1-7 (d) 所示。

由上可知，在设计中应该力求使结构形式与内力图一致起来。当然，在这里也必须指出，构件的合理性是相对的，受力合理只是其中的一个方面。矩形截面

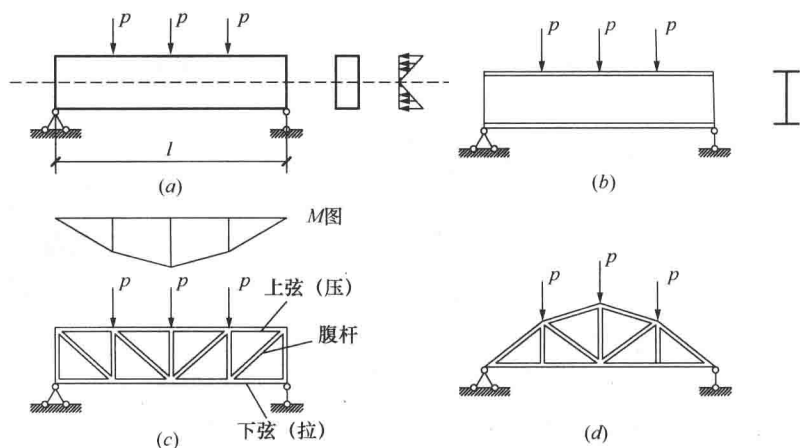


图 1-7 不同构件受力分析

(a) 矩形截面简支梁；(b) 工字形截面简支梁；(c) 平行弦桁架；(d) 拱形桁架

梁，受力上有不合理的一面，但是它的外形简单，制作方便，又有其合理的一面。在小跨度范围内，矩形截面梁仍是广泛应用的构件形式之一。

拱和悬索结构也属于轴心受力结构。在拱结构中，当其轴线为合理曲线时，可以使全截面受压，见图 1-8 (a)。因此，可以利用抗压强度高的砖、石、混凝土等材料建造较大跨度的建筑。悬索结构是轴心受拉结构，它可以利用高强度钢丝建

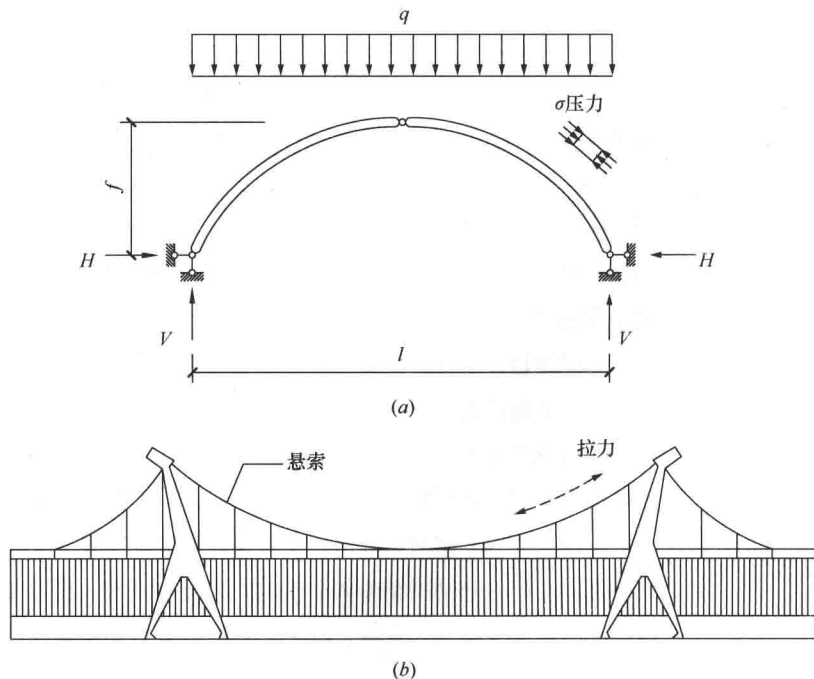


图 1-8 拱与悬索的受力形式

(a) 拱；(b) 悬索

造大跨度的建筑,见图 1-8 (b)。

梁、桁架和拱均属杆件系统结构。薄壁空间结构也是一种受力合理的结构形式。自然界动物的卵壳和蚌壳等,都是利用最少材料获得最好效果的实例。曲面形的薄壁空间结构也主要是轴心受力,因此也能充分发挥材料的力学性能。由于它的空间作用,结构刚度也大。几十米的大跨度屋盖,薄壳厚度可做到几厘米,如图 1-9 所示。

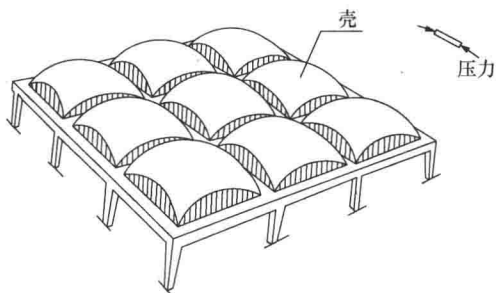


图 1-9 双曲薄壳屋盖

除了根据力学原理选择合理的结构形式,使结构处于无弯矩状态,以达到受力合理、节约材料的目的之外,减少结构的弯矩峰值,也是使结构受力合理的途径之一(图1-10)。利用结构的连续性,采用刚架和悬臂梁结构,可以使梁的弯矩峰值比同样跨度简支梁的弯矩峰值大大减少。这样也可以达到提高结构承载能力或扩大结构跨度的目的。

(2) 合理选用结构材料

建筑结构材料是形成结构的物质基础。木结构、砖石结构、钢结构,以及钢筋混凝土结构因其材料特征不同而具备各自的规律。例如砖石结构抗压强度高但抗弯、抗剪、抗拉强度低,而且脆性大,往往无警告阶段即破坏。钢筋混凝土结构有较大的抗弯、抗剪强度,而且延性优于砖石结构,但仍属于脆性材料而且自重较大。钢结构抗拉强度高,自重轻,但需特别注意当细长比大时在轴向压力作用下的杆件失稳情况。因此选用材料的原则是充分利用它的长处,避免和克服它的短处。对于建筑结构的材料的基本要求是轻质、高强,具有一定的可塑性和便于加工。特别在大跨度和高层建筑中,采用轻质高强材料具有极大的意义。

随着科学技术的发展,新的结构材料的诞生带来新的结构形式并从而促进建筑形式的巨大变革。19世纪末期,钢材和钢筋混凝土材料的推广引起了建筑结构革命,出现高层结构及大跨度结构的新结构形式。近年来混凝土向高强方向发展。混凝土强度提高后可减少结构断面尺寸、减轻结构自重,提供较大的使用空间。

例如:据俄罗斯资料介绍,用强度为 60MPa 的混凝土代替强度为 30~40MPa 的混凝土,可节约混凝土用量 40%,钢材 39%左右。国际预应力混凝土下属委员会也曾指出,如果用强度为 100MPa 的混凝土制成预应力构件,其自重将减轻到