

高等学校教材

结构力学

上册

(第6版)

湖南大学结构力学教研室 编

杨茆康 李家宝 洪范文 汪梦甫 主编

汪梦甫 罗建辉等 修订



高等教育出版社

[illegible]

内容提要

本书是在第四版的基础上,按照教育部力学基础课程教学指导委员会制定的“结构力学课程教学基本要求(A类)”、高等学校土木工程学科专业指导委员会制定的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》以及近二十年来教学改革的情况修订而成的。本书内容选材适当,叙述深入浅出,注重联系实际,力求适应当前教学改革的要求。

全书共十二章,分上、下两册出版。上册共九章,内容包括:绪论,平面体系的几何组成分析,静定结构的受力分析,虚功原理和静定结构的位移计算,力法,位移法与渐近法,矩阵位移法,影响线及其应用,结构计算简图和简化分析。下册共三章,内容包括:结构弹性稳定计算,结构动力计算,结构极限荷载。每章后面附有思考题和习题及大部分习题答案。

本书可作为高等学校土木、水利和道桥类专业及成人教育、自学考试教材,也可供有关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学.上册 / 杨弗康等主编; 湖南大学结构力学教研室编. --6 版. --北京: 高等教育出版社, 2016. 2

ISBN 978 - 7 - 04 - 044749 - 1

I. ①结… II. ①杨… ②湖… III. ①结构力学-高等学校-教材 IV. ①O342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 020655 号

策划编辑	水 渊	责任编辑	水 渊	封面设计	张 楠	版式设计	杜微言
插图绘制	杜晓丹	责任校对	刘春萍	责任印制	耿 轩		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	中国农业出版社印刷厂		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	22.75	版 次	1958 年 1 月第 1 版
字 数	560 千字		2016 年 2 月第 6 版
购书热线	010-58581118	印 次	2016 年 2 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	33.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 44749-00

第6版(2016年修订本)序

本书是在湖南大学结构力学教研室所编《结构力学》(第四版)的基础上,根据教育部审定的“结构力学课程教学基本要求(A类)”,并参照高等学校土木工程学科专业指导委员会2011年制定的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》和近二十年来教学改革的情况修订而成的。

本次修订的内容主要有以下几个方面:

(1) 在内容调整方面,考虑材料力学、理论力学对静定梁与刚架、静定拱、静定桁架有一定介绍,将该三章合为一章,删除了一些并不经典的算例;考虑到结构力学教学中很少讲授能量原理、近似法,删去了能量原理、近似法两章;尽管渐近法在实际应用中也不多,考虑到一些高校的毕业设计中仍有采用,故保留了渐近法中的部分内容并将其与位移法合为一章。此外,将影响线及其应用一章挪到矩阵位移法后,这使前面的内容衔接更为顺当一些。

(2) 对少数章节作了不同程度的改写,纠正了一些不完善、不严谨的表达。从教学法考虑,对某些章节内容的叙述、论证和安排的顺序等方面作了改进,以使本书更符合当前教学改革的要求。

本版主编为杨弗康、李家宝、洪范文、汪梦甫,修订工作由汪梦甫主持进行。参加修订工作的有:汪梦甫(第一、二、三、六、九、十一章)、周芬(第四、五章)、金波(第七章)、刘兴彦(第八章)、罗建辉(第十、十二章)。

本书由同济大学朱慈勉教授审阅,朱教授提出了许多宝贵的修改意见,使本书的质量得以进一步提高,此外修订时还借鉴和参考了相关书籍,谨此表示诚挚的感谢。由于修订时间和编者水平有限,本书的不足之处在所难免,热忱欢迎广大读者批评指正。

湖南大学结构力学教研室

编者

2015年11月

第 5 版(2005 年修订本)序

本书是在湖南大学结构力学教研室编,杨茆康、李家宝主编的《结构力学》(第四版)和李家宝主编的建筑力学第三分册《结构力学》(第三版)的基础上,根据 2004 年教育部高等学校非力学类专业力学基础课程教学指导分委员会通过的《结构力学课程教学基本要求(A类)》修订的,作为《结构力学》第 5 版(2005 年修订本)出版。

这次修订工作除充分考虑到建设部高等学校土木工程专业指导委员会制定的《结构力学课程教学大纲》和国家注册结构工程师考试大纲的全部要求外,还注意保持本教材前几版贯彻少而精、符合认识规律、便于教和学的特点。从内容上,删去了近似法和能量原理两章,将论述静定结构内力分析的三章合并为一章,将位移法和渐近法归结到一章,并对部分章节的内容取舍、观点论证和安排顺序做了调整,以更好适应当前的教学要求。本版采用国家标准 GB 3100~3102—93《量和单位》中规定的有关符号。

本修订版主编为洪范文,全部修订工作除附录 A 由刘兴彦负责外,均由洪范文完成。本书凝结了湖南大学结构力学教研室的前辈和同仁的心血,他们为结构力学的教材建设做出了不可磨灭的贡献,为本书奠定了坚实的基础,特别是第四版主编李家宝教授对此次修订提出了许多指导性意见和对细节修改的建议,更是弥足珍贵。

本修订版由北京建筑工程学院刘世奎教授审阅,他所提出的许多宝贵修改意见,为本书提高质量增色甚多。本书在修订过程中,得到了湖南大学教务处和教材代办站的鼎力支持。对此,我们谨表示深深的谢意。

由于编者能力所限,书中不足之处,恳请专家、读者多加指正。

湖南大学结构力学教研室

编 者

2005 年 4 月

第四版(1997年修订本)序

本书是在我教研室所编《结构力学》(第三版)的基础上,根据1995年国家教委审定的高等学校工科本科“结构力学课程教学基本要求”再次修订的。

这次修订工作除注意保持前版教材的特点:贯彻少而精、符合认识规律、便于教与学外,还力求做到有所改进和有所发展。在内容方面,删去了静定空间桁架一章,增加了近似法、能量原理以及结构的计算简图和简化分析共三章。从教学法考虑,对第三版教材的某些章节内容的叙述、论证和安排的顺序等方面作了改进,以使本书更符合当前教学改革的要求。采用本教材的院校,请按各校具体教学要求选择本书内容。书中少量属于加深和参考的内容,均以“*”号注明。

本版采用了国家标准 GB 3100~3102—93《量和单位》中规定的有关符号等,在贯彻和实施国家标准方面做了有益的工作。

本版主编为杨弗康、李家宝,修订工作由杨弗康、李家宝、洪范文主持进行。参加修订工作的有:杨弗康(第6、15章)、李家宝(第1、13、17章)、洪范文(第7、10章)、王兰生(第2、3、4、5章)、罗汉泉(第11、14、16章)、李存权(第8、9章)、汪梦甫(第12章)。全书的插图由乐荷卿、郭宾提供。

本修订版请西安冶金建筑科技大学王荫长和刘铮两位教授审阅,他们提出了很多宝贵的修改意见。在编辑审读加工过程中,高等教育出版社的有关领导和编辑给予了多方面的具体指导和有益建议,使本书的质量得以进一步提高。对此,我们谨表深深的谢意。

由于编者水平所限,书中不足之处,望读者多加指正。

湖南大学结构力学教研室

编者

1997年6月

第三版(1982年修订本)序

本书是在我室所编《结构力学》(1965年修订本)一书的基础上,根据1980年5月审订的高等工业学校本科四年制土建类专业的“结构力学教学大纲”(草案)再次修订的。

修订时,我们注意保持1965年修订本的特点,力图贯彻“少而精”的原则,在内容的阐述上,尽可能做到由具体到抽象,由简单到复杂,以符合学生的认识规律,利于教和学。为了加强基本理论、基本知识和基本技能的训练,对于1965年修订本中符合新订大纲要求的内容,修订时作了适当的充实;另外,根据新大纲的要求,增加了矩阵位移法一章,加深了虚功原理、结构的稳定和动力计算等内容的论述。全书内容分基本部分(第1~12章)和选学部分(第13~15章)。书中还有少量属于参考性的内容,在该节标题前面以“*”号注明。

这次修订工作由杨茆康、李家宝担任主编,参加编写工作的有:杨茆康(第8、15章)、李家宝(第1、2章)、刘光栋(第10、11、12、14章)、罗汉泉(第5、6、7、13章)、李存权(第3、4章)、罗宗对(第9章)。王兰生、何放龙、李俊东负责演算全书的习题。全书的插图由王秀贞描绘。

本书由王光远、郭长城、王荫长、刘铮同志担任主审、杨天祥同志担任复审。1982年5月工科结构力学教材编审小组在长沙召开了审稿会,参加审稿会的编委有杨天祥、龙驭球、秘书朱伯钦以及王荫长、刘铮、郭长城、王道堂等同志。参加审稿的同志对本书提出了许多很好的意见。此外,郑州工学院寿楠椿和本校王貽荪同志也曾对初稿提出过书面修改意见。对此,我们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中缺点可能不少,希望使用本书的教师和读者多加批评指正。

湖南大学结构力学教研室

1982年6月

第二版(1965年修订本)序

本书是在我室所编“结构力学”一书的基础上,根据1962年5月审订的高等工业学校本科五年制工业与民用建筑专业和铁道建筑、公路与城市道路以及桥梁与隧道等专业的“结构力学教学大纲”(试行草案)修订的,同时也照顾了河川枢纽及水电站建筑专业的需要。

修订时,我们基本上依据教学大纲的要求,力图贯彻“少而精”的原则,删去了大量枝节内容和偏深的非基本内容,重新改写了绝大部分的章节;在少数问题上,对大纲的规定作了一些变动,如删去了用零载法检查平面桁架的可变性、索式桁架的概念、简支梁的内力包络图,增加了分析静定空间桁架的截面法、半穿式桁架桥的上弦杆的稳定问题等。

为了符合学生的认识规律,在内容的阐述上,尽可能注意由具体到抽象、由简单到复杂。如力法和位移法的概念都是先从一个最简单的例子引出,然后扩展到一般情况;又如静定结构的特性,则是在讲完内力计算之后,通过与超静定结构的特性对比才提出的。

由于本书兼顾了两种专业的某些不同要求,因此,就每一专业来说,各有一部分内容是毋庸讲授和学习的。对于铁道建筑、公路与城市道路以及桥梁与隧道等专业的学生来说,可略去以下章节:§14-5, §14-6, 第十六章, §17-5;对于工业与民用建筑专业的学生,可略去下列各节:§3-6, §3-8, §4-4, §5-9, §5-10, §6-6至§6-8, §8-11至§8-13, §11-4至§11-6, §15-2, §15-3, §18-9。此外,关于超静定桁架和混合结构,就工业与民用建筑专业来说,可只限于最基本的内容,不妨结合本书§10-4中的例10-3对桁架和混合结构的计算特点稍加详细交代,而将第十二章整个略去。在第十一章中,所述无铰拱和两铰拱两部分具有相对的独立性,重复讲述了总和法,以便对工业与民用建筑专业可以单独着重讲授两铰拱部分。书中还有少量属于参考性的内容,一律采用小字排印。

本书初版是由我室教师周泽西、俞集容、杨弗康和原为我室成员现为长沙铁道学院教师李廉锴、张炘宇通过集体讨论、分工执笔并相互修改写成的。这次修订工作由周泽西、俞集容主持进行,执笔的有万良逸(第5、7、8、9、10章)、周泽西(第1、20章)、俞集容(第2、14、15、17章)、杨弗康(第4、6、13、19章)、刘光栋(第3、11、12、16、18章)。

本书承哈尔滨建筑工程学院王光远同志审阅,并提出不少宝贵意见,对此我们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,缺点可能不少,希望使用本书的教师和读者多加批评指正。

湖南大学结构力学教研室

1965年4月

第一版(1958年版)序

为了适应祖国大规模工业建设的需要,大量培养工程技术干部就成为当前最重要的工作之一。我国高等工业学校在一系列教学改革工作之后,已经取得很大的成绩,惟学生学习负担过重的问题,迄未完全解决。

目前已经翻译出版的苏联结构力学教材很多,但大都与部订教学大纲不能完全切合,内容分量过多,学生参考费时,且翻译名词各书不一致,更增加了初学者阅读上的困难。

这本讲义系根据我院情况编写的。我院有工民建、铁道桥隧、铁道建筑和公路与城市道路等四个专业,所用结构力学的教学大纲各不相同。在编写这本讲义之初,只能参考1955年部订内容最多的“桥隧”专业用和“工业与民用建筑结构”专业用“结构力学及弹性塑性理论教学大纲”作为编写的依据,再结合我院其他专业的需要并参照目前工程界的实际情况来安排内容。在编排的次序方面,也是根据教学实际情况来决定的。至于讲授的内容,则由任课教师按专业的需要自行选择取舍。讲义主要取材于下列各书:

- | | |
|-------------|----------------------|
| 1. 结构理论 | И.П.普洛珂费耶夫著 |
| 2. 建筑力学教程 | И.М.拉宾诺维奇著 |
| 3. 杆件系统结构力学 | И.М.拉宾诺维奇著 |
| 4. 结构静力学 | А.В.达尔柯夫、В.И.库兹涅措夫合著 |
| 5. 结构静力学 | Б.Н.日莫契金、Д.П.巴谢夫斯基著 |
| 6. 结构力学 | А.И.杜霍维奇内著 |
| 7. 静定结构学 | 钱令希编 |
| 8. 弹性力学 | М.М.费洛宁柯-鲍罗第契著 |
| 9. 弹性理论 | Б.Н.日莫契金著 |
| 10. 弹性力学 | 钱伟长 叶开沅著 |

这本讲义分别由李廉锴、周泽西、张圻宇、俞集容、杨蓓康等同志编写,并分工修改与校阅,插图由庄述权、邓如鹄、李家宝、尹业良等同志协助绘制。这本讲义曾在我院各专业教学中两度使用,对解决学生学习上的某些困难,尚能起一定的作用。我们根据实际使用结果,曾先后进行修改和补充,现在我们又再度将静定结构部分进行了若干修改与补充,先行出版,其余部分也正在陆续修改与校阅之中。

由于我们的业务水平及教学经验所限,虽然在主观上尽了自己的努力,但实际上还会存在许多不妥的地方。我们衷心希望各学校的兄弟教研组在使用或参考这本讲义时,能把所发现的缺点及改进意见随时告诉我们,使这本讲义能够逐步完善起来。

中南土木建筑学院

结构理论教研组

1957年6月

主要符号表

A	振幅, 面积
c	支座广义位移、黏滞阻尼系数
C	弯矩传递系数
c_{cr}	临界阻尼系数
d	节间距离
D	侧移刚度
E	弹性模量
E_p	结构总势能
E_p^*	荷载势能
E_c	结构总余能
E_c^*	支座位移余能
f	矢高、工程效率
F_P	荷载
$\mathbf{F}_P$	结构荷载向量
F_H	水平推力
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处铰支座(约束)水平、垂直方向的分反力
F_N	轴力
F_{Nx}, F_{Ny}	水平、垂直方向的分轴力
F_Q	剪力
F_Q^L, F_Q^R	截面左、右的剪力
F_Q^F	固端剪力
F_r	楼层剪力
F_{pe}	欧拉临界荷载
F_{per}	临界荷载
F_{pu}	极限荷载
F_P^+	可破坏荷载
F_P^-	可接受荷载
F_e	弹性力
F_l	惯性力
F_c	阻尼力
$\bar{\mathbf{F}}^e$	局部坐标系下单元杆端力

F^e

$\bar{F}^{Fe}$

F^{Fe}

G

i

I

$\bar{I}$

k

K

$\bar{k}^e$

k^e

K

m

M

M

M^F

M_r

M_u

M_e

N

P

P

P_E

P

q

R

r

S

t

T

T

u

v

V

W

X

y

整体坐标系下单元杆端力

局部坐标系下单元固端力

整体坐标系下单元固端力

切变模量

线刚度

惯性矩、冲量

单位矩阵

刚度系数、剪力分布不均匀系数

梁柱线刚度比

局部坐标系下单元刚度矩阵

整体坐标系下单元刚度矩阵

结构刚度矩阵

质量

质量矩阵

力矩、力偶矩、弯矩

固端弯矩

楼层力矩

极限弯矩

弹性极限弯矩

形函数矩阵

均布荷载集度

广义荷载

等效结点荷载向量

综合结点荷载向量

均布荷载集度

广义反力、半径

单位位移引起的广义反力、半径

转动刚度、影响线量值

时间

周期、动能

坐标转换矩阵

水平位移

竖向位移、挠度、速度

应变能

功、平面体系自由度、抗弯模量

广义多余未知力

位移

$\bar{y}$	反弯点高度
Z	广义未知位移
α	线膨胀系数
β	弦转角、频比
Δ	结构广义位移
Δ	结构位移向量
δ	虚位移、广义位移
δ^e	单元杆端位移向量
ε	线应变
μ	力矩分配系数
μ'	转角分配系数
γ	剪力分配系数
γ'	侧移分配系数
φ	初相角、转角、角位移
Φ	振型矩阵
θ	干扰力频率
ξ	阻尼比、等效集中质量系数
σ_b	强度极限
σ_s	屈服应力
σ_u	极限应力
ω	圆频率

目 录

第一章 绪论 1

- § 1-1 结构力学的研究对象和任务 1
- § 1-2 结构计算简图 4
- § 1-3 平面杆件结构分类 8
- § 1-4 荷载分类 10

第二章 平面体系的几何组成分析 12

- § 2-1 概述 12
- § 2-2 平面体系的自由度和约束 12
- § 2-3 平面体系几何组成分析 15
- § 2-4 平面体系在静力学解答方面的特性 20

思考题 22

习题 22

第三章 静定结构的受力分析 27

- § 3-1 单跨静定梁的计算 27
- § 3-2 多跨静定梁的计算 32
- § 3-3 静定平面刚架的计算 37
- § 3-4 实体三铰拱的计算 47
- § 3-5 静定平面桁架的计算 59
- § 3-6 静定平面组合结构的计算 70
- § 3-7 静定结构的静力特性 73

思考题 75

习题 76

第四章 虚功原理和静定结构的位移计算 91

- § 4-1 概述 91

- § 4-2 刚体体系的虚功方程及其应用 93

- § 4-3 结构位移计算的一般公式 99

- § 4-4 静定结构在荷载作用下的位移计算 104

- § 4-5 图乘法 109

- § 4-6 静定结构支座位移时的位移计算 116

- § 4-7 静定结构温度变化时的位移计算 117

- § 4-8 线性变形体系的互等定理 118

思考题 121

习题 122

第五章 力法 126

- § 5-1 超静定结构概念和超静定次数的确定 126

- § 5-2 力法原理与力法典型方程 129

- § 5-3 荷载作用下各类超静定结构的计算 134

- § 5-4 支座位移及温度改变时超静定结构计算 144

- § 5-5 超静定结构位移计算和内力图校核 147

- § 5-6 对称性的利用 150

- § 5-7 单跨梁在外因作用下的杆端力 158

- § 5-8 超静定结构的特性 165

思考题 165

习题 166

第六章 位移法与渐近法	171	§ 7-8 矩阵位移法的后处理法	267
§ 6-1 位移法的基本概念	171	思考题	282
§ 6-2 位移法基本结构和基本未知量	172	习题	282
§ 6-3 位移法典型方程和示例	175	第八章 影响线及其应用	286
§ 6-4 支座位移及温度改变时的计算	187	§ 8-1 影响线概念	286
§ 6-5 直接利用平衡条件建立位移法方程	191	§ 8-2 用静力法作静定梁影响线	288
§ 6-6 力矩分配法的基本概念	195	§ 8-3 用机动法作静定梁影响线	292
§ 6-7 用力矩分配法计算连续梁和无结点线位移的刚架	202	§ 8-4 利用影响线求影响量	296
§ 6-8 迭代法	209	§ 8-5 最不利荷载位置	298
思考题	216	§ 8-6 简支梁的绝对最大弯矩	304
习题	217	§ 8-7 用机动法作超静定梁影响线的概念	308
第七章 矩阵位移法	226	§ 8-8 连续梁的内力包络图	311
§ 7-1 概述	226	思考题	314
§ 7-2 单元刚度矩阵	226	习题	315
§ 7-3 单元刚度矩阵的坐标变换	233	第九章 结构计算简图和简化分析	319
§ 7-4 连续梁的结构刚度矩阵	237	§ 9-1 概述	319
§ 7-5 忽略轴向变形时矩形刚架的结构刚度矩阵	243	§ 9-2 杆件、支座和结点的简化	319
§ 7-6 用先处理法计算平面刚架	252	§ 9-3 结构体系简化	325
§ 7-7 等效结点荷载	262	§ 9-4 结构的简化分析	326
		附录 平面杆件结构分析程序 (先处理法)	334

第一章 绪 论

§ 1-1 结构力学的研究对象和任务

在土木工程中,由建筑材料按照一定的方式组成并能承受荷载作用的构筑物称为工程结构(简称结构)。房屋建筑中的板、梁、柱、屋架、基础及其组成的体系(图1-1),铁路和公路桥梁,

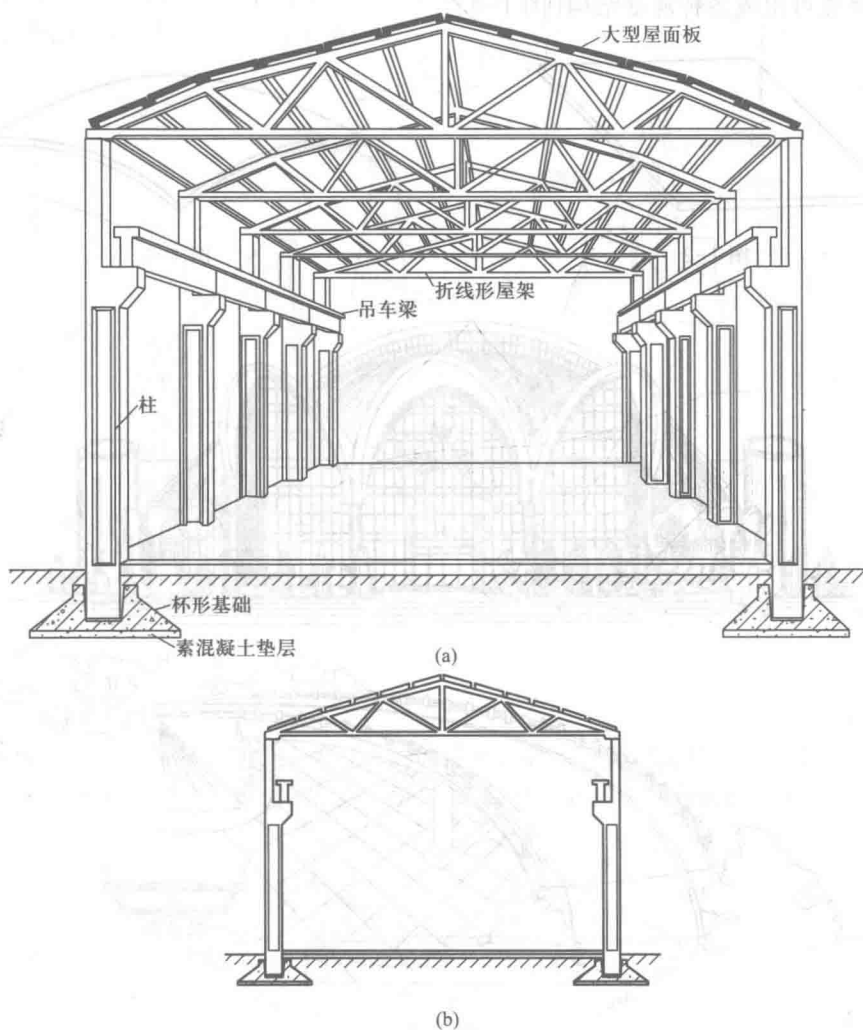


图 1-1

水坝和挡土墙等,它们都是结构的例子。当不考虑材料的应变时,结构本身各部分之间都不致发生相对运动,且应直接或间接地与地基联成整体,这样才能用以承受荷载,并将其上所受的荷载传递到地基。

结构按其几何特征可分为三种类型:

1. 杆件结构

它是由若干根长度远大于其他两个尺寸(截面的宽度和高度)的杆件所组成的结构。例如,图 1-1a 为单层厂房的空间结构图,图 1-1b 为其中一个横向承重排架,它们即为杆件结构。如果组成结构的所有各杆件的轴线都位于某一平面内,并且荷载也作用于此同一平面,则这种结构称为平面杆件结构,否则,便是空间杆件结构。

2. 薄壁结构

它是厚度远小于其他两个尺寸的结构,它可以由钢、钢筋混凝土等刚度较大的材料制造。当它为一平板状物体时,称为薄板(图 1-2);当它具有曲面外形时,称为薄壳(图 1-3)。由若干块薄板或薄壳可组成各种薄壁结构(图 1-4)。

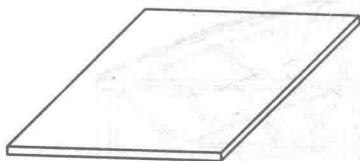


图 1-2

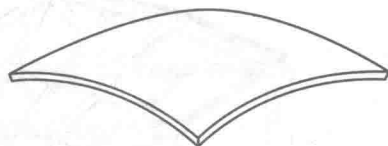


图 1-3

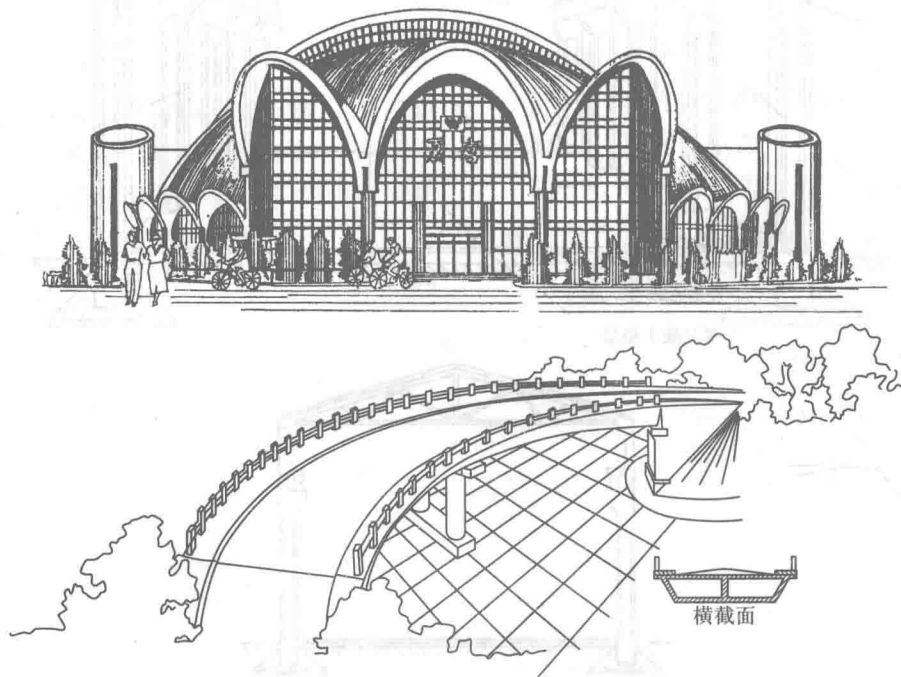


图 1-4

当制造该类结构的材料柔度很大时,它可以做成帐篷或充气结构,此时结构材料是纯受拉薄膜(图 1-5)。

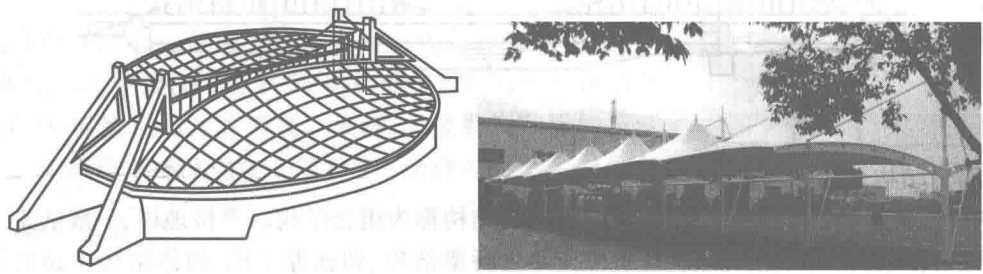


图 1-5

3. 实体结构

实体构件的几何特征是其长、宽、厚三个尺度大小相近。由实体构件组成的结构称为实体结构,如堤坝、挡土墙、块式基础等(图 1-6)。

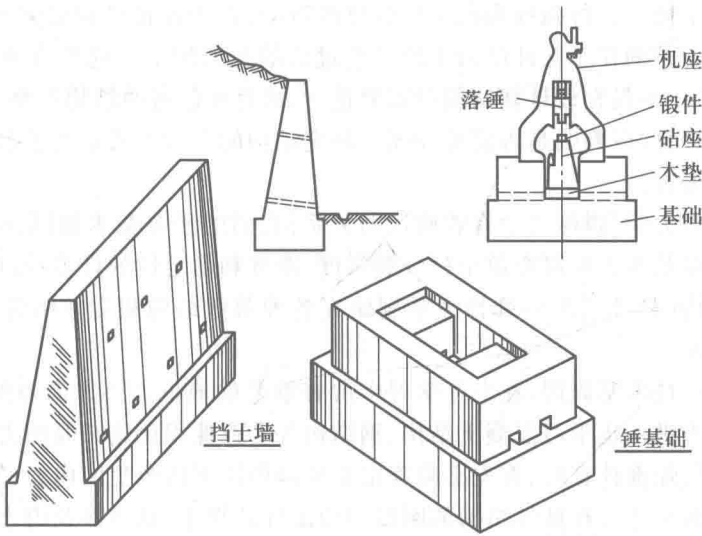


图 1-6

4. 悬索结构

悬索结构主要承重构件为悬挂于塔、柱上的缆索,缆索只受轴向拉力,可最充分地发挥钢材强度,且自重轻,可跨越很大的跨度,如悬索屋盖、斜拉桥(图 1-7)、悬索桥(图 1-8)等。

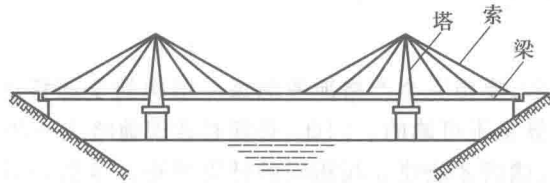


图 1-7