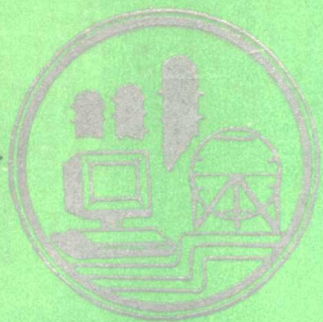


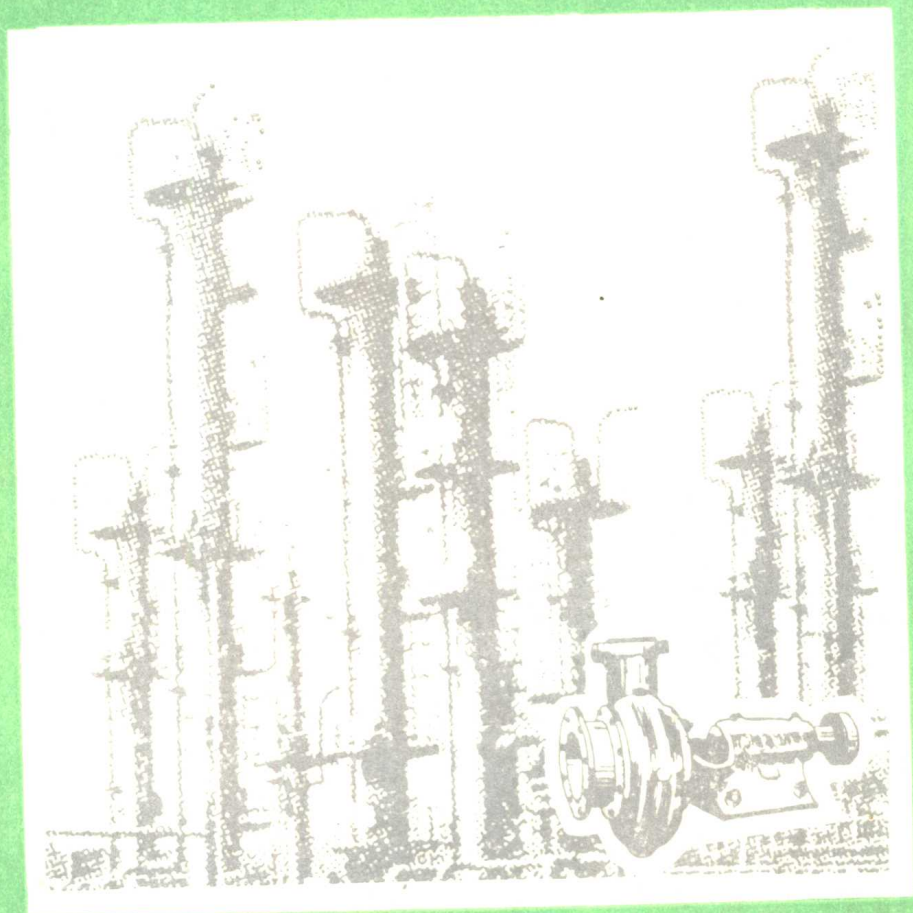
高等学校教材



化工设备机械基础

(二 版)

董大勤 主编



化学工业出版社

化工设备机械基础

(二 版)

化学工业出版社

2

10.05
50.2

高等学校教材

化工设备机械基础

(二 版)

董大勤 主编

化学工业出版社

(京)新登字039号

图书在版编目(CIP)数据

化工设备机械基础/董大勤编.—2版.—北京:化学工业出版社,1995.12重印
高等学校教材
ISBN 7-5025-1279-9

I.化… II.董… III.化工设备:机械设备-基础理论-高等学校-教材 IV.TQ05

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第18937号

出版发行:化学工业出版社(北京市朝阳区惠新里3号)

社长:俸培宗 总编辑:蔡剑秋

经 销:新华书店北京发行所

印 刷:三河市科教印刷厂

装 订:三河市前程装订厂

版 次:1994年11月第2版

印 次:1995年11月第2次印刷

开 本:787×1092 1/16

印 张:43 1/2

字 数:1090千字

印 数:20,201—29,200

定 价:33.40元

再 版 前 言

《化工设备机械基础》是为工科院校化工系工艺类专业开设的一门综合性的机械类课程。本课程的教学目的是使学生获得基础力学和金属材料知识,具备设计常、低压化工设备和对再用压力容器进行强度、稳定校核的能力,并了解压力容器监察管理法规,在今后工作中遵守实施。

本门课程的教材《化工设备机械基础》的初版本是在1987年11月与读者见面的,几年来先后共重印了五万余册。这次修订是在总结近几年教学实践的基础上进行的,修订的指导思想是,

(1) 选材要适合化工、轻工绝大多数非机械类专业的教学要求、要强化针对性,立足于加强基础与学以致用。

(2) 精简理论深度,理论部分以“必须”和“够用”为度。

(3) 密切与生产实际的联系,教材必须在解决设计和生产问题中具有被生产一线工作同志认可的参考和指导价值。

(4) 要考虑教学对象的接受能力,讲授方法要深入浅出、要把传授知识与培养能力结合于讲授之中。

(5) 具有一定的弹性,使教学时数在90~120之间均可使用。

这次修订的主要内容是,

(1) 撤消了初版《化工设备机械基础》中的第三篇“机械传动”,增加了塔设备、管壳式换热器和带夹套与搅拌的反应釜等三种典型化工设备的设计计算与结构分析。目的是使绝大多数工艺专业学员在有限学时内优先学习最常用到的知识。

(2) 增写了一章压力容器安全使用与监察管理方面的内容,目的是增强学员的安全生产及遵章守法的意识,并了解一些必要的法规。

(3) 按最新标准重新编写了标准所涉及的全部内容,并汇编了较多的资料数据(分别列入有关章节);还专门为化工设备图样的绘制与读图编写了几个有关问题,独立成章,目的是为课程设计准备比较完整的设计资料,也为今后工作参考使用。

(4) 增加了习题类型,调整了习题内容,给出了习题答案。

这次修订中新增加的三章典型化工设备,分别由王俊宝(塔设备),董伟志(管壳式换热器)、张炳然(反应釜)编写,其余新增与修订的各章仍由董大勤编写,并主编全书。在本书修订的过程中曾得到全国压力容器标准化技术委员会、合肥通用机械研究所、天津市锅炉压力容器检验所,天津化工设计院,化工部第一、第三设计院以及许多工厂的标准制订、技术管理的专家和技术人员的指导和帮助,并得到化工部教育司有关领导的大力支持,编者对所有关心、支持、帮助本书修订工作的上述同志深表谢意。

修订后的本书还存在哪些不妥之处,希望使用本书的师生和读者提出宝贵意见。

编者 1993.6

内 容 提 要

本书为化工工艺类专业使用的综合性机械课程教材，是依据近来的教学经验，对第一版修订而成的。内容仍为四篇，分别为：一、力学基础，介绍理论力学和材料力学的基础知识（受力分析、材料受不同外力作用下的应力分析、强度条件）。二、化工容器，介绍容器的材料，受压（内、外）容器的强度计算及设计、制造等方面的标准、规范。三、典型化工设备，介绍塔设备、换热设备、搅拌反应釜的结构及基本计算，本篇还有有关化工设备图阅读及绘制的内容。四、容器的使用与管理，介绍有关安全方面的知识。本书附有大量习题，供练习使用。

本书讲解详细，通俗易懂，便于自学。除作为教材外，还可为有关工程技术人员参考。

目 录

第一篇 力学基础

第一章 刚体的受力分析及其平衡规律	1
第一节 力的概念及其性质	2
一、力的概念.....	2
二、力的基本性质.....	3
第二节 刚体的受力分析	5
一、约束和约束反力.....	5
二、刚体受力分析要领.....	9
第三节 平面汇交力系的简化与平衡	11
一、平面汇交力系的简化.....	12
二、平面汇交力系的平衡条件.....	13
第四节 力矩、力偶、力的平移定理	15
一、力矩的概念.....	15
二、力偶.....	15
三、力的平移定理——力与力偶的联系.....	17
第五节 平面一般力系的简化与平衡	18
一、平面一般力系的简化.....	18
二、平面一般力系简化结果的分析.....	19
三、平面一般力系和平面平行力系的平衡方程.....	20
四、固定端约束的受力分析.....	23
五、静定与静不定问题的概念.....	24
第六节 静力学问题求解方法小结	24
一、如何选取研究对象.....	24
二、如何画分离体受力图.....	25
三、如何建立直角坐标系.....	26
四、如何应用静力平衡方程.....	26
习题	26
第二章 金属在外力作用下所显示的机械性能	32
第一节 弹性体的变形与内力	32
第二节 直杆受拉(压)时的变形与内力度量	33
一、变形的度量.....	33
二、内力的度量.....	33
第三节 金属在拉伸和压缩时的机械性能	39
一、低碳钢的拉伸试验及其机械性能.....	39

二、其他材料的拉伸曲线	43
三、压缩时材料的机械性质	43
四、温度对材料机械性能的影响	45
第四节 金属的缺口冲击、弯曲和硬度试验	46
一、金属的缺口冲击试验	46
二、弯曲试验 (又称冷弯试验)	49
三、硬度试验	49
习题	50
第三章 受拉 (压) 直杆的强度计算和拉压中的静不定问题	53
第一节 受拉 (压) 直杆的强度计算	53
一、强度条件的建立与许用应力的确定	53
二、强度条件的应用	55
第二节 拉压中的静不定问题	57
一、静不定问题的判定	58
二、解静不定问题的思路与步骤	58
三、化工设备中的静不定问题举例	59
习题	62
第四章 剪切	66
第一节 剪切近似计算	66
第二节 应用实例	67
一、键的计算	67
二、焊接计算	68
习题	69
第五章 弯曲	71
第一节 弯曲的概念及梁所受的外力	71
一、弯曲的概念与实例	71
二、梁的几何形状和名称	71
三、梁上的外力、梁的支座及分类	72
第二节 梁的内力分析	75
一、从力的平衡看梁中的内力	75
二、从梁的变形看梁横截面上的弯矩	75
第三节 剪力与弯矩的计算	77
一、剪力	78
二、弯矩	78
三、剪力图和弯矩图	80
第四节 纯弯曲时梁的正应力及正应力强度条件	83
一、变形分析 (问题的几何方面)	83
二、正应力分布规律 (问题的物理方面)	84
三、曲率的计算	85
四、正应力计算公式	86

五、截面的 I_x 与 W_x	87
六、正应力的强度条件及其应用.....	87
七、梁的合理截面.....	92
第五节 直梁弯曲时的剪应力.....	93
一、矩形截面梁.....	94
二、工字形截面梁.....	95
三、环形截面梁.....	95
四、实心圆截面梁.....	95
第六节 梁的变形——梁弯曲时横截面的位移.....	96
一、梁的挠度和转角.....	96
二、梁的弹性曲线.....	96
三、梁的刚度校核.....	100
四、弯曲中最简单的静不定问题.....	100
习题.....	102
第六章 扭转	105
第一节 圆轴受扭时所受外力.....	105
一、轴的各项功能.....	105
二、在恒定转速下轴的扭矩与所传递功率的关系.....	105
第二节 纯剪切；角应变；剪切虎克定律.....	106
一、纯剪切.....	106
二、角应变（角变形）.....	107
三、剪切虎克定律.....	108
第三节 圆轴扭转时的变形与内力.....	108
一、变形分析.....	108
二、应力分布.....	109
三、横截面上的内力矩——扭矩.....	110
四、扭矩 M_T 与扭转变形程度 $\frac{d\phi}{dx}$ 的关系.....	110
五、剪应力的计算公式.....	111
六、扭转角的计算.....	111
第四节 圆轴扭转时的强度条件与刚度条件.....	112
一、圆轴扭转时的强度条件.....	112
二、圆轴扭转时的刚度条件.....	112
第五节 <u>拉伸、弯曲、扭转的比较与小结</u>	115
习题.....	116
第七章 复杂应力状态及强度理论	119
第一节 应力状态.....	120
一、一点处的应力状态.....	120
二、三种应力状态.....	121
第二节 二向应力状态分析.....	122

三章

一、二向应力状态下斜截面上的应力	122
二、应力圆	123
三、主应力的数值和主平面的位置	126
四、最大剪应力	128
第三节 强度理论	129
一、强度理论的概念	129
二、材料的两类破坏形式	130
三、三个基本的强度理论	130
第四节 强度理论的应用	133
一、扭弯组合的强度计算	133
二、许用剪应力的确定	136
习题	137

第二篇 化工容器

第八章 化工设备常用金属与非金属材料	139
第一节 金属的晶体结构	139
一、金属原子结构的特点与金属键	139
二、金属的晶体结构	139
第二节 碳钢和铸铁	140
一、碳钢与铸铁的化学成分和组织结构	140
二、铁碳平衡状态图	142
三、过冷奥氏体的恒温转变	144
四、钢的热处理	145
五、碳钢的分类、牌号、性能、品种与应用	147
六、铸铁	163
第三节 合金钢	166
一、合金元素对钢材性能的影响	166
二、低合金钢	167
三、高合金钢	167
第四节 有色金属及其合金	171
一、铜及其合金	171
二、铝及其合金	172
三、铅	173
四、钛	173
第五节 金属的腐蚀与防护	174
一、腐蚀的定义及分类	174
二、常见的几种腐蚀及其控制方法	175
第六节 非金属材料	180
一、有机非金属材料	180
二、无机非金属材料	183

习题	184
第九章 压力容器中的薄膜应力	187
第一节 容器概述	187
一、容器的结构	187
二、容器的分类	187
三、容器机械设计的基本要求	188
第二节 回转薄壳的几何概念	188
第三节 回转薄壳的薄膜应力分析	190
一、经向薄膜应力分析	190
二、环向薄膜应力分析	191
第四节 薄膜应力理论的应用	192
一、圆柱壳	192
二、球壳	192
三、椭球壳	192
四、锥形壳	194
习题	197
第十章 压力容器中的弯曲应力与二次应力	199
第一节 圆形平板承受均布载荷时的弯曲应力	199
一、承受均布载荷圆形平板的变形与内力	199
二、弯曲应力与薄膜应力的对比及由此得出的结论	201
三、对弯曲应力的限制条件——极限设计法	202
第二节 压力容器中的二次应力	204
一、何谓二次应力	204
二、边界应力	204
(附) 关于安定准则的简介	208
一、问题的提出	208
二、安定的概念	208
三、保持安定的条件	210
习题	211
第十一章 压力容器的强度计算	212
第一节 概述	212
一、压力容器与常压容器	212
二、容器的主要受压元件	212
三、压力容器强度计算的内容	212
第二节 内压圆筒的设计	213
一、内压圆筒壁厚的确定	213
二、设计参数的确定	215
三、容器的最小壁厚 δ_{\min}	221
四、内压圆筒的厚度系数、计算应力与最大允许压力	223
第三节 内压封头设计	224

一、凸形封头	225
二、锥形封头	235
三、平板形封头	242
第四节 在用压力容器的强度校核	244
一、在用压力容器强度校核的原则	244
二、强度校核的思路、公式和举例	245
习题	248
第十二章 压杆稳定与外压力容器	251
第一节 关于稳定的概念	251
一、问题的提出	251
二、压杆稳定性的概念	251
三、外压容器的稳定问题	252
第二节 压杆的临界载荷	253
一、理想压杆的临界载荷	253
二、临界应力；欧拉公式的适用范围	254
三、柔度 $<\lambda_0$ 的压杆临界应力的计算	255
第三节 压杆稳定的实用计算	257
一、压杆稳定的实用计算方法	257
二、强度计算与稳定计算的区别	260
第四节 外压圆筒的环向稳定计算	261
一、临界压力、临界应力与临界应变	261
二、许可压力的计算思路	262
三、外压圆筒的环向稳定计算	268
第五节 圆筒的轴向稳定校核	270
一、什么情况下需要校核轴向稳定性	270
二、轴向稳定许用应力的计算	271
第六节 外压封头的稳定计算	272
一、外压球壳的稳定计算	272
二、外压凸形封头的稳定计算	274
三、外压锥形封头的稳定计算	276
四、内压凸形封头的失稳	277
第七节 加强圈设计	277
一、加强圈间距	278
二、加强圈尺寸	279
三、加强圈与筒体的联接	285
习题	285
第十三章 压力容器的开孔与补强	288
第一节 容器开孔附近的应力集中	288
一、受拉平板开小孔时，小孔边缘处应力的分布规律	288
二、回转壳体上开小孔时所造成的应力集中	290

三、回转壳体开孔接管处的应力集中	292
四、应力集中对容器安全使用的影响	292
第二节 容器的开孔补强	293
一、补强结构	293
二、补强计算	295
第三节 容器上开孔及补强的有关规定	302
一、开孔尺寸的限制	302
二、开孔位置的限制	302
三、允许不另行补强的条件与规定	303
习题	303
第十四章 热应力	305
第一节 热应力产生的原因及其性质	305
一、热应力产生的原因	305
二、热应力的性质	305
第二节 化工设备中常见的几种热应力	305
一、固定管板管壳式换热器中的热应力	305
二、高温管路中法兰连接螺栓内的热应力	309
三、容器无良好保温, 内外壁温差较大时的热应力	310
四、容器在焊接过程中的热应力与焊接后的残余应力	310
习题	312
第十五章 压力容器上的标准件与附件	314
第一节 压力容器法兰	314
一、法兰联接的密封原理	314
二、法兰密封面的型式	315
三、法兰联接受力分析	316
四、容器法兰标准	317
第二节 管法兰	348
一、管法兰的类型与密封面型式	348
二、管法兰的结构尺寸	354
三、法兰材料及其允许承受的最高无冲击压力	359
四、管法兰与钢管的焊接接头	359
五、管法兰用密封垫片	371
六、钢制管法兰用的紧固件	375
七、法兰、垫片、紧固件的标记	375
第三节 支座	379
一、卧式容器的支座	379
二、立式容器的支座	385
第四节 检查孔	407
一、检查孔的作用和种类	407
二、人孔	407

第五节 安全泄放装置.....	413
一、安置安全泄放装置的原则.....	413
二、安全阀.....	414
三、爆破片.....	419
习题.....	422
第十六章 压力容器中的焊接结构.....	424
第一节 焊缝的基本型式.....	424
第二节 压力容器中的焊缝分类.....	427
第三节 焊接的合理结构.....	429
第四节 焊缝的检验.....	433
一、焊接接头缺陷.....	433
二、焊接检验要点.....	434
第五节 焊接材料.....	435
一、焊条.....	435
二、焊丝与焊剂.....	438
三、焊条、焊丝、焊剂的选用.....	439
习题.....	441

第三篇 典型化工设备

第十七章 塔设备.....	442
第一节 概述.....	442
第二节 板式塔.....	443
一、板式塔的总体结构及其分类.....	443
二、整块式塔盘结构.....	444
三、分块式塔盘结构.....	449
第三节 填料塔.....	469
一、引言.....	469
二、填料.....	470
三、液体分布装置.....	474
四、液体再分布装置.....	482
五、填料的支承装置.....	483
六、填料压板及床层限制板.....	486
第四节 塔的附件与裙座.....	487
一、物料进出口接管.....	487
二、塔顶吊柱.....	493
三、裙式支座.....	495
四、塔的保温装置.....	500
第十八章 管壳式换热器.....	501
第一节 概述.....	501
一、管壳式换热器的总体结构.....	501

二、管壳式换热器型号表示方法	504
第二节 固定管板换热器的结构设计	507
一、换热器的外壳	507
二、管束	510
三、管板	516
四、膨胀节	526
五、其它结构	531
附 换热器的振动	541
第十九章 搅拌反应釜	543
第一节 反应釜的总体结构	543
一、总体结构中的主要部件及其用途	543
二、搅拌反应釜的技术特性及工艺参数的确定	545
第二节 反应釜的釜体及换热装置	545
一、釜体的尺寸	545
二、夹套传热及其结构	547
三、其它型式的夹套结构	551
四、蛇管传热及其结构	552
第三节 反应釜的搅拌装置	555
一、搅拌器及搅拌附件	555
二、反应釜的传动装置	563
第四节 反应釜的轴封装置	584
一、填料密封	584
二、机械密封	586
第二十章 化工设备图样的阅读与绘制	594
第一节 设备总图的绘制与读图	594
一、设备总图绘制要点	594
二、设备总图的构成	599
第二节 公差与配合的基本知识	604
一、几个与尺寸有关的概念	604
二、标准公差与基本偏差	606
三、公差与配合在图样上的标注	608
第四篇 容器的使用与管理	
第二十一章 压力容器的安全使用与监察管理	614
第一节 压力容器安全使用应注意的几个问题	614
第二节 压力容器的定期检验	616
一、定期检验的目的	616
二、定期检验的类别和期限	616
三、定期检验的内容和要求	616
四、耐压试验	617

五、气密试验	619
六、检验报告	619
第三节 压力容器的监察管理	620
一、对压力容器实施监察管理的依据	620
二、压力容器的分类	621
三、压力容器的安全状况等级	623
四、压力容器的设计管理	623
五、压力容器的制造管理	624
六、压力容器的使用管理	625
习题	625
附录:	627
A. 型钢与钢材的 E 、 α 值	627
B. 几种典型回转壳体的表面积、容积和质量	636
C. 管法兰标准 (HG5001—58~5028—58)	647
参考文献	659
习题参考答案及提示	661

第一篇 力学基础

化工厂中使用的机器设备大都是在各种载荷下工作，为了使它们安全可靠地工作，从力学角度，一般要提出三方面的要求。

1. 能抵抗载荷对它的破坏，即要有一定的强度。
2. 不发生超出许可的变形，即要有一定的刚度。
3. 能维持构件自身的几何形状，即具有充分的稳定性。

因此，强度问题、刚度问题和稳定问题，都属于本课程的力学基础内容。但从教学方便的角度考虑，我们先集中讨论强度与刚度问题，而把稳定问题——压杆的稳定计算与外压容器设计，放到第二篇去研究。对于强度与刚度这两个方面的问题，我们把讨论的重点放在强度计算上。

化工机械设备构件的几何形状，既有杆件，也有平板和回转壳体。杆件的变形与应力分析比较简单，但它却是分析平板与回转壳体的基础，所以作为力学问题中的基础内容，我们在本篇中将讨论等截面直杆的应力分析、强度计算与变形计算问题。关于平板与回转薄壳中的力学基础，我们把它安排到第二篇，结合压力容器设计一并讨论。所以，本篇所讨论的实际上只是一些基础性的力学问题。

本篇共包括七章。第一章讨论刚体的受力分析和它的平衡规律，以解决刚体所受的外力问题。第二章研究外力对材料所产生的内效应问题，结合金属的晶体结构，探讨材料在外力作用下的种种“表现”。第三章到第六章研究杆件的四种基本变形（拉压、剪切、弯曲、扭转）的应力与变形计算，以解决这类构件的强度设计与刚度设计问题。第七章讨论怎样处理在复杂应力状态下工作的构件的强度问题，以便为平板、壳体等受压元件的强度计算准备必需的理论基础。

第一章 刚体的受力分析及其平衡规律

要研究构件的强度或刚度问题，首先要全面搞清楚构件所受的外力。图 1-1 是一个三角支架，它由两根杆、一个立柱和三个销钉组成，在 AB 杆的中央支承一重物 G 。给我们的任务可能是，已知 G 重物，确定 AB 杆和 BC 杆的截面形状与尺寸，也可能是，杆的尺寸已知，确定这个支架最大的承载能力。要解决这类问题，首先要弄清每根杆在工作时受到的是怎样的外力，因为外力不弄清，下一步的问题就无法解决。以 AB 杆来说，它受到三个外力，第一个是物体的重量 G ，第二个是销钉 A 作用于杆的支撑力 N_A ，第三个是销钉 B 作用于杆的支撑力 N_B 。在这三个力中，重物 G 的大小、方向和作用点都是已知的，属于已知力。而另外的两个力 N_A 和 N_B 是未知力，不但大小不知，而且力作用线的方位也不知道。如果错误地认为 N_A 和 N_B 两个力的作用线应垂直向上（图 1-1b），那么根据这种分析计算出来的 N_A 与 N_B 力的数值也不会正确。这就向我们提出来一个问题： N_A 和 N_B 这两个未知力的力作用线的方位应该怎样确定才是正确的呢？这就是我们在这一章所要讨论的第一个问题。这个问题实际上就是研究如何对物体进行受力分析。

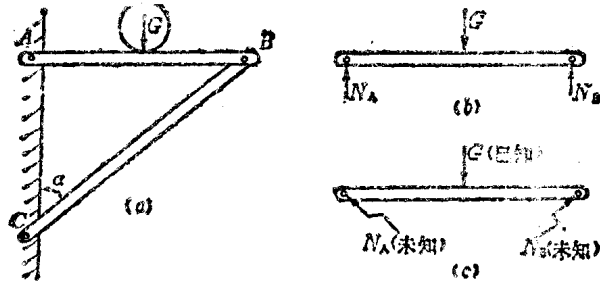


图 1-1 三角支架结构

确定了未知力 N_A 、 N_B 力作用线的方位后，需要进一步解决它们的大小问题。未知力的大小要借助于已知力来求取，因此需要研究未知力 N_A 、 N_B 与已知力 G 之间的关系。而要寻找这种关系，就必须去研究物体的受力平衡规律。因为一个物体在几个外力作用下处于平衡是有条件的，这个条件叫平衡条件，它可以告诉我们要使物体维持平衡状态，作用在该物体上的几个外力之间必定存在着什么样的关系。因此只要找到平衡条件，就可以利用它来求解未知力。所以我们在这一章讨论的第二个中心问题是：研究物体的受力平衡规律，找出构件在各种平面力系作用下的平衡条件表达式。

为了解决上面提出的两个问题，还必须要简要地讨论一下力、力矩、力偶等概念和几个有关的定理。这些概念或定理是对物体作受力和对力系进行简化的依据。

第一节 力的概念及其性质

一、力的概念

力是人们从长期的观察和实践经过抽象而得出的一个概念。人类在自己的生产和生活过程中发现，物体与物体之间的相互作用会引起物体运动状态改变，也会引起物体变形。进而还发现：无论是运动状态的改变，还是物体的变形，其程度都与物体间相互作用的强弱有关。人们为了度量上述的物体间相互作用所产生的效果，于是就把这种物体间的相互作用称之为力。

由此可见，力是通过物体间相互作用所产生的效果体现出来的。因此，我们认识力，分析力，研究力都应该着眼于力的作用效果。上边谈到的力使物体运动状态发生改变，我们称它是力的外效应。而力使物体发生变形，则被称为是力的内效应。

单个力作用于物体时，既会引起物体运动状态改变，又会引起物体变形。两个或两个以上的力作用于同一物体时，则有可能不改变物体的运动状态而只引起物体变形。当出现这种情况时，我们称物体是处于平衡。这表明作用于该物体上的几个力的外效应彼此抵消，但不能由此否定单个力的外效应。

力作用于物体时，总会引起物体变形。但在正常情况下，工程用的构件在力的作用下变形都很小。这种微小的变形对力的外效应影响很小，可以忽略。这样一来，在讨论力的外效应时，我们就可以把实际变了形的物体，看成是不发生变形的刚体。所以，当我们称物体为刚体时，就意味着我们不去考虑力对它的内效应。在这一章，我们研究的对象都是刚体，讨论的是力的外效应。

力是矢量，图示时可用一带箭号的有向线段表示，有向线段长度（按比例尺）表示力的大小，箭头所指表示力的方向。用符号表示力时，以黑体字“ F ”、“ P ”、“ Q ”或“ \vec{F} ”、“ \vec{P} ”、