



高等学校教材

化工设备机械基础

董大勤 编



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

化工设备机械基础

董大勤 编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(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. —北京:化学工业出版社,2002.12
高等学校教材
ISBN 7-5025-3922-0

I. 化… II. 董… III. 化工设备-高等学校-教材 IV. TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 079772 号

**高等学校教材
化工设备机械基础**

董大勤 编

责任编辑:孙世斌

责任校对:凌亚男

封面设计:蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市昌平振南印刷厂印刷
三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 33 字数 819 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3922-0/G·1073

定 价:48.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

《化工设备机械基础》是一本综合多门学科、理论与实用并重的机械类教学用书，其理论内容是讲授杆件、板壳力学的基础理论和金属材料的基本知识，介绍中低压压力容器与几种典型化工设备的设计与计算；其实用内容提供的是较完整的教学所需的压力容器与化工设备设计资料。理论内容适合于课堂讲授或自学，实用部分的资料既可供实践性教学环节（如课程设计、毕业设计）使用，也可供从事压力容器设计、制造、管理人员参考。由此，可知本门课程的教学目的是：使学生掌握杆件、平板、回转形壳体的基础力学理论和金属材料的基础知识；熟悉涉及压力容器设计、制造、材料使用和监察管理的有关标准和法规；具备设计、使用和管理中、低压压力容器与化工设备的能力。

早期的《化工设备机械基础》教材是针对化工工艺专业学生的。该教材综合了《理论力学》、《材料力学》、《金属学》、《机械设计》、《化工容器与设备》多门课程的部分内容。经过二十多年教学探索和实践，已初步形成了比较完整的课程体系，其教材也摆脱了早期那种“拼盘”式的结构。由于这门课程有利于对非机械类专业学生综合能力的培养，而又无须设置多门课程，比较符合培养复合型人才的需要，所以继化工工艺专业之后，像轻工、食品、制药、环保、能源等非机械类专业，也在开设或计划开设类似或相同的课程。由于包括中央电大在内的全国许多高等院校都在开设《化工设备机械基础》课，所以以《化工设备机械基础》为书名的教材也就出现了各具特色的多种版本。为了便于读者选用，下面对本书的编写特点做一简单介绍。

编写本书总的指导思想是：好教、易学、实用。

一、理论内容的编写遵循讲清、学懂和够用的原则

1. 以初学者的认识水平和接受能力来确定理论讲授的起点、顺序和深度。语言通俗，层次分明，按照学生的逻辑思维去揣摩（结合教学经验）他们在学习过程中会出现什么问题，指出其出现疑难的原因，有的放矢地处理所要讲授的理论。

2. 以“够用”为原则，简化某些理论内容。但简化不是浓缩，浓缩违背初学者的认识规律。简化更不是简单地删除，因为有些概念不能不讲。所以要简化只能从改变讲授方法上入手，尝试采用“易化”处理的办法来达到简化目的。这种尝试效果如何，有待广大师生评议。

3. 有比较才能有鉴别。本书通过正文讲解、章节小结、思考题的设计与自我检查题的引导等多种方式，将过去教学中发现的、学生可能产生的错误概念、模糊认识、似是而非的理解与正确的结论进行对比性的讲解和判别，目的是引导学生在对比中加深理解，培养严谨认真的学风。

4. 根据本课程的教学要求，对于教材中所涉及的理论公式，编者并未一一推导。对于不进行推导的公式，须要讲清公式所揭示的规律及其适用条件，使读者理解、接纳、会用。对于必须推导的公式，比较侧重的是揭示在推导过程中所反映出来的概念与结论，而不是那些符号数字公式的罗列与推演。

5. 在讲授理论性内容为主的章节中，编写了部分习题，并给出了参考答案，以检验学

生解决实际问题的能力。

二、实用内容编写的几点说明

1. 所提供的资料主要取自涉及压力容器材料、设计、制造、检验、使用和监察管理等方面的（国家、部颁、行业）标准、法规和规定。同时也编入了少量编者个人的工作成果，即部分内、外压力容器壳体和封头的计算厚度表，以及一些带有拾遗补阙或综合归纳性质的数据和资料。这些资料基本上可以满足 $PN \leq 4\text{MPa}$ 的压力容器在设计、制造、使用和管理上的参考需要。

2. 为了尽量提高单页篇幅的信息量，对于大部分标准，在保持信息量完整的条件下，编者均作了重组与改编，与原始资料相比可节省篇幅 50% 以上。

3. 现行压力容器标准，一是数量多，二是经常修订，有一些相关联的标准，由于修订时间不同，往往在一段时间内，在它们之间会出现某些不协调一致之处。对于这类问题，编者除了指出其差别，并给出不同的数据外，有的还提出了解决问题的建议。

4. 对《钢制压力容器》(GB 150) 作选择性讲解是本书主要内容之一。作为国家标准，它要考虑可能出现的各种情况，所以涉及的面很广。但是作为教材，其内容应根据教学和使用要求作出取舍和变更。譬如椭圆形封头，在 GB 150 中考虑了各种长短轴的比值，可是常用的只是 $(a/b) = 2$ 的椭圆形封头，若只讨论这种封头就简单多了。又譬如锥形壳体既要考虑作封头使用，又要考虑用作变径段，所以计算方法较繁琐，但是遇到最多的还是用作封头，如果只考虑作封头用，而且封头的大小端直径之比只要不小于 4，那么计算就可以变得非常简单。可以作类似简化处理的还有诸如真空容器的加强圈设计等。这些计算方法虽与 GB 150 的规定有些不同，但它们是在一定条件下的简化，并不违背 GB 150 的规定（正文中有论证）。

应该提请读者注意，本书所编写的资料应以动态观点分析和使用，今天它们是现行的和最新的，过几年有些标准可能会修订，所以希望读者在日后的实际工作中随时留意标准的变化。

三、本书之不足

由于本课程既要综合讲授多门课程的基础理论，又要比较完整地提供实践性教学环节所需资料，以满足所规定的教学要求，所以本书原计划的编写内容较多，但是限于学时的缩减，本书不得不删除一些内容，诸如“复杂应力状态分析”，“金属腐蚀与防护”、“非金属材料”、“球冠形封头”、“压力容器安全泄放装置”、“填料塔”等；对于像“强度理论”、“常用机械零件”这样一些内容也只能作实用性处理，上述这些删除与处理是否合适，有待广大师生与读者评议。

限于编者个人水平导致的不妥与错误，期望广大师生与读者指正。

编者

2002 年 3 月

内 容 提 要

本书为化工工艺专业及相似专业使用的综合性机械课程教材，是作者依据多年的教学经验、几个版本的编写经验，并结合多年从事容器及设备技术工作的体会编写而成。

内容分为三篇，即力学基础、压力容器、典型化工设备。主要介绍板壳力学基础理论，金属材料的基本知识，中、低压力容器和典型化工设备的强度计算方法、结构设计、有关的标准和规范等。配有习题、例题、内容实用，便于自学。

本书除作大学本科、高职的专业基础教材外，还可作有关人员进修、工程技术人员参考使用。

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.....	2
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.....	8
第三节 平面汇交力系的简化与平衡	9
一、平面汇交力系的简化.....	9
二、平面汇交力系的平衡条件.....	10
第四节 力矩、力偶、力的平移定理	12
一、力矩的概念.....	12
二、力偶.....	13
三、力的平移定理——力与力偶的联系.....	14
第五节 平面一般力系的简化与平衡	16
一、平面一般力系的简化.....	16
二、平面一般力系的平衡条件.....	16
三、固定端约束的受力分析.....	19
第六节 静力学问题求解方法小结	21
一、如何确定研究对象.....	21
二、如何画分离体受力图.....	21
三、如何建立直角坐标系.....	21
四、如何应用静力平衡方程.....	21
五、静力学能够解决问题的范围.....	21
本章小结	22
一、学习要点.....	22
二、检测题.....	23
习题	24
第二章 金属的力学性能	28
第一节 弹性体的变形与内力	28
一、变形与内力的概念.....	28
二、变形的度量.....	28
三、直杆受拉(压)时的内力.....	29

四、受拉(压)直杆内的应力	31
第二节 材料的力学性能	32
一、拉伸试验	32
二、压缩试验	37
三、温度对材料的力学性能的影响	38
四、金属的缺口冲击试验	40
五、硬度试验	41
六、弯曲试验	42
本章小结	43
一、学习要点	43
二、检测题	44
习题	45
第三章 受拉(压)构件的强度计算与受剪切构件的实用计算	47
第一节 受拉直杆的强度计算	47
一、强度条件的建立与许用应力的确定	47
二、强度条件应用举例	48
第二节 拉(压)杆连接部分的剪切和挤压强度计算	49
一、剪切变形与剪力	49
二、连接零件剪切强度的实用计算	50
三、某些连接零件的挤压强度计算	51
本章小结	53
一、学习要点	53
二、检测题	54
习题	54
第四章 直梁的弯曲	56
第一节 弯曲概念与梁的分类	56
一、弯曲变形的宏观表现与实例	56
二、梁的几何形状和名称	56
三、梁上的外力、梁的支座及分类	57
第二节 梁的内力分析	59
一、梁横截面内的两种内力	59
二、剪力与弯矩的计算	61
第三节 纯弯曲时梁的正应力及正应力强度条件	66
一、梁横截面内任意指定点处的正应力	67
二、正应力的强度条件	71
三、梁的合理截面	75
第四节 直梁弯曲时的剪应力	75
一、矩形截面梁	75
二、工字形截面梁	76
三、环形截面梁	76

四、实心圆截面梁	77
第五节 梁的变形——梁弯曲时的位移	78
一、梁的挠度和转角	78
二、梁的弹性曲线	78
三、梁的刚度校核	79
本章小结	81
一、学习要点	81
二、应掌握的运算方法	83
习题	83
第五章 圆轴的扭转	85
第一节 圆轴扭转时所受外力的分析与计算	85
一、搅拌轴的三项功能	85
二、 n 、 p 、 m 之间的关系	86
第二节 纯剪切、角应变、剪切虎克定律	86
一、纯剪切	86
二、角应变	88
三、剪切虎克定律	88
第三节 圆轴在外力偶作用下的变形与内力	89
一、变形分析	89
二、扭转剪应力及其分布规律	89
三、横截面的内力矩——扭矩	90
四、扭矩与扭转变形 $d\varphi/dx$ 之间的关系	90
五、扭转剪应力的计算公式	90
六、扭转角的计算	91
第四节 圆轴扭转时的强度条件与刚度条件	92
一、圆轴扭转时的强度条件	92
二、圆轴扭转时的刚度条件	92
本章小结	95
一、学习要点	95
二、检测题	96
习题	97

第二篇 压力容器

第六章 压力容器与化工设备常用材料	99
第一节 金属的晶体结构	99
一、金属原子结构的特点与金属键	99
二、金属的晶体结构	99
第二节 铁碳合金	100
一、什么是铁碳合金	100
二、铁碳平衡状态图	102

三、过冷奥氏体的恒温转变·····	103
四、钢的热处理·····	105
第三节 碳素钢·····	107
一、碳钢的分类和牌号·····	107
二、碳钢的性能·····	108
三、碳钢的品种·····	108
第四节 合金钢·····	113
一、合金元素对钢材性能的影响·····	113
二、低合金钢·····	113
三、高合金钢·····	118
第五节 压力容器用钢板的检验·····	121
第六节 锻件与紧固件·····	123
一、锻件·····	123
二、紧固件·····	125
第七节 铸铁·····	127
一、铸铁的分类·····	127
二、灰铸铁·····	128
三、球墨铸铁·····	129
四、可锻铸铁·····	130
五、耐蚀铸铁·····	131
六、耐热铸铁·····	132
第八节 铜及铜合金·····	133
一、加工铜·····	133
二、加工黄铜·····	133
三、青铜·····	134
四、白铜·····	135
五、铸造铜合金·····	135
六、铜及铜合金用于压力容器时的规定·····	136
第九节 铝及铝合金·····	136
一、变形铝及铝合金的分类和牌号·····	136
二、变形铝及铝合金的性能和用途·····	138
第十节 钛及钛合金·····	139
一、分类与牌号·····	139
二、性能特点·····	139
三、应用·····	140
习题·····	140
第七章 压力容器中的薄膜应力、弯曲应力与二次应力·····	142
第一节 回转壳体中的薄膜应力·····	142
一、容器壳体的几何特点·····	142
二、回转壳体中的拉伸应力·····	144

第二节 圆形平板承受均布载荷时的弯曲应力	149
一、平板的变形与内力分析	149
二、弯曲应力与薄膜应力的比较和结论	151
第三节 边界区内的二次应力	151
一、边界应力产生的原因	151
二、影响边界应力大小的因素	152
三、边界应力的性质	153
四、回转壳体内部的边界应力	154
第四节 强度条件	154
一、对薄膜应力的限制	154
二、对一次弯曲应力的限制	158
三、对二次应力的限制	160
本章小结	161
一、学习要点	161
二、检测题	162
习题	163
第八章 内压力容器	164
第一节 设计参数的确定	164
一、容器直径	164
二、工作压力与设计压力 p	164
三、设计温度 t	165
四、计算压力 p_c	166
五、许用应力 $[\sigma]'$	166
六、焊接接头系数 φ	171
第二节 内压力容器筒体与封头厚度的计算	171
一、内压圆筒的五种厚度及其确定方法	171
二、内压凸形封头厚度计算	175
三、内压锥形封头厚度计算	179
四、平板形封头	182
五、计算厚度的通用式	185
第三节 在用压力容器的强度校核	185
一、在用压力容器强度校核的原则	185
二、强度校核的思路、公式和举例	186
三、在用压力容器的许用内压表	194
第四节 容器筒体与封头的尺寸和质量	194
一、圆柱形筒体的容积、内表面积和质量	194
二、标准椭圆形封头的容积、内表面积和质量	196
三、锥形封头的几何量与质量	198
第五节 容器壳体在材料使用上的规定	202
一、钢板用前的验收	202

二、压力容器在选材、用材上的规定·····	202
本章小结·····	204
一、学习要点·····	204
二、关于锥壳厚度计算方法的说明·····	205
三、检测题·····	206
习题·····	207
第九章 外压力容器与压杆的稳定计算·····	209
第一节 稳定的概念与实例·····	209
一、稳定的概念·····	209
二、“稳定”问题实例·····	209
第二节 外压圆筒环向稳定计算·····	210
一、临界压力的计算·····	210
二、材料的 σ - ϵ 曲线在稳定计算中的应用·····	212
三、许用外压的计算·····	213
第三节 封头的稳定计算·····	224
一、外压球壳与凸形封头的稳定计算·····	224
二、外压带折边锥形封头的稳定计算·····	228
三、防止内压凸形封头失稳的规定·····	229
第四节 真空容器加强圈的计算·····	230
一、真空容器加强圈所需最小截面惯性矩的计算·····	231
二、真空容器加强圈实际提供的截面惯性矩的计算·····	233
第五节 压杆稳定计算简介·····	235
一、理想压杆的临界载荷·····	235
二、临界应力 欧拉公式的适用范围·····	236
三、柔度 $\lambda < \lambda_p$ 的压杆临界应力的计算·····	238
四、压杆稳定的实用计算·····	239
第六节 圆筒的轴向稳定校核·····	242
一、什么情况下需要校核圆筒的轴向稳定性·····	242
二、轴向稳定许用应力的确定·····	242
本章小结·····	244
一、学习要点·····	244
二、检测题·····	244
习题·····	245
第十章 法兰连接·····	247
第一节 压力容器法兰连接·····	247
一、法兰连接的密封原理·····	247
二、法兰连接受力分析及其实用结论·····	247
三、压力容器法兰标准·····	249
第二节 管法兰连接·····	273
一、管法兰·····	273

二、密封垫片	286
三、紧固件	294
第十一章 人孔、手孔、视镜和液面计	298
第一节 人孔和手孔	298
一、容器上开设人孔、手孔的规定	298
二、碳素钢与低合金钢人孔、手孔	298
三、不锈钢人孔、手孔	308
第二节 视镜与液面计	311
一、视镜	311
二、液面计	313
第十二章 开孔补强与设备凸缘	324
第一节 开孔补强	324
一、问题的提出——容器接管附近的应力集中	324
二、补强结构与计算	326
三、容器上开孔及补强的有关规定	335
第二节 设备凸缘	337
一、法兰凸缘	337
二、管螺纹凸缘	339
第十三章 容器支座	340
第一节 卧式容器支座	340
一、鞍式支座的结构与类型	340
二、鞍座尺寸与质量	341
三、鞍座的选用	344
四、鞍座标记	345
第二节 立式容器支座	346
一、耳式支座	346
二、支承式支座	353
三、腿式支座	359
第十四章 容器的焊接结构	363
第一节 焊接接头及其分类	363
一、焊接接头	363
二、压力容器上的焊接接头分类	365
第二节 压力容器中的焊接接头	366
一、容器筒体的纵向、环向对接接头及钢板的拼接接头	366
二、筒体与封头连接的非对接接头	369
三、容器法兰与筒体连接的焊接接头	370
四、管法兰与接管的焊接接头	372
五、接管与壳体的焊接接头	373
六、法兰凸缘与壳体的焊接接头	377
第三节 焊接接头的检验	378

一、焊接接头缺陷·····	378
二、焊接检验要点·····	378
第四节 焊接材料·····	379
第十五章 压力容器的监察管理与定期检验 ·····	383
第一节 压力容器的监察管理·····	383
一、对压力容器实施监察管理所依据的法规文件·····	383
二、《容规》的适用范围·····	383
三、压力容器的划类·····	384
四、压力容器的设计管理与制造管理·····	386
五、压力容器的使用管理·····	387
第二节 压力容器的定期检验·····	388
一、定期检验的目的·····	388
二、定期检验的类别和期限·····	388
三、定期检验的内容和要求·····	389
四、压力容器的安全状况等级·····	389
五、压力试验·····	390
六、气密试验·····	391

第三篇 典型化工设备

第十六章 管壳式换热器 ·····	392
第一节 管壳式换热器的总体结构·····	392
一、固定管板式换热器·····	392
二、浮头式换热器·····	392
三、U形管式换热器·····	395
四、填料函式换热器·····	396
第二节 管壳式换热器的主要零部件·····	397
一、壳体·····	397
二、管箱·····	402
三、管束·····	402
四、管板·····	407
五、波形膨胀节·····	410
六、折流板和支持板及其固定结构·····	417
七、其他结构·····	420
第十七章 板式塔 ·····	422
第一节 概述·····	422
第二节 整块式塔盘的板式塔·····	422
一、定距管支承式塔盘·····	423
二、重叠式塔盘·····	424
三、塔盘圈与密封结构·····	425
四、降液管、溢流堰、出口液封盘·····	427

第三节	分块式塔盘板式塔	429
一、	组装结构	429
二、	塔盘板与通道板	430
三、	分块式塔盘的支持结构	431
四、	塔盘、出口堰、降液板、受液盘的固定	431
第四节	板式塔的其他结构	438
一、	板式塔盘上的进料管	438
二、	塔顶吊柱	439
三、	裙式支座	442
四、	塔的保温装置	444
第十八章	反应釜	446
第一节	反应釜的总体结构	446
一、	釜体	446
二、	传热装置	446
三、	搅拌传动装置	446
第二节	釜体及传热装置	446
一、	釜体的尺寸	446
二、	釜体的传热装置	457
第三节	传动装置	462
一、	总体结构——传动装置的系统组成	462
二、	凸缘法兰	462
三、	安装底盖	463
四、	机架	466
五、	传动轴	469
六、	联轴器	470
七、	填料密封	472
八、	机械密封	473
九、	公差与配合的基础知识	478
第四节	搅拌装置	484
一、	搅拌器的功能	484
二、	搅拌器的液体流动状态	485
三、	常用搅拌器的形式、主要尺寸和特性参数	485
附录	型钢	490
一、	工字钢	490
二、	槽钢	491
三、	等边角钢	492
四、	不锈钢等边角钢	495
检测题与习题的参考答案		497

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，即有一定的强度。
- (2) 不发生超出许可的变形，即有一定的刚度。
- (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。讨论的重点是强度问题。

本课程的研究对象是化工设备。构成化工设备的元件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，它的一些概念和结论可以移植到平板与壳体的变形和应力分析中去，所以对于杆件做一些必要的公式推导。提请要注意的是，要重视在公式推导过程中可以得到的某些有用的概念和启示，而不仅仅满足于最后得到的公式本身。依据课程性质与教学要求，对于平板与壳体的计算公式推导，有的是用与杆件类似的比较简单的方法论证，有的则是利用已有的一些力学基础理论的概念，采用定性说明的方法论证。

本篇讨论的对象虽然是杆件，但解题的思路、方法和结论，对于后续章节的学习也是十分重要的。

本篇共包括五章。第一章讨论刚体的受力分析及其平衡规律，第二章讨论材料在外力作用下所显示的力学性能，第三章到第五章研究构件在不同形式外力作用下所产生的变形，内力及其强度计算。

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外力。图 1-1(a) 示一矩形水箱放在两个墙垛子上，水箱受重力 G ，水箱在重力 G 作用下之所以没有掉下来，显然是因为有墙垛子托住它，墙给水箱的支持力应该是垂直向上的[图 1-1(b)]。

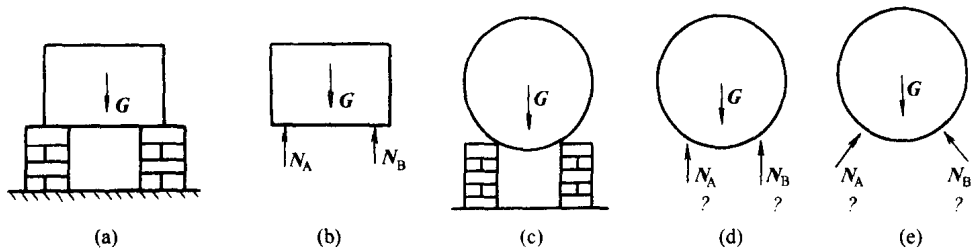


图 1-1 受力分析应解决的问题

如果水箱是圆筒形，也放在两个墙垛上[图 1-1(c)]，墙垛给水箱的支持力是垂直向上[图 1-1(d)]，还是倾斜[图 1-1(e)]的呢？如何确定这两个支持力的力线方位，就是受力分析

要研究的问题。

支持力的力线方位确定以后，还得解决力的大小问题。譬如说作用在圆筒上支持力 N_A 和 N_B 的力线方位已经确定[图 1-1(e)]，如何从已知力 G 求取未知力 N_A 和 N_B 的大小呢？要从 G 求取 N_A 和 N_B ，就得寻找 G 和 N_A 、 N_B 的内在联系，探讨这个内在联系就是讨论平衡规律的目的。

举上边这个简单例子是要说明：这一章讨论的核心问题是如何从已知外力求取未知外力。解决这个问题分两步：第一步是通过受力分析正确确定未知外力的力线方位；第二步是探索物体受力平衡规律，并利用它求取未知外力。

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中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，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，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，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，当称物体为刚体时，就意味着不去考虑力对它的内效应。在这一章研究的对象都是刚体，讨论的是力的外效应。

力是矢量，图示时可用一带箭头的有向线段表示，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} 、 \vec{Q} 等表示矢量，以白体字 F 、 P 、 Q 等表示力的大小。

力有集中力和分布力之分。按照国际单位制，集中力的单位用牛顿（N），千牛顿（kN）；分布力的单位是牛顿/米²（N/m²），又称帕斯卡（Pa）和兆帕（MPa）。1MPa = 10⁶Pa，相当于 1N/mm²。

二、力的基本性质

1. 力的可传性

作用在刚体上的力，可以沿其作用线移到刚体上的任一点而不改变力对该刚体的外效应。

例如作用在小车 A 点有一力 F [图 1-2 (a)]，在沿力 F 的作用线上任取一点 B，设想在 B 点沿力 F 的作用线增加作用一对等值、反向、共线的力 F_1 和 F_2 [图 1-2 (b)]，使 $F_1 = F_2 = F$ 。由于 F_1 与 F_2 对小车的效应互相抵消，所以增加了 F_1 与 F_2 以后，三个力作用