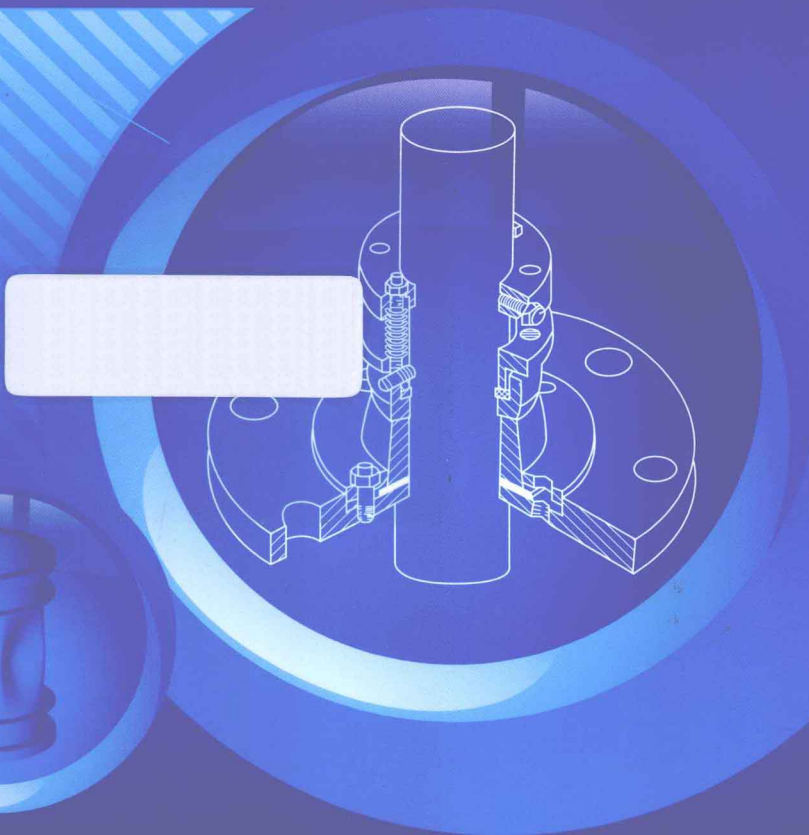


“十二五”普通高等教育规划教材

化工设备机械基础

郭建章 马迪 主编

HUAGONG SHEBEI
JIXIE JICHU



化学工业出版社

“十二五”普通高等教育规划教材

化工设备机械基础

郭建章 马 迪 主 编
袁国兴 高交运 副主编
闫 芳 张利强 芦静蓉 姜振华 参 编
孟庆东 郑纯智 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

对化工、材料、石化、生物、制药工程等非机械类专业的学生来说,“化工过程装备机械基础”(简称“化工机械基础”)课程是他们学习机械基础理论、认知机械产品结构、了解化工过程装置的唯一途径。为此,本书编写内容涉及4个方面:①工程力学基础,②工程材料基础,③化工容器及设备基础,另外以电子版形式提供,④机械传动与液压传动基础。

本教材的培养目标群体为应用型人才,在教学内容选择和处理上以应用为目的,强调具有化工背景的机械基础知识综合应用能力的培养。教材涉及的专业面广泛,强调工程实际和工程技能,符合现代企业、社会对人才需求的定位。

本书可供一般本科院校,或部分高职高专学校的化工、材料、石化、制药等工艺、工程类专业选用。亦可供工程技术和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工设备机械基础/郭建章,马迪主编. —北京:化学工业出版社,2013.9
“十二五”普通高等教育规划教材
ISBN 978-7-122-18084-1

I. ①化… II. ①郭… ②马… III. ①化工设备-高等学校-教材②化工机械-高等学校-教材 IV. ①TQ05

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第172995号

责任编辑:刘俊之
责任校对:宋 玮

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张14½ 字数367千字 2013年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

前 言

对化工、材料、石化、生物、制药工程等非机械类专业的学生来说,要学习机械基础理论、认知机械产品结构、了解化工过程装置,选择本课程是既快又好的途径。为了达到此目的,本教材选编了4方面内容:工程力学基础、工程材料基础、化工容器及设备基础,另外“机械传动与液压传动基础”方面的内容以电子版的方式提供。

本教材以培养高级应用型人才为目标,教学以知识应用为主,既解决了非机械类专业学生学完机械基础系列课程后对机械没有一个整体概念、不能应用机械基础知识解决实际问题;又缓解了当前各高校学时不断减少而新知识不断扩充的矛盾,对当前教育教学改革具有较好的促进作用。

1. 教材的特色

(1) 体现了“专业”的特色,教材紧紧围绕培养高级应用型人才的化工及近化工专业学生的知识积累进行教学,教材内容的选取做到有的放矢,重点放在化工设备装置的设计、表达和选用,力争使学生对专业方面的技能深入了解并领会。

(2) 体现了“产品”的特色,作为主要针对高等院校非机械类学生的教材,将机械结构及机械设计,用典型机械产品引出、讲解,进而细化并使学生掌握,先感性再理性,并通过机械产品引入工程背景和工程知识,教材中插图采用相关工程产品,符合学生的认知规律和学生的实际水平,可达到良好的教学效果。

(3) 体现了“应用”的特色,有关基础理论的教学内容以“必需、够用”为度,以掌握概念、强化应用为重点,精减繁杂的理论分析及公式推演过程,解决了学时日益缩减与新知识新内容不断扩充之间的矛盾。教材注意结合工程实际提出问题、分析问题和解决问题,通过工程案例,巧妙地将工程力学、工程材料、化工容器及设备等知识点以工程应用为纽带结合在一起,力求从根本上杜绝非机械类学生完成化工机械工程基础的学习后,对机械没有一个整体概念的那种“只见树木,不见森林”的陈旧的教学模式,为培养学生正确的思维方法打下基础。

2. 教材的创新点

(1) 教材将机械工程基础作为一个有机的整体,强调各学科知识的相互渗透与相互衔接,注重工程背景知识的引入。

(2) 教材与以往同类教材相比在知识点引入、运用方面进行了改革,以解决工程实际问题为切入点,以培养学生运用知识能力为目标,教给学生的不再是枯燥的公式和推理,而是解决工程问题的工具和技能。

(3) 教材形式上的创新。学习本课程的院校、专业众多,但随着教学改革的发展,各院校教学大纲的要求不同,学时数也有差异。如讲授“机械传动与液压传动基础”的院校不是很普遍。因此这部分内容以电子书稿的形式提供。学习这部分内容的院校教师可在化学工业出版社教材服务网(www.cipedu.com.cn)上下载。另外,为了教与学的方便,还编有电子课件,同样可以在该网站上查询。

本书可供一般院校的本、专科学生，高职、函授等的化工、材料、石化、制药等工艺、工程类专业选用。亦可供工程技术和管理人员参考。

本书由郭建章、马迪任主编。参加本书编写的有郭建章、马迪、高交运、袁国兴、闫芳、张利强、芦静蓉、姜振华、田俊锋等。由青岛科技大学孟庆东教授和江苏理工学院郑纯智博士对全书进行了细致审稿。

本书出版得到编者们在所在院校，以及化学工业出版社编辑的大力支持与帮助。谨此一并对上述单位和个人表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中难免有不妥或遗漏，敬请广大教师及读者批评指正。

编者

2013年6月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 工程力学基础

第一章 力的基本概念和物体的受力分析	4
第一节 静力学的基本概念	4
一、力的概念	4
二、刚体的概念	5
三、平衡的概念	5
四、力的四个公理	5
五、力的投影	6
六、力矩的概念	7
七、力偶的概念	8
八、力的平移	9
第二节 物体的受力分析与受力图	9
一、主动力和约束反力	9
二、常见的约束形式和确定约束反力的分析	10
三、画受力图	11
习题	12
第二章 平面力系的平衡	14
第一节 平面汇交力系的平衡	14
一、平面汇交力系的概念与实例	14
二、平面汇交力系平衡的条件和平衡方程	14
第二节 平面力偶系的平衡条件	15
第三节 平面任意力系平衡条件	15
一、平面任意力系的概念与实例	15
二、平面任意力系的平衡方程	16
三、固定端约束	17
习题	18
第三章 杆件的拉伸与压缩变形	20
引言	20
第一节 轴向拉伸与压缩的概念与实例	21
第二节 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力	21
一、构件内力的概念	21
二、截面法和轴力	21
第三节 轴向拉伸(压缩)时横截面上的应力	22
一、应力的概念	22

二、拉(压)杆截面上的应力	23
三、轴向拉伸或压缩时的变形	23
第四节 拉伸和压缩时材料的力学性能	24
一、拉伸时材料的机械性质	25
二、材料在压缩时的力学性能	27
三、温度对材料力学性能的影响	27
第五节 拉伸和压缩的强度计算	28
一、安全系数和许用应力	28
二、拉伸和压缩时的强度条件	29
习题	30
第四章 剪切和挤压	32
第一节 剪切和挤压的概念	32
一、剪切的受力特点和变形特点	32
二、挤压的受力特点和变形特点	33
第二节 剪切与挤压强度实用计算	33
一、剪切的实用计算	33
二、挤压的实用计算	34
习题	36
第五章 圆轴扭转	37
第一节 扭转概念、外力偶矩和扭矩的计算	37
一、扭转概念	37
二、外力偶矩和扭矩的计算	37
第二节 圆轴扭转时的应力及强度条件	39
一、圆轴扭转时的应力	39
二、圆轴扭转强度条件	40
第三节 圆轴扭转变形和刚度条件	42
一、圆轴扭转时的变形计算	42
二、刚度条件	42
习题	43
第六章 直梁平面弯曲	45
第一节 弯曲和平面弯曲的概念与实例	45
第二节 梁的内力——剪力和弯矩	46
第三节 剪力图和弯矩图	47
一、剪力图和弯矩图绘制的基本方法	47
二、剪力图和弯矩图的查表法与叠加法	49
第四节 弯曲时应力	50
一、弯曲时梁横截面上的应力	51
二、梁弯曲时任一截面上弯曲正应力的最大值	52
三、截面的惯性矩和抗弯截面系数	52
第五节 梁的强度计算	53
一、梁弯曲正应力强度条件	54

二、梁的强度条件计算举例	54
第六节 梁的弯曲变形计算和刚度	55
一、梁的弯曲变形的利弊	55
二、梁变形的度量——挠度	55
三、梁的刚度条件	56
习题	57
第七章 组合变形的强度计算	58
第一节 组合变形的概念与实例	58
第二节 拉伸（或压缩）与弯曲的组合变形	58
第三节 应力状态理论和强度理论简介	60
一、问题的提出	60
二、应力状态理论简介	60
三、强度理论简介	64
第四节 弯曲与扭转的组合变形	65
习题	68
第八章 压杆稳定	69
第一节 压杆稳定问题的提出	69
第二节 失稳分析	69
一、压杆平衡稳定性的概念	69
二、构件其他形式的失稳现象	70
三、理想压杆的临界力	70
四、欧拉公式的适用范围	71
第三节 细长压杆稳定性校核	72
习题	73
第九章 交变应力与动荷应力简介	74
第一节 交变应力与疲劳破坏的概念	74
一、交变应力的概念	74
二、疲劳破坏的概念	75
第二节 材料的持久极限	75
第三节 动荷应力	76
一、构件做等加速直线运动时的动荷应力	76
二、构件做等角速度转动时的动荷应力	77
三、构件受冲击时的动荷应力的概念	78
习题	78

第二篇 化工过程设备常用的材料

第十章 金属材料	80
第一节 金属材料的主要性能	80
一、力学性能（机械性能）	80
二、金属材料加工工艺性能	81
三、物理性能	81

四、耐腐蚀性	81
第二节 金属材料的种类和用途	82
一、黑色金属材料	82
二、有色金属及其合金	85
第三节 金属材料的热处理	87
一、金属材料热处理的概念	87
二、热处理工艺过程	87
三、热处理的分类	87
习题	89
第十一章 非金属材料 and 复合材料简介	90
第一节 有机非金属材料	90
一、工程塑料	90
二、橡胶	91
第二节 无机非金属材料	91
第三节 复合材料简介	91
一、复合材料的性能特点	92
二、常用复合材料的应用	92
习题	92
第十二章 化工过程设备材料的防腐与选择	93
第一节 金属材料的腐蚀与防护	93
一、腐蚀的基本概念	93
二、金属腐蚀的类型及原理	93
三、金属腐蚀破坏的特征	94
四、防腐措施	95
第二节 化工设备用钢的选材基本原则	96
习题	96

第三篇 化工容器及设备基础

引言	98
一、化工机械的概述	98
二、化工生产的特点	99
三、化工生产对化工设备的基本要求	99
四、化工生产操作和化工设备维护	100
五、学习化工设备机械基础课程的目标	100
第十三章 压力容器设计概述	101
第一节 压力容器的基本结构	101
第二节 压力容器的分类	102
一、按压力等级分类	102
二、按容器在生产中的原理与作用分类	102
三、按安装方式分类	103
四、按安全技术管理分类	103

第三节	压力容其常用标准规范简介	105
一、	美国 ASME 规范	106
二、	英国 BS5500 规范	107
三、	日本 JISB8270 《压力容器（基本标准）》	107
四、	德国 AD 规范	107
五、	国内固定式压力容器标准规范	107
第四节	压力容器零部件的标准化	108
一、	标准化的意义	108
二、	容器零部件标准化的基本参数	109
习题		111
第十四章	内压薄壁容器的应力分析	112
第一节	回转壳体的几何概念	112
第二节	回转壳体的应力理论	113
一、	无力矩理论的基本方程	114
二、	无力矩理论的应用范围	115
第三节	无力矩理论在典型壳体中的应用	116
第四节	边缘应力	119
一、	边缘应力的概念	119
二、	边缘应力的特性	120
三、	边缘应力的处理	121
习题		121
第十五章	内压薄壁容器的设计	123
第一节	常规压力容器的设计准则	123
一、	压力容器的失效	123
二、	压力容器的弹性失效设计准则	123
三、	强度理论	124
第二节	内压圆筒和内压球壳的强度设计	124
一、	内压圆筒	124
二、	内压球壳	125
三、	设计参数的确定	125
第三节	内压封头的设计	130
第四节	容器的压力试验	137
一、	压力试验的目的	137
二、	压力试验的对象	138
三、	试验方法	138
四、	试验压力及应力校核	138
习题		140
第十六章	外压容器设计	142
第一节	概述	142
一、	外压容器的失稳形式	142
二、	临界压力及其影响因素	142

第二节 外压圆筒的稳定性计算	144
一、临界压力的计算	144
二、临界长度	145
三、临界压力计算公式的应用条件	145
四、材料的 σ - ε 曲线在稳定计算中的应用	146
五、临界应力与临界应变	146
第三节 外压圆筒的设计计算	147
一、解析法	147
二、图算法的原理	147
第四节 外压封头的设计计算	152
一、外压凸形封头	152
二、外压锥壳	153
第五节 加强圈设计	156
一、加强圈的作用与结构	156
二、加强圈的设计计算	156
习题	157
第十七章 压力容器零部件	158
第一节 法兰	158
一、法兰连接的结构及密封原理	158
二、法兰类型	159
三、法兰密封面选择	160
四、垫片选择	160
五、法兰刚度	160
六、法兰标准	161
第二节 支座	162
一、卧式容器支座	162
二、立式容器支座	162
第三节 容器开孔与补强	164
一、开孔补强的原因	164
二、补强方法和常用补强结构	164
第四节 压力容器附件	165
一、人孔和手孔	165
二、视镜	166
三、液面计	167
四、设备吊耳	167
习题	168
第十八章 管壳式换热设备	170
第一节 概述	170
第二节 管壳式换热器的形式	170
一、固定管板式换热器	170
二、浮头式换热器	171

三、填料函式换热器	171
四、U形管式换热器	171
第三节 管壳式换热器的结构设计	172
一、换热管的选用	172
二、换热管在管板上的排列	172
三、换热管与管板的连接方法	173
四、管板与壳体的连接	175
五、管箱与管束分程	175
六、挡板与导流筒	176
七、折流板、支撑板、旁路挡板	176
八、膨胀节	178
第四节 管壳式换热器设计与型号选择	178
一、固定管板式换热器的工艺计算及基本参数的确定	178
二、换热器的型号	179
习题	180
第十九章 塔设备	181
第一节 概述	181
一、塔设备的应用	181
二、对塔设备的要求	181
三、塔设备的分类及总体结构	181
第二节 板式塔	183
一、整块式塔盘的板式塔	183
二、分块式塔盘的板式塔	186
第三节 填料塔	188
一、填料的支承装置	188
二、液体分布装置	189
三、液体再分布装置	192
第四节 塔设备的附件	193
一、除沫器	193
二、裙座	193
习题	195
第二十章 搅拌反应设备	196
第一节 概述	196
一、搅拌的目的	196
二、搅拌反应釜的基本结构	196
三、搅拌反应釜机械设计的依据	197
四、搅拌反应釜机械设计的内容	197
第二节 釜体与传热装置	198
一、釜体几何尺寸的确定	198
二、夹套的结构与尺寸	199

三、釜体和夹套壁厚的确定·····	201
四、蛇管的布置·····	202
五、工艺接管·····	203
第三节 搅拌装置·····	205
一、搅拌器的形式与选用·····	205
二、搅拌器的选型·····	207
三、流型·····	208
四、搅拌附件·····	209
五、搅拌轴·····	210
第四节 传动装置·····	212
一、电动机·····	213
二、减速器·····	213
第五节 轴封装置·····	213
一、填料密封·····	214
二、机械密封·····	215
三、机械密封与填料密封的比较·····	218
习题·····	218
参考文献·····	219

第四篇 机械传动与液压传动基础

(电子版, www.cipedu.com.cn)

第二十一章 带传动链传动	第三节 销连接
第一节 带传动的类型、结构和特点	习题
第二节 带传动安装、张紧、使用和维护	第二十四章 轴及联轴器
* 第三节 带传动的工作特性分析	第一节 轴的分类和结构
* 第四节 普通 V 带传动的设计计算	第二节 轴的材料
习题	第三节 轴的强度计算
第二十二章 齿轮传动	第四节 联轴器
第一节 齿轮传动的原理类型、特点及应用	习题
第二节 渐开线直齿圆柱齿轮的主要参数	第二十五章 轴承
第三节 直齿圆柱齿轮的正确啮合条件连续传动条件	第一节 滑动轴承
第四节 直齿圆柱齿轮的结构	第二节 滚动轴承
第五节 斜齿圆柱齿轮传动	习题
第六节 齿轮传动的失效形式	第二十六章 液压传动与液压元件
第七节 齿轮常用的材料与齿轮的润滑	第一节 液压传动的工作原理及特点
第八节 蜗杆传动简介	第二节 液压传动系统的组成及符号绘制
第九节 减速器简介	第三节 液压传动的工作介质
习题	第四节 液压泵和液压马达
第二十三章 连接	第五节 液压控制阀
第一节 螺纹连接	第六节 液压基本回路
第二节 键连接	习题

绪 论

化工、材料、石油、采矿、轻纺、食品、医药等生产中都离不开设备机械。或者说，用机械和设备进行生产，是现代化生产的主要方式。可靠的、高效能的机械设备，是保证生产实施和确保产品质量的必要条件。因此，工程工艺类工程技术人员和管理人员，不可避免地会遇到许多化工机械设备方面的问题，如化工机械设备的选用、安装、调试、使用、维护以至于对设备进行必要的改造、革新等。要想妥善地解决这些问题，就应了解或掌握必要的化工机械方面的知识。因此，各种非机械类专业技术、管理人员不仅需要掌握足够的专业知识，还必须掌握一定的机械设备基础知识，才能适应现代化工业生产的需求。

但是对非机械类专业学生的教学，不可能设置机械方面的一系列课程。因此，把有关机械方面必要的基础知识和技术理论结合起来，培养学生对机械方面的基本分析能力及进行简单设计和选择设备的初步能力的任务，就由本课程来完成。

本教材内容由四部分组成，即①“工程力学基础”；②“工程材料基础”；③“化工容器及设备基础”和④“机械传动与液压传动基础”。

其中“工程力学”、“工程材料”和“机械传动与零件”这三部分属于机械技术基础知识，是化工设备机械设计、分析和制造的基础。非机械类学生所要掌握的不是其中的计算、分析技能，而是了解工程力学的基本分析方法，了解常用工程材料的种类、特性及处理方法等；了解常用机械传动与零件基础知识。这些知识都有独立的意义和应用。但就本课程来说，它们是为学习“化工容器及设备”服务的，或者说本门课程的核心是后者。

由此可见，《化工设备机械基础》是一门包含广泛内容的技术基础课，学生不仅要学会必要的化工设备机械基础知识，而且还需要受到一定的基础技能（如正确运算、查阅手册、图文表达等）训练，为以后顺利学习专业课和从事技术工作、管理工作奠定基础。

应该指出，本书旨在对机械方面的一般知识作一较系统的介绍，并不要求读者通过本书学习能具备复杂设计计算的能力。但是，本书在内容和作业编排上又具有一定的广度和深度，以便读者掌握必要的基本理论、基本知识和基本方法。

还应指出，本书所介绍的许多设计计算方法是尽可能简化了的。用它们可以解决一些简单的生产实际问题，但对于重要的复杂机械，则应采用更加精确和完善的设计方法。这类方法一般都比较复杂，牵涉因素较多，需要较为深厚的理论作基础和完成较大的计算工作量，因此应参阅有关专著方能解决，本书一般仅提示解决方向，不作具体研究。

关于学习方法，应该注意到本书属于应用性质的课程，具有综合性和实践性较强的特点。在学习时不仅要注重理论性内容的学习，通过解题来提高运用基本理论去分析和解决问题的能力，还应注意实践能力的培养，并考虑通过实验以及对生活和生产中的现有机械观察、分析和比较，逐步掌握设计的基本方法。因此，学习时应做到理论与实践并重。

第一篇

工程力学基础

工程力学是一门包含广泛内容的学科。本书所研究的工程力学仅为“静力学”和“材料力学”两部分，是工程力学和机械工程计算的理论基础。故本篇命名为“工程力学基础”。

1. 学习工程力学基础的目的

生产中使用的任何机器或设备都是由许多形状各异的单件所组成的。这些单件通常称为构件。构件是机械设备的最小单元。经验和实验表明，任何机器或设备在工作时都要受到载荷的作用。这样，构件就受到各种各样的外力作用，而引起不同形式的变形。如果构件材料选择不适当或尺寸设计不合理，则在外力的作用下是不安全的：构件可能产生过大的变形，使设备不能正常工作；构件也可能发生破坏，从而毁坏整个设备；有的构件当外力达到某一值时，也可能突然失去原来的形状而破坏设备。因此，为了使机器或设备能安全而正常工作，在设计（或应用）时必须使构件满足以下几方面的要求：要有足够的强度，以保证构件在外力作用下不致破坏；要有足够的刚度，以保证构件在外力作用下不致发生过大的变形；还有的构件要有足够的稳定性，以保证构件在外力作用下不致突然失去原有的形态。

2. 工程力学基础的任务

工程力学的任务就是在对构件进行受力分析和计算的基础上，研究构件在外力作用下变形和破坏的规律，为设计构件时选择适当的材料和尺寸，以保证有足够的强度、刚度和稳定性，为使设备能够满足适用、安全和经济的要求等提供基础理论知识。

3. 工程力学基础的内容

化工机械设备构件，既有杆件也有平板和回转壳体。杆件的变形与应力分析较简单，但它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。本篇将讨论杆件的受力分析、强度计算与变形计算，以便为平板、回转壳体及传动零件的强度计算准备必要的理论基础。

第一章 力的基本概念和物体的受力分析

本章首先简介力学理论基础的几个基本概念和公理，然后介绍工程中常见的约束和约束反力的分析及物体的受力图。本章是工程力学以及工程设计计算的基础，是本课程中最重要章节之一。

第一节 静力学的基本概念

一、力的概念

1. 力及力的三要素

力是物体间的相互机械作用，力对物体的作用效果可分为两类：一类是使物体运动状态发生变化，称为力的运动效应或外效应；另一类是使物体形状或尺寸大小发生变化，称为力的变形效应或内效应。

实践证明，力对物体的效应取决于力的三个基本要素，简称为力三要素。只要其中任何一个量改变，该力对物体的作用效应就要改变。因此，力是一种矢量，可以记作 F ，如图 1-1 所示。这个矢量的长度（ AB ）按一定的比例尺表示力的大小；矢量的方向表示力的方向；矢量的始端（点 A ）或末端（点 B ）表示力的作用点；