

“十二五”规划大学教材

机械基础

孙国富 李奇平 主编



东北师范大学出版社
Northeast Normal University Press

图书在版编目 (CIP) 数据

机械基础 / 孙国富, 李奇平主编. —长春: 东北师范大学出版社, 2011. 9

ISBN 978 - 7 - 5602 - 7384 - 6

I. ①机… II. ①孙… ②李… III. ①机械学—教材
IV. ①TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 199359 号

☐责任编辑: 王春彦 ☐封面设计: 徐元清

☐责任校对: 张 琪 ☐责任印制: 张允豪

东北师范大学出版社出版发行

长春净月经济开发区金宝街 118 号 (邮政编码: 130117)

电话: 0431—85685389

传真: 0431—85685389

网址: <http://www.nenup.com>

电子函件: sdcbs@mail.jl.cn

东北师范大学出版社激光照排中心制版

北京市彩虹印刷有限责任公司印装

北京顺义区顺平路南彩段 5 号 (邮政编码: 101300)

2011 年 11 月第 1 版 2011 年 11 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 16.75 字数: 463 千

定价: 29.90 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 可直接与承印厂联系调换

前 言

本课程是一门机械类专业的技术基础课。内容主要包括：工程力学基础知识、常用机构、机械传动、常用零件基础知识等。通过学习，能使学生会专业课内容以及今后的实际工作和生活中分析解决机械类问题打下良好的基础。使学生掌握力学基础知识，掌握常用机构机械传动轴系零件的基本知识、工作原理及应用等问题，能对常用机械传动装置和螺纹联结进行功能分析及简易计算。

本书按照最新的高等学校机械基础教学大纲、最新的国家标准及行业标准的要求，根据职业教育培养高素质劳动者和初级、中级应用型人才的目标，以及大学生的认知水平和已有的知识、技能、经验和兴趣，打破传统的按照学科进行教材编写的模式，旨在开发与生产实际、技术应用密切联系的综合性教材，让学生在掌握专业基本知识和基本技能的基础上，及时了解和掌握本专业领域的最新技术及相关技能。

本书在编写时力图体现以下原则。

1. “教、学、做”合一的原则。理论以“定性”为主，突出应用，应知为应会服务，具有针对性、实用性和直观性，使师生的“教、学、做”合一。

2. 以就业为导向的原则。根据本专业毕业生将从事职业岗位的应知、应会要求设置课程内容，课程内容和教学要求具有一定的先进性和前瞻性，以增强毕业生的适应能力和竞争能力。

3. 课程结构和内容的综合化和模块化原则。本书融工程力学、机械工程材料、机械传动、常用机构及轴系零件、液压传动和气压传动等内容为一体，意在探索建立“以就业为导向，以全面素质为基础，以能力为本位”的适合高等职业教育的课程体系，力求达到理论联系实际和学以致用目的。

本书在编写过程中，参考借鉴了国内许多同类教材，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足和遗漏之处，恳请同行专家和读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 总论	1
1.1 机械的组成	1
1.2 机械制造的基本知识	2
1.2.1 机械制造的一般过程	2
1.2.2 机械设计基础与金属工艺学的关系	3
1.3 机械设计的基本准则	4
1.3.1 机械设计的基本要求	4
1.3.2 机械零件的工作能力和计算准则	4
1.4 本课程的性质、任务和学习内容	5
思考与习题	5
第 2 章 工程力学基础	6
2.1 力的概念及性质	6
2.1.1 力的基本概念	6
2.1.2 力的性质	7
2.2 力矩和力偶	8
2.2.1 力矩的概念和计算	8
2.2.2 合力矩定理	9
2.2.3 力偶	9
2.2.4 力偶的性质	10
2.3 约束和约束反力	10
2.3.1 主动力和约束反力	10
2.3.2 工程上常见的几类约束及其约束反力的确定	11
2.4 平面力系的平衡方程	13
2.4.1 力的平移定理	13
2.4.2 平面一般力系的简化	14
2.4.3 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	15
2.4.4 平面受力的特殊情况	16
2.5 受力图和受力分析	18
2.6 轴向拉伸和压缩	20
2.6.1 拉伸和压缩的概念	20

2.6.2	内力与截面法	20
2.6.3	应力和应变	22
2.6.4	零件拉伸与压缩时的应力—应变曲线	23
2.6.5	胡克定律	25
2.6.6	拉伸和压缩时的强度计算	26
2.6.7	压杆稳定性的概念	28
2.7	剪切和挤压	29
2.7.1	剪切和挤压的概念	29
2.7.2	剪力、剪应力与剪切强度条件	30
2.7.3	挤压的概念和强度条件	31
2.8	圆轴的扭转	33
2.8.1	圆轴扭转的实例与概念	33
2.8.2	扭转时的外力和内力	33
2.8.3	扭转时横截面上的应力	35
2.8.4	扭转的强度条件	37
2.9	直梁的弯曲	37
2.9.1	梁的弯曲实例与概念	37
2.9.2	梁横截面上的内力——剪力与弯矩	38
2.9.3	弯矩方程与弯矩图	39
2.9.4	梁弯曲时横截面上的正应力及其分布规律	41
2.9.5	梁弯曲时的强度条件	43
2.10	组合变形和交变应力	44
2.10.1	拉伸(压缩)和弯曲的组合	44
2.10.2	弯曲和扭转的组合	45
2.10.3	交变应力与疲劳破坏	47
	思考与习题	49
第3章	常用机构	51
3.1	平面连杆机构	51
3.1.1	运动副	51
3.1.2	类型	51
3.1.3	工作特性	56
3.2	凸轮机构	59
3.2.1	凸轮机构的组成、类型和应用	59
3.2.2	从动件常用运动规律	62
3.3	尖底移动从动件盘形凸轮轮廓线的基本原理及设计方法	66
3.4	间歇运动机构	67
3.4.1	棘轮机构	67
3.4.2	槽轮机构	70

目 录

3.4.3 不完全齿轮机构	71
思考与习题	72
第4章 工程材料	75
4.1 工程材料的分类	75
4.2 合金钢	75
4.2.1 合金钢概述	75
4.2.2 合金结构钢	76
4.2.3 合金工具钢	78
4.2.4 特殊性能钢及合金	80
4.3 有色金属及其合金	81
4.3.1 铝及铝合金	81
4.3.2 铜及铜合金	83
4.3.3 钛及钛合金	84
4.3.4 轴承合金	85
4.4 碳钢	86
4.4.1 碳钢的成分和分类	86
4.4.2 碳钢的牌号及用途	87
4.5 铸钢与铸铁	89
4.5.1 铸钢	89
4.5.2 铸铁	89
4.6 钢的热处理	92
4.6.1 普通热处理	92
4.6.2 表面热处理	93
4.6.3 化学热处理	94
4.6.4 热处理新技术	95
4.7 常用非金属材料	95
4.7.1 高分子材料	96
4.7.2 陶瓷材料	97
4.7.3 复合材料	97
思考与习题	98
第5章 连接	99
5.1 螺纹	99
5.1.1 螺纹的类型和应用	99
5.1.2 普通螺纹的主要参数	102
5.1.3 螺纹的代号与标注	103
5.2 螺旋传动	107
5.2.1 普通螺旋传动	107
5.2.2 差动螺旋传动	109

5.2.3 滚珠螺旋传动	111
5.3 键连接和花键连接	113
5.3.1 键连接	113
5.3.2 平键连接的选择与计算	114
5.3.3 花键连接	116
5.4 联轴器和离合器	116
5.4.1 联轴器	117
5.4.2 离合器	121
思考与习题	123
第6章 机械传动	125
6.1 带传动	125
6.1.1 带传动的工作原理、传动类型及应用	125
6.1.2 V带传动	129
6.2 链传动	134
6.2.1 链传动的工作原理	134
6.2.2 链传动的类型	136
6.3 齿轮传动	140
6.3.1 齿轮传动的类型和应用场合	140
6.3.2 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动	143
6.3.3 渐开线齿轮的失效形式	150
6.3.4 其他常用齿轮及传动	154
思考与习题	156
第7章 轮系	160
7.1 轮系的应用与分类	160
7.1.1 轮系分类	160
7.1.2 轮系的应用特点	161
7.2 定轴轮系传动比的计算	162
7.2.1 定轴轮系传动比的计算	162
7.2.2 定轴轮系中任意从动齿轮的转速计算	166
思考与习题	168
第8章 轴系	169
8.1 轴	169
8.1.1 概述	169
8.1.2 结构设计	171
8.2 滑动轴承	173
8.2.1 滑动轴承的摩擦状态	173
8.2.2 非液体摩擦滑动轴承	174

8.2.3 液体摩擦滑动轴承	177
8.3 滚动轴承	178
8.3.1 类型、特性与代号	179
8.3.2 类型选择	182
8.4 滚动轴承轴系的安装与调试	183
8.4.1 轴向固定方法	183
8.4.2 滚动轴承及轴上零件的轴向固定方法	184
8.4.3 轴承间隙及轴上零件位置的调整方法	186
8.4.4 滚动轴承的配合	187
8.5 联轴器、离合器和制动器	188
8.5.1 联 轴 器	188
8.5.2 离 合 器	190
8.5.3 制 动 器	193
思考与习题	194
第9章 液压与气压传动	196
9.1 液压传动原理特点	196
9.1.1 液压传动的基本原理	196
9.1.2 液压传动系统的组成	197
9.1.3 液压传动的特点和应用	198
9.2 液压传动的基本理论	199
9.2.1 液压油的种类及选用	199
9.2.2 液体压力的形成及传递	201
9.2.3 液体流量和平均流速	204
9.3 液压泵的工作原理	205
9.3.1 容积式液压泵的工作原理	205
9.3.2 液压泵的主要性能参数	206
9.3.3 齿轮泵的工作原理	208
9.4 液压缸的结构和特点	210
9.4.1 液压缸的分类	210
9.4.2 液压缸的结构	213
9.5 液压控制阀的结构特点	216
9.5.1 液压阀的基本结构与原理	216
9.5.2 方向控制阀	218
9.5.3 压力控制阀	221
9.5.4 流量控制阀	227
9.6 液压系统基本回路结构特点	229
9.6.1 压力控制回路	229
9.6.2 方向控制回路	232

9.6.3	速度控制回路	232
9.6.4	顺序动作回路	235
9.7	气压传动的组成、特点及应用	237
9.7.1	气压传动系统的组成	237
9.7.2	气压传动的特点	239
9.7.3	气压传动的应用	239
9.8	气动元件	240
9.8.1	气动执行元件	240
9.8.2	气动控制元件	242
9.8.3	气源装置及辅助元件	246
9.9	气动基本回路及系统实例	251
9.9.1	压力控制回路	251
9.9.2	速度控制回路	251
9.9.3	气液联动回路	252
9.9.4	延时控制回路	253
9.9.5	逻辑回路	253
9.9.6	气动系统实例	255
	思考与练习	258

第1章 总论

人类通过长期生产实践创造和发明了各种机械,用以减轻人类的体力劳动,提高劳动生产率,完成各种复杂的工作。早在古代,人类就知道利用杠杆、滚子、绞盘等简单机械从事建筑和运输。远在五千年前就使用了简单的纺织机械,在夏朝以前就发明了车子,晋朝的连机碓和水碾就应用了凸轮原理。西汉时的指南车和记里鼓车都应用了轮系。现代机械中应用的青铜轴瓦和金属的人字齿轮,在我国东汉时代的文物中可以找到它们的原始形态。随着生产发展的需要,人们设计制造了汽车、开采机、机床等各种各样的机器,在现代生产活动中发挥着巨大的作用。机器已成为人类不可缺少的生产工具,同时也是社会生产力发展的重要标志。

用机械进行生产实践,可以减轻劳动强度,提高生产效率,保证产品质量。了解机械的组成及其特点,对更好地发挥机械的作用,有着重要的意义。

1.1 机械的组成

机械是什么?机械是机器和机构的总称。

机器是执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物料(包括被加工对象、被搬运物体等)和信息。凡将其他形式的能量变换成机械能的机器统称为动力机器,如电动机、内燃机分别将电能和热能变换成机械能。凡利用机械能实现能量、物料、信息的变化或传递的机器统称为工作机,如金属切削机床、运输机、发动机、打字机、包装机、轧钢机、缝纫机、自行车等。

由于机器的种类繁多,其构造、性能和用途也各不相同。但如果从机器的组成部分和运动的确定性以及机器的功能关系来分析,凡是机器都有三个共同特征:

(1) 机器是由许多构件组合而成。例如图 1-1 所示的单缸内燃机,它是由气缸 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4 等构件组合而成的。

(2) 各构件之间有确定的相对运动。例如图 1-1 所示的活塞相对气缸的往复运动,曲轴相对两端轴承的连续转动。

(3) 能代替人的劳动,完成有用的机械功或转换能量。例如:金属切削机床能改变工件的外形尺寸,运输机能改变物体的空间位置,发电机可以把机械能转换为电能。打字机可以变换和传递信息等。

因此,机器就是构件的组合,各构件之间有确定的相对运动,并能代替人的劳动或实现能量的转换。

机器中的构件,就是指能作相对运动的物体,如图 1-1 气缸;2—活塞;3—连杆;4—曲轴

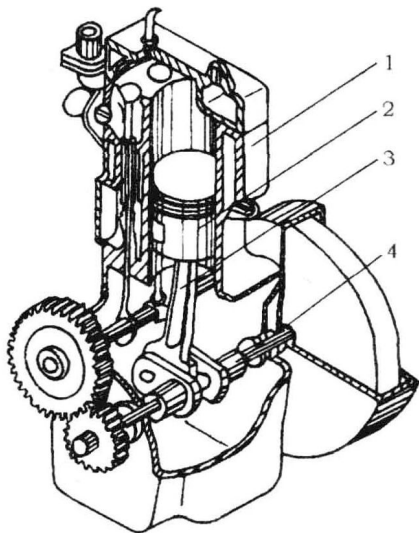


图 1-1 单缸内燃机

-1 中的气缸 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 等,都是构件。而组成构件的相互之间没有相对运动的物体称为零件。图 1-1 中的连杆是一个构件,它是由螺栓、连杆盖、螺母和连杆体等零件组成。因此,构件是运动的单元,而零件则是制造的单元。机构是由两个以上的构件通过运动副连接起来的组成体,它具有机器的前两个特征。机构是机器的主要组成部分。

机器与机构的主要区别在于:机器包含机构,机器除传递运动和力外,还能变换或传递能量、物料和信息,而机构只能传递运动和力。

综上所述,机器一般由各种机构组成,并有原动部分、传动部分和工作部分。机构则由构件组成,构件又由零件组成。因此,一般常以机械一词作为机构和机器的通称。

在机器中由一些零件组成的实体,具有特定的功能,称为部件,如轴承、联轴器、离合器等。

除机器外,另有一些静止的实物组合体有贮存或转化能量的作用,则称为装置,例如压力容器等。

各种机械中普遍使用的机构称为常用机构,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、步进传动机构等。各种机械中普遍使用的零件称为通用零件,如螺钉、轴、轴承、齿轮、弹簧等。只在某一类型机器中使用的零件称为专用零件,如内燃机的活塞、曲轴、汽轮机的叶片等。

1.2 机械制造的基本知识

1.2.1 机械制造的一般过程

各种机器制造的步骤由于其用途、性能要求和生产条件的不同,因而不尽一样,但大体说来,它们由设计到生产的一般过程和主要内容基本上是一致的。

1.2.1.1 机械设计的主要内容

1. 选择机器的工作原理

机器的工作原理是实现预期职能的根本依据。同样的预期职能可以采用不同的工作原理来实现,例如加工齿轮,可采取用刀具将齿轮的齿一个一个地切削出来的工作原理;而在某些情况下,也可以采取用压力加工的办法将齿轮所有的齿一次冲压出来的工作原理。显然,采用的工作原理不同,设计出来的机器也就根本不同。机器的工作原理是随着生产和科学技术的发展而不断发展的。人们不断探讨与创造更先进的工作原理,一台机器是否先进,在很大程度上决定于所采用的工作原理是否先进。选定机器的工作原理,需要广泛的基础知识、专业知识和实践经验。

2. 进行机器的运动设计

机器运动设计的任务是根据选定的工作原理,妥善地选择所需要的机构,拟定机器的机构组合方案,并进行机构的运动设计,把原动机的运动转变为执行部分预期的机械运动。

3. 进行机器的动力设计

机器的运动设计完成后,即可根据其所受载荷、工作速度以及机构运动简图中各构件的运动及动力参数对机器进行动力分析,以便确定出各构件所受的力以及机器所需的驱动功率,作为机器零件进行强度设计和为机器选择合适的原动机的依据。

4. 进行机械零、部件的工作能力设计及结构设计

为了使设计的机器能够实现预期的使用目的,要进行工作能力设计,并且还要根据零件的受

力情况、装配关系、工艺要求等确定出各零件的具体结构形状和尺寸。通过机械零部件的工作能力设计及结构设计,将机构运动简图改变为具体的装配图进而设计出全部零件图。

5. 进行工艺设计

机器及零件的结构、装配图纸全部完成后,要根据制造部门的生产条件,设计每个零件的加工工艺路线和总装配工艺。除此之外,还要设计出各加工过程的操作工艺规程(包括通用的和专用的),以及加工所必需的工艺装备,主要为工、量、卡具等。

1.2.1.2 机械的生产过程

一台机器的生产过程是指机器由原材料到成品之间的各个相互联系的劳动过程的总和,主要包括所需材料的购入、保管、生产准备工作,毛坯的制造,零件的加工,部件和机器的装配、检验、油漆以及包装等。

机械制造的基础之一——金属工艺学,是研究金属材料加工工艺的一门综合性科学,有热处理、铸造、压力加工、焊接和切削加工等。机械生产中的主要加工过程如图1-2所示:

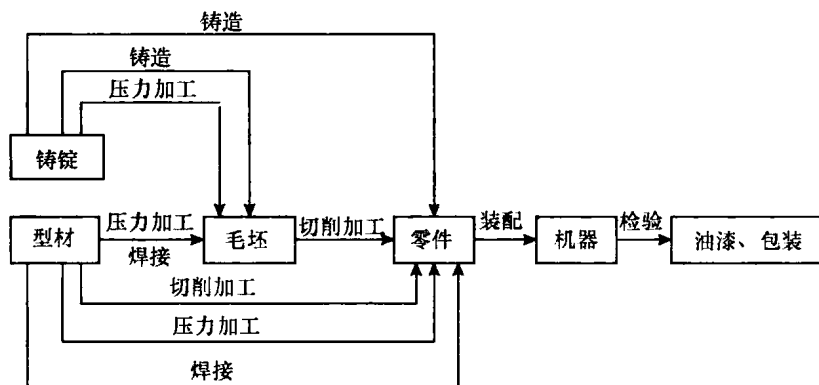


图1-2 机械的生产过程

组成机器的多数零件是先用铸造、压力加工或焊接等方法制成毛坯,再经切削加工而成。为了改善金属材料的某些性能,常需要进行热处理,最后将制成的各种零件加以装配,即成为机器。

在不同的机械制造工业中,各种金属加工方法所占地位及其产品比重有很大不同。例如金属结构和锅炉、船舶等,主要由钢板的焊接结构件组成,焊接就是主要的加工方法;机床的制造业中,铸件所占比重很大,铸造是主要的加工方法。

各种金属加工方法都在向着高质量、高生产率和低成本的方向迅速发展,因而机械零件的制造工艺也将随之发生变化。例如由于球墨铸铁的出现,一些铸件可代替一部分锻件。电火花、激光切割等无切削、少切削加工新工艺的发展,已使愈来愈多的零件改变了传统的制造工艺,节省了大量金属和加工工时,提高了劳动生产率。

1.2.2 机械设计基础与金属工艺学的关系

金属工艺学的主要内容是以零件加工方法和机械制造过程以及零、部件结构工艺性为中心,具有很强的实践性。对学生而言,是一门工艺入门课,此门课程必须具有感性知识的实习,熟悉了主要的金属加工方法、所用设备和工具,并具有一定的操作技能,再通过课堂讲授和多媒体教学手段,为以后有关课程的学习打下基础。

机械设计基础和金属工艺学有着紧密的联系,在设计机器及零件时,必须预知并熟悉其制造工艺,才能设计出工艺性良好的零件结构。机械设计与金属工艺学之间没有明显的界限,设计一台机器或零、部件往往又有设计问题,又有工艺问题,例如为解决加工工艺的工艺装备的设计就是如此。因而,机械设计师在一定程度上也应该是机械制造工艺师。

1.3 机械设计的基本准则

1.3.1 机械设计的基本要求

设计的机器、机构,虽然各自的工作条件不一,但均应满足以下基本要求。

1.3.1.1 满足使用要求

所设计的机械要有效地完成人们预期的目的,包括执行职能的可能性和可靠性。例如汽车在规定行驶里程内正常行驶,通风机在工作期限内有效进、排风量。这些要以正确设计和选择机构组合以及机械的零、部件来保证。

1.3.1.2 满足经济性的要求

机器力求结构简单,具有良好的结构工艺性能,使用中效率高、消耗低。尽量采用标准的零、部件,便于维修。同时在产品设计中自始至终都应把产品设计、销售(市场需要)及制造三方面作为一个整体考虑。只有设计与市场信息密切配合,在市场、设计、生产中寻求最佳关系,才能以最快的速度回收投资,获得满意的经济效益。

1.3.1.3 满足安全性要求

这一要求包括人身和机器设备两个方面。

1.3.1.4 满足其他特殊要求

有些机器和机构各自还有一些特殊要求,如高级轿车的变速箱齿轮有低噪声的要求;食品、纺织机械有不得污染产品的要求;经常搬动的机器要便于拆、装和运输;高温下工作的机器要有耐热的性能等。

1.3.2 机械零件的工作能力和计算准则

零件的工作能力是指在一定的运动、载荷和环境情况下,在预定的使用期限内,不发生失效的安全工作限度。衡量零件工作能力的指标称为零件的工作能力准则,例如,用于传递动力的轴不发生疲劳断裂,高速轴运转时不发生共振等。主要准则有强度、刚度、振动稳定性、寿命等。它们是计算并确定零件基本尺寸的主要依据,故称为计算准则。对于具体的零件,应根据它们的主要失效形式,采用相应的计算准则。

1.3.2.1 强度

机械零件强度不足而发生破坏,是目前大多数零件的主要失效形式。应保证零件在规定的使用情况下,不致发生断裂和永久变形。

1.3.2.2 刚度

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。其弹性变形量超过了许用值,就会因刚

度不够而失效。例如,齿轮轴的弯曲挠度过大会破坏齿轮的正确啮合,机床主轴的刚度过小将影响工件的加工质量。

1.3.2.3 振动稳定性

当作用在零件上的周期性载荷频率等于机械系统或零件的固有频率时,将产生共振,这时零件的振幅将急剧增大,这种现象称为失去振动稳定性。因此对于高速运转的机械,例如高速风机的主轴应进行稳定性计算,以控制工作转速,确保机械或零件的稳定性。

1.3.2.4 寿命

有的机械零件在工作初期虽能满足各种要求,但工作一定时间后,由于某种原因而失效。大部分机械零件均在变应力条件下工作,因而疲劳破坏是引起零件失效的主要原因。关于疲劳寿命,通常是求出使用寿命时的疲劳极限来作为计算的依据。

1.4 本课程的性质、任务和学习内容

机械基础是一门机械类的技术基础课。通过学习此课程,要熟悉和掌握机械传动、常用机构及轴系零件和液压传动的基本知识、工作原理和应用特点,懂得分析机械工作原理的基本方法作简单的有关计算,从中接受必要的基本技能训练,为学习专业技术知识提供必要的基础知识和能力,以适应社会发展的需要。

本课程的内容是介绍常用机构、机械传动、轴系零件、金属材料、液压传动及机械制造的基本知识。

学习本课程应从感性认识出发,联系日常生活及专业中的具体实例,提高到理论上进行分析,培养观察问题、分析问题和解决问题的能力。

思考与习题

试述机器通常是由哪几部分组成的?各部分各起什么作用?

第2章 工程力学基础

2.1 力的概念及性质

2.1.1 力的基本概念

2.1.1.1 力

力是人们生产和生活中很熟悉的概念,也是力学的基本概念。通过长期的生产实践和科学实验,人们建立了力的定义,即力是物体间相互的机械作用,这种作用的效果是使物体的运动状态或形状发生改变。例如,人推车的力使车子改变它的运动状态(如由静到动,由慢到快等),锻锤对锻件的冲击力使锻件改变形状等。

力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应,而力使物体形状发生改变的效应称为力的内效应。一个物体受到力的作用,一定有另外的物体施加这种作用。前者是受力物体,后者是施力物体。只要有力发生,就一定有受力物体和施力物体。有时为了方便,只说物体受到了力,而没有指明施力物体,但施力物体一定是存在的。

2.1.1.2 力的三要素

力对物体作用的效应是由三个因素决定的,即:①力的大小;②力的方向;③力的作用点。三要素中任何一个改变,力对物体的作用效果也随之改变。

力的大小表示物体间机械作用的强弱,它可以通过力的运动效应或变形效应来度量。力的大小可以用测力计(弹簧秤)来测量,在国际单位制中,以 N(牛)或 kN(千牛)为力的单位。过去在工程上常以 kgf(公斤力)或 tf(吨力)作为力的单位。牛和公斤力的换算关系是:

$$1\text{kgf} = 9.807\text{N}$$

力的方向表示物体间的机械作用具有方向性。

力的作用点表示力作用在物体上的部位。

力对物体的作用不仅取决于它的大小,而且取决于它的方向,所以力是矢量。在图上,可以用一带箭头的直线段将力的三要素表示出来。如图 2-1,用一定长度(按一定比例)的线段 AB 表示力的大小;线段的箭头指向表示力的方向;线段的起点 A 或终点 B 表示力的作用点。通过力的作用点沿力的方向的直线,称为力的作用线,如图 2-1 中的 KL 。用解析法计算力的大小时,线段的长度可以不按比例画出。这种表示力的方法,叫做力的图示。

2.1.1.3 力系

同时作用在同一物体上的几个力或一群力称为力系。如果作用于物体上的力系可以用另一个力系来代替而效应相同,那么这两个力系互称为等效力系。如果物体在一个力系的作用下保持平衡状态,则该力系为平衡力系。若一力与一力系等效,则此力称为该力系的合力,力系中各

力称为此力的分力。

2.1.2 力的性质

实践证明,力具有下述性质:

2.1.2.1 平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力,可以按平行四边形法则合成为一个合力。此合力也作用在同一点,其大小和方向由这两力为边构成的平行四边形的主对角线表示。如图2-2所示。 R 表示合力,则

$$R = F_1 + F_2 \quad (2-1)$$

用平行四边形法则也可以将一力分解为两个分力。工程上常将一力沿两个相互垂直的方向分解,这种分解称为正交分解。

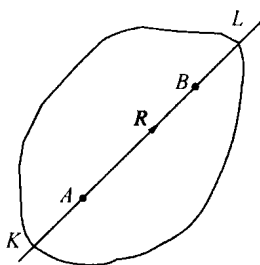


图2-1 力的图示

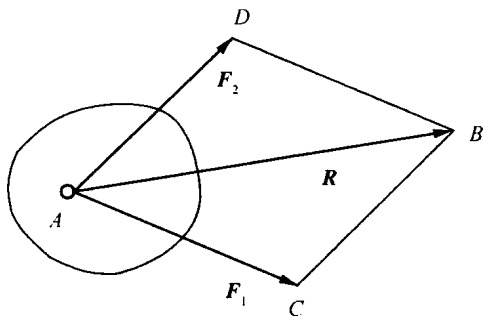


图2-2 平行四边形法则

2.1.2.2 二力平衡条件

作用于刚体上的两个力使刚体保持平衡的充分和必要条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上(简称:等值、反向、共线),这称为二力平衡条件,如图2-3所示。显然,这两个力的合力为零。

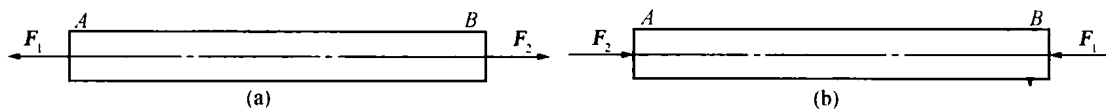


图2-3 力平衡

必须注意:二力平衡条件只适用于刚体。对于变形体,这一条件并不充分。如一段绳索在两端受到一对等值、反向、共线的压力作用时,并不能保持平衡。受二力作用处于平衡的杆件称为二力杆,如图2-3所示。

2.1.2.3 力的可传性原理

作用在刚体上的力可以沿着它的作用线任意移动作用点,而不改变该力对刚体的作用效应。如图2-4中用力 F 在 A 点推小车和用力 F_1 ($F_1 = F$)在 B 点(为力的作用线上任一点)拉小车,两者的外效应是相等的。因此,作用于刚体上的力,其三要素是力的大小、方向和作用线位置。

必须注意:运用力的可传性不改变力对物体的外效应,但会改变力对物体的内效应。例如图2-3a中的直杆 AB 两端受到两个等值、反向、共线的拉力 F_1 、 F_2 作用而处于平衡。若将这两个力

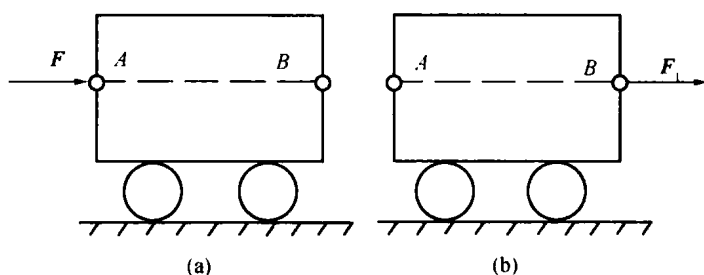


图 2-4 力的可传性

沿作用线分别移到杆的另一端,如图 2-3b,则杆 AB 仍处于平衡。这说明力沿作用线移动并不改变力的外效应。但在图 2-3a 的情况下,直杆 AB 在力作用下产生拉伸变形,而在图 2-3b 的情况下,直杆 AB 在力作用下产生压缩变形,可见力对直杆的内效应改变了。这就说明力的可传性只适用刚体,不适用需要考虑变形的物体。

2.1.2.4 作用和反作用定律

两个物体间的作用力和反作用力,总是大小相等、方向相反、作用线相同,分别作用在两个物体上。

这一定律表明:力总是成对出现的,有作用力必有反作用力。同时也表明:作用力和反作用力不是作用在同一个物体上,而是分别作用在两个相互作用的不同物体上,同时产生,同时消失。因此,对于每一个物体来说,不能把作用力和反作用力说成是一对平衡力,二力平衡条件中的两力是作用在同一刚体上。

作用和反作用定律是分析机械受力情况的重要依据,因为机械中力的传递是通过零件之间的作用与反作用而进行的。

2.2 力矩和力偶

力对物体作用的外效应可以分为两类:一类是力使物体发生移动,物体的移动与作用于物体的力的大小和方向有关;另一类是力使物体发生转动,物体在力的作用下发生转动时其转动效果与力的大小、方向、力的作用线与转轴的相对位置有关。为深入了解力对物体的作用效果,就必须研究力矩、力偶。

2.2.1 力矩的概念和计算

如图 2-5 所示,采用扳手拧紧螺钉时,在扳手上作用一力 F ,力 F 使扳手产生转动效应。把乘积 $F \cdot h$ 加上正负号,作为力 F 使物体绕 O 点转动效应的度量,称为 F 对 O 点的矩,简称力矩,它用 M_O 表示,即

$$M_O(F) = \pm F \cdot h \quad (2-2)$$

点 O 称为矩心,垂直距离 h 称为力臂。力使物体逆时针转动时,力矩为正值;反之为负值。在国际单位制中,力矩的单位是 $\text{N} \cdot \text{m}$ (牛·米)。力矩有下列性质:

(1) 力 F 对 O 点之矩不仅取决于力的大小,同时还与矩心的位置有关。矩心的位置不同,力