

GAOZHI GAOZHUAN JIXIE
XILIE JIAOCAI
高职高专机械系列教材

JIXIE

机械基础与结构设计

Jixie Jichu yu Jiegou Sheji

◎主 编 唐剑兵

◎副主编 张 欢 关文勇



重庆大学出版社

机械基础与结构设计

主 编 唐剑兵

副主编 张 欢 关文勇

重 庆 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书是根据高职高专机械基础课程教学基本要求组织编写的,内容包括构件的受力分析,零件的变形及强度计算,机械工程材料的性能及其选用,公差与配合,运动学基础,常用机构的工作原理、性能、选用原则和设计计算;通用机械零部件的结构特点、工作原理、选用原则和设计计算方法;常用精密机械部件的设计等。全书共 14 章,每章后面附有大量的复习思考题和习题,供读者练习。

本书可以满足教学计划 80~120 课时的教学需要,在教学时各专业可根据教学需求,对相关章节内容进行取舍。本书适用于机械、机电、数控、印刷、环保等近机类应用技术类专业的学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础与结构设计/唐剑兵主编. —重庆:重庆大学出版社,2006.2

(高职高专机械系列教材)

ISBN 7-5624-3573-1

I. 机... II. 唐... III. ①机械学—高等学校:技术学校—教材②机械设计:结构设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 156738 号

机械基础与结构设计

主 编 唐剑兵

副主编 张 欢 关文勇

责任编辑:曾令维 邵孟春 版式设计:曾令维

责任校对:邹 忌 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:26.5 字数:661千

2006年2月第1版 2006年2月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5624-3573-1 定价:32.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

机械基础与结构设计是高职高专院校中机械类和近机类专业的一门重要的技术基础课。本教材根据人才培养目标的要求,从工程实际出发,重点放在工程应用中的基本知识、分析问题的思路和解决问题的方法上,并通过一定量的例题细致讲解,力求达到使学习者能较快地掌握该课程的主要知识点并能灵活运用之目的。在课程内容的安排上拓宽了基础知识的范围,突出了设计主线,兼顾了近机类各专业的特点。始终贯彻“够用为度”的方针来掌握相关内容,使学生在学时正确处理知识的广度和深度,强调理论知识与工程实践的联系。

本教材的内容涵盖了工程材料、公差配合、理论力学、材料力学、机械原理和机械零件等课程的主要知识,并按机械设计这条主线对课程的内容进行了复合、衔接和综合,使其有机地串连起来,成为一门完整系统的综合课程。教材分为3篇:机械基础知识、机构学基础知识、机械零件的常规设计。

本书适用于机类、近机类专业学生使用,特别适用于机、电结合,仪器类的诸多应用技术类专业使用。

参加本书编写的有:成都电子机械高等专科学校唐剑兵(绪论、第3章、第4章、第12章、第13章、第14章)、张欢(第6章、第7章、第8章、第10章)、关文勇(第1章、第2章)、骆行(第5章、第9章、第11章),姜明老师审校了部分章节。全书由唐剑兵教授主编,张欢、关文勇副主编。

在编写中,参考了国内大量教材、手册,在此对有关出版社和作者表示衷心的感谢。由于编者水平有限,加之时间仓促,书中缺点和错误在所难免,殷切希望广大读者批评指正,编者再次表示衷心感谢。

编者
2005年11月

目 录

绪 论	1
0.1 机械的组成及其特征	1
0.2 机械设计的基本要求和方法	3
0.3 本课程研究的对象和任务	6
习题0	6

第1篇 机械基础知识

第1章 结构的静力分析	8
1.1 静力分析基础	9
1.2 平面汇交力系	14
1.3 力矩与平面力偶系	20
1.4 平面任意力系	24
1.5 空间力系简介	29
1.6 滑动摩擦简介	32
习题1	36
第2章 构件的变形及强度计算	42
2.1 构件的拉伸和压缩	43
2.2 剪切和挤压	50
2.3 圆轴的扭转	53
2.4 直梁的弯曲	59
2.5 构件组合变形的强度计算	67
2.6 交变应力作用下零件的疲劳强度	68
习题2	70
第3章 机械工程材料及其选用	74
3.1 金属材料工程性能	74
3.2 常用的金属材料	78
3.3 金属的热处理与表面精饰	88
3.4 非金属材料	92

3.5 金属、非金属材料的选择	98
习题3	102
第4章 公差与配合	103
4.1 光滑圆柱的极限与配合	104
4.2 形位公差简介	115
4.3 表面粗糙度简介	122
习题4	126

第2篇 机构学基础

第5章 机构运动学基础	129
5.1 点的运动	129
5.2 刚体的平动	134
5.3 刚体的定轴转动	135
习题5	139
第6章 平面连杆机构	142
6.1 平面机构运动简图	142
6.2 平面四杆机构的基本形式及其应用	146
6.3 平面四杆机构的基本特性	153
6.4 平面四杆机构的设计	157
习题6	159
第7章 凸轮机构	163
7.1 凸轮机构的应用和分类	163
7.2 常用的从动件的运动规律	165
7.3 图解法设计凸轮轮廓	170
7.4 设计凸轮机构应注意的问题	173
习题7	176

第3篇 机械零件的常规设计

第8章 齿轮传动	180
8.1 齿轮传动的类型和它的基本要求	180
8.2 渐开线齿廓	183
8.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要参数和几何尺寸	186
8.4 渐开线齿轮的啮合传动	189
8.5 渐开线齿轮的加工方法及根切现象	191
*8.6 变位齿轮传动	194
8.7 轮齿的失效和齿轮的材料	197

8.8	标准直齿圆柱齿轮传动的设计	200
8.9	平行轴斜齿圆柱齿轮传动	213
8.10	圆锥齿轮传动简介	222
8.11	蜗杆传动	224
8.12	齿轮系	235
	习题 8	243
第 9 章	带传动和链传动	248
9.1	带传动概述	248
9.2	带传动的工作情况分析	252
9.3	普通 V 带的传动设计计算	256
9.4	同步带传动简介	264
9.5	V 带传动的张紧和维护	266
9.6	链传动概述	267
9.7	滚子链和链轮	268
9.8	滚子链传动的设计	270
9.9	链传动的布置、张紧和维护	275
	习题 9	275
第 10 章	联接及支承部件	280
10.1	轴	280
10.2	键、花键、销联接	292
10.3	联轴器、离合器和制动器	299
10.4	滚动轴承和滑动轴承	307
	习题 10	316
第 11 章	螺纹联接和螺旋传动	321
11.1	机械制造中的常用螺纹	321
11.2	螺旋副的受力分析、效率和自锁	324
11.3	螺纹联接的基本类型及其预紧和防松	327
* 11.4	螺栓联接的强度计算	332
* 11.5	螺纹联接件的材料和许用应力	336
11.6	螺旋传动机构概述	339
11.7	滑动螺旋传动机构的设计计算	342
11.8	滑动螺旋传动机构的误差分析、估算	345
11.9	消除或减小误差的措施	347
11.10	滚动螺旋传动简介	349
	习题 11	354
第 12 章	弹性元件	358
12.1	概述	358
12.2	螺旋弹簧	364

12.3	片板弹簧设计	375
*12.4	其他弹性元件简介	377
习题 12		383
第 13 章	限动器、定位器和机械调速器	385
13.1	限动器	385
13.2	定位器	390
13.3	机械调速器	392
*13.4	减振器简介	398
习题 13		401
第 14 章	机械的润滑和密封	402
14.1	摩擦、磨损和润滑	402
14.2	常用润滑剂的选择	404
14.3	常用传动装置的润滑	407
14.4	机械装置的密封	410
习题 14		413
参考文献		414

绪 论

0.1 机械的组成及其特征

回顾机械的发展历史,人类从使用简单工具到今天能够设计和制造类型繁多、功能各异的机械装置,从杠杆、斜面、滑轮到起重机、内燃机、电动机、加工机械、运输机械、印刷机械、食品机械、机械手、机器人等经历了漫长的过程,都说明机械的进步,标志着生产力不断向前发展。机械的发展程度无疑是国家工业水平的重要标志之一。机器是执行机械运动的装置,是用来转换能量或传递物料。机器的种类繁多,性能、构造、工作原理、用途各异,所以有必要从各类机器的共同特征出发,剖析其结构,研究其组成原理,以达到掌握、运用的目的。通常一台完整的机器包括以下几个基本部分:

(1) 原动部分

其功能是将其他形式的能量转换为机械能(如内燃机和电动机分别将热能和电能转换为机械能)。原动部分是驱动整部机器以完成预定功能的动力源。

(2) 执行部分

其功能是利用机械能去转换或传递能量、物料、信号,如发电机把机械能转换成为电能,轧钢机转换物料的外形等等。

(3) 传动部分

其功能是把原动部分的运动形式、运动和动力参数转变为工作部分所需的运动形式、运动和动力参数。

(4) 支承部分

其功能是把以上三部分零部件按一定的空间和时间关系安装、固定在起支承作用的部件上。

如图 0.1 所示的牛头刨床,它是由床身、滑枕、刨刀、工作台、齿轮、带轮、导杆、滑块等组成。电动机安装在床身上。电动机启动后,通过带传动和齿轮传动,使偏心销跟随大齿轮一起转动,在偏心销上套有一个可以绕其轴线回转的滑块 1,而滑块 1 嵌入导杆中间的槽内,它与

导杆中间的槽可作相对滑动。导杆下端的槽内嵌入另一个可以绕固定轴线回转的滑块 2。导杆上端与滑枕用铰链联接。因此当大齿轮转动时,通过其上的偏心销与滑块 1,带动导杆做往复摆动,从而通过铰链使滑枕沿床身的导轨做往复移动,完成切削工作。

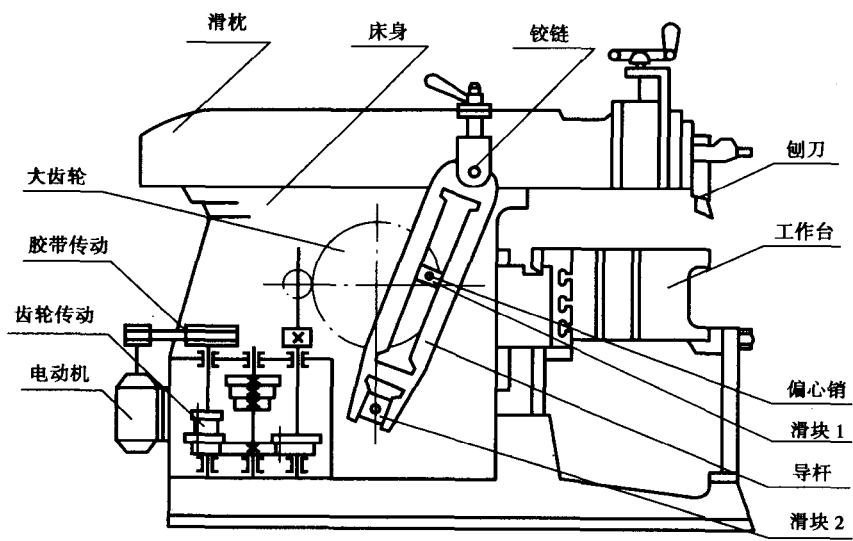


图 0.1 牛头刨床

所有的机器都是由许多机械零件组合而成的。机械零件可分为三大类:一类是按照有关标准就能选用的零部件,称为标准件,如螺栓、螺母、铆钉、销钉、轴承等;二类是在机器中经常都能用到的零件,称为通用零件,如齿轮、链轮、蜗轮等;三类则是在特定类型的机器中才能用到的零件,称为专用零件,如内燃机的曲轴、汽轮机叶片等。

根据机器功能、结构要求,某些零件需固联成没有相对运动的刚性组合,成为机器中独立运动的单元,通常称为构件。构件与零件的区别在于:构件是运动的基本单元,而零件是加工单元。

若从运动的观点来研究机器,机器由机构组成,机构由若干构件组成,各构件之间具有确定的相对运动;机构通常指传递运动的机械。一部机器可以包含一个机构(如电动机),也可以包含几个机构,如图 0.2 所示的单缸四冲程内燃机包含由齿轮组成的齿轮机构;由曲轴、连杆、活塞组成的曲柄滑块机构;由凸轮、从动杆组成的凸轮机构等。

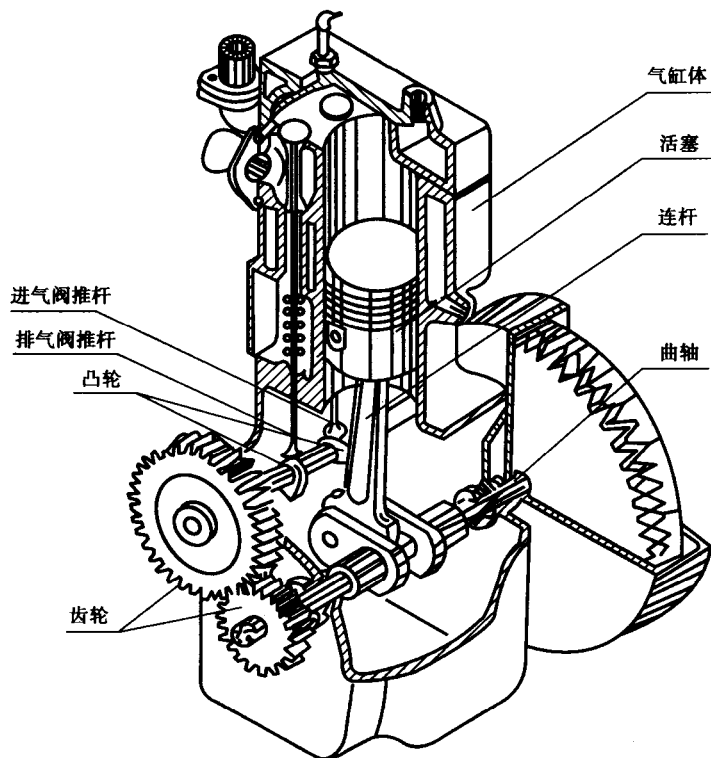


图 0.2 内燃机

0.2 机械设计的基本要求和方法

(1) 基本要求

虽然不同的机械其功能和外形都不相同,但它们设计的基本要求大体是相同的,机械应满足的基本要求可以归纳为以下几方面:

1) 使用要求

首先要求机器能保证实现全部预定的各项功能。如机器工作部分的运动形式、速度、运动精度和平稳性、需要传递的功率,以及某些使用上的特殊要求(如高温、防潮等)。为此,必须正确选择机器的工作原理、机构的类型和机械的传动方案。

其次要求保证在给定工作时间内,满足机器预定的工作要求。为此,必须正确设计机器的零件,使整个技术系统和零件在规定的外载荷和规定的工作时间内,能正常工作而不发生断裂、过度变形、过度磨损,不丧失稳定性。

2) 经济要求

在产品整个设计周期中,必须把产品设计、销售及制造三方面作为一个系统工程来考虑,用价值工程理论指导产品设计。

设计经济性体现为:在达到同等功能条件下,正确使用材料,采用合理的结构尺寸和工艺,

以降低产品的成本。设计机械系统和零部件时,应尽可能标准化、通用化、系列化,结构最简单,零件最少,设计符合标准化要求,采用先进的设计方法并缩短设计周期,以提高设计质量、降低制造成本。

制造经济性体现为:用材合理,制造工艺先进,装配方便和生产周期短等。

使用经济性体现为:效率高,消耗少(电、油、水、原材料及辅助材料少),管理维修费用低等。

3) 社会要求

必须注意人与机器的关系。能实现对操作人员的防护,保证人身安全和身体健康,同时要保证机器对环境的适应性。例如,要保证操作人员的安全,操作简便和省力,改善操作者的工作环境(如噪声等),造型美观。

(2) 机械设计的方法

1) 内插式设计

在两个现有设计方案中作内插式设计是一般机器设计常用的方法。这种方法有成功的经验可以借鉴,只要设计时精心对待,认真做一些技术改进工作,通过少量试验研究,就能有把握地设计出成功的产品。

2) 外推式设计

和内插式设计不同,虽也有部分经验可以借鉴,但外推部分处于未知领域,若某些运行参数超过通用设计方法所许用的范围,就有可能产生意想不到的结果。因此,外推式设计必须慎重对待,对外推领域要做好技术开发研究、理论探讨和科学实验工作。

3) 开发性设计

应用新原理、新技术设计新型技术装备的工作称为开发性设计。开发性设计分为功能设计和结构设计。功能设计时要运用物理学、理论力学、流体力学、热力学、摩擦学、机械原理等基础理论知识;结构设计时要应用机械零件、金属材料及热处理、机械制造工艺学、公差与配合等知识和生产实践的经验。

在明确设计要求之后,机械设计包括以下主要内容:确定机械的工作原理,选择合适的结构;拟定设计方案;进行运动分析和动力分析,计算作用在各构件上的载荷;然后进行零部件工作能力计算、总体设计和结构设计。

(3) 机械零件的设计准则

为了使设计零件能在预定时间内和规定工作条件下正常工作,设计机械零件时应满足下面的基本要求:

1) 强度

强度是保证机械零件正常工作的基本要求。为了避免零件在工作中发生断裂,必须使零件工作时满足下面的设计准则:

$$\sigma \leq [\sigma]$$

$$\tau \leq [\tau]$$

式中 σ, τ ——零件工作时的正应力和剪应力;

$[\sigma], [\tau]$ ——零件材料的许用正应力和许用剪应力。

2) 刚度

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。若零件刚度不够,将产生过大的挠度

或转角而影响机器正常工作。

3) 寿命

机械零件应有足够的寿命。影响零件寿命的主要因素有腐蚀、磨损和疲劳。但至今还没有提出实用且有效的腐蚀寿命计算方法,因此,也无法列出腐蚀寿命的计算准则。而磨损的计算目前也没有简单、可靠的定量计算方法,因此,只能采用条件性的计算。至于疲劳寿命,通常是算出使用寿命时的疲劳极限来作为计算的依据。

4) 可靠性

零件在规定的工作条件下和规定的使用时间内完成规定功能的概率称为该零件的可靠度。可靠度是衡量零件工作可靠性的一个特征量,不同零件的可靠度要求是不同的。满足强度和刚度要求的一批相同的零件,由于零件的工作应力是随机变量,故在规定的工作条件下和规定的使用期限内,并非所有的零件都能完成规定的功能。设计时应根据具体零件的重要程度选择适当的可靠度。

(4) 机械设计的一般程序

1) 明确设计任务

产品设计是一项为实现预定目标的有目的的活动,因此正确地决定设计目标(任务)是设计成功的基础。明确设计任务包括定出技术系统的总体目标和各项具体的技术要求,这是设计、优化、评价、决策的依据。明确设计任务包括分析所设计机械系统的用途、功能,各种技术经济性能指标和参数范围,预期的成本范围等,对目前同类或相近产品的技术水平以及发展趋势,用户的意见和要求,认真进行调查研究,以进一步明确设计任务。

2) 总体设计

机械系统总体设计根据机器要求进行功能设计研究。总体设计包括确定工作部分的运动和阻力,选择原动机的种类和功率,选择传动系统、机械系统的运动和动力计算,确定各级传动比和各轴的转速、转矩和功率。总体设计时要考虑到机械的操作、维修、安装、外形尺寸等要求,确定机械系统各主要部件之间的相对位置关系及相对运动关系。总体设计对机械系统的制造和使用都有很大的影响,为此,常需做出几个方案加以分析、比较,通过优化求解得出最佳方案。

3) 技术设计

技术设计又称结构设计,是从定性到定量、从抽象到具体、从粗略到详细的设计过程。其任务是根据总体设计的要求,确定机械系统各零部件的材料、形状、数量、空间相互位置、尺寸、加工和装配,并进行必要的强度、刚度、可靠性设计,若有几种方案时,需进行评价、决策最后选择最优方案。技术设计时还要考虑加工条件、现有材料、各种标准零部件、相近机器的通用件。技术设计是保证质量、提高可靠性、降低成本的重要工作。技术设计还需绘制总装配图、部件装配图、编制设计说明书等。

4) 样机试制

样机试制阶段是通过样机制造、样机试验、检查机械系统的功能及整机、零部件的强度、刚度、运转精度、振动稳定性、噪声等方面的性能。随时检查及修正设计图纸,以更好地满足设计要求。

5) 批量正式生产

批量正式生产阶段是根据样机试验、使用、测试、鉴定所暴露的问题,进一步修正设计,以

保证完成系统功能,同时验证各工艺的正确性,以提高生产率,降低成本,提高经济效益。

(5) 设计过程注意事项

①设计过程要有全局观点,不能只考虑设计对象本身的问题,而要把设计对象看做一个系统,处理好人一机一料一环境之间的关系。

②善于运用创造性思维和方法,注意考虑多方案解,避免解答的局限性。

③设计的各阶段应有明确的目标,注意各阶段的评价和优选,以求出既满足功能要求又有最大实现可能的方案。

④要注意反馈及必要的工作循环。解决问题要由抽象到具体,由局部到全面,由不确定到确定。

0.3 本课程研究的对象和任务

机械基础与结构设计是高职、高专院校中机械类和近机类专业的一门重要的技术基础课。在课程内容的安排上拓宽了基础知识的范围,突出了设计主线,兼顾了近机类各专业的特点。始终贯彻“够用为度”的方针来掌握相关内容,使学生的学习时正确处理好知识的广度和深度,强调理论知识与工程实践的联系。

通过本课程的学习,使学生获得“适度、够用”的工程力学基本知识,掌握通用零件和常用机构的原理、特点;具有初步分析、设计常用机构和零部件及机械传动装置的能力;学会查阅相关技术标准和技术文献、资料,为学习后续专业课程及新的科学技术知识打下基础。

课程主要介绍机械基础知识和常用机构及通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。书中分3篇:第1篇介绍机械的基础知识(1~2章介绍力学知识、3~4章介绍工程材料和公差配合);第2篇介绍机构学的基础知识(连杆机构、凸轮机构等);第3篇介绍常用机构(传动件、联接件、弹性元件、限位机构)的原理和基本的设计知识。

本课程的内容可为学生学习专业机械、设备、仪器等课程提供必要的理论基础。本课程的主要任务是培养学生具备以下能力:

- ①使学生具有设计常用机构、装置和简单机械的能力。
- ②初步具有运用标准、手册、技术规范和查阅有关技术资料的能力。
- ③了解典型机械的实验方法,受到实验技术的基本训练。

习题0

- 0.1 试述机械、机构、构件、零件的含义。
- 0.2 试述机械零件失效、失效主要形式及机械零件设计准则的含义。
- 0.3 试举出具有下述功能的机器的两个事例:
 - (1)原动机;
 - (2)将机械能变换为其他形式能的机器;
 - (3)实现物料变换的机器;

(4)变换或传递信息的机器;

(5)传递物料的机器;

(6)传递机械能的机器。

0.4 指出下列机器的原动部分、工作部分、传动部分、支承部分、控制部分:

(1)汽车;

(2)自行车;

(3)电风扇;

(4)缝纫机。

0.5 指出汽车中三个通用零件和专用零件。

第 **1** 篇

机械基础知识

第 **1** 章

结构的静力分析

机器由多个构件组成,其运行是由于力的作用引起的,构件的受力情况直接影响机器的工作能力。因此,对构件进行受力分析是设计或使用机器时最基本、也是最重要的工作之一。机器平稳工作时,许多构件的运动处于相对静止或匀速运动的状态,即平衡状态。本章主要研究物体处于平衡状态时的受力情况和各力之间的关系,相关内容属于理论力学中的静力学部分。

力是物体间相互的机械作用。力的作用有两种效应:使物体的机械运动状态发生变化和使物体的形状发生改变,前者称为运动效应,后者称为变形效应。力系是指作用于被研究物体上的一组力。若物体处于平衡状态,则作用于物体上的力系会满足一定的条件,这些条件称为力系的平衡条件。物体平衡时的力系称为平衡力系。为使问题简化,静力分析中通常将物体视为刚体。所谓刚体就是指在力系作用下不会变形的物体。因为微小变形一般不影响物体整体的受力情况,可以略去不计。

1.1 静力分析基础

1.1.1 力的三要素

由于物体与物体之间相互的机械作用产生的力,是不能脱离周围物体而存在的。由实践可知,力对物体的作用效果取决于三个要素:①力的大小;②力的方向;③力的作用点。因此力是矢量,可用一带箭头的有向线段表示。如图 1.1 中的有向线段 $\overline{AB}$,按一定的比例尺所作的线段长度 $\overline{AB}$ 表示力的大小($F=60\text{ N}$);箭头的指向表示力的方向;线段的起点(或终点)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。

力的大小是指物体间相互作用的强弱程度,其大小可以用测力器测定,在国际单位制中,力的单位是 N (牛顿)和 kN (千牛顿)。

力具有方向,用同样大小的力从左向右或从右向左推动小车,小车的运动效果是不同的。力的作用点不同,对物体的作用效果也不同,如用扳手拧螺母时,同样大小和方向但作用点不同,产生的效果就不一样。

1.1.2 静力学公理

静力学公理是人类经过长期经验积累和实践验证总结出来的最基本的力学规律性。它们是静力学的基础。

(1) 二力平衡公理

刚体仅受两力作用而保持平衡的充分必要条件是:两力大小相等、方向相反,且作用在同一直线上。如图 1.2 所示,即

$$F_1 = F_2 \quad (1.1)$$

这个公理总结了作用于刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对刚体来说这个条件既必要又充分。但对非刚体来说,这个条件是不充分的。例如:软绳受两个等值、反向且共线的拉力时可以平衡,但受两个等值、反向且共线的压力时就不能平衡了。

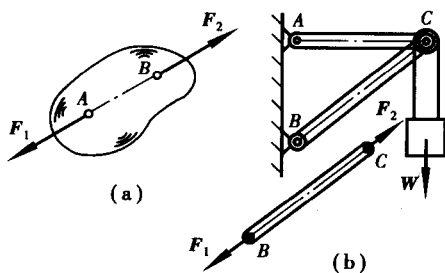


图 1.2 二力平衡及二力杆
(a) 二力平衡; (b) 二力杆

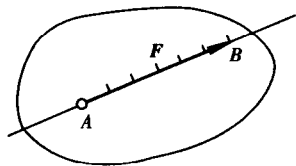


图 1.1 力的表示

在两个力作用下处于平衡的刚体,称为二力构件。如果该构件为杆件,又称为二力杆(图 1.2 (b))。二力构件受力的特点是两个力的作用线必定是沿其作用点的连线,且等值、反向。

(2) 加减平衡力系公理

在任意一个已知力系上加上或减去任意的平衡力系,并不会改变原力系对刚体的作用效应。

这一公理对于研究力系的简化问题很重要。由这个公理可以导出力的可传性推理:作用在刚体上的力,沿其作用线移到刚体上任意一点,不会改变它对刚体的作用效应。