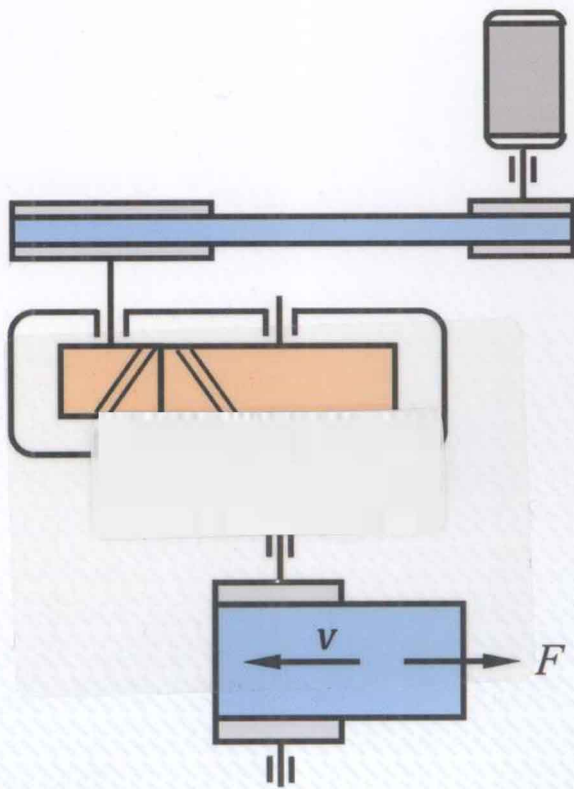


普通高等教育“十二五”规划教材

机械设计基础

王军 何晓玲 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书按照教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会制定的“机械设计基础课程教学基本要求”编写,并在此基础上适当地扩充了内容,建议授课学时为80~100学时。

全书共18章,内容包括绪论、平面机构的结构分析和速度分析、平面连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、齿轮系及其设计、其他常用机构、机械的调速与平衡、机械零件设计概论、联接、齿轮传动、蜗杆传动、带传动和链传动、轴、滚动轴承、滑动轴承、联轴器和离合器、弹簧。书中注有*者为选学内容。

本书可作为机械类、近机械类各专业机械设计基础课程的教学用书,也可供其他相关专业的师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/王军,何晓玲主编. —北京:机械工业出版社,2012.11

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-39730-4

I. ①机… II. ①王…②何… III. ①机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第215115号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 武晋

版式设计:姜婷 责任校对:姜婷

封面设计:张静 责任印制:张楠

北京中兴印刷有限公司印刷

2013年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·22印张·544千字

标准书号:ISBN 978-7-111-39730-4

定价:39.50元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmpl952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书按照教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会制定的“机械设计基础课程教学基本要求”编写，并在此基础上适当地扩充了内容，适用于机械类、近机械类专业，建议授课学时为80~100学时。书中注有*者为选学内容。

机械设计基础是工科院校中与机械有关各专业一门主干的技术基础课。本书主要介绍机械中的常用机构和通用零部件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。它的任务是通过课堂教学、实验和课程设计使学生具有：设计简单机械系统、零部件的能力；对于机械工程问题建立模型、分析求解和论证的能力；在机械工程实践中初步掌握并使用各种技术、技能和现代工程工具的能力。在编写本书时，从机械设计的总体要求和培养学生机械设计基本素质、能力出发，在内容的取舍及阐述方面，注意取材的先进性、实用性，着重于讲清有关基本概念、基本理论和基本方法，并使论述尽可能做到深入浅出，图形简捷、形象、直观，符合学生认识规律。书中尽可能地多增加一些典型例题和较详细的解题步骤，并在各章首末辅以本章内容提示和学习要点，以最大限度地为教师执教和学生自学提供方便。

本书与机械工业出版社出版、河南科技大学何晓玲等编写的《机械设计基础作业集》配套使用。该作业集采用活页形式，方便学生做，利于教师改，并使作业规范化。因此，为节省篇幅，书中各章未编入相关的习题。

本书分为十八章。参加本书编写的有河南科技大学王军（第一、五章及附录），王惠宁（第二、十二章），何晓玲（第三、十一章），田同海（第四、六章），陈科家（第七、八、九章），周铭丽（第十章），党玉功（第十三章），杜新武（第十四、十六章），李雪飞（第十五章）和张中利（第十七、十八章）。本书由王军、何晓玲担任主编，田同海、王惠宁、陈科家担任副主编。

本书承蒙杨巍教授精心审阅并提出许多宝贵意见，编者在此表示衷心感谢。

本书得到河南科技大学教材出版基金资助。

由于编者水平所限，漏误及不当之处在所难免，敬请各位机械设计基础课程的教师 and 广大读者不吝指正。

编 者

目 录

前言		
第一章 绪论	1	
第一节 机器及其组成	1	
第二节 本课程的内容、性质和任务	4	
第三节 学习本课程的目的和方法	5	
第四节 机械设计概述	5	
第二章 平面机构的结构分析和速度分析	10	
第一节 平面机构的组成	10	
第二节 平面机构运动简图	12	
第三节 平面机构自由度的计算	14	
第四节 用速度瞬心法进行机构的 速度分析	19	
第三章 平面连杆机构及其设计	24	
第一节 平面连杆机构及其传动特点	24	
第二节 平面四杆机构的类型和应用	24	
第三节 平面四杆机构的基本知识	31	
第四节 平面连杆机构的设计	37	
第四章 凸轮机构及其设计	45	
第一节 凸轮机构的组成、分类和应用	45	
第二节 从动件的常用运动规律及其选择	49	
第三节 凸轮轮廓曲线的设计	54	
第四节 凸轮机构基本尺寸的确定	61	
第五章 齿轮机构及其设计	68	
第一节 齿轮机构的特点及分类	68	
第二节 齿轮的齿廓曲线	70	
第三节 渐开线齿廓及其啮合特点	71	
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本 参数及几何尺寸计算	73	
第五节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	77	
第六节 渐开线齿廓的切制原理	82	
第七节 渐开线齿廓的根切现象和渐开线标准 齿轮不发生根切的最少齿数	84	
第八节 变位齿轮机构简介	85	
第九节 斜齿圆柱齿轮机构及其设计	89	
第十节 蜗杆蜗轮机构及其设计	94	
第十一节 锥齿轮机构及其设计	99	
第六章 齿轮系及其设计	103	
第一节 齿轮系及其分类	103	
第二节 定轴轮系的传动比	105	
第三节 周转轮系的传动比	107	
第四节 复合轮系的传动比	110	
第五节 轮系的功用	113	
第六节 行星轮系齿数的确定	116	
* 第七节 其他形式行星齿轮传动简介	118	
第七章 其他常用机构	122	
第一节 棘轮机构	122	
第二节 槽轮机构	126	
第三节 不完全齿轮机构	128	
第八章 机械的调速与平衡	131	
第一节 机械运转速度波动的调节	131	
第二节 机械的平衡	138	
第九章 机械零件设计概论	145	
第一节 机械零件设计概述	145	
第二节 机械零件的强度	147	
第三节 机械零件的接触强度	151	
第四节 机械零件材料的选用	152	
第五节 机械零件的标准化	154	
第六节 摩擦、磨损和润滑	155	
第十章 联接	162	
第一节 螺纹	162	
第二节 螺纹联接的类型和螺纹联接件	167	
第三节 螺纹联接的预紧和防松	168	
第四节 单个螺栓联接的强度计算	171	
第五节 螺栓组联接的设计计算	176	
第六节 螺纹联接件的材料及许用应力	179	
第七节 提高螺纹联接强度的措施	182	
第八节 键联接和花键联接	184	
第九节 销联接	189	
第十一章 齿轮传动	191	
第一节 概述	191	
第二节 齿轮传动的主要失效形式及 设计准则	192	
第三节 齿轮的材料及其选择	195	



第四节	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	197	第十五章	滚动轴承	282
第五节	齿轮传动的主要参数、精度选择和 许用应力	204	第一节	概述	282
第六节	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	212	第二节	滚动轴承的类型、代号及选择	283
第七节	直齿锥齿轮传动的强度计算	218	第三节	滚动轴承的载荷分布、失效形式及 计算准则	288
第八节	齿轮的结构设计	222	第四节	滚动轴承的寿命及其计算	290
第九节	齿轮传动的润滑	223	第五节	滚动轴承部件的组合设计	297
第十二章	蜗杆传动	226	第十六章	滑动轴承	307
第一节	蜗杆传动的受力分析、设计准则及 常用材料	226	第一节	滑动轴承的类型和结构形式	307
第二节	蜗杆传动的设计	227	第二节	滑动轴承的失效形式及 常用材料	310
第十三章	带传动和链传动	235	第三节	润滑剂和润滑装置	313
第一节	带传动的特点和类型	235	第四节	非液体润滑滑动轴承的 设计计算	314
第二节	带传动工作情况分析	237	第五节	液体动压润滑滑动轴承的 设计计算	316
第三节	普通 V 带传动的设计计算	240	第十七章	联轴器和离合器	323
第四节	V 带传动的张紧装置	248	第一节	联轴器	323
第五节	V 带轮的设计	249	第二节	离合器	329
第六节	链传动的特点和应用	252	第十八章	弹簧	333
第七节	传动链的结构特点	253	第一节	弹簧的功用和类型	333
第八节	链传动的工作情况分析	255	第二节	弹簧的材料和制造	334
第九节	滚子链传动的设计计算	258	第三节	圆柱螺旋压缩（拉伸）弹簧的 设计计算	336
第十节	链传动的润滑、布置和张紧	262	附录	渐开线函数表（ $\operatorname{inv}\alpha_k = \tan\alpha_k - \alpha_k$ ） （节录）	343
第十一节	滚子链链轮的结构和材料	263	参考文献		345
第十四章	轴	266	读者信息反馈表		
第一节	概述	266			
第二节	轴的结构设计	269			
第三节	轴的工作能力计算	273			
第四节	轴的设计实例分析	276			

第一章 绪 论



提示 本章主要解决本课程“学什么”“为什么学”“怎样学”的问题；介绍了机器的组成，本课程研究的对象、内容、性质及任务，本课程的特点及学习方法；概述了机械设计的地位与作用，机械设计的要求、一般过程和方法。

第一节 机器及其组成

一、机器、机构及其结构组成

对于一般的机器，我们在日常生活和工作中已有了某些接触和不同程度的认识。但是，一部机器是怎样组成的？它如何完成特定的任务？设计机器应遵循怎样的原则？如何使机器具有较高的性能价格比？对于这些问题，需要做进一步的了解和研究。

机器的种类繁多，用途不同，构造各异，从家用的洗衣机、缝纫机、自行车，到汽车、内燃机、机床等均为大家所熟悉。

图 1-1 所示为单缸四冲程内燃机。它由齿轮 1 和 2、连杆 3、曲轴 4、凸轮轴 5、推杆 6 和 7、活塞 8、气缸 9、排气阀 10 和进气阀 11 等组成。当燃气在封闭的气缸中燃烧膨胀时，驱动活塞向下移动并通过连杆带动曲轴转动。而飞轮的惯性作用驱使曲轴继续转动，使活塞向上回移。经齿轮 1 和 2、凸轮轴 5 的凸轮推动推杆 6 打开排气阀 10 排出燃烧后的废气（凸轮轴 5 上的另一个凸轮控制推杆 7 使进气阀 11 开启或关闭）。吸气、压缩、膨胀、排气，四个冲程如此不断循环，实现将燃气的燃烧热能转换成以曲轴转动形式输出机械能的目的。可见，内燃机是用来转换能量的机器。

从以上例子可以看出，机器具有如下特征：

- 1) 机器是人为实物的组合体。
 - 2) 各部分之间具有确定的相对运动。即当其中一个或几个构件的运动规律一定时，其余各构件都将作预期的机械运动。
 - 3) 能用来转换机械能或完成有益的机械功，以减轻甚至代替人们的劳动。
- 相对于机器而言，机构主要反映机器的运动传递和转换特征，所以一般把只具备上述前两个特征的实物组合体，称为机构。

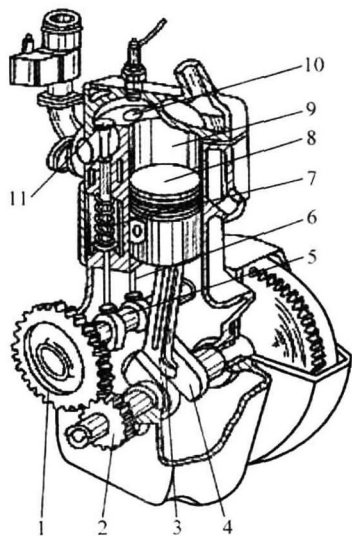


图 1-1 单缸四冲程内燃机

1、2—齿轮 3—连杆 4—曲轴
5—凸轮轴 6、7—推杆 8—活塞
9—气缸 10—排气阀 11—进气阀

图 1-1 所示内燃机中,由滑块(活塞)、连杆、曲柄(曲轴)、机架(曲轴箱与气缸体)所组成的部分称为连杆机构——将滑块的往复运动变换为曲柄的回转运动。由两个齿轮和机架组成的齿轮机构用来传递两轴间的运动和动力;而由凸轮、推杆和机架所组成的凸轮机构又可将凸轮轴的转动变换为推杆的上下直移运动,以控制进气阀和排气阀的启闭。

机构与机器的不同之处是研究的着重点不同。机构着重研究运动的转换或力的传递,不考虑其具体的功用,如连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等。而机器则强调减轻或代替人们劳动的功能作用,并且科学技术的发展使机器的功能在不断扩展,如转换能量(内燃机、电动机、发电机等),变换物料状态、位置(加工机械、食品机械、运输机械、起重机械等),处理信息(计算机、打印机、照相机等)。

机构与机器的关系:一般一部机器可包含不同的机构,一种机构可出现在不同的机器中。机械是机器和机构的总称。

组成机构的各个相对运动部分称为构件,它在机构的运动过程中为一个整体,可以是单一的零件,也可以是由若干个零件刚性连接。图 1-2 所示内燃机的连杆就是由连杆体 5、连杆盖 2、螺栓 1、轴瓦 3、螺母 4 和轴套 6 等零件组成。由此可知构件是运动的单元,而零件是加工制造的单元。

机器中普遍使用的机构称为常用机构,如连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等。机械中的零件分为两类。一类为通用零件,它在各种机器中广泛使用,如螺栓、螺母、齿轮和弹簧等。另一类为专用零件,它使用在某种机器中,如内燃机中的活塞、汽轮机的叶片等。另外,把机器中为完成同一任务在结构上组合(可拆或不可拆)并协同工作的零件组合体称为部件,如滚动轴承、联轴器、离合器等。工程上机械零件泛指零件和部件。

综上所述,一部机器总是由一些机构和零件组成的。所以说,机器的基本组成部分是机构和零件。

二、机器的功能组成

上述机器的组成是从结构、运动的角度来分析的,如果从功能的角度来分析,可以认为机器是由动力系统、传动系统、执行系统(工作机)、控制系统和辅助系统等组成,如图 1-3 所示。其中,动力系统、传动系统、执行系统是机器的基本功能组成部分。随着控制理论的发展和计算机在工业中的应用,机器的功能越来越复杂,在现代机器中,机器的组成除了以上三个系统外,还增加了控制系统和辅助系统等,这些系统有机配合,共同完成机器预定的工作。

如图 1-4 所示,以汽车为例分析机器各部分的功能。

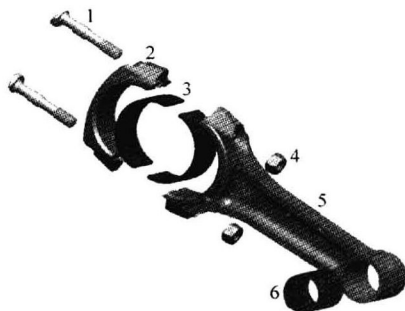


图 1-2 连杆

1—螺栓 2—连杆盖 3—轴瓦
4—螺母 5—连杆体 6—轴套

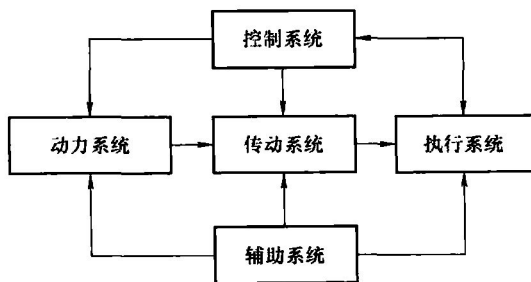


图 1-3 机器的组成

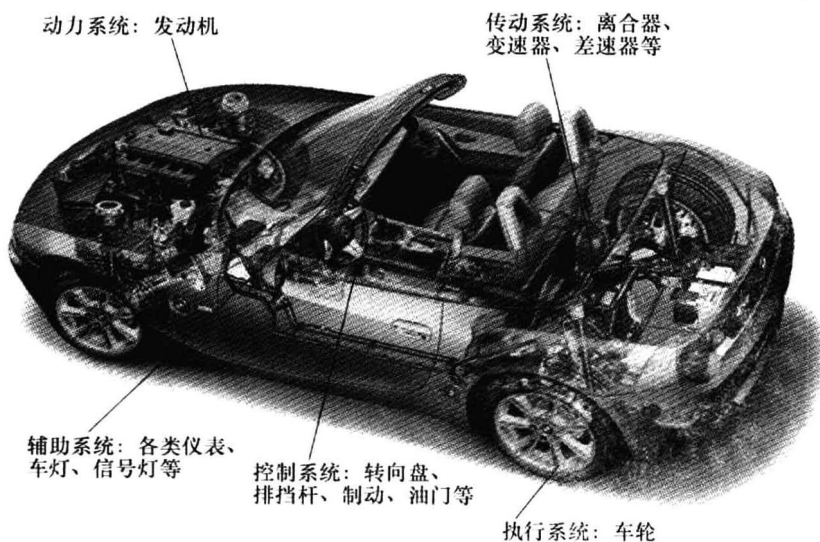


图 1-4 汽车的组成

1. 动力系统

动力系统包括原动机及其配套装置。它用来向机器提供运动和动力，是机械系统的动力源。一般常用的原动机有电动机、内燃机、液压马达、气马达等，其中以各种电动机应用最为普遍。在图 1-4 所示的汽车中，原动机为发动机（汽油机或柴油机）。

2. 执行系统

执行系统包括执行机构和执行构件，它用来驱动执行构件按给定的运动规律运动，从而完成机器的预期功能。执行系统一般处于机械系统的末端，执行构件直接与工作对象接触。一部机器可以只有一个执行机构，也可以把机器的功能分解成几个执行机构。在图 1-4 所示的汽车中，其执行系统即为汽车的车轮。

3. 传动系统

传动系统介于动力系统和执行系统之间，是把动力系统的运动和动力传递给执行系统并实现运动形式、运动及动力参数的转换。例如，电动机都是作旋转运动，而机器的执行构件可能有旋转、往复移动、往复摆动、间歇移动和间歇摆动等多种运动形式，而且一般电动机的转速都比较高，而执行构件又要求不同的速度，所以传动系统的功能是把原动机的运动形式、运动及动力参数转变为执行部分所需的运动形式、运动及动力参数。在图 1-4 所示的汽车中，就需要传动系统把发动机的运动、动力传输到车轮上，同时需要车轮有不同的转速，这就依靠传动系统的变速器、传动轴、离合器、差速器等来实现。

机器的传动系统多数使用机械传动系统，即使用各种机构、零部件完成传动的功能，有时也采用液压或电力传动系统。机械传动是绝大多数机器不可缺少的重要组成部分。

4. 控制系统

控制系统的功能是协调动力系统、执行系统和传动系统的动作，准确可靠地完成整部机器的功能。在图 1-4 所示的汽车中，转向盘、排挡杆、转向系统、制动系统、离合器踏板等构成了控制系统，用来控制汽车的前进、后退、停止和转向等。

5. 辅助系统

辅助系统包括显示、信号、照明、润滑和冷却等，用来完成机器的辅助功能。在图 1-4

所示的汽车中, 油量表、速度表、里程表等组成显示系统, 前后灯、仪表盘灯组成照明系统, 转向信号灯、车尾红灯组成信号系统, 后视镜、车门锁、刮雨器等为其他辅助装置。

第二节 本课程的内容、性质和任务

一、本课程的内容

机械设计基础课程的研究对象是机械, 具体内容是机械中常用机构和通用零件的工作原理、运动特性、结构特点和设计方法。

本课程是机械原理和机械设计课程的总和, 所研究的是机械的共性问题。前半部分(第二章~第八章)属于机械原理的内容, 主要研究常用机构分析和设计的基本理论、基本知识和基本方法以及机器动力学的基本知识; 后半部分(第九章~第十八章)属于机械设计的内容, 主要研究各种通用机械零部件的工作能力设计、结构设计的基本方法。具体的内容主要包括以下几个方面:

(1) 机构结构分析的基本知识 研究机构的组成及机构具有确定运动的条件, 机构运动简图的绘制方法。

(2) 机构的运动分析 从运动几何学观点来研究机构运动, 是了解现有机械运动性能的必要手段, 也是设计新机械的重要步骤。

(3) 机器动力学 研究机械运动过程中作用在构件上的力的求法、在已知外力作用下机器的等效动力学模型、机械速度波动的调节及惯性力的平衡等。

(4) 常用机构的分析与设计 研究机械中常用的连杆机构、凸轮机构、齿轮机构及其他机构的结构特点、运动和动力性能以及基本的设计方法。

(5) 机械零件工作能力分析的基本理论 包括机械零件的主要失效形式、设计准则, 作用在机械零件上的载荷及应力, 机械零件设计的基本要求和一般步骤等。

(6) 各种通用机械零部件的基本理论和设计方法 研究常用机械零件的类型、组成、工作原理、失效形式、设计准则、设计方法和参数选择等。常用机械零件分为: 联接零件(螺栓联接、键联接)、传动零件(齿轮传动、带传动、链传动、蜗杆传动)、轴系零部件(滚动轴承、滑动轴承、轴、联轴器和离合器)等。

二、本课程的性质和任务

1. 本课程的性质

在高等学校机械类和近机械类各专业中, 均设有研究专门机械的若干专业课程, 但在进行专业课程学习之前, 应具备有关机械共性问题的基本知识。机械设计基础课程是一门综合机械制图、理论力学、材料力学、金属材料热处理等基础理论知识和互换性与技术测量、机械制造工艺学等生产实践知识, 以设计为核心的一门主干技术基础课, 虽然研究的是常用机构和通用零件, 但其设计理论和方法可为后续专业课程的学习及掌握有关新技术打下基础。总之, 机械设计基础课程既具有基础理论课程的性质, 又兼有专业课程的特点, 在人才培养方案中起到承上启下的作用。

2. 本课程的任务

1) 培养学生正确的设计思想和创新思维的方法。

2) 培养学生掌握常用机构的工作原理、运动特性和机械动力学的基本知识, 初步具有

分析和设计常用机构的能力。

3) 培养学生掌握通用机械零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律,具有设计一般简单机械装置的能力。

4) 培养学生具有应用标准、规范、手册、图册及 CAD 软件等技术资料和实用软件的能力。

5) 培养学生掌握基本实验理论及技能。

6) 使学生了解机械设计的新发展。

第三节 学习本课程的目的和方法

一、学习本课程的目的

如前所述,学习本课程的目的:

1) 掌握机械类各专业课程学习必备的机械设计基础知识。

2) 能够合理使用现有机件,并对其进行革新改造。

3) 获得简单机械装置的设计能力,为机械产品的创新设计打下良好基础。

二、本课程的特点及学习方法

(1) 综合性强 本课程与诸多先修课程关系密切,因此在学习的过程中,要注意对先修课程的复习、理解与综合运用。在通用零部件的设计中,要综合考虑零件的强度、刚度、寿命、工艺、重量、安全、经济性等,因此要求设计者具有较强的综合运用各种知识的能力,从而能够分析和解决问题,设计出性能价格比高的产品。

(2) 实践性强 本课程是学生学完基础理论课后较早接触的一门设计性的技术基础课,与工程实际联系紧密,教学中常以各种机械为实例提出问题和讨论问题。因此,在学习中应用工程技术的观点,去观察周围的机械设备,理论联系实际地深入思考。同时,还要注意将理论的严密性与工程实际的灵活性、可行性结合起来。学习时注重逻辑思维的同时,加强形象思维,特别要注意设计绝非只是计算,更应重视结构设计的学习,在学习过程中逐步树立工程的观点。

(3) 灵活性大 机械设计问题没有统一的答案,每个同学的设计都不尽相同,更多的是注重谁设计得更好,这就要求同学们在掌握基本知识的前提下,开拓思路,独立思考,逐步培养创新的意识,注意发展求异思维,培养分析问题和解决问题的能力。

本课程将通过课堂教学、实验、习题和课程设计等教学环节进行。学习过程中,既要注重在课堂教学中搞清基本概念、基本原理,掌握基本方法,又要注意在日常生活中,善于观察、分析与比较,把所学的知识用于实际,达到举一反三的目的,同时要在实验、课程设计及与本课程相关的机械设计竞赛和课外科技创新活动等各实践性教学环节中培养创新意识和创新能力,掌握机械设计的方法。

第四节 机械设计概述

一、机械设计在国民经济建设中的地位与作用

机械工业是一个国家的基础工业,承担着为国民经济各个部门提供装备和促进技术改造

的重任,在现代化建设的进程中起着主导和决定性的作用。机械工业的发展水平是一个国家现代化建设水平的重要标志之一。机械工业中主要解决的两大问题是设计与制造,而国家与国家的经济竞争归根结底是设计和制造能力的竞争。数据表明,工业化国家的财富的60%~70%由制造业创造。而设计是制造的第一步,产品成本的70%~80%决定于设计阶段,设计的成败往往成为产品在生产和销售中能否取得良好效果的决定条件。因此,各个国家之间经济竞争的焦点之一是设计,成功的设计就能赢得市场。

机械设计是为了满足某些特定功能而进行的创造性工作过程,即用新的原理或新的概念,开发创造出新的产品,或对现有机器进行创造性的改革。机械设计是生产机械产品的第一道工序,设计质量的高低,直接影响产品质量的高低。各行各业的发展需要大量新的机械,也对机械设计提出新的要求,因此,必须加强新产品的开发和研制,我国的机械设计人员肩负着非常艰巨的任务。

二、机械设计的基本要求

机械设计的目的是为市场提供优质高效、价廉物美的机械产品,在市场竞争中取得优势,赢得用户,取得良好的经济效益。机械设计一般应满足如下要求。

1. 使用功能要求

机械产品应完成预定的功能。机械的功能可以表达为一个或几个功能指标,这些指标是设计之初由设计者或用户提出并确定的,如机器执行系统的运动形式、速度、运动精度、平稳性等,以及某些使用上的要求(如温度、防潮等),这主要靠正确选择机器的工作原理、设计方案(即正确地选择动力系统、传动系统和执行系统)以及合理地配置辅助系统来实现。

2. 可靠性要求

产品的可靠性是指产品在规定的使用条件和规定的时间内,完成规定功能的能力。这里所指的产品可以是零件,也可以是整部机器。规定条件指的是使用条件和环境条件,包括载荷、应力、温度、湿度、粉尘和腐蚀等,也包括操作技术、维修方法等。规定时间指的是产品的预定寿命,也就是说机械产品在预定的寿命期间能够可靠地工作,不发生任何形式的失效(产品规定功能的丧失)。机械产品可靠性的衡量指标有可靠度(不发生失效的概率)、失效概率。按机械和零件重要性的不同,对可靠度有不同的要求。

3. 经济性要求

机械产品的经济性是一个综合指标,它表现在设计、制造和使用的整个过程中:在设计、制造上,要求成本低,生产周期短;在使用上,要求生产率高,效率高,适用范围广,能源消耗小,以及管理和维护费用低。

(1) 提高设计及制造经济性的主要途径

- 1) 在产品的设计中,通过创新构思,优化筛选得到最佳的功能原理方案。
- 2) 采用先进的现代设计方法,使设计参数最优化,保证设计的准确性和可靠性。尽可能采用CAD技术,加快设计进度,降低设计成本。
- 3) 最大限度地采用标准化、系列化及通用化的零部件。
- 4) 尽可能地采用新技术、新工艺、新结构和新材料。
- 5) 改善零部件结构的工艺性,使其用料少、易加工、易装配,提高生产率,缩短生产周期,降低生产成本。

(2) 提高使用经济性的主要途径

1) 提高机械化和自动化水平,以期提高劳动生产率及减少管理、维护费用。

2) 采用高效率的传动系统,尽可能减少传动的中间环节,以期降低能源消耗和生产成本。

3) 适当地采用防护(如闭式传动、表面防护等)及润滑,以延长机器的使用寿命。

4) 采用可靠的密封,减少或消除渗漏现象。

4. 劳动保护要求

劳动保护要求包括以下三个方面:

1) 特别注意机械产品本身的安全性。机器除了需要满足必要的强度、刚度、稳定性等要求外,为了避免机器由于意外原因造成故障,还需配置过载保护、安全互锁等装置;为了保障操作人员的安全,还应在醒目位置标明安全方面的警告,采用各种安全保险装置和信号报警系统,保障人身安全。

2) 最大限度地减少操作人员的脑力和体力消耗。设计时要按照人机工程学的观点尽量减少操作手柄的数量,并使其集中于适当的位置,操纵灵便,且操纵符合人们的习惯,并合理地确定操作时的驱动力。

3) 改善操作者的工作环境。降低机器工作时的噪声;保持工作环境通风流畅、温度适中;使机械的造型和色彩美观、大方、宜人。

5. 环境保护要求

所设计的机械产品应符合国家环境保护法规及标准。

除了以上的基本要求外,不同的机械产品还有一些特殊的要求。例如:对机床有长期保持精度的要求;对飞机有重量轻的要求;对经常移动的机器(建筑起重机、钻探机),有便于安装、拆卸和运输的要求;食品、纺织机械有不得污染产品的要求等。设计机械产品时,在满足基本要求的前提下,还应着重满足这些特殊要求,以提高机械产品的使用功能。

三、机械设计的一般过程

机械产品的设计过程是一个复杂的过程,尽管机械产品的类型、功能、结构特点和设计方法不尽相同,但它们的设计过程和主要内容大体如下:

1. 计划阶段

根据社会需求进行市场调查,在对相关产品进行可行性分析并对有关技术资料进行研究的基础上,确定设计对象的主要性能指标和主要设计参数,编制设计任务书。

2. 方案设计阶段

本阶段对设计的成败起关键作用。根据设计对象所要达到的性能指标和主要设计参数,确定机器的工作原理,拟定总体方案。机器的工作原理选择是否得当是决定设计成败的关键。完成同一生产任务的机器,可以采用不同的设计方案,而同一设计方案中又有不同的设计参数组合。成功的设计往往基于总体方案的创新与突破及设计参数的正确配置。如果说设计是一种创造性的劳动,则可以认为拟定机器的总体方案是最能体现设计者的创新之意的。构思出一个较好的方案,即便对于基础理论扎实、经验丰富的高级工程技术人员也需要一个艰苦的思维过程。何况设计总是追求尽善尽美,人们不得不提出多种方案进行综合比较后择优而用。例如洗衣机有波轮式、滚筒式和搅拌式,它们的原理各不相同,设计出的机器也各有不同的特点。

3. 技术设计阶段

技术设计阶段的任务是将设计方案具体化,使其成为机器及其零部件的合理结构,完成总装配图、部件装配图和零件工作图。

为了确定主要零件的结构和尺寸,要做如下工作:

(1) 运动学设计与分析 根据工作原理的要求,确定原动件的类型及性能参数,并对传动系统和执行系统中各个机构进行运动学分析与设计,确定这些机构的几何尺寸和运动参数。

(2) 动力学分析与设计 根据机器的运转特性、工作阻力、机械效率等,确定各主要零件所受的载荷。运转速度较高的机械可能产生振动和速度波动,应进行必要的动力学分析和设计。

(3) 零件的工作能力分析与设计 根据零件的主要尺寸和作用在零件上的载荷,对各个零件进行工作能力分析与设计,以保证这些零件在工作过程中不发生失效,最终确定这些零件的基本尺寸。

(4) 结构设计 在确定了各个零件基本尺寸的前提下,对其结构进行设计,需考虑与决定各个部件的相对位置及连接方法,主要零件的具体形状、材料、制造、安装、配合等一系列问题,并进行类比、选择和必要的实验,从而确定所有零件的结构尺寸,绘制总装配图、部件装配图及非标准零件的零件工作图,提出所有外购零件的明细表。

4. 改进设计阶段

改进设计阶段包括样机试制、测试、综合评价及改进等环节。根据设计任务书的要求,对样机进行测试,发现产品在设计、制造、装配及运行中出现的问题,并加以改进、完善,形成最终的技术文件。

必须强调指出,整个机械设计的过程非常复杂,各个阶段可能是交叉进行的。在某一阶段发现问题,必须回到前面的有关阶段进行重新设计。因此,整个机械设计过程是一个不断反复、不断修改、不断完善的过程。

四、机械设计的方法

机械设计常用设计方法通常分为两类,即常规(传统)设计方法和现代设计方法。

1. 常规设计方法

常规设计方法是以长期经验积累为基础,以力学、数学及实验等形成的公式、经验数据、设计图表、手册等为设计依据,通过条件性计算或类比等方法进行设计。

在常规的设计方法中,机械的方案设计多数是依靠设计者的经验,并参考同类产品,通过类比的方法进行的。机械的运动学、动力学分析与设计有较为系统的理论和方法,包括图解法、解析法等,但由于受到计算手段的制约,往往较为粗略,只是近似计算。主要机械零件工作能力的分析与设计是以力学理论为基础,但常常对复杂问题作一些简化,得出近似公式和经验公式。

常规设计方法有如下不足:

1) 方案设计时过分依赖设计者的经验,通过类比确定,缺乏创新,很难得到最佳方案。

2) 零部件设计中,仅对重要的零部件根据简化的力学模型或经验公式进行静态的或近似的设计计算,其他零部件只作类比设计,与实际工况有时相差较远,影响设计质量。

3) 采用手工计算、绘图,设计的准确性差、设计周期长、效率低,不能适应市场竞争激烈、产品更新速度加快的新形势。

2. 现代设计方法

自 20 世纪中期以来,由于科学技术的飞速发展、各学科的交叉渗透和计算机的普及应用,传统的机械设计理论和方法发生了重大变化,特别是随着计算机技术的飞速发展,出现了许多现代设计方法。下面扼要介绍几种。

(1) 计算机辅助设计 计算机辅助设计 (Computer Aided Design, 简称 CAD) 是一种利用计算机软、硬件系统对产品进行设计 (选型、计算、绘图、分析等) 的方法和技术。一个完备的机械 CAD 系统具有科学计算与分析、图形处理与仿真、数据处理与文件编制等功能。它既可以进行设计计算,又可以将计算分析结果自动显示及输出,还可以对设计结果进行实时修改,显著提高设计效率,大大缩短设计周期,可以加快产品的更新换代,增强市场竞争力。

(2) 优化设计 优化设计 (Optimum Design) 是把最优化理论应用于工程设计问题,在众多的设计方案中寻求最优设计方案的一种现代设计方法。优化设计时,首先要建立设计问题的数学模型,然后选择合适的优化方法进行运算求解,获得最优的设计方案。

优化设计的数学模型由设计变量、目标函数和约束条件组成。设计变量是一些相互独立的设计参数,是对设计性能的优劣产生影响的参数。设计变量应当满足的条件称为约束条件,而设计者选定用于衡量设计方案优劣并期望得到改进的产品性能指标称为目标函数。优化设计中常用的优化方法有黄金分割法、梯度法、Powell 法和惩罚函数法等。随着优化理论的发展,近年来出现了一些现代优化设计方法,如遗传算法等,解决了传统优化方法不能解决的难题。

(3) 可靠性设计 可靠性设计 (Reliability Design) 是将概率论、数理统计、失效物理和机械设计理论结合起来的综合性设计技术,其主要特征是将常规设计方法中的设计变量都看成是服从某种统计分布的随机变量,根据机械产品的可靠性要求,用概率统计的方法设计出机械零部件的结构参数和尺寸。采用可靠性设计方法设计机械产品和零部件与采用常规设计方法不同,不是以安全系数来判断零部件的安全性,而是用可靠度来说明零部件安全工作的概率有多大。

除了以上几种设计方法以外,现代设计方法还包括摩擦学设计、人机工程学设计、反求设计和并行设计等。

常规设计方法虽有不足,但在现阶段机械产品的设计中,仍然得到广泛的应用,也是机械设计现代设计方法的基础。本课程主要介绍机械产品和零部件的常规设计方法,对于现代设计方法则在专门课程中介绍。

本章学习要点

1. 掌握机械设计基础课程研究的对象和内容;重点理解机器的组成,零件、构件、机构和通用零部件的基本概念。
2. 了解机械设计的地位和要求、一般过程及方法。
3. 在学习方法上要注意本课程的特点,逐步养成应用工程技术的观点去分析问题,研究问题,培养创新思维方法和综合设计能力。

第二章 平面机构的结构分析和速度分析



提示 本章主要阐述机构的组成和机构运动简图的绘制及平面机构的自由度计算，并对平面机构运动的确定性进行研究；介绍速度瞬心法及其在机构速度分析中的应用。本章难点是机构运动简图的绘制，重点是平面机构自由度的计算。

第一节 平面机构的组成

机构是传递运动和力或者导引构件上的点按给定轨迹运动的机械装置。机构主要由彼此间形成可动连接的基本元件组成。通常将承受载荷后，可忽略弹性变形的基本元件称为构件，将构件间的可动连接称为运动副。因此，机构的组成要素通常为构件和运动副。工程中所使用的各种机器均由一个或多个类型相同或不同的机构所组成。

如果组成机构的各构件都在同一平面或互相平行的平面内相对运动，则称为平面机构，否则称为空间机构。平面机构相对简单，且应用广泛，所以本章主要研究平面机构。

一、构件

构件是组成机构的基本要素之一。构件是由一个或多个零件刚性连接组成。从运动学的观点来说，构件是机构中的一个运动单元体，简称杆。

二、运动副

两个构件直接接触而又能产生相对运动的连接称为运动副。运动副是组成机构的另一基本要素。

构件所具有的独立运动数目为构件的自由度。如图 2-1 所示，在 xOy 平面中，一个自由的构件 S 有三个独立运动：绕任意点 A 转动和沿 x 与 y 方向移动，即具有三个自由度。如图 2-2 所示，一个自由的空间构件 W 有六个独立运动：沿 x 、 y 、 z 方向的三个移动和绕 x 、 y 、 z 轴的三个转动，即具有六个自由度。

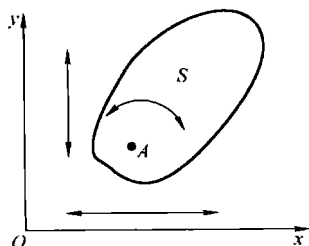


图 2-1 平面构件的自由度

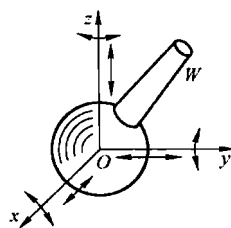


图 2-2 空间构件的自由度

当两个构件连接形成运动副后，构件之间的直接接触使某些独立运动受到限制，自由度便随之减少。把对构件独立运动所施加的限制称为约束。每引入一个约束，构件便失去一个自由度。约束数完全取决于组成运动副两构件的接触形式。

两构件组成运动副，其接触的几何形式不外乎点、线、面，这种通过几何形式接触产生的约束被称为几何约束。在自由度分析中，接触表面的摩擦力忽略不计，即认为接触表面是光滑的。

在平面机构中，按照接触形式把运动副分为低副和高副。

1. 平面低副

在平面机构中，两构件之间的接触为面接触的运动副称为低副。低副按运动形式分，又可分为转动副和移动副。

(1) 转动副 如图 2-3a 所示，构件 1 和构件 2 通过圆柱面接触构成运动副，如把坐标系选在构件 1 上，运动副约束了构件 2 相对构件 1 的 x 、 y 方向的移动，只允许两构件绕 z 轴作相对转动，所以称为转动副或回转副，又称为铰链。

(2) 移动副 如图 2-3b 所示，构件 1 和构件 2 通过平面接触构成运动副，如把坐标系选在构件 1 上，运动副约束了构件 2 相对构件 1 的 x 方向移动和绕 z 轴的转动，只允许两构件沿 y 轴作相对移动，称为移动副。

转动副和移动副均限制了构件间两个方向的相对运动，即引入了两个约束，保留了一个自由度。

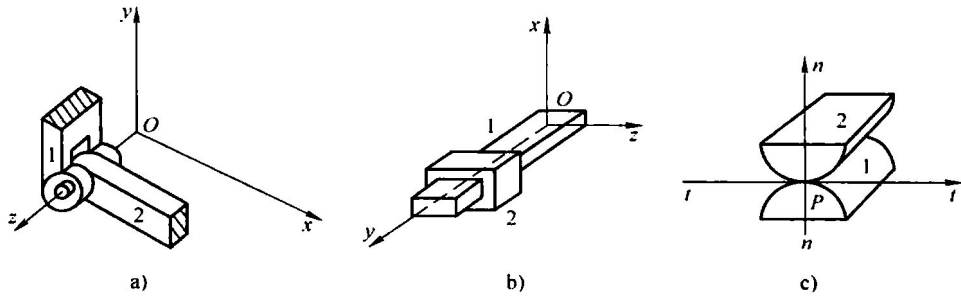


图 2-3 平面运动副
a) 转动副 b) 移动副 c) 高副

2. 平面高副

在平面机构中，两构件之间的接触为点、线接触的运动副称为高副。

如图 2-3c 所示，两构件之间为点、线接触，运动副约束了构件 2 相对于构件 1 沿公法线 $n-n$ 方向的移动，允许两构件沿公切线 $t-t$ 方向作相对移动和允许两构件绕过接触点 P 且垂直 $t-n$ 平面的轴作相对转动，所以平面高副仅限制了一个方向的运动，引入了一个约束，保留了两个自由度。

表 2-1 列出了平面机构的运动副及其特点。

表 2-1 平面机构的运动副及其特点

运动副的类型		约束数		自由度		特点
		转动	移动	转动	移动	
低副	转动副	0	2	1	0	两构件之间通过面接触，能承受较大载荷，易于润滑，磨损较轻，寿命较长，形状简单，易于制造
	移动副	1	1	0	1	
高副		0	1	1	1	两构件之间通过点、线接触，接触应力较大，易磨损

三、运动链和机构

1. 运动链

将两个以上的构件通过运动副连接而组成的系统称为运动链。如果运动链中各构件组成首尾封闭的系统,如图 2-4a 所示,称为闭式运动链,简称闭链;否则称为开式运动链,简称开链,如图 2-4b 所示。闭链广泛应用于各种机构中,只有少数机构采用开链,如机械手、挖掘机等。

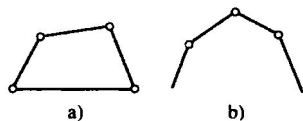


图 2-4 运动链

a) 闭链 b) 开链

2. 机构

在运动链中,若将某一构件作为参考坐标系,并给定另外一个或若干个构件以确定的运动规律运动,则运动链中的其余构件的运动便随之确定,这种运动链则称为机构。组成机构的构件根据其在运动链所起的作用分为三类:

(1) 机架 机架是机构中相对固定不动的构件,是研究其他构件运动的参考坐标系。

(2) 原动件(输入件) 原动件是机构中由外界作用有驱动力或驱动力矩,且运动规律已知的构件。

(3) 从动件 从动件是机构中除机架和原动件之外,其他所有随原动件运动的构件。在从动件中将运动或动力输出或执行某一任务的从动构件称为输出件(执行件)。

第二节 平面机构运动简图

实际构件的外形和结构往往很复杂,在研究机构运动时,为了使问题简化,有必要抛开那些与运动无关的构件外形和运动副的具体构造,仅用简单线条和符号来表示构件和运动副,并按比例定出构件的尺寸和运动副的位置。这种表明机构各构件间相对运动关系且具有尺寸参数的简化图形,称为机构运动简图。而仅表明机构各构件间相对运动关系但没有尺寸参数的简化图形,称为机构示意图。

一、运动副和构件的表示方法

1. 运动副的表示

(1) 转动副 用一个小圆圈表示,其圆心代表相对转动的轴线。图 2-5a 所示组成转动副的两构件都是活动构件,称为活动铰链;图 2-5b 所示组成转动副的两构件,一个是机架(画有短斜线的构件),另一个是连在机架上的活动构件,称为固定铰链。

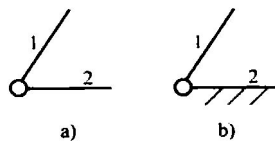


图 2-5 转动副

a) 活动铰链 b) 固定铰链

(2) 移动副 图 2-6 所示为两个构件组成的移动副,其中,长度较短的块状构件习惯上称为滑块,而长度较长的杆状或槽状构件称为导杆或导槽。图 2-6a、b 所示为导杆 1 与滑块 2 组成移动副,图 2-6c 所示为滑块 2 与导槽 1 组成移动副,图 2-6d 所示为导杆 2 与导槽 1 组成移动副。

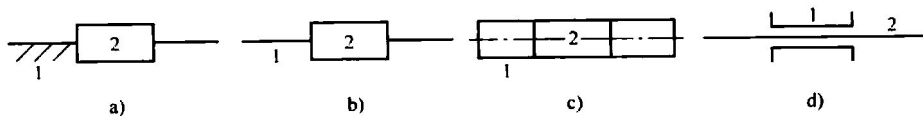


图 2-6 移动副