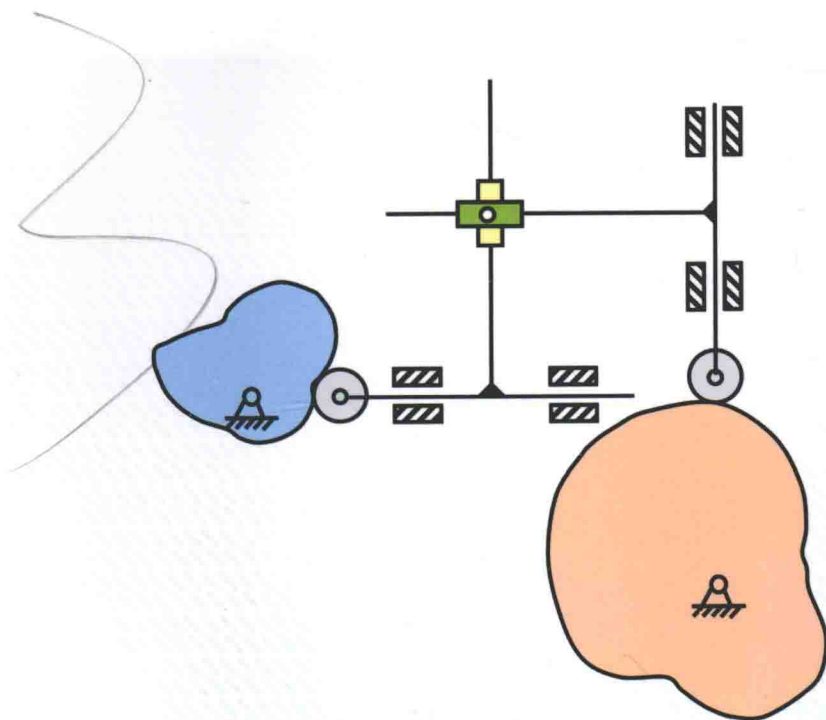


普通高等教育“十三五”规划教材

机械设计基础

(少学时)

何晓玲 王军 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

机械设计基础

(少学时)

主 编	何晓玲	王 军
副主编	田同海	陈科家
参 编	周志刚	周铭丽
	李雪飞	张中利



机械工业出版社

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颁发的《机械设计基础课程教学基本要求》编写,建议授课学时为60~70学时。

全书共15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、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、常用间歇机构、带传动和链传动、连接、轴、轴承、联轴器和离合器、弹簧和机械传动系统设计。

本书可作为近机械类和非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:少学时/何晓玲,王军主编. —北京:机械工业出版社,2016.8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-54204-9

I. ①机… II. ①何… ②王… 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(2016)第153562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:余 皞 责任编辑:余 皞 杨 璇 任正一

责任校对:陈延翔 责任印制:李 洋

封面设计:张 静

三河市宏达印刷有限公司印刷

2016年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·23印张·538千字

标准书号:ISBN 978-7-111-54204-9

定价:48.80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

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

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颁发的《机械设计基础课程教学基本要求》编写,适用于近机械类和非机械类专业,建议授课学时为60~70学时。

机械设计基础是工科院校近机械类专业的一门重要的技术基础课,主要介绍机械中的常用机构和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。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,作者从机械设计的总体要求和培养学生机械设计基本素质和能力出发,在内容的取舍及阐述方面,注意取材的先进性、实用性,着重于讲清基本概念、基本理论和基本方法,并使论述尽可能深入浅出,图形简洁、形象、直观,符合学生认知规律。书中尽可能地多增加了一些典型例题和较详细的解题步骤,并在各章首末辅以内容提示和学习要点,以最大限度地地为教师执教和学生自学提供方便。

本书配套有《机械设计基础作业集》(少学时)。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。

本书分为15章。参加本书编写的有河南科技大学王军(第一章、五章第一~五节、十五章),陈科家(第二、八章),何晓玲(第三章、五章第六~十二节),田同海(第四、七章)李更更(第六章),党玉功(第九章),周铭丽(第十章),周志刚(第十一章、十二章第四~八节),李雪飞(第十二章第一~三节)和张中利(第十三、十四章)。本书由何晓玲、王军担任主编,田同海、陈科家担任副主编。

本书承蒙杨巍教授精心审阅,并提出了宝贵意见和建议,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	6
第五节 机械零件的失效形式和设计准则	8
第六节 机械零件材料的选用	13
第七节 机械零件的标准化	17
第八节 摩擦、磨损和润滑	18
第二章 平面机构的结构分析和速度分析	23
第一节 机构的组成	23
第二节 平面机构运动简图	25
第三节 平面机构的自由度计算	28
第四节 用速度瞬心法进行机构的速度分析	32
第三章 平面连杆机构及其设计	36
第一节 平面连杆机构及其特点	36
第二节 平面四杆机构的类型和应用	36
第三节 平面四杆机构的基本知识	42
第四节 平面四杆机构的设计	46
第四章 凸轮机构及其设计	50
第一节 凸轮机构的分类和应用	50
第二节 从动件的运动规律	53
第三节 凸轮轮廓曲线设计	56
第四节 凸轮机构基本尺寸的确定	60
第五章 齿轮传动	65
第一节 概述	65
第二节 齿廓啮合基本定律及渐开线齿廓	67
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸计算	71
第四节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	74
第五节 渐开线齿廓的切制原理	78
第六节 齿轮传动的主要失效形式	83
第七节 齿轮的材料及其选择	85
第八节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	86
第九节 斜齿圆柱齿轮传动及其强度计算	94
第十节 直齿锥齿轮传动及其强度计算	103
第十一节 齿轮的结构设计	107

第十二节 齿轮传动的润滑	108
第六章 蜗杆传动	111
第一节 蜗杆传动的特点和类型	111
第二节 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	112
第三节 蜗杆传动的效率和润滑	115
第四节 蜗杆和蜗轮的常用材料及结构设计	116
第五节 蜗杆传动的受力分析、设计准则及工作能力计算	118
第七章 轮系	123
第一节 轮系的分类	123
第二节 轮系的传动比计算	125
第三节 轮系的功用	131
第八章 常用间歇机构	135
第一节 棘轮机构	135
第二节 槽轮机构	139
第九章 带传动和链传动	142
第一节 带传动的类型和特点	142
第二节 普通 V 带和带轮的结构	143
第三节 带传动的工作情况分析	145
第四节 普通 V 带传动的设计计算	149
第五节 链传动的特点和应用	157
第六节 传动链及链轮的结构特点	158
第七节 链传动的工作情况分析	161
第八节 滚子链传动的设计计算	164
第九节 链传动的润滑、布置和张紧	170
第十章 连接	173
第一节 螺纹	173
第二节 螺纹连接的类型和螺纹紧固件	179
第三节 螺纹连接的预紧和防松	180
第四节 螺纹紧固件的材料及许用应力	183
第五节 螺栓连接的强度计算	185
第六节 螺栓组连接的结构设计	192
第七节 键连接和花键连接	194
第八节 销连接	200
第十一章 轴	202
第一节 概述	202
第二节 轴的结构设计	205
第三节 轴的计算	209
第十二章 轴承	215
第一节 滚动轴承的基本类型、代号及选择	215
第二节 滚动轴承的失效形式及选择计算	220
第三节 滚动轴承的组合设计	226
第四节 滑动轴承的结构形式	237

第五节	滑动轴承的失效形式及常用材料	240
第六节	润滑剂和润滑方式	242
第七节	不完全液体润滑滑动轴承的设计计算	243
第八节	液体润滑滑动轴承简介	245
第十三章	联轴器和离合器	248
第一节	联轴器	248
第二节	离合器	255
第十四章	弹簧	258
第一节	弹簧的功用和类型	258
第二节	弹簧的材料、许用应力和制造	259
第三节	圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算	261
第十五章	机械传动系统设计	268
第一节	概述	268
第二节	机械传动系统的设计	270
第三节	原动机的选择及机械传动系统运动、动力参数的计算	272
参考文献		280

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;概述了机械设计的基本要求、一般过程和设计方法,机械零件的失效形式和设计准则,机械零件材料的选择,机械零件的标准化及摩擦、磨损和润滑等。

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,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价比?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,如机床、运输机械、起重机械、矿山机械、农业机械及食品机械等。用途不同,构造各异,但都具有共同特征。

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、气缸体 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)。继而再进行吸气、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。

从上述例子可以看出,机器具有如下特征。

- 1) 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

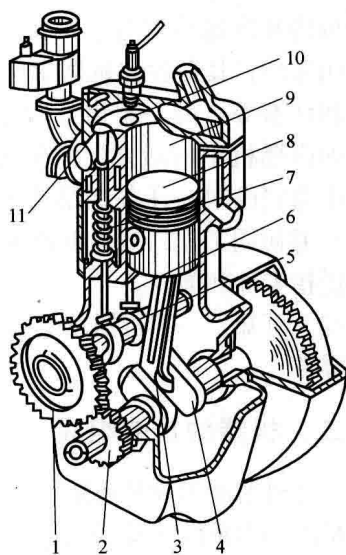


图 1-1 单缸四冲程内燃机

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

一个或几个构件的运动规律一定时, 其余各构件都将进行预期的机械运动。

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, 一般把只具备上述前两个特征的实物组合体, 称之为机构。

上述内燃机中, 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, 将气体的推力转换为输出力矩。而两个齿轮和机架组成的齿轮机构用来传递曲轴与凸轮轴间的运动, 从而使凸轮机构 (由凸轮、推杆和机架所组成) 准确控制进、排气阀的开启或关闭。

机构与机器的不同之处是研究的着重点不同。机构主要实现运动或力的传递和转换, 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用, 随着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, 是运动的基本单元, 可以是单一的零件, 也可以是由若干个零件刚性连接而成。如图 1-2 所示, 内燃机中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 组成。由此可知构件是运动的单元, 而零件是加工制造的基本单元。也是组成机械的最基本单元。

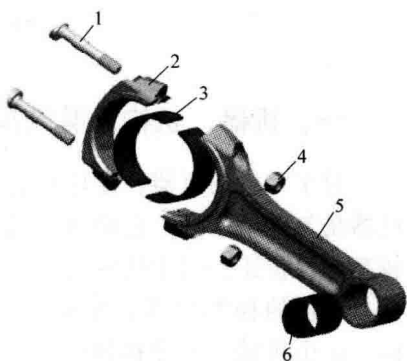


图 1-2 连杆

1—螺栓 2—连杆盖 3—轴瓦
4—螺母 5—连杆体 6—轴套

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, 其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, 其使用在某种机器中, 如内燃机中的活塞、汽轮机中的叶片等。另外, 把机器中为完成同一任务在结构上组合在一起 (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 (原动机)、传动系统、执行系统 (工作机)、控制系统和辅助系统组成, 如图 1-3 所示。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。

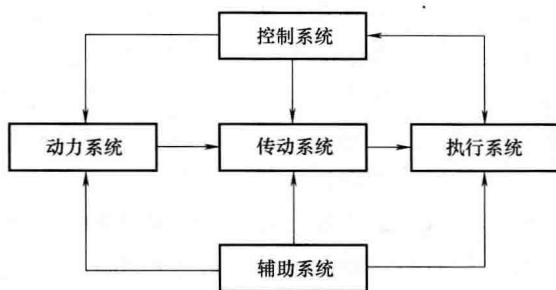


图 1-3 机器的组成

下面以汽车（图 1-4）为例，分析各部分的功能。

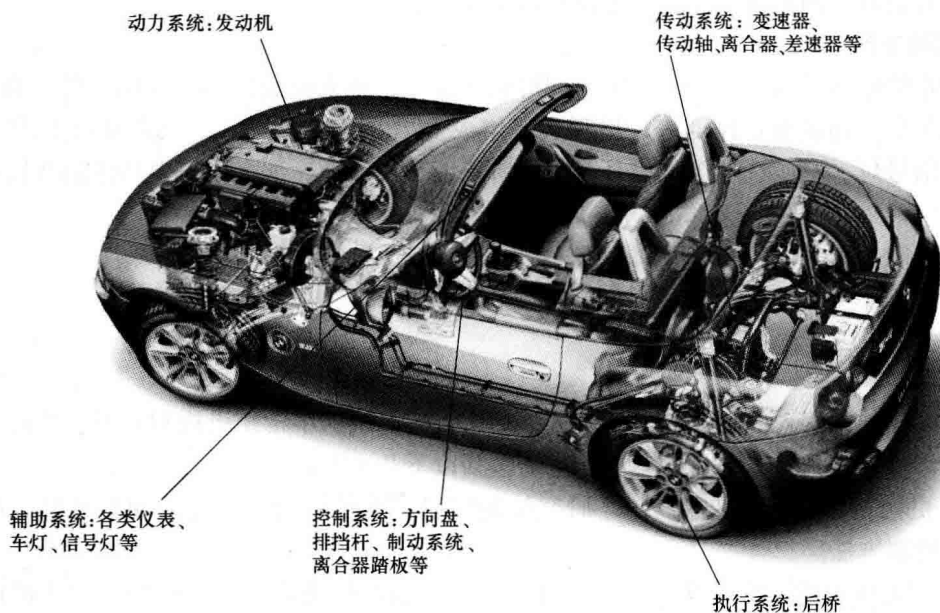


图 1-4 汽车的组成

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、气动马达等，以各种电动机应用最为普遍。在图 1-4 所示汽车中，其原动机为发动机（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 所示汽车中，其执行系统即为汽车的后桥，执行件为车轮。

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：电动机是做旋转运动，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电动机的运动形式、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。

机器的传动系统大多使用机械传动系统,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 所示汽车中,转向盘、排档杆、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、倒退、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、刮水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 and 设计方法,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) 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、齿轮机构及间歇运动机构的结构特点、运动和动力性能以及基本的设计方法。

(3) 各种通用机械零件的基本理论和设计方法 研究通用机械零件的类型、组成、工作原理、失效形式、设计准则、设计方法和参数选择等。通用机械零件分为连接零件(螺栓、键等)、传动零件(齿轮、带、链、蜗杆等)、轴系零件(滚动轴承、滑动轴承、轴、联轴器和离合器等)等。

二、本课程的性质和任务

1. 本课程的性质

机械设计基础课程是一门综合应用机械制图、工程力学(或理论力学、材料力学)、金属材料热处理等基础理论知识和互换性与测量技术、机械制造工艺学等基础理论和生产实践知识,以设计为核心的一门重要技术基础课,虽然研究的是常用机构和通用零件,但其设计理论和方法对于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理论基础课程的性质,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) 使学生具有正确的设计思想和掌握创新思维的方法。
- 2) 使学生掌握常用机构的工作原理、运动特性的基本知识,初步具有分析和设计常用机构的能力。
- 3) 使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) 使学生具有应用标准、规范、手册、图册及 CAD 软件等技术资料和实用软件的能力。
- 5) 使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,学习本课程的目的如下。

- 1) 掌握后续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械,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。在通用零件的设计中,要综合考虑零件的强度、刚度、寿命、工艺、质量、安全、经济性等,因此要求设计者具有较强综合运用各种知识的能力,来分析和解决问题,设计出性价比高的产品。

(2) 实践性强 本课程是学生学完理论基础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答案,每个学生的设计都不尽相同,更多地谈论的是谁设计得更好,这就要求学生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,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。在学习过程中,既要注重在课堂教学中理解清楚基本概念、基本原理,掌握基本方法,又要注意在日常生活中,善于观察、分析比较,把所学的知识用于实际当中,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。机械产品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

机械产品的可靠性是指机械产品在规定条件和时间内,完成规定功能的能力。这里所指的机械产品可以是零件,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。规定时间指的是机械产品的预定寿命,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,对可靠度有不同要求。

3. 经济性要求

机械产品的经济性是一个综合指标,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、适用范围广、能源消耗小以及低的管理和维护费用。

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。

二、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主要性能指标和主要设计参数，确定机器的工作原理，拟订总体方案。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，则可以认为拟订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、实践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件的合理结构，完成总装配图、部件装配图和零件图。

为了确定零件的结构和尺寸，要做如下工作。

(1) 运动学分析与设计 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 根据确定的零件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，对各个零件的结构进行设计，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，然后绘制总装配图、部件装配图及非标准零件的零件图，并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。

三、机械设计的方法

机械设计的常用方法通常分为两类,即常规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,用力学、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。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,但常常对复杂问题进行一些简化,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) 零件设计中,仅对重要的零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,其他零件只进行类比设计,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,如计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、优化设计(Optimum Design)、可靠性设计(Reliability Design)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件的常规设计方法。现代设计方法在专门课程中介绍。

第五节 机械零件的失效形式和设计准则

一、机械零件的主要失效形式

机械零件由于某种原因不能正常工作或达不到设计要求的性能时,称为失效。失效并不单纯意味着破坏,而是具有更广泛的含义。机械零件常见的主要失效形式有强度失效、刚度失效、表面失效和破坏正常工作条件引起的失效。

1. 零件强度失效

零件在受拉、压、弯、剪和扭等外载荷作用时,由于某一危险截面上的应力超过零件的强度极限而发生断裂,或者零件在变应力作用时,危险截面上发生的疲劳断裂,如螺栓的断裂、齿轮轮齿根部的折断或轴的弯曲折断等。如果作用于零件上的应力超过了材料的屈服极限,则零件将产生塑性变形。无论断裂还是塑性变形均导致机械不能正常工作。

2. 零件刚度失效

如果零件的弹性变形超过其许用值,则会影响机器的工作精度。如齿轮传动中,轴的弯曲变形过大会影响齿轮的正确啮合。机床主轴弹性变形将影响零件加工精度。

3. 零件的表面失效

零件的表面失效主要有磨损、接触疲劳(疲劳点蚀)和腐蚀。磨损是两个接触表面在作相对运动的过程中表面物质丧失或转移的现象。零件表面的接触疲劳,是指受到接触变应力长期作用的表面产生裂纹或微粒剥落的现象。腐蚀是发生在金属表面的一种电化学或化学侵蚀现象,腐蚀的结果是使金属表面产生锈蚀,从而使零件表面遭到破坏。磨损、接触疲劳(疲劳点蚀)、腐蚀都是随工作时间的延续而逐渐发生的失效形式。

4. 破坏正常工作条件引起的失效

有些零件只有在一定的工作条件下才能正常工作。例如:液体摩擦的滑动轴承,只有在完整的润滑油膜时才能正常工作;带传动只有在传递的有效圆周力小于临界摩擦力时才能正常工作。如果破坏了这些必备的条件,将发生不同类型的失效。例如:滑动轴承将发生过热、胶合、磨损等形式的失效;带传动将发生打滑的失效。

零件会发生哪种形式的失效,与很多因素有关,并且在不同行业和不同的机器上不尽相同。从有关统计分类结果来看,由于腐蚀、磨损和各种疲劳破坏所引起的失效就占73.88%,而由于断裂所引起的失效只占4.79%。因此可以说,磨损、疲劳和腐蚀是引起零件失效的主要原因。

二、机械零件的设计准则

在不发生失效的条件下,机械零件所能安全工作的限度,称为工作能力。通常此限度是对载荷而言,所以习惯上又称为承载能力。同一零件对于不同失效形式的承载能力也各不相同。根据不同的失效形式建立的判定零件工作能力的条件,通常称为机械零件的设计准则(或工作能力计算准则)。机械零件的常用设计准则主要有强度准则、刚度准则、耐磨性准则、振动稳定性准则等。

1. 强度准则

强度是指机械零件承受载荷时抵抗破坏的能力。强度准则是机械零件安全工作最基本的设计准则,强度准则要求零件的计算应力小于或等于许用应力,其一般表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{[S]} \quad (1-1)$$

式中 σ ——机械零件的计算应力(MPa);

$[\sigma]$ ——机械零件的许用应力(MPa);

σ_{lim} ——机械零件的极限应力(MPa),机械零件在不同性质的应力作用下,失效形式不同,其极限应力的取值也不同;

$[S]$ ——机械零件的许用安全系数。

许用安全系数过大,会使机器笨重,在用料、加工、运输等方面都不符合经济原则;而许用安全系数过小,机器又可能不够安全。因此应在保证机器安全的前提下,尽可能选用较小的许用安全系数。不同的机械制造部门,经过长期生产实践,都已总结制定出适合本行业的许用安全系数,设计时可以参考有关设计手册。在无可靠资料直接确定许用安全系数时,可用下式计算许用安全系数,即

$$[S] = S_1 S_2 S_3 \quad (1-2)$$

式中 S_1 ——考虑载荷及应力计算准确性的系数, $S_1 = 1 \sim 1.5$;

S_2 ——考虑材料的均匀性系数,锻钢、轧钢及铸铁零件的 $S_2 = 1.2 \sim 1.5$;

S_3 ——考虑零件重要程度的系数, $S_3 = 1 \sim 1.5$ 。

若零件应力为切应力 τ , 式 (1-1) 中 σ 改为 τ 即可。

2. 刚度准则

刚度是指机械零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。当机械零件刚度不满足时,会产生过大的弯曲弹性变形或扭转弹性变形。因此对刚度要求较高的机械零件,如机床主轴、电动机轴等,设计时应满足刚度要求。刚度准则的一般表达式为

$$y \leq [y], \theta \leq [\theta], \varphi \leq [\varphi] \quad (1-3)$$

式中 y, θ, φ ——机械零件工作时的挠度、偏转角和扭转角;

$[y], [\theta], [\varphi]$ ——机械零件的许用挠度、许用偏转角和许用扭转角。

3. 耐磨性准则

耐磨性是指机械零件抵抗磨损的能力。如果机械零件之间作用有载荷并有相对运动存在,其工作表面都会出现磨损,此时,耐磨性是表示机械零件工作能力的主要指标。通常耐磨性是通过控制单位面积上的压力来达到控制磨损量的大小。耐磨性准则的一般表达式为

$$p \leq [p] \quad (1-4)$$

式中 $p, [p]$ ——机械零件工作表面上的压力、许用压力 (MPa)。

4. 振动稳定性准则

机械零件发生周期性弹性变形的现象称为振动。机器中存在许多周期性变化的激振源,如齿轮的啮合、轴的偏心转动、滑动轴承的油膜振荡等。当上述激振源的振动频率(也称工作频率)等于或接近机械零件固有频率时,机械零件将会发生共振,共振会使机械零件的振幅急剧增大,从而失去振动稳定性。它的结果不仅会影响机械的正常工作,而且还可能发生破坏性事故。因此,对于高速机械或对振动、噪声有限制的机械,设计时都应使激振源的振动频率避开机械零件的固有频率,即满足振动稳定性准则。通常应保证

$$f_p < 0.85f \text{ 或 } f_p > 1.15f \quad (1-5)$$

式中 f_p ——激振源的振动频率;

f ——机械零件的固有频率。

对于上述各项衡量机械零件工作能力的计算准则,设计计算时并不是每一种机械零件均需按其逐项计算,而是根据机械零件的实际工作条件,分析出主要失效形式,按相应的设计准则进行设计计算,确定主要参数后,必要时再按其他设计准则进行校核。