

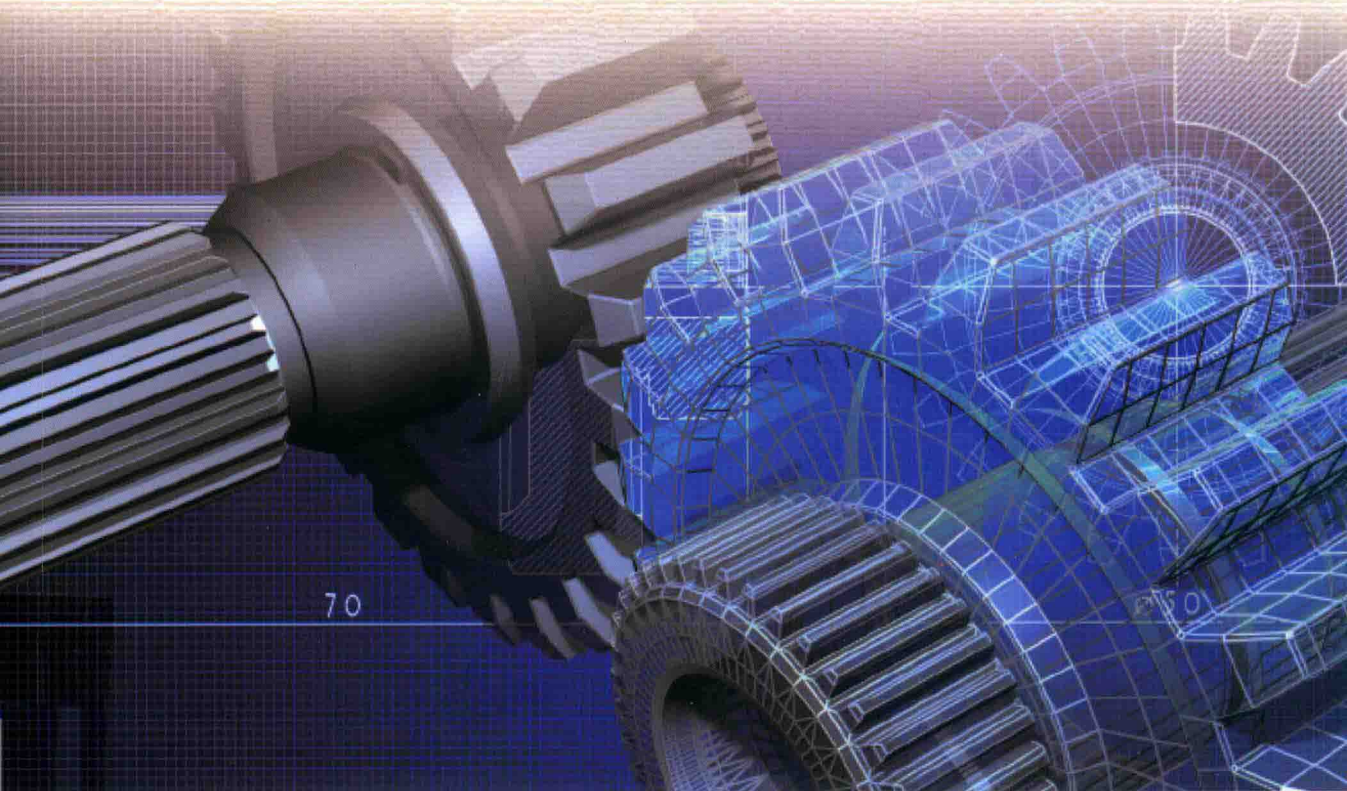


普通高等教育“十三五”规划教材

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

王利红 刘爱敏 主编



普通高等教育“十三五”规划教材

机械设计基础

王利红 刘爱敏 主 编

河南科学技术出版社

· 郑州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/王利红, 刘爱敏主编. —郑州: 河南科学技术出版社, 2018. 5
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5349-9251-3

I. ①机… II. ①王… ②刘… 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 (2018) 第 109814 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65788607

网址: www.hnstp.cn

策划编辑: 王向阳

责任编辑: 孟明明

责任校对: 牛艳春

封面设计: 张伟

责任印制: 张艳芳

印刷: 河南现代印刷包装有限公司

经销: 全国新华书店

开本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 21 字数: 450 千字

版次: 2018 年 5 月第 1 版 2018 年 5 月第 1 次印刷

定价: 39.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系并调换。

本书编写人员名单

主 编 王利红 刘爱敏

编写人员 (按姓氏笔画排序)

王利红 冯宪章 刘爱敏 李法新

崔艳梅 韩衍昭 童小利

机械设计基础课程是普通高等院校机械类、近机械类专业一门十分重要的专业技术基础课。本书是在编者多年从事机械设计基础课程的教学实践基础上,结合当前教育教学改革的发展方向和“新工科”人才培养的需要编写的。本书力求既保证机械设计基础的基本教学内容,又满足不同学时、专业的要求,使之适用于近机类和非机类专业教学,也可以作为相关专业科技人员的参考资料。

本书有以下一些具体特色和内容:

1. 本教材内容难易兼顾,注重“由易到难”的过渡,习题部分加入难度适用于非机类专业的题目,尽量做到适合面广。

2. 本书可根据授课专业的需要,进行各章节内容的选择,最大限度增强内容的针对性。同时精选难易程度不同的思考题、习题,便于教师教学和学生自学。

3. 本书在着重理论教学内容编写的同时,增加工程设计实例内容,用具体实例讲解现代机械设计方法和机械系统方案设计,培养学生分析问题和解决问题的能力,使学生能够学以致用。

4. 本书对大部分静态图进行动态仿真,通过网络技术使用智能手机或平板电脑扫描二维码可以观看机构的运动,使教材“动”了起来,可加深学生对机构运动的理解。

本书内容包括:绪论、平面机构的运动简图及自由度、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇运动机构、连接件、齿轮传动、蜗杆传动、带传动和链传动、轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器、离合器和制动器、机械系统方案设计等,共17章。主要章节还附有相应的习题。

参加本书编写的有王利红、刘爱敏、李法新、童小利、崔艳梅、冯宪章、韩衍昭等。全书由王利红教授、刘爱敏副教授担任主编并统稿。

在编写本书的过程中参考了许多文献期刊,引用了一些著者的插图和资料,在参考文献中未能一一列出,在此一并表示诚挚的谢意。限于编者的水平经验,书中存在的不足之处,敬请广大同行及读者批评指正。

编者

2018年4月

上 篇

第 1 章 绪论	(2)
1-1 本课程研究的对象和内容	(2)
1-2 本课程在教学中的地位	(4)
1-3 机械设计的基本要求和一般过程	(5)
思考题和习题	(7)
第 2 章 平面机构的自由度和速度分析	(8)
2-1 平面机构的组成	(8)
2-2 平面机构的运动简图	(13)
2-3 平面机构的自由度	(16)
2-4 速度瞬心及其在机构速度分析上的应用	(21)
思考题和习题	(24)
第 3 章 平面连杆机构	(28)
3-1 平面四杆机构的基本类型及其应用	(28)
3-2 平面连杆机构的基本特性	(31)
3-3 铰链四杆机构的演化	(36)
3-4 平面四杆机构的设计	(40)
思考题和习题	(45)
第 4 章 凸轮机构	(48)
4-1 凸轮机构的应用和类型	(48)
4-2 从动件的常用运动规律	(51)
4-3 图解法设计凸轮轮廓曲线	(54)
4-4 凸轮机构基本参数设计	(59)
思考题和习题	(61)
第 5 章 齿轮机构	(64)
5-1 齿轮机构的特点和类型	(64)
5-2 齿廓啮合基本定律	(66)
5-3 渐开线及渐开线齿廓	(67)
5-4 直齿圆柱齿轮各部分名称及几何尺寸计算	(69)
5-5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	(72)
5-6 渐开线齿轮的切齿原理及根切	(74)
5-7 变位齿轮	(78)

	5-8 斜齿圆柱齿轮机构	(80)
	5-9 圆锥齿轮机构	(85)
	5-10 圆弧齿轮传动简介	(89)
	思考题和习题	(91)
第6章	轮系	(93)
	6-1 轮系的类型	(93)
	6-2 定轴轮系及其传动比	(95)
	6-3 周转轮系及其传动比	(97)
	6-4 复合轮系及其传动比	(100)
	6-5 轮系的应用	(101)
	6-6 其他类型的行星传动简介	(104)
	思考题和习题	(106)
第7章	间歇运动机构	(110)
	7-1 棘轮机构	(110)
	7-2 槽轮机构	(115)
	7-3 不完全齿轮机构	(117)
	思考题和习题	(118)

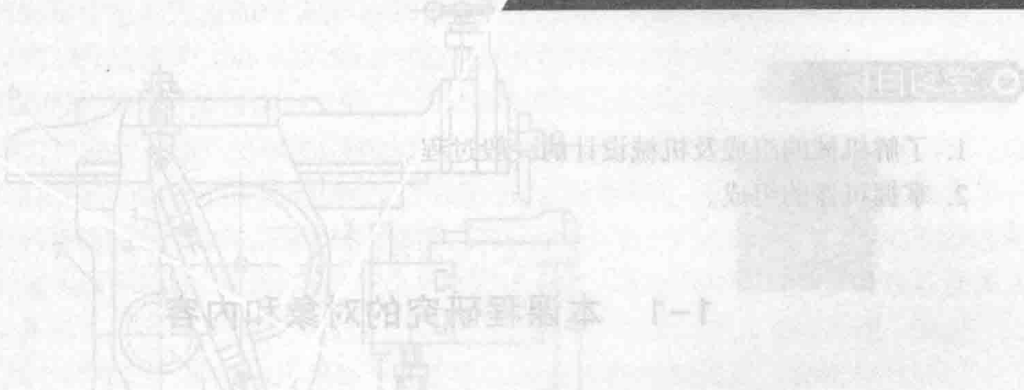
下 篇

第8章	机械零件设计概论	(120)
	8-1 机械零件失效形式和设计准则	(120)
	8-2 机械结构设计准则	(124)
	8-3 机械制造常用材料及其选择	(128)
	8-4 机械设计的一般过程	(131)
	思考题和习题	(132)
第9章	连接	(133)
	9-1 螺纹参数	(133)
	9-2 螺纹连接的基本类型和螺纹连接件	(135)
	9-3 螺纹连接的预紧和防松	(140)
	9-4 螺纹连接的强度计算	(143)
	9-5 螺栓连接件的材料和许用应力	(146)
	9-6 提高螺栓连接强度的措施	(147)
	9-7 键连接	(150)
	9-8 花键连接	(154)
	9-9 销连接	(155)
	思考题和习题	(156)
第10章	齿轮传动	(159)
	10-1 轮齿的失效形式	(159)

10-2	齿轮的材料及热处理	(161)
10-3	直齿圆柱齿轮的作用力和计算载荷	(163)
10-4	直齿圆柱齿轮的齿面接触强度计算	(164)
10-5	直齿圆柱齿轮的轮齿弯曲强度计算	(166)
10-6	斜齿圆柱齿轮传动	(170)
10-7	直齿圆锥齿轮传动	(172)
10-8	齿轮结构与齿轮传动润滑	(173)
	思考题和习题	(177)
第 11 章	蜗杆传动	(180)
11-1	蜗杆传动的类型和特点	(180)
11-2	圆柱蜗杆传动的正确啮合条件	(182)
11-3	圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	(183)
11-4	蜗杆传动的失效形式、常用材料和结构	(186)
11-5	圆柱蜗杆传动的强度计算	(188)
11-6	圆柱蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	(191)
	思考题和习题	(195)
第 12 章	带传动和链传动	(196)
12-1	带传动的类型和特点	(196)
12-2	带传动的受力分析	(198)
12-3	带传动的应力分析	(200)
12-4	带传动的弹性滑动	(201)
12-5	V 带传动的计算和参数选择	(202)
12-6	带轮结构及带传动的张紧	(210)
12-7	链传动的特点和应用	(214)
12-8	链条和链轮	(214)
12-9	链传动的运动分析和受力分析	(217)
12-10	链传动的主要参数及其选择	(220)
12-11	滚子链传动的设计计算	(221)
12-12	链传动的布置和润滑	(224)
	思考题和习题	(228)
第 13 章	轴	(229)
13-1	轴的功用与种类	(229)
13-2	轴的材料	(230)
13-3	轴的结构设计	(232)
13-4	轴的强度计算	(235)
13-5	轴的刚度计算	(242)
	思考题和习题	(244)

第 14 章 滑动轴承	(247)
14-1 概述	(247)
14-2 滑动轴承的结构	(248)
14-3 滑动轴承失效形式及材料	(251)
14-4 滑动轴承的润滑剂及润滑装置	(254)
14-5 非完全液体润滑滑动轴承的计算	(258)
14-6 液体动压润滑原理	(261)
14-7 向心动压轴承的设计计算	(264)
14-8 其他形式滑动轴承简介	(267)
思考题和习题	(269)
第 15 章 滚动轴承	(270)
15-1 滚动轴承的构造、类型及特点	(270)
15-2 滚动轴承的代号及类型选择	(274)
15-3 滚动轴承的计算	(277)
15-4 滚动轴承的组合设计	(284)
15-5 滚动轴承的润滑与密封	(287)
思考题和习题	(289)
第 16 章 联轴器、离合器和制动器	(292)
16-1 联轴器	(292)
16-2 离合器	(298)
16-3 制动器	(300)
思考题和习题	(302)
第 17 章 机械系统方案设计综述	(304)
17-1 机械系统的组成和设计程序	(304)
17-2 机械系统的总体方案设计	(306)
17-3 机械执行系统的方案设计	(307)
17-4 机械传动系统的方案设计	(315)
17-5 原动机的选择	(321)
思考题和习题	(324)

第 1 章



由电动机驱动，经皮带传动（图中未绘出）和齿轮传动，一方面经丝杠 2、滑块 3、螺母 4 转变为滑枕 6 的往复直线移动，另一方面，电动机经蜗轮蜗杆传动，使工作台横向移动，从而实现工件的进给运动。

图 1-1 车床刀架结构示意图

图 1-1 车床刀架结构示意图

图 1-1 车床刀架结构示意图

图 1-1 车床刀架结构示意图



图 1-1 车床刀架结构示意图

图 1-1 车床刀架结构示意图

图 1-1 车床刀架结构示意图

图 1-1 车床刀架结构示意图

第1章 绪论

学习目标

1. 了解机械的组成及机械设计的一般过程。
2. 掌握机器的组成。

1-1 本课程研究的对象和内容

顾名思义,本课程的研究对象为机械。在长期的生产实践中,人类为了减轻劳动强度,改善劳动条件,提高生产效率,创造和发展了各种机械,如电动机、内燃机等。机械在人类的生产活动中历来都扮演着十分重要的角色,尤其是在现代化生产的今天更离不开机械。

一般而言,人们将机器与机构统称为机械。机器是执行机械运动的装置,它用来变换和转换能量与信息。将其他形式能量变换为机械能的机器称为原动机。如内燃机将热能变换为机械能,电动机将电能变换为机械能,它们都是原动机。利用机械能去变换或传递能量、物料、信息的机器称为工作机。如发电机将机械能变换为电能,起重机传递物料,金属切削机床改变物料外形,录音机变换和传递信息,它们都属于工作机。

机器的种类繁多,任何机器都是为实现某种功能而设计制作的,如缝纫机、洗衣机、各类机床、运输车辆、农用机器、起重机等。但从机械的组成分析,它们又有共同点,它们都是由一些典型的机构和零件所组成。

如图1-1所示为单缸四冲程内燃机。它是由气缸体1、曲轴2、连杆3、活塞4、进气阀5、排气阀6、顶杆7、凸轮8、齿轮9和齿轮10等组成。燃气推动活塞往复运动,经连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次,曲轴与凸轮轴之间安装了齿数比为1:2的齿轮。这样,当燃气推动活塞运动时,各构件协调地动作,进、排气阀有规律地启闭,加上汽化、点火等装置的配合,就把热能转换为曲轴回转的机械能。

图1-2所示为实现机械加工要求设计制造的牛头刨床。它由电动机传送

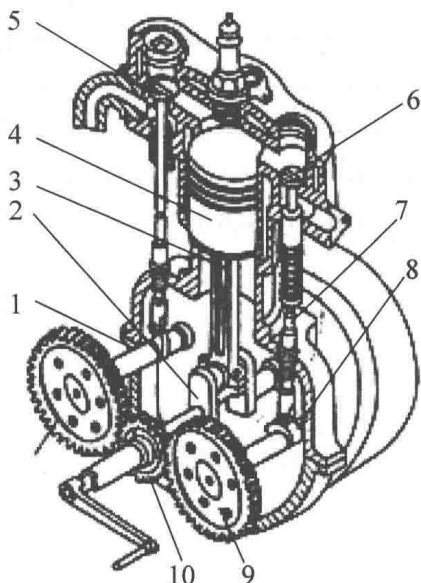


图1-1 单缸四冲程内燃机



出运动与动力,经皮带传动(图中未绘出)和齿轮1、2传动,一方面经齿轮2、滑块3、摇杆4转变为滑枕6的往复直线移动,另一方面,动力还通过其他辅助部分带动丝杠1间歇回转,使工作台横向移动,从而实现工件的进给动作。

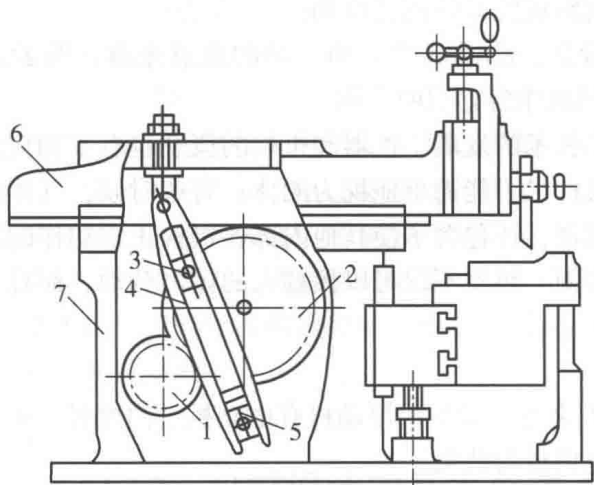


图 1-2 牛头刨床



由上述实例及日常生活中所接触过的其他机器可以看出,虽然各种机器的构造、用途和性能各不相同,但是从它们的组成、运动确定性及功能关系来看,都具有以下3个共同的特征:

- (1) 它们都是一种人为的实物(机件)的组合物。
- (2) 组成它们的各部分之间都具有确定的相对运动。
- (3) 能够用来转换能量,完成有用功或处理信息。

如果说对机器的概念人们还比较熟悉的话,那么人们对机构的概念则可能有些陌生。什么是机构?为了说明这个问题,我们来进一步分析上述几个实例。从中可以看出,在机器的各种运动中,有些机件是传递回转运动的;有些机件是把转动变为往复移动的;有些则是利用机件本身的轮廓曲线来实现预期规律的移动或摆动的。在工程实际中,人们常根据实现这些运动形式的机件的外形特点,把相应的一些机件组合成为机构。例如,图1-1中的齿轮9和10,它们机件形状的特点是具有轮齿,其运动特点是把高速转动变为低速转动或反之,人们称其为齿轮机构;图1-1中的凸轮8和顶杆7,它们的主要机件是具有特定轮廓曲线的凸轮,利用其轮廓曲线使从动件按指定规律做周期性的往复移动或摆动,因而被称为凸轮机构;图1-1中的活塞4、连杆3和曲轴2,其机件的基本形状是杆状或块状,其运动特点是能实现转动、摆动、移动等运动形式的相互转换,被称为连杆机构。

由以上几个例子可以看出,机构具有以下三个特征:它们都是人为的实物(机件)的组合物。组成它们的各运动实体之间都具有确定的相对运动。用来传递力或实现运动形式的转换。

由此可见,机构具有机器的前两个特征。

通过以上分析可以看出,机器是由各种机构组成的,它可以做有用机械功或处理信息;而机构仅仅起着运动传递和运动形式转换的作用。也就是说,机构是实现预期的机械运动的实物组合物;而机器则是由各种机构所组成的能实现预期机械运动并完成有用机械

功、转换机械能或处理信息的机构系统。

一部机器，可能是多种机构的组合体，例如上述的内燃机，就是由齿轮机构、凸轮机构和连杆机构等组合而成的；也可能只含有一个最简单的机构，例如人们所熟悉的电动机，就只含有一个由定子和转子所组成的双杆回转机构。

由于机构具有机器的前两个特征，所以从结构和运动的观点来看，两者之间并无区别，因此，人们常用“机械”一词来作为它们的总称。

需要指出的是，随着近代科学技术的发展，机器和机构的概念也有了相应的扩展。例如，在某些情况下，组成机构的机件已不能简单地视为刚体；有些时候，气体和液体也参与了实现预期的机械运动；有些机器，还包含了使其他内部各机构正常动作的控制系统和信息处理与传递系统等；在某些方面，机器不仅可以代替人的体力劳动，而且还可以代替人的脑力劳动（如智能机器人）。

机械一般由以下几部分组成：

(1) 原动部分，是机械的动力来源。常用的原动机有电动机、内燃机、蒸汽机、液压缸或气动缸等，其中，电动机的应用最为普遍。

(2) 执行部分，处于整个传动路线的终端，完成机械预期的动作。其结构形状取决于机械本身的用途。

(3) 传动部分，介于原动机和执行部分之间，把原动机的运动和动力传递给执行部分。

(4) 控制部分，其作用是控制机械的其他基本部分，使操作者能随时实现或终止各种预定的功能。一般来说，现代机械的控制部分既包括机械控制系统，又包括电子控制系统，其作用包括检测、调节和计算机控制等。

除上述四部分之外，现代机器中还包括润滑系统、冷却系统、故障检测系统、安全保护系统和照明系统等辅助部分，其作用是保证机械便于操作、正常运行、提高工作质量，延长使用寿命。

近年来，随着科学技术的飞速发展和各学科领域的交叉及相互渗透，特别是计算机的应用，出现了一些新的机械设计方法。例如：用优化方法寻求最佳设计方案；用有限元法对强度、刚度、润滑、传热等进行数值计算；用可靠性设计精确评定机械零件的强度和寿命；用CAD（计算机辅助设计）代替手工计算和绘图等。这些新的设计方法，目前已在我国高等学校单独设课讲授，故未列入本课程之中。

1-2 本课程在教学中的地位

随着机械化生产规模的日益扩大，除机械制造部门外，在动力、采矿、冶金、石油、化工、轻纺、食品等许多生产部门工作的工程技术人员，都会经常接触各种类型的通用机械和专用机械。他们必须对机械具备一定的基础知识。因此，机械设计基础如同机械制图、电工学、计算机应用技术一样，是高等学校工科的一门重要的技术基础课。

机械设计基础将使从事工艺、运行、管理的技术人员，在了解机械的传动原理、选购设备、设备的正确使用和维护、设备的故障分析等方面获得必要的基本知识。

通过本课程的学习和课程设计实践,可使学生初步具备运用手册设计简单机械传动装置的能力,为日后从事技术革新创造条件。

机械设计是多学科理论和实际知识的综合运用。机械设计基础的主要先修课程有机械制图、工程材料及机械制造基础、金工实习、理论力学和材料力学等。除此之外,考虑到许多近代机械设备中包含复杂的动力系统和控制系统,因此,各专业的工程技术人员还应当了解液压传动、气压传动,电子技术、计算机应用等有关知识。

在各个生产部门实现机械化,对于发展国民经济具有十分重要的意义。为了加速社会主义建设的步伐,应当对原有的机械设备进行全面的技术改造,以充分发挥企业潜力;应当设计各种高质量的、先进的成套设备来装备新兴的生产部门;还应当研究设计完善的、高度智能化的机械手和机器人,从事空间探测、海底开发和实现生产过程自动化。可以预计,在实现制造大国向制造强国的进程中,机械设计这门学科必将发挥越来越大的作用,它自身也将得到更大的发展。

1-3 机械设计的基本要求和一般过程

机械设计是指规划和设计实现预期功能的新机械或改进原有机器的性能。

设计机械应满足的基本要求是:

(1) 实现预定的功能,满足运动和动力性能的要求。所谓功能,是指用户提出的需要满足的使用上的特性和能力。它是机械设计的最基本出发点。在机械设计过程中,设计者一定要使所设计的机械满足功能的要求。为此,必须正确地选择机械的工作原理、机构的类型和拟定机械传动系统方案,并且所选择的机构类型和拟定的机械传动系统方案,能满足运动和动力性能的要求。

运动要求是指所设计的机械应保证实现规定的运动速度和运动规律,满足工作平稳性、启动性、制动性能等要求。动力要求是指所设计的机械应具有足够的功率,以保证机械完成预定的功能。为此,要正确设计机械的零件,使其结构合理并满足强度、刚度、耐磨性和振动稳定性等方面的要求。

(2) 安全性的要求。许多重大事故出自机械故障。起落架故障引发空难,刹车失灵酿成车祸,频繁出现的汽车“召回”更暴露机械设计不良造成的安全隐患。机械设计必须以人为本。凡关系到人身安全或重大设备事故的零部件都必须进行认真、严格的设计计算或校核计算,不能凭经验或以“类比”代替。计算说明书应妥善保留,以备核查。暴露的运动构件要配置防护网。易造成人身伤害的部位必须有安全连锁装置或实施远距离操纵。除此之外,为了保护设备,还应设置保险销、安全阀等过载保护装置及红灯、警铃等警示装置。

(3) 可靠性、耐用的要求。机械的可靠性是指机械在规定的使用条件下,在规定的时间内,完成规定功能的能力。安全可靠是机械的必备条件,为了满足这一要求,必须从机械系统的整体设计、零部件的结构设计、材料及热处理的选择、加工工艺的制定等方面加以保证。

但是,也不宜过分强调“耐用”,现代化生产推行定期更新和逾期强制报废,个别零

部件的“长寿”对整机并无实际意义，因追求“耐用”而滥用贵重材料会增加成本。

(4) 市场需要和经济性的要求。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、生产中需求最佳关系，才能以最快的速度回收投资，获得满意的经济效益。

在设计中应尽可能多选用标准件和成套组件，它们不仅可靠、价廉，而且能大大节省设计工作量。可以说，设计中使用标准件的多少是评价设计水平的重要标志。要重视节约贵重原材料，降低成本。零件设计必须关注加工工艺性，力求减少加工费用。良好的经济性不仅体现在制造成本低廉，更应体现在机器使用中的高效率、低能耗。

(5) 符合环保要求。机器噪声不超标。不采用石棉等禁用的原材料。确保机械使用过程不泄漏水、油、粉尘和烟雾。生产中的废水、废气必须经过治理，达标排放。

除此之外，欲使产品具有市场竞争力，机械设计师还应与工艺美术人员密切配合，力求产品造型美观。

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，选择合宜的机构；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；进行零部件工作能力计算、总体设计和结构设计。本书第2至7章着重介绍机构和拟定设计方案的有关知识，第8章至16章着重论述应力分析、零部件工作能力计算和结构设计的有关内容。第17章详细介绍了机械系统方案设计的内容。

一部机器的诞生，从感到某种需要、萌生设计念头、明确设计要求开始，经过设计、制造、鉴定直到产品定型，是一个复杂细致的过程。图1-3为机械设计的一般过程。

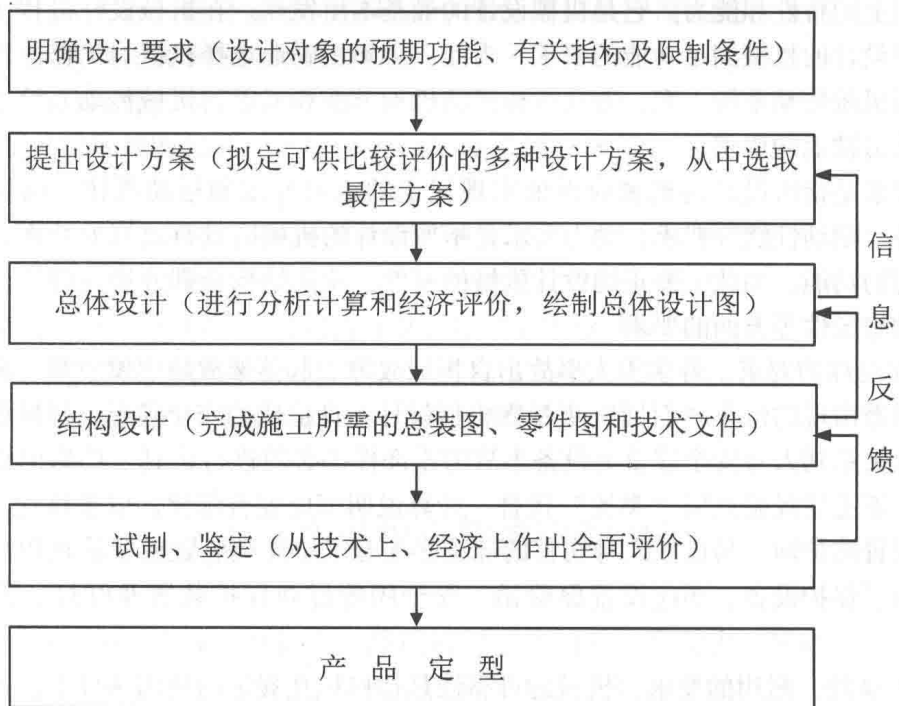


图 1-3 机械设计的一般过程

设计人员要善于把设计构思、设计方案,用语言、文字、图形方式传递给主管人和协作者,以获得支持。此外,设计人员既要富有创造精神,又要从实际出发;要善于调查研究,广泛听取用户和工艺人员的意见,在设计、加工、安装、调试过程中及时发现问题,反复修改,以期取得最佳的成果,并从中积累设计经验。

思考题和习题

1-1 对具有下述功能的机器各举出两个实例:原动机;将机械能变换为其他形式能量的机器;变换物料的机器;变换或传递信息的机器;传递物料的机器;传递机械能的机器。

1-2 指出下列机器的动力部分、传动部分、控制部分和执行部分:汽车;自行车;车床;电风扇;录音机。

第2章 平面机构的自由度和速度分析

学习目标

1. 运动副的概念及其分类。
2. 平面机构运动简图的绘制。
3. 平面机构自由度的计算。
4. 平面机构具有确定运动的条件。
5. 平面机构各瞬心位置的确定。
6. 能用瞬心法对简单高、低副机构进行速度分析。

尽管机器的种类、结构、性能及用途等各不相同，但它们都是由一个或多个机构组成的。为了传递运动和力，机构中各构件之间应具有确定的相对运动。但任意拼凑的构件系统不一定能发生相对运动，即使能够运动，也不一定具有确定的相对运动。讨论机构满足什么条件构件间才具有确定的相对运动，对于分析现有机构或设计新机构都是很重要的。

实际机构的外形和结构都很复杂，为了便于分析研究，在工程设计中，通常都用简单线条和符号绘制机构运动简图来表示实际机械。工程技术人员应当熟悉机构运动简图的绘制方法。

在研究机构的运动和工作情况时，常常要分析确定机构中有关构件的运动规律，如角位移、角速度、角加速度等，这些运动分析的内容和方法在理论力学中均有所介绍，本章仅讨论利用速度瞬心对平面机构进行速度分析的方法。

本章将对上述问题在各节中加以介绍。

所有构件都在互相平行的平面内运动的机构称为平面机构，否则称为空间机构。工程中常见的机构多属于平面机构，因此本章只讨论平面机构。

2-1 平面机构的组成

一、构件

在机器中，每一个独立的运动单元体称为构件；每一个独立制造的单元体称为零件。构件可以是若干个零件的刚性组合体，也可以是一个单独的刚性零件。

图2-1所示的内燃机连杆，从加工的角度来看，它分别由连杆盖、螺母、螺栓、连杆体和轴瓦等零件装配而成。但从机械实现预期运动和功能的角度来看，这些单独的零件并不都能起到独立的作用，相反，由于它们之间通过刚性连接不产生相对运动，在内燃机中是作为一个整体运动的，所以它是一个构件。