

JIXIE

YUANLI JI SHEJI FANGFA YANJIU

机械原理及设计 方法研究

主 编 曹毅杰 宗望远 张 燕
副主编 王凤仙 王英利 孙芊芊
闫 亮 魏常武



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

JIXIE

YUANLI JI SHEJI FANGFA YANJIU

机械原理及设计 方法研究

主 编 曹毅杰 宗望远 张 燕
副主编 王凤仙 王英利 孙芊芊
闫 亮 魏常武



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书对机械原理及设计方法进行了较为详细的探讨。全书共 14 章,主要包括绪论、机构的组成原理及结构分析、平面机构的运动与动态静力分析、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、轮系及其设计、轴承及联轴器设计、机构的惯性力平衡、机械传动原理与设计、机械的运转及其速度波动的调节、机械中的摩擦和机械效率、机械系统运动方案设计、机械优化设计等。

本书可作为高等院校机械类各专业的教学用书,也可作为机械工程领域相关专业及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理及设计方法研究/曹毅杰,宗望远,张燕
主编.--北京:中国水利水电出版社,2014.10

ISBN 978-7-5170-2508-5

I. ①机… II. ①曹… ②宗… ③张… III. ①机构学
②机械设计 IV. ①TH111②TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 214935 号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:杨元泓 封面设计:马静静

书 名	机械原理及设计方法研究
作 者	主 编 曹毅杰 宗望远 张燕 副主编 王凤仙 王英利 孙平 闫一亮 魏常武
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:mchannel@263.net(万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话:(010)68367658(发行部),82562819(万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京鑫海胜蓝数码科技有限公司
印 刷	三河市天润建兴印务有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 25.75 印张 659 千字
版 次	2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	86.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

随着科学技术的进步和生产的发展,机械产品更新换代的周期将日益缩短,对机械产品在质量和品种上的要求将不断提高,这就对机械设计人员提出了更高的要求。中国作为世界机械制造大国,机械制造企业对技术人员的要求已进入新阶段,相关新技术日新月异,机械原理作为机器设计的基础,为了适应新的社会发展需求,必须拓展和延伸更为深层次的内容。

机械原理主要介绍各类机械产品常用机构设计基本知识、理论和方法,内容涉及机构的运动学、动力学原理以及机构设计的方法。其中机械设计是影响机械产品性能、质量、成本和企业经济效益的一项重要工作,机械产品能不能满足用户要求,很大程度上取决于设计。

本书在详细介绍基础理论、基本方法和基本技能的前提下以机构和机械系统设计为主线,注重机构和机械系统创新设计方面的内容。全书共 14 章,主要内容包括绪论、机构的组成原理及结构分析、平面机构的运动与动态静力分析、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、轮系及其设计、轴承及联轴器设计、机构的惯性力平衡、机械传动原理与设计、机械的运转及其速度波动的调节、机械中的摩擦和机械效率、机械系统运动方案设计、机械优化设计等。

本书具有以下几个特点:

1. 全书内容以理论为基础、设计为主线,各章独立并相互联系,具有较为严密的体系性。
2. 归纳和梳理了各种常用机械传动的特点,以及如何选择机械系统的传动方案和传动方案的布置顺序。
3. 通过案例分析,注重启发创新思维,加强实践,将设计基本知识、基本理论和设计方法有机地融合,并通过理论与实践有机地联系,为现代机械产品设计提供必要的基础知识和创新方法。
4. 本书的数据和资料基本上来自于机械设计手册的最新标准和规范,计算实例大部分来自于工程实践。

本书在编写过程中,参考了大量有价值的文献与资料,吸取了许多前人的宝贵经验,在此向这些文献的作者表示敬意。由于编者自身水平有限,书中难免有错误和疏漏之处,敬请广大读者和专家给予批评指正。

编 者

2014 年 6 月

目 录

前言	1
第 1 章 绪论	1
1.1 机械与机械系统	1
1.2 机械原理	4
1.3 机械设计过程	7
第 2 章 机构的组成原理及结构分析	11
2.1 机构的组成	11
2.2 机构运动简图绘制方法	14
2.3 平面机构的自由度分析	20
2.4 平面机构的组成原理与结构分析	27
2.5 空间机构自由度分析	33
第 3 章 平面机构的运动与动态静力分析	35
3.1 简单机构速度的分析方法	35
3.2 机构速度和加速度的分析方法	38
3.3 机构运动分析的解析法	43
3.4 机构力分析的目的及方法	52
3.5 机构动态静力分析原理	53
3.6 II 级机构的动态静力分析	55
第 4 章 平面连杆机构及其设计	59
4.1 平面连杆机构的特点及类型	59
4.2 平面四杆机构的设计基础	63
4.3 连杆机构的设计概论	75
4.4 连杆机构设计方法	78
4.5 多杆机构	88
第 5 章 凸轮机构及其设计	91
5.1 凸轮机构概述	91
5.2 从动件的运动规律分析	96
5.3 凸轮轮廓曲线的设计	102
5.4 凸轮机构参数设计	114
第 6 章 齿轮机构及其设计	120
6.1 齿轮机构的分类与应用	120

6.2	齿廓啮合定律与齿轮转动坐标变换	123
6.3	渐开线直齿圆柱齿轮	126
6.4	渐开线齿轮的啮合传动	130
6.5	渐开线齿轮齿廓的加工	136
6.6	渐开线直齿圆柱齿轮设计	140
6.7	其他类型齿轮传动	145
第7章	轮系及其设计	151
7.1	轮系及其分类	151
7.2	定轴轮系的传动比分析	153
7.3	周转轮系的传动比分析	157
7.4	混合轮系的传动比分析	160
7.5	轮系的功用	162
7.6	行星轮系各轮齿数与行星轮数的选择	166
7.7	其他新型行星传动	169
7.8	轮系运动设计	175
第8章	轴承及联轴器设计	179
8.1	滑动轴承	179
8.2	滚动轴承	191
8.3	联轴器及离合器设计	202
第9章	机构的惯性力平衡	215
9.1	惯性力的确定	215
9.2	平面机构惯性力的完全平衡	218
9.3	平面机构惯性力的部分平衡	220
9.4	刚性转子平衡	224
9.5	挠性转子平衡	230
第10章	机械传动原理与设计	232
10.1	传动总论	232
10.2	带传动	235
10.3	链传动	252
10.4	齿轮传动	267
10.5	蜗杆传动	292
第11章	机械的运转及其速度波动的调节	312
11.1	机械系统的运转	312
11.2	机械系统的动力学模型	315

11.3	稳定运转状态下机械的周期性速度波动及其调节	319
11.4	机械的非周期性速度波动及其调节	324
第 12 章	机械中的摩擦和机械效率	326
12.1	摩擦及其基本原理	326
12.2	移动副中的摩擦	327
12.3	转动副中的摩擦	332
12.4	考虑摩擦时机构的力分析	334
12.5	机械效率	338
12.6	机械的自锁	342
第 13 章	机械系统运动方案设计	345
13.1	机械系统性能需求分析	345
13.2	常见机构的组合规律	349
13.3	典型组合机构的分析与设计	353
13.4	机构选型及机构系统运动方案设计	359
13.5	机构系统运动循环图解	367
13.6	机构运动方案设计实例	376
第 14 章	机械优化设计	381
14.1	机械优化概述	381
14.2	平面连杆机构的优化设计	383
14.3	平面凸轮机构的优化设计	392
14.4	齿轮变位系数的优化设计	395
参考文献		403

第1章 绪论

1.1 机械与机械系统

1.1.1 机械

机械是人类重要的生产工具,机械的不断改进和新机械的发明与应用,显著地加速了生产力的发展,推动了生产方式的变革,促进了人类文明和进步。在人类历史上,简单机械的发明与应用可以追溯到几千年以前,古代的中国、埃及和希腊为了满足从事建筑、运输和起重需要,都曾发明和应用了杠杆、斜面、绞盘等简单机械。在现代,机械的应用已遍及生产、流通、生活和服务等各个领域。

我们通常所说的“机械”是从许多具体机械中抽象出来的一个概念。人们把轧钢机、起重机、机床、水泵等都称为机械,那就意味着这些功用各异的不同设备之间必然存在某些本质上共同的特定因素,即形成了机械的概念。

通常机械原理课程所讲述的机械的定义为:机械是由许多抗力物体(刚体或构件)组成的系统,其各部分之间有确定的相对运动,在生产过程中利用机械能做有用功或者实现机械能与其他形式能量之间的转换。

1.1.2 机械系统

所谓机械系统是指由若干机械装置组成的一个特定系统,图 1-1 所示为数控机床和洗衣机

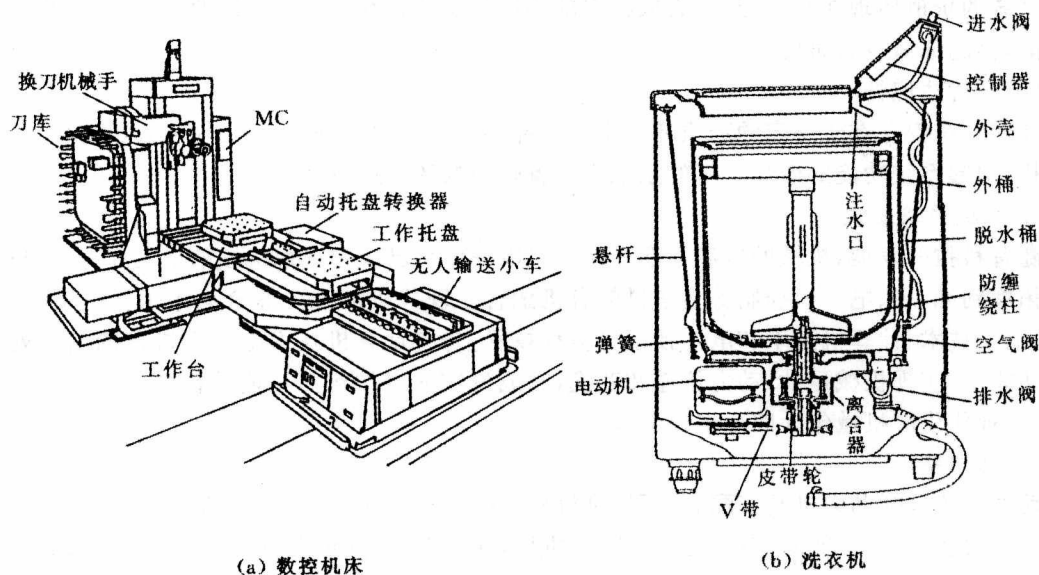


图 1-1 机械系统

都是由若干装置、部件和零件组成的两种在功能和构造上各异的机械系统。它们都是由有确定的质量、刚度和阻尼的物体组成并能完成特定功能的系统。机械零件和构件是组成机械系统的基本要素,它们为完成一定的功能相互联系并分别组成了各个子系统。

1. 机械系统特性

(1) 整体性

机械系统是由若干个子系统构成的统一体,虽然各子系统具有各自不同的性能,但它们在结合时必须服从整体功能的要求,相互间必须协调和适应。一个系统整体功能的实现,并不是某个子系统单独作用的结果;一个系统的好坏,最终体现在其整体功能上。因此,必须从全局出发,确定各子系统的性能和它们之间的联系。设计中并不要求所有子系统都具有完善的性能,即使某些子系统的性能并不完善,但如能与其他相关子系统在性能上总体地协调,一般也可使整个系统具有满意的功能。

系统是不能分割的,即不能把一个系统分割成相互独立的子系统,因为机械系统的整体性反映在子系统之间的有机联系上;正是这种联系,才使各子系统组成一个整体,若失去了这种联系,整个系统也就不存在了。实际系统往往是很复杂的,为了研究的方便,可以根据需要把一个系统分解成若干个子系统。分解系统与分割系统是完全不同的,因为在分解系统时始终没有忘记它们之间的联系,分解后的子系统都不是独立的,它们之间的联系可分别用相应子系统的输入与输出表示。

(2) 相关性

系统内部各子系统之间是有机联系的,它们之间相互作用、相互影响,形成了特定的关系,如系统的输入与输出之间的关系、各子系统之间的层次联系、各子系统的性能与系统整体特定功能之间的联系等,取决于各子系统在系统内部的相互作用和相互影响的有机联系。某一子系统性能的改变,将对整个系统的性能产生影响。

(3) 目的性

系统的价值体现在其功能上,完成特定的功能是系统存在的目的。因此,系统应实现所要求的功能,排除或减少有害的干扰。

(4) 环境适应性

任何系统都存在于一定的物质环境中。外部环境的变化,会使系统的输入发生变化,甚至产生干扰,引起系统功能的变化。好的系统应具备较强的环境适应性。

2. 机械系统组成

随着科技的发展,机械的内涵不断变化。机电一体化已成为现代机械的最主要特征,机电一体化拓展到光、机、电、声、控制等多学科的有机融合。现代机械系统综合运用了机械工程、控制系统、电子技术、计算机技术和电工技术等多种技术,是将计算机技术融合于机械的信息处理和 control 功能中,实现机械运动、动力传递和变换,完成设定的机械运动功能的机械系统。就功能而言,一台现代化的机械包含四个组成部分。

(1) 动力系统

动力系统包括动力机及其配套装置,是机械系统工作的动力源。按能量转换性质的不同,有把自然界的能源(一次能源)转变为机械能的机械,如内燃机、汽轮机、水轮机等动力机;有把二次能源(如电能、液能、气能)转变为机械能的机械,如电动机、液压马达、气动马达等动力机。动力机输出的运动通常为转动,而且转速较高。选择动力机时,应全面考虑执行系统的运动和工作载

荷、机械系统的使用环境和工况,以及工作载荷的机械特性等要求,使系统既有良好的动态性能,又有较好的经济性。

(2) 传动系统

传动系统是把动力机的动力和运动传递给执行系统的中间装置。传动系统主要有以下几项功能。

① 减速或增速。把动力机的速度降低或提高,以适应执行系统工作的需要。

② 变速。当用动力机进行变速不经济、不可能或不能满足要求时,可通过传动系统实行变速(有级或无级),以满足执行系统多种速度的要求。

③ 改变运动规律或形式。把动力机输出的均匀、连续、旋转的运动转变为按某种规律变化的旋转或非旋转、连续或间歇的运动,或改变运动方向,以满足执行系统的运动要求。

④ 传递动力。把动力机输出的动力传递给执行系统,供给执行系统完成预定任务所需的转矩或力。

如果动力机的工作性能完全符合执行系统工作的要求,也可省略传动系统,而将动力机与执行系统直接连接。

(3) 执行系统

执行系统包括机械的执行机构和执行构件,它是利用机械能来改变作业对象的性质、状态、形状或位置,或对作业对象进行检测、度量等,以进行生产或达到其他预定要求的装置。不同的功能要求,对运动和工作载荷的机械特性要求也不相同,因而各种机械系统的执行系统也不相同。执行系统通常处在机械系统的末端,直接与作业对象接触,是机械系统的主要输出系统。因此,执行系统工作性能的好坏,将直接影响整个系统的性能。执行系统除应满足强度、刚度、寿命等要求外,还应满足运动精度和动力学特性等要求。

(4) 操纵系统和控制系统

操纵系统和控制系统都是为了使动力系统、传动系统、执行系统彼此协调运行,并准确、可靠地完成整机功能的装置。二者的主要区别是:操纵系统一般是指通过人工操作来实现启动、离合、制动、变速、换向等要求的装置;控制系统则是指通过人工操作或测量元件获得的控制信号,经由控制器,使控制对象改变其工作参数或运行状态而实现上述要求的装置,如伺服机构、自动控制装置等。良好的控制系统可以使机械处于最佳运行状态,提高其运行稳定性和可靠性,并有较好的经济性。

此外,根据机械系统的功能要求,还有润滑系统、计数系统、行走系统、转向系统等。

如图 1-2 所示的工业机器人的构造,工业机器人由主体、驱动系统和控制系统三个基本部分组成。主体即机座和执行机构,包括臂部、腕部和手部,有的机器人还有行走机构。执行机构由多个刚性的杆件所组成,各杆件间由运动副相连(在机器人学中,通常称这些运动副为关节),使得相邻杆件间能产生相对运动。大多数工业机器

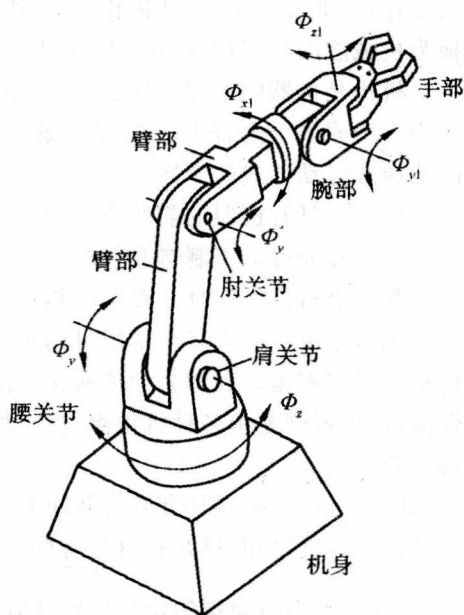


图 1-2 机器人操作机

人有3~6个运动自由度,其中腕部通常有1~3个运动自由度;驱动系统包括动力装置和传动机构,用以使执行机构产生相应的动作;控制系统是按照输入的程序对驱动系统和执行机构发出指令信号,并进行控制。

1.2 机械原理

1.2.1 机械原理的研究对象

机械原理是机构与机器原理的简称,是以机构和机器为研究对象的一门学科。

所谓机构是指用来传递运动和力的、有一个构件为机架的、用构件间能够相对运动的连接方式组成的构件。

只要留心观察,就会发现人类所制造的各种可以产生相对运动的工具都包含机构。无论是日常生活还是工业生产中,到处可以看到机构蕴藏在其中,如家具、门窗、钟表、汽车、飞机、海洋石油钻井平台、自动生产线等;工农业生产以及航空航天中的各种设备,如汽车生产线、风力发电机组、石油机械、冶金机械、农业机械、印刷机械、包装机械等,都是由各种常用机构及其组合而成的。

而机器是执行机械运动的装置,用来完成有用的机械功或转换其他能量为机械能,具体具有以下特征:

- ①它是一种通过加工制造和装配而成的机件组合体。
- ②各个机件之间都具有确定的相对运动。
- ③能实现能量的转换,并做有用的机械功。在生产过程中,能代替或减轻人的劳动。

凡同时具备上述三个特征的实物组合体就称为机器,而利用机械能来完成有用功的机器称为工作机,如各种机床、轧钢机、纺织机、印刷机、包装机等。将化学能、电能、水力、风力等能量转换为机械能的机器称为原动机,如内燃机、电动机、涡轮机等。

机构是机器的重要组成部分,其主要功能是实现运动和动力的传递和变换。每部机器又可分为一个或多个由若干机件(如齿轮、凸轮、连杆、曲轴等)组成的特定组合体,用来实现某种运动的传递或运动形式的变换。

机构也具有机器的前两个特性:

- ①一种通过加工制造和装配而成的机件组合体。
- ②各个机件之间具有确定的相对运动。

机器是由一个或多个不同机构所组成的。它可以完成能量的转换或做有用的机械功,而机构则仅仅起着运动和动力的传递和变换的作用。或者说,机构是实现预期的机械运动的机件组合体,而机器则是由各种机构组成的、能实现预期机械运动并完成有用机械功或转换机械能的机构系统。

由于机构与机器具有两个共同的特性,所以从结构和运动的角度,两者并无区别,传统上认为机械就是机器和机构的总称,将机器和机构均用“机械”来表示。

1.2.2 机械原理的研究内容与方法

现代机械种类繁多,功用各异。按机械的功能和应用领域来划分,则有冶金机械、矿山机械、

工程运输机械、金属切削机床等。如果抛开各种具体机械的特定功能,从总体功能考查各种机械,它们存在一些需要研究的共性问题:怎样才能把许多构件组合并以一定的方式连接起来使之有确定的相对运动?构件间的不同类型的连接对机械的性能有何影响?如何实现将一种运动形式变换成另一种运动形式完成不同的工艺目的?使之运转的外力在机械的各个构件之间是怎样传递的,它们对机械的运转会产生什么影响?如何使机械在工作过程中耗费较少的能量获得更大的效益?这些都是设计和分析各种具体机械过程中的共性问题,对这类问题的系统研究就形成了机械科学中的一个重要分支——机械原理。机械原理所研究的主要是执行系统和传动系统部分的内容。

1. 机械原理的研究内容

机械原理的研究内容一般可以概括如下:

①对已有机械进行分析它包括机构的结构分析,即研究机构的组成原理、机构运动的可能性及确定性条件;机构的运动分析,即研究在给定原动件运动的条件下,机构各点的轨迹、位移、速度和加速度等运动特性;机构的动力分析,即研究机构各运动副中力的计算方法、摩擦及机械效率等问题。

②常用机构的分析和设计问题如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等常用机构的相关概念、结构特点、基本设计理论与方法。它们是机械原理课程学习的主要内容。

③机器动力学问题研究在已知力作用下,具有确定惯性参量的机械系统的真实运动规律;分析机械运动过程中各构件之间的相互作用力;机械运转过程中速度波动的调节和飞轮设计问题,回转构件和机构平衡的理论和方法。

④根据运动和动力性能方面的要求设计新机械包括机构的选型、机构的构型、机构的创新设计、机构的运动设计及动力设计。最后确定能够满足功能要求的机构运动简图。

机械原理是研究机械系统的组成原理、设计实现各种运动变换功能的机构系统、分析机械中力和功率传递规律的设计理论和方法的科学。

2. 机械原理的研究方法

研究机械原理问题的方法有图解法、解析法和虚拟样机仿真法。图解法主要是通过作图求解机构运动和设计问题,特点是几何概念清晰、直观易懂,便于判断结果正确与否,在解决问题的过程中,侧重于形象思维。解析法是在建立数学模型的基础上,通过计算求解获得有关分析和设计结果,特点是应用计算机使计算变得快捷而精确,在解决问题的过程中,侧重于逻辑思维。虚拟样机仿真法是应用虚拟样机技术,借助虚拟样机软件平台,通过建立机械系统的虚拟样机,进行仿真分析,获取有关分析结果,或对设计结果进行验证,特点是形象直观、易于操作。

近年来计算机相关技术的发展为机械原理的研究提供了先进的手段和方法,也促进了机械原理的发展。在学习和研究机械原理的过程要注意以下几个方面:

①理论与实践相结合。随时联系生产和生活实践,主动应用所学理论与方法去解决有关机构与机器在运动学和动力学方面的实际问题。

②机构简图与实物相结合。为便于研究,课程中的机构均用简单的几何线条表示,与实际的机件所组成的机构的外形相差甚远。在进行机构运动设计时,应考虑到由实际机件组成的机构可能会出现的问题。

③机构的静态与动态相结合。在研究机构运动时,往往要画出机构在某个位置的简图(几何图形),在屏幕或纸面上只是表示出该位置的静止状态。而要真正了解机构在一个运动周期的运

动特性,就必须让机构位置的几何图形动起来,即将其看成一个可变的几何图形。

④形象思维与逻辑思维相结合。在对机构的研究中,某些概念、结论或参数关系式并非完全由逻辑推理而得,常常直接由几何图形或物理概念获得。

1.2.3 机械原理的学科发展与工业展望

1. 机械原理的学科发展

机械原理学科是机械学学科的重要组成部分,是机械工业和现代科学技术发展的重要基础。这一学科的主要组成部分为机构学和机械动力学。

18 世纪下半叶,由于资本主义的兴起,在英国产生了世界第一次工业革命,推动了用机械化生产代替手工生产的过程,大大促进了纺织机械、缝纫机械、农业机械、蒸汽机、内燃机等各类机械的产生和应用。同时,也促进了机械工程学科的形成和发展。机构学在原来的机械力学的基础上发展为一门独立的学科。

机构学的研究对象是机器中的各种常用机构,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇运动机构等。它的研究内容是机构结构的组成原理和运动确定性,以及机构的运动分析和综合。机构学在研究机构的运动时仅从几何的观点出发,而不考虑力对运动的影响。如内燃机、压缩机等的主体机构都是曲柄滑块机构,这些机构的运动不同于一般力学上的运动,它只与其几何约束有关,而与其受力、构件质量和时间无关。1875 年,德国的 F. 勒洛把上述共性问题从一般力学中独立出来,编著了《理论运动学》一书,创立了机构学的基础。书中提出的构件、运动副、运动链和机构运动简图等概念,以及相关观点和研究方法至今仍在沿用。1841 年,英国的 R. 威利斯发表了《机构学原理》。早期的机构学局限在具有确定运动的刚性构件系统,且将运动副视为没有间隙的,将机器的概念局限于由原动机、传动机械和工作机械组成,用于代替人类的劳动。

传统的机械原理研究对低速运转的机械一般是可行的。但随着机械向高速、高精度方向发展,构件接触面的间隙、构件的弹性或温差变形以及制造和装配等所引起的误差必将影响运动的变化,因而从 20 世纪 40 年代开始,提出了机构精确度问题。由于航天技术以及机械手和工业机器人的飞速发展,机构精确度问题已越来越引起人们的重视,并已成为机械原理的不可缺少的一个组成部分。

20 世纪 70 年代机电一体化概念的提出,形成了以计算机协调和控制的现代机械,如并联机床、柔性机器人、航天机械以及 21 世纪的智能机械、微型机械及仿生机械等。机器和机构的概念也有相应的扩展。如在某些情况下,组成机构的构件已不能再简单视为刚体;有些时候,气体和液体也参与了实现预期的机械运动,如液动机构、气动机构等。现代机械概念的形成使得机构学发展成为现代机构学。将构件扩展到了弹性构件、柔性构件等,运动副也包括了柔性铰链。机械动力学的研究对象已扩展到包括不同特性的动力机和控制调节装置在内的整个机械系统,控制理论已渗入机械动力学的研究领域。在高速、精密机械设计中,形成了考虑机构学、机械振动和弹性理论结合起来的运动弹性体动力学学科。

2. 工业应用要求与展望

(1) 功能要求

现代机电产品的功能要求非常广泛。不同机械因其工作要求、追求目标和使用环境的不同,其具体功能的要求也有很大差异。例如,起重机是一种有间歇运动的机械,主要用于物品的装卸,其基本功能要求是起升重量、起升高度、起升速度、运行速度、生产率、作业范围及经济性,以

及工作过程的安全性、可靠性、稳定性、可操纵性、对周围环境的适应性等；而机床是工作母机，其基本功能要求主要是加工精度等。

各种机械的功能要求大体上可归纳为以下几个方面。

- ①体积和质量要求，如尺寸、质量、功率等。
- ②动力要求，包括传递的功率、转矩、力和功效等。
- ③运动要求，如速度、加速度、转速，调速范围、行程、运动轨迹，以及运动的精确性等。
- ④产品造型要求，如外观、色彩与环境的协调性等。
- ⑤经济性要求，包括机械设计和制造的经济性，以及使用和维护的经济性等。
- ⑥可靠性和寿命要求，包括机械和零部件执行功能的可靠性、零部件的耐磨性和使用寿命等。
- ⑦安全性要求，包括强度、刚度、热力学性能、摩擦学特性、振动稳定性、系统工作的安全性，以及操作人员的安全性等。
- ⑧环境保护要求，如防噪、防振、防尘、防毒，“三废”（废气、废水、废渣）的治理，以及对人员和设备的安全性等。
- ⑨其他要求不同的机械还可有一些特殊要求，如对精密机械要求能长期保持其精度并有良好的防振性；对经常搬动的机械要求安装、拆卸、运输方便；对户外型机械要求有良好的防护、防腐和密封条件；对食品和药品加工机械要求不污染被加工产品等。

（2）未来展望

随着科学技术的深入发展，降低能耗、保护环境、高精度、高性能的各类机械产品将不断涌现，机器的应用将不断进入过去从未达到过的领域。如人类正在进入太空、微观世界、深海（6000米及以上）等领域，未来一段时期机械工业发展方向主要表现在：

- ①以太阳能和核能为代表的洁净能源的动力机械将会出现并投入使用，如燃氢发动机驱动的汽车将会行驶在公路上。
- ②绿色机械（不污染环境的报废机械又称为绿色机械）将会取代传统机械，设计方法智能化，大量工程设计软件取代人工设计与计算过程。
- ③高精度、高效率的自动机床、加工中心更加普及，CAD/CAPP/CAM系统更加完善。
- ④微型机械将会应用到医疗和军事领域，人工智能机械将会大量出现。
- ⑤民用生活机械进入家庭，兵器更加先进，非金属材料 and 复合材料在机器中的应用日益广泛。
- ⑥载人航天技术更加成熟，人类乘坐宇宙飞船登陆火星、月球和其他星球，甚至可以实现太空旅行和其他星球居住。

总之，未来的机械在能源、材料、加工制作、操纵与控制等方面都会发生很大变革。未来机械的种类更加繁多，性能更加优良。

1.3 机械设计过程

设计是复杂的思维过程，是人类改造自然的基本活动之一。设计过程蕴含着创新和发明。设计的目的是将预定的目标，经过一系列规划与分析决策，产生一定的信息（如文字、数据、图形等）而形成设计，并通过制造，使设计成为产品，造福人类。机械设计的最终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,并取得较好的经济效益。

机械设计有以下三种不同的设计类型。

①开发性设计。在工作原理、结构等完全未知的情况下,应用成熟的科学技术或可行的新设计,设计出以往没有过的新型机械。这是一种完全创新的设计。

②适应性设计。在工作原理方案基本保持不变的前提下,对产品作局部的变更或设计一个新部件,使机械产品在质和量方面更能满足使用要求。

③变型设计。在工作原理和功能结构都不变的情况下,变更现有产品的结构配置和尺寸,使之适应更多的性能要求。这里的性能含义很广,如功率、转矩、加工对象的尺寸、传动比范围等。

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械的性能的过程。

设计机械时应满足的基本要求是:在满足预期功能的前提下,性能好、效率高、成本低,在预定使用期限内安全可靠,操作方便,维修简单,以及造型美观等。

图 1-3 所示为机械产品的一般设计过程。

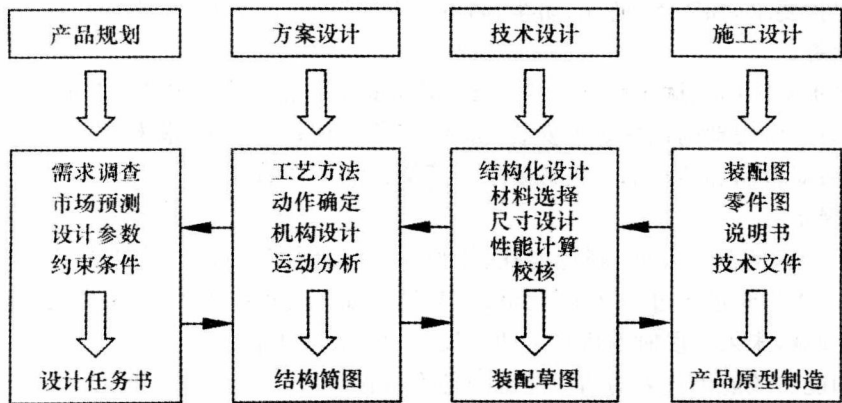


图 1-3 机械产品的一般设计过程

1.3.1 产品规划

对产品开发中的重大问题要进行技术、经济、社会等各方面条件的详细分析,对开发的可能性进行综合研究,提出可行性报告,其内容主要有:

- ①产品开发的必要性,市场需求预测。
- ②有关产品的国内外水平和发展趋势。
- ③提出设计、工艺等方面需要解决的关键问题。
- ④预期达到的最低目标和最高目标,包括设计水平、技术、经济和社会效益。
- ⑤现有条件下开发的可能性及准备采取的措施。
- ⑥预算投资费用及项目的进度、期限。

拟定设计任务书就是确定所设计机械的工艺目的和各种功能指标。这是一项需要从技术、经济、市场、国家有关产业政策、环境保护法规以及考虑区域文化背景等多方面研究论证的复杂任务,需要进行需求调查、市场分析及预测,综合各方面因素,确定工艺目的和设计参数,最后下达设计任务书。

1.3.2 方案设计

1. 工艺方法动作的确定

工艺目的确定之后,应研究用什么样的方法去达到工艺目的。例如,设计一台破碎石料的机械,破碎石料是工艺目的。石料可以被压碎(压力)、搓碎(剪切力)、击碎(冲击力),在具体工艺指标下,用哪一种破碎方法较好这是值得研究的。因此,颚式破碎机、圆锥旋转破碎机等应运而生。若设计一台缝纫机,按传统手工缝纫的穿针引线的结线方法把布料缝合起来将是十分困难的。19世纪40年代,美国人哈威通过观察织布工手中的梭子,将手针倒置并采取增设底线的方法,首先研究出了新的结线方法,于是实用的缝纫机产品问世。

为了实现选定的工艺方法,要求所设计的机械能完成确定的工艺动作,这需要通过设计机械系统的传动机构或执行机构来实现。当同时需要两个以上的工艺动作时,还应使各个工艺动作之间相互协调。

可见,实现一种工艺目的可有不同的方法,但从节省能量、提高工效和用机械方法是否易于实现的角度分析,各种方法有很大差别。研究合理、可行的工艺方法和对应的工艺动作,是机械设计过程中的重要问题,也是机构创新的重要环节。

2. 机构设计

由于多数机械是由动力机驱动的,而常用的动力机,它们一般只能给出如匀速转动、直动等最简单的运动形式,但是实际工况要求的工艺,动作却是多种多样的。因此,将动力机给出的简单运动变换为工艺动作要求的运动形式,要靠各种机构来实现。例如,颚式破碎机要求其破碎颚板模仿上下颚咀嚼食物时的动作,在牙齿间既产生压力,又产生剪切力。因此需要设计一机构,将电动机的匀速转动运动,转换成颚板的平面任意运动。若设计上述结线方式的缝纫机,需要设计:机针带着上线刺布做上下往复运动的走针机构;使上线绕过底线,摆梭勾线往复摆动的摆梭机构;挑线杆完成挑线动作的挑线机构;送布牙板完成步进式送布动作的送布机构,并使各动作间相互协调。

3. 运动学分析与综合

经过以上各阶段的工作,得到了以机构运动简图表示的机构。这个机构及初步设计的相应的尺寸参数能否满足所提出的工艺动作要求,需要通过运动分析来验证。机构的运动分析,就是令机构的主动件按给定的运动参数运动,求出输出动件的对应运动参数和运动规律,根据运动分析的结果判定机构能实现自如运动与工艺动作的符合程度。例如,筛分机械中的筛筐,运动形式可以是往复直动,又如设计成曲柄滑块机构。但如果机构类型或结构参数选择不当,将导致其往复运动中速度和加速度的变化规律不当,有可能出现物料与筛筐始终是一起运动的情况,从而达不到筛分的目的。如果分析结果表明机构实际所能实现的运动变换不能满足工艺动作要求,则需要修改机构尺寸或者重新选择机构类型。

按给定的运动变换要求确定机构中与运动性能有关的尺寸参数的工作称机构的运动学综合(kinematic syntheses of mechanisms)。可见,机构设计、机构的运动分析和机构的运动学综合通常为反复交互的过程。在以计算机辅助设计为手段的现代设计方法中,机构综合和分析工作常常是交织在一起的。运动学分析工作已成为设计工作中不可分割的一部分,并为机械系统的动力学分析建立基础。

1.3.3 技术设计

1. 零部件的结构设计

技术设计主要包括机械的各个零部件结构尺寸的初步设计。在经过分析、验证了所选择的机构形式和尺寸参数能满足工艺动作要求的前提下,需要把机构简图转化为机械的结构图(装配图和零件图)。在这一环节里,要考虑材料的选择,零部件承载情况,加工、装配的可能性和方便性,以及保证它们正常工作所需要的调整、润滑措施等问题。

2. 机械受力及动力学分析

在初步确定了机械的零部件结构形状和尺寸的前提下,就可估算出各个构件的动力学参数,即质量、质心位置及转动惯量。利用运动分析结果就可以计算出在运转过程中构件的惯性力和惯性力偶,然后可以进行包括动载荷在内的受力分析。受力分析不仅可以确定机械中各个零部件在工作过程中所承受的载荷大小及其变化规律,为零部件承载能力验算提供依据,还可以计算出为了驱动机械正常运转所需动力机的容量大小。与此同时,我们还可以通过受力分析检验所设计机构的合理性。

现代机械对其运转质量的要求不断提高,因此需要对其进行动力学分析与设计,其内容主要包括:求机械在外力作用下的真实运动规律,如何避免和减轻机械运转过程中的振动途径和探索提高机械运转的平稳性等。这一环节对于大型、高速重载机械或精密机械是十分重要的。

动力学分析是在机械的结构设计基本完成和动力机已选定的前提下进行的。根据动力学分析的结果可能会导致某些零部件结构形状和尺寸的修改,有时甚至导致机构形式的重新选择。

在此基础上,对所设计的零部件进行承载能力验算,如果验算结果不满足工作需要,则应修改结构参数或结构形式。

1.3.4 施工与改进设计

上述各环节均满足设计要求后,完成机械装配图和零件图,并进行产品样机的制造(产品原型制造)。

最后根据样机性能测试数据,分析用户使用以及在鉴定中所暴露的各种问题,进一步做出相应的技术完善工作,以确保产品的设计质量。这一阶段是设计过程不可分割的一部分,通过这一阶段的工作,可以进一步提高产品的性能、可靠性和经济性,使产品更具生命力。

以上设计过程的各个阶段是相互联系、相互依赖的,有时还要反复进行。只有经过不断修改与完善,才能获得较好的设计。