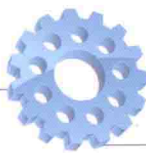


省级精品课程规划教材



机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

张 鄂 主编
陈晓南 主审



国防工业出版社

National Defense Industry Press

省级精品课程规划教材

机械设计基础

张 鄂 主编

刘守义 王晓瑜 王晓薇 参编

陈晓南 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是根据教育部对高等工科院校机械设计基础课程的最新教学要求,结合多年来的教学实践以及近几年教学改革的需要而编写。本书为省级精品课程规划教材。

全书共分14章,包括:绪论;平面机构;平面连杆机构;凸轮机构;间歇运动机构;螺纹连接;轴毂连接;带传动和链传动;齿轮传动;轮系;轴;轴承;联轴器、离合器和制动器;机械的平衡与调速;弹簧。每章后配有精选的思考题与习题。

本书可作为普通高等工科院校近机类、非机类、机电类相关专业“机械设计基础”课程的教材,也可作为相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/张鄂主编. —北京:国防工业出版社,2014.5

ISBN 978-7-118-09423-7

I. ①机… II. ①张… III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 078863 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18½ 字数 425 千字

2014 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书是根据教育部对高等工科院校机械设计基础课程的最新教学要求,并结合编者多年来的教学实践及近几年教学改革的需要,为培养厚基础、强能力、高素质、宽口径应用型人才而编写的。本书也是省级精品课程的规划教材。

为了便于组织教学和设计实践,遵循对机械的认识规律及循序渐进的原则,遵循理论联系实际和注重机械设计能力培养的要求,本书在内容上,将先进性与实用性有机结合,把机械原理、机械设计的基本内容进行优化整合,注重基本理论、基本知识、基本技能的训练和创新思维设计能力的培养。在编写过程中,以“必需”、“够用”为度,淡化公式推导,注重理论联系实际,体现应用性特色。全书务求深入浅出,主次分明,语言精练。编写中不过分强调理论分析的系统性和完整性,而把重点放在工程实际应用方面,力求做到易教易学、便于应用。为了便于对各章内容的复习总结,各章末均附有“本章小结”和精选的“思考题与习题”。

全书采用了最新国家标准和法定计量单位。

本书由西安交通大学、西安外事学院张鄂教授担任主编。参加编写工作的有张鄂(绪论、第5~7章、第8章6~12节、第10、11、13章)、王晓瑜(第1~3章)、刘守义(第4、9章、第8章1~5节)、王晓薇(第12、14章)。

本书由西安交通大学陈晓南教授担任主审,西安理工大学邓述慈教授、陕西理工学院石德生教授参审。三位教授就课程体系的选择、内容的取舍等方面提出了极为宝贵的意见,并对全书进行了极为细致的审阅,编者在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2013 年 12 月

目 录

绪论	1
0.1 本课程的研究对象和内容	1
0.2 机器的组成和机械的类型	3
0.3 本课程的性质、任务和学习方法	5
0.4 机械设计的基本要求和一般程序	6
0.5 现代设计方法简述	7
本章小结	11
思考题与习题	12
第1章 平面机构	13
1.1 平面机构的组成	13
1.2 平面机构运动简图的绘制	16
1.3 平面机构的自由度	21
本章小结	26
思考题与习题	26
第2章 平面连杆机构	28
2.1 平面连杆机构的组成、基本类型和应用	28
2.2 平面四杆机构的工作特性	36
2.3 平面四杆机构的设计	39
本章小结	42
思考题与习题	42
第3章 凸轮机构	45
3.1 凸轮机构的应用和分类	45
3.2 从动件的常用运动规律	48
3.3 凸轮轮廓的设计	53
3.4 凸轮机构基本尺寸的确定	58
本章小结	59
思考题与习题	60

第 4 章 间歇运动机构	62
4.1 棘轮机构	62
4.2 槽轮机构	65
4.3 不完全齿轮机构	66
本章小结	67
思考题与练习题	67
第 5 章 螺纹连接	68
5.1 螺纹连接形成、类型和主要参数	68
5.2 螺纹连接的类型和螺纹连接件	70
5.3 螺纹连接的预紧和防松	73
5.4 螺栓连接的强度计算	76
5.5 提高螺栓连接强度的措施	81
5.6 螺栓组连接的结构设计	83
5.7 螺旋传动简介	84
本章小结	87
思考题与习题	88
第 6 章 轴毂连接(键连接、销连接)	90
6.1 键连接	90
6.2 花键连接	94
6.3 销连接	95
6.4 无键连接	96
本章小结	97
思考题与习题	98
第 7 章 带传动和链传动	99
7.1 带传动的组成、类型及特点	99
7.2 V 带和带轮结构	101
7.3 带传动的工作情况分析	104
7.4 普通 V 带传动的设计	108
7.5 带传动的张紧、安装及维护	116
7.6 同步带传动简介	117
7.7 链传动简介	118
本章小结	120
思考题与习题	121

第8章 齿轮传动	123
8.1 齿轮传动的特点和类型	123
8.2 渐开线齿廓及其啮合特性	124
8.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸计算	128
8.4 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	131
8.5 渐开线齿轮的加工	133
8.6 齿轮的材料、热处理和传动精度等级的选择	137
8.7 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	140
8.8 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动设计	148
8.9 斜齿圆柱齿轮传动	151
8.10 直齿圆锥齿轮传动	156
8.11 齿轮的结构设计、润滑及传动效率	160
8.12 蜗杆传动	163
本章小结	174
思考题与习题	177
第9章 轮系	181
9.1 轮系及轮系的类型	181
9.2 轮系的传动比计算	183
9.3 轮系的应用	190
本章小结	193
思考题与习题	194
第10章 轴	196
10.1 轴的类型和常用材料	196
10.2 轴的结构设计	199
10.3 轴的强度计算	204
10.4 轴的刚度计算	208
本章小结	209
思考题与习题	210
第11章 轴承	212
11.1 轴承的类型与应用	212
11.2 滑动轴承的典型结构	213
11.3 滑动轴承材料与轴瓦结构	214
11.4 滑动轴承的润滑	217
11.5 非液体摩擦滑动轴承的设计	220
11.6 液体润滑轴承简介	223

11.7 滚动轴承的类型与代号·····	225
11.8 滚动轴承的寿命和选择计算·····	231
11.9 滚动轴承的组合设计·····	239
本章小结·····	247
思考题与习题·····	248
第 12 章 联轴器、离合器和制动器·····	250
12.1 联轴器·····	250
12.2 离合器·····	256
12.3 制动器·····	260
本章小结·····	261
思考题与习题·····	262
第 13 章 机械的平衡和调速 ·····	263
13.1 机械的平衡·····	263
13.2 机械速度波动的调节·····	267
本章小结·····	273
思考题与习题·····	274
第 14 章 弹簧 ·····	276
14.1 弹簧的功用和类型·····	276
14.2 圆柱螺旋弹簧的设计·····	279
14.3 其他弹簧简介·····	284
本章小结·····	285
思考题与习题·····	286
参考文献·····	287

绪 论

机械是人类在长期的生产实践中创造出来的重要生产工具。被用来减轻人的劳动强度、改善劳动条件,提高劳动生产率。它已成为现代人在生产和生活中不可缺少的重要组成部分。本章主要介绍有关机械的基本概念、本课程的研究对象和内容、本课程的性质和任务及学习方法、机械设计的基本要求和一般程序以及现代机械设计的常用方法。

0.1 本课程的研究对象和内容

0.1.1 机械的有关概念

人类通过长期的生产实践,创造和发展了各种机器,如航天器、机器人、发动机、汽车、机床、起重机、推土机、纺织机、缝纫机、洗衣机、传真机、打印机、绘图机等。尽管它们的工作原理、构造、性能、用途各不相同,但从其组成分析,都是由一些常用的机构组成的。

图 0-1 所示为一颚式破碎机,它由电动机 1、带轮 2、传动带 3、带轮 4、偏心轴 5、动颚板 6、摇杆 7、定颚板 8 及机架等组成。该破碎机的工作原理:电动机的转动通过带传动驱动偏心轴转动,进而使动颚板产生平面运动,与定颚板一起实现压碎物料的功能。由图可知,该破碎机是由机架和偏心轴 5、动颚板 6、摇杆 7 等构成的一平面连杆机构所组成。

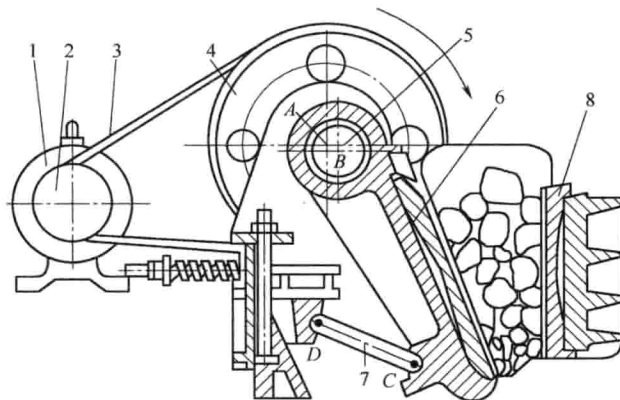


图 0-1 颚式破碎机

1—电动机;2,4—带轮;3—传动带;5—偏心轴;6—动颚板;7—摇杆;8—定颚板。

图 0-2 所示为一单缸四冲程内燃机,它由汽缸 11(机架)、活塞 10、连杆 3、曲轴 4、齿轮 1 与 18、凸轮 7 以及气阀推杆 8 与进气阀 12 和排气阀 17 等构件组成。其中,由固定不动的汽缸 11(机架)和可以运动的活塞 10(滑块)、连杆 3、曲轴 4(曲柄)构成曲柄滑块机构,将燃气活塞 10 的往复运动转变为曲柄的连续回转运动;由汽缸 11(机架)和凸轮 7、气

阀推杆 8 构成凸轮机构,将凸轮的连续转动变为推杆的往复移动;由汽缸 11(机架)和齿轮 1 与 18 构成齿轮机构,使安装两齿轮的轴保持一定的速比,与前面的凸轮机构配合,保证该内燃机进气阀和排气阀实现有规律开启和闭合。借助于上述的曲柄连杆机构、齿轮机构和凸轮机构,将燃气的热能推动活塞、通过连杆转换为曲柄转动,代替人们的劳动而做功;再经过相互啮合的齿轮带动凸轮不断地交替打开和关闭进气阀和排气阀,实现输入燃气和排出废气的工作。经过四冲程把燃气的热能转换为曲柄轴转动的机械能。可见,该内燃机(机器)是由曲柄连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等 3 个机构组成。

在生产和现代生活等各个领域,尽管使用的机器类型很多,用途各异。但从它们的组成、运动确定性以及功能关系来看,都具有以下几个特征。

(1) 任何机器都是人为实体(构件)的组合。

(2) 组成机器的各构件之间都有确定的相对运动。

(3) 各种机器都能代替或减轻人的劳动强度,完成有效的机械功或完成能量、物料与信息的转换或传递。

凡同时具备上述 3 个特征的人为构件的组合物称为机器。而只具有前两个特征的人为构件的组合物称为机构。

因此,机器的概念可以这样表述:机器是执行机械运动的装置,组成机器的各构件之间具有确定的相对运动,用来完成有用的机械功,变换或传递能量、物料、信息,以代替或减轻人的体力和脑力劳动。如变换能量的内燃机或活塞泵、传递能量的压力机、传递物料的起重机、变换信息的计算机、传递信息的发报机或传真机等都属于机器。而生活中的电视机、收音机,虽然带有一个“机”字,但它们不是执行机械运动的装置,故不能算做机器,而是一个电气装置。而自行车则为机构,虽然它有确定的相对运动,但却不能代替人做有效的机械功更不能实现能量、物料与信息转换及传递。

一台机器可能由一个机构(图 0-1)或多个机构(图 0-2)所组成。机构是由若干构件组成的具有确定相对运动的系统,仅起着运动的传递或运动形式转换的作用。在各种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、齿轮机构、轮系和间歇运动机构等;仅在某些机器中使用的特殊机构,称为专用机构,如陀螺机构等。

从组成方面来看,机构只是一个构件系统;而机器除此之外,还含有电气、液压等其他装置。从功能方面看,机构只用于传递运动和力;而机器除此之外,还具有变换或传递能量、物料、信息的功能。但从运动的观点来看,机器和机构都是由构件组成的,二者并无区别。因此,人们常用“机械”一词作为机器与机构的总称。

组成机构的各个相对运动部分称为构件,即构件是机构中的运动单元。它可以是单一的零件,如图 0-1 所示的摇杆 7;也可以是由几个零件组成的刚性结构,如图 0-2 所示的内燃机的连杆 3(图 0-3),它是由连杆体、连杆盖、螺栓及螺母组成的,这些零件形成一个整体而进行运动,也就是一个构件。

零件是机械的制造单元。所有的机械都是由众多零件组合而成的。机械中的零件可分为两大类:一类是在各种机械中普遍使用的零件,称为通用零件,如螺纹连接件、键、齿轮、蜗杆、蜗轮、轴、轴承、联轴器、弹簧等;另一类则是只在某些机械中使用的零件,称为专用零件,如内燃机的曲轴、汽轮机中的叶片、洗衣机中的波轮、纺织机中的织梭、拖拉机中的犁铧等。

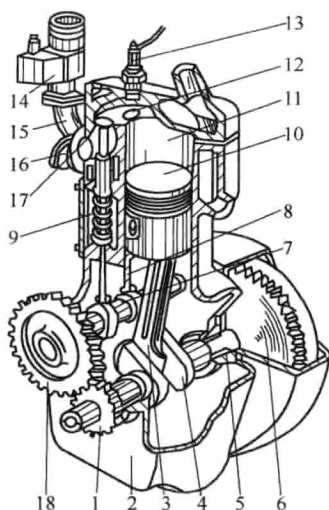


图 0-2 单缸内燃机

1, 18—齿轮; 2—机壳; 3—连杆; 4—曲轴; 5—轴承;
6—大齿轮; 7—凸轮; 8—气阀推杆; 9—弹簧; 10—
活塞; 11—汽缸; 12—进气阀; 13—火花塞; 14—空
气滤清器; 15—进气管; 16—化油器; 17—排气阀。

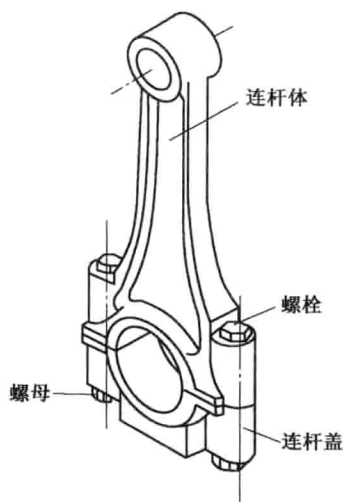


图 0-3 连杆

在机械中,将一组协同工作以完成共同任务的零件组合称为部件,它是装配的单元。部件亦可分为通用部件和专用部件,如滚动轴承、联轴器、离合器等属通用部件;汽车转向器、化油器、组合机床的主轴箱等属专用部件。

0.1.2 本课程研究的对象

机械设计基础课程是一门介绍和研究机械设计基础知识的课程,以组成机械的常用机构及通用零部件为研究对象。

0.1.3 本课程研究的内容

本课程研究的主要内容包括两个部分:

(1) 研究常用机构的作用、组成、结构、工作原理、类型、运动特点、设计方法等方面的基本知识。这些常用机构包括平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇机构等。

(2) 研究通用零部件的工作原理、结构特点、选用和设计问题。这些零部件包括齿轮传动、带传动、链传动、蜗杆传动等传动零部件、连接零部件以及轴、轴承、联轴器与离合器等轴系零部件等。

0.2 机器的组成和机械的类型

0.2.1 机器的组成

各类机器虽然用途各异,但从其功能组成来分析却有共同之处。如图 0-4 所示,一

部完整的机器通常都是由动力部分、执行部分(或称工作部分)、传动部分和控制部分 4 个部分组成。

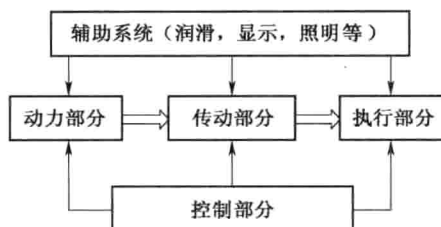


图 0-4 机器的组成

(1) 动力部分。它是整个机器的动力源。常用的原动机有电动机、内燃机、汽轮机等。其功能是把其他形式的能(如电能、热能等)转变为机械能,以驱动机器运动和做功。

(2) 执行部分(执行机构)。它是直接完成工艺动作、实现机器特定功能的部分。它与作业对象直接接触,完成预期的工艺要求和工艺动作,如机床的主轴和刀架、汽车的车轮、起重机的卷筒和吊钩、破碎器中的动颚、挖掘机的铲斗等。一部机器可能有一个执行部分或多个执行部分。

(3) 传动部分(传动机构)。它是将原动机的动力和运动传递给执行部分的中间环节(装置)。其功能是在传递动力的同时可以转换运动的形式及改变运动的速度,以适应执行部分工作的需要。组成传动部分的机构很多,如齿轮机构、带传动、链传动、蜗杆传动、螺旋传动等;此外,还有液(气)压传动、电传动等。

(4) 控制部分。它是控制原动机、传动机构、执行机构,使它们彼此协调地工作,并使之准确可靠地完成整个机械系统机械运动的装置。其功能是控制和操纵各部分的起动、制动、离合、转向、变速等一系列机器预期的工作要求,如数控机床的数字控制系统、汽车的电液式自动变速器、汽车的 ABS 系统等。

图 0-5 所示为一台卷扬机的组成示意图。图中动力部分是电动机 1;执行部分是卷筒 5 和钢丝绳 6;介于动力部分和执行部分的齿轮传动 3 是传动部分,它将电动机的高速转动改变为低速转动,并将转矩增大;而控制台上的按钮和手柄是卷扬机的控制部分,它分别控制电动机的起动、制动和卷筒的正、反转,从而控制钢丝绳上、下运动进行吊装。

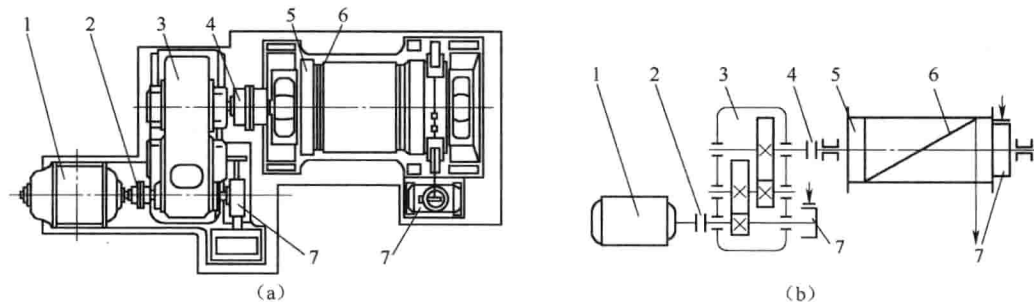


图 0-5 卷扬机

1—电动机;2—联轴器;3—齿轮传动;4—联轴器;5—卷筒;6—钢丝绳;7—制动器。

0.2.2 机械的类型

机器的种类繁多,根据其功能的不同,大致可分为以下4种类型。

(1) 动力机械。用来实现机械能与其他形式能量之间的转换,如电动机、内燃机、汽轮机、发电机、压气机等。

(2) 加工机械。用来改变物料的状态、形态、性质和结构,如轧钢机、粉碎机、金属切削机床、纺织机、印刷机、食品加工机、造纸机、包装机等。

(3) 运输机械。用来改变人或物料的空间位置的机械,如机车、汽车、轮船、飞机、起重机械、升降机等。

(4) 信息机械。用来获取、转换和传递各种信息的机械,如复印机、打印机、传真机、绘图机、数码相机等。

0.3 本课程的性质、任务和学习方法

0.3.1 本课程的性质

本课程是一门专业技术基础课,旨在培养学生的机械设计能力,学习中将要综合地运用先修课程中的工程数学、工程力学、机械制图、金属材料及热处理、互换性与技术测量等课程的基本知识,去解决常用机构和通用零件的分析和设计问题。本课程涉及的知识面广,实践性、综合性都较强,更接近工程实际。

0.3.2 本课程的任务

本课程的主要任务包括以下内容。

(1) 了解常用机构和通用零、部件的工作原理、类型、特点及应用等基本知识。

(2) 掌握常用机构的基本理论及设计方法;掌握通用零、部件的失效形式、设计准则与设计方法。

(3) 具备机械设计实验技能和设计简单机械及传动装置的基本技能。

0.3.3 本课程的学习方法

本课程是一门综合性、实践性很强的课程。因此,在学习中,应注意以下学习方法。

(1) 认识机械,了解机械。本课程比其他专业基础课更贴近于实际,因此学习本课程时,要理论联系实际,注意观察各种机械设备,掌握各种常用机构、通用零部件的工作原理和结构特点。在学习理论的同时要坚持联系实际,坚持练习工程实际才能加深对理论知识的理解。

(2) 在学习机械设计基本知识的同时要注意能力的培养。学习机械设计知识是为了解决机械设计中的实际问题,所以要把培养能力放在重中之重的位置,多练习、多实践有助于提高学生的设计能力。

(3) 重视有关设计公式的应用和具体设计方法的掌握,重视机械结构设计。学习中,要重视常用机构、零部件的设计公式的应用和具体设计方法的掌握,重视机构设计分析及

机构、零部件设计中主要参数的选择。结构设计是本课程的一个重要的组成部分。结构设计是设计人员构思的具体实现,没有结构设计就不可能进行机器的生产。所以结构设计在整个机械设计中占有很重要的地位,必须高度重视。

(4) 掌握方法,形成总体概念。在学习本课程的过程中,应将各章节研究的各种常用机构、通用零部件有机地联系起来,防止孤立、片面地学习各章内容。

0.4 机械设计的基本要求和一般程序

0.4.1 机械设计的基本要求

机械设计是机械产品研制的第一步,设计的好坏直接关系到机械产品的质量、性能和经济效益。机械制造过程实质上就是要实现设计所规定的产品性能和质量。机械设计应满足的要求如下。

(1) 满足预期功能要求。所设计的机械要保证实现预期的使用功能,并在规定的工作条件下、规定的工作期限内正常运行,安全可靠,操作方便,维修简单等。

(2) 满足市场和经济性要求。机械产品设计,始终应以满足市场和经济性要求为导向,应将机械产品设计、销售、制造三方面作为一个整体考虑。如果机械产品有市场需要,但其价格昂贵,它最终会被市场所淘汰;如果机械产品无市场需要,即使其价格再便宜,也不会被市场所接受。所以,机械设计务必要做到市场和经济性的统一。

(3) 满足工艺性要求。机械产品的工艺性是指机械产品的加工和装配是否可行、合理、经济。设计人员必须关心产品的加工、装配以及包装、运输整个过程。

(4) 保证安全性和可靠性要求。机械设计必须以人为本。如果机械产品的安全性和可靠性不够,就会出现事故,造成人身和财产损失。

(5) 符合环境保护和造型美观要求。随着社会的发展,环境问题和造型美观越来越受到人们的关注。当机械用于生产和生活时,确保使用者的安全舒适和避免对环境的污染是设计者必须要考虑的基本问题。例如,食品、纺织机械要求不得污染产品;医疗机械要求外形美观、使用方便;某些机械要满足人机工效学要求,即力求操作方便、省力、效率高等。

0.4.2 机械设计的一般程序

一部机械从设计到正常使用,要经过调查研究、设计、制造、运行考核、修改设计等一系列过程。机械设计一般可按下列程序进行。

(1) 提出设计任务,拟定设计计划。根据生产和市场的需求,在调查研究的基础上,提出设计任务,编写详细的设计任务书。设计任务书一般包括所设计机械的功能要求、用途、性能指标、基本结构形式、主要设计参数、动力来源以及主要技术经济指标等。然后,进行深入调查研究,确定所需机械的工作原理,并拟定切实可行的总体设计计划。

(2) 方案设计。这一阶段的主要任务是根据设计任务书的要求,构思出多种方案,再进行分析比较和技术经济评价,从中选出一套最佳设计方案,并绘制出总体设计图——机构运动简图。

(3) 技术设计。这一阶段是将方案设计具体化为机械各部分的合理结构。包括完成施工所需的总装图、部件草图;完成各零件工作图,并根据定型的零件图重新绘制出总装图、部件装配图;编制设计计算说明书、使用说明书等技术文件。

(4) 样机的试制、鉴定和评价。这一阶段的主要任务根据上述设计所提供的图样和技术文件进行样机试制,并对试制出的样机进行试验,从技术上、经济上作出全面的评价,为进一步完善设计、修改设计提供依据。

(5) 产品定型。经过样机的鉴定和评价,最后根据样机试制中存在的问题修改设计方案,使设计更加完善,定型生产。

机械设计的各个阶段与内容都是相互关联、相互影响和相互交叉的,因此,设计过程是一个经过多次循环,不断修正,使设计不断完善,逐渐接近最优设计结果的反复实践过程。

0.5 现代设计方法简述

机械设计方法有常规设计方法(或称传统设计方法)和现代设计方法两类。

常规设计方法主要有理论设计、经验设计和模型设计等。

现代设计方法是随着当代科学技术的飞速发展和计算机技术的广泛应用而在设计领域发展起来的一门新兴的多元交叉学科。它是以产品设计为目标的一个总的知识群体的统称,是为了适应市场激烈竞争的需要,为提高产品设计质量和缩短设计周期,以及计算机技术在设计中的广泛应用,于20世纪70年代以来在设计领域相继诞生与发展的一系列新兴学科的集成。现代设计方法的种类繁多,内容广泛。本节以计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、有限元设计、工业造型设计、绿色设计、并行设计等为主要代表,来说明现代设计方法的基本内容与特点。

1. 计算机辅助设计

随着计算机硬、软件技术的不断发展和广泛应用,计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)现已成为国内外各行业进行产品设计时不可缺少的技术手段。

计算机辅助设计是一种人(设计人员)机(计算机)交互的设计技术,从而使人和机的最好特性结合起来一道完成设计任务。计算机辅助设计系统以计算机硬件、软件为支撑环境,由计算机完成产品设计中的几何建模、计算分析、模拟、工程绘图、优化设计、数据管理等工作,由计算机辅助设计人员完成产品的全部设计过程,最后输出满意的设计结果和产品图纸的现代机械设计方法。它是最近40年来迅速发展起来并得到广泛应用的一种设计技术。计算机辅助设计技术极大地缩短了从设计到生产的周期,减轻了技术人员的劳动强度,显著提高了产品的设计质量,并使设计更加规范化、标准化、智能化、现代化。

2. 优化设计

优化设计(Optimal Design, OD)是以计算机为计算工具,把最优化数学原理应用于工程设计问题,在所有可行方案中寻求最优设计方案的一种现代设计方法。进行工程优化设计时,首先需将工程问题按优化设计所规定的格式建立数学模型,然后选用合适的优化方法及计算程序在计算机上对数学模型进行寻优求解,得到工程设计问题的最优设计方案。

在建立优化设计数学模型的过程中,把影响设计方案选取的那些参数称为设计变量;把设计变量应当满足的条件称为设计约束;而设计者选定来衡量设计方案优劣并期望得到改进的指标变为设计变量的函数,称为目标函数。设计变量、目标函数和设计约束组成了优化设计问题的数学模型。为了便于工程优化设计问题的求解,优化设计专家研制和开发了能够求解各类工程优化问题的多种优化算法。优化设计需把所建立的优化数学模型和优化算法放到计算机程序中用计算机来自动寻优求解。常用的优化算法有一维优化方法、多维无约束优化方法、约束优化方法和线性规划法等。每类优化方法中,又有多种不同算法。具体优化算法的选用,要依据优化数学模型的特性(设计变量多少、设计约束个数及函数特性、目标函数特性等)、求解精度要求以及上机机时经济性等因素综合考虑。

3. 可靠性设计

可靠性设计(Reliability Design, RD)是以概率论和数理统计为理论基础,以失效分析、失效预测及各种可靠性试验为依据,以保证产品的可靠性为目标的一种现代设计方法。随着现代产品不断向高速、高(低)温、高(低)压、高精度方向发展,产品的可靠性极为重要。

可靠性是产品质量的重要指标,它标志着产品不会丧失工作能力的可靠程度。产品的可靠性是指产品在规定的条件下、规定的时间内、完成规定的功能的能力。产品的可靠性指标主要有可靠度、失效概率(或不可靠度)、失效概率密度函数、失效率、可靠寿命、维修度、有效度等。产品可靠性高低常用可靠度来衡量。可靠度的定义为:产品在规定的条件下、规定的时间内、完成规定的功能的概率。可靠性设计的基本内容是:选定产品的可靠性指标及量值;对可靠性指标进行合理的分配;再把规定的可靠性指标设计到产品中去。

4. 有限元设计

有限元设计(Finite Element Method, FEM)是根据变分原理和插值法、以电子计算机为工具求解工程问题的一种现代数值计算方法。该算法既能用于工程中复杂的非线性问题、非稳态问题(如结构力学、流体力学、热传导、电磁场等方面问题)的求解,也可用于工程设计中进行复杂结构件的静态和动力分析,并能准确地计算形状复杂零件(如机架、汽轮机叶片、齿轮等)的应力分布、变形、温度场和动态响应,成为复杂机械零件强度和刚度进行精确计算与分析的一种有效工具。有限元法的应用范围很广,现已在机械工程、建筑工程、造船工程、冶金工程、航空工程、地质工程及生物医学工程、温度场和磁场等众多的工程和科学领域得到广泛应用。

有限元法的基本思想:首先假想将连续的结构分割成数目有限的小块体,称为有限单元。各单元之间仅在有限个指定节点处相连接,用组成单元的集合体近似代替原来的结构。在节点上引入等效节点力以代替实际作用在单元上的动载荷。对每个单元,选择一个简单的函数来近似地表达单元位移分量的分布规律,并按弹性力学中的变分原理建立单元节点力与节点位移(速度、加速度)的关系(质量、阻尼和刚度矩阵),最后把所有单元的这种关系集合起来,就可以得到以节点位移为基本未知量的动力学方程。给定初始条件和边界条件,就可求解动力学方程得到系统的动态特性。依据这一思想,有限元法用于工程问题的求解与计算过程为:①结构体离散化(即将连续构件化分为若干个单元);②

单元特性分析(即建立各单元的节点位移和节点力之间的关系式,求各单元的刚度矩阵);③整体分析(或称单元组集,即将各单元集成整体结构进行分析,建立表示整个结构节点平衡的方程组,即整体平衡方程,或称整体刚度方程);④确定约束条件,有限元方程求解(利用结构力的平衡条件和边界条件,解整体平衡方程,得各节点位移,求各单元的内力和变形,即各单元的应力和应变)。由此可见,有限元法的计算思想是“一分一合”,先分是为了进行单元分析,后合则是为了对整个结构体进行综合分析。

20 世纪 80 年代,随着有限元法工程应用的不断推广,国际上不仅开发出大量通用的有限元计算分析程序,如 ANSYS、NASTRAN、ASKA、SAP 等,而且还带有功能强大的前处理(自动单元网格,形成输入数据文件)和后处理(显示计算结果,绘制变形图、等值线图、振型图等,并可动态显示结构的动力响应等)程序。由于有限元通用程序使用方便,计算精度高,其计算结果已成为各类工业产品设计和性能分析的可靠依据。

5. 工业造型设计

工业造型设计(Industrial Moulding Design, IMD)是一门工程技术与美学艺术紧密结合的新兴的边缘学科。它是现代工业产品设计理论的重要组成部分,也是一种重要的现代设计方法。它以工业产品造型、外观质量及人机协调系统为主要研究内容,务求在工业产品设计时,在保证产品使用功能的前提下,用艺术手段按照美学法则对工业产品进行造型活动,对工业产品的结构尺寸、体面形态、色彩、材质、线条、装饰及人机关系等因素进行有机的综合处理,从而设计出优质美观的产品造型。

产品设计包括两个方面:技术设计和造型设计。技术设计是以产品工作原理的实现、技术性能优劣、工艺性好坏、使用寿命长短等指标来衡量,即产品的“内在质量”。而造型设计是以产品的形态、色彩、装饰及舒适程度(人机系统协调关系之一)等来评定的,即产品的“外在质量”。由于产品的“内在质量”与“外在质量”是相互制约和影响的,所以技术设计与造型设计的具体内容既有区别又有联系。工业造型设计的目的,就是应使设计出的工业产品在保证实用的前提下,具有美的、富有表现力的审美特性。实用、美观、经济是产品造型设计的 3 个基本原则。

目前,工业造型设计这一学科介绍的主要内容包括绪论(工业设计的概念、工业造型设计特征、工业造型设计原则、工业造型设计的发展简史、工业造型设计作品欣赏)、工业造型设计的美学基础、形态构成、色彩设计、人机工程设计基础、造型设计表现技法、产品造型设计的程序和评价、工业造型计算机辅助设计等。

工业产品造型设计的基本内容包括:①产品的形态设计,使产品的形态构成符合美学法则,通过正确地选择材料、表面修饰工艺,形成与产品功能、环境条件等因素相适应良好的外观质量;②产品的色彩设计,色彩设计是完善产品造型的一个基本要素,设计中应综合产品的各种因素,制定出合适的配色方案;③产品的人机工程设计或称宜人性设计,结合人的生理、心理因素,获得人一机(产品)—环境的协调与最佳匹配,使人们的生活与工作环境更舒适、安全和高效率;④产品的标志、铭牌、字体等的设计,以形象鲜明、简洁、突出、醒目的标志和字体形态,给人以美好、深刻的产品印象。

产品造型设计不是独立进行的,必须与产品的工程技术设计相结合。在产品开发设计的全过程中,造型设计与工程技术设计应自始至终同步地、交叉地、相互参与地进行。工业造型设计的基本步骤为:调研及产品定位;造型设计及表达;完善及改进设计。