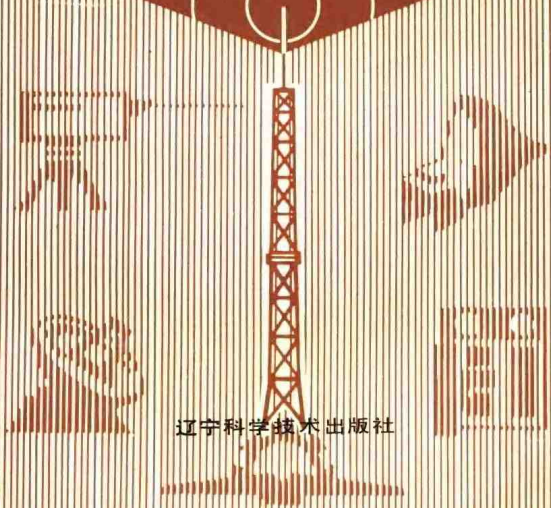


中等专业学校教材

电子机械设计

成其荣 主编



辽宁科学技术出版社

The illustration features a central lattice tower with a vertical line extending upwards to a small circle. To the left, there is a stylized electronic component, possibly a vacuum tube or a transformer. To the right, there is a stylized flag or banner. Below the tower, there is a stylized base or foundation. The entire illustration is composed of horizontal and vertical lines, giving it a technical or architectural feel.

中等专业学校教材
电子机械设计
Dianzi Jixie Sheji
成其荣 主编

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)
电子工业出版社 朝阳新华印刷厂印刷
辽宁省新华书店发行

开本: 787×1092 1/16 印张: 13 2/4 字数: 310,000
1990年3月第1版 1990年3月第1次印刷

责任编辑: 刘绍山 责任校对: 李秀芝
封面设计: 邹君文

印数: 1—495

ISBN 7-5381-0811-4/TN·23 定价: 2.90元

内 容 简 介

本书主要介绍电子机械常用机构、部件设计的基本概念、基本理论和方法,并以相当篇幅介绍了电气控制技术及其应用。体现了以机为主,机电结合的趋势。

全书共分十章:1.引论;2.精密齿轮传动设计;3.精密螺旋机构设计;4.凸轮机构设计;5.步进传动机构设计;6.自动上料装置;7.直线运动导轨;8.支承件设计;9.控制系统的基本概念;10.电气控制系统。

本书为中专电子类机械制造专业教材,也可供从事轻工、仪器、邮电、食品、纺织等机械设计和技术革新的工程技术人员参考。

前 言

本教材系由中专电子机械教材编审委员会机械制造专业编审组评选审定,并推荐出版。责任编委周光远。

该教材由无锡无线电工业学校成其荣担任主编,北京无线电工业学校高级讲师王崇道担任主审。编审者均依据机械制造专业编审组审定的编写大纲进行编写和审阅。

本教材的参考教学时数为90学时。内容概略地介绍了当前国内外有关机械现代设计方法的概况及发展趋势,以及有关总体方案设计的基本知识;较详细阐述了常用机构、导轨、支承等部件的设计理论和方法;以适当的篇幅介绍了电气控制技术及其应用。各章后还选编了一定数量的复习思考题。

在选用本书作为教材时,应在学生学完机械原理和零件、金属工艺学、电工和微机原理及应用等课程之后进行讲授。各校可根据各自特点,对本教材内容作适当的增删。

本书第1—5章、8章由成其荣编写,第6章由王建锋编写,第7章由黄康美编写,第9—10章由劲佩焜编写,成其荣统编全稿。参加审阅工作的有周光远、丁振明等同志,陈秋文同志也对本教材给予了大力支持和帮助,在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免还存在缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1988年10月

目 录

前言	
1 引论	1
1.1 机械的基本概念	1
1.2 机械设计的类型	2
1.3 机械设计的程序及考虑因素	3
1.4 现代设计方法概述	6
习题一	9
2 精密齿轮传动设计	10
2.1 概述	10
2.2 齿轮传动的位置误差分析及估算	10
2.3 齿轮传动的回差分析及估算	12
2.4 齿轮传动链设计	16
2.5 齿轮材料的选择	29
习题二	30
3 精密螺旋机构设计	31
3.1 滑动螺旋机构	31
3.2 滚珠螺旋机构	42
习题三	50
4 凸轮机构设计	51
4.1 概述	51
4.2 凸轮机构从动杆的基本运动规律及其选择	53
4.3 凸轮机构参数的确定	56
4.4 凸轮廓线方程	62
4.5 凸轮机构设计	63
4.6 闭锁弹簧设计与凸轮轴转矩的计算	69
习题四	72
5 步进传动机构设计	74
5.1 概述	74
5.2 棘轮机构	75
5.3 槽轮机构	81
5.4 凸轮式步进机构	89
5.5 其他形式步进机构简介	96

习题五	100
6 自动上料装置	101
6.1 概述	101
6.2 卷料上料装置	101
6.3 件料上料装置	108
6.4 工件的自动定向及自动定向料斗	115
6.5 电磁振动料斗	120
习题六	131
7 直线运动导轨	133
7.1 概述	133
7.2 滑动导轨	134
7.3 滚动导轨	141
习题七	147
8 支承件设计	149
8.1 支承件的基本要求	149
8.2 支承件的结构设计	150
习题八	162
9 控制系统的基本概念	163
9.1 控制系统的作用和组成	163
9.2 控制系统的分类及其特点	164
9.3 机械凸轮控制系统	167
习题九	170
10 电气控制系统	171
10.1 电气控制常用元件	171
10.2 电气控制执行元件和控制电路	179
10.3 程序控制	198
习题十	212

1 引 论

1.1 机械的基本概念

机械工程专业，在其发展过程中已形成了能量、信号（或信息）以及材料（或工艺）技术三大领域。这些领域的技术装置，一般可称为机械、仪器和器械，与此相应的有下列定义：

机械——以能量流和能量变换为主的技术系统；

仪器——以信号流和信号变换为主的技术系统；

器械——以材料流（物质流）和材料变换为主的技术系统。

图1—1所列为机械工程领域内品种繁多的产品。

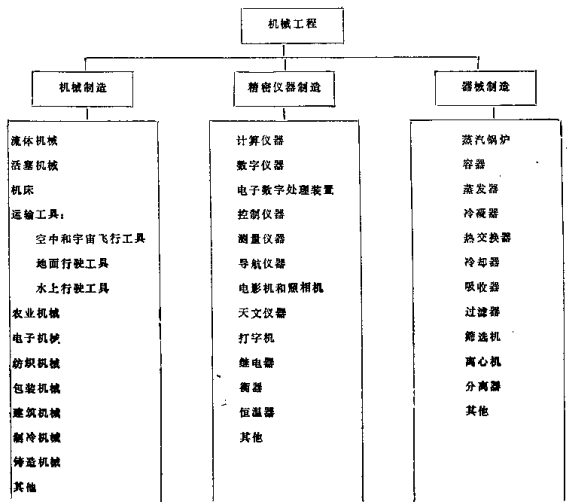


图1—1 机械工程产品的分类

电子机械主要是指电子工业的专用机械设备、装置等一类技术系统，常称工作机械。和其他各类工作机械类同，其结构一般由动力机、传动机构、执行机构和为保证工作机正常、协调地工作的操纵、控制测量等装置组成（图1—2）。

动力机——是工作机完成工作任务的动力源。电动机为最常用的动力机构。

传动机构——是将动力机构的动力和运动传给执行机构的中间装置。传动机构的类型很多,有机械、电气、气动、液压以及它们的组合。

执行机构——是工作机直接完成某种预定的工艺职能的机构，它包括工作机构和各种辅助机构。前者是直接改变加工对象的形状、尺

寸以及性能的机构,后者是保证工作机实现工作循环的机构。各类工作机采用不同的工作机构反映了工作机工艺职能的特殊性,辅助机构的完善与否,反映了工作机自动化程度的高低。

操纵控制机构——是操纵、控制工作机各组成部分协调动作，并准确可靠地完成工作任务的机构。早期的控制机构，大多采用机械控制方式。随着电子技术的迅速发展，电子控制技术得到了普遍的应用。

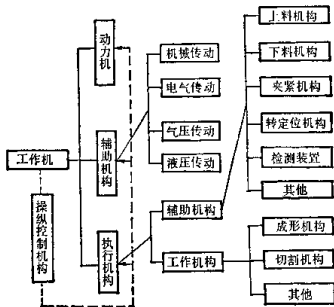


图1-2 工作机械的组成

寸以及性能的机构,后者是保证工作机实现工作循环的机构。各类工作机采用不同的工作机构反映了工作机工艺职能的特殊性,辅助机构的完善与否,反映了工作机自动化程度的高低。

操纵控制机构——是操纵、控制工作机各组成部分协调动作，并准确可靠地完成工作任务的机构。早期的控制机构，大多采用机械控制方式。随着电子技术的迅速发展，电子控制技术得到了普遍的应用。

1.2 机械设计的类型

所谓设计，广义来说是指通过分析、创造与综合，达到某种特定功能系统的一种活动过程。

在现实的生产实践中，由于原始条件的不同，机械设计一般有下列三种不同的类型，

1. 开发性设计——它是在没有样机的情况下，从某种原理出发，设计出在质和量方面都能满足特定要求的机械产品。如工业机器人的设计就属于开发性设计。

2. 变异性设计——在总的方案原理基本保持不变的情况下,对已有机械进行局部变更,使之适应质和量方面的某种附加要求。但是局部方案的原理是可以变化的。如采用单板机对普通机床进行自动控制,以满足生产发展需要的设计,就属于变异性设计。

3. 适应性设计——在方案原理和功能结构都不变的情况下，对现有产品的结构配置和尺寸加以改变，使之适应于量的方面变更的要求。比如由于传递扭矩或速比发生变化而重新设计减速器的传动系统和尺寸的设计就属于适应性设计。

1.3 机械设计的程序及考虑因素

1.3.1 设计程序

过去习惯用三段设计法，即总体方案设计、部件设计与零件设计，或初步设计、技术与工艺设计。随着试验性设计及计算机辅助设计（Computer Aided Design，缩写为CAD）的发展，一些先进的设计，基本上采用平行逐次法，即既有阶段又平行作业，以便相互协调。设计流程如图1—3所示。

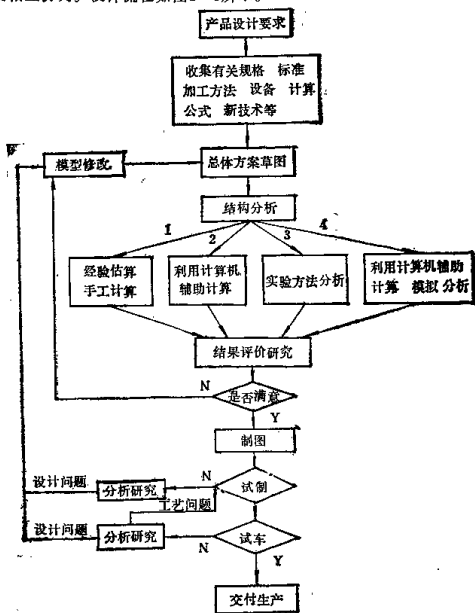


图1—3 设计流程图

图中途径4即为计算机辅助设计,现在已在很多领域被广泛地采用。

(1) 在整个设计过程中,总体设计的程序一般为:

- ① 明确设计思想,分析综合要求,决定性能参数,调研同类机械。
- ② 拟定总体草图。
- ③ 方案对比定型。
- ④ 编写总体设计论证书。

(2) 总体设计中特别要注意下列问题:

- ① 生产率要求与专用性分析。
- ② 自动化程度与适用性分析。
- ③ 动力源特性分析:电源、能源与动力源考虑。
- ④ 特殊功能的分析:抖动要求、快速换向与定位精度等要求。
- ⑤ 结构空间尺寸的布置分析。
- ⑥ 同类机械故障分析。
- ⑦ 机、电、气与液压传动的最佳匹配问题。
- ⑧ 工艺试验分析。
- ⑨ 环境条件要求:温度、湿度、尘砂、振动、易燃物与腐蚀物对机器的影响分析。
- ⑩ 订货困难的标准件与外购件、材料的调查。

1.3.2 考虑因素

机械设计主要应考虑4个因素,即人、机、材料与成本。

1. 任何机械,都是由人设计的,是由人使用和操纵的。要使机械充分有效地、可靠地发挥其预期的功能,在设计中必须考虑“人的因素”。特别是随着科学技术的发展,生产过程的机械化、自动化、电子化以及电子计算机的广泛应用,复杂的机器系统和自动化系统虽然能减轻人们的体力劳动和担负人们的部分脑力劳动工作,但与此同时也要求人们必须完成更为复杂的任务。实践表明,如果在设计中对人的生理、心理特点考虑不足,就可能使系统陷于不能正常工作的状态,或者使操作者过早地疲劳,甚至发生不应有的事故。据国外统计,在生产中有50—70%的事故是与轻视“人的因素”有关的。因此,在设计时必须按照人的功能特点设计确定的工作条件、信息传递方式和操纵机构,使人—机组成统一的、相适应的机能系统^①,并使之达到最佳参数。

2. 机械设计的核心问题是保证产品的功能要求。一个复杂的技术系统的总功能可由许多部件和元件功能所组成,当对各部件的功能原理、功能结构及功能间的变换关系进行分析研究,并从中选取最佳功能结构,从而合成总功能以后,就要以材料和制造工艺为中心来考虑问题。为确保系统在使用环境下的可靠性和耐用性,必须审核所用材料的可靠性,特别对于采用近来发展很快的塑料,尤应格外注意。通过所选定的最佳材

^① 研究人—机—环境综合体系的学科,就是“人机工程学”(Ergonomics或Human Factor Engineering),这是在50年代才发展起来的一门新兴学科,在我国则还属起步。

料来研究系统的生产过程、工艺和具体的结构。

功能、材料和制造，三者是相互影响，相互促进的。如果研制出性能更好的材料，并能实现制造工艺，那么系统的功能将更易保证，性能将会更进一步地提高；若研究出更精密的制造工艺，则系统功能的可靠性又可进一步提高，性能的提高将反过来促进材料和工艺的进步。

3. 机械设计的可靠性、适用性与完善性的考虑均可归结于：保证功能要求与适当使用寿命下的不断降低成本。

机械产品的成本高低，70%在设计阶段就决定了，为此，设计人员应当经常考虑适当使用寿命下的价值分析和产品功能。一个产品的价值可由下式来表示：

$$\text{价值} = \frac{\text{功能}}{\text{价格}}$$

产品的功能是随着时代和社会形势的需求而不断变化的，因而价值也是不断变化的，但总是要求把价值提高，也就是说，总是要求价格不断下降，或者说把产品的成本降低。

设计阶段降低成本，可从新产品和现有产品改型两方面进行。降低新产品成本的办法主要是在不损失必要功能的前提下，尽可能地采用现有产品通用件或标准件（包括市场上销售的产品）。下面就改型设计如何降低成本为例作一讨论。

降低成本应从用户立场出发降低使用成本和从制造厂的立场出发降低制造成本两方面入手。前者是减少综合工程费用，它包括了使产品在使用保障期内无故障地运行而提高功能率，缩短平均故障间隔（即到产品发生故障为止，或从一个故障排除后到下一个故障发生的平均工作时间），减少因故障停机给用户造成的损失，进一步提高产品的工作能力。

制造成本的降低，应在设计的各个阶段随时随地考虑下列问题，并权衡利弊，妥善处理。

（1）考虑一般事项：

- ① 能否进行减少零件的设计更改？
- ② 原设计零件能否改为廉价外购件？
- ③ 能否使用标准件？变换标准件是否合算？
- ④ 能否进行简化零件的改进设计？
- ⑤ 有没有实现同功能但成本更低的零件？
- ⑥ 是否能使用标准检验器具？
- ⑦ 能否采用为其他装置设计的零件？
- ⑧ 能否减少材料的种类，使用新发明的材料？

（2）考虑加工：

- ① 机械加工面是否全为必要？
- ② 加工精度再低一点是否适当？
- ③ 能否使用标准的刀、夹、量具？
- ④ 公差严格程度是否超出需要？
- ⑤ 能否使用其他易加工材料？

- ⑥ 能否使用不必攻丝的紧固件?
- ⑦ 能否用焊接螺母取代螺孔?
- ⑧ 能否用其他加工方法替代切削加工?
- ⑨ 有没有既省略机械加工又可满足公差要求的材料与零件?
- ⑩ 用焊接件代替铸件能否保证质量和降低成本?

(3) 考虑装配:

- ① 能否把零件制成对称?
- ② 有没有能提高装配速度的结构?
- ③ 能否利用库存件?
- ④ 能否把几个零件合为一体?
- ⑤ 产品的尺寸是否最小?

1.4 现代设计方法概述

1.4.1 现代机械设计的四大要求

根据对现有机械的分析,现代机械的设计具有下列四大要求:

1. 三性统筹:即可靠性、适用性(包括先进性)与经济性加以统一的辩证考虑,而可以可靠地满足工作性能为前提,反对不切实际地强调先进,反对不讲求经济效益。
2. 人机配合:即一定要把人的因素考虑进来,为用户服务,为使用者着想,充分发挥产品的最大效能。
3. 四位一体:即四种传动(机械、电气、液压、气动)要有机地匹配,各得其所,发挥所长。
4. 多方兼顾:即设计、制造、管理、使用、维修保养要综合地分析,贯穿到一台机械设备中去。

要满足这些要求,参数变量可以说是成百的。传统的常规设计是以经验公式、近似系数、类比归纳,规范手册等作为设计依据。这种方法虽然简单,但是常常忽略了应当考虑,但在当时科学技术条件下难以考虑的、甚至必要的因素,设计时只能考虑有限的变量,所以其结果必然只能粗略地满足某些特定的条件,因而就显得保守与不符合实际,也就不能满足以上的各种要求。

现代设计法,则是按照科学方法论在研究设计对象的内在规律的基础上,运用数学语言,对其规律作出描述,即建立数学模型,然后利用现代分析技术取得接近动态状况的多变量参数,应用计算技术求得定量化。

1.4.2 常用现代设计方法

现代设计法是一个总体模型。实际上,对于各个具体技术系统的设计以及各个具体的设计阶段,则必须采用各种相应的现代设计方法,以解决具体问题。

当代采用的现代设计方法的种类很多,现择几种,予以简介。

1.4.2.1 技术预测法

技术预测法，是在设计前由已知（或已收集的）资料数据预测被设计对象在今后一定阶段内的发展动向。它是现代设计的最初步骤。不了解、掌握某类系统的技术发展动向（包括性能、参数、结构等），就不可能有好的设计。

预测的可靠性与正确性是设计进程的第一个输入信号。该信号正确与否决定了设计的成败。因此，现代设计的第一步应采用技术预测法，以取得必要的设计数据。

目前有些国家、跨国公司采用了以市场预测为中心的设计，取得了较好的技术、经济效果。

1.4.2.2 科学类比法

在技术预测以后，将有关的信息与对象，用科学的类比方法，获取有用的、可借鉴的部分或数据，为以后的系统分析设计作好准备。

提到类比法，人们往往与仿制、参考样机设计新机混为一谈。其实，类比法是一种从特殊事件到特殊事件的推理方法，盲目地参照样机不能算做“推理”。因此，类比推理如果没有科学方法指导，只能认为是一种原始的、低级的类比方法，称为简单共存类比，它只考虑A事物与B事物的简单共存关系，而忽略了许多内在的必然联系，因此这种方法带有很大的偶然性和猜测性，可能获得成功，也可能陷入谬误，孤立地采用这种方法，将阻碍技术的发展。

类比法如果通过因果、对称、协变关系等因素的分析，则可使类比法由低级向高级发展，即上升到科学类比的阶段。

在现代设计中经类比推理后，人们对设计对象就有了初步的认识，明确了各子系统的相互依存关系，这样就可进行系统分析设计。

1.4.2.3 系统分析设计法

在对设计进行类比推理后，掌握了大量有关的信息，就可进行系统分析设计。就机器设计而言，这里的“分析”其实可理解为“分解”（或“离散”）。我们可以把设计对象看作为特定功能的大系统，通过分解，就可确定它是由哪些子系统和基本离散单元体所组成，然后对它们进行分析与综合，确定各子系统和单元体的输入（前提、条件）、输出（功能）及二者在子系统中如何转换等等，最后进行设计与实施。

1.4.2. 优化设计法

优化设计是现代设计的核心内容之一，它是指在给定方案下利用各种数学优选法进行参数计算的方法。一切设计活动的最终目的，是要使所设计的对象具有良好的性能，且能满足生产的工艺性，使用的可靠和安全性，且费用最省、消耗最低和误差最小等。

在一般常规设计中，虽然设计人员也总是对所设计的对象拟定几个方案，然后进行有限次的试算，按照设计指标好坏进行抉择，或者设计人员根据其经验和直觉知识直接进行判定。但是这种靠直觉优化方法，即使设计者具有丰富的科学知识和经验才能，也难以达到最优化的设计方案的。尤其是对于复杂的多元系统的设计。

即使用计算机代替人工计算的常规设计，也仅仅把有限次计算变为大量更精确的计算，这样从大量数据中进行挑选，尽管可以找到比人工计算更准确的数据，但不能保证设计为最优。而采用优化设计可以使设计参数最符合约束条件与目标函数，即最适

宜。

整个优化设计的过程基本上是两部分工作，即建立优化设计的数学模型和选用某种优化设计方法。近十几年来，利用计算机来求解最佳方案的数值优化方法已逐渐成为目前解决实际问题的重要手段，也是优化设计中采用的主要方法。与传统的设计方法相比较，无疑是一个很大的变革。使用优化设计，可使许多复杂的设计问题能够得到最完善的解决，且提高了设计效率和质量，缩短了设计周期。

但必须指出，优化设计（数值计算优化）只是参数的优化，而参数的优化首先要确定总体结构，并建立完整的数学模型，这就需要依靠人的经验与创造，特别是要解决多目标函数的优化设计时，各目标函数主次与权数的选择是与经验分不开的，即使工程设计进入自动设计时代，人的经验与才智也会在人机对话设计中起到重要的作用。

1.4.2.5 计算机辅助设计

计算机辅助设计是计算机在设计中的应用发展的高级阶段，它是根据不同产品的特殊要求，用适当的计算机软件和硬件组成的整体设计系统，在和设计人员的创造性思维交互作用下，对设计对象实现最佳化设计判定和处理。CAD 流程简图如图1—4所示。

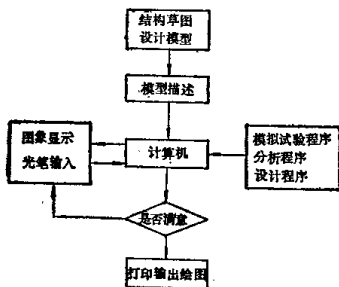


图1—4 CAD流程简图

由图可以看出，在CAD过程中，设计人员的作用是进行创造性的构思设计，为CAD做好准备工作，并保证设计方案为最优，而大量繁重的绘图、描图等工作则由设计系统来完成。这就提高了设计质量和自动化程度，从而大大加快了产品设计和试制周期。以飞机设计为例，过去从制定方案到产生全套图纸，要花费大量的人力物力；需用两年半到三年的时间。而采用CAD技术，仅三个月就可完成。又如日本某金属模制造厂商用CAD以后取得了表1—1所示的实际结果。

在国外很多大企业，CAD系统已成为它们夺取和保持技术优势的主要手段。而且，由于现代化工业产品的不断精细化、复杂化，当今一些尖端产品离开CAD系统，只靠人工设计已经是不可能的了。

表1-1 应用CAD前后模具设计比较

	引入CAD前 (小时)	引入CAD后 (小时)	为原来的
资料调查	34	17	1/2
设计	29	5.7	1/3
绘图	107	5.3	1/20
作数控制带	42	3	1/14
合计	212	35	1/6—1/7

CAD技术虽然在50年代末期才开始应用,但随着计算机的飞跃发展,不仅CAD本身得到了迅速的发展,而且目前已扩展到制造和测试过程中,出现了CAM (Computer Aided Manufacture) 和 CAT (Computer Aided Testing)。这些系统又融为一体,形成了CAE (Computer Aided Engineering) 的新概念。这样就使工程项目的全过程,包括管理在内,都统一于计算机辅助之下,完全改变了面貌。

现代设计常用方法的种类繁多,除以上所述外还有逻辑设计法、模拟设计法、有限元法、可靠性设计法以及动态分析设计法等等。但是,并非每一个零部件或子系统均可采用上述各种方法。且这些方法还都处在发展阶段,因此不能认为它们是“万能的”、“唯一的”,还有待人们进一步运用、检验、补充、丰富与修正。然而这些方法为人们提供了新颖而广阔的思路与见解,而且已引起思维与方法的现代化变革。这些方法在时空上普遍有效的稳定性、实用中的准确性与快速性确是毫无疑义的,已在社会建设与生活各方而取得了大量的实际成果。

习 题 一

- 1-1 机械工程产品一般是怎样分类的?
- 1-2 机械设计一般有哪几种类型? 机械设计的程序及考虑因素有哪些?
- 1-3 试述现代设计方法的主要种类及其主要含义。

2 精密齿轮传动设计

2.1 概 述

精密齿轮传动是广泛用于各类精密机械、电子设备中的一种常用传动形式。

与其他类型的传动相比,齿轮传动的主要优点是:①传动比稳定,传递运动准确;②传动效率高(高精度直齿圆柱齿轮的效率可达98%以上);③在传递同样功率条件下,尺寸较小,结构紧凑;④适用速度和功率范围宽;⑤在一般的工作条件下,工作寿命长。齿轮传动的缺点是制造成本高,制造、安装精度要求高,否则会导致传动精度下降,在高运转时,还会产生振动和噪音。

齿轮传动按其用途一般可分为动力传动和运动传递二类。后者常用于进给、分度、示数以及小功率随动装置中。电子机械设备中的齿轮传动多用中、小模数的齿轮。

由于齿轮传动的用途和工作条件不同,对其所提的使用要求也应不同。电子机械中精密齿轮传动,主要应具有准确的角位移。因此,要求齿轮具有较高的传递运动的准确性和较小的齿侧间隙以及最小的转动惯量。如在高速情况下运行,还要求有较高的传动平稳性。载荷分布均匀性只在动力传动中才有较高的要求。因此,在设计时必须根据齿轮传动的主要要求来进行设计。同时,齿轮传动常由许多对齿轮、轴和轴承以及箱体等组成一个整体系统,所以齿轮传动设计决不能孤立地研究齿轮的本身,而忽视齿轮与轴的联接结构、轴的支承方法等方面的问题。

本章主要讨论电子机械设备中常用的精密齿轮传动设计。

2.2 齿轮传动的位置误差分析及估算

如果组成齿轮传动装置的各零部件(齿轮、轴、轴承、箱体等)制造和装配得绝对正确,对使用过程中的温度变形、弹性变形也忽略不计,那么在传动过程中,输出轴转角 φ_0 与输入轴转角 φ_i 将符合以下理想关系:

$$\varphi_0 = \frac{\varphi_i}{i}$$

式中 i ——传动装置的总传动比。

这时,输出轴的转角将不产生误差。但是实际上,组成传动装置的各零部件都不能制造、装配得绝对准确,在使用过程中也会产生温度变形和弹性变形,因此,在传动过程中输出轴的转角总会产生误差,即传动误差。

齿轮传动误差由两类误差组成,①位置误差;②回程误差或空回误差(简称回差)。

所谓位置误差,就是当输入轴(或主动齿轮)单向回转时,输出轴(或从动轮)转

角的实际值对理想值的变动量(导前或滞后)。由于组成传动装置各零部件的制造、装配都存在误差,因此,位置误差主要来源于齿轮本身的制造误差和传动链的装置误差。

2.2.1 齿轮本身误差

齿轮本身的误差,主要由工艺系统和齿坯的制造误差以及加工时的安装调整误差所产生。评定齿轮位置误差的指标是齿轮的切向综合误差 $\Delta F_i'$ (以齿轮分度圆弧长计)。它反映了齿轮各种误差对传动准确性的综合影响。由切向综合误差所产生的最大位置误差为:

$$\Delta\varphi = \frac{2\Delta F_i'}{d} \quad (\text{rad})$$

式中 d ——齿轮分度圆直径。

但是由于目前检测 $\Delta F_i'$ 的单啮仪在生产中还未广泛使用,因此常用齿轮周节累积误差 ΔF _(以分度圆弧长计)来代替。周节累积误差实质上是齿轮分度圆上各有限点的切向综合误差,它近似地综合反映了齿轮传动的准确性。通常 $\Delta F_i' \approx 0.8\Delta F$ 。

在设计时,只要确定了所选用的齿轮精度等级和齿轮的大小,就可在齿轮的有关标准中查得相应的 $\Delta F_i'$ 或 ΔF _,从而可算出其位置误差。

2.2.2 装置误差

装置误差主要由下列原因所造成。

1. 齿轮孔与轴之间的间隙。
2. 齿轮安装处轴颈的跳动。
3. 滚动轴承内环的偏心以及轴和轴承的漂移等。

以上因素的存在,在传动时都有可能使齿轮的实际回转中心与理想中心位置产生偏移,如图2—1所示。图中齿轮分度圆半径为 $\overline{OB}$, O 点为齿轮几何中心(即为理想回转中心), A 点为齿轮的实际回转中心,偏移量(或跳动量)为 e 。由偏移量 e 所产生的齿轮传动的位置误差可由下式求得:

$$\Delta\varphi_e = \frac{2e}{d} \sin\varphi \quad (\text{rad})$$

式中 d ——齿轮分度圆直径;

φ ——齿轮转角。

从上式可知,这种误差是周期地变化的,其最大值为:

$$\Delta\varphi_{e, \max} = \frac{2e}{d}$$

若一个齿轮的本身误差和以上各装置误差所产生的位置误差分别为 $\Delta\varphi_1$ 、 $\Delta\varphi_2$ 、 $\Delta\varphi_3$ 和 $\Delta\varphi_4$,并考虑到以上各项误差的出现都具有随机性,因此其位置误差的总值可近似按下式进行计算:

$$\Delta\varphi_z = \sqrt{\Delta\varphi_1^2 + \Delta\varphi_2^2 + \Delta\varphi_3^2 + \Delta\varphi_4^2}$$

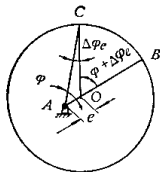


图2—1 齿轮传动位置误差计算图