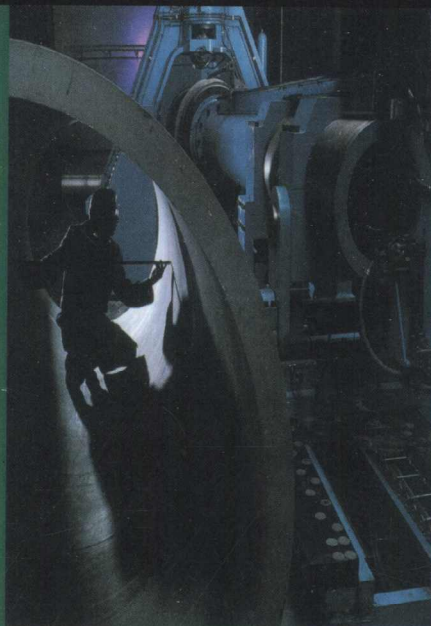


WUTP

普通高等学校机械设计制造
及其自动化专业新编系列教材



主 编 杨明忠 朱家诚

机 械 设 计

J i x i e

S h e j i



普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编系列教材目录

- | | |
|-----------------|----------------|
| 1. 机械工程概论 | 12. 工程测试 |
| 2. 画法几何及机械制图 | 13. 数控技术 |
| 3. 画法几何及机械制图习题集 | 14. 机械控制工程基础 |
| 4. 机械原理 | 15. 液压与气压传动 |
| 5. 机械设计 | 16. 机械 CAD/CAM |
| 6. 理论力学 | 17. 机械工程项目管理 |
| 7. 材料力学 | 18. 机电系统设计 |
| 8. 工程热力学 | 19. 现代设计方法 |
| 9. 工程材料 | 20. 机械工程专业英语 |
| 10. 机械制造技术基础 | 21. 精密与特种加工 |
| 11. 材料成型基础 | |

项目负责人: 武汉理工大学出版社策划部

电 话: (027) 87386275

传 真: (027) 87388543

E-mail: wutp@public.wh.hb.cn

责任编辑: 蔡佑林

封面设计: 杨 涛

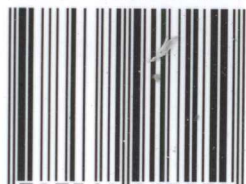
武汉理工大学出版社发行部

电 话: (027) 87394412

传 真: (027) 87651931

邮 编: 430070

ISBN 7-5629-1725-6



9 787562 917250 >

ISBN 7-5629-1725-6

TH·46 定价: 28.00 元

普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编系列教材

机 械 设 计

主编 杨明忠

朱家诚

参编 熊绮华 陈晓勇 谭援强

韩利芬 赵又红 杨章高

侯玉英 韩晓娟

主审 余 俊

武汉理工大学出版社

内 容 提 要

《机械设计》是根据国家教委高教司的高等工业学校“机械设计课程教学基本要求”(1995年修订版)编写的。在教材编写的具体内容和要求上,力求贯彻全国高等学校机械设计及制造专业教学委员会有关会议决议精神。即按照教育部1998年7月新颁布的“普通高等学校本科专业目录”修订“机械设计”课程教学计划,它作为机械类本科各专业必修的技术基础课程,要努力拓宽自然科学基础和专业学科基础;引入现代机械设计方法,更新教学内容;加强素质教育,注重设计能力的培养,加强有关结构设计的能力,突出创造能力的培养;拓宽知识面,加强机械设计归纳与综合能力的培养与训练;并将上述精神贯穿于该课程体系、教学内容与教学方法、实验与课程设计等过程。本书主要内容有:机械与机械零件设计概述,机械的摩擦、磨损与润滑;螺纹联接与螺旋传动,键、花键与销联接,铆接、焊接与过盈配合联接;齿轮传动、蜗杆传动、带传动与链传动;轴、滚动轴承、滑动轴承,联轴器、离合器与制动器;弹簧,机架,减速器。每章附有设计实例和习题。本书可作为高等工科大学机械设计及制造专业本科生、研究生教材,也可供有关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/杨明忠,朱家诚主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2001.10
ISBN 7-5629-1725-6

I. 机… II. ①杨… ②朱… III. 机械设计-高等学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 01202 号

出版者:武汉理工大学出版社(地址:武昌珞狮路122号 邮编:430070)

印刷者:武汉理工大学出版社印刷厂

发行者:各地新华书店

开本:880×1230 1/16

印张:18.75

字数:610千字

版次:2001年10月第1版

印次:2001年10月第1次印刷

印数:1~3000册

书号:ISBN 7-5629-1725-6/TH·46

定价:28.00元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

普 通 高 等 学 校
机械设计制造及其自动化专业新编系列教材
编 审 委 员 会

顾 问:陈心昭 王益群 蔡 兰 束鹏程 孙宗禹
洪迈生

名誉主任:杨叔子

主 任:张福润 高鸣涵

副 主 任:杨海成 李永堂 周彦伟 杨明忠

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

王建中	王贵成	王益群	司徒忠	刘玉明
吕 明	许明恒	孙宗禹	孙树栋	朱喜林
陈心昭	李永堂	李 言	李杞仪	陈作柄
杨叔子	杨明忠	陈奎生	陈统坚	严拱标
杨海成	张福润	束鹏程	罗迎社	周彦伟
洪迈生	钟志华	赵 韩	钟毓宁	陶文铨
夏 季	高鸣涵	殷国富	董怀武	曾志新
韩荣德	傅祥志	谭援强	蔡 兰	魏生民

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

出版说明

高等学校的教材建设向来是学科建设和教学改革的重要内容,其对教学过程和教学效果的重要影响是教育界所公认的。但教材建设与教学需要之间的矛盾永远存在也是一个客观的事实。正因为如此,教材建设才具有永恒的意义。特别是在这世纪交替的时期,中国的高等教育所面临的两个重大变革——高等学校本科专业目录调整和高等学校管理体制及布局结构调整,都对高校的教材建设提出了更高的要求。随着专业的合并,新专业的专业面拓宽,原有老专业的教材明显不能适应新专业的教学要求;调整后高校规模扩大,招生人数增加,对教材的需求也随之激增。在新的专业目录中,机械设计制造及其自动化专业与原有专业目录有了较大的变化,涵盖了原有的9个专业。相应的专业业务培养目标、教学要求、课程设置、学时数要求、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。为适应新专业的培养目标和教学要求,武汉理工大学出版社在经过全面、细致和深入调研的基础上,组织编写了这套面向全国普通高等院校的新的系列教材。

本套教材面向全国普通高等院校,在保证内容要反映国内外机械学科最新发展的基础上,以满足一般院校的本科专业教学要求,实现专业的业务培养目标为基本原则。遵照全国高校机械工程类专业教学指导委员会制订的专业培养方案和教学计划设置课程体系,突出“系列”的特色,首批编写、出版的21种教材可基本满足一般院校本科教学需要。编写中强调各门课程之间的联系和衔接,强调教材整体风格的统一和协调,力求在加强基础、协调内容、适当降低难度、努力拓宽知识面向、适应科技发展、更新内容并大力引入多媒体教学手段等方面取得进展,以形成特色,更好地满足不同学校的教学需求。

本套教材集中了全国30多所著名大学的专家、教授和中青年教学骨干,分别担任系列教材的主编、主审和参编,组成了一个阵容强大、结构合理的编审委员会。特别是第二届全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员杨叔子院士欣然出任编审委员会名誉主任,更增加了编审委员会的权威性。正是由于编委会成员务实、高效的工作,全体编审人员高度的责任心和严谨的治学精神,本套教材才能有这样短的时间内完成编写、出版的任务。杨叔子院士亲自为系列教材作序,更使全套教材光彩倍增!但我们深知,院士为一套教材作序,在国内是十分少见的,这充分体现了杨院士对教学改革及教材建设的热切关注和积极支持。这既是杨院士对编委会此前工作的鼓励和肯定,同时也是对编委会今后工作的指导和鞭策。我们一定不会辜负杨院士以及全国众多院校师生的期望。本套教材首期21种出齐后,一方面我们将在使用教材的广大师生提出意见和建议的基础上不断修订和完善,同时还将根据学校教学改革和课程设置的需要及时增补新的教材,使这套教材真正成为既能满足学校当前教学需要,又能起到推动专业教学内容和课程体系改革作用的一套精品教材。

武汉理工大学出版社

2001.6

目 录

第一篇 总 论

1 机械与机械零件设计概述	(1)
1.1 机械系统的组成	(1)
1.2 机械设计的基本要求与一般程序	(2)
1.3 机械零件设计的基本要求与计算准则	(6)
1.4 机械零件的设计方法与一般设计程序	(7)
1.5 机械设计中的标准化	(9)
1.6 机械设计中材料的选用原则	(9)
1.7 机械零件的强度	(11)
1.8 现代机械设计方法简介	(27)
1.9 机械的摩擦、磨损、润滑及其状态监测技术	(29)

第二篇 联接件

2 螺纹联接与螺旋传动	(42)
2.1 螺纹与螺纹联接	(42)
2.2 单个螺栓联接的强度计算	(46)
2.3 螺栓组联接的设计与提高强度的措施	(53)
2.4 螺旋传动	(66)
思考题	(71)
习题	(72)
3 键、花键与销联接	(74)
3.1 键联接	(74)
3.2 花键联接	(78)
3.3 销联接	(79)
思考题	(81)
习题	(82)
4 其它联接	(84)
4.1 铆接	(84)
4.2 焊接	(87)
4.3 过盈配合联接	(93)
4.4 胶结	(96)
思考题	(98)
习题	(99)

第三篇 传动件

5 挠性传动	(100)
5.1 概述	(100)
5.2 带传动的应用和工作特性	(101)
5.3 普通 V 带传动设计计算	(105)

5.4	链传动的应用和工作特性	(114)
5.5	滚子链传动的设计计算	(118)
5.6	其它挠性传动简介	(126)
	思考题	(127)
	习题	(128)
6	齿轮传动	(129)
6.1	概述	(129)
6.2	齿轮传动的失效形式、设计准则与材料及热处理	(129)
6.3	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(132)
6.4	许用应力和设计参数	(137)
6.5	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	(142)
6.6	直齿圆锥齿轮传动的强度计算	(144)
6.7	齿轮的结构设计	(146)
6.8	齿轮传动的效率及润滑	(148)
6.9	其它齿轮传动简介	(149)
	习题	(151)
7	蜗杆传动	(152)
7.1	概 述	(152)
7.2	普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	(153)
7.3	蜗杆传动的失效形式、设计准则、材料及精度等级选择	(157)
7.4	普通圆柱蜗杆传动的强度计算	(158)
7.5	蜗杆传动的效率、润滑与热平衡	(162)
7.6	普通圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计	(163)
7.7	圆弧圆柱蜗杆传动设计	(165)
	习题	(166)

第四篇 轴系零、部件

8	滚动轴承	(167)
8.1	滚动轴承的主要类型、代号及其选择	(167)
8.2	滚动轴承的受力、失效与计算准则	(172)
8.3	滚动轴承尺寸的选择	(174)
8.4	滚动轴承部件的组合设计	(182)
	习题	(191)
9	滑动轴承	(192)
9.1	滑动轴承的类型、材料与结构	(192)
9.2	非液体摩擦滑动轴承的设计	(197)
9.3	液体摩擦动压径向滑动轴承的设计	(199)
9.4	静压滑动轴承	(206)
	习题	(207)
10	联轴器、离合器与制动器	(208)
10.1	联轴器	(208)
10.2	离合器	(214)
10.3	制动器	(221)
	习题	(224)
11	轴	(225)

第一篇 总 论

1 机械与机械零件设计概述

1.1 机械系统的组成

机器由三个部分即原动机、传动装置和工作机组成。机械种类繁多,它们一般由动力系统、传动系统、执行系统、操纵系统和控制系统等子系统组成。

1.1.1 动力系统

动力系统指动力机(或原动机)及其配套装置,是给机械系统提供动力、实现能量转换的部分。有的动力机是将自然界能源(一次能源)直接转化为机械能,例如水轮机、汽轮机和内燃机等。有的动力机则将二次能源(电能、液能、气能)转化为机械能,例如电动机、液压马达、气动马达等。动力机输出的运动以转动为主,也有输出直线运动的,例如直线运动电机、油缸、气缸等。

动力机是驱动执行机构运动的机械,即原动机。常用的动力机有电动机、液压马达、气动马达和内燃机等。

电动机是一种将电能转变成旋转机械能的能量转换装置,是最常用的动力机。按不同的使用电源,电动机可分为交流和直流两大类。交流电动机根据电动机的转速与旋转磁场的转速是否相同,又可分为同步和异步两种。直流电动机则根据励磁方式分为它励、并励、串励、复励等形式。

液压马达是把液压能转变成旋转机械能的一种能量转换装置。液压马达按输出转矩的大小和转速高低可以分为两类:高速、小转矩液压马达,转速范围一般在 $300\sim 3000\text{r/min}$ 或更高,转矩在几百牛·米以下;低速、大转矩液压马达,转速一般低于 300r/min ,转矩为几百至几万牛·米。

气动马达的作用原理与液压传动中的液压马达类似,它以压缩空气为动力,输出转矩,驱动执行机构作旋转运动。气动马达按工作原理可分为容积式和透平式两类。

内燃机是一种燃料在气缸内部进行燃烧,直接将产生的气体(即工质)所含的热能转变为机械能的机械。按其运动机构的不同,内燃机分为往复活塞式和旋转活塞式两大类。内燃机是一种较为复杂的机械,它由许多分系统组成,各类内燃机的组成和结构不尽相同,即使同一类型的内燃机,各分系统的具体构造也有差别,但按总体构造,内燃机主要包括机体、曲柄滑块机构、配气机构、燃油供给系统、点火系统、润滑系统、冷却系统及启动装置等部分。

1.1.2 传动系统

(1)传动系统是将动力机的动力和运动传递给执行系统的中间装置。一般,以传递动力为主的传动称为动力传动,以传递运动为主的传动称为运动传动。它的主要功能是:

- ①减速或增速,即把动力机的输出速度降低或增高后传递给执行系统;
- ②变速,即实现有级或无级的变速,将多种速度提供给执行系统;
- ③传递动力,即传递速度的同时将动力机的动力传递给执行系统;
- ④按工作要求,改变运动规律,将连续的匀速旋转运动改变为按某种规律变化的旋转、非旋转的其它运动;

⑤实现由一个或多个动力机驱动若干个相同或不相同速度的驱动机构。

(2)传动系统通常由传动部分、操纵部分和辅助部分组成。

①传动部分 由各种传动元件或部件,轴及轴系、制动、离合、换向和蓄能元件组成,以实现动力和运动的传递。

②操纵部分 由具有起动、离合、制动、调速、换向等机能的操纵装置组成,通过手动或电动方式进行操作,以改变动力机或传动系统的工作状态和参数,使执行机构保持或改变其运动和力。

③辅助部分 为保证传动系统的正常工作,改善工作条件,延长使用寿命而设计的装置。例如冷却、润滑、计数、照明、消声、防振和除尘等装置。

1.1.3 执行系统

直接用来完成各种工艺动作或生产过程的机构称为执行机构(或称工作机构)。执行系统包括执行机构或工作机,它们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它预定要求的装置。执行系统一般处于机械系统的末端,直接与作业对象接触,其输出也是整个机械系统的主要输出。

机器的执行机构是根据工艺过程的功能要求而设计的。实现某一工艺过程往往需要多种运动,并且同一种工艺过程的运动方案又是多种多样的。这些方案将从根本上影响着机器的性能、结构、尺寸、重量及使用效果等。所以,执行机构的运动设计是一部机器设计的关键之一。

1.1.4 操纵系统和控制系统

操纵系统和控制系统是指通过人工操作或测量元件获取的控制信号,经由控制器,使控制对象改变其工作参数或运行状态的装置。例如各类伺服机构、自动控制装置等。

对于传统的“动力机-传动装置-工作机”形式的机械系统,侧重于运动和动力的流动;对于现代机械系统,则更关注信息的流动和控制。

任何一个机械系统在其运行过程中,各执行机构都按要求以一定的顺序和规律动作。在受控的机械系统中,执行机构运动的开始、结束及运动规律都由操纵系统和控制系统保证。

机械的操纵系统和控制系统一般要控制使各执行机构按要求的运动方向和速度以一定的顺序和规律实现运动,完成给定的作业循环,有时还要求对产品进行检测、预测、预报事故、报警以及消除故障等。

1.2 机械设计的基本要求与一般程序

1.2.1 机械设计的类型

机械设计可分为四种类型:

(1)开发性设计 按照用户或市场需求目标设计新型机械,例如第一台电液集成数控机床的设计就属于创新的开发性设计。

(2)适应性设计 在已有的原理方案基础上,为适应变动的工作要求,对产品作局部适当变更,或增设某种新部件,扩大产品功能而满足新的使用要求。如内燃机增加增压器,以增大输出功率;增加节油器,以节约燃料,均属适应性设计。

(3)变型设计 保持工作原理和功能结构不变,仅改变结构配置和尺寸,按新的用户或市场需要作新的布局或变更尺寸参数。如将台式电风扇设计为落地式电风扇,即属变型设计。

(4)组合选型设计 根据原理方案要求,或在已有的部分结构基础上,从市场或企业现有的零、部件中选取零部件,进行有效的组合,从而得到新的组合结构形式。如液压系统设计,即按原理和参数要求,选用标准液压元器件进行组合选型设计。

上述四类设计中,开发性设计难度最大,设计周期较长,其它三类设计较容易,设计周期较短。采用组合选型设计目的在于充分利用已有条件,使设计简化、快捷;采用适应性设计和变型设计可以充分发挥现有机

械的潜力,或扩大机械的功能;采用开发性设计具有创新活力,随着生产发展和市场竞争的需要,可以实现产品的不断更新换代。

1.2.2 机械设计的基本要求

机械设计的任务是在当前技术发展所能达到的条件下,根据用户或市场的需要提出的。机械设计应满足以下的基本要求:

(1)使用要求

设计的机械零件应在规定条件下,规定的寿命期限内,实现规定的功能和效率,有效地实现预期的目的。

(2)经济性要求

机械的经济性要求体现在设计、制造和使用的全过程中,设计时应予以全面综合的考虑。设计和制造的经济性表现为产品的成本低;使用经济性表现为产品使用中生产率高、效率高,管理和维护费用低,消耗的能源、原材料和辅助材料较少。

1)提高设计和制造经济性指标的主要途径有:

- ①采用现代设计方法,实现设计参数最优化,保证产品的可靠性;
- ②采用标准化、系列化和通用化的零、部件;
- ③采用新技术、新工艺、新结构和新材料;
- ④改善零件的结构工艺性,使其用料少、易加工、易装配。

2)提高使用经济性指标的主要途径有:

- ①提高产品的机械化和自动化水平,提高产品的使用效率;
- ②选用高效率的传动系统,降低能源消耗;
- ③采用更好的防护(如闭式传动,表面防护等)及润滑措施,延长产品的使用寿命;
- ④采用可靠的密封,减少或消除渗漏现象。

(3)劳动保护要求

①使产品操作方便、安全。设计时按照人机工程学的观点尽可能减少操作手柄的数量,操作手柄和按钮等应放置在便于操作的位置,合理地规定操作时的驱动力,操作方式要符合人们的心理和习惯,设置完善的安全防护与保安装置、报警装置和显示装置等。

②改善操作者使用环境。设计的机器应符合劳动保护法规的要求。降低机器运转时的噪声,防止有毒、有害介质的渗漏,对废气、废水和废液进行治理,根据工程美学的原则美化机器的外形和外部色彩等。

(4)可靠性要求

可靠性要求指在规定的使用时间(寿命)内和预定的环境条件下,机械能够正常工作的一定概率。机械的可靠性是机械的一种重要属性。

(5)其它特殊要求

对不同的用户,设计的机械产品还应满足一些特殊的要求。例如:对机床有长期保持精度的要求;对流动使用的机器(如钻探机械)有便于安装和拆卸的要求;对大型机器有便于运输的要求等;还有的要满足装潢美学要求,即造型美观大方、简洁流畅等。

1.2.3 机械设计的一般程序

如表 1.1 所示,机械设计的一般程序可分四个阶段:

(1)可行性研究 对产品的预期需要、工作条件和关键技术进行分析研究,通过调研,确定设计任务要求,提出功能性的主要设计参量,作成本和效益的估算,论证设计的必要性和先进性,提出由环境、经济、加工及时限等各方面所确定的约束条件,提出可行性设计方案。在此基础上,提出设计任务书。

(2)方案设计 根据设计任务要求寻求功能原理的解法,构思原理方案。产品的功能分析,是对设计任务书提出的产品功能中必须达到的要求、最低要求和希望达到的要求进行综合分析,即这些功能能否实现,多项功能间有无矛盾,相互间能否替代等。最后确定出功能参数,作为进一步设计的依据。确定了功能参数后,再提出可能采用的方案。方案设计时,可以按原动部分、传动部分和执行部分分别进行讨论。

表 1.1 机械设计的一般程序

阶 段	设 计 步 骤	工 作 目 标
可行性研究	<pre> graph TD A[提出任务] --> B[调研与可行性研究] B --> C[确定设计任务要求] C --> D[功能分析、方案构思和优选] D --> E{评价, 选定方案} E --> F[总体布局与零、部件结构] F --> G[选材料、定结构尺寸] G --> H{评价, 确定结构与尺寸} H --> I[零件设计] I --> J[部件和总体设计] J --> K[编制技术文件] K --> L[试制、试验] L --> M{产品鉴定} M --> N[改进设计] N --> O[小批生产、试销] O --> P[产品定型、批量生产] P --> Q[销售、使用信息] Q --> A </pre> 提出任务 调研与可行性研究 确定设计任务要求	选题 设计任务书 可行性方案
方案设计	功能分析、方案构思和优选 评价, 选定方案	技术任务书 设计方案 原理方案图或机构运行简图 性能参量初算
技术设计	总体布局与零、部件结构 选材料、定结构尺寸 评价, 确定结构与尺寸 零件设计 部件和总体设计 编制技术文件	零件图 部件图 总装配图 设计和计算说明书
改进设计	试制、试验 产品鉴定 改进设计	样机 改进设计图 试验结果
生产	小批生产、试销 产品定型、批量生产	产品
使用	销售、使用信息	市场或用户信息

讨论产品的执行部分时,首先是选择工作原理。根据不同的工作原理,可以拟定多种不同的执行机构的具体方案。即使对于同一种工作原理,也可能有几种不同的结构方案。

原动部分的方案也可以有多种选择。由于电力供应的普遍性和电力拖动技术的发展,目前绝大多数的固定机械都优先选择电动机作为原动部分。热力原动机主要用于运输机械、工程机械或农业机械。即使是用电动机作原动机,还需要作交流与直流的选择、高转速与低转速的选择等。

传动部分的方案更为复杂多样。对于同一传动任务,可以通过多种机构或不同机构的组成来完成。

然而,在上述众多方案中,仅有几个在技术上是可行的。对可行的方案要从技术方面和经济方面进行综合评价。评价时可采用的方法很多。根据经济性进行评价时,既要考虑到产品设计制造时的经济性,也要考虑到产品使用时的经济性。如果产品的结构方案比较复杂,其设计制造成本会相对增大,但这类产品的功能往往更齐全,生产率也较高,故使用经济性也较好。相反,结构较为简单、功能不够齐全的产品,设计制造费用虽少,但使用费用却会增加。

评价产品时,产品的可靠性应作为一项重要的分析指标。系统越复杂,可靠性就越低。为了提高复杂系统的可靠性,必须增加并联备用系统,而这不可避免地会提高产品的成本。

通过对数种可能方案的评价,可以作出决策,并确定原理方案图或机构运动简图。

(3)技术设计 按设计方案的目标,完成总体设计及零、部件的结构设计。完成设计方案的结构化,从技术和经济观点作周密的结构设计和计算。要完成全套的零件图、部件图和总装配图,编制技术文件和技术说明。

为了确定主要零件的基本尺寸,必须做好以下工作:

①机器的运动学设计 根据确定的结构方案,确定原动机的参数(功率、转速、线速度等);然后作运动学计算,确定各运动构件的运动参数(转速、速度、加速度等);

②机器的动力学计算 结合各部分的结构和运动参数,计算各主要零件上所受载荷的大小,确定其特性。此时所求出的载荷,由于具体零件尚未设计出来,因而只是作用于该零件上的公称(或名义)载荷;

③零件的工作能力设计 已知主要零件所受的公称载荷的大小和特性,即可初步设计零、部件。设计所依据的工作能力准则,须参照零、部件的一般失效情况、工作特性、环境条件等合理地拟定,一般有强度、刚度、振动稳定性、寿命等准则,通过计算或类比,即可决定零、部件的基本尺寸;

④部件装配草图和总装配草图的设计 根据已定出的主要零、部件的基本尺寸,设计出部件装配草图和总装配草图。草图上需对所有零件的外形和尺寸进行结构化设计,很好地协调各零件的结构和尺寸,全面考虑所设计的零、部件的结构工艺性,使零件具有最合理的结构;

⑤主要零件的校核 有些零件由于具体的结构未定,其工作能力难以详细计算,只能作初步计算和设计;在绘出部件装配草图和总装配草图以后,所有零件的结构和尺寸均为已知,相互邻接的零件之间的关系也为已知,这时,可以较为精确地定出作用在零件上的载荷,决定影响零件工作能力的各个细节因素,在此条件下,有可能并且必须对一些重要的或者外形和受力情况复杂的零件进行精确的校核计算;根据校核的结果,反复修改零件的结构和尺寸,直到满意为止。

草图设计完成后,即可确定零件的基本尺寸,设计零件的工作图,并绘制出除标准件以外的全部零件工作图。

按最后定型的零件工作图上的结构和尺寸,重新绘制部件装配图和总装配图。通过这一工作,可以检查出零件中可能隐藏的尺寸链上和结构上的错误。

需要编制的技术文件包括产品的设计计算说明书、使用说明书和标准件明细表等。设计计算说明书应包括方案选择和技术设计的全部结论性的内容。用户产品使用说明书中应介绍产品的性能参数范围、使用操作方法、日常保养和简单的维修方法、备用件的目录等。

(4)改进设计 根据加工制造、样机试验、技术检测、使用操作、产品鉴定分析和市场等环节反馈信息对产品作改进设计或技术处理,以确保产品质量,并完善前期设计中的不足。

经过上述四个阶段,即完成了产品机械设计的全过程。机械产品即可投入试生产或批量生产,并进行销售和使用。

1.3 机械零件设计的基本要求与计算准则

1.3.1 机械零件的失效形式

机械零件因某些原因不能正常工作的现象称为失效。机械零件常见的失效形式有:断裂(包括过载断裂或疲劳断裂);塑性变形;过大的弹性变形;工作表面压碎、表面点蚀和过度磨损;联接松弛;带传动出现打滑等。

机械零件的具体失效形式取决于其工作条件、材质、受载情况及应力性质等因素。同一种零件在不同的条件下工作,其主要失效形式则不同,如在恶劣条件下工作的开式齿轮传动其主要失效形式是齿面磨损;而在良好润滑条件下工作的闭式齿轮传动,齿面点蚀可能会成为其主要失效形式。进行机械零件设计时,有必要找出零件的主要失效形式,提出设计基本要求,制定零件的设计准则。

1.3.2 机械零件设计的基本要求

机械零件设计应满足以下要求:工作能力要求(包括强度、刚度、抗磨性、抗点蚀和抗振动等方面要求);结构工艺性要求(如零件毛坯制造要求、机加工要求、零件装拆和维护要求等);经济性要求(力求降低零件的成本,如合理选材以降低材料费用、降低能耗提高机械效率、尽量采用标准零件等);零件质量和结构尺寸要求(在满足零件工作能力的前提下,应使零件的质量小、重量轻、结构紧凑);可靠性要求(应保证零件在预期工作期限内能可靠工作)。在诸多设计要求中,最基本的要求是机械零件的工作能力要求,机械零件设计一般根据其失效形式定出零件设计应满足的工作能力要求,并以此作为其设计计算准则。

1.3.3 机械零件设计的计算准则

设计计算准则是机械零件设计时所依据的计算准则,常用的准则有:

(1) 强度准则

强度是机械零件抵抗断裂、塑性变形及表面疲劳失效的能力,零件设计应满足的强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S} \quad \text{或} \quad \frac{\sigma_{\lim}}{S} \geq \sigma \quad (1.1)$$

式中 σ 、 S ——分别为零件的工作应力(MPa)、安全系数;

$[\sigma]$ 、 $\sigma_{\lim}$ ——分别为材料的许用应力(MPa)、极限应力(MPa)。

强度准则是机械零件设计的重要准则,具体内容将在本章第七节中详细介绍。

(2) 刚度准则

刚度准则是衡量机械零件抵抗弹性变形能力的准则。设计时,应限制零件在载荷作用下产生的弹性变形量(对于受弯矩作用的零件系指弯曲挠度 y 和偏转角 θ ,对于受扭矩作用的零件系指其扭转角 φ),零件的刚度条件如下

$$y \leq [y] \quad \theta \leq [\theta] \quad \varphi \leq [\varphi] \quad (1.2)$$

式中 y 、 θ 、 φ ——分别为零件工作时的挠度、偏转角、扭转角;

$[y]$ 、 $[\theta]$ 、 $[\varphi]$ ——分别为零件的许用挠度、许用偏转角、许用扭转角。

(3) 耐磨性准则

作相对运动的零件,在工作时其接触表面之间会产生磨损,若磨损量超过允许值,零件的尺寸和形状将会改变,从而不能保证零件的正常工作。一般机械中因磨损而导致的零件失效约占总报废零件的80%,机械零件的设计对磨损问题必须引起重视。但是,影响磨损的因素比较复杂,对产生磨损的机理尚未完全弄清楚,故还没有比较可靠的定量分析计算方法,通常采用条件性计算,即:用限制工作面上的比压不超过许用值来防止工作面的过度磨损;并用限制比压与速度的乘积不超过许用值来防止因摩擦损失产生的热量导致零件胶合破坏。零件耐磨条件性计算公式如下

$$p \leq [p] \quad pv \leq [pv] \quad (1.3)$$

式中 p, v ——分别为零件工作表面的比压(MPa)、速度(m/s);

$[p], [pv]$ ——分别为材料的许用比压(MPa)、许用 $p v$ 值(MPa · m/s)。

(4) 振动稳定性准则

高速机器容易产生振动,振动会加速零件的损坏,振动还是产生噪音的主要原因。当零件受到的强迫振动频率接近系统或零件的固有频率时,将会产生共振,而导致零件甚至于整个系统迅速损坏,因此,对高速机器应进行振动分析和计算。振动稳定性准则就是要使系统或零件的固有频率避开它所受到的强迫振动频率,即应满足下面的条件式

$$f_p \leq 0.85f \quad \text{或} \quad f_p \geq 1.15f \quad (1.4)$$

式中 f_p ——强迫振动频率;

f ——系统或零件的固有频率。

若不能满足上述条件,则应改变系统或零件的刚度或采取防振和减振措施(如提高制造精度;进行动平衡;增加阻尼系统;采用缓振、隔振装置等)。

(5) 可靠性准则

可靠性准则是以实现机械系统和机械零件的可靠性为目的的设计准则。随着科学技术和生产的发展,机械和机械零件的可靠性已从定性评价发展为可以定量评价,机械和机械零件的可靠性,可用可靠度来衡量,可靠度是机械和机械零件在规定的条件下和规定时间内完成规定功能的概率。机械零件的可靠度,可用一批相同零件在规定的条件下和使用寿命内能连续工作的零件数与该批零件总数的比值来表示。即

$$R = \frac{N_s}{N_T} \quad (1.5)$$

式中 R ——零件的可靠度;

N_s, N_T ——分别为在规定的条件下和使用寿命内能连续工作的零件数、总零件数。

机械系统由若干零件组成,其可靠性水平的高低取决于机械零件的可靠性水平的高低,机械零件设计应保证零件具有所需要的可靠度,具体内容详见本章第八节。

1.4 机械零件的设计方法与一般设计程序

1.4.1 机械零件设计方法

机械零件的设计方法与科技发展情况密切相关,在计算方法、控制理论、计算机技术尚未用于机械设计领域之前,机械零件的设计主要是根据古典力学和数学基础进行的,设计是静态的、局部的。20世纪70年代以后,随着计算机技术的发展和广泛应用,很多新的设计方法开始用于机械零件设计之中,人们习惯于把20世纪70年代以前的设计方法称为“传统设计方法”,而把20世纪70年代以后发展起来的设计方法称为“现代设计方法”,本节仅对有关设计方法作简介。

(1) 传统设计方法

机械零件常用的传统设计方法有以下几种:

①理论设计 理论设计又称为半经验设计,它是根据长期总结出来的设计理论(如力学理论、摩擦学理论等)及相关的经验公式、经验数据进行的设计。理论设计有校核计算和设计计算两种不同的处理方法,对于应力分布比较复杂且结构尺寸已确定的零件,一般采用校核计算(校核零件是否满足有关的设计准则);对于结构、尺寸尚未确定的零件,通常采用设计计算,即根据零件的主要失效形式确定设计准则,按有关设计公式求出零件的参数和尺寸。

②经验设计和类比设计 经验设计是根据过去已有的设计和使用实践中总结出来的经验关系式进行的设计。类比设计是根据设计者本人的工作经验,通过对一系列同类型零件的功能和性能进行比较而总结出来的经验数据进行的设计。经验设计和类比设计适用于使用要求无多大变化而结构形状已典型化的零件设计,如机架、床身、箱体、垫圈及传动零件的结构要素等。

③模型实验设计 模型实验设计是将初步设计的零、部件或者机器,先制成小的模型或小样机,并对其

进行模拟实验,然后根据模拟实验结果对设计进行逐步修改使之达到完善的设计过程。这种设计方法价格昂贵,且浪费时间,故只适用于对那些尺寸巨大、结构复杂的重要零件进行设计,如大型水轮机、大型轧钢机等机器的关键零件设计。

(2)现代设计方法

现代设计方法是以动态、优化、可靠及计算机化为核心的设计方法。它将人-机-环境作为一个系统来考虑,从而使得设计思想、设计过程更加现代化、合理化,使设计方案及设计参数更加优化。现代设计方法与传统设计方法相比,使设计更具有创造性、系统性、优化性和先进性。目前常用的设计方法有:计算机辅助设计(简称 CAD),优化设计和可靠性设计等,有关设计方法介绍详见本章第八节。

1.4.2 机械零件的一般设计程序

机械零件的种类不同,则其设计方法不同,具体设计步骤亦有所不同。但绝大多数零件设计可按图 1.1 所示设计程序进行,大体步骤可归纳如下:

(1)选择零件的类型和结构

机械零件的类型很多,进行零件设计时,首先应根据其使用要求、尺寸要求及载荷性质等,在对各种零件的类型、特性、应用范围等方面进行综合比较的基础上,合理选择零件的类型和结构形式。

(2)进行零件受力分析

零件受力情况是机械零件设计应考虑的重要因素,因此,必须对零件进行受力分析,即根据零件工作条件,求出作用于该零件上的载荷大小,确定图 1.1 机械零件设计程序载荷的方向和性质。

(3)合理选择零件材料

机械零件材料的好坏对零件的强度、刚度等工作能力有很大影响,零件设计必须根据零件的工作条件和受力情况合理选择零件的材料及热处理方法,并确定其许用应力等。

(4)确定设计计算准则

零件工作时,可能同时产生几种不同的失效形式,零件设计应根据零件的具体工作条件、载荷性质等,找出其主要失效形式,并根据它的主要失效形式制定出该零件的设计计算准则。如一般用途的轴其主要失效形式是塑性变形和断裂,设计计算准则为:按强度条件决定轴的尺寸,必要时校核轴的刚度。而对于机床主轴,其主要失效形式为过大弹性变形,设计计算准则应为:按刚度条件决定轴的尺寸,校核轴的强度。

(5)进行理论设计

按照确定的设计准则进行设计计算,定出零件的基本参数和主要尺寸。

(6)进行零件结构设计

零件结构的合理性直接影响到零件的工作能力等,零件结构设计应满足强度、刚度要求,加工、装拆及维护要求,零件结构设计即根据以上各方面的要求定出零件的合理结构形状及各部分结构的尺寸。

(7)进行必要的校核计算

在结构设计初步完成之后,应进行必要的校核计算,以判断零件设计计算及结构设计的合理性与正确性,若不能满足相关工作能力要求,则应修改零件的参数、尺寸和结构,直到满足要求为止。

(8)绘制零件工作图、编写设计计算说明书

根据零件已确定的结构及尺寸,按照国家规定的制图标准绘出正确的零件工作图,并将零件设计计算资料整理成简明的设计说明书以备。零件工作图的绘制,要求尺寸标注正确,尺寸公差、形位公差、表面粗糙

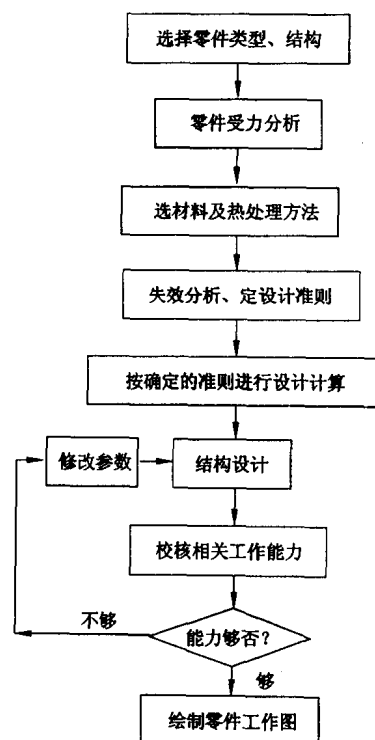


图 1.1 机械零件设计程序

度标注完全符合国家制图标准,还应有必要的技术要求。设计计算说明书是一种备查的技术文件,要求编写的条理清楚、语言简明、数据正确,并附有必要的结构和计算草图。

1.5 机械设计中的标准化

为了在最短时间内设计出高质量、低价格、在市场上具有竞争力的创新产品,对不同类型、不同规格的各种产品中数量相当多的相同或相似零部件进行标准化,并按尺寸不同进行系列化,是机械设计的一种重要手段。

在机械设计中,应通过对零件的尺寸、结构要素、材料性能、检验方法、设计方法、制图要求等制定出使用者应共同遵守的标准,实现零件的标准化。设计工作中采用标准化有以下好处:

①可以减轻设计工作量,采用标准零部件和标准结构简化了设计工作,缩短了设计周期,提高了设计质量;

②能够安排专门工厂采用先进技术大规模地集中生产标准零部件,有利于合理使用材料,保证产品质量,降低成本;

③增大零部件的互换性,便于维修;

④有利于增加产品品种,扩大生产,提高了零件性能的可靠性,降低了消耗。有了标准化的零件,则设计人员不必要进行重复设计,设计中只要从有关手册标准中直接查取选用即可。

机械制图的标准化为零件标准化提供了前提。因此,对机械设计图纸的标准化检验是设计工作中的一个重要环节。

现已发布的与机械零件设计有关的标准,按使用范围分为国家标准(GB)、部标准和企业标准三个等级,按使用的强制性分为必须执行的(如螺纹标准、制图标准等)和推荐使用的(如标准直径等)两类标准。

在机械零件的标准化工作中,标准要统一、通用,而且要考虑最佳化问题,如品种规格的最佳数目、参数系列和质量指标的最佳值等,使标准化工作体现出经济上的优越性。

系列化设计就是按标准化原理,以基础型产品为基础,根据社会需要,将其主要参数和型式排成系列,以设计出同一系列内各种形式、规格的产品。还可在已有系列基础上形成派生系列产品。其目的是使同类产品逐渐达到在结构尽量统一的基础上来满足各种用户的使用要求。

一般系列化设计是以基础型产品为基础,统一规划,应用相似原理,发展系列内其它产品。系列化设计首先要归纳同类产品的共同规律,确定其结构相似之处,然后从整个系列出发,以基础型产品为主,兼顾变型产品进行基础型产品设计。设计时要尽量采用标准件、通用件,特别着重做好典型结构设计,为发展系列化产品奠定基础。系列化设计要根据用户使用要求,合理分档。它经过基础型设计、确定相似种类、确定级差、列出参数数据、确定结构尺寸等步骤。例如,对于同一结构、同一内径的滚动轴承,制定出不同外径和宽度的产品,即滚动轴承系列。系列大小的规定,一般是以优先数系为基础的,常用的优先数系有5、10、20和40等系列。

1.6 机械设计中材料的选用原则

机械零件常用材料有金属材料、非金属材料 and 复合材料。一般机械用材料大部分是金属材料,其中钢和铸铁应用最广,其次是铝合金和铜合金等。

在机械设计中,零件材料的选择是一个很重要的环节。往往需要对各种使用条件和因素进行综合分析,才能作出最佳的材料选择。

1.6.1 材料的选用原则

(1) 使用要求

它是选择材料的主要依据。使用要求包括零件的载荷情况和工作情况,对零件的尺寸和质量的限制,零件的重要程度等。

零件的载荷情况主要指载荷的种类和大小,脆性材料一般只适用于静载工作条件;在动载荷和冲击载荷