



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Mechanical Design

机械设计

(修订版)

谭庆昌 赵洪志 主编
吴鹿鸣 审阅



高等教育出版社



ISBN 978-7-04-023006-2



9 787040 230062 >

定价22.90元

2008

TH122/343=2

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机 械 设 计

(修订版)

谭庆昌 赵洪志 主编

吴鹿鸣 审阅



高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第一版基础上并参照教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会最新提出的高等学校“机械设计课程教学基本要求(修订稿)”,由吉林大学国家工科机械基础教学基地组织编写的机械基础系列课程教材之一。

全书除绪论外,共分4篇12章。第1、第2章为机械设计基础知识,第3、第4章为各种连接的设计,第5~7章介绍常用机械传动设计,第8~12章为轴系零部件和弹簧设计。各章后均备有习题。

本书可作为高等学校机械类各专业的教学用书,也可供近机类专业的学生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/谭庆昌,赵洪志主编. —2版(修订版).

—北京:高等教育出版社,2008.3

ISBN 978-7-04-023006-2

I. 机… II. ①谭…②赵… 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(2008)第 009440 号

策划编辑 龙琳琳 责任编辑 查成东 封面设计 于涛 责任绘图 吴文信
版式设计 陆瑞红 责任校对 金辉 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京机工印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 19.75
字 数 480 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2004年7月第1版
2008年3月第2版
印 次 2008年3月第1次印刷
定 价 22.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23006-00

修订版序

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第一版基础上并参照教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会最新提出的高等学校“机械设计课程教学基本要求(修订稿)”,由吉林大学国家工科机械基础教学基地组织编写的机械基础系列课程教材之一。

机械基础系列课程教材系统地反映了教学基地的建设情况及教学改革成果。为适应“机械设计制造及其自动化”宽口径专业人才培养的需要,适应减少学时、加强基础、降低重心的机械基础教学发展趋势,编者对机械基础系列课程进行了规划与整合,将机械精度设计知识融合在工程图学、机械设计、机械制造基础课程中,并突出了在工程设计中的应用。

本书内容以机械设计的基本理论、基本知识、基本技能为基础,扩展了工程实践知识,注重学生实际应用能力和创新能力的培养,体现少而精的原则。

本教材力求反映机械设计领域的最新成果,采用最新国际或国家标准及规范。

全书由谭庆昌、赵洪志担任主编,参加编写的有:谭庆昌(绪论,第1、第2章),乔宏(第3章),张会端(第4章),赵洪志(第三篇中的传动综述,第5、第6、第7章),曾平(第8、第9、第11、第12章),曹贵和(第10章)。

本书由教育部高等工业学校机械基础课程教学指导委员会原委员、国家级教学名师、西南交通大学吴鹿鸣教授审阅,并提出很多宝贵意见和建议。在编写过程中,曾得到吉林大学机械原理与设计教研室教师的支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

编 者

2007.5

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 机械设计总论

第 1 章 机械设计概要	4	§ 1-5 机械零件设计的基本原则	10
§ 1-1 机械设计的基本要求	4	第 2 章 机械零件的强度与耐磨性	13
§ 1-2 机械设计的一般程序	6	§ 2-1 机械零件的疲劳强度	13
§ 1-3 机械零件的主要失效形式与设计 准则	7	§ 2-2 机械零件的接触强度	22
§ 1-4 机械零件的设计方法与步骤	9	§ 2-3 机械零件的耐磨性	24
		习题	27

第二篇 连 接

第 3 章 螺纹连接	30	§ 3-7 螺纹连接件的材料及其许用应力	52
§ 3-1 螺纹	30	习题	58
§ 3-2 螺纹连接的类型及应用	32	第 4 章 轴与轮毂的连接和其他连接	60
§ 3-3 螺纹连接的预紧和防松	35	§ 4-1 键连接	60
§ 3-4 螺栓组连接的设计	38	§ 4-2 花键连接	63
§ 3-5 单个螺栓连接的强度计算	43	§ 4-3 其他连接	65
§ 3-6 提高螺纹连接强度的措施	49	习题	69

第三篇 机械传动

传动综述	71	§ 5-3 带传动的工作情况分析	81
第 5 章 带传动和链传动	77	§ 5-4 V 带传动的设计	85
§ 5-1 概述	77	§ 5-5 滚子链链条与链轮	97
§ 5-2 V 带的类型	78	§ 5-6 滚子链传动的设计计算	102
		习题	111

第 6 章 齿轮传动	113	第 7 章 蜗杆传动	162
§ 6-1 齿轮传动的失效形式及计算准则	113	§ 7-1 蜗杆传动的类型及特点	162
§ 6-2 齿轮材料	115	§ 7-2 圆柱蜗杆传动的主要参数及几何尺寸	164
§ 6-3 齿轮传动的计算载荷	117	§ 7-3 蜗杆传动的失效形式和材料选择	170
§ 6-4 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	120	§ 7-4 蜗杆传动的承载能力计算	173
§ 6-5 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	136	§ 7-5 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	175
§ 6-6 直齿锥齿轮传动的强度计算	140	§ 7-6 圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计	178
§ 6-7 渐开线圆柱齿轮精度	146	§ 7-7 蜗杆传动的精度	179
§ 6-8 齿轮的结构设计	152	习题	182
§ 6-9 齿轮传动的润滑	158		
习题	159		

第四篇 轴系零、部件和弹簧

第 8 章 轴	186	计算	253
§ 8-1 概述	186	§ 10-6 其他类型滑动轴承简介	266
§ 8-2 轴的结构设计	190	思考题	268
§ 8-3 轴的计算	196	习题	268
习题	207	第 11 章 联轴器、离合器和制动器	270
第 9 章 滚动轴承	209	§ 11-1 联轴器	270
§ 9-1 滚动轴承的结构、类型、代号及其选择	209	§ 11-2 离合器	278
§ 9-2 滚动轴承的计算	216	§ 11-3 制动器	282
§ 9-3 滚动轴承轴系结构设计	226	习题	283
习题	236	第 12 章 弹簧	284
第 10 章 滑动轴承	239	§ 12-1 概述	284
§ 10-1 滑动轴承的类型和典型结构	239	§ 12-2 圆柱螺旋弹簧的材料、结构及制造	285
§ 10-2 轴瓦的结构与材料	242	§ 12-3 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算	291
§ 10-3 滑动轴承的润滑	247	§ 12-4 其他类型弹簧简介	298
§ 10-4 非液体摩擦径向滑动轴承的设计计算	252	习题	301
§ 10-5 液体动压径向滑动轴承的设计			

附录	302
-----------------	-----

参考文献	307
-------------------	-----

绪 论

机械设计是一门应用技术科学,涉及数学、物理、化学、力学、材料学、电子技术和制造技术等学科领域。设计满足人们生产、生活需要,且具有市场竞争力的机械产品是机械设计的核心任务。

机器是生产与生活中不可缺少的产品。人类已设计、制造出多种多样的机器,如自行车、摩托车、汽车、内燃机、金属切削机床和吊车等。从结构或功能上看,这些机器的差异十分明显。但从机械设计的角度看,这些机器却具有许多共同的特点。

首先,从功能上看,自行车、摩托车和汽车作为交通工具是由轮子完成行走的;内燃机通过曲轴输出动力;金属切削机床通过主轴与刀架的运动来完成加工;吊车通过吊钩与钢丝绳把重物提升起来。虽然,这些机器完成它们各自功能依靠的结构不同,但从机械设计的角度考虑,这些不同的结构都可以被看做机器的工作部分或工作机构。不同的机器,功能不同,工作机构也不同。

其次,这些机器在完成它们的功能时,必须通过某种方式给工作机构提供动力,如自行车是依靠人的两脚的蹬踏运动;摩托车和汽车是利用发动机;内燃机是利用燃料的燃烧;金属切削机床是利用电动机;吊车是利用电动机或内燃机。在机械设计中,把机器上为工作机构供给动力的部分称为原动机。今天,机器上用的原动机主要是电动机和内燃机。

最后,由于机器的功能多种多样,所以对工作机构的运动与动力的要求也不尽相同,如自行车、摩托车和汽车要求的是回转运动,金属切削机床要求的是转动与直线运动,而吊车要求的是直线运动。原动机能提供的动力主要是回转运动。即使工作机构要求的是回转运动,但是在要求的转速范围或扭矩大小方面也可能与原动机直接提供的不同。这就要求在机器中必须有这样一部分,它的功能是改变原动机输出的运动和动力,从运动形式与动力参数上完全满足机器工作机构的要求。在机械设计中,机器上完成改变原动机输出运动和动力以满足工作机构要求的部分称为传动机构。传动机构是绝大多数机器中不可缺少的一部分,如自行车和摩托车的链传动,汽车的变速箱及差速器,金属切削机床的主轴箱和吊车的变速箱等都是机器的传动部分,它们在机器中的功能是相同的。由此可知,机器的传动部分将在组成与结构等方面具有某些共同的特点。

上述的工作机构、原动机和传动机构构成了机器的核心。但是,若要机器能正常地工作还需要一些辅助系统,如润滑系统、显示系统和控制系统等。特别是,随着机器的自动化程度越来越高,一些如检测、控制与润滑等辅助系统的作用变得越来越重要。由于计算机技术和数控技术的应用,使得像检测与控制等系统的发展已与机器的核心部分有机地结合起来,显著地提高了机器的性能。例如,在数控车床中,对主轴的回转运动和刀具的直线运动的数字控制,实现了加工自动化,提高了加工质量和生产效率。在汽车发动机中,利用计算机控制喷油量、喷油时间和点火

时间,提高了发动机的燃油效率,改善了汽车的动力性能。通过上述分析可以看到,现代机械产品实现了机电液的有机结合。

观察、分析机器的机械系统会发现,它们都是由一些机构组成的,如自行车是由前后轮、车架、脚踏板和链传动等组成,而机构又是由一些机械零件组成的,如自行车的链传动由链轮和链条组成。因此,构成机器的基本要素是机械零件。

根据使用情况,机械零件可以分为通用零件和专用零件两类。通用零件是指在各种机器中都经常使用的零件,如轴承、螺栓、齿轮和带轮等;而专用零件是指在特定的机器中才使用的零件,如水泵的叶轮、飞机的螺旋桨、往复式活塞内燃机的曲轴等。在通用零件中,由于有一些在各种机器中都基本相同的零件,如螺栓、滚动轴承、V带等,所以工程上就把这些零件按一定的规格制造出来,供人们在设计与制造机器时直接选用,这类零件称为标准零件。在机械工程中,把一些协同工作的零件组成的部分称为部件,如减速器、离合器及制动器等。部件大都由专业厂家制造,供用户选用。

通过对机器与机械零件的介绍可以看到机器与零件的密切联系。机器的性能不但取决于零件的性能,而且取决于各零件之间的配合。机器性能指标的确定必须建立在其零件性能可以实现的基础之上,而零件的设计不能脱离机器的要求独立进行。因此,本书在介绍机器设计基本知识的基础上,重点介绍通用零件的设计理论和设计方法,标准零件(简称标准件)的正确选用及有关技术资料的应用。

本书的具体内容包括:

(1) 机械设计总论,包括机械设计的基本要求及设计程序,零件的主要失效形式、设计方法、材料选择、强度与耐磨性等方面的基础知识。

(2) 机械连接,包括螺纹连接、键连接、花键连接、销连接、铆接、焊接、胶接与过盈连接等。

(3) 机械传动,包括传动综述、带传动、链传动、齿轮传动和蜗杆传动。

(4) 轴系,包括轴、滚动轴承、滑动轴承、联轴器、离合器、制动器和弹簧。

本课程对学生培养的目标是:

(1) 掌握机械设计的基础知识和常规尺寸与参数的通用机械零件的设计理论与方法,具有设计通用机械的能力。

(2) 树立正确的设计思想,了解国家当前的有关技术经济政策。

(3) 具有运用标准、规范、手册、图册查阅有关技术资料的能力。

(4) 掌握典型机械零件及机械系统的实验方法,获得实验技能的基本训练。

(5) 对机械系统方案设计、现代机械设计理论与方法有所了解。

本课程的学习涉及先修课程中的有关知识与技能的综合运用,通过课程设计这一实践环节进行基本的工程训练,为专业课程的学习和产品设计奠定基础。

第一篇

机械设计总论

本篇分别讲述机械设计概要、机械零件的强度和耐磨性等基础知识。

第1章

机械设计概要

机械设计是从社会需要出发,拟定在一定条件下最优的机械技术系统,当该技术系统实现后,即可满足社会的需要,并取得最优效果。机械设计具有这样一些特点:

(1) 设计的机械系统必须满足社会的某项需要,否则便得不到社会的承认而使设计失败。

(2) 设计必须具有创造性,这种创造尽管可能有大小和程度上的不同,但复制现有的产品不能认为是设计。

(3) 设计必须结合生产实际,所有的设计必须经过生产过程才能成为能够使用的产品,设计者必须充分考虑生产条件,使其设计的产品在现有的条件下具有尽可能好的工艺性。

(4) 设计的产品必须有竞争力。设计工作到制造出产品时并未结束,还要考虑产品占领国内外市场,使其受到用户的欢迎而久盛不衰。

机械设计与其他学科有着密切的联系。现代技术对机械产品的渗透、改造和应用,使得机械产品正向着机械—电子—信息一体化技术方向发展。现代技术往往通过设计的途径在机械产品中得到体现。另一方面,科学技术的发展也促使设计方法和技术的现代化。科技的新成就,如计算机技术、控制技术、生物技术、现代制造技术、新能源、新材料、测试技术、强度科学、有限元分析技术等,不断地丰富、充实机械设计的思想、理论和方法,促进了机械设计的变革、创新和发展。

§ 1-1 机械设计的基本要求

由于机器的种类繁多,性能差异巨大,企业的生产能力也不尽相同,所以很难对机械设计提出统一的要求,但是进行机械设计时,总要考虑机器与零件两方面的一些基本要求。

一、设计机器的基本要求

1. 机器功能的要求

机器要满足人们的需要,必须具有可以实现的使用功能。这是机器工作原理与方案设计的核心。

2. 经济性要求

机器的经济性涉及设计、制造、使用和维护的全过程。在设计或选用工作机构、传动机构和原动机实现机器的工作原理时,必须考虑制造成本、工作效率、能源消耗、工作可靠性及操作与维

护费用等方面的问题。从设计和制造上提高机器的经济性有许多工作可以做,这取决于具体的机器设计。

3. 劳动保护要求

机器必须操作方便和安全可靠。机器的操作手柄或按钮的数量、放置的位置、操作时的力量和操作方式等都要符合人们的生理与习惯要求,如汽车方向盘向左打则汽车向左拐弯。在可能出现安全问题的部位,要设置完善的安全防护装置、报警装置和警告装置等。

4. 环境保护要求

设计的机器应符合国家各种环境保护法规及条例的要求。从设计上就要考虑采取措施降低机器的工作噪声,防止有毒、有害介质的渗漏,控制废水、废气和废液的排放。

5. 可靠性要求

随着机器组成的复杂化,可靠性问题越来越突出。机器的可靠性是通过可靠度来衡量的,它是指在规定的使用条件和使用时间(寿命)内,机器能够正常工作的概率。机器的可靠性与机器的设计、制造、操作、维护等有关。设计对机器的可靠性起着十分重要的作用。

机械零件的设计和制造是实现机器各项要求的基础,是机械设计的核心工作之一。由于机器的性能不同,对零件设计的具体要求也不一样,但设计机械零件的一些基本要求是相同的。

二、设计机械零件的基本要求

1. 强度要求

机械零件满足强度要求,就是防止它在工作中发生断裂或产生塑性变形或出现点蚀。除了某些特殊情况(如安全销)外,机械零件满足强度要求是最基本的要求。

提高机械零件的强度是机械零件设计的核心之一,为此可以采用这样一些措施:使用高强度的材料;使零件危险截面的尺寸足够大;合理地设计零件的几何形状,减小应力集中,增大零件的截面惯性矩;采用热处理或化学热处理方法,提高材料的力学性能;提高运动零件的制造精度,减小工作时产生的动载荷;合理布置各零件在机器中的相互位置,减小作用于零件上的载荷。

2. 刚度要求

设计机械零件满足刚度要求,就是防止它在工作时产生的弹性变形超过允许的限度。只有当零件过大的弹性变形会影响机器的工作性能时,才需要满足刚度要求,如机床主轴与导轨。设计这类零件时,要进行强度计算与刚度计算。

提高零件的刚度,在设计上可以采取增大零件截面尺寸、缩短零件的支承跨度、采用多点支承结构等。

3. 耐磨性要求

设计机械零件满足耐磨性要求,就是防止它在工作一定时间后(未达到零件的寿命)不能正常工作。材料腐蚀和零件表面磨损是影响机械零件耐磨性的主要因素。

设计机械零件时,根据零件的具体工况,从结构、材料、制造、润滑和维护等方面采取措施可以提高它的耐磨性。

4. 结构工艺性要求

设计机械零件的结构时,一定要考虑使所设计的零件便于制造。这体现了对零件的经济性要求,是保证机器具有良好经济性的基础。设计零件的结构应从材料选用、毛坯制造、机械加工、

装配、维修保养、生产批量和生产能力等多方面综合考虑。熟悉生产制造的技术水平与条件,对设计零件的结构具有良好的工艺性是十分重要的。

5. 减小质量的要求

一般情况下,设计机械零件时应当力求减小其质量,尤其是运动的零件。减小零件的质量,一方面可以节省材料;另一方面可以减小运动零件的惯性,减小零件承受的惯性载荷,改善机器的动态性能。对于运输机械,减小零件的质量可以增加运载量,提高机器的经济效益。

减小零件的质量,在设计上可以采用缓冲装置降低零件承受的冲击载荷,利用过载防护装置限制作用在主要零件上的最大载荷;从零件上应力较小的位置处去掉部分材料,改善零件上应力分布的均匀性,在工作载荷的相反方向上施加预载荷,减小零件上的工作载荷,采用冲压件或焊接件代替铸、锻零件等措施。

机械零件的强度、刚度和耐磨性是从设计上保证它能够可靠工作的基础,而零件可靠地工作是保证机器正常工作的基础。零件具有良好的结构工艺性和较小的质量是机器具有良好经济性的基础。在实际设计中,会经常遇到基本要求不能同时得到满足的情况。这时应该根据具体情况,合理地做出选择,保证主要的要求能够得到满足。

§ 1-2 机械设计的一般程序

设计机器是一个富有创造性的工作,同时也是一个尽可能多地利用已有成功经验的工作。设计机器的过程是复杂的,它涉及多方面工作,如市场需求调研、技术预测和人机工程等。本书仅就设计机器的技术过程进行讨论。由于机器的种类繁多,性能差异巨大,所以设计机器的过程并没有一个通用的固定顺序,需要根据具体情况进行。在此仅以比较典型的机器设计为例,介绍机械设计的一般程序。

一、明确设计任务

设计人员在接受一个新机器的设计任务时,应根据使用要求和工作条件,确定机器的功能范围及指标,明确设计需要解决的问题。

二、方案设计

明确了设计需要解决的问题后,研究实现机器功能的可能性,提出可能实现机器功能的多种方案。每个方案应该包括原动机、传动机构和工作机构(对复杂的机器甚至还包括控制系统)。然后,在考虑机器的使用要求、现有的技术水平和经济性的基础上,综合运用各方面的知识与经验对各个方案进行分析。通过分析确定原动机,选定传动机构,确定工作机构的工作原理及应满足的工作参数,绘制原理工作图,完成机器的方案设计。

在方案设计过程中,要注意借鉴与采用同类机器成功的先例。同时,注意相关科学与技术中新成果的应用,如材料科学、制造技术和控制技术的发展使原来不能实现的方案变为可能,这些都为方案设计的创新奠定了基础。

三、技术设计

技术设计是机器设计的核心。在技术设计过程中,要完成各种设计计算、校核计算,生成总装配图、部件装配图和零件工作图。技术设计大致包括以下工作:

1) 运动学设计。根据设计方案和工作机构的工作参数,确定原动机的动力参数,如功率和转速,进行机构设计,确定各构件的尺寸与运动参数。

2) 动力学计算。根据运动学设计的结果,计算出作用于零件上的载荷。

3) 零件设计。根据零件的载荷与设计准则,通过计算、类比或模型实验的方法,确定零部件的基本尺寸。

4) 总装配草图设计。根据零部件的基本尺寸和机构的结构关系,设计总装配草图。在综合考虑零件的装配、调整、润滑、加工工艺等的基础上,完成所有零件的结构与尺寸设计。确定了零件的结构、尺寸和零件间的位置关系后,可以比较精确地计算出作用在零件上的载荷,分析影响零件工作能力的因素,如应力集中。在此基础上应对主要零件进行校核计算,如对轴进行精确的强度计算,对轴承进行寿命计算等。根据计算结果反复地修改零件的结构及尺寸,直至满足设计要求。

5) 总装配图与零件工作图设计。根据总装配草图确定的零件结构及尺寸,完成总装配图与零件工作图的设计。

四、编写技术文件

视情况与要求,编写机器的设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表、外购件明细表、验收条件等。

在上述设计过程中,如某一环节出现了问题或不可行,都需要返回修改前面的设计,直至问题得到解决。有时,可能整个方案都要推倒重来。因此,机械设计过程是一个迭代的过程。

§ 1-3 机械零件的主要失效形式与设计准则

机械零件由于某些原因而丧失工作能力称为失效。零件出现失效将直接影响机器的正常工作。因此研究机械零件的失效及其产生的原因对机械零件设计具有重要意义。

一、机械零件的主要失效形式

1. 断裂

在工作载荷的作用下,特别是受冲击载荷的作用,脆性材料的零件会由于某一危险截面上的应力超过其强度极限而发生断裂;在循环变应力作用下,工作时间较长的零件容易发生疲劳断裂,这是大多数机械零件的主要失效形式之一。断裂是严重的失效,有时会导致严重的人身和设备事故。

2. 过大的变形

零件承受载荷工作时,会发生弹性变形,而严重过载时塑性材料的零件会出现塑性变形。变形造成零件的尺寸、形状和位置发生改变,破坏零件之间的相互位置或配合关系,导致零件乃至

机器不能工作。过大的弹性变形还会引起零件振动,如机床主轴的过大弯曲变形不仅产生振动,而且造成工件加工质量的降低。

3. 表面破坏

在机器中,大多数零件都与其他零件接触,载荷作用在表面上,摩擦发生在表面上,周围介质又与表面接触,从而造成零件表面的破坏。表面破坏主要包括腐蚀、磨损和点蚀(接触疲劳)。零件表面破坏会导致能量消耗增加,温度升高,振动加剧,噪声增大,最终使得零件无法正常工作。

在进行零件的设计计算时,必须考虑防止零件出现失效。因此,零件的设计计算准则应根据零件失效的原因来制定。

二、机械零件的设计准则

1. 强度准则

强度准则针对的是零件的断裂失效(包括静应力作用产生的断裂和变应力作用产生的疲劳断裂)、塑性变形失效和点蚀失效。对于这几种失效,强度准则要求零件的应力应分别不超过材料的强度极限、零件的疲劳极限、材料的屈服极限和材料的接触疲劳极限。强度准则的设计表达式为

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\lim}}{S} \quad (1-1)$$

式中: σ ——零件的应力;

$\sigma_{\lim}$ ——零件材料的极限应力;

S ——安全系数,补偿各种不确定因素和分析不准确对零件强度的影响。

2. 刚度准则

刚度准则针对的是零件的过大弹性变形失效,它要求零件在载荷作用下产生的弹性变形量不超过机器工作性能允许的值。刚度准则的设计表达式为

$$y \leq [y], \theta \leq [\theta], \varphi \leq [\varphi] \quad (1-2)$$

式中: y, θ, φ ——零件的挠度、偏转角和扭转角;

$[y], [\theta], [\varphi]$ ——允许的挠度、偏转角和扭转角。

3. 耐磨性准则

耐磨性准则针对的是零件的表面失效,它要求零件在正常条件下工作的时间能达到零件的寿命。腐蚀和磨损是影响零件耐磨性的两个主要因素。目前,关于材料耐腐蚀和耐磨损的计算尚无实用有效的方法。因此,在工程上对零件的耐磨性只能进行下述条件性计算

$$p \leq [p] \quad (1-3)$$

$$pv \leq [pv] \quad (1-4)$$

式中: p ——工作表面上的压强;

$[p]$ ——材料的许用压强;

v ——工作表面线速度;

$[pv]$ —— p 的许用值。

4. 振动准则

振动准则针对的是高速机器中零件出现的振动、振动的稳定性和共振,它要求零件的振动应控制在允许的范围内,而且是稳定的,对于强迫振动应使零件的固有频率与激振频率错开。高速机械中存在着许多激振源,如齿轮的啮合、滚动轴承的运转、滑动轴承中的油膜振荡、柔性轴的偏心转动等。设计高速机械的运动零件除满足强度准则外,还要考虑满足振动准则。对于强迫振动,振动准则的表达式为

$$f_n < 0.85f \text{ 或 } f_n > 1.15f \quad (1-5)$$

式中: f ——零件的固有频率;

f_n ——激振频率。

§1-4 机械零件的设计方法与步骤

设计机械零件大体上包括两方面工作:一是根据计算准则或经验类比的方法,确定零件的主要尺寸;二是根据确定的主要尺寸,在综合考虑零件的定位、装配、调整、润滑和加工工艺等的基础上,设计零件的结构。针对这两方面工作,本书将分别介绍机械零件的设计方法和机械零件的设计步骤。

一、机械零件的设计方法

1. 理论设计

根据理论和试验数据进行的设计,称为理论设计。以强度准则为例,由材料力学可知式(1-1)可表示为

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_{\lim}}{S} = [\sigma] \quad (1-6)$$

式中: F ——作用于零件上的广义外载荷,如轴向力、弯曲力矩、扭转力矩等;

A ——零件的广义横截面积,如横截面积、抗弯截面系数、抗扭截面系数等;

$\sigma_{\lim}$ ——零件材料的极限应力;

S ——安全系数;

$[\sigma]$ ——许用应力。

根据式(1-6)可以进行两方面设计的工作:一是在已知外载荷与极限应力的情况下,通过设计计算确定零件的主要尺寸,即 $A \geq \frac{SF}{\sigma_{\lim}}$;二是在已知零件的主要尺寸后,进行校核计算,即

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq [\sigma]。$$

2. 经验设计

根据经验关系式或设计者的工作经验用类比的方法进行的设计,称为经验设计。这种方法适合于设计那些结构形状变化不大且已定形的零件,如机器的箱体、机架等结构件的各结构要素。

3. 模型实验设计

根据零件、部件或机器的初步设计结果,按比例做成模型或样机进行实验,通过实验对初步

设计结果进行检验与评价,从而对设计进行逐步的修改、调整和完善的设计过程,称为模型实验设计。这种设计方法适合于尺寸巨大、结构复杂、难以理论分析的重要零件、部件或机器的设计。

4. 现代设计方法

随着科学技术的迅速发展,特别是计算机的广泛应用,一些新的设计理论和方法,如有限元分析、优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计和专家系统正在逐渐进入机械设计领域,使得机械设计学科发生了很大的变化。现对优化设计与可靠性设计作简单的介绍。

(1) 优化设计

根据最优化原理和方法,综合各方面的因素,利用计算机选出在现有工程条件下的最好设计方案。优化设计的设计手段是计算机及计算程序,设计方法是结合工程实际,采用最优化的数学方法。

优化设计包括两方面工作:一是将设计问题的物理模型转变为数学模型。建立数学模型时要选取设计变量、列出目标函数、给出约束条件。其中目标函数是设计问题所要求的最优指标与设计变量之间的函数关系式;二是采用适当的优化方法,求解数学模型。这可归结为在给定的条件(例如约束条件)下,求目标函数的极值或最优值问题。

(2) 可靠性设计

与传统设计相比,可靠性设计的主要特点是考虑了零件尺寸、载荷和材料力学性能的离散性及随机性。可靠性设计的实质是把设计变量(例如轴的直径与作用在轴上的载荷等)如实地当作随机变量来处理,使设计结果更符合客观实际。在可靠性设计中,传统的“强度”概念就从零件发生“破坏”或“不破坏”这两个极端准则,转变为“出现破坏的概率”。对零件安全工作能力的评价则表示为“达到预期寿命要求的概率有多大”。机械强度的可靠性设计主要有两方面工作:一是确定设计变量(如载荷、零件尺寸和材料力学性能等)的统计分布;二是建立失效的数学模型和理论,进行可靠性设计和计算。

二、机械零件设计的步骤

机械零件的设计过程大致可以分为以下几个步骤:

- 1) 根据机器的原理方案设计结果,确定零件的类型。
- 2) 根据机器的运动学与动力学设计结果,计算作用在零件上的名义载荷,分析零件的工作情况,确定零件的计算载荷。
- 3) 分析零件工作时可能出现的失效形式,选择适当的零件材料,确定零件的设计准则,通过设计计算确定出零件的基本尺寸。
- 4) 按照等强度原则,进行零件的结构设计。设计零件的结构时,一定要考虑工艺性及标准化等原则的要求。
- 5) 必要时进行详细的校核计算,确保重要零件的设计可靠性。
- 6) 绘制零件的工作图,编写零件的设计计算说明书。

§1-5 机械零件设计的基本原则

机械零件的种类繁多,不同行业对机器和机械零件的要求也不尽相同,但机械零件设计中选