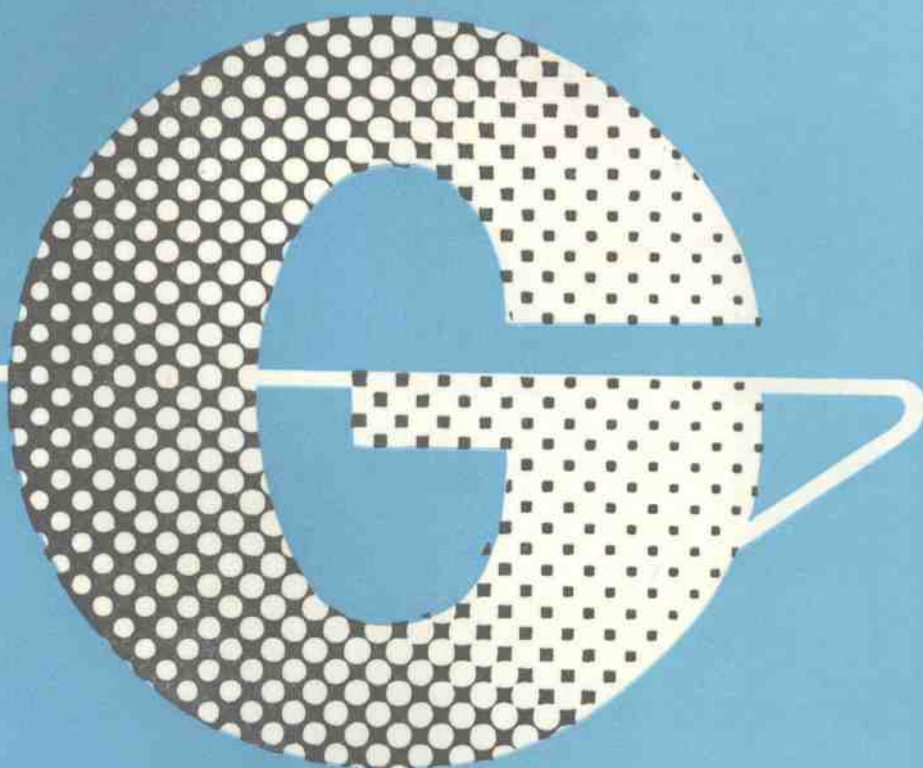


高等专科学校试用教材

机械零件

第2版



郑州工业高等专科学校 张绍甫
南京机械高等专科学校 徐锦康

主编

机械工业出版社

高等专科学校试用教材

机 械 零 件

第 2 版

郑州工业高等专科学校 张绍甫
南京机械高等专科学校 徐锦康 主编



机 械 工 业 出 版 社

再 版 前 言

本书是根据国家教委审定的“高等学校工程专科机械零件课程教学基本要求”编写的,作为全国高等学校工程专科机械类专业机械零件课程的教材。《机械零件》一书自1991年出版后,深受高等院校师生的欢迎。经几年的使用,作者对原书进行了全面的修订,除保证“基本要求”规定的内容外,还更新、充实和增加了一些内容,使其更适应当前教学改革的需要。

在修订过程中,根据高等工程专科教育培养技术应用性人才的总目标,本着“掌握概念,强化应用,培养技能为重点”和“必须、够用为度”的原则,在突出本课程基本知识、基本理论和基本方法的基础上,力求做到:(1)从体现培养技术应用性人才的知识能力结构出发,选择处理教材内容,尽量减少数理论证,加强了理论应用和结构设计的内容。各章有零件工作图示范,并在习题中配有一定数量的结构设计和结构改错题,以保证基本技能的训练。(2)教学实践证明,原书编写体系(机械传动—轴系零部件—联接—其他零件—综合应用)既加强了各部分的内在联系,又方便于教学,故修订时维持了原书的体系和风貌。(3)为加强综合运用本课程知识的能力和设计方法的训练,此次修订将原书第十三章“机械设计实例分析”,改名为“机械传动装置和机械设计实例分析”,内容上作了较大补充与变动。(4)随着计算机技术的发展和普遍应用,为切实加强学生计算机应用能力的培养,教材中增加了机械零件计算机辅助设计(CAD)的内容。

此外,还须说明以下几点:

1. 本书是按一般机械类专业(72~81学时)上限要求编写的,并适当的拓宽了一些内容,各校可根据专业特点自行取舍,特别是带*号的内容。

2. 本书采用的设计计算方法,在保证技术上正确可靠的前提下,从本课程的性质及方便教学出发,有些地方作了“修改”与简化,因此在作具体专业产品设计时,应查阅有关资料 and 手册。

3. 本书尽量引用了较新的标准、规范和资料,采用了我国法定的计量标准及规定的名称、单位和符号。

参加本书编写的有:郑州工业高等专科学校张绍甫(第一、二章)、李铁成(第八、十三章),江南大学黄罗伦(第三、四章),洛阳工业高等专科学校吉继贤(第五章),哈尔滨工业高等专科学校张春宜(第六、十二章),南京机械高等专科学校徐锦康(第七章),湘潭机电高等专科学校周跃红(第九章),承德石油高等专科学校王冶(第十、十四章),上海石化高等专科学校陈琴珠(第十一章)。本书由张绍甫、徐锦康任主编。

本书承扬州大学工学院殷梅生副教授精心审阅,提出了很多宝贵意见。高等专科学校机械专业教材编审委员会、机械工业部教材编辑室和因故未能参加修订的原编者,对本书的编写和出版给予了大力的支持,修订者在此特表衷心的感谢。

由于编者水平有限,漏误之处在所难免,殷切希望广大教师、读者批评指正。

编者 1994年12月

目 录

再版前言	Ⅱ	第六节 链传动的布置、张紧和润滑	66
第一章 绪论	1	习 题	71
第一节 概述	1	第五章 齿轮传动	72
第二节 机械设计的基本原则	3	第一节 概述	72
第三节 机械设计的一般程序和主要内容	5	第二节 轮齿的失效形式和设计准则	72
第四节 机械设计的新发展	6	第三节 常用齿轮材料及许用应力	75
习 题	6	第四节 齿轮传动的计算载荷	80
第二章 机械零件设计概论	7	第五节 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	83
第一节 机械零件的设计方法和一般步骤	7	第六节 齿轮传动的精度	89
第二节 机械零件的失效形式和设计准则	8	第七节 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	91
第三节 机械零件所受的载荷和应力	10	第八节 标准直齿锥齿轮传动的强度计算	101
第四节 机械零件的体积强度	12	第九节 齿轮的结构设计	105
第五节 机械零件的表面强度	18	第十节 齿轮传动的润滑	108
第六节 机械零件常用材料及选用原则	19	习 题	110
第七节 机械零件的结构设计	22	第六章 蜗杆传动	112
第八节 摩擦、磨损和润滑概述	24	第一节 概述	112
习 题	30	第二节 普通圆柱蜗杆传动的主要参数及几何尺寸计算	115
第三章 带传动	32	第三节 蜗杆传动的滑动速度和受力分析	119
第一节 概述	32	第四节 蜗杆传动的失效形式、设计准则和材料选择	121
第二节 普通V带的结构和标准	34	第五节 蜗杆传动的强度计算	122
第三节 带传动的工作情况分析	35	第六节 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	125
第四节 普通V带传动的设计计算	38	第七节 蜗杆和蜗轮的结构	127
第五节 带传动的结构设计	46	习 题	132
第六节 其它带传动简介	49	第七章 滚动轴承	133
习 题	52	第一节 概述	133
第四章 链传动	53	第二节 滚动轴承的主要类型及选择	134
第一节 链传动的工作原理、类型特点和应用	53	第三节 滚动轴承受力分析、失效形式及计算准则	141
第二节 滚子链和链轮	54	第四节 滚动轴承的寿命计算	143
第三节 链传动的运动特性	58	第五节 滚动轴承的静强度计算	151
第四节 链传动的失效形式和功率曲线	60		
第五节 链传动的设计计算	62		

第六节	滚动轴承的组合结构设计	152	第二节	螺纹联接的主要类型	227
第七节	滚动轴承的润滑与密封	159	第三节	螺纹联接的预紧和防松	229
习 题		163	第四节	螺栓组联接的结构设计和 受力分析	232
第八章 滑动轴承	164		第五节	单个螺栓联接的强度计算	236
第一节	概述	164	第六节	螺纹联接件的材料和许用 应力	240
第二节	滑动轴承的典型结构	164	第七节	提高螺栓联接强度的措施	241
第三节	轴瓦结构和轴承材料	168	第八节	螺旋传动	246
第四节	不完全油膜滑动轴承的设 计计算	172	习 题		250
第五节	滑动轴承的润滑	174	第十二章 弹簧	252	
第六节	液体动压润滑轴承的工作原理	177	第一节	概述	252
* 第七节	液体静压滑动轴承和气体 轴承简介	180	第二节	弹簧材料和制造	254
习 题		182	第三节	普通圆柱形压缩和拉伸螺 旋弹簧的设计	256
第九章 轴和轴毂联接	183		习 题		265
第一节	轴的分类和设计要求	183	第十三章 机械传动装置和机械 设计实例分析	266	
第二节	轴的材料及其选择	184	第一节	机械传动装置	266
第三节	轴的结构设计	186	第二节	机械设计实例分析——卷 扬机设计	268
第四节	轴的强度计算	193	第十四章 机械零件的计算机辅 助设计	282	
第五节	轴的刚度计算和轴的振动 简介	201	第一节	概述	282
第六节	轴毂联接	203	第二节	数表和线图的程序化	283
习 题		209	第三节	程序设计实例	287
附 表		211	第四节	计算机绘图	293
第十章 联轴器、离合器和*制动器	215		习 题		293
第一节	联轴器	215	附齿轮设计程序	294	
第二节	离合器	220	参考文献	298	
* 第三节	制动器	223			
习 题		225			
第十一章 螺纹联接和螺旋传动	226				
第一节	螺纹的类型、特点和应用	226			

第一章 绪 论

第一节 概 述

机械是人类进行生产和生活的主要劳动工具，用以改善劳动条件、提高劳动生产率 and 产品质量。同时，国民经济各部门使用机械的程度，也是社会生产力发展水平的重要标志。

我国古代劳动人民，在机械方面有许多杰出的发明和创造，如指南车、记里鼓、候风地动仪等等。如今，要振兴中华，急待充实与更新各类生产技术装备和促进技术改造。因而对机械的品种和功能，不断提出更多更高的需求。为此，从事机械工程工作的人们，要发挥其聪明才智，设计和制造出更多的先进机器，从而推动国民经济的加速发展，促进社会主义现代化建设。

一、机器的组成及基本定义

一台完整的机器，通常都是由原动机、传动机构和工作机构三部分所组成的功能系统。如图1-1所示为广泛应用的卷扬机。电动机1通过联轴器2驱动减速器4，减速器又通过联轴器5带动卷筒6，卷筒的转动使钢丝绳完成升降重物的动作。3为制动器，用以控制升降的位置。这样的一个机械系统主要是由电动机(原动机)、齿轮减速器(传动机构)和卷筒(工作机构)三部分组成。

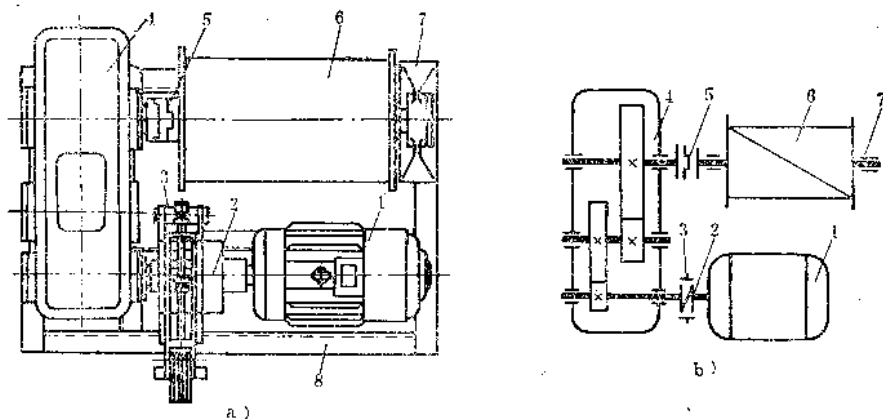


图1-1 卷扬机

a) 结构图 b) 机构示意图

1—电动机 2、5—联轴器 3—制动器 4—减速器 6—卷筒 7—轴承 8—机架

尽管在一台现代化的机器中，常包含有机械、电器、控制、润滑和监测等部分，但是机器的主体是它的机械系统。机械系统总是由一些机构组成，而每个机构又是由许多零件组成。所以，机器的基本组成要素就是机械零件。

机器的种类繁多，所用的机械零件更是多种多样。根据它们的应用情况，可概括地将机械零件分为两大类：一类是在各种机器中经常使用且具有同一功能和性能的零件，称为通用

零件,如螺钉、齿轮等;另一类则是在特定类型的机器中才能用到的零件,它们的功能各异,称为专用零件,如涡轮机的叶片、内燃机的曲轴、纺织机的纺锭和织梭等。另外,还常把由一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合体称为部件或组件,如联轴器、减速器、滚动轴承等。

各式各样自由分散的零件,一旦装配到机器上,它们就要为实现机器的职能分担各自的责任,发挥各自的作用。因此,一些主要零件或某些关键零件的综合性能,就在很大程度上决定了机器的性能。由此可知,设计或选择任何零件时,都必须以机器对它的要求为依据。

二、本课程的研究对象及内容

本课程的研究对象是:一般尺寸和参数的通用零、部件。对于巨型、微型以及高速、高压、高温、低温条件下工作的通用零、部件,则在有关专业课中研究。

本书讨论的具体内容如下:

(1) 概论部分有机器的组成,机械设计的原则和设计的一般程序。机械零件的设计计算基础,如机械零件的工作能力和计算准则,强度计算和结构设计,常用材料及选择原则,摩擦、磨损、润滑的基本知识等;

(2) 传动部分有带传动,链传动,齿轮传动,蜗杆传动,螺旋传动等;

(3) 联接部分有螺纹联接,键和花键联接,销联接等;

(4) 轴系零、部件部分有轴,滑动轴承和滚动轴承,联轴器、离合器与制动器等;

(5) 其它部分有弹簧,机械传动装置和机械设计实例分析,计算机辅助设计等。

三、课程的性质和任务

由前述可知,课程的性质是以通用机械设计为“轮廓”,并以一般通用零、部件设计为“实体”的设计性课程,而且是论述它们的基本设计理论与方法的技术基础课程。在学习机械工程技术的过程中,它起着承前启后的作用。既可综合运用先修课程的有关知识和技能来解决机械工程的实际技术问题,又为学习专业课及进行专业产品设计、工艺装备设计、技术改造等奠定基础。

本课程的主要任务是通过理论学习、作业、现场课和实验课、课程设计等环节,培养学生初步树立工程观点和正确的设计思想;掌握一般通用零、部件的工作原理、特点、选用、维护、设计计算方法和必要的设计理论,初步了解机械设计的一般知识,从而具有设计机械传动部件和较简单机械的能力,以及相应地分析问题和解决问题的能力,运用规范、标准和资料的能力等。

四、本课程的学习方法介绍

学习方法应随课程特点而变化,故学习本课程时应注意以下特点:

(1) 应用到的理论范围广泛和知识的多科综合性 课程所研究的零件类型繁多,特点和工作原理各异,进行分析与设计的方法较多,故涉及的理论范围广泛。如大多数零件的计算准则是强度准则,主要应用材料力学的有关理论知识,但有些零件得用弹性力学的赫兹应力公式进行接触强度准则计算。零件设计从分析研究、设计计算到结构设计,直到完成零件工作图,要用到多门先修课程的内容。因此,学习时会感到有些“繁杂”和“系统性差”,而实际上只要抓住零件设计步骤这一主线,来理解课程的系统性,就能逐步适应本课程的学习规律。

(2) 零件设计计算结果不像基础课那样具有唯一性 影响零件设计的因素甚多,如材

料、主要参数、系数等选取的不同, 计算结果就会各异。又如很多零件的设计, 在计算过程中要用到一些尚待确定的参数, 这就必须估取, 最后再作修正, 即设计计算常用试算法。初学者对工程设计中常用的这些方法往往不易适应, 需通过设计训练才能逐步熟悉和掌握。为此, 在学习过程中, 要着重建立系统的概念, 了解计算的出发点及公式的应用条件, 各系数的物理概念、系数、参数对设计的影响以及分析问题的方法等。

(3) 要重视结构设计在确定零件形状和尺寸方面的重要作用 在零件设计中, 计算固然重要, 但不是唯一的方法。有时还得凭经验而定, 或按结构设计决定零件形状和尺寸。因此, 学生必须逐步培养把理论计算和结构设计、工艺考虑等结合起来解决设计问题的能力。

(4) 理论紧密联系实际 学习时要积极主动地联系实际, 多做练习和设计, 加深对所学内容的理解。掌握各种基本方法, 切实提高自己的实践能力。

第二节 机械设计的基本原则

零件是组成机器的基本单元, 设计机械零件又必须以机器对它的要求为依据, 为了更好地解决机械零件的设计问题, 就有必要先研究机械的设计。另外, 无论是改造老产品或研制新机器, 首先遇到的也是机械设计问题。机械设计是“根据对机械产品提出的任务, 应用当代各种先进的技术成果, 求得一个在技术上尽可能完善、经济上合算、外观上满足美学要求, 并能集中反映先进生产力的研制机械产品的方案和手段”。因此, 机械设计要体现时代性和创造性。为了设计出技术性能指标高、经济效果好、造型美观大方的机械产品, 机械设计应遵循的基本原则(机器应满足的要求)如下。

一、功能性(具有预定功能的要求)

机械产品必须完成规定的功能, 并保持功能参数在限定的范围内。人们为了生产及生活上的需要, 才设计和制造出各式各样的机器, 因而所设计制造的机器必须具有预定的解决生产或生活问题的功能, 才能达到根本的目的, 如起重机必须能够吊起规定的重量。对每个机械产品功能参数的要求, 要视具体情况而定, 如对汽车, 要有功率、速度、载重量、最高速度、大修行驶里程等参数。

为了使所设计的机器能够具有预定的功能, 主要靠正确地选择机器的工作原理和机构组合来保证。

二、可靠性

可靠性是保证机器正常运转的关键。可靠性的定量尺度是可靠度, 它是指机器在规定的条件下和规定的时间内; 无故障地完成规定功能的概率。它是衡量机器在寿命方面的指标。反之, 完不成规定功能的概率, 就是不可靠度, 或称破坏概率。

设有 N_T 个零件在预定的时间 t 内, 有 N_f 个零件不能正常工作(失效), 剩下 N_s 个零件仍继续工作, 则可靠度 R 为:

$$R = N_s / N_T = N_T - N_f / N_T = 1 - N_f / N_T \quad (1-1)$$

$$\text{不可靠度 } F \text{ 为:} \quad F = N_f / N_T \quad (1-2)$$

$$R + F = 1 \quad (1-3)$$

机器都是由零件所组成的系统, 而系统的可靠度取决于其组成零件的可靠度。所以要精心设计零件, 确保其可靠性。

三、使用和维修性

设计机器必须注意人机关系，应力求操作安全舒适，反应灵敏，提高效率。

(一) 极力保证技术安全

安全系指人身安全和机器本身的安全。所以，各种各样的防护装置及措施就成为机器不可缺少的组成部分。例如，回转零件和有突出部分的零件要装防护罩，冲床要有保护手套的装置等。另外，可采用安全保险装置和信号报警系统，以防止发生人身和设备事故。

(二) 力争减少工人操作时的体力及脑力消耗

操控零部件的外形要简单，易于辨认，重量轻，动作要灵活，这样可减少操作力和疲劳，提高效率；尽量减少操控手柄的数目，且手柄、仪表和信号装置布局要合理，采用各种可靠的联锁装置等。

(三) 努力改善操作者的环境

噪声是一种环境污染，严重影响工人健康，所以应力求降低机器的噪声；有效地净化或排除操作时产生的废气、废液及灰尘屑末，保证工作环境通风流畅，温度适中；注意机器的造型设计，适当美化机器的外形及表面等。

(四) 易于维修

设计的机器必须便于管理、维护和修理。机器日常的清洁和润滑要方便，易于检修和更换零件，维修时间短等。

四、标准化、系列化和通用化

所谓标准，就是由一定的权威组织，对经济、技术和科学中重复出现的技术语言和技术事项，以及产品的品种、质量、度量、方法等方面，规定出来的统一技术准则。它是各方面必须共同遵守的技术依据。标准化就是制定标准和使用标准。标准分为国家标准(GB)、部颁标准(专业标准)、企业标准等三级。我国已是国际标准化组织成员，可借鉴国际标准(ISO)，出口产品应采用国际标准。

与标准化密切相关的是零、部件的通用化。通用化是最大限度地减少和合并产品的型式、尺寸和材料品种等，使零、部件尽量在不同规格的同类产品甚至不同类产品上通用互换。通用化是广义的标准化。

系列化是指将产品尺寸和结构按大小分档，按一定规律优化成系列。工程上系列化数值是采用几何级数做为优先数列的基础。目的是用较少的品种规格满足国民经济的广泛需要。

零件的标准化、部件的通用化、产品的系列化通称为“三化”。它是长期生产实践的总结和科研成果的应用，也是我国现行的很重要的一项技术经济政策。“三化”的主要任务是研究用最少的劳动消耗和物资消耗，而取得最好的经济效益。它对节约设计力量，加速品种发展，提高产品质量和劳动生产率，便于使用和维修等方面起着重要作用。

五、经济性

经济性是机械产品的一个综合性指标，它体现在设计、制造、使用的全过程中。据统计大约有75%~80%的生产费用将在设计阶段确定下来，所以设计是实现经济效益的关键环节。设计及制造的经济性表现为设计制造成本的降低。使用经济性则表现为高效率、低消耗(能源及材料)，以及较低的管理和维护费用等。

经济性必须与其他设计原则综合考虑，例如重量轻固然成本低，但对于在冲击载荷下工作的轧钢类机械，其机座须有足够大的质量，以吸收冲击动能。又如形状十分复杂的零件需

要采用铸件毛坯,但由于铸造壁厚的要求,减轻重量就受到一定的限制。

六、其他特殊性能要求

有些机器还各自具有其特殊要求,例如航空发动机要求在最小重量的条件下,具有最大推力(或输出功率);机床有长期保持精度的要求;流动使用的机械(如起重机械和钻探机械)有便于安装、拆卸和运输的性能;食品、纺织、造纸机械有不得污染产品的要求等。

上述机械设计的基本原则,也是评定机械产品的原则。当前我国提出的机械设计原则为可靠性、适应性、经济性三性兼顾。

第三节 机械设计的一般程序和主要内容

机械设计是研制新产品的重要环节,在机械工业进行产品“更新换代”和工艺装备设计中占有突出的地位。研究机械设计的工作阶段、步骤和方法等的程式化、规范化是关系设计质量和速度的一项重要工作。

机械产品设计有三种类型:1)开发性设计,即按需求进行的全新设计;2)适应性设计,即设计原理、方案不变,只对结构和零部件重新设计;3)参变数设计,即仅改变部分结构尺寸而形成系列产品。其中开发性设计新产品,从提出任务到投放市场,要经过调查研究、设计、试制、运行考核、定型设计等一系列过程。但目前机械设计尚无一个通用的固定程序,须视具体情况而定。较为典型的一般程序如下。

一、设计任务的研究和制订

根据社会、市场、用户的需要和使用要求,确定机器的功能范围和工作指标,明确设计需要解决的课题和项目;研究实现的可能性;编制出完整的设计任务书及明细表。任务书中必须明确规定:机器的用途、主要性能参数范围、工作环境条件、有关特殊要求、生产批量、预期成本范围、设计完成期限,以及承制单位生产条件等。

二、方案设计(初步设计)

工作原理是机器实现预期功能的基本依据。在分析设计任务和要求的前提下,确定机器的工作原理和技术要求,拟定机器的总体布置、传动方案和机构运动简图等。首先分析机器的总功能,为实现总功能机器必须有若干部分,每部分具有一定的分功能,对各个部分功能逐项进行计算和试验,探索实现各个部分功能的方案,称为功能分析。在功能分析的基础上,对各个部分功能的方案加以综合,在实现总功能的前提下,选定合适的综合设计方案,称为功能综合。

在方案设计阶段中,往往要进行多种方案的全面分析对比和技术经济评价,从中选定最佳设计方案,按比例画出初步设计总图。

三、总体设计(技术设计)

根据选定的最佳设计原理方案,以功能要求确定结构设计为出发点,本着简单、实用、经济、美观等原则,进行机构和总体布置;确定制造方法和选用材料的种类;对零部件进行初步设计。在总体设计中,要进行机器运动学和动力学分析计算,零部件工作能力的计算,以及进行必要的模型试验和测试,并对总体结构设计进行技术经济评价,找出薄弱环节并采取措施消除,最后画出总体设计图(装配草图)。

四、工作图设计和编写技术文件(施工设计)

根据确定的总体设计,充分考虑零部件的工作能力,特别是从结构工艺性出发,将零部

件的全部尺寸和形状、装配关系和安装尺寸完全确定下来，并绘出各种工作图（零件图、装配图、总体图等），编写出各种技术文件和说明书，为生产提供必备的条件。

由上述可知，整个设计过程的各个阶段是互相紧密联系的，某一阶段中发现的问题和不当之处，有时必须返回到前面有关阶段去修改。因此，设计过程是一个不断反复、不断完善，逐渐接近最优结果的过程。

机械设计过程需要进行一系列艰巨而细致的工作，才能将预定的设想付诸实现。因此，设计者首先要树立正确的设计思想，努力掌握先进的科学技术知识和科学的辩证的思想方法，正确地理解和执行各项技术经济方针政策。同时，还要坚持理论联系实际，不断的总结和积累设计经验。特别是要向有关领域的科技工作者和从事生产实践的工作者虚心学习，才能较好的完成设计任务和提高设计水平。

第四节 机械设计的新发展

由于科学技术的迅猛发展，新材料、新工艺、新技术、新能源、新结构的不断涌现，特别是电子计算机的应用和计算数学的完善等，近年来机械设计有了许多新的发展。发展的动向主要是：迅速提高机器的效率、生产率和自动化程度，发展机械-电子-信息一体化技术和产品；广泛应用新的理论和技术，如断裂力学、摩擦学、有限元素法、统计强度理论，相似理论及程控、数控、模拟仿真技术、模态分析技术、高性能监测技术等；力求使数据符合实际；积极更新和采用新的设计方法，如计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计等。

计算机辅助设计简称“CAD”，它是设计人员依靠计算机的协助，自动完成包括设计计算和绘制工作图在内的一种设计方法。它将人和计算机各自最好的特长结合起来，构成一个工作组合，这个组合可以比人或计算机单独工作时能力更强。利用计算机运算快速、准确、存储记忆和逻辑判断功能等特点，与图形显示、自动绘图机相结合，在人机相互作用下进行设计。创造性的构思活动，主要还由设计者承担。这样可大大地提高设计质量和经济效益，缩短设计周期，加速产品的更新换代。

“CAD”的发展，要求建立一个具有专家级解决问题水平的计算机系统——专家系统，能模拟专家们工作中的思维过程；运用所积累的知识，进行推理和决策，来解决设计中的问题。

优化设计是使各种机械设计问题（如方案选择、参数匹配、机构设计、结构设计、系统设计等），利用现代数学、物理、力学的成就及计算机这个强有力的工具，以寻求最佳设计的一种理论和方法。

可靠性设计是应用可靠性理论和设计参数的统计数据，对零部件、机器等在保证给定可靠度下进行设计的一种方法。

习 题

1-1 机械设计的基本原则是什么？请以一种机器为例（如汽车、电风扇或其他机器）说明设计时应考虑哪些原则和要求？

1-2 自己选择一种机械装置（如卷扬机、机床、自行车、门锁等）分析它的功能、原理和结构。

* 1-3 你能否提出一种目前市场上没有，而人们在生产或生活中需要的机械产品？并大致定出这个产品的结构和方案。

第二章 机械零件设计概论

第一节 机械零件的设计方法和一般步骤

机械零件的种类繁多，用途、功能、工作条件等各异，但其设计方法、设计的一般过程和步骤却是大体相同。

一、机械零件的设计方法

目前常用的机械零件设计方法有：理论设计、经验设计、模型实验设计和计算机辅助设计等。

（一）理论设计

根据现有的设计理论和实验数据所进行的设计，称为理论设计。理论设计又可分为：

1. 设计计算 由理论计算公式直接求得零件的主要尺寸，然后再根据工艺要求和具体工作条件，确定出零件的结构形状。这种方法多用于能通过简单力学模型进行设计的零件。

2. 校核计算 先按经验和某些简易的方法，初步选定零件的主要尺寸和形状，然后用理论校核公式进行校核计算。它多用于结构和应力分布比较复杂，且又能用现有的应力或变形分析方法进行计算的零件。

理论设计是有据可依比较科学的设计方法，所以进行零件设计时，都应尽可能采用理论设计。

（二）经验设计

根据已有的设计和长期实践总结的经验公式和数据，或者用“类比法”所进行的设计，称为经验设计。经验设计简单方便，适用于已典型化的零件，例如箱体、机架、传动零件的结构设计等，但经验设计有较大的局限性。

（三）模型实验设计

对于尺寸特大、结构复杂、工作条件特殊又难以进行理论计算的重要零件，如大型水轮机、大型轧钢机的关键零件等，可采用模型实验设计的方法。即把初步设计的零部件或机器，做成小模型或小样机，进行考核实验，根据实验结果对设计进行逐步的修改，使其符合实际要求。这样的设计过程称为模型实验设计。对于大量生产的机器（如汽车），则常用实物进行实验。

此外，还可用计算机辅助设计、优化设计和可靠性设计等方法，进行机械零件的设计。

二、机械零件设计的一般步骤

（1）根据机器的总体设计方案，分析零件所起的作用；根据零件的使用要求，选择零件的类型。

（2）根据机器的工作要求，进行零件的工作情况分析。确定作用在零件上的载荷和应力性质，并计算载荷和应力的数值。再根据应力种类和性质，分析零件可能出现的失效。

（3）根据零件的工作条件及对零件的特殊要求（例如高温、在腐蚀性介质中工作等），

选择适当的材料及热处理方法。

(4) 根据零件的主要失效形式确定计算准则, 根据计算准则导出的公式进行计算, 确定出零件的基本尺寸。

(5) 根据零件的工艺性及标准化原则, 圆整计算所得尺寸, 并进行零件的结构设计。

(6) 设计完成后, 必要时要进行详细的校核计算, 以判定结构的合理性, 最后画出零件工作图, 并写出计算说明书。

由上述步骤可知, 在机械零件设计过程中, 要涉及失效分析、载荷和应力分析、材料选择、设计计算、工艺性、标准化等问题, 后面将分别讨论。

第二节 机械零件的失效形式和设计准则

一、机械零件的主要失效形式

机械零件由于某些原因不能正常工作时, 称为失效, 其主要形式如下。

(一) 断裂

断裂可分为韧性断裂、脆性断裂和疲劳断裂等多种形式。当零件在载荷作用下, 由于某一危险剖面上的应力超过零件的强度极限时, 将发生前两种断裂; 当零件在循环变应力作用下, 工作时间较长, 危险剖面上最易发生疲劳断裂, 它是大多数机械零件的失效形式。

(二) 过量变形

机械零件受载工作时, 必然会产生弹性变形。当弹性变形量在允许范围内时, 对机器工作影响不大。但过量的弹性变形, 会使零件或机器不能正常工作, 有时还会造成较大的振动, 致使零件损坏。

当零件过载时, 塑性材料还会发生塑性变形, 从而造成零件的尺寸和形状的改变, 破坏零件之间的相互位置和配合关系, 使零件或机器不能正常工作。

(三) 表面失效

绝大多数零件之间都有动的或静的接触和配合关系。载荷作用于表面, 摩擦和磨损发生在表面, 环境介质包围着表面, 因此失效大都会出现在零件表面。

表面失效有: 表面疲劳、磨损、腐蚀、胶合、塑性变形和压溃等。零件表面破坏大多由表面疲劳、磨损和腐蚀而造成。

表面失效后通常都会增大摩擦, 增加能量消耗, 破坏零件的工作表面, 最终造成零件的报废。零件的使用寿命在很大程度上决定于表面失效。

此外, 有些零件只有在一定的工作条件下才能正常工作, 破坏正常工作条件便引起失效。例如带传动只有在传递的有效圆周力小于临界摩擦力时才能正常工作, 否则将发生打滑而失效。

影响零件失效的因素甚多, 零件到底会发生哪种失效形式, 必须根据实际情况进行分析。如果一个零件有多种失效形式, 则应分别考虑, 然后选定能同时保证各种失效方式都不会发生的方案进行设计。

二、机械零件的设计准则

根据零件的失效分析结果, 以防止产生各种可能的失效为目的, 制定的计算该零件工作能力所应依据的基本原则, 称为设计准则, 又称工作能力准则。机械零件常用的设计准则如

下。

(一) 强度准则

强度是指零件在载荷作用下，抵抗断裂、塑性变形及表面破坏的能力。强度准则为零件中的应力 σ 不超过所允许的限度，即许用应力 $[\sigma]$ ，其表达式为：

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (2-1)$$

强度条件的另一种表达式是使零件工作时的实际安全系数 S ，不小于零件的许用安全系数 $[S]$ ，即

$$S \geq [S] \quad (2-2)$$

提高零件强度的措施有：1) 增大零件危险剖面的尺寸，合理设计剖面形状；2) 采用力学性能较高的材料，对材料进行提高强度及降低内应力的热处理，控制加工工艺以减小或消除微观缺陷等；3) 力求降低零件上的载荷；4) 妥善设计零件的结构以降低应力集中程度等。

必须强调指出，强度虽然是零件首先应满足的基本要求，但也不能过多地超过需要，否则会使尺寸过大，提高成本而造成浪费。

(二) 刚度准则

刚度是零件受载时抵抗弹性变形的能力。刚度准则为零件在载荷作用下产生的弹性变形量 γ ，小于或等于机器工作所允许的极限值，即许用变形量 $[\gamma]$ ，其表达式为：

$$\gamma \leq [\gamma] \quad (2-3)$$

弹性变形量可按各种求变形量的理论或实验方法确定，而许用变形量则应随不同的使用场合，按理论或经验来确定其合理的数值。

顺便指出，各类钢材的弹性模量相差很小，所以用高强度钢代替低强度钢的办法来提高刚度其效果甚微。提高刚度的有效措施是改变零件剖面尺寸和形状、缩短支承点间距、合理添置加强肋等。

应该明确，某些零件反而要求有一定的弹性变形能力，如弹簧、仪表中的弹性件等。

(三) 寿命和可靠性准则

寿命准则就是要求零件在预定的工作期间，能保持正常工作而不致报废。由失效分析可知，影响零件寿命的主要因素是磨损、疲劳和腐蚀。

耐磨性是指零件在载荷作用下抵抗磨损的能力。为了保证零件具有良好的耐磨性，应运用摩擦学原理设计零件的结构、选定摩擦副的材料和热处理、表面状态和油品等。同时，要给予合理而充分的润滑，以延长零件的使用寿命。但目前尚无完善的理论计算方法。

迄今为止，还没有提出关于腐蚀寿命的计算方法，因而无法列出其计算准则。关于疲劳寿命，通常是以求出使用寿命时的疲劳极限来作为计算依据的。

可靠性准则前面已讨论，这里不再进一步深入研究。

(四) 振动稳定性准则

零件发生周期性变形的现象称为振动。振幅和周期是描述振动现象的两个主要参数。一般情况下，机器中存在着很多周期性变化的激振源，而零件的振幅与其尺寸相比是很小的，不会造成大的危害。但是，当零件本身的固有频率与激振源频率相同或成整数倍时，则这些零件就会产生共振。此时振幅将急剧增大，破坏正常工作，这种现象称为“失去振动稳定性”。振动稳定性准则，就是要求在设计时使机器中受激振作用的各零件的固有频率 f 与激

振源频率 f 错开, 一般要求

$$0.85f > f_p \text{ 或 } 1.15f < f_p \quad (2-4)$$

如果不能满足上述条件, 可用改变零件及系统的刚性, 改变支承位置, 增加或减少辅助支承等办法来改变 f 值。另外, 要采取防振和减振措施。

(五) 工艺性准则

零件的工艺性就是在给定的工艺条件 and 生产条件下, 能够方便而经济地生产出来, 并便于进行装配。这就要从生产批量、材料选用、毛坯制造、加工及装配过程。使用要求等各方面加以综合考虑, 合理设计零件的结构。

(六) 经济性准则

零件的经济性, 就是要用最低的成本和最少的工时, 制造出满足技术要求的零件。它与零件的工艺性和标准化等有着密切的关系, 并在很大程度上影响其经济性。

要降低成本, 首先要力求降低材料消耗, 如采用轻型的零件结构和少余量或无余量的毛坯; 以廉价材料代替昂贵材料, 只在零件的关键部位使用优质贵重的材料; 尽量采用标准件等。另外, 零件应有良好的结构工艺性。

此外, 随着零件的容许空间、质量限制、需要程度、工作情况的不同, 还会提出各种不同的要求, 设计者应视具体情况, 予以区别对待。

最后指出, 对每种类型的零件, 并不是都得按上述准则计算其各种工作能力, 而应根据具体情况, 选定一项主要准则进行设计, 必要时再按其他准则进行校核计算。

第三节 机械零件所受的载荷和应力

一、机械零件所受的载荷

机械零件所受的载荷包括力 F 、转矩 T 、弯矩 M 和功率 P 等, 它们是设计零件进行强度计算的依据。因此, 必须对载荷进行全面的分析。

(一) 静载荷和变载荷

作用在机械零件上的载荷, 按照随时间变化的情况, 可分为静载荷和变载荷两大类。不随时间变化或变化极缓慢的载荷, 称为静载荷。如锅炉压力、匀速转动的离心力等。随时间作周期性或非周期性变化的载荷, 称为变载荷。前者如空气压缩机曲轴所受的载荷, 后者如汽车发动机曲轴所受的载荷。大多数机械零件都是在变载荷作用下工作的。

作用时间很短的载荷称为动载荷, 如冲击载荷, 起动、制动时的惯性载荷等。动载荷也属于变载荷。

(二) 工作载荷、名义载荷和计算载荷

在设计时, 常把载荷分为工作载荷、名义载荷(又称额定载荷)和计算载荷。机械正常工作时所受的实际载荷, 称为工作载荷。按照原动机的额定功率, 用力学公式计算求出的载荷称为名义载荷, 在相应的符号下加脚标 n 来表示, 如 F_n 、 M_n 、 T_n 等。若原动机的额定功率为 P , 单位为kW; 额定转速为 n , 单位为r/min, 则传动零件上的额定转矩为:

$$T_n = 9.55 \times 10^5 \frac{P}{n} \eta_i \quad (2-5)$$

式中 η ——由原动机到计算零件之间的传动效率;

i ——传动比, $i = n_1/n_2$, n_1 为主动件的转速, n_2 为从动件的转速。

名义载荷没有反映载荷随时间作用的不均匀性和分布的不均匀性, 以及其他影响零件受力的种种因素, 如起动和制动时的过载。因此, 常用载荷系数 K 来考虑这些因素的综合作用。载荷系数 K 与名义载荷的乘积称为计算载荷, 在相应的符号下加脚标 ca 表示, 如 F_{ca} 、 M_{ca} 、 T_{ca} 等。

$$F_{ca} = KF_n \quad (2-6)$$

二、机械零件的应力

应力的分类方法较多, 这里只研究应力随时间变化情况的分类和应力在零件上的分布情况的分类。

(一) 静应力和变应力

按应力随时间变化的特性不同, 可分为静应力和变应力。不随时间变化或变化缓慢的应力, 称为静应力(图2-1a), 随时间变化的应力称为变应力(图2-1b、c、d)。绝大多数机械零件都是在变应力状态下工作的。

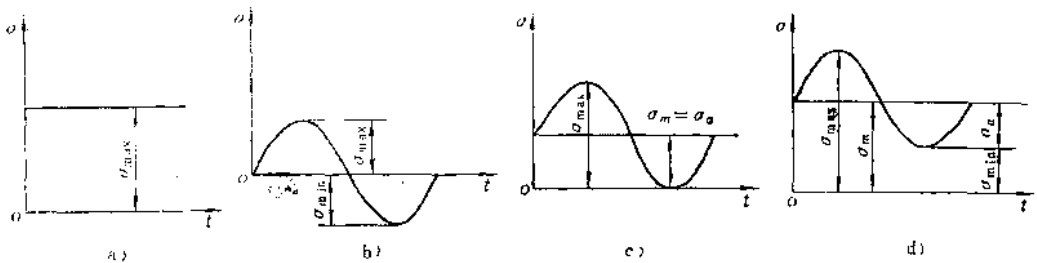


图2-1 几种典型的稳定变应力谱

a) 静应力 b) 对称循环变应力 c) 脉动循环变应力 d) 非对称循环变应力

变应力又可分为: 稳定循环变应力、不稳定循环变应力和随机应力。稳定循环变应力的类型是多种多样, 但可归纳为: 对称循环变应力、脉动循环变应力和非对称循环变应力三种基本类型, 分别见图2-1b、c、d。图中 σ_{min} 为最小应力, σ_{max} 为最大应力, σ_m 为平均应力, σ_a 为应力幅, 它们之间的关系为:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (2-7a)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (2-7b)$$

或

$$\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a \quad (2-8a)$$

$$\sigma_{min} = \sigma_m - \sigma_a \quad (2-8b)$$

并令

$$r = \sigma_{min} / \sigma_{max} \quad (2-9a)$$

或

$$r = \frac{\sigma_m - \sigma_a}{\sigma_m + \sigma_a} \quad (2-9b)$$

r 为变应力循环特性, 或称变应力不对称系数, 表示应力变化的性质, 其值的变化范围为 $-1 \leq r \leq 1$ 。当 $r = +1$ 时, 表明 $\sigma_{max} = \sigma_{min}$, 即为静应力; 当 $r = 0$ 时, 即 $\sigma_{min} = 0$, $\sigma_m = \sigma_a = \sigma_{max} / 2$, 这类应力称为脉动循环变应力; 当 $r = -1$ 时, 表明 σ_{max} 与 σ_{min} 的数值相等, 但符号(即方向)相反, 这类应力称为对称循环变应力; 当 r 为其他值时, 均可称为非对

称循环变应力。

静应力只能在静载荷作用下产生,但变应力既可能由变载荷产生,又可能由静载荷产生。在静载荷作用下产生变应力的例子见图2-2,图中转轴和滚动轴承外圈*a*点的应力均为循环变应力。

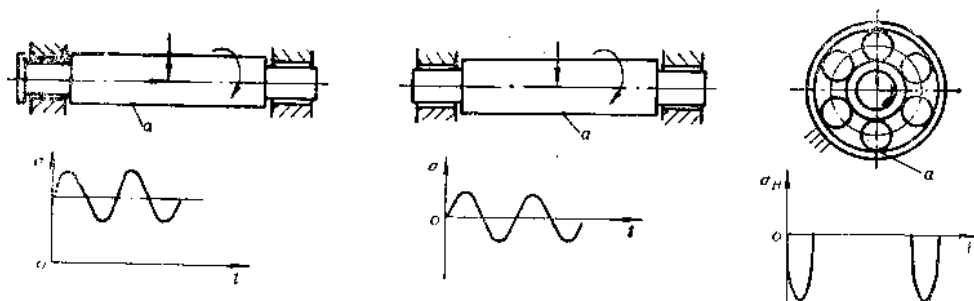


图2-2 在静载荷作用下产生变应力的举例

零件的失效形式与材料的极限应力,均与零件工作时的应力类型有关。所以在进行强度计算时,首先要弄清楚零件所受应力的类型。

(二) 体积应力和表面应力

按应力在零件上的分布情况的不同,可分为体积应力和表面应力。

1. 体积应力 应力沿受力截面分布的,均称体积应力,如材料力学中研究过的拉伸应力、压缩应力、切应力、扭转应力和弯曲应力等,均为体积应力。在进行零件计算时,一般将拉伸、压缩、切应力,看成沿受力剖面均匀分布;扭转应力和弯曲应力,看成沿受力剖面非均匀分布,其表层最大。

2. 表面应力 表面应力有两种,即挤压应力和接触应力。面接触的零件,在外载荷作用下,接触表面互相挤压而产生挤压应力,用 σ_c 表示。当具有一定曲面的两零件在载荷作用下互相接触时,理论上载荷是通过点或线接触传递的。实际上,受载后在接触部分产生局部的弹性变形,并变成微小面接触,在表层产生很大的局部应力,称为接触应力。

第四节 机械零件的体积强度

一、机械零件的静强度

在静应力下工作的机械零件,其主要失效形式是断裂或塑性变形。因此,在机械零件设计中,最基本的计算是静强度计算。对于不太重要的零件,为了简化,只作静强度计算。但在计算中要考虑变应力的影响,而采用较大的安全系数或较低的许用应力。

(一) 机械零件的静强度条件

如果零件只承受单向静应力,危险剖面上的最大应力 σ 即为计算应力 σ_{ca} ,则静强度条件为:

$$\sigma \leq [\sigma] = \sigma_{lim} / [S_\sigma] \quad \tau \leq [\tau] = \tau_{lim} / [S_\tau] \quad (2-10)$$

$$\text{或} \quad S_\sigma = \sigma_{lim} / \sigma \geq [S_\sigma] \quad S_\tau = \tau_{lim} / \tau \geq [S_\tau] \quad (2-11)$$

式中 σ 、 τ ——零件危险剖面上的最大工作应力,单位为MPa,