

高等学校教材

机械零件

(1982年修订本)

西北工业大学机械原理及机械零件教研室 编
濮良贵 主编

高等教育出版社

高等学校教材

机械零件

(1982年修订本)

西北工业大学机械原理及机械零件教研室 编

濮良贵 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

高等教育出版社

本书是在西北工业大学机械原理及机械零件教研组编、濮良贵主编《机械零件》(1962年修订本)的基础上,根据1980年5月审订的高等工业学校机械类专业适用的《机械零件教学大纲(草案)》修订而成的。

全书分为五篇,共十八章,另有附录。第一篇总论;第二篇联接;第三篇机械传动;第四篇轴系零、部件;第五篇其他零、部件。

本书主要用作高等工业学校机械类专业的教材,也可供其他有关专业的师生和工程技术人员参考。

本书经教育部高等学校工科机械基础教材编审委员会机械零件教材编审小组委托华中工学院余俊同志和大连工学院胡西樵同志先后审阅,同意作为高等学校教材出版。

高等学校教材

机械零件

(1982年修订本)

西北工业大学机械原理及机械零件教研室编

濮良贵 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷二厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 26 字数 596,000

1960年8月第1版 1982年12月第4版 1988年3月第6次印刷

印数 167 631—407 630

ISBN 7-04-001532-5/TH·93

定价 3.95 元

序

本书是在1962年修订本的基础上,根据1980年5月审订的高等工业学校机械类专业适用的《机械零件教学大纲(草案)》修订而成的。在修订中,贯彻了教育部《关于编审高等学校理工科基础课和技术基础课教材的几项原则》中的有关规定,本着“打好基础,精选内容,逐步更新,利于教学”的精神,突出本门课程所必需的基本理论、基本知识和基本技能,力求使之符合教学要求,以利于大多数师生能在规定的课内外学时内教好学好。

随着机械零件教学大纲、有关标准、规范和设计计算方法等方面的变化,这次修订,在内容上已作了适当更新与精简,在分量上则作了大幅度删节。

此外,还须说明以下几点:

1. 本教材采用的设计计算方法,是从技术基础课本身的性质出发,使学生通过一种基本的方法去掌握设计计算的基本理论和技能,因而不可能与各类专业设计中使用的方法和数据完全符合。故在进行具体专业设备的设计时,应分析情况,区别对待。

2. 本教材所引用的有关标准、规范、数据、资料等,以择取与阐明问题密切有关的内容为原则。在实际设计时,应以现行标准、规范为准,详细的数据及综合性设计资料等可另查阅有关手册。

3. 本教材所用的符号(包括已按惯例采用的国际上通用的符号),各章自成体系。同一符号在不同的章里代表不同的意义时,均已作了相应的说明。

参加本书编写工作的有王步瀛、汤嘉吉、陈文蔚、任宏达、李东紫、沈允文、纪名刚、周延海、张富洲、张永才和濮良贵等同志,并由濮良贵同志担任主编。

本书经教育部高等学校工科机械基础教材编审委员会机械零件教材编审小组委托华中工学院余俊同志和大连工学院胡西樵同志先后审阅全稿,提出了很多宝贵的意见和建议,对提高本书质量给了很大的帮助,编者在此致以衷心的感谢!

最后,编者殷切期望广大读者对书中误漏之处,随时予以批评指正。

编 者

1982年9月于西安

目 录

序

第一篇 总 论

第一章 绪论1	
§ 1-1 机器对发展国民经济 和实现四个现代化的作用.....1	
§ 1-2 机器的组成.....1	
§ 1-3 机械设计的主要内容.....2	
§ 1-4 本课程的内容、性质与任务.....3	
第二章 机械零件设计概述4	
§ 2-1 机器应满足的要求.....4	
§ 2-2 机械零件的主要失效形式.....5	
§ 2-3 设计机械零件时应满足的基本要求.....6	
§ 2-4 机械零件的计算准则.....9	
§ 2-5 机械零件的设计方法.....12	
§ 2-6 机械零件设计的一般步骤.....13	
§ 2-7 机械零件的材料及其选用原则.....14	

§ 2-8 机械零件设计中的标准化.....13	
第三章 机械零件的强度20	
§ 3-1 强度计算中的基本定义.....20	
§ 3-2 安全系数与许用应力.....21	
§ 3-3 静应力时机械零件的强度计算.....23	
§ 3-4 变应力时机械零件的强度计算.....25	
§ 3-5 机械零件的接触强度.....35	
本章附录.....36	
习题.....42	
第四章 摩擦、磨损及润滑概述43	
§ 4-1 摩擦.....43	
§ 4-2 磨损.....48	
§ 4-3 润滑.....50	

第二篇 联 接

第五章 螺纹联接和螺旋传动61	
§ 5-1 螺纹.....61	
§ 5-2 螺纹联接的类型和标准联接件.....64	
§ 5-3 螺纹联接的预紧.....67	
§ 5-4 螺纹联接的防松.....69	
§ 5-5 螺栓组联接的设计.....71	
§ 5-6 单个螺栓联接的强度计算.....80	
§ 5-7 提高螺栓联接强度的措施.....88	
§ 5-8 螺旋传动.....95	
习题.....104	
第六章 键、花键、无键联接和销联接106	
§ 6-1 键联接.....106	

§ 6-2 花键联接.....110	
§ 6-3 无键联接.....114	
§ 6-4 销联接.....115	
习题.....117	
第七章 铆接、焊接、胶接 和过盈配合联接119	
§ 7-1 铆接.....119	
§ 7-2 焊接.....122	
§ 7-3 胶接.....128	
§ 7-4 过盈配合联接.....131	
习题.....138	

第三篇 机 械 传 动

第八章 带传动145	
§ 8-1 带传动的类型.....145	

§ 8-2 带传动工作情况的分析.....148	
§ 8-3 三角胶带传动的设计计算.....152	

§ 8-4 三角带带轮设计	159
§ 8-5 三角带传动的张紧装置	161
§ 8-6 其他带传动简介	162
习题	164
第九章 链传动	165
§ 9-1 链传动的特点及应用	165
§ 9-2 传动链的结构特点	165
§ 9-3 链传动的运动特性	168
§ 9-4 链传动的失效形式及功率曲线图	171
§ 9-5 套筒滚子链传动的设计计算 及主要参数的选择	173
§ 9-6 套筒滚子链链轮的结构和材料	177
§ 9-7 链传动的布置、张紧和润滑	179
习题	183
第十章 齿轮传动	184
§ 10-1 概述	184
§ 10-2 齿轮传动的失效形式及设计准则	184
§ 10-3 齿轮的材料	188
§ 10-4 齿轮传动的计算载荷	190
§ 10-5 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	194

§ 10-6 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	199
§ 10-7 标准圆锥齿轮传动的强度计算	204
§ 10-8 变位齿轮传动强度计算概述	208
§ 10-9 齿轮传动的设计参数与许用应力	209
§ 10-10 齿轮传动的精度、 强度计算说明及公式表	214
§ 10-11 齿轮的结构设计	217
§ 10-12 齿轮传动的润滑	221
§ 10-13 圆弧齿圆柱齿轮传动简介	223
习题	227
第十一章 蜗杆传动	228
§ 11-1 蜗杆传动的类型、特点及应用	228
§ 11-2 普通圆柱蜗杆传动的 主要参数及几何尺寸计算	230
§ 11-3 普通圆柱蜗杆传动承载能力的计算	236
§ 11-4 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	241
§ 11-5 普通圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计	246
§ 11-6 普通圆柱蜗杆传动的 精度等级及其选择	247
习题	249

第四篇 轴系零、部件

第十二章 滑动轴承	250
§ 12-1 概述	250
§ 12-2 滑动轴承的典型结构	251
§ 12-3 轴瓦的材料和结构	254
§ 12-4 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	260
§ 12-5 流体动力润滑理论的基本概念 和动压轴承的工作原理	262
§ 12-6 液体摩擦动压向心滑动轴承的设计	267
§ 12-7 滑动轴承润滑剂的选择	276
§ 12-8 静压轴承简介	278
§ 12-9 气体润滑轴承简介	280
习题	281
第十三章 滚动轴承	282
§ 13-1 概述	282
§ 13-2 滚动轴承的主要类型及其代号	283
§ 13-3 滚动轴承的工作情况	287
§ 13-4 滚动轴承类型的选择	291
§ 13-5 滚动轴承尺寸的选择	293

§ 13-6 轴承组合的设计	303
§ 13-7 其他	313
习题	318
第十四章 联轴器和离合器	319
§ 14-1 概述	319
§ 14-2 联轴器	320
§ 14-3 离合器	326
§ 14-4 安全联轴器及安全离合器	330
§ 14-5 特殊功用及特殊构造 的联轴器及离合器	332
习题	335
第十五章 轴	336
§ 15-1 轴的分类及用途	336
§ 15-2 轴的材料	337
§ 15-3 轴的结构设计	338
§ 15-4 轴的计算	343
§ 15-5 钢丝软轴筒介	350
习题	356

第五编 其他零、部件

第十六章 弹簧358	第十七章 机座及箱体381
§ 16-1 弹簧的功用和类型.....358	§ 17-1 概述.....381
§ 16-2 圆柱形螺旋弹簧的 结构、制造、材料及许用应力.....359	§ 17-2 机座及箱体的剖面形状及肋板布置.....382
§ 16-3 圆柱形压缩(拉伸) 螺旋弹簧的设计计算.....364	§ 17-3 机座及箱体设计概要.....384
§ 16-4 圆柱形扭转螺旋弹簧的设计计算.....374	第十八章 减速器
§ 16-5 其他类型弹簧简介.....378	§ 18-1 常用减速器的主要类型、特点和应用...386
习题.....380	§ 18-2 减速器的主要参数 和传动比的分配原则.....389
	§ 18-3 减速器的结构和润滑.....392

附 录

附录 I 机器常用的润滑、 密封方法及装置395	§ I-2 机器常用的密封方法及装置.....401
§ I-1 机器常用的润滑方法及装置.....395	附录 II 常用单位换算表406
	参考书刊407

第一篇 总 论

本篇所列均为有关本课程的带有普遍性的内容,包括第一章至第四章,分别讲述“绪论”、“机械零件设计概述”、“机械零件的强度”和“摩擦、磨损及润滑概述”等。

第一章 绪 论

§ 1-1 机器对发展国民经济和实现四个现代化的作用

机器的主要优点是:既能承担人力所不能或不便进行的工作,又能较人工生产改进产品质量,特别是能够大大提高劳动生产率和改善劳动条件。此外,只有使用机器,才能集中进行大量生产,并对生产进行严格的分工与科学的管理;也只有使用机器,才便于实现产品的标准化、系列化和通用化,尤其是便于实现高度的机械化、电气化和自动化。因此,机械工业能够起到为国民经济各部门提供技术装备和促进技术改造的重要作用。通过大量设计制造和广泛使用各种各样先进的机器,就能促进国民经济的高度发展,从而为实现四个现代化提供重要的保证。

§ 1-2 机器的组成

当注意观察常见的一些机器(例如牛头刨床、起重机、汽车、拖拉机等)时,就会发现:它们都装有一个(或几个)用来接受外界输入能源的原动机(如电动机、内燃机等),并通过机器中的一系列传动,把原动机的动作转变为机器工作部分完成机器功能的动作(如牛头刨床上刨刀的往复动作,起重机吊钩的升降动作等),用以克服工作阻力,输出机械功。所以一台完整的机器,总是由原动部分、传动部分和执行部分所组成的。

当然,一台现代化的机器中,常会包含着机械、电气、液压、气动、润滑、冷却、控制、监测等等系统中的部分或全部,但是机器的主体,仍然是它的机械系统。无论分解哪一台机器,它的机械系统总是由一些机构组成;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。

概括地说,机械零件可分为两大类:一类是在各种机器中经常都能用到的零件,叫做通用零件,如螺钉、齿轮、链轮等;另一类则是在特定类型的机器中才能用到的零件,叫做专用零件,如涡轮机的叶片、飞机的螺旋桨、往复式活塞内燃机的曲轴等。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合体叫做部件,如减速器、离合器等。

应该明确,对于一台机器这个总体来说,一切零件都是它的局部,它们必须受到全局的制约。

因而它们在机器中,或按确定的位置相互联接,或按给定的规律作相对运动,共同为完成机器的功能而发挥各自的作用。所以任何机器的性能,都是建立在它的主要零件的性能或某些关键零件的综合性能的基础之上的。由此可知,要想设计出一台很好的机器,必须很好地设计或选择它的零件;而每个零件的设计或选择,又是和整台机器的要求分不开的。所以本书下面虽将分章讨论各个通用零件的设计原理或选择方法,但是它们决不是孤立的、零散的。而且必须牢记,如果不从机器这个全局出发,任何一个零件都是不可能正确地设计或选择出来的。

§ 1-3 机械设计的主要内容

当明确了一台机器的设计目的和要求,掌握了一定的有关资料后,设计工作的主要内容即为:

1. 机器工作原理的选择

机器的工作原理是它实现预期功能的基本依据。反映在生产方法上,例如:设计生产螺钉的机器时,可以用车床将相应的毛坯车制成螺钉,也可以用螺纹滚床将相应的毛坯滚压成螺钉;设计齿轮机床时,可以选用成形法来加工齿轮,也可以选用范成法来加工齿轮。所以实现同样的预期功能,可以有多种不同的工作原理。显然,工作原理不同,据以设计出的机器也必然不同。机器的工作原理是随着生产和科学技术的发展而不断发展的。不断探讨与创造更先进的工作原理是技术革新和技术革命的一项重要任务。研制新的机器时,应根据具体情况,刻苦钻研多种不同的工作原理,经过全面分析对比后,选择其中的最优方案。工作原理的选择属于专业机械设计的范围,这里就不详细论述了。

2. 机器的运动设计

选定工作原理后,即可根据工作原理的要求,确定机器执行部分所需的运动及动力条件,然后再结合预定选用的原动机类型及性能参数,进行机器的运动设计。即妥善选择与设计机器的机构组合(传动部分),把原动机的运动转变为执行部分预期的机械运动,并考虑在某些性能参数范围内灵活调整的必要性、可能性与可靠性(这些内容已在机械原理课程里学过了)。

3. 机器的动力设计

初定了传动部分和执行部分后,即可根据机器的运转特性、执行部分的工作阻力、工作速度和传动部分的总效率等,算出机器所需的驱动功率,并结合机器的具体工作情况,选定一台(或按各个传动系统的需要分别选定几台)合用的原动机进行驱动(这些内容将在本课程的作业和课程设计中进行学习)。

4. 零、部件工作能力设计

对于一般的机器,在选定了原动机后,即可根据功率、运转特性和各个零、部件的具体工作情况,计算出任一零、部件上的载荷。于是进而从机器的总体出发,考虑各个零、部件所需的工作能力(强度、刚度、寿命等)、体积、重量及技术经济性等一系列问题,设计或选择出各个零、部件(这些内容是本课程的核心部分,将在以后针对具体的零、部件分章进行讨论)。

此外,还应指出,在任何机器的设计过程中,都包含着许多矛盾(例如:强度、刚度大与体积

小、重量轻的矛盾;加工精度高与制造成本低等的矛盾等)。因而机器设计的过程,就是分析矛盾与处理矛盾的过程,只有捉住并正确解决主要矛盾,同时权衡轻重,恰如其分地处理好各种次要矛盾,才能设计出高质量的机器来。

§ 1-4 本课程的内容、性质与任务

本课程的主要内容,是讨论一般尺寸和参数的通用零件(巨型、微型及在高速、高压、高温、低温条件下工作的通用零件不在此列),包括它们的设计理论和方法,也概括地论述设计这些零件时所必须了解的有关整台机器设计方面的基本知识。

本书讨论的具体内容是:

- 1) 总论部分——设计机器及零件的基本原则,设计计算理论,材料选择,结构要求,以及摩擦、磨损、润滑等方面的基本知识;
- 2) 联接部分——螺纹联接,键、花键及无键联接,销钉联接,铆接,焊接,胶接与过盈配合联接等;
- 3) 传动部分——带传动,链传动,齿轮传动,蜗杆传动以及螺旋传动等;
- 4) 轴系部分——滑动轴承,滚动轴承,联轴器与离合器以及轴等;
- 5) 其他部分——弹簧,机架与箱体,减速器以及润滑剂与密封件等。

由上可知,本课程的性质是以一般通用零件的设计为核心的设计性课程,而且是论述它们的基本设计理论与方法的技术基础课程。

本课程的任务主要是:培养学生初步树立正确的设计思想;掌握一般通用零件的工作原理、特点、选用及设计理论与计算方法;初步了解整台机器的设计原则和主要内容,从而具有设计机械传动部件和较为简单的机械的能力,以及相应的分析问题与解决问题的能力。同时,综合运用在先修技术基础课程中所学的有关知识与技能,结合设计实践进行机械工程技术必要的的基本锻炼,为顺利地过渡到学习有关专业课程及进行专业产品和设备的设计,打下初步的基础。

当前国民经济的各个部门,正对机械产品和技术装备提出日益增长的需求。同时,新材料、新工艺、新技术、新结构也不断涌现。现代机械设计发展的动向主要是:迅速提高机器的生产率和自动化程度;积极更新设计方法,如采用最优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计(CAD)^①等;广泛应用新的理论与技术,如断裂力学、摩擦学、有限元素法、统计强度理论、冲击应力波扩散理论及数控、程控、高性能监测技术等。我们必须刻苦钻研,积极奋斗,树雄心,立壮志,攻难关,攀高峰,不断用先进的设计理论和生产技术,武装和发展我国的机械制造业,密切结合我国国情和具体条件,设计制造出大量切合实际需要、品种齐全、性能优良的机器,以适应我国四化建设的需要。

^① 即 computer aided design 的缩写。

第二章 机械零件设计概述

§ 2-1 机器应满足的要求

机械零件是组成机器的基本要素。因此,要研究机械零件的设计,就不能离开机器设计的总任务。为了更好地了解设计零件时应满足的要求,就有必要先从零件设计的角度出发,简略地讨论一下机器应满足的要求。一般地说,机器应满足下述一些要求:

(一) 具有预定功能的要求

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。为了使所设计的机器能够具有预定的功能,在设计阶段起重要作用的是机器工作原理的选择。这已在“绪论”中作了简要的说明。

(二) 经济性要求

机器的经济性是一个综合性的指标,它体现在设计、制造、使用的全过程中。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生产率,高效率,较少地耗费能源、原材料及辅助材料,以及低的管理和维护费用等。

(三) 安全性要求

在机器的设计阶段,就必须对机器的使用安全予以足够的重视。简单地讲,安全就是指使用机器的人的人身安全及机器工作时本身的安全。因此,各种各样的防护装置及措施(例如防护罩、安全联轴器、操作连锁闭合装置等),就成为机器必不可少的组成部分。

(四) 可靠性要求

关于可靠性的概念是在机器的组成日趋复杂的前提下发展起来的。可靠性用可靠度来衡量。机器的可靠度 R ,是指在规定的使用时间(寿命)内和预定的环境条件下,机器能够正常地完成其功能的概率。

一部机器或一个部件,都是由各种各样的零件所组成的一个系统。而系统的可靠度要取决于其组成部件或零件的可靠度。不论机器多么复杂,原则上讲,组成系统的各构件在系统中的相互关系总是表现为两种基本情况:

1. 构件串联

如图 2-1 所示即为构件串联。例如通常的减速机械传动装置即属此类。在此系统中,任意一个构件丧失了正常的工作能力(即所谓失效),都要引起整台机器失效。因此,如令 $R_A, R_B, \dots, R_N$ 分别表示构件 $A, B, \dots, N$ 各自无故障工作的概率,即构件的可靠度,显然只有这 N 个构件完全同时无故障地工作时,整个系统才能正常地工作。于是系统的可靠度 R_s 应为

$$R_S = R_A \cdot R_B \cdots R_N \quad (2-1)$$

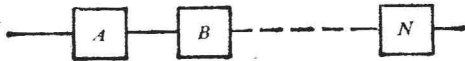


图 2-1 构件串联

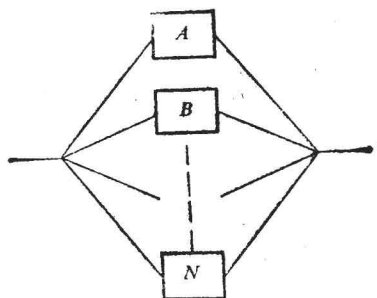


图 2-2 构件并联

2. 构件并联

如图 2-2 所示即为构件并联。例如车床变速机构就近似地属于此类。在此系统中，如构件 A 失效，则系统的功能可由构件 B 来执行。因此，只有在全部构件都失效时，整个系统才算失效。由概率论中已知，如令 $F_A, F_B \cdots F_N$ 分别表示各构件失效的概率，则整个系统失效的概率 F_S 为

$$F_S = F_A \cdot F_B \cdots F_N \quad (2-2)$$

但由于失效和不失效是两个对立事件，所以

$$R + F = 1 \quad (2-3)$$

于是
$$R_S = 1 - F_S = 1 - F_A \cdot F_B \cdots F_N = 1 - (1 - R_A)(1 - R_B) \cdots (1 - R_N) \quad (2-4)$$

由式(2-1)及(2-4)可以看出，不论在哪一种情况下，提高任一组成零件的可靠度 R_i 就可以提高系统的可靠度 R_S 。因此，对于零件设计来说，也就有了可靠性的要求。

(五) 其他要求

对不同的机器，还有一些为该机器所特有的要求。例如：对航空发动机，有在最小重量条件下得到最大推力(或输出功率)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。设计机器时，在满足前述共同的基本要求的前提下，还应着重地满足这些特殊要求，以提高机器的使用性能和保证机器的工作质量。

不言而喻，机器的各项要求的满足，是以组成机器的机械零件的正确设计和制造为前提的。亦即零件设计的好坏，将对机器使用性能的优劣起着决定性的作用。

§ 2-2 机械零件的主要失效形式

机械零件的失效形式主要有：

(一) 整体断裂

零件在受拉、压、弯、剪、扭等外载荷作用时，由于某一危险剖面上的应力超过零件的强度极限而发生的断裂，或者零件在受变应力作用时，危险剖面上发生的疲劳断裂均属此类。例如螺栓的断裂、齿轮轮齿根部的折断等。

(二) 过大的残余变形

如果作用于零件上的应力超过了材料的屈服极限，则零件将产生残余变形。机床上夹持定

位零件的过大的残余变形, 要降低加工精度; 高速转子轴的残余挠曲变形, 将增大不平衡度, 并进一步地引起零件的变形。

(三) 零件的表面破坏

零件的表面破坏主要是腐蚀、磨损和接触疲劳。腐蚀是发生在金属表面的一种电化学或化学侵蚀现象。腐蚀的结果是使金属表面产生锈蚀, 从而使零件表面发生破坏。与此同时, 对于承受变应力的零件, 还要引起腐蚀疲劳的现象。

磨损是两个接触表面在作相对运动的过程中发生物质丧失或转移的现象。有关磨损的问题可参看本书第四章。

零件表面的疲劳是受到接触变应力长期作用的表面产生裂纹或微粒剥落的现象。

腐蚀、磨损和疲劳都是随工作时间的延续而逐渐发生的失效形式。处于潮湿空气中或与水、汽及其他腐蚀性介质相接触的金属零件, 均有可能发生腐蚀现象; 所有作相对运动的零件接触表面都有可能发生磨损; 而在接触变应力条件下工作的零件表面也将有可能发生接触疲劳。

(四) 破坏正常工作条件引起的失效

有些零件只有在一定的工作条件下才能正常地工作。例如, 液体摩擦的滑动轴承, 只有在存在完整的润滑油膜时才能正常地工作; 带传动和摩擦轮传动, 只有在传递的有效圆周力小于临界摩擦力时才能正常地工作; 高速转动的零件, 只有其转速与转动件系统的共振频率避开一个适当的间隔时才能正常地工作等。如果破坏了这些必备的条件, 则将发生不同类型的失效。例如, 滑动轴承将发生过热、胶合、磨损等形式的失效; 带传动将发生打滑的失效; 高速转子将发生共振从而使振幅增大, 以致引起断裂的失效等。

零件到底经常发生哪种形式的失效, 这与很多因素有关, 并且在不同行业和不同的机器上也不尽相同。根据[5]①中对 1378 项失效所进行的分类结果来看, 由于腐蚀、磨损和各种疲劳破坏所引起的失效就占了 73.88%, 而由于断裂所引起的失效只占 4.79%。所以可以说, 腐蚀、磨损和疲劳是引起零件失效的主要原因。

§ 2-3 设计机械零件时应满足的基本要求

设计零件时应满足的要求是从设计机器的要求中提出来的。一般地讲, 可以大致列举以下一些基本要求:

(一) 避免在预定寿命期内失效的要求

1. 强度

零件在工作中发生断裂或不允许的残余变形统属于强度不足。上述失效形式, 除了用于安全装置中预定适时破坏的零件外, 对任何零件都是应当避免的。因此, 具有适当的强度是设计零件时必须满足的最基本要求。

有些大型零件, 例如机架、床身等, 虽然在工作时不会发生断裂, 但在运输过程中由于吊装、

① 本书用带有方括号的数字表示书末所附参考书刊的序号。

捆绑、固定等操作,也有可能使零件承受比工作载荷大得很多的载荷,因而引起断裂。此时,就应当优先考虑运输时的强度问题。

为了提高机械零件的强度,在设计时原则上可以采用以下的措施:采用强度高的材料;使零件具有足够的剖面尺寸;合理地设计零件的剖面形状,以增大剖面的惯性矩;采用热处理和化学热处理方法,以提高材料的机械强度特性;提高运动零件的制造精度,以降低工作时的动载荷;合理地配置机器中各零件的相互位置,以降低作用于零件上的载荷等。

2. 刚度

零件在工作时所产生的弹性变形不超过允许的程度,就叫做满足了刚度要求。显然,只有当弹性变形过大就要影响机器工作性能的零件(例如机床主轴、导轨等),才需要满足这项要求。对于这类零件,设计时除了要作强度计算外,还必需作刚度计算。

零件的刚度分为整体变形刚度和表面接触刚度两种。前者是指零件整体在载荷作用下发生的伸长、缩短、挠曲、扭转等弹性变形的程度;后者是指因两零件接触表面上的微观凸峰,在外载荷作用下发生变形所导致的两零件相对位置变化的程度。原则上说,为了提高零件的整体刚度,可采取增大零件剖面尺寸或增大剖面的惯性矩;缩短支承跨距或采用多支点结构,以减小挠曲变形等。为了提高接触刚度,可采取增大贴合面以降低单位压力;采用精加工以降低表面不平度等。

3. 寿命

有的零件在工作初期虽然能够满足各种要求,但在工作一定时间后,却可能由于某种(或某些)原因而失效。这个零件正常工作延续的时间就叫做零件的寿命。

影响零件寿命的主要因素有:材料的疲劳,材料的腐蚀以及相对运动零件接触表面的磨损等三个方面。

大部分机械零件均在变应力条件下工作,因而疲劳破坏是引起零件失效的主要原因。近代对零件进行精确的强度计算时,都要考虑到零件材料的疲劳问题。影响零件材料疲劳强度的主要因素是:应力集中,零件尺寸大小,零件表面质量及环境状况。在设计零件时,应努力从这几方面采取措施,以提高零件抵抗疲劳破坏的能力。

零件处于腐蚀性介质中工作时,就有可能使材料遭受腐蚀。对于这些零件,应选用耐腐蚀材料或采用各种防腐蚀的表面保护,例如发蓝、表面镀层、喷涂漆膜及表面阳极化处理等,以提高零件的耐腐蚀性能。

关于磨损及提高耐磨性等问题见第四章。

(二) 结构工艺性要求

零件具有良好的结构工艺性,是指在既定的生产条件下,能够方便而经济地生产出来,并便于装配成机器这一特性。所以,零件的结构工艺性应从毛坯制造、机械加工过程及装配等几个生产环节加以综合考虑。工艺性是和机器生产批量大小及具体的生产条件相关的。为了改善零件的工艺性,就应当熟悉当前的生产水平及条件。对零件的结构工艺性具有决定性影响的零件结构设计,在整个设计工作中占有很大的比重,因而必须予以足够的重视。

(三) 经济性要求

零件的经济性首先表现在零件本身的生产成本上。设计零件时, 应力求设计出耗费最少的零件。所谓耗费, 除了钱财的耗费以外, 还应当包括制造时间及人工的消耗。

要降低零件的成本, 首先要采用轻型的零件结构, 以降低材料消耗; 采用少余量或无余量的毛坯或简化零件结构, 以减少加工工时的耗费。这些对降低零件成本均有显著的作用。工艺性良好的结构就意味着加工及装配费用低, 所以工艺性对经济性有着直接的影响。

采用廉价而供应充足的材料以代替贵重材料; 对于大型零件采用组合结构以代替整体结构, 都可以在降低材料费用方面起到积极的作用。

另外, 尽可能采用标准化的零、部件以取代特殊加工的零、部件, 就可在经济性方面取得很大的效益。

(四) 重量要求

对绝大多数机械零件来说, 都应当力求减轻重量。减轻重量有两方面的好处: 一方面可以节约材料; 另一方面, 对于运动零件来说, 可以减小惯性, 改善机器的动力性能, 减小作用于构件上的惯性载荷。此外, 对于运输机械的零件, 由于减轻了自重, 就可以增加运载量, 从而提高了机器的经济效能。

为了达到零件重量小的目的, 可以从多方面采取设计措施。这些措施大致有: 采用缓冲装置来降低零件上所受的冲击载荷; 采用安全装置来限制作用在主要零件上的最大载荷; 从零件上应力较小处挖去部分材料, 以改善零件受力的均匀性, 从而提高材料的利用率; 采用与工作载荷相反方向的预载荷, 以降低零件上的工作载荷; 采用轻型薄壁的冲压件或焊接件来代替铸、锻零件, 以及采用强重比(即强度与单位体积的重量之比)高的材料等。

(五) 可靠性要求

零件可靠度的定义和机器可靠度的定义是相同的, 即在规定的使用时间(寿命)内和预定的

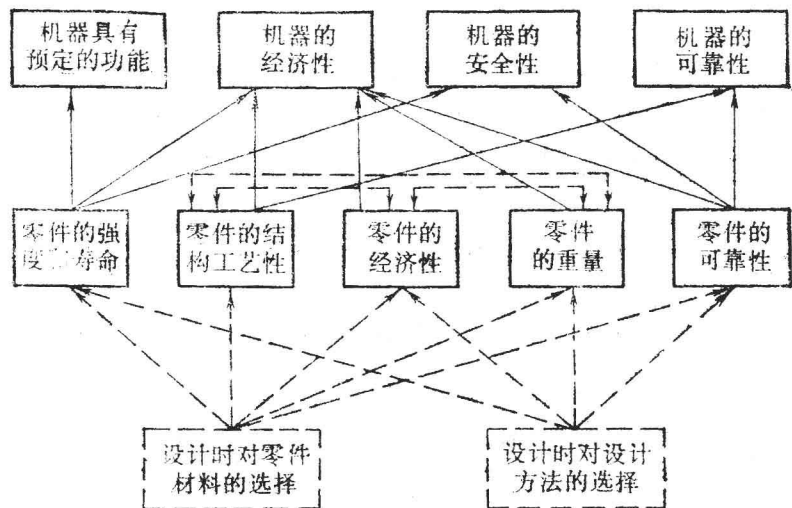


图 2-3 机器和零件设计要求的关系

环境条件下,零件能够正常地完成其功能的概率。对于绝大多数的机械来说,失效的发生都是随机性的。造成失效具有随机性的原因,在于那些衡量零件工作条件的数量指标的随机性。例如零件所受的载荷、环境温度等等不可能是永远恒定的,而是随机地变化的;零件本身的物理及机械性能也是随机地变化的。因此,为了提高零件的可靠性,就应当在工作条件和零件性能两个方面使其随机变化尽可能地小。此外,在使用中加强维护和对工作条件进行监测,也可以提高零件的可靠性。

设计时对零件的要求,是和设计机器时应满足的要求直接相关的,它们之间有着互相重叠的关系,原则上可以用图 2-3 给出的示意图来表示。图中的箭头只是表示出一些主要的相互关系。

§ 2-4 机械零件的计算准则

在设计时对零件进行计算所依据的准则,无疑地是与零件的失效形式紧密地连系在一起的。概括地讲,大约有以下一些准则:

(一) 强度准则

强度准则就是指零件中的应力不得超过允许的程度。例如:对一次断裂来讲,应力不超过材料的强度极限;对疲劳破坏来讲,应力不超过零件的疲劳极限;对残余变形来讲,应力不超过材料的屈服极限。这就叫做满足了强度要求,符合了强度计算的准则。其表达式为

$$\sigma \leq \sigma_{lim} \quad (2-5)$$

考虑到各种偶然性或难以精确分析的影响,式(2-5)右边要除以安全系数 n ,即

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{lim}}{n} \quad (2-6)$$

关于强度计算准则,由于它的重要性和应用广泛性,将在第三章中另作专门介绍。

(二) 刚度准则

零件在载荷作用下产生的弹性变形量 y (它广义地代表任何形式的弹性变形量), 小于或等于机器工作性能所允许的极限值 $[y]$ (即许用变形量), 就叫做满足了刚度要求, 或符合了刚度计算准则。其表达式为

$$y \leq [y] \quad (2-7)$$

弹性变形量 y 可按各种求变形量的理论或实验方法来确定,而许用变形量 $[y]$ 则应随不同的使用场合,根据理论或经验来确定其合理的数值。

(三) 寿命准则

由于影响寿命的主要因素——腐蚀、磨损和疲劳是三个不同范畴的问题,所以它们各自发展过程的规律也就完全不同。迄今为止,还没有提出关于腐蚀寿命的计算方法,因而也无法列出腐蚀的计算准则。关于磨损的计算方法,由于其类型众多,产生的机理还未完全搞清,影响因素也很复杂,所以尚无能够进行可靠的定量计算的方法,本书不拟讨论。关于疲劳寿命,通常是求出使用寿命时的疲劳极限来作为计算的依据。这在第三章中再作介绍。

(四) 振动稳定性准则

机器中存在着很多的周期性变化的激振源。例如：齿轮的啮合，滚动轴承中的振动，滑动轴承中的油膜振荡，弹性轴的偏心转动等。如果某一零件本身的固有频率与上述激振源的频率重合或成整倍数关系时，这些零件就会发生共振，以致使零件破坏或机器工作条件失常等。所谓振动稳定性，就是设计时要使机器中受激振作用的各零件的固有频率与激振源的频率错开。例如，令 f 代表零件的固有频率， f_p 代表激振源的频率，则通常应保证如下的条件：

$$0.85f > f_p$$

或
$$1.15f < f_p \quad (2-8)$$

如果不能满足上述条件，则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。

把激振源与零件隔离，使激振的周期性改变的能量不传递到零件上去；或者采用阻尼以减小受激振动零件的振幅，都会改善零件的振动稳定性。

(五) 可靠性准则

如有一大批某种零件，其件数为 N_0 ，在一定的工作条件下进行试验。如在 t 时间后仍有 N 件在正常地工作，则此零件在该工作环境条件下工作 t 时间的可靠度 R 可表示为

$$R = \frac{N}{N_0} \quad (2-9)$$

如试验时间不断延长，则 N 将不断地减小，故可靠度也将改变。这就是说，零件的可靠度本身是一个时间的函数。

如果在时间 t 到 $t+dt$ 的间隔中，又有 dN 件零件发生破坏，则在此 dt 时间间隔内破坏的比率 $f(t)$ 定义为

$$f(t) = \lambda = -\frac{dN/dt}{N} \quad (a)$$

式中 $f(t)$ 称为失效率，负号表示 dN 的增大将使 N 减小。

分离变量并积分，得

$$-\int_0^t \lambda dt = \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \ln \frac{N}{N_0} = \ln R \quad (b)$$

即

$$R = e^{-\int_0^t \lambda dt} \quad (2-10)$$

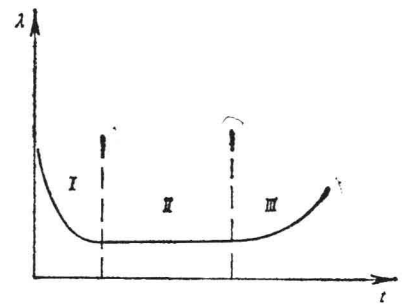


图 2-4 失效率曲线

零件或部件的失效率 $\lambda = f(t)$ 与时间 t 的关系如图 2-4 所示。这个曲线，常被形象化地称为浴盆曲线，一般是用试验的办法来获得的。该曲线分为三段：

第 I 段代表早期失效阶段。在这一阶段中，失效率由开始时很高的数值急剧地下降到某一稳定的数值。引起这一阶段失效率特别高的原因是零、部件中所存在的初始缺陷，例如零件上未被发现的加工裂纹，安装不正确，接触表面未经跑合等。

第 II 段代表正常使用阶段。在此阶段内如果发生失效，一般地总是由于偶然的原因而引起的，故其发生是随机性的，失效率也表现为一常数。