



高等学校“十二五”重点规划教材
机械工程系列丛书

机械设计

(第2版)

主编 杨恩霞 李立全



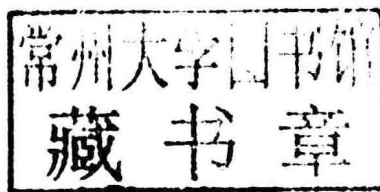
HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

高等学校“十二五”重点规划教材
机 械 工 程 系 列 丛 书

机 械 设 计

(第 2 版)

主 编 杨恩霞 李立全
副主编 应丽霞 刘贺平



哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是在第一版的基础上,根据“机械设计课程教学基本要求”进行全面修订的。全书除绪论外,共14章。第1章至第2章讲述机械设计的一些共性知识和理论以及摩擦学的基本理论,第3章至第4章讲述螺纹连接与螺旋传动、轴毂连接及销连接等常用连接件的特点及选用,第5章至第8章及第14章讲述带传动、链传动、齿轮传动及蜗杆传动等传动件的工作原理及设计与计算方法,第9章至第13章讲述轴、滚动轴承、滑动轴承、联轴器等轴系零部件及弹簧的工作原理、特点、选用及设计方法。

本书可作为高等工科院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。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/杨恩霞,李立全主编. —哈尔滨:哈尔滨
工程大学出版社,2012.7
ISBN 978-7-5661-0408-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 164867 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印刷有限公司
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 20.75
字 数 504 千字
版 次 2012 年 7 月第 2 版
印 次 2012 年 7 月第 1 次印刷
定 价 40.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

第二版序言

本版是根据国家教育委员会颁发的“机械设计课程教学基本要求”和新近颁发的有关国家标准,参考各高校近年来在“面向 21 世纪高等工程教育改革”中关于机械设计课程的讨论意见,并结合多年的教学实践进行修订的,它适用于机械类各专业。

编者在本书修订时注意贯彻高校教材改革的指导思想,遵循精选内容的原则。在教材体系方面,以培养学生综合素质和能力为主线,突出了实用性和设计性,并引入了整机设计的概念。即首先在绪论中就提出机器的组成,然后在各章中依次介绍组成机器的各种通用零件——从连接件、传动件直到轴系零部件。这样编写能更好地揭示零件与机器之间的内在联系,从而增强教材的系统性。

本版各章均采用最新颁布的国家标准,各章后面附有习题。

本版由杨恩霞和李立全担任主编,应丽霞和刘贺平担任副主编。参加编写的有杨恩霞(绪论、第 1 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 11 章、第 14 章)、李立全(第 3 章、第 4 章、第 8 章)、应丽霞(第 2 章、第 10 章)、刘贺平(第 9 章、第 12 章、第 13 章)。

在本版修订过程中,哈尔滨工程大学机电工程学院的许多师生都提出了极为宝贵的意见,出版社的编审人员为本书的出版投入了大量的心血,编者在此一并致以衷心的感谢!

由于编者学识水平有限,书中难免有疏漏之处,恳切希望广大读者批评指正。

编 者
2012 年 5 月

目 录

第0章 绪论	1
0.1 机械设计在经济建设中的作用	1
0.2 机械和机械设计	1
0.3 机械设计课程的性质、任务和内容	2
0.4 机械设计课程的特点和学习方法	3
第1章 机械设计概论	4
1.1 机械设计的基本要求和一般步骤	4
1.2 机械零件的载荷和应力	5
1.3 机械零件的失效形式和设计准则	7
1.4 机械零件的疲劳强度	9
1.5 机械零件的接触强度	15
1.6 机械零件的设计方法及步骤	16
1.7 机械零件材料的选用原则	17
1.8 机械设计中的标准化	18
1.9 机械设计技术的新发展	18
习题	19
第2章 摩擦学设计基础	20
2.1 概述	20
2.2 摩擦学基本理论	20
2.3 摩擦学研究的现状与发展趋势	26
习题	27
第3章 螺纹连接与螺旋传动	28
3.1 概述	28
3.2 螺纹	28
3.3 螺旋副的受力分析、效率和自锁	31
3.4 螺纹连接的类型和标准连接件	34
3.5 螺纹连接的预紧和防松	38
3.6 螺纹连接的强度计算	41
3.7 螺纹连接件的材料及许用应力	55
3.8 提高螺纹连接强度的措施	56
3.9 螺旋传动	64
习题	73
第4章 轴毂连接及销连接	76
4.1 键连接	76
4.2 花键连接	82

4.3	无键连接	84
4.4	过盈连接	87
4.5	销连接	87
	习题	89
第5章	带传动	91
5.1	概述	91
5.2	带传动的基本理论	96
5.3	普通 V 带传动的设计	99
	习题	109
第6章	链传动	110
6.1	概述	110
6.2	链传动的运动特性和受力分析	116
6.3	链传动的设计	118
	习题	126
第7章	齿轮传动	127
7.1	概述	127
7.2	齿轮传动的失效形式和设计准则	127
7.3	齿轮的材料和热处理	129
7.4	齿轮传动的计算载荷	133
7.5	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	136
7.6	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	141
7.7	圆柱齿轮传动的设计	144
7.8	直齿圆锥齿轮传动的强度计算	155
7.9	齿轮的结构设计	158
7.10	齿轮传动的润滑	162
	习题	163
第8章	蜗杆传动	165
8.1	概述	165
8.2	普通圆柱蜗杆传动的主要参数及几何尺寸计算	170
8.3	普通圆柱蜗杆传动承载能力计算	178
8.4	普通圆柱蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	185
8.5	圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计	190
	习题	193
第9章	轴	196
9.1	概述	196
9.2	轴的结构设计	200
9.3	轴的计算	205
	习题	216
第10章	滚动轴承	218
10.1	概述	218

10.2	滚动轴承的类型及其代号	219
10.3	滚动轴承的选择	225
10.4	滚动轴承的载荷分析、失效形式和设计准则	227
10.5	滚动轴承尺寸的选择	229
10.6	滚动轴承装置的设计	236
	习题	247
第 11 章	滑动轴承	249
11.1	概述	249
11.2	滑动轴承的结构形式	249
11.3	轴瓦的材料和结构	251
11.4	滑动轴承的润滑	254
11.5	非流体润滑滑动轴承的设计计算	257
11.6	流体动力润滑径向滑动轴承设计计算	258
11.7	其他滑动轴承简介	269
	习题	271
第 12 章	联轴器、离合器及制动器	272
12.1	概述	272
12.2	联轴器	272
12.3	离合器	278
12.4	制动器	284
	习题	286
第 13 章	弹簧	288
13.1	概述	288
13.2	弹簧的材料及制造	289
13.3	圆柱形压缩(拉伸)螺旋弹簧的设计计算	292
13.4	圆柱形扭转螺旋弹簧的设计计算	306
	习题	310
第 14 章	机械传动系统	311
14.1	概述	311
14.2	减速器	312
14.3	变速器	315
	习题	316
	附录	318
	参考文献	323

第0章 绪 论

0.1 机械设计在经济建设中的作用

机械工业在国家现代化的进程中起着主导和决定性的作用,是一个国家现代化水平的主要标志之一。它担负着为国民经济建设各个部门提供技术装备和促进技术改造的重要任务。

随着科学技术的发展与进步,生产的机械化、自动化水平不断提高,以及我国与世界其他国家的联系和贸易的开展,要求我国机械产品具有国际市场的竞争能力。因此,迫切要求提高我国机械设计的水平,研制开发新的机械产品。

此外,随着机械制造工艺和设备的迅速发展,特别是电子技术、信息技术和计算机技术的突飞猛进,以及使用者对机械产品的要求不断提高,使得机械产品的复杂程度、技术水平都有很大变化。机械设计技术近年来发展很快,已大量采用了新的设计理论和方法,如机械设计学、有限元计算、优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计等,使设计质量和速度有很大的提高。目前我国急需大量的高级机械设计人才,能创造性地设计出符合市场需要并具有强大竞争能力的新机械产品,摆脱我国机械行业落后的状态。本课程将直接担负机械设计人才的培养任务。

0.2 机械和机械设计

机械是机器和机构的总称。

机器(例如牛头刨床、起重机、汽车、拖拉机等)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执行机构的动作(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,在一台现代化的机器中,通常包含着机械、电气、液压、气动、润滑、冷却、控制、监测系统中的部分或全部,但是机器的主体仍然是机械系统。

机械系统是由一些机构组成的,每个机构又是由许多零件组成的。

组成机器的不可拆的基本单元称为机械零件,简称零件,如螺钉、键、齿轮、轴、弹簧等。为完成同一使命在结构上组合在一起(可拆或不可拆)并协同工作的零件称为部件,如联轴器、轴承、减速器等。

各种机器中普遍使用的零件称为通用零件,如轴、齿轮、螺栓等;只在一定类型的机器中使用的零件称为专用零件,如汽轮机中的叶片,纺织机中的织梭、纺锭,往复机械中的曲轴等都是专用零件。

机械设计就是应用新的原理或新的概念开发创造新的机器,或在已有机器的基础上重新设计或者作局部的改进。因此,增大机器工作能力、合并或简化机器结构、增多或减少机器功能、提高机器效率、变更机器零件、改用新材料,等等,都属于机械设计的范畴。

0.3 机械设计课程的性质、任务和内容

0.3.1 本课程的性质

机械设计课程是培养学生具有机械设计能力的一门技术基础课程,是培养机械工程高级人才的重要入门课程,为以机械学为主干学科的各专业学生提供机械设计的基本知识、基本理论和基本方法的训练。

本课程是综合应用先修课程(如机械制图、材料力学、工程材料、机械制造基础及机械原理等)的基础理论和工程实践生产知识的一门重要的课程,在教学过程中,它在基础课与专业课之间起着承上启下的作用。

0.3.2 本课程的主要任务

通过理论学习和课程设计培养学生:

- (1)掌握通用机械零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律,具有机械系统的综合设计能力,能进行一般机械传动部件和简单机械装置的设计;
- (2)为学习专业机械设备课程提供必要的理论基础;
- (3)具有运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力;
- (4)获得实验技能的基本训练;
- (5)树立创新意识,培养机械设计的创新能力;
- (6)对机械设计的新发展有所了解。

0.3.3 课程内容

本课程主要介绍通用零件的常用设计方法,只讨论一般尺寸和参数的通用零件(不包括巨型、微型,以及在高速、高压、高温、低温条件下工作的通用零件)的设计理论和方法。

具体内容是:

- (1)基础知识——设计概论、摩擦磨损及润滑;
- (2)连接零件——螺纹连接、键、花键及销钉连接等;
- (3)传动零件——带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动;
- (4)轴系零件——轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器和离合器;
- (5)其他零件——弹簧等。

0.4 机械设计课程的特点和学习方法

0.4.1 课程特点

由于本课程既是一门综合性技术基础课,又是一门实践性很强的设计课程,这就决定了它的主要特点是与各门先修课程关系多,同一种功能的零件门类多,机械设备对零件的要求多,零件工作能力设计公式多,表达课程内容的图形多,提供设计资料的表格多。故本课程与许多课程有显著的不同,因此必须按照本课程的特点去学习、理解它,才能取得好的学习效果。在学习本课程时,应注意以下几个特点。

1. 综合性

在解决机械设计问题时要用到有关的多方面的科学知识,如力学、摩擦学、材料学、机械制造技术、机械原理、互换性和技术测量、机械制图等,每个机械零件的设计涉及的知识面都是很广泛的。

2. 工程性

本课程具有鲜明的工程性,在设计每个机械零件时要用到大量的数据、表格、标准、资料等,要处理方案选择、零件选型、材料选择、参数选择、结构形式选择等问题,对于计算结果要进行分析,有的要圆整,有的要标准化。这些都是处理工程问题时必须具有的能力。所以本课程的习题、作业和课程设计都是非常重要的组成部分,要学习和掌握本课程必须十分认真地完成它们。

3. 典型性

机械零件的种类很多,本课程只学习其中的一部分,但是设计机械零件的方法和思路是通用的,掌握本课程的基本内容以后,对于其他机械零部件的设计问题就有了一定的基础,并对机械设计有了初步的了解。在学习一个阶段以后,要认真总结、体会,可起到举一反三的作用。

0.4.2 本课程的学习方法

(1)各类零件虽然门类繁多,自成系统,但并非支离破碎无章可循,机械零件设计有它自己的一般规律。这个规律表现在设计机械零件时所考虑的问题一般都是相同的,即:

类型应用——工作原理——失效形式——设计准则——计算方法——结构设计

学习本课程时要牢牢掌握这一规律。

(2)对各种零件工作能力的设计公式,应根据零件的实际工作条件进行具体分析,着重了解计算的出发点,各参数的物理概念及分析方法,而对公式的推导、经验数据的取得以及某些曲线的来历等,只须作一般的了解,不必深究,以免偏离重点。

(3)逐步学习并掌握初选参数,再进行校核的设计方法。零件尺寸有时受几种条件的共同制约,此时应选出一个主要制约条件确定计算准则,据此确定零件尺寸后,再进行其他制约条件的校核。

(4)本课程是以设计为主线的综合性技术基础课,因此对有关先修课程要熟练掌握,并应特别注意零件的结构设计,还要考虑零件的加工、装配和维护的可能性以及结构形状对改善零件工作性能的重要影响。

第1章 机械设计概论

1.1 机械设计的基本要求和一般步骤

1.1.1 设计机械应满足的基本要求

根据生产及生活的需要不同,设计的机械种类也不同,但设计时应满足的基本要求却往往是相同的。这些基本要求如下。

1. 使用功能要求

能实现机械的预定功能,并在预定环境条件和工作期限内可靠地工作。

2. 经济性要求

要求设计、制造和使用机械的费用少,并且效率高。经济性要求是一个综合指标,设计机械时应全面综合地进行考虑。

提高设计、制造经济性的主要措施有:运用现代设计方法,使设计参数最优化;推广标准化、通用化和系列化;采用新工艺、新材料、新结构;改善零部件的结构工艺性等。

提高使用经济性的主要措施有:选用效率高的传动系统和支承装置,以降低能源消耗;提高机械化和自动化水平,以提高生产率;采用适当的防护(如闭式传动、表面防护等)及润滑,以延长机械的使用寿命等。

3. 其他要求

如要求机械操作简便、省力、运行安全;降低机械的噪声;美化机械的外观造型;食品、纺织、造纸机械不得污染产品等。

1.1.2 设计机械的一般步骤

机械设计应按实际情况确定设计方法和步骤。一台新的机械设备从确定设计任务书到形成产品,需要进行的工作大体如下。

1. 确定设计任务书

根据生产或市场的需求,由用户和设计部门制定设计任务书,对设备的性能,主要技术参数等作出明确规定。任务书是设计、调试、验收等的主要依据。

2. 方案设计

根据设计任务书的要求,拟定机械的总体布置及传动方案——原理图或机构运动简图,分析机构的运动规律和受力情况。这一阶段中往往需要拟定多种方案,并对经济技术指标及方案的可行性进行比较,从中选用最佳方案并进行初步设计。初步设计时应应对设备中主要部分进行运动学、动力学分析计算,确定主要参数。设计者一定要正确处理继承与创新的关系,同类机械成功的经验应当继承,原先薄弱环节及不符合现有任务要求的部分应当改进或做根本性改变。

3. 技术设计

通过对零部件的工作能力设计,确定主要零部件的基本尺寸;再根据已确定的结构方案和主要零部件的基本尺寸,绘制机械的装配图和零件图。在这一阶段中,设计者既要重视理论设计计算,更要注重结构设计。

4. 技术文件编制

在完成技术设计后,应编制技术文件,主要有:设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表等。技术文件是对机械进行生产、检验、安装、调试、运行、维护的依据。

5. 技术审定和产品鉴定

设计资料应由专家和有关部门进行审定,认可后进行样机试制;样机运行后再进行鉴定。鉴定通过后,经过小批量生产,在进一步考察的基础上改进原设计,定型后即可根据市场需求量的大小决定一定批量的生产。

从以上机械设计的全过程来看,机械设计过程实际上是一个发现矛盾、分析矛盾和处理矛盾的过程。例如,要求机器的零(部)件强度大、刚性好和要求机器质量小的矛盾;加工、装配精度高和制造成本低的矛盾等。设计者一定要抓住主要矛盾,恰如其分地处理好各种次要矛盾。只有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辩证的思想方法,同时,还要坚持理论联系实际,并在实践中不断总结和积累设计经验,向有关领域的科技工作者和从事生产实践的工作者学习,不断发展和创新,才能较好地完成机械设计任务。

1.2 机械零件的载荷和应力

1.2.1 载荷

机器工作时所出现的载荷是力和力矩。

1. 静载荷与变载荷

载荷根据其性质可分为静载荷和变载荷。大小和方向不随时间变化或变化较缓慢的载荷称为静载荷;大小和方向随时间变化的载荷称为变载荷。

2. 名义载荷与计算载荷

根据额定功率计算出作用在零件上的载荷称为名义载荷。名义载荷没有反映出载荷随时间作用的不均匀性、载荷在零件上分布的不均匀性及其他影响零件卸载的因素。因此,常用载荷系数 K 来考虑这些因素的综合影响。载荷系数 K 与名义载荷 $F(T)$ 的乘积称为计算载荷 $F_{ca}(T_{ca})$,即

$$F_{ca} = KF, T_{ca} = KT \quad (1-1)$$

1.2.2 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,如图 1-1 所示;随时间变化的应力称为变应力,如图 1-2 所示。大多数机械零件都是处于变应力状态下工作的。零件在静应力作用下可能产生断裂或

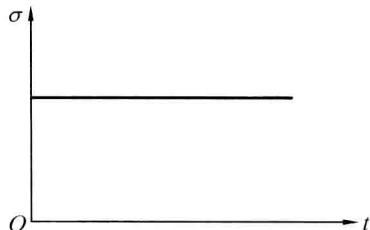


图 1-1 静应力图

塑性变形,零件在变应力作用下可能产生疲劳破坏。

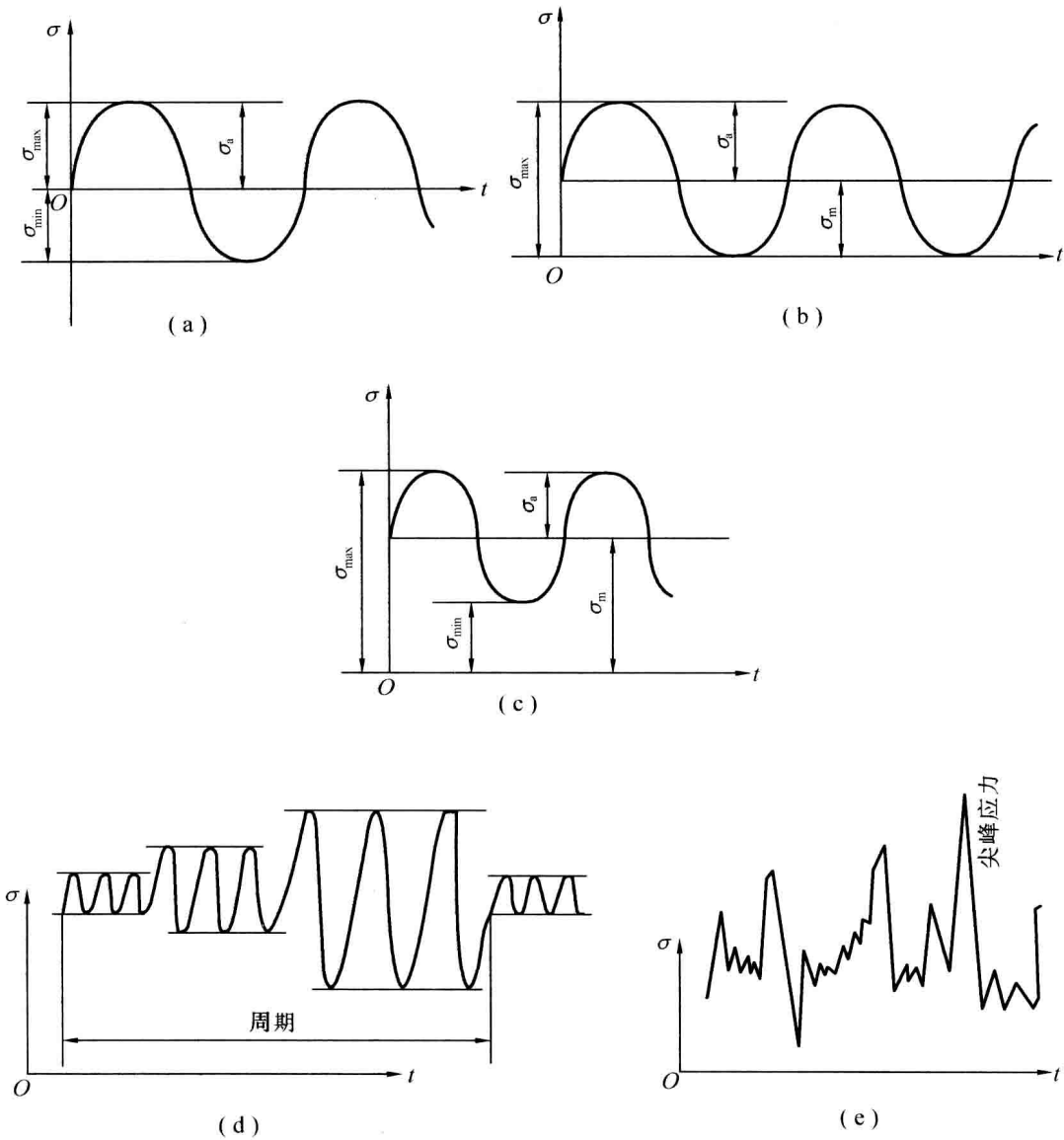


图 1-2 变应力图

(a), (b), (c) 稳定循环变应力; (d) 规律性非稳定变应力; (e) 随机性非稳定变应力

变应力又分为稳定循环变应力,如图 1-2(a), (b), (c) 所示;规律性非稳定变应力,如图 1-2(d) 所示;随机性非稳定变应力,如图 1-2(e) 所示。

稳定循环变应力按其循环特征 r 的不同,可分为对称循环变应力、脉动循环变应力和非对称循环变应力三种。为了表示变应力状况,引入以下变应力参数:

$\sigma_{\max}$ —— 变应力最大值;

$\sigma_{\min}$ —— 变应力最小值;

σ_m ——平均应力,为循环中应力不变部分,即静载分量;
 σ_a ——应力幅,为循环中应力变动部分,即动载分量;
 r ——循环特征。

它们之间的关系: $\sigma_{\max} = \sigma_a + \sigma_m, \sigma_{\min} = \sigma_a - \sigma_m, \sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}, \sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}, r =$

$\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ 。几种典型应力的变化规律如表 1-1 所示。

表 1-1 典型应力的变化规律

应力名称	循环特征	应力特点
对称循环(图 1-2(a))	$r = -1$	$\sigma_a = \sigma_{\max} = -\sigma_{\min}, \sigma_m = 0$
脉动循环(图 1-2(b))	$r = 0$	$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{\max}}{2}, \sigma_{\min} = 0$
非对称循环(图 1-2(c))	$-1 < r < +1$	$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}, \sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$
静应力(图 1-1)	$r = +1$	$\sigma_m = \sigma_{\max} = \sigma_{\min}, \sigma_a = 0$

在设计时,对于应力变化次数较少(如应力变化次数小于 10^3) 的变应力,可近似地按静应力处理。变应力可能由变载荷产生,也可能由静载荷产生。

1.3 机械零件的失效形式和设计准则

1.3.1 机械零件的失效形式

机械零件由于某些原因丧失工作能力或达不到设计要求的性能时,称为失效。其主要失效形式如下。

1. 断裂

当零件在外载荷作用下,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断裂;或者当零件在循环变应力重复作用下,由于危险截面上的应力超过零件的疲劳极限而发生的疲劳断裂。

断裂是一种严重的失效形式,它不但使零件失效,有时还会导致严重的人身及设备事故,是大多数机械零件的失效形式。

2. 过量弹性变形

机械零件受载时,必然会发生弹性变形,但过量的弹性变形会使零件或机器不能正常工作,有时还会造成较大振动,致使零件损坏。例如机器的轴,如果产生过大的弹性变形,轴颈将在轴承中倾斜,若轴上装有齿轮,则势必造成齿轮受载不均匀而影响正常工作。

3. 塑性变形

当零件过载时,塑性材料还会发生塑性变形。这会造成零件的尺寸和形状改变,从而破

坏零件与零件间的相互位置和配合关系,使零件或机器不能正常工作。例如齿轮整个轮齿发生塑性变形就会破坏正确啮合条件,在运转过程中会产生剧烈振动和大的噪音,甚至无法运转。

4. 零件的表面失效

绝大多数零件都与别的零件发生静的或动的接触和配合关系。载荷作用于表面、摩擦和磨损发生在表面、环境介质也包围着表面,因此表面失效是很多机械零件的主要失效形式。

零件的表面失效主要是磨损、疲劳点蚀和腐蚀等。零件表面失效后会增大摩擦,增加能量消耗,破坏零件的工作表面,最终造成零件报废。

5. 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,在带传动中,若传递的载荷超过了带与带轮接触面上产生的最大摩擦力,就会产生打滑,使传动失效;在高速转动件中,若其转速与转动件系统的固有频率相同时,就会发生共振,使振幅增大,以至引起断裂失效。

1.3.2 机械零件的设计准则

为防止零件的失效,在设计零件时所依据的基本原则,称为设计准则。机械零件常用的设计准则如下。

1. 强度准则

强度准则就是指零件中的应力不得超过允许的限度,即应使其危险剖面上或工作表面上的工作应力 σ 或 τ 不超过零件的许用应力 $[\tau]$ 或 $[\sigma]$,用公式表示为

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

满足强度要求的另一种表达方式是使零件工作时危险剖面上的实际安全系数不小于许用安全系数 $[S]$,即

$$S \geq [S] \quad (1-3)$$

2. 刚度准则

刚度准则是指零件在载荷作用下产生的弹性变形量 y 不超过机器工作性能所允许的极限值,即许用变形量 $[y]$,其表达式为

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

许用变形根据不同的机器类型及其使用场合,按理论或经验来确定其合理的数值。

3. 寿命准则

寿命准则就是要求零件在预期的工作期限内,能正常工作而不失效。而影响零件寿命的主要因素是材料的疲劳和由于磨损及腐蚀引起的表面失效。

依据材料的疲劳极限进行疲劳强度计算可防止发生疲劳失效。但是对于磨损,由于其类型多,产生的机理也还不完全清楚,影响因素也很复杂,所以尚无通行的能够进行定量计算的方法。然而零件的磨损会使其工作性能降低,过度磨损常成为零件报废的主要原因之一。因此除采用合理选择摩擦副的材料、提高其耐磨性、采用良好的润滑以减少磨损等措施外,还应限制与磨损有关的参数,例如限制比压 p (单位接触面积上的压力) 和比压 p 与速度 v 的乘积 pv 值来保证零件表面有一层强度较高的边界膜,以保护零件表面不产生过量磨损。

对于腐蚀寿命,至今,尚无提出腐蚀寿命的计算方法,因而只好从材料选择和工艺措施

两方面来提高零件的防腐蚀能力。例如,选用耐腐蚀的材料,采用发蓝、表面镀层、喷涂漆膜及表面阳极化处理等措施。

4. 振动稳定性准则

机器中存在着很多周期性变化的激振源,例如:齿轮的啮合,滚动轴承中的振动,弹性轴的偏心振动等。如果某一零件本身的固有频率与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,造成零件破坏或机器工作条件失常。因此,对易于丧失稳定性的高速机械应进行振动分析和计算,以确保零件及系统的振动稳定性,即在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。

5. 可靠性准则

可靠性表示零件在规定时间内能正常工作的程度,通常用可靠度 R 来表示。零件在规定的使用寿命内和预定的使用条件下,能正常实现其功能的概率,称为可靠度。

设有 N_0 个零件在预定的使用条件下进行试验,如在规定的使用时间 t 内,仍有 N 件在正常地继续工作,则可靠度为

$$R = \frac{N}{N_0} \quad (1-5)$$

一个由多个零件组成的串联系统,任意一个零件失效都会使整个机器失效,因此串联系统的可靠度一定低于最小可靠度零件的可靠度,串联的零件越多,则可靠度越低。在设计零件提出可靠度要求时,要考虑到现实的技术水平及零件的工作要求和经济性等,并不是越高越好。

1.4 机械零件的疲劳强度

强度准则是机械零件的最基本准则。强度问题分为静应力强度和变应力强度两个范畴,二者的失效机理有着很大的差别,计算方法也有明显的不同。在静应力作用下的失效(断裂或塑性变形)是瞬时出现的。在变应力作用下的失效(疲劳破坏)则是一个发生、发展的过程(如图 1-3 所示)。即首先在零件表面上产生初始裂纹,形成裂纹源;随着应力循环次数的增加,裂纹沿尖端逐渐扩展,使零件断面的有效面积逐渐减小;当裂纹扩展到一定程度后,最终导致断裂。

疲劳失效时,零件内部的工作应力值远低于材料的抗拉强度极限 σ_b ,甚至远低于材料的屈服强度极限 σ_s ;并且断裂时没有明显的宏观塑性变形。据统计,机械零件的疲劳断裂约占零件断裂的 80% 以上。

1.4.1 疲劳曲线

疲劳曲线是用一批标准试件进行疲劳实验得到的,即在标准试件上加上规定的循环特征 r 的等幅变应力(通常加 $r = -1$ 的对称循环变应力或 $r = 0$ 的脉动循环变应力),记录出在不同最大应力下引起试件疲劳破坏所经历的应力循环次数 N ,将结果绘制成图,得到如图 1-4 所示的疲劳曲线,即 $\sigma - N$ 曲线。

曲线中的 N_0 称为循环基数。当 $N < N_0$ 时为有限寿命区,在此范围内的曲线上任何一点所代表的材料的疲劳极限均称为有限寿命疲劳极限,用符号 σ_{rN} 表示,其中下标 r 代表该

变应力的循环特征,下标 N 代表达到此疲劳破坏时所经历的应力循环次数。

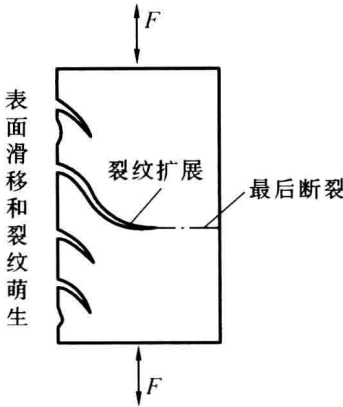


图 1-3 疲劳失效过程

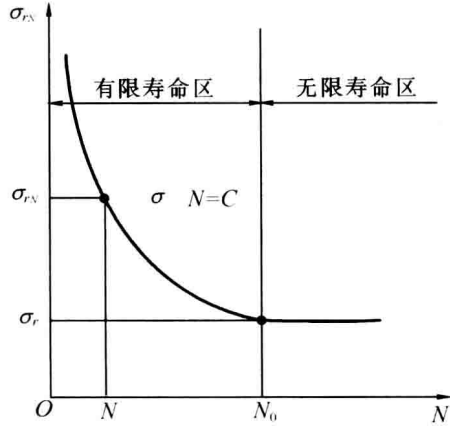


图 1-4 疲劳曲线

当 $N \geq N_0$ 时为无限寿命区,此时疲劳曲线为一条水平线,对应于 N_0 点的极限应力 σ_r 称为持久疲劳极限,对称循环时 σ_r 用 σ_{-1} 表示,脉动循环时 σ_r 用 σ_0 表示。在有限寿命区,疲劳曲线方程为

$$\sigma_{rN}^m \cdot N = \sigma_r^m \cdot N_0 = C$$

$$\sigma_{rN} = \sigma_r \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} = K_N \sigma_r \quad (1-6)$$

故

式中 C ——实验常数;

m ——随材料和应力状态而定的指数,如钢材弯曲疲劳时,取 $m = 9$,钢材线接触疲劳时,取 $m = 6$;

$K_N = \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}}$ ——寿命系数。

注意方程中应力循环次数 N 的取值范围为 $10^3 < N \leq N_0$,即当 $N > N_0$ 时,取 $N = N_0$;当 $N < 10^3$ 时,按静应力处理。

各种金属材料的 N_0 大致在 $10^6 \sim 25 \times 10^7$ 之间,但通常材料的疲劳极限是在 10^7 循环次数实验条件下获得的,所以在计算 K_N 时,取 $N_0 = 10^7$ 。

1.4.2 材料的极限应力线图

疲劳曲线所表示的是试件在对称循环(或脉动循环)变应力条件下的极限应力,对于其他循环下的极限应力可用极限应力线图(图 1-5)来求出。

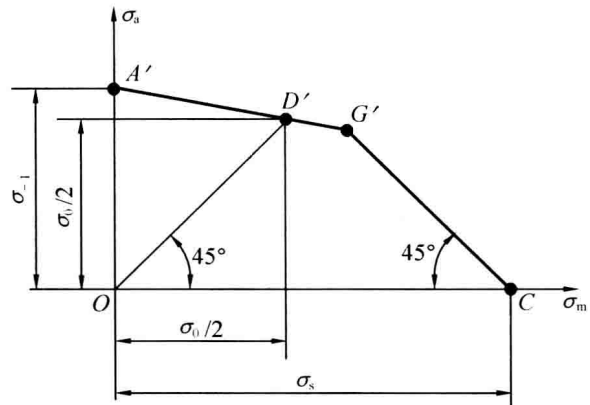


图 1-5 材料的极限应力图