

机械设计基础()

机 械 设 计

周立新 主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是根据 1987 年国家教委颁发的《高等工业学校机械设计基础课程教学基本要求》(110~130 学时),结合作者多年来的教学经验编写而成的。

本书除绪论外共分十二章,内容包括机械及机械零件设计概述、螺纹联接及螺旋传动、焊接和粘接、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轴及轴毂联接、滚动轴承、滑动轴承、联轴器和离合器、弹簧等,每章均有实例,章末附有习题。

本书可作为高等工业学校近机类机械设计基础课程的教材,也可供有关专业的师生和工程技术人员参考。

机械设计基础() 机械设计

周立新 主编

责任编辑:梁 涛 版式设计:梁 涛

责任校对:李定群 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023)65102378 65105781

传真:(023)65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:13 字数:324 千

1996 年 3 月第 1 版 2006 年 2 月第 4 次印刷

印数:12 001—15 000

ISBN 7-5624-1171-9/TH·56 定价:18.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

本书是根据 1987 年国家教委颁发的《机械设计基础课程教学基本要求》(110 ~ 130 学时), 结合编者多年来的教学经验, 以及近机类各专业科技发展的要求, 吸取近年来国内外同类教材的优点编写而成的。本书本着少而精的原则和加强基本理论、基本知识、基本技能的训练和有利于培养学生创新思维和设计能力的精神, 本书在体系和内容的编排方面, 从机械的结构、组成总体出发, 通过典型的机械传动装置设计实例将各章的教学内容前后贯穿, 加强了机械设计课程的整体性和系统性。在论述方面, 力求深入浅出、突出重点、概念准确, 并加强对例题的分析讨论, 引导学生掌握正确运用设计公式、图表、标准规范以及合理选取参数的能力。

本书采用了近年来颁布的最新国家标准, 在有关章节(如带传动、齿轮传动、蜗杆传动和滚动轴承等)中, 对设计计算方法、设计资料以及名词术语定义和代号进行了更新, 并采用了国家法定计量单位。

《机械设计基础》()——机械设计部分与重庆大学出版社出版的《机械设计基础》()——机械原理部分为姊妹篇。可以合起来使用, 也可分开独立使用, 便于适应不同的教学要求。

本书的带 * 章节为选学内容, 在教学时可根据不同专业的需要及课时的多少酌情取舍。

参加本书编写的作者有周立新(绪论、第 1, 2, 3 章)、卫兴民(第 4, 12 章)、冯端清(第 5, 7 章)、龙振宇(第 6 章)、姚顺培(第 8 章)、卢行忠(第 9 章)、汪海云(第 10, 11 章)。全书由周立新担任主编并负责统稿。

本书承重庆大学李靖华教授主审。

在本书的编写过程中, 我校机械设计教研室的许多同志给予热心帮助, 编者在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平所限, 书中错误与不足之处, 恳请同行和广大读者批评指正。

编 者

1995 年 11 月

目 录

绪论	1
0-1 机械和机械设计	1
0-2 本课程的研究对象和内容	1
0-3 本课程的性质和任务	1
0-4 本课程的特点和学习方法	2
第 1 章 机械零件设计概述	3
1-1 机械设计的基本要求	3
1-2 机械设计的主要内容	3
1-3 机械零件设计的基本要求和一般步骤	4
1-4 机械零件的失效形式和工作能力计算准则	5
1-5 机械零件的体积强度	7
1-6 机械零件的接触强度	11
1-7 机械中常用材料及其选择	12
1-8 机械零件结构的工艺性及标准化	15
1-9 机械设计分析实例	15
第 2 章 螺纹联接及螺旋传动	19
2-1 螺纹及螺纹参数	19
2-2 螺旋副的受力分析、效率和自锁	20
2-3 机械设备中常用的螺纹	23
2-4 螺纹联接的基本类型	24
2-5 螺纹联接的预紧和防松	25
2-6 螺纹联接的失效形式和计算准则	28
2-7 螺栓联接的强度计算	28
2-8 螺纹联接件的材料和许用应力	32
2-9 提高螺栓联接强度的措施	35
* 2-10 螺旋传动	37
习题	41
第 3 章 焊接和粘接	42
3-1 焊接	42
3-2 粘接	45
第 4 章 带传动	48
4-1 概述	48
4-2 带传动的受力分析及运动特性	51
4-3 V 带传动的设计计算	55
4-4 V 带轮设计和张紧装置	61
* 4-5 其他带传动简介	62
习题	65

第 5 章 链传动	66
5-1 概述	66
5-2 链传动的运动特性	70
5-3 滚子链传动的设计	71
5-4 链传动的布置和张紧	76
习题	78
第 6 章 齿轮传动	79
6-1 轮齿的失效形式	79
6-2 齿轮常用材料及热处理	81
6-3 齿轮传动的精度	82
6-4 直齿圆柱齿轮传动的的作用力及计算载荷	84
6-5 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	85
6-6 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	95
6-7 直齿圆锥齿轮传动的强度计算	99
6-8 齿轮的结构设计	100
6-9 齿轮传动的润滑和效率	102
* 6-10 圆弧齿轮传动简介	103
习题	104
第 7 章 蜗杆传动	106
7-1 概述	106
7-2 蜗杆传动的失效形式、设计准则和材料选择	109
7-3 阿基米德蜗杆传动的设计计算	110
习题	118
第 8 章 轴及轴毂联接	120
8-1 概述	120
8-2 轴的材料	121
8-3 轴直径的初步估算	122
8-4 轴的结构设计	123
8-5 轴的强度校核计算	127
8-6 轴的刚度计算	129
8-7 轴的振动计算概念	130
8-8 轴毂联接	130
习题	138
第 9 章 滚动轴承	140
9-1 概述	140
9-2 滚动轴承的主要类型和特性	140
9-3 滚动轴承的代号	142
9-4 滚动轴承类型的选择	145
9-5 滚动轴承尺寸选择计算	146
9-6 滚动轴承的组合设计	154
习题	158

第 10 章 滑动轴承	159
10-1 滑动轴承的类型	159
10-2 向心滑动轴承的结构形式	160
10-3 轴瓦材料	162
10-4 润滑剂和润滑装置	164
10-5 非液体摩擦向心滑动轴承的设计计算	168
10-6 推力滑动轴承	169
* 10-7 液体动压向心滑动轴承	170
* 10-8 其他滑动轴承简介	173
习题	175
第 11 章 联轴器和离合器	176
11-1 概述	176
11-2 联轴器	176
11-3 联轴器的选择	181
11-4 离合器	183
习题	186
第 12 章 弹簧	187
12-1 概述	187
12-2 弹簧的材料和制造	187
12-3 圆柱形螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算	192
习题	199
参考文献	200

绪 论

0-1 机械和机械设计

机械是机器和机构的总称。

组成机械的制造单元是零件,如轴、齿轮、活塞、螺栓等。在各类机械中,普遍使用并具有同一功能的零件叫通用零件,如轴、齿轮、螺栓等;只在某些类型的机械中才使用的零件叫专用零件,如叶片、活塞、曲轴等。

机械设计是根据对机械产品提出的任务,应用各种先进技术的成果,求得一个在技术上尽可能完善、经济上合理、使用方便、外型美观,并能集中反映先进生产力的研制机械产品的方案和手段,是综合性、创造性劳动。它包括机器、机构、构件或零件的设计。

0-2 本课程的研究对象和内容

本课程的研究对象 主要是通用性的机械传动装置及普通条件下工作的一般参数的通用零件。

本课程的主要内容 常用联接(如螺纹联接、键联接、焊粘联接等)、机械传动(带传动、链传动、齿轮和蜗杆传动)、轴系零、部件(轴、轴承、联轴器)和弹簧等的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。

0-3 本课程的性质和任务

本课程是综合应用先修课程(机械制图、理论力学、材料力学、工程材料及机械制造基础、机械原理)的基础理论和工程实践生产知识的一门重要的技术基础课,在教学计划中,它在基础课与专业课之间起承上启下的作用。

本课程的主要任务:

- 1)为有关专业的学生学习专业机械设备课程提供必要的理论基础。
- 2)为从事工艺、运行、管理的技术人员,在了解各种机械传动原理、设备的正确使用和维护及设备的故障分析等方面提供必要的基本知识。
- 3)通过本课程的学习和课程设计实践,可以培养学生初步具备运用手册设计机械传动装置和简单机械的能力,为日后从事技术革新创造条件。

0-4 本课程的特点和学习方法

本课程的特点 由于本课程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和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。

本课程的学习方法:

1) 各类零件虽门类繁多,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) 对各种零件的工作能力设计公式,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,只需作一般的了解,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,使零件尺寸满足所有制约条件。另外,零件的尺寸参数并不一定都是计算得来的,如由结构设计确定尺寸,然后进行各项必要的校核计算也是常用的方法。

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牢牢掌握,学懂会用,并应特别注意零件的结构设计,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 机械零件设计概述

在现代生产和日常生活中,有各种类型的机械。如汽车、机床、起重机、机器人以及缝纫机、洗衣机等,虽然它们的用途、功能不同,工作条件各异,因而表现在机械的结构形式和零件材料的选取上也各不相同,但在设计这些机械时,除了要考虑各自的特殊性以外,都必须满足一些共同的基本要求,遵循一些基本原则。为此,本章只对机械和机械零件的设计计算有关的共同性问题作扼要阐述。

1-1 机械设计的基本要求

机械是由机械零件组成的总体。各种零件在机械中按确定的位置相互联接,或按给定的规律作相对运动,为共同完成机械的功能而发挥各自的作用。因此,要设计出一台好的机械设备,除定好方案外,必须正确地设计或合理选择它的零件,而每个零件的设计或选择,又是和整台机械应满足的基本要求分不开的。所以,要研究和较好地解决机械零件的设计问题,必须先从机械这个全局出发,弄清楚机械设计的基本要求。

机械设计的基本要求主要有以下几个方面:

(1)实现预期功能的要求 设计机械时,首先应满足的就是要实现机械的预定功能,且在预定的工作期限内和预定的环境条件下能可靠地工作。

(2)经济性要求 经济性是一个综合性指标,它要求机械的设计、制造成本低,使用这台机械时生产率高,能源、材料耗费少,维护管理费用低。

(3)操作方便与工作安全的要求 机械的操纵系统应简便可靠,有利于减轻操作人员的劳动强度,对机械中容易造成危害工人安全的部分,应装防护罩,并采用各种可靠的安全保险装置,以消除由于不正确操作而引起的危险。

(4)造型美化和减轻对环境污染的要求 设计机械时,应从工业美学角度出发,考虑机械的外形和色彩以美化工作环境,并尽可能降低机械的噪声,以减轻对环境的污染。

(5)其他特殊要求 如巨型机器应便于安装、拆卸和运输;机床能长期保持精度;食品、纺织、造纸机械不得污染产品等。

1-2 机械设计的主要内容

机械设计任务通常是根据生产发展需要而提出的,设计任务书要明确规定机械名称、功能、工作参数要求、可靠性要求、工作条件、生产批量、预期成本等,并提供设计该机械所必需的原始数据和资料。机械设计工作的主要内容有以下几个方面。

1 机械工作原理的选择

机械的工作原理是机械实现预期功能的基本依据,实现同一预期功能的机器可以选择不同

的工作原理。例如,设计齿轮机床时,可以选用成形法加工齿轮,也可以选用范成法来加工齿轮。显然,工作原理不同,设计出的机床也不同,前者为普通铣床,后者则为滚齿机或插齿机。机械的工作原理是随着生产和科学技术的发展而不断发展的,研制新机械时,要刻苦钻研、不断探索、全面分析对比多种工作原理后,选择其中的最优方案。这主要属于专业机械设计的范围。

2. 机械的运动设计

工作原理选定后,即可根据工作原理的要求,确定机械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械的运动设计,即妥善选择与设计机械的传动部分,把原动机的运动转变为机械执行部分预期的机械运动。

3. 机械的动力设计

初定了机械的执行部分和传动部分后,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,算出机械所需的驱动功率,并结合机器的具体情况,选定一台(或几台)适用的原动机进行驱动。

4. 零部件工作能力设计

对于一般机械,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,计算出作用于任一零部件上的载荷。然后,从机械的全局出发,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。这些内容是机械零件课程的核心,以后将针对具体的零部件分章进行讨论。

应该指出,机械设计过程实际上是一个分析矛盾和处理矛盾的过程。例如,要求机械的零部件强度大,刚性好与体积小、重量轻的矛盾;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,才能设计出高质量的机械。

1-3 机械零件设计的基本要求和一般步骤

一、机械零件设计的基本要求

机械零件设计的基本要求是在预定期间内工作可靠和成本低廉。要使零件工作可靠,就要求零件在强度、刚度、耐磨性和振动稳定性等方面具有足够的工作能力;要使零件的成本低廉,就要求零件在设计制造时满足经济性要求,如正确选择零件的材料、合理规定零件的结构尺寸和精度等级,使之具有良好的工艺性以及尽可能选用标准零件等。

二、机械零件设计的一般步骤

- (1)分析零件在机械中所起的作用,确定零件的结构方案;
- (2)对零件的结构进行分析,拟定零件的计算简图;
- (3)进行载荷分析,确定作用在零件上的计算载荷;
- (4)分析零件可能出现的失效形式,确定零件的工作能力计算准则,选择零件的材料和热处理,然后计算确定零件各部分主要尺寸;
- (5)按标准化和结构工艺要求等,圆整计算所得的各尺寸,绘制部件装配图和零件工作图,并写出计算说明书。

1-4 机械零件的失效形式和工作能力计算准则

一、机械零件的主要失效形式

机械零件丧失工作能力或达不到设计要求性能时,称为失效。失效并不意味着破坏。常见的失效形式有以下几种:

1. 断裂

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而发生的断裂,或者零件在交变应力作用时,危险剖面上发生的疲劳断裂,这是大多数机械零件的失效形式。

2. 过量变形

机械零件受载时,必然会发生弹性变形。在允许范围内的零件的弹性变形,对机械正常工作影响不大,但过量的弹性变形则将使机械不能正常工作,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,造成零件尺寸和形状的改变,破坏零件或部件间的相互位置或配合关系,使零件或机器不能正常工作。

3. 表面失效

在机械中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,摩擦发生在表面,环境介质也包围着表面,因此,失效多出现在表面,表面失效包括:

- (1) 零件受力表面无相对运动的失效,如压溃;
- (2) 零件受力表面有相对运动的失效,如磨损、疲劳点蚀、胶合或表面塑性变形等;
- (3) 零件不受力表面的失效,如腐蚀。

表面失效在很大程度上限制了零件的使用寿命。

4. 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工作,如果破坏了正常工作条件就会失效。例如,靠表面摩擦力保持工作能力的带传动,当传递的有效圆周力超过临界摩擦力时就将发生打滑失效;液体摩擦滑动轴承,当润滑油膜破裂时将发生过热、胶合、磨损等形式的失效;高速转动的零件,当其转速等于或接近零件的自振频率时,就会发生共振,使振幅急剧增大,导致零件甚至整个系统在短期内破坏等。

二、机械零件的工作能力计算准则

零件抵抗失效的安全工作限度称为零件的工作能力。通常对载荷而言,称为零件的承载能力。工作能力有时也对变形、速度、温度、压力等而言。在实际工作中,同一种零件可能有好几种不同的失效形式,对应于各种失效形式就有不同的工作能力。例如,轴的失效可能是疲劳断裂,这时轴的工作能力决定于轴的疲劳强度;轴的失效也可能是过量的弹性变形,这时轴的工作能力决定于轴的刚度。显然,起决定作用的将是零件工作能力中的较小者。

机械零件工作能力的判定条件称为零件的工作能力计算准则。主要有强度、刚度、耐磨性、振动稳定性和耐热性准则等,它们是计算确定零件基本尺寸的主要依据。

1. 强度准则

强度是衡量机械零件工作能力最基本的计算准则,它是指零件受载后抵抗整体断裂、塑性变形和某些形式的表面失效的能力。如果零件强度不够,就不能正常工作,甚至可能发生严重事故。强度计算的条件为

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

式中 σ ——零件危险截面或工作表面的最大工作应力, N/mm^2 ;

$[\sigma]$ ——零件的许用应力, N/mm^2 。

2. 刚度准则

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。对于有刚度要求的零件,如机床主轴、电动机轴等需要进行刚度计算。刚度计算条件为

$$\left. \begin{aligned} y &\leq [y] \\ \theta &\leq [\theta] \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中 y ——零件工作时的变形量(伸长量、挠度等);

$[y]$ ——零件的许用变形量;

θ ——零件工作时的变形角(偏转角、扭转角等);

$[\theta]$ ——零件的许用变形角。

y 和 θ 可按理论计算或用实验方法确定,而 $[y]$ 和 $[\theta]$ 则应随不同的场合,按理论或经验确定其合理的数值。

3. 耐磨性准则

运动副中,摩擦表面物质不断损失的现象称为磨损。磨损后零件尺寸和结构形状发生改变,运动副间隙增大,因而使机械精度降低,效率下降,振动、冲击和噪声增大,致使零件报废。据统计,在一般机械中,约有 80% 的零件是因磨损而报废的。可见,在机械设计或维护使用中,提高零件的耐磨性具有十分重要的意义。

磨损现象是一个相当复杂的物理-化学过程。按磨损破坏的机理不同,机械中磨损主要有四种基本形式:

(1) 磨料磨损 摩擦表面上硬质突出物或硬质颗粒,在摩擦过程中引起的使表面材料脱落的现象。

(2) 粘着磨损 摩擦表面受载时,由于零件表面的粗糙度,实际上只有部分峰顶接触,压强很高,引起接触点的粘着。相对滑动时使摩擦表面产生擦伤、撕脱或互相焊合的现象,又称为胶合。胶合是高速重载接触时常见的破坏形式。

(3) 疲劳磨损(疲劳点蚀) 当作滑动或滚-滑运动的高副受到反复作用的接触应力时,如果该应力超过材料相应的接触疲劳强度,就会在零件工作表面或表面下一定深度处形成疲劳裂纹,随着裂纹的扩展,常使接触表面金属呈小片状剥落,而形成许多小麻点,所以又称疲劳点蚀。

(4) 腐蚀磨损 摩擦表面与周围介质发生化学反应或电化学反应,在相对运动中造成表面材料损失的现象。

影响磨损的因素很多,如零件的材质、表面粗糙度、润滑情况等,尤其是润滑情况对磨损影响很大,采取合理的润滑措施实现良好的润滑,可减轻甚至避免磨损。

关于磨损,目前尚无可靠的定量计算方法,对于磨料磨损,常采用条件性计算,即为了控制零件在预定使用期内的磨损量不超过允许值,采用限制零件相对运动表面间压强不超过许用

值的办法,以防止压强过大,使工作表面油膜破坏而产生过快磨损,即

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

式中 $[p]$ ——由实验或同类机器使用经验确定的许用压强。

相对运动速度较高时,还要防止摩擦表面温升过高,使油膜破裂,加剧磨损。为此,要限制运动副单位时间单位接触面积的发热量 $f p v$ 。若摩擦系数 f 为常数,则可验算 $p v$ 值不超过许用值,即

$$p v \leq [p v] \quad (1-4)$$

式中 $[p v]$ ——由实验或同类机器使用经验确定的许用值。

4. 振动稳定性准则

为避免共振,在设计高速机械时,应进行振动分析和计算,使零件和系统的自振频率与周期性载荷的作用频率错开一定的范围,以确保零件及机械系统的振动稳定性。为此,可用增加或减小零件的刚度、增添弹性元件等办法来解决。

5. 耐热性准则

在高温环境中,或由于摩擦生热而形成高温条件,对零件的工作都是不利的。如钢制零件在 $300 \sim 400$ 以上时,其强度极限和疲劳极限都会有所下降,并且出现蠕变。此外还会引起热变形、附加热应力及破坏正常的润滑条件等。

高温下工作的零件需要考虑温度影响时,要进行蠕变计算。在一般情况下,主要是对发热较大的零件(如蜗轮、滑动轴承等)进行热平衡计算,以判定零件的工作温度是否超过许用工作温度,如超过许用工作温度,则必须采取降温措施,避免因散热不良,使零件温升过高,导致金属局部熔融而产生胶合或引起燃烧。

1-5 机械零件的体积强度

通常,零件受载时是在较大的体积内产生应力,这种应力状态下的零件强度称为体积强度,如拉伸、压缩、弯曲和剪切强度等。

当机械零件的工作能力按强度准则判定时,常采用比较零件的最大工作应力(σ 、 τ)是否小于零件的许用应力($[\sigma]$ 、 $[\tau]$)。即

$$\left. \begin{aligned} [\sigma] &= \frac{\sigma_{lim}}{S} \\ [\tau] &= \frac{\tau_{lim}}{S} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中 σ_{lim} 、 τ_{lim} ——分别为材料的极限正应力和极限切应力, N/mm^2 ;

S ——安全系数。

材料的极限应力一般都是在简单应力状态下用实验方法测出的。对于在简单应力状态下工作的零件,其最大工作应力 σ ,即为零件危险剖面的工作应力;对于在复杂应力状态下工作的零件,其最大工作应力 σ 应按照一定的强度理论求出。

因此,按照强度准则设计零件时,关键是判明零件工作时所受载荷和应力的状态和变化类型,查出相应的零件材料的极限应力,并结合设计经验合理选择安全系数,以确定零件的许用应力。

一、载荷和应力的分类

1. 载荷分类

作用在机械零件上的载荷是力或力矩,它可分为静载荷和变载荷两类。不随时间变化或变化缓慢的载荷称为静载荷,如锅炉所受的压力。随时间作周期性变化或非周期变化的载荷称为变载荷,如汽车曲轴或汽车齿轮所受的载荷。

在设计计算中,常把载荷分为名义载荷和计算载荷。名义载荷是根据原动机额定功率或机器在稳定和理想工作条件下的工作阻力计算出作用在零件上的载荷。计算载荷是考虑了冲击、振动和载荷在零件上分布的不均匀等因素而求得的作用在零件上的载荷。计算载荷等于综合考虑上述影响因素的载荷系数 K 与名义载荷的乘积。

2. 应力分类

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 1-1),它只能在静载荷作用下产生。随时间变化的应力称为变应力。具有周期性的变应力称为循环变应力,如图 1-1(b)所示为一般的非对称循环变应力,图中 T 为应力循环周期。从图(b)可知

$$\left. \begin{aligned} \text{平均应力} \quad m &= \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \\ \text{应力幅} \quad a &= \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

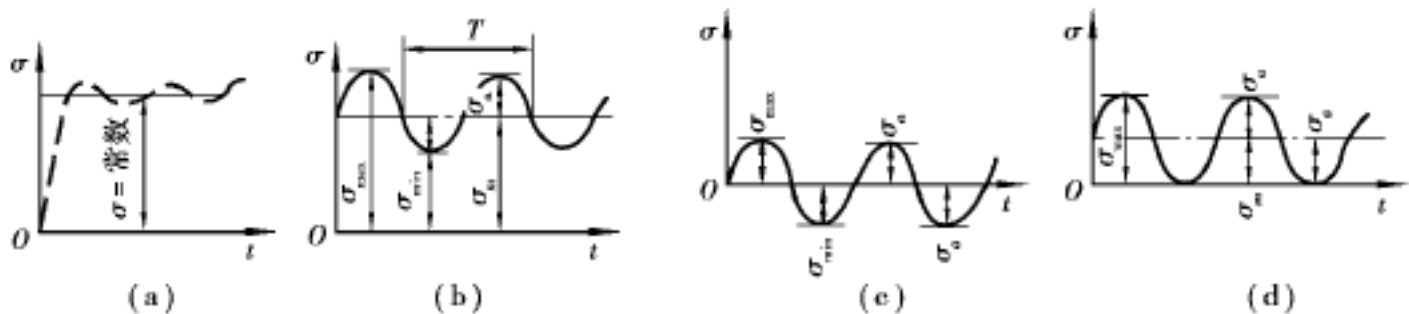


图 1-1 应力的种类

应力循环中的最小应力与最大应力之比,可用来表示变应力中应力变化的情况,通常称为

变应力的循环特性 r , 即 $r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ 。

当 $r = -1$ 时, $\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$, 称为对称循环变应力(图(c)), 其 $a = \sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$, $m = 0$ 。

当 $r = 0$ 时, $\sigma_{\min} = 0$, 称为脉动变应力(图(d)), 其 $a = m = \frac{1}{2} \sigma_{\max}$ 。

当 $r = +1$ 时, $\sigma_{\max} = \sigma_{\min}$, 即为静应力, 静应力可看作变应力的特例。

由于零件的失效形式与材料的极限应力及零件工作时的应力类型密切相关, 故在进行强度计算时, 首先应弄清零件中工作应力的类型。

二、静应力下零件的许用应力

静应力下, 零件的主要失效形式是断裂或塑性变形。为保证零件正常工作, 对于塑性材料可按不发生塑性变形的条件, 取材料的屈服极限 σ_s 作为极限应力, 故许用应力为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S} \quad (1-7)$$

对于脆性材料制成的零件,为避免脆性断裂,应取材料的强度极限 σ_B 作为极限应力,故许用应力为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{S} \quad (1-8)$$

对于组织均匀的脆性材料,如淬火后低温回火的高强度钢,还应考虑应力集中的影响。灰铸铁虽属脆性材料,但由于本身有夹渣、小孔及石墨存在,其内部组织不均匀性引起的应力集中远远超过零件形状和机械加工等引起的应力集中,故计算时不考虑应力集中。

三、变应力下零件的许用应力

变应力下,零件的失效形式是疲劳断裂。表面无宏观缺陷的金属材料,其疲劳过程可分为两个阶段:(1)金属材料表面通过各种滑移方式形成初始裂纹;(2)裂纹尖端在切应力作用下发生反复塑性变形,使裂纹扩展以致断裂。如果零件在制造过程中,出现划伤、裂纹、非金属夹杂物以及酸洗小坑等缺陷,则疲劳裂纹将首先在这些地区产生和扩展。

零件的圆角、凹槽、缺口等造成的应力集中,也会促使零件表面裂纹的产生和发展。

如图 1-2 所示为轴的弯曲疲劳断裂的断口,该断口由光滑的疲劳发展区和粗粒状的断裂区组成。在变应力下形成初始裂纹或使裂纹继续发展形成疲劳区,疲劳区留下有标志裂纹发展过程的前沿线,由于裂纹边缘反复压紧和分开使疲劳区呈光滑状态。粗粒状的断裂区是由于当裂纹达到临界尺寸后,在较少的应力循环次数作用下迅速发生断裂而造成的。

由此可知,疲劳断裂不同于一般静力断裂,它是与应力大小及应力循环次数(即使用期限或寿命)有关的断裂。

1. 材料的疲劳曲线

在任一给定循环特性 r 的条件下,表示应力循环次数 N 与疲劳极限应力 σ 的关系曲线称为疲劳曲线(图 1-3)。曲线的横坐标为循环次数 N ,纵坐标为疲劳极限 σ 。它根据材料的疲劳试验结果绘制而成。曲线上各点表示相应的循环次数下,不产生疲劳失效的最大应力值,即疲劳极限应力。从图上可以看出,应力越小,试件能经受的循环次数越多。

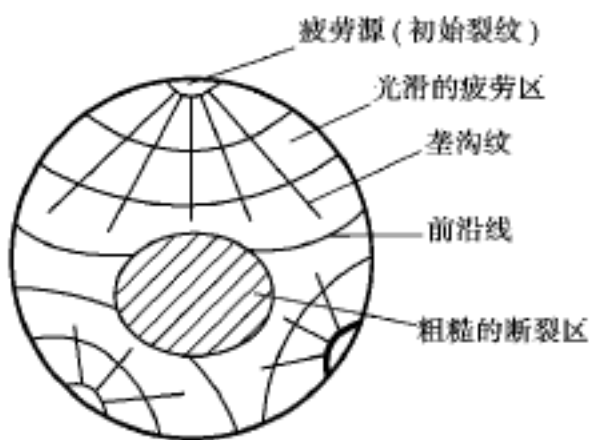


图 1-2 轴的弯曲疲劳断口

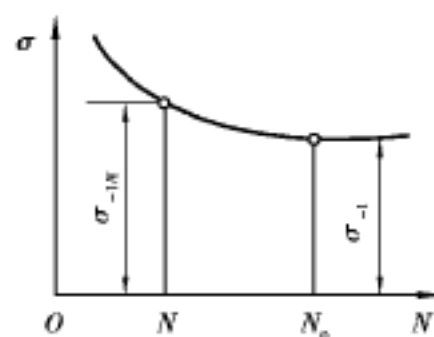


图 1-3 疲劳曲线

从大多数黑色金属材料的疲劳试验可知,当循环次数 $N > N_0$ 以后,曲线趋向水平,即可以认为在“无限次”循环试件将不会断裂(图 1-3)。 N_0 称为循环基数,对应于 N_0 的应力称为材料的疲劳极限。通常用 σ_{-1} 表示材料在对称循环变应力下的弯曲疲劳极限。

当应力循环次数 $N < N_0$ 时,疲劳曲线的左半部,可近似地用下列方程式表示

$$\sigma_{-1N} N^m = \sigma_{-1} N_0^m = C \quad (1-9)$$

式中 σ_{-1N} ——对应于应力循环次数 N 的材料有限寿命疲劳极限;

m ——随应力状态和材料而不同的幂指数,如钢材弯曲时, $m = 9$;

C ——试验常数。

从式(1-9)可求得对应于循环次数 N 的材料有限寿命弯曲疲劳极限

$$\sigma_{-1N} = \sigma_{-1} \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} = K_N \sigma_{-1} \quad (1-10)$$

式中 K_N ——寿命系数。有限寿命 ($N < N_0$) 时, $K_N > 1$, 即材料的弯曲疲劳极限可以提高; 无限寿命 ($N = N_0$) 时, $K_N = 1$, 即材料的极限应力就等于疲劳极限 σ_{-1} 。

2. 零件的疲劳极限和许用应力

材料的疲劳极限系采用一组标准试件通过疲劳试验确定的, 实际零件由于几何形状的变化、尺寸大小和表面状态等因素的影响, 使得零件的疲劳极限要小于材料的疲劳极限, 为此引入应力集中系数 K 、尺寸系数 ϵ 和表面状态系数 β 等对材料的疲劳极限加以修正。如零件的对称循环弯曲疲劳极限以 σ_{-1e} 表示, 材料的对称循环弯曲疲劳极限用 σ_{-1} 表示, 则

$$\sigma_{-1e} = \frac{\sigma_{-1}}{K} \quad (1-11)$$

零件的对称循环许用应力为

$$[\sigma_{-1}] = \frac{\sigma_{-1e}}{S} = \frac{\sigma_{-1}}{K S} \quad (1-12)$$

当应力是脉动循环时, 零件的许用应力为

$$[\sigma_0] = \frac{\sigma_0}{K S} \quad (1-13)$$

式中 σ_0 ——材料的脉动循环疲劳极限;

S ——安全系数。

K , ϵ 及 β 的数值可在有关设计手册中查得。

以上所述为“无限寿命” ($N > N_0$) 下零件的许用应力。若零件在整个使用期限内, 其循环总次数 $N < N_0$ 时, 可根据式(1-10)求得对应于 N 的疲劳极限 σ_{-1N} 。代入式(1-11)后可得“有限寿命” ($N < N_0$) 下零件的许用应力。由于 $\sigma_{-1N} > \sigma_{-1}$, 故可采用较大的许用应力, 从而减小零件的体积和重量。

四、安全系数

极限应力与许用应力的比值称作安全系数。在设计计算中, 合理地选择安全系数是十分重要的。安全系数过大, 将使结构笨重; 安全系数过小, 又可能不安全。设计人员的任务在于: 在保证机器工作安全可靠的前提下, 尽可能减小安全系数的数值, 或者说尽可能提高许用应力的数值。

影响安全系数的因素很多, 主要有: 载荷确定的准确性、材料性能数据的可靠性、零件的重要性和计算方法的合理性等。通过长期的生产实践, 在各个不同的机械制造部门, 常制订有适合本部门的安全系数(或许用应力)表格。这类表格虽然适用范围较窄, 但具有简单、具体及可靠等优点, 为一般设计所常用。

当没有专门的表格时,可参考下述原则选择安全系数:

(1)静应力下,塑性材料以屈服极限为极限应力。由于塑性材料可以缓和过大的局部应力,故可取安全系数 $S=1.2 \sim 1.5$;对于塑性较差的材料(如 $\frac{S}{B} > 0.6$)或铸件,可取 $S=1.5 \sim 2.5$ 。

(2)静应力下,脆性材料以强度极限为极限应力,这时应取较大的安全系数。例如,对于高强度钢或灰铸铁,可取 $S=3 \sim 4$ 。

(3)变应力下,以疲劳极限作为极限应力,可取 $S=1.3 \sim 1.7$;若材料不够均匀,计算不够精确时,可取 $S=1.7 \sim 2.5$ 。

1-6 机械零件的接触强度

当具有一定曲面的两个零件在压力下相互接触时,由于受载变形而在零件接触表层产生的局部应力称为接触应力,这时零件的强度称为接触强度。例如,齿轮传动的轮齿表面、滚动轴承的滚动体与滚道的表面等在受载前是点接触或线接触,受载后,在接触表面产生局部弹性变形,形成很小的接触面积,高副零件都是通过这种很小的接触面积传递载荷的。因此它们的承载能力不仅取决于体积强度,还取决于表面的接触强度。

机械零件的接触应力通常是随时间作周期性变化的,在一定数值的接触应力的反复作用下,零件表层将会产生微细疲劳裂纹,然后裂纹逐渐扩展(润滑油被挤入裂纹中将产生高压,使裂纹加快扩展),终于使表层金属呈小片状剥落下来,而在零件表面形成一些小坑(图1-4),这种现象称为疲劳点蚀。点蚀减小了零件的接触面积,降低了承载能力,同时由于平滑接触表面的损坏而在工作时引起振动和噪声。疲劳点蚀是齿轮、滚动轴承等零件的主要失效形式。

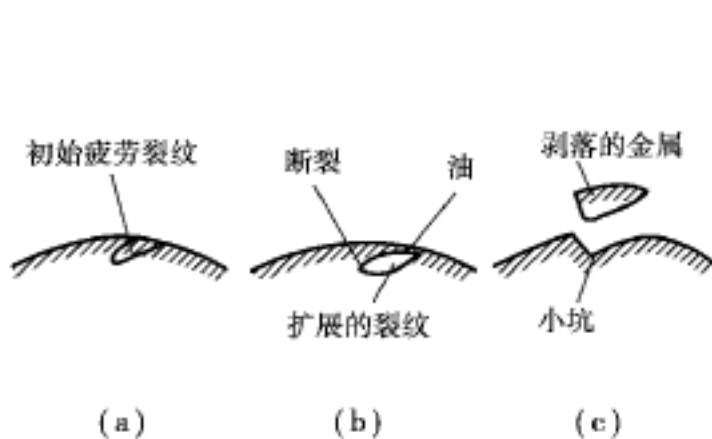


图 1-4 疲劳点蚀的形成过程

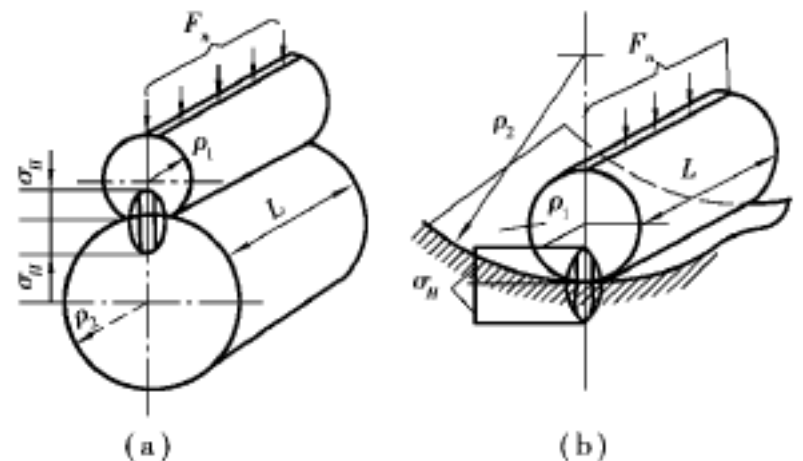


图 1-5 接触应力计算简图

根据弹性力学研究,当两个轴线平行的圆柱体相互接触并受压时,接触部位产生变形,线接触变成为一狭长矩形接触面(图1-5)。在接触面各点上,对应于变形量的大小,产生按一定规律分布的接触应力。最大接触应力发生在接触区中线上,其值由赫兹(H. Hertz)公式确定。

$$H = \sqrt{\frac{F_n/L}{\left[\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right]}} \quad (1-14)$$

式中 E_1, E_2 ——两圆柱体的弹性模量;

μ_1, μ_2 ——两圆柱体材料的泊松比;