

现代机械

设计原理与应用研究

XIANDAI JIXIE

SHEJI YUANLI YU YINGYONG YANJIU

魏宏波 严绍进 武振锋 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

14041985

TH122
1272

现代机械

设计原理与应用研究

XIANDAI JIXIE

SHEJI YUANLI YU YINGYONG YANJIU

魏宏波 严绍进 武振锋 编著



TH122
1272



北航

C1729572



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

280130210

内 容 提 要

本书主要是对现代机械设计原理与应用进行探讨分析。首先阐述了机械设计的基本概念及机械零件的基本知识,并讨论了机械零件的强度和耐磨性、螺纹连接及螺旋传动原理、键连接及其他连接,然后重点探讨了带传动与链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器及离合器、弹簧等的设计问题,最后分析了整机设计和现代化设计方法。

图书在版编目(CIP)数据

现代机械设计原理与应用研究 / 魏宏波, 严绍进, 武振锋编著. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 12
ISBN 978-7-5170-1506-2

I. ①现… II. ①魏… ②严… ③武… III. ①机械设
计—研究 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 298760 号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:杨元泓 封面设计:马静静

书 名	现代机械设计原理与应用研究
作 者	魏宏波 严绍进 武振锋 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:mchannel@263.net(万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话:(010)68367658(发行部)、82562819(万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京厚诚则铭印刷科技有限公司
印 刷	三河市天润建兴印务有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 16.5 印张 402 千字
版 次	2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	58.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

机械设计是影响机械产品性能、质量、成本和企业经济效益的一项重要工作,机械产品能否满足用户要求,很大程度上取决于设计。随着科学技术的进步和生产的发展,市场竞争日益激烈,企业为了获得自身的生存和发展,必须不断地推出具有市场竞争能力的新产品。因此,机械产品更新换代的周期将日益缩短,对机械产品在质量和品种上的要求将不断提高,这就对机械设计人员提出了更高的要求。

目前,我国机械产品的设计水平与国际先进水平相比还有相当大的差距,主要体现为设计方法落后,骨干设计人员的知识老化,许多先进的设计理论、方法和技术还没有很好地掌握。设计水平的落后必然导致机械产品的性能和质量的落后,这样,机械产品不但难以进入国际市场,就连国内市场也难以维持。要想从根本上扭转这种局面,就必须大力加强机械产品的设计工作,大力推行现代设计方法,而其中的关键是大量地培养高素质的机械设计人才。正因为以上原因,本书的内容以机械设计的基本理论、基本知识、基本技能为基础,注重启发读者的实际应用能力和创新能力。在写作上,本书在遵循少而精的原则上对必要的知识进行了适当的拓展。

本书的主要特点如下:

1. 为了提高读者的工程设计能力,本书总结和规范了机械设计中的工程设计步骤和一般的设计方法,加强了对读者独立完成机械零件设计的引导。

2. 主要章节以零件为单元自成一体,讨论了各零件的功能和作用,引导读者分析在机械设计过程中出现的问题,启发读者的求知欲望。

3. 归纳和梳理了各种常用机械传动的特点,以及如何选择机械系统的传动方案和传动方案的布置顺序。

4. 本书既保留了机械设计的理论知识基础,还补充了部分机械设计手册上所采用的简化设计方法,增强了与实际生产和工程设计的紧密性。

5. 本书的数据和资料基本上来自于机械设计手册的最新标准和规范,计算实例大部分来自于工程实践。

限于作者水平及撰写时间仓促,书中的缺点和错误在所难免,恳请广大同行、专家、读者批评指正。

作 者

2013 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机械设计概述	1
1.2 机械零件的计算准则	4
1.3 机械零件的标准化、系列化和通用化	10
1.4 机械零件常用材料和选择原则	11
第 2 章 机械零件的强度及耐磨性	15
2.1 机械零部件设计中的载荷和应力	15
2.2 机械零件的疲劳设计	18
2.3 机械零件的摩擦、磨损、润滑及密封设计	38
第 3 章 螺纹连接及螺旋传动原理	55
3.1 螺纹	55
3.2 螺纹连接	57
3.3 单个螺栓连接的强度计算	64
3.4 螺栓组连接的设计计算	70
3.5 提高螺纹连接件强度方法	76
3.6 螺旋传动	81
第 4 章 键连接及其他连接	83
4.1 键连接	83
4.2 花键连接	87
4.3 销连接	90
4.4 无键连接	91
第 5 章 带传动与链传动设计	94
5.1 带传动的特点	94
5.2 带传动的基本理论	95
5.3 V 带传动的设计	99
5.4 滚子链链条与链轮	104
第 6 章 齿轮传动设计	111
6.1 齿轮的传动特点及类型	111
6.2 齿轮传动的失效形式和设计准则	111
6.3 齿轮传动的计算载荷	114
6.4 齿轮材料和许用应力	125

6.5	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	130
6.6	直齿锥齿轮传动的强度计算	132
6.7	齿轮传动的设计方法	135
6.8	齿轮的结构设计	138
6.9	齿轮传动的润滑	140
第7章	蜗杆传动设计	142
7.1	概述	142
7.2	圆柱蜗杆传动的主要参数	145
7.3	蜗杆传动的滑动速度、失效形式及设计约束	149
7.4	圆柱蜗杆传动的强度计算	150
7.5	蜗杆传动的效率及热平衡计算	155
7.6	圆柱蜗杆和蜗轮的结构形式	158
7.7	圆弧圆柱蜗杆传动简介	159
第8章	轴的设计	162
8.1	概述	162
8.2	轴的结构设计	165
8.3	轴的强度和刚度计算	168
8.4	轴的设计举例	175
第9章	滑动轴承设计	178
9.1	概述	178
9.2	滑动轴承的结构形式	178
9.3	轴瓦结构和轴承材料	181
9.4	滑动轴承的润滑	182
9.5	非液体摩擦滑动轴承的设计计算	185
9.6	液体动力润滑径向滑动轴承设计计算	186
第10章	滚动轴承设计	192
10.1	概述	192
10.2	滚动轴承的代号及其类型	193
10.3	滚动轴承的工作情况及计算准则	199
10.4	滚动轴承的计算	202
10.5	滚动轴承的组合设计	206
第11章	联轴器及离合器设计	213
11.1	联轴器的作用及分类	213
11.2	刚性联轴器	214
11.3	挠性联轴器	215
11.4	离合器的作用及分类	219

11.5	嵌合式离合器	219
11.6	摩擦式离合器	221
11.7	其他离合器	223
第 12 章	弹簧设计	227
12.1	概述	227
12.2	圆柱螺旋弹簧的材料、结构及制造	230
12.3	圆柱拉、压螺旋弹簧的设计	234
第 13 章	整机设计和现代设计方法简介	242
13.1	结构设计与机架设计	242
13.2	整机系统设计	245
13.3	设计的检查	248
13.4	现代设计方法简介	249
参考文献		255

第1章 绪论

1.1 机械设计概述

1.1.1 机械设计的基本要求

尽管机械的类型很多,性能差异很大,但机械设计的基本要求大体相同,主要有以下几个方面。

1. 机械设计的基本要求

(1) 实现预定的功能,满足运动和动力性能的要求

所谓功能是指用户提出的需要满足的使用上的特性和能力,是机械设计的最基本出发点。在机械设计过程中,设计者所设计的机械首先应实现功能的要求。为此,必须正确地选择机械的工作原理、机构的类型、拟定机械传动系统方案,并且所选的机构类型和拟定的机械传动系统方案,能满足运动和动力性能的要求。

(2) 可靠性和安全性的要求

机械的可靠性是指机械在规定的使用条件下、在规定的时间内完成规定功能的能力。安全可靠是机械的必备条件,为了满足这一要求,必须从机械系统的整体设计、零部件的结构设计、材料及热处理的选择、加工工艺的制定等方面加以保证。

(3) 市场需要和经济性的要求

在产品设计中,自始至终都应把产品设计、销售及制造三方面作为一个整体考虑。只有设计与市场信息密切配合,在市场、设计、生产中寻求最佳关系,才能以最快的速度回收投资,获得满意的经济效益。

(4) 机械零部件结构设计的要求

机械设计的最终结果都是以一定的结构形式表现出来的,且各种计算都要以一定的结构为基础。所以,设计机械时,往往要事先选定某种结构形式,再通过各种计算得出结构尺寸,将这些结构尺寸和确定的几何形状绘制成零件工作图,最后按设计的工作图制造、装配成部件乃至整台机器,以满足机械的使用要求。

(5) 操作使用方便的要求

机器的工作和人的操作密切相关。在设计机器时必须注意操作要轻便省力、操作机构要适应人的生理条件、机器的噪音要小、有害介质的泄漏要少等。

(6) 工艺性及标准化、系列化、通用化的要求

机械及其零部件应具有良好的工艺性,即考虑零件的制造方便,加工精度及表面粗糙度适当,易于装拆。设计时,零件、部件和机器参数应尽可能标准化、通用化、系列化,以提高设计质量,降低制造成本,并且使设计者将主要精力用在关键零件的设计上。

(7)其他特殊要求

有些机械由于工作环境和要求的不同,对设计提出某些特殊要求。如高级轿车的变速箱齿轮有低噪声的要求,机床有较长期保持精度的要求,食品、纺织机械有不得污染产品的要求等。

2. 机械零件设计的基本要求

(1)强度要求

机械零件应满足强度要求,即防止它在工作中发生整体断裂或产生过大的塑性变形或出现疲劳点蚀。机械零件的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,为此可以采用以下几项措施:

- ①采用强度高的材料。
- ②使零件的危险截面具有足够的尺寸。
- ③用热处理方法提高材料的力学性能。
- ④提高运动零件的制造精度,以降低工作时的动载荷。
- ⑤合理布置各零件在机器中的相互位置,减小作用在零件上的载荷等。

(2)刚度要求

机械零件应满足刚度要求,即防止它在工作中产生的弹性变形超过允许的限度。通常只是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。一般对机床主轴、导轨等零件需作强度和刚度计算。

提高机械零件的刚度可以采用以下几项措施:

- ①增大零件的截面尺寸。
- ②缩短零件的支承跨距。
- ③采用多点支承结构等。

(3)结构工艺性要求

机械零件应有良好的工艺性,即在一定的生产条件下,以最小劳动量、花最少加工费用制成能满足使用要求的零件,并能以最简单的方法在机器中进行装拆与维修。因此,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。

(4)经济性要求

经济性是机械产品的重要指标之一。从产品设计到产品制造应始终贯彻经济原则。设计中在满足零件使用要求的前提下,可以从以下几个方面考虑零件的经济性:

- ①先进的设计理论和方法,采用现代化设计手段,提高设计质量和效率,缩短设计周期,降低设计费用。
- ②尽可能选用一般材料,以减少材料费用,同时应降低材料消耗,例如多用无切削或少切削加工,减少加工余量等。
- ③零件结构应简单,尽量采用标准零件,选用允许的最大公差和最低精度。
- ④提高机器效率,节约能源,例如尽可能减少运动件、创造优良润滑条件等,包装与运输费用也应注意考虑。

(5)减轻重量的要求

机械零件设计应力求减轻重量,这样可以节约材料,对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。减轻机械零件重量的措施有:

- ①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,提高材料的利用率。
- ②采用轻型薄壁的冲压件或焊接件来代替铸、锻零件。
- ③采用与工作载荷相反方向的预载荷。
- ④减小零件上的工作载荷等。

机械零件的强度、刚度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轻的重量是机器具有良好经济性的基础。在实际设计中,经常会遇到基本要求不能同时得到满足的情况,这时应根据具体情况,合理地做出选择,保证主要的要求能够得到满足。

1.1.2 机械设计的一般程序

设计绝不能视为只是计算和绘图,我国设计人员早在20世纪60年代就总结出全面考虑实验、研究、设计、制造、安装、使用、维护的“七事一贯制”设计方法。机械设计不可能有固定不变的程序,因为设计本身就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。机械设计的过程是复杂的,它涉及多方面的工作,如市场需求、技术预测、人机工程等再加上机械的种类繁多,性能差异巨大,所以机械设计的过程并没有一个通用的固定程序,需要根据具体情况进行相应的处理。本书仅就设计机器的技术过程进行讨论,以比较典型的机器设计为例,介绍机械设计的一般程序。

一台新机器从着手设计到制造出来,主要经过以下六个阶段。

1. 制定设计工作计划

根据社会、市场的需求确定所设计机器的功能范围和性能指标;根据现有的技术、资料及研究成果研究其实现的可能性,明确设计中要解决的关键问题;拟定设计工作计划和任务书。

2. 方案设计

按设计任务书的要求,了解并分析同类机器的设计、生产和使用情况以及制造厂的生产技术水平,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,对较为复杂的机器还应包括控制系统。然后,在考虑机器的使用要求、现有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工作参数,绘制工作原理图,完成机器的方案设计。

在方案设计的过程中,应注意相关学科与技术中新成果的应用,如先进制造技术、现代控制技术、新材料等,这些新技术的发展使得以往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。

3. 技术设计

对已选定的设计方案进行运动学和动力学的分析,确定机构和零件的功能参数,必要时进行模拟试验、现场测试、修改参数;计算零件的工作能力,确定机器的主要结构尺寸;绘制总装配图、部件装配图和零件工作图。技术设计主要包括以下几项内容。

(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,确定各构件的尺寸和运动参数。

(2) 动力学计算

根据运动学设计的结果,分析、计算出作用在零件上的载荷。

(3) 零件设计

根据零件的失效形式,建立相应的设计准则,通过计算、类比或模型试验的方法确定零部件的基本尺寸。

(4) 总装配草图的设计

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。在确定零件的结构、尺寸和零件间的相互位置关系后,可以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。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尺寸,直到满足设计要求。

(5) 总装配图与零件工作图的设计

根据总装配草图确定的零件结构尺寸,完成总装配图与零件工作图的设计。

4. 施工设计

根据技术设计的结果,考虑零件的工作能力和结构工艺性,确定配合件之间的公差。视情况与要求,编写设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表、外购件明细表、验收条件等。

5. 试制、试验、鉴定

所设计的机器能否实现预期的功能、满足所提出的要求,其可靠性、经济性如何等,都必须通过试制的样机的试验来加以验证。再经过鉴定,以科学的评价确定是否可以投产或进行必要的改进设计。

6. 定型产品设计

经过试验和鉴定,对设计进行必要的修改后,可进行小批量的试生产。经过实际条件下的使用,根据取得的数据和使用的反馈意见,再进一步修改设计,即定型产品的设计,然后正式投产。

实际上整个机械设计的各个阶段是互相联系的,在某个阶段发现问题后,必须返回到前面的有关阶段进行设计的修改,直至问题得到解决。有时,可能整个方案都要推倒重来。因此,整个机械设计过程是一个不断修改、不断完善以至逐步接近最佳结果的过程。

1.2 机械零件的计算准则

机械零件由于某种原因不能正常工作称为失效。对此概念应注意以下两点:①失效并不仅指破坏,破坏只是失效的形式之一。实际机械零件可能的失效形式有很多,但归结起来,最为常见的是由于强度、刚度、耐磨性、温度及振动稳定性等方面的原因所引起的失效。②同一个机械零件可能产生的失效形式往往有数种,例如高速旋转的轴可能会产生断裂、过大的塑性

变形以及共振等几种不同的失效形式。

机械零件在一定条件下抵抗失效的能力称为工作能力。用载荷表示的工作能力称为承载能力。为防止发生某种失效而应满足的条件称为机械零件的计算准则。计算准则是设计机械零件的理论依据。不同失效形式所对应的计算准则亦不相同。

通常,在保证所设计的零件不发生失效的前提下,希望其尺寸尽量小,重量尽量轻。为此,设计时需要以计算准则为依据进行必要的计算。计算方法(过程)有两种:根据零件可能的失效形式所对应的计算准则,通过计算确定满足该准则的零件尺寸,这样的计算称为设计计算;参照已有实物、图样或根据经验先确定零件尺寸,然后再核算零件尺寸是否满足计算准则,这样的计算称为校核计算。校核计算时,如不满足计算准则,则应修改零件尺寸,重新计算,直到满足计算准则为止。虽然两种计算的过程不同,但目的都是为了防止所设计的零件在工作中发生失效。

与前述强度、刚度、耐磨性以及振动稳定性等方面的失效形式相对应,常用的计算准则主要有强度准则、刚度准则、摩擦学准则以及振动稳定性准则等。

1.2.1 强度准则

强度是指机械零件抵抗破坏(断裂或塑性变形)的能力。强度准则是防止零件发生破坏失效而应满足的条件,也称为强度条件。

工作中机械零件所受的正应力(拉压、弯曲)和切应力(剪切、扭切),通常都产生在零件材料的较大体积内,往往会导致零件的整体破坏,这种状态下的强度可称为整体强度;而对于工作中接触受压的两个零件,在接触面上产生的表面应力作用下,破坏通常发生在零件的接触面表层,这种状态下的强度可称为表面强度。表面强度分为表面接触强度(两零件之间理论上为点、线接触)和挤压强度(两零件之间理论上为面接触)。

在理想平稳工作条件下零件所受的载荷称为名义载荷。但实际中,由于冲击以及运动产生的惯性力等因素的影响,使机器及其零件受到各种附加载荷。另外,载荷在零件上的分布也往往是不均匀的。因此,机器在工作中实际受到的载荷通常会大于名义载荷。用载荷系数 K (只考虑工作情况的影响时,则为工作情况系数 K_A 简称工况系数)计入上述因素对载荷的影响。载荷系数与名义载荷的乘积称为计算载荷,它代表的是机器或零件实际所受的载荷。

按照是否随时间变化,载荷分为两类:不随时间变化或变化缓慢的载荷称为静载荷,如零件的自重、静水的压力等;随时间变化的载荷称为变载荷,如内燃机中活塞、弹簧以及汽车中齿轮等所受的载荷。

按照是否随时间变化,应力也分为两类:不随时间变化或变化缓慢的应力称为静应力;随时间变化的应力称为变应力。静应力只能在静载荷作用下产生;变应力由变载荷产生,也可由静载荷产生。例如,在不变的径向力作用下,旋转轴中产生的弯曲应力即为变应力。

1. 整体强度

(1) 强度条件

强度条件可用应力表示,也可用安全系数表示。

① 用应力表示的强度条件为

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

式中 σ 、 τ ——零件危险截面上的最大正应力和最大切应力,设计中按计算载荷求得;

$[\sigma]$ 、 $[\tau]$ ——许用正应力和许用切应力,其定义式为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{[S_{\sigma}]}, [\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{[S_{\tau}]} \quad (1-2)$$

式中 σ_{lim} 、 τ_{lim} ——极限正应力和极限切应力;

$[S_{\sigma}]$ 、 $[S_{\tau}]$ ——分别为正应力和切应力的许用安全系数。通常,对塑性材料零件, $[S_{\sigma}]$ 、 $[S_{\tau}]$ 取为 1.5~2;对组织不均匀的脆性材料和组织均匀的低塑性材料, $[S_{\sigma}]$ 、 $[S_{\tau}]$ 取为 3~4。

②用安全系数表示的强度条件为

$$S_{\sigma} \geq [S_{\sigma}], \quad S_{\tau} \geq [S_{\tau}] \quad (1-3)$$

式中 S_{σ} 、 S_{τ} ——正应力和切应力的实际安全系数,由下式计算

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma}, \quad S_{\tau} = \frac{\tau_{\text{lim}}}{\tau} \quad (1-4)$$

应当指出,式(1-1)和式(1-3)所表示的强度条件实质是相同的,只是表达形式不同而已。

(2) 极限应力的确定

计算许用应力时,需根据零件材料的种类和应力的性质合理确定极限应力。

①静应力下的极限应力。

零件受静应力时,需计算其静强度。如静强度不足,塑性材料零件的可能失效形式是产生塑性变形;脆性材料零件的可能失效形式是断裂。据此,可确定静应力下的极限应力。

塑性材料零件,以材料的屈服点作为极限应力,即

$$\sigma_{\text{lim}} = \sigma_s, \quad \tau_{\text{lim}} = \tau_s \quad (1-5)$$

脆性材料零件,以材料的强度极限作为极限应力,即

$$\sigma_{\text{lim}} = \sigma_b, \quad \tau_{\text{lim}} = \tau_b \quad (1-6)$$

只受正应力或只受切应力时,按式(1-1)或式(1-3)进行强度计算即可。

同时受正应力和切应力时,按材料力学中的强度理论计算危险截面上的当量应力 σ_e 。通常,塑性材料零件按第三或第四强度理论计算;脆性材料零件按第一强度理论计算。此时的强度条件为: $\sigma_e \leq [\sigma]$ 。

另外,对于塑性材料零件,某处的局部应力达到屈服点后,材料开始屈服流动,局部的最大应力将不再增大,也就不会导致零件整体破坏;对于组织不均匀的脆性材料(如灰铸铁),材料内部本来就存在的缺陷引起的应力集中,往往比零件形状和机械加工所引起的应力集中还大,所以,后者对材料的静强度无显著影响。因此,在计算静强度时,对塑性材料和组织不均匀的脆性材料,可不考虑应力集中的影响。但是,对组织均匀的低塑性材料(如低温回火的高强度钢),则应考虑集中应力。

②变应力下的极限应力。

零件受变应力时,可能的失效形式是疲劳破坏,设计中需计算其疲劳强度。不论是静强度还是疲劳强度,强度条件的表达形式是相同的,只是极限应力有所不同。变应力作用下,应以疲劳极限作为极限应力。

2. 表面接触强度

对于理论上为点、线接触的高副零件,在载荷作用下材料发生弹性变形后,变为面接触,此

时零件在接触部位产生的应力称为表面接触应力(简称接触应力)。在接触应力作用下的强度称为表面接触强度。最大接触应力 σ_H 发生在接触面的中心(或中线)上,见图 1-1。

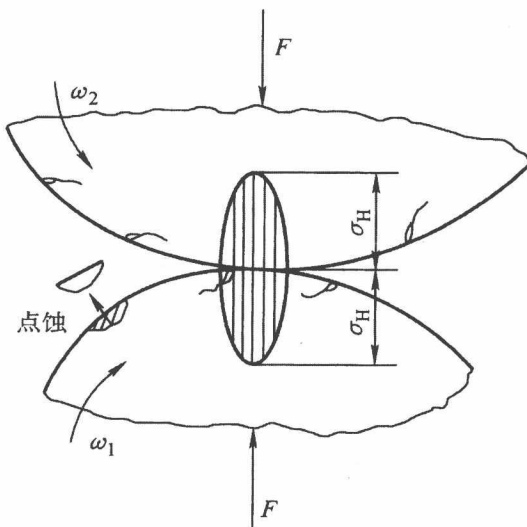


图 1-1 接触应力与疲劳点蚀

通常情况下,工作中高副零件的接触部位是周期性变化的,这导致零件的接触应力也周期性变化,如齿轮轮齿的接触、滚动轴承中滚动体与两套圈的接触等。在接触变应力的反复作用下,首先在零件表层产生微裂纹,之后,裂纹沿着与表面呈锐角的方向扩展,到达一定深度后又越出零件表面,最后有小片的材料剥落下来,在零件表面形成小坑(图 1-3),这种现象称为疲劳点蚀(简称点蚀)。点蚀是接触变应力下的失效形式。

防止点蚀应满足的强度条件为

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] \quad (1-7)$$

式中 σ_H ——零件的最大接触应力(MPa);

$[\sigma_H]$ ——许用接触应力(MPa)。

本课程中需计算的接触强度主要为线接触的情况,下面只给出线接触时 σ_H 的计算公式。

根据弹性力学理论,将理论上为线接触(接触处的曲率半径分别为 ρ_1, ρ_2)的两个零件简化为两个圆柱体接触的模型(图 1-2),按式(1-8)(称为赫兹公式)计算其最大接触应力即

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F}{\pi L} \left[\frac{\frac{1}{\rho}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}} \right]} \quad (1-8)$$

式中 E_1, E_2 ——两接触体材料的弹性模量(MPa);

μ_1, μ_2 ——两接触体材料的泊松比;

F ——两接触体所受的载荷(N);

ρ ——综合曲率半径(mm), $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}$, 正号用于外接触;负号用于内接触;

L ——接触宽度(mm)。

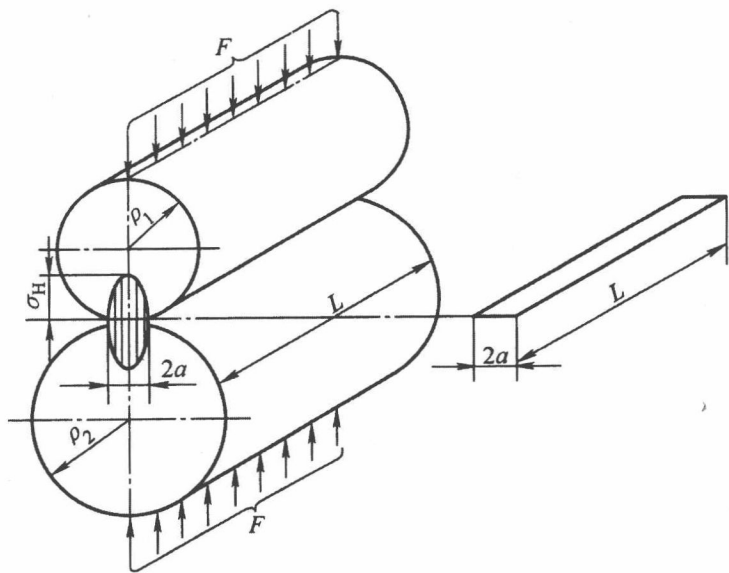


图 1-2 两圆柱体接触

3. 挤压强度

理论上为面接触的两个零件,承载时在接触面上受到的压应力称为挤压应力,用 σ_p 表示。挤压应力作用下的强度称为挤压强度。挤压强度不足时的失效形式为压溃(表面断裂或表面塑性变形)。

防止压溃应满足的强度条件为

$$\sigma_p \leq [\sigma_p] \tag{1-9}$$

式中 σ_p ——零件的挤压应力(MPa);

$[\sigma_p]$ ——许用挤压应力(MPa)。

当接触面为曲面时,挤压应力在接触面上的分布往往比较复杂。通常,按接触面在载荷方向的投影面积计算挤压应力 σ_p 。

1.2.2 刚度准则

刚度是指机械零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。如果机器中的某些零件刚度不足,工作时将会产生过大的弹性变形,从而影响机器的正常工作。例如机床主轴刚度不足将会影响被加工工件的精度;内燃机配气系统中的凸轮轴刚度不足,将会导致阀门不能正常启闭。因此,对于某些零件,在设计时需要进行刚度计算。应满足的刚度条件为

$$x \leq [x] \tag{1-10}$$

式中 x ——实际变形量,可通过计算或实际测量确定其大小,但在设计阶段只能由计算确定。根据受载形式的不同, x 可以是拉压变形 ΔL 、挠度 y 、转角 θ 、扭角 φ 等,见图 1-3;

$[x]$ ——许用变形量,是机器正常工作所允许的最大变形量。

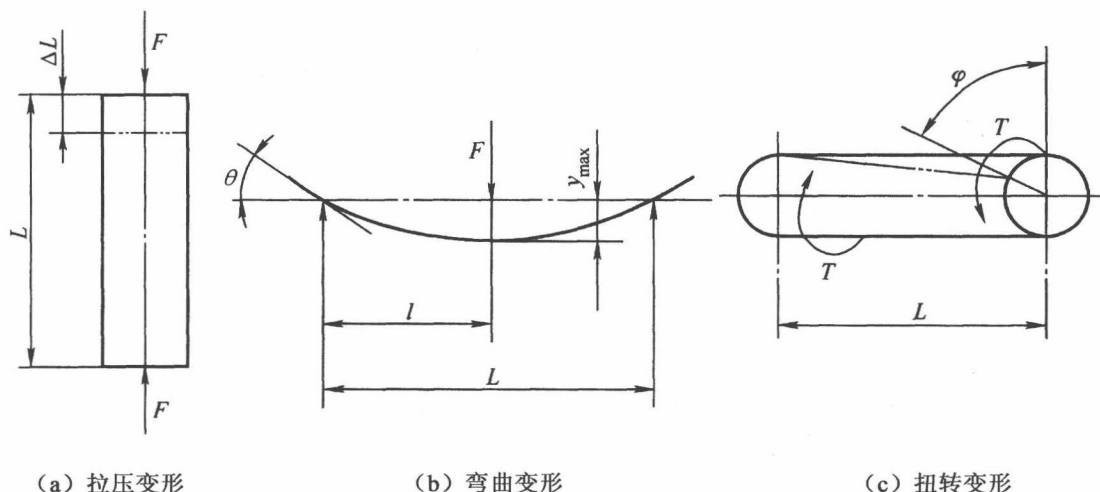


图 1-3 变形形式

通常,刚度计算得到的零件尺寸比强度计算得到的尺寸大,所以,满足刚度条件的零件往往也满足强度条件。但对于尺寸较大的零件,满足刚度条件,却不一定满足强度条件。

弹性模量 E 是表示材料刚度大小的性能指标, E 越大则刚度越大。应当注意:合金钢的 E 值与碳钢相差不大,因此,在尺寸相同的条件下,用合金钢代替碳钢(可以提高强度)不能提高零件的刚度。

提高零件刚度的主要措施有:减小力臂和支点距离、增加辅助支承、选择合理的截面形状、加大截面积以及采用加强肋等。

1.2.3 摩擦学准则

摩擦学准则也称耐磨性准则。在滑动摩擦下工作的零件,常因过度磨损而失效。由于影响磨损的因素很多且比较复杂,因此,到目前为止尚无完善的磨损计算方法。通常采用条件性计算,通过限制影响磨损的主要因素(压强 p 、滑动速度 v 和 $p v$ 值)来防止产生过大的磨损。

滑动速度低,载荷大时,只需限制压强 p 不超过许用压强 $[p]$,即

$$p \leq [p] \quad (1-11)$$

滑动速度较高时,往往由于摩擦生热,温度过高(使润滑油膜破坏),导致润滑失效。因此,除了限制压强以外,还需限制压强与滑动速度的乘积 $p v$ (此乘积越大,在单位时间内,单位接触面上的摩擦功耗越大,温升越大)不超过许用值 $[p v]$,即

$$p v \leq [p v] \quad (1-12)$$

高速时,往往由于滑动速度高而引起过快过大的磨损。所以,还需要限制滑动速度 v 不超过许用滑动速度 $[v]$,即

$$v \leq [v] \quad (1-13)$$

1.2.4 振动稳定性准则

零件发生周期性弹性变形的现象称为振动。当零件所受外力的周期性变化频率等于或接近零件的固有频率时,便会发生共振。共振时,振幅急剧增大,导致零件破坏,机器不能正常工作,这种现象也称为“失去振动稳定性”。

引起零件振动的周期性外力主要有:往复运动零件的惯性力和惯性力矩、转动零件的不平衡质量产生的离心力以及周期性作用的外力等。

振动稳定性准则是:使所设计零件的固有频率 f 远离外力的变化频率 f_F 。通常应满足的条件为

$$f_F < 0.85f \quad \text{或} \quad f_F > 1.15f \quad (1-14)$$

应注意,当不满足式(1-14)所列的条件时,一般只能通过改变零件和系统的刚度、改变支承位置等方法,来改变固有频率 f 。而 f_F 往往取决于机器的工作转速,通常是不能改变的。

1.2.5 温度对机械零件工作能力的影响

温度的变化会影响机器中润滑油的性能。温度过高会导致润滑失效,从而产生过大磨损或发生胶合现象。因此,在设计摩擦副零件时,需进行热平衡计算。通过计算求出达到热平衡时的工作温度 t ,并判别其是否超过许用温度 $[t]$,即

$$t \leq [t] \quad (1-15)$$

另外,当金属的温度超过某一数值(钢为 $300^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$,轻合金为 $100^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$)时,其强度将急剧下降。因此,在高温下工作的机械零件应采用耐高温材料制造,如耐热合金钢、金属陶瓷等。在低温下,钢的强度有所提高,但其韧性会明显降低而变脆,且对应力集中的敏感性增大。而有色金属在低温下一般不会变脆,其强度和塑性还会有所提高。所以,低温设备常用有色金属材料制造。

1.3 机械零件的标准化、系列化和通用化

机械零件的标准化是指通过对零件尺寸、结构要素、材料、检验方法、设计方法、制图等方面的要求,制定出各式各样的标准,以供广大设计者在设计工作中共同遵循。系列化是指对同一产品,为了满足不同的使用要求,在基本结构或基本尺寸相同的条件下,规定出若干个辅助尺寸不同的产品,构成一个产品系列。

在我国,许多通用零部件的形式、品种、尺寸和代号都已实行了标准化,并按尺寸的不同实现了系列化,如螺栓、键、滚动轴承、减速器等。有些零件则仅有部分主要尺寸实行了标准化和系列化,如齿轮的模数、蜗杆的分度圆直径等。

若在系列产品内部或在跨系列的产品之间采用同一结构和尺寸的零部件,则称为通用化。

机械零件的标准化、系列化和通用化简称“三化”,其对于机械设计和制造具有如下重要意义:

- ①可减轻设计工作量,缩短设计周期,有利于设计人员将主要精力用于关键零部件的设计。
- ②便于建立专门工厂采用先进技术进行大规模生产。有利于合理使用原材料,节约能源,