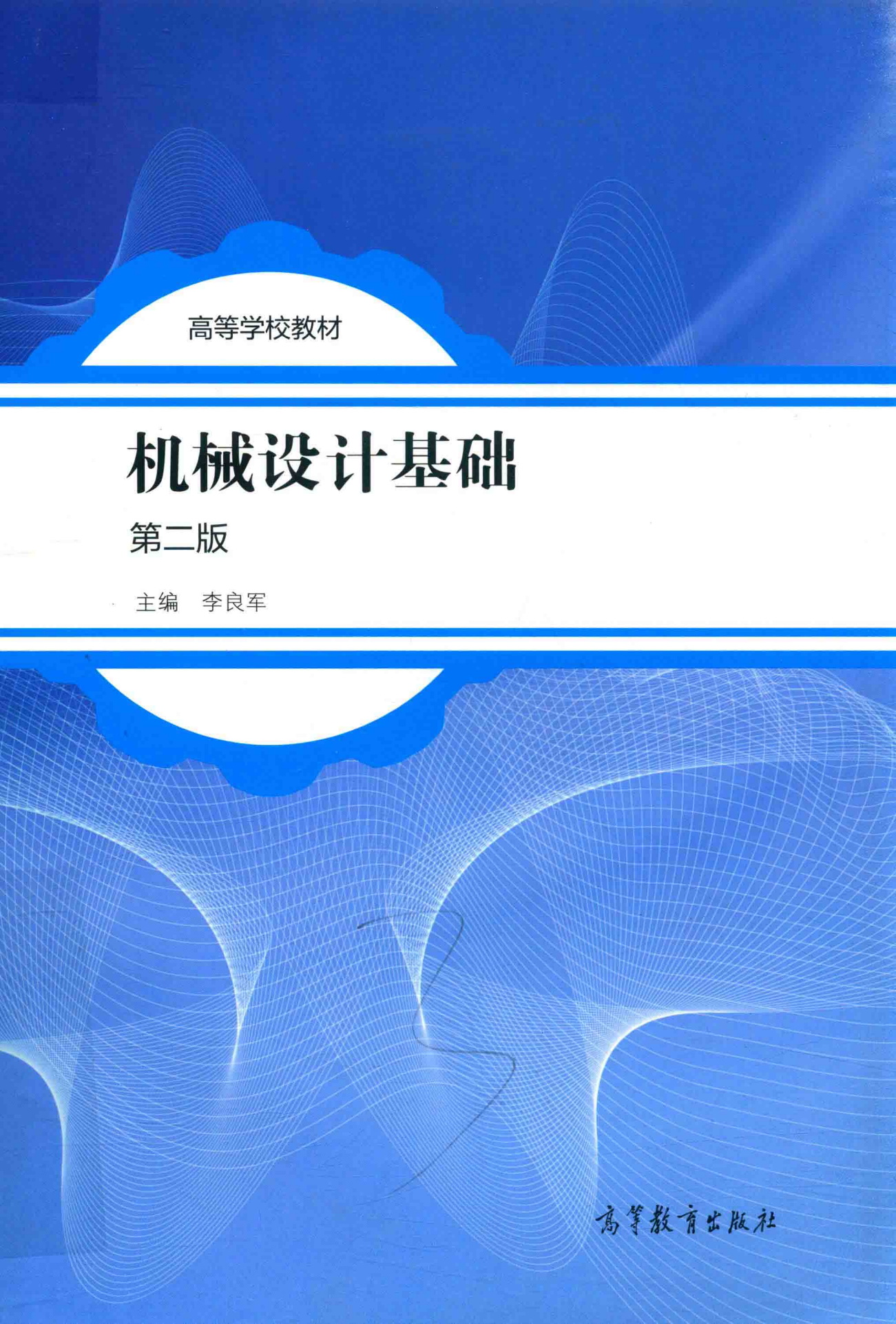




高等学校教材

机械设计基础

第二版

主编 李良军

高等教育出版社

机械设计基础

Jixie Sheji Jichu

第二版

主 编 李良军

副主编 伍驭美

参 编 任亨斌

陈 霞

杜雪松

主 审 彭文生

林 超

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是教育部新世纪高等教育改革工程项目“机械基础理论教学与实践教学改革的研究与实践”的研究成果,是根据工科非机械类专业的特点以及各专业对机械设计领域的知识与能力的共同需要在第一版的基础上修订而成的,整合了机械系统方案设计、零部件强度设计、结构设计、精度设计等机械设计过程中的重要内容。本书从机械系统的角度,重点阐述了机械常用机构、通用机械零部件及简单机械传动系统设计的基本知识、基本理论、基本设计计算方法、零件精度设计基础等内容。

本书共 15 章,包括机械设计概论、平面机构的运动简图及自由度、平面连杆机构、平面凸轮机构和间歇运动机构、圆柱齿轮传动、锥齿轮传动和蜗杆传动、轮系和减速器、带传动和链传动、机械传动系统设计、机械的平衡和调速、轴及其连接、轴承、螺纹连接、弹簧以及机械零件精度设计基础。

本书主要用作高等学校工科非机械类专业机械设计基础课程的教材,也可供有关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 李良军主编. -- 2 版. -- 北京: 高等教育出版社, 2017.5

ISBN 978-7-04-047605-7

I. ①机… II. ①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 (2017) 第 074319 号

策划编辑 卢 广
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 卢 广
责任校对 陈旭颖

封面设计 张 志
责任印制 赵义民

版式设计 王艳红

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京丰源印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 17.75
字 数 440 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2007 年 5 月第 1 版
2017 年 5 月第 2 版
印 次 2017 年 5 月第 1 次印刷
定 价 33.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究
物 料 号 47605-00

第二版前言

在现代工程教育理念的指导下,为满足社会发展及学生发展的需求,能源与动力工程、核工程与核技术、冶金工程、安全工程、工程力学、工业工程、建筑环境与能源应用工程、自动化等非机械类专业都在不断优化课程体系。这些专业的课程体系中设置了机械设计基础课程,要求学生掌握机械设计领域的基本内容,并具备一定的机械设计能力,以达成专业教育目标。本次修订正是在这样一个背景下进行的。本书是根据工科非机械类专业的特点以及各专业对机械设计领域的知识与能力的共同需要在第一版的基础上修订而成的,整合了机械系统方案设计、零部件强度设计、结构设计、精度设计等机械设计过程中的重要内容。

经过近几年的教学实践,为了进一步适应专业需求及教学需要,我们对第一版作了一些更新、调整,体现在以下几点:

(1) 每章都增加了概要和知识点,增强了各章的关联性,有助于读者总体把握教材内容,便于读者自学。

(2) 带式输送机械传动系统的设计实例始终贯穿于教材主要内容之中,增强了本书的工程实践性。通过对带式输送设备的机械传动系统进行多方案分析、比较和综合设计来培养学生独立分析能力、综合设计和创新能力。

(3) 根据课程整合的要求,增加了机械零件精度设计基础一章内容,增强机械设计基础课程内容的完整性。

(4) 本书紧密结合教学大纲,重点难点突出,语言简洁,图表清晰,书后还附有机械设计词汇中英文对照,以便于读者自学与查阅。

(5) 采用国家标准规定的名词术语和符号,引用最新的标准、规范和资料,例如在齿轮传动、链传动、滚动轴承等章节中都反映了一些标准最新的变化。

(6) 修改了第一版中有关文字、图表的错误和遗漏。

本教材由李良军任主编,伍馥美任副主编。参加本次修订的有李良军(第1、5、9、15章),伍馥美(第2、3、12章),任亨斌(第4、10、13章),陈霞(第7、8章),杜雪松(第6、11、14章)。

重庆大学林超教授悉心审阅了本书,提出了许多宝贵的意见和建议;编写过程中也得到了重庆大学机械工程学院的大力支持,在此一并表示诚挚感谢。

由于编者水平有限,书中误漏之处在所难免,恳请读者批评指正。意见请寄:重庆市重庆大学机械工程学院(邮编:400030)。

编 者

2016年6月

第一版前言

本书是根据教育部新世纪高等教育改革工程项目“机械基础理论教学与实践教学综合改革的研究与实践”的研究成果及教育部有关高等学校机械设计基础课程(少学时)教学基本要求的精神编写而成的。

机械设计基础课程是高等院校工科非机械类、管理及经贸类专业重要的技术基础课之一,是学生了解与掌握机械工作的基本原理和机械设计的基本方法,拓宽知识面,增强专业工作适应性的理论课程。

与机械类专业相比较,工科非机械类、管理及经贸类专业具有覆盖学科领域广的特点,各专业对人才培养的要求也有所不同,因此对学生应当具备的机械设计基础方面的知识结构要求也不尽相同,但是都会涉及各种机械设备和机械结构。因此,各专业对这门课程的共同要求可以概括为:学生通过机械设计基础课程的学习,认识和了解机械系统的组成与结构、机械系统的功能和工作原理,能正确选择和使用通用机械,了解机械设计的基本内容、基本要求和基本设计计算方法。不少专业还要求学生通过机械设计基础课程设计的训练,达到能设计简单机械和机械结构的目的。

根据工科非机械类专业、管理及经贸类专业具有覆盖学科领域广的特点及对机械设计基础知识方面的共同需要,本书从机械系统的角度,重点阐明了机械常用机构、通用机械零部件及简单机械传动系统设计的基本知识、基本理论、基本设计计算方法等内容。本书力求重点、难点突出,语言简洁,图表清晰,采用最新国家标准,注重学生素质教育和创新能力的培养。

本书带*部分为选学内容,可根据学时安排酌情取舍。

参加本书编写的有李良军(第1、5、10章)、伍驭美(第2、3、12章)、任亨斌(第4、13、15章)、陈霞(第7~9章)、杜雪松(第6、11、14章)。全书由李良军任主编,伍驭美任副主编。

本书承全国机械设计教学研究会理事长、华中科技大学彭文生教授细心审阅,并对全书提出了许多宝贵的意见和建议;编写过程中得到了重庆大学龙振宇教授的大力支持和帮助。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中误漏之处在所难免,恳请广大教师和读者批评指正。意见请寄:重庆市重庆大学机械工程学院(邮编:400030)。

编 者

2006年5月

目 录

第 1 章 机械设计概论	1	第 5 章 圆柱齿轮传动	60
1.1 机械及其组成	1	5.1 概述	60
1.2 机械设计的基本要求和一般 过程	4	5.2 齿廓啮合基本定律	61
1.3 机械零件的工作能力	6	5.3 渐开线齿廓	62
1.4 机械零件常用材料及金属 热处理	11	5.4 渐开线直齿圆柱齿轮各部分 名称及基本尺寸	64
1.5 机械零件的工艺性及标准化	15	5.5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的 啮合传动	67
习题	15	5.6 轮齿的切削加工及齿轮传动 的精度	69
第 2 章 平面机构的运动简图 及自由度	17	5.7 轮齿的失效形式和齿轮材料	71
2.1 运动副及其分类	17	5.8 标准直齿圆柱齿轮传动的 强度计算	74
2.2 平面机构运动简图	19	5.9 斜齿圆柱齿轮传动	84
2.3 平面机构的自由度	22	5.10 齿轮的结构设计	90
习题	25	习题	91
第 3 章 平面连杆机构	27	第 6 章 锥齿轮传动和蜗杆传动	92
3.1 铰链四杆机构	27	6.1 直齿锥齿轮的齿廓曲面、背锥与 当量齿轮	92
3.2 铰链四杆机构的基本性质	31	6.2 直齿锥齿轮传动的运动要求	94
3.3 铰链四杆机构的演化	34	6.3 直齿锥齿轮受力分析、强度计算 特点及典型结构	95
3.4 平面四杆机构的设计	39	6.4 蜗杆传动的组成和特点	96
习题	42	6.5 普通圆柱蜗杆传动的基本参数 和几何尺寸	97
第 4 章 平面凸轮机构和间歇 运动机构	43	6.6 蜗杆传动的啮合特性、失效形式及 材料选择	100
4.1 凸轮机构的应用和分类	43	6.7 蜗杆传动受力分析、承载能力 计算特点及典型结构	101
4.2 从动件常用的运动规律	45	习题	104
4.3 按给定的运动规律设计盘形 凸轮轮廓	48		
4.4 凸轮机构尺寸的确定	51		
4.5 间歇运动机构	54		
习题	58		

第 7 章 轮系和减速器	106	12.1 滑动轴承的主要类型、结构 和材料	187
7.1 轮系的功用和分类	106	12.2 非液体摩擦滑动轴承的计算	191
7.2 定轴轮系的传动比	109	12.3 液体摩擦滑动轴承简介	192
7.3 周转轮系的传动比	111	12.4 滚动轴承的类型和选择	193
7.4 减速器	115	12.5 滚动轴承的尺寸选择计算	197
习题	121	12.6 滚动轴承的组合设计	201
第 8 章 带传动和链传动	123	12.7 轴承的润滑、润滑装置和 密封装置	205
8.1 带传动的类型、结构和主要 几何尺寸	123	习题	207
8.2 带传动的受力分析和运动特性	128	第 13 章 螺纹连接	209
8.3 普通 V 带传动的设计	131	13.1 螺纹的主要参数和常用类型	209
8.4 链传动的特点、类型和结构	138	13.2 螺旋副的受力分析、效率和 自锁	212
8.5 链传动的运动特性	142	13.3 螺纹连接的类型和螺纹紧固件	214
8.6 滚子链传动的设计	143	13.4 单个螺栓连接的强度计算	217
习题	147	13.5 螺纹连接的拧紧和防松	222
第 9 章 机械传动系统设计	149	习题	225
9.1 机械传动系统设计概述	149	第 14 章 弹簧	227
9.2 机械传动系统设计实例	152	14.1 弹簧的主要类型和功用	227
习题	155	14.2 弹簧材料和制造简介	228
第 10 章 机械的平衡和调速	156	14.3 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧 的设计计算	230
10.1 机械平衡概述	156	习题	233
10.2 刚性回转构件的平衡	157	第 15 章 机械零件精度设计基础	234
10.3 机械速度波动的调节	159	15.1 尺寸精度及其选用	234
习题	161	15.2 几何精度及其选用	246
第 11 章 轴及其连接	162	15.3 公差原则及其选用	255
11.1 轴的分类和材料	162	15.4 表面粗糙度及其选用	257
11.2 轴的结构设计	164	习题	264
11.3 轴的强度计算	167	名词术语中英文对照	265
11.4 轴毂连接	174	参考文献	274
11.5 常用联轴器和离合器	179		
习题	185		
第 12 章 轴承	187		

第1章 机械设计概论

概要:机械是人类在长期的生产实践中创造出来的,用来代替或减轻人类劳动、提高生产效率和产品质量的技术装置,它已经成为现代生产和日常生活的基本要素。机械设计水平是衡量国家机械工业先进性的重要标志之一。本章主要内容包括机械及其组成、机械设计的基本要求和一般过程、机械零件的工作能力、机械零件常用材料及金属热处理、机械零件的工艺性及标准化。

知识点:机械,机器,机构,功能组成,结构组成;机械设计的基本要求、一般过程,零件设计的基本要求;载荷,应力、对称循环应力、脉动循环应力,工作能力计算准则、强度准则,许用应力、极限应力、安全系数;机械零件的常用材料,金属热处理,机械零件的工艺性、标准化。

1.1 机械及其组成

机械是机器与机构的统称。

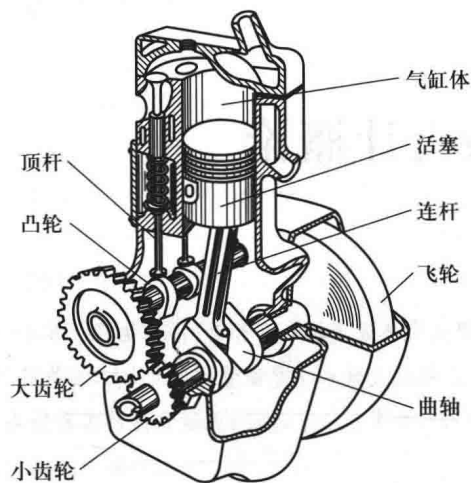
1.1.1 机器及其特征

在工作和日常生活中,我们见到过的机器很多,根据所能实现功能的不同,机器可分为动力机器、工作机器和信息机器三种类型。将其他种类的能量转换为机械能的机器称为动力机器,如内燃机、汽轮机、电动机等;用来实现对物料的某种工作或工艺过程,完成有用的机械功的机器称为工作机器,如汽车、洗衣机、各种加工机床,机器人等;实现其他形式(如电磁、热、压力等)的信息与机械运动信息之间的传递与转换的机器称为信息机器,如复印机、打印机、计算机等。

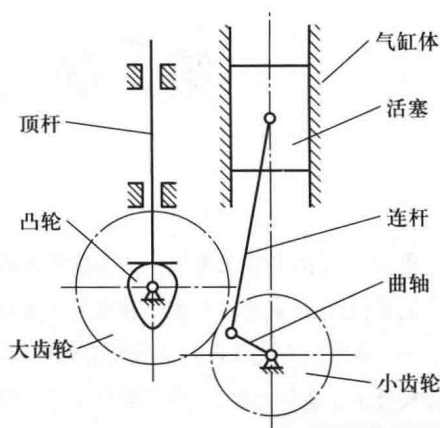
图 1-1a 所示为单缸内燃机的构造示意图,它由气缸体、活塞、连杆、曲轴、齿轮、凸轮、顶杆等组成。当活塞作往复移动时,活塞通过连杆带动曲轴连续转动;凸轮和顶杆用于启闭进气阀和排气阀;为保证曲轴每转两周进、排气阀各启、闭一次,曲轴与凸轮之间安装了特定齿数比的齿轮传动。这样,当燃气燃烧推动活塞运动时,各构件协调地动作,进、排气阀有规律地启闭,加上汽化、点火等装置的配合,就将热能转换为曲轴回转的机械能。在曲轴上还安装了一个大转动惯量的飞轮,其功能是保持曲轴的匀速转动。图 1-1b 所示为单缸内燃机的机构简图。

图 1-2 所示为一种常见套桶洗衣机的构造及其传动系统示意图。洗涤时,牵引器不动作,刹车带抱紧齿轮箱,使之处于静止状态;棘爪与棘轮工作,使离合簧处于放松状态。于是,电动机经主动轮、V 带将运动和动力传到从动轮,再通过高速轴及定轴齿轮传动,输出正向的波轮转动和反向的内桶转动。

脱水时,牵引器动作,刹车带处于放松状态;棘爪在牵引器的作用下脱离棘轮,致使离合簧紧缠在脱水轴和高速轴上,使高速轴、脱水轴、齿轮箱及脱水桶作为一个整体运动。于是,电动机经

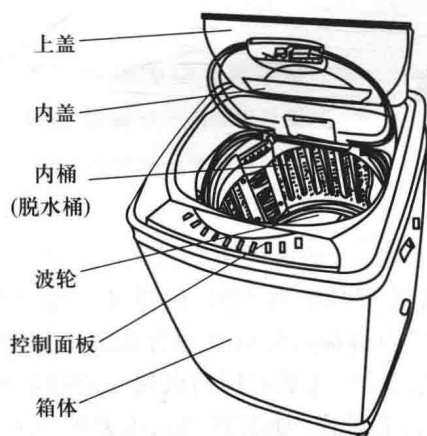


(a) 构造示意图

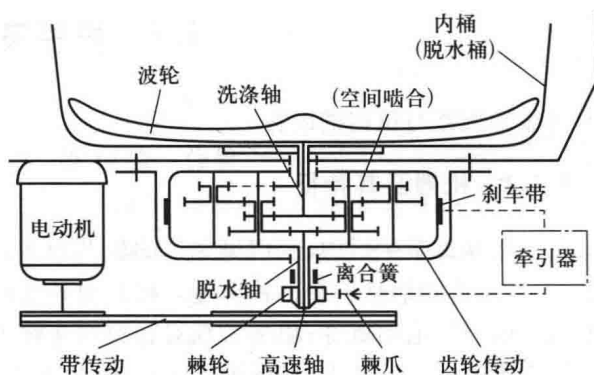


(b) 机构简图

图 1-1 单缸内燃机



(a) 构造示意图



(b) 传动系统示意图

图 1-2 洗衣机

主动轮、V 带将运动和动力传至从动轮,再通过高速轴、脱水轴带动脱水桶作脱水运动。

机器具有下列三个特征:

- 1) 是人为的实体组合;
- 2) 机器中各运动单元之间具有确定的相对运动;
- 3) 能代替或减轻人类的体力和脑力劳动,完成有效的机械功或实现能量、物料、信息的传递与变换。

1.1.2 机器的功能组成

一台机器就其各部分功能而言,主要由驱动系统、传动系统、执行系统和控制系统四部分组成(图 1-3)。



图 1-3 机器的主要功能组成

1. 驱动系统

驱动系统常称为原动机,是机器的动力源,包括动力机及其配套装置。常用的动力机有电动机、内燃机(图 1-1)、水轮机、蒸汽轮机、液动机、气动机等,其中电动机应用最为广泛。图 1-2 所示的洗衣机就是采用电动机驱动。

2. 执行系统

执行系统包括执行机构和执行构件,通常处于机械系统的末端,其功能是按照工艺要求完成确定的运动,实现预期工作。在图 1-2 所示的洗衣机中,执行构件是波轮和内桶。

3. 传动系统

传动系统是把原动机的运动和动力传递给执行系统的中间装置。在图 1-2 所示的洗衣机中,带传动、齿轮传动就组成了洗衣机的传动系统。

4. 控制系统

控制系统是使驱动系统、传动系统、执行系统彼此协调工作,并准确可靠地完成整个机械系统功能的装置,包括机械控制、电气控制、液压控制等。图 1-2 所示的洗衣机的控制系统就是通过采用单片微处理机和预先设定的程序,控制电动机、电磁铁及其他机械控制系统,完成洗衣机的注水、洗涤、排水、脱水等功能的。

随着科学技术的不断进步和计算机技术的广泛应用,现代机械正朝着自动化、精密化、高速化、智能化的方向发展。在机电一体化机械中,机械的控制系统将起更加重要的作用。现代机器是由计算机信息网络协调与控制的、用于完成包括机械力、运动和能量转换动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统。机器人是现代机器的典型。

1.1.3 机器、机构的结构组成

1. 机构与机器

机构是一种只能实现运动和力的传递与变换的装置。机构只具备机器的前两个特征,即机构是人为的实体组合,各组合的运动实体之间具有确定的相对运动。

一台机器根据其功能要求,可能由一个机构组成,也可能由若干机构组成,并按一定规律相互协调组合,通过有序的运动和力的传递与变换来实现预期的功能。例如,在图 1-1 所示的内燃机中,活塞(滑块)、连杆、曲轴(曲柄)和气缸体组成了曲柄滑块机构,将活塞的往复移动转换为曲轴的连续转动;一对齿轮传动,以特定的传动比将曲轴的转速减速为凸轮轴的转速;凸轮、顶杆和气缸体组成了凸轮机构,将凸轮的连续转动转换为顶杆有规律的往复运动。

机器中常用的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮传动、带传动、链传动、间歇运动机构等。

2. 构件与零件

在机器中作为一个整体运动的结构实体称为构件,是组成机器的最小运动单元。机构实质上就是两个以上构件相互可动连接而组成的构件系统。构件也可以是单一的实体,也可以是由若干彼此没有相对运动的实体连接而成,例如图 1-4 所示的内燃机的连杆,由于结构、工艺等方面的原因,连杆是由连杆体、连杆盖、轴瓦、螺栓、螺母等零件组成的刚性构件。

机器中单一的实体称为零件,是组成机器的最小制造单元,如机械中的轴、齿轮(整体式)、螺钉、螺母、键等。为完成同一功能,在结构上组合在一起协同工作的零件总成称为部件,如机械中的联轴器、减速器、滚动轴承等。

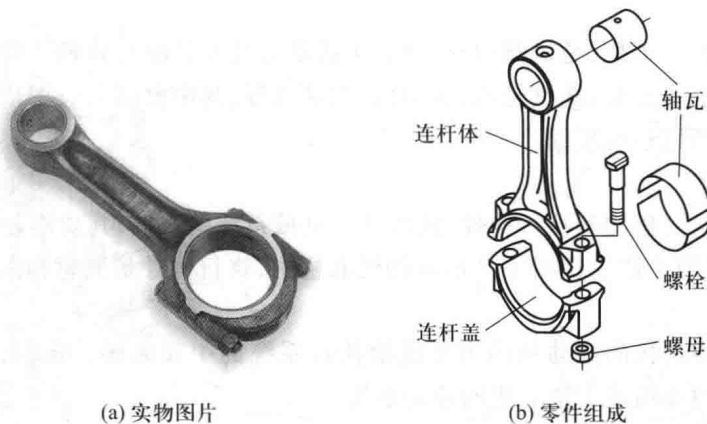


图 1-4 内燃机的连杆

机械中的零件通常分为两大类：一类是通用零件，它普遍用于各种机械中，如螺纹连接件、齿轮、轴承、弹簧等；另一类是专用零件，它只用于某些特定类型的机械中，如内燃机曲轴、洗衣机波轮、汽轮机叶片等。

机器、机构、构件、零件之间的组成关系如图 1-5 所示。

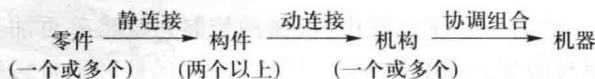


图 1-5 机器的结构组成

1.1.4 本课程研究的对象、内容与任务

机械设计基础是高等学校工科有关专业的一门重要的技术基础课程，其主要研究对象是机械设备中常用的机构、通用性的机械传动装置及普通条件下工作的通用机械零、部件。

本课程的主要内容是阐述连杆机构、凸轮机构、齿轮传动、蜗杆传动、带传动、链传动、轴及其连接、轴承、螺纹连接、弹簧等常用机构和通用机械零、部件的工作原理、结构特点、应用场合、基本设计理论及计算方法，零件精度设计的基本原则和方法。

本课程的目的和主要任务是使学生掌握常用机构的结构、特性等基本知识，并初步具有分析、选用基本机构的能力；掌握通用机械零、部件的工作原理、特点、应用和简单设计计算方法，零件精度设计的基本原则和方法，并初步具有分析、选用和维护通用机械设备的能力；具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料设计简单机械传动装置的能力。

1.2 机械设计的基本要求和一般过程

1.2.1 机械设计的基本要求

机械设计的基本要求主要有以下几方面：

1. 实现预期功能要求

预期功能是指用户提出或由设计者与用户协商确定下来的机械产品需要满足的特性和能

力。机械设计就是要实现机械的预期功能,并保证机械在预定的使用期限内和工作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,它与机械产品的设计、制造、销售以及使用有密切的关系,它要求机械的设计和制造周期短、成本低,机械产品的工作效率高,能源材料消耗少,维护管理费用低。

3. 操作方便与安全要求

机械的使用应简便可靠,符合人机工程学要求,减轻使用者的劳动强度。对机械中的危险部位应设置防护装置;为防止误操作引起事故,应设置报警装置和保险装置。

4. 美学及环保要求

设计机械时应从工业美学角度出发,考虑机械的造型和色彩要美观宜人。此外,对机械工作时产生的噪声、废水、废气、粉尘等应符合国家有关环保规定。

5. 其他特殊要求

如大型机械应便于安装、拆卸和运输;机床能长期保证精度;食品、医药、纺织等机械不能污染产品等。

1.2.2 机械设计的一般过程

设计一台新的机器是一项复杂细致的工作,要经过调查研究、设计、制造和运行鉴定等一系列过程。机械设计的一般过程如表 1-1 所示。机械设计各个阶段是相互紧密关联的,某一阶段中发现的问题和不当之处,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返回、不断修改和完善,以逐渐接近最优结果的过程。

表 1-1 机械设计的一般过程

设计阶段	设计工作的主要内容
确定设计任务	根据市场或用户需求,确定机器的功能和工作指标,研究分析其实现的可行性,制定产品设计任务书
原理方案设计	根据设计任务书的要求,进行调查研究,确定实现预定功能的机械工作原理,拟定机械的总体方案、传动方案和机械运动简图等。在原理方案设计阶段中,往往需要全面分析对比多种方案并做出技术经济评价,从中选定最佳设计方案
技术设计	1. 机械的运动学和动力学设计 根据选定的设计方案,确定原动机的参数和方案中各个机构的基本几何参数及运动参数,以满足给定的运动、动力要求 2. 零、部件工作能力设计 根据各零件的受载情况,以保证零件在预定的使用期限内不发生失效为依据,确定零件的基本参数 3. 结构设计、精度设计并绘制装配图和零件图 根据各零件基本参数及结构要求,确定零件的全部结构尺寸及合适精度,完成加工所需的装配图、零件工作图和技术文件
样机试制	根据技术设计所提供的图纸等技术文件试制样机,并对样机进行性能测试、鉴定及全面的技术经济评价,同时对设计提出修改意见,以完善设计方案

机械系统方案设计、零、部件强度设计,结构设计及精度设计是机械设计过程中的重要设计内容。机械零件应满足的基本要求是从机械设计的基本要求中引申出来的,一般来讲,机械零件设计的基本要求是机械零件既要在预定的期间内工作可靠,又要成本低廉。

1.3 机械零件的工作能力

1.3.1 载荷和应力

1. 载荷

作用在零件上的载荷可分为静载荷和变载荷两类。不随时间变化或变化很小的载荷称为静载荷,随时间变化的载荷称为变载荷。

在设计计算中,还常把载荷分为名义载荷和计算载荷。根据额定功率在理想的条件下计算出的作用在零件上的载荷称为名义载荷,而计算载荷是考虑实际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的载荷。常用载荷系数 K 来衡量这些因素的综合影响。载荷系数 K 与名义载荷的乘积称为计算载荷。

在外载荷作用下,零件反抗或阻止变形而产生于零件内各部分之间的相互作用力,称为内力,内力有四种:剪力、轴力、扭矩和弯矩。如图 1-6 所示,零件受轴向拉力 F 的作用,假想用横截面 $m-m$ 切开,分为左右两部分。取左边部分作为研究对象,截面上的内力为一轴力 F_N ,根据平衡关系易知 $F_N = F$ 。

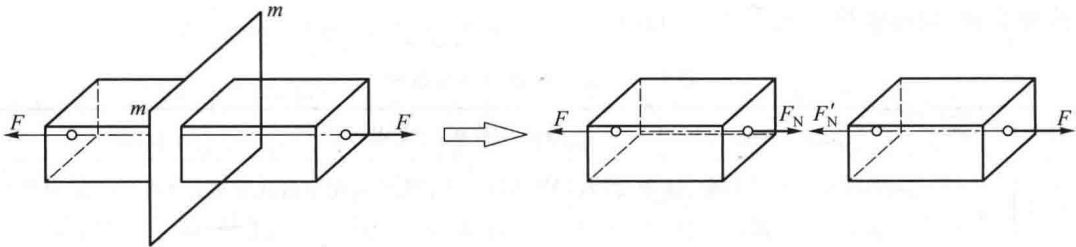


图 1-6 截面法求内力

2. 应力

内力随着外载荷的增大而增大,达到一定限度时,零件就会发生破坏。但这种破坏不取决于内力大小,而取决于单位面积上作用的内力大小,即应力的大小。应力是内力密度,是内力大小的量度,其单位为 $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$ 。由于 Pa 这一单位太小,工程上常用 $\text{MPa}(\text{N}/\text{mm}^2)$ 作为应力的单位。应力分为正应力和切应力,沿截面法向的应力为正应力,用 σ 表示,沿截面切向的应力为切应力,用 τ 表示。应力在截面上的分布可能是均匀分布,也可能是不均匀分布。如图 1-7 所示的轴向拉(压)杆,靠近两端部截面上的应力不是均匀分布的,但在距离两端面足够远处截面上的应力是均匀分布的。假想在距离两端面足够远处用横截面 $m-m$ 切开,易知该截面上仅有垂直

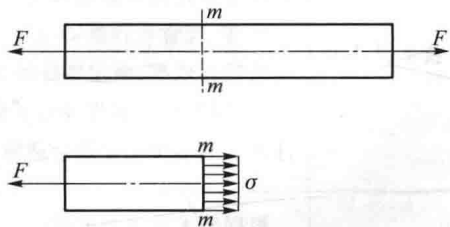


图 1-7 轴向拉(压)杆横截面上的应力

于截面的正应力,大小为

$$\sigma = \frac{F_N}{A} \tag{1-1}$$

式中: F_N ——横截面上的轴力;
 A ——横截面的面积。

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较小的应力称为静应力(图 1-8a),随时间变化的应力称为变应力。绝大多数机械零件都是处于变应力状态下工作的。周期变化的应力称为循环应力,稳定循环应力有三种基本类型:① 对称循环应力(图 1-8b);② 脉动循环应力(图 1-8c);③ 非对称循环应力(图 1-8d)。图中 T 为应力循环周期。

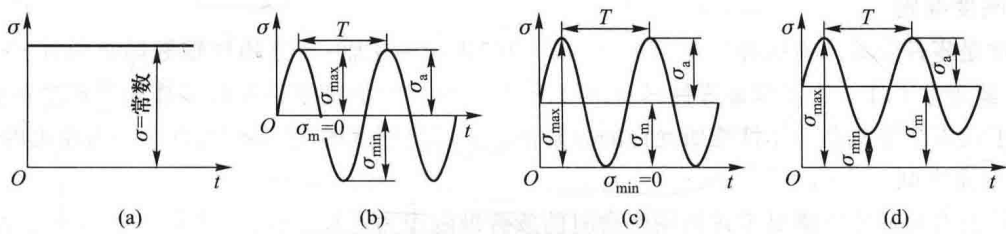


图 1-8 静应力及稳定循环应力

为了表示稳定循环应力的状况,引入下列变应力参数: $\sigma_{\max}$ ——变应力最大值; $\sigma_{\min}$ ——变应力最小值; σ_m ——平均应力; σ_a ——应力幅; r ——循环特性。

由图 1-8 可知, $\sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a$; $\sigma_{\min} = \sigma_m - \sigma_a$; $\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$; $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$; $r = \sigma_{\min}/\sigma_{\max} = (\sigma_m - \sigma_a)/(\sigma_m + \sigma_a)$ 。

当 $r = +1$ 时, $\sigma_{\max} = \sigma_{\min}$, 为静应力; 当 $r = -1$ 时, $\sigma_{\max}$ 与 $\sigma_{\min}$ 的大小相等但符号(即方向)相反, 为对称循环应力; 当 $r = 0$ 时, $\sigma_{\min} = 0$, $\sigma_m = \sigma_a = \sigma_{\max}/2$, 为脉动循环应力。当 r 为其他任意值时, 为非对称循环应力。

通常在设计时,对于应力变化次数较少(例如在整个使用寿命期间应力变化次数小于 10^3 的通用零件)的变应力,可近似地按静应力处理。变应力由变载荷产生,也可能由静载荷产生。零件的失效形式与材料的极限应力以及零件工作时的应力类型有关。在进行强度计算时,首先要弄清楚零件所受应力的类型。

1.3.2 工作能力计算准则

根据机械零件设计的基本要求,保证机械零件在预定的使用寿命内工作可靠,就是保证机械零件不发生失效。机械零件由于某些原因不能正常工作时,称为失效。在机械设备中,机械零件的主要失效形式有断裂、过量的弹性变形、塑性变形、疲劳点蚀、磨损、压溃等,例如齿轮轮齿可能因过载发生断裂而失效,轴可能因过量的弹性变形而不能正常地工作。

在一定的条件下,在预定的使用期限内,零件不发生失效时的安全工作限度称为零件的工作能力。对载荷而言的工作能力称为零件的承载能力。为防止失效而制定的判定条件,通常称为工作能力计算准则。机械零件有多种失效形式,但主要反映的是零件在强度、刚度、寿命、振动稳定性等方面的问题,因此就有相应的工作能力计算准则。

1. 强度准则

强度准则是机械零件首先应满足的最基本要求。强度是指零件在载荷作用下抵抗断裂、塑性变形及表面损伤的能力。如果零件强度不够,工作时会产生断裂或过大的塑性变形,使零件不能正常工作。

为了保证机械零件具有足够的强度,设计时机械零件应满足如下的强度条件:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau] \quad (1-2)$$

式中: σ ——零件危险剖面或工作表面的最大工作正应力;

τ ——零件危险剖面或工作表面的最大工作切应力;

$[\sigma]$ ——零件的许用正应力;

$[\tau]$ ——零件的许用切应力。

2. 刚度准则

刚度是零件受载后抵抗弹性变形的能力。例如机床的主轴、高速蜗杆轴等都必须具有一定的刚度,才能正常工作。为了保证零件具有足够的刚度,设计时应使零件在载荷作用下产生的弹性变形量小于或等于按机器工作性能所允许的极限值。柔度是刚度的反向概念,其大小为刚度的倒数。

3. 寿命准则

零件的寿命通常以满足零件使用寿命时的疲劳极限作为计算依据,其主要影响因素是磨损、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及合理选定摩擦副的材料、热处理方法、表面状态、油品等,同时给予合理而充分的润滑,以延长零件的使用寿命。迄今为止,还没有提出关于腐蚀寿命的计算方法。

通过对零件疲劳的研究,已形成了比较完善的常规疲劳强度设计理论,疲劳寿命通常是以满足零件使用寿命要求的疲劳极限或额定载荷为计算依据的。

4. 散热性准则

在两个零件发生剧烈摩擦处会产生大量的热。如散热不良,就会使零件温度升高,从而改变两个零件的结合性质,破坏正常润滑条件,甚至导致金属局部熔融而产生胶合。对于发热较大的零、部件(如蜗杆传动、滑动轴承等),应依据散热性准则进行热平衡计算,以保证其在许用工作温度之内工作。

1.3.3 许用应力、极限应力及许用安全系数

许用应力是保证机械零件安全可靠工作所容许的最大应力值,由零件材料的极限应力和许用安全系数确定,它们的关系为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{[S]} \quad \text{或} \quad [\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{[S]} \quad (1-3)$$

式中: σ_{lim} ——零件材料的极限正应力;

τ_{lim} ——零件材料的极限切应力;

$[S]$ ——许用安全系数。

1. 静应力下的极限应力

在静应力作用下工作的机械零件,其主要失效形式是断裂或塑性变形。对于用塑性材料制成的零件,取材料的屈服强度 R_e (R_{eH} 或 R_{eL}) 作为极限应力;用脆性材料制成的零件,取材料的抗拉强度 R_m 作为极限应力。

屈服强度和抗拉强度是根据金属材料拉伸试验得到的。下面以低碳钢为例,说明材料的一

些力学性能。拉伸试验是采用国家标准规定的试件,在材料拉伸试验机上进行,用夹头夹紧试件两端,缓慢加载,直至试件被拉断为止,试件情况如图 1-9 所示。一般试验机均装有自动绘图装置,能自动绘制载荷 F 与伸长量 ΔL 之间的关系曲线。为了消除试件尺寸的影响,使结果能反映材料的性能,将拉力 F 除以试件原始横截面积,即以应力 σ 来衡量材料的受力情况;将标距的伸长量 ΔL 除以试件的原始标距(应变 ε 的定义),以应变 ε 来衡量材料的变形情况,由此得到材料的应力-应变曲线,即 σ - ε 曲线,如图 1-10 所示。

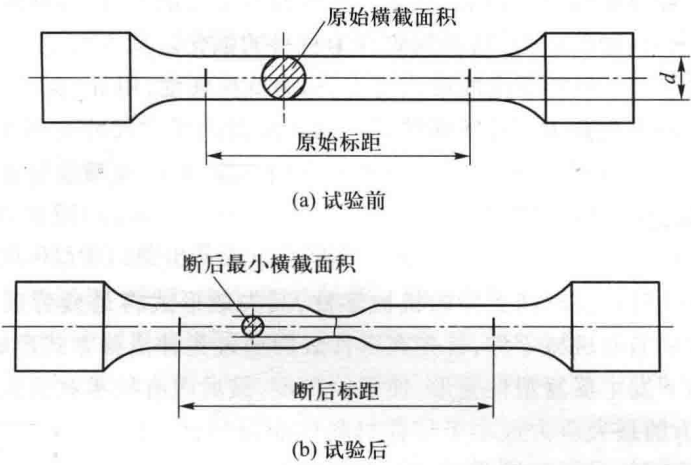
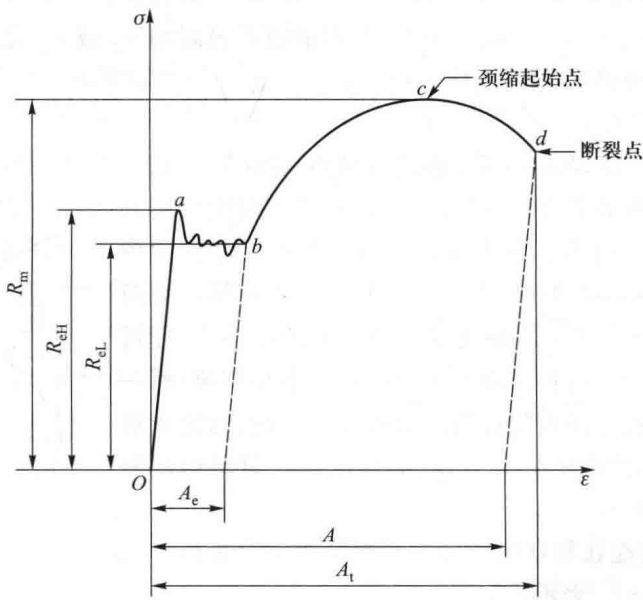


图 1-9 圆形横截面试样试验前后的情况



根据低碳钢应力-应变曲线的特点,曲线可划分成如下四个阶段。

(1) 弹性阶段 在应力到达 a 点之前,有一段直线,说明在此阶段内应力和应变成正比,材料只产生弹性变形,直线的斜率为试件材料的弹性模量,用 E 表示, $\sigma = E\varepsilon$ 。弹性模量 E 对某种材料而言是个常数,是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标, E 越大,材料抵抗弹性变形的能

力也越大。

(2) 屈服阶段 当应力达到 a 点时,应力不再增加,只是有些微小波动,而应变却急剧地增加,材料暂时失去了抵抗变形的能力。这个情况一直延续到 b 点,是试件产生的塑性变形导致的结果。 a 点应力值称为上屈服强度,用 R_{eh} 表示, b 点应力值称为下屈服强度,用 R_{el} 表示。图中 A_e 称为屈服点延伸率。由于 R_{eh} 受试验时一些因素的影响较大,不如 R_{el} 稳定,故一般取下屈服强度 R_{el} 作为材料的屈服强度。

(3) 强化阶段 经过屈服阶段以后,从 b 点开始曲线又逐渐上升,材料恢复了抵抗变形的能力,要使它继续变形,必须增加应力,这种现象称为材料的强化。从 b 点至 c 点为强化阶段,强化阶段中最高点 c 点的应力是材料承受的最大应力,称为抗拉强度,用 R_m 表示。

(4) 颈缩阶段 应力达到 R_m 后,试件在某一局部范围内横向尺寸突然缩小,形成“颈缩”现象,如图 1-9b 所示。从 c 点到 d 点,试件承载能力急剧下降,最后在颈缩处被拉断,图 1-10 中 A 称为断后伸长率, A_1 称为断裂点延伸率。

2. 疲劳极限应力

在变应力作用下经过较长时间工作的机械零件,其失效形式将是疲劳破坏。对于在变应力作用下的表面无宏观缺陷的机械零件,首先在零件表面通过各种滑移方式形成初始裂纹,然后裂纹尖端在切应力作用下发生反复塑性变形,使裂纹扩展,最后因有效承载面积逐渐减小而突然发生断裂,断裂时变应力的最大应力远小于零件材料的屈服强度。因此,在变应力作用下,为防止产生疲劳破坏,应该取零件材料的疲劳极限作为极限应力。

在任一给定循环特性 r 的条件下,当应力循环 N 次后,材料不发生疲劳破坏时的最大应力称为疲劳极限,用 σ_{rN} 或 τ_{rN} 表示。无限寿命时,材料的疲劳极限用 σ_R 或 τ_R 表示。在对称循环应力作用下,材料的疲劳极限最低,用 σ_{-1} 或 τ_{-1} 表示。

3. 接触疲劳极限应力

两个零件(如齿轮、滚动轴承等)通过点或线接触传递载荷时,由于弹性变形后接触面积很小,而在其表面层产生很大的局部应力,这个应力称为接触应力。最大接触应力发生在接触区的中点或中线上,用 σ_H 表示。如图 1-11 所示为两平行圆柱体在载荷 F_n 作用下接触应力的分布情况。在交变接触应力的作用下,经过较长时间工作后,零件表面材料可能产生甲壳状的小片剥落,而在表面上遗留下一些小坑,这种现象称为疲劳点蚀。因此,为防止通过点或线接触工作的零件产生疲劳点蚀,应该取零件材料的接触疲劳极限作为极限应力。

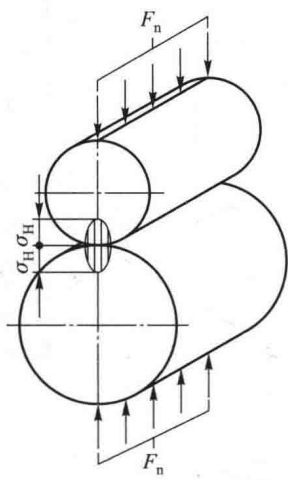


图 1-11 两个外圆柱体接触

接触疲劳极限应力是在规定的应力循环次数下不发生疲劳点蚀的最大接触应力,用 σ_{Hlim} 表示。

4. 许用安全系数

合理地选择许用安全系数 $[S]$ 是机械设计中的一项重要工作,它可以使零件既有足够的强度和寿命,又具有合理的结构。在保证零件工作安全可靠的前提下,尽可能选择较小的安全系数值,或者说尽可能提高许用应力的数值。

许用安全系数(或许用应力)数值大小的选择主要与工作应力的计算准确性、材料的极限应