

高等工科院校系列教材

机械设计基础

罗述洁 马正纲 阮月娥 主编



重庆大学出版社

机械设计基础

罗迷洁 杨永成 主编

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书是根据国家教委制订的高等工科院校非机类三年制专科《机械设计基础教学基本要求》编写而成的。

书中主要阐述了常用机构的组成、工作原理、运动特点、选用及简单设计方面的基本知识,同时还叙述了通用零(部)件的工作原理、特点、选用、维护及一般的设计计算方法。为了扩大非机类学生的知识面,在本书第十六章中简述了有关液压传动的基本知识。

本书可作为高等工科院校非机类大专各专业的教材,亦可供有关的工程技术人员参考。

机械设计基础

罗述洁 马正纲 阮月娥 主编

责任编辑 谭 敏

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆后勤工程学院印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:480千

1994年12月第1版 1997年4月第2次印刷

印数:8001—12000

ISBN 7-5624-0858-0/TH·45 定价:18.00元

序

近年来我国高等专科教育发展很快,各校招收专科生的人数呈逐年上升趋势,但是专科教材颇为匮乏,专科教材建设工作进展迟缓,在一定程度上制约了专科教育的发展。在重庆大学出版社的倡议下,中国西部地区14所院校(云南工学院、贵州工学院、宁夏工学院、新疆工学院、陕西工学院、广西大学、广西工学院、兰州工业高等专科学校、昆明工学院、攀枝花大学、四川工业学院、四川轻化工学院、渝州大学、重庆大学)联合起来,编写、出版机类和电类专科教材,开创了一条出版系列教材的新路。这是一项有远见的战略决策,得到国家教委的肯定与支持。

质量是这套教材的生命。围绕提高系列教材质量,采取了一系列重要举措:

第一,组织数十名教学专家反复研究机类、电类三年制专科的培养目标和教学计划,根据高等工程专科教育的培养目标——培养技术应用型人才,确定了专科学生应该具备的知识和能力结构,据此制订了教学计划,提出了50门课程的编写书目。

第二,通过主编会议审定了50门课程的编写大纲,不过分强调每门课程自身的系统性和完整性,从系列教材的整体优化原则出发,理顺了各门课程之间的关系,既保证了各门课程的基本内容,又避免了重复和交叉。

第三,规定了编写系列专科教材应该遵循的原则:

1. 教材应与专科学生的知识、能力结构相适应,不要不切实际地拔高;
2. 基础理论课的教学应以“必须、够用”为度,所谓“必须”是指专科人才培养规格之所需,所谓“够用”是指满足后续课程之需要。
3. 根据专科的人才培养规格和人才的主要去向,确定专业课教材的内容,加强针对性和实用性;
4. 减少不必要的数理论证和数学推导;
5. 注意培养学生解决实际问题的能力,强化学生的工程意识;
6. 教材中应配备习题、复习思考题、实验指示书等,以方便组织教学;
7. 教材应做到概念准确,数据正确,文字叙述简明扼要,文、图配合适当。

第四,由出版社聘请学术水平高、教学经验丰富、责任心强的专家担任主审,严格把住每门教材的学术质量关。

出版系列专科教材堪称一项“浩大的工程”。经过一年多的艰苦努力,系列专科教材陆续面市了。它汇集了中国西部地区14所院校专科教育的办学经验,是西

部地区广大教师长期教学经验的结晶。

纵观这套教材,具有如下的特色:它符合我国国情,符合专科教育的教学基本要求和教学规律;正确处理了与本科教材、中专教材的分工,具有很强的实用性;与出版单科教材不同,有计划地成套推出,实现了整体优化。

这套教材立足于我国西部地区,面向全国市场,它的出版必将对繁荣我国的专科教育发挥积极的作用。这套教材可以作为大学专科及成人高校的教材,也可作为大学本科非机类或非电类专业的教材,亦可供有关工程技术人员参考。因此我不揣冒昧向广大读者推荐这套系列教材,并希望通过教学实践后逐版修订,使之日臻完善。

吴云鹏

1993年
仲夏

前 言

本书是根据国家教委制订的高等工科院校非机类三年制专科《机械设计基础教学基本要求》编写而成。

本书内容是按常用机构、通用零(部)件和机器动力学来安排编排顺序的。为了扩大非机类学生的知识面,在本书第十六章还介绍了有关液压传动的基本知识。

本书在取材方面以实用为主,突出叙述基本知识、基本理论和基本计算方法的应用,使非机类学生在接触有关机械时有较好的适应性,并为正确使用、维护设备及分析设备事故打下良好的基础。

全书共分十六章,参考学时为 80 学时,每一章均包含内容提要、正文、例题、小结及习题。书中有关内容、资料及计算方法全部采用相应的国家新标准。

为了学生能顺利地进行课程作业,书末还附有部分螺纹及螺纹联接件、常用滚动轴承等资料。

参加本书编写的有兰州工业高等专科学校王兰明(第二、三、四、五章)、昆明工学院马正纲(第一章 5~8 节、十二、十三章)、四川工业学院阮月娥(第六、十、十一章)、四川轻化工学院林昌华(第九章)、兰州工业高等专科学校吴春生(第十六章)、贵州工学院罗述洁(第一章 1~4 节、七、八、十四、十五章)。罗述洁、马正纲、阮月娥任主编,全书由罗述洁定稿。

本书第十六章(液压传动)曾请昆明工学院袁子荣教授审阅,全书由昆明工学院詹鹏举教授审稿。他们提出了不少宝贵意见,在定稿过程中已经加以采纳,在此致以深切的谢意。

限于编者水平,书中的缺点、错误在所难免,衷心希望使用本书的教师和读者批评指正。

编者

1993 年 7 月

目 录

第一章 总论	1
§ 1-1 引言	1
§ 1-2 机器、机构、构件和零件	1
§ 1-3 本课程研究的内容、性质与任务	2
§ 1-4 设计机器应满足的基本要求及一般程序	3
§ 1-5 机械零件的工作能力准则	3
§ 1-6 机械零件设计的一般步骤和设计方法	8
§ 1-7 机械制造常用材料的选用原则	9
§ 1-8 机械零件的工艺性及标准化	9
本章小结	10
习题	10
第二章 平面机构的运动简图及其自由度	11
§ 2-1 平面运动副及其分类	11
§ 2-2 平面机构运动简图及其绘制	12
§ 2-3 平面机构具有确定运动的条件	15
本章小结	18
习题	19
第三章 平面连杆机构	21
§ 3-1 平面四杆机构的基本类型和性质	21
§ 3-2 铰链四杆机构中具有曲柄的条件	26
§ 3-3 铰链四杆机构的演化	28
§ 3-4 平面四杆机构的特点和应用	31
本章小结	32
习题	32
第四章 凸轮机构	34
§ 4-1 凸轮机构的应用、特点和类型	34
§ 4-2 从动件常用运动规律	36
§ 4-3 按给定运动规律设计盘形凸轮轮廓	39
§ 4-4 凸轮设计中应注意的问题	41
本章小结	43
习题	44
第五章 间歇运动机构	45
§ 5-1 棘轮机构	45
§ 5-2 槽轮机构	46
§ 5-3 不完全齿轮机构	47
本章小结	48
习题	48
第六章 联接	49
§ 6-1 螺纹的类型、应用及主要参数	49
§ 6-2 螺旋副的受力分析及自锁条件	51
§ 6-3 螺纹联接的基本类型及螺纹联接件	52

§ 6-4 螺纹联接的拧紧与防松	55
§ 6-5 螺栓联接的强度计算	57
§ 6-6 提高螺栓联接强度的措施	63
§ 6-7 螺旋传动	65
§ 6-8 键联接与花键联接	66
本章小结	70
习题	71
第七章 带传动	73
§ 7-1 概述	73
§ 7-2 带传动工作情况分析	76
§ 7-3 单根 V 带所能传递的功率	79
§ 7-4 V 带传动的设计步骤和参数选择	85
§ 7-5 V 带带轮设计	88
§ 7-6 带传动的张紧与维护	91
本章小结	94
习题	94
第八章 链传动	96
§ 8-1 概述	96
§ 8-2 链传动的速度分析	98
§ 8-3 链传动的主要参数及其选择	99
§ 8-4 滚子链传动承载能力计算及链号的确定	100
§ 8-5 滚子链链轮的结构和材料	103
§ 8-6 链传动的合理布置与维护	105
本章小结	105
习题	106
第九章 齿轮传动	107
§ 9-1 概述	107
§ 9-2 齿廓啮合的基本定律	108
§ 9-3 渐开线齿廓及其啮合特性	109
§ 9-4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要参数及几何尺寸	111
§ 9-5 渐开线齿轮啮合传动	114
§ 9-6 渐开线齿轮轮齿加工方法与根切现象	115
§ 9-7 齿轮的失效形式	118
§ 9-8 齿轮的材料及热处理	119
§ 9-9 直齿圆柱齿轮传动的设计计算	121
§ 9-10 斜齿圆柱齿轮传动	129
§ 9-11 直齿圆锥齿轮传动	136
§ 9-12 齿轮的结构设计	145
本章小结	148
习题	150
第十章 蜗杆传动	153
§ 10-1 概述	153

§ 10-2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数及几何尺寸计算	153
§ 10-3 蜗杆传动的相对滑动速度、主要失效形式及材料选择	157
§ 10-4 蜗杆传动的受力分析及强度计算	158
§ 10-5 蜗杆传动的效率及热平衡计算	159
§ 10-6 蜗杆、蜗轮的结构	161
本章小结	164
习题	164
第十一章 轮系和减速器	166
§ 11-1 轮系的分类	166
§ 11-2 定轴轮系的传动比计算	167
§ 11-3 周转轮系的传动比计算	168
§ 11-4 复合轮系的传动比计算	170
§ 11-5 轮系的功用	171
§ 11-6 机械传动综述	173
§ 11-7 减速器	174
本章小结	177
习题	177
第十二章 轴	179
§ 12-1 轴的功用、分类	179
§ 12-2 轴的材料	180
§ 12-3 轴的结构设计	182
§ 12-4 轴的强度计算	186
§ 12-5 轴的刚度计算简介	189
§ 12-6 轴的设计步骤和实例	190
本章小结	194
习题	194
第十三章 轴承	196
§ 13-1 概述	196
§ 13-2 滑动轴承的结构及材料	196
§ 13-3 常用的润滑剂和润滑装置	199
§ 13-4 非液体摩擦滑动轴承的设计	202
§ 13-5 滚动轴承的类型、结构、特点和代号	203
§ 13-6 滚动轴承的尺寸选择	209
§ 13-7 滚动轴承组合设计原则	216
本章小结	219
习题	220
第十四章 联轴器和离合器	221
§ 14-1 联轴器与离合器的功用及选择	221
§ 14-2 联轴器	222
§ 14-3 离合器	226
本章小结	229
习题	229

第十五章 机械的调速与平衡.....	230
§ 15-1 机器速度波动的调节	230
§ 15-2 机械的平衡	234
本章小结	236
习题	237
第十六章 液压传动概论.....	238
§ 16-1 液压传动的基本概念	238
§ 16-2 液压元件	242
§ 16-3 液压基本回路	261
§ 16-4 液压系统实例	268
§ 16-5 液压系统的安装、使用和常见故障的排除	271
本章小结	273
习题	273
附录.....	276
主要参考资料.....	295

第一章 总 论

本章介绍了机器、机构、构件及零件的概念及本课程的内容、性质和任务;简述了设计机器和机械零件应满足的基本要求及一般程序;重点阐述了机械零件工作能力准则。关于机械制造中常用材料的选择原则、机械零件的工艺性和标准化等只作了简要说明。

§ 1-1 引 言

机械工业担负着向国民经济各部门,包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、价格低廉、使用方便、安全可靠的技术装备的任务。在现代化建设中起着举足轻重的作用。所以通常认为使用机器进行生产的水平是衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。

人类为了减轻体力劳动,提高生产率而创造、发明了各种各样的机器,随着生产的发展,对机械的研究不断深入,有关机械方面的知识也日趋完善,到 19 世纪中期逐渐形成了系统地研究机械设计的学科。由于科学理论的提高,相应地又促进了生产的发展,加之材料科学、力学、制图、机械制造工艺学等学科的不断深入研究,逐渐形成了一整套机械设计的理论与方法。近几十年来,由于电子计算机的发展与广泛应用,在机械设计中引入了有限元法,优化设计和计算机辅助设计等先进方法,使设计方法更加科学化、系统化和现代化了。

机械设计是机械产品研制的第一道工序。设计工作质量的好坏直接关系到产品的质量、性能、研制周期和经济效益。工业发达国家都十分重视产品设计,因市场竞争的生命力在于产品的水平,而一个有竞争能力的产品,其设计起着关键的作用。所以机械设计这门学科在我国现代化建设中将起着重要作用。

§ 1-2 机器、机构、构件和零件

机械是机器与机构的总称。我们在日常生活和生产中,见过和使用过许多机器,例如内燃机、电动机、起重机、机床等等。各种机器尽管有着不同的形式、构造和用途,然而这些不同的机器都具有下列三个共同的特征:(1)任何机器都是人为的多种实物的组合;(2)各实物间具有确定的相对运动;(3)能完成有效的机械功(如起重机、机床等)或变换机械能(如内燃机、电动机等)。

机构仅具有机器的前两个特征:即它也是人为的多种实物的组合;其各实物之间也具有确定的相对运动;它被用来传递运动或变换运动形式。例如图 1-1 所示的内燃机中,由缸体 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 所组成的组合体,能将活塞的往复移动变为曲柄的连续转

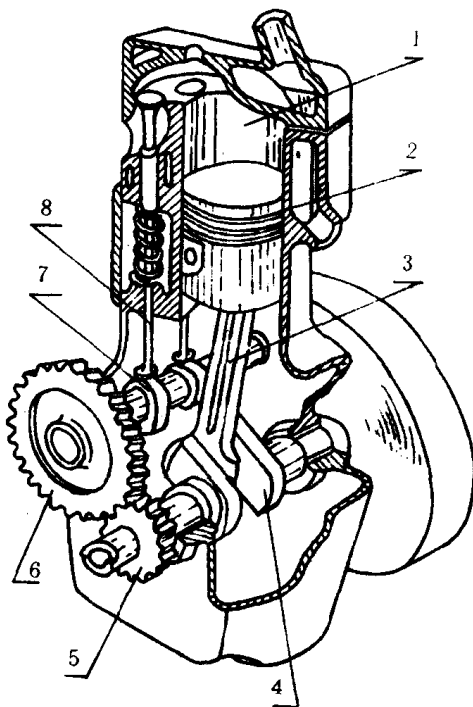


图 1-1 单缸内燃机

动,它虽具有机器的前两个特征,却不能单独工作,因此它只是一个机构(称为曲柄连杆机构)。要使内燃机能够工作,还必须再配上由 5、6 组成的齿轮机构和由 7、8 组成的凸轮机构以及其他一些装置。

一部机器可能由一种机构或多种机构组成。图 1-1 所示的内燃机便是由曲柄连杆机构、凸轮机构、齿轮机构组成,而电动机只是由一个简单的二杆机构(即转子与定子)所组成。

各种机械中普遍使用的机构称为常用机构。例如连杆机构、齿轮机构、凸轮机构及间隙运动机构等。

机构或机器中的实物(即形成相对运动的各个单元)称为构件,例如内燃机中的活塞、曲柄、连杆、缸体都是构件。构件可以是单一的整体,也可以是几个元件刚性的组合。如图 1-2 所示的齿轮,通常是用平键与轴刚性的联接在一起组成一个运动的整体。平键、轴和齿轮之间无相对运动,故这三者就组合成一个构件。组成这个构件的三个元件称零件。由此可知零件是制造过程中不能再分割的单元体,故零件是制造的基本单元,而构件则是运动的基本单元。

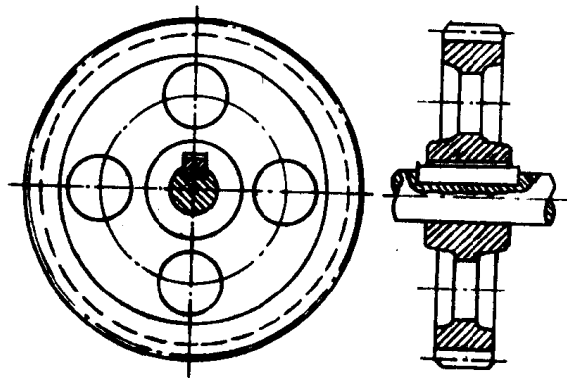


图 1-2

各种机器中普遍使用的零件称为通用零件,如齿轮、轴、键、螺栓等。只在某些特殊的机器中使用的零件称为专用零件,如内燃机的曲轴和活塞、汽轮机的叶片等。

§ 1-3 本课程研究的内容、性质与任务

本课程主要介绍机械中常用机构和通用零(部)件的结构特点、工作原理、运动特性、设计和计算的一般方法。

随着机械化生产规模的日益扩大,在电力、冶金、采矿、石油、化工、轻纺、食品、土建等各工业部门工作的工程技术人员,将会经常接触到各种类型的机械,所以他们应具备一定的有关机械和机械设计方面的基础知识,以便在接触有关机械时有较好的适应性。并为正确使用、维护设备、分析设备事故方面打下一定的基础。

学习本课程应达到的基本要求是:

1. 熟悉常用机构的组成、运动特点,并初步具有选用、分析常用机构的能力。
2. 初步掌握通用零(部)件的工作原理、结构、特点。具有选用与维护方面的基本知识。
3. 初步具有设计简单机械传动装置的能力。
4. 具有运用有关国家标准、规范及查阅有关技术资料的能力。

《机械设计基础》是一门技术基础课,它介于基础课与专业课之间,所以通过本课程的学习也为后续课程中有关机械方面的内容打下基础。

机械设计是许多学科知识的综合运用,因此在学习本课程之前学生应通过机械制图、工程力学、高等数学等先导课程的学习及参加金工实习以获得必要的理论知识及有关冷、热加工和金属材料的基本知识。

考虑到现代机械设备并非单纯采用机械传动,所以本书也简要地叙述了液压传动的有关

基本知识,以扩大非机类专业学生的知识面。

§ 1-4 设计机器应满足的基本要求及一般程序

一、设计机器应满足的基本要求

机器的类型很多,其应满足的基本要求大致相同,主要有:

1. 功能性要求

功能性要求即要求机器能有效地执行预期的全部职能。所以,必须正确选择机器的工作原理、机构的类型和传动方案。

2. 使用要求

机器应在给定的工作期限内具有高的工作可靠性,能始终正常运行(定期维修除外)。而且操纵轻便省力、操作安全、维修方便。

3. 经济性要求

机器的经济性是一个综合性指标,它与设计、制造、使用等各方面有关。总的来说,即要求成本低、生产周期短、生产率高、维护费用低廉等等。

4. 其他要求

例如机器的外观造型应比例协调、大方,给人以时代感、安全感;色彩要和产品功能相适应,如医疗、食品机械要用浅色,给人以卫生、安静感;消防、起重机械要用鲜艳醒目色、给人紧迫、预警感;经常搬动的机器(如建筑机械、钻探机等)要求便于拆卸、运输、安装等。

二、机器设计的一般程序

机器设计没有一成不变的固定程序,常因具体条件不同而异,但一般设计程序如下:

1. 调查研究

在明确所设计机器的工作职能及指标后,应进行调查研究,了解现有同类型机器的生产、使用情况、优缺点及存在的问题;采用先进技术的可能性;材料及标准件的供应情况以及本产品的市场竞争和供销情况等等。

2. 拟定总体方案

根据设计任务及调查研究的具体情况,进行分析后拟定出机器设计的总体方案,包括机器的工作原理、机构运动简图等。

3. 技术设计

通过运动分析、动力分析和强度计算,确定零件的主要参数和尺寸,并考虑结构工艺性,绘制装配图,零件工作图,编写各种技术文件和说明书。

4. 试制、鉴定与投产

新设计的产品在投产前,需经过试制和鉴定,进行必要修改和小批量试生产,进一步改进设计后,再定型,才能进行大批量投产。

§ 1-5 机械零件的工作能力准则

一、设计机械零件应满足的要求

1. 具有足够的工作能力

机构零件由于某种原因不能正常工作时,称为失效。在不发生失效的条件下,零件所能安

全工作的限度称为零件的工作能力。对载荷而言的工作能力称为承载能力。

机械零件常见的失效形式有：断裂或过大的塑性变形；过大的弹性变形；工作表面的过度磨损；工作温度过高而产生过大的热应力、热变形或破坏正常的润滑油膜；发生强烈的振动；联接松动以及摩擦表面打滑等。

同一种零件可能有几种不同的失效形式，对应于各种失效形式就有其不同的工作能力。例如轴的失效可能是疲劳断裂，还可能是过大的弹性变形。前者取决于轴的疲劳强度，而后者则取决于轴的刚度。显然，起决定作用的将是工作能力中的较小者。

为了保证机械零件具有一定的工作能力，就要求机械零件具有足够的强度和刚度，良好的耐磨性、耐热性、振动稳定性及合理的可靠性等。这些要求如得不到满足，机器就不能正常工作，所以常将这些要求作为衡量机械零件工作能力的准则，并在设计过程中，进行相应的计算和评估。

2. 经济效益高

在设计机械零件的过程中要力求成本低，经济效益高。为此应注意：合理选择材料以降低材料费用；保证良好的工艺性以减少制造费用；尽量符合标准化的要求以简化设计和降低成本。

二、机械零件工作能力的计算准则

1. 强度准则

强度是指机械零件在整体和表面上不出现任何形式的断裂和不超过允许限度的塑性变形的能力。是机械零件设计中必须满足的要求。

零件的强度分为整体强度和接触强度。按其所受应力性质不同又分为静应力强度和疲劳强度。

(1) 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很缓慢的应力称为静应力（图 1-3a）。随时间变化的应力称为变应力（图 1-3b）、c）、d）。图中 T 为应力循环周期。

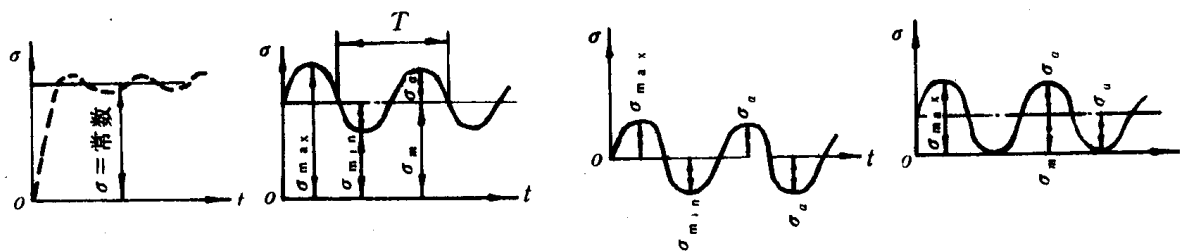


图 1-3 应力的分类

由图 1-3b) 可知，变应力的最大应力 $\sigma_{\max}$ 、最小应力 $\sigma_{\min}$ 、平均应力 σ_m 、应力幅 σ_a 的关系如下：

$$\left. \begin{aligned} \sigma_m &= \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \\ \sigma_a &= \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \\ \gamma &= \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中 γ 称为循环特性。可用来表示变应力中应力变化的情况。

在稳定循环变应力中,当 $\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$ 时,循环特性 $\gamma = -1$,这类应力称为对称循环变应力(图 1-3c),其 $\sigma_a = \sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$ 、 $\sigma_m = 0$;当 $\sigma_{\max} \neq 0$ 、 $\sigma_{\min} = 0$ 时,循环特性 $\gamma = 0$,这类应力称为脉动循环变应力(图 1-3d),其 $\sigma_a = \sigma_m = \frac{1}{2} \sigma_{\max}$ 。静应力可看作变应力的特例,其 $\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \sigma_m = \sigma_a = 0$,循环特性 $\gamma = +1$ 。

(2) 整体强度

零件受载时若在较大的体积内产生应力,则这种应力状态下的零件强度称为整体强度。

当机械零件按强度条件判定时,常用的方式是比较危险截面处的计算应力(σ 、 τ)是否小于或等于零件材料的许用应力($[\sigma]$ 、 $[\tau]$)。即

$$\left. \begin{aligned} \sigma &\leq [\sigma], & \text{而} & [\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S} \\ \tau &\leq [\tau], & \text{而} & [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{S} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中 $\sigma_{\lim}$ 、 $\tau_{\lim}$ 分别为极限正应力和极限剪应力; S 为安全系数。

许用应力是强度条件的判据,它取决于应力的种类、零件材料的极限应力和安全系数等。

1) 静应力强度及其极限应力

在静应力作用下,零件材料将有两种损坏形式:断裂或塑性变形。对于塑性材料,可按不发生塑性变形的条件进行计算。这时应取材料的屈服极限 σ_s 作为极限应力,许用应力为:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S}; \quad [\tau] = \frac{\tau_s}{S} \quad (1-3)$$

对于用脆性材料制成的零件,为避免发生断裂,应取强度极限 σ_B 作为极限应力,其许用应力为:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{S}; \quad [\tau] = \frac{\tau_B}{S} \quad (1-4)$$

静应力断裂的特征是截面的实际工作应力超过了极限应力而造成材料的屈服流动,材料的断口有较明显的塑性变形痕迹,其断裂与零件使用时间的长短没有关系。

安全系数 S 的取值对零件尺寸有很大影响,将根据不同的零件,分别在以后各章中介绍。

2) 疲劳强度及其极限应力

绝大多数机械零件都是在变应力下工作的,在变应力作用下经过较长时间工作后,其失效形式将是疲劳断裂。而机械零件抵抗疲劳断裂的能力就称为疲劳强度。

疲劳断裂具有以下特征:*a)* 疲劳断裂的最大应力远比静应力下材料的强度极限低,甚至低于屈服极限;*b)* 疲劳断裂的过程可分为两个阶段:第一阶段是零件表面上应力较大处的材料产生滑移形成初始裂纹(疲劳源);第二阶段是裂纹尖端在变应力反复作用下逐渐扩展,直至余下的未断裂的截面积不足以承受外载荷时就突然断裂。所以疲劳断裂是与应力循环次数(即使用期限或寿命)有关的。*c)* 疲劳断裂的剖面是由光滑的疲劳发展区和粗糙的脆性断裂区组成(图 1-4)。

计算零件的疲劳强度时,其极限应力应取为材料的疲劳极限。

在任一循环特性 r 时,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} 表示。

表示应力循环次数 N 与疲劳极限 σ_{rN} 的关系的曲线称为疲劳曲线。

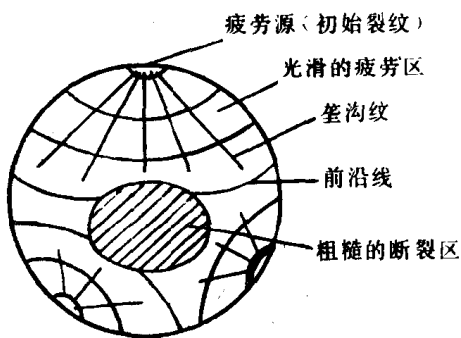


图 1-4 疲劳断裂剖面

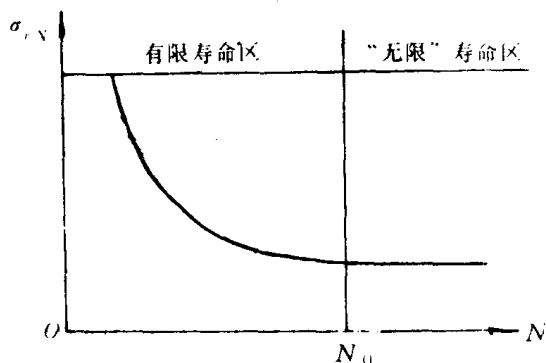


图 1-5 疲劳曲线

一般金属材料的疲劳曲线如图 1-5 所示。由图可以看出疲劳极限随应力循环次数的增加而降低，但当循环次数 N 超过某一数值 N_0 以后，曲线趋向水平，即 $N > N_0$ 时，疲劳极限不再随循环次数 N 的增加而降低。 N_0 称为应力循环基数，对应于 N_0 的应力称为材料的疲劳极限 σ_r ，对称循环变应力时材料的疲劳极限用 σ_{-1} 表示。

在疲劳曲线左段 ($N < N_0$)，疲劳极限可通过疲劳曲线方程求出。疲劳曲线方程为

$$\sigma_{rN}^m \cdot N = \sigma_r^m \cdot N_0 = C \quad (1-5)$$

或

$$\sigma_{-1N}^m \cdot N = \sigma_{-1}^m \cdot N_0 = C$$

式中 σ_{rN} 、 σ_{-1N} 分别为循环特性为 r 或对称循环变应力下，应力循环次数为 N 时的疲劳极限， σ_r 、 σ_{-1} 分别为循环特性为 r 或对称循环变应力下（即 $N \geq N_0$ 时）材料的疲劳极限； m 为随应力种类和材料而异的指数； C 为常数。

由式(1-5)可求出对应于任意应力循环次数 N 的疲劳极限，即

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

由于实际零件的几何形状、尺寸大小、表面加工质量等因素的影响，使得零件的疲劳极限会有所降低，所以在计算中还要计入有效应力集中，绝对尺寸及表面状态等系数，其具体数值可在工程力学或有关手册中查取。

(3) 接触强度

若两个零件在受载前是点接触或线接触，受载后，由于产生变形，其接触处形成为一小面积，此小面积表层产生的局部应力很大，这种应力称为接触应力。这时零件的强度称为接触强度。如齿轮、滚动轴承等机械零件，都是通过很小的接触面积传递载荷的，因此它们的承载能力主要取决于表面的接触强度。

机械零件表层的接触应力通常是随时间作周期性变化的，在此接触变应力重复作用下，首先在零件表层内约 $20\mu\text{m}$ 处产生初始疲劳裂纹，然后裂纹逐渐扩展（润滑油被挤进裂纹中将产生高压，促使裂纹加快扩展）。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凹坑（图 1-6）。这种现象称为疲劳点蚀。发生疲劳点蚀后，减少了零件间的接触面积，增加了表面粗糙度，因而也降低了承载能力并引起



图 1-6 点蚀的形成过程

振动和噪音。疲劳点蚀常是齿轮、滚动轴承等零件的主要失效形式。

关于接触强度的计算见“齿轮传动”章。

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。例如机床主轴、电动机轴、齿轮轴都必须具有一定的刚度,其弹性变形量不允许超过一定数值,以保证机器的正常工作。实践证明,能满足刚度要求的零件,一般来说,其强度总是足够的。

在某些情况下,又要求零件或零件的某一部分具有一定的柔度(即弹性变形的能力)。例如弹簧等零件就是利用弹性变形来控制位移和运动的;采用柔性螺栓可以提高螺栓联接的疲劳强度等。

3. 耐磨性准则

由于零件的相对运动,使其摩擦表面的物质不断损失的现象称磨损。耐磨性就是指零件抵抗磨损的能力。零件磨损后会改变其形状及尺寸,因而使机器的精度降低、效率下降、可靠性降低,所以设计时应考虑如何避免或减少磨损。在规定的期限内,磨损量不超过允许值时,称为正常磨损。

磨损是相当复杂的物理-化学过程,影响磨损的因素很多(如载荷的大小和性质、相对滑动速度、润滑剂的化学和物理性质等),而又不能准确估算出来,因此目前按磨损计算的方法只能是条件性的,而不能十分精确。

4. 可靠性准则

和强度、刚度等一样,可靠性也是零件的一种属性。可靠性的度量指标是可靠度。“可靠度”是指机器或零件在规定工作条件、预定使用寿命内能正常工作的概率。机械零件的可靠性设计是将工作应力和材料强度等参数看作受许多因素影响的随机变量,研究确定零件偶然失效的分布规律,运用概率论和数理统计的方法得出可靠性的定量指标。如承受额定动负荷的一大批同型号滚动轴承,工作到 10^6 转时已有 10% 的轴承发生疲劳点蚀,则该批轴承的可靠度就是 90%。

由概率论知,一般情况下,整部机器中各零件,其功能呈串联关系时,则整部机器的可靠度 R 是各个零件可靠度 $R_1, R_2, \dots, R_n$ 的连乘积,即

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdots R_n \quad (1-7)$$

因此,机器中不允许有任一个过于薄弱的环节,最好由等可靠度的零件组成。由上式可看出零件数越多,机器的可靠性就越低。因此,应尽量减少组成系统的零件数。

5. 振动稳定性准则

所谓振动就是周期性的变形,但变形的幅度与零件尺寸相比却是很小的,而振动载荷却往往引起零件的疲劳破坏。所谓振动稳定性,就是指机器在工作时不能发生超过容许的振动现象。

当机器或其零件的自振频率与周期性外力的频率相同时,就会发生共振,由于振幅的急剧增大而造成零件或整台机器的破坏。

6. 耐热性准则

机器要能正常使用,必须使其零件在一定的温度下工作,然而零件本身由于摩擦而伴随着产生大量热量,周围环境温度也会改变,这就使零件受热、升温,引起零件产生热变形,改变零件在机器中同其他相关零件的结合性质,产生附加应力,破坏了正常的润滑条件而导致接触表面的胶合等。