

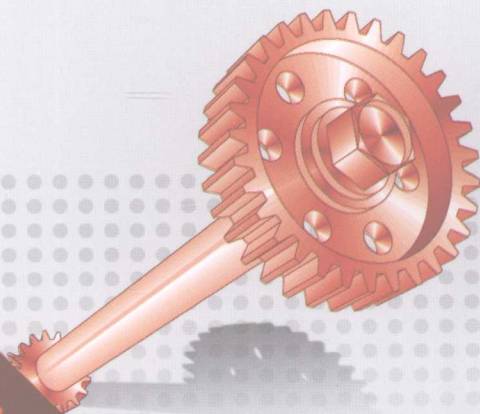


高等教育“十二五”精品课程重点研究成果

Jixie Sheji Jichu

机械设计基础

主编 庄 严 郭在云



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机械设计基础

主编 庄 严 郭在云

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书是根据高等院校人才培养目标、教育部制定的机械设计基础课程教学基本要求和最新国家标准,并总结编者多年的教学经验和教改实践经验编写而成。

本书以应用为目的,以理论适度、概念清楚、突出应用为重点,将机械原理与机械零件的内容有机地结合在一起,并增加了实训教学内容,培养学生的初步机械设计能力。各章内容是按照工作原理、结构特点和强度计算的顺序编写的。全书共分15章,包括机械设计基础概述、平面机构的运动简图及自由度、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、连接、挠性件传动、直齿圆柱齿轮传动、斜齿圆柱齿轮传动、直齿圆锥齿轮传动、蜗杆传动、轮系、轴承、轴及其他常用零部件。

本书可作为高等院校机械类、机电类、模具类、近机械类各专业的教学教材使用,也可供有关工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 庄严, 郭在云主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2012. 1
ISBN 978 - 7 - 5640 - 5518 - 9

I. ①机… II. ①庄…②郭… 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 002996 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 天津紫阳印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 323 千字

版 次 / 2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 37.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

编写委员会

主 编 庄 严 郭在云

副 主 编 高炳易 李其钊 钱 红

编写人员 庄 严 郭在云 高炳易

李其钊 钱 红 孙余一

刘 树 张 敏

前 言

本书为全国高等教育精品规划教材，结合编者多年的教学经验和教改实践编写而成，可供机械类、机电类、模具类、近机械类各专业使用，参考学时为60~80学时。

根据人才培养目标，本教材编写坚持“以应用为目的，以必需、够用为度”的编写原则，结合本课程的教学规律及提高教学效率，对教学内容和体系进行了适当的综合，与传统教材内容相比，本书的主要特点如下。

1. 本教材有机地融合了相关课程的内容，主要体现在以下几个方面。

(1) 弱化了机械原理与机械设计教材的界限。

(2) 对教学内容和体系进行了适当的综合，如将螺纹连接、键连接、销连接等内容并作“连接”一章。

(3) 将“机械的润滑与密封”等内容融合到相关章节，不单列成章。

2. 精简理论推导，加强基础内容，注重设计公式的应用和结构设计方法，加强学生对图表、手册应用能力的培养。

3. 为了体现理论与实践的结合，在主要章节的最后，都安排了该章的实训项目。

4. 本书删减了目前其他教材中存在的过时的、已经被当今工程技术所摒弃的理论和方法。

5. 采用了最新颁布的国家标准和规范。

在编写过程中，我们参考了许多文献、资料，在此对这些文献、资料的编著者表示衷心的感谢！

由于我们水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请使用本书的广大师生和读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 机械设计基础概述	1
第一节 本课程研究的对象和内容	1
第二节 本课程的学习方法	4
第三节 机械设计的基本要求和一般过程	4
第四节 机械零件的失效形式和设计计算准则	6
第五节 机械零件的工艺性和标准化、系列化及通用化	8
思考题与习题	10
第二章 平面机构的运动简图及自由度	11
第一节 平面运动副及其分类	11
第二节 平面机构运动简图	14
第三节 平面机构的自由度及其具有确定运动的条件	17
实训 机构运动简图的测绘	21
思考题与习题	22
第三章 平面连杆机构	25
第一节 平面四杆机构的基本类型	25
第二节 铰链四杆机构的演化	29
第三节 平面连杆机构的基本特性	33
第四节 平面四杆机构设计	37
思考题与习题	40
第四章 凸轮机构	43
第一节 凸轮机构的组成和分类	43
第二节 凸轮机构中从动件常用的运动规律	46
第三节 图解法设计凸轮轮廓	49
第四节 凸轮机构基本尺寸的确定	53
思考题与习题	56
第五章 间歇运动机构	57
第一节 棘轮机构	57

第二节 槽轮机构	62
第三节 不完全齿轮机构	64
思考题与习题	65
第六章 连接	66
第一节 螺纹连接的基本类型及标准连接件	66
第二节 螺纹连接的拧紧与防松	69
第三节 螺栓的强度计算	71
第四节 螺栓组的连接设计和受力分析	74
第五节 键连接	78
思考题与习题	85
第七章 挠性件传动	86
第一节 带传动的工作原理和类型、特点和应用	86
第二节 V带和带轮的结构	88
第三节 带传动的工作情况分析	90
第四节 普通V带传动的计算	93
第五节 带传动的张紧装置、安装及维护	101
第六节 链传动的特点和类型	102
第七节 滚子链和链轮的结构	103
第八节 链传动的设计简介	107
第九节 链传动的布置、张紧和润滑	109
实训 带传动特性的测定及分析	111
思考题与习题	114
第八章 直齿圆柱齿轮传动	115
第一节 齿轮传动概述	115
第二节 齿廓啮合的基本定律	118
第三节 渐开线齿廓及特性	119
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要参数与几何尺寸	121
第五节 渐开线标准齿轮的啮合	125
第六节 渐开线齿廓的加工方法与根切现象	127
第七节 齿轮传动的失效形式及设计准则	131
第八节 齿轮常用材料和齿轮传动精度	133
第九节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的受力分析及其计算载荷	136
第十节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的强度计算	137

第十一节 齿轮传动的润滑	146
实训 渐开线直齿圆柱齿轮范成实训	147
思考题与习题	149
第九章 斜齿圆柱齿轮传动	151
第一节 斜齿圆柱齿轮概述	151
第二节 斜齿圆柱齿轮的几何尺寸计算和正确啮合条件	153
第三节 斜齿轮的当量齿数及斜齿轮传动的特点	156
第四节 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	157
思考题与习题	162
第十章 直齿圆锥齿轮传动	164
第一节 锥齿轮概述	164
第二节 直齿锥齿轮的齿廓曲面、背锥和当量齿数	165
第三节 直齿锥齿轮的几何尺寸计算和正确啮合条件	167
第四节 直齿圆锥齿轮强度计算	168
思考题与习题	170
第十一章 蜗杆传动	171
第一节 蜗杆传动的组成、特点和类型	171
第二节 蜗杆传动的基本参数和几何尺寸计算	174
第三节 蜗杆传动的失效形式、设计准则、材料和结构	179
第四节 蜗杆传动的强度计算	181
第五节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	184
实训 闭式蜗杆传动设计	188
思考题与习题	191
第十二章 轮系	193
第一节 轮系的分类	193
第二节 定轴轮系及其传动比	194
第三节 行星轮系及其传动比	196
第四节 混合轮系及其传动比	198
第五节 轮系的应用	199
思考题与习题	200

第十三章 轴承	203
第一节 摩擦状态及滑动轴承的类型和特点	203
第二节 滑动轴承的结构及材料	206
第三节 滑动轴承的润滑	210
第四节 滚动轴承的构造及基本类型	214
第五节 滚动轴承的代号	217
第六节 滚动轴承的选择计算	221
第七节 滚动轴承的静强度计算	228
第八节 滚动轴承的润滑与密封	229
第九节 滚动轴承的组合设计	231
思考题与习题	235
第十四章 轴	237
第一节 轴的分类	237
第二节 轴的材料及选用	239
第三节 轴的结构设计	240
第四节 轴的强度计算	245
第五节 轴的刚度计算	250
实训 轴系结构的测绘与分析	251
思考题与习题	252
第十五章 其他常用零、部件	253
第一节 联轴器	253
第二节 离合器	259
第三节 弹簧	262
思考题与习题	266
参考文献	267

第一章 机械设计基础概述

本章要点及学习指导：

本章介绍了机械设计的主要内容、性质和任务；机器的组成和特征；机械设计的基本要求、常用设计方法和一般设计过程；机械零件的失效形式和计算准则；机械零件的强度；机械零件的工艺性和标准化问题。

通过对本章的学习，要求对机械设计基础课程在教学计划中的地位、作用和本课程所要讲述的基本内容有一个初步的认识；掌握本课程的基础知识；了解机械设计的基本方法和一般过程。

机械是人类进行生产以减少体力劳动和提高生产率的主要工具，使用机械进行生产的水平是衡量一个国家的技术水平和现代化程度的重要标志。为了更好地运用、研究和设计机械，对于机械工程技术人員，学习和掌握一定的机械设计基础知识是非常重要的。

第一节 本课程研究的对象和内容

一、机器及其组成

在日常生活和生产中，人们广泛地使用着名目繁多的机器，如电动缝纫机、洗衣机、汽车和起重机等。尽管这些机器的结构、性能和用途各不相同，但它们都具有一些共同的特征。

图1-1所示的牛头刨床是由床身1、传动齿轮2和3、导杆4、滑块5、连杆6、刨头7以及其他辅助部分（图中未标示）所组成的机器。当电动机带动传动齿轮2转动时，它带动传动齿轮3回转，通过滑块5推动导杆4左右摆动，再经过连杆6带动刨头7做往复直线运动，刨刀装在刨头上做直线切削。由此可见，机器具备3个特征：

- (1) 它们都是人为的各种实物（构件）的组合体。
 - (2) 组成机器的各实物（构件）间具有确定的相对运动。
 - (3) 能够代替或减轻人的劳动，完成有用的机械功或者实现能量转换。
- 一部完整的机器主要由以下几部分组成。

- (1) 原动部分：是机器的动力来源，常用的原动机有电动机、内燃机等。
- (2) 执行部分：处于整个机器传动路线的终端，是直接完成工作任务的部分。如汽车轮、缝纫机针、洗衣机内滚筒等。
- (3) 传动部分：把原动机的运动和动力传递给执行部分。如齿轮机构、连杆机构、带传动机构等。
- (4) 控制部分：使操作者能随时实现或终止机器各种预定功能的部分。如机械控制系统、电气控制系统、计算机控制系统等。

二、机构

进一步分析，牛头刨床是由两个主要的机构组成：传动齿轮 2、3 和床身 1 组成的齿轮机构；滑块、导杆、连杆、刨头和机架组成的连杆机构。由此可见，机构只具有机器的前两个特征，即机构是若干具有确定相对运动的构件的组合。

机构与机器的区别在于机构主要用来传递或变换运动，而机器却能完成有用的机械功或转换机械能。我们把机构和机器统称为机械。

机器中广泛应用的机构称为常用机构，如连杆机构、齿轮机构、凸轮机构、带传动机构和间歇运动机构等。

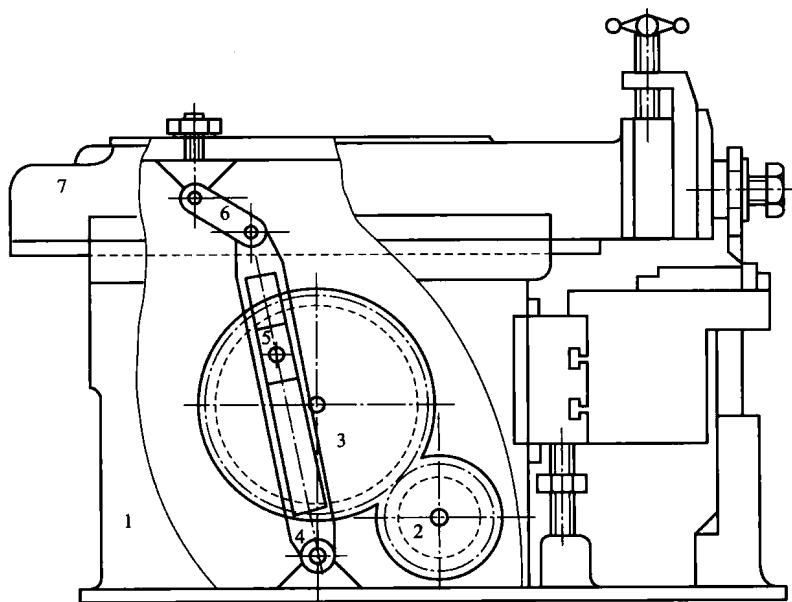


图 1-1 牛头刨床

1—床身；2、3—传动齿轮；4—导杆；5—滑块；6—连杆；7—刨头

三、构件、零件

组成机构的构件可以是一个零件（如齿轮机构中的一个齿轮），也可以是由

几个零件构成的刚性组合体。图 1-2 所示的连杆（构件）是由连杆体、连杆盖、上轴瓦、下轴瓦、螺栓和螺母等零件刚性连接组成的。

显然，构件是独立运动的单元体；零件是加工制造的单元体，是机器的最基本组成要素。各类机器中经常用到的零件称为通用零件，如齿轮、螺栓、螺母、轴、带轮、弹簧等；在专用机器中才能用到的零件称为专用零件。

四、本课程研究的对象和内容

1. 课程的地位和作用

机械设计基础课程是机械类、机电类及近机械类专业一门必修的技术基础课，在教学计划中起着承前启后的桥梁作用，是学习专业课程和从事机械产品设计的必备基础。本课程的作用在于培养学生掌握机械设计的基本知识、基本理论和基本方法，使学生具备一般机械设备的维护、改进和设计能力。

2. 课程研究的对象

机械设计研究的对象就是机器和机构。本课程一方面涉及许多生产实际知识；另一方面又综合运用了许多先修课程所提供的基础理论。因此，本课程主要介绍机械设计中的基本共性问题，并重点研究常用机构和一般参数的通用零件的工作原理、结构特点，以及基本的受力分析、计算方法和设计理论。

3. 课程研究的内容

本课程的主要内容可分为两大部分。

一部分是介绍各种常用机构的工作原理、基本类型、性能特点、几何参数和设计方法。常用机构包括平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、带传动和间歇机构等。

另一部分是介绍通用零、部件的工作原理、结构特点、材料、失效分析及对策、选用及设计方法等。通用零、部件包括齿轮、带及带轮、连接零件及轴系零件等。

4. 课程的学习任务

本课程的主要任务是通过课堂学习、习题、课程设计和课程实验、实训等教学环节，使学生掌握如下的学习目标：

(1) 掌握物体机械运动的一般规律及常用机构的工作原理、运动特性和运动设计的方法；

(2) 掌握构件承载能力的计算方法及通用零、部件的原理分析、设计计算方

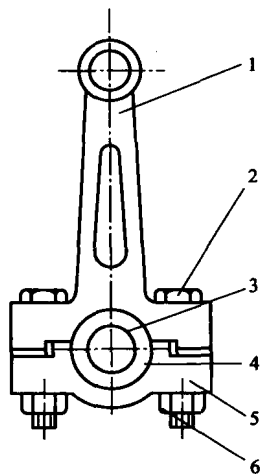


图 1-2 连杆

- 1—连杆体；2—螺栓；
3—上轴瓦；4—下轴瓦；
5—连杆盖；6—螺母

法和选用的基本知识;

- (3) 树立正确的设计思想, 了解机械设计的一般规律;
- (4) 初步具备一般简单机械的维护、改进和设计能力;
- (5) 具有运用标准、规范、手册及查阅有关技术资料的能力。

第二节 本课程的学习方法

本课程是从理论性、系统性很强的基础课和专业基础课向实践性较强的专业课过渡的一个重要的转折点。因此, 学生学习本课程时必须在学习方法上有所转变, 应注意以下几个特点。

(1) 本课程将多门先修课程的基本理论应用到实际中去, 解决有关实际的问题。本课程要综合运用高等数学、工程力学、金工实习、制图、互换性与技术测量等课程的基本知识去解决常用机构、通用零件的设计等问题。因此先修课程的掌握程度直接影响到本课程的学习。

(2) 学生一接触本课程就会产生“没有系统性”“逻辑性差”等错觉, 这是由于学生习惯了基础课的系统性所造成的。本课程中, 虽然不同研究对象所涉及的理论基础不同, 且相互之间无多大关系, 但最终的研究目的却只有一个, 即设计出能应用的机构、零件等。本课程的各部分内容都是按照工作原理、结构、强度计算和使用维护的顺序介绍的, 有其自身的系统性, 学习时应注意这一特点。

(3) 由于实践中的问题很复杂, 很难用纯理论的方法来解决。因此, 常常采用很多经验公式、参数及简化计算等, 这样往往会给学生造成“不讲道理”“没有理论”等错觉, 这一点必须在学习过程中逐步适应。

(4) 计算步骤和计算结果常常不像基础课具有唯一性。

(5) 计算对解决设计问题虽然很重要, 但并不是唯一所要求的能力。学生必须逐步培养把理论计算与结构设计、工艺等结合起来解决设计问题的能力。

第三节 机械设计的基本要求和一般过程

一、机械设计的基本要求

机械的类型很多, 但其设计的基本要求大致相同。主要有以下几点。

1. 满足预定功能的要求

这是指能够按照预期的技术要求顺利地执行机械的全部职能, 如机器工作部分的运动形式、速度、运动精度和平稳性、需要传递的功率, 以及某些使用上的特殊要求 (如耐高温、防潮等)。

2. 满足经济性要求

机械的经济性是指在设计、制造上成本低,使用上效率高,能源和辅助材料消耗少,维护及管理费用低等。

在产品整个设计周期中,必须把产品设计、制造及使用三方面作为一个系统工程来考虑,用价值工程理论指导产品设计,正确使用材料,采用合理的结构尺寸和工艺,以降低产品的成本。

3. 满足工艺要求

设计机器时应尽量减少零件的数量,尽可能地采用标准件,使装配及维修简单等。

4. 满足劳动保护要求

操作方便有利于减轻操作人员的劳动强度,能实现对操作人员的防护,保证人身安全和身体健康。对于技术系统的周围环境和人为导致造成污染和危害,同时要保证机器对环境的适应性。

5. 满足其他特殊要求

必须考虑有些机械由于工作环境和要求不同,而对设计提出某些特殊要求。例如,药品、食品和纺织机械要求防止产品污染,航空航天机械要求减轻质量等。

总之,必须根据所要设计的机械的实际情况,分清应满足的各项设计要求的主次程度,切忌简单照搬或乱提要求。

二、机械设计的一般过程

机械设计方法很多,既有传统的设计方法,也有现代的设计方法。由于各种机械的用途、性能要求不同,设计的具体条件不同,导致设计的步骤和方法也不完全一致,但一般过程和内容是基本一致的。

1. 机械产品设计过程的几个阶段

机械设计的过程通常可分为以下几个阶段。

(1) 提出和制定产品设计任务书。设计任务书通常是人们根据市场需求提出,通过可行性分析后确定的,其中包括产品的预期功能、有关指标和限制条件等。

(2) 总体方案设计。在满足设计任务书的前提下,由设计人员提出各种设计方案并进行分析比较,从中选择最佳方案。

(3) 技术设计。在既定设计方案的基础上,完成机械产品的总体设计、部件设计和零件设计等,设计结果以工程图及计算书等技术文件的形式表达出来。

(4) 样机的试制和鉴定。根据技术设计提供的图样和技术文件进行样机试

制,并对样机进行试运行,检测样机是否达到设计要求。把发现的问题反馈给设计人员,经过修改完善,最后通过鉴定。

(5) 产品的正式投产。根据鉴定结论,使样机定型。然后,再由生产条件和市场状况确定生产数量。

2. 机构零件设计的一般步骤

当机械的总体方案已经确定,运动学和动力学计算完成后,就要进行主要零、部件的设计。机械零件设计的一般步骤如下。

(1) 根据机器的具体运转情况和简化的计算方案确定零件的载荷。

(2) 根据零件工作情况的分析,判定零件的失效形式,从而确定其计算准则。

(3) 进行主要参数的选择,选定材料,根据计算准则求出零件的主要尺寸,考虑热处理及结构工艺性等。

(4) 进行结构设计。

(5) 绘制零件工作图,制定技术要求,编写计算说明书及有关技术文件。

对于不同的零件和工作条件,以上这些步骤可以有所不同。此外,在设计过程中,这些步骤又是相互交错、反复进行的。

3. 设计过程中的注意事项

产品设计过程是智力活动过程,它体现了设计人员的创新思维活动,设计过程是逐步逼近解决方案并逐步完善的过程。设计过程中还应注意以下几点。

(1) 设计过程要有全局观点,不能只考虑设计对象本身的问题,而要把设计对象看作一个系统,处理“人—机—环境”之间的关系。

(2) 善于运用创造性思维和方法,注意考虑多种方案的解,避免解决问题的局限性。

(3) 设计的各阶段应有明确的目标,注意各阶段的评价和优选,以求出既满足功能要求又有最大实现可能的方案。

(4) 要注意反馈及必要的工作循环。解决问题要由抽象到具体,由局部到全面,由不确定到确定。

第四节 机械零件的失效形式和设计计算准则

机械零件丧失预定功能或预定功能指标降低到许用值以下的现象,称为机械零件的失效。由于强度不够引起的破坏是最常见的零件的失效形式,但并不是零件失效的唯一形式。进行机械零件设计时,必须根据零件的失效形式分析失效的原因,提出防止或减轻失效的措施,根据不同的失效形式提出不同的设计计算准则。

一、失效形式

机械零件最常见的失效形式大致有以下几种。

1. 断裂

机械零件的断裂通常有以下两种情况。

(1) 零件在外载荷的作用下, 某一危险截面上的应力超过零件的强度极限时将发生断裂 (如螺栓的折断)。

(2) 零件在循环变应力的作用下, 危险截面上的应力超过零件的疲劳强度而发生疲劳断裂。

2. 过量变形

当零件上的应力超过材料的屈服极限时, 零件将发生塑性变形。当零件的弹性变形量过大时, 也会使机器无法正常工作, 如机床主轴的过量弹性变形会降低机床的加工精度。

3. 表面失效

表面失效主要有疲劳点蚀、磨损、压溃和腐蚀等形式。表面失效后通常会增加零件的摩擦, 使零件尺寸发生变化, 最终造成零件的报废。

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, 否则就会引起失效, 如带传动因过载发生打滑, 使传动不能正常地进行。

二、机械零件的设计计算准则

同一零件对不同失效形式的承载能力也各不相同。根据不同的失效原因建立起来的工作能力判定条件, 称为设计计算准则, 主要包括以下几种。

1. 强度准则

强度是零件应满足的基本要求。强度是指零件在载荷作用下抵抗断裂、塑性变形及表面失效 (磨粒磨损、腐蚀除外) 的能力。强度可分为整体强度和表面强度 (接触与挤压强度) 两种。

整体强度的判定准则为: 零件在危险截面处的最大应力 (σ , τ) 不应超过允许的限度 (称为许用应力, 用 $[\sigma]$ 或 $[\tau]$ 表示), 即

$$\sigma \leq [\sigma]$$

或

$$\tau \leq [\tau]$$

另一种表达形式为: 危险截面处的实际安全系数 S 应不小于许用安全系数 $[S]$, 即

$$S \geq [S]$$

表面接触强度的判定准则为：在反复的接触应力作用下，零件在接触处的接触应力 σ_H 应该不大于许用接触应力值 $[\sigma_H]$ ，即

$$\sigma_H \leq [\sigma_H]$$

对于受挤压的表面，挤压应力不能过大，否则会发生表面塑性变形、表面压溃等。挤压强度的判定准则为：挤压应力 σ_p 应不大于许用挤压应力 $[\sigma_p]$ ，即

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]$$

2. 刚度准则

刚度是指零件受载后抵抗弹性变形的能力，其设计计算准则为：零件在载荷作用下产生的弹性变形量应不大于机器工作性能允许的极限值。各种变形量计算公式可参考材料力学课程，本书不再赘述。

3. 耐磨性准则

设计时应使零件的磨损量在预定限度内不超过允许量。由于磨损机理比较复杂，通常采用条件性的计算准则，即零件的压强 P 不大于零件的许用压强 $[P]$ ，即

$$P \leq [P]$$

4. 散热性准则

零件工作时，如果温度过高，将导致润滑剂失去作用，材料的强度极限下降，引起热变形及附加热应力等，从而使零件不能正常工作。散热性准则为：根据热平衡条件，工作温度 t 不应超过许用工作温度 $[t]$ ，即

$$t \leq [t]$$

5. 可靠性准则

可靠性用可靠度表示，对那些大量生产而又无法逐件试验或检测的产品，更应计算其可靠度。零件的可靠度用零件在规定的使用条件下、在规定的时间内能正常工作的概率来表示，即用在规定的寿命时间内能连续工作的件数占总件数的百分比表示。如有 N_T 个零件，在预期寿命内只有 N_S 个零件能连续可靠工作，则其系统的可靠度为

$$R = N_S / N_T$$

在机械零件设计过程中，要根据上述机械零件设计准则，结合机械产品和机械零件不同的实际工作情况及条件，有针对性地对机械零件进行必要的设计计算。

第五节 机械零件的工艺性和标准化、系列化及通用化

一、工艺性

机械零件的结构，主要由它在机械中的作用，它和其他相关零件的关系及制