

机械零件

彭荣济 丘晖畴 陈 清 赵国珊 编

国防工业出版社

机 械 零 件

彭荣济 丘晖畴 陈 清 赵国珊 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是按照 1980 年审定的高等工业学校机械类专业《机械零件教学大纲(草案)》的要求,结合北京工业学院机械设计教研室的教学经验,并考虑到近年来的发展与改革而编写的。

本书共十七章。第一章绪论;第二章摩擦磨损和润滑;第三至八章分别介绍各种机械传动的设计;第九至十一章为各种联接的设计;第十二至十七章为轴、轴承、联轴器与离合器、弹簧和密封的设计。各章后均附有相应的思考题和习题。

本书可作为高等工业学校机械类专业的教材,也可供其他专业师生和广大工程技术人员参考。

机 械 零 件

彭荣济 丘晖畴 陈 清 赵国珊 编

责任编辑 彭华良

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张22 513千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷 印数: 0,001—3,500册

统一书号: 15034·3168 定价: 3.15元

前 言

本书是根据1980年教育部审订的高等工业学校四年制机械类专业《机械零件教学大纲（草案）》的要求编写的。

本书的内容主要是根据编者和编者所在的北京工业学院机械设计教研室多年的教学实践经验，本着少而精的原则，本着有利于教与学和有利于培养学生的设计能力特别是创新能力的精神来精选和编写的。书中着重阐述了通用机械零件设计的基本知识、基本理论和基本方法，同时反映了国内外科学技术的最新成就和编者所在教研室的部分科研成果，并从教学的角度在电子计算机如何应用于机械零件设计上作些尝试。在论述时，力求深入浅出、细致严谨、明白易懂、突出重点、分散难点，并加强分析和讨论以引导学生钻研，使他们学得牢固一些，灵活一些。

每章均有例题，章后有思考题和习题，在传动和联接等章节后还附有简短的小结，这些都可帮助学生进一步巩固和深化所学内容。

本书采用国际单位制，并尽可能采用有关国家标准。

参加本书编写工作的有丘晖畴（第一、三、十、十一章，联接小结）、彭荣济（第二、四、十二、十三、十四、十五、十六、十七章），陈清（第五、六、九章，传动小结），赵国珊（第七、八章）。本书由彭荣济担任主编。

本书承北京钢铁学院谈嘉祯等同志审阅，他们对初稿提出了许多宝贵意见，编者在此表示衷心的感谢！

在编写过程中，得到兵器工业部教材编审室和北京工业学院机械设计教研室的同志们的大力支持，在此谨致以衷心的感谢！

由于水平所限，书中缺点和错误在所难免，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1985年11月

目 录

第一章 绪论	1	设计准则	56
§ 1-1 机械零件课程的内容、性质和任务	1	§ 5-3 齿轮材料及其热处理方法的选择	60
§ 1-2 机器设计应满足的基本要求 and 一般程序	1	§ 5-4 齿轮传动的精度	63
§ 1-3 机械零件设计的基本要求	3	§ 5-5 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	64
§ 1-4 机械零件的可靠性	5	§ 5-6 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	98
§ 1-5 机械零件的设计方法和步骤	6	§ 5-7 圆柱齿轮的结构设计	107
§ 1-6 本课程的学习方法	7	§ 5-8 齿轮传动的润滑	110
第二章 摩擦、磨损和润滑	9	习题	111
§ 2-1 概述	9	第六章 锥齿轮传动	114
§ 2-2 摩擦表面的形貌	10	§ 6-1 概述	114
§ 2-3 摩擦	11	§ 6-2 直齿锥齿轮传动几何尺寸的计算	117
§ 2-4 磨损	13	§ 6-3 直齿锥齿轮传动的强度计算	118
§ 2-5 润滑剂	16	§ 6-4 锥齿轮的结构	122
§ 2-6 润滑状态	21	习题	126
习题	24	第七章 蜗杆传动	127
第三章 带传动	25	§ 7-1 蜗杆传动的类型及其特点	127
§ 3-1 概述	25	§ 7-2 普通圆柱蜗杆传动的主要尺寸计算	130
§ 3-2 带传动的工作情况分析	27	§ 7-3 蜗杆传动的效率	132
§ 3-3 三角带传动的设计	35	§ 7-4 蜗杆传动的受力分析及计算载荷	134
习题	48	§ 7-5 蜗杆传动的承载能力计算	136
第四章 摩擦轮传动	50	§ 7-6 参数选择	138
§ 4-1 概述	50	§ 7-7 蜗杆与蜗轮材料及许用应力	139
§ 4-2 摩擦轮常用的材料	50	§ 7-8 圆柱蜗杆的刚度校核	141
§ 4-3 圆柱平摩擦轮传动的的设计	51	§ 7-9 蜗杆传动的润滑与热平衡	
§ 4-4 无级变速器	53		
习题	54		
第五章 圆柱齿轮传动	55		
§ 5-1 概述	55		
§ 5-2 齿轮的失效形式和			

计算	141	§ 11-2 花键联接	219
§ 7-10 蜗杆与蜗轮的结构	143	§ 11-3 型面联接	221
§ 7-11 蜗杆传动精度与表面 粗糙度	145	§ 11-4 过盈联接	222
习题	149	§ 11-5 弹性环联接和销钉 联接	223
第八章 链传动	150	习题	223
§ 8-1 链传动的工作原理、特点 和应用	150	联接小结	224
§ 8-2 套筒滚子链的结构与 规格	150	第十二章 轴	225
§ 8-3 链轮的结构与材料	152	§ 12-1 概述	225
§ 8-4 链传动的运动特性	153	§ 12-2 轴的材料	226
§ 8-5 链的受力和作用 在轴上的载荷	155	§ 12-3 轴直径的初步估算	227
§ 8-6 链传动的设计计算	156	§ 12-4 轴的结构设计	229
§ 8-7 链传动的布置	160	§ 12-5 轴的强度校核计算	233
§ 8-8 链传动的润滑	160	§ 12-6 轴的刚度校核	236
习题	163	§ 12-7 轴的振动	242
传动小结	163	附表	244
第九章 铆接、焊接和粘接	168	习题	246
§ 9-1 铆接	168	第十三章 滚动轴承	247
§ 9-2 焊接	172	§ 13-1 关于滚动轴承的 基本知识	247
§ 9-3 粘接	179	§ 13-2 滚动轴承类型的选择	251
习题	181	§ 13-3 滚动轴承的计算	252
第十章 螺纹联接及螺旋传动	183	§ 13-4 滚动轴承的极限转速	262
§ 10-1 螺纹	183	§ 13-5 变工况下滚动轴承的 计算	262
§ 10-2 螺纹联接的主要类型	185	§ 13-6 一支点上安装两个同型 号的向心推力轴承的计 算特点	262
§ 10-3 螺纹联接的拧紧和 防松	186	§ 13-7 滚动轴承的组合设计	263
§ 10-4 螺栓组联接的受力 分析	190	习题	271
§ 10-5 单个螺栓联接的 强度计算	194	第十四章 滑动轴承	274
§ 10-6 提高螺栓联接强度的 措施	203	§ 14-1 概述	274
§ 10-7 螺旋传动	206	§ 14-2 滑动轴承的典型结构	274
习题	212	§ 14-3 轴瓦的结构与材料	276
第十一章 轴毂联接	215	§ 14-4 滑动轴承中润滑油的 选用与润滑装置	280
§ 11-1 键联接	215	§ 14-5 混合润滑滑动轴承的 设计	282
		§ 14-6 动压滑动轴承的承载	

原理	283	§ 16-2 静密封	316
§ 14-7 液体动压普通圆柱形 向心轴承的设计	290	§ 16-3 接触式动密封	318
§ 14-8 液体静压轴承	299	§ 16-4 非接触式动密封	323
§ 14-9 空气轴承简介	300	§ 16-5 密封的组合应用	326
§ 14-10 其他类型轴承简介	300	习题	326
习题	302	第十七章 弹簧	327
第十五章 联轴器与离合器	303	§ 17-1 弹簧的功能和类型	327
§ 15-1 概述	303	§ 17-2 圆簧丝圆柱螺旋压缩 (拉伸) 弹簧的应力、 变形与刚度计算	328
§ 15-2 固定式刚性联轴器	304	§ 17-3 弹簧的材料、制造和 许用应力	330
§ 15-3 补偿式刚性联轴器	305	§ 17-4 圆簧丝圆柱螺旋压缩 (拉伸) 弹簧的设计 计算	332
§ 15-4 弹性联轴器	307	§ 17-5 其他弹簧简介	342
§ 15-5 联轴器的选择举例	310	习题	344
§ 15-6 操纵离合器	311	主要参考文献	345
§ 15-7 自动离合器	313		
习题	315		
第十六章 密封	316		
§ 16-1 概述	316		

第一章 绪 论

§ 1-1 机械零件课程的内容、性质和任务

机器是人类用以减轻体力劳动和提高生产率的工具。机器的类型很多,如机床、拖拉机、推土机、汽车等,尽管其型式和功用各不相同,但它们都是由一些基本单元组成的。如内燃机是由曲轴、连杆、活塞、齿轮等组成,它们相互之间固定地联接着或作相对运动。组成机器的基本单元称为机械零件,简称零件。为完成同一功能,在结构上组合在一起的一套协同工作的零件的总体称为部件,如联轴器和减速器等。

为了研究的方便,通常将机器中的零件分为两大类:一类是在各种机器中经常采用的零件,称为通用零件,如螺钉、齿轮、轴、弹簧等;另一类是只在某些特定类型的机器中才采用的零件,称为专用零件,如内燃机的曲轴、活塞,汽轮机的叶片,纺锭、织梭等。

机械零件课程的研究对象是在普通条件下工作的、一般参数的通用零(部)件,即不包括高速、高压、高温、低温等特殊条件下工作以及尺寸特大或特小的通用零(部)件。本课程的内容是从工作能力、结构、工艺和使用维护等观点研究通用零(部)件的设计原理和设计方法。其中包括如何确定零件的适当外形和尺寸,如何选择材料、精度等级、表面质量以及绘制有技术条件的工作图等。

由课程的内容可知,学习本课程之前,学生应具有初等及高等数学、理论力学、材料力学、机械原理、金属学及热处理、金属工艺学、互换性与技术测量、机械制图等有关课程的知识。学习过程中要综合运用上述知识来解决通用零件的设计问题。因此,机械零件课程是一门综合性的技术基础课,它在基础课与专业课之间起着承前启后的作用,并为专业课程的学习准备必要的条件。

机械零件课程的任务主要是:通过本课程的学习和课程设计等实践环节,培养学生运用基础理论解决机械零件设计问题的能力。即初步树立正确的设计思想;初步了解设计资料,手册的使用;掌握设计通用零(部)件的基本知识、基本理论和基本方法;能正确设计、分析和改进通用零(部)件等,从而使学生初步具有解决机械设计问题的能力。

§ 1-2 机器设计应满足的基本要求和一般程序

由于技术的进步以及社会和人们对生产和生活日益增长的需要,要求不断设计新的机器。机器的性能(完成特定功能的好坏)与组成机器的机械零件的性能是紧密相关的。因此,要设计出一台好的机器,除定好方案外,还必须很好地设计或选择它的零件;而每个零件的设计或选择,又是和机器应满足的要求分不开的。所以,要研究和较好地解决机械零件的设计问题,有必要先了解设计机器应满足的基本要求和一般程序。

一、设计机器应满足的基本要求

设计机器应满足的基本要求主要有以下几个方面：

(1) 使用要求 能实现机器的预定功能，能在预定的工作期限内和预定的环境条件下可靠地工作。

(2) 经济性要求 要求设计、制造和使用机器的费用少。

(3) 操作方便、安全等要求 设计时应考虑人的因素，适应人的生理机能，使操作方便、省力；必要时安装安全防护和保险装置以保证工人操作安全；尽可能降低机器的噪音、美化机器的外观造型以改善劳动条件等。也就是设计时应注意到人和机器间的各个联系环节。

(4) 其他特殊要求 如巨型机器要便于安装、拆卸和运输；食品、纺织、造纸机械不得污染产品等。

二、机器设计的一般程序

设计机器并没有一个固定不变的程序，须视具体情况而定。在此，介绍较为典型的一般程序。

(一) 明确需求和确定设计任务

首先根据社会、市场和用户的需要明确需求，确定机器的功能范围和工作指标，研究实现的可能性，然后确定设计需要解决的问题和项目，编制设计任务书。

(二) 拟定总体方案

根据设计任务，调查了解现有同类型机器的设计、生产、使用情况和制造厂的生产技术水平，拟定机器的总体布置、传动方案和机构运动简图等。在这一阶段中，往往需要进行多方案的制定和比较，进行技术经济评价，分析设计方案是否可行，从中选用较佳方案。

(三) 初步设计

通过运动学和动力学分析、工作能力计算和必要的模型试验或现场测试工作，确定机构、零件、部件的主要参数和尺寸，绘制必要的草图。在这一阶段中也要反复进行优化和评价的工作。

(四) 结构设计

根据初步设计的结果，考虑零件的工作能力和结构工艺性等要求，确定零件的形状和全部尺寸，绘制零件、部件和整机的全部工作图，编写出各种技术文件和说明书。

(五) 鉴定和评价

设计结果是否能实现预定的功能和满足提出的要求，可靠性和经济性指标如何，都需要经过样机试制、试验、鉴定和科学的评价。

(六) 定型产品设计

经过鉴定和评价，对设计进行必要的修改后就可进行小批量产品的试制和试验，重要产品还要在实际条件下试用，进行各种考核测试工作。将取得的大量数据和改进意见反馈回去，进一步修改设计后，就可进行成批生产的定型产品设计。

从以上设计的全过程可见，整个设计过程的各个阶段是互相联系的，并且在某一阶

段发现问题之后, 必须返回到前面有关阶段去进行修改设计。因此, 整个设计过程是一个不断返回、不断修改、完善, 以至逐渐接近最佳结果的过程。完成整个设计过程需要进行一系列艰巨的工作。设计人员应树立正确的设计思想, 努力掌握先进的科学技术知识和科学的辩证的思维方法, 坚持理论联系实际, 并在实践中不断总结积累设计经验, 要有所发展和创新, 才能较好地完成设计任务。

§ 1-3 机械零件设计的基本要求

设计机械零件应满足的基本要求是工作可靠和成本低廉。要使零件工作可靠, 就要求零件具有足够的工作能力, 如强度、刚度、耐磨性、振动稳定性等; 要使成本低廉, 就要满足经济性要求, 如正确选择材料、合理规定精度等级、良好的工艺性和尽可能选用标准零件等。

一、机械零件的失效和工作能力

机械零件由于某些原因不能正常工作时, 称为失效 (failure)。常见的失效形式有, 突然断裂和疲劳断裂, 塑性变形和过大的弹性变形, 各种形式的表面失效 (如表面疲劳点蚀、磨粒磨损、胶合、腐蚀等), 联接零件的松动, 靠摩擦力工作的零件打滑等。组成机器的零件, 如果发生任何一种形式的失效, 机器就不能正常工作。

零件的工作能力 (operating capacity) 是指零件在一定的工作条件下抵抗失效的能力, 对载荷而言称为承载能力。同一种零件可能有几种不同的失效形式, 因而对应于各种失效形式也就各有其不同的工作能力。例如, 轴的失效可能由于疲劳断裂, 也可能由于过大的弹性变形。在前一种情况下, 轴的承载能力取决于轴的疲劳强度, 后一种情况则取决于轴的刚度。机械零件工作能力虽然取决于多种因素, 但归纳起来最主要的是强度、刚度、耐磨性、振动稳定性等。

(一) 强度

强度是指零件承受载荷后抵抗整体断裂、塑性变形和某些形式的表面失效的能力。如果零件的强度不够, 就不能正常工作, 甚至可能发生严重事故。因而, 强度是一切零件都应满足的最基本的要求。

强度计算应满足的条件式为

$$S = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma} \geq S_{min} \quad \text{或} \quad \sigma \leq \frac{\sigma_{lim}}{S_{min}} = [\sigma] \quad (1-1)$$

式中 σ_{lim} ——机械零件的静载强度或疲劳强度的极限应力;

σ ——零件中的应力;

S ——计算安全系数;

S_{min} ——最小安全系数;

$[\sigma]$ ——许用应力。

(二) 刚度

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。零件的刚度常用单位变形所需的力或转矩来表示。刚度这一要求对于那些弹性变形量超过一定数值后会影响到机器工作质量的零件尤为重要。例如, 齿轮轴的弯曲挠度过大会破坏齿轮的正确啮合; 机床主轴的

刚度过小将严重影响工件的加工质量等。所以，对于有刚度要求的零件需要进行刚度计算。

刚度计算应满足的条件式为

$$\gamma \leq [\gamma], \varphi \leq [\varphi] \quad (1-2)$$

式中 γ ——机械零件的变形量（伸长量、挠度等）；

$[\gamma]$ ——许用变形量；

φ ——机械零件的变形角（挠角、扭转角等）；

$[\varphi]$ ——许用变形角。

应当指出，以上只是对那些具有刚度要求的零件而言的。有些零件不仅不需要有大的刚度，而是要求有一定的柔度，如弹簧等。所以，决不能认为无论什么零件都是刚度愈大愈好。

（三）耐磨性

耐磨性一般是指作相对运动的零件在载荷作用下抵抗磨损的能力。零件的磨损量超过允许值后，尺寸和形状将改变，工作表面精度也随之下降，不能再保持规定的功能而导致零件的失效。机器报废的主要原因之一就是由于零件的过度磨损。据统计，在一般机械中，由于磨损而失效的零、部件大约占全部报废零、部件的80%。所以，提高零件的耐磨性是提高机器寿命的一项重要措施，具有重大的经济意义。为此，本书第二章中专门讨论了磨损的有关问题。

（四）振动稳定性

振动的特征一般用振幅和频率两个参数表示。高速机械容易产生振动，振动会使零件产生额外的交变应力，使零件早期疲劳断裂，同时还产生较大的噪音。当周期性载荷的作用频率等于或接近机械系统或零件的固有频率时，就会发生共振。这时，零件的振幅将急剧增大，这种现象称为失去振动稳定性。共振能在短期内导致零件甚至整个系统的破坏，这种情况必须避免。因此，对于高速机械应进行振动分析和计算，以确保零件及机械的振动稳定性。

对于各种类型的零件，并不是都要进行上述各种工作能力的计算。而应根据具体情况，针对零件的主要失效形式，确定主要工作能力要求来进行设计计算，必要时再按其他要求进行校核计算。例如，设计机床主轴时，一般先按刚度确定尺寸，然后再校核其强度，必要时再进行振动计算。

二、经济 性

经济性是一个综合性的指标，它表现在设计、制造和使用的整个过程中。在设计制造中要求成本低、生产周期短；在使用中要求生产率高、效率高、能源和材料消耗低、管理方便和维护费用低廉等。为了改善机械零件的经济性，主要应注意以下几个方面。

（一）合理地选择材料

选择材料时，既要满足零件的使用要求又要价格便宜，同时还要注意材料的供应情况，尽可能就地取材。为此，设计人员要熟悉各种材料的基本性能，根据实际需要进行选用。对于要求高的零件不一定非得选用贵重的材料不可，而要充分利用热处理及其他先进工艺方法以提高材料的性能。例如，设计齿轮时要求轮齿工作表面耐磨，并具有足

够的齿面接触疲劳强度，而对其芯部则要求具有良好的耐冲击韧性。因而通常只用碳钢或低合金钢制作并进行高频表面淬火处理，即可得到较好的使用质量，而不必采用高合金钢。具体选择时还要通过分析比较。

(二) 良好的工艺性

在一定的生产规模与生产条件下，能用最少的加工费用和最简单的工艺方法制造出满足使用要求并容易装配的零件，则称这种零件具有良好的工艺性。工艺性包括的内容很广，设计人员必须深入生产实际了解生产单位的工艺设备条件和生产水平，在设计时认真考虑各个零件的制造过程及方法。只有这样，才能设计出具有良好工艺性的零件。否则，可能会造成所设计出来的零件无法制造或不能进行装拆的错误。

(三) 标准化、系列化、通用化

设计机器时尽量采用标准零件，在经济上具有重大的意义：(1) 便于用最先进的方法由专门化工厂组织大批量生产，不但能保证零件的质量，而且可以大大节约材料和设备，降低生产成本；(2) 由于标准化简化了设计工作，能大大缩短产品的设计制造周期，有利于产品的更新；(3) 由于各有关工厂都按统一标准生产零、部件，可以保证互换性要求，简化机器的安装与维修工作，进一步提高零、部件和机器的利用率。

与标准化密切有关的是系列化和通用化。对于同一产品，为了符合不同的使用条件，在同一基本结构或基本尺寸条件下，规定出若干辅助尺寸不同的产品系列称为系列化。通用化是指在不同规格的同类产品或不同类产品之间采用同一结构和尺寸的零、部件，以减少零、部件的种类，简化生产管理、降低成本和缩短产品生产周期。

我国现行标准分为国家标准(GB)、部颁标准(如JB、YB等)和企业行业标准(如Q/ZB等)。由于标准化、系列化、通用化(通常称为三化)具有明显的优越性，所以在机械设计中应大力推广三化和贯彻执行各有关标准。

设计机械零件除了要满足上述工作可靠、成本低廉的要求外，还应根据实际情况考虑使用维护方便和其他有关要求。

§ 1-4 机械零件的可靠性

按照一般强度条件设计的零件，由于没有考虑影响应力和强度的载荷、尺寸、材料性能等参数的离散性，因而所设计的零件在工作中有可能出现早期意外失效，或者为了“保险”起见往往把安全系数取得过大而使零件过于笨重，造成不必要的材料与动力消耗和成本的增加。随着科学技术和生产的发展，机械和机械零件的可靠性已从定性评价发展为可以量度的指标，并且运用概率论和统计数据解决机械设计问题已成为一个专门的领域——机械可靠性设计。进行可靠性设计可以使设计更接近于实际情况，尽量避免在选择安全系数时存在经验上的偏差；同时在设计中引进了可靠度的概念，使设计者能更主动地把握设计的效果，力求使所设计的零件在满足一定可靠度要求的前提下安全可靠、价格低、重量轻和体积小等，以适应对机械产品日益提高的要求。

可靠性一般可用“可靠度”(Reliability)量度，可靠度是指产品(机器或零件)在规定的使用条件下在规定的时间内(寿命、工作循环次数或距离等)内完成规定功能的概率，以 R 表示。或者说，可靠度是大量的零件在规定使用时间内能正常工作的件数占总件数的百分数。设有大量的某种零件共 N_T 个，在达到预定使用时间 t 时，已有 N_f 个零

件失效, 还剩下 N_r 个零件能继续正常工作, 则可靠度

$$R = \frac{N_r}{N_T} = \frac{N_T - N_f}{N_T} = 1 - \frac{N_f}{N_T} \quad (1-3)$$

不可靠度 (或失效概率)

$$F = \frac{N_f}{N_T} \quad (1-4)$$

于是

$$R + F = 1 \quad (1-5)$$

例如, 一大批同型号的滚动轴承工作到 10^6 转时已有 10% 失效, 则可靠度 $R = 90\%$ 。当一台机器或部件是由许多零件组成的一个串联系统时, 只要其中之一失效则该系统即失效。设各零件的可靠度分别为 R_1 、 R_2 、 $\dots$ 、 R_n , 则串联系统的可靠度为

$$R = R_1 R_2 \dots R_n \quad (1-6)$$

由上式可知, 串联系统的可靠度总是低于最不可靠的那个零件的可靠度。例如一个部件由可靠度分别为 $R_1 = 0.99$ 、 $R_2 = 0.97$ 、 $R_3 = 0.92$ 的三个零件组成, 则此部件的可靠度 $R = 0.99 \times 0.97 \times 0.92 = 0.885 < R_3$ 。因此, 串联系统中不允许有任何一个过于薄弱的环节。另外, 串联系统的零件愈多则可靠度愈低, 因而要尽量减少零件的数目。

§ 1-5 机械零件的设计方法和步骤

一、机械零件的设计方法

(一) 理论设计

理论设计是根据现有的设计理论和实验数据所进行的设计。如果理论公式和计算数据符合实际, 则理论设计能获得比较可靠的结果。按照设计顺序的不同, 理论设计可分为:

- (1) 设计计算 由理论设计计算公式确定零件的形状和尺寸。
- (2) 校核计算 先按其他方法 (如经验设计) 初步选定零件的形状和尺寸, 然后用理论校核公式进行校核计算。

(二) 经验设计

经验设计是根据同类机器及零件已有的设计和长期使用累积的经验而归纳出的经验公式, 或者是根据设计者的经验用“类比法”所进行的设计。经验设计简单方便, 对于使用要求变动不大而结构形状已典型化的零件如普通减速器箱体、齿轮和蜗轮的结构设计是比较实用可行的方法。但经验设计也有其局限性。

(三) 模型实验设计

对于尺寸特大、结构复杂又难以进行理论计算的重要零、部件可采用模型实验设计。即把初步设计的零、部件作成小模型或小样机, 通过模型或样机实验对其性能进行考核, 根据实验结果修改初步设计, 使它更符合实际要求。

(四) 计算机辅助设计 (CAD)

它是利用电子计算机辅助设计人员自动完成包括设计和绘图的最佳设计。设计人员

可以通过人机对话进行反复设计和修改,直到满足全部设计指标为止。计算机辅助设计(Computer Aided Design)能在尽可能短的时间内得到最佳的设计方案。

近年来,机械零件的设计方法发展很快,断裂力学法、有限元法、摩擦磨损和润滑理论及系统分析方法已开始应用于某些机械零件的计算和机械设计中;实际中还采用了优化设计、可靠性设计和价值分析以获得最佳设计方案、提高整机的可靠性和降低成本。此外,目前在机械设计方法学方面的研究也十分活跃。

本书主要讲述机械零(部)件的理论设计方法。

二、机械零件设计的一般步骤

- (1) 根据机器的总体设计方案,拟定零件的计算简图;
- (2) 确定作用在零件上的载荷;
- (3) 根据零件的使用要求,材料的性能、价格和供应情况等选择合适的材料和热处理规范;
- (4) 根据零件可能出现的失效形式,确定零件承载能力的计算准则和相应的计算公式;
- (5) 计算确定或经验选定零件的主要参数和几何尺寸,对计算求得的数据,必要时应进行标准化或圆整,对于经验选定的一些重要参数和尺寸,应进行校核计算;
- (6) 绘制零件工作图(工作图上应注明全部尺寸、公差、表面粗糙度代号和必要的技术条件等),并写出计算说明书。

§ 1-6 本课程的学习方法

现提出下列五点,供读者参考。

一、系统地掌握课程内容

本课程基本上是以每一种零、部件作为一个单元来讨论的。学习每一种零、部件的设计时,都应了解它的类型、结构特点、优缺点和应用范围;掌握对其工作情况的分析和可能的失效形式,以及由主要失效形式得出保证该零件工作能力的计算准则,相应的计算方法和公式,其中对于计算的出发点和公式中各系数的物理概念和分析方法以及各参数的选择原则和对设计结果的影响要着重掌握。对于零件的设计步骤和进行结构设计的原理和方法也是应该掌握的。至于公式的具体推导过程只要求了解,复杂的公式也不要求死记硬背。

由于机械零件设计是多学科的综合应用,与学习理论性的基础课有明显不同,所以学生在初学本课时,总要有一个逐渐适应的过程。为加速这一过程,建议学完每一章之后,自己作一个小结,以便从各个具体的有代表性的典型零件的设计中逐步掌握设计规律和逻辑思维能力。

本书每一章后的习题中有一部分思考题,它是帮助学生学习 and 检查是否掌握了教材内容的工具,希望能予以利用。

二、把主要注意力放在提高分析问题和解决问题的能力上

机械零件设计要解决的都是实际问题,因此,在掌握课程内容的基础上,要用过去

分析实际问题和解决实际问题。特别是要逐步熟悉工程中分析问题和解决问题的方法和步骤。为此, 必须注意下面两个问题。

(1) 由于生产实际中的问题比较复杂, 影响零件功能的因素很多, 零件设计往往不能单纯由理论计算去解决。有些系数和数据是根据一定条件下的实验得来的, 有时还要用到经验的或半经验的公式。因此, 要注意系数、数据和公式的应用范围和使用条件, 在确定零件形状和尺寸时要考虑各零件之间的相互联系和协调, 并重视结构设计的作用。

(2) 机械设计包括大部分零件的设计问题是发散型问题, 往往有多个解, 即可能有多种方案来完成同一功能。因此, 要逐步学会从各种可能的多种解答中通过评价找出最佳解。

三、重视实践、多作练习

本课程是实践性很强的课程, 决不能认为字面上懂了就掌握了。要独立去完成练习题和设计作业; 要高度重视本课程的课程设计; 要多练习徒手画结构图或轴测图以表达自己的设计意图; 要到现场去观察和分析实际机器及零件的型式、结构、特点和应用, 并调查其出现过的问题, 以逐步积累实际知识和建立实际概念。

四、注意自学能力的提高

科技发展很快, 新结构、新材料、新方法(工艺方法和设计方法)的不断涌现, 以及电子计算机的应用, 正在日新月异地改变着设计的面貌。因此, 建议学生不仅在学习教材时要培养自学能力, 而且提倡在老师指导下, 多看参考文献, 掌握新的信息。

五、解放思想, 培养自己进行创造性设计的能力

本课程所阐述的内容、方法和结构在目前是具有典型性的, 也是应该掌握的。但是, 要求学生有不以现有的结构和方法为满足的愿望, 鼓励大胆地提出新的设想, 并且要有把独创性构思的东西变为实际产品的能力。

第二章 摩擦、磨损和润滑

§ 2-1 概 述

近年来，摩擦、磨损和润滑问题之所以日益受到重视，不仅是因为它普遍存在于所有机器设备的摩擦副（如图 2-1 所示的滑动轴承、齿轮传动、导轨、摩擦离合器等）中，还因为机器向着高速、重载和自动化的方向发展，工作条件越来越苛刻，对精度、节能和可靠性的要求也越来越高。统计资料表明，一般机器中有 80~90% 的零件是因磨损而报废。因此，研究摩擦、磨损和润滑，弄清其现象、机理和影响因素，以便在设计阶段就采取有效的措施加以控制，已成为机械设计的基本任务之一。

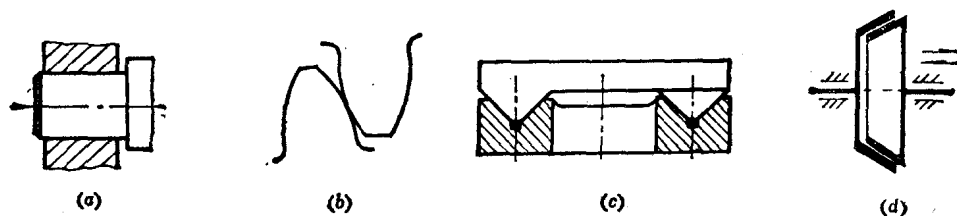


图 2-1 机器中的摩擦副举例

鉴于摩擦、磨损和润滑问题日益重要，从六十年代开始，已逐渐发展成为一门独立的边缘学科——摩擦学 (Tribology)，专门研究作相对运动的相互作用表面间的有关问题。实践表明，有润滑或者无润滑表面间的摩擦和磨损过程都是很复杂的。为了全面地考虑摩擦过程中各方面的因素，特别是考虑参与过程的各因素之间的关系以及环境的影响，七十年代中，荷兰萨拉姆 (G. Salomon)、西德契可斯 (H. Czichos) 等开始用系统分析的方法来处理摩擦学问题。这种系统称为摩擦学系统。研究表明，这种系统的功能有四类：运动的约束（如各类轴承），传递功（如齿轮传动），传递信息（如控制用凸轮机构），材料成型（如冲头与冲模）（图 2-2）。典型的系统包括两个固体元素（如轴和轴瓦）和中间元素（如润滑油）。下面，简要地分别介绍组成摩擦学系统的各个元素的有关问题。

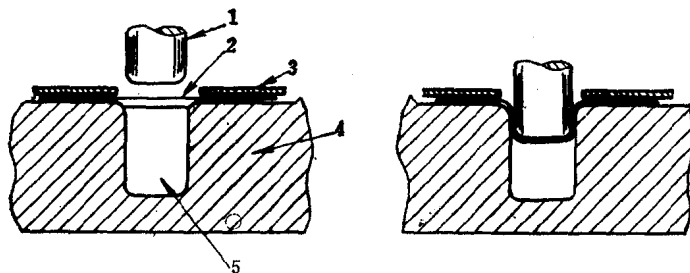


图 2-2 冲模中在坯料和金属模之间加水起润滑作用的试验

1—冲头，2—坯料，3—压边板，4—冲模，5—水。

§ 2-2 摩擦表面的形貌

金属是机器中最常用的材料，故在此只讨论金属的表面形貌 (surface topography)。

我们知道，即使是经过精加工的表面也不是理想光滑的，放大来看，总是高低不平的。有的大体上有一定规律，如刨削表面；有的则完全是随机的，象地球表面一样，十分复杂，如抛光表面。图 2-3 (a) 所示为表面的放大图，凸起的地方称为微凸体。目前，常用剖面轮廓的表面粗糙度和表面波度来表征表面的形貌。例如，表面轮廓的算术平均偏差 R_a 就是表面粗糙度的一个重要参数，磨削表面的 R_a 约为 $0.63\mu\text{m}$ 左右，抛光表面的 R_a 值则为 $0.08\mu\text{m}$ 左右， R_a 值愈大表明表面愈粗糙。

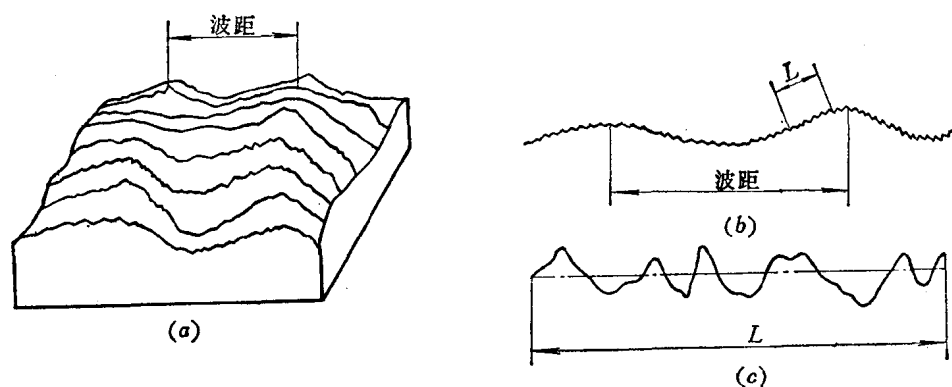


图2-3 摩擦表面的形貌

(a) 表面形貌；(b) 剖面轮廓；(c) 在取样长度 L 内测量表面粗糙度。

显然，两个这样的摩擦表面直接接触时，实际接触的只是个别的微凸体，如图 2-4 所示。实际接触面积 A_r (real contact area) 要比名义接触面积 $a \times b$ 小得多，一般只占名义接触面积的 $0.01 \sim 0.1\%$ ；而且实际接触面积还随法向载荷的改变而改变，如载荷加大，不仅已接触的微凸体因变形增大而使其接触面积增大，原来尚未接触的微凸

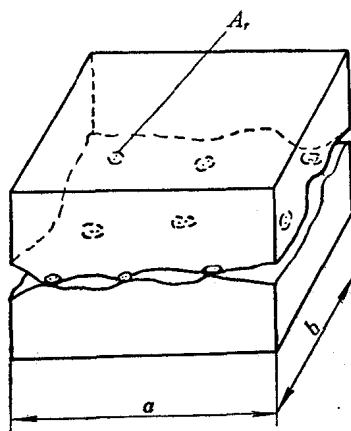


图2-4 两表面接触时的名义接触面积和实际接触面积