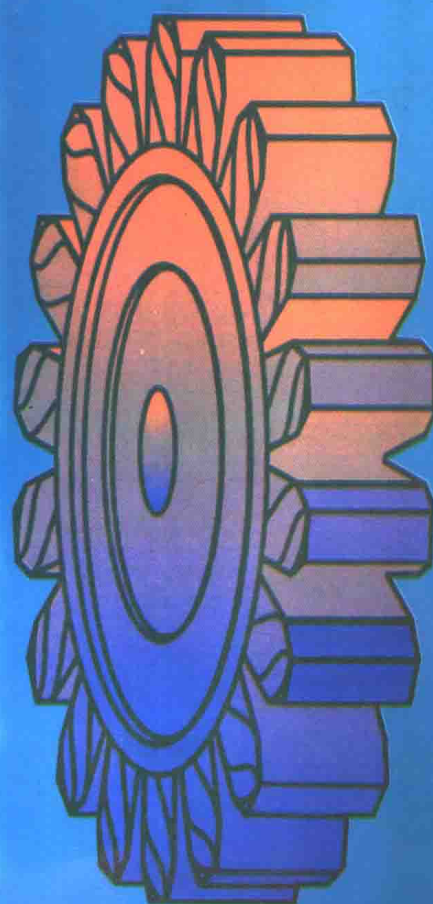
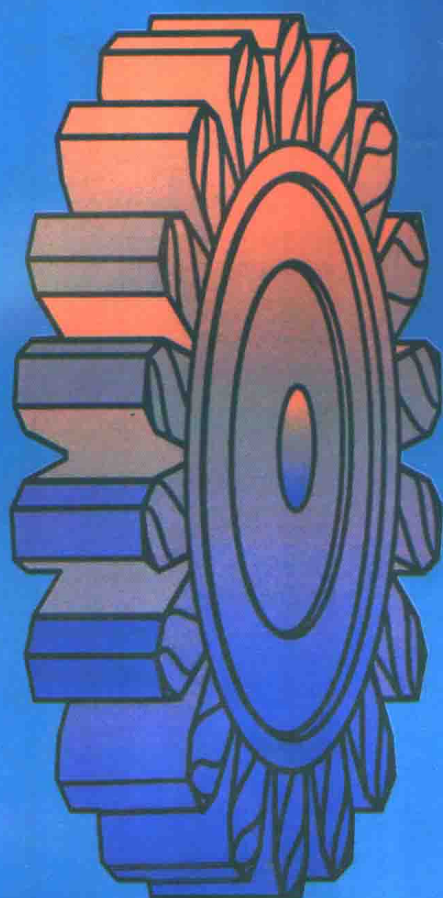


高等学校教材

机械设计



(第二版)

曹士鑫 张剑锋 刘学光 编

曹士鑫 主编

高等教育出版社

高等学校教材

机 械 设 计

(第二版)

曹士鑫 张剑锋 刘学光 编
曹士鑫 主编

高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书是在轻纺类《机械设计》联合编写组编《机械设计》(第一版)的基础上,根据高等工业学校机械类专业通用的《机械设计课程教学基本要求》重新编写而成。

全书分五篇,共十五章。第一篇总论:绪论,机械零件设计概论,机械零件的疲劳和磨损;第二篇联接件:螺纹联接,键、花键、销、无键联接和过盈联接;第三篇传动件:带传动,链传动,齿轮传动,蜗杆传动;第四篇轴系件:轴,滚动轴承,滑动轴承,联轴器和离合器;第五篇其他零部件:弹簧,机械无级变速器。各章附有例题,习题。在选编内容时注意突出重点、联系实际、便于教学。

本书作为高等工业学校机械类专业的教材,可供其他相近专业使用,并可供有关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/曹士鑫主编;曹士鑫,张剑锋,刘学光编. —2版.
—北京:高等教育出版社,1996.5
ISBN 7-04-005669-0

I.机… II.①曹… ②张… ③刘… III.机械设计—高等学校—教材 IV.TH12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 19496 号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码:100009 传真:4014048 电话:4054588

新华书店总店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 24.5 字数 610 000

1979 年 11 月第 1 版

1996 年 5 月第 2 版 1996 年 5 月第 1 次印刷

印数 0 001—2 081

定价 18.50 元

凡购买高等教育出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换。

版权所有,不得翻印

前 言

轻纺类《机械设计》联合编写组编《机械设计》(第一版),是把原《机械原理》和《机械零件》的内容统在一起编写。为便于应用,本书第二版,分《机械原理》和《机械设计》两本书出版。

《机械设计》是一门培养学生具有机械设计能力的技术基础课。在机械类各专业教学计划中,它是主要课程之一。但在第一版中,对《机械设计》的内容删、砍过多,本书是在保留原教材特色的基础上,根据高等工业学校机械类专业通用的《机械设计课程教学基本要求》重新编写而成。

本书分五篇,共十五章。在编写中,努力做到:突出重点,把最基本、最重要的内容讲深讲透,并适度反映现代科学技术的新成就;联系实际,反映生产实际中最常见、最迫切的问题,并适当顾及轻纺机械的特点;便于教学,在论述上深入浅出,简明易懂,在内容上循序渐进,并留有进一步思考余地,藉以提高学生的求知欲望。

本书作为高等工业学校机械类专业的教材,可供其他相近专业使用,并可供有关专业师生和工程技术人员参考。

本书由中国纺织大学曹士鑫,天津纺织工学院张剑锋,大连轻工业学院刘学光等编写。张剑锋编第五、六、十、十一章,刘学光编第二、七、十三章,曹士鑫、刘学光编第十二章,其余各章均由曹士鑫编写。曹士鑫担任主编。

本书由上海大学唐金松教授审阅,他对书稿提出了许多宝贵意见,编者对此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,加以时间匆促,书中难免存在不少缺点和错误,恳切希望广大读者批评指正。

编者

1995年9月

目 录

第一篇 总 论

第一章 绪论	2
§ 1-1 《机械设计》研究的对象、内容和任务	2
§ 1-2 机械设计时应满足的基本要求和一般步骤	3
习题	7
第二章 机械零件设计概论	9
§ 2-1 机械零件的载荷和应力	9
§ 2-2 机械零件的失效和工作能力的计算准则	12
§ 2-3 机械零件设计时应满足的基本要求	16
§ 2-4 机械零件的设计方法和步骤	17
§ 2-5 机械零件的常用材料及其选择原则	18
§ 2-6 机械零件的结构工艺性	22
§ 2-7 机械零件设计中的标准化	26
§ 2-8 机械零件现代设计方法简介	26
习题	34
第三章 机械零件的疲劳和磨损	35
§ 3-1 机械零件的疲劳失效	35
§ 3-2 材料的疲劳极限和极限应力线图	35
§ 3-3 影响机械零件疲劳强度的因素和机械零件的极限应力线图	40
§ 3-4 稳定变应力下机械零件的疲劳强度计算	42
§ 3-5 不稳定变应力下机械零件的疲劳强度计算	46
§ 3-6 摩擦和润滑机理	49
§ 3-7 磨损的过程和类型	52
§ 3-8 润滑剂和添加剂	54
习题	62

第二篇 联 接 件

第四章 螺纹联接	66
----------------	----

§ 4-1 概述	66
§ 4-2 螺纹联接的预紧和防松	71
§ 4-3 螺栓组联接的受力分析	73
§ 4-4 单个螺栓联接的强度计算	77
§ 4-5 提高螺栓联接强度的措施	82
习题	87

第五章 键、花键、销、无键联接和过盈联接

§ 5-1 键联接	90
§ 5-2 花键联接	93
§ 5-3 销联接	96
§ 5-4 无键联接	98
§ 5-5 过盈联接	99
习题	106

第三篇 传 动 件

第六章 带传动

§ 6-1 概述	111
§ 6-2 V带的结构和标准	112
§ 6-3 带传动的理论基础及工作情况分析	116
§ 6-4 普通V带传动的设计计算	121
§ 6-5 V带传动的带轮	129
§ 6-6 V带传动的张紧装置	133
习题	135

第七章 链传动

§ 7-1 概述	137
§ 7-2 滚子链和链轮	138
§ 7-3 链传动的运动特性和受力分析	143
§ 7-4 滚子链传动的设计计算	148
§ 7-5 链传动的布置、张紧和润滑	153
习题	157

第八章 齿轮传动

§ 8-1 概述	159
§ 8-2 齿轮传动的失效形式和承载能力	

计算准则	159	§ 11-6 滚动轴承的组合结构设计	280
§ 8-3 齿轮的材料及热处理	161	习题	293
§ 8-4 齿轮传动的计算载荷	164	第十二章 滑动轴承	296
§ 8-5 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	170	§ 12-1 概述	296
§ 8-6 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	184	§ 12-2 滑动轴承的结构型式和材料	297
§ 8-7 直齿圆锥齿轮传动的强度计算	187	§ 12-3 非液体摩擦滑动轴承的设计	
§ 8-8 齿轮的结构设计和齿轮传动的		计算	306
润滑	191	§ 12-4 液体动压润滑基本方程和油膜	
习题	205	承载原理	308
第九章 蜗杆传动	208	§ 12-5 动压液体摩擦向心滑动轴承的	
§ 9-1 概述	208	设计计算	310
§ 9-2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和		§ 12-6 滑动轴承的润滑及润滑装置	318
几何计算	210	§ 12-7 静压液体摩擦轴承简介	322
§ 9-3 蜗杆传动的效率	215	习题	326
§ 9-4 蜗杆传动的失效形式、承载能力		第十三章 联轴器和离合器	327
计算准则和材料选择	218	§ 13-1 概述	327
§ 9-5 普通圆柱蜗杆传动的承载能力		§ 13-2 固定式刚性联轴器	328
计算	219	§ 13-3 可移式联轴器	330
§ 9-6 蜗杆、蜗轮的结构设计和蜗杆		§ 13-4 操纵式离合器	336
传动的润滑	226	§ 13-5 自动离合器	342
习题	230	习题	346
第四篇 轴 系 件		第五篇 其他零部件	
第十章 轴	234	第十四章 弹簧	350
§ 10-1 概述	234	§ 14-1 概述	350
§ 10-2 轴的结构设计	237	§ 14-2 圆柱螺旋弹簧的基本特性	354
§ 10-3 轴的强度计算	242	§ 14-3 圆柱压缩和拉伸螺旋弹簧的	
§ 10-4 轴的刚度计算	249	设计计算	358
§ 10-5 轴的振动和临界转速的概念	253	§ 14-4 圆柱扭转螺旋弹簧的设计计算	362
习题	258	习题	366
第十一章 滚动轴承	261	第十五章 机械无级变速器	368
§ 11-1 概述	261	§ 15-1 概述	368
§ 11-2 滚动轴承的类型、特性和代号	262	§ 15-2 机械无级变速器的变速原理	369
§ 11-3 滚动轴承类型的选择	268	§ 15-3 几种常用的机械无级变速器	375
§ 11-4 滚动轴承的载荷分析及失效		§ 15-4 机械无级变速器的选用	380
形式	270	习题	382
§ 11-5 滚动轴承的尺寸选择和计算	273	主要参考文献	383

第 一 篇

总 论

第一章 绪 论

§ 1-1 《机械设计》研究的对象、内容和任务

一、机器的组成

机器是人类进行生产以减轻体力劳动、提高生产率的主要劳动工具,是刚体组成的功能系统。使用机器进行生产的水平是衡量一个国家社会生产力发展水平的重要标志。生产中使用的各种机器,例如金属切削机床、汽车、自动包装机、纺织机等就其构造和性能来说是各不相同的,但从功能来看,一部完整机器的组成如图 1-1 所示。图中双线框表示一部机器的基本组成部分,单线框表示附加组成部分。

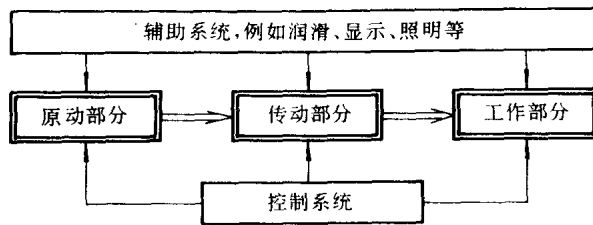


图 1-1 机器的组成

原动部分是机器动力的来源,它将各种形式的能量转变为机械能。最常见的原动部分是电动机,还有内燃机、汽轮机、燃气轮机等。

工作部分是直接完成机器预定功能的部分,它的结构形式完全取决于机器本身的功能要求。例如金属切削机床的刀具与刀架,汽车的底盘与车轮,自动包装机的机械手,纺织机的锭子与梭子等。

传动部分是将原动部分的能量和运动传递给工作部分的中间环节,解决原动部分和工作部分间运动形式、运动及动力参数的转换。例如各机器中的带传动、齿轮传动、链传动、传动轴等。

随着机器的功能愈来愈复杂,机器除了以上三个部分外,还会不同程度地增加其他部分,例如控制系统和辅助系统等,特别是电子计算机在控制系统的应用。

机器的基本组成要素是机械零件。习惯上,将一定类型机器中才用到而具有特定功能的零件,称为专用零件,例如在工作部分述及的零件;而把各种机器中经常用到而具有同一功能的零件,称为通用零件,例如在传动部分述及的零件。

当然,关于专用零件和通用零件的划分并不是绝对的。通用零件的范围,也并不完全统一。

二、《机械设计》研究的对象、内容和任务

《机械设计》主要是研究在一般条件下通用零件的基本工作原理和设计方法。其具体内容有:

- 1) 总论——本课程以及学习本课程所必须具备的一些共性知识。绪论,机械零件设计概论,机械零件的疲劳和磨损等。
- 2) 联接件——螺纹联接,键、花键、销、无键联接和过盈联接等。
- 3) 传动件——带传动,链传动,齿轮传动,蜗杆传动等。
- 4) 轴系件——轴,滚动轴承,滑动轴承,联轴器和离合器等。
- 5) 其他零部件——弹簧,机械无级变速器等。

机械设计是一门培养学生具有机械设计能力的技术基础课。在机械类各专业教学计划中,它是主要课程,起着承上启下的作用。本课程的主要任务是培养学生:

- 1) 掌握通用机械零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律,具有设计一般机械的能力;
- 2) 树立正确的设计思想,了解国家当前的有关技术经济政策;
- 3) 具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力;
- 4) 掌握典型机械零件的实验方法,获得实验技能的基本训练;
- 5) 对机械设计的新发展有所了解。

§ 1-2 机器设计时应满足的基本要求和一般步骤

机械零件是组成机器的基本要素。因此,要正确地设计机械零件,必须对机器设计有一定的了解。

一、机器设计时应满足的基本要求

机器的种类很多,但设计时应满足的基本要求却往往是相同的。这些基本要求如下。

1. 使用功能要求

就是要求所设计的机器能有效地实现预定的全部功能,这是机器设计的基本出发点。主要有:

1) 运动功能要求。根据预定的功能要求确定机器的工作原理,并据此选择工作机构、传动机构和原动机,以及合理地配置必要的辅助系统及控制系统。进行运动分析,判断这些机构的组合是否合理,运动是否协调,能否实现预定功能。

2) 动力功能要求。对机器进行动力分析,从而确定作用在机器各零件上的转矩和作用力(包括轴承反作用力等),这些负载对于计算机器零、部件的强度、刚度、寿命、振动和效率等问题都是必不可少的。

2. 经济性要求

经济性是用设计、制造和使用三方面的综合指标来衡量的。机器设计时应最大限度地考虑经济性。

1) 提高设计及制造的经济性。运用现代设计方法,例如最优化设计,计算机辅助设计(即CAD)等;推广标准化、通用化、系列化;采用新技术、新工艺、新结构、新材料;改善零件的结构工艺性,使其用料少、易加工、易装配等。

2) 提高使用的经济性。提高机器的机械化和自动化水平;选用效率高的传动系统及支承装置;注意采用适当的防护、润滑及密封装置等。

这样,可以使整部机器的成本低、生产率高、效率高、消耗低以及维护费用低廉等,达到好的经济性。经济性是评价设计质量的重要内容之一。为了结合功能对设计进行经济性评价,已形成了专门方法——价值分析(即VA)。

3. 劳动保护要求

机器设计必须注意人机关系,要按照人机工程学的观点来设计,对劳动保护给予极大的重视。

1) 注意操作者的操作安全。设置完善的安全防护及保险装置、报警装置、显示装置等。

2) 减轻操作者的劳动强度。操作应简便省力,操作的驱动力应限定;操作方式要符合人们的心理和习惯,例如操作手柄应便于右手操作等;简单而重复的劳动要利用机器本身中的机构来完成等。

3) 改善操作者与机器的环境。应尽量减少机器的噪声;防止有毒、有害介质的渗漏,对废水、废气、废液进行治理;按工艺美学原则美化机器的外形及外部色泽等。

4. 可靠性要求

可靠性是机器在规定的工作条件下和规定的使用时间内,保持规定功能的特性。可靠性是保证机器正常运转的关键,当今对许多重要机器都要进行可靠性设计。

机器的可靠性常用可靠度 R 、平均寿命 m 等来度量。机器的可靠度 R 是指机器在规定的工作条件下和规定的使用时间内,机器能正常实现其功能的概率。在进行可靠性评定时,应考虑的内容有:根据机器类型确定适当的可靠性水平;设计上力求结构简单,需要调节的环节少,零件数目少;提高机器中最低可靠度零件的可靠度,最好由等可靠度单元组成;机器的可靠性与工作寿命是分不开的,应采取各种措施,提高机械零件的耐腐蚀性、耐磨性和疲劳强度;尽可能采用有一定可靠度保证的标准件;加强对零件的检验和测量,减少由于材料和工艺缺陷造成的早期失效和偶然失效;合理规定维修期等。

5. 其他特殊要求

对于不同用途的机器还可能提出一些特殊要求。例如对机床有长期保持精度的要求;对食品和纺织机械有保持清洁、不能污染产品的要求;对建筑机械有便于装拆、搬运的要求等。在满足基本要求的同时,这些特殊要求同样也需得到满足。

应该指出,在考虑上述一系列要求时,不可避免的会遇到一些矛盾,例如经济性要求与可靠性要求的矛盾等。应结合机器的具体情况,因时因地进行辩证分析,恰如其分地处理解决。

二、机器设计的一般步骤

一部机器的质量基本上决定于设计质量。制造过程对机器质量所起的作用,本质上就在于实现设计时所规定的质量。因此,机器的设计阶段是决定机器好坏的关键。

一部新的机器由着手设计到正常使用,要经过研究、设计、制造和运行考核等一系列过程。

机器设计过程并没有一个通用的固定程序,这里以一般典型的步骤为例,说明如下。

1. 编制设计任务书

机器设计项目是根据生产或生活的需要提出的,对每个设计项目都要编制设计任务书。设计任务书通常由机器的使用单位与参加设计人员经过调查研究、综合分析共同制订出来的。设计任务书的主要内容有:功能要求(运动参数,力参数,能量,物料,讯号等);经济要求(尺寸、体积、重量的限制,生产率,最高允许成本等);制造要求(加工,检验,装配等);使用要求(使用对象,可靠度,操纵、控制、调整,环境要求,外形色泽等);期限要求(设计完成日期,研制完成日期等)。设计任务书是设计的主要技术依据。

2. 初步设计(方案设计)

根据设计任务书的要求,本着技术先进、使用可靠、经济合理原则,拟订出初步设计方案,并画出机器运动简图或原理图。这阶段对设计质量的好坏有着决定意义,应进行多种方案比较,选择最优方案。其主要内容如下。

(1) 工作机构方案的拟定

1) 选定工作原理。设计一部机器首先要根据功能要求选择工作原理。例如制造螺钉可以用车刀车削螺纹,也可以用滚丝模滚压螺纹等;纺纱可以是走锭纺,也可以是环锭纺、气流纺、静电纺等。工作原理不同,设计出的机器也不同。机器的工作原理是随着生产和科学技术的发展而不断发展,因此,不断采用新的工作原理,才能使机器设计达到新的水平。

2) 工作机构类型的选择。选定工作原理后,就要正确设计它的机构组合,以实现所需完成的动作。机器所需实现的动作是多种多样的,但均可根据所确定的运动方案把它分解为:连续回转运动,直线运动,往复摆动,间隙运动,实现预期的平面位置要求或运动轨迹,空间复杂运动等。而最基本的是回转运动和直线运动。运动形式不同,机构类型的选择就不同。事实上,即使同一种运动形式,也可以由各种不同的机构来实现。例如直线运动可用齿轮齿条机构,也可用螺旋运动机构或直动从动件凸轮机构等来实现。所以,具体设计时,就要综合考虑各种要求,对各种机构进行分析比较,以便合理地选择应用。

3) 工作机构之间运动的协调和配合。有些机器的运动方案中,各工作机构的运动是独立的,没有直接的运动联系,因此,在设计时常对每一种运动配备独立的原动机和传动系统。例如外圆磨床砂轮和工件的运动等。有些机器的运动方案中,各工作机构之间运动必须密切协调和配合,才能完成机器的生产任务。这种协调和配合,按其性质不同可分为:

运动速度的协调和配合。就是要求各工作机构间的运动必须保持严格的速比关系。例如车床上切削螺纹时,主轴的转速和刀架的走刀速度必须保持一定的关系。为了能保持工作机构间运动速度的协调和配合,在它们间应该用保持恒定速比关系的传动机构(齿轮传动机构、螺旋传动机构等),而决不能采用传动比不稳定的传动机构(如带传动等)。

动作的协调和配合。就是要求各工作机构间的动作要按一定的循环规律,在时间上协调配合。例如金属切削机床的主轴和工作台间的动作;自动包装机的各工作构件间的动作,它们在时间上都必须协调和配合。为了使各工作机构间的动作能互相协调和配合,设计时应编制动作协调图,又叫运动循环图。

(2) 原动机方案的拟定 原动机的运动形式比较单一,一般作连续回转(如电动机、油马达、电液脉冲马达等),也有作摆动(如回转油缸或气缸)和移动(如往复式油缸或气缸、直线电机等)

的。由于电动机结构简单、价格便宜、运行可靠、维护方便等优点,在一般机械中,得到了广泛的应用。当工作机构的运动参数确定后,就可以确定原动机的运动参数。通常使用的电动机,其同步转速分 3000、1500、1000、750 及 600 r/min 等五种(即通常分别称为 2、4、6、8 及 10 极电动机)。当输出功率相同时,转速愈高,电动机的尺寸愈小,价格也愈低。因而当工作机构速度较高时,宜选用高速电动机。但工作机构速度较低时,则应从缩小减速装置、提高机械效率和电动机价格等综合地全面考虑,合理选择中、低速电动机。有时为了满足工艺要求,例如螺杆挤压机等,需要选择具有调速性能的直流电动机、电磁调速电动机及变频调速电动机。内燃机、汽轮机、燃气轮机等热力原动机,主要用于运输机械、工程机械或农业机械等。例如汽车、拖拉机用内燃机作为原动机。

(3) 传动系统方案的拟定 在工作机构与原动机方案确定后,可以进行传动系统方案的设计。这同样是机器设计要解决的主要问题。

1) 尽量简化和缩短传动路线。这样可降低成本,提高效率,提高机械的传动精度等。例如减小原动机轴与末端从动轴的转速差;合理选择变速机构及采用几个原动机分别传动各个运动链(但要注意同步、连锁和运动配合)等,都能使传动系统简化和缩短。

2) 合理安排功率传递的顺序。一般在设计传动路线时,应尽量使原动机先传动消耗功率较大的工作机构,后传动消耗功率较小的工作机构,即分配“前大后小”的原则。这样即可减少传递功率的损失,更可减小传动件的尺寸。例如金属切削机床总是先传动主运动系统,再传动进给系统等。

3) 合理安排传动机构的顺序。一般变换转速的传动装置应尽量安排在与原动机相联部分(高速级),常将带传动、摩擦传动等与原动机相联,而齿轮传动等则往往放在它们的后面,这样,一方面可以减少外廓尺寸,同时又可起过载保护作用。由于圆锥齿轮的制造困难,安装条件不利,为了减小它的尺寸和受力,也往往把圆锥齿轮传动安排在高转速的轴上。此外,高速级应尽可能选择动载荷较小的传动,如斜齿轮、蜗杆传动等,低速级可选择其他齿轮传动、链传动等。而对于变换运动形式的机构,如凸轮机构、连杆机构等,则通常是在传动系统的末端与机械的工作部分直接相联(低速级)。例如金属切削机床、自动包装机、纺织机等的第一级传动就多是 V 带传动,而工作部分大多与连杆、凸轮等机构相联。

4) 合理分配传动化。在一般机械中,电动机的转速较高,而工作机构的速度较低,往往需要多级降速才能达到要求。传动装置的每一级传动比宜在常用范围内选取,而各级传动比的分配应根据机构的不同工作要求而定。例如金属切削机床变速箱一般按等比级数分配各级传动比。一般情况下,机械中常采用相邻两级传动比相差不大,并使高速级传动比略小于低速级,即传动比分配按“前小后大”的原则。这样,可使各级中间轴有较高的转速及较小的转矩,因而轴上各零件的尺寸可取得小,结构紧凑。

5) 注意提高机械的效率。由于机械传动的总效率是机器中各传动系统的分效率的连乘积,因此传动系统中任一传动机构具有较低的效率都会使总效率降低,这应引起充分的注意。特别是传递功率较大时,机械效率应作为选择传动型式和机构的主要依据。

(4) 考虑总体布局并画出运动简图 在工作机构、原动机和传动系统方案拟定后,就可进行总体布局。在总体布局时还应考虑控制系统和辅助系统(如润滑、显示、照明等),以及电子计算机在控制系统的应用。总体布局要重视操作、安全、拆装和维修等方面的方便,同时也要考虑到

全机地位的紧凑及布局的合理。在考虑好总体布局后,应绘制出全机运动简图。

3. 技术设计

在初步设计的基础上,着手把拟定的方案分成具体的零部件,把运动简图变成具体的结构图及装配图。其主要内容有:

1) 根据机器的运转特性、工作机构的工作能力、工作速度和传动系统的总效率等,算出机器所需的驱动功率,并结合机器的具体情况,选择好一部或几部原动机。

2) 对各机构和主要零件进行运动分析、动力分析和工作能力计算,以及必要的类比及实验,从而确定它们主要的尺寸、形状和技术参数。这是极为重要的工作,也是本课程以后各章主要研究的内容。

3) 确定总体尺寸关系,决定各个机构和主要零件在机器中的位置及互相间的联接。设计各部件的装配图并画出总体装配图。

4. 工作图设计

工作图设计就是按照技术设计进行零件设计,由装配图到零件图。这时应从机器的总体出发,综合考虑机械零件设计的基本要求(见第二章),具体地决定零件的尺寸、形状、结构要素、制造精度等,并规定出适当的技术条件(如热处理方法及表面硬度等),从而绘制零件工作图。并编制部件明细表和产品明细表,然后复拼部件装配图及总体装配图。

另外,还要编制标准件汇总表、通用件汇总表、借用件汇总表、备件表、安装技术条件、机器技术说明书、设计专用工具和机器设计说明书等。

5. 试制与鉴定

全套图纸设计绘制完毕,所有设计技术文件编写完成,并经工艺会签及审核结束后,图纸即可投入生产,作短期试制。样机完成,即进行机器鉴定和生产鉴定,以考核样机的性能是否符合设计任务书的各项规定。

鉴定通过后,需要根据试制和运转中暴露出来的问题,对设计图纸进行修改,常称为整图。机器设计工作到此才告一段落。

上述只是机器设计的一般步骤。各项工作不是相互割裂无联系的,而应是相互穿插和有机结合,有时甚至要多次反复。同时,这些步骤也不是一成不变的,而是应该根据机器的具体情况适当地进行变动。

应当指出,可靠性设计、最优化设计、计算机辅助设计(CAD)等现代设计方法的应用,对提高设计质量、缩短设计周期、发展设计理论、改革设计技术和方法等已取得愈来愈显著的效果。可靠性设计是按可靠性观点,对所设计的零、部件及其结构参数等作出是否满足可靠性要求的评价,提出改进设计的建议,从而进一步提高机器设计的质量。最优化设计,它可使设计方案、零部件结构参数等的选择达到最佳的能力。计算机辅助设计是利用计算机快速运算及大规模储存的能力等,可极大地提高计算的精度、加快设计进程,而计算机辅助绘图及设计技术的迅速发展,又将使设计人员从繁重的绘图工作中摆脱出来。在机器设计领域,传统的设计方法受到很大冲击,现代设计方法的应用已势在必行。

习 题

1-1 机器的组成? 何谓专用零件和通用零件?

- 1-2 《机械设计》研究的对象和内容？
- 1-3 《机械设计》的主要任务是什么？
- 1-4 机器设计时应满足哪些基本要求？各基本要求的具体内容？
- 1-5 机器设计的一般步骤？各步骤的主要内容是什么？

第二章 机械零件设计概论

§ 2-1 机械零件的载荷和应力

一、机械零件的载荷

机械零件所受的载荷,可能是力 F 、转矩 T 和弯矩 M 等,这是设计机械零件的重要依据。

1. 静载荷和变载荷

根据载荷的大小和方向随时间变化的情况可分静载荷和变载荷两类。不随时间变化或变化极缓慢的载荷,称为静载荷,如零件的自重。随时间作周期性变化或非周期性变化的载荷,称为变载荷,前者如空气压缩机曲轴所受的载荷等,后者如汽车发动机曲轴所受的载荷等。通常,大多数机械零件都是在变载荷下工作。

2. 名义载荷和计算载荷

在理想的平稳工作条件下作用在零件上的载荷,称为名义载荷或公称载荷。一般可根据额定功率用力学公式等算出作用在零件上的载荷,如 F 、 T 、 M 等。

为了可靠、在计算中应计及工作中起动、制动时的过程,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,以及其他影响零件受力的种种因素。为此,设计时采用的载荷值就不能等于,而要大于名义载荷,并称为计算载荷,如 F_c 、 T_c 、 M_c 等。

计算载荷和名义载荷的关系为

$$F_c = KF \quad (2-1)$$

式中 K 称为载荷系数,其值随原动机和工作机的种类而异,一般大于或等于 1,详见各零件的计算。

二、机械零件的应力

1. 静应力和变应力

根据应力的大小和方向随时间变化的情况可分静应力和变应力两类。不随时间变化或变化极缓慢的应力,称为静应力,例如零件自重引起的应力,锅炉中蒸气压力所引起的应力等。静应力只能由静载荷产生,且只有作用在零件上的载荷方向相对于零件是不变的,零件中的应力才是静应力。随时间作周期性变化或非周期性变化的应力,称为变应力。变载荷作用在零件上将引起变应力,但静载荷方向相对于零件变化时,也会在零件上引起变应力,例如受横向静载荷 F 的转轴,其横剖面上任一点的弯曲应力就是按正弦规律变化的循环变应力。

周期、应力幅和平均应力均保持为常数的变应力,称为稳定变应力,如图 2-1 所示。若其中之一不保持为常数,但均按一定规律变化的变应力,称为规律性不稳定变应力,如图 2-2 所示。若变化不呈周期性,而带有偶然性的变应力,称为无规律性不稳定变应力,也叫随机变应力,如图

2-3 所示。

图 2-1~图 2-3 所示的应力与时间坐标图,称为应力谱。通常,大多数机械零件都是在变应力,尤其是稳定变应力下工作。

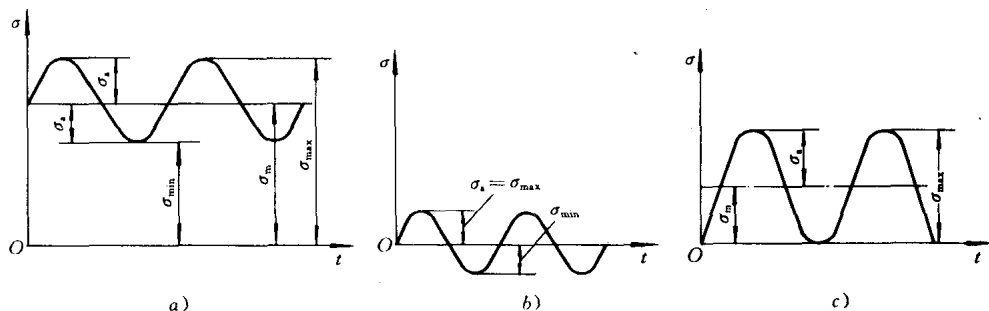


图 2-1 稳定变应力

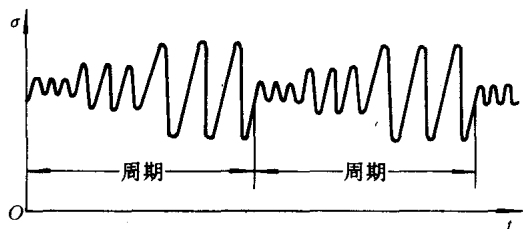


图 2-2 规律性不稳定变应力

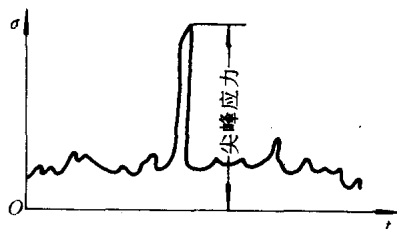


图 2-3 随机变应力

2. 稳定变应力的特性参数

图 2-1a 为一任意稳定变应力,图中 $\sigma_{\max}$ 为最大应力、 $\sigma_{\min}$ 为最小应力、 σ_m 为平均应力、 σ_a 为应力幅,它们之间的关系为

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (2-2)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (2-3)$$

并令

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (2-4)$$

在应用上列各式时应注意:1) 横坐标以上为拉伸应力,数值为正值;横坐标以下为压缩应力,数值为负值。若是剪切应力 τ 或扭转剪应力 τ_T ,则可规定一个方向为正值,另一个方向为负值。2) 按绝对值的大小来判别 $\sigma_{\max}$ 和 $\sigma_{\min}$,绝对值大者为 $\sigma_{\max}$,绝对值小者为 $\sigma_{\min}$ 。

r 称为应力循环特性,或变应力不对称系数,其值变化范围为 $-1 \leq r \leq 1$ 。稳定变应力按 r 值可分为:1) $r = -1$,称为对称循环变应力(图 2-1b),此时, $\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$, $\sigma_m = 0$, $\sigma_a = \sigma_{\max}$;2) $r = 0$,称为脉动循环变应力(图 2-1c),此时, $\sigma_{\min} = 0$, $\sigma_m = \sigma_a = \sigma_{\max}/2$;3) r 为其他值,称为非对称循环变应力(图 2-1a)。对于静应力可以视为 $\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \sigma_m$, $\sigma_a = 0$, $r = 1$ 。

在非对称循环变应力中, σ_m 相当于静应力,因此,非对称循环变应力是静应力 σ_m 和应力幅

为 σ_a 的对称循环变应力的叠加。

以上对正应力所作分析均适用于切应力, 只要把 σ 换成 τ 。

3. 体积应力和表面应力

按应力在零件上的分布情况, 可分为体积应力和表面应力。在零件体内产生的应力称为体积应力, 包括拉伸应力 σ 、压缩应力 σ_c 、剪切应力 τ 、扭转剪应力 τ_T 和弯曲应力 σ_b 等。在零件接触表面上产生垂直于表面的应力, 称为表面应力, 包括挤压应力 σ_P 和接触应力 σ_H 等。各种体积应力和挤压应力已在材料力学中作了详尽的讨论, 不再赘述。

有些机械零件, 如摩擦轮、齿轮轮齿、滚动轴承的滚动体与内外圈等, 理论上点是点接触或线接触, 受载荷后, 在接触表面产生局部弹性变形, 实际接触是一很小的面积, 零件通过很小的接触面积传递载荷, 在接触表层处产生很大的局部应力, 即表面接触应力。最大接触应力发生在接触面积的中央, 数值往往很大。

(1) 两球体的接触应力 图 2-4 所示为半径各为 ρ_1 、 ρ_2 的两个球体接触, 在压力 F 的作用下, 接触处形成一个半径为 a 的圆形接触面积。在此圆形面积上的压力呈椭圆形分布, 作用在接触中心处的最大接触应力为平均应力的 1.5 倍。

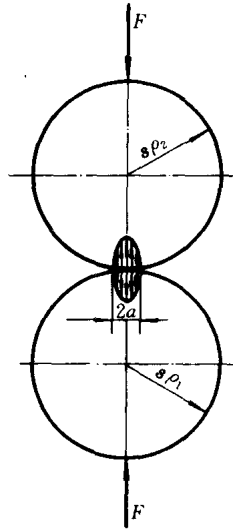


图 2-4 两球体接触

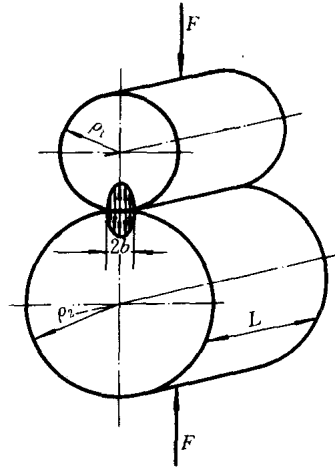


图 2-5 两圆柱体接触

最大接触应力 σ_{Hmax} 可由赫兹(Hertz)公式求得

$$\begin{aligned}\sigma_{Hmax} &= \frac{3}{2\pi} \sqrt[3]{F \left[\frac{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}}{\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}} \right]^2} \\ &= 0.58 \sqrt[3]{F \left[\frac{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}}{\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}} \right]^2} \quad (2-5)\end{aligned}$$