



北京市高等教育精品教材立项项目

机械设计学基础

(下册)

孙建东 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



北京市高等教育精品教材立项项目

机械设计学基础

(下 册)

孙建东 主编



机械工业出版社

本书是高等职业教育机电类专业用书,是北京市教育委员会精品教材立项项目。

本教材分为上下两册。上册包括2篇,第1篇为“机械工程材料基础”;第2篇为“机械工程力学”。下册包括1篇,第3篇为“机械设计基础”。

本书是下册,主要包括:机械设计概论;机械零件的尺寸公差、形位公差和粗糙度等基本知识;常用机构的工作原理;常用机构的运动分析和受力分析;常用机构的设计方法;机械设计理论基础;典型机械零件的设计和现代设计方法简介等。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计学基础.下册/孙建东主编.——北京:机械工业出版社,2004.8
ISBN 7-111-14740-5

I.机... II.孙... III.机械学 IV.TH11

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第060339号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:胡毓坚 责任编辑:郭燕春 版式设计:冉晓华

责任校对:李秋荣 封面设计:陈 菲 责任印制:李 妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年8月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·23印张·496千字

0 001—5 000册

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是高等职业教育机电类专业用书,是北京市教育委员会精品教材立项项目。

本着高等职业教育“以应用为主,够用为度”和“为今后的发展打下一定的基础”的原则,许多职业院校都对教学计划进行了改革。修改后的教学计划的共同特点是减少理论性教学的课时,增加实践性教学的课时。

对于机械电子类专业,许多院校都整合了一些传统课程,增加了一些当前我国机电制造业所需要的新课程。为满足这种要求,培养我国经济发展所需要的人才,在北京市教委的组织和引导下,我们编写了这本高等职业教育机电类专业的技术基础课教材《机械设计学基础》。

本教材分为上下两册。上册包括两篇,第1篇为“机械工程材料基础”;第2篇为“机械工程力学”。下册——第3篇为“机械设计基础”。

第1篇机械工程材料基础。为本课程后面的“机械设计”提供材料及其处理方法的必要的基础知识。本着“够用为度”的原则,主要介绍常用金属材料的规格、牌号、主要性能及应用等;常用金属材料的热处理方法、目的和分类等;介绍其他常用非金属机械工程材料及其表面处理方法;对新材料和新热处理(或表面处理)技术作了介绍。计划约20学时。

第2篇机械工程力学。主要为学习后面的“机械设计”提供机械力学和材料力学方面的必要的基础知识。在机械力学方面,着重介绍静力学基础知识,同时介绍运动学和动力学方面的必要知识,基本保持了古典力学的系统性和完整性,突出其在机械工程中的应用。在材料力学方面,以机械工程中常见的应用为例,主要介绍了材料在拉伸(压缩)、扭转、弯曲和组合变形状态下的应力分析和强度计算等机械工程材料力学的基础知识。计划约70~90学时。

第3篇机械设计基础。介绍了机械精度设计的基本知识和常用机构的工作原理。内容主要包括:机械零件的尺寸公差、形位公差和表面粗糙度等基本知识;常用机构的运动分析和受力分析、常用机构的设计方法,机械设计理论基础,典型机械零件的设计和现代设计方法简介。

本教材删去过时的、不适用及理论性推导过程的内容,同时添加了一些新技术和新知识的内容。

通过学习《机械设计学基础》课程,要求学生能够掌握常用机构的设计方法,具有对简单机械进行设计或分析的初步能力,为学生今后的专业课程学习和继续深造打下基础。

对于机电类专业的学生,本课程最终还要通过课程设计来检验学生的综合能力。课程设计的内容通常是设计一台一级或二级减速器。为了缩短课程设计的课时,提高学习的效率,本教材下册的章节是按课程设计的计算顺序安排的。使用本教材下册时,建议按下面的方法

进行教学。

1. 在开始讲授第3篇时, 先将课程设计的题目给学生布置下去, 并向他们介绍本课的课程设计要求和注意事项;

2. 以后每讲一章, 都可以用课程设计中的计算内容作为作业, 要求学生按时完成;

3. 讲解与课程设计有关的章节时, 都要同时介绍减速器中各零件的设计方法和安装调试方法;

4. 一般要求学生在课程结束之前, 完成课程设计说明书的草稿, 且最好在结束之后立刻进行课程设计, 以保证课程的连续性。

对于近机类和非机类专业的学生, 可以不进行课程设计。安排教学计划时, 可以删减一些非主要章节, 以保证课时要求。

参加本书下册编写的有: 北京市机械局职工大学王风玲(第9章、第10章); 龙娟(第11章、第12章); 牛荣华、戴文玉(第2章); 张宝君、孙建东(第13章); 戈峰、孙建东(第15章); 孙建东、李雪梅(第1章、第4章、第5章、第7章、第8章); 北京市汽车工业总公司职工大学苏理中(第3章); 北京市轻工职业技术学院李雪梅(第14章); 首都联合职工大学刘龙妹(第6章)。

北京市机械局职工大学的戈峰老师为本书的编写工作翻译了大量的外文资料, 在此表示感谢。

目 录

前言

第 3 篇 机械设计基础

第 1 章 绪论	3
1.1 概述	3
1.2 机械设计的基本要求、常用设计方法和一般设计过程	4
1.3 机械零件的失效形式和设计准则	6
1.4 机械零件的强度	8
1.5 机器及其零部件的工艺性和标准化	11
第 2 章 机械精度设计	13
2.1 概述	13
2.2 测量技术基础	14
2.3 尺寸精度设计	16
2.4 形状和位置精度设计	29
2.5 表面粗糙度	45
2.6 典型零件精度设计	50
2.7 习题	61
2.8 附录	63
第 3 章 机械传动装置的运动和动力参数计算	67
3.1 电动机的选择	67
3.2 机械传动装置总传动比的计算和分配	71
3.3 机械传动装置的运动参数和动力参数的计算	73
第 4 章 带传动和链传动	78
4.1 带传动的组成、类型选择和特点	78
4.2 带传动的工作原理及强度计算	85
4.3 普通 V 带传动的设计计算	90
4.4 普通 V 带带轮的结构	98
4.5 带传动的张紧装置及维护	101
4.6 链传动简介	102
4.7 习题	108
4.8 附录	108
第 5 章 齿轮机构	111
5.1 齿轮机构的特点及类型	111

5.2	齿廓啮合基本定律与渐开线齿廓	113
5.3	渐开线齿轮各部分的名称及尺寸	116
5.4	渐开线齿轮的啮合传动	119
5.5	渐开线齿轮的切齿原理	123
5.6	渐开线齿轮的根切现象及最少齿数	127
5.7	斜齿圆柱齿轮传动	128
5.8	锥齿轮传动	136
5.9	齿轮传动的失效形式和计算准则	140
5.10	齿轮的材料及热处理	142
5.11	齿轮传动精度简介	145
5.12	直齿圆柱齿轮传动的受力分析与计算载荷	146
5.13	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	148
5.14	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	161
5.15	齿轮的结构	168
5.16	齿轮传动的润滑及效率	170
5.17	习题	171
第6章	蜗杆传动	173
6.1	概述	173
6.2	普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	175
6.3	蜗杆传动的失效形式、材料和结构	180
6.4	蜗杆传动的强度计算	182
6.5	效率、润滑和热平衡计算	187
6.6	习题	192
第7章	轴	194
7.1	轴的分类	194
7.2	轴材料的选择	195
7.3	轴的结构设计	196
7.4	轴的强度计算	200
7.5	习题	206
第8章	轴承	207
8.1	滚动轴承的类型、代号及选用	207
8.2	滚动轴承的失效形式和设计准则	214
8.3	滚动轴承的特性与寿命计算	215
8.4	滚动轴承的静载荷计算与极限转速	223
8.5	滚动轴承组合设计	225
8.6	滚动轴承的润滑与密封	233
8.7	滑动摩擦及其润滑	238

8.8	滑动轴承的类型及其结构	241
8.9	滑动轴承的轴套结构和轴承材料	244
8.10	混合摩擦滑动轴承的设计	248
8.11	习题	250
第 9 章	联接	252
9.1	螺纹及螺纹副的效率和自锁	252
9.2	螺纹联接	255
9.3	螺栓联接的强度计算	261
9.4	提高螺纹联接强度的措施	265
9.5	键联接	266
9.6	销联接	271
9.7	联轴器	272
9.8	离合器	276
9.9	习题	278
第 10 章	轮系	280
10.1	轮系的分类	280
10.2	定轴轮系的传动比计算	280
10.3	周转轮系的传动比	284
10.4	混合轮系及其传动比计算	287
10.5	轮系的功用	288
10.6	几种特殊的行星轮系	290
10.7	习题	291
第 11 章	平面机构	293
11.1	运动副及其分类	293
11.2	平面机构的运动简图	295
11.3	平面机构的自由度	297
11.4	习题	302
第 12 章	平面连杆机构	304
12.1	平面连杆机构概述	304
12.2	平面连杆机构的基本类型及其演化	304
12.3	平面连杆机构的工作特性	309
12.4	平面四杆机构的设计	312
12.5	习题	315
第 13 章	凸轮机构	316
13.1	概述	316
13.2	凸轮机构的类型	317

13.3	从动件的常用运动规律	319
13.4	凸轮机构的设计	325
13.5	习题	334
第 14 章	其他常用机构简介	335
14.1	间歇运动机构	335
14.2	螺旋机构	341
14.3	习题	342
第 15 章	现代设计方法简介	343
15.1	最优化设计方法	343
15.2	有限元方法	345
15.3	机械可靠性设计	346
15.4	计算机辅助设计 (CAD)	348
15.5	绿色设计 (Green Design)	353
15.6	虚拟设计	355
15.7	模糊机械设计	356
15.8	并行设计	358
15.9	习题	359
参考文献		360

第 3 篇 机械设计基础

第1章 绪 论

1.1 概述

1.1.1 机器的组成及其特征

本书介绍的是机械运动原理及机械零件的设计问题，因此本书讨论的机器仅限于机械类的机器。

一台完整的机器是由机器本体和控制装置组成的。控制装置又分为机械控制装置和电子控制装置两类。本课程中所讨论的机器主要是指机器本体和机械控制装置。

1. 机器本体的组成

机器本体由动力部分、传动部分和执行部分组成。

(1) 动力部分 动力部分是机器的动力来源，如：电动机、内燃机和液压马达等；

(2) 传动部分 传动部分是将动力部分的动力和运动传递给执行部分的中间环节，如：齿轮减速器、连杆机构和带轮机构等；

(3) 执行部分 执行部分是最终直接完成机器的各种功能的部分。

比如：一台普通车床的动力部分是电动机；传动部分是主轴箱和进给箱等；执行部分是刀架、主轴卡盘等。

2. 机器的特征

图 1-1 所示为内燃机工作原理图，图中 1 为内燃机气缸，2 为活塞，当气缸中的油气混合物被火花塞点燃后，爆炸膨胀的气体推动活塞向下移动，通过与活塞相联接的连杆 3，使曲轴 4 转动，再通过齿轮 5 和 6 带动凸轮轴 7 转动，凸轮轴上的凸轮 7 和 8 分别推动进气阀杆和排气阀杆，使两个阀门 9 和 10 按预定规律打开和关闭，从而完成进气和排气任务。内燃机可以将燃料爆炸时的热能转化为机械能，再通过

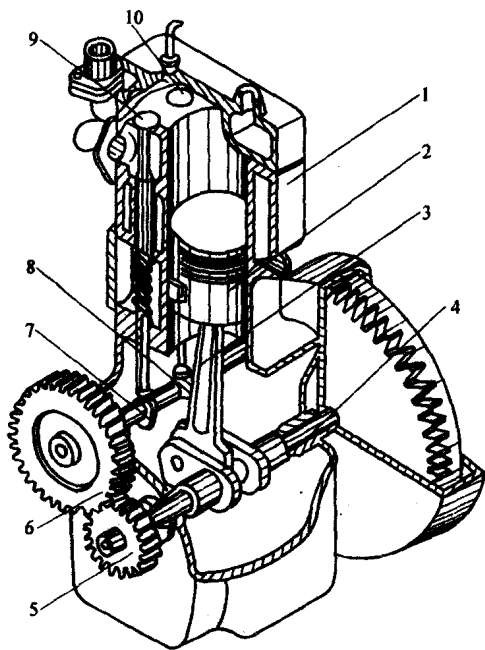


图 1-1 内燃机工作原理

曲轴将动力输出。因此机器具有以下特征：

- 1) 机器是人为的实物组合；
- 2) 机器各部分之间具有确定的相对运动；
- 3) 机器可以做有用的机械功，用来代替和减轻人类的体力劳动。

3. 机构的特征

图 1-1 中的活塞、连杆、曲轴和气缸的组合可以将活塞的直线运动转变为曲轴的转动；凸轮、推杆和气缸体的组合可以将凸轮的转动转变为推杆的直线移动。这些机械零件的组合称为机构。因此机构具有以下特征：

- 1) 机构是人为的实物组合；
- 2) 机构各部分之间具有确定的相对运动。

一般统称机器和机构为机械。

一部机器中包含有一个或若干个机构，一部机器可以是另一部机器的一部分。

1.1.2 机械设计课程的内容、性质和任务

1. 机械设计课程的内容

主要讨论一般机械传动中的常用机构和通用机械零件的工作原理、运动特性、几何尺寸计算、强度计算和选用等。

2. 机械设计课程的性质和任务

本课程是一门技术基础课，其先修课程为机械制图、高等数学、机械工程材料、机械工程学。通过学习本课程，应达到以下基本要求：

- 1) 熟悉常用机构的工作原理，运动特性、几何尺寸计算，学会设计简单机械。
- 2) 基本掌握一般机械传动中通用机械零件的工作原理、几何尺寸计算、强度计算、结构设计和选用等。
- 3) 初步学会使用相关手册和标准，能进行通用零件和简单机械传动装置的设计和计算。

1.2 机械设计的基本要求、常用设计方法和一般设计过程

1.2.1 机械设计的基本要求

对机械设计的基本要求取决于机构或零件在机器中的地位、作用及工作条件等。主要有以下几个方面。

1. 功能要求

功能要求是机械设计中应满足的最重要的要求，功能不同，其设计要求不同，设计结果也不同。同样，机器中的每一个机构或零件的地位和作用决定了它应具有特定功能。如车

床和铣床的功能不同，其外形和使用方法也不同。又如：一般减速器要求保证转速、转矩和稳定性等要求；但航空器所用的减速器，对其体积、重量和功率等也提出了很高的要求。这就使得两者的设计目标和要求不同。

2. 寿命要求

机械与机械零件设计必须满足在预定寿命期内正常使用。

3. 制造工艺性要求

机械与机械零件的制造工艺性，包括在机械及其零件的设计、材料选择、毛坯制备、零件加工、装配、使用和维护过程中。制造工艺性好，就可以降低成本，提高效率。

4. 价格要求

机械的价格问题是其在市场经济条件下有效地参与竞争的重要因素之一，而降低每个零件的成本对整部机械的经济性又是相当重要的。因此，除机械与零件的批量影响成本外，还应该在零件的材料选择、结构设计等方面进行充分考虑，以便降低整机的生产成本。

5. 可靠性要求

机械及其零件在预期的寿命内要能正常工作不失效，因此应按规定的可靠性要求设计机械及其零件。

6. 人性化要求

设计机械时应充分考虑人与机械的联系，人性化设计是将人放在主要地位，机械的操作要符合人体工程学要求，体现出对操作者的尊重和保护。

7. 维护要求

设计机械时要考虑经常保养和维修的要求。比如，设计者要考虑机械中的易损零件的更换，机械精度的定期校正以及维修时的拆装要求。

8. 标准化要求

标准化、系列化、通用化（简称“三化”），是现代机械设计工作的重要要求之一，“三化”对降低制造成本、提高产品质量、实现国际化生产是非常重要的。

1.2.2 机械设计的常用方法

目前机械设计的方法主要有以下几种。

1. 传统常规理论设计

根据设计理论和实验数据进行的设计称为理论设计。这是后面各章中要重点介绍的内容。

2. 类比设计

按照同类机构或零件的设计与使用实践，得出的经验公式或用类比的办法进行的设计称为类比设计。此类方法适用于仿制、改制、使用要求和结构型式已定型的典型机构和零件。

3. 模型实验设计

模型实验设计是指按一定的比例用性质相近的材料制做出实物模型，经过实验分析后，再对模型进行修正的一种设计方法。该方法适用于大型或结构复杂的重要的机械或零件的设计。

4. 计算机辅助设计 (CAD)

通过使用 CAD 应用软件，在计算机及其外围设备的辅助下进行的设计称为计算机辅助设计。目前在国内外的机械设计中该方法被大量采用。

还有其他一些现代设计方法，如：有限元方法、最优化设计方法、可靠性设计方法、并行设计和虚拟设计等。这些将在本书最后进行介绍。

1.2.3 机械设计的主要内容和过程

机械设计的任务来源与要求的不同，其设计内容也有所不同。按设计内容分，机械设计主要包括方案设计、功能设计、总体设计和机械零件设计。按设计过程分，机械设计分为初步设计、试制设计和定型设计。具体的设计步骤要根据具体情况来定。现代的设计方法和步骤往往是并行的或交叉反馈的。

1.3 机械零件的失效形式和设计准则

1.3.1 机械零件常见的失效形式

机械设备丧失了规定的功能称为失效，保证机械设备具有规定功能的主要因素之一是能够进行正常工作的机械零件。因此机械设计的最主要目标之一就是使所设计的零件在工作中不发生失效。机械零件常见的失效形式如下：

1. 断裂

断裂分为两种，一种称为延性断裂，另一种称为脆性断裂。前者在断裂前有塑性变形和变形能消耗，后者在断裂前无宏观塑性变形。断裂的发生与材料的冲击韧度、载荷的大小、变形速度、应力的性质和环境条件等有关。塑性材料承受冲击载荷时，若变形速度过快，也有可能呈现脆性断裂。工作环境温度的改变也有可能使同种材料的断裂形态发生变化。在常温下呈延性断裂的材料，在低温下有可能变为脆性断裂；在常温下呈脆性断裂的材料，在高温时也有可能出现延性断裂。

在变应力作用下的机械零件，虽然工作应力没有超过强度极限，也会因工作时间较长而发生疲劳断裂，此种断裂是承受变应力机械零件的一种主要失效形式。

2. 变形

机械零件多为弹性体，受到载荷作用时，会发生弹性变形。当零件所受载荷过大或零件的刚度不足时，会造成零件的尺寸和形状的改变超过许用值，这会改变零件的正确位置，破

坏零件或部件之间的相互配合关系，使零部件之间的受力过大，磨损严重，使机械的工作精度降低，不能正常工作。严重的变形还会加剧机械的振动，以至于发生共振而造成机械的损坏，甚至发生严重事故。比如车削圆柱体零件时，若车床主轴的弯曲变形过大，则该圆柱体零件的形状和尺寸精度将得不到保证。又如电动机转子轴的轴承的刚度过小时，将改变转子和定子之间的间隙。当材料所受的应力超过屈服强度时，零件将发生不可恢复的变形，这将造成零件的尺寸和形状的改变，从而使零件丧失正常工作的能力。减小变形的主要措施是增加零件的刚度，合理布置载荷的作用位置。

3. 零件的表面失效

零件的表面失效包括零件表面的接触疲劳破坏、腐蚀和磨损。

- 1) 在接触变应力条件下工作的零件表面，有可能发生接触疲劳破坏；
- 2) 处于弱腐蚀性介质中的金属零件表面易发生腐蚀破坏，如金属零件与潮湿空气或水相接触时，有可能发生表面腐蚀；
- 3) 作相对运动的零件，其接触表面易发生磨损。

零件的表面破坏将影响机械的稳定性、寿命和机械效率，因此表面失效是零件失效的一种重要形式。

1.3.2 机械零件的设计计算准则

设计机械零件时，计算所依据的准则与零件的失效形式紧密相关。以下介绍常用的设计准则。

1. 强度准则

强度指零件抵抗破坏的能力，强度准则是大多数机械零件的设计依据，本课程将着重讨论零件的强度设计问题。

2. 刚度准则

刚度指零件抵抗弹性变形的能力，弹性变形过大将会影响机械的正常工作。在许多机械零件设计计算中，刚度准则也是一种重要的计算准则。比如机床主轴的刚度条件就是应满足的主要要求之一。刚度计算可以是控制指定点的线位移，也可以是指定平面的角位移或指定平面的扭转变形角。

3. 寿命准则

寿命指零件能够正常工作而不失效的使用时间。影响零件寿命的因素有零件的腐蚀、磨损、疲劳、断裂、塑性变形和蠕变等，目前沿用的计算准则是用控制接触表面应力和可靠性的办法来进行条件性计算。关于疲劳寿命，后面各有关章节将作较详细的介绍。

4. 振动稳定性准则

振动稳定性指机械系统或零件的固有频率与作用其上的做周期性变化的内部或外部的激振源的频率错开的程度。激振源包括：机械系统中的电动机的转动、齿轮的啮合、圆柱滚

子轴承中的滚动体的振动，活塞的往复运动以及系统外部的激振源等。振动稳定性设计是振动力学理论讨论的课题，本书不对振动稳定性进行介绍。

通常设计机械系统及其零件时，是通过改变零件或系统的刚度或增加阻尼等办法来改善机械系统的振动稳定性，或采用隔振、消振等技术改善机械系统对外部激振源的抗振性能。

1.4 机械零件的强度

1.4.1 机械零件的强度条件

因强度不足而不能正常工作是机械零件最常见的一种失效形式。所以本节专门讨论机械零件的强度问题。设计机械零件时，通常用强度条件来判断一个零件的强度是否满足要求。一般的强度条件表达式有两种：

1. 强度条件的应力表达式

$$\sigma \leq [\sigma]$$
$$[\sigma] = \frac{(\sigma_{\text{lim}})}{[S]}$$

2. 强度条件的安全系数表达式

$$S \geq [S]$$
$$S = \frac{(\sigma_{\text{lim}})}{\sigma}$$

式中 σ ——零件的工作应力 (MPa)，其定义、单位和计算方法已经在工程力学部分作了介绍，在本书后面的各相关章节中还要作进一步的讨论；

(σ_{lim}) ——零件的极限应力 (MPa)，后面各相关章节中将作具体的讨论；

$[\sigma]$ ——零件的许用应力 (MPa)；

S ——零件的工作安全系数；

$[S]$ ——零件的许用安全系数。

1.4.2 机械零件的应力分类

1. 按应力发生的部位分类

(1) 体积应力 机械零件截面上发生的应力称为体积应力，相应的强度计算称为体积强度计算。如：抗弯强度计算、抗扭强度计算和抗拉抗压强度计算等。

(2) 表面应力 发生在零件表面上的应力称为表面应力，相应的强度计算称为表面强度计算。如：挤压强度计算和表面接触疲劳强度计算等。