

普通高等教育机械类专业“十二五”规划教材

机械设计 学习与考研指导

梁尚明 主编
马咏梅



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等教育机械类专业“十二五”规划教材

机械设计学习与考研指导

梁尚明 马咏梅 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

机械设计是高等院校机械类各专业的一门主要技术基础课程,是全国高等院校机械类专业硕士研究生入学考试课程。本书旨在帮助读者在较短的时间内掌握本课程的重点内容及相关知识,进行高效地复习。

本书主要内容包括:机械设计总论,螺纹连接,键、花键、销、成形连接,带传动,齿轮传动,蜗杆传动,链传动,轴,滑动轴承,滚动轴承共10章,包括各章特点、主要内容、重点、难点、重点知识关系图、典型例题分析、复习思考题、习题及附录等板块。其中,附录给出了机械设计期末考试试题选与参考答案、部分高校硕士研究生入学考试试题选与选解。

本书适合作为普通高等学校机械设计课程配套指导书和考研指导书,也可供高等院校青年教师及其他自学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计学习与考研指导/梁尚明,马咏梅主编. —北京:
中国铁道出版社,2014.10

普通高等教育机械类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-113-19353-9

I. ①机… II. ①梁… ②马… III. ①机械设计-高等
学校-教学参考资料 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第232297号

书 名: 机械设计学习与考研指导

作 者: 梁尚明 马咏梅 主编

策 划: 马洪霞

读者热线: 400-668-0820

责任编辑: 马洪霞

编辑助理: 钱 鹏

封面设计: 路 遥

封面制作: 白 雪

责任校对: 汤淑梅

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

版 次: 2014年10月第1版 2014年10月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 15.5 字数: 409千

书 号: ISBN 978-7-113-19353-9

定 价: 31.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010)63550836

打击盗版举报电话:(010)51873659

前 言

机械设计是高等院校机械类各专业的一门主要技术基础课程，是全国高等院校机械类专业硕士研究生入学考试课程。然而，有不少学生在初学该门课程时却遇到许多困难。原因是该门课程的系统和特点与同学们以前学习的许多课程有所不同，用以前的方法来学习、理解和掌握该课程自然会感到困难重重，功效低。如若学生能尽早了解该课程的系统，并按该课程的特点进行学习，则要学好本课程就不那么困难了。为此编写本书以指导学生对本课程的学习，以帮助学生高效地学习或复习本课程的重点内容及相关知识。本书根据普通高等学校机械设计课程的教学结构，参考几部经典机械设计教材内容和体系，并结合学生的知识体系编写而成。

本书覆盖了机械设计课程的基本内容。全书由机械设计总论，螺纹连接，键、花键、销、成形连接，带传动，齿轮传动，蜗杆传动，链传动，轴，滑动轴承，滚动轴承 10 章和附录两大部分组成。每章的主要内容板块如下：

本章特点 该部分内容帮助读者尽早了解本章特点，以便读者为学习本章作好准备并采取相应的学习方法进行学习。

主要内容、重点及难点 介绍该章主要的教学内容和学习要求，并对该章的核心内容，特别是重点和难点进行总结性的讲解和分析，帮助读者快速地了解本课程知识，提高学习效率。

重点知识关系图 将各章的重点知识及其相互关系用树形图表示出来，让读者对本章的重点和主要内容能够一清二楚。

典型例题分析 各章所选的例题是很具有代表性的，对这些典型的考题（有的是研究生入学考试真题）进行了详细的分析和解答，以帮助读者更深入地掌握和运用基本理论，弄清基本概念，掌握重点及难点，学会解题方法与技巧，以应对期末考试或研究生入学考试。

复习思考题、习题 包括思考题、选择题、设计计算题等，目的在于使学生了解和掌握不同类型题目的求解方法，培养解决实际问题的能力，也可供教

师布置作业或出考题参考。

附录 在本书后面的附录中给出了部分机械设计期末考试真题及答案、部分高校研究生入学考试真题选及选解，这些考题是宝贵的教学资料，内容覆盖面广，可帮助读者进一步了解机械设计课程的基本要求和各种题型，进一步深入掌握教学内容，更好地为期末考试或研究生入学考试作准备。

本书适合作为普通高等学校机械设计课程配套指导书和考研指导书，也可供高等院校青年教师及其他自学者参考。

本书由四川大学梁尚明、马咏梅主编。其中，梁尚明编写第1、2、3、5、6章及附录；马咏梅编写第4、7、8、9、10章。

由于编者水平有限，时间仓促，书中错误和疏漏在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2014年1月于成都

目 录

第1章 机械设计总论	1
1.1 本章特点、主要内容、重点及难点	1
1.2 重点知识关系图	23
1.3 机械设计课程的特点	24
1.4 机械设计课程的学习方法	25
1.5 典型例题分析	25
复习思考题	29
习题	30
第2章 螺纹连接	36
2.1 本章特点、主要内容、重点及难点	36
2.2 重点知识关系图	45
2.3 典型例题分析	46
复习思考题	53
习题	54
第3章 键、花键、销、成形连接	63
3.1 本章特点、主要内容、重点及难点	63
3.2 重点知识关系图	67
3.3 典型例题分析	69
复习思考题	69
习题	70
第4章 带传动	74
4.1 本章特点、主要内容、重点及难点	74
4.2 重点知识关系图	77
4.3 典型例题分析	78
复习思考题	79
习题	81
第5章 齿轮传动	87
5.1 本章特点、主要内容、重点及难点	87
5.2 重点知识关系图	101
5.3 典型例题分析	103
复习思考题	108
习题	109
第6章 蜗杆传动	119
6.1 本章特点、主要内容、重点及难点	119
6.2 重点知识关系图	126
6.3 典型例题分析	127
复习思考题	131

习题	131
第7章 链传动	137
7.1 本章特点、主要内容、重点及难点	137
7.2 重点知识关系图	140
7.3 典型例题分析	141
复习思考题	141
习题	143
第8章 轴	147
8.1 本章特点、主要内容、重点及难点	147
8.2 重点知识关系图	150
8.3 典型例题分析	151
复习思考题	158
习题	159
第9章 滑动轴承	171
9.1 本章特点、主要内容、重点及难点	171
9.2 重点知识关系图	174
9.3 典型例题分析	175
复习思考题	175
习题	177
第10章 滚动轴承	184
10.1 本章特点、主要内容、重点及难点	184
10.2 重点知识关系图	187
10.3 典型例题分析	189
复习思考题	191
习题	193
附录A 机械设计期末考试试题选与参考答案	202
机械设计期末考试试卷(一)	202
机械设计期末考试试卷(二)	205
机械设计基础期末考试试卷(三)	207
机械设计期末考试试卷(一) 参考答案	210
机械设计期末考试试卷(二) 参考答案	213
机械设计基础期末考试试卷(三) 参考答案	216
附录B 部分高校硕士研究生入学考试试题选与选解	219
国防科技大学2001年硕士研究生入学考试试题	219
哈尔滨工业大学2003年硕士研究生入学考试试题	222
上海交通大学2006年硕士研究生入学考试试题	225
四川大学2004年攻读硕士学位研究生入学考试试题	229
四川大学2005年攻读硕士学位研究生入学考试试题	232
上海交通大学2006年硕士研究生入学考试试题选解	236
四川大学2004年攻读硕士学位研究生入学考试试题选解	236
四川大学2005年攻读硕士学位研究生入学考试试题选解	238
参考文献	242

第1章 机械设计总论

1.1 本章特点、主要内容、重点及难点

1.1.1 本章特点

本章对机械设计中所要解决的普遍性的问题（或者说带有共性的问题）进行了全面的、原则性的介绍。同时对最重要的强度问题又做了深入的、理论性的分析并提出了一般计算方法，为后面学习具体零件的强度计算奠定基础。

1.1.2 主要内容及学习要求

1. 主要内容

- ※ 课程的内容、性质和任务；
- ※ 机械设计的基本术语和概念；
- ※ 设计机器的基本原则和程序；
- ※ 设计机械零件时应满足的要求；
- ※ 机械零件的设计方法、步骤和材料选用；
- ※ 载荷和应力的分类、机械零件的主要失效形式与计算准则；
- ※ 静应力下机械零件的强度及其计算；
- ※ 疲劳曲线和（许用）疲劳极限应力图；
- ※ 影响机械零件疲劳强度的主要因素；
- ※ 变应力下机械零件的强度计算；
- ※ 机械零件的表面强度；
- ※ 摩擦、磨损和润滑的基本知识；
- ※ 机械设计课程的特点及学习方法。

2. 学习要求

- ※ 了解本课程的内容、性质和任务；
- ※ 建立机械设计的基本概念；
- ※ 了解设计机器的基本原则和程序；
- ※ 了解设计机械零件时应满足的要求；
- ※ 了解机械零件设计的方法及一般步骤；
- ※ 了解机械零件常用材料及选择原则；
- ※ 掌握载荷和应力的分类；
- ※ 了解零件的主要失效形式、计算准则及其计算关系式；
- ※ 掌握不同应力状态时强度的各种计算方法；
- ※ 了解摩擦、磨损和润滑的基本知识；

※ 了解机械设计课程的特点及学习方法。

1.1.3 重点及难点分析

1. 本课程的内容、性质和任务

1) 课程内容

在简要介绍机械设计基本知识的基础上,重点论述在一般条件下工作的,具有一般参数和尺寸的通用零件的基本设计理论和设计方法,论述有关技术资料的应用以及机械设计的创新发展等。具体内容有如下五大部分:总论、连接、传动、轴系及其他零件。

2) 课程性质

机械设计是以一般通用零件的设计为核心的设计性的课程,是论述它们的基本设计理论、设计方法和基本知识的技术基础课程。它综合运用材料力学、理论力学、机械制图等先修课程的知识,结合本课程的学习,进行机械设计的基本训练,为学生顺利地过渡到专业课程的学习及进行专业产品与设备的设计打下基础。

3) 课程任务

本课程的主要任务是培养学生:

- a) 掌握通用机械零件的设计原理、设计方法和设计的一般规律;
- b) 运用标准规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力;
- c) 掌握典型机械零件的实验方法,参加获得实验技能的基本训练;
- d) 对机械设计的新发展有所了解;
- e) 运用理论联系实际分析和解决工程实际中机械零件出现的问题;
- f) 树立正确的设计理念,了解国家当前的有关技术经济政策;
- g) 勇于探索、求实创新及团结协作的精神。

本课程的最终目的在于综合运用各种机械零件、各种机构以及其他先修课程的知识,培养学生设计机械传动装置和简单机械的能力,培养学生的创新精神。

2. 机械设计概论

1) 机械设计的基本术语与概念

(1) 机器和机构

机器是由机构组成的装置,如内燃机是由曲柄滑块机构、凸轮机构、齿轮机构等组成。机器的功能是变换或传递能量、物料或信息。

机器是人类进行生产时用以减轻体力和提高劳动生产率的主要工具。使用机器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之一。

(2) 机械

机械是机器和机构的总称。

(3) 机械零件和部件

机械零件简称零件,它是组成机器的不可拆的基本制造单元,如键、螺栓、带、齿轮、轴等。

为完成同一使命在结构上组合在一起(可拆或不可拆)并协同工作的零件组合体称为部件,部件可包含装配单元,如滚动轴承、减速器等。

(4) 通用零件和专用零件

机械零件可分为通用零件和专用零件。各种机器中普遍使用的零件称为通用零件,如螺栓、键等。只在一定类型的机器中使用的零件称为专用零件,如内燃机中的曲轴、活塞、汽轮机中叶片、纺织机械中的织梭等都属于专用零件。

(5) 标准件和易损件

经过优化、简化、统一,并给予标准代号的零件和部件称为标准件。

在正常运转过程中容易损坏,并在规定期限内必须更换的零件或部件称为易损件。

(6) 机械系统、机器、机构和机械零件的关系

由许多机器、装置等组成的大型工程系统,或由零件、部件等组成的机器(甚至机器中的局部)都可以看成一个机械系统。

机器一般是由原动机(动力源)、传动装置、工作机(执行部分)和控制系统(有的还有辅助系统)组成。

机器的主体是机械系统,机械系统由机构组成,而机构又由若干机械零件组成,可见机械零件是机器的基本构成要素。

(7) 机械设计的重要性

机械设计是研制机械产品的第一道工序,设计质量和设计水平的高低直接关系到机械产品的技术水平和经济效益。在设计这道工序上下的功夫愈多,愈符合客观实际,则其效果愈好。所以,机械设计在机械产品的研发过程中起着非常重要的作用。

2) 设计机器的基本原则和设计程序

(1) 设计机器产品时的一般要求

在设计机器产品时,应使所设计的机器产品满足如下要求:

a) 能实现预定功能的要求。所设计制造的机器应能实现预定的功能或工作职能。这要靠正确合理地选择机器工作原理和机构组。

b) 可靠性要求。所设计制造的机器必须在规定的工作条件下和预期寿命期间内工作可靠,不能损坏。这就要靠正确合理地设计和选择机器零部件。因为一部机器或一个部件都是由一些零件组成的一个系统,而系统的可靠性取决于其组成部件或零件的可靠性,所以,机器的可靠性取决于零部件的可靠性。

对于串联机械系统而言,组成机械系统的零部件越多或零部件的可靠性越低,则其系统的可靠性越低,所以,在设计串联机械系统时应尽量减少零件的数量并提高其可靠性。

c) 劳动保护要求。设计时,应注意使机器的操作者方便、省力和安全;注意改善操作者及机器的环境,包括减少机器的噪声,改善通风条件,美化机器的外形及外部色彩等。此外,还应使机器维护方便。

d) 经济性要求。机器的经济性要求可概括为两方面。一方面是机器的设计制造成本要低;另一方面是机器的使用经济性好,使用经济性好表现在使用机器时耗费的能源、原材料和辅助材料少,效率高,生产率高,机器的管理和维护费用低等。

e) 工艺要求。所设计的机器要有良好的工艺性,应当用最简单的结构完成同样的功能,机器不仅加工及装拆方便,而且成本低。

f) 其他特殊要求。对于不同用途的机器还可能有一些其他特殊要求,如飞机要求质量小,对于食品机械、造纸机械等要求保持清洁和不污染环境。

(2) 设计机器的方法

设计机器的方法一般有如下三种:

a) 内插式设计。在两个现有设计方案中作内插式设计是一般机器常用的设计方法。这种方法有成功的经验可以借鉴。通常所谓的类比设计、相似设计都属于内插式设计范畴。

b) 外推式设计。虽然有部分经验可以借鉴,但外推部分处于未知领域,所以外推式设计必须慎重对待。

c) 开发性设计。应用新原理、新技术设计新型技术装备的工作称为开发性设计。功能设计和结构设计是开发性设计的核心。

(3) 设计机器的一般程序

一部新的机器产品从提出任务到投放市场,通常要经过如下四个阶段:

a) 调查决策阶段。这个阶段主要是对机器的工作原理及应用成果、现有的相关技术情报及市场需求等进行调查研究,并在此基础上拟订出新产品的开发计划书。在设计开始阶段,设计人员应该充分发挥其创造性,根据设计要求构思出多种可行的设计方案,通过对各种可行方案进行反复分析比较,从中选出一种最佳的设计方案。方案设计的优劣直接影响到设计工作和产品生产的成败,故应充分重视。

b) 研究设计阶段。这个阶段可分两步。第一步主要为功能设计研究,称为前期开发,需对新机器进行实验研究和技术分析,验证原理的可行性,发现并解决技术中的关键问题。这一步完成之后应当写出包含工作原理、设计方案论证、总布局图及外形图等等的总结报告。第二步为新产品的技术设计,称为后期开发。这一步完成后,应确定机器的主要结构尺寸,绘制总装配图、部件装配图、零件工作图等,并写出详细的计算说明书。设计完成后,应当作初步的技术经济分析。

c) 试制阶段。经过加工、安装和调试,生产出样品机之后,对样品机进行实验,检验所设计的新机器能否达到预定的功能,是否满足甲方所提出的要求,对新机器进行全面的技术经济评价以确定设计方案是否可用或进行必要的改进设计。

d) 投产销售阶段。对机器进行必要的设计修改和生产设计之后,可进行小批量的试制。根据实际使用中获得的数据及使用意见,对设计做进一步的修改,然后正式投产。开展销售服务工作,对进一步完善产品设计和开发新产品等有积极意义。

上述各个阶段的内容是相互联系的,需要相互配合交叉进行,当某个阶段出现问题时,必须返回到前面的有关阶段进行设计的修改。事实上,新产品的的设计过程是一个不断修改,不断完善,逐渐接近最佳产品的过程。

3) 机械零件设计概述

(1) 设计机械零件时应满足的要求

为使所设计的机械零件不仅工作可靠,而且成本低廉,设计机械零件时应满足以下基本要求:

① 工作能力的要求

机械零件应具有一定的工作能力,因而应具有足够的强度、刚度、振动稳定性以及耐磨性等。

② 结构工艺性要求

在机械设计中,计算和结构设计都非常重要。机械零件应具有良好的结构工艺性。所谓良好的结构工艺性是指零件的结构形状不仅满足零件的功能、强度、刚度等方面要求,而且还便于加工、装配、拆卸等。机械零件的结构工艺性与毛坯制造、机械加工过程、装拆要求、零件材料、生产条件、生产规模等有关,由结构设计确定。

③ 经济性要求

机械零件的经济性要求首先是要降低零件的生产成本。为此,应使用轻型的零件结构以减少材料的消耗;正确选择材料及热处理方法;合理规定公差等级;尽量采用标准化的零部件代替特殊加工的零部件;采用工艺性良好的结构以降低加工及安装调试费用等。

④ 可靠性要求

用常规的强度设计方法设计的零件,由于材料的强度、加工尺寸以及载荷等都存在着离散性,有可能出现还不到预定工作时间就失效了的情况。为了把出现这种失效情况的概率限制在一定程度之内,就对机械零件提出了可靠性的要求。

可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力。可靠性通常是用“可靠度”度量。所谓可靠度是指产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率。由于机器(或部件)是由一些机械零件装配而成的一个系统,因而机器(或部件)的可靠度取决于机械零件的可靠度。

提高机器和机械零部件的可靠性有许多措施:如在设计上力求结构简单、传动链短,连接可靠;设法提高系统中最低可靠度零件的可靠度;合理规定维修期等。

⑤ 标准化要求

标准化是机械设计中经常碰到的问题。标准化包括零件的标准化,产品的系列化,部件的通用化。

零件的标准化、产品的系列化、部件的通用化简称“三化”。

零件的标准化是通过对零件的尺寸、结构要素、材料性能、检验方法、设计方法、制图要求等,制定出各式各样的大家共同遵守的标准。

产品的系列化是指对于同一产品,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,规定出若干个辅助尺寸不同的产品称为不同的系列。

部件的通用化是指在系列产品内部或在跨系列的产品之间采用同一结构和尺寸的零部件。

标准化的重要意义表现在以下几个方面:

a) 能以最先进的技术和方法在工厂中对那些用途最广的零件进行大量的集中制造,以节约材料、提高产品质量、降低成本。

b) 统一了材料和零件的性能指标,使其能够进行比较。

c) 采用标准结构,标准零、部件可以简化设计工作,缩短设计周期。因为设计者不必重复设计,可以直接从有关标准中选用。这样还可提高设计质量。

d) 提高了互换性,简化了机器维修。

我国现行标准分为国家标准(GB)、行业标准和产业标准等。出口产品应采用国际标准(ISO)。

(2) 机械零件的设计方法

机械零件的设计方法很多,可分为常规设计方法和现代设计方法两大类。

① 常规设计方法

a) 理论设计。理论设计是按照长期总结出来的设计理论和实验数据进行的设计。在理论设计中,机械零件的计算可分为设计计算和校核计算两种。设计计算是先根据零件的工作情况和工作能力准则拟定出安全条件,用计算方法求得零件危险截面的尺寸,然后再按结构与工艺要求和尺寸协同的原则进行结构设计。校核计算是先参照已有实物、图纸和经验数据初步拟定零件的结构布局和主要几何尺寸,然后根据工作能力准则校核危险截面是否安全。由于校核计算时,已知零件的有关尺寸,故能计入影响零件强度的结构因素及尺寸因素,计算结果较为精确。无论是设计计算还是校核计算,通常都要对某些较复杂的物理现象作出适当的简化,如以集中力代替实际上的分布力,以点支撑代替面支撑等。所以机械零件的计算总是带有或多或少的条件性。条件性计算实质上是合理的简化计算。进行条件性计算时,如果注意到公式的适用范围,计算结果也具有一定的可靠性。

b) 经验设计。经验设计是在还没有成熟的理论时,用于解决问题的一种可靠而有效的设计方法。它是依据经验关系式或设计者自己的工作经验用类比方法进行的设计。

c) 模型实验设计。对于一些尺寸很大、结构复杂的重要零件,由于没有完善的设计理论,已有经验又不足以解决设计问题,为了获得新经验和发展新理论可采取模型实验设计方法进行设计。模型实验设计是对那些尺寸非常大、结构复杂的重要零件,根据初步设计结果按比例制造出小尺寸的模型,通过实验检验模型的有关特性,依据实验结果对原设计逐步进行修改和完善的一种设计方法。这种设计方法的缺点是既费时又昂贵。

② 现代设计方法

近几十年来,随着科学技术的发展,特别是计算机技术的发展,在传统的机械设计基础上,新的设计方法不断出现,如优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计、并行设计、智能设计、网络化设计、造型设计、模糊设计等,这些新的设计方法统称为现代设计方法。

现代设计方法是常规设计方法的延伸和发展,可以弥补常规设计方法的不足,但并不能完全替代常规设计方法。

(3) 机械零件设计的一般步骤

机械零件的设计在机器设计工作中占有十分重要的地位,而且有很大的灵活性。虽然零件的设计步骤因零件不同而异,但一般步骤大致如下:

a) 确定零件的载荷和应力。分析零件的工作情况和受力情况,确定作用在零件上的载荷和应力。

b) 选择材质和热处理方法。根据零件的重要性、载荷大小、应力大小等选择适当的材料及热处理方法。

c) 分析。分析零件可能出现的失效形式,确定计算准则

d) 设计计算。根据计算准则,计算零件的主要尺寸和参数,并加以标准化或圆整化。

e) 结构设计。根据确定的主要尺寸、功能要求、结构要求、工艺要求、经济性和标准化要求等,对零件结构进行详细设计。

f) 校核设计。为了进一步确定零件安全工作的程度,检验结构设计的合理性,对那些重要的零件,必要时应进行详细的校核计算。

g) 绘制零件工作图,编写设计计算说明书。设计计算和结构设计的结果都体现在零件工作图当中。在零件工作图上不仅要标注详细的零件尺寸,包括配合尺寸(尺寸公差),而且还要标注形位公差、标明粗糙度和技术条件(如材料及热处理)等。将设计和计算的相关资料整理编写成详细的设计计算说明书。

3. 机械零件常用材料及其选用原则

1) 机械零件常用材料

机械零件常用材料有铁碳合金、有色合金、非金属材料和各种复合材料。钢和铸铁都是铁碳合金,应用最多。有色合金中的铜合金也常用,其次是非金属材料如:塑料、橡胶以及复合材料等。

2) 材料的选用原则

零件材料的选择是设计中的一个很重要的环节。选择零件材料主要应考虑三方面的问题:使用要求、工艺要求和经济要求。

(1) 使用要求

所选材料首先应当满足使用要求。使用要求一般包括:零件的受载荷情况、工作环境、对零件尺寸和质量的限制、零件的重要程度等。

按使用要求选择材料的一般原则:

- a) 若零件尺寸取决于强度, 且尺寸和质量又受到某些限制时, 应选用强度较高的材料;
- b) 若零件尺寸取决于接触强度, 应选用可进行表面强化处理的材料;
- c) 在腐蚀性介质中工作的零件应选用耐腐蚀的材料;
- d) 在滑动摩擦下工作的零件应选用减摩性、耐磨性好的材料;
- e) 尺寸取决于刚度的零件应选用弹性模量较大的材料等。

(2) 工艺要求

工艺要求是指选作零件的材料应具有良好的冷、热加工性能。如果零件需要铸造或焊接, 则应选具有良好铸造性能和焊接性能的材料。至于采用铸造还是焊接要看生产批量大小。大批量生产宜铸造, 小批量或单件生产宜焊接。结构复杂且生产批量大时宜用铸造方法加工, 但所选材料随毛坯制作方法而异。零件尺寸小、结构简单且批量大时可考虑用模锻。

一般的零件都要进行切削加工, 故应考虑材料的切削性能 (易断屑、表面光滑、刀具磨损小等)。

选择材料时, 还应考虑材料的热处理工艺性。

(3) 经济要求

经济要求是一个要综合考虑的问题。选材时要综合考虑材料的相对价格、加工费用、零件结构、利用率、供应情况以及使用维护费用等因素。

4. 机械零件的工作能力和计算准则

1) 载荷和应力的分类

(1) 定义

作用在零件上的力 (集中力 F , 分布力 q)、功率 P 、弯矩 M 和扭矩 T 等统称为载荷。

转动零件上的输入功率 $P(\text{kW})$ 、输入转速 $n(\text{r/min})$ 和输入转矩 T 之间有如下关系

$$T = 9.55 \times 10^6 \frac{P}{n} (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (1-1)$$

(2) 载荷的分类

按载荷随时间变化的情况可将其分为静载荷和变载荷。静载荷是指不随时间变化或变化缓慢的载荷。变载荷是指载荷随时间周期性变化或非周期性变化。

按载荷的应用计算场合可将其分为名义载荷和计算载荷。名义载荷 (又称额定载荷) 是指根据原动机额定功率用力学公式计算出的作用在零件上的载荷。名义载荷是机器在平稳工作条件下作用在零件上的载荷, 它没有反映原动机和工作机间的实际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等因素。通常用载荷系数 K (又称工作情况系数) 来粗略估计这些因素的综合影响, 并用载荷系数乘以名义载荷作为设计计算用的载荷, 称为计算载荷。

(3) 应力的分类

按应力随时间变化的特性不同, 可分为静应力和变应力, 如图 1-1 所示。不随时间变化或变化缓慢的应力称为静应力。随时间变化的应力称为变应力。静应力只能由静载荷产生。变应力可由变载荷产生, 也可由静载荷产生。变应力虽然多种多样, 但可归纳为三种基本类型: 非对称循环变应力、脉动循环变应力和对称循环变应力。

当变应力的最大应力为 $\sigma_{\max}$, 最小应力为 $\sigma_{\min}$ 时, 其平均应力 σ_m 和应力幅 σ_a 分别为

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (1-2)$$

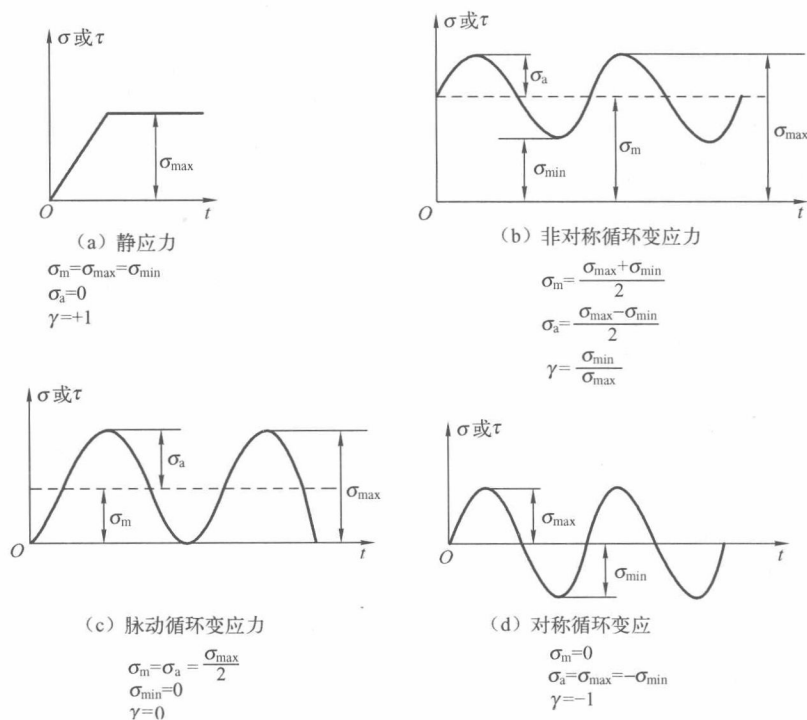


图 1-1 应力的类型

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (1-3)$$

最小应力与最大应力之比称为变应力的循环特性 γ , 即

$$\gamma = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (-1 \leq \gamma \leq +1) \quad (1-4)$$

只需知道 $\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$ 、 σ_m 、 σ_a 、 γ 这五个参数中的任意两个即可求出其他三个。

应力还可以分为名义应力和计算应力。用材料力学公式, 根据名义载荷求得的应力称为名义应力。根据计算载荷求得的应力称为计算应力。

2) 机械零件的主要失效形式

机械零件由于某种原因不能正常工作, 或机械零件丧失工作能力及达不到设计要求性能时, 称为失效。

常见的失效形式如下:

a) 断裂。零件的断裂分为过载断裂和疲劳断裂。过载断裂是由于零件危险截面上的静应力超过了零件的强度极限造成的。疲劳断裂是由于零件的变应力超过了其疲劳极限造成的。

b) 过大的变形。零件的弹性变形过大, 超过了许用值以致无法正常工作, 这是零件刚度不够的原故。当零件的应力超过其材料的屈服极限而引起过大塑性变形时, 零件也无法正常工作。

c) 表面失效。零件的表面失效主要有疲劳点蚀、胶合、磨损和腐蚀等。

疲劳点蚀简称点蚀, 是零件表面长期受接触变应力作用的结果。

胶合又称黏着磨损, 是因高速重载或低速重载造成的。

磨损是指摩擦表面的物质不断损失的现象。

腐蚀是当零件处于有腐蚀性气体或液体的环境中或与化学物质接触时,在其表面产生的一种化学或电化学侵蚀现象。腐蚀的结果是使零件表面受到破坏而不能正常工作。

d) 振动失效。零件发生周期弹性变形的现象称为振动。一般情况下,零件振动的振幅较小。但当机器或零件的自振频率(固有频率)等于或接近于周期性外力的变化频率时,就要发生共振。这时,振幅将急剧增加,这种现象称为失稳,即丧失振动稳定性。共振可在短期内使零件损坏或使机器工作失常。

此外,零件表面的压溃、过渡发热、打滑(如带传动)以及松脱(如螺栓连接)等也是一些常见的失效形式。

3) 机械零件的计算准则

零件不发生失效时的安全工作限度称为工作能力,或者说零件的工作能力是指零件在一定的运动强度、载荷环境下抵抗发生失效的能力(对载荷而言的工作能力称为承载能力)。

根据零件的失效分析结果,以防止各种可能产生的失效为目的,制订的计算零件工作能力所依据的基本原则,称为计算准则。

对于可能有多种失效形式的一个零件,在设计时,应根据其主要的失效形式采用相应的计算准则。机械零件的常用计算准则如下:

(1) 强度准则

强度是指零件在载荷作用下抵抗断裂、塑性变形或表面破坏的能力。零件有足够的强度才能正常工作,即不会失效。强度准则是指零件中由载荷引起的应力不应超过允许的限度。强度准则通常表现为判断零件强度的两种方式之一。第一种方式是判断零件危险截面处的最大应力(σ, τ)是否小于或等于许用应力($[\sigma], [\tau]$),这时强度条件为

$$\left. \begin{aligned} \sigma &\leq [\sigma], \quad [\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{[S_{\sigma}]} \\ \tau &\leq [\tau], \quad [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{[S_{\tau}]} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中, $\sigma_{\lim}$ 、 $\tau_{\lim}$ ——极限正应力,极限切应力;

$[S_{\sigma}]$ 、 $[S_{\tau}]$ ——分别为正应力和切应力的许用安全系数。

第二种方式是判断零件危险截面处的实际安全系数 S_{σ} 、 S_{τ} 是否大于或等于许用安全系数,相应的强度条件为

$$\left. \begin{aligned} S_{\sigma} &= \frac{\sigma_{\lim}}{\sigma} \geq [S_{\sigma}] \\ S_{\tau} &= \frac{\tau_{\lim}}{\tau} \geq [S_{\tau}] \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

(2) 刚度准则

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。许多零件在工作时都应有足够的刚度。某些零件如果刚度不够,将影响机器正常工作。例如,机床主轴刚度不够会使被加工零件的加工精度不够。在某些情况下,刚度是保证强度的一个重要条件。例如,受压长杆的承载能力取决于其对变形的稳定性。刚度还会影响零件的自振频率。刚度越大自振频率越高,反之自振频率越低。

零件的刚度准则是零件在载荷作用下产生的弹性变形量不应超过允许的极限值,即

$$\left. \begin{aligned} y &\leq [y] \\ \theta &\leq [\theta] \\ \phi &\leq [\phi] \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

式中, γ 、 θ 、 ϕ ——零件工作时的挠度、偏转角、扭转角;

$[\gamma]$ 、 $[\theta]$ 、 $[\phi]$ ——零件的许用挠度、许用偏转角、许用扭转角。

要提高零件的刚度, 可以采用改变零件结构、截面形状、支撑方式、增大截面尺寸、增设加强筋等方法。一般, 材料的弹性模量越大, 零件的刚度越大。但同类金属的弹性模量相差不大, 因此以昂贵的高强度合金钢代替普通碳钢来提高零件的刚度是不起作用的, 反而增加了材料的成本。

(3) 寿命准则

寿命是指零件能正常工作所持续的时间。影响零件寿命的主要因素——腐蚀、磨损和疲劳属于三个不同范畴的问题。到目前为止, 对腐蚀寿命、磨损寿命还没有适当可靠的定量计算方法。对于疲劳寿命, 通常是以求出使用寿命的疲劳极限或额定载荷来作为计算的依据。

(4) 振动稳定性准则

为避免共振, 机械零件的振动稳定性计算准则是使零件的自振频率 f 与外力作用频率 f_p 不相等也不接近。所以, 通常应使

$$f_p < 0.85f \text{ 或 } f_p > 1.15f \quad (1-8)$$

(5) 可靠性准则

随着科学技术的发展和生产水平的提高, 机器或机械零部件的可靠性已成为衡量机械零件工作能力的一项基本准则。可靠性准则就是将常规设计中视为常量的设计参数如实地作为随机变量处理, 把概率统计理论运用到机械设计中来, 按照机械零部件或机械系统应有的定量的可靠度来设计它们, 以保证它们在规定使用寿命之内的正常工作概率。

5. 机械零件的强度

1) 静应力下机械零件的强度

在静应力下工作的零件, 其失效形式将是塑性变形或断裂。

零件截面上只受拉、压、弯、扭、剪这几种应力当中的一种应力时, 称该零件受单向应力。若这种应力是静应力, 则称单向静应力。

a) 在单向静应力下工作的塑性材料零件, 应按照国家不发生塑性变形的条件进行强度计算。这时, 将式 (1-5) 和式 (1-6) 中的极限应力取为材料的屈服极限 σ_s 或 τ_s , 则得相应的强度条件式为

$$\begin{aligned} \sigma &\leq [\sigma], \quad [\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{[S_\sigma]} = \frac{\sigma_s}{S_\sigma} \\ \tau &\leq [\tau], \quad [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{[S_\tau]} = \frac{\tau_s}{S_\tau} \end{aligned} \quad (1-9)$$

或

$$\left. \begin{aligned} S_\sigma &= \frac{\sigma_{\lim}}{\sigma} = \frac{\sigma_s}{\sigma} \geq [S_\sigma] \\ S_\tau &= \frac{\tau_{\lim}}{\tau} = \frac{\tau_s}{\tau} \geq [S_\tau] \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

b) 在单向静应力下工作的脆性材料零件, 应按照国家不发生脆性断裂的条件进行强度计算。这时, 将式 (1-5) 和式 (1-6) 中的极限应力取为材料的强度极限 σ_B 或 τ_B , 则得相应的强度条件为