



机械设计

考研指导

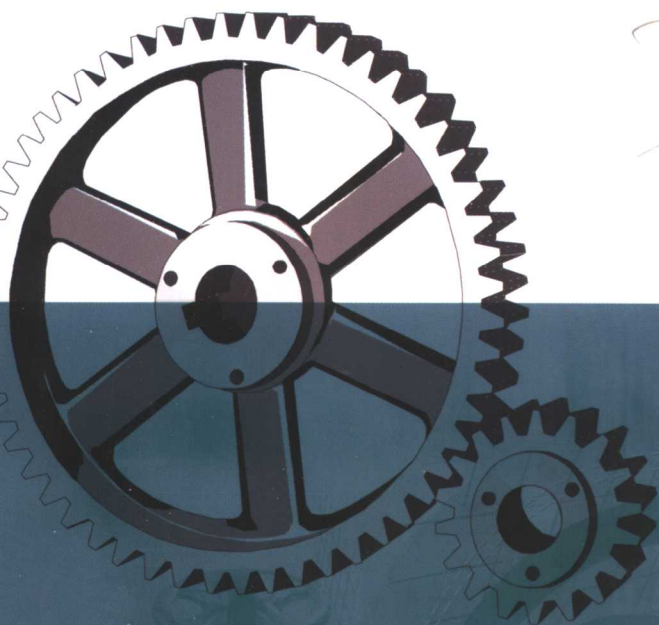
孙江宏 张志强 编著

概括总结基础知识

详细剖析重点难点

全面精解典型例题

精心选择实战习题



清华大学出版社

机械设计考研指导

孙江宏 张志强 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

“机械设计”是我国高等院校机械类专业开设的技术基础课程,它是所有相关后续专业课程和毕业设计等的重要基础,同时也是全国高校机械类专业硕士研究生入学考试课程。为了帮助广大的考研人员进行系统复习,根据国家教育部(原国家教委)颁布的高等工科学校《机械设计课程教学基本要求》及教学实践的积累,编写了本书。

为了满足不同水平院校的考生要求,我们经过反复讨论,并征求了大量一线教师的意见,将一些通用原则和方法的指导放在首位,并结合大量有关实例进行了讲解。

本书力求科学性、先进性、指导性,既能促进高等工科类院校学生的机械设计学习,又能不脱离大多数一般院校的实际,提供切实可行的参考实例。读者对象是机械设计硕士研究生报考人员以及本科、专科大学生,也可供教师及有关工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。 举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术。用户可通过下述方法识别真伪:在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计考研指导/孙江宏,张志强编著.—北京:清华大学出版社,2005.1

ISBN 7-302-09975-8

I.机… II.①孙…②张… III.机械设计—研究生—入学考试—自学参考资料 IV.TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第121346号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:章忆文

文稿编辑:闫光龙

封面设计:陈刘源

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:21 字数:498千字

版 次:2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-09975-8/TH·154

印 数:1~4000

定 价:28.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

前 言

“机械设计”是我国高等院校机械类专业开设的技术基础课程，它是所有相关后续专业课程和毕业设计的重要基础，同时也是全国高校机械类专业硕士研究生的入学考试科目。目前，我国高等工科类院校超过 400 所，机械类专业在校生占全国高校在校生总数的五分之一。为了帮助广大的考研人员进行系统复习，我们根据国家教育部(原国家教委)颁布的高等工业学校《机械设计课程教学基本要求》以及教学实践的积累，编写了本书。

由于院校众多，教学水平不同，要在有限的篇幅内完成对各类机械专业有针对性的指导是有相当困难的。为了解决这方面的问题，我们经过反复讨论，并征求了大量一线教师的意见，将一些通用原则和方法指导放在首位，并结合大量有关实例进行讲解。

本书共分 16 章。前 12 章主要是按照高等教育出版社《机械设计》(第 7 版)的体系结构进行分类，第 13 章提供了 5 套模拟试题，第 14 章精选了部分高等院校的考研试题，最后提供了习题和模拟试题的答案。

每章的内容包括：

- (1) 基础知识。对有关的知识进行概括性总结，因为考虑到考研人员是有一定基础的，所以注重于基础知识的提高。
- (2) 重点和难点。在重点和难点中，首先分析了本章学习中的一些重点内容，包括对概念、理论分析与设计方法的总结性的说明和指导，并对难点作了较深入的说明。
- (3) 例题精解。本书所选编的例题大多数来自于往年的研究生入学考试题、本科生考试题以及国内外有关机械设计教材、习题集和学习指导书等资料，另外也采用了高等教育出版社出版的机械设计题库中的一些比较好的习题。选题基本上是按照教师的实践经验进行选取的，力求反映《机械设计》的基本要求，加深对基本内容的理解。
- (4) 习题。在选择习题的过程中，我们考虑到了当前的考研形势。从最近几年看，基本上各校所出的考题都有难度下降的趋势，这主要是由于目前扩大招生的缘故。机械设计考题的具体类型不是非常多，所以我们主要对典型题型和一些带有代表性的例题进行了总结，并选择了一些高等工科院校最近几年的试题。目的在于使学生或考生了解和掌握不同类型题目的解题方法和技巧，扩大解题思路，培养分析和解决实际问题的能力。其中有部分习题，例如零件的设计计算，由于需要查阅大量的图表，步骤繁杂，在短时间内是不可能完成的，因此在考研中不适合作为考题，但为了让读者全面把握机械设计的内容，本书主要在全面讲解的同时，突出其理论分析。

本书力求科学性、先进性、指导性并举，既能促进高等工科类院校学生的机械设计学习，又能不脱离一般院校的实际情况，提供切实可行的参考实例。读者对象是机械设计硕士研究生报考人员以及本科、专科大学生，也可供教师及有关工程技术人员参考。

本书由孙江宏、张志强主编。参加本书编写工作的有黄小龙、王雪艳、高宏、吕学威、王伟、马尉、丘景宏、王戈、赵腾任、赵维海、张万民、毕首全和马向辰等。另外，本书的编写得到了北京机械工业学院机械工程系领导和教师的大力支持，在此表示深深的感谢。

由于作者水平有限，编写时间较短，书中欠妥之处在所难免，希望读者和同仁能够及时指出，并通过 E-Mail 地址 sunjianghong@263.net 联系，共同促进技术进步。对于未提供答案的各大院校考研试题，读者也可以通过该地址联系解答内容。

作者

2003 年 10 月于北京

目 录

第 1 章 机械设计概论	1	3.1.6 螺栓组联接设计计算	34
1.1 基础知识	1	3.1.7 提高螺纹联接强度的措施	38
1.1.1 机器的基本组成要素	1	3.1.8 螺旋传动	40
1.1.2 设计机器的一般程序	1	3.2 重点和难点	42
1.1.3 设计机器应满足的 基本要求	2	3.2.1 本章重点	42
1.1.4 设计机械零件应满足的 基本要求	2	3.2.2 本章难点	42
1.1.5 机械零件的主要失效形式	3	3.3 例题精解	43
1.1.6 机械零件的计算准则	3	3.4 习题	47
1.1.7 机械零件的设计方法	5	第 4 章 键、花键和销联接	55
1.1.8 机械零件设计的一般步骤	5	4.1 基础知识	55
1.1.9 机械零件材料的选用原则	6	4.1.1 键联接	55
1.1.10 机械设计中的标准化	6	4.1.2 花键联接	58
1.2 本章重点和难点	7	4.1.3 销联接	60
第 2 章 机械零件的强度	8	4.2 本章重点	60
2.1 基础知识	8	4.3 例题精解	60
2.1.1 材料的疲劳特性	8	4.4 习题	62
2.1.2 机械零件的疲劳强度计算	10	第 5 章 带传动	67
2.2 重点和难点	16	5.1 基础知识	67
2.2.1 本章重点	16	5.1.1 带传动的类型及结构	67
2.2.2 本章难点	17	5.1.2 带传动工作情况的分析	68
2.3 例题精解	17	5.1.3 V 带传动的设计计算	72
2.4 习题	20	5.1.4 V 带传动的张紧装置	73
第 3 章 螺纹联接(含螺旋传动)	23	5.2 重点和难点	74
3.1 基础知识	23	5.2.1 本章重点	74
3.1.1 螺纹的主要参数	23	5.2.2 本章难点	74
3.1.2 螺纹联接的类型	24	5.3 例题精解	74
3.1.3 标准螺纹联接件	26	5.4 习题	79
3.1.4 螺纹联接的预紧和防松	26	第 6 章 链传动	81
3.1.5 螺纹联接的强度计算	29	6.1 基础知识	81
		6.1.1 链传动的特点、 类型及应用	81

6.1.2 链传动的失效形式及功率曲线图.....	82	8.1.3 普通圆柱蜗杆承载能力的计算.....	119
6.1.3 滚子链与链轮.....	82	8.1.4 普通圆柱蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算.....	121
6.1.4 链传动的运动特性.....	85	8.2 重点和难点.....	123
6.1.5 链传动的受力分析.....	86	8.2.1 本章重点.....	123
6.1.6 滚子链的设计计算.....	87	8.2.2 本章难点.....	123
6.1.7 链传动的布置、张紧和润滑.....	89	8.3 例题精解.....	123
6.2 重点和难点.....	89	8.4 习题.....	125
6.2.1 本章重点.....	89	第9章 滑动轴承	130
6.2.2 本章难点.....	89	9.1 基础知识.....	130
6.3 例题精解.....	90	9.1.1 滑动轴承的分类、特点及应用.....	130
6.4 习题.....	92	9.1.2 滑动轴承的失效形式及常用材料.....	130
第7章 齿轮传动	96	9.1.3 滑动轴承的结构类型.....	131
7.1 基础知识.....	96	9.1.4 不完全液体润滑滑动轴承设计计算.....	132
7.1.1 齿轮传动的主要类型及特点.....	96	9.1.5 液体动压润滑径向滑动轴承设计计算.....	134
7.1.2 齿轮传动的失效形式及设计准则.....	96	9.2 重点和难点.....	139
7.1.3 齿轮常用的材料、热处理及许用应力.....	97	9.2.1 本章重点.....	139
7.1.4 齿轮传动的计算载荷、受力分析及强度计算.....	98	9.2.2 本章难点.....	139
7.1.5 齿轮传动主要设计参数的选择.....	104	9.3 例题精解.....	139
7.1.6 齿轮的结构设计与润滑.....	105	9.4 习题.....	143
7.2 重点和难点.....	106	第10章 滚动轴承	146
7.2.1 本章重点.....	106	10.1 基础知识.....	146
7.2.2 本章难点.....	106	10.1.1 滚动轴承的类型、特点及材料.....	146
7.3 例题精解.....	106	10.1.2 滚动轴承的代号.....	147
7.4 习题.....	112	10.1.3 滚动轴承的失效形式及计算准则.....	147
第8章 蜗杆传动	117	10.1.4 滚动轴承的寿命计算.....	147
8.1 基础知识.....	117	10.1.5 滚动轴承的极限转速.....	151
8.1.1 蜗杆传动的类型及特点.....	117	10.1.6 滚动轴承的静强度计算.....	151
8.1.2 蜗杆传动的参数和几何尺寸.....	117	10.1.7 滚动轴承的组合结构设计.....	152

10.2 重点和难点	153	第 12 章 联轴器和离合器	185
10.2.1 本章重点	153	12.1 基础知识	185
10.2.2 本章难点	153	12.1.1 联轴器	185
10.3 例题精解	153	12.1.2 离合器	186
10.4 习题	163	12.1.3 安全联轴器及 安全离合器	187
第 11 章 轴	169	12.2 本章重点	187
11.1 基础知识	169	12.3 例题精解	188
11.1.1 轴的分类、材料及 设计准则	169	12.4 习题	191
11.1.2 轴的结构设计	170	附录 A 模拟试题	195
11.1.3 轴的计算	171	附录 B 部分高校硕士研究生 入学试题精选	213
11.2 重点和难点	173	附录 C 习题参考答案	271
11.2.1 本章重点	173	附录 D 模拟试题参考答案	310
11.2.2 本章难点	173		
11.3 例题精解	174		
11.4 习题	181		

第1章 机械设计概论

1.1 基础知识

1.1.1 机器的基本组成要素

在一部现代化的机器中，通常会包含机械、电气、液压、气动、润滑、冷却、控制、监测等系统的部分或全部，但是机器的主体，仍然是它的机械系统。机械系统总是由一些机构组成，每个机构又是由许多零件组成。所以，机器的基本组成要素就是机械零件。

机械零件可分为两大类：一类是在各种机器中经常都能用到的零件，叫做通用零件，如螺钉、齿轮和链轮等；另一类是在特定类型的机器中才能用到的零件，叫做专用零件，如叶片、螺旋桨和曲轴等。

1.1.2 设计机器的一般程序

一部新机器的设计过程大致有以下几个阶段：

(1) 计划阶段

计划阶段是设计机器的预备阶段，其目标是拟定出设计任务书。在此阶段，要根据社会和市场的需求，明确所设计机器的功能范围和性能指标。然后根据现有的技术资料进行可行性研究，明确设计中要解决的关键问题。最后形成设计任务书。设计任务书应包括机器的功能、经济性估计、制造要求、基本使用要求、预计设计期限等。

(2) 方案设计阶段

本阶段对设计机器的成败起着关键的作用，其目标是确定一个原理性的设计方案。在此阶段，要按设计任务书的要求，提出可能采用的多种方案，并对这些方案从技术、经济和可靠性等方面进行综合评价，最后进行决策，确定一个可进行技术设计的原理图或机构运动简图。

(3) 技术设计阶段

技术设计阶段产生总装配草图及部件装配草图。在此阶段，要按已确定的设计方案，进行运动学和动力学计算、零件的工作能力计算和结构设计，最后绘制出总装配图、部件装配图和零件图。在这一过程中，计算、绘图和修改常常是反复交叉进行的。本阶段所涉及的问题是机械设计课程最主要的内容。

(4) 技术文件编制阶段

技术文件编制阶段是设计机器的最后一个阶段，其目标是编写出机器的设计计算说明书和使用说明书等文件。设计计算说明书中应包括方案选择和技术设计的全部结论性内容。

使用说明书应向用户介绍机器的性能参数范围、使用操作方法、日常保养及简单的维修方法和备用件目录等。

1.1.3 设计机器应满足的基本要求

(1) 使用功能要求

所设计的机器必须实现预定的使用功能。为此, 正确地选择机器的工作原理是最重要的。此外, 还应正确地选择执行机构和机械传动方案。

(2) 经济性要求

机器的经济性是一个综合性指标, 它要求设计和制造的成本低, 生产周期短, 使用机器的生产率高, 效率高, 能源和原材料消耗少, 维护和管理费用低等。

(3) 劳动保护要求

对所设计的机器, 要求操作方便、安全, 并且对周围环境影响小。设计机器时, 操作机构要适应人的生理条件, 使操作轻便省力; 要保证机器使用人员的人身安全, 应设有安全防护装置。同时, 应降低机器噪音, 防止有害介质的渗漏, 减轻对环境的污染。机器的外形和色彩应协调, 应符合工程美学的要求以美化工作环境。

(4) 可靠性要求

机器的可靠性是指机器在使用中性能的稳定性, 它是机器的一个重要质量指标。可靠性高, 说明机器在使用过程中发生故障的概率小, 能正常工作的时间长。机器的可靠性高低是用可靠度来衡量的。机器的可靠度是指在规定的条件下和预定的使用期内机器能够正常工作的概率。

(5) 其他专用要求

这是对某种类型机器提出的一些特有的要求。例如, 食品机器应能保持产品清洁, 建筑机器要便于拆装和搬运。

1.1.4 设计机械零件应满足的基本要求

(1) 工作能力要求

组成机器的所有零件必须具有相应的工作能力, 否则就会失效。为避免在预定寿命期内失效, 机械零件应具有强度大、刚度足、抗疲劳、耐磨损和防腐蚀等性能。

(2) 结构工艺性要求

机器零件具有良好的结构工艺性, 就是要求零件的结构合理, 外形简单, 在既定生产条件下易于加工和装配。零件的结构工艺性不仅与毛坯制造、机械加工和装配要求有关, 还与零件的材料、生产批量和生产设备条件等有关。零件的结构设计对零件的结构工艺性具有决定性的影响, 是学习机械设计时应掌握的一个重点内容, 要予以足够的重视。

(3) 经济性要求

经济性要求就是要降低零件的生产成本。从经济性考虑, 可以采取以下一些措施: 尽量采用标准化的零部件以取代需要加工的零部件; 采用廉价材料代替贵重材料; 采用轻型结构以减少零件的用料; 采用少余量或无余量的毛坯或简化零件结构, 以减少加工工时;

采用装配工艺性良好的结构以减少装配工序和工时等。

(4) 质量小的要求

要尽量减少机械零件的质量,因为这样可以减少材料的消耗,降低成本,还可以减小运动零件的惯性以改善机器的动力性能。

(5) 可靠性要求

机器是由许多零件组成的,因而机器的可靠性取决于机械零件的可靠性。为了提高零件的可靠性,应当使工作条件和零件性能的随机变化尽可能小,并在使用中加强维护,对工作条件进行监测。

1.1.5 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,称为失效。机械零件的失效形式主要有:

(1) 整体断裂

整体断裂分为一次断裂和疲劳断裂两类。当零件在外部载荷的作用下,由于危险截面上的应力超过零件的强度极限而发生的断裂称为一次断裂。当零件在循环变应力作用下工作较长时间以后,危险截面上的应力超过零件的疲劳极限时所发生的断裂称为疲劳断裂。在机械零件的整体断裂失效中多数属于疲劳断裂。

(2) 过大的残余变形

如果作用于零件上的应力超过了材料的屈服极限,则零件将产生残余变形。如机床上夹持定位零件的过大的残余变形,会降低加工精度。

(3) 表面破坏

机器中的零件都要与别的零件发生静接触或动接触,或形成配合关系,因此表面破坏是机械零件经常发生的一种失效形式。机械零件的表面破坏主要是腐蚀、磨损和接触疲劳。腐蚀是金属表面与周围介质之间发生的一种电化学或化学侵蚀现象,使零件表面产生锈蚀而破坏。磨损是两个接触表面在相对运动过程中发生表面材料的脱落或转移的现象。接触疲劳是零件表面长期受到接触变应力的作用而产生裂纹或微粒剥落的现象。这些破坏形式都是随工作时间的延续而逐渐发生的。

(4) 破坏正常工作条件引起的失效

有些机械零件只有在一定的工作条件下才能正常工作。如果这些工作条件被破坏,就会导致零件的失效。例如,对于带传动,当其传递的有效圆周力超过临界摩擦力时,将发生打滑失效;对于高速转动的零件,当其转速与转动件系统的固有频率接近时,就会发生共振使振幅增大而发生失效。

1.1.6 机械零件的计算准则

为了避免机械零件失效,在设计零件时进行计算所依据的准则是与零件的失效形式密切相关的。一个机械零件可能有多种失效形式,但在设计时,应根据其主要的失效形式而采用相应的计算准则。主要的计算准则如下:

(1) 强度准则

强度是机械零件抵抗整体断裂、塑性变形和表面接触疲劳的能力。例如：对一次断裂来讲，应力不超过材料的强度极限；对疲劳断裂来讲，应力不超过零件的疲劳极限；对残余变形来讲，应力不超过材料的屈服极限。强度准则一般的表达式为

$$\sigma \leq \sigma_{\lim} \quad (1-1)$$

考虑到各种偶然性或难以精确分析的影响，式(1-1)右边要除以设计安全系数 S ，即

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\lim}}{S} \quad (1-2)$$

上式中： $\sigma_{\lim}$ 表示极限应力。对应于一次断裂、疲劳断裂、塑性变形和表面接触疲劳，极限应力分别为材料的强度极限、零件的疲劳极限、材料的屈服极限和零件的接触疲劳极限。

(2) 刚度准则。

刚度是机械零件抵抗弹性变形的能力。如果零件的刚度不够，就会因过大的弹性变形而引起失效。刚度准则是指零件在载荷作用下产生的弹性变形量不超过许用变形量。其表达式为

$$y \leq [y] \quad (1-3)$$

上式中： y 表示弹性变形量，可由各种求变形量的理论或实验方法确定； $[y]$ 表示许用变形量，即机器工作性能所允许的极限值，应视不同的工作情况，由理论值或经验值来确定其合理的数值。

(3) 寿命准则

寿命是机械零件能正常工作延续的时间。影响零件寿命的主要失效形式为腐蚀、磨损和疲劳。由于它们各自的产生机理和发展规律不同，应有相应的寿命计算方法。但对于腐蚀和磨损，目前尚无法列出相应的寿命准则。对于疲劳寿命，通常是求出使用寿命时的疲劳极限来作为计算的依据。

(4) 振动稳定性准则

振动是指机械零件发生周期性的弹性变形现象。一般情况下，零件的振幅较小。但当零件的固有频率 f 与激振源(如作往复运动的零件、轴的偏心转动和齿轮的啮合等)的频率接近或成整倍数关系时，零件就会发生共振，振幅急剧增大，致使零件破坏或机器工作失常。这种现象就称为失去振动稳定性。振动稳定性准则是指设计时使机器中受激振作用的各项零件的固有频率与激振源的频率 f_p 错开。其条件式通常为

$$0.85f > f_p \quad \text{或} \quad 1.15f < f_p \quad (1-4)$$

由于激振源的频率取决于往复行程数或工作转速，通常为确定值，所以不能满足上述条件时，可用改变零件和系统的刚性、改变支承位置、增加或减少辅助支承等办法来改变零件的固有频率 f ，以避免发生共振。

此外，提高回转件的动平衡精度，采用隔振元件把激振源与零件隔开以防止振动传播，采用阻尼以消耗引起振动的能量等措施，都可改善零件的振动稳定性。

1.1.7 机械零件的设计方法

机械零件的常规设计方法有以下几种:

(1) 理论设计

理论设计是根据设计理论和实验数据所进行的设计。它可分为设计计算和校核计算两类。设计计算是根据零件的工作情况,选定计算准则,按其所规定的要求计算出零件的主要几何尺寸和参数。校核计算是先按其他办法初步拟定出零件的主要尺寸和参数,然后根据计算准则所规定的要求校核零件是否安全。由于校核计算时,已知零件的有关尺寸,因此能计入影响强度的结构因素和尺寸因素,计算结果比较精确。

(2) 经验设计

经验设计是根据已有的经验公式或设计者本人的工作经验,或借助类比方法所进行的设计。这种设计主要适用于使用要求变动不大而结构形状已典型化的零件,如箱体、机架和传动零件的结构要素等。

(3) 模型实验设计

这种设计是对一些尺寸巨大、结构复杂的重要零件,根据初步设计的结果,按比例制成小尺寸的模型,经过实验手段对其各方面的特性进行检验,再根据实验结果对原设计进行逐步修改,从而达到完善的设计。模型实验设计是在设计理论还不成熟,已有的经验又不足以解决设计问题时,为积累新经验、发展新理论和获得好结果而采用的一种设计方法。这种设计方法费时、耗资,一般只用于特别重要的设计中。

1.1.8 机械零件设计的一般步骤

(1) 选择零件的类型和结构

这要根据零件的使用要求,在熟悉各种零件的类型、特点及应用范围的基础上进行。

(2) 分析和计算载荷

分析和计算载荷,是根据机器的工作情况,来确定作用在零件上的载荷。

(3) 选择合适的材料

要根据零件的使用要求、工艺要求和经济性要求来选择合适的材料。

(4) 确定零件的主要尺寸和参数

根据对零件的失效分析和所确定的计算准则进行计算,便可确定零件的主要尺寸和参数。

(5) 零件的结构设计

应根据功能要求、工艺要求和标准化要求,确定零件合理的形状和结构尺寸。

(6) 校核计算

这种校核计算的对象一般只是重要的零件,并且有必要时才进行。校核计算可以确定零件工作时的安全程度。

(7) 绘制零件的工作图

(8) 编写设计计算说明书

1.1.9 机械零件材料的选用原则

机械零件材料选择的一般原则是应满足零件的使用性、工艺性和经济性这 3 方面的要求。

(1) 使用性要求

使用性要求是指零件的受载情况、工作条件、零件的尺寸和质量的限制等。例如,对于承受变应力的零件,应选择疲劳强度极限高的材料;对于受冲击载荷的零件,应选用韧性较好的材料;对于受接触应力较大的零件,应选用经表面强化处理的材料。在湿热环境下工作的零件,应选择防锈和耐蚀材料;在高温下工作的零件,应选用耐热材料;在滑动摩擦下工作的零件,应选用减磨和耐磨材料。对于要求强度高而质量小的零件,应选用强度极限与密度之比较高的材料;对于要求刚度大而质量小的零件,应选用弹性模量与密度之比较高的材料,等等。

(2) 工艺性要求

工艺性要求是指应使零件所用材料在毛坯制造、热处理和冷加工时都易于进行。对于毛坯的制造,结构简单的可用锻造,结构复杂的宜采用铸造或焊接。锻造材料的工艺性是指材料的延展性、热脆性和塑性变形能力等;铸造材料的工艺性是指材料的液态流动性、收缩率、偏析程度和产生缩孔的可能性等;焊接材料的工艺性是指材料的可焊性和焊缝产生裂纹的倾向性等。热处理工艺性是指材料的淬硬性、淬火变形倾向性和淬透性等;冷加工工艺性是指材料的硬度、易切削性、冷作硬化程度和切削后能达到的表面粗糙度等。

(3) 经济性要求

经济性要求是一个综合性的指标。在满足使用要求的基础上,应尽可能选择价格低廉的材料,同时还应考虑到使材料的利用率高、加工费用低和供应状况好等因素。

1.1.10 机械设计中的标准化

在机械设计中,标准化的作用非常重要。

标准化包括 3 方面的内容,即零件标准化、产品系列化和部件通用化。零件的标准化是根据零件的尺寸、结构要素、材料性能、检验方法、设计方法和制图要求等制订出各式各样的让设计者共同遵守的标准。产品系列化是产品在同一基本结构或基本尺寸的条件下,按一定的规律优化组合成若干个不同规格尺寸的产品。部件通用化是指在系列产品内部或跨系列产品之间采用同一结构和尺寸的零部件。

标准化在简化设计工作、缩短设计周期、提高设计质量、便于专业化生产、扩大互换性、便于维修、保证产品质量和降低成本等方面具有重要意义。

我国现行标准有国家标准(GB)、部标准、专业标准和企业标准等。出口产品一般应符合国际标准(ISO)。

1.2 本章重点和难点

本章论述的是机械设计与机械零件设计中的一些共同性问题，主要内容是设计机械零件应满足的基本要求，机械零件的失效形式、计算准则、设计方法和步骤。这些内容是学习以后各章的基础，并要在以后各章的学习中不断深化。因此，本章所述的众多基本概念是重点，应予以熟悉和掌握。

在学习本章时，尚未涉及到各个具体机械零件的设计内容，故本章难点是内容非常抽象，不易理解和掌握。学习本章时对各节内容要从总体上和相互联系上予以理解，从而建立机械设计的总体概念，也可对以后各章的学习具有引导作用。

第 2 章 机械零件的强度

2.1 基础知识

2.1.1 材料的疲劳特性

材料的疲劳特性可用最大应力 $\sigma_{\max}$ 、应力循环次数 N 、应力比(或循环特性) $r(\sigma_{\min}/\sigma_{\max})$ 来描述。机械零件材料的抗疲劳性能是通过试验来测定的。把试验结果用图来表达,就得到材料的疲劳特性曲线,如图 2.1 及图 2.2 所示。图 2.1 描绘了在一定的应力比 r 下,疲劳极限(以最大应力 $\sigma_{\max}$ 表示)与应力循环次数 N 的关系曲线,通常称为 $\sigma-N$ 曲线。图 2.2 描绘的是在一定的应力循环次数 N 下,极限平均应力 σ_m 与极限应力幅值 σ_a 的关系。图 2.2 中的曲线实际上也反映了在特定寿命条件下,最大应力 $\sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a$ 与应力比 $r = (\sigma_m - \sigma_a)/(\sigma_m + \sigma_a)$ 的关系,故常被称为等寿命曲线或极限应力线图。

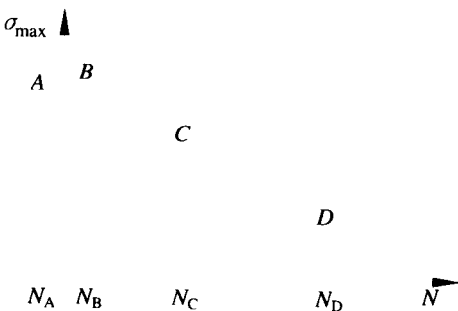


图 2.1 材料疲劳曲线之一(σ-N 曲线)

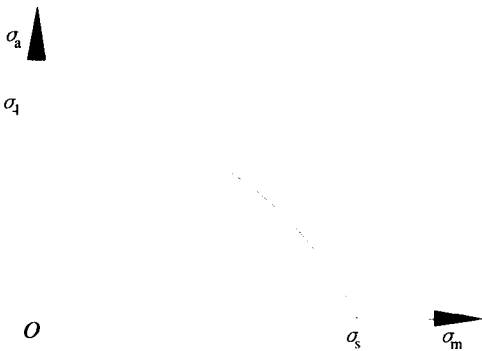


图 2.2 材料疲劳曲线之二(等寿命曲线)

在循环次数约为 10^3 以前, 相应于图 2.1 中的曲线段 AB , 材料试件发生破坏的最大应力值基本不变, 或者说下降得很小, 因此我们可以把在应力循环次数 $N \leq 10^3$ 时的变应力强度看作静应力强度。

曲线的 BC 段中, 随着循环次数的增加, 使材料发生疲劳破坏的最大应力将不断下降。仔细检查试件在这一阶段的破坏断口状况, 总能见到材料已发生塑性变形的特征。 C 点相应的循环次数大约在 10^4 左右。因为这一阶段的疲劳破坏已伴随着材料的塑性变形, 所以用应力循环次数来说明材料的行为更为符合实际。因此, 人们把这一阶段的疲劳现象称为应变疲劳。由于应力循环次数相对很少, 所以也叫做低周疲劳。对绝大多数通用零件来说, 当其承受变应力作用时, 其应力循环次数总是大于 10^4 的。所以我们不讨论低周疲劳问题。

1. $\sigma - N$ 曲线

图 2.1 中曲线 CD 段代表有限寿命疲劳阶段。在此范围内, 试件经过一定次数的交变应力作用后总会发生疲劳破坏。曲线 CD 段上任何一点所代表的疲劳极限, 称为有限寿命疲劳极限, 用符号 σ_{rN} 表示, 其中脚标 r 代表该变应力的应力比, N 代表相应的应力循环次数。曲线 CD 段可用式(2-1)来描述:

$$\sigma_{rN}^m N = C \quad (2-1)$$

如果作用的变应力的最大值小于 D 点的应力, 则无论应力变化多少次, 材料都不会破坏。故 D 点以后的线段代表了试件无限寿命疲劳阶段, 可用式(2-2)描述:

$$\sigma_{rN} = \sigma_{r\infty} \quad (N > N_D) \quad (2-2)$$

式中 $\sigma_{r\infty}$ 表示 D 点对应的疲劳极限, 常被称为持久疲劳极限。 D 点所对应的循环次数, 对于各种工程材料来说, 大致在 $10^6 \sim 25 \times 10^8$ 之间。由于 N_D 有时很大, 所以人们在做疲劳试验时, 常规定一个循环次数 N_0 (称为循环基数), 用 N_0 和与 N_0 相对应的疲劳极限 σ_{rN} 分别代表 N_D 和 $\sigma_{r\infty}$ 。这样, 式(2-1)可改写为

$$\sigma_{rN}^m N = \sigma_r^m N_0 = C \quad (2-1a)$$

由上式便得到了根据 σ_r 及 N_0 来求有限寿命区间内任意循环次数为 N ($N_c < N < N_D =$ 时的疲劳极限 σ_{rN} 的表达式为

$$\sigma_{rN} = \sigma_r^{\frac{m}{m-1}} \sqrt{\frac{N_0}{N}} = \sigma_r K_N \quad (2-3)$$

式中 K_N 称为寿命系数, 它等于 σ_{rN} 与 σ_r 的比值。

以上各式中, m 为材料常数, 其值由试验来确定。对于钢材, 在弯曲疲劳和拉压疲劳时, $m=6 \sim 20$, $N_0=(1 \sim 10) \times 10^6$ 。在初步计算中, 钢制零件受弯曲疲劳时, 中等尺寸零件取 $m=9$, $N_0=5 \times 10^6$ 。

当 N 大于疲劳曲线转折点 D 所对应的循环次数 N_D 时, 式(2-3)中的 N 就取为 N_D 而不再增加(即 $\sigma_{r\infty} = \sigma_{rN_D}$)。

2. 等寿命曲线(极限应力线图)

图 2.2 所示的疲劳特性曲线可用于表达不同应力比时, 疲劳极限的特性。试验结果表明, 这一疲劳特性曲线为二次曲线。但在工程应用中, 常用直线来近似替代该曲线, 图 2.3