

高等学校“十一五”规划教材 / 机械类本专科

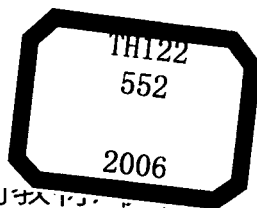


机械设计

(第2版)

荣涵锐 主编

哈尔滨工业大学出版社



高等学校“十一五”规划教材 专科

机 械 设 计

(第2版)

荣涵锐 主 编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书是按照当前大众化教育层面和科学发展观的需要,根据高等工业学校机械类专业“机械设计课程教学基本要求”,结合作者几十年来教学实践经验而编写的。本书精选了内容,并以机械传动装置设计为主线贯穿全书,强调设计能力的培养和基本技能训练,突出了应用性和综合性。

本书共十一章,主要内容有:绪论、机械设计概论、螺纹连接与螺旋传动、带传动、齿轮传动、蜗杆传动、轴和轴毂连接、滚动轴承、滑动轴承、联轴器、机架零件等。

本书可作为普通高等学校、成人教育学院、职业学院等机械类专业的教材,也可供有关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/荣涵锐主编.—2版.—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2006.9

ISBN 7-5603-1234-9

I.机… II.荣… III.机械设计-高等学校-教材 IV.TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090550 号

责任编辑 黄菊英

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 286 千字

版 次 1998 年 2 月第 1 版 2006 年 9 月第 2 版

2006 年 9 月第 2 次印刷

定 价 18.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

目前我国高等教育已由“精英教育”阶段步入“大众化教育”阶段,高等教育出现了跨越式发展,除继续培养精英外,更多的是培养适应现代技术需要的工程技术人员。虽然在精英教育时期,我国已经出版了很多优秀的机械设计教材,这些教材注重理论发现和重演理论的产生过程,满足了研究型大学的学术精英教育的需要,但尚还不能满足大众化的职业技术教育的需要,在一些学生录取分数线较低的二三类院校,学生看不懂,教师用起来也很困难,而目前适合于这个层面使用的教材还很少。

与此同时,我国的经济增长模式也发生了根本性的转变,即由忽视经济效益和社会效益、忽视环境保护和能源、资源节约的粗放型经济增长方式,向科学发展观转变,向发展经济、以人为本、全面协调可持续发展的经济增长方式转变,重视能源、资源节约和生态环境保护问题,建立资源节约型社会,并在“十一五”规划纲要中提出约束性的量化指标,单位国内生产总值的能耗下降 20%。对于这一重大经济发展模式转变,也应体现在教材上。

本书是按照当前大众化教育层面和科学发展观的需要,根据高等工业学校机械类专业“机械设计课程教学基本要求”,结合近几年来教学实践经验而编写的。本书有以下特点:

(1) 内容的选取上,在保证满足机械设计课程基本要求的前提下,精选内容,以常用的、基本的、比较简单的、课程设计所应用的和多数学生能接受的内容为主。

(2) 针对学生的认知能力,先讲认识客观世界的感性知识(是什么),后讲理性认识(为什么);在获得必要的知识后,再讲改造客观世界的设计方法和基本技能(怎么做)。

(3) 按照大众化教育层面和培养生产力大军的需要,减少理论部分,对于必讲的理论和公式,尽量简化,讲清概念,不推导或少推导;加强应用部分,对于设计方法,变隐性表述为显性表述,讲透方法,注重过程,加强设计技能的训练。

(4) 按照科学发展观的需要,强调合格的设计不仅要满足强度、刚度等技术层面的要求,力求符合节约、低成本、无污染或小污染原则,并通过设计示例,介绍参数的变化对于质量、体积、成本的影响。

(5) 在图文关系上,注意发挥机械视图这一工程语言的作用,充分利用图例。

(6) 用 AutoCAD 2006 重新绘制书中的所有图样,力求不仅满足本节内容的需要,而且符合机械设计全局的要求。

(7) 采用新的国家标准和技术规范。

本书由荣涵锐主编,参加编写的还有姜洪源、荣毅虹、孙曙光、林爱琴。

本书主编长期从事机械设计、机械设计基础和机械设计 CAD 的教学、科研工作,对机械设计基本理论、机械设计过程、机械设计 CAD 技术的应用有较深刻的理解,曾参加理论课教材、课程设计指导书和图册、CAD 和 CAI 教材以及试题库的编写。在教学上曾做了较突出的工作,获得 1993 年国家级教学成果一等奖和 2002 年教育部全国普通高等学校优秀教材一等奖。

尽管作者力求使本教材趋于完美,限于作者水平,书中不足之处在所难免,恳请批评指正。

荣涵锐

2006 年 8 月

目 录

第0章 绪论	(1)
0.1 本课程的研究对象和内容	(1)
0.2 本课程在教学中的地位	(1)
0.3 本课程的特点和学习方法	(2)
第1章 机械设计概论	(5)
1.1 机械设计方法	(5)
1.2 机械零件的强度	(8)
1.3 机械零件的常用材料及其选择	(10)
1.4 摩擦、磨损和润滑	(12)
第2章 螺纹连接与螺旋传动	(19)
2.1 螺纹	(19)
2.2 标准螺纹连接件	(22)
2.3 螺纹连接的结构设计	(25)
2.4 螺栓连接的强度计算	(29)
2.5 螺旋传动	(38)
习题和思考题	(41)
第3章 带传动	(43)
3.1 概述	(43)
3.2 普通V带和普通V带轮	(46)
3.3 带传动的理论基础	(50)
3.4 普通V带传动的设计计算	(54)
3.5 同步带传动简介	(61)
习题和思考题	(61)
第4章 齿轮传动	(63)
4.1 概述	(63)
4.2 齿轮传动的失效形式、设计准则与材料选择	(64)
4.3 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(67)
4.4 斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	(77)
4.5 直齿圆锥齿轮传动的强度计算	(80)
4.6 齿轮的结构设计	(83)
4.7 齿轮传动的润滑	(86)
习题和思考题	(86)

第5章 蜗杆传动	(88)
5.1 蜗杆传动的特点和类型	(88)
5.2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数及几何尺寸	(90)
5.3 蜗杆传动的失效形式、设计准则和材料	(93)
5.4 普通圆柱蜗杆传动的强度计算	(94)
5.5 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	(96)
5.6 蜗杆和蜗轮的结构	(99)
习题和思考题	(103)
第6章 轴和轴毂连接	(104)
6.1 概述	(104)
6.2 轴的材料	(106)
6.3 轴径的初步估算	(107)
6.4 轴的结构设计	(108)
6.5 轴的强度校核计算	(114)
6.6 轴的刚度计算	(117)
6.7 轴毂连接	(118)
习题和思考题	(123)
第7章 滚动轴承	(125)
7.1 滚动轴承的构造和特点	(125)
7.2 滚动轴承的类型和选择	(126)
7.3 滚动轴承代号	(129)
7.4 滚动轴承部件的结构设计	(133)
7.5 滚动轴承的失效形式和设计准则	(139)
7.6 滚动轴承的寿命计算	(140)
7.7 滚动轴承的静强度计算	(145)
7.8 滚动轴承的极限转速	(146)
7.9 减速器输出轴部件设计	(146)
习题和思考题	(155)
第8章 滑动轴承	(157)
8.1 滑动轴承结构和轴承材料	(157)
8.2 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	(161)
8.3 流体动压润滑原理简介	(163)
8.4 静压轴承与空气轴承简介	(165)
习题和思考题	(166)
第9章 联轴器	(167)
9.1 联轴器的类型和应用	(167)

9.2 固定式刚性联轴器	(168)
9.3 可移式刚性联轴器	(169)
9.4 弹性联轴器	(171)
习题和思考题	(172)
第 10 章 机架零件	(174)
10.1 概述	(174)
10.2 计算载荷、剖面形状及壁厚	(175)
10.3 减速器机体的结构设计	(176)
习题和思考题	(180)
参考文献	(181)

第 0 章 绪 论

0.1 本课程的研究对象和内容

机器已经成为减轻甚至代替人类劳动、提高劳动生产率的主要手段。制造和使用机器的水平,已经成为衡量一个国家现代化水平的重要标志之一。

早在远古时期,为了生存、为了美好的生活,人类在长期的生产活动中创造了工具。后来又创造了简单机械:斜面、杠杆和滑轮等。再后,又创造了复杂的机器。机器是人类改造自然的工具,是人类为改造自然而发明的。但是,直到 18 世纪工业革命时期,机器才具有完整的形态。人们首先发明了纺织机,一种新的工作机,它把加工劳动对象并使之变成产品的过程机械化。为了推动工作机转动,发明了新的原动机——瓦特蒸汽机,它给整个工业提供了一种通用原动机。为了用瓦特蒸汽机推动工作机运转,发明了机械传动装置,即用传动机把二者连接起来。

机械零件是构成机器的基本要素。

通常,按使用情况将机械零件分为两大类:通用零件和专用零件。通用零件是在所有机器中都要用到的零件,如螺栓、轴、轴承、联轴器、齿轮、传动带等。专用零件是只在某些机器中出现的零件,如机床的刀架和卡盘、汽轮机的叶片、内燃机的活塞和曲轴、飞机的螺旋桨等。

本课程的主要研究对象是机器中的通用零部件的工作原理、结构特点、基本设计理论和设计方法。这些通用零部件包括:螺纹连接、带传动、齿轮传动、蜗杆传动、轴、轴毂连接、联轴器、滑动轴承、滚动轴承、润滑与密封等。

0.2 本课程在教学中的地位

本课程是一门具有工程设计性质的技术基础课。

机械设计是学生学习并掌握了先修课程的知识 and 理论后开设的。先修课程主要有机械制图、理论力学、材料力学、工程材料、金属工艺学、互换性与测量技术和机械原理等。

机械设计课还为学生学习专业机械课程提供必要的理论基础。

机械设计教学通过理论教学(包括实验、大作业)和课程设计两个教学环节完成,理论教学环节主要任务是认识零件,课程设计环节主要是设计训练。具体任务有以下几点:

① 认识机械,即学习通用机械零件的基本知识、基本理论,了解机械传动装置及简单机械的运行方面的基本知识(工作原理、使用、维护、故障分析等);

② 设计机械,即学习并掌握通用机械零件的常用设计方法,初步具备设计机械传动装置和简单机械的能力;

③ 具有查阅与运用标准、规范、手册、图册和有关技术资料的能力;

- ④ 掌握通用机械零件的实验方法,获得实验技能的基本训练;
- ⑤ 树立正确的设计思想,了解现代机械设计方法,了解国家的技术经济政策。

0.3 本课程的特点和学习方法

本课程不同于理论基础课,是一门综合性、实践性很强的工程设计性课程。因此,在学习本课程时,应以适应本课程的学习方法来学习。具体讲,应注意以下几点:

(1) 参观或解剖简单机械,观察各种机器和零件的实物和模型,了解它们的工作环境、工作条件,尤其要了解零件的失效情况(如断口),以增强感性知识。学习期间一定要亲自摸一摸实物,如学习螺栓连接时,一定要用扳手拧紧或拧松螺母,看一看弹簧垫圈,看一看沉头座孔,等等。

(2) 用分解、解剖的方法认识机器。若要使用、维护、制造和设计机器,就要认识机器,不仅要从整体上认识机器,还要认识组成机器的部件、零件。

认识零件时,通常要从以下几个方面进行分析研究:

- ① 从功能的角度进行研究,如零件的工作原理、类型、特点、工作场合;
- ② 从力的角度进行研究,如受力分析(载荷大小、方向、性质)、应力分析(应力的类型、大小、特征)、变形分析、摩擦力、润滑等;
- ③ 从承载能力、避免事故的角度进行研究,如零件的失效形式、设计准则、校核公式和设计公式等;
- ④ 从材料的角度进行研究,如材料的种类、热处理,材料的极限应力,安全系数等;
- ⑤ 从结构的角进行研究,如类型、特点、与其他零部件的关系、使用场合等;
- ⑥ 从加工的角度进行研究,如毛坯类型、表面粗糙度、尺寸精度、加工工艺等;
- ⑦ 从标准的角度进行分析。

(3) 用综合的方法进行设计。有以下几层含义:

① 虽然认识零件时是分类进行的,但是,由于机器是由多个有相对运动关系的零件组成的,因而设计时,通常是先设计整机(画装配图),在装配图设计中协调并确定组成机器的各零件间的相互约束、相互依存的关系;然后根据装配图来设计零件(从装配图拆零件图),即零件是不能单独设计的。

② 各种零件有自己的设计规律或过程。比较常见的设计过程是:确定工作条件,选择材料,初定尺寸或设计计算,结构设计,校核计算,修改,完成设计。在设计中,计算和画图是交叉进行的。

③ 虽然在装配图设计中相关联的零件是同时设计的,但是,每个零件的设计仍是按照该种零件自己的设计过程进行的。因而,在装配图设计中,各个零件的设计是间断、交叉进行的。

④ 在设计中,应考虑零件的功能(实现需要的运动)、性能(承受足够的载荷)、材料、加工、标准、成本、造型等。

(4) 正确理解设计计算。

① 在机械设计中,强度、刚度、发热、摩擦学等计算,对关键零件能否正常工作起着决定性作用,不能轻视,因为一旦出错将发生事故。

② 不是所有零件、也不是一个零件的所有结构尺寸都要计算,由计算来确定的只是很少的一部分,很多时候是由结构设计和工艺要求来确定的,有时还要靠经验来判断。

(5) 正确理解结构设计。

① 机械结构设计就是确定零件的形状和尺寸以及零部件的相互位置关系。在机械设计过程中,结构设计的工作量较大,花费时间较长,计算只是一部分,甚至是一小部分,占用的时间较短。

② 结构与计算的关系是相互依赖、交叉进行。计算尤其是校核计算时,需要有必要的结构形状和尺寸,如果没有确定的结构就难以进行计算;计算结果又要由结构形状和尺寸来落实、保证。结构设计也离不开设计计算,如果没有校核计算,就不知道所涉及的结构是否能满足强度、刚度等机械性能,很可能会导致发生事故。

(6) 学理论、用理论与研究理论。机械设计课的最基本的任务是培养学生初步的设计简单机械的能力。因此,本门课程的重点,在于学理论并用理论指导设计,在于设计公式的使用,而不是研究理论,也不在于重演理论的创造过程或推导理论公式。

在学理论、用理论的过程中,不能浅尝辄止,应逐步深入,以提高设计能力。

① 试凑的方法。目前机械设计的最常用的设计方法是试凑法。试凑法虽然有许多缺点(如得到的解常常不尽人意,过于繁琐等),但是仍不失为主要的解题方法,应好好掌握。

② 模仿阶段。在学习之初,常参照例题来解习题,借以了解设计步骤、学会查表、使用标准等,以便消化、理解、吸收这些理论知识。参照例题而得到的题解是初始的、粗糙的、不能用的,处在必然王国。

③ 熟练应用理论解题阶段。在这一阶段,针对实际工况,能安排科学的设计步骤,能恰当的选择参数,能对已得到的设计结果进行分析、评价并提出修改方案,经反复修改得到比较理想的结果。经过大量的实践活动,争取尽早由必然王国走向自由王国。

④ CAD 应用。CAD 是现代设计技术之一。CAD 软件已进入商业应用阶段。工程设计人员的设计工具和手段不能还停留在 100 年前的图板上,要“甩掉图板”,要像农民开拖拉机、工人开机床那样,使用 CAD 技术,学会利用计算机求解和理解计算机给出的答案上。使用先进工具必然能得到理想结果。

⑤ 零件设计与部件设计。带传动、齿轮传动、蜗杆传动都可独立进行设计,而轴、键连接、螺栓连接、滚动轴承选用、机架零件等的设计是不能单独进行的,必须在部件设计中完成。

(7) 强调设计工作中的经济观点。对于某个设计题目,机械设计常常是多解,如何处理这类问题常常成为学生的难点。

① 出现的原因是设计计算的约束条件不够,如用一个公式确定两个参数,就会出现多解。

② 在设计条件中增加成本约束,尺寸小、质量小、低成本是所有设计的基本要求。

③ 传统的处理方法是试凑的方法,先进的方法是优化法。用试凑时,工作量大,多数学生不愿意作,常常对于过大的尺寸不以为然,因而在机械设计中贯彻经济观点是不容易的。

(8) 机械设计课是诸多先修课的综合运用。例如,用机械制图知识,阅读、绘制装配图和零件图;用理论力学知识,分析零件的运动和受力;用材料力学知识,分析零件的应力和变形,以建立零件的强度条件、刚度条件;用金属工艺学知识,选用零件材料、毛坯类型、热处理

方法;用机械精度设计知识,确定零件的尺寸公差、形位公差及配合等;用机械原理知识,选择运动机构,等等。总之,机械设计课程和先修课有着紧密联系,机械设计课的学习离不开先修课,当学习中感到吃力时,应及时复习先修课的相关部分。经验证明,学不好机械设计课的学生中,许多人是因为所涉及的先修课不明白,拽了后腿。

第 1 章 机械设计概述

本章介绍机械设计的共性问题,包括整机设计的基本要求和一般设计过程,通用零件设计要求和方法,以及零件的疲劳强度、接触强度、常用材料、摩擦、磨损、润滑、密封等。

1.1 机械设计方法

1.1.1 机械设计的基本要求和一般过程

机械设计的基本要求是设计出满足用户要求的机器。需满足的要求很多,主要有:能实现预期的功能、性能好、体积小、质量小、成本低、效率高、安全可靠、使用方便、维修简单、造型美观、工艺性好、能耗低、符合环保要求等。

据统计,设计阶段对成本、质量、安全、环保的决定程度最大,而过去曾看重的制造加工阶段对于投资的影响只有 10% 左右。由此可见,设计阶段是决定产品的成本、质量、安全、耗能、环保等指标的关键阶段。

为了保证设计质量、加快设计速度、避免和减少设计失误,设计人员必须遵循设计活动自身的规律,必须按照科学的程序进行。

机器的设计通常要经过以下几个阶段:

1. 计划阶段

计划阶段的工作是根据市场和社会发展的需求,确定所设计的机器的功能、主要性能指标,以及在环境、经济和时间上的要求,完成设计任务书。

2. 方案设计阶段

方案设计阶段的工作是拟定方案,提出原理性的设计方案——原理图或机构运动简图。由于机器的方案的先进性直接决定了机器的质量优劣,因而,对于方案应予以极大的关注。

无论是工作机、原动机、传动机的方案,由于工作原理的不同,可以有多种方案,组合后方案就更多。因而,要考虑技术指标、经济、环保、可靠性、时间等方面的因素,通过综合评价、科学决策,优选出较佳的设计方案。

3. 技术设计阶段

技术设计阶段的工作是机器的运动学设计、动力学设计、零件的工作能力设计、总装配图设计、零部件图设计等。在这一阶段,设计计算和结构设计是交叉进行的。

4. 技术文件编制阶段

技术文件编制阶段的工作是编制设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表等。

应指出,在设计过程中,有各种审核环节,对于提出的问题要及时修改。在审核完成之后,要试制样机,鉴定样机,并对提出的问题及时修改。然后小批生产,投放市场,并根据用户反馈的意见修改设计。到此设计工作告一段落。

1.1.2 机械零件设计概述

1. 失效形式

机械零件因某种原因而不能正常工作,称为失效。在发生失效前,零件所能安全工作的限度,称为工作能力。它可以是对载荷而言,也可以是对变形、温度、压力而言。对载荷而言的工作能力,又称为承载能力。

机械零件的可能的失效形式很多,常见的有:断裂,塑性变形,过大的弹性变形,工作表面的过渡磨损,产生强烈的振动,连接的松动,摩擦传动的打滑等。

失效不仅因零件的种类而异,而且即使是同一种零部件也有多种失效形式。例如,螺栓连接的失效可能由于螺栓的断裂而失效,也可能因连接的松动而失效。再如,轴的失效可能是疲劳断裂,也可能是过大的弹性变形,还可能是共振。

虽然机械零件可能有多种失效形式,但是,必定有一种失效形式是主要的。而到底哪一种失效形式起主要作用,应根据零件的材料、结构、工作条件等来确定。例如,普通转轴的主要失效形式是疲劳断裂;精密主轴的主要失效形式是过大的弹性变形;高速转子轴的主要失效形式是发生共振、失稳。

2. 设计准则

通用机械零件的设计,是针对其可能发生的失效形式而进行的。为保证零部件安全、可靠的工作而不失效,在设计计算时所依据的基本原则,称为设计准则。

机械零件虽然有很多种可能的失效形式,但主要为强度、刚度、耐磨性、稳定性和温度等问题。对于各类问题有各自相应的设计准则。

当强度为主要问题时,其设计准则为:应力 $\leq$ 许用应力;当刚度为主要问题时,其设计准则为:变形量 $\leq$ 许用变形量;……一般的,设计准则可概括为:计算量 $\leq$ 许用量。

3. 设计方法

(1) 理论设计。经过近百年的长期研究,对于各种典型的机械零件,从工作原理、主要尺寸参数、型号、载荷、应力、变形、失效机理到承载能力等,都已经有了全面、深入、透彻的认识,并且还建立了各自的理论体系,尤其是某些重要的机械零件的承载能力计算还制定了标准,如渐开线圆柱齿轮的承载能力计算方法 GB/T 3480—1997 等。

这种根据已有的理论和实验数据,或承载能力计算标准所进行的设计,称为理论设计。

根据理论设计公式确定零件的主要尺寸参数的设计,称为设计计算。

先按经验或某些简易方法来初步确定零件的主要尺寸参数和结构尺寸,待结构设计后,再用理论校核公式进行的验算,称为校核计算。

应指出,在机械设计中,只有极少数的关键零件是用理论设计的方法来确定其形状和尺寸的,而其余大多数的零件是根据结构设计和工艺要求来设计的。

(2) 经验设计。在机械零件设计中,大量使用经验设计,即用经验公式或用类比的方法进行设计。

经验公式是根据某类零件已有的设计及使用经验而归纳出的关系式。例如,对于齿轮、带轮等轮类零件,除轮齿、轮槽外,其轮毂、轮缘、轮辐部分的结构都有经验公式。再如,减速器机体的壁厚、连接凸缘厚度、筋板厚度、连接螺栓直径、定位销直径等,也都有相应的经验公式。

对于典型的零件,经验设计是简单、实用的设计方法。但是,出于安全的考虑,设计出的结构尺寸常常偏大。

(3) 模型实验设计。在初步设计后,可根据相似理论制作小模型或小型样机,然后对模型进行实验,测量其性能,并根据实验结果修改设计来完善设计。这样的设计方法称为模型实验设计。

模型实验设计方法费时、昂贵,因此只用于尺寸很大而结构很复杂的重要零件。

4. 设计步骤

由于各种零件的千差万别,因而各个零件的设计过程不尽相同。可将通用机械零件设计分为两大类:一类是没有标准化的零件,如齿轮、轴、滑动轴承等的设计;另一类是已经标准化的零件,如连接螺栓、传动带、滚动轴承等的选择设计。

没有标准化的零件的设计内容主要包括:确定载荷、选择材料、初定主要尺寸、结构设计、校核计算等。下面以圆柱齿轮为例,介绍这类零件的设计步骤:

- ① 确定作用在零件上的载荷的大小、方向、性质;
- ② 选择材料及热处理;
- ③ 确定轮齿的主要失效形式和设计准则;
- ④ 初步构造一个齿轮;
- ⑤ 按主要失效形式,进行校核计算;
- ⑥ 进行结构设计;
- ⑦ 绘制零件图,并编制计算说明书。

对于已经标准化的零件,由于其材料、结构和尺寸等都已经确定,因而其设计主要是,先根据载荷和部件的结构设计来确定零件的类型和型号,然后再校核计算。下面以滚动轴承为例,介绍已经标准化的零件的设计步骤:

- ① 确定作用在零件上的载荷的大小、方向、性质;
- ② 通过结构设计,确定零件的类型和型号;
- ③ 确定轴承的主要失效形式和设计准则;
- ④ 校核计算;
- ⑤ 编制计算说明书。

1.1.3 现代机械设计方法简介

现代机械设计方法是相对于传统的设计方法而言的。现代机械设计方法发展很快,种类繁多,已经极大地推动了并且仍在推动机械设计的发展,这已被人们所公认。目前应用较多的有:

1. 计算机辅助设计(computer-aided design, CAD)

传统的设计工具是计算器和丁字尺、三角板、图板,设计手段是手算和爬图板。

CAD 是利用计算机,经过人机交互作用而进行设计的新方法,不仅进行设计计算和绘图,它还能提供并处理大量的其他的设计信息。CDA 系统由科学计算、图形处理系统和数据库三方面组成。其优点是,显著提高设计质量、设计效率,缩短设计周期,使设计者从繁琐的重复性工作中解脱出来,去从事富有创造性地工作。CAD 与计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助检测(CAT)等结合,形成计算机集成制造系统(CIMS),可促进现代企业的生产组织、

管理,实施自动化、无人化,提高企业的总效益。

2. 优化设计(optimization design, OD)

传统的设计方法大都是初定尺寸、结构设计、校核计算,再修改初定值,重复上述过程直到满意为止。显然这种试凑的方法难以得到最优解。

优化设计是应用最优化数学理论来进行机械设计的一种新方法。进行优化设计时,需建立目标函数(追求目标)、约束条件(针对失效形式的强度或刚度条件),选择适当的优化算法,以计算机为工具求得最佳设计参数。

采用优化设计方法,可以在多变量、多目标的条件下,高效率、高精度地获得最优的设计结果,大大地提高设计质量。

3. 可靠性设计(reliability design, RD)

在传统设计方法中,设计变量(如尺寸、载荷、应力、强度、寿命等)视为常量,评价设计时,仅给出“安全”或“不安全”的结论。而实际上,这些变量是按某种分布规律分布的随机变量。可靠性设计方法是将设计变量视为随机变量,并用概率统计方法、按机械产品可靠性指标,求出设计变量的值。

4. 有限元法(finite element, FEM)

有限元法是随着计算机的发展而迅速发展起来的一种现代设计计算方法。它的基本思想是,把零件分为有限个单元(或元素),各单元间用节点相连接,并对每个单元通过选定的插值函数,将其内部每个点的位移(或应力)用单元节点的位移(或应力)来表示,再根据零件整体的协调关系,建立包括全部节点的未知量的联立方程组,最后用计算机来求解联立方程组,已获得所需的解。当划分的单元足够小时,将得到十分精确的解。

用有限元法可以处理零件的静应力、热应力,还可处理变形、振动、稳定性等问题。

1.2 机械零件的强度

由于机械零件工作时必然要承受载荷,因此为保证安全,必须进行强度计算。虽然计算机械零件的强度时要用到材料力学的知识和理论,但是机械零件的强度计算仍有自己的特点。

1. 计算载荷

在理想的工作条件下,作用在零件上的载荷,称为名义载荷。由于机器在实际运转时,零件还会受到各种附加载荷,因此在机械设计中,通常用引入载荷系数的办法来考虑这些因素的影响。当只考虑工作情况的影响时,用工作情况系数,而不用载荷系数。

载荷系数与名义载荷的乘积,称为计算载荷。对应于名义载荷的应力,称为名义应力。对应于计算载荷的应力,称为计算应力。

零件所受到的附加载荷可能来自工作机、原动机(如冲床、四冲程内燃机的速度波动会引起附加动载荷),也可能来自传动零件自身(如齿轮轮齿上的载荷分布不均)。

2. 疲劳强度

由于机器是运动的,载荷是变化的,因此主要是受变应力,而且受静应力的零件很少。在变应力下,零件的损坏形式是疲劳断裂。疲劳断裂有以下特征:

(1) 疲劳断裂时最大应力远小于静应力下材料的强度极限,甚至于低于屈服极限。

(2) 断裂前断口无明显塑性变形,损坏时为突然的脆性断裂,并且与零件是塑性材料还是脆性材料无关。

(3) 疲劳断裂是损伤累积的结果,有一个形成过程。初期是在零件表面出现微裂纹,微裂纹随着应力循环次数的增多而逐渐加大,直到剩下的未裂开的截面积不足以承受外载荷时,零件就突然断裂。

图 1.1 为轴的弯曲疲劳断裂的断口,在断口上明显的有两个区域:光滑区和粗粒状区。光滑区是在变应力的重复作用下裂纹两边因相互摩擦、挤压而形成的。粗粒状区是最终发生脆性断裂而形成的。

疲劳断裂不仅与变应力的大小有关,而且还与应力循环次数有关。应力越小,零件所能经受的循环次数越多;反之,应力越大,零件所能经受的循环次数越少。疲劳曲线(图 1.2)表示了应力大小与循环次数之间的关系。疲劳断裂前零件的应力循环次数,就是零件的寿命或使用期限。

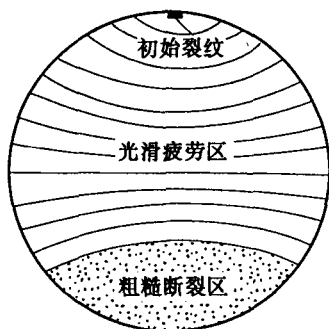


图 1.1 疲劳断裂的断口

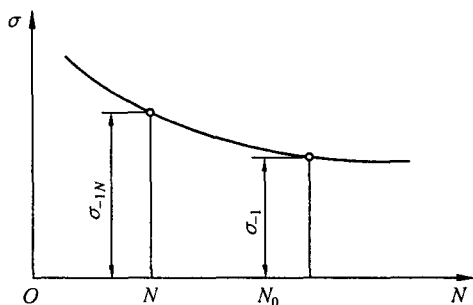


图 1.2 疲劳曲线

材料的疲劳曲线可通过疲劳试验得到。

对于大多数的黑色金属材料,当循环次数 N 超过某一数值 N_0 后,曲线趋向水平,即可认为在“无限次”循环时,试件将不会断裂。 N_0 称为循环基数,对应于 N_0 的应力称为材料的疲劳极限。在对称循环变应力下材料的弯曲疲劳极限通常用 σ_{-1} 表示。

对应于循环次数 N 的弯曲疲劳极限 σ_{-1N} 为

$$\sigma_{-1N} = \sigma_{-1} \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} \quad (1.1)$$

式中 m ——随应力状态而变的指数。

零件的疲劳强度条件为,计算应力 σ 小于或等于许用应力 $[\sigma_{-1}]$, 即 $\sigma \leq [\sigma_{-1}]$ 。

3. 接触强度

接触强度为表面强度,它有别于体积强度(如拉伸强度、剪切强度等)。

受载前是点接触或线接触的两个零件,受载后,由于弹性变形其接触区成为一小面积,在此接触面上产生的局部应力,称为接触应力,又称为赫兹应力。

对于轴线平行的两圆柱体,受力前,两圆柱体沿着与轴线平行的直线相接触;受压力后,由于弹性变形,由线接触变为面接触,在此接触面上产生接触应力(图 1.3)。作用在两圆柱体上的接触应力大小相等,方向相反,左右对称,接触区中线处应力最大,用 σ_H 表示。

受接触应力的机械零件的失效形式是疲劳点蚀。其形成过程(图 1.4)是,在接触应力的