



21

21世纪大学课程辅导丛书

机械设计

学习指导 典型题解

新版

张鄂 主编



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



21

21世纪大学课程辅导丛书

机械设计

学习指导—典型题解

新版

张鄂 主编



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是《机械设计》课程学习的辅助教材。内容包括:内容提要及学习要求、基本知识点及难点分析、典型例题解析、复习思考题、自我测验题等五部分。本书主要用于指导和帮助大专院校机械类和近机类专业学生在学习《机械设计》课程中,进一步理解该课程的主要内容及碰到的问题,较快掌握该课程的基本理论、基本知识、基本方法和基本技能,以取得良好的学习效果。在本书附录中,选编有《机械设计》考试题和攻读硕士研究生入学考试《机械设计》考试题,并附有考试题及本书“自我测试题”的部分参考答案,可供读者学习时自我检查和参考使用。

本书可作为大专院校机械类和近机类专业《机械设计》、《机械设计基础》课程学习的教学参考书,也可供青年教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计学习指导典型题解/张鄂主编. 新版. —西安:
西安交通大学出版社, 2008. 9
(21世纪大学课程辅导丛书)
ISBN 978-7-5605-1483-3

I. 机… II. 张… III. 机械设计-高等学校-教学参考资料 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 127329 号

书 名	机械设计——学习指导、典型题解
主 编	张 鄂
责任编辑	李 晶

出版发行	西安交通大学出版社
	(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址	http://www.xjtupress.com
电 话	(029)82668357 82667874(发行中心)
	(029)82668315 82669096(总编办)
传 真	(029)82668280
印 刷	陕西新世纪印刷厂

开 本	787mm×1 092mm	1/16	印张 17.625	字数 423 千字
版次印次	2008 年 9 月新版	2008 年 9 月第 1 次印刷		
书 号	ISBN 978-7-5605-1483-3/TH·62			
定 价	24.50 元			

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

丛书总序

“21 世纪大学课程辅导丛书”第一版出版已有十年时间,几经再版,深受广大读者的喜爱。为了满足读者朋友的需要,也为了适应高等教育改革的形势和新的教学要求,我们组织作者对本丛书进行了修订,以全新的面貌奉献给大家。

我们出版这套丛书的目的是为普通高等学校理工类专业的大学生提供一流的学习资源,使大家共享一流教师的教学经验和教学成果,更好地学习、掌握基础课和专业基础课知识,为今后的学习和深造打下良好的基础。

西安交通大学是国内仅有的几所具有百年历史的高等学府,是首批进入国家“211 工程”建设的七所大学之一,1999 年被国家确定为中西部地区惟一所以建设世界知名高水平大学为目标的学校。西安交大历来重视本科生教学,1996 年成为全国首家本科教学评估为优秀的大学。学校拥有国家级、省部级、校级教学名师数十名,具有丰富的、一流的教学资源。

本丛书由西安交通大学长期在教学一线主讲的教授、副教授主编,他们具有丰富的基础课、专业基础课教学和辅导经验。丛书作者们在长期的教学实践中,深深了解学生在学习基础课、专业基础课时的难点和困惑点之所在,对如何使学生更有效地学习、掌握课程的基本知识和解题技巧进行了深入的探索和研究,并将成果体现于书中。

本丛书以普通高等学校的学生为主要对象,不拘泥于某一本教材,而是将有特色和使用量较大的各种版本的教材加以归纳总结,取其精华,自成一体。书中对课程的基本内容、研究对象、教学要求、学习方法、解题思路等进行了全面、系统的总结和提炼,按基本知识点、重点与难点、典型题解析、自我检测题等环节进行编排;书后附录了自我检测题参考答案和近年来一些院校的期末考试题、考研试题及相应题解。本丛书的指导思想是帮助学生理清学习思路,总结并掌握各章节的要点;通过各类精选题的剖析、求解和示范,分析解题思路,示范解题过程,总结方法要略,展示题型变化;达到扩展知识视野,启迪创新思维,促进能力提高的目的。

本丛书既可以单独使用,也可以与其他教材配合使用;既可以作为课程学习时的同步自学辅导教材,也可以作为考研复习时的主要参考资料。

我们衷心希望本丛书成为您大学基础课和专业基础课学习阶段的良师益友,帮助您克服困难,进入大学学习的自由王国;也希望在考研冲刺时本丛书能助您一臂之力,使您一举成功!

在学习使用过程中,您如果发现书中有不妥之处或有好的建议,敬请批评指正并反馈给我们,我们一定会进一步改进自己的工作,力争使您满意。

真诚感谢您使用西安交大版图书。

西安交大出版社网址: <http://press.xjtu.edu.cn/>

理工医事业部网址: <http://lgny.xjtupress.com/>

理工医事业部信箱: jdlgy@yahoo.cn

西安交通大学出版社

2008年6月

前言

《机械设计》是大专院校机械类和近机类专业学生的一门主干技术基础课。它综合运用理论力学、材料力学、机械原理、金属材料及热处理、公差配合与技術測量、机械制造工艺学和机械制图等课程的知识来解决通用机械零部件的设计问题,进行机械设计学的基本工程训练,并为学生学习专业课程打下基础。

本书系《机械设计》教材配套使用的学习指导书。目的是指导学生如何学习《机械设计》课程的知识,帮助学生掌握教材的主要内容,明确各章的学习重点和要求,指引学习思路,以便学生能较好地掌握各章的主要内容、重点、难点、学习要求及相应的学习方法,取得良好的学习效果,有利于学生机械设计能力和创新能力的培养。

本书的内容包括:内容提要及学习要求、基本知识点及难点分析、典型例题解析、复习思考题、自我测验题等五个部分。其中,内容提要及学习要求,在简要介绍各章内容的基础上,指出各章应学习的学习重点和学习要求,同时详细说明了哪些是属于必须掌握的基本内容,哪些是属于扩大知识面作为一般性了解的内容,以使学牛能集中精力理解和掌握各章的主要内容。基本知识点及难点分析,主要是对各章应掌握的一些基本概念、基本理论、基本知识和基本方法作归纳,并对教材中的难点及关键问题加以必要的解释和深入的分析,还针对学习中易出现的问题及错误做了一些延伸或补充性的论述,以使学牛能较全面较深入地理解教材中的主要问题。典型例题解析,是对一般教材例题的扩展和补充,并力求在基本理论的运用、设计思路等方面给学生以更多的启示,以便帮助学生提高设计计算能力;同时,在部分例题中还对解题方法和设计计算的结果进行了总结和讨论,以开阔学生的视野,通过总结其规律性东西来丰富学生的设计思路。通过对典型例题的精解详析,帮助广大学生较好地解决机械设计过程中遇到的各种问题。复习思考题,以复习思考的形式概括了各章的主要内容,其中大部分问题是教材及本书所述的重点和要点,可供读者在复习总结时参考。自我测验题,以选择题、填空题、简答题和分析及计算题(包括设计计算题)等四种题型,供学牛学完各章后检查学习效果时使用。

本书在附录中,选编有《机械设计》考试题和攻读硕士研究生入学考试《机械设计》考试题,并附有考试题及本书“自我测试题”的部分参考答案,可供读者学习时自我检查和参考使用。

本书参考我国最新国家标准和资料,并采用我国法定计量单位。

本书可作为大专院校《机械设计》课程的辅助参考教材,可供机械类和近机类专业的学生在学习该课程时使用,也可供电视大学、职工大学、自修大学、函授大学、夜大等相关专业的学生学习使用,还可供青年教师和工程技术人员参考。

参加本书编写的有:张鄂(第1、2、3、4、8章),邵晓春(第5章、附录B),王冠华(第7章、附录A),贾静(第8章),商晓梅(第9、10章)。全书由张鄂任主编。全书承西安交通大学张言羊教授、毕振南教授和西北工业大学陆培德教授审阅,西安交通大学诸文俊教授、陈钢副教授、奚延辉副教授也审阅了部分章节,他们提出了很多宝贵意见,编者在此致以衷心感谢。

书中的不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

编者

2008年8月于西安交通大学

目 录

第 1 章 机械设计总论

1.1 内容提要及学习要求	(1)
1.2 基本知识点及难点分析	(1)
1.2.1 机械设计概论	(1)
1.2.2 本课程的内容、性质和任务	(9)
1.2.3 机械零件常用材料和选用原则	(10)
1.2.4 机械零件的强度	(10)
1.2.5 摩擦、磨损及润滑概述	(16)
1.3 《机械设计》课程的学习方法	(24)
1.4 典型例题解析	(25)
1.5 复习思考题	(30)
1.6 自我测验题	(32)

第 2 章 带传动

2.1 内容提要及学习要求	(36)
2.2 基本知识点及难点分析	(37)
2.2.1 带传动的主要类型及特点	(37)
2.2.2 带传动的工作情况分析	(37)
2.2.3 带传动的失效形式和计算准则	(40)
2.2.4 V 带传动的设计计算和参数选择	(41)
2.3 典型例题解析	(43)
2.4 复习思考题	(46)
2.5 自我测验题	(47)

第 3 章 齿轮传动

3.1 内容提要及学习要求	(52)
3.2 基本知识点及难点分析	(52)
3.2.1 齿轮传动的主要类型及特点	(52)
3.2.2 齿轮传动的失效形式和计算准则	(55)
3.2.3 齿轮常用材料及热处理	(55)
3.2.4 齿轮传动的载荷计算	(56)

3.2.5 圆柱齿轮传动的受力分析	(56)
3.2.6 圆柱齿轮传动的强度计算	(58)
3.2.7 齿轮传动主要设计参数选择及许用应力	(61)
3.2.8 齿轮传动的设计计算	(63)
3.2.9 标准直齿圆锥齿轮设计	(63)
3.2.10 齿轮的结构设计和润滑设计	(66)
3.2.11 本章总结参考提纲	(67)
3.3 典型例题解析	(68)
3.4 复习思考题	(78)
3.5 自我测验题	(81)

第4章 蜗杆传动

4.1 内容提要及学习要求	(89)
4.2 基本知识点及难点分析	(89)
4.2.1 蜗杆传动的类型及特点	(89)
4.2.2 蜗杆传动的参数和几何尺寸计算	(90)
4.2.3 蜗杆传动的相对滑动速度和效率	(91)
4.2.4 蜗杆传动的失效形式和计算准则	(92)
4.2.5 蜗杆传动的受力分析	(93)
4.2.6 蜗杆传动的强度计算	(94)
4.2.7 蜗杆传动的热平衡计算	(95)
4.2.8 蜗杆传动的设计计算程序	(96)
4.2.9 蜗杆和蜗轮的结构	(96)
4.3 典型例题解析	(96)
4.4 复习思考题	(104)
4.5 自我测验题	(106)

第5章 链传动

5.1 内容提要及学习要求	(112)
5.2 基本知识点及难点分析	(112)
5.2.1 链传动的特点、类型及应用	(112)
5.2.2 滚子链的结构	(113)
5.2.3 链传动的运动特性及受力分析	(115)
5.2.4 滚子链传动的失效形式及功率曲线图	(117)
5.2.5 滚子链传动的设计计算	(119)
5.2.6 链传动的布置、张紧和润滑	(121)
5.3 典型例题解析	(121)
5.4 复习思考题	(123)
5.5 自我测验题	(124)

第6章 轴和轴毂联接

6.1 内容提要及学习要求	(127)
6.2 基本知识点及难点分析	(127)
6.2.1 轴的分类及设计准则	(127)
6.2.2 轴的材料	(128)
6.2.3 轴的结构设计	(129)
6.2.4 轴毂联接	(133)
6.2.5 轴的强度计算	(136)
6.2.6 轴的刚度计算	(138)
6.3 典型例题解析	(138)
6.4 复习思考题	(150)
6.5 自我测验题	(153)

第7章 滚动轴承

7.1 内容提要及学习要求	(158)
7.2 基本知识点及难点分析	(159)
7.2.1 滚动轴承的特点、构造及材料	(159)
7.2.2 滚动轴承的基本类型、特点和代号	(159)
7.2.3 滚动轴承的载荷分析	(163)
7.2.4 滚动轴承的失效形式和计算准则	(164)
7.2.5 滚动轴承的寿命计算	(164)
7.2.6 滚动轴承的静强度计算	(169)
7.2.7 滚动轴承的极限转速	(169)
7.2.8 滚动轴承的组合结构设计	(169)
7.3 典型例题解析	(170)
7.4 复习思考题	(178)
7.5 自我测验题	(179)

第8章 滑动轴承

8.1 内容提要及学习要求	(184)
8.2 基本知识点及难点分析	(185)
8.2.1 滑动轴承的分类、特点及应用	(185)
8.2.2 滑动轴承的几种润滑状态	(186)
8.2.3 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	(186)
8.2.4 液体动压润滑的基本方程及承载机理	(188)
8.2.5 液体动压径向滑动轴承的设计计算	(190)
8.2.6 滑动轴承的结构类型	(197)
8.2.7 滑动轴承的材料	(199)

8.3	典型例题解析	(199)
8.4	复习思考题	(205)
8.5	自我测验题	(207)
第9章 联轴器和离合器		
9.1	内容提要及学习要求	(211)
9.2	基本知识点及难点分析	(212)
9.2.1	联轴器和离合器的功用及工作要求	(212)
9.2.2	联轴器的分类	(213)
9.2.3	几种常用的联轴器的特点与应用	(213)
9.2.4	联轴器的选择和计算	(214)
9.2.5	离合器的分类	(215)
9.2.6	常用离合器及其特点	(215)
9.3	典型例题解析	(217)
9.4	复习思考题	(220)
9.5	自我测验题	(221)
第10章 螺纹联接		
10.1	内容提要及学习要求	(223)
10.2	基本知识点及难点分析	(224)
10.2.1	螺纹基本知识	(224)
10.2.2	螺纹联接的预紧和防松	(226)
10.2.3	螺栓组联接的受力分析	(226)
10.2.4	螺栓联接的失效形式和计算准则	(228)
10.2.5	单个螺栓联接的强度计算	(230)
10.2.6	提高螺栓联接强度的措施	(232)
10.3	典型例题解析	(232)
10.4	复习思考题	(238)
10.5	自我测验题	(238)
附录 A:《机械设计》考试题及部分参考答案选集		
		(243)
附录 B:“自我测试题”部分参考答案		
		(264)
参考文献		
		(271)

第1章 机械设计总论

1.1 内容提要及学习要求

本章简要地介绍了与学习机械设计有关的几个方面问题。它们包括：机械设计概论；本课程的内容、性质与任务；机械零件的常用材料；机械零件的强度；摩擦、磨损及润滑概述。

本章的重点学习内容为：

(1) 机械设计概论，它包括机械设计的基本概念，机械设计基本原则和设计程序，机械零件设计概述等；

(2) 本课程的内容、性质与任务；

(3) 机械零件强度设计计算的基本理论和方法。

本章的学习要求是：

(1) 使学生建立机械设计的基本概念；了解机械设计及机械零件设计的基本原则和设计程序；弄清零件设计在机械设计中的地位与作用。

(2) 了解课程的内容、性质、特点、与先修及后继课程之间的关系，以及相应的学习方法，从而对整个课程获得一个鸟瞰，并为以后的学习打好基础。

(3) 了解机械设计中的的一些共性问题：即机械零件的常用材料及选用原则；机械零件强度设计计算的基本理论和方法；摩擦、磨损及润滑基本知识等。

要在课程内容安排上，除本章集中介绍有关机械(零件)设计的共性基础知识之外，其余各章均为机械零件的设计和计算。将共性知识集中在一起，且放在首章，目的是便于学习后续零件设计时直接引用，也有利于了解零件设计的规律性。在学习以后各零件设计时，应注意前后呼应。

学习时的注意要点是，除了掌握本章的基本内容外，还应联系本课程的性质与特点，积极探索具有针对性的学习方法。此外，在学习本章教材外，还应对机械设计手册有一大致了解，并通过参观机械设计陈列室增强对机械设计和机械零件的感性认识。

1.2 基本知识点及难点分析

1.2.1 机械设计概论

1.2.1.1 机械设计的基本概念

1. 机械和机械设计

机械(机器)是人类进行生产时用以减轻体力劳动和提高劳动生产率的工具。机械一般是由原动机、传动装置、工作机和控制装置组成，它可以代替或减轻人的体力劳动，改善劳动条件和提高生产率，提高产品质量。机械的发展经历了一个由简单到复杂的漫长过程。目前，使用

机械(机器)进行生产的水平已成为衡量一个国家的技术水平和现代化程度的重要标志之一。

机械设计是机械产品研制的第一道工序,设计工作的质量和水平,直接关系到机械产品的质量、性能、研制周期和技术经济效益。因而,机械设计在机械产品开发过程中起着关键性的作用。

机械设计的基本要求是实现预定功能、做到人-机协调、提高经济效益和保证安全可靠。设计时不仅要考虑到机械产品的功能本身,还要考虑制造与装配、生产成本、生产周期、售后服务(维修)和用后回收等产品生命周期全过程的各个方面。

2. 机械零件、部件

《机械设计》课程是以机械零件的设计和计算为基本教学内容。

从生产和装配的角度看,每台机械都由许多零部件组装而成。机械零件(简称零件)是组成机械的基本单元,如螺栓、齿轮、轴、滚动轴承和联轴器等。为实现某一功能,将一些零件组合成一体,称为部件,如减速器、变速箱等。

零件的构成部分称为元件,如滚动轴承中的滚珠、内圈、外圈等。元件、零件和部件没有严格的定义,在不同场合三者常混用。

机械零件这一术语也常用来泛指零件和部件。

3. 通用零件、专用零件

机械中的零件可以分为通用零件和专用零件两大类:各种机械中普遍使用的零件称为通用零件,例如齿轮、螺钉等;只在某一类机械中使用的零件称为专用零件,例如汽轮机中的叶片、纺织机械中的织梭、锭子和往复机械中的曲轴等都是专用零件。

4. 机械零件的设计计算和校核计算

机械零件设计的基本要求是产品工作可靠、工艺性好和成本低廉。机械零件的计算分为设计计算和校核计算。设计计算是根据零件的工作情况和工作能力准则确定安全条件,用计算方法求得零件的主要几何尺寸,然后再按工艺要求和尺寸协调进行结构设计。校核计算是先参照已有实物、图样或经验数据,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进行校核验算。无论是设计计算还是校核计算,一般均应对某些复杂的物理现象做适当的简化,如以集中力代替实际的分布力,以支承点代替支承面等,所以机械零件计算总带有一定的条件性。为使计算结果更符合实际,应多参考已有的成功设计和在实际应用中积累的统计资料。

5. 等强度设计

在机械设计中,为缩小零件尺寸,充分发挥材料效能和节约材料,设计时应尽量采用等强度设计原则。

所谓等强度可以是同一零件中各部分结构尺寸等强度,也可以是相关零件间的等强度,如二级圆柱齿轮减速器高速级与低速级轮齿接触等强度。

1.2.1.2 机械设计的一般程序及要求

1. 机械设计的一般程序

一部新机械(机器)从着手设计到制造出来,大致要经过以下阶段:产品规划→方案设计→技术设计→施工设计→试制、试验、鉴定→定型产品设计。

(1) 产品规划 根据社会、市场的需求确定所设计机械的功能范围和性能指标;根据现有技术、资料及研究成果研究其实现的可能性,明确设计中要解决的关键问题;拟定设计工作计

划和设计任务书。

(2) 方案设计 按设计任务书的要求,了解、分析同类机械的设计、生产和使用情况以及制造厂的生产技术水平;拟定机械系统的组成、总体布置;确定有关的机构和传动方式。

该阶段中,在满足设计任务书中设计具体要求的前提下,由设计人员构思出多种可行的设计方案,并用方案原理图表达出来。通过对各种可行的方案进行比较和筛选,并进行技术经济评价及可行性评价,从中优选出一种功能满足要求、工作原理可靠、结构设计可行、成本低廉的最优方案。

方案设计是机械产品设计的初始阶段。它是一个重要阶段。因为,方案设计的优劣直接决定了机械设计的成败和质量,故应充分重视。

(3) 技术设计 对已选定的设计方案进行运动学和动力学分析;确定机构和零件的功能参数,必要时进行模拟试验、现场测试;修改参数,计算零件的工作能力,进而确定机械的主要结构尺寸,绘制设计总图。

(4) 施工设计 根据技术设计的结果,考虑零件的工作能力和结构工艺性,确定零件的形状和结构尺寸以及配合件间的公差;完成零、部件及整机的全部工作图;编写有关技术文件。

(5) 试制、试验、鉴定 经过加工、安装及调试,制造出样机。所设计的机械能否实现预期的功能,满足所提出的要求,其可靠性、经济性如何等,都须通过样机的试验来加以验证。再经过鉴定,进行科学的评价以确定是否可以投产或进行必要的改进设计。

(6) 定型产品设计 经过试验和鉴定,对设计进行必要的修改后,可进行小批量的试生产。经过实际条件下的使用,将取得的数据和使用意见反馈回来,再进一步修改设计,即定型产品设计,然后正式投产。

实际上整个机械设计的各个阶段是互相联系的,在某个阶段发现问题后,必须返回到前面的有关阶段进行设计的修改。整个机械设计过程是一个不断修改,不断完善以至逐渐接近最佳结果的过程。或者说,机械设计过程是一个“设计—评价—再设计(修改)”渐进与优化的过程。它是以满足社会客观需求及提高社会生产力为目标的一种创造性劳动。

2. 机械(机器)设计的一般要求

机械(机器)是人类进行生产时用以减轻体力劳动和提高生产率的主要劳动工具。在进行机械产品设计时,应满足以下几方面要求:

(1) 具有预定功能的要求 使所设计制造的机器能实现预定的功能,并能在规定的工作条件下和规定的工作期限内正常运行。在设计阶段起重要作用的是机器工作原理的选择。

(2) 使用、维护 and 安全性要求 在机器的设计阶段,就必须对机器的使用、维护 and 安全性予以足够的重视。即要求设计的机器操作方便和省力;要设置必要的安全防护装置及措施,使运行时安全可靠,安全包括操作人员的人身安全及机器工作时本身的安全;力求维护方便并降低机器噪声,不污染环境等。

(3) 可靠性要求 机器可靠性的概念是在机器的组成日趋复杂的前提下发展起来的。可靠性是用可靠度来度量的。一部机器或一个部件,都是由各种各样的零件组成的一个系统。而系统的可靠度则取决于其组成部件或零件的可靠度。对于串联机械系统而言,组成机器系统的零部件越多,则其系统的可靠度越低,因此,从提高系统可靠度的观点,在设计机器时应尽量减少零件的数目。

(4) 经济性要求 机器的经济性是一个综合性的指标,它体现在设计、制造、使用的全过

程中。设计及制造的经济性表现为设计制造成本的降低。使用经济性则表现为高生产率,高效率,较少地耗费能源、原材料及辅助材料,以及低的管理和维护费用等。

(5) 造型美要求 随着社会的飞速发展和市场竞争的日益激烈,在同样满足使用功能的条件下,产品的外观造型设计已成为竞争的重要手段之一,因而工业产品的艺术造型设计也就成为工业产品开发设计中必不可少的重要组成部分。

运用工业艺术造型设计方法,对机械产品进行工业造型设计,能使所设计的机器实现产品功能的科学性和造型设计的艺术性以及人-机系统的谐调,从而达到产品实用、经济、美观的目的。

1.2.1.3 机械零件设计的基本要求及步骤

1. 机械零件设计的基本要求

设计机械零件时,应考虑以下几方面的要求:机械零件的工作能力,机械零件的结构工艺性,机械零件的可靠性,“三化”及经济性等。

(1) 机械零件的工作能力要求 机械零件由于某些原因不能正常工作时,称为失效。失效有破坏性失效(如齿轮轮齿折断)和非破坏性失效(如联接零件松动)两类。机械零件虽然有很多可能的失效形式,但归纳起来,最主要的是由于强度、刚度、摩擦与耐磨性、温度以及振动稳定性等对工作能力产生影响造成的失效。

为了避免机械零件失效,设计时应使零件具有足够的工作能力。机械零件的工作能力是指机械零件在一定的工作条件下抵抗失效的能力(对载荷而言的工作能力称为承载能力)。衡量机械零件工作能力的准则,随零件失效形式的不同而不同。以轴为例,它的失效可能是疲劳断裂,也可能是过大的弹性变形。对于前者,轴的工作能力取决于轴的疲劳强度;对于后者,则取决于轴的刚度。影响机械零件工作能力的主要因素有强度、刚度、耐磨性和振动稳定性等几个方面。因此,在机械零件设计时必须考虑这些问题的计算准则。

① 强度准则 机器工作时,机器中的各个零件将承受载荷,如果强度不够,零件将会失效。显然,保证所设计的零件有足够的强度,是保证机器正常工作的根本保证。零件的强度是指零件抵抗断裂及塑性变形的能力。强度准则是指在机械零件中,由载荷引起的应力不应超过允许的限度。强度准则在保证机械零件工作能力最基本的准则。判断零件强度有两种方式。一种方式是判断零件危险截面处的最大应力(σ, τ)是否小于许用应力($[\sigma], [\tau]$)。其强度条件为:

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

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

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

另一种方式是判断零件危险截面处的实际安全系数(S_{σ}, S_{τ})是否大于许用安全系数($[S_{\sigma}], [S_{\tau}]$)。其判别条件为

$$\left. \begin{aligned} S_{\sigma} &= \frac{\sigma_{\lim}}{\sigma} \geq [S_{\sigma}] \\ S_{\tau} &= \frac{\tau_{\lim}}{\tau} \geq [S_{\tau}] \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

关于机械零件的强度问题,由于它的重要性和应用广泛性,将在 1.2.4 节另作提要。
② 刚度准则 零件的刚度是指机械零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。大多数零件在工作时应有足够的刚度。例如机床主轴刚度不足,将影响被加工零件的精度。零件的刚度有时又是保证强度的重要条件,例如受压长杆,若刚度不足,将影响其受压稳定性。刚度也会影响零件的自激振动频率,刚度小则自激振动频率低,刚度大自激振动频率高,所以说刚度是影响振动稳定性的主要因素。

零件的刚度条件是要求零件在载荷作用下产生的弹性变形量 y 应小于或等于机器工作性能所能允许的许用变形量(极限变形量) $[y]$,即

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

式中 $y, [y]$ ——零件工作时的实际变形量(伸长、挠度等)及许用变形量;

$\varphi, [\varphi]$ ——零件的变形角(挠角、扭角)及许用变形角。

③ 寿命准则 经验表明,有的零件工作初期虽然能够满足各种要求,但在工作一定时间后,却可能由于某种(或某些)原因而失效。零件能够正常工作的持续时间称为零件的寿命。

影响零件寿命的主要因素有:材料的疲劳、材料的腐蚀以及相对运动零件接触表面的磨损三个方面。这三个方面的问题属于不同范畴,它们各自产生的机理及发展规律也完全不同。

大部分机械零件都在变应力条件下工作,因而疲劳破坏是引起零件失效的主要原因。近代对零件进行精确的强度计算时,都要考虑到零件材料的疲劳问题。影响零件材料疲劳强度的主要因素有:应力集中、零件尺寸大小、零件表面质量及环境状况。在设计零件时,应努力从这几方面采取措施,以提高零件抵抗疲劳破坏的能力。关于零件疲劳寿命计算,通常是求出使用寿命的疲劳极限来作为计算的依据。

从零件处于腐蚀介质中工作时,就有可能使材料遭受腐蚀。目前关于腐蚀的寿命计算还没有适当可靠的定量计算方法。对于这些零件,主要是通过选用耐腐蚀材料或采用各种防腐蚀的表面保护等措施,以提高零件的耐腐蚀性能。

关于零件的磨损以及提高耐磨性等问题见 1.2.5 节。

④ 振动稳定性准则 机器中存在着许多周期性变化的激振源,例如齿轮的啮合、轴的偏心转动、滑动轴承中的油膜振荡、滚动轴承中振动等。当零件(或部件)本身的自激振动频率 f 等于或接近于上述激振源的振动频率 f_p 时,零件就会发生共振。共振时振幅急剧加大,致使零件破坏,机器工作失常。这种现象称之为“失去振动稳定性”。

振动稳定性准则是:在设计时应使机器中受激振作用的各个零件的自激振动频率与激振源的频率错开。通常应保证

$$f_p \leq 0.85f \text{ 或 } f_p \geq 1.15f$$

式中 f ——零件的自激振动频率;

f_p ——激振源的振动频率。

如果不能满足上述条件,则可改变零件或系统的刚度或采用防振、减振措施,例如提高零件制造精度,提高回转零件动平衡精度,增加阻尼系统,提高材料或结构的衰减系数,采用减振、隔振装置等措施都可改善零件的振动稳定性。

⑤ 摩擦学准则 在摩擦学状态下工作的机械零件主要有两类:一类要求工作时摩擦力小、功耗低,如滑动轴承、啮合传动等。一类要求摩擦力大,利用摩擦传递动力,如带传动、摩擦轮传动、摩擦离合器等。前一类零件应选用减摩材料制造,并采用适当的润滑方式以保证工作

时摩擦系统摩擦阻力小、功耗少、效率高。后一类零件应选用摩擦材料或耐磨材料制造,设计时应保证摩擦力或摩擦力矩的极限值大于工作阻力或工作阻力矩,否则工作时会发生打滑,使传动失效。

在摩擦学系统中工作的机械零件,其工作接触表面因相对运动及摩擦要产生磨损。零件表面磨损后会改变结构形状和几何尺寸,使机器的精度降低,效率下降,以致使零件因其工作表面的磨损量超过规定的允许值后而报废。因此,在机械设计中总是力求提高零件的耐磨性,减少磨损。所谓耐磨性是指零件在载荷作用下抵抗磨损的能力。

关于磨损,由于其影响因素较多,又尚无简单而有效的理论计算公式,故通常是采用条件性计算。常用方法有如下两种:

一是对滑动速度低,工作载荷大的零件,可验算压强(单位接触面积所受压力)使其不超过许用值,以防压强过大使零件工作表面油膜破坏而产生过快磨损,其验算式为

$$p \leq [p] \quad (1-5)$$

式中 p ——零件工作表面的压强;
 $[p]$ ——许用压强。

二是对滑动速度较高的摩擦表面,还要防止摩擦表面温度过高使润滑油膜破裂,导致磨损加剧,严重时产生胶合。因此,要限制单位接触面积上单位时间内产生的摩擦功不要过大。如将摩擦系数 f 视为常数,则可验算 pv 值不超过许用值,即

$$pv \leq [pv] \quad (1-6)$$

式中 pv ——滑动速度;
 $[pv]$ —— pv 值的许用值。

⑥ 可靠性准则 随着科学技术的发展与生产水平的提高,机器或机械零件的可靠性已从定性评价发展为可以进行定量估算,从而成为衡量机械零件工作能力的一项基本准则。

可靠性一般可用“可靠度”来度量。机械零件的可靠度是指零件在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率。或者说可靠度是大量的零件在规定使用寿命内,能连续正常工作的件数占总件数的百分数。例如在滚动轴承的生产过程中,抽查一批同型号滚动轴承进行寿命试验,一般以 10^6 转次(或折合成小时数)作为滚动轴承的额定寿命,试验时规定在额定寿命内有 90% 的轴承不发生点蚀失效即认为该批轴承合格,亦即允许轴承的失效概率为 10%,要求轴承的可靠度为 90%。可靠度一般用 R 表示。由于它是时间 t 的函数,故也记为 $R(t)$, $R(t)$ 又称为可靠度函数。

除了上述的一些基本准则外,在机械零件设计中,还可以提出一些在特定条件下的应考虑的计算准则,例如精度、噪声水平的限制、外廓尺寸的限制、美观等。

在上述计算准则中,强度准则将用于整个课程中各个零件的计算。所以,学习中应复习材料力学的有关内容,切实掌握。其余的 5 个准则在开始学习本章时只要求有大致地了解,在学完有关零件后,就会有较深入的体会。

(2) 机械零件的结构工艺性要求 结构设计是机械设计的基本内容之一。它在产品形成过程中,起着十分重要的作用。它在机械设计中的地位如下:

机械设计 { (原理) 方案设计(定性设计)
 技术设计(定量设计) { 工作能力设计
 结构设计(构形)