



高等教育基础课教材

机 械 零 件

李振清 彭荣济 崔国泰 合编



北京工业学院出版社

前 言

这套教材是根据高等工业学校函授教学大纲和自学考试大纲编写的机械类专业用基础课教材。它的出版为高等函授学生和参加自学考试的自学者做了一件极有意义的好事。

党的十一届三中全会以来,随着我国四个现代化建设事业的发展,出现了全社会努力学习科学文化的可喜形势。成千上万的自学者在缺少面授条件的困难条件下,为四化事业而勤奋地刻苦学习。但是,由于缺乏合适的教材,给他们的学习造成不少困难。他们迫切需要能反映成人教育特点、极便于自学的书。

现在推荐给读者的这套教材,就是北京工业学院一批热心成人教育的同志奉献给广大自学者的礼物。全书包括高等数学、工程数学、普通物理、英语、机械制图、理论力学、材料力学、机械原理、机械零件、电工电子学等。本书不仅适用于函授学生和参加自学考试的人员,也可作为电大、夜大、职工大学、甚至普通高等学校学生的参考资料。

参加编写的同志把自己多年积累的丰富的教学经验和心得编入书中,力求按照自学者学习特点和规律进行编写,使本书具有鲜明的特色。全书内容取材适当,重视基本概念和基本理论,并保证一定的高度和深度;为了便于自学,书中叙述详尽细致,讲解深入透澈;书中编有具体的自学指导,针对性强,编排合理,指导及时,便于读者参阅使用;全书力求文字简洁,通俗易懂,生动活泼,引人入胜。

希望这套书能够有效地帮助读者顺利学习,迅速自学成材,这是编者们的最大心愿。

孙树本

一九八五年二月于北京工业学院

序

本书是根据1981年12月教育部高等工业学校函授教学工作会议审定的机械类机械零件函授教学大纲，以及教育部(83)教成字002号文件精神，并参照全国重点高等工业学校四年制机械类机械零件教学大纲，结合编者从事多年机械零件教学的实践经验编写而成的。

编写时，着重考虑了函授教育的特点，内容上力求重点突出，简明扼要，尽量作到少而精，既注意了对基本知识、基本设计理论和基本设计方法深入浅出地阐述，又适当地反映了机械零件设计方面的现代成就和发展。为便于读者自学，开始就介绍了本课程的特点和学习方法。每一章前面有“内容提要与自学指导”，每一章末尾有“小结”与习题；节后则有复习思考题。书中举了较多的设计计算实例。对于较复杂的公式还用小字作了较详细的推导和证明。这些措施，有利于读者建立清晰的思路，把基本内容学到手，从而提高分析问题和解决问题的能力。

全书采用国家规定的法定计量单位，其它有关标准也一律引用最新的国家标准。

参加本书编写的有彭荣济（致读者以及第一、九、十、十一、十二章），崔国泰（第二、三、八章），李振清（第四、五、六、七章）。李振清任主编。全书由毛谦德教授审定。

由于编者水平有限，漏误及不当之处在所难免，殷切希望使用本书的广大读者批评指正。

编者

1986.5.

致 读 者

在叙述本课程基本内容之前，先对课程作一简明的介绍。希望通过这一介绍，能使读者对本课程的内容、性质和任务有一个概貌性的了解，从而初步明确本课程的特点和学习方法，以便采取结合自己具体条件的最佳对策。并且希望读者在今后学习本课程的过程中，逐步加深对课程的理解，不断总结经验，改善自己的学习方法，以求提高学习效果。

一、课程的内容、性质和任务

随着生产技术的迅速发展，机器的品种愈来愈多，结构愈来愈先进，质量愈来愈高。常见的如汽车、机床、起重机、拖拉机、飞机等等，都是机器。一台现代化的机器，其构成往往是很复杂的，常包括机械、电气、液压、气动、控制、监测等各个系统，但其中的主体则是机械系统；当然，机械系统本身的型式也是各式各样的，然而无论哪一台机器，其机械系统都是由一些基本结构单元所组成的。如一台普通车床的主传动系统，就由带传动、齿轮传动、轴、轴承和离合器等组成。我们所指的组成机器的基本结构单元，可以是单独的零件，如轴、弹簧，也可以是为完成某一功能组成在一起协同工作的一组零件的总体，如带传动、联轴器等，为了叙述上的方便，习惯上将其统称为机械零件。

机械零件的种类是多种多样的，为了研究方便起见，通常将其分为通用零件和专用零件两大类。通用零件系指在各种机器中都能遇到的零件，如齿轮传动、轴承、轴等。专用零件系指只在某些特定类型的机器中才出现的零件，如内燃机的曲轴，汽轮机的叶片，起重机的钢丝绳等。本课程仅研究应用最广泛的在一般条件下工作的通用零件的常规设计方法及有关问题。至于专用零件和特殊条件（如高温、低温、高速等）下工作的通用零件则在有关的专业课程中讨论。

本课程研究的具体内容是：机械零件设计的一般问题、螺纹联接、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器和离合器、弹簧等。研讨这些机械零件时，所采用的方法是根据其在机器中的使用条件和所应完成的功能，从工作能力出发，考虑结构、工艺、使用维护和成本等方面，阐明其设计原理和设计方法，以获得能正确地设计和改进这些零件的基础知识和技能，其中包括：如何选择零件的材料，如何合理而迅速地确定零件的结构和尺寸，如何选择零件的精度等级和表面质量，如何规定制造技术条件以及绘制工作图等。

由此可见，本课程的性质是以一般通用机械零件的设计为中心内容的设计课程，是一门技术基础课程。因为在学习本课程的过程中，将综合运用理论力学、材料力学、机械原理、机械制造基础、金属学及热处理、互换性及技术测量以及机械制图等有关知识，来解决通用零件的设计问题，因此，它在基础课和专业课之间起着承前启后的作用，并为专业课程的学习准备了必要的条件。

本课程的任务是：培养学生初步树立正确的设计思想，锻炼将来作为优秀工程技术人员应具有的踏实、严谨、刻意创新和勇于进取的优秀素质；掌握一般通用零件的工作原理、特

点、选用及其设计理论和常规的设计方法；学会综合运用在先修技术基础课程中所学的有关知识和技能，并初步了解整台机器的设计原则和主要内容，从而具有设计机械传动系统和简单机械的独立工作能力，具有在这一领域内初步的分析问题和解决问题的能力。

二、教学环节

本课程分两个阶段进行，前一阶段为课程学习阶段，通过自学、作业、测验和考试等环节，掌握课程内容；后一阶段，要作一次课程设计。课程设计是培养学生设计能力和独立工作能力的重要的教学环节，一般选择一台减速器等传动装置为题目，也可以以一台比较简单的机器或相应份量的机械设计方面的技术革新项目作为题目。

三、学习方法

1、认真自学，掌握教材内容 自学是函授教学的主要教学环节，本教材在编写过程中，充分考虑了便于读者自学，因此，要按照每章前的提要和自学指导以及函授教学计划所规定的进度进行认真而刻苦的自学。

本课程的绝大部分内容讲的是各个具体零件的设计，各成一个独立的系统。各章间前后一般联系不大，没有象基础课那样一门课具有整体的纵向系统性。在这里，每一种零件的设计是许多学科知识的综合运用，是横向的联系，而且与生产实际有着更紧密的关系。虽然如此，每一种零件的设计却有其共同的规律，有着共同的分析问题和解决问题的科学思维方法，分析过程大致是：概况→工作情况分析（该零件的工作原理和受力分析）→失效分析→建立设计计算准则→得出设计或校核公式→各影响因素的分析和参数的合理选择→主要参数和尺寸的确定和评价→结构设计→画工作图。每章内容的安排，也大体上遵循这一顺序。希望读者尽快适应本课程的这个特点，不要一成不变地沿用学习理论基础课那种学习方法和思维方式。最好是每学完一章，自己作一个小结，以便从各个具体的有代表性的典型零件的设计中逐步掌握设计规律，锻炼逻辑思维能力，并能设想出其它可能的方法和结构，达到举一反三的效果。

每节后面所附的思考题是帮助读者学习和检查是否掌握了教材内容的工具，希望能充分利用。

2、注意培养分析问题的能力 学习中要注意根据零件的实际工作条件进行分析，其中要着重了解计算的出发点，各个系数的物理概念和分析方法，影响零件工作能力的因素以及改进设计的方向和途径。至于公式的推导只要了解即可，对于复杂的计算公式，例如齿轮的设计公式，不要求硬记，但是对于为什么这样计算？要解决什么问题？公式的使用范围、式中各因素的影响以及为什么会有那种影响、各参数间的关系等等则要有清晰的了解。

还须指出，影响零件功能的因素很复杂，有很多问题不能单纯用理论公式来解决，要用到经验或半经验公式，有的结构和尺寸甚至完全根据设计者的经验来确定，这后一点，对于初学《机械零件》课程的读者来说，往往比较困难，甚至无从下手或不敢下手去作，这是自然的。希望读者能理解这是当前工程问题（包括机械设计问题）的现状和要求的反映，要逐步学会并适应这种解决工程实际问题的方法。

3、重视实践、多练习 《机械零件》是实践性很强的课程，决不能认为字面上懂了就掌握了。总的来说，学习本课程是“懂易用难”，要会用，特别是用好是很不容易的，然而“用”

才是我们的目的。因此，重视实践是非常必要的。这里指的实践，一方面是要多作练习和作业（学生如能独立完成本书所列的思考题和作业，就能满足本课程的基本要求），高度重视本课程的课程设计，要多练习徒手画结构图和必要的轴测图来表达设计意图，培养构形的能力。还要注意，机械设计（包括机械零件设计）和理论基础课程中的问题不同，它的问题往往是发散型的，有多个解，各个解均各有其优劣。如何根据具体条件来决定取舍，往往是比较难办的一个问题，特别是对于初学者，希望通过例题和习题，逐步学会处理多解问题。另一方面，希望在学习本课程的过程中，尽量到现场去观察实际机器和机械零件，观察其结构，分析其特点和应用，调查使用中出现的問題等等，以建立一个实际的概念，从实践中来提高自己的能力。

4、适当地阅读参考文献资料 除了阅读教材外，应力求适当地阅读有关的参考文献资料，包括机械零件专著，机械零件设计手册，有关机械零件的杂志等等，以获得更深一步的知识和新的信息。

目 录

致读者

第一章 机械零件设计概论	(1)
§ 1-1 机器应满足的要求和设计的主要内容.....	(1)
§ 1-2 设计机械零件应满足的基本要求、设计方法和步骤.....	(2)
§ 1-3 机械零件的计算准则.....	(4)
§ 1-4 机械零件的工艺性.....	(7)
§ 1-5 机械零件材料的选用原则.....	(7)
§ 1-6 机械零件设计中的标准化.....	(8)
§ 1-7 摩擦、磨损和润滑的基础知识.....	(9)
第二章 螺纹联接及螺旋传动	(19)
§ 2-1 螺纹联接的基本知识.....	(19)
§ 2-2 螺纹联接的拧紧和防松.....	(23)
§ 2-3 螺栓联接的设计.....	(26)
§ 2-4 单个螺栓的强度计算.....	(33)
§ 2-5 提高螺栓联接强度的措施.....	(44)
§ 2-6 螺旋传动.....	(47)
习题.....	(56)
第三章 键、花键、销、型面和过盈配合联接	(59)
§ 3-1 键联接.....	(59)
§ 3-2 花键联接.....	(62)
§ 3-3 销联接.....	(66)
§ 3-4 型面联接.....	(67)
§ 3-5 过盈配合联接.....	(69)
习题.....	(69)
第四章 带传动	(72)
§ 4-1 带传动的基本知识.....	(72)
§ 4-2 带传动的工作情况分析.....	(75)
§ 4-3 带传动的失效形式和计算准则.....	(79)
§ 4-4 三角带传动的设计.....	(80)
§ 4-5 其他带传动简介.....	(91)
习题.....	(97)
第五章 链传动	(99)
§ 5-1 链传动的基本知识.....	(99)
§ 5-2 套筒滚子链和链轮.....	(100)
§ 5-3 链传动的工况分析.....	(104)
§ 5-4 套筒滚子链传动的设计计算.....	(108)
§ 5-5 链传动的布置、张紧及润滑.....	(115)

习题.....	(117)
第六章 齿轮传动	(118)
§ 6-1 齿轮传动的基本知识	(118)
§ 6-2 轮齿的失效形式和计算准则	(122)
§ 6-3 齿轮的材料及热处理	(128)
§ 6-4 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(131)
§ 6-5 标准斜齿圆柱齿轮传动强度计算	(154)
§ 6-6 变位齿轮传动强度计算的特点.....	(163)
§ 6-7 直齿圆锥齿轮传动的强度计算.....	(165)
§ 6-8 齿轮传动的润滑.....	(174)
§ 6-9 齿轮的结构设计.....	(175)
习题	(181)
第七章 蜗杆传动	(182)
§ 7-1 蜗杆传动的基本知识.....	(182)
§ 7-2 普通圆柱蜗杆传动的基本参数和尺寸计算	(184)
§ 7-3 蜗杆传动的失效形式、计算准则及材料选择.....	(188)
§ 7-4 蜗杆传动强度、刚度计算	(189)
§ 7-5 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	(196)
§ 7-6 蜗杆传动的结构设计	(198)
习题.....	(202)
第八章 轴	(204)
§ 8-1 轴的基本知识	(204)
§ 8-2 轴的材料	(205)
§ 8-3 初步确定轴的直径.....	(207)
§ 8-4 轴的结构设计	(209)
§ 8-5 轴的强度校核计算.....	(215)
§ 8-6 轴的刚度计算	(221)
§ 8-7 轴的振动	(222)
习题.....	(225)
附表8-1~附表8-8.....	(226)
第九章 滚动轴承	(231)
§ 9-1 滚动轴承的基本知识	(231)
§ 9-2 滚动轴承类型的选择	(239)
§ 9-3 滚动轴承的计算	(240)
§ 9-4 滚动轴承的极限转速	(253)
§ 9-5 变工况下滚动轴承的计算	(253)
§ 9-6 一个支点上安装两个同型号的向心推力轴承的计算特点.....	(254)
§ 9-7 滚动轴承的组合设计	(256)
习题.....	(266)
附表9-1.....	(268)
附表9-2.....	(269)
附表9-3.....	(270)

第十章 滑动轴承	(272)
§ 10-1 滑动轴承的基本知识.....	(272)
§ 10-2 滑动轴承的典型结构.....	(272)
§ 10-3 轴瓦的结构与材料.....	(276)
§ 10-4 滑动轴承中润滑油的选用与润滑装置.....	(280)
§ 10-5 混合润滑滑动轴承的设计.....	(282)
§ 10-6 动压滑动轴承的承载原理.....	(284)
§ 10-7 液体动压普通圆柱形向心轴承的设计.....	(289)
§ 10-8 液体静压轴承简介.....	(298)
§ 10-9 空气轴承简介.....	(300)
习题.....	(301)
第十一章 联轴器与离合器	(302)
§ 11-1 联轴器与离合器的基本知识.....	(302)
§ 11-2 刚性固定式联轴器.....	(303)
§ 11-3 刚性可移式联轴器.....	(305)
§ 11-4 弹性联轴器.....	(307)
§ 11-5 联轴器的选择步骤.....	(311)
§ 11-6 操纵离合器.....	(312)
§ 11-7 自动离合器.....	(315)
习题.....	(318)
第十二章 弹簧	(319)
§ 12-1 弹簧的基本知识	(319)
§ 12-2 弹簧的材料、制造和许用应力.....	(321)
§ 12-3 圆簧丝圆柱螺旋拉伸(压缩)弹簧的应力、变形和刚度计算.....	(323)
§ 12-4 圆簧丝圆柱螺旋拉伸(压缩)弹簧的设计计算.....	(326)
§ 12-5 其他弹簧简介.....	(334)
习题.....	(337)
主要参考文献	(338)

第一章 机械零件设计概论

内容提要与自学指导

本章讨论设计机器和机械零件应满足的基本要求，机械零件的工作能力和设计准则，设计的一般程序和方法，以及与设计有关的基础知识。

通过本章的学习，要求读者对机器及零件设计有一个初步概念，对所阐述的基础知识有一个初步认识，更主要的是要将本章所阐述的各项原则应用到以后的设计中去。

§ 1-1 机器应满足的要求和设计的主要内容

一、机器应满足的要求

机器与机械零件是整体与局部的关系，要想设计出一台性能良好的机器，必须很好地设计或选择其零件，而零件的设计或选择又和对整台机器的要求密切相关。为此，需了解机器应满足的基本要求。对机器的基本要求有三方面，即：使用要求、经济要求和安全要求。

设计和制造机器的目的在于满足生产或生活上某种使用需要。因此，满足使用要求就是要使所设计的机器在给定的工作期限内能够有效地执行预定的功能。要达到这一点，在设计阶段，就要选择好机器的工作原理和机构组合，正确设计机器的各个零件。

经济要求表现为设计和制造该机器的成本低，使用时生产率高、能源消耗少、管理维修费用低等。

安全要求表现为充分注意避免发生人身和设备事故，最大限度地减轻操作人员的体力和脑力劳动强度，降低影响操作人员健康的噪声，消除对环境的污染，创造美观舒适的劳动条件等。

显然，设计时机械零件应满足的要求，是和机器应满足的要求直接相关的。例如，机器中的某个零件因强度不足以致在预定的期限内断裂，这不仅零件本身没有完成预期的要求，还将影响整台机器的正常运转。但是，对机械零件的要求可以提得更具体，并将其中最基本的要求作为设计机械零件的准则，在本章的 § 1-2 中将专门讨论这个问题。

二、机器设计的主要内容

机器的设计，大致可分为两类，一类为改进性设计，一类为开发性设计。改进性设计是在现有机器的基础上作某些局部改进，例如汽车的改型设计。开发性设计则是从无到有，要从机器工作原理的选定开始，又往往和新理论新技术的采用紧密相连，它是一种创造发明性的设计。当然，这并不是说，改进性的设计就不要求有创新了。刻意创新是设计的核心思想。只有有所创造才能使所设计的产品具有强大的生命力和竞争力。

无论哪一类设计，设计之初最重要的是明确设计任务。对委托单位所委托的任务或上级机关下达的任务，要全面而仔细地进行研究，研究其实现的现实可能性。然后，要以明确的技术语言将该机器的主要功能要求、具体的工作性能指标和主要参数、附加要求、经济指

标等等逐条拟定或逐条说明。在此过程中,要作调查研究,掌握有关信息,其中应包括国内外有无类似机器,曾经达到的水平,有关理论及其应用效果,有关新技术新结构和新工艺。所设计的机器将来可能的使用条件,市场需求,用户意见,以及有无有关的专利等。任务明确并审定了设计任务书以后,即可进行具体的设计工作,其主要内容如下。

1. 选择机器的工作原理 机器的工作原理的选择是设计过程中至关重要的内容,所采用的原理不同,机器的结构可以完全不一样。例如,要设计一台制造齿轮的机器,制齿原理可用范成法,也可用成形法,加工方法可用切削加工,也可用无切削的锻压或铸造等。这样,就有不同的制造齿轮的机器,(如滚齿机、插齿机、齿轮锻压机等)。对于改进性设计,可以就采用原有的工作原理,但是,随着科学技术的发展,一定要考虑全部或局部采用更先进的工作原理的可能性。只有这样,才能不断地推进技术的发展和经济效益的提高。对于开发性设计,精心选择所设计机器的工作原理则是必不可少的设计内容。选择时,应开阔视野,设想多种可能的工作原理,加以认真而细致的分析比较,以确定其中最佳的方案。必要时,要作工作原理的试验研究。

2. 机构设计 根据已拟定的工作原理,为完成预期的机械运动选择机构。选择时,也应该设想多种机构方案,进行综合技术经济评价,采用优化方法。方案确定后,画出机构简图、工作流程图等。

在上述各种方案的分析比较过程中,要多征求有关方面的意见,召开有领导干部、技术专家和工人参加的讨论会和论证会,以使方案更趋完善,更加符合实际。

3. 载荷的分析与计算 包括功率的计算和各主要零部件的受力计算。

4. 结构设计 结构设计主要包括:机器的总装图设计,零部件的工作能力计算,并绘出部件装配图和零件工作图(此部分是机器设计中很重要的内容,也是本课程要详加讨论的内容);各种工作系统设计,包括润滑系统、液压系统、电气系统,操纵控制系统等;编制技术说明书和计算说明书。

5. 试制和鉴定 通过试制和鉴定,可以发现问题,进行必要的修改和补充,以进一步提高产品的性能和质量。

§ 1-2 设计机械零件应满足的基本

要求、设计方法和步骤

一、设计机械零件应满足的基本要求

前已述及,设计机械零件时应满足的要求是从设计机器的要求中提出来的。具体地说,有下列几方面。

1. 在预期寿命内保持应有的功能 即满足使用要求。为此,所设计的零件应有足够的强度、刚度、耐磨性等等。

2. 良好的结构工艺性 所谓良好的结构工艺性,是指在既定的生产条件下,能方便而经济地将该零件生产出来,并便于装配成部件和机器。关于零件结构工艺性的问题,在§ 1-4中还将讨论。

3. 成本低 所设计的零件具有良好的工艺性对降低成本具有直接的影响。此外,选用价廉而供应充足的材料以代替贵重材料,降低材料消耗,缩短生产周期,采用标准化的零部

件,降低制造和使用过程中的能源消耗,便于维修等等,都是降低成本的途径。

4. 安全 避免发生人身和设备事故,便于操作者操作。

二、机械零件的设计方法

目前,常用的机械零件的设计方法有下列两种。

1. 理论设计 根据基础理论(主要为力学)和实验数据所进行的设计,称为理论设计。例如根据材料力学的应力计算方法计算拉杆的断面尺寸,就是一种理论设计。

2. 经验设计 根据对某类零件已有的设计与使用经验而归纳出来的关系式(称为经验公式),或用类比的办法,或根据设计者本人的实践经验所进行的设计,称为经验设计。对于使用经验较丰富、结构已经典型化且又不便进行理论计算的零件,这是一种有效的 设计方法。例如减速器箱体的设计,就用这种方法。

值得注意的是,电子计算机技术的飞速发展,它已不只是一种单纯的高效率的 计算工具,而是日益成为人们进行创造性设计活动的有力助手。因此,进入80年代以来,逐渐形成了一门新兴学科——计算机辅助设计,简称CAD (Computer Aided Design)。利用电子计算机已能自动完成机械零、部件甚至整个机器的计算、绘图、优化、判断等工作,逐步向辅助人们思维,拟定设计方案和设计制造一体化等方向发展。关于CAD,已有专门课程讲授,在此不再重复。

另外,对于尺寸大、结构复杂的重要零件,为了提高设计的可靠性,可采用按初步设计的零、部件或机器,作成小模型或小样机,对其进行实验、验证和修正设计。这种设计称为模型实验设计。这种方法成本高,只有在特别必要时才采用。

三、设计机械零件的一般步骤

当机器的总体方案已经确定,运动和动力分析已基本完成,就要在进行部件结构设计的同时,着手进行零件的设计。由于零件是机器的组成部分,彼此密切相关,故在设计时,二者往往要交叉进行。需要说明的是,任何一成不变的零件的设计步骤是不存在的。因此,只是为了让读者对零件设计有一个初步的认识,列出一个采用“理论设计方法”时的大致的步骤:

- (1) 明确对该零件的具体要求;
- (2) 选择材料;
- (3) 拟定计算简图;
- (4) 工作能力计算,根据工作能力计算准则,计算其主要尺寸;
- (5) 结构设计,根据已定出的主要尺寸,考虑工艺、装配和标准化等因素,详细定出零件的结构和全部尺寸;
- (6) 绘制零件工作图;
- (7) 整理计算说明书。对说明书的要求是正确、简明、清晰。列出重要的公式和数据,并注明来源出处。

至于经验设计,步骤大体与上述的相同,只是以经验公式或设计者的经验代替了按工作能力计算来确定尺寸。

还须说明的是,对某些零件,有既用理论设计又用经验设计的情况。即该零件有些尺寸

按理论公式定出,有些尺寸则按经验设计定出。或者先按经验定出尺寸,再作一些理论验证。

§ 1-3 机械零件的计算准则

机械零件由于某些原因不能在既定的条件和期限内正常工作时,或者说失去设计时预定的效能时,称为失效。由于具体工作条件不同,机械零件可能产生的失效形式也不同。常见的失效形式有:突然断裂、疲劳断裂、表面过量的磨损、腐蚀和压溃、过量的变形、振动过大、靠摩擦力工作的零件产生不允许的打滑等等。

机械零件抵抗失效的能力,称为工作能力。同一零件可能有好几种不同的失效形式,因而对应于各种失效形式也就有相应的工作能力。例如,轴的失效可能是由于疲劳断裂,也可能由于过量的弹性变形。因此,在前一种情况下,轴的工作能力取决于轴的疲劳强度,后一种情况则取决于轴的刚度。显然,轴在这两方面都应具有足够的工作能力。

衡量机械零件工作能力的指标,有强度、刚度、寿命、振动稳定性等等,它们是确定零件基本尺寸的主要依据,即我们进行设计时的最基本的计算准则。现分述如下。

一、强度准则

零件的强度分为体积强度和接触强度。

零件在载荷^①作用下,如果应力是在较大的体积内产生,这种应力状态下的强度称为体积强度,也是我们一般所指的强度。如零件的强度不够,就会出现断裂或过量的塑性变形,这将严重影响机器的正常工作,甚至发生重大事故,因而,强度是一切零件应满足的最基本的要求。

如果两个零件是线接触或点接触,受载后,受压变形为一很小的面接触,在表面产生很大的局部应力,这种应力称为接触应力。例如轮齿接触处产生接触应力 σ_H (图1-1)。这时,零件的强度称为接触强度。如零件的接触强度不够,将出现表面失效。

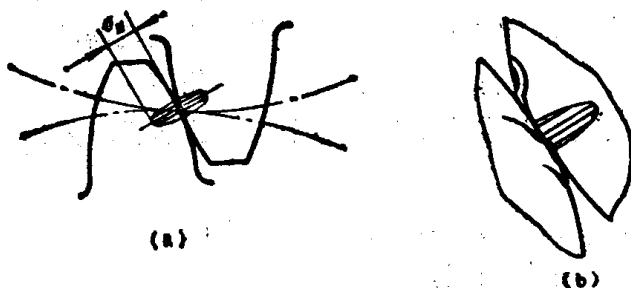


图1-1 齿轮轮齿的接触与接触应力

(a) 轮齿接触; (b) 因接触强度不够出现裂纹和脱落(称为点蚀失效)。

由此可见,强度是对零件进行计算所依据的最基本的计算准则。

目前,工程上是用应力状态来表征

强度,因此,强度准则就是指零件中的应力不得超过允许的限度,其表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1-1)$$

或

$$\tau \leq [\tau] \quad (1-2)$$

式中 σ ——零件中的工作正应力;

τ ——零件中的工作剪应力;

^①作用于零件上的外力 F 、弯矩 M 、转矩 T 统称为载荷。

$[\sigma]$ ——许用正应力；

$[\tau]$ ——许用剪应力。

二、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。对某些零件来说，刚度不够，即使有足够的强度，也不能正常工作，例如齿轮轴的弯曲挠度过大，就会影响齿轮的正常啮合。刚度计算准则就是指零件受载时的弹性变形量不得超过机器工作性能所允许的极限值。其表达式为

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

式中 y ——零件在载荷作用下产生的弹性变形量； $[\gamma]$ ——许用变形量。

三、耐磨性准则

耐磨性是指作相对运动的零件工作表面抵抗磨损的能力。很多零件的使用寿命取决于耐磨性，因为，零件的磨损量超过允许值后，尺寸和形状将改变，不能再保持原来预定的功能，应予以报废、更换或修复。

由于磨损过程相当复杂，影响因素又很多，而且很难准确估计，所以，到目前为止，尚无准确计算磨损量的通用方法。

耐磨性准则指的是零件的磨损量在预定的期限内不超过允许值。关于磨损量的计算，本课程不予讨论。但是，对提高零件耐磨性的一些行之有效的措施，则应有充分的了解。例如采用不同的润滑方式，采取各种防护措施以防止灰尘等异物侵入，采用各种表面处理方法，选用减磨材料等。

四、振动稳定性准则

一般振动会使零件产生额外的变应力，使零件早期疲劳断裂，也是噪音产生的根源。对于某些精密机械，例如机床，振动将使其产品的质量降低。振动不稳定性中最常见的是共振。如果零件的固有频率与激振源的频率接近（或整数倍）时，该零件就很可能发生共振，使振幅急剧增大，导致零件迅速损坏。在这种情况下，振动稳定性准则就是在设计时使零件在工作中不发生共振现象。关于振动的计算，在理论力学课程中已作过介绍，在本书的第八章轴的设计中也将讨论轴的振动问题。

五、耐热性准则

零件工作时，如温升过高，将导致润滑油失去作用，材料的强度极限下降，引起热变形及附加热应力等，从而使零件不能再正常工作。耐热性准则就是根据热平衡条件，使计算出的工作温度不超过许用工作温度。

六、可靠性准则

一批经过正确设计的零件，由于材料的机械性能、加工精度和表面质量、外载荷的大小都存在着离散性，其中有一部分零件可能早期失效。这种情况，如发生在类如飞机这样的机器设备上，将造成严重的事故。因此，要求把这种情况限制在一定程度以内，也就是要对零

件提出可靠性要求。

可靠性的概念在日常生活中并不陌生，人们对于产品（例如家用电器）除了要求性能好，价格低，外型美观等外，还要求有可靠性。但过去对于可靠性的评价没有数量指标，只是定性地加以比较。随着可靠性这门学科的发展，目前，已能利用可靠性计算方法定量地说明可靠程度，有些机械零件（或机器）也要求以可靠度作为计算准则。

产品在规定的使用条件下和规定的时间内完成规定功能的概率，称为可靠度。可靠度（Reliability）用 R 表示。例如有一大批某种零件，其件数为 N_0 ，在预定的时间 t 后仍有 N 件能正常工作，则可靠度为

$$R = \frac{N}{N_0} \quad (1-4)$$

如预定的时间更长，能继续正常工作的件数 N 将减少，可靠度也将改变。可见，零件的可靠度本身是一个时间的函数。

举例来说，材料的疲劳极限是离散的，在一般手册中所给的对称循环下的疲劳极限 σ_{-1} 值是平均值，可靠度为 0.5。如手册中列出 45 号钢的 σ_{-1} 为 280MPa，要理解这是可靠度为 0.5 下的值，意思是大批这样的材料试件作实验时，在 280MPa 应力下做实验只有 50% 的试件能达到预期的循环次数（一般定为 10^7 次）。如果要提高可靠度，就应降低 σ_{-1} 的值。不同可靠度下的疲劳曲线示于图 1-2。实验表明，对于钢材， $R = 0.99$ 下的疲劳极限约为 $R = 0.5$ 下的疲劳极限的 0.8 倍，即要降低 20% 左右。从另一个角度看，在同样的条件下，只是预定的时间减少，在这里是应力循环次数由 10^7 次降低为 N_1 次时，则可靠度由 0.5 提高到 0.99（图 1-2）。

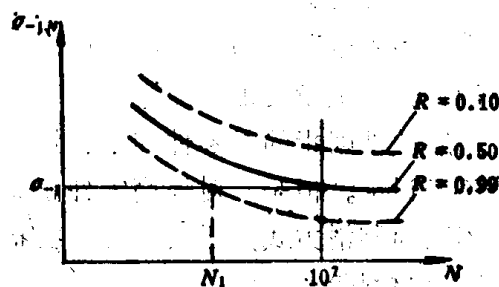


图1-2 不同可靠度下的疲劳曲线示意图

再举一例，选择滚动轴承时，要根据产品样本或手册上所给出的额定值以确定其型号大小，而额定值是按可靠度为 0.9 给出的。因此，根据其额定值所选出的滚动轴承，可靠度为 0.9，在使用过程中，此轴承可能在预定寿命以前就失效，也可能达到预定寿命还没有失效，也可能大大超过预定寿命。显然，达到甚至超过预定寿命的可能性是 90%。如果所设计的机器中，认为可靠度 0.9 太低，那就可以进行高可靠度下轴承的计算，关于这些问题，本书后面还要讲到。

关于可靠性，只要求读者有一个初步的但应是比较明确的概念。更深入的知识，可参看可靠性设计方面的专著。

复习思考题

1. 设计机器及其零件应满足哪些基本要求？机器设计的主要内容是什么？
2. 何谓失效？举例说出你所知道的机械零件的失效形式。
3. 什么叫机械零件的工作能力？什么叫机械零件工作能力的计算准则？机械零件有哪些计算准则？
4. 何谓产品的可靠度？试举例说明。
5. 机械零件常用的设计方法有几种？列出设计机械零件的一般步骤。
6. 试分析一部机器或部件（从自己所熟悉的机器中找，如机床、起重机、汽车、自行车、洗衣机、缝纫机等）的功能、工作原理、结构方案。如果让你设计，应考虑哪些问题？原机器有无可以改进之处？

7. 了解所在单位有何机械产品（或工艺设备）的设计任务或设想。你能否提出一种？能否定出该产品的大致的方案？

§ 1-4 机械零件的工艺性

前已述及，所设计的机械零件应具有良好的工艺性，以便于制造和装配，并从而降低成本。为获得良好的工艺性，常从下列几方面来考虑。

一、零件的结构应力求简单、合理

在满足零件功能的条件下，应尽量采用简单表面（如圆柱面，平面）构成零件的外廓，并使加工表面最少和加工面积最小。这样，既便于机械加工，又容易保证加工精度。

二、毛坯的选择应合理，零件的结构应与之相适应

零件的毛坯可用铸造、锻造、焊接、轧制、冲压、冷拉等方法制造。选择毛坯种类时，要考虑零件的工作要求、生产条件、批量大小及零件的形状。例如，结构比较复杂的减速器箱体，当批量大时，宜用铸造毛坯，单件生产则用焊接。对于锻件，单件或小量生产时，宜用自由锻，大量生产则用模锻。采用毛坯的形式一旦选定，则零件的结构就应与该种毛坯对结构的要求相适应。例如铸件，就应考虑壁厚不宜太薄，各处的壁厚也不应有过大的差异等，以适应铸造工艺。

三、零件的结构应便于装拆和调整

举例来说，如图 1-3 所示的盖子与机体，因贴合紧密，不便于拆下，故在盖子上设有螺纹孔，以便安装专门的拆卸螺钉。只要拧动螺钉，就能使二者分离。

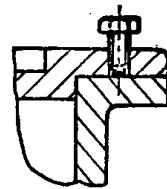


图1-3 增设拆卸螺钉以便于拆下盖子

四、制造精度和表面粗糙度应选得合适

制造精度越高，表面粗糙度越低，加工费用就越高，因此，应在满足使用要求的原则下恰当地选取。

五、遵循国家标准、尽量采用标准件

六、采用新技术、新材料和新工艺

不断了解机械制造的发展，应尽量考虑采用新技术、新材料和新工艺，以便进一步改进产品质量，降低制造费用。

还必须强调指出，设计者必须深入实际，向工艺人员和工人学习，共同研究，才能使所设计的零件具有更好的工艺性。

§ 1-5 机械零件材料的选用原则

用于制造机械零件的材料品种很多，最常用的是钢和铸铁，其次是有色金属（如铝合

金、铜合金等), 非金属材料(如塑料、橡胶等)和各种复合材料。关于材料的基本知识已在有关的课程中介绍过, 在此不重复。

选择材料是机械零件设计过程中的一个重要环节, 也直接影响该零件的工作性能和成本。本节主要介绍材料选用的原则, 在以后的各章中还要介绍设计具体零件时, 这些原则是怎样体现的。

所谓材料的选用原则, 即应满足使用、工艺和经济三方面的要求。

一、使用要求

满足使用要求, 是选择材料最基本的原则。例如零件的工作和受载情况, 对零件尺寸和重量的限制, 零件的重要性等因素, 均影响零件材料的选择。具体地说:

- (1) 当零件所受载荷大又要求尺寸小或重量轻时, 可选用强度高的材料;
- (2) 当零件的工作条件是有冲击振动时, 可选用韧性好和吸振性强的材料;
- (3) 当零件在腐蚀性介质中工作时, 应选用耐腐蚀的材料;
- (4) 在滑动摩擦下工作的零件, 应选用减摩性能好的材料;
- (5) 当零件的接触应力较高, 如高强度齿轮、滚动轴承, 应选用可进行表面或整体处理以提高表面硬度的材料;
- (6) 当零件承受变应力时, 应选用疲劳强度较高的材料, 但有时也可选用强度较低的材料, 而采用改进结构形状或表面硬化处理的方法来提高疲劳强度;
- (7) 在高温下工作的零件, 应选用耐热材料。

二、工艺要求

工艺要求是指所选用的材料应“好加工”, 即能以简易方法加工出合乎质量要求的零件。例如:

- (1) 零件为比较复杂的铸件时, 应选用流动性较好的材料;
- (2) 焊接零件应选焊接性能优良的材料;
- (3) 冲压零件应选用塑性好的材料。

三、经济要求

经济要求首先表现在材料成本和加工成本上。采用价格低的材料能满足要求时, 就不应选择价格高的材料, 但一定要考虑加工该种材料的费用。作综合比较, 对于大量生产的零件, 这种经济核算尤为重要。其次, 表现在节约材料特别是节约稀有材料上, 例如, 采用无切屑加工工艺以提高材料的利用率(如精密铸造、冷拉毛坯等), 采用组合结构以减少贵重材料(如蜗轮采用青铜齿圈与铸铁轮心的组合结构以节约青铜)。另外还要考虑材料的供应状况, 尽量选用易于供应的材料, 在综合考虑的前提下, 尽可能减少所使用的材料的品种和规格。

§ 1-6 机械零件设计中的标准化

许多零件(如滚动轴承、螺栓、键等)的尺寸、性能、品种以及标号等都已经标准化和