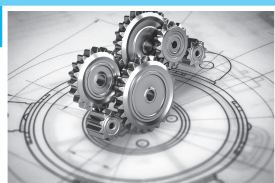


新时代高等教育立体化精品教材

机械设计



J I X I E S H E J I

主 编 郭 敏 范青荣
副主编 范福兰 陈 健
参 编 郑成基 周 超
陈 鹏 胡国宾



北京出版集团
北京教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/郭敏, 范青荣主编. --北京: 北京教育出版社, 2023.5

ISBN 978-7-5704-5154-8

I. ①机… II. ①郭… ②范… III. ①机械设计
IV. ①TH122

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 003332 号

机械设计

郭敏 范青荣 主编

*

北京出版集团 出版
北京教育出版社

(北京北三环中路6号)

邮政编码: 100120

网址: www.bph.com.cn

京版北教文化传媒股份有限公司总发行

全国各地书店经销

北京盛通印刷股份有限公司印刷

*

787 mm×1 092 mm 16 开本 22 印张 494 千字

2023 年 5 月第 1 版 2023 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5704-5154-8

定价: 56.00 元

版权所有 翻印必究

质量监督电话: (010)58572525 58572393 购书电话: (010)59812309

前言

党的二十大报告指出：“教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑。”高等院校坚定贯彻党的二十大精神，需要秉承立德树人的教育宗旨，坚持为党育人、为国育才，培养饱含家国情怀、甘为国家科技事业献身、勇于承担使命担当的科技创新人才，为全面建设社会主义现代化国家提供坚实基础与源源动力。

“机械设计”是高等院校机械类专业的主要技术基础课程之一，其主要内容是机械中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。该课程的教学目标是通过课堂教学与技术实践，学生能够初步具备设计通用零件、简单机械系统以及利用各种技术和现代工具分析求解工程实际问题的能力。

本书是根据教育部制定的《机械设计课程教学基本要求》以及目前教学改革的实际需求而编写的，在编写的过程中力求体现以下几个特点。

1. 为更好地推进党的二十大精神进教材、进课堂、进头脑，本书融合课程思政理念，设计了“育人目标”“思政元素”“思政园地”等模块，践行“三全育人”理念，提升学生综合素质。

2. 全书以培养学生机械类专业的基本素质和综合设计能力为主，有机结合机械类专业所涉及的基础课程知识，对其知识体系进行规划和整理，做到多位一体、相互融合。

3. 本书在编写内容时注重高技能人才培养的需要，在适当减少课程学时、加强基础教学内容的同时增加了结构设计的内容，以提高学生的综合实践应用能力和技术创新能力。

4. 全书取材注重先进性与实用性，反映机械设计领域的最新成果，采用现行的国家标准和规范，章后辅以思考与练习。

5. 为贯彻实施国家教育数字化发展战略，本书配备了丰富的教学资源，读者扫描书中二维码即可观看相关知识点的微课视频和演示动画。这些教学资源辅助学生自主学习，全面培养学生的专业素养。

本书共四篇十七章，包括机械设计总论(机械设计概要、机械零件的强度、机械零件的摩擦与润滑)、连接(螺纹连接、轴毂连接、其他连接)、机械传动(带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、螺旋传动)、常用零部件(轴、滚动轴承、滑动轴承、联轴器、离合器和制动器，弹簧，机座和箱体)。

本书由郭敏和范青荣担任主编，范福兰、陈健担任副主编，郑成基、周超、陈鹏和胡

国宾参与编写，具体编写分工如下：郭敏负责编写第十三至十七章，范青荣负责编写绪论、第一至八章和第十一至十二章，范福兰负责思政内容审核，陈健负责编写第九至十章，郑成基负责全书公式编写，周超负责绘图，陈鹏、胡国宾负责思政内容收集。郭敏和范青荣负责全书统稿。

本书可作为高等院校机械类专业的基础课教材，也可作为非机械类专业学生或相关工程技术人员参考用书。

对于全书所参考并引用的图表和相关文献的作者，编者在此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 机械设计总论

第一章 机械设计概要	4	第二章 机械零件的强度	21
第一节 机械设计的基本要求与一般程序	4	第一节 载荷与应力	21
第二节 机械零件的失效形式与设计基本要求	9	第二节 机械零件的疲劳强度	24
第三节 机械零件的设计准则与方法	11	第三节 机械零件的接触强度	38
第四节 机械零件的材料选择	14	思考与练习	40
第五节 机械零件的设计步骤	17	第三章 机械零件的摩擦与润滑	41
第六节 现代机械设计	18	第一节 机械零件的摩擦与磨损	41
思考与练习	20	第二节 润滑剂	45
		第三节 常用的润滑方式	50
		思考与练习	52

第二篇 连接

第四章 螺纹连接	54	第五章 轴毂连接	84
第一节 螺纹概述	54	第一节 键连接	84
第二节 螺纹连接类型	57	第二节 花键连接	91
第三节 标准螺纹连接件	59	第三节 无键连接	94
第四节 螺纹连接的预紧与防松	62	第四节 销连接	96
第五节 螺栓受力分析与设计计算	67	思考与练习	98
思考与练习	82		

第六章 其他连接	99	第三节 胶接	107
第一节 焊接	99	思考与练习	109
第二节 铆接	104		

第三篇 机械传动

第七章 带传动	112	第八节 齿轮传动的效率与润滑 ..	191
第一节 带传动概述	112	第九节 齿轮的结构设计	194
第二节 带传动的工作特性	117	思考与练习	197
第三节 V带传动设计	122	第十章 蜗杆传动	198
第四节 V带轮的结构设计	132	第一节 蜗杆传动概述	198
思考与练习	134	第二节 圆柱蜗杆传动的主要参数和 几何尺寸	202
第八章 链传动	135	第三节 圆柱蜗杆传动的设计准则及 设计计算	208
第一节 链传动概述	135	第四节 蜗杆传动的失效形式和常用 材料	213
第二节 链传动的工作特性	142	第五节 蜗杆传动的效率、润滑及散 热计算	214
第三节 滚子链传动设计	147	第六节 圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计	217
第四节 链传动工作性能保证	153	思考与练习	218
思考与练习	156	第十一章 螺旋传动	220
第九章 齿轮传动	157	第一节 螺旋传动概述	220
第一节 齿轮传动概述	157	第二节 滑动螺旋传动	222
第二节 齿轮传动的受力与载荷 ..	158	第三节 滚动螺旋传动	226
第三节 齿轮的材料选择	165	第四节 静压螺旋传动	228
第四节 齿轮传动的设计准则与精度 等级	168	思考与练习	229
第五节 齿轮传动的主要失效形式	170		
第六节 齿轮传动的参数选择和许用 应力	174		
第七节 齿轮传动的强度计算	180		

第四篇 常用零部件

第十二章 轴	232	第二节 轴的结构设计	236
第一节 轴概述	232	第三节 轴的计算校核	243



思考与练习	248	第十五章 联轴器、离合器和制动器	304
第十三章 滚动轴承	249	第一节 联轴器	304
第一节 滚动轴承概述	249	第二节 离合器	314
第二节 滚动轴承的类型与选择	251	第三节 制动器	318
第三节 滚动轴承的载荷分布、失效形式与计算准则	258	思考与练习	319
第四节 滚动轴承的寿命计算和载荷计算	261	第十六章 弹簧	320
第五节 滚动轴承的组合设计	268	第一节 弹簧概述	320
思考与练习	277	第二节 圆柱螺旋弹簧的结构特点	323
第十四章 滑动轴承	278	第三节 圆柱螺旋弹簧的材料和制造工艺	325
第一节 滑动轴承概述	278	第四节 圆柱螺旋弹簧的设计计算	328
第二节 滑动轴承的典型结构	283	思考与练习	334
第三节 轴瓦的结构特点	286	第十七章 机座和箱体	335
第四节 滑动轴承的润滑	288	第一节 机座和箱体的结构概述	335
第五节 径向滑动轴承的设计计算	291	第二节 机座和箱体的设计	337
思考与练习	303	思考与练习	342
		参考文献	343

绪 论

机器是执行机械运动的装置，具有变换或传递能量、物料或信息的作用。各类机器依靠不同的结构可实现各种需求功能，这些机器通常都含有机械、电气、液压、气动、润滑、冷却、控制、监测等系统，其中机械系统为核心主体。机械系统由若干机构组成，各个机构又以若干零件为组成要素，各机器中不可拆的基本制造单元为机械零件。

机械零件通常在机构中按给定的规律或确定的位置做相对运动和相互连接。按不同的使用情况，机械零件可分为常用的通用零件(如螺钉、链轮、齿轮等)和只在特殊机器中使用的专用零件(如纺织机中的织梭、往复机械中的曲轴和活塞等)。一组协调工作的零件组成独立加工或独立装配的合体，即可称为部件，常见的有联轴器、轴承和减速器等。由于机器的性能很大程度上取决于零件的性能以及各零件之间的配合，所以，必须正确设计和合理选择机械零件。

机械设计是机械类专业学生必须学习的一门主干技术基础课，涉及多个学科，如数学、物理、化学、力学、材料学和制造技术等，其主要任务是应用新式科学原理或发明，设计出满足人们生产活动所需且具有市场竞争力的机械产品。本书在介绍机械设计基本知识的基础上，重点介绍机械零件的基本设计理论和设计方法，标准零件(简称“标准件”)的正确选用以及相关技术资料、标准的应用等。本书的具体内容包括以下几个方面。

- ① 机械设计总论，包括机械设计概要、机械零件的强度及机械零件的摩擦与润滑。
- ② 连接，包括螺纹连接、轴毂连接及其他连接。
- ③ 机械传动，包括带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动及螺旋传动。
- ④ 常用零部件，包括轴，滚动轴承，滑动轴承，联轴器、离合器和制动器，弹簧及机座和箱体。

由以上可知，本课程是以一般通用机械零件的设计为核心的设计性课程，主要为以机械学为主干学科的各专业学生论述机械基本设计理论与方法，旨在培养学生通过理论学习和课程设计初步掌握设计一般机械的能力。本课程对学生的培养目标如下。

- ① 树立正确的设计思想，开发创造性思维 and 创新能力。
- ② 掌握机械设计所需的基础知识和基本理论以及机械设计的一般规律，具有综合运用所学知识设计一般机械传动部件和简单机械装置的能力。
- ③ 具有运用标准、规范、手册、图册和网络信息等有关技术资料的能力。
- ④ 掌握典型机械零件及机械系统的试验方法，获得试验技能的基本训练。



⑤了解现代设计技术与国家当前相关技术经济政策，对机械设计的新发展有所了解。

机械设计的理论性和实践性很强，要求学生在课程学习中综合运用在先修课程中所学的有关知识与技能，根据本课程特点并结合各教学实践环节的基本训练学习和理解机械设计的内容，以此培养自身的设计和构思能力，提高专业理论水平，使自己初步具备发现问题、分析问题和解决问题的能力，为顺利过渡到专业课程的学习和专业产品设计奠定基础。

The background is a vibrant blue with various abstract geometric patterns. In the upper left, there are several concentric white circles and small white plus signs. To the right, there are white hexagons and thin white lines. In the lower half, there are large, flowing, light-blue curved shapes that create a sense of motion and depth. A horizontal band of a slightly darker blue color runs across the middle, serving as a backdrop for the title text.

第一篇 机械设计总论

第一章

机械设计概要



育人目标

1. 确立正确的机械设计思想，了解国家的科教兴国战略。
2. 了解在国内机械行业发展过程中做出巨大贡献的榜样人物，培养团队合作、敬业奉献、服务人民的精神。



学习目标

1. 掌握机械设计的基本要求。
2. 了解机械设计的一般程序。
3. 了解机械零件的失效形式和设计准则。
4. 了解机械零件材料的选择原则。

机械设计是以满足社会需求为前提，拟定一定条件下最优的机械技术系统。机械设计具有以下特点：设计的机械系统必须满足社会的某项需要，设计必须具有创造性，设计必须结合生产实际，设计的产品必须具有竞争力等。机械设计与其他学科的发展相辅相成，现代设计融合电子信息技术，使机械产品设计向着机电一体化系统设计方向发展。同时，计算机技术、控制技术、现代制造技术等新技术的出现，推动着机械设计方法和技术革新与发展。

★ 微课



认识机械

第一节 机械设计的基本要求与一般程序

一、机械设计的基本要求

机械设计是机械生产的首要环节。从社会需求出发，要求设计者经市场调研、分析和设计，提供产品生产所需的全部技术资料，以作为产品生产的依据。产品是否能带来效益取决于设计的成败，若设计不当，错误地进行制造与销售，要改正这些错误则须付出巨大的代价。因此在实际的机械产品设计中，要合理地根据产品功能确定设计要素，确保设计

满足以下基本要求。

(一)所设计的产品应满足社会需求

机械产品设计的预定功能以社会需求为出发点,以满足各类用户的切实需求为目的。所谓需求,即对功能的需求。功能是指产品的效能、用途和作用,这是产品是否研制成功的第一判断条件。用户购买产品就是购买产品的功能,这就要求设计的机械产品具有预定的使用功能。设计者要对所需功能进行剖析,正确地选择机器的工作原理,正确地设计或选用能够全面实现功能要求的相关机械系统,以及合理地配置必要的辅助系统来实现目标功能。

由于需求不断变化,所以产品能实现的预定功能也要随之改变。市场需求随着社会进步不断扩大,产品更新换代的速度也会加快,设计者必须紧跟市场发展步伐,厘清当前需求并预测今后需求变化的趋势,分析功能指标,剔除冗余,新增市场需求的功能。利用功能原则,才能对现有产品的功能进行改善,并且研发新品以提高市场竞争力。保证产品功能的准确实现是机械设计成功的第一步。

(二)所设计的产品应满足可靠性要求

当前机械系统的组成日益复杂化,产品的可靠性问题越来越突出。可靠性是指产品在规定的条件下和时间内完成规定功能的能力。其中,“规定的条件”是指针对产品可靠性考核时的使用条件和环境条件,包括载荷状况、应力、强度、湿度、粉尘等;“规定的时间”是指在考核过程中,产品的运行时间、应力循环次数、行驶的里程等;“规定功能”即考核对象,是指该产品所能实现的具体功能。当产品的规定功能无法实现时,则称该产品失效,可修复产品的失效则称为故障。一个产品的可靠性与机器的设计、制作、操作、维护等息息相关。因此,在产品的生产使用中要遵守基本准则要求,以确保产品的可靠性。

可靠性是衡量产品质量的重要指标之一。设计者在开发产品时也要注重对其可靠性的设计,要对可能发生的故障或失效进行分析和预测,提出相应的预防措施。机械产品的可靠性主要通过可靠度 $R(t)$ 、失效概率 $F(t)$ 、失效率 $\lambda(t)$ 等指标来衡量。

可靠度 $R(t)$ 是指在规定的使用条件和使用时间内机械产品能够正常工作的概率,一般 $0 \leq R(t) \leq 1$ 。假设有 N_0 个相同的产品,在工作时间 t 内有 N_f 个产品失效,能正常工作的产品为 N 个,则可靠度可由式(1-1)表示:

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

失效概率 $F(t)$ 即不可靠度,其与可靠度的关系如式(1-2)所示:

$$F(t) = \frac{N_f}{N_0} = 1 - R(t) \quad (1-2)$$

当工作时间不断延长时,正常工作的产品数 N 会不断减小,可靠度 $R(t)$ 逐渐降低,则失效概率 $F(t)$ 逐渐上升。

当产品工作到某一时刻后,在单位时间内发生失效或故障的概率称为失效率 $\lambda(t)$ 。

$$\lambda(t) = -\frac{dN}{N dt} \quad (1-3)$$

式中，负号表示 dN 的增大将使 N 减小， dN 表示时间 t 到 $t + dt$ 的间隔中发生破坏的产品数量。

机械产品的故障率曲线如图 1-1 所示，因曲线状似浴盆，故常称为浴盆曲线。根据曲线的变化趋势，一般可将故障分为三个阶段：初期、稳定期及耗损期。初期故障通常由可靠性较差的零部件引起，也可由设计不当或制造安装的缺陷所致。稳定期故障又称偶发故障，多是偶然因素引起的，如操作不当、运行条件突然变化、过载等。稳定期故障发生时的运行时间称为机器的有效寿命，即有效工作时间。当机器处于耗损期时，零件多已老化、磨损、疲劳破坏，故障率显著上升，机器的生产效率降低，最终无法工作。若要延长机器的有效寿命，即降低故障率，延长有效寿命线，如图 1-1 中虚线所示，则须在稳定期对机器及时进行维护，替换失效破坏的零部件。因此，在设计阶段要强调机器的可靠性，尽量使用独立部件或标准件等，使机器具有易维修性或互换性。

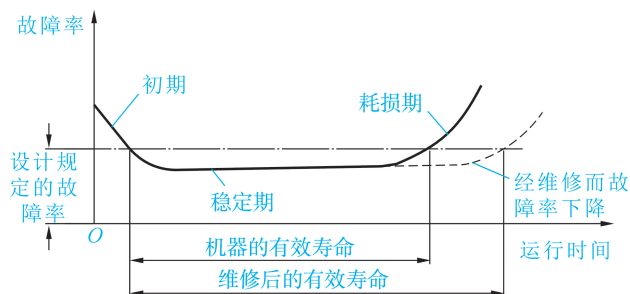


图 1-1 机械产品的故障率曲线

(三)所设计的产品应满足经济性要求

机械产品的经济性贯穿设计、制造、使用和维护的全过程。因此，在设计过程中，必须考虑产品的制造成本、工作效率、使用能耗及操作费用等问题。要达到效益与质量的最优化，提高产品经济性是最迫切的需求。提高经济性主要依靠降低寿命周期成本。寿命周期成本是指产品从规划、设计、制造、使用直到报废的整个寿命周期内的总费用，包括生产成本与使用成本。机械产品寿命周期成本组成如图 1-2 所示。生产成本又包括直接成本和间接成本。其中直接成本是指与生产直接相关的各项成本，间接成本是非生产环节所支出的费用。生产成本加上利润和税金则为销售价格。使用成本包括运行成本与维修成本。由于大部分机械产品的工作寿命相对较长，在此期间累积的费用不在少数，所以寻求最佳的经济效益尤为重要。提高经济性主要可以从以下两个方面实施。

1. 设计和制造的经济性提升

选用合理正确的设计方法，设置准确的系统参数，尽量缩短设计周期，降低设计周期成本。最大限度地采用标准化、系列化及通用化零部件，零件结构尽可能采用标准结构及尺寸，降低零件制造成本。合理选用材料，改善零件结构工艺性，尽可能采用新材料、新结构、新技术、新工艺，使其用料少、质量小、易加工、易装配。注重机器外观的设计，以便最大限度地赢得消费者。

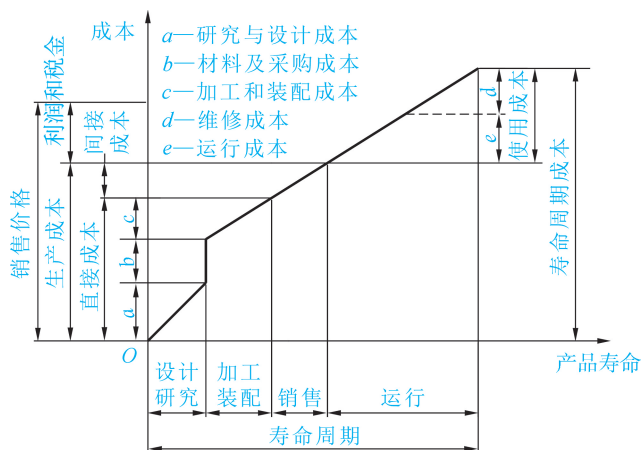


图 1-2 机械产品寿命周期成本组成

2. 使用和维护的经济性提升

机器的效率与能耗主要取决于传动系统和执行系统的效率，在方案设计过程中，应充分考虑传动系统和执行系统的最优化设计。机器的寿命主要分为功能寿命、技术寿命和经济寿命，并非所有寿命越长越好。按照成本最低原则，机器的最佳更新时间应由经济寿命决定，因此，合理设计机器的寿命是提高经济性的一个重要指标。维修与保养是延长机器使用寿命的有效手段，但维修会产生一定的维修成本，甚至机器暂停运转会带来停机费用，因此应以尽可能少的维修和保养为设计目标，以确保机器的维护经济性。

(四)所设计的产品应满足安全性要求

设计机器时，应保证产品符合国家的劳动保护法规要求和环境保护要求。机器必须操作方便和安全可靠，机器的运行系统须具有安全性。参数设计时，设计者必须按有关规范和准则进行设计计算，同时要配置过载保护、安全互锁装置等，以避免机器的意外故障或失效。产品的安全性通常从以下两个方面进行考虑。

1. 保证操作安全，减轻劳动强度

从人机环境系统的角度出发，产品设计时要做到尽量减少操作手柄、按钮的数量，按不同特征或不同颜色等来加以区分，避免操作失误；操作部件的位置要合理，操作方式也要符合人们的操作习惯和操作心理。同时，对危险的运动部位加设防护罩、安全挡板等防护装置，设置完善的监控报警显示系统，对于其他人易入的危险区域，应在醒目位置标明警告并设置保护装置，切实保障操作人员的安全。

2. 改善工作环境，强调环境安全

机械设计应符合环境保护法规及标准，尽量做到减小机器工作时的振动和噪声，防止有毒、有害物质泄漏及排放，注重防火、防爆、防尘工作。对于“三废”（废水、废液、废气），要进行合理治理或多次利用。此外，还要美化机器外形及外部色彩，做到为环境添色添美。

(五)所设计的产品应满足的其他特殊要求

对于满足不同功能的机器设备,设计过程中还需要考虑该机器所特有的要求。例如,对食品机械有保持清洁、不能污染的要求;对医疗机械有安全性高,便于无菌消毒的要求;对机床有长期保持精度的要求;对飞行器有质量小、飞行阻力小、运载能力大的要求;对流动使用的机器有便于安装和拆卸的要求。

二、机械设计的一般程序

机械设计过程是一个具有创造性的劳动过程,完成一个质量较高的产品设计,要求设计者具备一定的专业知识与丰富的经验。机械设计根据实际需求和具体条件,可分为开发性设计、适应性设计和变形设计。开发性设计是根据社会需求,应用成熟的科学原理或实验证明进行创新型设计,开发出社会上没有的新产品。适应性设计主要是针对现有的产品,保持其工作原理与基本设计方案,在局部进行变更或增加一些附加功能,有时需要在结构上做相应调整,以适应市场需求。变形设计主要是指对产品的某些参数和部分结构进行改变,以适应工艺条件和使用要求的设计。

市场上机械产品种类繁多,性能差异大,不同类型的产品的设计过程不尽相同,在此仅以典型机械为例,介绍机械设计的一般流程,大致包括产品规划、方案设计、技术设计和编写技术文件。

(一)产品规划

产品规划是机械设计的准备阶段,设计者在设计新产品前要依据使用要求和工作条件开展市场调研,确定产品功能、技术指标、周期成本等具体问题;明确现有产品的发展和国内外的技术水平现状;结合市场需求与现有产品销售情况预测该产品的经济效益和社会效益;针对设计与工艺等方面提出需要解决的问题。结合以上内容,确定产品规划的可行性报告和任务设计书,具体包括产品功能、技术指标、基本使用要求、主要参数、产品生产周期、经济性要求及其他特殊要求等。

(二)方案设计

明确设计任务后就要考虑产品功能的实现问题。同一功能有着多种多样的实现方案,方案设计阶段的目标是在机器的使用要求、现有技术水平和经济性的基础上,考虑多方面因素,对各个方案进行分析筛选,借鉴同类产品成功的经验,结合创新,得到较为理想的功能实现方案。典型机械产品的方案选定时,一般通过分析确定原动机,选定传动机构和执行部件,确定工作原理和动力参数,以此完成最终的方案设计,绘制出机械运动方案图和机械运动简图。

(三)技术设计

技术设计的目标是得到产品的总装配图、部件装配图和零件工作图,其间要完成产品的各种设计计算并进行校核。大致工作如下。

1. 机械的运动学设计

根据传动和执行机构的相关要求,确定原动机参数及各种运动构件的运动参数。

2. 机械的动力学设计

根据结构和运动参数，计算各零件所受载荷性质与大小。

3. 零件设计

根据零件的工作环境、失效形式、受力情况等拟定设计准则，以零件的质量要求与经济性要求等确定基本尺寸。

4. 设计总装配草图

根据零件的基本尺寸绘制草图，对所有零件的形状进行结构性设计，确定各零件的相对位置，分析影响零件工作能力的因素，计算校核各零件的强度，以此协调零件的结构和尺寸，直到满足设计要求。

5. 设计总装配图、部件装配图和零件工作图

根据草图中确定的零件结构尺寸，完成总装配图、部件装配图和零件工作图的绘制。

(四)编写技术文件

技术文件数量较多，包括机械设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表、易损件清单和其他相关文件等，用以向用户介绍产品的性能参数、使用操作方法、简易维修保养方法等。

在实际的设计中，完成设计工作后，产品就进入样品试制阶段，随时会因设计错误或工艺原因等需要对原设计进行反复修改，甚至投入使用后，设计者还需不断地改进产品来提高机械产品的竞争力，这是一个精益求精的过程。

第二节 机械零件的失效形式与设计基本要求

机械零件由于某些原因而丧失工作能力称为失效。零件是机器的重要组成部分，它的失效将直接影响机器的工作能力。因此，研究零件的失效形式及其失效的原因对机械设计具有重要的指导意义。

一、零件的主要失效形式

(一)断裂

当零件在外载荷作用下，特别是受冲击载荷时，由于某一危险截面上的应力超过零件的强度极限而发生断裂，或者零件承受变应力时，危险截面上发生疲劳断裂，均属于断裂。断裂是大多数机械零件的主要失效形式之一，如螺栓的断裂、齿轮轮齿根部的折断等。

(二)过大的变形

当承受载荷工作时零件会发生弹性变形，严重过载时零件所受应力超过材料的屈服极限，从而产生塑性变形。变形将造成零件尺寸、形状和相对位置发生改变，影响零件间的

配合关系,甚至导致机器不能正常工作,如机床的加工精度降低、高速转子轴的不平衡度增大、键连接与螺栓连接的工作面压溃等。

(三)表面破坏

大多数零件相互接触,载荷和摩擦作用于零件表面,从而造成零件的表面破坏。表面破坏主要包括腐蚀、磨损和接触疲劳。腐蚀是发生在金属表面的一种侵蚀现象,能使金属表面产生锈蚀,从而破坏零件表面。磨损是指在两接触表面相对运动的过程中,表面物质不断丧失或转移的现象。接触疲劳是指长期承受接触变应力的表面产生裂纹或微粒剥落的现象。工作时间越长,这三种失效形式就越容易发生。零件的表面破坏不仅会损耗能量,还会加剧工作温度,增大噪声与振动,最终导致零件失效。

(四)破坏正常工作条件引起的失效

某些零件只在特定的工作条件下才能正常工作,如果不具备或是破坏了这种必要的条件,则会发生不同类型的失效。例如,若液体摩擦的滑动轴承缺少完整的润滑油膜,则会发生胶合、磨损等形式的失效;若带传动和摩擦轮传动的有效圆周力大于极限有效拉力,则会发生打滑的失效;当高速转动零件的固有频率和转动件系统的固有频率一致时,将发生共振现象,引起断裂的失效。

零件的失效形式多种多样,根据对各种失效所进行的分类统计结果,断裂引起的失效只占小部分,零件失效的主要原因是腐蚀、磨损和各种疲劳破坏。

二、机械零件设计的基本要求

(一)强度要求

强度要求是指机械零件在载荷作用下,能正常工作或在一定时间内不被破坏的基本要求,主要针对零件的断裂失效、塑性变形失效和点蚀失效。设计零件时,要求零件的应力分别不超过材料的强度极限、屈服极限、基础疲劳极限以及零件的疲劳极限。强度要求是机械设计过程中必须满足的基本要求。

提高机械零件的强度是机械设计的关键内容,为此可以采取以下措施:使用强度高的材料;使零件危险截面的尺寸足够大;合理设计零件的几何形状,以减小应力集中,增大截面的惯性矩;采用热处理或化学热处理方法,以提高材料的力学性能;提高零件的制造安装精度,以减小工作时的附加动载荷;合理设计零件在机器中的相对位置,以减小作用于零件上的载荷。

(二)刚度要求

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性形变的能力。零件受载时所产生的弹性变形不超过允许的限度,即满足零件的刚度要求。当零件产生的弹性变形影响到机器的正常工作时,除强度计算外,还需进行刚度计算,以实现刚度要求对零件的限制,如机床主轴和导轨等零件。在设计中,一般为了提高零件的刚度,可以采取增大零件的截面尺寸或惯性矩、增大支承刚度(减小支承跨距、采用多支点结构、合理安排轴上零件等)等措施。



(三) 寿命要求

零件正常工作(不发生失效)的延续时间称为寿命。材料的疲劳程度、材料的抗腐蚀性和零件的表面磨损等都会影响零件寿命。疲劳破坏是零件失效的主要原因。零件尺寸截面过小、表面质量粗糙以及出现应力集中等都会引起不同程度的疲劳破坏,影响零件的疲劳寿命。

因此,在零件设计的过程中,不仅要选用耐腐蚀材料和各种表面保护处理来提高其耐腐蚀和耐磨性能,还要采取措施来提高零件抵抗疲劳破坏的能力,加强润滑与维护,以此延长零件的寿命,满足寿命要求。

(四) 结构工艺性要求

设计出的零件应便于制造与装配。零件的结构对其结构工艺性有着决定性的影响,良好的结构工艺性,可大幅提升机器生产的效率和经济性。因此,零件的结构设计应从其材料、毛坯制造、加工过程、维修保养、生产批量和企业当前生产水平等多方面考虑,优化结构工艺性。

(五) 经济性要求

机械零件的经济性主要体现在零件的生产成本上,应以成本最低的零件作为设计目标。实现零件经济性要求的方式包括降低生产成本、减小零件质量和选用标准件等。其中,降低生产成本包括降低时间成本和费用成本,可以利用高机械自动化机器缩短生产周期,提高制造安装精度,避免不必要的浪费,也大大缩减了人工费用;采用廉价而供应充足的材料代替贵重材料,复合机构代替整体结构等。减小零件质量则可以减小惯性,改善动力性能;对于运输机器还可提高运载量,以提升经济效益等。尽可能选用标准化的零件取代特殊加工的零件,也可以取得很大的经济效益。

(六) 可靠性要求

机械零件在规定的使用时间和预定的环境下,能够正常完成其功能的概率称为可靠性。对于绝大多数机器来说,失效的发生具有随机性。零件失效的随机性主要取决于零件的载荷、环境、温度等工况条件,以及零件本身的物理和力学性能等因素。因此,在设计过程中,应当考虑零件的工作条件和性能特点,使随机性尽可能小,从而达到提高可靠性的目的。

第三节 机械零件的设计准则与方法

一、机械零件的设计准则

零件在不同工作环境下可能有不同的失效形式,为保证零件的工作安全可靠,设计时应针对具体情况进行分析,确定相应的设计准则。常用设计准则有以下几种。

(一)强度准则

强度准则可分为静强度准则和疲劳强度准则。静强度是机械零件在载荷工况下能正常工作的保证,其准则是零件的最大应力小于或等于许用应力。疲劳强度是机械零件在变载荷工况下能正常工作,一定时间内不被破坏的保证。

强度准则要求零件所受应力不得超过允许的极限值,主要针对零件的断裂、残余变形和点蚀等失效形式。强度准则的表达式为

$$\sigma \leq \sigma_{\text{lim}} \quad (1-4)$$

考虑各种不确定因素或难以分析的影响,式(1-4)右边应除以设计安全系数(简称安全系数) S ,即

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} \quad (1-5)$$

式中: σ ——零件的应力;

σ_{lim} ——零件材料的极限应力;

S ——安全系数。

(二)刚度准则

刚度准则主要是为了防止零件在载荷作用下发生过大的弹性变形失效。它要求零件的弹性变形量不得超过机器工作性能允许的极限值。刚度准则的表达式为

$$y \leq [y], \theta \leq [\theta], \varphi \leq [\varphi] \quad (1-6)$$

式中: y, θ, φ ——零件的挠度、偏转角和扭转角;

$[y], [\theta], [\varphi]$ ——零件的许用挠度、偏转角和扭转角。

(三)寿命准则

影响寿命的主要因素有腐蚀、疲劳和磨损。由于现今并无实用有效的腐蚀寿命计算方法,故无法写出腐蚀的计算准则。磨损的类型众多,影响因素也多,产生机理并不明确,因此只能对通用型零件进行条件性计算:一是检验表面压力是否超出许用值,防止零件的压溃;二是防止局部过快磨损;三是防止摩擦表面胶合失效。磨损寿命的准则为

$$p \leq [p], v \leq [v], pv \leq [pv] \quad (1-7)$$

式中: p ——工作表面上的压强;

$[p]$ ——材料的许用压强;

v ——工作表面线速度;

$[v]$ ——零件的许用线速度;

$[pv]$ —— pv 的许用值。

疲劳寿命则要利用使用寿命的疲劳极限或额定载荷作为计算的依据,此节不作介绍。

(四)振动稳定性准则

振动稳定性准则是为了防止零件在高速运转时出现超出允许范围之外的振动,用以保证机械零件的平稳运行,防止零件的固有频率与激振频率同频,出现共振而导致机器甚至整个系统的毁坏。高速运转的零件除了要满足强度准则外,还应满足振动稳定性准则,通



常应满足的条件为

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

式中： f ——零件的固有频率；

f_p ——激振频率。

当不能满足上述条件时，可通过改变系统和零件的刚性、改变支承位置、增加或减少辅助支承等方法改变零件的固有频率。

二、机械零件的设计方法

现行针对机械零件设计的分类大体上有两种，一种是传统的常规设计方法，另一种是现代设计方法。本节主要介绍常规设计方法。

(一)理论设计

根据长期总结的理论和实验数据所进行的设计称为理论设计，该设计涉及的学科内容较多，如理论力学、材料力学、摩擦学等。零件的工作条件、复杂程度不同，理论设计的计算方法也不尽相同。一般零件的计算方法是经过简化的，甚至可以套用经验公式；重要的机械零件的计算方法则比较复杂，甚至需要建立物理模型来合理简化实际问题。

以零件的强度为例，理论设计时，强度计算公式为

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} = [\sigma] \quad (1-9)$$

式中： F ——零件所受外载荷，如轴向力、弯曲力矩等；

A ——零件的横截面积；

S ——材料的安全系数；

σ_{lim} ——零件材料的极限应力；

$[\sigma]$ ——许用应力。

利用式(1-9)可先求得零件设计的基本尺寸截面积 $A \geq \frac{SF}{\sigma_{\text{lim}}}$ ，再根据截面尺寸进行校核计算，即 $\sigma = \frac{F}{A} \leq [\sigma]$ 。

(二)结构设计

理论设计计算后，需要进行的工作是机械结构设计。结构设计以理论计算和实践经验为参考，把机器的结构以图样的方式表示出来，按照图样加工和装配出机器，从而实现相应的功能。

(三)模型试验设计

模型试验设计主要是为了提高大重型复杂零件的设计质量。根据零部件和机器的初步设计结果建立模型或样机，通过试验对其进行检测得出评价，根据评价结果不断对设计进行修改、调整直至完善，这个反复的过程就是模型试验设计，其缺点是费时且昂贵。

第四节 机械零件的材料选择

材料的合理选择是机械制造中的重要环节，它是提高零件质量、降低成本的重要手段。在机械工业中最常用的材料是钢铁材料，其次是有色金属，非金属材料如塑料、橡胶等在机械制造中也有广泛的应用。

一、机械零件常用的材料

(一)金属材料

据统计，在各类工程材料中，金属材料使用最广，尤其是钢铁，在机械制造产品的材料中占90%以上。钢铁材料是指铁、锰、铬及其合金。除钢铁以外的金属材料均称为有色金属，其中以铝、铜及其合金应用最多。

1. 铸铁

铸铁是指含碳量超过2.11%（一般为2.5%~3.5%）的铁碳合金，有良好的铸造性，易铸成形状复杂的零件，但铸铁脆性大，不能碾压和锻铸，不易焊接。常用的铸铁有灰铸铁(HT)、球墨铸铁、可锻铸铁、合金铸铁等。其中，灰铸铁抗压强度高，耐磨性、减振性较好，对应力集中的敏感性小，多用于生产对强度要求不高，主要承受压应力的各种箱体、底座等。球墨铸铁的伸长率和耐磨性较高，应力集中作用小，因而强度较高，常用来代替中碳钢。球墨铸铁又因具有一定的塑性和良好的韧性，故常用于制作韧性要求高且形状复杂的零件，如内燃机曲轴、连杆等。可锻铸铁由于其中的石墨呈团絮状，对基体的割裂作用较小，所以力学性能比灰铸铁好，具有良好的可塑性和韧性，但不可锻造。需要强调的是，当可锻铸铁的基体组成不同时，其性能也不一样，其生产应用与球墨铸铁基本相同。

2. 钢

钢是指含碳量为0.021 8%~2.11%的铁碳合金。钢的强度、韧性、可塑性都比铸铁高，可通过锻造、冲压、焊接和铸造等方法加工各种机械零件，并能用热处理等方法改善其加工性能和力学性能。钢是机械生产中应用最广的材料。钢的类型繁多，按用途可分为结构钢、工具钢和特殊钢。结构钢主要用于制造机械零件。工具钢主要用于制造各种刀具、模具等。特殊钢包括不锈钢、耐热钢、耐腐蚀钢等，主要用于特殊的工况条件。钢按化学成分可分为碳素钢和合金钢。碳素钢根据碳的质量分数分为低碳钢、中碳钢以及高碳钢。含碳量越多，其强度越高，但可塑性越低。含碳量低于0.25%的碳素钢称为低碳钢，其强度极限和屈服极限较低，可塑性很高，可焊性好。含碳量低于0.20%的低碳钢可通过渗碳淬火使表层硬而心部韧，一般用于制造齿轮、链轮等零件。中碳钢的含碳量为0.25%~0.60%，它的综合力学性能较好，强度高，具有一定的可塑性和韧性，因此常用于制造受力较大的零件材料。高碳钢的含碳量在0.60%以上，具有高强度和弹性好的特

点,通常用于制作普通的板弹簧、螺旋弹簧和钢丝绳。合金钢是在碳钢中加入某些合金元素冶炼而成的,根据合金含量的不同可分为低合金钢、中合金钢和高合金钢。其性能与化学成分和热处理有关。例如,铬能提高钢的硬度,并在高温时防锈耐酸;锰使钢具有高的强度、韧性和耐磨性。

3. 铜合金

铜合金是以铜为基体加入一定量其他元素所构成的合金。铜合金是良好的减摩和耐磨材料,除此之外它还具有良好的导电性、导热性、耐蚀性和延展性。常用的铜合金分为黄铜、青铜和白铜三大类。黄铜是铜和锌的合金,有时含有少量其他元素。青铜是我国使用最早的合金,有锡青铜和无锡青铜两种。锡青铜是铜锡合金,铜和铝、铁、铅、硅、锰、铍等合金统称为无锡合金。锡青铜的铸造性能、减摩性能好,常用于制造轴承、蜗轮、齿轮等零件。无锡青铜的机械强度高,但减摩性较差。白铜是以镍为主要添加元素的铜合金,在工业上分为结构白铜和电工白铜。结构白铜的机械性能和耐蚀性好,广泛用于制造精密机械、化工机械和船舶构件等。电工白铜一般有良好的热电性,是制造精密电工仪器的主要材料。

4. 铝合金

铝合金是工业中常用的一种轻金属材料。铝合金具有高的强度极限与密度之比,该比值大于钢与铸铁。相同强度下,铝合金所制成的零件的质量比其他金属材料质量小。铝合金还具有好的铸造性、导电性、导热性及耐蚀性等,可作结构材料使用,在航天、航空、机电等领域有着广泛的应用。

(二)有机高分子材料

有机高分子材料又称聚合物材料,按照来源不同可分为天然高分子材料和合成高分子材料,按特性又可分为塑料、橡胶及纤维等类型。高分子材料来源丰富,可从自然石油、天然气和煤等资源中提取或后天合成。合成高分子材料具有天然高分子材料所没有或较为优越的性能——较小的密度,较好的耐磨性、耐腐蚀性、电绝缘性等。例如,橡胶具有弹性高的特点,遇外力时产生较大形变,去除外力后可迅速复原,故在机械制造中常用于密封或减振元件、传动带、轮胎等。

但是,有机高分子材料的缺点也很明显,该材料易老化,易产生应力松弛和蠕变。其中,不少材料的阻燃性、耐热性较差。另外,某些高分子材料易吸收紫外线或红外线及可见光发生降解现象。

(三)无机非金属材料

无机非金属材料是除有机高分子材料和金属材料外所有材料的统称。由于无机非金属的晶体没有自由电子,而是具有比金属键和共价键更强的离子键和混合键,所以无机非金属材料具有高熔点、高硬度、耐腐蚀、耐磨损、高强度和良好的抗氧化性等基本属性,以及宽广的导电性、隔热性、透光性和良好的铁电性、铁磁性、压电性。

无机非金属材料种类繁多,通常分为新型无机非金属材料与传统无机非金属材料。相比之下,传统无机非金属材料具有性质稳定、抗腐蚀、耐高温等优点,但其质脆,经不起

热冲击。新型无机非金属材料除了具有传统无机非金属材料的优点外，还具有强度高，电学、光学特性和生物功能等特征。例如，陶瓷是一种典型的无机非金属材料，一般可分为结构型陶瓷和功能陶瓷。结构型陶瓷具有耐高温、耐腐蚀、抗氧化、难加工等特点，是机械制造近年来所采用的新材料，主要用于轴承、模具、密封件等零件的制造。功能陶瓷属于新型无机非金属材料，是为了满足某一特殊需求而采用的材料，具体有光功能陶瓷、生物和化学功能陶瓷、磁功能陶瓷等。其他无机非金属材料包括碳石墨材料、聚合物混凝土、耐火材料等。

(四) 复合材料

复合材料是指运用先进技术将两种或两种以上不同性质的材料复合而成的新材料。不同材料可通过复合效应使各组分的性能相互补充增强，获得许多原材料不具备的优良性能。此外，不同材料还可分别作为复合材料的基体相和增强相。基体相一般以树脂为主，由纤维织物和颗粒作为增强相。纤维织物的原料主要有玻璃纤维、碳纤维、碳化硅纤维、氧化铝纤维等。颗粒的原料主要有碳化硼颗粒、碳化硅颗粒、氧化铝颗粒等。复合材料的制备也被认为是基体相和增强相的组合。

复合材料的主要优点是有较高的强度和弹性模量，可承受较大的应力，抗疲劳性能好，减振性好等，缺点是导热性和导电性较差。由于目前高技术的复合材料较贵，所以复合材料多用于航空、航天等领域。

二、机械零件材料的选择原则

机械零件材料的选择受多方面因素的限制，同一零件在不同工况下所要求的技术指标也会有所不同。因此对材料进行合理地选择应遵循以下几个原则。

(一) 使用要求

考虑零件的使用要求时，应注重零件的工况、所受的载荷、应力的性质以及零件的尺寸和质量等。在零件的工况方面，相对运动的零件应选择减摩性和耐磨性好的材料；极温条件下的零件要注意材料的耐温性；危险位置的重要零件应选择综合力学性能较好的材料，如高强度的合金钢等。当零件承受外载荷时，承受拉伸载荷的零件应选用钢材；若零件承受压缩载荷，则应选用铸铁材料。承受变应力的零件应选择疲劳强度较高的材料，若零件的接触应力过大，则选择的材料应有利于零件表面的强化处理。在零件的尺寸和质量方面，高强度合金钢适用于品质要求高的小零件，但在提高零件的刚度上，由于合金钢与碳素钢的弹性模量几乎相同，所以用合金钢代替碳素钢是没有任何效果的。铸造毛坯时，一般不受尺寸和质量的限制，但在锻造毛坯时须注意锻造设备的生产能力。

(二) 工艺要求

工艺要求往往与零件结构的复杂程度及材料的可加工性有关。结构复杂的零件宜用铸造制取毛坯，反之，结构简单的零件应选锻造来制取毛坯。

判断材料的可加工性，应对材料的工艺性具有一定的了解。选用铸造工艺时，要考虑材料的流动性、收缩率、偏析程度及产生缩孔的倾向性等。锻造材料时，则要考虑材料的

延展性、热脆性及冷热态下塑性变形的能力等。焊接材料时,要选用焊接性好的材料,降低焊缝产生裂纹的倾向性。针对材料的热处理工艺,应选用可淬性好、淬火变形小及热处理介质对其渗透能力高的材料。冷加工工艺性则应考虑材料的硬度、易切削性、冷作硬化程度及切削后可能达到的表面粗糙度等因素。

(三)经济要求

材料的经济性主要体现在材料的价格、加工费以及利用率上。其中,在材料的价格方面,应优先选用能满足使用要求的低廉材料,尤其在零件的大批量生产中,选用物美价廉的材料在机械制造中可节省大量的生产成本,低者可占总生产成本的30%,高者多达70%。在材料的加工费方面,则要结合生产的批量、加工的复杂程度来考虑材料加工的经济效益。例如,对于某些箱体零件,虽然铸铁比钢板廉价,但在小批量生产中却比钢板多出了铸模的生产费用,此时选用钢板反而有利。在材料的利用率方面,要求在生产制造中避免不必要的浪费,例如在生产中采用精铸、模锻、冷拉毛坯减少切削,以提高材料的利用率。此外,还应重视零件的回收利用环节,促进材料的循环利用。

第五节 机械零件的设计步骤

机械零件的设计过程可以分为以下几步,如图1-3所示。

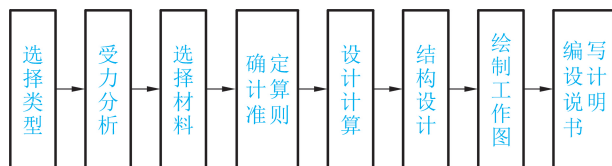


图 1-3 机械零件的设计过程

一、选择类型

根据机器的工作原理明确零件的使用要求,选择零件的类型。

二、受力分析

根据零件的工作条件,对零件进行受力分析,主要求出作用在零件上的载荷的性质、大小、方向,为后续设计计算做准备。

三、选择材料

根据工作条件以及受力分析情况,选择合适的材料以及热处理方法,确定材料的力学性能参数。

四、确定计算准则

通过分析零件的失效形式，选择合适的设计准则。

五、设计计算

以设计准则提供的设计和校核公式为工具，结合受力分析以及材料参数，计算并确定零件的集合尺寸和相关参数，如圆周的最小直径，齿轮的齿数、模数等。

六、结构设计

结合计算所得尺寸与相关参数，对机械零件的外形结构、截面形状、尺寸大小等进行详细设计。在此设计过程中需要重复考虑零件的强度、刚度、可加工性以及工艺性等要求。

七、绘制工作图

按照机械制图标准，绘制尺寸齐全、公差齐全以及其他技术条件合理的图纸。图纸为机械零件加工中的决定性资料，图纸的规范性在机械设计中非常重要。

八、编写设计说明书

将所有设计资料进行整理，撰写必要的说明性内容(用于指导产品制造与使用)，形成设计说明书，以便作为技术文档存档。撰写设计说明要注意条理清晰、语言简明、格式统一，使阅读者能迅速准确理解其要领。

第六节 现代机械设计

一、现代机械设计简介

近 30 年来，科学技术迅速发展，更多的新型设计理论和方法进入大众视野，并逐步进入机械设计领域，为机械设计学科指明了革命性的变化方向，形成了崭新的设计方式——现代机械设计。目前，现代机械设计还在不断地发展与改进，它的设计理念突破了传统设计方法的局限性，不仅考虑产品本身是否满足客户的需求，而且把目光放在了产品的经济效益与社会效益上，考虑了产品的长远发展。

现代机械设计在继承和发展传统设计的基础上，将自然社会科学、优化设计、微电子学及信息科学等有机融合，形成其独有的知识体系以实现多方面的设计转化，其主要特征如下：采用动态设计，以机器结构动力学计算取代静力学计算；注重定量分析，以有限元



素法取代经验法确定尺寸；利用优化设计，建立合理模型来寻求最优方案；以变量取代常量；从串行设计到并行设计，注重整体周期，做到开发效益高，避免干涉和返工；以微观分析代替宏观分析，深化设计处理；以系统性分析代替分部处理，综合最后处理设计工作的内在关系和与外界环境的联系；实现人工设计到自动化设计的转化，充分利用先进软、硬件，提升产品设计质量、效率和经济效益。

二、现代机械设计方法

现代机械设计方法包括 CAD(计算机辅助设计)、优化设计、可靠性设计、有限元分析法、并行设计、虚拟产品设计、参数化设计、智能设计、分形设计和网上设计等。下面简单介绍几种常见的设计方法。

(一)CAD

计算机由于运行速度快、数据处理准确和逻辑功能强等特点，已成为现代设计工程中不可替代的重要工具。CAD 是一种人工交互式的现代设计方法，包括分析计算和自动绘图两部分功能。CAD 可以贯穿制造过程的始终，即从工艺设计过程开始，再到装配直至进入市场，各个流程环节都可借用计算机实现。在以上过程中，CAD 系统能使设计对象模型化，依据设计技术参数进行总体设计和总图设计，结合对结构的动静态的分析确定设计参数等。因此，一个完整的 CAD 系统应包括科学计算、图形系统和工程数据库等。

CAD 技术的普及程度越来越高，常用的软件包括 AutoCAD、UG、SolidEdge 等。当前 CAD 技术向集成化和标准化的方向发展，将人的主导性和创造性放在首位的人机交互工作方式是它最显著的特征。



思政元素

创新始终是推动一个国家、一个民族向前发展的重要力量。党的二十大报告指出，加快实施创新驱动发展战略。加快实现高水平科技自立自强是党的二十大之后党和国家极为重要的发展目标。

20 世纪末的“甩掉绘图板”浪潮中，国内大部分制造企业尚未采用计算机绘图系统，市场上更没有国产 CAD 软件。为了响应国家号召，华中科技大学的 CAD 中心承担了相关科研攻关工作，陈立平教授带着天喻软件独立出来，成立了一家专业从事 CAD 系统研发的公司。2006 年，天喻软件携带具有完全自主知识产权的建模仿真平台 InteMworks 亮相 Modelica 2006 大会。如今，这家脱胎于华中科技大学 CAD 中心的创业公司，成为业内自主产品线较全、用户数较多的知名软件企业，产品包括 PLM、CAD、数据安全等工具软件，服务于中国电子高科、中国工程物理研究院、中国核动力研究设计院等上万家企业。

(二)优化设计

优化设计是根据最优化原理和方式，在各种约束条件的限制下，利用计算机寻求最优的设计方案和设计参数。优化设计不仅缩短了生命周期，也提高了设计质量，并有效确保

了技术经济指标。

优化设计的工作主要包括两部分。一部分是建立合理的数学模型。在建立数学模型时，需要选取设计变量，列出目标函数，给出约束条件。其中，设计变量是优化过程中经调整后达到最优值的独立参数；目标函数是反映各个设计变量关系的函数表达式；约束条件是设计变量所受限制条件的数学表达式。另一部分是采用适当的优化方式求解数学模型，即在给定条件下求解目标函数的极值或最优值。

(三)可靠性设计

可靠性分析又称概率分析，是将可靠性指标引进机械设计中的一种方式，利用概率论和数理统计理论的离散性和随机性的相关内容来考虑零件尺寸、载荷和材料力学性能等。可靠性设计的工作主要包括两部分：一部分是确定设计变量；另一部分是建立失效的数学模型，进行可靠性计算。该方法的设计理念是将各个设计变量当作随机变量来处理，从而使结果更加符合客观实际。传统的设计方法由于产品的各种参数可能受偶发因素影响，会产生各种随机量值，按此所求得的安全系数并不能真实地反映产品是否安全。利用可靠性分析可以预估零件的破坏概率，并将其控制在合理的范围内，保证设计的产品在有效寿命内功能稳定。

(四)有限元分析法

有限元分析法是随着电子计算机的发展而迅速发展起来的一种现代设计计算方法。有限元是用有限的单元来描述一个真实的系统，有限元分析法是将某一工程结构离散为许多相互连接的单元，由于单元可以组成多种计算模型，所以有限元分析法中的结构并不是原有物体，而是由许多单元以一定方式连接而成的离散物体，最后的分析结果只是近似的，但如果所划分的单元体越多，所获得的结果就与实际情况越接近。

有限元分析法适用于处理工程中复杂的非线性、非稳态问题，也可对复杂的结构进行静态和动态分析，相对准确地计算出零件的强度和刚度。

思考与练习

1. 机械设计的基本要求有哪些？该如何实现这些要求？
2. 零件的主要失效形式有哪些？在设计零件时应满足哪些基本要求？
3. 简述机械零件材料的选择原则。
4. 简述机械零件的设计步骤。
5. 相比于传统设计，现代机械设计方法实现了哪些方面的转化？

