

普通高等教育“十二五”规划教材

普通高等教育机电类实用型规划教材



机械设计基础

——常用零部件设计

李贵三 主 编
訾克明 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等教育机电类实用型规划教材

机 械 设 计 基 础

——常用零部件设计

主 编 李贵三
副主编 訾克明
主 审 程志红

机 械 工 业 出 版 社

本书是普通高等教育机电类实用型规划教材中的专业基础教材。全书共 12 章, 分别为绪论、螺纹连接设计、键与销连接设计、联轴器与离合器的选择与设计、螺旋传动设计、带传动设计、链传动设计、齿轮传动的强度设计、蜗杆传动的强度设计、滚动轴承的选择与设计、滑动轴承的设计、轴的结构与强度设计。

本书力求简明, 面向实际, 突出实用性和适用性, 易读易懂, 便于自学。书后附各章习题及其参考答案, 习题编排由浅入深。本书可作为本科机械类实用型人才培养的机械设计课程教材, 也可作为近机类各专业的机械设计基础课程教材、相关专业成人教育或远程教育教材, 还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础: 常用零部件设计/李贵三主编. —北京: 机械工业出版社, 2011.10

普通高等教育“十二五”规划教材 普通高等教育机电类实用型规划教材

ISBN 978-7-111-34403-2

I. ①机… II. ①李… III. ①机械元件—机械设计—高等学校—教材
IV. ①TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 130950 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 余 皞 责任编辑: 余 皞 王亚明

版式设计 霍永明 责任校对: 李秋荣

封面设计: 张 静 责任印制: 乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 12.5 印张 · 303 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-34403-2

定价: 24.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社 服 务 中 心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

高等教育是科技发展的基础。在科技浪潮冲击下，不断地审视人才的培养目标、知识结构、素质与能力，不断地加强专业建设和课程建设，不断地调整培养模式是对社会发展和技术进步的响应与准备。

培养模式决定了人才培养体系的基本结构，约束了培养目标和专业人才规格，规划着专业的建设和发展。科学技术的发展冲击着原有的机械类人才培养和教育体系，要求高等教育教学改革对原有的培养思想、培养目标、培养体系和培养方法进行根本性调整，从教育的前瞻性角度规划一套全新的培养模式。机械类实用型人才培养模式和教育教学框架的形成是积极应对此变化的举措。

机械制造业的灵魂是机械产品的设计，机械设计学是机械科学的基本组成部分。机械设计教学改革多年来，教育模式已从精英型教育转变到素质教育，不同层次高等学校的创新型、应用型、实用型人才培养模式也逐渐清晰。教材的规划和改革应适应不同的人才培养模式，这是机械类高等教育改革的基础性工作。

本书突破机械类本科教材体系全、起点高、期望大和内容宽的特点，在编写中遵循教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会颁布的《机械设计课程教学基本要求》的精神，配合实用型机械类人才培养教育教学改革成果，从培养目标的角度，重新整理规划了培养实用型机械类人才所需的基本知识，注意促使学生超越课程的界限去思考问题。本书力求简明实用，面向实际，突出应用性和适用性，易读易懂，便于自学。书后附各章习题及其参考答案。习题难度由浅入深。本书旨在培养学生基于机械学的基本理论和工程方法解决实际问题的能力。

参加本书编写的有李贵三（编写第一章、第二章、第五章、第八章）、孙启新（编写第三章、第四章）、訾克明（编写第六章、第七章、第十一章）、邓晓红（编写第八章）、魏伟（编写第十章）、杨平（编写第十二章）。魏伟负责全部习题的选编和参考答案的计算，李贵三担任主编，訾克明担任副主编，中国矿业大学程志红教授担任主审。

本书在编写过程中广泛吸取了国内众多专家学者的研究成果，在此谨表谢意。限于编者水平，书中误漏之处在所难免，殷切希望得到广大读者的指正。

编 者

序

长期以来,高等教育质量观集中表现为对不同类别、不同层次的学校采取同样的标准,对不同能力趋向、不同类型的学生采取同一规格的静态评价标准。

《国家中长期教育改革和发展规划纲要》明确要求:到2020年,我国的高等教育结构应更加合理,应建立高校分类体系,实行分类管理。要引导高校合理定位,克服同质化倾向,重点扩大技能型、应用型、复合型人才培养规模。普通高等学校完全学分制的教学体制改革,就是在这样的背景下应对科学技术的发展和人才需求结构变化,对于本科培养模式和新的教育教学框架的积极探索。

我国从2002年进入高等教育大众化阶段,多年来,专业规划与培养目标、人才培养模式与教学手段、教育教学体系和教学大纲、理论教学与实践教学的关系无不发生着根本的改变。但是教材建设仍然保持着传统高等教育的惯性,习惯于从学科的角度和专业的高度进行教材规划与建设,追求理论体系的详细与完整,体现出体系丰满、推导详尽、内容繁多的特点;出现了随着教学大纲中计划学时的减少、教材的内容却不能明显减少的背离现象;缺少对于不同培养目标的针对性,难以与高等教育改革同步;形成目前无论是研究型、应用型,还是实用型的教育模式,往往采用的都是研究型教材的局面。

在普通高等学校实行完全学分制的教学体制改革中,普通高等教育机电类实用型人才培养框架没有重复形式化、表面化的模式,打破机电类本科教育的“批量生产原则”,将素质教育作为贯穿于教育全过程的根本原则,规划出基础教育课程体系、专业核心课程体系和综合素质课程体系三级教学平台和完全学分制的必修与选修课程模块,形成以个人知识结构、文化价值观、理解和解决问题能力等方面为基础的相同专业方向不同素质能力的人才培养机制。力求改变高等教育培养的人才仅被教育体制鉴定为合格的现状,实现培养的人才具有适应社会与岗位需求变化的能力,使其被工作实践认定为合格。

“普通高等教育机电类实用型规划教材”是在江苏省一般工科院校机械专业教学指导委员会指导下,基于2009年江苏省高等教育教改立项研究课题“应用型本科院校完全学分制改革的全面探索与研究”,由扬州大学机械工程学院、淮海工学院机械工程学院、淮阴工学院机械工程学院等12所江苏省属高校机械类学院共同成立“普通高等教育机电类实用型规划教材”编委会所组织编写的。首批启动了10门隶属于专业核心平台课程的教材,准备第二批启动13门隶属于综合素质平台课程的教材,基本构成了针对机电类实用型人才培养的教材体系与完全学分制下同一专业不同方向的必修与选修课程网络,反映出以人的全面发展为目标的教育思想。

普通高等教育机电类实用型规划教材,强调多门学科交融,拓宽专业视野,注重课程体系的实践性、综合性及实用性。基于专业知识体系的分析,建立的由不同结构和功

能模块组成的课程教学体系,使整个教育内容变得具有可分解、可操作和可组合性。一方面,不同层次的课程内容可以根据专业发展和学生的主体特性灵活配置;另一方面,整体结构上不同模块之间的密切相关性也保证了专业素质培养的系统性,结合不同的实践环节与综合训练,突出培养学生在工作中知识更新能力与动手解决问题的能力。

在教材编写上,突破机电类本科教材体系全、起点高、期望大和内容宽的限制,遵循教育部《国家中长期教育改革和发展规划纲要》的精神,配合实用型机电类人才培养教育教学改革,从培养目标的角度,总结完全学分制教学体制改革的经验,结合机电类不同类型人才需求的比例和知识结构,重新整理规划了培养实用型机电类人才的基本知识框架。

教材力求简明实用,面向实际,突出应用性和适用性、易读易懂、便于自学的风格,有利于培养学生掌握基本理论和应用工程方法解决实际问题的能力。

删繁就简三秋树,领异标新二月花。冲破多少年来机电类高等教育和教材的传统是有压力的。这些压力会来自于从各个不同学科体系角度审视本科教育的惯性思维和希望把每一个接受本科教育者培养成为领域专家的精英式教育方式的延续。真诚地希望随着《国家中长期教育改革和发展规划纲要》的逐步实施,普通高等教育机电类实用型人才培养的完全学分制和与之配套的规划教材在高等教育教学改革中起到应有的作用。

“普通高等教育机电类实用型规划教材”编委会主任

舒小平

普通高等教育机电类实用型规划教材

编 委 会

顾 问：黄鹤汀

主 任：舒小平

副主任：吴建华 周骥平 邓海平

委 员：乔 斌 左晓明 李纪明 唐国兴

赵占西 高成冲 郭兰中 周金宇

朱龙英 李 华 饶华球 韩继光

秘 书：刘小慧

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 机械零件的工作能力准则	1
第二节 机械零件的强度	6
第二章 螺纹连接设计	12
第一节 螺纹的主要参数及类型	12
第二节 螺纹连接的类型及螺纹连接件	14
第三节 螺纹连接的预紧和防松	15
第四节 螺栓组连接的设计与螺栓的工作载荷分析	17
第五节 螺栓强度计算	19
第六节 螺栓连接常用材料及其力学性能	24
第七节 提高螺栓连接强度的措施	28
第三章 键与销连接设计	31
第一节 键连接设计	31
第二节 花键连接设计	33
第三节 销连接设计	35
第四节 成形连接设计	36
第四章 联轴器与离合器的选择与设计	38
第一节 联轴器的分类和应用	38
第二节 常用离合器的类型和应用	40
第三节 联轴器与离合器的选择	41
第五章 螺旋传动设计	45
第一节 螺旋传动的类型、特点及应用	45
第二节 滑动螺旋副的结构与材料	46
第三节 螺旋传动的设计	47
第六章 带传动设计	52
第一节 带传动概述	52
第二节 带传动的受力分析	53
第三节 带传动的应力分析	55
第四节 带传动的弹性滑动与传动比	56

第五节	普通 V 带传动的设计计算	57
第六节	V 带轮的结构	66
第七节	带传动的张紧、正确安装与维护	68
第七章	链传动设计	70
第一节	链传动概述	70
第二节	链条和链轮	71
第三节	链传动的运动分析和受力分析	75
第四节	滚子链传动的设计计算	78
第五节	链传动的合理布置和润滑	84
第八章	齿轮传动的强度设计	86
第一节	齿轮传动的失效形式和计算准则	86
第二节	齿轮的材料及热处理	88
第三节	齿轮传动的计算载荷	91
第四节	齿轮传动的受力分析	94
第五节	齿轮传动的强度计算	98
第六节	齿轮传动的设计参数与许用应力	103
第七节	齿轮传动的结构设计与润滑	108
第九章	蜗杆传动的强度设计	115
第一节	蜗杆传动的失效形式、材料和结构	115
第二节	蜗杆传动的强度计算	116
第三节	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	120
第十章	滚动轴承的选择与设计	124
第一节	概述	124
第二节	滚动轴承的类型及选择	125
第三节	滚动轴承的代号	127
第四节	滚动轴承的选择计算	129
第五节	滚动轴承的润滑和密封	136
第六节	滚动轴承的组合设计	138
第十一章	滑动轴承的设计	141
第一节	摩擦与磨损简介	141
第二节	滑动轴承的类型与应用	142
第三节	滑动轴承的结构	143
第四节	滑动轴承的材料	145
第五节	滑动轴承的润滑	147
第六节	不完全液体摩擦滑动轴承的设计	150
第七节	液体动压径向滑动轴承的设计	152
第八节	液体静压滑动轴承简介	161

第十二章 轴的结构与强度设计	163
第一节 轴的类型与应用	163
第二节 轴的材料及其选择	164
第三节 轴的强度计算	168
第四节 轴的刚度计算	172
附录 习题与参考答案	174
参考文献	186
读者反馈信息表	

第一章 绪 论

第一节 机械零件的工作能力准则

一、设计机械零件的基本要求

设计机械时，必须满足技术条件规定的各项要求。这些要求是：①机械必须具备有效地解决预定的生产或生活问题的功能，②机械要有高生产率、高效率 and 低消耗，③必须保证人身及机械的安全，④机械要保证一定的可靠性。此外，有些机械还应满足一些特殊要求，如航空发动机应在最小重量条件下具有最大推动力，流动使用的机械应便于装拆，大型机械设备应便于运输等。只有满足这些设计要求，机械的使用性能才能提高，机械的工作质量才能得到保证。

组成机械的基本单元是零件。零件设计得好坏，将直接影响整部机械的使用性能。根据上述设计机械时应满足的要求，我们可提出设计机械零件时应满足的基本要求，概括起来就是保证安全、可靠和成本低廉。为此，机械零件应具有足够的强度、刚度、耐磨性、振动稳定性、可靠性和耐热性等，这些性能要求也是判断机械零件工作能力的基本准则。同时，设计时要正确选择材料，合理规定公差等级，使零件具有良好的工艺性，贯彻执行现行的各种标准，尽可能选用标准件等，这些是设计机械零件时的经济性要求。如何满足上述要求，将在具体零件的设计中进行讨论。

二、机械零件的主要失效形式和工作能力的计算准则

1. 失效形式

机械零件由于某些原因不能维持其正常工作的现象，称为失效。工程中，常见的机械零件失效形式有以下几种。

(1) 断裂 断裂有突然断裂和疲劳断裂两种。零件在严重过载或冲击载荷作用下，当危险截面上的应力超过零件的强度极限时，就会出现突然断裂，因此突然断裂涉及的是静强度问题；零件在变载荷作用下，经过较长时间的工作出现裂纹，并在变应力作用下逐渐增长，使有效载荷面积减小，当其截面上的应力超过零件的疲劳极限时，就会出现疲劳断裂。断裂是一种严重的失效形式，它可能会造成设备或人身事故。因此，对断裂原因、影响断裂的各种因素、防止断裂的措施等应进行研究。

(2) 过量变形 过量变形指的是塑性变形和过大的弹性变形。过量变形会造成零件尺寸和形状的改变、影响零件之间的相互位置及配合关系、引起振动，从而使零件或机器不能正常工作。例如，机床主轴的弯曲变形量超过允许值后就会产生振动，并且使加工精度下降；又如当电动机转子轴的弹性变形量过大时，就会改变转子与定子之间的间隙，使电动机不能正常工作。

高温条件下工作的零件会出现热变形和热应力，还可能发生蠕变现象，即应力值虽保持

不变,但变形随时间的增长而增加。

(3) 表面失效 表面失效形式包括表面磨损、疲劳点蚀、胶合、表面塑性变形和腐蚀等。这些表面失效形式破坏了零件的工作表面,影响了零件之间的配合关系,加大了摩擦及能量损耗。

(4) 其他失效 当正常工作所要求的条件不能维持时,有些零件就会失效。如带传动中,当带传递的有效圆周力大于临界摩擦力时,就会出现打滑;当滑动轴承中完整的油膜受到破坏时,即会发生过热、胶合、磨损;高速转子会由于共振而发生断裂。

2. 计算准则

在设计中要避免上述失效现象的发生。设计准则是防止失效的技术准则。随着机械设计理论的发展,设计准则也是在发展和变化的。

通过概括上述失效形式,我们可以得到相应的机械零件计算准则。

(1) 强度准则 强度是指零件承受载荷后抵抗破坏和过度变形的能力。强度要求对于保证机器的正常运转和安全生产是非常必要的,是一切机械零件都必须满足的一个准则。

强度计算应满足的条件为

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\lim}}{S_{\min}} = [\sigma] \quad (1-1)$$

$$\text{或} \quad S = \frac{\sigma_{\lim}}{\sigma} \geq S_{\min} \quad (1-2)$$

式中 S ——安全系数;

$\sigma_{\lim}$ ——零件材料的极限应力;

$S_{\min}$ ——许用安全系数;

$[\sigma]$ ——许用应力。

(2) 刚度准则 刚度是指零件受载时抵抗弹性变形的能力,常用单位变形所需的力或力矩来表示。某些零件,例如机床主轴、导轨、丝杠等,当它们的弹性变形量超过一定数值后就会影响机器工作的质量。对于这类零件,应根据刚度要求进行设计。刚度计算应满足的条件为

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

$$\phi \geq [\phi] \quad (1-4)$$

式中 y ——零件的变形量(伸长、挠度等);

ϕ ——零件的变形角(偏转角、扭转角等);

$[y]$ ——许用变形量;

$[\phi]$ ——许用变形角。

由于零件的刚度与材料的弹性模量有很大关系,而各类钢材的弹性模量相差很小,因此,用高强度钢代替低强度钢对提高零件的刚度不会产生明显效果。要提高零件的刚度,应从零件的结构上采取有效措施。例如,合理设计截面的形状和尺寸,以增大截面的惯性矩;缩小支承点间的距离,采用多支点结构或合理添置加强肋,以减小挠曲变形;适当增大贴合面或采用精加工及跑合的方法,以降低表面粗糙度、提高接触刚度等。轴向受压的柱、杆或管类零件,要作稳定性校核。判断压杆是否丧失稳定性的依据不是变形量,而是临界应力或临界载荷。

(3) 耐磨性准则 耐磨性是指零件在载荷作用下抵抗磨损的能力。零件磨损后, 形状或尺寸就会改变, 机械的精度就会降低、强度就会减弱, 从而会使零件报废。现在, 在一般机械中, 由于磨损而失效的零部件大约占全部报废零部件的 80%。

磨损的计算方法一般分为两类: 一类是非液体摩擦、有磨粒磨损的情况, 这种情况下主要应限定磨损量或正压力, 有时还要限定正压力与速度的乘积, 以控制发热量; 另一类是液体摩擦, 这时要进行液体动压或静压润滑计算, 以保证油膜有使两接触面完全隔开的足够厚度。

(4) 振动稳定性准则 振动稳定性是指机器在工作时不能发生超过允许的振动。振动的特征一般用振幅和频率两个参数表示。当前机器的发展趋势是大功率、高速度和重量轻, 这种趋势更容易使机械发生振动。振动会使零件产生额外的变应力, 以致使零件更容易发生疲劳断裂。当周期性载荷的变化频率与机械或零件的自振频率相同或接近时, 就会发生共振从而造成破坏事故。因此, 如何确保机械及零件的振动稳定性对于机械设计也是很重要的。

(5) 可靠性准则 可靠性用可靠度来度量。机械、部件或零件的可靠度, 是指它们在规定的使用时间内和预定的环境条件下能连续工作的概率; 或者说可靠度是大量零件在规定的使用寿命内能持续工作的件数占总件数的百分比。如某种零件的总件数为 N_T , 在规定的使用寿命内能持续工作的件数为 N_s , 则可靠度

$$R = \frac{N_s}{N_T} \quad (1-5)$$

失效零件的数目为 $N_f = N_T - N_s$, 则失效概率

$$Q = \frac{N_f}{N_T} \quad (1-6)$$

$$R + Q = 1 \quad (1-7)$$

显然, 满足机械和零件的可靠性要求涉及的面很广, 要考虑的问题很多。例如, 在选择安全系数时, 应考虑到可靠性要求; 同样的零件用途不同, 其对可靠性的要求也就不一样。如飞机上的齿轮和汽车上的齿轮, 即使其他所有条件均相同, 但因前者可靠性要求高, 它们的安全系数就应有所差别。

(6) 耐热性准则 耐热性是指零件在高温环境中抗氧化、抗热变形和抗蠕变的能力。一般钢制零件在 $300 \sim 400^\circ\text{C}$ 以上、轻质合金和塑料零件在 $100 \sim 150^\circ\text{C}$ 以上时, 其强度极限和疲劳极限都要下降, 并且会出现蠕变, 从而引起热变形和附加热应力, 使零件的承载能力下降、塑性变形增加。同时, 高温会破坏正常的润滑条件, 使零件发生氧化现象, 从而改变连接零件间的间隙、降低机械的精度而使零件失效。对于在高温条件下工作的零件, 除应采用耐热材料外, 有些零件还应进行蠕变计算或热平衡计算。如温升过高, 就要采用水冷或汽化冷却等降温措施。

设计机械零件时, 并不要求对零件上述各种能力全部进行计算, 而应根据具体情况、针对零件的主要失效形式确定一项主要工作能力要求, 以此为依据进行设计, 再按其他要求进行校核计算。

三、设计机械零件的方法和步骤

机械零件的强度取决于零件的结构, 材料和承受的载荷, 机械零件的设计方法是围绕这

三个方面进行的。

1. 设计方法

(1) 理论设计 理论设计指根据现有的设计理论和实验数据所进行的设计。它能获得比较可靠的结果。按照处理方法的不同,理论设计可分为如下两种。

1) 设计计算。根据零件的运动和动力要求及材料性能等,由理论公式直接计算零件的尺寸、确定零件的形状。

2) 校核计算。用其他办法(如经验设计)初步确定零件的形状及尺寸后,再引用理论公式进行校核。

(2) 经验设计 依据已有机器或机械零件的设计,或由长期累积起来的经验归纳出来的某些经验公式和数据,或依据设计者的工作经验,用类比的办法进行的设计称为经验设计。经验设计方法简单方便,对于一些使用要求变动不大或结构形状已典型化的零件,如箱体、机架、齿轮及蜗轮轮体等,是很有效的设计方法。但经验设计有其局限性:当引用经验公式进行设计计算时,应对公式的来源及适用范围作出分析。

(3) 模型实验设计 对于一些尺寸巨大、结构复杂而又难以直接进行理论设计的重要零件,可通过模型实验的方法进行设计。即先把初步设计的零部件或机器做成小模型,经过实验测定其各方面的特性后,再根据实验结果对设计进行逐步地修改、完善。

(4) 计算机辅助设计 其将计算机技术结合各种理论和算法应用于机械零件的设计计算及绘图中。随着科学技术的发展,计算机辅助设计已经成为机械设计的主要手段之一。

2. 设计步骤

(1) 选型 根据零件的使用要求和工作情况选择其类型和结构。

(2) 确定载荷 零件在正常工作时所受的载荷称为工作载荷。当工作载荷难以确定时,常用原动机的额定功率计算,这样求出的载荷称为额定载荷。实际上,零件在工作时还可能受到各种附加载荷,这些附加载荷的影响可以用载荷系数来表示。工作载荷与载荷系数的乘积称为计算载荷。

(3) 选择材料 根据零件的使用要求、经济性和其他情况选择零件的材料及其必要的处理方法。

(4) 确定计算准则 根据零件的主要失效形式确定计算准则,建立相应的计算公式,计算零件的主要参数及尺寸,并加以圆整或取标准值。

(5) 结构设计 根据工艺要求和标准化原则对零件进行结构设计,绘制零件工作图并写出计算说明书。

四、机械零件常用材料及其选用原则

1. 机械零件常用材料

当今,可用作机械零件的材料大约有五百多种。其中,最常用的材料是钢和铸铁,其次是有色金属及其合金(如铝合金、镁合金和铜合金等)和非金属材料(如塑料、复合材料与橡胶等)。有色金属及其合金和非金属材料的性能、用途可参阅有关设计手册。

2. 材料的选用原则

机械零件的材料应该满足使用、工艺和经济三方面的要求,选择时从材料各项性能的综合指标来考虑。

(1) 使用要求

1) 对于受力大或要求重量轻、尺寸小的零件可选用强度较高但价格较贵的材料。

2) 对于承受静应力的零件, 可选用塑性或脆性材料; 对于承受冲击载荷的零件, 必须选用冲击韧性较好的塑性材料。

3) 对于承受变应力的零件, 应选择耐疲劳的材料; 也可选用强度较低的材料, 通过改进零件的结构形状或采用表面硬化处理来提高零件的疲劳强度。

4) 对于刚度要求高的零件, 可选用一般强度的材料, 通过合理设计零件的截面形状和尺寸来提高零件的刚度。

5) 对于要求耐磨的零件, 可选用减摩材料; 或选用一般强度的材料, 通过表面硬化处理来提高零件的耐磨性。

(2) 工艺要求

1) 对于大尺寸零件, 例如 $\phi 500\text{mm}$ 以上的齿轮毛坯, 在一般设备条件下应选用铸件(铸铁、铸钢)或焊接件。

2) 对于形状比较复杂的零件, 例如箱体类零件, 应选用铸件或焊接件。

(3) 经济要求

1) 能用价格低的材料, 就不选用价格高的材料。

2) 应综合考虑材料费与加工费。例如, 对于单件或小批生产的某些箱体类零件, 选用钢板焊接比较有利: 虽然钢板较铸铁贵, 但可省掉制造木模的费用。

3) 应优先选用我国较丰富的材料。

4) 应采用组合结构来降低材料费用。如设计尺寸较大的蜗轮时, 可选用减摩性和抗胶合能力较好的青铜作齿圈材料, 而轮芯则用铸铁制造。

5) 为了生产准备和供应方便, 同一部机器上使用的材料牌号、品种和规格应尽可能统一, 而且要考虑库存和当地材料的供应情况。

五、机械零件的结构工艺性

机械零件的设计计算主要是为了解决零件的强度、刚度和寿命等要求, 而结构设计时应力求使零件用料少、成本低、制造和装配容易。设计计算出来的数据往往要在进行结构设计时作某些修改。因此, 零件的结构设计在整个机械设计工作中是非常重要的环节。

在一般情况下, 零件的结构应力求简单: 尽量采用简单的表面(例如平面、圆柱面)及其组合, 各个面最好互相平行或垂直, 并力求减少加工面。机械零件的结构应与生产条件和规模相适应: 如有一零件毛坯, 在大批大量生产及有大型设备的条件下, 应选用锻钢件; 如果是单件和小批生产且设备条件一般时, 就只能采用铸件或焊接件。进行零件结构设计时, 还要根据零件的使用要求规定出合理的加工精度与表面粗糙度。这都有助于改善零件的结构工艺性。

设计铸件时应注意壁厚不宜过薄, 以避免液态金属的流动不畅使铸件不能完整地铸出。铸件各部分壁厚应接近均匀, 以免产生缩孔等缺陷。不同壁厚连接处应采用过渡结构, 各个面的交接处应采用圆角结构。垂直于分型面的表面应有适当的起模斜度, 以利造型及起模。关于铸件的许用最小壁厚、圆角半径、起模斜度等数据, 可查阅机械设计手册。

设计锻件和冲压件时, 毛坯形状应力求简单, 不应有很深的凹槽。锻件的不受力部位及

非工作面,应尽量利用不深的凹槽来减少材料用量。有关锻件圆角、拔模斜度等数据,详见机械设计手册。

设计机加工件时,要注意零件结构加工的可行性,如对车、刨、磨加工面应留有退刀槽或砂轮越程槽;要尽可能减小加工难度,如保证刀具加工时所需的工作空间和定位支承面,尽量减少刀具及量具的种类等;要尽可能减小加工面积,要注意零件的刚度,以减少夹持及加工时的变形,保证加工精度。

此外,进行零件结构设计时还要使零件能装能拆且能保证正确的安装位置,尽量降低对装配精度的要求。

六、机械零件设计的标准化与互换性

一台机器是由很多零件装配在一起构成的。装配时,从大批量生产出的同一规格零件中任意取出一件,不需要经过任何选择或修配便可将其直接安装到机器所需部位上,并能完全符合规定的使用性能要求,这种技术特性叫做互换性。这类零部件称为具有互换性的零部件。互换性是现代机械工业按照专业化协作原则组织生产的基本条件。按照互换性原则进行生产,有利于广泛地组织协作,进行高效率的专业化生产,从而便于组织流水作业和自动化生产,大大简化零部件的设计、制造和装配过程,缩短生产周期,提高劳动生产率,降低生产成本,保证产品质量,便于使用维修。因此,互换性是现代机械工业生产必不可少的重要技术措施。

实现互换性的基础是机械设计的标准化。标准化就是要对零件的尺寸、结构要素、材料性能、设计方法、制图要求等制定出大家共同遵守的标准。采用标准化,设计时可减少设计工作量;制造时可以实现专业化大批大量生产,既可提高产品质量,又能降低成本;在管理维修方面便于更换损坏的零件、减少库存量。对于机械零部件,标准化一般表现在如下三个方面。

- 1) 产品品种规格的系列化。将同一类产品的主要参数、尺寸和基本结构等依次分档,制成系列化产品,以较少的规格品种满足生产实践的广泛要求。
- 2) 零部件的通用化。统一用途、结构相近的零部件(如轴承、螺栓等)后实现互换。
- 3) 产品质量标准化。要保证产品质量的合格和稳定,就必须做好设计、加工工艺、装配检验和包装储运等环节的标准化。

我国现行标准分为国家标准(GB)、专业标准和行业标准等,国家标准将逐步与国际标准接轨。

第二节 机械零件的强度

机械强度是指机械零件的材料和结构在承受自身和外界作用时抵御破坏和失效的能力。机械强度有三个要素:一是材料,二是结构,三是作用于其上的可以导致其破坏和功能失效的各种载荷。这三个要素的多样性决定了机械零件强度研究的内容和发展趋势。机械强度理论经历了基于应力应变测试技术的静强度设计、基于疲劳试验技术的安全寿命设计和可靠性设计、基于损伤检测技术的损伤容限与耐久性设计和基于损伤检测技术的智能结构与健康检测设计四个阶段。由于应力应变理论和疲劳理论是强度理论的基础,且在设计中远比损伤容

限理论方法容易使用,故目前工程中仍有广泛应用。本书将重点介绍静强度设计和安全寿命设计。

一、静应力下机械零件的强度计算

作用在零件截面上由零缓慢地增大到某一数值后即保持不变的应力称静应力。由于零件所受的应力极少是绝对静止不变的,故一般在设计时对那些整个工作寿命期间应力变化循环次数少于 1000 的零件,均按静应力对其进行强度计算或校核。静应力可分为体积应力和表面应力两大类。

1. 体积应力

体积应力包括由拉伸、压缩、剪切、扭转和弯曲等所产生的正应力及切应力。对于单向应力状态,危险截面上的最大工作应力即为计算应力;对于双向及三向应力状态,则应按一定的强度理论来求计算应力。计算应力应小于许用应力 $[\sigma]$,按强度理论在单向应力状态下强度条件如下。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ca} &\leq [\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{[S]} \\ \tau_{ca} &\leq [\tau] = \frac{\tau_{lim}}{[S]} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

或采用安全系数法

$$\left. \begin{aligned} S &= \frac{\sigma_{lim}}{\sigma_{ca}} \geq [S] \\ S &= \frac{\tau_{lim}}{\tau_{ca}} \geq [S] \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

式中 σ_{lim} ——极限屈服应力,对于塑性材料应采用屈服点 σ_s ,对于脆性材料应采用抗拉强度 R_m ;

τ_{lim} ——极限切应力;

$[S]$ ——许用安全系数,应根据具体要求,参考现有设计规范斟酌选取;如无规范可循时,一般可取为 1.25~4。

复合应力状态对于塑性材料可按第三或第四强度理论进行强度计算。

第三强度理论(最大切应力理论)

$$\sigma_{ca} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma] \quad (1-10)$$

第四强度理论(形状改变性能理论)

$$\sigma_{ca} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma] \quad (1-11)$$

采用安全系数法

$$S_{ca} = \frac{\sigma_{lim}}{\sqrt{\sigma^2 + \left(\frac{\sigma_{lim}}{\tau_{lim}}\right)^2 \tau^2}} \leq [S] \quad (1-12)$$

在式(1-12)中,应用第三强度理论可取 $\sigma_{lim}/\tau_{lim} = 2$,应用第四强度理论可取 $\sigma_{lim}/\tau_{lim} \approx \sqrt{3}$ 。