



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



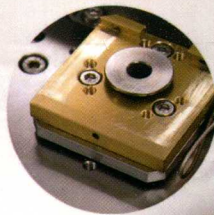
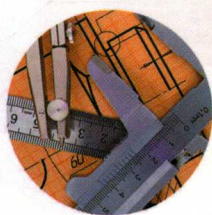
“十二五”江苏省高等学校重点教材

机械原理与设计 (下册)

Theory and Design of
Machines and Mechanisms

第2版

马履中 谢俊 尹小琴 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
“十二五”江苏省高等学校重点教材

机械原理与设计

(下 册)

第2版

主 编	马履中	谢 俊	尹小琴
副主编	鲍培德	朱长顺	杨启志
参 编	陈瑞芳	杨德勇	陈修祥 吴伟光
	孙建荣	杜艳平	杨建伟
主 审	杨廷力	沈守范	



机械工业出版社

本教材在教学改革的基础上按照教育部制订的教学基本要求编写,既考虑了传统经典内容,又考虑到近年来的教学改革成果及学科发展的新动向,适当地扩充了内容。各章除有基本教学内容外,还包含知识拓展、文献阅读指南、学习指导、思考题、习题及习题参考答案。适合于高等学校机械类专业本科机械原理和机械设计两门课程的教学。

本教材分上、下两册,共三篇,各篇独立设章。

上册由第一篇构成,为机械原理课程的主要内容,包括机构分析与运动设计、机械动力设计两部分。其中带*号的部分引入了我国学者在拓扑结构设计中的新成果。下册由第二、三篇构成。第二篇为机械设计课程的主要内容,分联接、传动、轴系零部件和其他零部件等,主要介绍通用零部件的工作能力设计和结构设计;第三篇为机械产品的方案设计与分析,可结合课程设计来讲授,使学生对产品设计有一个全面的了解,也有助于课程设计、课外创新设计及教学改革。

本教材也可供机械工程领域的科研、设计人员及研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理与设计.下册/马履中,谢俊,尹小琴主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2015.6

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 “十二五”江苏省高等学校重点教材

ISBN 978-7-111-50189-3

I. ①机… II. ①马…②谢…③尹… III. ①机构学—高等学校—教材 ②机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH111②TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第094848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:刘小慧 责任编辑:刘小慧 安桂芳

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:张静 责任印制:刘岚

北京玥实印刷有限公司印刷

2015年6月第2版第1次印刷

184mm×260mm·26.5印张·655千字

标准书号:ISBN 978-7-111-50189-3

定价:49.00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

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

第2版序言

本教材自2009年1月第1版第1次印刷以来,以其鲜明的特色得到同行及专家们的关注,先后被列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材和“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。第1版教材在2009—2013年期间连续印刷了4次,被众多高等学校选作教学用书,受到广大师生的好评,并于2013年列为“十二五”江苏省高等学校重点教材(编号2013-1-088)。

本教材第2版是在第1版的基础上修订而成的。修订时,以教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会最新制定的《机械原理及机械设计课程教学基本要求》为依据,参考了课程教学指导分委员会提出的课程教学改革建议,并吸取了近几年来教学改革的经验,根据学科发展的新动向及同行专家和读者的意见,以激发学生自觉的学习兴趣、培养学生自主获取知识的能力和正确的思维方法作为教学理念,适用于普通高等学校机械类(含非机类)专业本科的机械原理和机械设计两门技术基础必修课的教学。教材中的相关内容也可作为机械类专业课、机械设计创新设计选修课、毕业设计等教学环节的参考资料。

第2版在保持第1版基本框架不变的前提下,主要作了以下修订:

1) 各章在原有学习指导、思考题和习题的基础上,增加了知识拓展、文献阅读指南及习题参考答案等内容。“知识拓展”重点在于拓宽学生的知识面,介绍教学基本要求中没有涉及的内容,诸如相关内容的研究历史,近年来的研究现状及其未来的发展趋势,常用机构的特殊工程应用等。“文献阅读指南”是为有兴趣的读者或学有余力的学生进行深入学习指明方向,便于读者自学提高。“习题参考答案”有助于学生正确运用所学知识,自我检查对基本内容的掌握程度,并及时发现学习中存在的问题,便于进一步学习研究。

2) 更正或改进了第1版文字、插图与计算中的一些疏漏和错误。

由于有关编者的工作调动等原因,经编者同意,对有关章节的编者作了局部调整。参加第2版修订工作的有:马履中(绪论,第一篇前言、第一章、第三章、第八章),尹小琴(第一篇第二章、第四章,第三篇前言、第一章、第二章和第五章部分内容),杨启志(第一篇第五章、第九章、第十章),陈瑞芳(第一篇第六章),杨德勇(第一篇第七章),谢俊(第二篇前言、第一章、第八章、第十二章、第四章部分内容和第五章部分内容,第三篇第五章部分内容),陈修祥(第二篇第二章、第四章部分内容和第五章部分内容),鲍培德(第二篇第三章、第十章、第十一章、第四章部分内容和第五章部分内容),朱长顺(第二篇第六章、第七章、第九章、第四章部分内容和第五章部分内容),吴伟光(第二篇第十三章),孙建荣(第二篇第十四章),北京印刷学院杜艳平(第二篇第四章部分内容和第五章部分内容,第三篇第三章、第四章部分内容),北京建筑大学杨建伟(第三篇第四章部分内容)。

本教材第2版由马履中、谢俊和尹小琴任主编,鲍培德、朱长顺和杨启志任副主编,由金陵石化公司、东南大学兼职教授、博士生导师杨廷力教授和南京理工大学沈守范教授担任主审,他们对教材修订提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

限于时间与水平,本教材难免存在欠妥之处,敬请各位学者、老师和广大读者批评指正。

编者
于江苏大学

第1版序言

本教材是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，也是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，适用于普通高等学校机械类（含非机类）专业本科的机械原理和机械设计两门技术基础必修课的教学。教材中的相关内容也可作为机械类专业课、机械设计创新设计选修课、毕业设计等教学环节的参考资料。

本教材以教育部制订的机械原理和机械设计两门课程的“教学基本要求”为依据编写，同时，也吸收了近几年来教学改革成果及学科发展的新动向，适当地扩充了相关内容。

江苏大学在近几年教学实践中对机械类专业的“机械原理”及“机械设计”两门课程的设置进行了改革，以一门课程的形式分两个学期进行讲授。第一学期讲授本教材上册内容，称为“机械原理与设计Ⅰ”，主要以机械原理课程为主；第二学期讲授本教材下册内容，称为“机械原理与设计Ⅱ”，主要以机械设计课程为主。将两门课程的课程设计统一放在第二学期进行，以便于学生在课程设计时能综合运用两门课程所学内容，如综合运用机构学及带传动、链传动等内容进行方案设计，对其进行运动及动力性能分析，并对传动部件强度及具体结构进行设计。本教材在编写过程中充分考虑了这一情况，特别是第三篇，以产品实现全过程作为主线，使学生对产品设计有一个较全面的了解。对于该内容，教师可结合课程设计进行讲解或学生在课程设计前有选择性地自学。它将有利于巩固课程设计的改革成果，为学生下一步专业课学习及今后毕业设计打下较好的基础。

本教材分为上、下两册，共三篇，各篇独立设章。第一篇包含10章，第二篇包含14章，第三篇包含5章。每章末都有各章的主要内容与学习指导，思考题与习题。全书以产品实现全过程（市场调研—任务提出—方案设计—创新思想引入—运动学、动力学性能分析—考虑强度、环保等工作能力设计—结构设计—产品投放市场—用户—产品报废、回收）为依据来考虑教材内容的取舍。

上册由第一篇构成，以机械原理课程为主要内容，包括平面机构组成原理及其自由度分析，平面机构的运动分析，平面连杆机构运动学分析与设计，凸轮机构及其设计，齿轮机构及其设计，轮系及其传动比计算，其他常用机构及组合机构，机器人机构，机械的摩擦与自锁，机械动力学与机械平衡。考虑到现代机构学发展的重要方向之一是以机器人机构为背景的可控、多输入机构，对它进行研究，促进了发明新机构的理论与方法的发展。因此，本篇在内容中扩充了与发明新机构有关的拓扑结构学的基本理论。该篇第一、二章引入了我国学者杨廷力教授在拓扑结构设计中的新成果（教材中以标“*”号的小节出现），主要以平面机构作为研究对象，阐述与分析其理论，使学生对该理论的实质有所了解，为平面机构的性能分析和机构创新、发明提供理论基础。同时，也有利于读者进一步学习空间串联和并联机器人机构创新设计的有关理论。第三章在平面连杆机构中引入了二自由度的平面五连杆机构，它是最基本的多自由度机构之一。对它进行分析研究，可为其他多自由度机构的学习打下基础。

下册由第二篇和第三篇构成。第二篇以机械设计课程为主要内容，包括机械设计概论，

机械零件的强度, 摩擦、磨损及润滑概述, 螺纹联接和螺旋传动, 键、花键联接及其他联接, 带传动, 链传动, 齿轮传动, 蜗杆传动, 轴, 滚动轴承, 滑动轴承, 联轴器和离合器, 弹簧。在该篇第一章的零部件设计准则中, 除了要考虑常规的强度准则外, 还应注意产品使用过程中的环保, 即必须考虑产品的生命全过程, 引入绿色设计, 以及现代化设计, 如有限元、优化、可靠性设计等内容。下册第三篇以机械产品的方案设计与分析为主要内容, 该篇共有5章, 结合全书前两篇的内容, 以产品实现过程为主线, 阐述从产品构思到产品实现全过程的相关设计方法, 并举例加以说明。内容包括: 机械产品设计过程简介、机械产品的运动方案设计与分析、机械传动系统与控制系统设计简介、机械创新设计、机械产品设计实例。考虑到近年来各高校的课外机械创新设计大赛, 该篇还引入了机械创新设计及有关设计方面的应用举例。这些内容符合“创新设计”的要求, 可作为学生自由阅读的材料。

本教材内容适用于高校“机械原理”与“机械设计”两门课分离或合并的不同情况, 具有下述几方面特色:

1) 整本教材以“机械产品实现过程”(PRP)作为编写的主导思想, 并贯穿于教材的始终。从绪论开始直到第三篇都围绕该思想组织教材内容。比如“绪论”中除了讲述本课程的研究对象、内容方法、研究目的、地位、作用、发展动向外, 还提到机械产品设计全过程概述, 以及初期产品规划、总体方案设计、结构设计、产品施工设计等内容。

第一篇机械原理。该篇基于“机械产品实现过程”, 从机械产品初期规划设计入手, 介绍了市场调研、销售预测、技术调研、同行调研、国内外现状调研、专利情况调研、可行性论证, 直到设计任务确定。在按设计任务进行机械的机构运动学拓扑结构设计时, 力求在机构拓扑结构上有所创新。这是高层次的创新, 属源头创新。由此拟订方案, 再对方案进行评价。机构学的任务即在于机构拓扑结构的创新, 并进一步进行机构尺度创新, 然后引入各种常用连杆、凸轮、齿轮、轮系、其他常用机构及组合机构, 从运动学、动力学角度进行分析与设计, 最终进行方案决策。

该篇对某些章节内容作了调整, 如在连杆机构中引入了多自由度五连杆机构设计等内容。此外, 还简要介绍了一部分串联机器人及并联机器人有关最新科研成果的新内容。

第二篇不仅从强度及结构入手, 介绍机器和机械常用零件设计时应满足的基本要求和一般程序, 以及机械零件的主要失效形式及设计准则, 还将可靠性设计、绿色设计、虚拟设计等现代设计方法引入到机械设计课程中, 使产品设计综合考虑产品的可靠性、可拆卸性等因素, 以适应产品的全寿命设计。

该篇引入了常用现代设计方法, 如计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、反求设计、绿色设计、虚拟设计等, 以求学生能了解现代设计方法的概要, 并能对产品全过程实现原则有所了解, 以期能较全面地、完整地理解或掌握产品设计应考虑的原则。

第三篇介绍从产品构思到产品实现全过程的设计方法, 并举例说明其应用的方法。

2) 教材附有主要符号表及重要名词术语的中英文对照。各章有学习指导, 介绍本章主要内容及学习要求, 便于学生进行复习及自学。相关章节将介绍学生自己动手制作的简单机构模型, 如连杆机构、凸轮机构等, 以增加学生的感性认识及对教材内容的深入理解, 同时培养学生的动手能力及创新能力。

3) 配合课程教材内容改革, 还对课程设计进行系统改革, 将机构方案设计及多自由度机电控制一体化思想、可靠性设计及绿色设计思想贯穿到课程设计中, 以增强学生的实践知

识,提高学生的基本素质和创新能力。

教材中标有“*”的章节为选学内容。

本教材编写人员及分工是:马履中编写了绪论及第一篇的第一章、第三章、第八章,尹建军和尹小琴合编了第二章,尹小琴编写了第四章,胡建平编写了第五章,陈瑞芳编写了第六章,刘继展编写了第七章,杨启志编写了第九章、第十章。第二篇由谢俊编写了第一章、第八章和第十二章,陈修祥编写了第二章,鲍培德编写了第三章、第十章和第十一章,杨超君编写了第四章和第五章,朱长顺编写了第六章、第七章和第九章,杨德勇和吴伟光合编了第十三章,孙建荣编写了第十四章。第三篇由尹小琴编写了第一章和第二章,北京印刷学院的杜艳平编写了第三章,杜艳平和北京建筑大学的杨建伟编写了第四章,尹小琴和谢俊合编了第五章。本教材由马履中任主编,谢俊和尹小琴任副主编,马履中、谢俊、尹小琴、鲍培德、杨启志、朱长顺、陈修祥和吴伟光参加了内部审稿工作。

本教材在编写过程中得到了金陵石化公司、东南大学兼职教授、博士生导师杨廷力教授的大力支持与指导,特别对第一章、第二章有关内容提供了详细资料,并和南京理工大学的沈守范教授仔细审阅了全书,提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。江苏大学博士生王劲松,硕士生仲栋华、郁玉峰、刘剑敏、郭洪毓等参加了本书部分绘图和修改等工作,对他们的辛勤劳动,在此一并深表谢意。

限于时间与水平,本教材难免存在错误和欠妥之处,敬请各位学者、老师和广大读者批评指正。

主 编 马履中

副主编 谢俊 尹小琴

于江苏大学

目 录

下 册

第2版序言

第1版序言

第二篇 机械设计

前言

第二篇主要符号表

第一章 机械设计概论 4

第一节 机械设计基本方法 4

第二节 现代设计方法简介 8

第三节 标准化、通用化、系列化 10

思考题 11

第二章 机械零件的强度 12

第一节 概述 12

第二节 材料和零件的疲劳特性曲线 15

第三节 机械零件的疲劳强度计算 20

第四节 机械零件的接触强度 26

附录 28

知识拓展 30

文献阅读指南 31

学习指导 31

思考题 31

习题 32

习题参考答案 32

第三章 摩擦、磨损和润滑 33

第一节 摩擦 33

第二节 磨损 37

第三节 润滑 38

第四节 流体润滑原理简介 43

知识拓展 47

文献阅读指南 48

学习指导 48

思考题 49

第四章 螺纹联接与螺旋传动 50

第一节 螺纹 50

第二节 螺纹联接的基本类型 51

第三节 单个螺纹联接的强度计算 55

第四节 螺栓组联接的设计 63

第五节 提高螺纹联接强度的措施 69

第六节 螺旋传动 75

知识拓展 81

文献阅读指南 81

学习指导 81

思考题 82

习题 82

习题参考答案 84

第五章 键、花键联接及其他联接 85

第一节 键联接 85

第二节 花键联接 90

第三节 销联接 92

第四节 其他联接 94

知识拓展 97

文献阅读指南 97

学习指导 97

思考题 98

习题 98

习题参考答案 98

第六章 带传动 99

第一节 概述 99

第二节 带传动工作情况的分析 104

第三节 V带传动的设计计算 108

第四节 带传动结构设计 122

第五节 其他带传动简介 126

知识拓展 129

文献阅读指南 129

学习指导	129	几何尺寸	191
思考题	130	第三节 普通圆柱蜗杆传动承载能力	
习题	130	计算	197
习题参考答案	130	第四节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡	
第七章 链传动	131	计算	204
第一节 概述	131	第五节 圆柱蜗杆和蜗轮的结构	208
第二节 滚子链链轮的结构和材料	134	知识拓展	211
第三节 链传动工作情况分析	138	文献阅读指南	211
第四节 滚子链传动的设计计算	143	学习指导	212
第五节 链传动的布置、张紧和润滑	148	思考题	212
知识拓展	152	习题	212
文献阅读指南	152	习题参考答案	213
学习指导	153	第十章 轴	214
思考题	153	第一节 概述	214
习题	153	第二节 轴的结构设计	217
习题参考答案	153	第三节 轴的设计计算	222
第八章 齿轮传动	154	知识拓展	232
第一节 概述	154	文献阅读指南	233
第二节 齿轮传动的失效形式及设计		学习指导	233
准则	154	思考题	234
第三节 齿轮的材料	156	习题	234
第四节 齿轮传动的计算载荷	158	习题参考答案	234
第五节 标准直齿圆柱齿轮传动的强度		第十一章 滚动轴承	235
计算	162	第一节 概述	235
第六节 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度		第二节 滚动轴承的主要类型特点	
计算	174	及代号	236
第七节 标准直齿锥齿轮传动的强度		第三节 滚动轴承的载荷及应力	240
计算	179	第四节 滚动轴承的尺寸选择	242
第八节 齿轮传动的效率和润滑	180	第五节 滚动轴承装置的组合结构设计	252
第九节 齿轮结构	181	附录	259
第十节 其他齿轮传动简介	182	知识拓展	263
知识拓展	183	文献阅读指南	263
文献阅读指南	184	学习指导	264
学习指导	184	思考题	264
思考题	185	习题	265
习题	185	习题参考答案	265
习题参考答案	186	第十二章 滑动轴承	266
第九章 蜗杆传动	187	第一节 概述	266
第一节 概述	187	第二节 径向滑动轴承的结构	266
第二节 普通圆柱蜗杆传动的主要参数及		第三节 滑动轴承材料	269

第四节 非液体润滑滑动轴承设计	271
第五节 液体动力润滑滑动轴承设计	273
第六节 其他形式滑动轴承简介	281
知识拓展	282
文献阅读指南	283
学习指导	283
思考题	284
习题	284
习题参考答案	284
第十三章 联轴器和离合器	285
第一节 联轴器的种类和特性	285
第二节 联轴器的选择及应用实例	290
第三节 离合器	292
知识拓展	296
文献阅读指南	296
学习指导	297
思考题	297
习题	297
习题参考答案	297
第十四章 弹簧	298
第一节 概述	298
第二节 弹簧的材料、许用应力及制造	299
第三节 圆柱螺旋弹簧的设计计算	301
知识拓展	309
文献阅读指南	309
学习指导	310
思考题	310
习题	310
习题参考答案	310

第三篇 机械产品的方案设计与分析

前言

第一章 机械产品设计过程简介	313
----------------------	-----

第二章 机械产品运动方案的设计与分析	316
--------------------------	-----

第一节 机械产品运动方案的设计程序	316
-------------------------	-----

第二节 机械产品运动方案的设计内容	318
-------------------------	-----

第三节 机械产品运动方案的设计原则	319
-------------------------	-----

第四节 机械产品运动方案的设计与评价	322
--------------------------	-----

第三章 机械传动系统与控制系统设计简介	333
---------------------------	-----

第一节 传动系统的组成和分类	333
----------------------	-----

第二节 机械传动系统的常用部件	335
-----------------------	-----

第三节 机械传动系统方案设计	338
----------------------	-----

第四节 机械传动系统方案设计实例分析	342
--------------------------	-----

第五节 原动机的选择	347
------------------	-----

第六节 机械的控制系统简介	351
---------------------	-----

第四章 机械创新设计	357
------------------	-----

第一节 机械的创新	357
-----------------	-----

第二节 机构的创新设计	360
-------------------	-----

第三节 机械结构创新设计	366
--------------------	-----

第四节 机械创新设计实例	372
--------------------	-----

第五章 机械产品设计实例	378
--------------------	-----

附录 重要名词术语中英文对照表	387
-----------------------	-----

参考文献	412
------------	-----

第

二

篇

机械 设计

前 言

我国加入 WTO 以后,全球化的产品竞争日趋激烈,这对我国机械行业提出了不断开发新产品的强烈要求。机械设计是机械产品生产的第一步,是整个制造过程的依据,也是决定产品质量,以及产品在制造过程中和投入使用后经济效果优劣的一个重要环节。要生产质量好、成本低、具有市场竞争能力的产品,首先要有一个好的设计。因此,机械设计在机械工业中具有非常重要的意义。目前,我国急需大量的机械设计高级人才,创造性地设计出具有国内外市场竞争力的新机械产品。

机械设计课程是一门培养学生具有机械设计能力的技术基础课,为工科院校机械类专业的学生提供了机械设计的基本知识、基本理论和基本方法的基本训练。通过本篇的理論学习和课程设计,主要使学生具备以下能力:

- 1) 掌握通用零部件的设计原理、方法和机械设计的一般规律,具有综合运用所学知识设计和开发简单机械的能力。
- 2) 具有运用标准、规范、手册等查阅技术资料的能力。
- 3) 掌握典型机械零件的实验方法,了解实验与机械设计的关系和重要性。
- 4) 建立正确的设计思想和工作方法,了解国家的技术经济政策和机械设计的发展方向。

本篇主要介绍机械设计常用的基本理论和通用机械零件常用参数范围内的一般设计方法。通用机械零件是指在一般机械中常见的零件(如齿轮、滚动轴承、螺栓等),常用参数是指在一般工作条件下的取值。

在本篇的学习过程中,要综合运用先修课程中所学的有关知识与技能,掌握机械零件的设计计算方法和步骤,并通过学习这些基本内容去掌握机械零件的物理、数学模型的建立,材料和热处理的选择,公差配合的选用,以及机器保养维护的知识,为深入学习现代设计理论和方法提供很好的条件,为顺利过渡到专业课程的学习及专业产品和设备的设计打下宽广而坚实的基础。

第二篇主要符号表

a ——中心距、距离、轴向的	U ——速度参数
A ——面积、系数	v ——速度
b ——距离、宽度	V ——体积
B ——距离、宽度	W ——载荷参数、抗弯截面系数、抗扭截面系数
c ——常数、系数、间隙	x ——系数、坐标轴
C ——系数、刚度、滚动轴承的基本额定载荷、 倒角	X ——径向系数、坐标轴
d ——直径	y ——系数、挠度、坐标轴
D ——直径	Y ——轴向系数、坐标轴
e ——偏心距、齿槽宽、判断系数	z ——齿数、个数、系数、坐标轴
E ——弹性模量	Z ——齿数、个数、系数、坐标轴
f ——摩擦因数	α ——角度、压力角、接触角、粘压指数、根据 转矩性质而定的折合系数
F ——力	β ——轴承的载荷角、齿轮的螺旋角
G ——材料参数、切变模量	γ ——角度
h ——间隙、系数、油膜厚度	δ ——角度、厚度、微量
H ——高度、硬度、膜厚参数	ε ——重合度、偏心率、偏差率、轴承寿命计算 的指数
i ——数目、传动比	η ——动力粘度、效率
I ——惯性矩	θ ——角度、偏转角
J ——转动惯量	λ ——角度、膜厚比、变形量、压杆的柔度系数
k ——系数	μ ——泊松比
K ——系数、综合影响系数	ν ——运动粘度
l ——距离、长度	ρ ——流体的密度、摩擦角、当量曲率半径
L ——距离、寿命	Σ ——轴交角、代数和、总和
m ——模数、质量、指数	σ ——拉、压应力
M ——弯矩	ϕ ——扭转角
n ——转速	σ_H ——接触应力
N ——压力、循环次数	σ_b ——抗拉强度、弯曲应力
O ——坐标原点	σ_p ——比例极限、挤压应力
p ——压强、压力、齿距	σ_s ——屈服强度
P ——功率、滚动轴承的当量动载荷	$\sigma_{0.2}$ ——条件屈服强度
Q ——载荷、流量	σ_{bc} ——抗压强度
r ——半径、圆角半径、循环特性系数	σ_{bb} ——抗弯强度
R ——半径、圆角半径、可靠度	τ ——抗剪强度、切应力
s ——厚度、弧长	τ_b ——抗扭强度
S ——安全系数、轴承的派生轴向力	τ_T ——扭转切应力
t ——温度、时间、槽深、切向的、周向的	σ_{-1} ——弯曲疲劳极限
T ——转矩	τ_{-1} ——扭转疲劳极限
u ——速度、齿数比	

第一章

机械设计概论

第一节 机械设计基本方法

一、机械设计的基本要求

机械设计首先要保证的是产品的功能及其可靠性,并保证产品具有良好的工艺性,主要包括机器及零、部件的设计。这两部分并不截然分开,但相互之间存在一些差异。

(一) 设计机器应满足的基本要求

(1) 功能性要求 人们是为了生产和生活上的需要才设计和制造各式各样机器的,因此,机器必须具有预定的使用功能。这主要靠正确选择机器的工作原理,正确设计或选用原动机、传动机构和执行机构,以及合适配置辅助系统来保证。

(2) 可靠性要求 机器在预定工作期限内必须具有一定的可靠性。机器的可靠性可用可靠度 R 来衡量。机器的可靠度 R ,是指机器在规定的工作期限内和规定的工作条件下,无故障地完成规定功能的概率。

提高机器可靠度的关键是提高其组成零、部件的可靠度。此外,从机器设计的角度出发,确定适当的可靠性水平,力求结构简单,减少零件数目,尽可能选用标准件及高可靠度零件,合理设计机器中的组件和部件并选取较大安全系数等,对提高机器可靠度也是十分有效的。

(3) 经济性要求 机器的经济性体现在设计、制造和使用的全过程中,包括设计制造经济性和使用经济性。设计制造经济性表现为机器的成本低;使用经济性表现为高生产率、高效率、较低的能源与材料消耗,以及低的管理和维护费用等。设计机器时应最大限度地考虑其经济性。

提高设计制造经济性的主要途径有:

- 1) 尽量采用先进的现代设计理论和方法,力求参数最优化,以及应用 CAD 技术,加快设计进度,降低设计成本。
- 2) 合理地组织设计和制造过程。
- 3) 最大限度地采用标准化、系列化及通用化的零、部件。
- 4) 合理地选用材料,努力改善零件的结构工艺性,尽可能采用新材料、新结构、新工艺和新技术,使其用料少、质量小、加工费用低。
- 5) 尽力注意机器的造型设计,扩大销售量。

提高机器使用经济性的主要途径有:

- 1) 提高机械化、自动化水平。
- 2) 选用高效率的传动系统和支承装置。
- 3) 注意采用适当的防护、润滑和密封装置等,以提高生产率,降低能源消耗和延长机器使用寿命等。

(4) 劳动保护要求 设计机器时应给劳动保护要求给予极大的重视,一般可从以下两方面着手:

1) 注意操作者的操作安全,减轻操作时的劳动强度。具体措施有:对外露的运动件加设防护罩;设置保险、报警装置,以消除和避免不正确操作等引起的危害;操纵应简便省力,简单而重复的劳动要利用机械本身的机构来完成。

2) 改善操作者及机器的环境。具体措施有:降低机器工作时的振动与噪声;防止有毒有害介质渗漏;治理废水、废气和废液;美化机器的外形及外部色彩。总之,所设计的机器应符合劳动保护法规的要求。

(5) 其他特殊要求 对不同的机器,还有一些为该机器所特有的要求。例如,对仪器机械有保持清洁、不能污染产品的要求;对机床有长期保持精度的要求;对飞机有质量小、飞行阻力小等的要求。设计机器时,不仅要满足前述共同的基本要求,同时还应满足其特殊要求。

(二) 设计机械零件的基本要求

机器是由零件组成的。因此,设计的机器是否满足前述基本要求,零件的质量是关键。为此,还应对机械零件提出以下基本要求:

(1) 强度、刚度及寿命要求 强度是衡量零件抵抗破坏的能力。零件强度不足,将导致过大的塑性变形甚至断裂破坏,使机器停止工作,甚至发生严重事故。采用高强度材料,增大零件截面尺寸及合理设计截面形状,采用热处理及化学处理方法,提高运动零件的制造精度,以及合理配置机器中各零件的相互位置等,均有利于提高零件的强度。

刚度是衡量零件抵抗弹性变形的能力。零件刚度不足,将导致过大弹性变形,引起载荷集中,影响机器工作性能,甚至造成事故。例如,机床主轴、导轨等,若刚度不足、变形过大,将严重影响所加工零件的精度。零件的刚度分整体变形刚度和表面接触刚度两种。增大零件的截面尺寸,增大截面惯性矩、缩短支承跨距或采用多支点结构等措施,将有利于提高零件的整体刚度;增大贴合面及采用精细加工等措施,将有利于提高零件的接触刚度。一般地说,满足刚度要求的零件,也能满足其强度要求。

寿命是指零件正常工作的期限。材料的疲劳、腐蚀,相对运动零件接触表面的磨损,高温下的蠕变等是影响零件寿命的主要因素。提高零件抗疲劳破坏能力的主要措施有减小应力集中、保证零件有足够大小的尺寸及提高零件表面质量等。提高零件耐腐蚀性能的主要措施有选用耐腐蚀材料和采取各种防腐蚀的表面保护措施。

(2) 结构工艺性要求 零件应具有良好的结构工艺性。这就是说,在一定的生产条件下,零件应能方便而经济地生产出来,并便于装配成机器。为此,应从零件的毛坯制造、机械加工及装配等几处生产环节综合考虑,对零件的结构设计予以足够重视。

(3) 可靠性要求 零件可靠度的定义和机器可靠度的定义是相同的,而机器的可靠度主要是由其组成零件的可靠度来保证的。提高零件的可靠性,应从工作条件(载荷、环境

温度等)和零件性能两个方面综合考虑,使其随机变化尽可能小。同时,加强使用中的维护与监测,也可提高零件的可靠性。

(4) 经济性要求 零件的经济性主要决定于零件的材料和加工成本。因此,提高零件的经济性主要从零件的材料选择和结构工艺性设计两个方面加以考虑,如采用廉价材料以代替贵重材料,采用轻型结构和少余量、无余量毛坯,简化零件结构和改善零件结构工艺性,以及尽可能采用标准化的零、部件等。

(5) 质量小的要求 尽可能减小质量对绝大多数机械零件都是必要的。减小质量可以节约材料,可以减小运动零件的惯性,从而改善机器动力性能。对运输机械,减小零件质量就可以减小机械本身的质量,从而减小动载量。要达到零件质量小的目的,应从多方面采取措施。

二、机械设计方法和一般步骤

(一) 机械设计方法

机械的设计方法,可从不同的角度分类。目前较为流行的分类方法是把过去长期采用的设计方法称为常规(或传统)设计方法,近几十年发展起来的设计方法称为现代设计方法。

机械的常规设计方法可概括地划分为以下三种:

(1) 理论设计 根据长期研究与实践总结出来的设计理论和实验数据所进行的设计,称为理论设计。理论设计的计算过程分为设计计算和校核计算两部分。

设计计算是指按照已知的运动要求,载荷情况及零、部件的材料特性等,运用一定的理论公式设计零、部件尺寸和形状的计算过程。设计计算多用于能通过简单的力学模型进行设计的零、部件,如转轴的强度、刚度计算等。

校核计算是指先根据类比法、实验法等其他方法初步定出零、部件的尺寸和形状,再用理论公式进行精确校核的计算过程。它多用于结构复杂,应力分布较复杂,但又能用现有的应力分析方法(以强度为设计准则时)或变形分析方法(以刚度为设计准则时)进行计算的场合。

理论设计可得到比较精确而可靠的结果,重要的零、部件大都选择这种方法。

(2) 经验设计 根据对某些零、部件已有的设计与使用实践而归纳出的经验关系式,或根据设计者本人的工作经验用类比的方法所进行的设计称为经验设计。对一些次要的零、部件或者对于一些理论上不够成熟或虽有理论但没有必要用繁复、高级的理论设计的零、部件,以及对那些使用要求变动不大而结构形状已典型化的零件,经验设计是很有效的设计方法,如箱体、机架、传动零件的设计等。

(3) 模型实验设计 把初步设计的零、部件或机器,做成小模型或小尺寸样机,经过实验的手段对其各方面的特性进行检验,根据实验结果对设计逐步修改,从而达到完善,这样的设计过程称为模型实验设计。对于一些尺寸巨大而结构又很复杂的重要零件,尤其是一些重型机械零件,为了提高设计的可靠性,可采用模型实验设计的方法。这种设计方法费时、昂贵,因此只用于特别重要的设计中,如新型、重型设备及飞机的机身,新型舰船的船体设计等。

(二) 机械设计的一般步骤

机械设计是一个创造性的工作过程，同时也是一个尽可能多地利用已有成功经验的工作过程，要很好地把继承和创新结合起来，才能设计出高质量的产品。作为产品的设计，要求对产品的工作原理、功能、结构、零部件设计，甚至加工制造和装配方法都确定下来。因此，不同的设计者可能有不同的设计方法和设计步骤。根据人们长期的设计经验，机械设计分为五大步骤：动向预测；方案设计；技术设计；施工设计；试生产。

(1) 动向预测 在根据实际的需要提出所要设计的新产品后，动向预测只是一个计划和预备阶段，此时所要设计的产品仅是一个模糊的概念。在这一阶段中，应对所设计的产品作全面的调查研究和分析。

(2) 方案设计 方案设计阶段对设计的成败起着关键的作用。在该阶段中，充分地表现出了设计工作有多个方案的特点。首先对能满足工作要求的多种设计原理方案加以分析比较，并最后选择最优方案。由于任何工作原理都必须通过一定的运动形式来实现，所以这一步骤也确定了设计所需的运动形式。

在该阶段，要按照选择最优方案所需的技术——经济论证来制订产品总体和主要部件方案，同时要对工作原理、可靠性和强度等问题加以研究，有些必须得到实验验证。在方案设计中，必须充分精确地估计出对最终结果产生影响的参数，同时尽量采用微电子技术和新型材料，设计机电液一体化产品。

(3) 技术设计 在技术设计中，要拟定设计对象的总体和部件，具体确定零件的结构。对所设计的机械新产品提出的要求是：制造和维护经济、操纵方便而安全、可靠性高和使用寿命长。为了能达到这些要求，零件应满足一些准则，其中最重要的准则是：强度、刚度、抗振性、耐磨性、耐热性、工艺性等。标准化对所设计产品的制造成本和运行费用有很大意义。实现了标准化，可降低机械产品的成本，缩短设计周期，提高可靠性。

设计人员绘制初步的设计总图，经过反复修改满意后按比例绘制。这一阶段设计人员的经验起着重要作用，凡可能发生机械干涉之处要特别注意，必须有足够的各向视图和断面图，以暴露可能发生的问题。初步设计总图完成后，初估其制造成本（供审查和报价），进行初步评审。

从初步设计总图到技术设计装配图，需注意：

- 1) 尽量采用标准件、通用件或过去已经设计制造的零部件，以节省生产费用。
- 2) 确定毛坯材料，以及毛坯是否需要外协。
- 3) 改进加工和安装工艺，如采用成组加工工艺和平行装配操作等以降低制造成本。
- 4) 按照造型设计原则改进结构。
- 5) 考虑安全设计要素。
- 6) 进行技术、经济分析。

最后，综合上述工作，调整零件尺寸比例后，绘制技术设计总装图。对于高速运动机械，还需进行系统的动力学验算，内容包括整体结构的固有频率和振型，确定结构承受的外载荷，计算在动载荷作用下的动应力，并采取措施避免共振和减少动应力等。

按照初步评审意见进行修改得到的技术设计总装配图，绘制每一零件的结构。计算出零件受载后的应力分布状况，找出其危险点，进行结构改进以降低危险点的峰值应力或对零件的主要尺寸作优化设计。再考虑选用材料、加工和装配要求，确定零件的尺寸，对零件的危