

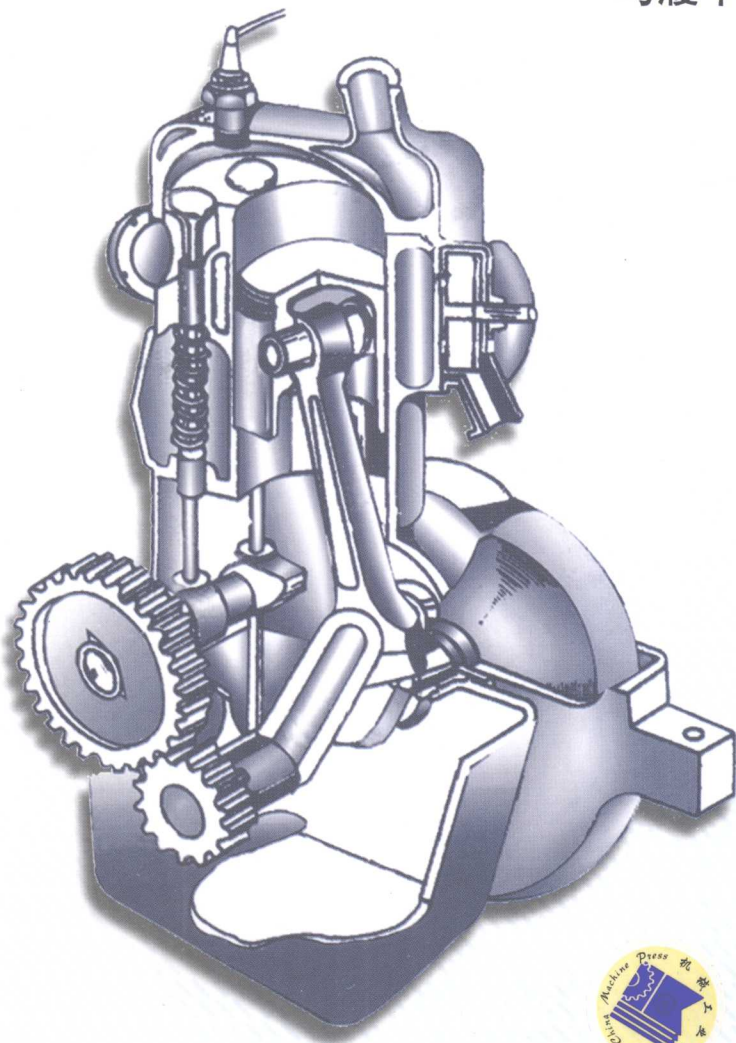


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械原理与设计

(下册)

马履中 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械原理与设计

(下 册)

主 编 马履中
副主编 谢 俊 尹小琴
参 编 陈修祥 鲍培德 杨超君 朱长顺
杨德勇 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

本教材在教学改革基础上按照教育部颁发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。每章除有基本教学内容外,还包含学习指导、思考题及习题。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,全书共分为三篇,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,也有助于学生课程设计、课外创新设计及教学改革的进行。

本书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)/马履中主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-26112-4

I. 机… II. 马… III. ①机构学-高等学校-教材②机械设计-高等学校-教材 IV. TH111 TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第013002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 游焱兵

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:张静 责任印刷:邓博

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2009年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·25印张·615千字

标准书号:ISBN 978-7-111-26112-4

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379715

封面无防伪标均为盗版

序 言

本教材是普通高等教育“十一五”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基础技术必修课的教学。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教材。

本教材以教育部颁发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，也吸收了近几年来在教学改革中的成果及学科发展的新动向，适当地扩充了相关的内容。

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（上册）”，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（下册）”，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。该内容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，也有利于学生对产品设计有一个全面的了解，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。

本教材分上、下两册，全书共分三篇，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，并有思考题与习题。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一些新成果，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,为此,该篇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材料。

本教材内容适用于各高校“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新的创新。这是高层次的创新,属源头创新。由此拟定方案,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、常用及组合机构,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,如连杆机构中引入多自由度五连杆机构设计等内容。此外,还简要介绍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,介绍机器人和机械常用零件设计时应满足的基本要求和一般程序,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,增加到机械设计课程中,使产品设计时,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、完整地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) 教材附有主要符号索引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,以便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，以增强学生实践知识及基本素质、创新能力的提高。

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，太原科技大学杜艳平编写了第三章，太原科技大学杜艳平和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。江苏大学博士生王成军、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

序言

第二篇 机械设计

前言

第一章 机械设计概论	3
第一节 机械设计基本方法	3
第二节 现代设计方法简介	7
第三节 标准化、通用化、系列化	9
思考题 2.1	10
第二章 机械零件的强度	11
第一节 概述	11
第二节 材料和零件的疲劳特性曲线	14
第三节 机械零件的疲劳强度计算	19
第四节 机械零件的接触强度	25
附录	27
附录 A 圆角、环槽的有效应力集中 系数 k_σ 和 k_τ 值	27
附录 B 螺纹、键槽、外花键、横孔的有 效应力集中系数 k_σ 和 k_τ 值	27
附录 C 尺寸系数 ε_σ 和 ε_τ 值	28
附录 D 螺纹联接件的尺寸系数 ε_σ 值	28
附录 E 加工表面的表面状态系数 β 值	28
附录 F 强化表面的表面状态系数 β_q 值	28
附录 G 配合零件的综合影响系数 $(k_\sigma)_D$ 和 $(k_\tau)_D$ 值	29
学习指导 2.2	29
思考题 2.2	29
习题 2.2	30
第三章 摩擦、磨损和润滑	31
第一节 摩擦	31
第二节 磨损	35
第三节 润滑	36
第四节 流体润滑原理简介	41
学习指导 2.3	45

思考题 2.3	46
第四章 螺纹联接与螺旋传动	47
第一节 螺纹	47
第二节 螺纹副受力分析、效率和自锁	49
第三节 螺纹联接的基本类型与螺纹 联接件	52
第四节 螺纹联接的强度计算	54
第五节 螺栓组联接的力分析	62
第六节 螺纹联接的结构设计及应注意 的问题	66
第七节 螺旋传动	73
学习指导 2.4	75
思考题 2.4	75
习题 2.4	76
第五章 键、花键联接及其他联接	78
第一节 键、花键联接	78
第二节 销联接	84
第三节 成型联接	85
第四节 胀紧联接	85
第五节 过盈联接	86
学习指导 2.5	86
思考题 2.5	87
习题 2.5	87
第六章 带传动	88
第一节 概述	88
第二节 带传动工作情况的分析	93
第三节 V 带传动的设计计算	97
第四节 带传动结构设计	106
第五节 其他带传动简介	110
学习指导 2.6	112
思考题 2.6	113
习题 2.6	113
第七章 链传动	114
第一节 概述	114
第二节 滚子链链轮的结构和材料	117
第三节 链传动工作情况分析	121
第四节 滚子链传动的设计计算	126

第五节 链传动的布置、张紧和润滑	131	第四节 滚动轴承的尺寸选择	218
学习指导 2.7	135	第五节 滚动轴承装置的组合结构设计	227
思考题 2.7	135	附录	235
习题 2.7	135	附录 A 深沟球轴承 GB/T 276—1994	235
第八章 齿轮传动	136	附录 B 圆柱滚子轴承 GB/T 283—2007	236
第一节 概述	136	附录 C 角接触球轴承 GB/T 292—2007	237
第二节 齿轮传动的失效形式及设计 准则	136	附录 D 圆锥滚子轴承 GB/T 297—1994	238
第三节 齿轮的材料	138	学习指导 2.11	239
第四节 齿轮传动的计算载荷	139	思考题 2.11	240
第五节 标准直齿圆柱齿轮传动的强度 计算	143	习题 2.11	240
第六节 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度 计算	153	第十二章 滑动轴承	242
第七节 标准直齿锥齿轮传动的强度 计算	158	第一节 概述	242
第八节 齿轮传动的效率和润滑	160	第二节 径向滑动轴承的结构	242
第九节 齿轮结构	160	第三节 滑动轴承材料及润滑	245
第十节 其他齿轮传动简介	162	第四节 非液体润滑滑动轴承设计	247
学习指导 2.8	163	第五节 液体动力润滑滑动轴承设计	249
思考题 2.8	163	第六节 其他形式滑动轴承简介	257
习题 2.8	164	学习指导 2.12	259
第九章 蜗杆传动	165	思考题 2.12	259
第一节 概述	165	习题 2.12	260
第二节 普通圆柱蜗杆传动的主要参数及 几何尺寸	169	第十三章 联轴器和离合器	261
第三节 普通圆柱蜗杆传动承载能力 计算	175	第一节 联轴器的种类和特性	261
第四节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡 计算	182	第二节 联轴器的选择及应用实例	266
第五节 圆柱蜗杆和蜗轮的结构	186	第三节 离合器	268
学习指导 2.9	189	学习指导 2.13	272
思考题 2.9	189	思考题 2.13	272
习题 2.9	190	习题 2.13	272
第十章 轴	191	第十四章 弹簧	273
第一节 概述	191	第一节 概述	273
第二节 轴的结构设计	194	第二节 弹簧的材料、许用应力及制造	274
第三节 轴的设计计算	199	第三节 圆柱螺旋弹簧的设计计算	276
学习指导 2.10	209	学习指导 2.14	284
思考题 2.10	209	思考题 2.14	284
习题 2.10	210	习题 2.14	284
第十一章 滚动轴承	211	第三篇 机械产品的方案设计与分析	
第一节 概述	211	前言	
第二节 滚动轴承的主要类型特点 及代号	212	第一章 机械产品设计过程简介	287
第三节 滚动轴承的载荷及应力	216	第二章 机械产品的运动方案设计 与分析	290

第一节	机械产品运动方案的设计程序	290	第五节	原动机的选择	321
第二节	机械产品运动方案的设计内容	292	第六节	机械的控制系统简介	325
第三节	机械产品运动方案的设计原则	293	第四章	机械创新设计	331
第四节	机械产品运动方案的设计与 评价	296	第一节	机械的创新	331
第三章	机械传动系统与控制系统 设计简介	307	第二节	机构的创新设计	334
第一节	传动系统的组成和分类	307	第三节	机械结构创新设计	340
第二节	机械传动系统的常用部件	308	第四节	机械创新设计实例	346
第三节	机械传动系统方案设计	312	第五章	机械产品设计实例	352
第四节	机械传动系统方案设计实例 分析	316	附录	重要名词术语中英文对照表	361

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。通过本篇的理论学习和课程设计,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、质量轻、加工费用少。

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,对仪器仪表有保持清洁、不能污染产品的要求;对机床有长期保持精度的要求;对飞机有质量轻、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,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) 质量轻的要求 尽可能减轻质量对绝大多数机械零件都是必要的。减轻质量可以节约材料,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,减轻零件质量就可以减轻机械本身的质量,从而减小动载量。要达到零件质量轻的目的,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办法所进行的设计叫做经验设计。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——经济论证来制定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等。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, 对零件的危险点求出在工作载荷谱下的应力响应, 计算疲劳强度和寿命, 按寿命要求再修改零件设计, 并完成润滑设计和电气设计(驱动和控制)等, 然后再次绘制技术设计总装配图, 进行第二次评审。

第二次评审仍应请各方面专家和使用人员代表会同审核, 在此时改变设计, 其代价将是很高的。但是若有必要改变之处则一定要改。第二次评审通过后, 正式绘制技术设计总装配图和部件图(分装配图)。

(4) 施工设计 根据技术设计总装配图进行零部件设计, 绘出零件图, 再按实际的零件尺寸绘制施工设计总装配图。接着校对图样, 再对图样进行工艺性审核。此外, 还需对图样进行润滑审核, 研究润滑方法和润滑剂品种等。最后, 编出零件清单及说明书等各种技术文件。

(5) 试生产 根据施工设计的图样和各种技术文件试制样机, 对样机进行功能试验, 并对各项费用进行成本核算, 向前反馈, 改进设计。对样机进行审批手续, 再进行小批量试生产, 改进后正式投入小批量生产。

小批量生产的产品投放市场后, 进行市场调研, 以决定是否大批量投产或是否需要修改设计, 提高质量, 降低成本。

当产品可以批量生产时, 还要研究适合批量生产的工艺并按照此工艺进行批量试生产。当大批产品投入使用后, 还要从用户收集使用和维护的信息, 根据需要对设计作改进。

第二节 现代设计方法简介

现代设计方法是以研究产品设计为对象的科学, 以计算机为手段, 运用工程设计的新理论和新方法, 使计算结果达到最优化, 使设计过程实现高效化和自动化。

现代设计方法是研究产品设计方法的综合类科学, 是多学科交叉融合的产物, 是人们把相关科学技术综合应用于设计领域的成果。现代设计方法内容广泛, 分支科学繁多, 面向 21 世纪科技发展的趋势, 选择一些行之有效的现代设计方法以简介之。

一、有限元分析方法 (The Finite Element Analysis Method)

1960 年, 克劳夫 (W. Clough) 基于连续体问题的离散化求解方法, 进行了飞机结构分析, 首次将这种方法起名“有限单元法”(简称“有限元”法)。

有限元是一种以计算机为手段, 通过离散化将研究对象变换成一个与原结构近似的数学模型, 再经过一系列规范化的步骤以求解应力位移、应变等参数的数值计算方法。

随着计算机的容量迅速提高, 商品化有限元程序越来越广泛地被人们所接受, 人们不必在编写程序上花费大量精力, 摆脱了手工网格的划分, 简化了前处理过程, 通过屏幕菜单方法得到良好的人机对话环境和在计算机结构分析上的鲜明视觉效果。

著名的商品化有限元程序有 NASTRAN、ADFAN/ADINAT、ANSYS、COSMOS/MSAP 等。这些程序的分析范围和功能存在差异, 在使用时应根据分析范围不同来选择合理的程序。

二、优化设计 (Optimal Design)

机械优化设计是使某项机械设计在规定的各种设计限制条件下, 优选设计参数, 使某项或几项设计指标获得最优值。最优值的概念是相对的, 随着科学技术的发展及设计条件的变动, 最优化的标准也将发生变化。

目前优化设计方法在结构设计、化工系统设计、电气传动设计、制造工艺设计等各专业中都有广泛的应用。实践证明, 在工程设计中采用优化设计方法, 不仅可以减轻机械设备质量, 降低材料消耗与制造成本, 而且可以提高产品的质量与工作性能。

三、机械可靠性设计 (Reliability Design)

1957年,美国发表了“军用电子设备可靠性”的重要报告,被公认为是可靠性的奠基文献。1990年,我国机械电子工业部印发的“加强机电产品设计工作的规定”中明确指出:可靠性、适应性、经济性三性统筹作为我国机电产品设计的原则,在新产品鉴定时,必须要有可靠性设计资料和实验报告,否则不能通过鉴定。

机械可靠性设计是将概率论、数理统计、失效物理和机械学相结合而形成的一种设计方法。其主要特点是将传统设计方法中视为单值而实际上具有多值性的设计变量(如载荷、应力、强度、寿命等)看成某种分布规律的随机变量,用概率统计方法设计出符合机械产品可靠性指标要求的零部件和整机的主要参数及结构尺寸。

四、计算机辅助设计 (Computer Aided Design)

计算机辅助设计是指在设计活动中,利用计算机作为工具,帮助工程技术人员进行设计的一切适用技术的总和。计算机辅助设计作为一门科学开始于20世纪60年代的初期,自20世纪80年代以来,由于计算机技术突飞猛进,特别是微型机和工作站的发展和普及,极大地推动了CAD技术的发展,CAD已进入了实用化阶段。目前CAD技术正朝着人工智能和知识工程方向发展,即所谓智能计算机辅助设计。

五、模块化设计 (Model Design)

机械产品的模块化设计始于20世纪初。模块化设计原理首先应用于机床设计,到20世纪50年代,欧美一些国家正式提出“模块化设计”概念,把模块化设计提到理论高度来研究。模块化设计与产品标准化设计、系列化设计密切相关。在每个领域中,模块及模块化设计都有其特定的含义。

为开发具有多种功能的不同产品,不必对每种产品施以单独设计,而是精心设计出多种模块,将其经过不同方式的组合来构成不同的产品,以解决产品品种、规格与设计制造周期、成本之间的矛盾,这就是模块化设计的含义。所谓模块,是指一组具有同一功能和接合要素(指联结部位的形状、尺寸,联结件间的配合与啮合等),但性能、规格或结构不同却能互换的单元。

六、价值工程 (Value Engineering)

价值工程或称为价值分析(Value Analysis)是20世纪40年代发展起来的新的设计方法或管理科学。价值工程的创始人是美国工程师麦尔斯(Miles),他通过研究发现隐藏在产品背后的本质——功能。顾客需要的不是产品本身,而是产品的功能,而且在同样的功能下,顾客还要比较功能的优劣——性能。

价值工程注重研究产品的功能和各种有关费用与现实的价值之间的关系,试图以最小资源消耗或最低的寿命周期费用,可靠地实现必要的功能,从而获得最大价值。

七、绿色设计 (Green Design)

绿色设计是20世纪90年代初期围绕在发展经济同时,如何节约资源、有效利用能源和