



普通高校“十二五”规划教材

王之栎 马 纲 陈心颐 等编著

机械设计



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十二五”规划教材

机 械 设 计

王之栎 马 纲 陈心颐 等编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本教材按照设计方法分三篇介绍机械设计内容。书中的绪论简单介绍了机械设计及课程的内容;第一篇强度刚度设计,介绍轴、齿轮传动和蜗杆传动等零件的设计准则,这些准则均与其关键部位的强度条件相关;第二篇摩擦学设计,包括带传动和滑动轴承,其摩擦表面的力学特点是影响零部件设计的关键因素;第三篇标准件选择设计,包括螺纹连接、轴类连接件和滚动轴承,介绍螺栓、键、联轴器和滚动轴承等标准件的选择设计方法,即在设计时一般根据设计要求先在标准系列中选择标准件再进行条件性校核,或者根据计算结果在标准系列中选用标准件。

本教材适用于高等工科院校机械类、近机械类各专业,也可作为机械零件工程设计的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计 /王之标等编著. --北京:北京航空航天大学出版社,2011.8

ISBN 978-7-5124-0553-0

I. ①机… II. ①王… III. ①机械设计—教材 IV.

①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 156572 号

版权所有,侵权必究。

机械 设计

王之标 马 纲 陈心颐 等编著

责任编辑 王 实

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpess@263.net 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:17.25 字数:386 千字

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-0553-0 定价:33.00 元.

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前言

机械设计课程是工科本科教育中的重要教学环节之一,主要围绕工程设计中通用基础件的设计理论、设计方法和设计实例进行论述和讨论,突出设计方法的引导,注重综合设计能力的提高。

本教材根据教育部高等教育教学内容和课程体系的改革精神,从机械设计系列课程体系建设的需求出发,总结多年课程教学改革经验,以及在吴瑞祥主编的、由北京航空航天大学出版社出版的北京市精品教材《机械设计基础》一书的基础上,将机械设计课程内容提炼编写而成。教材在编写过程中注意协调当前基础课程授课学时与教学内容之间的矛盾,将课程知识结构与本课程内容体系的关系相协调,精炼教材内容,保证基本教学要求,注重打好专业基础,提高综合设计能力。通过教学及训练,使学生能有效掌握机械设计的基本方法,深入理解设计任务、设计对象和设计工作之间的关系,从而使其发现问题、主动思考、分析理解和解决问题的能力得到进一步提高。

本教材内容包括:绪论,主要对机械设计课程的内容、教学任务特点、基本知识和常用概念进行了阐述。第一篇强度刚度设计,讨论机械设计中,以强度条件作为主要手段设计的零部件,包括第1章轴、第2章齿轮传动和第3章蜗杆传动。轴类零件外形较为简单,齿轮和蜗杆传动均为靠啮合传递载荷的典型机械零件,其几何尺寸除须满足加工工艺要求外,还取决于主要承载面或部位的应力水平,其设计准则均体现关键部位的强度条件。第二篇摩擦学设计,重点讨论以摩擦学原理为主要设计依据的零部件设计内容,包括第4章带传动、第5章滑动轴承。其中,带传动是靠带与带轮间的摩擦来传递动力的,而滑动轴承是靠相对滑动表面传递载荷的典型零件,其设计准则与机件间的摩擦状态密切相关。第三篇标准件选择设计,主要介绍机械设计中常用的标准件的设计方法,这些零部件均由专业工厂按照国家标准统一生产,包括第6章螺纹连接、第7章轴类连接件和第8章滚动轴承。标准螺栓、键、联轴器和滚动轴承这些标准件在设计时,通常先根据设计要求在标准系列中选择可用范围的零部件再做校核计算,也可根据承载要求计算可用零件范围选用标准件,特殊用途或要求下也可根据使用要求作针对性设计,但产品价格将大幅增加。

本教材主要以高等工科院校机械类和近机械类各专业的本科生为对象,也可作为机械零件工程设计的技术参考书。

本教材主要由北京航空航天大学的王之栎、马纲和陈心颐编写,李建平、傅少敏、宁凤艳、边宇枢等参加了部分内容和习题的编写。编写过程中得到北京航空航天大学出版社的帮助和支持,作者在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中若有错误或论述不妥之处,敬请各位读者提出宝贵意见。

编 者

2011 年 6 月

目 录

绪 论	1
0.1 机械设计及课程	1
0.2 机械设计的基本原则	3
0.3 机械设计的特点与方法	5
0.4 机械产品设计与实验	12
0.5 机械设计中的强度与安全性	15
0.6 机械设计中的摩擦学设计	26
习 题	31

第一篇 强度刚度设计

第 1 章 轴	32
1.1 轴的分类与选材	32
1.2 轴的结构设计	34
1.3 轴的强度计算	37
1.4 轴的刚度计算	42
1.5 轴的振动计算	45
习 题	49
第 2 章 齿轮传动	51
2.1 齿轮传动的特点与分类	51
2.2 渐开线齿轮传动的主要参数	52
2.3 渐开线齿轮传动几何计算	55
2.4 齿轮传动的载荷和应力	58
2.4.1 齿轮传动的载荷计算	58
2.4.2 齿轮传动的应力分析	66
2.5 齿轮传动的失效分析	66
2.6 齿轮常用材料和热处理	70

2.7 齿轮传动的强度设计计算	73
2.7.1 齿面接触疲劳强度的计算	73
2.7.2 齿根弯曲疲劳强度的计算	78
2.7.3 许用应力计算	82
2.7.4 轮齿静强度核算	92
2.8 其他设计保证	101
习 题	104
第3章 蜗杆传动	107
3.1 蜗杆传动的特点与分类	107
3.2 圆柱蜗杆传动主要参数及几何计算	109
3.2.1 蜗杆传动主要参数	109
3.2.2 蜗杆传动几何计算	114
3.2.3 蜗杆传动精度等级	116
3.2.4 蜗杆传动效率和自锁	117
3.3 蜗杆传动的载荷和失效分析	118
3.4 蜗杆传动的设计计算	121
3.5 蜗杆传动的结构设计	128
习 题	132

第二篇 摩擦学设计

第4章 带传动	134
4.1 概 述	134
4.2 V带传动	136
4.3 带传动受力和应力分析	138
4.3.1 带传动的受力分析	138
4.3.2 带的应力分析	141
4.4 带的弹性滑动和打滑	143
4.5 V带传动设计	145
4.6 带传动的张紧装置	155
4.7 其他带传动	156
4.8 V带轮设计	158
习 题	162

第 5 章 滑动轴承	165
5.1 滑动轴承的特点与选材	165
5.2 滑动轴承设计	169
5.2.1 混合摩擦状态滑动轴承的设计准则	170
5.2.2 流体润滑状态滑动轴承的设计	172
习 题	186
第三篇 标准件选择设计	
第 6 章 螺纹连接	188
6.1 螺纹副的主要参数与受力特征	188
6.2 单个螺纹连接的设计	191
6.3 螺栓组连接的设计	206
6.4 螺旋传动	211
习 题	214
第 7 章 轴类连接件	220
7.1 键	220
7.2 联轴器	225
习 题	228
第 8 章 滚动轴承	231
8.1 滚动轴承的特点与分类	231
8.2 滚动轴承的受力特征和计算准则	239
8.3 滚动轴承的强度特征与寿命计算	242
8.4 滚动轴承的组合结构设计	251
习 题	259
附录 A 附 表	261
附录 B 齿轮的初步设计公式	265
参考文献	267

绪 论

0.1 机械设计课程

1. 机械设计课程的任务

机械设计课程是一门以培养工科学生机械工程设计能力为目的的技术基础课程。主要包括:机械设计所依据的基本理论与方法、通用机械零部件的设计方法和准则,以及配套的设计实践训练。涉及强度刚度设计、摩擦学设计和标准件设计等内容与方法。

课程的主要任务是:通过机械工程设计基本理论和相关设计方法的教学过程,使学生了解和掌握通用机械工程中常用机械零部件的设计方法,并使之具备扎实的机械设计基本知识、技能及一定的创新设计能力。

课程内容以设计对象的工作原理和设计方法为主线,突出了工程设计与设计理论的有机联系。

2. 机械设计

(1) 机 械

机械是机构和机器的总称,是人类生产、生活的工具。机械的生产和使用水平是公认的工业技术水平及其现代化程度的衡量标志之一。先进的生产机械常具有机-电一体化特征。

(2) 设 计

设计是对人们为达到某种目的所做的创造性工作的描述。广义上是对发展过程的安排,目的是加速或减缓自然过程;狭义上是对为满足某些特定需要而进行的工作的具体描述,是将构思物体转变成实际物体过程的一系列作业之一。英文“设计”(design)一词来自拉丁语“记下”(designare,简写 DE)和“符号、图形”(singare)两词。设计是对人们创新思维的客观描述。

经济学角度上,设计是把各种先进技术转化为生产力的手段之一,是生产力的反映,是先进生产力的代表。

社会人文学上,设计是为满足某种需求进行的创造性思维活动及实践。

思维方式上,设计是一个具有抽象思维、形象思维和创造性思维综合特征的思维过程,是一个从发散到收敛,既有逻辑推理,又有分析、判断综合的完整过程。

(3) 机械设计

机械设计是指机械装置和机械系统的设计,是根据使用要求对机械工作原理、结构及运动

方式,力和能量的传递方式,各个零件及其材料、形状、尺寸和润滑方法等进行构思分析和计算,将其转化为具体的描述并作为制造依据的工作过程。机械设计是一种创造性行为,对机械产品的品质和价值起着决定性作用。没有高质量的设计,就不可能有高质量的产品。设计决定了产品的结构、功能、成本、外形、表面特点、内在质量及其相互联系,确定了产品生产过程和消费过程的满意度。

机械设计的发展,经历了直觉设计为主、经验设计为主、半经验半理论设计以及涉及多学科的综合设计等阶段。随着科学技术的发展,机械设计的效率和质量大大提高,盲目性减少。设计工作的完善,使工业节奏加快,更新周期缩短,生产力迅速发展,社会需求增加,进而使得社会生产发展速度加快。随着工业科技发展水平的不断提高,先进的设计发明,可以迅速得到应用。表0-1所列是几项代表性工业设计从发明到实用所经历的时间表。

表0-1 设计项目从发明到实用的时间表

设计发明	从发明到实用所经历的时间
蒸汽机	100 年
电动机	57 年
汽 车	27 年
电 视	12 年
激光器	1 年

工业科技水平的提高为设计发明的实现提供了催化剂,加速了其市场实现的速度,也对设计本身提出了更高的要求。

现代机械设计,首先应是创新的设计,是理论经验与直觉的结合。现代设计的综合性内涵已越来越突出地显现于产品设计本身。

设计的核心是创造。其过程是针对目标任务寻求最佳结果的优化过程。现代机械设计的特点常表现为系统产品设计、多领域跨学科交

叉共同设计以及多目标、短周期、多品种的设计,如飞行器、机器人系统、汽车、家电产品和计算机等。

3. 机械设计课程的学习准备和要求

学习本课程前,应对机械学常识有所了解,掌握工程图学、材料学、理论力学、金属工艺学、材料力学及机械原理等的基本理论和技能。本课程拟用60课内学时,课内外学时比为1:2的教学时间,完成机械设计理论与方法的学习与训练。

任何先进的装备和机器,无一不涉及机械设计,如在机器人设计、航天器设计等工程设计中,机械设计都占有重要地位;而机械设计课程的后续课程“机械设计课程设计”将为学生提供应用所学知识,从工程实际出发,设计中等复杂程度机械装置的教学环节,以强化针对实际工程问题的设计能力培养。

4. 机械设计课程的特点

机械设计课程强调以培养学生的综合设计能力为主线安排课程内容,注重培养学生的设计能力及综合创新能力,从设计方法上认识、学习和提高。在课程体系上按照强度刚度设计、摩擦学设计和标准件设计内容组织教学。在后续的设计实践环节——课程设计中,将以具体

含有工程背景的设计任务引导,完成从总体设计到详细设计的全过程,使学生得到更进一步的综合训练。

0.2 机械设计的基本原则

机械设计是完成机械系统产品化的重要组成部分,产品的成本、研制周期、产品化周期、产品质量、技术经济价值及工作可靠性指标等,都受到其设计的制约。统计表明,50%的质量事故是设计失误造成的,60%~70%的产品成本取决于设计本身。机械设计在相关产品的形成过程中起着十分重要的作用。

1. 机械设计的基本原则

(1) 创新原则

设计过程本身就是以创新为其重要特征的。工程实践中的机械设计工作,首先应该追求的是创新思维方式下的新颖的设计结果。对于初学者来说,注意了解、继承前人的经验,学习优秀的设计作品,发挥主观能动性,勇于创新,是做好设计工作的前提;符合时代精神的、有特色的创新设计最具生命力,是社会和工业发展的要求和需要,是设计者追求的目标,也是评价一个设计结果成功与否的重要原则。

(2) 安全原则

产品能安全可靠地工作是对设计的基本要求。在机械设计中,为了保证机械设备的安全运行,必须在结构设计、材料性能、零部件强度和刚度,以及摩擦学性能、运动和动态稳定性等方面依照一定的设计理论和设计标准来完成设计。产品的安全性是相对的,在规定条件和时间内完成规定功能的能力,称为可靠性。可靠度作为衡量系统可靠性的指标之一,可以用来描述系统安全运行的随机性,可靠度越大,产品维持功能的能力越强,系统越可靠;反之,产品越不可靠。产品的安全性通常是指在某种工作条件下及可靠度水平上的安全性,是设计中必须满足的指标。

(3) 技术经济原则

产品的技术经济性是指产品本身的技术含量与经济含量之间的配比特性。在满足设计结果安全性的前提下,提高产品的技术价值,降低其成本消耗,缩短生产周期,可以获得具有高竞争力的产品。通常,产品的技术效益、经济效益和社会效益的高低,是决定其生命力的重要因素。现代工业产品的设计对设计周期、技术指标及成本消耗等方面的要求具体而明确,作为设计评价的基本原则之一,必须引起设计者的充分重视。

(4) 工艺性原则

产品设计一般用图样表达完整后,进入生产阶段。构成产品的机械零部件的生产和装配工艺性问题,应是设计者在设计过程中需要考虑的问题。通常,加工、制造过程对产品安全性和经济性起着决定性的作用,同时也对产品在使用过程中的维护和维修产生影响,因此要力求

改善零部件的结构工艺性,使生产过程最简单,周期最短,成本最低。现代工艺技术的发展、传统机加工、高精度组合加工、光加工和电加工等为产品的生产制造提供了许多先进的加工手段,同时合理的设计不仅能使产品加工、装配易于实现,而且具有良好的经济性。

(5) 维护性和实用性原则

产品经流通领域到达最终用户后,其实用性和维护性就显得十分重要。平均无故障时间、最长检修时间通常是用户的基本维护指标,而这些指标显然取决于设计过程。过长的维护时间会给使用者带来不便或损失。如设备检修时间过长会使生产系统超时瘫痪,造成企业的极大浪费,有时会对生产过程和产品本身产生影响。良好的维护性和实用性,可以使产品较好地适应使用环境和生产节奏。事实上,维护性和实用性也具有潜在的社会效益和经济效益。

(6) 标准化原则

设计过程在遵循相关设计规律和理论的同时,设计者应按照有关标准和规范进行设计,包括设计方法、使用信息、设计程序和设计结果表达等。标准化审查是对产品设计评估的必要步骤。

2. 工程设计与机械产品

(1) 一般工程设计过程

工程设计就是运用科学的原理去开发对人类社会有用的产品。需求确定后,设计者的责任就是运用工程方法,在社会、经济及时间等约束条件下,设计研制出满足需求的产品。有必要指出,设计既是一种创新的过程,也是一个逐步完善的过程;圆满的设计是经验积累和升华的产物,因而具有不可估量的价值。

一般工程设计过程如图 0-1 所示。

(2) 机械产品的形成过程

机械产品的形成可以分为计划调研阶段、产品设计阶段、试制阶段、批量生产阶段和销售阶段。在计划调研阶段的工作是,通过市场调查,预测市场趋势,确定市场需求,完成需求分析;进行可行性研究,对市场、投资环境、生产条件、成本及效益进行分析,完成可行性报告;并为产品设计阶段提供完整的功能、工况及安全指标设计要求,提出设计任务书。在产品设计阶段的工作是,根据设计要求提出各种原理性方案;经评价分析后,确定结构方案;再经评价决策后,进行总体设计和详细设计。试制阶段是在设计基本完成后,进行样机的制造和试验,并对样机进行鉴定评价。经过个性设计、规范工艺后,进入批量生产阶段。最后,在销售阶段实现产品的价值,并反

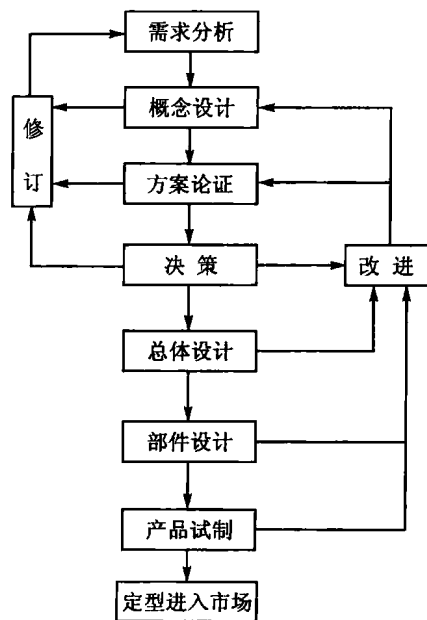


图 0-1 工程设计流程图

馈产品的信息。

(3) 产品设计与服务

设计阶段是关键性阶段,包括原理方案设计、结构方案设计、总体设计、详细设计和技术服务。在这个阶段,设计者要对设计要求进行完整的分析计算,对零部件的承载、应力状况、强度、刚度、摩擦学性能及动态性能等进行逐一计算,确定其基本形状和工艺路线,再进行结构设计,将设计结果表达为规定的图样形式,提供试制阶段实施。设计过程除图纸外一般要提供详细的计算说明书。

试制阶段,除对产品进行工艺设计、样机制造、试验、评价及改进完善产品外,还对产品提出更改建议,以提高设计质量。机械产品设计和技术服务的主要过程如图 0-2 所示。

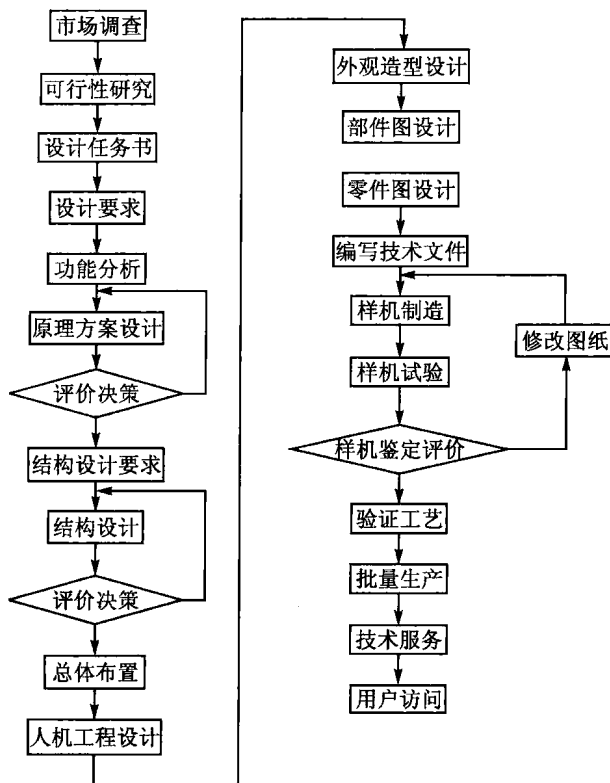


图 0-2 机械产品设计流程图

0.3 机械设计的特点与方法

随着现代科学技术的发展,设计的理论和手段不断完善,机械产品的系统化、集成化水平不断提高。同时,系统设计、优化设计、可靠性设计、功能成本设计、反求设计以及计算机辅助

设计等设计方法和理论也不断完善,并广泛应用于工程实际中;许多模型分析方法、计算和数字仿真方法也广泛用于各种设计分析中,如有限元分析方法等。下面将一些常用设计方法作一简要介绍。

1. 机械工程设计的特点

机械工程设计一般是以运用科学原理去创造对人类社会有用产品为目标的,是一种从需求到产品的单向过程,同时也包括改进和修正的反向循环。设计的任务是根据需求提出技术设想,制订具体明确可付诸实施的方案、说明,并为产品的形成和使用提供依据。若要高效、高质量地完成设计任务,首先要对设计任务的目的性、社会性和技术条件进行全面评估,并注意工程设计的以下特点:

- 设计目标的社会性。设计任务常来自于简单的社会需求,对设计对象进行解析,明确设计关键问题,从而有效地选择设计方法。
- 设计方案的多样性。对同一设计目标,多角度、多层次地进行分析综合,制订多种实施方案,提供决策评估。
- 工程设计的综合性。工程设计通常具有综合性特征,设计目标具有多元性,因而在设计方案实施前要对多种可行方案做出统一的系统评估和优化,确定设计方案,并进一步设计实施。
- 设计条件的约束性。形成最终设计方案是受到诸多条件制约的,如数理模型、经济条件、社会条件、生产技术和设施、市场及其他不可预见的条件限制,都构成对设计的约束。
- 设计过程的完整性。产品从设计到完成生产,要经过方案论证、初步设计、详细设计、样机试制、产品试验、设计定型和资料归档等必要程序。各个环节相互补充完善,是顺利完成设计任务的重要保证。
- 设计结果的创新性。现代机械工程设计中,把握继承传统和设计创新,将其有机地统一为一个整体融入设计,可使设计结果具有更高的社会效益和更强的生命力。
- 设计手段的发展。现代设计手段和方法正随着科学技术的进步逐步完善。计算和仿真技术的发展使数学物理方法更好地用于设计过程;计算机图形学的发展使计算机绘图成为设计图纸软件化和设计分析的快捷手段;系统管理科学的发展使设计制造管理的集成成为可能;无图纸加工已在一些重要的工业领域开始实施。

科学技术的进步,给设计本身提供了越来越丰富的手段和条件。机械工程设计也有它自己的特点和必须遵循的科学规律。设计者要掌握设计规律和先进的设计方法,充分发挥聪明才智,才能圆满完成设计任务。

2. 系统设计方法

(1) 系统设计方法的几个原则

系统设计方法是合理研究组成系统各因素及其内在联系,辩证解决设计问题的方法。它

以系统的概念为研究和设计各种系统的基础,提出基本设计原则,指导设计者完成设计。它具有良好的整体性、有序性和相关性。

整体性原则反映了在系统设计中,既有综合条件下的分解,又有相对独立分系统的综合。设计规划中采用系统方法,遵循整体性原则,分解系统设计,并将分系统设计综合为整体,使整体系统功能优于各孤立部分功能的总和。在设计中应避免把设计对象进行简单分解、简单组合的片面做法。

有序性原则反映了系统全过程的等级、层次及其关系。设计方法和设计过程本身就是一个有序系统。将其与设计任务系统有机地融合,并与更高层次的系统统一研究,使具有纵横关系的设计系统形成一个具有稳定关系和联络特征的系统结构,进而使设计者明确目标 and 责任,使设计信息流动通畅,分系统与整体系统关系清晰明了,从而为提高设计效率和质量提供可靠的保证。

相关性原则是指设计系统及与之相关联的外部系统之间,存在着必然的联系。系统设计方法的相关性原则是辩证法普遍联系规律在设计中的具体体现和实际应用。设计整体系统受外部条件制约,内部分系统之间存在网状联系;各分系统诸要素间既有特殊性,即相对独立的工作特点,又须遵从整体协调性。这样就形成各设计环节之间具有的多样性、相对独立性和统一性特征。只有在设计中考考虑各系统的相关性,把每一问题都作为系统要素来研究,明确其在系统中的位置和联系,才能使未知系统向已知系统的过渡过程合理而高效,并使形成的目标系统更加完善,从而得到高质量的设计结果。

(2) 系统设计方法

系统设计方法的主要思想是在设计过程中强调外部系统和内部系统的关系,强调整体系统和分系统的关系,并使之贯穿于整个设计过程。

系统的分解和综合在系统设计中起着十分重要的作用。系统的分解可按结构、功能、时序及空间等多方分类;但分解系统时要考虑便于综合,如果子系统数为 n ,则综合方案有 $2^{n(n-1)/2}$ 种,因而系统分解在设计中十分重要。在分解综合中要考虑各分系统联络关系的强弱及其与整体系统关联的完整性。

系统的辨识和分析,是为了考查和明确系统的特征、结构、性质、功能及其重要性,是系统设计方法实施的基础。系统的辨识和分析水平取决于设计者的经验水平,系统的复杂程度也对其具有影响。系统分析在不同的设计阶段具有不同的对象,如规划阶段的系统概念分析,设计阶段的多种方案优劣分析、经济性分析、实施方案的唯一性分析,制造过程中的试验分析和工艺设计分析等。

系统评价作为系统分析的核心,对设计实施过程和结果均具有深刻影响。系统评价的主要方法有:相关矩阵法、交叉增援矩阵法、交叉影响矩阵法和费用效果分析法等。

系统设计方法是一种从整体出发,注重整体与局部联系来进行设计的方法,在现代设计中经常使用。

3. 优化设计方法

优化设计方法,是借助数学最优化原理解决实际问题的设计方法。针对某一设计任务,以结构最合理、工作性能最佳及成本最低等为设计要求,在多种方案、多组参数及多种设计变量中,确定设计变量的取值,使之满足最优设计需求。在机械工程设计中,优化设计体现为最佳设计方案的确定的和最佳设计参数的确定。

进行优化设计时,首先需要针对具体的工程问题,构造合适的数学模型,选择优化方法,建立完备的求解系统,寻找最优设计结果,最终为详细的结构设计提供最佳设计参数。其优化设计流程如图 0-3 所示。

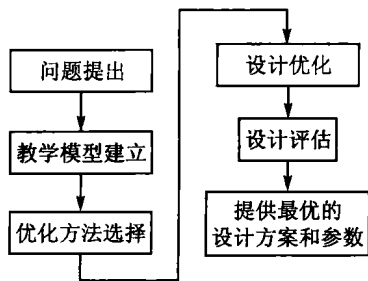


图 0-3 优化设计流程图

数学模型由设计变量、目标函数及约束条件组成。一个设计方案可用若干个设计参数来描述。参数分为两类:一类是不变的设计常量;另一类是须在设计中不断调整的变量,称为设计变量。设计变量根据工程问题及设计对象设置,与影响设计目标实现的设计因素密切相关。如果设计因素考虑得详尽、细致,则设计变量选取较多,设计结果在理论上的准确度也较高,但计算过程也较复杂。以设计变量为变量,以设计目标为依据,构造的数学方程 $f(x)$,称为优化设计中的目标函数,

也称评价函数。同一设计问题可有一个或多个目标函数。约束条件是工程问题中限制设计变量取值范围的一系列数学方程 $g_i(x), i=1, \dots, N$, 它们也是设计变量的函数,又称为约束条件。目标函数与约束条件所构成的完备数学体系,称为该问题的数学模型。

求解数学模型,要根据数学模型的类型和特点,选择合适的数学方法。方法选择适当,可使计算过程大大简化,从而节省大量的时间和精力;方法选择不当,会造成计算过程繁复,费时费力,有时会导致最优化求解失败。求解数学模型常用以下几类方法:线性规划、非线性规划、单目标优化、多目标优化、网络优化及动态优化等。

问题解算过程可利用计算机进行,而标准的优化方法,已有标准程序供设计者选择。计算技术的发展给设计者带来了极大的方便。

优化是一常用的设计思想,优化设计方法的多样性为解决工程问题提供了良好的途径;但是数学模型的建立和方法选择的合理性,决定了优化过程的成败。把握问题的关键,清晰地分析判断,配之以恰当的数学方法可以加速设计过程、缩短设计周期,达到事半功倍的目的。

4. 可靠性设计

可靠性设计是从某一系统、设备或零部件工作能力的有效保证方面认识设计最优问题。可靠性是指系统在规定时间内、给定条件下完成规定功能的能力。产品的可靠性需有一个定量的表述,但对于一般工程而言,很难用唯一的量值来完成。可靠性的定量表述具有随机性。

对任何产品来讲,在其可靠工作与失效之间,都具有时间上的不确定性;因此,对于不同类型的可靠性问题,就需要不同的表述方式,常见的有:可靠度、无故障率、失效率及平均无故障时间等。

可靠度(R)是系统在规定工况和时间内,完成规定功能的概率。对于不可修复系统,其可靠度与无故障率相当。 R 为统计量,通常借助大量的试验来确定。确定某一产品的可靠度时,可在产品组中抽取 N 件产品,在规定工况下试验,如有 n 件失效,则这种工况下的失效概率为

$$P = n/N$$

可靠度为

$$R = \frac{N-n}{N} = 1 - P$$

事实上, P 、 R 与产品的工作时间 t 关系密切。 R 与 t 间的典型函数关系如图 0-4 所示。

因此, P 与 R 常表述为时间的函数,即

$$P(t) = \frac{n(t)}{N}$$

$$R(t) = 1 - P(t) = \frac{N - n(t)}{N}$$

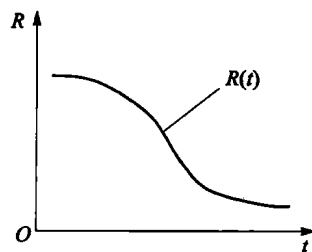


图 0-4 可靠度与时间关系

其中, $R(t)$ 在 $(0, \infty)$ 区间内表现为非增函数,且 $0 \leq R(t) \leq 1$ 。

机械设计中常用到可靠性的概念,如齿轮设计时,安全系数被表述为失效概率的列表函数;滚动轴承的寿命,一般取可靠度是 90% 时的的工作次数或时间,等等。

对于系统而言,其总体可靠性是受各部分可靠性制约的,并由零部件的可靠性保证。设计规划时,合理分配各部分的可靠性指标,可以最大限度地发挥各部分的设计优势,保证产品在工作品质、技术标准和安全使用等方面达到高效高质。提高系统的维修性,尽量采用标准件、通用件,简化零件结构,减少零部件数量等都是提高可靠性的途径。

5. 功能成本设计

功能成本设计就是从有效利用资源,追求最大效益作为产品设计的出发点,以产品的价值分析、功能分析为基础的设计方法。价值(V)、总成本(C)和功能(F)可以用数学方法表示为

$$V = F/C$$

上式直接体现了产品的功能与成本的比例关系,成本投入越少,功能越强,产品的价值越高。

对于某一产品,其功能、成本可以划分为多个单元进行价值分析,这就是 ABC 分类法。其基本思想是把形成产品的零部件,按成本比例划分为 A, B, C 三类,并认为:产品的价值构成主要取决于单元数量百分比为 10%~20%,但成本百分比占 70%~80% 的 A 类制造单元;而单元数量为 70%~80% 仅占成本的 10%~20% 的 B 类单元和 C 类单元对产品的价值构成影响不大。在产品的价值分析中,重点是 A 类, B 类视情况而确定取舍, C 类基本不予考虑。这种