

先进制造技术



类目：机械类

书名：先进制造技术

主编：蔡文霞 关爱民 方爱雪

出版社：湖南大学出版社

开本：大 16 开

书号：978-7-5667-3033-6

使用层次：通用

出版时间：2023/6/1

定价：48

印刷方式：双色

是否有资源：是

责任编辑: 胡建华
封面设计: 旌语书装

机械类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革新理念教材



机械类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革新理念教材

先进制造技术

先进制造技术



主编 © 蔡文霞 关爱民 方爱雪

先进制造技术

XIANJIN ZHIZAO JISHU

主编 © 蔡文霞 关爱民 方爱雪

湖南大学出版社
HUNAN UNIVERSITY PRESS



定价: 48.00元

湖南大学出版社
HUNAN UNIVERSITY PRESS

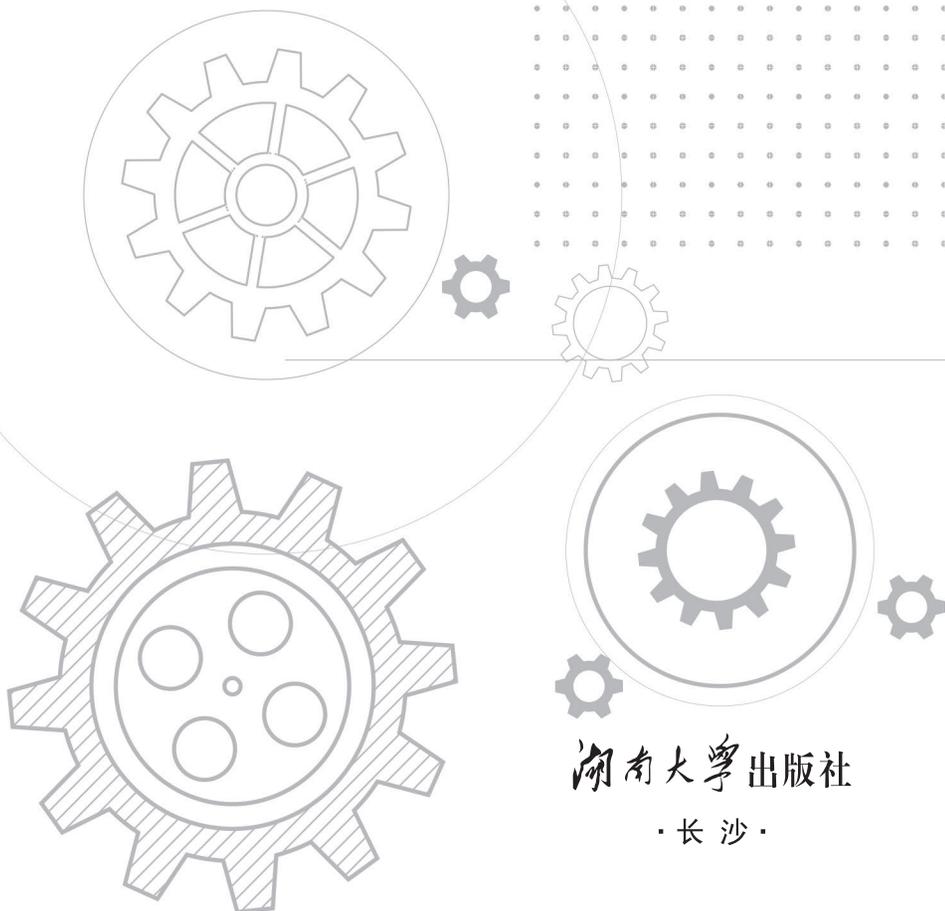


机械类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革创新理念教材

先进制造技术



主 编 © 蔡文霞 关爱民 方爱雪
副主编 © 杨亚飞 朱 柯



湖南大学出版社

·长沙·

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术 / 蔡文霞, 关爱民, 方爱雪主编. —长沙: 湖南大学出版社, 2023.6
ISBN 978-7-5667-3033-6

I. ①先… II. ①蔡… ②关… ③方… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材
IV. ①TH16

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 099300 号

先进制造技术

XIANJIN ZHIZAO JISHU

主 编: 蔡文霞 关爱民 方爱雪

责任编辑: 胡建华

印 装: 廊坊市鸿焯印刷有限公司

开 本: 880 mm×1230 mm 1/16

印 张: 11.5

字 数: 280 千字

版 次: 2023 年 6 月第 1 版

印 次: 2023 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5667-3033-6

定 价: 48.00 元

出 版 人: 李文邦

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山

邮 编: 410082

电 话: 0731-88822559(营销部)

88821174(编辑部)

88821006(出版部)

传 真: 0731-88822264(总编室)

网 址: <http://www.hnupress.com>

电子邮箱: xiaoshulianwenhua@163.com

版权所有, 盗版必究

图书凡有印装差错, 请与营销部联系

前言

制造业是国民经济的支柱产业和经济增长的发动机,是社会可持续发展的基石,制造技术是制造业的技术支撑和可持续性发展的原动力。在经济发展全球化的大背景下,制造技术在不断地汲取各种技术研究成果中快速向前迈进,并与计算机、信息、自动化、材料、生物及现代管理等学科相融合,使传统意义上的制造技术有了质的飞跃,形成了先进制造技术的新体系。与此同时,激烈的市场竞争,也催生出了制造企业必须通过先进制造技术来提升自身适应动态市场环境的新趋势,而先进制造技术的发展水平在某种意义上来说,更是决定了一个国家的综合国力。

为使学生掌握先进制造技术的理念和内涵,了解先进制造技术的最新发展,培养学生创新意识和工程实践能力,全国众多工科院校纷纷开设了先进制造技术必修或选修课程。本书是在作者联合多所高校任课教师,经过认真讨论、确定编写大纲后共同编写完成的。全书共分6章,主要内容包括:先进制造技术概论、现代设计技术、先进制造工艺技术、先进制造生产模式、先进制造自动化技术、先进制造管理技术。

由于先进制造技术飞速发展,加之编者水平所限,有不足甚至错误之处,敬请读者批评指正!

编者
2023年3月

目 录

第 1 章	先进制造技术概论	1
1.1	先进制造技术的产生背景	2
1.2	先进制造技术的内涵及体系结构	3
1.3	先进制造技术的发展概况与趋势	8
第 2 章	现代设计技术	13
2.1	现代设计方法	14
2.2	机械创新设计	33
2.3	反求设计创新技术	36
第 3 章	先进制造工艺技术	43
3.1	概述	44
3.2	高速切削加工技术	47
3.3	精密与超精密加工技术	53
3.4	纳米级加工技术	65
3.5	快速原型制造技术	70
第 4 章	先进制造生产模式	79
4.1	制造技术与制造系统	80
4.2	计算机集成制造	81
4.3	并行工程	86
4.4	精益生产	89
4.5	虚拟制造	91



先进制造技术

4.6	敏捷制造	94
4.7	智能制造	96
4.8	网络化制造	97
4.9	绿色制造	99

第 5 章 先进制造自动化技术 105

5.1	机电一体化概述	106
5.2	可编程控制器	110
5.3	传感技术	116
5.4	数控技术	119
5.5	柔性制造技术	129
5.6	机器人技术	138

第 6 章 先进制造管理技术 153

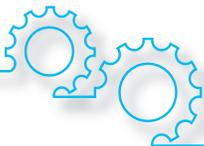
6.1	产品数据管理	154
6.2	物料需求计划	158
6.3	企业资源计划	165
6.4	准时生产	169
6.5	质量工程	173

参考文献 177

第 1 章

先进制造技术概论





1.1 先进制造技术的产生背景

20世纪70年代,美国政府忽略了制造业的投入和发展,导致科技优势和经济竞争能力下降,相对日、德等国呈现明显落后的趋势。在重新认识和评价制造业的地位和作用的过程中,针对日新月异的科学技术、复杂多变的内外环境、频繁变化的供求关系、不断更新的产品类型和日趋激烈的市场竞争,美国的研究学者提出了“先进制造技术”的概念,旨在振兴制造业,缓解市场压力,重获竞争优势。先进制造技术的产生不仅是科学技术发展的产物,而且是人类历史发展和文明进步的必然结果。先进制造技术的产生和发展有其自身的社会经济、科学技术以及可持续发展的根源和背景。

1. 社会经济发展背景

随着人类社会的不断发展,政治经济生活日趋多样,人们的生产、生活诉求也发生了变化,不再追求大一统,而是刻意强调个性、突出自我、体现差异、不断更新。随之而来的市场消费环境也发生了巨大的变化,主要体现在消费需求日趋个性化、多样化,消费行为更具选择性、突出差异性,这样就造成产品的型号变多、批量变小,生命周期明显缩短,且更加注重产品的内在质量和性能。同时,全球性产业结构调整步伐加快,市场不断扩大交融,呈现全球化,制造商不仅要面对不断增加的来自全球的激烈竞争,同时又必须靠实力和信誉与各类竞争者保持着各种各样的合作。

质量是产品的生命,随着消费结构和层次的变化,产品的质量内涵也在延伸。质量不仅包含产品使用性能等基本功能要求,还应包括环境保护、时尚审美、维修维护、更新升级等非主要功能的诉求,即现代质量观衡量的是产品或制品全面满足客户要求的程度。用户的要求在不断创新的技术产品驱动下不断更新,对于产品质量的要求也在不断延伸,这就给制造业带来了很大的挑战。根据这种情况,制造业应该以创新为驱动力,在激烈的市场竞争中把握时代潮流,引领消费需求,适应市场的不断变化,具备快速设计和开发制造的能力,执创新产品之牛耳,以便赢得竞争优势,进而获得巨大收益。

2. 科学技术发展背景

现今科学技术的发展比以往任何一个历史时期都要迅速,学科之间交叉融合又相互推动,许多新技术成果,如计算机、信息、微电子、自动化技术等,从诞生到大规模使用,直至现在仍然高速度发展,其间所用的时间越来越短,而且它们被广泛地应用于各个行业领域,同时也极大地促进了制造业的发展。制造业融合吸收了自动化技术,使其制造柔性增强,有力促进了制造中的物流;制造业融合吸收了微电子和计算机技术,使制造中能量的可控性增强,能量流的转换更灵活;制造业融合吸收了信息技术,使传统的制造过程更加智能化,并伴随大量信息的储存、传递、处理、更新,形成了制造信息流。传统制造业基础上的三流合一先进制造技术的一大特征,也是科技发展的必然结果。现代制造业的生产方式、生产设备、生产工艺、生产组织体系及产品类型等在新技术的推动下也发生了很大的变化,并焕发出勃勃生机,成为技术不断创新、内容不断更新、让人耳目一新的拥有高技术含量的知识密集型产业。



科学技术发展背景

3. 可持续发展战略

从工业革命时期开始,人类改造自然的能力得到大大加强,在自觉和不自觉的生产活动中,自然界

的环境已经受到了极大的影响,出现了诸如资源匮乏、污染加剧、物种灭绝等环境灾难,人类赖以生存的水和大气等自然环境也受到了破坏,反过来影响到了人类自身的安全和发展。纵观人类最近几十年的活动,其对地球产生的影响是以往几千年的总和,在创造了高度发达的物质文明和优越生活条件的同时,人类也牺牲了不可再生的自然资源和后代生存发展的自然条件。世界环境与发展委员会(WCED)把可持续发展定义为“既满足当代人的需要,又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。这一定义得到广泛的认可,并在1992年联合国环境与发展大会上取得共识。

各工业化国家都经历了类似的发展道路,在付出巨大的环境代价之后,再竭尽所能加以弥补。发达国家都已经完成了全球化经济分工合作的角色定位,已经经历并摆脱了粗放型、掠夺型的靠简单自然资源发展的历史时期,正在走向集约型、精细化的可持续发展道路,依靠先进的科学技术、强大的制造能力、成熟的管理经验占据了全球产业链的高端,攫取着最高的产业利润。为获得明显的竞争优势,各国政府和企业都在积极寻求对策:一方面加大科技创新的力度,鼓励支持各企业和组织参与科技发展,继续保持领先的发展势头;另一方面保护自然环境,减少不可再生资源的开发使用并积极寻找替代品。作为工业发展的中坚力量,制造业首当其冲,面临着如何有效节约资源、减少废物排放、提高生产效率、增加可回收利用比例等可持续发展问题,迫切需要运用各种先进制造工艺,采用自动化控制技术和信息化管理等方法,吸收其他学科的先进技术并加以融合来解决日益突出的环境资源问题。



1.2 先进制造技术的内涵及体系结构

1.2.1 先进制造技术的内涵和特点

先进制造技术不是一个静态封闭的技术系统,它是不断吸收其他先进技术,并加以融合发展的交叉科学,在不同的历史时期它所包含的技术不尽相同。多数学者认为:先进制造技术是指在制造过程和制造系统中,融合电子、信息和管理技术,以及新工艺、新材料等现代科学技术,并将其综合应用于产品设计、加工、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁和灵活生产,提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。

先进制造技术从传统的制造工艺发展起来,并集成其他新技术,实现了优质、高效、低耗、清洁及灵活的生产。先进制造技术的技术基础是各类其他学科的先进技术,包括电子、光学、材料、信息、自动化和管理技术等;由于信息技术的融合,使得先进制造技术的适用范围不仅仅局限于制造这一个简单环节,还拓展到了以制造为核心的产品的整个生命周期,包括设计、加工、检测、管理、销售、使用、服务及回收等;而其最终目标是追求制造过程的高效、清洁、低耗和灵活生产,并保证产品质量的优异。

在经济全球化的浪潮中,先进制造技术以其加工柔性和高效可以应对多型号、少批量的产品加工需求,增强了适应动态多变的产品市场能力,具备了制造上的竞争能力;而且由于吸收了先进管理技术的最新发展成果,先进制造技术实现了制造过程组织和管理体制的简化以及合理化,从而产生了一系列先进的制造模式。这种先进的制造模式和先进制造工艺,以及先进管理技术共同组成了先进制造技术的核心,使得传统制造技术脱胎换骨,以先进制造技术的面目出现在世人面前,并展现出巨大的技术

优势和实用价值,成为各国争先发展的核心技术。随着全球化与一体化格局的出现,网络化带来的信息流的加速传播,新的先进制造技术也必将在全球范围内扩展传播、深化发展,呈现出全球化的模式。

与传统制造技术相比,先进制造技术具有以下特点。

1.系统集成性

先进制造技术是一个交叉性很强的技术系统,属于各种不同专业和学科间渗透、交叉、融合的产物,各学科之间的界限逐渐模糊甚至消失,其发展呈现出系统化、集成化的趋势。与传统制造技术之间泾渭分明的学科、专业界限相比较,先进制造技术体现出其博大精深、有容乃大的系统科学性,而且已发展成为集机械、电子、信息、计算机、自动化、材料和管理技术为一体的新型交叉学科,拓展了制造系统的领域和范围。与传统制造技术只产生物料流和能量流的变化相比,先进制造技术中信息流的作用贯穿始终:在产品的生产过程中,从一开始信息流便介入,有效合理地控制能量流、管理物料流。信息的采集、汇总、储存、传递、反馈及执行等一系列信息流在以制造为核心的设计、加工、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的全过程中发挥着强大的指挥作用,优化了制造的全过程,并产生了诸如并行工程、敏捷制造、精益生产、智能制造等先进生产模式。这些模式的技术核心都是信息技术,执行中都是通过信息流的不断作用而实现的,如并行工程就是依靠信息平行地传递到每个参与研发的设计者手里,同时进行协作开发,最后集成汇总进行设计的一种系统方法。这种方法大大提高了沟通的程度和设计的效率,产品开发人员与其他人员一起共同工作,信息共享程度高,从产品设计开始,就考虑产品整个生命周期中所有的重要环节,使先进制造技术真正成为制造的系统工程。

2.动态综合性

先进制造技术从诞生起就不是一个静态封闭的技术系统,而是动态变化、与时俱进的发展体系,有其动态综合性。在不同的历史时期和不同的发展环境下,先进制造技术所包含的内容不尽相同。针对特定的应用对象和目标,先进制造技术需要不断地吸收各种高新技术,在吸收中逐渐融合、不断发展,并保持其先进性。先进制造技术追求制造过程的高效、清洁、低耗、灵活生产,并保证产品质量的优异,它脱胎于传统制造技术,与代表着时代发展的新技术结合,既保留了传统制造技术中的有效因素,又吸收了各种高新技术的综合成果。

3.广泛实用性

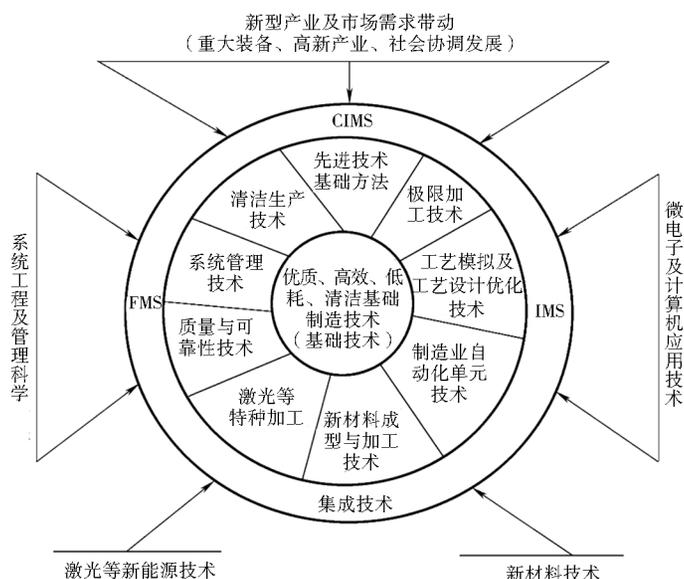
先进制造技术解决的是工业应用中的瓶颈问题,是一门面向工业应用、具有很强实用性和广泛性的新技术,其产生和发展具有明确的需求导向,这一点与基础科学的研究不同。基础科学中不能用于实际生产的,先进制造技术都设法收入囊中,只要能够解决实际问题的某一技术或者某一理念就被请进来、揉进去,加以改造利用并得以再生。从先进制造技术的发展来看,无一不是针对某一具体的制造业(如汽车制造、电子工业)的需求而发展起来的先进、适用的制造技术,有其明确的需求导向特征;而且先进制造技术不是以纯粹地追求高新技术为目的,而是注重产生最好的实践效果和应用价值。先进制造技术的广泛性和实用性使其具有强大的生命力和可延展性,是先进制造技术先进性的最主要体现。

1.2.2 先进制造技术的体系结构

先进制造技术是对制造技术不断优化及推陈出新而形成的高新技术群,其体系结构也是与时俱进、不断更新的。在不同的国家、不同的发展阶段,先进制造技术有其不同的内容及组成。下面介绍几个不同的先进制造技术体系。

1.AMST 的先进制造技术体系

美国机械科学研究院(AMST)提出的先进制造技术由多层次技术群构成,其体系结构如图 1-1 所示。它强调了先进制造技术是以基础制造技术为核心,吸收新型制造单元技术,发展到先进制造集成技术的过程,也表明了在新产业及市场需求的带动之下,在各种高新技术(如能源技术、材料技术、微电子技术和计算机技术以及系统工程和管理科学)的推动下,先进制造技术的发展历程。



AMST 的先进制造技术体系

图 1-1 AMST 的多层次先进制造技术体系结构

第一个层次是优质、高效、低耗、清洁的基础制造技术,这也是先进制造技术体系的基础和核心。在这一核心层次中,铸造、锻压、焊接、热处理、表面保护及机械加工等基础工艺至今仍是生产中大量采用、经济适用的技术,这些基础工艺经过优化而形成的优质、高效、低耗、清洁的基础制造技术是先进制造技术的核心及重要组成部分。这些传统的机械加工基础技术,经过发展也具有了近净成型、清洁低耗等特质,主要有精密下料、精密塑性成型、精密铸造、精密加工、精密测量、毛坯强韧化、精密热处理、优质高效连接技术、功能性防护涂层及各种与设计有关的基础技术、各种现代管理技术等。

第二个层次是新型的制造单元技术。这是在市场需求及新兴产业的带动下,制造技术与电子、信息、新材料、新能源、环境科学、系统工程及现代管理等高新技术结合而形成的崭新的制造技术,如制造业自动化单元技术、极限加工技术、质量与可靠性技术、系统管理技术、CAD/CAM、清洁生产技术、新材料成型与加工技术、激光与高密度能源加工技术、工艺模拟及工艺设计优化技术等。

第三个层次是系统集成技术,包括采用新的应用信息技术和系统管理技术以及新材料技术等其他集成技术,这是随着微电子及计算机应用技术的发展而逐步集成吸收到先进制造技术体系中的。它是通过网络与数据库等计算机技术对前两个层次的技术集成而形成的,如 FMS、CIMS、IMS 及虚拟技术等。

以上三个层次都是先进制造技术体系的有机组成部分,而且整个体系也会随着其他新兴技术的发展不断扩大而发生变化。

2.FCCSET 的先进制造技术体系结构

1994 年初,美国联邦科学、工程和技术协调委员会(FCCSET)下属的工业和技术委员会先进制造技术工作组提出了有关制造技术的分类目录,这是对先进制造技术内涵的首次较系统的说明。如图 1-

2 所示,与 AMST 的描述不同,这种体系不是从技术学科内涵的角度来描绘先进制造技术,而是着重从整个体系的宏观结构组成角度描绘先进制造技术的组成,以及各个部分在制造技术发展过程中的作用。根据这一定义,先进制造技术主要包括以下三个技术群:

- ①主体技术群。包括面向制造的设计技术群和制造工艺技术群。
- ②支撑技术群。包括信息技术、标准和框架、机床和工具技术、传感器和控制技术。

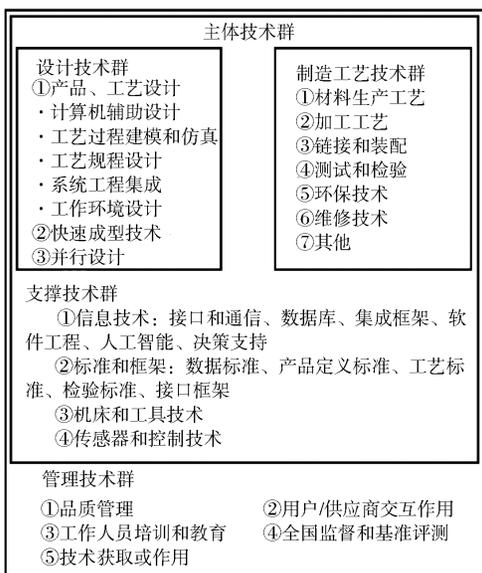


图 1-2 FCCSET 的先进制造技术体系结构

③管理技术群。它是指整个先进制造体系中所需要的生产管理技术等,包括品质管理、用户/供应商交互作用、工作人员培训和教育、全国监督和基准评测以及技术获取或作用等。

这三部分作为组成先进制造体系的宏观架构,相互联系,相互促进,是一个完整的体系,每一部分均不可缺少。在实际应用中,它们互相作用,共同支撑,形成了先进的制造技术体系。

3.我国学者提出的先进制造技术体系结构

我国学者在此基础上进行了改进和充实,根据自己的理解和业内的共识,将其简化,分为三大主体技术群和一个支撑技术群,如图 1-3 所示。

①制造工程设计技术群。它包括所有与产品和工艺设计有关的技术,如 CAX 技术、DFX 技术、可靠性设计、动态设计、疲劳设计、智能优化设计、反求工程、系统建模与仿真、系统集成、并行设计及快速原型制造等。

②制造系统管理技术群。它包括与企业管理有关的各种技术,强调信息集成,企业生产模式的创新,人、技术和管理的集成等,如成组技术、全面质量管理、制造资源计划、准时生产、计算机集成制造、并行工程、精益生产及敏捷制造等。

③物料处理和设备技术群。该技术群是研究与物料处理过程及与物流直接相关的各项技术,如材料生产工艺及设备、加工工艺及设备、少无切削加工、精密工程技术、超高速加工技术、特种加工技术、加工设备及其监控及质量控制技术等。

④相关支撑技术群。相关支撑技术是制造工程科学的理论基础,是三大主体技术群赖以生存并不断取得进步的相关技术,包括计算机技术、微电子技术、信息技术、自动化技术、系统工程、管理科学及材料科学等。

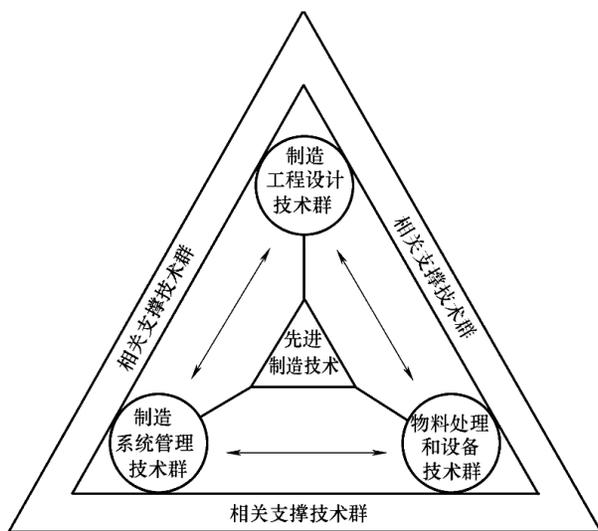


图 1-3 我国学者提出的先进制造技术体系结构

1.2.3 先进制造技术的主要内容

先进制造技术主要包括以下几个方面。

1. 现代设计技术

现代设计技术是先进制造技术的重要支撑,它的发展和应用是先进制造技术体系先进性的前提保证。与传统设计技术相比,现代设计技术并不是进行产品某一独立环节的设计,而是整体考虑并涉及与产品全生命周期有关的各个环节,综合采用先进的设计理念、运用现代科学知识体系、借助计算机化的设计手段,从制造的源头保证了产品的各项性能指标,进而体现了产品整体设计上的先进性,同时也为后续先进制造技术的运用创造条件。现代设计技术包括了有关的各项工程设计技术,如计算机辅助设计、有限元分析、计算机辅助工程、计算机辅助工艺设计、面向 X 的设计、反求工程、模块化设计、优化设计、智能设计、创新设计、动态设计、可靠性设计、健壮设计及精度设计等。本书着重介绍与先进制造有关的制造工艺技术、生产模式、自动化技术和管理技术,对于现代设计技术部分不做阐述。

2. 先进制造工艺技术

先进制造工艺技术是通过采用各种先进制造方法将坯料加工制造成产品的工艺及其过程,产品加工最终满足先进制造技术所提出的优质、高效、低耗、清洁的要求。先进制造工艺是先进制造技术的核心和基础,是产品加工制造中先进性的集中体现。如果没有与之相适应的工艺技术,先进制造技术将难以发挥优势。美国国防关键技术计划指出:“制造工艺是将先进技术转化为可靠、经济、精良武器装备的关键。”

先进制造工艺技术包括精密和超精密加工技术、微细加工技术、高速加工技术、生物制造技术、快速成型技术、激光加工技术及高能束加工技术等内容。

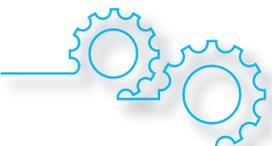
3. 先进制造模式及现代生产管理技术

先进制造模式是制造业生产组织管理的新模式,包括虚拟制造(VM)、并行工程(CE)、敏捷制造(AM)、精益生产(LP)、智能制造(IM)及绿色制造(GM)等。采用先进制造技术进行大规模生产和应用的过程,包括前期市场开发、产品调研设计、生产制造加工、质量控制检测和产品营销售后等阶段,先进制造模式及现代生产管理技术应用而生并得以快速发展。现代生产管理技术是企业运行中采取的各

种计划、组织、控制及协调的方法和技术的总称,包括产品数据管理(PDM)、生产信息管理(PMM)、物流管理(LM)及工作流程管理(WPM)等。围绕先进制造技术进行开发的现代管理应用系统已从最初的物料需求计划(MRP)发展到今天广为采用的制造资源计划(MRP II)、企业资源计划(ERP)、客户关系管理(CRM)、供应链管理(SCM)、企业经营过程重组(BRP)及伙伴关系管理(PRM)等,从而大幅度提高企业的绩效,实现整个制造系统资源优化。

4.先进制造自动化技术

随着计算机技术的提高,自动化技术得以快速发展,同时也为先进制造技术的发展注入了活力,提供了大批量生产的解决途径。在大批量生产中,先进制造技术不仅要采用先进制造模式,应用现代生产管理技术,为提高生产效率、降低劳动成本、快速变换生产对象和形成流水化连续生产,还要吸收自动化技术,从而诞生了面向大批量制造的先进制造自动化技术。制造自动化包括物料的存储、运输、加工、装配和检验等各个生产环节的自动化。制造自动化能显著降低操作者的劳动强度、提高生产效率、减少生产成本、保证生产连续进行,而且还是确保产品质量稳定可靠的必要手段。制造自动化技术包括计算机集成制造技术、数控技术、工业机器人技术、自动化加工装备技术、物流自动化技术、网络化制造技术、传感技术、自动检测技术、信号处理和识别技术以及制造过程监测与控制技术等方面的内容。



1.3 先进制造技术的发展概况与趋势

1.3.1 各国先进制造技术的发展概况

先进制造技术在世界各国倍受关注,进行其相关技术的研究、开发和应用,已成为各国的高新技术和战略优先发展的领域。美国率先提出了先进制造技术这一概念,日本、西欧各国以及亚洲新兴工业国家纷纷做出响应,积极开展此类技术的研发、创新和应用推广工作。我国对先进制造技术的快速发展也非常重视,多次召开了先进制造技术学术会议并制定了相应的发展规划。

1.美国

20世纪80年代中后期,由于美国制造业国际竞争力大大下降,一向重视保持绝对领先优势的美国政府决定大力发展先进制造技术。1994年,美国国家最高科技决策机构——国家科学技术委员会指定其所属的民用工业技术委员会,制定国家级先进制造技术发展战略,其主旨有如下四点:①支持国家实验室、大学与工业界联合研究开发先进制造技术;②通过国家级工业服务网络帮助企业快速采用先进技术;③开发并推广有利于环境保护的制造技术;④积极实施与工程设计和制造相关的教育与培训计划。1996年,美国国家先进制造联合会发表了《面向21世纪的美国工业力量》白皮书,建议美国今后应重点发展如下先进制造技术:集成产品与过程开发、并行工程、虚拟产品开发、快速原型与过程仿真、可扩展的企业体系结构、综合资源规划、产品数据交换标准、高速网络、人工智能、传感器数据融合、专家系统、电子数据交换、纳米/微米制造技术、高级控制器及全能制造系统的制造单元技术等;同时建议国防承包商采用大批量定制技术,重点发展柔性制造技术与系统。

2012年2月,美国国家科学技术委员会又发布了《先进制造业国家战略计划》。该计划从投资、劳



美国

动力和创新等方面提出了促进美国先进制造业发展的五大目标及相应的对策措施,这是美国从国家战略层面提出的加快创新、促进美国先进制造业发展的具体建议和措施。该计划明确了三大原则:①完善先进制造业创新政策;②加强“产业公地”建设;③优化政府投资。该计划提出的五大目标:①加快中小企业投资;②提高劳动力技能;③建立健全伙伴关系;④调整优化政府投资;⑤加大研发投入力度。

2. 日本

日本非常重视具有高附加值技术含量的先进加工制造业的发展。为保持其经济强国地位,日本不断发展高精尖技术,在现有技术基础上开发新产品、新工艺,提高竞争实力,创造新的市场和产业,而且全部由国家统一协调、规划,持续不断的出台重大计划,保证对于先进制造技术的持续研发和领先地位。日本通产省在1989年发起了“智能制造系统(intelligent manufacturing system, IMS)”,并邀请美国、加拿大、澳大利亚等国参加研究,形成了一个大型国际共同研究项目,由日本投资10亿美元保证计划的实施。其目标为:全面展望21世纪制造技术的发展趋势,先行开发未来的主导技术,促进科技成果转化,改善自然环境,同时致力于全球信息、制造技术的体系化、标准化。

1995年,日本通产省发起了旨在推动工业基础研究的“新兴工业创新型技术研究开发促进计划”,该计划分为三个技术领域:①工业科学技术,旨在创造新工业、开发新技术;②能源与环境技术,旨在改善自然环境、保证能源供应稳定、加速创建新工业;③支持中小企业开发基础性和创造性技术,旨在促进中小企业的工业现代化进程。同年,日本文部省发起了“风险企业型实验室计划”,该计划旨在促进创新性研究活动,为新工业和风险企业培养年轻后备科技人才,主要进行著名大学实验室的资助,受资助的实验室大多从事微型机械制造、虚拟现实软硬件技术、微毫米加工技术等。2004年,日本又启动了“新产业创造战略”,为制造业寻找未来战略产业,这引起了美国、欧洲、日本在机械制造技术上新一轮的竞争。

3. 德国

德国是世界工业强国,在与美国、亚洲和欧洲其他国家的竞争中,为继续保持传统制造业的经济增长,进行了积极的调整,将更多的精力和资源投入到先进制造技术上来,积极推动工业界采用信息技术改造传统制造技术与制造企业,并制订了相关的计划。德国政府于1995年提出了实施“2000年生产计划”,以推动信息技术促进制造业的现代化和提高制造领域的研究水平;2002年又分别推出了“IT2006研究计划”和“光学技术——德国制造”计划,投资30多亿欧元,研究电子制造技术和设备、新型电路和元件、芯片系统以及下一代光学系统。

近几年,德国先后发起了“质量保证计划”“工作和技术计划”“保护环境的生产计划”“微系统技术计划”及“工业基础技术研究计划”等,这些计划旨在研发可靠的质量管理系统、工业机器人编程、大规模流程作业中的柔性生产结构、计算机多媒体系统、工业生产的发展和保护环境之间的协调及微系统制造技术,利用工业基础研究成果开发新产品、新工艺和新技术等。经过这些计划的执行,德国制造业出现较好的复苏趋势,并加快了传统制造业向先进制造业转变。

4. 英国

英国政府支持工程和技术规划及制造系统工程方面的研究,开展了计算机集成制造系统、单元式制造系统、快速原型制造技术、人机工程学及并行工程等方面的研究。英国政府发布了2008制造战略(2008 Manufacturing Strategy)和新产业新工作战略(New Industry, New Jobs Strategy, 2009年4月发布),形成了支持发展新产业和新工作机会的主要框架。英国的商务、创新和技能部基于这些战略积极采取行动,制定了一揽子重要的新措施,为先进制造业发展扫清诸多障碍,并帮助业界开发市场的巨大潜力。这一揽子重要措施主要由以下四部分组成:①获得信息与投资,包括扩大制造业咨询机构、发展制造技术中心网络、低碳工业战略及创新基金等;②先进制造技术技能,包括学徒培训计划、成立制造

和材料生产供应国家技能院校、与产业界一起设立基础学位,并在工作场所培训;③采取新技术,包括扩展软性电子中心、制造竞争力计划增加资金投入、发展设计创新网络、低碳工程研发计划、为 Samulet 航空制造计划提供支持、产业化生物技术示范和中小企业基金、新的复合材料战略、新的软性电子战略;④解决特殊产业面临的挑战,包括通过向罗尔斯·罗伊斯(Rolls Royce)提供政府补助,提高英国航天航空和民用核工业领域的先进制造技术;提升先进复合材料航天器机翼的设计和开发能力,如通过新项目提供可偿还启动投资,包括 Bombardier Aerospace 公司的 CSeries 飞机项目、GKN 航空航天公司和空中客车公司的 A350XWB 项目等;发布空间创新与发展小组(Space IGT)报告;等等。

5. 韩国

1991年,韩国提出了“先进技术国家计划”,目标是到2000年将韩国的制造技术实力提高到世界第一流工业发达国家的水平。该计划包括先进制造系统、新能源、电气车辆、人机接口技术等七项先进技术和七项基础技术,其中的“先进制造系统”是一个将市场需求、设计、车间制造和营销集成在一起的系统,旨在改善产品质量和提高生产率,最终建立起全球竞争能力。该项目由三部分组成:①共性的基础研究,包括集成的开放系统、标准化及性能评价;②下一代加工系统,包括加工设备、加工技术、操作过程技术;③电子产品的装配和检验系统,包括下一代印制电路板装配和检验系统、高性能装配机构和制造系统、先进装配基础技术、系统操作集成技术和智能技术。

6. 中国

中华人民共和国成立尤其是改革开放以来,我国制造业持续快速发展,建成了门类齐全、独立完整的产业体系,有力推动工业化和现代化进程,显著增强综合国力,支撑世界大国地位。然而,与世界先进水平相比,中国制造业仍然大而不强,在自主创新能力、资源利用效率、产业结构水平、信息化程度、质量效益等方面差距明显,转型升级和跨越发展的任务紧迫而艰巨。

2015年,国务院印发《中国制造2025》,由百余名院士专家制定,为中国制造业未来10年设计顶层规划和路线图,通过努力实现中国制造向中国创造、中国速度向中国质量、中国产品向中国品牌三大转变,推动中国到2025年基本实现工业化,迈入制造强国行列。《中国制造2025》以体现信息技术与制造技术深度融合的数字化网络化智能化制造为主线。主要包括八项战略对策:推行数字化网络化智能化制造;提升产品设计能力;完善制造业技术创新体系;强化制造基础;提升产品质量;推行绿色制造;培养具有全球竞争力的企业群体和优势产业;发展现代制造服务业。

1.3.2 先进制造技术的发展趋势

随着信息技术的出现以及蓬勃发展,制造技术的面貌焕然一新。先进制造技术必须适应当今世界需求多样化、技术集成化、效益最优化、环境生态化及网络智能化的必然要求,未来先进制造技术将朝着精密化、柔性化、网络化、虚拟化、智能化、清洁化、集成化及全球化的方向发展。

1. 绿色制造是先进制造技术未来发展的必然选择

科学技术的迅速发展,也使人类社会在发展经济的同时面临着环境污染、资源匮乏等问题,各国开始重视人类活动对于自然环境的影响,如何在保持经济发展的同时有效利用自然资源,使人类社会的发展与自然界和谐统一,是先进制造技术以及未来制造业必须解决的问题。为此,美、日及欧洲各国大力发展“低碳经济”“循环经济”“绿色制造”和“清洁生产”,致力于研究开发生态安全型、资源节约型制造技术。

绿色制造,是一个综合考虑环境影响和资源效益的现代化制造模式,其目标是使产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个产品生命周期中,对环境的影响最小,资源利用率最高,并使企

业经济效益和社会效益协调优化。绿色制造这种现代化制造模式,是人类可持续发展战略在现代制造业中的体现。绿色制造正在成为未来制造业的发展方向,并将贯穿于制造业各环节,主要表现在以下三个方面:

①绿色产品设计技术。在设计阶段就考虑到环境因素和预防污染的问题,并采取应对措施将之纳入产品设计中,把环境性能作为产品的设计目标和出发点,力求使产品对环境的影响最小。

②绿色制造技术。它使产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废的整个产品生命周期中,不产生环境污染或环境污染最小化,符合环境保护要求,在整个制造过程中综合考虑环境影响和资源效率,在保证产品的功能、质量、成本的前提下,使产品制造过程对生态环境无害或危害极少,节约资源和能源,使资源利用率最高,能源消耗最低。

③再制造技术和产品的回收。再制造是一种先进的制造逻辑与工业理念,它要求工业设计不仅要面向材料与功能,更要面向可回收再制造。它是“资源—产品—废弃物—再生资源或再生产品”的反馈式循环模式。再制造是新材料、新技术、新工艺、新装备与新方法等一系列高新技术与手段的集成运用,因此可以保证再制造产品的性能和质量不低于新产品,甚至在某种情形下可以使其质量高于新产品。

2. 智能化、网络化是先进制造技术未来发展的前景趋势

现代制造系统的运行过程是对大量物流、能量流和信息流的处理过程,尤其是对于信息流的处理能力是传统制造技术所不具备的。大量有关物料、机床参数、加工参数、产品性能的复杂信息需要不断更新,实时处理,以应对瞬息万变的市场需求和激烈竞争的复杂环境,这就要求制造系统具有某种智能,能够处理纷繁复杂的有关数据和信息,因而智能制造应运而生。

智能制造系统综合了计算机、多媒体、模糊控制、神经网络等多学科技术,实现了高速、高精、高效控制,可以自动修正、调节与补偿加工过程中的各项参数,具有在线诊断和智能化故障处理功能;未来的先进制造系统将具有更高级的智能功能,集数字化、自动化、集成化、网络化和智能化于一身,成为具有专家知识和人工智能的人机一体化系统。智能制造系统可以在制造的过程中,以柔性化、集成化、模块化、网络化有机结合的方式,建立高度智能化的闭环控制结构,借助计算机模拟人类专家的智能活动,进行信息的读取、分析、判断、推理、构思和决策,延伸或替代制造过程中人的智能劳动,同时收集、存储、处理、完善、共享、继承和发展类似人类专家的智能水平。该技术目前尚处在起步阶段,但它的前景却非常广阔。

制造业网络化,是指在产品设计、加工与生产管理等活动,甚至企业整个业务流程中全面采用网络技术,实现对整个制造业的结构调整、资源合理配置、优化组合及共用。这是由于当代制造业在激烈的市场竞争中,面临市场需求不断变化、采购成本不断提高、产品更新速度加快等多方面的压力,企业必须在生产组织上实行深刻的变革,从而促使网络化制造模式的兴起。制造技术网络化将并行工程、虚拟制造、虚拟企业等先进制造理念、方法和技术引入制造业,为制造系统和制造过程提供了快速方便的信息交互手段和环境,促使了“虚拟制造组织”的兴起。它通过网络化制造服务平台将地理上异地分布、组织上平等独立的多个企业联为一体,建立起密切合作的“虚拟企业”或“企业联盟”,实现资源集成、优势互补、资源共享,以提高制造业的竞争力,提升制造企业的快速反应能力和市场竞争力。

3. 集成化、融合性是先进制造技术未来发展的方向

目前,集成化主要表现在以下几个方面。

①设计集成。产品设计是先进制造技术的灵魂和先导,未来设计技术集成化的趋势主要表现为:设计过程由单纯考虑技术因素转向综合考虑技术、经济、社会和环境因素等;设计向产品全生命周期设计发展,设计思想与方法更新,采用如并行设计、面向 X 的设计、健壮设计、优化设计和反求工程技术等

进行设计。

②信息集成。其主要目的是通过网络和数据库把各自动化系统和设备及异种设备相连起来,实现制造系统中数据的交换和信息的共享,帮助人们做出正确的决策。

③功能集成。主要实现企业要素,即人、技术、管理组织的集成,进而实现企业生产经营各功能部分的整体集成。

④过程集成。主要通过产品开发过程的并行和以多功能项目组为核心的企业扁平化组织,实现产品开发过程、企业经营过程的集成。

⑤企业集成。通过采用敏捷化企业组织形式、并行工程环境、全球计算机网络或国家信息基础设施,实现跨地区甚至跨国家的企业间的动态联系,即动态集成,由此能迅速集结和运筹该产品所需的知识、技术和资源,从而迅速开发出新产品,响应市场需求,赢得竞争。

4. 自动化和虚拟化是先进制造技术研究的重点领域

自动化是指机械装备在无人干预的情况下,按规定的程序或指令自动进行操作或控制的过程。自动化技术的发展是一个与时俱进的过程,起初的自动化是以机械的动作代替人力操作,自动地完成特定的作业。20世纪40年代中期以来,随着电子和信息技术的发展,特别是计算机的广泛应用,自动化进一步拓展为采用机器代替人的体力劳动和代替或辅助人的脑力劳动,以自动地完成特定的作业。制造自动化技术研究已经突破了以往只是研究数控技术、过程控制、过程监控和计算机辅助技术等单元和专门技术的范围,目前关于制造系统中的集成技术和系统技术的研究正方兴未艾,逐渐成为制造自动化研究的重点领域。

随着计算机网络和虚拟现实等先进技术的出现,20世纪90年代产生了“虚拟制造”这一全新的制造概念及其理论,它已成为先进制造技术研究的重点领域。虚拟制造是使用计算机模型对制造过程的仿真,以辅助被制造产品的设计与生产,包括从产品设计开始就实时地、并行地对产品结构、工作性能、工艺流程、装备调试、作业计划、物流管理资源调配及成本核算等一切生产活动进行仿真,检查产品的可加工性和设计的合理性,预测其制造周期和使用性能,以便及时修改设计,更有效地灵活组织生产。虚拟制造可以缩短产品的研制周期,获得最佳的产品质量、最低的成本、最短的开发周期。虚拟制造已经能够对加工制造过程进行物理仿真,如切屑的形成,力、热和几何因素对制造误差的影响,等等。虚拟制造技术的广泛应用从根本上改变了现行的设计、试制、修改设计和规模生产的传统制造模式。虚拟制造技术决定着企业的未来,也决定着制造业在竞争中能否立于不败之地。

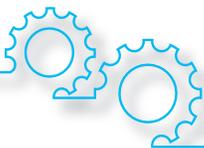
5. 服务的理念将贯穿未来先进制造过程的始终

制造的终极目标是更好地为人服务。以人为本、加强服务是先进制造技术的根本目标,这就需要在制造过程中加强服务的理念。倡导“以人为本”,就是要充分调动人在构思与设计、创新与改进、制造与加工、检验与管理、使用与维护、营销与服务乃至在制造业产业链各个环节的主动性与创造性,大力开发人性化的制造技术。合理使用人性化的制造技术,正确地、全局地、长远地处理好其各有关方面的关系,使之真正服务于人类,谋求社会的可持续发展。深化教育改革是走向“以人为本”的先进制造技术的根本途径,教育理念和教学方法必须顺应世界先进制造技术发展趋势,并结合我国国情,培养造就出新一代高素质先进制造技术专业人才。

第 2 章

现代设计技术





2.1 现代设计方法

由于科学技术和社会生产力的不断进步,特别是 20 世纪 90 年代以后,设计方法学和创造方法学的开发与运用,使机械设计手段发生了根本性变化,一系列现代设计方法(如计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、反求设计、创新设计、并行设计、虚拟设计、智能设计、稳健设计等)在工程中得到广泛应用和巨大成功。上述现代设计方法的出现,为计算机集成制造系统(CIMS)构建了良好的发展基础。现代设计方法的使用,不仅仅是更新了传统的设计思维理念,而且在很大程度上提高了产品设计开发能力和水平。

现代设计方法内容广泛、学科繁多,以下只重点介绍一些典型的现代设计方法。

2.1.1 计算机辅助设计

1. 概述

计算机辅助设计(computer aided design, CAD)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有关技术的总称。计算机辅助设计作为一门科学开始于 20 世纪 60 年代初期,自 20 世纪 90 年代以来,计算机技术突飞猛进,特别是微型计算机和工作站的发展和普及使用,极大地推动了 CAD 技术的发展,使 CAD 技术进入了实用化阶段。目前 CAD 技术正朝着人工智能和知识工程方向发展,即智能计算机辅助设计。

CAD 的运用,包括初始设计、详细设计和工艺设计,是针对设计方案的“信息流”过程。形成设计方案后,制造阶段 CAM (computer aided manufacture)的运用,包括材料准备、热加工、冷加工、装配、检测、入库等许多环节,主要是针对产品的“物质流”过程。连接 CAD 与 CAM 的关键纽带是计算机辅助工艺规程设计 CAPP(computer aided process planning),它是在成组技术的基础上,用计算机来编制合理的零件加工工艺过程,从而将产品的设计信息转化为制造信息。

在 CAD 过程中,在设计人员的构思、判断和决策的干预下,计算机系统不断地从数据信息库中检索设计资料,调用设计程序库的设计计算程序进行计算,确定设计方案和主要参数,利用图形程序库处理和构造设计图形,并且将设计方案和设计图形转化为数据信息存储到数据库中。最后,输出确定的设计方案信息(包括图样和技术文件等),还可以将数据直接输出到数控机床。

2. 计算机辅助设计系统的构成

计算机辅助设计的硬件系统主要由计算机主机、输入设备(键盘、鼠标、数字化仪、扫描仪、光笔等)、输出设备(打印机、绘图仪等)、图形显示器、外存储器及其他通信接口等。

计算机辅助设计软件系统是整个 CAD 系统的灵魂和核心部分,由软件平台、支撑软件和应用软件三个层次构成。

系统软件平台:主要用于对系统硬件设备进行管理 and 设置,如系统硬件资源的管理、对输入输出的

控制等。常用的操作系统有: DOS、Windows 2000/XP/7、Windows NT、UNIX 等。

支撑软件: 主要指各种 CAD 工具软件和系统。根据作用不同可以分为以下几类:

①用于工程设计中数值计算和分析的支撑软件, 如数学方法库、机械设计常规公式库, 优化设计、有限元分析(SAP-5、ADINA、NASTRAN 等)、可靠性设计、动态分析等现代设计方法软件。

②数据库管理系统的支撑软件, 如 Oracle、FoxPro、Access 等。

③应用软件: 主要是各种集成化 CAD/CAM/CAE 软件系统。目前通用流行的软件有:

AutoCAD 和 MDT(Mechanical Desktop): AutoCAD 是美国 Autodesk 公司为微机开发的以二维功能为主的交互式工程绘图软件; MDT 是该公司为机械行业推出的基于参数化特征实体造型和曲面造型的微机软件。

Pro/Engineer: 美国 PTC(Parametric Technology Corporation) 公司为微机开发的参数化设计和基于特征设计的实体造型的优秀三维机械设计软件。该系统建立在统一的数据库上, 有完整和统一的模型, 能将设计与制造过程集成在一起。

I-DEAS: 美国 SDRC(Structural Dynamics Research Corporation) 公司推出的三维实体机械设计自动化软件。它具有功能强大、直观可靠和高度一体化的特点。

Unigraphics(UG) 和 Solid Edge: UG 是美国麦道公司推出的适用于航空航天器、汽车、通用机械和模具等的设计、分析和制造的工程软件。它采用基于特征的实体造型, 具有尺寸驱动编辑功能和统一的数据库, 实现了 CAD/CAE/CAM 之间无数据交换的自由切换, 具有强大的数控加工功能, 可以在 HP、SUN、SGI 等工作站上运行。Solid Edge 是该公司为微机开发的使用方便的同类软件。

Solid Works: 美国 Solid Works 公司推出的基于 Windows 操作系统的 CAD/CAM/CAE/PDM (product data management) 的集成系统。它采用自顶向下的设计方法, 可以动态模拟装配过程, 采用基于特征的实体建模, 具有很强的参数化设计和编辑功能, 采用特征树管理几何特征。

ADAMS(automatic dynamic analysis of mechanical systems): 美国 Michigan 大学研制的机械系统自动分析软件, 采用交互式图形环境、部件库、约束库、力库等堆积木方式进行运动性能、动力仿真、并行设计、运动分析、动力分析等工作, 在车辆工程中应用甚广。

以上新一代的 CAD/CAM 软件, 有着共同的特点, 就是新技术、新算法在不断地采用, 功能越来越强, 界面越来越友好, 人机交互性得到加强。这些系统都具有参数实体化造型、装配设计、运动学分析、机械加工等功能, 大多数具有统一的主模型, 供 CAD、工程分析、加工仿真共享。这些系统不仅提供像常规 CAD/CAM 系统一样的获取几何信息的能力, 而且包括参数化的特征及零件之间的位置关系。更为突出的是, 交互式设计技术已经相当成熟。随着网络技术的进一步发展与应用, 设计人员可以从任何系统、网络或应用软件中并行地存取数据。

2.1.2 可靠性设计

1. 概述

机械可靠性设计是近期发展起来并得到推广应用的一门现代设计理论和方法。它以提高产品可靠性为目的、以概率论与数理统计为基础, 综合运用数学、物理、工程力学、机械工程学、人机工程学、系统工程学、运筹学等多方面的知识来研究机械工程的最佳设计问题。可靠性设计作为现代设计理论及方法, 是设计科学化、现代化的重要内容之一。

机械工程可靠性作为一门新兴的工程学科,目前正由单一零件可靠性研究进入对整个机械的可靠性研究阶段;由可靠性模型和理论分析阶段进入提高产品的质量和可靠性水平作为目标的实用化阶段。国外许多产品,如汽车、航空航天器等都以可靠性作为设计基本指标,运用可靠性知识对产品零件和整个系统进行寿命预测,做出可靠性及安全性评估,运用可靠性理论来指导和控制产品的设计和制造程序,从而保证产品的质量和可靠性水平进一步得到完善和提高;同时,具有良好的可靠性指标也是使开发设计的产品在国际市场上具有竞争力的保证。

机械可靠性设计主要涉及以下几个方面的内容:

①研究产品的故障机理和故障模型。确定机械产品在使用过程中有关零件材料的老化、损伤和故障失效的有关数据;揭示影响老化、损伤这些复杂的物理化学过程的最本质的因素;追寻故障的真正原因;研究以时间函数形式表达材料的老化、损伤的规律,从而较确切地估计产品在使用条件下的状态和寿命。用统计分析的方法使故障(失效)机理模型化,建立计算用的可靠度模型或故障模型,为机械可靠性设计奠定物理数学基础。

②确定产品的可靠性指标及其等级。产品可靠性指标的等级或数量值,应依据设计要求或已有的试验、使用和修理的统计数据、设计经验、产品的重要程度、技术发展趋势及市场需求等来确定。

③合理分配产品的可靠性指标值。将所确定的产品可靠性指标量值合理地分配给部件、零件,以确定每个零部件的可靠性指标。每个零部件的可靠性指标值与其功能、重要性、复杂程度、体积、质量、设计要求及经验、已有的可靠性数据和费用等有关,这些构成对可靠性指标的约束条件,可采用优化设计方法加以确定。

④以规定的可靠性指标值作为依据对零件进行可靠性设计。把规定的可靠性指标直接应用到零件的有关设计参数中去,使之能够保证可靠性指标值的实现。

2. 可靠性设计的理论基础

可靠性设计理论的基本任务是在可靠性物理学研究的基础上,结合可靠性试验及可靠性数据的统计与分析,提出可供实际设计计算应用的物理数学模型和方法,以便在产品阶段就能规定其可靠性指标,或估计、预测机器及其主要零部件在规定的条件下的工作能力状态、寿命,保证所设计的产品具有所需要的可靠度。

机械强度可靠性设计以应力-强度分布干涉理论与可靠度计算为基础,因此具有下面的特点:

①由于载荷、强度、结构尺寸、工况等都具有变动性和统计本质,所以常用分布函数来进行描述,而把应力和强度作为随机变量来进行处理,应用概率数理统计的方法进行分析计算。

②可以定量地给出产品的失效概率和可靠度,突出强调设计对产品可靠度的主导决定作用。

③必须考虑环境因素(如高温、低温、冲击、振动、潮湿、腐蚀、沙尘、磨损等)对可靠度的影响。有关研究表明,应力分布的尾部比强度分布的尾部对可靠度的影响要大得多,因此对环境的质量控制要比对强度的质量控制带来大得多的效果。

④必须考虑维修性。从设计之初,就应将产品的固有可靠性和使用可靠性综合起来,从整体考虑,为了达到设备或系统所规定的有效度,分析是通过提高维修可靠度还是提高设计可靠度更为合理。

应力-强度分布干涉理论以应力-强度分布干涉模型为基础,该模型揭示了机械零件出现故障而有一定故障率的原因和机械强度可靠性设计的本质。在机械设计中,强度与应力具有相同的量纲,可以将它们的概率密度曲线表示在同一个坐标系中。根据机械设计的一般原则,要求零件的强度要大于其工作应力,但由于零件本身强度与应力值具有离散性,使应力、强度两概率密度曲线在一定条件下可能

相交,相交区域如图 2-1 所示(图中的阴影线部分),就是产品或零件可能出现故障的区域,称为干涉区。如果在机械设计中使零件的强度大大地高于其工作应力,使两种曲线不相交,如图 2-1 左图所示,那么该零件在工作初期是在正常的工作条件下,强度总是大于应力,因此不会发生故障。但如果零件长期在动载荷、腐蚀、磨损的作用下,即使是在设计之初使应力与强度分布曲线没有干涉,零件强度也会逐渐衰减,可能就会由图 2-1 中的位置 a 沿着衰减退化曲线移到位置 b ,从而使应力-强度曲线发生干涉。即由于强度的降低导致应力超过强度而产生不可靠的问题。

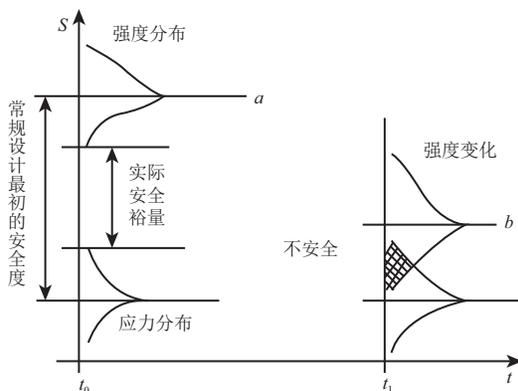


图 2-1 应力-强度分布曲线的相互关系

由应力-强度干涉曲线还可以看出,当零件的强度和在工作应力的离散程度比较大时,干涉部分就会相应加大,零件的不可靠度也就增大;当材质性能好、工作应力稳定而使应力与强度分布的离散度减小时,干涉部分会相应减小,零件的可靠度就会增加。另外,即使在安全系数大于 1 的情况下,仍然会存在一定的不可靠度。所以,按传统的机械设计方法只进行安全系数的计算是不够的,还需要进行可靠度的计算,这正是可靠性设计有别于传统的常规设计最重要的特点。机械可靠性设计就是要搞清楚零件的应力与其本身强度的分布规律,严格控制发生故障的概率,以满足设计要求。图 2-2 给出了机械强度可靠性设计的过程。

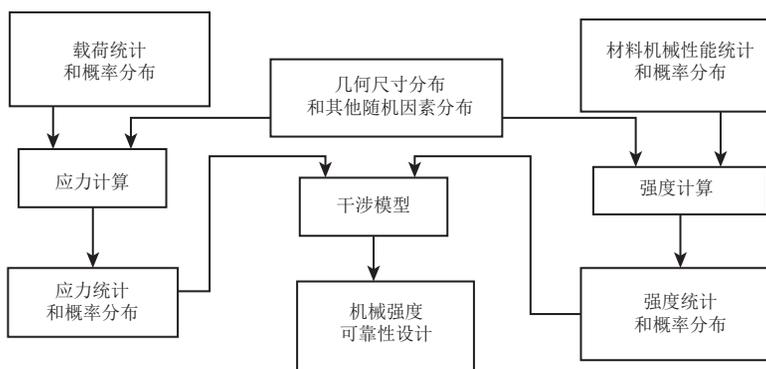


图 2-2 机械强度可靠性设计过程框图

从以上的应力-强度分布干涉理论可以得知,机械零件的可靠度计算是进行机械可靠性设计的基础,主要有以下几种情况:应力和强度都为正态分布时的可靠度计算;应力和强度都为对数正态分布时的可靠度计算;已知强度分布和最大应力幅,在规定寿命下的零件可靠度计算。具体计算公式可参见有关参考文献。

3. 机械强度可靠性设计

机械强度可靠性计算公式,既可以用来进行零件的设计计算,也可以用来对已有的机械零件进行强度可靠性验算。

主要有以下三个方面的问题:零件工作应力的确定,强度分布的确定以及强度可靠性计算条件与许用可靠度的选取。

许用可靠度值的确定是一项直接影响产品质量和技术指标的重要因素,选择时应根据所计算零件的重要性、计算载荷的类别,并考虑决定载荷和应力等计算的精确程度。主要考虑遵循下面的原则:

- ①首先应明确机械产品的工作时间,不同的工作时间具有不同的可靠度。
- ②其次要明确主要有哪些零部件决定了产品的可靠度,而另外的一些零部件即使出现故障,也不会造成严重影响产品功能的后果。因此要根据零件的重要性来确定其可靠度值的大小。
- ③产品的可靠性指标往往还要根据市场来确定,有时也需要根据用户的要求来确定可靠度。
- ④可靠度指标还要受到经济和技术水平的制约。提高产品的可靠性一方面会使制造费用增加,另一方面会减少维修费用和停用损失。从综合的角度来讲,产品存在着一个最佳可靠度,即产品的制造和使用的总费用为最少的可靠度,应把追求最佳可靠度作为机械可靠性设计的极限目标。

4. 机械系统可靠性设计

系统是由若干个具有不同功能的单元(元件、零部件、设备、子系统)为了完成规定功能而相互结合起来所构成的组合体。所以系统的可靠性不仅与组成系统各单元的可靠性有关,也与各单元间的组合方式和是否相互匹配有关。

系统可靠性设计的目的,就是要使系统在满足规定的可靠性指标,完成预定功能的前提下,使该系统的技术性能、质量指标、制造成本及其使用寿命等取得协调并达到最优化的结果,或者在性能、质量、成本、寿命和其他要求的约束下,设计出高可靠性系统。

系统可靠性设计主要有两类大问题:第一,按照已知零部件或各单元的可靠性数据计算系统的可靠性指标,称为可靠性预测;应进行系统的几种结构模型的计算、比较,以得到尽量满意的系统设计方案和可靠性指标。第二,按照已给定的系统可靠性指标对组成系统的单元进行可靠性分配,并在多种设计方案中比较、选优。

(1) 可靠性预测

可靠性预测包括单元可靠性预测和系统可靠性预测两部分内容。这里主要介绍系统可靠性预测的问题。

①串联系统的可靠性。如果组成系统的所有单元中任何一个失效就会导致系统失效,那么称为串联系统。其可靠性框图如图 2-3 所示。



图 2-3 具有 n 个单元的串联系统逻辑框图

串联系统要能正常工作,必须是组成它的所有单元都能正常工作,因此串联系统的可靠度计算公式为

$$R(t) = R_1(t)R_2(t)\cdots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

式中, $R_i(t)$ 为单元 i 的可靠度, $i=1, 2, \dots, n$ 。

由于 $0 \leq R_i(t) \leq 1$, 显然串联系统的可靠度随单元数的增加而降低, 且串联系统可靠度总是小于系统中任一单元的可靠度。因此, 在设计中, 简化设计和尽可能减少系统的零件数目, 将有助于提高系统的可靠度。

② 并联系统的可靠性。当一个系统中有一个单元正常工作, 该系统就能正常工作, 只有全部单元均失效时系统才失效, 则这种系统称为并联系统。其可靠性框图如图 2-4 所示。

因为并联系统只有在所有单元全部失效时才会失效, 所以并联系统的可靠度计算公式为

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)]$$

式中, $F(t)$ 为系统的不可靠度; $F_i(t)$ 为单元 i 的不可靠度, $i=1, 2, \dots, n$ 。

由于 $[1 - R_i(t)]$ 是一个小于 1 的整数, 所以并联系统的可靠度总是大于系统中任一单元的可靠度, 并联的单元越多, 系统的可靠度越高。并联系统在电子和电气系统中应用广泛, 机械系统中的应用也呈增加趋势, 如在动力装置、安全装置和液压系统中的应用。

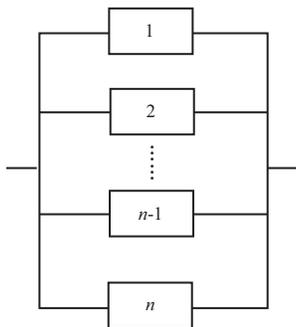


图 2-4 具有 n 个单元的并联系统逻辑框图

(2) 可靠性分配

可靠性分配是将工程设计规定的系统可靠性指标合理地分配给组成该系统的各个单元, 确定系统各组成单元(总成、分总成、组件、零件)的可靠性定量要求, 从而使整个系统可靠性指标得到保证。可靠性分配的本质是一个工程决策问题, 应按系统工程原则“技术上合理, 经济上效益高, 时间方面见效快”来进行。主要的可靠性分配方法有:

① 等分配法。对系统中的全部单元分配以相等的可靠度的方法称为等分配法或等同分配法。

对串联系统, 当系统中 n 个单元具有近似的复杂程度、重要性以及制造成本时, 则可用等分配法分配系统各单元的可靠度。这种分配法的另一出发点是考虑到串联系统的可靠度往往取决于系统中的最弱单元, 因此, 对串联系统个别单元分配很高的可靠度没有实际意义。

对并联系统, 当系统的可靠度指标要求很高, 如 $R > 0.99$, 而选用已有的单元不能满足要求时, 则可选用 n 个相同单元的并联系统, 这时单元的可靠度 R_i 可大大低于系统的可靠度 R 。

② 再分配法。如果已知串联系统各单元的可靠度预测值为 R'_1, R'_2, \dots, R'_n , 那么系统的可靠度预测值为 $R' = \prod_{i=1}^n R'_i (i=1, 2, \dots, n)$ 。若设计规定的系统可靠度指标为 $R > R'$, 表示预测值不能满足要求, 需改进单元的可靠度指标, 并按规定的 R 值做再分配计算。显然, 提高低可靠性单元的可靠度, 效果要好些, 且容易些, 因此, 可提高低可靠性单元并按等分配法进行再分配, 称为再分配法。

2.1.3 优化设计

1. 概述

一般的工程设计都有多种可行的设计方案,如图 2-5 所示。若采用常规的设计方法,要经过多次反复的“设计—分析—再设计”过程,才能得到几个可行方案。设计者要从有限的几个可行方案中,依靠自己的知识和经验,对它们进行判断和评价,或者采用实验对比和与同类产品设计方案类比的反复分析,才能从中获得一个相对比较满意的可行性方案,但要想寻求到最佳方案就会比较困难。而优化设计则为工程设计提供了一种重要的解决此类问题的科学设计方法,使得在解决复杂设计问题时,能从众多的设计方案中寻找出尽可能完善的或最适宜的设计方案。目前,优化设计的理论和方法已经在国民经济的许多领域,如机械电子、电器、纺织、冶金、石油、国防、航天航空、造船、汽车、建筑和管理部门,获得了广泛应用,取得了显著的技术和经济效益。

机械优化设计是某项机械设计在规定的各种限制条件下,优选设计参数,使某项或几项设计指标获得最优值。工程设计上的最优值是指在满足多种设计目标和约束条件下所获得的最令人满意、最适宜的值,它反映了人们的意图和目的。优化设计反映了人们对客观世界的认识深化,它要求人们根据事物的规律,在一定物质基础和条件之下,充分发挥人的主观能动性,得出最优的设计方案。

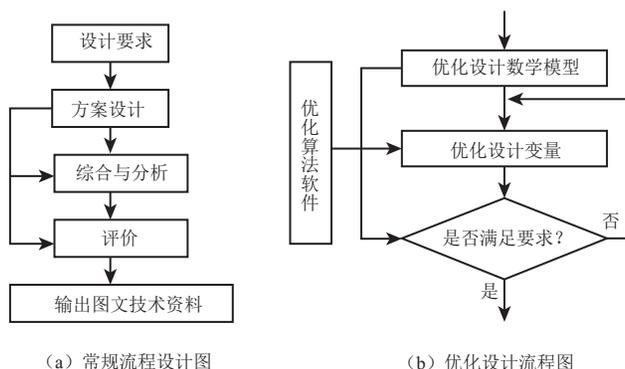


图 2-5

2. 优化设计的数学模型

为了对工程问题进行优化设计,首先必须将工程设计问题转化为数学模型,即用数学表达式来描述工程设计问题;然后按照数学模型的特点选择优化设计方法计算程序,采用计算机求解,得出最佳设计方案。

进行工程优化设计,需要确定一组设计参数,明确设计参数的设计要求,在追求设计目标最佳的情况下,得出最佳设计方案。

一组设计参数称为设计变量,用列向量或行向量的转置来表示。

$$\mathbf{X} = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$$

设计变量是设计变量的限制条件,它是设计变量的函数,称为约束函数或约束条件,可以表示为:

$$\begin{cases} g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, p, \\ h_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots, q (q < n) \end{cases}$$

式中, $g_i(x) \leq 0$ 称为不等式约束,对于 $g_i(x) > 0$ 的不等式约束,等价于 $-g_i(x) \leq 0$; $h_i(x) = 0$ 称

为等式约束,等式约束的个数 q 必须小于设计变量的个数 n ,否则由 q 个等式约束方程只能求解出惟一的一组设计变量 $x_1, x_2, \dots, x_n (q=n)$,或根本无解($q>n$)。

追求设计的目标,也就是设计变量的函数,称为目标函数。一般情况下,目标函数值最小时设计方案最佳,可以表示为

$$\min F(x) = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

对于追求目标函数最大的问题(如产量、效率),可以表示为 $\min[-F(x)]$ 。

因此,工程优化设计可以描述为确定一组设计变量,在满足全部约束条件的前提下,使目标函数值最小,可以写成:

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T \\ \min & F(x) \\ \text{s.t.} & \begin{cases} g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, p, \\ h_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots, q (q < n) \end{cases} \end{aligned}$$

式中,s.t.是英文“subject to”的缩写,表示优化问题的约束条件。

因此优化设计的数学模型包括设计变量、目标函数和约束条件三个要素。

(1) 设计变量

一个工程的设计方案,可以用一组基本参数来表示。基本参数可分为两类:一类是几何参数,例如机械零部件的直径、长度、宽度、高度和角度等;另一类是物理参数,例如载荷、应力、扭矩、惯性矩、质量、刚度、效率、功率、频率等。那些根据设计对象预先选定的基本参数,称为设计常量;而另外一些需要在设计过程中优选的基本参数称为设计变量。

设计变量必须是独立参数,由其他参数导出的参数,不能作为设计变量。例如在齿轮传动设计中,一对齿轮的齿数 z_1, z_2 与传动比 i 三个参数中,只能有两个作为设计变量。

设计变量按照变化规律可以分为连续变量(例如零部件的结构尺寸、质量等)和离散变量(例如齿轮的模数、螺栓的公称尺寸等)两类。既含有连续变量,又含有离散变量的一组设计变量称为混合设计变量。

设计变量的数目称为优化设计问题的维数,设计变量越多,设计的自由度越大,就可以追求比较理想的设计目标。但是优化设计的维数越大,问题越复杂,求解数学模型的难度也越大。因此,在选取设计变量时,在满足设计基本要求的前提下,一般将设计目标影响较大的参数选为设计变量,将对设计目标影响较小的参数选为设计常量(根据结构或工艺条件赋予定值),以尽量减小优化设计的维数。

(2) 目标函数

目标函数是用来评价方案好坏的函数。目标函数的最佳值,就是它的极小值,即

$$\min F(x) = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

目标函数一般与设计变量有明显的函数关系。但是,当有的设计目标还没有确切的计算公式或不能精确度量时,可以用一个与目标函数等价的设计指标来代替它。因此,设计变量不一定有明显的物理意义和量纲。

目标函数是根据设计准则来确定的,例如机构的运动误差最小、机械零部件的承载能力最大、效率最高、成本最低、质量最小等。根据工程设计问题计算准则的多少,可分为单目标函数(只有一个设计准则)和多目标函数(有多个设计准则)两类。多目标函数要比单目标函数问题复杂得多,一般将它转化为单目标函数问题来处理。

(3)约束条件

约束条件可以分为两类:

一类为边界约束,又称区域约束,它限制设计变量的变化范围。例如传递动力的齿轮模数必须大于等于 2 mm。

二类为性能约束,它是由某种设计性能或设计要求推导出的限制条件。例如,构件在轴向拉伸时的强度条件是 $g(x) = \sigma - [\sigma] \leq 0$ 。

3.优化问题的迭代解法

优化设计迭代算法的基本思想是从选择的某一点 $X^{(K)}$ 出发,分析目标函数和约束函数在该点的信息(函数值、一阶导数、二阶导数等),确定搜集的方向 $S^{(K)}$ 和步长因子 a_K ,按照下面的迭代格式:

$$X^{(K+1)} = X^{(K)} + a_K S^{(K)}, K=0,1,2,\dots$$

进行迭代计算,求出一个新点 $X^{(K+1)}$,满足:

$$F(X^{(K+1)}) < F(X^{(K)})$$

如此反复迭代计算,目标函数在迭代过程中逐步下降,使点 $X^{(K+1)}$ 逼近最优点 X^* ,当满足规定的精度要求时迭代结束。

数值迭代算法的显著特点是逻辑结构简单,由搜索方向 $S^{(K)}$ 和步长因子 a_K 构成了每一次迭代的修正量,它们是数值迭代算法是否有效的关键。搜索方向的选择 $S^{(K)}$,应该尽可能指向目标函数的最快下降方向,并且尽量减少计算工作量。

综上所述,工程优化设计问题包括两方面的工作:首先需要建立工程优化设计数学模型;其次需要选择合适的优化方法和计算程序。由于市场上已经开发和提供了多种先进和实用的优化设计方法的通用程序,因此,工程设计人员的主要工作便集中在根据专业知识和经验建立优化设计问题的数学模型,以及对优化结果进行分析处理。

2.1.4 动态设计

机械产品日益向着高速、高效、精密和高可靠性方向发展,对其工作性能的要求也越来越高,利用传统的设计方法,如经验设计、类比设计和静态设计为主而设计机械产品,无论在质量或寿命方面都很难满足这一要求。为了克服所存在的由于各种动态因素对机械产品的不利影响,现在已由传统的静强度设计转入更注重机械产品的动态设计。动态设计充分考虑到了机器本身的动态特性,并与其周围工作环境结合起来综合考察机器在各种激励作用下的响应情况,可以做到在设计阶段就能准确地预测出机器的动态特性,有针对性地解决机械产品中的有害振动和噪声问题。

1.动态设计的基本内容

动态设计是一门综合各学科理论与实验技术的边缘科学,它与弹性力学和有限元理论、机械振动与机械结构模态分析、工程信号分析与处理、机械动态测试技术、系统辨识和控制理论等学科有着紧密的联系。

根据动力学的有关知识,如图 2-6 所示,外界对于系统的输入,其中包括初始干扰、外加动态载荷等统称为激励;系统在输入条件下产生的输出称为系统动态响应,简称响应。由此,机械结构动态设计问题可以分为以下三类:

①振动设计是在已知输入情况下,设计系统的振动特性,使得它的动态响应满足一定要求,这是结

构动力学的正问题。

②系统辨识是通过已知的输入和输出来确定系统的动态特性,这是结构动力学的第一类逆问题。

③环境预测(载荷识别)是已知系统的动态特性和输出的情况下来反识别输入,这是结构动力学的第二类逆问题。



图 2-6 系统的输入与输出

2. 动态设计的一般步骤

(1) 系统的动态模型

机械学研究有在原型和模型上进行的两个途径。在原型上研究能充分反映实际情况,但由于现场条件的限制及原型产品成本制造的昂贵等多种因素的影响,往往要根据相似原理建立模型来代替产品原型进行有关的各种动态分析。而模型又可以分为理论模型(抽象模型)和实物模型两种。对于理论模型,一般是采用机械振动理论或有限元分析方法获得。而对于实物模型多用于系统动态特性的测试分析,采取的技术手段主要是机械结构模态分析技术,通过实测获得系统有关的动态特性参数。然而对于系统特性的分析,更多的是采取二者相结合的方法:在理论上可以采用有限元的方法,而实验模态分析技术与有限元法结合在一起,试验手段和理论分析相结合相互验证和修改,为系统的正确建模提供了行之有效的方法。

(2) 动态载荷识别

确定系统的载荷称为载荷识别。目前,确定结构动态载荷时间历程的方法有两种,即直接测量法和间接识别法。前者直接测定载荷本身或与载荷有关的参数来得到载荷大小。例如,高压容器由于压力脉动而产生的动载荷,可通过直接测量容器内的压强脉动来确定;高压冷却塔的风力脉动载荷,可通过测量风速的脉动来确定。

很多实际工程结构,在工作过程中,其承受的动态载荷往往很难直接测量。如火箭飞行过程中承受的推力脉动载荷,建筑物承受的地震力,某些工程机械承受的工作载荷。对于此类情况,只能寄希望于间接识别方法,即通过测定结构的响应,如位移、速度、加速度等,并由响应来识别出结构的动态载荷。这属于结构动力学的第二类逆问题,称为结构动态载荷识别。这一技术的发展无疑将给那些无法直接测量载荷的结构系统提供一种动态载荷的获取方法,从而解决一批实际工程问题。如前面提到的火箭飞行中的载荷、地震时房屋及建筑物所承受的载荷、直升机旋叶的载荷等。目前比较成熟的间接识别法有模态坐标转换法和频响函数求逆法。

(3) 系统动态特性的分析和确定

系统动态特性常用传递函数来描述,传递函数可由实验模态分析或解析模态分析两种方式进行。实验模态分析是基于机械阻抗技术,常施加的激励形式有正弦扫描、瞬态或随机激励等。然后通过测量在激励作用下的系统响应,由激励和响应来确定系统的传递函数。最后由模态分析技术识别出系统的各阶主模态参数(模态质量、模态刚度、模态阻尼、模态振型等)。

解析模态分析是在结构离散化模型基础上应用有限元法,通过特征方程的特征值与特征向量,利用动力分析子程序的大型结构分析程序来实现的。

系统动态特性分析应以实验模态分析及解析模态分析两种手段相结合,可以做到实验手段和理论

分析相结合,从而可以得到更符合实际情况的结果。

(4) 动态响应

记录与分析各种随时间变化的物理量(加速度、速度、位移等)的时间历程统称为动态响应。对动态响应信号进行分析与处理,可以得到在时域的一系列统计量,如均值、方差、概率密度函数、概率分布函数、自相关函数、互相关函数等,通过傅里叶变换在频域进行分析,可以得到有关响应信号的频率成分及分布情况并确定出优势频率。

(5) 载荷谱

机械系统的零部件,工作中有时承受随机载荷。例如,汽车在行驶中,其传动齿轮的载荷受路面工况、坡度、车的行驶速度以及风速、车的启动、变速和制动、装载量以及驾驶人员技术等诸多因素的影响,而这些因素是随机变化的,难以用明确的时间函数来完全描述其变化规律。将表示随机载荷的这些统计特征量的数据、曲线、图表统称为载荷谱。

通过对载荷谱的分析,可以了解载荷的幅值分布及频率结构情况。对于任何机械来说,载荷谱都是进行设计时不可缺少的原始依据。在宇航、机械、汽车等制造业中,对产品设计、疲劳强度检验以及寿命预估等,都需要做随机环境模拟试验。即在试验室内以载荷谱形式再现实际工况时的随机环境条件,与在现场条件下所进行的样机寿命相比,这种模拟试验的结果既可靠又经济。所以载荷谱是室内疲劳模拟试验的依据;载荷谱是对结构动态特性进行修改与优化的依据。

(6) 系统仿真及其结构修改与优化

在确定了系统模型和动态特性以后,就可以在计算机上对所设计和分析的结构进行仿真输出。现在,很多高级的结构动态分析软件能仿真出结构对载荷的响应,从而对结构的某些参数进行修改与优化,并能将已知的载荷功率谱施加于计算机中结构模型的某个节点上,并仿真出结构其他节点的响应功率谱,从而判断结构的修改是否符合要求。在机械的动态设计过程中,避开共振或减少振动的量值是经常要考虑的问题。例如,大型汽轮机叶片组的弯扭振动、飞机机翼的颤振、火箭结构的振动,都需要从总体上把握结构的固有频率、振型、阻尼等基本特性,查清薄弱环节和传递路径,以改进设计。有了系统动态仿真模型,可以利用上述技术方便地对机器结构进行修改与优化,直到满足要求为止。

随着科学技术的发展,将产品开发过程中的所需的动态设计、测试、性能实验多种手段集成于计算机网络系统之中,使设计人员对产品的设计以并行方式在计算机网络环境中同时进行。设计过程中,设计人员可以不断地获得动态设计的最新资料,及时在产品结构上做出相应的结构修改,并及时将修改导致的动态性能变化传递给相关的设计人员。

2.1.5 并行设计

1. 并行设计的基本概念

并行设计作为并行工程的核心技术,与并行工程的产生和发展密切相关。

美国国防分析研究院于1998年给出了并行工程的定义:“对产品及其相关过程(包括设计过程、制造过程和支持过程)进行并行、一体化设计的一种系统化的工作模式,这种模式力图使开发者一开始就考虑到产品生命周期中的所有因素,包括质量、成本、进度与用户要求。”

并行设计与传统的串行设计相对应,并行是指“一个以上的事件在同一时刻或同一时间段内发生”,而并行设计可以这样去描述:作为一种设计理念,是指在原有信息集成基础上,集成地、并行地设

计产品。并行设计更强调功能和过程上的集成,在优化和重组产品开发过程的同时,实现多学科领域专家群体协同工作。

2. 并行设计的基本过程和特点

首先看一下传统串行设计的一般过程。

(1) 串行设计过程

传统的串行设计通常是递阶结构,各阶段的工作是按顺序方式进行的,一个阶段的工作完成后,下一阶段的工作才开始。各个阶段依次排列,都有自己的输入和输出,如图 2-7 所示。在串行设计过程中,设计部门一直是独立于生产过程的,例如建筑设计院、机械设计院只是负责设计,与生产环节脱节,导致开发的产品很少能一次投入批量生产(需要试制一大批),往往是加工完产品,才能发现错误,就需要返回去重新设计。无形之中使产品开发周期延长,制造成本上升,市场竞争力差。

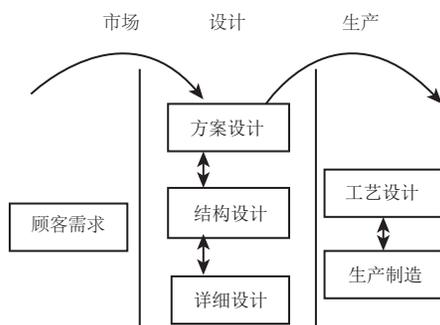


图 2-7 传统串行设计过程

串联方法的设计生命周期总时间可表示为:

$$SE = [T_{\text{需求分析}} + T_{\text{产品定义}} + T_{\text{产品制造}} + T_{\text{售后服务}}] + R_{\text{返工系数}}$$

式中, SE 为串行设计所需用的时间; T 为完成各个阶段所用的时间; R 为返工系数。

引起返工的主要因素有:设计不合理,生产困难,生产成本提高;根据设计要求,需要增添新的生产设备;过高的精度要求,生产费用提高;装配干涉,导致无法装配;等等。

另外,在串行设计过程中还存在信息交换不畅的问题。虽然使用了计算机辅助设计工具(如 CAD、CAM、CAPP),但由于整个串行设计理念的层次低,只是使离散的各个设计环节或者是阶段的产品设计过程实现了自动化,并没有改变其固有的顺序开发设计模式,且各阶段独立形成的数据文件不能共享,导致了信息孤岛的出现,因此需要额外的工作加以协调。

以上两个方面的因素严重影响了所开发新产品的上市时间,串行设计的返工系数值常超过 2。总之,串行设计以顺序开发为前提,整个开发设计的不同阶段采用不同的开发系统或工具,数据共享不能实现和完成;频繁的设计修改,导致产品成本上升;设计时间过长,没有迅捷的市场应变能力,从而对市场需求的反应迟钝。

(2) 并行设计过程

并行设计是对产品设计及其相关过程并行进行,一体化、系统化的工作模式,如图 2-8 所示。并行设计将产品开发周期分解成许多阶段,每个阶段有自己的独立时间段,组成全过程;不同的设计时段之间有一部分重叠,代表了不同设计阶段之间可以同时进行,一般两个相邻阶段重叠,需要时可以有三个或更多的阶段相重叠,齐头并进;在设计工作过程中,当上一组有输出时,相关联的设计阶段马上进行

相应的完善设计工作,直至所有工作阶段无输出时,整个设计便宣告完成。显然,并行设计完成产品设计的时间远远小于串行工程所用的时间。并行设计的返工系数一般在 0.25~0.75 之间。

$$R_{\text{返工系数}} \approx 0.5$$

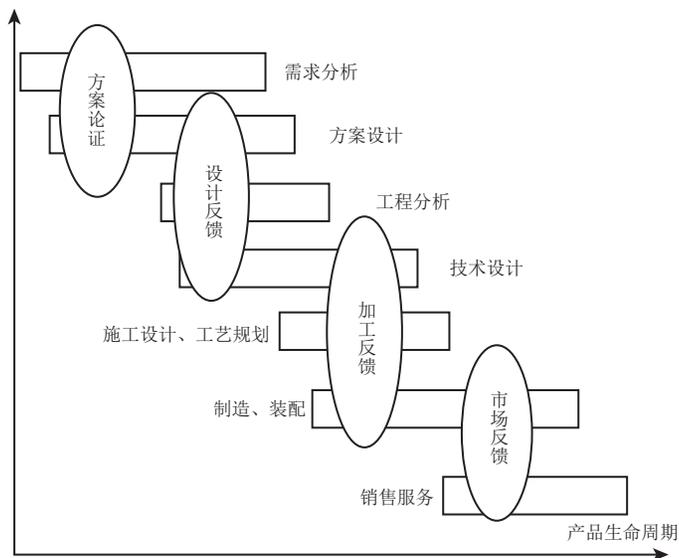


图 2-8 并行设计模式

并行设计中对数据共享有如下的要求：

在未完成设计之前,每个阶段生产的(或需要的)数据都不是完整的,因此,数据模型和数据共享的管理成为并行设计能否实现的一个技术瓶颈或者说是关键技术。

无论是串行设计模式还是并行设计模式,设计的更改应体现在产品数据模型的更改上,为了使上游设计更改所产生新版本的数据,不至于引起下游活动从头开始,需要建立一种数据更改模式,这就要求有统一的产品设计主模型,将产品有关设计数据定义成为多个对象,这些对象的组合可以构成面向不同领域的对象,从而保证数据模型的一致性和安全性。

3. 并行设计发展趋势

现代科技发展迅速,新产品层出不穷,产品的市场寿命大大缩短,为顺应客户需求的变化并做出实时反应,已经成为压倒一切的竞争因素。图 2-9 给出了美国制造业的经营战略的变迁过程,20 世纪 50、60 年代崇尚“规模效益第一”;70 年代追求“价格竞争第一”;80 年代主要关注“产品质量第一”;到了 90 年代则“市场响应第一”,市场响应速度成为企业获益和生存的首要考虑条件,是目前并行设计技术发展的主要原动力。

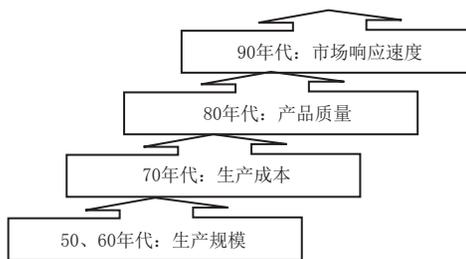


图 2-9 美国制造业经营战略的变迁过程

并行设计综合利用信息、材料、能源、环保等高新技术以及现代管理系统技术,研究并改造传统设计过程。随着信息技术、网络技术的发展,现代设计技术向集成化、敏捷化、网络化、虚拟化的方向进一步发展,出现了精益生产、敏捷制造、拟实制造、大批量定制生产等多种生产模式,这些都是以并行设计为基础的。并行设计主要有以下几个发展趋势：

- ① 产品设计的虚拟化和集成化——虚拟产品开发。

②产品的网络化、敏捷化——基于虚拟企业的产品开发。

③产品设计的个性化、敏捷化——大规模定制。

2.1.6 虚拟设计

1. 虚拟设计的概念

全球化、网络化和虚拟化已经成为制造业的重要特征,而实现虚拟设计(virtual design)则是制造业虚拟化的重要内容或者说是关键技术。虚拟设计是一个多学科交叉技术,它与很多学科和专业技术密切相关。

虚拟现实技术为产品的创意、变更以及工艺优化提供了虚拟的三维环境。设计人员借助于这样的虚拟环境可以在产品设计过程中,对产品进行虚拟的加工、装配、评价进而避免设计缺陷,有效地缩短产品的开发周期,同时降低产品的开发成本和制造成本。这样的设计模式和技术称为“虚拟设计”。

虚拟设计是以虚拟现实和虚拟制造为基础的。虚拟现实技术是人的想象力和电子学相结合而产生的一项综合技术,它利用多媒体技术、计算机仿真技术构成一种特殊环境,用户可以通过各种传感系统与这种环境进行自然交互从而体验比现实世界更加丰富的感受。

虚拟现实系统不同于一般的计算机绘图系统,也不同于一般的模拟仿真系统,如动态仿真系统。它不仅能让用户真实地看到一个环境,而且能让用户真切地感觉到该环境的存在,更重要的是能和这个环境进行自然交互。虚拟现实系统具有如下的特征:

(1) 自主性

在虚拟环境中,对象的行为是自主的,是由程序自动完成的,能够使操作者感到虚拟环境中的各种生物是有生命的和自主的,而且各种非生物是“可操作的”,其行为符合各种物理规律。

(2) 交互性

在虚拟环境中,用户能够对虚拟环境中的一切物体(生物及非生物)进行操作,并且操作的结果能反过来被用户准确真实地感觉到。例如,用户可以用手直接抓取虚拟环境中的物体,且有抓取东西的感觉,甚至可以感觉到物体的质量(其实此时手里没有实物),视场中被抓取的物体随着手的移动而移动。

(3) 沉浸感

在虚拟环境中,用户能很好地感觉到各种不同的刺激,沉浸感的强弱与虚拟环境所表达的详细度、精确度和真实度有密不可分的关系。

虚拟现实系统的基本特征可以用图 2-10 来表示。这个形象的示意图是由 Burdea 在 1993 年 Electro 国际会议上发表的题为“虚拟现实技术及应用”的文章中提出来的,称为“虚拟现实技术三角形”。

虚拟设计的描述性定义可以这样给出:以“虚拟现实”技术为基础,以机械产品为对象的设计手段,借助于这样的设计手段,设计人员可以通过多种传感器与多维的信息环境进行自然的交互,实现从定性和定量综合集成环境中得到感性和理性的认识,从而帮助深化概念和萌发新意。虚拟现实技术已经成功地应用于各行各业,如交通部门、制造部门、医疗行业(人工心脏)等。

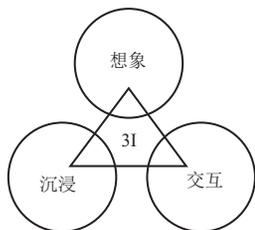


图 2-10 虚拟现实的 3I 图

2. 虚拟设计系统的构成

虚拟设计系统可以分为两大类:增强的可视化系统和基于虚拟现实的 CAD 系统。

增强的可视化系统主要是利用现行 CAD 系统进行建模。在对数据格式进行适当的转换后输入虚拟环境系统。在虚拟环境中便可以利用三维交互设备(如数据手套等)在一个“真实”的环境中,对模型进行不同角度的观察。增强的可视化系统通常用空间球、飞行鼠标等进行导航,并采用带有光闸眼镜的立体监视器来增强产品模型的真实感。目前投入使用的虚拟设计系统大都属于增强的可视化系统。这是因为基于虚拟现实的建模系统还不够完善,相比之下,现行的 CAD 建模技术比较成熟,可以利用。不过随着虚拟现实的建模系统的成熟,会逐渐转向基于虚拟现实的 CAD 系统。



虚拟设计系统的构成

基于虚拟现实的 CAD 系统,利用这样的设计系统用户可以在虚拟环境中进行设计活动。与纯粹的可视化系统相反,这种系统不再使用传统的二维交互手段进行建模,而是直接进行三维设计。它可以提供各种输入设备(数据手套、三维导航装置等)与虚拟环境进行交互。同时,可以支持其他的输入方法,如语音识别、手势及眼神跟踪等。这样的虚拟设计系统不需要进行系统的培训就可以掌握。一般的设计人员稍加培训后便可成功地利用这样的系统进行产品设计。基于虚拟现实的设计系统比现行的 CAD 系统(如 Pro/Engineer)的设计效率提高 5~10 倍,甚至更高。

按照虚拟设计系统配置的档次可以分为两大类:其一是若干 PC 机的廉价设计系统,其二是基于工作站的高档产品开发设计系统。无论配置的高低,虚拟系统都包括下面的两个重要部分:一是虚拟环境生成部分;二是外围部分,包括各种人机交互工作以及数据交换和信号控制装置。

虚拟环境生成系统是虚拟设计系统的核心部分,它由计算机硬件、软件开发工具和其他配件(如声卡、图形卡、网卡等)构成。一般情况下由多台计算机构成。从严格的角度来讲,所有的外设都应考虑在内。

虚拟设计系统的三大特征之一就是“交互性”,用户的交互性由相应的工具来实现,如头盔式显示器、立体声耳机、触觉装置、位测装置、数据手套等。目前交互技术的研究主要集中于三个方面,触觉、视觉和听觉,也就是涉及输入和输出的问题。

从图形学的角度来看,产品的形状设计一般包括形体的构成和形体的组合两个过程。在虚拟环境中,设计人员可以置身于虚拟现实环境中,利用语言命令、手和手指的动作来创建三维形体,可以用手抓物体使其在设计空间中移动,将其从部件上拆下来,或将新的零件添加到部件之上。在立体的设计中,虚拟现实接口需要完成的任务主要有下面八项:生成缺省实体/调用已有实体;调整实体的尺寸/调整实体的形状;移动实体/旋转实体;组合实体/拆分实体;选择实体;限制实体间的关系/修改实体间的关系;删除实体;询问实体。

3. 虚拟设计的关键技术

① 三维立体图像实时动态显示技术。三维视觉是虚拟设计系统的重要信息反馈通道,因此,要求在图像建模和立体图生成时采用快速处理方法,以达到最佳的实时显示三维立体图像的效果。

② 虚拟环境中的声音系统。听觉通道是虚拟环境中最重要的接口之一,是仅次于视觉反馈的第二个信息通道。主要涉及三维虚拟声音建模和三维虚拟声音系统的重建。

③ 接触反馈及力量反馈。触觉对产品的虚拟设计是十分重要的,人们若能亲手操作虚拟环境中的物体,并能得到足够丰富的感觉信息,必将大大增强虚拟环境的沉浸感和真实感,从而提高执行任务的

准确度和工作效率。

总之,基于虚拟现实技术的虚拟设计将有助于提高产品的质量、缩短产品开发周期、降低开发成本。

2.1.7 绿色设计

1. 概述

绿色设计是20世纪90年代初期围绕发展经济的同时,如何节约资源、有效利用资源和保护环境这一主题而提出的新的设计概念和方法。

在传统的产品设计过程中,设计人员主要根据产品性能、质量和成本要求等指标进行设计,其设计指导原则是能经济方便地制造满足使用要求的、市场需求的产品,设计过程对产品的维护性、可拆卸性、回收性、淘汰废弃产品的处置以及对生态环境的考虑较少,或是将这些内容分别在产品整个生命周期的不同阶段进行独立设计和考虑。这样生产制造出来的产品,在其使用寿命结束后,由于缺乏必要的拆卸和回收性能,回收利用率低,其中的有毒、有害物质会对生态环境造成严重的污染,影响人类生活质量和生态环境,并造成资源和能源的大量浪费,影响经济发展的可持续性。例如大量的废弃电池,由于缺少必要的处理措施,直接与普通垃圾混在一起,已经造成了严重的土地和水质的污染;另外,随着计算机技术的发展,计算机的更新换代越来越频繁,大量废弃计算机的处置也已经成为不可忽视的严重问题;而我国最近几年出现的进口洋垃圾的现象,也说明了这个问题在发达国家同样存在。

有关统计资料研究表明:产品性能的70%~80%是由设计阶段所决定的,而设计本身的成本仅为产品总成本的10%。如果考虑到产品设计不当造成的对生态环境的破坏程度,该比例还会加大。因此只要在设计初级阶段按照绿色产品的特点规划设计产品,即进行绿色设计,才能保证产品的“绿色性能”。国外已经成功地将绿色设计应用到机电产品、日用消费品、家用电器等行业之中,并取得了明显的社会和经济效益。我国也相继开展了与绿色设计有关的设计和研究工作,已经在汽车、电冰箱等产品上针对可拆卸性、可回收性及绿色产品(green product)的评价理论和方法等方面取得了不少研究成果。现在绿色概念已经深入人心,“绿色设计”“绿色食品”“绿色装修”等时尚词汇的出现,表明越来越多的人意识到在开发设计产品时,应从维护生态平衡和可持续发展的角度来处理问题。这标志着人类的设计理念更趋向成熟和理智。

2. 绿色设计的基本概念及其特点

绿色设计(green design, GD),通常也称为生态设计、环境设计、生命周期设计或环境意识设计等。绿色设计是以绿色技术为原则所进行的产品设计。所谓绿色技术是指为减轻环境污染或减少原材料、自然资源的技术、工艺或产品的总称。绿色设计是指在整个产品生命周期内,考虑产品的环境属性(可拆卸性、可回收性、可维护性、可重复利用性等),并将其作为设计目标,在满足环境目标要求的同时,保证产品的应有概念、使用寿命、质量等。

绿色设计是面向全生命周期的设计,产品生命周期有不同的理解方式,从传统的设计开发角度来看,包括从环境中提取原材料、加工成产品、流通到消费者使用几个阶段。但是,为了消除、减轻环境污染和达到节约资源的目的,产品制造企业越来越多地考虑通过再循环和重复利用来适当地处置产品,并把产品废弃问题,如回收与拆卸作为设计内容纳入其设计过程。因此,绿色设计的产品全生命周期是指从原材料、生产制造、装配、包装、运输、销售、使用直至回收再利用及处置所涉及的各个阶段的

总和。

与传统设计方法相比,绿色设计具有下面鲜明的特点:

①绿色设计扩大了产品的生命周期。绿色设计将产品的生命周期延伸到了“产品使用结束后的回收再利用及处置”。这种扩大的生命周期概念便于在设计过程中从总体的角度理解和掌握与产品有关的环境问题和原材料的循环管理、重复利用、废弃物的管理和堆放等。

②绿色设计是并行闭环设计。绿色设计的生命周期除传统生命周期各个阶段外,还包括产品废弃后的拆卸回收、处理处置,实现了产品生命周期阶段的闭路循环,而且这些过程在设计时必须被并行考虑,因而,绿色设计是并行闭环设计。

③绿色设计有利于保护环境,维护生态系统平衡。设计过程中分析和考虑产品的环境需求是绿色设计区别于传统设计的主要特征之一,因而绿色设计可从源头上减少废弃物的产生。

④绿色设计可以减缓地球上矿物资源的枯竭。由于绿色设计使构成产品的零部件材料得以充分地利用,在产品的整个生命周期中能耗最小,减少了对材料资源及能源的需求,保护了地球的矿物资源,使其可以合理持续应用。

⑤绿色设计的结果是减少了废弃物数量及其处理的棘手问题。绿色设计将废弃物的产生消灭在萌芽状态,可使废弃物降低到最低限度,大大缓解了垃圾处理的矛盾。

3. 绿色设计方法及设计准则

绿色设计实质上是一种对产品从“摇篮到再现”的全过程控制设计。与传统设计相比,无论在涉及的知识领域、设计方法还是设计过程的困难程度等方面均要复杂得多。绿色设计是现代设计方法和设计过程的集成。

绿色设计过程一般需要经历以下几个阶段:需求分析、提出明确的设计要求、概念设计、初步设计、详细设计和设计实施。从表面上看与一般的产品设计没有多大区别,但在每一设计阶段以及设计评价的设计策略中都包含了对环境的要求。因此,绿色设计应是以系统工程和并行工程思想为指导,以产品生命周期分析为手段,集现代工程设计方法(如模块化设计、长寿命设计等)为一体的系统化、集成化设计方法。图 2-11 表示了绿色设计的过程模型。

绿色设计就是将环境保护意识纳入产品设计过程中,将绿色特性有机地融入产品生命周期全过程中,一方面需要树立和培养设计人员的环境意识;另一方面,需要为设计人员提供便于遵循的绿色设计准则规范。绿色设计准则是在传统产品设计中通常依据的技术准则、成本准则和人机工程学准则的基础上纳入环境准则,并将环境准则置于优先考虑的地位,具体内容如下:

(1) 与材料有关的准则

产品的绿色属性与材料有着密切的关系,因此必须仔细慎重地选择和使用材料。与材料有关的准则包括以下几个方面:

①少用短缺或稀有的原材料,多用余料、回收材料或废料作为原材料,尽量寻找短缺或稀有原料的代用材料,提高产品的可靠性和使用寿命。

②尽量减少产品中的材料种类,以利于产品废弃后的有效回收。

③尽量采用相容性好的材料,不采用难于回收或无法回收的材料。

④尽量减少或不用有毒、有害的原材料。

⑤优先采用可再利用或再循环的材料。

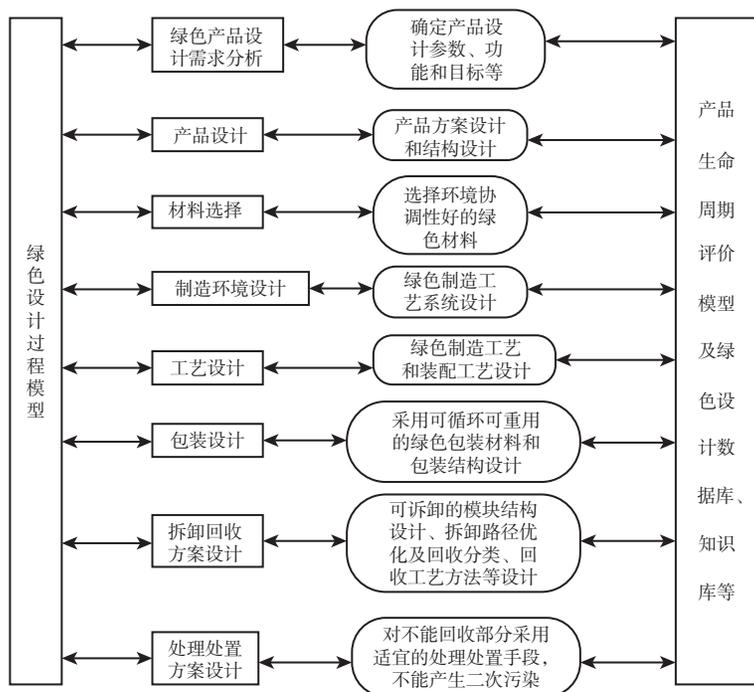


图 2-11 绿色设计的过程模型

(2) 与产品结构有关的准则

产品结构是否合理对材料的使用量、维护、淘汰废弃后的拆卸回收等有着重要的影响。在设计时应遵循以下设计准则：

①在结构设计中树立“小而精”的设计思想。在同一性能要求下，通过产品的小型化尽量减少资源的使用量。

②简化产品结构，提倡“优而美”的设计原则。

③采用模块化设计。产品由各种功能模块组成，有利于产品的装配、拆卸，也便于废弃后的回收处。

④在保证产品耐用的基础上，赋予产品合理的使用寿命。同时，努力减少产品使用过程中的能量消耗。

⑤在设计过程中注重产品的多品种及系列化，以满足不同层次的消费需求，避免大材小用、优品劣用。

⑥简化拆卸过程。

⑦尽可能简化产品包装，采用适度包装，避免过度包装，使包装可以多次重复使用或便于回收，且不会产生二次污染。

(3) 与制造工艺有关的准则

制造工艺是否合理对加工过程中能量消耗、材料消耗、废弃物产生的多少等有着直接的影响。与制造工艺有关的设计准则有：

①优化产品性能，改进工艺，提高产品合格率。

②采用合理工艺，简化产品加工流程，减少加工工序，谋求生产过程的废料最少化，避免不安全因素。

③减少产品生产和使用过程中的污染物排放，如减少切削液的使用或采用干切削加工技术。

④在产品设计中,要考虑到产品废弃后的回收处理工艺方法,使产品报废后易于处理处置,且不会产生二次污染。

(4)绿色设计的管理准则

绿色设计的管理准则包括以下几个方面:

①规划绿色产品的发展目标,将产品的环境属性转化为具体的设计目标,以保证产品在绿色阶段寻求最佳的解决办法。

②绿色设计要求在产品设计阶段设计小组成员与管理人员之间进行广泛地合作,管理人员应该为产品生命周期定义一种定量的方法,设计人员依据这种量化方法来设计产品性能参数、工艺路径和工艺参数,以便产品环境性能和经济效益之间达到最佳协调,并由此确定合适的产品制造技术。

③产品设计者应考虑产品对环境产生的附加影响。

④提供产品有关组成信息,如材料类型及其回收再生性能等,以便于产品废弃后的回收、重用等。

总之,绿色设计的实施是一项社会化的系统工程,其实施需要与产品生命周期有关的所有部门团结与协作;而绿色设计实施的结果也会产生明显的社会效益和环境效益,主要表现在可以节约资源和能源,实现资源的持续利用;减轻环境污染,可以实现社会、经济和环境之间的健康协调发展。同时,也会给企业带来明显的经济效益,主要表现在可以降低产品成本;使产品竞争力得以提高,从而树立良好的企业形象。

2.1.8 现代设计技术总体发展趋势和特征

由于现代设计方法正处于不断发展之中,人们对它的内涵看法不一,但它的特征和发展动向主要体现在设计手段和设计理念的转变和发展上,从总体上概括为力求运用现代应用数学、应用力学、微电子学及信息科学等方面的最新成果与手段实现下述某些具体方面的转化。

①以动态的取代静态的,如以机器动力学计算取代静力学计算;以实时在线测试数据作为评价依据;等等。

②以定量的取代定性的,如以有限元法或边界元法计算箱体的尺寸和刚度,取代经验类比法的设计。

③以变量取代常量,如可靠性设计中用随机变量取代传统设计中当作常量的粗略处理方法。

④以优化设计取代可行性设计,用相关的设计变量建立设计目标的数学模型,从众多的可行解方案中寻求其最优解。

⑤以并行设计取代串行设计。并行设计是一种面向整个“产品生命周期”的一体化设计过程,在设计阶段就从总体上并行地综合考虑其整个生命周期中功能结构、工艺规划、可制造性、可装配性、可测试性、可维修性以及可靠性等各方面的要求与相互关系,避免串行设计中可能发生的干涉与返工,从而迅速地开发出优质、价廉、低能耗的产品。

⑥以微观的取代宏观的,如以断裂力学理论处理零件材料本身微观裂纹扩展引起的低应力脆断现象,建立以损伤容限为设计判断的设计方法。

⑦以系统工程取代分部处理法,将产品的整个设计工作作为一个单级或多级的系统,用系统工程的观点分析划分其设计阶段及组成单元,通过仿真及自动控制手段,综合最优地处理它们的内在关系及系统与外界环境的关系。

⑧以自动化设计取代人工设计,按照智能化的要求,充分利用先进的硬件及软件,极力提高人机结

合的设计系统的自动化水平,大大提高产品的设计质量、设计效率和经济效益,并利于设计人员集中创新开发出更多的高科技产品,这无疑是现代设计方法发展的核心目标。

总之,设计工作本质是一种创造性工作,是对知识与信息进行创造性的运作与处理。发展机械现代设计方法,实质上就是不断地追求最机智、最恰当、最迅速地解决用户要求、社会效益、经济效益等构成机械的全部约束条件。



2.2 机械创新设计

在工程设计中,常规性设计是以成熟技术为基础,运用常规方法进行产品设计;现代设计方法以计算机为工具,运用现代设计理念,其特点是产品开发的高效性和高可靠性。创新设计是指设计人员在设计中采用新的技术手段和技术原理、发挥创造性,提出新方案,探索新的设计思路,提供具有社会价值的、新颖的而且成果独特的设计。其特点是运用创造性思维,强调产品的创造性和新颖性。

2.2.1 机械创新设计的实质

机械创新设计(mechanical creative design, MCD)是指充分发挥设计者的创造力,利用人类已有的相关科学技术成果,进行创新构思,设计出具有新颖性、创造性及实用性的机构或机械产品(装置)的一种实践活动。它包含两个部分:首先是改进完善生产或生活中现有的机械产品的技术性能、可靠性、经济性、适用性等;二是创造设计出新机器、新产品,以满足新的生产或生活的需要。由于机械创新设计凝结了人们的创造性智慧,因而机械创新设计的产品无疑是科学技术与艺术结晶的产物,具有美学性、反映出和谐统一的技术美。

机械创新设计是相对常规设计而言的,它特别强调人在设计过程中,特别是在总体方案、结构设计中的主导性及创造性作用。机械创新设计有高低层次之分,可以用创新度 C_d 来衡量($0 \leq C_d \leq 1$)。创新度数值的大小表征了一个设计项目创新含量的深度和广度。 C_d 的数值越大,表明产品的创新层次越高。如工厂中的非标准件的设计虽属常规设计范畴,却包含有较多的创造性设计成分。

工程设计人员要想取得创新设计成果,首先,必须具有良好的心理素质和强烈的事业心,善于捕捉和发现社会和市场的需求,分析矛盾,富于想象,有较强的洞察力;其次,要掌握创造性技法,科学地发挥创造力;最后,要善于运用自己的知识和经验,在创新实践中不断地提高创造力。

2.2.2 机械创新设计的过程

机械创新设计的目标是由所要求的机械功能出发,改进、完善现有机械或创造发明新机械,实现预期的功能,并使其具有良好的工作品质及经济性。

机械创新设计是一门正处于发展期的新的设计技术和方法,由于所采用的工具和建立的结构学、运动学和动力学模型不同,逐渐形成了各具特色的理论体系与方法,因此提出的设计过程也不尽相同,

但其实质是统一的。综合起来,机械创新设计主要由综合过程、选择过程和分析过程组成。

①确定机械的基本原理。可能会涉及机械学对象的不同层次、不同类型的机构组合,或不同学科知识、技术的问题。

②机构结构类型综合及优选。优选的结构类型对机械整体性能和经济性具有重大影响,它多伴随新机构的发明。机械发明专利的大部分属于结构类型的创新设计。因此,结构类型综合及优选是机械设计中最富有创造性、最具活力的阶段,但又是十分复杂和困难的问题。它涉及设计者的知识(广度与深度)、经验、灵感和想象力。

③机构运动尺寸综合及其运动参数优选。其难点在于求得非线性方程组的完全解(较为困难),为优选方案提供较大的空间。随着优化法、代数消元法等数学方法引入机构学,该问题有了突破性进展。

④机构动力学参数综合及其动力学参数优选。其难点在于动力学参数量大、参数值变化域广的多维非线性动力学方程组的求解,这是一个亟待深入研究的问题。

完成上述机械工作原理、结构学、运动学、动力学分析与综合的四个阶段,便形成了机械设计的优选方案。然后,即可进入机械结构创新设计阶段,主要解决基于可靠性、工艺性、安全性、摩擦学、结构设计等问题。

由上述内容可以看出机械创新设计具有下面的特点:涉及如机械、液压、电力、气动、热力、电子、光电、电磁及控制等多种学科的交叉、渗透与融合;设计过程中相当部分工作是非数据性、非计算性的,必须在知识和经验积累的基础上思考、推理、判断,以及创造性地发散思维,在基于知识、经验灵感与想象力的系统中搜索并优化设计方案;机械创新设计是多次反复、多级筛选的过程,每一设计阶段都有其特定内容与方法,但各阶段之间又密切相关,形成一个整体的系统设计。

2.2.3 创新设计过程中的创新思维方法

由于设计人员自身的知识、经验、理论和方法等基本素质是不同的,因此,不同的设计人员其思维的创造性是有差异的。在创造性思维中,更重要的是设计人员在自身素质的基础上,将头脑中存储的信息重新组合和活化,形成新的联系。因此,创造性思维与传统的思维方式相比,以其突破性、独创性和多向性显示出创新的活力。

根据创造性思维过程中是否严格遵循逻辑规则,可以分为直觉思维和逻辑思维两种类型。

1. 直觉思维

直觉思维是一种在具有丰富经验和推理判断技巧的基础上,对要解决的问题进行快速推断,领悟事物本质或得出问题答案的思维方式。

直觉思维的基本特征是其产生的突然性,过程的突发性和成果的突破性。在直觉思维的过程中,不仅是意识起作用,而且潜意识也在发挥着重要的作用。潜意识是处于意识层次的控制下,不能靠意志努力来支配的一种意识,但它可以受到外在因素的激发。虽然直觉思维的结论并不是十分可靠的,但是,它在创造性活动中方向的选择、重点的确定、问题关键和实质的辨识、资料的获取、成果价值的判定等方面具有重要的作用,也是产生新构思、新美学的基本途径之一。

在技术创新设计活动中,可以借助计算机和数学工具对多种方案进行优选。但是,工程技术人员的直觉判断是十分重要的。



直觉思维