



普通高等教育“十五”国家级规划教材



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

机电一体化 系统设计

System Design of Mechanical and Electronical Integration

上海理工大学 赵松年
东 华 大 学 李恩光 主编
上 海 大 学 裴仁清



普通高等教育“十五”国家级规划教材

面向 21 世纪课程教材

机电一体化系统设计

主编	上海理工大学	赵松年	
	东华大学	李恩光	
	上海大学	裴仁清	
参编	上海同济大学	徐博铭	
	上海交通大学	王东	
	上海应用技术学院	何锡梁	
	上海大学	王莺莺	
	上海理工大学	秦文刚	郭锐 李少波
主审	上海交通大学	吴祖育	

机械工业出版社

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材。书中叙述了对机电一体化系统的认识和以功能、结构、控制、信息四种视图来描绘机电一体化系统的四视图设计法,分析介绍了设计步骤和洗衣机、快速原型设备、切削加工设备、物流设备和可重构系统等四视图设计示例。本书相当一部分内容介绍的是学生和教师们的创新设计。

本书可作为高等工科院校机械工程及自动化专业及相近专业学生教材,也可供企、事业单位工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计/赵松年等主编. —北京:机械工业出版社, 2004.1
普通高等教育“十五”国家级规划教材. 面向 21 世纪课程教材
ISBN 7-111-13689-6

I. 机... II. 赵... III. 机电一体化-系统设计-高等学校-教材
IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 120250 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:汪光灿 版式设计:冉晓华 责任校对:张媛
封面设计:张静 责任印制:路琳
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2004 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm $1/16$ ·16.25 印张·398 千字
定价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材是基于全国高等学校第二届机电类专业教学指导委员会机械电子工程专业指导小组的多次讨论意见,根据当前形势,对过去的2次版本《机电一体化机械系统设计》进行较大变动而编写的原机械工业部“九五”教材出版规划中机械电子工程专业方向的部级重点教材《现代机械创新产品分析与设计》又作进一步变动编写的“十五”国家级规划教材。每次变动内容达到了50%以上,都是为了一个不变的目标:为学生和读者呈献一本尽可能跟上迅速发展变化的市场需求的科技教材。

教材体系的变动是从对机电一体化系统的描绘以突出机电结合的部件分析为主线,到以突出创新的功能分析为主线,到本版以突出信息化的四视图分析为主线。这体现了编者们对当前科技发展的认识:观察表现机械零件的形状尺寸,用的是众所周知的三视图,依此类推,观察表现现代机电一体化产品的总体全貌,可以用功能、结构、控制、信息这四种视图。

本教材尝试体现“工程化”的教学观点。什么是工程?《辞海》的定义是:“工程是将自然科学的原理应用到工农业生产部门中去而形成的各学科的总称”。机电工程学科“是应用数学、物理学、化学、生物学等基础科学的原理结合在科学实验及生产实践中所积累的技术经验而发展起来的”,如“设备和产品的设计制造,工艺和施工方法的研究”等。这里强调的是“应用”和“实践”。工程专业的学生应如何理解自己的工程专业呢?广义地、通俗地说,工程就是一件实事。完成一项工程就是从头到尾做好一件实事。工程师就是做实事的人。工程专业的学生在校学习时,就应该知道这个专业的毕业生出校门时应该会做哪些实事?特别是应用新技术而不只是应用传统技术的实事。做到什么程度和水平?从而从“应用”和“实践”的角度来选择自己所应学的教学内容和教学环节。对待教学内容应从工程应用的角度分清主次,哪些是现在常用的?哪些是将来要用的?哪些是几乎用不到的?对待教学环节也同样,哪些是验证理论知识的?哪些是培养分析能力的?哪些是锻炼动手能力的?注意主动地弄清楚这些问题,而不是被动地、不认真地对待这些问题,就可以有计划地分配自己的学习时间和精力。工程专业的学生将来要做能做实事的工程师,在校时的学习就应该“工程化”。在校期间就能从策划到成功完整地做一件哪怕是规模较小的实事。例如:机械专业的学生能够在校期间从收集资料、分析比较、设计制造、改进提高,到完整地开发出一项创新产品的原型,具体实现一个创新构思,受到综合性的“工程化”的专业锻炼,对整个专业必然有深入的实际的理解,这样有助于提高自己的专业竞争能力。本教材写入了几项本科生开发的新品,就是想体现“工程化”的教学思想,使学生树立信心,朝着“工程化”的学习方向努力前进。

参加本书编写的有:上海同济大学徐博铭(第四章部分)、上海交通大学王东(第六章)、上海应用技术学院何锡梁(第二章部分)、上海大学裴仁清(第一、四章部分、第五章)、王莺莺(第二章部分)、东华大学李恩光(第三章)、上海理工大学赵松年(第一、二章部分);秦文刚(第一章部分)、郭锐(第一章部分)、李少波(第二章部分)。全书由赵松

年、李恩光、裴仁清任主编。上海交通大学吴祖育任主审，他对本书进行了深入细致的审查，提出了许多宝贵意见，特致衷心的感谢。

专业教学的改革方向，是满足由于高新技术日益加快的发展应用所形成的迅速变化的个性化市场对人才的需求。建立新的教学体系是一种尝试。囿于编者水平，疏漏和失误在所难免，恳请广大读者批评指正，并向本书引用的文献资料的国内外作者致意。

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 机电一体化的基本概念	1
第二节 机电一体化系统与现代设计	3
第三节 机电一体化系统的四视图设计	13
第二章 机电一体化系统的功能设计	27
第一节 技术系统与功能设计	27
第二节 洗衣机的功能分析与设计	36
第三节 快速成形设备的功能分析与设计	57
第四节 现代物流功能分析	71
第三章 机电一体化系统的结构设计	77
第一节 结构的整体布局	78
第二节 结构的运动设计	87
第三节 结构设计的品质	116
第四节 结构设计的创新	137
第四章 机电一体化控制系统设计	149
第一节 控制系统的基本功能和构成	149
第二节 数控机床控制系统	155
第三节 机电一体化系统基本单元的控制	165
第四节 远程服务系统的结构	174
第五节 自动化立体仓库控制实例	180
第五章 机电一体化系统的信息流设计	195
第一节 机电一体化系统的基本信息流	195
第二节 面向数据流的软件结构分析方法	199
第三节 机电一体化系统信息流的人机界面	204
第四节 输出界面的信息流	215
第五节 控制系统流程	221

第六章 机电一体化可重构系统设计	229
第一节 概述	229
第二节 可重构机床的功能设计	232
第三节 可重构机床的结构设计	238
第四节 可重构机床的控制系统设计	246
参考文献	250



第一章

绪 论

第一节 机电一体化的基本概念

一、知识经济与机电一体化

21 世纪将是人类从农业经济、工业经济走向知识经济的时代。土地、矿产和能源等自然资源是有限的。以现代科学技术为核心、建立在知识和信息的基础上的知识经济,是通过知识和智力创新来解决资源问题。知识经济在知识化的工业社会中发展起来,促进工业经济和物质生产的高科技化,改变对产品开发、生产和消费的观念,加速产品设计、制造过程和销售系统的信息化、智能化、全球化。知识经济促使国民经济的支柱产业——制造业的生产要素重新排序为知识、资本、劳动,并使制造业推动一系列行业和产业,包括高技术产业和知识经济本身的发展。

制造业的基本组成实体是制造系统。从功能看,制造系统是一个输入制造资源,通过制造过程输出产品的输入输出系统;从过程看,制造系统可看成是包括市场分析、产品开发和制造、经营销售、售后服务和产品报废的全过程。以最基本的制造系统——机械产品的历史发展阶段来看,传统机械阶段的机械动力部分由蒸汽机演变到电动机推动了生产力的发展,当然,检测和控制还是靠人。而机电一体化阶段的机械动力部分由一般电动机演变为控制电动机,里程碑式地引入了电子和计算机等先进技术,代替人完成机器的检测与控制等工作。机电一体化体现了制造业的高科技化,促进了高科技产业和知识经济的发展。可以说机电一体化是知识经济在制造业中的最早体现和组成实体。

二、机电一体化的基本含义

机电一体化作为机械发展的新阶段,世界各国都有自己的认识,简述如下:

1. 日本

出于对机械发展新阶段的敏感,日本在 1971 年就提出一个新的英文集成名词“Mecha-

tronics”。词首 Mecha 取自 Mechanics (机械学), 词尾 tronics 取自 Electronics (电子学)。我国通常译为机电一体化或机械电子学, 实质上是机械工程与电子工程的综合集成, 可称为机械电子工程学。

机电一体化的定义在日本虽然是各种各样的, 但对机电一体化系统和单机柔性自动化来说, 日本机械振兴协会经济研究所在 1981 年提出的定义具有普遍性, 即: “机电一体化这个词乃是在机械的主功能、动力功能、信息与控制功能上引进了电子技术, 并将机械装置与电子设备以及软件等有机结合而成系统的总称”。这个定义体现了机电一体化系统的基本构成和特征, 即将机械结构与运动、电子、信息获取与处理、控制及软件等技术学科交叉融合, 组成功能完善的、柔性自动化乃至智能化的工程系统, 为人类的生产和生活等各个领域的发展服务。

日本对机电一体化的其他定义也对我们颇有启发。如: “凡是机械中可以用电子设备代替的装置统统用电子设备来代替”。这个定义更简单扼要地、突出地指明了机械发展的方向, 是日本对机械发展新阶段的看法和概括。如果把其中的“电子设备”改为“更适用的物理量和先进技术”, 其含义将更为深广。

2. 德国

在 1981 年德国工程师协会、德国电气工程技术人员协会共同组成的精密工程技术专家组提出的“关于大学精密工程技术专业的建议书”中, 把精密工程技术定义为光-机-电一体化的综合技术, 并用图 1-1 来说明其含义。它包括机械(含液压、气动及微机械)、电工与电子、光学等技术及其组合(电工与电子机械、光电子技术与光学机械), 其核心为精密工程技术。该建议书希望在培养精密工程技术工程师期间, 强化训练跨学科思维能力, 虽然有可能使“单一化”各学科的训练有所削弱, 但必须促进精密工程技术中各学科的相互渗透, 培养复合型人才。这个建议包含了德国对机械发展新阶段的看法。在当前“信息爆炸”的形势下, 相对于专门型人才来说, 市场对复合型人才的需求更为迫切。

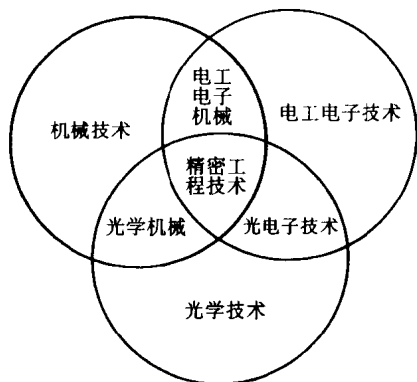


图 1-1 德国关于精密工程技术的含义

3. 中国

我国认为机械发展新阶段是机电一体化阶段。机电一体化是机电一体化技术及其产品的统称, 并把柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)等先进制造技术的生产线和制造过程也包括在内, 发展了机电一体化的含义。机电一体化包括六大共性关键技术: 精密机械技术、伺服驱动技术、传感检测技术、信息处理技术、自动控制技术和系统总体技术。对机电一体化产品的一种认识是“在机械产品的基础上应用微电子技术和计算机技术产生出来的新一代的机电产品”。这种认识的核心是“机电一体化产品必须是由计算机控制的伺服系统”。

4. 美国

1984 年美国机械工程师协会(ASME)的一个专家组在给美国国家科学基金会的报告中,

提出了“现代机械系统”的定义：“由计算机信息网络协调与控制的、用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机电部件相互联系的系统”。

美国提出的这个定义，首先，划分了传统机械与现代机械的不同发展阶段，明确了当前机械发展的方向。其次，重新强调了传统意义（或狭义）上的机械的概念，即主要功能是在一定负载下做功、克服物质阻力、完成人力所难以完成的机械运动，从而消耗较大的能量并具有一定功率的装置，才称为机械。

但是，由于机械经过自英国工业革命起数百年的发展过程，对人类的生存和发展产生了如此巨大的作用和广泛而深刻的影响，以致于各种装置出现，都冠以“××机”的名称。例如，传统照相机利用光化学原理完成主功能，计算机以信息为对象完成数字运算和转换功能。虽然机械装置是他们不可或缺的组成部分，但他们的主要功能并不合乎传统意义上机械功能，于是出现了“广义机械”的提法，即照相机属于“光学机械”，而计算机及其外围设备属于“信息机械”等。在这些机械中，使用的机械技术往往是精密机械技术，它是值得重视和借鉴的。

三、对现代机械的认识

为了与以交流电动机驱动、齿轮传动的传统机械相区别，初期的创新突破是把电子技术引入传统机械，出现了机电一体化这个名词，其主要功能是“以机为主，机电结合”。随着技术的发展，越来越多的物理量和先进技术被引入机械。为了对机电一体化的名称不再引起误解（例如，以为机电一体化是指包括机械和电子，而排斥其他如光、液压、气动等技术和更广泛的超声、压电、热、磁以及其他不断涌现的新技术等）。应强调机械的发展需要把各种先进技术包括目前尚未了解的前沿新技术创造性地引入到机械工程领域中来。我们对目前发展阶段的现代机械（机电一体化）的认识是：“现代机械是传统机械技术与不断涌现的相关创新技术的集成”。

目前的现代机械系统可概括为：

- 1) 由数字化信息网络（包括通信和远程传感检测监控等）协调和控制。
- 2) 以创新构思和创新技术方案处理包括所有适用的物理量和先进技术的物质流、能量流和信息流。
- 3) 以功能分析方法来开发创新产品。
- 4) 以现代设计方法和先进制造技术开发生产。
- 5) 快速响应市场个性化需求的最优化集成系统。

第二节 机电一体化系统与现代设计

一、机电一体化系统的层次

机电一体化系统是一个技术系统，按功能的复杂性分类，可分为几个层次：

- 1) 单机。如镗铣加工中心、数控绕线机、机器人、数控折弯机、三坐标测量机、自动小车等。
- 2) 由单机和运输等设备组成的加工、装配、储存等制造系统，如 FMS、FMC 等。
- 3) 由制造系统和规划管理系统组成的集成系统，如 CIMS 等。

本教材重点讨论的是各层次的机电一体化系统最基本的单机机电一体化系统的设计。

二、现代设计方法

(一) 现代设计的概念

设计这个词有两种概念。广义的概念是指发展过程的安排,包括发展的方向、程序、细节和达到的目标。狭义的概念指的是将客观需求转化为满足该需求的技术系统的活动,各种产品包括机械产品的设计即属此类。

人类要发展,就要进行设计。把创新构思或预定目标经过一系列的规划、分析和决策,产生相应的文字、数据、图形等信息,这就是初步设计。然后通过实践转化为某项工程,或通过制造成为初步产品,再根据实践中发现的问题修改设计,再实践,再修改……。这一循环过程应贯彻于产品全寿命的始终。因此,产品设计过程从本质上讲是一个创新的过程,是将创新构思不断转化成为有市场竞争力的创新产品的过程。

现代设计是过去长期的传统设计活动的延伸和发展,是随着设计实践经验的积累,由个别到一般、具体到抽象、感性到理性,逐步归纳、演绎、综合而发展起来的。由于科技进步的速度日益增快,特别是计算机技术的高速发展,人们在掌握事物的客观规律和人的思维规律的同时,运用相关的科学技术原理,进行过去难以想象的综合集成设计计算,使设计工作包括机械产品的设计过程产生了质的飞跃。

从20世纪的中叶开始,设计领域中相继出现了一系列新兴理论与方法。为了区别于过去常用的传统设计理论与方法,把这些新兴理论与方法称为现代设计。目前,现代设计所指的新兴理论与方法如表1-1所示。

表 1-1 现代设计理论与方法

设计方法学	价值工程 设计	优势设计	绿色设计	计算机辅助 设计	并行工程 设计	虚拟设计	反求设计	优化设计	工程遗传算 法	人工神经网络 算法	工业艺术造型 设计	模块化设计	相似性设计	摩擦学设计	三次设计	人机设计	智能设计	动态设计	可靠性设计	创新设计	有限元法	机械疲劳设计
-------	------------	------	------	-------------	------------	------	------	------	------------	--------------	--------------	-------	-------	-------	------	------	------	------	-------	------	------	--------

(二) 现代设计方法

现代设计方法门类众多且不断出新。可按所研究解决的问题性质分为总体问题和个别性能问题两大类:

1. 研究总体设计的现代设计方法

(1) 设计方法学 设计方法学分析设计过程阶段的特点和设计规律,寻求合理的设计程序,研究设计的逻辑步骤和工作原则及设计中思维方法和技术,研究各种类型的设计理论与方法在设计中的应用,研究设计信息库的建立和应用以及设计自动化。

(2) 价值工程设计 价值工程从产品的功能研究开始,对产品进行设计,或重新审查设计图样文件,剔除了那些与用户要求的功能无关的元素,如机械中的材料、结构、零部件,代以创新的构思,设计出至少功能相同而成本更低的产品。

价值是产品最重要的指标。价值指的是事物的用途或积极作用。用户购买商品,最主要的是购买该商品的功能。设计中经常遇到的是使用功能和美学功能。产品成本是产品的各项生产费用的总和。降低成本要了解产品费用的组成,估算产品的制造费用,研究产品产量与成本、销售量与利润之间关系,进行盈亏分析。 $\text{价值} = \text{功能} / \text{成本}$ 。对功能定量赋值的方法

很多,如对某些产品的主要技术性能从理想值到超差值分为11级,对应于10~0分,即为相对功能值。

价值工程设计的基本步骤是:了解设计对象,明确要求的功能,分析成本的组成,进行价值初评,制定改进方案,获得价值最高的创新产品。

(3) 优势设计 优势设计的概念是从“为竞争的优势而设计”的概念转化而来的,其确切的含义是“为产品创建竞争优势的设计思想、原理和技术”。

“……有效的设计也是有效的制造的先决条件,改善各公司中工程设计的实践,是提高工业优势和国家竞争力的基础。”这句话直截了当地把国家竞争力和工业优势以及工程设计三者联系了起来。“国家竞争优势”或“国家竞争力”主要是指各国工业产品在国际市场上的竞争力。工程设计是工业产品实现过程中的关键环节。一个产品的寿命周期费用的70%甚至更多是由设计决定的。有效的工程设计,如同一些外国公司已经证明了的那样,能够提高产品质量、降低成本、加速进入市场的时间,从而使产品更好地适应顾客的需求,取得市场竞争的优势。国家竞争优势主要由工业产品竞争优势决定。各公司的工业产品的竞争优势形成了国家竞争优势,而“为竞争优势而设计”是工业产品取得竞争优势的重要保证。竞争的优势还来自于“无与伦比的创新产品设计”和“出类拔萃的制造水平”。一个产品是否具有竞争优势,70%~80%取决于“设计”;而这里所说的“设计”不是一般的“常规设计”,而应该是“创新设计”和“优势设计”。有些科学技术是可以直接转化为生产力的,而大多数科学技术是不能直接转化的,必须要经过设计这个环节,以产品的形式进入市场并被顾客接受才能实现其价值。

设计和科学技术不是一回事,其区别见表1-2。两者不仅出发点、目标和结果不同,而且所需要的知识基础也不尽相同。科学技术需要在已有知识和技术能力的基础上运用假设、分析和试验的方法来探索自然规律,而设计则是需要广泛得多的知识,不仅需要自然科学知识,还要工程科学知识、工程技术知识以及人机学、美学、社会学、心理学、经济学和生态学的知识。尽管设计和科学研究常常是相互渗透的,但是我们不能不强调,设计区别于科学研究的地方是更需要人们的创造力和想象力,并通过各种工艺手段实现人们的构思,最后做出能够实现人们希望实现的功能的产品来。

表 1-2 设计与科研的区别

项 目	出发点	目 标	结 果
科学研究	求知欲、好奇心	发现自然规律	更好地认识客观世界
工程设计	需求	发明新产品	创造一个更好的新世界

(4) 绿色设计 绿色设计是以环境资源保护为核心概念的设计过程,它要求在产品的整个寿命周期内把产品的基本属性和环境属性紧密结合。在进行设计决策时,除满足产品的物理目标外,还应满足环境目标,达到优化设计要求。

绿色产品至今尚无严格的可供遵循的行业标准,但在市场层面上的绿色产品标准已经得到公认,即产品在使用过程中耗用少量能源和资源且不污染环境,产品在使用过程中不污染环境且能耗低及产品在使用后易于拆卸、回收和翻新或能够安全废置并长期无虑。

绿色设计是这样一种方法,即在产品整个生命周期内,优先考虑产品环境属性(可拆卸型、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,保证产品应有的基本性能、使用寿命、质量等。

(5) 计算机辅助设计 所有的现代设计方法几乎都离不开计算机的帮助。计算机辅助设计(CAD)是使设计者能以计算机为工具,对产品进行规划、分析、综合、模拟、评价、绘图、编辑文件等设计活动的总称。设计者的想象力、创新能力、知识、经验与计算机高速运算、图形显示和处理能力有机结合,综合多学科的相关技术,进行产品描述与设计,大大地提高了工作效率。近年来,不仅产品更新换代周期不断缩短,而且要求生产模式由单一品种大批量转向多品种小批量。市场竞争推动了计算机硬件本身及其外围设备和图形软件与现代设计理论和方法相结合的各种应用程序的迅猛发展,使CAD得到日益普遍的应用。目前,市场要求快速开发新机械产品,使CAD与计算机辅助制造(CAM)连接,形成CAD/CAM集成系统。目前的计算机集成制造(CIM)是成组技术(GT)、CAD/CAM、计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助工艺设计(CAPP)、计算机辅助检测(CAT)、计算机数控(CNC)、群控(DNC)、柔性制造系统(FMS)、物料资源规划(MRP)、企业资源规划(ERP)、管理信息系统(MIS)、自动化工厂(AF)等技术在更高水平上的集成。计算机集成制造系统(CIMS)则是以CAD/CAM为核心的、在CIM概念指导下建立的制造系统。随着因特网作为一种平台的兴起和以网络应用为基础的软件的飞速发展,CAD的发展将步入新阶段。

(6) 并行工程设计 并行工程是集成地、并行地设计产品及相关的各种过程(包括制造、后勤等)的系统方法,要求产品开发人员在设计伊始,就考虑产品整个生命周期中,从概念形成到报废处理的所有因素,充分利用企业内的一切资源,最大限度地满足市场和用户的需求。

并行工程的目的在于寻求新产品的易制造性,缩短上市周期和增强市场竞争能力。要求集中涉及产品寿命的所有部门的工程技术人员,组成并行设计组,共同设计制造产品,对产品的各种性能和制造过程进行计算机动态仿真,生成软样品或快速出样,进行分析评议改进设计,取得最优结果,一次成功。利用计算机的数据处理、信息集成和网络通信的能力,发挥并行设计组的集体力量,将新产品开发研究和生产准备等各种工程活动,尽可能并行交叉地进行,这对换代快、批量不大的产品能显著缩短周期,提高质量。

并行工程的内涵还包含了人的因素和企业文化。如果说,新产品按“设计——试制样机——修改设计——工艺准备——正式投产”的串行工程方法容易造成各自为政、效率低下的结果的话,并行工程能改变企业组织结构和工作方法,促进人们之间的相互理解,激励积极性,提高协同作战的能力,营造良好的企业文化氛围,形成一个适合人类发展需要的社会——技术系统。

(7) 虚拟设计 如果把设计理解为在实物原型出现之前的产品开发过程,虚拟设计的基本构思是:用计算机来虚拟完成整个产品的开发过程。设计者经过调查研究,在计算机上建立产品模型,并进行各种分析,改进产品设计方案。通过建立产品的数字模型,用数字化形式来代替传统的实物原型试验,在数字状态下进行产品的静态和动态性能分析,再对原设计进行集成改进。由于在虚拟开发环境中的产品实际上只是数字模型,可对它随时进行观察、分析、修改、通信及更新,使新产品开发中的形象构思、分析、可制造性、可装配性、可维护性、运行适应性、易销售性等都能同时相互配合地进行。虚拟设计可以使一个企业的各部门甚至是全球化合作的几个企业中的工作者可同时在同一个产品模型上工作和获取信息,也可24h连续工作,以减少互相等待的时间,避免和减少传统产品设计过程中的反复制作、修

改原型、反复对原型进行手工分析与试验等工作所投入的时间和费用,在设计过程中发现和解决问题,按照规划的时间、成本和质量要求将新产品推向市场,并继续对客户的需求变化作出快速灵活的响应。

新产品的数字原型经反复修改确认后,即可开始虚拟制造。虚拟制造或称数字化制造的基本构思是在计算机上验证产品的制造过程。设计者在计算机上建立制造过程和设备模型,与产品的数字原型结合,对制造过程进行全面的仿真分析,优化产品的制造过程、工艺参数、设备性能、车间布局。虚拟制造可以预测制造过程中可能出现的问题,提高产品的可制造性和可装配性,优化制造工艺过程及其设备的运行工况及整个制造过程的计划调度,使产品及其制造过程更加合理和经济。虚拟工艺过程和设备是各种单项工艺过程和设备运行的模拟与仿真,如虚拟加工中心可完整地实现设备的运动、工件的处理等过程的可视化。虚拟制造系统是运用商品化软件在模型库中选择各种设备和工具、工作单元、传送装置、立体仓库、自动小车和操作人员等模型,通过三维图形仿真及时发现生产中可能出现的问题,对制造系统的布局方案、批量控制、运行统计分析等进行评价比较。产品的数字化模型通过虚拟制造之后,还应把产品全寿命周期中的运行环境、运行状态以及其销售、服务,直到产品报废再生都通过虚拟技术在计算机中发现问题并予以解决,再通过敏捷制造和快速成型技术制作实物,使新产品开发快速地一次成功。

(8) 反求工程设计 反求工程是以先进产品设备的实物、软件(图样、程序、技术文件等)或影像(图片、照片等)作为研究对象,应用现代设计理论与方法、生产工程学、材料学和有关专业知识进行系统深入地分析和研究,掌握其功能原理、参数、尺寸、材料和结构,特别是关键技术,进而开发出同类的先进产品。反求工程含义广泛,包括设计反求、工艺反求、管理反求等各方面。

反求工程的目的是根据设计的思维规律,研究反求对象的设计思想系统的组成、特点和内在联系。一般可从以下几个方面进行分析:

1) 探索产品设计的指导思想。要分析一个产品,首先要探索其设计指导思想和技术特点。

2) 原理方案的分析。各种产品是针对一定的使用要求设计的。功能是产品设计的核心问题,由此可引出不同的原理方案。产品的功能概括而论应是能量、物料、信息的转化。如一般原动机的功能往往是能量转换,工作机是物料转化,而仪器仪表主要是信息转换。

3) 结构分析。零部件的结构是功能原理的具体体现,与加工、使用及生产成本有密切关系,可从保证功能、提高性能(提高强度、刚度、精度、寿命、减少磨损、降低噪声等)、降低成本(如加工工艺、装配、合理使用材料等)、提高安全可靠度等方面分析反求对象的结构特点。

4) 形体尺寸。分解机器实物,由外至内,通过部件至零件,在分析的基础上,通过测绘与计算确定零部件形体尺寸,并用图样及技术文件方式表达。

5) 精度分配。精度分配(即公差设计)是反求工程技术中的重要问题。精度是衡量反求对象性能的重要指标,是评价反求工程设计产品质量的重要技术参数之一,因此,必须在反求过程中科学合理地进行精度分配。

6) 材料分析。根据零件功能及工艺特点分析鉴定并选择材料与热处理方式。

7) 工作性能分析。针对产品的工作特点及其主要性能进行试验测定、反计算和深入的

分析,掌握其设计准则和设计规范。在分析产品的运动特征、力学特性过程中,建立合理的数学模型,进行静态、动态的全面分析。

8) 造型设计分析。对产品的外形构型、色彩设计等进行分析。

9) 工艺分析。许多引进设备的关键技术主要是先进的工艺诀窍。国外某些工厂视先进工艺为生命线,严格保密。因而对加工、装配工艺的分析,对加工精度及精度分配的反求,是重要而又细致的工作。

10) 使用维护分析。先进的产品必须具有良好的使用性能和维修性能。在许多引进产品中,润滑方式与润滑剂都有特点,好的润滑剂及添加剂能大大提高产品性能和寿命。

11) 包装技术。产品的包装及防潮、防霉、防锈、防震等技术分析。

(9) 优化设计及其发展 优化设计的目的是寻找所求解问题的最优答案。从客观方面来说,优化既是一种客观规律,也是一种社会发展规律;从主观方面来说,优化是人类有史以来的追求活动准则。现代意义上的优化实质上是计算机技术同数学规划论的综合。需要求解的问题往往包含许多限制性因素,优化过程就是用最优化理论与方法,通过计算机的迭代计算,寻找在限制性因素之下的最优参数值。

对机械工程来说,优化使机械设计的改进和优选速度大大提高。例如,为了提高力学性能的参数优化,为了减轻重量或降低成本的机械结构优化,各种传动系统的参数优化和发动机机械系统的隔振与减振优化等。优化技术不仅用于产品成形以后的再优化设计过程中,而且已经渗透到产品的开发设计过程中,同时与可靠性设计、模糊设计、有限元法等其他设计方法有机结合,取得新的效果。

优化算法的发展经历了一个过程。早期的人类智能优化,主要指依靠人的直觉思维和逻辑思维方法,没有严格的数学背景,如“黄金分割法”等。自约 300 多年前形成微积分之后,出现了数学规划方法优化,用以解决数学中函数的极值问题。传统的优化算法如复合形法、可行方向法、可变容差法、泛函数法及约束变尺度法等主要解决连续设计变量的问题;而分层网格法、离散变量的复合形法、离散变量的随机搜索法及离散变量的可行方向法等,主要解决工程离散变量的问题。计算机的飞速发展推动数学规划的发展,在传统的线性规划和非线性规划的基础上产生了整数规划、几何规划、多目标规划等。近 20 年来,由于工程问题日益复杂化和大型化,而数学规划方法对优化问题的数值型态的严格要求使它面对复杂的工程问题显得无能为力,许多工程设计专家开发了面向工程的优化算法,它们大都没有严格的数学背景,但较为适合工程问题的特征,能解决不少传统优化算法无法解决的问题,逐步出现一系列体现人工智能的寻优策略,如人工神经网络算法、工程遗传算法、模拟退火算法等。这些算法拥有智能性的搜索特征,并具有鲁棒性与并行性,求解效率较少受到问题规模的影响,对高度复杂的非线性优化问题,使用传统的优化算法无能为力时,这些算法往往能够取得意想不到的效果。目前正在发展中的面向工程的广义优化设计,解决问题的复杂程度更高,解决问题的方法和手段也在继承传统的基础上有较大的拓宽和创新,是跨世纪的优化设计方法。

(10) 创新设计技术 创新是设计的本质,也是设计活动的最终目标。创新设计是产品适应新的市场形势的最好途径。创新产品能够满足甚至创造出新的需求,因而必然有较强的市场竞争能力。

产品创新是为企业利益服务的。除掉技术上的创新,当然还可以有管理上的创新,销售

上的创新,售后服务上的创新等等。现在,我们主要讨论的是技术上的创新。

在制造业中,一般把产品的技术创新分为如下两类:

一种是无重要新技术,但在形式上翻新,因而能获得相应竞争能力。例如,按用户订单生产不同颜色的自行车,虽然在生产管理上有所创新,也形成了新的竞争能力,但自行车的性能并无重要变化,其中也没有融入多少新的技术。

第二种是含有(开发了)重要新技术,使产品竞争力有重要提高,或形成新的竞争力的制高点。例如电动汽车,如果谁能设计和制造出远远超出现在的长寿命电池,就是一种新的竞争力的制高点,那么这种创新将不仅具有世界意义,而且是具有历史意义的。

创造性思维具有多种对偶形式:直觉思维与逻辑思维、形象思维和抽象思维等。

大量的创作过程是这两种思维方式交叉和综合的结果。人们首先对自己提出一个创造目标,这个目标本身也可能就是一个创造灵感,但是为了实现这个目标,必须一步步地进行分析推理。在此过程中会出现一些技术难关,人们就不得不进行反复的试验,经历一次又一次的失败,最后找到解决问题的办法。

促成创造思维的一些法则有:激发创造激情;增强信息获取方式;促进知识融合。

在技术性的创新设计中,常用的有如下几种思维形式:分析与综合思维;收敛与发散式思维;对应与联想式思维;离散与组合式思维;换元与移植式思维;正向,迂回与反向思维。

通过组织学习等手段可以帮助创新思维的展开,为此人们创造出很多种创新技法。

2. 研究产品性能的现代设计方法

(1) 工业产品艺术造型设计

工业产品艺术造型设计是指用艺术手段按照美学法则对工业产品进行造型工作,使产品在保证使用功能的前提下,具有美的,富于表现力的审美特性。

在造型设计的三要素中,使用功能是产品造型的出发点和产品赖以生存的主要因素;艺术形象是产品造型的主要成果;物质技术条件是产品功能和外观质量的物质基础。

工业产品艺术造型设计应遵循的原则有:体现高科技水平的功能美,符合三化的规范美,显示新型材质的肌理美,体现先进加工手段的工艺美,表达各造型因素整体调和统一的和谐美,追求时代精神的新颖美,体现色光新成就的色彩美等。造型设计要有机地运用统一与变化、比例与尺度、均衡与稳定、节奏与韵律等美学法则。造型要寻求线型、平面、立体、色彩、肌理等造型因素的构成规律和变化,以效果图、动画、模型等形式,设计出物质功能与精神功能高度统一的创新产品。

(2) 模块化设计 模块是具有一定功能和特定结合要素的零件、组件和部件。模块化产品是由一组特定模块在一定范围内组成不同的功能或功能相同而性能不同的产品。设计模块和模块化产品,可以满足日益增长的多品种、多规格的要求。模块系统的特点是便于发展变型产品,更新换代,缩短设计和供货周期,提高性能价格比,便于维修,但对于结合部位和形体设计有特殊要求。

设计模块系统产品,先要建立模块系列型谱,按型谱的横系列、纵系列、全系列、跨系列或组合系列进行设计,确立设计参数,按功能分析法建立功能模块,设计基本模块、辅助模块、特殊模块和调整模块及其结合部位要素,进行排列组合与编码,设计基型和扩展型产品。模块系统计算机辅助设计和管理,更显示了模块化设计的优越性。

(3) 相似性设计 人们在长期探索自然规律的过程中, 逐渐研究形成了自然界和工程中各种相似现象的“相似方法”“模化设计方法”和相应的相似理论、模拟理论。相似方法是可以把个别现象的研究结果推广到所有相似现象上去的方法。相似理论是现象模拟和研究相似现象的基础。目前, 在大型复杂设备和结构设计的过程中, 一般都要在相似理论指导下, 通过模化方法和模型试验, 使方案取得合理参数, 预测设备的性能。当前用计算机辅助进行相似性设计和代替模型试验, 取得明显的效果。

解决相似问题的关键是找出相似系统各尺寸参数的相似比, 根据各种物理现象的关系式推导出由物理量组成的无量纲数群为相似准则。与相似准则各参数对应相似比组成的关系式称为相似指标。在基本相似条件和相似三定律的基础上, 用相似准则、方程分析、量纲分析列出相似比方程, 可求得相似比。

模块化设计是在开发新产品时, 在相似的模拟工作条件下对设计相似的模型进行试验, 通过测定模型性能, 预测产品原型性能, 分析设计的可行性并进行必要的修改, 进一步取得最优参数和结构。

产品系列设计是在基型设计的基础上, 通过相似原理求出系列中其他产品的参数和尺寸。设计步骤是: 先设计基型产品, 确定产品系列是几何相似还是半相似, 选择计算级差, 求得扩展型产品的参数尺寸, 确定系列产品的结构尺寸。几何相似的产品还可按相似关系以生产成本进行估算。

(4) 摩擦学设计 摩擦学是研究相对运动表面的科学及有关的应用技术。由于摩擦损耗约占世界能源总损耗量的 $1/2 \sim 1/3$, 在一般机械中磨损失效的零件约占全部报废零件的 $4/5$ 。为节约能源、提高设备可靠性、发展高速机械和生产过程自动化, 摩擦学研究发展迅速。目前, 摩擦学研究的主要内容有:

1) 摩擦与磨损机理。研究相对运动表面之间的物理化学作用和表面性能的变化, 控制和预测磨损过程; 对摩擦的起因和机理以及不同的磨损过程进行研究。

2) 润滑理论。研究流体动、静压润滑、弹性流体动压润滑、边界润滑等理论, 以指导机械零部件的润滑设计。

3) 新型耐磨减磨材料与表面处理工艺。例如, 用陶瓷代替金属或作表面涂层, 具有耐磨、高温耐熔、抗氧化、耐腐蚀、绝缘等特性。对表面进行强化如表面合金化、表面冶金、表面超硬覆盖、电火花表面强化、电镀、喷涂、堆焊、激光处理、电子束处理、离子注入等。对表面进行润化如渗硫、氮化、氧化、磷化、表面软金属膜等或表面复合处理。

4) 新型润滑材料。如高水基液压介质和润滑剂, 在高、低温、重载、防污染的条件下的新型固体润滑剂。摩擦化学揭示了各种添加剂对润滑材料物理、化学性能的改善机理, 是形成了各种物理化学吸附膜。

5) 测试技术 目前, 对零件表面几何形状的改变、磨屑尺寸数量及形貌特征、机械振动与噪声等摩擦磨损因素, 已可用放射性同位素分析仪、振动与噪声监测仪等进行监测、诊断和早期识别。摩擦学设计是机械构件的运动学设计、强度设计之后的重要设计组成部分。以摩擦、磨损及润滑理论为基础, 以系统工程的观点, 通过一系列分析计算和经验类比, 合理设计机械零部件, 采用先进材料和工艺, 正确选用润滑方式和装置, 预测并排除可能发生的故障, 减少机械设备的摩擦损耗, 达到经济的稳定磨损率, 从而提高设备的工作效率和运行可靠性。