

国家高科技研究发展计划（863计划）资助项目

- 突破管理视角
- 面向工业设计
- 深入关键技术
- 基于网络环境
- 协同客户需求
- 创新制造契机

三维数字化定制设计

技术与应用

Customized Design

余隋怀 苟秉宸 李晓玲 著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目

三维数字化定制设计技术与应用

余隋怀 苟秉宸 李晓玲 著

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本专著从工业设计理论方法与三维数字化设计技术的角度,对定制设计研究及应用现状的关键问题进行了深入的理论研究,具有极强的综合性和创新性,学科特色显著。

本专著涉及产品族设计研究、产品族结构模型研究、基于网络环境的 CAID 协同设计模式、面向网络化制造的 CAID 关键技术等领域;融合工业设计、计算机辅助技术、信息管理等诸多学科知识,并对其进行提取和分类,进行综合创新;针对传统数字化设计模式中与客户交流不畅以及客户需求变化快的问题,提出了基于网络环境的客户与设计单位协同合作的定制模式,这也是本专著的特色所在。

本专著中先进的设计思想和研究成果将对工业设计、数字人机工程、电子商务等领域产生深远影响,并为制造业提供新的发展契机。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

三维数字化定制设计技术与应用/余隋怀,苟秉宸,李晓玲著. —北京:
北京理工大学出版社,2006.1

ISBN 7-5640-0636-6

I. 三… II. ①余…②苟…③李… III. 工业设计 IV. TB47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 127468 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefeditor@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 889 毫米 × 1194 毫米 1/16

印 张 / 12.75

字 数 / 318 千字

版 次 / 2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1~2000 册

定 价 / 30.00 元

责任校对 / 郑兴玉

责任印制 / 刘京凤

图书出现印装质量问题,本社负责调换

序

定制化技术是伴随着电子商务、网络、信息等现代电子技术迅速发展起来的。随着科技进步和市场需求的发展变化,个性化、小批量、多品种、高质量、交货期短和低成本已逐渐成为制造业明显的特征。本书正是从时代发展和市场需求出发,基于国家高技术研究发展计划(863计划)CIMS主题项目——面向信息家电的三维数字化定制设计关键技术研究,在国内外现有研究模式和理论基础上进行创新性研究,总结最新成果的一部学术专著。

本书主要从工业设计理论方法与三维数字化设计技术的角度阐述了定制设计的原理、主要方法和关键技术,探讨了三维数字化定制设计系统及其开发技术,并以信息家电的定制设计为对象进行了实例分析,以增进读者对各章内容的理解。

面对定制设计研究及应用现状,本书针对其中关键问题进行了较深入的理论研究,具有极强的综合性、创新性和显著的学科特色。首先,研究范围广阔。涉及产品族设计研究、产品族结构模型研究、基于网络环境的CAID协同设计模式、面向网络化制造的CAID关键技术等领域,取得了一定的研究成果。其次,具有较强的综合性和学科交叉性。本书中涉及工业设计、计算机辅助技术、信息管理等诸多学科知识,并融合对其进行提取和分类,进行综合创新。再次,专业创新性。定制设计技术在国内主要集中在定制模式研究上,现有关于定制的研究很多是从管理学角度进行分析的,而对面向工业设计的三维数字化定制设计这一领域目前尚无涉及,本书正是立足“面向信息家电的三维数字化定制设计关键技术研究”,实现以客户需求为基准进行个性化设计和开发的定制,填补了这一研究领域的空白。另外,本书所涉及的基于网络的数字化设计,就是针对传统数字化设计模式中与客户交流不畅以及客户需求变化快,导致无法保证项目设计质量和开发进度的问题,提出了基于网络环境的客户与设计单位协同合作的定制模式,这也是本专著的特色所在。

本项目研究成果对工业设计、数字人机工程、电子商务等领域影响深远。随着课题研究的深入,三维数字化虚拟设计、展示和制造技术将使未来的产品设计和推广发生根本性的变化,运用三维数字化虚拟现实技术不但能够设计和展示产品外形,而且还能够显示结构布局以及动态效果,从而对产品生产的全生命周期实现有效的辅助。本专著中先进的设计思想和研究成果将在信息家电行业、机床行业、医疗设备制造和电气设备制造等领域产生深远的影响,填补我国工业设计学科中相关领域的空白。

我相信,这部专著将在我国制造业领域发挥积极的作用,将其应用推广,会产生良好的社会效益和经济效益,为制造业提供新的发展契机。



国家 863 计划 CIMS 主题专家组组长
中国航天科技集团公司总工程师
2005 年 7 月 1 日

前 言

“定制”并非一个新概念，随着人们物质生活水平的提高，大工业生产所带来的单一产品已经不能满足人们的要求，个性化定制成为一种时尚，并逐步成为时代的主题。18 世纪盛行的手工作坊生产就是典型的定制生产。作坊生产是单件定制的生产方式，作坊主按照客户的要求进行制造，产品的定制程度高，但效率低、成本昂贵。直到 20 世纪初，这种原始的“定制”生产才被大工业生产所取代。1913 年，福特建立的汽车装配流水线具有划时代的意义，它标志着作坊式的单件生产模式演变成以高效的自动化专用设备和流水线生产为特征的大规模生产方式。

大规模定制概念最初曾在 1970 年预言家阿尔文·托夫勒的《未来的冲击》一书中预言到，直到 1993 年约瑟夫·派恩二世在《大规模定制》中才对这个概念有了相对完整的描述。DELL 公司是个人计算机制造行业采用大规模定制生产模式的楷模。DELL 公司通过大规模定制模式，使其在个人计算机市场中的销售份额上升到第二位。采用大规模定制生产模式而获得竞争优势、取得大量利润的例子还有很多，例如摩托罗拉、生产牛仔裤的李维斯、日本的松下自行车公司等。目前，国外许多公司正在更新设备，转变管理模式，实现生产和管理的数字化，逐步具备大规模定制的基本条件。另一方面，互联网的快速发展不仅改变了生产领域和商业领域的工作方式，同样也改变了人们的消费方式和消费方式。电子商务是大规模定制普及的关键。随着电子商务的迅速发展，大规模定制经济的市场条件正在迅速成熟，这预示着大规模定制时代即将来临。

定制化技术是伴随着电子商务、网络、信息等现代电子技术迅速发展起来的，国内主要集中在定制模式研究上，现有关于大规模定制的研究很多是从管理学角度进行分析，而面向工业设计的三维数字化定制设计这一领域目前还无人涉及，而本书正是基于国家高技术研究发展计划（863 计划）CIMS 主题项目——“面向信息家电的三维数字化定制设计关键技术研究”最新成果的一部学术专著。本专著中所涉及的系统开发技术、定制设计关键技术等都是该科研项目中的最新成果，对促进工业设计及大规模定制设计领域的发展都有着非常高的研究价值和参考价值。

本书的研究得到了国家 863 计划（课题编号：2002AA411120）的资助，在此表示衷心感谢。西北工业大学工业设计研究所的各位同仁对书稿的撰写给予了大力支持，其中乐万德、景韶宇、陆继翔、初建杰、郭磊和陈登凯等同志都为本书付出了辛勤的劳动，在此一并表示感谢！由于时间仓促，限于作者水平，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者
2005 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 生产模式的演变	(1)
1.2 大规模定制的概念和特征	(5)
1.3 面向大规模定制的设计方法	(9)
第 2 章 三维数字化定制设计原理与框架	(18)
2.1 三维数字化定制设计的基本原理	(18)
2.2 定制设计的技术体系	(23)
2.3 定制设计的商务模式	(43)
第 3 章 三维数字化定制设计关键技术	(51)
3.1 大规模定制设计理论体系	(51)
3.2 客户需求获取与分析	(57)
3.3 面向大规模定制的产品开发技术	(59)
3.4 面向客户需求的快速设计技术	(66)
3.5 电子商务技术	(70)
第 4 章 面向工业设计的三维数字化定制设计	(73)
4.1 产品族工业设计相关概念和理论	(73)
4.2 产品族形态设计	(76)
4.3 产品族色彩设计	(93)
4.4 产品族人机设计	(106)
第 5 章 三维数字化定制设计系统开发技术	(115)
5.1 三维数字化定制设计软件系统设计思想	(115)
5.2 三维数字化定制设计软件系统开发方法	(126)
5.3 软件开发实例	(130)
第 6 章 三维数字化定制设计应用	(152)
6.1 信息家电的定制	(152)
6.2 消费类电子产品的定制设计	(165)
6.3 汽车的定制设计	(173)
6.4 现代家居的定制设计	(177)
参考文献	(185)

第 1 章 绪 论

随着现代科学技术的迅猛发展,产品生命周期大大缩短,使产品尽早上市已成为企业竞争的首要目标。同时由于客户需求的多样化,客户与企业的信息交流变得越来越方便。新技术、新产品不断涌现和柔性生产技术发展等原因,使得福特提出的大规模生产(Mass Production, MP)模式已经无法适应快速多变的市场需要。当前市场竞争环境变得迅速而不可预测,传统的通过经济规模而提高竞争力的方法不再有效;客户需要低价格的个性化产品;产品生命周期缩短,竞争者只要花费很少的成本(或作很少的变动)就能快速生产最新的产品;大批量生产中的、刚性的、高度自动化的生产线不能适应客户对产品的多样化需求。在新的市场环境中,企业需要一种新的生产模式:能够以大规模生产的效益(包括低成本和短交货期)进行定制产品的生产。大规模定制生产(Mass Customization, MC)正是这样一种新的生产模式,它根据每个客户的特殊需求,用大规模生产的效益完成定制产品的生产,从而实现客户个性化和大规模生产的有机结合。由于它能够以过去不可思议的模式来满足当今动态多变的市场要求,所以正在逐步成为信息时代企业的重要生产模式之一。

1.1 生产模式的演变

生产模式可按生产批量分为大批量生产、中小批量生产和单件生产。按照产品与客户的关系,生产模式又可分为库存生产和定制生产。一般情况下,大批量生产为库存生产;单件生产为定制生产。自 20 世纪初以来,制造业为了降低产品成本、获取更大的经济利益,都把大批量生产方式作为主导生产方式。通过产品的批量化降低生产成本,其主要特点是零部件可高度互换、产品可选范围小、功能固定、生产批量大、成本和价格较低等。半个世纪以前,世界上大部分企业都是用按照泰勒原理组织的生产方式进行生产。随着科学技术的不断进步,产品的供应市场日益国际化。国际化的市场和互联网在时间、成本、质量和服务等方面向客户提供了更大的选择范围。人们不再满足根据企业已有的产品进行选择。在产品的设计与制造中不断融入客户的个性化需求,已成为现代制造业区别于传统制造业的重要特征。

1.1.1 生产模式的变迁

所谓制造生产模式,是指企业经营管理、生产组织及技术构成的形态和运作方式。纵观制造业的整个发展史,制造生产模式及其相应的经济环境的演变,大致如图 1-1 所示。

不言而喻,制造生产模式的演变是与其所处的人类社会经济环境相适应的。制造业的生产组织形式往往受当时的科技发展水平和历史条件制约,并随着社会进步不断发生变化。制造业兴起之初,采用的是作坊工场生产。到了 20 世纪 20 年代,福特开创了机械自动化流水线生产,提出了标准化的概念。加上泰勒引入的科学管理思想,出现了“少品种、大批量”的生产方式。大批量的生产方式带来了成本的降低,质量也更容易得到保证。这种生产模式通过产品的批量化降低生产成本,其特点是零部件可以高度互换、产品可选范围小、功能固定、生产批量大、成本和价格较低,这种生产模式下的经济被称为规模经济(Economy of Scale)。在以后相当长的时间内,这种生产方式得到了空前的成功,典型应用在汽车业、机床业等。

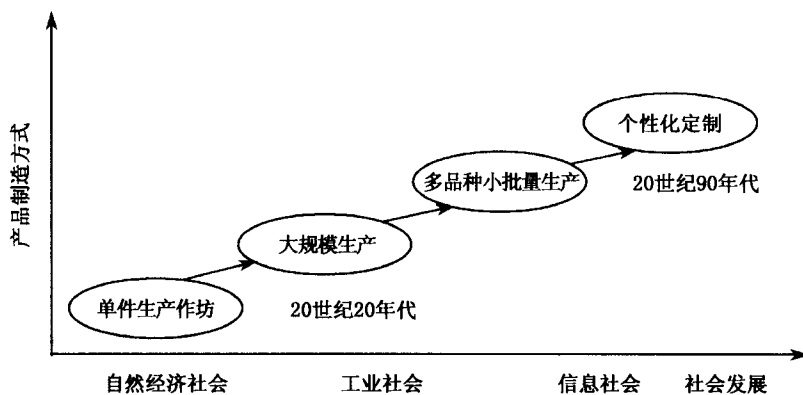


图 1-1 制造业生产方式的演变

20 世纪 90 年代以来，由于科学技术飞速进步和生产力迅猛发展，顾客消费水平不断提高，企业之间竞争加剧，加上政治、经济、社会环境的巨大变化，使得需求的不确定性大大增强，导致需求日益多样化。客户今天的购买环境和选择范围与以往相比已经发生根本改变，国际化的市场向客户提供了更广范围内的时间、成本、质量和服务等方面的选择，人们不再满足于根据企业已有的产品进行选择，在产品的设计与生产中不断融入客户的个性化需求已经成为当前制造业区别于传统制造业的主要标志。这种多品种、小批量的产品类型决定了企业只能按照客户具体的需求组织生产。这样的生产模式称为定制生产（又称为订单生产），与此相对应的经济称为品种经济（Economy of Scope）。定制生产满足了客户的个性化需求，但由于需要根据客户的特殊要求组织生产，由此而带来了产品开发周期长、成本高、质量不稳定等不利因素。在这种形式下，大规模定制生产模式应运而生，它是为了解决传统定制生产面临的诸多问题，利用大批量生产的效率生产出满足客户需求的定制产品的一种生产模式。

大规模定制的基本思想是将定制产品的生产问题，通过产品结构和制造过程的重组全部或部分转化为批量生产。对客户而言，所得到的产品是定制的、个性化的；对企业而言，该产品是采用大批量生产方式制造的成熟产品。大规模定制不同于大批量生产。大批量生产的目标是以每个人都能承担的价格来设计、制造和销售产品；而大规模定制则以合理的价格来满足顾客的不同需求。大批量生产追求标准化，即以标准化的工具、动作、操作流程、操作方法按标准的时间生产标准的产品；而大规模定制则追求个性化，即企业的设计、生产和营销人员充分发挥各自的能动性和创造性，为各种不同的顾客提供他们各自所需的产品。大批量生产通过规模的经济性来降低成本，即通过尽可能多和快速地生产相同产品来降低单一产品的成本；而大规模定制则通过范围的经济性来降低成本，即应用相同或相似的生产过程快速地生产尽可能多品种的产品。为此，大批量生产要求需求稳定、产品结构尽量保持不变；而大规模定制则面对不断变化的需求环境，顾客的需求表现为多样化。表 1-1 总结了大批量生产和大规模定制在目标、手段及关键特征上的差异。

大规模定制不能简单地视为品种多样化。虽然大规模定制的企业其品种必然多样化，但品种多样化未必是大规模定制。二者的区别在于品种多样化是以对顾客的需求预测为基础进行标准化生产，虽品种多、成本较高，企业仍然是把标准化的产品“推”向市场，使顾客有更多的选择空间；而大规模定制则要求改变企业的生产方式，改标准化的产品为个性化的产品，变“推”为“拉”，以合理的成本去满足不同顾客的个性化需求。

表 1-1 大批量生产和大规模定制的差异

	大批量生产	大规模定制
目标	以尽量低的成本设计、生产和销售产品,使几乎每个人买得起产品	以合理的成本设计、制造和销售产品,使每个顾客的不同需求都能得到满足
手段	标准化的产品设计;流水生产方式;大批量的营销手段和网络	差别化、个性化的产品设计;弹性、快速响应、FMS、CAD/CAM、MRP、JIT、预制 Module、多样化的营销手段和方法
关键特征	稳定的需求;大的统一的市场;低成本,一致的质量,标准化的产品和服务;产品的开发周期和生命周期都长	差别化的需求;分散的市场;低成本,高质量,定制的产品和服务;产品的开发周期和生命周期都短

1.1.2 市场竞争的主要特征

与严峻的市场环境相呼应的是市场竞争的特点也在不断变化。随着经济的发展,影响企业在市场上获得竞争优势的主要因素也发生着变化。现代制造企业竞争的环境具有如下所述的特点。

1. 产品生命周期越来越短

随着消费者需求多样化的发展,企业的产品开发能力也在不断提高。目前,国外新产品的研制周期大大缩短。例如,AT&T公司新电话的开发时间从过去2年缩短为1年;惠普公司新打印机的开发时间从过去的4.5年缩短为1.8年,而且这一趋势还在不断加强。与此相应的是产品的生命周期大大缩短了,在产品开发和上市时间的活动余地也越来越小,给企业造成巨大压力。据统计,电子产品平均市场寿命已经从1978年的8年左右缩短到1994年的2.3年,特别是个人计算机产品,几乎是一上市就已经过时了,就连消费者都有些应接不暇。如何解决好产品生命周期缩短与开发周期缩短之间的矛盾,成为企业生死攸关的问题。

2. 产品数量急速膨胀

因消费者需求的多样化越来越突出,厂家为了更好地满足其要求,便不断推出新的品种,从而引起了一轮又一轮的产品开发竞争,结果是产品的品种数成倍增长。以日用百货为例,据有关资料统计,从1975年到1991年,品种数约从2000种左右增加到20000种左右,尽管产品品种已非常丰富,但消费者在购买商品时仍然感到难以称心如意。为了吸引客户,许多厂家便不断增加产品的品种。但是,按照传统的管理模式,每一品种都生产一批产品以备客户选择,这给企业和销售商造成了大量的库存和资金的积压,严重影响了企业的竞争力。

3. 客户需求多样化和个性化

客户不再满足于选择企业提供的千篇一律的产品,他们希望得到能满足个性化需求的多样化产品。产品中融入客户个性化需求已经逐渐成为世界潮流,如IBM、通用汽车、福特汽车等世界知名大公司纷纷推出了个性化的产品,这一潮流对企业造成了新的压力。

4. 对交货期的要求越来越高

随着市场竞争加剧,经济活动的节奏越来越快。其结果是每个企业都感到客户对时间方面的要求

越来越高。20 世纪 80 年代以后,企业之间的竞争已经从原来的成本、质量竞争转变为时间因素的竞争,这里所说的时间因素主要是指交货期和响应周期。客户不但要求厂家要按期交货,而且要求的交货期越来越短。能否更快、更好、以更低成本制造出新的产品上市,将是制造企业生存发展的关键。因此,缩短产品的开发、生产周期,在尽可能短的时间内满足客户要求,已成为企业竞争的关键因素。

5. 多品种小批量生产比例增大

由于客户本身的多元化与客户需求的多样化以及市场竞争的国际化,越来越多的企业发现仅仅依靠一两种产品是难以在激烈的市场竞争中立足的。在这种形式下,多品种小批量在生产中的比例越来越大。

6. 市场动态多变

世界市场的动态多变已成为企业生存环境的主要特征。今天畅销的产品,由于市场环境的变化,明天可能会成为滞销的产品。市场的动态多变对企业生存压力的重大影响已成为越来越多人的共识。B Joseph Pine II 通过广泛的市场调查,给出了汽车、电信、国防等企业的市场扰动图 (Market Turbulence Map),说明了现代市场动态多变的状况及新的市场环境对企业生产模式的影响。

1.1.3 先进制造技术对生产模式的影响

从制造业发展的历程来看,20 世纪 70 年代之前的竞争焦点是企业规模和产品成本。而 80 年代的竞争焦点则是满足客户需求和综合的上市时间、产品质量、产品成本和售后服务 (TQCS) 指标。90 年代的市场则要求企业以最短的时间开发出质量最高的、客户可接受的新产品。

现代制造业在经历了高度自动化、柔性自动化、及时生产等发展阶段之后,正在向计算机集成制造系统、敏捷制造、并行工程和精益生产的方向发展。现代制造技术发展相当敏锐地反映出了整个市场需求的变化趋势,不断推出新的先进概念成了牵动相关应用学科发展的主要动力,其中的关键技术问题也随之成为 CAD 以及相关学科的研究热点。

计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 是基于 CIM 哲理构成的系统,是由美国的约瑟夫·哈林顿等在 1973 年提出的一种生产模式新哲理。CIM 是一种组织、管理与运行企业生产的哲理,它借助计算机硬件以及软件,综合运用现代管理技术、制造技术、信息技术、自动化技术、系统工程技术,将企业生产全过程 (市场分析、经营管理、设计、加工制造、装配、物料管理、售前售后服务、产品报废处理) 中有关的人、组织、技术等经营管理三要素与其信息流、物流有机地集成并优化运行,实现企业整体优化,以达到产品高质、低耗、上市快的目标,从而使企业赢得市场竞争。CIM 哲理突破了传统生产模式的范畴,强调以系统论的方法协调各单元之间的关系,以期获得最佳的整体效益,并且注重信息的处理和集成,朝着生产的信息化方向迈出了重要的一步。经过了 20 年尤其近 10 年的发展,CIM 哲理的内涵不断丰富和完善,并且在现代信息技术、系统论和计算机应用技术的支撑下将 CIM 哲理应用于生产实践,出现了实现 CIM 哲理的制造系统 CIMS。

敏捷制造 (Agile Manufacturing, AM) 在实现层次上比 CIMS 更高一级。它不仅关心企业内部生产全过程的相关问题,同时也关注企业之间的协作。其根本目标是把产品生产所需的所有资源——人、资金和设备 (包括企业内部的和分布在全球各地合作企业的) 通过计算机和通信技术联系在一起进行集中管理,实现优化利用。20 世纪 80 年代后期,计算机、信息技术等取得了突飞猛进的发展,这也使得世界各地的企业逐步进入一个全球性的、竞争异常激烈的市场环境。为了求得生存和发展,企业不得不采取不断加速产品的更新换代、不断进行企业重组的方法,尽可能地应付瞬息万变的市场需

求。同时,虽然产品成本和质量仍是竞争的主要支柱,但是以时间为基准的竞争将是一个突出的特点,由此而产生的企业战略主要是在最短的时间内开发或生产出各类新产品。此时,传统相对稳定的市场也就逐渐演变成动态的、多变型的市场,同行业之间、跨行业之间的竞争愈演愈烈,时间成了决定竞争胜负的最关键因素。正是在这样一种环境之下,美国 Lehigh 大学和通用汽车公司(GM)等在1988年首先提出了“敏捷制造”的战略。该战略是在协同论、突变论、混沌学和非线性动力学的理论基础之上,在制造业中引入“竞争-合作-协同”机制而提出的。所谓“敏捷”包含有四层意思:有活力;对多变的市场需求响应灵敏度高;对客户要求的响应时间短;能够有效满足客户要求。敏捷制造的总目标是力图建立一种能够对客户要求(产品和服务)做出灵敏快速反应的、市场竞争力强的生产模式,这种生产模式具有强调合作、协同和注重制造的柔性化两个鲜明的特点。目前许多发达国家正围绕着实施敏捷制造策略的具体方法和技术展开积极的研究,并且在生产中进行实践,在电脑、自行车、空压机等制造行业中均取得了显著的成效。

并行工程(Concurrent Engineering, CE)是20世纪80年代末美国的 R.I. Winner 在国防分析研究所(IDA) R-338 研究报告中所提出的:并行工程是对产品及其相关过程(包括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。这种工作模式力图使开发者们从一开始就考虑到产品全生命周期(从概念形成到产品报废)中的所有因素,包括质量、成本、进度与客户需求。从定义可以看出,并行工程也是一种关于生产活动组织方式的哲理。采用并行工程原理,可以有效地缩短产品开发和制造时间,改善产品的质量,减少开发过程中由于各个环节之间不协调而造成的设计返工,从而可以明显地降低生产成本。

精益生产(Lean Production, LP)是美国麻省理工学院(MIT)研究和总结了日本企业近年来的成功经验,于1990年提出的一种新的生产模式。该模式要求采用适合于现代制造技术的管理方法、去除生产过程中一切不产生附加价值的活动和投资,从而求得生产过程的整体最优。精益生产以人中心、以“简化”为手段、以“尽善尽美”为最终目标。

尽管上述四种制造技术的新哲理和新思想研究问题的切入点以及特征有所差异,但其目标和根本原则都是相同的,并且已经出现互相穿插交融的趋势,即在大批量生产模式的基础之上,研究和实现柔性化生产的方法和技术,在基本保持大批量生产的交货期和成本的约束下,满足市场个性化的需求。

1.2 大规模定制的概念和特征

从消费者角度看,个性化需求的凸显是定制生产产生的根本原因。企业和消费者之间特殊的关系决定着企业总是紧紧地围绕着消费者的需求而运作。在物质相对匮乏的时代,消费者以牺牲个性化的需求为代价换取尽量多的物质产品以改善生活质量。这是一种无奈,也是必然的选择。但当消费者所拥有的物质产品数量达到一定程度的时候,消费者需求必然跃升到一个新的层次,个性化需求开始凸显。千篇一律的标准化产品对消费者的效用度将越来越低。为满足自己的个性,消费者需要有一个个性伸展的空间。这种供、需距离的客观存在为定制生产提供了发展的空间。除此之外,企业与消费者之间的力量对比也发生了变化,随着买方市场的形成及消费者对商品或服务的选择余地的加大,原来属于企业的权力现在逐步被消费者所掌握。消费者因此也变得越来越“挑剔”,越来越希望缩小产品或服务与自己的“特殊”要求之间的差距。企业之间越来越激烈的竞争迫使企业必须认真地对待消费者的个性化需求,在这种背景之下,定制生产得以产生。

1.2.1 大规模定制的概念

1. 大规模定制设计的概念

早在 1970 年, 预言家阿尔文·托夫勒就在其《未来的冲击》一书中对大规模定制生产模式做出了预告。1993 年, B. Joseph Pine II 对大规模定制的内容进行了完整的描述。

大规模定制能够以几乎每个人都能付得起的价格提供差异化的产品。它是一种崭新的生产模式, 通过把大规模生产和定制生产这两者生产模式的优势有机地结合起来, 在不牺牲企业经济效益的前提下, 满足客户个性化的需要。大规模定制的基本思想在于: 通过产品结构和制造过程的重组, 运用现代信息技术、新材料技术、柔性制造技术等一系列高新技术, 把产品的定制生产问题全部或者部分转化为批量生产, 以大规模生产的成本和速度, 为单个客户或小批量多品种市场定制任意数量的产品。

定制生产源于英文 MASS CUSTOMIZATION, 直译为规模顾客化 (生产)。它是在对大批量生产模式继承和发展的基础上提出的新概念。有人认为如同规模化生产模式是 20 世纪典型的生产模式一样, 规模顾客化 (生产) 将成为 21 世纪典型的生产模式。

规模顾客化 (生产) 并非传统意义上的定制生产。传统意义上的“定制生产”其实始终存在于我们的现实生活之中, 路边的裁缝店、中餐馆等都是定制生产。虽然两者有其相似之处, 即靠顾客“定制”拉动生产过程并应顾客的要求提供一对一的满足, 但两者还是有本质上的区别。传统意义上的定制生产只能称做顾客化 (CUSTOMIZATION) 生产而无规模 (MASS) 之义, 无法实现大规模的顾客化。规模顾客化生产是在广泛地应用先进工程技术、信息技术和管理技术的基础上, 用标准化的部件组合成顾客化的产品 (或服务), 以单个顾客为目标, 保证顾客最大限度的满足。这种顾客化的产品 (或服务) 不但在规模上而且在其复杂性、交付周期、成本等方面都与传统意义上的“定制生产”有天壤之别。

2. 大规模定制设计的含义

大规模定制设计 (DFMC) 主要是采用并行流程围绕产品族进行设计, 其中建立合理的产品族模型是大规模定制设计的关键。大规模定制设计是大规模定制 (MC) 的一项关键技术, 是解决大规模定制生产过程中成本与速度这两个核心问题的有效手段。

大规模定制设计的目标是在产品设计进行整体概念设计的早期阶段, 考虑范围经济性和批量经济性; 其重点为建立合理的产品族结构, 即同时完成一组产品的设计, 而不是单个产品。为了有效地实现大规模定制, 设计就要捕捉并定义个体客户对产品的需求, 设计必须从传统的设计制造集成扩展到销售、服务等部门。设计在设计领域和产品族方面的扩展参见图 1-2。

1.2.2 大规模定制的特征与分类

1. 大规模定制的特征

大规模定制主要是通过灵活性和快速响应实现多样化和定制化。大规模定制具有以下关键特征:

① 以客户需求为导向。在传统的大规模生产方式中, 先生产后销售, 因而大规模生产是一种推

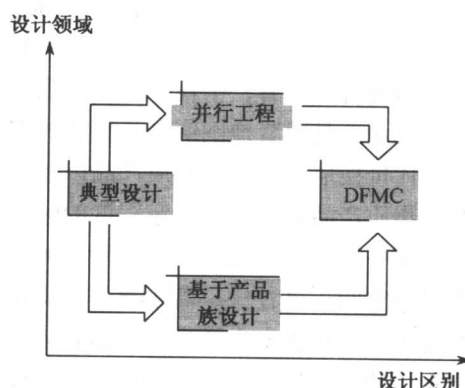


图 1-2 设计流程领域扩展

动型的生产模式；而在大规模定制中，人们购买商品不仅仅是为了满足对物的数量和质量的需要，也是为了展示个性，达到精神上的满足。由于顾客越来越追求个性化和多样化，过去对标准产品的大量需求已分割成对相似产品不同“风味”的需求，从而形成需求的分化。企业以客户提出的个性化需求为起点，为客户提供个性化的产品和服务，因而大规模定制是一种需求拉动型的生产模式。

② 以现代信息技术和柔性制造技术为支持。大规模定制必须对客户的需求做出快速反应，这要有现代信息技术作为保障。Internet 网络技术和电子商务的迅速发展，使企业快速获取客户的订单；CAD 系统根据在线订单快速设计出符合客户需求的产品；柔性制造系统迅速生产出高质量的定制产品。

③ 以模块化设计、零部件标准化为基础。通过模块化设计、零部件标准化，可以批量生产模块和零部件，减少定制产品中的定制部分，从而大大缩短产品的交货期并减少生产定制的成本，增强了产品的适应能力，增加了产品的多样化，缩短了产品开发周期。

④ 以敏捷为标志。在传统的大批量生产方式中，企业和消费者是一对多的关系，企业以不变应万变。而在大规模定制经济中，企业与消费者是一对一的关系。企业面临的是千变万化的需求，大规模定制企业必须快速满足不同客户的需求。因此，大规模定制企业是一种敏捷组织，这种敏捷不仅体现在柔性的生产设备、多技能的人员上，而且还表现为组织结构的扁平化和精炼。随着产品开发周期的缩短，产品生命周期也在缩短。

⑤ 以竞争合作的供应链管理为手段。在未来市场经济中，竞争不再是企业之间的竞争，而是企业供应链之间的竞争。大规模定制企业通过与其供应商建立起既竞争又合作的关系，共同满足客户的需要。

从市场角度看，每一种产品市场自规模化生产出现后都经历着不断细分的过程，而每一次成功的细分实际上都是在向消费者的特殊需要靠近，理论上品种不断细分的结果最终将形成完全个性化的市场，企业的目标市场也必然从规模化的市场转化为以单一顾客为目标的市场。

2. 大规模定制的分类

企业根据市场预测进行有库存的大批量生产，当接到客户订单时，在库存原材料或预制零部件的基础上，开始进行满足客户需求的定制生产。按照客户需求对企业生产活动影响程度的不同，可以进一步将大规模定制分成以下类型。

(1) 销售定制化

按订单销售 (Sale-to-Order, STO)，又可称为库存生产 (Make-to-Stock, MTS) 方式，这是一种大批量生产 (Mass Production, MP) 方式。在这种生产方式中，只有销售活动是由客户订货驱动的，如日常生活用品、家用电器等。这种类型的企业，其产品仍然是标准化的，但企业以对顾客需求的预测为基础进行生产。产品的品种规格很多，从而给顾客以很大的选择余地。不仅如此，顾客在销售环节中可更充分地反映自己个性化的需求。如传统的超级市场，在固定的地方，按固定的时间营业，商品固定按用途排列，供超市中的顾客选择；而实施定制化以后，顾客通过互联网和专门的应用软件，可以在自己所希望的任何时间进入超市数据库，将商品按自己所喜欢的方式排列分类，例如顾客可以按字母、商标、类型、包装大小、单价甚至按营养价值对商品进行排列，也可按自己的购买习惯创造新的排列方式，然后直接通过互联网选择并下达订单，销售商根据所要求的时间将所订商品送到顾客家中。销售定制化是较低级的一种大规模定制类型。

(2) 装配定制化

按订单装配 (Assemble-to-Order, ATO) 是指接到客户订单后，将企业中已有的零部件经过再配置后向客户提供定制产品的生产方式，如模块化的汽车、个人计算机等。在这种生产方式中，装配

活动及其下游的活动是由客户订货驱动的。这种类型的企业按顾客的个性化需求来装配和销售产品,但零部件的设计和生 产仍然是标准化的。也就是说,企业以对顾客需求的预测为基础来设计产品及其零部件。零部件的品种规格很多,也是大批量生产出来的,顾客可以在企业所提供的零部件范围内,按自己的意愿进行选择。企业按顾客的要求将产品装配出来,并按所要求的方式和时间将产品送到顾客手中。汽车业较偏爱这种顾客化方式。例如顾客可以以某一种汽车模式为基础,按自己的意愿更换零部件,增加配置所希望的附件,选择所喜爱的汽车颜色等。汽车制造商由于预先设计甚至制造好了各种零部件,所以能很快地满足顾客的个性化需求。装配定制化是顾客化程度适中的一种大规模定制类型。

(3) 设计定制化

在这种类型的企业中,顾客参与了产品的设计过程。具体有两种方式,一种是按订单制造(Make-to-Order, MTO)是指在已有零部件的基础上进行变型设计、制造和装配,最终向客户提供定制产品的生产方式,也就是顾客对产品设计提出个性化的要求,公司接到客户订单后,按顾客要求设计产品,然后组织制造、装配和送货。大部分机械产品属于此类生产方式,在这种生产方式中,变型设计及其下游的活动是由客户订货驱动的。国外家庭装修,通常由设计师按房型和顾客所提的各种要求来设计装修方案,可视为按订单制造的一个例子。另一种方式是按订单设计(Engineer-to-Order, ETO),指根据客户订单中的特殊需求,重新设计能满足特殊需求的新零部件或整个产品,在此基础上,向客户提供定制产品的生产方式。在这种生产方式中,开发设计及其下游的活动是由客户订货驱动的。完全由顾客按自己的意愿设计产品,企业只是按顾客的设计组织生产和送货。例如,美国一些贺卡公司,在一些商店和公共场所安装了贺卡机,顾客可以在贺卡机上选择贺卡的类型,然后对贺卡的式样、图案、语言、大小及其他功能进行一系列的选择和设计。设计的贺卡随即就被印制出来。顾客若通过互联网进入贺卡公司的设计数据库,则有更大的创作空间,可享受更灵活多样的送卡服务方式。设计定制化可以说最彻底地满足了顾客个性化的需求,是最高级的大规模定制类型。

1.2.3 大规模定制的相关技术

大规模定制生产是一种在系统思想指导下,用整体优化的观点,通过对企业的产品结构和制造过程的重组,充分合理地使用企业的内外部资源,以大规模生产的效率提供定制产品的生产模式。大规模定制的关键技术有:面向大规模定制的产品开发设计技术(DFMC)、面向大规模定制的管理技术、客户需求分析技术(QFD等)、可重组的制造系统(RMS)和面向大规模定制的成本控制技术等。

1. 面向大规模定制的产品开发设计技术

如何快速响应客户订单已经成为信息环境下传统制造企业所面临的生死攸关的问题。产品的设计开发阶段已经成为快速响应客户订单的关键,因此,现代产品设计技术是大规模定制生产的关键技术。

2. 客户需求分析技术

大规模定制的产品设计是面向产品族的设计,其设计结果形成可变型的产品模型,为快速设计阶段进行产品配置、针对单个客户需求进行设计的实现提供了基础。而成功的产品族的获得取决于对客户的需求进行系统的分析。质量功能配置是其中一种工具,它能系统地将客户主观的需求转化为产品族设计的详细说明以及资源的优选,使设计人员能够利用它进行产品设计。

3. 产品数据管理技术

产品数据管理 (PDM) 是面向大规模定制设计的产品建模、产品数字化预装配、产品分类管理和产品过程管理的集成框架。

4. 模块化设计技术

模块化结构是大规模定制策略的关键要素。模块化过程就是对功能元器件进行模块化, 然后将其进行跨产品族的重复使用。从而能快速设计定制的产品、节省设计成本、增加了业务过程的灵活性, 使它能够更好地满足工程管理的需要。

5. 面向大规模定制的供应链管理技术

供应链管理是通过前馈的信息流和反馈的物料流及信息流, 将供应商、制造商、分销商、零售商和最终客户连成一个整体的管理模式。它把不同企业集成起来, 以提高整个供应链的效率, 注重各企业之间的合作。信息共享是供应链管理的关键。研究供应链的管理方法和关键技术与企业管理软件系统相结合, 就生成了大规模定制生产模式下供应链管理的一个完整的解决方案。

6. 业务流程重组技术

业务流程重组 (Business Process Reengineering, BPR), 也被称为作业过程重构, 其基本内涵是以作业过程为中心, 摆脱传统组织分工理论的束缚, 提倡顾客导向、组织变通、员工授权以及正确运用信息技术, 达到适应快速变动环境的目的。该理论的核心是“过程 (Process)”观点、“重组 (Reengineering)”观点。业务流程重组是根据企业的战略目标和企业文化, 重新设计和优化企业的业务过程, 为客户创造更大的价值, 并通过信息技术 (IT) 的使用和持续的过程改进, 实现企业的持续发展。它是实现大规模定制的重要流程管理规则。

企业在实践中发现, 仅仅对企业现状进行小修小补的改良已无法解决企业所面临的问题, 只有对企业的组织结构、管理方式、业务过程、经营方式和主导产品进行大规模的调整, 才能在激烈的竞争中立于不败之地。20 世纪 90 年代初, 美国的 M. Hammer 提出的业务过程重组的概念。不同于我国现行的资本或组织结构的重组, 它是为了使工业企业的成本、质量、服务和速度等方面得到显著改善而对业务过程进行的根本性的重新思考和彻底的再设计。对于从原有生产模式转为大规模定制生产模式的企业而言, 通过流程的重组更好地实现了企业的转变。

7. 产品与过程的标准化技术

标准化技术是进行大规模定制的前期步骤和必要条件。标准化技术就是对零件、特征、工具、工艺和材料进行标准化, 以提高生产的柔性, 加快响应速度, 降低生产成本, 保证产品质量。

1.3 面向大规模定制的设计方法

设计方法用以解决具体设计过程中的设计问题。大规模定制设计概括起来就是要实现产品零部件的标准化和模块化。它继承了大规模生产的某些设计方法, 如并行设计、虚拟设计、模块化设计、标准化、规范化等, 又对一些不符合大规模生产要求的设计方法在流程和具体作法上有一定的提高和改进, 形成了一种符合新范式要求的新型设计方法。以下将介绍和大规模定制设计关系密切的并行设计、虚拟设计、模块化设计, 并重点介绍产品族设计的原理。

1.3.1 国内外大规模定制的研究现状

1993 年, 美国策略前景 LLP 公司创始人 Joseph Pine II 在其《大规模定制——企业竞争的新前沿》(《Mass Customization—the New Frontier in Business Competition》) 一书中对大规模定制的内容进行了完整的描述。2000 年, 华盛顿大学的一个专家组将 MC 视为 21 世纪的十种最具有突破性的技术之一, 此后大规模定制生产的研究一直是国外学术界研究的热点。目前国外学者关于大规模定制的研究工作主要是敏捷产品开发、业务过程重组、质量功能配置、模块化产品和过程、供应链管理等, 并围绕解决生产的大规模与定制的个性化之间的矛盾展开。

1. 敏捷产品开发

如何快速响应客户订单已经成为信息环境下传统制造企业所面临的生死攸关的问题。产品的设计开发阶段已经成为快速响应客户订单的关键。因此, 敏捷产品设计开发是大规模定制生产的关键技术。面向大规模定制的设计方法是在现有设计方法基础上发展而来, 它继承了大批量生产的设计方法中仍然能够使用的方法, 如模块化设计、标准化、规范化设计等, 又对一些不符合要求的设计方法在流程和具体作法上有一定的改进和提高, 形成一种符合新范式要求的新型设计方法。1996 年, 香港学者 Mitchell M. Tseng 与 Jianxin Jiao 首次提出大规模定制设计的概念, 并做了许多开拓性的研究工作。Mitchell M. Tseng 等试图从工程方法的角度论述了利用构建产品族结构解决大规模定制生产模式中成本与速度的问题, 并给出了产品族模型的开发过程, 提出了利用虚拟技术解决客户参与设计的方法与原型、产品定义的需求管理数据库系统方法、设计重用的方法。Mitchell M. Tseng 等试图从设计流程、设计方法、支持技术等方面, 以实现大规模定制设计为核心, 对已有设计方法进行系统的整理和改进扩展, 从而形成大规模定制生产模式下的设计理论体系。美国学者 David M. Anderson 在他的一本关于大规模定制的专著里详细论述了大规模定制模式下的敏捷产品开发过程和原型, 阐述了实现大规模定制的各种原理。

2. 业务过程工程

业务过程工程是指根据企业的战略目标和企业文化, 重新设计和优化企业的业务过程, 为客户创造更大的价值, 并通过信息技术的使用和持续的过程改进, 实现企业的持续发展。业务过程工程主要内容包括业务过程重组 (Business Process Engineering, BPR) 和持续的过程改进 (Continuous Process Improvement, CPI)。业务过程工程的目标和措施是: 增强企业核心能力, 优化组织结构和业务过程, 成本和时间的最小化, 面向业务过程的 IT 支持系统, 数据和功能的集成, 建立适当的成本控制系统。

3. 质量功能配置

面向产品族设计是设计过程中通过对已有大量顾客需求, 并结合对预测需求的分析而进行的, 它不仅仅考虑一种产品的设计实现, 而是结合产品族中拟采用的定制方法提取变型参数, 同时对一族产品进行设计的方法。其设计结果形成可变型的产品模型, 为快速设计阶段进行产品配置, 为单个客户需求进行设计实现提供基础。成功的产品族的获得需要对现有的客户需求进行系统的分析, 在 DFMC 的产品族定义中, 以质量功能配置 (Quality Function Deployment, QFD) 的方法为核心, 进行适当扩展, 对客户需求与产品的功能模块之间的关系进行整理, 将客户对产品外观、功能、性能、交货期、价格等方面的需求转化为对其实施管理和控制的工程参数 (如产品功能、性能参数和可靠性等量化指标) 和生产管理参数 (如产品开发周期、生产周期和产品总成本等), 从而对产品的定制方法和需定制的模块做出明确的定义。

4. 模块化产品和过程

在一定范围内对不同功能或相同功能不同性能、不同规格的产品进行功能分析的基础上,划分并设计出一系列功能模块,通过模块的选择和组合可以构成不同的产品,以满足市场的不同需求。模块能够用来组合成不同的产品,从而促进设计重用,节省设计成本,因此成为大规模定制设计的核心技术。产品模块化的关键在于:模块的划分和提取,模块的标准化和规范化,模块的数字化定义。

5. 供应链管理

进入 20 世纪 90 年代,供应链管理逐渐受到重视,它跨越了企业的围墙,建立的是跨企业的协作,以追求和分享市场机会。供应链管理覆盖了从企业的供应而后到客户的全部过程,包括外协和外购、制造分销、库存管理、运输、仓储、客户服务等。随着涉及的资源、环节的增加,对供应链的管理就变得十分复杂,信息技术是监控供应链所有环节的重要条件之一。供应链的管理方法和关键技术,与企业管理软件系统相结合,将形成大规模定制生产模式下供应链管理的一个完整的解决方案。

国内对于大规模定制的研究稍晚,且主要集中在对大规模定制设计的研究,目前的研究已经开始取得一系列进展。特别是以国家高技术研究发展计划 863 项目与国家自然科学基金项目为背景的研究工作,如清华大学陈国权主持的国家高技术(863)计划项目“大规模定制的实施方法及在我国企业的实证研究”(863-511-941-001),浙江大学祁国宁研究员主持的 863 项目“大批量定制生产及其关键技术分析研究”(863-511-880-001),浙江大学顾新建教授主持的 863 计划项目“面向大规模定制生产模式的现代化设计技术”(863-511-930-001),清华大学吴澄教授主持的 985 先进制造学科群重大项目子课题“大规模定制生产线调度与系统优化”,中国科学院软件研究所韩永生研究员主持的 863 计划项目“面向大规模定制生产模式的先进设计理论与方法研究”,国家基金项目“面向大规模定制的虚拟企业生产模式研究”(70171032/G0107),重庆大学刘飞教授主持的国家基金项目“面向大规模定制的网络化客户集成设计理论”(50175114/E05020304),大连理工大学刘晓冰教授主持的国家基金项目“面向大规模定制生产的产品敏捷设计实现方法的研究”(50175008/E05010601)等,都已取得了阶段性成果。

浙江大学祁国宁研究员、顾新建教授和中科院软件研究所韩永生、蒋平研究员首先将大规模定制的概念引入我国,并提出了符合国情的 DFMC 理论和方法,实践了对 DFMC 的各个实施环节提供信息工具支持的 DFMC 软件支持系统,并对产品分析与规划、产品模型构造、产品编码技术、大规模定制的成本分析、DFMC 集成框架和基于互联网的 DFMC、PDM 与 ERP 信息集成等方面的内容进行了研究。大连理工大学刘晓冰教授研究了产品族模型的组成和表达方法,并建立了一个适合于产品族建模的信息环境;上海交通大学的邵晓峰博士具体分析了面向大规模定制的供应链的基本特点,并从供应链的结构角度构建了基于网络的大规模定制的供应链模型;上海交通大学蒋祖华博士对产品族的设计流程、产品族中约束的层次和创建原则,以及 DFMC 的装配仿真做了大量研究工作;华中科技大学的李仁旺博士的 863/CIMS 主题资助项目(863-511-880-011)研究了可拓学优度评价方法在变型设计中的应用情况,并给出了评价的步骤。以上研究为国内大规模定制的理论和应用研究起到了非常重要的促进作用,但仍有很多具体问题尚待深入研究。

关于大规模定制生产模式及其相关技术的系统性深入研究工作目前国内刚刚开始,并形成了研究热点,国内学者在相关领域也发表了许多论文,国家已将大规模定制列为 863/CIMS 主题重大关键技术之一进行研究。