



第 5 章 智能制造系统的组成

智能制造系统是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化智能系统,在制造过程中能以一种高度柔性的方式,借助新一代信息和人工智能技术模拟人类专家的智能活动进行基于大数据的分析、推理、判断、构思和决策等,从而取代或者延伸制造环境中人的部分脑力劳动。在这一过程中,智能制造系统的构成与制造企业的功能和生产组织方式密切相关。

智能制造系统将按照现代制造企业的生产组织方式和智能制造的理念提升或塑造企业,具有自动化、数字化、智能化、集成优化和绿色化等特征。根据智能制造技术体系的总体框架(图 3.22)和智慧企业业务流程协作框架(图 3.26)可知,智能制造系统包括智能研发与设计系统、智能生产系统、智能管理与服务系统等,以及面向流程工业的智能制造系统。

5.1 制造企业的功能和生产组织方式

制造企业的本质在于它能够为社会提供产品,有效地增加社会财富。制造的含义是利用一定的资源将原材料按照特定的要求转化为产品的过程。这种转化包括物态、功能和价值 3 个层次。如果制造企业的生产没有实现产品的价值,尽管转化也造成了新的功能或具有了价值,但是由于使用价值不能发挥其作用,而只能视为是对社会资源的占有。因此,必须强调制造过程的有效性,即产品的市场价值,然后才是生产转换过程的效率。

为了实现转化过程和产品的商品价值,企业的组织结构必须要有相应的智能部门。图 5.1 是制造企业的一般模型。如图 5.1 所示,纵向是生产管理功能,主要是信息的流动;横向是物态的转化功能,是物料和信息的同时流动。为了保证这些功能的实现,制造企业的组织结构一般包含厂部、计划科、生产科、检验科、总务科、人事科、设计科、工艺科、供应科、销售科和生产车间等。

制造企业的组织结构除与企业功能有关外,还取决于生产过程。例如,我国大型制

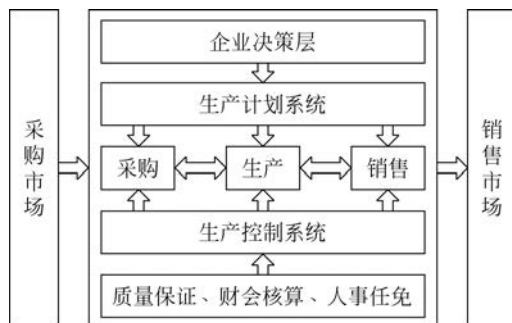


图 5.1 制造企业的一般模型

制造业通常都有铸造、锻造、热处理、大件加工、轴套加工、齿轮加工、箱体加工、板材加工、装配、运输、动力等不同性质的生产车间和部门。它们在生产过程中追求大而全，几乎产品的每一部分以及配套部件都由自己生产，但在技术、成本、质量和效益方面都比不上专业化工厂。此外，生活保障体系也是影响企业组织结构的一个重要因素。许多大中型企业在计划经济体制下具有自己的学校、医院、幼儿园等，不仅给工厂的社会后勤功能带来许多弊病，同时也占用了大量的精力和资源，造成生产率降低，加重了企业的负担。

5.1.1 传统制造企业的生产组织方式

传统制造企业的生产组织方式是以泰勒提出的以劳动分工和计件工资制为基础的分工方式，它可以克服单件生产方式的弱点。传统生产组织方式对社会结构、劳动分工、教育制度和经济发展都产生了巨大的推动作用。传统制造企业的生产组织方式的特点是：①最大的分工和简单的工作；②最小的智能工作内容；③众多的从属关系。

如图 5.2 所示，技术、人员素质和生产组织在传统制造企业的生产组织方式中没有集成，这种组织方式更强调工人要服从领导，并且每个工人通常只熟悉一种技能，同时只独立完成一种任务。工人与工人之间缺乏协同合作。

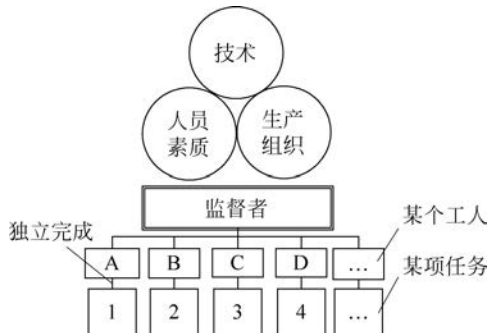


图 5.2 传统制造业的生产组织方式

在传统制造企业的建立过程中,生成组织和工艺技术通常是各自独立进行设计的。首先从工程和经济方面考虑,在理想化的制造环境中进行技术规划;然后再进行生产组织方式的规划。它是先从硬件着手,然后进行软件设计,再加入用户界面,最后实现制造系统的目标。由于技术规划的强制性,这种先技术、后组织的方法存在很多局限性和缺点,限制了生产组织设计的范围和最优方法的应用。

另外,在传统制造企业的生产组织方式中,工作设计原则是劳动效率最高,即单位时间内的产出最大。这种生产组织方式以技术为中心,在工作内容方面则是任务单一、分工明确、没有决策内容,并且生产技能单一,在人机工程方面是人附属于设备。

5.1.2 现代制造企业的生产组织方式

随着市场竞争的加剧以及信息技术对传统企业的渗入,传统的制造业生产组织方式已经不能满足要求。企业结构不仅在宏观上必须做出调整(如企业分布化、集团化、虚拟化等),在微观上也要改革。制造业传统的生产组织方式是按照泰勒的分工原则建立的,并一直沿袭至今,虽有不断改进,但本质上没有变化。

目前,传统的车间制造方式正在向柔性的自动化生产方式转变。新技术要求有新一代的工人和技术人员、新的工作设计和新的生产组织方式。每个人在工作时都要在一定程度上具备制订计划、判断决策、分析复杂系统的能力,创造不断学习新的生产技术知识的机会以及提高相互合作的品质。如图 5.3 所示,企业集成不仅是技术上的集成,更重要的是技术、生产组织和人员素质三者的集成。现代制造业的生产组织将改变传统的管理结构和泰勒分工方式,不仅用自动化实现了人机分离,而且给工人更多的自由和可能去进行创造性劳动。因此,以“人”为中心的、现代生产组织原则将遵循“尽可能适应人的心理需要”的观点:①高素质的工作人员从事熟练技术工作;②较多的智能工作内容;③管理层次较少,基层的自主性增强。

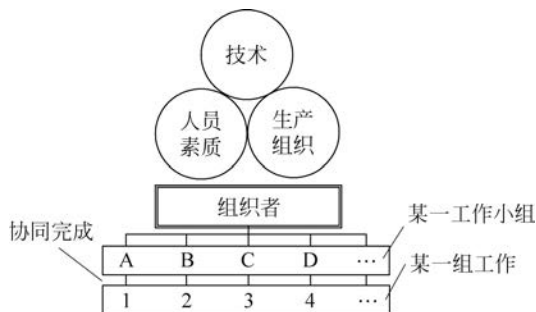


图 5.3 现代制造业的生产组织方式

在社会技术系统的设计方面,同样需要适应新形势的变化。现代社会技术系统的设计原则包括:①建立相对独立的生产组织单元,把一组任务(任务块)交给一个相对独立的生产组织单元,在以模块方式相互连接的网络中建立生产过程的组织;②制造过程和

生产组织统一,生产组织单元对产品的数量和质量全面负责;③生产单元中,各工序之间的内部关系平等,这是相互理解和支持的决定性条件;④可以自动调节波动和干扰,避免以失控的形式从一个生产组织单元转移到另一个单元;⑤单元负责人与所有成员相互合作,确保相对独立的生产组织单元的自我调节以及与外界的联系。

此外,现代社会技术系统的设计原理还提出了正确的工作设计问题。它强调在劳动中促进人类个性的发展,以人为本,并通过外界的和内在的因素激发工作人员的劳动效率。现代工作设计与传统工作设计的主要区别在于从以技术为中心过渡到以人为中心。现代企业不仅仅是生产产品,而且还要营造一个符合劳动者心理和生理需要的环境,为参与生产的人提供发展才能的机会。

5.2 智能研发与设计系统

产品研发与设计是产品形成的创造性过程,是带有创新特性的个体或群体性活动。通过智能数据分析手段获取设计需求,通过智能创成方法进行概念生成,通过多学科协同创新设计和集成、智能仿真和优化策略实现产品的性能提升,辅之以智能并行协同策略实现设计制造和用户使用信息的有效反馈,从而大幅缩短产品研发周期,提高产品设计品质。

5.2.1 研发与工艺设计系统概述

伴随着信息时代的来临,在某种意义上也可以认为世纪之交全球正在进入数字化时代,2012年,工业互联网的提出开启了数字经济时代。数字化技术是过去50年,特别是最近30年发展的技术,智能化则是未来的发展趋势,其主要特征是数字化和智能技术在生产、生活、经济、社会、科技、文化、教育和国防等各个领域不断扩大应用,并取得日益显著的效益。

数字化技术是指以计算机硬件、软件、信息存储、通信协议、周边设备和互连网络等为技术手段,以信息科学为理论基础,包括信息离散化表述、扫描、处理、存储、传递、传感、执行、物化、支持、集成和联网等领域的科学技术集合。数字化技术作为一种通用信息工程技术,具有分辨率高,表述精度高,可编程处理,处理迅速,信噪比高,传递可靠、迅速,便于存储、提取和集成、联网等重大技术优势,这些技术优势给各个领域专业技术的改造、革新提供了崭新的手段。

数字化技术和各种专业技术融合形成了各种数字化专业技术,如数字化设计技术、数字化制造技术、数字化视听技术等。相对传统制造技术,数字化制造技术是一项融合数字化技术和制造技术,且以制造工程科学为理论基础的重大的制造技术革新,是智能制造的基础。

计算机图形学与产品设计技术的结合产生了以数据库为核心,以图形交互技术为手段,以工程分析计算为主体的一体化的计算机辅助设计(CAD)系统。将CAD的产品设

计信息转化为产品的制造、工艺规划等信息,使加工机械按照预定的工序和工步的组合和排序选择刀具、夹具、量具,确定切削用量,并计算每个工序的机动时间和辅助时间,这就是计算机辅助工艺规划(CAPP)。将包括制造、检测、装配等方面的所有规划,以及面向产品设计、制造、工艺、管理、成本核算等所有信息数字化,转换为计算机能理解的语言,并被制造过程的全阶段所共享,从而形成了所谓的CAD/CAE/CAPP/CAFD(计算机辅助夹具设计)/CAM,这些系统构成了面向产品研发的数字化设计系统。

智能技术在设计链的各个环节使设计创新得到质的提升。智能设计技术应用现代信息技术,采用计算机模拟人类的思维活动,提高计算机的智能水平,从而使计算机能够更多、更好地承担设计过程中的各种复杂任务,成为设计人员的重要辅助工具,主要包括:面向多源海量数据的设计需求获取技术、设计概念的智能创成技术、基于模拟仿真的智能设计技术、面向性能优化的智能设计技术等。

本节在讨论智能制造模式中产品创新设计与研发管理模式的基础上,讨论相关的产品设计与研发系统。

5.2.2 产品创新设计与研发管理模式

1. 多学科协同创新设计与集成

在智能互联时代,多学科领域一体化性能样机建模与仿真技术是基于一体化建模语言的多学科建模与仿真集成环境,用于开展控制、机械、电子、软件等多学科领域一体化建模与仿真分析(图5.4),实现产品多学科一体化快速原型设计。按照控制、机械、电子、软件等不同专业,建立用于多学科领域一体化功能建模与仿真分析的模型库。

在复杂产品性能样机的开发过程中,需要对设计过程中的技术、方法和工具进行集成,实现各学科领域知识的综合集成。尽管不同学科涉及的开发对象和领域等有所不同,但从设计和开发过程的管理角度看,都存在相同的分阶段的生命周期,如分析、设计、仿真、优化、组装和测试等阶段。所以,需要开发统一的产品协同开发方法实现全生命周期的产品开发,需要在统一的框架内研究。建模是人类对客观世界和抽象事物之间联系的具体描述,通过应用统一建模技术实现航天产品数字化性能样机统一建模与设计。基于数字样机的协同制造技术研究以型号产品生产制造流程为主线,贯穿工艺协同审查、工艺规划、工艺设计、工装设计、虚拟制造仿真、零部件数字化制造实现等各主要环节,以数字样机作为产品制造依据。

在复杂产品数字性能样机的全生命周期协同设计与制造过程中,一般以科研生产流程为主线,结合各类设计模型,需要建立满足面向全生命周期、基于数字样机的一体化设计工作流程和综合集成服务平台,以多学科协同集成设计与仿真流程,实现数字性能样机一体化设计与仿真过程中的研讨、设计、建模、优化、仿真、评审和决策,形成统一的满足面向全生命周期、基于数字样机数字化设计工作流程和支持总装厂和分系统厂(所)间的协同制造应用系统。总体设计部进行复杂产品的总体设计,并形成分系统的设计任务模型,以便于各总装厂进行工艺、工装和产品模型的设计,应用组织建模,建立部门及人

员的组织模型,提供组织管理、角色定义、职级资格定义、用户扩展属性定义、组织扩展属性定义等功能。定义角色的各种与产品数据管理(PDM)中权限和任务等功能相关联的基本属性。应用数据建模,建立 PDM 中需要管理的产品数据的类型定义。提供对企业数据字典、对象类树、对象类属性定义及属性项的关联填写方法,提供文档模板定义及各类文档的编辑工具、浏览圈阅工具,提供关联视图定义个性化工作界面,提供对象目录定义动态地管理当前关注的对象集合。

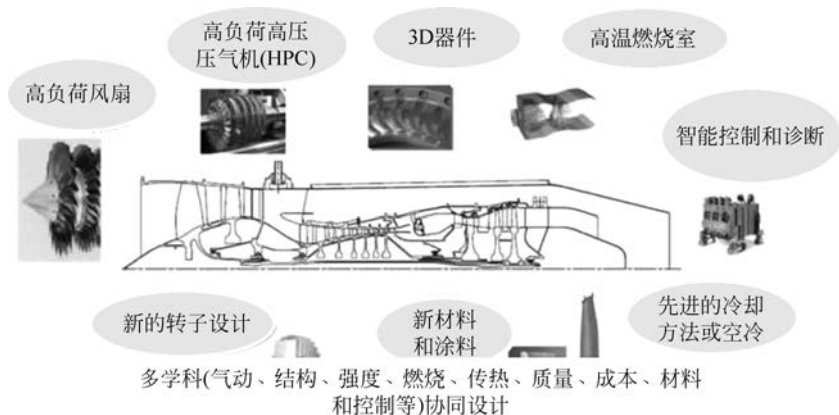


图 5.4 多学科协同创新设计与集成

2. 产品创新设计与研发管理模式

创新管理模式是创新过程的制度化体现。到目前为止,有 6 代创新管理模式被广泛实践(图 5.5)。第一代:以技术创新为动力线性驱动;第二代:以市场需求为动力拉动;第三代:公司各部门更主动地参与创新过程;第四代:价值链上下游在创新过程中合作;第五代:客户参与部分创新过程(如 beta 版产品试用);第六代:“开放式创新”,企业从各种渠道获取创新思路和技术,同时对本公司不使用的技术,也通过一些方式让其他人使用。前三代创新模式基本是封闭的,完全由公司内部完成产品创新。后三代模式在创新过程中逐渐加入更多的外部元素,因此开放程度越来越高。随着互联网的普及,消费者的创新热情和创新能力彰显出更大的能量和商业价值,以“用户创造”为代表的创新民主化成为新趋势。

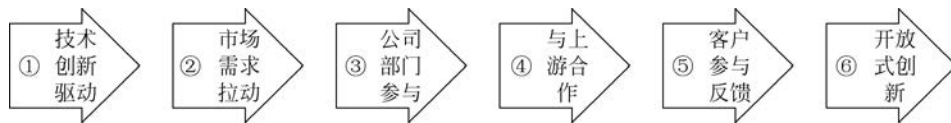


图 5.5 产品创新设计与研发管理模式

一般来说,无论采用哪种创新模式,产品创新的过程都主要包括图 5.6 所示的 5 个阶段,每个阶段分别完成如下任务。

(1) 产品策划:产品的初步创意的形成,并对创意进行筛选。主要解决以下问题:确

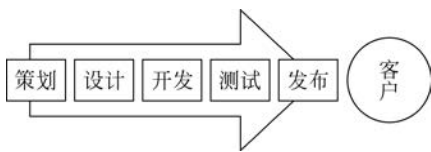


图 5.6 产品创新设计过程

定产品的可行性、产品的特点,确定目标客户群是谁以及如何找到他们,确定产品在市场的定位。

(2) 产品设计:把经过筛选后的产品创意进一步设计成比较完善的产品概念,全面确定整个产品策略、外观、结构、功能,并确定生产系统的布局。清晰的产品设计为企业内部和外部的交流提供了基础,从而进行可行性分析。

(3) 产品开发:这是产品从设计转化为具体产品的阶段,主要任务包括:产品关键技术的研发,进行产品开发和解决工艺问题,并提出完整的测试方案、生产方案和产品规格。

(4) 产品测试:主要包括产品功能测试、客户和市场测试。产品功能测试就是验证产品能否达到试验产品预先的功能及参数要求。客户和市场测试是测定创新产品满足客户需求的程度,并征求他们对样品的意见、对价格的反应等。

(5) 产品发布:根据产品的测试和对市场的预测决定全面推向市场,建立销售渠道进行大规模销售。

3. 基于移动互联网的产品创新设计与研发模式

1) 开放式创新(Open Innovation)

Chesbrough 首次阐述了“开放式创新”的概念和理论。他认为,在一个知识被广泛传播的扁平世界,公司不能仅依赖本公司的研发力量,应该在公开的市场获取创新灵感,同时对本公司不使用的发明,也应该通过一些措施让其他人使用。可以说,开放式创新模式主要体现了企业的创新思路来自外部以及创新成果能够被外部更好地利用的情景。

互联网的本质是开放和共享,因而为开放式创新提供了新的平台。Von Hippel 认为,客户是创新的重要源泉,而互联网为客户的参与提供了渠道和便利条件。Dominik Mahra 和 Annouk Lieven 认为,通过网络虚拟社区,企业可以以较低的成本获得领先用户。这些具有专业知识的领先用户可以参与产品的改进,而不是仅提出自己的需求,从而有效地参与到企业产品开发中。企业应该建立一个与开放源社区、客户支持中心不同的虚拟领先用户社区(Virtual Leading User Community, VLUC),来更好地进行用户创新。在开放式创新中,用户成为企业的发明者或合作发明者,在创新系统中扮演了重要角色,企业可以通过用户参与创新进行创新资源的搜集。

2) 众包理论

2006 年,Jeff Howe 首次使用 crowd sourcing(众包)一词,并对其内涵进行了阐述:“众包”是指一个公司或机构把过去由员工执行的工作任务,经由网络以自愿方式外包给

非特定的大众做法。“众包”有 3 个基本特征：基于互联网、开放式生产、自主参与和自主协作。

“众包”是基于个人的选择，其参与者具有自主性，体现出一种公众的参与式文化。Clay Shirky 运用认知盈余的概念解释在互联网时代用户参与众包的原因。因为有大量受过教育，并拥有自由支配时间的人，他们有丰富的知识背景，同时有强烈的分享欲望，这些人将碎片时间汇聚在一起，产生巨大的社会效应。一些互联网公司（如 Meta）成功的关键是具备认知盈余的广大客户参与。他还强调“领先用户创新”思路，即并不是由产品的设计者，而是由该产品最活跃的使用者来推动产品创新。在追求“个性化”的时代，消费者越来越不甘于只做单纯的消费者、产品的接受者，他们越来越希望加入到产品的创新、设计、制作等过程中，拥有与众不同的个性化产品。以实现“用户创造”为主要价值诉求的众包，正成为处于激烈竞争中的企业进行产品创新的另一种模式。网络技术的发展为众包提供了技术条件和平台，在缩减与用户之间时间与空间距离的同时，也降低了参与的成本与门槛。

3) 长尾理论

长尾理论由美国学者 Chris Anderson 首先提出，他认为用户对产品性能的需求呈现长尾状的帕累托分布。在大工业时代，便宜的大众产品只有最通用的几种功能，而特别设计的小众产品是价格昂贵的奢侈品，仅供精英人群享用。在互联网时代，厂商可以设计很多价廉物美的个性化小众产品，然后通过互联网向分布广泛的消费者出售，也可以设计一款功能丰富的产品，为按长尾分布的广大消费者提供满意的产品。一些学者认为，实施长尾策略的公司有如下特征：①都是依托互联网技术的企业，它们利用长尾理论开拓新市场，有利于避免同质化竞争；②互联网的特征使得这些企业的产品或者服务的存储和传播成本降低；③这些企业的成功都是建立在一个庞大的用户群的个性化需求基础上的；④个性化需求定制和不断创新往往占据主导地位。

4) 精益创业

开放式创新和众包模式主要阐述了用户参与创新过程的价值。精益创业理论提出了一套严谨的方法，描述如何能够让客户在参与创新的过程中减少产品开发的失败，使开发的产品快速升级换代。该理论认为，在新产品和新技术市场前景不确定的情况下，应对不确定性的有效方法是小步试错。精益创业的思路是：首先提出一个产品价值和增长的假设前提，预测将要发生的事情，接着再用实证进行验证，然后循环往复。其要点是：尽早邀请客户参与产品研发、用最小可行产品（Minimum Viable Product, MVP）试探潜在客户的真正需求、用最合适的指标测量价值假设和增长假设、迭代开发产品、最终找到契合市场的产品（product to market fit）、好产品需要有自增长特性、如果在这个过程中不能找到产品市场位置，就转型。由此可见，“精益创业”是一种低成本运行、快速产出的新型组织形式，它有 3 个特征：高效、不浪费、对市场快速反应。精益创业模式由敏捷软件开发方式演化而来，互联网为实施这些迭代创新模式提供了优越的条件。

4. 基于(移动)互联网的产品创新设计与研发方法

产品创新过程按策划、设计、开发、测试、发布这几个阶段进行分解,结合:①互联网生态环境下产品创新的过程和方式;②在产品创新的过程中客户如何参与到产品创新中;③互联网生态环境下产品创新模式呈现什么样的特点和优势等问题,构建出在互联网生态环境下通信产品创新设计与研发的新方法。

1) 无缝开放式创新设计与研发方法

整体来说,公司研发团队分成两个层级(图 5.7):大产品团队以及下面的若干个小产品功能团队。产品功能团队是日常运作核心,每个小团队包括产品经理、设计师、开发工程师、测试、运维、论坛客服等职能,少则 3 人,最多 10 人,完成一个功能从策划到发布的完整过程。在此基础上,构建无缝开放式创新(seamless open innovation)设计与研发方法。

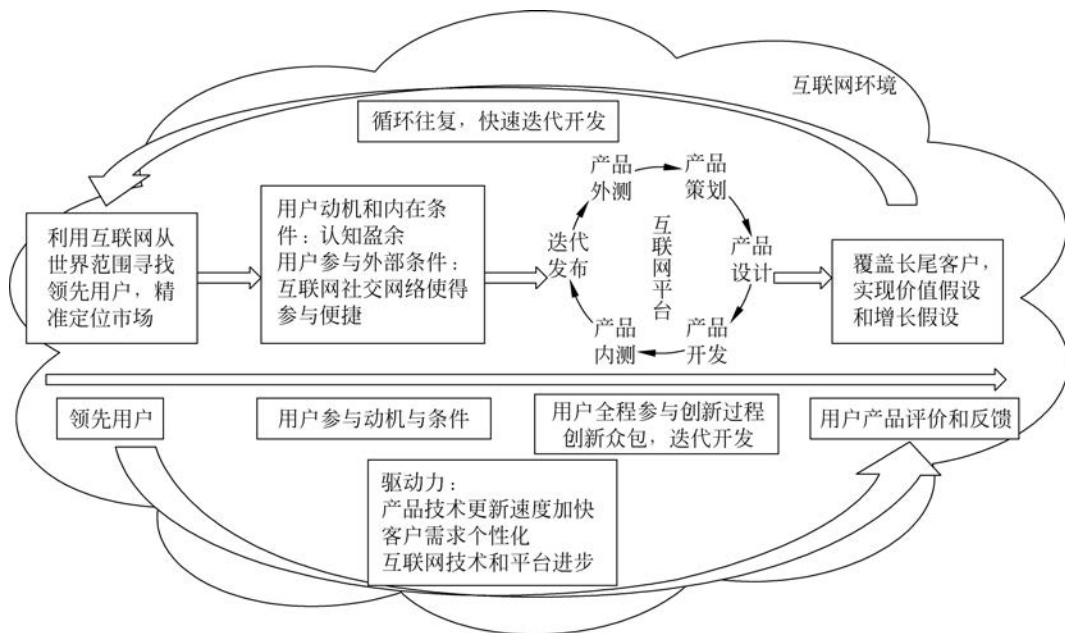


图 5.7 无缝开放式创新设计与研发方法

首先,找到合适的领先客户是客户参与创新的关键步骤。领先用户有几个主要价值:①明确的需求信息,他们可以清晰地描述出他们的需求,这是一般用户难以做到的;②帮助公司开发新产品和服务的原型与概念;③加速新产品的开发过程,并帮助公司降低成本。同时,辨识用户的需求,企业可以通过虚拟社区与客户及时沟通。互联网让企业从世界范围寻找领先客户,并使与他们的密切沟通变得快速和低成本。

用户愿意参与产品创新的动机多样化,一些学者的研究表明:用户参与创新的动机有:①经济回报;②对创新的内在兴趣、心理需求;③获得知识和技能;④社会交往以及其他动机,如极低的加入门槛、关注度等。小米公司的案例证实了客户重视参与感和成就感,享受创新的过程、重视创新所创造的价值。

另外,现代消费者有大量的零碎时间,可以利用其认知盈余参与到他自己感兴趣创新的活动中,互联网让他们的奉献成本很低,对于公司来说,聚沙成塔效果显著。用户参与产品创新流程的一个显著特征是从“信息贡献者”向“过程参与者”的角色转变。在这一过程中,企业需要提供相应的平台,便于客户参与创新。互联网对用户创新的推动作用并非简单地提高效率和提供工具,它让用户之间的互动与协作关系出现了网下所不曾有过的新特征,如平等、受尊重、为社会创造额外价值等。

企业开发出“最小化可行产品”后,然后卷入用户全程参与策划、设计、开发、测试和发布的全过程,从而不断改进产品,实现产品的快速迭代升级。这种创新方式已经有几个版本的变种,如敏捷开发、精益创业等。产品快速迭代模式最重要的特点是在产品创新的全过程(而不是其他模式的产品创新部分阶段)实现众包。

该模式的主要特征是:①小团队完成从策划到发布的整个流程,快速迭代、循环往复;②用户全程参与产品创新的每个步骤;③全面、高效地利用互联网生态环境。

2) 与传统开放式创新及传统产品创新管理流程的特征比较

在这个过程中,①产品创新全程对客户开放,利用互联网打通了公司的内部整个产品团队和客户之间的墙,而不是像传统的“开放式创新”仅主要解决创新思路来源和创新成果利用的问题;②产品创新过程的迭代开放和循环往复性,让产品创新过程的每个阶段无缝对接,而不是传统产品创新管理的阶段性、线性化过程。表 5.1 显示了无缝开放式创新、传统开放式创新及传统产品创新管理流程的特征比较。

表 5.1 无缝开放式创新、传统开放式创新及传统产品创新管理流程的特征比较

无缝开放式创新	传统开放式创新	传统产品创新管理流程
不仅创新思路来自客户和其他外部人员,产品创新全过程都把客户卷入进来,整个产品开发团队在产品开发各阶段都与客户无缝合作 创新过程采用小团队,每个创新步骤无缝对接,迭代开发、循环往复,速度快、容错性较好、成本低,充分利用互联网生态环境和最新社交媒体工具,聚焦互联网新生代客户群的生活方式	传统开放式创新强调两个创新开放点: ①创新思路来源于公司外的客户和其他人;②公司不用的创新成果转让给第三方	产品策划、设计、开发、测试、发布阶段呈现线性流程。创新过程是公司内部行为,与客户有明显的“墙”。另外,产品创新各阶段往往分别由不同部门完成,部门之间也有“墙”。因此,封闭性强、周期长、成本高

3) 互联网时代的“无缝开放式创新”的特征

(1) 开放众包充分挖掘利用客户的认知盈余。

在产品开发过程中,重新分解创新功能,广泛地邀请客户成为志愿者(付很少一部分费用)参与产品创新的众包过程,让客户在产品创新的每个阶段都起到重要作用,实现产品创新团队与客户的无缝合作。

(2) 迭代创新快速推出新产品。

产品创新采用小团队完成从策划到发布的全过程,实现全流程无缝对接和管理,迭

代开发、循环往复,速度快、容错性较好、成本低。在快速迭代的每个阶段都“开放众包”,让大量客户参与产品创新设计过程。

(3) 充分利用互联网生态环境。

充分利用最新的互联网工具和平台,让产品设计、制作、发布以致销售的过程都在互联网环境下完成。

5.2.3 产品研发与工艺设计系统

产品研发与工艺设计系统的核心或基础是工程设计系统(Engineering Design System,EDS),即确定产品设计项目目标及其实现,并在智能制造哲理的指导下更快地开发新产品、缩短产品设计周期的集成产品开发系统。现代制造企业的竞争优势不仅来自于出色的管理水平和营销策略,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。从企业活动的基本价值链中可以看出,技术变革是企业获得竞争优势的主要驱动力之一,产品的开发设计能力以及其设计周期和上市时间直接决定其在市场上的同类产品间的竞争力和对市场的占有率,因此,产品研发与工艺设计系统在制造系统中的地位十分重要。

1. 产品研发与工艺设计系统的结构及组成

产品研发与工艺设计系统一般包括 CAD、CAPP、CAFD 和 CAM 4 个子系统。来自 CAD 的信息经 CAPP 子系统后得到有关零件加工工艺信息和工装夹具的设计信息,再分别传递给 CAFD 子系统和 CAM 子系统,最后得到各工序的工装夹具图纸信息和加工刀具文件、NC 代码等加工信息。

产品研发与工艺设计系统的系统结构如图 5.8 所示。

产品研发与工艺设计系统不仅要接收和处理大量的设计信息,而且还要实现从工程设计、工艺特征提取、工艺过程设计、夹具设计到制造与装配等大量信息和功能的集成与并行。因此,通常采用 PDM 作为并行设计的信息集成框架,并由网络和数据库提供有力的支持。工程设计自动化分系统的特点包括:

(1) 采用统一的数据标准,建立一个完整统一的产品数据模型,并将其存放在一个共享数据文档或数据库中。任一阶段的设计数据修改信息都能够直接反映到其他子系统的工作中,保证了产品数据的一致性和可跟踪性。

(2) 功能上具有层次性。一方面具有最基本的功能模块,如零件特征建模、可制造性评价及工艺生成等模块;另一方面,还具备上层模块对上述各基本模块在并行模式下的工作进行控制,实现对各功能活动的管理。

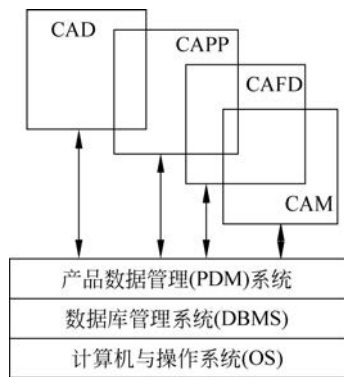


图 5.8 产品研发与工艺设计系统的系统结构

(3) 在结构上不是单一的流程形式,而是更复杂的具有反馈的双向嵌入式并行结构。制造过程中出现的问题可以直接反馈给工程设计模块进行评价和修改,缩短了产品的设计和制造周期。

(4) 在性能上则体现为更加灵活、开放的系统,表现为具有可扩展性,可以添加新的功能模块,如可装配性评价模块;同时,在不影响内部推理机制的情况下,系统数据库和知识库能够方便地扩充。

2. 产品研发与工艺设计系统功能分析

产品研发与工艺设计系统(图 5.8)有 3 方面的需求:功能需求、信息需求与性能要求。

功能需求表现在:①实现产品开发项目的有效管理。对新产品开发的整个项目流程进行管理,从参与项目的人员分配、资源配置、项目进度安排等各环节合理地确定。各子任务能及时反馈完成进度和遇到的问题,项目负责人能随时掌握项目的开发进程,及时发现问题和调整子任务的时间和节奏。②实现产品二维 CAD/CAPP 集成,主要用于产品设计的确认、修改审核、产品工艺的编制、工装设计、包装设计等。借助于计算机辅助设计软件,将产品设计、绘图、工艺设计集成,减少工作环节的滞留时间,并且使工艺设计规范化、标准化。③实现产品信息管理。根据工程设计自动化系统内部信息需要,针对产品技术资料、零件图纸、零件工艺文件、产品物料清单、产品说明书等进行有效的统一管理。依据有关人员的权限分配,合理运用技术资料,防止技术资料的混乱、丢失,保证其安全性。④工程设计自动化系统在制造系统环境下与其他系统集成,以解决信息交互的问题。作为制造系统的一个分系统,工程设计自动化系统必须在计算机通信网络和数据库环境下实现与其他分系统(特别是经营决策分系统)中的经营决策、市场需求等信息的沟通;同时,本系统还将物料清单、工艺文件等信息传递给其他相关分系统。

信息需求表现在:①工程设计自动化系统内部信息共享,如 CAD/CAE/CAM 的三维信息与二维信息的相互转换与集成,CAD 与 CAE 之间接口文件的转换等。②信息模型一致性要求。针对众多产品类型不一,需要建立一致的信息模型。③外部信息接口要求。工程设计自动化系统需要向生产科、质保科、加工中心等部门传递有关产品设计信息、工艺信息等。此外,系统应与其他系统之间有统一的通信接口,同时还需要与分布在全国各地的厂商进行信息沟通。

性能要求表现在:①实用性:系统应能解决目前技术部门以及加工中心所需解决的问题。②可靠性:工程设计自动化系统中的产品信息数据是企业的重要信息资源,必须以可靠方式进行存储,所以选用和开发的软硬件都应具有很高的可靠性。③先进性:工程设计自动化系统的体系结构、网络类型、数据库结构的设计以及软硬件配置应符合技术发展的现状和潮流,具有先进性和合理性。④可扩展性:除了充分考虑现有的信息管理接口要求,还应正确估计今后企业的发展和系统扩展的需要,在系统软硬件配置、网络选型、数据库容量等方面预留可发展的余地。⑤一致性:工程设计系统中的产品数据信息应具有一致的模型表达,在必要的环节提供各种信息转换来保证信息的一致性。

⑥易维护性：在充分考虑系统的信息分布特点,构造分布式数据库管理系统的同时,应充分考虑到系统的维护工作,建议采用具有较好的可操作性和方便性的集成式维护管理。

3. 产品研发与工艺设计系统的功能树和功能模型

根据功能需求建立的产品研发与工艺设计系统的功能树如图 5.9 所示。

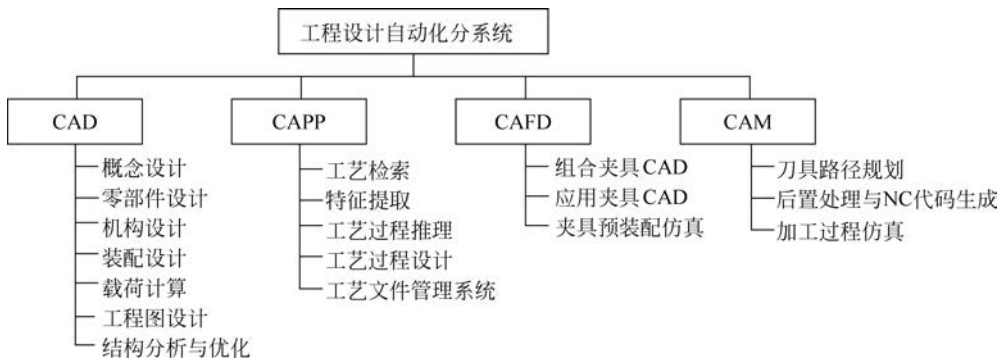


图 5.9 产品研发与工艺设计系统的功能树

CAD 子系统包括概念设计、零部件设计、机构设计、装配设计、载荷计算、工程图设计及结构分析与优化等功能；CAPP 子系统包括工艺检索、特征提取、工艺过程推理、工艺过程设计及工艺文件管理等功能；CAFD 子系统包括组合夹具 CAD、应用夹具 CAD 及夹具预装配仿真等功能；CAM 子系统包括刀具路径规划、后置处理与 NC 代码生成及加工过程仿真等功能。

IDEF0 方法表示的产品研发与工艺设计系统的功能模型如图 5.10 所示。

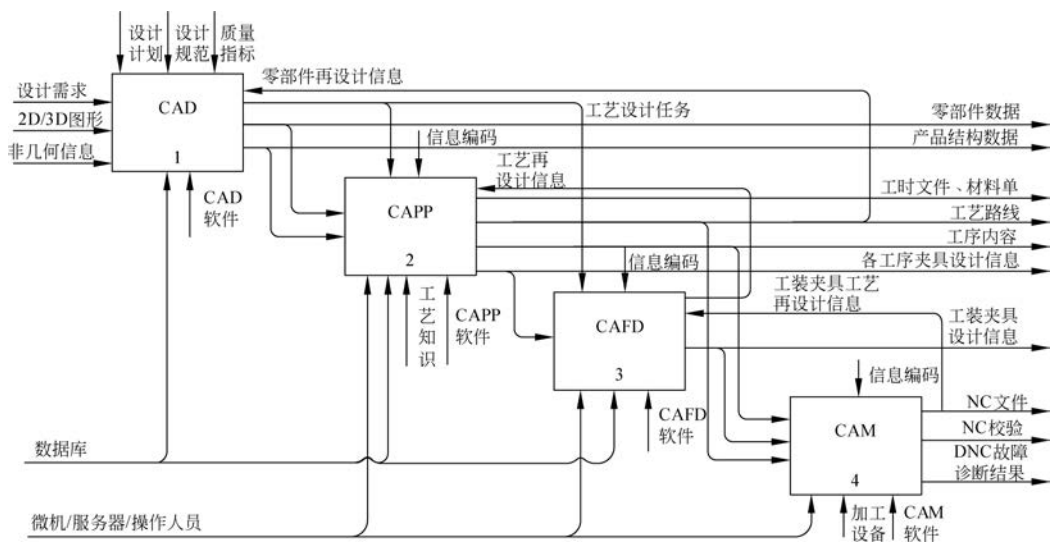


图 5.10 IDEF0 方法表示的产品研发与工艺设计系统的功能模型

4. 工程设计自动化系统与其他系统的信息接口

工程设计自动化系统的内部信息接口如图 5.11 所示。

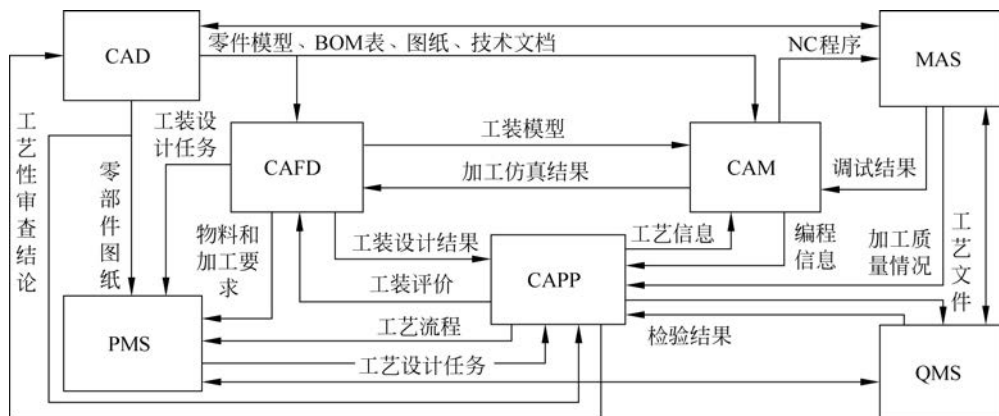


图 5.11 工程设计自动化系统的内部信息接口

从图 5.11 中可以清楚地看出系统内部数据信息的需求和流动。首先,将产品开发计划、生产经营计划管理等信息传到 CAD 子系统,由 CAD 子系统输出产品的零件模型、BOM 表、图纸、技术文档等信息,并将上述信息传给 CAFD 子系统;然后,CAFD 子系统将工装设计任务以及物料和加工要求等信息传递给生产管理系统(PMS),将工装模型和加工仿真结果传递给 CAM 子系统,同时将工装设计结果和工装评价等信息传递给 CAPP 子系统;CAPP 子系统在接收上述信息以及来自 CAD 子系统的 BOM 表和零件图纸后,将产生的工艺信息和编程信息传递给 CAM 子系统,同时将产生的工艺文件和检验结果传递给质量管理系统(QMS),将工艺设计任务和工艺流程传递给生产管理系统(PMS)。CAM 子系统则输出 NC 程序和调试结果给制造自动化系统(MAS),后者将加工质量情况等信息反馈给 CAPP 子系统,CAPP 子系统也会将工艺性审查结论反馈给 CAD 子系统。

外部信息接口如图 5.12 所示。图 5.12 中,a 表示传递给 CAD 子系统的设计信息,包括设计计划、设计周期、材料、产品零部件模型等; b 是 CAPP 子系统传递给 PMS 的信息,包括工艺规程、铸锻件明细表、标准件明细表、外协件和外购件明细表、产品配套明细表、材料消耗工艺定额明细表、部件配套明细表、工装设计申请表以及工额定额等; c 是 CAPP 子系统传递给 QMS 的技术文件(如产品技术条件、测试大纲等)、工艺规程和关键件的质量会签等信息; d 是 CAPP 子系统传递给 MAS 的信息,包括工艺规程、车间分配表、生产图纸、部件配套产品明细表以及材料消耗工艺定额明细表等; e 是 CAFD 子系统传递给 PMS 的信息,包括工装明细表、工装设计图纸、工装物料需求等; f 是 CAFD 子系统传递给 QMS 的工装设计信息; g 是 CAFD 子系统传递给 MAS 的工装明细表信息; h 是 PMS 传递给 CAM 子系统的与工艺有关的不合格产品信息; i 是 PMS 传递给 CAPP

子系统的材料信息和制造资源信息；j 是 QMS 传递给 CAFD 子系统的工装检验结果信息和产品质量信息；k 是 MAS 传递给 CAPP 子系统的工艺可行性报告；l 是 MAS 传递给 CAFD 子系统的工装试用反馈信息；m 是 MAS 传递给 CAM 子系统的加工能力反馈信息和 NC 文件。

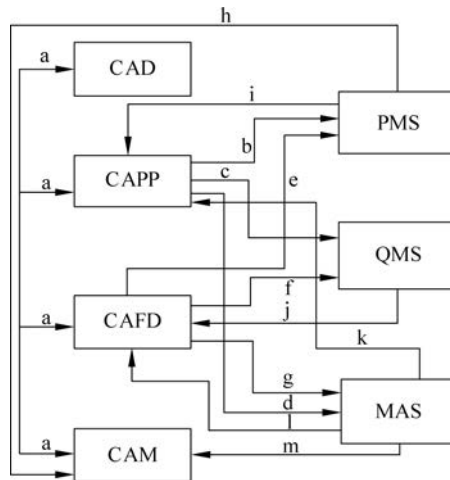


图 5.12 外部信息接口

5. 产品研发与工艺设计系统的发展趋势

1) 智能化

把人工智能的思想、方法和技术引入传统的 CAD/CAPP/CAM 系统中,分析、归纳设计方法和工艺知识,模拟人脑的思维和推理提出设计和工艺方案,从而可以提高设计水平、工艺水平,缩短周期,降低成本。十多年来,以知识工程为基础的专家系统的出现给 CAD、CAPP、CAM 的研究带来新的启发,并且取得了显著的成效。它们使新的工程设计系统具有一定的智能能力,在一定程度上可以提出和选择设计方法与策略,使计算机能够辅助和支持包括概念设计与构形设计在内的设计过程的各个阶段。

2) 虚拟化

在工程设计自动化系统中引入虚拟现实技术,通过基于自然方式的人机交互系统,利用计算机生成一个虚拟环境,并通过多种传感设备,使用户在身临其境的感觉中与可视化的设计参数进行交互,完成虚拟制样、工程分析、虚拟装配和虚拟加工。通过高度逼真的三维计算机虚拟模型来模拟和预测产品的功能、性能和可加工性等方面可能存在的问题,从而提高人们的预测和决策水平,降低企业的成本和投资风险。

3) 网络化

CAD、CAM、CAPP 作为计算机应用的一个重要方面,离不开网络技术。只有通过网络互联,才能共享资源和协调合作,实现数据的共享和交换,减少中间数据的重复输入输出过程,加速新产品开发,提高企业在市场中的竞争能力。从某种意义上讲,网络化设计

就是数字化设计的一种全球化实现。

4) 并行化

采用传统的串行开发模式开发产品,在设计的早期阶段不能很好地考虑产品生命周期中的各种因素,不可避免地造成较多次设计返工。并行工程则是集成的、并行地设计产品及其相关过程的系统化方法。在产品的设计期间,并行地处理整个产品生命周期中的关系,消除了由串行过程引起的孤立、分散,最大限度地避免了设计错误。

5) 集成化

CAD/CAE/CAPP/CAM 信息集成技术是解决在现有商品化 CAD 系统下,通过特征技术实现 CAD 与下游 CAPP、CAM 等应用系统信息集成的有效方法。这一技术的研究与开发在一般企业应用计算机辅助设计提高产品开发和生产效率方面也有广泛的应用前景。另一方面,随着并行工程、敏捷制造和虚拟制造等概念和方法的出现,要求集成平台不但能够支持企业的信息集成,还能支持企业的功能集成和过程集成。集成平台应当提供开放的、面向应用领域的应用集成接口,实现应用间的功能集成。随着企业经营过程分析和使能技术的发展,过程集成已经逐渐付诸实施,其中基于 workflow 管理方式实现过程集成是一个可行途径。

5.2.4 基于产品定义模型的智能研发和设计方法

如图 5.13 所示,基于模型的设计(model based design)是一个用集成的三维实体模型来完整表达产品定义信息的方法,详细规定了三维实体模型中产品尺寸、公差标注规则和工艺信息的表达方法。这不是一个软件,不是简单的一个工具,而是一个全新的管理思想,完全不同的业务模式,软件、工具等只是这个管理思想的实现方式。基于模型的设计在实现上主要有 4 方面的关键技术:数字化设计、数字化工艺、数字化制造和单一数据源下的协同环境。

基于模型的设计开始于基于模型的定义(Model Based Definition, MBD),在产品全生命周期重用该模型,继而在企业范围内形成基于模型的企业。图 5.14 给出了 MBD 驱动的产品全生命周期过程。

基于模型的企业(Model Based Enterprise, MBE)的关键问题在于“数据共享问题”,数据不可能始终在一个 CAD 系统(如 CATIA、Creo、NX、Solid works、Inventor、AutoCAD、3ds Max、Solid Edge 等)中,必须实现产品数据传递和管理。现在,国际上存在一系列有代表性的数据交换格式,如美国的 IGES,德国的 VDAIS、VDAFS,法国的 SET 等。图 5.15 给出了基于 IGES 的产品模型转换过程。

通过转换,将数据转换成简化的通用格式(如 3D PDF 文件),MBD 不仅贯穿于整个制造过程,而且可以实现数据在企业经营的所有阶段(如图 5.16 所示的方案、概念设计、初步设计、详细设计、生产、维护与回收等阶段)的传递、重用和展示。

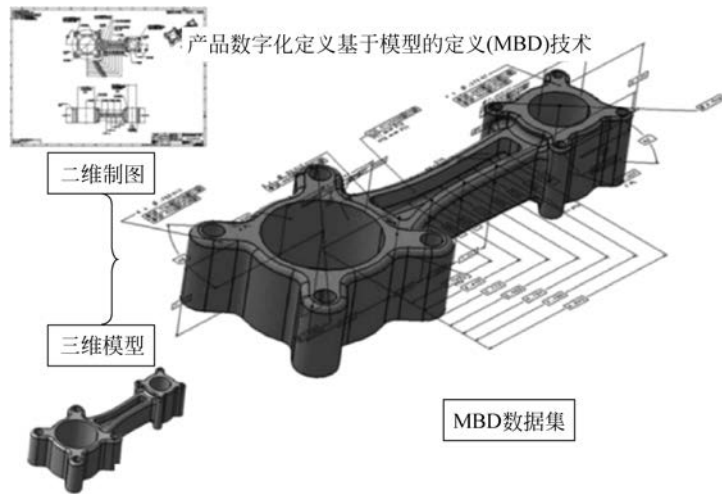


图 5.13 基于模型的设计技术



图 5.14 MBD 驱动的产品全生命周期过程

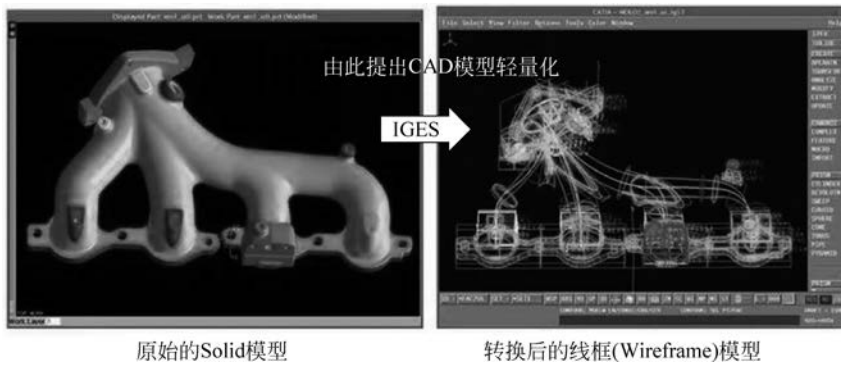


图 5.15 基于 IGES 的产品模型转换

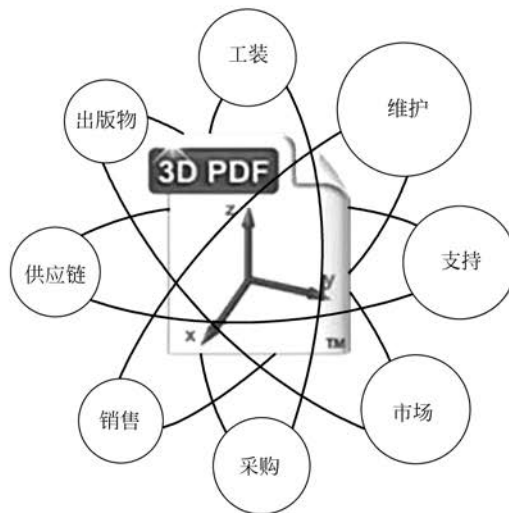
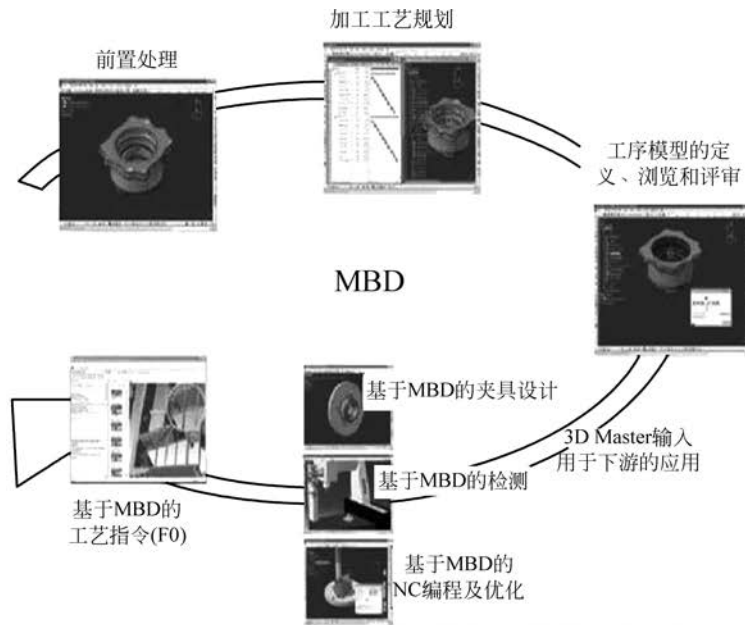


图 5.16 面向 MBE 产品模型的传递和重用

5.3 智能生产系统

智能生产系统的核心或基础是制造自动化系统(Manufacturing Automation System, MAS),根据产品工程技术信息、车间层加工指令,结合车间物流和刀具管理系统,完成对零件毛坯加工的作业调度及制造,使产品制造活动得以优化,具有周期短、成本低、柔性高的特点。

5.3.1 智能生产系统的组成

智能生产系统是工厂信息流和物料流的结合点。在现代企业中,智能生产系统由不同的生产车间组成,车间是智能生产系统的核心。智能生产系统由完成产品制造加工的设备、装置、工具、人员、相应信息、数据以及相应的体系结构和组织管理模式等组成,具体包括车间控制系统、加工系统、物料运输与存储系统、刀具准备与储运系统、检测和监控系统等。

1. 智能生产系统的组成及结构

1) 车间控制系统

车间控制系统由车间控制器、单元控制器、工作站控制和自动化设备本身的控制器以及车间生产、管理人员组成。

根据美国国家标准与技术研究院的自动化制造研究实验基地(Automated Manufacturing Research Facility, AMRF)提出的五层递阶控制结构参考模型,将车间控制系统分为车间层、单元层、工作站层和设备层(图 5.17)。

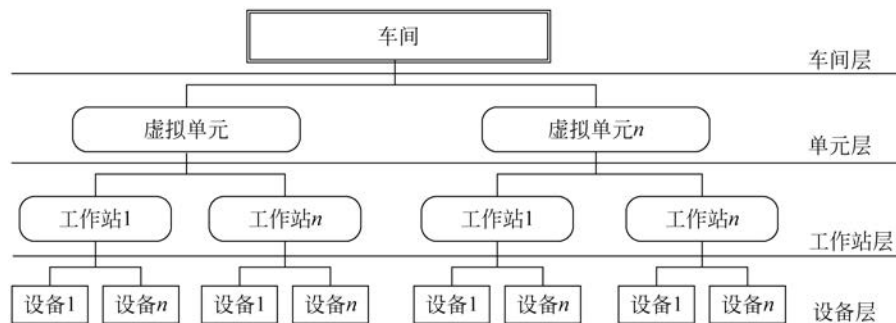


图 5.17 车间控制系统的递阶控制体系结构

车间层是车间控制系统的最高级,主要任务是根据工厂下达的生产计划进行车间作业分解和作业调度,并反馈车间有关的生产信息。车间控制器是车间层控制系统与外界交换信息的核心与枢纽,具有三大功能:①计划:根据 MIS 下达的主生产作业计划和 EDS(工程设计系统)提供的生产工艺信息制订车间某时期内的生产计划。②调度:根据

各生产单元的计划完成情况对单元之间的生产任务和资源分配做适当的调整,保证车间任务按期完成。③监控:监视各单元在生产过程中出现的各种异常现象,并将异常信息及时反馈给调度模块,供其决策。

单元层同时兼有计划和调度的功能,其控制周期从几小时到几周,完成任务的实时分解、调度、资源需求分析,向工作站分配任务及监控任务的执行情况,并向车间控制器报告作业完成情况和单元状态。单元控制器在向单元内的各加工设备分配任务时,必须考虑各设备的加工能力和加工任务的均衡分配。单元控制器遇到无法解决的故障时,则向上一级的车间控制器实时反馈信息,进行单元间的任务调整。

工作站层负责指挥和协调车间中某个设备小组的活动,如加工工作站、毛坯工作站、刀具工作站、夹具工作站、测量工作站和物料存储工作站等。其控制周期可以从几分钟到几小时,其主要功能是根据单元控制器下达的命令完成各种加工准备、物料和刀具运送、加工过程监控和协调、加工检验等工作。

设备层包括机床、加工中心、机器人、坐标测量机、自动引导车等设备的控制器。控制周期一般从几毫秒到几分钟,是车间控制系统中实时性要求最高的一级。设备控制器的功能是将工作站控制器命令转换成可操作的、有顺序的简单任务运行各种设备,完成工作站层指定的各类加工、测量任务,并通过各种传感器监控这些任务的执行信息。

2) 加工系统

加工系统是 MAS 的硬件核心。常见的加工系统类型有:刚性自动线、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、柔性制造线(FML)和柔性装配线(FAL)等。

刚性自动线一般由刚性自动化加工设备、工件输送装置、切削输送装置和控制系统等组成。加工设备有组合机床和专业机床,它们针对某一种或某一组零件的加工工艺而设计、制造,可以采用多面、多轴、多刀,对固定一种或少数几种相似的零件同时加工,所以自动化程度和生产效率均很高。应用传统的机械设计和制造工艺方法,采用刚性自动线可以进行大批量生产。但是,其刚性结构导致实现产品品种的改变十分困难,无法快速响应多变的市场需求。

柔性制造单元(FMC)由 1~3 台数控机床或加工中心、工件自动输送及更换系统、刀具存储、输送及更换系统、设备控制器和单元控制器等组成。单元内的机床在工艺能力上通常是相互补充的,可混合加工不同的零件。FMC 具有独立自动加工的功能,可实现某些零件的多品种和小批量的加工。FMC 具有单元层和设备层两级计算机控制,对外具有接口,可以组成柔性制造系统。

柔性制造系统(FMS)是在加工自动化的基础上实现物流和信息流的自动化,其基本组成有:自动化加工设备(如数控机床、加工中心、车削中心、柔性制造单元等)、工件储运系统、刀具储运系统、多层计算机控制系统等。此外,FMS 的组成还可以扩展为:自动清洗工作站、自动去毛刺设备、自动测量设备、集中切削运输系统、集中冷却润滑系统等。FMS 能够根据制造任务或生产的变化迅速进行调整,具有柔性高、工艺互补性强、可混合加工不同的零件、系统易于局部调整和维护等特点,适合于多品种、中小批量零件的

生产。

柔性制造线(FML)由自动化加工设备(如数控机床、可换主轴箱机床等)、工件储运系统和控制系统等组成。FML同时具有刚性自动线和FMS的某些特征。在柔性上接近FMS,在生产率方面则接近刚性自动线。

柔性装配线(FAL)通常由装配站、物料输送装置和控制系统等组成。装配站可以是可编程的装配机器人、不可编程的自动装配装置和人工装配工位。物料输送装置由传送带和换向机构组成。根据装配工艺流程,FAL将不同的零件或已装配好的半成品输送到相应的装配站。

3) 物料运输与存储系统

物料运输与存储系统由运输设备和存储设备组成。物料运输与存储系统负责制造过程的各种物料(如工件、刀具、夹具、切屑、冷却液等)的流动,它将工件毛坯或半成品及时准确地送到指定的加工位置,并将加工好的成品送进仓库或装卸站。物料运输与存储系统为自动化加工设备服务,使自动化系统得以正常运行,以发挥其整体效益。

工件输送设备包括:①传送带:广泛用于MAS中工件或工件托盘的输送,传送带有步伐式、链式、辊道式、履带式等形式。②运输小车有:有轨小车、自动导向小车、牵引式小车和空中单轨小车四种。运输小车能运输各种轻重和各种型号的零件,具有控制简单、可靠性好、成本低等特点。③工业机器人:是一种可编程的多功能操作器,用于搬运物料、工件和工具,或者说是一种通过不同的编程,以完成各种不同任务的设备。工业机器人有焊接机器人、喷漆机器人、搬运机器人、装配机器人等几种。④托盘及托盘交换装置:在MAS中实现工件自动更换,缩短消耗在更换工件上的辅助时间。托盘是工件和夹具与输送设备和加工设备之间的接口,有箱式、板式等多种结构。

物料存储系统包括:工件进出站、托盘站和自动化立体仓库。自动化立体仓库主要由库房、货架、堆垛起重机、外围输送设备、自动控制装置等组成。自动化立体仓库是一种先进的仓储设备,目的是将物料存放在正确的位置,以便于随时向制造系统提供物料。自动化立体仓库的特点有:①利用计算机管理,物资库存账目清楚,物料存放的位置准确,对MAS系统物料需求响应速度快;②与搬运设备(如AGV、有轨小车、传送带等)衔接,可靠及时地提供物料;③减少库存量,加速资金周转;④充分利用空间,减少厂房面积;⑤减少工件损伤和物料丢失;⑥可存放的物料范围广;⑦减少管理人员,降低管理费用;⑧耗资比较大,适用于具有一定规模的生产。

4) 刀具准备与储运系统

刀具准备与储运系统为加工设备及时提供所需的刀具,能按照要求在各个机床之间进行刀具交换,对刀具具有运输、管理和监控的能力。刀具准备与储运系统由刀具组装台、刀具预调仪、刀具进出站、中央刀具库、机床刀库、刀具输送装置和刀具交换机构、刀具计算机管理系统等组成。

在组合机床和加工中心上广泛使用模块化结构的组合刀具。组合刀具由标准化的刀具组件构成,在刀具组装台完成组装。组合刀具可以提供刀具的柔性,减少刀具组件

的数量,降低刀具成本。刀具预调仪由刀柄定位机构、测量头、Z/X 轴测量机构、测量数据处等几部分组成。组装好一副完整的刀具后,上刀具预调仪按照刀具清单进行调整,使其几何参数与名义值一致。刀具经预调和编码后,送入刀具进出站,以便进入中央刀具库。中央刀具库用于存储 FMS 加工所需的各种刀具及备用刀具。中央刀具库通过刀具自动输送装置与机床刀库连接起来,构成自动刀库供给系统。机床刀库用来装载当前工件加工所需的刀具,刀具来源可以是刀具室、中央刀具库和其他机床刀库。刀具输送装置和刀具交换机构的任务是为各种机床刀库及时提供所需的刀具,并将磨损、破损的刀具送出系统。刀具的自动输送装置主要有带有刀具托盘的有轨或无轨小车、高架有轨小车、刀具搬运机器人等类型。

5) 检测和监控系统

检测和监控系统的功能是保证 MAS 正常可靠运行及加工质量。检测和监控的对象有加工设备、工件储运系统、刀具及储运系统、工件质量、环境及安全参数等。在现代制造系统中,检测和监控的目的是要主动控制质量,防止产生废品,为质量保证体系提供反馈信息,构成闭环质量控制回路。

检测设备包括传统的工具(如卡尺、千分尺、百分表等)或者自动测量装置(如三坐标测量机、测量机器人等)。检测设备通过对零件加工精度的检测来保证加工质量。零件精度检测过程可分为工序间的循环检测和最终工序检测。采用的检测方法可以分为接触式检测(如采用三坐标测量机、循环内检测和机器人辅助测量技术等)和非接触式检测(如采用激光技术和光敏二极管阵列技术等)。

2. 智能生产系统的功能模型

生产系统的 IDEF0 功能模型如图 5.18 所示。其中,车间控制系统的主要功能有:车间生产作业计划的制订与调度、刀具管理、物料管理、制造与检验、质量控制、监控功能等。

图 5.19 是车间控制系统的数据流模型。车间控制系统功能的实现有赖于与其他分系统的配合,具体体现在以下几方面。

(1) 车间生产作业计划的制订必须以主生产作业计划为依据。生产作业计划的制订必然使用由 EDS 提供的许多工艺信息。而加工过程采用的控制规律以及精度检查方面的信息则由质量管理体系(QMS)提供。

(2) 车间生产资源的管理均与 MIS、EDS、QMS 等系统密切相关。车间生产资源的状态是 MIS 制订生产计划的依据,CAPP 系统根据车间资源情况制订加工工艺,而车间量具、检验夹具的可用性取决于 QMS 的定检计划。

(3) 车间制造所需的工艺规程、NC 代码都来自于 EDS,检验规程或检验 NC 代码则来自于 QMS,作为质量管理的依据。

(4) 车间监控系统一方面保证车间生产计划顺利进行;另一方面,为 EDS、MIS、QMS 提供车间的实时运行状态,以便根据实际加工情况更改有关计划,检查、追踪出现质量事故的原因。

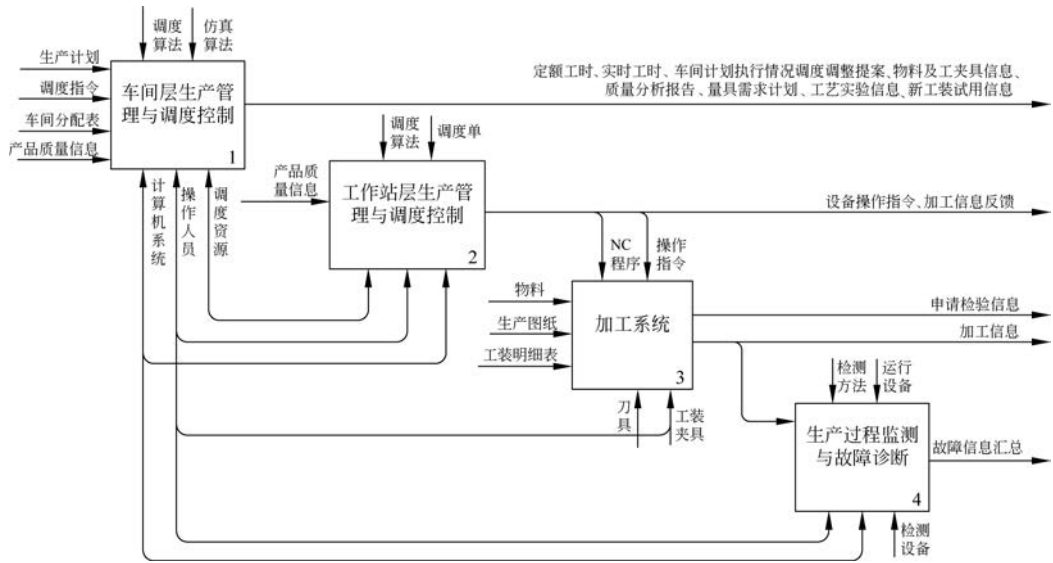


图 5.18 生产系统的 IDEF0 功能模型

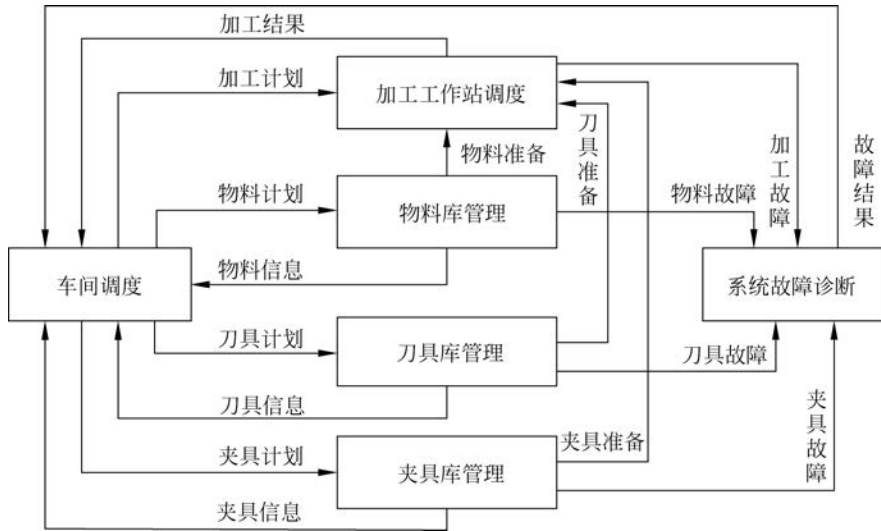


图 5.19 车间控制系统的数据流模型

(5) 车间控制系统要实现上述功能,需要分布式数据库管理系统和计算机网络系统的支持。分布式数据库管理系统可以保证车间控制系统所需信息的一致性、完整性和安全性。计算机网络系统则是数据交换和共享的桥梁。

3. 智能生产系统与其他分系统的信息接口

MAS 与其他分系统的信息联系按照性质可分为静态信息和动态信息;按照信息的来源和去向可分为输入信息和输出信息(图 5.20)。MAS 信息的特点是在车间范围内具

有局域实时性。信息类型包含文字、数据、图形等。根据不同企业的实际情况,从这些信息中可以分别抽象出以下不同的实体。

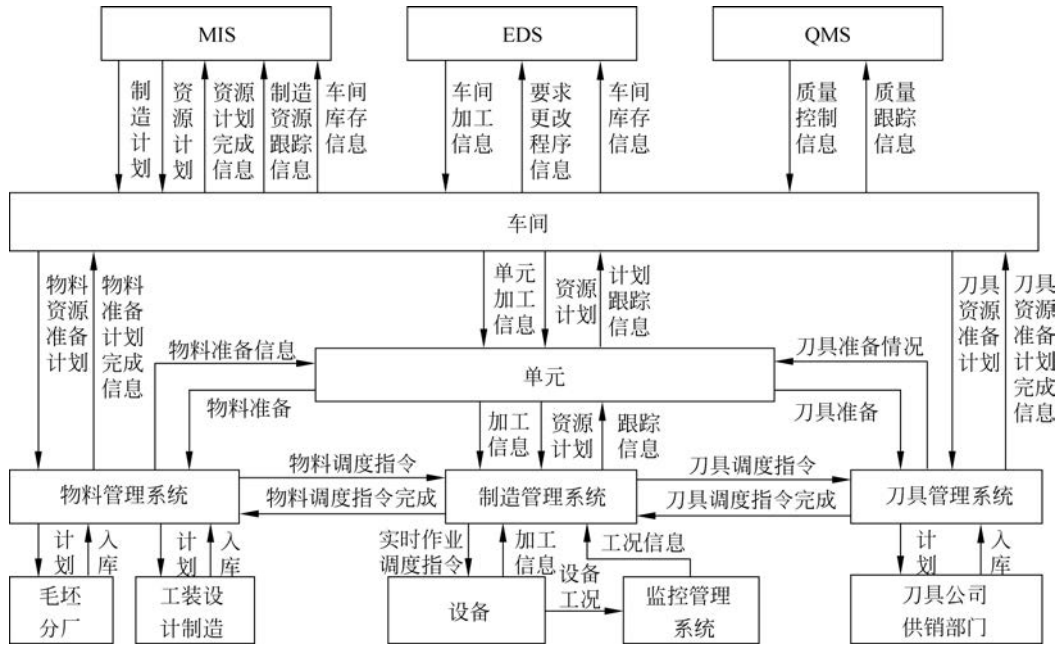


图 5.20 MAS 与其他分系统的信息接口

(1) 车间作业计划类：包含的实体有生产调度计划、计划修改要求、车间工作指令要求、生产能力、工作令优先级因素、操作优先级、工作指令报告、车间工作令、物料申请、操作顺序、工作令卡等。

(2) 生产准备类：包含的实体有生产准备数据、物料计划、产品批号、工位点文件、设备分组、负荷能力、质量综合考核信息等。

(3) 生产控制类：包含的实体有最终计划修改要求、设备分配情况表、工作进程表、工具材料传送报告、生产制造活动报告、生产状态信息报告、车间作业调度、日产任务通知单、日产进度、产品制造工艺卡、工(量)卡信息、NC 文件、设备开动记录、质量分析信息、申请检验信息、工艺试验信息、新工装调用信息等。

(4) 库存记录类：包含库存计划事项、库存调整、安全存储、库存查询、库存记录、成品入库报告、成品出库报告、库存报警、物料信息、废品信息、量具需求计划等实体。

(5) 仿真数据类：包含生产计划仿真参数、生产过程仿真命令、仿真算法、仿真数据文件、仿真图形文件等实体。

4. 技术的发展趋势

1) 智能化

智能制造将是未来制造自动化发展的重要方向。智能制造系统是一种由智能机器

和人类专家共同组成的人机一体化智能系统,它在制造过程中能进行智能活动,诸如分析、推理、判断、构思和决策等。智能制造技术的宗旨在于通过人与智能机器的合作共事,去扩大、延伸和部分地取代人类专家在制造过程中的脑力劳动,以实现制造过程的优化。

2) 制造虚拟化

虚拟制造(virtual manufacturing)是以制造技术和计算机技术支持的系统建模技术和仿真技术为基础,集现代制造工艺、计算机图形学、并行工程、人工智能、人工现实技术和多媒体技术等多种高新技术为一体,由多学科知识形成的一种综合系统技术。它将现实制造环境及其制造过程通过建立系统模型映射到计算机及其相关技术所支撑的虚拟环境中,在虚拟环境下模拟现实制造环境及其制造过程的一切活动和产品制造全过程,并对产品制造及制造系统的行为进行预测和评价。

3) 敏捷化

随着数控技术的发展,为适应多品种、小批量生产的自动化,开发了若干台计算机数控机床和一台工业机器人协同工作,以便加工一组或几组结构形状和工艺特征相似的零件,从而构成柔性制造单元(FMC)。借助一个物流自动化系统,将若干个 FMC 连接起来,以实现更大规模的加工自动化,于是构成了柔性制造系统(FMS)。以数字化的方式实现加工过程的物流流、加工流和控制流的表征、存储与控制,这就形成了以控制为中心的数字化制造系统的一部分。

20 世纪末,敏捷制造模式的出现,使可重构制造系统(Reconfigurable Manufacturing System, RMS)成为可能。RMS 是一种通过对制造系统结构及其组成单元进行快速重组或更新,及时调整制造系统的功能和生产能力,以迅速响应市场变化及其他需求的制造系统。其核心技术是系统的可重构性,即利用对制造设备及其模块或组件的重排、更替、剪裁、嵌套和革新等手段对系统进行重新组态、更新过程、变换功能或改变系统的输出(产品与产量)。

4) 网络化

当前,网络技术(特别是 Internet/Intranet 技术)的迅速发展,正在给企业制造活动带来新的变革,其影响的深度、广度和发展速度远远超过人们的预测。基于 Internet 的生产经营活动出人意料地迅猛增长。其中,基于网络的制造包括以下几方面:制造环境内部的网络化,实现制造过程的集成;制造环境与整个制造企业的网络化,实现制造环境与企业中工程设计、管理信息系统等各子系统的集成;企业与企业间的网络化,实现企业间的资源共享、组合与优化利用;通过网络,实现异地制造。总之,制造的网络化,特别是基于 Internet/Intranet 的网络协同制造已成为重要的发展趋势。

5) 全球化

制造全球化的概念出于美、日、欧等发达国家的智能系统计划。近年来,随着 Internet 技术的发展,制造全球化的研究和应用发展迅速。制造全球化包括的内容非常广泛,主要有:市场的国际化,产品销售的全球网络正在形成;产品设计和开发的国际合

作；产品制造的跨国化；制造企业在世界范围内的重组与集成，如动态联盟公司；制造资源的跨地区、跨国家的协调、共享和优化利用；全球制造的体系结构将要形成。

6) 制造绿色化

环境、资源、人口是当今人类社会面临的三大主要问题。制造业量大、面广，对环境的总体影响很大。可以说，制造业一方面是创造人类财富的支柱产业，但同时又是当前环境污染的主要源头。鉴于此，如何使制造业尽可能少地产生环境污染是当前环境问题研究的一个重要方面。于是，绿色制造(green manufacturing)由此产生。

绿色制造是一个综合考虑环境影响和资源效率的现代制造模式，其目标是使得产品从设计、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(副作用)最小，资源效率最高。绿色制造是可持续发展战略在制造业中的体现，或者说，绿色制造是现代制造业的可持续发展模式。绿色制造涉及的面很广，涉及产品的整个生命周期和多生命周期。对制造环境和制造过程而言，绿色制造主要涉及资源的优化利用、清洁生产 and 废弃物的最少化及综合利用。绿色制造是目前和将来制造自动化系统应该予以充分考虑的一个重大问题。

5.3.2 面向智能生产过程的几个概念

1. 虚拟制造

数字化设计与数字化制造都属于数字制造的概念范畴。所谓数字制造，是指在虚拟现实、计算机网络、快速原型、数据库和多媒体等支撑技术的支持下，根据用户需求，迅速收集资源信息，对产品信息、工艺信息和资源信息进行分析、规划和重组，实现对产品设计和功能仿真以原型制造，进而快速生产出满足用户性能要求的产品的整个制造过程。也就是说，数字制造实际上是在对制造过程进行数字化的描述而建立的数字空间中完成产品的制造过程。

2. 数字孪生

数字孪生(digital twin: a physics-based digital modeling approach)一词由美国密歇根大学的 Michael Grieves 于 2003 年在他讲授的 PLM(产品全生命周期管理)课程上引入，并且于 2014 年在其撰写的 *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication* 白皮书中进行了详细阐述。美国国防部、PTC 公司、西门子公司、达索公司等 在 2014 年接受了“Digital Twin”这个术语，并开始在市场宣传中使用。

数字孪生的定义参考图 3.8，是以数字化方式为物理对象创建的虚拟模型，模拟其在现实环境中的行为。通过搭建整合制造流程的数字孪生生产系统，能实现从产品设计、生产计划到制造执行的全过程数字化，将产品创新、制造效率和有效性水平提升至一个新的高度。

数字孪生从虚拟制造、数字样机等技术上发展而来，现在已经拓展到智能制造、设备故障预测以及产品改进等多个领域。建立数字孪生的初衷是为了描述产品设计师对一

类产品的理想定义,用于指导产品的制造、功能分析、性能推测等。然而,产品在制造过程中由于加工、装配误差等因素,使得真实情况与数字孪生长时间不能保持完全一致,其有效性受到了明显限制。随着物联技术的发展,利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据,集成多科学、多物理量、多尺度的仿真过程越来越精确。以飞行器为例,将物理世界的参数通过传感器重新反馈到数字世界,完成仿真验证和动态调整已经成为可能。

在工程设计和模拟过程中,产品的数字孪生(即产品研发阶段的数字定义模型MBD)可以帮助公司分析和优化产品在实际操作条件下的性能。

在工厂及生产线过程引入数字孪生,在没有建造之前可以进行仿真和模拟,并将真实参数传给实际的工厂建设,有效减少误差和风险;待工厂和生产线建成之后,日常的运行和维护通过数字孪生进行交互,能够迅速找出问题所在,改进操作监控及资产管理,提高工作效率。数字孪生成为“工业 4.0”成功的关键技术。

3. 智慧工厂

根据通用电气智慧工厂(brilliant factory)的理念,通过数字主线驱动智慧工厂,在产品阶段缩短开发周期、降低成本、提高产量,在产品生产阶段缩短生产周期、提高生产效率、减少设备死机时间,在供应链优化和服务阶段减少库存、提高市场的可预测性等。

智慧工厂的理念可以参考 3.2.1 节的内容。

5.4 智能管理与服务系统

5.4.1 智能管理与服务技术体系

20 世纪以来,工业化的生产方式大致上经历了手工生产方式、大量生产方式、精良生产方式、大批量定制生产方式和敏捷生产方式等阶段,制造系统的管理技术也由传统管理、科学管理、系统管理发展到现代管理技术。

现代制造企业的管理技术在资源集成、信息集成、功能集成、过程集成和企业间集成的基础上,在集成化管理与决策信息系统的支持下,通过全面、合理、系统地管理企业和生产过程,最大限度地发挥企业内外部资源、技术和人员的作用,大幅度提高企业经济效益和市场竞争。智能管理与服务系统的技术体系如图 5.21 所示,主要包括:现代企业管理模式与组织理论、集成化管理与决策信息系统、现代企业管理优化方法与工具、集成化管理系统支撑平台等。

现代企业管理模式是指企业为实现其经营目标,组织其资源和生产经营活动的基本框架和方式。典型的现代企业管理模式与方法有:MRP-II、JIT、LP、按类个别生产(One of a Kind Production, OKP)、ERP、并行工程(Concurrent Engineering, CE)、供应链管理

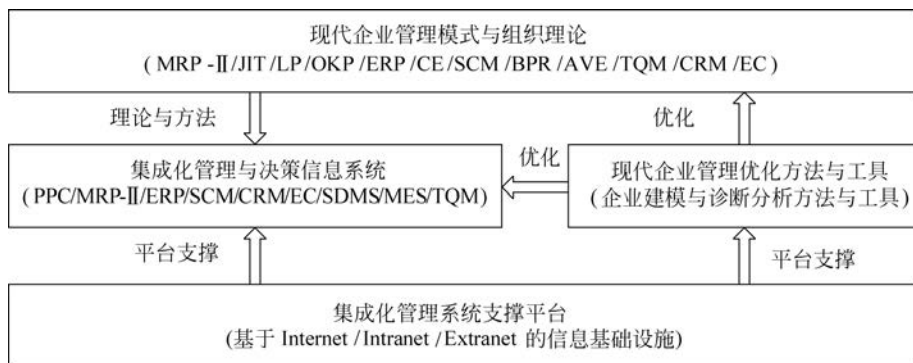


图 5.21 智能管理与服务系统的技术体系

(Supply Chain Management, SCM)、BPR、敏捷虚拟企业 (Agile Virtual Enterprise, AVE)、TQM、CRM 和电子商务 (Electronic Commerce, EC) 等。

智能管理与服务系统以先进的管理模式与方法为核心,研究管理与控制全企业生产经营活动的智能运营管理与服务系统、面向价值网络的智能物流和供应链管理系统以及面向客户的产品智能服务系统。前者主要包括生产计划与控制 (Production Planning and Control, PPC) 系统、MRP-II、ERP、SCM、CRM、EC、基于企业信息系统 (Enterprise Information System, EIS) 的智能决策与服务系统 (Smart Decision Making System, SDMS)、MES 和 TQM 等;智能物流与供应链服务系统主要指面向物流和供应链协作网络的敏捷供应链管理系统;产品智能服务系统面向制造的各阶段、各节点提供数据挖掘服务和知识推送服务,使制造过程围绕客户需求展开。

现代企业管理优化方法与工具涉及企业重组与优化方法、面向企业经营优化的决策支持系统、企业管理系统的建模方法与工具、电子商务与供应链系统的构建与优化方法、企业诊断与分析方法及工具、支持企业组织与过程优化的仿真工具等。现代企业管理优化方法与工具主要帮助人们对企业进行重组优化、建立最优的企业管理模式和集成化管理与决策信息系统。

集成化管理系统支撑平台主要指为企业集成化管理信息系统提供支撑的信息基础设施,如 Internet/Intranet/Extranet、计算机支持下的企业协同工作平台、企业应用服务器平台、电子商务平台、企业集成平台与集成框架等。

5.4.2 智能运营管理与服务系统

1. 企业资源管理计划

ERP 是在先进的企业管理思想的基础上,应用信息技术实现对整个企业资源的一体化管理。ERP 是一种可以提供跨地区、跨部门甚至跨公司整合实时信息的企业信息管理系统。它在企业资源最优化配置的前提下,整合企业内部主要或所有的经营活动,包括

财务会计、管理会计、生产计划及管理、物料管理、销售与分销等主要功能模块,以达到效率化经营的目标。

ERP 使用 20 世纪 90 年代的信息技术(如客户服务器结构、图形用户界面等),以提供对组织人员、组织结构的适应性。ERP 在应用过程中,常伴随着企业流程再造的实施。ERP 有狭义、广义两种解释,狭义 ERP 仅指企业“内部”信息系统;广义 ERP 指代表整合企业“内、外部”信息的经营管理系统,有些人将其称为扩展 ERP(Extended ERP, EERP)。

ERP 的功能有基本功能、扩展功能两方面。基本功能是所有 ERP 系统软件必须提供的入门功能,强调将企业“内部”价值链上的所有功能活动加以整合;扩展功能则是将整合的触角由企业内部拓展到企业的后端厂商和前端顾客,与后端厂商信息系统加以整合的属于 SCM 方面的功能,加强整合前端顾客信息的则属于 CRM(客户关系管理)和销售自动化(Sales Force Automation, SFA)方面的功能,而最受瞩目的则是推出了电子商务(EC)方面的解决方案。

ERP 至少应提供如下 5 个基本功能:

(1) 生产规划系统:让企业以最优水平生产,并同时兼顾生产弹性,包括生产规划、物料需求计划、生产控制及制造能力计划、生产成本计划、生产现场信息系统。

(2) 物料管理系统:协助企业有效地控制与管理物料,以降低存货成本,包括采购、库存管理、仓储管理、发票验证、库存控制、采购信息系统等。

(3) 财务会计系统:为企业提供更精确的、跨国且实时的财务信息,包括间接成本管理、产品成本会计、利润分析、应收应付账款管理、固定资产管理、一般流水账、特殊流水账、作业成本、总公司汇总账。

(4) 销售、分销系统:协助企业迅速地掌握市场信息,以便对顾客需求做出最快速的反应,包括销售管理、订单管理、发货运输、发票管理、业务信息系统。

(5) 企业情报管理系统或决策支持系统:提供决策者更实时有用的决策信息,包括决策支持系统、企业计划与预算系统、利润中心会计系统。

一般 ERP 软件提供的最重要的 4 个扩展功能模块:供应链管理(SCM)、顾客关系管理(CRM)、销售自动化系统(SFA)以及电子商务(EC)。

1) 供应链管理

供应链管理(SCM)是将从供应商的供应商到顾客的顾客中间的物流、信息流、资金流、价值流、服务和组织加以整合化、实时化、扁平化的系统。SCM 系统可细分为 3 个区隔:供应链规划与执行,运送管理系统,仓储管理系统。

2) 顾客关系管理及销售自动化系统

这两者都用来管理与顾客有关的活动。顾客关系管理(CRM)系统指能从企业现存数据中挖掘所有关键的信息,以自动管理现有顾客和潜在顾客数据的系统。销售自动化系统(SFA)指能让销售人员跟踪记录顾客详细数据的系统;CRM 及 SFA 都是强化前端的数据仓库技术,其通过分析、整合企业的销售、营销及服务信息,以协助企业提供更客

户化的服务及实现目标营销的理念,因此可以大幅改善企业与顾客间的关系、带来更好的销售机会。

3) 电子商务

电子商务(EC)一般指具有共享企业信息、维护企业间关系,及产生企业交易行为等三大功能的远程通信网络系统。有学者进一步将电子商务分为企业对企业、企业对个人(消费者)的电子商务两大类。

2. 全面质量管理体系

随着知识经济的到来,质量将在全球经济中处于领导地位,21世纪更是质量的世纪。在全球经济一体化的今天,市场竞争越来越激烈,高水平的产品质量和企业运营质量将成为企业生存和成长的第一要素。质量管理统计表明,造成质量问题的原因只有10%~15%来自工人,而85%~90%是企业内部管理系统上的问题。由此可见,质量不仅仅取决于加工环节,也不局限在加工产品的工人,而是涉及企业各部门的事。质量保证要通过全面管理来实现。

传统的质量管理追求的是“产品合格”,许多企业花大量力气在检查、核对、审查及试验产品上,以保证产品符合用户所要求的质量。这种“侦察”式的管理只是寻找出现问题的事物和对有关人员进行处罚,而不是寻找激励员工持续改进产品质量的方法。今天我们更有效的质量管理方法是要把侦察问题转换为防止问题的出现,这样我们就可以把力量转向系统地改善全企业的业务运作程序。这种新局面的出现必须由企业全体人员及有关提供产品及服务的人员的合力促成,才能满足用户的需要和期望,因此需要一套全新的运作哲理以及管理方法,这就是全面质量管理(TQM)。

全面质量管理开始于20世纪60年代前后,它是以顾客、社会、企业、职工、供方共同受益为目标的,以质量为经营管理核心的全公司的质量管理。它的主要特点是整体性和全面性。企业中的每个人都应该认识到高质量的产品是许多不同过程的综合产物,要依靠全体员工的努力、经验、知识和合作才能实现,质量管理不再仅仅是检验部门的事,而是每个人分内的事,因此全面质量管理是全员管理。而且,质量不仅是“产品合格”,而是企业对产品整个生命周期内的承诺,包括使用、维修、报废和回收,是企业的一种社会责任,因此全面质量管理是全过程管理。

全面质量管理过程的全面性,决定了全面质量管理的内容应当包括设计过程、制造过程、辅助过程、使用过程这4个过程的质量。

1) 设计过程质量管理的内容

产品设计过程的质量管理是全面质量管理的首要环节。这里所指的设计过程,包括市场调查、产品设计、工艺准备、试制和鉴定等过程(即产品正式投产前的全部技术准备过程)。主要工作内容有:

- 通过市场调查研究,根据用户要求、科技情报与企业的经营目标,制定产品质量目标。产品质量的设计目标,应来自于市场的需要(包括潜在的需要),应同用户的要求保持一致,并应具有一定的先进性。在可能的条件下,尽量采用国际先进

期内,一定条件下,需要特别加强和控制的重点工序或重点部位明确为质量管理的重点对象。对它应使用各种必要的手段和方法加强管理。建立管理点的目的,是为了使制造过程的质量控制工作明确重点、有的放矢,使生产处于一定的作业标准的管理状态中,保证工序质量的稳定良好。

3) 辅助过程质量管理的内容

这里指的辅助过程是指为保证制造过程正常进行而提供各种物资技术条件的过程。它包括物资采购供应、动力生产、设备维修、工具制造、仓库保管、运输服务等。制造过程的许多质量问题,往往同这些部门的工作质量有关。辅助过程质量管理的基本任务是提供优质服务和良好的物质技术条件,以保证和提高产品质量。它的主要内容有:做好物资采购供应(包括外协准备)的质量管理,保证采购质量,严格入库物资的检查验收,按质、按量、按期地提供生产所需要的各种物资(包括原材料、辅助材料、燃料等);组织好设备维修工作,保持设备良好的技术状态;做好工具制造和供应的质量管理工作等。

4) 使用过程质量管理的内容

使用过程是考验产品实际质量的过程,它是企业内部质量管理的继续,也是全面质量管理的出发点和落脚点。这一过程质量管理的基本任务是提高服务质量(包括售前服务和售后服务),保证产品的实际使用效果,不断促使企业研究和改进产品质量。它的主要工作内容有:

- 开展技术服务工作。为了提高产品在市场上的竞争能力,国内外一些企业从过去的“货物出门,概不退换”变成了现在的“货物出门,服务到家”。为了突出服务质量,他们纷纷改变了一些说法,如过去说“我卖给你”,现在换成了“我为你生产”,甚至提出“一切为了用户”“用户是上帝”的口号。这些说法虽然有些夸张,但也说明他们对用户的建议,特别是用户对质量方面的建议是十分重视的。企业把用户是否满意看作是自己生存发展的决定因素。
- 认真处理出厂产品的质量问题的。当用户对本企业产品质量提出异议时,不少企业不是推托,而是认真及时地处理,这样既可以消除用户的不满情绪,又可以挽回由此产生的负面影响。
- 调查产品使用效果和用户要求。调查的目的在于了解和收集下列情况的资料:
 - ①出厂的产品尽管经过检验已合格,但在实际使用中是否真正达到规定的质量标准。
 - ②产品在使用中虽然也达到质量标准,但是否实现了设计所预期的质量目标。
 - ③除了原先预期达到的质量目标外,使用中还有哪些要求是原先没有考虑到的。
 - ④随着生产的发展和人民生活质量的不断提高,预计用户今后可能提出哪些新的要求。

3. 客户关系管理系统

客户关系管理(CRM)的概念并不是一个新名词,自从有贸易开始,企业就必须面对客户,但传统的客户关系管理存在很大的局限,它主要强调市场因素的影响,如产品、价格等,客户在当时根本得不到重视。随着互联网技术的发展,企业间的竞争越来越激烈,

产品间差异越来越小,竞争的焦点从以产品为中心转向了以顾客为中心。而且技术上的进步也使把整个企业的客户信息放入一个系统中进行管理成为可能,企业可以通过网络和 Internet 技术,建立一个集成的、跨功能的信息中心来处理客户需求,确保时间、资金和管理资源的合理分配。

CRM 是通过对客户信息进行有效管理和应用,并通过适当的步骤来构造和维护有价值的客户关系的。目标是通过不断深入地分析客户需求、消费行为、经济状况,提供有价值 and 针对性的业务建议,将客户信息变为利润的支撑点。

CRM 不是一个产品或服务,而是一种商业策略,通过它来有效地管理企业客户关系,它为企业的每个客户提供了完整的集成视图。客户关系管理的主要功能范围包括销售、市场和服务,下面是 CRM 的一些基本功能。

1) 客户管理与分析

长期维持同客户的关系是一个组织最重要的资产,成功的客户所有权将产生竞争优势,提高客户的保持率和企业的获利能力。客户管理与分析模块作为各类自由形式交互的中心处理点,保证企业与客户交互处理流畅。这里,业务代表可以根据各类组合检索条件了解详细的客户信息及历史记录,同时受理客户的服务请求,并快速转至其他模块,以最佳完成客户要求,或将来自企业的信息个性化地传递给客户。业务代表仅需很少的键盘输入及鼠标点击便可完成客户交互处理操作,业务代表对全部客户历史记录及输入记录一目了然,并具备及时新客户登录及综合客户信息管理功能。

2) 营销管理与分析

制订企业的销售计划(包括公司、分公司、部门、销售员个人),并以此进行追踪确认,通过相关系统的资料汇总总结,可以及时调整销售政策、销售方向,最大可能地完成企业的销售计划。这是客户关系管理的基本功能,使销售人员的基本活动实现自动化。

3) 市场管理与分析

企业每年在各种市场活动中投入巨资,但是很难计算每次市场活动究竟为企业带来了多少销售成果。客户关系管理系统可以对市场活动从参与客户、销售机会、销售任务,直到销售订单进行全程跟踪。市场管理与分析通过对市场活动进行设计、执行和评估来帮助市场人员做出正确的抉择。

4) 客户服务管理与分析

完善的售后客户服务是留住客户的主要因素。它把客户服务组织从一个成本中心转换为赢利中心。该功能模块基于事件管理的思想,提供包括创建、解决、分配、反馈、跟踪、回访等节点在内的闭环处理模式。客户服务管理将可客户化的操作界面设计赋予用户,主要包括客户报修、服务历史记录查询、技术支持、投诉处理、预约维修、派工、维修信息反馈、费用结算及回复各项业务的广泛的业务功能。企业可以根据自己的需求简单定制衔接顺畅的工作流程。此外,通过与备件系统、财务系统、ERP 系统等的集成,形成更为强大、高效的企业售后服务、质量跟踪、人员考核体系。

4. 电子商务环境

电子商务最早产生于 20 世纪 60 年代,发展于 20 世纪 90 年代,其产生和发展的重要条件是:

(1) 计算机的广泛应用: 计算机的处理速度越来越快,处理能力越来越强,价格越来越低,应用越来越广泛,这为电子商务的应用提供了基础。

(2) 网络的普及和成熟: 由于互联网逐渐成为全球通信与交易的媒体,全球上网用户呈级数增长趋势,快捷、安全、低成本的特点为电子商务的发展提供了应用条件。

(3) 信用卡的普及应用: 信用卡以其方便、快捷、安全等优点成为人们消费支付的重要手段,并由此形成了完善的全球性信用卡计算机网络支付与结算系统,使“一卡在手、走遍全球”成为可能,同时也为电子商务中的网上支付提供了重要的手段。

(4) 电子安全交易协议的制定: 1997 年 5 月 31 日,由美国 VISA 和 Mastercard 国际组织等联合制定的电子安全交易协议(Secure Electronic Transfer protocol, SET)的出台,以及该协议得到大多数厂商的认可和支持,为在开发网络上的电子商务提供了一个关键的安全环境。

(5) 政府的支持与推动: 自 1997 年欧盟发布了欧洲电子商务协议,美国随后发布“全球电子商务纲要”以后,电子商务受到世界各国政府的重视,许多国家的政府开始尝试“网上采购”,这为电子商务的发展提供了有力的支持。

电子商务是在技术、经济高度发达的现代社会里,人们利用信息技术,按照一定的商务规则,系统地运用电子工具,高效率、低成本地从事以商品交换为中心的各种活动的总称。它有广义和狭义之分。狭义的电子商务也称作电子交易(E-Commerce),主要指利用互联网提供的通信手段在网上进行电子交易。广义的电子商务也称作电子商业(E-Business),是指以信息技术为基础的商务活动,包括生产、流通、分配、交换和消费诸环节中连接生产和消费的所有活动的信息化处理。

电子商务的特点体现为:

(1) 普遍性: 电子商务作为一种新型的交易方式,将生产企业、流通企业以及消费者和政府带入了一个网络经济、数字化生存的新天地。

(2) 方便性: 在电子商务环境中,人们不再受地域的限制,客户能以非常简捷的方式完成过去较为繁杂的商务活动,如通过网络银行能够全天候地存取资金账户、查询信息等,同时使得企业对客户的服务质量大大提高。

(3) 整体性: 电子商务能够规范事务处理的工作流程,将人工操作和电子信息处理集成为一个不可分割的整体,这样不仅能提高人力和物力的利用,也可以提高系统运行的严密性。

(4) 安全性: 在电子商务中,安全性是一个至关重要的核心问题,它要求网络能提供一种端到端的安全解决方案,如加密机制、签名机制、安全管理、存取控制、防火墙、防病毒保护等,这与传统的商务活动有很大的不同。

(5) 协调性: 商务活动本身是一种协调过程,它需要客户与公司内部、生产商、批发

商、零售商间的协调,在电子商务环境中,它要求银行、配送中心、通信部门、技术服务等多个部门通力协作。往往电子商务的全过程是一气呵成的。

电子商务综合运用计算机和电信网络技术,已成为传输、管理和运行商务事务的新方式。由于对全球性市场的上百万客户提供了成千上万种产品和服务的网络访问,所以电子商务在很大程度上简化了商务流程,提高了社会生产率,加强了企业参与商业竞争的能力。

在电子商务活动中,Internet 上流动着各种信息流、资金流和物流(如电子书籍),因此,它至少涉及客户、商家和金融机构 3 方面。完整的电子商务运作环境的结构如图 5.22 所示。正是由于企业、银行、电信部门、ISP、消费者等企业生态系统各业务主体的通力合作,才有效地推进了电子商务的发展。下面是对各个组成部分的说明。

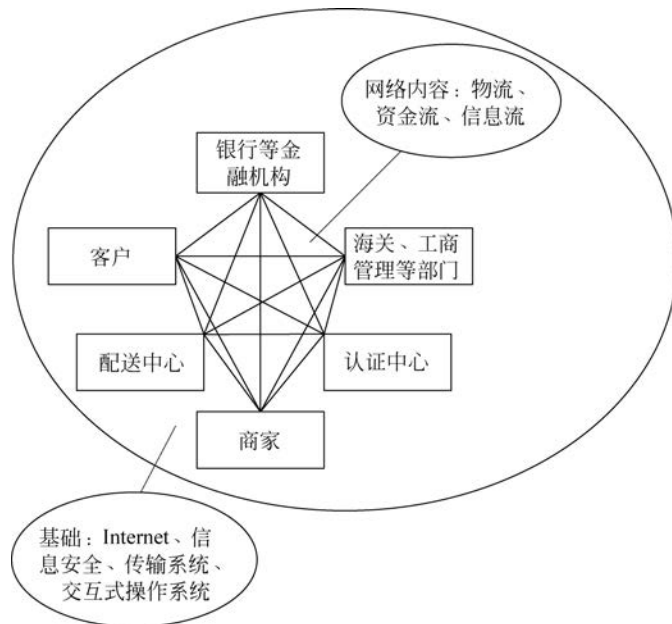


图 5.22 完整的电子商务运作环境的结构

1) 客户

客户通过智能手机、浏览器、计算机等方式接入 Internet,以获取信息、购买商品为主要目的。今天的上网客户已不再满足于单纯的信息浏览,而是希望获得全方位的、个性化的交互服务。

2) 海关、工商管理等部门

他们是利用 Internet 作为信息载体进行日常商业活动的组织机构。这些用户通常和政府机构、商业伙伴保持高效、实时的交互联系和商务处理过程,进一步降低运营成本,提高运作效率。

3) 商家

在全球电子商务环境中,商家(主要指网上商店)是指发布产品信息并且接收订单的站点。任何企业和个人都可以通过 Internet 建立一个跨越全世界没有营业时间限制的电子商务网站。因此,可以说,Internet 给中小型企业带来了商机。

4) 银行等金融机构

一方面,银行等金融机构在 Internet 上完成一些传统的银行业务,并突破时间和地点的限制,使企业和个人用户不必进入银行营业厅,就能得到每周 7 天、每天 24 小时的实时服务,减少银行在修建和维护营业场所、保安、支付人员等方面的费用,大大提高了银行的办公效率;另一方面,网上银行与信用卡公司等通力合作,发放电子钱包和提供网上支付手段,为电子商务交易中的用户和商家提供资金流动服务。由于金融信息保密的重要性,网上银行与企业、个人用户之间的信息传输就更需要保证安全、完整、不可更改等措施。

5) 认证中心

认证中心是那些不直接从电子商务交易中获利的、受法律承认的权威机构,负责发放和管理电子证书,使网上交易的各方能互相确认身份。电子证书的管理不仅要保证证书能有效存取,而且要保证证书不被非法获取。因此,认证中心是为了保证网上交易的安全而设置的,消费者和网上终端(如电子商店)要得到认证中心的认证后,才能进行网上交易。

6) 配送中心

配送中心接受商家的送货请求,组织运送无法从网上直接得到的商品,并跟踪商品流向及提供物流服务。

电子商务是在 Internet 上进行的,因此 Internet 是电子商务最基本的架构。另外,电子商务涉及商家、消费者、银行或金融机构、信息公司或证券公司、企业、政府机构、认证机构、配送中心等诸多方面,由于参与电子商务中的各个方面在物理上互不了解,因此,整个电子商务过程并不是物理世界中商务运作的完全照搬,必须采用数据加密、电子签名等技术,并在其中发挥重要的作用。

5.4.3 智能物流与供应链系统

供应链(supply chain)是跨越企业中多个职能部门活动的集合,最初起源于 ERP,是面向企业内部范围的管理。它将企业内部经营所有的业务单元(如订单、采购、库存、计划、生产、质量、运输、市场、销售、服务等)以及相应的财务活动、人事管理均纳入一条供应链内进行统筹管理。供应链管理中的基本决策内容包括位置(location)决策、生产(production)决策、库存(inventory)决策、运输(transportation)决策。当时企业重视的是物流和企业内部资源的管理,即如何更快、更好地生产出产品,并把其推向市场,这是一种“推式”的供应链管理,管理的出发点是从原材料推到产成品、市场,一直推至客户端。

随着竞争的加剧,生产出的产品必须转化成利润,企业才能得以生存和发展。为了

赢得客户、赢得市场,企业管理进入了以客户及客户满意度为中心的管理,因而企业的供应链运营规则随即由“推式”转变为以客户需求为原动力的“推拉式”供应链管理。这种供应链管理将企业各个业务环节的信息化孤岛连接在一起,使得各种业务和信息能够实现集成和共享。

随着全球信息网络技术的发展,全球化市场的形成及技术变革的加快,新产品的竞争日益激烈,企业面临着不断缩短交货期、提高质量、降低成本和改进服务的压力。所有这些都要求企业能够做出快速反应,源源不断地开发出满足客户需求的、定制的“个性化产品”去占领市场,以赢得竞争。为适应这种需求,敏捷制造是企业无法预测的持续、快速变化的竞争环境中生存、发展并扩大竞争优势的一种经营管理和生产组织模式。它强调通过联合来赢得竞争;强调通过产品制造、信息处理和现代通信技术的集成,来实现人、知识、资金和设备的集中管理和优化利用。通过敏捷制造来达到敏捷竞争,是21世纪国际竞争的主要形式。敏捷制造概念的提出对供应链问题赋予了新的含义,提出了敏捷供应链的概念。

1. 敏捷供应链的概念与功能

敏捷供应链(Agile Supply Chain, ASC)是指在竞争、合作、动态的市场环境中由各实体组成的动态供应网络。“实体”是指参与供应链的企业或企业内部业务相对独立的部门,“动态”表现为适应市场变化而进行的供需关系的重构过程,“敏捷”用于表示供应链对市场变化和用户需求的快速适应能力。供应链管理的主要内容包括管理以各种形式的订单(或协议)为媒体的供应商与客户之间所进行的交易与协调、后勤与服务以及认证与支付等。在敏捷供应链中,计划和协调各实体之间的物流、资金流、信息流和增值流,增加动态联盟对外环境的敏捷性是敏捷供应链管理的主要任务。为了达到以最低成本、最短时间、最高质量满足客户个性化的需求,敏捷供应链管理系统必须以单个订单为单位,快速制订出订单的执行计划,并保证计划的可行性。

敏捷供应链区别于一般供应链系统的特点在于:①可以根据动态联盟的形成和解体(企业重组),进行快速的重构和调整;②要求能通过供应链管理促进企业间的联合,进而提高企业的敏捷性;③提出了供应链本身的敏捷性和可重构要求,以适应动态联盟的需要。敏捷供应链支持如下功能:

- (1) 支持迅速结盟、结盟后动态联盟的优化运行和平稳解体。
- (2) 支持动态联盟企业间敏捷供应链系统的功能。
- (3) 结盟企业能根据敏捷化和动态联盟的要求进行组织、管理和生产计划的调整。
- (4) 可以集成其他的供应链系统和管理信息系统。

敏捷供应链的实施,有助于促进企业间的合作和企业生产模式的转变,有助于提高大型企业集团的综合管理水平和经济效益。通过抓住商业流通这个龙头,协调、理顺每个企业的购销环节,来为企业提供直接的市场信息和广阔的销售渠道,并以此为契机促进企业间的联合,同时也为商家提供了无限商机。完整的全球供应链管理系统,可以帮助企业随时掌握各地、各网点的销售情况,全面掌握所有供应商的详细情况,合理规划异

地库储的最佳效益,合理安排进货的批次、时间以及运输等,合理调整公司的广告策略和价格政策,向企业(供应商)提供有偿信息服务、网上订货和电子贸易,可随时把商店的动态告诉对此感兴趣的顾客。

2. 敏捷供应链的相关技术

敏捷供应链管理的研究与实现是一个复杂的系统工程,涉及众多思想和技术的应用。基于供应链管理的信息集成和系统的快速可重构是其中的两个关键技术,与之相关的关键技术包括:统一的动态联盟企业建模和管理技术、分布计算技术、对遗留系统的封装技术、软件系统的可重构技术,以及 Internet/Extranet 环境下动态联盟企业信息的安全保证技术。

1) 统一的动态联盟企业建模和管理技术

为了使敏捷供应链系统支持动态联盟的优化运行,支持对动态联盟企业 BPR(业务流程重组)过程进行验证和仿真,必须建立一个能描述企业经营过程及其和产品结构、资源领域、组织管理的相互关系,并能通过对产品结构、资源领域和组织管理的控制和评价,来实现对企业经营过程的管理和优化的集成化企业模型。在这个模型中将实现对企业三流(信息流、物流和资金流)、三要素(组织、技术、资源)的统一定义和管理。

2) 分布计算技术

由于分布、异构是动态联盟企业信息集成的基本特点,而 CORBA(公共对象请求代理体系结构)和 Web 技术是当时解决分布、异构问题的最重要的代表,因此,必须解决如何在 Web 和 CORBA 环境下开展供应链的管理和运行的问题。

Web 技术为分布在网络上各种信息资源的表示、发布、传输、定位、访问提供了一种简单的解决方案,它是现在 Internet 使用最多的网络服务,正在被大量地用于构造企业内部信息网。Web 技术有很多突出的优点,如简单、维护方便,能够很容易地把不同类型的信息资源集成起来,构造出内容丰富、生动的用户界面。

CORBA 能够通过 ORB(对象请求代理)透明地向本地或远程对象发送请求,或从它们那里接收应答,由 ORB 负责完成寻找和激活对象,请求和应答消息的打包与传送,以及并发和异常的处理等工作。CORBA 的突出优点有开发容易、易于扩充、易于集成大量的现存软件,可实现复杂的分布式交互操作。

对比 Web 和 CORBA 技术可以看出,它们有很强的互补性。Web 适合于处理非结构化的数据,它能轻易地把大量不同类型的数据和信息资源组织起来,以简单统一的方式供给最终用户访问;CORBA 适合处理结构化的数据,适合处理逻辑复杂的分布式交互操作。把它们结合起来,能实现更好的分布式服务。目前发展为 Web 服务或微服务技术。

3) 软件系统的可重构技术

合理的可重构体系结构是实现敏捷供应链管理系统重构的关键。传统软件的系统设计方法强调把软件的功能分解(对象设计)以及功能(对象)之间的信息交互作为设计的重要任务。因此,系统是无法通过对这些功能体(对象)的替换来实现重构的。

为此,我们提出了一种称为软件代理的软件设计方法。在这个方法里,我们把传统的软件概念中的功能实体(功能实体是不可再分的最小单元,从软件的角度讲,功能实体可以是结构化编程语言中的函数或过程,也可以是面向对象编程方法中的一个方法或操作)和它的交互界面分离,使得界面的设计和功能实体的设计得以分别进行。系统的交互界面的设计通过不同中介代理对功能实体的封装来实现,它是在系统实施的时候才被设计和确定的。采用不同的中介代理对功能实体进行封装可以得到不同的软件代理。由于功能实体和软件代理之间是相互不可见的,因此,为了使它们之间能够进行协作,中介代理的作用是完成功能实体和软件代理之间的通信任务。软件代理的独立、自主特性对实现软件重构是非常重要的。软件代理具有一定的智能性,它可以响应环境的变化,进行自我调整,并对环境产生影响。

采用软件代理的思路和通过集成化产品模型来集成不同应用系统的思路,在许多方面是相似的,但区别是根本性的、革命性的:一是被集成的系统的粒度不同,前者是一个应用系统中众多功能单一的功能体,而后者是一个遗留应用系统,其粒度小,使得重用的可能性和重构的敏捷性大大增加;二是两者对环境变化的响应方式,前者是主动感知,而后者依赖被动的通知或调用,这也正是代理机制和客户服务器体系结构的本质区别。

4) 对遗留系统的封装技术

敏捷供应链的一项基本功能是能够集成遗留系统,因此,对遗留系统的封装是敏捷供应链的一项关键技术。无论是对国内自行开发 ERP 系统的封装还是对国外 ERP 系统的封装,无论是对一个复杂应用系统的封装还是对一个简单信息系统的封装,都有一个基本的要求,那就是要保证封装后的遗留系统继续正常运行。根据是否掌握遗留系统的原码和系统开放的程度,可以采用 3 种不同的方法进行封装。

- 内部函数(模块)调用:这种封装模式需要原系统开发者的支持,但可以获得最高的效率。它需要系统有足够可供调用的函数库和应用程序接口(API)(事实上,除了原开发者直接参与,这些条件是无法满足的)。
- 直接数据库访问:根据对数据库的分析,直接对数据实体及其属性进行访问,数据可以存放于多个不同的异构数据库中。采取这种方法的困难之处在于,需要分析清楚遗留系统数据库的结构。
- 用户仿真:通过向系统发送键盘、鼠标消息,模仿用户操作系统的方式向应用发出请求来完成相应的任务。采取用户仿真的方法一般比采取前两种封装方法更困难,效率也更低。它的优点是完全不依赖原开发者、适用面广。这种方法不影响原有系统的安全性,并具有和实际用户相同的控制能力。

5) Internet/Extranet 环境下动态联盟企业信息的安全保证技术

动态联盟中结盟的成员企业是不断变化的,为了保证联盟的平稳结合和解体,动态联盟企业网络安全技术框架要符合现有主流标准,遵循这些标准,保证系统的开放性与互操作性。

5.4.4 产品智能服务系统

智能服务系统是智能制造的重要服务支撑,是对智能制造的各阶段、各节点提供数据挖掘服务和知识推送服务,使智能制造过程围绕客户需求展开和延伸,可以更贴近客户需求。

参考如图 3.22 所示的智能制造技术体系的总体框架,产品智能服务系统通过基于云计算(企业/工业云)的大数据预测性分析技术,持续改进,建立高效、安全的产品智能服务系统,实现服务和产品的实时、有效、智能化互动,为企业创造新价值。产品智能服务系统采集产品的实时运行状态数据,并上传至企业数据中心(企业云),系统软件或平台对产品实时在线监测、诊断和控制,并经过大数据分析预测进行产品的智能预测性维护与个性化智能服务,从而提升产品的性能指标。

丹麦风电巨头 Vestas 公司(维斯塔斯风力技术公司)通过在风机的机舱、轮毂、叶片、塔筒及地面控制箱内安装传感器、存储器、处理器以及 SCADA 系统,实现对风机运行的实时监控;通过在风力发电涡轮中内置微型控制器,可以在每次旋转中控制扇叶的角度,从而最大限度地捕捉风能,优化运行性能;还可以控制每台涡轮,在能效最大化的同时,减少对邻近涡轮的影响;通过对实时数据进行处理预测风机部件可能产生的故障,以减少可能的风机不稳定现象,并使用不同的工具优化这些数据,达到风机性能的最优化。

美国高圣精密机电股份有限公司(Cosen)成立于 1976 年,主要生产以锯床为主的各种金属加工设备,从客户的价值端思考,认为“客户需要的不是机床,而是机床带来的切削能力,其核心是使用最少的费用实现最优的切削质量”,为客户提供了带锯机床智能服务系统。服务系统考虑了影响加工成本和质量的核心因素:①带锯寿命衰退造成切削质量难以控制、耗材成本上升;②带锯寿命衰退需要通过人工检查的方式判断,导致人员成本和管理成本上升;③切削参数与带锯寿命的衰退息息相关,但关系较为复杂,很难通过经验来控制;④切削过程中质量状态不透明,往往产生次品后才能被发现,导致材料浪费。因此,该服务系统解决了带锯寿命衰退和机床关键部件健康状态的透明化,以及由于加工参数和带锯寿命衰退造成的成本风险透明化等客户关注的核心问题。

日本日产(Nissan)公司提供了智能机器人健康服务系统。设备运行工况的复杂和设备多样性问题是设备健康评估的最大挑战,为了避免由于故障造成的停产损失,日产 2010 年开始在数量庞大的工业机器人健康管理方面引入预测分析模型,使用控制器内的监控参数对其健康进行分析,每天生成健康报告,根据设备实时状态进行维护计划和生产计划调度。在机器人健康建模分析过程中,根据每个机械臂的动作循环提取固定的信号统计特征,如均方根值、方差、极值、峭度值和特定位置的负载值等,并采用同类对比的方法消除由于工况多样性造成的建模困难,通过直接对比相似设备在执行相似动作时信号特征的相似程度找到利群点,作为判断早期故障的依据(可提前 2 周确定故障)。分析流程:①选择关键部件(如机械臂驱动马达);②数据采集(如负载、扭矩、位置、周期时间、机器人型号等);③信号处理与特征提取;④健康建模(如相似性聚类、定位等);⑤故

障诊断。在聚类分析过程中,根据设备型号和使用时间进行第一轮聚类,根据设备任务、环境和工况等进行第二轮聚类,如扭矩最大、最小和平均值等,形成机械臂虚拟社区(机械臂执行相似动作时,上述特征分布十分相似),然后比较个体与集群的差异性判断异常程度,使用的方法有 PCA(主成分分析)-T2(设备与集群的偏离程度,其分布符合 F 分布的特征,可以按 90%~95%的置信区间确定控制)模型、高斯混合模型、自组织映射图、统计模式分析等。

美国通用电气航空集团(GE Aviation)提供了波音 767 的 CF6-80 发动机、猎鹰 2000 喷气式飞机的 CFE738 发动机、军用 A-10 攻击机的 TF34 发动机、C-5 运输机的 TF39 发动机等航空发动机,及其控制系统和售后维修服务等业务,在航空公司不愿花钱对发动机进行大型常规保养或及时检修的前提下,向航空公司提供航空发动机“飞行使用时间服务”的产品智能服务的创新模式——“由公司承担航空发动机的购买、维修、调试、更新升级,向航空公司租航空发动机、卖发动机的飞行使用时间,不需航空公司另外付保养维修费用”,公司逐渐发展成为提供智慧航空运营服务的杰出代表。

中国三一重工股份有限公司的产品包括混凝土机械、挖掘机械、起重机械、桩工机械、筑路机械,其中泵车、拖泵、挖掘机、履带起重机、旋挖钻机的主导产品已成为中国第一品牌,混凝土输送泵车、混凝土输送泵和全液压压路机市场占有率居国内首位,泵车产量居世界首位。三一重工股份公司从 2008 年开始实施物联(从数据的采集、通信、汇集到大数据平台)的实践,目前有 20 万台设备共 5000 多种参数连接在企业控制中心(Enterprise Control Center,ECC)系统,实时监控设备的运行数据,并进行故障报警、故障预测、配件预测、智能服务、辅助研发和信用管理等智能服务。三一重工产品智能服务系统对特定故障预测建模时,需要对采集的参数类型、采集频率、数据质量等进行针对性定义和部署,不完全依靠现有数据去挖掘和分析。而且,工业数据是有工程机理的,对数据的质量有明确的需求,数据分析需要与工业逻辑相结合。在此基础上,分析主要的问题清单,有针对性地考虑采集数据,以什么精度、用什么频率、跟哪些数据匹配等因素,并基于应用方向和目标区进行部署。

5.5 面向流程工业的智能制造系统

5.5.1 连续型制造业的特点

为了说明什么是连续型制造业,首先需要对工业进行分类。我们可以从不同角度提出许多分类方法,这里引用美国仪表学会在《过程工业中的 CIM》一书中提出的按操作性质来分类的观点。加工工业可以分成连续、不连续、间歇和离散操作四种类型。

(1) 连续操作:其原材料、半成品和产品通常是液体,加工过程是长时期连续不断地进行,如化工、石油、电力工业。

(2) 不连续操作:其加工方式与连续操作相同,但是其加工产品频频改变,因而它需

要不断地开车或停车,或者要不断地改变操作条件,如造纸、特殊化工和轧钢工业。

(3) 间歇操作:其加工方式是不连续的,往往将多种原材料混合在一起,按事先规定的温度、压力等参数曲线进行加工操作,如化工、食品、冶炼、皮革纺织和木材工业。

(4) 离散操作:在同一时刻或同一地点按不同的加工步骤进行加工,工件一般是固体状态的原材料,通常利用生产装配线来进行最后的组装。属于这类操作的是汽车工业、机械制造业以及家电(如冰箱等)工业。

参照美国仪器学会的分类方法,从控制的角度出发,建议把工业分成三类:连续型、混合型和离散型。在连续型工业中,主要对系统的温度、压力、流量、液位、成分和物性六大参数进行控制,其基本控制采用比例积分微分(PID)定值控制系统,一般应用商品化的传感器、调节器、记录仪和气动或电动调节阀加以实施。近年来,数字调节器和分布式控制系统(又称集散系统)已经越来越多地用来代替模拟调节器。在离散型工业中,主要对系统中的位移、速度、加速度等参数进行控制,通常采用反馈原理实现随动控制,一般应用商品化的传感器和数控装置加以实现。至于混合型,则介于两者之间,往往是两种控制系统均被采用。

习惯上把连续型工业称为过程工业(process industry),有时为突出其流动的性质而称之为流程工业(fluid process industry)。从操作性质来看,它包括连续、不连续和间歇三种操作形式。其生产特征是:呈液体状的各种原材料在连续流动过程中,经过传热、传质、生化物理反应等加工,发生了相变或分子结构等的变化,失去了原有性质而形成一种新的产品。连续型工业的生产特征决定了它在控制方面有如下特点。

- 连续型工业加工过程包括信息流、物质流和能量流,同时还伴随着物理化学反应、生化反应,以及物质和能量的转换和传递。因此,生产过程的复杂性决定了对它进行控制的艰难程度,例如过程工业的建模就是一个十分棘手的问题,同时也显示了流程工业有节省能源、降低消耗的巨大潜力。
- 流程工业往往处于十分苛刻的生产环境中,如高温、高压、真空,有时甚至是易燃或存在有毒气体、严重受到污染的环境,生产中的人身安全和设备安全都被放在最重要的位置,相应的故障预测预报和安全监控系统受到特别的重视。
- 流程工业的生产过程是连续的,因而强调生产控制和管理整体性,应把各种装置和生产车间连接在一起作为一个整体来考虑,实现了个别设备或装置的优化不一定是最优的,应求取全厂的最优化。

与离散型制造业相比,连续型制造业有以下区别。

- 生产方式不同。离散制造业一般表现为小批量、多品种,甚至单件生产,而连续生产过程一般是大批或大量生产,因此,物流和能量流都表现为连续的。
- 工艺流程不同。离散工业是离散制造,各工序间的时间次序一般不是很紧凑的,允许有缓冲单元;而连续生产过程中,由于物流和能量流是不间断的,因此各工序先后次序紧密、严格,生产的连续性一般不允许生产中有缓冲单元,工艺流程基本保持不变。

- 生产环境不同。离散制造业一般是在常规环境下进行生产,而连续生产的环境一般是苛刻的,如高温、高压、低温、低压、易燃、易爆、有毒等。
- 已有的生产技术不同。离散制造业中主要有 NC、CAD/CAM、FMS、CAE、MRP-II 等;而连续生产过程中主要有 DCS(分布式控制系统)、生产流程模拟计算、操作优化、先进控制等,两种系统在数学模型、优化目标及优化策略等方面也有显著区别。

此外,与离散工业的调度问题比较,流程工业生产调度问题还具有如下特点:

- 流程工业生产过程包括信息流、物质流、能量流,而且伴随着复杂的物理化学反应,以及突变性和不确定性等因素,是一个十分复杂的大系统。
- 生产装置间的连接有管道约束,物流连续,或者只有复杂而有限的中间存储策略。
- 流程工业的生产是连续的,因而强调生产过程的整体性,要求把不同装置和生产过程连接在一起作为一个整体,各个设备的优化不等于全厂处于最优,因而在求取全局最优的过程中有时会得到相互冲突结论。
- 流程工业中,离散决策变量与连续决策变量共存,系统内既包括连续过程变量,如生产过程,也包括离散过程变量,如生产方案的切换、调度指令的下达、随机事件的引入、生产装置的切换等,所以,连续过程的生产计划/调度系统是混杂系统,这种混杂既包括同层混杂,也包括递阶层次之间的混杂。
- 流程工业常常处于十分恶劣的生产环境,因而生产的安全性被放在最重要的位置。对一些关键设备和关键生产过程,必须有故障预报和非正常情况下的顺序自启停和连锁保护系统,以保证人身和设备的安全。

在流程工业企业中,还存在着许多亟待解决的关键问题:

- 企业中存在自动化孤岛,致使企业在决策时,缺乏准确、及时的企业资料和状况分析,导致决策失误。
- 企业管理信息冗余多、准确性差、信息不畅且不能共享、决策速度慢和管理混乱。
- 企业的计划混乱,生产能力无法正确估计,无法最大限度地挖掘企业的潜力。
- 企业的产品没有合理的库存安排,经常导致产品短缺或原料长期积压,以致停产,或者占用大量的资金。
- 企业成套设备利用率低,设备维修和维护没有计划,造成资源浪费。
- 企业对产品销售和市场需求缺乏足够的信息和细致的分析,导致企业决策失误。

以上问题日益成为流程工业企业的生产运营瓶颈,其存在导致企业效益降低,甚至破产或倒闭。面对激烈的市场竞争,许多企业转而寻求新的管理制度和先进的管理手段,以取得企业的生存和发展。智能制造系统将企业中的各子系统有机地集成起来,形成现代化的企业综合管理自动化系统,它具有整体性、通用性、有效性和可行性,使企业能够在正确的时间将正确的信息以正确的方式送给正确的人,从而做出正确的决策。

5.5.2 流程工业的制造系统

1. 过程自动化系统的定义

一个过程是指一个系统中各个使物质、能量自发改变形态并受到传送或储存的、相互影响的分过程之和。一个技术过程是指一个过程,其物理量均可通过技术手段加以量测和影响。

一台过程计算机是指一台同一个技术过程相连工作的、可自由编程的数字计算机,用它既可测取结果变量并加以利用,又可对影响变量进行计算。如今,配置在一个技术过程中的过程计算机往往不只一台,而是多台,在一些大型成套技术设备(如核电站)中甚至可达上千台。它们通过通信系统互相连接,人们将这种过程计算机组成的连接称为过程计算机系统。

图 5.23 描述了过程自动化系统的基本组成。从借助于相应的信息处理装置使技术过程自动化的目的着眼,人们只需根据需要对运行结果提出要求,该系统称为“过程自动化系统”。一个技术过程中自动化运行的分过程越多,“过程自动化”的叫法就越确切。

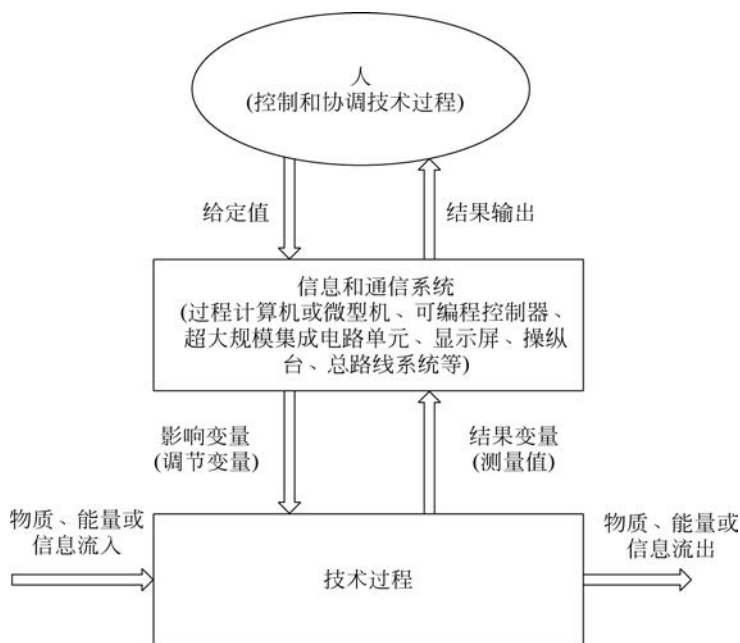


图 5.23 过程自动化系统的基本组成

2. 过程自动化系统的分类

由于技术过程和实现自动化功能的方式繁多复杂,因而有必要区分如下两类过程自动化系统:一是在单一器具或者机器(可能是大型成套设备的组成部分)中进行的技术过程自动化系统;二是由若干单一过程(分过程)组成,在规模与空间上延伸的成套设备中

运行的技术过程自动化系统。

1) 器具或机器自动化的表征特点

表 5.2 左列所示产品都属于大量生产的产品。它们具备两方面特点：一方面,为节省成本和空间,通常采用单片微型机作为过程计算机。由于自动化任务比较单纯和简单,这种微型机已能胜任。另一方面,这些微机程序的开发费用经大量产品分摊后数额甚小,程序费用可一并计入必需的程序内存的成本内。因此,这类过程计算机通常都采用“较低级”的程序语言(尤其是汇编语言)来编制程序,编程时使用的工具为程序开发系统。

表 5.2 两类过程自动化系统示例

器具或机器自动化示例	成套设备自动化示例
供热系统	邮件分拣系统
洗衣机	核电装置(蒸汽炉、汽轮机、发电机)
缝纫机	高架仓库
炊具(如洗碟机、自动灶炉)	有轨交通系统(铁路、有轨电车、地铁)
电视机	化工中的流程工艺装置
警报器	试验台
摄像机	供电网
玩具	炼钢和轧钢设备
电话回答装置	煤气站
导航系统	建筑物和住宅技术装备
汽车及其子系统	实验室装置

上述这类过程自动化系统由于执行专门的任务,故往往也称为“专用系统”。人们力求推广它们,使各种简单过程自动化,同时又要为器具或机器的使用者与操作者尽可能提供便利。图 5.24 显示出这类系统的信息死循环结构:过程的结果量被测取和处理,同时过程计算机算出给定值,以影响器具或机器中的过程与过程结果。

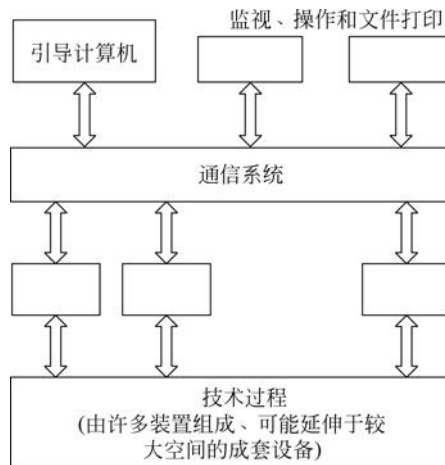
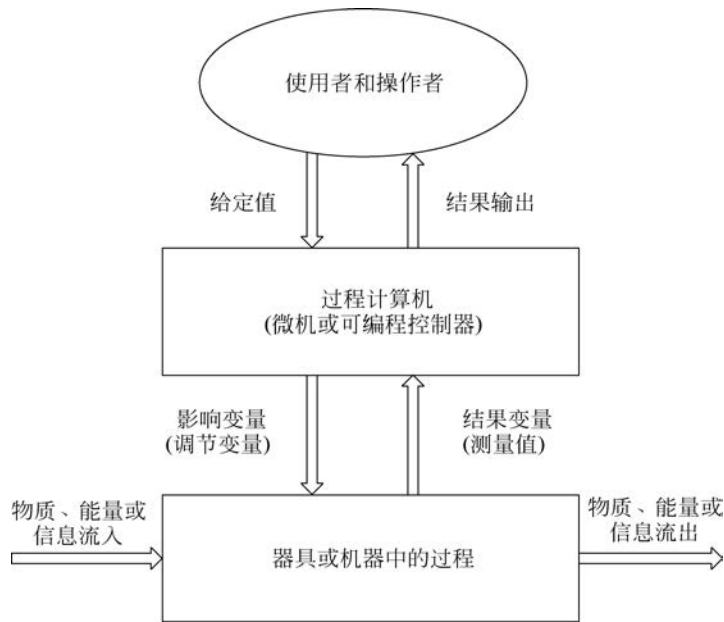
2) 成套设备自动化的表征特点

表 5.2 右列所示示例都必须完成繁多复杂的自动化功能。这类成套设备自动化系统通常都按特殊要求开发、设计和制造(故称为“一次性系统”)。虽然为了降低系统成本,人们尽量采用模块式结构的过程计算机系统,但它们毕竟又必须符合对成套设备本身的技术要求。

图 5.25 为基于上述考虑而给出的这类过程自动化系统的结构图。图 5.25 中,各种自动化功能分配给各个过程计算机来实施。过程计算机通过通信系统互相连接,并与用于过程监视、操作和文件打印的工作站计算机相连。

在分配自动化功能时作如下考虑:为各机组配置专用的小过程计算机(往往用微机)或可编程控制器来实施那些“邻近”过程的各种功能(如监视、控制、简单调节等),同时把过程优化和整体运行方面的任务留给较大的“引导机”来承担。

这类系统的硬件系统通常均由适于不同配置和不同技术设备的通用单元组成,但其



用于不同计算机的程序系统(即所谓软件系统)则大多要就每个设备专门开发。因此,这类过程自动化系统的软件开发费用很高。如果加上软件维护费用,则软件费用往往超出硬件费用很多。

3. 计算机集成生产系统

自 20 世纪 30 年代以来,自动化技术获得了惊人的成就,已在工业生产和科学发展中起着关键作用。当前,自动化装置已成为大型设备不可分割的重要组成部分。可以

说,如果不配置合适的自动控制系统,大型生产过程根本无法运行。实际上,生产过程自动化程度已成为衡量工业企业现代化水平的一个重要标志。

自动化技术发展的历史与生产过程本身的发展存在着密切的联系,是一个从简单形式到复杂形式,从局部自动化到全局自动化,从低级智能到高级智能的发展过程。自动化在工业生产中的作用大致经历了如表 5.3 所示的 4 个阶段。

表 5.3 过程控制发展的 4 个阶段

阶段	阶段 1 (20 世纪 60 年代以前)	阶段 2 (20 世纪 70—80 年代)	阶段 3 (20 世纪 90 年代— 2015 年)	阶段 4 (2015 年以来)
控制理论	经典控制理论	现代控制理论	控制论、信息论、系统论、人工智能等学科交叉	互联网、大数据、人工智能等新一代信息技术
控制工具	常规仪表(液动、电动)	分布式控制系统(DCS)	计算机网络	工业互联网
控制要求	安全、平稳	优质、高产、低消耗	市场预测、快速响应、柔性生产、创新管理	预测运营与一体化计划
控制水平	简单控制系统	先进控制系统	综合集成自动化系统(CIPS)	预测与智能控制

从表 5.3 中可以看出,在过程控制发展的第 3 个阶段,控制理论强调多学科的交叉与融合,并随着以计算机网络为代表的控制工具的快速发展,工业自动化已突破局部控制的模式,进入全局控制,既包含了若干子系统的死循环控制,又有大系统的协调控制、最优控制以及决策管理,即管理控制一体化的新模式。它的出现将使工业自动化系统在大量获取生产过程和市场信息的基础上,科学地安排生产、调度生产,发挥设备的生产能力,最终达到优质、高产、低消耗的控制目标。人们习惯把 CIM 在离散型工业中的应用系统称为 CIMS,而把它在过程工业中的应用系统称为 CIPS(计算机集成生产系统)。多年的研究和实践表明:CIPS 是过程工业自动化发展的必然趋势。

由于连续制造业与离散制造业的不同,CIPS 的体系结构也有所不同,按照 CIM 的思想和流程工业的特点,CIPS 体系结构(图 5.26)一般分为 5 层,自下而上依次是控制级、监控级、调度级、管理级、决策级,各级功能概述如下。

(1) 控制级:实现直接对生产对象进行过程控制和生产设备工艺参数的检测,主要由分布式控制系统(DCS)及 PLC(可编程逻辑控制器)和一般 PC 完成,同时要完成装置工况异常的报警安全连锁,这一级现在大部分工厂已基本实现。

(2) 监控级:主要负责对生产状况进行监控、工艺参数的管理,还完成相应生产装置的先进控制(如预测控制、推断控制、解耦、自适应控制和不可预测输出的估计等)。这一级对各工序进行高一级的控制,它运行在上位计算机上,作用于 DCS。

(3) 调度级:以全厂各车间为对象,根据决策层、管理层及物料流、能量流的信息,确

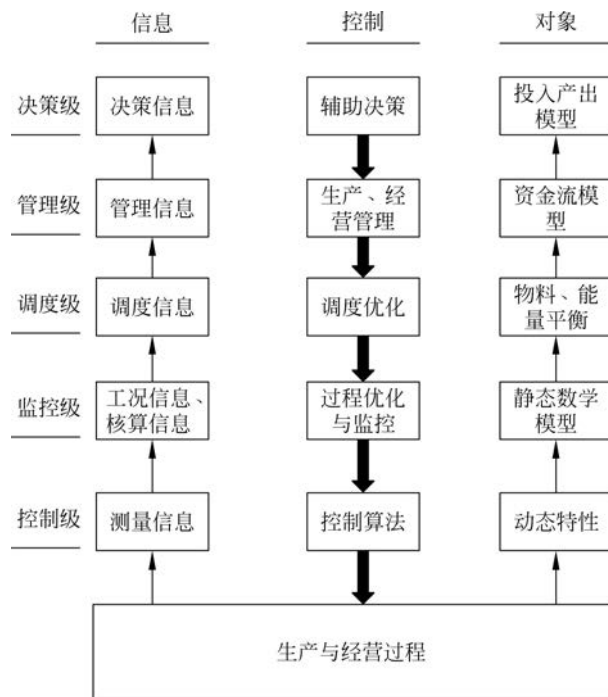


图 5.26 CIPS 体系结构图

定生产负荷,完成生产状况的预测和计划工作并下达作业调度,组织日常均衡生产,对系统可能发生的故障进行预报和诊断,负责生产的指挥和处理异常的事件。

(4) 管理级:按部门落实综合计划的内容,负责以经营管理、生产管理、人文管理为内容的日常管理,主要涉及计划、统计、财务、人事、劳资、设备、质量、供应、销售、物质、能量、环保。

(5) 决策级:根据各种信息(自身经营状况、市场信息、国家政策)制订全厂的长远发展规划、新产品的开发规划、年度综合计划等宏观性的生产经营策略,以全厂为对象,寻求全厂的整体优化,以取得最大经济效益。

4. 流程工业的智能制造技术

流程工业是一类高度复杂的工业系统,不仅伴随有物理、化学反应过程和生化反应过程,还有物质与能量的传递、转换过程,其过程特征多表现为大范围连续性和不确定性、高度非线性和强耦合性,加上流程工业的企业决策、经营销售、计划调度、物资供应、库存运输、产品开发的锁链关系,给流程工业实现企业综合管理、调度、优化和控制带来了超大的难度,仅靠基于精确数学模型和解析数学方法的控制与优化理论或某种孤立的自动化技术是不能解决好问题的,应用智能制造技术和系统将是解决流程工业复杂综合自动化的一种途径。

目前,流程工业信息系统不仅包括工序层的过程控制系统(PCS)、车间层的制造执行

系统(MES)、企业层的企业资源计划(ERP),可能还包括设备层的设备分布式控制系统(DCS/PLC)、工厂层的制造资源计划(MRP)、供应链协同等信息系统,覆盖了产品、制造、管理和运营保障等不同主题域,DCS、PCS、MES、MRP、ERP与供应链协同等6个层次都有不同的数据库支持,如PCS实时数据库、ERP关系型数据、企业运营过程中大量半结构化和非结构化数据等,从而形成了产品、制造和管理等不同主题域的数据来源。

这些业务流程、服务和数据等产品/制造/管理信息,分布在设备、工序、车间和企业等不同层级,以及采购、生产、运营服务等不同的业务部门之间,形成了产品/制造/管理等企业信息的跨层域分布。因此,数据跨产品/制造/管理等主体域的实时互联、服务跨域共享以及跨域流程管理等也是建设有色金属工业智能工厂和智能制造系统的关键要素。要实现人机物共融制造系统的横向集成和纵向协同,需要解决如图5.27所示的信息系统不同层面不同主题域数据的互联、共享和融合,以及不同层次之间业务系统的协同问题。

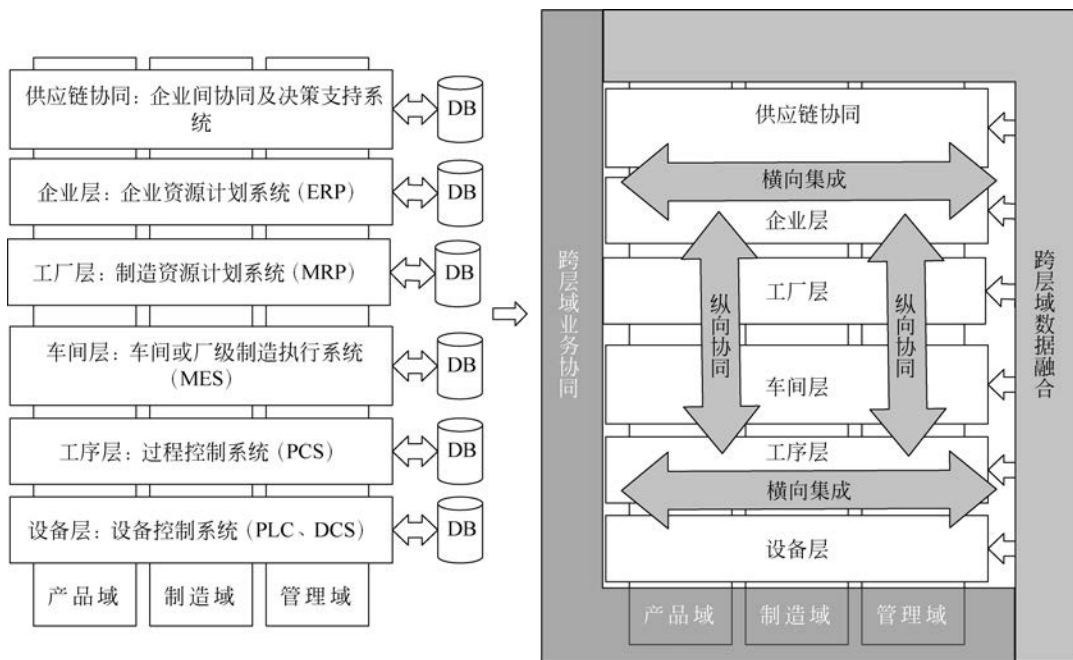


图 5.27 信息系统跨层域业务协同与数据融合

应用新一代信息技术,构建面向流程工业的网络协同制造技术平台,聚焦流程工业产供销一体化计划运营决策、调度生产预测性运营与优化、关键工序跨层域优化控制等人机物高效协同与运营优化的功能需求,构建流程工业人机物融合的智能制造系统平台架构(图 5.28),支持流程工业人机物协同决策。人机物智能环境由多个具有协同感知、优化、控制和监控等功能系统构成,人机物协同决策则支持产供销一体化运营决策、调度生产预测性运营与优化、关键工序跨层域优化控制等,实现从原材料采购到产品销售的

全流程优化控制和决策。

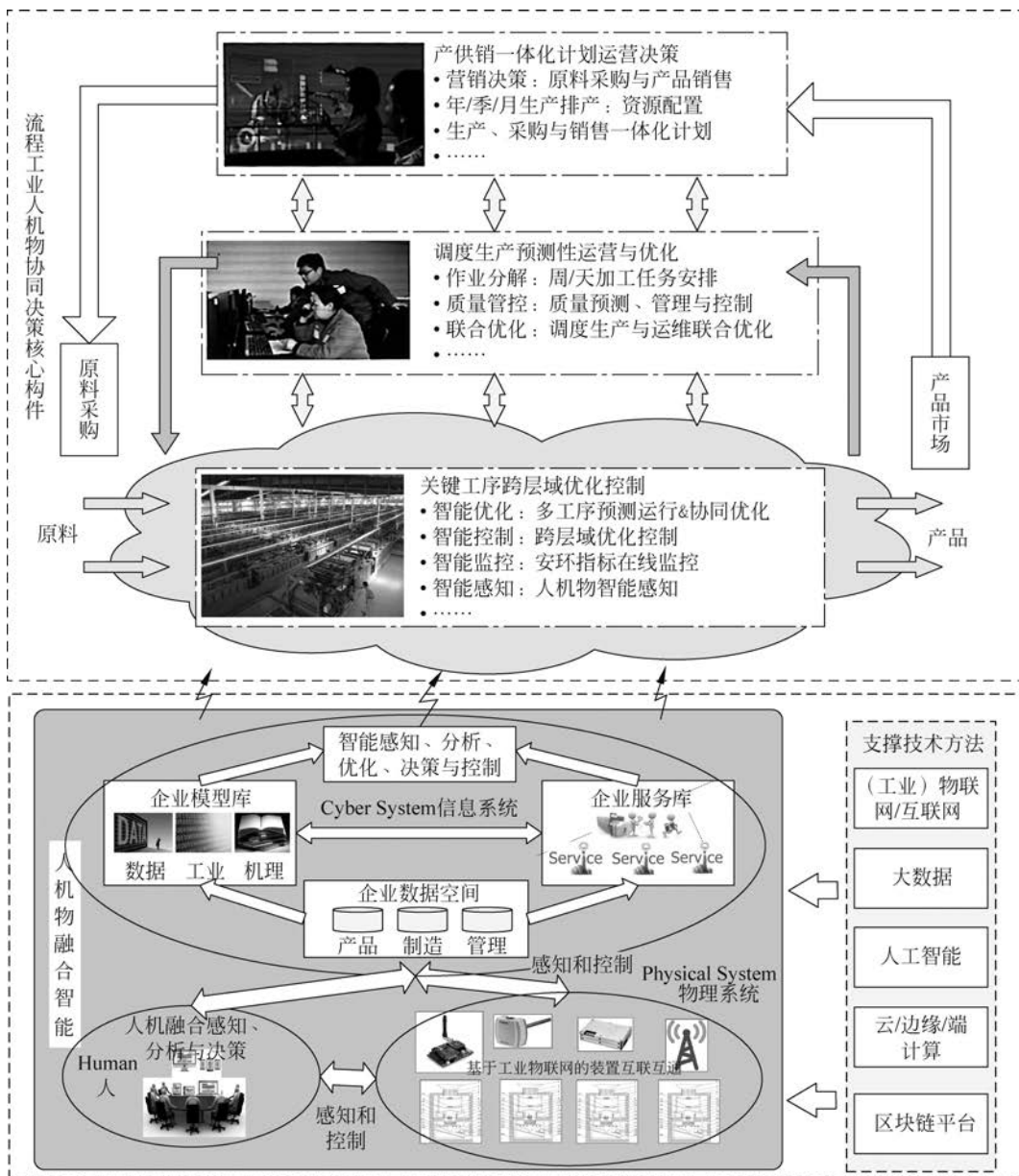


图 5.28 流程工业人机器物融合与协同决策的功能架构

结合流程工业特点,我们认为设计流程工业智能制造系统应该遵循以下指导思想。

1) 要体现流程工业的特点并具有代表性和指导性

鉴于流程工业的特点,流程工业智能制造系统的设计不仅要考虑现有的组织机构和人员配置的特点,而且要考虑各种状态因素和行为因素的影响,从流程工业企业实际需

要出发,抓住生产“瓶颈”,以经济效益为驱动,使其能够符合现代生产、管理、控制和技术等方面的需要,并不断推进流程工业智能制造系统工程的深入发展。因此,必须结合流程工业的特点,体现流程工业自身的工业生产特征。同时,基于流程工业在技术、管理、经济以及工程方面独有的特征,流程工业智能制造系统具有其自身的关键技术、问题及理论,其研究指导思想、设计方法、体系结构与参考模型均与离散工业制造系统有差异,尤其表现在生产调度、监控及应用系统等方面。

同时,强调内容和途径的研究要具有代表性和指导性。例如,炼油企业作为典型的流程工业,它是以石油为原料,经过各种复杂的化工和物理过程(如反应、蒸馏、分离、传热、传质等),生产各种油品和石化产品的产业,技术与资金密集、规模大、流程长、过程复杂是其基本特征。它的横向生产过程是一个物流过程,包括原料进厂、存储、生产、运输,以及为之服务的公用工程与维护,广义上讲,包括了企业生产经营的各个环节和整个供应链。纵向业务过程又体现了从生产、调度、计划、管理到决策的整个过程。同时,从我国流程工业智能制造系统工程的研究与实施情况看,大部分是针对炼油与石化企业的。因此,以炼油企业为典型对象研究的流程工业智能制造系统是具有代表性的,研究成果对其他流程工业企业同样具有指导性。

2) 实现体系结构向 ERP(企业资源计划)/MES(制造执行系统)/PCS(过程控制系统)一体化计划过渡,强调 MES 的重要性

MES 将生产活动和管理活动的信息集成并集中于 MES,诸如汽车、半导体、电子、航空等行业。MES 是处于计划层和控制层之间的执行层,主要负责生产管理和调度执行。MES 注重知识的提取和相关信息的集成,目的是缩短生产周期、改善产品质量、缩短 WIP(work-in-progress)、减少或消除移动中的纸上工作、缩短订货至交货的时间、提高操作人员能力,从而提高企业效益和竞争力。可以说,流程企业生产过程的安全、稳定、均衡、优质、高产、低耗和少污染目标的实现,企业内部物流的控制与管理、生产过程成本的控制与管理等生产管理活动都在 MES 层完成,因此 MES 层的信息集成至关重要。另外,必须强调知识的重要性,MES 应该以知识为主线,体现知识驱动。

3) 体现生命周期和集成平台的设计思想

一个大型复杂的自动化系统由立项到建成,需要经历生命周期的各个阶段,如可行性论证、需求分析、初步设计、详细设计、开发实施、运行维护等。在各个阶段中,既要完成本阶段的特定任务,又要相互衔接,前一阶段为后一阶段准备必要的信息,后一阶段比前一阶段更为具体,考虑更多的现实条件。因此,应当把整个生命周期的各个阶段联系起来,建立全过程体系结构,而不是孤立地用最终实现的“应用系统”的结构来代替全过程的体系结构,这一思想近年来已被国内外研究体系结构的学术团体普遍接受。按照生命周期观点建立起来的系统体系结构比单纯的最终系统结构能更全面地指导系统的分析、设计、实施及运行的全过程。

系统集成的实现,对于各种不同的应用程序的接口,采用逐级支持的方式:计算机→网络→分布式数据库→应用集成→应用软件。为了减少集成的复杂程序,应付系统变更

及扩充,促进标准化,人们已不再采用一个个应用软件及相互间接口的独立开发方法,而是引入体系结构的基本思想,提出软件开发平台的概念。“集成平台”某种意义上是一个软件平台,当然也离不开硬件平台的支撑,对下支持异构的信息环境,对上实现应用软件的集成,即各种应用软件可方便地引入,以有效地实现信息集成和功能集成。采用集成平台给流程工业制造系统的实现带来很大好处:一是可减少集成的复杂程度,作为应用系统,仅仅要求任务与平台发生联系,而不必知道任务与其他应用系统的联系;二是平台的适应性和通用性强,能适应用户不断变化的要求,将来自应用系统的结构关系、交互机制、信息形式、数据结构、通信协议的信息传送并放入集成基础设施中,使系统便于修改;三是可促进标准化,在平台与应用系统之间建立一个一致性接口,使之成为一个系统的标准模块。

4) 强调基于模型的结构化设计方法

基于模型驱动的信息集成方法可用于建立企业重构信息集成模型,其主导思想是:在先进制造哲理思想的指导下,首先建立企业制造系统的体系结构模型,然后根据一般参考模型,并结合企业的具体情况,建立企业的各个域中的各个层次模型;再利用合适的集成平台,对各种可行方案进行仿真,并最终确定企业的集成方案。实现基于模型驱动的信息集成方法需要有一个工作平台,它不仅包括一系列工具,如建模工具(由实体到模型,由具体到抽象)和仿真工具,支持在不同层次上的仿真,从高层的战略计划到底层的详细设计与实施的模型仿真;而且包括评估准则,对每套方案进行仿真时,在不同层次上都应当有相应的评判标准,以考评系统的表现。因此,模型驱动的体系结构实质上就是在在一个建造好的工作平台上进行以下几项工作。首先利用各种工具建造好现有系统的各个不同层次的模型,其次参照典型的企业概念模型在企业高层的参与下设计出理想的或者说是期望的企业模型,最后按各生命周期逐渐演化出各部分的经营模型、子系统模型、资源模型、集成模型、实时模型,并不断进行优化、仿真,指导设计者选取最优的解决方案,直至实现最终的物理系统。在这一过程中,建模方法极其重要,不仅要求保持模型在各阶段的一致性、准确性,而且要尽量减少工作量,同时应选取不同的解决方案。

5) 强调人的作用

如果不充分考虑人的行为因素,流程工业制造系统也很难取得成功,必须从一开始就充分重视人、组织、环境等行为因素的影响;而且一个流程工业制造系统或其子系统必须包括计算机软硬件系统、人机交互系统和工具以及用户三部分的集成。

6) 融合生产全流程的大数据信息,提供智能决策

在原有自动化系统的基础上,充分融合人的知识,应用大数据、云计算、(移动)网络通信和人机交互的知识型工作自动化以及虚拟制造等现代信息技术,从生产、管理以及营销全过程优化出发,推进以高效化、绿色化和智能化为目标的流程工业智能优化制造系统,不仅要实现制造过程的装备智能化,而且制造流程、操作方式、管理模式也实现自适应智能优化,使得企业经济效益和社会效益最大化。

习题

1. 阐述制造业的生产组织方式。
2. 产品研发与设计系统由哪些部分构成？
3. 生产系统由哪些部分构成？
4. 管理与服务系统由哪些部分构成？
5. 流程工业的制造系统有哪些特点？