

## 网络化制造的内涵与关键技术问题\*

范玉顺

清华大学自动化系, 北京 100084

**摘要:** 网络化制造是一种先进制造模式。在分析了网络化制造的需求背景和技术驱动因素的基础上, 本文对网络化制造的基本特征和内涵进行了讨论, 并给出了网络化制造的相关定义。结合所给出的网络化制造系统的结构, 对网络化制造系统的层次和主要功能进行了介绍, 最后对网络化制造涉及的关键技术进行了分类, 并给出了主要的关键技术问题。

**关键词:** 网络化制造, 先进制造模式, 系统结构, 集成技术

### 引言

网络化制造是在网络经济条件下产生并得到广泛应用的先进制造模式。与其他先进制造模式的产生和应用背景一样, 网络化制造这种先进制造模式的产生也是需求与技术双轮驱动的结果。需求是网络化制造模式产生和应用的基础, 技术是网络化制造模式使能的条件。对网络化制造模式的需求一方面来自于市场竞争的压力, 另一方面来自于企业提高自身生产经营管理水平的需要。信息技术与网络技术, 特别是因特网 (Internet) 技术的迅速发展和广泛应用, 促进了网络化制造的研究和应用。

实施网络化制造是为了适应当前经济全球化、区域经济发展、行业经济发展和重大技术装备研发的需求而采用的一种先进制造模式, 网络化制造也是实施敏捷制造和动态联盟的需要, 网络化制造还是企业为了自身发展而采取的加强国际合作、参与国际竞争、开拓市场、降低成本、实现定制化生产的需要。

网络化制造的技术驱动力首先来源于企业生产经营中心的转变, 随着市场竞争的日益激烈, 企业的生产经营围绕的中心主题也在不断地变化。概括来看, 企业的生产经营围绕的中心主题经历了以生产为中心、以产品为中心到以客户为中心的转变过程, 企业必须采用先进的网络化制造技术, 从与客户建立业务关系、签定产品定单开始, 到用户参与产品设计、了解产品的制造进展情况, 直到为用户提供基于网络的产品全生命周期的优质服务和技术支持, 这样, 才能够真正实现以客户为中心的企业生产经营战略。同时, 网络化制造的技术驱动力还来源于以下因素。企业产品设计生产管理模式的创新, 从最初的独立设计、独立制造, 到目前的设计制造集成, 并且向着产品的全生命周期管理的方向的发展; 企业信息技术应用

---

\* 863 计划/CIMS 主题资助项目 (编号: 2002AA414050)

范围的扩大,在广度上,从部门级应用、企业内集成发展到了企业间集成,在深度上,从信息集成、过程集成发展到知识集成,先进制造技术的发展和运用,先进制造技术的发展是以先进的信息技术和网络技术作为核心使能技术的,尤其是敏捷制造模式的应用和动态联盟企业的运行更是离不开网络技术的支持,网络化制造技术是实施敏捷制造的核心使能技术,同时,网络化制造技术本身又是先进制造技术与网络技术结合的产物,是先进制造模式在因特网环境下的发展和应用;网络技术的日益成熟,为网络化制造模式的实施提供了有力的技术支持。

开展网络化制造模式及相关理论方法的研究、开展网络化制造系统的实施与应用的研究、开展网络化制造相关软件平台与工具系统的开发具有非常重要的理论意义、应用价值和产业化前景。本文对网络化制造的基本特征和内涵进行了讨论,在此基础上给出了网络化制造的相关定义和网络化制造系统的结构与主要功能,并对网络化制造涉及的主要关键技术问题进行了讨论。

## 1. 网络化制造的基本特征和定义

国内外许多专家、学者、企业应用人员已经在网络化制造方面开展了大量的研究和应用实践,取得了丰富的成果<sup>[1-11]</sup>。其中,我国学者针对网络化制造的相关问题开展了许多具有开创性的研究工作,这为进一步深入研究网络化制造的相关理论、方法、工具、系统和应用奠定了良好的基础。

网络化制造的概念具有丰富的内容,其内涵尚处于不断发展过程中,总结当前的研究成果,可以归纳出网络化制造具有以下基本特征:

- 网络化制造是基于网络技术的先进制造模式。它是在因特网和企业内外网环境下,企业组织和管理其生产经营过程的理论与方法;
- 覆盖了企业生产经营的所有活动。网络化制造技术可以用来支持企业生产经营的所有活动,也可以覆盖产品全生命周期的各个环节;
- 以快速响应市场为实施的主要目标之一。通过网络化制造提高企业的市场响应速度,进而提高企业的竞争能力;
- 突破地域限制,通过网络突破地理空间上的差距给企业生产经营和企业间协同造成的障碍;
- 强调企业间的协作与全社会范围内的资源共享。通过企业间的协作和资源共享,提高企业(企业群体)的产品创新能力和制造能力,实现产品设计制造的低成本和高速度;
- 有多种形态和功能系统。结合不同企业具体情况和应用需求,网络化制造系统有许多种

不同的形态和应用模式,在不同形态和模式下,可以构建出多种具有不同功能的网络化制造应用系统;

在分析了网络化制造的基本特征的基础上,下面给出网络化制造、网络化制造系统和网络化制造技术的定义和解释。

**网络化制造**:网络化制造是企业为应对知识经济和制造全球化的挑战、实施的以快速响应市场需求和提高企业(企业群体)竞争力为主要目标的一种先进制造模式。通过采用先进的网络技术、制造技术及其他相关技术,构建面向企业特定需求的基于网络的制造系统,并在系统的支持下,突破空间地域对企业生产经营范围和方式的约束,开展覆盖产品整个生命周期全部或部分环节的企业业务活动(如产品设计、制造、销售、采购、管理等),实现企业间的协同和各种社会资源的共享与集成,高速度、高质量、低成本地为市场提供所需的产品和服务。

网络化制造定义中所指的网络技术包括因特网、企业内联网和企业外联网技术;企业间协同包括产品设计协同、制造协同、供应链协同和商务协同;社会资源包括制造资源、智力资源和环境资源。作为一种先进制造技术与网络技术结合的先进制造模式,网络化制造为企业指出了在网络环境下,通过企业间协同,集成和利用全社会资源开展企业的生产经营管理活动的指导思想,在这一指导思想下,结合企业具体应用需求,构建特定的基于网络的制造系统,为企业的业务运作提供系统和工具上的支持。因此,网络化制造既包括了通用的基础性的网络化制造模式、理论和方法,又包括结合企业具体需求构建的各种形式的网络化制造系统,还包括一批支持网络化制造系统的规划、组织、设计、实施、运行和管理的技术。

**网络化制造系统**:网络化制造系统是企业在网络化制造模式的指导思想、相关理论和方法的指导下,在网络化制造集成平台和软件工具的支持下,结合企业具体的业务需求,设计实施的基于网络的制造系统。

这里所指的制造,是大制造的概念,既包括传统的车间生产制造,也包括企业的其他业务。根据企业的不同需求和应用范围,设计实施的网络化制造系统可以具有不同的形态,每个系统的功能也会有差异,但是它们在本质上都是基于网络的制造系统,如网络化产品定制系统、网络化产品协同设计系统、网络化协同制造系统、网络化营销系统、网络化资源共享系统、网络化管理系统、网络化供应链管理系统、网络化设备监控系统、网络化售后服务系统、网络化采购系统等。

**网络化制造技术**:网络化制造技术是支持企业设计、实施、运行和管理基于网络的制造系统所涉及的所有技术的总称。

## 2. 网络化制造的内涵

网络化制造具有丰富的内涵。网络化制造理论是在协同论、系统论、信息论、分形论等相关理论的基础上发展起来的。网络化制造模式体现了分布和集中的统一、自治与协同的统一、混沌和有序的统一。

### ● 分散和集中的统一

网络化制造是通过网络将地理位置上分散的企业和各种资源集成在一起,形成一个逻辑上集中、物理上分散的虚拟组织,并通过虚拟组织的运作实现对市场需求的快速响应,提高参与网络化制造的企业群体或产业链的市场竞争能力。另外,参与网络化制造的每个企业都有其特定的市场定位和企业目标,因此是分散的,但是在针对一个特定的市场需求时,这些通过网络连接在一起的企业又具有一个共同的目标。因此,网络化制造在企业的个体目标和群体目标、企业的物理位置和企业联盟的逻辑上体现了分散与集中的统一。

### ● 自治与协同的统一

参与网络化制造的每个企业都可能是一个独立的实体,每个企业都有自己独立的组织体系和决策机制,每个企业都有独立的运作方式和管理方法,在决定企业的行为和行为方式上每个企业是高度自治的。但是,当这些企业通过网络化制造的方式联系在一起时,他们又必须是协同的,而且协同的程度越高,企业间合作的效率就越高,联盟企业的经济效益就越好。因此,网络化制造体现了每个企业个体自治而企业间协同的统一。

### ● 混沌和有序的统一

由于每个企业是独立自主的,因此,每个企业的运行模式和运行状态是不同的,所有这些不同的运行状态构成的状态空间整体上呈现一种混沌的形态。但是,当这些企业通过网络化制造构成一个虚拟联盟时,联盟的运行又呈现有序的状态,并且整个联盟将朝着提高产品质量、缩短产品交货期、降低产品成本的方向进化。因此,通过网络化制造可以实现混沌向有序的转化,体现了混沌和有序的统一。

网络化制造不是简单的制造网络化,它是符合网络经济规律的一种新的制造模式,在这种模式下,企业的运作方式与经营理念都会与传统企业不同。开展网络化制造不仅仅是技术问题,更重要的是建立符合网络经济(知识经济)规律的企业文化、管理机制和运作模式。网络化制造带来的企业经营理念和运作方式的变化可以反映在以下几个方面。

### ● 企业经营范围和方式上的变化

首先,网络化制造突破了空间地域对企业生产经营范围和方式的约束,在经营范围上,企业可以面向全球开展其业务,在全球范围内寻找其零部件供应商,选择进行产品创新开发

制造的合作伙伴,开展产品销售;在经营方式上,企业可以通过基于网络的制造系统实施更加符合用户需求的业务运作方式。

### ● 时间观念上的变化

由于网络化制造模式突破了区域地理上的约束,因此,导致了原来局限在一个固定时区的企业业务运行时间在观念上发生了变化。通过在不同的地点建立多个开发组,利用这些不同地点存在的时差,采用将设计任务在不同地点的开发团队之间进行传递的工作方式,可以实现产品 24 小时不间断的开发,这样可以仅用传统产品开发周期几分之一的时间完成产品的开发。另外,企业必须能够以  $7 \times 24$ (每周 7 天,每天 24 小时)的方式迅速对用户的需求进行响应,因此,企业必须建立起在非正常工作时间(传统的 8 小时以外)对用户需求进行处理的系统,包括自动应答、记录、预处理、启动相应的业务流程和决策流程等。

### ● 组织结构上的变化

在网络化制造模式下,需要建立以过程和项目管理为主线、以团队工作为主要方式的新型组织结构,并且按照这个新的组织结构,对参与人员和部门在责、权、利上进行重新划分,以网络技术为手段,以创新为原动力,形成有利于加强团队合作精神和共享知识、遵循网络经济规律的新的企业组织模式。

### ● 资源观念上的变化

网络化制造模式的应用还将导致企业资源观念的变化。企业对资源的认识要从企业内的资源扩展到社会的资源,企业要充分利用全社会的资源,包括制造资源、智力资源和知识资源,通过社会范围内的资源共享,提高企业(企业群体)的产品创新能力和制造能力,实现产品设计制造的低成本和高速度。

### ● 企业间关系观念的变化

在网络化制造模式下,需要改变传统的认为企业间主要是竞争关系的观念,倡导和贯彻企业间竞争与合作的理念,将对供应链上每个环节的管理模式从单纯的合同契约关系管理变成共同发展伙伴关系管理,伙伴之间充分实现知识共享、优势互补、利益共享和风险共担。

网络化制造除了给企业经营模式带来上述变化外,其本身还具有以下重要特性。

### ● 敏捷性

这里所指的敏捷性有两个含义。第一个含义是指通过实施网络化制造,提高企业的创新产品研制生产能力、缩短产品开发周期,以最快的速度响应市场和客户的需求,进而提高企业对市场的敏捷性。第二个含义是企业设计实施的网络化制造系统本身也应该能够根据应用需求的变化,灵活快捷地对系统的功能和运行方式进行快速重构。

- **协同性**

网络化制造系统实施应用的主要技术目标是实现协同,这也是网络化制造模式区别于其他先进制造模式的主要特点之一。通过协同的方法和手段来提高企业间合作的效率,缩短产品开发周期,降低制造成本,缩短整个供应链的交货周期。按照网络化制造系统支持的协同范围和层次,可以将协同分为企业间协同、供应链协同、产品设计协同、产品制造协同、客户与供应商协同。不同的协同有不同的技术内涵和目标,也有各自的实施技术和支持环境。

- **数字化**

由于网络化制造是一种基于网络的制造系统,通过网络传递涉及产品设计、制造、管理、商务、设备、控制等各种信息,因此,数字化是网络化制造的重要特征,也是实施网络化制造的重要基础。

- **直接化**

通过网络化制造的方式,企业可以直接与用户建立连接,也可以使用户直接参与到企业的产品设计制造过程中,从而减少消息传递过程造成的信息失真和时间上的延误。通过网络化制造的方式,企业还可以直接与供应商建立连接,从而减少中间环节,降低零部件的采购成本。

- **远程化**

网络化制造几乎是无限地延伸了企业的业务和运作空间,企业通过利用网络化制造系统,可以对远程的资源 and 过程进行控制和管理,也可以像面对本地用户一样方便地与远在千万里之外的客户、合作伙伴、供应商进行协同工作。

- **多样性**

网络化制造系统具有多样性的特点。虽然,网络化制造具有相对通用的理论基础和方法,但是在结合具体企业实践的基础上设计实施的网络化制造系统却具有多种多样的形式。如针对具体的企业的需求,可以实施网络化产品定制系统、网络化产品协同设计系统、网络化协同制造系统、网络化营销系统、网络化管理系统、网络化设备监控系统、网络化售后服务系统、网络化采购系统等等。

### 3. 网络化制造系统的结构与主要功能

网络化制造系统是一个运行在异构分布环境下的制造系统。在网络化制造集成平台的支持下,帮助企业在网络环境下开展业务活动和实现不同企业之间的协作,包括协同设计制造、协同商务、网上采购与销售、资源共享、供应链管理等。图 1 给出了网络化制造的系统结构。

从图 1 中可以看出,网络化制造系统包含四个层次:第一层是基础层,主要为实施区域

网络化制造提供基础性的支持,包括基础数据库(产品资源库、制造资源库、基础数据库等)相关的技术基础(标准、规范、系统体系结构、网络化制造系统实施指南等)网络化制造相关标准与协议等;第二层是应用与使能工具层,主要包括各种实施网络化制造所需要的应用软件系统(CAD、CAPP、CAM、PDM、ERP等)和使能工具(项目管理、企业建模与诊断、设备互连等),这些应用软件系统和使能工具为企业实施网络化制造提供技术支持;第三层是应用系统层,它是企业实施网络化制造最主要的功能支持层;第四层是企业用户层,通过互连网络实现企业互连,在项目管理和过程管理系统的支持下开展企业网络化制造实际应用。

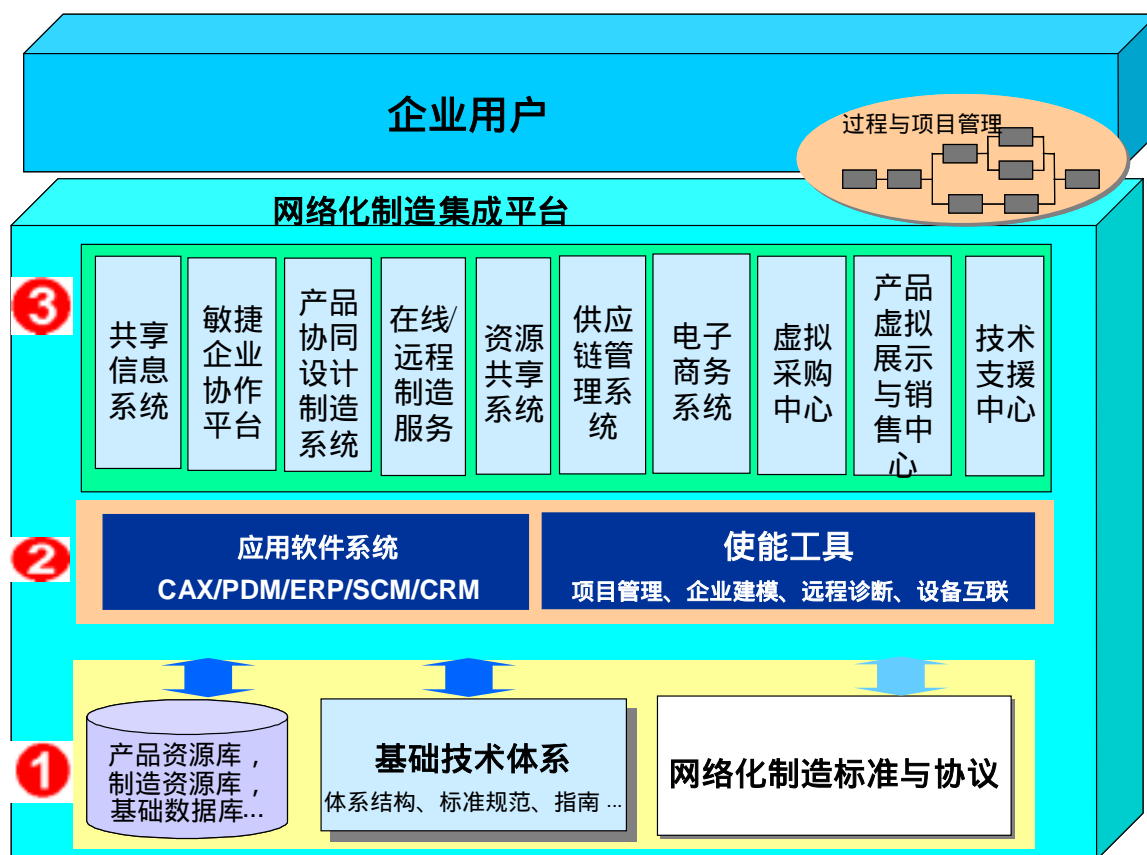


图 1 网络化制造系统的结构

网络化制造系统应用层包括的主要功能如下：

### (1) 共享信息平台

为制造企业提供企业信息、产品信息和供求信息发布机制,企业能方便地将自身的信息在区域/行业网络化制造平台上发布,供其他企业用户查询。同时,提供信息检索、供求配对导航、智能信息代理服务及各种个性化服务。

### (2) 敏捷企业协作平台

企业间协作除原材料采购和产品销售等商务活动之外,在协作过程中还存在大量的信息交流活动,需要建立一个敏捷的网络化协作平台,以提高企业间协作的效率、降低协作成本。敏捷企业协作平台提供以下几方面的功能:产品工程图纸和技术资料的传送与在线浏览,生产任务的异地进度监控与信息管理,虚拟会议室等等。

### **(3) 产品协同设计制造系统**

为企业开展异地产品协同设计制造提供支持,包括跨企业产品数据管理、跨企业的产品并行设计制造、产品的虚拟设计与制造、产品研制的项目与过程管理、跨企业的产品可视化系统等。

### **(4) 在线/远程制造服务**

在线/远程制造服务通过对制造设备进行封装,实现制造设备的上网,能够为需要制造服务的其他企业提供在线和远程的制造工作。

### **(5) 资源共享系统**

实现企业间共享资源的管理和企业间资源的优化配置,提高资源的利用率。资源共享系统提供共享资源的注册、删除、修改和查询等功能,通过建立系统共享模型,实现对共享信息的维护。

### **(6) 供应链管理系统**

采用供应链管理的方法建立面向产业链的物流管理和信息管理系统,通过提高整个供应链的竞争力来加强企业群体的整体竞争力。

### **(7) 电子商务系统**

结合企业、行业或区域的经济特色,建立为企业、行业或区域经济服务的电子商务系统,提供方便和低价的电子商务服务。

### **(8) 虚拟采购中心**

建立面向行业性的中小企业虚拟供应链和区域性网络化供应系统,使企业能够通过网络在动态供应链中进行合作,实现从订货合同获取、执行到完成的整个过程的集成化管理与优化。

### **(9) 产品虚拟展示与销售中心**

建立产品展示和销售的集成系统,采取集中与分散链接相结合、实物产品和虚拟产品并存的方案,为展示和推销企业产品提供一个良好的平台。

### **(10) 技术支援中心**



网络化制造系统仅依靠企业的参与是不够的,还应该依托大专院校、科研院所、系统咨询公司、中介服务公司和生产力促进中心等建立起技术支援中心,为各制造企业提供强大的技术支持。技术支援中心需要建立有效的协同工作环境,为企业提供商务、设计、生产等方面的技术咨询服务和广泛的社会技术资源。建立技术支援体系可以解决企业人才资源短缺的问题,对于中小企业具有更重要的意义。

#### 4. 网络化制造的关键技术问题

网络化制造的研究与应用实施中涉及大量的组织、使能、平台、工具、系统实施和运行管理技术,对这些技术的研究和应用既可以深化网络化制造系统的应用,同时又可以促进先进制造和信息技术的理论、方法及工具系统的研究与发展。

网络化制造涉及的技术大致可以分为总体技术、基础技术、集成技术与应用实施技术。

图 2 给出了网络化制造涉及的关键技术分类及每个技术大类的含义与主要内容。

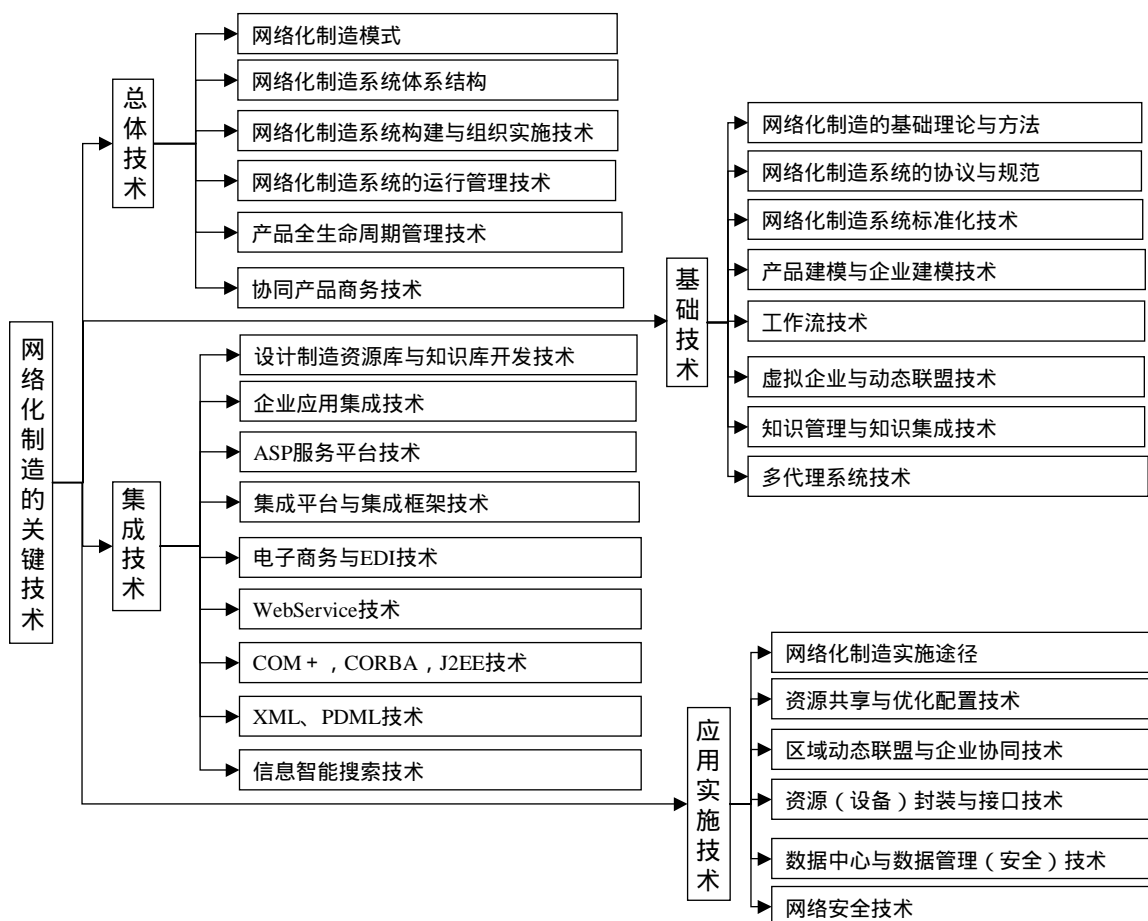


图 2. 网络化制造的关键技术

##### ● 总体技术

总体技术主要是指从系统的角度研究网络化制造系统的结构、组织、与运行等方面的技

术,包括网络化制造的模式,网络化制造系统的体系结构,网络化制造系统的构建与组织实施方法,网络化制造系统的运行管理,产品全生命周期管理和协同产品商务技术等。

#### ● 基础技术

基础技术是指网络化制造中应用到的共性与基础性技术,这些技术不完全是网络化制造所特有的技术,包括网络化制造的基础理论与方法,网络化制造系统的协议与规范技术,网络化制造系统的标准化技术,产品建模和企业建模技术, workflow 技术,多代理系统技术,虚拟企业与动态联盟技术,知识管理与知识集成技术等。

#### ● 集成技术

集成技术主要是指网络化制造系统设计、开发与实施中需要用到的系统集成与使能技术,包括设计制造资源库与知识库开发技术,企业应用集成技术,ASP 服务平台技术,集成平台与集成框架技术,电子商务与 EDI 技术,WebService 技术,COM+、CORBA、J2EE 技术,XML、PDML 技术,信息智能搜索技术等。

#### ● 应用实施技术

应用实施技术是支持网络化制造系统应用的技术,包括网络化制造实施途径,资源共享与优化配置技术,区域动态联盟与企业协同技术,资源(设备)封装与接口技术,数据中心与数据管理(安全)技术,网络安全技术等。

### 5. 展望

网络化制造是适应网络经济和知识经济的先进制造模式,其研究和应用对于促进我国经济的发展,特别是区域经济和中小企业的发展具有非常重要的意义。但是,必须看到,网络化制造的理论、方法和系统都还处于发展阶段,在我国,网络化制造的应用也还处于刚刚起步的阶段,还有大量的工作需要进行,因此,迫切需要加大网络化制造研究与系统开发科技攻关的力度,并且选择实施基础好的企业开展网络化制造的示范应用,在取得经验的基础上推广和普及网络化制造这一先进的制造模式。

另外,在网络化制造的研究中,需要密切关注一些新兴技术的发展,比如,网格计算技术、e-manufacturing 技术、高速网络技术等,及时将其成果引入到网络化制造中,促进网络化制造技术与系统的发展。

### 参考文献

- [1] 杨叔子,吴波,胡春华等. 网络化制造与企业集成[J]. 中国机械工程,2000,增刊 Z1: 45~48

Yang Shuzi, Wu Bo, Hu Chunhua, Cheng Tao, Network manufacturing and enterprise

- integration[J], China Mechanical Engineering, Vol. 11, No.1-2, 2000, pp.45~49
- [2] 张曙. 分散网络化制造[J]. 机械与电子, 1998, (5): 3~6  
Zhang Shu. Distributed network manufacturing[J]. Mechanical and Electronics, No.5,1998, pp.3~6
- [3] Liu F., Yin C., Liu S. Regional Networked Manufacturing System. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2000, 13(Supplement): 97~103
- [4] 刘飞, 刘军, 雷琦. 网络化制造的内涵及研究发展趋势[A]. 2002 年中国机械工程学会年会论文集光盘, 论文编号: 40201, 2002 年, 北京, 机械工业出版社  
Liu Fei, Liu Jun, Lei Qi. The connotation and research development trend of network manufacturing [A]. Proc. of 2002 China Mechanical Engineering Annual Conference, Paper No. 40201, 2002, Beijing: Mechanical Industry Press
- [5] 顾新建, 祁国宁, 陈子辰. 网络化制造的战略和方法[M]. 高等教育出版社, 2001 年, 北京  
Gu xinjian, Qi Guonin, Chen Zicheng. Network Manufacturing Strategy and Method[M]. 2001, Beijing: Advanced Education Press
- [6] 李健, 刘飞. 基于网络的先进制造技术[J]. 中国机械工程, 2001, 12(2): 154~158  
Li Jian, Liu Fei. Network based advanced manufacturing technology[J]. China Mechanical Engineering, Vol.12, No. 2, 2001, pp.154~158
- [7] 严隽琪. 数字化与网络化制造[J]. 工业工程与管理, 2000, 01: 8~11  
Yan Junqi. Digitized and network-based manufacturing. Industrial Engineering and Management[J]. No.1, 2000, pp.8~11
- [8] Rockwell Automation e-manufacturing Industry Road Map-Making Sense of e-manufacturing. <http://www.rockwellautomation.com>
- [9] Lee J., Ali A., Koc M. e-manufacturing-Its Elements and Impact. Proceedings of the Annual Institute of Industrial Engineering (IIE) Conference, 2001, May 21-23, Dallas, Texas, USA
- [10] Lee, J. e-Manufacturing Systems: fundamental and tools. Int. Journal of Robotics and Computer-integrated manufacturing, accepted for publication, 2003.
- [11] Montreuil, B., Frayret J. M., D'Amours S.A strategic framework for networked manufacturing[J]. No. 42,2000, pp.299~317

## **The Connotation and Key Technologies of Network Manufacturing**

Fan Yushun

Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084

**Abstract:** Network manufacturing is an advanced manufacturing paradigm. Based on the analysis of the requirements and technology driving force of the network manufacturing, the basic features and connotation are discussed. The associated definitions for network manufacturing are given, the system structure of the network manufacturing system is presented, the levels for network manufacturing and its main functions are introduced. Finally, the key technologies of network manufacturing are classified and the main key technologies are introduced.

**Key Words :** Network Manufacturing , Advanced Manufacturing Paradigm , System Structure, Integration Technology