

网络化制造与制造网络¹

范玉顺², 张立晴, 刘博
清华大学自动化系, 北京, 100084

摘要: 本文首先分析了在当前制造全球化趋势下网络化制造系统的一些基本特征, 介绍了网络化制造的基本概念及其解释, 并给出一个由企业用户与网络化制造集成平台组成的网络化制造体系结构。结合当前制造业发展的趋势, 着重提出了结合网格技术的制造网络的概念, 描述了制造网络区别于传统 Internet 的一些特征。对网格技术与制造业的结合进行了研究, 提出了构建于网格之上的制造网络的体系结构。最后根据制造网络的特性需求, 提出了一种以网格技术为基础, 建立在多代理系统协调控制框架与支撑工具基础上的制造网络的功能体系结构。

关键字: 网络化制造、制造网络、网格、多代理

中图分类号: TP393; TH166

1. 引言

网络技术的迅速发展和应用, 不仅深刻地改变了人们生活和交流的方式, 也对企业的生产经营方式产生了巨大的影响。随着企业的制造和销售范围不断扩大, 全球生产、全球销售已经成为许多跨国公司的经营战略。要在经济全球化的浪潮中得以生存和发展, 21 世纪的制造企业首先要转变其制造模式来适应这股趋势。网络化制造就是在这种情况下产生的一种先进制造模式, 它提供了制造型企业在 Internet 环境下开展生产、经营和管理业务活动具体的技术手段和方法。通过这些手段和方法, 可以跨越地域限制, 将原本分散的、孤立的企业纳入到国际竞争合作环境中, 成为国际制造业供应链中重要的一环。

在对当前受到广泛重视的“网格”技术进行仔细分析后, 我们发现, 网格技术不仅继承了原有网络化制造系统中相关网络技术的优势, 在资源共享、协同活动、网络安全、使用透明等方面也能有效提升网络化制造系统的性能, 为构建更高效的网络化制造系统奠定了良好的基础。因此, 本文在介绍了网络化制造的基本概念后, 着重提出了一种基于网格技术的新的制造系统——制造网络, 并详细论述了它的特征与系统体系结构。

2. 网络化制造的基本概念与定义

在当前企业生产经营中心不断转变、产品设计生产管理日益创新、企业信息应用技术范围不断扩大、先进制造技术不断发展和应用、网络技术日益成熟的形势下, 网络化制造的概念及内涵也处于不断丰富过程中, 从当前的研究成果看, 网络化制造具有以下一些基本特征^[1]:

(1) **跨越局域网/广域网边界:** 网络化制造在 Internet、Intranet 和 Extranet 的支持下, 通过网络来组织和管理企业的生产经营过程, 突破了地理空间上的差距给企业的生产经营和企业间协同造成的障碍;

(2) **覆盖企业生产经营的全过程:** 网络化制造技术可用来支持开展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;

(3) **强调企业间的协作与社会范围内的资源共享:** 通过企业间的协作和资源共享,

¹ 基金项目: 863/CIMS 主题资助项目 (2002AA414050)

² 作者简介: 范玉顺 (1962 -), 男, 清华大学自动化系教授, 博导。

网络化制造可以提高企业（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，进而提高企业的竞争能力；

（4） **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，可以构建形成具有不同功能的多种网络化制造应用系统；

（5） **技术内容丰富**：网络化制造的研究与应用实施中涉及大量的组织、使能工具、平台、系统实施和运行管理技术，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、方法和工具系统的研究与发展。

在分析了网络化制造的基本特征之后，我们给出网络化制造的定义和解释。

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^{[2]-[5]}。

网络化制造定义中所指的网络技术包括 Internet、Intranet 和 Extranet 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。

3. 网络化制造的系统体系结构

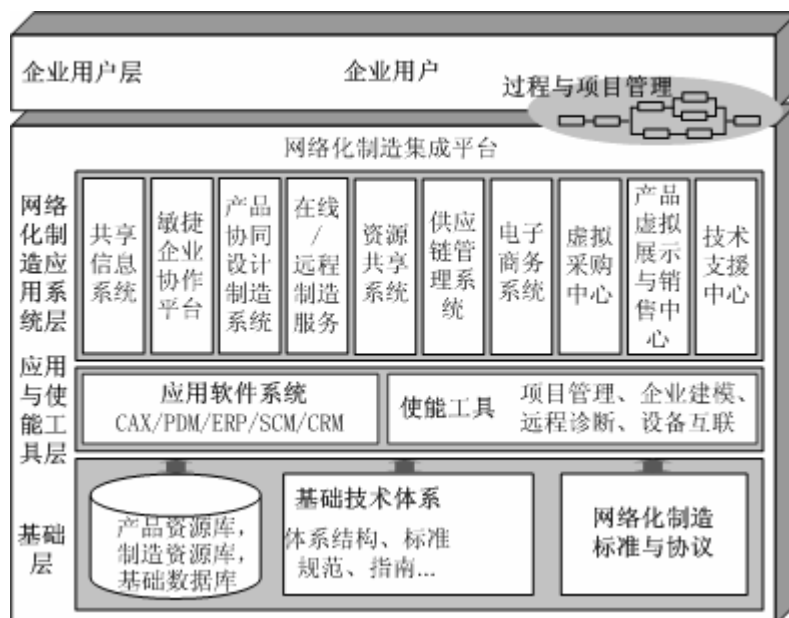


图1 网络化制造的系统体系结构

网络化制造系统总体上可以分成两个部分，企业用户以及支持它的一个网络化制造集成平台^[6]。网络化制造集成平台是一个基于网络等先进信息技术的企业间协同支撑环境，它为实现大范围异构分布环境下的企业间协同提供基础协议、公共服务、模型库管理、使能工具

和系统管理等功能，并为企业间信息集成、过程集成和资源共享提供基于服务方式的透明、一致的信息访问与应用互操作手段，从而方便地实现不同企业间的人员、应用软件系统和制造资源的集成，形成具有特定功能的网络化制造系统。网络化制造集成平台又可以分成三层，自底向上分别是：基础层、应用与使能工具层、网络化制造应用系统层。因此，网络化制造系统的体系结构一共分四层，如图 1 所示，各个层次的功能依次如下：

- (1) **基础层**：主要为实施网络化制造提供基础的支持，包括基础数据库、相关的技术基础、网络化制造相关标准与协议等；
- (2) **应用与使能工具层**：包括各种实施区域网络化制造所需要的应用软件系统和使能工具；
- (3) **网络化制造应用系统层**：它包含了企业实施网络化制造所需的最主要的功能；
- (4) **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。

上面提到的网络化制造集成平台属于基础性通用集成平台，结合具体企业的实际需求，可以发展出多种特定的网络化制造专业化集成平台，如，构建基于 ASP 方式的支持资源共享的网络化制造资源共享平台，支持异地协同产品开发的网络化产品协同设计平台，支持产品销售与服务的网络化产品定制服务平台，面向区域/行业企业群体的电子商务与供应链平台，支持虚拟企业运作的动态联盟管理平台等。

4. 制造网络的概念与特征

4.1 制造网络的基本概念

网络化制造的目的是将分散在不同区域、不同企业、组织和个体中的各类资源有效地组织起来，形成一个制造网络，通过制造网络使用户能够像目前从 Internet 上获得信息一样方便地获得各种制造服务，并在制造网络的支持下方便地形成面向特定企业制造需求的专业化应用系统，实现企业间的商务协同、设计协同、制造协同和供应链协同。在给出制造网络的概念之前，先简要介绍一下网格技术。

网格是构筑在 Internet 上的一组新兴技术，它通过高速的网络连接地理上广泛分布的资源（包括高速连接的异构计算机、数据库、科学仪器、文件和超级计算系统等），并且屏蔽它们的异构性，最终实现动态的、多管理域的虚拟组织资源共享及问题解决^[7]。网格是下一代的网络，是网络技术的发展方向，与目前的网络技术相比较，它彻底打破了数据、经验等知识资源的地域限制、打破了已有网络计算能力的限制、打破了传统网络设计与制造协作方式的限制，因此基于网格技术构建支持制造企业协同的制造网络是一个非常有意义和发展前景的研究方向，下面我们给出制造网络的定义。

制造网络：制造网络是实现企业和社会资源共享和集成，支持企业群体协同运作和管理的集成支撑环境。它基于网格和相关先进的计算机与信息技术，通过网络将分散在不同企业和社会群体中的设计、制造、管理、信息、技术、智力和软件资源通过封装和集成，屏蔽资源的异构性和地理分布性，以透明的方式为用户提供各类制造服务，使企业或者经营个体能够以请求服务的方式方便地获得所有与制造相关的服务，能够像使用本地资源一样方便地使用封装在制造网络中的所有资源，实现各类资源的集成和优化运行，并为构建面向企业协制造特定需求的制造网络应用系统提供协同工作支持环境^[2]。

4.2 制造网络的特征

基于制造网络，未来的企业、甚至个人能够像获得水、电、汽、Internet 上的信息一样方便地从网上获得各种所需的制造服务，因此，从运行方式和形态上，制造网络与目前的 Internet 有很大的相似性，但制造网络旨在为企业提供的是制造服务，这有别于 Internet 提供的信息服务，这种区别主要体现在以下几个方面：

- (1) **互动性**：制造服务需要支持用户和服务之间的交互。
- (2) **实时性**：制造服务必须实时地反映实际设备和设计单元等的状态，并实时响应用户提出的操作需求。
- (3) **多方协同**：用户应该能够集成多种不同的制造服务，通过多个制造服务之间的协同工作满足用户需求。
- (4) **周期长**：与信息服务相比，某些制造服务的周期会很长。
- (5) **数据量大**：与 Internet 提供的页面信息相比，制造服务需要传递的数据量大。
- (6) **功能与结构复杂**：提供制造服务的系统的结构比较复杂。
- (7) **专业化程度高**：制造服务具有很高的专业化程度。
- (8) **知识密集**：制造服务具有知识密集的特征。
- (9) **用户多样化**：制造服务的用户具有多样化的特征。

上述区别构成了制造网络的主要特征，这些特征决定了构建制造网络需要采用先进的网络和信息化技术，如网格技术、多代理技术、标准与规范技术等。

5. 制造网络的系统体系结构

制造网络是在 Internet 环境和网格等相关技术支持下构建的面向制造的虚拟网络，其物理网络还是目前的 Internet。制造网络在形态和运行模式上非常类似于目前的 Internet，它采用与 Internet 提供信息服务类似的方式为制造企业和个体提供面向制造的各类服务，并以支持服务之间的协同来实现企业的协同。

5.1 制造网络的系统体系结构

在系统的体系结构上，制造网络呈现多层结构，如图 2 所示。每个层次的功能如下：



图 2 制造网络的系统体系结构图

(1) **基础网络层**：基础网络层位于制造网络的最下层，它以 Internet 为核心，为制造网络环境中的资源和企业间的互联提供基础的网络环境。

(2) **单元与基础协议层**：单元与基础协议层为制造网络的构建和运行提供共性和基础的技术支持，包括基础库、资源单元和基础协议。基础库为制造网络的运行提供共性和基

础的模型和资源库，包括企业模型库、制造资源库、基础数据库和知识库等；资源单元为制造网络提供基础的单元设备、技术和软件，包括制造单元、设计单元、智力单元等；基础协议是构建制造网络所必须遵循的协议，包括制造网络协议及相关技术标准与规范等。

(3) **资源封装层**：资源封装层采用网格技术对各类独立运行的资源进行封装，将局部资源封装成为可供网络上所有应用共享的全局资源，并通过网格技术屏蔽资源的异构性，以一致透明的方式供应用对其进行访问。

(4) **网格中间件层**：网格中间件层为实现基于网格计算的制造服务和协同提供基本的功能，例如，远程过程管理、资源的协同分配、信息安全、服务质量、资源的预定与交易等，并为开发基于网格的制造网络应用提供语言/编译器、类库、应用编程接口、集成开发环境等。

(5) **制造网络使能层**：在网格中间件提供的编程环境和网格服务功能的基础上，制造网络使能层提供开发和运行制造网络应用系统所需要的使能工具，例如，注册管理与服务管理工具、服务发现与服务访问工具、协同工作支持环境与集成平台、资源优化调度工具等。在这些使能工具支持下，用户可以非常方便地开发面向特定应用需求的制造网络应用系统。

(6) **制造网络应用层**：在制造网络下几层功能的基础上，根据特定企业协同应用的需求，制造网络应用层重点开发专业化的制造网络应用系统，例如，基于制造网络的产品数据管理系统、协同设计与制造系统、供应链管理系统等，从而为企业间的协同提供实用的软件支持工具和环境。

(7) **制造网络入口层**：制造网络入口为用户提供基于 WEB 的统一的和安全的用户界面，使不同地点、不同身份的用户能够以一致的界面访问制造网络提供的各种服务。

(8) **企业协同层**：在制造网络的支持下实现企业间的协同，包括商务协同、制造协同、设计协同和供应链协同等。实现企业协同是制造网络构建和运行的最终目标，也是实现提升企业群体竞争力的主要手段和方法。

(9) **制造网络运行管理系统**：制造网络运行管理系统跨越制造网络的多个层次，为制造网络的构建和运行提供支持，完成对制造网络上运行的用户和资源的管理、监控和应用协调，包括制造网络上的用户管理、接口管理、安全管理、运行监控、资源优化调度、服务代理管理和协调策略管理等功能。

5.2 基于多代理的制造网络软件系统功能结构

由于制造网络是一个运行在大范围分布环境下的异构系统，它包含多种企业实体、多种运行模式，还包含了企业生产经营的所有功能。根据协作的目的不同，这些分布式的系统之间还要能够快速灵活地进行重构，由于不同的企业在法律上是相互独立和对等的实体，所以组成企业间协同系统的各个企业同时还要保持自治的特性。因此，基于制造网络构建的应用系统应该具有可重构、支持企业间协作、支持多种运作模式、保持协作企业个体自治性的特性。

根据以上介绍的制造网络的特性需求，本节提出了一种以网格技术为基础，建立在多代理系统协调控制框架与支撑工具基础上的制造网络的功能体系结构，见图 3。有关代理与多代理技术的详细介绍请参见文献[8]。

从图 3 中可以看出，基于网格和多代理系统技术的制造网络由多代理系统协调框架、代理封装接口、基础库、基于 AGENT 的使能工具集、制造网络运行管理系统、制造网络应用系统多个软件实体组成。其中，每个资源单元、封装接口软件和经过封装形成的代理单元独立运行在不同的计算机环境中，属于局部软件单元。而多代理系统协调框架、基础库、制造网络运行管理系统、使能工具、制造网络应用系统则运行在全局的分布式环境中，属于全局软件系统。

多代理系统协调框架为基于多代理系统的制造网络的构建和运行提供基础的集成与运

行管理框架。在 Internet 环境和多代理系统协调框架的支持下，基于网格和多代理技术开发面向不同单元和用户的代理封装接口，通过这些封装接口将每个独立的资源和用户变成具有与其他代理单元协作能力的软件代理，如用户交互代理，智力单元代理，制造单元代理，软件单元代理和计算单元代理等。每个单元代理具有软件代理的特性，可以自主管理自己的运行，并且能够自主决定与其他代理的协作方式。代理封装接口软件运行在每个分布资源所处的计算机环境中，代理封装接口软件在设计实现时需要综合应用网络、网格、代理、分布式计算等多种技术，面向制造（智力、软件、计算）资源单元封装的接口软件首先要实现局部资源向全局共享资源的转化（基于网格技术的基础支持工具，如 Globus 的 Toolkit 等），并屏蔽资源的异构性，其次要实现普通的软件单元向具有智能特性的单元代理的转换，并将所封装单元提供的服务和访问方式以符合制造网络标准和规范的格式对外发布。经过代理封装接口软件进行封装后所形成的单元代理除了能够对外提供封装的资源能力外，还需要具有与其他单元代理进行协调的能力，另外，每个单元代理还要维护一个供代理进行推理和决策用的本地局部知识库。面向用户交互的代理封装接口则要为用户提供一个智能化的用户交互界面。

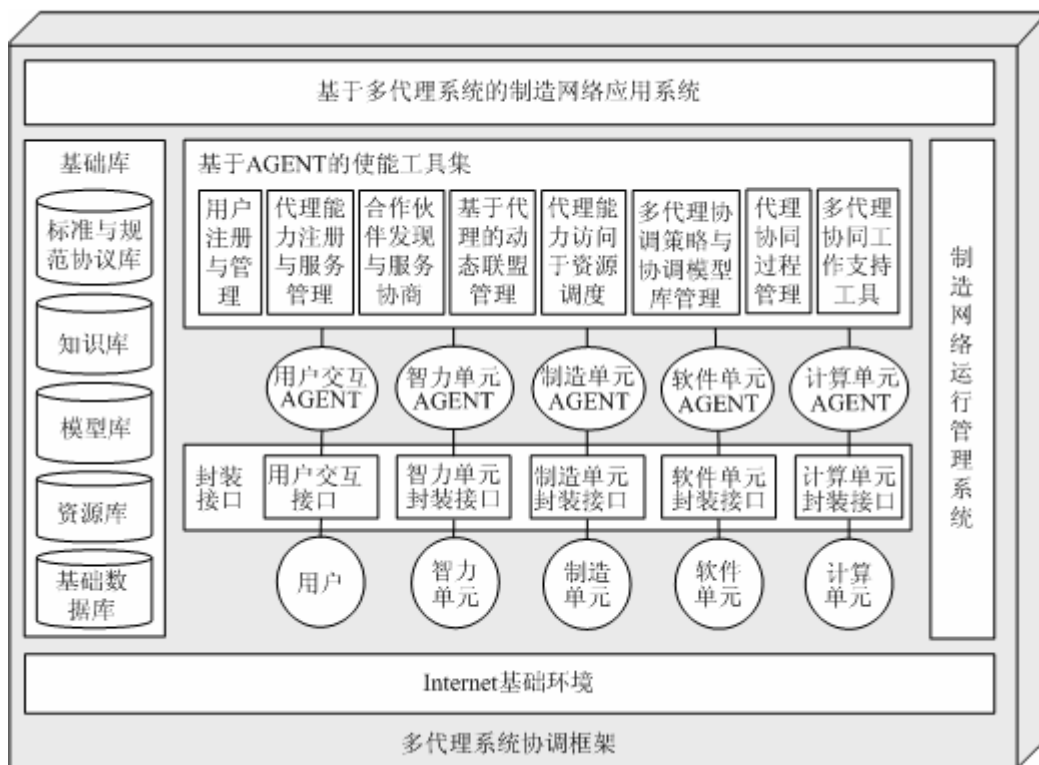


图 3 制造网络的软件功能体系结构

在多代理协调控制框架下，制造网络的所有基本服务功能、使能工具、应用软件系统、平台管理工具都封装成代理，所有功能之间的协作都是代理之间的协作。企业的各项业务功能、资源、信息都以代理能力的形式在集成平台上进行注册，不同企业的业务需求以代理的请求方式进行发布，并根据系统中定义的代理之间的协调策略进行业务伙伴选择、业务过程协作、业务过程管理等。不同代理之间的组合可以形成满足不同需求的制造网络特定应用，如具有产品设计功能的代理、产品协同设计管理代理、信息服务代理、过程服务代理、以及负责协调代理之间运行管理的协调代理就可以形成一个面向产品协同设计的多代理应用系统。

6. 结论

未来的制造业是网络化、全球化、虚拟化的，它的总体目标是要达到快速设计、快速制造、快速检测、快速响应和快速重组。本文对制造网络的概念、特性、体系结构进行了初步的探讨，提出了一种基于网格和多代理技术构建与运行制造网络系统的基本设想，我们相信制造网络的研发将为充分利用制造业优势资源、改造传统制造业、建立制造服务业、推动制造业网格应用软件产业的发展、建立我国现代企业创新体系等方面起到重要的作用。而且制造业网络应用系统的研发和应用，将为更广范围的、基于网格技术的商业应用服务系统的研制提供经验。制造网络的研究、实施与应用将对促进我国区域制造群体和产业链国际竞争力的提高起重要的推动作用。

参考文献

- [1] 范玉顺 . 网络化制造的内涵与关键技术问题 . 计算机集成制造系统 - CIMS , 2003 , 9(7) 576 ~ 582
- [2] 范玉顺 . 网络化制造系统及其应用实践 . 机械工业出版社 , 2003
- [3] 杨叔子 , 吴波 , 胡春华等 . 网络化制造与企业集成 . 中国机械工程 , 2000 , 增刊 Z1 : 45~48
- [4] 严隽琪 . 数字化与网络化制造 . 工业工程与管理 , 2000 (1) : 8~11
- [5] 顾新建 , 祁国宁 , 陈子辰 . 网络化制造的战略和方法 . 高等教育出版社 , 2001
- [6] 范玉顺 . 信息时代企业综合发展框架和信息化整体解决方案 . 航空制造技术 , 2002 (8) : 17~22
- [7] Ian Foster, Carl Kesselman . The Grid: Blueprint for a Future Computing Infrastructure . USA: Morgan Kaufmann, 1999
- [8] 范玉顺 , 曹军威 . 多代理系统理论、方法与应用 . 清华大学出版社 , 施普林格出版社 . 2002

Network Manufacturing and Manufacturing Network
FAN Yu-shun , ZHANG Li-qing , LIU Bo
(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract : Some basic characteristics of networked manufacturing systems are analyzed in terms of the trend of global manufacturing in this paper first. The definition and explanation of networked manufacturing are introduced, and a general architecture composed by the users and the networked manufacturing integration platform is proposed. After studying the status of the development tendency in manufacturing industry, a concept of grid-based Manufacturing Network is put forward. The features and architecture of Manufacturing Network are described. Finally, a pattern based on grid and multi-agent technologies is presented for implementation and operation of Manufacturing Network system.

Keyword : Network Manufacturing, Manufacturing Network, Grid, Multi-Agent