

# 试论知识经济时代的工业工程

李荣彬<sup>1</sup>, 顾新建<sup>2</sup>

(1. 香港理工大学 制造工程系, 香港 九龙; 2 浙江大学 机械系, 浙江 杭州 310027)

**摘要:** 在知识经济时代, 工业工程的内容发生了很大的变化。本文分析了知识经济时代的主要特点, 分析了知识经济时代工业工程的特点和方向, 最后介绍了面向知识经济时代的工业工程的一些关键研究课题。

**关键词:** 工业工程; 知识经济; 信息技术

**中图分类号:** TH16      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-7375(2001)04-0001-06

## Industrial Engineering in the Knowledge Economy Era

LI Rong-bing<sup>1</sup>, GU Xin-jian<sup>2</sup>

(1. Dept. of Manufacturing Engineering, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China;

2 Dept. of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** In the knowledge economy era, the content of industrial engineering has undergone rapid changes. The characteristics and direction of industrial engineering in knowledge economy era are highlighted. Some key research topics are introduced.

**Key words:** Industry Engineering; knowledge economy; information technology

工业工程 (Industrial Engineering, 简称 IE) 是一门技术与管理相结合的工程学科。它是综合运用工业专门知识和系统工程的概念和方法, 为把人力、能源、物资、信息技术和装备组成更有效和更富于生产力的综合系统, 所从事的规划、设计、评价和创新活动。

工业工程的历史已有近百年了。人类社会也发生了很大的变化。当前, 以计算机和网络为代表的信息技术, 各种高新技术的高速发展, 对整个人类社会产生极其深刻的影响, 工业发达国家正在步入知识经济时代。同时由于经济的全球化, 知识经济对各个国家都将产生巨大的影响, 基于知识的经济正在成为主流经济。知识经济时代的到来, 将对工业工程的发展产生深刻的影响, 使工业工程具有新的发展方向和新的特点。本文将试图对此进行简要分析。

## 1 知识经济时代制造业的主要特点

工业工程的发展具有鲜明的时代特征。在知识经济时代中, 企业、市场、技术、员工素质等有了很大的变化, 这些将导致工业工程的内容发生较大的变化。知识经济时代制造业的主要特点是<sup>[1]</sup>:

1) 知识是企业的主要资源。在知识经济时代, 企业的能力限制取决于员工的想象力、创造力及技能。技术创新是不可预见的, 企业需要通过最大限度调动人的创造性来控制这种创新的不可预见性。在知识经济时代, 有知识、有创造力、有技术的员工是企业最宝贵的财富。智力资源的缺乏是发展中国家落后的最主要的原因之一。

例如, 世界上所有的轿车制造企业使用相同的钢材、机床和类似的生产过程, 它们之间的差别在于他们的产品设计的好坏, 是否聪明地利用客户的

收稿日期: 2000-08-30

基金项目: 香港裘槎基金会 (Croucher Foundation) 资助项目; 国家自然科学基金资助项目 (79970036)

作者简介: 李荣彬 (1951-), 男, 广东中山人, 教授, 主要研究方向为先进制造技术、制造策略、分散网络化制造。

反馈改进其产品和服务, 是否快速地改进其生产过程, 是否巧妙地营销新产品, 是否有效地管理分销和库存<sup>2)</sup>。

2) 知识型员工的比例增大。随着教育水平的提高, 制造技术中科技含量的增加, 自动化的普及, 企业中知识型员工的比例将逐步增大, 对蓝领工人和服务人员的需求量将进一步减少。在未来一二十年内, 蓝领工人将会从1995年占美国劳动力的20%缩减到10%, 甚至更少。由于办公室工作自动化, 非专业白领工人比例很可能从现在的大约40%减少到20%~30%。其余的60%~70%左右的劳动大军可能由知识型员工组成。同时, 生产力、生产标准以及生活质量将提高到前所未有的水平。这是20世纪90年代以来美国生产力及经济持续不断发展的主要原因。

3) 不会创新的企业生存将更为艰难。从总体看, 当前的国内外市场是买方市场, 市场饱和。各国、各企业为争夺市场而展开激烈的竞争。但在当前的买方市场中, 过剩的是一般性产品和一般性的制造能力。而适应市场需求的名、优、特、新产品在市场上销售旺盛。这就要求企业不断进行管理创新、技术创新和产品创新, 这样才能在竞争激烈的市场中生存和发展。

4) 计算机技术的发展对生产过程产生了深刻的影响。利用计算机技术实现工业生产的自动控制、利用计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、企业资源计划(ERP)等技术, 可以大量节省能耗和物耗, 提高产品的质量, 提高企业的对市场的快速反应能力, 提高企业的市场竞争力; 功能齐全的管理信息系统可以帮助企业提高工作效率和决策质量, 实现更好的资源配置。

5) 以因特网为代表的网络技术正在对生产过程产生前所未有的影响。如果说对20世纪制造业影响最大的技术是计算机技术, 那么从目前已知的技术来看, 对21世纪影响最大的技术将是网络技术。网络技术对企业的影响有: ①企业组织微型化和巨型化; ②虚拟企业的出现; ③中间环节的减少, 支持协同工作; ④使企业销售方式发生变革; ⑤使企业经营管理方式发生变革, 从集中到分散, 从多层递阶管理到扁平化管理; ⑥使知识和信息资源得到更好的利用等。

6) 大规模定制生产将成为主流生产方式。传

统工业工程几乎是与大规模生产同步发展起来的。当前市场竞争环境变化迅速而又不可预测, 越来越多的用户需要低价格的个性化的产品。因此, 需要采用大规模定制生产(Mass Customization)来满足用户的这种需求, 即以大批量的效益(成本和交货期)进行单件定制产品的生产。20世纪90年代初美国乔治·华盛顿大学成立了由45位著名的未来学家和技术专家组成的新兴技术预测委员会, 该委员会在1996年的预测中, 从可以预见到的最重要的技术进步中挑选85项将要出现的技术, 其中在制造业与机器人两大类中就有大规模定制生产技术。它们预计到2011年, 汽车、电器等30%以上的产品将广泛实现大规模定制生产<sup>3)</sup>。

7) 市场的全球化和制造的全球化。随着信息技术的迅速发展, 随着全球经济的一体化, 使得全球性的协同制造有了实现的可能。全球性的协同制造可以使各种资源得到更充分的利用, 并显著缩短原料和产品的运输距离以及产品的交货期。企业与供应商和顾客的合作正在扩大。同时市场的全球化和制造的全球化将使竞争更加激烈。

8) 产品和制造的“绿色”化。面对全球日益加剧的环境污染、资源破坏和减少, 可持续发展的呼声越来越高。知识经济时代强调开发、生产“绿色”产品, 提倡“绿色”制造, 控制生产过程对环境的污染, 提高资源利用率, 以最少的能源和资源消耗取得最大的社会效益和经济效益。

上述的知识经济时代制造业的主要特点表明, 工业工程需要发展, 需要适应新的环境。同时, 社会和企业也需要能反映时代特点的工业工程。

## 2 知识经济时代工业工程的特点和方向

知识经济时代工业工程的基本特点和方向主要是:

### 1) T、Q、C、S的全面优化

传统的工业工程一直强调提高生产率、利润率和效率。提高生产率是传统的工业工程的出发点和最终目标, 是传统工业工程师的第一使命。

知识经济时代的工业工程的核心是T、Q、C、S的全面优化, 其含义如表1所示。这里的T表示的是时间(Time), Q表示的是质量(Quality), C表示的是成本(Cost), S表示的是服务(Service)。

知识经济时代的工业工程认为企业提供的应是价值的T、Q、C、S的全面优化的生产模式。值, 而不是产品和服务。大规模定制生产就是典型

表1 T、Q、C、S全面优化的含义

内容	总的要求	补充说明
对产品的时间要求	①企业的新产品上市要早, 才能争取较大的利润; ②用户定制产品的交货期要短, 这里的定制产品一般是变型产品	在用户需要的时间交货, 即准时制造(JIT), 以免因市场波动而造成损失, 并可节省成本
对成本的要求	在满足用户需求的前提下, 产品成本越低越好, 甚至要求定制的单件产品的成本相当于大批量生产的产品的成本	对于一些创新的产品, 成本高一些, 用户也能接受
对质量的要求	对质量的要求越来越高, 其中还包括满足用户的个性化和多样化的需求	一些消费品只要满足用户的需求即行, 如: 只要在一定的使用期内保证质量即可。超过用户需求的质量有时也没有必要
对服务的要求	对服务的要求越来越多和越来越高: 要求提供产品的全生命周期的服务, 如售前、售中和售后服务; 提供个性化的、一对一的服务等	在产品设计的早期阶段就考虑如何减少产品服务, 使用户用起来方便、可靠

## 2) 充分注意人、技术和组织的有机集成

最早的工业工程因受当时技术的局限, 不可能考虑到计算机和网络技术的应用。在计算机和网络技术应用的初期, 一些企业忽略了人在计算机应用系统中的作用, 较少考虑工业工程的应用, 结果使计算机应用不仅没有达到应有的效果, 甚至有的企业反而为此而破产。

知识经济时代的工业工程强调在应用计算机和网络技术的同时, 注意企业的过程重组、信息的标准化和简化等, 以便取得较佳的效果。越来越多的人认识到, 企业的信息化不仅仅是程序员的事, 而且是工业工程师的事。这里有大量的关于企业建模、分析和优化的工作要做。在如何利用计算机和网络技术提高企业效率和企业群体合作效率, 如何实现“先重组, 后计算机化”, 如何进行人、技术和组织的有机集成等方面, 需要对工业工程进行系统的研究。例如: MRPII/ERP系统在我国成功的少, 失败的多, 其主要原因之一是忽略了人的因素, 对企业组织和过程的重构考虑较少。

## 3) 注重企业内的集成

传统工业工程主要研究作业改进和现场管理, 研究属于微观范畴的生产过程。

知识经济时代的工业工程的研究范围则扩展到包括市场调研、产品开发、设计和销售服务在内的

广义生产系统, 特别重视信息集成, 使企业内的信息渠道畅通, 减少不必要的信息转换环节; 重视过程集成, 建立面向任务(过程)的组织结构, 将有较大相关性的各种资源(人、设备、产品等)集中在一起工作, 形成如并行工程中的项目组、独立制造岛等组织形式; 追求系统整体优化和高综合效益。

## 4) 注重企业生态系统的良性发展

传统的工业工程较多地关注在企业内如何将人力、能源、物资、信息技术和装备组成更有效和生产率更高的综合系统。

知识经济时代的工业工程则在传统的工业工程的基础上, 从企业内走向企业外, 还越来越多地关注企业生态系统的良性发展, 即: 如何在全球范围内寻找最佳的合作伙伴、最佳的供应商; 如何充分利用社会化资源, 与其它企业组成良性循环的企业生态系统, 相互支持, 协同进化; 如何实现企业与用户的共同进化等。

信息技术和管理技术的结合所产生的新系统, 如供应链管理(Supply Chain Management, 简称SCM)系统使企业可以方便地与异地的企业进行合作; 客户关系管理(Customer Relation Management, 简称CRM)系统可以使企业更充分地利用客户资本, 获得大量针对性强、内容具体、有价值的市场

信息, 作为企业各种经营决策的重要依据; 电子商务可以支持企业全球化战略, 使企业以最快的速度最简单的方式与国际市场接轨, 减少中间环节, 达到企业与用户之间、企业与其它企业之间直接和快速的融合。

#### 5) 强调发挥知识型员工的积极性和创造性

工业工程十分重视研究人的因素, 这是其显著特点之一。传统的工业工程在进行系统设计、实施控制和改善的过程中, 非常重视人和其它要素之间的关系和相互作用。从作业方式、工作站设计、岗位和职能设计直到整个系统的组织设计, 都是根据以人为中心的原则进行设计, 合理配置人和其它因素, 最好地发挥出各生产要素的作用。建立适合人的生理和心理特点的机器和环境系统, 使人能安全、健康、舒适地工作, 充分发挥能动作用, 达到在生产过程中提高效率的目的。

进入知识经济时代, 管理的对象扩大了, 知识经济时代的工业工程面临的一大课题就是对企业中比例越来越大的知识型员工的管理。对体力作业的程式化、制度化和标准化的管理方法并不适用对人的脑力作业的管理。企业需要通过下放权利, 给知识型员工很大的自主权, 给他们一种宽松的环境, 以利于创新; 需要通过各种激励措施, 需要培育新的企业文化, 使员工乐于将自己的知识在团队内共享。知识经济时代企业的生存和发展主要依赖于知识, 依赖于掌握了信息和知识、富有创造性、善于合作的人。

#### 6) 强调系统的动态优化

传统的工业工程强调的主要是在静态环境下的系统整体优化, 从提高系统的总生产效率的目标出发, 对各种生产资源和环节作具体研究, 统筹分析、合理布置; 对各种方案作量化的分析比较, 寻求最佳的设计和改善方案。

进入知识经济时代, 企业的环境变化莫测, 出现了新的企业概念, 如虚拟企业、可扩展企业、可重组企业、动态联盟、学习型企业等。知识经济时代的工业工程还需要对这些企业的动态组合、优化、运作等进行深入研究。

#### 7) 强调企业要服务于社会

传统的工业工程强调的是如何提高生产率, 获取最大利润。

知识经济时代的工业工程在注重提高生产率的

同时, 强调企业服务于社会, 使企业与社会合作进化。因为企业是社会的组成部分, 社会的发展和进步需要每个企业的努力。企业应从市场出发, 从用户的需要出发进行产品的生产; 企业应将环境保护作为企业产品和技术创新的压力, 处理好技术、成本 and 环境保护的关系, 与环境合作进化。

## 3 面向知识经济时代的工业工程的一些研究方向的介绍

面向知识经济时代的工业工程的研究方向很多, 以下仅简要介绍我们目前正在做的一些课题:

### 3.1 数码工厂<sup>[4]</sup>

数码工厂 (digital factory) 不等同于企业数据的自动化处理, 也不是指企业及车间的生产机械的数字化控制 (numerical control)。它是指通过对知识的有效管理来实现产品增值的一种生产活动。生产不单是指对原料或产品的加工制造, 生产的目的是要使产品及服务能为顾客创造最大的附加值。

数码工厂的原料是关于企业产品及市场的信息, 信息经过各种数字化处理后, 成为决策及行动的知识方案。“数码”的意义如下:

1) 一切数据及信息, 无论是生产计划, 还是产品结构图像、成本数据等都能以二元数码的形式在计算机及网络上通过各种知识处理系统进行自由的转换、分析、综合和应用;

2) 生产的过程, 包括产品构思、原型制造、加工、装配、产品测试、生产规划、物流管理等都可以迅速按照市场及顾客的需要可以在计算机上进行数码模拟及仿真;

3) 在数码工厂运作模式中, 更突出的是产品在还没有正式投产前, 企业可以与数码网络上的虚拟顾客共同参与产品的设计及修改; 不同地域的顾客在确定了产品的式样和数量以后, 定单通过网络汇集到企业内及企业外, 以便各有关部门及供应商能快速地进行部件采购及生产的安排。

数码工厂的运行, 不仅涉及技术方面, 而且涉及到企业经营运作模式的转变。未来制造业的竞争能力, 有赖于无形的数码工厂与实际生产活动的紧密结合。数码工厂是 21 世纪的知识型企业。

### 3.2 分散网络化生产系统及异地协同设计与制造系统<sup>[5-7]</sup>

分散网络化制造系统是香港理工大学李荣彬教授和同济大学张曙教授在合作研究香港与大陆如何综合利用华人地区的产品设计能力和制造资源, 提高中国企业的国际竞争力而提出的一种新的生产模式。分散网络化制造系统对于加强中国香港和中国内地企业间的优势互补具有重要意义, 对于香港企业的技术创新具有重要意义。

异地协同设计与制造技术是分散网络化制造系统中的核心。异地协同设计与制造的目标是使产品设计与制造可以并行、及时地通过计算机网络进行。国内很多企业均已引入 CAD、CAM、CAE 及各种 NC 机床或加工中心、FMS, 但这些系统大多是孤立地运行, 少数已通过 CIMS 工程将这些“自动化孤岛”初步集成起来。为了进一步发挥其作用, 充分利用各种社会资源, 降低成本, 提高产品质量, 缩短产品交货期, 就必须通过计算机网络把处于不同区域的合作伙伴, 包括供应商和客户紧密联系在一起, 共同进行产品的开发、设计和制造。

香港理工大学目前正在开发的异地协同设计与制造系统采用半分散型体系结构。主要考虑到: 1) 目前我国多数制造企业规模不大, 计算机网络基础设施建设较落后, 应用水平不高; 2) 受资金和人才的限制, 大多数(中小)企业短期内还不能建立、维护自己的 Web 服务器; 3) 采用“地区中心”结构可以较早实现面向行业和地区的异地协同设计与制造系统。

### 3.3 知识管理<sup>[8]</sup>

企业的创新能力是知识经济时代企业最主要的竞争能力。企业的创新是一种集体协同的创新。知识管理不同于信息管理, 它主要是对分散在企业中的、存在于员工头脑中的意会性知识和分散在不同协作单位间的知识进行集成。通过对集体知识的捕获、共享和集成, 运用集体的智慧提高企业应变和创新能力。知识管理涉及新的企业文化、组织模式、管理机制、集成模型和集成工具。对知识管理进行系统研究, 对提高中国企业的集体创新能力具有重要意义。

研究知识管理的出发点是: 一个企业的信息集成度很高, 拥有最好的信息技术, 不一定就具有较好的创新能力; 一个企业拥有很多高级技术人, 但没有把他们组织好, 也不一定就具有较好的创新能力。而知识经济时代的企业最迫切需要的是提高企

业的技术创新能力。

### 3.4 大规模定制生产

大规模定制生产是工业工程的一个重要研究方向。不同的行业的大规模定制的深度是不同的, 但它们的发展方向是相似的。有的是从过去的大规模生产模式转向大规模定制生产模式, 如汽车工业和家电工业; 有的是从过去的定制生产模式转向大规模定制生产模式, 如船舶工业、工业汽轮机行业; 有的是从过去的多品种中小批量的生产模式转向大规模定制生产模式, 如机床工业和航空工业。

例如, 国外专家预计到 2011 年, 汽车行业将广泛实现大规模定制生产。目前国外汽车制造业也正在加速实施大规模定制生产。虽然中国汽车制造业目前还没有真正实现大规模生产, 但在市场和制造全球化的今天, 只有直接实施大规模定制生产模式, 才能使中国汽车制造业在未来的激烈竞争中得以生存和发展<sup>[9]</sup>。

实现中国汽车制造业的大规模定制生产的主要方法是:

- 1) 在全行业中实施大规模定制生产;
- 2) 采用集中和分散相统一的方法, 提高企业的创新能力;
- 3) 加速发展专业化的零部件企业;
- 4) 采用面向大规模定制生产的设计方法;
- 5) 利用最新的因特网技术, 支持大规模定制生产。

### 3.5 基于因特网的企业协同建模<sup>[10, 11]</sup>

在知识经济时代, 企业生产出现了网络化的趋势。以往的企业建模方法和工具由于对网络技术的应用环境考虑较少或没有考虑, 所以不可避免地存在不足之处; 企业的经营行为在网络化时代需要更加全面、面向网络生产的表述。随着生产经营的网络化、全球化、敏捷化, 企业之间的动态联盟、虚拟企业的建立等都需要一个基于因特网的企业协同建模工具。基于因特网的建模工具能够支持异地的企业协同建立企业模型; 支持在模型的基础上进行供应链管理和 workflow 管理; 支持在浏览器中进行过程仿真和优化; 能够帮助建立基于因特网的过程参考模型库以减少重复劳动, 促进企业过程的标准化的。可见, 基于因特网的企业协同建模工具也是工业工程中的重要工具。

## 4 结束语

最近二三十年, 工业的内外环境发生了很大的变化, 并在继续发生着变化, 一个新的时代——知识经济时代正在到来, 工业工程也将具有新的特点和研究方向。

知识经济时代的主要特点是: 1) 知识是企业的主要资源; 2) 知识型员工的比例增大; 3) 不会创新的企业的生存将更为艰难; 4) 计算机技术的发展对生产过程产生了深刻的影响; 5) 以因特网为代表的网络技术正在对生产过程产生前所未有的影

响; 6) 大规模定制生产将成为主流生产方式; 7) 市场的全球化和制造的全球化; 8) 产品和制造的“绿色”化等。这些特点表明, 工业工程需要发展, 需要适应新的环境。

知识经济时代工业工程的基本特点和方向主要是: 1) T、Q、C、S的全面优化; 2) 充分利用计算机和网络技术; 3) 注重企业内的集成; 4) 注重企业生态系统的良性发展; 5) 强调发挥知识型员工的积极性和创造性; 6) 强调系统的动态优化; 7) 强调企业要服务于社会等。表2对传统的工业工程与知识经济时代的工业工程进行了比较。

表2 传统的工业工程与知识经济时代的工业工程的比较

内容	传统的工业工程	知识经济时代的工业工程
目标	提高生产率、利润率和效率	通过 T、Q、C、S 的全面优化, 为用户创造更多的价值
计算机和网络技术	计算机和网络技术只是作为自动化的一种工具	强调在应用计算机和网络技术的同时, 注意企业的过程重组、以及生产模式的配合
主要研究内容	作业改进和现场管理, 微观范畴的生产过程及企业内部的改善	包括市场调研、产品开发、设计和销售服务在内的广义生产系统, 及企业之间的协调与合作集成
企业生态系统	目光只盯在企业内, 对建立和发展企业生态系统不够重视	关注企业生态系统的良性发展, 即: 如何在全球范围内寻找最佳的合作伙伴、最佳的供应商; 如何充分利用社会化资源, 与其它企业组成良性循环的企业生态系统, 相互支持, 协同进化; 如何实现企业与用户的共同进化等
系统优化	强调的主要是在静态环境下的系统整体优化	对虚拟企业、可扩展企业、可重组企业、动态联盟、学习型企业等的动态组合、优化、运作等进行深入研究
企业与社会	强调的是如何提高生产率, 获取最大利润	强调企业服务于社会, 使企业与社会合作进化

目前正在开展的与面向知识经济时代的工业工程的相关的研究方向有: 1) 数码工厂; 2) 分散网络化生产系统及异地协同设计与制造系统; 3) 知识管理; 4) 大规模定制生产; 5) 基于因特网的企业协同建模等。

### 参考文献:

- [1] 顾新建, 祁国宁. 知识型制造企业[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000: 1-54.
- [2] [美] 比尔·盖茨. 未来时速: 数字神经系统与商务新思维[M]. 北京: 北京大学出版社, 1999.
- [3] 晓科. 美国专家预测 2001 年至 2030 年间将出现的新兴技术[N]. 中国专利报, 1998: 2-18.
- [4] 李荣彬. 数码工厂——资讯年代的制造业[J]. 中国机械工程, 2000, 11(1-2): 93-96.
- [5] 李荣彬. 分散网络化生产系统的背景和设计[J]. 工厂建

设与设计, 1997, (5): 40-43.

- [6] 刘锦兴, 秦叶, 李荣彬, 等. 基于信息网络的异地协同设计与制造系统研究[J]. 中国机械工程, 1999, 10(8): 882-884.
- [7] Lee W B, Lau H L W. Factory on Demand: The Shaping of an Agile Production Network[C]. International Journal of Agile Management Systems, 1999, 83-87.
- [8] 顾新建, 祁国宁. 知识集成初探[J]. 计算机集成制造系统(CIMS), 2000, 6(1): 8-13.
- [9] 顾新建, 陈子辰, 熊励, 等. 我国汽车制造业的大规模定制生产模式研究[J]. 中国工业经济, 2000, (6): 37-41.
- [10] 战洪飞, 祁连, 顾新建, 等. 面向网络化生产的企业建模系统[J]. 计算机工程与应用, 2000, (3): 162-164.
- [11] Zhan Hongfei, Li Yongbin, Jin Yonghua, etc. The Enterprise Modeling Method and Tool in Dispersed Network Production System[A]. In: The 4th International Conference on Frontiers of Design and Manufacturing [C]. 北京: 外国学术出版社, 2000: 128-132.