



饶运清

文章编号: 1003-8728(2002) 06-1011-06

制造执行系统的现状与发展趋势

饶运清,李培根,李淑霞,朱传军,张超勇,金愿华,张 晴

(华中科技大学 机械科学与工程学院,武汉 430074)

摘 要: 论述了制造执行系统(MES)国内外研究开发现状,认为MES是实现车间生产管理敏捷化的基本技术手段,指出敏捷化、智能化和集成化是MES技术及系统的重要发展趋势。指出MES的敏捷性体现为其性能上的快速响应和结构上的快速重组,综述了有关MES敏捷化方面国内外研究概况,进而指出MES目前面临的问题。提出将理论创新与应用开发、先进性与实用性相结合,开发具有自主知识产权的MES技术成果与工具型应用系统,从根本上解决MES敏捷化问题的应对策略,以此促进MES在我国的普及与推广应用,促进车间制造自动化水平的提高和CIMS的发展。

关 键 词: 制造执行系统;敏捷化;CIMS

中图分类号: TP18 文献标识码: A

A Review of the Development of Manufacturing Execution Systems(MES)

RAO Yun-ching, LI Pei-gen, LI Shu-xia, ZHU Chuan-jun, ZHANG Chao-yong, JIN G Yuan-hua, ZHANG Qin
(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

Abstract After the state-of-the-art and trends of Manufacturing Execution Systems (MES) are surveyed, MES is consequently thought as the basic technical approach to carrying out the agility of shop floor production and management. Furthermore, it is pointed out that agility, intelligence and integration are the important trends of MES technology and system. The agility of MES is embodied by its rapid response in performance and quick reconfiguration in structure. The general situation of MES agility at home and overseas is surveyed, and the problems herein are pointed out afterwards. Finally, the strategies are put forward, promoting the automation level in shop floor, as well as the development of CIMS in China.

Key words MES(manufacturing execution systems); Agility; Shop floor; CIMS

车间作为制造企业的物化中心,它不仅是制造计划的具体执行者,也是制造信息的反馈者,更是大量实时制造信息的集散地,因此车间层的生产管理与信息资源集成是企业生产系统和CIMS中的重要一环,车间生产及管理自动化是实施企业CIMS整体解决方案的共性核心关键技术,车间生产管理及其信息系统的敏捷性在很大程度上决定着整个企业的敏捷性^[1,2]。

为适应敏捷化的车间制造环境,制造执行系统MES(Manufacturing Execution System)的概念近10年来逐步形成并得到迅速发展^[1~4]。MES是位于企业上层生产计划(MRP/ERP)和底层工业控制之间,面向车间层的生产管理与实时信息系统。MES强调制造计划的执行,它在

计划管理层和底层控制之间架起了一座桥梁,填补了两者之间的鸿沟^[5,6]。MES的任务是根据上级下达的生产计划,充分利用车间的各种生产资源,生产方法和丰富的实时现场信息,快速、低成本地制造出高质量的产品,其生产活动涉及订单管理、设备管理、库存跟踪、物料流动、数据采集,以及维护管理、质量控制、性能分析及人力资源管理等。MES汇集了车间中用以管理和优化从下订单到产成品的生产活动全过程的相关硬件或软件构件,它控制和利用实时准确的制造信息来指导、传授、响应并报告车间发生的各项活动,同时向企业决策支持过程提供有关生产活动的任务评价信息。MES的功能^[6,9]包括车间的资源分配、过程管理、质量控制、维护管理、数据采集、性能分析及物料管理等。由此可见,MES是车间信息集成、实现生产管理自动化与敏捷化的基本技术手段。作为车间层的先进生产管理技术,MES系统的集成性、柔性、开放性、自组织、自适应和可重构能力对车间制造过程的优化运行和敏捷性发挥着重要的作用。

收稿日期: 2001-11-01

基金项目: 国家863高技术研究发展计划项目(2001AA412140)和国家自然科学基金项目(50105006 59990470 5000762009)资助

作者简介: 饶运清(1968-),男(汉),湖北,副教授,博士

E-mail: rao.yq@263.net

1 历史与现状

在发展MES技术之前,车间管理控制工作一般由车间作业计划、工序调度、操作管理、库存控制等软件完成,近年来一些MRP/MRP II/ERP软件试图将其计划与控制功能向车间层扩展(如美国EMS公司的MRPII软件TCM),或者试图将两者进行集成(如PPC),但由于缺乏足够的车间控制信息而无法做到与车间环境的紧密相连,因而无法有效指导车间生产计划的执行^[6,7]。鉴于MES的重要性,近年来美日欧等工业发达国家非常重视对MES技术的研究与系统开发,并有一些包含MES若干功能的软件产品问世^[2,8]。美国于1992年成立了以推广MES思想及其产品为宗旨的贸易联合组织——MESA国际协会(MESA International)^[5~8],并形成了MES软件产业。受益MES技术的制造业覆盖机械、电子、医药、化工、通讯等领域,它在缩短制造周期、压缩在制品、保证产品质量、提高设备利用率等方面发挥着重要作用^[5,10]。

随着市场全球化趋势的加剧,车间生产环境越来越充满了不确定性,因此要求车间面对任何不可预测的外部变化和内部扰动能够及时地、高质量地、低成本地生产出满足客户需求的产品以适应敏捷制造的要求,因此MES的敏捷化、智能化和集成化已成为MES的重要发展方向。以下是将国内外敏捷化MES相关技术与系统的发展现状与趋势综述。

1.1 MES运行敏捷性方面

车间资源的合理配置、生产优化调度和控制是实现敏捷化生产管理与运行的核心,而合理、优化的决策模型和算法是实现上述目标的关键。在目前的车间调度与控制决策中,一般采用纯数学化、模型化、计算机化的决策方法^[14,15],即先建立方程式、不等式、逻辑式或概率分布函数等数学模型来反映决策问题,然后直接用数学手段(如数学规划、排队论、网络图论等)或启发式算法求解以提供最优方案。以上决策方法实际上是一种“硬决策”机制,它为车间管理决策摆脱依赖个人经验和能力的限制而提供了科学的决策手段,并使得决策的时效性和准确性得以提高。但在敏捷制造环境下,上述硬决策机制越来越不适应车间动态变化和充满不确定性的制造环境,甚至成为制约车间生产敏捷化的瓶颈。

国内外现有MES中有关车间资源配置、生产调度、控制与信息系统等方面的研究开发主要基于确定性的常规信息环境,决策过程基本采用传统的硬决策理论与方法。而在实际的车间生产过程中,其制造信息庞杂、信息量大,而且车间生产过程中不仅各种不确定性因素普遍存在(如急件订单的不确定性、设备故障的随机性、工艺设计的主观性、操作人员误操作的偶然性等),而且还存在大量不精确信息(如物料到达某工位的时间、零件的人工装夹时间、零件的辅助加工时间等)和不完备信息(如原材料的质量状况、在制品质量状况等),甚至存在很多病态、残缺、矛盾、冗余信息等等,我们将上述信息类型统称为“非常规信息”。显然,上述非常规信息条件下的车间生产管理决策机制与传统的

硬决策方法具有本质的区别。但现有MES系统中有关车间生产活动决策往往建立在这些非常规信息的基础上,因此传统的硬决策结果难免与车间生产实际相偏离,因此必须寻求新的生产决策理论与方法以适应敏捷制造环境的需求。

在不确定信息环境中进行科学决策的问题最早始于社会经济领域^[17~19]。为了解决社会组织和经济组织管理中那些具有灵活和多变特点的战略性的、关键性非常规决策问题,人们认识到必须考虑人类的思维方式和经验等主观因素而提出了软科学决策的方法^[20];为了克服软科学决策的主观性和保守性,使决策既具有科学计算和严格的逻辑论证基础,又能较好地反映人类的思维方式,人们提出了模糊决策的理论与方法^[21]。20世纪80年代初,由于计算机及人工智能技术的发展,形成了智能决策支持系统(IDSS)^[22,23]这一新的研究领域。IDSS在决策中运用人工智能技术,模拟人类的思维方法和决策过程,并具有定量分析和定性分析相结合支持决策的能力。目前,随着分布式人工智能 Multi-Agent系统研究的不断发展,出现了信息共享群体决策、协同工作群体决策^[23]等新型智能决策技术与支持系统。

Multi-Agent技术是目前分布式人工智能的研究热点。MAS(Multi-Agent System)是一种分布式自主系统,各Agent之间通过智能行为协调它们的知识、目标、技巧和规划,联合起来采取行动或求解问题。由于MAS能够充分体现人类的社会智能,对开放、动态的现实环境具有良好的灵活性和适应性,因此MAS理论受到重视并得到迅速发展,并在制造领域(如车间资源配置、生产调度与控制、生产管理决策等)获得越来越多的应用^[24]。目前大多数基于MAS的生产调度系统集中于Agent之间协调机制的研究^[25,26]。研究者注意到,由于生产调度特别是动态调度中输入信息的不确定性导致很难采用数学建模的方法,MAS技术的采用降低了动态调度的复杂性;另一方面,由于采用协商机制解决调度决策中的各类冲突,基于MAS的调度系统能够较好地适应车间制造环境的变化,从而增强了调度系统的敏捷性和鲁棒性^[27]。但总的来说,目前对车间资源配置、生产调度和控制以及信息系统等方面的研究主要基于确定性的常规信息环境,基本上采用传统的硬决策方法,因此其决策的智能性和敏捷性受到了限制,不能完全适应敏捷化车间制造模式的需求。

如前所述,在现实世界中由于各种不确定、不精确、不完备等非常规信息的普遍存在,因此很难用传统的基于常规信息环境的硬决策机制和硬计算方法,即使用精确、固定和不变的模型和算法来表达和解决问题。近年来,人们开始使用模糊逻辑、神经网络、概率推理、灰色混沌、进化计算等理论和方法来解决现实世界的决策、建模和控制问题,并正在逐渐建立起一套较完整的理论体系。神经-模糊和软计算理论^[27,29~31]。软计算的本质与传统的硬计算不同,其目的在于适应现实世界遍布的不确定性和不精确性,软计算的指导原则是开拓对不确定性、不精确性和部分真实的容忍,以达到可处理性、鲁棒性和低成本求解的目的。目前软计算理论与方法已在自适应信号处理、自适应控制和模

式识别以及机器人、工程设计与制造等领域获得较广泛的应用。

信息是决策的基础, MES 中的有效信息处理机制是保证 MES 运行敏捷化的前提。为了对车间非常规信息环境下的软决策提供支持, 必须研究相应的智能信息处理方法, 如数据挖掘与知识发现、信息搜寻与自组织、信息集成等, 它是保证车间生产管理科学决策的基础。在智能信息决策领域, 数据挖掘 (DM) 及知识发现 (KDD) 技术已成为最活跃的前沿研究热点之一, 并取得了丰硕成果^[32]。数据挖掘是指从数据库中提取知识, 即从大量数据中获得其中隐含的、事先未知的而又可能极为有用的信息, 这些信息通常以知识、规则或约束等形式来表现。数据挖掘及知识发现技术可以从大量数据中自动发现对决策有帮助的知识。目前, 数据挖掘的技术方法主要有统计分析方法、遗传算法、决策树方法、神经网络方法、模糊逻辑、聚类分析和模式识别、可视化技术、粗集方法等。其中粗集理论 (Rough Set) 与方法^[33]是波兰 Z. Pawlak 教授在 1982 年提出的一种智能决策分析工具, 它是一种刻画不完整性和不确定性的数学工具, 能有效地分析不精确、不一致、不完整等各种不完备的信息, 还可以对数据进行分析和推理, 从中发现隐含的知识, 揭示潜在的规律。在数据挖掘领域, 粗集方法被广泛应用于不精确、不确定、不完全的信息的分类和知识获取^[34, 35]。

综上所述, 国内外现有 MES 中有关车间资源配置、生产调度、控制与信息系统等方面的研究开发主要基于确定性的常规信息环境, 决策过程基本采用传统的硬决策理论与方法。而在实际的车间生产过程中, 存在大量的不确定、不精确、不完备等非常规制造信息, 而且车间制造活动中的决策往往建立在这些非常规信息的基础上, 因此传统的硬决策结果难免与车间生产实际相偏离。分布式人工智能及智能决策理论为车间生产管理决策提供了一种智能化系统分析的理论和方法, 神经-模糊和软计算理论为非常规信息条件下的决策方法提供了具体的决策建模和控制工具, 但目前还没有将上述理论与方法综合、系统地应用于 MES 运行敏捷性方面研究的报道。

1.2 MES 结构敏捷性方面

MES 涉及车间生产管理的诸多功能, 这些功能不可能在一个系统中一次解决, 因此必须构建一种可重构、可集成的开放式体系结构以便于系统扩充、裁剪与快速重组, 从而保证 MES 系统的结构敏捷性。目前 MES 系统的体系结构主要有两类^[4, 8, 11, 12]: 集成的体系结构 (Integrated MES) 和可集成的体系结构 (Integratable MES)。集成的体系结构通过提供一套集成的应用软件来同时解决多个不同生产问题。该结构由于具有丰富的应用功能、统一的逻辑数据库、单一的车间产品及过程模型等优点而在 MES 发展初期得到广泛应用。但该类系统依赖特定的车间环境, 整体性强, 模块化、开放性和可重构性差, 缺乏柔性, 不易修改、扩充, 难以适应敏捷制造环境的需求, 因而阻碍了 MES 技术的进一步推广应用。为解决上述问题, 国内外学者和有关研究机构进行了一些探索, 提出了可集成的 MES 体系结构, 在

该结构中, 每个应用程序既是一个完整的专用解决方案, 同时又可以集成为一套大的 MES 产品。可集成的 MES 一般采用基于 CORBA 规范的分布式对象技术建立 MES 系统框架^[11, 12], 基于该框架开发的 MES 具有开放性、模块化、分布式、可配置性和可扩充性等特点。NIIP SMART 协会^[36]针对 MES 开发和使用成本高、可重构性差、MES 之间不能实现互操作、不能与企业其它信息系统集成等问题, 通过采用更多的现成商业软件 (如中间件、工作流、GUI 等) 和标准体系结构和框架、定制用户需求及互操作功能等措施来提高 MES 软件构件的可重用性, 从而降低 MES 的开发和使用成本。最近还有人提出智能第二代 MES 解决方案 (MESII)^[37], 其核心目标是通过更精确的过程状态跟踪和更完整的数据记录以获取更多的数据来更方便地进行生产管理, 它通过分布在设备中的智能来保证车间生产的自动化。

近年来迅速发展的软件构件复用技术、集成计算模式和分布式对象技术等为 MES 应用软件的开发提供一种面向分布式制造, 具有分布性、广泛性及开放性的新型信息集成与计算模式, 它使得符合接口标准的功能构件可以方便地以“即插即用”的方式组装到 MES 系统中, 从而实现可重用、可重构、可扩充、可伸缩和开放式的 MES 体系结构。

1.3 国内研究现状

我国对 MES 的研究开发起步较晚, 目前主要停留在 MES 思想、内涵及体系结构方面的研究上, 应用系统开发一般局限于 MES 单一功能。九五期间, 北京航空航天大学、东南大学、南京理工大学等单位在国家 863 计划资助下在 MES 理论与应用系统开发方面做了一定的工作, 如夏敬华、陈杰^[38, 39]等人提出面向敏捷制造的车间先进管理控制系统 (AMCS), 试图构建车间级的敏捷制造系统。张书亭、周华、杨建军^[40, 41]等人从建立敏捷制造企业的车间生产管理系统出发, 分析和论述了制造执行系统的功能和应用特点, 提出使用先进的 MES 思想和软件辅助建立敏捷车间系统。他们还试图构建基于全能体 (Holon) 概念的 MES 框架结构以解决 MES 的敏捷性, 认为基于全能体的 MES 系统具有自治性、虚拟性、自组织性、自适应性、动态性、分布式和集中式控制相结合等特点。宋海生等人^[42]研究了网络联盟企业中基于 Web 的分布式生产单元 MES 软件体系结构, 于海斌等人则对可集成的 MES 技术体系进行了探讨。但总的来说, 国内多从软件建模和软件开发的角度研究 MES 的 (结构) 敏捷性, 缺乏对 MES 信息本质及其运动规律的系统深入研究。可以预见, 随着我国 CIM S 的发展和车间自动化水平的不断提高, 对车间生产管理的集成化、智能化和敏捷化需求将促进敏捷化 MES 技术在我国的研究和推广应用。

2 存在的问题

根据前面的综述与分析可知, 目前国内外现有的 MES 技术及系统在以下几个方面存在不足:

(1) 可集成性差^[4, 11, 12]。集成解决方案 (Integrated

MES)虽然可实现 MES功能的应用集成,但开放性、模块化和可重构性差,缺乏柔性,不易修改、扩充,难以适应敏捷制造环境的需求;基于分布式对象技术的可集成 MES(Integratable MES)只是从软件建模及开发的角度来构造 MES集成框架,缺乏从整个制造车间及生产系统的角度研究 MES本身的功能集成与信息集成,不能从本质上解决 MES的集成问题。

(2)缺乏智能性和敏捷性^[13]。MES中存在着大量决策(如划分订单优先级、作业调度、资源分配、在制品控制等),车间生产过程实质上是完成一系列决策的过程。MES中所涉及的信息及决策过程非常复杂,由于缺乏智能机制,现有MES不能保证生产过程的自适应、自组织与鲁棒性。智能性的缺乏直接导致了敏捷性不足,具体体现在MES对来自外部的不可预测的变化(如订单计划变更、急件加入等)和内部扰动(如进料阻塞、设备故障等)缺乏自适应和快速反应能力。此外,针对制造系统本身的变化和调整(如设备的增减、控制结构的升级以及其它新技术的采用等)MES亦缺乏快速可重构能力。

(3)缺乏非常规信息条件下的科学决策方法。国内外现有的MES技术及系统由于没有充分考虑车间制造信息中大量存在的不确定性、不精确性、不完备性等非常规特点,缺乏在这些非常规信息条件下的科学决策方法,而片面地去追求车间信息的数量或精确性,不仅增加了车间信息成本,而且造成车间信息集成困难和决策效率不高,大大增加了MES的开发及使用成本。

3 对策

车间敏捷化生产管理与控制是实施CIMS及敏捷制造战略的重要环节,MES则是实现车间生产管理敏捷化的基本技术手段,因此MES的敏捷化是其重要发展方向。MES的敏捷性体现为其性能上的快速响应和结构上的快速重组,现有MES系统多从软件开发的角度的研究其敏捷性,缺乏对车间真实信息环境、生产决策机制及其信息运动规律的深入研究,导致MES运行敏捷性和智能性不足,没有从本质上解决MES的敏捷化问题。因此必须对MES系统的信息模型、决策机制、信息处理、结构重组等核心问题展开深入研究,它们是实现MES敏捷化的关键技术。具体研究目标是:针对制造车间的信息特点及其运动规律,研究车间实际信息环境下的建模、决策及信息处理,重点解决车间非常规信息条件的车间资源配置、生产调度与控制中的决策模型与决策机制,以及相应的信息集成、信息搜寻、信息自组织、数据挖掘及知识发现等智能信息处理方法,构建敏捷化的MES集成信息模型,从根本上解决MES的运行敏捷性;运用组件及分布式对象计算技术,开发具有可重构能力、互操作性强、集成性好、智能性和敏捷性高的新一代MES应用系统,并在系统开发过程中与国内典型离散型制造企业密切合作,将先进性与实用性紧密结合,开发具有自主知识产权的MES技术成果与工具型应用软件,为我国离散制造业提供先进的车间生产管理技术与系统,促进我

国车间制造自动化水平的提高和CIMS的发展。

3.1 研究方法与技术路线

(1)从分析车间真实信息环境入手,深入研究车间制造信息的特征,应重点探讨车间非常规制造信息的分类、度量及其量化表征方法。可综合运用信息论、模糊逻辑、混沌理论、粗糙集理论以及现有制造信息学方面的理论成果,系统研究敏捷制造环境下车间制造信息的特点及其表达与处理方法,为敏捷化MES的研究奠定基础。

(2)不仅从软件建模与开发的角度,更重要地从车间及生产系统本身信息运动规律的角度来研究MES的功能与信息集成。可应用分布式人工智能中的Multi-Agent理论,对MES车间真是生产信息环境进行建模。应重点探讨非常规制造信息及其结构对车间资源配置的约束模式和作用机制,寻求MES对车间制造资源进行高效配置和优化调度的Multi-Agent信息传递体系。

(3)非常规信息条件下车间生产调度和控制中的决策、建模问题是本项目的核心。可综合应用神经-模糊和软计算中的有关理论和方法,研究车间真实信息条件下资源配置和生产管理中的决策、建模和控制问题,并对决策结果进行仿真与性能评价。同时特别关注人作为特殊智能信息资源在上述软决策环境中的协调与作用机制。

(4)MES中的有效信息集成机制是保证科学决策的前提。可综合应用协同学等信息自组织理论、数据挖掘及知识发现等智能信息处理技术研究非常规信息条件下车间信息搜寻、自组织和集成策略等信息处理机制,为车间非常规信息条件下的生产决策提供支持。

(5)以国内典型离散制造车间为背景,进行深入调研和需求分析,采用构件复用、面向对象建模和基于CORBA的分布式对象计算技术,构建车间集成信息模型和开放式MES可集成系统体系结构,研究和实现敏捷化、智能化和可集成、可重构的MES应用系统,并重点解决车间资源优化配置、生产智能调度与控制问题。该应用系统既可实现性能上的快速响应,又能实现结构上的快速重组,从而真正实现MES的敏捷化。

3.2 应用系统实施策略

(1)系统需求分析。以国内典型离散制造车间为背景进行需求分析,深入了解其车间信息环境,建立MES功能模型与信息模型,并在建模中充分考虑模型的一般性与系统结构的开放性以便于系统的推广应用。针对MES的核心功能,结合典型离散制造车间的共性,可建立如图1所示的MES系统功能模型,其中系统管理功能实体负责对整个车间的工作状况进行监控,调度管理功能实体负责车间作业的分派与调度,设备管理功能实体负责对车间不同的物理设备进行监督和控制,物料管理功能实体负责物流系统及物料的管理,订单管理功能实体提供MES与MRPII/ERP的接口,并负责加工订单的接收、分解及管理。每个功能实体都通过其Agent进行基于CORBA的集成。

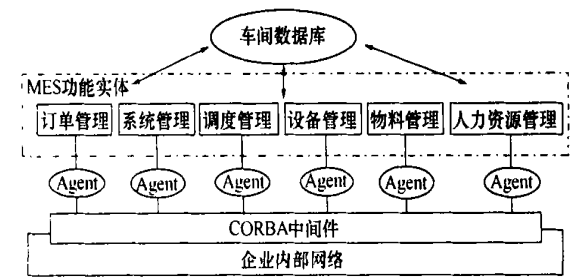


图 1 基于 Multi-Agent 的 MES 集成功能模型

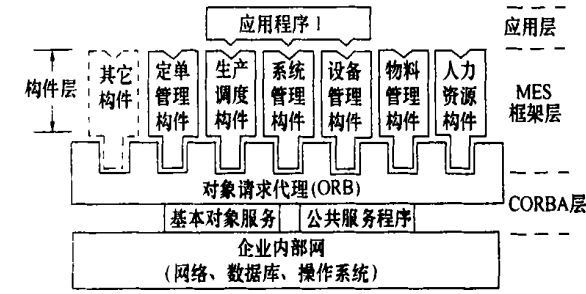


图 2 基于 CORBA 的 MES 可集成体系结构

(2) MES 框架结构设计。可采用基于 CORBA 的分布式对象技术建立如图 2 所示的可重构的开放式 MES 体系结构, MES 中的每个功能构件对应一个 Agent 应用程序, 它以“即插即用”的方式组装到系统中, 不同 Agent 应用程序的组合可重构出满足不同需求的 MES 应用系统。上述体系结构既保证了 MES 系统的模块化结构, 又使其具有良好的开放性; 同时各 Agent 之间可以互相通讯, 获得自己所需的信息, 以解决自己局部无法解决的问题, 因此亦具有良好的互操作性。

(3) 功能构件的设计与实现。首先对各 MES 功能构件对应的 Agent 进行统一对象建模与结构设计, 基于软计算理论的有关决策模型和控制算法均封装在相应的知识库和数据库中。然后分别进行各个 Agent 应用程序开发, 其接口则通过 CORBA 的接口定义语言 (IDL) 进行定义, 并将 IDL 映射为具体编程语言的 Stub 和 Skeleton, 编写实现具体服务功能的代码, 编译链接产生服务器程序; 编写调用具体服务功能的客户端代码, 最后编译链接产生客户程序。由于采用了公共的协议规范, 屏蔽了底层细节, 使得基于 CORBA 的 MES 应用系统的开发过程得到很大的简化。

(4) MES 应用程序的构建、测试与试运行。以典型离散加工车间 (或实验室) 为背景构建 MES 应用系统及其试验环境。基于该试验环境, 进行从用户订单到任务规划、调度控制、加工和递交结果这样的一个车间生产全过程的仿真运行, 通过输入不同的信息条件验证该系统适应非常规制造信息环境的敏捷性和信息处理的智能性。最后针对典型离散制造车间构建敏捷化 MES 应用系统, 并进行试运行, 积累经验后再推广应用。

4 结束语

MES 是近 10 年来在国际上迅速发展、面向车间层的生产管理技术与实时信息系统, 它是实施企业敏捷制造战略、实现车间生产敏捷化的基本技术手段。在我国实施的 CIM 战略中, 车间自动化一直是一个薄弱环节, 而实施 MES 则是提升车间自动化水平的有效途径, 因此 MES 技术的推广应用可有力促进 CIMS 的发展。另一方面, 随着 CAD/CAM 及 ERP 在制造企业的逐步应用, 其进一步的信息化需求将迫使企业更多地考虑在车间层次构建更高效的智能自动化信息系统, 发展敏捷化 MES 无疑是其必由之路, 因此 MES 在我国具有广阔的发展空间和前景。然而, 由于国内外现有的 MES 技术及系统没有充分考虑车间制造信息中大量存在的不确定性等非常规特点, 缺乏在这些非常规信息条件下的科学决策方法, 而片面地去追求车间信息的数量或精确性, 不仅造成车间信息集成困难和决策效率不高, 导致 MES 缺乏足够的敏捷性与智能性以适应日益不确定的车间制造环境, 而且大大增加了 MES 的开发和使用成本, 严重影响了 MES 这一先进的车间生产管理与控制技术在我国的推广应用与普及。因此必须从根本上解决 MES 的敏捷化问题, 并大大降低 MES 的开发与使用成本, 有力促进 MES 在我国的产业化进程和推广应用。本文提出的应对策略为上述问题的解决提供了一条有效途径, 它通过车间信息的有效集成和制造决策过程的智能化来保证车间生产的运行敏捷性, 通过可重构和分布式对象技术解决 MES 的结构敏捷性, 从而从根本上解决 MES 的敏捷化问题, 这对我国整个制造工业乃至国民经济的发展、提高我国制造业的国际竞争能力具有非常重要的理论意义和实用价值。

[参考文献]

[1] Kelly T. Electronic data systems. MES in the age of agile manufacturing [R]. A Presentation at MESA Round table 4, Chicago, Sep 13, 1995

[2] McClellan M. Applying Manufacturing Execution Systems [M]. CRC Press, 1997

[3] Vijayan, Jaikumar. Manufacturing execution systems [J]. Computer World, 2000, 34(31): 38~42

[4] 于海斌, 朱云龙. 可集成的制造执行系统 [J]. 计算机集成制造系统 CIMS, 2000, 6(6): 1~6

[5] MESA International. The Benefits of MES A Report from the Field [R]. MESA International White Paper Number 1, 1997

[6] MESA International. MES Functionalities & MRP to MES Data Flow Possibilities [R]. MESA International White Paper Number 2, 1997

[7] MESA International. Controls Definition & MES to Controls Data Flow Possibilities [R]. MESA International White Paper Number 3, 1997

[8] MESA International. MES Software Evaluation / Selection [R]. MESA International White Paper Number 4, 1997

- [9] Ed Barkmeyer, Nenno P, Feng S. *et al.* **NIST Response to MES Request for Information**[R]. NIST Response to RFI-3 MES Models, 1999
- [10] Scott D. Comparative advantage through manufacturing execution systems [A]. **Proceedings of the SEMICON Taiwan 96 IC Seminar**[C]. September, 1996 227~ 236
- [11] Cheng F T, Shen E, Deng J Y, *et al.* Development of a system framework for the computer-integrated MES A Distributed Object-Oriented Approach[J]. **International Journal of CIM**, 1999, 12(5): 384~ 402
- [12] Hori M, Kawamura T, Okano A. OpenMES scalable manufacturing execution framework based distributed object computing [A]. **Proceedings of IEEE International Conf. on Sys. [C]. Man & Cybernetics**, 1999(V I)
- [13] Langer G, Altling Leo. An architecture for agile shop floor control systems [J]. **Journal of Manufacturing Systems**, 2000, 19(4): 267~ 281
- [14] Blazewicz J, Domschke W, Pesch E. The job shop scheduling problem conventional and new solution techniques [J]. **Europe Journal of Production Research**, 1996, 93(1)
- [15] 郑大钟,赵千川. 离散事件动态系统 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001
- [16] 刘开第著. 不确定性信息数学处理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [17] (美) Holloway C A 著, 施家珍译. 企业决策的科学方法——在不确定性下决策: 模型和选择 [M]. 北京: 对外贸易教育出版社, 1990
- [18] 王清印. 预测与决策的不确定性数学模型 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000
- [19] 于学馥著. 不确定性科学决策方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [20] 贺仲雄主编. 软决策科学 [M]. 沈阳: 辽宁人民出版社, 1988
- [21] 贺仲雄编著. 模糊数学及其派生决策方法 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1992
- [22] 陈文伟编著. 智能决策技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998
- [23] 史忠植著. 智能主体及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [24] Shen W, Norrie D H. Agent-based systems for intelligent manufacturing a state-of-the-art survey [J]. **Knowledge and Information Systems An International Journal**, 1999, 1(2): 129~ 156
- [25] Sikora R, Shaw M J. Coordination mechanisms for multi-agent systems application to integrated manufacturing scheduling[J]. **IEEE Trans. On Engineering Management**, 1997, 44(2): 175~ 187
- [26] Krothapalli N K C, Deshmukh A V. Design of negotiation protocols for multi-agent manufacturing systems [J]. **International Journal of Production Research**, 1999, 37(7)
- [27] Rabelo R J, Camarinha-Matos L M, Afsarmanesh H. Multi-agent based agile scheduling [J]. **Robotics and Autonomous System**, 1999, 27 15~ 28
- [28] 张智星,孙春在,(日)水谷英二著. 神经模糊和软计算 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000
- [29] Hamza M H. **Artificial intelligence and soft computing** [M]. ACTA Press, 1998
- [30] Jain L C, Fukuda T. **Soft computing techniques for intelligent robotic systems**[M]. Physica-V erlag Heidelberg, 1998
- [31] Roy R. **Advances in soft computing engineering design and manufacturing**[M]. Springer, 1998
- [32] Chen M, Han J, Yu P S. Data Mining An overview from a database perspective [J]. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, 1996, 8(6): 866~ 883
- [33] 曾黄麟. 粗糙集理论及其应用 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996
- [34] 李永敏等. 基于粗糙集理论的数据挖掘模型 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 1999, 39(1): 110~ 113
- [35] 程岩,黄梯云. 信息系统中一种面向粗糙集的数据挖掘方法 [J]. 情报学报, 2001, 20(1): 90~ 99
- [36] N I I P S M A R T Consortium. Manufacturing Execution System. 1998
- [37] Sukhi N, Nick W. Intelligent second-generation MES solutions for 300mm Fabs [J]. **Solid State Technology**, 2000, 43(6): 133~ 137
- [38] 陈杰,孙宇,张世琪等. 面向过程的制造执行系统的研究 [J]. 高技术通讯, 1999, (12): 37~ 40
- [39] 夏敬华,陆宝春,陈杰等. 面向敏捷制造的 AMCS研究 [J]. 高技术通讯, 1999, (10): 1~ 5
- [40] 张书亭,杨建军,邹学礼. 面向敏捷制造车间的制造执行系统研究 [J]. 新技术新工艺. 电子技术应用, 2000, (12)
- [41] 周华,杨建军,邓家. 基于全能体的基于全能体的 MES 构建 [J]. 制造业自动化, 2001, (7): 13~ 16
- [42] 宋海生,王家海,张曙. 网络联盟企业中基于 Web 的制造执行系统 [J]. 制造业自动化, 2001, 23(2): 20~ 23

(上接第 929 页)

3 结束语

本文通过对曲柄摇杆机构急回运动性质的分析与理论研究,阐述了对极位夹角 θ 定义的论点和按新的 θ 定义对已知 K, c, j 条件下曲柄摇杆机构的图解设计方法。按照新的极位夹角定义,可以解决原定义中当 $K \geq 3$ 时所产生的矛盾,而且定义又更加简明易记,在图解设计方面也未带来任何困难。

参考文献

- [1] 孙桓. 陈作模主编. 机械原理(第六版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001
- [2] 辛一行主编. 现代机械 设备设计院手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996
- [3] 申永胜主编. 机械原理教程 [M]. 北京: 清华大学出版社