

协同制造体系下的 MES标准化*

MES Standardization in Collaborative Manufacturing System

清华大学自动化系 李 清 吴 靖



李 清

博士,清华大学自动化系副教授,长期从事系统建模和系统评价技术的理论研究和工程实践。

信息技术在我国国民经济领域中正发挥着越来越重要的作用,信息化极大地推动着我国工业化和现代化的进程。从政府部门到企业管理层都注意到信息技术革命所带来的

20世纪90年代中期发展起来的制造执行系统(MES),以及近年来提出的协同制造体系是打通管理与设备层之间瓶颈不可或缺的技术手段。随着经营管理的扁平化,协同制造及MES正在成为企业实现生产活动与经营活动有效集成、优化运行、控制与管理的桥梁和纽带,因此它是提高企业竞争力重要的技术手段之一。

机遇和挑战,利用信息技术改造传统产业,由信息化带动工业化成为我国的基本国策。我国要尽快完成工业化进程,全面提升我国企业的国际竞争能力;政府部门要更好地实现监管并提高响应能力,为国民提供良好的管理服务,都离不开信息技术。

近年来,以企业经营管理信息系统(ERP)为代表的管理信息系统开展了大规模的应用,我国工业企业的生产自动化水平也有了长足的进步。然而,在生产自动化与管理信息化之间存在的数字鸿沟,影响了管理同生产的紧密结合,使得ERP与生产自动化系统的应用效果大打折扣,主要

问题在于单纯依靠ERP并不能帮助和指导工厂分析其生产的瓶颈,改进和控制产品的质量,并对具体的产品生产进行计划和管理。ERP虽有生产控制模块,但难以真正在车间层中使用。

20世纪90年代中期发展起来的制造执行系统(MES),以及近年来提出的协同制造体系是打通管理与设备层之间瓶颈不可或缺的技术手段。随着经营管理的扁平化,协同制造及MES正在成为企业实现生产活动与经营活动有效集成、优化运行、控制与管理的桥梁和纽带,因此它是提高企业竞争力重要的技术手

* 国家 863 计划资助(2001AA415340, 2007AA04Z1A6)、国家自然科学基金项目资助,(60474060)、北京市自然科学基金项目资助,(9072007)。

段之一。

制造企业多维度的集成与协同制造体系

制造业运行模式的演变和信息技术的进步是促进制造业信息化发展的2个基本动因。在制造业信息化的早期阶段,企业经营管理的信息化与生产设备的自动化作为2个独立的分支各自发展。由不同部门,基于不同应用目标建立起来的一系列单一功能的信息系统,逐渐形成对信息化进程的阻碍:

(1) 信息孤岛。企业内的生产调度、工艺管理、质量保证、设备维护、物料管理、过程控制等系统之间相互独立、缺乏数据共享,导致相互之间功能重叠、数据冗余与矛盾等一系列问题。信息孤岛使企业内部的信息在水平方向上断裂,严重制约着企业内各种系统间的协调,降低了信息化的整体作用。

(2) 信息断层。企业级的经营管理系统无法及时准确地得到实际生产信息,无法有效掌握生产现场的真实情况;而生产现场的工作人员和设备也得不到切实可行的生产计划与生产指令。信息断层造成了企业生产经营信息在垂直方向上的阻断,成为阻碍企业级的经营管理系统与车间级的生产管理系统集成的根本原因。

随着企业信息化在理论和实践上的不断深入,以系统和集成为基本思想的制造业信息化系统体系已经基本清楚。2002年,ARC发布了协同制造管理战略,提出了协同制造体系^[1](如图1所示)。ARC认为,在企业之间实现网络化制造,首先需要企业内部构建协同制造体系和系统。ARC将制造企业看作包含3个维度的球体,认为企业实现协同,需要沿着产品生命周期、企业价值链和企业不同的层次实现系统的集成。以企业、生命周期和价值链为坐标,

ARC将集成系统所涉及的各种应用分系统放置在球体空间的不同位置,以说明各种系统逻辑上的关联关系。其应用视图为各种单元技术和信息系统进行了准确的定位,为相关系统的集成提供了方向和思路。

结构,将位于计划层和控制层之间的执行层叫做MES,并明确了各层的功能和重要性^[4]。

普遍认为,MES处于企业经营管理信息系统(ERP)和过程控制系统(DCS/PLC)的中间位置,ERP作

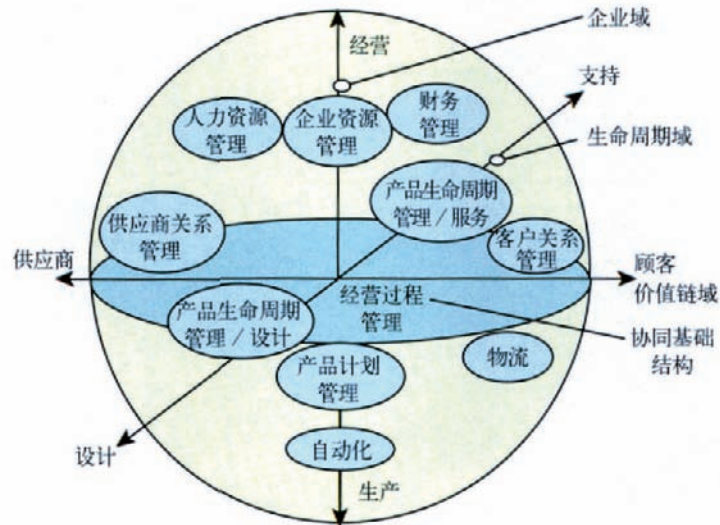


图1 协同制造管理的应用视图

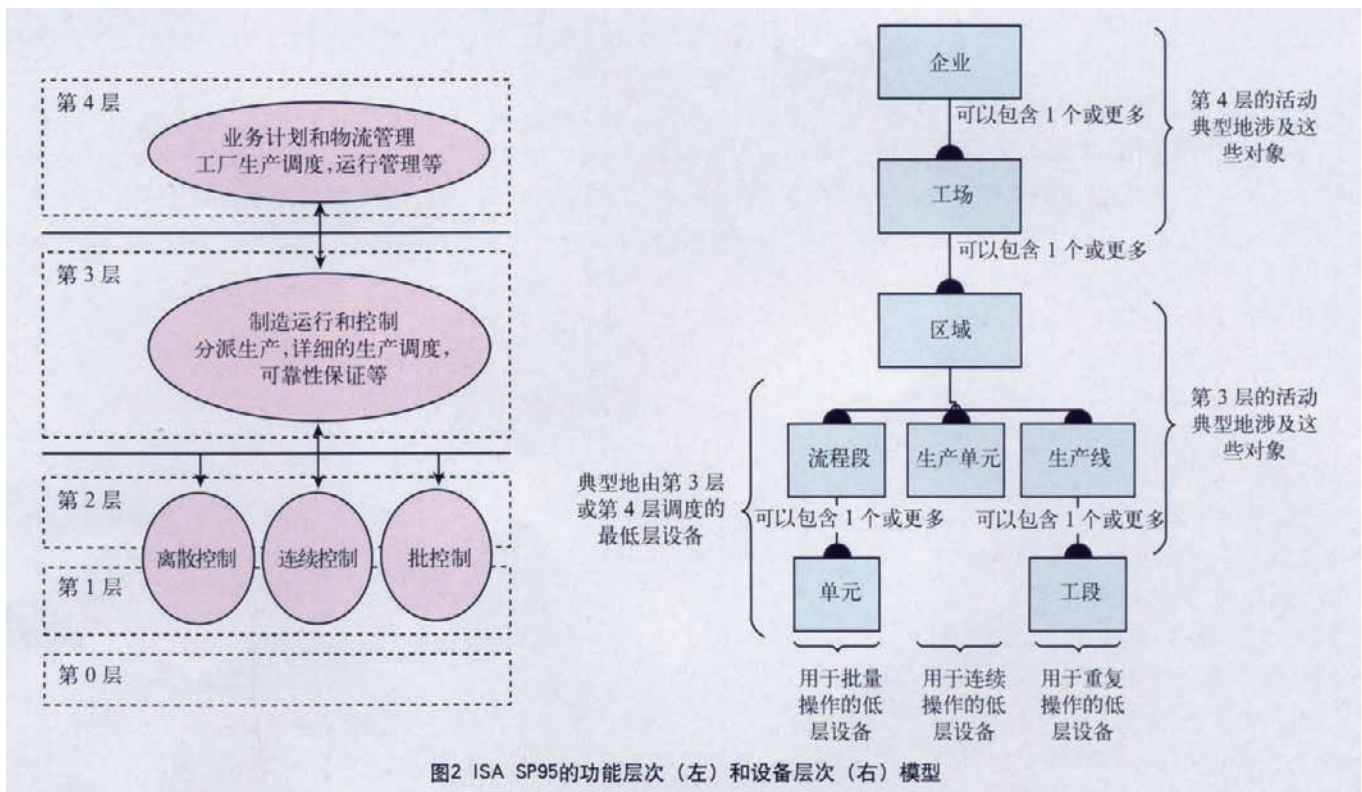
协同制造体系下的MES

在工业应用方面,虽然企业信息化的各个领域都取得了长足的发展,但是在实现信息集成的过程中,仍然会面临信息孤岛和信息断层所带来的各种问题。1990年11月,美国的调查咨询公司(Advanced Manufacturing Research, AMR)首次提出制造执行系统(MES)的概念,作为解决企业信息集成问题的解决方案^[2-3]。位于美国的制造执行系统协会(Manufacturing Execution System Association, MESA)成立于1992年,是继AMR组织之后促进MES普及和标准化的团体,经常发布关于MES的白皮书,以及用户使用MES后的效果调查报告。在整个企业信息化的系统体系中,MES扮演了承上启下的重要作用。

MES从一开始就是一个特定集合的总称,用来表示一些特定功能的集合以及实现这些特定功能的产品。AMR提出3层结构的信息化体系

为经营管理系统,DCS/PLC作为控制系统,而MES则作为生产执行系统。由于ERP层和DCS层的信息技术应用起步较早,已经形成了大量的成熟技术和系统。MES与上层ERP等管理信息系统和底层DCS等生产设备控制系统一起构成企业的信息系统架构,一方面将业务计划的指令传达到生产现场;另一方面将生产现场的信息及时收集、上传和处理。MES不单是面向生产现场的系统,而是作为上、下2个层次之间的信息传递纽带,将车间现场和企业经营决策关联起来,以改善企业的生产经营效益。

国外MES的研究与发展基本沿着2条线在进行,一条线是如Honeywell、GE这样的传统设备自动化领域的领军企业,以MES为契机,逐渐向上层的管理信息系统领域延伸自己的产品线和产品功能;另一条线是以SAP、Oracle这样的管理信息系统提供商,沿着生产管理向下延伸,提供MES整体解决方案。



这2种模式在特定进行应用领域都取得了很好的成果。

20世纪90年代初期,国内就开始对MES以及ERP的跟踪研究、宣传或试点^[5]。进入21世纪,国内仍然以提升工厂自动化水平,普及DCS、监控系统与数据采集(Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA)、PLC、现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)和提升管理信息化水平,由开发MIS转向推广普及ERP为主。尽管MES层仍然是断层,但人们对MES的概念以及MES在企业信息化的地位已不陌生,并开始形成共识。

MES的标准化工作

由于MES发展的初期没有一个非常明确的定义,所有那些无法准确地分配给企业信息系统体系结构其他层的应用程序或产品,都被归类到MES的范畴之内。而这样的程序或产品大都是由一些定制的应用程序逐渐演化而来,基本上都是

由系统集成商针对某类特定用户定制开发的,通常仅针对某个特定领域(如排产、实验室、质量、产品跟踪等),形成了大量散点分布的应用系统,缺乏系统性,并造成了集成方面的困难。因此,一些国际组织意识到应该对MES进行更加明确的定义,MESA、仪表、系统和自动化协会(The Instrumentation, Systems, and Automation Society, ISA)随后开发了描述MES的模型,并尝试通过模型展开标准化工作,将各种MES的研发工作和成果集成到一起,提高MES的效能。

到20世纪90年代中期,MES标准化和功能组件化、模块化的思路得到重视,许多MES软件实现了组件化,用户根据需要就可以灵活快速地构建自己的MES,大大方便了系统的实施与集成。其中最著名的是MESA International于1997年提出的MES功能组件和集成模型,该模型包括11个功能模块。随后MESA规定,仅仅包括11个功能模块中的某一个或几

个,也属MES系列的单一功能产品。AMR把按照11个功能实现的整体解决方案称为制造执行解决方案(Manufacturing Execution Solution, MES II)。

这一时期,大量的研究机构、政府组织参与了MES的标准化工作,进行相关标准、模型的研究和开发,其中涉及分布对象技术、集成技术、平台技术、互操作技术和即插即用等技术。其主要成果包括^[5-6]:

(1)MESA提出了MES对象模型。

(2)标准化组织OMG(Object Management Group)的制造分会(Manufacturing Domain Task Force, MfgDTF)发布了RFI(Request for Information)文件。

(3)ISA的SP95(Enterprise Control system Integration)标准委员会发布了ERP与MES之间的接口标准模型。

(4)NIIP-SMART(National Industrial Information

Infrastructure Protocols – Solution for MES Adaptable Replicable Technology) 信息结构标准的发布。

(5) NIST – SIMA (National Institute of Standard and Technology – System Integration for Manufacturing Applications) 用 IDEF0 描述了通用的功能活动模型 (Activity Models)^[7]。

其中, 国际电工技术委员会 (International Electrotechnical Commission, IEC) 从 1997 年开始启动编制 ISA SP95 企业控制系统集成标准和 ISA SP98 批量控制标准的工作尤为重要, IEC 先后发布了 SP95.01 模型与术语标准、SP95.02 对象模型和属性标准、SP95.03 制造运作管理的活动模型标准、SP95.04 制造运作管理的对象模型和属性标准。SP95.01 规定了生产过程涉及的所有资源信息及其数据结构和表达信息关联的方法; SP95.02 对第 1 部分定义的内容作了详细规定和解释, SP95.03 提出了管理层与制造

层间信息交换的协议和格式^[6]。ISA 95 的系列标准已经被 ISO/IEC 所采用, 成为国际标准 ISO 62264 并逐步对外发布。ISA SP95 标准在工业界迅速得到认可, 不少公司正在运用 SP95.03 中给出的模型作为需求分析、体系结构、设计和实施的模版。许多公司依照此标准进行 MES 和 ERP 集成的实施^[8]。

我国也同步开展了 MES 的标准化研究和标准制定工作, 同步将 ISO 62264 等同采用为 GB/T 20720, 国家标准委和北京市科委在 MES 工程研究过程中, 也资助了多个 MES 标准化研究项目的工作。

总体来看, 各种 MES 标准化的努力是沿着几个方向展开的: 体系结构的标准化、业务逻辑的模型化和标准化以及信息结构的标准化。近年来, 随着信息系统实施方法论的成熟, 实施模式和评价策略也在逐步走向规范化和标准化。

1 MES 的体系结构的标准化

由于 MES 在产品从工单发出到成品产出的整个过程中, 扮演将生产

活动最优化的“信息传递者”的角色, 因此 MES 必然要具有多种功能并且能够同时为生产、质检、工艺、物流等多个部门服务, 这就决定了 MES 的结构设计必须满足以下原则:

(1) MES 应该是一个分布式的计算机系统;

(2) MES 能够与企业的其他制造信息系统相连接, 从而提供高效的企业管理功能;

(3) MES 以生产行为信息为核心, 可以为企业决策系统提供直接的支持^[9]。

SP 根据上述原则, AMR、MESA、ISA95 等 MES 的权威机构以及已经制定的国际标准分别给出了各自理解的典型 MES 体系结构。

已成为 MES 领域国际标准的 ISA SP95 从系统集成、设备组织等角度描述了企业的层次模型。功能层次模型 (图 2^[10] (左)) 描述了企业集成的不同层次, 从业务计划和物流管理, 到制造运行和控制, 直至成批、连续或离散控制。该模型表达了决策的层次性。其中第 0 层表示过程, 通常指制造或生产过程; 第 1 层表示用来监控和处理这些过程的人工或传感器, 以及相应的执行机构; 第 2 层表示手动或自动的控制动作, 使过程保持稳定或处于控制之下; 第 3 层和第 4 层之间的接口通常是工厂生产调度和运行管理及车间协调之间的接口^[3]。图 2 (右) 则表明制造企业的实际生产设备通常也组织成一种层次结构, 其中低层次的要素通过分组组合形成高层次的要素。在某些情况下, 在一层内的一个分组可以合并到同一层的其他分组内。

目前, 对包括 ISA SP95 在内的 MES 体系结构标准最严峻的挑战是, 它们必须满足多种工业和行业对企业信息集成的需要, 必须是一个适用于食品工业、化学工业, 以及电子工业这些不同类型工业的跨行业的

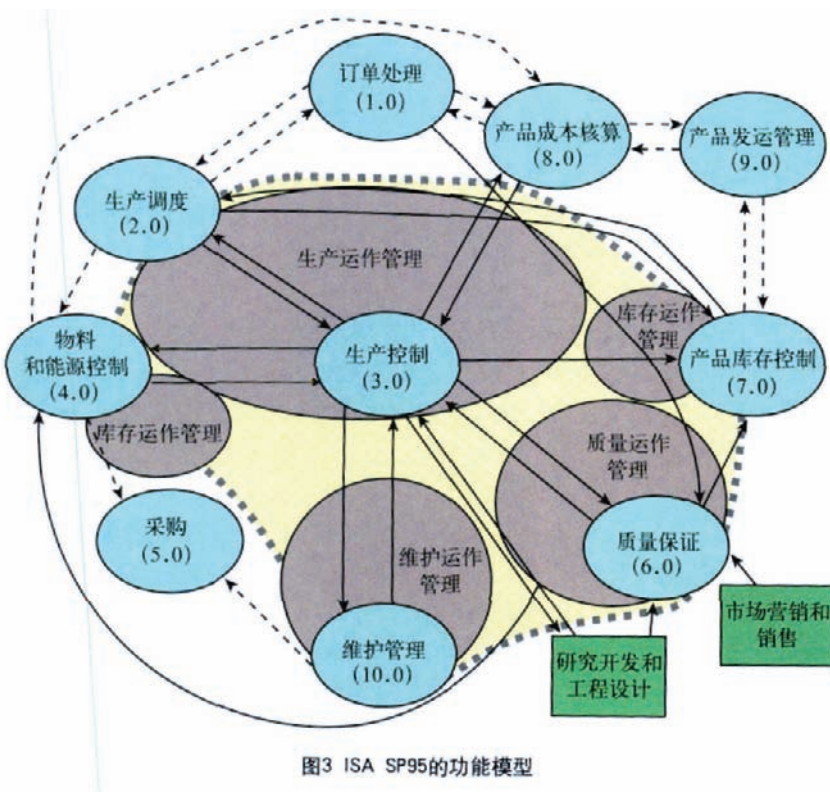


图3 ISA SP95的功能模型

定义集合,从而保证其可以成为覆盖离散型制造业、连续流程制造业和批处理流程制造业的MES的标准^[11]。一些国内学者也提出了符合我国国情的MES体系结构^[12-13]。

2 MES 业务逻辑的模型化和标准化

由于理念、出发点、产品成长基础和成长历程的不同, MES 和经营管理及生产控制系统的边界往往很难划分清楚,软件系统之间、功能模块之间存在较多的重叠。因此ISA和ISO/IEC避开MES边界到底在何处的争论,针对更广义的制造自动化系统构建参考模型。

ISA SP95 标准依据国际MES协会提出的模型和在美国普渡大学教授T. Williams 指导下提出的普渡企业参考体系结构PERA^[14]建立了功能活动模型(图3)^[10],该模型表达了各功能模块之间的功能关系,并在此基础上定义了信息接口。

如图3所示,ISA SP95 认为完成制造运作过程需要具备10个功能,辅助于研究开发和工程设计以及市场营销和销售2个外部性活动。ISA SP95 把功能模块划分成生产运作管理、库存运作管理、质量运作管理、维护运作管理等4个功能区,针对这些功能活动,ISA SP95 标准还定义了制造运作管理的通用活动模型,并以此为模板给出上述4个功能区的详细活动模型。

此外,在美国商务部、美国标准和技术研究院的支持下,SIMA(Systems Integration for Manufacturing Applications)项目组开发了SIMA参考体系结构。其第一部分“活动模型”^[15],使用IDEF0方法建立了制造自动化系统的功能模型,对MES的开发与实施具有很大的参考意义。MES的业务逻辑标准详细定义了系统功能组成及各功能模块之间的相互关系,各厂商的MES系统在实现与外部系统的集成时只要满足标准定义的功能关

系和数据接口关系就可以实现标准的集成。

3 MES 信息结构的标准化

在确定MES的功能结构和功能关系后,就可以此为架构,辨识功能活动所处理的对象/实体及其属性,据此开发MES的信息模型。

ISO62264-2^[16]是在ISA SP95功能模型的基础上分析了MES相关的主要信息类型,辨识出MES应该主要考虑的人员、设备、物料、工艺段、生产能力、产品信息、生产计划和生产绩效等8个对象,使用UML定义了这些对象的模型并给出了相应的类及其属性表;一些机构和研究人员同时还使用IDEFIX建立了相关对象的实体关系模型,支持系统架构在关系数据库之上。

信息交换机制和交换方式,则可以采用通用的信息技术标准。

4 MES 的实施方法标准化

MES是制造业企业信息化体系结构中顶层计划管理层与底层过程控制层之间的中间层次,承担着承上启下的重要作用,它的实施也与上下两层有极为紧密的联系。因此无论是MES实施的业主企业还是主导系统开发的软件承包商,都不可能独立承担起系统的所有软件模块,必须实施有集成顾问的三方实施模式,对实施模式进行标准化,以最大限度地规避风险,提高成功率。多数从事系统集成产品的供应商和集成服务商都在工业实践过程中形成并完善相关的实施方法。ISO15704、ISO19439、ISO19440在企业体系结构和企业建模理念和技术的基础上,建立了模型驱动的系统集成方法体系,建模技术在MES研究、开发和实施过程中,扮演了越来越重要的角色。

由于一个完整的MES往往需要对多个供应商的产品进行集成,而各个模块也往往可以从不同的供应商采购不同的应用系统,因此MES组件的评价技术和评价标准,也是近年

来讨论的重点。在很多研究机构的咨询报告中,对MES评估往往采用了其定义的MES评价体系和评价方法^[13,17]。

需要强调的是,随着咨询服务业的发展,鉴于MES项目中第三方咨询的重要性,第三方必须具备跨学科的知识结构、多方面的综合能力与素质,尤其要对制造业信息化有整体的把握能力,才能成为项目顺利实施的可靠保障,这也需要标准化技术的支持^[13]。文献[13]在体系结构、方法论的研究成果和工程实践经验的基础上,对该主题进行了详细的讨论。

结论

本文讨论的相关国际组织的标准化工作是在国外自动化水平和管理信息化水平比较高的基础下完成的。目前我国在底层自动化水平有限的情况下,不能完全照搬国外的标准化成果。在我国构建MES,需要关注我国制造业的现实情况:

(1) 制造业的自动化水平还比较低,设备的数控改造将是一个漫长的过程。

(2) 企业经营管理规范化的道路还很漫长,经营管理系统尚未完全普及。

(3) MES的实施可能和经营管理系统和生产控制系统的实施同步,很多企业基于现实条件的约束,希望MES能够独立运行,并在一定范围内支持企业的经营管理,这使得MES和其他系统的界限更加模糊。

基于以上分析,我国工业企业若要实施MES,则需要提出适度自动化的理念,然后展开相关的标准化工作和工程应用工作。

注:本文有参考文献17篇,因篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向编辑部索取。

(责编 侧卫)