

# 炼化企业 MES 体系结构的分析与设计

李德芳<sup>1</sup> 蒋白桦<sup>2</sup> 王宏安<sup>3</sup>

(1. 中国石化股份有限公司信息系统管理部, 北京 100029;

2. 石化盈科信息技术有限责任公司, 北京 100080;

3. 中国科学院软件研究所, 北京 100080)

**摘要:**分析了我国炼化企业的生产执行系统(MES)应用需求,设计了符合炼化企业特点的 MES 体系结构及其功能模块,并对其关键技术进行了探讨。

**关键词:**生产执行系统(MES);体系结构;数据集成;企业数据模型

中图分类号:TE6

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2004)S2-0048-05

## Design and analysis of refinery MES architecture

LI De-fang<sup>1</sup>, JIANG Bai-hua<sup>2</sup>, WANG Hong-an<sup>3</sup>

(Information System Management Department, China Petroleum and Chemical Company, Beijing 100029, China;

2. Petro-Cyberworks Information Technology Company Limited, Beijing 100080, China;

3. Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract:** The design and analysis of manufacturing execution system(MES) architecture for process industries were analyzed. Based on the requirement analysis of MES application to refineries in China, an architecture of MES for those refineries was proposed, and the related key technology discussed in details.

**Key words:** manufacturing execution system(MES); architecture; data integration; enterprise data model

随着信息技术的发展,以制造资源计划(MRP II)、企业资源计划(ERP)为代表的管理信息系统,和以集散控制系统(DCS)、可编程逻辑控制器(PLC)和监控与数据采集(SCADA)系统为代表的过程控制系统,在流程行业已得到广泛应用。尽管这 2 类系统的推广取得了一定效果,但却忽略了两者的有效配合,导致企业上层计划缺乏有效的实时信息支持、下层控制环节缺乏优化的调度与协调。企业经营管理层与生产过程执行层双向信息流交互割断,使得企业难以实时反应。10 多年前诞生的生产执行系统(MES)致力于解决这一问题,它作为 ERP 系统的执行机构,对从生产命令下发到产品完成的整个生产过程进行优化管理,并实时地将生产过程信息反馈给 ERP 系统,从而将生产活动与管理活动信息有效地集成起来<sup>[1-2]</sup>。目前 MES 在发达国家已经普遍推广,而我国,对 MES 的认识和应用还处于起步阶段。

中国石化股份有限公司(以下简称中国石化)紧

跟时代发展的步伐,在信息化建设与研发方面一直走在行业前列,多年的系统应用经验使大家清楚地认识到 MES 是流程工业综合自动化技术发展的关键<sup>[3]</sup>。在中国石化信息化总体规划《目标和任务》中也明确地指出:“十五”期间信息化建设发展策略是“服务三个中心,横贯四大板块,纵深三个层次”;强调从企业资源计划/生产执行系统/过程控制系统(ERP/MES/PCS)三个层次上进行油田、炼油、化工、销售四大板块的信息化建设,为总部决策中心、事业部利润中心和分子公司成本中心提供有力的支持和服务。目前,ERP 系统已在中国石化各分、子公司陆续推广实施。而 MES 层应用系统建设也开始起步,ERP 与 MES 建设的不同步,一定程度上制约了 ERP 效果的发挥,表现之一是 ERP 需要的生产管理数据缺乏系统整合,不能及时提供。为此,笔者在研究通用的 MES 系统模型之上结合炼化企业的特点,从整体全局的角度分析炼化企业核心生产业务和 MES 的功能需求,建立适合于炼化企业的 MES 体系结构。

**作者简介:**李德芳(1961-),男,研究生,教授级高工,中国石化股份有限公司信息系统管理部主任,研究方向为石化企业信息化;蒋白桦(1961-),男,硕士,高级工程师,石化盈科信息技术有限责任公司 MES 事业部总经理,研究方向为计算机应用;王宏安(1963-),男,博士,研究员,博士生导师,中国科学院软件研究所人机交互与智能信息处理实验室主任,研究方向为人机交互、实时智能系统及其应用,通讯联系人,010-62629509,wha@iel.iscas.ac.cn。

## 1 国内外MES的研究现状

### 1.1 定义及功能模型

MES国际联合会(MESA)对MES的定义是:MES能通过信息传递对从订单下达到产品完成的整个生产过程进行优化管理。当工厂发生实时事件时,MES能对此及时作出反应、报告,并用当前的准确数据对它们进行指导和处理。这种对状态变化的迅速响应使MES能够减少企业内部没有附加值的活动,有效地指导工厂的生产运作过程,从而使其既能提高工厂及时交货能力,改善物料的流通性能,又能提高生产回报率。MES还通过双向的直接通信在企业内部和整个产品供应链中提供有关产品行为的关键任务信息<sup>[4]</sup>。同时MESA还定义了MES应具备的11个功能模块。如图1所示。

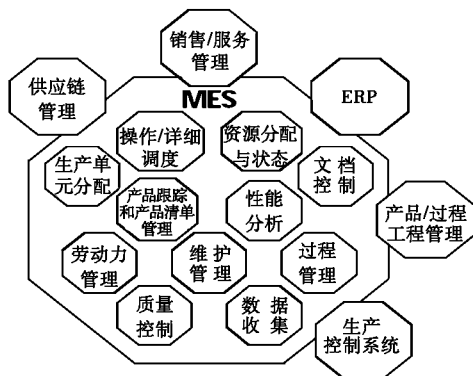


图1 MESA定义的MES功能模型

(1)资源分配和状态管理:管理机器、工具、劳工技能、材料、设备和其他实体,使其在操作前按顺序可得,同时提供资源的具体历史信息,保证设备正确安装并提供实时状态。对上述的资源管理包括资源库存管理和资源分配,以满足生产调度的需要。

(2)操作/详细排产:提供基于优先权、属性、特性、工艺等的合适顺序,从而缩短安装过程。通过参考可替代工序、重叠和并行操作,精确计算加工时间和设备负载,从而适时调整生产模式。

(3)分配生产单元:管理以工件、订单、批量、时序等形式的生产单元流程,按短期加工需要和实时生产变动情况提供分配信息,并可改变预先的调度方案和通过缓冲区管理来控制加工数量。

(4)文件控制:控制与生产单元相关的记录,包括生产指令、工艺方案、图纸、标准操作规程、批量记录、交接班记录等,具有编辑和指令下达等功能。

(5)数据收集:提供获取分散在各类表格中的内部生产操作数据和生产记录的接口,数据的收集可

以是自动或手动方式。

(6)劳动力管理:提供职员有关状态,并与资源配置关联来决定最优分配。

(7)质量管理:提供质量的实时分析来保证产品质量控制,识别确定需注意的问题,给出更正的建议,也包括统计过程/质量控制(SPC/SQC)的跟踪和离线检查操作的管理以及实验室信息管理系统(LIMS)的分析等。

(8)过程管理:监视生产或自动纠正或提供决策支持来改善操作中的活动,也包括报警管理,提供智能设备和MES之间的接口。

(9)维护管理:跟踪和指导设备和工具维护的活动来保证生产和调度的进程,也提供紧急问题的反应,如报警,并维护历史信息来支持问题的诊断。

(10)产品跟踪和产品清单管理:提供工作的可见度和相关的状态信息,在线跟踪功能可产生历史记录。

(11)性能分析:提供精确到分钟的实际生产操作结果,并形成与历史记录和期望结果的对比报告。

MES在企业信息集成中起到信息“集线器”的作用,分别与供应链管理、销售/服务管理、ERP、产品/过程工程、生产控制系统相关联,从而构成了整个企业的现代集成生产系统。

MESA的MES功能模型是一个通用的模型,给出了MES系统基本涵盖的生产范围和应用范围。它为具体MES应用的开发和实施提供了可行的框架,具体到不同的行业,不同的企业环境,MES所包含的功能也会有所差异。

### 1.2 产品应用

随着MESA的MES功能模型的推出,MES技术、方法、体系结构的研究和应用不断深入<sup>[5]</sup>,实施MES的企业范围也越来越广。一些大的公司,如美国GE Fanuc Automation、芬兰Nokia等也都相继在自己的企业内部构建了MES系统,并取得了明显的经济效果。同时一些企业自动化的软件提供商们也纷纷推出了自己的MES软件产品和成套解决方案,这些产品主要有:瑞士ABB公司的Produce<sup>IT</sup> Management、德国Siemens公司的proCX和美国PEC公司的NWARE等。这些MES系统和产品主要是面向离散企业,对MES中资源配置、作业调度、生产过程的实时管理以及质量管理等基本功能进行了应用集成,有效地实现了对车间生产的跟踪、控制和优化。

在石化行业也涌现了一些MES系统和产品,如韩国SK公司的OIS系统、美国Aspen企业集成平台

(AEP)、美国 Honeywell 的炼化企业解决方案等,这些产品有的侧重于油品移动管理、有的侧重于物料平衡、有的侧重于生产调度/操作管理。虽然这些 MES 产品各有优势和侧重点,并在国外企业的应用中取得了显著的效果,但是从总体上讲,它们缺乏面向行业的 MES 整体解决方案。主要存在的问题和不足有:

①大部分 MES 产品都是面向离散企业的特点而设计的,对流程企业特点的考虑以及应用都较少;②目前的 MES 软件基本都是国外产品,它们所建立的、作为 MES 核心的企业生产过程模型不适应国内企业环境的特点,需要重新开发;③大部分的 MES 产品缺乏一个通用、标准的应用集成平台,各种厂家的 MES 应用所采用的软件技术差异较大,难以与遗留应用以及其他 MES 应用形成无缝的集成,需要对系统进行二次应用开发。

在本文中笔者将参考 MESA 的一般功能模型和国内外在炼化企业 MES 研发情况,结合中国炼化企业的现状和 MES 应用需求,分析与设计炼化企业的 MES 整体框架和功能模型,以指导和推动 MES 系统在石化行业的应用。

## 2 炼化企业 MES 的体系结构

### 2.1 应用需求

中国石化在“十五”信息化规划中提出建立 ERP/MES/PCS 三层架构的综合自动化系统,在该体系结构中,MES 起到了承上启下的作用,是实现石化行业综合自动化的关键。在石化行业,ERP 已进入全面推广阶段,PCS 层的信息集成技术也已相当成熟,但作为 ERP 和 PCS 信息集成桥梁的 MES 系统的应用比较滞后,炼化企业信息化建设对 MES 提出了迫切的需求。

#### (1) 企业应用集成的需求

炼化企业应用集成需求体现在纵横 2 个方面,在纵向普遍存在 PCS 与 ERP 之间信息断流的现象,二者需要通过 MES 实现实时信息和计划资源信息的融合与贯通;在横向不同时间、不同对象开发的多个生产管理系统相互独立,形成了信息孤岛,导致数据冗余、数据不一致现象严重,已有的生产管理系统需要在 MES 层进行信息整合与集成,充分实现生产数据共享。

#### (2) 企业生产管理的需求

生产管理是指对生产进行计划、组织与控制,炼化企业的生产管理包括短周期计划、动态调度、装置

生产记录、油品移动、罐区计量、质量管理、物料平衡等。几十年来,炼化企业通过软件引进、自主开发或联合开发的方式实施应用了一些生产管理系统软件,但这些系统大多数集中在罐区计量、质量管理和调度早报生成的业务领域,它们并没有全方位地覆盖企业生产业务,没有形成贯穿生产计划与优化、生产过程监控与执行和生产统计与分析整个生产业务流程的生产管理系统。

企业现有的生产管理现状需要建立起一个紧紧围绕生产计划与优化、生产过程监控与执行和生产统计与分析这 3 条生产主线的 MES 系统,全面支持企业生产过程的运营与操作,真正实现企业生产数据的传达、监控、收集与分析,进而真正实现企业信息集成共享和业务集成优化。

#### (3) ERP 的应用需要 MES 的数据支撑

目前,中国石化总公司正在全面推广德国 SAP 公司的 ERP 系统。ERP 系统需要 MES 层通过实时数据库采集 PCS 层的过程数据,经数据整合系统对生产过程数据进行整合后将实时数据传递到关系型数据库,为 MES 层的分系统和 ERP 应用提供一致性的生产状况信息。ERP 系统需要 MES 层整合生产计划完成信息、物料和公用工程平衡信息、生产能力、材料消耗、劳动力和生产线运行性能、油品库存状态、实际定单执行等涉及生产运行的数据,为 ERP 系统提供强有力的数据支撑,从而使 ERP 系统发挥出最大的应用效果。

#### (4) 资源优化需要 MES 的数据支撑

炼化企业正在实施供应链优化策略,大量的专业软件包不断被采用,如原油评价系统、过程工业模拟系统(PIMS)、生产调度软件 ORION、MIMI、RETAIL 等,虽然软件包的引进,可以降低软件开发成本,缩短开发周期,但软件包的引进同时也降低了系统的灵活性,造成企业新的信息“孤岛”。需要 MES 集成平台对应用系统进行集成并提供一致的共享的信息。

### 2.2 体系结构

炼化企业作为典型的流程企业,其 MES 系统与离散型制造行业 MES 有较大差别,主要表现在以下几个方面:

①炼化企业生产环境苛刻,生产过程包含复杂的物理、化学过程及各种突变和不确定性因素,因此生产调度和操作管理是炼化企业 MES 的一项重要任务;②炼化企业不仅要集成信息流和物料流,还包括能源供应流,因此物料平衡和公用工程管理也是

MES的一部分;③炼化企业的信息化建设经历了十几年的发展,取得了丰富的应用成果,要求更加模块化、更具柔性的MES系统支持应用的延续性以及第三方应用的引入。

通过分析炼化企业的核心生产业务和关键支撑业务,我们设计了如图2所示的炼化企业MES的体系结构,其中RTO为实时优化。

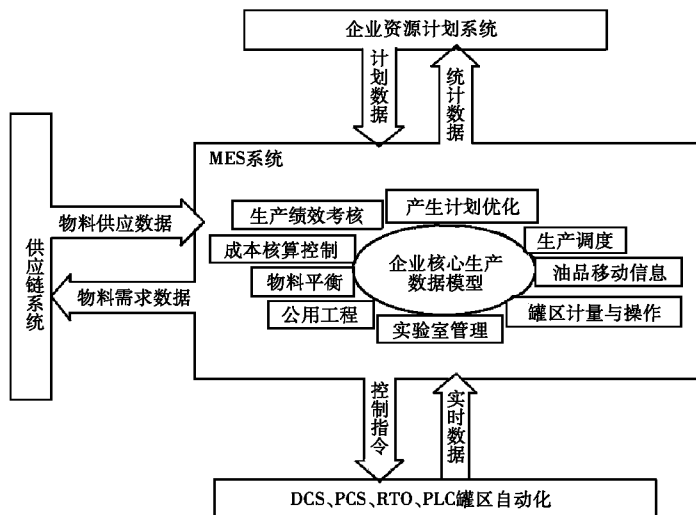


图2 炼化企业MES的体系结构

(1)企业核心生产数据模型:该模型是建设炼化企业MES的核心和基础,根据它可以将MES的分系统集成在一起,实现生产数据的共享。基于该模型建立起来的MES数据平台将实时数据和生产数据进行有效整合,进而为MES系统、ERP系统、SCM系统等企业应用系统提供数据服务。

(2)生产计划优化系统:主要是多周期生产计划系统(PPIMS)的实施,建立涵盖加工原油品种、数量和价格,炼厂加工装置和流程、库存、中间物料、产品调和和最终产品数量和价格的多周期滚动生产计划模型。对短期作业计划进行优化,为生产调度计划软件ORION提供一个优化的可操作的初始计划。

(3)生产调度系统:主要是ORION系统的实施,完成原油接收及流向,工艺操作,产品调和以及产品运输的调度。利用ORION可以将炼厂计划过程与工艺操作及油品储运联系起来。

(4)油品移动信息管理系统:将罐情数据与实时数据库自动采集的侧线流量数据相结合,全面、详实地反映各个装置、罐区和车间部门的物料往来情况,明确地反映油品通过罐区移动过程中的收付情况和损耗情况。本系统和罐区计量与操作管理系统一起为全厂的物料平衡系统(Advisor)提供了物数存储、收付的基础信息和维护处理功能。

(5)罐区计量与操作管理系统:基于炼油生产调度系统(ORION)提供的调度信息,该系统可管理跟踪罐区油品收付、成品油调和的调度指令。并通过罐区的实时数据采集,精确自动计算油罐计量数据,实时地反映全厂各罐区油品的储存和运行情况,并为整个物料管理体系提供最为基础的信息采集数据。

(6)实验室管理系统:主要是LIMS的实施,实现从样品采集、分发、检验、审核、分析、统计报表和化验室资源管理等功能,全程监控和记录油品质量。

(7)公用工程管理系统:公用工程管理系统通过实时数据采集等手段对水、电、汽、风等生产和消耗的数据进行收集、平衡、统计管理,给调度部门和生产部门提供公用工程系统的运行状况、装置能源动力的消耗情况。公用工程信息系统还可为生产成本核算、经济技术指标统计系统提供基础数据。

(8)成本核算系统:开发基于生产实时数据的班组经济核算管理功能,实现每日装置产品成本核算管理和产成品成本核算管理功能,并对生产车间发生的成本费用进行综合的管理控制,形成适用而完备的炼化企业成本考核控制体系。

(9)生产绩效考核系统:建立科学的生产过程关键绩效指标(KPI)与评测标准,及各指标计算所需的实时生产数据、计算方法,开发生产过程监控系统。

MES的建设与实施同ERP系统一样,是一个长期的渐进的系统的大型工程,需要领导的高度重视,需要投入较大人力、物力和财力。构筑于核心数据模型之上的MES模块化的结构有利于简化MES的实施,简化不同供应商所提供软件的集成,企业可根据不同的需求分阶段实施,也可采用软件引进、联合开发等方式进行。

该体系结构的设计过程中,重点考虑了以下因素:

①MES与ERP、PCS间的数据集成关系,充分体现它在炼化企业综合自动化体系中的重要性和纽带作用。

②体现石化行业的特色,进行合理的模块化,各模块之间相对独立,又互有联系。不同的模块可独立实施,保证了MES系统的开放性和柔性。它们最终通过MES数据集成平台实现计划、调度、控制、统计各模块信息的准时传递。

③参考石化行业业务模型,建立企业核心生产数据模型,采用数据驱动的思想,实现生产技术和手段的有效集成。

### 3 炼化企业 MES 的关键技术

MES 是以生产模型为主线,对不同类型和属性的生产信息进行融合和贯通,为了实现上述 MES 体系结构中的各功能模块,下列关键技术的解决尤为重要。

#### (1) 系统集成技术

对于炼化企业而言,过程数据与管理数据的平滑集成是实现流程信息系统的关键。通常由于过程数据与管理数据属性不一样,数据结构差别很大,使得过程数据与管理数据的平滑集成相当困难。需要深入分析过程数据与管理数据的特性,采用对象技术,设计一致的过程数据与管理数据模型,解决过程信息与管理信息平滑集成问题。如果难以做到实现一致的过程数据与管理数据模型,可以应用 XML 技术,通过定义不同领域的 XML 规范,来实现数据集成、功能集成以及过程集成。

#### (2) 物料平衡技术

炼化企业 MES 需要从物料计量、存储、移动、平衡等各方面进行主要物料的收付流动信息进行综合管理。由于企业普遍存在计量仪表不全、不准的问题,对于罐区和油品移动信息必须通过数据采集和人工维护 2 种方式采集生产现场物流数据,建立起自动和人工 2 种消除显著误差机制实现罐区、装置局部物料平衡,最终应用 Advisor 系统中的专家算法进行全厂数据校正,形成全厂物料平衡信息。

#### (3) 复杂工业系统的建模技术

模型的好坏直接关系到系统的通用性、适用性、可操作性及其以后的扩展。它必须是在全面考虑炼

(上接第 47 页)

经营管理水平,这在国外已得到充分证实,国内近几年也开始逐步开发和应用,但与世界先进水平相比,还存在很大差距,需要进一步在以下几个方面做好工作:

(1) 加强对世界先进水平的跟踪联络工作,随时了解世界上利用生产计划优化工具提高企业生产经营管理的理论和技术进步动态,进一步解放思想,转变观念,实施管理创新,在不同部门和不同层次推广管理系统的应用,为应用生产计划优化工具提供坚实的理论基础和良好的应用环境。

(2) 重视企业内部基础数据的收集、积累和整理工作,加强对基础理论课题如各种炼油化工机理模型的研究和开发,真正掌握拥有自主知识产权的炼油化工技术,为进一步在供应链管理领域深入应用生产计划优化工具提供坚实的实施基础和技术支持。

(3) 重视系统的维护工作,随时根据业务需求和

化企业的业务模型基础上,抽象概括出企业的 MES 总体数据模型。炼化企业的部门众多,工艺过程复杂,建模工作量相当大。

#### (4) 基于 XML 的数据交换

为了实现 MES 应用以及遗留应用的数据集成与交换,需要建立统一的面向石化行业的 XML 文档类型或模式,使得数据集成和整合就变为 XML 文档间的转换。

### 4 结语

MES 在炼化企业的应用还处于研究试点阶段,结合炼化企业的 MES 需求,在深入分析 MES 需求与中国炼化企业特点的基础上,提出了炼化企业 MES 体系结构,并对其中涉及的关键技术进行了初步探讨,旨在促进 MES 应用的推广。可以预言,作为炼化企业综合自动化系统的核心,MES 必将对炼化企业综合自动化的发展起到关键作用,从而提高炼化企业的生产效益和竞争力。同时,随着 MES 技术的应用与推广的深入开展,MES 本身也将不断得到完善与发展。

#### 参考文献

- [1] 饶运清.[J].信息技术,2002,60(2):61-62,72.
- [2] Harkins B L, Middleton E S, Mushin D A. Linking the Plant Floor to the Enterprise: The Benefits & Pitfalls[M]. Cambridge, MA: Aspen Technology Inc, 1999.
- [3] 王凌,王雄,金以慧.[J].化工自动化及仪表,2001,28(4):1-5.
- [4] MESA International. MES Functionalities & MRP to MES DataFlow Possibilities[M]. Chandler, AZ: MESA International, 1997.
- [5] 于海斌,朱云龙.[J].计算机集成制造系统,2000,6(6):1-6. ■

数据信息的变化进行数据更新,调整系统结构,使模型尽最大程度与实际相符,计算出来的优化结果才有科学性和可操作性,才能真正在生产经营管理中发挥作用,充分提高企业决策层应用生产计划优化工具的信心。

(4) 加强开发应用人才的继续培养工作,努力扩大应用、维护管理队伍。真正拥有一支既了解世界先进水平发展动态,又掌握优化技术并能熟练应用这些技术进行分析问题、解决问题的人才队伍,保证生产计划优化工具的先进性、持续性和稳定性。

#### 参考文献

- [1] 吴敬琏.当代中国经济改革[M].上海:上海远东出版社,2004.
- [2] 何银仁,陈先芽,张慧.炼油化工生产经营计划优化[M].北京:中国石化出版社,1999.
- [3] 李德芳.供应链管理系统在中国石化的应用[A].见:ASPEN 过程技术会议交流资料[C].2002. ■