

本书不仅从理论上介绍了MES的基本原理、发展趋势及其给企业生产管理带来的影响,而且结合炼化企业实际,提出了炼化企业MES的体系架构和功能模型,详细介绍了MES的设计、开发、实现、实施的过程、方法和技术。

全书的内容包括MES基本原理、MES的效益与企业生产管理机制的转变、炼化企业MES系统的设计、MES系统的数据库设计、MES系统开发与实现以及MES系统的实施等。

本书可供石化等流程行业的企业高层领导、各级生产管理人员、信息技术人员、MES实施与应用人员学习参考,也可作为相关院校教师、研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工生产执行系统MES/王宏安等编著. —北京:化学工业出版社, 2006.10
(化学工业信息化丛书)
ISBN 978-7-5025-9359-9

I. 化… II. 王… III. 化学工业-工业企业管理: 生产管理-计算机管理系统 IV. F407.762

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第119738号

化学工业信息化丛书
化工生产执行系统MES
王宏安 荣冈 冯梅 张朝俊 编著
责任编辑:戴燕红
文字编辑:李锦侠
责任校对:凌亚男
封面设计:关飞

*

化学工业出版社出版发行
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)
购书咨询:(010)64982530
(010)64918013
购书传真:(010)64982630
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市彩桥印刷有限责任公司印装
开本 787mm×1092mm 1/16 印张 10 字数 234千字
2007年1月第1版 2007年1月北京第1次印刷
ISBN 978-7-5025-9359-9
定价:30.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

如何利用信息技术改造和提升传统产业，促进信息技术在能源、交通运输、冶金、机械和化工等行业的普及应用，推进设计研发信息化、生产装备数字化、生产过程智能化和经营管理网络化是现代化企业面临的一个重要挑战，也是企业未来十年信息化发展的重要任务和目标。

流程工业在国民经济中占有举足轻重的地位，没有流程工业的现代化，国家的现代化便无从谈起。目前我国流程工业的现实情况是能耗高、成本高、污染高、劳动生产率低、资源利用率低。三高两低的流程工业和国外先进水平相比差距是巨大的。因此，在流程行业充分运用信息技术推动高能耗、高物耗和高污染现状的改造，进而提升企业竞争力是亟须的、艰巨的。如何通过信息化达到企业生产“安全、节能、降耗、环保”的目标成了工业界和科技界迫切需要解决的问题。现在，以 MRP II、ERP 为代表的管理信息系统，以及以 PCS、DCS、先进控制系统和柔性制造为代表的自动化技术，在流程工业已经大规模应用。据有关资料统计，大中型企业中这两类信息系统的覆盖率达到 60%~80%。尽管这两类系统的应用和推广取得了一定效果，但企业在信息化建设过程中却普遍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。经营层和过程控制层之间的信息断流使得 ERP 的应用效益和自动化控制系统的应用效益都大打折扣。据美国 ARC 公司调查，53%的用户反映 ERP 对工厂生产存在负面影响。其主要原因之一就是缺乏真实的、及时的、全面的生产过程现场信息，连接现场被忽略了。针对这种情况，20 世纪 90 年代初期，美国先进制造研究机构（AMR）首次提出制造执行系统（MES）的概念，ERP/MES/PCS 三层集成成为得到广泛接受的解决企业信息集成问题的解决方案。

MES 目前在发达国家已经得到了广泛重视，并取得明显效益。据 AMR 调查，实施 MES 对计划落实，实现操作过程自动化均很有利，能减少 45%的制造周期时间，减少 75%的数据输入时间，减少 18%的产品缺陷，减少 61%的为交班而准备的纸面工作。在我国，对 MES 的认识和应用还处于刚刚起步阶段。“十五”期间，为促进国内 MES 的研究和应用，国家 863 项目将 MES 作为重点研究课题，旨在鼓励科研单位和企业公司结合，研发出具有中国特色和行业特色的 MES 产品，并通过其应用促进企业健全其生产管理体系，通过生产管理过程中生产工艺技术、自动化技术、信息技术、优化技术等先进制造技术的集成，实现生产过程的能耗、物耗、资源的闭环管理与控制，达到提高产品质量和产量、降低物耗和能耗，减少环境污染之目的，实现可持续发展。

本书在总结了国内外对 MES 的研究和应用实践情况的基础上，对比较有影响的 MES 体系结构、模型和标准进行了全面的介绍。并结合本书作者近几年在石化行业 MES 方面的研究成果，提出了石化行业 MES 的体系结构、开发方法和实施方法论。希望对流程工业 MES 的设计、开发与实施提供有益的指导和帮助，促进我国流程工业 MES 研究与应用的快速发展。本书内容共分为 7 章。第 1 章 MES 之路主要介绍了企业管控一体化的发展，重点介绍了 MES 的产生、国内外发展现状、未来发展趋势和行业应用。第 2 章对 MES 的定义、框架模型和 MES 集成标准进行了详细的介绍，并提出了炼化企业的 MES 功能模型。第 3

章主要介绍了 MES 给企业生产管理带来的巨大变革和效益，以炼化行业为例从多个角度阐述了 MES 实现生产管理现代化与信息化的方法、策略和技术。第 4 章给出了炼化企业 MES 的总体架构、关键技术及其分系统的设计，包括数据集成平台、装置生产管理、罐区管理、生产调度与油品移动管理、公用工程管理和统计平衡。第 5 章给出了 MES 数据分析、数据建模的方法和数据库模型的设计，并对 Oracle 数据库和实时数据库进行了介绍。第 6 章提出了 MES 的实现思路，详细介绍了基于组件的 MES 软件开发和炼化企业 MES 系统用到的主要组件。第 7 章从实施原则、实施风险和实施方法及策略方面详细介绍了 MES 的实施过程，对 MES 的成功实施提供了有力指导。本书同时也是多位作者共同努力的成果，几乎每一章节都经历了多位作者的多次讨论和修改，其中王宏安负责编写了第 1~3 章，荣冈负责编写了第 4 章和第 6 章，冯梅负责编写了第 5 章，并参与编写了第 4 章和第 6 章的部分内容，张朝俊负责编写了第 7 章。

需要指出的是，MES 作为一门新兴的理论，其研究和应用还处于快速发展阶段。与企业生产密切相关的 MES 系统具有较强的行业特色，不同行业 MES 的应用也略有差别，本书主要针对石化行业来阐述 MES 的建设。由于作者水平有限，未尽之处尚多，书中疏漏在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者
2006 年 12 月

目 录

第 1 章 MES 之路	1
1.1 企业管控一体化概述	1
1.2 PCS 的发展	3
1.2.1 DCS 的应用	4
1.2.2 先进控制系统的应用	5
1.3 ERP 的发展	6
1.3.1 ERP 的管理思想	6
1.3.2 ERP 的发展方向	7
1.4 MES 的发展	8
1.4.1 MES 的产生	8
1.4.2 MES 的国内外发展现状	10
1.4.3 MES 的行业应用	16
1.4.4 MES 的未来发展趋势	21
1.5 我国推行 MES 系统存在的问题	22
第 2 章 MES 的基本原理	24
2.1 MES 的定义	24
2.2 MES 的框架模型	25
2.2.1 MES 的集成模型	25
2.2.2 MES 的通用功能模型	26
2.2.3 炼化企业 MES 的功能模型	28
2.3 ISA SP95——正在形成中的 MES 标准	31
2.3.1 ISA SP95 的相关标准	31
2.3.2 ISA SP95 信息对象模型	33
2.3.3 ISA SP95 信息对象属性	36
第 3 章 生产集成管理机制	37
3.1 炼化企业生产管理现状	37
3.2 MES 的解决之道	39
3.2.1 促进企业健全生产管理体系	40
3.2.2 提供专业化的生产管理工具	41
3.2.3 建立 ERP 和 PCS 沟通的桥梁	43
3.3 应用 MES 系统获得的效益	45
第 4 章 炼化企业 MES 系统的设计	46
4.1 MES 的体系结构	46
4.1.1 炼化企业的业务流程分析	46

4.1.2	炼化企业信息系统现状	47
4.1.3	MES 系统的总体需求	47
4.1.4	MES 系统的总体架构	48
4.1.5	总体数据流图	49
4.2	MES 的关键技术	50
4.2.1	“2+1”平衡策略	50
4.2.2	业务建模和数据建模技术	51
4.2.3	数据集成技术	51
4.2.4	基于 XML 的数据交换技术	51
4.2.5	Web Service 技术	51
4.2.6	数据校正技术	52
4.3	MES 的分系统设计	52
4.3.1	数据集成平台	52
4.3.2	装置生产管理	57
4.3.3	罐区管理	59
4.3.4	生产计划管理	62
4.3.5	公用工程管理	64
4.3.6	统计平衡	66
第 5 章	MES 工厂数据模型及其实现	70
5.1	数据管理的标准	70
5.1.1	数据元素标准	70
5.1.2	信息分类编码标准	72
5.2	数据建模的过程	74
5.2.1	需求分析	75
5.2.2	概念设计	76
5.2.3	逻辑设计	77
5.2.4	物理设计	78
5.3	炼化企业 MES 数据模型设计	79
5.3.1	数据模型的设计原则	79
5.3.2	MES 概念模型	80
5.3.3	MES 逻辑模型	82
5.3.4	MES 物理模型	82
5.4	Oracle 数据库的应用	83
5.4.1	Oracle 数据库的基本特点	83
5.4.2	Oracle 数据库的存储结构	86
5.4.3	基于 Oracle 的 MES 数据库设计	87
5.5	实时数据库的应用	89
5.5.1	实时数据库概述	89
5.5.2	实时数据库在炼化企业的应用	90

参考文献	91
第 6 章 MES 系统的开发与实现	92
6.1 MES 实现思路	92
6.2 基于组件的 MES 软件开发	93
6.2.1 组件化软件工程	93
6.2.2 组件与组件接口	95
6.2.3 基于组件开发的关键活动	96
6.3 炼化企业 MES 系统的组件应用	100
6.3.1 MES 系统的通用基本组件	100
6.3.2 MES 系统的应用专用组件	100
6.4 MES 的开发环境	101
6.4.1 J2EE 的开发技术	101
6.4.2 基于微软的 .NET 平台开发技术	105
6.5 MES 系统配置	107
6.5.1 MES 运行架构	107
6.5.2 软硬件配置	108
参考文献	109
第 7 章 MES 系统的实施	110
7.1 实施前提	110
7.2 实施原则	111
7.3 实施风险	112
7.3.1 风险因素分析	112
7.3.2 风险控制	113
7.4 实施方法	115
7.4.1 实施周期	115
7.4.2 实施过程	116
7.4.3 项目管理	120
7.5 项目组织	122
7.6 推广实施策略	124
附录 A Honeywell 公司生产执行系统 (MES)—Business. FLEX[®] PKS[™]	126
附录 B 石化盈科——流程行业系统集成商	130
附录 C 关于 AspenTech 生产执行系统 (MES) 的介绍	134
附录 D 化工企业生产资源管理系统 (PRM)	141
附录 E 和利时——流程行业生产管理系统	147

第 1 章 MES 之路

随着经济全球化进程的加快，出现了新的国际分工格局：发达国家主要发展知识密集型的高新技术产业和服务业，而把劳动和资源密集型的产业向发展中国家转移。经济全球化的浪潮和我国加入世界贸易组织（WTO），使我国正在逐步成为世界的重要制造基地。跨国公司纷纷在我国投资建立企业和技术中心，国外产品大举进入中国。这使产品的市场竞争更加激烈，也使得我国制造企业必须直接同跨国公司在技术、资源、人才等方面进行正面竞争。面对如此严峻的挑战，我国制造业只能背水一战，加快技术升级的步伐，提高企业综合竞争能力。

信息技术对制造业产生了极其深刻和全面的影响，给制造业的发展打上了明显的信息化烙印。信息化提高了生产要素的信息属性，促使企业竞争模式从自然资源和人力竞争转向创新能力和创造高附加值产品的竞争；信息化使得知识的重要性凸显，人才成为竞争优势的重要因素；信息化促使企业管理由金字塔形结构向扁平形结构转变。经营思想由粗放型向集约型转变，出现了各种先进的制造模式，如并行工程、敏捷制造、网络化制造和虚拟制造等，为我国企业向先进制造模式转变、提升我国制造企业的水平和能力提供了可以借鉴的模式。

经济全球化和信息化使制造业的竞争环境、发展模式及运行效率与活动空间等发生了巨大变化，这些变化对我国制造业提出了严峻的挑战，同时也为实现我国制造业的跨越式发展提供了有利的条件和机遇。制造业在我国国民经济中占有重要的地位，在工业化的进程中又同时面临着信息化的艰巨任务。中共中央提出的“用信息化带动制造业现代化，用高新技术改造制造业，以实现制造业跨越发展”的战略，为我国发展先进制造业与自动化技术指明了方向。

为此，企业行为势必从单项、局部的改善向着综合、集成的优化转变，尤其是计划、组织、控制三大职能的整体优化，更是企业实现经营目标和获得竞争优势的难点和重点。制造执行系统（manufacturing execution system）主要用来解决整体优化中生产计划与生产过程的脱节问题，这一问题长期以来不仅直接影响企业的生产效率，而且成为制约现代企业内部信息集成和企业之间供应链优化的瓶颈。

1.1 企业管控一体化概述

自 1973 年英国 J. Harrington 博士提出计算机集成制造系统的概念以来，逐渐在机械工业及其他离散工业形成了计算机集成制造系统（CIMS），在石油、化工、冶金、电力、建材、轻工、医药、食品等流程工业为主的行业中形成了计算机集成生产系统（CIPS），一般人对这两者统称为 CIMS。由于计算机技术、网络技术和现代企业管理科学的发展，CIMS 中管理和控制两方面的软硬件中技术进一步集成，加之需求方的制造商和产品用户的利润和客户满意度等项指标的综合要求，都需要实现管理和控制一体化，所以管控一体化的提法已

为更多的人所接受。大家意识到，要使企业与市场经济接轨，要增强企业核心竞争力，管控一体化的建设是当务之急。

流程工业在我国国民经济发展中占有极为重要的地位，是制造业的重要组成部分。其特点是以处理连续或间歇物料流、能量流为主，产品多以大批量的形式生产。流程工业的生产和加工方法主要有化学反应、分离、混合等，这些都与离散制造工业有显著不同。在知识经济时代的 21 世纪，作为传统工业的流程工业将仍然是经济发展的重要支柱产业。与国外的流程工业相比，我国的流程工业均存在能耗高、成本高、劳动生产率低、资源利用率低的特点，能耗普遍比国外先进水平高出 30%，劳动生产率只有国外的 20%~30% 左右，生产成本普遍高出国外 1~2 倍。美国 60% 的石化企业应用了先进的控制技术（我国不到 20%），在线优化的过程生产增加收益的典型值为装置产值的 3%~5%（我国不到 1%）。又如有色金属行业，我国 10 种常用有色金属年产量为 650 多万吨，居世界第 2 位，但由于总体过程自动化技术和装备水平与国外相比还有较大的差距，使得我国有色金属行业采选业资源利用率仅为 35%，发达国家为 60% 以上；硫利用率（环境污染）我国为 50%，发达国家为 95% 以上。应用管控一体化技术，将企业的生产过程控制、优化、运行、计划与管理作为一个整体进行控制与管理，提供整体解决方案，以实现企业的优化运行、优化控制与优化管理，全面提高企业的国际竞争力已被我国大多数流程企业列为“十一五”信息化建设与发展规划的战略目标。

据美国 ARC 公司调查，应用流程工业管控一体化技术可获得显著的经济效益，如产品质量可提高 19.2%，劳动生产率可提高 13.5%，产量可提高 11.5%。这正是流程工业管控一体化技术的重要潜在市场。国外工业自动化产品的供应商首先瞄准了这一市场，提出了一系列的管控一体化解决方案，如施耐德公司的透明工厂、ABB 公司的 Industrial IT、GE Fanuc 公司智能化生产管理（IPM）、西门子公司全集成自动化（TIA）、罗克韦尔公司电子化制造（e-Manufacturing）、横河电机公司企业技术解决方案（ETS、e-RM）、Emerson 公司 Plant Web 系统、Honeywell 公司 Experion PKS 系统、Foxboro 公司 I/A SeriesA2 系统等。

一般而言，流程工业企业对管控一体化技术的需求主要关注 4 方面的问题。

① 安全 即需要用高可靠性的控制系统、检测和执行机构对设备与装置的运行提供保障，进而对关键装置进行故障诊断与健康维护。

② 低成本 通过先进的工艺及工艺参数以降低能耗和原料消耗，以及通过先进的建模技术、控制技术和实时优化技术来提高产品的合格率和转化率。

③ 高效率 通过先进的计划调度与排产技术及流程模拟技术来提高设备利用率和劳动生产率。

④ 提高竞争力 通过数据和信息的综合集成，如先进的管理技术（包括 ERP、CRM、SCM 等）、电子商务、价值链分析技术等，以促进企业价值的增值，最终提高企业的综合竞争力。

在管控一体化技术的发展过程中，体系机构经过了十多年的发展，流程工业中已由美国普渡大学的 PURDUE 企业参考体系的五层结构（经营决策层、企业管理层、生产调度层、过程优化层、过程控制层）过渡为三层结构，即 BPS 经营计划系统、MES 制造执行系统、PCS 过程控制系统。鉴于 BPS 层是以 ERP 企业资源计划为主，通常将三层结构表述为 ERP/MES/PCS，简称为计划层/执行层/控制层或管理层/生产层/控制层，这解决了企业管

理和生产中的一些共性问题，也为管理和控制链接中各企业的个性问题提供了解决方法。流程工业管控一体化的总体结构可以分成三层结构，如图 1-1 所示。

- 以 PCS（过程控制系统）为代表的基础自动化层。主要内容包括先进控制软件、软测量技术、实时数据库技术、可靠性技术、数据融合与数据处理技术、集散控制系统（DCS）、多总线网络化控制系统、基于高速以太网和无线技术的现场控制设备、传感器技术等。

- 以 MES（生产过程制造执行系统）为代表的生产过程运行优化层。主要内容包括先进建模与流程模拟技术（advanced modeling technologies, AMT）、先进计划与调度技术（advanced planning and scheduling, APS）、生产实时跟踪技术、故障诊断与健康维护技术、数据挖掘与数据校正技术、动态质量控制与管理技术、物料平衡技术等。炼油石化企业还有油品调和技术、油品储运技术等。

- 以 ERP（企业资源管理）为代表的企业生产经营优化层。主要内容包括企业资源管理（ERP）、供应链管理（SCM）、客户关系管理（CRM）、产品质量数据管理（PDM）、数据仓库技术、设备资源管理、企业电子商务平台等。

三层结构在功能划分上虽有重叠，但各有侧重，如同是设备管理，PCS 层注重设备监控（如采用现场总线技术则设备故障诊断信息更丰富），MES 层注重设备管理，ERP 层注重设备维修计划、备品备件、设备资产管理等。其他生产计划、调度、成本、物流等方面，三层结构在数据的应用上也与此类似。

在管控一体化的体系结构中，MES 起到了承上启下的作用。它对来自 ERP 层的生产计划细化、分解，并会同质量、工艺、设备信息，从而生成操作指令，传递给 PCS 层；实现监控 PCS 层的运行状态，采集物料、工艺、质量、设备状态数据，经过分析、计算与处理，触发了新的事件，并将生产状态传递给 ERP 层，使管控一体化系统形成了一个有机的整体，所以说 MES 是实现企业综合自动化的关键。

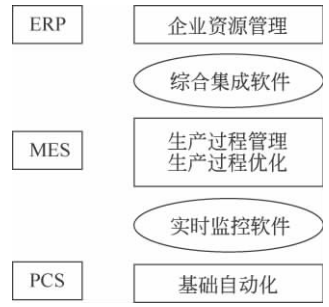


图 1-1 流程工业管控一体化的总体结构

1.2 PCS 的发展

伴随着 4C 技术，即计算机（computer）、控制器（controller）、通信（communication）和 CRT 显示器技术的发展，特别是其中的微处理器技术和集成电路技术的飞速发展以及市场竞争和用户需求的呼唤，流程行业的过程控制技术取得了很大的发展。50 年前，过程控制是基于 3~15psi（1psi=6894.76Pa）的气动信号标准的基地式气动控制仪表系统，即第一代过程控制体系结构（pneumatic control system, PCS）；基于模拟电流信号标准 0~10mA（4~20mA）的电动单元组合式模拟仪表控制系统，即为第二代过程控制体系结构（analogous control system, ACS）；20 世纪 70 年代，由于使用了数字计算机，从而产生了集中式数字控制系统，即第三代过程控制体系结构（computer control system, CCS）；20 世纪 80 年代，微处理机出现和应用，从而产生了分布式控制系统，即第四代过程控制体系结构（distributed control system, DCS）；20 世纪 90 年代，现场总线技术的出现产

生了新一代过程控制体系结构，即现场总线控制系统 FCS (fieldbus control system)。过程自动化技术发展的主流趋势是：检测控制智能化、测量信息数字化、控制管理集成化。

PCS (过程控制系统) 主要内容包括集散控制系统 (DCS)、先进控制系统、软测量技术、实时数据库技术、可靠性技术、数据融合与数据处理技术、多总线网络化控制系统、基于高速以太网和无线技术的现场控制设备、传感器技术等。DCS 在我国的使用情况基本上好的，对企业“安、稳、长、满、优”的生产起到了促进作用。但应用水平不高，大多数用户对 DCS 的应用还停留在取代常规控制的水平上，统计表明，实际应用中 DCS 的功能仅发挥了 30% 以下。要做到 DCS “物有所值”，应在如下几方面努力，即在日常使用中逐步改进控制方案，完善人机界面，为工艺人员提供分析用的历史数据；在 DCS 系统已完成自动化的基础之上，进一步开发先进控制和优化技术，以发挥更大效益（注：在 DCS 基础上实现先进控制，只需增加 10% 的成本，就可得到 40% 的效益；在先进控制的基础上，增加实时优化，成本只需增加 10%，就可进一步获得 40% 的效益）。

1.2.1 DCS 的应用

DCS 的出现是从 1975 年 Honeywell 推出 TDC-2000 开始的。它的出现，实现了控制分散、监视集中的功能，提供了系统的可靠性和灵活性。DCS 经历了初创（1975~1980 年）、成熟（1980~1985 年）、扩展（1985 年以后）几个发展时期，使系统的可靠性及可维护性、控制功能算法的丰富性及完善性、信息处理的能力及速度、组态软件的便捷性及友好性、系统联网能力和开放性等方面得到迅速发展，取得了令人瞩目的成就，已成为过程自动化控制系统的主流。

DCS 是利用微处理器、自动控制等技术对生产过程进行集中管理和分散控制的系统，它按控制功能或区域将微处理器进行分散配置；各控制站利用微处理器可在生产现场控制几个、十几个甚至几十个回路；用若干台微处理器就可控制整个生产过程，从而使其“危险分散”。它用多个彩色图形显示器 CRT 进行监控和操作，并通过通讯手段把各站连接起来。经过 20 世纪 70~80 年代的发展和完善，当前大部分常用的 DCS 的基本硬件结构一般由六部分组成：系统网络、节点工作站、主计算机、增强性操作站、系统管理站和网间连接器。系统网络是 DCS 系统的主干，决定了系统的基本性能，由传输介质和网络节点组成。节点工作站（也就是局部网络节点）一般包括 CPU、ROM、RAM、EPROM、I/O 输入主板和通信接口，它可以控制一个或多个回路，具有较强的运算能力和较复杂的控制功能。主计算机亦称管理机，连接在系统网络上，一般为小型计算机。增强性操作站是全系统人-机联系的窗口，一般由图像显示器、图像生成模件和强功能微机等组成。

DCS 的软件也非常丰富，大体包括：计算机系统软件、组态和控制软件、工作站和操作站软件、应用软件和通信软件。DCS 的系统软件大体上由实时多用户多任务的操作系统、编程语言和工具软件几部分组成。组态软件一般包括基本配置组态和应用软件的组态，基本配置组态时给系统一个配置信息，如系统各种站的个数、每个现场控制站的最大点数、最短执行周期等。应用软件的组态则有更丰富的内容，如数据库的生成、历史库的生成、图形的生成等。工作站和操作站软件是操作站上配有的作图软件、报表生成软件、数字变换软件等。应用软件中发展较快的是先进控制软件，在

某些新型的 DCS 中配备了一些先进控制软件，可以实现解耦控制、多参数预测控制、自适应控制等。

DCS 历经了二十多年的发展和更新换代，在这二十多年中，DCS 虽然在系统的体系结构上没有发生重大改变，但是经过不断的发展和完善，其功能和性能都得到了巨大的改善。主要表现为系统越来越开放化、小型化，功能不断增强并与 PLC 的相互渗透。总的来说，DCS 正在向着更加开放，更加标准化，更加产品化的方向发展。

我国从 20 世纪 70 年代中后期起，首先由大型成套进口设备中引入国外的 DCS，首批有化纤、乙烯、化肥等进口项目。同时国内开始自己研制和设计选用国外的 DCS，经过二十多年的努力，国内已有多家生产 DCS 的厂家，其产品应用于大中小各类过程工业企业，其中和利时、浙大中控、上海新华 3 家已具有相当大的规模。目前国外 DCS 产品在国内市场中的占有率还较高，其中以采用 Honeywell、横河两公司产品为多。国内应用 DCS 的行业以炼油、石化、化纤为多，已使用了 700 多套 DCS，其他还有化工、冶金、电力、轻工等行业。我国石化行业应用水平较高，自动投运率在 90% 以上，维护水平也较高，目前正向充分发挥 DCS 性能和开展先进控制和优化的方向发展。

1.2.2 先进控制系统的应用

先进控制指的是在工厂环境中，充分借助计算能力为工厂获取最大利润而对生产过程操作实时实施的运行和技术策略，它是多变量的复杂控制。预测控制、多变量控制、鲁棒控制、自适应控制、最优控制、模糊控制都属于先进控制的范畴。先进控制的目标是在生产过程受到较大扰动时，使主要控制参数平稳地过渡，直至稳定到最佳状态。采用先进控制策略可以大大提高常规仪表控制和计算机控制的效益。基于现场总线的先进控制将成为未来自动化技术发展的主流。

现场总线被称为 21 世纪工业过程测控网络标准。它能够提供智能化、简单化、标准化的现场总线设备接口，可以使过程控制用户在低成本、易移植、易扩展这样一种友好的环境中进行系统设计、安装和运行，给自动化领域带来了新的革命，有着广泛的应用领域和市场。现场总线产品是用于过程自动化和制造自动化最底层的现场设备或现场仪表互联的通信网络产品，是现场通信网络与控制系统的集成。其关键不单单是一种通信技术，而是用现场总线控制系统（FCS）代替分布式控制系统（DCS）。基于现场总线的先进控制系统一般以工业 PC 机及 Windows/NT 为平台，加载 FCS 系统软件作控制器；通过现场总线连接各种现场设备。

与 DCS 相比较，FCS 有多种优势：节省电缆和电缆桥架约 60%；节约厂房面积；减少布线、安装调试费用 50% 以上；节省二次开发费用，缩短开发周期，一次性投资可降低 30%；备品备件种类明显减少，维修更加方便；有利于企业实施综合自动化策略，使企业从粗放型向集约型转化。

自 20 世纪 80 年代末以来，有几种现场总线技术已经逐渐发展成熟，并在一些特定的应用领域显示了影响力和优势，它们是可寻址远程变换器数据链路 HART（highway addressable remote transducer）、控制器局部网 CAN（controller area network）、局部操作网络 LON（local operating network）、过程现场总线 PROFIBUS（process fieldbus）和基金会现场总线 FF（foundation fieldbus），这些现场总线各具特色，对于现场总线技术的发展发挥着重要作用。

1.3 ERP的发展

ERP 管理思想与技术经历了三十多年的发展变革，从物料需求计划 MRP (material requirement planning) 到制造资源计划 MRP II (manufacturing resource planning II)，再进一步发展到企业资源计划 ERP，逐渐成熟。ERP 技术大致上经历了以下几个阶段。

(1) 20 世纪 60 年代 早期的 MRP 是基于物料库存计划管理的生产管理系统。MRP 系统的目标是：围绕所要生产的产品，应当在正确的时间、正确的地点、按照规定的数量得到真正需要的物料；通过按照各种物料真正需要的时间来确定订货与生产日期，以避免造成库存积压。

(2) 20 世纪 70 年代 MRP 经过发展形成了闭环的 MRP 生产计划与控制系统。MRP 的基本原理是，将企业产品中的各种物料分为独立物料和相关物料，并按时间段确定不同时期的物料需求；基于产品结构的物料需求组织生产，根据产品完工日期和产品结构规定生产计划，从而解决库存物料订货与组织生产问题。MRP 以物料为中心的组织生产模式体现了为顾客服务、按需定产的宗旨，计划统一且可行，并且借助计算机系统实现了对生产的闭环控制。

(3) 20 世纪 70 年代末和 80 年代初 物料需求计划 MRP 经过发展和扩充逐步形成了制造资源计划 MRP II 的生产管理方式。在 MRP II 中，包括人工、物料、设备、能源、市场、资金、技术、空间、时间等制造资源都被考虑进来。MRP II 的基本思想是：基于企业经营目标制定生产计划，围绕物料转化组织制造资源，实现按需要按时进行生产。MRP II 主要环节涉及：经营规划、销售与运作计划、主生产计划、物料清单与物料需求计划、能力需求计划、车间作业管理、物料管理（库存管理与采购管理）、产品成本管理、财务管理等。从一定意义上讲，MRP II 系统实现了物流、信息流与资金流在企业管理方面的集成。由于 MRP II 系统能为企业生产经营提供一个完整而详尽的计划，可使企业内各部门的活动协调一致，形成一个整体，它能提高企业的整体效率和效益。

(4) 20 世纪 90 年代以来 MRP II 经过进一步发展完善，形成了企业资源计划 ERP 系统。与 MRP II 相比，ERP 除了包括和加强了 MRP II 各种功能之外，更加面向全球市场，功能更为强大，所管理的企业资源更多，支持混合式生产方式，管理覆盖面更宽，并涉及了企业供应链管理，从企业全局角度进行经营与生产计划，是制造企业的综合的集成经营系统。ERP 所采用的计算机技术也更加先进，形成了集成化的企业管理软件系统。

1.3.1 ERP 的管理思想

ERP 是由美国 Gartner Group Inc. 公司于 20 世纪 90 年代初提出的，是信息时代的现代企业向国际化发展的更高层的管理模式。ERP 管理思想主要体现了供应链管理 SCM (supply chain management) 的思想，还吸纳了准时生产 JIT (just in time)、精良生产、并行工程、敏捷制造等先进管理思想。ERP 既继承了 MRP II 管理模式的精华，又在许多方面对 MRP II 进行了扩充，具体如下。

(1) 在资源管理范围方面 ERP 扩展了管理范围，把客户需求和企业内部的制造活动以及供应商的制造资源整合在一起，形成企业完整的供应链，并对供应链上所有环节进行有

效管理。

(2) 在生产方式管理方面 在 20 世纪 90 年代初,许多企业为了紧跟市场的变化主要采用多品种、小批量生产以及 JIT 等生产方式,并由单一生产方式向混合型生产发展,ERP 能很好地支持和管理混合型制造环境,满足企业多元化的经营需求。

(3) 在管理功能方面 ERP 除了有 MRP II 系统的制造、分销、财务管理功能外,还增加了支持供应链中供、产、需各环节之间的运输管理和仓库管理功能;并支持生产保障体系的质量管理、实验室管理、设备维修和备品备件管理功能等。

(4) 在事务处理控制方面 ERP 通过在线分析处理 OLAP (on-line analysis process)、售后服务及质量反馈,可将设计、制造、销售、运输等集成起来,并行处理各种相关作业,为企业提供对质量、适应变化、客户满意、绩效等关键问题的实时分析能力。

(5) 在财务管理方面 ERP 系统将财务计划和价值控制功能集成到了整个供应链上。

(6) 在跨国(或地区)经营事务处理方面 ERP 还可以满足跨国经营的多国家地区、多工厂、多语种、多币制的应用需求。

1.3.2 ERP 的发展方向

由于 ERP 代表了当代的先进企业管理模式与技术,并能够解决企业提高整体管理效率和市场竞争力的问题,近年来 ERP 系统在国内外得到了广泛的推广和应用。随着信息技术、先进制造技术的不断发展,企业对于 ERP 的需求日益增加,进一步促进了 ERP 技术向新一代 ERP 或后 ERP 发展。未来 ERP 技术的发展和趋势如下。

(1) ERP 与客户关系管理 CRM (customer relationship management) 的进一步整合 ERP 将更加面向市场和面向顾客,通过基于知识的市场预测、订单处理与生产调度,基于约束调度功能等进一步提高企业在全局化市场环境下更强的优化能力;并进一步与客户关系管理 CRM 结合,实现市场、销售、服务的一体化,使 CRM 的前台客户服务与 ERP 后台处理过程相集成,提供客户个性化服务,使企业具有更好的顾客满意度。

(2) ERP 与电子商务、供应链 SCM、协同商务的进一步整合 ERP 将面向协同商务 (collaborative commerce),支持企业与贸易共同体的业务伙伴、客户之间的协作,支持数字化的业务交互过程;ERP 供应链管理功能将进一步加强,并通过电子商务进行企业供需协作。

(3) ERP 与产品数据管理 PDM (product data management) 的整合 近年来 ERP 软件商纷纷在 ERP 系统中纳入了产品数据管理 PDM 功能或实现与 PDM 系统的集成,增加了对设计数据、过程、文档的应用和管理,减少了 ERP 庞大的数据管理和数据准备工作量,并进一步加强了企业管理系统与 CAD、CAM 系统的集成,进一步提高了企业的系统集成度和整体效率。

(4) ERP 与制造执行系统 MES (manufacturing executive system) 的整合 为了加强 ERP 对于生产过程的控制能力,ERP 将与制造执行系统 MES、车间层操作控制系统 SFC 更紧密地结合,形成实时化的 ERP/MES/SFC 系统。该趋势在流程工业企业的管控一体化系统中体现得最为明显。

(5) ERP 与 workflow 管理系统的进一步整合 全面的工作流规则保证与时间相关的业务信息能够自动地在正确时间传送到指定的地点。ERP 的工作流管理功能将进一步增强,通过工作流实现企业的人员、财务、制造与分销间的集成,并能支持企业经营过程的重组,也

使 ERP 的功能可以扩展到办公自动化和业务流程控制方面。

(6) 加强数据仓库和联机分析处理 OLAP 功能 为了便于企业高层领导的管理与决策, ERP 将数据仓库、数据挖掘和联机分析处理 OLAP 等功能集成进来, 为用户提供企业级宏观决策的分析工具集。

(7) ERP 系统动态可重构性 为了适应企业的过程重组和业务变化, 人们越来越多地强调 ERP 软件系统的动态可重构性。为此, ERP 系统动态建模工具、系统快速配置工具、系统界面封装技术、软构件技术等均被采用。ERP 系统也引入了新的模块化软件、业务应用程序接口、逐个更新模块增强系统等概念, ERP 的功能组件被分割成更细的构件以便进行系统动态重构。

(8) ERP 软件系统实现技术和集成技术 ERP 将以客户/服务器、浏览器/服务器分布式结构、多数据库集成与数据仓库、XML、面向对象方法和 Internet/Extranet、软构件与中间件技术等作为软件实现核心技术, 并采用 EAI 应用服务器、XML 等作为 ERP 系统的集成平台与技术。

1.4 MES 的发展

MES 是美国管理界 20 世纪 90 年代提出的新概念。美国先进制造研究机构 AMR (Advanced Manufacturing Research) 通过对大量企业的调查发现现有的企业生产管理系统普遍由以 ERP/MRP II 为代表的企业管理软件, 以 SCADA、HMI (human machine interface) 为代表的生产过程监控软件和以实现操作过程自动化, 支持企业全面集成的 MES 软件群组成。由于 MES 强调控制和协调, 使现代制造业信息系统不仅有很好的计划系统, 而且有能使计划落实到实处的执行系统。因此 MES 在国外的企业中被迅速推广开来, 并给企业带来了巨大的经济效益。企业认识到只有将数据信息从产品级取出, 穿过操作控制级, 送达管理级, 通过连续信息流来实现企业信息全集成才能使企业在日益激烈的竞争中立于不败之地。

1.4.1 MES 的产生

自 20 世纪 80 年代以后, 伴随着消费者对产品的需求愈加多样化, 制造业的生产方式开始由大批量的刚性生产转向多品种少批量的柔性生产; 以计算机网络和大型数据库等 IT 技术和先进的通讯技术的发展为依托, 企业的信息系统也开始从局部的事后处理方式转向全局指向的实时处理方式。

在企业级层面上, 管理软件领域 MRP II 以及 OPT 系统迅速普及, 直到今天各类企业对 ERP 系统的推广正如火如荼地进行, 企业已不同程度地实现了以财务为核心的产、供、销、人、财、物集成化的企业资源的综合有效管理; 在过程控制领域 PLC、DCS 得到大量应用, 极大地提高了企业生产的自动化程度。可以说企业信息化的各个领域都有了长足的发展, 但是在工厂以及企业范围信息集成的实践过程中, 仍然难以解决生产管理瓶颈带来的各种问题, 如一方面在计划过程中无法准确及时地把握生产实际状况, 另一方面则在生产过程中无法得到切实可行的作业计划作为指导; 工厂管理人员和操作人员难以在生产过程中跟踪产品的状态数据, 不能有效地控制制品库存, 而用户在交货之前无法了解订单的执行状况。产生这些问题的主要原因在于缺乏有效的车间级生产管理系统; 企业级的经营管理业务系统

与设备级的生产过程控制系统相互分离；计划系统和过程控制系统之间的界限模糊，缺乏紧密的联系。

从 20 世纪 70 年代后半期开始，出现了解决个别问题的单一功能的 MES 系统，如设备状态监控系统、质量管理体系以及包括生产进度跟踪、生产统计等功能的生产管理系统。也就是说，在未实施整体解决方案或采用整体信息系统以前，各企业引入的只是单功能的软件产品和个别系统，如图 1-2 所示。当时，ERP 层（称为 MRP）和 DCS 层的工作也是分别进行的，因此产生了两个问题：一是横向系统之间的信息孤岛；二是 MRP、MRP II 和 DCS 两层之间断链。

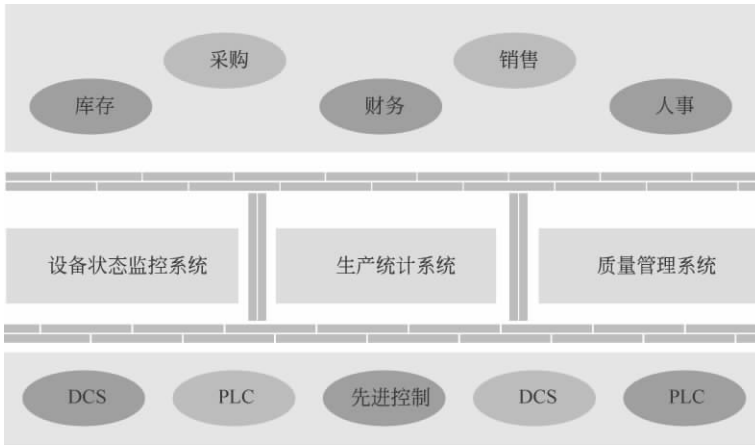


图 1-2 企业信息孤岛

20 世纪 80 年代中期，为了解决这两个问题，生产现场的信息系统开始发展，对生产进度跟踪信息系统、质量信息系统、绩效信息系统、设备信息系统及其整合已形成共识。与此同时，原来的底层的过程控制系统和上层的生产计划系统也得到发展。这时，产生了 MES 原型、即传统的 MES（traditional MES，T-MES）。主要是 POP（point of production，生产现场管理）和 SFC（shop floor control，车间级控制系统）。

MES（manufacturing execution system）直译成制造执行系统，俗称生产管理系统。直到 1990 年，才由 AMR 组织提出并使用。20 世纪 90 年代初，工业界开始认识到需要一个可以将业务系统和控制系统集成在一起的中间层。制造执行系统（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。美国的咨询调查公司（Advanced Manufacturing Research，AMR）倡导制造业用三层模型（3rd layer model）表示信息化。将位于计划层的控制层中间位置的执行层叫做 MES，并说明了各层的功能和重要性。在中国，生产和制造两词有时混用或等同，仔细推敲，生产的范畴比制造要广。MES 处于企业信息系统 ERP/SCM 和过程控制系统 DCS/PLC 的中间位置。ERP 作为业务管理系统，DCS/PLC 作为控制系统，而 MES 则作为生产执行系统。MES 与上层 ERP 等业务系统和底层 DCS 等生产设备控制系统一起构成企业的神经系统，一是把业务计划的指令传达到生产现场，二是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、下两个层次之间双方信息的传递系统，是联结现场层和经营层，提高生产经营效益的前沿系统。MES 也不是一个特定行业的概念，而是应用于各种制造业的重要信息系统。

由于 ERP 层和 DCS 层的 IT 应用起步较早，多已基本实现，因此，需要通过 MES 层的功能实现对两者进行整合，并填充其间的空隙或狭缝。最初，MES 并没有一个非常明确的定义，它几乎涵盖了所有那些无法准确地分配给其他层的应用程序或产品。大多数这样的产品都是由一些定制的应用程序逐渐演化而来的，而这些应用程序基本上都是由系统集成商针对某类特定用户进行开发的，并且通常都是针对某个特定领域（如排产、实验室、质量、产品跟踪等）的。此后，在国际上，各相关组织都开始意识到要对 MES 进行更加明确的定义。MESA（Manufacturing Execution System Association International，制造执行系统国际联盟组织）、ISA 都相继开发了相关的模型对 MES 加以描述，并试图通过模型使其标准化。位于美国的 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，还有用户使用 MES 后的效果调查报告。

到 20 世纪 90 年代，MES 发展为 I-MES（集成 MES）和 MES-II（manufacturing execution solutions）。图 1-3 是 AMR 公司 1993 提出的 MES 集成模型，这样 MES 则作为整个工厂生产现场的集成系统出现，故又称为 Integrated MES（E-MES）。本模型包括以下 4 个主要功能，并由实时数据库支持。主要功能为工厂管理（资源管理、调度管理、维护管理）、工厂工艺设计（文档管理、标准管理、过程优化）、过程管理（回路监督控制、数据采集）和质量（SQC-统计质量管理、LIMS-实验室信息管理系统）。在这个模型的指导下，MES 在 20 世纪 90 年代初期的重点是生产现场信息的整合。对于离散工业（discretemanufacturing）和流程工业（process manufacturing）来说，MES 有许多差异。就离散 MES 而言，由于其为多品种、小批量的混合生产模式，如果只是依靠人工提高效率是有限的。而 MES 则承担了整合、支持现场工人的技能和智慧，充分发挥了制造资源效率的功能。

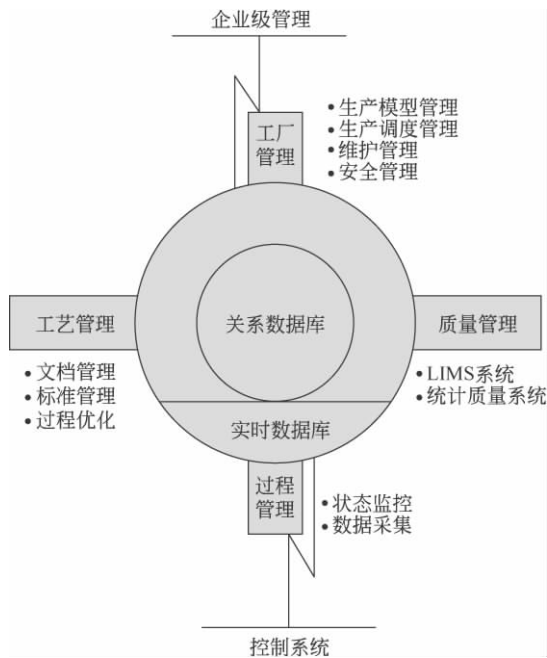


图 1-3 有 MES 实现的信息整合结构

1.4.2 MES 的国内外发展现状

1.4.2.1 国外 MES 的发展

20 世纪 90 年代中期，国外又提出了 MES 标准化和功能组件化、模块化的思路。这时，许多 MES 软件实现了组件化，也方便了集成和整合，这样用户根据需要就可以灵活快速地构建自己的 MES。这一时期的典型成果是 MESA 在 1997 年公布的其 MES 研究结果的白皮书。该白皮书共分为 7 个部分，分别对 MES 的优点、MES 在企业信息系统中的地位和作用、MES 的功能结构、MES 的体系结构、MES 软件的评估和选择、MES 的实施以及 MES 的发展方向进行了详细的阐述，为 MES 技术奠定了一个较为全面的理论基础，极大地推动了 MES 技术的发展和应用。其中的 MES 功能组件和集成模型成为各行业和软件厂商研究设计和

实现 MES 系统的指南。这一时期，很多团体、政府机构、组织也参与了 MES 的标准化以及标准、模型的研究和建立活动。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技术等。其主要成果如下。

(1) MESA 提出了 MES 技术模型，如图 1-4 所示。

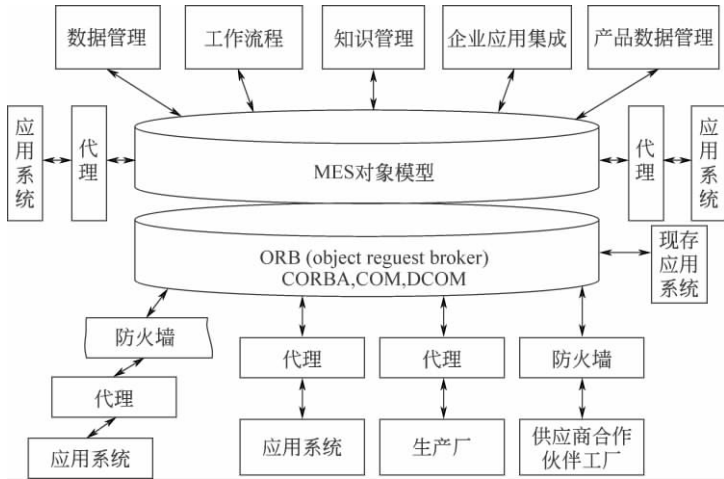


图 1-4 MESA 提出的 MES 的技术模型

(2) 标准化组织 OMG (Object Management Group) 的制造分会 (MfgDTF, Manufacturing Domain TaskForce) 发布了 RFI (request for information) 文件。

(3) ISA (International Federation of the National Standardizing Associations) 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) 发布了 NIIP-SMART (National Industrial Information Infrastructure Protocols-Solution for MES Adaptable Replicable Technology) 信息结构标准。

(5) 由半导体制造技术协会 (Semiconductor Manufacturing Technology, SEMATECH) 发表了 SEMATECH/SEMI CIM 平台标准。

(6) NIST-SIMA (National Institute of Standard and Technology-System Integration of Manufacturing Applications) 用 IDEFO 描述了通用业务活动模型 (activity models)。

(7) 日本标准化与制造科技中心发布了 Open MES，涉及面向对象、平台、功能模块、计算机网络、CORBA 等。

其中，从 1997 年开始的国际仪表学会 (ISA) 启动的编制 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，2000 年发布了 SP95.01 模型与术语标准，2001 年发布了 SP95.02 对象模型属性标准，2002 年发布了 SP95.03 制造信息活动模型 (activity models) 标准，2003 年发布了 SP95.04 制造操作对象模型标准。其中 SP95.01 已经被 IEC/ISO 接受为国际标准。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 部分定义的内容做了详细规定和解释，SP95.03 提出了管理层与制造层间信息交换的协议和格式。

此外，许多专家学者也在 MES 标准化方面取得了不少成果，比如 C. Gilman 等人在 1998 年出版了“Enterprise Using Enterprise Rules, Intelligent Agents, STEP, and Workflow”一书，总结了虚拟企业集成设计与制造以及使用的企业规则、智能代理、STEP