

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



化学工业出版社

# 化 学 工 业 信 息 化 丛 书

企业信息化组织与管理

化工过程控制系统

化工过程模拟与优化

化工企业资源计划系统ERP

■ 化工生产执行系统MES

化工过程先进控制

化工生产计划与调度的优化

化工实验室信息管理系统LIMS

数字油田

ISBN 978-7-5025-9359-9



9 787502 593599 >

销售分类建议：化工  
定价：30.00元



[www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)

读科技图书 上化工社网

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



化学工业出版社

· 北京 ·

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

## 化学工业信息化丛书编委会

- 名誉主编：**成思危 全国人大常委会副委员长
- 主 编：**曹湘洪 中国工程院院士、中国化工学会理事长
- 副 主 编：**杨友麒 中国化工学会信息技术应用专业委员会秘书长 教授级高工  
张志橦 中国石油化工股份公司信息管理部原副主任 教授级高工
- 编 委：**陈丙珍 清华大学化工系 中国工程院院士、教授  
麻德贤 北京化工大学 教授、博导  
朱群雄 北京化工大学信息科学与技术学院院长 教授  
韩方煜 青岛科技大学计算机与化工研究所所长 教授  
温 浩 中科院过程工程研究所室主任 研究员  
钱 宇 华南理工大学化工学院院长 教授  
金以慧 清华大学自动化系 教授  
黄德先 清华大学自动化系 研究员  
郭锦标 中石化石油化工科学研究院副总工程师 教授级高工  
李德芳 中国石油化工股份公司信息管理部主任 教授级高工  
齐学忠 中国石油化工股份公司信息管理部主任 教授级高工  
李剑峰 中国石化勘探开发研究院副总工兼南京石油物探研究所所长  
教授级高工
- 古学进 中国石油天然气股份有限公司信息管理部副总经理 教授级高工  
张 昆 中国石油天然气集团公司大庆石化总厂计算机开发公司总经理 高工
- 特邀编委：**刘裔安教授（美国 Virginia Tech 大学）  
刘有鸿博士（INVENSYS）  
陶兴文博士（Honeywell）  
黄志明博士（AspenTech）  
张雪峰博士（SAP）  
陈 雷经理（IBM 中国有限公司）  
王立行教授级高工（石化盈科）

# 总 序

在《化学工业信息化丛书》编委会、中国化工学会秘书处与信息技术应用专业委员会、化学工业出版社以及各位作者和有关部门的共同努力下，历时三年，该《丛书》问世了。我仅以中国化工学会和丛书编委会的名义，对丛书的出版问世表示热烈祝贺！

三年前，我们开始策划出版该套丛书。根据以信息化带动工业化，以工业化促进信息化，走新型工业发展道路的战略思想，中国化工学会信息技术应用专业委员会建议，利用专业委员会在化工信息技术应用领域的代表性和权威性，调动专业委员会内部力量与社会外部力量，尽快编写出一套化工信息化丛书。主要着眼点是总结国内外石油、石化、化工行业信息技术应用的经验，梳理其成长的轨迹，介绍其主流的技术，推荐其优秀的案例，展望其发展的未来，以满足广大石油、石化、化工领域技术工人、工程技术人员和领导干部从事信息化建设的需要，促进、推动在石油、石化、化工行业方兴未艾的企业信息化建设的科学、和谐与健康发展。

本丛书包括《企业信息化组织与管理》、《化工过程控制系统》、《化工过程模拟与优化》、《化工企业资源计划系统 ERP》、《化工生产执行系统 MES》、《化工过程先进控制》、《化工生产计划与调度优化》、《化工实验室信息管理系统 LIMS》和《数字油田》9 个分册。

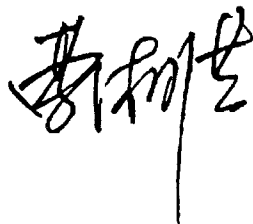
该套丛书的编写，采用了开放的模式，石油、石化、化工行业的信息技术应用专家、科研院所和高等院校的学者和教授，以及国外知名信息技术公司的高层技术主管“三结合”，参与书稿的讨论或撰写，达到了博采众长、兼收并蓄的效果。

该套丛书反映了石油、石化、化工行业信息技术的最新应用成果，具有前瞻性和先进性；同时又深入浅出，具有良好的实用性和可读性。丛书的编写原则是成系列而又不繁杂，选题新颖而又避免重复，突出行业特点而不是仅考虑通用性，重视实用而不仅偏重理论，也可以说是一套具有技术性、实用性、工具性、通俗性的高级科普读物或工具丛书。

在本书编写过程中，许多国内外石油、石化、化工行业的信息技术应用专家，高等院校、科研院所从事信息技术应用教学科研的教授、学者、化工出版社的领导和编辑，以及国内外许多 IT 公司的高级技术总监和顾问为本丛书的策划、组织、编写付出了大量心血，提供了大量资料甚至经费上的支持。在此，我谨代表中国化工学会暨信息技术应用专业委员会、代表丛书编委会向所有为丛书做出贡献的同志、朋友表示衷心的感谢！

社会在进步，科学在发展，技术在不断涌现。我希望这套丛书在知识经济条件下，能成为石油、石化、化工领域的各级管理人员、技术工人和工程技术专家在信息化建设的过程中爱看、经常看的工具书。

中 国 工 程 院 院 士  
中 国 化 工 学 会 理 事 长  
《化学工业信息化丛书》编委会主任



2006 年 1 月

# 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之间的有效配合，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。针对这种状况，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

<b>第 1 章 MES 之路</b> .....	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
<b>第 2 章 MES 的基本原理</b> .....	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
<b>第 3 章 生产集成管理机制</b> .....	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
<b>第 4 章 炼化企业 MES 系统的设计</b> .....	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
<b>第 5 章</b>	<b>MES 工厂数据模型及其实现</b>	<b>70</b>
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
<b>第 6 章 MES 系统的开发与实现</b> .....	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
<b>第 7 章 MES 系统的实施</b> .....	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
<b>附录 A Honeywell 公司生产执行系统 (MES)—Business, FLEX® PKSTM</b> ...	126
<b>附录 B 石化盈科——流程行业系统集成商</b> .....	130
<b>附录 C 关于 AspenTech 生产执行系统 (MES) 的介绍</b> .....	134
<b>附录 D 化工企业生产资源管理系统 (PRM)</b> .....	141
<b>附录 E 和利时——流程行业生产管理系统</b> .....	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。

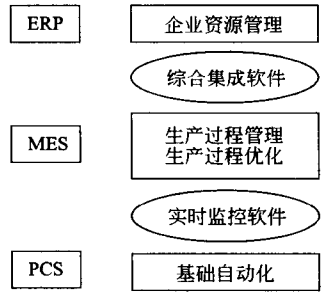


图 1-1 流程工业管控一体化的总体结构

## 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是好的，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