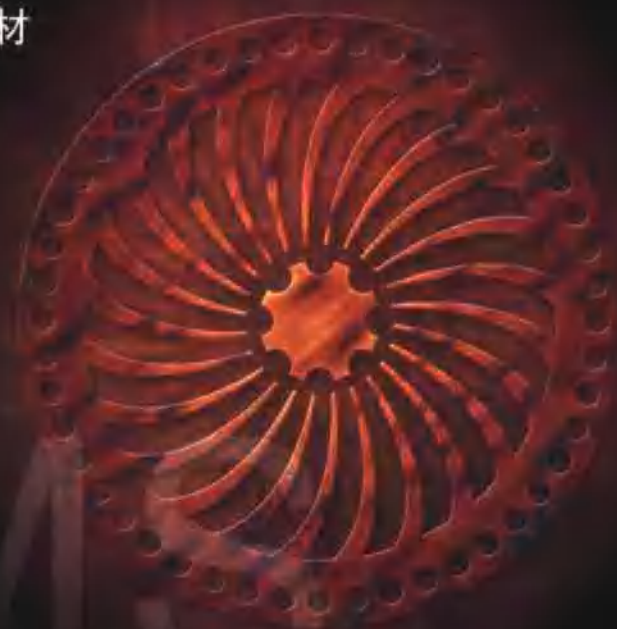


信息化管理培训系列教材



CIMS

制造执行 系统

国家CIMS工程技术研究中心 李清 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

信息化管理培训系列教材

集成化企业建模方法与系统

IT服务管理

数字化设计

网络信息安全

企业流程重组

□ 制造执行系统

供需链管理

企业信息化案例

北航·中清研产业信息化管理研究中心
国家CIMS工程技术研究中心

联合推出

ISBN 978-7-5083-5812-3



9 787508 358123 >

定价：23.00 元

销售分类建议：信息管理

2007

信息化管理培训系列教材

F407.406/7

2007

制造执行 系统

国家CIMS工程技术研究中心 李清 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

制造执行系统/李清编著. —北京: 中国电力出版社, 2007

(信息化管理培训系列教材)

ISBN 978-7-5083-5812-3

I. 制… II. 李… III. 制造业-工业企业管理-计算机管理系统-技术培训-教材 IV. F407.406.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 088742 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 8 月第一版 2007 年 8 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.75 印张 285 千字
印数 0001—5000 册 定价 23.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《信息化管理培训系列教材》
丛书编委会

主任：吴澄

副主任：肖田元 范玉顺 柴跃廷

委员：崔德光 范文慧 李清 李希海

罗振璧 商宏图 史文月 杨建华

唐劲松 王新河 张志千

前 言

信息技术在我国国民经济领域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机遇和挑战，利用信息技术改造传统产业，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，都离不开信息技术和信息化进程。

近年来，以 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发展。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。有调查公司通过调查发现，53% 的客户反映 ERP 对工厂生产存在负面影响，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排产。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)，正是解决上述问题，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，MES 正在成为企业实现生产活动与经营活动的有效集成，优化运行、控制与管理的桥梁和纽带，是提高企业竞争力的重要技术之一。

本书以企业和信息系统建模分析技术为依托，结合 MES 领域最新的理论研究成果和工程实践经验，介绍了 MES 的设计、构建和实施方法论。本书可以作为自动化、工业工程、机械工程、计算机工程、管理工程领域研究生和高年级本科生的教材，也可以作为实施信息化项目的企业领导和技术人员掌握 MES 技术方法的参考书。

本书在编写过程中，得到 ISO TC184 SC5 WG1 及我国 TC159 标准专业委员会专家的帮助，也得到北京市科委的支持。编者的研究生梁超、王云和谭旭也做了大量基础性的工作，这里一并表示感谢。

由于编者的学识有限，书中不妥之处，望批评指正。

编 者

2007 年春节 于清华园

缩 略 语

AMR (Advanced Manufacturing Research) 先进制造研究机构

CIM (Computer Integrated Manufacturing) 计算机集成制造

DCS (Distributed Control System) 分布式控制系统

DNC (Distributed Numerical Control) 分布式数控

ERP (Enterprise Resource Planning) 企业资源计划

FCS (Fieldbus Control System) 现场总线控制系统

IDEF (Integrated Definition) 集成定义方法

IEC (International Electrotechnical Commission) 国际电工委员会

I-MES (Integrated MES) 集成 MES

ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society) 仪表、系统和自动化协会

MES (Manufacturing Execution System) 制造执行系统

MESA (Manufacturing Execution System Association) 制造执行系统协会

MES II (Manufacturing Execution Solution) 制造执行解决方案

MIS (Management Information System) 管理信息系统

MRP (Materials Requirements Planning) 物料需求计划

MRPII (Manufacturing Resource Planning) 制造资源计划

NIST (National Institute of Standards and Technology) 美国标准技术研究院

OMG (Object Management Group) 对象管理组织

PCS (Production Control System) 生产控制系统

PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) 普渡企业参考体系结构

PLC (Programmable Logic Controllers) 可编程逻辑控制器

QA (Quality Assurance) 质量保证

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 监控系统与数据采集

SIMA (Systems Integration for Manufacturing Applications) 制造应用软件系统集成

项目

UML (Unified Modeling Language) 统一建模语言

目 录

前言

缩略语

第 1 章	设备控制与经营管理的集成	1
1.1	制造执行系统 (MES) 产生的背景.....	1
1.2	制造执行系统的发展.....	2
1.3	制造执行系统的定义.....	6
1.4	制造执行系统的行业差异.....	7
1.5	制造执行系统面临的挑战.....	11
1.6	制造执行系统的发展前景.....	12
第 2 章	制造执行系统的体系结构	14
2.1	AMR 的 MES 体系结构.....	14
2.2	MESA 的 MES 体系结构.....	16
2.3	ISA95 的体系结构.....	17
2.4	中国国情下的 MES 体系结构.....	19
第 3 章	制造执行系统的功能结构	21
3.1	IDEF0 功能建模方法.....	21
3.2	ISA95 定义的 MES 功能模型.....	27
3.3	SIMA 定义的功能活动模型.....	35
第 4 章	制造执行系统的信息结构	77
4.1	面向对象的信息建模方法——UML 类图.....	77
4.2	IDEFIX 信息建模方法.....	82
4.3	制造执行系统的信息模型.....	90
第 5 章	制造系统的运作逻辑	108
5.1	IDEF3 过程建模方法.....	108
5.2	服装生产过程.....	113
5.3	电机制造过程.....	116
5.4	船舶建造过程.....	120
第 6 章	制造执行系统的项目组织	123

6.1 企业信息化项目的特殊性	123
6.2 制造执行系统实施的三方模式	124
6.3 制造执行系统实施的甲方项目组织	126
第7章 制造执行系统实施方法论	128
7.1 项目筹备	130
7.2 需求分析	131
7.3 可行性论证	133
7.4 总体设计	135
7.5 详细设计	138
7.6 软件开发与系统集成	141
第8章 制造执行系统的选型	144
8.1 制造执行系统的选型过程	144
8.2 打分量化方法及评分的主要方面	147
第9章 制造执行系统解决方案示例	151
9.1 ××机械企业集成制造系统解决方案	151
9.2 ××粮食企业制造执行系统解决方案	166
术语解释	177
参考文献	179

第1章

设备控制与经营管理的集成

1.1 制造执行系统(MES)产生的背景

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两个基本动因，这也是推动制造执行系统（Manufacturing Execution System, MES）发展的两个原动力。

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两个独立的分支各自进行着发展。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的断裂，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的生产信息，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。

20世纪80年代中期以后，伴随着客户对产品需求的多样化，制造企业的生产模式开始由大批量的刚性生产向多品种少批量的柔性生产转变；伴随着计算机网络和大型数据库等信息技术的发展，企业的信息系统也开始从局部的、事后处理方式转向全局的、实时处理方式。其间出现了精良生产、敏捷制造等新的理念和方法；在管理系统软件领域从MRP（Materials Requirements Planning，物料需求计划），到MRP II（Manufacturing Resource Planning，制造资源计划），直至ERP（Enterprise Resource Planning，企业资源计划）系统的迅速普及；在过程控制领域，PLC（Programmable Logic Controllers，可编程逻辑控制器）、DCS（Distributed Control System，分布式控制系统）得到广泛应用^[1]。

尽管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。例如，在计划过程中无法准确及时地掌握实际的生产状态，在生产过程中得不到切实可行的作业计划，车间的管理人员和操作人员难以跟踪产品的生产过程，不能有效地控制在制品库存，用户无法了解订单的执行状况等等。产生这些问题的主要原因在于生产管理系统与生产过程控制系统的相互分离，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。针对这种状况，1990年11月，美国的调查咨询公司AMR（Advanced Manufacturing Research）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 MESA (Manufacturing Execution System Association, 制造执行系统协会) 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。

随着企业信息化在理论和实践两个方向上的不断深入，以系统和集成思想为基本哲理的制造业信息化系统的体系已经基本清楚，如图 1-1 所示，将企业看作一个球体，以企业、生命周期和价值链为坐标，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。在整个企业信息化的系统体系中，MES 扮演了承上启下，关联上下的重要作用。

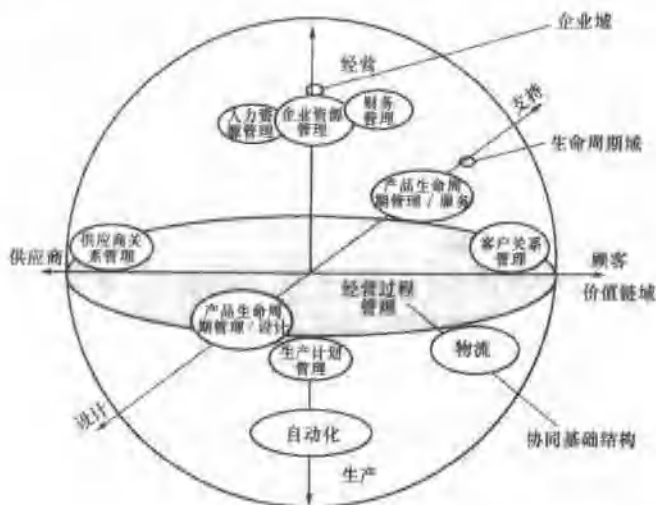


图 1-1 协同制造管理的应用视图

1.2 制造执行系统的发展

其实从 20 世纪 70 年代后半期开始，就已经出现了一些解决单一问题的 MES 系统，如设备状态监控系统、质量管理体系，以及涵盖生产进度跟踪、生产统计等功能的生产管理系统。各个企业引入的只是单一功能的软件产品或系统，而不是整体的解决方案。MES 真正得到迅猛的发展还是在 1990 年 AMR 明确提出 MES 的概念之后开始的。

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 提出三层结构的信息化体系结构，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^{[3][4]}。

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 作为经营管理信息系统，DCS/PLC 作为控制系统，而 MES 则作为生产执行系统。由于以 ERP 为代表的经营管理层和 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成熟系统。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、下两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。

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的范畴之下。而这样的程序或产品大多数都是由一些定制的应用程序逐渐演化而来的，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。

此后，国际上有关组织意识到应该对MES进行更加明确的定义，MESA, ISA (The Instrumentation, Systems and Automation Society, 仪表、系统和自动化协会) 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。

20世纪90年代，由于MES已经成为企业实现生产现场管理的集成系统，故又称为Integrated MES (I-MES, 集成MES)，包括了工厂管理（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）和质量控制（SQC-统计质量管理、LIMS-实验室信息管理系统）4个主要功能，并由实时数据库支持。在该框架内，MES在20世纪90年代初期的重点是生产现场的信息整合。

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，大大方便系统的实施与集成。其中最为有名的是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MES II (Manufacturing Execution Solution, 制造执行解决方案)。

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^{[7][5]}：

(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 (MfgDTF, Manufacturing Domain Task Force) 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)^[6]。

其中，从1997年开始的国际电工技术委员会IEC (International Electrotechnical Commission) 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，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^[7]。其中 SP95.01 已经被 ISO/IEC 批准为国际标准 ISO 62264 的第一个标准，我国也引进了该文件等同作为国家标准。

ISA SP95 标准在工业界迅速得到认可，其用户包括很多世界知名公司，例如能源领域的 ExxonMobil、British Gas，日用品领域的宝洁公司，食品饮料领域的雀巢公司等等。SAP、西门子、霍尼韦尔、ABB、Rockwell Software、Enterprise consultants international 等一些软件提供商或咨询公司也在他们的产品或工程中应用了这个标准。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、设计和实施的模板。许多公司依照此标准进行 MES 和 ERP 集成的实施，据统计，实施时间减少了 75% 以上。预计由于这个标准的应用，最终进行 MES 和 ERP 集成所花费的时间将会由现在的 6~9 个月减少到 6~9 个星期^[8]。

此外，几乎所有组织和学者都倡导 MES 功能和接口的标准化，并强调集成 (Integration) 和互操作性 (Inter-operability) 的重要性。提倡系统之间、功能模块之间以 ORB (Object Request Broker) 作为 MES 信息访问接口协议，实现 MES 功能组合的即插即用。分布式对象技术标准 CORBA 和有关平台标准也都是开发 MES 软件的基础，但是由于开发成本高、系统性能差以及三层模型界限不明确等原因，一直影响着 MES 功能的组件化。

软件提供商方面，据《Manufacturing Systems Magazine》统计，在企业管理应用软件中，除 ERP 产品和厂商外，MES 产品及其厂商中，Invensys、西门子、Emerson Process Management、AS-PEN Tech、Indus International、Honeywell Hi-spec Solutions、Rockwell Software、ABB、Kronos Inc.、GE Fanuc Automation、Agile Software Corp.、OSI Software、SimSci、Wonderware、日立、YOKOGAWA、Technomatix Tech、Lilly Software 等公司名列前茅。

例如世界著名的自动化仪表、过程控制和工业软件企业霍尼韦尔 (Honeywell) 公司从 20 世纪 90 年代末开始，率先从单一的 MES 功能模块发展到整体解决方案。

Honeywell 的 MES 产品，其核心是 Business FLEXPKS。该产品将经营目标转化为生产操作目标，同时将经过处理验证的生产绩效数据进行反馈，从而形成计划管理层、生产执行层和过程控制层三个层次的周期循环。该产品由价值链管理 (Value Chain Management)、先进计划与调度 (Advanced Planning and Scheduling)、运作管理 (Operations Management)、油品调合及储运自动化 (Blending & Movement Automation) 和生产管理 (Production Management) 5 个应用套件共 30 多个模块组成，其产品组成如图 1-2 所示^[9]。

价值链管理 (Value Chain Management) 能让供应链计划、计划执行和过程自动化解决方案有机地协调起来。解决方案通过提供易于访问和理解的相关信息，帮助企业进行有效决策，从而克服了供应链的复杂性问题。它包括一套基于网络供应链管理应用套件，能动态地对供应链进行建模，通过可度量的成本削减和操作优化，提高盈利能力。它能让用户的供应商和客户，以及他们的供应商和客户真正地协同起来。

先进计划及调度 (Advanced Planning and Scheduling) 按照企业生产目标制定生产计划，并对计划进行优化，然后再把优化后的计划转化成为生产调度方案，并建立具体操作目标，以满足该调度方案。它支持多工厂计划的制定。解决方案成为计划和控制之间的接口，

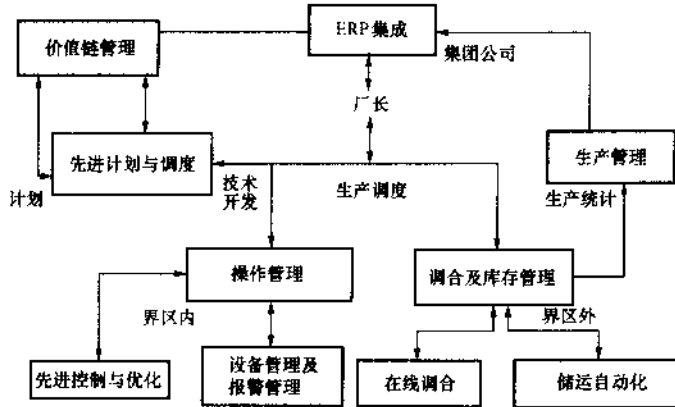


图 1-2 Honeywell 的 MES 组成

工厂由此可以进行更好的进料选择、得到更高的产率和利润、采取更可行的调度方案，使产量达到最大化。先进计划及调度优化解决方案着眼于经济指标，能解决原有调度、操作计划、供销优化、操作调度、调合优化、性能监控，以及其他问题。

操作管理 (Operations Management) 系统地设定和传递操作计划，监控工艺数据是否超过限度，并将偏离值按优先级显示出来。通过这套解决方案，工厂可以根据工业标准，更好地理解操作性能，同时了解真实的操作边界，使生产操作更加可靠与灵活。解决方案有助于减少能源消耗，同时提高产率、保证产品一致性。此外，它还提供完整的实验室信息管理系统 (LIMS) 功能，以及与现有实验室系统的集成。

调合 (Blending) 可以制定完整的调合操作计划、执行调合操作和对调合过程进行性能监控。它能在满足库存条件、发货计划和产品规格要求的约束下，创建并执行调合配方，从而对管道内调合进行优化，实现利润的最大化。它还能执行基本的比率控制和先进的属性控制，简化调合数据分析，确定绩效指标。

储运自动化 (Movement Automation) 提供了完整的炼油厂物料移动操作功能。它具有用户协同功能，使用户更清楚地了解移动操作情况。解决方案能减少库存，并提高人员的生产力，同时能防止重大事故的发生，所有这些都利于提高盈利能力。

生产管理 (Production Management) 解决方案套件能计算现场生产、材料使用、库存信息，同时跟踪产品的遗留和进料处理。它还能跟踪生产成本，突出生产问题，管理生产配方。生产管理解决方案通过获取生产计划和调度方案，将批准过的生产操作通知操作人员，并有效地采集和验证实际的生产信息，从而促进了供应链规划、生产计划和现场操作之间的协作。

另外，Honeywell 又将其 MES 解决方案与资产管理解决方案—SSET MAX™、先进控制与区域优化解决方案—Profit Plus™、生产信息集成平台—Uniformance 等应用套件和信息集成平台整合为协同生产管理解决方案 (Unified Manufacturing Solutions)，也可看成是其广义的 MES 或者是 MES 功能模块的扩充。

国外 MES 的研究与发展基本沿着两条线在进行，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。这两种模式在特定的应用领域都取得了很好的成果。

20 世纪 90 年代初期，国内就开始了对于 MES 以及 ERP 的跟踪研究、宣传或试点^[7]。进入 21 世纪，国内仍然以提升工厂自动化水平，普及 DCS、SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, 监控系统与数据采集)、PLC、FCS (Fieldbus Control System, 现场总线控制系统) 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，人们对 MES 的概念、MES 在企业信息化的地位已不陌生，并开始形成共识。如图 1-3^[10]所示，在一些行业，也提出了综合 ERP 和生产自动化的 MES 整体框架。

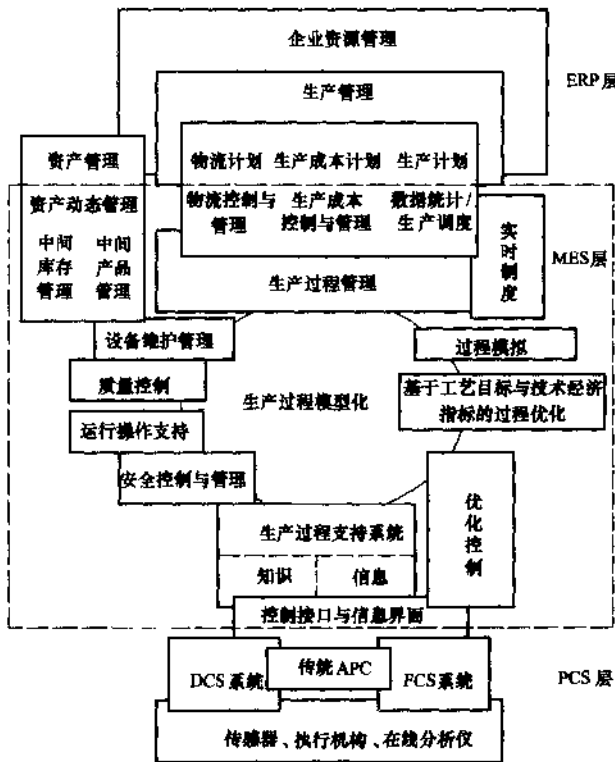


图 1-3 国内提出的流程行业 MES 功能架构

从总体上看，国内 MES 领域仍以研究居多。就产品来讲，自主研发才刚刚开始，有少数国内 IT 公司一方面模仿国外的模式，同时也在总结提炼中国工业企业 MES 实施的经验 (know-how)，但是以实验室产品居多，离商品化还有一段路程。就应用而言，冶金、石化、烟草、食品等行业虽已有应用，但仍属示范验证性质。

1.3 制造执行系统的定义

美国先进制造研究机构 AMR (Advanced Manufacturing Research) 将 MES 定义为“位于上层计划管理系统与底层工业控制之间的、面向车间层的管理信息系统”，为操作人员、管理人员提供计划的执行、跟踪以及所有资源 (人、设备、物料、客户需求等方面) 的

当前状态信息。

制造执行系统协会 MESA 的定义是：“MES 能通过信息传递，对从订单下达到产品完成整个的生产过程进行优化管理。当工厂里面有实时事件发生时，MES 能对此及时做出反应、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得 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讯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^[11]。”

MESA 对于 MES 的定义强调了以下三点：

- (1) MES 是对整个车间制造过程的优化，而不是单一解决某个生产瓶颈。
- (2) MES 必须提供实时收集生产过程数据的功能，并做出相应的分析和处理。
- (3) MES 需要与计划层和控制层进行信息交互，通过企业的连续信息流来实现企业信息集成^[12]。

美国国家标准研究院 (NIST) 有关 MES 的定义是：为使从接受订货到制成最终产品全过程的管理活动得以优化，采集硬件、软件的各种数据和状态信息。

由上可知，虽然关于 MES 的定义存在一些不同的表述，但以下几点共识还是普遍得到认可的：

- (1) MES 在整个企业信息集成系统中承上启下，是生产活动与管理活动信息沟通的桥梁。
- (2) MES 采集从接受订货到制成最终产品全过程的各种数据和状态信息，目的在于优化管理活动。它强调的是当前视角，即精确的实时数据。
- (3) 从对实时的要求而言，如果说控制层要求的实时的时间系数为 1，那么，MES 的时间系数为 10，ERP 的时间系数为 100^[13]。

§ 1.4 制造执行系统的行业差异

MES 的提出是从流程行业开始的，成功的应用案例也多集中在流程行业。这是因为流程行业的设备依赖性高，设备的自动化水平高，大量的传感器可以实时准确地采集生产现场的状态信息，这为 MES 的实施提供了基础条件。不过从 ISO 62264 的标准文档来看，工业界普遍认为 MES 具有流程行业和离散行业的普适性，希望开发出具有普遍适用性的 MES 系统。不过需要强调的是，MES 的应用，应该充分考虑到企业的具体情况，以谋求最合适的信息化解决方案^{[14][15]}。

对企业进行分类，从生产方式上考虑，可以划分为按订单生产 (MTO)、按库存生产 (MTS)、按订单装配 (ATO)、按定单设计 (DTO) 或上述方式的组合。从生产类型上考虑，则可以划分为批量生产、单件小批生产和大规模定制。从产品类型和生产工艺组织方式上，企业的行业类型可划分为流程 (连续) 生产行业和离散 (加工装配) 制造行业。典型的流程生产行业有医药、石油化工、电力、金属冶炼、能源、水泥、食品等领域。典型的离散制造行业主要包括机械制造、电子电器、航空航天、汽车船舶等行业。

MES 系统，无论从功能模型还是信息模型，无论是技术上还是管理上，都覆盖了流程生产行业和离散制造行业。但是，由于流程生产行业和离散制造行业在工艺流程和生产组织

方式上存在较大的差别，不同的 MES 解决方案存在明显的行业特征。

文献 [14] 对流程行业和离散行业的特点进行了完整的分析，并分析了这些特点对 MES 的影响，下文借用该文献的结果，说明 MES 的行业特点。

1.4.1 流程行业与离散行业的差异

流程生产行业，主要是通过对原材料进行混合、分离、粉碎、加热等物理或化学方法，使原材料增值，通常以批量或连续的方式进行生产。而离散工业主要是通过对原材料物理形状的改变、组装，成为产品，使其增值。在 MES 需求、应用环境等诸多方面，两者都有较大的差异^[14]。

(一) 产品结构

离散制造企业的产品结构，如图 1-4 所示，可以用“树”的概念进行描述——其最终产

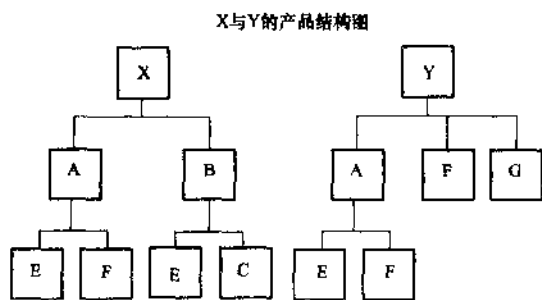


图 1-4 产品结构图示例

品一定是由面定个数的零件或部件组成，这些关系明确并且面定。在离散行业中，一般使用物料单 (BOM) 表示这种关系。离散行业生产信息的传递一般都构建在 BOM 架构下。

流程企业的产品结构往往不是很固定——上级物料和下级物料之间的数量关系，可能随温度、压力、湿度、季节、人员技术水平、工艺条件不同而不同。

此外，在每个工艺过程中，伴随产出的不只是产品或中间产品，还可能细分为主产品、副产品、协产品、回流物和废物。因此，在流程生产行业 MES 中，一般采用配方的概念来描述这种动态的产品结构关系，而且在描述这种产品结构的配方的时候，还应满足批量、有效期等方面的要求，这在化工、制药等行业显得尤其突出。

(二) 生产计划管理

离散制造业企业主要从事单件、小批量生产，由于难于预测订单的到达时间和批量，同时由于产品的工艺路线经常变更，因此需要良好的计划能力。只要应用得当，离散制造业在生产计划系统方面投资所产生的效益可以相当高。

流程企业，主要是大批量生产。只有满负荷生产，企业才能将成本降下来，在市场上具有竞争力。因此，在流程生产行业企业的生产计划中，年度计划更具重要性，它决定了企业的物料需求。

(三) 工艺流程

固向订单的离散制造业，其特点是多品种和小批量。因此，生产设备的布置有可能不是按产品而是按照工艺进行布置的。例如，离散制造业往往要按车、铣、刨、磨、钳等工艺过程，或者按照典型工艺过程来安排机床的位置。因为每个产品具体的工艺过程都可能不一样，而且可以进行同一种加工工艺的机床有多台，因此，离散制造业需要对所加工的物料进行调度，并且往往中间品需要进行搬运。离散工业企业的原材料主要是固体，产品也为面体形状。因此，存储多为室内仓库或室外露天仓库。

流程生产行业企业的特点是品种面定，批量大，生产设备投资高，而且按照产品进行布