

职业教育智能制造领域系列教材

制造执行

系统操作与应用

主编 王明刚 邱兆玲 丁玉杰



制造业数字化转型与智能制造

制造执行

系统操作与应用

王 强 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

内 容 简 介

制造执行系统 (Manufacturing Execution System, MES) 将生产要素融入工业互联网, 将实体对象、生产活动和管理活动进行数字化。教材内容基于国内企业自主研发的 MES 系统, 以包含工业机器人技术、数控机床、智能仓储、外部轴、AGV 技术在内的真实智能生产线为案例背景, 围绕制造执行系统的操作与应用技术, 组织资深企业工程师、中高职院校的学术带头人、行业内专家共同开发而成。

本书通过相关理论知识、图片和实例教学进行制造执行系统操作与应用技术的讲解, 使学生掌握根据智能工厂自动化生产线生产需要, 完成制造执行系统基本操作与维护的技能, 包含走进 MES 系统、MES 系统用户操作与配置、MES 系统的生产管理和生产数据监控与管理等内容, 以期向读者提供实用性帮助和指导。

本书可作为装备制造大类相关专业的教材, 也可作为制造执行系统操作与应用的相关企业员工培训教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (C I P) 数据

制造执行系统操作与应用 / 王明刚, 邱兆玲, 丁玉杰主编. -- 北京: 北京理工大学出版社, 2023.2
ISBN 978-7-5763-2117-3

I. ①制… II. ①王… ②邱… ③丁… III. ①制造业—工业企业管理—计算机管理系统 IV.
① F407.406.14

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 032376 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 定州市新华印刷有限公司

开 本 / 889 毫米 × 1194 毫米 1/16

印 张 / 10.5

字 数 / 192 千字

版 次 / 2023 年 2 月第 1 版 2023 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 39.00 元

责任编辑 / 张鑫星

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



智能制造是制造强国建设的主攻方向，其发展程度直接关乎我国制造业质量水平。党的二十大报告指出：“建设现代化产业体系。坚持把发展经济的着力点放在实体经济上，推进新型工业化，加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国、数字中国”。发展智能制造对于巩固实体经济根基、建成现代产业体系、实现新型工业化具有重要作用。

2021年12月21日八部门印发《“十四五”智能制造发展规划》（以下简称《规划》）的通知，为促进制造业高质量发展、加快制造强国建设、发展数字经济、构筑国际竞争新优势提供有力支撑。规划中明确指出，要聚力研发工业软件产品，推动装备制造商、高校、科研院所、用户企业、软件企业强化协同，联合开发面向产品全生命周期和制造全过程的核心软件，研发嵌入式工业软件及集成开发环境，研制面向细分行业的集成化工业软件平台，开发制造执行系统（Manufacturing Execution System, MES）便是其中重要的一环。

国际制造执行系统协会(Manufacturing Execution System Association, MESA)对MES的定义是“MES能通过信息的传递，对从订单下达开始到产品完成的整个产品生产过程进行优化的管理，对工厂发生的实时事件，及时做出相应的反应和报告，并用当前准确的数据进行相应的指导和处理。”因此，MES不只是工厂的单一信息系统，而是横向之间、纵向之间、系统之间集成的系统，MES也可以概括为一个宗旨——制造怎样执行，两个核心数据库——实时数据库、关系数据库，两个通信接口——与控制层接口和与业务计划层接口，四个重点功能——生产管理、工艺管理、过程管理和质量管理等。

为解决制造执行系统相关应用及实训课程开设问题，青岛西海岸新区职业中等专业学校联合北京华航唯实机器人科技股份有限公司和济南职业学院共同开发了本教材。教材内容依托于典型的由工业机器人、数控机床、智能仓库、AGV系统等组成的工厂级智能化产线配套使用的制造执行系统，内容主要分为走进MES系统、MES系统用户操作与配置、MES系统的生产管理和生产数据监控与管理四个部分，从基本的系统用户操作、生产数据配置及审批流程配置到基于典型生产场景的生产订单录入与审批、车间的生产派工、生产物料的管理与流通及生产计划的执行与反馈，基本覆盖到MES系统在实际应用的各个环节及流程。同时实训案例基于真实岗位工作过程，内容编排由浅入深，可满足不同层次的读者学习参考。



青岛西海岸新区职业中等专业学校王明刚、邱兆玲、丁玉杰担任主编，青岛西海岸新区职业中等专业学校李珍、济南职业学院冯占营、北京华航唯实机器人科技股份有限公司张大维担任副主编。具体分工为青岛西海岸新区职业中等专业学校邱兆玲编写项目一，丁玉杰、王明刚共同编写项目三，济南职业学院冯占营与青岛西海岸新区职业中等专业学校李珍共同编写项目二，北京华航唯实机器人科技股份有限公司张大维编写项目四，北京华航唯实机器人科技股份有限公司庞浩和龙涛负责教材的审稿及审核工作。教材在案例设计编写及配套资源的制作过程中得到了北京华航唯实机器人科技股份有限公司庞浩和朱伟两位工程师的协助，在此一并表示感谢。本教材在编写过程中，得到国家重点研发计划项目“网络协同制造技术资源服务平台研发与应用示范（2018YFB1703500）”的支持，为专业技能人才培养提供了丰富的资源。

本教材采用“项目任务式”设计，突出理实一体化的学习教学特点，每个任务都配套有【任务描述】、【知识储备】、【任务实施】及【任务评价】，强调知识技能和任务操作之间的匹配性。通过资源标签或者二维码链接形式，提供了丰富的配套学习资源，利用信息技术如PPT、视频、动画等形式，对书中的核心知识点和技能点进行深度剖析和详细讲解，降低了读者的学习难度，有效提高学习兴趣和学习效率。

由于编者水平有限，对于书中的不足之处，希望广大读者提出宝贵意见。

编者



|||||
项目一 走进 MES 系统 1

任务 1.1 MES 系统原理及应用领域认知 3

任务 1.2 认识典型 MES 平台 19

|||||
项目二 MES 系统用户操作与配置 33

任务 2.1 系统用户操作 35

任务 2.2 生产数据配置 46

任务 2.3 审批流程配置 67

|||||
项目三 MES 系统的生产管理 76

任务 3.1 生产订单的录入及审批 78

任务 3.2 车间的生产派工 86

任务 3.3 生产物料的管理及流通 96

任务 3.4 生产计划的执行与反馈 112



|||||
项目四 生产数据监控与管理..... 131

任务 4.1 生产数据监控 133

任务 4.2 电子文档管理 144

任务 4.3 设备管理 151

|||||
参考文献..... 162



项目一

走进 MES 系统

项目导言



智能制造是制造强国建设的主攻方向，其发展程度直接影响着我国制造业质量水平。发展智能制造对于巩固实体经济根基、建成现代产业体系、实现新型工业化具有重要作用。为贯彻落实《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》，加快推动智能制造发展，工业和信息化部、国家发展和改革委员会、教育部等八部门印发了《“十四五”智能制造发展规划》。规划中明确指出，要聚力研发工业软件产品，推动装备制造商、高校、科研院所、用户企业、软件企业强化协同，联合开发面向产品全生命周期和制造全过程的核心软件，研发嵌入式工业软件及集成开发环境，研制面向细分行业的集成化工业软件平台，开发制造执行系统（MES）便是其中重要的一环。

项目基于 PQFusion 管控一体化 MES 系统的平台进行，围绕 MES 系统原理及应用领域认知、认识典型 MES 平台和 MES 平台的网络搭建逐渐展开内容，通过相关理论知识、图片辅助讲解，逐步走进 MES 系统。通过典型 MES 平台认识 MES 系统的功能和定位，通过实例教学进行 MES 平台网络搭建技能的讲解，使学生掌握制造执行系统相关理论知识以及根据智能工厂自动化生产线生产需要，完成制造执行系统网络搭建的技能。

知识目标



- 了解 MES 系统定义、功能层次组成及 MES 系统应用领域。
- 理解制造业 MES 系统功能体系结构。
- 掌握 MES 系统 PQFusion MES 的功能。



能力目标



能够正确分析 MES 系统功能层次组成、MES 系统 PQFusion MES 的功能。

情感目标



培养学生在学习和工作中的沟通协调能力和再学习能力及严格按照行业安全工作规程进行操作意识。

工作任务



项目一 走进MES系统

任务1.1 MES系统原理及应用领域认知

任务1.2 认识典型MES平台



任务 1.1 MES 系统原理 及应用领域认知



【任务描述】

全球经济和国际市场的变化使得我国制造业发展呈现出新的发展趋势，从劳动密集型的加工基地向中高端制造型基地转型，向先进制造业转型，向区域经济产业聚集，同时企业竞争方式和价值目标也均有转移。MES 是制造企业信息化、自动化系统的重点和热点，是制造业转型升级实现先进制造业发展的关键。

本任务从 MES 系统定义及功能层次基础的原理开始进行讲解，逐步深入本书所述制造业领域 MES 系统的功能体系结构，最后讲解 MES 系统的实际应用领域，全方位讲解 MES 系统的原理及应用领域。

【任务目标】

明确 MES 系统的定义及功能层次；掌握制造业领域 MES 系统的功能体系结构；掌握 MES 系统的主要应用领域。

【课时安排】

建议学时共 2 学时，其中相关知识学习建议 2 课时。

【知识储备】

1. MES 系统定义及功能层次定义

1) MES 系统定义

在行业标准 SJ/T 11666.1—2016 和国家标准 GB/T 2548—2010 中，均对制造执行系统（Manufacturing Execution System）做了明确的解释，MES 是针对企业整个生产制造过程进行管理和优化的集成运行系统，在接受订单开始到制成最终产品的全部时间范围内，MES



采集各种数据信息和状态信息，与上层业务计划层和底层过程控制层进行信息交互，通过整个企业的信息流来支撑企业的信息集成，实现对工厂的全部生产过程进行优化管理。

MES 提供实时收集生产过程数据的功能，当工厂发生实时事件时，MES 能够对此及时做出反应、报告，并使用当前的准确数据对其进行指导和处理。MES 对事件的迅速响应，使得企业内部无附加值的活动减少，有效指导工厂的生产运作过程，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 可以为企业提供包括制造数据管理、计划排程管理、生产调度管理、库存管理、质量管理、人力资源管理、工作中心 / 设备管理、工具工装管理、采购管理、成本管理、项目看板管理、生产过程控制、底层数据集成分析、上层数据集成分解等管理模块，为企业打造一个扎实、可靠、全面、可行的制造协同管理平台。

2) MES发展的三个阶段

MES 系统的发展，总体分为三个阶段，分别为 MES 的诞生阶段（1960—1980 年）、MES 的标准化阶段（1990—2000 年）、21 世纪以来的 MES 商业化阶段。

（1）MES的诞生阶段。

MES 的起源始于会计系统演化而来的 MRP。信息技术最初在管理上的运用主要是记录一些数据，方便查询和汇总。20 世纪 60 年代，美国会计系统演成一种新的库存与计划控制方法——计算机辅助编制的物料需求计划（MRP），开辟了企业生产管理的新途径。20 世纪 80 年代左右，MRP 延伸为制造资源计划（MRP II），为制造业提供了科学的管理思想和处理逻辑以及有效的信息处理手段。

如图 1-1 所示，管理系统逐渐演化，MES 系统原型出现。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，包括生产进度跟踪、生产统计等功能的生产管理系统，同时，在未实施整体解决方案或信息系统以前，各企业只是引入单功能的软件产品和个别系统，因此出现上层系统和控制系统信息断层以及不同系统信息孤岛的问题，为了解决该问题，各系统功能不断扩增，系统间界限逐渐模糊，MES 概念正式诞生。

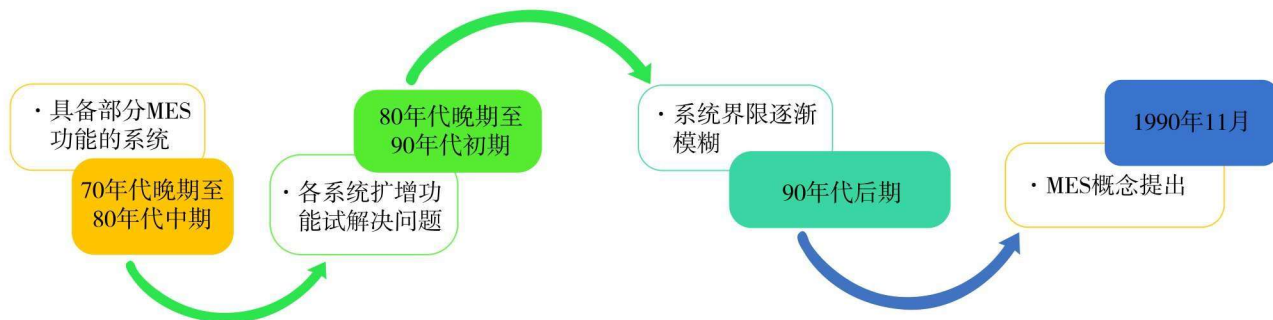


图 1-1 MES 系统诞生阶段发展历程



(2) MES的标准化阶段。

MESA 按照功能定义 MES。1990 年，MES 概念正式提出后，MESA（制造企业解决方案协会）、ISA（国际自动化协会）等国际组织也相继对 MES 定义、功能、作用等进行各自解释。该时期，大量研究机构、政府组织参与 MES 的标准化工作，进行相关标准、模型的研究和开发。据 MESA 定义，一个系统要想成为 MES，需要具有 MES 的 11 个功能，但随着时间的推移，这个定义也在不断发展。发展到 C-MES 时，MES 不仅作为自动化和企业管理之间的中介，同时也是数据和信息集成系统的中心。

(3) MES商业化阶段。

21 世纪初，MES 行业出现并购热潮。2000 年以来，MES 作为工业信息化的重要组成部分受到市场广泛关注，以西门子等厂商为代表的自动化设备供应商、PLM 和 ERP 厂商为了快速进入该行业，开启了 MES 行业并购时代。

3) MES功能层次定义

一般将制造类企业的信息集成划分为三个不同的功能层次等级，分别是：业务计划层、制造执行层以及过程控制层，如图 1-2 所示。

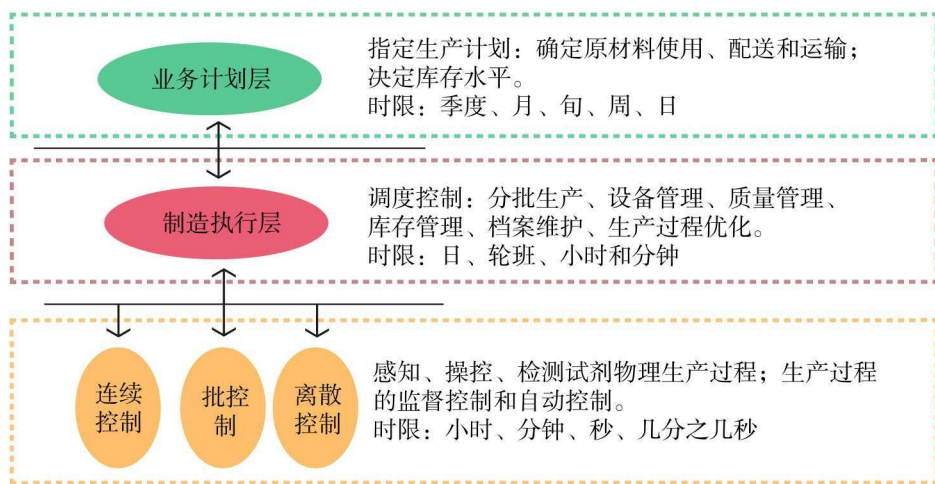


图 1-2 制造类企业功能层次

(1) 业务计划层。

业务计划层定义了制造业企业管理所需的相关业务类活动，包括管理企业中的各种资源、管理企业的销售和服务、制订生产计划、确定库存水平，以及确保物料能按时传送到正确的地点进行生产等。



（2）制造执行层。

制造执行层介于业务计划层和过程控制层之间，定义了为了实现生产出最终产品的工作流的活动，包括记录维护和过程协调等活动。主要面向制造型企业工厂管理的生产调度、设备管理、质量管理、物料跟踪、库存管理等，可以通过 MES 实现这些功能。制造执行层的活动运行时限通常是：日、轮班、小时和分钟。

MES 需要针对功能层次中制造执行层的活动进行定位与设计，关注制造执行层内部的制造运行和控制功能，以及与业务计划层、过程控制层之间的信息交互。

制造执行层的主要活动包括：

- ①报告包括可变制造成本在内的区域生产情况；
- ②汇集并维护有关生产、库存、人力、原材料、备件等区域数据；
- ③完成按工程功能要求的数据收集和离线性能分析，包括统计质量分析和有关的控制功能；
- ④完成必要的人员管理功能，诸如：工作时间统计（例如时间、任务），休假调度，劳动力调度，单位的晋升方针，以及公司内部培训和人员的技术规范；
- ⑤建立包括维护、运输和其他与生产有关的需要在内的、直接的、详细的生产调度计划；
- ⑥为各个生产区域局部优化成本，同时完成由业务计划层所制订的生产计划；
- ⑦修改生产计划以补偿可能会出现工厂生产中断。

（3）过程控制层。

过程控制层定义了感知、监测和控制实际物理生产活动的活动。按照实际生产方式的不同，可细分为：连续控制、批控制及离散控制。控制层通常选用的控制系统包括：DCS（分布式控制系统）、DNC（分布式数控系统）、PLC、SCADA 等。过程控制层的活动运行时限通常是：小时、分钟、秒、毫秒，甚至更快。

（4）各层次间生产信息的交互。

MES 在企业集成运行系统中需起到连接业务计划层和过程控制层的作用。业务计划层所制定的生产计划需要通过 MES 传递给生产现场；同时，来自过程控制层的实际生产状态也需要通过 MES 报告给业务计划层。业务计划系统和制造执行系统之间交互的生产信息归纳为 4 类，分别是：产品定义信息、生产能力信息、生产计划调度信息、生产绩效统计信息；同时，将过程控制系统和制造执行系统之间交互的生产信息也归纳为 4 类，分别是：设备和过程生产规则、操作指令、操作响应、设备和过程数据，具体如图 1-3 所示。



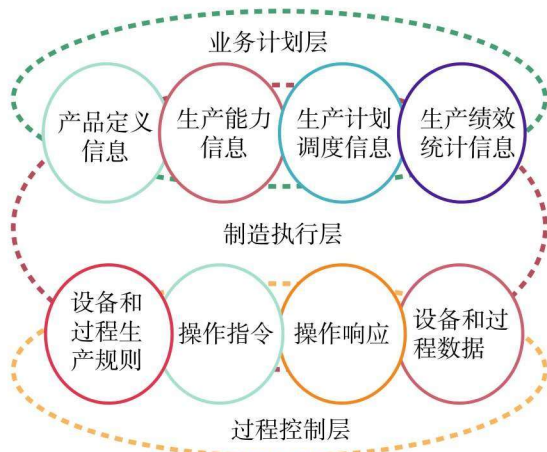


图 1-3 生产信息的交互

①产品定义信息。

产品定义信息是产品生产规则、物料清单，以及资源清单之间共享的信息，描述了生产中“应该如何制成产品”的信息。

产品生产规则是用来指导如何生产一种产品的制造操作信息。如在 GB/T 16656.1—2008 中定义的产品数据 AP（应用协议）标准操作程序（SOP）、标准操作条件（SOC）、例行工作，或基于所用生产策略的装配步骤。

资源清单是生产一种产品所需要的所有资源的列表。资源可包括：物料、人员、设备、能源及消耗品。资源清单不包括特定的生产步骤，可能以分层方式编制，以反映某些生产步骤。

物料清单是表明为生产某种产品所需要的所有物料每种数量的列表。这些物料可以是原材料、中间物料、分装配件、零件及消耗品。这种表并不包含物料用于何处或何时需用等细节，但是它可能以分层方式组织，以反映某些生产步骤。物料清单通常包括与产品无关的物料，如发货用物料或相应的文件。物料清单是资源清单的子集。制造通知单是与生产有关的物料清单的子集。

②生产能力信息。

生产能力信息是对生产（指定次数）的所有资源信息的汇集，由有关的设备、物料、人员和过程段的信息组成，描述了生产中“什么资源是可用的”的信息。

生产能力信息描述了制造控制系统已知的名字、术语、状态和数量。生产能力信息包含用于产能调度和维护信息的词汇表。一种生产能力是对于一个给定的时间段（目前或今后）的人员能力、设备能力、物料能力和过程段能力的汇集，并可分为“承担的、可利用的和难以达到的”。

③生产计划调度信息。

对生产的请求可列为生产计划调度信息。生产计划调度信息应由一个或者多个生产请求



组成，描述了生产中“将要使用什么资源；将要制造什么产品”的信息。

生产请求是指由生产规则标识的单一产品要求生产的请求。生产请求包含为完成计划内生产制造所需要的信息。在某些情况下，物料标识、生产规则标识和物料数量可能就是制造所需的全部信息。其他情况可能需要附加信息。附加信息可以用生产参数、人员要求、设备要求和物料要求来描述。生产请求可以确认或引用相关的生产规则。一个生产请求可能对应一个或多个生产响应。

生产请求可包括：

- (a) 何时开始生产，主要用于由调度系统控制调度的场合；
- (b) 何时结束生产，主要用于制造系统控制其内部调度以满足截止时间；
- (c) 请求的优先级，主要用于准确的生产顺序没有在外部计划的情况；
- (d) 包装的调度表；
- (e) 对被加工物料预先分派的批量标识。

④生产绩效统计信息。

生产绩效统计信息是对所提出的制造请求的响应报告，是所有生产响应的汇集。描述了生产中“实际使用了什么资源；制成了什么产品”的信息。

生产响应是指与生产请求相关联的制造响应。如果生产设备需要将生产请求分解成几个更小的工作单元，那么对一个单独的生产请求可以有一个或多个生产响应。

生产结果可包括请求状况，诸如完成百分率、完工状态或中止状态。

在生产结束或在生产过程中，生产响应包括了向业务系统汇报的事项。由于生产物料或中间物料的成本核算，业务系统需要知道中间生产响应状态，而不是等待最终生产响应状态。

⑤设备和过程生产规则。

设备和过程生产规则可以定义为基于特定分配任务的，对过程控制层的专门说明。

⑥操作指令。

操作指令定义为传递给过程控制层的请求信息。它们是用来启动或完成一个操作的典型指令。这些信息可以通过 SOP（标准操作程序）的方式呈现或者直接传递给操作员，比如调高机器或清洗机器的步骤。

⑦操作响应。

操作响应定义为从过程控制层接收的针对指令的响应信息。这些信息与操作的完成情况或实际状况相对应。

⑧设备和过程数据。

设备和过程数据定义为从过程控制层接收的关于监测结果的信息。这是关于被执行过程



和相关资源的典型信息。

2. 制造业 MES 系统功能体系结构

制造执行系统的功能体系结构模型如图 1-4 所示，该模型定义了 MES 的基本功能体系结构，以“生产管理”为中心，对制造执行层进行了功能结构的划分，给出了制造执行层内部的主要功能，以及功能之间传递的信息流，具体划分为以下三部分模型，并对其进行描述。

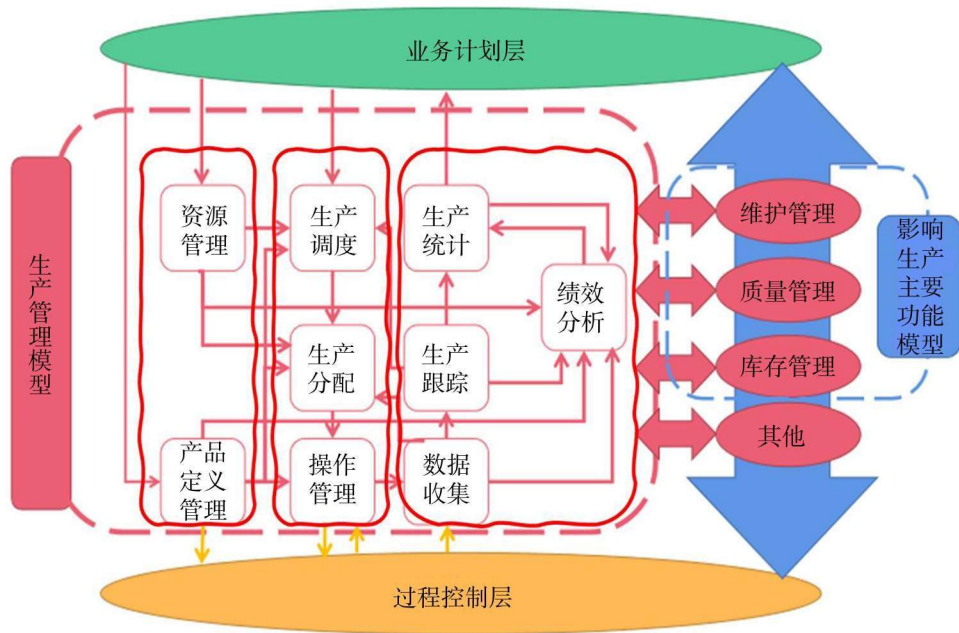


图 1-4 MES 功能体系结构模型

生产管理模型（图 1-4 中制造执行层左侧虚线框内表示的部分）：是制造执行系统的核心部分。它又进一步细分为 9 个相对独立的子功能，分别是：产品定义管理、资源管理、生产调度、生产分配、操作管理、数据收集、生产跟踪、绩效分析、生产统计。同时，本模型给出了这 9 个子功能间的信息交互关系，以及特定功能模块与上层业务计划层和下层过程控制层之间的信息交互，明确地定义了信息流的走向。

影响生产主要功能模型（图 1-4 中制造执行层右侧虚线框部分）：定义了“维护管理”“质量管理”“库存管理”。它们都是制造类企业的制造执行层中必不可少的组成部分，它们对制造类企业的生产运行会产生极为重要的影响，有时甚至是决定性的影响。模型通过信息流的定义来表达它们之间，以及它们与生产之间的相互影响关系。

影响生产的其他功能模型（图 1-4 的制造执行层中右下角椭圆框）：它们并不是对所有的制造类企业都是必需的，有时它们对生产也将会产生非常重要的影响，又或是可以对生产的管理提供非常有益的帮助。同时，对于不同的行业 and 不同企业的实际情况，需要这样的功能扩展也将会有所区别。



1) 生产管理模型

“生产管理”可定义为一组满足成本、质量、数量、安全性和实时性要求的活动，这组活动对关于利用原材料、能源、设备、人员和信息来制造产品的诸多功能进行协调、指导、管理和跟踪，包括：

- ①收集和保存关于产品、库存、人力、原材料、剩余部分和能源使用的数据。
- ②实现必需的人员管理功能，像工作时期统计表（如时间、任务），休假时间表、劳动强度统计表、工会路线的进展，以及内部培训和人员资格认证。
- ③为所辖区域内的维护、运输，及其他与生产有关的请求建立及时的详细生产调度。
- ④在完成业务计划层制定的生产调度的同时，对个别产品区域进行本地成本优化。
- ⑤在职责范围内，修改生产调度来补偿可能发生的生产中断行为。
- ⑥提交含可变制造成本的生产报告。
- ⑦按工程功能的要求进行数据收集和离线分析。包括基于统计学的质量分析以及相关控制功能。对应于图 1-4 中左侧虚线框内所表示的部分，是制造执行系统的核心。

生产管理模型中的三个虚线框表示了三个不同性质的区域。通过这三个区域的功能划分，可使得生产管理模型形成一个完整的逻辑闭环，从而可以有效控制整个生产运行的全过程。这三个区域分别是基础静态信息定义区域、生产调度指令下达区域和生产绩效统计反馈区域。

基础静态信息定义区域：包括产品定义管理模块和资源管理模块，其主要功能是管理企业生产运行过程中必备的产品定义类信息和基础资源类信息。如：产品生产规则（含 SOP、SOC 等）的确定与维护；生产方案、资源清单及物料清单的定义与维护；人员、设备和物料等基础信息的定义与维护；企业产能利用情况的信息管理等。

生产调度指令下达区域：包括生产调度模块、生产分派模块和操作管理模块。其主要功能是将业务计划层传递下来的生产计划调度信息通过生产调度模块细化为详细生产计划调度信息，再经生产分派模块转化为生产分派清单，最后经过操作管理模块转化为操作命令下达给过程控制层，从而指导实际的生产运行过程。

生产绩效统计反馈区域：包括数据收集模块、生产跟踪模块、绩效分析模块，以及生产统计模块。其主要功能是将过程控制层中的生产和资源的过程数据通过数据收集模块采集上来，传递给生产跟踪模块和绩效分析模块进行跟踪、分析和处理，再将处理好的数据传递给生产统计模块，最终整理成为生产绩效统计信息反馈给业务计划层。

（1）产品定义管理。

产品定义管理定义为：制造执行层中管理所有关于制造所必需的产品信息的功能模块，包括产品生产规则。

