



制造执行管理

实验教学系统研究

RESEARCH ON THE PRACTICAL TEACHING SYSTEM

OF MANUFACTURING EXECUTION MANAGEMENT

白朝阳 张令荣 著



大连理工大学出版社

大连理工大学
管理科学与工程系
制造执行管理

制造执行管理 实验教学系统研究

RESEARCH ON THE PRACTICAL TEACHING SYSTEM
OF MANUFACTURING EXECUTION MANAGEMENT

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

制造执行管理实验教学系统研究 / 白朝阳, 张令荣
著. — 大连: 大连理工大学出版社, 2017. 4

ISBN 978-7-5685-0649-6

I. ①制… II. ①白… ②张… III. ①企业管理—教
学研究 IV. ①F272-4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 314699 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 邮购: 0411-84708943 传真: 0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://dutp.dlut.edu.cn>

大连力佳印务有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 140mm×203mm 印张: 7.25 字数: 190 千字
2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷

责任编辑: 邵 婉 朱诗宇 责任校对: 邵 宇
封面设计: 奇景创意

ISBN 978-7-5685-0649-6

定 价: 30.00 元

本书如有印装质量问题, 请与我社发行部联系更换。

前 言

当前,云计算、大数据、移动互联网、物联网、人工智能等新兴信息技术正在全球范围内引发一场新的科技革命和产业革命。以各国“工业 4.0”战略、美国“工业互联网”、“中国制造 2025”为代表,各国纷纷制定面向未来的智能制造发展战略,大力实施先进制造技术与管理创新。信息技术与制造业的深度融合,正在深刻变革着企业的产品设计、工艺制造、经营管理等业务模式,给我国装备制造业的发展带来了巨大的机遇和挑战。

制造执行管理在上层企业运营管理系统与底层设备控制系统之间架起了一座桥梁。它包括控制级与企业级系统之间的各项基本业务流程,而不是把这两个系统的软件简单地集成,更多的是对整个制造过程的功能集成和优化,以及对供应链中与制造相关的各方面的协同。制造执行管理的目标是实现面向车间生产过程的“实时”生产管控和资源调度。一方面,它将 ERP 系统的生产管理计划等信息进行分解和细化,传递给底层控制系统;另一方面,它实时地监控底层设备的运行状态,对车间现场的设备、计划、物料等数据进行采集、统计和分析,从而提高计划的实时性、灵活性和可靠性,增强生产计划管理的响应能力,同时提高资源的运行效率。

制造执行管理实验教学系统是现代生产管理教学重要的基础性支持系统。目前,国内关于围绕智能制造下制造执行管理实验教学系统的相关研究相当有限,还没有形成对相关教学能力提高的方法。国外虽有不少实证研究对智能制造下制造执行管理系统

进行了探讨,但研究结果主要是面向企业实际项目应用,围绕教学的制造执行管理系统的相关研究却不多见。对于制造执行管理实验教学系统研究的缺乏使生产管理实践教学存在短板,教学过程中缺乏实践环境支撑,学生不清楚“工业 4.0”下智能制造管理的系统逻辑、管理内涵和相关技术,不利于现代生产管理实践的深入教学,不利于“中国制造 2025”实施过程中的高端创新型人才培养。所以,结合“中国制造 2025”实际需求,借鉴国外相关研究成果,提出科学合理的制造执行管理实验教学系统模型和实施方法,将科研研究成果与教学实际结合,针对中国制造业升级转型过程的人才知识结构和体系要求,研发面向智能制造下制造执行管理实验教学系统具有重要意义。

本书以制造企业生产过程管理实践为研究背景,基于复杂装备企业制造执行管理视角,综合运用系统化、集成化管理思想,研究了制造执行管理实验教学系统构建的理论框架和技术方法体系。全书共分为 7 章:第 1 章介绍了制造执行管理实验教学系统研究背景,探讨了其研究的必要性和意义,讨论了智能制造下制造执行管理实验系统的复杂性及存在的问题,围绕系统运行模式和机理阐明了制造执行管理实验系统研究的技术路线;第 2 章介绍了制造执行管理实验系统的理论研究及其应用情况,明晰了制造执行管理实验系统研究的重点和难点;第 3 章介绍了离散制造生产过程及特点,以计划为主线,具体分析了制造执行管理的体系,并设计了面向智能制造下的制造执行管理实验教学系统模型;第 4 章和第 5 章为制造执行管理实验系统的关键技术,分别为可配置的 MES 技术、业务场景建模技术、业务状态跟踪技术、业务信息动态建模技术、业务过程集成化建模技术、业务数据集成管理技术;第 6 章介绍了制造执行管理实验系统原型在生产管理实践教学的应用,包括系统需求分析、系统建模、系统设计及实施应用等;第 7 章介绍了面向不同教学需求的制造执行管理实验系统应用案

例,包括基于体验学习的交互式生产管理实验教学,面向多行业业务模拟的生产管理实践教学以及基于 MOOC 的生产管理实验教学等。

本书可作为工业工程、企业管理、物流工程与管理、管理科学与工程、工商管理等相关专业学生学习和设计制造执行管理系统的参考书,也可作为企业制造执行管理建设的参考资料。在撰写本书的过程中,我们参考了大量中外文资料,主要参考书目已经列在参考文献中。在此谨向这些国内外作者表示由衷的感谢,对于可能遗漏的参考资料的作者表示歉意。

本书的思想精髓来源于作者从 2012 年开始承担的辽宁省某机车集团多家子公司智能化制造执行管理项目的研发实践。在长期的基金课题研究和企业项目实践过程中,作者得到了多位老师以及制造管理信息化技术国家-地方联合制造管理信息化技术工程实验室技术专家的无私帮助,他们分别是大连理工大学的黄学文副教授、蒙秋男副教授、薄洪光副教授、薛方红老师,大连海洋大学的薛东娟副教授,大连民族大学的魏金良教授、陈兴文教授、王万雷副教授、杨静萍老师,大连大学的邱立鹏老师,青岛理工大学的孙永利老师,制造管理信息化技术国家-地方联合制造管理信息化技术工程实验室的许登峰高级工程师、郭毅高级工程师、郑熠高级工程师、禹国旭高级工程师。项目的研究成果是团队研究成员的集体智慧结晶,在此也向他们表示由衷的感谢。

在企业项目的研发和实施过程中,作者也得到了中车集团大连柴油机有限公司总经理梁圣童高级工程师、中车集团大连柴油机有限公司副总经理苑希儒高级工程师、中车集团大连机车车辆有限公司信息部部长袁勇高级工程师、中车集团大连柴油机有限公司工艺质量部部长刘丹高级工程师、中车集团大连机车车辆有限公司信息部副部长贾同凯高级工程师的工作支持,向他们表示衷心的感谢。

在全书统稿过程中,硕士生侯丽艳、宋林杰和胡子涵付出了辛勤的努力。大连理工大学出版社的编辑为本书的出版做了大量深入、细致的工作,在此表示衷心的感谢。制造执行管理实验系统是企业管理领域的热点研究问题,其理论、方法和实践均处于快速发展的阶段。由于作者的水平有限,书中的缺点和错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

著 者

2017年2月于大连理工大学创新园大厦

目 录

| | |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 绪 论 | 1 |
| 1.1 研究背景 | 1 |
| 1.1.1 我国制造业发展对制造执行管理系统的需求 | 1 |
| 1.1.2 制造企业发展对制造执行管理系统的需求 | 2 |
| 1.1.3 现代生产管理教学的需求 | 6 |
| 1.2 研究意义..... | 10 |
| 1.3 研究内容..... | 13 |
| 1.3.1 制造执行管理实验系统模型研究..... | 13 |
| 1.3.2 制造执行管理实验系统建模方法研究..... | 14 |
| 1.3.3 制造执行管理实验系统信息技术研究..... | 15 |
| 1.3.4 制造执行管理实施实例研究..... | 15 |
| 1.4 研究技术路线..... | 16 |
| 第 2 章 国内外研究与应用现状综述 | 18 |
| 2.1 制造执行管理系统研究与应用综述..... | 18 |
| 2.1.1 制造执行管理系统产生及基本情况..... | 18 |
| 2.1.2 制造执行管理系统功能模型..... | 20 |
| 2.1.3 制造执行管理系统应用现状..... | 20 |

| | | |
|--------------|-------------------------|-----------|
| 2.2 | 制造执行管理实验教学研究 | 24 |
| 2.2.1 | 制造执行管理的教学内容 | 24 |
| 2.2.2 | 制造执行管理的课程体系 | 27 |
| 2.2.3 | 制造执行管理实验教学的应用分析 | 29 |
| 2.3 | 制造执行管理的最佳业务实践研究 | 36 |
| 2.3.1 | 最佳业务实践内涵 | 36 |
| 2.3.2 | MES 系统可配置性研究 | 38 |
| 第 3 章 | 制造执行管理实验教学系统模型研究 | 42 |
| 3.1 | 离散制造生产过程特点分析 | 42 |
| 3.2 | 离散制造业生产管理业务流程分析 | 43 |
| 3.3 | 离散制造生产计划与控制管理体系分析 | 45 |
| 3.3.1 | 综合生产规划 | 47 |
| 3.3.2 | 主生产计划 | 48 |
| 3.3.3 | 物料需求计划 | 49 |
| 3.3.4 | 能力需求计划 | 50 |
| 3.3.5 | 车间作业计划 | 52 |
| 3.3.6 | 生产控制管理 | 53 |
| 3.4 | 基于事件驱动的制造执行管理实验教学系统模型 | 54 |
| 3.4.1 | 模型研究背景 | 54 |
| 3.4.2 | 模型的相关概念 | 55 |
| 3.4.3 | 基于事件的 LISA 模型架构 | 57 |
| 3.4.4 | LISA 模型信息传递模式 | 59 |
| 3.4.5 | LISA 模型的灵活性 | 65 |

| | | |
|--------------|--------------------------------------|------------|
| 3.4.6 | LISA 模型的连续性 | 66 |
| 3.4.7 | LISA 模型的标准化 | 66 |
| 3.4.8 | LISA 模型的 KPI 计算和可视化应用 | 67 |
| 3.4.9 | LISA 模型系统应用实例 | 68 |
| 第 4 章 | 基于最佳业务实践的制造执行管理业务流程建模研究 | 70 |
| 4.1 | 基于知识的业务场景建模方法 | 70 |
| 4.1.1 | 制造执行管理业务流程研究 | 70 |
| 4.1.2 | 知识触发系统结构与应用过程 | 73 |
| 4.1.3 | 知识触发系统工作过程 | 76 |
| 4.1.4 | 知识管理系统框架 | 78 |
| 4.1.5 | 知识管理系统实施策略 | 79 |
| 4.2 | 基于过程跟踪的业务状态描述方法研究 | 81 |
| 4.2.1 | 业务流动中的动态过程管理 | 82 |
| 4.2.2 | 业务流动中业务过程状态的数学描述 | 86 |
| 4.2.3 | 基于过程的业务状态描述数据模型 | 88 |
| 4.3 | 基于向量空间的业务信息拓扑结构建模方法研究 | 92 |
| 4.3.1 | 信息拓扑结构分析 | 92 |
| 4.3.2 | 基于向量空间的信息拓扑结构模型 | 94 |
| 4.3.3 | 基于 n 维向量空间信息拓扑结构模型 | 97 |
| 4.4 | 基于 n 维向量空间信息拓扑结构模型的搜索性能 | 99 |
| 4.5 | 应用实例 | 100 |
| 第 5 章 | 制造执行管理系统信息技术研究 | 103 |
| 5.1 | 可配置 MES 的体系架构维度模型 | 103 |
| 5.1.1 | 可配置的 MES 体系结构——开发维度 | 103 |
| 5.1.2 | 可配置的 MES 体系结构——实施维度 | 106 |
| 5.1.3 | 可配置的 MES 体系结构——运行维度 | 108 |

| | | |
|--------------|------------------------|------------|
| 5.2 | 基于通用生产结构的物料和过程清单集成模型研究 | 110 |
| 5.2.1 | 基于生产计划的 PPGBOMP 概念 | 110 |
| 5.2.2 | PPGBOMP 模型的建立 | 115 |
| 5.2.3 | 系统应用分析 | 120 |
| 5.3 | MES 环境下组件化制造数据集成管理方法研究 | 123 |
| 5.3.1 | 系统设计 | 124 |
| 5.3.2 | 系统开发的关键技术 | 129 |
| 5.3.3 | 系统特点和应用效果 | 130 |
| 第 6 章 | 制造执行管理实验教学系统实施 | 132 |
| 6.1 | 制造执行管理实验教学系统需求分析 | 132 |
| 6.2 | 制造执行管理实验教学系统功能建模 | 134 |
| 6.2.1 | IDEF0 系统功能建模方法简介 | 134 |
| 6.2.2 | 生产计划与控制实验教学系统整体功能建模 | 135 |
| 6.2.3 | 基础数据管理模块功能建模 | 136 |
| 6.2.4 | 车间计划管理模块功能建模 | 137 |
| 6.2.5 | 车间作业管理模块功能建模 | 139 |
| 6.3 | 制造执行管理实验教学系统功能架构 | 140 |
| 6.3.1 | 系统整体功能结构 | 140 |
| 6.3.2 | 各功能模块详细分析 | 143 |
| 6.4 | 应用举例 | 152 |
| 6.4.1 | 实验情境 | 152 |
| 6.4.2 | 实验任务与目的 | 153 |
| 6.4.3 | 实验实施 | 154 |
| 6.4.4 | 实验角色与路线 | 155 |
| 6.4.5 | 实验过程与步骤 | 156 |
| 6.4.6 | 实验分析与总结 | 159 |

| | |
|---|-----|
| 第 7 章 制造执行管理实验教学系统应用案例分析····· | 161 |
| 7.1 基于体验学习的交互式生产管理实践教学平台研究 ··· | 161 |
| 7.1.1 案例引言 ····· | 161 |
| 7.1.2 生产管理实践教学平台设计原则 ····· | 162 |
| 7.1.3 生产管理实践教学平台的软件架构 ····· | 163 |
| 7.1.4 生产管理实践教学平台的硬件架构 ····· | 164 |
| 7.1.5 生产管理实践教学平台的功能架构 ····· | 165 |
| 7.1.6 生产管理实践多角色业务协作流程 ····· | 166 |
| 7.1.7 多角色交互生产管理实践教学平台应用实例 ··· | 168 |
| 7.2 面向多行业业务模拟的生产管理实践教学平台研究 ··· | 171 |
| 7.2.1 案例引言 ····· | 171 |
| 7.2.2 生产管理实践教学问题分析 ····· | 172 |
| 7.2.3 生产管理实践教学平台的特点 ····· | 174 |
| 7.2.4 生产管理实践教学平台系统功能架构 ····· | 175 |
| 7.2.5 生产管理实践教学平台系统技术架构 ····· | 177 |
| 7.2.6 基于实践教学平台的多层次实验 ····· | 179 |
| 7.2.7 应用案例——以电机行业生产管理实践教学平台 为例 ····· | 181 |
| 7.3 基于 MOOC 的生产管理实验教学系统研究 ····· | 186 |
| 7.3.1 案例引言 ····· | 186 |
| 7.3.2 生产管理 MOOC 实验教学需求分析 ····· | 187 |
| 7.3.3 生产管理 MOOC 实验教学特征分析 ····· | 188 |
| 7.3.4 生产管理 MOOC 实验课程知识网络构建 ····· | 189 |
| 7.3.5 生产管理 MOOC 实验互动网络构建 ····· | 190 |
| 7.3.6 生产管理 MOOC 实验系统多角色协作过程 ··· | 191 |
| 7.3.7 生产管理 MOOC 实验教学系统架构 ····· | 193 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 参考文献..... | 195 |
| 附 录..... | 209 |
| 附录 A 学术缩略语表 | 209 |
| 附录 B 实验相关生产数据附录 | 211 |

第1章 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 我国制造业发展对制造执行管理系统的需求

制造业是国民经济的主体,是立国之本、兴国之器、强国之基。装备制造是我国制造业的重要组成部分,在国民经济建设中发挥着至关重要的作用。

2014年5月,习近平同志“在外国专家座谈会上的讲话”指出:“实现中国梦,装备制造业这个基础必须打牢,装备制造业的核心是技术与管理创新,一个国家综合实力的核心还是技术与管理创新。”

当前,云计算、大数据、移动互联网、物联网、人工智能等新兴信息技术正在全球范围内引发一场新的科技革命和产业革命。以德国“工业4.0”战略、美国“工业互联网”为代表的工业发达国家纷纷制定“再工业化”战略,大力实施先进制造技术与管理创新,力争重新夺回制造业优势。信息技术与制造业的深度融合,正在深刻变革着企业的产品设计、工艺制造、经营管理等业务模式,给我国装备制造业发展带来了巨大挑战和机遇。

针对全球制造业格局的重大变革,我国提出“中国制造2025”发展战略,以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线,以推进智能制造为主攻方向,实现制造业由大变强的历史跨越。

目前,我国制造业规模已居世界第一位,建立起门类齐全、独

立完整的制造体系,成为支撑我国经济社会发展的重要基石和促进世界经济发展的重要力量。但我国制造业仍处于工业化进程中,与先进国家相比还有较大差距:制造业大而不强,自主创新能力弱,信息化水平不高,与工业化融合深度不够,装备制造业仍然处于粗放型管理状态;与工业发达国家相比,材料消耗、能源消耗高,人均劳动生产率和设备生产率低,产品质量不稳定,交货期不能保证,制造业转型升级和跨越发展的任务紧迫而艰巨。

在以德国“工业 4.0”和美国“工业互联网”为代表的信息技术与制造业的深入融合过程中,数据把终端用户与制造系统相连接,为生产系统各个环节的决策提供支持,实现生产上下游环环相扣的整合,工厂的组织架构将趋于扁平,生产资源的利用也将更加优化。这一过程的核心是智能化,特别是制造过程管理的智能化,它是实现智能制造的基础和关键,其最终目的是实现生产活动的高度整合,使系统像人一样思考和协同工作。利用先进的制造执行管理技术,才能实现生产计划协调与优化,通过与 ERP 系统、PDM 系统、CAPP 系统等协同,缩短生产制造周期和采购提前期,降低库存资金占用,确保准时交货,快速响应客户的需求。因此,发展以制造执行管理系统(Manufacturing Execution System, MES)为代表的先进制造管理技术,已成为贯彻落实“以信息化带动工业化”国家战略的关键,对解决我国制造业材料消耗和能源消耗高,人均劳动生产率和设备生产率低,产品质量不稳定等问题具有非常重要的意义。

1.1.2 制造企业发展对制造执行管理系统的需求

回顾制造业信息化技术的发展历史,MRP、ERP、PDM 等应用系统陆续进入市场,这些软件在经营管理、产品设计管理等方面发挥了重大作用。随着 MRP、ERP 等工具的逐步推广和深入应用,以及世界经济环境的不断发展变化,制造企业对生产过程提出

了更多新的要求。比如降低批量的规模以及对生产过程进行有效地实时干预。但由于 MRP、ERP 主要提供计划制定和经营管理功能,并不能有效地对作业现场进行控制和管理,往往使计划得不到有力执行,于是在企业的计划管理、设备控制之间出现了一个断层,这个断层不仅作为业务和车间级控制系统之间的接口层,还要处理大量的企业性关键业务,这就是 MES 产生的背景。MES 与 ERP 的协作与集成关系如图 1-1 所示。

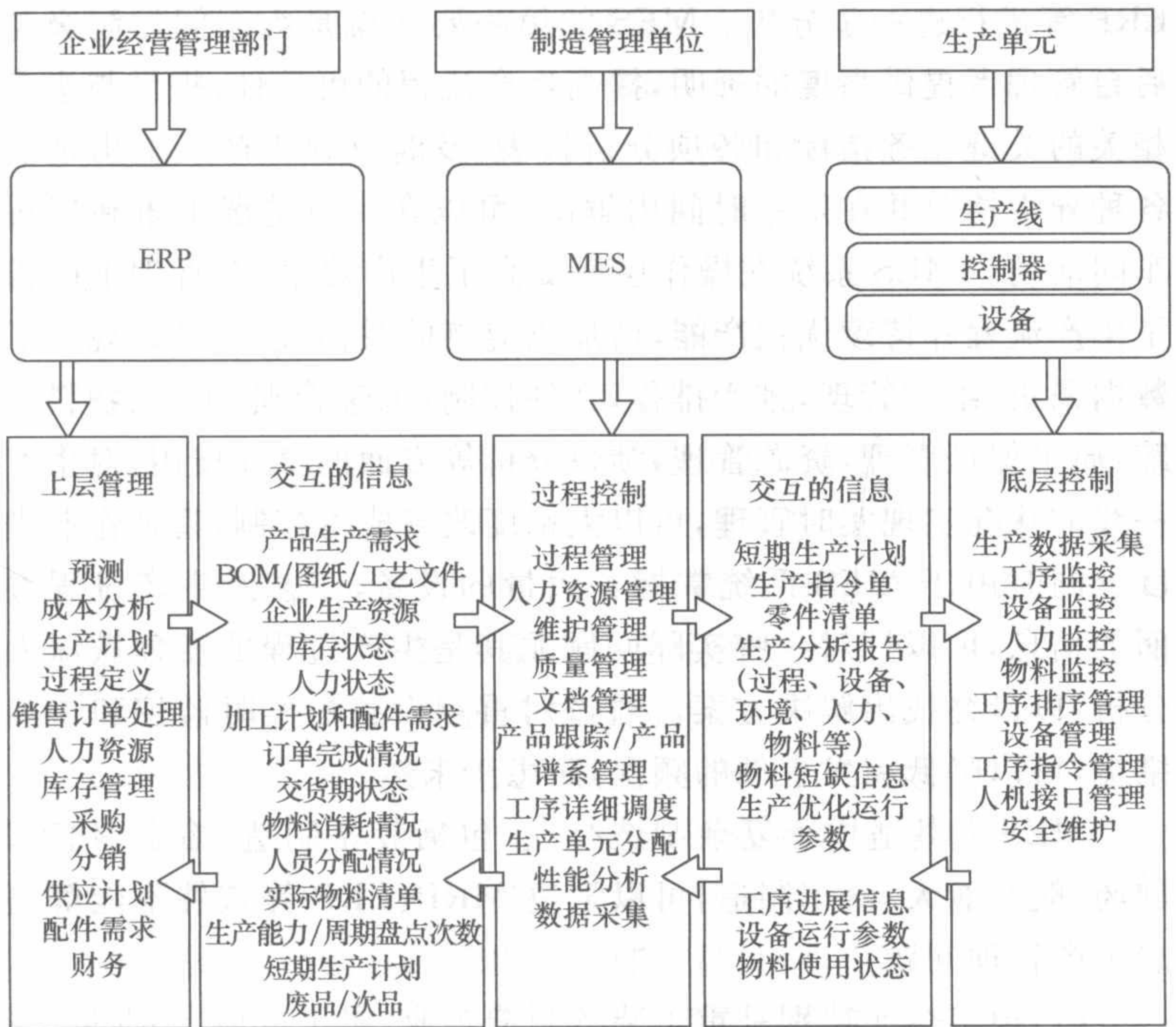


图 1-1 制造执行管理系统定位与作用

一个典型的 MES 环境可以概括为产品定义、生产能力、生产进度和生产绩效,它包括控制级与企业管理级系统之间的各项基

本业务流程,而不是把这两个系统的软件简单地集成。MES更多的是对整个制造过程的功能集成和优化以及对供应链中与制造相关的各方面的协同。MES的作用可以简单概括为三个层次:第一,它决定生产什么、何时生产,也就是说它使公司保证按照订单规定日期交付准确的产品;第二,它决定谁通过什么方式(流程)生产,即通过优化异地资源,最有效地运用资源;第三,它提供在什么时间已生产什么以及其他生产一线信息,以帮助后台管理系统ERP等进行进一步分析。MES的第一要义就是为车间控制级与后台管理者提供高度的透明,提高生产流程的可见性,提供与生产相关的关键业务指标和各项分析报表,及时反映生产线上出现的各种异常情况并在第一时间内解决,可以在应急情况下重新安排车间活动。MES系统在操作层面提高了生产效率,在管理上改善了生产流程并持续优化产能,增加供应链的灵活度。MES规定了数据采集,维护管理,排产排程,文件控制,工时管理,生产、物料跟踪,质量保证管理,资源管理,绩效分析等方面的交互作用,对生产一线的状况实现实时管理,可以大幅度改善成本控制,管理作业进度。同时由于MES系统掌握了大量的设备、工艺及生产过程方面的信息,可以针对一些实际问题尤其是生产过程的瓶颈做深入分析,以最终找出解决方案。通过对重点设备的实时监控和重点维护,可以降低突发事件的频次,防患于未然。

MES尤其适用于复杂制造行业,包括装备制造、冶金、化工、制药、航空航天、汽车制造,可以解决MRP、ERP等软件不能解决的生产管理问题:

(1)很多企业特别是重工装备制造企业,属于单件、小批量、多品种的生产状态,决定了制造现场随时充斥着众多不同的制造指令,不同的在制品、零部件以及制造过程,这就要求生产单位必须具备高效的调度以及混合生产计划排产能力,柔性而有效地应付不同产品生产所需。但是目前ERP、MRPII软件很难延伸到车