

基于生产执行系统的实例研究

张雄 田伊霖 李琳 赵旭升

四川文理学院, 四川达州, 635000;

摘要: 在全球制造业向数字化、智能化转型的背景下, 为提升生产系统的运行效率, 本研究聚焦典型工业生产系统, 以实际工业数据为例, 依托MES构建数据采集机制。采用定量分析法, 综合运用描述性统计与皮尔逊相关性分析, 对生产效率、设备利用率及故障率等核心指标进行建模与可视化分析。结果表明: 设备利用率与生产效率显著正相关, 而故障率与非计划停机则显著负相关。研究证实, 构建集数据采集、监控与决策于一体的智能管理系统, 能有效提升效率, 为数据驱动的精益生产提供了理论与实践参考。

关键词: 生产效率; 生产执行系统; 描述性统计; 工业数据分析

DOI: 10.69979/3029-2700.26.04.036

引言

在制造业向智能化转型及国家政策大力支持的背景下, 针对传统生产管理依赖人工、数据分析缺失导致效率低下的问题, 本研究聚焦工业生产系统运行数据, 旨在通过数据分析方法优化生产管理, 提升企业智能化水平。

针对上述问题, 生产执行系统(MES)作为连接计划层与控制层的信息化核心, 成为实现生产过程数字化管控与数据驱动决策的关键。通过MES实时采集设备运行、生产进度和质量等数据, 为基于数据的分析与优化奠定了基础。目前, 学术界围绕MES的应用已从不同行业和维度开展了广泛研究。其中^[1]提出基于生产执行系统(MES)的“一键智控”生产方式及数据模型, 通过将生产流程细粒度解构并重构, 实现了从订单到设备的纵向数据贯通;^[2]提出了基于精益生产理论的钢箱梁制造MES系统。该系统通过集成PLM、ERP等平台, 实现了从原材料到成品入库的全流程实时数据采集与管控;^[3]针对航空加工车间“多品种、小批量”的复杂性, 提出了一套基于MES的精细化生产管理方法体系。^[4]针对电子装备制造业离散生产、管理复杂的特点, 提出了一套基于多层架构的MES系统。这些研究为MES的系统架构设计与功能实现提供了理论参考。

通过对生产系统运行数据的整理与统计, 分析设备运行状态、设备利用率、故障率、停机时间等因素与生产效率之间的关系, 找出影响生产效率的关键变量。在数据分析的基础上, 判断不同因素对生产效率的影响方向和影响程度, 为后续生产调度优化和设备管理改进提供依据。

1 生产执行系统研究过程

1.1 相关概念界定

在工业生产中, 生产效率是衡量系统运行与资源利用的核心指标。其水平主要受设备利用率、设备故障率、故障停机时间及生产周期影响。设备利用率反映实际运行时间占比, 高值代表生产稳定高效; 设备故障率指单位时间内故障概率, 过高会导致频繁维修与计划中断; 故障停机时间是故障后修复所需时长, 可借助智能监控缩短以维持效率; 生产周期是完成单任务的总时长, 过长会降低产出与整体效率。这些指标相互关联、彼此制约, 共同刻画生产系统的运行状态。

1.2 核心因素之间的关联性

在工业生产过程中, 生产效率受到多种因素的影响。通过对设备利用率、设备故障率、故障停机时间以及生产周期这些关键指标进行实时采集和分析, 可以更准确地评估生产系统的运行状态, 并及时发现潜在问题。为了研究上述因素对生产效率的具体影响, 本实验建立了生产效率模型, 将生产效率表示为多个变量的函数关系:

生产效率=f(设备利用率, 设备故障率, 停机时间, 生产周期)

为进一步说明变量之间的关系, 展示如表1中部分生产数据样本。表明设备故障率与生产效率之间存在显著的负相关关系。具体表现为: 当设备故障率攀升至8.75%时, 生产效率回落至80.7; 而当故障引发的停机时间延长至13.2小时, 生产效率进一步下滑至76.5%。说明设备故障及停机是效率下降的关键。

表3 设备故障率、停机时间与生产效率关系数据表

序号	设备故障率 (%)	停机时间 (小时)	设备平均利用率 (%)	生产效率 (%)
1	8.75	7.6	65.2	80.7
2	8.09	9.3	74.7	77.9
3	7.96	13.2	73.1	76.5
4	7.03	7.1	72.0	77.1
5	6.89	8.8	71.6	79.2
6	5.40	7.5	75.8	82.4
7	4.85	6.2	79.3	85.1
8	3.42	4.6	87.3	91.4
9	2.35	3.1	89.3	93.3
10	1.43	5.4	85.5	94.0

1.3 研究过程

本研究采用数据驱动的方案,包含数据采集、预处理、分析、建模与结果分析五个阶段。通过对数据进行预处理,再运用统计分析探究变量相关性,并基于回归或机器学习算法构建生产效率预测模型辅助决策,最后通过数据可视化,直观展示系统运行态势。

1.3.1 数据采集及处理过程

采用数据驱动的研究方案,通过工业信息系统采集设备关键运行指标;对数据进行预处理,包括缺失值填补和异常值修正。

表4 各设备平均利用率统计表

序号	设备编号	平均利用率 (%)
1	设备 1	74.5
2	设备 2	72.3
3	设备 3	73.8
4	设备 4	75.1
5	设备 5	71.6
6	设备 6	76.4
7	设备 7	77.2
8	设备 8	74.9
9	设备 9	75.6
10	设备 10	73.4

如表2所示,不同设备利用率存在明显差异,例如设备7(77.2%)与设备5(71.6%),这或与生产任务分配及设备运行效率有关。数据分析进一步表明,设备利用率高、故障率低、停机时间短时,生产效率普遍较高;反之则效率显著下降。因此,系统记录与分析生产数据对掌握系统状态、支持后续优化具有重要意义。

1.3.2 基于生产执行系统的模型建立

通过对各设备利用率进行平均计算,可以得到生产系统的整体设备平均利用率,为反映生产系统资源利用

情况。引入设备平均利用率计算公式:

$$U = \frac{T_{run}}{T_{total}} \times 100\%$$

其中, T_{run} 代表在特定统计周期内,设备实际处于有效生产状态的累计时间,该数据由MES系统通过传感器实时采集。 T_{total} 则为同一周期内设备的计划总可用时间,即理论上的最大工作时间。

设备故障率可量化生产设备的运行可靠性与稳定性,其计算公式如下:

$$F = \frac{N_{fault}}{N_{total}} \times 100\%$$

其中, N_{fault} 在统计周期内,设备发生的、导致非计划停机的故障总次数,该数值通过系统自动记录与人工校验相结合的方式获得。 N_{total} 代表该周期内设备的总运行次数或总运行周期数,作为评估的基准。

该系统中存在设备利用率、设备故障率、生产效率等多个核心因素,为揭示生产效率(E)与关键运行指标之间的内在关联,建立生产效率模型

$$E = a + B_1U - B_2F - B_3D$$

该模型将生产效率作为因变量,而将设备平均利用率(U)、设备故障率(F)和平均停机时间(D)作为核心自变量。系数a为常数项, B_1 、 B_2 、 B_3 则分别作为各自变量的回归系数,代表各因素对生产效率影响的权重和方向。

1.3.3 生产效率与各变量之间的相关性分析

通过分析生产效率与设备利用率、设备故障率以及停机时间之间的关系,找出影响生产效率的主要因素。对主要变量进行了区间统计分析,结果发现生产效率与设备运行状态之间存在明显的关系。此外,为了进一步分析设备利用率对生产效率的影响,对不同设备利用率水平的数据进行了统计,结果表明设备利用率与生产效

率之间存在明显的正相关关系。

1.4 结果分析

1.4.1 设备利用率对生产效率影响明显

通过对实验数据的分析发现，设备利用率与生产效率呈显著正相关。当设备平均利用率为 65% 时，生产效率仅为 70%；当利用率进一步提升至 86% 时，生产效率可达 91%。图 1 的走势也直观表明，设备利用率的提升能持续带动生产效率增长。

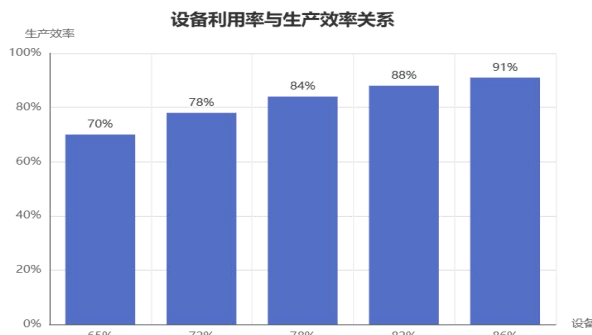


图 1 设备利用率与生产效率关系图

1.4.2 设备故障率对生产效率的影响

通过对实验数据进行分析发现，当设备故障率较高时，生产效率明显下降。当设备故障率达到 8.7% 时，生产效率仅为 76%。而当设备故障率降低至 2.3% 时，生产效率可以达到 93%。从图 2 可以看出，当设备故障率下降时，生产系统运行更加稳定，从而提高生产效率。

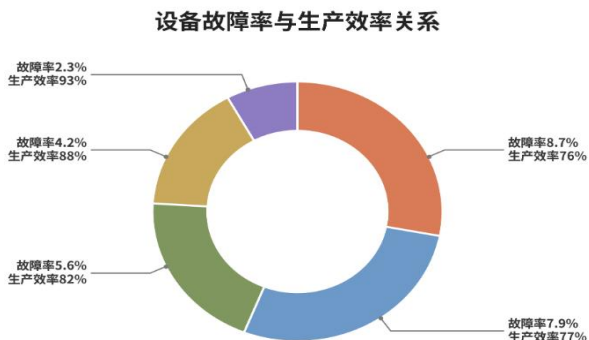


图 2 设备故障率与生产效率关系图

1.4.3 停机时间对生产效率的影响

停机时间是影响生产效率的重要因素之一。通过对实验数据进行分析发现，当停机时间较长时，生产效率明显下降。例如，当停机时间达到 13.2 小时时，生产效率仅为 76%；当停机时间为 9.3 小时时，生产效率为 77%；而当停机时间减少至 3.1 小时时，生产效率可以达到 93%。

2 结语

本研究通过深入分析工业数据，系统探讨了设备运行状态与生产效率之间的关系，验证了智能化生产管理系统的核心作用。研究表明，生产系统效能主要由设备利用率、故障率和停机时间三个维度决定。具体而言，设备利用率与生产效率之间呈现显著的正相关性。通过科学排产与优化调度减少设备空闲，能有效提升产出水平。相反，设备故障率与停机时间则与生产效率呈明显的负相关。高频故障与长时停机严重阻碍生产流程，因此，引入预测性维护与强化设备管理是保障系统稳定性的关键手段。

此外，智能化生产管理系统的引入起到了决定性作用。相较于传统模式，该系统具备实时数据采集与分析能力，实现了对生产状态的透明化监控。它不仅能及时发现利用率低下等瓶颈问题，还能通过异常预警机制提前规避故障风险。即依托智能化管理系统对设备运行数据进行深度挖掘与实时调控，是实现生产效率最大化与系统运行最优化的有效途径。

参考文献

[1] 叶显冬, 高飞. MES 一键智控数据模型研究[J]. 计算机应用与软件, 2026, 43 (02): 127-133+153

[2] 谷林, 张旭. 基于精益生产理论的钢箱梁制造 MES 系统[J]. 城市道桥与防洪, 2025, (11): 270-273.

[3] 朴健. 基于 MES 的航空机械加工车间生产管理体系研究[J]. 中国机械, 2025, (32): 16-19.

[4] 蔡萍, 赵文忠, 黄建国, 等. 基于 MES 的电子装备企业生产制造执行系统的设计[J]. 智能制造, 2025, (05): 63-69.

作者简介：张雄（2004-），男，汉族，四川达州人，四川文理学院 2023 级数学与应用数学专业本科在读；田伊霖（2006-），女，汉族，四川阆中人，四川文理学院 2024 级数学与应用数学专业本科在读；李琳（2004-），女，汉族，河南邓州人，四川文理学院 2023 级应用统计学专业本科在读；赵旭升（2004-），男，汉族，四川巴中人，四川文理学院 2023 级数学与应用数学专业本科在读。

课题项目：本文为四川文理学院大学生创新创业训练计划项目省级创新课题“‘数智’增产——工业生产智能化”（编号：S202510644050）。