

基于事件驱动的柔性作业车间订单扰动重调度机制研究

姜一笑

山东科技大学 266590

DOI:10.32629/ems.v8i5.20214

[摘要] 柔性作业车间作为现代制造业实现多品种、小批量生产的核心载体,其生产调度的稳定性与高效性直接决定企业生产效益与市场竞争力。在实际生产过程中,订单扰动(如订单插入、订单变更、订单取消等)频繁发生,极易打破原有调度方案的平衡,导致生产混乱、交货期延误、生产成本增加等问题。事件驱动机制能够精准捕捉生产过程中的订单扰动事件,触发动态重调度,为解决柔性作业车间订单扰动问题提供了有效思路。本文基于柔性作业车间生产特点与订单扰动类型,系统分析订单扰动对生产调度的影响,构建基于事件驱动的柔性作业车间订单扰动重调度机制,明确事件识别、扰动评估、重调度决策、方案执行与反馈的全流程逻辑,提出针对性的重调度策略与优化方法,旨在提升柔性作业车间应对订单扰动的能力,保障生产调度的稳定性与高效性,为现代制造业柔性生产调度优化提供理论与实践参考。

[关键词] 事件驱动; 柔性作业车间; 订单扰动; 重调度机制; 生产调度优化

引言

随着制造业向智能化、柔性化转型,多品种、小批量、个性化生产成为主流,柔性作业车间凭借多方面柔性优势,已广泛应用于多个制造领域。其核心优势是快速适配生产任务变化,但实际生产中,受市场需求、客户需求、供应链等因素影响,订单扰动频繁,给生产调度带来挑战。传统静态调度方案无法应对动态生产环境,易引发工序混乱、交货延误等问题,影响企业效益与口碑。事件驱动机制通过实时监测扰动事件、触发处理流程,可快速响应动态变化,将其应用于柔性作业车间订单扰动重调度,能有效缓解扰动冲击。目前国内外相关研究多聚焦单一扰动或静态策略,缺乏完善的事件驱动重调度机制,难以适配复杂生产场景。因此,研究基于事件驱动的订单扰动重调度机制,构建全流程重调度体系,对提升车间动态调度能力、增强企业竞争力具有重要理论与实践意义。

一、相关理论基础

(一) 柔性作业车间

柔性作业车间由传统作业车间发展而来,核心是“柔性化”,体现在设备、工艺、流程三方面:设备可完成多种加工任务,工艺可灵活选择加工路径,流程可根据订单变化快速调整,适配多品种、小批量生产。其调度更复杂,需兼顾设备分配、工序排序等因素,对动态扰动响应要求更高。

(二) 订单扰动

订单扰动是生产调度执行中,因不确定因素导致订单信息或生产任务变化、影响调度正常执行的事件,主要分为四类:订单插入、订单变更、订单取消、订单延迟。其具有随机性、突发性、影响性特征,不同类型扰动对调度的影响范

围和程度差异显著。

(三) 事件驱动机制

事件驱动机制是以事件为核心的动态响应模式,核心逻辑为“事件触发-事件评估-事件处理-反馈优化”。在柔性作业车间调度中,核心要素包括事件源(订单扰动的不确定因素)、事件监测、事件评估、事件处理与反馈优化,形成闭环管理,实现对扰动的有效响应。

结合柔性作业车间生产特点、订单扰动类型及事件驱动核心逻辑,构建涵盖事件识别与监测、扰动评估与触发、重调度决策与优化、方案执行与反馈四大核心环节的重调度机制,形成“监测-评估-决策-执行-反馈”闭环管理体系,实现对各类订单扰动的快速精准应对。

二、柔性作业车间订单扰动的影响分析

订单扰动的发生会打破柔性作业车间原有生产调度方案的平衡,对生产过程的多个环节产生不利影响,具体主要体现在以下四个方面:

(一) 生产进度紊乱

原有调度方案是基于初始订单信息制定的,明确了各工件的加工工序、加工设备、加工时间及交货期。当发生订单插入、订单变更等扰动事件时,原有生产进度会被打乱,导致部分工件的加工顺序、加工时间发生变化,进而引发连锁反应,出现工序衔接不畅、生产停滞等问题,严重时会导致多个订单交货期延误。例如,紧急订单的插入会占用现有设备资源,导致原有订单的加工时间被压缩,若无法及时调整生产计划,极易造成原有订单交货期延误。

(二) 设备负荷失衡

柔性作业车间的设备资源是有限的,原有调度方案已对

设备负荷进行了优化分配, 确保各设备负荷均衡。订单扰动会发生导致设备负荷分配失衡, 部分设备因承担新增订单或变更订单的加工任务, 出现负荷过载的情况, 导致设备磨损加剧、故障概率增加; 而部分设备则因订单取消等扰动, 出现负荷不足的情况, 造成设备资源浪费。设备负荷失衡不仅会影响生产效率, 还会缩短设备使用寿命, 增加生产成本。

(三) 生产成本增加

订单扰动会直接导致生产成本上升, 主要体现在三个方面: 一是设备调整成本, 订单变更或插入会导致设备需要重新调整加工参数、更换工装夹具, 增加设备调整时间与成本; 二是人工成本, 生产进度紊乱需要安排工作人员加班加点, 或调整人员分工, 导致人工成本增加; 三是库存成本, 订单取消或延迟会导致原材料、半成品库存积压, 增加库存存储成本与资金占用成本, 若积压时间过长, 还可能出现原材料变质、半成品报废等情况, 进一步增加生产成本。

(四) 生产质量波动

柔性作业车间的生产质量与生产调度的稳定性密切相关。订单扰动导致生产进度紊乱、设备负荷失衡后, 工作人员可能会为了赶进度而忽视加工质量, 设备长期处于过载状态也会导致加工精度下降, 进而引发产品质量波动, 出现不合格产品, 增加返工、返修成本, 影响企业的产品口碑与市场竞争力。

三、基于事件驱动的柔性作业车间订单扰动重调度机制构建

结合柔性作业车间生产特点、订单扰动类型及事件驱动机制的核心逻辑, 构建基于事件驱动的柔性作业车间订单扰动重调度机制, 该机制涵盖事件识别与监测、扰动评估与触发、重调度决策与优化、方案执行与反馈四个核心环节, 形成“监测-评估-决策-执行-反馈”的闭环管理体系, 确保能够快速、精准应对各类订单扰动事件。

(一) 事件识别与监测环节

该环节是重调度机制的基础, 核心是实时捕捉订单扰动事件并提供数据支撑。明确订单插入、变更、取消、延迟四类核心识别对象, 兼顾设备故障、原材料短缺等关联扰动; 依托物联网、传感器等技术, 构建多源数据监测体系, 实时采集订单、设备、加工进度等数据, 经清洗分析后, 精准识别扰动的发生时间、类型及影响范围。采用“阈值监测+异常识别”双重模式提升准确性, 预设扰动阈值触发预警, 结合机器学习识别数据异常, 实现提前预警与精准识别。

(二) 扰动评估与触发环节

扰动评估与触发是重调度机制的核心环节, 主要任务是

对识别到的订单扰动事件进行量化评估, 判断是否需要触发重调度, 并确定重调度的优先级。该环节的核心是构建科学的扰动评估指标体系, 从影响范围、影响程度、紧急程度三个维度设定评估指标:

1. 影响范围指标: 主要包括受扰动影响的订单数量、工件数量、加工工序数量、设备数量等, 用于衡量订单扰动对生产过程的影响广度;

2. 影响程度指标: 主要包括交货期延误时长、设备负荷偏差率、生产成本增加额度、生产质量波动幅度等, 用于衡量订单扰动对生产效益的影响深度;

3. 紧急程度指标: 主要包括订单的优先级、交货期紧迫性、客户需求重要性等, 用于衡量订单扰动需要处理的紧急程度。

采用层次分析法(AHP)对各评估指标进行权重分配, 结合模糊综合评价法对订单扰动的综合影响进行量化评分, 根据评分结果设定重调度触发阈值: 当综合评分低于阈值时, 表明扰动影响较小, 无需触发重调度, 可通过微调原有调度方案即可应对; 当综合评分达到或超过阈值时, 表明扰动影响较大, 需立即触发重调度, 启动重调度决策流程。同时, 根据综合评分的高低, 确定重调度的优先级, 优先处理影响范围广、影响程度深、紧急程度高的订单扰动事件。

(三) 重调度决策与优化环节

重调度决策与优化是重调度机制的关键环节, 核心是根据扰动评估结果, 制定科学合理重调度方案, 并对方案进行优化, 确保重调度方案的可行性与高效性。结合柔性作业车间的柔性特征与订单扰动类型, 采用“分层决策+多目标优化”的思路, 制定针对性的重调度决策策略:

1. 分层决策策略: 根据订单扰动的类型与优先级, 将重调度决策分为三个层次: 一是紧急重调度, 针对紧急订单插入、重要订单变更等优先级高的扰动事件, 立即暂停原有调度方案的执行, 优先制定新的重调度方案, 确保紧急订单能够按时交付; 二是常规重调度, 针对普通订单变更、轻微订单延迟等优先级中等的扰动事件, 在不影响核心订单交付的前提下, 对原有调度方案进行局部调整, 平衡各订单的生产进度; 三是动态微调, 针对订单取消、轻微负荷波动等优先级低的扰动事件, 无需制定全新的重调度方案, 仅对原有调度方案的细节进行微调, 确保生产过程的连续性。

2. 多目标优化方法: 重调度方案的优化需兼顾多个目标, 包括最小化交货期延误、最小化设备负荷偏差、最小化生产成本、最大化生产效率等, 构建多目标优化模型。采用遗传算法对优化模型进行求解, 通过编码、交叉、变异等操

作,寻找最优的重调度方案,实现各目标的协同优化。在优化过程中,结合柔性作业车间的设备柔性 with 工艺柔性,灵活选择加工设备与加工路径,确保重调度方案的可行性与灵活性。

(四) 方案执行与反馈环节

该环节实现闭环管理,核心是落实方案并优化完善。将重调度方案分解为具体生产任务,明确工序、设备、人员等,通过生产管理系统下达执行;实时采集生产进度、设备状态等数据,量化评价执行效果,对比目标与实际结果分析差距。针对设备负荷失衡、交货期延误等问题及时调整方案,同时将反馈结果融入前序各环节,持续完善重调度机制,提升方案适应性。

四、重调度机制的实施保障措施

为确保基于事件驱动的柔性作业车间订单扰动重调度机制能够有效落地实施,需从技术、管理、人才三个维度构建实施保障措施:

(一) 技术保障

搭建智能化生产调度平台,整合物联网、大数据、人工智能、云计算等先进技术,实现生产数据的实时采集、分析与共享,为事件识别、扰动评估、重调度决策提供技术支撑;引入先进的调度优化算法,如遗传算法、粒子群算法等,提升重调度方案的优化效率与质量;加强生产设备的智能化改造,提升设备的柔性 with 可操作性,确保重调度方案能够顺利执行;建立数据安全保障体系,加强生产数据的加密、备份与防护,防止数据泄露与丢失,保障重调度机制的稳定运行。

(二) 管理保障

建立健全柔性作业车间生产管理制度,明确各部门、各岗位的职责分工,确保重调度机制的各环节能够有序推进;制定订单扰动应急处理预案,针对不同类型的订单扰动事件,明确应急处理流程与责任主体,提升应对突发扰动的能力;建立重调度方案执行监督机制,加强对重调度方案执行过程的监督与检查,及时发现并解决执行过程中出现的问题;完善绩效考核机制,将重调度方案的执行效果纳入工作人员的绩效考核,激发工作人员的工作积极性与责任心。

(三) 人才保障

培养一支具备生产调度、信息技术、数据分析等综合能力的复合型人才队伍,加强对工作人员的专业培训,提升其对订单扰动的识别能力、评估能力与重调度决策能力;引进先进的管理人才与技术人才,借鉴国内外先进的重调度管理经验与技术,推动重调度机制的不断完善;建立人才激励机制,

鼓励工作人员开展技术创新与管理创新,为重调度机制的优化提供人才支撑。

五、结论与展望

(一) 结论

订单扰动是柔性作业车间生产过程中不可避免的问题,严重影响生产调度的稳定性与高效性。基于事件驱动机制构建柔性作业车间订单扰动重调度机制,通过事件识别与监测、扰动评估与触发、重调度决策与优化、方案执行与反馈四个核心环节,实现对各类订单扰动事件的快速、精准响应。该机制能够有效缓解订单扰动对生产进度、设备负荷、生产成本、生产质量的不利影响,提升柔性作业车间的动态调度能力与市场竞争力。同时,通过技术、管理、人才三个维度的保障措施,能够确保重调度机制的有效落地实施,为现代制造业柔性生产调度优化提供了可行的解决方案。

(二) 展望

随着制造业向智能化、数字化深度转型,柔性作业车间的生产环境将更加复杂,订单扰动的类型与频率也将不断增加,基于事件驱动的重调度机制仍有进一步优化的空间。未来的研究可从三个方面展开:一是结合工业 4.0、数字孪生等先进技术,构建数字孪生柔性作业车间模型,实现订单扰动的虚拟仿真与重调度方案的虚拟验证,提升重调度方案的准确性与可行性;二是优化重调度优化算法,结合深度学习、强化学习等人工智能技术,提升重调度方案的优化效率与自适应能力,实现重调度决策的智能化;三是拓展重调度机制的应用场景,将其应用于多车间协同生产、供应链协同调度等复杂场景,提升整个生产系统的动态响应能力,推动制造业实现高质量发展。

[参考文献]

- [1]黄颖华.事件驱动下柔性作业动态调度优化方法[J].信息技术与信息化,2023(2):46-51.
- [2]尤一琛,王艳,纪志成.基于随机机器故障的柔性作业车间动态调度[J].江苏大学学报(自然科学版),2021,42(6):648-654,714.
- [3]张淞皓,易传龙,张守京.基于改进遗传算法的柔性作业车间动态调度[J].轻工机械,2025,43(5):96-104.
- [4]刘玥.基于机器故障的柔性作业车间动态调度研究[J].自动化应用,2025,66(17):243-246,250.
- [5]王少参,唐宇,翟书磊.考虑扰动的柔性作业车间多目标动态调度研究[J].淮阴工学院学报,2023,32(3):42-50.