

某柔性作业车间集成调度决策方案设计

蒋美玲 杨佩 刘巍巍

沈阳工业大学机械工程学院 辽宁 沈阳 110870

【摘要】：随着我国制造业向高质量发展阶段持续推进，传统调度模式在协调加工与运输环节、优化系统整体效能方面的局限性日益凸显。考虑运输资源约束的集成调度方案，可通过协同加工与运输环节数据信息、优化资源配置，实现生产系统全局优化。本文以A公司柔性作业车间为研究对象，针对AGV利用率偏低、加工与运输调度脱节的核心问题，构建“加工-运输-资源匹配”一体化集成调度方案。该方案可实现加工任务与运输资源动态适配，有效解决车间调度的瓶颈问题，为柔性作业车间协同调度提供理论与方法支撑，助力企业提升生产效能，为制造业高质量转型提供实践参考。

【关键词】：柔性作业车间；集成调度；决策方案；运输资源；动态适配

DOI:10.12417/3083-5526.25.06.007

引言

当今传统“先加工、后配送”的分离调度模式难以适应多品种、小批量生产的动态性与时效性要求，因此，集成式生产-物流协同调度体系对提升生产系统的整体效能起到了重要作用。自动导引车（Automated Guided Vehicle, AGV）作为车间物流系统的主要设备，其调度效率影响着生产节拍的稳定性以及运输资源安排的合理性，考虑AGV运输资源的柔性作业车间的协同调度方案可以有效地解决设备负荷不均衡以及物流资源闲置等问题，即能够使加工和输送两环节调度进行统一决策，又能够保证订单按时交付，从而降低经营成本，增强企业对市场的反应速度。

近年来，加工与AGV运输的集成调度研究成为柔性制造领域的热点问题。马千慧等构建了多AGV与机器协同的多目标调度模型，并提出改进的NSGA-II算法进行求解，为多目标优化提供了方法参考^[1]。方遒等人在此基础上又加入了工人资源，创建起包含工件、机器、AGV和工人的四要素调度模型，进一步拓展了整合调度所涵盖的资源范围^[2]。廖雪超等针对AGV数量有限的实际约束，提出了基于启发式规则引导的改进遗传算法，提升了算法在复杂调度场景中的求解能力^[3]。现有研究在算法设计与模型优化方面，多聚焦于理论方法的创新与特定资源的协同研究，而针对企业实际生产场景的技术适配性与落地性展开的一体化调度方案研究，仍具备较大的拓展空间，是集成调度相关研究的重要探索方向。

本文以A公司柔性作业车间为研究对象，针对“加工-运输-资源”协同调度实际需求，构建涵盖“数据输入—模型构建—算法求解—实施验证”的全流程决策框架，结合企业实际生产数据开展实证分析，验证方案有效性与可行性，为同类制造场景集成调度的工程化应用提供支撑。

1 A公司柔性作业车间生产概述

A公司轴类柔性作业车间为该企业的核心生产单元，主要负责加工标准阶梯轴，复杂多台阶轴，细长轴，空心轴以及短轴这五类主要零部件。该公司采用订单式生产模式，具生产统计数据显示，车间平均每周接收的订单涵盖来自五大类轴类产品的5-8个不同规格型号，每个规格的批量约1-8件，周订单总量约60-70件。

轴类车间拥有数控车、铣、磨、钻等16台数控加工设备，包含从粗加工到精加工的全部流程能力，可完成主轴类零部件加工任务。另外，为提升物流自动化水平，车间还配备了7台AGV及AGV物流系统，负责将工件运送至加工设备、原料库以及成品库，从而构建出生产与物流协同调度所需的硬件环境。

由于不同产品的工艺路径呈现显著差异性，本文选取其中具有代表性的标准阶梯轴（编号104301-10）进行分析，该工件为带键槽的3-4阶结构，精度IT7，批量为6件，工艺流程共10道工序，具体加工流程见图1。

作者简介：

蒋美玲(2001-)，女，硕士研究生，研究方向：车间智能调度。

杨佩(2000-)，女，硕士研究生，研究方向：车间调度。

刘巍巍(1973-)，女，教授，博士生导师，研究方向：企业资源优化。

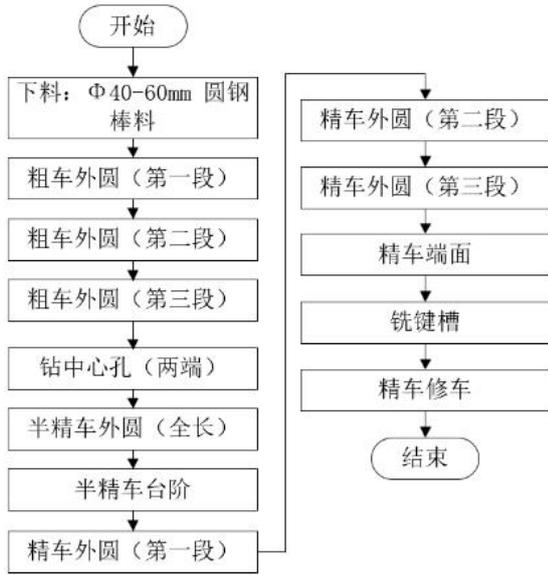


图1 标准阶梯轴加工流程图

2 车间调度问题分析

本文从 AGV 利用率和调度集成度两个方面，对 A 公司车间调度运行中存在的主要问题进行分析，分析结果如下：

(1) AGV 利用率较低。根据实际生产数据，工件在工序间的空载转运及等待时间平均占总生产周期的 70%以上，部分工件在粗车工序完成后需等待 30 分钟以上才能转运至精车工位。现场调度中存在 AGV 分布不均的情况，如多台 AGV 集中于局部区域作业，而车间其他区域因无可用 AGV 导致工件滞留；此外，AGV 将工件送达目标设备时，偶遇设备处于占用状态，造成卸载延迟及运输资源浪费。

(2) 加工与运输调度协同性不足。车间各信息系统融合度低，设备管理、AGV 调度与生产运营系统间存在数据孤岛现象，调度决策依赖人工跨系统协调；约 25% 的调度决策因信息缺失具有盲目性，无法预判设备状态、AGV 实时位置，易引发资源冲突、延长等待时间，导致车间调度缺乏全局协同优化能力。

3 集成调度决策方案设计

本文依据 AGV 与柔性作业车间集成调度的实际需求，以系统优化为出发点，构建包含“加工决策-运输调度-资源匹配”的解决方案，具体内容如下。

3.1 核心要素的确定

针对 A 公司车间的实际情况，为实现加工与运输环节的有效协同，本文构建的集成调度方案主要围绕以下三个核心要素展开。

(1) 加工决策

指车间生产加工环节中的核心决策行为，主要包括工序分

配、机器选择和工序排序等内容。其核心目标是合理配置加工资源，并确保各工序之间顺利衔接。

(2) 运输调度

特指 AGV 运输环节的调度决策，涵盖 AGV 任务分配、路径规划以及运输时序的协调等方面。其目标在于提高 AGV 利用率，保障物料运输流程的连续性与效率。

(3) 资源匹配

作为加工与运输集成优化的核心环节，指通过动态协调加工任务与运输任务之间的时空关系，实现加工设备与 AGV 的运输能力、路径及时序的有效搭配。其目标是减少加工与运输之间的流程中断和冲突，促进机器与 AGV 等资源的整体优化与协同运作^[4]。

3.2 决策方案的设计

本文设计了考虑运输资源的集成调度决策框架见图 2。

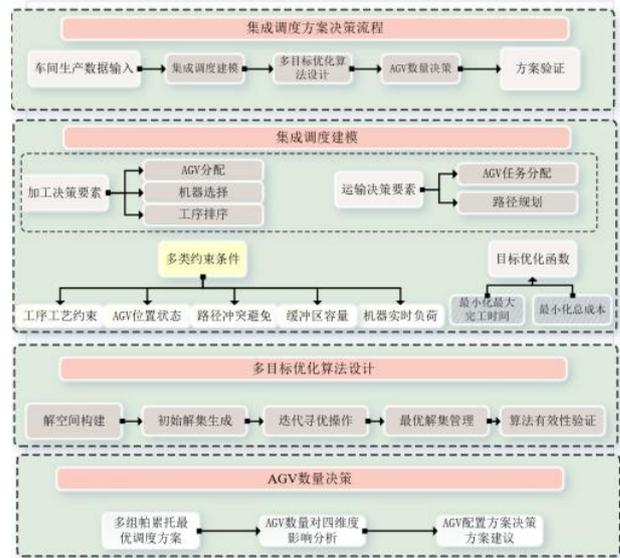


图2 集成调度决策框架图

首先，构建加工-运输集成决策体系。将工序分配、机器选择、工序排序等加工决策要素，与 AGV 任务分配、路径规划等运输决策要素归到统一的优化维度，实现加工与运输决策的同步化；决策初始阶段需纳入工序工艺约束、AGV 位置状态、路径冲突避免、缓冲区容量、机器实时负荷等多类约束条件。

其次，设计多目标集成优化方法。针对经验决策存在的全局优化能力不足、效率与成本目标冲突等问题，采用量化系统优化方法重构集成调度逻辑；本研究聚焦调度初始阶段工件订单、工艺路线、加工时间及资源约束均明确的静态场景，构建 AGV 系统与加工系统的集成调度模型。

在具体操作环节，机器选择采用多属性决策模型，综合考虑机器当前的负荷率，后续工序的空间分布情况，单位时间的加工成本以及 AGV 的运输成本等指标，合理分配加工任务，

防止设备出现过载或者长时间闲置状况，同时缩短 AGV 的运输路径和空载行程。工序排序则基于柔性作业车间的工艺约束，构建以最小化最大完工时间、降低总成本为核心的双目标优化函数，严格遵循工序先后逻辑，通过优化加工时序实现加工程序与 AGV 运输的协同衔接，减少工序及 AGV 的无效等待时间，以此在静态环境下达成“时间-成本”的全局最优平衡。

最后，按照“数据输入-模型构建-算法求解-方案决策-方案验证”的逻辑路线，形成集成调度方案决策流程。

3.3 实施步骤

为保障所提决策方案能够有效实施，本文设计了对应的调度方案的全流程实施框架，可为该方案在实际车间调度场景中的落地应用提供系统性支撑。

步骤 1：车间生产数据输入。依靠多系统数据互通机制，收集涵盖订单信息，工艺数据，资源状态数据以及车间环境数据等各类基本生产信息，然后依照通用标准执行规范化处理，以保证数据的完整性和一致性。

步骤 2：AGV 和柔性作业车间集成调度建模。

遵照加工及运送融合需求创建混合整数规划模型，该模型存在诸多约束条件，涉及工序顺序逻辑，机器与 AGV 资源容量，缓冲区容量，AGV 路径防冲突，工艺技术等方面。

步骤 3：采用改进的蝴蝶优化算法求解优化方案。使用改进算法对集成调度模型进行求解，生成多组 Pareto 最优调度方案，输出内容包括工序与机器的分配结果、AGV 运输任务匹配方案、工序加工顺序以及 AGV 的无冲突路径规划结果^[5]。

步骤 4：AGV 最优数量决策。依靠多组 Pareto 最优调度方案，系统剖析不同 AGV 数量设置给最大完工时间、总成本、设备利用率以及 AGV 利用率带来的影响，从中挑选出兼顾时间性能与经济性能的 AGV 最优设置方案，作为企业资源配置的量化依据。

步骤 5：方案验证。基于企业实际生产数据，将优化后的 AGV 配置方案与原调度方案进行对比分析，从完工时间、成本降幅及资源利用率提升幅度三个维度，验证所提集成调度方案的合理性与性能的优越性。

4 结论

针对 A 公司柔性作业车间 AGV 利用率偏低、加工与运输调度协同不足的问题，本文开展集成调度方案研究，结论如下：构建完成“加工-运输-资源匹配”一体化调度方案，实现加工任务与 AGV 运输的动态协同，解决了核心调度痛点；搭建了全流程决策框架，经企业实际数据验证，方案具备良好工程实用性。研究成果适配企业需求，为同类场景集成调度研究与工程应用提供支撑，助力制造业高质量转型。

参考文献：

- [1] 马千慧,梁晓磊,刘星雨,等.多 AGV 和机器集成的多目标柔性作业车间调度研究[J].计算机工程与应用,2023,59(01):278-290.
- [2] 方道,宋豪杰,等.集成工人和 AGV 的多要素柔性作业车间调度方法[J].机械工程学报,2025,61(18):330-343.
- [3] 廖雪超, 向桂宏, 阮兵, 田芮利, 钟实. 带 AGV 数量约束的柔性作业车间调度问题研究[J]. 现代制造工程, 2025, (06):11-21.
- [4] 吴斌,丁钰超,ABLABasri.自动导引车与机器集成调度问题研究现状[J].计算机工程与应用,2023,59(06):1-12.
- [5] 张天瑞,刘悦.基于 ISSA 和 IA*的 AGV 集成作业调度及其路径规划[J].组合机床与自动化加工技术,2024,(02):186-192.