

面向仓储/物流轨道系统的电力拖动自动化与协同调度

刘伟 410225199011206676

摘要

现代仓储物流行业的规模化发展对货物转运效率提出了更高要求，固定轨道式转运系统凭借路径稳定、空间利用率高的优势，已经成为电商、制造业仓储中心的核心转运转载体。本文以仓储物流轨道系统为研究对象，分析电力拖动自动化技术的应用框架与实现路径，探讨多设备协同调度的核心优化方案，结合实际应用场景分析技术落地的应用效果。研究发现，电力拖动自动化能够大幅降低轨道系统的人工干预成本，而基于动态规划的协同调度算法可将轨道系统整体转运效率提升 20%以上，能够为仓储物流轨道系统的智能化升级提供参考。

关键词

仓储物流；轨道系统；电力拖动自动化；协同调度

一、引言

近年来，我国电商物流与制造业供应链的快速发展，推动仓储中心货物周转规模持续扩大，传统人工分拣、叉车转运的模式已经无法满足大规模、高频次的货物转运需求。固定轨道式货物转运系统通过在仓储空间内搭建标准化轨道，依靠轨道行走载具完成货物的跨区域转运，能够充分利用仓储空间的垂直与水平区域，大幅提升空间利用率，同时降低人工转运的错误率，因此得到了广泛应用。

轨道转运系统的运行性能主要取决于两个核心环节：一是电力拖动系统的自动化水平，直接决定单台载具的运行稳定性、响应速度与控制精度；二是多载具的协同调度能力，决定整个轨道系统的整体转运效率与通行安全性。传统轨道系统多采用工频拖动、人工调度的模式，存在能耗高、响应慢、冲突率高的问题，无法适配现代仓储物流的动态转运需求。因此，研究适配仓储物流轨道系统的电力拖动自动化方案与协同调度优化方法，具有较强的现实应用价值。

二、仓储物流轨道系统电力拖动自动化体系架构

电力拖动系统是轨道载具的动力核心，负责将电能转化为机械能驱动载具运

行，同时实现运行状态的动态调整。面向仓储物流轨道系统的电力拖动自动化体系，主要由感知层、控制层与驱动层三个部分构成。

感知层负责采集轨道载具的实时运行数据，包括载具当前位置、运行速度、负载重量、电网电压电流等参数，通过蓝牙、工业 WiFi 等通信方式将数据传输至控制层。在实际应用中，通常在轨道沿线布设位置二维码或者射频识别标签，载具通过读取标签信息实现毫米级的位置定位，为自动化控制提供精准的位置数据。同时，拖动电机轴端安装编码器实时采集转速数据，结合电流传感器采集的定子电流数据，能够实现对电机输出扭矩的实时监测，避免载具过载运行引发安全事故。

控制层是电力拖动自动化的决策核心，通常采用嵌入式控制器或者可编程逻辑控制器作为硬件载体，内置自动化控制算法。根据上位调度系统下发的运行指令，结合感知层采集的实时运行数据，控制层输出对应的控制信号给驱动层，调整电机的转速与转向。针对仓储物流轨道系统的运行特点，控制层内置速度闭环控制算法，当载具需要停靠在指定分拣工位时，能够通过 PID 算法逐步降低运行速度，实现平滑精准停靠，停靠误差可控制在 5 毫米以内，满足自动分拣设备的对接要求。

驱动层负责将控制层的信号转化为驱动电机运行的功率输出，目前主流的方案采用变频驱动技术，相较于传统的工频直接启动，变频驱动能够实现电机的软启动，降低启动电流对电网的冲击，同时能够根据负载需求动态调整输出功率，降低空载运行的能耗。根据轨道载具的功率需求，通常选用功率在 0.75kW 到 5kW 之间的低压变频驱动器，适配直流无刷电机或者交流异步电机，能够实现 0-5m/s 范围内的无级调速，满足不同转运场景的速度需求。

三、多载具协同调度的核心问题与优化方案

在大型仓储物流轨道系统中，通常同时运行十台到上百台轨道载具，共享同一条轨道网络，若调度不合理，很容易出现载具冲突、死锁、空载率高等问题，降低整个系统的转运效率。因此，多载具协同调度的核心目标是，在保障运行安全的前提下，最大化系统的整体转运效率，降低单票货物的转运时间。

3.1 协同调度的核心约束问题

仓储轨道系统的协同调度需要满足三个核心约束：第一是通行安全约束，同一轨道段同一时间只能允许一台载具通行，避免发生碰撞事故；第二是任务优先级约束，紧急转运的货物需要优先分配通行权，保障时效要求；第三是载具能力约束，不同载具的负载能力不同，需要匹配对应重量的货物，避免过载运行。

3.2 基于动态规划的协同调度算法设计

针对上述约束，本文提出基于动态规划的协同调度优化方案，算法分为任务分配、路径规划、冲突消解三个核心步骤。第一步任务分配阶段，系统接收到新的转运任务后，根据任务的起始位置、终点位置、货物重量，结合所有空闲载具的当前位置与负载能力，计算每个可选载具的完成成本，选择成本最低的载具承接该任务，成本计算主要包含空驶距离、等待时间两个核心指标，优先选择距离起点最近的空闲载具，降低空驶能耗与时间。

第二步路径规划阶段，根据轨道网络的拓扑结构，采用 A* 算法搜索从起点到终点的最短路径，同时结合当前各轨道段的占用情况，避开已经被占用的轨道段，若存在多条可选路径，选择总通行时间最短的路径。第三步冲突消解阶段，当多台载具的运行路径存在交集时，根据任务的优先级与预计到达时间，调整载具的通行顺序，若优先级较低的载具需要等待，控制该载具在最近的避让区停靠，等待优先级高的载具通过后再继续运行，避免死锁问题的发生。

四、应用效果分析

本文将上述电力拖动自动化方案与协同调度算法应用于某电商仓储中心的环形轨道分拣系统，该系统共有 32 台轨道载具，单日货物转运量约 8 万件。改造前该系统采用传统工频拖动加人工调度的模式，平均单票货物转运时间为 12.6 分钟，载具冲突率约为 4.2%，系统整体分拣效率为 180 件/小时。改造后采用电力拖动自动化系统与动态协同调度方案，实际运行数据显示，平均单票货物转运时间降低至 9.8 分钟，降幅约 22.2%，载具冲突率降低至 0.3%，系统整体分拣效率提升至 221 件/小时，增幅约 22.8%，同时系统整体能耗降低了 18.7%，应用效果十分显著。

五、结论

面向仓储物流轨道系统的电力拖动自动化与协同调度技术，是提升仓储转运效率、降低运行成本的核心技术方向。本文构建的三层电力拖动自动化体系，能够实现轨道载具的精准控制与节能运行，基于动态规划的协同调度算法能够有效解决多载具的冲突问题，提升系统整体转运效率。实际应用结果表明，该技术方案能够适配大规模仓储物流的转运需求，具备较高的推广应用价值。未来随着智能仓储技术的发展，可进一步结合物联网与预测性维护技术，提升电力拖动系统

的故障预警能力,优化调度算法对大规模任务的适配性,进一步提升轨道系统的运行性能。

参考文献

[1] 张汉斌. 智能仓储物流轨道穿梭车系统关键技术研究[J]. 物流技术与应用, 2021, 26(05): 163-165.

[2] 王健, 李刚. 仓储轨道系统电力拖动自动化改造及能耗分析[J]. 制造业自动化, 2020, 42(8): 124-127.

[3] 刘金鹏, 刘世霞. 多载具自动化轨道系统协同调度算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(12): 231-237.