

内河航道运输作业效率与船舶调度优化研究

袁治凯

河南安钢周口钢铁有限责任公司 河南 周口 466000

摘要:内河航道运输在区域经济发展中占据重要地位,本文首先分析了内河航道运输作业效率受航道基础设施、船舶技术性能、物流协同、自然环境等因素影响。接着阐述了船舶调度优化的理论基础、目标体系与约束。随后介绍了动态航线规划等关键技术方法。最后提出了提升效率的策略路径,包括航道基础设施升级、船舶技术升级、建设数据驱动调度决策支持系统以及优化运输组织与协同机制。

关键词:内河航道;运输作业效率;船舶调度优化

引言:内河航道运输作为区域经济交流的重要纽带,对区域发展意义重大。然而,当前内河航道运输作业效率受多种因素制约,船舶调度也存在优化空间。从航道基础设施到船舶技术性能,从物流协同到自然环境,各环节相互影响。同时,船舶调度在理论基础、目标体系与约束条件方面有待完善。本文深入剖析内河航道运输作业效率影响因素,探讨船舶调度优化关键技术,提出提升效率的策略路径,为行业发展提供参考。

1 内河航道运输作业效率的核心影响因素

航道基础设施条件中航道等级与水深决定船舶吨位选择与航行速度,低等级航道因水深限制单船运力,在弯曲或浅滩区域增加航行时间成本;通航建筑物通过能力若与实际需求不匹配会形成船舶积压,影响运输时效;航道维护水平影响航行风险与作业连续性,泥沙淤积等迫使船舶降速或绕行。船舶技术性能与运营管理方面,船舶吨位、航速、油耗率等参数决定单航次运输能力与成本,大吨位船舶对航道条件要求高,高速船舶需平衡燃油消耗与经济性;船舶装载效率受货物装卸设备自动化程度与舱位布局合理性影响,港口停留时间不同;船舶运营管理水平如航线规划、船员操作、设备维护等影响作业效率,缺乏科学调度导致空载率高或航行路线冗余^[1]。物流协同与信息交互效率上,内河运输依赖多主体协同,信息传递不畅导致作业脱节,货物集港延迟、港口装卸计划与船舶到港时间不匹配造成资源浪费,传统作业模式信息传递依赖人工易产生滞后误差,物流链标准化程度不足增加装卸与交接时间。自然环境与通航保障能力方面,水位季节性变化影响航道水深,气象因素导致能见度下降或禁航中断运输连续性,通航保障能力如航标设置精度、应急救援响应速度、夜间通航条件等影响船舶通行效率。

2 船舶调度优化的理论基础与目标体系

船舶调度优化以系统工程理论为基石,融合运筹学、博弈论与智能算法等多学科方法。运筹学中线性规划、整数规划模型,通过建立目标函数与约束条件,可求解船舶配载、航线规划等确定性问题的最优调度方案;博弈论用于多主体协同场景,分析利益相关者决策行为;智能算法针对复杂非线性问题,在动态环境中快速寻优,适用于多船多港口动态调度。其需实现效率、成本与安全多目标平衡,效率聚焦缩短船舶周转时间、提高货物吞吐量;成本旨在降低燃油消耗、港口费用等运输综合成本;安全是前提,要确保船舶航行、装卸符合规范以避免事故。调度优化受多重约束,物理约束涉及航道自然条件限制船舶类型与路线;资源约束包含港口泊位数量等决定船舶停靠与作业可行性;时间约束涵盖货物交付期限等要求满足时间节点;动态约束如突发天气需柔性调度机制应对。科学评价指标从效率、经济性、可靠性三方面构建体系,通过多指标综合评价,实现调度方案量化分析与持续优化。

3 船舶调度优化的关键技术与方法

3.1 动态航线规划技术

该技术核心在于融合实时数据与预测模型,通过水文监测系统获取水位、流速等实时数据,结合气象预报对未来航行环境进行预测,为航线规划提供数据支撑。在此基础上,利用路径规划算法,根据实时数据与预测结果生成最优航线,确保船舶航行路径的科学性与合理性。在多船协同场景下,动态航线规划需充分考虑船舶会遇避让规则,通过冲突检测算法,如时空网格法等,对潜在碰撞风险进行识别,依据识别结果调整船舶航速或航向,避免船舶拥堵与碰撞事故发生,保障多船协同航行的安全性与有序性^[2]。动态航线规划技术能够有效减少船舶无效航行时间,避免因航道条件变化或船舶会遇等问题导致的绕行、等待等情况,提高航道资源利用率,

使航道资源得到更充分、合理的利用。该技术尤其适用于复杂航道网络与多船混行场景,在这些场景中,航道条件复杂多变,船舶数量众多、航行状态各异,动态航线规划技术能够实时响应各种变化,为船舶提供最优航线,提升整体运输效率与安全性。

3.2 智能船舶配载优化方法

传统船舶配载方式主要依赖人工经验,然而这种方式存在明显弊端,极易造成船舶重心偏移,使得船舶在航行过程中稳定性变差,同时也可能导致舱位无法得到充分利用,出现舱位浪费的情况。智能船舶配载优化方法则借助建立数学模型来解决问题,像混合整数规划模型就是常用的模型之一,它以最大化舱容利用率、最小化稳性偏差作为优化目标。在实际优化过程中,会充分结合货物特性,包括货物的重量、体积以及易碎性等,同时考虑船舶结构参数,如舱室布局、载重线等关键因素进行综合优化。对于不同类型的船舶,优化侧重点有所不同,集装箱船需通过特定算法优化箱位排列,让集装箱在舱内合理放置,从而减少装卸时间,提高装卸效率;散货船则要着重考虑货物密度分布情况,依据货物密度合理分配货物在舱内的位置,避免因货物分布不均导致船舶倾斜。智能配载优化方法能够有效降低船舶航行风险,保障船舶在航行过程中的安全稳定,同时提高单航次运输量,使得船舶在每次航行中能够运输更多货物,进而间接提升整体作业效率。

3.3 港口泊位与装卸设备调度

在泊位调度方面,需综合考量船舶到港时间、作业需求以及泊位容量等关键因素。作业需求涵盖装卸量大小以及所需设备类型等,基于这些信息,运用排队论模型中的M/M/c模型对泊位分配进行优化,以此减少船舶等待时间,提高泊位使用效率,让船舶能够更快速地完成靠泊与离泊作业^[3]。装卸设备调度同样至关重要,要确保与船舶作业需求和设备能力相匹配。依据货物类型,如集装箱、散货等,合理分配起重机、传送带等相应设备。通过设备负载均衡算法,避免出现部分设备忙碌、部分设备闲置的忙闲不均情况,使设备资源得到充分利用。此外,积极引入自动化装卸设备,像无人集装箱卡车、智能吊具等,这些设备能够按照预设程序精准作业,减少人工操作可能带来的失误与延误,进一步提升作业效率,加快货物装卸速度,从而缩短船舶在港停留时间,促进整个运输链的高效运转。

3.4 多主体协同调度机制

内河运输涵盖船公司、港口、货主、代理等多个主体,多主体协同调度机制对于提升运输效率十分关键,

其核心在于打破各主体间的信息壁垒,达成资源共享与决策协同。构建集成信息平台是实现这一目标的基础,借助该平台可实时共享船舶动态、货物状态、港口资源等关键数据。船公司能够提前将船舶到港计划推送至平台,港口依据这些信息及时调整泊位安排与装卸设备调度;货主则可通过平台实时查询货物所处位置,进而灵活调整集港计划,确保货物按时集港。在协同决策过程中,采用分布式优化算法,各主体基于自身掌握的局部信息提出调度建议,再通过协商机制,如基于区块链的智能合约,在保障各方权益的同时,达成全局最优的调度方案。多主体协同调度机制能够有效减少因信息不对称引发的调度冲突,避免出现船舶等待、货物积压等情况,使各环节紧密衔接,从而提升整个内河运输链的作业效率,保障运输的顺畅进行。

4 提升内河航道运输作业效率的策略与路径

4.1 航道基础设施升级与智能化改造

在航道硬件条件提升上,要以高等级航道网络建设为重点,运用疏浚、拓宽、裁弯取直等工程技术手段,提高航道的通航能力,将原本通航等级较低的航道升级为更高等级,以满足更大吨级船舶的通行需求,为船舶安全、顺畅航行创造条件。通航建筑物的优化也不容忽视,可通过扩建船闸规模,增加船闸的通过容量,同时升级控制系统,引入智能调度系统,利用动态调度算法,依据船舶的类型、载重等具体情况,灵活调整闸次安排,减少船舶在船闸处的等待时间,提高通航建筑物的整体通过效率^[4]。此外,积极推进航道的智能化改造,在航道关键位置部署物联网监测设备,像水位传感器可实时监测水位变化,视频监控能直观掌握航道现场情况,AIS基站可获取船舶动态信息,通过这些设备实时采集航道状态数据。基于采集到的数据建立数字孪生航道模型,该模型能够精准模拟航道的实际状态,为船舶提供精准的导航服务,还能对潜在风险进行预警,让船舶提前做好应对准备,有效减少因对航道环境感知不足而导致的运输效率损失,全面提升航道的运输服务能力。

4.2 船舶技术升级与运营模式创新

在技术升级层面,绿色化与智能化是核心方向。绿色化方面,积极推广新能源船舶,以电动船、LNG动力船等替代传统燃油船舶,从源头上降低能源消耗与污染物排放,助力航运业实现节能减排目标。同时,通过船体优化设计,采用流线型船型减少航行阻力,搭配高效推进系统如导管螺旋桨,提升船舶动力性能,进而提高航行速度与能源利用效率。智能化方面,大力发展自主航行船舶技术,借助先进的自动驾驶系统,实现航线规

划、避障、靠泊等航行环节的自动化操作,有效减少人为因素导致的操作误差,提升航行安全性与精准性。在运营模式创新上,推行“班轮化运输”模式,固定航线、船期与停靠港口,为货主提供稳定的运输服务,增强运输的规律性与可靠性。实施“船舶共享”模式,搭建平台整合闲置船舶资源,根据运输需求灵活调配船舶,提高船舶利用率,降低空载率。此外,优化船舶维护计划至关重要,采用预测性维护技术,利用振动、温度传感器实时采集设备数据,通过数据分析提前发现潜在故障,及时安排维修,减少非计划停航时间,保障船舶持续稳定运行,提升整体运营效益。

4.3 数据驱动的调度决策支持系统建设

该系统需整合船舶AIS数据、港口作业数据、气象水文数据以及货物订单数据等多源数据,借助大数据分析技术与人工智能算法,达成智能调度的目标。系统具备多项核心功能,需求预测模块依据历史货运数据和经济指标,精准预测未来货物流量,据此提前对运力配置进行合理调整,确保运力与货运需求相匹配^[5]。动态调度模块能够实时优化航线、泊位与装卸计划,当航行过程中出现突发状况,如某港口发生拥堵时,系统可自动将船舶分流至邻近港口,保障运输的顺畅进行。风险预警模块结合气象预报和航道监测数据,提前识别航行风险,为船舶航行安全提供保障。此外,系统还设有可视化功能,通过数字大屏将船舶动态、港口状态以及调度方案等信息实时展示出来,让管理人员能够直观、全面地掌握相关信息,从而快速做出科学合理的决策,进一步提升航运调度的效率与质量。

4.4 运输组织与协同机制优化

运输流程标准化方面,需制定内河运输作业标准,统一货物包装、单证格式与装卸流程,以此减少交接环节的时间损耗。推广电子运单,让货物信息实现全程可追溯,替代传统纸质单证流转,提高信息传递效率;规范集装箱装卸作业流程,统一吊具接口与操作规范,增

强设备兼容性,提升装卸作业效率。多式联运衔接优化上,要加强内河与铁路、公路、港口的衔接,构建“门到门”运输网络。在港口建设多式联运枢纽,实现货物无缝转运,减少中转时间;推行“一单制”联运模式,通过一张运单整合多种运输方式,简化中转手续,降低运输成本。行业协同平台建设也不可或缺,搭建内河运输行业协同平台,整合船公司、港口、货主、代理等主体资源,实现信息共享与业务协同。平台具备船舶调度、货物匹配、运力交易等功能,货主发布运输需求后,系统自动匹配合适船舶与航线,降低信息搜索成本。同时,通过协同平台建立信用评价机制,对船舶准点率、货物完好率等指标进行评价,促使市场主体提升服务质量。

结束语

综上所述,内河航道运输作业效率提升与船舶调度优化意义重大。通过航道基础设施升级、船舶技术革新、数据系统建设及协同机制优化等多维度举措,可有效应对多种因素对运输效率的制约。实现船舶调度多目标平衡,降低运输成本,保障航行安全。未来,随着相关技术与机制不断完善,内河航道运输将更高效、绿色、智能,为区域经济发展注入强劲动力,推动航运业迈向新高度。

参考文献:

- [1]郑红星,卢启航.短暂封航的枢纽港船舶与泊位再调度优化[J].交通运输工程学报,2025,25(4):238-253.
- [2]郑志强,孙雨.内河船舶轨迹数据挖掘与可视化技术研究[J].中国水运,2025(17):86-88.
- [3]张雪娇.内河航道疏浚施工船舶数量配比优化技术研究[J].港口航道与近海工程,2024,61(5):130-133.
- [4]黄建梁,封学军,王苏阳,张铖.基于海事调度规则的长距离受限航道通航效率影响研究[J].水道港口,2024,45(1):51-58+130.
- [5]张明,任鸿翔,徐富权,刘国威,周毅.基于双向航道与泊位资源协调的船舶调度优化[J].山东交通学院学报,2023,31(3):145-155.