

# 输油管道装卸协同优化的多场景物流调度策略研究

于吉才 曲玉伟 (山东港源管道物流有限公司仓储作业站, 山东 烟台 264000)

王 勇 (山东联合能源管道输送有限公司仓储作业站, 山东 烟台 264000)

**摘要:** 输油管道作为整个油气供应链上的重要组成环节, 若想保证油气的运输安全以及对经济效益、时效性的要求, 则必须保证输油管道装卸作业、物流调度协调的有序进行; 基于此, 本文提出一种基于多场景分类和多场景策略的设计方法, 并构建出多场景调度策略体系, 并根据上述两种方法提出了能够减少运输总费用、压缩作业时长、增加资源利用率等效果的多场景调度策略, 希望可以在一定程度上提升输油管道的物流调度水平, 供未来的智能化、场景化物流调度做参考。

**关键词:** 输油管道; 装卸协同; 多场景; 物流调度; 智能优化算法

**中图分类号:** TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0121-03

## Research for Collaborative Optimization of the Oil Pipeline Loading and Unloading Logistics Scheduling Strategy Based on Multiple Scenarios

Yu Jicai, Qu Yuwei (Storage and Operation Station Shandong Gangyuan Pipeline Logistics Co., Ltd., Yantai Shandong 264000, China)

Wang Yong (Storage and Operation Station, Shandong United Energy Pipeline Transportation Co., Ltd., Yantai Shandong 264000, China)

**Abstract:** Oil pipelines are a key link in oil and gas supply chains. Coordinating well between oil pipeline loading and unloading operations, and logistics scheduling is an essential guarantee for achieving safe, economical, and timely energy transportation. The main problems that occur now in oil pipeline logistics scheduling are the mismatch of the loading and unloading rhythm, the poor adaptability to many situations, etc. and considering slow emergency response to working conditions that deviate from expectations, this article designs a multi-scenario classification and strategy, establishing a multi-scenario scheduling strategy system and multi-scenario scheduling strategies that can effectively lower overall transportation costs, shorten the production cycle, and improve resource utilization, providing a theoretical basis and practical evidence for intelligent, scenario-based oil pipeline logistics scheduling optimization.

**Keywords:** Pipeline transporting oil; cooperating on loading and unloading; multi-scenario; logistics scheduling; intelligent optimization algorithm.

输油管道装卸协同优化必须使“管道—油库—运输”作为一个整体实现协同运作, 对于输油管道装卸协同优化的主要因素可分为三类: 即为资源要素、约束要素以及目标要素。这里所指的资源要素主要是指管道运力、装卸设备、油罐资源、运输资源; 约束要素包括了安全约束、经济约束、时间约束; 目标要素属于多目标优化的内容, 包括经济性目标、效率性目标以及资源性目标。以上三者 in 实施装卸协同优化时需要彼此之间产生作用并发生关联。

### 1 多场景分类

结合输油管道装卸作业的特点, 采用“双层分类法”按装、卸两种操作形式划分场景类别, 并以输油管道装卸为例建立了多场景分类体系, 分析了各类别场景的主要特征和差异点。

#### 1.1 常规场景与突发场景

①常规场景: 生产运行按固定的资源配置与作业计划开展, 在没有突发情况出现时, 只占全部的

80%, 这是需求稳定的情况。生产运行的主要特点是: 既定的人、物力资源配给和按计划调配的人、机运力; 受到管道的最大输量、装卸机时窗、安全规定等因素的限制; 以最低的成本, 最高的效率作为目标, 并且要达到产、销平衡的要求, 进而有三类子场景: 一是按固定计划、周期开展日常稳定的输油装卸; 二是按计划开展的大规模集中输油装卸, 这里的集中装卸主要是指针对油品的储备期或者需要量较大的需求高峰期所需要的集中装卸作业; 三是开展小规模零散装卸, 按照设备的使用情况, 灵活调配, 有针对性地开展快速高效的装卸业务。②突发场景: 因为有因为故障、需求、突发事件等造成的外部因素引起的变化而带来资源受限(设备停运、线路断电)的情况, 在优先考虑安全和应急处置的前提下要快速地作出调整安排, 主要可分为三类子场景: 第一种是装卸设备故障情况, 由于机械、电路的问题出现了停机现象, 要及时使用备用机器或调整装卸顺序; 第二种是因客户需求变更

情况而产生的运行计划的变更,这种情况发生后,由调度系统在短时间内就进行调整;第三种是天气原因,由于出现了暴风雨、雪天气,可能会造成道路交通、管道运输以及机械设备运作出现问题,可根据具体情况来改变行驶路线或者停止作业,采取防雨、防雪措施。

## 1.2 各场景核心特征界定

①通常性的大型集中的装卸场景:适用于原油储备库、大型及中型炼油厂,油品采用集装箱或者散装液态货品,通过铁路专用线加油罐列车的方式运输。对油罐保留 120% 以上的安全油量,按照铁路运行图上规定,采用 48h 一个班次的安排发运作业。考核目标的权重是:经济性(0.4)、效率性(0.3)、资源性(0.3),主要考量批量运输的优势和装卸编组一体化与资源保障问题。典型方案有分时错峰装卸油罐、油罐动态分配算法等方法,能够实现降低 15%~20% 的成本<sup>[1]</sup>。②典型的少量零散式装卸作业:为中小加油站补给和化工企业的原料配送服务,单批次装卸量不超过 1000t/a,采取公路油罐车“门到门”的方式进行运输。业务约束为:每天需要去至少 20 个不同的分散卸货点作业,且这两个时间段最集中,一是早 8:00-10:00,二是下午 16:00-18:00。目标权重是:效率性(0.4),经济性(0.3),资源性(0.3)。采取路径优化,成本管控,运力匹配,以及运用循环取货(MilkRun)+智能配载的方式达成运输效率提高 30% 以上的业务目标。③突发设备故障场景:受装卸泵、输油臂等主要生产设备出现问题、运行期间利用现有剩余机器超负荷作业(故障停工时间不超过 72h),作业效率降低 40%-60% 的制约条件。以最小停工损失为目标,启动备用生产装置、租用少量小型流动装卸车辆、应用故障预测预警模型和采用模块化更换的抢修方式来调配维修人员及运行车辆资源,合理把控租借费用。④突发紧急需求场景:自然灾害救援、战略物资调度等 24h 以上可以交付,对作业周期压缩 50% 以上、运力缺口 30% 以上的运单进行控制。目标任务完成重量目标:效率(0.6)、成本(0.2)、资源性(0.2),优先跨区运力协调、开通绿色通道,运用政府补贴降本增效,保证重要物资存储调运需求;多式联运快速切换、无人机助采。

## 2 多场景物流调度策略设计

不同场景特点和模型求解结果来确定差异化装卸协同调度方案。

### 2.1 通用大型集中上下料情境

①管道调度:采用恒定速率输送,取管道速率值  $v_{max}$  的 80 ~ 90%,经流体力学仿真和历史运行数据分析表明,在管道稳定流速条件下可降低水击作

用下发生能量损失,避免频繁变频引起管道内介质压力波动;利用阀体智能调节阀和压力传感器对介质输送量进行实时检测,并根据介质黏度大小、环境温度高低自动启动  $\pm 5%$  的速度补偿,以保证整个输送过程中的最大传送速率,进而提升输送效率<sup>[2]</sup>。②装卸设备调度:基于“满负荷运行”的动态调度方式,在对设备负荷预测的基础上,结合装卸速率和管道输送速率之间的毫秒级动态匹配,例如油品码头原油卸船作业之前完成设备预热,使得作业与管道输送无缝衔接,来减少投产中断的风险。③油罐调度:采用轮换存储的方法提高库容周转速率,在油品进站之前采用 FIFO-LIFO 混合调拨方式运算法计算油罐液位传感器数据,从而确定最优存储方案;总罐容量中留有 1 座备用油罐供平时备用,当运行过程中出现油罐温度超标、油品变质等情况时可以直接转至备用油罐存储,杜绝混装现象。④运输调度:铁路列车按照固定时刻表执行,设定以铁路运行图、装卸作业计划、气象预报为基础的协同调度模型,保证火车到站时间和装卸开始时间误差不超过  $\pm 1h$ ;对于突发性的晚点,启用第三级应急响应措施,即先变更站内调车计划,如不能调整,则启用备用装卸设备,启用公路应急运输方案。

### 2.2 普通的零星装卸使用场合

①管道调度:基于作业量的动态速率调整模型,根据装卸站点作业进度、管道输送压力等情况,实时采集一定时间窗口内的物联网传感器流量值,并利用自适应控制算法对速率  $v$  进行动态调整:当装卸作业量小,不需要增大流速避免空转损耗;当装卸作业量大,在管道不超过允许最大承压程度前提下适当增大流速可以达到节省运输能量的效果。验证表明,通过该方案可以将管道实际运行的能量消耗降低到总能量消耗的 15% ~ 20%。②装卸设备调度:基于智能调度系统扫描现有设备状态,先启动空闲设备,如果未启动全部空闲设备会触发租赁设备预警提示。若把该案例中所用设备利用率提升到本案例使用水平,则之前可使用 68% 的设备量,可提高至 89%,作业等待时间节约 40%。③运输调度:设计区域化拼单运输网,用 GIS 和需求预测模型把同一经济圈内不同的货主所对应的零散油品运输需求归类后汇总;用启发式算法寻找最优的拼单运输方案,并用避堵路径规划算法避开车辆行驶的高峰期;与智能配载系统相结合后单车装载率从原来的 55% 提到了现在的 82%,单车减少了约 30% 的空驶里程,运输成本得到大幅度节约,碳排放量降低,一定程度上减轻了环境压力。④库存调度:推行“低库存周转”管理模式,将油罐内的油品存储量控制在总量 30 ~ 50%,结合实时库存监控系统以

及需求预测模型, 设定安全库存预警机制, 当油库库存达到报警值时立即发出采购、调运指令, 防止因库存过多造成的油品损失及资金积压的同时, 保证油品的供应稳定。某石化基地的实验结果显示: 这种模式可以使油罐周转周期由原来的 22 天减少到 14 天左右, 降低仓储成本的 25%。

### 2.3 突发设备故障场景

①设备替代: 建立三级应急响应机制: 如果主用装卸设备出问题了, 则优先选用同型号备用设备并由智能调度系统立即切换到原有作业流程当中; 没有备用设备的话就采用动态时间窗算法将现有的设备平均工作时间增加至原计划  $T_{max}$  的 120%, 然后再启动维护保养绿色通道去维修故障设备, 在此过程中综合考虑租金成本及恢复时间来判断是否需要租用临时设备<sup>[3]</sup>。②管道调度: 实行输送速率柔性调控: 当设备运力降低时, 把管道速率降低到  $v_{max}$  的 60%–70%; 结合 SCADA 系统实时监视的压力、流量等参数信息, 灵活匹配输送速率和装卸能力; 利用管道压力调节站、大容量缓冲罐以及智能阀控系统等措施实现压力控制, 防止因流速突降导致的管道积液或者凝固。③运输调度: 根据 Gis 以及实时交通状况建立区域协同运输网络, 在此基础上根据“动态路径规划+车辆调配”的方式进行智能调度, 采用就近调配的原则, 利用实时算法计算出需要的增配车辆数以及智能匹配装卸点, 并引入多式联运备选方案, 组合公铁或公水的转货方式缩短物流周期。④优先级排序根据客户的等级以及贡献度、合同履行等级将客户分为 VIP 客户、重点客户和普通客户, 当运力不足的时候利用智能决策引擎优先保证 VIP 和重点客户的作业, 合理的安排客户的排产计划; 同时对客户预警并降优惠或账期以提前规避客户对其服务质量的不满或投诉。

### 2.4 突发紧急需求场景

①资源倾斜: 启动应急资源调配机制, 将所有装卸设备、油罐、运力等资源全部投入; 建立动态资源监控平台, 针对各时段内设备运行状态、资源使用情况、供方属性进行预警; 通过智能算法, 对重要场景给予优先保障, 避免资源分散产生响应迟缓的问题; 同时留有 5% 的备用资源作为应急储备资源以防突发事件下无资源可调, 而导致缺煤缺电问题<sup>[4]</sup>。

②管道调度: 采用“最大速率输送”的智能调度模式, 在管道内设定流速  $v=v_{max}$ , 基于实时的压力、流量信息监测系统实现管道油品输送流量调节控制, 结合管道的拓扑信息以及油品本身特性, 通过将油品流体力学模型结合油品输送流程, 实现在尽可能保证管道安全的前提下, 将油品从起点运达终点时的时间

降到最低; 对于可能发生的管道超压、堵塞等问题, 根据此前建立的预警模型发出警告或者提前做好一些事情进行干预处理。

③作业流程优化: (BPR) 围绕流程再造 (BPR) 的相关理论和方法展开, 根据码头装卸作业流程本身梳理、精简及合并的过程性要点, 在此基础上将相应的装卸作业任务集成到数字排程系统内, 并减少作业前期的准备时间到 30% 以下, 主要做法有: 用电子化单据代替纸质资料, 实时传递信息; 利用智能化设备进行船装前作业 (如管路接口快速接好、智能化检测油品数据); 跨部门协同作业, 避免因沟通耗时长以及占用车档时间久而不能及时进场进行作业的情况。

④成本平衡: 要确保按时交货, 可以适当调整资金量, 即增加运输费预算, 有加班车、租车的使用机会则尽量选用; 另外还要根据实际情况, 合理建立成本效益分析模型, 将不同手段的资金投入、时效性、结果表现等等因素进行对比分析, 选择最优选项; 与第三方物流企业建立长期合作关系, 以获得更低的运费单价, 在一定的时期内, 确定每日、每周的加班费补贴, 按月汇总, 控制当月的用车总费用, 当月无法完成任务时顺延至下月结算, 避免运输过程中突然出现的情形<sup>[5]</sup>。

## 3 结束语

从输油管道装卸协同的差异化场景出发, 在此基础上从搭建合理的场景分类方法、针对不同场景分别建立协同优化模型以及采用不同的物流调度策略等方面着手, 以运输总成本最小、作业效率最高、资源利用率最优作为目标值, 实现多目标最优化效果; 以后续研究中可以针对多区域、多管道等更多种场景进行分类扩充, 并且加入油价波动、政策变动等外界因素的影响, 完善模型; 利用物联网、大数据等相关技术研制开发实时智能调度系统, 并依据实际的调度策略调优实施, 对提升输油管道物流智能程度有着十分积极的意义。

### 参考文献:

- [1] 岳昕. 原油罐区风险评估技术研究及应用 [D]. 中国石油大学 (北京), 2017.
- [2] 苏渊. 油品码头输油管道管理的分析与研究 [J]. 石化技术, 2020, 27(09): 129+131.
- [3] 刘天柱, 张聪, 何玉川. 石化油码头溢油风险源分析及隐患排查研究 [J]. 广东化工, 2022, 49(12): 84-85+42.
- [4] 孙铁良, 郭祎, 王珩宇, 等. 输油管道调控运行智能化探索与实践 [J/OL]. 油气储运, 1-12 [2026-01-19].
- [5] 关宏宇. 远程化输油管道泄漏智能诊断模型构建与优化研究 [J]. 电脑知识与技术, 2025, 21(33): 106-108.