

提高天然气运输效率的智能调度系统设计与实现

陈 岭 (新疆新捷燃气有限责任公司运输分公司, 新疆 乌鲁木齐 830009)

摘 要: 为稳步提高天然气的运输效率, 降低运输成本, 管控安全风险, 实现资源配置的精准化、科学化与智能化。本文从智能调度系统角度出发, 运用文献资料研究等方法, 整合现有资源, 通过理顺系统设计思路, 创新系统设计方法, 健全系统实现路径, 推动天然气运输调度模式的数字化转型。

关键词: 天然气; 智能调度; 运输效率; 系统设计; 实现路径

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 022-088-03

Design and implementation of an intelligent scheduling system for improving natural gas transportation efficiency

Chen Ling (XinjiangXinjieGasCo.,Ltd.TransportationBranch, Urumqi Xinjiang 830009,China)

Abstract: To steadily improve the efficiency of natural gas transportation, reduce transportation costs, manage safety risks, and achieve precise, scientific, and intelligent resource allocation, this article examines the issue from the perspective of an intelligent dispatching system. Using methods such as literature review, it integrates existing resources, clarifies system design concepts, innovates design approaches, and establishes robust implementation pathways to promote the digital transformation of natural gas transportation scheduling.

Key words: Natural gas; Intelligent dispatching; Transportation efficiency; System design; Implementation path

根据国家发改委公布的数据, 2024 年国内天然气表观消费量达到 4260.5 亿 m^3 , 同比增加 8%。传统的运输调度模式, 难以满足现阶段天然气的消费需求, 为提升天然气的运输能力, 满足区域性、产业性消费需求, 推动供给侧改革的深入开展, 技术团队应当着眼实际, 综合技术要素、产业要素, 做好智能调度系统的设计与开发, 通过技术赋能, 稳步提高天然运输效率, 合理管控运输成本。

1 天然气运输智能调度系统设计与实现思路

1.1 突出调度系统的智能属性

智能调度系统需具备自主感知、智能决策与动态优化能力。在感知层面, 通过部署大量传感器, 如压力传感器、流量传感器、温度传感器等, 实时采集天然气管道压力、流量、温度以及运输车辆的位置、速度、状态等数据^[1]。

在决策层面, 引入人工智能算法, 如强化学习算法, 根据实时数据与历史数据, 结合运输需求、路况信息、设备状态等多因素, 自动生成最优调度方案。例如, 当管道某段压力异常升高时, 系统可快速判断并调整输送计划, 避免安全事故。在动态优化层面, 系统能够根据交通拥堵、设备故障等突发情况, 实时调整调度方案, 确保运输任务高效完成。

1.2 确保调度系统的实用属性

智能调度系统在开发过程中, 工作人员应当紧紧围绕实际业务需求, 以提高运输效率、降低成本为核心目标, 做好各类技术方案的比选。在功能设计上,

需涵盖运输计划制定、车辆调度、资源分配、实时监控、数据分析等全流程业务。

在界面设计上, 应采用简洁直观的操作界面, 便于操作人员快速掌握和使用^[2]。同时, 智能调度系统要具备良好的兼容性和扩展性, 能够与现有的企业管理系统、物流信息系统等进行无缝对接, 实现数据共享与协同工作。例如, 与企业的 ERP 系统对接, 可实时获取生产需求信息, 优化运输计划, 实现运力资源的合理配置, 同时, 加强物流信息平台对接力度, 通过信息共享等方式, 获取实时路况信息, 为车辆调度提供参考。

2 天然气运输智能调度系统设计方法

2.1 完善调度系统技术架构

2.1.1 感知层的布局

在天然气管道沿线每隔 50-100m 部署压力传感器、流量传感器和温度传感器, 实现管道运输核心参数的全方位监控, 对异常状态能够及时介入, 保障天然气运输的稳定性。在运输车辆上安装车载终端, 集成 GPS 定位模块、惯性导航传感器、油耗传感器以及车况监测设备。这些传感器和终端设备通过 RS-485、CAN 总线等通信协议实现数据采集与初步处理。

2.1.2 网络层的设置

针对天然气运输特点, 对于感知层产生的各类数据, 技术人员采用 5G 网络, 结合长距离数据传输延迟率高、准确度低等问题。具体来看, 技术人员在管道沿线及运输路线关键节点部署 5G 基站, 确保数据

传输速率达到 100Mbps 以上, 延迟低于 1ms; 对于偏远地区或信号覆盖弱的区域, 采用 NB-IoT 技术进行补充, 其低功耗广域网特性可实现数据的稳定传输^[3]。同时, 搭建专用虚拟局域网 (VLAN), 对不同类型数据进行隔离传输, 保障数据传输的安全性和稳定性。

2.1.3 平台层的搭建

智能调度系统设计过程中, 技术人员基于阿里云、华为云等方案搭建平台层, 实现数据信息的有效整合。为保证平台层运行的流畅性, 技术人员采用分布式存储技术, 实现 PB 级数据存储。数据处理采用 Hadoop 和 Spark 框架, Hadoop 负责海量数据的离线存储与批处理, Spark 用于实时数据处理和流式计算。通过 Kubernetes 进行容器编排和资源调度, 动态分配计算资源, 提高平台的处理效率和资源利用率。同时, 部署 Elasticsearch 实现数据的快速检索与分析, 便于后续的决策支持。

2.1.4 应用层的构建

为确保智能调度系统的稳定性, 技术人员在应用层构建环节, 可以采用前后端分离架构的设计方案, 前端使用 Vue.js、React 等技术开发用户界面, 通过 WebGL 技术实现地理信息的 3D 可视化展示。后端采用 SpringBoot、Django 等框架搭建业务逻辑层, 通过 RESTful API 与前端进行数据交互。同时, 为保障系统安全, 各应用模块之间, 借助 HTTPS 协议进行数据加密传输, 并且引入 OAuth2.0 进行身份认证和授权管理, 设置严格的访问控制策略, 防止非法访问和数据泄露。

2.2 设置调度系统功能模块

2.2.1 综合调度模块

在制定运输计划时, 采用混合整数规划 (MIP) 模型结合遗传算法 (GA) 进行优化。技术人员根据客户需求、运输车辆的载重 (20t-30t)、容积 (LNG 运输车辆约 50m³-60m³)、行驶速度 (平均 60-80km/h) 以及运输距离等参数构建 MIP 模型, 确定初始调度方案^[4]。利用遗传算法对初始方案进行迭代优化, 通过选择、交叉、变异等操作, 寻找全局最优解。在车辆调度方面, 引入如 Dijkstra 等动态路径规划算法, 通过与高德、百度地图 API 对接获取, 获取实时路况信息, 结合油耗、剩余续航里程等车辆状态信息, 科学调整行驶路线, 减少空驶率。例如, 当某条路线出现拥堵时, 系统自动计算并切换至最优替代路线, 预计可降低运输成本 15%-20%。同时, 技术人员通过建立车辆调度仿真模型, 对不同调度方案进行模拟评估, 提前验证方案的可行性和有效性。

2.2.2 信息通信模块

信息通信模块设计环节, 技术人员使用基于

AMQP 协议的 RabbitMQ 消息队列, 实现系统各模块之间异步、可靠的数据传输。对于实时性要求高的信息, 采用 WebSockets 技术进行双向通信, 确保信息即时推送。与外部系统对接时, 通过 WebService 接口实现数据交互, 例如与企业 ERP 系统对接获取生产需求信息, 与物流信息平台对接获取实时路况和运力资源信息。同时, 建立数据缓存机制, 对高频访问数据进行缓存, 减少数据库查询压力, 提高系统响应速度。

2.2.3 地理信息模块

为实现地理信息高精度展示, 技术人员在模块设计过程中, 可以利用集成 ArcGIS API for JavaScript 技术, 借助图层叠加的方式, 全面展示天然气管道分布、运输车辆位置、加油站、维修站点等信息。路径规划采用 Dijkstra 算法与 A 算法相结合的方式, 在全局路径规划时使用 A 算法提高搜索效率, 在局部路径优化时采用 Dijkstra 算法确保路径准确性^[5]。为降低天然气运输风险, 技术人员引入实时交通数据对路径进行动态调整, 可平均缩短运输时间 10%-15%。使用地理围栏技术, 为运输车辆设定行驶区域, 当车辆超出预设区域时, 系统自动发出预警, 便于管理人员及时处理。

2.2.4 仿真预测模块

天然气智能调度系统设计环节, 为实现运输需求的评估, 技术人员采用长短时记忆网络 (LSTM) 结合时间序列分析方法, 搭建仿真预测模块, 形成运输预案, 避免调配、运输的盲目性。具体来看, 技术人员率先做好历史运输数据收集, 掌握运输日期、时间、运输量、客户需求等参数, 对收集到的数据, 进行归一化、缺失值填充等预处理。

将数据输入 LSTM 模型进行训练, 学习数据的时间序列特征和趋势, 通过不断调整模型参数, 使预测误差率控制在 5% 以内。对于设备状态预测, 采用卷积神经网络 (CNN) 对设备运行数据进行特征提取, 结合支持向量机 (SVM) 进行故障分类预测, 可提前 72h 预测设备故障概率, 准确率达 90% 以上, 为设备维护提供充足时间, 减少因设备故障导致的运输延误。

2.2.5 数据分析模块

为保障数据分析能力, 技术人员要做好数据仓库的构建, 构建过程中, 依托 Apache Hive 技术对采集到的各类数据进行清洗、转换和存储。利用 Apache Flink 进行实时数据分析, 通过窗口计算、流处理等操作, 实时监控运输过程中的关键指标。

在数据挖掘方面, 运用关联规则挖掘算法 (Apriori 算法) 分析运输效率与车辆速度、载重的关系, 例如发现当车辆载重达到额定载重的 80% 且行驶速度保持

在 60–70km/h 时, 运输效率最高。使用聚类分析算法对客户请求进行分类, 为客户提供个性化服务。同时, 通过 Tableau、PowerBI 等可视化工具将分析结果以图表、报表形式展示, 便于管理人员直观了解业务情况, 做出科学决策。

2.2.6 客户管理模块

技术人员借助关系型数据库 (MySQL) 存储客户信息, 实现基本信息、订单信息、服务评价信息的分类处置。技术人员通过 SpringSecurity 框架实现用户权限管理, 通过授权管理的方式, 保障信息的安全性, 降低核心数据和敏感信息泄露风险。在订单管理方面, 技术人员采用工作流引擎 (Activiti) 实现订单创建、审核、分配、跟踪、完成等全流程自动化管理, 实现同一客户订单信息的自动归集, 为客户等级评估与日常维护提供参考。同时, 技术人员通过自然语言处理 (NLP) 技术对客户评价进行情感分析, 提取客户反馈中的关键信息, 及时改进服务质量, 提高客户满意度^[6]。

3 天然气运输智能调度系统实现路径

3.1 人工智能技术的应用

在天然气智能调度系统中, 人工智能技术深度融入各业务环节, 显著提升系统智能化水平。机器学习算法方面, 采用梯度提升决策树 (GBDT) 算法对历史运输数据进行分析建模, 通过对包含超过 100 万条记录的运输数据集 (涵盖运输时间、路线、车辆状态、天气状况等 20 余个特征维度) 训练, 构建运输效率预测模型, 可精准预测不同调度方案下的运输效率, 误差率控制在 3% 以内。例如, 通过分析数据发现, 当运输车辆在气温 20–25℃、风速低于 5m/s 的条件下, 按照规划路线行驶, 平均运输效率可提升 12%, 据此优化调度方案, 实现运输效率提升。深度学习算法在图像识别和故障诊断领域发挥关键作用。针对管道缺陷检测, 采用基于卷积神经网络 (CNN) 的 FasterR-CNN 模型, 对管道内部高清图像 (分辨率达 4096×2160 像素) 进行分析^[7]。

在训练阶段, 使用包含 10 万张标注图像的数据集, 模型在测试集上对管道腐蚀、裂纹等缺陷的识别准确率达 96.8%, 召回率达 94.2%。一旦检测到缺陷, 系统自动生成维修工单, 并将信息推送至相关部门, 维修响应时间平均缩短 60%, 有效降低管道安全风险。

3.2 大数据技术的应用

技术人员应当构建起基于 Hadoop 和 Spark 的大数据平台, 实现对天然气运输全流程数据的高效处理。Hadoop 分布式文件系统 (HDFS) 提供 PB 级存储能力, 可存储长达 5 年的运输数据, 数据存储成本较传统存

储方式降低 40%。SparkStreaming 技术实现每秒处理 10 万条以上数据记录的实时流计算, 满足系统对实时性的要求。

在异常情况监控方面, 通过对管道压力、流量、温度等传感器数据进行实时分析, 当检测到管道压力变化速率超过 0.1MPa/min 且持续时间超过 3 分钟时, 系统判断可能存在泄漏风险, 立即触发预警机制, 并在 10s 内向相关人员推送预警信息。结合历史泄漏数据进行分析, 该预警机制能够提前 1h–3h 发现潜在泄漏隐患, 准确率达 92%。同时, 利用大数据分析结果, 对运输资源配置进行优化, 通过对运输车辆的使用频率、运输路线的成本效益等数据挖掘, 可使运输资源利用率提高 18%, 运营成本降低 16%。

4 结语

天然气运输智能调度系统的设计与实现, 为提高天然气运输效率、降低成本、保障安全提供了有效的技术手段。通过突出智能属性和实用属性的设计思路, 完善技术架构和功能模块的设计方法, 应用人工智能、大数据、网络通信等技术, 可有效推动天然气运输调度的智能化和数字化转型。

参考文献:

- [1] 沈华. 城市天然气智慧管控平台建设与管理 [J]. 工业控制计算机, 2023(2):119-121.
- [2] 汪春, 孙靖鸿, 徐青山. 基于 CVaR 的高比例光伏区域综合能源系统优化调度 [J]. 工程科学与技术, 2023(2):97-106.
- [3] 黄维和, 宫敬. 天然气管道与管网多能融合技术展望 [J]. 油气储运, 2023(12):1321-1328.
- [4] 谢敏, 卢燕旋, 叶佳南等. 电-氢-混氢天然气耦合的城市综合能源系统低碳优化调度 [J]. 电力自动化设备, 2023(12):109-117.
- [5] 王江江, 邓洪达, 刘艺, 等. 数据中心综合能源系统配置与运行的集成优化 [J]. 科学技术与工程, 2023(5):1968-1977.
- [6] 刘青, 关鸿鹏, 张应辉, 仇晶, 蔡磊. 面向大型燃气管网的智能调控系统架构设计与实现 [J]. 城市燃气, 2021(02):11-17.
- [7] 艾力群, 张鹏, 艾浩安, 孙晓波, 贺中强, 张华斌. 基于 "全国一张网" 的天然气调度应急系统设计与应用 [J]. 石油工程建设, 2023(01):72-78.

作者简介:

陈岭 (1973—), 男, 汉族, 山东莱州人, 本科, 现任新捷燃气有限责任公司运输分公司吐鲁番分队队长, 研究方向: 天然气运输管理方面。