

# Research on Optimization Design and Energy Efficiency Improvement of Intelligent Oilfield Storage and Transportation System

Xiangqian Liu Ming Xu Kai Wang

PetroChina Changqing Oilfield Branch, Xi'an, Shaanxi, 710000, China

## Abstract

The intelligent transformation of oilfield storage and transportation systems is a core link in China's energy industry, and its optimized design and energy efficiency improvement are crucial for ensuring energy security and promoting sustainable development. With the continuous development of intelligent transformation in the energy field, advanced technologies such as the Internet of Things, big data, and artificial intelligence have been widely applied in the field of oilfield storage and transportation, laying a solid foundation for the intelligent transformation of the system. In this context, this article considers the current situation of oilfield storage and transportation systems, explores the optimization design of intelligent oilfield storage and transportation systems, proposes multiple strategies for improving energy efficiency of intelligent oilfield storage and transportation systems, and analyzes typical cases, aiming to provide written reference for relevant personnel.

## Keywords

intelligence; Oilfield storage and transportation; Optimize design; Energy efficiency improvement

## 智能化油田储运系统优化设计与能效提升研究

刘向前 徐明 王凯

中国石油长庆油田分公司, 中国·陕西 西安 710000

## 摘要

油田储运系统智能化转型是我国能源产业中的一个核心环节, 其优化设计与能效提升对保障能源安全、促进可持续发展至关重要。随着能源领域智能化转型的不断发展, 物联网、大数据、人工智能等先进科技已被广泛应用于油田储运领域, 为系统智能化改造奠定了坚实的基础。在此背景下, 本文思考了油田储运系统的现状, 探究了智能化油田储运系统优化设计, 提出了多项智能化油田储运系统能效提升策略, 并对典型案例进行了分析, 旨在为相关人员提供书面参考。

## 关键词

智能; 油田储运; 优化设计; 能效提升

## 1 引言

根据中研普华产业研究院发布的《2024—2029 年中国油气储运行业发展分析与前景展望研究报告》显示, 全球油气储运市场规模已突破数千亿元人民币, 2023 年全球原油海运量达 2032.5 百万吨, 同比增长 2.95%, LNG 海运量达 554.2 百万吨, 增速 3.79%<sup>[1]</sup>。面对如此庞大的市场规模及持续增长的需求, 油田储运系统的智能化升级可以说是迫在眉睫。采用智能化技术可以极大地改善储存和运输的效能, 降低能源消耗, 也可以有效提高整个系统的安全性和可靠度。以先进的智能控制理论为基础, 构建基于智能监测系统、自动化调度平台、数据分析与预报模型的综合集成方法, 有效

优化储运流程, 从而大幅减少整个系统的能量消耗。

## 2 油田储运系统现状

### 2.1 传统油田储运系统的特点与不足

传统油田储运系统结构复杂, 涉及各种设备, 如井口设备、集输管网、处理站、储油罐和输油泵等, 工作流程包括多相流输送、油气分离、原油脱水和增压输送等, 具有点多、面广、线长的特点。在运行过程中, 需要应对高温、高压、易燃易爆等恶劣的工作条件, 且需要具有很强的生产连续性。但是, 传统系统仍存在很多缺点。泵机组运行年限较久, 利用率较低, 相当一部分泵机组的能效在 75% 以下, 造成了较大的能量损失; 加热炉的热效率还达不到 80%, 很难适应高效率生产要求。而在控制方面, 由于缺乏有效的智能调控手段, 人工干预不能准确地适应流量变化, 导致 30% 左右的能源浪费。在管理方面, 各个节点之间存在一定的数

【作者简介】刘向前 (1974—), 男, 中国陕西白水人, 硕士, 工程师, 从事油田开发建设研究。

据壁垒，导致各个节点之间的信息不能进行有效的分享和协作，导致效能监测的落后，很难在短时间内发现并处理能耗过高的问题。

## 2.2 智能化技术在油田储运中的应用现状

目前，油田储运领域正在逐渐向自动化、信息化的方向发展。随着物联网技术的普及，压力、流量、温度等传感器在管网及设备的关键部位进行了高密度的分布，实时采集海量数据，为系统状态监测提供了基础。比如，一些油田利用物联网技术建立了一套实时的数据收集平台，把数据采集频率提升至秒级，大幅提升了数据获取的时效性。利用大数据和云计算等方法构建数据中台，实现对所收集到的大量数据的有效存储、处理和分析。例如长庆油田利用大数据技术，实现设备异常情况的准确预报，便于操作人员提前安排维护工作，减少了 40% 的非计划停机。人工智能算法的全面应用，采用强化学习算法可以精确地预报运输流量和压力等参数，为智能化决策奠定基础。但是，由于智能化技术的运用仍存在区域差别，一些偏远或老旧油田受限于基础设施和资金的限制，智能化改造的进程较慢，要想达到整个行业的绿色高效发展，还需要提高总体的智能化程度<sup>[2]</sup>。

## 3 智能化油田储运系统优化设计

### 3.1 智能硬件系统升级设计

在智能化油田储运系统中，智能硬件系统升级是优化设计的基础。泵机组作为能源消耗的主要来源，而常规的泵机组效率较低、调整灵活度较低，因此需要对其进行改造，利用变频器对流量和压力数据进行实时监控，从而实现对电机转速的实时调整，可将泵机组的工作效率由 75% 提高到 85%，减少不必要的能源消耗。另外，采用永磁同步电机替代异步电机，具有更高的功率密度和效率，从而降低了电力消耗。利用地理信息系统（GIS）技术，对管网的拓扑进行解析和重建，通过仿真管路的运动轨迹，减少多余的管路和弯管，使管路的整体阻力减小 20% 以上。在管道中的重要部位加装电动调节阀等智能型阀门，根据用户的需要，对其进行精确的流量控制，减少常规节流器所带来的能源损耗。在加热环节，利用电磁感应加热技术代替传统的火筒炉，通过电磁感应使原油本身产生热量，提高 90% 的热效率，降低明火的风险，提高系统的安全性。

### 3.2 智慧软件系统集成设计

智慧软件系统集成设计，是油田储运系统智能化优化设计的核心。构建基于大数据与云计算的数据中台，结合传感器、设备运行、环境监测等多种来源的信息，建立面向大数据和云计算的信息平台，并对其进行有效的集成和管理。数据中台具有实时数据处理、分析和挖掘功能，比如通过对设备振动、温度和电流等数据进行全面分析，可以对设备故障进行预警，减少非计划停机时间。应用数字孪生技术，构建储运系统的全流程 3D 仿真模型，与物理系统实时映射，

并将其误差率保持在 5% 以下。通过该虚拟仿真平台，管理人员可以对管网流量调整、设备启停策略等进行仿真，从而减少运行过程中的经济损失。AI 算法深度融入软件系统，利用强化学习算法对输送过程中的各种参数进行动态优化，并根据油井的产量和压力等信息，自动调整泵机组的转速和阀门开度，以达到能耗和效率之间的最佳平衡；采用机器学习算法对原油物理特性和环境温度等参数的统计分析，对原油在运输中的凝蜡和凝蜡风险进行预警，并提出相应的防范措施<sup>[3]</sup>。

## 4 智能化油田储运系统能效提升策略

### 4.1 储罐能效优化

储罐是油田储运系统中的重要组成部分，其能效优化对于整体能源控制有着重要的作用。针对常规储罐散热损失大、蒸发损失大等缺点，从隔热、监测和控制三个角度进行改造。在隔热材料方面，利用新一代的高性能绝热材料如纳米气凝胶毡和真空绝热板代替常规的石棉和聚氨酯，使储罐内壁面散热达到 40%，同时还可解决由于油品降温引起的二次加热能耗。将智能浮动托盘技术应用于储罐的上部，利用传感器对浮动托盘与罐壁之间的缝隙进行在线监控，实现对密封机构的动态调整，达到最大限度地减少石油和天然气的消耗。储罐能源效率优化的关键是采用智能监控系统，通过在储罐的内壁设置温度、压力和液位传感器，并利用物联网技术实现对储罐的实时监测。该系统采用人工智能的计算方法，对储液槽的温升进行实时的计算，并对蓄热器的放散率进行预报，从而实现对蓄热器的启动和关闭。比如，通过对夜间环境温度下降幅度的预测，提前对加热时间进行优化，以防止能源的过度消耗，实现储罐能效的精细化管理。

### 4.2 输送系统能效提升

输送系统是油田能源消耗的主体，其智能化改造的重点在于设备升级、参数优化和智能调控。在硬件上，采用变频驱动和永磁体驱动的方式，利用变频器对管路内的压力和流速进行检测，实现对电机转速的自动控制，将泵效率由原来的 70% 提高到 85%，减少 15%~20% 的能源消耗。同时，在长输管线上加装智能清管器，采用嵌入式传感技术对管线内壁污染状况进行在线检测，并结合大数据分析预测结垢效率，实现对管线内污染程度的准确评估，从而降低管线阻力带来的附加能源消耗。在工艺参数优化和智能调控层面上，采用机器学习算法构建工艺参数的预报模型，该模型综合分析油井产量、原油黏度、环境温度等多源数据，预测最佳的输送流量与压力，以减少由于参数设定不当而导致的能耗损失。比如，通过对高凝油输送过程的模拟分析，并对其进行加热温度和输送速度的动态调节，实现加热能耗降低 25% 的节能目标。此外，通过建立多泵站的协同调度体系，利用遗传算法优化各个泵站的启动时序和操作负载，实现全线能耗最低化<sup>[4]</sup>。

### 4.3 系统集成与协同优化

系统集成与协同优化旨在打破油田储运各环节的数据屏障,提高整个过程的能效,通过建立统一的智能管理平台,将储罐、输送管道、处理设备等各子系统的数据进行整合,形成涵盖生产、运输和储存的全链式数据共享体系。该平台利用数字孪生技术,建立存储设施的3D建模,实现了对各个设施的动态仿真,直观显示能源的流动路径与损耗节点,为系统优化设计提供可视化的决策支持。在协同控制方面,利用多目标优化算法使各个连接的操作参数达到均衡。比如,根据储罐的液位、油井产量和管线的运输容量,对泵机组的运转次数和速度进行动态调节,从而防止“小马拉大车”的问题;综合考虑炼厂的市场需求量和管线的运输效果,对油品的调配方案进行合理的调整,减少无效运输和重复加热。同时,构建能源动态平衡机制,通过对各个节点的能量消耗进行实时监控,实现对能量的合理配置,如将处理站余热进行循环利用,则可提高整个装置的能效。

### 4.4 可再生能源与清洁能源的利用

在“双碳”目标的驱动下,利用可再生能源与清洁能源是提高油田储运系统能效的主要发展趋势。应用太阳能光伏技术,在偏远井场、储罐区和空闲区域等处安装太阳能电池板,利用太阳能转换成电力,为站内仪表、照明和其他小型装置供电,部分项目的自给率可达到30%。而风力发电适合于风能资源丰富的油田地区,利用小规模分布式发电机组,与光伏发电系统组成互补,可有效降低对传统电网的依赖程度,降低电力消耗。氢能和天然气的混合使用为储运系统开辟了新的途径,在长距离输气管线中加入氢能,可以提高能量传输的效率,减少二氧化碳的排放量;在油田处理站和储运中心建设燃气涡轮机组,采用分布式的天然气能量供应方式,使其能量利用率达到70%。储能技术的配套应用可以有效缓解可再生能源的间歇性问题,即通过锂电池、相变储热等设备将过剩的电力和热量存储起来,并在峰值时段将其释放出来,以提高系统的可靠性与稳定性。

## 5 典型案例分析

吉林油田扶余采油厂油水处理中心站是一座具有50多年历史的大型场站,其设备众多、工艺复杂,自动化程度只有24%,不能实现井-间-站的一体化联动,限制了其工作

效率,同时也存在人员流失造成的劳动力短缺问题。为此,信息技术公司以“两化”转型为主线,坚持“自主设计、自主研发、自主建设、自主运营”的原则,对该站实施智能化改造。以“十年不落后”为标准规划系统功能,结合物联网、大数据和人工智能等前沿科技,制定出一套具有较高性价比的智能化方案。整个工程通过必要的数据采集、关键工艺流程自动化改造及站控系统智能化开发部署,实现了“三个一”的目标。建立自动控制和协调联动系统,实现集输、排污等系统的设备和设施的自动控制,操作人员能够远程调控作业参数,大幅提升了工作效率;构建智能分析和综合决策平台,对各类信息资源进行集成,构建数字化的生产调度中心,进行综合控制;实现站内托管、少人值班的模式,实现上下信息的共享与联动,做到人员精简而管理能力与安全性不降。改造后,全站值守人员由原来的24人,减少到6人,使生产和管理方式得到了彻底的改变。该案例充分说明了运用智能化技术对油田储运系统进行优化,能够提高生产效率、降低人力成本,对同类企业油田储运系统优化具有一定的参考价值<sup>[5]</sup>。

## 6 结语

综上所述,智能化油田储运系统优化设计与能效提升,既是科技创新的发展方向,又是能源工业绿色高效发展的重要途径。通过对现代科学技术的全面运用,能够大幅提升储存和运输的效能和安全性,有效减少能源消耗,推动环保事业的可持续发展。未来,随着技术的不断进步与应用的持续深化,智能化油田储运系统将在提高能效、降低成本及环境保护等方面展现出更加广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] 张芷青.油田企业含油污泥储运管理现状及趋势分析[J].炼油与化工,2025,36(01):12-17.
- [2] 赵哲.油田原油储运系统能耗分析与节能措施[J].石油石化节能与计量,2024,14(08):52-56.
- [3] 马国栋.油田油气管道储运的安全防范建议[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(14):77-79.
- [4] 刘诚.油田油气集输储运工艺设计技术研究[J].中国储运,2024,(04):90-91.
- [5] 李强.浅析油田油气集输储运工艺设计[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(15):145-147.