

# 原油外输管道低输量运行技术探究

杨文斌 刘中正（延长油田股份有限公司靖边采油厂，陕西 榆林 718500）

**摘要：**近年来，原油外输管道的运行情况呈现出一定的波动性，受多种因素的影响，包括全球市场需求变化、地缘政治风险以及国内生产能力的调整。尽管一些地区的原油外输量有所上升，但整体来看，管道的低输量运行问题依然突出。管道老化、维护不足及技术更新滞后等问题，在一定程度上制约了其输送能力的提升，低输量运行不仅降低了管道的经济效益，还可能造成资源的浪费和环境风险的增加。基于此，本文主要论述了原油外输管道低输量产生的原因以及现存问题，并给出了相关策略，为日后的原油外输管道传输提供重要的参考。

**关键词：**原油；外输管道；低输量；输送

中图分类号：TE832

文献标识码：B

文章编号：1674-5167(2025)013-0101-03

## Exploration of Low Capacity Operation Technology for Crude Oil Export Pipeline

Yang Wenbin, Liu Zhongzheng (Yanchang Oilfield Co., Ltd. Jingbian Oil Production Plant, Yulin Shaanxi 718500, China)

**Abstract:** In recent years, the operation of crude oil pipelines has shown a certain volatility, affected by a variety of factors, including changes in global market demand, geopolitical risks, and adjustments in domestic production capacity. Although the crude oil export volume has increased in some areas, the overall problem of low pipeline operation is still prominent. Problems such as pipeline aging, inadequate maintenance and lagging technological update restrict the improvement of transportation capacity to a certain extent, and low throughput operation reduces the economic benefits of pipelines, but also causes resource waste and increases environmental risks. Therefore, this paper mainly discusses the causes and existing problems of low crude oil export pipeline, and gives relevant strategies to provide reference for future crude oil export pipeline transmission.

**Key words:** crude oil; External transport pipeline; Low throughput; transport

在全球能源需求日益增长的背景下，原油外输管道的效率与安全性愈发受到重视。尽管管道运输作为一种重要的原油输送方式，其在保障能源供应的同时，也面临着低输量情况下的运行挑战。低输量运行可能会导致输送效率的降低，还可能引发管道内流体的沉积和腐蚀等一系列后果。本文旨在探讨原油外输管道在低输量条件下的有效运行技术，分析相关影响因素，并提出相应的优化策略，以期为行业发展提供参考与借鉴。

### 1 原油外输管道低输量产生的主要原因及现存问题

#### 1.1 原油外输管道低输量产生的主要原因

国内多数油田开采的原油含有较高比例的蜡质成分，这类原油在运输过程中，需依赖自身流动产生的热量，以及管道保温措施维持温度，以避免蜡质在低温下凝固形成堵塞。由于我国油田的开采处于中后期阶段，原油的开采量逐年降低，因此国家原油的生产已进入低产模式，直接导致输油管道的实际运输量，大幅低于设计标准。早期管道建设时，管径、保温系统及配套设备，均按正常产量对应的输量设计，如管道内原油流速及温度控制参数均以稳定输量为前提设定。

但随着实际输量持续下降，原油在管道内的流速显著降低，流动过程中因摩擦产生的热量随之减少，而管道自身向外界散失的热量却无法同步下降，导致油流温度逐渐跌破维持蜡质液态的临界值。这一温度变化引发连锁反应：流速减缓使原油在管道内的停留时间延长，低温环境下蜡质开始从原油中析出，逐渐附着在管道内壁形成沉积层。

与此同时，传统清管技术因输量不足面临失效风险，清管作业所需的驱动力与管道内原油流速直接相关，低输量状态下清管器易因动力不足，卡滞在管道中，导致沉积物无法有效清除，进一步加重管道堵塞。这种系统性失衡使得管道输送效率持续降低，最终形成制约油田经济效益与管道安全运行的双重困境。

#### 1.2 原油外输管道低输量运行中现存的问题

我国在原油外输管道的低输量运行中，温度降低引发的管道结蜡问题尤为突出，这种蜡层的形成主要源于原油在传输过程中，因环境温度下降而逐渐析出，并附着于管道内壁，导致管道内各部位蜡层厚薄不一。这一现象对管道内的原油传输空间造成显著压缩，同时也增加了流体在管道内的流动摩擦，从而使传输效率大幅下降。随着低输量运行的持续，蜡层不断累积，进一步加剧了摩擦阻力，迫使管道输送能力持续下降。

此外，蜡层在传输体系中的作用具有一定双重性：一方面，当温度和流量波动不大时，它像一层保温膜，可以在一定程度上维持管道内的热量，减缓温降，从而提高原油到达下一加热站的温度，减少再加热所需的能耗；另一方面，在高负荷运行时，蜡层的存在则变成阻碍因素，不但降低了有效输送截面积，还大幅增加了能耗，进而削弱整个系统的传输效率。值得注意的是，低输量状态下的管道运行尤其容易导致蜡层进一步积厚。

当输送流量略有增加时，受限截面的影响将增加能量损耗；而当输送流量继续下降时，管道空隙被更多蜡层填满，有可能迫使输送系统停机清理。这种不稳定性显然对低输量运行提出了更高的挑战，既可能进一步加重设备运行和维护成本，也可能危及长距离原油输送的稳定性。

## 2 原油外输管道输送能力下降的检测方法

### 2.1 检测加热站间热量

在原油外输管道运行过程中，加热站间热量监测，是评估输送能力变化的核心手段之一，其关键在于通过对比相邻加热站的热量数据变化，精准捕捉管道沿程温度衰减规律。具体实施时，需在上游加热站出口处安装温度传感器，实时记录原油经加热后的初始温度值，同时，在距离该加热站一定里程的下游加热站入口处同步部署测温装置，两者形成温度监测节点对。当原油流经两个加热站之间的管道时，受管道保温性能、环境温度及原油流速等因素影响，油流温度会自然衰减，通过计算上下游温度差值可量化该管段的热损失程度。

操作过程中需确保两个监测点的数据采集时间，严格对应同一批次原油的流动时间，避免因油流速度波动导致数据错位。数据分析时需建立温度衰减基准曲线，当实测温差持续超出历史同期平均值一定百分比时，即可初步判断管道存在异常热损失。这种异常通常由管壁蜡层增厚引起，因为蜡沉积物相当于在管道内壁形成隔热层，导致油流向外界散热速率加快，同时蜡层本身占据流通截面会迫使原油流速降低，进一步减少流动摩擦生热。相关人员通过长期积累加热站间温差数据，可构建管道热力性能退化趋势模型，当温差年增长率超过一定值时，预警系统应启动深度检查程序。

### 2.2 检测传输管道流量

在原油外输管道的运行管理中，流量监测是判断传输效率与管道健康状态的关键指标，其核心在于通过实时追踪流量变化，结合运行参数分析，精准识别低输量下的异常状况。实际操作时需在管道关键节点

布设高精度流量计，例如，泵站出口、加热站前后及重要分输点，确保能持续获取不同区段的流量动态。正常输量下，流量数值应与泵机功率、管道压力形成稳定对应关系，当流量持续低于设计值的一定百分比且泵机功率不降反升时，则提示管道内壁摩擦阻力异常增大。

为提高检测可靠性，建议采用双路监测系统，如在同一点位安装两种原理不同的流量计，通过数据互校消除设备误差。低流量时段需特别关注夜间低温环境下的数据稳定性，例如凌晨流量波动幅度若达到白天的几倍，往往反映管道局部存在蜡堵或保温失效。通过长期积累不同工况下的流量特征，可构建管道状态评估体系，当流量月均衰减率超过一定值时，系统自动触发预警并建议缩短清管周期或调整加热策略。这种动态监测机制不仅能实时捕捉管道性能变化，还可为工艺优化提供依据，例如在流量跌破安全阈值时自动启动化学添加剂注入或临时增压措施，从而打破低输量下的恶性循环，确保管道在复杂工况下的稳定运行与经济性。

### 2.3 检测传输管道管径

在评测原油外输管道的低传输效率时，管径的检测是一个至关重要的环节。由于原油输量的减少会导致管道内部温度变化频率增大，需要定期监测管道的内径以确保其正常运作。首先，超声波测量是一种有效手段。该技术通过在管道外部发射超声波，然后接收其反射信号来测量管道内径。因为它不会对管道造成损伤，并且可以在不干扰管道运行的情况下进行测量，非常适合用于管道的在线监测。其次，考虑到蜡层析出的影响，温度的变化可能导致蜡层附着在管道内壁，从而增厚管壁，减少有效流通面积。因此，在温度降低的情况下，除了监测管径外，同时需要关注流体的温度和流速等参数，以便于及时发现蜡层的形成。为了实现这一点，可以采用综合监测系统，对管道的温度、压力和流量进行实时监控，确保一旦蜡层厚度超出安全限制，可以及时发出警报，通知维护人员进行清理。同时，结合数据分析工具，可以对检测结果进行进一步的分析和处理，以确定管道的最佳维护策略。定期检测管径并与流体参数相结合，有助于全面了解管道的运行状态，从而有效降低因蜡沉积造成的流量损失，提高原油的传输效率。通过这些措施，可以确保原油外输管道在变化的操作条件下，保持可靠的传输性能。

## 3 原油外输管道低输量问题的解决策略

### 3.1 传输途中增加新加热站

针对原油外输管道低输量工况下，因温降导致的

管壁蜡层析出问题，通过优化加热站布局，实现温度控制是核心解决策略。实际措施为在相邻两座原有加热站之间增设一座新加热站，形成阶梯式温度补偿体系，该策略的关键在于通过实测管道沿程温度梯度，建立数学模型计算新增加热站的最佳介入位置，确保原油在流动过程中始终高于析蜡临界温度。在实施阶段需结合实时流量与地温数据，动态调整各加热站输出功率，优先满足最低有效热负荷需求，避免过量供热造成的能源浪费。对于新增加热站的运行参数设定，需基于原油物性特征与管道保温性能进行精确测算，重点平衡加热频率与温度衰减速率的对应关系，既保障管壁剪切应力不足以引发蜡晶沉积，又控制燃料消耗处于经济区间。

实际应用中需建立多站联动调控机制，通过前端加热站的基础温升与新增站的点状补热协同作用，形成覆盖全管段的动态热力平衡网络，该方案的优势在于以最小改造代价突破传统加热间距的温控瓶颈，尤其适用于输量波动频繁的管道系统，通过灵活启停新增加热设备，既能应对短期输量锐减导致的温降风险，又可避免长期高负荷运行带来的成本压力。实施后可通过监测管壁结蜡速率与压力损失变化验证温控效果，逐步优化加热站运行模式。

### 3.2 原油与水掺混进行输送

原油外输管道在低输量传输过程中，常面临结蜡和效率下降等问题，而有效的解决策略之一，便是采用原油与水掺混的方式进行输送，这种方法的关键在于在原油传输起点设置专门的掺水站点，对传输的原油按照需求，进行合理的水比例调节。通过精准测量并确认传输管道的最低输量要求，可根据实际的输送量与最低输量之间的差距，灵活实施掺水操作，确保流体在低输量状态下仍能保持足够的流速和管道清洁度，从而有效减轻结蜡的发生。

此外，在原油流经管道的过程中，掺入的水与原油混合形成乳状液体，这不仅能维持管道内部较高的流速，更能一定程度上降低输送过程中的摩擦阻力，同时阻隔部分原油与管壁接触，减少蜡层的附着几率，达到抑制结蜡的效果。在传输终点处则需建设专门的脱水油污水处理站，通过科学高效的水油分离装置，将传输过程中掺入的水与原油彻底分离，从而确保原油质量达到规定标准。

与此同时，对分离出的水进行净化处理，也能够使其符合环境排放要求或重新循环使用，进一步减少资源浪费和运行成本。从整体流程来看，这种掺水输送方式具有较高的灵活性，能够很好适应低输量状态下的运行需求，同时在确保传输效率和原油品质方面，

也表现出较高的可靠性。

### 3.3 间歇运行原油管道输送

为了应对外部环境温度变化较大地区，原油外输管道在特定季节和条件下的低输量问题，间歇运行策略提供了一种高效且灵活的解决方案。其核心理念在于，根据季节和环境特点合理设计输送计划，优化运营效率的同时减少输送压力。在冬季低温条件下，由于原油黏度增加及输送能耗明显升高，输送效率显著降低，间歇运行策略可选择在这段时间内，暂时停止管道的运行，不仅节省了能耗，还能有效避免极端寒冷可能带来的设备损害。

而进入气温较高的夏季后，燃油条件有所改善，此时则可以提高管道的运行频率，通过更高效的方式加速原油传输，进一步提升季节整体输送量，这种动态调整实现了对能源资源的优化利用，还有效降低了运营成本，同时间歇运行为管道停止期间创造了设备维护的机会，可延长设施使用寿命，减少连续高负荷运行带来的磨损与老化风险，与长远发展需求相契合。

实施这一策略时，需全面考虑季节性因素与突发性需求的交互影响。例如，面对某些极端天气条件可能带来的突发输送高峰需求，应提前制定完善的应急预案，以保障输送任务顺利完成。同时，在高强度输送阶段，如夏季频繁运行期间，仍需对设备性能进行实时监控，确保管道在高负荷运作下保持稳定性与安全性。

## 4 总结

原油外输管道低输量运行的技术研究，对我国的原油产业具有重要的影响。通过对原油外输管道低输量运行中现存的问题的分析，提出解决因温度降低而在传输管道内壁析出的蜡层解决方案，提高原油的传输效率。未来，随着技术的不断进步，原油外输管道将在低输量条件下，实现更加智能化和自动化的管理，从而有效应对日益复杂的市场环境与资源约束。与此同时，持续创新和经验分享也是推动行业进步的重要因素，亟需相关企业和机构深化合作，携手应对挑战，促进原油外输管道技术的全面提升。

## 参考文献：

- [1] 成庆林, 李越, 杨金威, 等. 基于动态规划法的原油管道外输系统运行能耗优化 [J]. 能源与环保, 2023(2): 167-172.
- [2] 王士猛. 烟气惰气替代工艺惰气的可行性分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023(14):134-136.
- [3] 于孝合. 原油管道顺序输送节能运行优化技术研究 [J]. 石油石化节能与计量, 2024(8):16-21.