

# 石油管道储运系统中温度控制对输送效率的影响分析

张 贺（山东港源管道物流有限公司，山东 烟台 264000）

姜慧良（山东联合能源管道输送有限公司，山东 烟台 264000）

**摘要：**在石油需求增长及管道储运重要性凸显的背景下，为提升输送效率，深入研究温度控制对其的影响至关重要。综合运用文献分析、案例研究与理论建模等方法，探究温度影响管道储运的因素及机制，涵盖油品粘度、混油现象、管道布局等方面。结果表明优化温度控制能显著提升输送效率，降低能耗与成本，增强安全性与稳定性，这对石油行业可持续发展、保障能源供应具有重要意义，为管道储运系统的优化提供关键依据与方向。

**关键词：**石油管道；温度控制；输送效率；油品粘度；混油现象

## 0 引言

随着全球能源格局的持续演变，石油作为关键能源，其管道储运效率愈发成为行业焦点。传统储运模式面临着能耗高、安全性待提升等问题，亟待创新优化。而温度，这一在石油管道储运中易被忽视却又至关重要的因素，悄然掌控着油品的粘度、混油情况乃至整个输送流程的稳定性。深入剖析温度控制与输送效率的内在关联，不仅能挖掘节能降耗的潜力，更能为构建智能、高效、安全的管道储运新体系提供核心支撑，开启石油管道储运的全新篇章。

## 1 温度影响石油管道储运的关键因素剖析

油品粘度随温度呈规律性变化，温度升高，油品分子热运动加剧，分子间作用力减弱，致使粘度降低，流动性增强；反之，温度降低则粘度增大。在石油管道储运中，这种关联直接影响输送阻力。精准把握二者关系，有助于通过温度调控优化油品流动性，减少管道摩擦阻力，降低能耗，提高输送效率，契合能源高效利用与可持续发展理念，为管道输送的精细化管理提供关键依据。温度变化改变油品的物理化学性质，影响其扩散系数与界面张力。高温促使油品分子扩散加快，不同油品间的混合程度加剧，混油段长度增加；温度波动可能导致油品密度改变，引发分层不稳定，进一步影响混油分布。深入探究这一作用机制，能够为优化管道输送顺序、控制混油风险提供理论支撑，在油品顺序输送中实现精准温度管理，提升输送的安全性与经济效益。在长距离直线管道中，油温受环境温度影响形成梯度分布，影响油品粘度与输送动力需求；复杂的管网布局如分支、弯曲管道处，由于流态变化与传热不均，会出现局部温度异常，增加输送阻力与能耗。合理设计管道走向与隔热措施，结合管道

布局特点进行温度调控，可有效平衡热损失与输送效率，推动管道系统向高效、稳定运行方向发展。

## 2 温度控制在石油管道各环节的作用

### 2.1 原油管道的温度控制策略与输送成效

基于原油的高凝点和高粘度特性，需采用适宜的加热策略。在起始端精准加热，确保原油温度高于凝固点并维持合适的粘度范围，可降低摩阻损失，提升流动性，进而提高输送效率。利用先进的温控系统实时监测油温，结合管道沿线的热损失模型，动态调整加热功率，保持油温稳定。优化加热时间和温度设定，避免过度加热造成能源浪费。这种精细化的温度控制策略，不仅保障了原油的安全、稳定输送，还减少了能耗，增强了管道运行的经济效益和环境效益，契合绿色、高效的能源运输发展理念。

### 2.2 成品油管道温度变化对输送的影响

温度升高，油品体积膨胀，会使管道内压力上升，增加管道应力风险，可能导致管道泄漏等安全隐患，同时也会加大泵的负荷，消耗更多能源。而温度降低，成品油粘度增大，流动性变差，摩阻系数增大，使输送动力需求显著提高，甚至可能造成管道堵塞，严重影响输送的连续性。温度波动还会影响油品的质量稳定性，加速油品氧化变质。在成品油管道输送中，精准的温度调控是确保管道安全、高效运行以及保障油品质量的关键，需综合考虑环境因素、输送距离和油品特性等，采取有效的保温或降温措施来维持稳定的输送状态。

## 3 基于温度的管道储运系统能耗分析

### 3.1 温度与泵耗的动态关系

在石油管道储运系统中，温度与泵耗之间存在着紧密且复杂的动态关联，深刻影响着整个输送流程的

经济性与稳定性。油品的温度犹如一把“钥匙”，开启了其粘度特性变化的“大门”。当温度攀升时，油品分子间的相互作用力减弱，粘度显著降低，流动性得以大幅增强，这意味着油品在管道内流动时所遭遇的摩擦阻力相应减小。对于泵而言，其输送油品时所需克服的阻力也随之降低，从而使得泵的能耗呈现下降趋势。以部分轻质油品的输送实践为例，合理提升温度能够有效地降低泵的工作压力，进而削减电力资源的消耗，实现了显著的节能效果。一旦温度降低，油品的粘度便会迅速增大，流动性变差，泵不得不消耗更多的能量来推动油品在管道中前行，泵耗由此急剧上升。这不仅会导致运营成本的增加，而且长期处于过载运行状态的泵，其设备寿命会受到严重影响，输送的稳定性也难以保证。温度的波动还会引发油品流态的不稳定，使得泵的工作效率大打折扣。精准把控温度，将其稳定维持在合理区间内，对于优化泵耗、推动能源的高效利用以及确保管道输送系统平稳可靠运行而言，具有不可替代的关键作用，完全契合当今可持续发展的能源管理理念，是石油管道储运领域迈向高效、低耗、稳定发展的重要路径。

### 3.2 加热制冷成本对总能耗的贡献

石油管道储运过程中，加热和制冷操作的成本在总能耗中占据重要地位，对于高凝点、高粘度的油品，加热是确保其正常输送的必要手段。通过加热提高油品温度，降低粘度以减少摩阻损失，但加热过程需消耗大量的能源，如天然气、电力等，这直接构成了显著的成本支出。在一些高温环境或对油品质量有特殊

要求的情况下，制冷操作也不可或缺，其同样会消耗可观的能源资源，进一步增加成本。加热和制冷成本与总能耗之间存在着直接的正相关关系，它们的波动会对整体能耗产生显著影响。

## 4 温度监控与调节技术的应用探讨

### 4.1 先进温度监测手段的效能

分布式光纤温度传感技术，其利用光纤作为传感介质，能够沿着管道连续、实时地监测温度分布情况，精度可达零点几摄氏度甚至更高。这种高精度监测可以精准捕捉管道沿线因油品流动、环境因素等导致的细微温度变化，为及时发现潜在问题提供了可能。一旦管道出现泄漏，泄漏点周围温度会因油品的逸出而改变，分布式光纤温度传感系统能迅速响应，精确定位泄漏位置，有效减少油品损失和环境污染风险，大大提升了管道运行的安全性。红外热成像技术也发挥着重要作用。通过非接触式测量，它可以快速获取管道表面的温度场图像，直观呈现温度异常区域，无论是因保温层损坏导致的热量散失，还是管道内部因结垢、流体异常引起的温度变化，都能清晰地反映在热成像图上。这有助于运维人员及时发现管道的热工缺陷，提前采取维护措施，避免因局部过热或过冷引发的管道故障，保障管道的稳定运行，同时降低了维修成本和潜在的生产中断风险，契合智能、高效的管道运维新发展理念。

### 4.2 温控调节系统的优化路径

新型的电加热装置具备快速升温、精准控温的特性，通过优化的加热元件布局和智能温控算法，能够

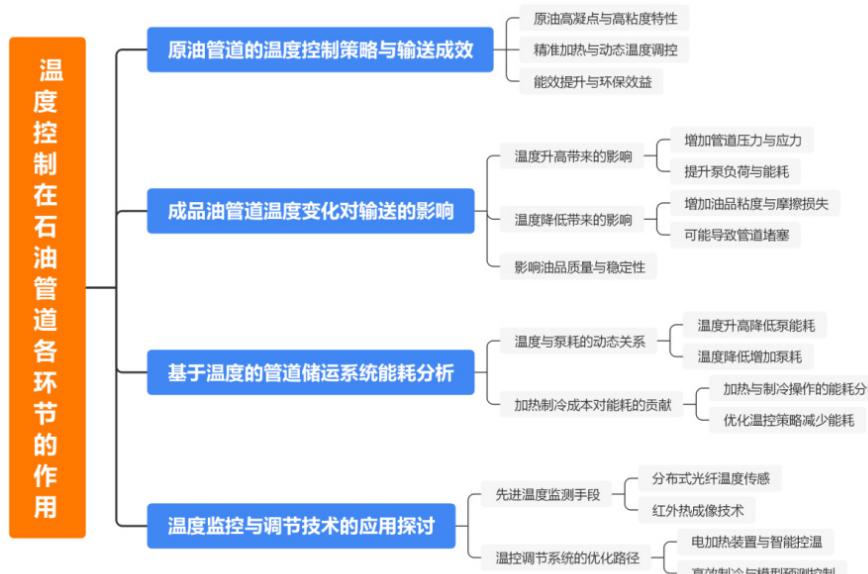


图 1：温度控制在石油管道各环节的作用

根据管道内油品的实时温度和流量状况，精确调节加热功率，避免能源的过度消耗，提高热效率。在制冷方面，选用能效比高的压缩制冷机组，并结合先进的蓄冷技术，利用低谷电价时段进行蓄冷，在高温时段释放冷量来调节油温，降低制冷成本。从控制策略优化层面，引入基于模型预测控制（MPC）的方法，综合考虑油品的物性参数、管道的传热特性、环境温度变化以及泵的运行工况等多因素建立精确的温度预测模型。通过该模型提前预测管道内温度的变化趋势，从而提前调整加热或制冷设备的运行状态，实现精准的温度调控，确保油品在最佳温度范围内输送，提高输送效率，减少能耗，并延长设备使用寿命，推动石油管道储运系统朝着更加智能化、节能化和可持续化的方向发展。如图1所示。

## 5 温度控制提升输送效率的综合策略

### 5.1 协同考虑多种因素的温度控制模型

油品的物理化学特性首当其冲，不同油品的比热容、导热系数、凝点、粘度随温度的变化规律各异，这些特性深刻影响着热量传递与能量消耗过程。高粘度油品在低温下流动性极差，需精确的温度提升策略来保障其可输送性，而轻质油品则需避免温度过高导致挥发损失加剧。管道材质与结构同样关键，金属管道的导热性能强，热传递迅速，需要更精细的隔热措施和温度补偿机制；而塑料管道虽导热慢，但可能存在强度和耐温性问题，其温度控制范围相对狭窄。

管道的管径、壁厚以及铺设路径的地理环境，如土壤的导热系数、地温梯度等，都会影响油品与外界环境的热交换效率，进而左右温度控制策略。输送流量和流速的动态变化也不容忽视。高流量时，油品自身的摩擦生热显著，需要适当的散热措施；低流量时，又要防止热量散失过快导致油温过低。综合这些因素，运用先进的数值模拟技术，如计算流体力学（CFD）与传热学模型相结合，构建高度精确的温度控制模型。通过实时采集油品参数、管道工况和环境数据，模型能够动态预测温度变化趋势，并自动调整温控策略，确保管道内油品温度始终处于最佳状态，最大限度提高输送效率，降低能耗，减少安全隐患，这一综合性模型的构建是石油管道储运技术向智能化、精细化迈进的重要基石，符合现代能源产业高效、绿色、安全的发展需求。

### 5.2 适应性温度管理方案的制定与实施

在制定方案时，需充分依据前期构建的温度控制

模型以及管道系统的实际运行数据和工况变化。首先，针对不同季节和地域的环境温度差异，制定灵活的季节性温控策略。在寒冷地区的冬季，重点加强管道的加热和保温措施，采用伴热电缆、保温层优化等手段，防止油品凝固堵塞管道；而在炎热地区的夏季，则侧重于降温措施，如利用喷淋冷却系统、空气冷却器等设备，控制油温在合理范围，避免因油温过高引发油品变质和管道压力异常。

对于油品性质的变化，例如不同批次油品的混合或油品质量的波动，应具备实时监测与快速响应机制。通过在线油品分析仪表，及时获取油品的关键物性参数，根据参数变化动态调整温度管理方案。若油品粘度增大，立即启动相应的加热程序；若发现油品有轻质组分挥发倾向，则适当降低温度并加强密封措施。在实施过程中，建立完善的自动化控制系统是核心。该系统集成了传感器、执行器、控制器和通信网络，能够实时采集温度、压力、流量等数据，并依据预设的温度管理策略自动调控加热、制冷设备以及管道阀门等装置。配套人工巡检和应急预案机制，定期对管道系统进行实地检查，确保温控设备的正常运行和管道的安全状态。

一旦自动化系统检测到异常情况或遭遇突发故障，能够迅速切换至人工干预模式，并启动应急预案，如紧急停泵、放空管道等操作，最大程度降低损失。通过这种全面、精细且适应性强的温度管理方案的制定与实施，石油管道储运系统将在复杂多变的工况下始终保持高效、安全、可靠的运行状态，有力推动石油能源的稳定供应和行业的可持续发展。

## 6 结语

石油管道储运系统中，温度控制贯穿全程，深刻影响输送效率，从油品粘度、混油现象到管道布局，各环节皆与温度紧密相连。精准的温度监测与调控手段不可或缺，其效能直接关系到泵耗、能耗及管道安全稳定运行。通过构建协同多因素的温度控制模型和实施适应性温度管理方案，可实现优化输送、降低成本与风险，保障能源供应的高效与可持续性，为石油管道储运发展筑牢根基。

### 参考文献：

- [1] 孙广勇.石油储运“大动脉”闪耀金色孟加拉国 [N].中国能源报,2023-11-13(005).
- [2] 李辉.石油天然气管道储运的安全管理研究 [J].工程建设(维泽科技),2024,7(1):76-78.