

探究油气集输管网布局优化的发展措施

钟虹

中油(新疆)石油工程有限公司 834000

【摘要】油气集输管网的科学布局在保障油田高效生产中起着关键作用,合理的布局不仅关系到运输效率的提升,更直接影响到投资成本的控制。随着油田规模扩大和开采环境的变化,传统的管网布局模式面临着资源浪费、能耗上升和维护难题等挑战。为实现油气集输的最优效果,必须不断探索创新的布局设计方案,结合油田的地形、油气性质以及生产需求,进行系统性的优化调整。在布局优化中,应注重科学合理的管网结构选择,包括环形、星型等不同布局方式的优缺点,充分利用多元化的材料和技术手段,提升管道的耐腐蚀能力和使用寿命,从而降低维护和更换成本。同时,结合先进的模拟分析技术对管网的压力分布和流量进行优化配置,以提高系统整体的运行效率。通过不断完善布局策略,实现集输工程的智能化管理,不仅可以显著节约投资支出,也有助于提升油田的综合产能,为行业的可持续发展提供有力保障。

【关键词】油气集输管网;布局;优化;意义;措施

Study the development measures of oil and gas gathering pipeline network layout optimization

Zhong Hong

CNPC (Xinjiang) Petroleum Engineering Co., LTD 834000

【Abstract】 The scientific layout of oil and gas gathering pipelines plays a crucial role in ensuring efficient oilfield production. Rational pipeline configuration not only enhances transportation efficiency but also directly impacts investment cost control. With the expansion of oilfields and evolving extraction environments, traditional pipeline layouts face challenges such as resource waste, increased energy consumption, and maintenance difficulties. To achieve optimal oil and gas gathering performance, it is essential to continuously explore innovative layout designs that systematically optimize configurations based on terrain characteristics, hydrocarbon properties, and operational needs. During layout optimization, emphasis should be placed on scientifically selecting pipeline structures (including ring and star configurations) while considering their respective advantages and disadvantages. Utilizing diversified materials and technical solutions can improve pipeline corrosion resistance and service life, thereby reducing maintenance and replacement costs. Concurrently, advanced simulation analysis technologies should be employed to optimize pressure distribution and flow rates, enhancing overall system efficiency. Through continuous refinement of layout strategies, intelligent management of gathering projects can significantly reduce investment expenditures while boosting comprehensive oilfield productivity, providing robust support for sustainable industry development.

【Key words】 oil and gas gathering pipeline network; layout; optimization; significance; measures

1 油气集输管网布局优化内涵及意义

1.1 油气集输管网布局优化内涵

油气集输管网布局优化的核心内涵在于构建一个全生命周期成本最优、工艺适应性强的动态输送网络。其本质是在满足油气水多相流安全、高效输送及后续处理工艺需求的前提下,通过系统性的空间规划与参数匹配,实现基础设施投资、运行能耗及维护费用的综合最小化。优化过程需深度耦合油田地质构造特征(如低渗透储层特性)、油井产能分布规律、流体物性变化趋势(尤其是高含水期流量与性质的显著改变)以及地面环境约束,对管道路径拓扑、管径序列、泵站位置与压力级配进行全局协同设计。关键在于寻求管网拓扑结构与水力系统的动态平衡,既要适应开发中后期注水

量剧增带来的流量与压力波动,保障系统运行弹性,又要最大限度降低管网沿程摩阻与局部压降,提升能量利用效率,最终支撑油气生产全链条的稳定与经济性。这要求设计思维超越静态的管道连接,转向涵盖资源、工艺、环境、经济等多维目标的复杂系统集成优化。

1.2 油气集输管网布局优化意义

油气集输管网布局优化的核心意义在于通过系统性规划实现工程投资与运行效能的双重跃升。作为油田开发中资源最密集的环节,其优化直接决定了全链条成本结构与能源利用效率。针对脱水系统、中转站等管网密集区域,科学的拓扑设计能显著降低高规格管材用量与复杂地形施工成本,尤其通过环形、星型等集约化布局模式压缩无效路径投资。更深层价值在于构建与低渗透油田动态开发相适配的柔性

输送体系——既要克服注水开发后期流体性质剧变引发的流量压力波动,维持工艺系统稳定性,又要通过管径序列与泵站配置的精准匹配,最大限度削减沿程摩阻导致的能量损耗。这种优化超越了传统管道布设范畴,实质是将地质约束、流体特性、环境参数转化为工程决策依据,在保障集输可靠性的同时,为全生命周期成本管控及绿色低碳生产提供底层支撑,最终提升油田开发的整体经济性与可持续性。

2 油气管网集输流程设计的原则

油气管网集输流程设计的根本原则在于构建具备环境适应性与动态响应能力的资源调配系统。其核心是建立多尺度协同机制:在空间维度上,需深度融合地理环境特质(如湿度梯度、地形起伏、气候载荷)与油田内部结构异质性,通过差异化材料选型与路径规划抵消外部扰动;在能量维度上,必须实施全流程能耗闭环控制,以拓扑优化实现资源收集全域覆盖,最大限度压缩无效输运导致的能量散逸;在时间维度上,则要建立压力演化动态适配机制,通过实时监测开采阶段压力场变迁,精准调控转换节点与时序,形成与油藏开发生命周期相匹配的弹性压力级配体系。这三重协同最终服务于流程本质优化——通过消除冗余环节、精简输送路径、抑制压力波动损耗,在复杂约束条件下达成能量效率、资源回收率与运行稳定性的帕累托最优,使集输系统成为链接地质条件与生产工艺的高效能量通道。

3 油气集输管网布局方案设计

油气集输管网布局方案设计的本质在于构建多学科知识融合驱动的动态优化系统。其核心是通过数学物理模型与计算智能体的深度协同,将地质条件、流体特性、环境约束等复杂因素转化为可量化的设计参数。设计过程依托大数据与分布式计算架构,对油井、中转站等节点间的拓扑关系进行全局寻优,在满足压力动态平衡、能耗最小化及全域资源覆盖等硬性约束下,实现管网结构的本质化精简。关键在于建立具有自修正能力的数字孪生体——基于实时采集的流量压力数据,通过机器学习算法持续修正管径配置与路径规划,使管网系统既能适应低渗透油田开发中注水量剧变引发的非线性扰动,又能通过精准的阻力分布调控抑制无效能量耗散。这种设计超越了静态的管道排布,而是形成融合数学规划、流体力学及信息科学的智能响应网络,在数字空间完成千万次迭代验证后,最终输出与油藏生命周期共演进的弹性输送架构。

3.1 地面集输管网设计优化

地面集输管网设计优化的核心在于构建与地理空间和开发动态深度耦合的智能拓扑体系。其本质是通过三维空间契约性建模,将油井分布、站库节点功能及地表环境约束转化为管网架构的生成逻辑。优化过程需重点破解地面设施群

(油站、油库等)与地下资源流的时空匹配难题——既要依据设备规模与输送需求建立梯度化连接策略,通过节点耦合度分析抑制无效冗余;又要运用地质力学与流体动力学模型,在复杂地形中规划具有抗扰动能力的自适应路径。关键创新在于建立"空间-功能-阻抗"协同机制:利用数学规划将管网的物理延展性转化为拓扑弹性,使管道布局既能吸收地表沉降等形变应力,又能通过智能分流技术平衡各节点压力波动。这种设计超越传统静态排布,形成贯穿规划、建设、运维全周期的活体网络架构,在保障输送规范性的同时,实现地面设施群与地下资源流动态共鸣的系统性优化。

3.2 管网井组设计优化

管网井组设计优化的本质在于构建地质空间与管网经济性深度耦合的分形拓扑架构。其核心是通过地理异质性解析驱动差异化集输模式生成——针对油井集群的空间分布特征与产能梯度,运用场域紧密度算法将单井辐射式与多井聚合式输送进行动态配比。关键在于建立井组-集油站的空间契约关系:基于流体动力学原理优化集输半径阈值,通过三维路径折叠技术压缩无效管段,使井组划分既适应地形破碎度对管道应力的约束,又能通过节点聚合度提升抑制压力能损。这种设计形成具有抗扰动能力的微型输送单元群,在保障全域资源归集效率的前提下,实现管网延展成本与地缘阻力的最优化平衡。

3.3 油气集输管网优化布局

油气集输管网优化布局的本质在于构建全生命周期效能最大化的自适应输送体系。其核心是通过地质空间、开发动态与工程经济三者的深度耦合,形成多目标协同的弹性网络架构。在空间维度上,需依据油井集群分布与地表约束特征,运用拓分形理论将单井辐射式、多井聚合式及混合式集输模式动态组合,通过三维路径折叠技术压缩无效管段,实现井组-集油站的空间契约性连接。在流程维度上,需建立与油藏开发周期共演进的分级布站机制:一级布站侧重初分离效率,二级布站强化计量精度调控,三级布站则实现多节点压力能级协同,形成适应低渗透油田注采动态的柔性压力级配体系。

优化过程需破解能量耗散与材料失效的双重约束:一方面运用流体动力学模型精准模拟水力热力耦合损失,通过管径序列优化与智能分流技术抑制无效能耗;另一方面结合腐蚀动力学原理,在材料选型中植入地理环境参数(如土壤湿度、盐度梯度),构建防腐-应力双控的管道寿命保障机制。更深层的创新在于建立"地质-工艺-拓扑"的数字孪生体——基于实时采集的油品物性数据与压力场变迁规律,通过机器学习动态修正布站层级与管网路径,使系统既能吸收注水开发后期的流量剧变扰动,又能通过节点紧密度优化降低高规格管材用量。

这种布局超越了静态的管道连接,形成贯穿勘探、开发、废弃全过程的活体网络。其终极价值在于实现四重平衡:地下资源流与地面设施群的空间平衡,初期投资与长期运维的

成本平衡, 输送效率与安全阈值的能量平衡, 以及刚性架构与动态开发的时序平衡, 最终使管网成为支撑油田绿色低碳生产的智能生命体。

4 油气集输管网布局优化措施

4.1 油气集输管网布局采用多专业联合设计模式

油气集输管网布局的多专业联合设计本质是构建地质力学、流体动力学与信息科学深度耦合的协同决策体系。其核心在于打破传统专业壁垒, 将地理空间异质性、油藏开动态与材料性能边界转化为统一的设计语言。通过融合地质构造解析、腐蚀环境评估与多相流态模拟, 形成覆盖全生命周期的数字孪生基座; 借助智能算法对注水开发中液量剧变等非线性扰动进行预演, 使管网拓扑具备抗冲蚀自适应性。关键创新在于建立“环境-结构-工艺”的实时反馈机制: 地理信息系统提供三维地形应力场, 油藏工程模型输出流量压力演化谱, 材料科学则界定管道失效阈值, 最终在计算流体力学框架内完成千万级变量的协同优化。这种设计模式超越机械叠加, 形成具有代谢能力的活体架构——既通过机器智能压缩人工计算的认知盲区, 又以跨域知识流重塑管网韧性, 在数字空间实现油田地面系统与地下资源流的动态共鸣。

4.2 做好油气集输管网布局可行性分析

油气集输管网布局可行性分析的核心在于建立空间效能、材料寿命与动态风险的三维协同验证体系。其本质是通过地质空间契约性与工程经济性的深度耦合, 在拓扑架构生成阶段预判全生命周期运行边界。重点需破解三重矛盾: 站点选址需兼顾地理约束与输送能效, 通过三维应力场模拟与流体动力学迭代, 使中转站、油库等节点布局既满足储备中转功能, 又能通过路径折叠技术压缩无效里程; 管线配置需平衡材料成本与失效阈值, 运用腐蚀动力学模型将土壤盐度、地形起伏等环境参数转化为管材规格的量化决策依据; 更深层验证在于构建动态风险预演机制——基于注水开发流量剧变特征, 通过数字沙盘模拟极端工况下的压力波动传导路径, 提前规避管网憋压等结构性风险。这种分析超越静态的参数比对, 形成融合实地勘察数据与机器智能推演的决策基座, 最终输出兼具建设可行性、运行韧性及成本可控性的空间拓扑解。

4.3 保证油气管网设计与辅助系统一致

油气管网设计与辅助系统协同的核心在于构建能量流与物质流深度耦合的共生架构。其本质是通过逆向工艺整合

重塑系统边界——将脱水管理、热力调配等辅助单元作为管网拓扑生成的约束条件, 使常温输送、分离后加热等节能策略转化为空间布局的驱动力。关键在于建立管网-设施的双向适配机制: 一方面依据国家规范框架优化站点空间契约性, 通过距离压缩实现辅助系统对主干管网的精准压力支撑; 另一方面运用热力学梯度原理, 使加热节点布局与分离工艺时序形成能量接力, 在保障输送合规性的同时, 将辅助设施转化为抑制管网无效能耗的活性组件。这种协同超越机械配套, 形成以管网为血脉、辅助系统为神经的高效有机体。

4.4 强调油气管道布局设计的节能环保

油气管道布局设计的节能环保本质在于构建环境负熵系统——通过空间拓扑优化实现能量内循环与物质零逃逸。核心策略是将地理生态约束转化为设计驱动力: 运用自喷井能量自持特性精简输送层级, 以拓扑紧缩抑制管壁散热; 通过压力梯度重组与封闭式流道设计, 使分离能耗转化为输送势能; 创新点在于建立“水-能-污”协同机制: 依据地层渗吸特性精准匹配注水压力, 既维持油藏能量平衡, 又借助水力闭环大幅削减采出液处理负荷。更深层突破在于将管网视为生态界面——基于土壤-大气-水体敏感度模型规划路径, 利用智能防腐材料构筑污染阻隔层, 使输送系统既成为抑制甲烷逸散的气密屏障, 又作为收集轻烃回收的负压腔体。这种设计超越末端治理思维, 形成全生命周期内资源输入最小化、排放物受控化的弹性网络, 最终达成管道延展与生态承载力间的本质性和谐。

5 结语

油气集输管网布局优化的演进本质在于构建具有生态智能的全息化协同体系。其发展路径聚焦于打破专业认知边界, 通过地质力学、材料科学、环境生态等多学科知识的深度熔融, 将地下资源流、地表约束场与管网拓扑结构转化为动态平衡的有机生命体。核心突破在于建立数字孪生驱动下的自进化机制——依托机器学习对注采动态的实时感知, 使管网具备压力波动自适应与能量损耗自修复能力; 同时创新生态契约设计范式, 将管道延展过程转化为环境负熵积累过程, 通过封闭式物质循环与轻烃捕集技术实现碳迹本质性消减。这种优化超越传统工程范畴, 形成贯穿勘探开发全周期的智能效能基体, 最终推动油气输送从机械网络向生态神经网络的范式跃迁。

参考文献

- [1] 张志国. 油气集输管网布局优化的发展探讨[J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(04): 53-54+100.
- [2] 李俐莹. 关于油气集输工程管网布局设计研究[J]. 石油石化节能, 2021, 11(04): 13-15+7-8.
- [3] 侯丽萍. 油气集输工程管网布局的优化设计[J]. 化学工程与装备, 2020, (02): 137+9.