

油田地面集输管网优化设计研究

苗雪荣（山东莱克工程设计有限公司，山东 东营 257000）

摘要：随着科学技术的持续进步，能源开采行业逐渐进步与发展。为提升传输效率和保护生态环境，相关技术应用的重要性日益凸显，受到社会各界广泛关注。基于此，简单分析油田地面集输管网优化的重要性及其现状，并深入探究基于油田地面的集输管网优化设计策略，具体涉及完善井组的优化设计、合理优化系统布局、对集中处理站的选址进行优化等内容，以供业内人士参考。

关键词：油田地面；集输管网；优化设计

0 引言

近年来，资源短缺和环境污染已成为各行业领域需共同面对与解决的重要问题。在油田输送中，地面集输管网是其重要载体，贯穿了油气的开采、存储以及运输等重要环节，对于我国的油田开发来说具有非常重要的作用。但实际调研分析，在油田地面集输管网优化中，仍存在规划方案和管网的布局不合理，以及选择的集中处理站不够优化等问题。由此可见，进行相关研究具有较强的现实意义。

1 油田地面集输管网优化的重要性

油田地面集输管网的优化直接关系到油田的生产效率、运营成本和环境影响。优化集输管网不仅能够提高原油的回收率，还能减少能源消耗和环境污染，对提升油田的经济效益和可持续发展具有重大意义。首先，通过优化管网布局和管径设计，可以减少流体在传输过程中的压力损失，提高石油的传输效率，降低泵送能耗。同时，合理规划管网结构可以减少故障点，降低维护和修理频率，从而节省维护成本。其次，优化后的集输系统能够更好地适应产量变化，灵活调整输油路径和流量，确保原油的稳定供应。例如，通过优化设计减少潜在故障点，提高系统整体的可靠性和连续性，降低因系统故障导致的生产中断。在此基础上，优化的管网设计能够降低泄漏的可能性，减少对土壤和水源的污染，保护生态环境。此外，合理规划管网布局能够减少操作人员的接触风险，降低火灾、爆炸等事故的发生概率^[1]。

2 油田地面集输管网优化现状分析

2.1 油田地面集输管网的规划方案不合理

油藏的动态变化、地质结构的复杂性会导致初始数据与实际差异较大，进而影响管网规划的准确性。同时，产量预测基于历史数据和模型，但实际生产受多种不可预测因素影响，将导致规划的管网容量与实

际需求不匹配。此外，若管网设计标准落后，或使用落后的设计标准或技术，将导致管网效率低下，难以满足现代油田的生产需求。

2.2 油田地面集输管网的布局不合理

在初始规划阶段中，对油田地质结构、油藏参数的了解不够深入，导致规划时对生产动态预测不准，从而导致管网布局与实际生产需求不匹配。同时，若材料与施工技术受限，将导致布局上的不合理，如管径选择不当、弯头过多等。

2.3 选择的集中处理站不够优化

部分地区因其复杂性，如地震频发、土壤承载力低等不利地质条件，将影响处理站的稳定性和安全性，限制了最佳位置的选择。同时，处理站建设和运营的高成本，将导致在成本效益分析中，设计人员选择成本较低但处理效率不高的优化方案^[2]。

3 基于油田地面的集输管网优化设计策略

3.1 完善井组的优化设计

在油田地面的集输管网优化中，完善井组的优化设计是提升整体系统效率的关键步骤。主要包括井组的布局、井组与管网的连接、井组生产参数管理三个重要部分组成。

第一，井组布局优化直接影响着油田的生产效率、成本控制和环境保护。有效的井组布局优化需要综合考虑地质条件、油藏特征、经济因素，以及技术限制。具体表现为：①地质勘察。通过构建详细的油藏动态模型，分析油藏的非均质性、渗透率、饱和度等参数，为井组布局提供科学依据。还能初步了解石油在油藏中的流动特性，包括油水界面的移动、流体压力分布等，以确定最佳的井位和井组布局；②产量分析。基于油藏模型，可以预测不同井位和井组布局下的产量变化，评估不同布局方案的生产潜力。进而考虑建设成本、运营成本和回收周期，通过评估不同井组布局

的经济性,以选择成本效益比最优的方案(如方案A和方案B);③网络优化与系统集成。应根据井组布局,优化集输网络,确保管网布局合理,减少流体传输过程中的能量损失,提高系统效率。并将井组与集输、处理系统进行集成优化,确保整个油田地面系统高效、稳定运行;④自动控制优化。利用先进的监测技术,实时收集井组和油藏的动态数据,为井组布局的动态调整提供数据支持。然后,基于大数据分析和人工智能算法,实现井组布局的智能优化,自动调整生产参数,以适应油藏和生产条件的变化^[3]。

第二,井组与管网的高效连接是确保油田地面集输系统平稳运行和提高整体生产效率的关键。这一过程需要综合考虑流体力学、系统工程和经济因素,从而确保流体从井口到处理站的传输既高效又经济。首先,应分析井组产出的流体(原油、天然气)的物理化学性质,如密度、粘度、含水率等,这些性质直接影响流体的流动行为和管网设计。并确定流体在不同压力和温度条件下的相态,以预测在集输过程中的相变和分离需求,从而优化管网设计和操作条件。然后,应根据流体特性和井组生产参数,合理选择管径和流速,以减少摩擦损失和泵送能耗,以避免气蚀和液塞现象。

同时,设计最优的管网布局,包括直线、环形、树状等不同拓扑结构,以减少流体传输路径和压力损失,有助于维护和管理。在需要的位置,应设置泵站或增压点,以克服地形高差和长距离传输带来的压力损失,确保流体稳定传输。在此基础上,还需安装先进的传感器和监控设备,实时监测管网的压力、温度、流量等参数,为动态调整提供数据支持。并利用自动化控制技术,如SCADA系统,实现管网的智能控制,自动调节阀门开度、泵的转速等,以应对生产条件的变化。此外,还应评估和优化泵送系统的能源效率,通过采用高效泵和节能电机,减少能源消耗和运营成本。

第三,井组内各井的生产参数管理是油田地面集输系统优化中的重要环节,直接关系到油田的产量、效率和经济性。合理的生产参数管理不仅可以最大化单井产量,减少能源消耗、延长井的使用寿命,还能降低对环境的负面影响。具体为:①个性化生产参数设定。应定期进行单井的地质、工程和经济评估,根据井的具体条件(如井深、地层压力、流体性质等)设定个性化的生产参数。并监测井的实时生产数据,

如压力、温度、产量、含水率等,根据这些数据动态调整抽油机的冲程、冲次,电潜泵的运行参数等,以优化生产效率;②井间干扰管理。通过分析井组内各井之间的相互作用,识别和管理井间干扰,如水窜、气窜现象,通过调整生产参数减少不利影响。在考虑井间相互作用的基础上,还应对井组内各井的生产参数进行协同优化,以确保整个井组的生产效率和稳定性;③智能化监控。利用物联网技术,实施远程监控,实时收集和分析井的运行数据,实现对井组的实时监控和智能管理。还能通过自动化控制系统,如PLC、DCS等,可实现自动调整井的生产参数,以提高操作精度和效率。

3.2 合理优化系统布局

在油田地面集输系统的优化设计中,合理优化系统布局是实现高效、经济、安全运行的重要基础。为构建一个既能适应当前生产条件,又能灵活应对未来变化的集输网络,可从地质与生产需求分析、网络拓扑优化、经济与环境考量三个重要方面着手。

地质与生产需求分析是油田地面集输系统设计和优化的基石,它直接影响到集输网络的布局、设备选型、生产策略,以及整体运营的经济性和安全性。首先,应通过地质勘探和钻井资料,确定油藏的结构特征,包括储层的分布、厚度、连通性、非均质性等,有助于后续进行井位布局的优化设计。并分析油藏产出流体的物理化学性质,如密度、粘度、压缩系数、含水率等,这些参数影响流体在管道中的流动行为和集输系统的设计。

同时,还需测量地层的压力和温度分布,有助于设计人员选择合适的设备和材料和预测流体流动特性,以进行井口装置的设计优化。然后,基于油藏动态模型和历史生产数据,预测单井和井组的生产潜力,包括产量、压力下降趋势等,为集输网络的规模和能力提供依据。还需分析影响油田生产的地质、工程、经济限制因素,如储层非均质性、井筒完整性、设备性能限制等,以制定合理的生产策略和集输方案。接着,可以根据生产预测和限制因素分析,确定集输系统所需处理的流体类型、量级和特性,包括原油、天然气、伴生气等。再基于集输需求,规划集输系统的总体能力,包括管道直径、泵站配置、处理站规模等,确保系统能够有效、经济地处理预期的生产负荷。

网络拓扑优化是油田地面集输系统设计中的关键步骤,其目标是构建一个能够适应油藏生产特性、满

足生产需求、并具备经济性和可靠性的集输网络。具体为：①网络结构设计。树状网络通常用于初始生产阶段，当生产井数量较少时，可以采用简单的树状结构，直接从井口到中央处理设施。环状网络则适用于井数量较多、分布较广的情况，环状网络可以提高系统的稳定性和冗余度，即使某一段管道出现问题，其他路径仍能保持流体的连续传输；②管道布局与尺寸优化。在管道路径规划中，设计人员需充分考虑地质条件、地形特征、环境限制和未来可能的扩展需求，优化管道的路径，减少施工难度和成本。在管道尺寸选择中，基于流体性质、生产预测和压力损失计算，选择最合适的管道直径，以平衡传输效率和成本；③动态流体传输分析。通过使用流体动力学模型，模拟不同网络拓扑下的流体传输行为，以评估压力损失、流速分布和能量消耗。同时，对于携带气体、油和水的双相流体，进行详细的多相流分析，确保管道设计能够有效处理混合流体的复杂行为；④系统冗余与灵活性设计。在关键的生产节点中，应设置冗余管道和设备，提高系统的容错性和灵活性，确保在部分组件失效时系统仍能维持基本运行。还能采用模块化的设计理念，使系统能够在不中断生产的情况下进行维护、升级或扩展^[4]。

经济与环境考量直接关系到项目的长期可持续性和社会接受度。经济考量侧重于确保项目的成本效益，首先，应评估不同设计方案的初期建设和长期运营成本，包括管道材料、设备购置、施工、维护和能源消耗。还应考虑整个系统的生命周期成本，包括初期投资、运营、维护、更新和最终退役成本，进而选择成本效益比最优的方案。接着，应制定合理的资金筹措计划，确保项目各阶段的资金需求得到满足。并识别和评估项目面临的经济风险，包括市场波动、成本超支和收入不确定性，制定相应的风险管理策略。而环境考量则致力于最小化对自然环境的影响。通过评估集输系统建设与运营对周围生态环境的影响，包括土地使用、生物多样性、水质和空气质量。并监测和控制集输过程中的温室气体排放、废水排放和固体废弃物，采取措施减少对环境的负面影响。在此基础上，应确保项目设计、施工和运营符合国家和地方的环保法规，包括排放标准、废物管理规定和生态保护区保护要求。此外，还需制定环境管理计划，包括环境监测、污染预防、应急响应和社区参与机制，确保项目活动对环境的影响得到控制和最小化。

3.3 对集中处理站的选址进行优化

在油田地面集输系统中，集中处理站的选址优化对于提高系统整体效率、降低成本、保障安全和环保具有重要意义。首先，设计人员应根据油藏生产预测，确定集中处理站的处理能力，包括原油处理、气体分离、水处理等，确保能够有效处理预期的生产负荷，从而合理规划集中处理站的设备配置，如加热炉、分离器、压缩机、储罐等，以适应不同类型的流体处理需求。其次，还应设计从各个油井到集中处理站的物流路径。通过考虑地形、地质、环境限制等因素，以确定最优的集输网络布局。在地质考量中，对于地震活跃区域，应评估地震对设施的影响，采取抗震设计和措施，以增强设施的抗震性能。同时，需充分了解地下岩层、断层、空腔等结构，避免对地下结构的潜在破坏。并评估地下水位、水质和流动情况，防止集输系统对地下水造成污染。在污染控制与管理中，通过监测和控制燃烧、泄漏等产生的废气，采用净化技术减少有害物质排放。此外，还应设计废水处理系统，确保废水达到排放标准^[5]。

4 结束语

展望未来，随着材料科学的进步、计算机模拟技术的提升和大数据分析技术的应用，油田地面集输管网的优化设计更加高效、切合实际。特别是在智能化、自动化技术的加持下，未来的优化设计将更加依赖于精细化管理和智能化决策，由此开展的相关理论研究和实践探索必须得到大力支持。

参考文献：

- [1] 史海笑. 老油田集输管网布局优化技术研究 [J]. 石油石化节能与计量, 2023, 13(11): 19-23.
- [2] 乔春平. 油气集输系统工艺流程优化分析与研究 [J]. 内江科技, 2023, 44(04): 1415.
- [3] 柴德民, 杨晓龙, 岑媛媛, 等. 油田集输管网腐蚀分析及治理措施优化 [J]. 油气田地面工程, 2022, 41(01): 65-70.
- [4] 李慧芷. 油气集输管网维护探讨 [J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(11): 108-109.
- [5] 王小爽. 油田地面集输管网的现状分析及优化设计探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(04): 79-81.

作者简介：

苗雪荣 (1987-)，女，汉族，山东东营人，中级职称，本科，研究方向：油田油气集输与储运设计。