

石油开采现场抽油机管道输送安全控制 与实操能力提升研究

季文凤 李发文 王青 于龙风 李世艳（中国石化胜利油田分公司河口采油厂，山东 东营 257000）

摘要：随着石油开采技术不断发展，抽油机管道作为重要的运输油气资源，其运送可靠性及使用效率直接影响到生产顺利进行。本文基于实际油田工作环境，对于抽油机管道输送过程中所易出现的管道腐蚀磨损、堵塞导致输送能力低、接头密封故障、压力波动导致超负荷运行等问题提出了全新的解决方案，主要包括新型耐腐蚀耐磨损技术、智能化清管解决堵塞问题技术、高端密封和接头技术以及智能压力控制等等，实施上述先进技术，有利于提高管道使用寿命、输送效率和安全性，从而保障石油开采工作顺利进行。

关键词：抽油机管道；输送安全；腐蚀与磨损；堵塞风险

中图分类号：TE832 文献标识码：A 文章编号：1674-5167（2025）028-0142-03

Study on safety control and practical ability improvement of pipeline transportation of pumping unit in oil exploitation site

Ji Wenfeng, Li Fawen, Wang Qing, Yu Longfeng, Li Shiyan (Hekou Oil Production Plant, Shengli Oilfield Branch, Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: With the continuous development of oil extraction technology, the sucker rod pump pipeline, as an important means of transporting oil and gas resources, directly affects production efficiency through its reliability and usage efficiency. This paper, based on actual field working conditions, proposes new solutions for common issues encountered during the pipeline transportation process of sucker rod pumps, such as corrosion and wear, blockages leading to low transportation capacity, joint sealing failures, and pressure fluctuations causing overloading. The proposed solutions include advanced corrosion and wear-resistant technologies, intelligent pigging for blockage resolution, high-end sealing and joint technologies, and intelligent pressure control. Implementing these advanced technologies can help extend the pipeline's service life, improve transportation efficiency and safety, thereby ensuring the smooth operation of oil extraction activities.

Key words: pumping unit pipeline; conveying safety; corrosion and wear; blockage risk

1 抽油机管道输送系统概述

1.1 抽油机管道的基本构成与工作原理

抽油机管道输油系统的主要组成部分包括：抽油机井口、输油管、阀门、接口与抽油机泵站等。这些部分共同构成了管道系统，将其与油井、地上处理设施连起来，进而将地下搜集到的油气传送到地上。其中，作为最主要的输送路径——输油管道，通常由强度较大的铁管或不易受到腐蚀的金属制作，以此来适应石油开采过程中较高的压力、温度以及化学介质的腐蚀。而阀门与接口则分别是对管道内液体的流量、压力与走向进行调整，然后将管道不同部分进行串联，确保管道系统的密闭与可靠。抽油机管道工作原理是借助抽油机动力带动，主要在管道压力的作用下将石油由油井输送给输油系统地上处理设施，在管道内部流动，其流量受到许多因素的影响，例如压力的突变，温度的变化等，需要合理设计和控制管道的相关参数保证其正常高效的工作状态。

1.2 抽油机管道的输送特点

抽油机管道运输特性主要指对抽油机运转过程中传输的高压、高温、易腐液体运动的管道而言的。管道需要承受的是直接从油气井口喷射出来的高压，在深井油层和高温石油开采中，管道需要达到的压强必须超过常规压强。石油管道通常输送带有水、砂、硫化氢等成分的油气混合液，因此输油流体的腐蚀性和粘稠性都会对管道的选择和设计有较高的要求，因而除了材质上要满足一定的承压性外，还要具备一定的防腐蚀性能，以延长管道的使用寿命。在实际运行中，管道的输送速度和流量都要有一定要求，避免流速过高和压力不稳定引起管道故障。同时，油气中的含杂质较高，容易引起管道堵塞、腐蚀等问题。所以，抽油机的管道运输特性对其清洗、维护的功能有一定要求。

2 石油开采现场抽油机管道输送中的挑战

2.1 管道腐蚀与磨损的长期威胁

对抽油机管道输送来说，管道的腐蚀磨损是最大

的问题，因为在管道不断处在石油气体具有水分的环境之中并且被硫化物、二氧化碳等具有一定腐蚀的物质作用下造成的。管道一直处于这些腐蚀物质作用下，便会缓慢地把管道的外层保护层剥离，使得管道的刚度下降，进而导致管道破裂、泄露等情况的发生。此外，石油气体中一般都含有砂石及其他物体，这些物体在运动时会对管道内部产生摩擦而造成磨损的情况，这除了会导致管道寿命缩短的情况以外，还会增加维修的开支，降低工作的效率。

2.2 管道堵塞与输送效率下降的潜在风险

在油和气的输送过程中会携带着水、砂以及其他杂质聚集在管道中，日积月累会造成管道内径逐渐变小，影响输送液体的流量，最终可能出现堵塞。管道堵塞将降低管道承载量，降低液体运输的流量和流速，也会增加管道压强、增大设备负荷，甚至导致机械设备受损。对于长距离管道来说，堵塞物有可能造成局部高压，从而增加管道破裂或爆炸的风险。堵塞也可能使得液体停止流动形成死角，对管道的稳定性及工作性能都有危害。

管道的高风险段是指连接点和密封点部分，这些地方持续受到高压高温甚至是腐蚀性介质的侵蚀，导致密封部分的材料经受磨损、疲劳或破裂，引起整个管道系统密闭性的丧失，这种泄露会造成很大能量的白白浪费，同时还会对周围环境造成污染，增大安全风险。而管道连接点的密封失效更是发生在石油开采作业场所的特有现象，尤其是温度较高以及含有硫化氢气体等的有毒区域，一旦出现泄漏现象，会造成很大危害，不仅会影响生产效率，还很有可能导致火灾爆炸等安全事故的发生。

2.3 管道内压力波动引发的超载与破裂风险

对石油开采工作来说，机械管道中的压力波动是影响石油开采工作的重要因素之一，容易造成管道损坏。这种损害包括地下压力的变化、液体的黏稠度、气温的上升及下降、机械设备的启动、停止等，都可能造成管道内压力的不均匀。尤其在深井开采与高压输送条件下，压力波动的强度更可能会有所增强，从而造成管道承受比正常压力水平更高程度的压力，同时由于压力波动还会使得管道受到更加严重的影响进而容易发生管道断裂或者碎裂的危险。此外，因为压力波动还会使得管道的流动并不平衡，由此对管道的结构构成破坏。

3 抽油机管道输送安全控制与实操能力的提升策略

3.1 创新防腐与抗磨损技术提升管道耐久性

基于提高抽油机管道在油藏严酷环境中使用寿命

的需求，应该采取新的防腐、抗磨技术来解决腐蚀和磨损问题。腐蚀性物质（如硫化氢、CO₂等）与固相细粒（如砂、泥等）可能腐蚀管道，降低其结构稳定性，最终导致管道漏失或破碎，增加维修成本，存在安全隐患。

一是在管道制造时选用车制工艺，材料以耐硫化氢合金、不锈钢合金等新型耐腐蚀材料为主，这些耐硫化氢合金与不锈钢合金能够在高湿气、高温等环境中具有良好的抗腐蚀能力，减少了管道维修次数。

二是可以在管道外部敷设环氧树脂、聚乙烯等防腐涂料，形成涂层保护层，使腐蚀性液体远离管道而降低管道的腐蚀程度，提升管道抗腐蚀的性能。针对磨损问题，采用表面硬化、应用耐磨涂料（如硬质合金、陶瓷涂料）等措施，从而极大增强管道表面的强度与耐磨损特性，减小固相细粒对管道造成的磨损程度，提高寿命。

例如，某石油公司在开展其深水钻探项目的过程中，使用抗硫化氢合金钢制输气管，并在其表面涂了环氧保护涂层。该油产区位于高浓度腐蚀气氛中，以往的管材材质常被腐蚀而需定时维护。但是使用此种合金钢管及环氧涂料，极大地提升了管道的防腐蚀能力，延缓了腐蚀沉积的速率，同时也延长了维修周期。此外，该工程还采用了自修复涂料工艺，可在出现微裂纹时对裂纹进行修补，以免裂痕扩大造成严重腐蚀。这些技术措施的采用，极大降低了维护成本，也有利于提升工作效率和保障生产安全。

3.2 智能清管与预防堵塞技术优化输送效率

要增加抽油机管传输效率并有效避免堵塞出现。因其自身存在较多水分、砂砾等固体物体的积存会堵塞管道内的流通面积，进而导致流速降低，甚至出现管路堵塞现象。智能化的管理装置利用自身所携带的信息传感器和系统实现监控堆积状态，而后利用机械工具或者气体泵将堆积的物质排出，避免管路堵塞。配合适当的监控装置按照实时监测数据灵活安排清洗或者维护时间，以此规避堵管造成的停产。并且运用化学清洗和添加洗涤剂能够将管道中的堆积物溶化，进而避免杂质堆积。运用排堵检测体系对流速、压强及温度等指标进行预知，进而实现早期堵塞事故预报，及时解决堵塞问题。

例如，某一油田管道运输任务中应用智能化清管装置与在线检测技术来加强管道运输的效果。该油田位于沙漠地带，管道中累积了大量砂粒和泥浆，使管道的运输效果受到影响。智能化清管装置可以长期对沉降物质进行跟踪并将它清理，从而极大增强其运输效果，降低堵塞事件的发生概率，减少停工时间与保

养支出。并配合使用洗井手段，在机器停机的时候整体使用洗井液对管道进行清洗，确保油气的稳定输送。这种方法使得生产的效益得到了较大程度的提升，同时使得堵管带来的经济损失有所减少。

3.3 先进密封与连接技术确保管道零泄漏

如果生产环境存在较强的强酸性的或者具有腐蚀性的气体而管道接口或焊接之处又不能保持一定的密封性的话，就会造成非常严重的能源流失问题及安全隐患。为了防止这种情况的出现，可采用优质高级密封材料，如聚四氟乙烯(PTFE)、金属密封圈及弹性橡胶垫片等对管道接口处加强紧密连接，这种材料具有耐高温、抗腐蚀及耐高压等特性，可避免油气的泄漏；运用更加优化的焊接工艺及采用自动化焊接技术保证焊接部位实现完好连接，以杜绝焊接质量不高所产生的焊缝及缝隙的存在；采用超声波、红外线及检测泄漏气体的仪器进行非破坏性测试，用来实现实时监控管道接口部位的密闭性，一旦发现问题，则应及时检修更换，从而使管道始终保持无泄漏的状况。

例如，在某项油田开发项目中，时常会遇到游梁式抽油机管道接头处及焊接处存在泄漏的问题，尤其是高温和具有腐蚀性的气体，传统技术无法完全解决泄漏现象。为提高管道的密封性，该项目应用了金属密封材料与PTFE密封环等，结合精准自动化焊接技术确保管线接口部位的密封性和稳定性。此外，该项目还引入红外图像分析仪与气体泄漏监测仪来周期性检测管线接头部位的密封性。

一旦出现任何较小的泄漏迹象，系统就会自动发出预警信号并定位泄漏位置，并及时进行修复处理。通过运用这种高效密封与连接技术，该项问题的泄漏现象得到显著降低，从而保障油气输送的安全，减少了维护成本，提高了工作效率。

3.4 智能压力调控与波动管理提升管道承载能力

石油管道输送的压力在管道流动中存在变化，会对管道承受能力以及系统稳定性造成直接影响，为避免出现此类情况对管道工作造成不利影响，应结合科学的压力调节及刹车控制技术。压力调节及刹车控制技术的基础为管道流场压力控制，可通过实施压力实时监测来对压力进行自动调节以应对压力超出或过低所引发的管道破裂等现象。一般需要压力传感器、阀门和调压泵组合，形成压力控制回路。如果监测到的压力超出合理范围，即可通过开启阀门降低压力；如果管道压力太低，可适当提升调压速度和增加泵输送流量等保障管道压力稳定。

此外，波动控制系统还能够对数据进行分析来达到对压力波动潜在危险的侦测与警报，并运用预防控

制来解决压力波动的风险，避免危害的发生。

例如，在某次石油开采项目中，深井管道经常出现因为井口压力波动而导致过载的情况。该项目使用智能压力控制系统搭配十分精确的准确压力传感器与比例式可调式阀门，全天候观察管道的实时压力变化，一旦智能系统发现有压力的不稳定在压力上方超出系统预计上限，智能系统会运行比例阀来缓解压力，防止管道爆裂。

该企业还引入波动管理系统，通过对实时收集的数据进行分析，能够预估未来可能产生的压力不稳定，提早调整泵站输出的方式确保管道压力不会出现不安全的上限。采用此类方案能够有效避免由压力不稳定导致的管道爆裂与机器损坏，而且进一步提高油田生产效果以及稳定性，节省巨额保养成本与停机带来的风险。

4 结语

抽油机管道在石油开采过程中发挥着重要的作用，其可靠性及其运输效率关系着整个场的生产效益和生态环境安全。本文通过对抽油机管道运输过程中所遇到的腐化问题、堵塞问题、漏油问题和压力问题等方面的主要问题进行分析，并提出通过防腐防磨、自动清理管道系统、精密连接与密封系统以及统一化的压力控制系统组成的新型改进方法来保障管道的使用寿命、运输效率和运输安全性。经实践验证，该方法能够大幅度降低管道出现问题的可能性，也有效增强了石油开采场所的综合效率。在未来，随着技术的不断发展进步，抽油机管道的安全管理和使用技术也都会得到进一步的提高，给石油开采领域的长远发展带来可靠保障。

参考文献：

- [1] 张朋娟,杨海波,汤凯,等.抽油机减速箱双液隔离结构看窗与现场应用[J].石油石化节能,2023,13(1):5.
- [2] 宫敬,宋尚飞,魏生远,等.管道运输对能源供应链韧性和安全性的关键作用[J].前瞻科技,2024,3(2):19-29.
- [3] 丁建林,西昕,张对红.能源安全战略下中国管道输送技术发展与展望[J].油气储运,2022,41(6):8.
- [4] 许继凯,黄鑫,姚志成,等.冷热原油交替输送管道停输策略及再启动安全性分析[J].广东化工,2024,51(17):27-30,26.
- [5] 赵洋,王治廷,陈会,等.石油输送管道运行安全管理的策略研究[J].石油化工建设,2022,44(11):167-169.
- [6] 宋佳恒,徐颖,刘晓燕,等.油井结蜡与清防蜡技术研究进展[J].当代化工,2022,51(8).