

航空煤油长距离管道运输技术研究与应用

付 涛（华南蓝天航空油料有限公司湖南分公司，湖南 长沙 410137）

摘要：航空煤油作为航空器的核心燃料，其长距离管道运输在提升供应效率、降低成本和增强安全性方面具有重要意义。本文对航空煤油长距离管道运输进行了一定论述，明确了航空煤油的基本性质和长输管道运输系统构成，在此基础上，分别从管道材料与防腐技术、输送工艺控制以及质量控制等方面探讨了航空煤油长输管道运输的关键技术，并分析了应用的挑战与对策，以期为保障航空煤油长距离管道运输安全提供参考。

关键词：航空煤油；长距离；管道运输技术；应用

1 引言

航空煤油作为航空运输的核心燃料，其供应链的稳定性直接影响航空运营的安全性和经济性。随着航空运输业的持续增长，对燃油输送效率和可靠性的要求日益提高，长距离管道运输因具备安全、高效、环保的特点，逐渐成为航空煤油输送的重要方式。相较于铁路、公路等传统运输方式，管道运输不仅能够实现连续输送，还能减少运输过程中的能耗和损耗，降低环境污染风险。因此，进行航空煤油长距离管道运输技术研究与应用具有十分重要的现实意义。

2 航空煤油长距离管道运输概述

2.1 航空煤油的基本性质

航空煤油主要由碳氢化合物构成，主要包括正构烷烃、异构烷烃、环烷烃以及少量芳烃，其中芳烃含量受严格限制，以降低燃烧过程中积碳的形成，提高燃烧效率和发动机的清洁度。物理特性方面，燃点、密度、粘度、凝点、蒸气压等指标直接影响输送和储存的稳定性，其中蒸馏范围在150~300℃之间，以保证燃烧的均匀性和稳定性。GB 6537-2018标准对喷气燃料的质量控制提出严格要求，包括硫含量、酸值、胶质含量、水分、固体颗粒物含量等多项关键指标，以适应现代航空发动机的高性能需求。

2.2 长输管道运输系统构成

输油泵作为核心动力设备，承担着压力维持和流量控制的任务，通常采用多级离心泵或螺杆泵，以满足不同距离和流量需求，同时配置变频调节系统，以优化能耗与输送效率。管道材料选择直接影响运输安全和耐久性，碳钢管道因强度高、抗压能力强而广泛应用，而内壁涂覆防腐层或采用不锈钢衬里技术则能够有效降低腐蚀风险，提高油品清洁度。过滤系统在整个输送过程中发挥污染控制作用，通常在输油泵前后、管道关键节点及终端油库处设置高精度过滤设备，

以去除固体颗粒、胶质沉积物和微生物杂质，保障油品符合航空燃料标准。机场油库与管道终端设施的连接方式根据地理条件和运营需求有所不同，主要采用地下埋设、架空管廊或混合布局，通过阀门控制系统实现油库储罐与管道输送的无缝衔接，同时设置自动监测仪表，实现流量、压力、油品品质的实时监控，并结合应急切断装置，在突发情况下快速响应，维持供油稳定性和安全性^[1]。

3 航空煤油长输管道运输的关键技术

3.1 管道材料与防腐技术

航空煤油长输管道的材料选择直接影响输送系统的稳定性和使用寿命，不同材质在耐腐蚀性、机械强度和经济性方面各具特点。碳钢管道因强度高、抗压能力强而广泛应用，但长期运行过程中易受氧化和水分影响而发生腐蚀，需要配套防腐措施加以保护。不锈钢管道凭借较强的抗腐蚀性能，在输送高纯度航空煤油时展现出较好的稳定性，但其成本较高，通常用于特殊环境或关键管段。内衬聚乙烯管道作为复合材料解决方案，通过在金属管道内壁添加高分子防护层，有效减少腐蚀介质对管道结构的侵蚀，同时降低油品与金属接触产生的污染风险，在长输管道系统中逐步得到应用。

防腐技术的合理应用对管道的长期稳定运行具有直接影响，阴极保护作为一种电化学防护技术，通过施加外加电流或使用牺牲阳极，抑制金属管道的腐蚀反应，在埋地长输管道中较为常用^[2]。

3.2 输送工艺控制

航空煤油长输管道的输送工艺控制对油品质量、系统安全性和输送效率具有直接影响，合理调节流速、压力及温度能够减少输送过程中油品的品质变化，同时降低管道内部沉积物的累积风险。流速控制不仅涉及输送效率，还关系到管道内壁的磨损程度和压力波

动的稳定性，通常采用动态调节方式，使其处于既能满足输送需求又能降低管壁冲刷作用的合理范围。压力管理涉及管道沿程压力损失的补偿和安全阀门的设定，过高的压力可能导致管道应力增加，影响结构稳定性，而压力不足则可能导致流量下降，影响终端油库的供油稳定性。温度调节在输送过程中同样关键，航空煤油的粘度随温度变化而波动，过高的温度可能加速油品氧化，导致胶质沉积增加，而过低的温度可能导致流动性降低，影响输送效率，因此通常结合环境条件对油品输送温度进行合理调控。

3.3 质量控制

在航空煤油长输管道运输过程中，质量控制的核心是减少污染物，提高燃油纯净度，以确保航空发动机燃油系统的安全性和运行效率，质量控制主要从固体颗粒物和氧化降解控制两方面展开。

航空煤油在长输管道运输过程中需要严格控制固体颗粒物含量，以降低对航空发动机燃油系统的影响，提高燃烧效率和系统可靠性。固体颗粒物主要来源于管道内部腐蚀产物、油品输送过程中夹带的微粒以及储运环节中的污染，其中氧化铁是最常用的杂质之一。减少固体颗粒物含量通常依赖高效过滤系统，通过在管道输送的不同阶段配置多级过滤装置，截留油品中的微小杂质，并结合定期更换滤芯的方式维持过滤效率。

在输送过程中，氧化铁的积累会影响油品质量，导致喷嘴堵塞和燃烧不完全，因此需要采用专门的去除技术，针对氧化铁含量较高的油品，可通过磁性过滤装置吸附微量铁质颗粒，同时结合定期清管技术降低管道内壁铁锈的生成，从源头减少固体杂质的形成。为了有效控制氧化降解，需采取多种技术措施，以降低油品质量变化，提高长输管道运输的安全性和可靠性。氮封技术是一种有效降低氧化反应速率的方法，即在油品储存和输送过程中向储罐或管道内部填充氮气，减少燃油与空气的直接接触，从而降低氧化反应的可能性。

氮封技术可以用于静态储罐保护，即在储油罐顶部填充氮气层，隔绝空气中的氧气；也可用于动态输送保护，通过在管道输送过程中施加微正压氮气，防止空气渗透进入管道，提高油品的抗氧化能力。同时，抗氧化剂添加也是常用的技术措施，常用的抗氧化剂包括酚类、胺类，能够有效抑制燃油氧化反应、减少自由基形成，并降低胶质含量，提高燃油长期储存的稳定性。

3.4 长输管道监控

长输管道监控系统的核心功能在于实时掌控航空煤油输送过程中的关键参数，以提高输送效率并降低突发事故风险，其技术体系由数据采集、远程控制、分析与预警响应等多个环节构成。

通过传感器网络对流量、压力、温度及油品品质等数据进行高精度采集，结合光纤光栅、超声波流量计及压力监测仪，实现全流程数据获取，并依托分布式控制系统进行远程传输和集中管理。数据在传输过程中采用加密算法及安全协议，保障信号完整性及抗干扰能力，提高监测精度及系统稳定性。管道运行过程中，流速波动可能影响输送稳定性，实时监测系统可通过调整输油泵转速及管道调压阀，维持恒定流速，减少流体冲击对管壁的影响，并优化能耗分配，使输送系统处于高效状态。温度变化直接影响航空煤油粘度及流动性，监测系统基于环境温度、油品特性及历史数据分析，动态调节管道伴热系统，使油品流动参数维持在设计范围内，降低油品氧化及沉积物形成的风险。

压力控制方面，监测系统可依据管道沿程压降规律及节点压力变化趋势，自适应调节增压泵的运行模式，预防压力异常导致的管道结构损伤及输送中断。泄漏检测技术在长输管道监控系统中占据核心地位，结合声学监测、压力波分析及光纤传感等多种手段，实时分析管道内部压力波动特征与流体传输模式，快速识别异常泄漏点并定位故障区域，缩短排查时间，提高维修效率。

在突发异常情况下，监控系统能够迅速识别异常波动，通过多级报警机制向控制中心反馈信息，并联动应急响应系统，在短时间内完成阀门关闭、油品回流、分段隔离及泄漏处置等操作，防止事故扩散，减少环境污染及经济损失。结合大数据分析，系统可建立长期运行数据库，通过历史数据比对，预测设备磨损情况，优化维护策略，提高管道运行的可靠性及经济性。

4 航空煤油长距离管道运输技术应用的挑战与对策

4.1 管道腐蚀问题

管道内壁腐蚀不仅会导致固体颗粒物含量增加，还会缩短管道使用寿命。氧化铁沉积在管道内部，使燃油杂质含量上升，影响喷气燃料的洁净度和燃烧性能，同时加剧过滤设备的负担，增加维护成本。管道在输送过程中长期受到温度、湿度、油品化学成分的影响，局部腐蚀较为严重，尤其是低洼和弯曲部位，

由于水分和沉积物的聚集，微生物滋生进一步加剧了腐蚀。针对上述挑战，可采用阴极保护与流体防腐技术相结合的方法，以低成本、短工期延缓管道腐蚀、提高油品质量。阴极保护可通过外加电流保护，在管道沿线安装强制电流阴极保护系统，施加电流抑制管道金属溶解，从而降低腐蚀速率，尤其适用于埋地管道。流体防腐技术方面，可定期投加缓蚀剂，在管道内壁形成保护膜，减少油品与金属直接接触，从源头降低氧化铁的生成^[4]。

4.2 固体颗粒污染

固体颗粒来源包括管道焊接残留物、微生物生长和沉积水腐蚀等因素，焊接过程中，金属碎屑、焊渣和氧化皮容易残留在管道内壁，即便经过初步清理，仍难以彻底清除。在输送过程中，这些颗粒物可能随着燃油流动进入储存罐和供油系统，影响喷气发动机的正常运行。针对上述挑战，需从多个方面采取措施，应加强输送过程中的过滤系统，采用多级高效过滤装置，对油品进行深度净化，去除可能存在的金属碎屑、氧化皮和其他杂质。

同时，定期实施清管作业，利用智能清管器或磁性过滤装置，结合高压气体或液体冲洗，提高管道内壁的清洁度，减少颗粒沉积。对于因微生物生长和沉积水腐蚀引起的固体颗粒污染，可采用定期排水和生物抑制技术，防止污染物累积。此外，监测系统需实时跟踪油品质量，确保污染物浓度维持在安全范围内。

4.3 长距离输送稳定性

长距离输送过程中，输送速度过快会导致管壁摩擦增加，加速管道磨损，并且容易形成紊流，影响油品均匀性，进而影响过滤系统的正常运作，而且输送速度过快或过低还会导致静电聚，这就会影响煤油的安全运输。流速过低则可能使燃油中的微小颗粒物和胶质在管道内沉积，造成局部堵塞，影响输送效率，甚至引发管道局部腐蚀。

压力波动同样带来风险，压力过高可能造成管道变形，增加泄漏风险，而压力过低则可能导致输送中断，使油品在长距离输送过程中产生分层，影响最终燃油品质。同时，长时间输送不稳定容易引发积液现象，导致管道内部油品成分不均匀，影响机场油库储存和航空器供油的精确性。（在航空器加油过程中，供油量需要严格按照飞机的需求进行精确计量。任何误差都可能导致飞机加油不足或过量，从而影响航程或飞行安全。）

针对输送过程中流速与压力的不稳定问题，应当优化管道输送系统的运行参数。在条件允许的情况下，可以采用智能化控制技术，结合实时监测系统，对压力和流速进行动态调节，维持适宜的输送状态。优化增压泵组的运行策略，减少因启停频繁造成的影响，使输送过程更加平稳。合理设计管道坡度和低点排水系统，降低油品沉积风险，提高管道的长期运行能力。在输送模式上，采用分段输送和变流量调节方式，使长距离输送更加均衡，提高油品在管道中的流动均匀性，降低分层现象带来的影响^[5]。

4.4 第三方破坏风险

航空煤油长距离管道常面临第三方破坏风险，在管道沿线施工活动频繁区域，其他工程建设可能因施工规划不当、操作失误而误损管道，造成油品泄漏等严重事故。同时，不法分子的蓄意破坏行为，如打孔盗油，不仅造成经济损失，还严重威胁管道运行安全与周边环境安全。针对第三方破坏风险，需构建全方位防护体系，在管道沿线设置清晰且规范的警示标识，明确管道走向和安全范围，增强公众安全意识。

加强与周边施工单位沟通协调，建立施工报备和监管机制，提前获取施工信息并现场指导，防止施工误损。同时，还可以利用智能安防技术，如管道沿线安装振动传感器、红外监测设备等，实时监测异常活动，及时发现并制止第三方破坏行为，保障管道安全稳定运行。

5 结论

综上所述，航空煤油长距离管道输送的安全性、经济性和可靠性取决于先进管道运输技术的应用和精细化管理的实施。未来应进一步加强输送过程的智能化控制，利用大数据分析、人工智能监测等技术，提高管道运行的实时响应能力，优化燃油输送策略。

参考文献：

- [1] 赵阳.航空煤油管道安全管理研究[J].消防界(电子版),2022,8(17):17-19.
- [2] 李伟,李新屋,王俊贺,等.航空煤油管道安全管理浅析[J].石化技术,2021,28(07):203-204.
- [3] 刘静雨.探析航空煤油输送管道泄漏的环境风险及控制[J].清洗世界,2020,36(02):48-49.
- [4] 方磊.航空煤油输送管道泄漏的环境风险及控制分析研究[J].化工管理,2018,(17):164.
- [5] 张金童.浅析航空煤油长输管道内杂质产生的原因及应对[J].石化技术,2017,24(03):212.