

石油化工领域润滑油检测技术的研究进展与应用

林华慧

广东 东莞 523200

DOI:10.61369/ME.2025070003

摘要：石油化工领域润滑油检测技术不断发展。传统检测技术有局限性，新型技术向精准、高效、实时突破，还涉及物理化学分析、智能化诊断等。同时需合理部署在线监测系统，建设预测性维护体系，进行污染物溯源与性能衰退预警，完善技术标准，构建数据平台，突破微型化传感器技术等，未来将跨学科融合并重构标准体系。

关键词：润滑油检测技术；智能化诊断；技术标准化

Research Progress and Application of Lubricant Testing Technology in the Petrochemical Field

Lin Huahui

Dongguan, Guangdong 523200

Abstract : The testing technology for lubricants in the petrochemical field is constantly evolving. Traditional testing technologies have limitations, while new technologies are breaking through towards precision, efficiency, and real-time capabilities, involving physical and chemical analysis, intelligent diagnostics, and more. It is also necessary to reasonably deploy online monitoring systems, build predictive maintenance systems, conduct pollutant tracing and performance degradation early warning, improve technical standards, construct data platforms, and break through miniaturized sensor technologies. In the future, there will be interdisciplinary integration and a reconfiguration of the standard system.

Keywords : lubricant testing technology; intelligent diagnostics; technical standardization

引言

随着我国石油化工行业的快速发展，对润滑油检测技术提出了更高要求。2022年颁布的《石油化工行业高质量发展指南》明确指出要加强关键技术创新与标准化建设。在此背景下，石油化工领域润滑油检测技术在传统检测方法基础上不断突破，新型检测技术朝着精准、高效、实时方向发展，物理化学分析检测体系持续完善，智能化诊断技术备受关注。同时，在关键机组监测、预测性维护、污染物溯源等方面取得进展，但在技术标准化、数据集成、微型化传感器等方面仍面临挑战，未来需通过跨学科融合、全产业链协同等实现升级发展。

一、润滑油检测技术的研究进展

重制约^[1]。

(一) 传统检测技术的发展与局限性

在石油化工领域，黏度测试、酸值滴定等实验室常规润滑油检测方法有着一定的历史沿革。黏度测试技术起初较为简单，随着需求发展，逐步出现了多种不同原理的测试手段，如毛细管黏度计法等，能更精准地测定润滑油黏度。酸值滴定方法也不断改进，从最初粗略判断到如今可精确计算酸值。然而，这些传统检测技术多为离线检测，存在显著局限性。一方面，时间滞后性明显，从采样到得出检测结果，往往需要较长时间，无法实时反映润滑油在石化连续生产过程中的真实状态。另一方面，数据离散度高，由于采样的局限性以及测试环境等因素影响，不同批次检测数据波动较大，这对石化连续生产的稳定性与质量控制形成严

(二) 新型检测技术的突破方向

在石油化工领域，润滑油新型检测技术不断朝着更精准、高效、实时的方向突破。一方面，致力于提升在线监测技术的灵敏度与稳定性，例如原子发射光谱、傅里叶红外光谱等在线监测技术，正不断优化检测参数，以实现对润滑油中极微量成分的精准识别与定量分析，为设备运行状态的准确评估提供更可靠依据^[2]。另一方面，微流控芯片传感器在实时多参数联测领域持续创新，不仅追求在更小的空间内集成更多检测功能，还注重提升多参数同步检测的准确性与时效性，通过不断改进芯片材料与检测原理，使其能在复杂多变的炼化装置工况下，快速、稳定地获取润滑油的多项关键参数，从而推动润滑油检测从传统单点检测向全面、实时、多参数联测转变，为石油化工生产的高效、安全

运行保驾护航。

二、关键技术原理与检测方法

(一) 物理化学分析检测体系

在石油化工领域润滑油检测的物理化学分析检测体系中，基于流变学特性构建评价模型，其原理在于润滑油的流变特性反映其内部结构和分子间相互作用。通过测量不同温度、剪切速率下的黏度等流变参数，可评估润滑油在不同工况下的流动性能与稳定性。针对金属磨粒定量分析，利用光谱、色谱等物理化学手段，精确测定润滑油中金属磨粒的种类、含量与分布，以此判断设备磨损状况。在润滑油氧化衰变过程方面，深入研究特征参数如酸值、过氧化值等的关联规律，明确它们随氧化程度的变化关系。依据这些规律制定标准化检测流程，确保检测结果的准确性和可靠性，为润滑油性能评价提供坚实支撑^[3]。

(二) 智能化诊断技术发展

在石油化工领域润滑油检测技术中，智能化诊断技术发展备受关注。大数据驱动下润滑油剩余使用寿命预测算法，通过收集大量润滑油使用过程中的多维度数据，如温度、压力、磨损颗粒浓度等，利用数据挖掘技术寻找数据间潜在关系。这些算法基于数据特征建立预测模型，实现对润滑油剩余寿命的精准预估。在复杂工况数据模式识别方面，神经网络与支持向量机是两种重要技术。神经网络通过模拟生物神经系统结构和功能，具有强大的非线性处理能力，能对复杂工况下的润滑油数据进行有效分析。支持向量机则基于统计学习理论，在小样本、非线性及高维模式识别中有独特优势。两者各有特点，研究对比它们的性能差异^[4]，有助于为不同工况选择更适宜的智能化诊断技术，提升润滑油检测的准确性和可靠性。

三、在石油化工生产中的应用场景

(一) 设备润滑状态监测与维护决策

1. 关键机组在线监测系统部署

在石油化工生产中，关键机组的稳定运行至关重要。以催化裂化装置主风机组为例，为实现设备润滑状态监测与维护决策，需合理部署关键机组在线监测系统。光谱油液分析系统是其中关键部分，它能对主风机组润滑油中的金属磨粒等成分进行精准分析。通过实时监测润滑油内各类元素的含量变化，可有效捕捉机组部件早期磨损迹象，实现早期磨损故障预警。这一系统的应用不仅能提前发现潜在故障隐患，避免突发故障导致的生产中断，还能依据监测数据构建经济效益评估模型，评估不同维护策略下的成本与效益，为企业合理安排维护计划、降低运维成本提供有力支持^[5]。

2. 预测性维护体系建设

在石油化工生产中，预测性维护体系建设基于润滑油检测数据，对设备健康状态进行精准分级。通过深入分析润滑油中的各类指标，如磨损颗粒含量、氧化程度等，判断设备当前的运行状

况，将设备健康状态分为不同等级，清晰呈现设备的健康全貌。同时，构建维护周期动态优化模型，依据设备健康分级结果以及生产实际情况，如生产负荷、运行时长等因素，动态调整设备维护周期，避免过度维护或维护不足。在乙烯压缩机组运维管理实践中，经此预测性维护体系验证，有效提升了机组运行稳定性，降低了运维成本^[6]。

(二) 工艺安全与质量控制

1. 润滑油污染物溯源分析

在石油化工生产中，润滑油污染物溯源分析对工艺安全与质量控制至关重要。石油化工设备运行环境复杂，润滑油易受水分侵入、燃料稀释等异常污染。通过建立快速检测方法，能及时发现水分侵入，防止设备腐蚀，保障运行安全。准确判断燃料稀释情况，可避免润滑油性能恶化，维持设备稳定运行。同时，针对加氢反应器循环油系统，深入分析污染物来源，提出优化的污染防控策略，可有效减少杂质积累，降低催化剂中毒风险，确保加氢反应顺利进行，提高产品质量。这一溯源分析不仅有助于保障设备平稳运转，延长设备使用寿命，还对石油化工生产的整体安全与质量把控起着关键作用^[7]。

2. 油品性能衰退预警机制

在石油化工生产中，油品性能衰退预警机制对工艺安全与质量控制意义重大。通过添加剂损耗动力学研究，开发出润滑油功能失效的临界阈值判定系统。此系统可精准判断润滑油性能衰退程度，在延迟焦化装置液压系统中，实时监测润滑油添加剂的损耗情况。当添加剂损耗接近临界阈值时，系统能及时发出预警，提醒工作人员采取措施，如更换或补充润滑油，以避免因油品性能衰退导致液压系统故障，影响装置正常运行。这一机制不仅保障了工艺安全，避免潜在安全事故，还能提升产品质量，防止因设备运行异常对产品质量产生不良影响^[8]。

四、行业挑战与发展趋势

(一) 技术标准化体系建设

1. 在线检测方法验证规范

在石油化工领域润滑油检测技术的技术标准化体系建设中，在线检测方法验证规范面临诸多挑战与呈现特定发展趋势。现有ASTM标准在新型检测技术适用性方面存在缺口，无法很好适应石化特殊工况。这使得建立面向石化特殊工况的检测精度验证方法迫在眉睫。该验证方法需能准确评估在线检测技术在石化复杂环境下的检测精准度，确保检测数据真实反映润滑油性能。同时，要构建数据可比性研究框架^[9]，因为不同在线检测技术及设备所产生的数据存在差异，通过该框架，明确数据采集、处理及分析的统一标准，提高数据间的可比性，为石化企业选择合适检测技术与合理评估润滑油质量提供可靠依据，推动在线检测技术在石油化工领域的标准化应用。

2. 检测数据集成平台构建

在石油化工领域润滑油检测技术发展中，检测数据集成平台构建面临诸多挑战。不同检测设备、方法所产生的数据格式多

样、标准不一，给数据集成带来困难。同时，海量检测数据的高效存储、快速检索与实时分析需求，对平台的数据处理能力提出了极高要求。而技术标准化体系建设方面，行业内缺乏统一、完善的润滑油检测技术标准，导致不同机构检测结果存在差异，影响了数据的通用性与可信度。未来发展趋势上，构建高效的检测数据集成平台，应注重数据格式的统一转换，提升数据挖掘与分析能力，以实现数据价值最大化。同时，加快技术标准化体系建设，制定涵盖检测流程、指标定义、结果判定等全方位的标准规范，将有力推动石油化工领域润滑油检测技术的规范化、科学化发展^[10]。

（二）检测仪器研发创新方向

1. 微型化传感器技术突破

在石油化工领域润滑油检测技术的发展中，微型化传感器技术突破面临诸多挑战与趋势。从封装技术看，研究MEMS芯片在润滑油现场快速检测的封装，要克服芯片与复杂现场环境适配问题，确保其能高效稳定运行，同时还要保证检测精度不受封装影响。纳米材料敏感元件在高温高压环境下工作稳定性的评估至关重要，高温高压会影响敏感元件的性能，如何优化材料特性，提升其在恶劣工况下的可靠性是关键。未来微型化传感器应朝着高精度、高稳定性、快速响应方向发展，突破现有技术瓶颈，实现对润滑油多参数、实时、原位的精准检测，从而满足石油化工领域对润滑油高效、精准检测的迫切需求，提升整体生产效率与质量。

2. 多模融合检测设备开发

在石油化工领域润滑油检测技术的发展进程中，多模融合检测设备开发是重要的创新方向。当前，润滑油检测面临着复杂工况下精准检测需求以及快速分析多种成分的挑战。开发多模融合检测设备，能有效结合光谱技术对元素的定性分析优势与质谱技术对成分的高灵敏度定量分析优势，实现对润滑油添加剂成分更全面、准确的解析。同时，为满足现场快速检测需求，将嵌入式系统设计融入便携式检测仪，通过多模融合实现功能集成，可提升检测仪的便携性与实用性。这种多模融合检测设备，一方面能应对复杂多变的检测环境，另一方面能为石油化工企业提供高效、精准的检测结果，助力其优化润滑油品质与生产工艺，推动行业高质量发展。

（三）全产业链协同发展路径

1. 产学研合作模式创新

在石油化工领域润滑油检测技术的产学研合作模式创新方

面，面临着诸多挑战与机遇。一方面，检测技术的快速发展要求高校和科研机构能及时将前沿研究成果向石化企业转化，然而目前产学研之间信息沟通存在障碍，研究成果与企业实际技术需求脱节。另一方面，石化企业虽对润滑油检测技术有迫切需求，但参与产学研合作的积极性有时因短期利益考量而受限。为实现创新，应搭建产学研深度融合平台，促进检测服务商、石化企业、高校及科研机构间的直接交流，共同明确研究方向。同时，建立有效的利益分配机制，保障各方权益，鼓励企业深度参与。还可联合开展实践教学与科研项目，培养适应行业发展的复合型人才，推动润滑油检测技术在产学研合作中不断创新与发展。

2. 智能运维商业模式探索

在石油化工领域润滑油检测技术的发展进程中，面临诸多挑战与趋势。随着行业对润滑油性能要求不断提高，检测技术需向更精准、高效、快速方向发展，以满足复杂工况下对润滑油品质的严格把控。从全产业链协同发展路径看，上下游企业需紧密合作，检测机构与润滑油生产企业、设备制造商共同制定统一标准，确保检测技术贯穿整个产业链。智能运维商业模式探索方面，应利用大数据、人工智能等技术，构建智能检测与运维平台，实现远程实时监测与故障预警。按检测结果付费的风险共担商业模式，通过激励检测机构提供优质服务，实现检测技术增值服务在设备全生命周期管理中的价值最大化，推动行业可持续发展。

五、总结

石油化工领域润滑油检测技术历经从实验室分析到智能化、在线化的发展，为提升石化装置运行可靠性及降低维护成本带来显著效益。然而，现有技术仍存在检测灵敏度不足、环境适应性欠佳等理论瓶颈。未来，跨学科技术融合与标准体系重构是行业升级的关键。基于工业互联网的润滑油状态全景监控系统建设构想，有望打破这些瓶颈。通过此系统，可实现对润滑油状态的全面、实时监控，为石化装置运行提供更精准可靠的数据支持，进一步提升行业的整体效能，推动石油化工领域润滑油检测技术迈向新高度，从而更好地适应行业发展的需求。

参考文献

- [1] 张国莹.润滑油在线检测技术与故障诊断方法研究 [D].北京石油化工学院, 2022.
- [2] 满晓鸣.跨领域网络文本立场检测关键技术研究与应用 [D].电子科技大学, 2023.
- [3] 孙震宇.润滑油含水量检测技术研究 [D].华南理工大学, 2021.
- [4] 王萌.发动机润滑油电声检测技术开发 [D].西安工业大学, 2023.
- [5] 张改改.集成领域知识与深度网络的高光谱目标检测技术 [D].北京化工大学, 2021.
- [6] 陶树豪.现代检测技术在润滑油检测中的研究进展 [J].广州化工, 2022, 50(6):37-39.
- [7] 孟刚, 李飞.沉管法隧道水下检测技术标准化分析 [J].黑龙江交通科技, 2021, 44(9):159-160.
- [8] 王存智, 张家灿, 白亮.增材制造技术在石油化工领域的应用展望 [J].石油化工设备技术, 2024, 45(1):1-3, 7.
- [9] 赵辉.气体分离膜技术及其在石油化工领域的应用 [J].石油化工, 2023, 52(3):412-417.
- [10] 许广华.微化工技术在石油化工领域的应用分析 [J].炼油与化工, 2023, 34(2):1-4.