

航空发动机维修时润滑系统污染防控探索

马宝成

四川西南航空职业学院，四川 成都 610499

DOI: 10.61369/ETR.2026240008

摘 要： 航空发动机是飞机的动力部分，在作业维修过程中，其润滑系统很容易受到各种污染物的入侵，不仅会引发一系列安全隐患，严重的还会致使发动机停机甚至影响飞机飞行安全。为此，本文对润滑系统的主要污染类型和成因进行了分析，探究了污染给发动机带来的各种危害，提出了航空发动机维修时润滑系统污染防控策略，以期对航空发动机维修过程中润滑系统的污染防控提供一定参考，从而进一步提高航空发动机的维修质量与运行安全。

关 键 词： 航空发动机；维修作业；润滑系统；污染防控

Exploration of Pollution Prevention and Control for Lubrication Systems During Aero-Engine Maintenance

Ma Baocheng

Sichuan Southwest Vocational College of Civil Aviation, Chengdu, Sichuan 610499

Abstract： The aero-engine is the power core of an aircraft. During maintenance operations, its lubrication system is highly susceptible to intrusion by various pollutants, which not only triggers a series of potential safety hazards but also may lead to engine shutdown and even endanger flight safety in severe cases. To address this issue, this paper analyzes the main types and causes of pollution in lubrication systems, explores the various hazards that pollution brings to aero-engines, and proposes pollution prevention and control strategies for lubrication systems during aero-engine maintenance. It aims to provide reference for the pollution prevention and control of lubrication systems in the maintenance process, thereby further improving the maintenance quality and operational safety of aero-engines.

Keywords： aero-engine; maintenance operations; lubrication system; pollution prevention and control

润滑系统是航空发动机的关键辅助系统，是保证发动机各个部件协同高效运作、维持发动机安全稳定运行的重要基础^[1]。然而，据相关数据统计显示，70% ~ 85% 的航空发动机元器件失效是由油污染引起的^[2]。可见，润滑系统污染如今已成为影响航空发动机维修质量、运行安全的一大重要影响因素。因此，加强对航空发动机维修时润滑系统的污染防控研究，迫在眉睫。

一、航空发动机润滑系统主要污染类型及成因

（一）固体颗粒污染

固体颗粒污染是航空发动机润滑系统中常见的污染物，也是对系统造成危害最直接的污染物^[3]。污染物主要是金属磨粒、灰尘、砂粒、焊渣、纤维杂质等，粒径一般为1 ~ 100 μm 。其中，微小颗粒（粒径 < 5 μm ）容易附着在润滑部件上，易加重部件的磨损；大颗粒（粒径 > 20 μm ）容易堵塞油路和过滤元件。

固体颗粒污染的主要原因包括：第一，没有及时清理维修环境中的灰尘、砂粒等杂质，这些杂质会通过维修开口、零部件缝隙等渗透到润滑系统当中。第二，维修时零部件拆卸或安装过程中产生的金属切削物、磨粒，若未及时清除，会混入到润滑油当中。第三，维修工具表面遗留下来的杂质、纤维等，在操作过程中脱落并进入到润滑系统当中。第四，新更换的零部件表面没有完全清洁干净，留有加工的毛刺、氧化皮等，也会成为固体颗粒污染的主要来源。

（二）水分污染

水分是航空发动机润滑系统中最常见的污染物之一。润滑系统中水分以游离水和乳化水两种形式存在^[4]。游离水大多沉积在润滑油的底部；乳化水与润滑油混合形成乳液，不能用常规过滤的方式除去。

水分污染的主要原因有三个：一是维修环境湿度大，空气中的水汽通过润滑系统的通气孔、密封间隙渗透到润滑系统。二是维修操作不规范，清洗零部件所使用的含水清洗剂没有完全吹干，残留下来的水分进入润滑系统，或加油时雨水、冷凝水等混入润滑油当中。三是润滑系统密封件老化、破损，外界水分渗入。

（三）化学污染

化学污染指的是润滑系统中混入各种化学物质，导致润滑性能降低、部件腐蚀的一种污染形式^[5]。污染物主要是酸碱物质、燃油、液压油、清洗剂残留等，虽然含量低，但对润滑系统的破坏较大。

化学污染的形成主要是因为维修操作及油品管理造成的。维修过程中所用的清洗剂、除锈剂等化学试剂没有完全清洗干净，残留在零件表面，进入润滑系统后与润滑油发生化学反应，破坏润滑油的化学稳定性^[6]。另外，空气中的有害气体（如SO₂、CO₂）进入润滑系统，和润滑油、水分反应生成酸性物质，也会造成化学污染。

（四）油品变质污染

油品变质污染指的是润滑油在储存、运输或维修使用过程中，由于自身性能劣化而造成的污染^[7]。变质后的润滑油不仅会失去原有的润滑作用，还会成为新的污染源。

油品变质污染的成因比较复杂，主要是由于润滑油储存不当造成的。例如，维修时润滑油长时间处在高温环境中，或混入了水分、固体颗粒等污染物，会加快润滑油的氧化与分解。另外，航空发动机在高温下工作时，润滑油会与氧气发生一系列的化学反应。这种自身的氧化也会产生漆膜和油泥，从而促使油品变质污染加重。

二、润滑系统污染对航空发动机的危害

（一）加剧精密部件磨损，缩短设备服役寿命

当润滑系统中有固体颗粒污染时，这些颗粒会随润滑油的循环而接触部件表面，形成“研磨剂”，容易让部件受到磨损。甚至出现点蚀、剥落等损伤^[8]。水分污染会破坏润滑油的油膜，造成部件接触表面直接摩擦，同时水分还会与金属部件发生电化学腐蚀，进一步损坏部件。而化学污染中的酸碱物质、腐蚀性杂质，则会直接腐蚀部件表面，降低部件的机械性能和使用寿命。

（二）诱发油品变质失效，丧失核心润滑性能

润滑油的润滑、冷却、密封等性能，是由润滑油自身所具有的化学稳定性及物理性质决定的^[9]。当润滑系统被污染时，各种污染物会加速润滑油变质失效，降低润滑性能，加快润滑油氧化速度。当润滑油完全失效后，就不能为发动机部件提供有效的保护，部件的磨损何腐蚀速度会急剧加快，容易引发一系列的润滑系统故障。

（三）引发系统性故障，埋下航空安全隐患

润滑系统是航空发动机的“生命线”，它所造成的故障具有传导性，如果不及时处理，会慢慢蔓延到发动机的其它系统，从而埋下航空安全隐患^[10]。例如，润滑系统堵塞会造成轴承过热、齿轮卡死等故障，易导致发动机动力不足；润滑油变质失效，会导致轴颈断裂、齿轮损坏，甚至致使发动机停机。

三、航空发动机维修时润滑系统污染防控策略

（一）维修前期：源头防控，杜绝初始污染

维修前期的污染防控主要在于消除潜在污染源，从源头上防止污染的进入，从而为后续的维修工作鉴定清洁基础。

第一，相关人员要加强维修环境控制，比如配备高效空气过滤器，保证维修环境空气中悬浮颗粒浓度不大于0.5mg/m³；维修

前1小时开启除尘系统，从内向外、从上向下依次清扫地面、工作面，防止二次扬尘；控制车间温度在18 ~ 25℃，相对湿度控制在40% ~ 60%，防止水分和灰尘进入。

第二，相关人员要做好零部件清洁和检验工作，新零件及维修后的零件要彻底清洗干净，清除表面的杂质、毛刺、氧化皮等，清洗后必须经过严格检验，保证清洁度符合要求才能使用。对于存放时间过长的零部件，使用前应重新清洗、检验。

第三，相关人员需要规范对润滑油的管理，选用符合标准的润滑油，采购后需严格检验，合格后才能入库；储存时要做好密封、避光、防潮工作，存储温度控制在5℃ ~ 30℃，不能和燃油、液压油等其它油品混放。

第四，相关人员要做好维修工具的清洁，将维修工具放在超声波清洗机，用航空专业清洗剂清洗30分钟，去除表面油污和杂质，清洗后放入热风干燥箱中，在60℃ ~ 80℃温度下烘干，用精度为0.1μm的粒子计数器检测，无杂质后放入清洁工具箱备用。

（二）维修中期：规范作业，严控过程污染

维修中期是润滑系统污染的高峰期，主要可通过规范操作流程，严格控制各种污染物进入，保证维修过程的清洁度。

首先，相关人员需规范零部件拆装操作，拆装前对零部件表面及拆装部位进行彻底清洁，用洁净抹布覆盖周围区域；拆卸时不能碰伤零部件，不能造成金属磨粒，拆卸下来的零部件放在铺有清洁滤纸的托盘上，不能与工作台面直接接触；拆装完毕后立即对敞口部位进行密封。对于油管接口等敞口处用航空专用密封塞封堵，密封塞使用前需消毒处理，防止微生物污染。

其次，相关人员需规范清洗操作，清洗零部件时，选择与润滑油相容的清洗剂，不能使用腐蚀性强的化学试剂；清洗过程中保证清洗彻底；清洗后用干燥的洁净抹布擦干或用压缩空气吹干，防止清洗剂残留和水分残留。其中，对润滑系统管路，可采用高压空气吹扫或专用清洗液冲洗，去除管路内杂质和残留油品。

另外，相关人员还需规范加油操作，加油前用压缩空气将加油工具、加油口彻底清理干净，用酒精棉球擦净加油口周围油污，再用过滤加油装置将润滑油通过两道过滤后进入系统，防止杂质混入。加油量按照发动机要求，不能过多或过少，也不能将不同型号、不同品牌的润滑油混合使用。对停放时间超过30天的飞机，维修前需要用与润滑油型号相同的油品冲洗润滑系统，冲洗压力控制在0.3MPa ~ 0.5MPa，冲洗时间不小于30分钟，冲洗结束后用压缩空气吹扫干净。

最后，在维修过程中，相关人员还要用便携式油液颗粒计数器每30分钟检测一次油品，对颗粒浓度和水分含量进行检测，发现颗粒浓度超标时立即停止作业，检查过滤系统并更换滤芯及受污染油品；发现水分含量过高时，需检查冷却系统是否有泄漏，必要时可使用油水分离器进行脱水处理，并做好维修记录，保证各项操作可追溯。

（三）维修后期：精准校验，实现闭环管控

维修后期的污染防控核心是精准校验，及时发现并清除潜在污染，从而实现污染防控闭环管理。

首先,相关人员要对润滑系统的清洁度进行检测,维修结束后抽取润滑油样品,检测润滑油的颗粒度、水分含量、酸值等指标,保证清洁度符合标准。若检测不合格,还需对润滑系统进行重新清洗和过滤,直到达到清洁度要求为止。

其次,相关人员要对润滑系统的密封性进行检查,对油路接口、密封件等部位进行检查,用肥皂水涂抹法或氮质谱检测仪检测,保证没有泄漏,防止外部污染物进入;同时检查系统防护装置是否完好、空气滤清器滤芯清洁程度是否达标,如有堵塞需及时更换。另外,检测前要确认润滑系统已经泄压、排空残留油品,保证检测环境干净无粉尘影响。

最后,相关人员要做好维修后的养护工作,维修完成后启动发动机进行试运转,观察润滑系统的压力、温度等参数,保证运行正常,同时还要清除维修过程中留下的杂质、工具等,并制定

后续的保养计划,确定润滑油更换周期、清洁度检测周期,从而让润滑系统长期保持清洁、稳定的工作状态。

四、结语

总之,加强对航空发动机维修时润滑系统的污染防控,具有重要意义。在实践中,相关人员可以通过“源头防控,过程严控,闭环管控”这一防控策略做好润滑系统污染防控工作。未来,航空发动机的性能会不断提高,对润滑系统污染控制的要求也会越来越高,相关人员还需继续探索更有效、更智能、更环保的污染防控方法,从而促进航空发动机润滑系统污染防控工作规范化、智能化发展,为航空飞行安全提供有力保障。

参考文献

- [1] 胡兴龙,李国权,侯宏建,等.发动机引气污染及滑油渗漏污染分析与改进[J].航空发动机,2025,51(06):138-144.
- [2] 吴高宏.航空发动机滑油系统污染控制[J].内燃机与配件,2025,(22):82-84.
- [3] 申宇翔,阳为民,张清宇.航空发动机润滑油系统污染控制与性能优化[J].内燃机与配件,2025,(12):47-49.
- [4] 赵松,褚义高,张效卫.航空发动机维修时润滑系统污染防控研究[J].科技资讯,2025,23(12):74-76.
- [5] 梁智元,张成龙,丁东.飞机维修时航空发动机润滑系统污染防控研究[J].模具制造,2025,25(01):241-243.
- [6] 唐金水.航空发动机部件维修清洗设备节能改造分析[J].中国机械,2023,(34):42-46.
- [7] 张磊,李亚楠,李清晖.航空发动机整机润滑系统冲洗工艺研究[J].航空维修与工程,2023,(06):34-36.
- [8] 石依琳.典型通航飞机大气污染排放特征与环境影响研究[D].中国民航大学,2023.
- [9] 谭元球.航空发动机流道清洗技术应用研究[J].科技创新与应用,2023,13(13):109-112.
- [10] 吴闯,张亮,唐希浪,等.航空发动机润滑系统故障知识图谱构建及应用[J].北京航空航天大学学报,2024,50(04):1336-1346.