

航空器液压系统维护与故障排除

丁一川 郑珊珊 陈泳瀚

长龙（杭州）航空维修工程有限公司，浙江杭州，311228；

摘要：在航空领域，航空器液压系统对飞机安全飞行和稳定操作至关重要。随着航空技术发展，飞机性能要求提升，液压系统的维护与故障排除成为保障飞行安全、降低运营成本的关键。但目前在复杂故障诊断、新型材料应用等方面仍存在挑战，因此对其深入研究十分必要。

关键词：航空器；液压系统；维护；故障排除；发展趋势

DOI：10.64216/3080-1508.25.02.055

引言

本文聚焦航空器液压系统，先阐述其基本组成、工作原理及常见类型，接着探讨维护策略、定期维护流程等内容，详细分析故障类型、诊断方法与排除技巧，并结合案例深入剖析。研究表明科学维护与高效故障排除能保障系统稳定运行，新技术应用将推动其持续发展。

1 航空器液压系统概述

1.1 系统基本组成与功能

航空器液压系统是保障飞机正常飞行和操作的关键子系统，如同人体的肌肉骨骼系统，为飞机各部件提供动力和运动控制。它主要由液压泵、液压油箱、各类控制阀、作动器以及连接管路等组成。液压泵是液压系统的动力源，其作用类似于心脏，将机械能转换为液压能，通过旋转叶片或柱塞的往复运动，从油箱中吸入液压油并加压输出。液压油箱则用于储存液压油，为系统提供油液储备同时起到散热、沉淀杂质的作用。控制阀是系统的“指挥官”，负责控制液压油的流向、压力和流量。方向控制阀决定油液的流动方向，以实现作动器的伸缩、旋转等不同动作；压力控制阀调节系统压力，确保系统在安全工作压力范围内运行；流量控制阀控制油液流量，从而控制作动器的运动速度。作动器是液压系统的执行元件，将液压能转换为机械能，直接驱动飞机的舵面（如副翼、升降舵、方向舵）、起落架、襟翼等部件运动，实现飞机的姿态控制、起降和飞行操作。连接管路则像血管一样，将各个部件连接起来，使液压油能够在系统中循环流动。

1.2 液压系统的工作原理

航空器液压系统基于帕斯卡原理工作，即施加于密闭液体上的压强，能够大小不变地由液体向各个方向传递。当液压泵工作时，将液压油从油箱吸入并加

压，高压油液通过管路输送到各个控制阀。根据飞行操作需求，控制阀调节油液的流向和压力，将高压油液输送到相应的作动器。作动器内部的活塞或柱塞在液压油的压力作用下产生位移，从而带动与之相连的飞机部件运动。当飞行员操纵驾驶杆使飞机转弯时，驾驶杆的运动信号传递到液压系统的控制阀，控制阀改变油液流向，使高压油液进入副翼作动器的一侧腔室，推动活塞运动，进而带动副翼偏转，产生使飞机转弯的气动力。在系统工作过程中，多余的油液会通过回油管路返回油箱，完成一个完整的工作循环。

1.3 常见航空器液压系统类型

航空器的液压系统主要有简单开式、闭式以及多液压源系统。简单开式液压系统结构简单，液压泵从油箱吸油后直接供给作动器，作动器回油也直接回油箱。它适用于对性能要求不高的小型航空器，像初级教练机。其优势在于结构简单、成本低、维护容易；不足是系统效率低，油液易污染，且无法精准控制作动器的运动速度和位置。闭式液压系统中，液压泵与作动器形成封闭循环回路，还配有补油泵等装置。它响应速度快、效率高、油液污染小，被广泛应用于大型客机、战斗机等高性能航空器。不过，其结构复杂，成本高，维护难度大。为提升可靠性和安全性，现代大型航空器多采用多液压源系统，配备多个独立液压泵和回路，可由不同发动机驱动或电动泵作为备用。当某一液压源故障，其他液压源能继续工作，保障关键飞行操作。像波音737、空客A320等大型民航客机都采用了这种配置。不同类型的液压系统因各自特性，在不同航空器上发挥着重要作用。

2 航空器液压系统维护

2.1 维护策略与原则

预防性维护是保障航空器液压系统稳定运行的核心策略。它依据系统运行数据监测分析与零部件寿

命预测,制定合理维护计划,像定期更换液压油和滤芯,检查维护作动器等。可靠性中心维护(RCM)原则,按部件可靠性、重要性和故障后果,确定维护方式与间隔,关键部件严格维护,辅助部件灵活处理,以此优化资源配置、降低成本。当下先进健康监测系统能实时采集液压系统数据,分析这些数据,可及时发现潜在故障隐患,以便针对性采取维护措施,确保系统安全可靠运行。

2.2 定期维护内容与流程

定期维护是保障航空器液压系统稳定运行的关键。要检查液压油液位、颜色、气味及理化性能,一旦发现油液污染变质,需及时更换,更换时注意排空旧油、清洗油箱管路并加新油至规定液位。滤芯更换周期较短,一般几十飞行小时,务必选择匹配型号并规范安装。管路检查着重查看有无磨损、腐蚀、裂纹和泄漏,轻微问题可修复,严重损坏则需更换,同时检查固定件。对于液压泵、作动器、控制阀等关键部件,要拆解清洗、检查密封件,测试性能,确保其符合运行要求。

2.3 维护中的关键技术与工具

在航空器液压系统的维护中,油液污染检测技术、无损检测技术以及专用工具起着不可或缺的作用。油液污染是导致液压系统故障的重要因素,因此有效的检测方法至关重要。颗粒计数法通过测量油液中固体颗粒的数量和尺寸分布,直观评估油液污染程度;光谱分析法利用元素对特定波长光的吸收特性,分析磨损金属颗粒和污染物的成分及含量;铁谱分析法将油液中的铁磁性颗粒分离,在显微镜下观察其形态和尺寸,判断系统部件的磨损状态和故障原因。无损检测技术用于检测液压系统部件的内部缺陷,如裂纹、气孔等,且不损坏部件结构和性能。超声波检测利用超声波在材料中的传播特性,检测内部缺陷的位置和大小;射线检测通过X射线或 γ 射线穿透部件,根据射线强度变化发现内部缺陷;磁粉检测适用于检测铁磁性材料表面和近表面的裂纹;渗透检测则用于检测非多孔性材料表面的开口缺陷。一系列专用工具是确保维护工作顺利进行的保障。液压油加注设备能精确控制加注量和压力,避免油液加注异常;滤芯更换工具方便快捷地更换滤芯,保证油液清洁;管路拆卸工具安全高效地拆卸管路;压力测试设备准确测量系统各部位压力,为故障诊断和性能测试提供数据支持。这些工具精度高、可靠性强,具有专用性,极大地提升了维护工作的质量和效率,全方位保障航空器液压系

统的稳定运行。

2.4 案例分析:成功维护实例

某波音737客机执行任务时,液压系统B回路压力偏低。落地后维修人员用压力测试设备定位到起落架收放作动器附近管路有裂纹,系长期振动磨损所致。随后,他们依维护手册,在安全防护下用专用工具拆除旧管路,清洁连接部位,换上同型号新管路并按力矩要求安装。充压测试后,系统压力恢复正常,飞机复飞。可见精准诊断、依规操作、用专用工具,是维护成功关键,能避免故障扩大,保障飞行安全。

3 航空器液压系统故障排除

3.1 故障类型与成因分析

航空器液压系统常见故障主要有压力异常、泄漏以及异常振动和噪声。压力异常涵盖压力过高与过低。压力过高,可能源于压力控制阀故障、系统堵塞(如滤芯、管路堵塞)、液压泵输出异常等。这会使系统部件负荷过大,加速磨损,甚至引发管路破裂、密封件损坏。压力过低,常因液压泵故障(磨损、泄漏)、油液不足、系统泄漏(管路、作动器泄漏)、压力控制阀失效等,导致作动器输出力不足,威胁飞行安全。泄漏分内外泄漏。内泄漏是液压油从系统内部高压腔向低压腔泄漏,多发生于液压泵、作动器、控制阀内部密封处,会导致系统效率降低、油温升高、压力不稳。外泄漏是油液从外部管路、接头、密封件泄漏到大气,既浪费油液、污染环境,又使系统压力下降,原因包括密封件老化、损坏、安装不当,管路磨损、腐蚀、裂纹,接头松动等。

异常振动和噪声会影响机组工作环境,还可能是故障前兆。其产生原因复杂,如液压泵故障(零件磨损、气蚀)、管路共振、系统混入空气、作动器运动不平稳等。像液压泵叶片或柱塞磨损不均,会使输出流量和压力波动;系统混入空气产生气泡,气泡破裂引发气蚀和振动噪声。

3.2 故障诊断方法与步骤

在进行航空器液压系统故障诊断时,全面收集故障信息是关键的第一步。要详细记录机组人员描述的故障发生时间、地点、飞行阶段和具体现象,查阅飞机维护记录掌握系统过往情况,借助健康监测系统获取实时运行数据。基于这些信息,对液压系统展开初步检查。查看液压油液位、颜色和气味判断油液状态,目视检查管路、接头和密封件有无泄漏、损坏或松动,关注各部件外观有无异常。若初步检查无果,需进行性能测试,使用专业设备测量系统压力、流量等参数,

并与正常数据对比,还可借助数据分析技术挖掘潜在故障信息。

根据测试和分析结果,结合系统工作原理与结构特点定位故障,确定具体部件或部位。比如系统压力过低,经压力测试发现某管路压力异常且附近有油液泄漏,即可初步判断故障所在。为进一步确认,可能需拆解怀疑部件,观察内部零件状况,最终明确故障原因。

3.3 故障排除技巧与经验分享

在排除故障时,应首先检查那些容易检查和修复的部位,如管路接头是否松动、液压油液位是否正常、滤芯是否堵塞等。从简单的问题入手,逐步排查复杂的故障,这样可以提高故障排除的效率,避免一开始就陷入复杂的故障分析中。充分利用各种专用的故障诊断工具和设备,如压力测试设备、泄漏检测仪、无损检测设备等。这些工具能够帮助维修人员快速、准确地获取系统运行数据和故障信息,为故障诊断和排除提供有力支持。使用泄漏检测仪可以快速定位微小的泄漏点,避免通过目视检查难以发现的泄漏问题。液压系统故障往往是由一些细微的问题引起的,因此在故障排除过程中要注重细节。在检查密封件时要仔细观察密封件的表面是否有划伤、变形、老化等迹象,安装时要确保密封件安装正确、无扭曲。维修人员要注重经验积累,将每次故障排除的过程和经验记录下来,形成自己的故障案例库。在遇到类似故障时,可以参考以往的经验,快速找到故障排除的方法。航空器液压系统故障排除往往需要多个专业领域的人员协作,如机械工程师、电子工程师、质量控制人员等。在故障排除过程中,要加强团队成员之间的沟通与协作,共享故障信息和诊断思路。机械工程师负责检查机械部件的故障,电子工程师负责检测电气控制系统的故障,质量控制人员负责监督维修过程的质量,通过团队协作可以提高故障排除的成功率。

3.4 案例研究:典型故障排除案例

某空客 A320 客机起飞时,襟翼放下速度变慢,译码发现液压系统回路压力下降。返航后,维修人员收集故障信息、查阅维护记录,初步检查未发现明显异常,经压力测试锁定故障在通往襟翼作动器管路。拆解发现管路内有金属碎屑,推测换滤芯时进入,导致堵塞使油流量不足。随后维修人员清洗管路,更换受损管路、滤芯及作动器密封件。经充压测试与襟翼收放试验,飞机性能恢复正常。此案例表明,准确诊断故障、细致维修至关重要,维护时严格遵守规程,

才能避免人为引发故障。

4 结论

航空器液压系统作为飞机的重要组成部分,对飞行安全和性能起着关键作用。通过对其基本组成、工作原理、常见类型的了解,以及对维护策略、定期维护内容、维护关键技术和工具的掌握,能够有效保障液压系统的正常运行。在故障排除方面,深入分析故障类型与成因,运用科学的诊断方法和步骤,结合故障排除技巧与经验,能够及时准确地解决故障问题。关注未来发展趋势,积极应对智能化、新型材料应用、绿色环保、多电飞机带来的挑战,将推动航空器液压系统不断创新和发展,为航空事业的持续进步提供坚实的技术支撑。从维护人员严格按照标准流程进行维护操作,到科研人员不断探索新技术、新材料,每一个环节都关系到液压系统的可靠性和飞机的飞行安全,只有各方共同努力,才能确保航空器液压系统在复杂多变的飞行环境中始终保持良好的工作状态。

参考文献

- [1] 侯俊行. 航空液压直驱门轴摆动机构设计与仿真优化[D]. 四川大学, 2023. DOI: 10. 27342/d. cnki. gscdu. 2023. 001374.
- [2] 罗建. 航空液压泵检测试验台及其性能优化研究[D]. 武汉工程大学, 2022. DOI: 10. 27727/d. cnki. gwhxc. 2022. 000130.
- [3] 杨立江, 李安. 现代民用客机系统故障预测方法[J]. 成都航空职业技术学院学报, 2021, 37(03): 53-55.
- [4] 谷峰, 徐海, 宋彦南, 等. 故障分析的军民机液压产品转换中的设计及适航研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2021, 35(08): 257-264.
- [5] 于水英. 民用航空器电子仪表设备维修技术与方法探究[J]. 内燃机与配件, 2019, (24): 120-121. DOI: 10. 19475/j. cnki. issn1674-957x. 2019. 24. 059.
- [6] 孟柯生. 一种新型航空器液压轮挡的设计分析研究[J]. 民航学报, 2018, 2(02): 34-36.
- [7] 王超, 孙智斌. 关于航空器故障排除的探讨[J]. 中国民航学院学报, 2002, (S1): 11-14.

作者简介: 丁一川(1989-)男、汉族、河南省周口市人、中级工程师, 学士, 研究方向: 民用航空器工程技术。

郑珊珊(1991-), 女, 汉族, 福建省龙岩市人, 中级工程师, 学士, 研究方向: 民用航空器工程技术。

陈泳瀚(1988-), 男, 汉族, 浙江省丽水市人, 中级工程师, 学士, 研究方向: 民用航空器工程技术。