

起落架液压系统压力不足引发不上锁的故障排查与优化方案

王清山 高洪亮

石家庄海山实业发展有限公司 河北石家庄 050200

摘要: 飞机起飞后由于起落架液压系统压力不足, 易引发“不上锁”故障, 对飞行安全构成严重威胁。本文对此进行全面剖析, 明确故障核心成因: 液压系统压力不足导致活塞有效行程不足, 无法抵抗锁紧装置的联合阻力。针对该问题, 研究构建逻辑清晰的故障排查策略, 重点提出基于关键部件更新、系统优化及维护过程规范化的综合解决方案, 为精准定位故障源、提升系统可靠性提供有效方法, 对实际飞行维护工作具有重要的理论与现实意义。

关键词: 起落架; 液压系统; 压力不足; 不上锁; 故障排查

飞机起落架的可靠收放与锁定是保障飞行安全的核心前提, 而液压系统作为起落架锁止机构的主要驱动单元, 其工作状态稳定性直接决定上锁定操作的成败。在实际运行过程中, 液压系统压力过低导致的“不上锁”现象时有发生, 给机组带来极大安全风险。常规故障诊断技术多依赖人工经验, 存在诊断体系不完善、缺乏预防性管控等问题。因此, 通过系统性剖析故障特征、建立“现象-根源”的体系化诊断流程、提出前瞻性解决方案, 可显著提升系统运行效率, 实现维修模式从被动响应向主动防控的转变。

一、起落架液压系统工作原理及压力不足引发的不上锁故障表现

(一) 液压系统工作原理

飞机起飞时, 驾驶员操纵起落架收回手柄, 信号传递至液压控制装置后, 液压泵启动并对油箱内液压油增压, 经内部管路输送至调节阀; 在操纵信号控制下, 调节阀切换液压油流向, 将其送入起落架收放作动筒腔室, 利用油压驱动腔室内活塞运动, 实现起落架收回, 再通过锁紧装置完成锁定。着陆时, 液压系统反向动作, 操纵起落架下放并锁紧, 保障飞机安全着陆。

起落架收放作动筒的输出驱动力遵循力学公式 $F=P \times A$ (其中 F 为输出力, P 为系统压力, A 为作动筒有效作用面积)。当系统压力 P 低于临界值时, 输出力 F 无法完全抵消锁紧装置的联合阻力 (含弹簧预紧力、部件摩擦阻力及微小形变阻力), 进而引发不上锁故障。

(二) 不上锁故障的具体表现

1. 锁止动作失效: 压力不足导致作动筒驱动力不足, 锁钩无法完全到位; 即使暂时锁定, 系统保压性能下降,

飞行中受气流扰动、机身震动等动态载荷影响, 易出现“意外开锁”, 风险极高。

2. 定位指示器异常: 座舱定位指示器无法准确反馈起落架状态。例如, 起落架下放后应锁定时, 绿色指示灯不亮或闪烁、红色指示灯常亮; 起落架收放过程中, 红色指示灯持续闪烁不熄灭, 均表明上锁失败。

3. 起落架晃动: 飞机飞行 (尤其起降阶段) 时, 起落架出现明显晃动。因起落架未有效锁定, 受外部气流或飞机姿态变化影响, 无法保持稳定, 进一步加剧安全隐患。

二、压力不足引发不上锁故障的排查方法

(一) 外观初步检查

1. 液压管路检查: 排查管路是否存在渗漏、断裂。渗漏部位可见油斑、油珠或周边零件油垢, 微小渗漏可采用紫外荧光探测法 (向液压油添加荧光剂, 紫外光照下定位); 断裂管路可见明显裂纹、破损。重点检查管路连接处是否松脱 (如波音 1.737 NG 飞机主起落架液压管路连接额定扭矩为 $28 \text{ N} \cdot \text{m}$, 扭矩不足易渗漏); 查看油量表, 确保油位达标 (如 A320 系列飞机正常油位为 80%, 降至 70% 时系统压力下降 $2 \sim 3 \text{ MPa}$)。

2. 油箱油位检查: 打开油箱检测口, 确认油位在规定的范围。油位过低可能源于系统渗漏、液压油损耗过大或加注不足, 会导致液压泵吸油不充分, 引发系统压力下降; 部分机型油位降至最低点时, 液压泵易产生空吸, 显著降低输出压力。

(二) 液压系统压力检测

采用专用仪器 (压力表、压力传感器) 进行精确检测, 与标准压力值对比, 明确低压程度。压力表可直接

读取数据，满足常规检修需求；压力传感器测量精度高、灵敏度强，可实时监控并转换为电信号，便于联动分析。选型时需确保仪器工作压力范围覆盖系统额定压力，测量精度符合故障诊断要求。

（三）关键部件检查

1. 液压泵检查：作为核心动力元件，需排查轴封、配流盘密封件是否破损渗漏（内密封损坏需拆解检修，老化变形需立即更换）；用转速计测量驱动电机转速，与标称值对比（转速显著下降可能为供电或耦合问题）；检查泵轴是否断裂、锁止结构是否损坏。

2. 控制阀检查：液压油杂质易导致阀芯卡滞（开启

状态卡滞会使液压油持续回流，系统压力无法升高；关闭状态卡滞会阻碍流体流动）。需拆解阀门、清洁污垢，检测阀芯活动性，必要时更换阀座。

3. 管路与接头检查：用内窥镜检测管路内壁，判断堵塞位置及严重程度，采用管道清洁工具或高压冲洗清除堵塞，严重时更换管路；检查接头密封件是否老化、变形、破损，异常时立即更换。

三、压力不足问题的解决与优化措施

（一）排查问题部件的修复与更换

零件修复与更换遵循“分类处置+品质控制”原则，确保性能达标，具体标准如下表：

零件	问题描述	修理/更换方法	性能要求	备注
活塞	摩擦间隙0.02~0.05 mm	电镀技术修补	体积利用率> 90%	-
液压泵	摩擦间隙> 0.05 mm	更换液压泵	工作时间延长50%以上	优先选用普惠原装件
阀门	阀芯堵塞	超声清洗	去除杂物后性能试验，压差≤0.5 MPa	-
弹簧	故障	更换同类产品	经100个运转周期试验，确保可靠性	-
管道	凹坑< 1 mm	整形修复	-	-
管道	凹坑> 1 mm	更换新管路	安装后试压，30分钟内压力降≤0.3 MPa	-

（二）液压系统整体质量优化

1. 液压油品质提升：推行“精准更换+实时监控”模式，选用符合SAE AS1241标准的液压油（抗氧化、低温流动性优良）；动态监控油液粘度、水分、污染度，当污染度超过NAS 8级或水分含量> 0.1%时，自动报警并换油。某航空公司2022年引入该体系后，液压油相关故障下降65%，起落架故障下降58%。换油时需彻底清洗油箱及管路，避免新旧油混合；换油后对系统排气，防止气阻导致压力不足。

2. 增设压力稳定装置：选用膜片式储能器（容量按系统流量确定），提升压力稳定性。例如，波音737 NG飞机可在18~21 MPa工作压力区间安装10L储能器，系统压力下降时自动补压，确保锁定瞬时压力≥18 MPa。某航空公司2023年为5架存在动态压降问题的客机加装后，锁定瞬时压力提升2.3 MPa，故障彻底排除。

3. 优化系统管线布局：采用“减阻+加固”方案：减少管道弯折次数（弯折角度≥90°，尖角改弧形），压力损失降低0.8 MPa；缩短管道长度，压力损失再降0.1 MPa；强化固定（防震支撑间距从1.5 m缩至1 m，起落架舱安装橡胶减振衬垫）。某航线2022年优化后，管道泄漏率降低70%，系统压力平均提升1.2 MPa。

（三）操作流程与维护规范完善

1. 制定标准化操作流程：编制《起落架收放标准化操作手册》，明确“分级作业+状态验证”：收起起落架时，前一动作完成（座舱指示灯稳定）后间隔3秒再执行下一动作；起飞前必须完成闭锁试验，仅当“锁定”绿灯常亮且压力表正常时，方可滑行。

2. 建立定期维护制度：推行“分级维修+预防性维修”：

例行维护（按航时）：检查油位、外观渗漏及压力；常规保养（每50飞行小时）：更换液压油、清洗滤清器；

深度维修（每1000飞行小时）：拆卸检查液压泵、控制阀、作动筒，更换密封件及磨损弹簧。

结束语

起落架作为飞机地面起降及滑行的核心承载部件，其可靠性是航空安全的关键。液压系统压力稳定性直接决定起落架上锁有效性，针对压力不足引发的不上锁故障，本文从系统原理解析入手，构建了“由表及里”的体系化诊断路径，优化了排查方法，形成了“部件修复+系统优化+规范管控”的综合解决方案，推动维修模

式从“被动响应”升级为“主动防控”，为从根本上解决该类故障提供了重要技术支持。

参考文献

- [1] 谷宗辉, 孙向东. DA42飞机起落架系统原理简介及典型故障分析[J]. 内燃机与配件, 2025(20): 77-79.
- [2] 何康, 李康. 波音737NG飞机无线电高度表故障状态分析与预防策略研究[J]. 航空维修与工程, 2025(09): 94-96.
- [3] 赵黎, 梁彪. 主起落架收放作动筒应急活门处漏

油故障分析[J]. 航空维修与工程, 2025(06): 106-108.

[4] 贾宝惠, 温晓伟, 王毅强, 等. 基于STPA的民机起落架收放系统风险因素分析研究[J]. 中国民航大学学报, 2025, 43(03): 8-14.

[5] 史栩瑞, 张健, 梁涛涛, 等. 起落架舱门联动机构故障分析与优化设计[J]. 南京航空航天大学学报(自然科学版), 2025, 57(02): 292-300.

[6] 李华, 李涛. 考虑非精确概率的起落架运动机构可靠性分析[J]. 力学季刊, 2024, 45(04): 920-930.