

某型直升机起落架卡滞故障研究

冯振东¹, 孟庆骁²

¹92074部队, 浙江 宁波

²91331部队, 辽宁 葫芦岛

收稿日期: 2026年5月29日; 录用日期: 2026年7月2日; 发布日期: 2026年9月15日

摘要

起落架作为直升机关键承载与起降部件, 其工作可靠性直接关乎飞行安全与日常任务推进。某型直升机自投入使用以来, 起落架卡滞故障呈逐年频发态势, 且由地面延伸至空中, 严重威胁飞行安全并干扰任务进度。本文通过对故障现象的追踪分析, 明确腐蚀、磨损、维护不当及安装设计缺陷是引发卡滞的主要原因。基于故障成因, 提出清除颗粒污染物、恢复表面光洁度的针对性排除方法, 为该型起落架故障处置与维护提供技术支撑。

关键词

直升机, 起落架, 卡滞, 腐蚀

Research on Sticking Fault of Landing Gear of a Certain Type Helicopter

Zhendong Feng¹, Qingxiao Meng²

¹Unit 92074, Ningbo Zhejiang

²Unit 91331, Huludao Liaoning

Received: May 29, 2026; accepted: July 2, 2026; published: September 15, 2026

Abstract

As a key load-bearing and takeoff/landing component of helicopters, the landing gear's operational reliability is directly related to flight safety and routine mission execution. Since a certain type of helicopter was put into service, sticking faults of its landing gear have occurred increasingly year by year. Such faults initially emerged on the ground and later occurred during flight, posing a serious threat to flight safety and hindering mission progress. Through tracking and analysis of fault phenomena, this paper identifies corrosion, wear, improper maintenance and installation & design defects as the main causes of landing gear sticking. Targeted troubleshooting methods including removing particulate

文章引用: 冯振东, 孟庆骁. 某型直升机起落架卡滞故障研究[J]. 仪器与设备, 2026, 14(3): 413-419.

DOI: 10.12677/iae.2026.143045

contaminants and restoring surface finish are proposed based on the fault causes, providing technical support for fault disposal and maintenance of this type of landing gear.

Keywords

Helicopter, Landing Gear, Sticking, Corrosion

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 文献综述

直升机起落架是保障航空器起降安全的核心运动机构,收放卡滞一直是国内外航空装备可靠性研究的重点方向。在国外航空领域,欧美航空机构针对舰载、近海使用直升机开展大量研究,明确海洋高温、高盐、高湿环境会加速铝合金起落架结构电化学腐蚀,腐蚀会造成液压油污染加剧造成运动卡滞,并明确要求近海机型需提高结构防腐等级、强化液压油清洁度管控。国内方面,针对起落架尼龙类自润滑涂层开展耐久性试验,证实冲击载荷、往复摩擦、温变环境会造成涂层逐步磨损、脱落,磨屑是引发运动机构卡滞的重要杂质源。综合现有研究来看,现阶段业内已分别对起落架腐蚀、涂层失效等单一问题形成成熟理论,但针对特定机型外八字安装结构 + 海洋环境 + 自润滑涂层耦合作用下的起落架卡滞综合故障研究较少,缺乏一体化故障溯源与现场快速排查方案。本文结合该型直升机实际使用工况、故障演变规律,开展全维度故障分析与处置技术研究,可补充该领域的实践研究成果,同时严格遵循国内直升机设计标准、维护规程开展论证,保证研究内容的严谨性与实用性。

起落架是直升机完成起降、地面滑行和着陆缓冲的核心功能部件,其结构完整性与运动顺畅性直接决定直升机飞行安全、装备完好率及工作执行能力。随着多场景、多功能、高强度飞行工作的持续开展,直升机起落架长期处于恶劣环境、复杂载荷与频繁动作的工作状态,环境侵蚀、结构磨损、维护偏差等问题逐步呈现,继而引发伸缩卡滞等典型故障。某型直升机作为主力飞行装备,主起落架卡滞故障已成为影响装备可靠性的突出问题,不仅制约任务推进,更存在诱发飞行安全事故的潜在风险。为精准定位故障根源、形成高效可行的处置方案,本文围绕该型直升机起落架卡滞故障,系统开展现象梳理、成因剖析与排除方法研究,为直升机保障治理、维护优化和可靠性提升提供实践依据和技术参考。

2. 故障背景

2.1. 某型直升机起落架简要介绍

某型直升机为可收放的前三点式起落架布局。起落架采用油气式减震结构,内部填充液压油与氮气,用于支撑直升机和便于直升机在地面运动以及吸收直升机着陆时的撞击能量,减小着陆撞击载荷。该起落架设计最大承载重量为直升机全机重量的 1.2 倍,可适应 -55°C ~ 90°C 的工作温度范围及复杂地形起降需求。初始设计目标是满足陆域、海域等多场景飞行任务执行需求,但长期使用后逐渐暴露出主起落架卡滞等可靠性问题。

2.2. 卡滞故障具体表现

主起落架由内筒、外筒、防扭臂、微动电门、上下支撑环组件、机轮轴等部件组成。正常情况下,内筒应从外筒平稳伸出与缩进;卡滞故障则表现为内筒伸出阻力过大、动作不到位、伸缩不顺畅,具有典

型渐进性与危害性。故障初期仅发生于地面顶起状态：直升机被顶起后，内筒在重力与氮气压力作用下无法自动伸出，需外力干预才能完成动作。随着使用时间增长，故障频次显著上升，并由地面扩展至空中飞行阶段：直升机离地后，主起落架内筒不能完全伸出到位，微动电门轮载信号无法正常接通，导致起落架无法正常收起，从而影响飞行任务执行。更严重的是，起落架收放异常可能引发结构干涉、气动失衡等问题，直接威胁飞行安全，甚至导致飞行事故。

2.3. 故障发生频次

在该型直升机投入使用的前 3 年，未发生卡滞故障。第 4 年，卡滞故障首次出现，随后呈逐年上升趋势。第 4 年全年累计发生 6 次，第 5 年故障频次显著上升，达到 9 次，第 6 年虽略有回落仍达 8 次，见表 1。故障频发致使直升机完好率下降，多次因起落架故障取消飞行计划、中断任务，对日常各项飞行工作的开展造成了显著影响。

Table 1. Statistics on the number of times landing gear jamming failures of a certain type of helicopter have occurred over the years

表 1. 某型直升机起落架卡滞故障历年发生次数统计

使用年限	第 1~3 年	第 4 年	第 5 年	第 6 年
故障次数	0	6	9	8

综合统计数据可见，直升机投入使用第四年起故障集中爆发，整体处于高位运行状态，故障态势日趋严峻，已成为影响直升机使用的突出问题。

3. 故障原因分析

3.1. 结构件腐蚀

该型直升机长期承担海上任务，飞行环境具有高温、高盐、高湿度的显著特征，这种恶劣环境对起落架内部金属结构件造成了严重的腐蚀影响。起落架内部结构件多采用轻铝合金材质，虽然重量轻、强度高，但耐腐蚀性较差。在长期高盐雾、高湿度的环境中，轻铝合金材质极易发生电化学腐蚀[1]，结构件表面逐渐形成疏松多孔的白色腐蚀产物(主要为铝的氧化物和盐类化合物) [2]，见图 1。在直升机起降和飞行过程中，起落架处于不断地伸缩和震动状态，这些腐蚀产物会以颗粒的形态逐渐从结构件表面脱落，混入起落架内部的液压油中。随着腐蚀颗粒在液压油中的积累，当起落架进行伸缩运动时，这些颗粒会进入内筒与配合部件的间隙中，增大了内筒运动接触面的摩擦力，使内筒运动变得干涩不畅，进而引发卡滞故障[3]。同时，腐蚀不仅会产生颗粒杂质，还会导致结构件表面粗糙度增加，形成凹凸不平的腐蚀面，进一步加剧了摩擦阻力，加速了卡滞故障的发生和恶化。

3.2. 自润滑涂层磨损

该型直升机起落架采用自润滑设计，内部所有运动部位均粘接有自润滑涂层，该涂层为深棕色尼龙材质，通过专用胶粘剂粘接固定在金属件表面，其作用是减少运动部件之间的摩擦，保障活动部位动作的顺畅。然而，尼龙材质本身相对脆弱，在长期使用过程中，受直升机起降时的冲击载荷、运动部件之间的挤压摩擦以及环境温度变化等因素影响，自润滑涂层易发生磨损、脱落[4]。磨损产生的深棕色(肉眼观察近似黑色)尼龙颗粒磨屑会直接混入起落架内的液压油中，与腐蚀颗粒类似并与腐蚀颗粒共同作用，增加了内筒伸出的摩擦阻力。其中，与内筒直接接触、为内筒运动导向的上下支撑环组件内表面含有大量的自润滑涂层(见图 2)，该部位是内筒伸缩运动的主要接触面，其自润滑涂层的磨损程度直接影响内筒

伸出摩擦力的大小，是磨损因素中导致卡滞故障的核心部位。



Figure 1. Corrosion of structural components
图 1. 结构件腐蚀



Figure 2. Self-lubricating coating inside the upper and lower support ring assemblies
图 2. 上下支撑环组件内的自润滑涂层

3.3. 维护操作不当

在直升机的日常维护过程中, 部分维护人员对起落架的自润滑设计原理认知不足, 错误地认为内筒作为活动部件, 需要额外涂油润滑以保障其运动顺畅。基于这一误判, 维护人员会在内筒表面涂抹液压油或润滑脂。然而, 这种错误操作不仅无法起到预期的润滑效果, 反而会带来负面影响: 涂抹在表面的液压油或润滑脂会吸附空气中的灰尘、砂粒等外来杂质。当直升机起落架进行伸缩运动时, 这些吸附了杂质的油膜会随着内筒的运动进入起落架内部, 与液压油混合在一起, 进一步增加了液压油中的颗粒杂质含量。一方面, 这些灰尘、砂粒等杂质与腐蚀颗粒、磨损颗粒一起共同作用, 增大了内筒伸出的摩擦力; 另一方面, 由于砂粒等杂质硬度较高, 会在运动部件中产生研磨效应, 加重自润滑涂层的磨损程度, 加剧了卡滞故障的发生。事实上, 该型直升机起落架的自润滑涂层已能满足运动部件的润滑需求, 额外涂抹润滑介质属于多余操作, 反而成为引发故障的重要诱因。

3.4. 安装设计缺陷

该型直升机主起落架在安装完成后, 其轴线并非与地面垂直, 而是与直升机的 Y 轴(直升机纵向轴线)外偏一定角度, 即形成俗称的“外八字”安装状态。这种安装设计虽能在一定程度上提升直升机地面滑行时的稳定性, 但会导致起落架在承受载荷和进行伸缩运动时, 受力方向与内筒的伸出方向不一致。理论上, 内筒应沿轴线方向平稳伸缩, 而“外八字”形态使得内筒在运动过程中不仅受到轴向力, 还会承受额外的侧向分力, 导致内筒与上下支撑环组件、外筒等部件之间的接触应力分布不均, 局部摩擦加剧。这种侧向分力的存在进一步加重了内筒伸缩的阻力, 使得原本因腐蚀、磨损产生的颗粒杂质造成的摩擦问题更加突出, 从而加速了卡滞故障的发生, 成为诱发故障发生的结构性因素。

4. 故障排除方法

4.1. 排除理念与核心思路

基于上述故障原因分析, 起落架卡滞故障的本质是腐蚀颗粒、磨损颗粒及外来砂粒等颗粒污染物在起落架内部液压油与部件间隙中沉积, 叠加金属结构件表面腐蚀导致接触面粗糙化, 引发内筒伸缩卡滞, 而安装设计缺陷进一步放大了这一问题。因此, 排除故障的核心理念是“彻底清除颗粒污染物 + 恢复部件配合精度”, 通过分解起落架, 从根源上消除导致摩擦力增大的各类因素, 保障内筒伸缩运动的流畅顺滑。同时, 排故工作需遵循“按需分解、最小干预”原则, 仅对涉及卡滞的核心部件进行必要分解, 避免过度拆卸造成部件损伤, 无需复杂的部件更换, 重点在于对起落架内部进行深度清洁和腐蚀产物去除, 以最低的成本实现故障修复。

4.2. 排除方法重点内容

1. 分解起落架后, 首要任务是对内部进行全面清洗。聚焦“颗粒污染物是卡滞故障的直接诱因”, 将颗粒污染物清除作为重中之重, 核心在于全面清除起落架内部结构件表面、结构件间隙及摩擦界面的各类杂质, 包括腐蚀产生的白色颗粒、磨损导致的黑色颗粒、维护不当引入的灰尘砂粒等。其中, 上下支撑环组件作为内筒伸缩的关键导向部件, 其与内筒接触的工作面是杂质堆积的重灾区, 需作为清除重点区域。通过针对性清洗手段彻底去除附着杂质, 消除颗粒对运动的阻滞作用。

2. 清除结构件表面腐蚀产物, 恢复表面光洁度。针对腐蚀导致的结构件表面粗糙问题, 重点清除金属结构件表面的腐蚀产物, 包括铝合金表面的白色氧化铝层、盐类附着物等。通过适配的清理方式去除腐蚀产物后, 采用机械打磨抛光等方式对结构件进行表面处理, 恢复其光洁度, 降低表面粗糙导致的摩擦阻力。尤其需关注内筒外表面、上下支撑环内孔等关键配合面, 确保其表面平整度、光洁度符合设计

标准,从根本上解决腐蚀粗糙引发的干涩问题。

4.3. 排除效果与优势

采用上述故障排除方法实施检修后,起落架内筒伸缩动作顺畅平稳,卡滞问题得到彻底根治,整机运动性能完全恢复至设计标准。截至目前,该工艺已累计完成 20 余个起落架卡滞故障的处置工作,修复后的起落架内筒单次伸出时间均控制在 3 s 以内,动作响应迅速、运行状态良好。所有完成修复的起落架投入实际飞行任务后,未再出现同类卡滞故障,长期运行可靠性得到充分验证。

在本套排除方法推广应用前,针对该型起落架卡滞故障,只能采取更换起落架并返厂送修的方式,不仅送修周期长达数月,严重影响直升机的完好率使用率,且起落架采购、原厂维修费用高昂,维修成本居高不下。自去年全面推行分解清洗检修方案以来,单架次起落架的故障排除仅需 1 天即可完成,排除周期大幅缩短,装备应急保障与常态化运维能力显著提升。同时,维护人员可自主实施完成,无需更换零部件和返厂送修,大大降低了维修成本。该方法兼顾了检修效率与成本管控,实现了故障快速修复与经费合理节约的双重成效,为飞行任务的顺利开展提供了可靠保障。

5. 结论

5.1. 研究总结

某型直升机卡滞故障的发生是腐蚀、磨损、维护不当与安装设计缺陷共同作用的结果,其核心诱因是各类杂质累积导致的摩擦阻力增大。通过践行“彻底清除颗粒污染物 + 恢复部件配合精度”的排故理念,聚焦杂质精准清除、结构件表面修复等重点内容,可有效解决卡滞故障,恢复起落架正常工作性能,且该方法具有效率高、成本低、便于自主实施等优点。

5.2. 研究局限性

本研究仅针对该特定型号直升机、近海海洋高温高盐服役环境展开分析与试验验证,所得故障规律、排故工艺、结论无法直接套用至其他机型以及内陆高原高寒环境下的直升机起落架;同时聚焦于装备事后故障处置,未开展全寿命周期模拟试验,对故障长期演化规律的分析存在一定局限。

5.3. 维护优化建议

1. 强化海上环境防腐管控。针对海洋高盐雾、高湿度环境,定期对起落架铝合金结构件开展防护补漆与防腐监测,建立常态化防腐检查机制,延缓结构腐蚀进程。
2. 完善人员培训与操作规范。组织维护人员开展起落架结构原理、自润滑设计、标准维护规程专项培训,杜绝额外涂抹润滑脂、液压油等违规操作,提升操作规范性。
3. 定期更换内部液压油。按照直升机飞行和起落架实际使用情况酌情缩短液压油更换周期,降低油液内颗粒物浓度,减少油液内杂质堆积。
4. 增加日常清洁与检查频次。重点检查起落架外表面、内外筒配合面状态,提前排查杂质、轻微磨损等隐患。

5.4. 设计生产改进建议

1. 研发新型耐磨自润滑涂层。选用耐摩擦、抗冲击、不易脱落的涂层材料,替换现有尼龙涂层,提升运动部件耐磨性能。
2. 优化起落架安装角度。结合滑行稳定性与伸缩运动特性,对“外八字”安装角度进行仿真与实装优化,减小内筒工作时承受的侧向分力,降低局部摩擦阻力。

3. 优化结构密封设计。升级起落架密封组件, 减少外界盐雾、灰尘等进入内部腔体, 阻断外来杂质侵入通道。

后续依托上述预防性措施, 可将故障管控从传统事后维修转向事前预防, 从根源上降低故障发生率, 全面提升该型直升机起落架及整机的运行可靠性。

参考文献

- [1] 段林峰, 邱小云. 化工腐蚀与防护[M]. 第3版. 北京: 化学工业出版社, 2021: 94.
- [2] 王海东, 张玓. 沿海地区航空装备维修[M]. 北京: 国防工业出版社, 2021: 3-5.
- [3] 姜继海, 张健, 张彪. 液压传动[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2020: 23.
- [4] 束德林. 工程材料力学性能[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 154.