

文章编号: 1674-8190(XXXX)XX-001-05

某型直升机单发停车特情处置及故障分析

刘昊阳¹, 史立军¹, 徐云山², 王之瑞², 蔡英楠¹

(1. 航空工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司, 哈尔滨 150066)

(2. 中国人民解放军 95966 部队, 哈尔滨 150066)

摘要: 某型直升机在试飞过程中出现空中左发异常停车故障, 试飞员依据特情处置方法安全着陆, 人机安全。落地后对故障发动机进行静态检查未发现异常, 随后对故障飞机进行整机通电地面开车检查左发工作均正常, 最终经过数据判读和分析确定为 P3 压力异常降低导致油气比限制值异常降低, 产生油量限制, 造成发动机停车。对此次空中单发停车故障进行分析, 以试飞机组视角对单发停车后的特情处置方法进行叙述, 分析认为: 该架飞机 P3 压力传感器内部存在可移动金属多余物, 在直升机飞行过程中造成调理电路电源与地短时搭接短路, 使电子控制器内部的电压被拉低, 导致 P3 信号异常下掉, 最终导致直升机空中无征兆异常单发停车。本文提出了改进措施和建议, 可为型号设计和特情故障分析提供思路。

关键词: 直升机; 单发停车; 机理分析; 改进意见; P3 传感器

中图分类号: V212.4

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.XXXX.XX.01

Special situation disposal and fault analysis of single engine parking for a certain type of helicopter

LIU Haoyang¹, SHI Lijun¹, XU Yunshan², WANG Zhirui², CAI Yingnan¹

(1. AVIC Harbin Aircraft Industry Group Co., Ltd., Harbin 150066, China)

(2. 95966 Unit of the Chinese People's Liberation Army, Harbin 150066, China)

Abstract: During the flight test of a certain type of helicopter, there was an abnormal parking fault of the left engine in the air. The pilot landed safely according to the special situation handling method, ensuring the safety of the aircraft. After landing, a static inspection was conducted on the faulty engine and no abnormalities were found. Subsequently, the entire aircraft was powered on and ground driven to check that the left engine was working normally. After data interpretation and analysis, it was determined that the abnormal decrease in P3 pressure caused an abnormal decrease in the limit value of the oil to gas ratio, resulting in fuel limitation and engine shutdown. This article analyzes the single engine parking fault in the air, describes the special situation handling methods after single engine parking from the perspective of the flight test team, analyzed that there is movable metal surplus in the P3 pressure sensor of the helicopter, which causes a short circuit between the power supply of the conditioning circuit and the ground in short time during the flight of the helicopter, and causes the voltage in the electronic controller to be pulled down, cause P3 signal abnormal fall, and eventually lead to the helicopter in the air without warning abnormal single stop, and proposes improvement measures and suggestions, providing ideas for model design and special situation fault analysis.

Key words: helicopter; single engine parking; mechanism analysis; improvement suggestions; P3 sensor

收稿日期: 2024-08-14; 修回日期: 2024-11-28

通信作者: 刘昊阳(1991-), 男, 学士, 工程师。E-mail: liuhaoyang15@126.com

引用格式: 刘昊阳, 史立军, 徐云山, 等. 某型直升机单发停车特情处置及故障分析[J]. 航空工程进展, XXXX, XX(XX): 1-5.

LIU Haoyang, SHI Lijun, XU Yunshan, et al. Special situation disposal and fault analysis of single engine parking for a certain type of helicopter[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, XXXX, XX(XX): 1-5. (in Chinese)

0 引言

发动机停车对于直升机飞行安全是一种严重的威胁,尤其是对于发动机装机数量较少的直升机。历史上,很多飞行事故是由发动机停车故障导致的^[1],因此该故障也成为国内外航空飞行领域的研究热点。杨善发^[2]和黄郁华^[3]分别研究了发动机停车问题,但他们仅研究了发动机停车的原因及其预防措施,没有进行更为深入的研究;马学成等^[4]和Harry^[5]分别研究了飞机在发动机停车后的着陆问题;Balli^[6]、Sheng H L等^[7]、Aygün^[8]分别对直升机发动机性能进行了深入研究;Khorasani等^[9-10]对直升机单发失效、发动机控制系统监控、发动机性能诊断系统等进行了深入研究,但也只是从理论分析角度开展研究,未能从实际出发考虑发动机停车对飞机相关系统正常工作的影响、对飞行员操纵的影响以及对相应特情处置方法进行研究。对于直升机来说,发动机空中无征兆异常停车会影响着陆驾驶技术,Ntantis^[11]、Kim等^[12-13]对直升机单发性能进行了研究;樊超等^[14]研究了直升机特情对飞行训练和安全的影响,但未涉及实际发生的特情处置情况研究;Lungu等^[15]、Vladov等^[16-17]对单发着陆时的飞行控制系统和姿态等进行了研究;彭勇等^[18]研究了民用直升机单发失效时的起飞着陆试飞技术,从理论分析角度确定了AC313直升机的起飞和着陆的决断点和高度—速度包线等内容,为型号设计和使用提供参考,但是没有进行机型单发停车的试飞试验和研究;杨华等^[19]探讨极限高度—速度包线、A类起飞航迹、A类继续起飞和中断起飞以及最终起飞决断点确认等试飞技术,制定了无障碍机场A类性能起飞决断点试飞风险管控措施;徐舟^[20]对某型直升机A类着陆即单发停车着陆试飞技术进行了研究,总结得出:国内对单发停车着陆的试飞方法研究较少,具体试飞方法和操作要领没有完全掌握,对试飞方法、试飞方案以及方法/方案的合理性进行了验证。

本文以某型直升机实际发生的单发着陆处置对A类着陆试飞方法和试飞技术进行完善和补充,对试飞过程中出现的左发空中异常停车故障进行分析,以试飞机组视角对单发停车特情发生后的处置进行叙述,对发动机故障机理等进行研究和分析,并对实际发生单发停车时的直升机状

态、参数变化进行研究。

1 左发停车故障及特情处置

1.1 左发停车故障

某型直升机执行正常试飞任务,于9点15分14秒正常开车,飞行至10点43分03秒时左发动机燃气涡轮转速由88%开始下降,10点43分05秒燃气涡轮转速下降至55%并报“左发停车”和“左发滑油压力低”,试飞员按照“直升机单发着陆”特情处置方法进行滑跑着陆返回机场,安全着陆,人机安全。

1.2 特情处置

本次飞行为航行飞行,返场过程中高度1000 m、飞行速度大约180 km/h、环境温度大约10℃、距离本场大约40 km时,直升机机头突然发生偏转,试飞机组成员均对直升机的异常状态感到诧异,当时试飞机组的第一感觉是:1)直升机遇到了气流,2)试飞员修正侧滑或不小心的操纵脚蹬,但是机组发现直升机左发滑油压力突然迅速下降,伴随左发熄火声音特别明显,当时机组对于左发异常的第一反应认为可能是左发滑油系统异常甚至可能发生泄露了,随后左侧发动机参数自由涡轮转速、燃气涡轮转速、发动机温度等迅速下降,语音告警提示“左发停车”,副驾驶试飞员负责操纵,虽然对直升机的异常状态感到诧异和略微紧张,但仍本能地在直升机机头发生突然偏转时依照模拟机特情处置训练动作迅速下放总距,保证飞机有足够的功率应对直升机特情故障,直升机状态迅速恢复稳定,机组成员也迅速恢复试飞状态,明确特情处置措施进行单发滑跑着陆,分析故障原因:试飞机组在机上讨论认为最有可能是左发滑油系统故障或者其他异常原因造成了左发异常停车,在因为滑油泄露造成停车或不能判定发动机停车原因时,试飞机组决定不进行空中再起发动机关以防造成二次伤害。试飞工程师启动辅助动力装置,保障直升机安全裕度足够,主驾驶试飞员经验丰富,曾多次安全处置各类特情,主动接管直升机操纵,柔和操纵总距和驾驶杆,控制飞行速度在140 km/h左右,控制下降率和飞机姿态避免进行大功率飞行,提示空中其他飞机注意避

让着陆航线,关注右发动机工作状态,避免双发停车,返场进行单发滑跑着陆,直升机单发功率充足状态稳定,安全着陆。

2 机体检查

2.1 静态检查

直升机安全着陆后对发动机及燃油系统进行了静态检查,结果如下:

1) 直升机燃油系统目视检查无异常;2) 直升机发动机进气道、尾喷管内干净无异物、发动机安装固定牢靠,螺栓均未松动;3) 发动机舱地板干净无油迹,燃滑油附件、燃滑油管路、空气管路及余油管正常无油迹;4) 发动机滑油液面正常;5) 发动机附件、外部管路及电缆安装情况正常,无松动和渗漏现象;6) 滑油滤和燃油滤堵塞指示器未弹出;7) 中央传动轴外观无异常;8) 通过中央传动轴盘燃气发生器转子转动灵活,单独带转附件传动单元体转动灵活;9) 内窥镜检查压气机一级转子叶片、离心叶轮、燃烧室、燃气涡轮工作叶片和动力涡轮一级导向器未见异常;10) 分下离心增压泵、滑油泵,目视检查未见异常,转动灵活;11) 对P3压力传感器及相关电气回路进行检查,未见异常。

2.2 地面通电开车检查

对该直升机地面全机通电检查,未发现异常;对故障发动机进行地面开车运转试验,发动机地慢状态工作5 min,空中慢车状态运转5 min,未发现异常,左发动机工作正常。

3 数据分析与故障判定

3.1 单发停车时的数据分析

单发停车故障发生时的左发异常数据如图1所示。故障过程可分为4个阶段:

第一阶段为图线a之前,左发动机工作正常,燃气涡轮转速约89%,自由涡轮转速为100%,P3压力为58%左右,燃油流量给定为51%左右。

第二阶段为图线a至图线b,P3压力由58%异常下掉至0.1%,造成根据油气比计算出的燃油高限值也跟随下降,控制软件按控制规律执行燃油限制,迅速关小油针,发动机燃气涡轮转速随之下

降;同时CLP信号由44.3°降至40.5°,P1信号稍有降低0.1%左右,整个过程中未报出任何故障。

第三阶段为图线b至图线d,P3压力持续维持在0.1%左右,造成燃油流量给定始终被油气比高限限制,供给发动机的燃油不足,燃气涡轮转速持续下降至55%(图线c处)时,数控系统指示“发动机熄火”(表征发动机停车)。同时,CLP维持在40.5°,P1信号基本无变化。

第四阶段为图线d之后,P3压力在0.1s内由0.1%左右恢复至6%左右,并随燃气涡轮转速变化而变化。同时,CLP恢复至44.3°,P1恢复正常。当燃气涡轮转速掉到13%时,数控系统执行熄火保护,油针给定为0并接通停车电磁阀,P3降至0.1%左右保持至断电。

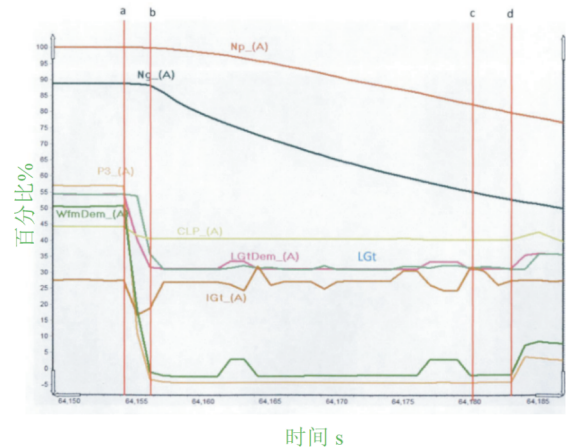


图1 左发单发停车故障状态
Fig. 1 Left engine single stop fault status

3.2 故障判定

根据数据分析,存在以下异常现象:

在图线a时刻,P3、P1、CLP信号同步出现了下掉。其中P3信号下掉到0.1%左右,此压力值与当时的发动机状态明显不匹配。CLP和P1小幅下掉,此时段该架机右发数据CLP和P1信号维持稳定,未出现明显变化。

在图线d时刻,P3、P1、CLP信号同步出现了上升。在0.1s的时间内,P3信号上升至6%左右,此压力值与当时的发动机状态(燃气涡轮转速为52.9%)基本匹配,且在后续的时间立P3信号值随燃气涡轮转速变化而变化。CLP和P1信号分别小幅上升,与该架机右发同时刻的数据基本一致。

通过数据和机体检查结果分析,判定本次左

发停车故障的原因为采集到的P3压力异常降低,造成数控系统计算出的油气比限制值异常降低,控制软件执行燃油限制功能,造成实际供给发动机的燃油不足,进而使发动机因供油不足而熄火停车。

4 故障确定及复现

4.1 故障确定

P3信号回路包括P3压力传感器、电缆和电子控制器,通过信号采集的光滑度判断电缆异常的可能性较低,重点排查P3传感器和电子控制器。

通过将P3压力传感器和电子控制器返场进行X-RAY探测和拆解发现,该架机P3压力传感器内部存在可移动金属多余物,在直升机飞行过程中造成调理电路电源与地短时搭接短路,使电子控制器内部的电压被拉低,导致P3信号异常下掉,如图2~图3所示。

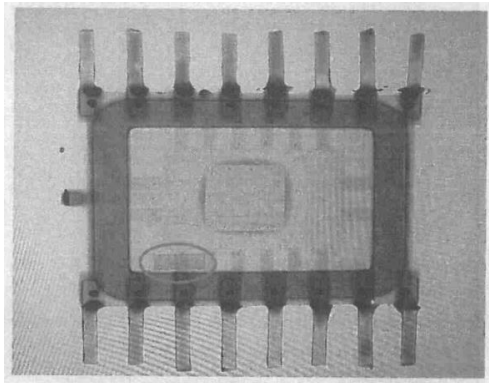


图2 P3压力传感器X-RAY检查形貌

Fig. 2 P3 pressure sensor X-ray inspection of morphology

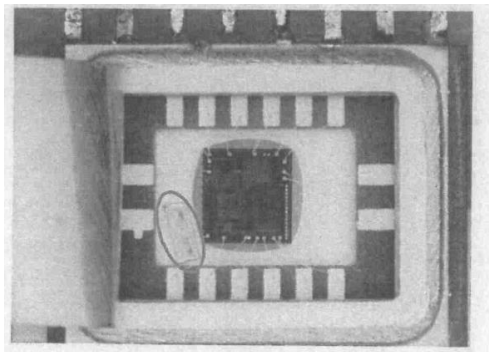


图3 P3压力传感器开帽检查形貌

Fig. 3 P3 pressure sensor is opened to check the shape

4.2 故障复现试验

故障确定后进行P3压力传感器的短接模拟故

障试验和数控系统半物理故障模拟试验,调理电路电源与地短时搭接短路,电子控制器内部的电压被拉低,P3信号异常下掉,故障复现。

5 预防措施与建议

针对本次单发停车故障给出以下几点预防措施与建议:

1) 要求P3传感器制造厂家增加产品完工后的X-RAY多角度检查,同时增加配套厂家接收时的X-RAY检查,对已经交付和完工的P3传感器进行X-RAY检查,确保无此类现象再次发生。

2) 直升机单发功率充足,遇到异常单发停车时,不要过于紧张造成操纵失误,应当严谨细心柔和操纵,保持直升机状态,观察好正常工作发动机参数,按照特情处置方法确保安全返航。

3) 在航空领域,细小的错误可以造成极为严重的后果,本文中仅因传感器内一个细小的可移动金属便造成发动机空中异常停车故障,威胁试飞安全。本文为直升机设计和动力系统设计、生产提供了设计完善思路和经验借鉴,同时具有警示和教育意义,在设计、生产过程中,极为细小的“多余物”都会对生命财产造成威胁,影响安全。希望在设计和生产制造过程中,减少细节上的错误,注重产品质量,提高机体安全性,保障试飞安全。

6 结论

通过对某型直升机单发停车故障研究,分析出了该架机P3压力传感器内部存在可移动金属多余物,在直升机飞行过程中造成调理电路电源与地短时搭接短路,使电子控制器内部的电压被拉低,导致P3信号异常下掉,最终导致直升机空中无征兆异常单发停车,提出了改进措施和建议,为型号设计和特情故障分析提供了经验借鉴。

参考文献

- [1] 刘选民, 李凡. 国外现代直升机飞行事故[M]. 北京: 航空工业出版社, 2011.
LIU Xuanmin, LI Fan. Modern helicopter accidents abroad [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2011. (in Chinese)
- [2] 杨善发. 某型发动机空中停车故障研究及改进[J]. 航空发动机, 1999, 25(3): 1-7.
YANG Shanfa. Research and improvement on the air-stop

- fault of an engine[J]. *Aeroengine*, 1999, 25(3): 1-7. (in Chinese)
- [3] 黄郁华. 发动机空中停车的故障分析与预防措施[J]. *中国民用航空*, 1996(5): 35-37.
HUANG Yuhua. Fault analysis and preventive measures of engine air parking[J]. *China Civil Aviation*, 1996(5): 35-37. (in Chinese)
- [4] 马学成, 刘汉强. 农用飞机发动机空中停车的预防及处理(三)[J]. *山东农机化*, 2000(7): 26.
MA Xuecheng, LIU Hanqiang. Prevention and treatment of agricultural aircraft engine parking in the air (III)[J]. *Shandong Agricultural Mechanization*, 2000(7): 26. (in Chinese)
- [5] HARRY H. *Airplane control after engine failure* [R]. USA: Avio Consult, 2005.
- [6] BALLI O. Exergetic, sustainability and environmental assessments of a turboshaft engine used on helicopter[J]. *Energy*, 2023, 276: 127593.
- [7] SHENG H L, CHEN Q, LI J C, et al. Research on dynamic modeling and performance analysis of helicopter turboshaft engine's start-up process[J]. *Aerospace Science and Technology*, 2020, 106: 106097.
- [8] AYGUN H. Thermodynamic, environmental and sustainability calculations of a conceptual turboshaft engine under several power settings[J]. *Energy*, 2022, 245: 123251.
- [9] SHEN Y Y, KHORASANI K. Hybrid multi-mode machine learning-based fault diagnosis strategies with application to aircraft gas turbine engines[J]. *Neural Networks*, 2020, 130: 126-142.
- [10] KIAKOJOORI S, KHORASANI K. Dynamic neural networks for gas turbine engine degradation prediction, health monitoring and prognosis[J]. *Neural Computing and Applications*, 2016, 27(8): 2157-2192.
- [11] NTANTIS E L, BOTSARIS P N. Diagnostic methods for an aircraft engine performance[J]. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 2015, 8(4): 64-72.
- [12] KIM S, KIM K, SON C. A new transient performance adaptation method for an aero gas turbine engine[J]. *Energy*, 2020, 193: 116752.
- [13] KIM S, IM J H, KIM M, et al. Diagnostics using a physics-based engine model in aero gas turbine engine verification tests[J]. *Aerospace Science and Technology*, 2023, 133: 108102.
- [14] 樊超, 曹颖, 郭瑞. 直升机特情理论的特点和对飞行训练和安全的影响[C]//第三十一届全国直升机年会. 临汾: 中国航空学会, 2015: 105-113.
FAN Chao, CAO Ying, GUO Rui. The characteristics of helicopter situation theory and its influence on flight training and safety[C]//The 31st National Helicopter Annual Conference. Linfen: CSAA, 2015: 105-113. (in Chinese)
- [15] LUNGU M, LUNGU R. Automatic control of aircraft lateral-directional motion during landing using neural networks and radio-technical subsystems[J]. *Neurocomputing*, 2016, 171: 471-481.
- [16] VLADOV S, YURII S Y, YAKOVLIEV R. Modified helicopters turboshaft engines neural network on-board automatic control system using the adaptive control method[C]//2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems. [S. l. : s. n.], 2022: 160-179.
- [17] VLADOV S, YURII S Y, PETCHENKO M, et al. Modified neural network fault-tolerant closed onboard helicopters turboshaft engines automatic control system[C]//International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. [S. l. : s. n.], 2023: 205-224.
- [18] 彭勇, 许宁鑫, 吴承发. 民用直升机单发失效起飞和着陆试飞技术[J]. *直升机技术*, 2023(3): 50-54.
PENG Yong, XU Ningxin, WU Chengfa. The takeoff and landing performance flight test of civil helicopter with one engine inoperative[J]. *Helicopter Technique*, 2023(3): 50-54. (in Chinese)
- [19] 杨华, 孙光, 高郭池. 直升机无障碍机场A类性能起飞决断点试飞研究[J]. *航空工程进展*, 2023, 14(2): 105-113.
YANG Hua, SUN Guang, GUO Gaochi. Research on helicopter CAT-A performance take-off decision point on clear runway[J]. *Advances in Aeronautical Science and Engineering*, 2023, 14(2): 105-113. (in Chinese)
- [20] 徐舟. 某型直升机A类着陆试飞技术[J]. *中国科技信息*, 2019(13): 51-52.
XU Zhou. A-class landing flight test technology of a helicopter[J]. *China Science and Technology Information*, 2019(13): 51-52. (in Chinese)

(编辑:马文静)