

# 某型发动机增设滑油低压 开关可行性研究

## Feasibility Analysis of Add Oil Low Pressure Switch on Serviced Civil Engine

王 鹏<sup>1,2</sup> 颜 颜<sup>1</sup> / Wang Peng<sup>1,2</sup> Yan Yan<sup>1</sup>

(1. 上海飞机设计研究院, 上海 201210; 2. 上海交通大学, 上海 200240)

(1. Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China ;  
2. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

### 摘 要:

某型民用航空发动机服役后,在全球范围内,装备该机型的民用客机在运行过程中多次出现由于滑油压力传感器故障导致的滑油低压误告警,使得飞行员主动关停发动机,从而导致空停。通过安全性分析的方式,对该型发动机的滑油系统中增设滑油低压开关来关闭误告警问题的可行性进行评估,同时对增设低压开关的影响进行权衡,确认方法可行,增设低压开关有利于保证该型民用航空发动机航线运行中的安全性和派遣率。

**关键词:**民用发动机;滑油系统;低压告警信息;空停;误告警

**中图分类号:**V228.2

**文献标识码:**A

[Abstract] After a type civil engine entering into service, the civil aircraft equipped with this type engine occurs oil low pressure alert caused by the failure of oil pressure transducer during operation, and this alert leads pilot to shutoff engine actively and leads to engine shutdown. A safety analysis method is used to evaluate the feasibility of adding an oil low pressure switch in engine oil system, at the same time, the impact of adding switch is traded study. As a result, the method of adding the oil low pressure switch is available and it is advantage to ensure the safety and dispatch for this aircraft service.

[Key words] civil engine; oil system; low pressure message; in flight shutdown; fault alert

## 0 引言

某型民用航空发动机使用滑油压力传感器对滑油系统压力进行测量,并作为飞机驾驶舱滑油低压告警的信号输入源。在该型发动机装机服役后,其全球机队多次出现由于滑油压力传感器故障而导致的滑油低压误告警,使得飞行员必须主动关停发动机,从而导致空停。为关闭此问题,计划通过在发动机滑油系统中增设低压开关的方式,与原有的压力传感器共同确认滑油低压以避免误告警。本文采用分析的方法,对增设滑油低压开关的有效性和不利影响进行分析,确定该方法的可行性。

## 1 问题及处理方案

航空发动机滑油系统由供油路、回油路和通气路三部分组成,对发动机前、后油池中的轴承以及附件传动系统中的齿轮进行润滑和冷却。系统中安装有传感器对滑油系统的压力、温度、油量、以及滑油滤和磁堵的状态进行探测,系统构架和传感器布置如图1所示。滑油的压力、温度和油量参数将在飞机驾驶舱实时显示,用于飞行员掌控发动机运行状态。当滑油系统出现低压、超温、低油量或油滤堵塞等故障时,相关传感器能够迅速触发驾驶舱的告警,向飞行员进行指示告警。

该型发动机装配的滑油压力传感器实时测量供油路的压力,持续输出压力信号。其理论故障率为 $1.09E-5$ ,但在2010年全球机队服役过程中,该压力传感器产生的滑油低压误告警导致数次人工停车。为处理此问题,考虑在滑油压力传感器邻近的下游位置增设滑油低压开关,由低压开关和压力传感器共同测量滑油压力,当两者均探测到滑油压力低时,才能够触发驾驶舱的“低滑油压力”告警。

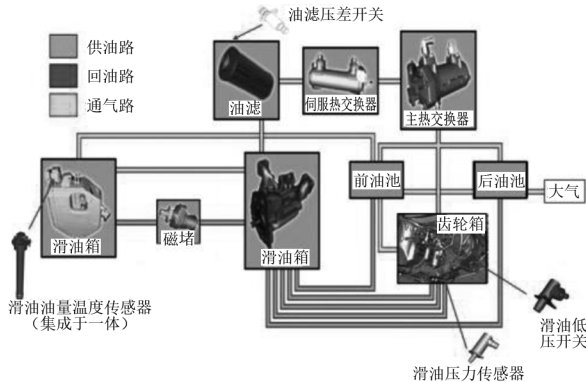


图1 滑油系统及传感器布置构架

## 2 低压开关原理

计划增设的滑油低压开关为压敏电阻式,对滑油滤出口和附件齿轮箱中滑油压力的差值进行测量。滑油滤的出口油压和附件齿轮箱内部油压均进入一个与止动环随动的膜盒内,两油压分别位于膜盒中膜片的两侧,同时该止动环位于整个电流环路中,保证环路闭合。当两个压力出现压差时,压力差作用于膜片上,膜片受压变形弯曲使得与之相连的止动环位置变化输出能够转化为压力数据的电流信号。低压开关增加了压力门限值,当其探测得到的滑油压力低于门限值时,低压开关将会输出信号。

## 3 增设低压开关有效性分析

发动机滑油系统增设低压开关前,驾驶舱的低滑油压力告警的触发仅由压力传感器的测量结果确定。当压力传感器出现掉电或自身故障时,传感器输出滑油压力为0,发动机控制器(FADEC)解析滑油系统已处于低压状态,驾驶舱中“Warning”级别的“低滑油压力”告警将被直接触发。按照飞机机组操作手册的要求,此状态下为避免转子爆破等更严重的事故,飞行员必须主动关停发动机,从而导致发动机空停,具体逻辑如图2所示。

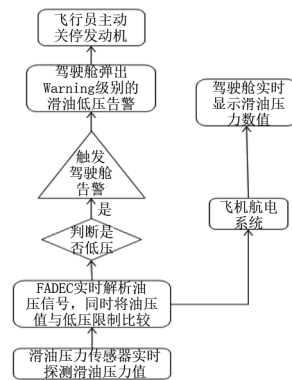


图2 仅有滑油压力传感器时告警执行逻辑

增设滑油低压开关后,压力传感器和低压开关的信号均传递至FADEC进行解析,FADEC执行“与”逻辑判断。当低压开关“低压”信号和压力传感器测量得到滑油压力低于限制值的信号同时出现,驾驶舱的低滑油压力告警才会被触发,如图3所示。低压开关的故障率为 $1.40E-6$ ,增设该开关后,能够将滑油低压误告警导致发动机空停的概率由 $1.09E-5$ 降低至 $1.53E-11$ ,使滑油低压误告警成为极不可能发生的事件。

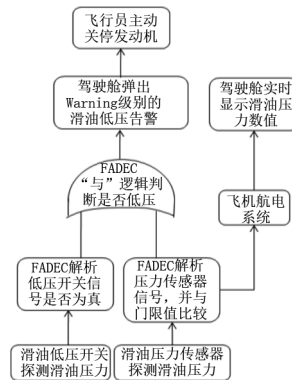


图3 增设低压开关后高警执行逻辑

## 4 增设低压开关的不利影响分析

增设低压开关可能导致“发动机滑油已低压但未告警”的事件,采用分析的方法对故障概率进行确认。

(1)压力传感器正常,低压开关故障,导致滑油已低压但未告警的故障。

滑油已低压但未告警故障的概率=

$$1/[1/(低压开关自身故障率 \times 滑油低压概率) + 1/(低压开关供电故障率 \times 滑油低压概率) + 1/(低压开关电缆故障率 \times 滑油低压概率)] =$$

(下转第53页)

[2] Hoblit F M. Gust Loads on Aircraft: Concepts and Application. AIAA Education Series, Washington, DC, 1988.

[3] Wilson E B. Theory of an Aeroplane Encountering Gusts. NACA Rept. 1, Pt. 2, 1915.

[4] Civil Aeronautics Manual 04. Airplane Airworthiness. 1941

[5] Pratt K G. A Revised Formula for Calculation of Gust Loads. NACA TN 2964, June 1953.

[6] Pratt K G, Walker W G. Revised Gust Load Formula and a Re-Evaluation of V-G Data Taken on Civil Transport Airplanes from 1933 to 1950. NACA Rept. 1206, Sept 1953.

[7] Notice No. 64-28. Airworthiness Standards; Transport Category Airplanes. Docket No. 5066, Federal Register; June 2, 1964, Page 7170.

[8] Final Rule. Transport Category Airplane Type Certification Standards. Docket No. 9079, Amendment No. 25-23, Federal Register; April 8, 1970 (Volume 35, Number 68), Page 5665.

[9] Notice No. 68-18. Transport Category Airplane Type Certification Standards. Docket No. 9079, Federal Register; August 22, 1968 (Volume 33, Number 164), Page 11913.

[10] Liepmann H W. On the Application of Statistical Concepts to the Buffeting Problem[J]. Journal of the Aeronautical Sciences, 1952, 19:793-800.

[11] Houbolt J C, Steiner R, Pratt K G. Dynamic Response of Airplanes to Atmospheric Turbulence Including Flight Data on Input and Response. NASA TR R-199, June 1964 (initially presented as an AGARD paper, July 1962).

[12] Final Rule. Airworthiness Review Program Amendment No. 8A: Aircraft, Engine, and Propeller Airworthiness, and Procedural Amendments. Docket Nos. 14779, 14324, Amendment Nos. 21-51, 23-26, 25-54, 27-18, 29-20, 31-4, 33-9, and 35-5, Federal Register; September 11, 1980 (Volume 45, No. 178), Page 60154.

[13] Notice No. 94-29. Revised Discrete Gust Load Design Requirements. Docket No. 27902, Federal Register; September 16, 1994 (Volume 59, Number 179), Page 47756.

[14] Final rule. Harmonization of Airworthiness Standards—Gust and Maneuver Load Requirements, Docket No. : FAA - 2013 - 0142, Amdt. No. 25 - 141, Federal Register. December 11, 2014 (Vol. 79, No. 238), Page 73462.

[15] Notice of proposed rulemaking, Harmonization of Airworthiness Standards—Gust and Maneuver Load Requirements. Docket No. : FAA - 2013 - 0142, Notice. No. 25 - 139, Federal Register; May 28, 2013 (Vol. 78, No. 102), Page 31851.

[16] NTSB Safety Recommendation A - 93 - 137. November 15, 1993

[17] DOT/FAA/AR-99/62. Studies of Time-Phased Vertical and Lateral Gusts; Development of Multiaxis One-Minus-Cosine Gust Model. October 1999.

[18] FAA AC 25-21. Certification of Transport Airplane Structure[S]. 1999.

[19] FAA AC 25.341-1. Dynamic Gust Loads[S]. 1999.

(上接第 19 页)

$$\frac{1}{(1/1.4^{-6} \times 4.44^{-6} + 1/2.05^{-5} \times 4.44^{-6} + 1/1.0^{-7} \times 4.44^{-6})} = 7.51E-14。$$

(2) 低压开关正常, 压力传感器故障, 可能导致滑油已低压但未告警的故障。

滑油已低压但未告警的概率 =

$$1/[1/(压力传感器自身故障率 \times 滑油低压概率) + 1/(压力供电故障率 \times 滑油低压概率) + 1/(压力电缆故障率 \times 滑油低压概率)] =$$

$$\frac{1}{(1/1.09^{-5} \times 4.44^{-6} + 1/2.05^{-5} \times 4.44^{-6} + 1/1.0^{-7} \times 4.44^{-6})} = 6.84E-14。$$

由压力传感器或低压开关故障导致的“滑油已低压但未告警”的最大概率仅为 6.84E-14, 属于极不可能发生事件。因此, 增设滑油低压开关不会导致其他故障的产生。

## 5 结论

经过分析, 通过增设滑油低压开关, 能够有效避免由于滑油压力传感器故障引发低滑油压力误告警, 以及进一步导致的发动机空停, 从而确保装备该型发动机的民用客机在航线运行中的安全性和派遣率。增设低压开关后, 不会带来其他的故障隐患。考虑长期的航线运营需求, 应重新安装低压开关。

### 参考文献:

[1] SAE. AS5780A (R) Specification for Aero and Aero-Derived Gas Turbine Engine Lubricants [S]. U. S. A. 2000.

[2] SAE AIR 1828AV001 Guide for Oil System Monitoring.

[3] 涂杰, 苏有生, 张雷. 2007 年度国内运输航空器发动机使用和空中停车统计分析[J]中国民用航空, 2008, 04.

[4] 郭杰. CFM56-3C 发动机滑油压力低故障分析[J]. 航空维修与工程, 2007, 02.