

航空发动机滑油系统稳态压力模型研究

马 壮, 程 礼

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要: 以某型发动机滑油系统为研究对象, 深入分析了系统的工作原理和部件结构特点。综合应用流体力学, 工程热力学理论以及数值计算和实验的方法, 建立了滑油系统主要部件的数学模型和管路压力损失的计算模型; 在此基础上, 依据发动机滑油系统良好状态下采集的数据, 建立了滑油系统的稳态压力数学模型, 为判断滑油系统性能衰退和故障提供参考依据。

关键词: 航空、航天推进系统; 航空发动机; 滑油系统; 数学模型; 状态监控与故障诊断

中图分类号: V233.4

文献标识码: A

Steady Pressure Model of the Aeroengine Oil System

MA Zhuang, CHENG Li

(Airforce Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: Taking the oil system of certain aero-engine as a study object, the paper analyzes in-depth the working principles of the oil system and the structure characteristics of its components. Formulas for calculating the oil pressure losses in the pipelines and the mathematical model of the components are established by using fluid dynamics, engineering thermo-dynamics and numerical calculation and experimental data. Finally, the steady pressure model of the oil system is established according to the data acquired in the aero-engine oil system in good conditions, and the results by using this model provide the reference for judging the performance attenuation and the fault of the oil system. The method of this paper can also be used for other aero-engines and its application value bears universality.

Key words: aerospace propulsion system; aero-engine; oil system; mathematics model; monitoring and fault diagnosis

目前使用的各类航空发动机滑油系统的故障都在各类故障中占较高的比例, 滑油系统的状态监控与故障诊断一直是发动机状态监控与故障诊断的主要内容。目前主要采用滑油光谱分析等监控方法。

为提高航空发动机滑油系统的可靠性, 本文提出一种将通过滑油系统压力模型计算得到的压

力的理论变化与飞参实际记录的压力值相比较来监控滑油系统稳定性的方法^[1~4]。所谓滑油系统的压力模型就是滑油系统的压力随外界大气条件 T_0 和 P_0 , 发动机高压转子转速 N_2 、飞机高度 H 和滑油系统本身管路及部件决定的流动阻力特性系数 ψ 变化的数学关系。研究滑油系统的压力变化主要从管路损失和部件损失两部分考虑。限于

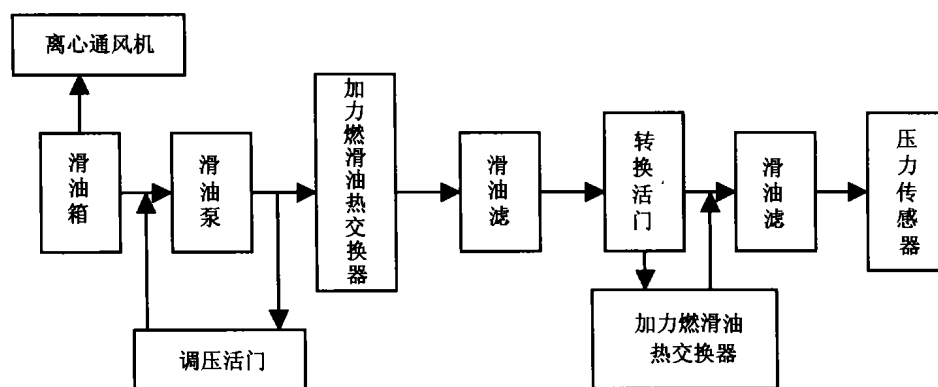


图 1 研究对象的工作路线

Fig. 1 The work route of object

篇幅,本文仅对地面特殊状态下的模型进行介绍。

1 滑油压力建模基础

1.1 研究对象的建立

模型的研究对象:把滑油系统供油系统的一个连续的组成部分,即从滑油箱开始到滑油压力传感器这一段作为研究的对象,其中包括滑油泵、调压活门、燃滑油交换器、滑油滤、转换活门、加力燃滑油交换器以及通气系统的离心通风机(参见图 1)。

1.2 滑油系统管路压力损失的计算

管路的压力损失分为两部分:由于流体在等截面直管段路中流动所造成的压力损失,称为沿程损失,用 ΔP_{pl} 表示;由于流体的流动方向或管路截面形状发生急剧改变,以致引起流速分布的较大改变,从而增强了流体内部的相对运动和旋涡紊流所造成的压力损失,称为局部损失,用 ΔP_{ll} 表示。这样总的压力损失可表示为:

$$\Delta P = \Delta P_{pl} + \Delta P_{ll}$$

1.3 滑油压力的影响因素及建模方案

滑油压力是滑油进入分油接头之前的压力,由滑油压力传感器测得。滑油经过分油接头之后,再由数根管路将滑油分别送往各润滑点。其数值大小主要受到外界大气条件 T_0 和 P_0 ,发动机高压转子转速 N_2 、飞机高度 H 和滑油系统本身管路和部件决定的流动阻力特性系数 ψ 的影响。对某一台发动机,当滑油系统管路和部件功能状态良好,发动机处于某一稳定的工作状态时, ψ 是确定的。则滑油系统的工作状态和滑油压力可以由 T_0 , P_0 , N_2 和 H 唯一确定,依据这一原理可以进行建模。

2 滑油系统稳态压力模型的建立

在地面试车时,其滑油温度 T_0 在 $135.804\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 144.607\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间很小的范围内,可以当作常数来处理,取为 $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其它参数值为:高度 $H=0$,速度 $V=0$, $\alpha_{pyd}=72^{\circ}$ 表示发动机在加力状态;这样,泵前后压力 P_1 和 P_2 就只是 N_2 的函数。

发动机工作时,滑油泵增压后的滑油,大部分滑油经供油管路输送到发动机的各个润滑点;一小部分剩余流量通过调压活门旁路返回油泵进口。供油管路中的滑油流量 Q_o ,就是滑油泵实际供油量 Q_{o1} 与调压活门回油量 Q_y 的差值。

按滑油在供油管路中的温度变化,在非加力工作状态可分为两段:第一段是从滑油泵到燃油滑油热交换器入口及导管,该段的滑油温度为 T_{o1} ,压力损失为 ΔP_1 ;第二段是从燃油滑油热交换器入口到滑油压力传感器,包括燃油滑油热交换器、滑油滤、转换活门以及连接他们的导管,该段的滑油温度是 T_{o2} ,压力损失是 ΔP_2 。

3 供油泵进出口油压 P_1 和 P_2 随 N_2 的变化关系及传感器处滑油压力 P_0 的计算

根据在地面试车中采集到的一组数据,来建立非加力状态下的稳态压力数学模型。其步骤是利用参数 $H, V, \alpha_{pyd}, N_2, T_0, P_{0s}$,求得 P_1 和 P_2 值,将 P_1 和 P_2 值作为此台发动机在工作状态为 $H, V, \alpha_{pyd}, N_2, T_0$ 时 P_1 和 P_2 的标准值,并拟合 P_1 和 P_2 与 $H, V, \alpha_{pyd}, N_2, T_0$ 的函数关系。然后,取不同工作状态下的 $H, V, \alpha_{pyd}, N_2, T_0$ 值,通过已经确定的函数关系,先计算 P_1 和 P_2 的值,然后

表 1 地面试车状态下 P_o 的计算值
Table 1 Computation values of P_o at ground test

	$N_2/(%)$	P_{Osj}/MPa	$T_o/(^{\circ}\text{C})$	P_1/MPa	P_2/MPa	P_o/MPa
慢车	71.21	0.231 0	135.804 0	0.158 5	0.350 0	0.250 3
巡航	89.80	0.274 8	144.607 1	0.158 5	0.365 0	0.279 5
95%	95.21	0.285 4	141.131 7	0.159 5	0.362 5	0.292 5
最大	100.01	0.292 4	148.256 3	0.160 0	0.387 5	0.307 5
—	80.00	0.256 3	138.901 7	0.162 0	0.355 0	0.249 5
—	85.00	0.267 8	142.858 6	0.162 0	0.366 0	0.275 0
—	98.00	0.276 6	146.523 4	0.162 0	0.378 3	0.282 1

进一步求出滑油压力 P_o 的计算值。将 P_o 和飞参记录的实际的滑油压力 P_{Osj} 进行比较,以验证该模型的正确性。

某台发动机地面试车条件下,其参数以及经过数学模型计算的 P_1 和 P_2 的值如表 1 所示。试车时的 $P_H=0.099\ 4\ \text{MPa}$, N_2 和 N_1 分别表示发动机高低压转子的转速, P_{Osj} 表示飞参实际记录的滑油压力。

试验及计算得到的数据如下。

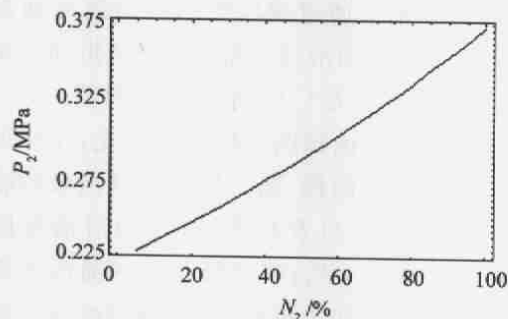


图 2 P_2 随 N_2 的变化关系
Fig. 2 Relation between P_2 and N_2

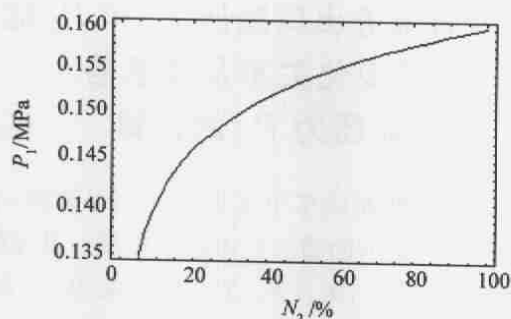


图 3 P_1 随 N_2 的变化关系
Fig. 3 Relation between P_1 and N_2

对上面数据进行最小二乘拟和,可得:

$$P_2 = 267\ 669 \times 1.7^n - 62\ 649.7$$

$$P_1 = 0.008\ 748\ 46 \lg(n \times 10^8)$$

式中: n 表示 N_2 , P_1 和 P_2 随 N_2 的变化关系如图 2 和图 3 所示。

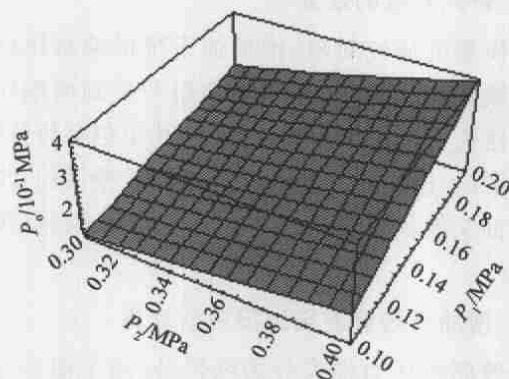


图 4 P_o 随 P_1 和 P_2 的变化曲线
Fig. 4 Relation among P_o , P_1 and P_2

传感器处滑油压力 P_o 的计算公式为:

$$P_o = 3\ 618\ 752 \times 10^{-11} P_2^3 + 1.479\ 32 \times P_2^2 P_1 + 6.667\ 39 \times 10^{-12} P_2 P_1^2 + 3.107\ 3 \times 10^{-12} P_1^3$$

P_o 随 P_1 和 P_2 的变化曲线如图 4 所示。

4 结 论

根据地面试车状态,计算出 P_1 和 P_2 的值,然后再由 P_1 和 P_2 计算出 P_o 的值。从计算的结果看, P_o 的值随着 N_2 的变化趋势是合理的;计算值比实际测量值普遍偏大,其和相应状态下滑油压力的实际测量值 P_{Osj} 的最大相对误差小于 8%。在试车的过程中可以利用这一方法不断得到滑油压力的安全值,再与传感器上得到的滑油压力进行对比,若不相符合,可判断滑油系统出现故障,应及时进行维修。若将这种稳态的模型进行改进,得

到一个动态的模型,则可用于监督飞机飞行过程中滑油系统的安全状况。因此这种方法在实际中有使用价值。

参考文献:

[1] 王洪铭. 航空燃气涡轮发动机原理[M]. 北京:国防工业出

版社,1981.

[2] 李玉林. 液压元件与系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1991.

[3] 陈廷楠. 应用流体力学[M]. 北京:航空工业出版社,2000.

[4] 左洪福. 发动机磨损状态监测与故障诊断技术[M]. 北京:航空工业出版社,1995.