

滑油压力表指示摆动故障分析

张瑞丽 李袁俊 邓坚 邹礼 高路稳

(长沙五七一二飞机工业有限责任公司 湖南省长沙市 410000)

摘要: 本文针对滑油压力表指示摆动故障进行故障原因的分析验证。在通过数学计算进行工作原理分析的基础上, 又采用排除法、对比法和实验法来对故障原因进行验证。找出了故障的主要原因并制定了相应的措施。

关键词: 滑油压力表; 数学计算; 故障分析

一、故障现象

在飞行中, 飞行人员必须时刻注意发动机的工作状态, 以便了解发动机的故障情况。滑油压力表是用来测量飞机发动机滑油系统内滑油压力的。其功用是用来准确及时的测量飞机发动机内部的滑油压力, 保证飞机的飞行安全。据了解, 某部大修后的某型飞机在飞行中反映飞机空中出现滑油压力指示器瞬间大范围摆动的现象, 工厂大修的飞机在地面开车时也多次出现滑油压力指示摆动现象。

二、可能故障原因分析

从故障现象分析, 产生的原因可分为滑油压力指示系统故障和发动机本身的故障。就滑油压力指示系统而言, 它由传感器、电源变压器和指示器组成, 原理图如图 1-1 所示。传感器中主要有金属膜片和信号转换器, 传感器结构图如图 1-2 所示。信号转换器由活动铁芯和电感线圈 W_1 、 W_2 组成。当金属膜片感受滑油压力后, 经传动杆带动活动铁芯改变两个线圈的感抗, 从而改变指示器中 I、II 两线框的电流, 至使 I、II 两线框合成磁场矢量方向发生改变, 导致活动磁铁转动相应的角度, 当把活动磁铁做成指针的话, 指针在刻度盘上就指示出相应的滑油压力。

从原理和产品结构分析, 滑油压力表指示摆动故障可能有如下几个方面原因:

- 1、发动机本身的问题, 即发动机滑油系统工作不稳定造成压力不稳定。
- 2、传感器中固定在推杆上的弹簧片阻尼作用减弱 (见图 1-2)。
- 3、传感器中感受压力的膜片弹性系数变坏 (见图 1-2)
- 4、指示器中的阻尼器性能变差, 使指示器的稳定性变差 (见图 1-3)。

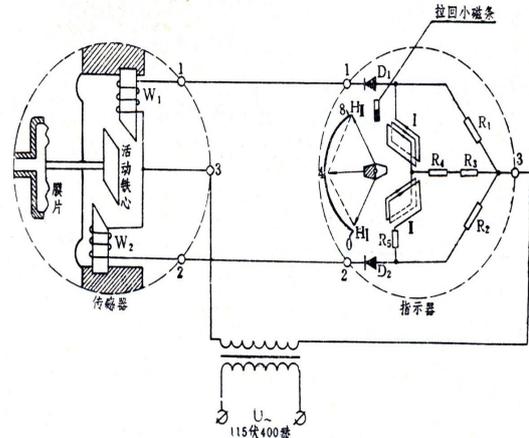


图 1-1 工作原理图

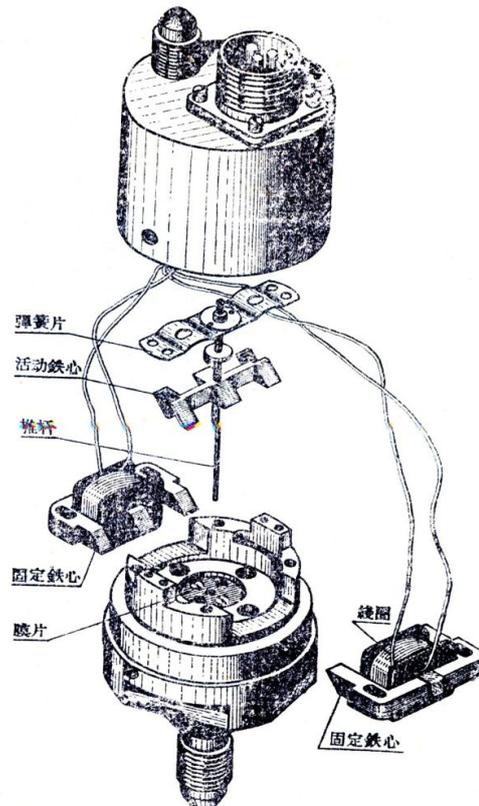


图 1-2 传感器

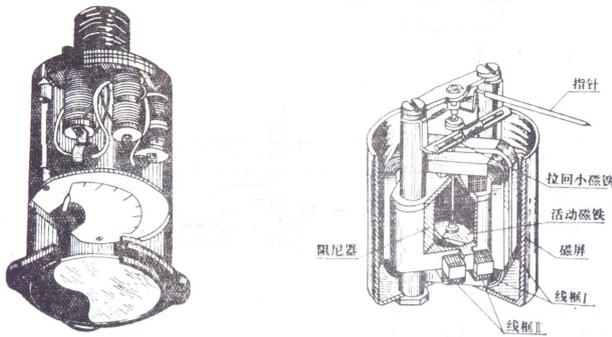


图 1-3 指示器

三、故障原因分析与验证

(一) 系统工作原理分析

由滑油压力表的原理图可知(见图 1-1), 仪表的电路是一个电桥。电阻 R_1 、 R_2 是电桥的固定臂阻; 线圈 W_1 、 W_2 的感抗是电桥的可变臂阻; 温度补偿电阻(R_3+R_4) 是电桥的半对角线; I 、 II 两线框是电桥的对角线; 电阻 R_5 是 II 线框的补助电阻。虽然滑油压力表用的是 115 伏 400 赫兹的交流电源, 但是由于两个二极管的作用使仪表电路中的电流为一脉动电流。同时由于交流电的频率较高, 所以对指示器工作的稳定性没有改变。即可把该滑油压力表看作是直流电源供电。现做如下分析:

电流自电源正极经过电阻 R_3 、 R_4 , 分别流过 I 、 II 两线框。在 B 点电位一定的情况下, 流过两线框的电流取决于 A 、 C 两点的电位, 而这两点的电位又取决于 W_1 、 W_2 两电感线圈电感量即感抗的大小。

由公式 $L=N\Phi/I$, $\Phi=BA$, $B=\mu H$, $H=NI/Len$, 推导可得

$$L=N^2 \mu A/Len \quad (1)$$

$$\text{而 } X_L=2\pi fL$$

$$\text{故 } X_L=2\pi f N^2 \mu A/Len \quad (2)$$

L ---电感, Φ ---单匝磁通量, B ---磁感应强度, H ---磁场强度, Len ---磁路长度, A ---截面积, N ---匝数, I ---电流, μ ---磁导率, X_L ---感抗, f ---频率

即 W_1 、 W_2 两电感线圈感抗的大小完全取决于 Len (磁路长度即此间隙)和 A (截面积)。(因为在此滑油压力表的电路原理设计图中 W_1 、 W_2 两电感线圈的匝数相等, 磁导率相同, 电源变压器提供的电源频率也都是 400 赫兹。)

当作用于膜片的流体压力较小时, 膜片的位移较小, 活动铁芯与线圈 W_2 之间的间隙小, 与线圈 W_1 之间的间隙大。由式(2)可知线圈 W_2 的感抗大于线圈 W_1 的感抗; 电桥中 A 点电位低, C 点电位高。故 I_2/I_1 小于 1。合成磁场的方向指向刻度盘的下方, 活动磁铁受合成磁场

的作用停在合成磁场的方向, 从而使指针指出较小的压力。同理可分析出液体压力从较小值增大到最大刻度一半时, 电流比值等于 1 和液体压力继续增大时电流比值大于 1 时的工作情况。下面将通过计算来确定流过两线框电流的比值与各因素的关系。

为了分析方便可把两线框感抗的变化等效成滑动变阻器, 把脉动直流等效成直流电源(见图 1-4)。

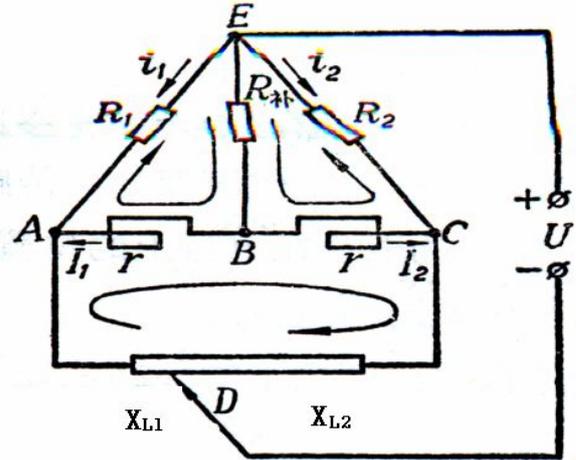


图 1-4

根据基尔霍夫定律可得如下方程:

$$\text{回路 EBAE} \quad : (I_1+I_2)R_{\text{补}}+I_1r-i_1R_1=0;$$

$$\text{回路 EBCE} \quad : (I_1+I_2)R_{\text{补}}+I_2r-i_2R_2=0;$$

$$\text{回路 BCDAB} \quad : I_2r+(I_2+i_2)X_{L2}-(I_1+i_1)X_{L1}-I_1r=0.$$

由以上方程可得出电流比值公式:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1 R_2 r^2 + X_{L1} R_1 R_2 + X_{L1} r R_2 + R_{\text{补}} X_{L1} R_2 - R_{\text{补}} X_{L2} R_1}{R_1 R_2 r^2 + X_{L2} R_1 R_2 + X_{L2} r R_1 + R_{\text{补}} X_{L2} R_1 - R_{\text{补}} X_{L1} R_2}$$

式中 $R_{\text{补}}$ -----温度补偿电阻, $R_{\text{补}}=R_3+R_4$

r -----线框电阻

当两固定臂阻相等 ($R_1=R_2=R$) 时, 上式可简化为:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{Rr+X_{L1}(R+r)+R_{\text{补}}(X_{L1}-X_{L2})}{Rr+X_{L2}(R+r)-R_{\text{补}}(X_{L1}-X_{L2})} \quad (3)$$

根据式(3)可以初步得出已下两个结论:

第一, 电流比值与电源电压的大小无关。

第二, 电流比值只与感抗 X_{L1} 、 X_{L2} 、 R 、 r 及 $R_{\text{补}}$ 有关, 在正常的温度条件下, 固定臂阻 R_1 、 R_2 、线框电阻 r 和温度补偿电阻 $R_{\text{补}}$ 都是不变的, 两线框的电流比值只与可变臂阻 X_{L1} 、 X_{L2} 有关。当感抗 $X_{L1}=X_{L2}$ 时(活动铁芯停在中央), 式中分子分母相等, 电流比值等于 1。当感抗 X_{L1} 小于 X_{L2} (压力较小)时, 式中分子小于分母, 电流比值小于 1。当电阻 X_{L1} 大于 X_{L2} (压力较大)时, 式中分子大于分母, 电流比值大于 1。

综上所述, 由(2)、(3)式可得出, 影响滑油压力表

指示器指示准确性的有活动铁芯与 W_1 、 W_2 两电感线圈之间的空气间隙和相对截面积的大小。

(二) 故障原因分析

通过以上数据分析可知, 滑油压力指示的变化只与 X_{L1} 、 X_{L2} 有关, 造成滑油压力表指示摆动可能是传感器中感抗的不稳定, 下面用排除法对造成 X_{L1} 、 X_{L2} 发生变化的原因进行分析和验证。

1. X_{L1} 、 X_{L2} 与发动机本身滑油系统工作不稳定验证

从产品结构上看, 发动机滑油压力通过产品传感器进油接嘴传送到压力敏感零件膜片上, 膜片位移通过推杆使活动铁芯产生位移, 活动铁芯与 W_1 、 W_2 两电感线圈之间的空气间隙和相对截面积发生变化, 从而使传感器中 X_{L1} 、 X_{L2} 变化, 使指示器中指针偏移, 当发动机滑油系统压力不稳时, 就会使指示器指针摆动。

为了验证发动机工作情况, 试验时采用了对比法, 方法是发动机开车状态下, 在发动机滑油系统另加一个指示仪表进行对比试验, 具体操作是: 脱开发动机上连接滑油压力传感器的管路一端的接嘴, 用一个 $0 \sim 10\text{kg/cm}^2$ 的机械式压力表和一个三通接头接入系统中, 在地面开车监视滑油压力的摆动。将发动机从启动到加力每个状态作少许停顿, 观察座舱中指示器和机械式监视表的摆动情况。如果机械表和滑油压力指示器同时摆动且步调一致, 则为发动机本身滑油压力不稳定所致, 这种情况下主要检查发动机滑油系统。如果, 机械表无摆动而滑油压力指示器有摆动, 即为滑油压力传感器的故障。实验证明, 飞机滑油系统工作正常。

2. X_{L1} 、 X_{L2} 与指示器中的阻尼器性能变差验证

为验证指示器中阻尼器是否为故障源可采用均匀性试验。将故障的滑油压力表传感器和指示器配套接入产品试验器上, 将设备压力从 $0\text{kg/cm}^2 \sim 8\text{kg/cm}^2$ 范围随意调整, 按一定速度改变压力值, 当加到某一压力值时, 快速停止加压, 观察故障件摆动情况。如停止时指针摆动则说明指示器中阻尼器性能变差, 并拿完好件做相同实验, 对比故障件和完好件的摆动, 发现两者无差别。重复上述试验, 结果相同。故阻尼器不是故障源。并且, 根据多年维修滑油压力表的经验和数据来看, 阻尼器不是成为滑油压力表摆动故障的主要原因。

3. X_{L1} 、 X_{L2} 与滑油压力传感器中固定在推杆上的弹簧片阻尼作用验证

为了验证 X_{L1} 、 X_{L2} 与滑油压力传感器中固定在推杆上的弹簧片阻尼作用的关系, 将故障的滑油压力表传感

器和指示器配套接入产品试验器上, 当在试验器上对故障件用螺丝刀柄轻敲传感器时发现指示器摆动。为进一步验证, 在试验台上给传感器加一个频率为 $50\text{Hz} \sim 80\text{Hz}$, 加速度为 $0.2\text{g} \sim 0.5\text{g}$ 的震动时, 指示出现摆动, 换成新的无故障件后再轻敲或加震动, 发现无此现象。

打开故障件后发现其弹簧片有生锈变形的现象, 因此造成了其弹性变差减震作用减弱。当发动机开车时发动机会产生震动, 而滑油压力传感器安装在发动机上, 也会随发动机共震。当弹簧片因为老化使其减震作用减弱时, 会造成发动机震动使活动铁芯的位移来回变化, 从而引起指示摆动故障, 将故障弹簧片更换后试验, 故障消失。

四、措施

针对上述理论与试验结论, 该表产生指示摆动主要原因是在系统压力恒定时, 由于机械震动使传感器中由固定铁芯和线圈组成的电抗元件中感抗发生改变, 经多次内场试验特采取如下措施:

1) 产品修理时应对传感器中弹簧片进行外观目视检查, 凡有生锈、变形的应进行换新。同时不建议对生锈件进行重新表面处理, 这样会影响弹性系数。

2) 传感器在修理中对能引起磁通发生变化的传感器中弹簧片、传感器中由固定铁芯和线圈组件上的固定螺钉应注意拧紧, 并在拧紧后用红漆或用 X-98 胶对螺钉点漆加固。

3) 在试验台上对传感器加一个频率为 $50\text{Hz} \sim 80\text{Hz}$, 加速度为 $0.2\text{g} \sim 0.5\text{g}$ 的震动, 检查指示摆动现象。如有指示抖动的应对此件进行换新。

五、结论

从统计接下来两年的飞机情况看, 经上述方法修理后的产品装机后故障现象显著减少, 从统计多架飞机情况看, 目前还没有反映有此现象。证明该措施受到了良好效果。

参考文献:

[1] Paul Scherz, Practical Electronics for Inventors, Second Edition; 电子工业出版社, 2009。

[2] 滑油压力表信号测量和处理电路设计[J]. 杨军锋; 杜军; 苏磊; 杨朴. 电子技术应用, 2013

[3] 某型辅助动力装置试车滑油压力为零故障的排除[J]. 陈斐; 杨武奎; 焦江; 解永辉. 航空维修与工程, 2023

[3] 某型发动机滑油泄漏故障分析[J]. 王立. 科技创新与应用, 2021