

[油冷发电机]

大型无人机油冷发电机油量检测方法研究

文/姜思亮
陕西航空电气有限责任公司

随着大型无人机大功率电源系统的发展，油冷发电机的应用越来越广泛，发电机油箱中的油量是否适量影响着发电机是否能正常工作，油量检测具有重要意义。在分析传统油冷电机油量检测方法的基础上，提出一种基于油量信号传感器的检测方法，提高了无人机电机油量检测的效率；通过对发电机工作状态的识别，提高了无人机油量检测的准确性。

随着大型无人机航电设备及动力系统的快速发展，对电机功率密度的要求越来越高，传统风冷式冷却方式已不能满足电机正常工作的冷却需求。油冷发电机因在大功率电机方向具备优势，且自带冷却系统，可通过喷油和油路循环的方式进行冷却散热，故在大型无人机电源系统中，油冷发电机的应用愈发广泛。油冷发电机冷却系统主要由滑油泵、油箱、滑油滤、油量观察窗和油量信号器等部件组成。发电机采用滑油进行散热，首先，注油泵抽取油箱中的滑油，经滑油滤后注入发电机壳体循环油路中，对主发定子进行油路循环冷却；之后滑油进入高速旋转的空心轴内，对旋转整流器及电机内腔中的各发热部件进行冷却；最后滑油落入电机壳体底部的回油槽中，被回油泵抽出，经外散热器冷却后重新返回油箱。然而，因加油不当造成发电机油箱内的高油量会造成发电机发热严重，低油量或使用过程中油液渗漏会引起发电机散热不良，从而导致发电机过热损坏。因此，在发电机的运行过程中，保持发电机的油量安全非常重要，准确地测量油箱内的油量能提高发电机工作的安全性和稳定性。无人机机上设备的布局通常较为紧凑，且发电机与无人机动力系统集成度较高，其维护过程较为繁琐，因此更加需要准确、及时的油量检测手段，

作为发电机维护的依据。

航空发电机油量检测

1. 传统油量检测方法

油冷发电机一般设置有油标观察窗，传统的油量检测通常是依靠人工进行观察。人为观察油量高低的维护方法必须在无人机停在地面未飞行时，打开无人机口盖后由地面维护人员通过油标观察窗肉眼观察油面高、低。因此，传统观察法需较长的维护时间且限制较多，不符合现在客户对维修性提出的维修时间最短、维修人员及其他资源最少的原则。

2. 经验值计算法

经验值计算法，即事先在地面通过试验测出发电机在特定转速下的单位小时油耗量 $\theta(\text{mL/h})$ 。无人机在地面启动或飞行前，记录发电机油箱中的总滑油量 $Z_0(\text{mL})$ ，启动或飞行过程中通过计算发电机已启动时间 $t(\text{h})$ ，可估算出电机油箱中的剩余油量

$$Z = Z_0 - \theta \cdot t \quad (1)$$

式中， Z 为油箱当前的剩余油量； Z_0 为无人机开车前电机油箱里的总油量； θ 为试验测得的单位油耗率经验值； t 为发动机已启动时间。

经验计算法因其方法简单，无需额外传感器而

被小型低成本无人机广泛采用。但发电机在不同转速、不同负载下的油耗量不同，因此油耗率的经验值具有明显的局限性，该局限性会导致该计算结果的误差很大。

3. 传感器检测油量方法

发电机因油箱外形、结构难以用准确的数学表达式描述，因此给油量检测带来了很大的困难。为了方便、精准地测量电机的剩余油量，研究人员一直在研究探索如何提高油量检测准确度的方法，如机械、光、电、超声波等，这其中的很多方法因制造成本和实现难度等原因而未能广泛应用。传感器因成本较低且原理简单、安装便捷，可考虑用于测量油箱的液位。通过在油冷发电机油箱内布置信号传感器，由与发电机配套的DSP控制器采集油量信号的状态，通过软件处理，将油量信号通信报送至机上远程控制装置，最终通过地检本或机上的可视化界面将油量高、低情况显示出来，供维护人员判断是否需要加油或放油。

传感器检测油量方法应用

1. 系统工作原理

油量检测系统主要由油冷发电机、发电机控制

器、油量信号传感器和机上远程控制装置组成。其中，油量信号传感器安装在油冷发电机油箱内部，机上远程控制装置（RIU）通过RS 422总线与发电机控制器进行信号传输。发电机油箱内的油量通过控制器检测，以控制器为中心，与油量检测相关的信号交联如图1所示。

发电机控制器主控平台采用数字信号处理器DSP（JDSP320F2812）。JDSP320F2812是基于代码兼容的C28x内核的高性能32位定点数字信号处理器，内核指令执行周期达到了6.67 ns，最高运行频率可达150 MHz，具有很强的片外资源扩展能力，保证了控制系统有足够的运算能力，可以实现高效、可靠的控制。

发电机控制器CPU组件以DSP为核心，对传感器采集的油量高、低离散量通过采样电路进行处理，离散量处理部分通过电阻分压电路对高/开、低/开信号进行采样，并送入DSP的GPIO引脚进行读取。然后经过DSP嵌入式软件对采集到的高、低油量值进行逻辑处理、判断，最后通过通信电路将油量信息传送给机上远程控制装置，并通过可视化界面显示出油量的高低信息，从而实现电机油箱油量的检测。

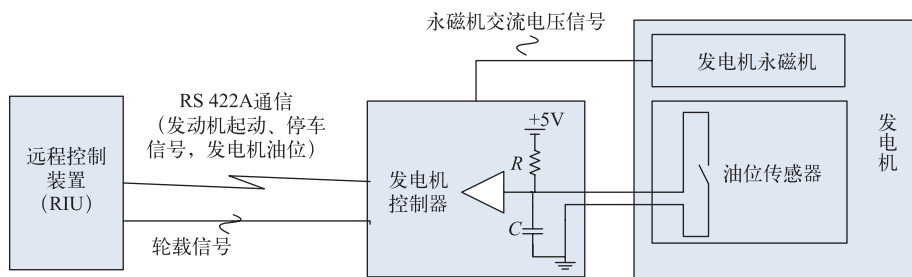


图1 油量检测系统信号交联图

2. 系统实现方法

(1) 确定油箱内信号传感器的安装位置

1) 油箱油量信号传感器下限位置的确定。油箱油量下限是指发电机静止时，发电机内所含有的滑油恰好能满足发电机正常冷却时所需的油量 a (L)。根据油箱尺寸，通过理论分析和计算，可算出油箱内油量信号传感器的下限位置为 x (mm)。

2) 油箱油量信号传感器上限的位置确定。油箱油量上限是指在恰好能满足发电机正常冷却的滑油量基础上加上发电机滑油的正常消耗量。根据无人机的维护要求，发电机工作时滑油消耗量不大于

2 ml/h，且每飞行300 h需进行一次维护。因此，一次维护周期内滑油的正常消耗量容积约为0.6 L，故一次能加的最大滑油容量为 $(a+0.6)$ L；根据油箱尺寸，通过分析及计算可得到滑油箱油标上下限间的高度差为 y (mm)，故传感器上限的位置 $x+y$ 。

(2) 油量检测信号采样及预处理

当发电机油箱中的油量低于油量下限位置时，传感器输出28 V高电平信号；当油量高于油量上限位置时，传感器输出28 V高电平信号；当油箱中的油量介于油量上限位置与下限位置之间时，油量处于正常油量位置，则既不输出高油量信号，也不输

出低油量信号，传感器输出低电平信号。

控制器的IO组件通过图2所示的离散量采集信号电路对油量信号传感器开关信号进行调理，经过数据缓冲器后将数字量信号转换为软件可识别的“0”、“1”信号。根据图2中的电路原理，当输入信号为低时，缓冲器输入端为高电平，软件采集为“1”。当输入信号为开路时，输出信号量值计算公式为

$$U_{\text{GND/Openout}} = \frac{R_4}{R_0 + R_3 + R_4} U_{\text{GND/Openin}} = 0.13 U_{\text{GND/Openin}} \quad (2)$$

式中， $R_0=15\text{ k}\Omega$ ； $R_3=185\text{ k}\Omega$ ； $R_4=30\text{ k}\Omega$ 。

反相器的输入端电平为3.64 V，对应缓冲器输入端为低电平，软件采集为“0”。

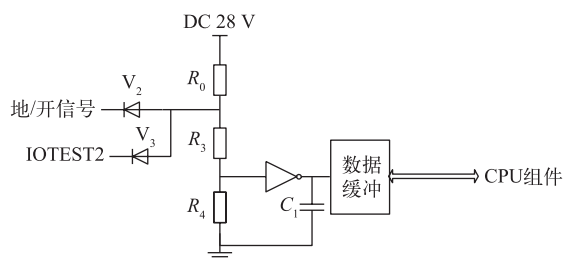


图2 离散量采集信号电路

(3) 油量检测程序设计

通过定时器设置油量检测每8 ms执行一次，软件油量高变量、油量低变量值初始化为0。软件初始化完成后进行任务周期，先从GPIO引脚进行读取油量高和油量低的离散量状态，经过软件滤波处理后将采集的离散量赋值给油量高变量和油量低变量；经判断，若检测到油量高为1、油量低为0时，软件则通过通信向外报送油量高信息；若检测到油量高为0、油量低为1，软件则通过通信向外报送油量低信息；若检测到油量高、油量低同时为1时，则报送无效。

3. 油量检测算法改进

实际应用发现，该测量方法在发电机旋转工作时，油箱内的滑油由于油泵的作用，处于动态过程，油量检测结果不准确；当发电机处于空中飞行状态时，因不具备维护条件，油量检测操作无意义。若简单的通过采集到的油量高低信号来判断油箱油量高低，会因滑油液面的倾斜误触发信号传感器引起误报码。为解决该问题，引入了无人机的轮

载信号、无人机起动信号、停止信号，以及发电机频率信号来识别机上发电机油箱状态，再对采集到的油量检测高低信号进行报码处理，从而达到提升油量检测准确率的效果，降低误报码的发生概率。通过分析，可将无人机的使用的场景分成以下四种状态。

上电状态（T0）：无人机刚上电，软件初始化油量信号为正常状态。

无人机上电完成后停在地面、发动机未开车状态（T1）：无人机上电完成后，连续检测到无人机停在地面、飞行员未按下启动键或停止键、发电机未工作，根据检测到的油量信号，控制器报送油量信息。

发动机开车、运行或处于空中状态（T2）：上一次状态为T0或T1时，若检测到发动机开车、运行或无人机处于空中状态，此时因发电机开始旋转，油量液面处于动态过程中，在此状态下屏蔽油量传感器信号，软件报送油量信息为无效状态。

无人机回到地面、发动机静止（T3）：上一次状态为T2时，本次检测到启动信号为无效，停止信号为无效，频率信号为无效，轮载信号指示为地面，软件根据检测到的油量信号，报送油量信息。

通过识别无人机的不同状态，判断发电机是否处于旋转状态，择机报送油量的高低状态。具体处理流程如图3所示。

结束语

本文概述了油量检测对油冷发电机的重要意义，提出一种基于DSP嵌入式平台的油量检测的方法。首先，该方法实现了大型无人机油冷发电机油量的自动检测功能，与依靠人工观察油位高低的维护方法相比节省了时间和人力成本，提高了检测效率；其次，该方法能够识别发电机油箱的工作状态，滤除油箱内的滑油由于飞行姿态、油泵作用等处于动态过程的报码，提高了无人机油冷发电机滑油油位检测结果的准确性，减少误报码的情况发生。EA

（收稿日期：2024-10-15）

参考文献

- [1] 谭公礼. 多传感器的无人机油箱燃油测量系统的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015.

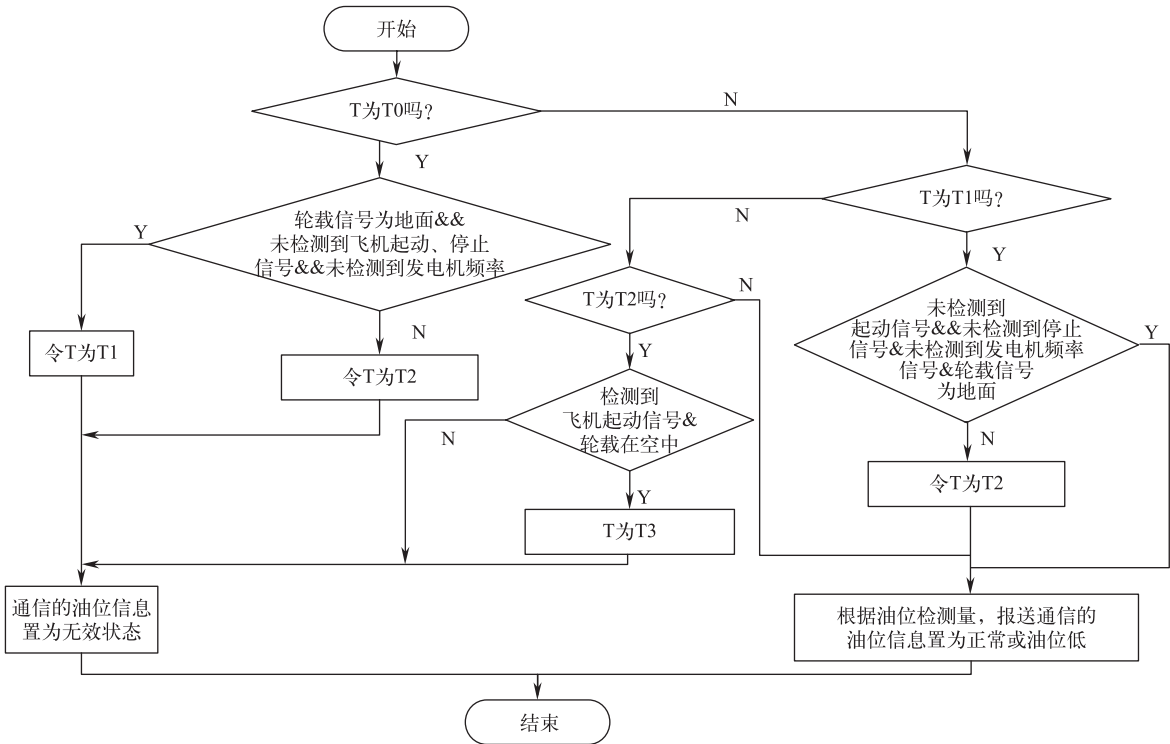


图3 油量信息检测流程图

[2] 卫建华, 齐攀, 刘琪等. 基于 DSP 的油量传感器检测装置的设计与实现[J]. 电子测量技术, 2017, 40 (12): 171-175.

[3] 夏永平, 王明. 油浸式电流互感器油位监测系统[J]. 电子技术与软件工程, 2019(17): 225-226.

[4] 高朝辉, 张晓斌, 吴小华. 基于MATLAB的无人机直流电源系统数字仿真[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(4): 564-567.

(上接第 101 页)

结束语

通过技术性的深入分析和设计, 本文展示了一套基于物联网技术的输电线路监测与智能预警系统。总体来说, 系统设计充分考虑实际工程需求, 确保监测数据的准确性和预警响应的时效性。通过实时监测环境与设备状态, 并结合智能预警系统, 该设计极大地提升输电线路的安全管理水平。结合图表和公式对系统设计进行详细阐释, 为实际应用提供了坚实的理论与技术支持。未来, 随着物联网、人工智能以及大数据技术的不断进步, 监测与预警系统将趋向更高的自动化和智能化水平, 进一步优化能源管理, 降低维护成本, 为输电线路的安全、高效以及绿色运行做出更大的贡献。EA

(收稿日期: 2024-03-21)

参考文献

[1] 丁楠楠. 输电线路防外力破坏智能监测与预警系统及关键算法研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2022.

[2] 李勃. 输电线路防外力破坏智能监测及预警系统设计[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2021.

[3] 舒山. 基于物联网技术的智能电网高压输电线路在线监测系统[D]. 宜昌: 三峡大学, 2019.

[4] 张泽宁, 孟令军, 夏丽霞, 等. 基于Web安全的输电线路分布式故障监测与智能诊断系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2019(3): 135-139.