

波音飞机PWS FAIL常见故障统计与原因分析

刘建
扬子江快运航空有限公司

【摘要】现代机载气象雷达在现代气象探测中应用非常广泛,多用于探测风切变,依据的是多普勒频移原理。波音737NG飞机PWS FAIL搭载的WXR-2100型机载气象雷达是常见的一种机载雷达。本文对该类机载气象雷达常见的故障进行了详细分析,供业内同行维修时进行参考,希望有所帮助。

【关键词】气象雷达;前视风切变探测;设备故障

引言

风切变,指的是在时间范围内或者空间范围内,风速发生了剧烈的变化,在气象上,指的是一种大气扰动现象。一旦发生风切变,会对飞机的航行造成非常严重的威胁,特别是低空中发生的风切变,严重威胁到飞机的起飞或着陆,因为风切变导致机毁人亡事故的发生并不鲜见。WXR-2100型气象雷达是应付该类问题专门设计的,和一般的气象雷达相比,它增加了一项前视风切变(PWS)警告功能,能时刻监测飞机前方的大气信息,一旦前方发生风切变,系统将第一时间向飞行员提出警告,使飞行员能有足够的时间处理危机,化险为夷。

1. 前视风切变警告原理概述

气象雷达探测风切变的基本原理是多普勒频移原理。当飞机迎着强风飞行时,产生的多普勒频移为正,当飞机顺着风向飞行时,产生的多普勒频移为负。当飞机飞行,周围存在一个立体的、瞬时变化的风场时,能量得到平衡。结合风切变知识和飞行动力学,可以将危险因子F的关系推

$$F = \frac{W_h}{g} - \frac{V}{A_s(1)}$$

在飞机飞行的过程中,气象雷达在不断的检测飞机前方的气流运动,根据多普勒频移原理,检测气流的速度大小变化以及气流的方向变化,据此可以计算出 W_h 和 V , W_h 为水平方向上的气流速度变化率, V 为下冲气流的垂直速度。 g 和 A_s 为重力加速度和飞机的空速,是已知量。知道这四个参数,根据公式(1)可以计算出危险因子F,根据FAA(国航空联邦航空局)颁布的相关航空条例规定,在 $F > 0.13$ 时,机载远距前视风切变系统必须戒备飞机纵轴两侧各25°以及正前方最低5公里范围内的风切变信息,并提出警报。当系统与地面相距360m以上时,没有风切变警报。在探测风切变时,WXR-2100型机载气象雷达的天线扫描范围是 $\pm 60^\circ$,能捕捉 $\pm 30^\circ$ 内的风切变目标,最大显示距离为9km。

2. 机载气象雷达系统的PWS接口

从机载气象雷达的前视风切变报警原理可知,风切变探测的实现,系统部件对其的支持以及数据交互显得举足轻重。WXR-2100型气象雷达收发机PWS部分与其他飞机系统和部件联系非常密切,图1显示了各个接口。

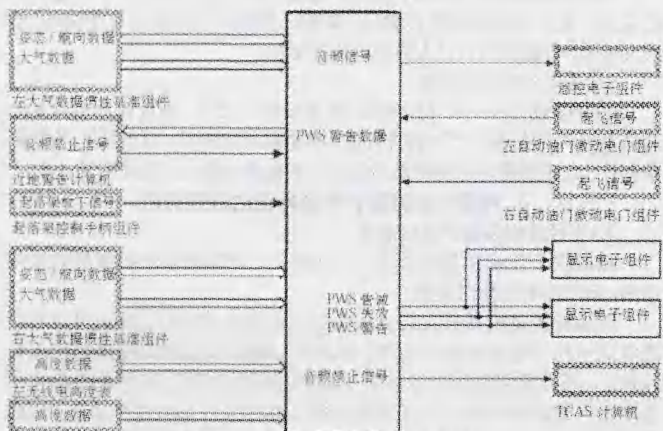


图1 机载气象雷达系统的PWS接口

通过关系式(1)可知,飞机的空速 A_s 是计算危险因子F的必要数据,我们可以通过检测大气数据再结合惯性基准组件得到飞机的空速数据。另外,机载气象雷达系统能通过大气数据与惯性基准组件计算得到飞机航行的姿态数据和航向数据,结合大气数据、飞机航行的姿态数据以及航向数据,雷达系统可以对前方风切变进行计算,从而根据情况提出警告,并且保证了机载气象雷达天线的信号稳定。机载气象雷达接收无线电高度表提供的数据自动开启或者关闭PWS功能还有禁止显示和警告功能。机载雷达接收自动油门微动电门组件传来的离散信号,用来启动PWS。机载雷达上的PWS是智能化的,自动检测飞机状态,开启或关闭某项功能,机载雷达系统PWS对油门杆的状态进行检测,当其中一个油门杆前推角度超过 53° 时,机载气象雷达启动风切变探测功能。当无线电的高度在701m以上时,机载气象雷达将PWS功能关闭。当飞机的运行高度低于701m而高于366m时,气象雷达开启风切变的检测,但是不报警。机载气象雷达系统接收起落架控制手柄传来的模拟离散信号来启动或者关闭飞机起飞或近地时的警告。近地警告由计算机、交通警告和防撞系统(TCAS)计算机与机载气象雷达系统进行交联,然后输出音频警告信息,如果出现几种不同级别的警告信息,高一级的警告信息将优于第一级的警告信息。飞机探测雷达将所有的PWS警告信息、失效以及告诫信息等传输到显示组件上来。

3. PWS FAIL故障数据统计与原因分析

在航线维护中,PWS FAIL频频发生故障。2008年4月~2012年4月,根据国航工程技术维修公司的报告,波音737NG飞机WXR-2100型气象雷达总共出过43次故障,其故障类型分类如图2所示。

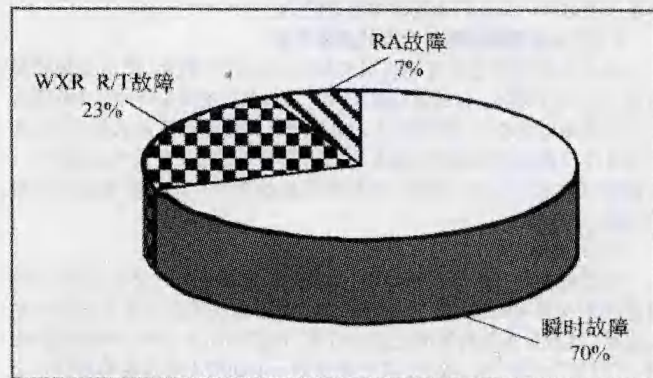


图2 PWS FAIL故障原因分类统计

从图2上可以看出,引发机载气象雷达PWS FAIL故障的主要原因有三个:第一,瞬时故障;第二,气象雷达收发机(WXR/R/T)故障;第三,无线电高度表(RA)故障。分析故障统计数据,发现故障发生具有一定的规律。

1) 机载气象雷达PWS FAIL发生最多的故障类型是瞬时故障。WXR/R/T是机载气象雷达系统的最关键的部分。同时进行气象探测和大量的逻辑运算。一旦WXR/R/T内部逻辑电路发生瞬时冲突,极有可能引发PWS FAIL发生故障。通常有以下两种解决方案:第一是将气象雷达跳开关重置将雷达收发机重启。第二是,通过雷达系统的自检软件测试机载气象雷达的系统,排除故障。本人对B-5053进行航前维护时出现过类似故障,通过重置跳开关的方式解决了问题。

2) PWS FAIL由WXR/R/T本身故障引起的概率是23%,在测试气象雷达系统时,如果自检程序不能通过,就可以断定WXR/R/T发生了故障。在工作过程中,机载气象雷达会产生大量的热,在对气象雷达手法组件进行更换时,要注意提前检查WXR/R/T的冷却风扇有没有发生故障以及出风口有没有被堵塞,如果存在以上两个问题,WXR/R/T

(>>下转第211页)

差。

3.2 举例计算半径补偿误差

下面阐述在该叶片测量过程中进行二维补偿时这一误差的产生和大小变化。

由于实际测量时触发测量力的原因,触测时测头中心坐标的Z值往往与名义Z值有一个偏差 δ_z ,如图3.1所示。这个偏差随着倾斜角度的增大而增大。通过测量结果得到,在该风扇叶片倾斜角度最大的截面,倾斜角 β 为20度, δ_z 最大不超过0.05mm。其中A为名义点,A'为半径补偿得到的实测点, δ_x 为半径补偿误差,探针半径R为0.5mm。

此时的半径补偿误差 $\delta_x = R/\cos\beta - R - H \cdot \tan\beta$, $\delta_z = H$ 。

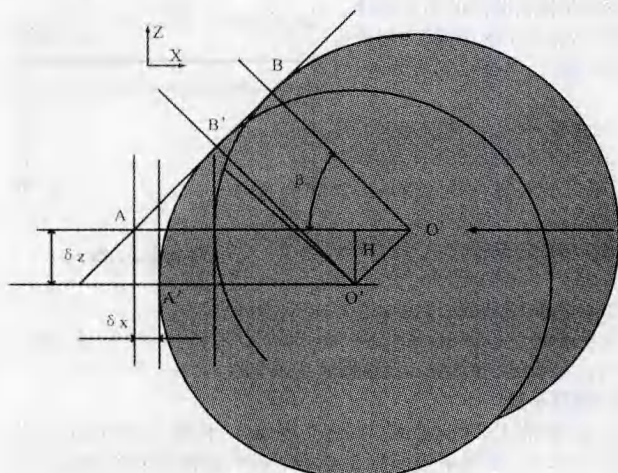


图 3.1 半径补偿误差示意图

该叶片的最大半径补偿误差为:

$$\begin{aligned}\delta &= R/\cos\beta - R - H \cdot \tan\beta \\ &= 0.5/\cos 20^\circ - 0.5 - 0.05 \times \tan 20^\circ \\ &= 0.0139\text{mm}\end{aligned}$$

3.3 对此误差引起的不确定度进行分析

估计为矩形分布, $a = \delta = 0.0139\text{mm} = 13.9\mu\text{m}$, $b = 0.6$

$$u = a \cdot b = 13.9\mu\text{m} \times 0.6 = 8.3\mu\text{m}$$

由于其它测量误差相对半径补偿误差都小得多,所以合成标准不确定度为: $u_c \approx 8.3\mu\text{m}$

取置信概率 $p=95\%$, $k=2$,则扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 8.3 = 16.6\mu\text{m}$$

用此三坐标测量机,采用二维曲线扫描法测量该风扇叶片叶型轮廓的测量扩展不确定度为 $U = 16.6\mu\text{m} = 0.0166\text{mm}$, $k=2$ 。该叶片叶型轮廓度要求 F_m 为0.13mm~0.20mm, $U < 1/5 F_m$,满足要求。

4、结论

对航空发动机各部分叶片而言,一般情况下,叶片叶身的弯曲扭转很小,法线方向误差也很小,这个半径补偿误差也很小,相对于叶片叶身型面的轮廓度技术要求,不用考虑这个误差。但对于某些风扇和压气机叶片而言,有部分截面上测量点的法线方向与XY平面的夹角较大,沿XY平面做半径补偿,半径补偿误差较大,就需要采取措施减小这个误差。

从上章分析可以看出,测量不确定度主要是半径补偿误差引起的。被测点法线方向误差越大(β 角越大),探针半径越大,这个误差就越大。因此减小半径补偿误差的方法一是尽量使用较小半径的探针,二是减小法线方向误差。

采用尽量小半径的探针,能减小半径补偿带来的误差。本文所用的三坐标测量机所配备的最小探针半径为0.15mm,但小探针容易磨损,带来磨损偏差,刚性也较差,容易损坏。而且在扫描测量中存在接触测力和摩擦力,有可能对叶片表面带来划痕。所以不建议选择过小半径的探针。

在某些叶片和整体叶盘测量中,半径较小的探针无法完成测量,只能选择尽量小半径的探针。这种情况下,可先选择合适半径的探针测量扭曲角度最大的型面,然后根据被测点法线与水平方向最大偏差角度以

及测量结果得到Z方向最大偏差值,带入本文提供的公式计算出半径补偿误差引起的不确定度既接近合成标准不确定度。最终计算出扩展不确定度来判断所用探针是否满足测量要求。

本文所用的测量和计算方法适用于有数学模型或已知叶片型面被测点坐标和三维法线方向的测量。如未知叶片型面被测点坐标和三维法线方向的测量,可采用其它方法估算出叶片最大扭曲角度,然后根据未知扫描测量结果中的Z方向最大偏差值,计算出近似不确定度。

由于现在航空发动机叶片的设计要求越来越高,加工质量也越来越高,所以检测的方法也急需提高。在未来的叶片型面检测中,二维曲线扫描的方法所带来的误差将不能满足设计要求。所以在用接触式三坐标对叶片型面进行检测中,我们也在尝试用三维曲线扫描的方法进行测量和计算。以减小在探针半径补偿时由于被测点法线与水平方向的角度引起的误差,来提高测量不确定度。由于叶型处理软件在三维法线方向计算中还存在一些问题,在某些情况下无法达到计算要求,所以目前还不能完全满足测量要求。有些问题还在进一步的研究和探索中,争取能尽快的成功,以达到检测水平的提高。

参考文献

- [1] Carl Zeiss 3D Metrology Services. Calypso培训手册,2010.
- [2] 朱正辉.几何量计量[M].北京:原子能出版社,2002.
- [3] 倪育才.几何量测量不确定度评定[M].北京:中国计量出版社,2006.
- [4] 宣安东.实用测量不确定度评定及案例[M].北京:中国计量出版社,2007.

作者简介

闫峰,工程师,中航工业沈阳发动机设计研究所测试计量技术研究中心。

(>>>上接第209页)

T变化就会出现过热的情况,高温使内部逻辑电路失效,从而发生PWS FAIL。如果气象雷达PWS FAIL故障是由散热问题导致的,机器也会出现WXR FAIL故障信息。本人对B-5059进行航后维护时出现过上述情况,清洁冷却风扇后,故障得以排除。

3) PWS FAIL有三次是由RA引起的,发生的概率是7%。故障报告指出,RA引发机器故障时,飞机的飞行高度都在701m以上,在故障发生的同时,一侧的RA数据发生错误。根据前面对的分析可知,机载气象雷达只有在701m以下才会启动系统探测风切变。如果输入机载系统的任意一侧RA有问题,输入错误的高度数据,系统将会报错,出现PWS FAIL故障信息。解决办法有两个:一个是更换相应的RA收发机,另外一个则是更换RA天线。除了以上原因,其他还有气象雷达天线驱动组件故障、自动油门微动门组件故障以及大气数据惯性基准组件故障等,都可能导致错误。

4、结语

诸多因素导致机载雷达发生PWS FAIL故障。维修人员应该对机载气象雷达系统PWS的工作原理非常熟悉,能掌握其工作方式,对机载气象雷达系统PWS功能部分于其他系统的交联要非常的了解。在对机器进行维修时,应该事先了解故障现象,查阅机器故障历史,对故障发生原因进行认真分析,以期能准确找到原因,排除故障,避免更换不必要的零件和无用功耗的产生。

参考文献

- [1] 胡朝江,李晓冲,袁有志.大飞机风切变探测告警系统[J].中国民航大学学报,2013(05).