

# 涡桨飞机意外自动顺桨系统研究

文/杨百平

自动顺桨系统用于探测发动机的功率损失,在探测到发动机功率损失时,向另一侧发动机发出上调信号,同时使本侧螺旋桨顺桨,以减小发动机故障时螺旋桨产生的阻力。本文介绍了自动顺桨系统的组成、工作原理和影响因素,重点分析了脉冲信号对自动顺桨装置的影响,提出了解决意外自动顺桨和低扭矩灯闪亮故障的措施,以降低此类事件的发生概率。

**【关键词】**意外自动顺桨 扭矩 自动顺桨装置 发动机电子控制装置 低扭矩 功率上调

## 1 引言

近年来,随着支线航空运输业的高速发展,支线飞机也迎来了蓬勃发展,涡桨飞机作为一款中、短程支线飞机受到越来越多的用户青睐。

国产某型民用飞机作为一款性能优越的飞机,已经完全打开了国内外市场。伴随着销售量的不断增加,也暴露出了一些问题,特别是意外自动顺桨和低扭矩灯闪亮事件,极大的影响了飞机的运营安全,给用户带来了较大的经济性损失,同时也影响了民机的声誉。

本文通过对自动顺桨系统的组成和控制原理分析,对发生在起飞和起飞滑跑阶段的意外自动顺桨事件、以及伴随的低扭矩灯闪亮事件,进行了大量的试验和数据分析工作,确定故障发生的潜在根源,提出有效的解决措施和改进方法,以降低此类故障的发生概率。

## 2 自动顺桨系统

### 2.1 自动顺桨系统的组成和功能

发动机自动顺桨系统由发动机扭矩轴、扭矩传感器、顺桨准备指示灯和自动顺桨装置组成。系统处于准备状态下,自动顺桨装置在捕捉到扭矩信号丢失时,对本侧螺旋桨发出顺桨指令,对另一侧发动机发出功率上调指令。

### 2.2 自动顺桨系统工作原理

要实现自动顺桨功能,自动顺桨系统必须同时具备以下几个条件:

- (1) 自动顺桨线路接通;
- (2) 发动机功率选择“起飞/复飞”;
- (3) 双发功率杆角度大于 $63^\circ$ ;
- (4) 双发扭矩大于 $46\%$ ;

### (5) 自动顺桨准备灯亮。

当自动顺桨系统具备以上条件后,系统处于准备状态。当左、右发动机上任意一侧的扭矩低于 $22\%$ 时,故障侧自动顺桨装置向另一侧发动机电子控制装置发出功率上调指令,使另一侧发动机功率上调 $10\%$ ,同时,在低扭矩信号持续 $2.15\text{s}$ 后,触发故障发动机螺旋桨顺桨。

## 3 自动顺桨系统故障分析

### 3.1 自动顺桨系统故障现象

在飞机使用过程中,自动顺桨系统故障主要表现为:

(1) 故障侧发动机低扭矩信号持续时间超过 $2.15\text{s}$ ,低扭矩长亮,螺旋桨自动顺桨,另一台发动机功率上调 $10\%$ ;

(2) 故障侧发动机低扭矩信号持续时间不足 $2.15\text{s}$ ,低扭矩灯闪亮,螺旋桨不顺桨,另一台发动机功率上调 $10\%$ 。

### 3.2 故障分析

依据自动顺桨系统工作原理,触发低扭矩信号灯闪亮或系统自动顺桨的主要影响因素为:1号扭矩传感器、自动顺桨装置和线路故障。

#### 3.2.1 1号扭矩传感器

1号扭矩传感器向自动顺桨装置提供发动机扭矩信号。自动顺桨装置判定发动机扭矩是否低于 $22\%$ ,进而决定是否发出低扭矩警告信号,并激发自动顺桨指令。在自动顺桨系统准备状态下,因1号扭矩传感器故障给自动顺桨装置提供的虚假低扭矩信号会使自动顺桨装置发出低扭矩警告信号并触发系统意外自动顺桨。

#### 3.2.2 自动顺桨装置

在自动顺桨系统准备状态下,如果来自1号扭矩传感器的扭矩信号低于 $22\%$ ,自动顺桨装置向另一台发动机电子控制装置发出功率自动上调信号,同时发出本台发动机的低扭矩信号,如果发动机低扭矩信号持续时间超过 $2.15\text{s}$ ,则发出自动顺桨指令。如果自动顺桨装置的输入电源信号中断或扭矩信号中断将会影响自动顺桨装置的输出。

#### 3.2.3 线路故障

连接1号扭矩传感器和自动顺桨装置的线路插头与插座之间接触不良时,自动顺桨装置会将接到的断断续续的扭矩信号作为低扭矩信号进行处理,进而触发自动顺桨系统工作。

通过以上分析和部件检测结果发现,1号扭矩传感器的可靠性较高,对自动顺桨或低扭矩信号灯闪亮故障的影响较小;线路接触故障可通过在插头上涂导电增强液和增加热缩套的方法实现;而自动顺桨装置的电源输入信号和扭矩输入信号对自动顺桨装置的输出信号影响

较大。为此,本文将重点分析自动顺桨装置电源输入信号和扭矩输入信号对自动顺桨装置输出的低扭矩信号和功率上调信号产生的影响。

## 4 试验分析

### 4.1 试验方法

为了分析自动顺桨装置电源输入信号中断和扭矩输入信号中断对自动顺桨装置输出的低扭矩信号和功率上调信号产生的影响,在自动顺桨装置输入信号前增加了自动顺桨装置控制盒和信号发生器,通过信号发生器和自动顺桨装置控制盒向自动顺桨装置输入不同的脉冲中断信号,观察不同的功率状态下自动顺桨装置输出的低扭矩信号和功率上调信号的变化。

信号发生器输入参数和系统状态如表1所示。

### 4.2 试验结果

4.2.1 自动顺桨准备与未准备状态下电源中断时间对比分析:

(1) 当电源中断周期为 $10\text{ms}$ 或更短时,自动顺桨装置不会产生低扭矩输出;

(2) 尽管自动顺桨装置输出单个脉冲,但电源中断周期为 $60\text{ms}$ 或更短时,自动顺桨装置无法输出多个脉冲。

4.2.2 自动顺桨准备与未准备状态下电源中断对比分析:

(1) 无论自动顺桨装置准备与否,电源中断后,低扭矩输出和自动顺桨输出各输出一个脉冲;

(2) 当自动顺桨装置处于准备状态,电源中断使本侧自动顺桨装置发出上调指令,使另一侧发动机目标扭矩上调;

(3) 无论自动顺桨装置准备与否,均无意外自动顺桨事件发生。

4.2.3 未准备状态下低扭矩输出与上调输出对比

(1) 在 $60\text{ms}$ 电源信号中断后,上调输出一个较短的初始脉冲;

(2) 自动顺桨装置低扭矩输出脉冲与上调输出脉冲没有差异。

4.2.4 准备状态下低扭矩输出与上调输出对比

(1) 尽管在 $60\text{ms}$ 时低扭矩输出重复性脉冲,但当电源中断周期为 $60\text{ms}$ 或更短时,上调输出无重复性脉冲输出;

(2) 当电源中断周期为 $200\text{ms}$ 时,上调输出的重复性脉冲持续时间要比低扭矩输出的重复性脉冲持续时间短;

(3) 低扭矩输出与上调输出均未导致意外自动顺桨事件发生。

4.2.5 自动顺桨准备与未准备状态下扭矩信号中断时间对比:

(1) 当自动顺桨准备时,扭矩中断时间低

表 1: 低扭矩信号输出测试

低扭矩输出测试				
序号	输入信号	脉冲信号（50% duty cycle）	系统状态	功率状态
1	电源	10×60ms	未准备	巡航
		10×200ms		
2	电源	10×60ms	准备	起飞
		10×200ms		
3	扭矩	10×30ms	未准备	巡航
		10×200ms		
		10×500ms		
4	扭矩	10×10ms	准备	起飞
		10×30ms		
		10×200ms		
		10×500ms		
功率上调输出测试				
5	电源	10×60ms	未准备	巡航
		10×200ms		
6	电源	10×10ms	准备	起飞
		10×60ms		
		10×200ms		
7	扭矩	10×30ms	未准备	巡航
		10×200ms		
		10×500ms		
8	扭矩	10×10ms	准备	巡航
		10×30ms		
		10×200ms		
		10×500ms		
		10×10s		

于 500ms 时, 低扭矩输出脉冲数量与中断信号脉冲数量不一致;

(2) 当自动顺桨准备时, 扭矩中断时间为 500ms 或更低时, 自动顺桨信号输出无变化;

(3) 当自动顺桨装置处于自动顺桨准备状态、扭矩信号中断 10s 时, 自动顺桨事件发生, 符合设计要求。

4.2.6 自动顺桨准备与未准备状态下扭矩中断对比分析:

(1) 当自动顺桨装置处于未准备状态时, 低扭矩与自动顺桨信号输出均无变化;

(2) 低扭矩输出脉冲仅在自动顺桨装置处于准备状态下出现;

(3) 当自动顺桨装置处于自动顺桨准备状态、扭矩信号中断 10s 时, 自动顺桨事件发生, 符合设计要求。

4.2.7 未准备状态下扭矩中断时低扭矩输出与上调输出对比:

(1) 当自动顺桨装置处于未准备状态时, 任何扭矩中断信号对自动顺桨装置输出无影响。

4.2.8 准备状态下扭矩中断时低扭矩输出与功

率上调输出比较:

(1) 当扭矩中断周期为 500ms 或更短时, 自动顺桨装置上调信号无变化;

(2) 当扭矩中断周期为 10ms 或更长时, 自动顺桨装置低扭矩输出信号发生变化;

(3) 从视频可以看出, 自动顺桨装置上调输出与自动顺桨准备灯亮同步, 低扭矩灯比自动顺桨准备灯早亮约 4s;

(4) 当自动顺桨装置处于自动顺桨准备状态、扭矩信号中断 10s 时, 自动顺桨事件发生, 符合设计要求。

4.2.9 低扭矩输出与上调输出信号对比:

(1) 当自动顺桨准备时, 扭矩信号中断周期小于 500ms 时, 上调输出不产生脉冲信号;

(2) 当电源中断周期达到 200ms 时, 上调输出更难产生脉冲信号;

(3) 当自动顺桨准备时, 仅在扭矩信号中断持续时间达到自动顺桨装置内部设置的延迟时间时输出上调信号。

4.2.10 电源中断与扭矩信号中断对比:

(1) 当电源中断周期达 200ms 时, 自动顺桨装置低扭矩输出和上调输出均输出脉冲;

(2) 仅在电源中断时, 自动顺桨输出脉冲;

(3) 当自动顺桨装置处于准备状态时, 扭矩中断信号仅产生低扭矩输出脉冲;

(4) 当自动顺桨装置处于自动顺桨准备状态时, 仅在扭矩信号中断 10s 时自动顺桨事件发生, 符合设计要求。

#### 4.3 解决措施

试验结果表明, 自动顺桨装置在电源中断重置时, 可能会输出脉冲信号, 导致偶发的自动顺桨或功率上调事件。基于此调查结果, 对自动顺桨装置重新设计, 在自动顺桨装置的低扭矩信号输出端和功率上调信号输出端各增加一个滤波器, 过滤由于电源恢复产生的 15ms 的中断脉冲, 以消除这种脉冲信号对飞机指示系统产生的影响。

#### 5 结论

随着航空工业的发展, 某型民用飞机作为一款性能优越的支线飞机, 将会在世界上越来越多的市场上崭露头角, 任何瑕疵都将影响飞机的声誉及运营。本文通过对自动顺桨系统的剖析和对自动顺桨装置的优化, 可以有效的降低意外自动顺桨事件和低扭矩灯闪亮事件的发生概率, 消除这种脉冲信号对飞机指示系统产生的影响, 减少了由于此类故障导致的单发飞机事故概率, 为某型民用飞机的持续运营奠定了强有力的基础。

#### 参考文献

- [1] V. Vessella. PW127J on XAC aircraft uncommanded auto feather investigation [R]. 8041. Canada. Pratt&whitney. 2012.
- [2] 王英, 沙云东. 航空发动机故障诊断技术综述 [J]. 沈阳航空工业学院学报, 2007, 24(2): 11-14. (WANG Ying, SHA Yun-dong. Aero-engine fault diagnosis techniques summarization [J]. Journal of Shenyang Aerospace University, 2007, 24(2): 11-14.
- [3] 邱晓杰, 黄金泉, 鲁峰, 等. 飞机发动机部件和传感器故障隔离与诊断 [J]. 航空动力学报, 2012, 27(6): 1432-1440. (QIU Xiao-jie, HUANG Jin-quan, et al, LIU Nan. Fault diagnosis and isolation of the component and sensor for aircraft engine [J]. Journal of Aerospace Power, 2012, 27(6): 1432-1440.
- [4] 郑波, 朱新宇. 航空发动机故障诊断技术研究 [J]. 航空发动机, 2010, 36(2): 22-25, 30 (ZHENG Bo, ZHU Xin-yu. Investigation of Fault Diagnosis Technology for Aeroengine [J]. Aeroengine, 2010, 36(2): 22-25, 30.

#### 作者单位

中航飞机研发中心 陕西省西安市 710089