

# 民用飞机制造商的机队运行警戒值 管理方法及应用

## Management Method and Application of Fleet Alert Value for Civil Aircraft Manufacturer

程阿喜 陈新霞 刘煜原 陈金 李利荣 吕 鹭 /  
Cheng Axi Chen Xinxia Liu Yuyuan Chen Jin Li Lirong Lv Zhi  
(上海飞机客户服务有限公司,上海 200241)  
(Shanghai Aircraft Customer Service Co. Ltd. , Shanghai 200241, China)

### 摘 要:

民用飞机制造商为充分了解和掌握机队运行可靠性状况,针对每一种机型的机队设定适当的门限值,将机队每个月的运行可靠性指标值与该门限值进行比较,从而快速掌握机队警戒状况,这是可靠性分析中基本的分析模式,其中门限值即警戒值。阐述了民用飞机警戒值的管理方法,详细说明了警戒值从计算、审批、修订到最终生效的整个管理流程,并对警戒值管理方法在 ARJ21-700 飞机试飞过程中的应用进行了介绍。

**关键词:**民用飞机;警戒值;可靠性;管理方法

**中图分类号:**F272.7

**文献标识码:**A

[Abstract] In order to understand and master the fleet operational reliability status, civil aircraft manufacturer set an appropriate threshold for each type of aircraft fleet and compared with the actual value to quickly grasp the fleet alert status, which is the most basic reliability analysis mode in which the threshold value that is alert value. This paper describes the management methods of civil aircraft alert value, a detailed description of the alert value calculation, approval, amendments and final entry into force of the entire management process, and the alert value management method in ARJ21-700 aircraft flight test process was introduced.

[Key words] civil aircraft; alert value; reliability; management method

## 0 引言

警戒值是用来衡量可靠性指标是否超限的极限值,民用飞机制造商用警戒值监控机队运行的可靠性状况。警戒值以机队(此处机队的概念为小机队,即一种机型为一个机队)实际运行的可靠性数据为依据进行设定,用于监控飞机机队可靠性状况的重要指标都需设定警戒值,如运行中断率、机组报告率和非计划拆换率等。警戒值设定成功后,每个月计算的机队可靠性指标会与其相应的警戒值进行对比,按照超限情况分析机队警戒状况,从而达到监控机队可靠性状况的目的。

## 1 警戒值定义和分类

警戒值是当可靠性数据积累超过一定的量以后设定的一个值,它通过收集飞机、系统和部件的历史数据,运用数理统计的原理,结合具体情况计算得出,为飞机可靠性状况的评估提供了控制极限。

在机队运行的整个寿命周期内,警戒值都起到监控机队可靠性状况的重要作用,警戒值的设定分为飞机级、系统级和部件级,不同级别和不同运行时间警戒值的计算方式不同,名称也有所不同,主要涉及到如下几种警戒值。

(1)临时警戒值

新机型投入运营时没有运行数据可用于警戒值的计算,在投入运营6个月后,可据此6个月的运行数据设定警戒值,此警戒值即为临时警戒值。临时警戒值是针对机队的可靠性指标设定的飞机级的警戒水平,如机队运行中断率、机组报告率等,临时警戒值使用时间为新机型投入运营后6~12个月。

### (2) 新警戒值

警戒值的监控周期为12个月,当监控期满后,需重新计算警戒值进行新一轮的监控,在计算变动幅度(见3.2节中式(4))时,为了与之前的警戒值进行区分,重新计算的警戒值称为新警戒值,之前的警戒值为原警戒值。

### (3) 人工警戒值

如果某部件在前12个月内未发生过非计划拆换,应该人工确定一个警戒水平供监控之用,即人工警戒值<sup>[1]</sup>。人工警戒值属于部件级,每一个件号的部件需设定一个警戒值,人工警戒值将一直使用到获得了可计算比率的数据为止。

## 2 警戒值的计算

警戒值是用来监控飞机可靠性趋势的重要依据,应选择合适的警戒值计算方法。警戒值计算依据的可靠性概率理论要点有以下几条:

- (1) 可靠性统计的各种事件都是随机事件;
- (2) 可靠性参数概率的分布模型,通常符合正态分布、泊松分布或威布尔分布;
- (3) 计算样本通常为12个月,而且是在运行条件比较稳定,偶然因素起作用的情况下选取的<sup>[1]</sup>。

本文选用的警戒值计算模型为业界普遍认可且最为常用的正态分布模型,计算公式如下:

$$AV = \bar{X} + K\sigma \quad (1)$$

式中, $K$ 为增值,取值介于2~3之间,通常默认取值为2,当发现由于警戒值设置过低造成虚警过多时,可适当调大 $K$ 值;

$\bar{X}$ 为平均值即 $\bar{X} = \sum X / N$ ;

$\sigma$ 为标准偏差,计算公式如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X^2 - (\sum X)^2}{N - 1}} \quad (2)$$

式中, $X$ 为月计算比率,如运行中断率; $N$ 为统计的月份。

如果是新机型首次投入运营,根据民航局咨询通告,在其积累足够的可靠性分析数据前,可以先不确定性能标准的警戒值<sup>[2]</sup>,但一般都会先使用相似机型的警戒值进行监控;当运营达到6个月后,使用近6个月的数据按照式(1)计算临时警戒值;当运营达到12个月后,使用近12个月的数据按照式(1)计算警戒值。

对未发生过非计划拆换的部件,使用人工警戒值进行监控,人工警戒值是基于过去12个月期间每月出现半次失效而设定的,计算公式如下:

$$\text{人工警戒值} = \frac{0.5 \times 1000}{\text{每架装机数量} \times \text{月平均飞行小时}} \quad (3)$$

使用人工警戒值时,如果在连续3个月期间的任何时候发生3次拆换,将会产生一次警告。

## 3 警戒值管理

本章以投入运营12个月以上的机队运行警戒值管理为例,说明民用飞机制造商的警戒值管理方法。

警戒值的计算间隔为12个月,通常情况下,每隔12个月都会有新警戒值产生,用于监控后续12个月内机队运行的可靠性状况。新警戒值与前一年的警戒值比较,当变动幅度超过10%时,需报可靠性管理委员会审批,审批通过则警戒值生效,审批未通过的则需将变动幅度修订到10%以内再生效,对于变动幅度未超过10%的警戒值直接生效。警戒值的管理流程如图1所示。

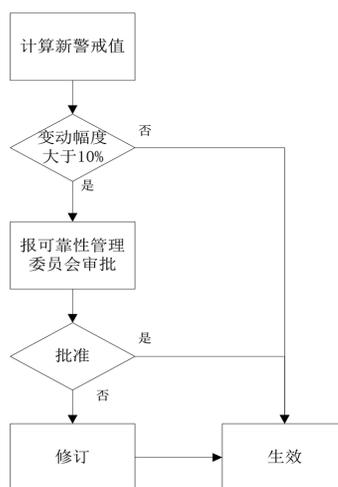


图1 警戒值管理流程

警戒值管理是机队可靠性管理的基本环节,作为一个单独的模块集成在机队可靠性管理系统中,

机队可靠性管理系统主页面如图 2 所示。



图 2 机队可靠性管理系统界面

### 3.1 警戒值设定

警戒值的设定需要如下几个步骤：

- (1) 选择要计算警戒值的机型和系列, 计算全部警戒值, 包括飞机级、系统级和部件级;
- (2) 审批变动幅度超过 10% 的警戒值, 审批通过的设置其生效;
- (3) 修订相关警戒值 (详见 3.2 节), 并设置生效。

以上步骤完成后, 则警戒值设定成功。

警戒值的设定应避免以下两种情况:

- (1) 警戒值设定过高, 可靠性指标出现明显的恶化趋势, 但没有警告产生;
- (2) 警戒值设置过低, 可靠性指标数值在正常范围内却产生警告<sup>[3]</sup>。

因此, 对于警戒值的设定, 除应确保产生的警告有效外, 还应注意产生合理的警告数量, 以使调查能够按时完成。

在机队可靠性管理系统中, 警戒值计算功能和修订功能集成在一个界面中, 如图 3 所示。

机队	系列	特性	部件	ATA 编号	部件号	原警戒值	计算警戒值	计算偏差率%	修正警戒值	修正偏差率%	操作	计算日期
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	9004-099	2.92642	2	2.92642	0		0	修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	9004-092	26.33778	2	26.33778	0		0	修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	9004-025	13.16889	2	13.16889	0		0	修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	324320	9004-042	22.17281	2	34.80243	56.96		修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	320505	20504-089X61	3.76254	2	3.76254	0		修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	320507	20504-0000-03	13.16889	2	13.16889	0		修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	324324	9004-024	5.28756	2	2.23972	-57.48		修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	323104	2131-0001-403	13.16889	2	13.16889	0		修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	323201	20504-0000-03	13.16889	2	13.16889	0		修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	323402	2351-9901-401	26.33778	2	26.33778	0		修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	324401	9004-013	4.39953	2	4.39953	0		修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	324540	90000581	12.37971	2	15.57798	26.83		修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	323101	2351-1103-401	6.58444	2	6.58444	0		修改	2014-07-14
ARJ21	700	附件性能	附件非计划故障率	323101	205140000K02	26.33778	2	26.33778	0		修改	2014-07-14

图 3 警戒值设定

### 3.2 警戒值修订

警戒值在如下两种情况下需要进行修订:

- (1) 变动幅度超过 10%, 且未得到批准, 需将变动幅度调整到 10% 以内, 警戒值变动幅度的计算见式(4), 此种修订仅在计算出新警戒值时使用。

$$\text{变动幅度} = \frac{\text{新警戒值} - \text{原警戒值}}{\text{原警戒值}} \times 100\% \quad (4)$$

(2) 根据实际情况进行判断, 警戒值设定过高或过低, 此种情况可通过修改 K 值的大小来修订警戒值。

机队可靠性管理系统中警戒值的修订如图 4 所示。针对 3.2 节(1), 将变动幅度修改到 10% 以内即可, 图 4 所示页面中修正偏离率即变动幅度; 针对 3.2 节(2), 可将 K 值在 2~3 之间进行微调, 此种情况警戒值调整的范围有限。



图 4 警戒值修订页面

### 3.3 警戒值审批

对于变动幅度超过 10% 的警戒值, 需以会议议题的形式上报可靠性管理委员会, 进行逐条审批, 根据审批结果, 由可靠性工程师在机队可靠性管理系统中进行设置, 如图 5 所示, 通过审批的在“是否生效”一栏中打“√”; 否则, 需进行修订。

特性	部件	机队	系列	ATA	部件号	计算警戒值	计算偏差率%	修正警戒值	修正偏差率%	是否审批	是否生效
系统性能	机身中舱架	ARJ21	700试飞	32		0	-100			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
系统性能	机身中舱架	ARJ21	700试飞	34		0	-100			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
系统性能	机身中舱架	ARJ21	700试飞	32		0	-100			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
系统性能	机身中舱架	ARJ21	700试飞	71		0	-100			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
系统性能	机身中舱架	ARJ21	700试飞	73		0	-100			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
系统性能	机身中舱架	ARJ21	700试飞	70		0	-100			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
系统性能	机身中舱架	ARJ21	700试飞	24		0	-100			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
系统性能	机舱设备架	ARJ21	700试飞	28		0	-100			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
系统性能	机舱设备架	ARJ21	700试飞	29		0	-100			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

图 5 警戒值审批结果设置页面

### 3.4 警戒值查询

查询是管理工作中不可缺少的一项, 通过查询可得知相关可靠性指标历史警戒值的设定及修订情况, 对经验积累和后续分析都有重要意义。机队可靠性管理系统中警戒值的查询设置如图 6 所示。

### 3.5 触发警戒

新警戒值生效后, 将作为分析依据对后续 12 个

月的可靠性指标进行监控,警戒状态根据当月比率 and 近三个月的累计比率与警戒值做比较,分为如下几种。

图6 警戒值查询页面

- (1)解除(CL):即正常工作状态。当月和近三个月的累计比率均低于警戒值时,则出现解除状态。
- (2)黄色(Y):连续两个月的比率超出警戒值,而近三个月的累计比率低于警戒值时,触发黄色警戒状态。
- (3)红色(R):近三个月的累计比率超过警戒值时,触发红色警戒状态。
- (4)保持警告(RA):连续两次及以上近三个月的累计比率超过警戒值时,触发此种状态。

以上几种状态中,(2)、(3)、(4)均会触发警告,其中(2)可选择继续观察,(3)、(4)须进行分析,并申请开启可靠性工程调查。

## 4 应用

本章以某型飞机试飞过程为例,说明警戒值管理的实际应用。

该飞机为新机型,2009年7月开始投入试飞,同时开始收集试飞可靠性数据,2010年1月计算临时警戒值,用于监控机队运行中断率和机组报告率。2010年7月计算新警戒值,包括飞机级、系统级和部件级,对于未发生拆换的部件,计算的是人工警戒值,该警戒值将使用到该部件获得可用于计算警戒值的数据为止。此后2011年7月、2012年7月、2013年7月、2014年7月均为计算警戒值的月份,直至试飞结束。

试飞期间,该飞机机队累计触发12起警戒,多为黄色警戒,对试飞机队可靠性状况起到一定的监控作用。

下面以主起机轮触发的黄色警戒项目为例说明警戒值在警戒触发过程中的作用:

部件件号:90004162;名称:主起机轮;警戒值:22.172 81,当月比率为24.9,上月比率为33.7,近三个月累计比率为14.58。可见:该部件连续两个月的比率超过警戒值,而三个月累计比率低于警戒值,属于黄色警戒。由于试飞过程的特殊性,针对该黄色警戒项目,可靠性工程师做了进一步的调查分析,具体分析如图7所示。

15-警析单-20140602		CS15-033			
机型	ARJ21		系列	700试飞	
性能参数	部件非计划拆换率	ATA	324520	部件件号	90004162
警戒值	22.17281	当前参数值	24.9	部件名称	主起机轮
出现月份	2014-06				
警戒描述	本月份101架机务连续发出两份现场问题处理单,针对主起机轮进行了更换,总共4个机轮进行了6次非计划拆换,据查,其中两个主起机轮各进行了2次拆换,导致该部件非计划拆换率偏高,触发黄色警戒。				
警戒分析	该部件上月同样触发黄色警戒,是103架机4个主起同时更换造成非计划拆换率偏高,但部件的本次使用时间间隔均高于部件拆换标准,因此没有进行详细分析,本月底再次触发黄色警戒,跟101架机多次进行刹车以及起落架相关科目的试飞有关,机轮磨损严重,现场根据EIS1多次反复更换机轮以满足现场试验需求,建议持续关注该部件,不需进行工程调查!				
是否发布警告	<input type="checkbox"/> 是——警告通告单编号:		<input checked="" type="checkbox"/> 否		
分析	程阿喜	日期	2014-08-08		
审核	殷伟丽	日期	2014-08-12		
批准	黄加阳	日期	2014-08-12		

图7 主起机轮警戒分析单

## 5 结论

警戒值的管理是可靠性管理工作必不可少的一个环节,将警戒值管理理念应用在机队可靠性管理系统中,使其成为可靠性分析开展的依据,不仅能有效监控机队运行警戒状况,更能防止恶性事故的发生,对提高机队可靠性、经济性和安全性等具有重要作用。使用历史真实数据以及科学的计算方法得出警戒值、通过当前与过去性能比较确定可靠性水平的方法,同样适用于其它行业。

### 参考文献:

- [1] 常士基. 现代民用航空维修工程管理[M]. 山西:山西科学技术出版社,2002.
- [2] 中国民用航空局. AC-121-54 可靠性方案[S]. 北京:中国民用航空局,2005.
- [3] 成都航空公司. 维修可靠性方案[S]. 2010.
- [4] 潘佑,左洪福,张营. 基于客户服务的机队运行监控系统开发[J]. 飞机设计,2011,10(5).