

文章编号:1674-8190(2022)02-092-07

民用飞机起落架恢复周期抽样方法研究

陈锐,赵斌

(上海飞机客户服务有限公司 维修工程部,上海 200241)

摘要: 民用飞机起落架抽样具有长周期、高成本的特点,样本量和抽样次数是重要的影响因素。以IP44为中心研究民用飞机起落架抽样样本量的确定问题,提出以实际机龄区间和运行环境为基础的样本分布和样本筛选方法,在此基础上运用线性分析方法对观测故障进行趋势预测分析,并建立起落架恢复间隔假设检验准则,对提出的方法进行验证分析。结果表明:基于IP44的起落架恢复任务抽样方法能够对起落架恢复任务间隔的合理性进行判断,可以指导我国自主研制民用飞机起落架恢复抽样工作。

关键词: 民用飞机;起落架恢复;抽样;IP44;故障趋势

中图分类号: V267⁺.3

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2022.02.14

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on Civil Aircraft Landing Gear Restoration Interval Sampling Method

CHEN Rui, ZHAO Bin

(Maintenance Engineering Department, Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

Abstract: In terms of the long period and high cost of the civil aircraft landing gearing sampling program, the sampling size and frequency are the essential factors. In this paper, the methods of confirming sampling size based on IP44, which is the core of the civil aircraft landing gearing sampling program are discussed. In addition, it is suggested that the sampling model is selected according to the actual aircraft servicing time interval and operating environment. On this basis, by using linear analysis method the failure tendency is analyzed and the assumption verification standards of the landing gear restoration task interval are established, which verify the proposed analysis methods. The results show that methods proposed in this article could justify the rationality of the landing gear restoration task interval and provide a guidance on researching and developing domestic civil aircraft landing gear restoration program independently.

Key words: civil aircraft; landing gear restoration; sampling; IP44; failure trend

收稿日期:2021-05-21; 修回日期:2021-09-13

通信作者:陈锐, chenruihit@126.com

引用格式:陈锐,赵斌. 民用飞机起落架恢复周期抽样方法研究[J]. 航空工程进展, 2022, 13(2): 92-98.

CHEN Rui, ZHAO Bin. Research on civil aircraft landing gear restoration interval sampling method[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2022, 13(2): 92-98. (in Chinese)

0 引言

在民用飞机计划维修要求(Scheduled Maintenance Requirements, 简称SMR)中制定起落架初始恢复任务周期时,主制造商通常没有相关的可靠性数据,但依据其他机型起落架恢复任务间隔时发现间隔非常长。在如此长的周期内,供应商往往也不能拿出一个100%合理的证明,因此,在SMR批准时多伴随起落架抽样方案,用于确认起落架恢复任务的间隔。

抽样是进行工程质量控制的重要方法之一^[1],抽样是指利用最少的抽样样本量特征反映总体样本的特征,其目的是使检查产生的费用最低,检查特征的误差达到最小^[2]。1941年,美国学者H. F. Dodge等^[3-5]首次提出现代抽样检查的理论,给出了检查产品的平均检出质量(Average Outgoing Quality, 简称AOQ),在此基础上,推导了大量的抽样检验模型。这是现代抽样理论的基础,之后越来越多的研究人员基于概率和数理统计理论,并结合该理论,提出了各种抽样检验模型。美国国防部于1989年发布了MIL-STD-105E^[6]计数抽样检验标准。1996年又发布了MIL-STD-1916^[7]取代了MIL-STD-105E, MIL-STD-1916指出通常的抽样步骤,但最主要的作用是作为顾客对供方在质量控制、持续改进方面提出了新要求。以接收质量限(Acceptance Quality Limit, 简称AQL)^[8-9]为指标的抽样标准,都规定了容许缺陷的概念,把固定的缺陷水平作为满足用户的目标,这种观念是不正确的;并且未体现置信度这个概念。2006年, C. H. Jun等^[10]给出了一种利用100%检验的方法,在获得了检验过程中产品的先验知识之后,利用马尔可夫链进行推导,给出了二阶抽样检验的模型和方法;2010年, Wang Jingfeng等^[11]提出了基于分层抽样的思想,非常详细地介绍了一种“Sandwich”抽样模型,并以国内某省份对细小耕地的调查为例,验证了该抽样模型的可行性,并介绍了其优越性。

如何对民用飞机上的部件进行抽样,相关研究不甚多,邱兵等^[12]提出我国飞机客舱空气质量检测的抽样分析,给出了空气质量相关抽样方法,具有较高的实用性;郑小兵等^[13]提出了飞行器批

检试验抽样特性分析和试验方案设计,但是仅针对飞行器批量生产过程展开,总体来说还是一种质量检验方法;杨海滨等^[14]研究了民用飞机结构维修大纲抽样检查的原则与方法,但是仅仅提出了针对飞机结构部分进行抽样的原则,某种程度上说,起落架具有结构属性,但是系统部分按结构进行抽样同样不适用;林聪等^[15]提出基于服役数据的飞机计划维修任务间隔优化方法,其中介绍了部分维修任务抽样方法,以及基于抽样结果进行维修任务间隔延长等,但主要还是侧重于计划维修任务优化方面。

通常,对起落架进行抽样需要检查其腐蚀、磨损及损伤状况,用于验证SMR中给出的初始恢复间隔是合理的。并且,在实际抽样过程中至少需要解决如下问题:抽样样本量为多大合适,一次抽样还是多次抽样,在什么时候进行抽样,考虑不同环境下的抽样,以符合真实的运行状态。

本文提出基于IP44的起落架恢复任务抽样的方法,包括确定相关数据的抽样样本量,不同环境和不同阶段的抽样样本分布,基于蒙特卡洛的随机机队分布下抽样结果的假设检验,并对该方法进行算例验证。

1 样本量确定

确定最小样本量的方法较多,本文使用一种基于IP44^[16-20]的方法。假定,整个机队的起落架总体样本量为 S ,需要求解的最小抽取的起落架数据样本量为 m ;每次起落架恢复抽样检查中能够识别并发现的重要故障的概率为 p ,因起落架在实际运行中整机队规模下的重要故障概率和单次抽样检查发现的重要故障概率总是存在误差的,定义该误差为 c ,这两个参数需要在维修工作组(Maintenance Working Group, 简称MWG)和工业指导委员会(Industry Steering Committee, 简称ISC)会议中和局方共同决定;更进一步,假定起落架恢复抽样检查能够发现重要故障的数量为 X ,很显然,该随机变量服从 $0\sim 1$ 概率分布,即:

$$X_i = \begin{cases} 1 & (p) \\ 0 & (1-p) \end{cases} \quad (1)$$

那么,该随机变量的期望为 $E(X_i) = p$,方差为

$D(X_i)=p(1-p)$ 。

再假定,若进行 m 次起落架抽样检查,则平均每次发现的重要故障次数为 $\bar{X}=\sum_{i=1}^m X_i/m$,很显然,该随机变量的期望为 $E(\bar{X})=p$,方差为 $D(\bar{X})=\frac{p(1-p)}{m}$ 。

对 \bar{X} 构造标准正态分布,可得 $\frac{\bar{X}-p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{m}}}\sim$

$N(0,1)$ 。

利用标准正态分布的特性进行分析,若此时置信度为 $1-\alpha$,则:

$$\frac{|\bar{X}-p|}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{m}}}=Z_{\alpha/2} \quad (2)$$

式中: $|\bar{X}-p|$ 为起落架单次抽样检查中发现的重要故障概率和起落架总体规模下的重要故障概率误差值。即 $c=|\bar{X}-p|$ 。

基于上述分析,可利用式(3)来计算需要统计的起落架样本数量

$$m=\frac{Z_{\alpha/2}^2 p(1-p)}{c^2} \quad (3)$$

式中: m 为起落架抽样数量; $Z_{\alpha/2}$ 为标准正态分布; $1-\alpha$ 为置信水平; p 为起落架抽样重要故障的概率; c 为起落架抽样重要故障概率误差值。

IP44 要求抽样的置信度不低于 95%^[16-20],因此,通常 $Z_{\alpha/2}=1.96$,95% 置信水平。

式(3)中样本量 m 是在假设起落架样本总量足够大的前提下得到,但是,通常起落架样本总量不可能达到足够大的程度,因此,当起落架总体样本量 S 较小 ($S < m$) 时,需要对起落架抽样的样本量进行适当调整,从而得到相对小的起落架总体样本条件下的抽样样本量,用此总体样本和抽样样本可构造函数 $n=f(z; S; m)$,使得 $n \leq m$ 。

$$n=\frac{m}{\{1+(m-1)/S\}} \quad (4)$$

式中: n 为起落架小样本情况下的抽样样本数量; S 为起落架恢复任务总体样本数量; m 为公式(3)中的抽样数量。

置信度水平、测量误差和样本量关系如图 1 所示。

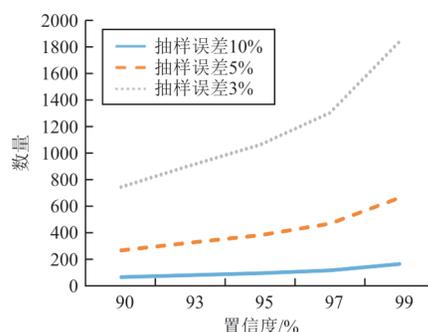


图 1 置信度水平、测量误差和样本量关系
Fig. 1 Confidence level, measurement error and sample size relationship

从图 1 可以看出:在置信度水平和被测参数固定的情况下,允许的抽样误差最大程度决定了抽样样本量的大小。

2 样本分布

通常,某个型号的飞机服役运行时间比较长,且航空公司在不断引进新的飞机,此时,航空公司拥有的某一机队飞机的数量一直在发生变化,故该航空公司若拥有该型号飞机,则其机龄分布比较大。因此,不能以静态眼光看待抽样,需要对每个机龄层段的飞机进行抽样,这样才比较符合实际情况。将整个起落架恢复周期 T 平均分割成 i 个阶段,通常 $i \leq 5$,这是因为不能无限制地进行抽样,否则采用抽样的方法就会失去其意义。那么整个机队规模中运行的飞机机龄层段就被分割成 i 个阶段,即: $(0 \sim T/i)$, $(T/i \sim 2T/i)$, $(2T/i \sim 3T/i)$, \dots , $((i-1)T/i \sim T)$ 。需要对每个机龄层段的飞机起落架进行抽样,可以按照所制定的抽样方案进行抽样,如图 2 所示。



图 2 起落架全恢复周期内抽样分布
Fig. 2 Sample distribution of landing gear restoration cycle

例如,某型飞机的起落架恢复周期为 8 年/15 000 FC,整个机队规模为 50 架,那么建议可以将飞机实际运行机龄分布状况分为 3 个阶段,按照

(0~5 000 FC)、(5 000~10 000 FC)、(10 000~15 000 FC),统计出每个机龄分布的数量,如表1所示。

表1 某型飞机机龄区间分布
Table 1 Age distribution for a certain aircraft

机龄区间/FC	飞机数量/架
0~5 000	S_1
5 000~10 000	S_2
10 000~15 000	S_3

根据公式(3)~公式(4),再结合每个阶段给出的 p_i 和 c_i ,即可计算出每个阶段需要抽取的样本数量 n_i ,如表2所示。

表2 某飞机机龄区间和抽样数量分布
Table 2 Age and sample size distribution for a certain aircraft

机龄区间/FC	飞机数量/架	抽样数量/架
0~5 000	S_1	n_1
5 000~10 000	S_2	n_2
10 000~15 000	S_3	n_3

另外,需要指出的是,IP44中要求对于飞机可靠性数据的收集应考虑对在不同环境下运行的飞机进行抽样,这样才能反映实际运行状况,例如在高温、高寒、高湿、沙尘等天气状况下的运行情况。因此,需要在每个运行机龄区间中都进行不同环境下的抽样。幸而中国地域面积广博,运行状况较复杂,国内的环境状况基本涵盖了上述要求,并且还可以按照更严苛的要求进行分类,这部分可以和航空公司、局方进行协商。

此外,抽样的样本不能全部集中在某一个运行环境下,比如某个机龄区间里面只抽一个寒冷环境。因此,可以大致将上述抽样数量的飞机进行归类。这部分是可以与航空公司进行协商的,因为每个航空公司不同地区运行飞机的数量各有需求。依据前面的计算,可以得出每个机龄区间不同环境的比例即: $f = \frac{1}{\sum N_i}$, N_i 为不同运行环境数量。

再依据等比例,在不同运行环境下按照这个比例进行抽样样本量的确定,如表3所示。

表3 某飞机机龄区间及环境分布

Table 3 Age and operation environment distribution for a certain aircraft

机龄区间/FC	数量/架	高湿		高寒		干旱、沙尘	
		总数	抽样	总数	抽样	总数	抽样
0~5 000	S_1	m_1	$m_1 \cdot f$	n_1	$n_1 \cdot f$	o_1	$o_1 \cdot f$
5 000~10 000	S_2	m_2	$m_2 \cdot f$	n_2	$n_2 \cdot f$	o_2	$o_2 \cdot f$
10 000~15 000	S_3	m_3	$m_3 \cdot f$	n_3	$n_3 \cdot f$	o_3	$o_3 \cdot f$

3 故障趋势预测分析

当确定了起落架样本量和在不同机龄运行环境下的样本后,需要对起落架恢复间隔合理性进行判定。此时需要对起落架抽样样本在各种机龄运行环境下出现的重要故障进行分析,尤其是需要对起落架的重要故障趋势进行预测和分析。起落架抽样需要检查腐蚀、磨损及损伤状况,而损伤是相对随机的,因此,主要考虑腐蚀等级和磨损是否可接受,典型的起落架损伤情况如图3所示。

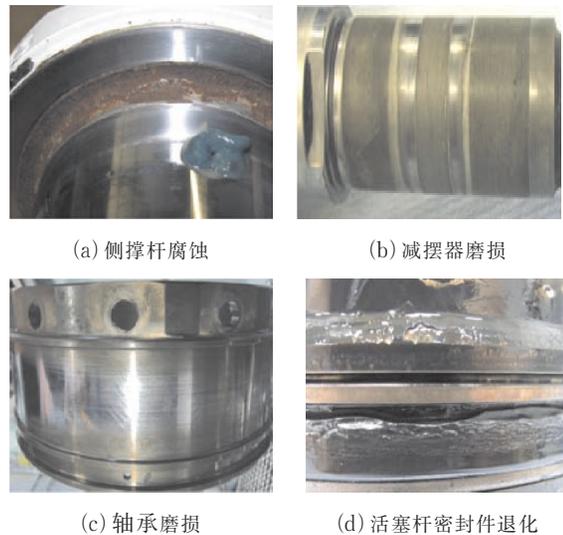


图3 某飞机起落架典型损伤状况
Fig.3 Typical damage of landing gear for a certain aircraft

假定起落架在抽样过程中发现腐蚀、磨损等情况,通常腐蚀可以分成I级、II级和III级;而磨损可以按照新部件最小间隙限制,新部件最大间隙限制,部件最大磨损限制3个等级。定义起落架抽样过程中若发现III级或者磨损超过最大极限为重要故障,其他故障为非重要故障。

一般而言,起落架故障的统计是按照飞行循

环区间划分进行的,因此,可以按照飞行循环数和重要故障数进行拟合故障趋势函数。建议使用最为直观的线性回归的方式进行故障趋势拟合,可以较为直观地表达故障和飞行循环间的关系。

选取 N 组起落架抽样的结果作为样本观测值,对飞行循环数和起落架抽样中故障数 (x_i, y_i) 进行分析,假定拟合后的直线为 $y = a + bx$, 此时,利用相对简单的最小二乘法进行求解,得到拟合后函数的参数分别为

$$\begin{cases} \hat{a} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x} \\ b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \end{cases} \quad (5)$$

式中: $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i; \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i; S_{xx} = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2;$

$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}); N$ 为起落架抽样的样本总量; n 为按照式(3)或式(4)计算后最低要求抽取的样本量。

可以推出,当拟合后线性函数直线斜率较大时,表明起落架在使用后期会有更多的重要故障发生;当斜率较小时,表明起落架在使用后期不会明显增加重要故障发生的数量。

若假定对某飞机的 $N=500$ 条起落架抽样过程中重要故障数据进行统计,按照式(5)进行函数的拟合,通过最小二乘法求解直线的斜率,求解得到 $\hat{a} = 5 \times 10^{-6}$, 表明该架飞机起落架每平均使用 2 000 FC 时,可能会产生 0.10 个重要故障,如图 4 所示。

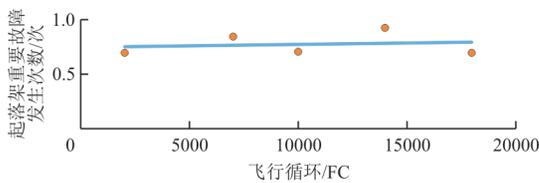


图 4 故障趋势分析示意

Fig. 4 Schematic diagram of failure trend analysis

基于已得到的起落架恢复抽样过程中的腐蚀、磨损情况,需要对上文中的假设进行假设检验。用起落架恢复抽样过程中发现的重要故障数量 F 与不同阶段进行起落架恢复抽样检查的总次数 M 的比例 R 来衡量当前起落架恢复间隔的合理性,因此有

$$R = F/M \quad (6)$$

式中: M 为抽样检查的总次数; F 为起落架恢复抽

样过程中发现的重要故障数量。

假设检验为:若实际起落架抽样过程中重要故障数量 F' 比预期的起落架重要故障的故障数量 F 少的概率达到置信程度 β , 则认为起落架恢复间隔是合理有效的, 否则拒绝该假设认为起落架恢复间隔需要调整。故定义:

$$\begin{cases} H_0: \hat{P}\{F' \leq F\} \leq \beta \\ H_1: \hat{P}\{F' \leq F\} > \beta \end{cases}$$

4 算例分析

使用蒙特卡洛方法产生 400 个随机数,按照等频率分布,最大数为 20 000,即假定 20 000 FC 是起落架恢复周期,假定某航空公司的飞机的实际运行状况按照该分布。因此,可将起落架在 20 000 FC 运行期间分为 3 个阶段,按照 (0~5 000 FC)、(5 000~10 000 FC)、(10 000~15 000 FC) 对飞机的机龄区间进行统计,如图 5 所示,然后,定义每个机龄区间里面的 p 和 c 取值分别为 $p_1=0.03, c_1=20\%, p_2=0.03, c_2=21\%, p_3=0.06, c_3=25\%$, 且所有机龄区间 $p \leq 0.1$ 。因为机龄越大的飞机数量越少,并且机龄越大发生重要故障的概率越高,所以上述取值相对合理。按照式(3)或式(4)能计算出每个机龄区间的抽样数量和分布如表 4 所示。

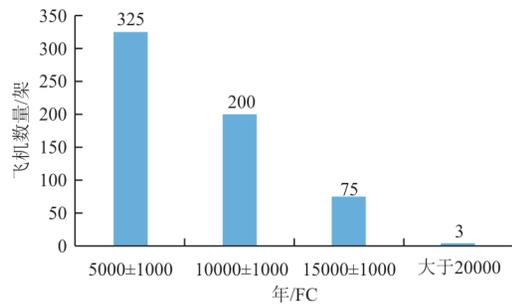


图 5 机龄分布

Fig. 5 Age distribution

表 4 每个机龄区间抽样数量

Table 4 Sampling size for different aging district

机龄区间/FC	数量/架	抽样量/架
0~5 000	325	3
5 000~10 000	200	3
10 000~15 000	75	3

按照起落架抽样样本分布原则,整个机队规模的飞机分别统计在不同环境下的运行状态大致

为极寒、潮湿、干旱/沙漠,如表 5 所示,每一个机龄区间的飞机都需要抽样 3 个起落架,再按照每个运行环境下的等比例原则,选取的运行环境有 3 种,那么各环境的比例为 1/3,如表 3 所示,这样可计算出每个机龄区间对应的不同运行环境下的起落架抽样样本数量,极寒环境 1 个、潮湿环境 1 个以及干旱沙漠环境 1 个,如表 5 所示。按照式(5)进行起落架重大故障趋势统计分析,分别如图 6~图 7 所示。

表 5 某型飞机抽样样本分布
Table 5 Sample size distribution for a certain aircraft

A/C	第一次抽样 (0~5 000 FC)	第二次抽样 (5 000~10 000 FC)	第三次抽样 (10 000~15 000 FC)
1	×(极寒)		
2	×(潮湿)		
3	×(干旱/沙漠)		
4		×(极寒)	
5		×(潮湿)	
6		×(干旱/沙漠)	
7			×(极寒)
8			×(潮湿)
9			×(干旱/沙漠)

注:A/C表示飞机;×表示抽样数量,一个×表示一个样本。

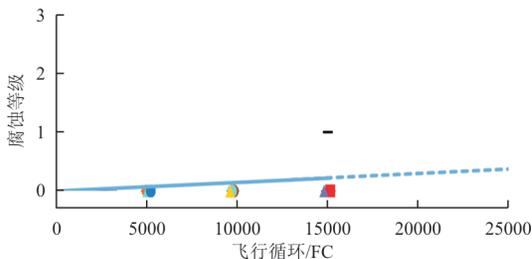


图 6 腐蚀等级随飞行循环的变化

Fig. 6 Change of corrosion grade with flight cycle

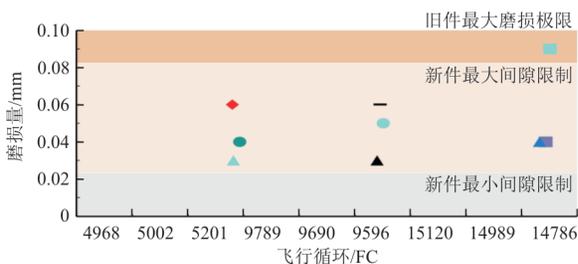


图 7 磨损量随飞行循环的变化

Fig. 7 Change of wear amount with flight cycle

另一方面,对起落架抽样结果进行统计分析,统计出整个机队的机龄区间(FC)、抽样样本量、实际的运行时间和腐蚀及磨损状况,如表 6 所示。

表 6 某型飞机起落架抽样状况

Table 6 Landing gear sampling results for a certain aircraft

机龄区间/FC	抽样数量/架	实际运行时间/FC	腐蚀类型 (0, I, II, III)	磨损量/mm
0~5 000	3	4 968	0	0.06
		5 002	0	0.03
		5 201	0	0.04
5 000~10 000	3	9 789	0	0.05
		9 690	0	0.06
		9 596	0	0.03
10 000~15 000	3	15 120	0	0.09
		14 989	I	0.04
		14 786	0	0.04

得到了相关统计分布,即可得出针对 9 个起落架抽样样本的磨损和腐蚀情况,进行假设检验。抽样假设检验结果如表 7 所示。

表 7 抽样假设检验结果

Table 7 Hypothesis test result of sampling

机龄区间/FC	R%	$P\{F' \leq F\}$	接受/拒绝
0~5 000	0	0.03	接受
5 000~10 000	0	0.03	接受
10 000~15 000	0	0.06	接受

从表 7 可以看出:若规定 I 级腐蚀和最大磨损量是允许接受的,那么抽样过程中针对这 9 个起落架的重要故障比例为 0,即接受 H_0 ,拒绝 H_1 ,认为起落架恢复周期 20 000 FC 是合理的。

5 结 论

(1) 本文首次将 IP44 的要求运用到民用飞机起落架恢复抽样问题研究中,给出一套工程实用的民用飞机起落架恢复周期抽样的方法,能够对民用飞机起落架恢复周期进行验证。该方法已通过欧洲航空安全局(EASA)和中国民用航空局(CAAC)的批准,在民用飞机 SMR 的编制过程中取得了重大突破。

(2) 起落架抽样样本的数量在本质上与飞机的机队规模相关,但对样本量影响最大的因素是在抽样过程中人们所能接受的重要故障概率和误差。

(3) 虽然抽样过程的实施可以对起落架恢复周期进行验证,但抽样过程可以对起落架在恢复周期内发现的故障趋势进行预测,可以为后期的

恢复周期延长打下一定基础。

(4) 可将本文所提出的方法运用到民用飞机上其他类型的恢复或勤务类任务(如飞控系统的作动器恢复及作动器润滑类计划维修任务),以期验证和视情况调整该类型部件计划维修任务的周期,为该型飞机 SMR 的优化提供技术支持。

参考文献

- [1] 张耀中. 质量抽样检验标准实施指南[M]. 深圳: 海天出版社, 2004: 3-16.
ZHANG Yaozhong. Guide for the implementation of quality sampling inspection standards[M]. Shenzhen: Haitian Publishing House, 2004: 3-16. (in Chinese)
- [2] 于善奇. 抽样检验与质量控制[M]. 北京: 北京大学出版社, 1991: 15-49.
YU Shanqi. Sampling inspection and quality control[M]. Beijing: Peking University Press, 1991: 15-49. (in Chinese)
- [3] DODGE H F, ROMING H G. Single sampling and double sampling tables[J]. The Bell System Technical Journal, 1941, 20(1): 1-61.
- [4] DODGE H F. A sampling inspection plan for continues production[J]. The Annals of Mathematical Statistics, 1943, 14(3): 264-279.
- [5] DODGE H F, ROMING H G. Sampling inspection table, single and double sampling[M]. New York: John Wiley & Sons, 1959: 118-220.
- [6] United States Department of Defense. Sampling procedures and tables for inspection by attributes: MIL-STD-105E [S]. USA: DOD, 1989.
- [7] United States Department of Defense. Preferred methods for acceptance of product: MIL-STD-1916 [S]. USA: DOD, 1996.
- [8] 黄河浪, 薛丽丹, 曾志高, 等. 抽样计划中接收质量限(AQL)的确定[J]. 人造板通讯, 2005, 12(11): 23-25.
HUANG Helang, XUE Lidan, ZENG Zhigao, et al. The confirmation of acceptane quality limit in product sampling scheme[J]. China Wood-based Panels, 2005, 12(11): 23-25. (in Chinese)
- [9] 尹俊彦. 装备可靠性统计抽样策略[J]. 探测与控制学报, 2018, 40(1): 115-118.
YIN Junyan. Statistical sampling strategy of equipment reliability[J]. Journal of Detection & Control, 2018, 40(1): 115-118. (in Chinese)
- [10] JUN C H, BALAMURALI S, KALYANASUNDARAM M, et al. Evaluation and design of two level continuous sampling plans[J]. Tamkang-Journal of Science and Engineering, 2006, 9(4): 409-417.
- [11] WANG Jingfeng, HAINING R, CAO Zhidong, et al. Sampling surveying to estimate the mean of a heterogeneous surface: reducing the error variance through zoning[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(4): 523-543.
- [12] 邱兵, 白国银, 朱东山, 等. 我国飞机客舱空气质量监测的抽样分析[J]. 环境卫生学杂志, 2014, 4(2): 143-146.
QIU Bing, BAI Guoyin, ZHU Dongshan, et al. Analysis on quality of air in aircraft cabins[J]. Journal of Environmental Hygiene, 2014, 4(2): 143-146. (in Chinese)
- [13] 郑小兵, 王宝和, 米晓莉, 等. 飞行器批检试验抽样特性分析和试验方案设计[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(4): 110-115.
ZHENG Xiaobing, WANG Baohe, MI Xiaoli, et al. Sampling characteristic analysis and test scheme design of aircraft batch inspection test [J]. Ship Electronic Engineering, 2019, 39(4): 110-115. (in Chinese)
- [14] 杨海滨, 左洪福, 朱磊. 民机结构维修大纲抽样检查原则与方法研究[J]. 飞机设计, 2011, 31(6): 67-70, 75.
YANG Haibin, ZUO Hongfu, ZHU Lei. The study on principles and methods for maintenance sampling inspection of civil aircraft structures [J]. Aircraft Design, 2011, 31(6): 67-70, 75. (in Chinese)
- [15] 林聪, 蒋庆喜, 周扬. 基于服役数据的飞机计划维修任务间隔优化方法[J]. 航空工程进展, 2020, 11(4): 572-576.
LIN Cong, JIANG Qingxi, ZHOU Yang. Schedule maintenance task interval optimization method based on in-service data [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2020, 11(4): 572-576. (in Chinese)
- [16] SCOTT A B, FROST P C. Monitoring water quality in Toronto's urban stormwater ponds: assessing participation rates and data quality of water sampling by citizen scientists in the fresh water watch[J]. Science of the Total Environment, 2017, 592: 738-744.
- [17] EASA. Clarification of IP44: IMRBPB IP116 [S]. US: EASA, 2011.
- [18] EASA. Evolution/optimization guidelines: IMRBPB IP44 [S]. US: EASA, 2011.
- [19] ATA. Operator/manufacturer scheduled maintenance: MSG-3[S]. US: ATA, 2018.
- [20] 蒋庆喜, 危虹, 蒋海涛. 民用飞机维修大纲优化指南 IMRBPB IP44 及应用研究[J]. 航空标准化与质量, 2018(1): 42-44.
JIANG Qingxi, WEI Hong, JIANG Haitao. Civil aircraft maintenance review board report guidance IMRBPB IP44 and its application [J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2018(1): 44-46. (in Chinese)

作者简介:

陈 锐(1987—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:民用飞机后勤保障分析等。

赵 斌(1983—),男,博士,高级工程师。主要研究方向:民用飞机后勤保障分析等。

(编辑:马文静)