

doi: 10.7690/bgzd.2016.03.006

军用飞机梯次使用控制评价指标

刘清¹, 李连², 苏涛²

(1. 海军航空工程学院研究生管理大队, 山东 烟台 264001;

2. 海军航空工程学院控制工程系, 山东 烟台 264001)

摘要: 针对当前飞机梯次使用控制缺乏评价指标的问题, 构建一套综合评价指标。在借鉴已有研究成果的基础上, 通过分析飞机梯次使用控制的目的, 建立飞机战备需求、余寿梯次状况、疲劳损伤、腐蚀损伤以及计划执行度等 5 个方面的评价指标及其数学模型, 并以层次分析法给出各指标权重。结果表明: 该评价指标能对航空兵部队飞机梯次使用控制状况进行量化评价, 在指导航空兵部队在飞机梯次使用上有重要作用。

关键词: 军用飞机; 梯次使用; 评价指标; 数学模型; 相对权重

中图分类号: TJ85 **文献标志码:** A

Evaluation Indexes for Echelon Usage Control of Military Aircraft

Liu Qing¹, Li Lian², Su Tao²(1. *Administrant Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China;*2. *Department of Control Engineering, Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China)*

Abstract: According to the situation echelon usage control of aircraft lacks of evaluation indexes, this paper constructed a comprehensive evaluation index. Based on the existing research results, analyzed the purpose of echelon usage control, established five evaluation indexes (including aircraft combat readiness, echelon usage situation of residual life, fatigue damage, corrosion damage and execution progress of plan) and the mathematical model, determined every index weight by using analytic hierarchy process (AHP). The results show that the evaluation indexes can be used to quantitatively evaluate the aircraft echelon usage control condition, and also plays an important role in instructing the aircraft echelon usage control in air unit.

Keywords: military aircraft; echelon usage; evaluation index; mathematical model; relative weights

0 引言

军用飞机梯次使用控制是航空装备保障工作的一项重要内容, 其目的是为了使飞机剩余使用寿命形成合理的梯次间隔, 在保证飞机战备储备寿命和在位率的同时, 分散各飞机定检、大修等工作的时机, 以避免因飞机集中到寿而影响飞行部队战备、训练工作的正常进行。目前, 航空兵部队在飞机梯次的使用控制上普遍不合理, 究其原因, 主要是缺乏科学的指标用于评价和指导飞机梯次使用。

文献[1]针对相关法规及文件中存在的问题, 提出了“飞机余寿梯次均匀度”和“40%标准梯形区”的概念, 以便对飞机余寿·梯次进行评价和控制; 文献[2]针对当前飞机梯次使用控制考虑因素单一、可操作性不足等问题, 进行多方面的影响因素分析, 指出进一步的研究方向; 文献[3]针对当前飞机梯次使用没有对日历寿命指标进行控制这一现状进行了改进, 并以余寿梯值方差作为检验标准证明了其在实际使用上的优越性。

笔者在借鉴已有研究成果的基础上, 综合考虑航空兵部队训练工作实际及其可控因素, 构建一套综合评价飞机梯次使用控制状况的指标。

1 问题分析

1.1 当前存在的主要问题

考虑当前航空兵部队飞机梯次使用控制的实际情况, 造成其不合理的原因主要有以下方面:

1) 现行法规无飞机梯次使用控制评价指标。《海军航空技术保障法规》对飞机年度使用计划只要求“使同型飞机使用到大修时限的剩余使用时间, 相互间保持一定的间距, 形成梯次排列”; 但并未明确给出飞机余寿成何种梯次结构更为合理。

2) 使用寿命只用“飞行小时数”单一指标。根据我国军用标准 GJB775.1—1998《军用飞机结构完整性大纲·飞机要求》规定, 军用飞机的使用寿命包括飞行小时数、飞行起落数和日历寿命 3 项指标^[3]; 但目前航空兵部队通常只使用反映疲劳寿命的“飞行小时数”这一指标。

收稿日期: 2015-11-19; 修回日期: 2015-12-25

作者简介: 刘清(1985—), 男, 河北人, 在读硕士, 从事军用飞机梯次使用控制研究。

3) “飞行小时数”未能抓住疲劳寿命本质。军用飞机的疲劳损伤(特别是歼击机、歼轰机)主要由飞行员完成各种机动动作引起的载荷变化造成, 载荷变化越大、次数越多, 损伤也就愈大。但“飞行小时数”这一疲劳寿命消耗指标只能表征飞机使用时间长短, 而不能反映飞机载荷大小、变化情况。

4) 对腐蚀因素造成的飞机结构损伤考虑较少。军用飞机的地面停放时间占了整个服役年限的97%以上^[4], 且有大量事实表明: 飞机停放时间越长, 腐蚀情况越严重, 年均飞行较多的腐蚀问题反而较少^[5]。而航空兵部队不仅使用工厂“暂定”的日历寿命, 且还可能出现飞机“集中时间”停放的现象。

1.2 针对性解决方案

由于航空兵部队在数据采集和处理技术等方面的限制, 针对1.1节所述问题, 从部队装备部门工作实际及其可控因素入手, 以部队现有数据或易于采集的数据为基础, 为达到飞机梯次使用控制更为合理化目标, 制定相关解决方案如下:

1) 建立飞机寿命战备储备量^[5]和维修停飞率评价指标。《海军航空机务质量控制工作手册》对这2项指标有明确规定: ①使同型飞机、机上发动机使用到大修时限的平均剩余时间百分比不低于40%; ②保证在同一时间内进行定检停飞的飞机, 不超过在队飞机架数的15%。但由于战争具有“突发性”和“不可单方面操纵性”; 因此, 要求2项指标必须做到“时刻满足”和“同时满足”, 可以某一段时间内同时满足2项指标的天数 T_{d0} 与总天数 T_D 的比值 Q_1 作为该项内容评价指标。

2) 以剩余使用寿命梯次均匀度评价飞机余寿梯次状况。由于《海军航空技术保障法规》只要求飞机的剩余使用寿命成梯次排列, 而没有给出相应的对飞机梯次状况进行评价的标准, 不利于对飞机梯次使用情况进行控制。可以考虑引用文献[1]所述方法, 以表征飞机剩余使用寿命梯次分布均匀程度的指标——“飞机余寿梯次均匀度”, 对飞机余寿梯次状况进行评价, 并指导航空兵部队对飞机的梯次使用情况进行控制。

3) 以特技时间比例一致性评价飞机损伤与疲劳寿命消耗指标同步程度。由于“飞行小时数”指标未能抓住疲劳寿命本质, 导致在飞机使用上可能出现“飞行小时数未到寿, 但飞机疲劳损伤已达大修程度, 继续使用影响飞行安全”或“飞行小时数到寿, 损伤程度远未达到大修程度, 进厂大修造成

浪费”2种不合理的现象; 为此, 考虑将训练课目分为疲劳损伤较小的“航行”课目和疲劳损伤较大的“特技”课目, 并保证各飞机一定的特技时间比例, 即可使“飞行小时数”指标与飞机损伤在一定程度上保持同步, 在减少使用寿命浪费的同时也有利于保证飞行安全。

4) 以飞机停放间隔均匀度评价飞机受地面环境腐蚀的损伤程度。由于飞机在地面腐蚀环境中停放的时间越长, 腐蚀情况越严重, 而年均飞行较多的飞机其腐蚀损伤反而较小; 因此, 可以认为长时间的地面停放是造成飞机腐蚀损伤的主要原因, 避免飞机长时间停放可减少地面环境腐蚀损伤。在飞机年度使用计划一定的情况下, 为避免某些飞机因集中时间停放造成大的腐蚀损伤, 可考虑建立飞机停放间隔均匀度指标进行控制。

5) 以定检大修计划的执行度评价在飞机使用安排上的合理程度。使飞机剩余使用寿命成梯次排列的目的是为了分散各飞机定检、大修等工作的时机。假设航空兵团质控部门已根据年度飞机梯次使用计划和实际飞行情况, 制定了详细、合理可行的年度以及月份定检、大修计划, 且使计划得以执行, 可考虑以定检大修计划的执行情况对飞机使用安排的合理程度进行评价。

2 各评价指标的建立

2.1 使用寿命战备储备量及维修停飞率指标 Q_1

该指标用于对某一段时间内, 同型飞机满足总剩余使用寿命不低于40%以及维修停飞率不高于15%的情况进行评价。该指标主要考虑指定时间段内飞机剩余总寿命不低于40%的天数 T_{d1} , 指定时间段内飞机维修停飞率不高于15%的天数 T_{d2} 。同时满足二者的天数 T_{d0} 可表示为

$$T_{d0} = T_{d1} \cap T_{d2} \quad (1)$$

设: 指定时间段总天数为 T_D , 则飞机战备储备量及维修停飞率指标 Q_1 可表示为

$$Q_1 = \frac{T_{d0}}{T_D} \times 100\% = \frac{T_{d1} \cap T_{d2}}{T_D} \times 100\% \quad (2)$$

由 Q_1 表达式可知, 其值越大, 飞机满足战备要求的情况越好; 反之, 则情况越差。

2.2 剩余寿命梯次均匀度指标 Q_2 ^[1]

该指标用于对某一时刻飞机剩余使用寿命梯次排列均匀状况进行评价。设: 航空兵 \times 团共有 \times 型

飞机 N 架，其平均规定疲劳寿命为 T_h 小时，各飞机剩余使用寿命从小到大依次为 t_1, t_2, \dots, t_N ，令 $\Delta = T_h / N$ 表示各飞机剩余使用寿命的理想间隔，则飞机剩余寿命梯次均匀度指标 Q_2 可表示为

$$Q_2 = \left[1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (t_{i+1} - t_i - \Delta)^2 + (t_1 + T_h - t_n - \Delta)^2}{(n-1)\Delta^2 + (T_h - \Delta)^2}} \right] \times 100\% \quad (3)$$

由 Q_2 的表达式可知，其值越大，则各飞机剩余寿命间隔越均匀地靠近理想间隔，即梯次状况越好，各飞机剩余寿命间隔均等于理想间隔 Δ 时，即 $Q_2=100\%$ ，此时认为梯次状况达到最好；反之，飞机的梯次状况越差；当各飞机剩余寿命完全相等时，即 $Q_2=0$ ，此时认为飞机梯次状况最差或无梯次。

2.3 特技时间比例一致性指标 Q_3

该指标用于对疲劳寿命消耗指标“飞行小时数”与飞机损伤保持同步的程度进行评价，即 Q_3 值越大，各飞机特技时间比例越一致，“飞行小时数”指标越能反映飞机的实际疲劳损伤程度。设：航空兵 \times 团共有 \times 型飞机 N 架，各飞机当前消耗使用寿命中特技时间所占比例依次为 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N$ ，则飞机特技时间比例一致性指标 Q_3 可表示为

$$Q_3 = \left[1 - \frac{S_\beta}{E_\beta + S_\beta} \right] \times 100\% \quad (4)$$

其中： E_β 表示各飞机当前消耗寿命中特技时间比例均值，其数学表达式为

$$E_\beta = \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i}{N} \times 100\% ; \quad (5)$$

S_β 表示特技时间比例样本 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N$ 的标准差，其数学表达式为

$$S_\beta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\beta_i - E_\beta)^2}{N}} \times 100\% \quad (6)$$

2.4 停放间隔均匀度指标 Q_4

该指标用于对某一时间段内飞机因地面停放造成的腐蚀损伤程度大小进行评价。其中 Q_4 值越大，飞机停放间隔(或飞机的使用频率)越均匀，即可认为在同一时间段内，造成腐蚀损伤程度越小；反之， Q_4 值越小，腐蚀损伤程度越大。设：航空兵 \times 团共有 \times 型飞机 N 架，在某一时间段内，第 i 架飞机停放时间超过一周时间的次数为 k_i ，每次的停放天数

依次为 d_1, d_2, \dots, d_k ，借鉴建立 Q_3 指标的方法。则第 i 架飞机的停放间隔均匀度 q_i 可表示为

$$q_i = \left(1 - \frac{S_{d_i}}{E_{d_i} + S_{d_i}} \right) \times 100\% \quad (7)$$

其中 E_{d_i} 和 S_{d_i} 分别表示该时间段内第 i 架飞机停放天数的均值和标准差。取各飞机停放均匀度的均值作为整个机群的停放间隔均匀度；因此，指标 Q_4 的数学表达式为

$$Q_4 = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{N} \times 100\% \quad (8)$$

2.5 定检大修计划执行度指标 Q_5

该指标用于对航空兵部队飞机定检、大修等任务，按计划执行的程度进行评价。其中 Q_5 值越大，说明航空兵装备保障部门在飞机梯次使用上安排越合理；反之，则说明在飞机梯次使用上安排不够不合理，从而导致定检、大修等任务未能按计划执行。设某一时间段内，航空兵 \times 团共有飞机定检、大修等任务 M 项，其中无特殊情况且未按计划执行的有 m 项，则飞机定检大修计划执行度指标 Q_5 可表示为

$$Q_5 = \left(1 - \frac{m}{M} \right) \times 100\% \quad (9)$$

3 各评价指标权重的确定

各评价指标给定后，还需判断其在飞机梯次使用控制中的重要程度，给出相应的权重值，以便进行综合评价。因指标属性多样，笔者以层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)确定各指标的权重，具体过程如下：

1) 构造两两比较判断矩阵。

为了对各指标重要程度两两比较判断的结果进行量化，需要借助表 1 给出的标度定义，根据各标度给定的含义，首先构造综合评价指标体系 5 个指标的重要程度的两两比较判断矩阵。

表 1 判断矩阵标度定义^[6]

标度	含义
1	2 个要素相比，具有同样重要性
3	2 个要素相比，前者比后者稍重要
5	2 个要素相比，前者比后者明显重要
7	2 个要素相比，前者比后者强烈重要
9	2 个要素相比，前者比后者极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间值
倒数	2 个要素相比，后者比前者的重要性标度

通过对飞机使用寿命战备储备量及维修停飞率指标 Q_1 、飞机剩余寿命梯次均匀度指标 Q_2 、飞机

特技时间比例一致性指标 Q_3 、飞机停放间隔均匀度指标 Q_4 以及飞机定检大修计划执行度指标 Q_5 5 个指标的比较判断, 构造的两两比较判断矩阵 A 如表 2 所示。

表 2 5 个指标重要度的两两比较判断矩阵

A	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5
Q_1	1	1/3	1/2	2	3
Q_2	3	1	2	4	5
Q_3	2	1/2	1	3	4
Q_4	1/2	1/4	1/3	1	2
Q_5	1/3	1/5	1/4	1/2	1

2) 方根法确定重要度向量及相对权重^[7]。

AHP 方法中常用重要度向量 w_i 及各指标相对权重 w_i^0 的方法主要有求和法、方根法、特征根法以及最小二乘法 4 种, 这里采用方根法, 数学公式分别如下:

$$w_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}; \quad (10)$$

$$w_i^0 = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}. \quad (11)$$

经计算, 飞机梯次使用控制综合评价指标体系 5 个指标的重要度向量为

$$W = (1, 2.605\ 2, 1.643\ 8, 0.608\ 4, 0.383\ 9)^T,$$

其相对权重为

$$W^0 = (0.16, 0.42, 0.26, 0.10, 0.06)。$$

3) 一致性检验。

由于该评价指标体系有 5 个评价指标, 即 $n=5$, 且经计算 $\lambda_{\max}=5.068$; 因此, 其一致性指标 $C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5.068 - 5}{4} = 0.017$ 。而其对应的平均随机一致性指标 $R.I. = 1.12$, 则可得其一致性比例

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{0.017}{1.12} = 0.015\ 2 \ll 0.1,$$

即通过一致性检验。

4 评价数学模型及使用建议

4.1 评价数学模型

综上所述, 可建立飞机梯次使用控制综合评价数学模型 Q , 其数学表达式为

$$Q = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Q_i. \quad (12)$$

其中: Q 表示飞机梯次使用控制最终分值; Q_i 表示

第 i 个指标所得分值 $i=1, 2, \dots, n$; w_i 表示第 i 个指标的相对权重, 权重向量为 $w = W^0$; n 表示综合指标体系中指标的个数, 在此指标体系中 $n=5$ 。

4.2 使用建议

这 5 项指标的建立主要是基于航空兵部队可控因素考虑的, 较为偏重实际, 在使用时有如下建议:

1) 可以对截止到某一时刻时, 团队某型飞机的梯次使用控制总体情况以及各指标情况进行评价。如: 对截止到 \times 月 \times 日时的飞机梯次使用控制情况进行评价。

2) 可针对当前飞机梯次使用情况, 指导航空兵装备保障部门制定、调整下阶段飞机使用以及定检大修计划。如: 根据上一组飞行日结束后的飞机梯次使用控制情况, 制定下一组飞行日飞机使用计划。

3) 可以通过统计分析固定时间点的评价数据, 对某一时间段内飞机梯次使用控制工作开展情况进行评价。例如: 通过分析一年中每月的评价数据, 分析本年度飞机梯次使用控制工作开展情况。

5 结束语

笔者从航空兵部队可控因素入手, 建立的军用飞机梯次使用控制评价指标, 不仅可以对航空兵部队飞机梯次使用控制状况进行量化评价, 而且在指导航空兵部队在飞机梯次使用上有着重要作用。此外, 评价指标构建及指标权重确定是一个逐步完善的过程, 文中建立的评价指标及给出的权重仍需通过实践不断调整, 以进一步完善。

参考文献:

- [1] 袁辉. 飞机寿命梯次控制的探索与思考[J]. 航空维修工程, 2011(4): 16-17.
- [2] 张乾, 王远达. 飞机梯次使用方法研究[R]. 吉林省第七届科学技术学术年会, 长春: 吉林省科学技术协会, 2012: 241-242.
- [3] 张乾, 王远达. 考虑日历寿命的飞机梯次使用研究[J]. 飞机设计, 2014, 34(1): 33-36.
- [4] 杨茂盛, 杨炳恒, 毕玉泉, 等. 环境条件下军用飞机使用寿命研究[J]. 新技术新工艺, 2012, 3(11): 92-94.
- [5] 陈群志, 房振乾. 飞机结构日历寿命及腐蚀防护研究应关注的问题[J]. 装备环境工程, 2012, 9(6): 72-73.
- [6] 汪应洛. 系统工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 120-126.
- [7] 张杰, 唐宏, 苏凯, 等. 效能评估方法研究[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 23-26.