

某型电子调节器延寿研究方法

李健¹, 司马逸之^{2*}, 李昌范¹, 吴云章¹

(1.陆军航空兵研究所, 北京 101121; 2.陆军航空兵学院, 北京 101123)

摘要: **目的** 针对某型电子调节器疲劳寿命与日历寿命不匹配缺陷, 开展日历寿命研究, 重新调整基准寿命, 以满足产品在下一个翻修周期的使用需求, 缓解当前装备备件紧缺的问题。**方法** 针对电子调节器在使用过程中受综合环境影响和“停-飞-停”的工作特点, 以6件临近或达到日历寿命的产品为试验对象, 开展综合考虑温度、湿度、振动等环境条件的加速试验, 并对试验结果进行验证。**结果** 通过对电子调节器进行768 h (32 d) 地面状态模拟加速试验和7.2 h 振动试验后, 故障率为0。在80%的置信度下, 产品的平均故障间隔 (MTBF) 时间能达到3725 h/27.35 a。**结论** 通过加速试验验证, 电子调节器可延长1500 h/8 a使用寿命, 以满足使用需求。

关键词: 直升机; 电子调节器; 日历延寿; 环境监测; 综合环境谱; 环境加速试验

中图分类号: V241

文献标志码: A

文章编号: 1672-9242(2025)02-0046-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2025.02.006

Research Methodology for Life Extension of a Certain Type of Electronic Regulator

LI Jian¹, SIMA Yizhi^{2*}, LI Changfan¹, WU Yunzhang¹

(1. Army Aviation Research Institute, Beijing 101121, China; 2. Army Aviation School, Beijing 101123, China)

ABSTRACT: In view of the mismatch between the fatigue life and the calendar life of a certain type of electronic regulators, the work aims to study the calendar life and readjust the baseline life, so as to meet the demand for the use of the product in the next refurbishment cycle and alleviate the current shortage of spare parts for the equipment. Aiming at the comprehensive environmental influence and "stop-fly-stop" working characteristics of the electronic regulator in use, six products approaching or reaching the calendar life were selected as the test objects to carry out accelerated tests that took into account the temperature, humidity, vibration and other environmental conditions, and verify the test results. By performing a 768h (32d) ground state simulation acceleration test and a 7.2h vibration test on the electronic regulator, the failure rate was 0, and the product's Mean Time Between Failure (MTBF) time could reach 3725h/27.35 a at 80% confidence level. Accelerated tests verify that the electronic regulator can extend its service life by 1500h/8a to meet the demands of use.

KEY WORDS: helicopter; electronic regulator; calendar life extension; environmental monitoring; integrated environmental spectrum; accelerated environmental test

收稿日期: 2024-08-29; 修订日期: 2024-11-08

Received: 2024-08-29; Revised: 2024-11-08

引文格式: 李健, 司马逸之, 李昌范, 等. 某型电子调节器延寿研究方法[J]. 装备环境工程, 2025, 22(2): 46-51.

LI Jian, SIMA Yizhi, LI Changfan, et al. Research Methodology for Life Extension of a Certain Type of Electronic Regulator[J]. Equipment Environmental Engineering, 2025, 22(2): 46-51.

*通信作者 (Corresponding author)

通常飞机/直升机及其部附件的使用寿命包括疲劳寿命(包括起降次数、飞行小时)和日历寿命 2 项控制指标,任一指标达到阈值都需将其送厂大修或报废退役^[1-7]。某型进口直升机的机体及产品使用寿命采用“Step by Step”模式进行管理,其特点为使用寿命给定比较保守。在使用过程中,根据实际情况,开展一系列延寿试验,重新调整基准寿命^[8-10]。

某型发动机电子调节器(以下简称“电调”)使用寿命为 6 000 h/25 a,根据实际使用情况,在发动机进行第 3 次翻修(翻修周期 8 a,即第 24 a)时,电调的疲劳寿命仅消耗了 50%,剩余的日历寿命已无法满足使用需求。因此,需开展日历寿命研究,重新调整其基准寿命,更好地发挥装备潜能,同时可以为相关机载电子产品日历寿命研究提供研究经验。

国内外研究者为了解电子产品的寿命开展了诸多的研究。文献[11-12]为预测贮存状态下电子产品的剩余寿命,综合考虑了贮存环境状态,建立了综合环境谱,采用加速试验的方法,成功预测了贮存状态电子产品的剩余寿命。文献[13-14]对传统加速试验方法在机载电子产品全寿命周期中的应用现状进行了分析,并基于机载电子产品特点,提出了新型可靠性加速试验方法,缩短了电子产品寿命试验的试验时间。文献[15]通过数值示例分析了加速寿命试验对提高电子产品可靠性的重要性。文献[16-17]针对传统加速寿命试验难以获取电子产品失效数据的问题,采用极大似然估计的方法对当前高集成、高可靠和长寿命的新型电子产品可靠性进行了评价和预测。

以上研究表明,当前对电子类产品寿命研究的主体方法是在不改变其失效机理的情况下,将其置于使用时的应力环境中开展加速试验来激发产品缺陷,并采用工程分析的手段对产品的可靠性进行评估和预测。本文在产品缺少设计输入的情况下,在传统的加速试验基础上,结合对使用期间失效模式分析和环境影响因素的分析与测量,针对载体振动和温度特性比较突出的使用特点,开展加速寿命试验,以期在短时间内完成可靠性评估,重新调整基准寿命。

1 产品概况及失效模式

某型电调为纯电子产品,其内部电路板主要由集成电路、电阻、电容、二极管、三极管、晶振、继电器等元器件构成,如图 1 所示。其基本功能为:根据发动机进气口温度、压力等参数,对发动机压气机涡轮转速进行调节;单发工作时,发出应急功率状态指令;当自由涡轮转速达到极限时,接通报警信号灯,并发出停车指令;电调自身出现故障时,发出切断电调的信号。



图 1 某型电子调节器内部结构
Fig.1 Internal structure of a certain type of electronic regulators

通过对 387 台电调的 645 条故障数据进行统计和分析,发现其平均故障率随着使用年限的增加,呈现递减趋势(如表 1、图 2 所示)。在分析中发现,由于其内部无机械运动部件的特点,不存在机械磨损、非金属材料变质等问题,导致故障的原因均为电子元件故障和电调的三防措施失效,故障现象主要为电调故障灯亮、自由涡轮回路故障、电调不工作、接通电源时所有指示灯都亮、接插头损坏等。2017—2022 年电调故障情况如图 3 所示。

表 1 电子调节器日历平均故障率计算结果
Tab.1 Calculation result of average failure rate of electronic regulators

截止时 间/d	寿命单位总 数/d	故障总数 /个	平均故障率 /(个·d ⁻¹)
2 920	1 199 884	20	0.000 016 7
5 840	2 165 678	33	0.000 015 2
8 760	2 560 856	38	0.000 014 8

对电调开展故障率统计,故障率为工作到 t 时刻尚未失效的产品。在该时刻后,单位时间内产品发生失效的频率,通常记为 $\lambda(t)$,即 $\tilde{\lambda}(t) = \frac{\Delta n}{\Delta t [N - n(t)]}$ 。

以工作时间间隔进行修理的翻修周期为 1 500 h,故按 1 500 h 区分进行工作故障率分析,计算结果见表 2。由历史数据分析结果可知,电调在使用和工作过程中故障率波动不大。

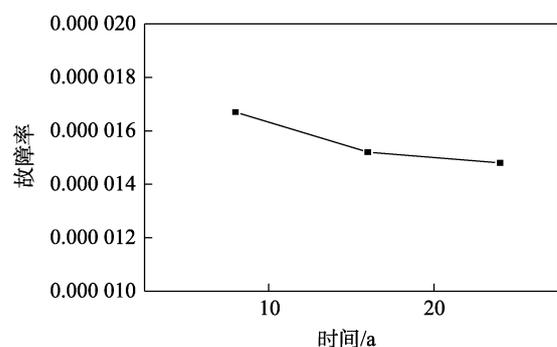


图 2 电子调节器使用平均故障率变化趋势
Fig.2 Trend of average failure rate in use of electronic regulators

表 2 电子调节器工作平均故障率计算结果
Tab.2 Calculated mean failure rate of electronic regulators in operation

截止时间/h	寿命单位总数/h	故障总数/个	故障率/(个·h ⁻¹)
1 500	482 297	20	0.000 041 5
3 000	643 905	28	0.000 043 5

根据电调实际服役条件,了解其工作分为地面停放状态、地面工作状态和飞行工作状态。地面停放状态下,影响电调性能正常发挥的外界环境因素有温

度、湿度、大气污染物(氯离子、二氧化硫、二氧化氮等)、气压、风(与散热有关)等各种自然环境因素;地面工作状态和空中工作下,电调除了受到以上外界环境影响外,发动机工作导致的高温和振动也会在在一定程度上影响电调的寿命。

文献[18]研究发现,机载电子产品的故障中,60%由温、湿度引发,27%由振动因素引发。结合前文故障情况分析可知,电调在实际使用过程中,在停放状态下受到的主要影响因素为温度、湿度、压力和风,在工作状态下受到的大气环境温度、发动机机舱温度产生的叠加高温和振动影响。

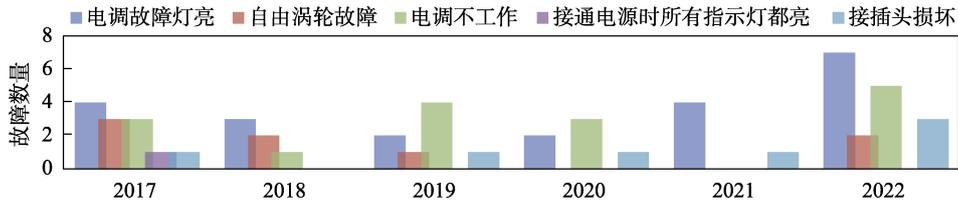


图 3 电子调节器故障统计
Fig.3 Statistical chart of electronic regulator failures

2 试验

电调实际使用状态为停放-工作-停放,由于不同状态所占的时间与使用寿命具有对应关系^[19-22],因此针对各状态的使用时间和影响因素分别建立地面环境谱和工作环境谱,开展加速试验来进行电调日历寿命研究。

2.1 试验方案

梳理前期得到的故障率变化曲线,对全部数据进行分布检验。对其在服役寿命期内工况进行分析,按照地面停放状态和工作状态设计实验室模拟加速环境谱,选出产品信息和历史故障数据清晰的 6 件到寿样品,进行加速寿命试验。通过将实验室模拟加速试验结果与历史故障数据分析结果进行对比分析,验证使用寿命评估结果,并最终给出电调继续使用 1 个翻修周期(1500 h/8 a)的故障率和可靠度。

2.2 环境谱编制

对 2 架直升机实际使用的 4 个电调节进行外部温湿度、内部温度和地面振动的持续监测并进行分析,得到监测时段内地面停放状态数据如下:

地面停放状态:当地最高温度为 35.8℃;电调外部最高温度为 45.2℃;电调内部最高温度为 42.6~53.0℃;外场环境下电调外部最高相对湿度为 88%,最低为 47%。

地面工作状态:电调外部湿度随工作时间延长不断降低,最低相对湿度为 12%~34%;持续稳定工作段内,电调在垂直方向的最大加速度约为 1g。

通过分析以上测得数据,得出结论表明:地面工

作状态下,监测时段内电调内部处于高温低湿状态;持续稳定工作段内,电调在垂直方向的振动加速度波动较小,符合 GJB 150.16A^[23]中关于“直升机的振动环境基本上是正弦振动”的相关论述。

2.3 飞行状态下振动谱

根据 GJB 150.16A 第 A.2.3.4 第 14 类——旋翼飞机——直升机——A.2.3.4.7 振动暴露持续时间中的要求规定:用测量数据确定振动暴露量级时,应从寿命周期环境剖面中选取振动持续时间。如果振动暴露量级是从表 3 及图 4 中获得的,则沿 3 个正交轴的每个轴向试验时间取 4 h,总试验时间为 12 h,相当于 2 500 h 的使用寿命。

将 2 500 h 振动暴露量级试验时间按照 1 500 h 的实际工作时间(1 个翻修间隔)对振动试验持续时间进行等比例折算,得到在 1 500 h 使用寿命的情况下,沿 3 个正交轴的每个轴向试验时间为 2.4 h,总试验时间为 7.2 h。

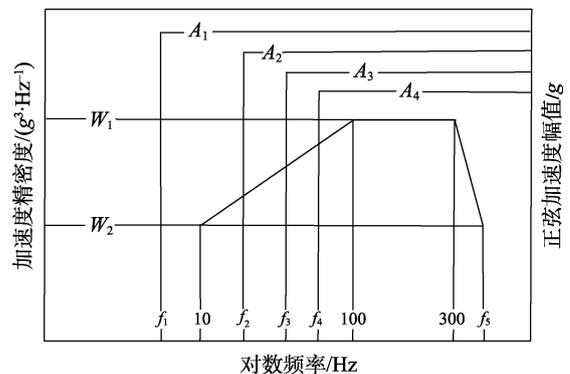


图 4 直升机振动环境
Fig.4 Helicopter vibration environment

表 3 直升机不同区域的振动量值 ($W_0=0.001 0 g^2/Hz$)
Tab.3 Vibration measurements in different areas of helicopter ($W_0=0.001 0 g^2/Hz$)

装备位置	随机量级	振源频率 f_x 范围/Hz	在 f_x 处的加 速度峰值/g
一般区域	$W_0=0.001 0 g^2/Hz$ $W_0=0.010 g^2/Hz$ $f_i=500 Hz$	3~10	0.70/(10.7- f_x)
		10~25	0.10× f_x
		25~40	2.50
		40~50	6.50~0.10× f_x
		50~500	1.5
仪表盘	$W_0=0.001 0 g^2/Hz$ $W_0=0.010 g^2/Hz$ $f_i=500 Hz$	3~10	0.70/(10.7- f_x)
		10~25	0.070× f_x
		25~40	1.750
		40~50	4.550~0.070× f_x
		50~500	1.050

2.4 综合环境试验谱

根据文献[24-25]对电调在不同地域服役时的温度、湿度和气压等环境因素监测数据, 参照 GJB 150.2-5A—2009 中温度、湿度和低气压试验的相关规定, 参考前期直升机地面停放状态下环境温度、湿度实测结果, 设计如图 5 所示的“温度-湿度-气压-风”四因素综合环境试验谱。试验谱根据高温高湿、低温低湿、低气压等不同环境特点, 每 4 h 为 1 个循环, 每 24 个小循环 (4 d) 构成 1 个大循环。试验所施加的环境因素量值循环变化, 每 1 个大循环为 1 个试验周期。试验以 1 个大循环的加速试验等效地面停放 1 a, 通过 8 个循环 (32 d) 模拟 8 a 的地面停放状态。

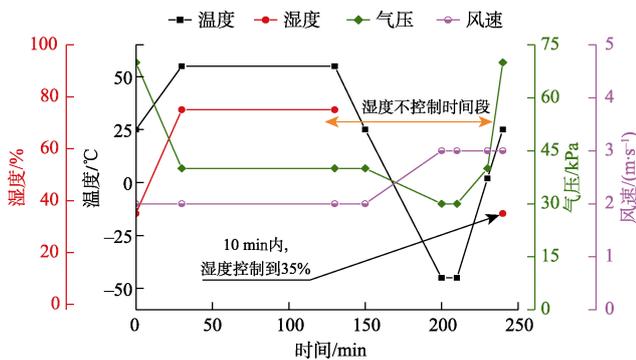


图 5 温度-湿度-气压-风四因素综合环境试验谱
Fig.5 Temperature-humidity-barometric pressure-wind four-factor integrated environmental test spectrum

2.5 试验结果

通过 7.2 h 的振动试验和 32 d 的“温度-湿度-气压-风”四因素综合环境试验, 模拟了电调在 1 个翻修间隔期内 1 500 h 工作状态下的振动、温度等因素对电调的影响, 以及 8 a 地面停放状态下的温度、湿度、气压等因素对电调的影响。进行试验的 6 件产品信息和历史故障数据清晰的到寿样品试验品均未出现任何故障, 可认为在试验期间故障率为 0。

3 结果验证

根据电调故障情况可知, 无故障样品的工作截止时间没有固定规律, 可视为随机截尾数据。针对随机截尾数据, 样品寿命服从指数分布情况下, 平均故障间隔 (t_{MTBF}) 的极大似然估计为^[26-28]:

$$t_{MTBF} = \frac{T}{r}$$

式中: r 为失效数; $T = \sum_i^r t_i + \sum_j^k \tau_j$, t_i 为第 i 个样品的失效时间, τ_j 为第 j 个样品的工作截止时间。

对指数分布参数进行区间估计, 可构造枢轴量如下:

$$H = \frac{2T}{t_{MTBF}} \sim \chi^2(2r)$$

由此可得 t_{MTBF} 的置信度为 C 的置信区间:

$$\left[\frac{2T}{\chi^2\left(\frac{1-c}{2}, 2r+2\right)}, \frac{2T}{\chi^2\left(\frac{1+c}{2}, 2r+2\right)} \right]$$

单侧置信下限为:

$$\left[\frac{2r}{\chi^2(1-c, 2r+2)}, \infty \right]$$

代入 7.2 h 的振动试验和 32 d 的综合环境试验结果, 对数据分布参数进行估计。由于无失效数据, 故采用 80% 置信下限估计 t_{MTBF} 。

$$\text{疲劳寿命: } t_{MTBF,L1} = \frac{2T}{\chi^2(1-c, 2r+2)} = 3\ 728\ \text{h},$$

$$\text{日历寿命: } t_{MTBF,L2} = \frac{2T}{\chi^2(1-c, 2r+2)} = 27.35\ \text{a}。$$

4 结论

本文考虑电调实际使用时的综合环境因素情况, 并根据寿命周期的使用特点, 开展了加速试验, 得出以下结论:

1) 电调日期到寿后, 在 80% 的置信度下, 确定产品的平均故障间隔可达 3 725 h/27.35 a, 重进校准后的使用寿命可以满足翻修后对该产品寿命延长 1 个翻修周期即 1 500 h/8 a 使用寿命的需求。

2) 通过对地面停放、工作状态以及综合环境谱的分析设计, 证明该加速试验能够较好地符合实际工况, 可为后续相关机载电子产品加速试验环境谱运用提供经验。

3) 本文针对日历寿命到寿件的环境加速试验开展的使用寿命评估, 能在短时间内评估相关电子产品高可靠性指标要求, 同时实现加速因子的可靠可控。

参考文献:

- [1] 毕亚萍, 张腾, 何宇廷, 等. 基于寿命包线的飞机典型搭接结构腐蚀疲劳寿命预测[J]. 北京航空航天大学学报, 2023, 49(8): 2200-2206.
BI Y P, ZHANG T, HE Y T, et al. Corrosion and Fatigue Life Prediction of Aircraft Typical Lap Structures Based on Life Envelope[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2023, 49(8): 2200-2206.
- [2] 李玉海, 王成波, 陈亮, 等. 先进战斗机寿命设计与延寿技术发展综述[J]. 航空学报, 2021, 42(8): 525791.
LI Y H, WANG C B, CHEN L, et al. Overview on Development of Advanced Fighter Life Design and Extension Technology[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2021, 42(8): 525791.
- [3] 高长宝. 飞机结构使用寿命评定技术研究[J]. 中国设备工程, 2021(3): 200-201.
GAO C B. Research on the Evaluation Technology of Aircraft Structure Service Life[J]. China Plant Engineering, 2021(3): 200-201.
- [4] 李连, 刘清, 苏涛, 等. 军用飞机寿命指标使用及控制分析[J]. 兵工自动化, 2016, 35(7): 11-15.
LI L, LIU Q, SU T, et al. The Usage and Control Analyzed of Military Aircraft Life Indicator[J]. Ordnance Industry Automation, 2016, 35(7): 11-15.
- [5] 张腾, 何宇廷, 张海威, 等. 基于寿命包线的飞机金属结构寿命预测方法[J]. 南京航空航天大学学报, 2014, 46(3): 413-418.
ZHANG T, HE Y T, ZHANG H W, et al. Life Prediction Method for Aircraft Metal Structures Based on Life Envelope[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2014, 46(3): 413-418.
- [6] 陈群志. 典型飞机结构日历寿命评定方法与延寿技术研究[R]. 沈阳: 中国科学院金属研究所, 2005.
CHEN Q Z. Research on Calendar Life Evaluation Method and Life Extension Technology for Typical Aircraft Structures[R]. Shenyang: Institute of Metals, Chinese Academy of Sciences, China, 2005.
- [7] 陈跃良, 吕国志, 段成美. 飞机服役寿命预测技术进展及若干问题[J]. 飞机设计, 2001, 21(3): 16-21.
CHEN Y L, LYU G Z, DUAN C M. Advanced and Some Problems of Predictive Technique for Service Life of Aircraft[J]. Aircraft Design, 2001, 21(3): 16-21.
- [8] 崔德刚, 鲍蕊, 张睿, 等. 飞机结构疲劳与结构完整性发展综述[J]. 航空学报, 2021, 42(5): 524394.
CUI D G, BAO R, ZHANG R, et al. Development of Aircraft Structural Fatigue and Structural Integrity: Review[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2021, 42(5): 524394.
- [9] 何宇廷. 飞机结构寿命控制原理与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2017: 16-23.
HE Y T. Principle and Technology of Aircraft Structure Life Control[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2017: 16-23.
- [10] 焦志强, 舒成辉. 飞机结构完整性设计思想的发展和标准的演变[J]. 航空标准化与质量, 2010(1): 21-24.
JIAO Z Q, SHU C H. Development of Aircraft Structure Integrity Design Concept and the Evolvement of the Standards[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2010(1): 21-24.
- [11] 代永德, 栾家辉, 韩慧超, 等. 某型电子产品贮存寿命加速退化试验方法研究[J]. 机电技术, 2021, 44(6): 12-14.
DAI Y D, LUAN J H, HAN H C, et al. Research Progress on Accelerated Testing of Airborne Electronic Products[J]. Mechanical & Electrical Technology, 2021, 44(6): 12-14.
- [12] 秦强, 张生鹏. 综合环境条件下电子装备贮存寿命加速试验方法研究[J]. 装备环境工程, 2019, 16(3): 81-87.
QIN Q, ZHANG S P. Accelerated Storage Test of Electric Equipment under Integrated Environmental Stresses[J]. Equipment Environmental Engineering, 2019, 16(3): 81-87.
- [13] 李军亮, 贺英政, 王正, 等. 机载电子产品加速试验研究进展[J]. 海军航空大学学报, 2022, 37(3): 277-283.
LI J L, HE Y Z, WANG Z, et al. Progress in Accelerated Test of Airborne Electronic Products[J]. Journal of Naval Aviation University, 2022, 37(3): 277-283.
- [14] 袁泽谭, 樊西龙, 赵晓东. 机载电子产品可靠性定量加速增长试验技术[J]. 航空工程进展, 2017, 8(1): 98-104.
YUAN Z T, FAN X L, ZHAO X D. Reliability Quantitative Accelerated Growth Test Technology of Airborne Electronic Equipment[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2017, 8(1): 98-104.
- [15] SUHIR E. What could and should Be done Differently: Failure-Oriented-Accelerated-Testing (FOAT) and Its Role in Making an Aerospace Electronics Device into a Product[J]. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2018, 29(4): 2939-2948.
- [16] 赵新超, 吕卫民, 杨立峰. 基于故障机理与随机线性模型的电子产品寿命预测[J]. 兵工自动化, 2019, 38(7): 52-55.
ZHAO X C, LYU W M, YANG L F. Life Prediction of Electronic Products Based on Fault Mechanism and Stochastic Linear Degradation Model[J]. Ordnance Industry Automation, 2019, 38(7): 52-55.
- [17] TYOSKIN O I, KRIVOLAPOV S Y. Nonparametric Model for Step-Stress Accelerated Life Testing[J]. IEEE Transactions on Reliability, 1996, 45(2): 346-350.
- [18] 张鑫, 韩建立, 张信明, 等. 航空电子设备加速可靠性试验有限元分析应用进展[J]. 装备环境工程, 2021, 18(9): 27-34.
ZHANG X, HAN J L, ZHANG X M, et al. Progress in Finite Element Analysis of Accelerated Reliability Test for Avionics[J]. Equipment Environmental Engineering, 2021, 18(9): 27-34.
- [19] 李斌, 董丽虹, 王海斗, 等. 航空航天铝合金腐蚀疲劳研究进展[J]. 表面技术, 2021, 50(7): 106-118.
LI B, DONG L H, WANG H D, et al. Research Progress on Corrosion Fatigue of Aerospace Aluminum Alloy[J].

- Surface Technology, 2021, 50(7): 106-118.
- [20] 李旭, 刘聪, 周堃, 等. 机载产品日历寿命定寿方法研究进展及展望[J]. 装备环境工程, 2021, 18(10): 39-44.
LI X, LIU C, ZHOU K, et al. Research Progress and Prospect of Determination for Calendar Life of Airborne Products[J]. Equipment Environmental Engineering, 2021, 18(10): 39-44.
- [21] 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): 72-77.
CHEN Q Z, FANG Z Q. Consideration on Some Calendar Life and Corrosion Protection Questions of Aircraft Structures[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(6): 72-77.
- [22] 陈群志, 吴志超. “飞-停” 比对飞机使用寿命消耗的影响研究[J]. 装备环境工程, 2012, 9(1): 1-4.
CHEN Q Z, WU Z C. Effect of Flying-Grounding Ratio on Service Life of Aircraft[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(1): 1-4.
- [23] 中国人民解放军总装备部. 军用装备实验室环境试验方法 第16部分: 振动试验: GJB 150.16A—2009[S].北京: 中国标准出版社, 2009.
General Equipment Department of the People's Liberation Army of China. Laboratory environmental test methods for military materiel. Part 16: Vibration test: GJB 150.16A—2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [24] 李健, 吴云章. 某型发动机部分成附件日历寿命延寿技术方案[R]. 北京: 陆军航空兵研究所, 2020.
LI J, WU Y Z. Technical Proposal for Calendar Life Extension of Certain Engine Components and Accessories[R]. Beijing: Army Aviation Research Institute, 2020.
- [25] 吴云章, 沈军, 钟勇, 等. 内陆湿热地区机场环境谱编制[J]. 装备环境工程, 2020, 17(6): 101-106.
WU Y Z, SHEN J, ZHONG Y, et al. Compilation of Airport Environmental Spectrum in Hot and Humid Inland Areas[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(6): 101-106.
- [26] 张良勇, 董晓芳. 排序集抽样下随机截尾数据的平均寿命估计[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2022, 42(2): 113-117.
ZHANG L Y, DONG X F. Estimation of Mean Life for Random Truncated Data under Ranked Set Sampling[J]. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 2022, 42(2): 113-117.
- [27] 成克强, 李小兵, 潘广泽, 等. 基于最小误差准则的加速退化数据优化处理方法[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2017, 35(2): 10-14.
CHENG K Q, LI X B, PAN G Z, et al. Accelerated Degradation Test Data Optimization Analysis Method Based on Minimum Deviation Criterion[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2017, 35(2): 10-14.
- [28] 高丽娜, 赵领. 温度应力下基于步进加速退化试验的电子器件寿命预测[J]. 电子元件与材料, 2014, 33(6): 72-76.
GAO L N, ZHAO L. Life Prediction of Electronic Equipments Based on Step-Stress Accelerated Degradation Test under Temperature Stress[J]. Electronic Components and Materials, 2014, 33(6): 72-76.