

RJ-1 溶剂型飞机清洗剂应用研究

姜国杰, 杨勇进, 孙志华, 汤智慧, 刘波

(中航工业北京航空材料研究院 航空材料先进腐蚀与防护航空科技重点实验室, 北京 100095)

摘要: 目的 研究RJ-1溶剂型飞机清洗剂应用于飞机维护/维修的有效性。方法 参照MIL-PRF-32295的要求及测试方法,对自主研发的RJ-1溶剂型飞机清洗剂的理化性能、使用性能、对飞机上金属材料的腐蚀性以及与非金属材料的相容性进行了评价。结果 RJ-1溶剂型飞机清洗剂闪点在60℃以上,使用、运输和贮存安全;清洗效率不低于90%,并且干燥时间短,无残留;对飞机上钢、铜、铝、镁等多种金属材料有良好缓蚀作用,不会导致金属产生腐蚀;与飞机表面涂层、有机玻璃、绝缘导线、橡胶、密封剂等非金属材料相容性良好。结论 RJ-1溶剂型飞机清洗剂满足飞机清洗的要求,可以应用于飞机维护/维修。

关键词: 清洗剂; 维护/维修; 溶剂型; 安全

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.04.027

中图分类号: TJ86; TB304 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2015)04-0142-04

Application Research on RJ-1 Non-aqueous Aircraft Cleaner

JIANG Guo-jie, YANG Yong-jin, SUN Zhi-hua, TANG Zhi-hui, LIU Bo

(Key Laboratory of Science and Technology on Advanced Corrosion and Protection for Aviation Material, AVIC Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

ABSTRACT: Objective To study the validity of the RJ-1 non-aqueous aircraft cleaner applied in aircraft maintenance/repair. **Methods** Referring to the requirements and measuring methods from the American military specification of MIL-PRF-32295, the physical-chemical properties, performing characteristics, prohibition for aircraft metals, as well as compatibility with non-metal materials of the RJ-1 non-aqueous aircraft cleaner developed by ourselves were evaluated. **Results** The flash point of the RJ-1 non-aqueous aircraft cleaner was above 60 °C, and it is safe to use, transfer and store. The cleaning efficiency of the cleaner was not lower than 90%. It was easy to dry and didn't leave any nonvolatile residue. The cleaner effectively inhibited corrosion of metal materials, and would not cause corrosion of aircraft metals. Moreover, it was satisfactorily compatible with non-metal materials such as surface coatings of the aircraft, acrylic plastics, insulated wire, rubber and sealant. **Conclusion** The RJ-1 non-aqueous aircraft cleaner satisfies the requirements of aircraft cleaning, and can be applied in the aircraft maintenance/repair.

KEY WORDS: cleaner; maintenance/repair; non-aqueous; safe

收稿日期: 2015-05-08; 修订日期: 2015-06-17

Received: 2015-05-08; Revised: 2015-06-17

作者简介: 姜国杰(1985—),男,河南人,博士,工程师,主要研究方向为清洗剂、缓蚀剂及表面防护。

Biography: JIANG Guo-jie (1985—), Male, from Henan, Ph.D., Engineer, Research focus: cleaners, corrosion inhibiting compounds, and surface protection.

随着军用以及民用飞机使用时间的变长,飞机在空中飞行和停放过程中的污染变得越发严重和频繁。飞机的污染不仅影响飞机内外表面的美观,而且容易引发飞机的腐蚀,造成飞机性能降低和使用寿命缩短等问题。美国波音公司从1986年6月到1989年5月,先后对26个国家48家航空公司的76架已到寿波音飞机进行大规模的调研,并对两架老龄(已使用18年以上)飞机进行彻底的拆卸分解、检查,发现在飞机上普遍存在腐蚀现象,尤其是维护保养不到位的飞机腐蚀更是相当严重。在飞机的维护保养中,对飞机的清洁和涂防腐剂是较关键的两项工作^[1-3]。通常情况下,清洁比检查以及涂防腐剂更费工时,因此,使用飞机清洗剂的飞机清洗技术作为最基础的飞机日常维护手段,已在海外得到广泛应用。

参照美军标的要求,国内相关科研单位研制了多种类型的飞机及发动机清洗剂产品^[6-9],其性能与国外同类产品水平相当。大多研制的清洗剂均为水基清洗剂,使用后需用水漂洗^[10]。近年来,随着清洗剂使用范围的拓展,对可自然挥干、无残留的安全高效溶剂型飞机清洗剂提出了需求,用以解决汽油等传统洗涤溶剂使用安全性差、清洗效果不佳等缺点。针对该需求,某课题组成功研制了RJ-1溶剂型飞机清洗剂,由溶剂、助剂、缓蚀剂等多种组分复配而成。RJ-1溶剂型飞机清洗剂的应用范围不仅包括飞机日常维护中零部件、飞机内部不易采用水基清洗剂的部位、重油污区域以及破损涂层的清洗,而且包括飞机维修中整机、零部件和部附件的清洗。为检验RJ-1溶剂型飞机清洗剂应用于飞机维护/维修的有效性,参照MIL-PRF-32295^[11]的要求及测试方法,对自主研发的RJ-1溶剂型飞机清洗剂的理化性能、使用性能、对飞机上金属材料的腐蚀性以及与非金属材料的相容性进行了全面评价。

1 实验

参照MIL-PRF-32295的要求及测试方法对RJ-1溶剂型飞机清洗剂的各项性能进行测试。对有相应国内标准的测试项目按照国内标准进行测试,对没有相应国内标准的测试项目按照国外标准进行测试;外观测试采用目视法;酸值测试采用GB/T 7304^[12]方法;闪点测试采用GB/T 261^[13]方法;酚含量测试采用SH/T 0120^[14]方法;氯含量测试按照GJB 2841^[15]的规定进行;清洗效率、对非涂漆表面的影响、低温稳定性、加速贮存稳定性、全浸腐蚀、对镉-钛镀层的腐

蚀、缝隙腐蚀、氢脆、对漆层表面的影响、对有机玻璃的影响以及对绝缘导线的影响测试按照GJB 5974^[16]的规定进行;干燥时间、非挥发性残留物、对镉镀层的腐蚀及钛合金应力腐蚀测试按照美军标MIL-PRF-32295的规定进行;铜腐蚀测试采用GB/T 5096^[17]方法;对橡胶的影响和对密封剂的影响测试按照GJB 4080^[18]的规定进行。

2 结果

2.1 理化性能

RJ-1溶剂型飞机清洗剂的理化性能直接决定了其质量的好坏。实验结果表明,RJ-1溶剂型飞机清洗剂为无色均匀透明溶液(如图1所示);酸值较小,接近中性(0.001 mgKOH/g);闭口闪点大于60℃(61℃),储存、运输及使用较为安全;不含酚和氯($\leq 0.5 \mu\text{g/g}$),对人体无毒害,对大气臭氧层无破坏,无污染,环境友好。



图1 RJ-1溶剂型飞机清洗剂样品

Fig.1 Sample of RJ-1 non-aqueous aircraft cleaner

2.2 使用性能

RJ-1溶剂型飞机清洗剂的使用性能是决定其能否使用的最基本性能,实验结果见表2。结果表明:RJ-1溶剂型飞机清洗剂对两种类型人造油污(油污成分见表2)都有比较好的清洗效果,清洗效率均不低于90%,说明对普通油污和润滑油、液压油等顽固油污均有很好的清洗能力。该清洗剂对未涂漆的7A04-T6包铝合金和TC4钛合金表面无影响,试片浸清洗剂表面与未浸表面无明显差别,均无条纹、斑点。清洗剂在50 min内可完全挥干,符合MIL-PRF-32295的技术指标要求,并且基本无非挥发性残留物,不需漂洗、擦拭等后续处理,使用方便。另外,RJ-1溶剂型飞机清洗剂具有优良的低温稳定性和加速贮存稳定性,

在-18℃不结冰,加速贮存不分层,不明显影响清洗效率,稳定性良好。

表1 使用性能实验结果

Table 1 Results of performing properties

实验项目	实验材料	实验结果
清洗效率	I型油污	100%
	II型油污	90%
对非涂漆表面的影响	7A04-T6包铝	浸清洗剂表面与未浸表面无明显差别,无条纹、斑点
	TC4钛合金	浸清洗剂表面与未浸表面无明显差别,无条纹、斑点
干燥时间	/	不超过50 min
非挥发性残留物	/	2 mg/100 mL
低温稳定性	/	-18℃不结冰,恢复至室温,溶液均匀,不分层
加速贮存稳定性	45钢	清洗剂不分层,钢试样不腐蚀。加速试验后清洗效率 I型油污98%, II型油污89%

表2 人造油污组成

Table 2 Composition of artificial greasy dirt

油污类型	组分	质量分数/%
I型油污	碳黑	35
	工业凡士林	35
	15号机油	30
II型油污	碳黑	10
	15号航空液压油	90

2.3 对飞机上金属材料的腐蚀性

RJ-1溶剂型飞机清洗剂能否应用于飞机维护/维修还取决于其对飞机上金属材料的腐蚀性,实验结果见表3。结果表明:RJ-1溶剂型飞机清洗剂对铝合金、钛合金、钢及镁合金等飞机上常用金属材料有良好的缓蚀作用,全浸腐蚀试验中各金属试样质量变化值均比MIL-PRF-32295的技术指标规定值小1~2个数量级,并且对结构钢上镉镀层和镉-钛镀层也无任何腐蚀。另外,RJ-1溶剂型飞机清洗剂不会导致2A12-T4包铝和裸铝、7A04-T6包铝和裸铝等铝合金发生缝隙腐蚀或变色,也不会导致超高强度钢产生氢脆断裂或钛合金产生应力腐蚀。在铜腐蚀试验中,铜试样未发生任何腐蚀。

表3 对飞机上金属材料的腐蚀性实验结果

Table 3 Results of prohibition for aircraft metals

实验项目	实验材料	实验结果
全浸腐蚀	7A04-T6裸铝合金	无明显变化,-0.000 9 mg/(cm ² ·24 h)
	TC4钛合金	无明显变化,+0.000 4 mg/(cm ² ·24 h)
	45号碳钢	无明显变化,-0.004 0 mg/(cm ² ·24 h)
	MB2镁合金	颜色均匀变浅,-0.019 3 mg/(cm ² ·24 h)
对镉镀层的腐蚀	30CrMnSiA 镀镉	-0.008 5 mg/(cm ² ·24 h)
对镉-钛镀层的腐蚀	30CrMnSiA 镀镉-钛	-0.005 5 mg/(cm ² ·24 h)
缝隙腐蚀	2A12-T4包铝	无可见腐蚀及变色
	7A04-T6包铝	无可见腐蚀及变色
	2A12-T4裸铝	无可见腐蚀及变色
	7A04-T6裸铝	无可见腐蚀及变色
氢脆	40CrNi2Si2MoVA	浸在清洗剂中的3根氢脆试棒均大于150 h不断
钛合金应力腐蚀	TC4钛合金	在500倍显微镜下观察无任何微裂纹
铜腐蚀	纯度大于99.9%的铜	和原试片颜色基本一致,1a级

2.4 与非金属材料的相容性

RJ-1溶剂型飞机清洗剂与非金属材料的相容性极大影响其在飞机维护/维修中的应用范围,实验结果见表4。结果表明:RJ-1溶剂型飞机清洗剂与飞机上常用漆层的相容性良好,不会导致漆膜表面铅笔硬度、光泽度和附着力发生变化,也不会降低隐身涂层的反射率。RJ-1溶剂型飞机清洗剂也不会导致航空有机玻璃产生银纹或绝缘导线产生裂纹、漏电。另外,RJ-1溶剂型飞机清洗剂对飞机上常用橡胶和密封剂的表面邵氏A硬度和拉伸强度无显著影响。

3 结语

RJ-1溶剂型飞机清洗剂闪点在60℃以上,使用、运输和贮存安全。清洗效率不低于90%,并且干燥时间短,无残留。对飞机上钢、铜、铝、镁等多种金属材料有良好缓蚀作用,不会导致金属产生腐蚀。与飞机表面涂层、有机玻璃、绝缘导线、橡胶、密封剂等非金

表4 与非金属材料的相容性实验结果

Table 4 Results of compatibility with non-metal materials

实验项目	实验材料	实验结果
对漆层表面的影响	H06-101H 锌黄环氧底漆	表面硬度、光泽度和附着力无变化
	TB06-9 丙烯酸聚氨酯底漆	表面硬度、光泽度和附着力无变化
	S04-101H 丙烯酸聚氨酯磁漆	表面硬度、光泽度和附着力无变化
	TS96-71 含氟聚氨酯面漆	表面硬度、光泽度和附着力无变化
	WAT 隐身涂料	表面硬度、光泽度和反射率无变化
对有机玻璃的影响	YB-3 航空非定向浇铸有机玻璃	加载 8 h 无银纹
	YB-DM-11 航空定向拉伸有机玻璃	加载 8h 无银纹
对绝缘导线的影响	AF250 氟塑料导线	无漏电,无裂纹
	FY1-2 聚酰胺导线	无漏电,无裂纹
对橡胶的影响	5860 丁腈橡胶	表面硬度和拉伸强度无变化
	FX-5 氟橡胶	表面硬度和拉伸强度无变化
对密封胶的影响	HM109 聚硫密封胶	表面硬度和拉伸强度无变化
	HM301 有机硅密封胶	表面硬度和拉伸强度无变化

属材料相容性良好。因此,RJ-1 溶剂型飞机清洗剂满足飞机清洗的要求,可以代替汽油等低闪点溶剂应用于飞机维护/维修,实现飞机清洗的安全性和高效性。RJ-1 溶剂型飞机清洗剂已在解放军某大修厂应用于歼轰-7 飞机维修中整机和部附件的清洗,使用效果良好,进一步证明了其应用于飞机维护/维修的有效性。

参考文献:

- [1] 陈跃良,王安东,卞贵学,等. 海军某型飞机表面清洗技术[J]. 清洗世界,2014,30(4):1—6.
CHEN Yue-liang, WANG An-dong, BIAN Gui-xue, et al. Exterior Washing Technology of Navy Aircraft[J]. Cleaning World,2014,30(4):1—6.
- [2] 陈群志,王逾涯,崔常京,等. 老龄飞机结构的腐蚀问题与对策[J]. 装备环境工程,2014,11(6):1—9.
CHEN Qun-zhi, WANG Yu-ya, CUI Chang-jing, et al. Corrosion Problems and Countermeasures of the Aging Aircraft[J]. Equipment Environmental Engineering,2014,11(6):1—9.
- [3] 孙志华,汤智慧,李斌. 海洋环境服役飞机的全面腐蚀控制[J]. 装备环境工程,2014,11(6):35—39.
SUN Zhi-hua, TANG Zhi-hui, LI Bin. Comprehensive Corrosion Control of Naval Aircraft[J]. Equipment Environmental Engineering,2014,11(6):35—39.
- [4] 高延达,李健,李宗原,等. 浅析直升机的外场腐蚀防护[J]. 装备环境工程,2014,11(6):135—139.
GAO Yan-da, LI Jian, LI Zong-yuan, et al. Brief Analysis of Helicopter Field Corrosion Prevention[J]. Equipment Environmental Engineering,2014,11(6):135—139.
- [5] 曹宏涛,李雪亭. 基于海洋环境的紧固件腐蚀防护要求及技术措施[J]. 表面技术,2013,42(1):105—108.
CAO Hong-tao, LI Xue-ting. Corrosion Protection Requirements and Technical Measures of Fasteners Based on the Marine Environment[J]. Surface Technology,2013,42(1):105—108.
- [6] 李斌,张晓云,司徒振民. 飞机外表面清洗剂 AHC-1 的研制[J]. 材料工程,1999,(3):28—31.
LI Bin, ZHANG Xiao-yun, SITU Zhen-min. Development of Aircraft Exterior Surface Cleaner AHC-1[J]. Journal of Materials Engineering,1999,(3):28—31.
- [7] 李斌,张晓云,汤智慧,等. 飞机表面水基清洗剂对金属材料腐蚀及氢脆性能影响研究[J]. 材料工程,2007,(6):55—60.
LI Bin, ZHANG Xiao-yun, TANG Zhi-hui, et al. Effect of Water-based Cleaning Compound for Aircraft Exterior Surface on Metals Corrosion and Hydrogen Embrittlement[J]. Journal of Materials Engineering,2007,(6):55—60.
- [8] 李斌,张晓云,左新章,等. AHC-1 及 AHC-5 飞机表面水基清洗剂应用研究[J]. 清洗世界,2007,23(1):4—10.
LI Bin, ZHANG Xiao-yun, ZUO Xin-zhang, et al. Application Research on AHC-1 and AHC-5 Water-based Cleaning Compounds for Aircraft Surface[J]. Cleaning World,2007,23(1):4—10.
- [9] 李斌. 飞机系列清洗剂概述及技术要求综合分析[J]. 清洗世界,2009,25(2):24—28.
LI Bin. Brief Survey and Technical Requirement Analysis of Series Cleaner for Aircraft[J]. Cleaning World,2009,25(2):24—28.
- [10] 李炎,刘玉岭,卜小峰,等. 无磨料复合清洗剂对铜膜表面腐蚀缺陷的控制[J]. 表面技术,2014,43(5):61—65.
LI Yan, LIU Yu-ling, BU Xiao-feng, et al. Regulation of the Surface Defects of Copper Films by Abrasive-free Composite Cleaning Agent[J]. Surface Technology,2014,43(5):61—65.
- [11] MIL-PRF-32295, Cleaner, Non-Aqueous, Low-VOC, Hap-Free[S].
- [12] GB/T 7304, 石油产品和润滑剂酸值测定法(电位滴定法)[S].
GB/T 7304, Petroleum Products and Lubricants—Determination of Acid Number—Potentiometric Titration Method[S].
- [13] GB/T 261, 闪点的测定 宾斯基-马丁闭口杯法[S].
GB/T 261, Determination of Flash Point—Pensky-Martens

(下转第 153 页)

4 结语

综上所述,汽车零部件耐候性质量的管控需要从三方面进行控制:选择与户外相关性更好的测试方法用于测试;针对零部件建立合理的技术指标要求;针对不同材料具备合理的外观评价技术。

参考文献:

- [1] 刘树文,蒋祖华,祁黎. 汽车非金属材料的实验室加速老化和户外自然老化[J]. 广东塑料,2005,5(135):44—46.
LIU Shu-wen, JIANG Zu-hua, QI Li. Automobile Non-metal Materials Laboratory Accelerated Ageing and Outdoor Natural Aging[J]. Guangdong Plastics, 2005, 5(135):44—46.
- [2] 袁宏辉,孙杏蕾,张恒. 氙灯老化与自然曝晒测试所得颜料耐候性的相关性[J]. 中国涂料,2009,24(12):35—38.
YUAN Hong-hui, SUN Xing-lei, ZHANG Heng. Xenon Lamp Aging and Natural Exposure Test Correlation from Pigment[J]. China Coatings, 2009, 24(12):35—38.
- [3] 颜景莲,王玲,梁星才. 汽车用高分子材料的老化测试技术及进展[J]. 汽车材料与工艺,2004(11):29—32.
YAN Jing-lian, WANG Ling, LIANG Xing-cai. Automotive Polymer Materials Aging Test Technology and Development[J]. Automobile Technology & Material, 2004(11):29—32.
- [4] 王玲. 人工加速老化试验方法评述[J]. 涂料工业,2005,35(4):51—54.
WANG Ling. Artificial Accelerated Aging Test Methods of Narration[J]. Painting & Coatings Industry, 2005, 35(4):51—54.
- [5] 张华,高泽海. 汽车内饰件的自然暴晒试验[J]. 环境试验,2009(3):11—13.
ZHANG Hua, GAO Ze-hai. Natural Exposure Test of Automobile Interior Parts[J]. Environmental Testing, 2009(3):11—13.
- [6] 赖建萍,王—临. 汽车内饰材料的人工老化试验[J]. 装备环境工程,2007,4(1):35—40.
LAI Jian-ping, WANG Yi-lin. Artificial Aging Test of Automotive Interior Materials[J]. Equipment Environmental Engineering, 2007, 4(1):35—40.
- [7] 杨安志,王文涛,赵福全. 汽车气候老化主要环境影响因素分析[J]. 环境技术,2011(12):39—42.
YANG An-zhi, WANG Wen-tao, ZHAO Fu-quan. Analysis of Major Environmental Factors for Automotive Weather Aging[J]. Environmental Technology, 2011(12):39—42.
- [8] ALLEN F Zielnik. 老化测试为什么您更加需要它[J]. 环境技术,2007,8(4):39—41.
ALLEN F Zielnik. Weathering Testing Why You Need It More the Ever[J]. Environmental Technology, 2007, 8(4):39—41.
- [9] 王俊,揭敢新. 高聚物的老化试验[J]. 装备环境工程,2005,2(3):47—53.
WANG Jun, JIE Gan-xin. Weathering Tests of Polymer[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(3):47—53.
- [10] 柳立志,孙兴蕾,张恒. 汽车老化国家标准大气曝晒与实验室对比试验研究——外饰油漆氙灯试验与户外曝晒对比研究[C]// 中国汽车工程学会涂装技术分会学术年会论文集. 常州: 中国汽车工程学会,2013:111—114.
LIU Li-zhi, SUN Xing-lei, ZHANG Heng. Contrast Test on the National Standards for Atmospheric Exposure and Aging Laboratory Vehicle—Comparative Study of Xenon Lamp Test and Outdoor Exposure Exterior Paint[C]// Coating Technology Branch Symposium of Society of Automotive Engineers of China. Changzhou: SAE-China, 2013:111—114.
- [11] 王俊,揭敢新,彭坚. 汽车保险杠用聚丙烯材料的老化研究[J]. 装备环境工程,2010,7(3):10—13.
WANG Jun, JIE Gan-xin, PENG Jian. Study on Aging of PP Materials for Auto Bumper[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(3):10—13.
- [12] 陆启凯,揭敢新,王俊. 汽车气候老化试验技术[M]. 广州: 华南理工大学出版社,2010.
LU Qi-kai, JIE Gan-xin, WANG Jun. Automotive Weathering Test Technology[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2010.
- [13] GJB 5974, Specification for Water-based Cleaner for Exterior Surface of Aircraft[S].
- [14] SH/T 0120, 酚精制润滑油酚含量测定法[S].
SH/T 0120, Determination of Phenol in Phenol Refined Lubricating Oil[S].
- [15] GJB 2841, 燃气涡轮发动机燃气通道清洗剂规范[S].
GJB 2841, Specification for Cleaning Compound for the Turbine Engine Gas Path[S].
- [16] GJB 5974, 飞机外表面水基清洗剂规范[S].
- [17] GB/T 5096, 石油产品铜片腐蚀试验法[S].
GB/T 5096, Petroleum Products—Corrosiveness to Copper—Copper Strip Test[S].
- [18] GJB 4080, 军用直升机机体表面清洗剂通用规范[S].
GJB 4080, General Specification for Cleaning Compound for Military Helicopter Body Surface[S].

(上接第145页)

Closed Cup Method[S].