飞机结构用新型胶体密封剂的主要性能测试与表征

陈群志，房振乾，杨彗宇，蒋瑞华
（北京航空工程技术中心，北京 100076）

摘要：对飞机结构用新型胶体密封剂的高低温稳定性、分油性及耐介质性测试与表征方法进行了研究，建立了新型胶体密封剂的主要性能指标体系。采用“蒸馏水浸泡＋剥蚀溶液浸渍”组成的加速腐蚀试验方法，对新型胶体密封剂的腐蚀防护性进行了深入研究。结果表明，新型胶体密封剂具有高低温稳定性好、不挥发物含量高、分油量小、耐介质性强的性能特点，在－60～180 ℃的温度范围内始终保持胶体状态物，满足低温不凝固和高温不流淌的应用要求，并兼具密封防水和防腐双重功效，适用于解决现役飞机结构密封防水问题。

关键词：胶体密封剂；飞机；结构；密封防水
中图分类号：TB487；TJ765.4 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-3563(2011)23-0146-04

Measurement and Characterization of Main Properties of New Colloidal Sealant for Aircraft Structure

CHEN Qun-zhi, *FANG Zhen-qian*, *YANG Hui-yu*, *JIANG Rui-hua*
(Beijing Aeronautical Technology Research Center, Beijing 100076, China)

Abstract: Measurement and characterization technologies of high and low temperature stability, oil separation, and medium resistance of new colloidal sealant for aircraft structures were investigated, and the main technical index system was established. The corrosion protection performance of new colloidal sealant was thoroughly assessed and validated using "distilled water ＋ EXCO dipping" laboratory accelerated simulation environmental test method. The experimental results showed that this kind of new colloid seal waterproof technique has the characteristics of good thermal stability, high involatile content, low oil separation, strong medium resistance, always maintain colloidal substance at temperature from －60 to 180℃, which meets the application demands of un-solidification under low temperature and no fluidity under high temperature, and has dual functions of seal waterproof and anticorrosion, which are especially suitable for solving the seal waterproof problems of aircraft structures.

Key words: colloidal sealant; aircraft; structure; seal waterproof

飞机在服役期间，不可避免地要受到雨、雪、冰冻和高低温等各种自然气候环境的作用[1-2]。飞机零部件连接界面间的大量结构缝隙以及为便于检查、维修和安装机载设备而开设的诸多大小不等、形状各异的盖板、口框、口盖和窗口等，若没有良好的密封，就会成为飞机进水的重要“通道”。大量的事实表明[3-4]，多数飞机内部普遍存在渗水、漏水和积水现象以及由此而引起的结构腐蚀问题。例如，某型飞机对接部位螺栓槽内存在严重积水、油脂损耗和变质现象十分普遍，检修中一些螺栓槽和传力螺栓的腐蚀已相当严重，具体情况见图 1。可见，积水腐蚀问题已经成为长期以来严重困扰我国飞机正常使用和维护的主要因素。密封防水作为飞机腐蚀预防与控制的薄弱环节，亟待开发新的密封防水技术。

针对飞机结构密封防水问题，北京航空工程技术中心开展了大量探索性研究，提出了飞机结构用胶体密封防水新技术，并研发出配套的胶体密封剂 JMF[4]。JMF 是一种具有高填充效果的新型密封防

收稿日期：2011-07-08
作者简介：陈群志（1963－），男，湖南临澧人，博士，北京航空工程技术中心高级工程师，主要研究方向为飞机疲劳寿命、日历寿命和腐蚀防护。

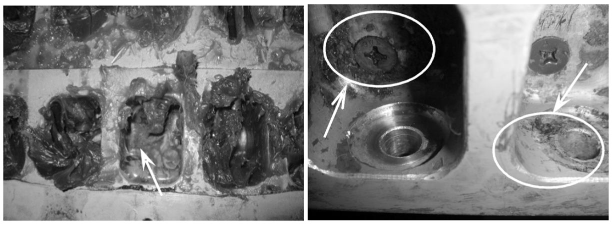


图 1　某型飞机对接部位螺栓槽的积水腐蚀现象

Fig. 1 Seeper and corrosion of force-delivering bolts in bolt slots of abutting part in a type of aircraft

水材料，主要由基础油（包括高性能矿物油和植物油）、纳米粉体、液态硫化橡胶、液态异丁二烯橡胶、云母片、憎水剂、缓蚀剂、稠滑剂等化学成分，采用混炼和杂化两步法制备，其物理形态介于固体与液体之间，填充后材料的物理和化学性质长期保持不变。为提高 JMF 的技术成熟度并推广应用于飞机结构密封防水处理和密封防水改进，笔者对其高低温稳定性、分油性及耐介质性等主要性能指标进行分析与表征；采用加速腐蚀试验方法，对 JMF 的腐蚀防护性进行考核验证。

1　试验方法

1.1　JMF 的主要性能测试与表征

采用 H1200C 温湿交变试验箱对 JMF 的低温稳定性、不挥发物质量分数、分油性进行测试，测试与表征方法参见文献[5-7]。

采用将涂敷 JMF 试样浸泡在不同的腐蚀介质中的试验方法，测试 JMF 的耐介质性。

1.1.1　高低温稳定性

JMF 的低温稳定性测试温度范围设定为 $-60\sim0$ ℃，温度间隔为 10 ℃。为方便实时观测 JMF 的低温稳定性，将 JMF 放在试验箱内的侧孔附近，这样试验中不仅能随时拨动 JMF，以确认其流动性，而且不会形成大的温度干扰。

JMF 的高温稳定性，即不挥发物质量分数随温度变化关系曲线测试中的温度条件分别预设为 60，80，100，120，140，160，180 和 240 ℃。称量干燥洁净玻璃蒸发皿的质量为 m_1。将一定量 JMF 均匀流展铺于蒸发皿底，称重记为 m_2。在设定的温度条件下恒温加热 2 h，取出并放于玻璃干燥器中自然冷却至室温并称重，然后再次恒温加热 1 h，取出自然冷却至室温并称重。如此重复至 2 次称重的质量差不大于 0.01 g 为止，此时 JMF 与蒸发皿的质量记为 m_3。

JMF 不挥发物质量分数 X 的计算式为：

$$X=\frac{m_2-m_3}{m_2-m_1}\times100\%$$

1.1.2　钢网分油性

在 100 ℃恒温条件下加热 30 h，采用钢网分油器对 JMF 的分油性进行测试。称量清洁的烧杯和锥形钢网的质量分别记为 m_1 和 m_2。用刮刀将钢网内均匀填满 JMF，并刮除网眼上被挤出的多余 JMF，称量记为 m_3。将装配好的钢网分油器放入恒温箱内，达到预设时间后，取出钢网分油器并自然冷却至室温，称量分油后烧杯的质量 m_4。

JMF 的分油质量分数 F 的计算式为：

$$F=\frac{m_4-m_1}{m_3-m_2}\times100\%$$

1.1.3　耐介质性

JMF 耐介质性测试中，浸泡介质、浸泡时间和温度条件见表 1。

表 1　耐介质性试验条件

Tab. 1 Experimental condition of medium resistant test

浸泡介质	浸泡温度/℃	浸泡时间/h
蒸馏水	90	24
EXCO 溶液	室温	24
5%盐水	室温	24

EXCO 溶液为剥落腐蚀试验所用腐蚀溶液，其配方为：NaCl，234 g/L；KNO_3，50 g/L；HNO_3，6.8 mg/L。

称量干燥玻璃蒸发皿的质量 m_1；将 JMF 均匀涂满蒸发皿底部，称重记为 m_2；然后将蒸发皿水平放置在装有浸泡介质的烧杯内进行耐受性测试，试验结束后，取出蒸发皿，用无水乙醇轻轻振荡洗涤 30 s 后，放入烘箱，在 60 ℃温度条件下加热 24 h，取出自然冷却至室温，称重记为 m_3。

JMF 的耐介质性 Δm(%)即试样质量变化百分数计算式为：

$$\Delta G=\frac{m_3-m_2}{m_2-m_1}\times100\%$$

1.2　JMF 的腐蚀防护性试验

选用 3 mm 厚的 LC4-CS 铝合金板材设计加工试样，试样长 60 mm，宽 40 mm。先用 240 目砂纸对试样的棱角、边及表面进行打磨，再用 1 600 目砂纸对测试面进行抛光处理，并用干净的脱脂棉及无水乙醇

擦洗3～4次，自然晾干；接着将棱角、边及除测试面以外的各表面均匀涂覆MF931密封防水胶进行保护，防水胶厚度控制在0.3 mm左右；然后待防水胶干透后，在测试面均匀涂覆一层厚约0.5 mm的JMF；最后采用“蒸馏水浸泡＋EXCO浸渍腐蚀”的试验方法[7-8]对JMF的腐蚀防护性能进行5个周期的加速腐蚀试验，其程序流程见图2。

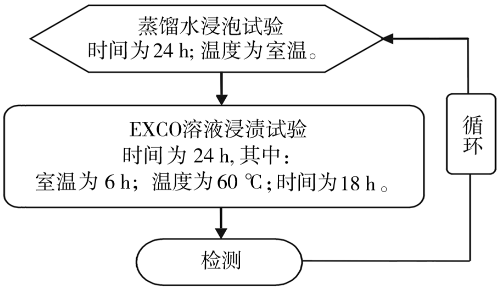


图2 加速模拟环境考核测试流程

Fig.2 Evaluation test procedures for accelerated simulation environment

2 结果与讨论

2.1 JMF主要性能研究

2.1.1 高低温稳定性

高低温性能是衡量密封剂在储存或使用环境温度作用下材料自身的稳定性，是影响密封剂使用寿命的一项重要指标，JMF不挥发物质量分数随温度变化关系曲线见图3。

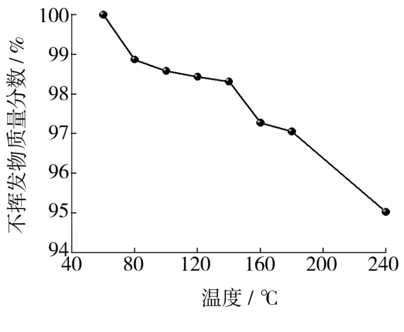


图3 JMF不挥发物质量分数与温度的关系

Fig.3 Curves of involatile content versus temperature for new colloidal sealant

从图3可以看出，温度为60 ℃时，JMF的蒸发损失为零，没有出现有机物挥发现象；80 ℃时，蒸发损失不超过1.2%；而后随温度升高，其蒸发损失量略有增加，在140 ℃以内，蒸发损失量波动量不超过0.5%；温度为160和180 ℃时，其不挥发物质量分数亦始终在97%以上，蒸发损失量不足3%；即使温度高达240 ℃时，其蒸发损失量也不超过5%；在60～180 ℃测试温度范围内，JMF不仅不挥发物质量分数曲线随温度的变化趋势十分平稳，而且也没有出现变质、附着力降低及流淌现象。

对JMF的低温稳定性测试结果表明，在－60～0 ℃的低温范围内，JMF依然保持和常温相似的黏稠胶体状态，没有出现凝固现象。

因此，在－60～180 ℃的温度范围内，JMF的高低温稳定性好，具有低温不凝固和高温不流淌的特点，能够满足飞机结构应用要求。JMF耐高温损失性好、使用温度范围广的性能特点，也预示其具有更长的储存、使用寿命。

2.1.2 钢网分油性

分油性是密封剂的分油趋势，反映了基础油与稠化剂结合的稳定性，分油量数值越小越稳定。在温度为100 ℃静止状态下，经30 h的恒温加热处理后，JMF的钢网分油量数值只有0.46%。JMF极小的分油倾向性，说明在储存或使用过程JMF将具有更高的稳定性、更强的保持材料密封性能的能力。

2.1.3 耐介质性能

飞机在服役期间要经受雨水、潮湿空气、含硫尘埃等各种腐蚀性介质的综合作用，为评价JMF耐这些介质腐蚀的能力，按表1条件，对JMF对高温蒸馏水、室温5%盐水及EXCO溶液的耐受性进行测试，测试结果见图4。

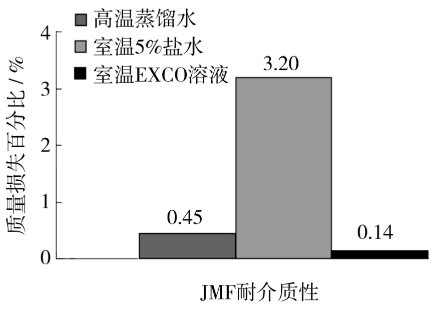


图4 JMF耐介质性

Fig.4 Medium resistance of new colloidal sealant

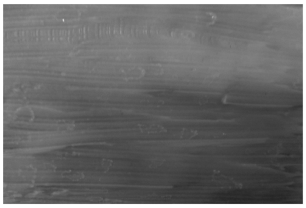
从图4不难发现，JMF在高温蒸馏水、室温5%盐水及EXCO腐蚀溶液中浸泡24 h后的质量损失量分别只有0.45%，3.2%和0.14%，充分说明JMF在严苛的环境条件下具有良好的耐受性，因此，JMF应

用于飞机中对服役环境中含硫、氯离子等介质的腐蚀具有极强的抵御能力。

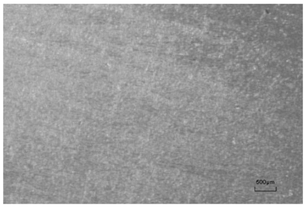
2.2　JMF 腐蚀防护性试验结果

采用图 1 所示的程序流程，对测试面涂覆 JMF 的 LC4-CS 铝合金试样进行不同周期的加速腐蚀试验。结果表明，随加速腐蚀试验周期的增加，JMF 防护层没有出现任何的鼓包、凸起、凹坑、气孔以及破损等缺陷或变质现象，始终与金属基体间保持良好的附着性，而且金属基体也没有受到任何的腐蚀。

5 个周期的加速腐蚀试验后，JMF 防护层及金属基体表面形貌见图 5。



a



b

图 5　加速腐蚀 5 周期后涂覆 JMF 的试样表面及金属基体形貌

Fig. 5 urfaces and corresponding metallic matrixes images of experimental samples painted with new colloidal sealant after the cyclic accelerated corrosion test

从图 5 可以看出，5 个试验周期后，涂覆的整个 JMF 防护层依然保持完好，金属基体微观分析也没有观察到任何的腐蚀迹象，这充分说明在严苛的腐蚀环境条件下，JMF 对飞机结构材料具有很好的腐蚀防护性。

JMF 良好的腐蚀防护性表现在 2 个方面，一是具有高温稳定性好、分油倾向性小以及对高温蒸馏水、室温 5%盐水及 EXCO 溶液等腐蚀介质耐受性极强的材料本征性能特点；二是具有胶体状特性，易于涂覆，能够在金属基体表面形成均匀致密的防护层，从而能够有效地防止水分及腐蚀性介质的渗入，兼具密封防水和防腐双重功效。

3　结论

1）JMF 胶体密封剂具有在宽温度范围内稳定性好、蒸发损失小、分油性少以及耐介质性强的性能特点。

2）在 −60～180 ℃的温度范围内，JMF 胶体密封剂能够始终保持胶体状态，满足低温不凝固和高温不流淌的应用要求，并兼具密封防水和防腐双重功效。

3）胶体密封防水新技术适用于解决飞机结构密封防水问题，可推广应用于飞机窗口、口盖等活动构件，对接部位螺栓槽等可拆卸构件以及零部件连接界面间结构缝隙等部位的密封防水改进和密封防水处理。

参考文献：

[1]　刘文珽，李玉海，王向明，等. 飞机结构日历寿命体系评定技术[M]. 北京：航空工业出版社，2004.

[2]　宣卫芳，胥泽奇，肖敏，等. 装备与自然环境试验[M]. 北京：航空工业出版社，2009.

[3]　CHEN Q Z，CUI C J，WANG Y Y，et al. Applicable Study of Seal Waterproof Technique in the Structure of the Typical Air-craft[C]. The Fourth World Congress on Maintenance Papers. Haikou：The Fourth World Congress on Maintenance Academic Committee，2008：24－26.

[4]　陈群志，杨蕊琴，房振乾，等. 飞机密封防水新技术研究[J]. 装备环境工程，2010，7(2)：71－74.

[5]　顾伯勤，陈晔，李新华. 密封材料与元件的检测与试验[M]. 北京：机械工业出版社，2008.

[6]　SH/T 0324－92，润滑脂钢网分油测定法(静态法)[S].

[7]　ASTM G34－90，Standard Test Method for Exfoliation Corrosion Susceptibility in 2XXX and 7XXX Series Aluminum Alloys (EXCO Test) [S]

[8]　GJB 150－2009，军用装备实验室环境试验方法[S].