

计算机辅助航空橡胶和密封剂老化寿命预测

Prediction for Service Life of Aeronautical Rubbers and Sealant by Computer Technique

朱华, 张洪雁, 杨希仁, 章菊华 (北京航空材料研究院, 北京 100095)

ZHU Hua, ZHANG Hong-yan, YANG Xi-ren, ZHANG Ju-hua
(Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

摘要: 采用橡胶热氧老化法作为评定航空橡胶、密封剂老化后工作能力的基本方法, 根据 Arrhenius 方程和老化实验数据推算了橡胶材料老化经验公式, 并用 VB 语言编写了航空橡胶、密封剂寿命预测计算机软件。使用这种软件分别预测了 XM-22B 密封剂与试 5880 胶料的使用寿命, 预测结果与实测值一致。

关键词: 橡胶; 密封剂; 计算机软件; 寿命预测

中图分类号: V250.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381 (2001) 07-0045-02

Abstract: Based on Arrhenius equation and aging data which were acquired by air aging method, the experiential aging formula of rubber was calculated, and a software edited with VB language was created and used to predict service life of aeronautical rubbers and sealant. The service life of XM-22B sealant and 5880 rubber predicted by the software was very fitted with the experiment data.

Key words: rubber; sealant; software; service life prediction

目前国内对航空橡胶、密封剂等高分子材料的老化定寿研究已经具备了相当的水平, 在材料贮存与使用寿命的估测方面总结了一整套方法, 积累了大量的实验数据与经验。但是, 这项工作试验量大, 投资多, 计算繁琐。利用计算机技术整理和分析已有的大量试验数据, 得到一些普遍的老化规律和最佳参数组合, 用于预测高分子材料的工作寿命, 可以达到减少试验工作量, 精确预测结果的目的。国内目前已开展了有关计算机辅助寿命预测的研究, 但软件并不完善与实用。为满足航空材料定寿工作的迫切需要, 探索计算机技术在材料科学中的应用, 研究了能够快速预测航空橡胶、密封剂使用与贮存寿命的计算机软件, 使材料老化研究与新技术的发展紧密结合, 提高材料研究效率和飞行安全性。

1 预测方法

橡胶老化的基本原理是热、氧、光等老化因子的作用使橡胶产生交联或降解等化学变化, 宏观则表现为物理-力学性能的改变, 最终丧失工作能力。根据, 高分子材料老化研究的经验与方法, 结合航空橡胶、密封材料的使用特点, 通过对材料老化机理的分析, 确定加速热氧老化法作为测定硫化橡胶贮存与使用寿命的一般方法。在硫化橡胶的老化过程中, 材料性能老化程度 P 与老化时间 τ 的关系方程式如下:

$$P = A e^{-k\tau^\alpha}$$

式中: τ 为 老化时间; k - 与温度有关的性能变化速度常数; A 和 α 为常数。

因需预测不同温度下材料的老化性能, 为此建立性能变化速度常数 K 与温度 $1/T$ 关系式, 服从 Arrhenius 方程:

$$K = Z e^{-E/RT}$$

式中: T - 绝对温度, K; E - 表观活化能, $J \cdot \text{mol}^{-1}$; Z - 频率因子, d^{-1} ; R - 气体常数, $J \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

根据以上二个公式, 计算机软件编程原理如下:

(1) 方程 $P = A e^{-k\tau^\alpha}$ 等号两边取对数, 变成 $\ln P = \ln A - k\tau^\alpha$, 设 $X = \tau^\alpha$, $Y = \ln P$, $a = \ln A$, $b = -k$, 则方程变为 $Y = a + bX$, 按最小二乘法求方程中 a , b 和相关系数 r ;

(2) 根据 r 判断, 如 X 与 Y 线形相关成立, 即 $Y = a + bX$ 是线性方程, 则 $\alpha = 1$, $P = A e^{-k\tau}$, 反之, 在 $0 \sim 1$ 间估算 α , $P = A e^{-k\tau^\alpha}$;

(3) 求 a 在各温度点的均值 \bar{a} , 求常数 $A = e^{\bar{a}}$;

(4) 计算 K 与 T 关系: $K = Z e^{-E/RT}$ 等号两边取对数, 变成 $\ln K = \ln Z + (-E/RT)$ 设 $X_1 = 1/T$, $Y_1 = \ln K$, $a_1 = \ln Z$, $b_1 = -E/R$, 则方程变为 $Y_1 = a_1 + b_1 X_1$;

(5) 求方程中 a_1 , b_1 和相关系数 r_1 , 根据 r_1 判断线性方程 $Y_1 = a_1 + b_1 X_1$ 是否成立, 如成立则 $K_s =$

$e^{(a_1 + b_1/T_s)}$ ($T_s = 273 + Q_s$, Q_s 为材料贮存或使用温度);

(6) 如方程 $Y_1 = a_1 + b_1 X_1$ 为非线性, 则计算 Y_1 值的标准离差 S_y 、方程置信界限 $Y_1 = a_1 + t S_y + b_1 X_1$;

(7) 求性能变化速度常数 $K_s = e^{(a_1 + t S_y + b_1 X_1)}$, t 值可由 t 分布表查得, 把 A 、 K_s 和 α 值代入 $P = A e^{-K_s \tau^\alpha}$ 获得性能 P 与时间 τ 对应的老化经验公式;

(8) 根据选定的性能临界值 P , 求出使用寿命 τ_0 。
利用软件对新材料进行预测, 首先需根据此材料的耐热能力做部分性能加速老化实验, 由此可得到一批随老化时间而变化的材料性能数据。把数据输入现有计算机软件, 即回代入方程 $P = A e^{-K_s \tau^\alpha}$ 和 $K = Z e^{-E/RT}$, 对数据进行统计计算, 可求出这个新材料相应的 A 、 K 和 α , 并确定新材料的老化经验公式, 根据指定的敏感性能临界值 P 求出材料使用寿命 τ_0 。

" 航空橡胶、密封剂老化寿命预测" 计算机软件的功能是预测新材料贮存与使用寿命, 软件在 WIN-DOWS 操作系统下采用 VB 语言编写, 利用 VB 语言中的数值计算函数, 很好地解决了实验数据回归, 估算方程指数 α , 求性能变化速度常数 K , 并最后得到材料老化经验公式等一系列复杂的数学计算问题。另外, 根据对软件功能的具体要求, 建立了老化实验数据库和老化预报库, 用于数据的储存、计算、查询与输出。软件使用方便快捷、系统稳定、预测结果准确。

2 预测结果

利用此寿命预测软件分别对飞机整体油箱防燃料渗漏聚硫密封剂 XM-22B 和飞机液压与气动系统的橡胶密封件试 5880 胶料 (丁腈-18 和高顺丁橡胶组成) 进行了贮存与使用寿命的评估。

对 XM-22B 聚硫密封剂选取 5 个温度点 (15、80、100、110、120) 在喷气燃料中进行加速老化实验, 其主要表现为降解, 强度显著下降, 因此确定拉伸强度作为评估 XM-22B 的敏感性能。通过软件的运行, 计算了 5 个温度点的材料贮存与使用寿命, 寿终值按美军标 MIL-S-8820E 规定取整体油箱聚硫密封剂老化后最低残余拉伸强度 0.7 MPa, 预测结果列于表 1。

XM-22B 密封剂应用于飞机整体油箱, 分别以 15 和 20 来模拟长江以北和长江以南地区的材料贮存环境, 夏季停机暴晒状态下油箱温度最高达 70~80, 飞行时油箱温度为 60 左右。综合考虑各种因素的影响, 密封剂寿命为 $t = C \tau_{\text{使用}} + D \tau_{\text{贮存}}$, 即 $t = C \times (13920 \div 24 \div 365) + D \times 26.7$, 按 10 年飞行 8000h 计, $C = (8000 \div 24 \div 365) / 10 = 0.0913$, $D =$

$1 - 0.0913 = 0.9087$, $t = 0.0913 \times (13920 \div 24 \div 365) + 0.9087 \times 26.7 = 24.4$ 年, 即 XM-22B 密封剂使用寿命为 25 年左右。预测值与实际值基本相符。

因试 5880 胶料为密封件, 固对其进行了 5 个温度点 (50、80、100、125、150) 的热空气加速老化实验, 并取压缩应力松弛系数作为评估性能。计算了胶料在 4 个温度点下的使用寿命, 寿终值分别按 0.6 (贮存状态) 和 0.2 (使用状态) 计, 预测结果列于表 2。

表 1 XM-22B 飞机整体油箱用聚硫密封剂寿命预测

Table 1 Service life prediction of integrated tank sealant XM-22B

序号	温度/	寿终值/MPa	预测寿命
1	15	0.7	26.7a
2	20	0.7	18.7a
3	60	0.7	13920h
4	70	0.7	8220h
5	80	0.7	5000h

表 2 飞机液压与气动系统用试 5880 胶料寿命预测

Table 2 Service life prediction of 5880 rubber

序号	温度/	寿终值/MPa	预测寿命
1	20	0.6	9.93a
2	25	0.6	6.39a
3	80	0.2	6660h
4	100	0.2	2066h

计算值与实测值基本一致, 因此可以认为本软件基本上能够较为可信地预测航空橡胶、密封材料贮存与工作寿命。

3 预测结果讨论

3.1 可行性

软件的编写按照确定的方法和计算过程进行, 做到精益求精。科学安排加速老化实验, 所得的性能数据合理、准确, 回归计算后能够得到拟合较好的老化模型公式。另外, 采用了数据库技术, 分别建立了材料老化性能数据库和材料寿命预报库, 可进一步保证实验数据、计算结果的贮存与传输, 提高了预测精度与系统稳定性。经过实际应用, 预测值与实际值极为近似, 因此可认为本软件是可行的。随着对飞行安全性要求的不断提高, 准确快速地预测材料工作寿命的要求也越来越高, 软件具有一定的实用价值。

(下转第 21 页)

液在高压下可在数秒内迅速渗入纤维预制件中,与纤维复合的时间很短,复合后冷却速度也很快,而纤维与 Al 在 500℃ 以下反应缓慢,因此当铝与纤维在 500℃ 以上接触时间很短(数秒以内)时,界面反应是很微弱的。

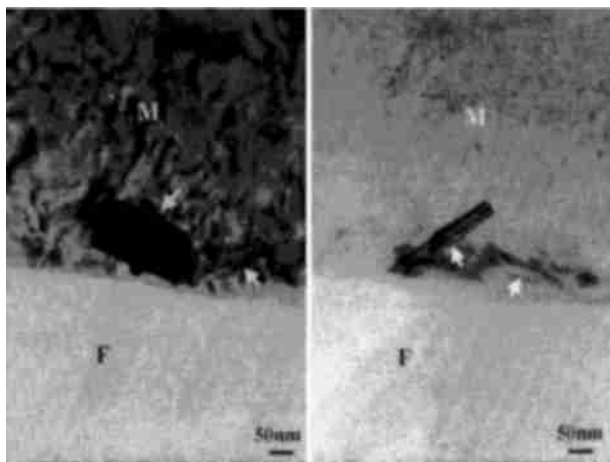


图 4 T300/Al 压渗板界面反应物形貌

Fig. 4 Interfacial reactant of T300/Al composite made by liquid pressure infiltration method

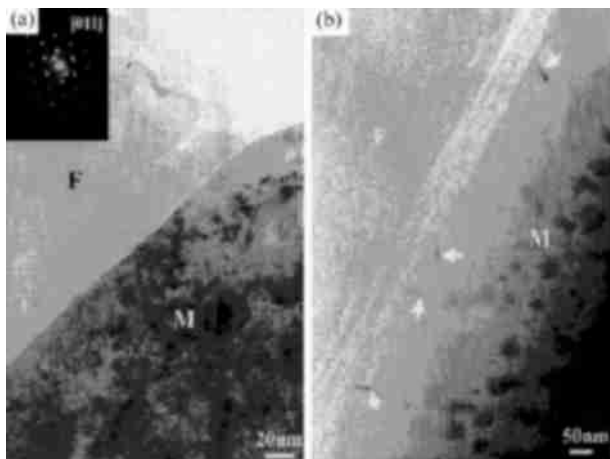


图 5 M40J/Al 压渗板界面 TEM 像

(a) 无反应物的干净界面; (b) 界面细小反应物

Fig. 5 TEM micrograph of M40J/Al composites made by liquid pressure infiltration method

(a) interface without reactant;
(b) fine interfacial reactant

3 结论

(1) 超声液相渗透法制备的 CF/Al 复合丝界面结合良好,纤维与基体有轻微的界面反应发生,对比 T300 与 M40J 两类纤维,前者与基体的反应程度较大,表现为反应物的数量较多、尺寸较大。

(2) 真空液相压渗法制备的 CF/Al 复合材料界

面反应微弱,表明该工艺条件下纤维与基体的反应被有效地抑制。

参考文献

- [1] 张国定,赵昌正.金属基复合材料[M].上海:上海交通大学出版社,1996.
- [2] 尹新方,潘进,曹基全.制备 C/Al 预制丝的新方法——超声液相浸渗法[A].金属基陶瓷基复合材料研讨会论文集[C].黄山,1991.
- [3] 王浩伟,尹家新,商宝禄,等. Al/C (SiC) 复合材料液相浸渗工艺研究[A].NCCM-7 论文集[C].大连,1992.
- [4] Yang H, Gu M, Jiang W, et al. Interface microstructure and reaction in Gr/Al metal matrix composites[J]. J Mater Sci, 1996, 31: 1903-1907.

基金项目:本研究得到先进复合材料国防科技重点实验室资助

收稿日期:2000-12-10

作者简介:杨盛良(1970-),男,湖南省怀化市人,讲师,博士,在国防科技大学从事金属及功能材料研究工作,联系地址:湖南长沙,国防科技大学一院五系 501 教研室(邮编 410073)。

* * * * *

(上接第 46 页)

3.2 复杂性

橡胶材料的老化是一个极其复杂的反应过程,用热氧老化法测定航空橡胶、密封剂等材料工作寿命也还存在一定的局限性,目前尚未找到一种能够很全面描述材料老化过程,充分考虑材料老化时热、氧、光、臭氧及材料受力状态等老化因子对其性能影响的加速老化实验方法及老化方程式。因此,虽然本软件采用了在方程中增加 α 指数的方法来减小误差,但在软件的实际应用中仍发现存在一定误差。这就需要更多地应用软件解决实际问题,不断积累数据与经验,总结预测值与实际值之间的内在规律,以达到精确预报的目的。另外,预测材料工作寿命时评估性能与寿命终点的选取非常关键,将直接影响预测结果。

4 结论

“航空橡胶、密封剂老化寿命预测”计算机软件基本上起到了对此类材料老化研究的辅助指导作用。软件具备预报一般条件下航空橡胶、密封剂贮存与工作寿命的功能,运算结果基本可信。预测材料使用寿命在现代材料研制过程中越来越关键与必要。

收稿日期:1999-06-16

作者简介:朱华(1971-)男,助理工程师,联系地址:北京市 81 信箱 70 分箱(邮编 100095)