

# 太阳帆板驱动机构用 KH-A 胶黏剂制备及性能

孟宪刚<sup>1</sup> 李睿<sup>1</sup> 卞茵佳<sup>2</sup> 刘金刚<sup>2</sup>

(1 北京控制工程研究所,北京 100190)

(2 中国科学院化学研究所高技术材料实验室,北京 100190)

**文 摘** 针对卫星太阳帆板驱动机构对恶劣环境下零件粘接的应用需求,研制开发了一种双组份环氧胶黏剂 KH-A。KH-A 浇铸体的  $T_g$  为 143℃,KH-A 粘接 45# 钢时,其 25℃ 时的拉剪强度为 23.0 MPa,125℃ 时达到 20.9 MPa。固化样片经  $1 \times 10^8$  rad  $\gamma$ -射线(<sup>60</sup>Co)辐照后,击穿强度由 20.1 升高到 25.2 kV/mm。KH-A 浇铸体在真空下的总质量损失(TML)为 0.97%,可凝挥发物含量(CVCM)为 0.01%。KH-A 各项性能指标均满足产品设计要求。

**关键词** 太阳帆板驱动机构,胶黏剂, $T_g$ , $\gamma$ -射线(<sup>60</sup>Co)辐照,真空挥发性能

中图分类号:TQ437

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.01.011

## Preparation and Performance of KH-A Adhesives for Solar Array Drive Assembly

MENG Xiangang<sup>1</sup> LI Rui<sup>1</sup> BIAN Yinjia<sup>2</sup> LIU Jingang<sup>2</sup>

(1 Beijing Institute of Controlling Engineering, Beijing 100190)

(2 Laboratory of Advanced Polymer Materials, Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

**Abstract** A two-component epoxy adhesive KH-A has been developed, to satisfy the needs for parts adhesion of the solar array drive assembly (SADA) of satellite under the adverse space environment. The  $T_g$  of the cured KH-A is as high as 143℃. The lap shear strength for carbon steel joints bonded with KH-A adhesive is 23.0 MPa at 25℃ and 20.9 MPa at 125℃. In addition, the cured epoxy exhibits good  $\gamma$ -ray radiation resistance. After a radiation dose of  $1 \times 10^8$  rad in  $\gamma$ -ray environments, the electrical breakdown strength of cured KH-A is 25.2 kV/mm, which is even higher than that of the samples before radiation (20.1 kV/mm). At last, the cured KH-A possesses low outgassing properties in vacuum with the total mass loss (TML) value of 0.97% and collected volatile condensable materials (CVCM) value of 0.01%. Properties of adhesives KH-A can satisfy the application requirement of products.

**Key words** SADA, Adhesive, Glass transition temperature,  $\gamma$ -ray radiation, Outgassing properties

### 0 引言

太阳帆板驱动机构(SADA)用于驱动太阳帆板旋转跟踪太阳获取能源,并通过导电环完成太阳帆板与卫星主体间的电功率与电信号传输<sup>[1]</sup>。功率导电环是SADA核心部件,负责整个卫星能源的传输,随着卫星寿命、载荷以及功率的不断增大,功率导电环在功率传输过程中的发热量不断增大,环片温度的升高对于环片与合盘间的有机粘接材料的耐热稳定性、绝缘性能、粘接性能以及高温下的真空脱气性能等均提出了越来越高的要求<sup>[2]</sup>。例如,某集成了功率导电环的原理样机在鉴定级热真空实验温度上限(70℃)及满功率传输时,内部温度达到120℃,超过了原有环氧胶的玻璃化转变温度。

本文基于卫星SADA功率导电环对于特种粘接

材料的应用需求,研制开发了一种用于功率传输的导电环粘接的环氧胶黏剂,并对其粘接、热、力学、耐辐照性能以及热真空特性进行了研究。

### 1 实验

#### 1.1 主要原料

双酚A型环氧树脂,深圳佳迪达化工有限公司;三官能团环氧树脂 AFG-90,上海合成树脂研究所;反应性环氧稀释剂 AGE,天津天豪达化工有限公司;环氧改性橡胶,北京德沃特化工科技有限公司;液体芳胺固化剂,深圳佳迪达化工有限公司,减压蒸馏后使用;固体芳香二胺固化剂,国药集团化学试剂有限公司;促进剂 2-乙基-4-甲基咪唑,国药集团化学试剂有限公司。

#### 1.2 设备与测试方法

黏度采用 Brookfield DV-II+ Pro 黏度计测定,测试

收稿日期:2014-12-16

作者简介:孟宪刚,1979年出生,高级工程师,主要从事宇航产品胶接和固封工艺研究。E-mail:mxg\_yoyo@sohu.com

温度为 25℃;  $T_g$  采用差示扫描量热仪 TA-Q100, 依据 GB/T19466.1—2004 测试, 升温速度为 10℃/min; 常温拉剪强度依据 GB/T 7124—2008 进行测试, 高温拉剪强度依据 GJB 444—1988 进行测试, 试样加载速度均为 2 mm/min; 体积电阻率和表面电阻率依据 GB/T 1410—2006 进行测试, 击穿电压按照 GB/T 1408.1—2006 进行测试; 总质量损失 (TML)、收集的可凝挥发物 (CVCM), 根据 QJ 1558—1988 进行测试。 $\gamma$ -射线 ( $^{60}\text{Co}$ ) 辐照测试的辐照率为 50 rad/s, 样品分别为  $\Phi 100$  mm 圆片, 厚度为 2 mm, 用于辐照后电性能的测试以及 45# 碳钢搭接片, 用于辐照后拉伸剪切强度的测试。

### 1.3 KH-A 设计与制备

基体树脂设计时为了提高胶黏剂的耐热性, 在双官能团环氧体系中引入一定量的多官能团环氧树脂, 提高环氧浇铸体的交联密度, 同时降低浇铸体的线胀系数<sup>[3-4]</sup>。并将双酚 A 环氧与多官能团环氧复配使用, 通过调节各组分的比例, 以实现适宜的黏度, 从而可避免过多使用稀释剂, 减少环氧浇铸体在真空环境下的可凝挥发物含量。同时, 在树脂中使用了一种与环氧树脂具有良好的相容性的端羧基丁腈橡胶 (CTBN), 从而达到了良好的增韧效果<sup>[5-6]</sup>。

液态芳香族二胺固化剂与固体芳香胺固化剂配合使用。固体芳香族二胺可以提高胶黏剂的耐热性, 液态芳香二胺固化剂有利于与环氧树脂充分混合, 可以提高环氧胶的适用期<sup>[7]</sup>。同时在固化剂中添加咪唑类促进剂, 促进与环氧树脂的反应。

将上述环氧树脂、橡胶增韧剂等按照一定比例配制得到 A 组分, 而将固化剂和促进剂配制得到 B 组分。A、B 两组分的按一定质量比搅拌 5~10 min。将该溶液缓慢倾倒在特定的模具中, 置于烘箱中按照一定程序进行固化, 制备成 KH-A 浇铸体。

## 2 结果与讨论

### 2.1 黏度与工艺操作性

KH-A 主要用于导电环的粘接, 需要具有一定的黏度, 以保持其粘接层的厚度。同时要求在一段时间内保持一定的流动性以便于操作。图 1 给出了胶黏剂 KH-A 的黏度变化。

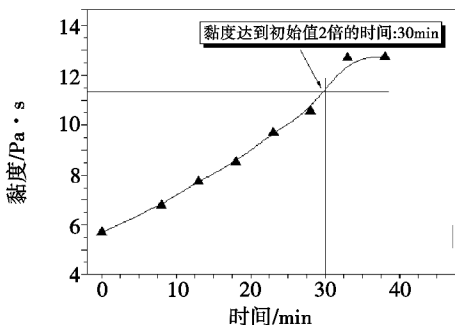


图 1 KH-A 环氧胶黏剂的工艺操作窗口

Fig. 1 Processing windows for KH-A

可以看出, A、B 组分混合后的初始黏度为 5~6 Pa·s, 而黏度达到初始值 2 倍时的时间约为 30 min, 可满足导电环粘接操作使用需求。

### 2.2 耐热性能

胶黏剂 KH-A 浇铸体的  $T_g$  为 143℃, 表明在环氧体系中引入三官能团环氧以及采用芳香胺固化剂可以有效提高胶黏剂的耐热稳定性。功率导电环要求所使用的环氧胶黏剂可满足 125℃ 长期使用的需求, 同时还要具有一定的柔韧性, 因此三官能团环氧的引入比例需要进行精确的控制, 以避免增大浇铸体的脆性。KH-A 浇铸体在 -50~125℃ 的线胀系数为  $6.98 \times 10^{-6}/\text{℃}$ , 可满足功率导电环的使用要求。

### 2.3 粘接性能

样片采用 45# 碳钢片, 分别测试了 KH-A 环氧胶在 25、100、125℃ 时的拉剪强度, 测试结果为: 23.0、24.5 和 20.9 MPa。可以看出, KH-A 在室温以及高温下均保持了较高的粘接强度。

进一步测试了 KH-A 在 -50~125℃、7 个循环后的拉剪强度变化情况。在每个极限温度点保持 4 h, 测试结果为: 20.9 和 20.3 MPa。可以看出, KH-A 环氧胶具有优良的抗高低温老化性能, 热交变老化后, 该环氧胶保持了较高的粘接强度保持率。

### 2.4 抗 $\gamma$ -射线辐照性能

图 2 为 KH-A 浇注样片在  $\gamma$ -射线辐照前后的外观。

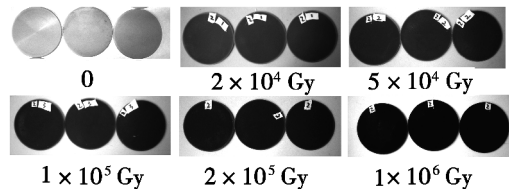


图 2 KH-A 固化片  $\gamma$ -射线辐照前后外观图

Fig. 2 Appearances of cured KH-A sheets before and after  $\gamma$ -ray radiation

可以看出, 辐照后环氧固化片的颜色明显加深, 原始状态经  $2 \times 10^4$  Gy 剂量辐照后, 颜色变化明显。经  $1 \times 10^6$  Gy 剂量辐照后, 颜色呈现出棕黑色。表 1 给出了  $\gamma$ -射线辐照后, KH-A 环氧固化片的电性能与拉伸剪切性能测试结果。

表 1 KH-A 浇铸体  $\gamma$ -射线辐照前后性能对比

Tab. 1 Properties of cured KH-A before and after  $\gamma$ -ray radiation

辐照剂量 / $10^7$ rad	击穿强度 /kV·mm <sup>-1</sup>	体积电阻率 / $10^{14}$ $\Omega$ ·cm <sup>-1</sup>	剪切强度 /MPa
0	20.1	8.8	23.0
0.2	25.0	3.5	18.8
0.5	26.6	5.4	21.7
1	26.7	4.1	18.9
2	21.2	7.9	19.3
10	25.2	11	20.0

(下转第 56 页)