

非金属材料出气可凝物成分对光学敏感器性能的影响

王 鷁 姚日剑 王先荣 郭 兴

(兰州物理研究所真空低温技术与物理国防科技重点实验室,兰州 730000)

文 摘 在理论研究的基础上,利用地面模拟设备结合化学分析手段重点对可能引起飞行器敏感系统性能衰减的非金属材料出气可凝物(凝结温度 25)进行成分分析,确定材料出气产生可凝结的各种有害物质源,取得的数据结合分光光度计分析材料出气可凝物对光学性能的影响。结果表明:对于飞行器表面常用的涂层材料黑漆 Z306,其出气可凝物中占主要成分的苯类和 BHT有机物在紫外和可见光谱段引起透过率的衰减在 10%以上;SR107 - E51黑漆占主要成分的酰胺类的有机物在紫外和可见光谱段引起透过率的衰减在 10%以内。而丁腈/丁苯胶材料出气可凝物中占主要成分的二乙基癸二酸己脂引起紫外、可见光谱段透过率的衰减在 30%以上,这种物质凝于光学镜头表面,将产生很大的危害。

关键词 非金属材料,污染效应,可凝物,色质联用,成分分析,光学性能

Condensation Contamination Ingredients Testing, Analysis of Non-Metal Materials and Characteristic Research on Optical Performance

Wang Yi Yao Rijian Wang Xianrong Guo Xing

(National Key Laboratory of Vacuum & Cryogenics Technology and Physics, Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730000)

Abstract This paper describes these research methods: with the help of mass chromatogram the CVCMM ingredient (condensate temperature: 25) was analyzed, which may decline the performance of satellite sensitive systems due to non-metal materials outgassing. At the same time, the attenuation of optical performance due to CVCMM ingredient condensation can be tested by means of the spectrophotometer. The results indicate that when the CVCMM ingredient of Chemglaze Z306 is mostly benzene and BHT, the transmittance attenuation of the optical lens is 10%; when the CVCMM ingredient of SR107 - E51 is amide, the transmittance attenuation of the optical lens is less than 10%. It must be especially pointed out that the conclusion, obtained from the test and the theoretical analysis, is concerned with the contamination defense and control of the satellite optical system. With the demand of task development, more nonmetal materials used in the satellite will be investigated.

Key words Nonmetal materials, Contamination effect, CVCMM, GC/MS, Ingredient analysis, Optical performance

0 引言

飞行器用非金属材料在真空环境中出气逸出的有机可凝物凝于光学镜头表面、热控表面、热辐射材料和太阳帆板上产生的污染^[1],使光学系统性能下降,热控涂层太阳吸收率增加而使卫星过热,热辐射材料易受高速冲击污染物的影响而造成在轨承受条件的降低、太阳帆板供电不足等污染效应,这些都可以导致卫星使用功能的降低甚至失效。尤其是卫星的相机和低温红外系统对污染控制的要求更为苛

刻,以保证其在轨的使用业绩。因此,污染源的控制技术研究越来越受到卫星设计和研制部门的重视。

材料的选择即污染源的控制是抑制在轨污染产生的一个重要的手段。本文给出了如何确定非金属材料可凝物的成分分析以及可凝物引起光学参数衰减的试验方法。测试分析所用的材料都是卫星关键部件上常用的非金属材料,对这些材料出气成分及影响研究对卫星的污染控制和在轨污染效应的评估有非常重要的工程价值。兰州物理研究所陆续开展

收稿日期:2007 - 07 - 23;修回日期:2007 - 08 - 27

基金项目:武器装备重点实验室基金项目(914C550305)

作者简介:王鷁,1974年出生,博士,主要从事空间环境效应防护与控制方面的研究工作
宇航材料工艺 2008年 第1期

了此方面的研究工作,利用成分检测设备测试分析多种星用材料出气物的成分^[2],并重点分析可凝物成分对光学透镜透过率的影响。

2 可凝物对光学系统参数的影响研究

沉积于光学系统表面的可凝污染物会不同程度地影响系统的光学性能^[3]。如图 1 所示,入射到膜厚 x 污染表面的光一部分被反射 (R),一部分被吸收 (A),其它的透过污染物薄膜 (T),可得:

$$R + A + T = 1 \quad (1)$$

式中, R = 反射率; A = 吸收率; T = 透过率。

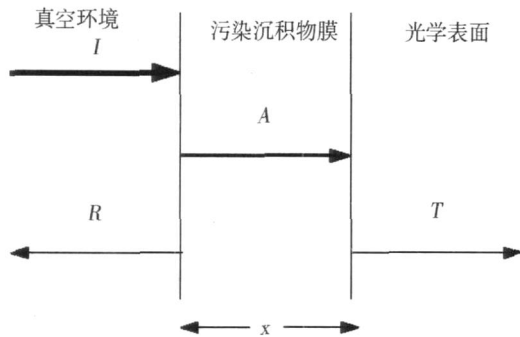


图 1 污染物质引起的光学系统性能衰减示意图

Fig 1 A attenuation of optical performance due to contamination

对于波长 λ 的光路,式 (1)可变为:

$$I(\lambda, x) = I(\lambda, 0) - I(\lambda, R) - I(\lambda, A) \quad (2)$$

由图 1 可知,入射光线经过厚度为 x 的污染物膜能量衰减为:

$$I(\lambda, x) = I(\lambda, 0) \exp[-\alpha(\lambda) x] \quad (3)$$

因此,入射光能量穿过厚度为 x 的污染膜后,能量表示为:

$$I(\lambda, x) = I(\lambda, 0) \exp[-\alpha(\lambda) x] \quad (4)$$

式中, $\alpha(\lambda)$ 为试验确定的污染层吸收系数。

综上可得到被污染表面的吸收系数表示为:

$$\alpha(\lambda) = \frac{1}{x} \{1 - \exp[-\alpha(\lambda) x]\} \quad (5)$$

对光学透镜而言, $\alpha(\lambda) = 0$,可知,被污染表面的透过系数表示为:

$$T(\lambda) = \exp[-\alpha(\lambda) x] \quad (6)$$

由 (6) 式可知,光学透镜的性能变化受可凝污染物成分、厚度和污染物吸收率的影响。

3 实验

3.1 材料选择

选用 5 种国内飞行器使用的非金属材料,其挥发性性能如表 1 所示。在测试前利用丙酮和酒精对样品进行清洗后,将样品放置在 45% ~ 55% 的湿度的室温环境下对样品预处理 24 h 后进行试验。

表 1 材料的挥发性性能

材料名称	总质量损失 (TML) / %	可凝挥发物 (CVM) / %
FM40/T86 - XDA	2.91	0.26
104 胶黏剂	10.30	2.90
Z306 黑漆	15.28	2.41
丁腈/丁苯胶	0.62	0.14
SR107 - E51 黑漆	0.88	0.40

3.2 试验设备和原理

利用图 2 所示的仪器测试出气可凝物的成分,它具有样品气体所能够被直线 MC 仪模式或者气体色谱/质谱 (GC/MC) 模式分析的特点。当出气物经由 GC 进入 MC,总离子数升高,出气物的浓度降低,GC 出现一个峰值。当运行一段时间后,对每一种 GC 峰进行 MC 分析是为了判别可凝物的化学成分^[4]。

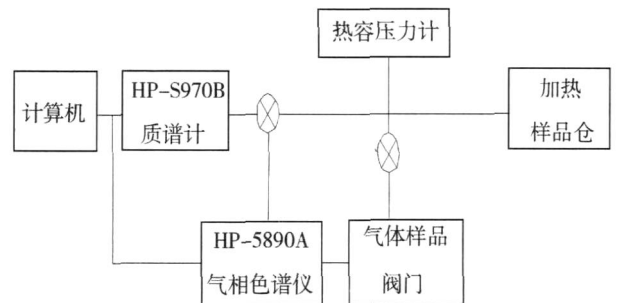


图 2 GC/MC 工作示意图

Fig 2 Diagram of GC/MC operation

3.3 试验步骤

试验过程及步骤如图 3 所示。

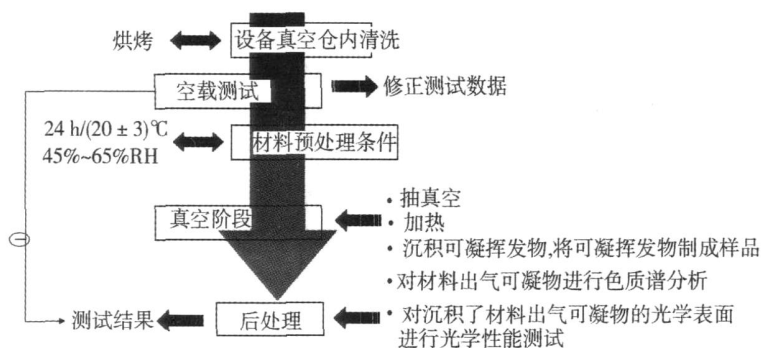


图 3 试验过程简图

Fig 3 Sketch of test process

4 结果与分析

4.1 FM40/T86 - XDA 材料可凝污染物成分

FM40/T86 - XDA 材料是卫星上使用的复合材料,为确定有害物的成分,利用 25 收集到的出气可凝物质进行 GC 分析结果如图 4 所示。

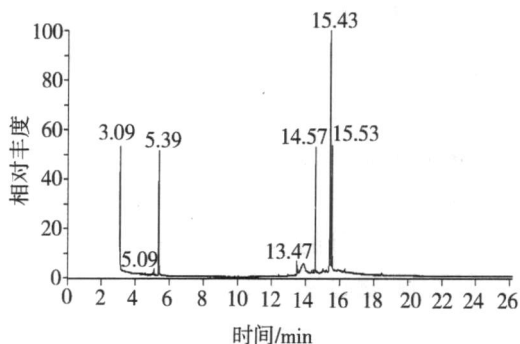


图 4 材料可凝物成分的 GC 分析图

Fig 4 Chromatogram of CVCM ingredient from FM40/T86 - XDA

由图 4 可知,除在保留时间 5.39 min 处出现的峰是所用丙酮的峰与出气成分无关外,FM40/T86 - XDA 材料可凝物的成分包括苯、 $C_{15}H_{33}N$ 、 $C_{19}H_{16}O_2$ 、 $C_{15}H_{33}N$ 等有机物成分,其中 $C_{19}H_{16}O_2$ 成分含量最高。

4.2 胶黏剂可凝污染物成分

104 胶黏剂在 25 收集到的出气可凝物质进行 GC 分析结果如图 5 所示。

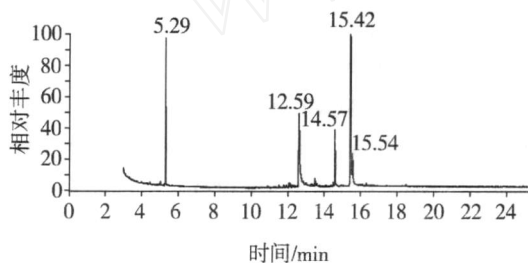


图 5 104 胶黏剂可凝物成分的 GC 分析图

Fig 5 Chromatogram of CVCM ingredient from 104 glue

由图 5 可知,可凝挥发物的主要成分有十六烷酰胺、1,2,4,5 苯环四羧酸酐、十二烷酰胺等。

4.3 Z306 黑漆材料可凝污染物成分

Z306 黑漆材料在 25 收集到的出气可凝物质进行 GC 分析结果如图 6 所示。

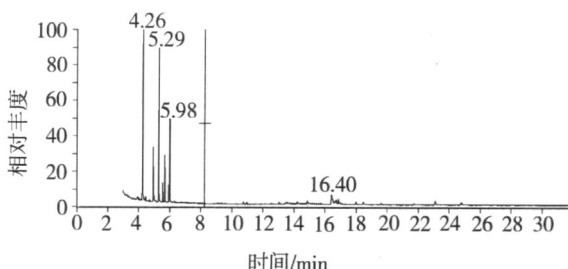


图 6 Z306 黑漆可凝物成分的 GC 分析图

Fig 6 Chromatogram of CVCM ingredient from Z306 black lacquer

由图 6 可知, Z306 黑漆材料可凝物的成分包括甲苯、乙苯、对二甲苯、邻二甲苯、2 甲基 1 戊酮、1 或 3 二甲基丁烯二甲苯、(2 甲氧基丙氧基) 2 丙烷基醋酸盐和 BHT^[5]。

对光学玻璃上沉积的 Z306 黑漆可凝物进行光学参数测试,测试结果 (图 7) 表明苯类的有机凝结物在可见光谱段可凝物引起透过率的衰减在 10% 以上。

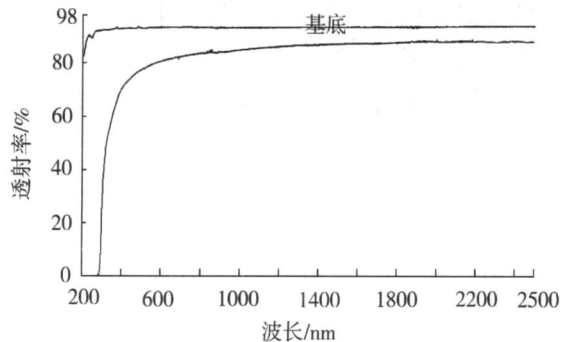


图 7 Z306 黑漆出气可凝物引起透光率的衰减

Fig 7 Transmision attenuation due to CVCM of Z306 black lacquer

4.4 丁腈 / 丁苯胶可凝污染物成分

丁腈 / 丁苯胶材料在 25 收集到的出气可凝物质进行 GC 分析结果如图 8 所示。由图 8 可知,丁腈 / 丁苯胶材料可凝挥发物的包括 2 乙基癸二酸己脂、2 苯基甲烷二异氰酸盐、酰胺等成分。其中二乙基癸二酸己脂成分与其他成分相比含量最高。

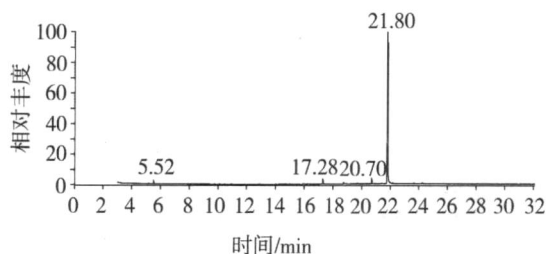


图 8 丁腈 / 丁苯胶可凝物成分的 GC 分析

Fig 8 Chromatogram of CVCM ingredient from butyl-benzene glue

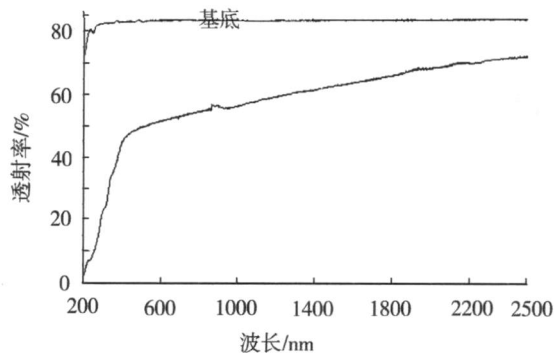


图 9 丁腈 / 丁苯胶出气可凝物引起透光率的衰减

Fig 9 Transmision attenuation due to CVCM of butyl-benzene glue

在光学玻璃上沉积丁腈 / 丁苯胶的出气可凝物,测试结果 (图 9) 表明二乙基癸二酸己脂有机凝结物引起可见光谱段透过率的衰减在 30% 以上,这种物

质凝结于光学镜头表面,将产生很大的危害。

4.5 SR107 - E51黑漆可凝污染物成分

SR107 - E51黑漆材料在 25 收集到的出气可凝物质进行 GC分析结果如图 10所示。对材料的出气产物中的可凝挥发物进行 GC/MC分析,主要成分是 9 - 十八酰胺,并含有 1,2 苯二羧酸 2 乙基己酯、十六烯酰胺等。

对光学玻璃上沉积的 SR107 - E51黑漆可凝物进行光学参数测试,测试结果(图 11)表明酰胺类的有机凝合物在可见光谱段可凝物引起透过率的衰减不大(10%以内)。

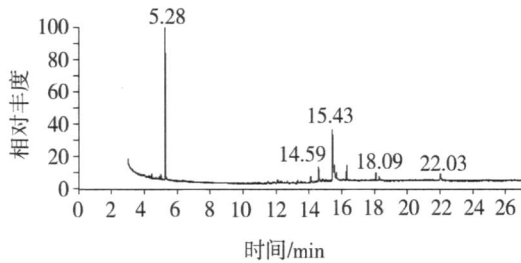


图 10 SR107 - E51黑漆可凝物成分的 GC分析
Fig 10 Chromatogram of CVCM ingredient from SR107 - E51 black lacquer

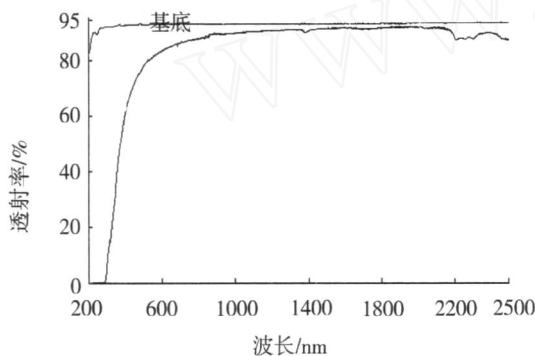


图 11 SR107 - E51黑漆出气可凝物引起透光率的衰减
Fig 11 Transmission attenuation due to CVCM of SR107 - E51 black lacquer

5 结论

材料的出气可凝污染物测试数据分析结果表明,沉积到光学表面上不同可凝污染物对透过率的影响不同,与凝结污染物的成分有直接关系。材料出气产物中,一部分诸如水、二氧化碳等无机物是不可凝的,烷烃、乙基酮、乙酯、BHT等可凝的有机物成分对敏感器件光学参数影响不大,而苯类的有机物、二乙基癸二酸己脂、二苯基甲烷二异氰酸盐很容易凝结于光学表面引起光学参数的衰减,由透过率图谱可知这些可凝的有机物是引起污染效应的主要成分。对于飞行器表面常用的涂层材料黑漆 Z306,其出气可凝物中占主要成分的苯类和 BHT有机物在紫外和可见光谱段引起透过率的衰减在 10%以上;SR107 - E51黑漆占主要成分的酰胺类的有机物在紫外和可见光谱段引起透过率的衰减在 10%以内;而丁腈/丁苯胶材料出气可凝物中占主要成分的二乙基癸二酸己脂引起紫外、可见光谱段透过率的衰减在 30%以上,这种物质凝结于光学镜头表面,将产生很大的危害。因此,在飞行器重要敏感表面附近使用的非金属材料在进行出气性能测试的同时,须更深入的进行材料污染效应的测试和评估研究工作,从而使在轨的污染降至最低。

参考文献

- 1 王鹤,王先荣,姚日剑. 飞行器敏感系统在轨分子污染沾染量预估方法研究. 宇航材料工艺, 2007; 37(3): 20 ~ 24
- 2 姚日剑,王先荣,王鹤. 星用非金属材料出气成分测试分析. 真空与低温, 2005; (2): 98 ~ 103
- 3 Tribble A C, Boyadjian B, Davis J et al Contamination control engineering design guidelines for the aerospace community. NASA Contractor Report 4740, 1996
- 4 Dyer J S, Benson R C, Guregian J I. Outgassing analyses performed during vacuum bakeout of components painted with Chemglaze Z306/9922. SPIE, Optical Systems Contamination, 1992; 1754: 177
- 5 王鹤,王先荣,颜则东等. 星用非金属材料出气物成分及污染光学测试分析. 航天器环境工程, 2005; 22(5): 295 ~ 299

(编辑 李洪泉)