

# 天线罩表面涂层的研究\*

包 宁,林 彬

(天津大学先进陶瓷与加工技术教育部重点实验室,天津 300072)

[摘要] 本文介绍了天线罩表面涂层的技术性能要求和有关的涂装要求。通过试验,对环氧改性有机硅树脂、硅橡胶和甲基有机硅树脂三种涂层的技术性能进行了比较及研究。结果表明:甲基有机硅树脂涂料的成膜性、硬度、附着力、耐高温性、耐磨性、柔韧性等综合性能指标优异。

[关键词] 天线罩;石英陶瓷;表面涂层;有机硅树脂;硅橡胶

[中图分类号] V254.2 [文献标识码] A

## Investigation on Surface Coating of Radome

BAO Ning, LIN Bin

(Key laboratory of advanced ceramics and machining technique, Tianjin university,  
state education ministry, Tianjing 300072, China)

**Abstract:** Technical characteristics requirement and related application requirement of radome surface coating were introduced in this paper. Technical characteristics of three kinds of coating materials, epoxy modified organic siliconresin, silicon rubber, methyl organic siliconresin, were compared and were studied separately by experiments. The test result was indicated, the combination property data of methyl organic siliconresin paint, the durability of the coat, the degree of hardness, the adhesive power, the thermal endurance, the abrasability and the pliability, is excellent.

**Keywords:** radome, fused silica, surface coating, organic siliconresin, silicon rubber

### 1 引言

现代飞行器的技术性能在很大程度上取决于所用结构材料的技术含量。在这类材料中,占有重要地位的是飞行器整流罩用的电流辐射透明陶瓷。

石英陶瓷由石英玻璃粉经成型烧结而成<sup>[2]</sup>。这种材料膨胀系数小、介电常数低、耐高温、耐侵蚀、抗热冲击、透微波,是导弹天线罩的优选材料,但由于石英陶瓷坯体内含有 5%~10% 气孔率,材质疏松多孔,所以,表面粗糙无光,易沾污和吸湿,抗雨蚀能力差。石英陶瓷天线罩表面涂覆涂料的目的就是为了改善坯体的表面性能,使其表面平滑、不吸湿、不透气,同时提高其物理机械性能和电学性能。

### 2 石英陶瓷天线罩表面涂层的要求

根据石英陶瓷天线罩的使用要求,对所使用

的涂料和表在涂层提出以下技术指标。

- ①涂复于石英陶瓷内外表面,具有良好的施工工艺性能<sup>[3]</sup>。
- ②在一定频率范围内具有透微波性,介电常数低于 5<sup>[3]</sup>。
- ③表面涂层厚度小于 50 $\mu\text{m}$ 。
- ④表面涂层具有不低于 1 级的附着力。
- ⑤表面涂层应具有大于 3H 的硬度值。
- ⑥工作温度范围 - 20 $^{\circ}\text{C}$  ~ 800 $^{\circ}\text{C}$ , 其中 300 $^{\circ}\text{C}$ ~800 $^{\circ}\text{C}$  的持续时间为 3min。
- ⑦表面涂层耐柔韧性应控制在 1mm~3mm 的范围内。
- ⑧具有良好的耐磨蚀性能。
- ⑨表面涂层光泽要求低于弹壳光泽。
- ⑩表面涂层具有一定耐冲击性能。
- ⑪具有一定的耐老化性能。
- ⑫具有良好的耐腐蚀性能。

\* 收稿日期:2004-07-15

作者简介:包宁(1965—),男,浙江宁波人,硕士研究生,研究方向:结构陶瓷制品的可靠性设计理论及其在工程中的应用。

⑬石英陶瓷表面强度增强 10%左右<sup>[3]</sup>。

3 试验研究

3.1 涂料的选择原则<sup>[4,5]</sup>

- ①涂料应按照涂饰目和被涂物所处的所有环境要求来的选择。
- ②以综合经济效益最优为原则来选择涂料。
- ③涂料的选用应考虑施工条件及施工设备的因素。
- ④选择涂料品种应考虑被涂基材的结构特点和所选涂料的配套性。
- ⑤选择最佳的涂料产品。

根据石英陶瓷天线罩对其涂料和表面涂层的技术性要求,选择了环氧改性有机硅树脂(HGYS)、硅橡胶(GXJ)和甲基有机硅(JYS)三种涂料,并且对这三种涂料进行了研究试验。

3.2 涂装工艺过程及其要求

首先,将 HGYS、GXJ 和 JYS 三种涂料已制备好涂层的试件各自分成 4 或 5 组,每组由 3 个试件组成,然后,在常温 25℃ 条件下,分别检测 HGYS、GXJ 和 JYS 三种涂层的技术性能,同时,按照不同的温度放入马弗炉进行耐高温试验。HGYS、GXJ 和 JYS 三种涂料及其涂层的试验情况见表 1、表 2 和表 3:

表 1 HGYS 涂层的耐热试验情况  
及其性能检测表

试件 编号	温度	保温 时间	烘烤后的涂层情况		铅笔硬度		附着力
			外观	涂膜	烘烤前	烘烤后	
1	400℃	5min	微黄	完好	5H	6H	0 级
2	500℃	3min	深微黄	完好	6H	6H	0 级
3	600℃	3min	浅黑	完好	3H	6H	0 级
4	700℃	3min	黑(中)	完好	4H	6H	0 级
5	800℃	3min	全黑	完好	1H	6H	0 级

HGYS 涂层试验情况分析:

- ①随着温度的升高,HGYS 涂层逐渐变黑,膜下碳化程度加重。
- ②温度升高时,基材表面涂膜始终存在,玻璃化程度较好。
- ③HGYS 涂层硬度随着温度的上升而增加,均能达到 6H。
- ④HGYS 涂层被加热前后。其附着力始终较好。
- ⑤HGYS 涂层本身具有良好的电性能和柔韧性。
- ⑥在 HGYS 涂料中添加适量的填料,可以提高涂层的硬度和柔韧性。
- ⑦HGYS 涂料的施

工性能较好。

表 2 GXJ 涂层的耐热试验情况  
及其性能检测表

试件 编号	温度	保温 时间	烘烤后的涂层情况		铅笔硬度		附着力
			外观	涂膜	烘烤前	烘烤后	
1	200℃	1h	白色	有	低于 6B	低于 6B	较差
2	400℃	3min	白色	无	低于 6B	无	较差
3	600℃	3min	白色	无	低于 6B	无	较差
4	800℃	3min	白色	无	低于 6B	无	较差

说明:石英陶瓷基材是白色;GXJ 涂膜也是白色。

GXJ 涂层试验情况分析:

- ①GXJ 涂层本身具有良好的电性能和一定的柔韧性。GXJ 涂膜的附着力较差。
- ②在 GXJ 涂料中添加一定量的填料时,GXJ 涂层的硬度和柔韧性未见提高。
- ③当温度低于 200℃ 时,基材表面 GXJ 涂膜保持完好,并且涂膜始终是白色;当温度高于 200℃ 时,GXJ 涂膜完全挥发。
- ④GXJ 涂层的硬度在烘烤前后均低于铅笔硬度 6B。
- ⑤GXJ 涂料固化速度很快,施工性能较差。

表 3 JYS 涂层的耐热试验情况  
及其性能检测表

试件 编号	温度	保温 时间	烘烤后的涂层情况		铅笔硬度	附着力
			外观	涂膜		
1	200℃	2h	白色	完好	>6H	0级
2	400℃	5min	白色	完好	>6H	0级
3	600℃	5min	白色	完好	>6H	0级
4	800℃	3min	白色	挥发 (无膜)	无	无

说明:石英陶瓷基材是白色。

JYS 涂层试验情况分析:

- ①当温度低于 700℃ 时,JYS 涂膜保持完好,即涂膜为无色透明状态。当温度高于 700℃ 时,JYS 涂膜挥发。
- ②JYS 涂层耐高温性能较好。
- ③当温度从 200℃ ~ 600℃ 时,JYS 涂膜硬度较高,其铅笔硬度均大于 6H。
- ④JYS 涂膜的附着力很好,均为 0 级。
- ⑤JYS 涂料的成绩性均较好。
- ⑥JYS 涂膜的柔韧性(1~2mm)和绝缘性较好,具有良好的抗冲击性(50cm)
- ⑦JYS 涂料在常温下的固化速度较快,如果选用适宜的稀释剂,可有效改善涂料的施工性能。
- ⑧如果被涂基材表面处理不干净,则会影响 JYS 涂层的附着力及硬度。
- ⑨由于 JYS 涂料的粘度较低(涂—4 条件粘度 12s),所以在石英陶瓷表面的渗透力较强。
- ⑩在 JYS 涂料中加入填料时,JYS 涂膜的附着力明显降低,并且会直接影响涂层硬度。

4.1 建立判断矩阵 A,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 & 1/4 & 1/3 & 1/5 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 1/4 & 1/3 & 1/5 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1/6 & 1/4 & 1/7 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 1/6 & 1/4 & 1/7 \\ 4 & 4 & 6 & 6 & 1 & 2 & 1/2 \\ 4 & 4 & 6 & 6 & 1/2 & 2 & 1/2 \\ 5 & 5 & 7 & 7 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

4.2 计算权重向量 W

求出 A 的最大特征值为 7.07,特征向量为:

$$W = [0.07 \quad 0.07 \quad 0.04 \quad 0.04 \quad 0.26 \quad 0.17 \quad 0.35]^T$$

4.3 一致性检验

用(5)、(6)、(7)式求出  $C.I. = 0.012$ ,由文献[1]查表得当  $n = 7$  时,  $R.I. = 1.32$ ,  $C.R. = 0.009 < 0.1$ ,

4.4 求 7 个备选材料对中间层各评价因素  $B_i$  的权重矩阵 B

$$B = \begin{bmatrix} 0.21 & 0.15 & 0.15 & 0.15 & 0.15 & 0.15 & 0.10 \\ 0.21 & 0.15 & 0.15 & 0.15 & 0.13 & 0.13 & 0.10 \\ 0.10 & 0.14 & 0.13 & 0.14 & 0.14 & 0.13 & 0.16 \\ 0.10 & 0.14 & 0.15 & 0.14 & 0.15 & 0.16 & 0.10 \\ 0.20 & 0.15 & 0.14 & 0.14 & 0.13 & 0.13 & 0.10 \\ 0.09 & 0.13 & 0.13 & 0.14 & 0.12 & 0.13 & 0.48 \end{bmatrix}$$

(上接第 554 页)

4 试验结论

根据石英陶瓷天线罩表面涂层的技术性能要求,对 HGYS、GXJ 和 JYS 三种涂料及其涂层技术性能进行了测试和分析,结论如下:

- ①当温度升高时,HGYS 涂层表面虽保持完好,但膜下碳化现象严重,这将影响天线罩的透波性。
- ②GXJ 涂层耐高温能力、附着力和硬度均较差。
- ③JYS 涂料具有耐高温、附着力好、硬度高、成膜性好、绝缘性好、耐磨、耐老化等优秀的综合性能指标。

所以,应将甲基有机硅树脂作为制备石英陶瓷天线罩表面涂层的优选涂料。

[参 考 文 献]

[1] 程梅莎. 烧蚀对天线罩材料透波性能影响的实验研究[D]. 2001(1):4.  
[2] 陈祖熊,蒋维瑞,何胜男. 石英陶瓷的表面涂层增强[J]. 玻璃与搪瓷. 25 卷 3 期:40.

4.5 计算 7 个备选材料对总目标的权重矩阵 H

$$H = \begin{bmatrix} H(C1) \\ H(C2) \\ H(C3) \\ H(C4) \\ H(C5) \\ H(C6) \\ H(C7) \end{bmatrix} = BW = \begin{bmatrix} 0.10 \\ 0.09 \\ 0.14 \\ 0.13 \\ 0.15 \\ 0.13 \\ 0.25 \end{bmatrix}$$

其中 H(C7)最大,所以材料 C7,即 45 钢为最优材料。

5 结论

基于 AHP 的机械零件材料优化选择方法对零件的各种备选材料进行优化选择是可行的,具有实际意义是一种行之有效的方法。

[参 考 文 献]

[1] 胡运权. 运筹学教程[M]. 北京:清华大学出版社,1998.  
[2] 吴宗泽,罗胜国. 机械设计课程设计手册[M]. 北京:高等教育出版社,1992.  
[3] 窦志诚,赵春晖,孙勇. 用聚苯硫醚做石英陶瓷天线罩涂料的试验研究[J]. 应用技术. 2001,10(10):44.  
[4] 叶扬祥,潘肇基. 《涂装技术实用手册》[M]. 机械工业出版社,2003(6).  
[5] 曹京宜,付大海. 《实用涂装基础及技巧》[M]. 化学工业出版社,材料科学与工程出版中心,2002(3).  
[6] 何冀,雷骏志,华信浩. 《航空涂料与涂装技术》[M]. 化学工业出版社,2000(1).  
[7] J. Barta, M. Manels, Radomes Mat. Sci. and Eng 71(1985)265.  
[8] 陈虹,王耀明,陈达谦,张联盟. 石英陶瓷材料的增强方法[J]. 陶瓷 2003,4:12.  
[9] Hui Deng, Student Member Reuben Hackam, Fellow 瓷件表面不同厚度 RTV 硅橡胶涂层的电气性能研究[J]. 电瓷避雷器译丛. 2000,(47).  
[10] 刘凤玲. 面向 21 世纪的热障涂层结构设计[J]. 2000,1(1):86~88.  
[11] 肖军,李铁虎,陈建敏,张秋禹,苏立宏. 机载武器抗烧蚀防护涂层的研究[J]. 材料保护. 2003,6(6).

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>