

温度冲击引起玻璃钢天线罩油漆开裂机理分析

胡唐生, 陆剑芳

(中国电子科技集团公司第三十六研究所, 嘉兴 314000)

摘要: 本文针对玻璃钢天线罩在温度冲击试验时油漆层出现开裂现象, 采用统计分析、实体解剖和故障树分析法, 列出了故障树, 逐一排查引起故障的三个方面因素, 明确了油漆开裂的原因, 提出了解决措施和过程控制方法。结果表明, 该方法有效地避免了后续的同类产品在温度冲击阶段的故障重现。

关键词: 玻璃钢天线罩; 温度冲击; 油漆开裂; 故障树分析法; 过程控制

中图分类号: TN05 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-7204 (2013) S1-0028-04

Mechanism Analysis of Paint Cracking on FRP Radome Caused by Temperature Shock

HU Tang-sheng, LU Jian-fang

(No. 36 Research Institute of CETC, Jiaxing 314000)

Abstract: To the question of the FRP radome paint layer cracking in the condition of temperature shock test, this paper adopts statistical analysis, physical anatomy and fault tree analysis, lists the fault tree, examines the three factors that caused the fault; then finds out the fault that leads to paint cracking, and proposes the solutions and process control methods. The results show that this method can effectively avoid the failure to reproduce among the subsequent production of similar products during the temperature shock test.

Key words: FRP radome; temperature shock; paint cracking; fault tree analysis; process control

引言

玻璃钢是以合成树脂为基体, 以玻璃纤维及其制品为增强材料, 通过一定的工艺组成的多相材料。它具有轻质、高强度、良好的耐腐蚀、良好的介电性, 是目前复合材料中技术比较成熟且应用较为广泛的一类材料。美国 1940 年就制成了军用飞机雷达罩, 1963 年前后形成了规模化生产^[1]。

目前, 我国有 90% 以上的 FRP 产品是手糊法生产的, 日本的手糊法仍占 50%, 手糊法的特点是用湿态树脂成型, 设备简单, 费用少, 缺点是机械化程度低, 生产周期长, 质量不稳定, 容易引起玻璃钢内部的裂缝、树脂聚集、褶皱、空洞、气泡、夹杂物等缺陷。一般厂家是通过目测和敲击的方式进行检验, 基本没有探测基材内部缺陷的方法和手段, 很难发现内部的质量问题。

玻璃钢表面涂料的研究工作始于上世纪五十年代, 最初采用的是氯丁橡胶涂层, 该涂层耐温性能差, 难以施工, 六十年代逐渐被聚氨脂涂层替代。近年来, 随着

新材料、新工艺的不断涌现, 研制出很多新型保护涂料, 其中美军采用的抗静电型氟树脂, 具有优异的耐热性和耐雨蚀性、透波性良好。我国在玻璃钢涂料研究方面起步较晚, 未形成较为完善的产品体系。

本文通过对玻璃钢天线罩在高低温冲击试验时, 表面油漆层开裂的研究, 发现玻璃钢内部的空洞和气泡是油漆开裂的诱因。为了避免产品在最终的试验阶段出现质量问题, 主要是从设计的合理性, 质量过程管控方面去避免产品缺陷; 当缺陷产生后, 采取了增加工序流程, 通过过程试验检测来尽早发现问题。同时, 对玻璃钢油漆的工艺进行了梳理和摸底试验, 重新确定了油漆的工艺流程。

1 天线罩油漆开裂现象及统计分析

1.1 开裂现象描述

共有六种类型的天线按 GJB 150.5A-2009^[2] 进行温度冲击试验, 试验条件为: ①温度范围 -55℃ ~ +70℃; ②

保持时间: 1h; ③转换时间: $\leq 5\text{min}$; ④循环次数: 3~5 次。发现有五种玻璃钢天线罩油漆层开裂, 开裂的部位大多都是在圆弧过渡部位, 如图 1 所示。

1.2 开裂统计分析

具体的试验情况及统计结果如表 1, 产品由两个厂家供货, 内腔有灌封和未灌封, 表面有沉铜和玻璃钢本体两种状态, 开裂数量占比不一。从统计结果来看, 开裂原因指向不明, 较为分散。

2 天线罩油漆开裂故障排查及定位

2.1 实体解剖

铲除天线罩体表面开裂处的油漆, 打磨表层的玻璃布, 发现有的玻璃钢天线罩基体上出现严重空洞, 有的有气泡, 有的基体看不出明显缺陷, 实物如图 2 所示。

2.2 故障原因分析

我们对开裂的现象、统计数据和实体解剖情况进行综合分析, 结合玻璃钢天线罩的加工、内腔灌封、天线罩油漆过程, 认为油漆本身、灌封和温冲引起的变形、



图 1 天线罩开裂实物图

表 1 试验情况及结果统计

类型	技术状态	试验数量	开裂数量	外协厂家
A	内腔灌封	2	2	甲厂家
B	未灌封	16	无	乙厂家
C	内腔灌封	4	2	乙厂家
D	外表沉铜未灌封	13	12	甲厂家
E	内腔灌封	4	3	乙厂家
F	内腔灌封	8	7	乙厂家



图 2 实物解剖图

玻璃钢天线罩基体缺陷都有可能引起油漆开裂, 故障树如图 3 所示。

2.3 故障逐一排查

2.3.1 油漆工藝本身质量问题

我们用两个厂家提供的玻璃钢工艺样板进行了油漆后 15 个周期温冲试验, 图 4 的样件是按原天线罩的油漆工艺和流程, 图 5 的样件是在原油漆工艺流程的喷涂底漆前, 增加了喷涂清漆工序。试验结果表明温冲试验不

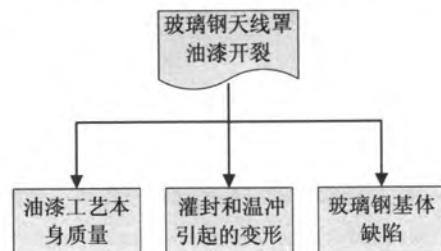


图 3 油漆开裂故障树



图 4 温冲试验后样板 (原油漆工艺)



图 5 温冲试验后样板 (增加了喷涂清漆)

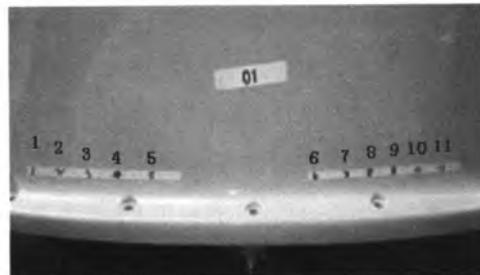


图 6 天线罩的测试点位置示意图

会引起样件的油漆层开裂。

2.3.2 灌封和温冲引起的变形

灌封是在天线罩内腔灌注定量的双组份聚氨酯, 经化学反应生成硬质聚氨酯泡沫塑料, 来固定内部电路单元, 增加天线整体强度。

为了确定灌封和温冲前后引起的变形是否会导致天线罩油漆层的开裂, 按表 2 的试验流程进行试验, 测量了 8 个天线罩圆弧过渡处的 11 个监测点, 如图 6 所示。结果表明, 灌封和温冲均会引起天线罩外形的变化, 各检测点位的前后值有的变大, 有的变小, 没有变化规律, 根据测量值, 计算出各天线罩上 11 个点位中最大和最小变形量。试验证明, 天线罩的油漆层能承受天线罩在一定范围内的变形, 灌封和温冲不会导致油漆开裂。

2.3.3 玻璃钢基体缺陷

玻璃钢基体内部的空洞、气泡等缺陷, 一般在灌封、油漆阶段不会呈现出来。在温度冲击试验中, 冷热骤然变化, 空洞、气泡等有缺陷处的膨胀系数不同会引起应力集中不能消除, 会导致玻璃钢表面产生裂纹而引起油漆层开裂。综合各种试验和实物解剖情况, 可以认为玻璃钢基体缺陷是油漆层开裂的最直接原因。

3 解决天线罩油漆开裂的措施

3.1 设计时避免应力集中

天线罩的截面突然变大会引起应力局部增大, 在截面发生变化的部位, 应力分布不再均匀。为了防止和减少应力集中, 设计时外形轮廓应平缓光滑, 圆角采用大

圆弧过渡, 必要的安装孔应配置在低应力区。

3.2 严格生产过程质量管理

玻璃钢天线罩的生产过程应严格执行工艺规程和规范, 要求厂家加强过程控制, 不定期到外协厂家进行跟踪监督, 检查工艺参数记录完整性和符合性。

3.3 增加工序流程, 加强过程检测

为了避免产品在后期的例试中出现问题, 重新梳理原油漆工艺, 增加了工序控制, 调整后流程如图 7 所示。

油漆工序流程和以前相比, 有以下变化: ①增加了老化试验, 来检查孔隙、分层、鼓泡、脱胶、开裂、纤维空隙等缺陷, ②增加了涂装清漆封闭工序来发现缺陷, ③增加了温度冲击试验, 检查喷涂底漆后的缺陷。通过增加上述三点过程控制, 在后续的产品中发现了如图 8 所示的质量问题, 进一步说明了改进有效, 措施得力, 避免了天线整机装调完成后, 在环境试验中出现类似问题。



图 7 天线罩的油漆流程示意图

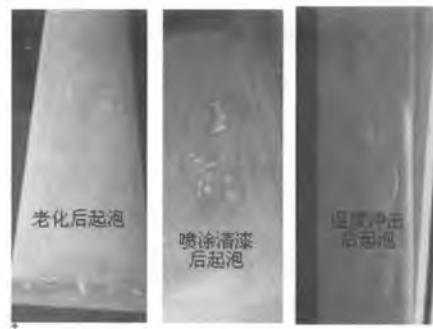


图 8 质量问题示意图

表 2 试验情况及结果

编号	内腔测量体积 /cm ³	灌封重量 /g	测量点的变形值 Max/mm	测量点的变形值 Min/mm	试验流程
01	1160	176.7	3.187	0.14	油漆 → 装配 → 三坐标检测 → 灌封 → 三坐标检测
02	1160	183.2	3.261	1.066	
03	1180	不灌封	4.428	0.106	油漆 (清漆) → 装配 → 三坐标检测 → 温度冲击试验 → 三坐标检测
04	1120	不灌封	4.147	1.596	
05	1140	222.9	3.508	0.744	油漆 → 三坐标检测 → 灌封前处理 (天线预热 30~40℃) → 灌封 → 室温静置处理 → 三坐标检测 → 灌封后处理 (60~80℃停置 4~6h) → 三坐标检测 → 温度冲击试验
06	1160	217	5.311	2.474	
07	1160	189.6	3.651	0.548	三坐标检测 → 灌封前处理 (预热 30~40℃) → 灌封 → 室温静置处理 → 三坐标检测 → 灌封后处理 (60~80℃停置 4~6h) → 三坐标检测 → 油漆 (80℃) → 温度冲击试验
08	1160	188.6	4.817	1.577	

4 结束语

通过对高低温冲击引起玻璃干天线罩油漆层开裂的问题研究, 主要以试验为依据, 进行了故障定位, 给出了纠正措施和验证结果, 研究表明玻璃钢基体的质量缺陷是油漆开裂的直接诱因。本文为早发现玻璃钢缺陷提供了方法, 避免后期的返修或报废, 节省了时间和成本。为了更好的解决问题, 建议寻找或开发新型的弹性涂料, 来适应玻璃钢更大变形范围内不开裂。

(上接 22 页)

老化的相关性进行定量分析是可行的, 其中加速光老化对四地的自然老化试验关联度较高, 以压缩强度保留率为性能指标得到的相关性较好, 关联度都达到了 0.7 以上。

3) 进一步得工作是以光老化为指导, 改进加速老化条件, 获得自然老化和试验室加速老化更高的关联度。得到实验室人工老化对自然老化的加速因子和转化加速因子, 并最终建立可靠的寿命预测方程。

参考文献

- [1] Lu S, Wang T. Research of bromide epoxy vinyl ester[J]. Fiber Reinforced Plastic/Composites, 2002, 2002 (3): 35-37.
- [2] Zhong F. Varieties and properties of epoxy vinyl ester resin[J]. Fiber Composites, 2005, 2005 (1): 60-64.
- [3] 常淑亮, 刘耀德. 新型溴化环氧树脂类阻燃剂 [J]. 山东化工, 1998, (2): 41-46.
- [4] 李华, 冯圣玉, 金子明. 玻璃纤维增强乙烯基树脂抗冲击复合材料研究 [J]. 工程塑料应用, 2006, 34 (4): 17-20.
- [5] Ellyin F, Maser R. Environmental effects on the mechanical properties of glass fiber epoxy composite tubular specimens [J]. Composites Science and Technology, 2004, 64 (12): 1863-1874.
- [6] Hu X. The weathering of polymer[J]. Weathering and Applied of Polymer, 2004, 34 (2): 11-13.
- [7] Yi P, He J, Yang X. Natural environmental multi angle exposure contrast test about three kinds of polymer materials[J]. Surface

参考文献

- [1] 方芳. 先进复合材料在雷达上的应用 [J]. 电子机械工程, 2013, 29 (1): 27-31.
- [2] GJB 150.5A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第 5 部分: 温度冲击试验 [S].

作者简介

胡唐生 (1971-), 男, 高级工程师, 主要从事结构设计工作。
陆剑芳 (1963-), 女, 高级工程师, 主要从事工艺设计工作。

- [3] Techology, 2007, 36 (2): 18-21.
- [4] Wang X. Enviroment experiment technology[M]. Beijing: Aviation Industry Publishing, 2003.
- [5] Wypych G. Handbook of material weathering (3rd Edition)[M]. Tarant: ChemTec Publishing, 2004.
- [6] 化学工业部合成材料老化研究所. 高分子材料老化预防老化 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1979.
- [7] Feng Q, Li M, Gu Y. Experimental research on hydrothermal properties of carbon fiber/epoxy resin composite under different hydrothermal conditions[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2010, 27 (6): 16-20.
- [8] Lan M. Discussion about commen problems in artificial accelerated aging test[J]. Plastic Technology, 2006, 34 (4): 76-80.
- [9] 邓聚龙. 灰色预测与灰决策 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [10] 傅立. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1992.
- [11] 陈瑞, 魏勇. 一种新灰色关联度的计算方法 [J]. 乐山师范学院学报, 2010, 25 (5): 14-19.
- [12] Cai H, Miyano Y, Nakada M. Time-temperature difference of flexural strength of glass fiber reinforced plastic[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2005, 22 (2): 178-183.
- [13] 叶苑苓. 聚丙烯在不同气候区域的大气老化相关性 [J]. 老化与应用, 1991, 1991 (4): 21-23.

作者简介

王登震, 博士, 主要从事非金属材料环境适应性评价以及寿命预测方面的工作。
李晖, 研究员, 材料腐蚀与老化、环境适应性评价以及寿命预测专家。
刘亚平, 高级工程师, 主要从事非金属材料环境适应性评价以及寿命预测方面的工作。
孙岩, 高级工程师, 主要从事非金属材料环境适应性评价以及寿命预测方面的工作。

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)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)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、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),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>