

密封组合形式对结构密封性能影响研究

赵连红, 刘成臣, 何卫平, 王浩伟

(中国特种飞行器研究所 结构腐蚀防护与控制航空科技重点实验室, 湖北 荆门 448035)

摘要: **目的** 研究密封组合形式对结构密封性能的影响。**方法** 开展密封性能试验, 从密封形式、装配形式和涂覆形式的 3 种组合形式开展试验研究, 找出结构密封性能影响因素, 筛选密封最优组合形式。**结果** 结构密封 3 种组成形式分别为有无贴合面的密封形式, 干涉装配、湿装配形式, 部分涂覆、全涂覆形式。开展 2 种应力水平下 8 种密封组合形式的密封性能试验, 在保证密封工艺质量条件下, 按照飞机结构和受载特点选取合理密封组合形式能有效提高结构密封性能。**结论** 在飞机应力较高、不常拆的密封部位应选择贴合面密封、干涉装配、部分涂覆的密封组合形式, 在飞机结构设计要求间隙装配、常拆卸的密封部位选择贴合面密封、湿装配、部分涂覆的密封组合形式。

关键词: 密封组合形式; XM 密封剂; 载荷作用; 密封工艺; 密封性能

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.05.008

中图分类号: TJ07; TG147 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2018)05-0033-05

Effects of Seal Combination on Structural Sealing Performance

ZHAO Lian-hong, LIU Cheng-chen, HE Wei-ping, WANG Hao-wei

(Structure Corrosion Protection and Control of Aviation Science and Technology Key Laboratory,
China Special Vehicle Research Institute, Jingmen 448035, China)

ABSTRACT: Objective To study effect of seal combination on structural seal performance. **Method** Sealing performance test was carried out to have experimental study from three combinations of the seal form, assembly form and coating form, to find out the influencing factors of structural sealing performance and the optimal combination of screening seals. **Results** Three forms of structural seals are sealed form: with or without face seal, assembly form interferential assembly, wet assembly, coating forms of partially coated and fully coated. Test of sealing performance of 8 seal combinations under two stress levels were carried out. Under ensuring the sealing process quality, selecting correct sealing combination according to the structure and loading characteristics of the aircraft could effectively improve the structural sealing performance. **Conclusion** In case of high stress and infrequently disassembled parts of the aircraft, the sealing combination, interferential assembly and partially coated sealing combination should be selected. In the aircraft structure design requiring gap assembly, fit surface seal, wet assembly, and partially coated seal combination is selected for often disassembled seal parts.

KEY WORDS: sealing combination form; XM sealant; load effect; sealing process; sealing performance

XM 系列聚硫密封剂由于较好的性能在飞行器上广泛运用, 比如飞机结构部位中铆接、焊接和螺纹接头、仪表等密封部位^[1-2], 飞机结构部位的密封设计往往与装配形式、密封剂涂覆形式和密封形式有关^[3-4],

如何通过选取正确的密封组合形式来提高飞机结构的密封性能是急需解决的一个问题。在高湿高热强紫外海洋环境下^[5], 密封组合形式选用不当往往造成飞机在首翻期之前就出现油箱渗油、气密区泄漏等诸多

问题,严重影响飞机出勤率的同时,给飞机飞行也带来了严重的安全隐患。为解决飞机结构密封性能问题,不少学者从密封剂性能^[6-8]、密封剂工艺^[9-12]以及密封剂老化研究方面作了研究,为密封剂有效性和可靠性找到了重要的评价方法。

文中针对飞机不同密封部位结构及受载特点,从影响结构密封性能三个方面,即结构密封形式、结构装配形式、结构密封剂涂覆形式等,开展影响结构密封性能的试验研究。目的在于提高飞机密封结构密封性能,同时为工程技术人员在飞机结构密封设计过程中提供参考和借鉴^[13-15]。

1 试验

1.1 试验件

试验采用硫化密封剂 XM22,试验件为铆接试样,试验件尺寸为 221 mm×70 mm×205 mm。其材料为常用的 LY12-T4 铝合金材料,铆钉牌号为 HB6306-5。

其表面处理采用硫酸阳极,采用 S06-1010H 底漆涂层体系,见表 1。按照密封剂施工工艺规范和设计规范加工试验件,试验件如图 1 所示。

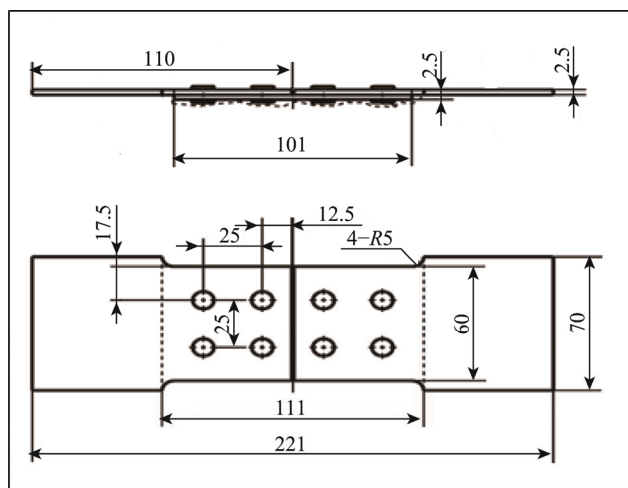


图 1 密封性能试验件

表 1 密封性能试验件清单

区域	编号	试片		铆钉类型	防护体系	密封剂
		材料	表面处理			
高应力永久密封部位	WSMCPL1—WSMCPL40	LY12-T4	硫酸阳极化	Hb6298-4×10	S06-1010H 底漆	密封剂
间隙装配常拆卸密封部位	WXMCP1—WXMCP140					

1.2 密封组合形式

开展密封性能试验,分别从密封形式、装配形式、涂覆形式开展密封性能研究。其中,密封形式分为贴合面密封和未贴合面密封,装配形式分为干涉装配和湿装配,涂覆形式分为部分涂覆和全涂覆。

1) 贴合面密封指在结构与结构贴合面之间采用密封剂或者胶膜消除结构与结构之间缝隙,达到防止电解液积聚、预防和控制贴合面腐蚀的目的。

2) 装配形式。干涉装配指连接结构采用过盈配合安装装配的,具有自身密封作用;湿装配指连接结构采用间隙配合安装的同时连接孔与紧固件之间采用密封剂密封。

3) 涂覆形式。部分涂覆针对紧固件连接结构形式采用密封剂封包处理,全涂覆指紧固件连接结构表面全部采用密封剂密封。

结构典型密封形式如图 2 所示,密封性能试验件清单见表 2。

1.3 试验设备

试验所用主要设备为疲劳试验机,其量程为 250 kN。设备指标:载荷精度为示值的±0.5%,试验速度为(0.0005~500)mm/min,速度精度为±0.1%,位

置精度为示值的±0.1%或者 0.01 mm,位置显示分辨率 0.001 mm。

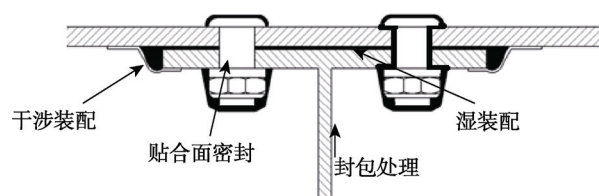


图 2 结构典型密封形式

1.4 载荷大小

密封性能试验在(25±5)℃,RH为30%~60%的条件下开展。试验的加载频率 $f=2$ Hz,应力比 $R=0.1$,试验载荷最大名义应力 $\sigma_{\max 1}=80$ MPa, $\sigma_{\max 2}=200$ MPa,采用等幅正弦波形式,加载次数均为 20 000 次。

1.5 试验步骤

试验件制备完毕后,对试验件进行外观检测,剔除表面有损伤的试验件。按照按 GJB 1997—1994《金属材料轴向腐蚀疲劳试验方法》第 5 部分第 5.4 条试验程序开展密封性能试验,高应力永久密封部位试验

表 2 密封性能试验件清单

试验件类型	装配形式	涂敷形式	防护体系	部位	试验件编号
贴合面密封试验件	干涉装配	全涂敷	S06-1010H底漆	高应力永久密封部位	WSMCPL1—5
				间隙装配常拆卸密封部位	WXMCP1—5
	干涉装配	部分涂敷	S06-1010H底漆	高应力永久密封部位	WSMCPL6—10
				间隙装配常拆卸密封部位	WXMCP6—10
	湿装配	部分涂敷	S06-1010H底漆	高应力永久密封部位	WSMCPL11—15
				间隙装配常拆卸密封部位	WXMCP11—15
	湿装配	全涂敷	S06-1010H底漆	高应力永久密封部位	WSMCPL16—20
				间隙装配常拆卸密封部位	WXMCP16—20
贴合面未密封试验件	干涉装配	全涂敷	S06-1010H底漆	高应力永久密封部位	WSMCPL21—25
				间隙装配常拆卸密封部位	WXMCP21—25
	干涉装配	部分涂敷	S06-1010H底漆	高应力永久密封部位	WSMCPL26—30
				间隙装配常拆卸密封部位	WXMCP26—30
	湿装配	部分涂敷	S06-1010H底漆	高应力永久密封部位	WSMCPL31—35
				间隙装配常拆卸密封部位	WXMCP31—35
	湿装配	全涂敷	S06-1010H底漆	高应力永久密封部位	WSMCPL36—40
				间隙装配常拆卸密封部位	WXMCP36—40

件的载荷大小为 $\sigma_{\max 2}$ ，间隙装配常拆卸密封部位试验件的载荷大小为 $\sigma_{\max 1}$ 。试验件加载形式如图 3 所示，采用密封盒为试验件提供燃油浸泡环境，确保试验件在载荷试验过程中其密封部位始终浸泡在燃油中。按照加载要求完成试验后，清洗试验件表面油污，然后在标准大气条件温度 15~35 °C 和相对湿度不高于 50% 的条件下干燥试验件 24 h，放在干燥器皿中短期保存（不应造成二次污染），等待检验。检查记录试验件外表有无破坏损伤，主要对试验件对缝处、密封剂边缘处等部位进行检查。解剖拆卸试验件，检查试验件内部密封部位有无渗油现象。



图 3 密封性能试验

2 结果与讨论

2.1 涂覆形式对于密封性能影响

试验考察涂覆形式对于密封性能的影响，涂覆形式分为全涂覆和部分涂覆两种形式，有 40 件全涂覆和 40 件部分涂覆。涂覆形式分别与装配形式和密封形式组成 8 种结构密封组合方式，见表 2。经过密封性能试验后，通过试验件外观检测，保持装配形式和密封形式一致的情况下，分别比较全涂覆和部分涂覆对密封性能影响。试验结果表明：在 2 种应力水平作用下，采用部分涂覆、未贴合面密封、湿装配的形式与采用全涂覆、未贴合面密封、湿装配形式的对比，部分涂覆试验件均没有出现密封胶边缘剥离的情况，而全涂覆试验件中有 6 件密封胶边缘出现剥离，程度较轻。剥离原因在于密封胶全涂覆易导致试验件密封部位胶膜厚薄不一致，致使试验件表面胶膜单位面积内受载不均，从而导致密封胶膜发生剥离现象，如图 4 所示。

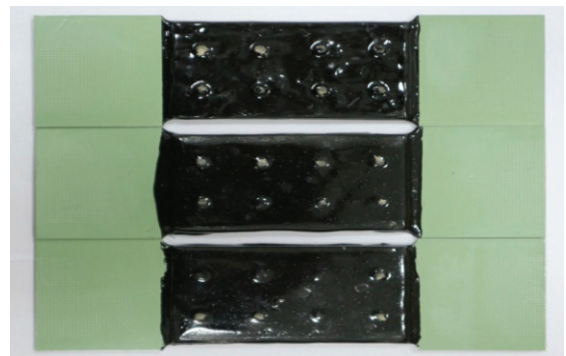


图 4 全涂覆试验件密封边缘剥离

2.2 装配形式对于密封性能影响

装配形式分为干涉装配和湿装配两种,其中装配形式分别与密封形式和涂覆形式组成8种组合形式。试验结束后保持密封形式和涂覆形式一致,分别比较干涉装配和湿装配对密封性能的影响。试验结果表明,在高应力水平下,采用部分涂覆、未贴合面密封、湿装配组合形式中有5件试验件在解剖后内部密封部位出现渗漏。在低应力水平下,试验件胶膜未出现破坏损伤和渗漏现象。分析其渗漏原因在于:试验件在高应力水平下,铆钉与试验件间隙内密封胶受力变形大,导致铆钉头部密封胶变形剥离形成渗漏源,从而导致渗漏现象发生,如图5所示。其余试验件完好,无损伤破坏和渗漏现象。

2.3 密封形式对于密封性能影响

密封形式分为贴合面密封和未贴合面密封两种形式,其中贴合面密封分别与装配形式、涂覆形式组成8种组合方式。试验结束后保持装配形式和涂覆形

式一致的情况下,分别对比贴合面密封和未贴合面密封对于密封性能的影响。实验结果表明:在2种不同应力水平作用下,未采用贴合面密封的试验件都有不同程度的密封胶剥离和渗漏现象,如图6所示。采用贴合面密封的试验件中仅有2件出现密封胶膜剥离,无渗漏现象发生。试验结果说明贴合面密封能有效提高结构的密封性能。

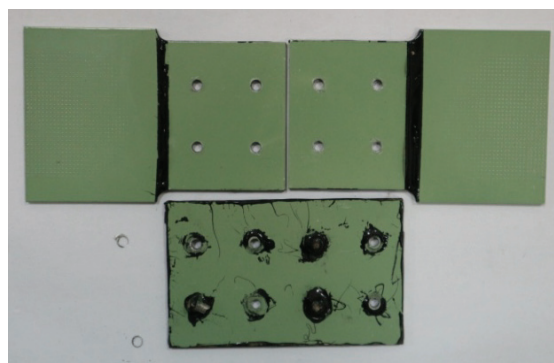


图5 部分涂覆试验件渗漏解剖图

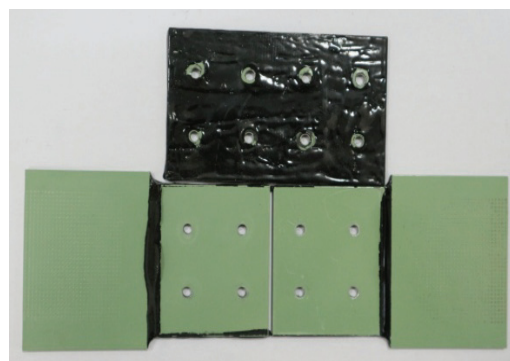
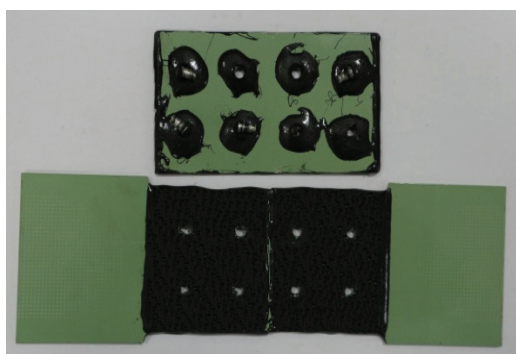


图6 密封形式试验件解剖图

3 结论

文中从密封形式、涂覆形式和装配形式等3个方面研究其对结构密封性能的影响。其中涂覆形式分为全涂覆和部分涂覆;装配形式分为干涉装配和湿装配2种形式;密封形式为贴合面密封和无贴合面密封。通过开展密封性能试验、后期试验件解剖检测,得到以下结论。

1) 选择正确的密封组合形式,比如贴合面密封、湿装配、部分涂覆的组合形式,不但密封性能好,而且对于飞机减重方面也具有较大帮助。未贴合面密封、湿装配、全涂覆的组合形式,密封性能不好,同时也增加飞机质量。选择正确的密封组合形式对于提高飞机结构密封性能以及减轻飞机质量有重要意义。

2) 按照飞机结构部位结构及受载特点选择不同结构密封组合形式,在飞机应力较高、不常拆的密封部位应选择贴合面密封、干涉装配、部分涂覆的密封

组合形式的密封性能较好。在飞机结构设计中要求间隙装配、常拆卸的密封部位选择贴合面密封、湿装配、部分涂覆的密封组合形式的密封性能较好。

3) 选择正确密封组合形式后,密封过程工艺质量控制非常重要,特别是飞机内部结构复杂,密封胶施工工艺质量达不到质量要求,是飞机结构密封性能不好的主要原因。比如,密封胶厚薄不一致、密封胶固化质量、密封胶封包不满足要求等。做好密封工艺质量控制对于提高结构密封性能有重要意义。

参考文献:

- [1] 刘秦智,王哲.民用飞机结构密封设计技术要求研究[J].航空标准化与质量,2017(1):15-18.
- [2] 袁芳.民用飞机翼根整流罩结构密封优化设计研究[J].科技信息,2013(20):400-401.
- [3] 邝春伟.由某型飞机水密试验看水密结构设计[J].黑龙江科技信息,2016(6):117.

- [4] 郭玉瑛. XM-28 密封胶在飞机结构密封中的应用[J]. 航空材料, 1979(2): 9-14.
- [5] 房振乾, 陈群志, 杨蕊琴. 腐蚀条件下新型胶体密封剂对典型飞机结构材料疲劳性能影响[J]. 中国表面工程, 2012, 25(2): 26-30.
- [6] 李咏, 晓飞. 聚硫密封剂剥离强度测定影响因素分析[J]. 化学工程与装备, 2013(8): 205-206.
- [7] 徐丽娜, 李灵子, 李子菲, 等. 民用飞机机身密封技术浅析[J]. 航空工程进展, 2016, 7(3): 382-386.
- [8] HB 5249—93, 室温硫化密封剂 180°剥离强度试验方法[S].
- [9] 潘广萍, 吴松华, 柳莹. 提高聚硫密封剂粘接性能的研究[J]. 粘接, 2008(1): 22-24.
- [10] 索军营, 文友谊, 李帆. 环境温湿度条件对聚硫密封胶性能的影响[J]. 中国胶粘剂, 2015(4): 20-22.
- [11] 陈群志, 房振乾. 飞机结构用新型胶体密封剂的主要性能测试与表征[J]. 包装工程, 2011, 32(23): 146-149.
- [12] 李咏. 密封剂 180°剥离强度测量不确定度的评估[J]. 粘接, 2013(6): 50-52.
- [13] 张向宇. 胶黏剂分析与测试技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 281-297.
- [14] 赵连红. 施工环境对密封剂剥离强度影响研究[J]. 装备环境工程, 2017, 14(2): 18-24.
- [15] 张洪燕, 曹寿德, 王景鹤, 等. 高性能橡胶密封剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 216-231, 281-297.