

# 密封胶在波音民用飞机上的应用

## Application of Sealant in Boeing Civil Aircraft

周广洲 / Zhou Guangzhou

(山东太古飞机工程有限公司, 济南 250107)

(Taikoo (Shandong) Aircraft Engineering Co., Ltd., Jinan 250107, China)

### 摘要:

对密封的级别,密封胶的类型、性能以及飞机定检时常用的施工方法进行了介绍。举例介绍了密封胶在修理过程中的应用并对日常维护中经常发现的问题进行了汇总,分析了环境对密封胶性能的影响,较全面地提供了密封胶在波音民用飞机上的基础应用知识。

**关键词:**密封胶;类型;等级;性能;应用

[ **Abstract** ] The seal level, sealant types, performance and construction methods during the aircraft scheduled check are introduced. The application of sealant through a practice example is introduced and the problems which were found in daily maintenance are summarized, the effect of environment on the properties of sealant is analyzed, and the sealant knowledge in Boeing civil aircraft is comprehensively provided.

[ **Key words** ] Sealant; Types; Classes; Function; Application

## 0 引言

密封是飞机制造、维修工作中的重要工序,飞机上很多区域为防止气体、液体的渗漏或者为了达到更好的防腐效果,需要使用密封胶进行密封。密封胶按照其成份一般分为聚硫化物和有机硅两类,大部分密封胶是由聚硫化物制成的(不含硅),耐高温性能较差,主要用在对温度要求不高的区域;含有机硅树脂的密封胶具有特殊的耐高温性能,主要用于发动机、辅助动力装置等高温区域。从颜色上看聚硫化物密封胶通常是白色或灰色的,含硅密封胶通常为红色或黑色。

## 1 密封级别

飞机的各区域因为所处环境不同,对密封等级的要求是不一样的,波音民用飞机把密封等级分为绝对密封、完全密封、中等密封和限制密封四种。绝对密封要求所有的孔、缝隙、下陷、接合处以及紧固件都必须涂胶密封,不允许有任何泄露;完全密封要求所有的孔、缝隙、下陷和接合处都应当涂胶密封,除二级配合的螺栓、螺丝或者较大的孔外,其他紧固件不需要密封。另外,自带封圈的托板螺帽不需要涂胶密封;中等密封要求所有的孔、缝隙、下陷和接合处都要涂胶密封,紧固件不需要;限制密封要求所有的孔、缝隙和下陷要涂胶密封,但飞机的接合处、紧固件等不需要涂胶密封。由此可见,

绝对密封是最高级别,而限制密封是最低级别的密封。

## 2 密封胶的类型

密封胶从包装上一般分为散装、支装和预混合冷冻装三种类型。散装的密封胶由基体和固化剂两部分组成,使用时需要按照相关比例调和,由于调和的比例和过程控制比较麻烦、污染严重,现在已经较少使用;支装密封胶的基体和固化剂是按比例在胶桶中隔离配好的,使用时只需推动胶桶尾盖将固化剂完全注入基体中调和即可,用起来比较方便;预混合冷冻型其实就是已经将基体和固化剂混合好的密封胶,为防止其固化需要在低温下冷冻保存,使用时只需解冻即可,大量使用时比较方便但成本偏高。

密封胶按照其性能及用途可以分为 A、B、C、D、E、F、G 七个级别。A 级密封胶粘度底(150 ~ 500 泊),一般用于紧固件刷涂;B 级密封胶粘度高(9 000 ~ 14 000 泊),流淌性低,主要用于填角、注射、预填充、结合面密封以及紧固件的湿安装;C 级密封胶粘度偏高(1 500 ~ 4 000 泊),主要用于需要较长挤出时间的结合面滚涂或紧固件的湿安装;D 级密封胶粘度非常高,一般作为孔填充使用;E 级密封胶粘度底,常作为结合面涂层喷洒使用;F 级密封胶粘度底,常作为一种底漆喷洒使用;G 级密封胶主要用于需要较长挤

出时间且粘性要求比较低的结合面的喷洒、刷涂或者滚涂。

### 3 密封胶的选择使用

在选择密封胶时,如果维修资料中没有特别指出件号,应根据区域环境,按照密封胶的功能(环境压力密封、燃油密封、导电密封等)、密封级别、施工方法,并遵照适用的时间进行选择。

#### 3.1 时间术语

密封胶在使用的过程中有四个时间规定,这些时间规定是在环境温度  $77 \pm 5^\circ\text{F}$  和相对湿度  $50 \pm 5\%$  的条件下得出的。应严格按照相应的时间施工,否则密封胶就可能无法发挥其原有的效果。

(1)施工时间:密封胶混合好或解冻调和后直到涂抹到部件上的施工时间。

(2)挤出时间(即装配时间):指密封胶混合好或解冻调和后直到完成部件紧固件安装的最大允许时间。

(3)无粘性时间:指密封胶从施工到无粘性状态的最小时间,此时使用聚乙烯薄膜按压密封胶,薄膜能自由揭开。

(4)固化时间:指密封胶由糊状变为橡胶状的时间,也就是能够达到飞行要求的时间。

同件号的密封胶是通过级别和时间编号区分的。在标准测试条件下,密封胶的件号中指定了 A、B、D、E、F 级别的施工时间, C 和 G 级别的挤出时间。例如:PS870A-2 指 A 级密封胶,施工时间 2h; PS870C-20 指 C 级密封胶,挤出时间 20h。

#### 3.2 常用施工方法

密封胶的施工方法有很多,飞机定检中常用的有结合面密封、注射密封、填角密封、紧固件密封等形式。值得注意的是,在部件上涂抹密封胶之前,应已经完成前期比如钻孔、冷加工、去除毛刺等所有工作,并使用手册中允许的清洁剂彻底清洁需要做胶的区域,这一步十分关键,因为部件表面有尘土或油脂等污物会影响密封胶的粘着力。

##### 3.2.1 结合面密封

这是在两个部件结合面之间填充密封胶的一种密封方式。一般是使用注胶枪、抹刀、刷子、滚筒或喷枪等干净合适的工具,把密封胶均匀的涂抹或喷涂到部件的结合面上,期间要确保结合面和密封胶不会被污染。涂抹的密封胶要覆盖所有接触面,且厚度不能小于所需填充在结合面上的最小值,一般情况胶层的厚度是  $0.005\text{in}$ ,有时考虑到部件夹紧力的原因厚度可能达到  $0.010\text{in} \sim 0.030\text{in}$ 。部件夹紧后以能看到密封胶挤出为最好,可以在靠近部件边缘内侧的地方做珠状密封胶边,以便密封胶挤出。如图 1 所示。

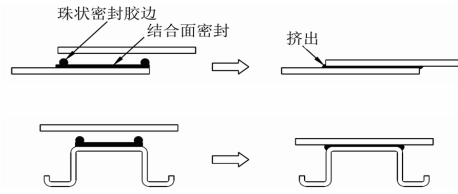


图 1 结合面密封

##### 3.2.2 注射密封

这是使用注胶枪向孔或缝隙内注胶的密封方式。注胶时把孔的一端堵住以防止密封胶流出且应从孔的一个方向而不要从两端分别注胶,同时注意不要把注胶枪内的胶完全用光,这些要求用以防止胶内形成气泡。当缝隙注胶时要把胶注满缝隙的底部和侧面所有接触面。如图 2 所示。

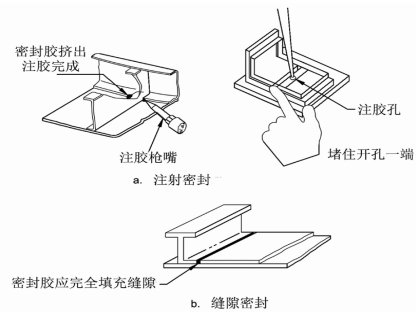


图 2 注射密封

##### 3.2.3 填角密封

这种密封是在两个部件接缝处外表面使用注胶枪或胶棒涂抹密封胶的一种密封方式。使用注胶枪时,应将枪嘴末端前倾置放于部件接缝处,沿着直线向前推动胶枪注胶,注完胶后用胶棒沿着原路线移动一遍刮平,以获取平滑的胶缝,同时可以赶出残存的气泡。油箱内部一般是做两遍密封胶来确保胶量充足,并得到比较理想的轮廓。最后必须检查填角密封的尺寸,以保证达到要求。如图 3 所示。

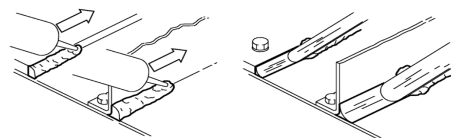


图 3 填角密封

##### 3.2.4 紧固件密封

飞机上安装紧固件时,有时是需要考虑压力保持和防腐要求的,这就需要对紧固件涂胶安装,具体方法如下。

###### 1) 保压

紧固件在密封胶的挤出时间内完成安装是没有问题的,但如果部件贴合面没有密封胶或超出密封胶的挤出时间范围,那么紧固件可以采用以下任

一种安装方式,以防止压力渗漏。

(1) 安装时把密封胶涂到紧固件本体上或紧固件孔里,确保密封胶能从安装后的紧固件头部四周均匀挤出。

(2) 安装后把 A 胶刷到紧固件头部或用 B 胶在紧固件头部周围做密封边。

(3) 使用金属罩做胶头覆盖紧固件头部。

#### 2) 预防腐蚀

维修中为了更好地实现防腐,通常会要求湿安装紧固件,紧固件的湿安装一般有三种方法,如果维修资料中没有指明使用哪种方法,就默认选用第一种。

(1) 在紧固件头部下表面或在所有部件接触面、沉孔面上涂足够多的密封胶,在密封胶挤出时间范围内安装紧固件,确保紧固件头部周围都有均匀的密封胶挤出,最后清除多余的密封胶。

(2) 在紧固件头部下表面和杆上涂密封胶。有螺纹的紧固件装配非自密封的螺帽时,紧固件孔内、螺杆和螺纹上都要涂胶;有螺纹的紧固件配带自密封的螺帽时,密封胶只允许涂到杆上,切忌涂到螺纹上;类似锁螺栓等其他带开口环的紧固件,密封胶只能涂到杆上,不能涂到孔壁上和开口环上,最小厚度 0.06 in。安装后所有紧固件头部的密封胶要均匀地挤出,并用干抹布擦除多余的胶,确保挤出的密封胶和紧固件头部或相邻面要平滑衔接。

(3) 密封胶涂在紧固件头部下表面、紧固件杆和螺纹上,有垫片的紧固件要在紧固件杆上涂更多胶或直接涂到垫片上下两面,注意密封胶不能涂到孔里。在密封胶挤出时间范围内安装紧固件,确保紧固件头部周围都有均匀的密封胶挤出,最后清除多余的密封胶。

## 4 修理过程中密封胶的应用及容易出现的问题

以机身蒙皮补片修理为例,介绍一下密封胶的一般使用方法。当按照维修资料中的方案准备安装修理补片时,可采用如下过程施加密封胶。

(1) 确保钻孔、去毛刺、防腐、喷漆等前期工序全部完成,并彻底清洁补片修理区域。

(2) 选用合适的密封胶,蒙皮修理通常使用 BMS5-95,使用胶棒或滚筒等合适的工具在部件接触面上均匀涂抹密封胶,涂抹时应顺一个方向,禁止来回刮抹以防止有气泡残留在胶体中。密封胶层的厚度约为 0.005in。最后在部件边缘做珠状密封胶边,以确保密封胶挤出。

(3) 在密封胶施工时间内安放修理件并在挤出时间内完成所有紧固件的安装。

(4) 检查修理件边缘处,应有目视可见的密封胶挤出,然后清除多余的密封胶,并进行填角密封。

(5) 按照要求喷涂外表涂层。

各种机型对密封胶的分类和施工是大致相同的,相应手册中对密封胶的涂抹、尺寸、状态等都有要求。实际工作过程中,也的确容易出现一些问题,比如:忘记检查密封胶有效期,导致过期的密封胶使用在飞机上;密封胶调和时速度过快,引起发热而影响密封胶使用效果;部件表面没有彻底清洗干净,就涂抹密封胶,导致附着力、密封性下降;结合面密封时部件边缘挤出的胶很少或边缘没有任何挤出现象;安装工作中,有时密封胶已经超出其挤出时间,紧固件还没安装完成;没有考虑结构的厚度及需要填角密封边的具体尺寸、厚度或是否覆盖到部件上边缘,结合面密封没有严格按照 0.005in 的厚度而涂抹得过多或过少。如图 4 所示。所有这些问题都需要谨慎应对,否则就无法真正达到良好的密封效果。

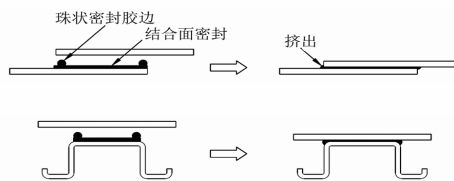


图 4 填角密封的尺寸要求(单位:英寸)

## 5 环境对密封胶性能的影响

密封胶的施工性能会受周围环境温度或湿度的影响而发生变化。一般情况下温度每升高 10 °F,施工时间就会缩短半个小时,温度每降低 10 °F,施工时间就会双倍延长;在温度不变的情况下,相对湿度每升高 15%,施工时间就会缩短半个小时,相对湿度每降低 15%,施工时间就会双倍延长。

温度会影响所有密封胶的施工、固化时间、粘度以及流动性,而湿度只会影响部分密封胶的固化时间。以 PPG 产品为例,看一下相关的区分。采用二氧化锰固化的聚硫化物密封胶,湿度越高其固化速率越快,湿度越低其固化速率越慢,常见的产品有 PS 870、PS 890、PR-1440、PR-1776 等;因水是重铬酸盐固化的聚硫化物密封胶中的一个有效成份,因此湿度对其固化时间没有影响,但这种类型密封胶对混合比例相当敏感,常见的产品有 PR-1422、PR-1432G/GP、PR-1436G 等,总的来讲重铬酸盐固化型密封胶的固化速率要比二氧化锰型更快。随着密封胶的不断发展,现在已经有了环氧类固化的聚乙烯密封胶,这种密封胶固化快且不受湿度影响,但对混合比例敏感,当涂在聚硫类密封胶上时需要加促粘剂,预混合冷冻后必须储存在 -80 °F 条

件下,是比较好的修补类密封胶,件号有 PR-1826、PR-1829、PR-2001、PR-2050 等。

## 6 结论

密封胶经过了几十年的发展,从最初用的 PS870、PS890,到现在的主流 PR1776,以及将来的 PR1782 等产品,其比重、固化速度、环保性能等都在不断地进行改进和发展。在飞机上执行部件修理、修补油箱等工作时,使用密封胶密封或防腐是必不可少的,只有了解密封胶的性质才能选择正确的密

(上接第 70 页)

## 3 思考及建议

### 3.1 加强项目团队管理,引进国外先进技术和管理经验

项目团队的管理能力直接影响到项目的成功与否。在项目团队建设中,组建精兵强将,以适航部门牵头、技术部门提供技术支持,按照各自的职责划分,制定必要的团队工作机制和工作模式,最大限度发挥团队管理优势。另外必须认识到国外民用飞机先进国家的飞行试验技术和管理经验,是值得学习的。通过国际合作,引进先进的设计技术,提高试验技术水平,同时选拔优秀的科技人员参加国际合作,充实科研队伍。但我们在走国际合作道路的同时,更要立足于自身基础之上,要借助自身条件和优势主动谋求发展。在该型民用飞机的试飞现场,很多国际一流的航空产品供应商如 GE、霍尼韦尔、汉胜、柯林斯等在现场派驻代表进行技术支持,这些公司有着先进试验技术手段和丰富经验。虽然绝大部分供应商会进行核心技术的保密,但通过现场的试飞参数测量方案及排故方法,包括管理方法,还是会给我们提供一些可借鉴的方法及思路,这就需要我们的技术人员善于思考、及时总结经验。

### 3.2 加强适航规章和条款的理解,针对疑难条款成立攻关团队

目前我国运输类飞机的适航标准中国民用航空规章第 25 部(CCAR25 部),可以说是以美国《联邦航空条例》为蓝本的翻译版。对于规章中条款的理解,还有待深入。国内的飞行试验方法指南主要是针对军机,对于民用飞机的适航审定试飞方法,仅依赖于 AC25-7 的指导方法,对于部分适航审定的规章标准,还很难用定量的方法对其进行评估,在使用这些方法和程序进行审定试飞时存在比较大的困难。主要原因还是缺乏与这些审定标准相匹配的指标、指导文件以及审定方法等。欧美国家的适航审定理念及其技术发展得比较快,相应的规

密封胶,只有采用合适的施工方式才能发挥密封胶应有的功能,从而在最大程度上保证飞机的安全性能。

### 参考文献:

- [1] Boeing 737 Aircraft Maintenance Manual AMM51-31-00 波音 737 飞机维护手册 AMM51-31-00.
- [2] Boeing Process Specification BAC5000 波音工艺规范 BAC5000.
- [3] SAE Aerospace Material Specification AMS-S-8802b 美国汽车工程师学会航空材料规范 AMS-S-8802b.

章比较完善,可通过各种渠道搜集国外先进民用飞机飞行试验标准,逐步健全和完善国内民用飞机的飞行试验体系标准。

成立适航条款专题研究组,掌握 FAA 的适航法律法规要求和相关技术标准,对疑难条款制定专项研究计划、课题攻关,通过邀请适航当局参加专题评审等,改进和提高我们自身对国内外适航法规学习、掌握和研究的程度。对试验中采用的先进性技术,用安全性分析、计算等证明等效符合适航审定的要求。

### 3.3 加强风险预案管理

从事任何项目都会存在一定的风险,在项目管理中做好合理的风险研究及分析,是制定风险防范措施和控制预案的关键,有了正确、科学的风险控制措施,才能确保项目顺利进行,万无一失。在民机试飞风险管控过程中,首先在项目实施方案制定初期,就需对试飞中存在的技术、进度、资金等风险进行详细分析,并针对具体风险类别进行团队职责划分,明确团队职责及风险预案措施;在项目推进过程中,逐步实施节点风险管控,抑制风险因素。

## 4 结论

国内民机型号的增多,民机试飞经验的不断积累,是保证今后民机试飞工作合理、有效、有序开展重要前提,可以为今后民机试飞工作奠定坚实基础。

### 参考文献:

- [1] 陈晨. 民用飞机飞行试验标准现状及思考[J]. 航空标准化与质量,2009,5:35-37.
- [2] 李勤红,张克荣. 民机适航试飞技术的现状与发展[J]. 航空科学技术,1998,5:12-16.
- [3] 王维翰. 民用飞机飞行试验特点[J]. 民用飞机设计与研究,2006,2:1-10.
- [4] 郝莲. 民机研制适航取证总体技术方案探讨[J]. 航空制造技术,2012,22:62-65.