

水陆两栖飞机结构密封防水与排水设计

张立飞

(中国特种飞行器研究所, 湖北 荆门 448035)

摘要: 目的 确保水陆两栖飞机在日历寿命周期内不会因积水问题造成严重腐蚀。方法 根据水陆两栖飞机特殊的使用环境特点,综合笔者多年从事飞机腐蚀防护设计工作的经验,对结构密封防水和排水设计进行全面分析和论述。结果 提出了水陆两栖飞机结构密封防水和排水原则,给出了水陆两栖飞机典型结构防水和排水的具体措施。结论 已在大型水陆两栖飞机中应用,并顺利通过了水密试验验证。

关键词: 水陆两栖飞机; 结构; 密封; 排水

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.06.024

中图分类号: TJ85; TG174 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2015)06-0137-05

Design on Pressurize and Drainage of Amphibious Aircraft Structures

ZHANG Li-fei

(Special Vehicle Research Institute of China, Jingmen 448035, China)

ABSTRACT: Objective To ensure that serious corrosion would not happen due to hydrops in the amphibious aircraft in the calendar life cycle. **Methods** According to the characteristics of special using environment of amphibious aircraft, in combination of the author's years of design experience on the aircraft corrosion protection, waterproofing and drainage design of sealing structure were analyzed and discussed comprehensively. **Results** The principles of sealed waterproof and drainage of the amphibious aircraft structure were proposed, detailed measures were given of amphibious aircraft typical structure of waterproof and drainage. **Conclusion** The structure was applied in large amphibious aircraft and passed the water tightness test for verification smoothly.

KEY WORDS: amphibious aircraft; structure; pressurize; drainage

腐蚀对飞机机体结构带来的严重危害和日益增长的维修费用,已引起人们高度重视,而水和废液正是引起多种腐蚀和诱发设备故障的根源^[1-5]。对于水陆两栖这种需要在水上起降的特殊机种来说,密封防水和排水设计是飞机结构设计和防腐蚀设计的重要

环节。在《运输类飞机适航标准》(CCAR-25-R4)中也明确指出:飞机须满足密封、排水的设计要求,在飞机的设计过程中,须达到适航条款提出的要求,制造期间应严格贯彻执行工程部门放出密封、排水等控制文件的规定^[6]。文中在分析积水形成特点的基础上,明

收稿日期: 2015-06-13; 修订日期: 2015-07-08

Received: 2015-06-13; Revised: 2015-07-08

作者简介: 张立飞(1983—),男,山东人,硕士,工程师,主要研究方向为飞机结构设计、飞机结构腐蚀防护与控制。

Biography: ZHANG Li-fei(1983—), Male, from Shandong, Master, Engineer, Research focus: aircraft structural design, corrosion protection and control in aircraft structure.

确了水陆两栖飞机密封和防排水设计的基本原则,同时在生产制造过程中总结经验,给出了目前最适合水陆两栖飞机的密封防水、排水设计。

1 积水的来源及滞留部位

水陆两栖飞机大部分起飞、降落任务均在海洋或湖泊中完成,特别在降落着水时机体会承受巨大的冲击载荷,在这过程中机体结构会有轻微变形,铆钉孔、搭接壁板产生的微小缝隙就成为水陆两栖飞机内部积水的主要渠道。另外,大气降水、冲洗飞机用的清洗液、飞机结构内部的冷凝水、通入冷气所夹带的水汽、飞机工作人员带入飞机的水、运输货物的渗液以及油箱燃油中的水等都是飞机积水的来源^[7]。

水陆两栖飞机的积水滞留的主要部位有:下机身(地板以下)底部的结构件、龙骨梁两侧、水密框根部、机身舱门门槛、口盖边缘、起落架舱门、机身机翼连接区域、设计分离面和工艺分离面对接部位、舵桁连接处、前起落架、主起落架的各零件及部件、整体油箱底部、平尾的根部等。

2 设计原则

1) 根据密封部位的结构特点和防护要求以及可能遭遇的腐蚀环境和腐蚀类型,正确选择密封效果最佳的密封材料和密封类型^[8]。

2) 结构密封区域应有良好的可达性、可见性,以便实施密封、检查和维修^[9]。

3) 有电连接要求的零部件周边做填角密封,以避免湿气侵入导致腐蚀。

4) 飞机表面的所有接合面和缝隙,均用密封材料密封或填充。机体结构/细节避免采用沟槽、尖角、缝隙等形式,在出现无法避免的情况下,则采用适当的密封措施阻止介质的进入/滞留。

5) 为防止机体内部液体聚积,机体下部蒙皮开有足够的排水孔,内部结构有纵向和环向的排水通路,并保证液体排泄通道畅通,使液体尽可能通过排水通路排出机外。

6) 采用的胶垫、胶膜等非金属材料密封件,须与机体牢固连接,并具有较好的耐水、耐油和耐老化等性能,且密封件容易更换^[10]。

7) 排水阀在非增压区时,采用敞开型;在增压区时,采用机械关闭型。安装排水阀所使用的补强件均安装在蒙皮外表面,使排水阀能够更有效地排水。

3 结构密封防水设计

密封防水类型主要包括接合面(缝内)密封、填角密封、缝隙密封、紧固件湿安装以及铝合金结构相邻复合材料密封等。

3.1 接合面密封设计

接合面密封指在结构与结构之间相互接触的部位使用密封剂进行密封,以便消除结构与结构之间、紧固件与结构安装孔之间的缝隙,达到防止电解液积聚目的,是飞机结构密封防水的主要形式^[11]。此外,接合面密封还被用于隔开油箱燃油的渗漏源。

水陆两栖飞机贴合面密封部位有:蒙皮与长桁接合处、蒙皮与框边缘接合处、蒙皮与翼肋边缘接合处、长桁与框接合处、杭条与翼肋接合处、蒙皮与蒙皮之间的搭接面以及与加强件连接的贴合面等。

其主要密封材料与工艺要求如下所述。

1) 接合面密封一般使用P/S-870 C类密封剂(无需底涂),燃油区域采用PR-1776 C类耐燃油密封剂。涂敷厚度一般为0.13 mm,弧形配合面一般为0.5~0.8 mm,接头与骨架间一般为0.8~1.0 mm。尽量避免涂抹超量的密封剂。

2) 采用密封剂密封时,用专用工具将密封剂涂于接合面面积较小的零件一侧。涂胶部分在长度方向与附近保护胶带覆盖区边缘平行。使用胶液或塑料抹子整形密封剂,以便表面厚度均匀一致。

3) 密封施工前应完成结构件的钻孔、铰孔、去毛刺、进行预装配,然后分解结构并完成密封表面的准备和清洗。待密封的连接零件之间预装配间隙一般不允许超过0.1~0.5 mm。

4) 接合面密封装配后应保证沿接合面缝隙有少量密封剂连续挤出,并可修整成光滑的填角密封。在密封剂工作周期内将结构安装结束后,要么清除接合面周缘挤压出的多余密封剂,要么按要求将接合面周缘挤压出的多余密封剂整形为小的填角密封,如图1所示。

5) 接合面采用胶膜密封时,胶膜宽度比密封接合面宽度在每边需大2 mm左右。铺设的胶膜应平整,不褶皱。胶膜长度或宽度不足时允许的搭接尺寸为3~5 mm。

6) 接合面采用密封带密封时,密封带宽度比密封接合面宽度在每边需大1 mm。密封带与工件表面的贴合度应紧密,不褶皱。对接缝不允许设在孔、零件

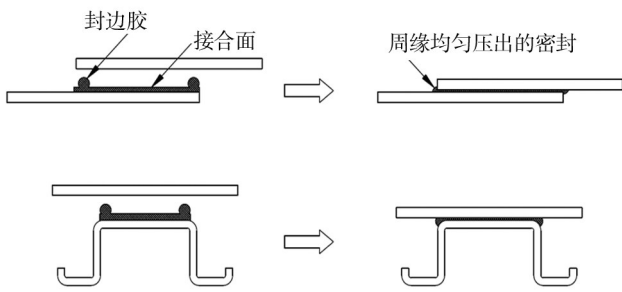


图1 结合面密封防水

Fig.1 Schematic diagram of sealing waterproof of junction surface

对缝和下陷的位置上。

7) 预装配后,接合面之间间隙不应超过0.1 mm。所有紧固件安装结束后,零件接合面的最大间隙不应超过0.076 mm。

3.2 填角密封设计

水陆两栖飞机的填角密封主要用于水密/油密边界结构边缘以及需要进行贴合面密封但无法完成的贴合面边缘密封^[12]。它们牢固地黏结于被密封结构周缘,主要用于最严格要求防止水或燃油渗漏的区域。

水陆两栖飞机填角密封部位有:机身地板以下所有长桁与蒙皮贴合面的边缘、机身地板以下所有框与蒙皮贴合面的边缘、油箱区所有桁条与蒙皮贴合面的边缘、油箱区所有肋与蒙皮贴合面的边缘。

填角密封材料与工艺的要求如下所述。

1) 填角密封一般采用P/S-870 B类密封剂,油箱区域采用PR-1776 B类耐燃油密封剂。

2) 填角密封应根据用胶量和组件的大小选用不同剂量的针管或注胶枪,针管/枪嘴口径应与填角密封尺寸相适应。

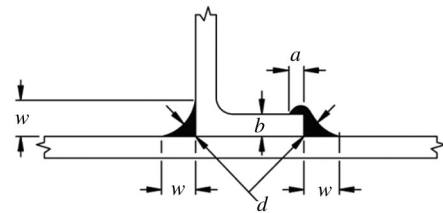
3) 所有填角密封应在涂敷密封剂前,在规定的胶缝尺寸外粘贴保护性胶带,保证缝外密封形状与尺寸要求,并避免增加无效重量。

4) 密封时把管嘴前端放到待密封缝角上,确保胶枪挤压出连续的密封剂珠。确保胶管嘴前始终被密封剂珠覆盖。切勿拉着胶管嘴运动,否则可导致气泡以及压缝固化后产生可能泄漏但又不能检查到的空隙。

5) 涂完胶后,应在密封剂的使用期限内采用专用整形工具排出密封剂中的气泡,并将填角整形到最后要求的外形。填角尺寸要求包括于所用的工艺规程中。填角边缘必须与结构表面保持连续接触。

6) 密封剂不得堵塞排水通道^[13]。

7) 填角密封设计形式和尺寸,如图2和图3所示。



$$d \geq 2.03 \text{ mm}, w = 3.81 \sim 6.35 \text{ mm}, a = w - b, \text{当 } b \geq 3.81 \text{ mm时}, a = 0$$

图2 边缘填角密封防水

Fig.2 Schematic diagram of the sealing waterproof of edge fillet

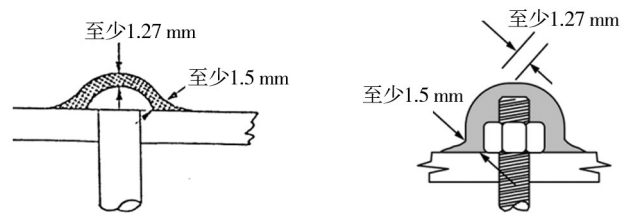


图3 紧固件端头填角密封防水

Fig.3 Schematic diagram of the sealing waterproof at the end of fastener

3.3 缝隙密封设计

水陆两栖飞机的缝隙密封用于结构对接缝隙的填充密封,防止缝隙积水。一般采用P/S-870 B类密封剂,燃油区采用PR-1776 B类耐燃油密封剂进行缝隙密封。具体设计形式和尺寸如图4所示。

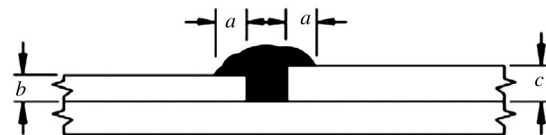


图4 缝隙密封防水

Fig.4 Schematic diagram of gap sealing waterproof

3.4 紧固件湿安装

对于水陆两栖飞机来说,除了飞机蒙皮对接和搭接处需要密封防水外,紧固件的安装孔也是飞机进水的主要渠道,同样需要密封防水,因此对紧固件进行湿安装是必要的。紧固件湿安装指在紧固件杆与结构贴合的整个表面涂上合适密封剂后,在密封剂的使用周期内安装好紧固件,以便消除紧固件与结构贴合面之间缝隙,达到防水目的。

水陆两栖飞机整机所有紧固件都需进行湿安装^[14]。特别指出,若紧固件杆和紧固件孔之间为干涉

配合时,紧固件杆和孔壁之间无需涂密封胶安装。

紧固件湿装配的主要工艺要求如下所述。

1) 一般采用P/S-870 B类密封剂进行湿装配,燃油区使用PR-1776 B类耐燃油密封剂。

2) 先在整个紧固件杆(包括螺纹区域)表面涂上密封胶,再将紧固件插入紧固件孔(如果需要使用垫片,在紧固件头部(螺纹端)再涂一层密封胶)。

3) 安装结束时,密封胶从应紧固件头部周缘被连续、均匀挤压出来。对于埋头紧固件,沿紧固件头部周缘被均匀挤压出来的密封胶,应该与紧固件头部或者结构表面平齐;对于凸头紧固件,沿紧固件头部周缘被均匀挤压出来的密封胶,不得超过紧固件头部高度的一半^[15]。

4) 用干抹布或沾上溶剂的抹布去除多余的密封胶。注意紧固件头部、螺帽、垫片周缘应保留足够的密封胶(以便进行后续填角密封)。

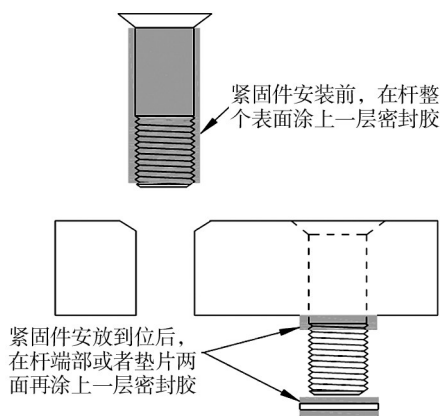


图5 紧固件湿装配密封胶防水

Fig.5 Schematic diagram of sealing waterproof of wet fastener assembly

4 结构排水设计

水陆两栖飞机结构排水设计应注意以下几点。

1) 设置必要的舱门/口盖,以便打开后通风与迅速排除机内湿气^[16]。

2) 结构/细节设计时,使用填平剂、排水管、排水沟和滤网等,尽可能避免液体聚集、形成积水的死角。

3) 总体布局时,按部件综合考虑排水通道、排水装置和排水孔(或间隙)的布置(排水孔和排水装置应在机体的最低部位),限制积水在机体内跨区域流动。

4) 所有金属部位尽可能敞开,封闭的金属部位均设置排水孔。

5) 排水孔直径不小于9.5 mm(或相当面积),机体

敞开式排水口直径不小于9.65 mm,排水通道的截面积至少为70 mm²,且该截面上最小边尺寸不小于6.35 mm^[17]。

6) 对于复合材料结构,在非承力部位,排水孔的直径不小于8 mm;在承力部位制孔,须不得降低复合材料的设计许用值,且孔周围应采取相应的防护措施。

7) 在龙骨梁底部和舳弯等部位,由于无法改变的设计构型而造成积水严重的区域,采用PR-2007 B类低密度密封剂进行填平,使积水尽可能顺利流至排水孔附近。

8) 整体机加壁板(如机翼壁板),由于整体壁板上桁条的排水孔无法钻至最低点,导致排水孔无法发挥最大排水效能,此类部位(非燃油区域)表面应喷涂相应的缓蚀剂进行防护^[18]。

9) 安装电子电气设备位置时,为防止液体侵入设备内部,应对电器插头、传感器接头等部位用密封胶带进行包覆式密封,隔绝水汽^[19]。

5 结语

水陆两栖飞机要求其能够在水上执行任务,因此必须具备船的特性,结构的密封防水、排水设计是水陆两栖飞机设计中的重要环节,同时也是腐蚀防护的首要环节,应始终贯彻在飞机研制的全过程。文中所叙述的密封防水和排水方法、措施已在大型水陆两栖飞机中应用,并顺利通过了水密试验验证。由于飞机构型的限制,机体内的积水并不能彻底排除干净,在维护手册中仍需规定合适的维护周期并加以清理。

参考文献:

- [1] 陈群志,王逾涯,崔常京,张蕾. 老龄飞机结构的腐蚀问题与对策[J]. 装备环境工程, 2014, 11(6): 1—9.
CHEN Qun-zhi, WANG Yu-ya, CUI Chang-jing, et al. Corrosion Problems and Countermeasures of the Aging Aircraft [J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(6): 1—9.

- [2] 于海蛟,王逾涯,陈群志. 飞机结构腐蚀监测技术现状及发展趋势[J]. 装备环境工程, 2014, 11(6): 70—78.
YU Hai-jiao, WANG Yu-ya, CHEN Qun-zhi. Progress and Prospect of Corrosion Monitoring Techniques of Aircraft Structure[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(6): 70—78.
- [3] 孙志华,汤智慧,李斌. 海洋环境服役飞机的全面腐蚀控制[J]. 装备环境工程, 2014, 11(6): 35—39.
SUN Zhi-hua, TANG Zhi-hui, LI Bin. Comprehensive Corrosion Control of Naval Aircraft[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(6): 35—39.
- [4] 任三元. 四代战斗机结构腐蚀防护与控制需求分析[J]. 装备环境工程, 2006, 3(3): 43—46.
REN San-yuan. Analysis of the Requirements for Structural Corrosion Prevention and Control[J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(3): 43—46.
- [5] 王春晖,蓝启城,何卫平,等. 典型连接件防腐密封剂在加速环境下的失效分析[J]. 装备环境工程, 2013, 10(3): 47—50.
WANG Chun-hui, LAN Qi-cheng, HE Wei-ping, et al. Failure Analysis of Typical Adapting Piece Anticorrosion Sealant in Accelerated Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(3): 47—50.
- [6] CCAR-25, 中国民用航空条例第25部[S].
CCAR-25, Article 25 of China Civil Aviation Regulations[S].
- [7] 李金贵. 军用飞机腐蚀防护设计[M]. 北京:北京航空材料研究院, 1998.
LI Jin-gui. The Corrosion Prevention Design of Military Aircraft[M]. Beijing: Beijing Institute of Aeronautical Materials, 1998.
- [8] 吴有金. 海军飞机结构抗腐蚀控制设计指南[M]. 北京:航空工业出版社, 2005.
WU You-jin. Design Guide on Corrosion-resistant Structural of Naval Aircraft[M]. Beijing: Aviation Publishing, 2005.
- [9] 牛春匀. 实用飞机结构工程设计[M]. 北京:航空工业出版社, 2008.
NIU Chun-yun. Airframe Structural Design[M]. Beijing: Aviation Publishing, 2008.
- [10] 顾诵芬,解思适. 飞机总体设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2001.
GU Song-fen, XIE Si-shi. Aircraft Design[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2001.
- [11] 黄昌龙. 波音飞机结构修理实用技术[J]. 北京:航空工业出版社, 2001.
HUANG Chang-long. Applied Technology of Structural Recondition for Boeing Aircraft[J]. Beijing: Aviation Publishing, 2001.
- [12] 叶树林. 别-200多用水陆两栖飞机设计特点[J]. 特种飞行器研究, 2010, 8(6): 40—43.
YE Shu-lin. Be-200 Multi-purpose Amphibious Aircraft Design Features[J]. Special Vehicle Institute of China, 2010, 8(6): 40—43.
- [13] 赵庆玉. 中国民用飞机手册[M]. 北京:航空工业出版社, 1991.
ZHAO Qing-yu. Chinese Civil Aircraft Manuals[M]. Beijing: Aircraft Industry Publishing, 1991.
- [14] 张立飞. 大型灭火/水上救援水陆两栖飞机密封技术条件, JT D0080T002C1[R]. 西安:中国特种飞行器研究所, 2014.
ZHANG Li-fei. The Technical Specifications for Sealing of Large Extinguishing/Water Rescue Amphibious Aircraft, JT D0080T002C1[R]. Xi'an: Special Vehicle Institute of China, 2014.
- [15] 王再兴. 民用航空器外场维修[M]. 北京:中国民航出版社, 2000.
WANG Zai-xing. Civil Aircraft Maintenance[M]. Beijing: Civil Aviation Administration Press, 2000.
- [16] 王宝忠. 飞机设计手册 第10册[M]. 北京:航空工业出版社, 2000: 161.
WANG Bao-zhong. Aircraft Design Manual Book 10[M]. Beijing: Aviation Publishing, 2000: 161.
- [17] 张立飞. 大型灭火/水上救援水陆两栖飞机腐蚀防护设计手册, JB D0080T025C1[R]. 西安:中国特种飞行器研究所, 2012.
ZHANG Li-fei. The Corrosion Prevention Design Book of Large Extinguishing/Eater Rescue Amphibious Aircraft, JB D0080T025C1[R]. Xi'an: Special Vehicle Institute of China, 2012.
- [18] 朱辰,邱实. 缓蚀剂及其在飞机上的应用[J]. 装备环境工程, 2013, 10(5): 90—93.
ZHU Chen, QIU Shi. Corrosion Inhibitors and Their Application in Aircraft[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(5): 90—93.
- [19] 曾凡阳,刘元海,丁玉洁. 海洋环境下军用飞机腐蚀及其系统控制工程[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 77—81.
ZENG Fan-yang, LIU Yuan-hai, DING Yu-jie. Research on Corrosion and System Engineering Control Technology of Military Aircraft in Marine Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(6): 77—81.