

doi: 10.3969/j.issn.1007-9289.2010.05.017

某型运输机编队灯密封防水改进及试验验证

陈群志¹, 姬存国², 贾 凯³, 席慧智², 钟栋梁¹

(1. 北京航空工程技术研究中心, 北京 100076; 2. 哈尔滨工程大学, 哈尔滨 150001; 3. 宁夏大学, 宁夏 750021)

摘 要: 针对某型运输机编队灯严重的积水和腐蚀问题, 分析了其原因和危害性, 提出了胶体密封剂与道轨式密封带相结合的密封防水改进方案, 并在 O 形密封圈的基础上研制出了 Ω 形密封带, 采用“淋雨+浸渍+高低温”的环境模拟试验方法对不同的密封防水措施进行了试验验证。结果表明, “ Ω 形密封带+JMF-01 型胶体密封剂”的改进方案有效, 适用于解决编队灯的积水问题。

关键词: 运输机; 编队灯; 积水; 腐蚀; Ω 形密封带; 再制造

中图分类号: V214.8; V258 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9289(2010)05-0086-05

Improvement and Experimental Verification on Seal Waterproof of Formation Flight Lights on a Certain Transport Plane

CHEN Qun-zhi¹, JI Cun-guo², JIA Kai³, XI Hui-zhi², ZHONG Dong-liang¹

(1. Beijing Aeronautical Technology Research Center, Beijing 100076; 2. Harbin Engineering University, Harbin 15001; 3. Ningxia University, Ningxia 750021)

Abstract: The cause and harm of serious seep and corrosion problems existing in the formation lights on a certain transport plane were analyzed. The combining seal waterproof improved technique using colloidal sealant and sliding rail seal tape was put forward, and the Ω -shape seal tape on the basis of O-shape seal ring was developed. Then the environmental simulation experimentation of “raining + steeping + high and low temperature cycle” was adopted to validate the different seal waterproof measures. The experimental results showed that the improved technique which is “ Ω shape of seal tape+JMF-01 colloidal sealant” was availability and applicable to solve the seep problem existing in the formation lights.

Key words: transport plane; formation lights; seep; corrosion; Ω -shape seal tape; remanufacture

0 引 言

飞机在使用寿命期内始终暴露在复杂的自然条件下, 会不断地受到温度、湿热、盐雾、酸雨等气候以及大气中 SO_2 、 H_2S 腐蚀性介质的共同作用。随着服役日历时间的增加和近年来我国环境的恶化, 飞机的腐蚀问题越来越突出。就飞机结构所处的环境或位置而言, 可以分为外部结构和内部结构。虽然飞机的腐蚀遍布整个结构, 但根据近年来对我军飞机发生的一系列腐蚀故障和20多个机种飞机检查结果分析, 内部结构的腐蚀问题比外部结构多, 而且更为严重。这和飞机结构密封防水设计缺陷或失效密切相关。飞机结构由于密封防水设计

缺陷或失效会引起渗水、积水问题, 危害很大, 不仅会引起各类机载故障, 导致结构发生腐蚀, 影响飞机的正常使用, 并使修理难度和费用大幅度增加, 更重要的是严重时还可能会导致灾难性事故。

例如, 2001年3月一架某系列飞机因42框下半框腐蚀导致断裂而提前报废, 腐蚀部位主要集中在6号软油箱舱内壁, 随后在150多架飞机的同一结构部位发现了严重的腐蚀或腐蚀裂纹, 致使大批飞机停飞, 不得不实施了大规模紧急抢修, 造成了重大经济损失, 极大地影响了部队的正常训练, 严重削弱了部队的战斗力^[1]。从结构位置来看, 6号下油箱位于机身下部, 而油箱上部结构密封较差, 外部的湿气、雨水可以从机身上大梁6号侧油箱蒙皮接缝处进入6号下油箱舱内, 而6号油箱舱下部又无排水

收稿日期: 2010-07-05;

作者简介: 陈群志(1963—), 男(汉), 湖南临澧人, 高级工程师, 博士。

通道,所以雨水和潮湿空气集聚在油箱内部而不能及时排出或挥发。在长期积水的条件下,导致42框下半框腹板严重腐蚀。从腐蚀情况来看,湿度大、雨水多的南方和沿海机场的飞机比北方机场飞机42框下半框腹板的腐蚀严重。又如,2006年对50多架某型飞机普查时发现平尾大轴内腔普遍存在不同程度的腐蚀,其中20多架飞机平尾大轴内腔的腐蚀问题相当严重。对该结构腐蚀原因进行分析的结果表明,平尾大轴与定位销轴之间存有一定的间隙,含有腐蚀介质的潮湿空气容易通过缝隙渗入平尾大轴内腔而积聚,而平尾大轴内腔表面防腐处理又存在明显缺陷,因而导致平尾大轴内腔严重腐蚀^[2,3]。

笔者在现役机型飞机检查期间了解到,多数飞机结构普遍存在渗水、漏水和积水现象及由此引起的腐蚀问题,是多年来部队反映最多的“老大难”问题之一。机务人员曾这样描述某系列飞机雷达设备舱的密封状况:“天上下大雨,舱内下小雨;天空出太阳,舱内仍滴水;雷达刚开机,舱内尽雾气”。不难看出,密封防水是我国飞机结构设计、制造和修理的薄弱环节。因此,开展飞机结构密封防水新技术研发及其验证方法应用研究,对于防止或减少雨水及各种腐蚀性介质渗入飞机内部、防止结构发生严重腐蚀、降低腐蚀修理费用、提高飞行安全性和延长飞机服役寿命具有重要意义。文中针对某型运输机编队灯的渗水和积水问题提出密封防水改进方案,并对改进后的密封防水效果进行试验验证。

1 某型运输机编队灯的积水现象及其原因分析

2008年笔者在对某型运输机检查中发现,多数飞机机身上部13个编队灯内部存在严重的积水和腐蚀现象,严重影响该型飞机的正常使用。如图1所示。

为搞清编队灯积水的原因,选取积水和腐蚀现象严重的编队灯分解发现,编队灯与机体结构连接处有一扁平状的环形橡胶密封垫,厚度为1.0 mm。通过一个1.0 mm厚的铝合金环形圈(或法兰)和6个M4的螺钉将该密封垫安装在机体结构上。据机务人员反映,他们在机械日检查时发现渗水和积水问题后通常采取在编队灯外表面刷涂一层防水胶的措施进行处理,但效果不理想。显然,现有的密

封防水设计和维护措施不合理,含腐蚀介质的雨水或潮湿空气很容易渗入编队灯内部后又无法排出,从而引起严重的积水和腐蚀现象。

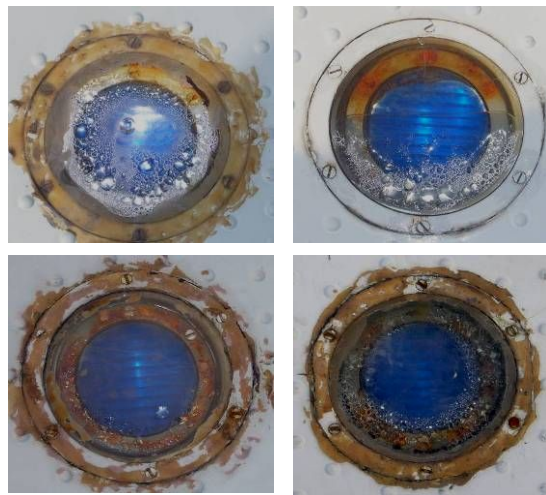


图1 某型运输机编队灯内部积水和腐蚀现象

Fig.1 Seeper and corrosion phenomenon existing in the formation lights on a certain transport plane

编队灯积水问题的危害很大,主要体现在两方面:一是,当温度低于0℃时,积水就会结冰而引起编队灯破裂,甚至还会导致飞机电气系统出现短路;二是,含腐蚀介质的雨水长期积聚会导致编队灯腐蚀穿孔,进而会引起周围结构腐蚀,不仅会影响飞机的正常使用,而且还会使后续修理难度和费用大幅度增加。

2 编队灯的密封防水技术改进

2.1 密封防水综合改进方案的提出

在现役飞机结构中大量采用粘贴扁平状橡胶密封带(条、圈、片等)进行密封,或直接涂敷密封胶。密封胶固体后也呈条状或片状,与扁平状橡胶密封条相比,其密封效果得到了一定的改善。无论是扁平状橡胶密封条还是密封胶,都属于传统的固体密封技术。这种固体密封技术的优点是:形状简单、加工容易、安装固定方便;但其缺点是:填充缝隙效果不佳,密封条通常呈扁平状,压缩回弹性小,当应用于大尺寸结构件、带有沟槽、孔洞、表面形状不平整的结构部位难以获得好的防水效果,橡胶件老化后龟裂或失去弹性,容易在密封垫片与构件之间的配合面内渗漏。这也是飞机传统密封技术防水效果差的根本原因。

根据密封材料呈现的物理形态,飞机用密封技术可分成三种基本类型^[4]:固体密封、液体密封、胶体密封。固体密封填充缝隙的性能欠佳,而液体密封对所需密封的表面的加工精度要求又比较高。胶体密封剂非常适用于飞机活动构件部位、细小缝隙部位的密封防水,既可以单独使用,也可以与其它密封措施配合使用。

本着既不改变编队灯原有结构及其安装部位机体,又要使密封防水改进后的密封效果和可靠性都得到显著提高的原则,文中提出了“道轨式密封带+胶体密封”密封防水的综合改进方案。

2.2 Ω 形密封带的设计

在扁平状橡胶密封条的基础上已发展了一种实心的 O 形密封圈(如图 2 所示),并获得了广泛应用^[5]。实心 O 形密封圈的截面通常为圆形,在受到来自接触面的压力时, O 形密封圈与密封面之间的接触类型可以由线接触到面接触,面接触的面积不断增大而变化,使 O 形圈内部应力的增加较为缓和。接触面的压力一般通过给螺栓或螺钉等连接件施加预紧力来获得。当接触面的压力释放时, O 形密封圈又可以使接触面积变小,补偿了接触面上应力的减小。O 形密封圈具有压缩回弹量较大的优点,适应范围较广,但通常需要在密封接合面设计加工特定的沟槽使其位置固定。

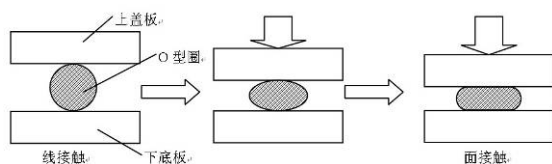


图 2 O 型密封圈的接触面积随压力增加而增大

Fig.2 Contact surface of O-shape seal ring increases with the press increases

密封件要达到良好密封,对接触面应具有最小压紧力的要求,尽管实心 O 形密封圈的变形能力较大,但受到较大的压缩量后,应力会增加较为迅速,限制了压缩量的进一步增大。因此,实心 O 形密封圈有时仍然难以完全满足要求,需要对其结构做进一步改进。后来出现了空心 O 形密封圈(横截面为圆环),进一步增加了压缩量,同时使应力得到缓和,如图 3 中所示。

针对编队灯的扁平状密封圈的缺点,在 O 形密

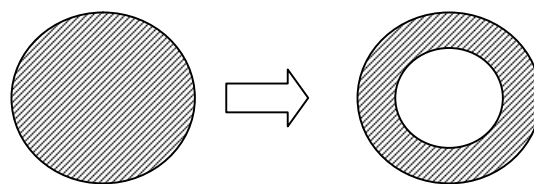


图 3 O 形圈实心向空心结构的转变

Fig.3 Transformation of O-shape ring from solid structure into hollow structure

封圈工作原理的启发下,主要从两方面考虑提出了 Ω 形密封带的改进设计:

(1) 采用空心 O 形密封带来代替原有的扁平状密封圈。考虑 O 形密封圈在应用时,一般都设计有专用的沟槽结构来固定其位置,这样当 O 形密封圈受到法兰面挤压时位置就可以相对固定,不会偏离正常工作部位。但编队灯密封垫位置并没有沟槽结构,若直接用圆形截面的密封带,用胶粘剂把圆筒形密封圈直接粘贴在编队灯边框上,密封圈与底面的接触为线接触,接触面积太小,不容易定位,受挤压时密封带会偏离和错位现象而失去密封效果。

(2) 虽然可以在编队灯边缘上增加一个类似 O 形密封圈沟槽零件固定密封圈,但这样势必改变编队灯及其安装部位的结构形式,且还会增加成本。

在空心 O 形密封圈的基础上,经过反复摸索和试验,成功地设计加工了如图 4 所示的单轨和双轨 Ω 形密封带,其横截面形状类似于铁路道轨,主要特点如下:截面形状具有矩形与圆形相接合、实心与空心相接合的特点,既具有空心 O 形密封带压缩回弹量大的优点,又保持了扁平状密封带便于安装和固定的优点,同时还克服了 O 形密封带和扁平状密封带的缺点。

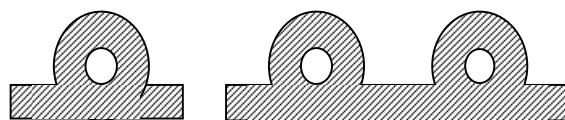


图 4 Ω 形密封带横截面示意图

Fig.4 Schematic drawing of Ω -shape seal tape cross section

编队灯原有的扁平状密封垫厚度为 1.0 mm,将 Ω 形密封带的厚度初始厚度设计为 2 mm,但二者安装在编队灯法兰下面采用相同的螺钉拧紧力矩拧紧压缩后的厚度相同,以保证安装新的密封带后编队灯的整体外形一致。为了有提高编队灯的密封防水改进后的使用寿命,选取抗老化性能优良的航

空用的硅橡胶材料 GX2-50 加工 Ω 形密封带。

2.3 JMF-01 胶体密封剂的应用

近年来北京航空工程技术研究中心针对飞机结构的密封防水问题开展了相关研究^[4,6],研发的 JMF-01 胶体密封剂对改善结构的密封防水性能具有良好的效果。JMF-01 胶体密封剂是一种物理形态介于固体与液体之间的不干性胶体物质,具有低温不凝固,高温不流淌的特性,在 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内保持胶体状态,其形状可随外力变化而改变,始终与密封面紧密结合,保持良好的密封性能,适用于结合面之间细小缝隙和活动部件的密封。另外,该密封剂还具有优良的防水性、疏水性、防腐蚀和润滑等性能。

JMF-01 胶体密封剂可以单独使用,也可以与固体密封材料配合使用。为此,应用 JMF-01 胶体密封剂来配合 Ω 形密封带的使用。这二者结合应用的主要特点是: Ω 形密封带表面的道轨有挡水作用;密封带的道轨之间、道轨与结构之间的道沟,在安装固定过程中由于压缩变形而产生的挤压力,可以使胶体密封剂向所有凹坑、缝隙部位充分填充,因而能够获得更佳的密封防水效果。

3 试验验证

3.1 密封带的压缩性能试验

压缩性能是衡量密封带密封性能的一项重要指标。为此,将传统的扁平状密封带和 Ω 形密封带进行了压缩对比试验,两种密封带的材料均为硅橡胶材料 GX2-50,图 5 给出了两种密封带压缩应力应变曲线。不难看出, Ω 形密封带的压缩应力应变

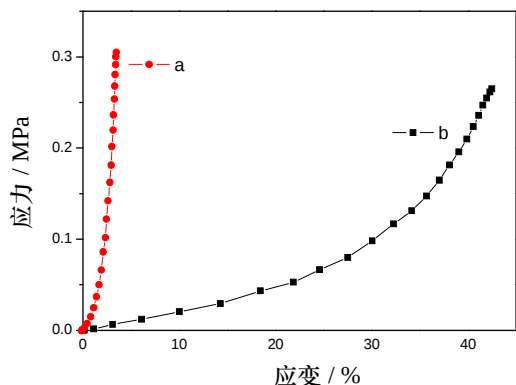


图 5 扁平状(a)和 Ω 形(b)密封带压缩应力应变曲线
Fig.5 Compress stress strain curve of plate seal tape (a) and Ω -shape seal tape (b)

曲线平缓而扁平状密封带的压缩应力应变曲线陡峭。与扁平状密封带相比,在同样压应力水平下 Ω 形密封带的压缩回弹量将大幅度提高,能够获得更佳的密封性能。

3.2 密封防水效果考核验证试验

(1) 模拟试验件

按照某型运输机上编队灯的实际结构和材料,设计加工编队灯模拟试验件。其直径为 130 mm (与编队灯的直径相同),主体材料选用 LC4 铝合金。为了进行对比试验,共加工 3 件模拟试验件,如图 6 所示,编号分别为 D1、D2、D3。其中,D1 只采用扁平状橡胶密封圈进行密封(与编队灯现有的密封垫相同),D2 采用扁平状橡胶密封圈+胶体密封剂进行密封,D3 采用 Ω 形密封带和+胶体密封剂进行密封。



图 6 编队灯模拟试验件

Fig.6 Formation lights simulation samples

(2) 环境考核试验方法

编队灯位于飞机上部,在服役期间要经受雨水渗透和高低温的作用。文中参照 GJB150《军用设备环境试验方法》,采用“淋雨+浸渍腐蚀+高低温”加速模拟环境试验方法^[6],对编队灯所采取不同的密封防水措施的密封防水效果进行验证。

编队灯模拟件在加速环境下密封防水效果考核试验流程如图 7 所示,由淋雨试验、浸渍试验(编队灯完全浸没在水槽中)、高低温试验 3 部分组成。

(3) 密封防水环境考核试验结果

在按照图 7 所示的试验流程对模拟件完成了 5 个周期的密封防水考核试验,结果如下:

① 第 1 个试验周期后,D1 模拟试验件内就积满水。这说明只采用传统的扁平状橡胶密封圈不能对编队灯进行有效的密封。

② 第 3 和第 4 个试验周期后,D2 模拟试验件内出现了轻微的渗水现象。这表明采用传统的扁平状橡胶密封圈和新型胶体密封剂相结合方法能够改善编队灯的密封性能。

③ 第 5 个试验周期后, D3 模拟试验件没有发现渗水现象, 外观也没有发生任何变化。从而验证了采用 Ω 形密封带配合使用 JMF-01 胶体密封剂对编队灯进行密封防水改进的方案是有效的。

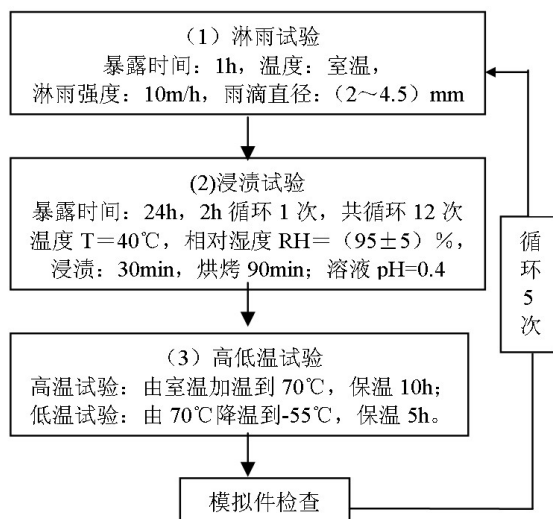


图 7 加速模拟环境考核试验流程图

Fig.7 Evaluation test procedures for accelerated simulation environment

4 结 论

(1) 针对某型运输机编队灯严重的积水和腐蚀问题, 提出了胶体密封与 Ω 形密封带相结合的密封防水改进方案, 并研制出了 Ω 形密封带。

(2) 采用“淋雨+浸渍腐蚀+高低温”的环境模拟试验方法对不同的密封防水措施进行了考核验证。结果表明, 采用“ Ω 形密封带+JMF-01 型胶体密封剂”的改进方案有效。

(3) 提出的密封防水改进措施方案为解决某型运输机编队灯的渗水、积水以及腐蚀的问题提供了技术支撑, 同时对解决其它现役飞机类似的密封防水和腐蚀问题具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 陈群志. 典型飞机结构日历寿命评定方法与延寿技术研究 [D]. 沈阳: 中国科学院金属研究所博士后出站报告, 2005, 12: 1-10.
- [2] 陈群志, 黄卫华, 韩恩厚, 等. 典型飞机内腔结构腐蚀原因分析及防腐改进 [J]. 装备环境工程, 2007, 4(2): 47-49.
- [3] CHEN Qun-zhi, CUI Chang-jing, WANG Yu-ya, et al.

Applicable study of seal waterproof technique in the structure of the typical aircraft [C]. The Fourth World Congress on Maintenance Papers. Haikou: The Fourth World Congress on Maintenance Academic Committee, 2008: 24-26.

- [4] 钟栋梁, 刘贵才, 傅国如. 提高装备自身防护能力抵抗自然环境侵蚀 [J]. 装备环境工程, 2004, 1(3): 59-62.
- [5] 《中国航空材料手册》编辑委员会, 中国航空材料手册(第 2 版) [Z]. 第 8 卷橡胶、密封剂, 中国标准出版社, 2002, 05: 82-85.
- [6] 陈群志, 杨蕊琴, 房振乾, 等. 飞机密封防水新技术研究 [J]. 装备环境工程, 2010, 4(2): 71-74.

作者地址: 北京市 9203 信箱 781 分箱

100076

Tel: (010) 6671 3597

E-mail: cqzyang850@vip.sohu.com

•学术动态•

废旧机电产品再制造领域“十二五”

产业路线图研讨会顺利召开

2010 年 9 月 29 日, 中国再生资源产业技术创新战略联盟组织的“废旧机电产品再制造领域‘十二五’产业路线图研讨会”在装甲兵工程学院装备再制造技术国防科技重点实验室顺利召开。

工业和信息化部节能司王孝洋副处长、中国有色金属工业协会再生金属分会王恭敏会长、中国再生资源产业技术创新战略联盟李士龙副理事长、装甲兵工程学院科研部罗建华副部长等领导出席会议并作了讲话。会议充分肯定了产业路线图制定的重要性及迫切性, 深入剖析了“十二五”期间再制造领域相关科技、产业的政策趋势。清华大学、北京矿冶研究总院等科研院所及神华集团、沈阳大陆激光技术有限公司等企业代表围绕“十二五”期间再制造领域技术的研究进展及拟开展研究的项目进行了讨论, 围绕新时期、新形势下再制造产业全局性、综合性、战略性、前瞻性的重大科学问题, 结合本单位再制造产业发展特点, 对路线图的制定提出了针对性的建议。经过参会代表的热烈讨论, 会议修改并完善了再制造领域“十二五”产业路线图。对“十二五”期间再制造领域的产业发展具有重要意义。

(魏 敏 供稿)