直升机在海洋气候环境下的腐蚀防护对策研究

沈军[1]，魏荣俊[1]，边英杰[2]，李健[1]
（1.陆军航空兵研究所，北京 101121；2.66347 部队装备部，河北 保定 071000）

摘要：针对海洋气候环境特点，分析了直升机执行海上飞行任务易遭受的腐蚀问题，给出了直升机在海洋盐雾大气环境下几种比较典型的腐蚀形态，针对腐蚀防护工作开展现状，给出了腐蚀防护研究总体思路，为相关单位开展陆军直升机海上飞行腐蚀防护研究提供了借鉴与参考。

关键词：海洋环境；直升机；腐蚀防护
DOI：10.7643/ issn.1672-9242.2017.03.014
中图分类号：TJ85；TG174 **文献标识码**：A
文章编号：1672-9242(2017)03-0071-04

Corrosion Control of Helicopter in Environment of Marine Climate

SHEN Jun[1], *WEI Rong-jun*[1], *BIAN Ying-jie*[2], *LI Jian*[1]
(1.Army Aviation Institute, Beijing 101121, China; 2.Unit 66347 Equipment Department, Baoding 071000, China)

ABSTRACT: Aiming at characteristics of marine climate and environment, this paper analyzes corrosion problems of helicopters in carrying out offshore missions, and gives some typical corrosive forms of helicopters in the atmospheric environment of marine salt spray, and overall thinking on researching corrosion protection based on current situations of corrosion protection. It offers references for relevant institutions in corrosion prevention research of army helicopters over marine environment.

KEY WORDS: marine environment; helicopter; corrosion control

在海洋环境条件下飞行的直升机不同于陆基直升机，其所遭受的盐分、飞溅海水、浪花以及持续的干/湿交替循环环境的侵蚀对直升机容易造成很大的腐蚀危害。如舰载直升机长时间处于高湿和高盐雾等恶劣的海洋大气环境中，并受大风、海雾、潮汐、海水飞溅等多环境因索的影响，使舰载直升机机体、发动机、机载设备等产生大量腐蚀，从而直接影响舰载直升机的飞行安全，显著降低其服役期限，同时还会给机务维修工作带来很大负担和昂贵的维护费用。海军某型飞机因 42 框腐蚀疲劳裂纹导致近 50%的飞机停飞维修；某型歼轰飞机装备海军部队仅 3~4 年就出现防护涂层脱落，部分机件材料开始腐蚀，大大增加了装备维护成本的同时，装备的完好率却不能得到有效的保障[1]。

1 腐蚀因素分析

直升机在海洋气候环境下所面临的腐蚀因素主要有以下几个方面。

1.1 海水以及海洋大气

直升机在低空飞行时容易遭受飞溅海水的侵蚀，海水中含有大量的盐分、微生物以及其他污染物，极易造成直升机的腐蚀。海洋大气的腐蚀性则主要取决于其中的氯化物含量、相对湿度、温度，对机体材料起腐蚀作用的物质中，水是最主要的，即空气的相对湿度。在一定的条件下，水还原成氢：$2e+2H_2O \rightarrow H_2+2OH$，而氢对绝大多数的金属材料是阴极性的，

收稿日期：2016-12-14；**修订日期**：2017-01-17
作者简介：沈军（1988—），男，浙江江山人，硕士，工程师，主要研究方向为直升机综合保障、腐蚀防护等。

因此水既是一种电解质更是一种腐蚀剂。

1.2 温度、湿度

空气中相对湿度（RH）的大小对金属在空气中的腐蚀速度有较大的影响。当 RH>65%时，物体表面上附着 0.001~0.01 μm 的水膜，这层水膜的厚度与金属腐蚀速率之间的关系在一定的范围内成正比[2]。在海洋大气环境下，这层水膜中会溶解大量的酸、碱、盐等物质，将加速金属的腐蚀。温度对于直升机的影响主要表现在两个方面，首先是温差的变化，当温差变化大时，容易引起金属表面的凝露导致腐蚀。空气温度在 5~50 ℃范围内，当气温剧烈变化达到 6 ℃左右时，只要相对湿度达到 65%~75%左右，就会发生凝露现象。另外一个方面是直升机在低空沿海飞行，温度较高，而温度越高则腐蚀发生的速度就越快。

1.3 海洋生物污染

海洋生物的污染主要是珊瑚尘、海洋生物尸体以及鸟粪等。特别是在热带地区，珊瑚尘与海盐混合在一起，加上温度效应对直升机的腐蚀性特别大。

1.4 人为因素

现阶段机务人员缺乏系统的腐蚀防护知识培训，在使用维护方面缺乏相关腐蚀防护手段。一线机务人员普遍认为腐蚀是一个长期的、缓慢的发展过程，在短时间内对装备的完好率和安全性没有太大的影响，所以对直升机腐蚀问题的重视程度普遍较低。在装备的日常维护中，主要还是以保持装备外观上的清洁度为主，对于一些不可及或者是平常不易察觉的部位则维护不够。

近年来笔者调研与跟踪检测结果表明，直升机的腐蚀现象已经普遍存在，部分腐蚀问题已经发展到了不容忽视的地步，特别是部分沿海地区装备的腐蚀情况更加突出。

2 典型的腐蚀现象

根据统计，现役直升机飞行高度小于 1500 m 的飞行时间占总飞行时间约 70%，地面停放时间占全部日历时间的 90%以上。沿海地区的装备则常年面临着恶劣的使用环境和停放环境。曾有学者对不同停放环境下的直升机构件腐蚀发生日历年限做过统计，见表 1[3]。

表 1 不同环境下的日历寿命

a

腐蚀类型	沿海地区		内陆
	露天（有防护布罩）	机库	露天
金属腐蚀并表面脱漆	3~5	10~11	5~6
风扇叶轮腐蚀	2~3	6~9	4~5
非金属的老化	3~5	10~12	8~10

2.1 机身外部部分半封闭区域蒙皮的腐蚀

笔者曾对直升机的腐蚀问题开展专题调研工作，发现沿海地区使用的直升机腐蚀现象严重，部分区域蒙皮腐蚀接近穿孔，特别是某型直升机中机身外挂油箱安装区域。由于结构的特殊性和所处沿海高温高湿高盐雾的环境气候因素，导致该区域的腐蚀情况特别严重，如图 1—4 所示。其中图 2 所示为某型直升机机身左侧拆卸外挂油箱后发现机身蒙皮部分的多处腐蚀现象。图 3—5 是具体部位的腐蚀现象，图 5 为图 4 去除腐蚀产物之后，所测得深度为 0.8 mm 的腐蚀坑，表明该处蒙皮已经接近腐蚀穿孔（机身蒙皮厚度为 1.0 mm）。

图 1 机身左侧 10-11 号框间多处腐蚀及鼓包现象

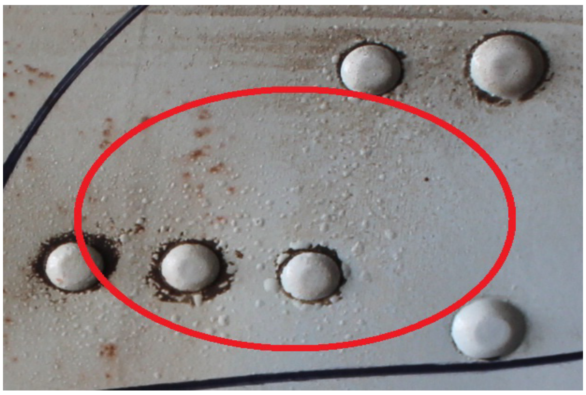

图 2 某型直升机机身左侧 7 号框附近蒙皮上漆层大面积鼓包

图 3 8 号框铆钉附近的腐蚀状况

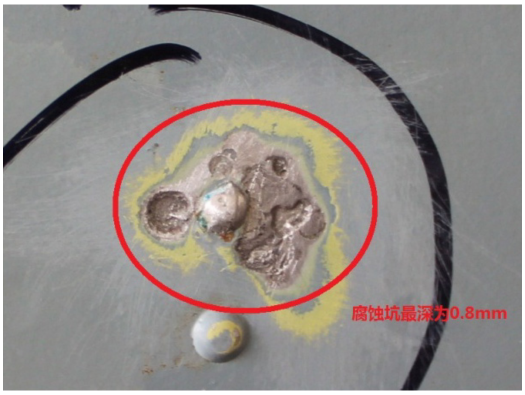

图 4　铆钉周边的腐蚀坑

2.2　部分内部结构件的腐蚀

直升机内部结构的腐蚀形式多样，常见的易腐蚀部位有部分附件的安装座、镁合金构件、货舱地板内部、电瓶舱等区域[4]。

机身各种部附件的安装座产生腐蚀和锈蚀的主要原因是由于异种金属之间存在的电位差导致的电化学腐蚀，如图 5 所示。

图 5　某型直升机 7 框、10 框部分安装座腐蚀

镁合金构件发生的腐蚀主要是由于镁合金自身是极活泼的金属，而海水和盐雾中含有大量的氯化钠，其水解形成的氯离子是吸附力很强的活性离子，可破坏镁合金的钝化膜，并造成基体金属的快速腐蚀。同时海水蒸汽在结构表面冷凝形成含海盐粒子的水膜，造成不连续的电解质溶液分布，从而加剧腐蚀。某型直升机中机身顶部风扇舱镁合金围框的腐蚀情况如图 6 所示。

货舱地板内部以及电瓶舱等区域由于其结构的特殊性，特别是货舱地板内部，由于排水设计不合理、局部环境密闭且内部常年有积水，加之沿海地区空气湿度大温度高导致其内部结构的腐蚀速度特别快，如图 7 所示。

图 6　某型直升机顶部风扇舱镁合金围框腐蚀

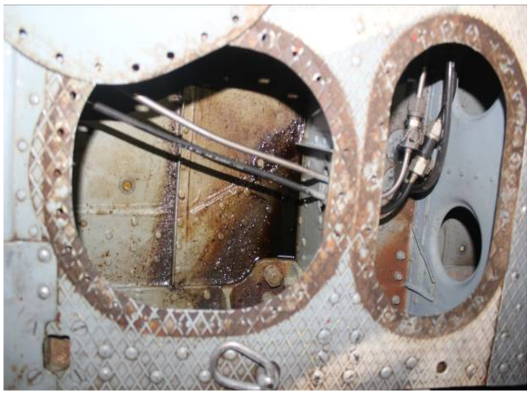

图 7　货舱地板内部积水腐蚀

3　腐蚀防护研究总体思路

3.1　开展易腐蚀部位分析

对主战直升机的易腐蚀部位进行分类，主要的分类方式有以下几种：按防护对象基体材料和表面材料的不同类别分类；按防护对象所处外部腐蚀环境的不同进行分类；按防护对象不同的维护方式进行分类；按防护对象比较容易遭受的腐蚀或其他损伤模式进行分类。见表 2。

3.2　开展腐蚀防护手段研究

对腐蚀防护手段进行研究，主要的腐蚀防护手段包括以下三个方面：外表面污染物的清洗，针对不同污染物采用不同的清洗剂对直升机进行局部和整体的清洗；已腐蚀部位腐蚀产物的去除与腐蚀部位的恢复；易腐蚀部位的防护，主要是针对防护对象的具体情况使用各型缓蚀剂进行腐蚀防护。

对部分腐蚀防护手段开展地面环境加速试验，主要试验对象为各型缓蚀剂的适用性、基本的防护性能指标、缓蚀性能等。对国内几个厂家主要的缓蚀剂开展性能对比试验，优选防护性能好、对基体材料二次损伤小的缓蚀产品。

表 2 易腐蚀部位分析归类

发生腐蚀部位名称	所属上级系统	表面材料	基体材料	所处的局部腐蚀环境描述	常见的腐蚀现象及其他损伤模式	维护方式与维护周期	优先推荐的腐蚀防护手段
蒙皮	机身	xxx底漆xxx面漆	铝合金	大部分直接裸露，部分区域为半密闭结构	脱漆、点蚀、剥蚀以及硬物划痕等	定期检查，机械日清洁与擦洗	局部严重腐蚀区域推荐使用XXX型缓蚀剂，日常推荐使用XXX型清洗剂进行清洗
滑油散热风扇	滑油系统	Xxx底漆xxx面漆xxx镀层	镁合金	高速旋转部件，长期经受沙尘冲蚀	叶片前缘保护层脱落，局部有密集的腐蚀坑出现	定期检查，机械日的清洁与维护	开展技术研究，更改风扇叶片的表面防护层，增加其抗冲蚀能力
……							

3.3 针对具体部位研究具体防护措施

将 3.1 节中对主战机型的易腐蚀部位的各种分类结果与 3.2 节中所掌握的腐蚀防护技术手段进行对照，对每一易腐蚀部位的各种腐蚀和损伤形态推荐各种不同的腐蚀防护技术手段，特别是在我陆军直升机开展海上飞行训练时，可能遭受的高温、高湿、高盐雾环境下的腐蚀情况，提供具有针对性的腐蚀防护措施。

4 结语

近年来，随着直升机在海洋环境下的大量使用以及部分直升机服役年限的不断增长，导致在直升机进厂大修时以及日常维护中发现了大量的腐蚀现象，特别是在沿海地区服役的直升机装备腐蚀情况日趋严重，这逐步引起了各级装备机关的重视，同时增加了在直升机腐蚀防护方面的投入，取得了一定的研究成果。直升机的腐蚀防护工作是一项长期的基础性工作，其投入周期长、成效慢，需要大量基础技术的积累。相关单位应借鉴国内外其他先进的腐蚀防护经验，结合直升机的具体使用特点和环境特点，加大投入与研发力度，特别是要加强机务人员的腐蚀防护意识教育与技能培训，增加外场直升机腐蚀防护手段建设，提高直升机在海洋气候环境下的腐蚀防护能力。

参考文献：

[1] 穆志韬. 飞机结构的腐蚀修理及防护控制技术[J]. 飞机制造工程, 1995, 12(5): 212—214.

[2] 刘振岗, 唐有才, 王占勇, 等. 沿海地区飞机腐蚀问题及控制[J]. 航空科学与技术, 2005(2): 34—36.

[3] 柳文林, 穆志韬, 段成美. 现役直升机结构腐蚀原因及控制[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2005, 17(5): 358—359.

[4] 沈军, 李健, 魏荣俊, 等. 某型直升机内部结构腐蚀防护与修理对策研究[J]. 装备环境与工程, 2016, 13(1): 45—50.