

民用水上飞机机载设备腐蚀环境技术要求研究

张敬锋^{1,2}, 刘元海^{1,2}

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

摘要: **目的** 针对民用水上飞机的机载设备构建一套更为严格的环境技术要求, 以满足民用水上飞机在其特殊使用环境和使用模式下的安全性和可靠性。**方法** 通过分析水上飞机的总体使用环境, 提取影响机载设备腐蚀的主要环境因素, 整理和归纳环境量值对相关环境要求进行修正。**结果** 给出了 RTCA DO-160G 标准中湿热、霉菌和盐雾试验条件的改进建议。**结论** 试验条件改进依据充分合理, 能够适用于民用水上飞机机载设备的腐蚀环境适应性评估与验证。

关键词: 民用水上飞机; 机载设备; 环境试验; 腐蚀

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2020.06.011

中图分类号: TG172.5 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2020)06-0066-06

Corrosion Environmental Conditions for Airborne Equipment of Civil Seaplane

ZHANG Jing-feng^{1,2}, LIU Yuan-hai^{1,2}

(1. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Structure Corrosion Prevention and Control, Jingmen 448035, China; 2. China Special Vehicle Research Institute, Jingmen 448035, China)

ABSTRACT: The paper aims to establish a set of stricter environmental technical requirements for the airborne equipment of civil seaplanes, to suit the safety and reliability of civil seaplanes in their special use environment and use mode. By analyzing the overall operating environment of seaplanes, the main environmental factors affecting the corrosion of airborne equipment were extracted, and the environmental values were sorted out and summarized to correct relevant environmental requirements. Suggestions for improvement of humidity, fungus and salt fog test conditions in RTCA DO-160G standard were given. The basis for improvement of test condition is sufficient and reasonable. It can be applied to the evaluation and verification of corrosion environment adaptability of civil seaplane airborne equipment.

KEY WORDS: civil seaplane; airborne equipment; environmental test; corrosion

中国民用航空规章第 25 部《运输类飞机适航标准》(CCAR-25)规定, 民用飞机机载设备必须按适航标准制定或推荐的咨询通告(AC: Advisory Circular)或行业标准完成相关的取证试验。环境试验是适航取证试验的重要组成部分^[1-2], 民用机载设备的规章《民用航空材料、零部件和机载设备技术标准》

(CCAR-37)给出了民用飞机机载设备的技术标准规定(TSO: Technical Standard Order)^[3]。在环境试验方面, TSO 给出了通用型和非通用型环境试验标准。其中非通用型环境试验标准规范了环控、灭火、燃油、救生等系统具体设备/分系统的试验项目; 通用型环境试验标准, FAA 则在发布的 AC 21-16G 中强烈建

收稿日期: 2020-02-08; 修订日期: 2020-02-28

Received: 2020-02-08; Revised: 2020-02-28

作者简介: 张敬锋(1977—)男, 高级工程师, 主要研究方向为电子设备环境工程。

Biography: ZHANG Jing-feng (1977—), Male, Senior engineer, Research focus: environmental engineering of electronic equipment.

议采用 RTCA DO-160G。与 DO-160G 对应的欧洲标准是 ED-14G, 其环境试验项目与 DO-160G 一致。因此, DO-160 是当前飞机机载设备环境试验的通用型标准, 适用于指导大多数机载设备开展环境试验^[4]。

TSO 文件已说明, 标准规定的试验要求是机载设备最低的环境试验条件标准和可使用的试验程序。这些试验的目的是提供一个实验室来考核产品在其使用环境中将会遇到的典型环境条件下的性能^[5]。水上飞机机载设备的使用环境、使用模式与一般的民用飞机有很大的不同, 仅依据适航标准给出的最低要求, 其机载设备在使用过程中已经发现了一些问题。因此文中针对水上飞机的使用环境, 对机载设备的环境试验要求加以合理补充。

1 民用水上飞机的使用分析

1.1 使用模式

民用水上飞机的主要用途有: 旅游观光、测绘、环境监测、灭火、救援等。一般在陆上机场和内河、湖泊、水库、中近海水域场站滑行起飞、降落和停泊, 经常在湿热和盐雾的环境下工作和停放。水上飞机的

使用特点使其易受腐蚀环境影响。

1) 停放时间长。相比民航飞机, 水上飞机飞行强度低, 停放时间长, 且停放的机库、机位一般靠近湖泊、水库或海岸。停放的地面环境成为导致腐蚀的主要因素。

2) 飞行高度低。水上飞机的任务需求使得其以低空、超低空飞行为主。3000 m 以下空域必须考虑腐蚀环境对飞机的损伤效应, 3000 m 以上空域由于环境介质稀薄^[6], 从工程应用角度可以不考虑环境影响。

综上所述, 水上飞机的使用模式使得其总体使用环境较其他机型更为严酷、复杂。

1.2 使用环境分析

GJB/Z 594A—2000 将零(部)件使用环境条件分为 L(良好)、Y(一般)、E(恶劣)、H(海上)、T(特殊)等 5 种类型^[7]。对于机载设备, 可以参考这个分类。以大型灭火/水上救援水陆两栖飞机(鲲龙 600)为例, 基于机体结构特点以及飞机飞行状态下不同结构区域、不同位置、不同舱段(室)局部区域环境的控制情况, 将全机机载设备安装区域划分为 5 个典型类别, 各区域情况见表 1。

表 1 鲲龙 600 飞机机载设备使用环境分类
Tab.1 Classification of use environment of AG600 seaplane's airborne equipment

分类	结构区域与结构特征	环境要素与使用特性
L	增压舱。即机身内部地板以上的控温、增压区。该区域有空调系统实施制冷、加温、通风和增压。舱段密封性良好	极少暴露在大气中, 使用过程中温度、湿度可控。很少受工业气体、燃料废气、盐雾及其他腐蚀性介质影响
Y	非温控、非增压内部半封闭区域。包括即机身内部地板以上无环控系统的舱段, 部分雷达罩的内部等。该区域密封性一般	处于结构内部, 不受阳光、雨、海水等直接侵害, 但结构存在开口或频繁开启的舱门/口盖, 受工业气体、燃料废气、湿热、盐雾等一般大气条件影响
E	非温控、非增压内部封闭区域。包括部分机翼盒段和机身内部地板以下的水密隔舱等。特别是水密隔舱作为水上飞机特有的结构, 一般只在船底和隔框进行水密, 一些部位需设置维护口盖不可能完全密封, 随使用时长和使用环境条件的变化, 仍会生成冷凝水或有水从外界渗入而导致密封舱段水聚集, 需要定期打开排水阀排水	结构基本封闭, 但非气密或水密, 不受阳光、雨、海水等直接侵害, 但工业气体、燃料废气、湿热、盐雾等腐蚀介质仍可侵入并不易排出, 使用环境较 Y 区更为恶劣
H	外部暴露区。包括飞机外表面, 还有起落架舱由于长期打开且水上起降时不可能完全密封, 起落架舱内部也定位为外部暴露区	直接暴露在恶劣海洋大气中, 长期遭受高湿热、高盐雾和工业大气(含燃料废气)的直接作用
T	高温区。包括发动机短舱	受发动机工作时的高温影响。因为短舱结构基本封闭, 其他条件与 E 区基本一致

这 5 类基本涵盖了水上飞机机载设备全部的使用环境, 鲲龙 600 是大型水陆飞机, 结构组成较为复杂全面, 一些小型的水上飞机, 结构较为简单, 环境类别可以缩减, 但所有的结构区域基本都可在这 5 类中找到对应的环境特征。具体分析不同使用环境的主要影响因素, 如舱内设备一般很少受到降水、沙尘和太阳辐射的影响, 除非是油路(燃油、滑油、液压油)

内部的设备(TSO 往往会对这些设备给出非通用型环境试验标准), 湿热、盐雾等环境因素很难被隔离。对于金属和合金, 大气腐蚀的关键因素为潮湿时间、SO₂ 和氯化物污染物水平^[8]。机载设备由于普遍采用金属构件, 这些环境因素对其有同样的影响。

相对于机体结构, 材料使用更为多样的电子设备更容易受霉菌的影响。霉菌属好氧菌, 最适宜的生长

温度在 25~35 °C 之间, 在相对湿度 90%~100% 条件下生长良好^[9]。这也是民用水上飞机常见的使用环境, 长期靠水停放的水上飞机机载设备生长霉菌的可能性较其他民用飞机更大。

综合环境要素分析, 选取对各部位机载设备都有影响的湿热、霉菌、盐雾(即常用的“三防”)三个环境因素, 分析环境强度和试验条件的对应关系。

2 腐蚀环境试验条件及环境强度分析

腐蚀环境技术要求在原标准的基础上作修正, 必须满足合理、适用的原则。具体操作为: 按机载设备使用环境的分类情况, 根据收集到的实测数据、经验数据归纳出不同区域的环境量值, 优先选用实测数据。当不具备实测或经验数据时, 参考相关规范和标准中的数据或量值。

表 2 DO-160G 湿热试验条件
Tab.2 DO-160G damp heat test conditions

环境分类	环境试验条件				试验周期
	试验阶段	温度/°C	相对湿度/%	时间	
A 类	升温阶段	(38±2)→(50±2)	(85±4)→(95±4)	2 h±10 min	单次时间 24 h, 循环 2 次(48 h)
	高温高湿阶段	50±2	95±4	6 h	
	降温阶段	(50±2)→(38±2)	≥85	16 h±15 min	
B 类	升温阶段	(38±2)→(65±2)	(85±4)→(95±4)	2 h±10 min	单次时间 24 h, 循环 10 次(240 h)
	高温高湿阶段	65±2	95±4	6 h	
	降温阶段	(65±2)→(38±2)	≥85	16 h±15 min	
C 类	升温阶段	(38±2)→(55±2)	(85±4)→(95±4)	2 h±10 min	单次时间 24 h, 循环 6 次(144 h)
	高温高湿阶段	55±2	95±4	6 h	
	降温阶段	(55±2)→(38±2)	≥85	16 h±15 min	

对比其他的环境试验标准, HB 6167.4—2014《民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第 4 部分: 湿热试验》的内容与 DO-160G 完全一致。我国军用装备环境试验方法中 GJB 150 系列标准共有两个版本: GJB 150—1986 参照 MIL-STD-810C, 该版本中湿热试验部分共有三个程序, 是按照不同类型的设备作为分类原则的^[10-11]; GJB 150A—2009 则是完全等效美国军用标准 MIL-STD-810F, 该版本中湿热试验部分合并为一个程序。HB 5830.11—1986《机载设备环境条件及试验方法 湿热》则与 GJB 150.9A—2009《军用设备实验室环境试验方法 第 9 部分: 湿热试验》的试验条件完全相同, 见表 3。

对比可知, 不同标准的试验参数有所不同, 但都采取交变湿热试验方式。DO-160G 将机载设备根据所在环境分类, 试验条件在不同环境分类下采用不同参数, 显然对设备使用环境的针对性更强。

中国典型环境地域可划分为干冷区、内陆基本区、内陆湿热区、温和沿海区、湿热沿海区、温和海

2.1 湿热

DO-160G 第 6 章中, 将机载设备的局部环境分为 3 类: A 类——标准湿热环境; B 类——严酷湿热环境; C 类——外部湿热环境。A 类环境指的是有环境控制的隔舱内; B 类环境指的是无环境控制区域内的机载设备; C 类环境指的是外部空气接触的设备区域。根据第 1 节的机载设备使用环境分类, DO-160G 中的 A 类对应 L 区; B 类对应 Y、E、T 区; C 类对应 H 区。

DO-160G 内的 A 类环境专指带环境控制的隔舱, 而不是指普通的封闭机舱, 一些水上飞机没有温控、增压系统, 则没有满足 A 类环境的机载设备。DO-160G 规定不同湿热环境下的试验条件见表 2。可见在不同环境分类下具体试验参数是不同的, 总的试验周期也不同。

表 3 GJB 150.9A 和 HB 5830.11 湿热试验条件

Tab.3 GJB 150.9A and HB 5830.11 damp heat test conditions

试验阶段	环境试验条件			试验周期
	温度/°C	相对湿度/%	时间/h	
升温阶段	30→60	升至(95±5)	2	一个循环 周期是 24 h, 进行 10 个周期 (240 h)
高温高湿阶段	60	95±5	6	
降温阶段	60→30	≥85	8	
低温高湿阶段	30	95±5	8	

洋区和湿热海洋区共七大环境区, 并根据 153 个站点 8 年的环境数据进行了统计^[12]。7 个典型环境区域的年平均温湿度值见表 4。

从表 4 可知, DO-160G 湿热试验条件低温低湿参数也高于所有典型环境的平均值。在试验时间方面, 标准一般建议 10 个周期, 该周期时间得到了美国莱特航空发展中心开展的“比较不同湿热试验方法有效性的计划”研究项目的证明。采用任何一种严格

表 4 我国典型环境区月平均相对湿度统计值
Tab.4 Monthly average relative humidity statistics of typical environmental areas in China

环境要素	干冷区	内陆基本区	内陆湿地区	温和沿海区	湿热沿海区	温和海洋区	湿热海洋区
温度/°C	3.7	10.9	17.1	12.7	23.4	12.7	24.8
相对湿度/%	53.1	64.7	78.6	77.3	83.8	> 80%	> 80%

的湿热试验方法，10 天后腐蚀速率就趋近于一个恒定值，10 个周期足以展示湿热环境对大多数装备的潜在影响^[13]。因此，针对常在高湿环境运营的水上飞机，建议将 DO-160G 划分的 C 类（外部湿热环境）试验循环提高到 10 次。同样，A 类和 B 类环境，试验时间也建议取 1.5 的修正系数^[14]。

2.2 霉菌

RTCA DO-160G 第 13 章，将安装在能受严重霉菌污染环境中的设备，划分为 F 类，这类设备必须进行防霉试验。水上飞机的使用环境使得所有机载设备都有可能遭受霉菌污染，因此建议都开展霉菌试验。DO-160G 规定的菌种见表 5。

表 5 DO-160G 规定的试验菌种
Tab.5 Test fungus for DO-160G

菌种名称	ATCC 编号
<i>Aspergillus niger</i> (黑曲霉)	9642
<i>Aspergillus flavus</i> (黄曲霉)	9643
<i>Aspergillus versicolor</i> (杂色曲霉)	11730
<i>Penicillium funiculosum</i> (绳状青霉)	11797
<i>Chaetomium globosum</i> (球毛壳霉)	6205

HB 6167.11—2014《民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第 11 部分：霉菌试验》、HB 5830.13—1986《机载设备环境条件及试验方法 霉菌》的试验条件和 DO-160G 一样，但国内标准给出的菌种为 CGMCC（中国普通微生物菌种保藏管理中心 China General Microbiological Culture Collection Center）的编号，而 DO-160G 是按照 ATCC（美国模式培养物集存库 American Type Culture Collection）编号。虽然菌种编号不同，但是拉丁文名称是一样的，具有相同的基因序列，所以是同一类菌种^[15]。GJB 150.10—1986《军用设备环境试验方法 霉菌试验》给出的试验菌种和 DO-160G 一致，但在 GJB 150.10A—2009《军用装备实验室环境试验方法 第 10 部分：霉菌试验》中，将试验菌种分为了两组，见表 6。

表 6 中的菌种组 1、2 在 MIL-STD-810F 中分别对应欧洲标准和美国标准。选用菌种组 1 及类似菌种的标准有：IEC 68-Z-10(C) 1984《国际电工电子产品基本环境试验规程 4 长霉试验方法》、法国航空规范 AIR7304《机载电气设备、电子设备和仪表的环境试验条件试验 10 抗霉菌试验》、GB/T 2423.16—2008/IEC 60068-2-10:2005《电工电子产品环境试验 试验 J

表 6 GJB 150.10A 霉菌试验可选用的菌种组别和种类
Tab.6 Group and classification of fungus for GJB 150.10A mould test

菌种组	霉菌名称	菌种编号	受影响的材料
1	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	AS3.3928	织物、乙烯树脂、敷形涂覆、绝缘材料等
	土曲霉 <i>Aspergillus terreus</i>	AS3.3935	帆布、纸板、纸
	宛氏拟青霉 <i>Paecilomyces varioti</i>	AS3.4253	塑料、皮革
	绳状青霉 <i>Penicillium funiculosum</i>	AS3.3875	织物、塑料、棉织品
	赭绿青霉 <i>Penicillium ochro-chloron</i>	AS3.4302	塑料、织物
	短柄帚霉 <i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	AS3.3985	橡胶
	绿色木霉 <i>Trichoderme viride</i>	AS3.2942	塑料、织物
	黄曲霉 <i>Aspergillus flavus</i>	AS3.3950	皮革、织物
	杂色曲霉 <i>Aspergillus versicolor</i>	AS3.3885	皮革
	绳状青霉 <i>Penicillium funiculosum</i>	AS3.3875	织物、塑料、棉织品
2	球毛壳霉 <i>Chaetomium globosum</i>	AS3.4254	纤维素
	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	AS3.3928	织物、乙烯树脂、敷形涂覆、绝缘材料等

长霉》两组菌种里面只有一个菌相同，而且菌种组 1 与电工电子产品的联系更为紧密。MIL-STD-810F 文件中有说明：“如有需要，可在本试验方法中增加菌种。但如果使用增加的菌种，则应根据特定材料受该霉菌损害的已知情况来选择”^[16]。考虑到橡胶材料在机载设备上的广泛应用和短柄帚霉对橡胶的强烈侵蚀作用，建议在 DO-160G 选用的菌种上添加“*Scopulariopsis brevicaulis*（短柄帚霉）”。

DO-160G 中对霉菌试验的时间并未严格规定，只要求“试验时间按接种时算起 28 天，或按设备规范的规定”。具体操作时建议参考其他标准，对于在 28 天出现长霉但是符合要求的设备，将试验总时间延长到 84 天。84 天后，不再评价长霉等级，只判断长霉对设备性能的影响。

我国标准对菌种的中文名称并不统一，比如 Sco-

ulariopsis brevicaulis, 在 GJB 150.10A 中名称为短柄帚霉, 而在 GB/T 2423.16—2008 中则被称为短帚霉, 另外在一些技术文稿里又被称为光孢短柄帚霉。建议在描述菌种的时候, 附上拉丁名和编号, 防止误解。

2.3 盐雾

RTCA DO-160G 第 14 章, 将设备分为 S 类和 T

类。S 类指安装在飞机正常使用过程中所能遭受腐蚀大气影响部位的设备, 对应 L 区; T 类设备安装在能遭受严酷盐雾大气环境的位置 (如在海边停放或使用的飞机直接暴露于未经过滤的外界空气中的设备), 基本包括水上飞机除增压舱外的所有部位, 因此对应 Y、E、H、T 区。不同分类对应的试验要求见表 7。

表 7 DO-160G 盐雾试验方法
Tab.7 DO-160G salt fog test method

环境分类	试验条件	循环次数
S 类	环境条件: 温度 $t=35\text{ }^{\circ}\text{C}$; 盐雾: $5\%\pm 1\%$ 的 NaCl 溶液, pH 值为 6.5~7.2 单次循环周期 48 h (24 h 连续喷雾和 24 h 干燥)	进行 2 个循环 (96 h)
T 类	环境条件: 温度 $t=35\text{ }^{\circ}\text{C}$; 盐雾: $5\%\pm 1\%$ 的 NaCl 溶液, pH 值为 6.5~7.2 单次循环周期 72 h (48 h 连续喷雾和 24 h 干燥)	至少进行 2 个循环 (144 h)

HB 6167.12—2014《民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第 12 部分: 盐雾试验》的内容与 DO-160G 一致, 也与 GJB 150.11A—2009《军用装备实验室环境试验方法 第 11 部分: 盐雾试验》的试验条件基本一致。GJB 150.11A—2009 未针对装备的具体结构环境区域进行细分, 对试验周期也仅建议 2 个周期 (96 h) 或增加试验循环次数, 以便对装备耐盐雾环境能力给出更高置信度的评价^[17]。

从 20 世纪 60 年代开始, 美国国防部针对海军装备面临的海洋大气腐蚀问题, 通常采用模拟海水或一定质量浓度 NaCl 溶液的中性盐雾试验方法加以考核。该类方法多基于 ASTM B117 标准^[18], MIL-STD-810 系列标准中的盐雾试验方法就是其中的典型代表。随着航空装备的快速发展, 美国航空材料实验室的研究人员发现, 中性盐雾试验往往无法准确暴露腐蚀问题。在一项针对机载电子产品的随舰暴露试验中, 有 11 项产品均出现了由腐蚀导致的问题, 但在实验室经过 500 h 的中性盐雾试验, 其中仅有 3 项产品出现了类似问题^[19]。

在民用飞机的使用过程中, 工业废气、酸雨等与海洋盐雾组合成的酸性潮湿环境, 使得机载设备常处于酸性盐雾中, 酸性液体会增强盐雾对机载设备的腐蚀作用。当前我国的酸雨区主要分布在长江以南的广大地区、东北东南部、华北的大部以及西南和华南沿海等广大地区, 酸雨分布区大致呈东北-西南走向^[20]。这些地区也是水上飞机的主要使用地区, 酸雨的成因也以硫酸型污染为主^[21]。

根据相关“盐雾-SO₂”试验方法的研究探索^[22], 对于水上飞机面临的工业废气与盐雾共同作用形成的酸性盐雾对机载设备的影响, 可采用在 DO-160G 盐雾试验方法的盐雾喷雾中加入稀硫酸调节 pH 值的方法加以模拟。参考 GJB 150.28—2009《军用装备实验

室环境试验方法 第 28 部分: 酸性大气试验》中给出我国目前酸雨最严酷地区最低 pH 值为 4.02^[23], 盐雾试验在使用 DO-160G 规定循环次数的同时, 将盐雾溶液 pH 值在原 6.5~7.2 的基础上, 建议调整为 4.02。

3 结语

针对民用水上飞机机载设备, 在适航规范给出的 DO-160G 基本试验条件的基础上, 参考相关标准规范, 结合具体使用环境, 对湿热、霉菌、盐雾的技术要求做了适当补充, 目的是提高水上飞机机载设备的环境适应能力。试验条件改进依据充分合理, 能够适用于民用水上飞机机载设备的腐蚀环境适应性评估与验证。需要指出的是, 由于水上飞机使用环境较为广泛, 在不同纬度、湖泊或是海边使用的水上飞机所受的环境因素也有所不同, 文中给出的是较为普遍的环境试验要求。若需要针对更为具体的使用环境做测试, 建议根据实际采集的环境当量进行分析权衡。

参考文献:

- [1] 祝耀昌. 国外适航性条例对机载设备的环境试验要求[J]. 航空标准化与质量, 1988(5): 19-24.
ZHU Yao-chang, Environmental Testing Requirements for Airborne Equipment in Foreign Airworthiness Regulations[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 1988(5): 19-24.
- [2] 刘四平, 黄立恒, 唐雨. 直升机机载产品环境试验考核结果浅析[J]. 环境技术, 2019, 37(5): 29-33.
LIU Si-ping, HUANG Li-heng, TANG Yu. A Brief Analysis on the Results of Environmental Test of Helicopter Airborne Products[J]. Environmental Technology, 2019, 37(5): 29-33.

- [3] 杨跃进. TSO 及其引用标准的分析[J]. 航空标准化与质量, 1992(6): 30-34.
YANG Yue-jin, TSO and Its Reference Standard Analysis[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 1992(6): 30-34.
- [4] 孔叔钊, 胡湘洪. 基于适航的民机机载设备环境试验标准需求分析[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2019, 37(4): 83-88.
KONG Shu-fang, HU Xiang-hong. Requirement Analysis of Environmental Test Standards for Civil Aircraft Airborne Equipments Based on Airworthiness[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2019, 37(4): 83-88.
- [5] RTCA DO-160G, 机载设备环境试验条件和试验程序[S].
RTCA DO-160G, Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment[S].
- [6] GB/T 4749. 6—2013, 环境条件分类 自然环境条件 尘、沙、盐雾[S].
GB/T 4749. 6—2013, Classification of Environmental Conditions—Environmental Conditions Appearing in Nature—Dust, Sand, Salt Mist[S].
- [7] GJB/Z 594A—2000, 金属镀覆层和化学覆盖层选择原则与厚度系列[S].
GJB/Z 594A—2000, Chemical and Metal Plating Layer Coating Selection Principles and the Thickness of the Series[S].
- [8] GB/T 19292. 1—2003(ISO 9223-1992), 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 分类[S].
GB/T 19292. 1—2003(ISO 9223-1992), Corrosion of Metals and Alloys—Corrosivity of Atmospheres—Classification[S].
- [9] 陈丹明, 李金国, 苏兴荣, 等. 军用电子装备的防霉[J]. 装备环境工程, 2006, 3(4): 78-81.
CHEN Dan-ming, LI Jin-guo, SU Xing-rong, et al. Anti-Mildew of Military Electronic Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(4): 78-81+95.
- [10] GJB 150—1986, 军用设备环境试验方法[S].
GJB 150—1986, Environmental Test Methods for Military Equipments[S].
- [11] MIL-STD-810C, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests[S].
- [12] 周希沅. 中国飞机结构腐蚀分区和当量环境谱[J]. 航空学报, 1999, 20(3): 230-233.
ZHOU Xi-yuan. Corrosion Demarcation of Airplane Structures of China and Equivalence Environmental Spectrum[J]. Acta Aeronautica Astronautica Sinica, 1999, 20(3): 230-233.
- [13] 刘海龙, 王克强, 唐琳皓, 等. 湿热和盐雾试验对航空装备腐蚀的对比解析[J]. 环境技术, 2019, 37(3): 146-150.
LIU Hai-long, WANG Ke-qiang, TANG Lin-hao, et al. Comparison and Analysis on Corrosion of Aviation Equipment Between Humidity and Salt Fog Test[J]. Environmental Technology, 2019, 37(3): 146-150.
- [14] 刘元海, 张幸. 舰载机载设备腐蚀环境适应性要求的剪裁[J]. 装备环境工程, 2016, 13(5): 61-67.
LIU Yuan-hai, ZHANG Xing. Tailoring of Corrosion Environmental Adaptability Requirement for the Shipboard Airborne Equipments[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(5): 61-67.
- [15] 周宇光. 菌种目录[M]. 第三版. 北京: 中国农业科技出版社, 1997.
ZHOU Yu-guang. Catalogue of Species[M]. Third Edition. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1997.
- [16] MIL-STD-810F, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests[S].
- [17] GJB 150. 11A—2009, 军用装备实验室环境试验方法 第11部分: 盐雾试验[S].
GJB 150. 11A—2009, Laboratory Environmental Test Methods for Military Materiel—Part11: Salt Fog Test[S].
- [18] ASTM B117, Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus[S].
- [19] MORRIS A W. Corrosion Control Test Method for Avionic Components[R]. Naval Air Development Center, 1981.
- [20] 赵艳霞, 侯青. 1993—2006年中国区域酸雨变化特征及成因分析[J]. 气象学报, 2008, 66(6): 1032-1042.
ZHAO Yan-xia, HOU qing, Variation Characteristics and Causes of Acid Rain in China from 1993-2006[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2008, 66(6): 1032-1042.
- [21] 蔡朋程. 浅析中国的酸雨分布现状及其成因[J]. 科技资讯, 2018, 16(15): 127-128.
CAI Peng-cheng. Analysis on the Distribution and Causes of Acid Rain in China[J]. Science & Technology Information, 2018, 16(15): 127-128.
- [22] 朱金阳, 李明, 程丛高. 美海军舰载航空装备“盐雾-SO₂”试验方法发展历程及启示[J]. 装备环境工程, 2017, 14(3): 33-38.
ZHU Jin-yang, LI Ming, CHENG Cong-gao. Development and Enlightenment of “Salt Spray-SO₂” Test Method for Carrier-based Aircraft of US Navy[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(3): 33-38.
- [23] GJB150. 28—2009, 军用装备实验室环境试验方法 第28部分: 酸性大气试验[S].
GJB 150. 28—2009, Laboratory Environmental Test Methods for Military Materiel—Part28: Acidic Atmosphere Test[S].