

一种多参数小型化飞机结构腐蚀环境监测技术

常鸣^{1,2}, 袁慎芳¹, 王长春¹

(1. 南京航空航天大学 机械结构力学及控制国家重点实验室, 南京 210016;

2. 扬州大学 水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225000)

摘要: 目的 研究腐蚀与环境条件之间的关系, 提出一种用于飞机腐蚀环境监测的小型化监测节点的实现方法。方法 针对影响腐蚀的4个关键环境参数(温度、相对湿度、湿润时间和氯离子浓度), 研究其传感方法并研发选型相应传感器。在此基础上设计基于MSP430处理器的多参数飞机腐蚀环境监测节点。结果 通过实验验证了节点中的温湿度传感器、湿润时间传感器和电化学传感器的适用性, 能够完成对环境参数的测量。结论 设计的节点满足机载装置小型化、轻量化的要求, 可以实现在线的腐蚀环境监测, 从而保障飞行安全。

关键词: 飞机结构; 腐蚀环境监测; 多参数; 监测节点

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.06.003

中图分类号: TG174.3; TP302 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)06-0015-07

A Multi-parameter Miniaturization Monitoring Node for Aircraft Corrosive Environments

CHANG Ming^{1,2}, YUAN Shen-fang¹, WANG Chang-chun¹

(1. The State Key Lab of Mechanics and Control of Mechanical Structures,

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. School of Hydraulic, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225000, China)

ABSTRACT: Objective To study the relationship between corrosion and environment, a realizing method of the multi-parameter miniaturization monitoring node for aircraft corrosive environments was proposed in this paper. **Methods** Four key environmental parameters which are the major factors affecting the corrosion were selected: temperature, humidity, time of wetness (TOW) and chloride ion concentration. And the corresponding sensors were chosen or designed for monitoring.

收稿日期: 2014-08-12; 修订日期: 2014-09-03

Received: 2014-08-12; Revised: 2014-09-03

基金项目: 国家杰出青年基金(51225502); 江苏省优势学科建设项目资助

Fund: Supported by National Science Fund for Distinguished Young Scholars(51225502) and Advanced Discipline Construction Foundation of Jiangsu Province of China

作者简介: 常鸣(1980—), 女, 江苏南京人, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为腐蚀监测。

Biography: CHANG Ming(1980—), Female, from Nanjing, Jiangsu, Ph. D. Candidate, Lecturer, Research focus: corrosion monitoring.

通讯作者: 袁慎芳(1968—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 长江学者, 主要研究方向为结构健康监测。

Corresponding author: YUAN Shen-fang(1968—), Female, Ph. D., Professor, Doctoral supervisor, Changjiang scholar, Research focus: structural health monitoring (SHM).

Besides, this paper introduced a miniaturization monitoring node which could realize the measurements of multiple corrosive environmental parameters. The monitoring node was based on the Texas Instruments MSP430[®] micro-controller and included the aforementioned sensors. **Results** In the end, the verifications showed that the humidity and temperature sensor, the TOW sensor, and the electrochemical sensor were available; the measurements of four parameters could be performed correctly by the node. **Conclusion** Featuring a small volume and low weight, the node was applicable for on-aircraft corrosion monitoring. And this approach will provide actionable knowledge for aircraft maintainers, such that the aircraft safety could be driven to increased levels.

KEY WORDS: aircraft structure; monitoring of corrosive environments; multi-parameter; monitoring node

飞机结构腐蚀的随机性大、类型多样,腐蚀损伤又直接影响着飞机的剩余寿命,关乎飞行安全,因此研究腐蚀的控制方法尤为重要。以往飞机的腐蚀研究关注于防腐蚀设计以及腐蚀后的检测与维修^[1-2],主要是利用各种无损检测技术发现并确定飞机腐蚀的位置。如超声成像、超声 C 扫描、磁光成像、涡流检测等^[3],都是在腐蚀已经发生的情况下定位腐蚀,根据损伤情况采取相应补救措施。在 JSF(Joint Strike Fighter)项目引入了故障预测与健康 管理(Prognostics and Health Management, PHM)技术后,飞机的腐蚀预测逐渐得到了重视^[4]。飞机腐蚀环境监测就是基于此提出的,针对飞机结构的特点,在一些易发生腐蚀的部位安装监测节点,实时采集周围的环境参数,经过信号调理后上传至客户端建立数据库。以此对环境的变化进行分析,预测腐蚀发生的可能性,尽早对飞机进行维护,减小因腐蚀发生造成的损失^[5]。

JSF 项目的 SPHM(Structural PHM)团队就承担了为 F-35 设计综合性抗腐蚀环境传感器的任务,预测腐蚀损伤。除此之外,美国的 Honeywell 实验室设计了腐蚀环境监测设备,Boeing 公司和澳大利亚的 CSIRO 合作开发了飞行器结构腐蚀预诊断方法,Luna Innovations 研制了机载无线腐蚀环境监测系统^[5-7],越来越多的科研机构投入到飞机腐蚀环境监测的研究中。

文中根据飞机腐蚀环境监测的需求,确定了影响腐蚀的 4 个环境参数:温度、相对湿度、湿润时间和氯离子浓度。选型了温湿度传感器,研制了测量湿润时间和氯离子浓度的传感器。在此基础上,设计研发了小型化的多参数腐蚀环境监测节点,能够控制多传感器实现在线的环境监测,从而为飞机腐蚀预测提供一定的研究基础。

1 多参数腐蚀环境的传感方法研究

飞机结构腐蚀的成因是多方面的,温湿度是最关键的因素,其他如结构表面的湿润状况、氯化物的污染也是航空金属腐蚀的重要原因。盐雾是一种常见的飞机腐蚀成因,在盐雾这种氯离子浓度较高的场合,氯化物会沉降在飞机外表面或随冷凝水滞留在内部,易形成电解质溶液而加速结构腐蚀^[8-9]。因此,选取温度、相对湿度、湿润时间和氯离子浓度等 4 个参数对其进行长期监测,分别依靠温湿度传感器、湿润时间传感器和电化学传感器来完成。其中温湿度传感器已经发展得较为成熟,可以直接选择商用传感器,而后两种传感器并没有符合应用要求的在售。因此文中对相对应的湿润时间传感器与电化学传感器的研发进行了探讨。

1.1 温湿度的测量

文中选择了 Sensirion 公司生产的 SHT15 贴片封装的温湿度一体化传感器,如图 1a 所示。该传感器将传感元件和信号处理电路集成在一块微型电路板上,输出完全标定的数字信号,使用方便。

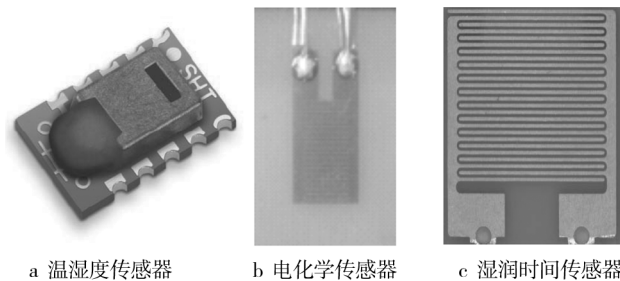


图 1 传感器实物

Fig. 1 Photos of the sensors

SHT15 温湿度传感器有着较高的测量精度和分

分辨率,测温范围为 $-40 \sim 123.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 $0 \sim 100\%$,能满足飞机环境监测的需求。除此之外,该传感器体积小、功耗低,测量状态时的功耗仅为 3 mW ,这些都为机载应用提供了便利条件。

1.2 氯离子浓度的测量

目前常见的氯离子测定方法有摩尔法、分光光度法、浊度法、离子色谱法等,但是这些测定仪器在质量、功耗、操作方法等方面不能满足飞机安装测试的要求。因此文中研制了电化学传感器来监测氯离子浓度。

文中设计的电化学传感器为双电极栅状结构,当传感器暴露在潮湿的大气中或处于有积水的地方,其表面会凝结一层水膜。这层水膜溶解了盐类和其他杂质,形成了一定氯离子浓度的电解质溶液,给电化学腐蚀提供了条件。

该传感器的测量原理类似于线性极化技术:首先等待电极的自腐蚀电位稳定,电极反应处于平衡状态;之后对电极外加微小电压进行极化,则正向和逆向的反应速度不相等,电流随之发生变化。工作时对传感器的电极施加微小电压,实时监测输出电流。这种方法本用来测算金属的腐蚀速率,但得到的数据也与腐蚀环境的相关参数有关联^[10-11]。由于氯离子对电化学腐蚀有推动作用,文中利用制成的传感器去监测溶液中氯离子的浓度。发现氯离子浓度越高,输出电流就会越大,通过监测电流的变化即可获取氯离子浓度的变化情况。

传统的线性极化测量装置都是三电极系统,由工作电极、参比电极和辅助电极组成。其中工作电极和参比电极的电极过程是一样的,它们的腐蚀电位相近,加之极化时间很短,因此可以采用相同的材质制成这两个电极;辅助电极仅供极化时完成通电回路使用,也可采用同样的材质制成^[12]。在设计中,传感器采用一宽一窄两电极代替了常见的三电极,选取较宽的电极同时充当参比电极和辅助电极,较窄的电极作为工作电极。这样的结构便于制作,且易小型化,能实现对被测量对象变化趋势的监测^[10,13-14]。

文中关注的飞机蒙皮等通常采用LY12硬铝材料,为了更好地呈现飞机的腐蚀状况,传感器的电极采用与其相同的材料。在非金属支撑材料方面,为了保证其可靠、轻质,同时具备耐腐蚀的特性,选择

环氧树脂板作为传感器的底板。根据Wilson A等的研究^[13],传感器双电极之间的间距越小,传感器的灵敏度就越高。传统工艺如铣削和激光切割等,制作时只能达到几百微米的精度,因此在设计中选择了正胶Lift-Off工艺制作该栅状传感器。通过真空蒸镀在环氧树脂衬底上牢固地镀一层硬铝的薄膜,由事先加工好的掩模板结合光刻技术将栅状电极的图案刻在薄膜上。制成的两个电极一个宽 $450\text{ }\mu\text{m}$,另一个宽 $150\text{ }\mu\text{m}$,电极之间间距只有 $20\text{ }\mu\text{m}$ 。制成的传感器灵敏度高、尺寸小($20\text{ mm}\times 9.3\text{ mm}$),材质与被监测对象相同,适合应用要求。传感器实物如图1b所示。

1.3 湿润时间的测量

腐蚀环境研究中的湿润时间(Time Of Wetness, TOW)是指金属暴露在空气中表面持续湿润的时间,是导致金属在大气中发生腐蚀的一个重要因素。当前对于湿润时间的测量大多是通过综合气象站提供的气象数据(相对湿度、降雨量等)统计得到的^[15-16],而实际航空金属表面的湿润状态成因复杂,需要设计专门的传感器进行测量。

常用的湿润时间传感器是基于电偶腐蚀的原理,传感器表面湿润时,异金属电极浸没在电解质溶液中,伽伐尼电池被激活,输出一定的电压。该传感器经过Sereda^[17],Tomashov^[18]等人的不断发展,已在大气腐蚀监测中较为常用。该类传感器存在着电极材料易消耗,使用寿命不长,且电偶腐蚀会改变溶液成分而影响测量结果的缺点。综合考虑到机载使用的需求,文中基于电阻式的原理设计制作了一种小尺寸的湿润时间传感器。

电阻式湿润时间传感器的主体部分为同种金属制成的交叉指状电极,如图1c所示。当空气干燥时,电极之间相互绝缘,传感器的输出电阻无穷大;若空气湿度增大至表面凝结液滴,或有降雨、降雪、结露等现象发生,电极将被短路,输出电阻大大降低。使用前设置一个临界电阻值,当输出电阻低于这一界限则认为表面已经湿润,连续监测输出数据即可记录下传感器表面的湿润时间。

该传感器的敏感元件为相同材质的双电极,以往的制作方法是将材料加工成丝状,平行缠绕在绝缘体上,构成检测极。这种方法制作复杂,复现性不好,且对于电极宽度和电极间距的大小都难以精确

控制。文中使用标准 PCB 制造技术,按照事先设计绘制好的图形,在覆铜基板上蚀刻出 2 个等宽的 $300\text{ }\mu\text{m}$ 的铜电极,使电极呈交叉指状分布,相互绝缘且相互穿插。该传感器的工作原理决定了电极间距越小,灵敏度越高,所以应用中的电极间距为 PCB 技术最精细的 $80\text{ }\mu\text{m}$,即使表面上附着的微小液滴也能被感知到。此外,该传感器需要长期暴露在外部环境中,而铜电极裸露在空气中会很快被腐蚀损坏,因此在电极上再覆盖一层金进行保护。湿润时间传感器的整体尺寸为 $22\text{ mm}\times 20\text{ mm}$,体积小、寿命长、制作成本低,且电阻式的原理决定了其测量电路也较简单,很适合机载使用。

2 多参数飞机腐蚀环境监测节点的设计与实现

2.1 多参数飞机腐蚀环境监测节点的构架

考虑机载监测的特点,为实现轻量化和小型化,研制了用于多腐蚀环境参数监测的小型化监测节点。飞机 PHM 系统对结构腐蚀环境的监测是个长期的过程,因此节点需要能够独立、长时间的工作。节点设计时主要考虑了小尺寸、低功耗、独立的电源供给、数据处理与本地存储能力、用户应答下载等要求。

节点的整体构架设计如图 2 所示,分为测量模块与主控模块等 2 部分。其中主控模块以 TI 公司超低功耗的 16 位混合信号处理器 MSP430F169 为核心,片内集成有多个 DAC,ADC 和串口通讯模块,资源丰富,符合设计需求。通过该芯片可实现对传感测量、数据采集与处理、存储等的控制。测量模块则包括了传感器及其测量电路。

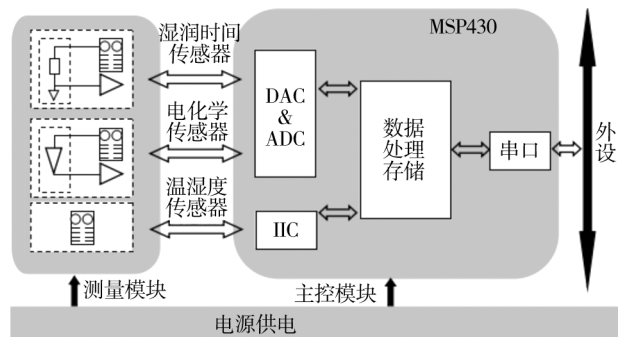


图 2 监测节点构架

Fig. 2 Structure of the monitoring node

2.2 硬件设计与实现

按照基本构架对节点的硬件按模块进行设计,制成的实物如图 3 所示。对环境的监测需要传感器与被测环境直接接触,为此,节点设计为上下 2 层。上层是测量模块,其中传感器暴露在外,而电路可以后期通过封装外壳加以保护;下层为主控模块,实现对 3 种传感器的控制管理。整个节点体积小 ($70\text{ mm}\times 50\text{ mm}\times 20\text{ mm}$),适合在飞机的狭窄空间使用。

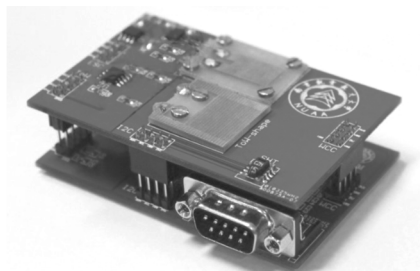


图 3 监测节点实物

Fig. 3 Photo of the monitoring node

测量模块主要是 3 种传感器以及相应的测量电路。其中 SHT15 传感器的接口电路为一种 IIC 的数字串行接口,对该传感器的测量控制由 MSP430 来实现。芯片和传感器的数据线、时钟线相互连接,按照传感器给定的通讯协议,通过发送指令建立通讯,完成对温湿度的实时测量。

湿润时间传感器和电化学传感器的测量方式都属于被动式测量,其测量过程都由外部激励主动触发来实现。湿润时间的测量如图 4a 所示,对传感器施加激励电压 V_{TS} ,通过分压电路将传感器电阻转化为电压,再放大和滤波后得到输出电压 V_{TO} 。电化学传感器的测量电路与湿润时间相似,不同的是通过测量其极间电流而非电阻来实现,如图 4b 所示。待自腐蚀电位稳定后对电化学传感器施加激励电压 V_{ES} ,两级间产生一定的电流,极间电流再由转换电路转换为电压,放大和滤波处理后得到输出电压 V_{EO} 。

由于过大的激励电压容易引发进一步的电化学腐蚀,所以对这两种传感器的激励都必须很小,节点选取的是 20 mV 。随之而来的输出信号也都较弱,极易受到噪声的干扰,因此它们的测量电路设计特别注重了对微小信号的去噪和放大。一是通过合理的接地设计,防止因为电位不平衡引入误差;二是采用低偏置的运算放大器 OPA602 对输出信号进行

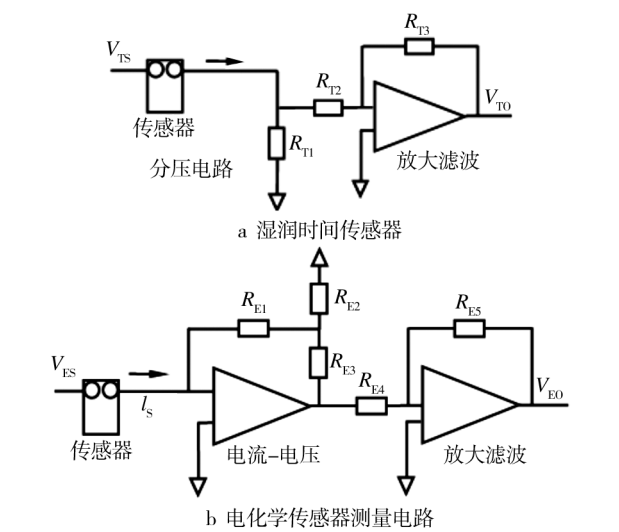


图 4 测量电路

Fig 4 Measurement circuits

滤波和放大;另外,传感器和电路的偏置采用软件补偿来消除。

主控模块除了控制测量模块完成工作外,还可将测量数据存储在 MSP430 的 ROM 以及 Flash ROM 里,解决了节点的数据存储问题。此外,主控模块还设计了串口通讯功能,设计以 RS232 通讯协议进行节点与外部设备之间的数据交换,片内存储的测量数据可通过串口通讯读出。

整个节点由 9 V 蓄电池供电,利用精度为 1% 的 AMS1117 转换成 MSP430 所需的工作电压(3.3 V),供电电路设计有电解电容、磁珠等器件进行滤波和去噪。耗能方面,该应用中传感器监测的环境参数是变化极为缓慢的物理量,并不需要频繁的测量。再加上 MSP430F169 的功耗管理极具优势,可以通过关闭不同的晶振迫使核心操作系统进入休眠状态,减少不必要的能耗。这些特点使得节点的使用寿命得到了保证。

2.3 飞机腐蚀环境监测实现方法

在飞机多个部位分布安装该节点,连续采集环境参数,信号调理后存储在本地,全面监测腐蚀环境。使用时还可将分布在各处的节点看成是传感器结点,只需添加网络适配器就可构成一个传感器网络,实现整个系统之间的通讯,如图 5 所示。不同位置的传感器结点将本地数据传输给网络适配器,网络适配器综合管理各传感器结点,并在适当的时机

将数据上传到客户端进行存储分析。

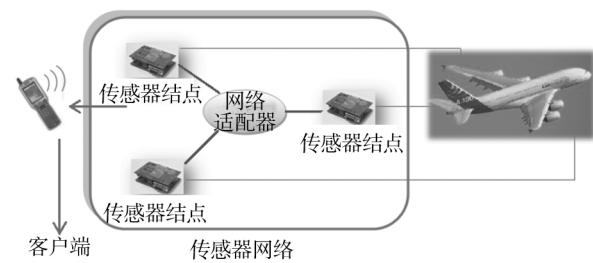


图 5 飞机腐蚀环境监测

Fig. 5 Schematic diagram for monitoring of aircraft corrosive environments

3 节点测试实验

3.1 温湿度传感器测试

对温湿度传感器的验证实验在 ACS-CH250 型温湿度箱内进行。设置箱内的起始温度为 5 ℃、湿度为 5%, 设定程序以步长 5 依次递增温湿度,每个值到达后保持 1 h,确保箱内温湿度值的稳定。通过节点控制 SHT15 每 5 min 采集 1 次数据,测量 30 min 后求其平均。计算每个测量点的测量结果与设定值的相对误差,得到温度测量的平均误差为 ±0.7%,最大误差为 1.2%;湿度的平均误差为 ±0.9%,最大误差为 1.9%。表明节点对温湿度的测量与传感器数据相符,测量精度较高。

3.2 电化学传感器测试

为了验证电化学传感器对不同氯离子浓度的响应,分别选择蒸馏水、质量分数为 3% 和 5% 的 NaCl 溶液作为反应溶液,测量电化学传感器在其中产生的极化电流的大小。

将等量的 3 种溶液倒入 3 支烧杯,3 片电化学传感器分别置于其中。等待一段时间至自腐蚀电位稳定后,依次通过节点对传感器施加激励电压,记录传感器对各自浸没溶液的输出,实验结果如图 6 所示。该实验表明,3 种溶液对应的传感器输出有较大区别,验证了节点中的电化学传感器对不同氯离子浓度的敏感性,可用于氯离子的监测。

实际腐蚀大气中的氯离子浓度是很低的,达不到上述实验中的条件。为了验证该传感器的实际应用价值,通过对不同低浓度的 NaCl 溶液进行测试,

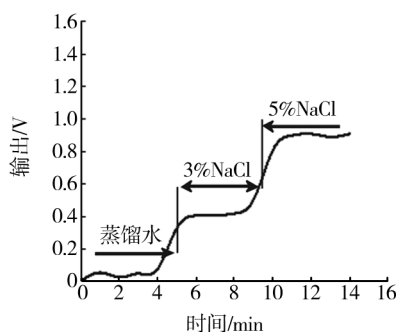


图 6 节点对不同氯离子浓度溶液的响应

Fig. 6 Output of monitoring node with electrochemical sensors immersed in solutions of different chloride ion concentrations

得到目前该传感器可以甄别到的最低氯离子质量分数为 0.5%。

3.3 湿润时间传感器测试

取 1 组湿润时间传感器,置于温湿度箱内,控制箱内温度为 25℃,调节湿度依次增大,通过节点测量传感器在 60%、70%、80%、90%湿度条件下的输出电阻。按照前述的工作原理,随着箱内空气的相对湿度越来越高,输出电阻应该相应地减小,实际测出数据取其平均后见表 1。该实验表明湿润时间传感器对表面的湿润情况敏感,可用于湿润时间的测量。

表 1 湿润时间传感器电阻值

Table 1 Resistance of the TOW sensor

温度/℃	相对湿度/%	电阻/MΩ
15	60	∞
	70	49
	80	22
	90	9.2

以上在实验室中验证了监测节点的有效性,但实际的腐蚀环境更为复杂,对传感器的应用也提出了更高的要求。例如,当电化学传感器只是暴露在潮湿大气中,而非降雨降雪等极端情况时,其表面很难形成连续的液膜,难以满足电化学测量的条件,但该传感器仍适用于离线取样的氯离子测量。因为在实际应用时,飞机结构的焊缝、对接结构部位等处容易产生积水,当空气中的氯离子沉降在其中,形成的电解质溶液可作为电化学反应溶液,电化学传感器可用于该场合的测量。对大气中的氯离子浓度的监测有待进一步改进电化学传感器的设计。

4 结语

文中提出了一种飞机腐蚀环境监测技术与基于该技术的小型化监测节点的实现方法。针对温度、相对湿度、湿润时间、氯离子浓度这 4 个影响腐蚀的环境参数,选型了温湿度传感器,研发了湿润时间与电化学传感器,并进一步实现了综合各传感器的多参数飞机腐蚀环境监测节点。该节点体积小,工作时被置于飞机结构表面,位于顶端的传感器与结构感知相同的腐蚀环境,其输出能较好地反映出被测环境的变化情况。最后通过实验验证了节点监测各参数功能的有效性。

节点监测各个环境参数是为了预估飞机结构的腐蚀情况,今后的工作除了进一步完善传感器的设计以提高精度与稳定性之外,还需要理清环境参数与结构腐蚀之间的关系,建立数学模型,达到预测腐蚀的目的。

参考文献:

- [1] 穆志韬,谭晓明,刘志国. 海军现役飞机的腐蚀损伤失效分析及腐蚀防护[J]. 装备环境工程,2009,6(1): 43—48.
MU Zhi-tao, TAN Xiao-ming, LIU Zhi-guo. Corrosion Damage Failure Law Analysis and Corrosion Control for Naval Aircraft in Servicing[J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(1): 43—48.
- [2] 宋慧志. 飞机腐蚀与防护[J]. 飞机设计, 2006(1): 74—77.
SONG Hui-zhi. Aircraft Corrosion and Protection[J]. Aircraft Design, 2006(1): 74—77.
- [3] 刘秀丽. 飞机结构腐蚀检测技术研究[J]. 机械强度, 2004(z1): 60—62.
LIU Xiu-li. Inspection Method of Corrosion on the Aircraft Structure[J]. Journal of Mechanical Strength, 2004(z1): 60—62.
- [4] TIMOTHY F, DEVINDER M, IAIN H. ICAF 2009, Bridging the Gap between Theory and Operational Practice[M]. Rotterdam: Springer Netherlands, 2009.
- [5] MENON S, LEWIS S, JIRACEK R. Method to Track Corrosion Environment in Aircraft[R]. Report number: A160293, Minneapolis: Honeywell Laboratories, 2001.
- [6] COLE I S, CORRIGAN P A, GANTHER W, et al. Development of a Sensor-based Learning Approach to Prognostics in Intelligent Vehicle Health Monitoring[C]//Prognos-

- tics and Health Management, Denver: IEEE, 2008: 1—7.
- [7] DEMO J, ANDREWS C, FRIEDERSDORF F, et al. Diagnostics and Prognostics for Aircraft Structures Using A Wireless Corrosion Monitoring Network [C]//Aerospace Conference 2011 IEEE. Big Sky: IEEE, 2011: 1—10.
- [8] 萧以德, 张三平, 曹献龙, 等. 我国大气腐蚀研究进展(续一)[J]. 装备环境工程, 2005, 2(6): 25—27.
- XIAO Yi-de, ZHANG San-ping, CAO Xiao-long, et al. Recent Development in Atmospheric Corrosion Study of Materials in China (Continued I) [J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(6): 25—27.
- [9] 黄领才, 谷岸, 刘慧丛, 等. 海洋环境下服役飞机铝合金零件腐蚀失效分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(10): 1217—1221.
- HUANG Ling-cai, GU An, LIU Hui-cong, et al. Corrosion Failure of Aluminum Alloy Parts on Airplane Used in Marine Environment [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(10): 1217—1221.
- [10] WILSON A R, MUSCAT R F, TRUEMAN T, et al. Philosophy, Fabrication, and Characterization of Thin Metal Foil Corrosion Sensors [C]//SPIE International Symposium on Smart Materials, Nano- and Micro-Smart Systems: Smart Structures, Devices and Systems II. Sydney: SPIE, 2004: 393—401.
- [11] REVIE R W. Corrosion and Corrosion Control [M]. Hoboken New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.
- [12] 魏宝明. 金属腐蚀理论及应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1984.
- WEI Bao-ming. Metal Corrosion Theory and Application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1984.
- [13] WILSON A, MCMAHON P, MUSCAT R, et al. Thin Metal Foil Sensors [C]//SPIE International Symposium on Smart Materials, Nano-, and Micro-Smart Systems 2006: Smart Structures, Devices and Systems III. Adelaide: SPIE, 2006.
- [14] NIBLOCK T G E, SURANGALIKAR H S, MORSE J, et al. Development of a Commercial Micro Corrosion Monitoring System [C]//SPIE International Symposium on Smart Materials, Nano-, and Micro-Smart Systems. International Society for Optics and Photonics. Melbourne: SPIE, 2002: 179—189.
- [15] 唐其环. 润湿时间统计方法研究 [J]. 环境技术, 2003 (2): 18—20.
- TANG Qi-huan. The Study of Statistical Methods for Time of Wetness [J]. Environmental Technology, 2003 (2): 18—20.
- [16] 唐其环, 张伦武. 全国大气润湿时间分布分析软件开发 [J]. 装备环境工程, 2006, 3(3): 50—53.
- TANG Qi-huan, ZHANG Lun-wu. Development of Wetting Time Distribution Analysis Software in China [J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(3): 50—53.
- [17] SEREDA P J, CROLL S G, SLADE H F. Measurement of the Time-of-Wetness by Moisture Sensors and Their Calibration [J]. Atmospheric Corrosion of Metals, 1982: 267—285.
- [18] TOMASHOV N D. Theory of Corrosion and Protection of Metals [M]. New York: MacMillan, 1966.

信息与资讯

重庆银河公司生产的 WSZ7230 通过验收

由重庆银河试验仪器有限公司为航天 702 所(北京强度环境研究所)设计制造的 WSZ7230 综合环境试验箱,经国防科技工业第一计量测试研究中心检测、鉴定,符合 GJB 150A, GB/T 2423 等相关标准及双方技术文件条款要求,顺利通过双方的最终验收。该试验箱具备多变的容积组合,满足大、中、小不同试件的试验需求,同时该试验箱具备顶部吊装、前后或左右方向等灵活的试件装载方式,为不同客户、不同试件提供了试验的机会,也契合了航天 702 所面临的试件及试验条件复杂多变的市场需求。

该产品的顺利交付,在为航天综合环境试验平台提供更多选择、为中国航天事业发展尽绵薄之力的同时,也凸显了重庆银河试验仪器有限公司作为“环境与可靠性试验设备制造商和方案解决提供者”专业、强大的产品订制能力,凸显公司一直致力于为客户提供具有设计领先、安全、环保、节能、可靠品质的环境与可靠性试验设备产品及行业性的解决方案,帮助客户创造最大价值,合作共赢的价值理念!

WSZ7230 刷新了国内三综合试验箱的生产记录,在大型试验箱的研发和制造方面是一个新的突破,通过与电磁振动台的配接,该试验箱具备温度、湿度、振动综合试验功能,内容积最大可达 230 m³,其主要特点如下:

1) 工作室尺寸: 4 000 mm×16 000 mm×3 500 mm(深×宽×高); 2) 最大温变速率为 5 °C/min, 温度范围为 -70 ~ 180 °C; 3) 具有多种组合方式, 可以分隔成 3 个独立空间运行, 可相邻两个空间组合运行, 也可组合成一个大的空间运行; 4) 具备全开吊装式顶板, 侧面全开门, 3 个小箱开设样件及人员进出门, 试验箱内设置吊装式隔断门; 5) 底部设置多尺寸可拆卸底板, 方便与不同振动台配合; 6) 箱内设置承重式样品车轨道。