

# 装备环境工程

Equipment Environmental Engineering

月刊 2004年创刊

Monthly Initial Issue 2004

第17卷 第5期 2020年5月25日出版

Vol.17 No.5 May. 25, 2020

主管单位：中国兵器装备集团有限公司  
主办单位：中国兵器工业第五九研究所  
国防科技工业自然环境试验研究中心  
出版单位：重庆五九期刊社  
社 长：吴护林  
副 社 长：张伦武 李文涛（常务）胡江华  
编辑部主任：张营营  
主 编：唐伦科  
执行主编：张燕  
责任编辑：刘世忠 杨兵 邓李旻

地 址：重庆市石桥铺渝州路33号  
邮 编：400039  
电 话：023-68792835  
传 真：023-68792396  
网址(投稿)：www.eee-j.com  
电子邮箱：zbhjgc@163.com

学术交流部：程正冲 陈作 罗佩好  
电 话：023-68792283  
邮 箱：wjck59@126.com

印刷单位：重庆蜀之星包装彩印有限公司  
发行范围：国内外公开发行  
国内发行：中国邮政集团公司重庆市报刊  
发行局  
国外发行：中国国际图书贸易集团有限公司  
邮发代号：78-7  
国外发行代号：BM2870  
定价：45.00元  
广告经营许可证：渝工商广字040297号  
国际标准刊号：ISSN 1672-9242  
国内统一刊号：CN 50-1170/X

Superintendent:China South Industries Group CO., LTD.  
Sponsor:Southwest Technology and Engineering Research Institute  
Natural Environmental Test and Research Center of Science  
Publisher:Chongqing Wujiu Periodicals Press  
President:WU Hu-lin  
Vice Presidents:ZHANG Lun-wu LI Wen-tao HU Jiang-hua  
Editorial Department Director:ZHANG Ying-ying  
Editor-in-Chief:TANG Lun-ke  
Executive Editor:ZHANG Yan  
Responsible Editors:LIU Shi-zhong YANG Bing DENG Li-yang

ADDRESS: NO.33 Yuzhou Road, Jiulongpo District, Chongqing,China  
Postcode:400039  
Tel:023-68792835  
Fax:023-68792396  
Website:www.eee-j.com  
Email:zbhjgc@163.com

Academic Exchange Department: CHENG Zheng-chong  
CHEN Zuo LUO Pei-yu  
Tel:023-68792283  
Email:wjck59@126.com

Printer:Chongqing Shuzhixing Printing Plant  
Distribution Coverage: International Distribution  
Domestic Distributor:Chongqing Bureau for Distribution  
of Newspapers and Journals,China Post  
Oversea Distributor:China International Book Trading Corporation  
Order Office:All Local Post Offices in China(78-7)  
Oversea Distribution:BM2870  
PRICE: RMB 45.00  
Advertising License:Chongqing Industrial and Commercial  
Advertisements No.040297  
International unitary issue number: ISSN 1672-9242  
Domestic unitary issue number: CN 50-1170/X

## 数据库收录

中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)  
中国期刊网全文数据库收录期刊  
中国学术期刊(光盘版)入编期刊  
美国《化学文摘》(CA)收录期刊

中国学术期刊综合评价数据库来源期刊  
万方数据-数字化期刊群全文上网期刊  
中文科技期刊数据库收录期刊  
美国《剑桥科学文摘》(GSA)收录期刊

## 版权声明

所有作者同意论文录用后，即视为所有作者同意将著作权中的修改权、复制权、发行权、信息网络传播权、翻译权、汇编权在全世界范围内转让给本刊。未经本刊书面许可，作者不得授权他人或组织以任何形式汇编、转载、出版本文的任何部分。若发生一稿多投、泄密、侵权等问题，一切责任由作者承担。

该论文在重庆五九期刊社编辑出版发表后，重庆五九期刊社将向作者支付一次性稿酬，并赠送样刊两本。若重庆五九期刊社再以其他形式出版该论文，将不再支付作者稿酬。

# 《装备环境工程》杂志第二届编辑委员会

## 名誉主任委员

吴伟仁（中国工程院院士）

## 主任委员

刘 刚

## 副主任委员

钱一欣 吴护林

## 顾 问

（按姓氏笔画排名）

才鸿年（中国工程院院士）

王 浚（中国工程院院士）

刘永才（中国工程院院士）

刘尚合（中国工程院院士）

柯 伟（中国工程院院士）

侯保荣（中国工程院院士）

## 国内委员

（按姓氏笔画排名）

丁雪兴	马君峰	马界祥	王 哲	王 琦	王 鹏	王一临	王永红	王吉会
王光雍	王克军	王体健	王学田	王振尧	王浩伟	王煊军	王德言	王向明
王延相	王启民	王 贵	车付田	牛宝良	尹爱军	毛卫国	孔小东	石德平
付前刚	白真权	冯立新	朱 蕾	朱志平	向树红	刘 伟	刘马宝	刘少斌
刘 东	刘宏芳	刘凯龙	刘祥萱	刘 辉	刘瑞林	孙 杰	孙志华	孙明先
成 竹	汤宝平	何 仁	杜 敏	李 晖	李少香	李在均	李国祿	李明海
李 岩	李桂娟	李晓刚	李晓钢	李海波	杨 毅	杨生胜	杨远洪	汪雪良
沈瑞琪	吴 行	吴 勋	吴 健	吴志伟	吴明铂	邱 晞	何宇廷	何春霞
何德良	宋希文	宋诗哲	宋祖勋	张 昭	张 盾	张 津	张 琦	张三平
张大全	张士峰	张为华	张正平	张永胜	张乐福	张伦武	张声雷	张国庆
张 勇	张 雷	陆 峰	陈光章	陈自强	陈忠明	陈海波	邵凤昌	邵忠财
邵忠宝	林 干	林 安	林昌健	林冠发	欧忠文	尚德广	易 胜	郑 玲
宗玮庚	孟松鹤	屈撑圉	所 俊	赵 宇	赵国仙	赵春晖	赵保平	赵振维
赵景茂	胡勇有	侯冬云	袁慎芳	桂泰江	钱兆俊	顾兆林	殷 明	高 飞
高焕方	郭小朝	郭少云	郭兴蓬	郭学辉	郭洪波	唐伦科	徐 东	曹京宜
黄 云	黄桂桥	黄 铭	黄瑞毅	黄燕滨	萧以德	康士峰	揭敢新	董世运
董泽华	韩志强	韩恩厚	詹东安	詹 亮	蔡远利	傅 耘	曾海波	焦纬洲
谢发勤	蔺存国	谭志良	潘湛昌	穆志韬	魏化震	魏世丞		

## 国外委员

Tony Keane（美国）

Wei Gao（新西兰）

## 目次 CONTENTS

### 专题——装备服役腐蚀性大气环境模拟与应用

#### Special Topic—Simulation and Application of Equipment Serving in Corrosive Atmospheric Environment

1 基于航空金属材料腐蚀的我国大气环境分区

Atmospheric Environment Demarcation of China Based on Corrosion of Aeronautic Metallic Materials

张腾, 张胜, 何宇廷, 马斌麟, 张天宇

ZHANG Teng, ZHANG Sheng, HE Yu-ting, MA Bin-lin, ZHANG Tian-yu

10 2297-T87 铝锂合金用于大气腐蚀性的比较

Comparison of Atmospheric Corrosivity of 2297-T87 Al-Cu-Li Alloy

骆晨, 孙志华, 汤智慧, 陆峰

LUO Chen, SUN Zhi-hua, TANG Zhi-hui, LU Feng

18 直升机用橡胶密封产品环境试验技术研究进展

Research Progress on Environmental Test Technology of Rubber Sealing Products for Helicopter

高蒙, 孙志华, 刘明, 杨丽媛, 潘峤

GAO Meng, SUN Zhi-hua, LIU Ming, YANG Li-yuan, PAN Qiao

25 飞机某模拟涂装试样加速腐蚀与自然暴露的对比研究

Comparative Study on Accelerated Corrosion and Natural Exposure of Simulated Coated Specimen of Aircraft Structures

卞贵学, 张杨广, 张勇, 陈跃良

BIAN Gui-xue, ZHANG Yang-guang, ZHANG Yong, CHEN Yue-liang

33 高强度铝合金典型沿海地区腐蚀行为加速试验方法研究

Accelerated Test Method for High Strength Aluminum Alloy in Typical Coastal Area

崔腾飞, 刘道新, 徐星辰, 何宇廷

CUI Teng-fei, LIU Dao-xin, XU Xing-chen, HE Yu-ting

40 异种结构材料电偶腐蚀及防护技术的研究现状及发展方向

Research Status and Development Direction of Galvanic Corrosion and Protection Technology for Heterogeneous Structural Materials

张天宇, 何宇廷, 张腾, 张胜, 马斌麟

ZHANG Tian-yu, HE Yu-ting, ZHANG Teng, ZHANG Sheng, MA Bin-lin

47 飞机结构电偶腐蚀仿真研究进展及应用方法

Development and Application of Galvanic Corrosion Simulation for Aircraft Structure

陈跃良, 黄海亮, 张勇, 樊伟杰, 卞贵学, 王安东

CHEN Yue-liang, HUANG Hai-liang, ZHANG Yong, FAN Wei-jie,

BIAN Gui-xue, WANG An-dong

52 严酷环境下飞机典型结构异种材料电偶腐蚀特点与防护对策

Behaviours and Protective Measures of Galvanic Corrosion on Dissimilar Materials of Typical Aircraft Structure in Harsh Environment

史洪微, 崔常京, 韦涛, 陈群志, 刘福春, 韩恩厚

SHI Hong-wei, CUI Chang-jing, WEI Tao, CHEN Qun-zhi, LIU Fu-chun, HAN En-hou

58 飞机用铝合金-CFRP 搭接结构的电偶腐蚀预测研究

Prediction of Galvanic Corrosion of Aluminium Alloy-CFRP Lapped Structure in Aircraft

卞贵学, 张好君, 王安东, 陈跃良, 张勇

BIAN Gui-xue, ZHANG Hao-jun, WANG An-dong, CHEN Yue-liang, ZHANG Yong

### 环境试验与评价 Environmental Testing and Evaluation

66 基于模态分析的某振动试验方法改进

Improvement of Vibration Testing Method Based on Modal Analyzing

刘龙涛, 张保刚, 于喆, 张兴勇, 俞刘建

LIU Long-tao, ZHANG Bao-gang, YU Zhe, ZHANG Xing-yong, YU Liu-jian

71 某型飞机实验室高温试验条件剪裁方法研究  
Tailoring Method of High Temperature Test Conditions of a Certain Type of Aircraft Laboratory  
张亚娟, 弓云昭, 王红斌  
ZHANG Ya-juan, GONG Yun-zhao, WANG Hong-bin

77 气候环境实验室的温度校准及不确定度评定  
Temperature Calibration and Uncertainty Assessment Based on Climatic Environmental Test Facility  
杜文辉, 李冬梅, 吴敬涛  
DU Wen-hui, LI Dong-mei, WU Jing-tao

82 自然曝晒与加速老化试验下航空涂层失光率的当量关系研究  
Equivalent Relationship of Aviation Coatings Gloss Loss between Natural Exposure and Accelerated Aging Test  
王德, 张泰峰, 杨晓华, 邹有柱  
WANG De, ZHANG Tai-feng, YANG Xiao-hua, KUAI You-zhu

87 美国军用标准航天器试验基线与量级调整研究  
Space Vehicle Test Baseline and Level Adjustment of US Military Standard  
李西园, 贾瑞金, 孙雪吟, 尚永红, 孙玉玮, 裴一飞, 王晶  
LI Xi-yuan, JIA Rui-jin, SUN Xue-yin, SHANG Yong-hong, SUN Yu-wei, PEI Yi-fei, WANG Jing

### 环境适应性设计与分析 Design and Analysis of Environmental Adaptation

95 不锈钢-气氮板式热沉仿真研究  
Simulation Study of Stainless Steel-Gas Nitrogen Plate Heat Sink  
魏龙涛, 杨建斌, 闫格  
WEI Long-tao, YANG Jian-bin, YAN Ge

101 某海洋平台上海水篮式过滤器事故分析  
Accident Analysis of Basket Seawater Filter on an Offshore Platform  
杨雪, 王亚莹, 周姝娟  
YANG Xue, WANG Ya-ying, ZHOU Shu-juan

### 环境效应与防护 Environmental Effects and Protection

105 梯度化环氧涂层的制备与结构研究  
Preparation and Construction of Graded Epoxy Coating  
张心悦, 陈凯锋, 亓海霞, 梁宇, 张黎黎  
ZHANG Xin-yue, CHEN Kai-feng, QI Hai-xia, LIANG Yu, ZHANG Li-li

### 环境及其效应 Environment and Its Effect

112 基于偏离程度的某机械陀螺环境敏感参数分析  
Environment-sensitivity Parameter Analysis of Mechanical Gyroscope Based on Deviation Degree  
张凯, 赵方超, 王艳艳, 黄波  
ZHANG Kai, ZHAO Fang-chao, WANG Yan-yan, HUANG Bo

### 装备通用质量特性及寿命评估

#### General Quality Characteristics and Life Assessment of Equipment

116 CF8611/AC531 复合材料的实验室加速老化行为研究  
Laboratory Accelerated Aging Behavior of CF8611/AC531 Composite  
张勇, 王安东, 陈跃良, 樊伟杰, 马瑞民  
ZHANG Yong, WANG An-dong, CHEN Yue-liang, FAN Wei-jie, MA Rui-min

122 橡胶及制品自然贮存老化行为研究进展  
Progress of Research on Aging Behavior of Rubber and Its Products in Natural Storage Environment  
刘伟, 魏小琴, 刘俊, 周堃, 罗天元  
LIU Wei, WEI Xiao-qin, LIU Jun, ZHOU Kun, LUO Tian-yuan

## 广告索引

封底

东莞市众志检测仪器有限公司

封二

重庆银河试验仪器有限公司

封三

广东莱伯通试验设备有限公司

封三前

1. 重庆哈丁环境试验技术股份有限公司

2. 中国兵器工业第五九研究所

3. 国防科技工业自然环境试验研究中心

4. 《装备环境工程》杂志理事会名单

# “装备服役腐蚀性大气环境模拟与应用”

## 专题主编 何宇廷



何宇廷，“973”技术首席，空军级专家，空军工程大学教授，博导，西北工业大学讲座教授，兼职博导，陕西省“三秦人才”，军队育才金奖、银奖获得者，国家自然科学基金评议专家，空军工程大学特聘首席专家、教学名师。主持完成973计划、863计划、国家自然科学基金、预研基金/预研及国家重点型号项目等60余项，获军队（省部级）科技进步一等奖2项、二等奖5项、三等奖5项。发表学术论文300余篇（SCI：43篇，EI：55篇），申请发明专利30余项，出版专著5部。荣立三等功1次，相关事迹先后在《空军报》、《科技日报》等媒体报导，享受国务院政府特殊津贴，于2013年受党中央、国务院邀请参加专家北戴河暑期休假活动，并受到刘云山同志的接见。

长期从事飞行器结构寿命、完整性、健康监控及维修保障等领域的研究，对飞机结构寿命、完整性、健康监控及维修保障等问题进行了较深入系统的研究。军队院校2110工程“飞行器与动力工程”学科专业领域建设负责人，军队院校十三五“双重”建设负责人，空军工程大学学科带头人，学院优势学科建设负责人，本科、研究生三门重点建设课程负责人。在国内外首次建立了“飞机结构寿命控制理论”，并发展了相应的寿命控制技术体系，出版了专著《飞行器安全性工程》和《飞机结构寿命控制理论与技术》，为我国军用飞机的寿命管理由传统的“固定消耗”模式向“主动控制”模式跨越奠定了理论基础。

# “装备服役腐蚀性大气环境模拟与应用”专题

## 序言

地面装备及航空装备的腐蚀主要受到大气环境的影响，发生在地面运行和停放期间。随着我国装备使用、训练任务的推进，服役环境日益恶劣，腐蚀问题日益突出，严重影响了结构完整性和装备正常的服役。针对装备结构的腐蚀问题，开展大气环境的研究与模拟是开展设计、评估、验证、预防等工作的基础，具有重要意义。本专题面向装备在服役过程中遭受的大气腐蚀性环境，开展大气环境的模拟方法及模拟环境的应用研究，期望能推动结构腐蚀领域中环境模拟与应用技术的发展。

我国不同地区的腐蚀条件差异很大，例如沿海地区具有高盐和高湿等特点，对装备结构的腐蚀造成较大威胁。因此，研究我国不同地区大气环境下装备结构的腐蚀行为与疲劳特性，对保证装备的长期服役安全具有重要意义。国内外学者近年来针对装备服役腐蚀性大气环境特性、腐蚀性大气环境模拟方法、模拟环境下的装备结构腐蚀以及寿命管理等问题开展了大量研究。针对装备结构的大气暴露试验，主要从腐蚀形态和腐蚀速率两个角度开展了相关的分析研究；针对腐蚀性大气环境的模拟方法，主要集中在模拟不同类型室内室外大气环境下的腐蚀行为和机制的研究；针对结构腐蚀中常见的电偶腐蚀，进行了机理分析、仿真模型、防护技术以及防护机理等研究；针对装备结构中常用的铝合金、复合材料、橡胶材料等，进行了从元件级到结构级的试验研究与分析工作。上述研究皆取得了显著成果。

在《装备环境工程》编辑部的倡导和策划下，本期选取“装备服役腐蚀性大气环境模拟与应用”作为专题，重点报道我国地面及航空装备服役腐蚀性大气环境模拟与应用研究领域的相关研究成果，较全面地反映国内此研究领域的研究进展与发展方向，为我国从事结构腐蚀领域的环境模拟与应用等技术的相关研究人员提供一个相互交流的平台，刊登的9篇论文具有较为重要的参考和工程应用价值。

本期专题在征文、约稿和评审过程中，得到了国内同行们的积极响应和大力支持，在此对各位同行表示诚挚的谢意。

专题主编：何亨廷