

海洋环境下飞机典型接地柱防腐蚀设计研究

张辰玉, 袁猛, 刘元海

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

摘要: **目的** 研究海洋环境对典型接地柱防腐蚀安装设计的影响。**方法** 以×型飞机某半封闭关键部位安装的接地柱为研究对象, 设计三种防腐蚀安装方法, 并在实验室环境谱下开展加速腐蚀试验, 借助宏观、微观检测及接触电阻测试, 对不同类型的试验件开展检测与测试。**结果** 两周期实验室加速试验结束后, 采用直接安装模式的接地柱因底座腐蚀而无法检测接触电阻; 采用填角安装模式的接地柱外观腐蚀严重, 但其内部仍为电接触; 采用封包安装模式的接地柱其内部被密封剂保护完好。**结论** 三种接地柱防腐蚀安装设计方法各有利弊, 可根据结构的局部环境特点视情选择。

关键词: 电搭接; 接地柱; 防腐蚀设计; 接触电阻

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2020.12.009

中图分类号: TG174

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2020)12-0054-06

Corrosion Protection Design of Aircraft Ground Column in Marine Environment

ZHANG Chen-yu, YUAN Meng, LIU Yuan-hai

(Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Structural Corrosion Protection and Control,
China Special Vehicle Research institute, Jingmen 448035, China)

ABSTRACT: The work aims to study the influence of marine environment on the anti-corrosion installation design of typical ground column. Three kinds of anti-corrosion installation methods were designed by taking the ground column installed in a semi-closed key part of type x aircraft as the research object, and accelerated corrosion tests were carried out under the laboratory environment spectrum. Different types of test pieces were detected and tested by means of macroscopic and microscopic tests and contact resistance tests. At the end of the 2 cycles of accelerated test in the laboratory, the contact resistance of the ground column with the direct installation mode could not be detected due to the corrosion of the ground column base. The ground column with the filling installation mode had a serious corrosion appearance, but its internal electrical contact was still kept. The ground column with the package-mounted mode was well protected internally by sealant. There are advantages and disadvantages of the three methods of ground column installation design, which can be selected according to the local environmental characteristics of the structure.

KEY WORDS: electrical lap; ground column; corrosion protection design; installation; contact resistance

在海洋环境下服役的机载电子设备, 长期处于海水、盐雾、高湿度的环境中。虽然机载电子设备及其附件一般处于飞机机体内部, 但这些部位通常

并非完全密封, 机身内不可避免地会有潮气或电解液的存在^[1-3]。这些介质不会立即从附近的排水孔排出, 相反, 会顺着线束、液压管道或结构件流动, 除

收稿日期: 2020-05-14; 修订日期: 2020-06-10

Received: 2020-05-14; Revised: 2020-06-10

作者简介: 张辰玉 (1988—), 女, 工程师, 主要研究方向为飞机结构腐蚀防护与控制。

Biography: ZHANG Chen-yu (1988—), Female, Engineer, Research focus: corrosion protection and control of aircraft structure.

重力作用会使水流动之外,飞行时的机动动作会使液体顺着各种管道运动/流动。在某些特殊条件下,液体甚至可以因为毛细作用往上走。因此,机载电子设备在海上服役期间面临的腐蚀环境更为严峻。据初步统计,2010—2015 年,驻海南服役飞机电子设备的故障率是驻山东服役飞机的 1.9 倍^[4]。

接地连接和电搭接区域通常涉及两种或多种不同电位的金属的连接,在湿气或液体介质存在的条件下,极易发生电偶腐蚀。若不采取适当的防护措施,该类型的腐蚀极易破坏传导电流的低电阻路径^[5-12]。未经防护处理的电搭接区域出现的腐蚀情况如图 1 所示。

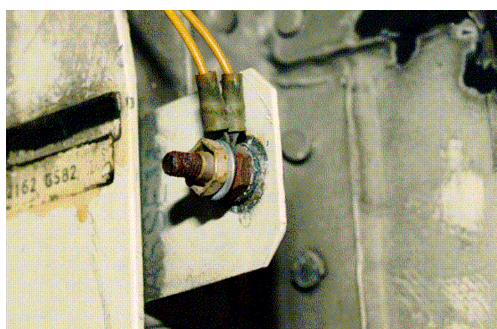


图 1 接地柱连接区域腐蚀
Fig.1 Corrosion of ground column connecting area

文中以×型飞机某半封闭关键部位安装的接地柱为研究对象,设计了三种防腐蚀安装方案^[3-20],并在实验室环境谱下开展加速腐蚀试验,研究海洋环境对典型接地柱防腐蚀安装设计的影响。这一研究成果对于海洋平台的飞机接地柱的设计、安装具有十分重要的参考意义。

1 接地柱防腐蚀安装模式设计

接地柱安装在海洋环境下的飞机平台上,不同结构、不同位置的接地柱受到的平台诱发环境不同。根据施工工艺的复杂性及防护程度的轻重,设计了三种安装防护模式。

1.1 模式 1

模式 1: 采用直接安装法。这是施工工艺最简单的安装模式,也是目前飞机型号中普遍使用的安装方法。其工艺可概括为“打磨接触面+安装接地+补漆”,试件形貌如图 2 所示。

典型腐蚀防护安装模式 1 采取以下步骤进行防护: 打磨掉安装板上与接地柱底面接触部分的涂镀层,打磨面积略大于接地柱底座;用乙醇清洗接地柱与安装材接触表面,6 h 内使用铆钉连接,铆钉采用密封剂湿装配,端头封包;对接地柱与安装板接触边缘多打磨的区域进行补漆处理。



图 2 接地柱安装模式 1
Fig.2 Installation mode 1 of ground column

1.2 模式 2

模式 2 采用缝隙填角法,施工工艺复杂程度中等。其工艺可概括为“打磨接触面+导电氧化+安装接地+补漆+填角密封”,试件形貌如图 3 所示。



图 3 接地柱安装模式 2
Fig.3 Installation mode 2 of ground column

典型腐蚀防护安装模式 2 采取以下步骤进行防护: 打磨掉安装基材上与接地柱底面接触部分的涂镀层,打磨面积略大于接地柱底座;安装基材打磨区域进行局部导电氧化处理;乙醇清洗接地柱与安装基材接触表面,6 h 内使用铆钉连接,铆钉采用密封剂湿装配,端头封包;接地柱与安装板接触边缘打磨多余部分补漆处理。接地柱与安装基材接触边缘缝外使用密封剂填角密封。

1.3 模式 3

模式 3 采用端头封包法,施工工艺最为复杂。其工艺可概括为“打磨接触面+导电氧化+安装接地+补漆+填角密封+端头封包”,试件形貌如图 4 所示。



图4 接地柱安装模式3
Fig.4 Installation mode 3 of ground column

典型腐蚀防护安装模式3采取以下步骤进行防护：打磨掉安装基材上与接地柱底面接触部分的涂镀层，打磨面积略大于接地柱底座；安装基材打磨区域进行局部导电氧化处理；乙醇清洗接地柱与安装基材接触表面，6 h内使用铆钉连接，铆钉采用密封剂湿装配，端头封包；接地柱与安装板接触边缘打磨多余部分补漆处理；接地柱与安装基材接触边缘缝外使用密封剂填角密封；垫片、弹垫、电线大接头、螺母与接地柱连接位置外表面使用密封剂封包。

2 试验

2.1 加速腐蚀试验

按照图5所示环境谱完成2个循环的加速腐蚀试验。

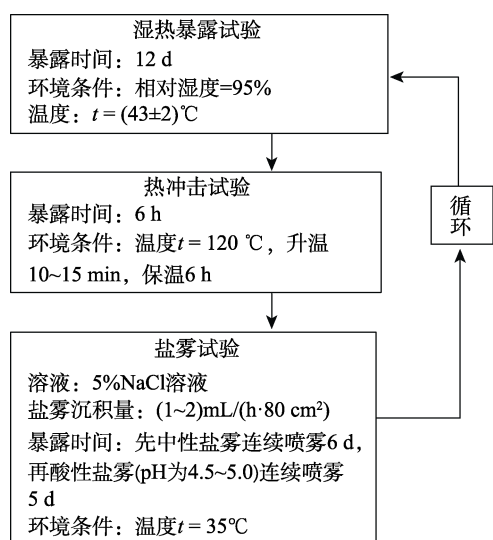


图5 加速试验环境谱
Fig.5 Accelerated test environment spectrum

2.2 试验结果

2.2.1 模式1

2个周期结束后，明显可见试件在安装板与接地柱接触面发生缝隙腐蚀，接地柱底座周围积聚盐粒及

灰白色腐蚀产物（见图6a）。将接地柱底座从安装板拆卸下后，观察其安装板接触面。宏观明显可见安装板发生腐蚀（见图6b），接触面失去铝合金金属光泽，被灰白色腐蚀产物覆盖。采用KH-7700三维体视显微镜放大50倍后，视野内超过70%区域发生腐蚀，间或可见铝合金金属光泽（见图6c）。接地柱底座失去金属光泽，轻微发黑，表面零星可见轻度腐蚀痕迹（见图6d、e）。

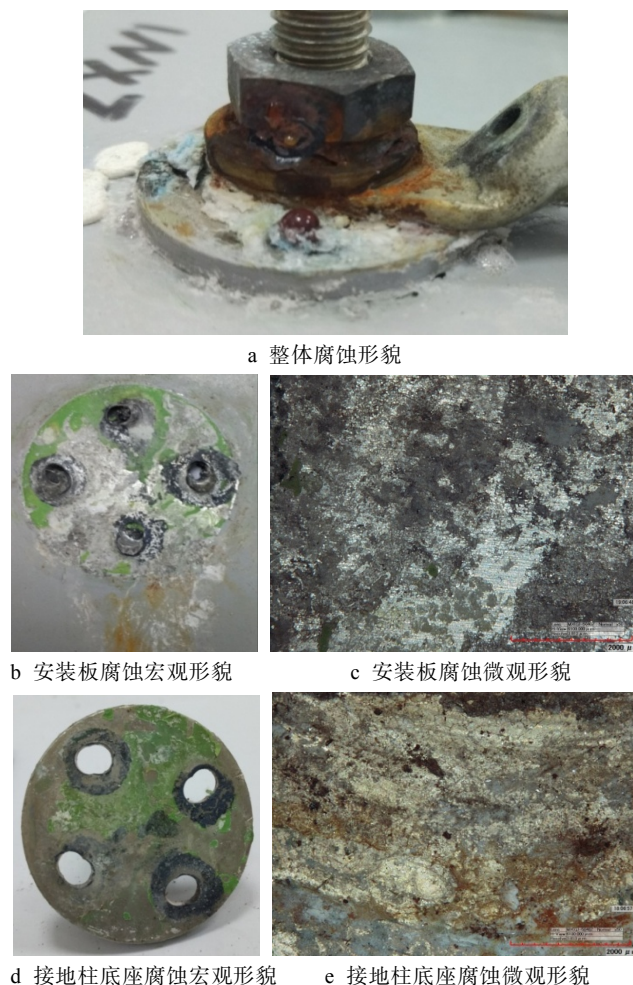


图6 直接安装件试验结束后形貌
Fig.6 Morphology of directly installed piece after test: a) overall corrosion morphology; b) macro morphology of mounting plate corrosion; c) micro morphology of mounting plate corrosion; d) macro morphology of ground column base corrosion; e) micro morphology of ground column base corrosion

2.2.2 模式2

2个周期结束后，明显可见试件在安装板-接地柱接触面发生缝隙腐蚀（见图7），接地柱底座周围积聚盐粒及灰白色腐蚀产物。填角处密封胶完好，仅密封胶上表面有少量盐粒积聚。拆卸试件后，观察安装板表面，可见裸露铝合金有金属光泽。铆钉孔侧壁发生轻度腐蚀，但由于采用了湿装配工艺，孔侧壁的腐蚀未能延伸发展至接触面其他位置（见图8）。安装

板与接地柱接触面间缝隙采用填角工艺,安装板及接地柱底座防护良好,未见明显腐蚀现象(见图 9)。



图 7 填角件试验结束后安装板-接地柱间隙形貌
Fig.7 Morphology of gap between mounting plate and ground column after the corner filler test

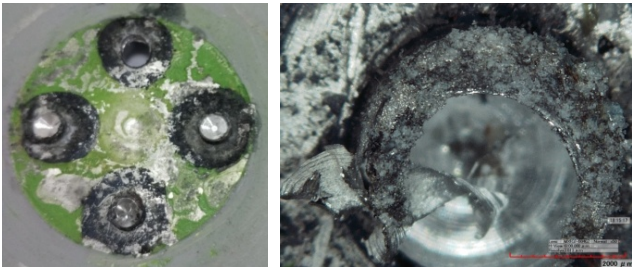


图 8 填角件拆卸后安装板宏观及微观形貌
Fig.8 Macro-and micro-morphology of mounting plate after dismantling of the corner filler

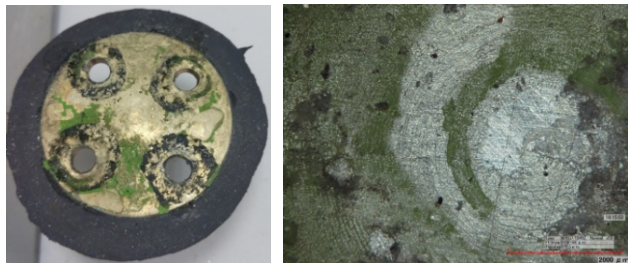


图 9 填角件拆卸后接地柱宏观及微观形貌
Fig.9 Macro-and micro-morphology of ground column after dismantling of the corner filler

2.2.3 模式 3

2 个周期结束后,明显可见接地柱底座周围积聚盐粒(见图 10)。拆卸试件后观察安装板与接地柱底座,均未见明显腐蚀,接地柱底座可见黄色铜金属光泽,密封防护性能良好(见图 11)。

2.2.4 接触电阻测试结果分析

在试验前和每个周期试验后,根据“接触电阻小于 100 $\mu\Omega$ 为合格样品”的标准分别检测试件法兰盘与安装板间的接触电阻。初始检测(0 周期)样本 12 个,合格 12 个,合格率 100%,检测结果见表 1。

1 个周期结束后,检测样本 12 个,合格 7 个,合格率 58.3%,不合格样本 5 个。不合格试件接触电阻范围在 280~460 $\mu\Omega$,表面镀镉接地柱镀层失效,

接地柱腐蚀产物覆盖接地柱底座,无法检测接触电阻。检测结果见表 2。

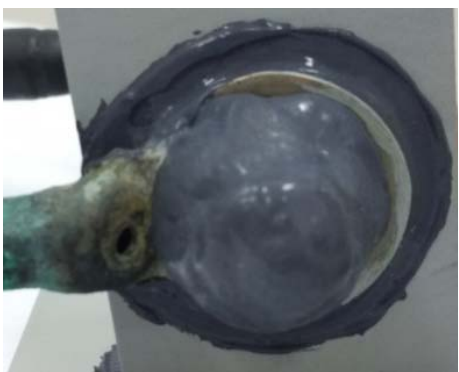


图 10 封包件试验结束后接地柱形貌
Fig.10 Morphology of ground column after test of package

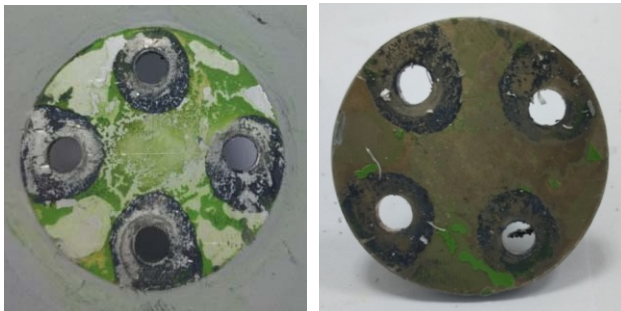


图 11 封包件拆卸后接地柱形貌
Fig.11 Morphology of ground column after disassembly

表 1 接地柱 0 周期接触电阻检测结果

Tab.1 Testing results of cycle 0 contact resistance of ground column

	M1 ₁	M1 ₂	M2 ₁	M2 ₂	M3 ₁	M3 ₂
试件 1/ $\mu\Omega$	25	20	22	6	5	6
试件 2/ $\mu\Omega$	15	14	21	25	9	21

表 2 接地柱 1 周期接触电阻检测结果

Tab.2 Testing results of cycle 1 contact resistance of ground column

	M1 ₁	M1 ₂	M2 ₁	M2 ₂	M3 ₁	M3 ₂
试件 1/ $\mu\Omega$	89	390	48	460	32	36
试件 2/ $\mu\Omega$	14	420	330	280	35	48

2 个周期结束后,检测样本 12 个,合格 3 个,合格率 25%,不合格样本 9 个。采用直接安装模式和填角安装模式的接地柱,其底座被腐蚀产物及盐粒覆盖,无法检测接触电阻。检测结果见表 3。

表 3 接地柱 2 周期接触电阻检测结果

Tab.3 Testing results of cycle 2 contact resistance of grounding column

	M1 ₁	M1 ₂	M2 ₁	M2 ₂	M3 ₁	M3 ₂
试件 1/ $\mu\Omega$	/	/	2300	4200	20	70
试件 2/ $\mu\Omega$	/	/	3400	3900	130	80

根据接地柱的接触电阻检测结果,从一定程度上反映了防腐蚀安装方式的有效性及其试验对比结果的准确性。2个周期结束后,采用直接安装模式的接地柱因接地柱底座腐蚀而无法检测接触电阻;采用填角安装模式的接地柱外观腐蚀严重,但其内部仍为电接触,若不及时处置,随着腐蚀的发展,腐蚀产物终会阻断电接触。采用封包安装模式的接地柱耐蚀性最好,内部被密封胶保护完好。

3 结论

1) 模式1为直接安装工艺,此工艺安装最为简单。目前的飞机型号上也多采用这种安装方式,但这种安装方式耐蚀性最差,甚至会危及安装结构基材。

2) 模式2为填角安装工艺,其安装复杂度和防腐蚀效果皆为中等,推荐用于环境较温和区域,在型号使用中应做好定检,及时维护或更换。

3) 模式3为封包安装工艺,该方法的优点是耐蚀性最佳,缺点是施工工艺较为复杂,质量增加较多,适用于环境较恶劣或维修不可达区域。

4) 不同的环境条件,应该采用不同的防腐处理方式,可根据结构的局部环境特点、施工的便捷性、经济型视情选择安装方法。

参考文献:

- [1] 刘成臣,张洪彬,赵连红,等.机载电子设备印制电路板环境适应性研究[J].装备环境工程,2017,14(7): 65-69.
LIU Cheng-chen, ZHANG Hong-bin, ZHAO Lian-hong, et al. Environmental Adaptability of Printed Circuit Board for Airborne Electronic Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(7): 65-69.
- [2] 洪乙又,王璐,李忠良.机载加固液晶显示组件的腐蚀防护研究[J].进展南京工业大学学报,2019,41(4): 529-536.
HONG Yi-you, WANG Lu, LI Zhong-liang. Research Progress of Corrosion Protection for Aircraft Rugged LCDs[J]. Journal of Nanjing Tech University(Natural Science Edition), 2019, 41(4): 529-536.
- [3] 郁大照,张代国,王琳,等.南海海洋环境下机载电子设备的腐蚀及外场防护对策[J].装备环境工程,2019,16(7): 8-12.
YU Da-zhao, ZHANG Dai-guo, WANG Lin, et al. Corrosion of Airborne Electronic Equipment and Field Protection Measures in Marine Environment of South China Sea[J]. Equipment Environmental Engineering, 2019, 16(7): 8-12.
- [4] 陈群志,鞠明,余文波,等.严酷环境下飞机外场腐蚀防护对策与措施[J].装备环境工程,2017,14(3): 1-7.
CHEN Qun-zhi, JU Ming, YU Wen-bo, et al. Counter-measures for Aircraft Field Corrosion Protection under the Severe Environment Condition[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(3): 1-7.
- [5] 翟波,蔡良续,祝耀昌.实验室环境试验条件及其剪裁技术[J].装备环境工程,2014,11(5): 87-91.
ZHAI Bo, CAI Liang-xu, ZHU Yao-chang. The Conditions of Laboratory Environmental Tests and Its Tailoring Techniques[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(5): 87-91.
- [6] 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): 61-64.
LIU Yuan-hai, ZHANG Xing, Tailoring of Corrosion Environmental Adaptability Requirement for the Shipboard Airborne Equipments[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(5): 61-64.
- [7] 刘元海.舰载机载成附件环境适应性设计与管理[J].装备环境工程,2015,12(1): 73-78.
LIU Yuan-hai. Design and Management of Environmental Adaptability for the Shipborne Productions and Accessories[J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(1): 73-78.
- [8] 张令波,李明,傅耘.舰载机环境试验方法发展探讨[J].装备环境工程,2015,12(6): 100-103.
ZHANG Ling-bo, LI Ming, FU Yun. Development of Environmental Test Methods for Carrier-based Aircraft[J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(6): 100-103.
- [9] 魏艳娟,明志茂.机载设备气候类环境试验标准分析[J].环境技术,2017(2): 55-63.
WEI Yan-juan, MING Zhi-mao. Standard Analysis on Climatic Environmental Test for Airborne Equipment[J]. Environmental Technology, 2017(2): 55-63.
- [10] 刘成臣,张洪彬,赵连红,等.某海岛环境下典型机载设备防护涂层耐老化性试验研究[J].装备环境工程,2017,14(9): 22-28.
LIU Cheng-chen, ZHANG Hong-bin, ZHAO Lian-hong, et al. Experimental Study on Aging Resistance of Protective Coatings for Typical Airborne Equipment in an Island Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(9): 22-28.
- [11] 郁大照,温德宏,王琳,等.飞机电气线路互联系统海洋环境适应性研究[J].装备环境工程,2019,16(4): 56-59.
YU Da-zhao, WEN De-hong, WANG Lin, et al. Marine Climate Environmental adaptability of Aircraft Electrical Wiring Interconnection System[J]. Equipment Environmental Engineering, 2019, 16(4): 56-59.
- [12] 刘育民.电子设备机箱防护设计初探[J].电子产品世界,2019(2): 74-78.
LIU Yu-min. Protective Material of Electronic Equipment Explore in Marine Environment[J]. Electronic Engineering & Product World, 2019(2): 74-78.
- [13] 张登材,张杰,张义萍.一种舰载密闭机箱结构设计[J].机械,2018(12): 53-55.
ZHANG Deng-cai, ZHANG Jie, ZHANG Yi-ping. Structural Design of a Shipborne Air-Tight Case[J]. Machinery,

- 2018(12): 53-55.
- [14] 冯京京, 魏德林, 吴春燕. 浅析仪器仪表机箱三防设计技术[J]. 宇航计测技术, 2017, 12(2): 25-29.
FENG Jing-jing, WEI De-lin, WU Chun-yan. A Brief Analysis of Three-proof Design Technology for Instrument and Meter Cabinet[J]. Journal of Astronautic Metrology and Measurement, 2017, 12(2): 25-29.
- [15] 许磊. 产品电子元器件封装及加固技术[J]. 装备环境工程, 2016, 13(4): 36-42.
XU Lei. Encapsulation and Reinforcement Technology of Electronic Devices[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(4): 36-42.
- [16] 袁红刚, 张艳秋, 曾武, 等. 船用电子设备某电源模块的环境适应性改进设计[J]. 舰船电子工程 2016, 36(10): 167-169.
YUAN Hong-gang, ZHANG Yan-qiu, ZENG Wu, et al. Environmental Adaptability Design of A Power-Module in Ship-Borne Electronic Equipment[J]. Ship Electronic Engineering, 2016, 36(10): 167-169.
- [17] 张勇. 舰载电子设备可靠性鉴定试验与评估[D]. 南京: 南京理工大学, 2018.
ZHANG Yong. Reliability Qualification Test and Evaluation of Shipboard Electronic Equipment[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology Master's Dissertation, 2018.
- [18] 陈亮, 张裕兵, 刘展志, 等. 某型直升机改装设计中机载设备环境试验适航验证方法研究[J]. 航空维修与工程, 2016(7): 39-41.
CHEN Liang, ZHANG Yu-bing, LIU Zhan-zhi. Research on Environment Test Method of Airborne Equipment Airworthiness Verification in Modification for a Certain Type of Helicopter[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2016(7): 39-41.
- [19] 彭望舒, 于晴. 直升机机载产品环境鉴定试验故障分析[J]. 装备环境工程 2016, 13(1): 73-76.
PENG Wang-shu, YU Qing. Failures of Helicopter Airborne Product in Environmental Qualification Tests[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(1): 73-76.
- [20] 祝耀昌. 环境工程剪裁技术探讨[J]. 装备环境工程, 2004, 1(4): 40-45.
ZHU Yao-chang. Discussion on Tailoring Technology of Environmental Engineering[J]. Equipment Environmental Engineering, 2004, 1(4): 40-45.