

喷气偏流板装置腐蚀损伤特点及防护措施研究

杨茂胜¹, 温德宏², 王海东¹, 徐男¹, 高飞³

(1. 海军航空工程学院 青岛校区, 山东 青岛 266041; 2. 海装航技部, 北京 100071;
3. 北航计量站, 北京 100071)

摘要:目的 研究喷气偏流板的腐蚀损伤。方法 以喷气偏流板装置结构特点入手,通过对腐蚀的分类及产生原因分析,研究了喷气偏流板装置的腐蚀损伤特点。结果 冷却面板存在连接处的剥蚀、面板内部海水流道点蚀和防滑涂层高温腐蚀等三种腐蚀情况,运动执行机构在各连接处容易发生缝隙腐蚀。结论 提出了喷气偏流装置在生产加工和日常使用维护中的腐蚀防护措施。

关键词: 铝合金; 微动疲劳; 扩展寿命

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.06.020

中图分类号: V215.5⁺6; TG174 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)06-0093-05

Study on the Characteristics and Protection Measures of Corrosion Damage of the Jet Blast Deflector

YANG Mao-sheng¹, WEN De-hong², WANG Hai-dong¹, XU Nan¹, GAO Fei³

(1. Naval Aeronautical And Astronautical University, Qingdao Branch, Qingdao 266041, China;
2. Aviation Security of the Equipment Department of the Navy, Beijing 100071, China;
3. Measure Station of the North Fleet, Beijing 100071, China)

ABSTRACT: **Objective** to study the corrosion damage of the jet blast deflector. **Methods** Based on the structure characteristics of the Jet blast deflector, the classification method and reason for corrosion were analyzed, and the properties of corrosion damage of jet blast deflector were studied. **Results** there were exfoliation corrosion in the connecting parts of the flats, pitting in the panel, high-temperature corrosion in the antiskid coating, and crevice corrosion in the motion actuators. **Conclusion** the characteristics of corrosion were discussed, and the corrosion protective measures in production and routine maintenance were proposed.

KEY WORDS: aluminum alloy; fretting fatigue; propagation life

喷气偏流板装置是保障舰载机在航母上安全连续起飞所必备的一项关键设备,其作用是将舰载机

收稿日期: 2013-04-15; 修订日期: 2013-10-22

Received: 2013-04-15; Revised: 2013-10-22

作者简介: 杨茂胜(1976—),男,重庆人,博士,主要研究方向为腐蚀疲劳。

Biography: YANG Mao-sheng(1976—), Male, from Chongqing, Ph.D., Research focus: resistance to corrosion fatigue.

准备起飞时由喷气发动机喷射出的高温高速燃气向上和向外偏流,以保护舰载机后方飞行甲板上的人员、设备及其他飞机。

由于喷气偏流板装置安装在飞行甲板上,长期处于海洋大气环境中,冷却面板及喷涂在上面的防滑涂层、底板组件、运动执行机构都很容易受到腐蚀损伤,使喷气偏流板装置的使用功能快速下降,严重影响了舰载机的起飞安全。为了有效提高喷气偏流板装置的完好性,保持舰载机起飞的安全性和可靠性,必须在深入分析喷气偏流板装置各组成结构的腐蚀损伤机理的基础上,系统地开展喷气偏流板装置腐蚀防护技术研究,为制定相应的腐蚀防护措施提供良好的技术保障。

在装备腐蚀损伤防护及控制研究方面,我国从20世纪80年代末才开始结合军用飞机的腐蚀和寿命问题,开展探讨研究我国飞机腐蚀问题的严重性和解决问题的途径^[1]。尤其“九五”以来,在航空重点预研课题和型号需求的推动下,相关的科研单位和高校先后对飞机结构抗腐蚀设计技术、环境谱与载荷谱编制技术、加速试验技术和日历寿命评定技术等方面开展了广泛的研究,取得了一定进展。如周希沅利用不同材料的使用环境当量折算曲线和环境试验结果反映日历寿命^[2];穆志韬用腐蚀谱进行构件腐蚀试验来测定腐蚀速率,再根据腐蚀损伤容限来估算飞机结构日历寿命的方案^[3];陈群志等研究了飞机结构高强度铝合金材料腐蚀损伤分布规律^[4-7];刘祖铭等对暴露于腐蚀环境中的材料表面性能、表面蚀坑密度与尺寸、体积减少量等随时间的统计及试验研究,采用了数理统计、随机工程、神经网络等方法^[8-9];孙焕焕等探讨了在自然环境条件下产生的剥蚀损伤对机体结构疲劳寿命、结构剩余强度的影响^[10-11]。

从上述研究可以看出,国内外在航空航天、材料等方面对腐蚀的研究已比较深入,但具体针对喷气偏流板装置腐蚀防护的研究还少见有报道。

1 喷气偏流板装置结构特点分析

美国MK7型喷气偏流板装置由喷气偏流板组件、运动执行机构、海水冷却系统、液压控制系统、电气控制系统、辅助系统等组成,如图1所示。本研究

主要涉及到其中的喷气偏流板组件和运动执行机构两部分。

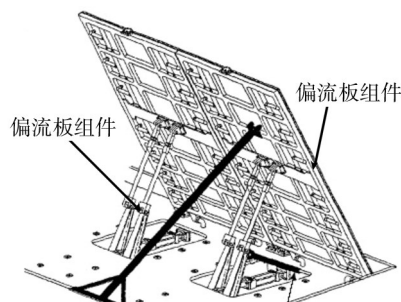


图1 MK7型偏流板喷气偏流板装置结构组成

Fig.1 Structure of the MK7 Jet blast deflector

1.1 喷气偏流板组件

1.1.1 冷却面板

冷却面板是喷气偏流板装置的重要件,外形结构如图2所示。

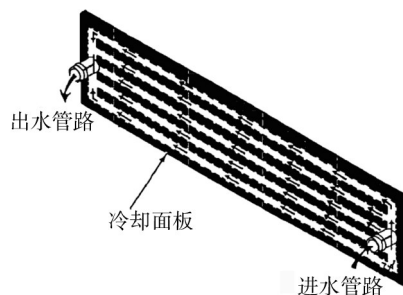


图2 MK7型偏流板冷却面板

Fig.2 Flats of the MK7 Jet blast deflector

舰载机在起飞时,高温高速尾喷气流直接喷射到冷却面板表面上,因此在冷却面板内部有多个并排的冷却海水流道,通过流动的海水将冷却面板快速冷却,使其表面温度保持在允许的范围之内。

由于喷气偏流板在水平位置作为甲板的一部分,冷却面板的甲板表面一侧需要具有与甲板相同的防滑性能。因此,在机械加工完成后对冷却面板的表面(除安装面外)喷涂防滑涂层,使其干态、湿态、油态的摩擦系数均满足相关要求。

为了保障冷却面板内流道的清洁畅通,在加工及储存过程中,冷却面板的进出口水管必须进行密封,防止加工断屑或其它杂质进入冷却流道。

1.1.2 底板组件

喷气偏流板底板为焊接式框架结构,通过铝合金板及铝合金型材焊接而成。随后加工出安装位置的孔及槽等,用于安装冷却面板和冷却水管。

偏流板组件有一块安装板,此板用于拆卸、安装铰接耳和日常检修。在偏流板其它主要部件安装完后,最后安装此板。

1.2 运动执行机构

运动执行机构用于升起或降下与其相连的两块喷气偏流板组件并将喷气偏流板组件最终固定于45°工作位置,图3为一套运动执行机构的立体结构。

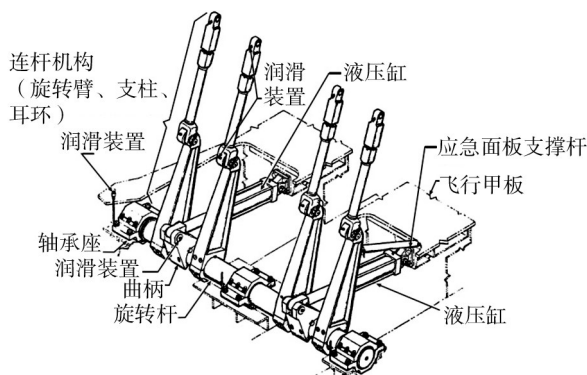


图3 MK7型偏流板运动执行机构示意

Fig.3 The motion actuators of the MK7 Jet blast deflector

每套运动执行机构由液压缸、轴承座、心轴、曲柄等组成。液压缸缸筒通过销轴、耳座联接到甲板安装坑的底座上,活塞杆杆头通过销轴与曲柄相联接。在运动执行机构工作时具有相对旋转动作的部件处,如偏流板组件铰接处、心轴轴承座等都安装了压注油杯。在各油杯处需定期注入润滑脂,以确保各运动部件动作正常。

2 腐蚀的分类

按照腐蚀破坏的具体形式分为:均匀腐蚀、电偶腐蚀、缝隙腐蚀、点蚀、晶间腐蚀、磨蚀、应力腐蚀和腐蚀疲劳,以及两种特殊的腐蚀形式——氢脆和镉脆。

1) 均匀腐蚀。均匀腐蚀的特点是,金属在暴露的全部或大部分面积上都发生腐蚀,且腐蚀程度

在各处分布很均匀。譬如屋顶铁皮外表面的锈蚀,又如浸在稀硫酸中的钢或锌表面上均匀的溶解。

2) 电偶腐蚀。两种或两种以上具有不同电位的金属接触(形成电偶)并同处于一个电解质溶液中,就会造成电位低的金属发生腐蚀。这种腐蚀形式叫做电偶腐蚀,或双金属腐蚀。

3) 缝隙腐蚀。结构上的缝隙内容易滞留液体,导致缝隙内的金属发生局部腐蚀。金属表面之间、金属和非金属表面之间、金属与附着的沉积物之间都可以形成缝隙。空气中的氧向缝隙内部扩散困难,缝隙深处氧浓度低,而缝隙敞口处氧浓度高。内外氧浓度差形成浓差电池,导致缝隙内部氧浓度低的地方,金属作为阳极被腐蚀。

4) 点蚀(或孔蚀)。点蚀是在金属上产生针状、点状、小孔状的一种极为局部的腐蚀形态。虽然点蚀仅在金属表面形成离散的、很小的点坑,材料损失很少甚至可以忽略,但点蚀却是破坏性和隐患最大的腐蚀形态之一。因为这些小点坑并不引人注目,所以点蚀难以发现。但点蚀却会悄悄地向材料深处发展,甚至使结构穿孔。深入材料深处的点坑或穿孔形成了结构的薄弱环节,引起应力集中,在应力的作用下,有可能发展成为应力腐蚀断裂或腐蚀疲劳,导致突然灾害。

5) 晶间腐蚀。晶间腐蚀是沿材料的晶界发生的一种局部腐蚀。发生晶间腐蚀的原因是,晶界的成分或组织结构不同,相对晶粒内部电位低,在腐蚀介质中发生优先溶解。剥蚀是一种特殊的晶间腐蚀。

6) 磨蚀。磨蚀是磨损腐蚀的简称。有两种磨蚀:摩振磨蚀(又称微动腐蚀),是指相互结合的两个零件在振动、滑动及环境介质的共同作用下所产生的腐蚀;冲刷磨蚀,是指由于腐蚀性流体(液体、气体)和金属表面间的相对运动,引起涂层破坏和金属的加速腐蚀。

7) 应力腐蚀开裂和腐蚀疲劳。这两种腐蚀形式都属于金属在腐蚀介质和应力的同时作用下导致腐蚀开裂以至破坏的现象。当应力为平稳拉应力时,发生应力腐蚀开裂;当应力为交变应力时,发生腐蚀疲劳。

8) 氢脆和镉脆。氢脆是金属中由于氢的存在或氢与金属交互作用,导致材料韧性降低,甚至发生开裂的破坏现象。造成氢脆的原因是,氢原子进入

金属的晶格内,造成晶格的歪扭,产生很大的内应力,使金属的韧性下降,金属材料就变脆了。酸洗除锈或者电镀,都有可能使材料中渗进原子态的氢。

镉脆的机制与氢脆有相似之处。镉的熔点较低,且镉原子容易渗入高强度钢、钛合金的组织内部,并在晶界处富集,导致晶界强度下降。在应力,特别是高热高应力的共同作用下,晶间被镉严重削弱的零件会发生突然的脆性破断,即镉脆。

3 喷气偏流板装置腐蚀损伤特点

3.1 冷却面板腐蚀损伤特点

根据冷却面板的组成结构特点来看,其主要的腐蚀损伤方式有以下几种。

1) 面板外部防滑涂层高温腐蚀。冷却面板上的防滑涂层在工作中要承受数百度甚至上千度的高温,在高温和海洋腐蚀环境下,其表面容易发生氧化和热腐蚀。具体表现为以下几种现象:

(1) 涂层表面有锈斑出现,局部出现起皮,开裂现象;

(2) 涂层出现连续的小局部突起和脱落,单个面积约 $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$,连续二、三十个凸点,涂层轻微破损,贯穿整个板子表面;

(3) 涂层表面颜色不一致,封闭层局部磨损状态不同,整体发白。

2) 冷却面板与底板连接处的剥蚀。铝合金型材在挤压或模锻加工时造成晶粒呈扁平细长形排列,腐蚀沿平行于型材表面的晶间发展。腐蚀产物体积膨胀,形成晶界内张力,使被破坏了结合力的晶界翘起。金属表面呈现出层片状的剥落和局部隆起外貌,出现剥蚀外貌。它是晶间腐蚀的一种特殊形式。剥蚀使材料的微观结构发生变化,腐蚀损伤不仅表现在外表面还会深入基体材料内部,大大降低材料的机械强度、断裂韧性和疲劳强度,加速裂纹扩展。

在面板与底板连接处外表面完好的情况下,连接处内表面和螺钉附近通常发生剥蚀,使冷却面板内层逐渐鼓起,严重时鼓起的高度可达面板厚度的 $1/3$,造成连接螺钉受到较大的剪应力,从而导致连接不牢靠,冷却面板从底板上脱落。

3) 面板内部海水流动处的点蚀。每块冷却面板

内部有九条海水流动道,在喷气偏流板装置工作时,流动道内有海水流过,通过热交换的形式将发动机喷出的高温热能快速消除。由于海水为电解质溶液,其中有卤素离子存在,如氯化物、溴化物和次氯酸盐等。冷却面板材料为铝合金,因此容易发生点蚀。

3.2 底板组件腐蚀损伤特点

底板组件除了与冷却面板连接处容易发生剥蚀外,在其余地方比较容易发生局部腐蚀。局部腐蚀部位(蚀孔)常被腐蚀产物所覆盖,孔径小,不易发现,容易产生应力集中。在循环载荷和腐蚀环境作用下,蚀孔往往成为腐蚀疲劳的裂纹源,导致裂纹提前形成,大大减少了结构疲劳寿命。

3.3 运动执行机构腐蚀损伤特点

运动执行机构作为喷气偏流板装置的主要承力件,其结构完好性对整个装置的使用起着关键作用。由于运动执行机构各地运动副之间是以螺接方法连接,这样在金属与金属之间存在缝隙,并使缝隙内的腐蚀介质处于滞流状态,从而加剧了缝隙内金属的腐蚀,这种现象叫做缝隙腐蚀。处于腐蚀环境下的金属结构,由于构件之间存在缝隙,腐蚀介质就会进入并留在缝隙内,从而加速缝隙内部的腐蚀。

4 喷气偏流板装置腐蚀防护办法

结合上面对喷气偏流板装置结构特点和腐蚀损伤特点分析,参考海军飞机腐蚀防护的一些具体做法,建议在生产加工和使用维护中注意以下几个方面。

4.1 生产加工中防护措施

1) 喷气偏流板组件。对于喷气偏流板组件中的冷却面板和地板可以采用以下两种表面处理方法:

(1) 铬酸阳极化,经过铬酸阳极化处理,可以得到良好的表面防腐性能和喷漆表面,在阳极化过程中,部件作为阳极,整个金属的表面转化为一种氧化层,形成一种疏松的结构,然后按要求浸入热水、热的重铬酸盐溶液或热的稀铬酸盐溶液中,这将能确保部件的防腐性能。

(2) 铬酸盐转化涂层,铝合金的铬酸盐转化漆层

可以抑制和防止腐蚀,并作为喷漆底面,它可以在海上或潮湿环境中,提供良好的防护。

2) 运动执行机构。运动执行机构为结构钢,其化学处理包括钝化和电解抛光。钝化液可以溶解表面金属杂质,如铁、锌、铅等,使表面清洁,提高防腐性能。电解抛光是一个选择性去除金属阳极化的过程,从而清洁表面,防止腐蚀。

4.2 使用中的防护措施

1) 注意保护。冷却面板涂层在运输、储存、使用过程中严禁腐蚀性溶剂等物质与涂层接触,防止涂层封闭层受损,同时要有专用箱、吊具、工装保护,严格避免磕碰、撞击。

2) 及时修补(涂层)。热流的冲刷会对冷却面板涂层封闭层造成消耗,多次密集使用后应及时进行封闭层的现场补涂。如涂层与基体均发生腐蚀现象,且腐蚀面较大,应将原有的涂层去除,重新进行涂层体系的喷涂。

3) 及时放水。喷气偏流板装置在每天使用后,应及时放掉冷却系统里的海水,防止海水在管路中长期停留,增加海水对管道和冷却面板内部的腐蚀。

4) 定时冲洗。航母长期停留在海洋环境中,海水和空气中盐分大,对金属材料的自然腐蚀非常严重。因此,在喷气偏流板装置的维护保养中,应定时用淡水对冷却面板表面进行冲洗,去除残留在上面的腐蚀性介质。

5) 经常补漆。对于运动执行机构中容易磨损的关节部位,一旦有漆层脱落,应及时进行修补,防止腐蚀性介质深入金属材料内部,对结构造成更大面积的腐蚀损伤。

5 结论

通过分析喷气偏流板装置的结构特点,研究了其腐蚀损伤特点及腐蚀防护办法,经分析得到如下结论。

1) 腐蚀损伤特点是:冷却面板主要存在三种腐蚀方式,即冷却面板与底板连接处的剥蚀、面板内部海水流道的点蚀和防滑涂层的高温腐蚀;底板组件除了与冷却面板连接处容易发生剥蚀外,在其余地方比较容易发生局部腐蚀;运动执行机构作为喷气

偏流板装置的主要承力件,在各连接处容易发生缝隙腐蚀。

2) 腐蚀防护办法有:在生产加工中通过防护性有机涂层的使用和表面处理技术(铬酸阳极化、钝化和电解抛光)的方法来提高喷气偏流板装置各结构件的抗腐蚀能力;在使用维护中主要通过加强保护、及时修补(涂层)、及时放水、定时冲洗和经常补漆来预防和减缓喷气偏流板装置的腐蚀损伤。

参考文献:

- [1] 穆志韬,柳文林,于战樵. 飞机服役环境当量加速腐蚀折算方法研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2007, 22(3): 301—304.
MU Zhi-tao, LIU Wen-lin, YU Zhan-qiao. Study on the Converting Method of Equivalent Accelerated Corrosion in Service Environment[J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautical University, 2007, 22(3): 301—304.
- [2] 周希沅. 飞机结构的当量环境谱与加速试验谱[J]. 航空学报, 1996, 17(5): 613—616.
ZHOU Xi-yuan. Equity Environmental Spectrum and Speed Test Spectrum for Aircraft Structure[J]. Acta Aeronautica ET Astronautica Sinica, 1996, 17(5): 613—616.
- [3] 穆志韬,熊玉平. 高强度铝合金的腐蚀损伤分布规律研究[J]. 机械工程材料, 2002, 26(4): 14—16.
MU Zhi-tao, XIONG Yu-ping. Distribution of Corrosion Damage of High Strength Aluminum Alloys[J]. Materials For Mechanical Engineering, 2002, 26(4): 14—16.
- [4] 陈群志,崔常京,王逾涯,等. 典型机场地面腐蚀环境数据库研究[J]. 装备环境工程, 2006, 3(3): 47—49.
CHEN Qun-zhi, CUI Chang-jing, WANG Yu-ya, et al. Study on Database of Ground Corrosion Environment of Typical Airfield[J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(3): 47—49.
- [5] 陈跃良,杨晓华,秦海勤. 飞机结构腐蚀损伤分布规律研究[J]. 材料科学与工程, 2002, 20(3): 378—380.
CHEN Yue-liang, YANG Xiao-hua, QIN Hai-qin. Study on Corrosion Damage Distribution Law of Aircraft Structure [J]. Materials Science and Engineering, 2002, 20(3): 378—380.
- [6] 刘治国,蔡增杰,边若鹏. 飞机铝合金结构腐蚀损伤预测方法对比性研究[J]. 装备环境工程, 2012, 9(1): 66—71.
LIU Zhi-guo, CAI Zeng-jie, BIAN Ruo-peng, et al. Comparative Study of Aircraft Aluminum Alloy Structure Corro-

(下转第122页)

- JIN Sheng-sheng. Plateau Environment on the Influence of the Engineering Mechanical Power System And Measures [J]. Journal of Qinghai Normal University, 2004, 19 (4): 48—50.
- [6] 陈学楚. 装备系统工程[M]. 北京:国防工业出版社, 2008: 12—20.
- CHEN Xue-chu. Equipment System Engineering[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008: 12—20.
- [7] 段楠楠, 赵英俊. 地空导弹装备环境适应性研究与分析 [J]. 装备环境工程, 2009, 6(6): 88—91.
- DUAN Nan-nan, ZHAO Ying-jun. Surface to Air Missile Equipment Research and Analysis of Environmental Adaptability[J]. Environmental Engineering Equipment, 2009, 6 (6): 88—91.
- [8] 俞一鸣, 赵广彤. 高原环境对防空武器装备的影响及改进措施[J]. 现代防御技术, 2011, 6(4): 12—20.
- YU Yi-ming, ZHAO Guang-tong. Plateau Environment on the Influence of the Air Defense Weapon and Equipment and Improving Measures[J]. Modern Defense Technology, 2011, 6(4): 12—20.
- [9] 李思鼎, 陈国安. 高原和高寒环境对车辆的影响分析[J]. 技术与研究, 2009, 6(2): 24—30.
- LI Si-ding, CHEN Guo-an. The Influence of Plateau and Alpine Environment of Vehicle Analysis[J]. Technology and Research, 2009, 6(2): 24—30.
- [10] 后武昌, 宋云龙, 宋振东. 信息化条件下西部高原高寒地区战时装备保障刍议[J]. 科技资讯, 2011, 6(7): 16—22.
- HOU Wu-chang, SONG Yun-long, SONG Zhen-dong. Under the Condition of Informatization Equipment Support in Wartime Series. the Western Plateau Cold Area[J]. Science and Technology Information, 2011, 6(7): 16—22.
- [11] 孙立军, 蔡汝山. 高原环境对电工电子产品的影响及防护[J]. 可靠性与环境实验技术评价, 2010, 6(5): 20—22.
- SUN Li-jun, CAI Ru-shan. The Influence of Plateau Environment on the Electrical and Electronic Products and Protective[J]. Reliability and Environmental Experimental Technology Assessment, 2010, 6(5): 20—22.
- [12] 赵世宜, 胡立成, 吴娟. 低气压环境对军用电工电子产品的影响[J]. 装备环境工程, 2009, 6(5): 12—20.
- ZHAO Shi-yi, HU Li-cheng, WU Juan. Low Pressure Environment on the Influence of Military Electrical and Electronic Products[J]. Equipped with Environmental Engineering, 2009, 6(5): 12—20.

=====

(上接第 97 页)

- sion Damage Forecasting Methods[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(1): 66—71.
- [7] 李旭东, 穆志韬, 刘治国, 等. 预腐蚀铝合金材料裂纹萌生寿命评估[J]. 装备环境工程, 2012, 9(5): 24—28.
- LI Xu-dong, MU Zhi-tao, LIU Zhi-guo, et al. Evaluation of Fatigue Initial Life for Aluminum Alloy with Pre-corrosion [J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9 (5): 24—28.
- [8] 刘祖铭, 曹定国, 吴有金. 飞机结构腐蚀控制设计数据库研究[J]. 航空学报. 2002, 23(4): 360—362.
- LIU Zu-ming, CAO Ding-guo, WU You-jin. Study on the Database of Corrosion Control Design for Aircraft Structures [J]. Aeronautica ET Astronautica Sninica, 2002, 23 (4): 360—362.
- [9] 王生楠, 毛勇健. 飞机结构EDR/ADR评定专家系统设计
- 与实现[J]. 西北工业大学学报, 2003, 21(3): 284—288
- WANG Sheng-nan, MAO Yong-jian. Knowledge-Based Expert System for Evaluating Quantitatively Environmental Deterioration (ED) and Accidental Damage (AD) [J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2003, 21 (3): 284—288.
- [10] SUN Huan-huan, WANG Hui, MENG Fan-ling. Study of Corrosion Protection of the Composite Films on A356 Aluminum Alloy[J]. Journal of Rare Earths, 2011, 10: 992—996.
- [11] 邓扬晨, 酆正能, 章怡宁. 近似函数用于材料腐蚀的数学建模[J]. 北京航空航天大学学报, 2002, 28(1): 74—77.
- DENG Yang-chen, LI Zheng-neng. Approximate Function Based Mathematical Modeling in Material Corrosion[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2002, 28(1): 74—77.