

热带海洋大气环境下电连接器环境适应性分析

王玲^{1,2,3}, 杨万均^{1,2,3}, 张世艳^{1,2,3}, 肖敏^{1,2,3}

(1. 中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039; 2. 国防科技工业自然环境试验研究中心, 重庆 400039;
3. 重庆市环境腐蚀与防护工程技术研究中心, 重庆 400039)

摘要: 针对铝合金壳体和不锈钢壳体电连接器在海南万宁试验站的棚下暴露试验结果, 研究了两类电连接器在热带海洋大气环境中的耐腐蚀性能, 从材料工艺、环境影响等方面探讨了两类电连接器壳体腐蚀和电气性能变化原因, 并综合分析了两类电连接器在热带海洋大气环境下的环境适应性。

关键词: 电连接器; 热带海洋大气环境; 腐蚀; 环境适应性

中图分类号: TG172.3; TG174.3⁺6 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)06-0005-05

Environmental Worthiness Analyses of Electrical Connectors in Tropic Marine Atmosphere

WANG Ling^{1,2,3}, YANG Wan-jun^{1,2,3}, ZHANG Shi-yan^{1,2,3}, XIAO Min^{1,2,3}

(1. No. 59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China;
2. Natural Environmental Test and Research Center of Defense Science and Technology, Chongqing 400039, China;
3. Chongqing Engineering Institute for Environmental Corrosion and Protection, Chongqing 400039, China)

Abstract: The corrosion of aluminum alloy and stainless steel electrical connectors in marine atmosphere was studied by shelter exposure test in Wanning. The causes of corrosion and electrical performance change of two types of electrical connectors were analyzed based on material, process, and environmental effect. Environmental worthiness of the two types of electrical connectors in tropic marine atmosphere was analyzed synthetically.

Key words: electrical connector; tropic marine atmosphere; corrosion; environmental worthiness

作为电气、电子接口器件,电连接器在各系统间和(或)系统内起着电气连接和信号传输的重要作用。资料显示,目前各种电气、电子系统的失效或故障70%是由元器件失效引起的,而这些失效或故障中电连接器的失效达40%左右^[1]。在严酷的热带海洋大气环境下^[2-3],电连接器失效或故障现象更为明

显。高温、高湿、高盐雾综合作用下,电连接器极易发生壳体腐蚀、绝缘性能下降、导通电阻增加甚至断路等问题,对于此环境下使用的电气、电子设备来说,电连接器已成为了主要的薄弱环节之一。电连接器在热带海洋大气环境条件下的适应性问题越来越受到设计与生产单位重视。开展电连接器在热带

收稿日期: 2012-08-14

作者简介: 王玲(1982—),女,宁夏人,硕士,工程师,主要从事环境试验研究工作。

海洋大气环境下的环境适应性分析研究,对设备设计与生产过程中电连接器的合理选择、设计改进和提高电子设备的环境适应性具有重要意义。

1 试验

1.1 试验样品

选择了两种不同壳体材料和表面防护工艺的J599圆形电连接器作为试验样品,样品信息见表1。

表1 试验样品信息
Table 1 Sample information

序号	样品名称	壳体材料与防护工艺	数量/件
1	铝合金壳体电连接器	铝合金化学镀镍	5
2	不锈钢壳体电连接器	不锈钢钝化	5

1.2 试验环境与检测要求

两种试验样品均在热带海洋性大气环境(海南万宁试验站)中利用棚下暴露试验方法开展对比试验,试验环境的温度、湿度以及大气氯离子沉降量如图1所示。

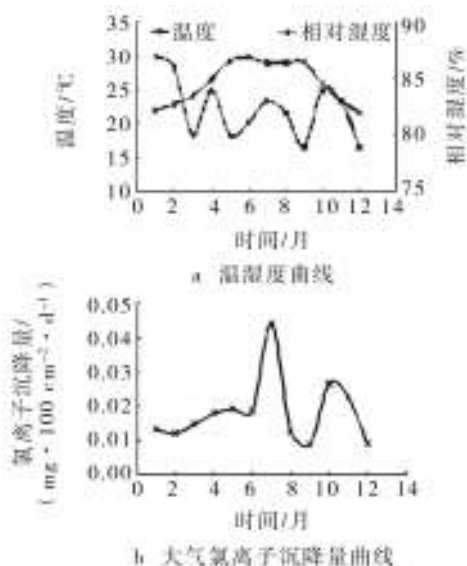


图1 试验环境条件

Fig. 1 Environmental conditions of the test

试验中定期对电连接器进行外观腐蚀形貌观测,并在温度为25℃、相对湿度低于50%的环境下

干燥24h后,测试了电连接器不同载流导线间、载流导线与壳体间的绝缘电阻、耐压强度以及连接器的导通性能,检测方法与失效判据见表2。

表2 试验检测方法与失效判据
Table 2 Detection methods and failure criteria

检测参数	检测方法与仪器	失效判据
外观	目测或10倍放大镜	基体腐蚀面积≥50%
绝缘电阻	GPI735绝缘耐压测试仪	≤50 MΩ
耐压强度	加载50 Hz, 625 V(有效值)电压,维持时间大于1 s	击穿
导通性能	万用表	断路

2 试验结果

2.1 外观检查结果

两种不同壳体材料和表面防护工艺的电连接器经过热带海洋大气环境下2a的棚下暴露试验,铝合金化学镀镍壳体的5件电连接器均已产生了十分严重的基体腐蚀,表面布满白色腐蚀产物,基材铝合金出现了层状腐蚀现象,而不锈钢壳体的电连接器仅出现了少量的锈点,如图2所示。用10倍放大镜检查两种电连接器的插针与插座,均未发现有明显的腐蚀现象。

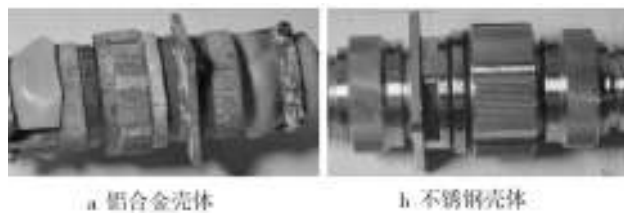


图2 电连接器试验2a后的外观腐蚀形貌

Fig. 2 Corrosion pictures of electrical connectors after 2 years of exposure

从外观腐蚀过程来看,试验1个月时,铝合金化学镀镍壳体连接器表面的镀镍层便出现了鼓泡和开裂的现象;试验2个月时,法兰盘的棱角部位便出现了严重的镀镍层脱落,连接环滚花部位也出现了镀层鼓泡;随着试验的深入进行,1a后,铝合金化学镀

镍壳体连接器表面的镀镍层大量脱落且基材腐蚀面积已超过50%,出现了失效。试验1 a时,不锈钢壳体的电连接器表面出现少量的锈点,且随着试验的深入,腐蚀发展并不明显。两种连接器试验过程中的壳体腐蚀形貌如图3所示,两类电连接器壳体腐蚀现象、出现基体腐蚀的时间和失效时间等外观检查结果见表3。

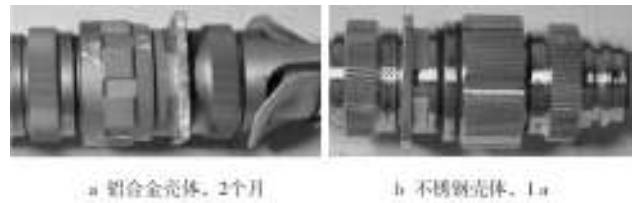


图3 电连接器外观腐蚀形貌

Fig. 3 Corrosion appearance pictures of electrical connectors

表3 电连接器外观检查结果

Table 3 Appearance detection results of electrical connectors

样品名称	壳体腐蚀现象	出现基体腐蚀时间/月	失效时间/月
铝合金壳体电连接器	白霜、鼓泡、剥落	2	12
不锈钢壳体电连接器	轻微点蚀	12	—

2.2 电气性能检测结果

试验过程中,按照表2的要求和测试方法定期对试验样品的电气性能进行了测试,测试结果见表4。

电连接器的电气性能测试结果表明,两类电连接器的载流导线间、载流导线与壳体间的耐压强度在整个试验过程中均能达到试验要求;导通性能良好,未出现断路现象;电连接器的载流导线与壳体

表4 两种电连接器电气性能测试结果

Table 4 Electrical function test results of two kinds of electrical connectors

测试项目	铝合金壳体电连接器			不锈钢壳体电连接器		
	原始	1 a	2 a	原始	1 a	2 a
绝缘电阻/M Ω	>9999	>1000	>200	>9999	>2000	>2000
耐压强度	通过	通过	通过	通过	通过	通过
导通性能	导通	导通	导通	导通	导通	导通
失效判定		未失效			未失效	

间、载流导线间的绝缘电阻有所下降,但仍满足规定的试验要求,即绝缘电阻不小于50 M Ω 。此外,检测发现壳体腐蚀严重的铝合金类电连接器绝缘电阻下降幅度较大,如腐蚀最严重的铝合金电连接器测得的最低绝缘电阻约为200 M Ω ,相对于测得的最高绝缘电阻值(>9999 M Ω ,超出仪器量程,全文同),其下降幅度约50倍以上。

3 分析讨论

3.1 电连接器壳体腐蚀分析

为了分析和掌握电连接器铝合金化学镀镍壳体

在热带海洋大气环境下的腐蚀机理和原因,利用扫描电镜观测了镀镍层的外观形貌并利用XPS对腐蚀产物进行了分析。扫描电镜微观形貌如图4所示,镀镍层表面存在大量孔隙。当铝合金化学镀镍壳体电连接器暴露于热带海洋大气环境中时,相对湿度长期大于80%。在如此潮湿的大气环境中,镀镍层表面极易形成水膜,同时大气中的腐蚀介质(如Cl⁻)通过海盐粒子沉积溶入表面水层,腐蚀介质和水膜中的溶解氧通过镀镍层的孔隙逐渐进入内部,发生电化学腐蚀,生成铝的含氧腐蚀产物。腐蚀产物的XPS谱如图5所示,由于铝合金腐蚀产物与铝合金基体存在体积差,腐蚀产物随着试验时间的延长而不断聚集,导致镀层鼓泡、开裂和剥落。

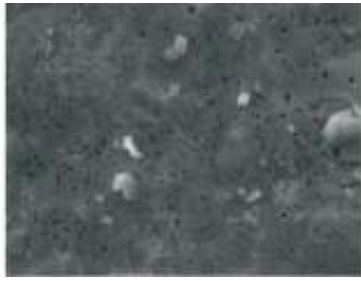


图4 铝合金镀镍层表面微观形貌

Fig. 4 Micrograph of aluminum alloy electroless Ni coating surface

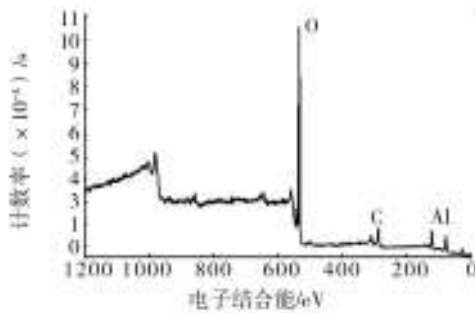


图5 铝合金化学镀镍连接器壳体腐蚀产物XPS谱

Fig. 5 XPS spectrum of corrosion product of aluminum alloy electrical connector

虽然不锈钢壳体的电连接器在试验期间表现出良好的耐蚀性,但是试验1 a时仍然有锈点产生。这是由于不锈钢的耐蚀性主要依靠其可自修复的钝化膜,钝化膜由致密的 Cr_2O_3 和 CrO_3 构成,可以有效阻止内部Fe原子与 H_2O 和 O_2 的接触,达到“不锈”的目的。钝化膜主要靠不锈钢表面的富Cr层与 O_2 反应而修复。电连接器表面形状的不规则和滚花工艺会使表面积累大气中的污染物,在潮湿空气下,附着于不锈钢表面的污染物吸水后形成一个不易蒸发的水膜,妨碍空气中 O_2 的补充。潮湿污染物中高浓度的 Cl^- 能优先且有选择地吸附在钝化膜上,进一步把 O 排挤掉。当水膜中溶解氧降到很低时,不锈钢钝化膜的自修复将基本停止, Cl^- 和钝化膜中的阳离子结合成可溶性氯化物。失去钝化膜保护的不锈钢材料内部Fe将与 H_2O , O_2 和 Cl^- 反应,结果在污染物沉积部位便产生了锈点。

3.2 绝缘电阻变化分析

在试验2 a后,虽然两种电连接器的电气性能

均满足要求,但是绝缘性能还是出现了不同程度的降低,铝合金壳体的电连接器绝缘电阻下降得尤为明显。究其原因认为,电连接器的绝缘电阻主要受绝缘材料、湿度、温度、污损等因素影响,其中绝缘材料的吸湿性是影响连接器绝缘电阻的重要因素,而相对湿度的增大通常会导致绝缘电阻下降。两类电连接器所处试验环境的相对湿度长期处于较高水平(如图1所示),水分会逐渐侵入电连接器接口部位,到达电连接器内部,绝缘材料吸湿造成绝缘性能波动或直线下降。为了验证这一分析结果,试验过程中对绝缘性能下降较大的电连接器烘干处理后发现,该连接器的绝缘电阻有大幅上升。此外,绝缘体表面的洁净度对绝缘电阻也有影响。若绝缘体表面污染,在潮湿环境下,被吸附的污染物与潮湿气氛融合,在其表面形成电解质水膜,明显降低绝缘电阻。对于铝合金壳体电连接器,若其连接螺纹出现腐蚀,将造成电连接器密封性下降或壳体腐蚀产物由插拔接头带入电连接器内部而污染绝缘体,电连接器的绝缘电阻显著下降,甚至失效。

3.3 环境对电连接器影响分析

从以上分析结果来看,温度、相对湿度以及大气污染物沉积是造成电连接器壳体腐蚀、影响电子连接器环境适应性的主要环境因素。万宁试验站具有高温、高湿、高盐雾的特点,年平均温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}$,年平均相对湿度约为82%,全年相对湿度超过80%的时数达6800 h,占总时数的78%,氯离子浓度约为 $0.018\text{ mg}/(100\text{ cm}^2\cdot\text{d})$,大气环境十分严酷,对电连接器壳体腐蚀和电气性能变化的影响更为明显,特别是铝合金壳体的电连接器。相关研究结果表明^[9-12],海盐粒子、年平均温度、相对湿度 $>80\%$ 所占时数等是造成铝及铝合金腐蚀的主要环境因素。因此,在海洋大气环境下,电连接器的选用需从环境严酷度及其对电连接器材料影响程度方面加以考虑,以确保电连接器的可靠使用。同时由于不锈钢的腐蚀总是产生于大气污染物的沉积处并以点蚀的形态发生,且氯离子是对不锈钢危害最大的大气污染物,所以在海洋大气环境中,保持电连接器壳体表面清洁可作为防止其壳体锈蚀的一个重要措施。

3.4 综合分析

从表3中两类电连接器的腐蚀与失效情况可以看出,铝合金化学镀镍壳体电连接器在万宁地区腐蚀明显,试验2个月即有电连接器壳体出现白霜、鼓泡和剥落现象。可见在热带海洋大气环境下化学镀镍层对铝合金基体不能起到有效的防护作用,不适宜在此类环境下长期使用。不锈钢钝化壳体的电连接器试验2 a后,电连接器壳体表面仅出现轻微的点蚀,说明不锈钢类电连接器壳体在海洋大气环境下具有良好的耐蚀性。两类电连接器在热带海洋大气环境下耐蚀性方面表现出了巨大差异。从材料工艺方面来看,氯离子是对不锈钢危害最大的大气污染物,而且不锈钢在海洋大气环境中的耐蚀性随其种类有较大差异。大量研究结果表明,铬含量超过17%(质量分数)的不锈钢在海洋大气环境中具有良好的耐蚀性^[4-7]。铝合金材料本身并不耐热带海洋大气环境,通常需要进行表面处理提高其耐蚀性。铝壳体化学镀镍是一项要求较高的工艺技术,对外壳基体质量、工艺设计等要求严格^[8],并且铝合金连接器表面的镀镍层属于阴极性镀层,对基体的保护作用主要是机械保护,即阻隔铝合金基体与腐蚀介质的直接接触从而避免基体腐蚀。因此镀层完整性是保护基材效果好坏的关键之一,否则反而会加速基体的腐蚀。

从表4的测试结果来看,两类电连接器在2 a试验期内的绝缘电阻、耐压强度、导通性能试验结果仍满足要求,表明电连接器的腐蚀以及环境因素还未引起电连接器电气性能的失效。然而随着铝合金壳体电连接器的壳体内部边缘腐蚀的加重,生成的腐蚀产物会造成电连接器电气性能显著变化或失效。因此,从电连接器壳体的腐蚀防护以及电气性能要求考虑,在海洋大气环境条件下,不锈钢壳体的电连接器比铝合金化学镀镍壳体的电连接器具有更好的环境适应性。

4 结论

通过电连接器在万宁站棚下暴露2 a的试验结果及分析可以得到以下结论:

1) 在热带海洋大气环境下,铝合金化学镀镍壳

体易出现镀层鼓泡、剥落的腐蚀现象,且腐蚀部位主要从安装法兰盘、连接环滚花等部位向全面腐蚀发展。

2) 不锈钢壳体电连接器在热带海洋大气环境下具有良好的环境适应性,壳体仅产生轻微锈点;同时,保持电连接器壳体表面清洁可作为防止其壳体锈蚀的一个重要措施。

3) 电连接器的绝缘电阻、耐压强度和导通性能中,绝缘电阻更易受环境条件及腐蚀的影响。

4) 综合考虑电连接器壳体的耐蚀性和电气性能要求,在热带海洋大气环境下,铝合金化学镀镍壳体电连接器易出现腐蚀失效,长期使用的设备建议选用不锈钢壳体电连接器。

参考文献:

- [1] 林思达,潘骏,陈文华,等.电连接器可靠性研究述评[J].机电元件,2009,29(4):52—55.
- [2] 张先勇,舒德学,陈建琼.海南万宁试验站大气环境及腐蚀特征研究[J].装备环境工程,2005,2(4):77—79.
- [3] 李家柱.大气环境及腐蚀性[J].装备环境工程,2005,2(2):58—61.
- [4] 宣卫芳,胥泽奇,肖敏,等.装备与自然环境试验[M].北京:航空工业出版社,2009:93—96.
- [5] 黄桂桥.不锈钢在海洋环境中的腐蚀[J].腐蚀与防护,1999,20(9):392—394.
- [6] 梁彩凤,郁春娟,侯文泰.不锈钢的大气腐蚀研究——12年暴露试验总结[J].中国腐蚀与防护学报,1999,19(4):227—232.
- [7] 黄建中,左禹.材料的耐蚀性和腐蚀数据[M].北京:化学工业出版社,2002:148—149.
- [8] 沈涪.提高电连接器铝外壳化学镀镍质量的途径[J].电镀与涂饰,2003,22(3):22—24.
- [9] 郑弃非,孙霜青,温军国.铝及铝合金在我国的大气腐蚀及其影响因素分析[J].腐蚀与防护,2009,30(6):360—363.
- [10] 李涛,董超芳,李晓刚,等.环境因素对铝合金大气腐蚀的影响及其动态变化规律研究[J].腐蚀与防护,2009,30(4):216—219.
- [11] 文邦伟,李继红.铝及铝合金在热带海洋地区大气腐蚀[J].表面技术,2004,33(6):21—23.
- [12] 王玲,宣卫芳,牟献良.2Al1铝合金/碳钢偶接件在强化自然环境条件下的腐蚀特性[J].表面技术,2011,40(5):1—3.