

综 述

海洋大气环境电子设备腐蚀控制技术

穆山¹, 李军念^{2,3}, 王玲^{2,3}

(1. 总装备部工程设计研究总院, 北京 100028; 2. 中国兵器工业第五九研究所, 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: 介绍了海洋大气环境主要特征、盐雾腐蚀机理和盐雾腐蚀与温湿度的关系。从总体结构、设计制造工艺、工作运行等方面, 分析了电子设备的技术特点、腐蚀特点与腐蚀防护难点。从材料与结构、部件与线路、结构材料表面防腐、防腐介质等方面, 介绍了电子设备一般腐蚀防护技术, 重点介绍论述了电子设备温湿度环境控制、盐雾分离和盐雾过滤腐蚀环境控制技术。

关键词: 电子设备; 环境; 腐蚀; 防护; 控制; 盐雾过滤

中图分类号: TG178; TJ04 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)04-0059-05

Corrosion Control Technology of Electronic Facility in Marine Atmosphere

MU Shan¹, LI Jun-nian^{2,3}, WANG Ling^{2,3}

(1. Engineering Design Academe of General Armament Department, Beijing 100028, China;

2. No.59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China;

3. The Engineering and Technology Center of Environmental Corrosion and Protection of Chongqing, Chongqing 400039, China)

Abstract: Main characters of marine atmosphere, corrosion mechanism of salt fog, and the relationship between salt fog corrosion and temperature and humidity were introduced. The technical characters, corrosion characters, and protection difficulties were analyzed from three aspects of general structure, design manufacture techniques, and operation. The general corrosion protection technology of electronic facility was introduced from four aspects of material and structure, parts and circuitry, anti-corrosion of material, and corrosion medium. Corrosion control technologies of electronic facility were discussed with emphasis, which were temperature and humidity control, fog separation, and fog filtration.

Key words: electronic facility; environment; corrosion; protection; control; salt fog filtration

我国地域辽阔, 沿海省份和大城市多, 大陆海岸线长达1.8万公里, 岛屿海岸线约1.4万公里, 海洋大气腐蚀环境对沿海地区设施设备、尤其是电子设备的腐蚀非常严重。

电子设备是各种现代化设备或系统的重要组成部分, 其工作的可靠性、安全性和使用寿命非常重要。与一般机械设备和金属结构设施相比, 电子设备由于其结构和设计制造工艺的特殊性, 具有诸多

收稿日期: 2012-03-06

作者简介: 穆山(1952—), 男, 河北迁安人, 高级工程师, 主要研究方向为航天测试发射。

技术与防护特点及防护难点,分析研究其在海洋大气环境的腐蚀与防护技术,具有重要的意义和作用。

1 海洋大气环境主要特征

盐雾是海洋大气环境的主要特征。由于盐雾的扩散距离远、分布范围大,工程上通常以导致金属材料的弱等级腐蚀速率对应的盐雾污染水平衡量:碳钢第1年腐蚀速率不小于0.001 mm/a,盐雾沉降率不小于 $3 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})^{[1-3]}$ 。

同一纬度下,沿海地区的大气湿度普遍高于内陆,年均相对湿度一般不小于70%,热带和亚热带沿海地区一般不小于80%。

北纬 30° 至 24° 的亚热带沿海地区,年平均温度一般在 $15\sim 19^\circ\text{C}$ 之间;北纬 24° 至 18° 的亚热带、热带沿海地区,年平均温度在 $17\sim 27^\circ\text{C}$ 之间。

2 腐蚀机理

2.1 盐雾特征与腐蚀机理

2.1.1 盐雾的形成与分布

盐雾的物质形态是由不同粒径的氯离子微细颗粒、钠和硫酸盐离子与空气及其他杂质组成的混合物,其颗粒质量通常在 $10^{-11}\sim 10^{-5} \text{ mg}$ 之间,其粒径大部分在 $20 \mu\text{m}$ 以下,90%以上小于 $5 \mu\text{m}$ 。微细盐雾粒滴在随气流运动扩散飘向陆地过程中,随着水分的蒸发,大液滴逐步缩为小液滴、有些甚至形成干盐粒。因此,盐雾有溶液涓滴和固体结晶两种形态,其构成平衡状态的近似临界相对湿度约为76%。在重力作用下,盐核干粒以 $1\sim 2 \text{ cm/s}$ 的平均速度沉降。

盐雾浓度水平分布与海岸线垂直距离呈负相关,距离越远,浓度越低。理论分析和实际测量表明,盐雾的重度影响区一般在近海 $500\sim 1000 \text{ m}$,中度影响区在 $1\sim 5 \text{ km}$,轻度影响区在 $5\sim 30 \text{ km}$ 。

由于地面风速在一定高度层内的垂直分布为上层高、下层低(中等粗糙度区域 500 m 到地面 3 m 之间的约 500 m 高度,相对风速从100%下降到25%),其风速随高度的降低导致了盐雾浓度上高下低的分布规律。在离海岸稍近的内陆,据观测,从地面以上到 3 km ,盐雾浓度最大;在 $300\sim 200 \text{ m}$ 范围,浓度急

剧减少,地面浓度比最大浓度小 $1\sim 2$ 个数量级。

2.1.2 盐雾的腐蚀类型与机理

在化学腐蚀和电化学腐蚀中,盐雾腐蚀属于电化学腐蚀。由于氯离子粒径很小,当相对湿度大于65%时,任何物体表面都会附着一层微薄水膜,而盐雾中的氯离子是强电解质,具有较强的吸湿性,即使环境湿度不高,也能吸附空气中的微量水分而溶解在金属表面,电离成金属阳离子和非金属阴离子,形成腐蚀的原动力微电池系统。电化学反应产生腐蚀的实质是浸在电解质溶液中的金属表面上进行阳极氧化溶解的同时,还伴随着溶液中去极化剂在金属表面上的还原,其腐蚀过程包括阳极氧化过程、阴极还原过程和电荷的传递过程。通过阴极、阳极反应和电荷的传递使得整个电池体系形成一个回路,阳极过程就可以不断进行下去,从而使金属发生腐蚀。

2.2 腐蚀与温湿度的关系

盐雾腐蚀与空气相对湿度呈正相关,其主要原因是不同湿度在金属表面形成的水膜厚度不同。相对湿度小于60%时,金属表面不易形成水膜,也就难以产生电解质和极化反应,此时盐雾腐蚀主要是由于氯离子的直径小、穿透能力强,通过吸收微量水分对金属表面或进入缝隙、孔洞产生腐蚀。相对湿度大于60%小于70%时,水膜厚度薄、连续性低,腐蚀程度低。相对湿度大于70%后,水膜厚度厚、连续性强,腐蚀程度高。研究表明,大气相对湿度从60%升高为80%,钢铁的腐蚀速率会升高 $1\sim 2.5$ 倍。

盐雾腐蚀与空气温度在一定范围内也呈正关联关系。因为温度在一定范围内可以使盐雾粒径变小、穿透能力增强;同时,较高温度、尤其在环境温度高于 25°C 、相对湿度大于65%的环境条件下,可以促使金属表面水膜的形成、水膜厚度增加和较长时间保持潮湿状态,持续不断地与金属表面产生电化学反应。

3 电子设备的结构与腐蚀特点

3.1 总体结构特点^[4-7]

1) 使用电子或微电子元件器件多、接点与焊点多、接线与线路多,易产生腐蚀的节点或环节多,对众多元器件或线路采取单体防护措施难度大。

2) 元器件和部件多为导体、半导体和金属、合金材料,极易与潮湿盐雾大气产生电化学反应。

3) 由于需要散热和便于检修维护,设备机箱、机柜封闭性设计难度大,潮湿盐雾大气易于侵入设备内部产生腐蚀。

4) 信号采集传输使用金属屏蔽层电缆多,盐雾与潮湿大气易使屏蔽层腐蚀、锈蚀、表面体电阻增大乃至屏蔽层金属网丝破损。

3.2 设计制造工艺特点

1) 元器件及线路设计制造工艺精密、精细,体积小,机械强度和耐腐蚀能力低,盐雾腐蚀产生的影响快,制造工艺上采取腐蚀防护的难度大。

2) 活动接插件多,压接、螺接和弹性接触形式多,微小缝隙多,接触面易磨损、老化、易受大气腐蚀和产生缝隙或沟槽腐蚀;接插件接触面接触电导要求高,表面腐蚀防护难度大。

3) 电子器件与器件之间、线路与线路之间、器件和线路与绝缘体之间间隙小,潮湿盐雾大气易在不同器件之间和导体与绝缘体之间形成微电流通路,形成电化学腐蚀或影响绝缘。

4) 耗电与发热器件多,对盐雾潮湿大气环境敏感性强、腐蚀速度快;使用铜、铝及不同金属合金的连接件多,易产生电偶腐蚀。

3.3 工作运行特点

1) 设备和线路点多线长、位置分散,安装位置环境复杂,腐蚀防护难度大。

2) 众多器件和线路难以按照统一的腐蚀控制指标设计,一个器件或线路出现腐蚀损坏失效,会导致整个设备或系统发生故障、瘫痪乃至酿成重大质量或安全事故。

4 腐蚀控制技术

4.1 材料与结构

选择使用耐腐蚀材料,从设备基材上保证一定的腐蚀防护能力。由于电子设备器件、部件材料主要由产品功能、性能及生产工艺决定,因此耐腐蚀材料选择主要适用机箱、机柜、线路及某些部件壳体

等。采用封闭、密封结构或正压设计,通过对设备的密封、封闭或干燥气体的正压,阻隔或阻挡盐雾与潮湿性气体进入设备内部与部件、线路接触产生腐蚀。

4.2 部件与线路

选用具有防水、防潮、防盐雾、耐腐蚀能力高的部件。浸涂对水蒸气和盐雾隔绝性好,且附着力好,不影响器件工作性能的材料涂层,对器件壳体缝隙、管脚、引线、焊点、接点、线路板等进行封闭,阻隔盐雾与潮湿性气体进入部件内部。焊点、焊缝须充实、平滑,无缝隙、孔隙,螺接、压接、铆接面须平整、紧密,连接体和连接件需先进行表面处理再连接,连接体、连接件材料要相容。对机箱(柜)外部电气插头,使用密封胶(带)、密封袋、可剥离防腐膜等进行密封,阻隔盐雾与潮湿性气体进入插头内部。电气插头由于需要插、拔维护特点,不能采取永久性封闭措施。长线路使用密闭且机械性能好、耐腐蚀的电缆或电线,线路两端使用密封材料进行密封,对有特殊要求和结构的电缆可采取正压气体防护措施;短线路使用带塑料套管并两端加密封材料密封,或使用对盐雾和水蒸气具有防护能力的漆包线。

4.3 结构材料表面防腐

通过对设备箱体、柜体金属结构表面喷涂耐腐蚀材料涂层,隔绝盐雾和潮湿性气体对金属结构表面的直接接触,降低腐蚀性气体的腐蚀。

4.4 防腐介质

通过使用防锈油、气相缓蚀剂、吸湿干燥剂、固体薄膜保护剂等介质,对局部空间内的设备或部位进行保护。其中,气相缓蚀剂是一种常温下能够缓慢挥发、释放出保护性气体的化学物质,在被保护物体表面形成一层保护膜,可以在一定时间、一定空间内降低水蒸气、盐雾等有害气体的腐蚀。

5 腐蚀环境控制技术

5.1 基本原理与适用范围

通过除湿、降温和盐雾滤除,使电子设备工作在无腐蚀或低腐蚀的空气环境,是各种腐蚀防护技术

中最简便、有效、可靠的治本性腐蚀防护措施,适用于各种设备,特别适用于防护要求高、设备数量多且可以集中安放、能够设置较为密封的工作间、单台设备采取防护措施难度大的电子设备。

5.2 温湿度环境控制技术

从腐蚀机理分析可知,高温和高湿环境易产生加速腐蚀,对于一般的化学反应,温度每升高 10°C ,腐蚀反应速度可以提高约2倍,一般金属的临界腐蚀湿度为60%~75%,尤以相对湿度为80%~95%、温度为 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 时,霉菌繁殖生长最为旺盛。降温 and 除湿能有效降低氯离子与金属表面的电化学反应程度,其一般控制指标是:温度为 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为45%~55%。

5.3 分离除盐技术

1) 雾化喷淋除盐技术。空气中的盐雾来自喷淋的水滴,主要依靠雾化的微小水滴与氯离子的相对运动、碰撞、聚集,形成较大的水滴、尘粒,质量增加后沉降于水池中,略小的尘粒、水滴在撞击到挡水板形成水膜后流入水池中。该方案系统设备较多,维护运行较为复杂、费用较高。

2) 离心力分离除盐技术。含盐空气进入旋风分离器后,通过旋风气流对含盐空气产生离心力,使较大、重的盐雾颗粒从气流中分离出来,撞到旋风式分离器外壁面,在壁面上逐渐汇集形成盐雾水膜流下。此种分离器对 $3\sim 5\mu\text{m}$ 以上盐雾粒径的分离效率较高,对 $1\sim 3\mu\text{m}$ 粒径氯离子分离需设置双级或多级旋风分离器。该方案系统设备也较多,维护运行较为复杂、费用高。

3) 超重力分离除盐技术。超重力除盐雾的原理是使含盐空气中的氯离子和水分在转子高速旋转的超重力环境中,经多孔填料产生流动接触,巨大的剪切力将液体撕裂成微米或纳米级的微雾、液膜,连续产生巨大的相界面,极大地提高了相间的传质效率,从而可充分有效地捕捉到空气中盐雾颗粒,排出时水、气分离。该技术除盐效率高,盐雾综合去除率可达99%左右,但设备加工工艺高、结构复杂、费用较高。

5.4 盐雾过滤器技术

1) 原理、特点与适用范围。通过不同密度抗水

型玻璃纤维滤纸滤网、点状分隔或热熔胶分隔技术,将不同粒径的氯离子捕捉并拦阻到滤网上,具有过滤面积大、运行阻力低、抗气流冲击压力高、使用寿命长等特点。适用于地面各种厂房、设备工作间、储存间,海上船舶设备工作舱、货物储存舱等,对盐雾腐蚀防护要求较高的电子设备或系统。

2) 过滤效率。图1为4种不同效率过滤器的过滤粒径与效率曲线,G4为中效过滤器,F6,F7和F9为高中效过滤器。由图1可见:过滤器的过滤效率与盐雾粒径相关,随着盐雾粒径的增大,过滤效率提高。4种不同过滤器的过滤效率有较大差别,G4的过滤效率最低,盐雾粒径在达到 $2.5\mu\text{m}$ 后才达到50%;F6对微小粒径盐雾过滤效率也较低,对 $0.2\sim 1\mu\text{m}$ 粒径盐雾过滤效率只有20%~50%;F7的过滤效率较高, $0.2\sim 0.9\mu\text{m}$ 粒径盐雾过滤效率约50%~85%, $2\mu\text{m}$ 以上粒径盐雾过滤效率可以达到90%以上;F9过滤效率最高, $0.2\sim 0.7\mu\text{m}$ 粒径微细盐雾过滤效率可以达到70%~90%。

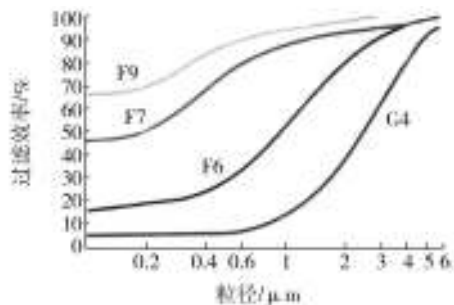


图1 几种典型过滤器效率曲线

Fig. 1 The efficiency curves of typical filters

3) 过滤器风压。为了保持需要的空气流量和过滤网安全,过滤器承受的风压或风阻不能过高,图2是上述几种典型过滤效率的风压曲线。从图2中可见,风压与过滤效率呈正关联关系,过滤效率越高、风压越高。因此,在盐雾过滤系统设计和过滤器选择时,不可单纯追求过滤效率,否则将会带来过滤器风压过高或需要增加较大的过滤器面积、增加系统投资和维护难度。

4) 设计使用要求。除需统筹考虑设计过滤效率和风压外,设计使用时还需要注意以下3点:由于在一定湿度下被过滤器纤维捕集的盐雾颗粒会再次溶解并在过滤器表面形成液膜,盐分会随着气流重新进入空气中,因此降低进入过滤器含盐气体湿度

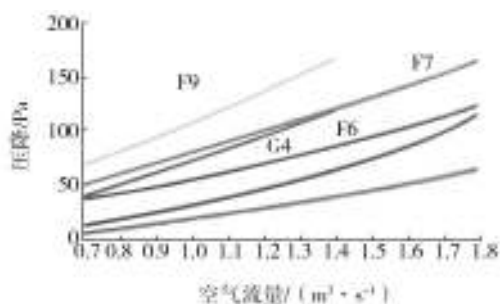


图2 几种典型过滤器风压曲线

Fig. 2 Wind pressure curves of typical filters

和设计选用抗水型玻璃纤维滤纸非常重要,普通过滤器(网)不能设计用于盐雾过滤;需要根据设备体量和数量,设置(或改造)密闭式工作间;需要视环境大气污染程度、设备运行使用频繁度等,定期检查更换过滤器。

6 结语

海洋大气环境对电子设备的腐蚀,是一种严重的、不可回避的客观现实,但同时又是可防、可控的。需要在充分认识海洋大气环境特征和盐雾腐蚀

机理、腐蚀规律基础上,根据不同电子设备的技术特点、腐蚀特点与防护要求,从腐蚀控制策略的顶层设计着眼,从各种具体防护技术与措施着手,通过不断研究试验和工程实践,切实提高对海洋大气环境腐蚀控制的技术理论水平和工程防护能力。

参考文献:

- [1] 金晓鸿. 防腐蚀涂装工程手册[M]. 北京:化学工业出版社,2008:57—65.
- [2] GB/T 15957—1995,大气环境腐蚀性分类[S].
- [3] GB/T 19292.1—2003,金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性分类[S].
- [4] 鲁远曙,左卫. 东南沿海气候条件对电子设备的影响及环境适应性对策[J]. 装备环境工程,2004,1(3):46—51.
- [5] 明波,陈春良,梁斌. 自然环境条件下精密器材的失效机理及其对策研究[J]. 装备环境工程,2005,2(3):75—78.
- [6] 石娇. 耐海洋环境中霉菌腐蚀有机涂层的研究[J]. 表面技术,2011,40(1):56—59.
- [7] 房爱存,解光胜. 微弧氧化技术在铝、镁及其合金海洋环境防腐蚀中的应用[J]. 表面技术,2012,41(1):61—64.

(上接第22页)

合防护体系更值得重视。

参考文献:

- [1] MALIK Anees U, ANDIJANI Ismail, ALMOAILI Fahd. Studies on the Performance of Migratory Corrosion Inhibitors in Protection of Rebar Concrete in Gulf Seawater Environment [J]. Cement and Concrete Composites, 2004(4):235—242.
- [2] MANERA Marco, VENNESLAND Oystein. Chloride Threshold for Rebar Corrosion in Concrete with Addition of Silica Fume[J]. Corrosion Science, 2008(2):554—560.
- [3] RYOU, JAESUK Voigt, THOMAS, et al. Corrosion Resistance of Functionally Graded Coatings on Plain Steel Rebars [J]. Advanced Concrete Technology, 2005(2):69—75.
- [4] MANNA M, BANDYOPADHYAY N. Effect of Plating Time for Electroless Nickel Coating on Rebar Surface: an Option

for Application in Concrete Structure[J]. Surface and Coatings Technology, 2008(4):3227—3232.

- [5] 周婵,刘玉军,萧弘辉,等. 表面防护技术对混凝土结构耐久性能的影响[J]. 装备环境工程, 2010, 10(4): 97—100.
- [6] 吴金岳,吴松贵,徐旭峰,等. 环氧涂层钢筋及其应用[J]. 腐蚀与防护, 2004(3):105—108.
- [7] 张鉴清. 电化学测试技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2010.
- [8] 张云莲,张震雷,史美伦. 混凝土中钢筋锈蚀电化学测量方法的介绍[J]. 材料保护, 2005, 38:73—74.
- [9] RYOU J, SHAH S. Detecting Corrosion Resistance of Coated Steel Rebars by Electrochemical Technique (EIS)[J]. Surface Review and Letters, 2006(8):345—349.
- [10] 伍远辉,罗宿星,付盈盈,等. 氯离子环境下混凝土钢筋的电化学阻抗谱特征[J]. 表面技术, 2011, 40(3):65—67.