

# 岛屿环境下车辆金属材料的腐蚀及防护对策研究

徐安桃<sup>a</sup>, 李锡栋<sup>b</sup>, 周慧<sup>b</sup>

(陆军军事交通学院, a. 投送装备保障系; b. 学员五大队研究生队, 天津 300161)

**摘要:** 通过介绍国内外岛屿腐蚀研究现状及我国南部岛屿的环境特点, 分析了不同状态下车辆装备腐蚀的情况和对应的影响因素, 并提出了实时监控车辆装备腐蚀状态、采用新的涂层技术和材料、采取阴极保护和科学封存车辆装备等岛屿环境下车辆装备防腐对策。

**关键词:** 岛屿; 车辆装备; 腐蚀

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2018.07.014

**中图分类号:** TJ07; TG174

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2018)07-0066-04

## Corrosion and Protection of Vehicle Metals in Island Environment

XU An-tao<sup>1</sup>, LI Xi-dong<sup>2</sup>, ZHOU Hui<sup>2</sup>

(a. Delivery Equipment Support Department; b. Postgraduate Training Brigade, Fifth Team of Cadets, Army Military Transportation University, Tianjin 300161 China)

**ABSTRACT:** In this paper, corrosion of vehicle equipments under different conditions and the corresponding influencing factors were analyzed by introducing current research status of island corrosion at home and abroad as well as environmental characteristics of islands in southern China. This paper proposes to have real-time monitoring on corrosion condition of vehicles and equipment, adopt the new coating technology and materials, take the cathodic protection, and scientific seal island environment such as vehicles equipped vehicles and equipment anticorrosion measures.

**KEY WORDS:** island; vehicle equipment; corrosion

随着中国海洋强国战略的提出, 海洋的重要性日益提升, 而岛屿作为海洋中一种特殊的地理环境, 其地位和作用也受到越来越多的关注。我国南部沿海岛屿作为祖国的南大门, 其重要性不言而喻, 维护南海诸岛的权益是我军肩负的最重要使命<sup>[1-2]</sup>。南海诸岛正处在典型的亚热带海洋性气候区, 高温、高湿和高盐雾是该区域大气环境的主要特点, 使得部署在岛屿上的军用武器和装备受到腐蚀的影响很大<sup>[3-4]</sup>。车辆装备作为一种特殊的作战单元, 不仅承担着运输和保障任务, 更是众多武器装备的运载和作战平台。因此, 研究我国南部岛屿环境下车辆装备腐蚀行为具有极

其重要的意义。

## 1 国内外岛屿环境腐蚀研究现状

### 1.1 国内研究情况

长期以来, 我国在设计、制造和生产常规武器装备方面, 主要在以本土防卫作战的战略原则的指导下完成, 主要参照的大气基础环境为大陆性气候环境, 因而忽视了那些部署在我国东南沿海热带、亚热带地区岛屿环境条件下的武器装备, 因受到严酷海洋大气环境的影响而产生严重腐蚀的问题。这势必会影响到

我国在南部沿海地区战略目标的实现。近年来，随着岛屿海洋大气环境下腐蚀问题的不断出现，国内相关学者开始将目光聚焦在岛屿环境下装备腐蚀问题的研究上。

刘孝国<sup>[5]</sup>等研究了热带海岛地区主要的气候热点以及影响兵器腐蚀的主要因素，针对我国常规兵器在热带海岛地区的腐蚀问题，分析了热带岛屿环境下常规兵器腐蚀特点和损伤类型，阐明了我国常规兵器防腐蚀技术应用情况。我国虽然已提出了“两南”的战略方针，但是在重大装备研制的过程中缺少对未来战争环境条件应有的预测，并没有提出有效的克服热带海岛地区腐蚀问题的技术方案，也没有提出对于强热带海岛地区用常规兵器腐蚀问题的建议及应对对策。李良春<sup>[6]</sup>等针对海岛部队弹药腐蚀的具体情况，总结出了影响弹药腐蚀的自然诱因和协同诱因，在防腐模式和包装技术方法上提出了创新理论，设计了“双重设防、外阻内吸”的防腐蚀结构方案，并指出并行防腐包装技术将成为我军在海岛进行弹药防腐的重要模式，提高我军在海岛地区弹药保障能力，为岛屿的局部战争提供有力的支撑。杜仕国<sup>[7]</sup>等研究了作为弹药主要金属元件的 D60 钢在热带海岛地区的腐蚀行为，通过模拟热带海岛环境高辐射、高盐雾的条件，在实验室进行 D60 钢的腐蚀试验，并利用红外光谱法对试验产生的腐蚀产物进行分析。结果表明，随着腐蚀的进行，腐蚀产物也产生相应变化，从腐蚀初期的  $\gamma$ -FeOOH 和  $\delta$ -FeOOH，到中期出现  $\alpha$ -FeOOH，后期又衍变成  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，加入 NaCl 盐粒将会加速基体金属的腐蚀过程。

虽然热带岛屿环境下的腐蚀问题已经引起我军重视，但是，研究大多集中在常规兵器和弹药，没有覆盖到所有装备，而且防腐蚀技术匮乏。因此，针对岛屿环境下的腐蚀问题，我军应该高度重视，积极研究新的岛屿防腐蚀技术，完善防腐蚀制度和体系。

## 1.2 国外研究情况

腐蚀问题一直是外国学者研究中的一项重点工作，为应对腐蚀问题，美国国防部成立了有专人负责处理美军腐蚀防控工作的领导机构。通过调查显示，近 5 年，美军在武器装备腐蚀防控领域投入的年度资金均在 200 亿美元以上，2014 年共投入 219 亿美元。由此可见，美军对于腐蚀问题十分重视。对于热带岛屿腐蚀问题，美军也作了相关的研究。

在 2004 年，美军在夏威夷群岛地区针对车辆装备和武器系统所使用的金属材料进行腐蚀行为研究。此研究由美国陆军坦克自动化与武器司令部（TACOM）发起，并在环太平洋地区腐蚀项目（PRCRP）的支持下，开展为期 3 年的海洋大气暴露实验，并于 2007 年 6 月得到第一批实验结果。实验结果表明，虽然实验室测试结果与实际环境有一定的

相关性，但是传统的汽车加速腐蚀试验指标不足以完全评估车辆装备在沿海岛屿情况下的腐蚀行为。另一项研究来自美军十年世界军事操作环境腐蚀检测总结结果：美军在纽约长岛地区利用腐蚀传感器研究了军用飞机腐蚀速率与清洗时间间隔的关系。长岛地区三面环海，属于典型的岛屿大气环境，气候环境恶劣。研究表明，腐蚀传感器可以提供“硬性”的指标，来确定军用飞机的清洗时间间隔。这对于军用飞机在长岛海洋大气环境下的维护与保养具有重要意义。

美军对于车辆装备腐蚀问题研究起步较早，腐蚀控制组织机构比较完善，我军应学习和借鉴美军先进的防腐蚀技术和手段，更好地解决我军车辆装备的腐蚀问题。

## 2 我国南部岛屿环境的特点

我国南部沿海诸岛正处于亚热带海洋性气候区，其主要特点为高温、高盐雾和高辐射，属于典型的严酷大气腐蚀环境。以南海四大群岛之一的西沙群岛为例，其年平均温度约为  $27\text{ }^\circ\text{C}$ ，全年符合湿热带标准的天数有 7 个月，一年中无明显的四季区别。由于雨量充沛，因此其全年平均相对湿度达 77.4%，年表面润湿时间为 5000~6000 h/a，属于 ISO 等级中的  $\tau_4$  等级<sup>[8-9]</sup>。南海诸岛地属低纬度，由于距离赤道比较近，因此，太阳投射角度大，光照充足，早晚区别不大，年日照时间在 2600 h 左右，太阳辐射量高达  $1600\text{ MJ/m}^2$ 。此外，由于四面环海，岛屿环境下  $\text{Cl}^-$  沉积速率较高，年平均沉积速率达  $112.68\text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，属于 ISO 中的  $\text{S}_2$  等级<sup>[9]</sup>。由此可见，我国南部沿海诸岛，地理位置特殊，气候环境恶劣，部署在岛屿上的军事装备将受到严酷大气环境的挑战。

## 3 车辆腐蚀情况分析

### 3.1 日常训练状态

车辆装备作为一种最广泛、数量最多的基础作战单元，是开展日常军事训练的重要载体。随着南海局势的日益紧张，军事训练也变得常态化，岛屿上部署的车辆装备在军事训练中将面临严重的腐蚀挑战。其中高辐射和高盐雾是影响日常训练状态下车辆装备腐蚀的重要因素。岛屿环境中的强辐射是车辆装备表面涂层老化的主要影响因子，紫外线的能量足以破坏涂层的化学键，导致有机涂层中产生过氧化物和亲水小分子，引发涂层的老化和失效。岛屿由于四面环海，空气中盐雾的含量常年居高不下，并且风力越大，距离海岸空气中的盐雾含量越高。盐雾是一种电解质，可以潜入到车辆装备零件内部，形成局部腐蚀原电池，直接造成车辆装备的腐蚀<sup>[11]</sup>。其次，车辆的训练过程中，受到风力和降水的侵蚀，这对于车辆装备的

腐蚀影响也不容忽视。

### 3.2 泛水状态

海水是岛屿环境下车辆装备面临的一种最常见的腐蚀环境,由于作战和训练的需要,车辆要面临泛水作业,此时腐蚀问题也随之而来。海水是一种含盐浓度很高的电解质溶液,是以一种天然的腐蚀剂介质,海水中大量的盐粒子,沉积在车辆破损处的金属表面,海盐进一步吸水潮解,促使金属进一步腐蚀。车辆装备在泛水过程中,由于潮汐的作用,不断受到海水的冲击和拍打,使得车辆表面涂层因应力而产生疲劳。海水中夹杂着微生物和污染物,附着在车辆表面,使车体产生局部腐蚀,进一步加速车辆的腐蚀进程。因此,海水是车辆装备泛水作业状态下主要的腐蚀因素。

### 3.3 贮存状态

部署在岛屿上的车辆装备除训练和作战外,大多数时间处于贮存状态,但由于岛屿恶劣的大气环境,使得车辆装备的关键部位受到腐蚀的影响依然很大。其中高温和高湿是影响贮存状态下车辆装备腐蚀的重要因素。南海诸岛地处热海洋带气候区,常年高温,而高温对于车辆表面金属及涂层的影响极大,温度越高,化学反应速率越快,金属及涂层老化过程越发剧烈。实验表明,温度每升高10%,腐蚀速度约提高1倍。此外,南部岛屿地区气候潮湿,车辆在贮存状态下,车体表面会覆盖一层水膜。随着时间的推移,水膜将通过各种缺陷渗入涂层,使涂层产生膨胀和收缩,并最终导致涂层失效脱落。因此,高温和高湿是车辆贮存状态下产生腐蚀的主要因素<sup>[12]</sup>。

## 4 岛屿环境下车辆装备防腐对策

### 4.1 实时监控车辆装备腐蚀状态

腐蚀是一个微观而且缓慢的化学进程,但其对于车辆装备寿命的影响却是巨大的。车辆装备腐蚀初期,通过肉眼很难发现腐蚀问题的存在。当出现宏观腐蚀问题时,问题已经十分严重,此时进行补救措施为时已晚。因此,实时监控车辆装备的腐蚀状态是十分有必要的。目前,比较成熟的腐蚀检测技术有:电阻探针、线性极化探针、交流阻抗探针和超声检测等<sup>[13-16]</sup>。通过对车辆腐蚀状态的监控,实时了解车辆腐蚀进程,并对腐蚀情况进行分析评价,采取“适情维修”的防护措施,不仅可以节约腐蚀成本,提高工作效率,更能有效地解决车辆装备腐蚀问题。

### 4.2 采用新的涂层技术和材料

在车辆装备表面涂装涂层是隔绝环境中腐蚀介质侵蚀的最直接方式。岛屿环境下,高盐雾和高辐射

是影响车辆表面涂层防护性能的主要因素,大多数涂层在设计之初,并没有考虑到岛屿环境的特殊性,涂层在岛屿大气的侵蚀下失效较快。因此,针对岛屿环境的特点,采用新的涂层技术和材料是非常重要的。目前,应用前景较好的涂层技术有热喷涂技术和纳米材料技术<sup>[17-18]</sup>。应用热喷涂技术可以大大提高车辆关键部件的防腐能力,延长部件的寿命,野战淋浴车等特种装备应用热喷涂技术后防腐能力大幅提升,反馈良好。纳米材料技术是将纳米粉体以一定比例添加到涂层中,从而提高涂层抗辐射能力,使车辆表面涂层免受辐射的侵害。

### 4.3 采取阴极保护

针对岛屿环境下车辆装备需要泛水作业的状况,可采用电化学阴极保护法减缓海水对车辆造成的腐蚀。目前,比较常用的阴极保护方法有牺牲阳极的阴极保护法和外加电流法<sup>[19]</sup>。对于车辆装备的使用情况而言,外加电流法相对复杂,更适合牺牲阳极保护法。牺牲阳极保护法是利用不同金属的化学活泼性质不同,采用更活泼的金属如铝及铝合金作为阳极与需要保护的金属相接,形成宏观腐蚀电池,通过牺牲阳极金属来实现对车辆关键部位的保护。阴极保护法不仅技术可靠,而且操作简便,可以有效地抑制局部腐蚀,减缓海水对车辆装备的腐蚀。

### 4.4 科学封存车辆装备

对于岛屿环境下车辆装备的贮存,应尽量避免露天存放,并采取科学严格的封存保护,以减缓车辆装备的腐蚀速度。封存之前应对车辆装备进行清洁和保养,对附着在车辆表面的污染物彻底清理,及时修补车身破损处的漆面。为提高封存效果,可以采用整装封存和局部封存相结合的方式,对与车辆装备关键部位及零部件进行局部防腐处理。尽管如此,腐蚀是不可避免的,因此应根据车辆装备腐蚀状态,及时对车辆装备进行保养和补封。

#### 参考文献:

- [1] 韩刚. 保卫东海与南海,东部与南部战区责任重大[J]. 中国军转民, 2016(6): 79-82.
- [2] 殷克东, 卫梦星, 张天宇. 我国海洋强国战略的现实与思考[J]. 海洋信息, 2010, 26(2): 38-41.
- [3] 赵世宜, 霍东芳, 任杰, 等. 高温高湿环境对车辆装备的影响及防护对策[J]. 装备环境工程, 2012, 9(1): 72-74.
- [4] 徐安桃, 张睿, 张振楠, 等. 车辆装备海上投送过程中的腐蚀问题探讨[J]. 装备环境工程, 2017, 14(10): 69-73.
- [5] 刘国孝, 刘国忠, 方晓祖, 等. 常规兵器在热带海岛地区腐蚀问题的探讨[J]. 兵器材料科学与工程, 2016(3):

- 131-134.
- [6] 李良春, 刘仲权, 谢关友. 海岛部队弹药并行防腐蚀包装技术[J]. 腐蚀与防护, 2009(8): 584-585.
- [7] 杜仕国, 孟胜皓, 闫军, 等. D60 钢在模拟海岛环境中腐蚀产物的红外光谱研究[J]. 装备环境工程, 2015, 12(1): 10-14.
- [8] 何俊, 刘丽红. 几种有机硅电子灌封材料西沙热带海洋大气环境效应研究[J]. 环境技术, 2017, 35(2): 45-49.
- [9] 崔中雨, 肖葵, 董超芳, 等. 西沙严酷海洋大气环境下紫铜和黄铜的腐蚀行为[J]. 中国有色金属学报, 2013(3): 742-749.
- [10] 李晓刚, 董超芳. 西沙海洋大气环境下典型材料腐蚀/老化行为与机理[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [11] 孙建亮, 任凯旭, 张瑾. 汽车大气腐蚀/老化试验标准分析[J]. 环境技术, 2017, 35(6): 83-86.
- [12] 李有东, 钱立军, 徐椿. 沿海地区军用车辆腐蚀与防护对策[J]. 公路与汽运, 2009(1): 17-19.
- [13] 邹国军, 陈澜涛, 郑弃非, 等. 用电阻探针法研究水环境中钢筋混凝土的腐蚀行为[J]. 材料保护, 2007, 40(4): 11-13.
- [14] 白丹. 在线腐蚀监测探针的电化学相关性探究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- [15] 林昌健. 扫描电化学微探针技术的发展及其在局部腐蚀研究中的应用[C]// 中国化学会第十七次全国电化学大会大会报告. 苏州: 中国化学会, 2013.
- [16] 蔡国宁, 章炳华, 严锡明. 超声导波技术检测管道腐蚀的波形特征与识别[J]. 无损检测, 2007, 29(7): 372-374.
- [17] 华绍春, 王汉功, 汪刘应, 等. 热喷涂技术的研究进展[J]. 金属热处理, 2008, 33(5): 82-87.
- [18] 周瑞发. 纳米材料技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [19] 刘国良. 阴极保护方法的应用[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2006, 23(6): 58-61.