

特约专栏

# 美国海军装备腐蚀预防与控制战略研究

方志刚, 曹京宜, 冯亚菲, 褚广哲, 赵 伊

(中国人民解放军 92228 部队, 北京 100072)

**摘 要:** 海军装备是装备体系中腐蚀防护与控制难度最大、要求最高的, 其腐蚀预防与控制水平代表着一个国家在海洋装备材料及腐蚀控制技术方面的发展水平。从美军战略转变对海军装备维护和腐蚀控制需求的影响的角度出发, 重点剖析了美国海军腐蚀预防与控制战略的发展历程、机制改革以及主要措施等, 指出了美国海军已将装备腐蚀预防与控制作为一项战略工程进行实施。从适应海军与海军装备战略转型、适应新体制以及适应海军装备转型 3 个方面提出了开展我国海军装备腐蚀预防与控制工作的意见建议, 对我国海军装备腐蚀预防与控制技术领域的发展有重要启示。

**关键词:** 腐蚀; 控制; 装备; 战略; 海军

**中图分类号:** E815 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3962(2020)03-0169-05

## The Strategy Research on Corrosion Prevention and Control of U. S. Navy Equipment

FANG Zhigang, CAO Jingyi, FENG Yafei, CHU Guangzhe, ZHAO Yi

(Unit 92228 of the Chinese People's Liberation Army, Beijing 100072, China)

**Abstract:** The corrosion prevention and control of naval equipment is the most difficult and demanding in the equipment system, and the level of corrosion prevention and control represents the development level of a country in marine equipment materials and corrosion control technology. From the perspective of the influence of U. S. military strategic transformation on naval equipment maintenance and corrosion control requirements, this paper focuses on the development history, mechanism reforms and main measures of U. S. Navy corrosion control and prevention strategy. It is pointed out that the U. S. Navy has implemented the equipment corrosion prevention and control as a strategic project. Some opinions and suggestions are put forward on how to carry out the corrosion prevention and control of our naval equipment from three aspects in this paper: adapting to the strategic transformation of navy and naval equipment, the new system and the transformation of naval equipment. The opinions and suggestions have important implications for the development of our naval equipment corrosion prevention and control technology.

**Key words:** corrosion; control; equipment; strategy; navy

### 1 前 言

美国作为当今世界上海军装备最发达的国家, 已建立起完善的海军装备体系。以航母战斗群为例, 其航母战斗群不仅数量庞大、技术遥遥领先, 且一直维持 10 个以上的航母编队, 庞大的航母编队奠定了二战后美国海军牢固的海上霸主地位, 这对保障美国本土安全和海外利益发挥了至关重要的作用。从国家战略出发, 美国长

期实施 300 艘以上舰艇、10 个以上航母编队的计划, 维持如此高的装备在航率和舰船在位率, 装备腐蚀预防与控制起到了关键作用<sup>[1]</sup>。

尽管美国海军在其近百年的海军发展史上积累了大量的经验和教训, 但为保证海军装备的安全性、“可用”率、战斗力和快速反应能力而耗费巨资进行的维护保障和腐蚀控制工作, 仍然是美国海军所要面对的重大问题。

腐蚀防护研究者往往热衷于对一个典型科学问题进行研究, 装备总体设计者关注的是全系统全寿命腐蚀控制的综合优化, 高层管理者站在战略高度, 追求的是能够实施国家战略的总实力。因此, 腐蚀和材料科学研究人员应该站位更高、全局性更强地深入研究美国海军装备维护保障体制、腐蚀控制技术发展历程以及相关技术

收稿日期: 2019-06-28 修回日期: 2020-01-14

基金项目: 国防重点研发计划项目 (NAJ201701)

第一作者: 方志刚, 男, 1966 年生, 研究员,

Email: 13701026773@163.com

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.201906037

和战略的改革创新<sup>[2,3]</sup>，这对正确把握海洋装备腐蚀控制的发展方向和发展重点会起到积极的推动作用，同时对具体腐蚀防护技术研究人員正确理解装备腐蚀预防与控制的目的也会有一定的参考和借鉴作用。

## 2 美国海军装备腐蚀预防与控制战略

### 2.1 战略形成

美国海军对于装备维护和腐蚀控制的指导方针，一直以来都受到其战略演变的深刻影响，经历了从二战期间为“打赢战争”大量制造装备并因腐蚀失效而快速退役，到冷战时期“重建造、轻维护、腐蚀从属”再到目前将装备腐蚀控制上升至国家战略高度的转变。同时，对腐蚀预防与控制对提高舰队快速反应能力、降低国防总体成本之重要性的认识程度，也随着历次战争的洗礼而不断加深和强化。

腐蚀是造成军用装备及基础设施维护成本增加的首要因素，是军用装备及基础设施全寿命周期内始终存在的普遍问题，美国国防部认为腐蚀预防与控制必须作为一项长期的国家战略统一实施。自 2003 年底开始，美国国会相继颁布了一系列公共法案，将国防装备特别是以航母为主的海军装备的腐蚀预防与控制提升至国家战略高度，从体制、政策和技术等多方面进行统筹考虑<sup>[4-6]</sup>。2004 年，美国国防部公布了面向全国武装力量的《腐蚀预防与减缓战略规划》<sup>[7]</sup>，其宗旨在于：将腐蚀预防与控制贯穿于从装备采购到维护的全寿命周期，降低维护成本，减小腐蚀对于军用装备安全和战备的影响。

### 2.2 顶层设计

美国国会从核算寿命周期成本、建立腐蚀信息管理系统、引入评估评价机制、设立军兵种腐蚀主管、增加科技投入以及重新组建腐蚀政策和监督办公室等 6 个方面进行了全军装备腐蚀控制战略层面的顶层设计。为了方便实施《腐蚀预防与减缓战略规划》，美国国防部重建并调整了腐蚀政策与监督办公室；设置了国家军事装备腐蚀预防与控制顶层机构——国防部腐蚀预防与控制集成开发团队，负责起草腐蚀预防与控制实施纲要——《腐蚀预防与控制计划指导书》<sup>[8]</sup>；分别从制度、管理和技术 3 个层面进行了改革。

### 2.3 主要措施

美国国防部腐蚀政策和监督办公室在《腐蚀预防与减缓战略规划》中提出了关于腐蚀控制和装备更新的办法，主要包括<sup>[7]</sup>：① 加速装备现代化改装，使在役装备更换频率和速度增加；② 排查装备利用率，关闭利用率较低的设备，减轻装备维修负担；③ 将腐蚀控制写进采购合同范本中，作为采办和后勤保障的明确部分；④ 规范标

准制定和相关认证的流程；⑤ 设立评审专家委员会，与国防采办局接轨并评价腐蚀控制计划及实施情况；⑥ 组织多级别的腐蚀预防和控制小组，针对性地提出问题并制定解决方案；⑦ 更新相关条令和文件，反映最新的腐蚀预防与控制政策和要求；⑧ 制定标准，规范装备采集和腐蚀分析过程的相关费用、战备及安全等；⑨ 制定相关的定量目标和工作指标，评价腐蚀控制工作所取得的成效，其中包括防腐蚀工程的投资回报率；⑩ 提出并论证为了实现目标所需的相关资源；⑪ 建立相应机制，协调和监督军兵种之间和军兵种内部的腐蚀预防和减缓工作；⑫ 建立经验共享机制，基于网络实现经验的迅速、高效交流和共享；⑬ 配合国防科学委员会腐蚀控制巡视组，评估现行腐蚀预防与控制工作。

## 3 分析与思考

### 3.1 谁在关注装备腐蚀问题

美国总统关注装备腐蚀问题。腐蚀会引起装备快速反应能力的降低和维修费用的大幅增加，同时“经常性修理”也会造成可用装备总量的减少。据说“9·11 事件”发生后美国总统第一反应就是询问“我们的航母在哪里”，由此可见，一个国家最高军事指挥官最关注的就是国家有多少军事力量可用以及这其中最核心的装备状况，这也是对“装备是用来打仗的”一个最好的诠释。2002 年 12 月 2 日，美国总统签署了公共法《2003 年度国防授权法案》<sup>[9]</sup>，其中有一项是“军用装备及其基础设施的腐蚀控制与减缓”，其规定总审计署部门要对国防部的武器装备腐蚀问题进行定期监控和评估。

美国审计和问责部门关注装备腐蚀问题。2003 年，美国总审计署在呈交给美国国会的《减少装备腐蚀费用并提高战备完好性的契机》报告中，指出了环境腐蚀对武器装备的战备性和安全性造成了巨大影响，估计出每年因装备腐蚀会造成 200 亿美元的直接损失，这成为了武器系统全寿命期费用的最大支出部分；此外，腐蚀还会增加装备的停机时间，导致战备状态完好性降低，例如，2001 年美国国防部调查发现 2/3 的军用设施存在严重的腐蚀缺陷问题，以至于这些装备无法满足战备要求。在现代战争史上，装备腐蚀问题造成了许多安全事故，如 1980~1990 年间，由于战斗机电子接插件遭到腐蚀，造成油阀意外关闭，导致几架 F-16 战斗机坠毁；进入 21 世纪后，在一些 F-14 和 F-18 战斗机起落架上发现有腐蚀开裂问题，这将有可能引发极为严重的安全事故<sup>[10]</sup>。另外，国防部、各军种之间以及各军种内部也缺乏有效的方法预防和减缓腐蚀，一方面，国防部没有制定腐蚀预防和减缓的战略计划；另一方面，各军种之间也没有制

定或没有实施这种计划；再者，各军兵种内部同样没有设立装备腐蚀控制的相关机构，导致装备及基础设施的腐蚀问题无法得到有效控制。

美国国会关注装备腐蚀问题。美国国会要求国防部组织相应的负责人和机构，并使其研究长期的腐蚀控制战略，包括<sup>[11]</sup>：进一步加强腐蚀控制；在通用装备、基础设施和作战单元中，使用新腐蚀控制技术并统一试验和鉴定；在国防部内部实现装备腐蚀控制信息的采集和共享；设立腐蚀控制专项以及各种专题研究项目。

美国国防科学委员会关注装备腐蚀问题。2004年10月，美国国防科学委员会通过《国防科学委员会针对腐蚀控制问题的报告》向国防部提出如下建议<sup>[12]</sup>：从经济根源上保证装备腐蚀问题得到重视，采办过程中重点强调和关注装备的寿命周期成本而不是前期成本；根据标准建立统一腐蚀信息管理系统，在国防部实施全面、准确的腐蚀数据报告系统；利用统一的评价机制，对所有武器系统装备进行全面评估和监测；在每个军兵种中设立装备腐蚀信息主管，负责监督、报告并全权管理腐蚀专项投资；增加在腐蚀控制研究中的科研投入，并开展腐蚀问题聚焦研究；重组负责腐蚀政策制定和监督的办公室部门。

美国国防部关注装备腐蚀问题。美国国防部具体部署并组织实施工装腐蚀控制计划。2004年11月，美国国防部腐蚀政策和监督办公室完成并发布了《腐蚀预防与减缓战略规划》，这其中包括了一系列装备腐蚀控制计划，如：装备改换装计划、进行机构改革并设置专家委员会、设置定量定性评价方法和认证流程并实现信息共享等。此外，腐蚀政策和监督办公室还会不定期更新《腐蚀预防和控制计划指导书》<sup>[13]</sup>。

各军兵种同样关注装备腐蚀问题。各军兵种负责执行和实施装备腐蚀控制规划和相关计划，腐蚀政策和监督办公室的腐蚀控制集成产品组负责审议装备腐蚀控制研究项目，拓宽项目的经费渠道，提高对项目的支持力度，并对项目的经济前景进行评估，然后由各军兵种具体实施。

### 3.2 为什么要抓好装备腐蚀问题

美国从总统、总审计署、国会、国防科学委员会、国防部以及各军兵种管理部门至不同层级的技术部门，均从不同视角对装备腐蚀问题有不同的关切，总的来说，腐蚀对装备、军队有很大的危害。

(1) 腐蚀会导致重大安全性事故隐患。显性的隐患有管路腐蚀漏水漏油引发淹舱、毁坏设备和火灾事故；隐性的隐患有腐蚀使得船体(艇体)结构减薄、飞机机体结构强度变弱和装备安全系数下降。

(2) 腐蚀会降低装备生命力。例如，某船曾出现海水冷却管路被腐蚀堵塞(海洋生物与腐蚀产物)，造成武器系统不能正常工作，致使重大训练任务延误24 h；某型号舰船武器电子设备的海水冷却管路因腐蚀和海洋生物污损造成冷却水压力普遍过低，导致该武器电子设备不能正常工作，不得不另外加装海水冷却泵来提升其海水冷却能力。

(3) 腐蚀会引起装备完好性下降。例如，2001年美国海军由于2/3的军用设施存在严重腐蚀缺陷而无法满足战备要求。美国海军用“不可用”指标来定义装备完好性，他们认为装备只能是处在“可用”和“不可用”两种状态。美国海军对装备“不可用”天数的统计已进入装备管理常态化，据统计，2010~2012年间，单舰因腐蚀原因平均“不可用”天数为38.2 d，超过全年日历天数的10%，海军飞机因腐蚀原因“不可用”天数占到了全年日历天数的22.4%。腐蚀控制的目标之一就是“将装备的“不可用”天数逐步减少。

(4) 腐蚀会增加维修工作量且花费巨大。资料显示，2014年美国海军腐蚀预防与控制预算为75亿美元，占维修经费的1/4~1/3，是装备保障过程中除人员费用以外开支最大的一项<sup>[14]</sup>。

(5) 腐蚀会降低备战反应速度。美军认为，在联合作战装备保障原则中快速反应是基石。快速反应强调的是在准确时间和正确地点提供精确保障，联合作战指挥官有权对其他原则(如节约性原则)做出必要的牺牲。有腐蚀就需要经常性维护、修理，从而很难达到“准确时间”的快速反应要求，会对联合作战能力产生重大影响。

## 4 启示

美国海军将装备腐蚀控制作为装备维修保障力量建设的一个重要组成部分，从国家战略高度开展战略布局、优化整合腐蚀预防与控制资源、制修订腐蚀控制法规条令、建立腐蚀控制管理体系和执行机构，完善并强化腐蚀控制标准体系<sup>[15]</sup>，加强腐蚀防控技术的研究及经费投入，强化信息交流和共享，注重人才培养，发挥专家经验，加快成果转化与应用。随着我国海军建设的整体转型和装备的跨越式发展，对我国海军装备腐蚀控制工作提出了更新、更高的要求。

### 4.1 积极适应海军与海军装备战略转型，加强装备腐蚀控制战略研究

(1) 尽快开展海军装备腐蚀控制战略论证研究。国防装备属于国家所有，海军装备是国防装备的重要组成部分，腐蚀与腐蚀控制涉及可用装备总量、装备快速反应能力、全海军装备维修经费等多方面，无论是处在装

备管理层还是技术层,都迫切需要站在国家高度关心关注海军装备腐蚀控制,并从战略高度系统论证海军装备腐蚀控制技术的发展。

(2)研究海军装备腐蚀控制技术如何与国家基础材料发展战略相结合。材料是腐蚀控制的基础,海军装备材料耐腐蚀性能的提高必须依靠国家支持,靠个人、团队或者哪个型号的研制是难以胜任的,需要将海军装备材料作为国家基础材料发展战略的重要内容去抓。

(3)研究海军装备腐蚀控制技术如何与国家海洋发展战略相结合。海军装备发展是国家海洋发展战略的核心组成部分,应该在国家海洋发展战略布局大条件下,开展海洋环境数据体系建设,以及海洋环境条件下装备材料腐蚀试验,单纯依靠海军力量是难以完成的,也是得不偿失的。

(4)研究海军装备腐蚀控制技术如何适应海军战略转型。随着海军战略转型,海军要从近海走向远海、浅海走向深海,成为蓝水海军,海军装备的环境适应要求发生了很大变化,因此必须进一步研究远海、深海的装备腐蚀控制问题。

(5)研究如何站在国家高度进行国防装备腐蚀控制技术整体布局。腐蚀控制是一项基础技术,也是一项军民通用技术,应该做到国家、各军兵种和海军各型武器装备多层面的资源、信息和技术的共享。

#### 4.2 积极适应新体制,加快装备腐蚀控制系统工程模式转变

随着各层面体制改革进入到深水区,需要快速适应新体制,将装备腐蚀控制作为复杂的系统工程来抓,实现管理模式的转变。

(1)推进装备腐蚀控制管理模式转变。需要从“自下而上”的技术推动转变发展为“自上而下”的需求牵引。这点可以充分借鉴美军装备腐蚀控制的发展历程和经验,总统、国会从国家需求高度来关注全国军事装备的腐蚀与腐蚀控制问题。我国也应该将海军装备的腐蚀预防与控制作为一项战略工程来实施,将装备腐蚀控制材料和工艺技术的发展作为海军装备发展的一个重要组成部分。

(2)算好腐蚀经济账。将技术上的先进性、可靠性与经济上的合理性、节约性进行辩证统一。从全寿命费用最优角度以及国家资源、国家战略角度进行选材和设计。

(3)在型号层面进行装备腐蚀控制项目的顶层设计。从装备研制初期,就需要对装备论证、设计、制造、使用、维护和修理等全过程进行统筹考虑,实现全员、全方位、全过程、全寿命的腐蚀控制。

(4)抓好装备研制、服役全过程的腐蚀控制。每个

型号装备的总工程师要从全局高度和全寿命周期角度合理分配军方提出的腐蚀控制技术指标,要对全系统、全过程、全寿命腐蚀控制技术进行协调和把控;严控制造过程质量,减少材料固有耐蚀性的损失;使用过程中要延缓装备腐蚀发生,并对相关保护装置定期进行检查、维护和保养;修理时要注意材料和工艺的继承性和相容性。

(5)改革管理机构的工作流程和要求。需要建立以装备腐蚀控制为目的的管理程序和要求,对装备从规划计划、型号立项到设计、制造、试验、交付的每个过程进行监督检查,明确各层级人员在腐蚀控制过程中的职责、原则和具体任务,实现对装备的全过程腐蚀控制。

#### 4.3 积极适应海军装备转型,加速装备腐蚀控制能力建设

腐蚀预防与控制技术经过几十年的发展,我国海军装备腐蚀问题得到了有效控制,但是随着舰艇在战备过程中航行得更远、下潜得更深、寿命要求更长以及更多型号武器装备的发展,新的装备腐蚀问题又在不断涌现,借鉴美国海军经验,我们应该从思想、管理和技术3个方面进行探索<sup>[16-22]</sup>。

在思想方面,管理、技术和研究人员都要从国家高度、体系层面以及装备总体角度等方面思考,需要紧紧围绕提高战斗力和“打赢”来提出问题、解决问题。特别是科学研究人员,要深刻认识到我国在腐蚀预防与控制的工程应用技术方面与国外的差距,如果不能从解决实际工程问题的角度出发,单纯发表“漂亮”文章只是好看,“国之重器”技术水平依然上不去。

在管理方面,需要开展的工作主要有:①建立各层级特别是海军级的管理机构,并使其具备协调各行业、各业务机关的能力;②建立相应管理机制,协调和监督海军装备的腐蚀预防和减缓项目;③设立专家委员会,对腐蚀控制计划及其实施进行建议、咨询和评估;④建设装备腐蚀信息管理系统;⑤建立经验、信息共享机制;⑥加大科研投入。

在技术研发和装备腐蚀控制能力水平提升方面,需要开展的工作主要有:①研发新耐蚀材料;②发展腐蚀监督检测技术;③研制高性能防腐防污涂料;④加强标准体系建设;⑤研究提出材料环境考核评价办法;⑥建设装备环境腐蚀大数据。

#### 参考文献 References

- [1] 张政丰,吕科宗,高明昊.国防科技[J],2017,38(4):81-87.  
ZHANG Z F, LV K Z, GAO M H. National Defense Science & Technology[J], 2017, 38(4): 81-87.
- [2] 杨长胜,蓝启城.装备环境工程[J],2014,11(1):105-110.

- YANG C S, LAN Q C. Equipment Environmental Engineering[J], 2014, 11(1): 105-110.
- [3] 方志刚, 刘斌, 王涛. 舰船科学技术[J], 2016, 38(1): 137-140.  
FANG Z G, LIU B, WANG T. Ship Science and Technology[J], 2016, 38(1): 137-140.
- [4] 刘星, 王文双, 王玺, 等. 科技视界[J], 2019(13): 211-213.  
LIU X, WANG W S, WANG X, *et al.* Science & Technology Vision [J], 2019(13): 211-213.
- [5] 张怀强, 蒋铁军, 王孟. 海军工程大学学报(综合版)[J], 2018, 15(3): 72-78.  
ZHANG H Q, JIANG T J, WANG M. Journal of Naval University of Engineering (Comprehensive Edition)[J], 2018, 15(3): 72-78.
- [6] 王路, 赵满. 舰船科学技术[J], 2019, 41(3): 153-157.  
WANG L, ZHAO M. Ship Science and Technology[J], 2019, 41(3): 153-157.
- [7] Department of Defense of the United States. Corrosion Prevention and Mitigation Strategic Plan[R]. Washington DC: DoD, 2011.
- [8] Department of Defense of the United States. Corrosion Prevention and Control Planning Guidebook, Spiral 1 [R]. Washington DC: DoD, 2003.
- [9] House-Armed Services. BOB Stump National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2003[R]. Washington DC: Public Law 107-314-DEC. 2, 2002.
- [10] United States General Accounting Office. GAO Opportunities to Reduce Corrosion Costs and Increase Readiness [R]. Washington DC: GAO, 2003.
- [11] United States General Accounting Office. GAO Opportunities Exist to Improve Implementation of DOD's Long-Term Corrosion Strategy [R]. Washington DC: GAO, 2004.
- [12] United States, Defense Science Board, Task Force on Corrosion Control. Defense Science Board Report on Corrosion Control [R]. Washington DC: Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics, 2004.
- [13] Department of Defense of the United States. Corrosion Prevention and Control Planning Guidebook, Spiral 4 [R]. Washington DC: DoD, 2014.
- [14] 牟子方, 魏汝祥, 袁昊劼, 等. 情报杂志[J], 2017, 36(5): 37-41.  
MOU Z F, WEI R X, YUAN H J, *et al.* Intelligence Journal [J], 2017, 36(5): 37-41.
- [15] 赵玥, 史琪琪, 刘震. 船舶标准化工程师[J], 2018, 4: 4-14.  
ZHAO Y, SHI Q Q, LIU Z. Ship Standardization Engineer[J], 2018, 4: 4-14.
- [16] ROLAND J Y, JAMES G K, JOHN F S, *et al.* Increasing Aircraft Carrier Forward Presence[M]. United States: RAND Corporation, 2008.
- [17] AIRAN J, PEREZ. Corrosion Prevention & Control S&T[R]. Washington DC: Mega Rust Conference, 2010.
- [18] AIRAN J, PEREZ. Overview of Corrosion S&T Program[R]. Washington DC: Mega Rust Conference, 2011.
- [19] JOEL K. CVN Corrosion [R]. Washington DC: Mega Rust Conference, 2012.
- [20] Department of Defense of the United States. Corrosion Prevention and Mitigation Strategic Plan[R]. Washington DC: DoD, 2015.
- [21] United States Naval. Technical Manual for Corrosion Control Assessment and Maintenance Manual[R]. United States: Naval Sea Systems Command, 2015.
- [22] Department of Defense of the United States. Prevention and Mitigation of Corrosion on DoD Military Equipment and Infrastructure[R]. Washington DC: DoD, 2018.

(编辑 费蒙飞)