

# 美国陆军的腐蚀和防腐蚀研究工作

宋继鑫译 刘五民校

腐蚀是材料损坏的一种潜伏形式。由于腐蚀缩短军用器材的寿命，而且常常也是器材突然失效的原因，所以它无论在经济上还是在军事上的损失都是相当大的。

因为要求军事装备易于维护、可靠、具有使用功能和满足战备需要，尤其是经过长期使用、储存或闲置之后，军事装备仍应满足上述要求，所以防腐蚀对陆军有极其重要的意义。由腐蚀所引起的损坏总是妨碍着对军用器材进行有效的设计、生产、储存和使用。

腐蚀和防腐蚀这个复杂问题对美国有限的能源、原材料资源和自然环境所造成的额外负担也不断地增加了人们的关注。

因为腐蚀是如此一种复杂的现象，所以至今仍然没能很好地了解腐蚀和防腐蚀的机理。腐蚀有多种类型，一些主要的腐蚀类型是：均匀腐蚀、点蚀、电化学腐蚀、应力腐蚀、疲劳、摩擦腐蚀、微生物腐蚀、氢脆、硫化和高溫氧化。

腐蚀造成美国在经济上的损失估计每年超过700亿美元，相当于美国国民生产总值的4%以上。其中，某些损失是可以避免的，并可通过适当应用现有控制损坏和防腐蚀的技术大大地减少，但是要减少其余的损失费用则要求技术进步。

陆军材料和力学研究中心（AMMRC）是材料技术方面领先的研究所，接受陆军器材发展与准备司令部（简称器材部）总部分派的任务，研究器材部的防腐蚀规划。它和器材部的产品保证管理局合作制订了防护和控制器材损坏的规划。

器材部1979年10月16日的702—24 规程确

定了实施这项规划的政策、步骤和任务，该规划的主要目的是减少陆军器材的损坏。该规划由产品保证管理局局长在AMMRC的协助下集中管理。有关该规划的建议是由一个中央领导委员会提出的，该委员会由器材部下属有关司令部、AMMRC和陆军器材系统分析局的成员所组成。

这项规划的任务是：确保最大限度地使用防止器材损坏的现代化技术，从设计、材料选择、制造工艺、技术资料、产品保证、野外和仓库维护、反馈数据和训练要求等方面提供防止器材损坏的情况；保证所有适用于陆军产品系统及有关装备的合同都应包含防止器材损坏规划的要求。

这项规划的重点包括：对器材部的工厂每三年检查一次，建立器材损坏的情报中心，宣传取得的经验教训，协调训练计划，修改军事规格、军事标准和军事手册以及促进技术研究。

武器系统技术方面的不断进步表现在采用新的技术方案、新材料和适应新的环境，这就要求获得新的知识和技术数据以保证防止武器装备的腐蚀损坏。此外，器材在制造、储存和战场使用期间的失效也说明需要对各个过程进行不断监视。打算对研究、发展、试验和鉴定过程进行调查研究，以便给军事器材的设计者和使用者提供短期和长期解决多方面腐蚀问题的途径。

正在对腐蚀的基础研究和应用研究进行调研。AMMRC将系统地订出技术计划与规划，用以确定为改进武器系统所必须解决的重大问题。

AMMRC参加采购陆军器材的全过程。现行工作包括研究和发展计划、工程计划、试验研究计划、标准化及制造技术计划。所考虑的结构材料包括金属、陶瓷、有机材料和复合材料。

为了获得最大的技术效益，AMMRC推荐并完成在工业技术规划中的材料加工、试验、标准化、制造等研究项目。AMMRC的任务是对参与的材料技术规划（包括在AMMRC和器材部所属其它研究单位所进行的腐蚀基础研究和应用研究）实施技术管理。

器材部下属各主要司令部的任务是研制和生产美国部队所需要的器材。因此，多数下属司令部的人员都经常注意有可能发生的阻碍有

秩序和有效地供给和利用军事装备的问题。例如，导弹司令部，在各种导弹系统中都出现了精密监控器的问题。表1列出了导弹司令部所研究的部分腐蚀问题。

表1列出了多种导弹系统和各种导弹零部件（有大，有小）。简略地审查一下问题栏即可看出，产品从设计和选择合适的材料开始、经过生产和储存的整个寿命周期都需要防腐蚀。表中第一项研究了小斗犬导弹三年储存期后的性能。第二项研究了用聚氨酯涂料防止小檫树导弹燃料箱中的有害化学反应。应力腐蚀开裂被确认为是引起第三项弹簧损坏的失效机理。

表1 导弹的腐蚀问题实例

导弹系统	零部件	问题
小斗犬空地导弹	推进装置	三年储存后的冶金检验
小檫树防空导弹	燃料箱	鉴定聚氨酯涂料
同上	弹簧	应力腐蚀开裂
天龙式导弹	推进剂	环氧漆的相容性
同上	气体发生器壳体	失效分析
同上	制导线	涂料鉴定
同上	铝线	阳极氧化层和化学膜的鉴定
霍克地对空导弹	发动机壳体	应力腐蚀
同上	粘接接头	降解鉴定
大力士导弹	发动机壳体	应力腐蚀
长矛导弹	电池/连接销	表面涂饰问题
同上	蛋形部	防护漆的耐用性
同上	合成橡胶密封件	活塞密封件的老化和损坏
潘兴地对地导弹	导弹井307	老化和损坏
同上	导弹	寒带/热带环境分析
同上	动发机壳体	发展表面涂料
卫兵导弹	一般	发展有机涂料规范
奈克-X导弹	连接器销	鉴定镀金系统
橡树棍导弹	引爆装置	腐蚀问题
斯巴达导弹	发动机壳体	生产-失效分析
同上	导弹	研究环境标准
陶式导弹	制导线	防护涂料的鉴定
同上	护目板	鉴定合成胶涂料（耐汗）

说明大范围腐蚀问题的其它例子示于表2。军械研究和发令部调查了小火箭、小炸弹、引信、连接器、汇流条电缆和步枪锻件的腐蚀影响。此外，还研究了大型设施（例如弹道导弹系统司令部所属夸贾林岛工厂和北达科他基地）对腐蚀的敏感性。

如表2所示，由于表面预处理不当引起迫击炮弹和火炮炮弹腐蚀的出现率和严重性在近年内已有增加。返修弹药（退漆和重新涂漆）费用，每发155毫米炮弹需11—15美元，每发105毫米炮弹需4—6美元。原来的清洗和涂漆费用比这些数字小得多。近年内，返修105毫米、155毫米和8英寸炮弹的费用超过一千万美元。

另外一个有重大影响的问题是4吨、2½吨和5吨的战术车辆在夏威夷的锈蚀问题。甚至运送到夏威夷的新车辆，由于高湿度（70—80%），盐污染和严重大气污染的恶劣环境，也出现早期锈蚀。在陆军几个大陆基地（贝尔沃堡、米德堡和胡德堡），M151系列4吨卡车将近25%严重锈蚀。陆军器材系统分析局发现，锈蚀严重程度受环境的影响似乎超过车龄的影响。陆军战术卡车车队的腐蚀损失估计每年为320—480万美元。坦克与机动车司令部正采取措施保护现有的军用车队，确保所有新生产的战术车辆和检修车辆不锈蚀。该司令部已开始了一个长期的研究计划，发展能生产无锈车辆的技术。

表2 军械腐蚀问题实例

系统/组件	问 题
M55铝火箭 M139铝小炸弹 M564机械时间引信 M16步枪锻件 武器司令部 (WECOM)	点蚀 漏洩-儲存的预测 鎢合金腐蚀 7075-T6剝落
钢导线管连接器 弹道导弹系统司令部 (BMSC)	腐蚀
数字机架动力汇流条电缆      BMSC	腐蚀
夸贾林岛工厂      BMSC	设备损坏检查
北达科他基地BMSC	腐蚀调查
155毫米M375 钢制药筒 Flinchbaugh公司和Chamberlain公司	螺纹连接面在儲存期间的电化学腐蚀
155毫米M483A1炮弹 堪萨斯州陆军弹药厂	在儲存期间凹槽的电化学腐蚀，需要返修
155毫米M116E2炮弹，派因布拉夫兵工厂	由于表面准备不当出现的起始腐蚀，需要返修
155毫米M107炮弹，路易斯安娜陆军弹药厂	由于准备不好，在表面上出现表明腐蚀的虹彩色，建议返修
90毫米M191B1钢制药筒 图埃勒陆军弹药库	由于表面准备不良，在儲存期间60%呈现锈迹
105毫米M392炮弹      杰斐逊试验场	由于表面准备不良，在外表面上出现腐蚀
155毫米M107炮弹      斐逊杰试验场	表面上出现腐蚀

AMMRC和陆军其它单位合作进行的关于一些零部件的失效分析结果见表3, 涉及许多不同的金属, 包括铝、镁、钢、超耐热合金和高熔点金属。腐蚀是引起表3所示各种零部件失效的次要或主要原因。绝大多数问题都涉及到战争用装备(例如飞机、地面车辆和导弹)的零部件。

粗略检查表3可知, 陆军的腐蚀问题并不限于部队使用的装备, 还包括生产武器和弹药所需要的工具和设备。

在生产硝基胍和TNT炸药时碰到的问题促使陆军开始研究加工弹药所用设备和建筑材料的腐蚀。这项工作最初是按弹药生产基地现代化和扩建规划的要求做的。AMMRC的任务是为制造硝基胍和TNT炸药的硫酸和硝酸的生产设备提供材料选择咨询。此外, 对已失效的部件(例如酸储存罐、接收罐、换热器、衬里、冷凝器和泵)进行了冶金分析。

产品失效分析和产品发展研究确认, 需要通过改进防腐蚀技术对陆军负责的任务范围补充支援。陆军最重要的任务范围包括飞机、导弹、军械、装甲车辆、司令部的指挥和通讯、情报、后勤和人员支援、飞行器、地面机动性、障碍和反障碍、化学战、生物防护以及激光武器。

只有增加对基础现象的理解才可能进一步改善材料的许多功能和性能。因此, 陆军对基础研究有很大的兴趣。缺少试验数据或理论方法常常阻碍应用研究或探索发展研究的进展。

腐蚀基础机理研究的主要发起单位是陆军研究局(ARO)。一般说来, 这些基础研究是由美国高等院校的著名研究员进行的。研究腐蚀基础的高等院校有: 亚利桑那国立大学、纽约大学、伦塞勒工业学院、北卡罗来纳国立大学、美国大学、佐治亚工业学院、麻省理工学院、明尼苏达大学和波特兰国立大学。

有害物质对结构金属和镀层金属的直接化学侵蚀仍然是一个棘手的问题。陆军研究局发起了一些基础研究, 以便弄清在钢中产生摩擦

腐蚀疲劳开裂的机理。摩擦腐蚀及其结果已经给发动机和陆军飞机的旋转结构件带来了严重的影响。

正在研究材料在热流动介质中的烧蚀机理, 研究在炮管、燃气轮机和导弹推进部件中的工作环境下材料保护的机理。

通过硫在单晶和多晶氧化物(包括NiO, CoO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)中的迁移机理的研究, 正在阐明硫在超耐热合金腐蚀中的作用。对于这种现象进一步的理解将制造出用于航空发动机受热件的更佳材料。

一项实用的重要工作是研究纤维增强剂和铝合金基体之间的化学相互作用。这种新式的轻量化高强度材料很可能在飞机和桥梁上有许多用途。

正在研究支配暴露在水和大气中工作的铝-石墨及铝-氧化铝纤维复合材料的腐蚀行为的因素。离子注入能够形成自愈合镀层, 用于阻止局部腐蚀, 正在研究在军械中的应用。

另一项具有实际重要性并需要加深理解的现象是应力腐蚀开裂的复杂行为。正在进行几项关于铝合金应力腐蚀开裂机理的研究, 以便增进基础知识。

由于AMMRC及在军械研究和 发展司令部、导弹司令部和机动装备司令部部内的一些研究所对特定的陆军器材系统具有专门的知识 and 经验, 所以在他们内部也进行一些基础研究和应用研究。

在一般的腐蚀领域内, 利用长期监视法和短时的电化学法, 陆军内部正在继续研究减少弹药加工所用设备和建筑材料的腐蚀。

氧化和硫化腐蚀方式是航空发动机设计师非常关心的问题。正在陆军内部研究提高燃气轮机用合金性能的保护涂层。

烧蚀是在陆军器材例如火炮、燃气轮机、火箭喷管和弹药加工设备中可能出现的失效机制。夹杂在高速、粘稠的反应介质中的固体粒子是促进机械和化学复合腐蚀作用的条件。

陆军内部正在研究在火炮药室的温度和压

力条件下确定发射药气体和炮钢间化学反应的程度。还在努力测定烧蚀组成物和影响表面开裂现象的因素。同时，正研究支配高温、高压和高气体速度对炮钢烧蚀影响的参数。

应力腐蚀开裂失效由于其破坏性而引人注意。除了前述陆军研究局做的一些研究外，在发展新的AlZnMgLi 锻造材料和AlZnMgCu粉末冶金材料中，正在努力调节成分和采用形变热处理来提高耐应力腐蚀开裂性能。还正在测定湿度和到150°F 温度对商品牌号铝合金应力腐蚀开裂的影响。

高强度钢对陆军仍然重要。可惜，这些钢对应力腐蚀很敏感。正在研究湿度、温度、杂质、表面处理和氧扩散特性的影响。正在制定实际的导弹储存参数。还在继续努力设计用于测定装甲钢应力腐蚀开裂特性的加速试验方法。

应力腐蚀开裂特性也是改善穿甲弹心用钼合金所要考虑的重要内容。正在研究氢、湿度、应变率、热处理和残余应力的影响。用适合的涂层来保护敏感合金表面是减缓腐蚀失效问题的另一途径。

在陆军内部研究发展各种材料和加工技术用于保护各种材料（铝、铸镁、铌、钛、钼合

金、超耐热合金、炮钢、镁-氧化铝和铝-石墨复合材料）免受各种环境的有害影响。正在研究金属镀层、金属互化物镀层和非金属涂层系统。由于毒性和污染作用，正研究在有机和半有机底漆中取代铅和六价铬酸盐。

陆军已把这些涂层系统应用于机动装备、车辆装甲、飞机结构件、燃气轮机、弹药加工设备和高速穿甲弹心。还在自然环境中不断地鉴定试验性涂料和工业涂料。空气净化法令要求发展完全新型的低溶剂含量的有机涂料或油漆，以取代现今所需和使用的涂料。正在进行的工作集中在水性涂料和水性聚合物上。正发展低溶剂含量的涂料以取代大量使用的标准涂料，目前包括伪装涂料、防腐底漆、抗化学战剂涂料和预处理等。水溶性醇酸树脂似乎最有希望用于底漆和伪装。

水性聚氨酯、催化树脂和改性聚氨酯树脂似乎最适合暴露在恶劣环境（包括化学战剂）下应用。还正在探索使用水性环氧和环氧酯以及高固体分的醇酸、聚氨酯和环氧。

总之，正不断地进行各种研究、发展、试验和鉴定工作，以弄清和阐明腐蚀破坏和防护的机理，并发展经济、新型和改进的解决办法，用以避免陆军器材的腐蚀破坏。

表3 陆军材料和力学研究中心所做的腐蚀损坏失效分析

产品司令部	产品系统/失效零件	问 题	材 料
航空研究与发展司令部	IROQUOIS(UH-1)/旋翼,螺帽,固定带 CHINOOK(CH-47)/旋翼,套管 CHINOOK(CH-47)/T-55发动机 压缩机叶片	应力腐蚀, 镀层 腐蚀疲劳 腐蚀疲劳	SAE 4340 SAE 4340 SAE 350
TSARCOM	CH-47直升飞机的紧固件	氢 脆	4340
DCASA	压缩机圆盘储存库-地面设备 工业准备/地面设备上的工具与样规	腐 蚀 羽状腐蚀	AM355 钢
通讯研究与发展司令部 电子学研究与发展司令部	PPS-5 雷达罩 鞭状天线(AS-1729/VRC) 弹簧 无线电接线夹	电化学腐蚀 裂隙腐蚀 金镀层的技术要求	AZ31BMg 17-7PH 磷铜

产品司令部	产品系统/失效零件	问 题	材 料
军械研究与 发展司令部	M483ICM弹丸-弹尾塞 M72M2 轻型反坦克武器火箭发动机 壳体	应力腐蚀 应力腐蚀	铝7075-T6 铝7001-T6
机动设备研究与 发展司令部	M-60柴油机/活塞环, 喷油器零件	腐蚀, 粘结	钢
导弹司令部	霍克导弹/螺栓 霍克导弹/蓄液器 SEA麻雀导弹(北约)/扭杆 M84雷管 潘兴导弹/发动机壳体	氢脆 孔蚀 应力腐蚀 腐蚀 孔蚀	钢 H-11钢 350马氏体时效钢 鎢电桥导线 D6AC
纳提克研究与 发展司令部	挖壕工具-拉管 墓碑	应力腐蚀 腐 蚀	铝7178-T6 青铜
图埃勒陆军仓库	弹药钝化炉罐	烧蚀, 腐蚀	钢
军械准备司令部	硫酸-硝酸生产 硫酸浓缩器、再生器  硝酸储存罐、接收罐等  黑火药碾磨机-碾磨室衬里	腐蚀, 技术规格 腐蚀、泄漏、焊接 烧蚀、腐蚀	不锈钢、钛、鋁、 石墨 5454A1, 316SS, 304SS 不锈钢和镀层
工程兵	堤坝控制/闸门导螺栓	应力腐蚀	锰青铜

资料来源:

ARMY RESEARCH DEVELOPMENT & ACQUISITION MAGAZINE, 1981, 5-6

(上接43页)

瑞方专家认为, 象CA1这样的近程高炮系统没有必要具备对付多目标的能力, 因为在战场上往往是多部CA1系统配合作战, 每一部CA1只重点负责防守一个扇面。况且CA1系统的反应时间很快, 对每一部CA1来说, 多目标跟踪问题并不非常突出。

该系统在使用数字机以后具有“目标类型判断”能力, 所要判断的目标类型包括: 轰炸机、直升机、导弹和地面目标等。

## 6. 抗干扰措施

CA1采用的主要抗干扰措施归纳如下:

(1) 双波段: X波段在 8.7—9.5 千兆赫宽带

范围内有六个工作频率可供选用。

Ka波段在30—40 千兆赫的宽带范围内工作。

(2) 当雷达受干扰时可采用光学跟踪工作方式。

(3) 动目标显示、视频积累、门限检测相结合可以有效地抗地物杂波、锡箔片等无源干扰、气象杂波干扰。

(4) 脉冲宽度鉴别对有源调频杂波干扰有一定效果。

(5) 采用灵敏度时间控制电路可以抗饱和和鸟类回波干扰。

(6) 计算机具有“记忆”跟踪能力。

资料来源: 瑞士康特拉夫斯公司样本