金属框架式气相缓蚀封套野外封存应用验证

罗少锋，陈文阁，李娅菲

（后勤科学与技术研究所，北京 100166）

摘要：目的 验证气相缓蚀技术在军事装备野外封存中的防护效果和勤务适应性，为军事装备野外封存防护探索解决方案。**方法** 利用气相缓蚀防锈包装技术原理及特点，依据部队装备露天存放或野外驻训的防护需求，设计了金属框架式气相缓蚀封套，并选择 6 个典型气候环境区的部队，组织了为期 1 a 的野外实装封存试验。**结果** 金属框架式气相缓蚀封套物理强度高，具有良好的环境适应性，但水蒸气透过率较大，影响了野外防护效果。**结论** 金属框架式气相缓蚀封套适合在在少雨、低湿度地区使用，在多雨、潮湿地区应选用阻隔性封套材料。

关键词：气相防锈包装；野外封存；封套

中图分类号：TJ01; TB484 **文献标识码：**A **文章编号：**1672-9242(2021)10-0021-05

DOI：10.7643/issn.1672-9242.2021.10.004

Field Seal Application of Metal Frame-type Gas Phase Corrosion Envelope

LUO Shao-feng, CHEN Wen-ge, LI Ya-fei

(Institute of Logistics Science and Technology, Beijing 100166,China)

ABSTRACT: The paper aims to verify the protective effect and service adaptability of gas phase inhibition technology in the field storage of military equipment, and to explore solutions for the protection of field storage of military equipment. Based on the principle and characteristics of gas phase antirust packaging technology, according to the protection requirements of open storage or field training of military equipment, the metal frame-type gas phase corrosion Envelope was designed, and the troops in six typical climatic environments were selected to organize the field actual sealing test for one year. The metal frame-type gas phase corrosion envelope has high physical strength and good environmental adaptability, but the water vapor transmittance is high, which affects the field protection effect. The metal frame-type gas phase corrosion envelope is suitable for use in areas of less rain and low humidity, but in rainy and humid areas should choose a barrier sealing material.

KEY WORDS: gas phase antirust packaging; field storage; envelope

装备封存防护是军事装备建设和管理的一项重要技术工作，受到世界各国军队的普遍重视[1]。一方面，在和平时期，军事装备除一部分用于战备执勤、军事训练外，还有很多装备需要储存起来以备战时使

收稿日期：2021-03-24；**修订日期：**2021-05-25

Received：2021-03-24；**Revised：**2021-05-25

作者简介：罗少锋（1980—），男，高级工程师，主要研究方向为物资储备与军品包装。

Biography：LUO Shao-feng(1980—), Male, Senior engineer, Research focus: material reserve and military packaging.

通讯作者：陈文阁（1967—），男，高级工程师，主要研究方向为军品包装。

Corresponding author：CHEN Wen-ge (1965—), Male, Senior engineer, Research focus: military packaging.

引文格式：罗少锋，陈文阁，李娅菲. 金属框架式气相缓蚀封套野外封存应用验证[J]. 装备环境工程, 2021, 18(10): 021-025.

LUO Shao-feng, CHEN Wen-ge, LI Ya-fei. Field seal application of metal frame-type gas phase corrosion envelope[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(10): 021-025.

用，受库存条件限制，一些军事装备往往需要长期露天存储；另一方面，在战备状态或实战化演习条件下，军事装备通常需要机动到预定作战区域，往往会暴露在恶劣的野外战场环境中。无论是露天存储还是野外存放，军事装备都会与空气、水等环境介质接触，从而引起装备金属构件的生锈、腐蚀，非金属构件的老化、霉变，导致军事装备性能逐渐下降，直接制约着装备作战能力的发挥[2-7]。为确保军事装备质量状态，提升装备完好率，应当对户外或野外存放的军事装备进行必要的封存防护。

气相缓蚀防锈包装技术是一种主动防锈技术，主要利用气相缓蚀剂在密封包装容器中挥发后形成抑制腐蚀的气体，实现对密封包装容器内物品的防锈。气相缓蚀防锈包装技术的核心成分是气相缓蚀剂，也称气相防锈剂或挥发性缓蚀剂。其在常温下具有一定的蒸汽压，能够在密封包装容器内自动缓慢挥发，形成能抑制金属腐蚀的特殊气体，通常会在金属表面形成一层极薄的分子膜层，阻隔金属与外界氧气、水分或其他腐蚀性气体的接触，抑制电化学反应的发生，从而达到防止金属锈蚀的目的[8~11]。

与传统的防锈方法相比，气相缓蚀防锈包装技术具有如下显著优点[12]：1）防锈无死角。气相缓蚀剂分子能够在密闭包装空间内持续缓慢挥发，形成的抑制腐蚀的气体充盈整个包装空间，无论是金属制品表面，还是内腔、沟槽甚至缝隙等部位均能得到有效的保护。2）防护期限长。气相缓蚀分子的有效成分可以长时间发挥作用，采用气相防锈封存技术保护的火炮身管和枪械，已实现 10 a 以上的防锈保护期限[13]。3）不需要预处理。被保护的金属在封存防护前通常不需要清洗除尘，也不用涂抹防锈油，即使金属表面有水分或者在潮湿的环境中，防锈剂也能在金属表面形成防护膜，防止金属腐蚀生锈。

近年来，气相缓蚀防锈技术迅猛发展，已成为防止金属大气腐蚀的主要技术之一。气相缓蚀剂通常由一种或几种化学物质的复配，常用的有亚硝酸二环己胺、苯甲酸钠、辛酸二环乙胺、乌洛托品、尿素和苯甲乙醇胺等[6]，此外适用于精密电器设备防护的新型气相缓蚀剂也已研制成功[14]。常用的气相缓蚀防锈包装材料主要包括气相防锈纸、气相防锈塑料薄膜、气相防锈丸（粉/片）、气相防锈油等[15]。

气相防锈包装技术具有防锈期长，封存效果好，耐高温、高湿、高盐雾环境，操作方便，不需要对装备预处理，启封速度快，装备启封后不用清理即可立即投入使用等显著特点，非常适合用于军事装备的野外封存防护。气相防锈包装技术在野外环境条件下对军事装备防护的效果和勤务适应性的研究尚不多见，需要在综合考虑技术特点、勤务需求和经济性等因素的基础上进行野外实装验证。

1　封套设计与试验

1.1　金属框架式气相缓蚀封套方案设计

封套的结构形式有贴体式、框架式等多种，本试验采用金属框架式封套结构，具有空间稳固性好、不需要对装备上的尖角部件做额外防护、启封方便快捷等优势，封套结构如图 1 所示。

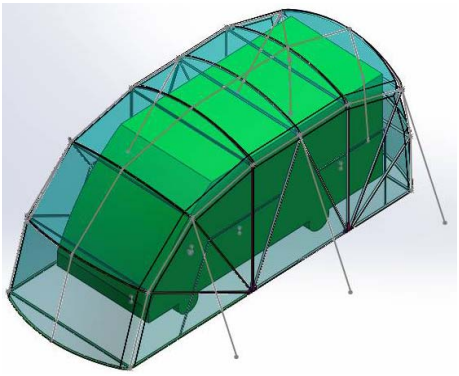

图 1　金属框架式封套结构示意

Fig.1 Schematic diagram of metal frame type envelope structure

封套的材料有阻隔性和非阻隔性等多种，考虑到气相防锈技术对包装中的水分、氧气等要求不高，为验证恶劣气候环境条件下的实际封存防锈效果，本试验选用了非阻隔性的布基气相缓蚀复合材料，其结构如图 2 所示[16]。

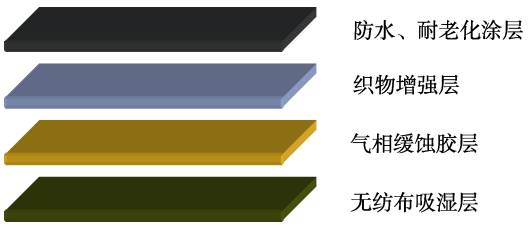

图 2　布基气相缓蚀复合材料

Fig.2 Cloth based composite materials with gas phase corrosion inhibition

考虑到装备储存管理中需要临时动用，封套需多次反复使用，本试验中封套的封口形式选用金属米牙拉链，具有操作简单、易于维修等特点。

1.2　野外封存试验

为全面验证金属框架式气相缓蚀封套在各类环境条件下的适应性，选择驻奎屯、林芝、齐齐哈尔、福州、湛江、高碑店的部队承担野外实装封存试验任务，这些地点涵盖了高原、强紫外线辐射、高寒、高温、高湿、高盐雾、平原等典型气候环境条件。

试验用的装备主要从部队现役在用的轮式后勤装备中选择，依据选中的后勤装备，组织人员逐一测量了参试装备的外廓尺寸，据此设计制作了试验用的

金属框架式气相缓蚀封套。在此基础上，组织专家和技术人员分赴各参试部队，现场组织技术培训，并指导部队相关人员对参试装备进行封存包装，封存试验现场如图 3 所示。

图 3　封存试验现场图例
Fig.3 The site photo of storage test

为客观评价试验效果，委托中国包装科研测试中心（天津）作为第三方技术检测机构，该中心是国家技术监督局正式认证的国家级质量监督检验单位。在试验过程中，该中心技术人员全程参与了试验，采集了布基气相缓蚀复合材料在试验前后的样品，依据《塑料拉伸性能的测定》[17]、《包装材料试验程序》[18]、《塑料直角撕裂性能试验方法》[19]、《包装材料试验方法气相缓蚀能力》[20]等包装材料技术标准，在实验室对封套材料样品的拉断力、断裂伸长率、穿刺强度、直角撕裂力和气相缓蚀能力等关键技术指标进行检测，并出具权威的试验检测报告。

因参试装备均为部队实际使用的装备，试验前已经有不同程度的锈蚀，为客观比较评价封存防护效果，在封套内又设置了由第三方技术检测机构提供的钢、铜、铝和橡胶 4 种试片，如图 4 所示。这些试片表面经过打磨，未经任何防腐处理，用于启封后检测比较试片的腐蚀程度和老化程度。

图 4　试片
Fig.4 The specimens

此次野外实装封存试验从完成封存到启封检查持续 1 a，在试验期间由各参试部队有关人员定期开展例行的包装外观检查，并记录天气情况等数据。在试验结束时由部队填写勤务适应性评价意见，提出对封套的改进建议。

2　结果与分析

2.1　专家验收结果

野外封存试验满 1 a 后，组织包装领域的专家赴各试验地点逐一启封金属框架式气相缓蚀封套，现场检查装备和试片情况，评价封存防护效果，见表 1。

表 1　综合防护效果
Tab.1 Comprehensive protection effect

试验地点	参试装备编号	外观检查结论	试片检查结论
奎屯	2K-SP-1	封套外观完好	金属试片轻微锈蚀、变色
林芝	L-JS-2	封套外观完好	金属试片严重锈蚀、变色
齐齐哈尔	Q-SP-1	封套外观完好	金属试片严重锈蚀、变色
福州	F-SP-2	封套外观完好	金属试片严重锈蚀、变色
湛江	ZJ-YZ-1	撕裂破损（受台风影响）	金属试片严重锈蚀、变色
高碑店	G-YZX-1	封套外观完好	金属试片轻微锈蚀、变色

从验收结果来看，除湛江地区的试验封套因强台风而撕裂破损外，其余试验地点的封套外观均完好；所有封套内的橡胶试片外观无明显变化，但金属试片普遍发生锈蚀、变色。总的来看，该封套在奎屯、高碑店地区封存效果较好，在其他试验地点野外封存防护试验效果不佳。分析其原因，主要是由于封套材料是非阻隔性材料，水蒸气透过率较大，雨水、温差等导致湿气渗透严重，使封套内湿度异常增大，影响了气相缓蚀剂的作用，降低了封套的气相缓蚀能力。

2.2　封套材料第三方检测结果

第三方技术检测机构对布基气相缓蚀复合材料在试验前后分别取样检测，出具了试验检测报告。依据试验检测报告数据，试验前的材料样品技术指标见表 2；在 6 个试验地点野外封存试验 1 a 后的封套材料样品技术指标见表 3；封套材料试验前后性能对比结果见表 4。

表 2　试验前的封套材料性能
Tab.2 Performance of envelop material before test

拉断力	断裂伸长率	穿刺强度	直角撕裂力	气相缓蚀能力
718 N	64%	610 N	128 N	0 级

从试验前后的检测结果对比来看：布基气相缓蚀复合材料具有很强的拉断力、穿刺强度和直角撕裂力，经过 1 a 野外实装试验后，布基气相缓蚀复合材

表 3　试验后的封套材料性能

Tab.3 Performance of envelop material after test

试验地点	拉断力/N	断裂伸长率/%	穿刺强度/N	直角撕裂力/N	气相缓蚀能力/级
奎屯	500	49	368	91	0
林芝	479	48	388	116	1
齐齐哈尔	440	35	411	85	2
福州	504	75	362	84	0
湛江	274	39	365	72	1
高碑店	440	32	396	93	1

表 4　试验前后封套材料性能对比

Tab.4 Comparison of properties of envelope material before and after test

试验地点	拉断力变化率/%	断裂伸长率变化率/%	穿刺强度变化率/%	直角撕裂力变化率/%	气相缓蚀能力变化
奎屯	↓30	↓23	↓40	↓29	无变化
林芝	↓33	↓25	↓36	↓9	下降为 1 级
齐齐哈尔	↓39	↓45	↓33	↓33	下降为 2 级
福州	↓30	↑17	↓41	↓34	无变化
湛江	↓62	↓39	↓40	↓44	下降为 1 级
高碑店	↓39	↓50	↓35	↓27	下降为 1 级

料的拉断力、断裂伸长率、穿刺强度、直角撕裂力在各地区均有较大幅度下降。在湛江地区拉断力性能下降最大，可能与台风及潮湿气候有关；气相缓蚀能力在齐齐哈尔、林芝、湛江、高碑店均有不同下降，与封套内高湿度环境条件有关。

2.3　部队用户反馈评价结果

依据参试部队对金属框架式气相缓蚀封套的勤务适用性评价意见，该封套的封存效果较好，适合在营区内硬质地面作为临时仓库使用。存在的问题有：封套重达 200 kg 以上，携运行不便；需 6~7 人同时作业需 40 min 左右才能完成布设，展开撤收不便；封口位置低，封套不防水，内部容易产生积水，影响防锈效果。

3　结语

金属框架式气相缓蚀封套物理强度较高，封存试验完好率高，具有良好的环境适应性，但非阻隔性的布基气相缓蚀复合材料水蒸气透过率较大，导致封套内湿度太高，野外防护效果不佳。金属框架式气相缓蚀封套适合在库房内或在少雨、低湿度地区的户外使用，在多雨、潮湿地区应选用高阻隔性封套材料。此外，因封套质量过重、展撤不便，建议作为营区内临时性装备仓库使用。

参考文献：

[1]　王新坤, 封彤波, 吴灿伟, 等. 大型武器装备洞库气相封存技术及效果分析研究[J]. 包装工程, 2011, 32(23): 9-11.
WANG Xin-kun, FENG Tong-bo, WU Can-wei, et al. Gas phase seal and storage technology and effect analysis large equipment in cavern[J]. Packaging engineering, 2011, 32(23): 9-11.

[2]　王继新. 军事装备封存漫谈[J]. 兵工科技, 2012(11): 71-74.
WANG Ji-xin. Talk of seal packaging military equipment[J]. Ordnance industry science technology, 2012(11): 71-74.

[3]　王连杰, 蔡建, 黎明. 现代武器装备对军品包装的要求及质量控制[J]. 包装工程, 2005, 26(6): 196-197.
WANG Lian-Jie, CAI Jian, LI Ming. Demand of modern materiel to military packaging and quality control[J]. Packaging engineering, 2005, 26(6): 196-197.

[4]　杨世坚. 后勤车辆装备封存管理与实施研究[J]. 装备环境工程, 2006, 3(6): 70-73.
YANG Shi-jian. Study on seal packaging management and implementation in logistics vehicles and equipments[J]. Equipment environmental engineering, 2006, 3(6): 70-73.

[5]　陈祥军, 吴会博. 军用车辆装备整装封存技术研究[J]. 包装工程, 2013, 34(7): 52-55.
CHEN Xiang-jun, WU Hui-bo. Research on whole set seal-up and preservation technology of military vehicle equipment[J]. Packaging engineering, 2013, 34(7): 52-55.

[6]　张玉峰, 邢林春. 军械装备的防锈封存包装[J]. 中国包装工业, 2001(2): 21-24.
ZHANG Yu-feng, RING Lin-chun. Anti-rust packing packaging for ordnance equipment[J]. China packaging industry, 2001(2): 21-24.

[7] 肖学福, 周朝霞. 车辆装备封存技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
XIAO Xue-fu, ZHOU Chao-xia. Vehicle equipment sealing technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005.

[8] 鞠玉琳, 李焰. 气相缓蚀剂的研究进展[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2014, 34(1): 27-36.
JU Yu-lin, LI Yan. Research progress of vapor phase inhibitors[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2014, 34(1): 27-36.

[9] 赵艳东, 郝晓秀, 邢紫玉. 金属包装用气相防锈纸缓蚀性能研究[J]. 包装工程, 2019, 40(1): 128-132.
ZHAO Yan-dong, HAO Xiao-xiu, XING Zi-yu. Corrosion inhibition of gaseous phase antirust paper for metal packaging[J]. Packaging engineering, 2019, 40(1): 128-132.

[10] 李丹希, 刘全校, 许文才, 等. 气相防锈纸研究现状[J]. 北京印刷学院学报, 2014, 22(2): 37-39.
LI Dan-xi, LIU Quan-xiao, XU Wen-cai, et al. On statues of volatile corrosion inhibitor paper[J]. Journal of Beijing institute of graphic communication, 2014, 22(2): 37-39.

[11] 邓亚男, 孙凯, 龚俊锋, 等. 浅谈气相防锈塑料包装材料[J]. 塑料包装, 2017, 27(1): 29-31.
DENG Ya-nan, SUN Kai, GONG Jun-feng, et al. VCI plastics packaging material[J]. Plastics packaging, 2017, 27(1): 29-31.

[12] 李小平, 张道延, 贺喆. 气相防锈技术在军械装备防护中的运用[J]. 沈阳炮兵学院学报, 2015, 141(3): 84-85.
LI Xiao-ping, ZHANG Dao-yan, HE Zhe. Application of gas phase rust prevention technology in ordnance equipment protection[J]. Journal of Shenyang Artillery Academy, 2015, 141(3): 84-85.

[13] 唐艳秋, 张建伟, 王福成. 防锈防护组合技术在装备器材防锈封存中的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 117-122.
TANG Yan-qiu, ZHANG Jian-wei, WANG Fu-cheng. Application of the rust protection combination technology in the equipment preservation[J]. Packaging engineering, 2014, 35(3): 117-122.

[14] 阮红梅, 吴坤培, 王俊, 等. 气相防锈技术在电器设备防腐中的应用[J]. 装备环境工程, 2015, 12(4): 32-37.
RUAN Hong-mei, WU Kun-pei, WANG Jun, et al. Application of the vapor phase corrosion inhibitor in the electrical equipment corrosion[J]. Equipment environmental engineering, 2015, 12(4): 32-37.

[15] 魏士礼, 徐伟. 气相防锈包装材料在汽车行业的应用现状[J]. 绿色包装, 2017(11): 33-36.
WEI Shi-li, XU Wei. The application of VCI antirust packaging materials in automobile industry[J]. Green packaging, 2017(11): 33-36.

[16] 罗少锋, 陈文阁, 李娅菲. 军事装备野外封存封套材料选择[J]. 包装工程, 2020, 41(1): 197-201.
LUO Shao-feng, CHEN Wen-ge, LI Ya-fei. Selection of envelop materials for field sealing of military equipment[J]. Packaging engineering, 2020, 41(1): 197-201.

[17] GB/T 1040.3—2006, 塑料拉伸性能的测定[S].
GB/T 1040.3—2006, Plastics determination of tensile properties[S].

[18] MIL-STD-3010B—2008, Test procedures for packaging materials[S].

[19] QB/T 1130—1991, 塑料直角撕裂性能试验方法[S].
QB/T 1130—1991, Plastic rectangular tear performance test methods[S].

[20] GB/T 16267—2008, 包装材料试验方法 气相缓蚀能力[S].
GB/T 16267—2008, Test method of packaging materials—Vapors corrosion inhibiting ability[S].