

基于复合防护材料的模块组合式柔性封套设计

牛正一, 李良春, 高飞, 姜志保
(中国人民解放军 63908 部队, 石家庄 050000)

摘要: **目的** 解决储运装备易因包装防护缺陷导致性能下降的问题。**方法** 分析环境影响因素, 研制一种由表层、高阻隔层、热封层组成, 具备耐戳穿、抗撕裂、高阻隔、防静电等功能的复合材料, 参照相关国家标准要求进行性能检测。应用该材料, 对结构组成、连接状态、密封方式、内环境控制模式等进行科学设计。**结果** 研发了一种可随内部装备数量体积进行大小调整的模块组合式柔性封套。提出了一种采用干燥剂、除氧剂组合成封存剂进行封套以控制内部环境湿度及保持真空的方法, 给出了封存剂投放量的计算方法。**结论** 应用该封套可为内部储存装备提供有效的环境因素防护效果, 展开、撤收简便, 体积大小可调, 在野外环境中可靠防护能力的持续周期不少于 3 年, 为装备储存防护提供了新的方法手段。

关键词: 封套; 模块化; 复合材料; 防护

中图分类号: TB484 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)23-0055-06

Design of Modular Combined Flexible Envelope Based on Composite Protective Materials

NIU Zheng-yi, LI Liang-chun, GAO Fei, JIANG Zhi-bao
(63908 Unit of PLA, Shijiazhuang 050000, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem of quality degradation of storage and transportation equipment due to protective packing defects. Environmental impact factors were analyzed to develop a composite material consisting of surface, high-barrier layer and heat-seal layer and featuring in puncture resistance, slitting resistance, high barrier and electrostatic prevention. Performance test was performed by referring to relevant national standards. The material was utilized to design structural composition, connection status, sealing method and internal environment control mode in a scientific manner. A kind of modular combined flexible envelope which can be adapted to quantity and volume of interior equipment was developed with the composite material. An internal environment humidity control and vacuum keeping method by combining desiccant and deoxidant into a sealing agent was proposed. The computational method of desiccant and deoxidizer in sealing agent was given. The envelope can be used to provide effective protection regarding environmental factors for interior storage and transportation equipment with convenient unfolding and storage, adjustable size, and no less than 3 years of field-environment protection, which provides a new method for equipment storage protection.

KEY WORDS: envelope; modularization; composite material; protection

装备物资在储运周期内, 由于防护包装的缺陷, 在外界温度、湿度、盐分等环境因素的影响下, 会引起金属件的锈蚀、电子器件的失效、非金属材料的老化和霉变、光学器材的生霉生雾等^[1-5], 不

仅增加了维护工作量和维护经费, 而且造成装备物资的性能劣变, 甚至报废。防护包装缺陷一般可分为 3 类: 包装不密封, 无法实现包装内物资与外界自然环境因素的隔离; 包装材料防护性能差, 不能

收稿日期: 2016-07-17

作者简介: 牛正一 (1985—), 男, 河北辛集人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为装备储存供应技术。

满足阻隔、防潮、防热等综合防护需求；包装结构设计不合理，包装与物资不匹配，易发生揉折断裂等现象，造成包装失效。对于长期储存于野外环境的装备物资，特别是军用物资，进行防护可靠的外部包装是保持其性能稳定的直接有效的措施^[6-7]，封套包装是一种典型的包装方式^[8]。

1 封套包装

封套包装是一种利用功能材料制作套体结构，在内部人为地创造一个储存环境，实现阻隔外界环境因素影响的包装方式。20世纪60年代末期，英国首先采用塑料封套封存坦克，经过数十年的发展，封套封存军事装备的技术在国内外已经得到广泛的应用^[9]。国内有关单位针对封套包装技术开展了大量研究，为相关领域的技术发展提供了借鉴参考^[10-13]。以往研究多注重封套材料的性能设计，在结构形式上较为单一，特别是针对内部装备物资体积、数量不一和大小形态各异状态下的包装需求，尚需开展针对性研究，以进一步提高封套包装的广泛适用性。

2 复合防护封套材料

采用封套包装的目的主要是创造一个适宜装备物资储存的内部环境，避免外界的影响。通常情况下，封套包装的防护能力可分为两大类：防自然环境因素的影响，包括防潮、隔热、防盐雾、防静电等；防外力作用，包括耐戳穿、耐磨、耐撕裂等机械物理性能。针对以上的防护需求，结合封套材料防护技术的研究进展，提出如下设计方案。

2.1 结构组成

复合防护材料结构见图1，复合防护材料由上到下包括表层、高阻隔层以及热封层。表层为尼龙布；高阻隔层从上到下依次为聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)膜、铝箔和聚酰胺(NY)膜；热封层为热塑性聚氨酯弹性体膜。各层之间采用粘合剂粘结后，再经复合机加热辊热压复合，形成复合材料。热封层外表面涂覆聚氨酯抗静电剂。

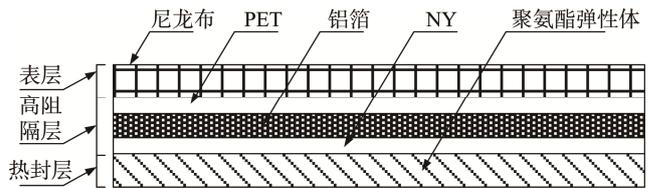


图1 复合防护材料结构

Fig.1 Composition of composite protective material

表层为外层，采用尼龙布料，可通过改变图用于储存不同装备物资的需要，对尼龙面料进行特殊的工艺处理，涂覆特制底胶，满足后续工艺需要。高阻隔层为中间层，采用高阻隔多层铝塑复合高分子材料^[14]，主要用来实现对潮湿气体、氧气、盐分、微生物以及热量等的阻隔作用，防止各种自然环境因素的影响，同时提高材料强度和柔韧性。热封层为内层，选用热塑性聚氨酯弹性体高分子材料，实现高强度、高韧性、高耐磨性、高曲挠性^[15]，同时实现材料间的热封连接。

2.2 制备工艺

复合防护材料制备工艺流程见图2，复合防护材料制备可分为以下4个步骤。

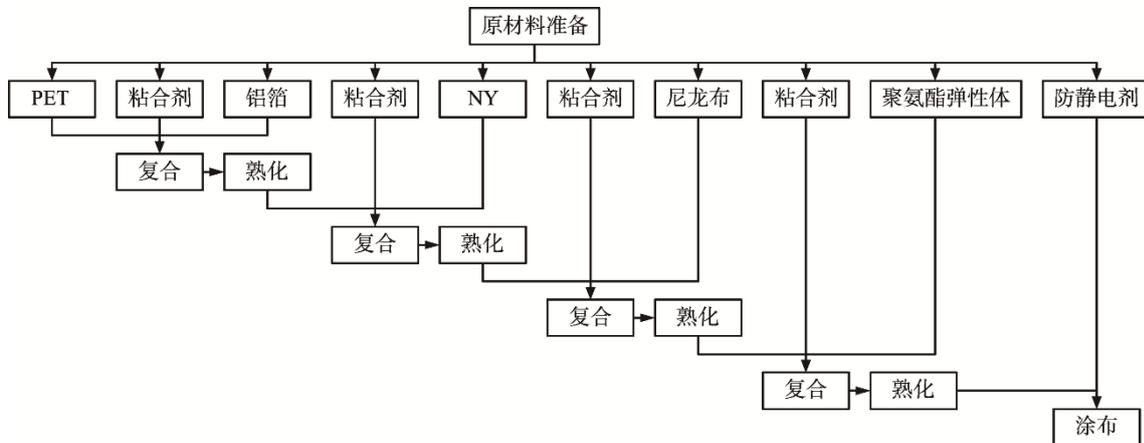


图2 复合防护材料制备工艺流程

Fig.2 Technological process of composite protective material

1) 高阻隔层的制备。首先将 PET 膜表面涂覆一定固含量的聚氨酯粘合剂(乙酸乙酯为稀释剂)并烘干,与铝箔进行粘合;再利用复合机加热辊加压,复合收卷后在熟化间熟化;最后在铝箔的另一面通过聚氨酯粘合剂粘合聚酰胺膜,采用上述复合工艺进行复合后熟化。

2) 高阻隔层与表层的复合。将熟化后的材料和尼龙布通过油性单组份聚氨酯粘合剂进行粘合,采用复合机加热辊进行复合;复合后,在常温下自然熟化。

3) 高阻隔层与热封层的复合。将高阻隔层的聚酰胺膜面与聚氨酯弹性体膜通过油性单组份聚氨酯粘合剂粘合后进行复合加工,复合后常温自然熟化;再进行二次复合,提高复合强度。

4) 防静电层的复合。在热封层聚氨酯弹性体膜的下表面喷涂聚氨酯抗静电剂,干燥后制成复合防护材料。

2.3 性能测试

对采取以上工艺制作的复合防护材料进行机械物理性能测试,试验结果均达到了《可热封柔韧性防静电阻隔材料规范》相关指标的要求。

3 模块组合式柔性封套

3.1 模块组合式柔性封套设计

普通封套结构有的采用热合封口、抽真空封口等一次性封口方式,拆装后不可重复利用。有的采用不具有气密性的拉链封口,难以实现内部的密封性,使用时还需增加除湿系统。有的采用气囊密封结构的封存系统,气囊压力受温度变化导致密封压力随之波动,需不定期对其进行观察和调整,在降低密封可靠性的同时增加勤务处理难度和劳动强度。针对以上问题,创新设计一种可随内部物资体积大小进行适应调整的模块组合式柔性封套。

模块组合式柔性封套系统由连接片、内外防护垫、密封盒组成。连接片为封套系统的基本组成,由复合防护材料热合密封拉链得到,通过相互拼接可形成封套整体结构;内外防护垫用于保护封套材料,使其不受外部地面或内部装备物资的尖锐部位损伤;密封盒用于各个连接片接口处的密封。根据不同防护需求,还可搭配独立的隔热帐,在封套顶

部提供散热空间。

柔性封套的搭建分为以下 4 个步骤:顺序铺设外防护垫、封套底部连接片、内防护垫,组成封套底部部分;通过密封拉链将封套底部连接片与周边连接片拼接;将连接片的接口处用密封盒连接;连接封套端面,形成完整封套系统。模块组合式柔性封套系统组装见图 3。

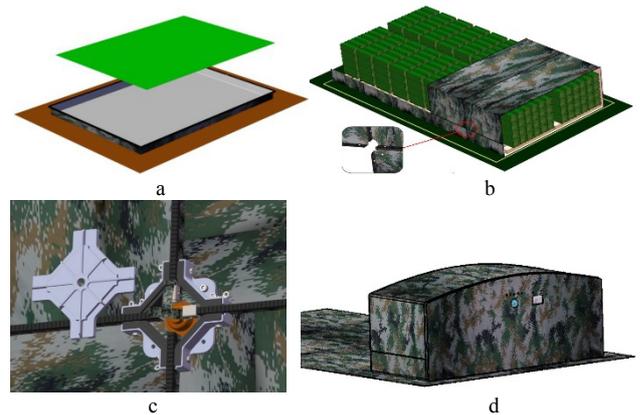


图 3 模块组合式柔性封套系统组装

Fig.3 Assembly of modular combined flexibility envelope

封套端面上设置有温湿度指示窗,可对封套内部环境温度、湿度进行测量,并留有抽气接口,可用于外接除湿机等设备,增加内部环境设置方法的选择性。封套各连接片上设有等电位连接点,两端面设有静电泄放点并接地,在有防静电需求时可进行连接,见图 4。

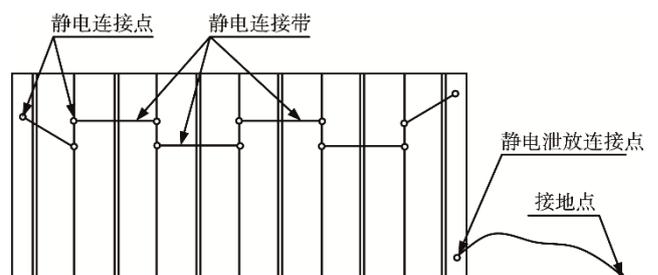


图 4 封套系统静电泄放连接

Fig.4 Connection of static release

3.2 封套内环境控制方案设计

由于封套系统具有密封隔绝特性,因此在系统搭建后可对内部环境进行调节,以获得最佳储存环境。考虑到湿度和氧分是造成金属元件锈蚀、非金属元件霉烂等的关键诱因,因此必须对封套内部环境的湿度及氧含量进行可靠控制,文中采取干燥剂搭配除氧剂的方法实现。

3.2.1 干燥剂的选择与投放量的计算

干燥剂一般分为化学干燥剂和物理干燥剂。由于化学干燥剂及其与水的反应产物一般均对物资具有接触腐蚀作用,因此该方案采用物理干燥剂,其具有以下特点:环境湿度越大,其吸附量也随之增大,导致封套内相对湿度在密封初期达到最低;干燥剂用量随储存期的增长而增大,而过多的干燥剂将导致前期吸附量过大。鉴于以上特点,为使封套内部环境湿度维持在装备物资长期储存所需的相对湿度范围内,应选择快慢吸湿性相结合的干燥剂。

水蒸气通过复合防护材料的渗透是一个溶解扩散的过程,其溶解速度远远大于扩散速度。防护材料的水蒸气透过速度主要受扩散速度影响,而扩散速度又与温度及防护材料两侧的水蒸气浓度梯度有直接关系。水蒸气在防护材料中扩散量的计算:

$$R = P_M (P_{A1} - P_{A2}) / d \quad (1)$$

式中: R 为防护材料的水蒸气透过量($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$); P_M 为材料的水蒸气渗透率($\text{g} \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{Pa})$); $(P_{A1} - P_{A2})$ 为材料两侧的水蒸气压力差(Pa); d 为材料厚度(m)。

由于在室温范围内,防护材料的水蒸气渗透率随温度变化很小。对于厚度确定的防护材料,其水蒸气透过量仅与两侧的水蒸气压力差成正比。式(1)可以简化为:

$$R / (P_{A1} - P_{A2}) = B \quad (2)$$

式中: B 为常数; R 为在温度为 θ_0 、相对湿度为 R_{H0} 时,测得防护材料水蒸气透过量($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)。实际使用环境下的温度为 θ 、相对湿度为 R_{H1} 、封套内相对湿度要求控制在 R_{H2} ,则在使用条件下防护材料的水蒸气透过量 R_1 为:

$$R_1 = RP(R_{H1} - R_{H2}) / (P_0 R_{H0}) \quad (3)$$

式中: P 为温度为 θ 时水蒸气的饱和蒸汽压(kPa); P_0 为温度 θ_0 时水蒸气的饱和蒸汽压(kPa)。

每天通过防护材料渗透进入封套内部的水蒸气量为:

$$Q = AR_1 t \quad (4)$$

式中: Q 为每天透过防护材料的水蒸气量(g); A 为防护材料面积(m^2); R_1 为材料使用条件下的透湿量($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$); t 为渗透时间(d)。

若封存期限为 5 年,则在整个封存期间,通过防护材料渗透进入容器内部的水蒸气总量为:

$$Q = 365 AR_1 t_A \quad (5)$$

式中: $Q_{\text{总}}$ 为封存期间透过防护材料的水蒸气总量(g); t_A 为防护封存年限(年)。

在不考虑封套内有含湿材料的情况下,若需在储存期保证内部相对湿度不超过 R_{H2} ,需将整个储存期内通过防护材料渗透进入的水蒸气完全吸附掉。假设相对湿度为 R_{H2} ,干燥剂的吸湿量为 G ,则干燥剂的投放量为:

$$W = Q_{\text{总}} / G \quad (6)$$

将式(3), (5)代入式(6),可得到干燥剂的投放量计算公式:

$$W = 365 AR t_A P (R_{H1} - R_{H2}) / (P_0 R_{H0} G) \quad (7)$$

3.2.2 除氧剂的选择与投放量的计算

除氧剂选择 CT-TV 高效浓缩型除氧剂,其具有除氧能力大、吸氧速度快、对装备物资无接触腐蚀、无有害气体释放等特点。封套内氧气含量的计算:

$$V_1 = 0.21 (V_{\text{总}} - V_{\text{物}}) \quad (8)$$

式中: V_1 为氧气总体积(cm^3); $V_{\text{总}}$ 为封套内总体积(cm^3); $V_{\text{物}}$ 为封套内装备物资净体积(cm^3)。

储存期内氧气渗入量的计算:

$$V_2 = P_1 A_1 R_{O_2} t_1 \quad (9)$$

式中: V_2 为封存期内氧气渗入量(cm^3); P_1 为氧气气压(Pa); A_1 为封套表面积(m^2); R_{O_2} 为防护材料透氧量($\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{Pa})$); t_1 为储存时间(d)。

储存期内需吸除氧气总量的计算:

$$V_0 = V_1 + V_2 \quad (10)$$

根据式(10),参照除氧剂公称吸氧量,即可得到除氧剂投放量。

4 应用与测试

按照以上设计方案,针对一定量装备物资的储存需求,首先计算装备物资的体积大小,确定封套连接片数量,再按照搭建步骤进行连接拼装,最后根据装备物资储存环境要求,计算干燥剂与除氧剂投放量,即可形成完整的柔性封套储存系统。物资野外封套储存试验见图 5,根据上述方法,选取一定量物资进行封套系统搭建,在野外环境下储存 3 年后,将封套材料送至国家包装产品质量监督检验中心(天津)进行性能检验,结果显示材料性能满足相关标准要求。其中断裂力采用 GB/T 1040.3—2006 进行试验,纵向断裂力和横向断裂力

的实测结果为 154 和 142 N; 由内向外和由外向内的耐戳穿力均采用 GJB 2605—1996 和 MIL-STD-3010B (方法 2065) 进行试验, 实测结果为 263 和 197 N; 水蒸气透过率是在环境温度为 40 ℃, 相对湿度为 90% 下测得的, 采用 ASTM F1249-13 进行试验, 实测结果为 0.186 g/(m²·d)。拉伸试验采用长条形试样, 宽为 15 mm, 标距为 50 mm, 速度为 500 mm/min。



图 5 物资野外封套储存试验
Fig.5 Field environment test of envelope

5 结语

针对储运装备物资包装防护需求设计了一种复合防护材料, 并创新设计了可拼接组合的封套结构形式, 给出了利用干燥剂、除氧剂进行封套内湿度、氧分环境控制的方法, 为装备物资储存防护提供了新思路。该封套系统可随内部装备数量多少进行调整, 大幅提高了封套包装方式的灵活性, 具备广阔应用前景。

参考文献:

- [1] 曹公望, 王振尧, 刘雨薇, 等. 碳钢在三种大气环境中的应力腐蚀[J]. 装备环境工程, 2015, 12(4): 6—10.
CAO Gong-wang, WANG Zhen-yao, LIU Yu-wei, et al. Stress Corrosion of Carbon Steel in Three Different Atmospheric Environments[J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(4): 6—10.
- [2] 刘慧丛, 邢阳, 李卫平, 等. 湿热贮存环境下电子器件表面镀层的腐蚀研究[J]. 材料工程, 2010(2): 58—63.
LIU Hui-cong, XING Yang, LI Wei-ping, et al. Corrosion on Surface Coating of Electronic Devices in Hygrothermal Environment[J]. Material Engineering, 2010(2): 58—63.
- [3] 潘莹, 张三平, 周建龙, 等. 大气环境中有机涂层的老化机理及影响因素[J]. 涂料工业, 2010, 40(4): 68—72.
PAN Ying, ZHANG San-ping, ZHOU Jian-long, et al. Mechanisms and Influencing Factors Involved in Ageing of Organic Coatings in Atmospheric Environment[J]. Paint & Coatings Industry, 2010, 40(4): 68—72.
- [4] 贾林, 张林军, 张冬梅, 等. 湿热环境下 A-IX-II 炸药装药的老化性能[J]. 火工品, 2015(5): 29—32.
JIA Lin, ZHANG Lin-jun, ZHANG Dong-mei, et al. Aging Properties of A-IX-II Explosive Charge in the Hydrothermal Environment[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2015(5): 29—32.
- [5] 吴福信, 封彤波, 吴灿伟. 军用飞机长期封存防腐理论研究与实践[J]. 装备环境工程, 2009, 6(1): 74—80.
WU Fu-xin, FENG Tong-bo, WU Can-wei. Theoretical and Practical Studies of Long-term Conservation and Anticorrosion of Battleplans[J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(1): 74—80.
- [6] 王敏, 荀焯, 邵汉强. 现代战争条件下军品包装可用性评价[J]. 军事交通学院学报, 2014, 16(8): 65—68.
WANG Min, XUN Ye, SHAO Han-qiang. Study on Military Packaging Usability Evaluation under the Condition of Modern War[J]. Journal of Military Transportation University, 2014, 16(8): 65—68.
- [7] 刘振华, 张志刚, 陈明杰. 军用物资包装有效期的影响因素与对策分析[J]. 包装工程, 2011, 32(9): 51—53.
LIU Zhen-hua, ZHANG Zhi-gana, CHEN Ming-jie. Influencing Factors and Countermeasures of Packaging Effective Period for Military Supplies[J]. Packing Engineering, 2011, 32(9): 51—53.
- [8] 杨世坚, 沈咏梅. 外军军事装备封存包装技术研究[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 74—76.
YANG Shi-jian, SHEN Yong-mei. Study of Seal and Storage Packaging Technology of Foreign Military Equipment[J]. Packing Engineering, 2006, 27(3): 74—76.
- [9] 吴灿伟, 封彤波, 阎旭, 等. 封套材料在军用装备封存包装中的应用及发展趋势[J]. 包装工程, 2009, 30(9): 53—57.
WU Can-wei, FENG Tong-bo, YAN Xu, et al. Application and Development Trend of Envelope Materials in Military Equipment Preservative Packaging[J]. Packing Engineering, 2009, 30(9): 53—57.
- [10] 侯辉, 赵春燕, 蔡建. 高防潮阻隔性封套包装复合材料设计探讨[J]. 包装工程, 2014, 35(11): 145—149.
HOU Hui, ZHAO Chun-yan, CAI Jian. Design of Envelope Packaging Composite Materials with Highly

- Efficient Moisture Barrier Performance[J]. *Packing Engineering*, 2014, 35(11): 145—149.
- [11] 王波. 一种 PVDC 复合防潮封套材料研究[J]. *包装工程*, 2011, 32(15): 66—69.
WANG Bo. Envelopment of a PVDC Composite Moistureproof Envelop Material[J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(15): 66—69.
- [12] 段志强, 易建政, 滕利才. 伪装隔热封套材料研究[J]. *包装工程*, 2012, 33(5): 59—61.
DUAN Zhi-qiang, YI Jian-zheng, TENG Li-cai. Study of Camouflage and Heat-shielding Envelop Material[J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33(5): 59—61.
- [13] 段志强, 易建政, 宣兆龙. 聚氯乙烯/氯化聚乙烯封套材料性能研究[J]. *军械工程学院学报*, 2007, 19(3): 68—69.
DUAN Zhi-qiang, YI Jian-zheng, XUAN Zhao-long. Property Studies on Polyvinyl Chloride/Chlorinated Polyethylene Envelop Material[J]. *Journal of Ordnance Engineering College*, 2007, 19(3): 68—69.
- [14] 李建学, 罗春明, 胡俊祥, 等. 高阻隔水蒸气 PET 共聚酯薄膜的制备研究[J]. *绝缘材料*, 2013, 46(5): 17—20.
LI Jian-xue, LUO Chun-ming, HU Jun-xiang, et al. Preparation Study of PET Copolyester Film with High Barrier to Water Vapor[J]. *Insulating Materials*, 2013, 46(5): 17—20.
- [15] 张文雨, 李晋庆, 罗运军. 新型热塑性聚氨酯弹性体的结构与性能[J]. *火炸药学报*, 2010, 33(6): 39—42.
ZHANG Wen-yu, LI Jin-qing, LUO Yun-jun. Morphology and Properties of Novel Thermoplastic Polyurethane Elastomer[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2010, 33(6): 39—42.