

复合材料气密包装箱设计及试验验证

雷雪媛, 余家泉, 赵鹏飞, 丛彦超, 张家骏

(中国运载火箭技术研究院, 北京 100076)

摘要: **目的** 为适应产品集装化大批量输送、环境适应性强、快速保障的需要, 研究轻质高强复合材料气密包装箱设计方案。**方法** 首先进行包装箱设计需求分析, 明晰包装箱设计要点。其次, 分别从性能、结构、工艺三方面开展设计。基于复合材料设计特点, 采用系统最优的设计思路进行增强材料、基体材料和芯材料的设计及选型, 提出箱体设计方法。针对内装物长期存储问题, 提出气密包装箱关键密封结构设计方法。基于低导热系数聚氨酯保温材料, 进行包装箱保温结构设计, 满足包装箱在恶劣自然环境下的保温要求。结合包装箱低成本设计要求, 提出包装箱真空导流工艺技术路线。**结果** 包装箱承压能力可以达到 20 kPa 以上, 可适应高温 55 °C、低温-50 °C 的使用环境, 充气后 72 h 压降不大于 10%, 同时可以满足堆码、吊装及叉装工作要求。**结论** 该复合材料包装箱可以适应产品快速、高效保障的需求, 有广阔的市场前景和推广价值。

关键词: 复合材料; 包装箱; 气密性

中图分类号: TB482.2 文献标志码: A 文章编号: 1001-3563(2024)03-0292-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.03.034

Design and Experimental Verification of Composite Material Airtight Packaging Box

LEI Xueyuan, YU Jiaquan, ZHAO Pengfei, CONG Yanchao, ZHANG Jiajun

(China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

ABSTRACT: The work aims to explore a design scheme of lightweight high-strength composite packaging boxes to meet the needs of mass transportation and strong environmental adaptability and rapid support of product containerization. Firstly, the design requirements of packaging boxes were analyzed to clarify the design points of packaging boxes. Secondly, the design was carried out from three aspects: performance, structure and process. Based on the design characteristics of composite materials, the design of reinforcing material, matrix material and core material was carried out according to the optimal design idea of the system, and the design method of boxes was proposed. Aiming at the long-term storage problem of products, the key sealing structure design of airtight packing boxes was proposed. Based on the low thermal conductivity polyurethane insulation material, the structure of packaging boxes was designed to meet the insulation requirements of packaging boxes in harsh environments. Combined with the low cost design requirements of packaging boxes, a process technology route of packaging boxes was put forward. The pressure bearing capacity of packaging boxes could reach more than 20 kPa, which could adapt to the environment of high temperature 60 °C and low temperature -55 °C. The pressure drop 72 h after inflation was not more than 10%, and it could meet the requirements of stacking, hoisting and fork loading. The composite packaging boxes can meet the needs of rapid and efficient support of our military ammunition, and have broad market prospects and promotion value.

KEY WORDS: composite materials; packaging box; air tight

现代战争具有爆发突然、战场环境多变复杂、战争进程快、准备时限短、保障强度大等特点, 产品运输是实施快速高效保障行动的基础, 影响着保障速度和效率^[1]。战争中机动频繁, 要求物资在复杂环境下实现快速化保障, 这对运输包装提出了更高的要求^[2-3]。如何适应集装化大批量输送、快速装卸, 满足快速保障的需求, 成为亟需解决的问题。为适应这一特点, 对包装箱提出了轻质化、力学性能优良、环境适应性强、操作方便的要求。

包装箱主要在储存、运输、装卸及开箱过程中可靠地支撑内容物, 确保产品安全。目前包装箱主要使用木质、钢制或铝合金材料、ABS 塑料等。木质包装箱不能密封, 防潮效果差, 使用寿命短; 钢制包装箱质量高, 易生锈; 铝合金包装箱质量轻, 但在沿海地区不耐盐雾腐蚀; ABS 塑料轻便, 防护效果好, 但抗老化能力差, 很难制作大型包装箱。随着产品防护要求的不断提高, 越来越多的包装箱采用复合材料, 例如法国的“飞鱼”MM40 贮存发射箱、美国的“捕鲸叉”贮存发射箱、SMA W83 mm 发射筒等^[4]。国内对复合材料包装箱的研究也在逐渐增加, 如大型密封航天器等产品配套复合材料包装箱^[5-6]。复合材料包装箱具有轻质高强^[7]、可设计、减震抗疲劳性能好^[8]、易于批量生产、质量一致性较好、易于维修、耐候性好^[9-10]、使用寿命长等特点。

本文开展了设计力学性能优良、轻质化、环境适应性强、复合材料气密包装箱的研究。创新性提出复合材料包装箱箱体材料体系选型设计方法、气密包装箱关键密封结构设计方法及保温结构设计方法, 对解决目前包装箱轻质化设计难题及提升满足军用装备在恶劣环境条件下的包装、运输及储存能力, 具有十分重要的现实意义。

1 包装箱设计需求

1.1 轻质化

包装箱频繁操作使用, 必须进行结构轻质化设计, 操作灵活性设计, 为操作人员减负。包装箱结构优化、质量减少, 可有效降低对厂房桁吊或外场汽车吊等保障设备的要求, 有利于基础设施建设。复合材料成型箱体可实现结构功能一体化, 达到较好的减量效果。

1.2 低成本

包装箱的设计需重点考虑低成本因素, 不仅包括研制的低成本, 重点是将保障成本、使用成本、学习成本、训练成本、使用成本考虑在内。包装箱设计过程中在方便人员操作使用的同时, 应努力提升产品效

费比, 使在有限的资源里实现更多的性能和目标。

1.3 环境适应性强

未来的作战环境一定是越来越复杂多变, 跨区、外场使用等复杂工况增多, 对包装箱的环境适应性提出了更高的要求。复合材料箱体环境适应性强, 且未来产品长期存储的要求高, 气密包装箱是不可或缺的设备, 充氮气使内装物始终处于一个气压相对稳定的密封环境中, 可以对内装产品起到较好的保护作用^[11]。

2 复合材料包装箱设计

复合材料的最大的特点是材料性能具有可设计性^[12-13]。复合材料包装箱设计的主要方面包括性能设计、结构设计和工艺设计, 此三方面均为不可或缺的。性能设计是按照使用目的和使用条件, 设计出的复合材料包装箱能够满足设计的性能要求。结构设计是按照性能指标和承载情况, 合理设计包装箱结构尺寸, 以确保箱体的安全性和可靠性。工艺设计是按照结构特点来选择最适合的成型方式, 并且要以最大化降低成本为目标。

2.1 性能设计

2.1.1 安全性设计

包装箱安全性设计一般包括材料选型安全、结构安全、运输安全、跌落安全等。包装箱所选材料均为完全固化的热固性树脂纤维复合材料, 无毒无害, 安全性高。内装产品结构及与包装箱箱壁的安全间隙均大于 30 mm (在包装箱尺寸和质量允许的情况下, 安全间隙应尽可能增大), 产品进出箱过程中采用导向设计, 导向设计一般指在进出箱过程中对产品进行方向性的指引设计, 包括导向导轨、导向销、导向杆等, 在存储、操作和运输过程中均能有效保护内装物安全。包装箱箱体高强度设计的同时, 选用大截面、高流量安全阀件, 增大安全阀的泄压能力, 适应长距离运输、高原等全天候使用的工况要求。产品在包装箱内放置时, 采用轴向和径向复合锁定的方法, 实现对产品的可靠固定, 确保在跌落等工况下保护内装产品安全。

2.1.2 密封性设计

采用成熟的复合材料成型加工技术, 真空辅助加压结构层, 接力式真空加压传递导入复合成型工艺。在确保复合材料本体各层间结合强度的同时, 提高箱体面板的无界面高致密性, 保证大面积密封要求的同时, 密封面采用特殊的结构形式与材料, 有效实现低漏率超效密封。

2.1.3 人机工程设计

包装箱所有操作无需专用工具均可徒手操作，满足操作便捷性和短时响应。包装箱采用“四点式防撞+攀岩仿生”（脚踏和扶手）一体化设计，即将具有缓冲功能的防撞块和上箱操作的脚踏扶手进行一体化设计，简化结构的同时可方便人员在包装箱多层码垛工况下进行上层包装箱的操作。产品紧固结构操作可实现“一键转换”操作，搭扣形式免调节，操作便捷可靠且提高了使用安全性。

2.2 复合材料箱体设计

复合材料包装箱必须根据性能要求，选用适合的增强材料和基体材料组合。增强纤维起到结构增强、防护等作用。目前，国外复合材料包装箱的增强材料主要有玻璃纤维和碳纤维。其中，大多数使用玻璃纤维，而部分则采用碳纤维。虽然玻璃纤维的成本较低，但碳纤维的性能优于玻璃纤维，更适用于重要的场合。树脂基体的作用在于负载转移，基体材料大多选择环氧树脂或不饱和聚酯树脂。选择环氧树脂是因为固化方便、黏接力强、收缩性低，固化后的环氧树脂具有优异的力学性能。由于复合材料的比强度、比模量大，复合材料包装箱在满足强度、刚度条件下可以实现较好的减重效果。

包装箱箱体采用三明治夹芯结构，由高强纤维增强蒙皮、轻质夹芯材料和金属骨架组成，典型端面结构见图 1。在主要承力部位内嵌金属骨架，骨架处采用纤维布包裹，加强蒙皮和骨架的连接，实现更好的载荷传递。

2.2.1 增强材料设计

增强材料使用玻璃纤维。由于增强纤维的性能一般比基体性能高 2~3 个数量级，因此高性能复合材料的力学性能很大程度上取决于所选纤维的性能。常见

的增强纤维有碳纤维、芳纶纤维、玻璃纤维等，但玻璃纤维以耐热性好、耐腐蚀性好、力学强度高等优点应用最为广泛。玻璃纤维的主要性能指标见表 1。

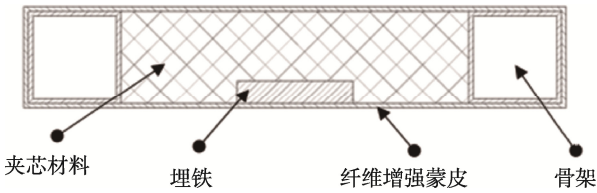


图 1 包装箱本体端面示意图
Fig.1 Diagram for body end of packaging box

2.2.2 基体材料设计

常用的基体材料有环氧树脂、不饱和聚酯树脂、酚醛树脂等，环氧树脂强度高，酚醛树脂耐温性好，但都存在成型工艺差的缺点，不饱和树脂成型工艺好，但力学性能一般，综合考虑常温成型工艺参数、材料性能、成本等因素，本设计方案选用环氧改性乙烯基树脂。在不饱和聚酯环氧改性的基础上，添加乙烯基树脂，从而形成了高性能的环氧树脂。不同种类的热固性树脂对比见表 2。

2.2.3 芯材料设计

复合材料芯材的作用不仅在于支撑面板，而且可以防止它们产生向内或向外的弯曲变形，同时还能保持它们彼此在相应的位置上。添加了芯材，导致 2 个面板之间的间距扩大，从而使整个夹层结构材料的截面惯性矩增大，提高了其整体刚度和强度。可以通过使用低密度夹芯材料来提高夹芯结构的弯曲强度，同时能够减轻结构的重量。夹芯材料是应用于复合材料的一种材料，其种类包括轻木、铝蜂窝、PMI 泡沫和聚氨酯泡沫。本设计采用聚氨酯泡沫层结构，在保证结构刚度的同时有效降低结构重量。

表 1 玻璃纤维主要性能指标
Tab.1 Main performance indexes of glass fiber

密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	断裂伸长率/%	单丝强度/MPa	比强度/(10^6 cm)	比模量/(10^8 cm)
2.54	4.8	3 200~3 400	13.5	2.8

表 2 不同种类的热固性树脂对比
Tab.2 Comparison of different types of thermosetting resins

性能	阻燃性能 (氧指数)	热变形 温度/ $^{\circ}\text{C}$	拉伸强度/MPa	拉伸模量/MPa	断裂伸长率/%	弯曲强度/MPa	弯曲模量/MPa
不饱和聚酯	32~33	80~85	60~70	3 000~3 200	3~4	120~130	3 200~3 400
环氧改性乙烯基树脂	≥ 32	108~115	75~85	3 400~3 500	4~5	120~135	3 600~3 900
环氧树脂	30~32	90~110	70~80	3 000~3 800	3~6	110~120	3 000~3 800

2.3 密封结构设计

2.3.1 箱门与箱本体密封设计

箱门通过铰链和锁扣与箱本体连接, 箱本体与端门夹心层预埋金属嵌件, 使用螺钉固定铰链及锁扣。为确保包装箱密封性, 在箱体和箱门之间设置金属过渡件, 使用快开式锁扣压紧箱门及箱体之间的密封胶条实现密封。选用波纹型密封胶条在箱门锁紧时还可增加密封层级, 进一步保证箱体气密性。箱门与箱本体密封结构见图 2。

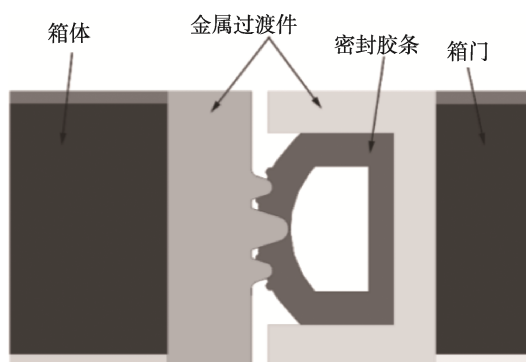


图 2 密封结构
Fig.2 Sealing structure

2.3.2 箱本体安装件密封设计

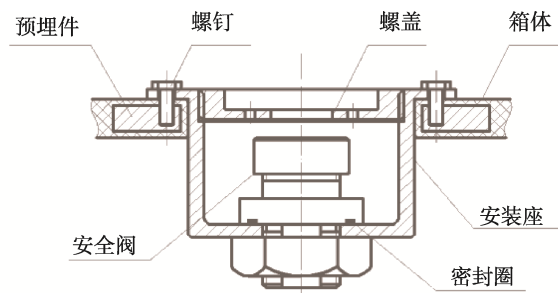
箱体表面根据功能要求设计有充气阀、放气阀、安全阀等阀件。为便于安装和拆卸, 设计金属安装组件, 安装座与箱体通过“胶接+螺接”的密封形式与箱体安装固定, 阀件通过机械密封(螺接加密封件)或增加 O 型密封圈安装在安装座上, 实现阀件与安装座之间的密封, 结构示意图见图 3。

2.4 保温结构设计

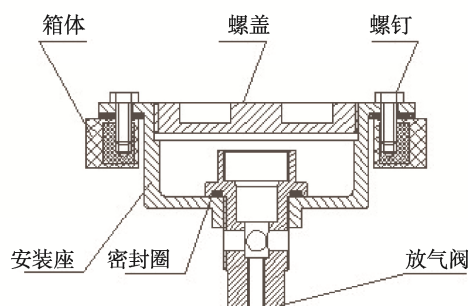
复合材料包装箱在紧急情况下需要为内装产品在短时间内提供相对稳定的温度环境。包装箱采用轻质“玻璃钢+聚氨酯泡沫层+玻璃钢”复合材料夹芯结构。玻璃钢可为包装箱提供结构强度和刚度, 其导热系数约为 $0.4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 属于低导热系数材料, 可为包装箱提供一定保温功能。复合材料夹芯结构的保温功能优于同厚芯材的保温功能。箱体为多层平壁板状结构, 传热系数 K 按式(1)计算。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_N} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_w}} \quad (1)$$

式中: α_N 为箱体内壁换热系数; α_w 为箱体外壁换热系数; δ 为箱体夹芯结构各层厚度; λ 为导热系数。



a 安全阀安装密封结构



b 放气阀安装密封结构

图 3 安装件密封结构
Fig.3 Diagram of installation sealing structure

经试验测得聚氨酯泡沫层导热系数为 $0.03 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 内外蒙皮厚度为 2 mm , 芯材厚度为 30 mm , 计算得到传热系数 $K=0.95 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$; 取 1.5 倍安全裕度, 则传热系数 $K=1.43 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

通过仿真计算, 在环境温度为 40°C 、时间为 4 h 条件下, 箱内温度由初始 30°C 增长至 37°C ; 在环境温度为 -40°C , 时间为 4 h 条件下, 包装箱内温度由初始 5°C 降低至 -26°C 。

2.5 包装箱工艺设计

复合材料成型工艺主要有手糊成型、RTM 成型、真空导入成型、模压成型、缠绕成型、热压罐成型等几种方式, 这些方式用于生产复合材料都有其特点和适用范围^[13-14]。

手糊工艺可以制备大尺寸、形状复杂的制件, 但其产品质量稳定性差、生产效率较低。热压罐工艺制备的产品具有优异的性能和高质量稳定性, 但需要投入的设备和材料成本都非常高。非热压罐预浸料成型 (Out of Autoclave, OOA) 生产工艺简单、质量可靠, 但对预浸料的要求较高。现阶段适合 OOA 成型工艺的预浸料较少, 且固化温度普遍较高。干法缠绕工艺生产效率高, 且质量稳定性好, 但需要投入的设备投资较大, 产品的层间剪切强度低, 且方箱 4 个平面无缠绕张力, 需要真空袋压辅助成型。

湿法缠绕工艺可以缠绕大尺寸回转体,而且产品气密性好,生产效率高,但产品含胶量不易控制,可供湿法缠绕的树脂品种较少,且方箱4个平面无缠绕张力,需要新增压板和固定工装对其施压,操作较复杂。

真空导入工艺可以在施工时同时铺覆内外蒙皮、加强筋、夹芯结构及其他嵌件,因而大大提高了产品的整体强度;且真空导入工艺生产的复合材料纤维含量高、孔隙率低,尤其是层间剪切强度非常高,大大提高了产品的抗疲劳性能。但该工艺施工较为复杂,需要合理设计和布局真空导流铺覆顺序和管路,需要使用到真空泵、真空袋膜、脱模布、透气毡及导流管等辅助材料,辅材投入成本稍高。真空导流工艺示意图见图4。

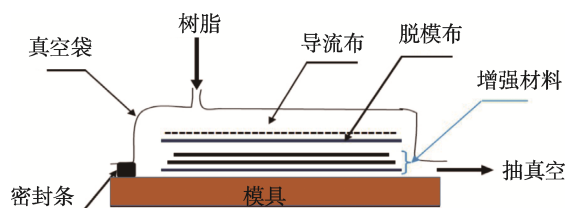


图4 真空导流工艺
Fig.4 Diagram of vacuum diversion process

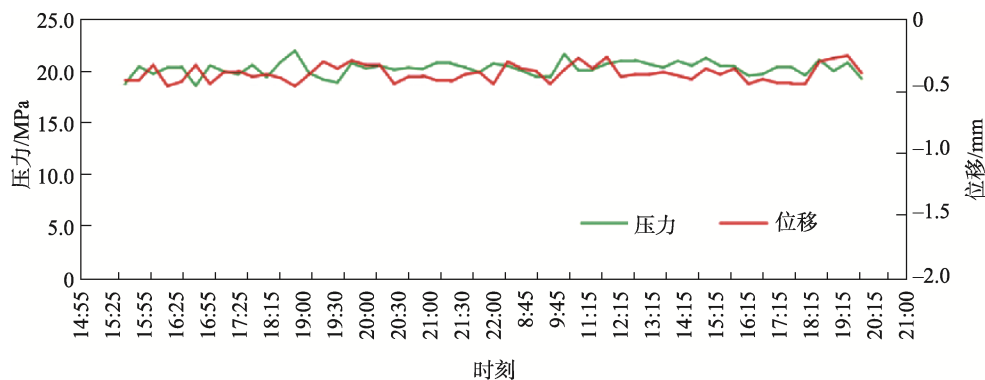


图5 包装箱承压变形曲线
Fig.5 Pressure deformation curve of packaging box

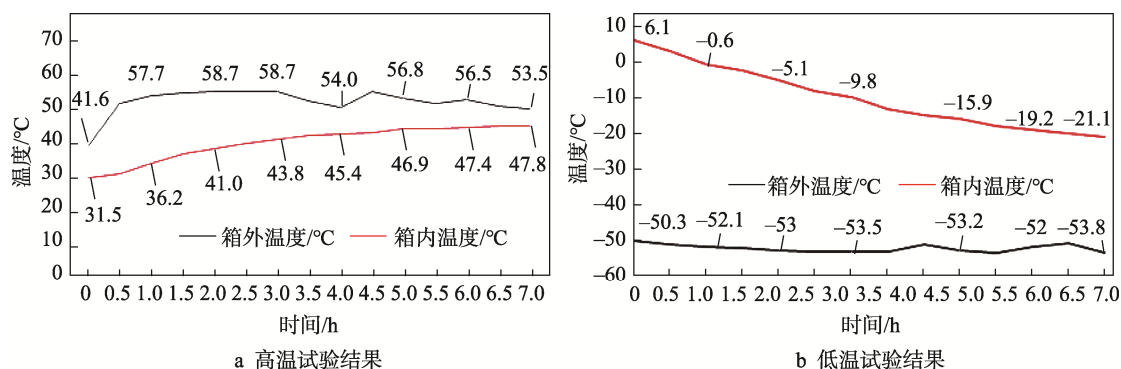


图6 高低温试验结果
Fig.6 High and low temperature test results

3 复合材料包装箱试验验证

3.1 承压试验

承压试验的目的是考核复合材料箱体承受内压的能力,尤其是在高温条件下承受内压的能力。对包装箱进行高温、内压工况试验,将箱体表面通过伴热带加热至80℃以上,内部液压千斤顶对箱体施加20 kPa的压力进行试验。

承压试验进行30 h,最高温度为92℃,最低温度为74℃,平均温度为83℃,最高内压为24 kPa,最低内压为20 kPa,内压均值为22 kPa,最大变形量为0.4 mm,最小形变量为0.16 mm,变形量均值为0.31 mm,表面无裂痕等缺陷,即箱体在高温下力学性能满足设计要求。包装箱承压变形曲线见图5。

3.2 高低温试验

高低温试验的目的是考核复合材料包装箱在高低温条件下储存和工作的适应性。高低温试验一般按照GJB 150.3、GJB 150.4执行。对包装箱进行高低温试验,在高温55℃环境下,暴露7 h后,包装箱内温度为48℃;在低温-50℃环境下,暴露7 h后包装箱内温度为-21℃。试验结果见图6,表明包装箱可以满足高低温环境使用。

3.3 气密性试验

气密性试验的目的是考核复合材料包装箱的气密性能。对包装箱开展了气密性试验,包装箱充气稳压后保持 72 h,压力泄露不超过 10% (排除温度影响)。对包装箱进行了 2 个月长期存储试验,试验结果见图 7。试验表明,经过 63 d 的长期存储,包装箱内压力降低了约 15%,包装箱气密性良好,可以对内装产品起到良好的保护作用。

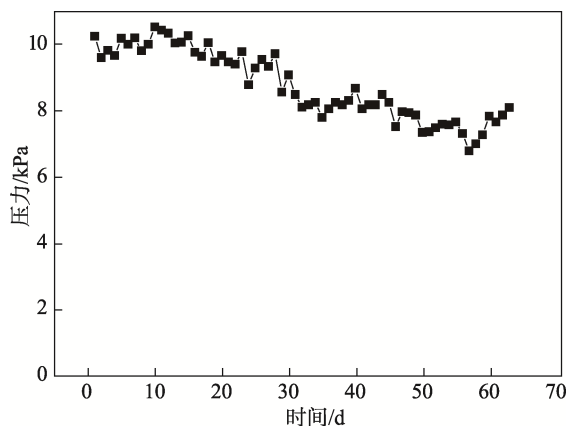


图7 包装箱长期存储压力变化曲线

Fig.7 Long-term storage pressure curve of packaging box

3.4 堆码试验

堆码试验^[15]的目的是考核包装箱在堆码工况下箱体表面的承压能力和堆码接口的匹配性。堆码试验一般参照 GJB 4403A—2018 中“5.1.4.4 堆码试验”规定的方法执行。包装箱可实现多层堆码,对包装箱进行了堆码试验,将一个满载的包装箱码放至另一个空载的包装箱上,两箱堆码机械接口匹配协调。放置 5 d 后,被试品无塌陷、无损坏,变形量约为 2 mm。

3.5 吊装试验

吊装试验的目的是考核包装箱在起吊工况下的结构强度。吊装试验一般参照 GJB 2711—96 中“方法 8 机械装卸试验”中“5.2.2 利用起吊件的吊索起吊法”规定的方法执行。使用起吊设备分别对满载包装箱和空载包装箱进行了吊装试验,吊装平稳,可以实现安全起吊。起吊高度不小于 2 m,起吊时间不小于 5 min。试验后检查,被试品无变形、无破损、配件无损坏。

3.6 叉装试验

叉装试验的目的是考核包装箱在叉装条件下的结构强度。叉装试验一般参照 GJB 2711—96 中“方法 8 机械装卸试验”规定的方法执行。使用叉车对准包装箱箱体叉车位置标识,将包装箱平稳叉起,叉孔位置满足安全叉运,保持离地高度不小于 1 m,叉装

时间不小于 20 min。试验后检查,被试品无变形、无破损。

4 结语

本文围绕包装箱的设计需求,以质量轻、强度高、成本低、环境适应强为设计思想,开展了复合材料包装箱设计、试验验证以及实际使用验证。得出该产品技术性能良好、操作性强,可以适应产品快速、高效保障的需求。该设计方法和理念可以应用至其他地面设备设计,具有广阔的市场前景和推广价值。

参考文献:

- [1] 赵吉敏,汪文森,回成月,等. 军用卡扣式可拆装包装箱应用研究[J]. 包装工程, 2018, 39(21): 235-240.
ZHAO J M, WANG W M, HUI C Y, et al. Application of Military Dismountable Buckle Packaging Box[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(21): 235-240.
- [2] ZHU Y J, WANG J J, NIE X, et al. Structural Performance of Slabs in Composite Box Girder Considering Compressive Membrane Action[J]. Engineering Structures, 2020, 212: 110457.
- [3] 陈王辉,柴朋军,邢会霞等. 复合材料弹头及部段包装箱的设计研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2020(5): 34-36
CHEN Y H, CHAI P J, XING H X, et al. Design of Missile Packing Box[J]. Fiber Reinforced Plastics Composites, 2020(5): 34-36.
- [4] 杨永伟,张静,王清晨. 弹药包装箱铁路运输试验问题及对策[J]. 包装工程, 2019, 40(7): 246-249.
YANG Y W, ZHANG J, WANG Q C. Problems and Countermeasures of Railway Transport Test for Ammunition Packing Boxes[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(7): 246-249.
- [5] 康宝臣,郭志军,薛贵林. 大型密封包装箱复合结构设计及优化分析[J]. 数字海洋与水下攻防, 2018, 1(3): 63-68.
KANG B C, GUO Z J, XUE G L. Composite Structural Design and Optimization Analysis of Large Sealed Packing Box[J]. Digital Ocean & Underwater Warfare, 2018, 1(3): 63-68.
- [6] 蔡建,詹永富,胡秉飞. 复合材料密封包装容器干燥控湿设计研究[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 112-116.
CAI J, ZHAN Y F, HU B F. Moisture-Proof and Humidity-Control Design of Sealed Composite Packages[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 112-116.
- [7] 孙树凯. 航空发动机玻璃钢包装箱强度校核及有限元

- 分析研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2016: 5-10.
- SUN S K. Strength Check and Finite Element Analysis of FRP Packing Box for Aero-Engine[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016: 5-10.
- [8] 李海连, 罗春阳, 李忠山, 等. 玻璃钢包装箱气体密封结构及压差控制系统设计与试验[J]. 液压与气动, 2018(9): 87-91.
- LI H L, LUO C Y, LI Z S, et al. Design and Experimental Research on Gas Seal Structure and Differential Pressure Control System of GFRP Packaging Box[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2018(9): 87-91.
- [9] 李顺林, 王兴业. 复合材料结构设计基础[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1993.
- LI S L, WANG X Y. Fundamentals of Composite Structural Design[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 1993.
- [10] 中国航空研究院. 复合材料结构设计手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 2001.
- Chinese Aeronautical Establishment. Handbook of Structural Design of Composite Materials[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2001.
- [11] 谭其才. 空-空导弹用玻璃钢包装箱的设计和制造[J]. 玻璃钢/复合材料, 1992(6): 32-34.
- TAN Q C. The Design and Preparation of the Frp Packing Box for air-to-Air Guided Missile[J]. China Industrial Economics, 1992(6): 32-34.
- [12] 王荣国. 复合材料概论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999: 1-6.
- WANG R G. Introduction to Composite Materials[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 1999: 1-6.
- [13] 王耀先. 复合材料结构设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 1-10.
- WANG Y X. Composite Structural Design[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001: 1-10.
- [14] 肖翠蓉, 唐羽章. 复合材料工艺学[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1991.
- XIAO C R, TANG Y Z. Composite Technology[M]. Changsha: National Defense Science and Technology University Press, 1991.
- [15] 李广超, 朱明瑞. 某产品包装箱使用工况考核试验[J]. 科技创新与生产力, 2018(10): 63-65.
- LI G C, ZHU M R. Working Condition Test of the Packing Box of a Product[J]. Sci-Tech Innovation and Productivity, 2018(10): 63-65.