HolyPan 复合材料在中件空投系统中的应用研究

凡小平[1]，阳静[1]，刘进雷[1]，王光新[1]，王立鹏[1]，闻庆阳[2]
（1. 95829 部队空降兵研究所，湖北 孝感 432100；2. 95985 部队，河南 开封 475000）

摘要：目的 以 HolyPan 复合材料特性研究为基础，通过分析中件空投系统现存问题，研究 HolyPan 复合材料在中件空投系统中的应用。**方法** 首先，对 HolyPan 复合材料抗冲击、拉伸、悬挂强度等特性分别进行测试。其次，以 HolyPan 为主体材料，对现役中件空投系统进行改进设计。最后，对设计样品进行跌落缓冲试验，以验证 HolyPan 复合材料在中件空投系统应用中的合理性。**结果** 以 HolyPan 复合材料为主体设计的中件空投平台和中件空投集装箱，在缓冲性能等方面明显优于现役中件空投系统。**结论** HolyPan 复合材料在中件空投系统中的运用具有现实意义，可显著提高中件空投系统的安全性和可靠度。

关键词：中件平台；HolyPan 复合材料；中件集装箱；应用研究
中图分类号：TB485.1 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2023)07-0301-06
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.07.035

Application of HolyPan Composites in Medium-sized Airdrop System

FAN Xiao-ping[1], *YANG Jing*[1], *LIU Jin-lei*[1], *WANG Guang-xin*[1], *WANG Li-peng*[1], *WEN Qing-yang*[2]
(1. Institute of Paratroops, Unit 95829, Hubei Xiaogan 432100, China; 2. Unit 95985, PLA, Henan Kaifeng 475000, China)

ABSTRACT: The work aims to study the application of HolyPan composites in medium-sized airdrop systems through analyzing the existing problems of medium-sized airdrop systems based on research of properties of HolyPan composites. Firstly, the impact resistance, tensile strength and suspension strength of HolyPan composites were tested respectively. Secondly, the HolyPan composites were applied as main body materials to carry out an improved design of medium-sized airdrop systems in service. Finally, a drop buffer test was conducted on the designed samples to verify the rationality of applying HolyPan composites in medium-sized airdrop systems. As a result, the medium-sized airdrop platforms and containers with main body of HolyPan composites were significantly superior to medium-sized airdrop systems in service in terms of buffer performance. In conclusion, the application of HolyPan composites in medium-sized airdrop systems has practical significance, which can significantly improve the safety and reliability of medium-sized airdrop systems.
KEY WORDS: medium-sized airdrop platform; HolyPan composites; medium-sized container; application research

空投是一种特殊的军事物资投送方式。与传统军事物流相比，采用空投方式可突破地面自然地理障碍，实现远程直达、立体投送、快速补给等。空投受到普遍关注，已成为一种越来越重要的持续保障方式[1]。目前，现役中件空投系统使用频率高、消耗量大，其主要有中件平台和中件集装箱 2 种[2]。中件平台主体材料采用改性尼龙材料整体注塑制作而成，主要用于装载有包装的装备、物资器材等。中件集装箱的箱底和箱体也是采用改性尼龙材料，主要用于装载无包装的装备、物资器材等[3]。空投系统主体材料的关键性能指标包括主体强度、减震性能、缓冲效果、抗冲击能力、工作环境温度等，对空投物资的安全至

收稿日期：2022–10–27
作者简介：凡小平（1981—），男，本科。
通信作者：刘进雷（1989—），男，硕士。

关重要[4]。现役空投系统虽具有耐高低温、成本低、刚性强等特点，但受限于尼龙材料特性及制作工艺等影响，其在抗震缓冲、制作难度等方面还存在短板，对空投物资安全的影响较大[5]。

本文先对 HolyPan 复合材料进行了基础理化等特性的研究试验，在此基础上对现役中件空投系统进行了简化设计，设计一种以 HolyPan 复合材料为主体的中件空投系统。

1　试验

1.1　试验材料

本文的试验材料为 HolyPan 复合材料，该材料又称热塑性长玻璃纤维复合材料蜂窝板，主要由聚丙烯（PP）材料和玻璃纤维组成[6]，是一种热塑性轻质蜂窝四层夹心结构板（见图 1）。HolyPan 复合材料的芯材为聚丙烯圆孔蜂窝芯，上下面板为聚丙烯流延膜，中间 2 层为玻璃纤维聚丙烯纤维复合纱织物，多层聚丙烯材料通过连续式压机热压复合而成。其中，所采用的聚丙烯是一种轻质塑料[7]，其芯材与面材的复合不含胶膜，完全通过熔融连接，不存在界面相，其脱层的风险比芳纶蜂窝芯大板的低很多。

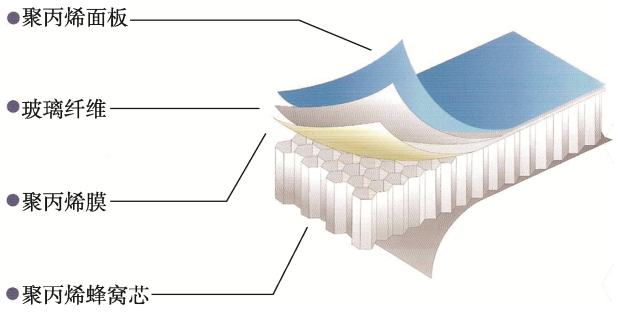


图 1　HolyPan 复合材料结构
Fig.1 Structural diagram of HolyPan composites

1.2　理化参数测试

按照空投适应性要求，对 HolyPan 材料进行了相关力学测试。试样采用厚度为 20 mm 的 HolyPan 复合材料，测试结果见表 1。

1.3　耐火性试验

HolyPan 复合材料所采用的聚丙烯属于易燃材料[8-11]，其氧指数（LOI）只有 17.4～18.5，且燃烧时产生大量的熔滴，极易传播火焰[12-14]。在 HolyPan 复合材料的聚丙烯粒料中加入一定比例的无卤阻燃剂[15-16]，可使改造后的 HolyPan 具有阻燃效果[17-18]。

本文根据 GJB 2093—94《试验方法 502 夹层板耐火试验》进行测试，改造后的 HolyPan 复合材料的余焰时间为 4 s 以下。图 2 为燃烧试验后样品截面图，从图 2 中可以看出，中件空投系统箱板材距钻孔中心 32 mm 以外的芯材无碳化和烧焦现象，因此，采用无卤阻燃膨胀体系对 HolyPan 进行改性后，能够使 HolyPan 通过 GJB 2093—94 耐火试验。

表 1　HolyPan (20 mm)理化性能参数
Tab.1 Physical and chemical properties of HolyPan (20 mm)

参数	数值	标准
剥离强度/N	700~800	GB/T 1457—2022
弯曲载荷/N	3 230	GB/T 1456—2021
冲击强度/(kJ·m^{-2})	85.29	GB/T 14153—1993
压缩强度/MPa	1.75	ASTM C365
压缩模量/MPa	40.5	ASTM C365
油漆附着力	5B 等级	ASTM D 3359
环保性	通过	美国 FDA 测试
吸水率/%	< 0.5	GB/T 1462—2005
玻璃纤维体积分数/%	60	GB/T 2577—2005
耐盐酸性	通过	GB/T 17748—2008

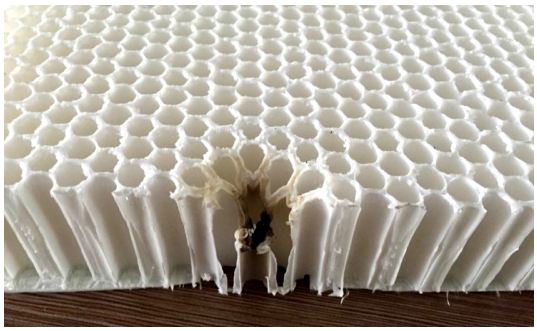


图 2　燃烧试验后样品截面（去除面皮）
Fig.2 Cross-section of sample after combustion test (skin removed)

1.4　耐撞击性试验

根据 GJB 2093—94《试验方法 501 夹层板撞击试验》，使用落锤冲击试验机进行耐撞击试验，其中试验落锤质量为 31 kg，直径为 75 mm。从图 3 中可以看出，经撞击后，撞击点半径周围无夹心材脱层、破碎。板材满足 GJB 2093—94 撞击性能的要求。

a 测试过程　　b 测试效果

图 3　材料耐撞击试验
Fig.3 Impact resistance test of material

1.5　日照热效应试验

根据 GJB 2093—93，采用红外灯模拟日晒，使用红外测温枪测试材料表面温度，材料面板温度达到 96 ℃后，维持 4 h，如图 4 所示。测试材料面板表面无明显变化，面板无变形，如图 5 所示。

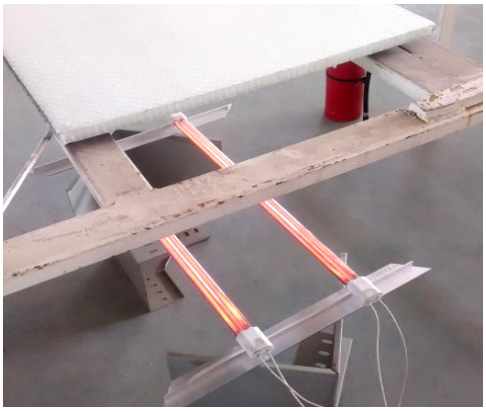
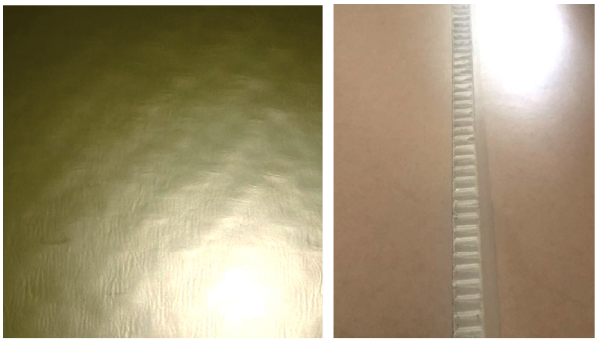


图 4　日照热效应试验模拟设备
Fig.4 Simulation equipment of sunshine thermal effect test

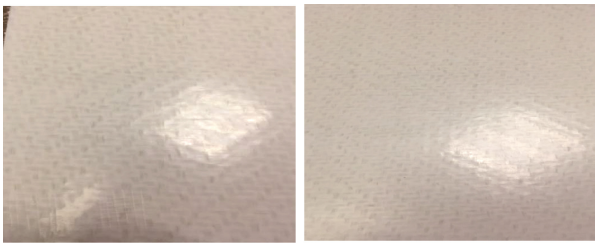


a 日照试验　　b 试验后

图 5　日照热效应试验后样品
Fig.5 Samples after sunshine thermal effect test

1.6　耐盐雾性能试验

根据 GJB 2093—94，外部涂层及部件应具有抗盐雾能力，不能出现涂层和镀层脱落，本文针对材料进行耐盐雾性能试验。图 6 为材料试验前后对比，可以看出材料没有变化，证明材料对盐雾具有优良的稳定性。



a 试验前　　b 试验后

图 6　耐盐雾板材试验前后对比
Fig.6 Salt spray resistant plates before (left) and after test (right)

2　设计方法

本方案参照中件物资空投系统的外形设计尺寸，主要以 HolyPan 复合材料替代原改性尼龙材料为主体材料，共设计空投平台和空投集装箱 2 种方案。

2.1　空投平台

设计的空投平台外形尺寸参照现役中件货台，上下 2 层为复合材料，中间层为 HolyPan 复合材料的聚丙烯芯材。平台高度可通过调节中间缓冲层来调节，以适应抗着陆冲击性能不同的空投物资。原平台边沿四周的吊点孔底座改为开孔设计，用以与捆绑带连接（见图 7）。

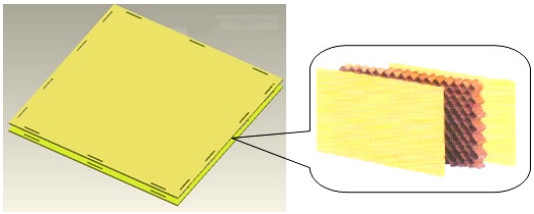
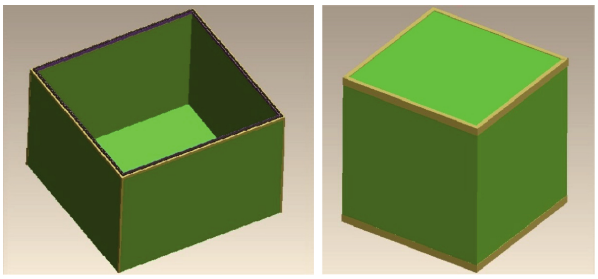


图 7　以 HolyPan 复合材料为主体的简易物资空投平台设计
Fig.7 Schematic diagram of simple cargo airdrop platform with main body of HolyPan composites

2.2　空投集装箱

为确保与现役空投载机和降落伞系统的匹配，设计外形尺寸与现役中件空投集装箱的尺寸一致。根据不同物资空投时的缓冲防护需要，箱底可辅助安放 HolyPan 复合材料的聚丙烯芯材（见图 8）。



a 内部示意　　b 整体效果

图 8　以 HolyPan 复合材料为主体的简易物资空投集装箱设计
Fig.8 Schematic diagram of simple cargo airdrop container with main body of HolyPan composites

3　连接制作技术

HolyPan 作为一种热塑性聚丙烯蜂窝夹心复合材料，一般有 3 种连接方式，即热熔焊接、结构胶黏结及金属铆接的形式。

3.1　热熔焊接方式

由于聚丙烯（PP）是热塑性塑料，具有随温度变化而呈现不同物态变化的特性，因此可以利用这个特性实现各材料间的有效连接。热熔焊接技术是一种成熟的焊接技术，可充分利用热塑性塑料的特性，使其接口部位的聚合物分子之间相互扭结。针对 HolyPan 材料，使用手持式塑料热焊挤出枪作为加热工具，通过热风的形式加热聚丙烯热焊条，持续均匀地焊接需要黏结的部位，后续使用定型工装对焊接部分进行定型施压直至聚丙烯焊条冷却到玻璃态。图 9 为热熔焊接的主要工具和材料。

a 手持式塑料热焊挤出机　　b PP热焊条

图 9　PP 热熔焊接工具
Fig.9 PP hot melt welding tool

3.2　结构胶黏结方式

HolyPan 的表面是一种非极性的高分子材料，其黏结的处理难度较高。针对中件空投集装箱的需求，主要采用聚丙烯水与 MS 高性能密封胶的体系来黏结 HolyPan。其中聚丙烯水主要用于聚丙烯塑料工件表面的活性处理，以提高塑料表面与结构的胶附着力。MS 高性能密封胶是一种湿固化的单组分黏结剂，兼具硅橡胶和聚氨酯密封胶的许多优点，尤其是其优良的黏附性和耐久性等。

3.3　铆接方式

HolyPan 采用灯笼铆接连接铝合金与 HolyPan 面皮，其设备和工艺简单。表 2 为关于 3 种连接方式的示意图以及强度。结果表明，3 种连接方式按照测试标准，其强度都能满足中件空投系统集装箱的强度要求。

4　跌落冲击试验

试验条件：试验测试设备为 DH–1706B 过载测试仪，着陆点地质条件为水泥地，无着陆缓冲。

试验方法：跌落试验冲击过载测试，动载仪安装于空投物资的包装箱上，使用螺丝钉进行固定。

跌落高度设置为 2.5 m（根据 GJB 6854—2009《空降兵装备空投要求》计算确定）。

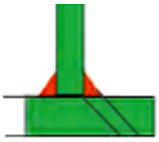
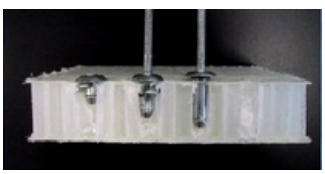
4.1　以改性尼龙材料为主体材料的中件空投平台跌落试验数据

跌落试验的冲击过载为三通道过载值的矢量和。将冲击过载峰值附近 25 ms 内测量数值平均值的最大值作为测试结果。改性尼龙材料中件平台跌落冲击过载曲线见图 10。试验数据表明，测试峰值为 20.9g，测试结果为 16.8g。

4.2　以 HolyPan 复合材料为主体的空投系统跌落试验数据

跌落试验的冲击过载为三通道过载值的矢量和。将冲击过载峰值附近 25 ms 内测量数值平均值的最大值取为最终测试结果。HolyPan 复合材料空投系统跌落冲击过载曲线见图 11。试验数据表明，测试峰值为 14.6g，最终测试结果为 12.2g。

表 2　HolyPan 典型连接技术
Tab.2 Typical connection technique of HolyPan

图示	连接方式	工具	测试标准	强度
	热熔焊接	聚丙型热焊条；手持式塑料热焊挤出枪	GB/T 3098.18—2004	125 N/cm（拉伸）
	结构胶黏结	PP 处理水；MS 高性能密封胶	GB/T 7124—2008	2.5 MPa（剪切）
	铆接	ϕ4.8 mm 的笼铆钉；铆钉枪	GB/T 3098.18—2004	70 kg/颗（拉拔）

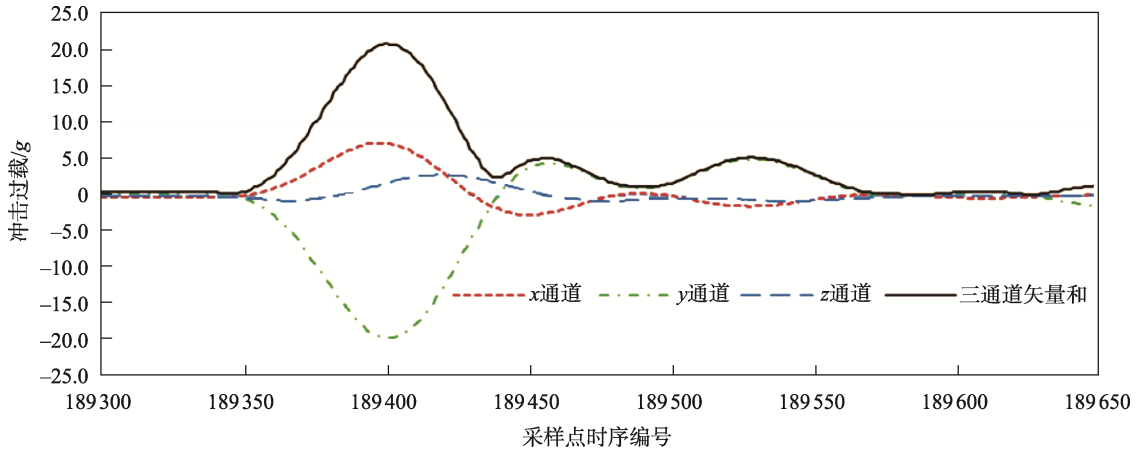


图 10　改性尼龙材料中件平台跌落冲击过载曲线

Fig.10 Drop impact overload curve of medium-sized platform for modified nylon materials

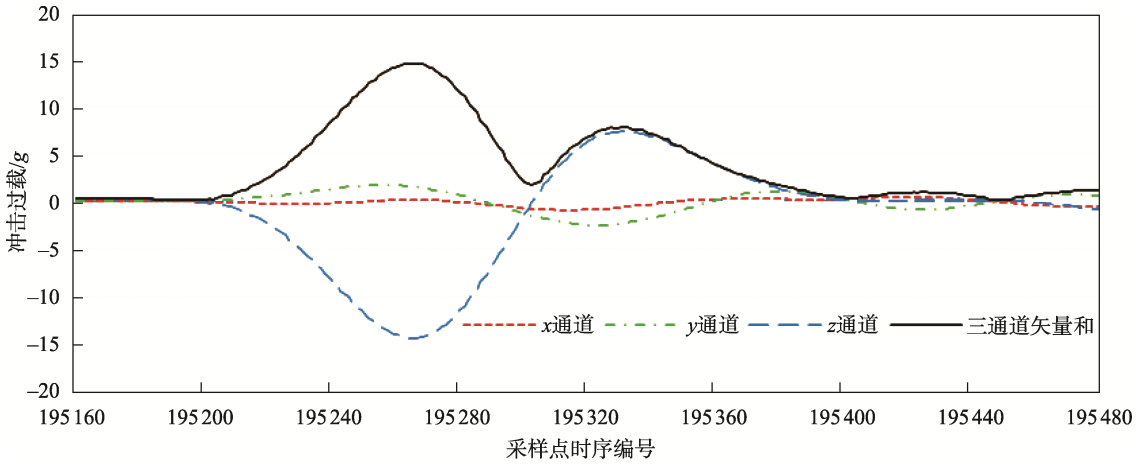


图 11　HolyPan 复合材料空投系统跌落冲击过载曲线

Fig.11 Drop impact overload curves of HolyPan composites airdrop system

4.3　方案对比

试验数据表明，相较于以改性尼龙材料为主体材料的中件空投平台，以 HolyPan 复合材料为主体材料的中件空投系统的冲击过载值更小，抗着陆冲击能力更好，更能满足空投和使用要求，后者明显优于前者。

5　结语

使用以 HolyPan 复合材料为主体材料加工的空投平台、空投集装箱与现役空投系统相比具有以下优势。

1）轻质高强。使用 HolyPan 复合材料能够在保证物资空投性能不降的同时减少空投系统自身的质量。以中件空投集装箱为例，初步估算，与现役中件空投系统相比，可减轻箱体自身质量 20%以上，最高可达到 50%（与使用的金属连接件数量相关）。

2）缓冲效果好。在进一步做好密封处理的基础上，过载峰值仅为现行中件箱体材料的 70%，空投物资防护能力好、可靠性高、稳定性强。

3）易加工。HolyPan 材料自身具有很强的热塑性，易于加工，因此，对特殊的物资空投需求，可借助配备的热熔焊丝进行局部焊接、加固，方便部队使用。

需要说明的是，相较于传统的蜂窝纸板和改性尼龙材料，在只考虑效费比时，HolyPan 复合材料并不具备价格优势，不适合大范围使用；但是，在空投精密仪器以及其他对冲击过载更敏感的医疗物资和武器装备时，可以优先选用 HolyPan 复合材料，以充分发挥其缓冲吸能优势。

参考文献：

[1] 廖圣洁，林国欣，杨秀深. 空降携行装备缓冲包装设计与分析[J]. 包装工程, 2016, 37(17): 11-14.
LIAO Sheng-jie, LIN Guo-xin, YANG Xiu-shen. Design and Analysis of Buffer Packaging for Airborne Carrying Equipment[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(17): 11-14.

[2] 牟超峰，杨燕，张武生. 基于 ExtendSim 小件空投地面准备的仿真研究[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(6): 101-104.

MU Chao-feng, YANG Yan, ZHANG Wu-sheng. Research on Optimized Simulation of Small Airdrop in Ground Preparation Based on ExtendSim[J]. Fire Control & Command Control, 2017, 42(6): 101-104.

[3] 李振波, 赵西友, 陈祖才, 等. 中件空投集装箱: 中国, 201999392U[P]. 2011-10-05.
LI Zhen-bo, ZHAO Xi-you, CHEN Zu-cai, et al. Middleware Airdrop Container: China, 201999392U[P]. 2011-10-05.

[4] 张国新, 汪学斌. 中件空投集装箱装载与需求优化方案[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(9): 95-97.
ZHANG Guo-xin, WANG Xue-bin. Research on Loading and Optimization Solution of Airdrop Middling Container Requirement[J]. Fire Control & Command Control, 2012, 37(9): 95-97.

[5] 董新东, 王宏, 林浩, 等. 中件空投平台缓冲材料及技术[J]. 包装工程, 2016, 37(17): 30-33.
DONG Xin-dong, WANG Hong, LIN Hao, et al. Cushioning Materials and Technology of Middle-Sized Pack Airdrop Platform[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(17): 30-33.

[6] 赵洪, 袁鑫, 杨佳明, 等. 弹性体/聚丙烯与塑性体/聚丙烯复合材料的力学及介电性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 36(10): 44-50.
ZHAO Hong, YUAN Xin, YANG Jia-ming, et al. Mechanical and Dielectric Properties of Elastomer/Polypropylene and Plastomer/Polypropylene Composites[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2020, 36(10): 44-50.

[7] 张广泰, 曹银龙, 李瑞祥, 等. 聚丙烯–钢纤维/混凝土柱大偏心受压承载力计算[J]. 复合材料学报, 2020, 37(9): 2336-2347.
ZHANG Guang-tai, CAO Yin-long, LI Rui-xiang, et al. Calculation of Bearing Capacity of Polypropylene-Steel Fiber Reinforced Concrete Column under Large Eccentric Loading[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2020, 37(9): 2336-2347.

[8] 肖雄, 胡爽, 陈涛, 等. 磷氮阻燃剂聚焦磷酸哌嗪及其复配体系对聚丙烯材料性能的影响和阻燃机理[J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 36(10): 71-78.
XIAO Xiong, HU Shuang, CHEN Tao, et al. Properties and Flame Retarding Mechanism of Polypropylene with Nitrogen-Phosphorus Flame Retardant (Piperazine Polypyrophosphate) and Its Compound System[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2020, 36(10): 71-78.

[9] ZAIKOV G E, LOMAKIN S M. Polymer Flame Retardancy a New Approach[J]. Journal of Application Polymer Science, 1998, 68: 715-725.

[10] SHEBATA A B. A New Cobalt Chelate as Flame Retardant for Polypropylene Filled with Magnesium Hydroxide[J]. Prolymer Degardation and Stability, 2004, 85: 577-582.

[11] LEWIN M, ENDO M. Catelysis of Intumescent Flame Retardancy of Polypropylene by Metallic Compounds[J]. Polymer Advanced Technolygy, 2003, 14: 3-11.

[12] 张立飞, 柳军旺, 马成国, 等. 氢氧化镁/可膨胀石墨/聚丙烯复合材料的热降解过程与燃烧行为[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2020, 52(1): 17-22.
ZHANG Li-fei, LIU Jun-wang, MA Cheng-guo, et al. Thermal Degradation and Combustion Behavior of Flame Retardant Polypropylene with Expandable Graphite and Magnesium Hydroxide[J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2020, 52(1): 17-22.

[13] LIU Lu-bin, XU Miao-jun, HU Yu-meng, et al. Surface Modification of Magnesium Hydroxide and Its Application in Flame-Retardant Oil-Extended Styrene- Ethylene-Butadien-Styrene/ Polypropylene Composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2019, 136(9): 1-9.

[14] XU Jia-yu, LI Kai-dan, DENG Hai-ming, et al. Preparation of MCA-SiO_2 and Its Flame Retardant Effects on Glass Fiber Reinforced Polypropylene[J]. Fibers and Polymers, 2019, 20(1): 120-128.

[15] WEI Qian, LI Xiang-zhou, ZHOU Jun, et al. High Synergistic Effects of Natural-Based Tea Saponin in Intumescent Flame-Retardant Coatings for Enhancement of Flame Retardancy and Pyrolysis Performance[J]. Progress in Organic Coatings, 2019, 127: 408-418.

[16] KE Zhen-kun, XIAO Xi-fu, CUI Jian-guang, et al. Thermal Behaviors and Flame Retardancy of Novel Flame-Retardant, Oil-Filled Styrene-Ethylene- Butadiene-Styrene Block Copolymer-Polypropylene Materials[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2018, 135(48): 1-8.

[17] 刘宏彪, 鄢莹, 杜钟, 等. 某弹药包装用聚乙烯塑料改性研究与寿命评估[J]. 包装工程, 2021, 42(1): 260-263.
LIU Hong-biao, YAN Ying, DU Zhong, et al. Modification and Life Evaluation of Polyethylene Plastic for Ammunition Packaging[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(1): 260-263.

[18] DAVID O. The Effect of Acid Aging on the Mechanical and Tribological Properties of Coir-Coconut Husk-Reinforced Low-Density Polyethylene Composites[J]. Polymer Bulletin, 2020, 7: 1250-1255

责任编辑：曾钰婵