

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.02.023

无氯氟化学发泡剂对深冷保温用 硬质聚氨酯泡沫导热性能影响

王洪庆¹, 余美丹¹, 毕玉遂¹, 毕戈华¹, 黄骏峰², 张录斌², 王娟³(1. 山东理工大学化学化工学院, 山东淄博 255049; 2. 补天新材料技术有限公司, 山东淄博 255000;
3. 枣庄杰富意振兴化工有限公司, 山东枣庄 277000)

摘要: 无氯氟化学发泡剂 CFA8125 可与异氰酸酯反应放出 CO₂ 气体, 用于硬质聚氨酯发泡, 分别使用无氯氟化学发泡剂 CFA8125、第三代物理发泡剂 HFC-245fa 和第四代物理发泡剂 LBA 制备硬质聚氨酯泡沫, 并对其性能进行了研究。结果表明, 所得硬质聚氨酯泡沫的密度为 43 kg/m³ 左右时, 使用化学发泡剂的硬质聚氨酯泡沫在长、宽、高方向上的压缩强度分别为 257, 228, 280 KPa, 均高于使用物理发泡剂的泡沫, 具有良好的压缩强度。使用化学发泡剂的硬质聚氨酯泡沫在 -160℃ 时的热导率为 10.10 mW/(m·K), 较使用物理发泡剂的硬质聚氨酯泡沫低 20% 左右, 更具保温效果, 且 -196℃ 下的尺寸稳定性优良, 符合使用标准, 可适用于深冷环境保温。

关键词: 化学发泡剂; 物理发泡剂; 硬质聚氨酯泡沫; 热导率; 保温

中图分类号: TQ328.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)02-0136-05

Effects of Non-chlorine and Non-fluorine Chemical Foaming Agent on Thermal Conductivity of Rigid Polyurethane Foam for Cryogenic Insulation

Wang Hongqing¹, Yu Meidan¹, Bi Yusui¹, Bi Gehua¹, Huang Junfeng², Zhang Lubin², Wang Juan³

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China; 2. Butian New Materials Technology Co., Ltd., Zibo 255000, China; 3. Zaozhuang JFE Zhenxing Chemical Co., Ltd., Zaozhuang 277000, China)

Abstract: Chlorine-free and fluorine-free chemical blowing agent CFA8125 can react with isocyanate to release CO₂ gas for rigid polyurethane foaming. Use chlorine-free and fluorine-free chemical blowing agent CFA8125, third-generation physical blowing agent HFC-245fa and fourth-generation physical blowing agent LBA respectively were used to prepare rigid polyurethane foam and its performance were studied. The results show that when the density of rigid polyurethane foam is about 43 kg/m³, the compressive strength of rigid polyurethane foam with chemical foaming agent in the direction of length, width and height are 257, 228, 280 kPa respectively, which is higher than that of physical foaming agent, and has good compressive strength. The thermal conductivity of rigid polyurethane foam with chemical foaming agent is 10.10 mW/(m·K) at -160℃, which is about 20% lower than that of rigid polyurethane foam using physical foaming agent, and has better thermal insulation effect, and the dimensional stability is excellent at -196℃. It meets the standards of application and can be applied to heat preservation in cryogenic environment.

Keywords: chemical foaming agent; physical blowing agent; rigid polyurethane foam; thermal conductivity; heat preservation

硬质聚氨酯泡沫是一种性能优越的高分子保温材料^[1], 广泛应用于冷库、建筑、集装箱、管道、白色家电和船舶等领域^[2]。在液化天然气、航空航天等深冷保温领域, 硬质聚氨酯泡沫的性能优势尤为突出, 具有不透水、不吸湿、超低温和常温下的力学

性能较好, 且在超低温和常温交变时尺寸稳定性好等特点, 逐渐成为最佳的深冷保温材料之一^[3]。

发泡剂是制备聚氨酯泡沫最重要的原材料, 发泡剂性能对聚氨酯泡沫的物理力学性能、泡沫密度、耐温性等都有直接影响^[4], 目前世界范围内普遍使用

通信作者: 毕戈华, 主要从事无氯氟聚氨酯化学发泡剂的合成与应用 E-mail: bigehua@sdut.edu.cn

收稿日期: 2020-12-15

引用格式: 王洪庆, 余美丹, 毕玉遂, 等. 无氯氟化学发泡剂对深冷保温用硬质聚氨酯泡沫导热性能影响[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(2): 136-140.

Wang Hongqing, Yu Meidan, Bi Yusui, et al. Effects of non-chlorine and non-fluorine chemical foaming agent on thermal conductivity of rigid polyurethane foam for cryogenic insulation[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(2): 136-140.

含氟氯烃类物质作为聚氨酯的发泡剂,欧美公司先后推出四代含氟氯烃类物理发泡剂^[5]:第一代发泡剂 CFC-11 (氟利昂) 由于对臭氧层有破坏作用,已被淘汰。第二代发泡剂 HCFC-141b (一氟二氯乙烷) 作为 CFC-11 的过渡性替代物,对臭氧层有一定破坏作用,并且会导致温室效应的加剧,根据《蒙特利尔协议》要求,在 2030 年完全淘汰^[6]。发达国家目前使用第三代氟氯烃类物理发泡剂 HFC-245fa (五氟丙烷) 和 HFC-365 mfc (五氟丁烷)^[7]。近年来霍尼韦尔公司和杜邦公司分别在大力推广应用它们的第四代物理发泡剂 LBA (三氟氯丙烯)^[8-9]。但第三代物理发泡剂的全球变暖潜能值相对较高,会导致全球变暖,第四代物理发泡剂目前只有几家外国公司有其工业化生产装置,国内未见其工业化报道。国内物理发泡剂 LBA 生产技术水平还不够成熟,价格偏高,应用受限^[10]。因此,研究无氯氟聚氨酯发泡剂替代氯氟烃类物质意义重大。

毕戈华等研发的 CFA 系列新型无氯氟聚氨酯化学发泡剂是一类碳酸有机醇胺盐类化合物^[11],它的分子结构本身以及生产过程均不涉及卤元素,能与异氰酸酯发生化学反应放出气体 CO₂ 并用于聚氨酯发泡^[12],其优点在于二氧化碳沸点远低于物理发泡剂,在低温下仍能保持气态,可赋予材料较好的尺寸稳定性和保温性能^[13]。该化学发泡剂的全球变暖潜能值为零,在环保和安全方面具有氯氟烃类物理发泡剂以及其它物理发泡剂无法比拟的优势,可替代氯氟烃类物理发泡剂用于聚氨酯泡沫的制备,目前已成功应用于聚氨酯喷涂等领域^[14]。笔者分别使用无氯氟化学发泡剂 CFA8125 以及第三代物理发泡剂 HFC-245fa、第四代物理发泡剂 LBA 制备硬质聚氨酯泡沫材料,并对硬质聚氨酯泡沫材料的基本性能以及不同温度下的热导率进行了研究。

1 实验部分

1.1 主要原料

聚醚多元醇: NL4110, 工业级, 羟值为 405 ~ 440 mgKOH/g, 淄博诺立化工有限公司;

聚酯多元醇: 6230, 工业级, 羟值为 300 ~ 340 mgKOH/g, 江苏丰盛化工有限公司;

磷酸三(2-氯丙基)酯 (TCPP) 阻燃剂: 工业级, 青岛联美化工有限公司;

泡沫稳定剂: B8545, 工业级, 赢创特种化学(上海)有限公司;

催化剂: A33, PC-41, 工业级, 赢创特种化学(上

海)有限公司;

物理发泡剂: LBA, HFC-245fa, 工业级, 中化蓝天霍尼韦尔新材料有限公司;

化学发泡剂: CFA8125, 工业级, 羟值为 1 600 ~ 1 900 mgKOH/g, 淄博补天新材料技术有限公司;

多亚甲基多苯基多异氰酸酯 (PAPI): 工业级, 烟台万华化学集团股份有限公司。

1.2 主要仪器与设备

注塑机: RSC 16 / 16 型, 德国 Krauss Maffei 集团;

超低温导热仪: FOX 200LT 型, 测温范围为 -175 ~ 50℃, 美国 TA 仪器公司;

高速分散机: SF0.4KW 型, 江阴市永宏化工机械有限公司;

电子天平: AUW220D 型, 日本岛津公司;

导热测试仪: EKO HC-074-200 型, 测温范围为 -20 ~ 75℃, 北京五洲东方科技发展有限公司;

开闭孔率分析仪: Ultra Foa-2-18paiG 型, 康塔克默仪器贸易有限公司;

力学性能试验机, Gotech TCS-2000 型, 高铁科技股份有限公司。

1.3 样品制备

为保证所得聚氨酯泡沫密度相近, 在相同用量的多元醇、阻燃剂、催化剂、泡沫稳定剂中分别加入化学发泡剂 CFA8125 与物理发泡剂 HFC-245fa 和 LBA, 其基本配方列于表 1。

表 1 3 种硬质聚氨酯泡沫配方

组分	原料名称	配方编号		
		1 [#]	2 [#]	3 [#]
白料	聚醚多元醇	60	60	60
	聚酯多元醇	40	40	40
	泡沫稳定剂	2	2	2
	阻燃剂	20	20	20
	催化剂 A33	1.5	1.5	1.5
	催化剂 PC-41	1.5	1.5	1.5
	水	1.5	1.5	
	物理发泡剂 HFC-245fa	26		
	物理发泡剂 LBA		24	
黑料	化学发泡剂 CFA8125			16
	PAPI	110	110	150

按照表 1 配方, 分别配制 20 kg 组合白料, 静置 12 h, 待消泡后将黑料 PAPI 与白料分别加入注塑机的 A, B 储料罐, 控制料温 20℃, 混合压力 10 MPa, 在室温 25℃ 下使用注塑机分别浇注在模具温度 40℃, 尺寸 50 cm × 50 cm × 5 cm 和 30 cm × 30 cm × 10 cm 自制模具中, 等待 20 min 后取出, 得硬质聚氨酯泡沫, 在常温下熟化 48 h 后

制备样品。

1.4 性能测试

按照 GB/T 6343-2009 测定样品的表观密度,结果取 3 次测试的平均值;

按照 GB/T 10295-2008 测定样品的热导率,结果取 2 次测试的平均值;

按照 GB/T 8811-2008 测定样品的尺寸稳定性,结果取 3 次测试的平均值;

按照 GB/T 8813-2008 测定样品的压缩强度,结果取 3 次测试的平均值;

按照 GB/T 10799-2008 测定样品的闭孔率,结果取 2 次测试的平均值。

2 结果与讨论

2.1 硬质聚氨酯泡沫的性能

3 种硬质聚氨酯泡沫的性能列于表 2。

表 2 3 种硬质聚氨酯硬泡的性能

项目	配方编号		
	1 [#]	2 [#]	3 [#]
表观密度 / (kg · m ⁻³)	43.35	43.03	43.26
热导率 / [mW · (m · K) ⁻¹] (22.5℃)	21.4	21.0	23.2
闭孔率 / %	91.97	87.67	90.05

对于 3 种硬质聚氨酯泡沫,当密度约为 43 kg/m³ 时,闭孔率相差不大,但使用化学发泡剂 CFA8125 的泡沫常温下的热导率较高。这是因为常温下硬质聚氨酯泡沫的热导率很大程度上取决于填充气体的气相热导率,使用化学发泡剂 CFA8125 时产生的 CO₂ 的气相热导率高于使用物理发泡剂 HCF-245fa 时的五氟丙烷及使用 LBA 时的三氟氯丙烯,故使用化学发泡剂 CFA8125 的硬质聚氨酯泡沫常温下的热导率较高。

2.2 压缩强度

3 种硬质聚氨酯泡沫在不同方向上的压缩强度如图 1 所示。由图 1 可以看出,使用化学发泡剂 CFA8125 的硬质聚氨酯泡沫在长度、宽度、高度三个方向上的压缩强度分别为 257, 228, 280 kPa, 均

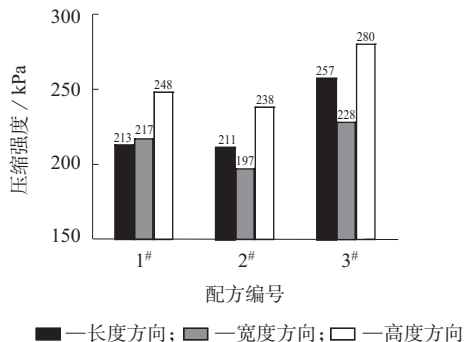


图 1 3 种配方制备的硬质聚氨酯泡沫在不同方向上的压缩强度

高于使用两种物理发泡剂的泡沫。说明使用化学发泡剂 CFA8125 的泡沫有更好的压缩强度。其因为 CFA8125 具有醇胺结构,可与 PAPI 反应生成具有取代脲的氨基甲酸酯,使链段刚性提高,因而增强了泡沫的压缩强度。

2.3 超低温下的热导率

热导率可直观地体现出硬质聚氨酯泡沫的保温性能,使用超低温导热仪测得 3 种硬质聚氨酯泡沫在 -160 ~ 0℃ 下热导率,结果如图 2 所示,3 种硬质聚氨酯泡沫泡孔内填充气体的物化性质列于表 3。

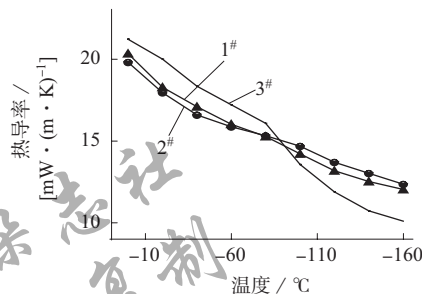


图 2 3 种硬质聚氨酯泡沫的热导率

表 3 3 种硬质聚氨酯泡沫泡孔内填充气体的物化性质

项目	五氟丙烷	三氟氯丙烯	CO ₂
气相热导率 / [mW · (m · K) ⁻¹] (22.5℃)	12.2	10.2	16.3
沸点 / °C	15.3	19.0	-78.5
熔点 / °C	-102	-101	-78.5

一般认为,硬质聚氨酯泡沫的导热性能源自三个传热控制过程: 气体热传导、辐射传导和聚合物基体热传导,其中气体热传导对泡沫保温性能影响最大。

由图 2 可以看出,当温度为 0 ~ -78.5℃ 时,使用化学发泡剂 CFA8125 的硬质聚氨酯泡沫的热导率始终高于使用物理发泡剂 HCF-245fa 和 LBA 的泡沫的热导率。这是因为: (1) 由于气体热传导是气体分子相互碰撞的结果,由表 3 可以看出,此温度下使用物理发泡剂的泡沫泡孔中的填充气体处于气液共存状态,气体分子相互碰撞的几率少,故气体的热传导较低;而使用化学发泡剂的泡沫泡孔中的 CO₂ 是气体状态,气体碰撞几率较物理发泡剂的高,即气体热传导较高; (2) 使用化学发泡剂 CFA8125 时产生的 CO₂ 的气相热导率高于使用物理发泡剂 HCF-245fa 时的五氟丙烷的气相热导率及使用 LBA 时的三氟氯丙烯的气相热导率。

当温度低于 -85℃ 后,使用化学发泡剂 CFA8125 的泡沫的热导率低于使用物理发泡剂

HCF-245fa 和 LBA 的泡沫。这主要是因为在此温度下,使用化学发泡剂的泡沫泡孔中的填充气体 CO_2 已固化,气体热传导逐渐消失,而使用物理发泡剂的泡沫泡孔中的填充气体还未到凝固点,仍处于气液混合状态,气体热传导对热导率的影响较大。随着温度的继续降低,使用物理发泡剂的泡沫泡孔中的填充气体固化,气体热传导消失。温度越低,使用化学发泡剂的泡沫的热导率与使用物理发泡剂的泡沫的热导率的差值越大,在 -160°C 时,使用化学发泡剂的泡沫的热导率为 $10.10 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$,而使用物理发泡剂的泡沫热导率分别为 $12.04 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 和 $12.36 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$,前者比后者低 20% 左右。此时影响泡沫热导率的因素是泡沫的辐射热传导和聚合物基体的热传导。

(1) 泡沫的辐射热传导。

影响硬质聚氨酯泡沫辐射热传导的因素主要是泡沫的不透明度即泡沫的泡孔结构。图 3 分别为 3 种硬质聚氨酯泡沫的泡孔结构 SEM 照片。

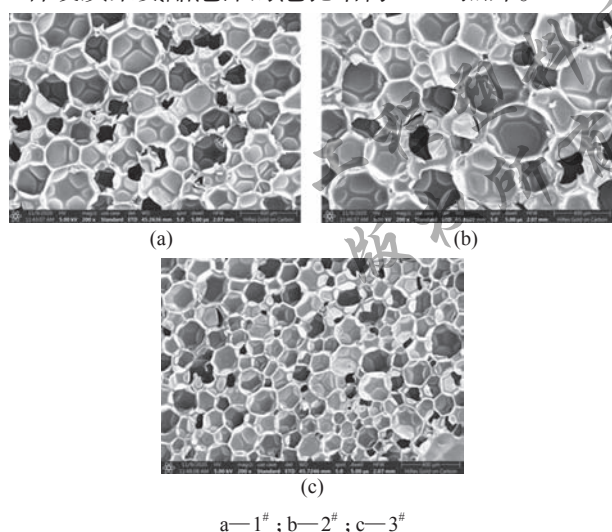


图 3 3 种配方制备的硬质聚氨酯泡沫的 SEM 照片

由图 3 可以看出,使用物理发泡剂 HCF-245fa 和 LBA 的硬质聚氨酯泡沫泡孔孔径在 $300 \mu\text{m}$ 左右,且大小不均,而使用化学发泡剂 CFA8125 的硬质聚氨酯泡沫泡孔孔径在 $200 \mu\text{m}$ 左右,均匀且致密。更小且均匀的泡孔尺寸相当于增加了不透明阻隔层的数量,从而降低了泡沫的辐射热传导,这对提高材料的绝热性能、降低材料的热导率有重要作用。CFA8125 化学发泡剂具有醇的性质,与聚醚多元醇等发泡原料相容性好,可实现均相发泡;发泡剂中的铵盐类结构,具有类似阳离子表面活性剂的作用,可以降低材料表面张力,有助于形成较为致密的微

孔,减少气孔间的压力差,从而获得较均匀和稳定的泡孔结构。

(2) 聚合物基体的热传导。

非金属材料中自由电子非常少,因此,非金属材料的热传导不再主要依靠电子导热,而是依靠晶格的格波来传递,有序晶格结构的聚合物材料比非晶聚合物具有更高的热导率^[15]。在使用 CFA8125 化学发泡剂时,由于 CFA8125 化学发泡剂独特的碳酸铵盐结构,受热分解释放的醇胺具有交联作用,且与传统交联剂有所不同,它是边发泡、边生成醇胺、边交联,交联作用增加了聚合物结构的无序性,降低了硬质聚氨酯泡沫的结晶程度,从而达到降低热导率的目的。

2.4 尺寸稳定性

硬质聚氨酯泡沫的尺寸稳定性是指泡沫在长度、宽度、高度三个方向上的伸长或者收缩程度,是评价泡沫性能的重要指标。3 种硬质聚氨酯泡沫在不同温度下存放 48 h 后,在长度、宽度、高度三个方向上的尺寸变化率列于表 4。

表 4 不同温度下 3 种硬质聚氨酯泡沫在长度、宽度、高度方向的尺寸变化率

温度 / $^\circ\text{C}$	尺寸变化率 / %								
	1 [#]			2 [#]			3 [#]		
	长度 方向	宽度 方向	高度 方向	长度 方向	宽度 方向	高度 方向	长度 方向	宽度 方向	高度 方向
70	0.67	0.59	0.29	0.89	0.77	0.22	0.64	0.66	0.37
-30	0.41	0.37	0.46	0.58	0.67	0.39	-0.09	0.11	0.07
-196	0.64	0.55	0.53	0.48	0.58	0.62	0.13	0.21	0.18

注:样品存放时间为 48 h。

通过表 4 可以看出,3 种硬质聚氨酯泡沫尺寸变化率均小于 1%,尺寸稳定性均符合行业要求,且使用 CFA8125 化学发泡剂的泡沫在 -30°C 与 -196°C 时的尺寸稳定性更好。这因为 CFA8125 化学发泡剂具有一定的官能度,可与 PAPI 反应,有利于泡沫形成立体网状结构,提高泡沫耐低温性能,且作为填充气体的 CO_2 沸点更低,在低温下也可对泡孔有一定的支撑作用。

3 结论

无氯氟聚氨酯化学发泡剂 CFA8125 是一种绿色环保的发泡剂产品,使用该发泡剂制备的硬质聚氨酯泡沫性能良好,在密度 $43 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时, -160°C 时的热导率为 $10.10 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$,较相同密度下使用物理发泡剂 HCF-245fa 与 LBA 的泡沫的热导率低 20% 左右,且尺寸稳定性好,压缩强度更高。超低温环境下使用该泡沫材料可减少冷量散失,保温效

果好,可适用于液化天然气、液氢等清洁能源的超低温运输、存储工程建设。

参考文献

- [1] 胡胜利. 高阻燃性硬质聚氨酯泡沫塑料[J]. 聚氨酯工业, 2001, 16(3):21-23.
Hu Shengli. A rigid polyurethane foam with higher flame-retardancy[J]. Polyurethane Industry, 2001, 16(3):21-23.
- [2] 商晋, 吕翠, 伍继浩. 聚氨酯硬质泡沫的低温应用研究现状[J]. 低温与超导, 2017, 45(10):10-15.
Shang Jin, Lyu Cui, Wu Jihao. Cryogenic application of rigid polyurethane foam[J]. Cryogenics & Superconductivity, 2017, 45(10):10-15.
- [3] 许东, 吕文斌, 谢永春, 等. 聚氨酯泡沫深冷保温施工工艺[J]. 石油和化工设备, 2017, 20(3):59-62.
Xu Dong, Lyu Wenbin, Xie Yongchun, et al. Cryogenic insulation construction technology of polyurethane foam[J]. Petro & Chemical Equipment, 2017, 20(3):59-62.
- [4] 孙刚, 刘预, 冯芳, 等. 聚氨酯泡沫材料的研究进展[J]. 材料导报, 2006(3):29-32, 36.
Sun Gang, Liu Yu, Feng Fang, et al. Development of research on polyurethane foams[J]. Materials Reports, 2006(3):29-32, 36.
- [5] 唐宇煊. 聚氨酯发泡剂的研究进展[J]. 山东化工, 2018, 47(3):44-45.
Tang Yuxuan. Research progress of polyurethane foaming agent[J]. Shandong Chemical Industry, 2018, 47(3):44-45.
- [6] 冯卉, 郭晓林, 李丽, 等. 我国氢氯氟烃加速淘汰第二阶段面临的挑战及建议[J]. 聚氨酯工业, 2016, 31(6):1-4.
Feng Hui, Guo Xiaolin, Li Li, et al. Challenges and suggestions on HCFC phase-out of china at the second stage[J]. Polyurethane Industry, 2016, 31(6):1-4.
- [7] Zipfel L, Krucke W, Borner K, et al. HFC-365mfc and HFC-245fa progress in application of new HFC blowing agents[J]. Journal of Cellular Plastics, 1998, 34(6):511-525.
- [8] Bowman J M, Williams D J, Singh R R. Foaming agents, foamable compositions, foams and articles containing fluorine substituted olefins, and methods of making same:US9029430[P]. 2015-05-12.
- [9] Bowman J M, Williams D J, Singh R R, et al. Foaming agents, foamable compositions, foams and articles taining fluorine substituted halogens, and methods of making same:US9303162[P]. 2016-04-05.
- [10] 焦锋刚. 新型环保发泡剂 HCFO-1233zd[J]. 有机氟工业, 2016(1):38-41.
Jiao Fenggang. A new environment-friendly foaming agent HCFO-1233zd[J]. Organic-Fluorine Industry, 2016(1):38-41.
- [11] 毕戈华, 毕玉遂. 具有作为 CO₂ 给体的阴离子的有机胺盐类化合物及其作为发泡剂的用途:CN107089927A[P]. 2017-08-25.
Bi Gehua, Bi Yusui. Organic amine salt compound with negative ion as CO₂ donor and application thereof as foaming agent:CN107089927A[P]. 2017-08-25.
- [12] 毕戈华, 李新超, 魏伟, 等. 新型聚氨酯化学发泡剂研究及应用进展[J]. 山东理工大学学报:自然科学版, 2017, 31(5):1-5.
Bi Gehua, Li Xinchao, Wei Wei, et al. Research on the properties of novel chemical foaming agent CFA8 in rigid PU foam field[J]. Journal of Shandong University of Technology:Natural Science Edition, 2017, 31(5):1-5.
- [13] 李新超, 毕戈华, 魏伟, 等. 化学发泡剂 CFA8125 替代 HCFC-141b 在喷涂聚氨酯硬泡中的应用研究[J]. 聚氨酯工业, 2017, 32(5):60-62.
Li Xinchao, Bi Gehua, Wei Wei, et al. Application research of chemical blowing agent CFA8125 replace HCFC-141b in spray rigid polyurethane foams[J]. Polyurethane Industry, 2017, 32(5):60-62.
- [14] 陈金炎, 沈晨光, 章林杰, 等. 液态 CO₂ 辅助喷涂发泡聚氨酯硬泡的研究[J]. 聚氨酯工业, 2020, 35(1):8-11.
Chen Jinyan, Shen Chenguang, Zhang Linjie, et al. Study on liquid CO₂ assisted spray foaming[J]. Polyurethane Industry, 2020, 35(1):8-11.
- [15] 周文英, 张亚婷. 本征型导热高分子材料[J]. 合成树脂及塑料, 2010, 27(2):69-73, 84.
Zhou Wenying, Zhang Yating. Progress of intrinsic thermal conductive polymer[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2010, 27(2):69-73, 84.

本刊声明

近期有不法网站和个人假借本刊名义向广大读者征稿,同时收取高额注册费、审稿费。本刊特此声明:《工程塑料应用》为中国兵器工业集团第五三研究所(山东非金属材料研究所)主办,编辑部所在地为山东省济南市,本刊唯一合法投稿网址为 www.epa1973.net,本刊未委托任何机构和个人从事征稿和组稿业务。请广大作者牢记本刊投稿网址,辨别来电属地,不要给个人账号汇款,防止受骗。本刊保留对相关网站和个人追究法律责任的权利。

(工程塑料应用编辑部)