

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.08.001

可膨胀石墨对聚氨酯半硬质泡沫性能的影响^{*}

李卫亮¹, 刘立柱^{1,2}, 张笑瑞¹, 翁凌¹, 崔巍巍¹

(1. 哈尔滨理工大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150040; 2. 哈尔滨理工大学工程电介质及其应用教育部重点实验室, 哈尔滨 150080)

摘要: 采用一步法制备了不同含量可膨胀石墨(EG)阻燃聚氨酯半硬质泡沫塑料(PUF)。通过扫描电子显微镜观察了纯PUF和EG改性PUF的泡孔结构、EG粒子在泡沫内的分布状态和泡沫燃烧后泡孔和炭层形貌。结果表明, 添加EG粒子后, EG粒子附着在泡孔表面, 泡孔形貌改变; 燃烧后, 纯PUF泡孔严重炭化变形, 添加EG粒子的泡沫表面覆盖一层浓密的“蠕虫状”石墨炭层。采用垂直-水平燃烧试验和极限氧指数(LOI)试验对PUF的阻燃性能进行了测试。试验结果表明, 随着EG用量的增加, PUF的阻燃性能增强, EG添加量为12%时, 水平阻燃等级达到HF-1级, LOI达到23.9%, 有较好的阻燃效果。

关键词: 聚氨酯; 半硬质泡沫; 可膨胀石墨; 阻燃性能

中图分类号: TQ328.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)08-0001-05

Effect of Expandable Graphite on Properties of Semi-rigid Polyurethane Foam

Li Weiliang¹, Liu Lizhu^{1,2}, Zhang Xiaorui¹, Weng Ling¹, Cui Weiwei¹

(1. College of Materials Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China; 2. Key Laboratory of Engineering Dielectric and Its Application, Ministry of Education, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Expandable graphite(EG) was added to polyurethane to form flame retardant semi-rigid polyurethane foam(PUF) in one step. The cells structure of pure PUF, EG modified PUF, particle distribution of EG and the morphology of char layer after combustion were observed by scanning electron microscope. The results indicated that EG particles attached to the surface of the cells led to the change of the cells after adding EG particles. The cells of pure PUF changed and carbonized severely, while the foam added EG was covered with thick vermicular graphite after burning. The flame-retardant performance of PUF was studied with vertical-horizontal burning test and limit oxygen index(LOI) experiments. The results showed that the flame retardancy of PUF was reinforced with the increase of the amount of EG. When the content of EG was 12%, the horizontal flame retardant grade of EG modified PUF reached HF-1 and LOI reached 23.9%, which met to the flame retardancy standard.

Keywords: polyurethane; semi-rigid polyurethane foam; expandable graphite; flame retardancy

聚氨酯半硬质泡沫塑料(PUF)简称聚氨酯半硬泡,是一种性能介于聚氨酯软泡与硬泡之间的泡沫,其特点是具有较高的压缩负荷值和较高的密度^[1-3],主要用于减震和吸能材料等。PUF的阻燃性能较差,其燃烧的极限氧指数(LOI)为16%~18%,遇火会燃烧和分解,并产生大量有毒烟雾,限制其应用^[4-6]。此外PUF的开孔率较高,燃烧时空气易流通,不易自熄,给灭火带来困难。所以PUF的诸多应用领域,如汽车内饰材料、建筑材料、家具、保温材料等,都对其提出了较高的阻燃要求。

目前,用于PUF阻燃的大部分是含卤素的阻燃剂,如十溴二苯醚和十溴二苯乙烷等^[7-9]。含卤素的阻燃剂阻燃效率高,对PUF力学性能影响小,而且其性价比很高,具有长效阻燃的特点。但是,含卤

素的阻燃剂在燃烧的时候会放出具有一定腐蚀性和毒性的浓烟,发生火灾时严重危害人的生命安全,并对环境有很大污染^[10-12]。在这种背景下,无卤阻燃剂的开发与应用具有重大的意义。膨胀阻燃剂是代替卤系阻燃剂的一种有效阻燃体系。可膨胀石墨(EG)是一种新型环保物理膨胀型阻燃剂^[13],它受热会膨胀成“蠕虫状”石墨,同时会生成稀释基体周围助燃氧气的气体,而且生成的“蠕虫状”石墨炭层形成屏障阻隔了热量的传递,可以在一定程度上抑制高聚物的燃烧和热分解,同时,EG对PUF物理性能

^{*} 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2012CB723308)

联系人: 刘立柱,教授,主要研究方向为高分子材料

收稿日期: 2015-05-17

影响较轻微,是较理想的阻燃剂^[14-16]。目前,用 EG 对 PUF 进行阻燃的研究文献还较少。

笔者采用一步法制备了 EG 质量分数分别为 0%,8%,10%,12% 和 14% 的 PUF,对泡沫进行热稳定性分析,验证 EG 对 PUF 热解的影响,用扫描电子显微镜 (SEM) 观察 PUF 泡孔形貌及燃烧之后的泡孔和炭层形貌,研究 EG 对 PUF 阻燃性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

聚醚多元醇 BH4110: 工业品,羟值 430 mg KOH/g,山东滨化集团股份有限公司;

聚醚多元醇 EP330N(Y): 工业品,羟值 32.5 ~ 35.5 mg KOH/g,山东蓝星东大股份有限公司;

三乙胺: 分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;

二月桂酸二丁基锡: 化学纯,天津市光复精细化工研究所;

二氯甲烷: 分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;

泡沫稳定剂 AK6610: 工业品,江苏美思德化学股份有限公司;

EG: 80 目 (0.18 mm),膨胀体积 200 mL/g,工业品,黑龙江省石墨研究院;

异氰酸酯 PM200: 工业品,万华化学集团股份有限公司。

1.2 仪器及设备

电子天平: JE1002 型,上海浦春计量仪器有限公司;

增压电动搅拌机: JB50-D 型,上海标本模型厂;

高温电热鼓风干燥箱: GW-1 BS 型,天津市中环实验电炉有限公司;

SEM: FEI Sirion200 型,荷兰飞利浦公司;

热重 (TG) 分析仪: Pyris 6TGA 型,美国 Perkin Elmer 公司;

氧指数测试仪: HC-2 型,承德市大加仪器有限公司;

水平垂直燃烧测定仪: CZF-3 型,南京市江宁区分析仪器厂。

1.3 试样制备

将聚醚多元醇 BH4110 和 EP330N(Y) 以质量比 7:3 的比例称量,蒸馏水、催化剂、泡沫稳定剂、二氯甲烷、EG 按照用量称量混合均匀,作为 A 组分;根据聚醚多元醇和蒸馏水的添加量计算出异氰酸酯

的用量并称量,将它作为 B 组分。将 B 料迅速倒入 A 料中,高速搅拌 10 s,立即倒入模具中使其发泡。发泡完毕将泡沫放入 120℃ 烘箱中熟化 2 h,得到阻燃 PUF。利用上述方法分别制备纯 PUF 和 EG 质量分数为 8%,10%,12% 和 14% 的阻燃 PUF。

1.4 性能测试及表征

SEM 分析: 采用 SEM 对纯 PUF 和 EG 改性 PUF 的泡孔结构及 EG 粒子在泡沫内的分布状态进行表征,并对泡沫燃烧后的泡孔形貌及炭层结构进行表征。

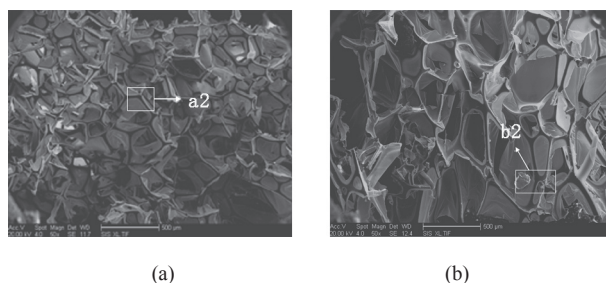
热稳定性分析: 采用 TG 分析仪,在 25 ~ 800℃ 的温度范围内,以 20℃/min 的升温速率在氮气保护下测试泡沫的热稳定性。

阻燃性能分析: 采用氧指数测试仪,按照 GB/T 2406-2009 测试泡沫的 LOI; 采用水平垂直燃烧测定仪,按照 GB/T 8833-2008 测试泡沫的垂直燃烧性能,按照 GB/T 8332-2008 测试泡沫的水平燃烧性能。

2 结果与讨论

2.1 泡孔形貌表征

图 1 示出 PUF 和 8% EG 改性 PUF 的 SEM 照片。



a—纯 PUF; b—EG 改性 PUF

图 1 PUF 和 EG 改性 PUF 的 SEM 照片及元素能谱分析图片

由图 1 可以发现,纯 PUF 泡孔壁大部分较为完整,而且泡孔呈现比较规则的多面体形状,大部分泡孔属于开孔结构。而添加 EG 之后,泡孔壁呈现拉伸的形状,泡孔大小形状不一,泡孔孔径总体上有所增大,有一部分泡孔壁形貌发生改变。对 SEM 照片中标明的 a_2 、 b_2 区域进行元素能谱分析,发现 b_2 位置碳元素含量明显高于 a_2 位置,说明 b_2 位置包含附着在泡孔壁上的微米级 EG 粒子,证明添加到 PUF 中的 EG 粒子大部分是附着甚至贯穿泡孔壁,这在一定程度上改变泡孔的结构,影响泡孔形貌。

2.2 热稳定性分析

图 2 和图 3 分别是纯 PUF 和 8% EG 改性 PUF

的 TG 曲线和微分热重 (DTG) 曲线。

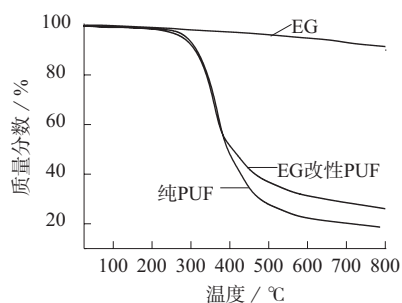


图2 样品的 TG 曲线

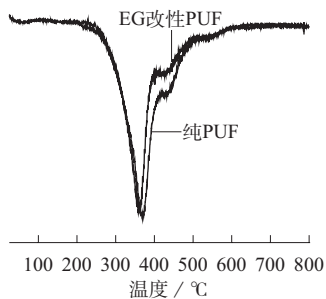


图3 样品的 DTG 曲线

从图2可以看出,膨胀后的“蠕虫状”石墨几乎不发生热降解,所以未给出“蠕虫状”石墨的DTG曲线。不论是纯PUF还是添加EG的PUF,都是从200℃左右开始热解。第一步热解发生在194~402℃,第二步热解发生在402~508℃。表1显示了泡沫两步分解的起始分解温度(T_{1onset} , T_{2onset})、最大分解速率温度(T_{1max} , T_{2max})、最大分解速率(V_{1max} , V_{2max})、终止分解温度(T_{end})以及800℃时泡沫的残余率。当采用水作为发泡剂的时候,水与异氰酸酯反应生成大量的脲基,即聚合物中含有大量的脲基,第一步分解过程中,脲基受热分解成为二异氰酸酯和多元醇,一部分二异氰酸酯和多元醇受热生成胺类、烯烃和 CO_2 ,另一部分重生的二异氰酸酯在热解过程中会再发生反应生成炭化二酰亚胺,炭化二酰亚胺会进一步和醇或者水蒸气反应生成更稳定的异氰酸酯。PUF的第二步热降解从400℃左右开始,

表1 EG对PUF降解温度、降解速率和残炭量的影响

项目	纯 PUF	EG 改性 PUF
$T_{1onset}/^{\circ}C$	225.6	205.3
$T_{2onset}/^{\circ}C$	404.0	401.4
$T_{1max}/^{\circ}C$	368.8	359.9
$T_{2max}/^{\circ}C$	424.8	425.9
$V_{1max}/(\% \cdot \text{min}^{-1})$	14.1	13.8
$V_{2max}/(\% \cdot \text{min}^{-1})$	5.4	4.0
$T_{end}/^{\circ}C$	497.2	501.4
800℃残余率/%	18.8	24.5

在此过程中,第一步热解生成的异氰酸酯在较高的温度下进一步热解生成CO和氰化氢等毒性气体。

结合图3以及表1可以看出,PUF的热解温度主要集中在200~400℃,最大分解温度在360℃左右。在实验分析条件下,泡沫样品用量小,EG含量本来就少,在这种条件下,EG的量更小,EG在120℃左右就完全膨胀为“蠕虫状”石墨,而此时,PUF还没有开始热解,从图2可以看出,膨胀之后的“蠕虫状”石墨几乎不热解,同时,由于EG属于无机物理型添加剂,本身与PUF之间不发生或者很少发生化学反应。而且EG片层中的插层剂与炭层反应产生的水蒸气与炭化二亚胺反应生成稳定性更好的脲基团,促使泡沫提前进入第二步热降解过程,所以,添加EG的泡沫第二步起始分解温度降低了3℃左右,同时,添加EG之后,第二步的最大分解速率温度和终止分解温度都有所增加,这主要是因为完全膨胀的“蠕虫状”石墨粒子为未燃烧的聚合物提供了隔热层,阻止进一步降解。EG改性PUF在800℃的残余率与改性前相比提高了5.7%,这应该是EG的残余量,而且EG并没有促进PUF基体成炭。总体来说,EG对PUF的热降解几乎没有影响。

2.3 阻燃性能分析

EG添加量对PUF阻燃性能的影响如表2所示。

表2 EG添加量对PUF阻燃性能的影响

EG 质量分数/%	垂直燃烧结果	水平燃烧结果	LOI/%
0	完全燃烧	完全燃烧	14.7
8	完全燃烧	HBF	21.8
10	完全燃烧	HF-2	22.4
12	完全燃烧	HF-1	23.9
14	完全燃烧	HF-1	24.3

由表2可看出,随着EG含量的增加,PUF的阻燃性能增强。对于垂直燃烧实验,由于PUF为多孔开孔结构,密度小,而且泡孔较大,垂直燃烧的样条较窄,燃烧的时候,泡沫基体与空气接触面积大,所以,即使添加14%的EG,泡沫仍然会完全燃烧。水平实验表明,随着EG含量的增加,阻燃等级提高,当EG添加量为12%时,水平燃烧等级达到HF-1级,LOI达到23.9%。这主要是因为,EG的膨胀温度在120℃左右,当泡沫燃烧的时候,EG受热膨胀,形成一层厚实的“蠕虫状”石墨,附着在PUF表面,隔绝了热量的传递,同时,厚实的膨胀炭层也隔绝了外界的助燃气体与PUF基体的接触,隔断了泡沫的进一步氧化分解。石墨碳原子与插层剂之间的氧化还原反应生成的不燃且不助燃的气体如水蒸气,

CO₂, SO₂ 等,也起到了稀释泡沫基体周围助燃气体的作用,使得泡沫要继续燃烧,必须增加泡沫基体周围氧气的浓度,这也是表中 LOI 随着 EG 含量的增加而增大的原因。EG 添加量为 14% 甚至更高时,微米级 EG 粒子对泡沫力学性能产生较大影响,虽然阻燃性能优越,但实际应用中会有限制。

2.4 膨胀炭层形貌表征

纯 PUF 和 8% EG 改性 PUF 燃烧后的炭层形貌如图 4 所示。

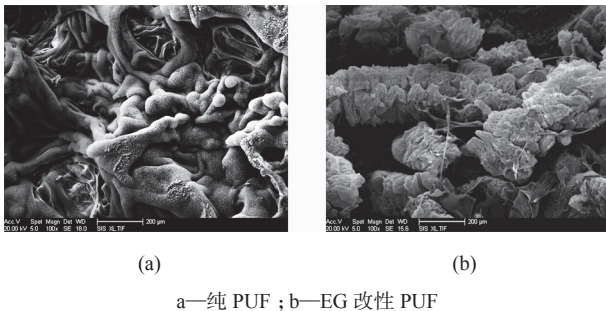


图 4 纯 PUF 和添加 EG 的 PUF 燃烧后表面形貌

从图 4 可以看出,纯 PUF 燃烧之后泡孔严重变形,泡沫基体完全燃烧炭化。这是因为,PUF 为多孔结构,泡沫燃烧的时候,基体与空气接触面积大,相当于完全暴露在空气中,泡沫会完全燃烧。

添加了 EG 的泡沫燃烧时 EG 会膨胀形成一层厚实的“蠕虫状”炭层,完全覆盖在泡沫基体的表面,隔绝了火焰和泡沫基体之间的接触和热量传递,有效地阻止了泡沫的热解,起到了阻燃的作用。

3 结论

(1) 纯 PUF 泡孔呈现比较规则的多面体形状,泡孔壁大部分较为完整;添加 EG 之后,EG 粒子镶嵌在泡孔壁上,泡孔形状变得不规则,且孔径略有增大。

(2) EG 在 PUF 热降解之前就已经膨胀成为“蠕虫状”石墨,对泡沫的热解没有产生影响。随着 EG 含量的增加,泡沫的阻燃性能提高,EG 质量分数为 12% 时,水平燃烧等级达到 HF-1 级,LOI 可以达到 23.9%,符合阻燃性能的要求。

(3) 纯 PUF 燃烧后泡孔形貌严重变形,泡沫完全燃烧炭化;添加 EG 之后,EG 受热膨胀形成一层厚实的“蠕虫状”石墨,覆盖在 PUF 基体表面,隔绝泡沫基体与空气中助燃气体的接触,阻止泡沫进一步燃烧。

参考文献

[1] 刘益军. 聚氨酯树脂及其应用 [M]. 北京: 化学工业出版社,

2011:100-167.

Liu Yijun. Polyurethane resin and its application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011:100-167.

[2] 徐培林,张淑琴. 聚氨酯材料手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002:268-299.

Xu Peilin, Zhang Shuqin. Polyurethane materials handbook[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002:268-299.

[3] 吴可量,却梅,邵艳龙. 一种聚氨酯半硬泡的研制 [J]. 宿州学院学报, 2008, 23(2):113-116.

Wu Keliang, Que Mei, Tai Yanlong. A semi-rigid polyurethane development[J]. Journal of Suzhou University, 2008, 23(2):113-116.

[4] Gui W, Wisniewski A V, Neamtiu I. Inception cohort study of workers exposed to toluene diisocyanate at a polyurethane foam factory: Initial one-year follow-up[J]. American Journal of Industrial Medicine, 2014, 57:1 207-1 215.

[5] Gao L R, Zhang Q, Liu L D. Spatial and seasonal distributions of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans and polychlorinated biphenyls around a municipal solid waste incinerator, determined using polyurethane foam passive air samplers[J]. Chemosphere, 2014, 114:317-326.

[6] Zhu P, Cao Z B, Chen Y. Glycolysis recycling of rigid waste polyurethane foam from refrigerators[J]. Environmental Technology, 2014, 35:2 676-2 684.

[7] Shi H C, Shi D A, Yin L G. Ultrasonication assisted preparation of carbonaceous nanoparticles modified polyurethane foam with good conductivity and high oil absorption properties[J]. Nanoscale, 2014, 6:13 748-13 753.

[8] Bohlin P, Audy O, Skrdlikova L. Evaluation and guidelines for using polyurethane foam (PUF) passive air samplers in double-dome chambers to assess semi-volatile organic compounds (SVOCs) in non-industrial indoor environments[J]. Environmental Science Processes & Impacts, 2014, 16:2 617-2 626.

[9] Doutsis O, Ouisse M, Atalla N, et al. Impact of the irregular microgeometry of polyurethane foam on the macroscopic acoustic behavior predicted by a unit-cell model[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2014, 136:1 666.

[10] 毋登辉,赵培华,王晓峰. 无卤型阻燃全水发泡硬质聚氨酯泡沫塑料的制备及性能研究 [J]. 功能材料, 2013, 44(10):1 404-1 408. Wu Denghui, Zhao Peihua, Wang Xiaofeng. Preparation and properties of water blown polyurethane rigid foam with halogen free flame retardance[J]. Journal of Functional Materials, 2013, 44(10):1 404-1 408.

[11] 杨建军,章分成,吴庆云等. 无卤阻燃型软质聚氨酯泡沫塑料的研究进展 [J]. 塑料工业, 2013, 41(2):1-6.

Yang Jianjun, Zhang Fencheng, Wu Qingyun, et al. Research progress of halogen-free flame retardant flexible polyurethane foams[J]. China Plastics Industry, 2013, 41(2):1-6.

- [12] 冯发飞,钱立军.可膨胀石墨与含磷阻燃剂在聚氨酯硬泡材料中的应用[J].中国塑料,2013,27(10):73-77.
Feng Fafei, Qian Lijun. Application of expandable graphite and phosphorus contain flame retardants in rigid polyurethane foam[J]. China Plastics, 2013, 27(10):73-77.
- [13] 董金路,曹宏斌,张懿.可膨胀石墨阻燃水发泡聚氨酯泡沫塑料的制备[J].高分子材料科学与工程,2009,25(6):128-131.
Dong Jinlu, Cao Hongbin, Zhang Yi. Preparation of flame retardant of water blown polyurethane foams filled with expandable graphite[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2009, 25(6):128-131.
- [14] 洪晓东,代文娟.含磷阻燃剂阻燃硬质聚氨酯泡沫塑料的性能研究[J].工程塑料应用,2013,41(8):95-99.
Hong Xiaodong, Dai Wenjuan. Study on properties of rigid polyurethane foams plastics with phosphorus-containing flame retardants[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(8):95-99.
- [15] 李来丙,龚必珍,罗耀华.可膨胀石墨对聚异氰酸酯-聚氨酯泡沫材料阻燃性能的影响[J].石油化工,2008,37(2):178-182.
Li Laibing, Gong Bizhen, Luo Yaohua. Effect of expandable graphite on flame retardancy of polyisocyanurate polyurethane foam[J]. Petrochem Ical Tech-nology, 2008, 37(2):178-182.
- [16] 刘定福,林晓珊.可膨胀石墨阻燃塑料研究进展[J].塑料科技,2010,38(7):99-106.
Liu Dingfu, Lin Xiaoshan. Research progress of plastics flame-retarded by expandable graphite[J]. Plastics Science and Technology, 2010, 38(7):99-106.

美创业公司用甲烷生产环境友好塑料

甲烷是一种强效应的温室气体,如果把它用来制作塑料制品,那么既能去除空气污染又能替代石油,虽然科学上早已知道这种可能性,但是如何降低成本进行商业化生产却是一大难题。日前在美国,一家名为新光技术公司的小型创业公司宣称取得了突破。

该公司称,寻找到了一种替代方式,使用来自农场牲畜粪便的甲烷来制作塑料,目前已经同戴尔、欧莱雅等大型企业达成了供应塑料合约,利用甲烷制成的塑料可以做成包装、椅子等产品。该公司首席执行官马克·赫雷马表示,其生产的塑料价格要低于传统塑料,并希望能够带来塑料产业的革命,从而减少温室气体排放。他说:“我们认为可以实现经济与环保双赢。”

赫雷马称,其产品较传统石化塑料制品的优势有两点:一是产品的原料可以减少空气污染,第二是价格更低。但新光技术公司目前规模较小,且需要后续大量投资。甲烷运送到新光技术公司的工厂后,与空气、公司自主研发的生物催化剂一起被泵压送到反应堆当中。

加州大学圣塔芭芭拉分校教授大卫·瓦伦廷指出,新光技术公司所用甲烷取自奶牛农场和废物填埋场等地,而非商业化市场,这可能会阻碍到规模的扩大。公司本身不会给减少温室气体排放带来大的影响,但少量的减排也是有帮助的。

甲烷是天然气的最大组成成分,也是导致全球变暖的主要温室气体之一。在美国,农业是甲烷排放的主要来源。根据美国环保局统计,全美超过1/3的甲烷气体来自于粪堆或牲畜的消化系统,如牛、水牛、绵羊和山羊等。而当前美国多数塑料制品是由从天然气中提取的乙烷制成的,而世界其他地方则主要使用石油来制造塑料。

甲烷塑料技术专家、匹兹堡大学教授戈茨·沃瑟表示,几十年来,如何将甲烷转化为高级烃一直是业界一大难题。

(中聚网)

高铁减震垫板用微发泡热塑性弹性体技术获专利授权

近日,从宝瑞龙高分子材料(天津)有限公司传出消息,该公司自主研发的高铁减震垫板用微发泡热塑性弹性体技术获得国家发明专利,并成功中标“一带一路”中亚、欧亚和泛亚等国外部分高铁路段减震垫板制造工程。

经国家权威部门检测,微发泡热塑性弹性体(微发泡TPE)高铁减震垫板耐温范围为-50℃~150℃,在低温严寒和高温炎热环境下,做到不脆化、不变形,能承受过往火车的每一个车轮在减震垫板上移动时产生的冲击和挤压载荷,降低和缓冲了火车高速通过铁轨时所产生的噪音、热量、冲击和震动,起到保护路基和轨枕的作用。该专利产品是普通产品使用寿命的4倍,相当于4个橡胶垫、3个乙炔-乙酸乙烯酯塑料(EVAC)垫或2个热塑性聚氨酯(PUR-T)垫的使用寿命,有效地降低了生产成本。

据宝瑞龙高分子材料(天津)有限公司总经理张紫瑞介绍,公司的成型产品较国内外通用的高铁减震板质量减轻10%~40%;在受冲击时,吸收的能量可增加3~5倍,使裂缝尖端钝化,从而提高了材料的韧性和疲劳寿命,可满足高铁减震垫板需要的力学性能、弹性、动能吸收等要求。

张紫瑞表示,该弹性体及其制备方法,突破了抗弹性、耐热性、耐化学介质、耐老化四大关键技术,其成型产品是孔径为60 μm的闭孔微发泡弹性体制品,其外观光滑平整,具有独立的气泡、发泡较小、无化学物质残留的优点。

据了解,列车的高速运行对高速铁路的减震性能提出了更高的要求。轨枕垫板长期裸露于大气中,要求具有良好的耐自然老化及耐寒、耐热性能。原有的橡胶垫、EVAC垫、PUR-T垫已经很难满足日益发展的高速铁路的减震要求。然而,目前国内外高铁减震板制备通用方法为化学发泡法,原料为纯发泡热塑性弹性体。由于没有独立的气泡或气泡较大,并且残留有化学物质,其力学性能等不稳定,不能完全满足高铁减震的需要。

(环聚网)