

不同密度的聚酰亚胺泡沫缓冲垫缓冲性能研究

陈存友¹ 周会鹏¹ 计丞¹ 李卓超² 汪伟²

1.江苏中科聚合新材料产业技术研究院有限公司 江苏 常州 213018

2.常州福隆科技新材料有限公司 江苏 常州 213018

摘要: 针对市场不同行业领域对泡沫的缓冲性能提出了更高的要求,特别是锂电行业,为了使得材料资源利用最大化,研究了不同密度下的聚酰亚胺泡沫材料的缓冲性能,本文通过硬度、落球回弹、压缩永久变形性能测试了不同密度的聚酰亚胺泡沫以及泡沫在老化条件下的性能,随着密度的增加,硬度变大,回弹回弹性能下降,压缩永久变形率也下降。为后续不同的缓冲性能需求提供了保障。

关键词: 聚酰亚胺泡沫;缓冲性能;耐高温

Study on Cushioning Performance of polyimide foam cushion with different density

Cunyou Chen¹, Huipeng Zhou¹, Chen Ji¹, Zhuochao Li², Wei Wang²

1. Jiangsu Sino-tech New Material Industry Technology Research Institute, Changzhou, 213018, China

2. Changzhou Fulong technology new material Co.,Ltd, Changzhou 213018, China

Abstract: The buffering performance of foam in different sectors of the market is required to be higher, especially in the lithium industry. In order to maximize the utilization of material resources, the buffering properties of polyimide foam materials at different densities were studied. In this paper, the properties of polyimide foams of different densities and foams under aging conditions were tested by hardness, falling ball rebound, and compression permanent deformation. With the increase of density, the hardness increases, the resilience decreases, and the compression permanent deformation rate also decrease, which provides a guarantee for the subsequent different buffering performance requirements.

Keywords: Polyimide foam; Buffer performance; high temperature resistance

随着工业生产和科学技术的发展,特别是锂电池行业的迅猛发展,根据中国汽车工程学会发布的《节能和新能源汽车技术路线 2.0》,到 2025 年,我国普及、商用、高端能量型动力电池能量密度分别要达到 200Wh/kg、200Wh/kg 和 350Wh/kg;到 2035 年,我国普及、商用、高端能量型动力电池能量密度分别要达到 300Wh/kg、250Wh/kg 和 500Wh/kg。高能量密度下,由于电池批次一致性、材料自身热稳定性、电池各组间兼容性以及电解液高度易燃性等原因导致电池起火或爆炸的安全性事故频出。动力电池的不安全行为主要来源于其热失控,当单体电池发生热失控之后,相邻单体受影响后也将继续发生热失控,导致热失控蔓延,最终引发新能源汽车的安全事故。为应对电池热失控导致的安全问题,新能源汽车生产厂商主要采取主动和被动两类措施来控制电池热失控的蔓延,保障车辆乘客和车辆整体的安全。同时其它工业领域中的减震缓冲是不可缺少的环节,特别是现在的运行工况越来越负责,动力

锂电池中的减震缓冲、手机屏幕中的减震缓冲、笔记本里的减震缓冲等等应用场景都对减震缓冲泡沫垫提出了更高的性能要求,传统的减震缓冲垫片有橡胶类、聚氨酯类、有机硅类等^[1-3],但是在一些特殊的应用场景如耐高温、耐辐射、疏水等要求时,传统的缓冲泡沫垫就不能满足需求,新型的聚酰亚胺泡沫缓冲垫是利用聚酰亚胺树脂前聚体、发泡剂、助剂等经过发泡后制得的。聚酰亚胺(PI)泡沫塑料是一类具有特定化学结构、耐高低温(-250℃ ~ +350℃)区域最宽、无有害气体释放的轻质多孔材料。其具有耐辐射、密度范围广、难燃、耐高低温、绝缘性良好等特点,是一种先进的功能性材料。PI 泡沫塑料有良好的耐火焰穿透性能,在火焰燃烧下,出现碳化现象,能有效阻止军舰、飞机等内部火焰蔓延,降低人员伤亡。PI 泡沫塑料可单独作为减震、隔热、降噪或阻燃材料运用在航空航天、远洋、微电子等高新技术领域,也可用作先进复合材料的支撑体和复合材料夹芯。聚酰亚胺泡沫在真空环境下不易分解,

不产生多余物，并且在遇到明火条件下，也能保持物熔融无滴落，表面结碳的现象。目前我国对高性能 PI 泡沫塑料的需求增长迅猛，尤其在舰船、商业和工业领域对轻质、阻燃隔热和吸声材料的需求主要依靠进口，但是其价格极其昂贵，因此实现 PI 泡沫塑料国产化显得十分迫切。因此，开发具有更加耐高温的聚酰亚胺泡沫缓冲垫，对拓宽聚酰亚胺泡沫的应用是有十分重要的意义的。

目前对聚酰亚胺泡沫缓冲垫的研究还是比较少的。本文制备不同密度的聚酰亚胺泡沫缓冲垫，考察其密度、老化条件对缓冲性能的影响，为不同缓冲需求的行业选择提供部分参考。

一、实验

1.1 主要原料

聚酰亚胺(PI)泡沫，江苏中科聚合新材料产业技术研究院有限公司

1.2 仪器和设备

热风循环烘箱，CT-C-I，常州市亿宝干燥设备有限公司；

微波干燥箱，WBGZ-6，南京康方机械科技有限公司；

四柱热压机，Y32-25T，无锡美斯达精密机械有限公司；

数控泡沫切割机，HXSPQ-6000II，泊头市恒庆翔数控机械有限公司；

扫描电子显微镜（SEM），JSM-IT100，日本电子株式会社（JEOL）；

落球回弹仪：ATS-HT-300A，上海埃提森仪器有限公司；

硬度计：LX-C 型，上海三菱仪器厂

1.3 样品制备

制备聚酰亚胺（PI）发泡材料的主要步骤如下：以甲醇/四氢呋喃为溶剂，称取一定量的二酐和二胺加入溶剂中，得到前驱体溶液。然后，在前驱体溶液中加入发泡剂、催化剂、稳泡剂等助剂，搅拌均匀后，加热去除小分子挥发物，得到聚酰亚胺前驱体粉末，倒入模具中，在 250~450℃ 酰亚胺化成聚酰亚胺泡沫。制备不同的密度的 PI 泡沫，测试其缓冲回弹性能。

1.4 测试与表征

泡沫样品的密度按 GB/T 6343-2009 测定（重复 5 次），计算取平均值。

从泡沫材料内部截取小块试样，对样品进行喷金处理使其可以导电，采用扫描电子显微镜观察不同密度 PI 泡沫材料的微观形态结构。

硬度用硬度计来测试 PI 泡沫的硬度

回弹性能，按照 GB/T6670-2008 标准来测试其回弹性能。

压缩永久变形，按照 GB/T6669-2008 标准来测试压缩永久变形

二、结果与讨论

2.1 不同密度的聚酰亚胺泡沫的硬度

本实验改变发泡剂的含量，得到不同密度的聚酰亚胺泡沫，并测试其对应的硬度，结果见图 1。

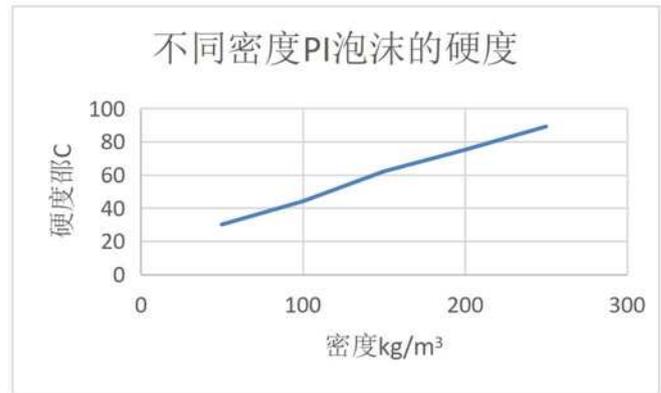


图 1 不同密度的 PI 泡沫的硬度

从图中可以看出，聚酰亚胺泡沫的硬度随密度的增大而增大，密度从 50kg/m³ 到 250 kg/m³ 的过程中，硬度从邵 C30 到邵 C90，密度越高，体系中聚酰亚胺固体物的成分越高，包裹的空隙的含量就少，其硬度也随之上升。

2.2 不同密度的聚酰亚胺泡沫的回弹性能

本实验改变发泡剂的含量，得到不同密度的聚酰亚胺泡沫，并测试其对应的落球回弹性能，结果见图 2。

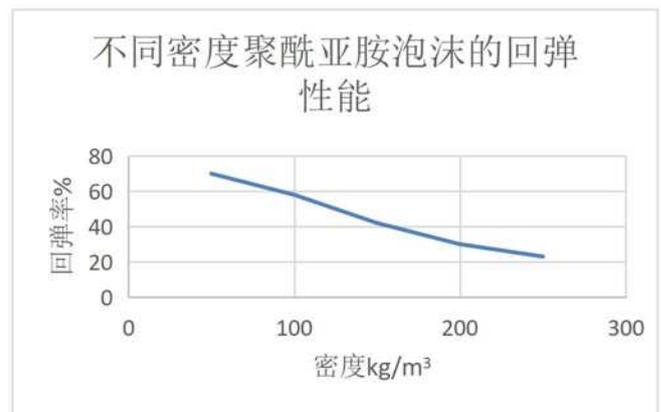


图 2 不同密度的聚酰亚胺泡沫的回弹性能

由图 2 可以看出，随着聚酰亚胺泡沫的密度提高，回弹性能呈下降趋势，密度从 50kg/m³ 到 250 kg/m³ 的过程中，落球回弹从 70% 到 20% 左右，密度越低，聚酰亚胺泡沫中聚酰亚胺固体物的成分越低，包裹的空隙的含量就越多，形成更加致密的空隙网状层，其回弹性能也随之上升。

2.3 不同密度的聚酰亚胺泡沫的压缩永久变形

本实验改变发泡剂的含量，得到不同密度的聚酰亚胺泡沫，并测试其对应的压缩永久变形，结果见图 3。

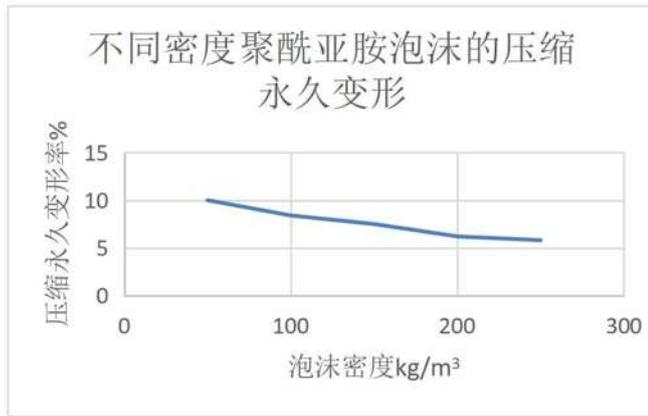


图 3 不同密度的聚酰亚胺泡沫的压缩永久变形

图 3 可以看出,随着聚酰亚胺泡沫的密度提高,压缩永久变形率呈下降趋势,密度从 50kg/m^3 到 250kg/m^3 的过程中,压缩永久变形率从 10% 到 6% 左右,密度越高,聚酰亚胺泡沫中聚酰亚胺固体物的成分越高,其压缩永久变形率也变的越小。所以针对不同的使用场景,不同的功能需要,可以选择不同的密度来针对需求。

2.4 双 85 后,不同密度的泡沫的回弹性能

本实验改变发泡剂的含量,得到不同密度的聚酰亚胺泡沫,在双 85 高温高湿后,并测试其对应的落球回弹性能,结果见图 4。

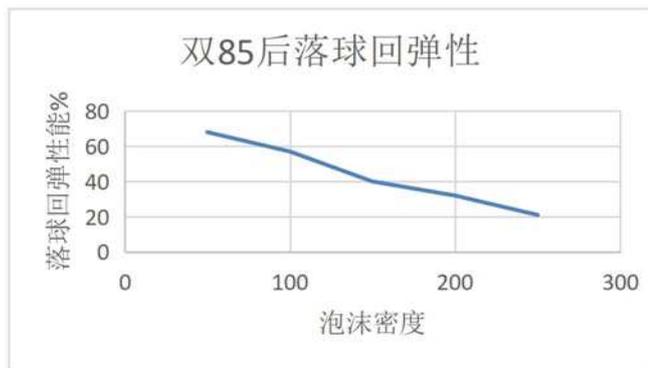


图 4 双 85 后不同密度的泡沫的回弹性能

从图上可以看出,双 85 之后不同密度的聚酰亚胺泡沫对应的落球回弹性能几乎没有发生变化,再次证明聚酰亚胺泡沫的耐温耐湿性能,其在高温高湿的条件下亦能保持其优良的性能。这对它在不同工况条件下的应用是有力的保障,不管是高温高湿、严寒等恶劣条件下都能很好的保持其物化性能。

三、结论

通过实验制备不同密度的聚酰亚胺泡沫,研究了不同密度下的聚酰亚胺泡沫材料的缓冲性能,实验发现聚酰亚胺泡沫随着密度的增加,其硬度增加,落球回弹性能减小,压缩永久变形变小,并且在高温高湿之后聚酰亚胺泡沫的回弹性能几乎不变,再次证明聚酰亚胺泡沫的耐温耐湿性能,更加拓宽其应用领域。通过实验,能够为我们不同项目缓冲性能不同的需求

下,指导我们能够在密度尽量合适的情况下能满足缓冲性能的需求。在动力锂电池行业,泡棉在动力电池包中可以提供绝佳的隔热、缓冲、阻燃、密封、支撑,减震等功能,因此泡棉可在电池包的不同区域位置中使用。在电池电芯间,在电芯发生热胀冷缩时,泡沫能够起隔热缓冲作用;电芯发生热失控时,泡棉能够阻止热量的传递,具有阻燃性能;在电池包中,位于液冷板下方或挨着上下箱盖,泡棉可起到支撑,减震作用;还可以用做电池密封圈。泡棉的种类有很多,包括 PU, EVA, PE, CR, ECR, 硅胶泡棉等。在电池包箱中起支撑,减震等作用的泡棉一般是 EVA, PE, ECR, EVA+CR, 硅胶泡棉等材料。用作电池密封圈的泡棉一般是硅胶泡棉等材料。

新能源动力电池对于电芯间泡沫产品的性能要求:

- (1) 低硬度高回弹,能够吸收由于热胀冷缩引起的应力而起到缓冲作用;
- (2) 低导热系数,发生热失控时,能隔热,抑制热扩散,延缓事故发生;
- (3) 阻燃性能,在电芯发生起火的时候,阻燃效果能够延缓火势蔓延;
- (4) 优异的回弹性能,可供压缩的比例较宽,作为定位;
- (5) 厚度小,占用空间少,寿命长。

前面介绍的一些常规泡沫就不能同时满足这么多要求,但是经过我们的配方、工艺调整,聚酰亚胺泡沫能够满足电芯之间的缓冲隔热要求:

a 保温隔热:导热系数低于 0.040W/m.K ,保障动力电池在极热温度和极寒温度下正常工作,同时当电芯发生热失控时,起到隔热作用,抑制热扩散。

b 防火阻燃:离火自熄,超低发烟量,延长着火事故的逃生时间。

c 防水防潮:不吸水,可以永久防潮。

d 缓冲减震:聚酰亚胺泡沫具有很好的缓冲减震性能,本文已经做了充分的实验,完全能够吸收电池鼓应力。

因此电芯间用聚酰亚胺泡沫:隔热,吸收应力,缓冲,可以满足动力电池软包电芯的热管理需求,提供优良的隔热、阻燃、鼓胀应力吸收等功能。

参考文献:

- [1] 李毅,王道亮,邹华维,等.可膨胀石墨阻燃半硬质聚氨酯缓冲泡沫研究[J].载人航天,2015,21(04):351-355.
- [2] 张贤珍,姜其斌,颜渊巍,等.有机硅泡沫材料的制备及性能研究进展[J].橡胶工业,2020,67:73-76.
- [3] 夏乔琦,李扬,曹承飞,等.硅橡胶泡沫复合材料的制备、性能与应用[J].中国材料进展,2018,37(3):168-177.