

# 纳米复合材料在电梯/起重机零部件上的应用研究

沈 皓

河北省特种设备监督检验研究院 河北 石家庄 050000

**摘要:**以纳米CaCO<sub>3</sub>为增强材料,通过预聚体法制备纳米CaCO<sub>3</sub>掺杂的聚氨酯复合材料,通过检测复合材料的微观结构、热稳定性、导电性能发现规律。结果表明,被纳米CaCO<sub>3</sub>改性的聚氨酯材料没有改变聚氨酯的整体结构,掺入纳米CaCO<sub>3</sub>复合材料的缓冲器表面较为平整,可以提升整体均匀性和微观形貌,增强制备的复合材料热稳定性、隔热性,满足绝缘要求。

**关键词:**缓冲器;聚氨酯;纳米复合材料;隔热性;绝缘

## 引言

电梯、起重机等机电类特种设备在运行过程中有多套保护装置,缓冲器作为最后一道安全保护装置,它的正常运行与否对特种设备安全运行起着重要的作用。

以电梯缓冲器为例,GB 7588.1中要求:“非线性蓄能型缓冲器(本文中的聚氨酯缓冲器属于这种类型)应符合下列要求:a)当有额定载重量的轿厢自由落体运动,并以115%v<sub>额</sub>撞击缓冲器时,缓冲器的平均减速度 $\leq 1gn$ ;b)2.5gn以上的减速度时间 $\leq 0.04s$ ;c)轿厢反弹速度不应 $\leq 1m/s$ ;d)缓冲器动作后,无永久变形。”<sup>[1]</sup>

聚氨酯缓冲器经常用于速度 $\leq 1.00m/s$ 的电梯,在额定载重量大、额定速度小的载货电梯上常见,具有体积小、重量轻、防水、防腐、软碰撞无噪声、安装方便、好维护、可减少底坑深度等优点。聚氨酯缓冲器克服了弹簧式缓冲器的一些缺点,比如动作时对轿厢(对重)的反弹冲击大等,它安装简单,且成本只有弹簧式缓冲器的一半<sup>[2]</sup>。

纳米材料优点有尺寸小、比表面积大和表面能高等,被称为本世纪最有前途的材料。有研究发现,纳米材料掺杂于聚合物时,一是能改善聚合物的强度和韧性,二是能提高材料的热稳定性和导热性能<sup>[4-5]</sup>。纳米粒子与聚合物之间的亲和性会影响复合材料的性能,因此要进行表面功能化改性纳米粒子<sup>[6-8]</sup>。无机纳米粒子一方面由于具有比表面积大的特征,相互作用力强,表面原子活性高,处于热力学非稳定状态,容易团聚;另一方面纳米粒子表面普遍存在羟基等活泼基团,将会降低其与基体的亲和性。本文选择以纳米CaCO<sub>3</sub>为添加材料,研究纳米CaCO<sub>3</sub>对复合材料的影响,力求制备出耐久性能和耐热性能优良的聚氨酯缓冲

器复合涂料<sup>[9-10]</sup>。

## 1 实验

### 1.1 实验原材料、设备

纳米CaCO<sub>3</sub>(工业级);偶联剂KH-570(工业级);聚四氢呋喃醚二醇-2000(PTMG);甲苯二异氰酸酯(TDI-80);3,3'-二氯-4,4'-二氨基二苯基甲烷(MOCA)。

红外光谱仪;电子显微镜;热重分析仪;导热系数测量仪耐驰(467);电阻测试仪PRS-812

### 1.2 样品的制备

首先,称取30g纳米CaCO<sub>3</sub>放入烧杯中,加入75mL无水乙醇和3.5g偶联剂KH-570,利用磁力搅拌器均匀搅拌0.5h。完成后60℃温控下超声处理0.5h;其次,称取20gPTMG在2800r/min的转速中升温至80℃,真空条件中脱水2h;然后,自然降温至60℃时,加入8.7g的TDI-80,控温为75℃,真空条件中搅拌2h;最后,均匀涂覆在缓冲器样品表面,室温下固化冷却。

同等条件下,制备出0wt%、1wt%、3wt%、5wt%和7wt%纳米CaCO<sub>3</sub>改性聚氨酯材料。

## 2 结果与讨论

### 2.1 FT-IR分析

图1为被纳米CaCO<sub>3</sub>改性的聚氨酯材料的红外光谱图。从图1中可以看出,制备的复合材料N-H键的伸缩振动吸收峰出现于3282.28cm<sup>-1</sup>,C=O的伸缩振动峰出现于1717.50cm<sup>-1</sup>,C-O-C的伸缩振动峰出现于1259.94cm<sup>-1</sup>,C-H键的不对称的伸缩振动峰发现于2917-2962cm<sup>-1</sup>;在1640.62cm<sup>-1</sup>处发现了聚氨酯链上伸缩振动峰氢键C=O,在1092.65cm<sup>-1</sup>处发现了聚氨酯链的C-O-C伸缩振动峰。说明纳米CaCO<sub>3</sub>的引入尚未改变聚氨酯的整体结构。

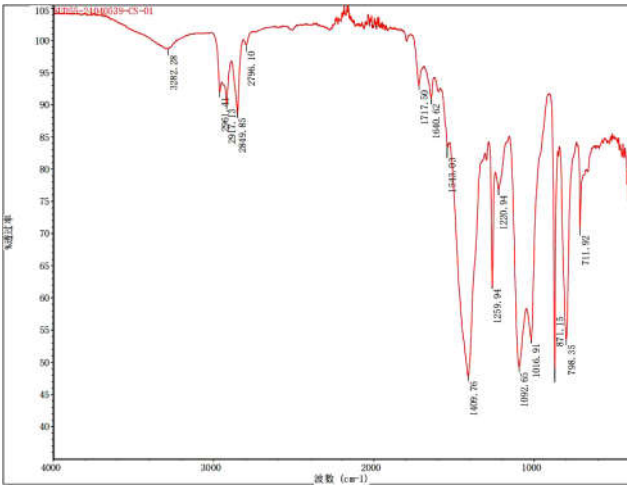


图1 被纳米CaCO<sub>3</sub>改性的聚氨酯复合材料的红外光谱图

### 2.2 SEM分析

图2是被纳米CaCO<sub>3</sub>改性的复合材料的SEM图，从图(a) (b)中可以看到，没有掺杂纳米CaCO<sub>3</sub>的复合材料

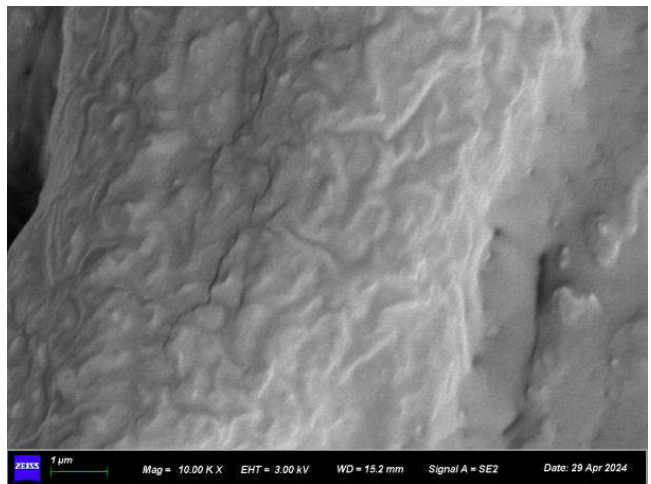
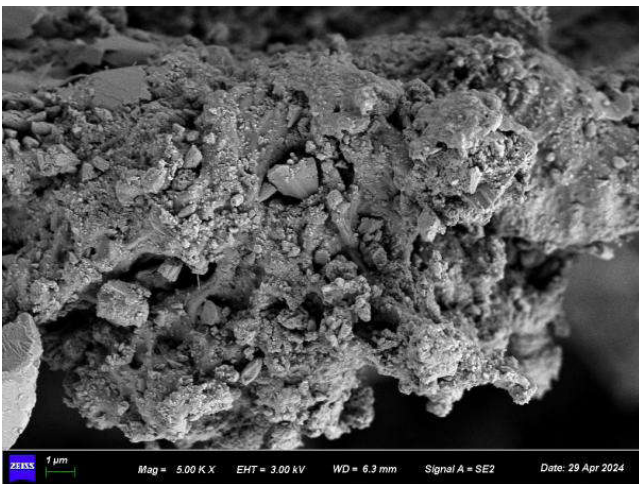


图2 (左) 未掺杂纳米CaCO<sub>3</sub>复合材料 (右) 掺杂纳米CaCO<sub>3</sub>复合材料

### 2.4 隔热性能分析

按照《闪光法测量热扩散系数和导热系数》要求，对制备的纳米CaCO<sub>3</sub>改性材料的热扩散系数进行测试。

热扩散系数是指物体中某一点的温度的扰动传递到另一点的速率的量度。物理意义为热导率 $\lambda$  (W/(m·K))除以密度 $\rho$  (Kg/m<sup>3</sup>)与体积热容 $c$  (J/(Kg·K))的乘积。

$$\alpha = \lambda / (c \cdot \rho)$$

热扩散率来自于导热微分方程，热扩散率=热导率/热容量。热扩散系数越小，说明热扩散率表征单位时间热扰动的传播面积越小，可以理解为传播速度小。根据实验数据分析，得出制备的复合材料热扩散系数为0.126mm<sup>2</sup>/s。而日常所用起重机/电梯缓冲器的使用环境

缓冲器表面粗糙，晶粒分布不均匀，掺入纳米CaCO<sub>3</sub>复合材料的缓冲器表面较为平整，缝隙裂痕锐减，是由于纳米粒子和基体之间较高的融合度，能改善整体均匀性和微观形貌。

### 2.3 热学性能分析

对被纳米CaCO<sub>3</sub>改性的聚氨酯复合材料均匀涂覆的聚氨酯缓冲器进行热稳定分析。取样，N<sub>2</sub>气氛下升温，温度范围为-50至150℃。其热失重曲线图，起始点为108.64℃，终止点为110.93℃，峰值为109.97℃。满足日常电梯、起重机所用的缓冲器使用温度在-20到55℃条件下(JB/T 10833-2017《起重机用聚氨酯缓冲器》)，原因分析：一是因为纳米CaCO<sub>3</sub>的键能较大，具有较高的抗热降解温度，在掺入纳米CaCO<sub>3</sub>后可以大大提升聚氨酯复合材料的热稳定性；二是因为纳米CaCO<sub>3</sub>的表面丰富的官能团，当这些官能团嵌入聚氨酯材料的分子链时，可以加强分子链之间的相互作用力，因而提高了材料的热稳定性能。

为空气，空气的热导率为0.025W/(m·K)，300K时体积热容是1.005kJ/(Kg·K)，密度为1.29Kg/m<sup>3</sup>，由上述公式可计算得出空气的热扩散系数约为19.3mm<sup>2</sup>/s，大于实验制备的纳米复合材料，说明制得的材料满足隔热效果。

### 2.5 电性能分析

利用电阻测试仪PRS-812对纳米CaCO<sub>3</sub>改性聚氨酯复合材料的电性能进行测试。

表面电阻是表征电介质或绝缘材料电性能的一个重要数据。对于表面电阻而言，大于等于10<sup>11</sup>Ω为绝缘体。制备的复合涂料的电阻值为2.7×10<sup>11</sup>Ω，可满足绝缘要求。

研究中还发现，纳米CaCO<sub>3</sub>改性聚氨酯复合材料的表面电阻率随着添加纳米质量分数的增加，呈现先增长后降低的趋势。

表面电阻率增大原因分析：（1）纳米粒子表面电阻率较大，经过KH-570处理后均匀分散在溶液中，与基体充分反应形成共价键，各个大分子基团形成整齐排列的分子链，从而减少薄膜内部载流子迁徙；（2）纳米粒子的大比表面积能反射入侵的部分电荷，提高复合材料的表面电阻率；（3）“钉扎效应”提高基体的稳定性，减少载流子的迁徙。

随着wt%的增加而降低原因分析：纳米wt%增大易引起纳米团聚形成纳米集群；纳米粒子带入可迁徙载流子，在外加电场的作用下发生极化，导致电场畸变。

### 3 结语

通过实验，以PTMG、TDI-80、MOCA为原料，通过预聚体法制备了纳米CaCO<sub>3</sub>掺杂的聚氨酯复合材料，通过对改性复合材料的各项性能测试，得到如下结论：

（1）纳米CaCO<sub>3</sub>的掺杂尚未改变聚氨酯的结构，但是复合材料的整体均匀性和微观形貌被明显提高。

（2）纳米CaCO<sub>3</sub>的掺杂能够有效提高聚氨酯复合材料的热稳定性；使分子链之间的相互作用力增强，因而提高聚氨酯复合材料的热稳定性。

（3）纳米CaCO<sub>3</sub>改性复合材料具有较好的隔热性能和绝缘性能。

（4）相较于其他纳米粒子，纳米CaCO<sub>3</sub>成本低廉，实验方法易控制、重复性好。拓展缓冲器使用性能，市场前景广阔。

### 参考文献

- [1]GB 7588.1-2020《电梯制造与安装安全规范》
- [2]GB/T22588-2008《闪光法测量热扩散系数和导热系数》
- [3]JB/T10833-2017《起重机用聚氨酯缓冲器》
- [4]纳米CaCO<sub>3</sub>改性聚氨酯复合材料的制备及性能研究,崔衍刚,张锐,宁晓骏;《功能材料》;2022-04-14
- [5]表面改性纳米粒子/聚氨酯复合材料制备及性能研究,张超群(导师:李峻青);哈尔滨工程大学,硕士(专业:化学工程与技术);2017
- [6]高温超导非晶合金变压器主绝缘介电与电气特性研究张良(导师:刘道生);江西理工大学,硕士(专业:电气工程);2023
- [7]一则电梯聚氨酯缓冲器检验案例及其引发的思考,杨乐,曾力舟,陈豪,张威麟;《中国电梯》;2023-04-28
- [8]在用电梯液压缓冲器动态测试系统的设计,曾健生(导师:万健如;邵春文);天津大学,硕士(专业:控制工程);2016
- [9]玄武岩纤维混杂复合材料性能研究,徐哲(导师:翁履谦);哈尔滨工业大学,硕士(专业:材料科学与工程);2009
- [10]PET薄膜功能性表面的制备及应用研究,陆枫潇(导师:张洪文);常州大学,硕士(专业:高分子化学与物理);2015