

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.02.009

30 t 轴重重载铁路 PA66 基复合材料性能

仇鹏^{1,2}, 崔永生¹, 李双雯³, 吴明明¹, 郭恒杰⁴

(1. 河北铁科翼辰新材料科技有限公司, 石家庄 052165; 2. 中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所, 北京 100081; 3. 北华航天工业学院, 河北廊坊 065000; 4. 河南神马华威塑胶股份有限公司, 河南平顶山 467000)

摘要: 通过对 30 t 轴重重载铁路扣件系统用绝缘轨距块原材料及加工产品进行研究, 以开发满足产品性能和使用要求的高性能材料。通过分别添加质量分数 5% 的磨碎玻纤、实心玻璃微珠、硅灰石对尼龙 (PA)66 树脂进行改性, 制得高性能 PA66 改性树脂。研究发现, 质量分数 30% 玻璃纤维与质量分数 5% 实心玻璃微珠增强的 PA66 树脂性能优异、尺寸稳定性较高, 使用该材料加工的绝缘轨距块具有较高的尺寸稳定性和耐磨性能。

关键词: 重载铁路; 尼龙 66 高性能改性树脂; 绝缘轨距块; 尺寸稳定性

中图分类号: TQ316 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)02-0044-05

Performance of PA66 Matrix Composite for 30 t Axle Load Heavy Haul Railway

Qiu Peng^{1,2}, Cui Yongsheng¹, Li Shuangwen³, Wu Mingming¹, Guo Hengjie⁴

(1. Hebei Tiekewyichen New Material Technology Co. Ltd., Shijiazhuang 052165, China; 2. Railway Engineering Research Institute of China Academy Of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China; 3. North China Institute of Aerospace Engineering, Langfang 065000, China; 4. Henan Shenma Huawei Plastic Co. Ltd., Pingdingshan 467000, China)

Abstract: The insulation gauge block raw materials and processed products for 30 t axle heavy-duty railway fastener systems were studied, to develop high-performance materials of the meet product performance and use requirements. PA66 resin was modified by adding 5% mass fraction of ground glass fiber, solid glass beads, and wollastonite to obtain a high-performance PA66 modified resin. The results show that the combination of 30% glass fiber and 5% solid glass beads reinforced PA66 resin products has excellent performance and high dimensional stability. The insulated gauge block products processed using this material have high dimensional stability and wear resistance.

Keywords: heavy haul railway; polyamide 66 high performance modified resin; insulated gauge block; dimensional stability

聚酰胺 (PA) 俗称尼龙, 是指分子结构中具有酰胺基 (—CONH—) 的一类聚合物, 由于主链上碳氢化合物结构和酰胺基浓度不同, 聚酰胺的结构和性能各不相同。其中聚己二酰己二胺 (PA66) 是由己二酸和乙二胺缩聚而得, 1938 年杜邦公司首先开发了该产品^[1-2], 因其具有优良的力学性能、耐磨性、耐油性、气体阻隔性、耐热性能等, 在全球得到迅猛的发展, 被广泛地用于电子电气、建筑、办公设备、汽车、机械和航空航天等行业^[3]。

通过加入不同助剂, 如玻璃纤维、增韧剂或阻燃剂等对基础 PA66 树脂的力学性能、电性能、阻燃性能等进行改性, 可制备出性能更优异的改性 PA66

树脂, 使产品轻量化, 成型方便, 既降低了成本、又节约了能源, 并能通过物理或化学方法回收利用更加环保。

近年来, 我国轨道交通业快速发展, 高性能 PA 塑料在轨道交通领域的应用也逐渐增加, 并在轨道交通的高速、舒适、安全、方便及经济性等方面发挥越来越重要的作用^[4-6]。重载铁路是指行驶列车总重大、行驶大轴重货车或行车密度和运量特大的铁路, 主要用于输送大宗原材料货物。20 世纪 20 年代在美国首次出现。重载铁路运输因其运能大、运输成本低而受到世界各国的广泛重视, 已被国际公认铁路大宗货物运输发展的方向。实现货运重载

通讯作者: 仇鹏, 高级工程师, 主要研究方向为高分子材料配方设计、加工工艺、制品结构设计等 E-mail: tkyqiupeng@126.com

收稿日期: 2019-11-19

引用格式: 仇鹏, 崔永生, 李双雯, 等. 30 t 轴重重载铁路 PA66 基复合材料性能 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(2): 44-48.

Qiu Peng, Cui Yongsheng, Li Shuangwen, et al. Performance of PA66 matrix composite for 30 t axle load heavy haul railway[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(2): 44-48.

的主要手段是提高车辆的轴重,提高轴重可以明显提升铁路运输的效率^[7-10]。相比于高速铁路,轴重的提高给轨道扣件系统提出了更高的要求,尤其是对扣件系统中承担受力部分的高分子材料零部件,为此,综合性能优异的高分子材料是重载铁路发展的前提和关键条件,其中扣件系统中绝缘轨距块作为高分子材料的连接件,主要承担调整轨距和绝缘钢轨与地面的电流连接作用^[11-12]。改性聚酰胺材料的高强度、耐候性、耐腐蚀、优异的绝缘性易成型等特点有效地解决了机车抖动、噪音大的问题,并能确保轴距的稳定,减少维修次数,使装配模块化,安装简单快捷,是铁路运行安全性、高速化、长寿命、经济化的重要保证。改性聚酰胺塑料主要用在机车、电务部门和铁道工程等方面,如用作铁轨绝缘垫板、弧形板座、铁路槽板、轨撑、电器信号装置、电路接线柱和滚动轴承保护架等。笔者对 PA66 树脂进行增强增韧改性,确定合适的增强增韧剂种类及添加比例,并对改性 PA66 树脂在 30T 重载铁路扣件系统中 WJ-12 绝缘轨距块(以下简称绝缘轨距块)材料的开发应用做系统分析及研究。

1 实验部分

1.1 原材料

PA66: 注塑级,平顶山神马工程塑料有限责任公司;

玻璃纤维: 重庆国际复合材料股份有限公司;

磨碎玻纤: 重庆国际复合材料股份有限公司;

实心玻璃微珠: 美国波特工业公司;

硅灰石: 宁波恩派新材料有限公司;

增韧剂: 沈阳科通塑胶有限公司;

助剂: 威来惠南集团(中国)有限公司。

1.2 仪器及设备

万能材料试验机: CMT-4204 型,美特斯工业系统公司;

冲击试验机: ZBC8501 型,美特斯工业系统公司;

马弗炉: GST-3-1200-II 型,上海基玮试验仪器公司;

烘箱(带真空): BPZ-6123LCB 型,上海一恒科学仪器有限公司;

高速混合机: CH-50L 型,漯河天泰塑料机械有限公司;

注塑机: MA1600-540G 型,宁波海天塑机集团有限公司;

双螺杆挤出机: SHJ-35,广达橡塑机械厂。

1.3 改性 PA66 树脂的制备

(1) 玻璃纤维增强改性 PA66 的制备。

在双螺杆挤出机中,通过添加玻璃纤维对 PA66 树脂进行改性: 将一定质量的玻璃纤维加入到双螺杆挤出机的侧喂料斗中(总质量为 5 kg,玻璃纤维质量分数为 30%,32.5%,35%),将相应比例的 PA66 添加到双螺杆挤出机的主喂料斗中。设定合适的温度、主机螺杆转速、喂料螺杆转速和侧喂料螺杆转速,生产 PA66 高性能改性树脂。试样在 90℃ 下烘干备用。

(2) 矿物填充改性 PA66 树脂的制备。

对上述增强产品进行注塑,确认玻璃纤维质量分数为 30% 时增强 PA66 树脂综合性能最佳。在双螺杆挤出机中,通过 PA66 与填充矿物混合增强 PA66 树脂进一步改性: 按照表 1 配比,将一定质量的玻璃纤维加入到双螺杆挤出机的侧喂料斗中(总质量为 5 kg,玻璃纤维质量分数为 30%),将相应比例的 PA66 分别和质量分数 5% 的磨碎玻纤、实心玻璃微珠、硅灰石混合均匀添加到双螺杆挤出机的主喂料斗中。设定合适的温度、主机螺杆转速、喂料螺杆转速和侧喂料螺杆转速,制成 PA66 高性能改性树脂。将试样在 90℃ 下烘干备用。

表 1 改性 PA66 配方 %

材料	试样编号			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
PA66 树脂	67	62	62	62
实心玻璃微珠		5		
磨碎玻纤			5	
硅灰石				5
增韧剂	3	3	3	3
助剂	0.8	0.8	0.8	0.8

1.4 性能测试与表征

拉伸强度按照 GB/T 1447-2005 测试,拉伸速度为 10 mm/min;

弯曲强度按照 GB/T 9341-2008 测试,速度为 2 mm/min;

冲击强度按照 GB/T 1043.1-2008 测试;

玻璃纤维含量按照 GB/T 9345.4-2008 测试;

体积电阻率按照 GB/T 1410-2006 测试;

密度按照 GB/T 1033.1-2008 测试;

熔点按照 GB/T 16582-2008 测试;

垂直收缩率按照 GB/T 17037.4-2003 测试。

2 材料性能分析

2.1 不同配方对改性 PA66 物理、力学性能的影响

绝缘轨距块原材料的物理、力学性能应符合表

2 要求的指标。

表2 绝缘轨距块原材料的物理、力学性能要求

项目	要求	测试标准
密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	1.30~1.45	GB/T 1033.1-2008
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	255~270	GB/T 16582-2008
拉伸强度/MPa	≥ 150	GB/T 1447-2005
弯曲强度/MPa	≥ 200	GB/T 9341-2008
无缺口冲击强度/ ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	≥ 80	GB/T 1043.1-2008
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	$\geq 10^{14}$ (出模,密封干燥) $\geq 10^{10}$ (23 $^{\circ}\text{C}$,50%,48 h)	GB/T 1410-2006
玻璃纤维含量/%	30~35	GB/T 9345.4-2008

玻璃纤维对 PA66 树脂的改性具有物理增强的作用。一般来说,随着玻璃纤维含量的增加改性 PA66 树脂的拉伸强度会越来越大。图 1 为不同配方改性 PA66 的拉伸强度。由图 1 可见,改性 PA66 试样的拉伸强度均大于绝缘轨距块原材料的拉伸性能。2[#] 试样的拉伸强度最高,为 175.8 MPa。5[#] 试样是要求的标准试样(下同)。

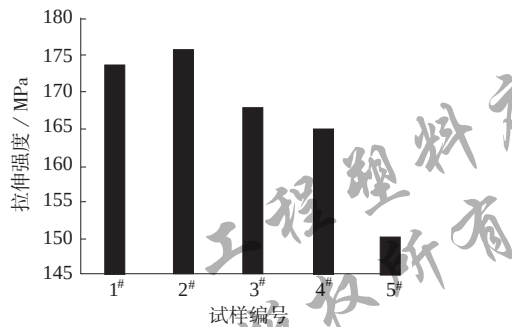


图1 不同配方的 PA66 改性树脂的拉伸强度

图 2 是不同配方的 PA66 改性树脂弯曲强度与绝缘轨距块原材料弯曲强度要求对比图。

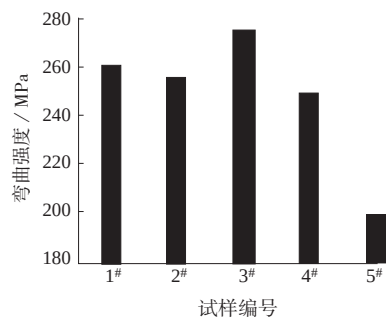


图2 不同配方的 PA66 改性树脂的弯曲强度

从图 2 可以看出,1[#] 试样~4[#] 试样的弯曲强度均高于要求,其中 3[#] 试样的弯曲强度最高,为

274.0 MPa。

图 3 是不同配方的 PA66 改性树脂无缺口冲击强度与绝缘轨距块原材料无缺口冲击强度要求对比图。从图 3 可以看出,1[#]~4[#] 试样的无缺口冲击强度均高于要求的指标,其中 1[#] 试样的无缺口冲击强度最高,为 93.9 kJ/m^2 。这是因为添加矿物后降低了 PA66 树脂的韧性,从而使无缺口冲击强度降低。

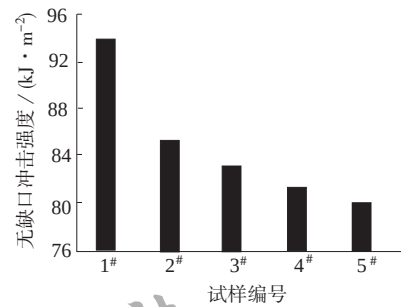


图3 不同配方的 PA66 改性树脂的无缺口冲击强度

2.2 不同配方对改性 PA66 树脂注塑成型的影响

1[#] 试样~4[#] 试样的物理、力学性能均达到绝缘轨距块原材料物理力学性能要求,为进一步确认最佳配方,对产品的垂直收缩率进行研究见图 4。

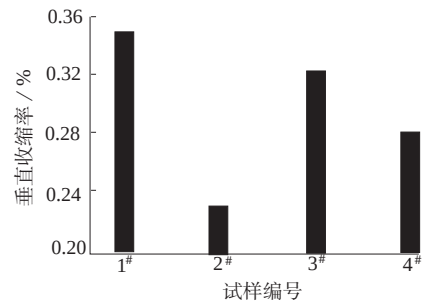


图4 不同配方的 PA66 改性树脂的垂直收缩率

从图 4 可以看出,5% 实心玻璃微珠增强 PA66 树脂的垂直收缩率最低,为 0.23%。垂直收缩率的大小对原材料的注塑成型影响很大,垂直收缩率越低,原材料注塑成型后的尺寸越稳定。

表 3 是不同配方试样的物理、力学性能。由表 3 可见,各个试样的性能均达到绝缘轨距块原材料物理、力学性能要求。其中 2[#] 试样的尺寸稳定性最高,更适用于绝缘轨距块的加工成型。

表3 不同配方的试样物理、力学性能

试样编号	密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	熔点 / $^{\circ}\text{C}$	拉伸强度 / MPa	弯曲强度 / MPa	无缺口冲击强度 / ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	干态体积电阻率 / ($\Omega \cdot \text{cm}$)	灰分含量 / %	垂直收缩率 / %
1 [#]	1.365	257	173.4	260.6	93.9	3.5×10^{16}	30.6	0.35
2 [#]	1.372	259	175.8	255.3	85.3	3.9×10^{16}	34.9	0.23
3 [#]	1.417	257	167.8	274.0	82.9	2.5×10^{16}	34.7	0.32
4 [#]	1.384	255	164.7	248.5	81.4	1.8×10^{16}	34.5	0.28

3 绝缘轨距块试制情况

取上述确定的 2[#] 试样 200 kg,使用欧化除湿干燥组合,设定温度 120℃,将材料烘干至水分≤0.2%,备用。

3.1 注塑工艺

按照表 4 列出的注塑工艺注塑绝缘轨距块 1 000 块。

表 4 绝缘轨距块注塑工艺

项目	一段	二段	三段	四段	五段
料筒温度/℃	295	290	280	275	270
注塑压力/MPa	9	10.2	6		
注射速度/%	80	85	40		
注射位置/mm	125	45	28		
注射时间/s			6		
保压压力/MPa	5	4.5			
保压速度/%	25	20			
保压时间/s	25	20			
冷却时间/s			45		

3.2 调湿工艺

将注塑生产绝缘轨距块的保温温度设为(105±5)℃,保温 4 h 进行调湿处理,处理完产品放置 16 h 以上进行相关尺寸和性能测试,验证产品尺寸稳定性和性能指标。

4 绝缘轨距块试验情况分析

4.1 产品技术要求

绝缘轨距块产品的性能指标见表 5。

表 5 绝缘轨距块产品尺寸及性能要求

序号	检查项目	技术指标	检验要求
1	A	141 ⁰ ₋₁ mm	Q/CR 479—2015
	B	147 ⁺¹ ₀ mm	
	C	10 ⁰ _{-0.5} mm	
	D	(11.5±0.3) mm	
	E	7 ⁰ _{-0.5} mm	
	F	14 ⁰ _{-0.5} mm	
	α	(α±1)°	
2	硬度	不应小于 105HRR	
3	抗剪性能	两端边耳经 4.5 kN 力剪切后不应破裂	
4	冲击韧性	经冲击试验后不应破裂	
5	内部空隙	内部不应有气泡或空隙	

注: A, B, C, D, E, F, α 分别表示抵靠钢轨面总长,挡肩总长,抵靠钢轨面厚度,扣压钢轨面厚度,抵靠钢轨面小腿高度,抵靠钢轨面高度,角度。

4.2 试验结果

按照 GB/T 2828.1—2012 对该批次 1 000 件绝缘轨距块进行检验判定,检验结果见表 6。所有的项目全部合格。由表 6 可以看出,使用 5% 实心玻璃微珠增强 PA66 树脂生产的绝缘轨距块产品尺寸和性能指标均满足标准要求,而且,从具体尺寸测量的 A, C, D 测试结果看,各指标实测结果波动值均在 0.2 mm 以内,说明该产品不仅能满足使用性能

要求,而且生产制品具有较好的尺寸稳定性。

表 6 绝缘轨距块检验结果

检验项目	尺寸名称	技术要求	单位	测量范围	检验数	(Ac, Re)	判定
型式尺寸	A	141 ⁰ ₋₁	mm	140.5~140.7	32	(2, 3)	合格
	B	147 ⁺¹ ₀	mm		32	(2, 3)	合格
	C	10 ⁰ _{-0.5}	mm	9.71~9.83	32	(2, 3)	合格
	D	11.5±0.3	mm	11.39~11.47	32	(2, 3)	合格
	E	7 ⁰ _{-0.5}	mm		32	(2, 3)	合格
	F	14 ⁰ _{-0.5}	mm		32	(2, 3)	合格
	α	96.3±1.0	°		32	(2, 3)	合格
硬度		≥ 105	HRR	111~112	5	(0, 1)	合格
抗剪性能	两端边耳经 4.5 kN 力剪切后不得破裂		kN		5	(0, 1)	合格
冲击韧性	经 6 次冲击试验后不应破裂				5	(0, 1)	合格
内部空隙	内部不应有气泡或空隙				5	(0, 1)	合格

注: Ac, Re 分别代表接收数,拒收数。

4.3 疲劳试验

根据以上试验结果,为了进一步验证该材料生产绝缘轨距块的长期适用性能,特委托河北翼辰集团对绝缘轨距块进行了整套扣件 300 万次组装疲劳试验,以验证零部件绝缘轨距块的适用性。组装疲劳试验结果见表 7。

表 7 扣件系统组装疲劳性能测试结果

检测项目	技术要求	检测结果	判定
疲劳性能	正常状态	经 3×10 ⁶ 次载荷循环后,轨距扩大量≤6 mm	合格
		经 3×10 ⁶ 次载荷循环后,各零部件不应损伤	

从测试结果看,绝缘轨距块经 300 万次组装疲劳试验以后,状况良好,未见损伤;而且,轨距扩大量较小,说明该产品具有良好的耐磨性。

5 结论

(1) 通过分别添加质量分数 5% 的磨碎玻璃纤维、实心玻璃微珠、硅灰石对 PA66 进行改性,制得高性能改性 PA66 树脂,其性能均符合绝缘轨距块原材料物理、力学性能要求。

(2) 从产品物理、力学测试结果看,质量分数 30% 玻璃纤维与 5% 实心玻璃微珠增强的 PA66 产品性能优异、尺寸稳定性较高,更适用于绝缘轨距块的加工成型。

(3) 使用质量分数 30% 玻璃纤维与 5% 实心玻璃微珠增强的 PA66 树脂生产的绝缘轨距块产品,产品尺寸和性能指标均满足标准要求,且生产制品具有较好的尺寸稳定性。通过 300 万次扣件组装疲

劳试验测试可以发现,该材料还具有良好的耐磨性。

参考文献

- [1] 朱建民. 聚酰胺树脂及其应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011:1-3.
Zhu Jianmin. Polyamide resin and its application[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2011:1-3.
- [2] 马之庚, 陈开来. 工程塑料手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004:37-39.
Ma Zhigeng, Chen Kailai. Engineering plastics handbook[M]. Beijing:China Machine Press, 2004:37-39.
- [3] 赵德仁, 张蔚盛. 高聚物合成工艺学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008:306-313.
Zhao Deren, Zhang Weisheng. Synthesis technology of polymer[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2008:306-313.
- [4] 巫广生. 轨道交通行业发展及其对高性能改性尼龙需求分析 [J]. 国外塑料, 2011, 29(2):46-48.
Wu Guangsheng. Development of rail transit industry and analysis of its demand for high-performance modified nylon[J]. World Plastics, 2011, 29(2):46-48.
- [5] 石建江, 邓凯恒, 蒋婷婷, 等. 改性聚酰胺 66 在铁道器材中的应用 [J]. 铁道建筑, 2008(5):95-97.
Shi Jianjiang, Deng Kaihuan, Jiang Tingting, et al. Application of improved polyimide 66 to railway equipment[J]. Railway Engineering, 2008(5):95-97.
- [6] 郑宁来. 尼龙工程塑料在高铁中的应用 [J]. 国外塑料, 2010, 28(8):66-66.
Zheng Ninglai. Application of nylon engineering plastics in high-speed rail[J]. World Plastics, 2010, 28(8):66-66.
- [7] 陶崇刚, 杨夷. 轴重 [J]. 国外铁道车辆, 1986(1):57-58.
Tao Chonggang, Yang Yi. Axle load[J]. Foreign Rolling Stock, 1986(1):57-58.
- [8] 朱波. 大轴重作用下重载铁路路基结构荷载传递规律及设计方法研究 [D]. 西安: 西安交通大学, 2018.
Zhu Bo. Study of subgrade structure load transfer law and design method on heavy haul railway of large axle load[D]. Xi'an:Xi'an Jiaotong University, 2018.
- [9] 张志方. 30t+ 轴重重载铁路轨道结构技术创新与发展 [J]. 中国铁路, 2014(3):12-20.
Zhang Zhifang. Technical innovation and development of 30t axle load heavy-haul railway track structure[J]. Chinese Railways, 2014(3):12-20.
- [10] 常卫华. 30 吨轴重重载铁路轨道结构力学特性研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
Chang Weihua. Mechanical properties study of 30t axle load heavy-haul railway track structure[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University, 2009.
- [11] 汤友钱, 汤娇, 汤啸, 等. 高速铁路绝缘轨距块用增强尼龙专用料研究 [J]. 浙江科技学院学报, 2012, 24(3):227-231.
Tang Youqian, Tang Jiao, Tang Xiao, et al. Research on high-speed rail insulated gauge blocks with reinforced nylon[J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2012, 24(3):227-231.
- [12] 常杰, 高卫峰, 张远庆, 等. 尼龙绝缘轨距块产品翘曲变形影响因素及其解决办法 [J]. 塑料助剂, 2014(5):50-54.
Chang Jie, Gao Weifeng, Zhang Yuanqing, et al. Affected factors of warp distortion of nylon insulation gauge and their solved methods[J]. Plastics Additives, 2014(5):50-54.

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、版面费。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,杂志社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,不要给个人账户汇款,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》杂志社)