

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.04.027

汽车动力系统尼龙材料发展趋势

陈剑锐¹, 张海生², 张杨²

(1. 浙江普利特新材料有限公司, 浙江嘉兴 314006; 2. 上海普利特复合材料股份有限公司, 上海 201707)

摘要:按照耐热性能的不同,分别对短期高耐热尼龙和长期高耐热尼龙的性能和产品进行介绍和分析。简述了生物基尼龙的种类和研究进展,并着重介绍了几款耐高温的生物基尼龙产品。对高耐热尼龙材料的制备工艺及关键技术进行了简要阐述,并从各生产商在汽车动力系统的相关产品布局出发,分析了高耐热尼龙材料的国内外行业现状和发展动态。通过典型应用案例展示了长期高耐热尼龙在汽车工业领域的广阔应用前景。指出未来几年尼龙高耐热化和生物基化的发展趋势。

关键词: 尼龙; 高耐热; 生物基; 汽车动力系统

中图分类号: TQ323.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)04-0159-06

Development Trend of Nylon Materials for Automobile Power System

Chen Jianrui¹, Zhang Haisheng², Zhang Yang²

(1. Zhejiang PRET Advanced Materials Co., Ltd., Jiaxing 314006, China; 2. Shanghai PRET Composites Co., Ltd., Shanghai 201707, China)

Abstract : According to the difference of heat resistance, the properties and products of short-term high heat-resistant nylon and long-term high heat-resistant nylon were introduced and analyzed respectively. The types and research progress of bio-based nylon were briefly described, and several high-temperature resistant bio-based nylon products were introduced. The preparation process and key technologies of high heat-resistant nylon materials were briefly described, and the domestic and foreign industry status and development trends of high-heat-resistant nylon materials were analyzed based on the layout of related products of various manufacturers in the automotive power system. Furthermore, the broad application prospects of long-term high heat-resistant nylon in the automotive industry were demonstrated through typical application cases. Finally, the trend of high heat-resistance and biological base of nylon in the coming years was pointed out.

Keywords : nylon ; high heat resistant ; bio-based ; automobile power system

汽车工业发展的重要主题是降低油耗和减少排放^[1]。轻量化是降低油耗和减少排放的重要途径,因此高分子材料替代传统的金属材料,已被大量用于制造汽车零部件。除轻量化外,提高发动机的燃烧温度可以使燃料燃烧更充分,从而起到提高燃油效率、降低油耗的目的。例如,可采用具有较小气缸容量和更有效涡轮增压的发动机,将增压空气温度由原先的 170~190℃提高至恒定值 210℃或峰值 230℃,充气压力提高至 0.3 MPa 以上。鉴于发动机及其周边燃油、冷却、排气系统使用了大量高分子材料,上述提高温度的措施无疑对材料的强度和耐热性能提出了更高的要求^[2-4],因此,需同步发展新型具有高耐热、高强度特性的高分子材料。

尼龙 (PA) 作为工程塑料具有优异的力学性能、耐热

性能、耐磨性能、自润滑性能,在汽车、电子电器、电动工具、特种装备等领域得到广泛应用^[5-8]。目前,全球超过一半的 PA6 和 PA66 被汽车制造商所消耗,其中中国已成为 PA6 和 PA66 的最大市场,占全球销售额的 1/3^[9-10]。世界上现有超过 99% 的 PA 产品来自于石油,例如用量最大的 PA66 所用单体是通过石油基的丁二烯或丙烯腈生产的。随着中间体原料己二腈经常性“不可抗力”供给短缺,寻找替代品已迫在眉睫,而采用可再生的生物基材料为原料生产 PA 成为解决石油问题的一个重要方向。

与石油基材料不同,生物基材料是利用生物质,以农作物、树木等为原料,通过生物、化学等方法得到,具有绿色、资源节约、环境友好等特点。生物基材料有助于解决全球发展

通信作者: 张海生,硕士,主要从事高分子材料的加工改性与应用研究

收稿日期: 2022-01-18

引用格式: 陈剑锐,张海生,张杨. 汽车动力系统尼龙材料发展趋势 [J]. 工程塑料应用, 2022, 50(4): 159-164.

Chen Jianrui, Zhang Haisheng, Zhang Yang. Development trend of nylon materials for automobile power system[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(4): 159-164.

所面临的资源和能源短缺以及环境污染等问题,成为当今世界新材料发展竞争的热点之一^[11]。随着 2020 年《关于进一步加强塑料污染治理的意见》的出台,生物基材料作为可降解材料迎来了新的发展机遇^[12]。与传统 PA 相比,生物基 PA 在生产过程中产生的 CO₂ 能够被植物在生长过程中消耗的 CO₂ 抵消,因此从整个生命周期来看,其碳排放量为零。尽管理论上生物基 PA 可完全替代石油基 PA,但与后者相比,生物基 PA 在某些性能指标 [如熔点 (T_m)] 上仍有进一步提升的空间,这就限制了生物基 PA 在汽车动力系统的应用。

面对汽车动力系统对材料高耐热的需求,以及环境友好型材料越来越受青睐的现实,如果 PA 材料可以同时具备高耐热和生物基两个特性,那必将在汽车动力系统等方面爆发出极大的应用潜力。

1 国内外高耐热 PA 和生物基 PA 发展现状

耐热性好是 PA 材料的显著特点,工程塑料的耐热性可用两个指标来衡量^[5]:

(1) 给定载荷下的短期耐热性,通常用“热变形温度 (HDT)”表示,用于考察高分子材料在高温且受一定负荷作用时能否保持不明显变形。一般而言,若考虑安全系数,材料短期使用最高温度应保持比 HDT 低 10℃ 左右。实验数据显示,经过一般玻纤改性后所得 PA 复合材料的 HDT 与 PA 的 T_m 接近。HDT 通常可以作为材料能满足回流焊等短时峰值温度要求的量度,适用于电子、电气等设备小型化后表面贴装技术 (SMT) 的应用工况。

(2) 零负载时长期暴露在高温下的耐热性,通常用“半生命周期连续使用温度 (CUT)”表示。其定义为,在一定时间内,通常为 1 000, 5 000, 20 000 h 内,某一给定力学性能,通常是拉伸强度或冲击强度降低 50% 时的温度。更多的相关术语还有“相对温度指数 (RTI)”、“长期耐热老化 (LTHA)”、“最高操作温度 (MOT)”、“热老化实际工作值 (ARO)”等,这与发动机周边部件需要的长期耐热性、疲劳耐久性的实际工况更为吻合。

1.1 短期高耐热 PA

短期高耐热 PA 通常也被称作高温 PA,一般是指 T_m 高于 290℃ 的 PA 工程塑料,包括脂肪族、全芳香族和半芳香族高温 PA。脂肪族高温 PA 的熔融温度和玻璃化转变温度 (T_g) 低、吸水率高、尺寸稳定性较差,在回流焊接过程中容易造成起泡问题;全芳香族高温 PA 具有高密度的刚性芳香环和强大的链间吸引力,因而展示出优异的热性能和力学性能,是公认的高性能聚合物,但其 T_m 远高于分解温度,导致无法进行注射成型,只能在极性很强的有机溶剂中加工,加工成本过于昂贵,几乎不用于民用领域;半芳香族高温 PA 结合了脂肪族和全芳香族高温 PA 的优点,具有优异的热性能、耐化

学性、尺寸稳定性和良好的加工性,研究开发异常活跃,成为高温 PA 应用的最佳候选材料。国内外主要市售商品化高温 PA 的热性能见表 1^[13-19]。

表 1 市售商品化高温 PA 的热性能

种类	品种	$T_m/$ ℃	$T_g/$ ℃	HDT/℃ (30% 玻纤)	生产厂家 / 商品名
脂肪族 高温 PA	PA46	295	78	290	荷兰 DSM/Stanyl
	PA4T	340	/	320	荷兰 DSM/ForTii
	PA6T	370	180	/	美国 Dupont/Zytel HTN 瑞士 EMS/Grivory HT 比利时 Solvay/Amodel 德国 BASF/Ultramid T 日本 Mitsui/Arlen
半芳香族 高温 PA	PA9T	308	126	290	日本 Kuraray/Genstar 中国金发 / Vicnyl 中国杰事杰 / Genies HPN
	PA10T	320	120	280	瑞士 EMS/Grivory 法国 Arkema/Rilsan 德国 Evonik/Vestamid THplus 日本 Unitika/XecoT
	PPTA	> 560	370	/	中国烟台泰和新材 / Taparan 美国杜邦 / Kevlar
全芳香族 高温 PA					荷兰阿克苏诺贝尔 / Twaron 中国烟台泰和新材 / Tametar
	PMIA	> 370	275	/	美国杜邦 / Nomex 日本帝人 / Conex

1.2 长期高耐热 PA

短期高耐热 PA 的耐热性主要体现在 T_m , HDT 等短期耐热性指标上,然而,在汽车发动机周边环境工况下,其长期高耐热 (如 210℃ / 1 000 h) 性能保持率依旧不高,且存在成本高昂、加工配套要求高 (熔融加工温度高,大多数高于 300℃,且一般需要配置油温机提供高模温) 等缺点。近年来,大型企业相继推出了一系列全新的 PA66 及衍生共聚物长期高耐热 PA,这些材料旨在弥补标准耐热品级 PA (常规 120 ~ 170℃ 长期耐热) 和成本昂贵的专用高耐热聚合物 [聚苯硫醚、聚醚醚酮 (PEEK) 等] 之间的性价比差距,并具备更优异的加工性能,从而为注射成型厂商提供更经济的替代品,目前已在持续工作温度高于 200℃ 的场合上得到了应用 (一般要求 210℃ / 1 000 h 的拉伸强度和冲击强度保持率 ≥ 75%),如增压空气冷却器端盖、集成式进气歧管、机油泵轮、谐振器以及恒温外壳等部件。

上述基于玻纤增强 PA66 及衍生共聚物的长期高耐热 PA 可在很宽温度范围内表现出优越的力学性能,非常适合长距离流动及薄壁注塑,从而为零部件的应用设计提供新的视角,也标志着 PA 的耐热性和耐化学性达到新的水平。长期高耐热 PA 的主要优点在于低密度、高流动性,此外在低于

分解温度的中等温度下其易加工的特性被完全保留。长期高耐热 PA 技术虽已发展多年,但在市场上仍只有几个国外巨头批量供货(见表 2)^[20-23]。目前能够收集到的资料显示,金发科技、普利特、意普万等公司的长期高耐热 PA 产品及应用走在国内企业的前列。

表 2 国外商品化长期高耐热 PA 的热性能

厂商	商品名	长期工作温度/℃	短时耐热峰值温度/℃
DuPont	Zytel®PLS95G35DH1	210	230
	Zytel®PLS95G50DH2		
	Zytel®PLS90G30DR		
BASF	Ultramid®Endure D3G7	220	/
	Ultramid®Endure D3G10		
LANXESS	Durethan®AKV35XTS2	230	/
	Durethan®AKV30XTS3		
Solvay	Technyl®Red S	210	/
	Technyl®REDx		
Teknor Apex	Creamid®240H7.5	210	240
Ascend	Vydyne®XTH	210	/
	Radilon®HHR		
Radici	Radilon®XTreme	230	/
	Radilon®XTreme		
Asahi	Leona™Durelia 14D35	200	230

1.3 生物基 PA

生物基 PA 的开发最早可追溯到 20 世纪 50 年代。1955 年法国 ATO 公司采用蓖麻油,通过酯交换、高温裂解、水解、溴化、氨化等工序制取十一氨基酸,随后得到最早生物基 PA (PA11),从此拉开了生物基 PA 的研究序幕^[24-26]。表 3 为当前主要生物基 PA 的分类和性能指标。

表 3 当前主要生物基 PA 的分类和性能指标

品种	单体(原料来源)	生物基质量分数/%	T_m /℃
PA11	十一氨基酸	100	189
PA610	己二胺(丁二烯),癸二酸(蓖麻油)	63	223
PA410	丁二胺(丙烯腈),癸二酸(蓖麻油)	70	250
PA1010	癸二胺(蓖麻油),癸二酸(蓖麻油)	100	204
PA1012	癸二胺(蓖麻油),十二碳二元酸(烷烃)	42	191
PA10T	癸二胺(蓖麻油),对苯二甲酸(苯)	65	320
PA510	戊二胺(淀粉),癸二酸(蓖麻油)	100	218
PA56	戊二胺(淀粉),	45~100	255
	己二酸(石油基/葡萄糖)		

生物基 PA 主要以长碳链 PA 为主,普遍存在 T_m 相对偏低的缺点。若要应用于持续工作温度高于 200℃ 的场合,基于 T_m 指标目前可供选择的仅有 PA410, PA10T, PA56 等少数几个品种:

(1) PA410 是由蓖麻油来源的生物基癸二酸和石油基丁二胺聚合而成,由 DSM 公司商品化,具有出色的热性能、力学性能、低吸湿性和高耐化学性,特别适用于在湿态、水/乙二醇老化和道路盐暴露后需要良好力学性能的工况应用。

(2) PA10T 是由蓖麻油来源的生物基癸二胺和石油基对苯二甲酸聚合而成的生物基高温 PA, T_m 高达 320℃,耐无铅焊锡温度高达 280℃。

(3) PA56 是由玉米淀粉来源的生物基戊二胺和石油基己二酸聚合而成,是上海凯赛生物技术有限公司自主研发的新型生物质材料。从结构上看,PA56 只比 PA66 少一个碳原子,而且二者的密度、融化温度、力学性能都比较接近,因此其应用前景得到了工业界的广泛关注。4 种玻纤增强 PA 的典型物理及力学性能对比见表 4。

表 4 玻纤增强 PA 的物理性能

性能	PA66/GF30	PA6/GF30	PA56/GF30	PA410/GF30
密度/(g·cm ⁻³)	1.36	1.36	1.36	1.35
拉伸强度/MPa	190	185	190	175
弯曲强度/MPa	280	255	275	250
弯曲弹性模量/MPa	9 000	8 500	9 000	8 500
缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)	11	14	12	11
HDT/℃	245	204	228	215
T_m /℃	260	220	255	250

在生物基材料的概念以及成本优势的驱动下,改性塑料行业已经开始探索部分替代或完全替代 PA66 的可行性。并且,新品种高耐热生物基树脂的合成探索正在加快,随着合成技术的推进,PA5T/56, PA10T/66 等一系列更丰富的产品正在被陆续开发出来^[27-28]。

2 材料制备工艺及关键技术

2.1 关键技术分解

针对公开的报道信息、行业技术交流、项目应用结果及性能数据分析,目前高耐热 PA 研究大致可分为两类:

(1) 高 T_m /高 T_g 基体树脂改性。

与芳香族 PA 共聚/共混:通过与具备芳环结构的 PA6T, PA9T, PA10T 等进行合成阶段的共聚,或者在改性阶段进行共混,可以使 PA66 的 T_m , T_g 和 HDT 都得到提升。

与特种工程塑料共混:特种工程塑料如 PEEK、聚酰亚胺、聚砜及一些含氟类聚合物等,大多具有主价键能较高、强氢键结构及结构对称等特点。将 PA 与特种工程塑料共混,理论上可以使基体树脂的耐热性能得到提升,但需要充分考虑材料相容性的问题,而且成本高昂,因此实际应用很少。

(2) 高耐热功能组合物复配。

复配体系涉及的典型组分包括:高端氨基、低端羧基的聚酰胺;酮羰基聚合物、碱金属盐化合物;聚乙烯亚胺、铁元素;锌化合物、铜热稳定剂、多元醇;稀土化合物、铜盐类抗氧化剂组合体、自由基捕捉剂、导热母粒等组分;碱金属盐化合物、离子相容剂等。根据不同工况对于材料具体性能的要求,结合材料不同体系的特点,各组分通过合理的配合可起到协同作用,获得优异的长期高耐热效果。

2.2 主要技术路线及效果

杜邦:Zytel®PLUS 是一种采用了独特盾构技术 (SHIELD) 的高性能 PA^[29],该技术结合了多项创新,包括全新的聚合物

基体、聚合物改性技术和一系列特别添加剂,能够将常规 PA 在高温及热油、汽车冷却液和融雪盐等腐蚀性化学物质环境条件下的使用寿命提高 2~3 倍,是适用于发动机舱内热稳定系统的理想选材。公开的专利^[30]包含:(1)一种或多种聚酰胺树脂;(2)一种或多种增强剂;(3)锌化合物;(4)铜热稳定剂;(5)多元醇。组合物在 230℃ 环境下 1 000 h 老化后性能优异。

索尔维:专利^[31]公开了以改善热稳定性为特征的聚酰胺组合物,这些聚酰胺组合物包括至少一种半芳香族聚酰胺、PA6 和 / 或 PA66,以及元素铁。这些新型组合物即使暴露于 210℃ 环境下 4 000 h 仍然性能优异。如 Technyl®REDx,在注塑加工时保持非活性状态,材料高流动性可媲美 PA66,在汽车启动后,高温会激活材料,产生快速交联,其力学性能远超最初的水平。

朗盛:开发了一种新的高科技热稳定系统,应用到其 Durethan®XTS PA 中,用于要求苛刻的电气电子行业和汽车引擎盖下零件。XTS3 的热稳定性能不是基于无机稳定剂,而是有机添加剂体系,无金属、无卤化物。包含此稳定剂体系的 PA 被认为是制造经受高热负荷和与金属部件直接接触的塑料部件的理想材料。

巴斯夫:多项专利^[32-33]采用聚乙烯亚胺均聚物或共聚物、铁粉,该耐热老化 PA 在 200~210℃ 环境下 1 000 h 老化后性能优异。代表产品有 Ultramid®Endure D 系列等。

金发:国际专利^[34]通过添加酮羰基聚合物以及碱金属盐化合物制备得到 PA 组合物,其具有优良的耐长期热氧老化性能和优良的耐湿热老化性能。PA66/GF30 在 85℃ 和 90% 相对湿度的条件下放置 21 d,再经过 150℃,1 000 h 老化处理后拉伸强度保持率最高可以达到 92%,能够适应严苛的应用环境。

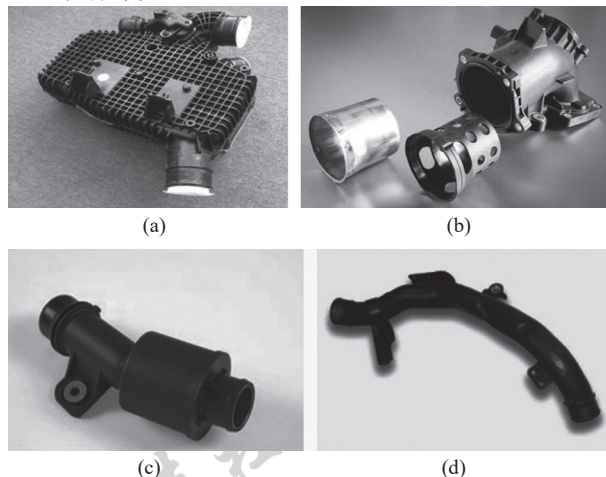
普利特:专利^[35]为了填补生物基 PA 高耐热领域技术空白,在配方设计中引入稀土化合物、铜盐类抗氧剂组合体、自由基捕捉剂、导热母粒等组分,模拟汽车发动机系统工作环境,PA 组合物在长周期热氧老化和和高温 / 高湿交替试验条件下赋予生物基 PA 优异的耐长周期热氧老化及周期性高温高湿性能。

普伦:专利^[36]通过选择高端氨基、低端羧基的 PA 切片,并在配方设计中加入环氧树脂以在 PA 组合物表层形成一层“保护盾”,有效地阻隔了 PA 和氧气的接触,降低了高温环境中自由基的产生。经 210℃,1 000 h 和 230℃,1 000 h 热氧老化测试,长周期热氧老化前后 PA66/GF35 的弯曲强度保持率在 80% 左右。

2.3 典型应用

Woco 公司利用杜邦 50% 玻纤增强 PA 材料 Zytel XT

70G50HSLR 打造的增压空气冷却器(图 1a),成功应用于 Audi,可承受 190℃ 的温度和压力脉冲测试,具备独特的爆破压力和疲劳性能。Elring Klinger 公司则利用其 35% 玻纤增强等级材料 Zytel XT 70G35 打造的谐振器成功应用于 BMW,耐温高达 200℃。



a—增压空气冷却器;b—发动机进气口隔热罩;
c—涡轮管道谐振器;d—热侧涡轮风管

图 1 应用零件

巴斯夫 35% 玻纤增强 PA 材料 Endure D3G7 可以满足 220℃ 长期工作要求。在阿尔法集成中冷器的进气歧管、戴姆勒四缸柴油动力汽车进气口隔热罩(图 1b)等零件中均获得了成功应用^[37]。

兰蒂奇 35% 玻纤增强含特殊添加剂的 Radilon A RV350HHR PA 材料被应用于涡轮管道谐振器(图 1c),可满足 210℃ 连续使用要求;半芳香族成分的 15% 玻纤增强含特殊添加剂的 Radilon XTreme BMV150HHR PA 材料被应用于热侧涡轮风管(图 1d),将空气中的连续使用温度提高到 230℃。

3 结语

无论从国际发展趋势、国家政策法规、产业自身发展还是从下游产业需求考虑,为满足汽车动力系统越来越严酷的要求,开发具有高强度、耐长周期湿热老化、耐长周期高温热氧老化的高耐热 PA 势在必行。另外,当前国际上将高耐热和生物基两个特点结合的成熟产品很少,在这方面我国起步并不晚,甚至有望取得先机,从而增强国产材料的国际竞争力。通过在汽车工业和高端电子制备领域形成优势产业集群,高耐热生物基 PA 产品的开发将弥补国内空白,加快国产化升级,为区域产业链的完善和整个产业集群的升级提供支撑。同时,该产品符合“双碳”战略,可望为节能减排做出贡献,为环保和谐的生态环境的建立添砖加瓦。为此,需要在以下几个方面做重点推进:

(1) 加强源头开发,做好系统性研究验证。

发挥国内生物基 PA 系列合成端、改性端的链条优势,国内企业应该加强在源头方面的研究,开发全新分子结构或预加功能助剂的高 T_m 生物基 PA 系列树脂,扩大生物基 PA 在高温使用环境下的可选择范围。对配方设计技术进一步提升优化,提升长周期高温应用的性能和品质。做好系统性研究验证,通过高耐热助剂的科学复配设计实现长周期热氧老化性能;通过对结晶度和晶体大小的控制实现低渗透性能和耐溶剂性能;通过对 PA 与增强体的界面控制技术实现复合材料优异的力学性能和耐溶剂性。采用单项纵向深挖探索,整体配合互补模式,实现技术点的突破到新产品特殊需求上的模块化组合应用实践。

(2) 加大政策支持力度,加快国产化推进。

尽管国内企业已在高耐热 PA 方面取得了一些成绩,并已有相关商品上市,但是面对国外竞争对手的挤压,国产高耐热 PA 难以打开应用市场,国产高耐热生物基 PA 也没有完全商品化。另外,我国高端 PA 的进口依存度高,进口产品从签订合同到产品产出周期时间长,期间不仅受国际石油等大宗商品波动影响,还受疫情、国际关系政策等因素影响,产品供应风险很难控制。为此,国内主机厂需优先加快国产化材料认证推进,确保产业安全发展时不我待。

参考文献

- [1] 曹湘洪. 中国工程科学, 2005, 7(1): 5-12, 85.
Cao Xianghong. Engineering Science, 2005, 7(1): 5-12, 85.
- [2] 程聪. 生物基耐高温尼龙 PA52 的聚合及其复合材料的制备 [D]. 上海: 东华大学, 2016.
Cheng Cong. The polymerization of bio-based heat-resistant polyamide 52 and its composite's preparation [D]. Shanghai: Donghua University, 2016.
- [3] Hergenrother P M. High Performance Polymers, 2003, 15(1): 3-45.
- [4] 岑茵, 等. 工程塑料应用, 2017, 45(4): 29-32.
Cen Yin, et al. Engineering Plastics Application, 2017, 45(4): 29-32.
- [5] 彭治汉, 等. 塑料工业手册: 聚酰胺 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
Peng Zhihan, et al. Handbook of plastics industry: Polyamide [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001.
- [6] 周煜, 等. 化学工程与装备, 2014(8): 14-18.
Zhou Yu, et al. Chemical Engineering & Equipment, 2014(8): 14-18.
- [7] Kumar K S, et al. Int J Sci Eng Res, 2016, 7(6): 156-160.
- [8] 夏学莲, 等. 工程塑料应用, 2017, 45(2): 128-132.
Xia Xuelian, et al. Engineering Plastics Application, 2017, 45(2): 128-132.
- [9] 刘俊聪, 等. 工程塑料应用, 2012, 40(10): 100-104.
Liu Juncong, et al. Engineering Plastics Application, 2012, 40(10): 100-104.
- [10] Patil A, et al. Materials Today: Proceedings, 2017, 4(2): 3 807-3 815.
- [11] Prodanović S, et al. Some applications of biomaterials in automotive industry [M] // Advances in applications of industrial biomaterials. Berlin: Springer, Cham, 2017: 1-20.
- [12] 林世东, 等. 塑料工业, 2021, 49(3): 10-12.
Lin Shidong, et al. China Plastics Industry, 2021, 49(3): 10-12.
- [13] 冯美平, 等. 工程塑料应用, 2002, 30(2): 58-60.
Feng Meiping, et al. Engineering Plastics Application, 2002, 30(2): 58-60.
- [14] Rudy R, et al. US6747120 [P]. 2004-06-08.
- [15] 李小伟, 等. 化工新型材料, 2009(8): 38-40.
Li Xiaowei, et al. New Chemical Materials, 2009(8): 38-40.
- [16] 易庆锋, 等. 工程塑料应用, 2009, 37(11): 80-82.
Yi Qingfeng, et al. Engineering Plastics Application, 2009, 37(11): 80-82.
- [17] 张传辉, 等. 工程塑料应用, 2012, 40(11): 98-103.
Zhang Chuanhui, et al. Engineering Plastics Application, 2012, 40(11): 98-103.
- [18] 张丽, 等. 塑料工业, 2015, 43(1): 1-5.
Zhang Li, et al. China Plastics Industry, 2015, 43(1): 1-5.
- [19] 刘冰肖, 等. 工程塑料应用, 2021, 49(3): 27-31, 37.
Liu Bingxiao, et al. Engineering Plastics Application, 2021, 49(3): 27-31, 37.
- [20] 宁军. 塑料工业, 2018, 46(4): 1-19, 50.
Ning Jun. China Plastics Industry, 2018, 46(4): 1-19, 50.
- [21] 许江菱. 塑料工业, 2019, 47(4): 1-10.
Xu Jiangling. China Plastics Industry, 2018, 46(4): 1-19, 50.
- [22] 刘朝艳. 塑料工业, 2020, 48(4): 1-14.
Liu Chaoyan. China Plastics Industry, 2018, 46(4): 1-19, 50.
- [23] Meng Kun. 塑料工业, 2021, 49(4): 1-10.
Meng Kun. China Plastics Industry, 2021, 49(4): 1-10.
- [24] 董建勋, 等. 合成纤维工业, 2015, 38(5): 51-56.
Dong Jianxun, et al. China Synthetic Fiber Industry, 2015, 38(5): 51-56.
- [25] 李秀峥, 等. 工程塑料应用, 2018, 46(7): 138-141, 145.
Li Xiuzheng, et al. Engineering Plastics Application, 2018, 46(7): 138-141, 145.
- [26] 魏延雨. 现代塑料加工应用, 2020, 32(2): 59-63.
Wei Yanyu. Modern Plastics Processing and Application, 2020, 32(2): 59-63.
- [27] 叶耀挺, 等. 工程塑料应用, 2021, 49(11): 46-50.
Ye Yaoting, et al. Engineering Plastics Application, 2021, 49(11): 46-50.
- [28] 刘冰肖, 等. 工程塑料应用, 2019, 47(4): 95-98, 102.
Liu Bingxiao, et al. Engineering Plastics Application, 2019, 47(4): 95-98, 102.

- [29] Granowicz P, et al. SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 2011, 4(1):430-439.
- [30] 邓肯 A J, 等. CN105283510A[P]. 2016-01-27.
- Duncan A J, et al. CN105283510A[P]. 2016-01-27.
- [31] 诺福克 L M. CN103717675A[P]. 2014-04-09.
- Norfolk L M. CN103717675A[P]. 2014-04-09.
- [32] 普拉斯泰 M, 等. CN102245706A[P]. 2011-11-16.
- Paratex M, et al. CN102245706A[P]. 2011-11-16.
- [33] 哈布瑞肯 G, 等. CN105658400A[P]. 2016-06-08.
- Habraken G, et al. CN105658400A[P]. 2016-06-08.
- [34] Luo Zhongfu, et al. PCT/CN2019/070352[P]. 2019-01-04.
- [35] 张海生, 等. CN112724670A[P]. 2021-04-30.
- Zhang Haisheng, et al. CN112724670A[P]. 2021-04-30.
- [36] 陈跃民, 等. CN110229515A[P]. 2019-09-13.
- Chen Yuemin, et al. CN110229515A[P]. 2019-09-13.
- [37] Toensmeier P. Plastics Engineering, 2013, 69(7):6-14.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200~300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3~8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 16 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆“杂志社网站 <http://www.epa1973.net>, 点击“作者投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过 3 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。