聚碳酸酯材料在建筑领域的应用研究进展

何 明[1],张东方[2],李琳玲[1]*

(1.海口经济学院雅和设计工程学院,海南 海口 571127;2.武汉理工大学土木工程与建筑学院,湖北 武汉 430000)

摘 要:聚碳酸酯(PC)是一种性能优良的工程塑料,具有透光性高、抗冲击性强、质轻、耐候性好及隔热性能优异等优点,在建筑幕墙、采光顶棚、隔断及室内装饰等领域应用广泛。文章对PC的分子构造、制作工艺及其在建筑领域的实际使用情况进行总结,着重探讨共聚、共混、填充及复合等多种改性方式。这些方法在改善其透光性能、阻燃性、耐刮擦性、抗蠕变性以及热稳定性等方面已取得明显进展。经过优化的PC材料未来发展潜力巨大,有望朝着功能复合化与环境友好型方向持续迈进,从而更好地满足建筑行业对材料在安全、寿命以及节能等方面的要求。

关键词:聚碳酸酯;材料改性;阻燃性能;耐蠕变;耐刮擦性

中图分类号:TQ323.4 **文献标志码**:A **文章编号**:1005-3360(2026)08-0217-05

DOI:10.15925/j.cnki.issn1005-3360.2026.08.038

Application Research Progress of Polycarbonate Materials in Construction Field

HE Ming[1], ZHANG Dongfang[2], LI Linling[1]*

(1. YAHA School of Design & Engineering, Haikou University of Economics, Haikou 571127, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430000, China)

Abstract: Polycarbonate (PC) is a high-performance engineering plastic that offers advantages including high light transmittance, strong impact resistance, light weight, good weatherability, and excellent thermal insulation properties. It is widely used in architectural curtain walls, daylighting roofs, partitions, and interior decoration. The paper summarizes the molecular structure, manufacturing processes, and practical applications of PC in the construction sector, with a particular focus on various modification methods such as copolymerization, blending, filling, and compounding. These approaches have made notable progress in improving its light transmittance, flame retardancy, scratch resistance, creep resistance, and thermal stability. Optimized PC materials hold great potential for future development, and are expected to continue advancing toward functional integration and environmental friendliness, thereby better meeting the building industry's requirements for safety, service life, and energy efficiency.

Keywords: Polycarbonate; Material modification; Flame retardancy; Creep resistance; Scratch resistance

聚碳酸酯(PC)作为一种高性能工程塑料,因其轻质高强[1]、透光可塑、耐候隔热[2]等特性,在幕墙、采光顶棚[3]、隔断等围护结构中展现出独特的应用价值,逐步成为玻璃的重要补充与替代品。近年来,围绕PC在建筑领域的研究不断深入。徐刚[4]制备PC与石墨烯的复合材料,研究发现,当石墨烯掺杂质量分数为3%时,复合材料力学性能与防火性能最优,负荷变形温度提高37 ℃,热降解温度提高62 ℃。张明轩等[5]发现,PC板的红外热能透射比与光热比优于普通玻璃,65 mm断桥铝PC窗的保温、水密、气密、抗风压性能分别达到5、6、8、9级。李霞[6]综述了PC板的改性方法,指出添加聚乙烯吡咯烷酮、水杨酸苯酯、蒙脱土等可增强抗撕裂与抗紫外性能,采用U形锁扣连接可提高荷载及抗风能力。

上述研究从不同层面推动了PC在建筑领域中的应用,但仍存在若干亟待解决的问题。首先,单一改性方法难以同时兼顾透光、阻燃、耐刮擦与耐蠕变等多重性能要求;其次,长期使用中出现的高温变形、表面磨损[7]及蠕变失效[8]等问题缺乏系统的评价体系;此外,面向建筑行业对

收稿日期Submitted date 2026-02-02;修回日期Revised date 2026-03-05;录用日期Accepted date 2026-04-10

基金项目:2023年度海南省哲学社会科学规划课题(HNSK(QN)23-94);海南省教育厅项目(Hnjg2023-129)

*联系人,m17389768835_2@163.com

引用本文:何明,张东方,李琳玲.聚碳酸酯材料在建筑领域的应用研究进展[J].塑料科技,2026,54(8):217−221.

Citation:HE M, ZHANG D F, LI L L. Application research progress of polycarbonate materials in construction field[J]. Plastics Science and Technology, 2026, 54(8): 217-221.

安全与节能的更高要求，如何通过改性实现性能精准调控仍亟待进一步研究。本文对PC性能优化及相关成果进行系统梳理，重点围绕透光性、阻燃性、耐刮擦性、耐蠕变性及耐热性等关键性能，总结化学共聚、物理共混、表面涂层等改性方法的研究进展，分析PC在建筑应用中的适用性与局限性并对其应用前景进行展望。

1 PC材料的概述

1.1 PC的化学结构

PC是一类高分子化合物，其分子主链中含有╋O-R-O-CO╋结构重复单元。R表示连接基团，连接基团的化学结构决定PC具体分类，可以分为脂肪族、脂肪-芳香族、脂环族、芳香族等类型[9]。其中，以双酚A作单体合成的双酚A型PC应用最为广泛。图1为双酚A型PC化学结构式。其重复单元结构为╋O-C_6H_4-$C(CH_3)_2$-C_6H_4-O-CO╋$_n$。该类PC材料因其原料易得、加工成型工艺简单、性能优越，在工业使用上最为常见。

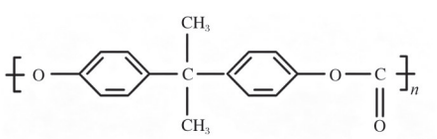


图1 双酚A型PC化学结构式

Fig.1 Chemical structure of bisphenol A polycarbonate

PC分子结构中的刚性苯环与柔性碳酸酯链节协同作用，使材料具有良好的阻燃、隔热、隔声、耐蠕变、抗疲劳、抗冲击性能[10]。这种特殊的化学结构使PC成为建筑领域不可或缺的重要材料。

1.2 PC的生产方法

PC的生产方法主要包括界面缩聚法、熔融酯交换法、非光气熔融酯交换法以及其他新型合成工艺[11]。

界面缩聚法是最早实现工业化的方法，由美国通用电气公司于1958年开发。该方法是在常温常压下，将双酚A与氢氧化钠作用生成钠盐溶液，随后加入二氯甲烷并持续通入光气。反应在碱液与有机相的界面处进行，先生成低分子量PC，再经进一步缩聚得到高分子量产物，最后通过洗涤、沉淀、过滤和造粒等工序制成产品[12]。

熔融酯交换法又称本体聚合，由德国拜耳公司率先提出，是一种不直接使用光气的合成工艺。该工艺以苯酚为起始原料，通过界面光气化反应制得碳酸二苯酯(DPC)[13]。随后在高温、高真空及催化剂存在下，双酚A与DPC发生酯交换反应生成低聚物，再经缩聚反应得到高分子量PC。

非光气熔融酯交换法是在传统熔融酯交换基础上发展出的绿色环保路线。该方法以碳酸二甲酯(DMC)和苯酚为原料制备DPC，再使DPC与双酚A在熔融状态下进行酯交换和缩聚反应。其关键技术与意大利埃尼公司开发的甲醇液相氧化羰基合成碳酸二甲酯工艺相关。美国通用电气公司在日本千叶建设的非光气法PC生产装置已成功实现工业化[14]。

此外，近年来也出现一些新型PC合成方法。中国科学院过程工程研究所采用双金属氰络合物催化剂，在温和条件下实现环氧烷烃与二氧化碳的共聚，有效抑制副反应并提高单体转化率[15]。宁波浙铁大风化工有限公司以来源于生物质的异艾杜醇和DPC进行熔融酯交换反应合成生物基PC，该产品生物毒性较低，环保性较强，具有较好的应用前景[16]。

2 PC在建筑领域中的应用

PC在现代建筑中替代玻璃有助于提升建筑的美观度、安全性与节能效益。

PC具有极佳的透明性，透明度可与玻璃媲美，而质量仅为玻璃的一半。这一特性使其成为采光顶棚、隔断、遮阳棚及幕墙的理想材料，在引入自然光降低照明能耗的同时，也减轻建筑的结构负担[17]。例如，印度Rani Kamlapati火车站顶部采用PC板材，其轻质特性显著降低了屋顶承重，施工更为便捷高效。此外，材料良好的透光性可均匀扩散自然光，大幅减少白天人工照明需求，而其防紫外线性能有助于避免室内温度过高。

在防火安全方面，PC具有较高的极限氧指数(LOI)，燃烧时呈现自熄性且无熔融滴落，从而有效延缓火势蔓延。PC兼具低烟毒释放和耐高低温性能，适用于防火等级要求较高的场所。例如，哈尔滨太平国际机场T2航站楼车道雨篷项目最终选用PC板材取代原方案的玻璃贴膜，既避免了玻璃因温差易自爆的风险，又提高了构件在严寒地区的长期耐久性。

PC在持续机械应力或温度交变条件下仍能保持尺寸稳定，显示出优异的抗蠕变能力。该特性使其特别适合大跨度拱顶、抗震连接件等对变形敏感的建筑部件。巴西Micasa Vol C零售店使用半透明PC折叠板构成建筑外壳，利用其透光与柔韧特性形成动态立面效果。值得关注的是，此类复杂形态对材料的耐疲劳性能提出更高要求，需要通过分子链结构优化或复合改性以增强其抗循环应力能力。此外，PC可在120 ℃以上长期使用，短期耐温性能更优，能够适应高温直射环境而不发生热变形，保障构件在极端气候下的功能性。

尽管PC的表面硬度不及玻璃，但通过硬化涂层或紫外线固化处理可大幅提升其耐刮擦性，从而维持长期使用中的光学品质与外观完整性。PC还具有良好的耐候性与机械柔韧性，适用于复杂立面形态的构建[18]。葡萄牙波尔图音乐厅通过高密度PC板材实现曲面造型，视觉通透性接近玻璃，同时材料可弯曲特性降低了施工难度。

3 PC材料的改性

3.1 PC的透明度改性

通过化学改性可以提高PC材料的透明度。LIU等[19]将磺酰基团引入PC主链，成功合成PC-SDPn材料。该材料透光率高达89.6%，即使在较薄厚度下也能满足V-0级阻燃标准，拓宽了PC超薄透明阻燃部件的应用范围。

催化剂的优化对提高PC整体性能起到关键作用。中国科学院宁波材料所使用MXene材料为催化剂，在熔融状态下催化碳酸二酯与异山梨醇等二元醇进行酯交换反应，再经高温高真空缩聚，得到分子量不低于60 000 g/mol、透光率超过90%的PC产品[20]。这一工艺有效解决了异山梨醇类PC分子量不足和色泽偏暗的问题。

除化学改性和新型催化体系外，物理共混也被广泛用于提升PC复合材料的性能。李一搏等[21]通过共混技术将PC与聚对苯二甲酸乙二醇酯-1,4-环己烷二甲醇酯(PETG)复合。结果表明，当PETG质量分数为10%时，复合材料透光率保持在85%以上，同时拉伸强度也显著提高。

3.2 PC的阻燃改性

3.2.1 添加型阻燃改性

添加型阻燃改性通过物理共混将阻燃剂引入PC基体，是提升其阻燃性能最直接有效的途径之一。在催化成炭方面，LIU等[22]制备PC与聚硅硼氧(PDPBS)的复合物。燃烧时，PDPBS可催化碳化反应形成致密炭层，其柔韧的硅氧烷链段有助于改善相容性。该材料满足UL94 V-0级，LOI提升，热释放速率显著降低，验证了含硅阻燃剂的协同优势。在协同阻燃方面，王玉刚等[23]将含有全氟丁基磺酸钾(PPFBS)的PC分别与聚四氟乙烯(PTFE)或八苯基倍半硅氧烷(OPS)共混。结果表明：仅添加0.1%的PTFE或OPS即可使PC复合材料的阻燃等级达到UL94 V-0级；添加0.2%的PTFE或OPS后，LOI分别升至40.6%和42.2%；OPS与PPFBS表现出协同阻燃效应。王茜等[24]在PC中添加2%的改性炭黑(MCB)，LOI提高至33.5%，热释放速率(HRR)峰值下降57.5%，烟释放速率(SPR)、一氧化碳与二氧化碳释放速率均显著降低。这表明低添加量高效协同阻燃是综合性能优化的重要方向。在兼顾阻燃与力学、光学性能方面，何云飞[25]将硅氧烷共聚PC、磷系阻燃剂与有机硅共聚PC复配，获得了透明度高、耐冲击性好的阻燃PC材料，阻燃性能稳定，力学及光学性能也保持良好。目前，添加型阻燃改性剂已从单一阻燃功能向协同增效、多功能兼容方向发展，为PC在建筑领域的差异化应用提供了丰富的材料选择方案。

3.2.2 反应型阻燃改性

反应型阻燃改性通过共聚反应将阻燃基团接入PC分子主链中，使阻燃组分在分子尺度上与基体实现整体融合，从而赋予材料本征阻燃属性。与添加型改性相比，该方法可有效避免阻燃剂迁移、析出等问题，阻燃效果更为持久稳定。在抑制烟雾释放方面，XIAO等[26]以4,4'-二羟基联苯部分替代双酚A参与共聚，利用其高键解离能有效抑制燃烧过程中的烟雾释放。该研究从分子结构层面揭示了主链刚性对燃烧行为的调控机制，为低烟阻燃PC的开发提供了新思路。在引入含硅阻燃结构方面，鄂永胜等[27]将硅氧烷双酚(SBP)与双酚A(BPA)按8∶92的物质的量比共聚，使Si—O和Si—C键进入主链，制得SBP-PC材料。该共聚物在垂直燃烧中达V-0级，LOI超过39.2%，阻燃性能显著优于BPA-PC。

3.2.3 多功能型阻燃改性

多功能型阻燃改性在提高阻燃性能的同时，兼顾材料的回收利用与可持续性，是阻燃材料绿色化发展的重要方向。DENG等[28]将热响应型芳基膦酸酯(DP)作为添加剂引入PC，以提高其阻燃性能。该添加剂在火灾过程中分解产生三苯基膦，通过耗氧和清除自由基实现高效阻燃。同时，DP在低温条件下可催化PC解聚，实现材料自回收与产物分离。

3.3 PC的耐刮擦改性

PC板材主要用于采光顶、幕墙和窗材，其耐刮擦性直接影响材料长期使用中的美观性、透光性与完整性。提高耐刮擦性可显著减少因表面磨损造成的视觉缺陷、性能劣化及维护成本上升，从而延长构件的使用寿命。表面涂层是通过在材料表面形成功能涂层来提高PC耐刮擦性能的有效方法。FENG等[29]将含磷有机胺类固化剂(PETA)、环氧低聚硅氧烷(AEOS)及环氧树脂(TGDDM)复合，在PC基材上制备出高透明度涂层体系。所有涂层样品的铅笔硬度达4H，耐刮擦效果明显改善。该研究表明，P、N、Si三者协同不仅提高了PC的透明度，同时增强了PC的抗划痕能力。共混改性通过PC与其他高分子材料的物理共混提高其表面抗刮擦性能。张金娜等[30]采用熔融共混方式将PC与聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)复合，该材料的表面耐刮擦等级为3H，耐刮擦性大幅提高，说明PMMA作为刚性组分与PC共混可有效提升PC的表面硬度。在此基础上，李鹏飞等[31]在PC中引入PMMA，发现随着PMMA加入量的增大，材料硬度与耐刮擦性均有所提高，为优化共混配比提供了实验依据。采用表面涂覆和共混改性工艺，PC的抗刮擦性得到显著提升。将其用于外墙板材或透明采光顶等围护构件，可有效改善外观耐久性并降低维护频率，从而提升PC在高端建筑外围护体系中的应用潜力。

3.4 PC的耐蠕变改性

改善PC的抗蠕变性能可使其在连续荷载下维持较低的变形水平，从而增强结构可靠性并延长使用寿命，避免因蠕变量累积而引发的失效风险。PC的抗蠕变改性途径主要包括共聚改性、共混改性及填充复合改性。

3.4.1 共聚改性

共聚改性通过引入不同单体改变分子链的微观结构实现材料性能的定向调控。ANDREA等[32]采用四甲基双酚A(TMBPA)作为共聚单体，制备出弹性模量为1 749 MPa、拉伸强度为48.9 MPa的共聚物，弹性模量和拉伸强度均显著高于未改性原料。这一增强效果主要归因于甲基的空间位阻效应为力学性能的提升提供了有效路径。胡莉等[33]进一步拓展了共聚改性的功能边界。该团队以CO_2为原料合成三元共聚物PAGC，通过紫外光引发在侧链引入动态硼酸酯键形成交联网络，使拉伸强度从

32.4 MPa提升至51.6 MPa，同时赋予材料优异的自修复与可回收性能，再加工后拉伸强度仍可保持初始值的95%。

3.4.2 共混改性

共混改性通过物理方式将聚合物组分引入PC体系，实现力学性能的定向调控。在柔性增韧方面，徐昊宇[34]在PC中加入聚乙烯醇缩丁醛(PVB)，利用柔性主链与PC形成氢键，降低内应力与熔体黏度，提高了耐环境应力开裂性能，保留其力学性能。进一步添加高羟基二氧化硅，使其在PVB相中优先分布，显著提升了复合材料的强度与抗冲击性。在反应性共混方面，孙成等[35]利用氨基硅油与PC发生胺解反应，制得聚硅氧烷PC嵌段共聚物，将其添加至PC中。结果表明，当聚硅氧烷PC嵌段共聚物的质量分数为12%时，韧性与强度实现了良好平衡。肖翔心等[36]在PC中引入磺酸单体(SK)与聚二甲基硅氧烷(PDMS)，制备阻燃PC/PDMS/SK材料，不仅提高了材料的阻燃性能，同时保持了良好的力学性能。在工业化应用层面，陆建明等[37]通过挤出注塑工艺制备玻璃纤维(GF)增强PC，添加高密度聚乙烯(PE)增韧剂后，在刚性略有降低的同时冲击强度大幅提高，通过协同优化增韧剂与GF品种，实现了冲击强度与刚性的良好平衡。共混改性已从单一增韧向多组分协同、多功能集成方向演进，为PC在楼梯踏板、阳台护栏等建筑承重构件中的应用提供重要的材料选择。

3.4.3 填充及复合改性

填充及复合改性是通过引入非聚合物填料，利用其刚性及界面增强效应改善PC的综合性能。根据填料类型与改性目标的不同，相关研究主要围绕优化加工流动性、增强力学性能及提升抗蠕变能力等方向展开。在加工与冲击性能协同优化方面，向勇[38]在PC中加入质量分数为0.3%的季戊四醇硬脂酸酯(1#PETS)，熔体质量流动速率升高2.8 g/10 min，同时冲击强度维持在高水平。在力学性能优化与功能化设计方面，高鑫磊等[39]制备CFNS-Fe^{3+}增强的PC膜，当填料的质量分数为1.0%时，拉伸强度、弹性模量及热降解温度均优于未改性PC，摩擦系数下降30.2%。在提升抗蠕变能力方面，邱继焱等[40]加入质量分数为30.0%的Si_3N_4，压缩强度比纯PC高出16.6%。通过精准调控填料种类、添加量及分散状态，可实现加工性能、力学性能及抗蠕变性能的协同优化。

改性的PC可广泛应用于大跨度采光屋顶、穹顶结构、高端门窗及幕墙面板等建筑承重构件，有效改善材料在长期荷载下的变形问题，延长使用寿命，增强建筑安全性能。

3.5 PC的耐热改性

PC常被用于采光顶棚、幕墙等建筑围护构件，长期暴露于夏季强烈日照下易发生热变形，因此提高其耐热性对于保障结构安全与延长服役寿命至关重要。

通过分子结构设计对PC进行化学改性可显著改善其热性能。在刚性芳香族单体引入方面，GUAN等[41]通过界面缩聚法，以双酚芴(BHPF)、酚酞(PP)和对苯二甲酰氯(TPC)为原料，制备玻璃化转变温度达277~306 ℃的耐高温PC。李涛等[42]利用熔融酯交换法，以BHPF衍生物二醇、BPA、DPC为原料，合成耐热性好、光稳定性强的PC材料，拓展了刚性单体的种类与工艺适用性。在生物基单体替代方面，WU等[43]用木质素衍生物(MBC)与DPC共聚，通过改变异构体比例，获得玻璃化转变温度在117~174 ℃之间的生物基PC，为耐热PC的绿色制备提供了新思路。

在物理改性方面，加入高性能填料或复合其他组分，能有效改善PC的耐热性。PANG等[44]将石墨烯(GR)与丁香酚聚硅氧烷(Si-PC)共混，制备出Si-PC/GR纳米复合材料，热分解温度较未添加GR的Si-PC共聚物提升20.6 ℃。这归因于纳米填料对PC基体热分解的抑制作用，证实了其在改善热稳定性方面的有效性。在微交联网络构建方面，WANG等[45]使用含磷苯并菲结构和环四甲基硅氧烷的聚合物(PMD)与PC复合，PMD在体系中形成微交联结构，赋予复合材料良好的热稳定性。

上述研究表明，通过化学与物理改性可显著提高PC的耐热性能。改性后的PC材料在建筑采光屋顶、透明隔墙及高温窗构件等场景中有良好的适用性，可在维持高透光率的同时显著改善高温下的尺寸稳定性，延长使用寿命。

4 结论

PC材料因其透光率高、抗冲击性强、轻质、耐候隔热性好、加工性能优良等特点，在建筑领域具有巨大的应用潜力。本文从PC的分子结构、合成工艺、材料特性及其在建筑中的实际应用出发，重点介绍PC材料的透明度、阻燃性、耐刮擦性、耐蠕变性和耐热性的改性方法。针对建筑行业对安全性、耐久性、节能性与美观性的多重需求，综述共聚、共混、填充及复合等改性策略的成效与局限。展望未来，多功能一体化与绿色可持续化将成为PC改性的重要方向，推动PC的发展向轻质、高性能、生态友好方向迈进。文章为安全、舒适、可持续的建筑环境提供材料支撑。

参考文献

[1] 盛安琪, 周子俊, 胡越, 等. 聚碳酸酯、聚氨酯和聚脲的催化氢解研究进展[J]. 中国科学:化学, 2026, 56(3): 779-791.

[2] 赵晨, 王文珍, 乔红军, 等. 二氧化碳基聚碳酸酯的功能化研究进展[J]. 高分子通报, 2024, 37(9): 1222-1232.

[3] 王猛, 王彬, 张发强, 等. 北京工人体育场屋面聚碳酸酯波形板力学性能试验研究[J]. 建筑结构, 2023, 53(6): 59-64.

[4] 徐刚. 阻燃型聚碳酸酯/石墨烯复合材料力学性能和耐侵蚀性能研究[J]. 塑料科技, 2023, 51(5): 37-41.

[5] 张明轩, 赵炜璇, 段中剑, 等. 聚碳酸酯轻质窗应用研究[J]. 新型建筑材料, 2026, 53(2): 89-93.

[6] 李霞. PC板的生产及其在建筑中的应用[J]. 合成树脂及塑料, 2024, 41(1): 78-81.

[7] 于玉建, 秦瑜, 刘赣东, 等. CO_2基聚碳酸酯多元醇羟基含量测定[J]. 中国胶粘剂, 2025, 34(12): 60-66.

[8] 黄冠文. 耐高温双醚芴型聚碳酸酯的制备与性能[D]. 大连: 大连理工

大学, 2025.
[9] 朱一鸣, 俞小花, 谢刚, 等. 离子液体在电池电解质中的应用现状[J]. 电池, 2023, 53(6): 673-677.
[10] 杨震. 聚碳酸酯生产技术及其在建筑行业的应用[J]. 合成树脂及塑料, 2022, 39(2): 80-82.
[11] 曾伟华, 刘俊逸, 谢海生, 等. 聚碳酸酯合成技术研究进展[J]. 高分子材料科学与工程, 2021, 37(7): 183-190.
[12] 闫海涛. 聚碳酸酯工艺研究进展[J]. 化工设计通讯, 2021, 47(5): 101-102.
[13] 王艳丽. 聚碳酸酯合成工艺路线及其发展现状[J]. 石油化工设计, 2020, 37(2): 65-68.
[14] 李超. 聚碳酸酯合成工艺研究[J]. 河南化工, 2019, 36(10): 10-12.
[15] 中国科学院过程工程研究所. 一种聚碳酸酯的制备方法: CN 113801314[P]. 2021-12-17.
[16] 宁波浙铁大风化工有限公司. 一种基于异艾杜醇合成生物基聚碳酸酯的方法: CN 113336931[P]. 2021-09-03.
[17] 陈泽华, 杜丽. 氟化碳酸酯基准固态聚合物电解质的性能[J]. 电池, 2025, 55(3): 451-455.
[18] 高扬. 聚碳酸酯工艺介绍及发展展望[J]. 中国石油和化工, 2024(12): 82-84.
[19] LIU Z S, MA M, DU K M, et al. Sulfonyl-containing polycarbonate copolymer: Ultra-thin flame-retardant, transparency, and high notched impact toughness[J]. Small, 2025, 21(37): e07493.
[20] 中国科学院宁波材料技术与工程研究所. 生物基高分子量高透明聚碳酸酯及其制备方法和应用: 202510842515.4[P]. 2025-09-09.
[21] 李一搏, 盖景刚. 高透明耐溶剂性聚碳酸酯合金材料的制备[J]. 高分子材料科学与工程, 2024, 40(6): 33-38.
[22] LIU Z S, MA M, GE B D, et al. Toward flame-retardant, transparency, and high mechanical property of polycarbonate based on low addition of linear polyborosiloxane[J]. Chemical Engineering Journal, 2023, 474: 145799.
[23] 王玉刚, 张淇, 吴笑, 等. 含氟阻燃透明聚碳酸酯材料的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(9): 9-14.
[24] 王茜, 银浩然. 改性纳米炭黑阻燃聚碳酸酯的制备与性能研究[J]. 塑料科技, 2025, 53(5): 83-86.
[25] 何云飞. 高抗冲阻燃透明聚碳酸酯材料的制备及性能研究[J]. 上海塑料, 2025, 53(1): 28-31.
[26] XIAO X X, ZHANG Q, BAI T Y, et al. Ultrahigh heat/fire-resistant, mechanically robust, and closed-loop chemical recyclable polycarbonate enabled by facile bond dissociation energy modulation [J]. Small, 2024, 20(40): 2401429.
[27] 鄂永胜, 张丹凤, 刘明辉. 硅氧烷双酚型共聚碳酸酯的制备与性能[J]. 工程塑料应用, 2025, 53(2): 45-51.
[28] DENG P, CHEN L, LI Y, et al. Selectively self-recyclable, highly transparent and fire-safe polycarbonate plastic enabled by thermally responsive phosphonium-phosphate[J]. Materials Horizons, 2024, 11 (24): 6516-6524.
[29] FENG Z F, CAI W, GAO J, et al. Achieving scratch resistance and flame retardancy in transparent polycarbonate through P/N/Si synergistic coating[J]. Progress in Organic Coatings, 2025, 204: 109247.
[30] 张金娜, 左玉伟, 杨树娥, 等. 阻燃耐刮擦聚碳酸酯改性材料的制备与性能研究[J]. 盐科学与化工, 2022, 51(10): 26-29.
[31] 李鹏飞, 沈寒峰. PMMA 对聚碳酸酯建筑装饰材料耐刮擦性能的影响[J]. 山西化工, 2024, 44(7): 37-38.
[32] ANDREA K A, KERTON F M. Functionalized polycarbonates via triphenylborane catalyzed polymerization-hydrosilylation[J]. RSC Advances, 2019, 9(46): 26542-26546.
[33] 胡莉, 李悦, 孙淼, 等. 基于硼酸酯键的 CO_2 基聚碳酸酯聚合后改性[J]. 功能高分子学报, 2025, 38(3): 228-236.
[34] 徐昊宇. 耐应力开裂聚碳酸酯的制备与研究[D]. 无锡: 江南大学, 2023.
[35] 孙成, 付琳, 薛志荣, 等. 聚硅氧烷/聚碳酸酯共聚物的合成及其对聚碳酸酯增韧的研究[J]. 塑料科技, 2025, 53(8): 8-12.
[36] 肖翔心, 刘博文, 王玉忠. 兼具优良力学性能的新型阻燃聚碳酸酯[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2025, 62(5): 1036-1042.
[37] 陆建明, 樊家澍, 钱权洲, 等. 聚乙烯对玻璃纤维增强聚碳酸酯复合材料性能的影响[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2025, 23(3): 42-45.
[38] 向勇. 季戊四醇硬脂酸酯对聚碳酸酯材料性能的影响[J]. 广东化工, 2025, 52(16): 8-10.
[39] 高鑫磊, 王松彬, 邓小春, 等. Fe^{3+}-邻苯二酚功能化纳米 SiO_2 改性聚碳酸酯薄膜的制备及性能[J]. 精细化工, 2026, 43(4): 773-778.
[40] 邱继焱, 雷艳华. 导热型氮化硅/聚碳酸酯复合材料的绝缘性能及力学性能研究[J]. 塑料科技, 2025, 53(3): 59-63.
[41] GUAN X H, NIE H R, WANG H H, et al. High-solubility aromatic polyesters with fluorene and phthalein groups: Synthesis and property [J]. High Performance Polymers, 2020, 32(8): 933-944.
[42] 李涛, 沈佶, 麦富航, 等. 双酚芴、双酚A型聚碳酸酯共聚物的合成及其耐热性能研究[J]. 广东化工, 2022, 49(20): 44-46.
[43] WU X Y, XU D, DE BRUYN M, et al. Novel stereoisomeric lignin-derived polycarbonates: Towards the creation of bisphenol polycarbonate mimics[J]. Polymer Chemistry, 2023, 14(8): 907-912.
[44] PANG X Y, CHEN M D, FU J W, et al. Eugenol polysiloxane-polycarbonate/graphene nanocomposite: Enhanced in thermostability and barrier property[J]. Nanomaterials, 2019, 9(12): 1747.
[45] WANG Z P, QIU Y, LIU A Q, et al. Micro-crosslinking of phosphaphenanthrene/siloxane molecule initiate aggregation flame retardant and toughening enhancement effects on its polycarbonate composite[J]. Chemical Engineering Journal, 2023, 466: 143169.