

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.08.009

# 透明抗菌防霉 PC 的制备与性能

谢桂容<sup>1</sup>, 张翔<sup>1</sup>, 李雄武<sup>2</sup>, 张龙<sup>3</sup>, 陈文娟<sup>1</sup>

(1. 湖南化工职业技术学院, 湖南株洲 412000; 2. 株洲时代工程塑料科技有限责任公司, 湖南株洲 412001;

3. 深圳市沃尔核材股份有限公司, 深圳 518118)

**摘要:** 抗菌防霉材料被广泛应用于医疗器械、家电卫浴等领域。以聚碳酸酯(PC)和玻璃基抗菌剂为主要原料,采用熔融共混法制备了兼具透明和抗菌防霉效果的 PC 材料,考查了抗菌剂种类及其不同添加量时材料的抗细菌和霉菌性能、透光率、雾度、力学性能和热学性能。结果表明,相比普通抗菌 PC 材料,玻璃基抗菌剂制备的抗菌 PC 不但具有优良的抗菌防霉性能和力学性能,同时具有更高的透明度。由抗菌剂 AGZ-B 制备得到的 PC 比抗菌剂 AGZ-A 得到的材料具有更好的广谱抗菌性能和透明度,但缺口冲击强度和耐热性能下降更多;当其添加质量分数为 1.5% 时,材料对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的杀菌率均达到 99.9%,防霉等级为 1 级,透光率为 78.7%,雾度为 58.4%,缺口冲击强度为 13.7 kJ/m<sup>2</sup>,维卡软化温度为 138.4 °C。使用抗菌剂 AGZ-B 制备的透明抗菌防霉 PC 材料,抗菌防霉性、透明度、强度和耐热性均达到标准要求,已在高端净水器水箱上得到初步应用。

**关键词:** 抗菌;聚碳酸酯;抗菌性能;防霉等级;透明;透光率

**中图分类号:** TQ325.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)08-0058-06

## Preparation and properties of transparent antibacterial and anti-mildew PC

XIE Guirong<sup>1</sup>, ZHANG xiang<sup>1</sup>, LI Xiongwu<sup>2</sup>, ZHANG long<sup>3</sup>, CHEN Wenjuan<sup>1</sup>

(1. Hunan Chemical Vocational Technology College, Zhuzhou 412000, China; 2. Zhu Zhou Times Engineering Plastics Technology Co., Ltd., Zhuzhou 412001, China; 3. ShenZhen Woer Heat-shrinkable Material Co. Ltd., Shenzhen 518118, China)

**Abstract:** Antibacterial and anti-mildew materials are widely used in medical devices, household appliances and other fields. Transparent antibacterial and anti-mildew polycarbonate (PC) were prepared by melt blending method with PC and glass-based antibacterial agents as main raw materials. The effect of the antibacterial agents and their different dosage on the antibacterial and anti-mildew, light transmittance, haze, mechanical and thermal properties of the obtained materials were investigated. The results show that compared to ordinary antibacterial PC materials, the obtained antibacterial PC prepared with glass based antibacterial agents not only have excellent antibacterial and anti-mildew properties and mechanical properties, but also have higher transparency. The PC material prepared by antimicrobial agent AGZ-B has better broad-spectrum antibacterial properties and transparency compared to that with antimicrobial agent AGZ-A, but its notch impact strength and heat resistance decrease more at the same time. When the amount of antimicrobial agent AGZ-B is 1.5%, the bactericidal rate of the material against staphylococcus aureus and escherichia coli reach 99.9%, the anti-mildew grade is 1, the light transmittance is 78.7%, the haze is 58.4%, the notch impact strength is 13.7 kJ/m<sup>2</sup>, and vicat softening temperature is 138.4 °C. The transparent, high antibacterial and mildew resistant PC material prepared by the antibacterial agent AGZ-B which meets the standard requirements in terms of antibacterial and mold resistant properties, transparency, strength, and heat resistance has been preliminarily applied to the high-end water purifier water tank.

**Keywords:** antibacterial; polycarbonate; antibacterial property; anti-mildew grade; transparent; light transmittance

**基金项目:** 湖南化工职业技术学院校级科研创新团队成果(2022KCTD12)

**通信作者:** 谢桂容, 讲师, 主要研究方向为高分子材料制备及改性

**收稿日期:** 2024-06-02

**引用格式:** 谢桂容, 张翔, 李雄武, 等. 透明抗菌防霉 PC 的制备与性能[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(8): 58-63.

XIE Guirong, ZHANG xiang, LI Xiongwu, et al. Preparation and properties of transparent antibacterial and anti-mildew PC[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(8): 58-63.

以“健康”为主题的创新潮流成为了很多产业重要的创新考量因素。《电器》杂志社发布的《2023中国家庭健康家电用户体验调研报告》显示,近七成的受访者认可并需要具有健康功能和属性的家电<sup>[1]</sup>。细菌、病毒、真菌等有害微生物污染带来的健康风险不容忽视,因此抗菌防霉技术是保障健康的重要手段之一。近年来,抗菌防霉材料被广泛应用于医疗器械、家电卫浴、食品包装、建筑涂料、纺织等领域,达到改善居住环境、降低公共交叉污染风险或延长材料使用寿命等目的<sup>[2-3]</sup>。

聚碳酸酯(PC)因具有高透明性、强韧性、尺寸稳定性好和低成型收缩率等优点,适用于飞机、汽车、家电和医疗设备的内饰、显示窗口、控制面板等外观件和仪器外壳产品。目前,关于PC及其合金抗菌方面的研究工作已有报道,邹永昆等<sup>[4]</sup>以PC、热塑性聚氨酯弹性体(TPU)和无机抗菌剂为主要原料,利用熔融共混法制备了耐化学性优良的抗菌PC/TPU合金,TPU能降低PC的残余内应力及改善其耐化学性,0.6%的活性氧化锌能使PC/TPU合金的抗菌率大于99.9%。黄柯伟等<sup>[5]</sup>以PC、聚丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)、增韧剂、阻燃剂、抗菌剂为原料,提供了一种智能马桶用阻燃抗菌PC合金材料的制备方法。孟征等<sup>[6]</sup>研究了三种磺酸盐类阻燃剂的阻燃效果和银离子抗菌剂对PC阻燃性能的影响,通过优化配方得到了具有良好抗菌性能和冲击性能的阻燃PC材料。梁佳丰等<sup>[7]</sup>采用自制的铜负载氧化石墨烯抗菌剂(Cu@GO)与PC粒料混合经造粒和注塑加工后,制备得到了短效抗菌性能和耐洗刷性能的PC/Cu@GO复合材料。

现有研究关注PC抗菌性能、力学性能,未考虑到材料的透明性,而抗菌剂的加入会降低材料及制品的透光率,增加雾度<sup>[8]</sup>,限制了其优势的发挥。另外,在很多应用场合,如长期潮湿的环境使用的塑料部件,或与水卫生安全的输送水或盛装水的部件,还提出了防霉的要求。因此开发具有高透明性的抗菌防霉PC材料对满足产品性能、美观和人们健康需求,具有重要意义。

笔者以PC和玻璃基银锌复合抗菌剂为主要原料,采用熔融共混法制备兼具抗菌和防霉功能的透明PC材料,对材料的抗菌性能、防霉性能、透光率、雾度、力学性能和热学性能进行了系统研究,拓宽了PC材料的应用场景。

玻璃基银锌复合抗菌剂是以硼酸盐、硼硅酸盐或磷酸盐玻璃为载体,通过缓慢释放银离子和锌离子达到抗菌效果,具有负载量可精确控制、离子释放速度可调节、释放速度稳定持久等特点<sup>[9]</sup>。研究发现,复合金属离子抗菌剂具有更强的协同抑菌作用和广谱抗菌性<sup>[10-11]</sup>。同时,银锌离子复合抗菌剂中的锌离子有利于稳定银以离子的形式存在,克服单一银离子抗菌剂容易被氧化产生变色问题,有利于提高抗菌剂的抗变色性能,增加树脂的耐候变色性<sup>[12-13]</sup>,并且在成本上也更具有经济适用性。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原料

PC:2805,科思创聚合物(中国)公司;

抗菌剂:AGZ-A,AGZ-B,均为玻璃基银锌复合抗菌剂,玻璃载体成分不同;AGZ-C,磷酸锆载体银锌复合抗菌剂;安徽正合雅聚材料科技有限公司;

抗氧剂:1076和168,天津利安隆新材料股份有限公司;

润滑剂:PETS,美国龙沙集团。

### 1.2 主要设备与仪器

双螺杆挤出机:TSE-36,昆山科信橡塑机械有限公司;

注塑机:90T,东华机械有限公司;

微机控制电子万能试验机:CMT-4503,深圳美特斯工业系统(中国)有限公司;

摆锤冲击试验机:ZBC7750-C,深圳美特斯工业系统(中国)有限公司;

差示扫描量热(DSC)仪:DSC-3,梅特勒托利多科技(中国)有限公司;

透光率-雾度测定仪:WGT-S,上海精密仪器仪表有限公司。

### 1.3 试样制备

将PC在120℃干燥3h后,按照表1的配方将各组分按比例混合均匀后,通过双螺杆挤出机造粒,加工温度240~260℃,螺杆转速350 r/min。切粒后的粒料于100℃干燥3h,注射成标准试样进行性能测试,注塑温度270~280℃。

### 1.4 性能测试

拉伸性能:按GB/T 1040-2006测试,测试速率50 mm/min。

弯曲性能:按GB/T 9341-2008测试,测试速率2 mm/min。

表1 材料的配方组成

Tab. 1 Recipe composition of the materials

Sample	PC	Antibacterial agent	Antibacterial agent	Antibacterial agent	Antioxidant	Antioxidant	Lubricant
		AGZ-A	AGZ-B	AGZ-C	1076	168	PETS
0 <sup>#</sup>	99.3	0	0	0	0.2	0.2	0.3
1 <sup>#</sup>	98.5	0.8	0	0	0.2	0.2	0.3
2 <sup>#</sup>	97.8	1.5	0	0	0.2	0.2	0.3
3 <sup>#</sup>	97.1	2.2	0	0	0.2	0.2	0.3
4 <sup>#</sup>	98.5	0	0.8	0	0.2	0.2	0.3
5 <sup>#</sup>	97.8	0	1.5	0	0.2	0.2	0.3
6 <sup>#</sup>	97.1	0	2.2	0	0.2	0.2	0.3
7 <sup>#</sup>	97.8	0	0	1.5	0.2	0.2	0.3

缺口冲击强度:按 GB/T 1843-2008 测试,冲击能量 5.5 J,速度 3.5 m/s。

抗菌和防霉性能测试:防霉性和抗菌性按 GB/T 21551.2-2010 测试,细菌测试采用贴膜法,菌种为金黄色葡萄球菌和大肠杆菌。霉菌测试菌种为黑曲霉、宛氏拟青霉、土曲霉、绳状青霉、出芽短梗霉和球毛壳。抗菌率和防霉等级参照标准进行评价,抗菌防霉材料要求抗菌率大于或等于 90%,同时防霉等级为 1 级或 0 级。

维卡软化温度:按 GB/T 1663-2000 测试,方法 B50,负荷 50 N,加热速率为 50 °C/h。

DSC 分析:在氮气氛围下,以 10 °C/min 的升温速率从 20 °C 升温到 250 °C,恒温 5 min 消除热历史,然后以 10 °C/min 的降温速率降到 20 °C,恒温 5 min,再次从 20 °C 升温到 250 °C,记录第二次升温曲线。

透光率和雾度:按 GB/T 2410-2008 测试,样品厚度 3 mm。

## 2 结果与讨论

### 2.1 材料的广谱抗菌性能

抗菌谱是指抗菌剂对细菌、真菌、霉菌、酵母、藻类等各种微生物的抗菌有效面,抗菌的种类多,覆盖的范围广,则材料的广谱抗菌性能越好,一般以杀菌率和防霉等级两个指标进行评价。图 1 为不同含量抗菌剂 AGZ-A, AGZ-B 对 PC 材料抗菌率的影响,由图 1 可知,AGZ-A, AGZ-B 对抗金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抗菌效果基本相当;当其添加质量分数为 0.8% 时,1<sup>#</sup> 试样的抗菌率为 93.6%,明显高于 4<sup>#</sup> 试样的 78.8%;当其添加质量分数为 1.5% 时,2<sup>#</sup> 试样和 5<sup>#</sup> 试样的抗菌率均已达到 99.9%,添加量继续增加时,抗菌率维持在 99.9% 以上;即在低添加量时,抗菌剂 AGZ-A 比 AGZ-B 具有更好的抗菌效果,

这是因为前者的银离子含量较高,而银离子相比锌离子抗菌效果更好。

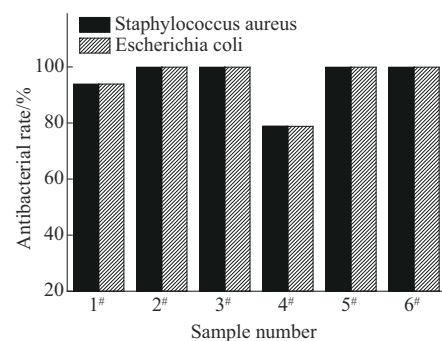


图1 PC材料的抗菌性能

Fig. 1 Antibacterial property of PC materials

图 2 为材料的防霉测试图片,1<sup>#</sup>~4<sup>#</sup> 试样表面均有明显的黑色霉斑出现,防霉等级为 2 级或 3 级,5<sup>#</sup> 和 6<sup>#</sup> 试样仅出现轻微的霉斑痕迹,霉菌生长受到很好的抑制,防霉等级达到 1 级。这表明,抗菌剂 AGZ-B 的抗霉菌性较强。综上所述,抗菌剂 AGZ-B 的广谱抗菌性能更优,当其添加量为 1.5% 时,PC 材料抗菌率达到 99.9%,防霉等级 1 级。

### 2.2 材料的透光率和雾度

材料的透明度主要以透光率和雾度两个指标进行评价,透光率越高,雾度越低,材料的透明度越好。一般而言,抗菌剂的载体玻璃的折射率与 PC 的折射率 (1.58~1.60) 接近,对材料的透明度影响小<sup>[14]</sup>。

图 3 为两种抗菌剂及其含量对材料透光率和雾度的影响。从图 3 可知,未加入抗菌剂的 0<sup>#</sup> 试样透光率和雾度分别为 87.4% 和 13.4%,具有较高的透明度;加入抗菌剂后,材料的透光率出现不同程度的下降,而雾度值大幅增加,抗菌剂添加量越大,这种趋势越明显。当抗菌剂添加质量分数为 1.5% 时,2<sup>#</sup> 试样的透光率和雾度分别为 61.6% 和 69.8%,5<sup>#</sup> 试

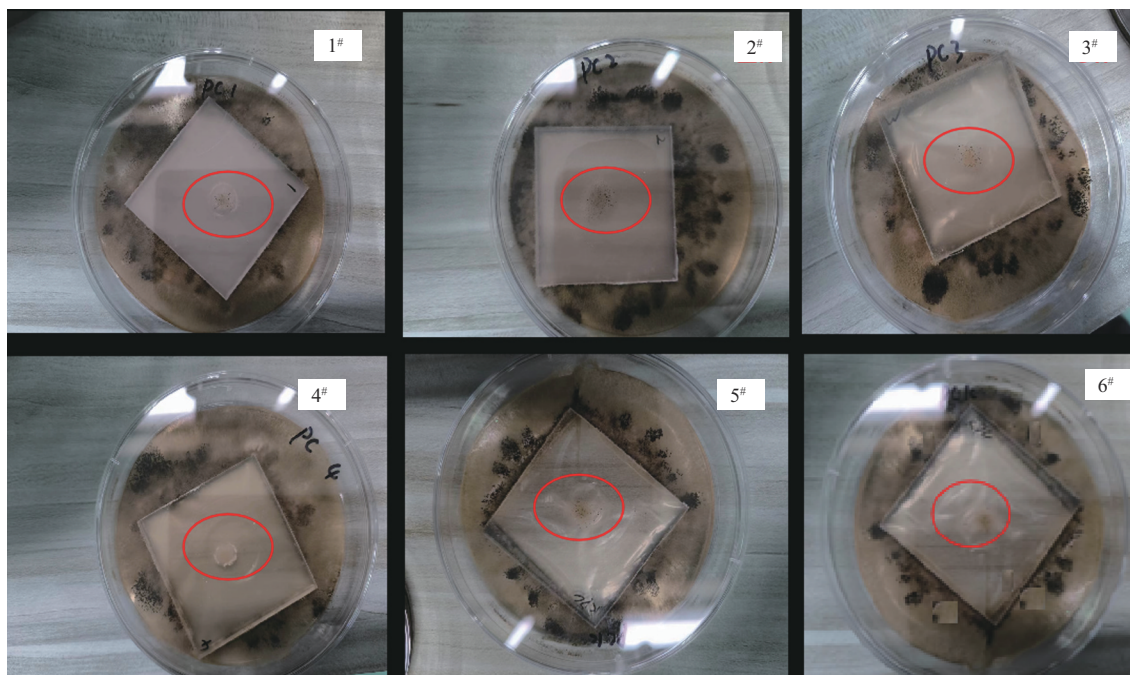


图2 PC材料防霉测试图片

Fig. 2 Pictures of anti-mildew test of PC materials

样的透光率和雾度分别为 78.7% 和 58.4%; 相比之下, 使用抗菌剂 AGZ-B 的材料比使用抗菌剂 AGZ-A 的材料具有更高的透光率和更低的雾度。原因可能在于, 抗菌剂 AGZ-B 所使用的玻璃载体材料的折光率和 PC 的折光率更为接近, 因此材料的透明度更好。

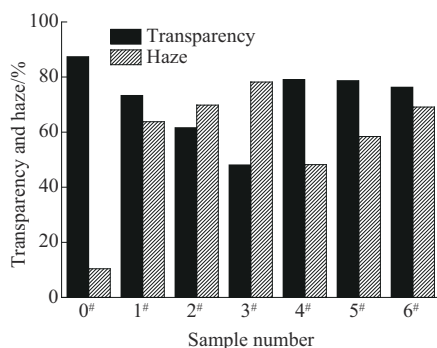


图3 抗菌PC材料的透光率和雾度

Fig. 3 Transparency and haze of antibacterial PC materials

### 2.3 材料的力学性能

虽然抗菌剂添加量少, 但其含有的活性金属离子易与其它组分反应, 或因抗菌剂粒子的团聚形成“脆性点”, 因此会造成材料力学性能的下降<sup>[15-16]</sup>。

表2列出了两种抗菌剂及其含量对材料力学性能的影响。从表2可以看到, 添加抗菌剂后, PC材料的拉伸强度、断裂伸长率和弯曲强度方面均小幅下降, 但缺口冲击强度下降最明显。当抗菌剂添加

质量分数为 1.5% 时, 2# 和 5# 试样的缺口冲击强度分别为 20.2, 13.7 kJ/m<sup>2</sup>。即使用抗菌剂 AGZ-B 的 5# 试样比使用抗菌剂 AGZ-A 的 2# 试样缺口冲击强度下降幅度更大。这是因为, 碱性条件会催化 PC 降解, 特别是碱性金属锌离子对 PC 的影响更明显<sup>[17-18]</sup>, 而抗菌剂 AGZ-A 和 AGZ-B 均为银锌复合抗菌剂, 其含有的银离子和锌离子引起 PC 的降解, 且抗菌剂 AGZ-B 中锌离子浓度更高, 造成 PC 降解也更严重, 因而 4#~6# 试样缺口冲击强度下降更多。

表2 抗菌PC材料的力学性能

Tab. 2 Mechanical properties of antibacterial PC materials

Sample	Tensile strength/MPa	Elongation at break/%	Bending strength/MPa	Notch impact strength/(kJ·m <sup>-2</sup> )
0#	61.8	116.2	91.2	62.5
1#	61.6	96.3	90.6	23.6
2#	61.1	90.1	89.4	20.2
3#	59.8	78.2	88.7	17.4
4#	61.2	91.5	90.2	15.9
5#	60.6	84.4	88.7	13.7
6#	58.2	65.6	86.9	10.3

### 2.4 材料的热学性能

利用 DSC 和维卡软化点测试, 衡量抗菌防霉 PC 材料的耐热性。图4为 5 个试样的 DSC 第二次升温曲线, 由于 PC 为非晶材料, 没有固定的熔化温度, 因此 DSC 升温曲线的吸收峰位置对应的是玻璃化转变温度 ( $T_g$ )。从曲线上看到, 加入抗菌剂后, 材

料的  $T_g$  均向低温移动,相比未加抗菌剂的 0# 试样,1# 和 2# 的  $T_g$  分别下降了 0.8 °C 和 1.7 °C,而 4# 和 5# 试样的  $T_g$  分别下降了 3.6 °C 和 4.5 °C,即抗菌剂添加量越多,  $T_g$  下降越多,且加入 AGZ-B 的 4# 和 5# 试样向低温移动得更明显。这表明,加入抗菌剂后,PC 的分子链段运动变得更容易,使得材料的耐热温度均有所下降,原因在于抗菌剂会使 PC 降解,产生的小分子物质对 PC 具有增塑作用,从而引起  $T_g$  降低<sup>[17]</sup>,而 AGZ-B 导致的降解更严重,  $T_g$  也下降更多。

表 3 是 5 个试样的维卡软化温度数据。从数据

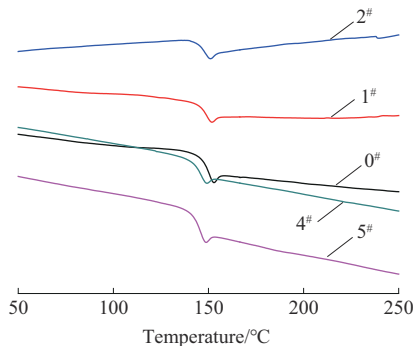


图 4 PC 材料的 DSC 第二次升温曲线

Fig. 4 DSC second heating curve of PC materials

上看,未加抗菌剂的 0# 试样维卡软化温度为 142.1 °C,加入抗菌剂后,1#,2#,4# 和 5# 试样的维卡软化温度相比分别为 141.2,140.6,139.3,138.4 °C,均出现不同程度的下降,这与 DSC 分析结果一致。

表 3 材料的维卡软化温度

Tab. 3 Vicat softening temperature of the materials

Item	0#	1#	2#	4#	5#
Vicat softening temperature/°C	142.1	141.2	140.6	139.3	138.4

## 2.5 与普通抗菌 PC 材料性能对比

普通抗菌 PC 材料通常是采用磷酸铝载体抗菌剂进行制备,磷酸铝载体抗菌剂是目前非玻璃基载体抗菌剂中一类主流应用的无机抗菌剂,其生产工艺简单、方案成熟,具有较高的性价比。7# 试样是以磷酸铝载体抗菌剂 AGZ-C 制备的抗菌 PC 材料,相关性能数据见表 4。从表 4 看到,7# 试样的抗菌防霉性能、缺口冲击强度与 5# 试样较为接近,但其透光率为 17.2,雾度值为 93.6%,与 2# 和 5# 试样相比,透明度存在较大差距。由此可见,相比普通抗菌 PC 材料而言,采用玻璃基抗菌剂制备的抗菌 PC 具有良好综合性能和更高的透明度。

表 4 不同抗菌 PC 材料的性能对比

Tab. 4 Performance comparison of different antibacterial PC materials

Sample	Antibacterial rate against staphylococcus aureus/%	Antibacterial rate against escherichia coli/%	Anti-mildew grade/grade	Light transmittance/%	Haze/%	Notch impact strength/(kJ·m <sup>-2</sup> )
2#	99.9	99.9	2	61.6	69.8	20.2
5#	99.9	99.9	1	78.7	58.7	13.7
7#	99.9	99.9	2	17.2	93.6	12.6

## 3 应用

制备的透明抗菌防霉 PC 材料(5# 试样),抗菌防霉性、透明度、强度和耐热性达到标准要求,已初步在高端饮水机透明水箱中得到应用(图 5)。饮水机透明水箱经抑菌环测试、抗菌剂溶出测试和浸泡试验增量测试,符合卫生安全标准;经 50 °C 热水浸泡 16 h,对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的杀菌率仍在 95% 以上,露天放置 30 d 仍无蓝藻和青藻出现,表现出良好的抗菌防霉效果。

## 4 结论

(1)与普通抗菌 PC 材料相比,玻璃基抗菌剂制备的抗菌 PC 具有优良的抗菌防霉性能和力学性能,同时具有更高的透明度。

(2)抗菌剂 AGZ-B 具有较好的广谱抗菌性能,当添加质量分数为 1.5% 时,材料对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的杀菌率均达到 99.9%,防霉等级达到 1



图 5 饮水机 PC 透明水箱

Fig. 5 PC transparent water tank for water dispenser

级。

(3)抗菌剂 AGZ-B 相较抗菌剂 AGZ-A 而言,对材料的透明度影响小,但缺口冲击强度和耐热性能

下降更多。

(4)使用抗菌剂AGZ-B制备的透明抗菌防霉PC材料,应用于高端饮水机水箱,具有良好的抗菌防霉效果,符合卫生安全标准。

#### 参考文献

- [1] 于璇.论道健康,共筑未来2023中国家电健康趋势高峰论坛召开[J].电器,2023(12):14-15.  
YU Xuan. Discussing health, building the future together: The 2023 China home appliance health trend summit was held[J]. China Appliance, 2023(12):14-15.
- [2] 吴国峰,雷亮,俞飞.车用聚丙烯抗菌材料的研制[J].工程塑料应用,2022,50(6):44-48.  
WU Guofeng, LEI Liang, YU Fei. Preparation of antibacterial automotive polypropylene materials[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(6):44-48.
- [3] 刘佳娣,张惠玉,关红艳,等.典型建材产品抗菌防霉性能对比及发展趋势浅析[J].中国建材科技,2023,32(5):88-91.  
LIU Jiadi, ZHANG Huiyu, GUAN Hongyan, et al. Comparative analysis and development trend of antibacterial and anti-mold activity of typical building materials[J]. China Building Materials Science & Technology, 2023, 32(5):88-91.
- [4] 邹永昆,范温柔,余彪,等.耐化学抗菌改性PC/TPU共混合金的制备及性能研究[J].中国塑料,2023,37(7):41-46.  
ZOU Yongkun, FAN Wenrou, YU biao, et al. Preparation and properties of chemical-resistant and antibacterial PC/TPU blends[J]. China Plastics, 2023, 37(7):41-46.
- [5] 黄柯伟,陈家峰,王晓群,等.一种智能马桶用阻燃抗菌PC合金材料及其制备方法:CN 111205614B[P]. 2021-12-28.  
HUANG Kewei, CHEN Jiafeng, WANG Xiaoqun, et al. Flame-retardant antibacterial PC alloy for intelligent toilet and its preparation method:CN 111205614B[P]. 2021-12-28.
- [6] 孟征,孟非然,赵亚风.抗菌剂对高铁内饰用阻燃PC性能影响[J].工程塑料用,2021,49(9):13-17.  
MENG Zheng, MENG Feiran, ZHAO Yafeng. Effect of antibacterial agent on antibacterial and mechanical properties of flame retardant PC used for high-speed train interior[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(9):13-17.
- [7] 梁佳丰,李岳.PC/铜负载氧化石墨烯复合材料的抗菌性能[J].工程塑料应用,2024,52(3):1-6.  
LIANG Jiafeng, LI Yue. Antibacterial properties of PC/copper-loaded graphene oxide composites[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(3):1-6.
- [8] 龙思宇,曾舒,黄晓泉,等.抗菌防霉抗病毒聚丙烯的制备及性能[J].工程塑料应用,2024,52(2):21-26.  
LONG Siyu, ZENG Shu, HUANG Xiaoxiao, et al. Preparation and properties of antibacterial, anti-mildew and antiviral polypropylene [J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(2):21-26.
- [9] 褚厚娟,丁平,胡清华,等.载银抗菌材料在载人航天水处理任务中的应用前景[J/OL].化工进展,2024:1-12.[2024-07-11].https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2023-1466.
- [10] 俞波,王芳.复合金属离子抗菌沸石的制备及研究[J].无机材料学报,2005,20(4):921-926.  
YU Bo, WANG Fang. Preparation and study on composite metal ion antibacterial zeolites[J]. Journal of Inorganic Materials, 2005, 20(4):921-926.
- [11] WANG Xiaolan, LIU Shaoxiang, LI Mei, et al. The synergistic antibacterial activity and mechanism of multicomponent metal ions-containing aqueous solutions against Staphylococcus aureus [J]. Journal of Inorganic Biochemistry, 2016, 163:214-220.
- [12] 武大庆,于莎,苏万福,等.抗菌聚丙烯的制备及其性能[J].合成树脂及塑料,2023,40(5):27-31.  
WU Daqing, YU Sha, SU Wanfu, et al. Preparation and properties of antibacterial PP[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2023, 40(5):27-31.
- [13] 戴晋明,侯文生,魏丽乔,等.载银锌4A沸石抗菌剂抗变色性能的研究[J].无机材料学报,2008,23(5):1 011-1 015.  
DAI Jinming, HOU Wensheng, WEI Liqiao, et al. Study on the color change resistant property of silver and zinc-loading zeolite 4A antibacterial agent[J]. Journal of Inorganic Materials, 2008, 23(5):1 011-1 015.
- [14] 许云川,周欣,郭彬.透明PET抗菌母粒的制备及其性能研究[J].橡塑技术与装备,2022,48(6):19-23.  
XU Yunchuan, ZHOU Xin, GUO Bin, et al. Preparation and performance study of transparent PET antibacterial masterbatch [J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2022, 48(6):19-23.
- [15] 张丽敏,李方军,李雄武,等.高性能抗菌玻纤增强PP材料及应用[J].工程塑料应用,2019,47(4):6-10.  
ZHANG Limin, LI Fangjun, LI Xiongwu, et al. Antibacterial glass fiber reinforced polypropylene material and its application [J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(4):6-10.
- [16] 谢桂容,李崇裔,李雄武,等.抗菌阻燃ABS材料的制备与性能[J].工程塑料应用,2023,51(8):39-43.  
XIE Guirong, LI Chongyi, LI Xiongwu, et al. Preparation and properties of antibacterial and flame retardant ABS[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(8):39-43.
- [17] 杨燕,李明昆.羧酸类助剂对滑石粉填充PC性能的影响[J].工程塑料应用,2018,46(4):133-139.  
YANG Yan, LI Mingkun. Effects of carboxyl acid type agent on performances of talcum power filling PC[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(4):133-139.
- [18] CHIU Shwujer, CHEN Shihau, TSAI Choutso. Effect of metal chlorides on thermal degradation of (waste) polycarbonate[J]. Waste Management, 2006(26):252-259.