

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.12.001

共混型 PET 光扩散膜的制备和性能研究^{*}

冯欣然¹, 马寒冰¹, 侯德发¹, 李晶¹, 李秀云¹, 唐安斌²

(1. 四川省非金属复合与功能材料重点实验室, 西南科技大学, 四川绵阳 621010; 2. 四川东材科技集团股份有限公司, 四川绵阳 621010)

摘要: 通过共混法在聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 中添加光扩散剂制备 PET 光扩散膜。利用 Mie 散射理论计算了光扩散剂颗粒的折射率和粒径对光扩散效果的影响, 并通过实验对理论计算结果进行验证。结果表明, 光扩散剂颗粒折射率对光扩散效果的影响较小, 而颗粒粒径的影响较大, 与理论计算结果相吻合。探讨了光扩散剂添加量对光扩散效果的影响和原因, 制备出透光率为 85.3%、雾度为 90.86% 的 PET 光扩散膜。

关键词: 聚对苯二甲酸乙二醇酯; 光扩散膜; Mie 散射理论; 透光率; 雾度

中图分类号: TQ322.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)12-0004-04

Preparation and Properties of Mixed Light-Diffusing Film Based on PET

Feng Xinran¹, Ma Hanbing¹, Hou Defa¹, Li Jing¹, Li Xiuyun¹, Tang Anbin²

(1. State Key Laboratory Cultivation Base for Nonmetal Composites and Functional Materials of Sichuan Province, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China; 2. Sichuan EM Technology Co. Ltd., Mianyang 621010, China)

Abstract: PET light-diffusing film was prepared by adding light-diffusing agent into poly(ethylene terephthalate)(PET) matrix via the simple melt blending process. The effects of the particle size refractive index of light-diffusing agent on the light-diffusion performance were investigated through Mie scattering theory calculation, and the theoretical calculation results were verified by experiments. The results indicate that the theory calculation results coincide with the experimental results: particle refractive index affecting slightly, while particle size affecting greatly. The effects of light-diffusing agent amount on the transmittance and haze of light-diffusing film were studied and the reason was analyzed. The light-diffusing film with transmittance and haze of 85.3% and 90.86% respectively was prepared.

Keywords: PET; light-diffusing film; Mie scattering theory; transmittance; haze

随着液晶显示器的大量应用, 作为其背光源模组重要组成部分的光扩散膜的需求也越来越大。光扩散膜的作用是将点光源、线光源转化为面光源, 具有高透光率和高雾度等特点^[1]。

光扩散材料根据作用机理不同, 可分为面扩散和体扩散两种^[2-3]。面扩散主要通过打磨、涂层、喷砂或刻痕等手段, 利用粗糙表面产生光扩散。如 Lin Chifeng 等^[4]通过表面微结构处理制备光扩散材料; H. P. Kuo 等^[5]对涂覆法制备聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 光扩散膜进行研究。目前 LCD 中应用的 PET 光扩散膜都是用涂覆工艺制备。体扩散是通过在透明基体中添加异质颗粒的方法, 利用颗粒的散射产生光扩散, 一般采用共混法制备。如赵鋈冲等^[6]以聚碳酸酯为基体通过添加有机硅类光扩散剂制备的光扩散材料, 其透光率为 80.8%, 雾度为 94.9%。对于共混法制备 PET 光扩散膜鲜有报道。

对于光扩散剂颗粒在基体中的光散射问题可

以用 Mie 散射理论研究。经典 Mie 散射理论是由德国科学家 Gustav Mie 于 1908 年研究存在于均匀介质中的各向同性球形颗粒对单色平行光的散射行为时所得出的结论^[7]。它是麦克斯韦方程组在该问题上的精确解, 可以从理论上分析光扩散剂颗粒的散射问题, 进而指导扩散剂的选择。

笔者通过 Mie 散射理论研究光扩散剂颗粒折射率、粒径对光扩散膜透光率和雾度的影响, 并用实验对计算结果进行验证。结果表明, 该计算方法可以对光扩散膜的制备进行指导。最终利用共混法替代涂覆法制备出性能优异的 PET 光扩散膜。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PET: FG720, 折射率 1.57, 中国石化仪征化纤

^{*} 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 项目 (2012AA050304)

联系人: 马寒冰, 教授, 主要从事高分子材料的研究

收稿日期: 2013-09-12

股份有限公司;

光扩散剂 A:球形有机硅光扩散剂,折射率 1.43,相对密度 1.19,不同粒径产品以 A1~A6 表示,市售;

光扩散剂 B:球形二氧化硅光扩散剂,折射率 1.54,相对密度 2.45,市售。

1.2 仪器与设备

电热恒温鼓风干燥箱:101 型,北京市永光明医疗仪器厂;

双螺杆挤出机组:TE35 型,江苏科亚化工装备有限公司;

单螺杆流延成型挤出机组:X1 型,泰国 Labtech Engineering 公司;

透光率/雾度测定仪:WGT-S 型,上海申光仪器仪表有限公司;

薄膜静态双向拉伸试验机:DGZ 型,汕头市金平区德华机械厂。

1.3 试样制备

将 PET 和光扩散剂置于烘箱中 160℃ 干燥 5 h,按一定质量比充分混合,然后加入双螺杆挤出机造粒,挤出机各段温度依次设定为 265,275,280,280,280,280,275,270℃。粒料先在 160℃ 烘箱中干燥 5 h,然后经单螺杆挤出机流延成膜,再经薄膜静态双向拉伸试验机拉伸,所成样品经裁剪即可用于性能测试与表征。试样配方如表 1 所示。

表 1 试样编号及组成

编号	光扩散剂	颗粒粒径/ μm	光扩散剂质量分数/%
1 [#]	光扩散剂 A1	2	1
2 [#]	光扩散剂 B	2	1
3 [#]	光扩散剂 A1	2	2
4 [#]	光扩散剂 B	2	2
5 [#]	光扩散剂 A1	2	0.5
6 [#]	光扩散剂 A2	1.39	1
7 [#]	光扩散剂 A3	1.57	1
8 [#]	光扩散剂 A4	3.02	1
9 [#]	光扩散剂 A5	3.15	1
10 [#]	光扩散剂 A6	4.15	1
11 [#]	光扩散剂 A1	2	1.5
12 [#]	光扩散剂 A1	2	3
13 [#]	光扩散剂 A1	2	5
14 [#]	光扩散剂 A1	2	10

2 结果与讨论

2.1 光扩散剂种类的影响

对于均匀基体中异质颗粒的光学性能研究,可以用 Mie 散射理论来解释^[8]。用 Mie 散射理论,可以计算出颗粒产生散射光在各角度的光强分布^[9]。通过散射光的强度分布可计算出散射光的光通量分

布。参考透光率和雾度的定义^[10],笔者定义了透光参数、雾度参数和扩散效率三个参数用于研究颗粒散射对光扩散的影响。

将单个颗粒散射光中 0°~90° 与 0°~180° 的光通量之比定义为透光参数,它体现了单个颗粒对透光率的贡献。将单个颗粒散射光中 2.5°~90° 与 0°~90° 的光通量之比定义为雾度参数(一般把偏离入射光方向 2.5° 以上的散射光用于计算雾度^[10]),它体现了单个颗粒对雾度的贡献。透光参数与雾度参数的乘积可以有效表示单个颗粒光扩散的效率,称为扩散效率。

根据 Mie 散射理论,光扩散剂种类对光扩散效果的影响主要体现在光扩散剂折射率的影响。计算光扩散剂颗粒折射率发生变化时,550 nm 单色平行入射光下直径 2 μm 的球形颗粒在 PET 中透光参数、雾度参数和扩散效率随颗粒折射率的变化,如图 1 所示。由图 1 可以发现,透光参数、雾度参数和扩散效率都随折射率的变化发生幅度较小的波动性变化,这说明颗粒折射率对光扩散效果的影响较小。当光扩散剂颗粒折射率与基体 PET 折射率相等时(1.57),复合材料为透明材料,图 1 曲线发生异常变化。

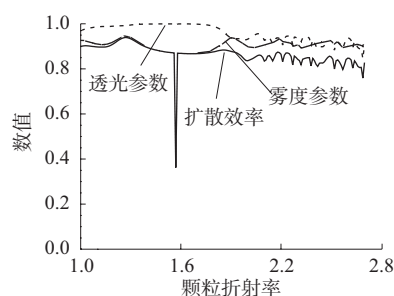


图 1 透光参数、雾度参数和扩散效率随颗粒折射率的变化曲线

选用相同粒径的光扩散剂 A 和光扩散剂 B,制备复合材料样品进行对比,结果见表 2。发现相同质量配比样品 1[#] 与 2[#],3[#] 与 4[#] 的透过率和雾度都有较大差异。但换算成相同体积配比的样品 2[#] 与 5[#],1[#] 与 4[#] 的透光率和雾度值相近。说明这不同光扩散剂在添加相同体积分数的情况下,是可以取得相同光扩散效果的。

表 2 部分样品的透光率和雾度

编号	透光率 %	雾度 %
1 [#]	86.3	89.04
2 [#]	88.1	72.68
3 [#]	81.8	93.36
4 [#]	85.9	90.29
5 [#]	88.2	73.50

2.2 光扩散剂粒径的影响

根据 Mie 散射公式,光扩散剂颗粒的粒径大小对光扩散有非常重要的影响。应用 Mie 散射计算不同粒径大小的光扩散剂 A 颗粒在 PET 中的光散射行为如图 2 所示。

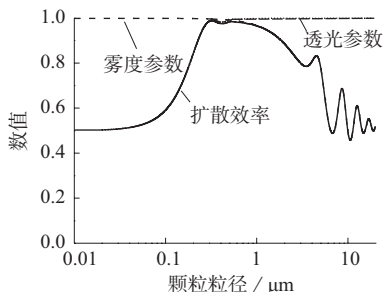


图2 透光参数、雾度参数和扩散效率随颗粒粒径的变化曲线

由图2可以看出,颗粒粒径较小时扩散效率与透光参数相重合,随粒径增大而增大;当颗粒粒径较大时扩散效率与雾度参数相重合,随粒径增大而减小。这是因为当颗粒粒径较小时有大量后向散射,并且散射光在各角度上的光强分布比较均匀,此时雾度参数始终接近100%,扩散效率与透光参数重合;当颗粒粒径较大时,散射光多为前向散射,使透光参数始终接近100%,扩散效率与雾度参数重合。当颗粒粒径在0.22~1.86 μm时,扩散效率大于90%。相对于折射率对扩散效率的影响,粒径对扩散效率的影响较大。

用不同粒径的光扩散剂 A1~A6 制备 PET 光扩散膜样品 1[#],6[#]~10[#],并测试其透光率和雾度,结果如图3所示。从图3可以看出,随着颗粒粒径的增大,雾度有明显下降趋势,而透光率没有明显变化。这说明在这一粒径范围内,相同添加量的情况下,颗粒粒径小的光扩散剂具有更好的光扩散性能,这也与计算结果中这一范围内的变化趋势相符。

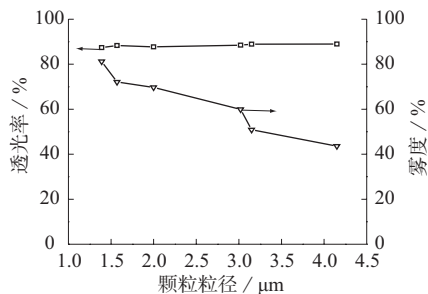


图3 透光率和雾度随光扩散剂颗粒粒径的变化曲线

2.3 光扩散剂添加量的影响

光扩散膜的扩散效果不但与光扩散剂颗粒性质有关,而且与光扩散剂添加量有关^[1]。图4为光扩散膜透光率和雾度随光扩散剂 A1 添加量的变化

曲线。

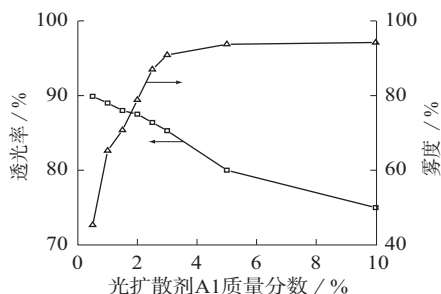


图4 透光率和雾度随光扩散剂 A1 添加量的变化曲线

从图4可以看到,随着光扩散剂添加量的增加,雾度先快速上升,到达95%左右之后开始保持不变。当光扩散剂添加量相对较低时,光线通过光扩散膜受到光扩散剂颗粒散射的概率随光扩散剂含量的增加而增大,雾度也随之提高;当光扩散剂的添加量增大到一定值以后,光线通过时会被光扩散剂颗粒多次散射,光线已被均匀分布到各个角度,雾度达到极值不再增加。透光率则随光扩散剂的添加量增加一直呈现下降趋势,这是因为随着光扩散剂颗粒浓度增加,越来越多的光线经多次散射后方向发生改变的角度增大而成为反射光,同时光扩散剂本身对光有一定的吸收,在这两方面的作用下透光率逐渐降低。综合考虑透光率和雾度的变化,当扩散剂 A1 的质量分数为3%时,制备得到的光扩散膜具有最优的性能,其透光率为85.3%、雾度为90.86%。

3 结论

利用 Mie 散射理论,计算光扩散剂颗粒折射率和粒径对光扩散效果的影响,并通过实验进行验证。结果表明,光扩散剂折射率对光扩散影响较小,而光扩散剂粒径对光扩散影响较大,光扩散效果随粒径增大而减小,实验结果和计算结果相符合。讨论了光扩散剂添加量对透光率和雾度的影响和原因,发现添加量越大透光率越低、雾度越高。制备出透光率为85.3%、雾度为90.86%的PET光扩散膜。

参考文献

- [1] 高峰,曹贤武,童真.具有高散射能力的聚合物导光材料[J].材料研究学报,1998(6):619-623.
Gao Feng, Cao Xianwu, Tong Zhen. Optical transmission polymeric materials with high light scattering [J]. Chinese Journal of Materials Research, 1998(6):619-623.
- [2] 赵鋈冲,何杰,赵红玉,等.聚碳酸酯基光扩散材料的研究[J].工程塑料应用,2012,40(7):97-99.
Zhao Yunchong, He Jie, Zhao Hongyu, et al. Study on light scattering materials based on polycarbonate[J]. Engineering Plastics

- Application, 2012, 40(7):97-99.
- [3] 庄孝磊,周芳,申溯,等.层叠微透镜阵列光扩散片特性研究[J].光学学报,2010(11):3 306-3 310.
- Zhuang Xiaolei, Zhou Fang, Shen Su, et al. Characteristics of diffusers with cascaded-microlens arrays[J]. Acta Optical Sinica, 2010(11):3 306-3 310.
- [4] Lin Chifeng, Fang Yubin, Yang Pohua. Optical film with microstructures array for slim-type backlight applications[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2011, 122(13):1 169-1 173.
- [5] Kuo H P, Chuang M Y, Lin C C. Design correlations for the optical performance of the particle-diffusing bottom diffusers in the LCD backlight unit[J]. Powder Technology, 2009, 192(1):116-121.
- [6] 赵鋈冲,何洁,刘苏芹,等.聚碳酸酯基光扩散材料的制备[J].工程塑料应用,2013,41(5):29-33.
- Zhao Yunchong, He Jie, Liu Suqin, et al. Preparation of light diffusing materials based on polycarbonate[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(5):29-33.
- [7] 孙昕.基于 Mie 散射理论测量微小球粒粒径的数值模拟及实验研究[D].天津:天津大学,2004.
- Sun Xin. Simulation and experiment on sizing of micrometer-scale particles based on Mie's light scattering theory[D]. Tianjin:Tianjin University, 2004.
- [8] Fu Qiang, Sun Wenbo. Mie theory for light scattering by a spherical particle in an absorbing medium[J]. Applied Optics, 2001, 40(9):1 354-1 361.
- [9] 董现明,熊英,任奕坤,等.具有高散射能力的聚碳酸酯复合材料的制备与性能研究[J].高分子学报,2013(2):241-247.
- Dong Xianming, Xiong Ying, Ren Yikun, et al. Preparation and properties of high scattering polycarbonate(PC) composites[J]. Acta Polymerica Sinica, 2013(2):241-247.
- [10] GB/T 2410-2008 透明塑料透光率和雾度的测量[S].2008.
- GB/T 2410-2008 Standard test method for haze and luminous transmittance of transparent plastics[S].2008.
- [11] 杨华军,张秀菊,沈俊才,等.LED 照明用聚碳酸酯基光散射材料的研究[J].工程塑料应用,2011,39(1):44-47.
- Yang Huajun, Zhang Xiuju, Shen Juncai, et al. Study on light scattering materials based on polycarbonate used in LED illumination[J]. Engineering Plastics Application, 2011, 39(1):44-47.

欢迎订阅 2014 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘,请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国合成树脂供销协会会刊,荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等多项国家、省部委级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2014 年定价 15 元/期,全年 180 元。目前杂志社尚有部分 1986 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊,荣获多项省部委级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2014 年定价 15 元/期,全年 90 元。目前杂志社尚有部分 1992 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2013 年底共 41 卷 290 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2013 年底

共 22 卷 95 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。分别利用这两种合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。

《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 530 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 230 元。

邮局汇款:

收款单位:山东济南市天桥区田庄东路 3 号杂志社

邮编:250031

电话:(0531)85878223 85878057 85878278

传真:(0531)85947355

银行汇款:

户名:中国兵器工业集团第五三研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

帐号:1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>