

文章编号 1004-924X(2007)02-0180-06

微特征结构对导光板翘曲变形的影响

蒋炳炎, 沈龙江, 罗建华, 翁 灿

(中南大学 机电工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 为研究不同微特征结构对导光板翘曲变形的影响, 以导光板翘曲变形为质量目标, 利用 Moldflow MPI5, 首次仿真研究了尺寸规格为 $11 \times 3 \times 0.8$ 的导光板上 5 种不同微特征结构阵列 (V 型凹槽阵列、U 型凸槽阵列、金字塔阵列、圆环阵列以及微透镜阵列) 在不同工艺参数下对导光板翘曲变形的影响。仿真结果表明, 微凸点微结构阵列影响最大, 微圆凸点阵列导光板最大翘曲量为 0.0397 mm , 圆环微结构阵列影响最小, 相同工艺参数下圆环微结构阵列导光板最小翘曲量为 0.0282 mm , 两者相差最大达 40.78% , 而且凹结构微特征阵列对导光板翘曲量的影响幅度总是小于凸结构微特征阵列。结论认为, 在导光板设计阶段就应考虑不同微结构特征对导光板注射成型翘曲变形的影响并优先选用圆环等凹结构微特征阵列, 以减少导光板注射成型的翘曲量。

关键词: 导光板; 翘曲变形; 微特征结构; 仿真

中图分类号: TN873.93 **文献标识码:** A

Effects of different micro-feature structures on warpage and deformation of light guide plate

JIANG Bing-yan, SHEN Long-jiang, LUO Jian-hua, WENG Can

(College of Mechanical & Electronic Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: To study the influence of different micro-feature structures on the warpage and deformation of injection molded light guide plate, We applied MoldFlow MPI5.0 to simulate the influence of five different micro-feature structures (micro V groove structure, micro U protrude structure, micro pyramid structure, micro cirque structure and micro lens structure) on the warpage and deformation of light guide plate with $11 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ dimensions for the first time. The results show that the influence of micro lens array structure on the warpage and deformation of the light guide plate is bigger than that of other microfeature structures, the biggest warpage and deformation of micro lens array light guide plate is 0.0397 mm , and the influence of micro rings array structure is the smallest one. With the same processing parameters, the warpage and deformation of micro rings array light guide plate is 0.0282 mm , the difference reaches 40.78% , furthermore the influence of convex micro-feature structures is bigger than concave micro-feature structures at all time. It is shown that we should consider the influence of different designs of micro-feature structures on the injection molding of light guide plate in advance, and the preferences are concave micro-feature structures like micro cirque structure.

Key words: light guide plate; warpage and deformation; micro-feature structure; simulation

收稿日期: 2006-09-22; 修订日期: 2006-12-18.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 50475140); 江西省材料科学与工程研究中心开放基金资助项目

1 引言

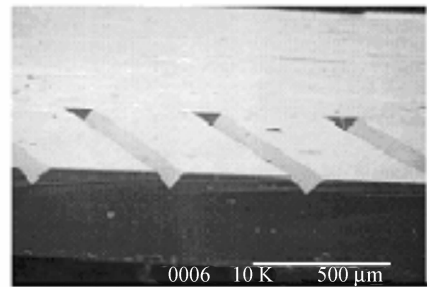
液晶显示器(LCD)在彩屏手机、数码相机、液晶电视、电脑荧屏等领域得到广泛的应用。LCD由液晶模组和背光模组组成,液晶模组本身不能发光,需要借助背光模组提供分布均匀的光源与充足的亮度来实现它的显示功能^[1,2]。背光模组由冷阴极灯管、导光板、扩散片、棱镜片等零件组成,导光板为背光模组中最重要的零件之一,其结构特点是薄壁(最薄已至0.5 mm)、表面带微结构特征。目前,19 in 以下的 LCD 导光板均采用精密注射成型方法制造^[3,4]。导光板的作用在于将光线导向所需要的方向,其原理是利用导光板上的微特征结构来改变光的行进路线,使光线均匀射出,达到高亮度。密布在导光板上的微特征结构主体尺寸在0.2~0.1 mm 以下,排列间距从密到疏介于0.02~0.625 mm 之间,导光板微小翘曲变形就能够使得微特征结构的大小、间距发生较大的变化以及形状发生扭曲,光的折射率和折射位置也将因此而改变,严重时可能造成显示功能丧失,因此翘曲变形对导光板的光学性能具有很大的影响^[5]。高雄应用科技大学的蔡俊钦以V型微沟槽导光板为例,结合分析、设计、成型、检测等过程,建立了完整的导光板开发技术,包括利用 Trace Pro 光学软件进行光学分析及微特征结构设计,利用 Moldex 3D 软件进行模流分析及模具设计,研究表明:V型沟槽的尺寸及导光板的翘曲变形是影响导光板光学品质的主要因素^[6];SHEN Y K 对导光板注射成型进行了3D 充填仿真,实验结果表明,3D 数值仿真比中面模型仿真更好地预测了熔体流动前沿的发展^[7];LI Y Y 等通过实验和仿真研究了带微结构薄壁零件的注射成型,结果表明注射速度和模具温度是影响薄壁微结构零件成型复制性能的主要因素^[8]。光学设计、模具设计、注塑成型是影响导光板质量的三个主要阶段,彼此之间关系密切。在光学设计阶段,虽然可以达到高辉度、高均匀度的光学特征结构设计^[9-11],但是在注射成型阶段往往会因为塑料的填充、收缩、塑料制品内部应力以及翘曲变形等因素,造成微特征结构尺寸的偏差,导致光学性能不良^[12-15]。本文研究目的在于按照面向制造的设计和并行设计思想,在导光板设计

初期,就从成型的角度,对导光板注射成型进行计算机翘曲仿真,研究不同微特征结构方案对导光板翘曲变形的影响,为导光板光学设计阶段微特征结构的选择提供参考,缩短产品开发周期和节约试制成本。

2 导光板微特征结构的设计

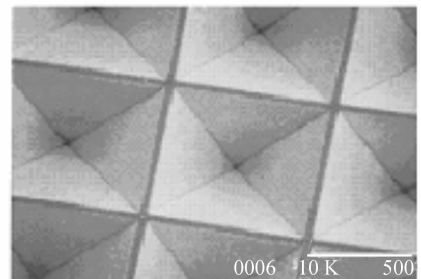
2.1 导光板的设计方法

导光板的设计主要是基于几何光学原理,常



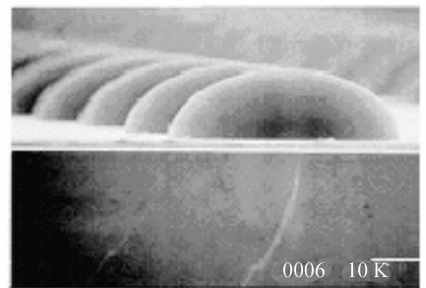
(a) V 沟槽阵列

(a) V groove array



b. 金字塔阵列

(b) Pyramid array



c. 微透镜阵列

(c) Micro lens array

图1 导光板上的微特征结构

Fig. 1 Micro-feature structures in light guide plate

用的方法有:(1)狭窄化法:在狭窄化法中,楔形是常见的导光板形状,采用楔形形状的主要目的是利用导光板形状的改变,来改变光的全反射条件;(2)加入扩散点法:在导光板底部加入大小不一的扩散点,并以不同密度分布在底面,利用散射原理,将入射光线散射后穿透导光板表面;(3)加入微特征结构:在导光板的表面加工出一些锯齿或半圆形的微特征结构,利用微特征结构来改变光线在导光板中的全反射。导光板上常用的几种微特征结构如图 1 所示。用狭窄化方法和加入微特征结构方法设计的导光板均采用精密注射成型方法制造,而注射成型微特征结构导光板是目前的发展主流。

2.2 导光板的微特征结构设计

本文基于五种不同微特征结构(V型凹槽阵列、U型凸槽阵列、金字塔阵列、圆环阵列以及微透镜(圆凸点)阵列)仿真研究不同的微特征结构对导光板翘曲变形的影响。研究的导光板抽象模型总体结构尺寸为 $11\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$,微特征结构的尺寸为:V型凹槽阵列和U型凸槽阵列相同,槽与槽间隔 0.5 mm ,共有 19 条微槽,金字塔阵列、圆环阵列以及微透镜(圆凸点)阵列结构相同,同为 19×5 个微特征结构,各微特征结构中心间隔为 0.5 mm 。V型凹槽为等腰直角三角形,直边长 0.2 mm ,高 0.1 mm ,槽长 3 mm ;U型凸槽为直径 0.2 mm 的半圆型,槽长 3 mm ;金字塔微结构底面为正方形,边长 0.2 mm ,高 0.1 mm ;圆环微结构内圆直径为 0.2 mm ,外圆直径为 0.3 mm ,高为 0.1 mm ;微透镜(圆凸点)微结构为半径 0.1 mm 的半球,如图 2-6 所示。

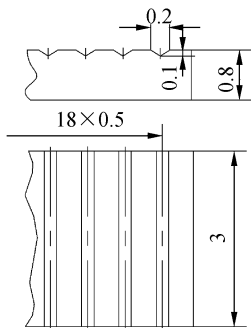


图 2 V 型凹槽结构微特征示意图
Fig. 2 Micro V groove structure

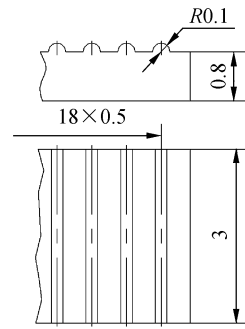


图 3 U 型凸槽结构微特征示意图
Fig. 3 Micro U protrude structure

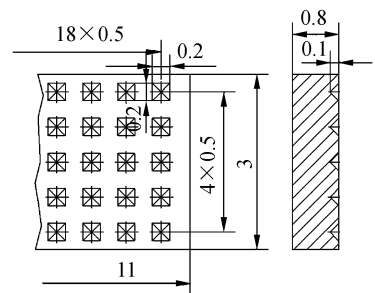


图 4 金字塔结构微特征示意图
Fig. 4 Micro pyramid structure

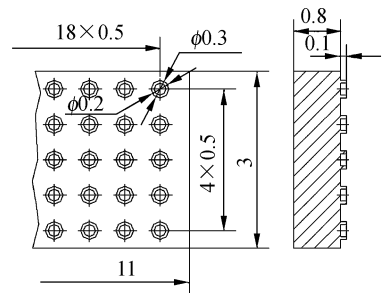


图 5 圆环结构微特征示意图
Fig. 5 Micro cirque structure

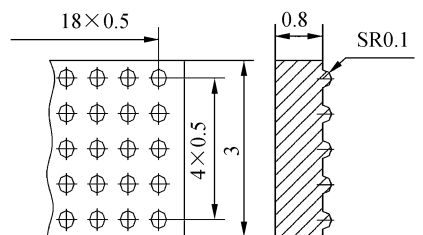


图 6 微透镜结构微特征示意图
Fig. 6 Micro lens structure

3 仿真与结果分析

3.1 试验材料

试验材料采用 Nova Chemicals 公司的型号为 NAS30 的聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA), 当剪切速率在 10 到 $1.0 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$ 变化时, 它的粘度在 $1.0 \times 10^3 \sim 1.0 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 之间变化, 推荐的模具温度为 $30 \sim 80^\circ\text{C}$ 、熔体温度为 $210 \sim 280^\circ\text{C}$, 它的主要物性参数如表 1 所示。

表 1 NAS30 型号 PMMA 的物性参数

Tab. 1 Property of NAS30 type PMMA

Property parameters	Symbol	Unit	Value
Poisson ratio	ν		0.355
Elastic modulus	E	MPa	2 740
Transition temperature	T_g	$^\circ\text{C}$	95
Density	ρ	g/cm^3	1.10
Specific heat	C_p	$\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$	0.21
Thermal conductivity	K	$\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$	2 300

3.2 Moldflow 仿真建模

利用 Pro/E2001 建立导光板模型, 存为 STL 格式文件, 导入 Moldflow MPI5.0 中, 采用三角形单元和 Fusion 流动模型进行网格划分, 并对微特征结构进行局部网格细化。模具采用一模四腔, 浇注系统采用 H 型结构, 主流道上端直径为 3 mm、下端直径为 5 mm, 长为 40 mm, 分流道和

侧流道采用半圆形结构, 半径、长度分别为 2 mm、20 mm 和 1.5 mm、10 mm, 采用扇形浇口。由于模具结构对称, 在建立分析模型时, 对主流道、分流道、浇口、型腔的重复系数依次进行定义: 主流道的重复次数为 1, 分流道的重复次数为 2, 侧流道的重复次数为 4。简化后的分析模型如图 7 所示。

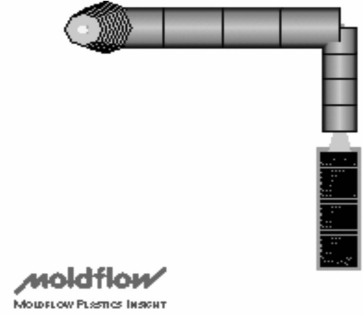


图 7 导光板模型简化示意图

Fig. 7 Moldflow model of light guide plate

3.3 虚拟实验方案与仿真结果

虚拟实验中模具温度 T_{mold} 、熔体温度 T_{resin} 、注射时间 $t_{\text{injection}}$ 、保压压力 P_{hold} 设置如表 2 中的试验条件栏所示, 其它参数设置为: 保压时间为 2s, 速度/压力转换设置为充填百分比 99%, 开模时间为 5s, 开模温度为 85°C , 翘曲变形的仿真分析采用 Moldflow MPI5.0 的 Flow+Warp 功能模块。不同工艺参数条件下, 5 种微征结构导光板翘曲仿真结果如表 2 所示。

表 2 仿真工艺设置与导光板最大翘曲量 (mm)

Tab. 2 Simulation process parameters and maximal warpage(mm)

Simulation process parameters		Micro-feature structures	micro V	micro	micro	micro	micro
			groove array	cirque array	pyramid array	protrude array	lens array
$P_{\text{hold}} = 90\% P_m$	$T_{\text{mold}} = 34^\circ\text{C}$		0.027 7	0.024 5	0.028 2	0.028 0	0.031 3
$T_{\text{injection}} = 0.2\text{S}$	$T_{\text{mold}} = 54^\circ\text{C}$		0.029 1	0.024 1	0.027 3	0.029 7	0.033 3
$T_{\text{resin}} = 236^\circ\text{C}$	$T_{\text{mold}} = 74^\circ\text{C}$		0.029 6	0.025 6	0.029 9	0.031 3	0.033 8
$P_{\text{hold}} = 90\% P_{\text{injection}}$	$T_{\text{resin}} = 216^\circ\text{C}$		0.029 0	0.024 3	0.029 2	0.029 8	0.032 7
$T_{\text{injection}} = 0.2\text{S}$	$T_{\text{resin}} = 236^\circ\text{C}$		0.029 1	0.024 1	0.027 3	0.029 7	0.033 3
$T_{\text{mold}} = 54^\circ\text{C}$	$T_{\text{resin}} = 256^\circ\text{C}$		0.028 8	0.023 8	0.028 4	0.029 1	0.031 8
$P_{\text{hold}} = 90\% P_{\text{injection}}$	$T_{\text{injection}} = 0.1\text{S}$		0.027 5	0.022 9	0.027 3	0.028 0	0.030 8
$T_{\text{resin}} = 236^\circ\text{C}$	$T_{\text{injection}} = 0.2\text{S}$		0.029 1	0.024 1	0.028 7	0.029 7	0.033 3
$T_{\text{mold}} = 54^\circ\text{C}$	$T_{\text{injection}} = 0.3\text{S}$		0.029 9	0.024 7	0.027 3	0.030 3	0.033 0
$T_{\text{melting}} = 236^\circ\text{C}$	$P_{\text{hold}} = 70\% P_{\text{injection}}$		0.031 4	0.028 2	0.030 3	0.032 5	0.039 7
$T_{\text{injection}} = 0.2\text{S}$	$P_{\text{hold}} = 90\% P_{\text{injection}}$		0.029 1	0.024 1	0.027 3	0.029 7	0.033 3
$T_{\text{mold}} = 54^\circ\text{C}$	$P_{\text{hold}} = 110\% P_{\text{injection}}$		0.026 9	0.022 0	0.026 5	0.026 9	0.029 6

3.4 结果分析

不同的模具温度、熔体温度、注射时间和保压压力下,不同微特征结构导光板的最大翘曲变形量变化趋势如图 8-11 所示,分析表 2 和图 8-11 可以得出:

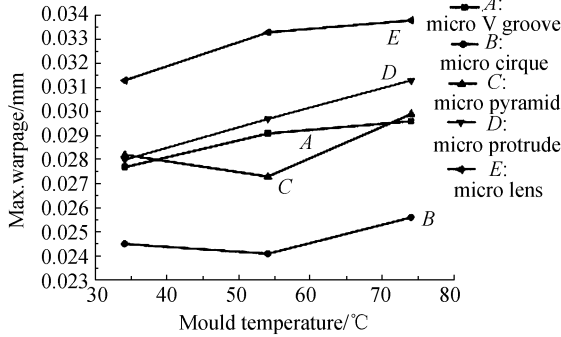


图 8 模温对不同微特征结构导光板翘曲变形的影响
Fig. 8 Influence of mould temperature on warpage of different micro-feature structures

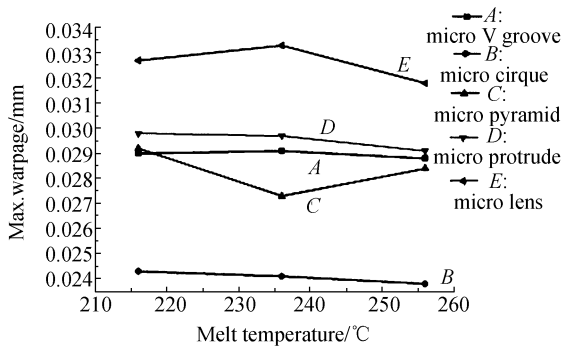


图 9 熔体温度对不同微特征结构导光板翘曲变形的影响
Fig. 9 Influence of polymer melt temperature on warpage of different micro-feature structures

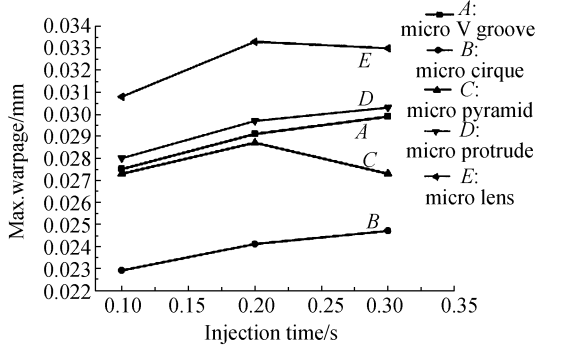


图 10 注射时间对不同微特征结构导光板翘曲变形的影响
Fig. 10 Influence of injection time on warpage of different micro-feature structures

(1) 不同微特征结构对导光板成型的翘曲变

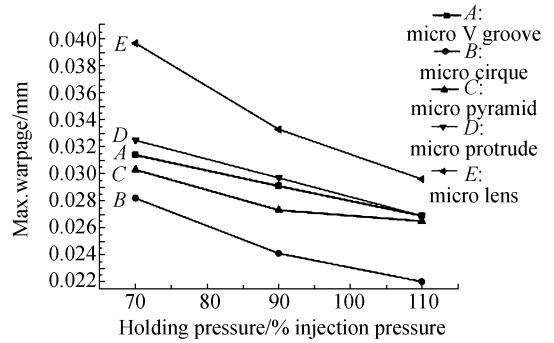


图 11 保压压力对不同微特征结构导光板翘曲变形的影响
Fig. 11 Influence of holding pressure on warpage of different micro-feature structures

形有一定的影响,相同的成型工艺参数下,导光板的最大翘曲量并不相同。

(2) 无论改变哪个工艺参数,微特征结构对导光板成型的最大翘曲量影响大小排序为:圆凸点>U型凸槽>V型凹槽>金字塔>圆环。微圆凸点阵列导光板最大翘曲量为 0.039 7 mm,相同工艺参数下圆环微结构阵列导光板最小翘曲量为 0.028 2 mm,两者相差达 40.78%。

(3) 凹结构微特征对导光板翘曲量的影响幅度总是小于凸结构微特征。

(4) 相同微特征结构的导光板在同一工艺参数变化下,保压压力对翘曲量变化的影响大于模具温度、注射时间和熔体温度。

(5) 随着工艺参数的变化,带有 V 型凹槽、圆凸点、U 型凸槽和圆环微特征结构的导光板的翘曲变化趋势相同,而金字塔微特征结构导光板的翘曲变化趋势与其他四种微结构不同。

4 结 论

本文通过对圆凸点、U 型凸槽、V 型凹槽、金字塔、圆环五种微特征结构阵列导光板的计算机翘曲仿真,首次从成型的角度研究了导光板设计中不同微特征结构的选择对导光板注射成型翘曲变形的影响。仿真结果表明圆环阵列导光板翘曲变形最小,微圆凸点阵列导光板最大翘曲量为 0.039 7 mm,圆环微结构阵列影响最小,相同工艺参数下圆环微结构阵列导光板最小翘曲量为 0.028 2 mm,两者相差达 40.78%,并且凹结构微特征阵列对导光板翘曲量的影响幅度总是小于凸

结构微特征阵列,更有利于导光板的注射成型,在导光板设计中应优先选用圆环等凹微结构阵列。在导光板设计中应综合光学设计和成型两个方面设计合适的微特征结构,从成型的角度来仿真研

究不同微结构设计对导光板注射成型翘曲变形的影响,体现了面向制造和并行设计的思想,对缩短产品开发周期,降低成本,有效提高导光板质量具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 陈庆伟,刘正舜.背光模组技术介绍[J].电子与材料杂志,1999,1(1):104-107.
CHEN Q W,LIU ZH SH. Introduction of backlight module technology[J]. *J. Electron & Mater.*, 1999, 1(1): 104-107. (in Chinese)
- [2] 张增宝,翁志成,丛小杰,等.液晶背投电视中蝇眼透镜阵列照明系统的设计[J].光学精密工程,2002,10(2):126-129.
ZHANG Z B,WENG Z C,CONG X J, *et al.*. Design on a fly lens array illumination system applied in LC rear projective TV[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002,10(2):126-129. (in Chinese)
- [3] 段萍. LCD背后光源产业及技术[J].国际光电与显示,2002,6:23-26.
DUAN P. LCD backlight industry & technology[J]. *Int. Photoelectron Display*, 2002,6:23-26. (in Chinese)
- [4] 王信阳.背光模组用导光板发展课题[J].光连双月刊,2003,44(3):41-44.
WANG X Y. Light guide plate of backlight module[J]. *J. Opto-Link Bimonthly*, 2003,44(3):41-44. (in Chinese)
- [5] 潘重德.背光模组的技术发展趋势[J].电子与材料杂志,2003,17(2):50-54.
PAN Z D. Development trend of backlight module[J]. *J. Electron Mater.*, 2003,17(2):50-54. (in Chinese)
- [6] 蔡俊钦.导光板光学设计及制程之最佳化研究[D].国立高雄应用科技大学,2004.
TSAI Z Q. Optimization of the optical design and processes condition for light guide plate[D]. *National KaoHiung University of Applied Sciences*, 2004. (in Chinese)
- [7] SHEN Y. K, WU W Y. Study on numerical simulation and experiment of lightguide plate in injection molding[J]. *J. Reinforced Plastics and Composites*, 2004, 23(11):1187-1206.
- [8] LI Y Y, CHEE G K, JAMES L, *et al.*. Experimental investigation and numerical simulation of injection molding with micro-features[J]. *Polymer Eng. Sci.*, 2002, 42(5): 871-888.
- [9] 蒋金波,杜雪,李荣彬,等.用于手机背光模组的轮廓渐变V-槽形自由曲面结构的新颖设计[J].液晶与显示,2003,20(3):178-184.
JIANG J B, DU X, LEE R B, *et al.*. Design of the freeform V-cut optics in the cell phone backlight system[J]. *Chin. J. of Liquid Cryst. Displ.*, 2003, 20(3):178-184. (in Chinese)
- [10] 蒋宗树.导光板导光设计之研究[D].中国台湾:中原大学,2003.
JIANG Z SH. Study on the light guide design in a light guide plate[D]. *Chung Yuan Christian University*, 2003. (in Chinese)
- [11] 方育斌.LCD背光模组之光学最佳化设计[D].中国台湾:国立成功大学,2004.
FANG Y B. The optimization of optical design for LCD backlight module[D]. *National Cheng Kung University*, 2003. (in Chinese)
- [12] 勾治践,樊仲维,卢铿,等.光学塑料透镜注射成型关键技术的研究[J].光学精密工程,2000,8(6):526-531.
GOU Z J,FAN Z W,LU E, *et al.*. Injection molding method for optical plastics lens[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2000, 8(6):526-531. (in Chinese)
- [13] CHEN X, LAMA Y C, LI D Q. Analysis of thermal residual stress in plastic injection molding[J]. *J. Mater. Process. Technol.*, 2000,101:275-280.
- [14] CHOI D S, IM Y T. Prediction of shrinkage and warpage in consideration of residual stress in integrated simulation of injection molding[J]. *Composite Structures*, 1999, 47: 655-665.
- [15] LI D, ZHOU H. Modeling and simulation of residual stress and warpage in injection moulding[C]. *Proc. Inst. Mech. Engrs Part C: J. Mechanical Engineering Science, IMechE*, 2004:521-530.

作者简介:蒋炳炎(1963—),男,教授,从事先进制造技术,微注射成型及 MEMS 的研究;E-mail: jby@mail.csu.edu.cn