

文章编号 1004-924X(2007)11-1738-07

# 注射成型参数对微结构阵列导光板翘曲量的影响

蒋炳炎, 吴旺青, 彭华建, 罗建华

(中南大学 机电工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:**为研究不同的工艺参数对微结构阵列导光板翘曲变形的影响,以微结构阵列导光板的翘曲量为质量目标,利用MoldFlow MPI5,仿真研究了不同工艺参数下,尺寸规格为11 mm×3 mm×0.8 mm导光板的翘曲变形。采用正交实验法找出影响微结构阵列导光板翘曲变形最小参数组合,然后采用单因素法仿真研究不同工艺参数对微结构阵列导光板翘曲变形的影响。结果表明,保压压力对微结构阵列导光板翘曲变形的贡献率最大(60.19%),其次是注射时间(13.13%),成型工艺参数对微结构阵列导光板翘曲量的影响顺序为:保压压力>注射时间>保压时间>熔体温度>冷却时间。结果表明,在微结构阵列导光板注射成型阶段,就应考虑不同工艺参数对微结构导光板注射成型翘曲变形的影响,并优先考虑保压压力的设置,以减少微结构阵列导光板微注射成型的翘曲量。

**关键词:**导光板;翘曲;微结构阵列;注射成型;仿真

**中图分类号:**TN141.9 **文献标识码:**A

## Effect of injection molding processing parameters on light guide plate with microstructure array

JIANG Bing-yan, WU Wang-qing, PENG Hua-jian, LUO Jian-hua

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** The influence of different processing parameters on the warpage and deformation of a 11 mm×3 mm×0.8 mm light guide plate with microstructure array was simulated by the MoldFlow MPI5. The optimized parameter of each factor's contribution to the light guide plate with microstructure array was studied with orthogonal experimental method, and then the single factor experimental method was utilized to study the effect of different processing parameters on the warpage and deformation of the light guide plate with microstructure array. The results show that holding pressure contributes the most to the warpage and deformation (60.19%), and the injection time is the second one (13.13%). The single factor experimental simulation shows that the influence degree of process parameters on warpage can be ordered in pressure> injection time > holding time> melt temperature> cooling time. Therefore, the influence of different processing parameters on the injection molding of the light guide plate should be considered in priority, especially the holding pressure's setting.

**Key words:** light guide plate; warpage; microstructure array; injection molding; simulation

收稿日期:2007-03-15;修订日期:2007-07-09.

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

LCD 背光模组中导光板类零件具有薄壁和表面带微结构等特征。当前,48 cm(19 in)以下的 LCD 导光板均采用精密注射成型方法制造<sup>[1-2]</sup>。导光板上的微特征结构大小在 0.2 mm 以下,排列间距从密到疏介于 0.02~0.625 mm 之间,导光板的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质量具有很大的影响<sup>[3]</sup>。蔡俊钦研究了 V 型沟槽导光板,利用 Moldex 3D 软件进行模流分析,发现导光板的翘曲变形是影响导光板光学品质的主要原因<sup>[4]</sup>;Liyong Yu 等人研究了带微结构薄壁零件的注射成型,认为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<sup>[5]</sup>。导光板的成型质量主要靠光学设计、模具设计、注塑成型等阶段来保证,各阶段之间有密切关系<sup>[6-12]</sup>。本文的研究目的在于采用面向制造设计和并行设计思想,运用 Moldflow MPI5.0 分析软件研究导光板注射成型过程,研究不同工艺参数组合及单个工艺参数对导光板翘曲变形的影响,为导光板成型模具设计及工艺参数设置提供参考,缩短产品开发周期和节约试制成本。

## 2 浇注与冷却系统建模

### 2.1 微结构零件 CAD 模型

本文采用抽象简化后的导光板为研究对象,如图 1 所示。导光板上表面有  $5 \times 19$  阵列的凸圆柱微结构特征(尺寸规格: $\Phi 0.2 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm}$ )。利用 Pro/E2001 建立导光板 CAD 模型,材料选用光学塑料聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA,NAS30)。

### 2.2 Moldflow MPI5.0 仿真建模

将导光板模型另存为 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,并对微结构特征进行局

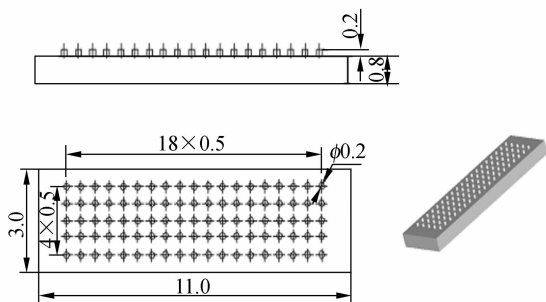


图 1 导光板模型图(单位:mm)

Fig. 1 Light guide plate model

部网格细化,得到三角形面单元 6 074 个、点 3 039 个。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、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。冷却水路设置为上、下两层,水道直径为 10 mm,距导光板中心面 15 mm。建模后整个模型的三角形面单元 30 288 个、点 15 604 个、梁单元 446 个,如图 2 所示。

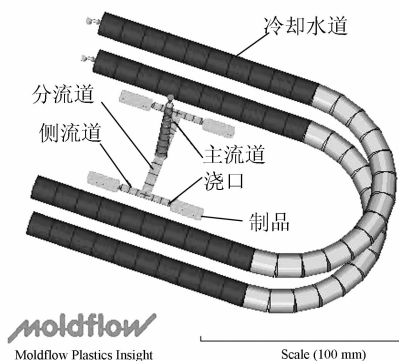


图 2 浇注及冷却系统模型图

Fig. 2 Running and cooling system model

## 3 微结构零件翘曲量分析

### 3.1 最佳工艺参数的确定

根据前人的分析经验<sup>[13]</sup>,采用六因子三水平的正交实验方法,以制品的最大翘曲量为质量指标。实验因子分别为模具温度、熔体温度、注射时间、保压压力、保压时间、冷却时间,各因子分别适当地确定三个水平,选用正交表  $L_{18}(3^7)$  进行实验,工艺参数及水平设计如表 1 所示。

表 1 工艺参数及参数水平

Tab. 1 Processing parameters and their levers

水平	A 模具温度 (°C)	B 熔体温度 (°C)	C 注射时间 (s)	D 保压压力 (MPa)	E 保压时间 (s)	F 冷却时间 (s)
1	100	220	0.2	70	2	4
2	120	240	0.5	80	4	6
3	140	260	0.8	90	6	8

在 MoldFlow 中,采用 Cool + Fill + Warp (CFW)组合,进行制品翘曲变形仿真。设置冷却水管入口处水的温度和环境温度为 25 °C,开模时间为 5 s,制件脱模温度为 85 °C。

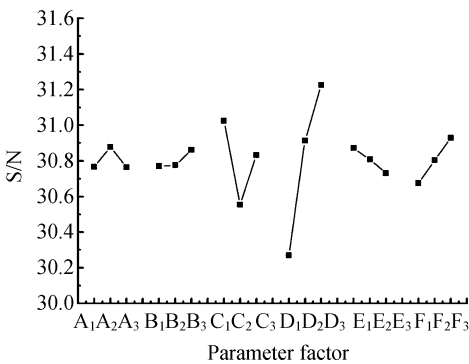
对仿真结果进行方差分析<sup>[14]</sup>,结果如表 2 所

示。由表 2 可知,保压压力和注射时间对导光板翘曲变形的贡献率分别为 60.19%和 13.13%,而模具温度、熔体温度以及保压时间对翘曲变形的贡献率很小。

表 2 方差分析表

Tab. 2 Square error analysis table

因子	平方和	自由度	均方和	F 值	显著性	贡献率/%
A(模具温度)	0.264 8	2				
B(熔体温度)	0.170 3	2				
C(注射时间)	3.570 1	2	1.785 1	4.435 0	*	13.13
D(保压压力)	15.094 7	2	7.547 3	18.751 1	**	60.19
E(保压时间)	0.314 9	2				
F(冷却时间)	1.029 7	2		1.279 3	2.6	
e	3.677 4	5				
e' $\left\{ \begin{array}{l} e \\ A \\ B \\ E \end{array} \right.$	4.427 4	11	0.402 5			23.36
总和	24.122 0	17				100
$F_{0.01}(2,11)=7.21$	$F_{0.05}(2,11)=3.98$		$F_{0.1}(2,11)=2.86$	$F_{0.25}(2,11)=1.58$		



工艺参数对制品翘曲量影响趋势 S/N 如图 3 所示。通过 S/N 对比分析,可得出最佳工艺参数组合如表 3 所示。

表 3 最佳工艺参数组合表

Tab. 3 Optimized processing parameters

工艺参数	模具温度 (°C)	熔体温度 (°C)	注射时间 (s)	保压压力 = (注射压力)% (MPa)	保压时间 (s)	冷却时间 (s)
数值	120	260	0.2	90	2	8

图 3 工艺参数对制品翘曲量影响趋势

Fig. 3 Effect of processing parameters on S/N ratio of warpage

### 3.2 单个工艺参数取值范围确定

根据最佳工艺参数组合,研究了单个工艺参数对导光板翘曲量单因素的影响。采用和前面一

致的工艺参数设置。单个工艺参数取值如表 4 所示。单个工艺参数变化时,其他工艺参数取值见表 3。

表 4 单个工艺参数数值变化表

Tab. 4 Numerical variations of single processing parameters

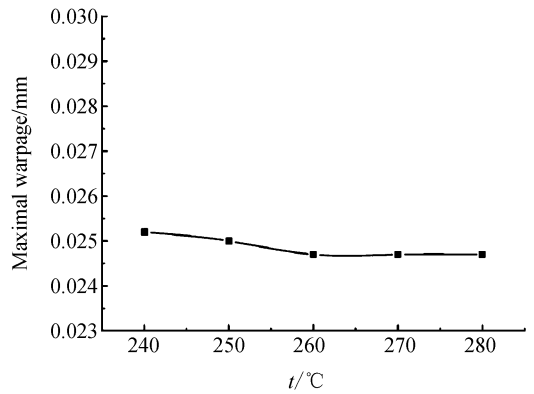
工艺参数	参数数值变化值				
熔体温度(°C)	240	250	260	270	280
注射时间(s)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
保压压力(%)	70	80	90	100	110
保压时间(s)	0.5	1	2	3	4
冷却时间(s)	5	6	8	10	12

## 4 结果与讨论

由于受国内微结构阵列导光板注射成型实验条件的限制,本文引用参考文献[15]实验结果与单因素法仿真结果进行对比。由于实验制品聚苯乙烯平板(常规注射成型制品)与仿真制品微结构阵列导光板(薄壁、微注射成型制品)为不同类型的制品,导致仿真与实验条件存在差异。同时,由于微结构阵列导光板本身结构特点,任何微小的翘曲变形对制品性能都会产生很大影响,所以它与聚苯乙烯平板制品所允许的最大翘曲量的数量级也不同。仿真与实验的相同之处在于都是采用单因素法来研究工艺参数对翘曲变形的影响。鉴于上述仿真与实验的异同点,本文仅定性分析比较两种制品的最大翘曲量随不同工艺参数的变化趋势,为未来微结构阵列导光板类零件的注射成型实验研究提供参考。

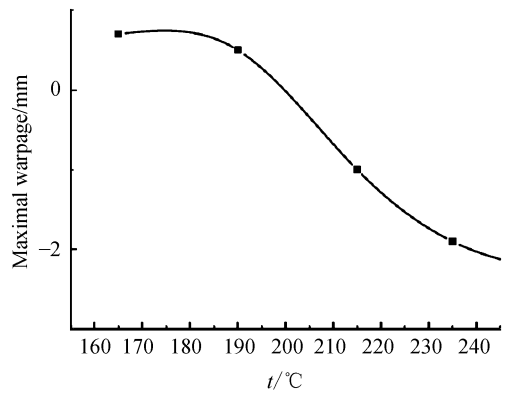
### 4.1 熔体温度对导光板翘曲变形的影响

熔体温度较低时,导光板翘曲量较大,随着熔体温度的增加,导光板的翘曲量逐渐减小,并趋于一定值,如图 4(a)所示。熔体温度升高使其粘度降低,剪切速率增大,压力传递效率提高,从而提高模腔压力,增大补料量,降低平板收缩,减少翘曲变形。比较图 4(a)、(b)可知,仿真结果与实验结果的变化趋势相同。



(a) 仿真结果

(a) Simulation results



(b) 实验结果

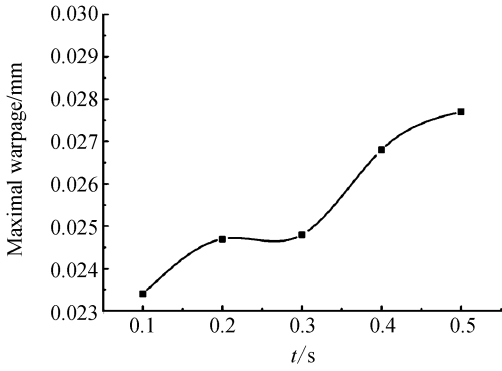
(b) Experimental results

图 4 熔体温度对制品翘曲变形的影响

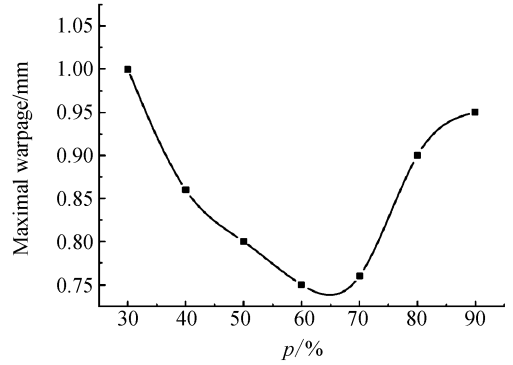
Fig. 4 Influence of melt temperature on warpage of part

### 4.2 注射时间对导光板翘曲变形的影响

随着注射时间的增加,导光板的翘曲量也增大,注射时间越短,翘曲量越小,如图 5(a)所示。比较图 5(a)、(b)可知,仿真结果与实验结果的变化趋势不相同。原因在于薄壁、微注射成型等制品采用高速注射时,除了可以使熔体温度维持在较高的水平之外,还可以使剪切速率增大,熔体粘度降低,流动阻力减小,料流长度和模腔压力都增大,所得制品将会比较密实和均匀。而且由于注射时间短,高速充模,熔体经过流道、浇口等处因摩擦而升温,所以制品分子定向程度小,制品翘曲变形小。但是,在常规制品的注射成型中,注射时间延长,可以使得更多的物料进入型腔,使平板收缩率更低,减少翘曲变形。



(a) 仿真结果  
(a) Simulation results



(b) 实验结果  
(b) Experimental results

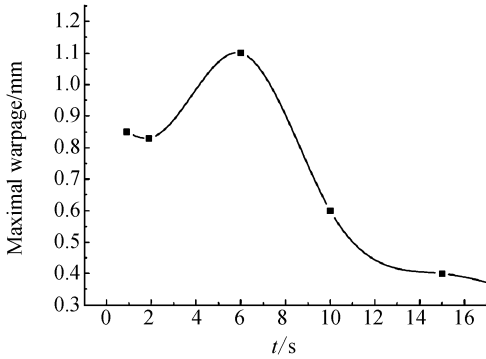
图 6 保压压力对制品翘曲变形的影响

Fig. 6 Influence of holding pressure on warpage of part

缩,从而增大残余应力,增加翘曲变形。比较图 6 (a)、(b)可知,仿真结果与实验结果的变化趋势相同。

### 3.4 保压时间对导光板翘曲变形的影响

保压时间越短,导光板翘曲量越大,随着保压时间的增加,翘曲量减小,如图 7(a)所示。随着



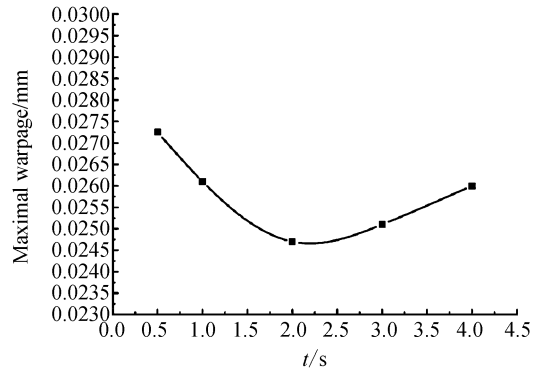
(b) 实验结果  
(b) Experimental results

图 5 注射时间对制品翘曲变形的影响

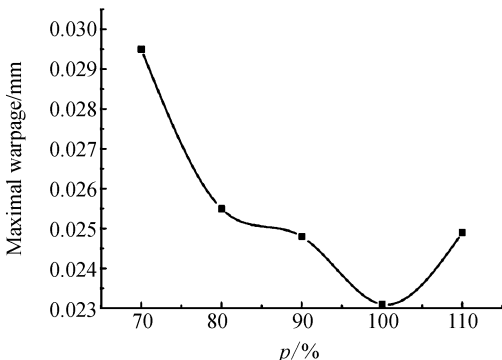
Fig. 5 Influence of injection time on warpage of part

### 4.3 保压压力对导光板翘曲变形的影响

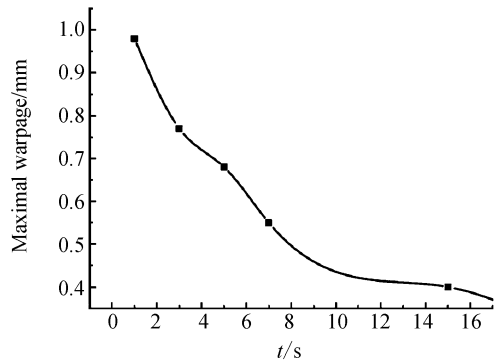
随着保压压力的增大,导光板的翘曲量急剧减小,如图 6(a)所示。增加保压压力有利于更多的熔体流入到型腔以弥补因冷却而产生的空隙,使制品更加密实,从而降低收缩率,减少翘曲变形。但过高的保压压力会造成制品的不均匀收



(a) 仿真结果  
(a) Simulation results



(a) 仿真结果  
(a) Simulation results



(b) 实验结果  
(b) Experimental results

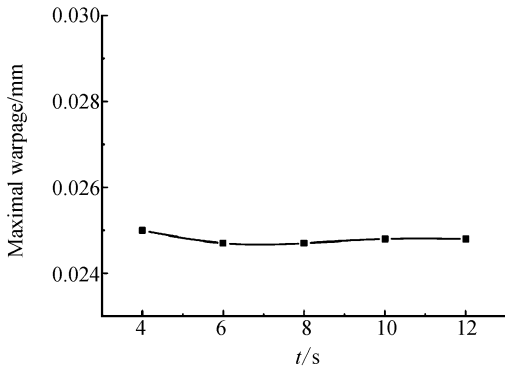
图 7 保压时间对制品翘曲变形的影响

Fig. 7 Influence of holding time on warpage of part

保压时间的增加,更多的熔体可以流入型腔以弥补因冷却而产生的空隙,降低制品收缩率,从而减小翘曲变形。但当保压时间超过浇口凝固时间时,由于浇口凝固导致保压失效,所以最终翘曲变形趋于一定值。比较图 7(a)、(b)可知,仿真结果与实验结果的变化趋势相同。

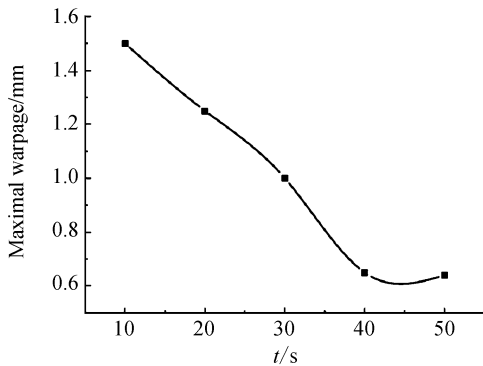
#### 4.5 冷却时间对导光板翘曲变形的影响

随着冷却时间的增加,导光板翘曲量减少并



(a) 仿真结果

(a) Simulation results



(b) 实验结果

(b) Experimental results

图 8 冷却时间对制品翘曲变形的影响

Fig. 8 Influence of cooling time on warpage of part

逐渐趋于平缓,如图 8(a)所示。冷却时间越短,出模时制品温度越高,收缩率越大,导致翘曲变形也越大。随着冷却时间的增加,模腔内熔体充分冷却硬化,出模后制品较稳定,收缩率减小,从而翘曲变形也越小。比较图 8(a)、(b)可知,仿真结果与实验结果的变化趋势相同。

## 5 结 论

(1) 采用正交实验法得到微透镜导光板注射成型最佳工艺参数为模具温度 120 °C,熔体温度 260 °C,注射时间 0.2 s,保压压力为注射压力的 90%,保压时间为 2 s,冷却时间为 8 s。方差分析表明,保压压力是影响微透镜阵列导光板翘曲变形的最重要的因子,它对翘曲变形的贡献率为 60.19%;其次为注射时间,贡献率为 13.13%;熔体温度、保压时间以及冷却时间对翘曲变形影响较小。

(2) 单因素实验仿真结果表明,成型工艺参数对微透镜阵列导光板翘曲量的影响顺序为保压压力>注射时间>保压时间>熔体温度>冷却时间。

(3) 正交实验仿真结果与单因素实验仿真结果对比结果表明,保压压力为微透镜阵列导光板注射成型最重要的工艺参数,实际生产中应着重考虑保压压力的合理设置。

## 参考文献:

- [1] 段萍. LCD 背后光源产业及技术[J]. 国际光电与显示(技术应用版),2002,6:23-26.  
DUAN P. LCD backlight industry & technology[J]. *International Photoelectricity and Display*, 2002, 6: 23-26. (in Chinese)
- [2] 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]. *Journal of Opto-Link Bimonthly*, 2003, 44(3): 41-44. (in Chinese)
- [3] 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 ZH D. Development trend of backlight module[J]. *Journal of Electron and Material*, 2003, 17(2): 50-54. (in Chinese)

- [4] 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.  
CAI J Q. *Optimization of the optical design and processes condition for light guide plate*[D]. National KaoHsiung University of Applied Sciences, 2004.
- [5] LI Y Y, CHEE G K, JAMES L, *et al.*. Experimental investigation and numerical simulation of injection molding with micro-features[J]. *Polymer Engineering and Science*, 2002, 42(5): 871-888.
- [6] 蒋金波, 杜雪, 李荣彬, 等. 用于手机背光模組的轮廓渐变 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, LI R B, *et al.*. Design of the freeform V-cut optics in the cell phone backlight system[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2003, 20(3):178-184. (in Chinese)
- [7] 蒋宗树. 导光板导光设计之研究[D]. 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)
- [8] 方育斌. LCD 背光模组之光学最佳化设计[D]. 国立成功大学, 2004.  
FANG Y B. *The optimization of optical design for LCD backlight module*[D]. Taiwan: National Cheng Kung University, 2004. (in Chinese)
- [9] 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 ZH J, FAN ZH W, LU E, *et al.*. Injection molding method for optical plastics lens[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2000, 8(6):526-531. (in Chinese)
- [10] CHEN X, LAMA Y C, LI D Q. Analysis of thermal residual stress in plastic injection molding[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2000, 101:275-280.
- [11] 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.
- [12] LI D, ZHOU H. Modeling and simulation of residual stress and warpage in injection moulding[J]. *Instn Mech. Engrs Part C: J. Mechanical Engineering Science, IMechE*, 2004, 218:521-530.
- [13] 蒋炳炎, 沈龙江, 罗建华, 等. 微特征结构对导光板翘曲变形影响的仿真研究[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(2):30-36.  
JIANG B Y, SHEN L J, LUO J H, *et al.*. Effects of different micro-feature structures on the warpage and deformation of light guide plate[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2):30-36. (in Chinese)
- [14] 余俊. 现代设计方法及应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.  
YU J. *Modern Design Method and Application*[M]. Beijing: China Standard Press, 2002. (in Chinese)
- [15] 郭志英. 注射制品翘曲变形数字模拟及试验研究[D]. 华中科技大学, 2001.  
GUO ZH Y. *Numeric simulation and experiment research on warpage and deformation of injection molding part*. [D]. Huazhong University of Science and Technology, 2001. (in Chinese)

作者简介: 蒋炳炎(1963—), 男, 国防科技大学教授, 研究方向为先进制造技术、微注射成型及 MEMS. E-mail: jby@mail.csu.edu.cn