

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.201712021



平板类塑件翘曲变形数值 模拟与实验分析

许建文, 刘斌

(华侨大学 数字化视觉测量厦门市重点实验室, 福建 厦门 361021)

摘要: 运用 Moldflow 分析软件,选取模具温度、熔体温度、保压压力与保压时间四因素三水平安排正交实验,模拟平板类塑件的翘曲变形.以模拟为基础,在注塑机上进行实际注塑成型,扫描获取塑件三维数据,并用 Imageware 软件提取平板类塑件长边与短边的点云,计算宽度与长度方向的翘曲变形量.结果表明:翘曲变形模拟分析与实际注塑成型误差为 $-0.083\ 1\sim0.094\ 9\ \text{mm}$;保压压力、熔体温度、保压时间与模具温度对翘曲变形模拟分析的影响依次减小.

关键词: 翘曲变形; 注塑成型; 平板类塑件; Moldflow 软件; 正交实验

中图分类号: TQ 320.66 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2018)05-0636-06

Numerical Simulation and Experimental Analysis of Flat Plastic Products' Warpage

XU Jianwen, LIU Bin

(Xiamen key Laboratory of Digital Vision Measurement, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Warpage simulation of flat plastic products was conducted using Moldflow software. The mold temperature, melt temperature, packing pressure and packing time were selected as the analyzed factors with three levels to design the orthogonal experiment. Based on simulation, the actual injection molding was carried out and the plastic products' three-dimensional data was obtained by scanning. The Imageware software was adopted to extract clouds of flat plastic product's long side and short side, and to calculate the warpages of width and length. Results show that errors between the simulation and the actual injection molding range from $-0.083\ 1$ to $0.094\ 9\ \text{mm}$, and the impact on warpage in simulation analysis from process parameters packing pressure, melt temperature, packing time and mold temperature decreases successively.

Keywords: warpage; injection molding; flat plastic parts; moldflow soft; orthogonal experiment

翘曲变形是塑件常见的缺陷之一,作为评定塑件质量的重要指标,对其研究有着重要的应用价值^[1-3].翘曲变形的影响因素有材料、模具与工艺参数,当材料及模具确定以后,工艺参数就是起到左右塑件性能好坏的一个因素^[4-6].传统的注塑成型主要利用经验,在试模过程中不断调整工艺参数及修模,使塑件性能达到一个比较理想的状态,但是耗费的时间较多^[7-9].在产品注塑成型之前,运用 Moldflow 软件进行数值模拟分析,分析可能导致塑件翘曲变形的因素,减少不良成型的发生^[10-12].然而,数值模拟与实际成型有一定的差异,本文模拟塑件的翘曲变形,分析工艺参数对翘曲变形的影响.

收稿日期: 2017-12-13

通信作者: 许建文(1984-),男,实验师,主要从事聚合物材料模塑成型的研究. E-mail: xjianwen@hqu.edu.cn.

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(11J0072); 华侨大学实验教学改革与建设项目(66661506)

1 实验部分

1.1 材料和仪器

丙烯腈丁二烯苯乙烯共聚物 (ABS 8434A, 辽宁省盘锦市华锦通达化工股份有限公司); HD-100 型卧式注塑机 (浙江省杭州市海德塑料机械有限公司); MaxScan 型手持式激光扫描仪 (加拿大 Creaform 公司); 模温机 (江苏省昆山市科基塑胶机械有限公司)。

1.2 浇注系统的创建

平板类塑件的长×宽×高为 125 mm×55 mm×3 mm, 圆角半径为 5 mm. 注塑材料为 ABS 8434A, 推荐工艺参数如下: 模具温度为 25~70 ℃; 熔体温度为 210~280 ℃. 运用 Moldflow 软件优化后的浇注系统, 如图 1 所示. 图 1 中: 主流道小端直径为 3.5 mm, 大端直径为 6.5 mm, 长度为 85 mm; 分流道采用的圆形截面直径为 5 mm; 侧浇口的长度为 1 mm, 宽度为 3 mm, 厚度为 2 mm.

浇注系统创建后, 进行初步的填充分析, 确定注射时间及保压压力. 填充分析结果, 如图 2 所示. 由图 2 可知: 充填时间为 1.763 s, 因此取注射时间为 2 s; 充填阶段最大注射压力为 18.032 2 MPa, 保压压力为其 20%~100%; 为保证塑件的致密度, 取最小保压压力为 9 MPa.

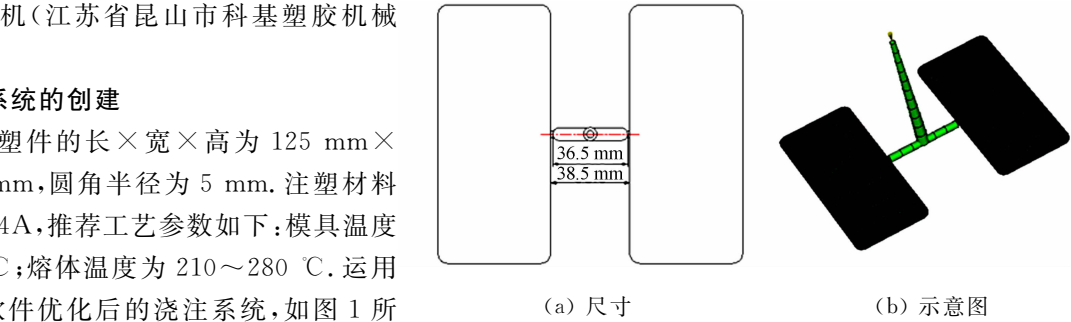


图 1 浇注系统
Fig. 1 Runner system

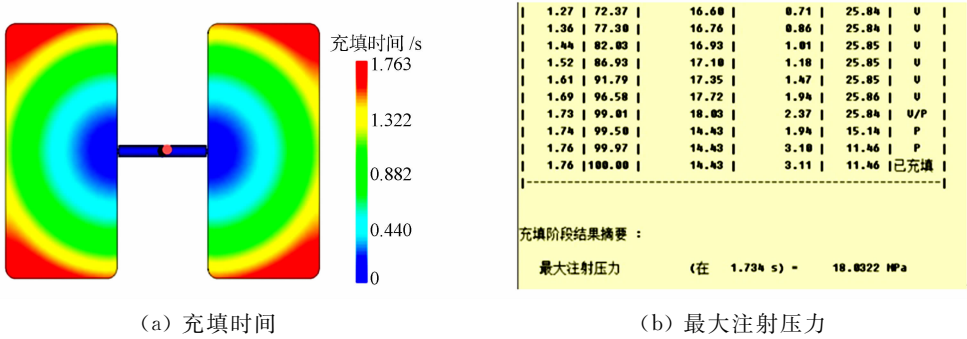


图 2 填充分析结果
Fig. 2 Results of fill analysis

1.3 冷却系统的创建

运用 Moldflow 软件优化后的冷却系统, 如图 3 所示. 图 3 中: 冷却管道直径为 10 mm; 模板的长度为 250 mm; 管道间距离为 20 mm; 浇注系统处管道间距离为 30 mm; 管道与塑件间的距离为 19 mm.

浇注系统及冷却系统创建后, 进行冷却分析, 并确定冷却时间. 分析结果, 如图 4 所示. 由图 4 可知: 制品冷却时间为 26.33 s, 故取冷却时间为 27 s.

以填充分析及冷却分析为基础, 通过流动分析确定保压时间. 22.01 s 时的冷冻层因子, 如图 5 所示. 图 5 中: 查询结果数字为 1, 表示完全冷却, 此时保压结束. 由图 5 可知: 22.01 s 减去注射时间 2 s, 即为最小保压时间, 故取最小保压时间为 20 s.

1.4 正交实验的安排

选取对塑件翘曲变形影响较大的 4 个工艺参数: 模具温度、熔体温度、保压压力、保压时间, 结合正交实验原理^[13], 以四因素三水平安排正交表 $L_9(3^4)$ 进行模拟分析, 实验因素水平表, 如表 1 所示. 表 1

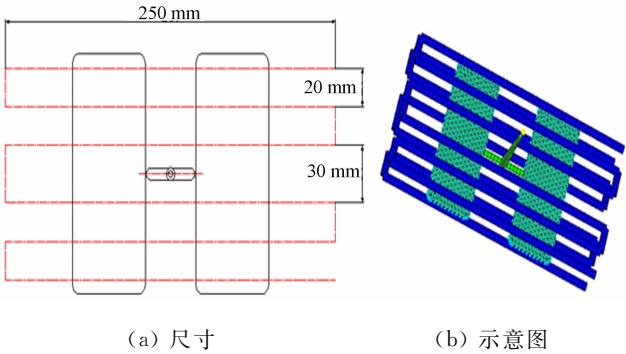


图 3 冷却系统
Fig. 3 Cooling system

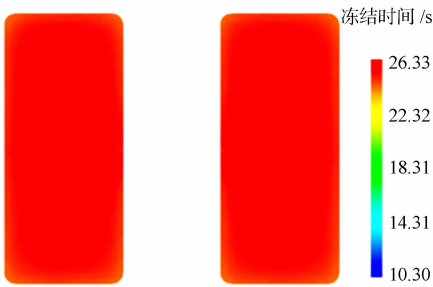


图 4 冷却时间变化情况

Fig. 4 Change situation of cooling time

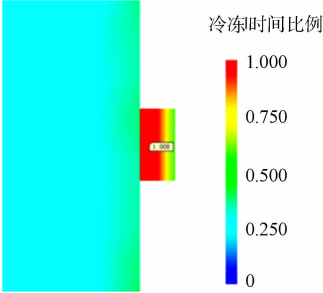


图 5 冷冻层因子变化情况

Fig. 5 Change situation of frozen layer fraction

中:A 为模具温度;B 为熔体温度;C 为保压压力;D 为保压时间. A,B,C 及 D 参数范围为 Moldflow 初步的分析结果,注射时间及冷却时间分别设置为 2,27 s.

1.5 实际注塑成型工艺参数的设置

以正交实验第一组工艺参数组合为例,模具温度的设置,如图 6(a)所示. 熔体温度的设置(设置料筒温度,即为一段的料筒温度值),如图 6(b)所示. 保压压力及保压时间设置,如图 6(c)所示. 注射时间固定为 2 s 的设置,如图 6(d)所示. 冷却时间固定为 27 s 的设置,如图 6(e)所示.

表 1 实验因素水平表

Tab.1 Level table of experiment factors

水平	因素			
	A/℃	B/℃	C/MPa	D/s
1	50	250	9	20
2	60	260	12	23
3	70	270	15	26



(a) 模具温度



(b) 熔体温度



(c) 保压压力和保压时间



(d) 注射时间



(e) 冷却时间

图 6 注塑成型工艺参数设置

Fig. 6 Processing parameter setting of injection molding

2 结果与讨论

2.1 翘曲变形数值模拟分析的数据处理

平板类塑件翘曲变形模拟分析结果表明:Z 方向的变形较小. 为了便于比较分析结果与实际成型之间差异,选取 X 与 Y 方向的翘曲变形最大值作为模拟比较对象.

根据分析结果,分别取平板类塑件侧面的 X 与 Y 方向的翘曲变形量,如图 7 所示. 由图 7 可知:由 X-与 X+方向,Y-与 Y+方向的翘曲变形量,可得宽度方向的最大翘曲变形量为 0.407 2 mm;长度方向的最大翘曲变形量为 0.879 2 mm. 平板类塑件翘曲变形模拟分析与实际成型实验结果,如表 2 所

示. 表 2 中: X_m, Y_m 为模拟分析的值; X_r, Y_r 为实际分析的值; η 为误差.

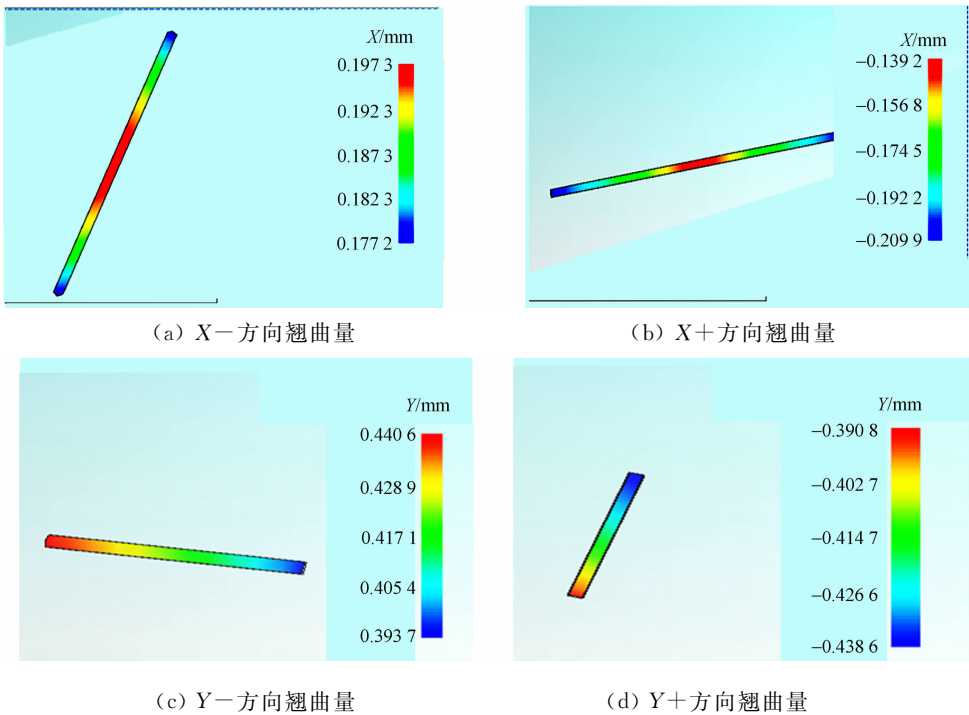


图 7 平板类塑件侧面方向的翘曲变形

Fig. 7 Warpage of side direction of flat plastic product

表 2 平板类塑件翘曲变形模拟分析与实际成型实验结果

Tab. 2 Simulation analysis and actual molding experiment results of warpage of flat plastic product

序号	A/℃	B/℃	C/MPa	D/s	X_m /mm	Y_m /mm	X_r /mm	Y_r /mm	$\eta(X)$	$\eta(Y)$
1	50	250	9	20	0.407 2	0.879 2	0.451 2	0.822 8	-0.044 0	0.056 4
2	50	260	12	23	0.468 4	1.055 4	0.383 3	1.070 3	0.085 1	-0.014 9
3	50	270	15	26	0.432 9	0.941 0	0.351 4	0.973 3	0.081 5	-0.032 3
4	60	250	12	26	0.444 7	0.952 2	0.418 6	0.887 9	0.026 1	0.064 3
5	60	260	15	20	0.461 5	0.997 9	0.419 8	0.903 0	0.041 7	0.094 9
6	60	270	9	23	0.372 4	0.793 5	0.424 4	0.719 1	-0.052 0	0.074 4
7	70	250	15	23	0.488 8	1.059 4	0.542 8	1.078 1	-0.054 0	-0.018 7
8	70	260	9	26	0.390 9	0.834 5	0.415 8	0.773 5	-0.024 9	0.061 0
9	70	270	12	20	0.401 0	0.856 6	0.484 1	0.885 7	-0.083 1	-0.029 1

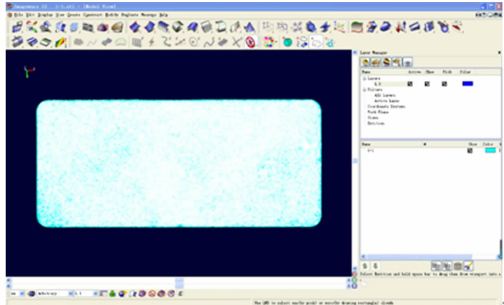
2.2 翘曲变形实际注塑成型的数据处理

根据扫描后的三维数据,运用 Imageware 软件进行点云数据处理. 首先,对齐点云数据;然后,分别提取长边及短边的点云;最后,进行点云差异分析,计算长边间及短边间的距离. 宽度及长度尺寸范围,如图 8 所示. 图 8 中:宽度为 54.548 8~54.970 2 mm;实际最小值为 54.548 8 mm,与塑件的宽度的理论值 55.000 0 mm 差值为 0.451 2 mm,即为宽度方向实际的最大的翘曲变形.

2.3 误差分析

由表 2 可知:宽度方向的翘曲变形的误差为 -0.083 1~0.085 1 mm,长度方向的翘曲变形的误差为 -0.032 3~0.094 9. 因此,翘曲变形的模拟分析与实际注塑成型之间有一点的差异,但是差异不大. 存在的误差主要有如下 6 个方面.

1) 材料的差异. Moldflow 分析采用的是系统里面的材料库,尽管所选择的材料与实际成型的材料的数据尽量保持一致,但难免会有一定的



(a) 对齐

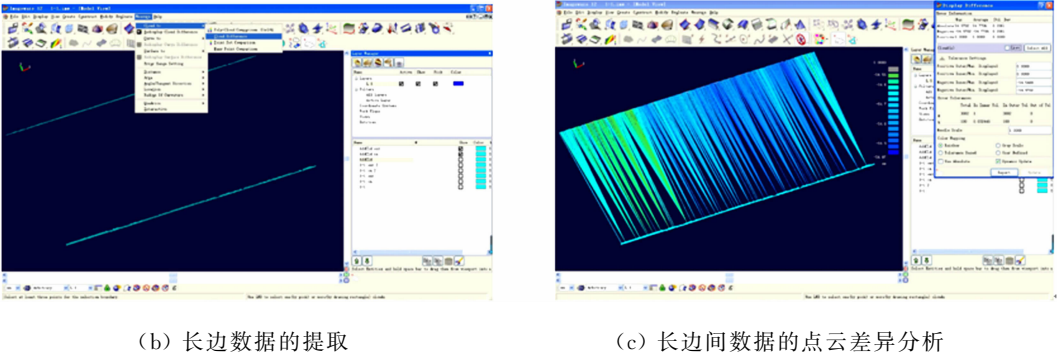


图 8 平板类塑件点云数据处理

Fig. 8 Cloud data processing of flat plastic product

差异,而不同材料的分析结果也会有有一定的不同,致使翘曲变形的结果与实际成型会有一些的误差。

2) 注塑成型误差. 注塑机的工艺参数是通过控制液压油的流动实现. 虽然有对液压油进行循环冷却,但是油温难免有波动,使得实际提供的动力有所误差. 因此,工艺参数的实际值有一个波动的范围,导致实际成型的塑件的参数与分析参数有一定的误差,致使最后塑件翘曲变形也有差异。

3) 测量误差. 三维分析结果误差,在扫描过程中由于设备存在系统误差,使得扫描的数据与真实的数据存在一定的误差。

4) 模具加工误差. 在模具加工诸如冷却系统、浇注系统与模具型腔等的加工过程中,由于机床的系统误差、刀具变形引起的误差,均导致模具加工的实际尺寸与理想尺寸存在一定的误差,特别是构成塑件形状的模具型腔,使实际成型塑件存在一定的误差. 为了检测模具型腔的误差值,采用手持式三维扫描仪扫描模具型腔,并利用 Imageware 软件进行数据处理,对模具型腔的加工误差进行评价. 模具型腔宽度方向的误差为 0.019 2 mm,长度方向的误差为 0.023 3 mm。

5) 喷显像剂造成的误差. 在对实际成型的塑件进行扫描之前,需要对其喷显像剂,这样使其表面附着一层薄薄的显像剂,但人为喷洒过程中难免存在薄层厚度的不均,导致扫描数据与实际塑件的真实三维数据有一定的误差。

6) 翘曲变形评价的误差. 翘曲变形是通过 Imageware 软件进行评价,软件数据转换本身存在一定的误差,而且在评价过程中,通过人为截取塑件的侧面数据,获取的侧面数据与 Moldflow 软件的侧面数据有一定的差异,从而存在一定的误差。

2.4 工艺参数对平板类塑件翘曲变形的影响分析

使用田口实验设计法中的变量分析(ANOVA),可以计算出各个工艺参数对平板类塑件翘曲变形宽度及长度方向的影响次序^[14]. 对模拟分析结果进行直观分析,即将各工艺参数在 3 个水平下的翘曲变形总变形量平均,计算公式^[15-16]为 $m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$. 其中: m 为工艺参数在某水平下的平均值; n 为该水平下出现的次数; x_i 为工艺参数在此水平下的翘曲变形量. 直观分析表,如表 3 所示. 表 3 中:极差 R 为各工艺参数最大平均值和最小平均值之差。

表 3 直观分析表
Tab. 3 Direct analysis table

工艺参数	宽度				长度			
	A	B	C	D	A	B	C	D
均值 1	0.436	0.447	0.390	0.423	0.959	0.964	0.836	0.911
均值 2	0.426	0.440	0.438	0.443	0.915	0.963	0.955	0.969
均值 3	0.427	0.402	0.461	0.423	0.917	0.864	0.999	0.909
极差 R	0.010	0.045	0.071	0.020	0.044	0.100	0.163	0.060
排序	4	2	1	3	4	2	1	3

由表 3 可知:极差的大小可直观得出各工艺参数对塑件宽度及长度方向的翘曲变形从大到小的影响次序,均为保压压力、熔体温度、保压时间与模具温度;对于宽度方向的翘曲变形,工艺参数对其影响

程度相差不大;对于长度方向的翘曲变形,保压压力及熔体温度影响较为显著,保压时间及模具温度则影响不大.

3 结论

1) 平板类塑件宽度及长度方向的翘曲变形模拟分析与实际注塑成型之间有一点差异,但是差异不大,误差为 $-0.0831 \sim 0.0949$ mm.造成误差的原因主要为材料的差异、注塑成型误差、测量误差、模具加工误差、喷显像剂造成的误差及翘曲变形评价的误差等方面.

2) 保压压力、熔体温度、保压时间与模具温度4个参数对平板类塑件宽度及长度方向的翘曲变形影响依次减小.

参考文献:

- [1] 任清海,翁楠,耿铁.注塑制品翘曲变形的影响因素及对策[J].塑料制造,2015(5):69-72. DOI:10.16587/j.cnki.issn1727-2890.2015.05.003.
- [2] 孙显俊,苏旭明,毛江辉,等.复杂几何体注塑制品翘曲变形模拟仿真[J].南京航空航天大学学报,2015,47(5):752-759. DOI:10.16356/j.1005-2615.2015.05.020.
- [3] XU Yingjie,ZHANG Qingwen,ZHANG Weihong,*et al.* Optimization of injection molding process parameters to improve the mechanical performance of polymer product against impact[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2015,76(9/10/11/12):2199-2208. DOI:10.1007/s00170-014-6434-y.
- [4] 莫彦波,李旭东,唐园亮.注塑成型工艺参数对电脑显示器前框翘曲变形的影响[J].塑料,2015,44(5):94-96.
- [5] 刘玉,张罗,申昱.汽车内饰件翘曲变形的CAE分析及优化设计[J].模具技术,2017(4):6-10.
- [6] 隆灯梅.MoldFlow模流分析在解决塑件翘曲变形中的应用[J].模具制造,2009,9(11):17-20. DOI:10.13596/j.cnki.44-1542/th.2009.0285.
- [7] 杨安,肖国华,华明伟.模流数值分析与试模工艺参数实践设置计算[J].模具技术,2015(3):5-9.
- [8] 孙国栋,刘长华.基于Moldflow软件的双色注射成型过程研究[J].塑料工业,2016,44(1):48-50.
- [9] 薛玮珠.基于CAE分析的汽车饰件顺序注射模具成型研究[J].机电工程,2015,32(5):622-625.
- [10] 王金海,梁卫海,李岩,等.CAE分析在改善模内注射塑件翘曲变形中的应用[J].模具工业,2016,42(7):15-18. DOI:10.16787/j.cnki.1001-2168.dmi.2016.07.003.
- [11] 孙健华,顾海,张捷,等.基于CAE和DOE技术的薄壁塑件翘曲变形分析及优化[J].计算机辅助工程,2017,26(3):40-44. DOI:10.13340/j.cae.2017.03.008.
- [12] 王建康,李彬,邓宝清.基于Moldflow的电器开关推件翘曲变形分析与浇口位置选择[J].塑料工业,2017,45(10):60-64.
- [13] 张继祥,秦海涛,高波,等.基于正交实验的薄壁塑件翘曲变形模拟分析[J].塑料工业,2013,41(9):64-67.
- [14] 王利霞,张娜,申长雨,等.应用Taguchi实验设计法最小化注塑成型制品沉降斑[J].塑料工业,2004,32(4):26-28.
- [15] 许建文,刘斌.注塑件体积收缩率变化的数值模拟优化与预报[J].华侨大学学报(自然科学版),2010,31(3):241-245. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.2010.03.0241.
- [16] 许建文,刘斌.非球面塑料光学透镜收缩变形的数值分析[J].华侨大学学报(自然科学版),2011,32(2):130-134. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.2011.02.0130.

(责任编辑:陈志贤 英文审校:崔长彩)