

# BP 网络在注塑工艺参数设计与优化中应用

戴冠帮<sup>1</sup> 杜凯<sup>1\*</sup> 王鹏飞<sup>1</sup> 姜孔明<sup>2</sup>

(1. 国营芜湖机械厂 结构部, 芜湖 241007; 2. 重庆大学 机械与运载工程学院, 重庆 400030)

**摘要:** 翘曲变形是影响注塑零件的质量和装配过程的主要问题之一。文章从注塑理论的角度分析了翘曲变形发生的原因, 通过优化工艺参数尽可能减小零件的翘曲变形量, 设计车灯反射器三维模型, 对三维模型进行网格划分并评价了网格质量, 建立基于 Moldflow 虚拟仿真环境的注塑仿真过程。通过分析发现, 定熔融状态下的塑料温度  $T_p$ 、模具温度  $T_m$ 、注射时间  $t_i$ 、保压时间  $t_h$  以及冷却时间  $t_c$  是影响注塑零件翘曲变形量的主要工艺参数。

**关键词:** 注塑工艺参数; 正交实验; BP 神经网络; 遗传算法

## Application of BP Network in Parameter Design and Optimization of Injection Process

DAI Guanbang<sup>1</sup>, DU Kai<sup>1\*</sup>, WANG Pengfei<sup>1</sup>, JIANG Kongming<sup>2</sup>

(1. Structure Department, State-owned Wuhu Machinery Factory, Wuhu 241007;

2. School of Mechanical and Vehicle Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030)

**Abstract:** Warping deformation is one of the main problems affecting the quality and assembly process of injection parts. The causes of warping deformation were analyzed from the Angle of injection molding theory, and the warp deformation of parts was reduced as much as possible by optimizing the process parameters. A three-dimensional model of headlight reflector was designed, and the mesh of the three-dimensional model was divided and the mesh quality was evaluated. An injection molding simulation process based on Moldflow virtual simulation environment was established. It was found that the plastic temperature  $T_p$ , mold temperature  $T_m$ , injection time  $t_i$ , pressure holding time  $t_h$  and cooling time  $t_c$  under constant melting state were the main process parameters that affected the warping deformation of injection parts.

**Keywords:** injection molding process parameters; orthogonal experiment; BP neural network; genetic algorithm

注塑工艺规程对成型后零件的整体质量和表面光洁度有重要影响<sup>[1]</sup>。注塑工艺规程制定不当会导致零件出现较明显的缺陷, 包括翘曲变形、表面气孔、收缩变形严重、短射以及气穴等。翘曲量过大是注塑过程缺陷的主要表现形式之一, 由于塑料零件脱模后内部的残余应力导致零件发生塑性变形, 给工人装配带来了一定的困难<sup>[2]</sup>。

从注塑理论的角度分析, 注塑零件脱模后发生翘曲的原因主要是冷却过程中型腔内的温度分布不均匀和零件各个区域收缩量不一致。此外, 注塑工艺规程中的模具结构和材料、产品结构和材料、型腔内壁的加工精度和表面粗糙度以及模具冷却管路布置方式等因素均会对零件最终成型的结果产生影响<sup>[3]</sup>。当注塑模具制造完成后再对其修改, 过程复杂且成本高, 只能通过优化工艺参数的方法尽可能达到零件的加工精度和表面粗糙度要求。

工艺参数的传统优化过程采用了反复试模试图寻找最优值, 但是利用该方法优化参数耗费工时较长,

经济效益较低。计算机硬件的升级和有限元计算理论的发展为注塑工艺参数的优化提供了新的解决方案, 将反向传播 (Back Propagation, BP) 神经网络智能算法引入工程设计中的计算机辅助工程 (Computer Aided Engineering, CAE) 软件的优化过程, 可实现软件对特定工况的自适应性求解和优化, 以减少注塑产品的设计与开发周期, 提高企业效益<sup>[4]</sup>。

### 1 试验设计

#### 1.1 零件三维模型设计

车灯反射器的三维模型如图 1 所示, 试验材料来源于美国舒尔曼塑料公司提供的聚丙烯。根据注塑成型手册和厂家提供的信息, 该材料成型时模具的温度应该控制在  $40 \sim 80^\circ\text{C}$ , 熔融状态下的塑料温度在  $180 \sim 220^\circ\text{C}$ <sup>[5]</sup>。在计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 虚拟设计环境中简化图 1 的三维模型, 并修改模型设计中存在的破面、曲率不连续以及自由边等问题, 以提高网格的质量和适应性, 缩短运算时间, 提高运算收敛能力。

基金项目: 芜湖市创新人才项目 (whfp2017052)。

\*通信作者: 杜凯

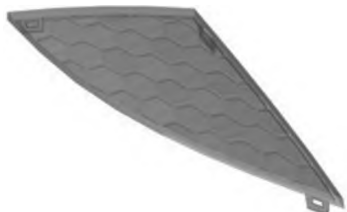


图1 车灯反射器三维模型

将修改后的三维模型导入 CAE 仿真软件 Moldflow 中，使用双层面单元进行网格单元划分，划分结果如表 1 所示。

利用该网格可以较为准确地对车灯反射器注塑工艺进行仿真和优化，Moldflow 环境中浇注系统和冷却系统的三维模型如图 2 所示。

表 1 网格单元划分统计

实体计数 / 个			表面积 (不 含冷却管道) /cm <sup>2</sup>	纵横比			边细节 / 条			配向不正 单元 / 个	交叉点细节 / 个		匹配 百分比 / %
三角形	已连接 的节点	连通区 域		最大	平均	最小	自由 边	共用边	多用 边		相交单 元	完全重叠 单元	
31 104	15 544	2	339.772 6	9.32	1.82	1.16	0	46 656	0	0	0	0	90.5

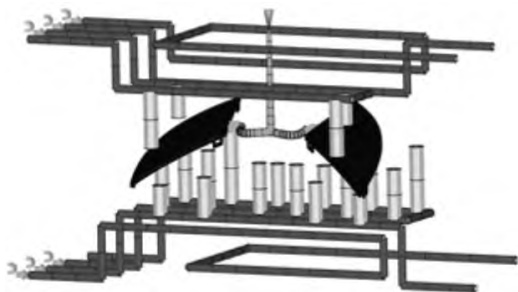


图2 浇注系统和冷却系统三维模型

1.2 确定试验影响因素

正交试验以概率论和统计学结合实际经验为基

础，利用标准化和正交化的思想安排试验，通过试验结果优化参数，是目前处理多学科综合和优化问题的主要研究方法<sup>[6-8]</sup>。分别选取熔融状态下的塑料温度  $T_p$ 、模具温度  $T_m$ 、注射时间  $t_i$ 、保压时间  $t_h$  以及冷却时间  $t_c$  作为车灯反射器注塑工艺的影响参数，利用 Moldflow 分析成型过程，得出工艺参数的水平值如表 2 所示。在 MATLAB 数值分析软件中输入上述参数，并建立 BP 神经网络算法架构，分别对 5 个待优化参数进行分析，得到 25 组试验的翘曲变形量，如表 3 所示。

表 2 工艺参数的水平值

序号	熔融状态下的塑料温度 $T_p$ /℃	模具温度 $T_m$ /℃	注射时间 $t_i$ /s	保压时间 $t_h$ /s	冷却时间 $t_c$ /s
1	180	40	0.4	8	15
2	190	50	1.4	10	20
3	200	60	2.4	12	25
4	210	70	3.4	14	30
5	220	80	4.4	16	35

2 正交试验分析

2.1 搭建 BP 神经网络

将表 3 中的 5 个待优化参数  $T_p$ 、 $T_m$ 、 $t_i$ 、 $t_h$  以及  $t_c$  作为神经网络算法的输入层，以零件的翘曲变形量作为优化的评价指标。根据经验公式进行分析，确定隐含层的节点数为 9，第一层和第二层的传递函数为 tansig，第三层的传递函数为 purelin<sup>[9-10]</sup>。

将表 3 的仿真结果绘制成折线图，如图 3 所示。根据图 3 可以发现，基于 Moldflow 软件仿真的翘曲变形量平均值为 1.088 7 mm。在试验 4 和 15 中，两种仿真方法得出的结果差别较大，这两组实验的 Moldflow 软件仿真结果分别为 1.094 0 mm 和 1.072 0 mm，而 BP 神经网络算法的计算结果分别为 1.086 0 mm 和 1.063 0 mm，两种方法相差分别为 0.008 0 mm 和

0.009 0 mm，差异率为 0.74% 和 0.85%，属于可接受范围。

基于 BP 神经网络算法建立的注塑参数和零件翘曲变形量的对应关系可以较为准确地解释零件翘曲变形的原因，其计算结果可以为参数分析和优化提供数值依据。

2.2 遗传算法对工艺参数的优化

遗传算法以进化论、物种选择假说以及群体遗传学定律为思想来源和理论依据，通过计算机模拟生物遗传和进化机制寻求问题的最优解决方案。从表 3 中随机选择 5 组试验参数作为遗传算法中的初始种群，以 BP 神经网络作为目标函数，零件的翘曲变形量为优化结果的评价指标，在 MATLAB 软件寻优的结果如图 4 所示。

表3 正交试验方案与翘曲变形量的模拟值

序号	参数设计					翘曲变形量/mm	
	熔融状态下的塑料温度 $T_p/^\circ\text{C}$	模具温度 $T_m/^\circ\text{C}$	注射时间 $t_i/\text{s}$	保压时间 $t_h/\text{s}$	冷却时间 $t_c/\text{s}$	Moldflow 模拟值	BP 神经网络拟合值
1	180	60	1.4	12	35	1.119 0	1.120 0
2	210	40	1.4	16	25	1.174 0	1.174 0
3	190	70	1.4	10	15	1.138 0	1.138 0
4	220	60	4.4	16	15	1.094 0	1.086 0
5	220	50	1.4	14	30	1.160 0	1.161 0
6	220	40	3.4	12	20	1.027 0	1.028 0
7	220	70	2.4	8	25	1.086 0	1.086 0
8	210	70	2.4	8	25	1.154 0	1.154 0
9	190	80	4.4	12	30	1.069 0	1.068 0
10	210	60	2.4	10	20	1.073 0	1.073 0
11	220	80	0.4	10	35	1.150 0	1.150 0
12	200	70	3.4	16	35	1.022 0	1.022 0
13	190	40	2.4	14	35	1.040 0	1.039 0
14	180	50	3.4	10	25	1.024 0	1.025 0
15	200	50	2.4	12	15	1.072 0	1.063 0
16	180	70	4.4	14	20	0.982 9	0.982 0
17	190	50	0.4	16	20	1.159 0	1.158 0
18	190	60	3.4	8	30	1.071 0	1.158 0
19	210	50	4.4	8	35	1.043 0	1.042 0
20	200	40	4.4	10	30	0.989 6	0.990 6
21	200	60	0.4	14	25	1.156 0	1.157 0
22	180	80	2.4	16	30	1.0480	1.049 0
23	200	80	1.4	8	20	1.157 0	1.156 0
24	210	80	3.4	14	15	1.047 0	1.049 0
25	180	40	0.4	8	15	1.172 0	1.172 0

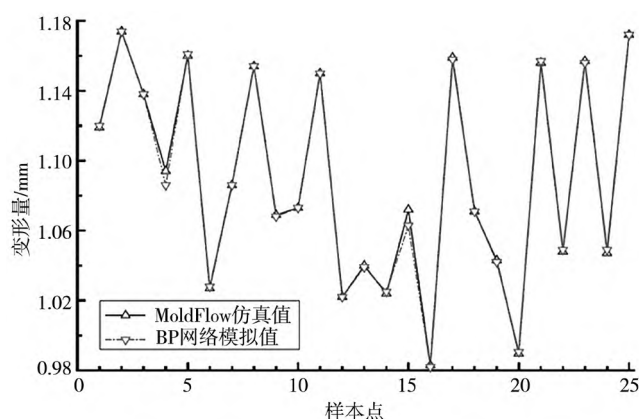


图3 车灯反射器翘曲变形量的BP神经网络算法和Moldflow 仿真结果

通过图4可以发现,当遗传算法迭代至100时,零件的翘曲变形量最小为0.887 0 mm,此时的工艺参数为  $T_p=180.763\ 8\ ^\circ\text{C}$ 、 $T_m=40.089\ 8\ ^\circ\text{C}$ 、 $t_i=4.120\ 8\ \text{s}$ 、 $t_h=9.3347\ \text{s}$ 和 $t_c=18.401\ 9\ \text{s}$ ,取近似值分别为  $T_p=181\ ^\circ\text{C}$ 、 $T_m=40\ ^\circ\text{C}$ 、 $t_i=4.1\ \text{s}$ 、 $t_h=9.3\ \text{s}$ 和 $t_c=18.5\ \text{s}$ 。采用 Mold-

flow 软件模拟对上述优化后的参数进行数字化模拟仿真分析,得出的零件翘曲变形量为0.831 7 mm。对工艺参数取近似值,Moldflow 软件的计算结果与迭代算法得出的结果相差并不大。在没有进行优化之前,采用正交试验计算得到的注塑件平均翘曲变形量为1.088 7 mm,优化后的翘曲量减小了23.61%,效果较为理想。

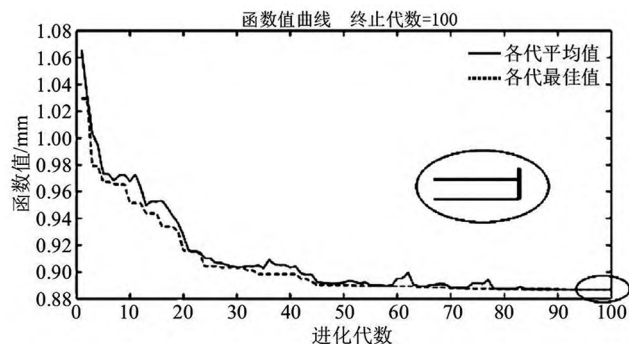


图4 通过遗传算法寻找最优结果

### 3 结语

通过分析注塑工艺规程和工艺参数与零件翘曲变形量之间的关系,确定正交实验方案并建立 BP 神经网络,最终获得聚丙烯车灯反射器的最优注塑工艺参数为  $T_p=180.763\ 8\ ^\circ\text{C}$ 、 $T_m=40.089\ 8\ ^\circ\text{C}$ 、 $t_i=4.120\ 8\ \text{s}$ 、 $t_h=9.334\ 7\ \text{s}$  和  $t_c=18.401\ 9\ \text{s}$ ,所对应的翘曲变形量为  $0.831\ 7\ \text{mm}$ 。BP 神经网络显示的注塑工艺参数与翘曲量之间的关系,对缩短产品研发、制造周期以及降低生产成本具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 王利霞,杨杨,王蓓,等.注塑成型工艺参数对制品体收缩率变化的影响及工艺参数优化[J].高分子材料科学与工程,2004(2):173-176.
- [2] 李海梅,顾元宪,申长雨.注塑件的翘曲变形分析与成形尺寸预测[J].中国机械工程,2002(10):820-823.
- [3] 刘来英.注塑成型工艺[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [4] 宋满仓,颜克辉.薄壁注塑成型数值模拟技术的发展现状[J].塑料科技,2006(1):51-54.
- [5] 单岩,王蓓,王刚.Moldflow 模具分析技术基础[J].上海塑料,2005(1):55-55.
- [6] 刘瑞江,张业旺,闻崇炜,等.正交试验设计和分析方法研究[J].实验技术与管理,2010(9):52-55.
- [7] 周浩文.基于人工神经网络的注塑成型模拟及工艺参数优化的研究[D].广州:广东工业大学,2013.
- [8] 林权.基于综合平衡法的注塑工艺参数多目标优化设计[J].塑料科技,2011(1):84-88.
- [9] 汤素丽,罗宇锋.人工神经网络技术的发展与应用[J].电脑开发与应用,2009(10):59-61.
- [10] 常洪江.遗传算法综述[J].智能计算机与应用,2010(3):115-116.

(上接第 134 页)

试,测试结果如表 2 所示。在 6 个不同光照角度场景的抓取测试中,目标物体位姿估计的平均检测正确率为 87.75%,机械臂运动规划的平均抓取成功率为 80.8%。

表 2 金属工件抓取测试结果

编号	抓取次数	成功夹取次数	检测正确率/%	抓取成功率/%
1	30	24	90.00	80.0
2	30	22	83.30	73.3
3	30	23	83.30	76.6
4	30	23	83.30	76.6
5	30	26	93.30	86.6
6	30	25	93.30	83.3
总计	180	169	87.75	80.8

由于目标工件凌乱地堆放在平面上,在很多位姿估计算法成功识别的情况下,即使机械臂夹爪到达抓取位置,运动规划依然可能存在失败的情况,如出现夹爪与非目标工件碰撞导致的抓取失败。少数情况下,工件存在两个零件紧贴,导致没有足以容纳机械臂夹取的空间,此时算法会直接放弃这两个目标,避免机械臂夹爪与工件装车碰撞导致程序停止运行。即使存在无法抓取的情况,最终测试的抓取成功率依然达到了 80% 以上,可以认为该实验平台具有有效性和可行性,同时验证了其在机器人抓取任务中的实用性。

### 3 结语

基于机器视觉的智能机器人在工业应用中具有良

好的前景,在夹取任务金属零件的一般情况下,可以适当选择简易的方式实现所需要的功能。在平面夹取实验中,位姿估计简化为算法本身识别目标的分类特性,使得处理器减少计算所耗费资源的同时,能够快速处理识别结果,确保基于机器视觉的智能化装备在工业生产过程中具有更好的普及性和实用性。

### 参考文献

- [1] LI S, LI Y, LI Y, et al. YOLO-FIRI: improved YOLOv5 for infrared image object detection[J]. IEEE Access, 2021, 9: 141861-141875.
- [2] 员娇娇,胡永利,孙艳丰,等.基于深度学习的小目标检测方法综述[J].北京工业大学学报,2021(3):293-302.
- [3] ZHANG R, WEN C. SOD-YOLO: a small target defect detection algorithm for wind turbine blades based on improved YOLOv5[J]. Advanced Theory and Simulations, 2022(7): 5.
- [4] 刘思诚,李嘉琛,邓皓,等.基于 YOLOv5 改进的小目标检测算法[J].兵工自动化,2022(12):78-82.
- [5] 徐昆,朱国华,刘文凤,等. YOLO 算法在目标姿态检测中的应用[J].电子技术与软件工程,2019(16):181-182.