

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.03.011

基于响应面模型与人工鱼群算法的汽车车门内饰柱注塑成型优化设计

马镜涵, 刘泓滨, 汪鑫

(昆明理工大学机电工程学院, 昆明 650500)

摘要: 汽车车门内饰柱一般为板型注塑件, 在注塑加工过程中不同的注塑工艺参数对整个注塑件的质量和性能有非常大的影响。针对丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料汽车车门内饰柱的翘曲变形的问题, 首先利用响应面模型方法对注塑过程中对翘曲变形影响最大的4个参数: 熔体温度、模具温度、保压压力、保压时间进行分析, 并拟合得到4个工艺参数与翘曲变形量之间的回归方程。其次在分析所得的回归方程基础上结合人工鱼群算法对工艺参数组合及翘曲变形量进行寻优, 最后将寻得的工艺参数组合通过软件仿真验证。结果表明, 采用此优化方法后内饰柱翘曲变形下降14.2%, 并且算法寻优结果与Moldflow仿真结果仅相差1.6%, 证明优化方法在车门内饰柱注塑工艺优化过程中有较好的效果。

关键词: 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料; 汽车内饰柱; 翘曲变形量; 响应曲面法; 人工鱼群算法

中图分类号: TQ325.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)03-0064-05

Optimal Design of Injection Molding of Automotive Door Interior Columns based on Response Surface Model and Artificial Fish Swarm Algorithm

Ma Jinghan, Liu Hongbin, Wang Xin

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract : The car door interior column is usually a plate type injection molding part. The different injection molding process parameters have a great influence on the quality and performance of the whole injection molding part. Aiming at the warping deformation of acrylonitrile butadiene styrene plastic car door interior column, the response surface model was used to analyze the four parameters that have the greatest influence on the warping deformation during injection molding: melt temperature, mold temperature, pressure holding and pressure holding time, and the regression equation between the four process parameters and the warping deformation was obtained by fitting. Secondly, on the basis of the regression equation obtained by the analysis and the artificial fish swarm algorithm, the process parameter combination and the warpage deformation were optimized. Finally, the process parameter combination was verified by software simulation. The results show that the warping deformation of the interior column decreases by 14.2% after the optimization method is adopted, and the difference between the optimization results of the algorithm and the simulation results of Moldflow is only 1.6%, which proves that the optimization method in this paper has a good effect in the optimization process of the injection molding process of the interior column of the door.

Keywords : acrylonitrile butadiene styrene plastic; automobile interior column ; amount of warping deformation ; response surface method ; artificial fish swarm algorithm

塑料制品已经成为人们生活中不可缺少的部分, 一代又一代科研工作者利用模流分析软件不断地研究与分析在注塑成型的整个过程中工艺参数

与塑件质量的关系。徐明^[1]通过注塑原理分析注塑成型缺陷的原因并提出改进措施。姜天一^[2]运用Moldflow软件对塑件加工过程中的缺陷进行了分

通信作者: 刘泓滨, 教授, 主要从塑性成形数值模拟, 数字化设计与制造等方面的教学与科研工作

收稿日期: 2023-02-25

引用格式: 马镜涵, 刘泓滨, 汪鑫. 基于响应面模型与人工鱼群算法的汽车车门内饰柱注塑成型优化设计[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(3): 64-68.

Ma Jinghan, Liu Hongbin, Wang Xin. Optimal design of injection molding of automotive door interior columns based on response surface model and artificial fish swarm algorithm[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(3): 64-68.

析,并通过正交试验对工艺参数进行优化,使产品质量得到优化。

随着现代汽车行业蓬勃发展,更多的汽车零件以注塑制品来代替传统金属制品例如减震塔、行李箱盖板、后尾门等^[3]。对于现代汽车车门内饰柱,丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)是国内外汽车厂商采用最广泛的材料之一^[4]。因为汽车内装柱形状的特殊设计,这种大型板件在注射成型过程中由于其表面积较大、内应力较高及温度差异大等原因,导致了注塑件在各个方向的收缩率不均匀,使得注塑件很容易出现变形或者弯曲的情况。关于此问题尤志军等^[5]对汽车内饰柱两种不同的成型工艺进行分析,并提出注塑件缺陷的解决方法。成薇等^[6]通过局部有限元方法,对汽车上板类部件的变形现象展开了探讨。董嫔^[7]针对轿车车门内饰件采用正交试验方法,得出内饰件的最佳工艺参数组合,并采用CAE技术对模具进行设计。伍家梅等^[8]针对汽车车门内饰件结构与形状,提供了一个斜导的增强复合斜顶结构和在浇口模内自动热切除的解决方案,提升了模具的生产效率。

汽车车门内饰柱等板类零件的质量,在注塑加工过程中会受到加工工艺参数、加工环境、模具等许多因素的影响,各个因素之间也存在着相应的交互作用,以及不同的工艺参数组合对所加工零件的质量也有着不同程度的影响。笔者提供一种基于响应面模型通过人工鱼群算法进行寻优的技术优选方案,该方法解决了响应面模型选点存在的随机性和特定性以及因选点错误所造成的无最优预测值的缺陷,结合响应面模型并通过人工鱼群代码进行寻优,从而获得最优的工艺参数组合。

1 车门内饰柱模型的建立

研究对象为某国产汽车的前车门内饰柱,并利用UG软件建立此车门内饰柱的模型。所选车门内饰柱的基本尺寸为:最大宽度277.83 mm、基本壁厚2.5 mm、长276.44 mm,其外形如图1所示。

2 响应面法试验

响应面分析法是一个根据改良随机过程,利用

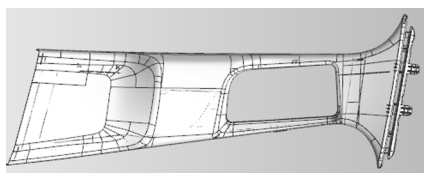


图1 车门内饰柱外观图

设计空间中的取样点创建复杂性现象近似模式的统计学方法。透过构造连续变量的双曲面模型,可考虑不同因子的主效应与交互效果,从而找到试验指数与各因子之间的定量规律,以确定最佳试验水平范围^[9]。对比其它的试验方法响应面法的优点是可以通过较少的试验次数得到较好的结果,降低了时间和物力投入^[10]。响应面分析也有助于处理多变量的拟合过程问题^[11]。

根据汽车车门内饰柱实际生产选定工艺参数列于表1。

表1 初始工艺参数

熔体温度/°C	模具温度/°C	保压压力/MPa	保压时间/s
230	80	50	12

采用表1列出的工艺参数组合对所选模型进行翘曲模拟,首先根据模型设计合理的浇注系统和冷却系统,将所选的初始工艺参数带入Moldflow程序中进行翘曲分析,得到其整体翘曲变形量最大值为3.436 mm。实验方案根据Box-Behnken Design方法进行设计,首先在之前所选择的工艺参数的合理范围内,根据所选择的材料确定适合的工艺水平并制定好相应的试验表,然后再通过Moldflow程序分别对之前设计好的工艺参数组合开展模拟分析试验,最后再对所有试验要素和具体目标值进行二次回归函数拟合。

2.1 响应面模型的建立

选择在ABS汽车内饰件注塑加工过程中对内饰柱变形程度相对影响最大的4个工艺参数:熔体温度(A)、模具温度(B)、保压压力(C)、保压时间(D)为试验因素,以翘曲变形量为其响应值,结合所选的ABS工程塑料在参数的有效范围内合理设计4因素3水平的响应面试验,所确定的实验因素及水平见表2。

表2 响应面分析因素水平表

因素	水平		
	1	0	-1
A/°C	250	240	230
B/°C	90	80	70
C/MPa	60	55	50
D/s	14	12	10

根据所选试验方法及水平,共有29组不同的因素组合。在相同的浇注、冷却条件下,利用Moldflow程序将29组不同的参数组合分别进行翘曲分析,列于表3。

表3 响应面模型试验结果表

序号	A/°C	B/°C	C/MPa	D/s	翘曲变形量/mm
1	240	80	55	12	3.03
2	240	90	50	12	3.209
3	240	80	50	10	3.244
4	230	80	55	14	3.255
5	240	70	55	14	3.04
6	250	80	55	10	3.117
7	230	80	60	12	3.005
8	240	80	60	10	3.167
9	240	90	55	10	3.065
10	250	70	55	12	3.058
11	230	80	50	12	3.436
12	250	90	55	12	3.048
13	240	90	55	14	3.015
14	240	80	55	12	3.03
15	250	70	50	12	3.229
16	240	80	55	12	3.03
17	250	80	55	14	3.051
18	240	80	50	14	3.208
19	230	80	55	10	3.272
20	240	70	55	10	3.072
21	250	80	60	12	2.983
22	250	80	50	12	3.118
23	230	70	55	12	3.286
24	240	80	60	14	2.944
25	230	90	55	12	3.255
26	240	80	55	12	3.03
27	240	80	55	12	3.03
28	240	90	60	12	2.963
29	240	70	60	12	2.955

2.2 模拟结果分析

对所设计的试验及结果进行分析,部分内容列于表4。

表4 响应面方差分析

变异来源	平方和	自由度	方差	F值	P值
回归模型	0.410 1	14	0.029 3	16.08	<0.000 1
AB	0.000 1	1	0.000 1	0.0605	0.809 3
AC	0.015 1	1	0.015 1	8.3	0.012 1
AD	0.000 6	1	0.000 6	0.3295	0.575 1
BC	0.000 1	1	0.000 1	0.0445	0.836
BD	0.000 1	1	0.000 1	0.0445	0.836
CD	0.008 7	1	0.008 7	4.8	0.045 9
残差	0.025 5	14	0.001 8		
失拟项	0.025 5	10	0.002 6		

从表4中可以看出,此次所设计的响应面试验P值小于0.0001,说明达到了显著水平,具有统计学的意义。证明设计的模型拟合度良好并且实验设计合理。根据表3的结果对数据进行分析,并对试验因素及响应值进行二次多项回归拟合,本次试验的回归方程如式(1)所示。

$$Y = 3.03 - 0.0987A - 0.0079B - 0.1206C + 0.0353D + 0.0053AB + 0.0615AC - 0.0122AD + 0.0045BC - 0.0045BD - 0.0467CD + 0.1028A^2 + 0.0017B^2 + 0.0412C^2 + 0.0423D^2 \quad (1)$$

3 人工鱼群算法寻优

人工鱼群算法(AF算法)是由李晓磊等^[12-13]受人工鱼群的活动(如觅食、追逐等)启发而提出的一种优化算法。通过模仿鱼群的行为,包括觅食行为、群聚行为、追尾行为、随即行为^[14-16],判断当前所处位置是否可能获得食物来决定下一步的运动方向,鱼的位置坐标即为待优化参数,所在位置的食物浓度由优化的目标函数确定。

3.1 人工鱼群算法模型设计

(1)模型输入。

基于响应面模型的回归方程式,在此基础上利用软件进行人工鱼群算法代码优化设计,以寻找最优的工艺参数组合及最小翘曲变形量。

(2)初始化设置。

根据人工鱼群算法要求设置其相关参数,如图2所示。

%% 鱼群算法设置	
sizepop = 100;	% 种群数量
maxgen = 500;	% 迭代次数
try_number = 10;	% 种群个体最优try次数
visual = 0.05;	% 可视距离 = 感知距离
delta = 0.618;	% 拥挤度因子
step = 0.05;	% 步长
nVar = 4;	% 4个工艺参数

图2 人工鱼群算法设置

(3)分析计算。

初始化设置完成后,运行人工鱼群算法求解鱼群的适应值,在此基础上进行对比选择最佳的人工鱼群状态,然后将其赋值给公告牌。

(4)行为选择。

对所有个体都作出单独判断,然后再根据上述所了解的鱼群情况作出最后决定,其具体算法编程步骤如图3所示。

3.2 人工鱼群算法结果

针对响应面试验所得的回归方程式(1),通过Matlab软件运行设计的人工鱼群代码,最终得到的结果如图4所示。

由图4可知,所设计的人工鱼群算法在迭代到

```

for i=1: maxgen
disp([' 当前迭代次数: ' num2str(i)])
for j=1:sizepop % fishnum 鱼群数量
Xi=pop (j,:): % 当前的种群
Yi=fitness(j): % 当前种群对应的适应度值
% 聚群行为
[Xc,Yc]=FSA_center(Xi,Yi,pop,popmin,popmax,sizepop,
visual,step,try_number,delta,b1);
% 追尾行为
[Xs,Ys]=FSA_scatter(Xi,Yi,pop,popmin,popmax,sizepop,
visual,step,try_number,delta,b1);

```

图3 人工鱼群算法行为选择

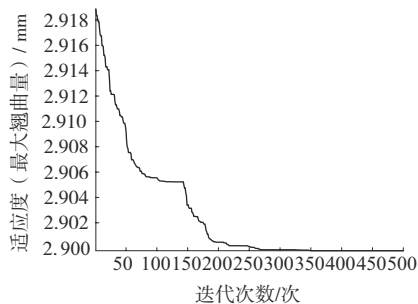


图4 人工鱼群算法适应度-迭代次数曲线图

300次时,翘曲变形量曲线已接近水平,说明此时已达到最优值。所得最优工艺参数组合及翘曲量列于表5,最终得到的最优工艺参数组合为:熔体温度 241.95 °C、模具温度 80.68 °C、保压压力 60 MPa、保压时间 13.94 s。

表5 寻优结果

A/°C	B/°C	C/MPa	D/s	翘曲量/mm
241.95	80.68	60	13.94	2.897

3.3 人工鱼群算法验证分析

为了验证此方法的准确性,保持其它条件不变,将表5中的最优参数组合通过Moldflow程序进行相应的翘曲分析。结果如图5所示。

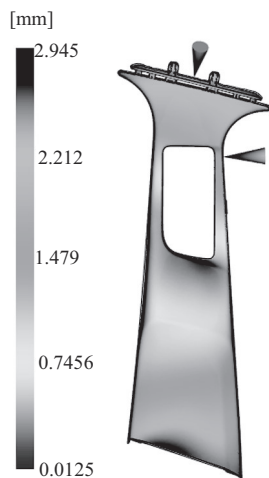


图5 人工鱼群算法验证结果图

由图5可知,通过所设计的算法寻优后,汽车内饰柱翘曲变形有了很大改善,根据仿真结果最大翘曲变形值为2.945 mm,与算法寻优所得数据误差为

1.6%,相比初始方案降低了14.2%,说明此寻优方法的准确性。

4 结论

(1)以汽车车门内饰柱注塑加工为研究目标,根据汽车注塑工艺中对翘曲变形率影响较大的4种工艺参数通过响应面法设计相应的试验,并根据试验结果得到的信息采用回归拟合的方式对各参数和响应值间的不同交互作用方式进行研究。从而得到了4种工艺参数与翘曲变形量之间的回归方程。

(2)在响应面模型基础上结合人工鱼群算法对工艺参数组合进行寻优,通过人工鱼群算法实施迭代处理,最终得到最优工艺参数组合:熔体温度 241.95 °C、模具温度 80.68 °C、保压压力 60 MPa、保压时间 13.94 s。通过Moldflow程序对结果实施相应的模拟分析,最终得到在该参数下所研究模型的最大翘曲量为2.945 mm,相比初始方案降低了14.2%,证明人工鱼群算法在汽车内饰柱注塑成型中有较好的效果,为今后汽车内饰柱注塑成型提供了加工工艺方面的重要技术依据。

参考文献

- [1] 徐明. 塑料制品注塑成型缺陷的原因分析[J]. 橡塑技术与装备, 2017, 43(14):53-56.
Xu Ming. Cause analysis of defects in plastic injection molding[J]. Rubber & Plastic Technology & Equipment, 2017, 43(14):53-56.
- [2] 姜天一. 基于CAE的嵌件注塑成型缺陷分析及成型周期优化[D]. 镇江: 江苏大学, 2016.
Jiang Tianyi. CAE based defect analysis and molding cycle optimization of insert injection molding[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2016.
- [3] 张春林. 零部件开发过程中的轻量化技术应用及成本优化[A]. 天津: 中国汽车技术研究中心有限公司, 2019:15.
Zhang Chunlin. Application of lightweight technology and cost optimization in parts development[A]. Tianjin: China Automotive Technology Research Center Co., Ltd., 2019:15.
- [4] 代芳, 吕召胜, 王金立. 2014年我国热塑性工程塑料研究进展[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(3):123-132.
Dai Fang, Lyu Zhaosheng, Wang Jinli. Research progress of thermoplastics in China in 2014[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(3):123-132.
- [5] 尤志军, 张树海, 柏攀星. 汽车内饰件成型工艺研究[J]. 模具制造, 2015, 15(10):45-48.
You Zhijun, Zhang Shuhai, Bai Panxing. Research on molding process of automotive interior trim parts[J]. Die & Mould Manufacturing, 2015, 15(10):45-48.
- [6] 成薇, 徐以国. 基于Moldflow及局部有限元模型的翘曲变形优化方法[J]. 上海汽车, 2019(9):58-62.

- Cheng Wei, Xu Yiguo. Warping optimization method based on Moldflow and local finite element model[J]. Shanghai Automotive, 2019(9):58-62.
- [7] 董嫔,董瑞佳,张晓妍.汽车门内饰板模内热切机构热流道注塑模具设计[J].塑料工业,2020,48(5):53-56,122.
- Dong Pin, Dong Ruijia, Zhang Xiaoyan. Design of injection mold for hot runner of internal heating mechanism of automotive door interior panel[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(5):53-56, 122.
- [8] 伍家梅.基于CAE技术的汽车内饰板成型工艺分析与模具设计[J].塑料工业,2018,46(7):70-73.
- Wu Jiamei. Molding Process analysis and die design of automobile interior panel based on CAE technology[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(7):70-73.
- [9] 胡星星.板金属滚压成型回弹预测与稳健性优化设计技术研究[D].杭州:浙江大学,2013.
- Hu Xingxing. Research on springback prediction and robust optimization design technology for sheet metal rolling[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [10] 覃柏英,秦文东,林贤坤,等.基于BBD设计和响应面法的隔热罩冲压成形工艺参数优化[J].制造业自动化,2015(15):57-60.
- Qin Baiying, Qin Wendong, Lin Xiankun, et al. Optimization of stamping process parameters of heat shield based on BBD design and response surface methodology[J]. Automation of Manufacturing Industry, 2015(15):57-60.
- [11] Filipe R, Luc G P, Meredith R, et al. Trainer-exerciser relationship: The congruency effect on exerciser psychological needs using response surface analysis[J]. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2021, 31(1). DOI:10.1111/sms.13825.
- [12] 李晓磊,邵之江,钱积新.一种基于动物自治体的寻优模式:鱼群算法[J].系统工程理论与实践,2002(11):32-38.
- Li Xiaolei, Shao Zhijiang, Qian Jixin. An optimization model based on animal autonomy: Fish swarm algorithm[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2002 (11):32-38.
- [13] Huang Jiwei, Zeng Jie, Bai Yufang, et al. Layout optimization of fiber Bragg grating strain sensor network based on modified artificial fish swarm algorithm[J]. Optical Fiber Technology, 2021, 65. DOI:10.1016/j.yofte.2021.102583.
- [14] Albert P, Nanjappan M. An efficient kernel FCM and artificial fish swarm optimization-based optimal resource allocation in cloud[J]. Journal of Circuits, Systems and Computers, 2020, 29 (16). DOI:10.1142/S0218126620502539.
- [15] 常宗鸿.基于人工鱼群算法的高光谱图像降维方法研究[D].大连:辽宁师范大学,2020.
- Chang Zonghong. Research on hyperspectral image dimension reduction method based on artificial fish swarm algorithm[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2020.
- [16] Pragati U, Manoj K P, Narendra K. Periodic pattern mining from spatio-temporal database using novel global pollination artificial fish swarm optimizer-based clustering and modified FP tree[J]. Soft Computing, 2021, 25:4 327-4 377.