

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.09.012

基于灰色关联-熵权法的座体注塑工艺参数优化

朱红萍¹, 王星星²

(1. 沙洲职业工学院智能制造学院, 江苏张家港 215600; 2. 宿迁学院机电工程学院, 江苏宿迁 223800)

摘要:手持风扇底座具有复杂曲面与多筋结构等复杂的结构特征,这阻碍了材料的流动,可能会使产品产生熔接线、翘曲、体积收缩等缺陷,进而影响产品的表面质量和尺寸精度。为解决上述问题,通过理论算法与有限元仿真相结合开展风扇底座注塑工艺参数的优化研究。首先,根据产品特征确定了型腔数量及浇口位置,初步分析发现产品的缩痕指数相对较大;其次,以翘曲变形和缩痕指数为优化目标,建立中心复合试验方案并开展仿真分析,结合灰色关联与熵权法进行多目标优化,确定了工艺参数对灰色关联度影响的大小程度,依次为熔体温度、模具温度、注射时间、保压压力及保压时间;最后,确定最佳工艺参数组合为熔体温度 225 °C、模具温度 30 °C、注射时间 5 s、保压压力 20 MPa 及保压时间 30 s。相比初始方案,最佳工艺参数组合下的缩痕指数降低了 30.79%,由于加强筋的存在翘曲变形优化前后相差较小。

关键词: 模流分析;灰色关联度;熵权法;多目标分析;模具设计

中图分类号: TQ320.66+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)09-0079-07

Injection process parameters optimization of base by grey correlation-entropy weight method

ZHU Hongping¹, WANG Xingxing²

(1. School of Intelligent Manufacturing, Shazhou Professional Institute of Technology, Zhangjiagang 215600, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Suqian College, Suqian 223800, China)

Abstract : The handheld-fan base has complex structural characteristics including complex surfaces and multiple reinforcement ribs, the characteristics hinder the material flow and produce product defects such as weld lines, warpage and volume shrinkage, which affect the surface quality and dimensional accuracy of the product. To solve the above problems, the research on the optimization of injection molding process parameters of the fan base was conducted through the combination of theoretical algorithms and finite element simulation. Firstly, the number of cavities and gate positions were determined based on product characteristics, and preliminary analysis revealed significant shrinkage index in the product. Secondly, with warpage deformation and shrinkage index as optimization objectives, a central composite experiment scheme was established and simulation analysis was carried out, and multi-objective optimization was carried out by combining grey correlation and entropy weight method, the influence degree of the process parameters on grey correlation degree were determined to be in the following order: melt temperature, mould temperature, injection time, holding pressure, holding time. Finally, the optimal process parameters combination was determined to be a melt temperature of 225 °C, mould temperature of 30 °C, injection time of 5 s, holding pressure of 20 MPa, and holding time of 30 s. Compared with the initial scheme, the shrinkage index under the optimal process parameters combination is reduced by 30.79%, due to the existence of reinforcement ribs, the warpage deformation before and after optimization has a small difference.

Keywords : mold flow analysis ; gray correlation method ; entropy weight method ; multi-objects analysis ; mould design

随着注塑技术的快速发展,其具有的高效率、低成本加工特点已成为制造业关注的重点^[1-2]。此外,由于塑料具有质轻高强、性能稳定、易加工、资源多等优越特性,除了白色家电以外,工业、军工

基金项目: 2022 年江苏省高职院校教师专业带头人高端研修项目(2022GRGDYX019), 2022 年江苏省高等学校基础科学项目(22KJB460008), 2022 年宿迁市科技项目(K202210)

通信作者: 王星星, 硕士, 讲师, 研究方向为先进装配技术、模具设计与优化

收稿日期: 2024-04-22

引用格式: 朱红萍, 王星星. 基于灰色关联-熵权法的座体注塑工艺参数优化[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(9): 79-85.

ZHU Hongping, WANG Xingxing. Injection process parameters optimization of base by grey correlation-entropy weight method[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(9): 79-85.

等产品也已开始使用大量的塑料制品,形成了以塑代钢的行业发展趋势^[3]。

在塑件的制造过程中,由于产品的尺寸、特征、形貌的多样性导致注塑工艺参数的不确定,贸然根据经验对不同类型的塑件进行参数设置是不可取的,因为这会使塑件容易出现气泡、由残余内应力引起的翘曲和由温差引起的熔接痕等缺陷。因此,在确定塑件的材料、结构和模具的结构后,再通过优化注塑工艺参数抑制缺陷是保证产品质量最有效的方法之一。目前,很多学者将有限元与算法相结合^[4-6]获取准确的成型工艺参数,如:罗鹏飞等^[7]以车标的翘曲变形、体积收缩及缩痕指数为优化目标,开展五因素四水平的正交试验,通过 Moldflow 开展仿真分析及极差分析,确定各参数对优化目标的影响权重,进而利用层次分析法和 S 型隶属函数获得最优注塑参数;段家现^[8]将 Moldflow 与灰色关联度算法相结合,建立评价指标与参数之间的灰色模型,实现注塑工艺参数的优化;吴虎^[9]将 Moldflow 与多种算法相结合开展汽车前框架上支架的注塑工艺参数优化,确定了最佳工艺参数,并通过实验验证了其方案的可行性;徐林龙^[10]结合 COMSOL 和 Moldflow 对 COC 微流控芯片注塑工艺参数进行优化设计,为该产品的量产提供指导;欧阳宇^[11]联合 ANSYS 与 Moldflow 开展歧管的注塑工艺参数如压力、速度和流量对翘曲、熔接痕及气穴的影响。以上研究不论是针对注塑工艺参数的单目标优化还是多目标优化,都为笔者的研究提供了良好研究思路。

笔者以手持风扇底座为研究对象,将 Moldflow 与响应曲面相结合,建立多目标与参数之间的灰色关联关系,利用熵权法分析各参数对优化目标的影响权重,进而确定注塑工艺参数的最优方案。进一步采用 UG 进行塑件的三维建模,确定塑件的模具结构,进而指导塑件的生产。

1 塑件产品及初步仿真分析与试验方案设计

1.1 塑件产品分析

风扇底座的产品三维模型如图 1 所示,尺寸为 67.59 mm×70.35 mm×15.07 mm,平均壁厚约为 1.07 mm。考虑到塑件的应用场景,丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)在外观方面有着良好的可塑性,能够较为容易地根据实际需要获得产品的尺寸精度,且成型所得塑件的强度、冲击性能等均能够达到较高

标准^[12]。此外,ABS 材料的成本低,且有着十分稳定的成型工艺,能够较好满足线盒塑件的各项要求,符合该塑件大批量注塑生产的需要。

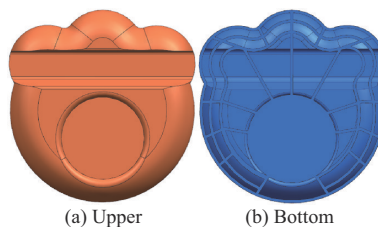


图 1 风扇底座产品 3D 模型

Fig. 1 3D model of fan base product

1.2 初步仿真分析

浇口位置的模流分析如图 2 所示,综合考虑塑件的具体用途,该制品的外观质量非常重要,选定浇口的时候应该避免浇口痕迹出现在外表面上。因此,浇口的位置选择在图 2 中红色圆圈标记位置,该区域用于安装风扇把手,从而保证了产品外观的要求。

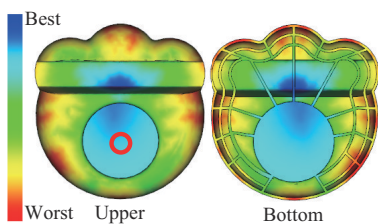


图 2 风扇底座产品浇口匹配性分析

Fig. 2 Gate matching analysis of fan base product

根据塑件的结构特点采用一模两腔进行制造,利用 Moldflow 软件进行初步分析,随机选定合理范围内的参数:熔体温度为 255 °C、模具温度为 55 °C、注射时间为 3 s、保压压力为 40 MPa、保压时间为 30 s,开展“填充+保压+翘曲”分析。产品的翘曲变形及体积收缩率分析结果如图 3 所示,最大翘曲变形达到 0.115 mm,最大缩痕指数达到 3.469%,因此翘曲变形较小,而缩痕指数偏大,考虑到缩痕指数优化分析过程中工艺参数对翘曲变形的影响,为了保证优化后产品的翘曲变形依旧较小,因此对底座进行缩痕指数优化的同时,同样将翘曲变形作为优化目标而开展双目标优化,从而保证产品的外观质量。由于底座底部存在大量的筋结构,需要对产品进行熔接线分布分析,结果如图 4 所示,塑件的顶面和底面均在拐角处出现了较长的熔接线,这可能会影响产品的结构强度,塑件底面熔接线相对于顶面较为细小。

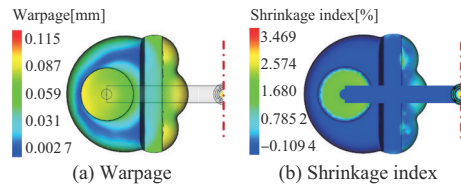


图3 初始方案的翘曲变形及缩痕指数仿真结果
Fig. 3 Simulation results of warpage deformation and shrinkage index of initial scheme

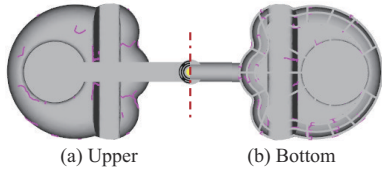


图4 初始方案的熔接线仿真结果
Fig. 4 Simulation results of weld line of initial scheme

1.3 试验方案及分析

由上述模流的初步分析结果可知,翘曲变形、缩痕或缩孔等缺陷是产品面临的主要问题,主要是由于塑料的流动性差、顶出不均匀或注塑工艺参数不合理(如保压压力或时间不当、熔融温度太低等)所致。因此,在材料及顶出机构设计合理的情况下,以注塑工艺参数为切入点,分析降低翘曲变形的方法是非常有效的。这主要包括改变熔体温度(A)、模具温度(B)、注射时间(C)、保压压力(D)及保压时间(E) 5个注塑工艺参数。结合初始方案的参数设置。利用Minitab建立中心复合设计的试验方案,具体见表1和表2。进而利用Moldflow对32组试验方案开展仿真分析,并以翘曲变形(X)和缩痕指数(Y)为优化目标,提取仿真结果(见表2),其中方案30填充不完整,属于异常值,不作为计算项,因此方案总数量为31项。

表1 风扇底座注塑工艺参数的水平值

Parameters	Lower limit of level	Upper limit of level	$\pm\Delta$
$A/^{\circ}\text{C}$	240	270	15
$B/^{\circ}\text{C}$	40	70	10
C/s	2	4	1
D/MPa	30	50	10
E/s	20	40	5

Note: $\pm\Delta$ is horizontal deviation of each parameter.

2 结果与讨论

2.1 信噪比、无量纲化处理

采用信噪比处理目标值,降低噪声因子对结果可靠性的影响,将表2中的优化目标值代入望小特征函数[公式(1)],去噪后的结果见表3。

表2 注塑仿真分析方案及仿真结果

Serial number	$A/^{\circ}\text{C}$	$B/^{\circ}\text{C}$	C/s	D/MPa	E/s	X/mm	$Y/\%$
1	240	40	4	50	40	0.144	2.458
2	270	40	2	30	20	0.129	4.163
3	255	30	3	40	30	0.098	3.322
4	255	55	3	20	30	0.101	2.745
5	255	55	3	40	30	0.115	3.469
6	240	70	4	50	20	0.113	2.853
7	255	55	3	60	30	0.111	3.430
8	240	70	2	50	40	0.124	3.436
9	225	55	3	40	30	0.099	2.719
10	270	40	4	50	20	0.102	3.336
11	240	40	2	50	20	0.114	3.472
12	255	55	3	40	30	0.115	3.469
13	240	70	2	30	20	0.139	3.531
14	270	70	4	30	20	0.132	3.586
15	270	70	4	50	40	0.117	3.464
16	255	55	3	40	30	0.115	3.469
17	255	55	5	40	30	0.120	2.609
18	240	40	2	30	40	0.107	3.416
19	255	55	3	40	15	0.140	3.660
20	285	55	3	40	30	0.124	4.106
21	255	55	3	40	30	0.115	3.469
22	240	70	4	30	40	0.106	2.809
23	270	70	2	30	40	0.134	4.133
24	255	80	3	40	30	0.133	3.190
25	270	40	4	30	40	0.097	3.288
26	240	40	4	30	20	0.106	3.377
27	270	40	2	50	40	0.116	4.117
28	255	55	1	40	30	0.129	4.122
29	255	55	3	40	30	0.115	3.469
30	255	55	3	40	45	0.194	0.516
31	270	70	2	50	20	0.139	4.186
32	255	55	3	40	30	0.114	3.469

$$S_N = -10\lg\left(\frac{1}{g} \sum_{i=1}^g Y_i^2\right) \quad (1)$$

式中: S_N 为信噪比; g 为每组数据重复试验的次数,该处取1; Y_i 为重复第 i 次试验所得结果。

此外,因为翘曲变形(X)和缩痕指数(Y)两个优化目标的量纲和单位不同,需要进行无量纲化处理,采用公式(2)进行无量纲化计算,结果见表3。

$$\alpha_i = \frac{S_{Ni} - S_{N\min}}{S_{N\max} - S_{N\min}} \quad (2)$$

式中: α_i 为无量纲系数; S_{Ni} 为第 i 次试验对应的信噪比; $S_{N\max}$ 为信噪比中的最大值; $S_{N\min}$ 为信噪比中的最小值。

2.2 灰色关联系数计算

为了进一步确定无量纲处理的数据与理想数据之间的灰色关联系数,利用公式(3)^[13]进行计算,

表3 各方案目标值的计算结果

Tab. 3 Simulation results of target values of each scheme

Serial number	Signal-to-noise ratio		Dimensionless coefficient		Grey incidence coefficient		Grey correlation degree γ_i
	$S_{N_i}(X)$	$S_{N_i}(Y)$	$a_i(X)$	$a_i(Y)$	$\xi_i(X)$	$\xi_i(Y)$	
1	16.8	-7.8	0.00	1.00	0.33	1.00	0.65
2	17.8	-12.4	0.28	0.01	0.41	0.34	0.38
3	20.2	-10.4	0.98	0.43	0.96	0.47	0.73
4	19.9	-8.8	0.90	0.79	0.83	0.71	0.77
5	18.8	-10.8	0.57	0.35	0.54	0.44	0.49
6	18.9	-9.1	0.62	0.72	0.57	0.64	0.60
7	19.1	-10.7	0.66	0.37	0.59	0.44	0.52
8	18.1	-10.7	0.38	0.37	0.45	0.44	0.45
9	20.1	-8.7	0.95	0.81	0.91	0.73	0.82
10	19.8	-10.5	0.88	0.43	0.80	0.47	0.64
11	18.9	-10.8	0.59	0.35	0.55	0.44	0.50
12	18.8	-10.8	0.57	0.35	0.54	0.44	0.49
13	17.1	-11.0	0.09	0.32	0.36	0.42	0.39
14	17.6	-11.1	0.22	0.29	0.39	0.41	0.40
15	18.6	-10.8	0.53	0.36	0.51	0.44	0.48
16	18.8	-10.8	0.57	0.35	0.54	0.44	0.49
17	18.4	-8.3	0.46	0.89	0.48	0.82	0.64
18	19.4	-10.7	0.75	0.38	0.67	0.45	0.57
19	17.1	-11.3	0.07	0.25	0.35	0.40	0.37
20	18.1	-12.3	0.38	0.04	0.45	0.34	0.40
21	18.8	-10.8	0.57	0.35	0.54	0.44	0.49
22	19.5	-9.0	0.78	0.75	0.69	0.67	0.68
23	17.5	-12.3	0.18	0.02	0.38	0.34	0.36
24	17.5	-10.1	0.20	0.51	0.39	0.51	0.44
25	20.3	-10.3	1.00	0.45	1.00	0.49	0.77
26	19.5	-10.6	0.78	0.40	0.69	0.46	0.58
27	18.7	-12.3	0.55	0.03	0.53	0.34	0.44
28	17.8	-12.3	0.28	0.03	0.41	0.34	0.38
29	18.8	-10.8	0.57	0.35	0.54	0.44	0.49
31	17.1	-12.4	0.09	0.00	0.36	0.33	0.35
32	18.7	-10.8	0.59	0.35	0.55	0.44	0.50

计算结果列于表3中。

$$\xi_i = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{|\alpha_0 - \alpha_i| + \rho \Delta_{\max}} \quad (3)$$

式中: ξ_i 为灰色关联系数; a_0 为数据理想值,最佳的试验次数对应无量纲化结果 $a_0=1$; $\Delta_{\max}$ 为试验数据的最大值,取1; $\Delta_{\min}$ 为试验数据的最小值,取0; ρ 为分辨系数, $\rho \in [0, 1]$,一般取 $\rho=0.5$ 。

2.3 熵权法计算权重系数

注塑冷却后的产品翘曲变形是决定产品外观尺寸的重要指标,缩痕指数则是反应缩痕或缩孔等缺陷出现的概率,为了开展多目标分析,就需要确定参数对目标影响的权重系数。因此采用熵权法进行赋值计算,熵值越大,则表明目标值的变化越小,权重系数也就越小。权重系数计算过程如下^[13-15]。

(a)确定翘曲变形和缩痕指数的决策矩阵 $X_{m \times n}$,具体见公式(4)。

$$X_{m \times n} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

式中: x 为优化目标的灰色关联系数; m 为试验次数,取值31; n 为试验指标数,取值2。

(b)进一步按照公式(5)进行正则化处理。

$$\lambda_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (5)$$

式中: λ_{ij} 为第 i 次试验中 j 项指标的正则化处理结果。

(c)利用公式(6)分别计算第 j 项指标下第 i 个值占试验值之和的比重 p_{ij} 。

$$p_{ij} = \frac{\lambda_{ij}}{\sum_{i=1}^m \lambda_{ij}} \quad (6)$$

(d)利用公式(7)计算各指标的熵值 e_j 。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (7)$$

式中: k 为常数,值为 $1/\ln(m)$ 。

(e)利用公式(8)计算各指标的信息熵冗余度 d_j 。

$$d_j = 1 - e_j \quad (8)$$

(f)利用公式(9)计算权重系数 ω_j 。

$$\omega_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (9)$$

将表3中的两个目标灰色关联系数代入公式(4)至公式(9),得到翘曲变形和缩痕指数的权重分别为53.28%和46.72%,各指标的熵值、熵冗余度及权重系数见表4。

表4 优化目标熵值、熵冗余度、权重系数

Tab. 4 Entropy, redundancy and weight coefficient of optimized target

Target	Entropy e_j	Redundancy d_j	Weight coefficient $\omega_j/\%$
X	0.986 75	0.014 25	53.28
Y	0.987 51	0.012 49	46.72

2.4 灰色关联度计算

结合表3中的灰色关联系数和表4中的权重系数,利用公式(10)^[13]计算各目标的灰色关联度 γ_i ,并列于表3中。

$$\gamma_i = \xi_i(X) \cdot \omega_1 + \xi_i(Y) \cdot \omega_2 \quad (10)$$

2.5 多目标优化及实验验证

根据表3分别计算不同参数水平下的灰色关联度,并进行极差分析,结果见表5。由于采用中心复合试验方案,其中保压时间(E)的上限值在方案30中,仿真分析填充不完整,因此不作考虑。

表5 灰色关联度极差分析

Level	A	B	C	D	E
1	0.823	0.728	0.377	0.733	0.374
2	0.550	0.563	0.427	0.513	0.513
3	0.523	0.527	0.539	0.497	0.547
4	0.475	0.462	0.598	0.512	0.546
5	0.397	0.441	0.639	0.524	—
Range	0.426	0.287	0.262	0.236	0.173

根据表5可知,灰色关联度的极差值越大表明参数对灰色关联度的影响越大,各参数对灰色关联度的影响由大到小依次为熔体温度、模具温度、注射时间、保压压力及保压时间。图5为参数各水平灰色关联度均值趋势图。在数据处理环节采用了望小特征函数,参数水平的灰色关联度值越大则表明该水平为最优参数。因此根据图5可知,最佳方案为 $A_1B_1C_5D_1E_3$,即熔体温度 225 °C、模具温度 30 °C、注射时间 5 s、保压压力 20 MPa 及保压时间 30 s。

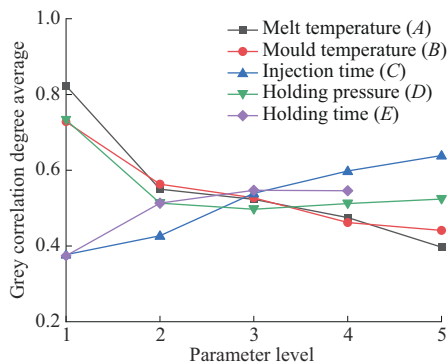


图5 参数各水平灰色关联度均值趋势图

Fig. 5 Average trend chart of grey correlation degree of each parameter level

利用 Moldflow 进行仿真验证,结果如图6所示,可知优化后的翘曲变形为 0.118 mm,和初始方案相差不大,这主要是由于塑件底部存在加强筋所致,产品的翘曲变形非常小。而对比缩痕指数可知,优化后的缩痕指数为 2.401%,相比于初始方案的 3.469%,缩痕指数降低了 30.79%,这有效地降低了产品出现缩痕或缩孔等缺陷的概率。进一步地,

验证了优化方案的熔接线,如图7所示。由图7所示红圈内标记的区域可知,相比于初始方案,在该区域的熔接线的长度与宽度降低明显,有利于提高产品的表面质量。相比于初始方案,优化后的底座底面在加强筋上出现的熔接线数量增加,但这不会影响产品的表面质量和结构的强度。

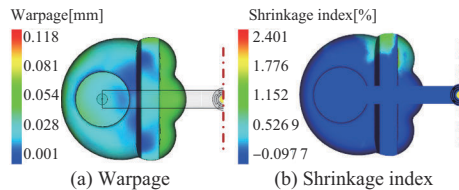


图6 优化方案的翘曲变形及缩痕指数仿真结果

Fig. 6 Simulation results of warpage deformation and shrinkage index of optimized scheme

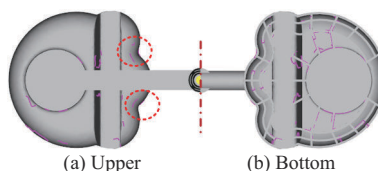


图7 优化方案的熔接线仿真结果

Fig. 7 Simulation results of weld line of optimized scheme

3 注塑模具设计及工作原理

进一步地根据塑件的尺寸图结合 UG 软件进行注塑模具的设计。模具的型芯和型腔结构如图8所示,对于型芯和型腔结构采用整体式独立设计,由型芯固定板和型腔固定板分别进行固定,在每个型芯位置设有6个推件杆孔保证塑件被顺利推出。

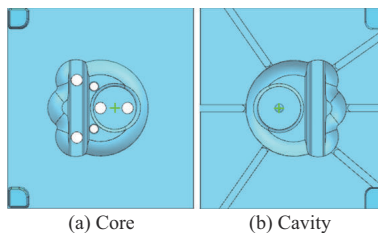


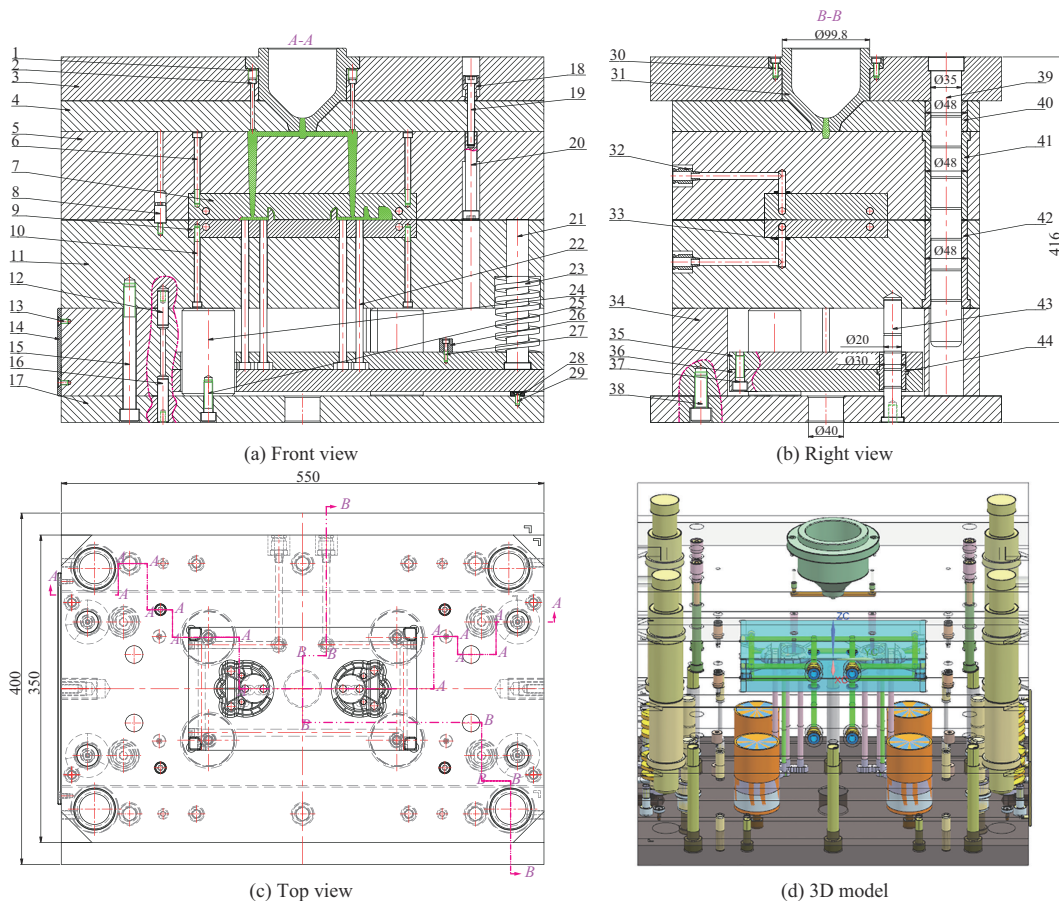
图8 型芯与型腔结构三维模型

Fig. 8 3D model of core and cavity structure

图9a~图9c为塑件模具的三视图,图9d为底座塑件模具的关键结构三维装配模型。该模具结构配有冷却水道系统,由于产品结构对冷却梯度要求不高,所以在设计时只需要保证布局均匀即可,冷却水道直径设计为 8 mm,经过 Moldflow 模流分析得到的冷却水路中的温差只有 0.7 °C,因此满足要求。此外,该模具结构还包括导向机构、复位机构、推出机构、浇注机构等关键部件组成,其中导向机构为导柱导套导向,复位机构由弹簧复位。闭合状

态下注塑模具的尺寸为550 mm×400 mm×416 mm,该模具的高度为426 mm。选用海天塑机集团的HTF250A型号注塑机,该注塑机最多可以安装570 mm高的模具。浇注部分与塑件总体高度为278 mm,推出行程为15 mm,可知脱模最小行程为303 mm,因此,选择的HTF250A型号注塑机开模行程最大可达350 mm,满足要求。模具工作过程如下:动

模与定模通过四导柱与导套的导向作用完成合模,并在注塑机下实现密封,顶杆由弹簧实现复位;进而利用注塑机将熔融的树脂通过浇口道注入型腔中,待填充完成并冷却;然后,待冷却完成,动模座板向后移动开模过程中,通过弹簧和拉料杆将塑件与流道分开,再利用注塑机推动下顶杆将塑件从型芯上推出,进而重复下一个注塑过程。



- 1—Hex socket headless bolt; 2—Sprue puller; 3—Fixed clamping plate; 4—Runner ejector plate; 5—Fixed mould plate;
6, 10, 15, 25, 27, 29, 37, 38—Hex socket bolt; 7—Cavity; 8—Shutter; 9—Core; 11—Moving mould plate; 12/16—Locating pin;
13/30—Hexagon flat head bolt; 14—Dust guard; 17—Bottom fixed plate; 18—Bolt limit pillar; 19—Hexagon limit bolt; 20—Pull rod; 21—Return pin;
22—Ejector pin; 23—Rectangular ring; 24—Support pillar; 26—Limited pillar; 28—Stop pin; 31—Sprue bush; 32—Water swivel; 33—Seal ring;
34—Support plate; 35—Ejector plate; 36—Ejector retainer plate; 39—Guide pillar; 40—Stripping guide bush; 41—Fixed mould guide bush;
42—Moving mould guide bush; 43—Ejector plate guide pillar; 44—Ejector plate guide bush

图9 塑件模具三视图及三维装配模型

Fig. 9 Three-view drawing and 3D assembling model of plastic parts mould

进一步根据注塑工艺参数优化结果进行试模验证。图10为风扇底座注塑实物,可以看出,产品表面质量良好,填充完整,产品无明显翘曲变形,表面无熔接线、气孔等缺陷,满足产品生产标准要求。

4 结论

(1)利用初步仿真分析确定了塑件的浇口位置,发现塑件在注塑时出现体缩痕指数过大的问题。

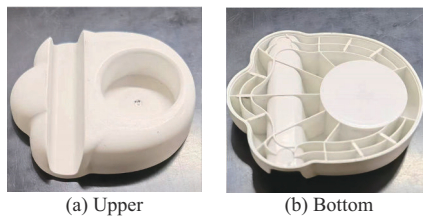


图10 风扇底座注塑实物

Fig. 10 Actual injection plastic part of fan base

(2)以缩痕指数与翘曲变形为优化目标,开展响应曲面试验及模流分析,结合灰色关联-熵权法开展塑件的多目标优化,确定各参数对灰色关联度的影响由大到小依次为熔体温度、模具温度、注射时间、保压压力及保压时间。

(3)最佳方案为 $A_1B_1C_3D_1E_3$, 即熔体温度为 225 °C、模具温度为 30 °C、注射时间为 5 s、保压压力为 20 MPa 及保压时间为 30 s 时,缩痕指数为 2.401%,相比初始方案降低了 30.79%,翘曲变形为 0.118 mm,和初始方案相差不大。

参考文献

- [1] 杨凯. 基于 CAE/CFD 分析的某进气歧管结构性能优化[D]. 太原: 中北大学, 2022.
YANG Kai. Structural performance optimization of an intake manifold based on CAE/CFD analysis[D]. Taiyuan: North University of China, 2022.
- [2] 薛茂远, 梅益, 唐方艳, 等. 基于 GA-ELM 及遗传算法的注塑件成型工艺优化[J]. 塑料, 2022, 51(1): 56–61, 66.
XUE Maoyuan, MEI Yi, TANG Fangyan, et al. Optimization of injection molding process based on GA-ELM and genetic algorithm[J]. Plastics, 2022, 51(1): 56–61, 66.
- [3] 许方敏, 许忠斌, 朱科, 等. 基于高斯过程回归的注塑质量多目标优化方法[J]. 塑料工业, 2022, 50(4): 94–98, 122.
XU Fangmin, XU Zhongbin, ZHU Ke, et al. Multi-objective optimization method of injection quality based on Gaussian process regression[J]. China Plastics Industry, 2022, 50(4): 94–98, 122.
- [4] LIN H H, CHENG J H, CHEN C H. Application of gray relational analysis and computational fluid dynamics to the statistical techniques of product designs[J]. Symmetry, 2020, 12(2). DOI:10.3390/sym12020227.
- [5] SATOSHI K, KANAKO T, MASAHIRO T, et al. Numerical and experimental investigation on process parameters optimization in plastic injection molding for weldlines reduction and clamping force minimization[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 97: 2 087–2 098.
- [6] MUKRAS S M S, OMAR H M, AIMUFADI F A. Experimental-based multi-objective optimization of injection molding process parameters[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2019, 44(9): 7 653–7 665.
- [7] 罗鹏飞, 郑新建, 龚瑗, 等. 基于 Moldflow 和正交试验的车标注塑参数优化[J]. 塑料, 2019, 48(6): 110–113.
LUO Pengfei, ZHENG Xinjian, GONG Yuan, et al. Optimization of injection parameters of automobile marks based on Moldflow and orthogonal experiment[J]. Plastics, 2019, 48(6): 110–113.
- [8] 段家现. 基于灰色关联分析的注塑工艺参数优化[J]. 塑料, 2017, 46(4): 88–92.
DUAN Jiaxian. Optimization of injection molding process parameters based on grey relational analysis[J]. Plastics, 2017, 46(4): 88–92.
- [9] 吴虎. 汽车前端框架上支架结构强化及其注塑成型工艺参数优化研究[D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2023.
WU Hu. Research on lightweight structure of automobile front end frame and optimization of injection molding process parameters [D]. Wuhu: Anhui Polytechnic University, 2023.
- [10] 徐林龙. COC 微流控芯片结构注塑成型工艺研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2023.
XU Linlong. Study on injection molding process of microstructure of COC microfluidic chip[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2023.
- [11] 欧阳宇. 进气歧管注塑成型工艺参数及进气性能优化研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2023.
OUYANG Yu. Research on the intake manifold injection molding process parameters and intake performance optimization[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2023.
- [12] 朱倩, 刘全义, 马凯庆, 等. ABS 材料的热解燃烧特性研究[J]. 塑料科技, 2022, 50(10): 17–22.
ZHU Qian, LIU Quanyi, MA Kaiqing, et al. Study on pyrolytic and combustion characteristics of ABS materials[J]. Plastics Science and Technology, 2022, 50(10): 17–22.
- [13] 王晓东, 王权, 陈拓, 等. 基于灰色关联分析和熵权法的双色注塑多目标参数优化[J]. 中国塑料, 2022, 36(7): 115–120.
WANG Xiaodong, WANG Quan, CHEN Tuo, et al. Optimization of multi-objective parameters for double color injection-molding based on grey relational analysis and entropy weight method[J]. China Plastics, 2022, 36(7): 115–120.
- [14] TZENG G H, HUANG J J. Multiple attribute decisionmaking: Methods and applications[M]. New York: Springer-Verlag, 1981.
- [15] WANG D F, JIANG R C, WU Y C. A hybrid method of modified NSGA-II and TOPSIS for lightweight design of parameterized passenger car sub-frame[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2016, 30(11): 4 909–4 917.