

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.03.012

基于BP神经网络的导管接头注塑工艺参数优化

廖生温,王玉勤,王可胜,刘婧

(巢湖学院机械工程学院,安徽巢湖 238000)

摘要:以医用介入导管接头为研究对象,基于塑料成型理论在Moldflow软件中进行导管接头模流分析,通过正交实验极差分析,确定了注塑工艺参数对导管接头缩痕指数影响趋势,得到最佳工艺参数组合。针对实际生产中出现的缩痕缺陷,建立导管接头缩痕指数的BP神经网络参数模型,并用遗传算法进行优化,同时对结果进行仿真模拟,得到缩痕指数为0.0752%,此时的最佳注塑工艺参数为熔体温度238℃、模具温度71℃、注塑压力68 MPa、注塑时间0.61 s、保压压力27 MPa、保压时间24 s,其结果比极差分析法的优化结果(0.088%)减少了14.5%。将遗传算法优化BP神经网络后的注塑工艺参数组合应用于导管接头加工试生产,得到产品外观无明显熔接痕,表面质量好,满足企业设计要求。

关键词:导管接头;注塑;BP神经网络;缩痕指数

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)03-0065-06

Optimization of Injection Process Parameters of Catheter Joint based on BP Neural Network

Liao Shengwen, Wang Yuqin, Wang Kesheng, Liu Jing

(School of Mechanical Engineering, Chaohu University, Chaohu 238000, China)

Abstract: Taking medical interventional catheter joint as the research object, the Moldflow analysis of the catheter joint was carried out in Moldflow software based on plastic molding theory. Through range analysis of orthogonal experiment, the influence trend of injection molding process parameters on the sink mark index of the catheter joint was determined, and the best process parameters combination were obtained. Aiming at the shrinkage mark defects in actual production, the BP neural network parameter model for the shrinkage mark index of the catheter joint was established, and the genetic algorithm was used to optimize and the result was simulated, it is found the sink mark index is 0.0752%, the corresponding best injection molding process parameters are as follows: The melt temperature is 238℃, the mould temperature is 71℃, the injection pressure is 68 MPa, the injection time is 0.61 s, the holding pressure is 27 MPa, and the holding time is 24 s. The result is 14.5% less than that (0.088%) optimized by the range analysis method. The combination of injection molding process parameters based on BP neural network optimized by genetic algorithm was applied to the trial production of the catheter joint processing, the results show that the appearance of the product has no obvious weld marks, and the surface quality is good, which meets the design requirements of the enterprise.

Keywords: catheter joint; injection molding; BP neural network; sink mark index

近年来,随着我国经济的快速增长,国民生活水平的不断提高,人们对医疗健康的消费需求也在不断提升,带动了医疗器械市场保持持续增长的趋势^[1]。血管介入治疗是通过高科技手段将介入导丝、导管等精密医疗器械抵达体内病变区域,从而进行诊断和局部治疗进行的一种微创性治疗^[2]。介入导

管关系到治疗的成败,要求具有良好的生物相容性。导管的结构主要包括导管接头、导管体及其它组件,导管接头是与其它设备相连输送液体或物质到达介入导管的远端,其材料为高分子材料,导管接头注塑的同时完成与导管的熔化粘接,注塑工艺对导管接头的性能与质量有重要的影响^[2]。与传统注塑模具

基金项目:安徽省高校自然科学研究重大项目(KJ2019ZD47),巢湖学院自然科学研究项目(XLZ-202003)

通信作者:廖生温,讲师,硕士,研究方向为模具设计与制造 E-mail: lswsh1986@163.com

收稿日期: 2020-12-15

引用格式:廖生温,王玉勤,王可胜,等. 基于BP神经网络的导管接头注塑工艺参数优化[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(3): 65-70.

Liao Shengwen, Wang Yuqin, Wang Kesheng, et al. Optimization of injection process parameters of catheter joint based on BP neural network[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(3): 65-70.

设计方法相比,注塑 CAE 技术能够提前对塑料制品的各种缺陷进行准确控制与预测,摆脱模具的反复试模、修模,从而缩短模具开发周期,减少修模次数,提高模具合格率、降低企业生产成本^[3]。

目前,已有众多学者对注塑工艺参数优化做了大量研究,例如,么大锁等^[4]对检测仪外壳注塑进行模流仿真分析,建立多输入-多输出的 BP 神经网络模型进行训练与预测,采用遗传算法对注塑工艺参数进行多目标优化,以有效控制检测仪外壳翘曲变形、体积收缩率和缩痕指数,进行了制件试生产,得到检测仪外壳最大翘曲变形量为 0.394 mm,外观表面质量较好,无明显缩痕。S. Kitayama 等^[5]使用 RBF 网络多目标优化设计得到熔接痕温度和夹紧力之间的关系,解决了熔接痕影响产品外观的问题,提高了产品质量。郭富城^[6]选取 5 个注塑工艺(模具温度、熔体温度、注塑压力、保压时间、保压压力)为影响因素,以总翘曲变形量作为实验目标,采用 Logsig 型传递函数,建立汽车前端翼子板翘曲变形量的 BP 神经网络模型,并进行预测与训练,得到汽车前端翼子板翘曲变形量的预测值,其与仿真值的误差在允许范围之内。研究表明,通过建立仿真模型预测塑件的体积收缩率、翘曲变形量、缩痕指数等,能有效控制塑件的质量,提高塑件的生产效率。

参考上述文献,通过 Moldflow 软件对医用介入导管接头的注塑过程进行模流分析,通过极差分析确定注塑工艺参数对导管接头缩痕指数的影响重要程度。同时建立导管接头缩痕指数的 BP 神经网络注塑工艺参数模型进行预测,并利用遗传算法优化,对其优化后得到的工艺参数在 Moldflow 中进行仿真验证。

1 注塑件结构及工艺分析

介入导管接头如图 1 所示,其外表面有螺纹和两侧翼,内有嵌件导管和型腔,结构尺寸较小,属于精密医疗器械零件,是用于连接辅助介入导管输送物质到导管的远端零件。导管接头要求内外表面光滑,不能有毛刺、缩痕、飞边等缺陷,表面精度要求较高,塑件和嵌件导管需具有很好的粘合性,不能出现脱落和分层现象^[7]。塑料是介入导管接头的主要材料,如聚丙烯(PP)、聚乙烯、尼龙、聚氨酯等^[8]。PP 材料由于具有密度小、无毒、无味、较高的耐热性、电绝缘性好且不受湿度影响等优点而被广泛地用于各类零件制作,故选择 A Schulman GMBH 化学公司

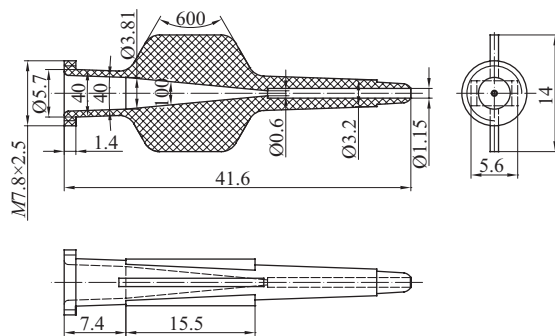


图 1 导管接头零件图

的牌号为 POLYFLAM RIPP 3625 CS1 的 PP 作为塑件材料。

2 工艺方案设计

2.1 浇注系统设计

在导管接头一模两腔注塑过程中,采用三板式浇注系统将聚合物熔体与嵌件结合固化。设计主流道为圆锥形,锥角为 3°,小端直径为 5 mm;一级分流道为圆形截面,长度为 40 mm;二级分流道为圆锥形,锥角为 3°,采用点浇口的结构形式浇注,点浇口的小端直径为 2 mm,高度为 2 mm,锥度为 28°。这样设计有利于增强塑料熔体的流动性和充填,增大熔体的流动速率。导管接头的浇注系统如图 2 所示。经诊断,塑件单元个体数与单元数相同,说明塑料与浇注系统是连通的,从而保证模流计算分析过程的正确性和有效性。

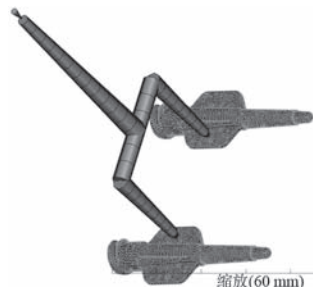


图 2 导管接头的浇注系统

2.2 有限元网格划分

根据图 1,计算出塑件本身尺寸与收缩率之和,在 UG 软件中建立导管接头和导管的三维模型并装配,并以 stl 格式将文件导入 Moldflow 软件中,在导管模型导入前将其属性设置为制品嵌件。之后采用双层网格对导管接头进行有限元网格划分,并对网格状态进行诊断修复,最后划分的网格数为 34 760 个,节点为 17 380 个,最大纵横比为 6.782,单元匹配率为 87.2%,符合塑件模流分析的要求,如图 3 所示。在导管接头零件模流分析时,主要进行流动+充填+保压+翘曲分析。

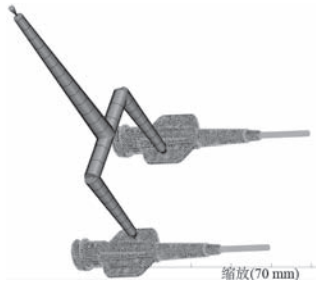


图3 导管接头的网格划分

3 正交实验设计与分析

正交实验设计是在全面实验中挑选出部分有代表性的点进行实验,是基于实验多因素多水平组合中寻求最优水平组合的一种试验设计方法,因此在工程实践中应用广泛^[9]。正交实验可以提高效率、缩短实验周期。

以6个注塑工艺参数(熔体温度、模具温度、注塑压力、注塑时间、保压压力、保压时间)作为实验因素,每个因素选取5个水平(见表1),在模流模拟过程中忽略各工艺参数间交互作用所产生的影响,采用 $L_{25}(5^6)$ 正交表,在Moldflow软件中模拟得到导管接头缩痕指数值,见表2。

表1 正交实验的因素水平

水 平	因 素					
	熔体温度 $A/^{\circ}\text{C}$	模具温度 $B/^{\circ}\text{C}$	注塑压力 C/MPa	注塑时间 D/s	保压压力 E/MPa	保压时间 F/s
1	200	25	54	0.37	8	10
2	215	40	63	0.57	13	15
3	230	55	72	0.77	18	20
4	245	70	81	0.97	23	25
5	260	85	90	1.17	28	30

由于导管接头在成型时,熔融聚合物与导管外表面产生融合,导致在导管接头与嵌件结合处容易产生缩痕,如图4所示。塑件产生缩痕或缩孔的可能性在Moldflow中常用缩痕指数大小来表示^[10]。通过正交实验模拟结果得到导管接头缩痕指数的极差分析结果,见表3。得到影响导管接头缩痕指数的注塑工艺参数重要程度顺序为:保压压力>注塑时间>模具温度>注塑压力>保压时间>熔体温度。

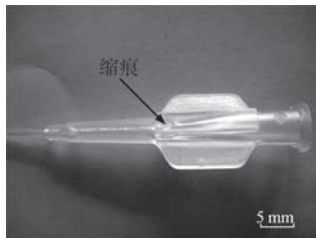


图4 导管接头产生缩痕位置

图5为各工艺参数对导管接头缩痕指数的影响趋势,从图5能更直观地观察到各工艺参数的影响

表2 导管接头注塑正交实验方案及结果

编号	$A/^{\circ}\text{C}$	$B/^{\circ}\text{C}$	C/MPa	D/s	E/MPa	F/s	缩痕指数 / %
1 [#]	200	25	54	0.37	8	10	1.144 0
2 [#]	200	40	63	0.57	13	15	0.131 2
3 [#]	200	55	72	0.77	18	20	0.965 1
4 [#]	200	70	81	0.97	23	25	0.097 5
5 [#]	200	85	90	1.17	28	30	0.105 1
6 [#]	215	25	63	0.77	23	30	0.157 2
7 [#]	215	40	72	0.97	28	10	0.123 1
8 [#]	215	55	81	1.17	8	15	1.720 0
9 [#]	215	70	90	0.37	13	20	0.148 1
10 [#]	215	85	54	0.57	18	25	0.096 9
11 [#]	230	25	72	1.17	13	25	0.232 6
12 [#]	230	40	81	0.37	18	30	0.144 7
13 [#]	230	55	90	0.57	23	10	0.225 7
14 [#]	230	70	54	0.77	28	15	0.163 6
15 [#]	230	85	63	0.97	8	20	0.271 5
16 [#]	245	25	81	0.57	28	20	0.119 0
17 [#]	245	40	90	0.77	8	25	1.405 0
18 [#]	245	55	54	0.97	13	30	0.185 7
19 [#]	245	70	63	1.17	18	10	0.406 6
20 [#]	245	85	72	0.37	23	20	0.114 5
21 [#]	260	25	90	0.97	18	15	0.315 7
22 [#]	260	40	54	1.17	23	20	0.148 2
23 [#]	260	55	63	0.37	28	25	0.128 2
24 [#]	260	70	72	0.57	8	30	0.354 2
25 [#]	260	85	81	0.77	13	10	0.895 4

表3 各工艺参数对缩痕指数的极差分析表

项 目	A	B	C	D	E	F
k_1	0.488 6	0.393 7	0.347 7	0.335 9	0.978 9	0.559 0
k_2	0.449 1	0.390 4	0.218 9	0.185 4	0.318 6	0.489 0
k_3	0.207 6	0.644 9	0.357 9	0.717 3	0.385 8	0.330 4
k_4	0.446 2	0.234 0	0.595 3	0.198 7	0.148 6	0.392 0
k_5	0.368 3	0.296 7	0.439 9	0.522 5	0.127 8	0.207 0
R	0.281 0	0.410 9	0.376 4	0.531 9	0.851 1	0.352 0
排序	6	3	4	2	1	5

注: $k_1 \sim k_5$ 分别表示各因素在五个水平值下缩痕指数的均值; R 为极差,表示缩痕指数均值的最大值与最小值之差。

程度。通过极差分析得知,取各因素水平的最小值可得到最佳工艺参数组合 $A3B4C2D2E5F5$,即当注塑工艺参数的熔体温度为 230°C 、模具温度为 70°C 、注塑压力为 63 MPa 、注塑时间为 0.57 s 、保压压力为 28 MPa 、保压时间为 30 s 时导管接头缩痕指数数值最小。在正交实验表中没有该组工艺参数组合,

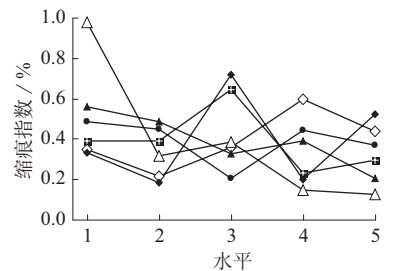


图5 正交实验各因素对导管接头缩痕指数的影响趋势

运用 Moldflow 模拟得到缩痕指数为 0.088 0% (如图 6 所示), 小于表 2 中任意一组工艺参数对应的缩痕指数, 其结果得到优化。

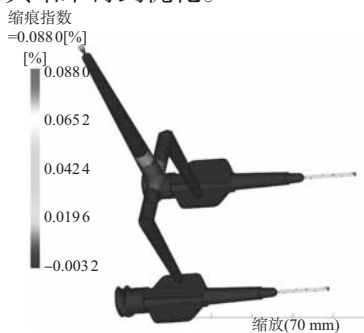


图 6 导管接头最优工艺参数组合下的缩痕指数

4 基于 BP 神经网络的导管接头注塑工艺参数优化

4.1 BP 神经网络模型建立

在构建 BP 神经网络模型时, 以 6 个注塑工艺参数 (熔体温度、模具温度、注塑压力、注塑时间、保压压力和保压时间) 为输入, 以缩痕指数为输出, 建立 6 个输入、1 个输出的多输入-单输出的 BP 神经网络模型, 以便在不同注塑工艺参数下对导管接头的缩痕指数进行准确、快速的训练与预测^[11]。在 BP 神经网络结构中, 设置输入层的节点数为 6, 输出层的节点数为 1, 隐含层的层数为 1, 其神经网络拓扑算法模型如图 7 所示。

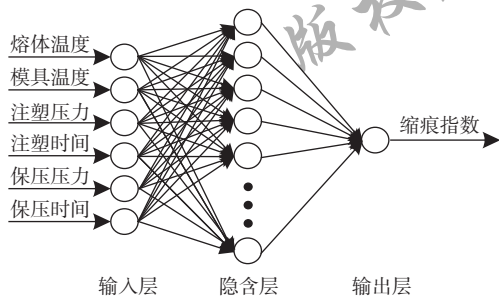


图 7 BP 神经网络结构图

通过经验公式 (1) 计算得到隐含层的节点数 s 为:

$$s = \sqrt{R + k} + \alpha \quad (1)$$

式 (1) 中, R 为输入层的节点数; k 为输出层的节点数; α 为值在 1 与 10 之间的常数。

根据式 (1) 可以初步选定 $s=10$, 其值可根据神经网络在 Matlab 的实际训练情况进行相应的调整。

4.2 BP 神经网络模型训练与验证

根据 BP 神经网络模型算法的设定, 为使数据样本更好更快收敛, 同时按照精度方面的要求, 对神经网络训练数据样本作归一化处理, 其取值范围为: $[-1, 1]$, 归一化公式为:

$$\bar{x}_i = \frac{2(x_i - x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}} - 1 \quad (2)$$

式 (2) 中, x_i , $\bar{x}_i$, $x_{\max}$, $x_{\min}$ 分别为神经网络训练的输入值、输出值及数据样本的最大值、最小值。

此外, 输入层函数为非线性传递函数 $\logsig$, 隐含层函数为 S 型正切函数 $\tansig$, 输出层函数为线性传递函数 trainlm 。设置 BP 神经网络的学习速率为 0.01, 训练次数为 5 000 次, 网络性能目标误差为 0.000 1。在 BP 神经网络训练过程中, 当训练的误差小于目标值或者训练次数达到最大时, 训练终止。最后对 BP 神经网络输出数据作反归一化处理得到实际模拟数据。

为了验证训练的 BP 神经网络的准确程度, 再从正交实验数据中随机抽取 16 组数据作为检验样本, 其余 9 组作为测试样本。分别通过 BP 神经网络进行输出预测和 Moldflow 软件进行注塑过程数值分析, 得到的结果见表 4。

表 4 Moldflow 分析结果与 BP 神经网络输出结果比较

编号	Moldflow 仿真值	BP 神经网络输出值	误差 / %
1 [#]	1.144 0	1.168 4	2.13
3 [#]	0.965 1	0.924 2	4.24
6 [#]	0.157 2	0.145 8	7.25
10 [#]	0.096 9	0.102 5	5.78
14 [#]	0.163 6	0.174 9	6.91
18 [#]	0.185 7	0.172 5	7.11
19 [#]	0.406 6	0.425 2	4.57
22 [#]	0.148 2	0.160 2	8.10
25 [#]	0.895 4	0.806 4	9.94

通过表 4 分析可知, 导管接头缩痕指数 BP 神经网络预测值与 Moldflow 仿真值的误差都小于 10%, 最大误差为 9.94%。这说明正交实验的模流分析结果与神经网络的预测结果比较接近, 吻合程度较高, 也说明所设计的 BP 神经网络模型较好, 预测精度较高^[12]。在 BP 神经网络预测时, 每次预测结果稍有差异是由于网络权值初始化随机性的影响导致, 但目标误差都在允许范围内^[13]。

4.3 基于遗传算法注塑工艺参数优化

BP 神经网络模型对注塑工艺参数和缩痕指数预测具有一定的局限性, 为进一步对导管接头注塑工艺参数优化, 采用遗传优化算法进行寻优^[14]。遗传算法是由 J. Holland 在 1975 年受生物进化论启发提出的, 由编码与解码、适应函数、遗传算子和控制参数等四个部分组成^[15]。以 BP 神经网络模型的缩痕指数为适度函数, 利用 Matlab 软件进行优化, 选取种群个数为 200, 交叉概率为 0.8, 变异概率为 0.7 / Lind, 优化结果见表 5。

表5 Moldflow 分析结果与遗传算法优化 BP 神经网络输出结果比较

编号	Moldflow 仿真值	遗传算法优化 BP 输出值	误差 / %
1 [#]	1.144 0	1.129 2	1.29
3 [#]	0.965 1	0.943 6	2.23
6 [#]	0.157 2	0.161 2	2.54
10 [#]	0.096 9	0.102 8	6.09
14 [#]	0.163 6	0.1536	6.11
18 [#]	0.185 7	0.201 4	8.45
19 [#]	0.406 6	0.375 6	7.62
22 [#]	0.148 2	0.156 0	5.26
25 [#]	0.895 4	0.826 6	7.68

由表5分析可知,导管接头缩痕指数遗传算法优化BP神经网络预测值与Moldflow仿真值最大误差为8.45%,比BP神经网络预测值与仿真值的最大误差小,说明通过使用遗传算法对BP神经网络的优化效果较为明显。将遗传算法优化BP神经网络的注塑工艺参数在Moldflow软件中进行模拟来进一步验证遗传算法优化BP神经网络的预测值是否正确^[16]。遗传算法优化BP神经网络经过160次迭代得到导管接头缩痕指数基本维持在0.0796%,此时取整其相对应的最佳注塑工艺参数为:熔体温度238℃、模具温度71℃、注塑压力68 MPa、注塑时间0.61 s、保压压力27 MPa、保压时间24 s。在Moldflow中将该组工艺参数组合进行模拟,得到的结果如图8所示。

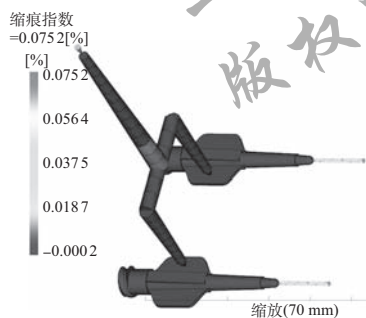
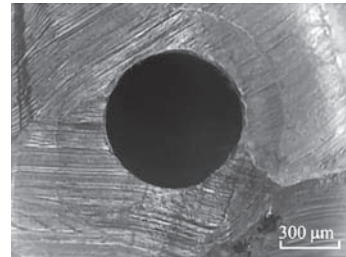


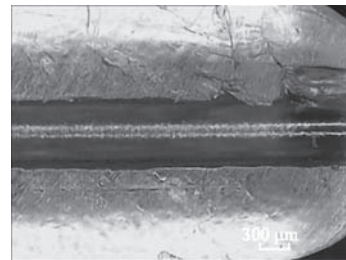
图8 遗传算法优化BP后的缩痕指数

由图8可知,经过遗传算法优化后导管接头缩痕指数为0.0752%比正交实验最优结果的0.0880%减少了14.5%,说明遗传算法优化BP神经网络的效果比极差分析法的优化效果更好。

通过模具机加工、安装和调试,结合遗传算法优化BP神经网络的工艺参数组合,在相关企业进行产品试生产。选取产品截开并处理后在显微镜下观察其截面,如图9所示。由图9可以观察到,导管接头与导管在横截面处能模糊看到连接痕迹,但在纵向截面上基本看不出连接痕迹,且产品的外观无明显的熔接痕,表面质量良好,能够满足企业的设计要求。



(a)



(b)

a—横截面;b—纵向截面

图9 导管接头试模件连接情况

5 结论

(1) 基于塑料成型理论,建立导管接头嵌件—模两腔注塑有限元模型,并在Moldflow软件中进行流动+充填+保压+翘曲分析。

(2) 设计了六因素五水平的正交实验,在Moldflow中模拟成型过程,记录缩痕指数结果,对试验结果进行极差分析得到最佳工艺参数组合及单一评价的影响趋势。

(3) 以注塑工艺参数为输入、缩痕指数为输出建立BP神经网络模型,并对初始样本进行训练并验证,发现Moldflow模拟值与BP神经网络预测值之间的误差小于10%,从相对误差可以看出,所构建的BP神经网络模型的预测精度较高。

(4) 利用遗传算法进行优化并仿真验证,得到导管接头的最佳注塑工艺参数组合为:熔体温度238℃、模具温度71℃、注塑压力68 MPa、注塑时间0.61 s、保压压力27 MPa、保压时间24 s,由此成型的塑件缩痕指数为0.0752%,其结果比极差分析法的优化结果更好。

参考文献

- [1] 杜策之,王成勇.医用金属材料抗菌表面制造[J].机电工程技术,2020,49(11):16-19,111.
Du Cezhi, Wang Chengyong. Antibacterial surface processing on metallic biomaterials[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2020, 49(11):16-19, 111.
- [2] 陈宽,许伟,张嵩.用于可穿戴和植入式医疗器械的柔性电子技术[J].中国医学装备,2020,17(12):191-196.
Chen Kuan, Xu Wei, Zhang Song. Flexible electronic technique

- used in wearable and implantable medical devices[J]. China Medical Equipment, 2020, 17(12):191-196.
- [3] 费晓瑜, 郑伟. 汽车车灯边框薄壁件多向侧抽芯注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(10):80-85.
- Fei Xiaoyu, Zheng Wei. Design of injection mould with multi-directional side core pulling for thin wall plastic parts of automobile lamp frame[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(10):80-85.
- [4] 么大锁, 贺莹, 于洋洋. 基于 RBF 神经网络和遗传算法的注塑成型质量控制与预测[J]. 塑料工业, 2020, 48(4):71-76.
- Yao Dasuo, He Ying, Yu Yangyang. Injection molding quality control and prediction based on RBF neural network and genetic algorithm[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(4):71-76.
- [5] Kitayama S, Tamada K, Takano M, et al. Numerical optimization of process parameters in plastic injection molding for minimizing weldlines and clamping force using conformal cooling channel[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2018, 32:782-790.
- [6] 郭富城. 汽车前端翼子板注塑成型工艺参数优化[D]. 芜湖:安徽工程大学, 2019.
- Guo Fucheng. Optimization of process parameters for injection molding of automobile front end fender[D]. Wuhu: Anhui Polytechnic University, 2019.
- [7] 兰苗宇, 李治, 曹志臣, 等. 注塑成型工艺对 ABS 树脂冲击性能的影响[J]. 塑料科技, 2019, 47(3):48-52.
- Lan Miaoyu, Li Zhi, Cao Zhichen, et al. Effect of injection molding process on impact property of ABS resin[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(3):48-52.
- [8] 孙丽丽, 苏学满. 基于 BP 神经网络的汽车内置储物盒注塑成型优化[J]. 塑料工业, 2018, 46(2):35-40.
- Sun Lili, Su Xueman. The injection molding optimization of built-in car storage box based on BP neural network[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(2):35-40.
- [9] 张志盛. 基于数值仿真的手机外壳注塑模具设计及工艺参数优化的研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2017.
- Zhang Zhisheng. Research on design of injection mold and optimization of process parameters for mobile shell based on numerical simulation[D]. Suzhou: Soochow University, 2017.
- [10] 林峰, 陈天凡. 基于 BP 神经网络的薄壁外壳注塑工艺参数优化[J]. 模具技术, 2019(6):6-12.
- Lin Feng, Chen Tianfan. Parameters optimization of injection molding process for thin-walled shell based on BP neural network[J]. Die and Mould Technology, 2019(6):6-12.
- [11] 李瑞娟, 黄力. 基于 BP 神经网络的汽车内饰面板注塑成型工艺参数优化[J]. 塑料, 2016, 45(3):81-85, 35.
- Li Ruijuan, Huang Li. Optimization of injection molding process for automotive interior panel based on BP neural network[J]. Plastics, 2016, 45(3):81-85, 35.
- [12] 孙丽丽, 苏学满. 基于 BP 神经网络的塑料齿轮玩具注射成型优化分析[J]. 中国塑料, 2016, 30(6):108-115.
- Sun Lili, Su Xueman. Optimization and analysis of injection molding process for gear toys based on BP neural network[J]. China Plastics, 2016, 30(6):108-115.
- [13] 陈英, 谢帮灵, 邓其贵. 基于 BP 神经网络的显示仪框注塑 CAE 优化分析[J]. 塑料, 2017, 46(3):109-113.
- Chen Ying, Xie Bangling, Deng Qigui. Optimal design of injection CAE analysis for display instrument frame based on BP neural network technology[J]. Plastics, 2017, 46(3):109-113.
- [14] 陈晓春. A 柱内饰件“一模两腔”注塑工艺参数优化[J]. 中国塑料, 2019, 33(6):112-116.
- Chen Xiaochun. Optimization of injection molding process parameters for A cylindrical inner parts in mode of one mold and two cavities[J]. China Plastics, 2019, 33(6):112-116.
- [15] 周振. ABS 汽车仪表盘加工工艺对其质量影响[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(12):41-45.
- Zhou Zhen. Influence of processing of ABS automobile dashboard on its quality[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(12):41-45.
- [16] 吴军, 蔡建臣. 基于 Moldflow 的 PUR 车轮注塑工艺参数优化[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(6):56-59.
- Wu Jun, Cai Jianchen. Parameters optimization of injection molding process of PUR wheel based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(6):56-59.