

气辅产品质量的多指标模糊综合评判决策 及优选策略研究^{*}

李光明^{1,2} 殷国富¹ 余玲³ 邓志滔¹ 马有良²

(1. 四川大学制造学院, 成都 610065; 2. 西南科技大学制造学院, 绵阳 621010; 3. 四川航天模塑公司, 成都 610100)

摘要 针对影响气辅产品质量的因素多的难题, 应用模糊综合评价原理并结合正交实验方法, 提出了将模糊综合评判和效应工程方法相结合的优选策略, 结合气辅技术的具体特点和专家意见来确定权重向量, 设计了基于多指标评判的模糊优选算法模型。通过对气辅产品工艺方案的分析和实验方案的设计, 结合具体实例验证了这种算法是可行的, 可以较快、较准确地找出最优的气辅产品及相应的工艺方案。

关键词 气辅产品 质量 多指标 模糊综合评判 优选

气体辅助(以下简称气辅)注射成型技术是在传统注射成型基础上发展起来的一种新技术^[1]。其成型过程主要是通过高压气体和高分子熔体气液两相相互作用来实现的, 工艺控制相当复杂, 设置不当时产品的质量和性能差异会较大; 如果产品结构较为复杂, 则需要成千上百次的试模才能得到满意的结果, 大大增加了生产成本和时间。

采用逆向工程的思维方法, 可对体现气辅产品质量的多个指标进行分析, 通过模糊综合评判比较和优选, 最终确定出相对较优的工艺方案。在此过程中, 评价指标体系的建立、各指标在决策中的相对重要程度或指标权重的确定, 定性指标的量化方法、决策方法的选择及优化策略的确定是产品质量性能和最终方案设计的关键。针对上述问题, 笔者综合运用系统工程、模糊数学、正交实验和工程效应平均方法提出了合理而又有效的优选策略。

1 气辅产品质量的多指标评价体系

影响气辅产品质量的因素主要有 4 个方面: ①塑料产品的外观结构表象; ②注塑产品常见的质量缺陷, 如翘曲和收缩^[2]等; ③气辅产品独有的质量缺陷, 如吹穿效应、手指效应^[3]等; ④气道的结构形状, 如长度等。其中气辅产品质量评价的定量指标主要有: ①最大翘曲量; ②最大收缩率; ③气道长度。定性指标主要有: ①外观结构表象(包括注塑完整性、注塑产品收缩的平均程度、有无大面积的凹陷和翘曲的分布等); ②气体穿透情况(包括有无手指效应、短射及吹穿现象等); ③气道形状(包括气道截面形状等)。

2 气辅产品质量多指标评价体系的模糊优选模型

2.1 建立因素集

因素集是以影响评判对象的各种因素为元素组

成的集合, 通常用 U 表示, 即

$$U = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6) \quad (1)$$

式中: u_1 为注塑状况; u_2 为收缩状况; u_3 为翘曲状况; u_4 为壁厚状况; u_5 为气体穿透情况; u_6 为气道形状; u_i 代表各影响因素, 具有不同程度的模糊性。

2.2 建立评价集

评价集是以对被评价对象可能作出的各种总的评判结果为元素组成的集合, 通常用 V 表示, 即

$$V = (v_1, v_2, v_3) \quad (2)$$

式中: v_1 为上; v_2 为中; v_3 为下; v_i 代表各种可能的总评价结果。

2.3 建立权重集

为了反映各因素的重要程度, 对 u_i 赋予相应的权数 w_i 。由各权数所组成的集合为因素权重集, 简称为权重集。即

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m) \quad (3)$$

各权数 w_i 应归一化^[4]和满足非负条件, 即

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad w_i \geq 0 \quad (4)$$

采用德尔斐法拟定权重分配, 即

$$A = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k a_{1j}, \sum_{j=1}^k a_{2j}, \dots, \sum_{j=1}^k a_{nj} \quad (5)$$

式中: $a_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k a_{ij}$ 为 k 专家给出各因素的权重平均。

根据相关经验和专家估测法对气辅产品各项定性指标权重分配的权重集为: $A = \{0.28, 0.12, 0.2, 0.1, 0.2, 0.1\}$ 。

2.4 单因素评判

单独以一个因素进行评判, 确定评判对象对评

^{*} 国家 863 计划课题资助项目(2006AA04Z108)

收稿日期: 2007-03-09

价集元素的隶属程度。设评判对象按因素集中第 i 个因素进行评判, 各评价集中第 j 个元素 v_j 的隶属程度为 v_{ij} , 则按第 i 个因素 v_i 评判结果可用模糊集合表示:

$$R_i = \frac{r_{i1}}{v_1} + \frac{r_{i2}}{v_2} + \cdots \frac{r_{in}}{v_n}$$

(6)

式中: R_i 为单因素评价集。

R_i 是评价集 V 上的一个模糊子集, 可表示为:

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \cdots, r_{in})$$

(7)

由此获得各因素评判集的隶属程度组成的单因素评判矩阵为:

$$R_i = \begin{matrix} & r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{matrix}$$

(8)

2.5 模糊综合评判

用模型 $M(\cdot, V)^{[5]}$ 对权重式(5) 计算, 可以最大限度地突出主要因素, 又可兼顾单因素评判的隶属度, 得模糊综合评判:

$$B = A \ R$$

(9)

2.6 基于优选策略的评估数据处理

利用模糊综合评判提供的信息, 通过一定的优选策略使各指标能够最大限度地相互协调^[6-7], 从而获得质量性能最优的产品及工艺方案。

(1) 量化评判信息

对评判结果所形成的向量权数归一化, 将评判集的等级用 1 分制数量化, 则将评判结果进行加权平均, 即可得到总评分:

$$S = B' [V'$$

(10)

式中: S 为总评分; B' 为归一化后的 B ; V' 为数量化后的 V 。

(2) 评判总分与实验定量指标匹配优选算法

利用正交设计方法进行实验, 模糊评判总分与实验的定量指标有可能存在较大的差异, 如果两者保持一致, 则获得最优的气辅产品及工艺方案, 如果不一致, 根据产品本身的设计要求, 则可以通过效应工程平均法^[8]来预测最佳的产品质量性能及相关的工艺参数:

$$\bar{Y}_{ae} = \bar{y} + \bar{\tau}$$

(11)

式中: $\bar{Y}_{ae}$ 为某试验编号下的工程平均; $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ 为某评价指标的总平均; $\bar{\tau} = \sum_{j=a}^z (\bar{M}_j - \bar{y})$, $\bar{M}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i$

为第 j 个因素评价指标的水平平均值, $j = A, B, C, D$, $n = 3$, m_i 为水平 i 的评价指标之和。

2.7 模糊优选算法模型的建立

依据以上数学模型, 编制相应的计算程序。模糊优选算法步骤如下:

(1) 对定性指标如注塑状况、收缩状况、翘曲状况等模糊量化, 并通过“上”、“中”、“下”三个性能等级分别进行评判, 以此建立单因素评价集。

(2) 结合气辅技术的具体特点和专家意见来决定权重向量, 结合单因素评价, 通过模型 $M(\cdot, V)$ 算法, 获得综合评判结果。

(3) 对评判结果进行归一化和加权平均处理, 使结果得以量化。

(4) 对评判总分与实验定量指标进行匹配。

(5) 如果结果趋于一致, 则得到最优方案及产品。如果不满足, 则通过效应工程平均法进行工艺参数方案的调整, 直至满足, 输出最终结果。

模糊优选算法模型的流程如图 1 所示。

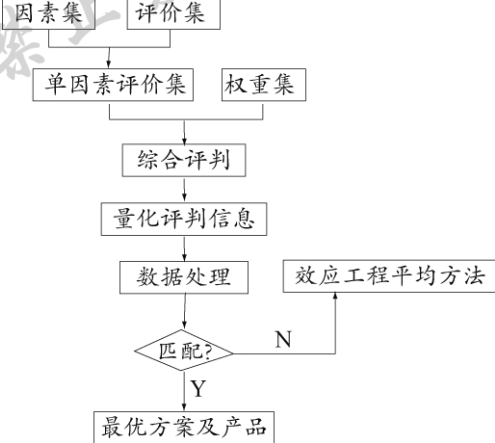


图 1 模糊优选算法模型的流程图

3 优选实例

3.1 实验准备

本实验的硬、软件平台分别为 HP - XW4100 和 Moldflow。气辅产品为某轿车车门的杂物箱盖, 平均厚度为 2.5 mm, 气道直径为 7 mm, 网格划分后的气辅零件如图 2 所示。材料选用 BASF 公司的 Terblend N NG - 02(ABS + PA6), 主要参数见表 1。

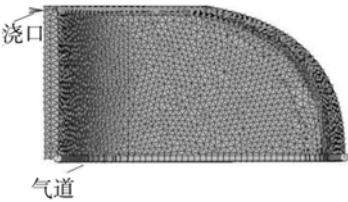


图 2 网格划分后的气辅零件

表 1 Terblend N NG-02 材料的主要参数

参 数	数 值
导热系数 /W · (m · K) ⁻¹	0.165
比热容 /J · (kg · K) ⁻¹	2145
熔体密度 /g · cm ⁻³	0.9803
最大剪切应力 /MPa	0.5
最大剪切速率 /s ⁻¹	100 000

表 2 考察的工艺参数及水平

水平	预注射量 A/%	延迟时间 B/s	气注压力 C/MPa	熔体温度 D/℃
1	92	0.5	5	240
2	95	1.0	10	260
3	98	1.5	15	280

3.2 实验方案设计

考察的工艺参数及水平如表 2 所示, 采用正交表 $L_9(3^4)$ 安排 9 次实验, 如表 3 所示。实验过程中主要对最大翘曲量、最大收缩率等定量指标进行数据统计。

3.3 模糊综合评判

根据上述实验方案, 对多项定性指标进行综合评判, 结果如表 4 所示。

表 3 正交设计表

实验号	参数水平			
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

表 4 定性指标评判结果

实验号	外 观 结 构 表 象												气体穿透情况			气道形状		
	注塑状况			收缩状况			翘曲状况			壁厚状况								
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
1	0	0	1	1	0	0	0.5	0.5	0	0.6	0.3	0.1	0.8	0.2	0	0.8	0.2	0
2	0.7	0.3	0	0.5	0.5	0	0.4	0.6	0	0.5	0.3	0.2	0.7	0.2	0.1	0.7	0.2	0.1
3	0.8	0.2	0	0.8	0.2	0	0.1	0.9	0	0.4	0.4	0.2	0.1	0.6	0.3	0.1	0.6	0.3
4	0.6	0.4	0	0.7	0.3	0	0.5	0.5	0	0.8	0.2	0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.6	0.2
5	0.2	0.8	0	0.4	0.6	0	0.6	0.4	0	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0
6	0.5	0.5	0	0.3	0.7	0	0.8	0.2	0	0.2	0.6	0.2	0.6	0.2	0.2	0.6	0.2	0.2
7	0.3	0.7	0	0.6	0.4	0	0.3	0.7	0	0.7	0.3	0	0.3	0.5	0.2	0.3	0.5	0.2
8	0.4	0.6	0	0.2	0.8	0	0.7	0.3	0	0.6	0.3	0.1	0.4	0.5	0.1	0.4	0.5	0.1
9	0.1	0.9	0	0.1	0.9	0	0.2	0.8	0	0.1	0.9	0	0.8	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1

注: 参加评议的为 5 人, 归入评价系列 (上、中、下) 统计。

用各因素的模糊集构造单因素评价矩阵, 即对每一个因素 u_i 作出单因素评判矩阵集:

$$r_i = r_{i1}, r_{i2}, \cdots r_{im}$$

根据式 (9), 对 9 个产品的质量分别进行模糊综合评判, 结果如表 5 所示。

表 5 产品的综合评判结果

实验号	上	中	下
1	0.16	0.10	0.28
2	0.20	0.12	0.02
3	0.22	0.18	0.06
4	0.17	0.12	0.04
5	0.12	0.22	0.03
6	0.16	0.14	0.04
7	0.08	0.20	0.04
8	0.14	0.17	0.02
9	0.16	0.25	0.02

根据 9 个产品的综合评判结果, 对 B 进行归一化处理, 对评价集 V 进行数量化处理, 结果如表 6 所示。

表 6 评价集数量化结果

评价等级	上	中	下
评分	90	60	0

通过式 (10), 得到产品质量定性指标的总评分, 并以此排序, 如表 7 所示。

表 7 实验最终结果

实验号	模糊评分	最大翘曲量/mm	最大收缩率/%	气道长度/mm
1	37.78	1.607	5.651	178
2	73.93	1.191	7.679	111
3	66.73	1.123	7.862	275
4	68.05	1.147	8.051	217
5	64.82	1.195	7.384	24
6	67.06	1.236	7.694	83
7	60.38	1.169	7.636	159
8	69.14	1.188	8.141	101
9	68.33	1.174	7.476	74

3.4 实验结果与优选匹配

通过对表 7 中各个评价指标的匹配, 发现它们并不能在同一工艺参数下都达到最优值, 因此借助

于各评价指标的水平平均值和极差值^[9]的分析, 对定性指标影响最大的工艺参数为 $A_2B_2C_2D_{2/3}$, 使翘曲量最小的工艺参数为 $A_3B_3C_3D_3$, 使收缩率最小的工艺参数为 $A_1B_1C_1D_1$, 对气道长度影响最大的工艺参数为 $A_1B_1C_3D_3$, 其中, 下标表示对应参数的水平编号, $2/3$ 表示水平 2 或 3, 如 $D_{2/3}$, 即表示熔体温度在平均值水平 2、3 时相近, 对翘曲量的影响也相近。

由式(11) 计算得出的结果如表 8 所示。根据产品本身设计需要, 表 8 中只保留效应工程平均后模糊评分在 65 以上、最大翘曲量在 1.135 mm 以下、最大收缩率在 8% 以下、气道长度在 240 mm 以上的数据。由表 8 可知, 两种参数组合时模糊评分相差不大, 而最大翘曲量、收缩率和气道长度的效应工程平均值实验 2' 均优于 1'。因此, 取 $A_1B_3C_3D_3$ 参数组合作为最优工艺参数再进行实验, 结果如图 3 所示。由图 3 可看出, 笔者提出的算法是可行的。

表 8 实验参数组合与效应工程平均

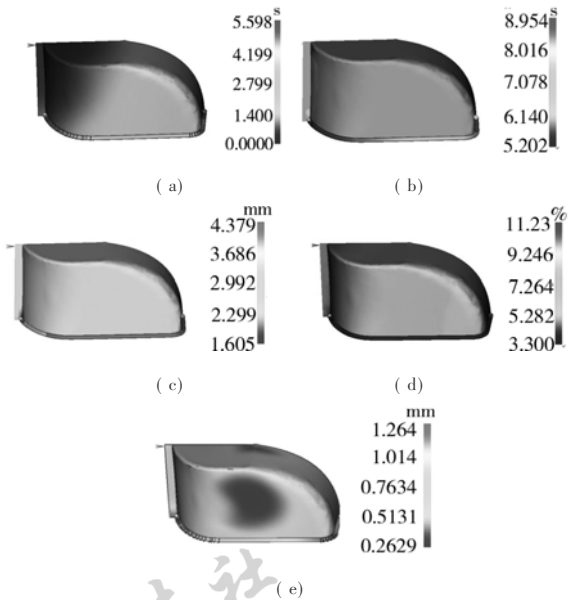
实验号	参数组合	效应工程平均			
		模糊评分	最大翘曲量/mm	最大收缩率/%	气道长度/mm
1'	$A_1B_2C_3D_3$	68.658	1.135	7.920	242.33
2'	$A_1B_3C_3D_3$	66.728	1.122	7.862	275.66

4 结语

- (1) 模糊综合评判可以考虑众多的、不确定的影响指标, 通过不同权重分配适当地作出客观评价。
- (2) 需结合气辅技术的具体特点和相关技术人员、专家的意见来决定权重向量。
- (3) 模糊综合评判与效应工程法相结合, 可以较快、较准确地找出优选的气辅及相应的产品方案。

参考文献

[1] Seong Y H, Jin K K, Cheol Ju Kim, et al. A new of gas-assisted injection molding for faster cooling[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 156(3): 1 201 - 1 206.



a—充填状况; b—气体穿透状况; c—壁厚状况;
d—收缩状况; e—翘曲状况

图 3 优选参数的实验结果

[2] [德] N. 拉奥, [美] K. 奥布赖恩. 塑料工程师设计数据手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.

[3] 辛勇, 彭颖红, 阮雪榆. 薄壁气体辅助注塑件气体穿透过程的研究[J]. 中国机械工程, 2003(4): 640 - 641.

[4] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法应用 [M]. 武昌: 华中科技大学出版社, 2000.

[5] 谢庆生, 罗延科, 李屹. 机械工程模糊优化方法 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[6] 刘华丽, 朱大勇, 周先华. 基于模糊评判的群决策方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(12): 2054 - 2056.

[7] 汪应洛, 陶谦坎. 系统工程及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1990.

[8] 高允彦. 正交及回归实验设计方法 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988.

[9] 郑少华, 姜奉化. 实验设计与数据处理 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2004.

MULTIOBJECTIVE FUZZY COMPREHENSIVE ASSESSMENT AND OPTIMUM
DECISION RESEARCH ON THE QUALITY OF GAS-ASSISSED PRODUCT

Li Guangming^{1,2}, Yin Guofu¹, Yu Ling³, Deng Zhitao¹, Ma Youliang²

(1. School of Mechanical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. School of Mechanical Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China; 3. Sichuan Space Mold and Plastic Corporation, Chengdu 610100, China)

ABSTRACT Aiming at the problems of too many factors involved in the quality of gas-assisted part, the decision plan combined by comprehensive evaluation and engineering-effect method was put forward by analyzing the principles of fuzzy comprehensive evaluation and using orthogonal experiment. Combining with the special feature of gas-assisted technology and the experts definition of objective weight, a fuzzy optimal selection model based on the multiobjective assessment was designed. By the analysis and design of gas-assisted projects and experiment, a case study showed that the model was effective and it would select the optimization of processing projects and relevant part quickly and correctly.

KEYWORDS gas-assisted product, quality, multiobject, fuzzy comprehensive assessment, optimization