

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.09.010

# 基于空调面板收缩优化的分段保压曲线研究<sup>\*</sup>

王梦寒<sup>1</sup>, 杨海<sup>1</sup>, 王彦丽<sup>1</sup>, 姚小兵<sup>2</sup>, 庄新如<sup>2</sup>

[1. 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400030; 2. 格力电器(重庆)有限公司, 重庆 400039]

**摘要:**以空调面板为研究对象, 制品顶出时体积收缩率为质量指标, 在等效保压压力及保压时间下, 比较了恒定保压与分段保压方案对制品质量的影响; 并结合 Taguchi 实验设计方法进行 CAE 模拟实验, 通过实验数据进行极差分析, 研究了 3 段保压方案中各段压力大小及保压时间对制品质量的影响。结果表明, 3 段递减保压方案在降低制品顶出时体积收缩率方面最为有效, 第 1 段保压压力和保压时间对体积收缩率的影响最显著。当 3 段保压压力依次为 85, 70, 55 MPa, 且 3 段保压时间依次为 1, 3, 2 s 时, 制品顶出时的体积收缩率比恒定保压降低了 37.46%。

**关键词:**分段保压; 等效保压压力; Taguchi 实验设计; CAE 模拟; 极差分析

**中图分类号:** TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)09-0040-04

## Research on Step-Change Packing Based on the Shrinkage Optimization of Air-Conditioner Panel

Wang Menghan<sup>1</sup>, Yang Hai<sup>1</sup>, Wang Yanli<sup>1</sup>, Yao Xiaobing<sup>2</sup>, Zhuang Xinru<sup>2</sup>

(1. Institute of Material Science and Engineering, Chongqing University 400030, China; 2. Gree Electric Appliances, Inc. of Chongqing, Chongqing 400039, China)

**Abstract:** The influences of constant packing and step-change packing on the quality of plastic parts were compared under the conditions of equivalent packing pressure and packing time with the air-conditioner faceplate as study object and the volume shrinkage during ejection as quality index. Then the CAE simulation was conducted based on the Taguchi experiment design method. The influences of the packing pressure and packing time in each step of the three-step packing programs on the quality of plastic parts were studied through the range analysis of the experimental data. The results indicated that the three-step diminishing packing program was the most effective in the aspect of decreasing the volume shrinkage during ejection, the packing pressure and time of the first step had an obvious effect on the volume shrinkage during ejection. And when the packing pressure in three steps was 85, 70, 55 MPa and the packing time was 1, 3, 2 s in turn, compared with the constant packing, the volume shrinkage during ejection decreased by 37.46%.

**Keywords:** step-change packing; equivalent packing pressure; Taguchi experiment design; CAE simulation; range analysis

注射成型周期中保压阶段是影响注射成型质量的重要阶段<sup>[1-2]</sup>。在保压阶段, 注射进模具型腔内的熔体在模壁的冷却作用下产生收缩, 为了得到致密而且尺寸一致的制品, 需对熔体保持一定的压力进行补偿, 以填补熔体在模腔中收缩后的空间。当保压压力不够或保压时间太短时, 容易产生熔体回流, 使补料不足, 收缩过大; 而当保压压力太大时, 则易产生过保压, 造成溢料和模具损伤, 增大塑料制品的残余应力。因此, 选择合理的保压方式及保压参数将对制品最终质量产生重要影响。

针对不同保压方式对塑料制品质量的影响, 国内外进行了大量的研究。陈曦等<sup>[3]</sup>研究了最优保压曲线设定方法, 结果表明递减型线性保压压力曲线有利于减小模腔压力差和制品粗糙度, 而递增型保压曲线则可能加大制品粗糙度; Chen Xi 等<sup>[4]</sup>研

究了不同保压曲线对制品的质量、收缩率、毛边及均匀度的影响, 得出递减型保压曲线有益于改善制品质量; M.Bandreddi 等<sup>[5]</sup>比较了恒定保压、分段递增及分段递减保压对制品收缩均匀性的影响, 得出分段递减保压有益于改善制品收缩均匀性, 同时, Leo 的研究也得到类似结论<sup>[6]</sup>。但是, 以上研究仅针对不同保压方式对制品质量的影响进行了横向比较, 对于目前工业上广泛应用的分段保压中各段保压参数对最终制品质量的显著性影响并没有进行深入的纵向研究。笔者以制品顶出时体积收缩率为质量指标, 通过 CAE 模拟分析, 对恒定保压与分段保压进

<sup>\*</sup> 重庆市自然科学基金重点项目 (CSTC, 2009BA4065)

联系人: 王梦寒, 博士, 副教授, 主要研究方向为高分子材料成型技术, 模具及机械装备 CAD/CAM/CAE/KBE

收稿日期: 2012-06-14

行了比较,并通过 Taguchi 实验设计,分析了分段保压中各段保压压力及保压时间对制品质量的显著性影响,最后对保压参数进行了优化。

## 1 恒定保压与分段保压比较

### 1.1 CAE 模拟参数设置

选用空调注塑面板为研究对象,如图 1 所示,材料为高抗冲聚苯乙烯。首先根据系统默认的参数设置(模具表面温度 35℃;熔体温度 218℃;冷却时间 20 s;保压压力 80%;保压时间 10 s)进行第一次模拟分析,得到充填结束时的压力为 70 MPa。一般而言,合理的保压时间为塑料制品质量不再增加的时间,保压压力为充填结束时的压力<sup>[4]</sup>。基于此,笔者调整保压曲线,保压压力设为 70 MPa 恒定,保压时间从 1 s 开始后不断增加,得到保压时间与制品质量的关系,如图 2 所示。从图 2 可以看出,当保压时间超过 6 s 后,塑料制品的质量基本趋于恒定。因此保压时间选为 6 s,保压压力确定为 70 MPa,其它参数为系统默认。



图 1 空调注塑面板

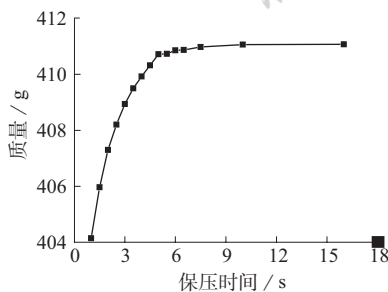


图 2 制品质量与保压时间关系

### 1.2 不同保压方案对制品顶出时体积收缩率的影响

根据以上参数设置,制定 17 种保压方案,其中 2 段递增、2 段递减、3 段递增、3 段递减各 4 种及 1 种恒定保压方案。总保压时间均选为 6 s,等效保压压力均为 70 MPa,其中等效保压压力  $\bar{P}$  的计算如式(1)所示。

$$\bar{P} = \left( \sum_{i=1}^n P_i T_i \right) / \sum_{i=1}^n T_i \quad (1)$$

式(1)中的  $P_i$ 、 $T_i$  分别代表各段的保压压力与保压时间。

通过 CAE 模拟分析得到了 17 种保压方案下

的制品顶出时体积收缩率差值,如图 3 所示。图 3 标出的一维坐标点表示恒定保压,保压压力为 70 MPa,保压时间为 6 s;二维坐标点表示 2 段保压,括号内第 1 个数字表示第 1 段的保压压力,第 2 个数字表示第 2 段的保压压力,每段保压时间均为 3 s;三维坐标点表示 3 段保压,括号内第 1 个数字表示第 1 段的保压压力,第 2 个数字表示第 2 段的保压压力,第 3 个数字表示第 3 段的保压压力,每段保压时间均为 2 s。

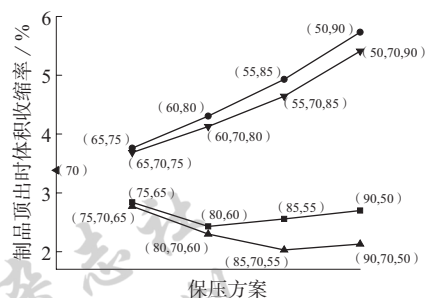


图 3 不同保压方案的制品顶出时体积收缩率

从图 3 可以看出,当等效保压压力均为 70 MPa,总保压时间均为 6 s 时,相比于恒定保压,2 段与 3 段递减保压可以明显降低制品顶出时体积收缩率;相反,2 段和 3 段递增保压方式会大幅增加制品顶出时体积收缩率,不利于提高制品质量。这也与 M.Bandreddi 等<sup>[5]</sup>研究的结果类似。这主要是由于保压过程包含保压补缩及保压冷却两个过程,在保压冷却阶段,熔体温度急剧下降,熔体前端停止流动,这一阶段型腔压力随着熔体的固化逐渐下降为零,因此,在该阶段应该释放保压压力,即保压曲线呈下降的趋势更有益于改善制品质量。

同时,由图 3 还可看出,当最大保压压力相同时,3 段递减、递增保压在降低制品顶出时体积收缩率方面要分别优于 2 段递减、递增保压。因此,笔者基于 3 段保压方案,利用 Taguchi 实验设计,得出各参数(各段保压压力及各段保压时间)对制品顶出时体积收缩率的影响程度,然后进行显著性分析,并得出优化分析方案。

## 2 Taguchi 实验设计

Taguchi 实验结果分析主要有极差分析与方差分析 2 种,其中极差分析计算简便、直观、简单易懂,也是正交实验结果分析最常用方法。极差分析的主要原理如式(2)所示。

$$R = \max(K_i) - \min(K_i) \quad (2)$$

式中:  $R$ ——极差;

$K_i$ —— $i$  水平下所对应的实验指标的平均值。

基于3段保压,选用各段保压压力及保压时间作为影响制品顶出时体积收缩率的工艺参数,得到各因素及相关水平如表1所示。

根据表1的因素和水平设置,选用正交表 $L_{18}(3^7)$ 得到正交矩阵及实验结果如表2所示。

表1 因素和水平设置

| 因素                  | 水平1 | 水平2 | 水平3 |
|---------------------|-----|-----|-----|
| $P_1(A)/\text{MPa}$ | 85  | 70  | 55  |
| $P_2(B)/\text{MPa}$ | 85  | 70  | 55  |
| $P_3(C)/\text{MPa}$ | 85  | 70  | 55  |
| $T_1(D)/\text{s}$   | 1   | 2   | 3   |
| $T_2(E)/\text{s}$   | 1   | 2   | 3   |
| $T_3(F)/\text{s}$   | 1   | 2   | 3   |

表2 实验正交矩阵及实验结果

| 实验编号  | A    | B    | C    | D    | E    | F    | 空列   | 制品顶出时体积收缩率/% |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| 1     | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 2.788        |
| 2     | 1    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2.283        |
| 3     | 1    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 2.546        |
| 4     | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 3    | 3    | 3.641        |
| 5     | 2    | 2    | 2    | 3    | 3    | 1    | 1    | 3.485        |
| 6     | 2    | 3    | 3    | 1    | 1    | 2    | 2    | 2.192        |
| 7     | 3    | 1    | 2    | 1    | 3    | 2    | 3    | 3.009        |
| 8     | 3    | 2    | 3    | 2    | 1    | 3    | 1    | 3.584        |
| 9     | 3    | 3    | 1    | 3    | 2    | 1    | 2    | 4.634        |
| 10    | 1    | 1    | 3    | 3    | 2    | 2    | 1    | 3.013        |
| 11    | 1    | 2    | 1    | 1    | 3    | 3    | 2    | 2.380        |
| 12    | 1    | 3    | 2    | 2    | 1    | 1    | 3    | 2.483        |
| 13    | 2    | 1    | 2    | 3    | 1    | 3    | 2    | 3.449        |
| 14    | 2    | 2    | 3    | 1    | 2    | 1    | 3    | 2.699        |
| 15    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    | 2    | 1    | 3.191        |
| 16    | 3    | 1    | 3    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3.792        |
| 17    | 3    | 2    | 1    | 3    | 1    | 2    | 3    | 4.872        |
| 18    | 3    | 3    | 2    | 1    | 2    | 3    | 1    | 4.687        |
| $K_1$ | 2.58 | 3.28 | 3.58 | 2.96 | 3.23 | 3.31 | 3.46 |              |
| $K_2$ | 3.11 | 3.22 | 3.23 | 3.16 | 3.49 | 3.09 | 3.12 |              |
| $K_3$ | 4.10 | 3.29 | 2.97 | 3.67 | 3.07 | 3.38 | 3.21 |              |
| $R$   | 1.52 | 0.07 | 0.61 | 0.71 | 0.42 | 0.29 | 0.34 |              |

### 3 结果与讨论

对表2的实验结果进行分析,可以得出各因素水平对制品顶出时体积收缩率的影响,如图4所示。其中, $A_1, A_2, A_3$ 分别表示第1段保压压力的3个水平,依次类推; $D_1, D_2, D_3$ 分别表示第1段保压时间的3个水平,依次类推。

由图4可以得出以下结论:①在3段保压压力方案中,第1段保压压力对制品顶出时体积收缩率的影响最大,其次是第3段保压压力;②在3段保压方案的各段保压时间中,第1段保压时间对制品顶出时体积收缩率的影响最大,其次是第2段保压时间。

由图4可得出制品顶出时体积收缩率最小的工艺组合为 $A_1B_2C_3D_1E_3F_2$ ,即3段保压压力依次为

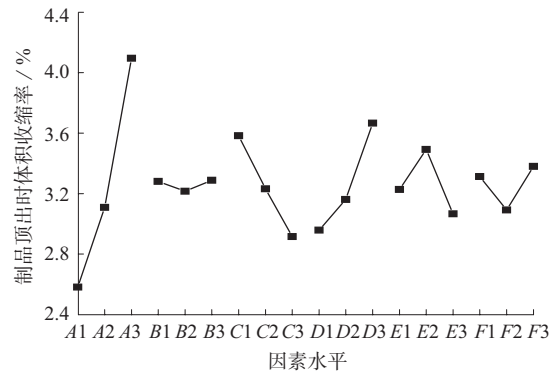


图4 因素水平对制品顶出时体积收缩率的影响

85, 70, 55 MPa, 相应的3段保压时间依次为1, 3, 2 s。可以看出,得到的优化工艺组合没有包含在正交矩阵实验中,需要对结果进行验证。

采用数值模拟实验验证优化工艺,在优化工艺组合 $A_1B_2C_3D_1E_3F_2$ 下,得到顶出时的体积收缩率为2.116%,其值低于正交矩阵中所有工艺组合实验得到的数值,相比于恒定保压,制品顶出时体积收缩率降低了37.46%。

图5为恒定保压(保压压力70 MPa,保压时间6 s)条件下,塑料制品收缩不均引起变形放大5倍后的情况;图6为优化工艺组合为 $A_1B_2C_3D_1E_3F_2$ 下,塑料制品收缩不均引起变形放大5倍后的情况。通过图5、图6的比较可以看出,与恒定保压相比,优化后的 $A_1B_2C_3D_1E_3F_2$ 工艺组合可以明显地降低制品的收缩变形,改善制品质量。

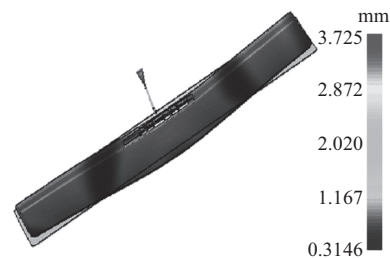


图5 恒定保压下塑料制品的收缩变形



图6 优化工艺组合下塑料制品的收缩变形

### 4 结论

(1) 当等效保压压力及保压时间相同时,分段递减保压比恒定保压更能降低制品顶出时体积收缩率,从而减少变形,提高制品质量,分段递增保压则

相反。同时3段保压方案要优于2段保压方案。

(2)在3段保压方案中,第1段保压压力和保压时间对制品顶出时体积收缩率的影响最大。

(3)3段保压压力依次为85,70,55 MPa,且3段保压时间依次为1,3,2 s时,塑料制品顶出时体积收缩率较低,为2.116%,相比于恒定保压,降低了37.46%。

#### 参考文献

- [1] Rubin I I. Injection molding theory and practice [M]. New York : John Wiley & Sons, Inc, 1972.
- [2] Hunkar D B. The interdependence of part parameters on process control adjustable functions in injection molding of

thermoplastics [C]. America : SPE Annual Technical Conference , 1975.

- [3] 陈曦,高福荣. 基于质量的注塑保压过程建模方法研究: 最优保压压力曲线设定 [J]. 中国塑料, 2002, 16 (4) : 51-54.
- [4] Chen Xi, Gao Furong. A study of packing profile on injection molded part quality [J]. Materials Science and Engineering, 2003, 358 (1-2) : 205-213.
- [5] Bandreddi M, Nunn R, Malloy R. An investigation of time based holding pressure profiles [C]. America : SPE Annual Technical Conference, 1994.
- [6] Leo V, Cuvelliez C. The effect of the packing parameters, gate geometry, and mold elasticity on the final dimensions of a molded part [J]. Polym Eng & Sci, 1996, 36 (15) : 1961-1969.

#### 克劳斯玛菲高效展示多用途聚氨酯计量机器

克劳斯玛菲在德国塑料加工展览会上展示了聚氨酯混合计量样机 EcoStar16/16。这台机型和展览会的“高效”宗旨非常吻合,它具有克劳斯玛菲一如既往的高质量,并且成本划算,能应用于所有的聚氨酯应用领域。

##### (1) 高性价比

克劳斯玛菲 EcoStar 系列聚氨酯计量装置拥有高端质量,而成本却相当划算。这款机型不仅性价比很高,而且发货时间也更快。这款机型适用于多种的聚氨酯处理领域。

##### (2) 模块化系统

克劳斯玛菲在展会上展示的机型配有舷外支架及 MK8/12ULKP-2KVV 混合头。混合比率 1:1, 这台机器每秒的排流能力达 40~550 g, 流输入为 40~220 g。即使是 EcoStar 的基本款型也包含了双壁料斗、填充液位监测、流量计量及西门子 S7 控制系统。所有处理过程相关的部件也被应用于克劳斯玛菲著名的混合和计量系统,且因为使用寿命长等优势受到好评。除了基本的设备, EcoStar 还配备了一些其它的选择来更好地满足客户的要求。(工程塑料网)

#### 国内塑料行业临变革, 差异化发展成关键

随着上半年数据的公布,国内塑料行业的发展更加牵动人心。据了解,上半年国内塑料制品累计总产量 2 640.74 万 t, 增幅同比下降 7.3%。而从市场情况来看,全行业效益不断下滑,行业亏损面也进一步加大。

对此,业内人士指出,上半年不甚乐观的数据表明国内塑料行业已经到了行业变革的重要阶段,行业从产能提升向附加值提升转变也将更为迫切。无独有偶,要破解当前行业发展困境,必须找到行之有效的手段,而差异化发展无疑是目前最现实的方式。

据了解,虽然我国塑料市场总体相对低迷,但是在一些子行业却呈现出发展的机遇。比如改性塑料的市场和产能增速高于普通塑料、电子产品中塑料用量明显增加等。相对于普通塑料,这些领域中涉及的差异化塑料产品不仅需求巨大,而且附加值也更高,对于支撑整个塑料行业的发展无疑将起到关键作用。

更为重要的是,随着“以塑代钢”的趋势不断明显,差异化塑料产品的应用范围还将不断拓宽,需求空间还将进一步打开。对此,有关专家指出,相比于普通塑料,新型塑料的发展空间更大,在产品差异化竞争的优势上也有目共睹。此外,随着塑料行业差异化产品的不断壮大和成熟,也将在一定程度上逐渐替代普通塑料的市场地位,从而引领塑料行业的新一轮发展。(工程塑料网)

#### 2016 年新兴软包装市场规模将扩大 50%

PCI 薄膜咨询公司日前发表的一份新报告说,到 2016 年新兴软包装市场至少将扩大 50%,其市场价值将由目前 141 亿美元(115 亿欧元)的水平,增长至 216 亿美元(176 亿欧元)。

13 个软包装市场——波兰、俄罗斯、土耳其、墨西哥、巴西、印度、印度尼西亚、泰国、越南、沙特阿拉伯、阿联酋、尼日利亚和南非,自 2006 年以来已增长了将近 70%,需求的年均增长率接近 11%。

该报告预计到 2016 年,这 13 个新兴市场中的 8 个国家将会生产出价值 10 亿美元的软包装产品。印度目前占新兴市场软包装总产量的 27%,尽管印度尼西亚、巴西和俄罗斯也是重要的生产中心。

“尤其是印度市场,绝对称得上高速增长,并有一些人预言其将成为下一个中国。”该报告作者表示,“这有多方面的原因:该国拥有数量众多的人口,国内生产总值增长强劲。”

推动这些国家包装市场增长的力量在于持续的城市化,监管限制放宽,消费者生活方式改变,可支配收入增加,从而促进了便捷包装食品和非食品类产品的发展。该报告指出,这 13 个国家当中只有 3 个(阿联酋、墨西哥和南非)在 2006~2011 年间的增长率低于 30%。阿联酋离 30% 的增长率仅一步之遥,而墨西哥和南非市场相比报告中的其它一些国家更为发达,这意味着它们的增长基数要高些。

该报告预测,未来几年将看到这 13 个市场出现强劲而持续的增长,这就为个软包装供应链的所有参与者提供了很多投资机会——特别是在附加值增长较快的细分行业,例如高阻隔薄膜和高温蒸煮袋方面。(工程塑料网)