

PE 管件注塑成型工艺优化设计

宋财福¹ 张 鹏² 谭建志¹

(1. 中国联塑集团控股有限公司, 佛山 528318; 2. 广东工业大学材料与能源学院, 广州 510090)

摘要 在制品结构、材料、模具结构已确定的情况下, 将管件各孔口的不圆度作为评价其质量的标准, 采用正交试验设计方法及模拟分析研究注射时间、模具温度、熔体温度、保压压力、保压时间、冷却时间等注塑成型工艺参数及它们之间的交互作用对 Y 型 PE 三通管件孔口不圆度的影响。结果表明, 保压压力和保压时间的交互作用较小, 最佳工艺组合对孔口不圆度有所改善。

关键词 注塑管件 孔口失圆 正交试验 工艺参数

随着聚乙烯 (PE) 制备工艺的成熟及其安全环保的使用性能, PE 管件在市政工程、化工、电信电气等行业中的应用越来越多, 其所占市场份额大有超越传统的聚氯乙烯 (PVC)、PP-R 管件之势^[1], 但受材料本身流变性能及成型性能的影响, 注塑出来的 PE 管件收缩大、孔口易失圆, 使用时与其它管件或管材熔接时重叠面积小或难于承插, 即使在夹具的作用下能够得以熔接, 但在长期的使用过程中易产生蠕变失效, 导致严重的质量事故^[2]。

不同密度 PE 的收缩率变化范围都很大 (低密度 PE 收缩率在 1.5% ~ 5.0% 之间, 高密度 PE 在 2.5% ~ 6.0% 之间), 使得管件的区域收缩不均更加突出。聚烯烃分子取向导致的各向收缩不均 PE 管件收缩不均的原因, 而收缩不均、分子取向及制品各处冷却速率不同又导致残余应力, 这是管件孔口变形的直接原因^[3]。一般而言, 产品结构决定了 40% 的变形, 模具结构及材料决定了 30% 的变形, 工艺决定了 10% 的变形, 在制品结构、模具结构、材料确定的情况下, 只有利用科学合理的方法设计制品成型工艺, 才能减少 PE 管件孔口的变形^[4]。

1 实例分析

图 1 为本公司生产的用于高层建筑同层排水的 Y 型 PE 三通管件结构 (将各孔口分支按图示进行编号)。Y 型的夹角为 60°, 整个管件壁厚均匀一致, 为 4.8 mm, 最大轮廓尺寸为 267 mm × 279 mm × 110 mm, 管件所需承受的标称压力为 1.6 MPa, 因各孔口平面用于与管材或管件熔接, 故对孔口圆度要求很高, 外观要求次之, 在已优化制品及模具结构的情况下, 利用正交试验方法研究成型工艺参数对孔口变形的影响, 以期减少变形失圆。

1.1 不圆度的度量

对于圆筒状注塑管件, 由于大分子链的柔顺性,

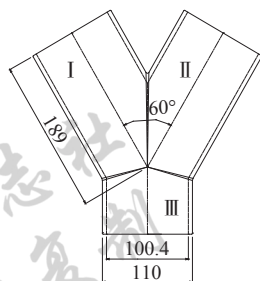


图 1 Y 型三通管件

当制品完全冷却时, 体积收缩和线性收缩变化较小, 产品的尺寸较稳定, 但随着内部残余应力的释放, 当管件不足以抵抗变形时, 整个孔口沿径向因不均匀的拉力作用而发生变形, 当某方向拉应力较大时, 整个圆形便会向朝着与其垂直的方向发生椭圆形变。不圆度的度量可以采用以下公式计算^[5]:

$$\text{不圆度} = \text{最大直径} - \text{最小直径} \quad (1)$$

1.2 正交试验设计

正交试验是试验设计 (DOE) 最常用的试验方法之一, 它以概率论及数理统计为理论基础, 依据多因素、多水平试验中数据的正交性来设计试验, 充分利用标准化的正交表来安排实验方案, 并对实验结果进行计算分析, 利用它可以确定在影响产品质量的诸多注塑工艺参数中各个参数对产品影响程度的大小以及各个参数间是否有交互影响, 交互影响的程度有多大, 对产品质量有多大贡献, 并挑选出较优方案, 以达到减少实验次数、缩短实验周期的目的^[6]。

(1) 确定正交表的因素和水平

PE 管件注塑生产时, 影响其孔口变形的因素有很多, 而在一般设置工艺中可控制的主要工艺参数有注射时间 (A)、模具温度 (B)、熔体温度 (C)、保压

压力(D)、保压时间(E)、冷却时间(F)等,每个因素水平的变化对制品质量都有一定的影响。此外,保压压力和保压时间的交互作用较明显,亦不能忽略,将它们记作D×E,每个因素取3个水平,以三通管件孔口的平均不圆度作为评价产品质量的指标,其因素水平设置见表1。

表1 因素水平表

水平	注射 时间/s	模具 温度/℃	熔体 温度/℃	保压 压力/MPa	保压 时间/s	冷却 时间/s
1	2.8	30	200	20	15	20
2	3.5	40	210	27	20	30
3	4.3	50	220	35	25	40

(2) 正交试验方案

本实验6个因素都是3水平,而且D、E存在交互作用,因此选用 $L_{27}(3^6)$ 正交表安排试验,表头设计时,将A、B、C、D、E、F等因素分别排在表的第1列~第6列,同时根据 $L_{27}(3^6)$ 的交互列表,将D、E交互列D×E分别放在第10列、第12列,正交试验方案见表2。

图2为所设计的模具图,在利用CAE软件进行模拟时,可以根据模具中相应的浇注系统和冷却系统建模。进行模拟分析时,对于没有列入正交表的其它因素,如注塑压力、注射速度等每次都确保它们固定在稳定、良好的状态。因每个孔口的变形不一致,我们采用三个孔口变形的平均值来衡量,值越小,不圆度越好。将模拟分析的变形数据列于表2。

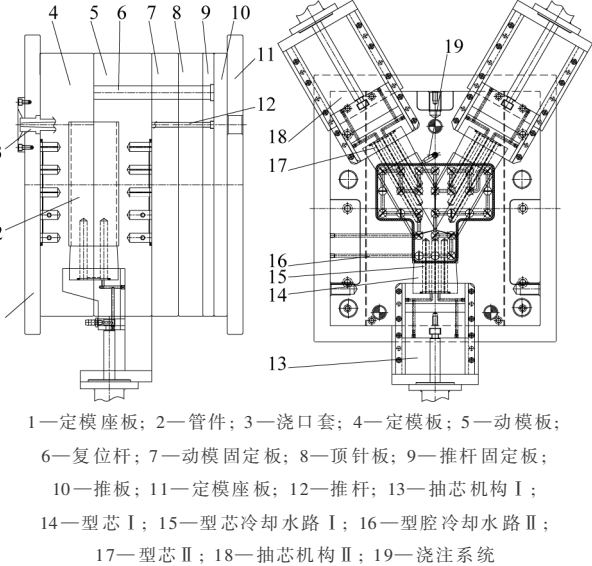


图2 Y型三通管件注塑模

为了计算方便,式中不圆度数据都已扩大10倍,表中Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ分别为各因素在水平1、2、3时所对应的不圆度之和, T 为所有试验不圆度平均值的

和, R 为极差,是不同水平下实验结果离差平方和的差值。由表2可以很容易地看出,第13号试验的数据值最小,对于实验来说,评价的标准是变形越小越好,仅从Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ各水平不圆度之和来看,A、B、C、D、E、F的水平选择分别为 A_3 、 B_2 、 C_2 、 D_1 、 E_1 、 F_2 时,实验结果最佳,但这只是729个全面试验中的极少一部分,因此所得的结果未必就是最佳的工艺组合;此外, R 值越大,说明对应的因素对结果的影响程度越大,这个因素就越重要,反之则表明该因素对指标的影响小,通常是不重要因素。根据表2的结果,进行主次排序,可得各因素对变形影响的大小依次为:D、E、A、B、F、D×E、C。

2 方差分析及最佳成型工艺的确定

本试验为多因素正交试验,各因素、因素之间的交互作用和误差对试验指标的影响通过其相应的离差平方和来表示,各离差平方和中独立数据的个数仍用相应的自由度表示。方差分析见表3。

表3中 e 表示误差, e_{Δ} 为 C 、 F 、 e 之和,表中各均方差是为了消除数据个数对离差平方和的影响,采用平均离差平方和 S_j^2/f_j (j 取各因素)来进行比较, F 反应因素水平的改变对指标的影响与试验误差对指标的影响之间的关系,在一些假定条件下,可以证明 F_j 服从自由度为 (f_j, f_e) 的 F 分布,对于给定的显著水平 α 查 F 分布可得一临界值 $F_{\alpha}(f_j, f_e)$,从而判定在 α 水平下因素 j 对指标的影响是否显著。在显著性方差表中,误差的平方和记为 S_e^2 ,用所有空列的离差平方和之和来估计,因 S_C^2 、 $S_{D \times E}^2$ 较小,将三者合并为 $S_{e\Delta}^2$,据此求得的 F_j 如表3所示。查 $F_{0.05}(f_j, f_{e\Delta})$ 及 $F_{0.01}(f_j, f_{e\Delta})$ 可知 F 值的临界值如表3所示。表中显著性一栏内,对于 $\alpha=0.05$,检验结果显著则标以记号“*”,若对 $\alpha=0.01$,若显著则标以记号“**”。

由表3可知,A、B、D、E、F均高度显著,故因素A的较好水平为 A_3 、因素B的较好水平为 B_2 、因素D的较好水平为 D_1 、因素E的较好水平为 E_1 、因素F的较好水平为 F_2 ,它们变化的趋如图3所示,D×E交互作用虽然不显著,但也有一定影响,可用二元表算出D和E在各种水平组合下的平均结果,如表4所示。由表4可知, D_1E_1 值最小,故该搭配使得变形最小,即A、B、C、D、E、F的最佳组合为 $A_3B_2C_2D_1E_1F_2$ 。

3 实验验证

对最优工艺组合 $A_3B_2C_2D_1E_1F_2$ 进行试验验证,

表 2 正交试验方案及数据分析

编号	因素														不圆度/mm			
	A	B	C	D	E	F					(D×E) ₁		(D×E) ₂		I	II	III	平均
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6.68	6.70	6.78	6.72
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	6.43	6.41	6.99	6.61
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6.89	7.00	7.83	7.24
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	6.65	6.69	6.94	6.76
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	6.5	6.43	6.84	6.59
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	7.01	6.95	7.76	7.24
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	3	2	2	2	7.34	7.41	7.84	7.53
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	3	3	3	7.05	7.17	8.04	7.42
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	7.94	8.01	8.68	8.21
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3	6.98	6.98	7.61	7.1
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	1	7.21	7.05	7.55	7.27
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	2	7.32	7.45	8.45	7.74
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	2	5.74	5.81	6.33	5.96
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	3	6.15	6.19	6.77	6.37
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	1	6.43	6.5	7.59	6.84
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1	6.36	6.37	6.92	6.55
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	2	6.84	6.97	7.49	7.10
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	7.28	7.32	8.14	7.58
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2	6.32	6.34	6.93	6.53
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	6.54	6.6	7.41	6.85
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	1	6.64	6.67	7.51	6.94
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	2	6.45	6.51	7.05	6.67
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	3	6.52	6.55	7.45	6.84
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	2	7.13	7.31	8.06	7.50
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	3	6.21	6.23	6.37	6.27
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	1	6.33	6.39	6.96	6.56
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	2	6.53	6.69	7.33	6.85
I	64.32	63.09	62.81	59.42	60.18	63.42	63.04	63.1	62.41	62.24	62.88	62.94	62.35					
II	62.60	60.77	62.47	62.14	61.61	61.61	62.25	62.76	62.76	61.83	62.66	62.69	62.40					
III	61.01	64.07	62.65	66.37	66.14	62.90	62.64	62.07	62.76	62.83	62.39	62.30	63.18					
R	3.31	3.30	0.34	6.95	5.96	1.81					0.62		0.64					

表 3 方差分析表

方差来源	离差平方和	自由度	均方差	F 值	临界 F 值		显著性
					0.05	0.01	
A	0.61	2	0.30	21.43	3.63	6.23	**
B	0.64	2	0.32	22.86	3.63	6.23	**
C	0.01	2					
D	2.73	2	1.36	97.14	3.63	6.23	**
E	2.15	2	1.08	77.14	3.63	6.23	**
F	0.19	2	0.10	7.14	3.63	6.23	**
D×E	0.05	4					
e	0.17	10					
总和	6.35	26					
e ^Δ	0.23	16	0.014				

即选用注射时间 4.3 s、模温 40℃、料温 210℃、保压压力 20 MPa、保压时间 20 s、冷却时间 30 s, 实际生产时, 采用东华 TTI340 型注塑机, 螺杆直径 70 mm, 模具如图 2 所示, 采用直接浇口进胶, 浇口约位于制品中心。试验发现, 注塑时流动较为平衡, 压力和热量损失较小, 保压补缩效果好, 熔体进入型腔后呈扩展

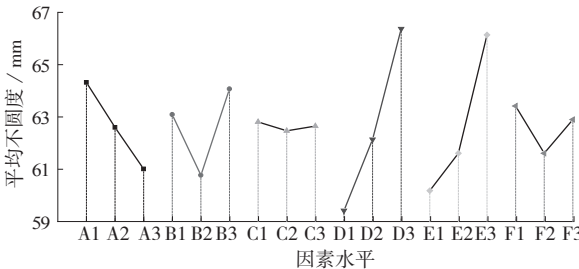


图 3 因素水平变化趋势图

表 4 因素 D、E 交互作用分析二元表

项目	D ₁	D ₂	D ₃
E ₁	6.32	6.61	7.13
E ₂	6.51	6.85	7.18
E ₃	6.98	7.25	7.82

流动充模, 分子为多轴取向, 水平方向与垂直方向收缩差距减小, 虽然直浇口较难去除, 但去除后在表面留下的疤痕对外观影响不大, 可忽略不计, 生产出来的制品如图 4 所示。



图 4 Y 型三通管件

利用 CAE 软件模拟的数据及实测管件的孔口不圆度见表 5。由结果可知, 模拟得到的数据与实测值反应制品各孔口之间变形趋势相同, 最佳工艺组合生产的制品平均变形率也得到较大的改善。

表 5 模拟及实际收缩数据

项目	模拟值				实测值			
	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
长轴	109.31	109.43	109.39	109.38	109.13	109.3	109.80	109.41
短轴	108.65	109.03	108.6	108.76	105.80	106.46	105.09	105.78
不圆度/mm	0.66	0.4	0.79	0.62	3.33	3.14	4.71	3.63

4 结论

(1) 注射时间 (A)、模具温度 (B)、熔体温度 (C)、保压压力 (D)、保压时间 (E)、冷却时间 (F) 六因素对 PE 注塑管件孔口变形影响的大小依次为:

OPTIMUM DESIGN OF INJECTION MOLDING PROCESS OF THE PE PIPE

Song Caifu¹, Zhang Peng², Tan Jianzhi¹

(1. China Liansu Group Holdings Co. Ltd., Foshan 528318, China;

2. Institute of Materials Science and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

ABSTRACT With the out of round of orifice as the quality evaluation criteria, an analysis was made on the Y-shaped pipe fittings through orthogonal experiments, in the case of the product structure, material, mould structure were determined. The technological parameters like injection time, mold temperature, melt temperature, packing pressure, packing time and cooling time, and its interaction variable on the out of round of orifice were studied. The results showed that the interaction of the packing pressure and its holding time interaction was not obvious, and the out of roundness of orifice reduced under the best process combination.

KEYWORDS injection pipe, out of round, orthogonal experiment, technology parameter

自主高端 PVC-C 树脂获技术突破

我国高端氯化聚氯乙烯 (PVC-C) 生产取得重大突破。华谊集团上海氯碱化工股份有限公司宣布, 采用其自主技术建设的高级 PVC-C 千 t 级中试装置成功产出合格原粉, 首批 ZS-601 管件专用 PVC-C 树脂和 JC-701 管材专用 PVC-C 树脂已交付客户并制成优质建材。该公司万吨级工业化装置建设已经启动, 上半年将投产。PVC-C 树脂的研发成功, 填补了我国 PVC-C 树脂高端制品市场的空白。

PVC-C 是聚氯乙烯的氯化改性品种, 该树脂具有优异的耐酸、碱、氧化剂及卤素等化学腐蚀的特性, 同时具有耐热、阻燃、抗菌, 以及较高的机械强度和良好的电性能等, 被业内认为是“最具应用前景”的新型工程塑料。由于国内 PVC-C 的研发能力不足, 一些企业只能生产用于电力套管的低端 PVC-C 树脂, 高端市场一直被国外进口树脂所占领。

D、E、A、B、F、D × E、C, 保压压力和保压时间的交互作用较小, 最佳的工艺组合是: 注射时间 4.3 s、模温 40℃、料温 210℃、保压压力 20 MPa、保压时间 15 s、冷却时间 30 s, 同时, 模拟得到的数据与实验值趋势一致, CAE 技术与正交实验法相结合可以很好地指导试验, 减少试验的成本。

(2) 优化后利用最佳工艺生产的产品平均变形得到了改善, 但仍存在较大的变形, 故除了优化工艺之外, 还必须从其它角度考虑如何进一步减少变形。

参考文献

[1] 廖正品. “十一五”期间塑料管道发展目标[J]. 工程塑料应用, 2006, 34(9): 20.
[2] 张应中. 聚乙烯 (PE) 管道的电熔焊接[J]. 工业技术, 2007, 17(6): 64-65.
[3] 范志冠, 冯宽邦, 郑志强. 如何减少 PP-R 管件的收缩变形[J]. 工程塑料应用, 2002, 30(4): 27-28.
[4] T·A·奥斯瓦德, L·特恩格, P·J·格尔曼. 注塑成型手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 205-208.
[5] Beaumont J P, Nagel R, Sherman R. 成功的注射成型加工、设计和模拟[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 369-371.
[6] 赵选民. 试验设计方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 31-32.

为改变我国在 PVC-C 生产上的落后局面, “十一五”期间, 华谊集团上海氯碱化工公司在上海氯碱化工技术中心成立了 PVC-C 课题攻关组。经过数百次的小试、中试, 凭借氯碱公司在 PVC 树脂 20 余年的生产经验, 课题组历经 5 年时间, 终于研发出适合通氯的专用 PVC 树脂。同时, 他们采用自主研发的水相悬浮法氯化工艺、高效新型氯化助剂、改进型的搅拌传质传热系统、先进的氯化控制系统, 以及新颖的后处理工艺, 开发出 ZS-601 管件专用 PVC-C 树脂和 JC-701 管材专用 PVC-C 树脂, 获得“中国创造”的 PVC-C 生产全套工艺技术。

业内专家分析, 随着我国节能减排力度的加大, 今后国内高档 PVC-C 市场消费需求将持续增加。目前部分厂家试用了上海氯碱 PVC-C 树脂后, 均认为其质量优良, 并已将其制成高端化工管材、管件和板材等供应市场。(中化报)