

双转子连续混炼机混炼过程和原理的研究

谢林生, 缪国兵, 陈小洪

(江苏石油化工学院 机械工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 研究了双转子连续混炼机的混炼过程和混炼原理, 并建立了混合过程的数学和物理模型。研究结果表明, 转子组合(螺棱交汇区的长度)、转子转速、螺棱顶部与混炼腔内壁之间的间隙、嵌入块形状和卸料门开启度是影响混合过程的主要参数。

关键词: 双转子连续混炼机; 混炼过程; 混炼原理

中图分类号: T Q330. 4⁺1 文献标识码: B 文章编号: 1000-890X(2001)03-0161-07

随着科学技术水平的不断进步, 橡塑工业正在向着大型化、自动化、连续化、集约化生产的方向发展, 产品的种类越来越多。这就对橡塑机械的性能与控制提出了更高的要求。为了适应橡塑工业飞速发展的需要, 橡塑机械应该具有能连续工作、操作灵活简便、对工艺的适应性强、维护方便、效率高、产量大等特点。目前在橡塑工业中得到广泛应用的密炼机, 由于其加料系统比较复杂, 不能连续工作, 维护比较复杂, 因此其应用受到了一定的限制。双转子连续混炼机(简称混炼机)是一种既能连续工作, 又保持了密炼机的优越混合特性的新型橡塑混炼机械, 具有较强的分散混合能力, 正在受到人们越来越多的关注。但是有关该机器的混炼原理和工作过程的研究却很少报道。因此, 研究该类混炼机的混炼过程有着极其重要的意义。

1 实验

1.1 试验配方

基本配方: 低密度聚乙烯(LDPE) 100; 轻质碳酸钙 525。

1.2 试验设备

采用自行设计、制造的组合式双转子连续混炼试验台。试验台料筒混炼室内径为30

mm, 电机功率为4 kW, 转子异向同速向内旋转, 其转速可以通过变频调速, 料筒与转子皆为组合式。料筒采用电加热, 水冷却, 并采用PID四段控温。

1.3 性能测试

采用自行设计的微机数据自动采集平台对运行过程的工艺参数进行自动测量与控制。

2 结果与讨论

2.1 物料的熔融过程

通过试验观察, 发现混炼机中物料的熔融过程既不像单螺杆挤出机依靠摩擦剪切产生热量熔融物料, 也不像双螺杆挤出机依靠机筒加热器的热传导熔融物料, 而是首先从转子的喂料段与混炼段的交界处开始。在熔融过程中, 由于两个转子混炼段螺棱的螺旋角各不相同, 其对物料的作用如同两个错列的螺杆, 促进了两混炼室内的物料间的交换, 使得已熔融的物料与未熔融的物料均匀地混合在一起, 并未像单螺杆挤出机那样形成熔池, 也没有明显的固、液相分界面。因此, 物料在熔融阶段的混合实际上是处于固、液混合相的物料的混合过程。

2.2 转子混炼段的轴向混合过程分析

(1) 转子混炼段螺棱对熔体的输送

为了简化起见, 将转子混炼段分为三部分, 即与喂料段相联接的推进螺棱区、与卸料段相联接的反混螺棱区和介于两者之间的螺棱交汇区。同时, 采用下列基本假设: 物料已经完全熔

作者简介: 谢林生(1963-)男, 江苏扬州人, 江苏石油化工学院副教授, 工学硕士, 主要从事化工机械方面的研究、开发和教学工作。

融, 混炼室内被熔融的物料完全充满; 熔体流动为层流、等温、稳定的、沿螺槽方向的一维流动; 不可压缩牛顿流体; 壁面无滑移; 忽略料筒内腔缝隙处的进出口效应; 忽略重力与惯性力的影响。

借助于 Tadmor Z 和 Gogos C G 提出的三板模型^[1], 通过对熔体的流动过程进行分析, 得到混炼段左转子单个推进螺棱(L1)与反混螺棱(L2)的熔体输送速率为:

$$q_{L1} = \pi n D W_{L1} H \cos \theta_{L1} \frac{2f}{1+3f} + \frac{W_{L1} H^3}{3\mu_H(1+3f)} \left[\frac{(\Delta P_T)_{L1}}{L_{L1}} \right] \sin \theta_{L1} \quad (1)$$

$$q_{L2} = \pi n D W_{L2} H \cos \theta_{L2} \frac{2f}{1+3f} + \frac{W_{L2} H^3}{3\mu_H(1+3f)} \left[\frac{(\Delta P_T)_{L2}}{L_{L2}} \right] \sin \theta_{L2} \quad (2)$$

式中 q —— 熔体输送速率, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

D —— 转子直径, m ;

n —— 转子转速, $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$;

W —— 转子混炼段螺棱槽宽度, m ;

H —— 转子混炼段螺棱槽深度, m ;

θ —— 转子混炼段螺棱螺旋角($^\circ$);

μ_H —— 螺棱槽内熔体的粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

ΔP_T —— 压力差, MPa ;

f —— 缺口区螺槽长度/螺槽总长度;

T —— 循环周期, s ;

L —— 转子混炼段螺棱长度, m 。

由熔体流动连续性方程得:

$$q_{L1} = q_{L2} = q_L \quad (3)$$

且存在

$$(\Delta P_T)_{L1} + (\Delta P_T)_{L2} = \Delta P \quad (4)$$

将式(1), (2)和(4)代入式(3), 并引入推进螺棱与反混螺棱之间的几何关系, 得

$$(\Delta P_T)_{L1} = \frac{W_{L2} \cos \theta_{L2}}{W_{L1} \cos \theta_{L1} + W_{L2} \cos \theta_{L2}} \Delta P - \frac{6\pi n \mu_H D L_{L1} f}{H^2} \tan \theta_{L1} \quad (5)$$

将式(5)和(1)分别代入式(3), 得

$$q_L = \frac{W_{L1} W_{L2}}{3\mu_H L_{L1} (1+3f)} \frac{\sin \theta_{L1} \cos \theta_{L2} \Delta P}{W_{L1} \cos \theta_{L1} + W_{L2} \cos \theta_{L2}} \quad (6)$$

同理, 可以得到右转子混炼段单个推进螺棱与反混螺棱的熔体输送速率为 q_R :

$$q_R = \frac{W_{R1} W_{R2}}{3\mu_H L_{R1} (1+3f)} \frac{\sin \theta_{R1} \cos \theta_{R2} \Delta P}{W_{R1} \cos \theta_{R1} + W_{R2} \cos \theta_{R2}} \quad (7)$$

因此, 混炼机转子混炼段的熔体输送量为

$$q = \frac{2}{3\mu_H (1+3f)} \left[\frac{W_{L1} W_{L2} \sin \theta_{L1} \cos \theta_{L2}}{L_{L1} (W_{L1} \cos \theta_{L1} + W_{L2} \cos \theta_{L2})} + \frac{W_{R1} W_{R2} \sin \theta_{R1} \cos \theta_{R2}}{L_{R1} (W_{R1} \cos \theta_{R1} + W_{R2} \cos \theta_{R2})} \right] \Delta P \quad (8)$$

由于 $\theta_{L1} \neq \theta_{R1}$, 同一横截面上两个转子之间存在压力差, 在其之间存在着横向熔体流动。其流量的大小与该截面处两转子螺棱槽内熔体的压力差的大小成正比, 与熔体的粘度成反比。因此, 单位转子长度的熔体横向流量 q_{LR} 为:

$$q_{LR} = \frac{k}{\mu_H} \Delta P_{LR} \quad (9)$$

在整个转子混炼段, 有:

$$\int_0^L q_{LR} dl = 0 \quad (10)$$

式中 l —— 沿转子长度方向位置变量。

(2) 熔体在螺棱交汇区的分散混合

在螺棱交汇区, 两个转子的螺棱方向相反, 并存在压力差, 因此在该区域存在着流量为 q_H 的环向熔体流(如图 1 所示)。利用速度迭加原理, 设 $\Delta P = 0$, 即忽略混炼段熔体压力差对熔体输送的影响, 且设 $L_{L1} > L_{R1}$, 两转子螺棱在螺棱交汇区对熔体的升压作用相同, 采用与前面类似的分析方法, 经过公式推导, 得到该区域的环向熔体流的流量为:

$$q_H = \frac{1}{2} \pi n D W_{L1} H \frac{4f}{1+3f} \frac{W_{R2} (\sin \theta_{L1} \cos \theta_{R2} - \cos \theta_{L1} \sin \theta_{R2})}{W_{L1} \sin \theta_{L1} - W_{R2} \sin \theta_{R2}} \quad (11)$$

熔体流动在螺棱交汇区的循环周期为:

$$T = \frac{L_H H}{q_H} (W_{L1} + W_{R2}) \quad (12)$$

考虑到物料在混炼腔内实际并未充满, 引入装填因数 K , 得到其在混炼段的停留时间 t 为:

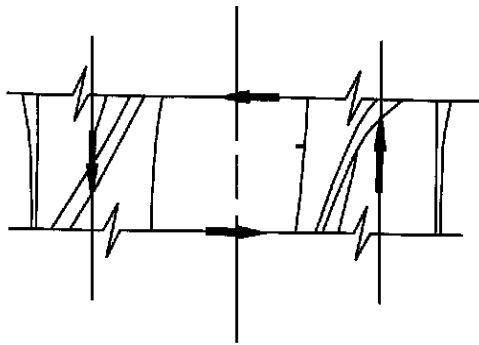


图 1 螺棱交汇区环向熔体流动示意图

$$t = \frac{KV}{Q} \tag{13}$$

式中 V ——混炼段自由体积, m^3 ;
 Q ——混炼机体积产量, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

因此, 物料在转子混炼段螺棱交汇区循环的次数 N 为:

$$N = \frac{t}{T} \tag{14}$$

将式(11), (12)和(13)代入式(14), 可以得到物料混炼时在混炼段螺棱交汇区内所经历的分散混合循环次数 N 为:

$$N = \frac{KV}{Q} \cdot \frac{2vfW_{L1}W_{R2}}{(1+3f)} \cdot \frac{(W_{L1}\sin\theta_{L1}\cos\theta_{R2} - W_{R2}\cos\theta_{L1}\sin\theta_{R2})}{(W_{L1} + W_{R2})(W_{L1}\sin\theta_{L1} - W_{R2}\sin\theta_{R2})L_H} \tag{15}$$

式中 v ——转子螺棱顶部线速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2.3 转子螺棱对物料的剪切作用

将混炼机的混炼段简化成两个无限长的、带有短的小间隙台阶的无限长同心圆筒(如图 2 所示)。由于转子槽深较小(槽深 H 与转子半径之比远小于 1), 因此忽略其曲率的影响, 同时, 考虑到转子螺棱推进面为斜面, 将物料流动简化成在两块无穷大平板之间的流动(如图 3 所示), 两板的间隙呈梯形变化, 上板以恒定速度 $v = 2\pi nR$ 沿 X 方向移动。为了讨论方便, 采用如下基本假设: 物料已经完全熔融, 并将混炼室完全充满; 熔体流动为层流、等温、稳定的一维流动; 不可压缩牛顿流体; 壁面无滑移; 忽略进出口效应及重力与惯性力的影响, 进出口处熔体压力相等。

由 Navier-Stokes 方程得到流体在螺棱顶

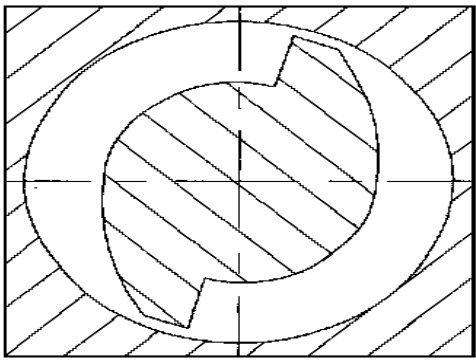


图 2 简化的转子工作模型

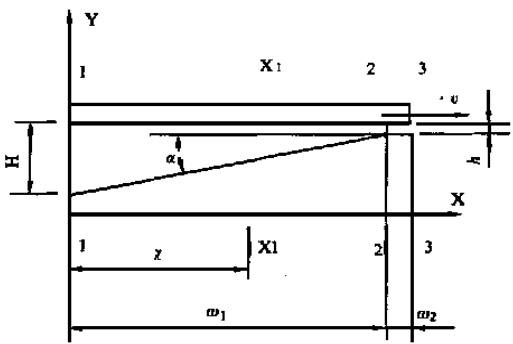


图 3 进一步简化的物理模型

部(间隙为 h)处的速度 V_h 为

$$V_h = \frac{V}{h}y + \frac{1}{2\mu}(y^2 - hy)\frac{P_1 - P_2}{w_2} \tag{16}$$

式中 μ ——物料的粘度;

w_2 ——螺棱顶部的宽度。

沿螺棱单位轴向长度上的流体的流动速率 q_h 为:

$$q_h = \int_0^h V_h dy = \frac{hV}{2} - \frac{h^3(P_1 - P_2)}{12\mu w_2} \tag{17}$$

式中 w_1 ——螺棱推进面的长度。

同理, 可得熔体在螺棱推进面处的速度 V_H 及沿转子单位轴向长度的流动速率 q_H :

$$V_H = \frac{vV}{h} \cdot \frac{2}{\zeta_0 + 1} - \frac{1}{2\mu}(y^2 - hy)\frac{P_1 - P_2}{w_1} \cdot \frac{2}{\zeta_0(\zeta_0 + 1)} \tag{18}$$

$$q_H = \frac{hV}{2} \cdot \frac{2}{\zeta_0 + 1} + \frac{h^3(P_1 - P_2)}{2\mu w_1} \cdot \frac{2}{\zeta_0(\zeta_0 + 1)} \tag{19}$$

式中 $\zeta_0 = \frac{h}{H}$ 。

熔体在螺棱推进面处的压力沿 x 方向的分布为

$$P = P_1 + \frac{6\mu w_1 V}{Hh} \left[\frac{\zeta_0(1-\zeta)}{\zeta(1-\zeta_0)} - \frac{q_H \zeta_0(1-\zeta^2)}{VH \zeta^2(1-\zeta_0)} \right] \tag{20}$$

式中 $\zeta = \frac{x}{H} \tan \alpha$ 。

根据连续性原理,得

$$q_h = q_H = q \tag{21}$$

将式(17)和(19)代入式(21),得:

$$P_1 - P_2 = - \frac{6\mu V}{h^2} \psi \tag{22}$$

式中
$$\psi = \frac{\frac{1-\zeta_0}{1+\zeta_0}}{\frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} \cdot \frac{2}{\zeta_0(\zeta_0+1)}}$$

将式(22)代入式(16),并对 y 求导,得到螺棱顶部间隙处的剪切速率 γ 为:

$$\gamma = \frac{dV_h}{dy} = \frac{V}{h} \left(1 + \frac{3\psi}{w_2} \right) - \frac{6V\psi}{h^2 w_2} \tag{23}$$

剪切应力 τ_h 为

$$\tau_h = \frac{dV_h}{dy} = \frac{\mu V}{h} \left(1 + \frac{3\psi}{w_2} \right) - \frac{6V\psi}{h^2 w_2} \tag{24}$$

当 $y=0$ 时,剪切应力最大, τ_{hmax} 为:

$$\tau_{hmax} = \frac{\mu V}{h} \left(1 + \frac{3\psi}{w_2} \right) \tag{25}$$

将式(22)代入式(17),得到熔体沿螺棱单位轴向长度上的流动速率 q 为:

$$q = \frac{Vh}{2} \left(1 + \frac{\psi}{w_2} \right) \tag{26}$$

根据式(20)和(26),当 $\zeta = \zeta_0(1 + \frac{\psi}{w_2})$ 时,存在如下关系:

$$P_{max} = P_1 + \frac{3\mu w_1 V}{hH} \cdot \frac{\left[1 - \zeta_0 \left(1 - \frac{\psi}{w_2} \right) \right]^2}{(1 - \zeta_0) \left(1 - \frac{\psi}{w_2} \right)} \tag{27}$$

2.4 转子混炼段螺棱交汇长度对卸料温度的影响

转子混炼段螺棱交汇区长度对混合功率、出料口熔体温度的影响结果见表 1。由表 1 可见,随着混炼段螺棱交汇区长度的减小,混合所消耗的功率、出料口熔体的温度提高,说明随物料在混炼段所经历的混合作用也愈强烈。

表 1 转子混炼段螺棱交汇长度对卸料温度的影响

交汇区长 度/mm	混合功率/ kW	料筒温度/ ℃	出料口温度/ ℃
8	3.1	24	290
10	2.8	26	277
15	2.4	30	238
17	2.2	30	220

注:配方为:PE 100; 碳酸钙 233。转子转速为1 750 r·min⁻¹,卸料门开启度为 73%。

2.5 卸料门的开启度对混炼功率与出料口处熔体温度的影响

卸料门开启度的变化对混炼功率和出料口处熔体的温度的影响结果见图 4 和 5。

由图 4 和 5 可见,随着卸料门开启度的增大,混炼机混炼所消耗的功率和卸料温度也都不程度地降低。

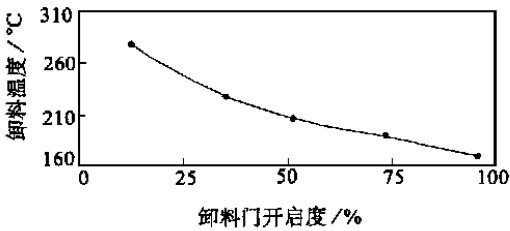


图 4 卸料门开启度对卸料口温度的影响

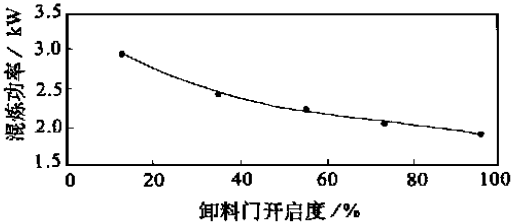


图 5 卸料门开启度对混炼功率的影响

2.6 转子转速对混炼功率、出料口处熔体温度的影响

混炼机转子的转速对混炼功率与出料口处熔体温度的影响结果见图 6 和 7。由图 6 和 7 可见,随着转子螺棱线速度的提高,熔体所受剪切力增加,混炼功率也将增大;与此同时,出料口熔体的温度也将升高,随着卸料门开启度的增大,出料口熔体温度的升高将趋缓。

2.7 综合分析

2.7.1 混炼过程分析

(1)由式(8)可知,混炼机转子混炼段螺棱

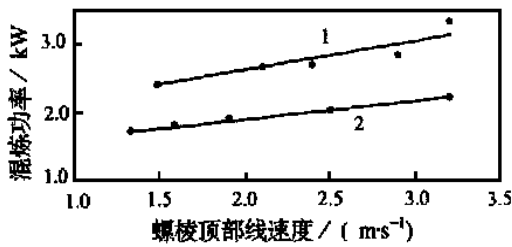


图 6 螺棱顶部线速度对混炼功率的影响
1—卸料门开启度 19%；2—卸料门开启度 93%

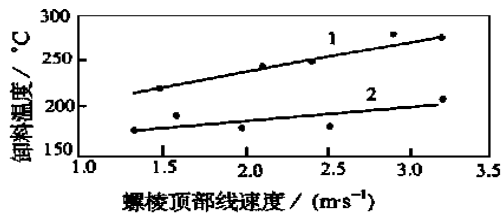


图 7 螺棱顶部线速度对卸料温度的影响
注同图 6

对熔体输送速率与转子螺棱几何形状有关, 同时与混炼段熔体的压力差成正比、与粘度成反比, 但与转子转速无关, 即熔体在混炼段沿轴线方向的运动依赖于其喂料段与混炼段交界处与出料口处之间的轴向压力差, 混炼段螺棱对熔体的输送仅起到了对熔体的混合作用, 与其熔体的输送过程无关。因此, 与双螺杆挤出机不同, 该机器的熔体输送过程与其混合过程的关系并不太密切, 产量完全由加料量、熔体在混炼段的压力差决定。

(2)在混炼段的螺棱交汇区, 沿转子轴线方向存在着促进物料分散混合的熔体循环流动。物料循环流动速度越快, 其在混炼段所经历的循环次数越多, 说明混炼机转子对物料的混合作用越强烈。由式(17)可知, 循环次数 N 与转子螺棱顶部线速度 v 、混炼室的自由空腔容积 V 、物料装填因数 K 成正比, 与产量 Q 、螺棱交汇区的长度 L_H 成反比。由表 1 可见, 随着混炼段螺棱交汇区长度的减小, 混合所消耗的功率、出料口熔体的温度提高, 说明随物料在混炼段所经历的混合循环次数增加, 其混合作用也

更强烈。图 6 和 7 表明随着转子螺棱线速度的增大, 混炼功率与出料口处熔体的温度也将提高, 表明随着转子螺棱顶部线速度的增大, 混合循环次数增加, 混合作用也更强烈。同时, 随着卸料门开启度的增大, 物料的装填率下降, 混合循环作用减缓, 因此, 混炼所消耗的功率和卸料温度也都不同程度地降低(如图 4 和 5 所示)。在实际操作过程中, 通过改变混炼机的转子转速、变换转子的组合以及改变其混炼段螺棱交汇区的长度等, 可以调整其混合作用的激烈程度, 以适应对不同产量、不同物性物料的不同混合要求。当产量增大时, 通过提高转子的转速可以保证物料的混合质量; 在混合热敏性高分子材料时, 选择混炼段螺棱交汇区较长的转子组合, 可以减少物料的循环混合次数, 使混炼机对物料的混合作用比较缓和。

(3)实际上混炼机两个转子的混炼段上的 8 个螺棱的长度、螺旋角和旋向都各不相同。因此, 物料在混炼段的一次循环中将依次受到来自 8 个螺棱的大小与方向都各不相同的推力作用, 其运动速度和方向至少发生 8 次变化, 而这种变化进一步加剧了物料混合界面的更新和流动的紊乱程度, 对物料的分散混合和低熔点挥发物的排除极为有利, 使得该机器具有良好的分散混合特性和脱排气性能。另一方面, 由式(5)可知, 在同一横截面处两转子混炼段螺棱槽内熔体的压力不同。因此, 在两转子之间存在着熔体的横向流动, 导致物料在左右两个混炼室之间的交叉流动和卷折变形, 如同在开炼机辊筒上打三角包一样, 促进了物料的轴向混合。

(4)转子螺棱对物料进行剪切作用。较高的剪切速率有利于物料产生连续的塑性变形和颗粒的撕裂、破碎与分散。由以上的讨论可知, 物料在混炼过程中所受的最大剪应力出现在螺棱顶部, 其大小与转子的结构参数 h 和 w_2 有关, 同时也与转子的转速、物料的粘度有关。由公式(25)可知, 间隙处的最大剪切应力值由两部分组成, 第一项是由单纯拖曳流动所产生的, 而第二项则是由与压力流动有关的因素所产生的。由单纯拖曳流动所产生的剪切应力, 其大

小与物料的粘度、转子的转速成正比,与间隙的大小成反比;受压力流动影响的剪切应力的的大小也与转子的转速成正比,与 w_2 成反比,即转子混炼段螺棱宽度越小,其剪切作用越强烈;而间隙 h 对剪切应力的影响则显得比较复杂。较小的间隙可以提高剪切速率,进而提高物料通过间隙时所受的剪切应力。但是,过高的剪切速率又会降低物料的表现粘度,反而会降低物料流过间隙时所受到的剪切应力。同时,过小的间隙会使得物料通过间隙的量相对减小,大部分的物料跟随转子在混炼腔内空转,影响了混合效果。对于绝大多数树脂而言,转子螺棱顶部的最大混合剪切速率应该控制在 10^3 s^{-1} 左右。

(5)混炼机转子的断面呈 S 形,其工作表面与混炼腔内壁之间为楔形。转子转动时,由式(20)可知,螺棱推进面处的熔体压力分布存在一个最大值。这样,在螺棱的推进面与背面形成了两个压力不同的区域,即推进面的高压区和背面的低压区。在高压区,由于转子强烈的推挤、辊压作用,物料发生了连续的塑性流动变形,实现了对物料的均匀分布与塑炼。在低压区,由于部分高压区的物料通过螺纹顶部与混炼腔内壁之间的间隙流入到低压区,扰乱了该处物料原有的状态,形成了有利于混合的旋涡紊乱流动。通过提高转子转速,减小间隙 h 和螺棱顶部的宽度 w_2 ,可以提高熔体在高压区与低压区的压力差,增加物料的旋涡紊乱流动效果。提高物料沿螺棱单位轴向长度上的流动速率,可以增加物料在混合过程中所经历的螺棱剪切次数,提高其分散混合效果和均匀性。如果 q 值太小,大部分物料在混合过程中将随着转子一起在混炼室中旋转,达不到混合的目的。由式(26)可知,提高转子转速,增大间隙 h ,减小螺棱顶部的宽度 w_2 ,可以提高熔体沿螺棱单位轴向长度上的流动速率,防止物料在混炼室中空转,提高物料分散混合效果和混炼效率。与此同时, q 值越大,高压区的物料通过螺纹顶部间隙流入到低压区的量越多,越有利于形成有利于混合的旋涡紊乱流动。

(6)如前所述,混炼段熔体的输送量与物料

的粘度成反比,物料的粘度越大,混炼段熔体的输送量越小,但是,物料的粘度对其分散混合的影响却不大[式(15)]。因此,该机器对各种物料的适应性较强,既可以用于对塑料进行混合加工,也可以用于对橡胶进行混合加工。转子的组合(主要是混炼段螺棱交汇区的长度)、转子转速对其混合过程影响较大。对于不同的物料,通过调节混炼机的各个操作参数,可以达到对物料的最佳混合,而对产量无任何影响。由此可见,该机器具有较强的工艺适应性,可以在很宽的工艺范围内完成对物料的混合与混炼,即使在产量很低时也可以实现对物料的高速、高效混合。

2.7.2 影响混炼过程的主要参数

(1)转子组合(螺棱交汇区的长度 L_H)

一对转子组合的螺棱交汇区长度越短,转子对物料的混合作用越强烈;拥有相对较长的螺棱交汇区的转子组合对物料的混合作用相对比较温和,更适用于对温度比较敏感的物料进行混合,如 PVC 等。

(2)转子转速

由文献[2]得知,转子的转速对混炼过程的影响是以其螺棱顶部的线速度的大小为特征的,随着转子螺棱顶部线速度的提高,一方面,物料在混炼机中的轴向混炼强度即熔体在混炼段的轴向循环次数增多,其粘性耗散热量也就增加,卸料温度因此得到提高(如图 7 所示),而且卸料门开启度越小,其提高的幅度越明显;与此同时,由于物料所承受的剪切作用的增大,混炼所消耗的功率也将提高(如图 6 所示),但是物料所受的剪切速率过大反而会导致熔体表现粘度下降^[2],降低了物料在混合过程中所受的剪切应力,反过来又抑制了混炼所消耗的功率的进一步增大。因此,适当地提高转子的转速可以提高螺棱顶部的剪切速率,有利于物料轴向混合循环流动,有助于强化物料在该区域的粉碎与分散。试验表明,对于聚烯烃类填充母料与色母料的混合,转子混炼段螺棱顶部线速度控制在 $2 \sim 2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 比较合适。

(3)螺棱顶部与混炼腔内壁之间的间隙

如上所述,螺棱顶部与混炼腔内壁之间的

间隙 h 对混炼过程的影响显得比较复杂。较小的间隙可以提高剪切速率, 进而提高物料通过间隙时所受的剪切应力。但是过高的剪切速率又会降低物料的表观粘度, 反而会降低物料流过间隙时所受到的剪切力。同时, 过小的间隙会使得物料通过间隙的量相对减少, 大部分的物料跟随转子在混炼腔内空转, 影响了混合效果。

(4) 嵌入块

在混炼机的混炼过程中, 可以通过替换不同形状的嵌入块改变混炼机料筒混炼室缝隙区的形状, 达到控制混炼效果的目的。一方面, 使用长嵌入块可减小混炼室左右两个混炼腔之间的贯通空间, 增大物料在左右两个混炼腔之间交叉流动^[3]时的流动阻力, 一定程度上限制了物料在两个混炼腔之间的交叉流动与交换; 同时, 使用长嵌入块可减小混炼腔的自由空间体积, 提高物料的装填率, 增加了物料的轴向混合循环次数。另一方面, 与销钉的作用类似, 使用长嵌入块可以提高缝隙区物料流动的湍流程度, 增大其在混炼过程中所受的剪切应力, 促进该区域物料的混合。

(5) 卸料门开启度

通过试验观察发现, 在混炼过程中, 混炼机料筒并未被物料完全充满。因此, 在混炼过程中伴随着物料界面的不断撕裂与更新, 该过程

与密炼机的混合过程类似, 促进了分散混合的进行。适当的装填率可以保证物料在转子混炼段的混合循环次数^[4], 这对于混合过程是非常重要的。随着卸料门开启度的增大, 物料通过卸料门的阻力变小, 混炼室中物料的装填率降低, 物料在混炼段的混合循环次数也将减少, 其混炼的激烈程度与物料产生的粘性耗散热也相应降低, 其混合作用也就相对较弱。

3 结语

综上所述, 双转子连续混炼机是一种混合性能优异、工艺适应性较强的高速、高效橡塑混合机械, 可以在很宽的工艺范围内完成对物料的混合与混炼, 具有较好的分散混合性能和脱排气性能, 应用前景极为广阔。

参考文献:

- [1] 耿孝正, 张沛. 塑料混合及设备[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1993. 241-243.
- [2] 佚名. 非啮合转子密炼机中胶料运动的机理[J]. 于占昌摘译. 橡胶译丛, 1993(5): 46-52.
- [3] 谢林生, 缪国兵, 颜惠庚. 双转子连续混炼机结构与混炼原理[J]. 塑料科技, 1996(6): 39-42.
- [4] Tadmor Z, Gogos C G. 聚合物加工原理[M]. 耿孝正译. 北京: 化学工业出版社, 1990. 282.

收稿日期: 2000-09-16

Study on mixing process and mechanism of two-rotor continuous mixer

XIE Lin-sheng, MIAO Guo-bing, CHEN Xiao-hong

(Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, Changzhou 213016, China)

Abstract: The mixing process and mechanism of two-rotor continuous mixer were investigated, and the mathematical and physical models of mixing process were established. The results showed that the primary parameters, which contributed to the mixing process, included the rotor combination (the length of rotor convergency sections), the rotor speed, the clearance between the top of wing and the inner wall of mixing chamber, the shape of inserted block and the opening stroke of discharge door.

Keywords: two-rotor continuous mixer; mixing process; mixing mechanism