

挤出机双流道筒体的设计及换热能力的计算与分析

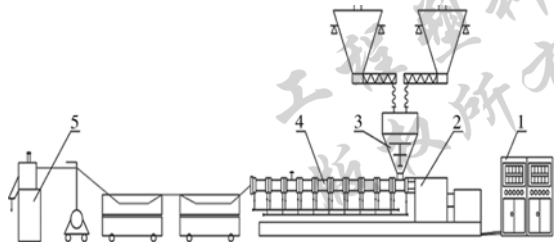
潘宝霞 贾朝阳

(甘肃省聚合物配混改性成套技术及装备工程技术研究中心,兰州 730060)

摘要 介绍了设计双流道筒体的必要性,通过建立物理、数学模型详细论述了双流道筒体的设计原理及换热计算过程,并通过试验对比分析验证了模型的可靠性,同时对单、双流道筒体的换热能力进行对比分析,得出了可靠的结论。

关键词 挤出机 筒体 双流道 换热能力 模型

双螺杆挤出机作为加工聚合物的主要设备,目前已广泛应用于塑料加工的各个领域^[1]。双螺杆挤出机主要由加料系统、驱动系统、主机工作系统、切粒系统、电仪控制系统以及相应辅机组成,如图1所示。主机工作系统作为双螺杆挤出机的核心部分,主要由芯轴、螺杆元件、筒体、筒体加热与冷却系统等组成,其主要作用是完成物料的输送、熔融、混炼、排气及稳定挤出,混炼塑化好的物料经模头挤出并被切粒系统切成大小均一的颗粒。



1—电仪控制系统; 2—驱动系统; 3—加料系统;

4—主机工作系统; 5—切粒系统

图1 双螺杆挤出机外形图

在塑料熔融混炼塑化的过程中,温度是一个非常重要而且需精确控制的参数,不同的物料、不同的挤出工艺过程对温度的要求完全不同。筒体作为双螺杆挤出机热量的载体,对温度的控制起着至关重要的作用。其内部的流道结构以及材质决定着筒体的换热能力及换热效率^[2-3]。就常规的配混挤出工艺而言,筒体镗孔式的单流道换热结构(见图2)基本满足其换热要求,但在一些特殊领域,由于挤出过程中伴有瞬间放出大量反应热或瞬间需补充大量脱挥热的现象,其换热量比一般配混挤出过程大得多,普通的单流道换热结构不能完全满足其换热要求,因此笔者设计了一种换热能力更强的双流道换热筒体(见图3),并对其换热能力进行了计算分析。

1 物理模型

由图3可知,双流道筒体的主要特征为:在不影

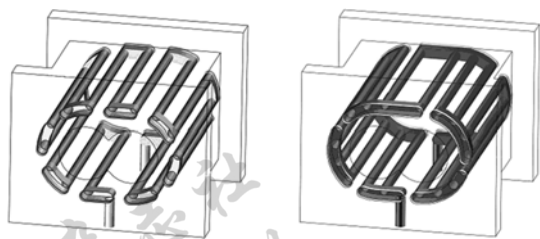


图2 镗孔式筒体内部结构图

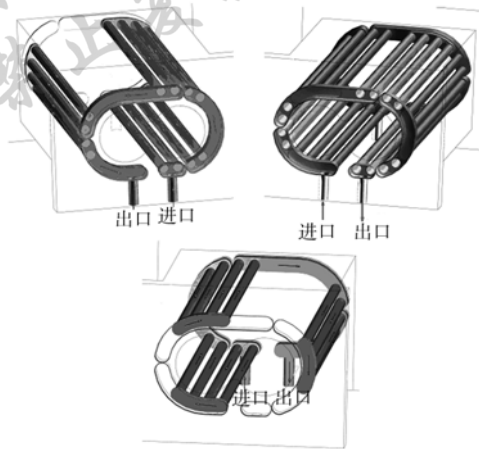


图3 筒体流道的物理模型

响筒体外形尺寸及筒体强度的情况下,在尽量靠近筒体“ ∞ ”孔的位置加工多个孔,并分别用沟槽将其连接起来,分成两组互不干涉的双流道,根据实际生产工艺,在流道内选择通入不同的换热介质,筒体两端分别留有每组介质流道的进、出口。

2 换热数学模型

2.1 传热控制过程

图4是双流道筒体的换热模型,其换热可以分为三种情况:(1)两组流道同时用于冷却,该模型主要用于反应瞬间强放热,需要迅速撤走大量热量的工况。(2)两组流道同时用于加热,该模型主要用

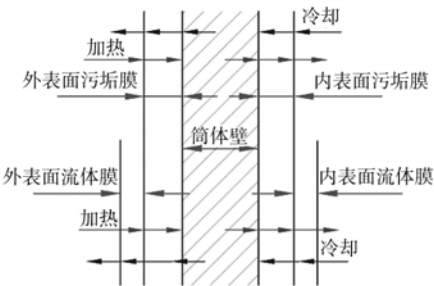


图 4 换热过程模型

于大溶剂脱挥过程中热量由于溶剂的脱除而急剧减少,需要及时补充大量脱挥热的工况。(3) 两组流道一组用于加热,一组用于冷却,该模型用于常规的塑料挤出工艺中,与筒体外部进行电加热、内部进行水冷却的方式等效。但无论是哪种换热方式,其换热机理基本相同。温度变化示意图如图 5 所示。

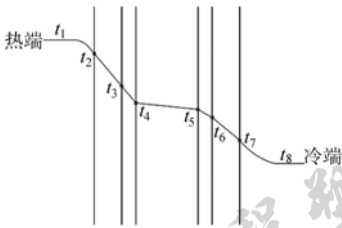


图 5 温度变化示意图

2.2 换热计算

筒体各段的换热能力 Q_i 可用式(1) 计算:

$$Q_i = K_i A_i \Delta t_m \tag{1}$$

式中: K_i ——各段的传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;

A_i ——各段的换热面积, m^2 ;

Δt_m ——各段的对流平均温差, K 。

Δt_m 可按式(2) 计算:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{初} - \Delta t_{终}}{\ln \frac{\Delta t_{初}}{\Delta t_{终}}} \tag{2}$$

式中: $t_{初}$ ——各段筒体加热/冷却介质入口处聚合物的温度与加热/冷却介质入口温度之差, K ;

$\Delta t_{终}$ ——各段筒体加热/冷却介质出口处聚合物的温度与加热/冷却介质出口温度之差, K 。

各段机筒的传热系数 K_i 可按式(3) 计算:

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + R_{s1} + \frac{\delta d_1}{\lambda_s d_m} + \frac{1}{\alpha_e} \cdot \frac{d_1}{d_2} + R_{s2} \cdot \frac{d_1}{d_2}} \tag{3}$$

式中: α ——聚合物对金属壁的传热系数, 其值主要受所加工物料的流变性能及螺杆线速

度等多种因素的影响^[3-4];

R_{s1} ——聚合物熔体一侧的污垢热阻, $m^2 \cdot K/W$;

δ_w ——筒体内壁到流道处的平均厚度, m ;

d_1, d_2 ——筒体内壁到中心的距离和流道处到中心的距离, m ;

λ_w ——钢的导热系数, 约为 $47 W/(m \cdot K^{[5]})$;

d_m ——流道的导热当量半径, m ;

α ——金属壁对导热油传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$;

R_{s2} ——换热介质一侧的污垢热阻, $m^2 \cdot K/W$ 。

2.3 计算结果

将试验过程中可以设定的参数作为计算过程中的已知数,计算出换热介质的进出口温度,最后将计算值与试验测量值进行比较,加热过程和冷却过程计算参数及结果如表 1、表 2 所示。

表 1 加热过程计算参数及结果

序号	$u/kg \cdot s^{-1}$	$t_1/^{\circ}C$	$t_2/^{\circ}C$	$T_1/^{\circ}C$	$T_1'/^{\circ}C$	$u' \times 10^{-2}/kg \cdot s^{-1}$	$u' \times 10^{-2}/kg \cdot s^{-1}$	$T_2/^{\circ}C$	$T_2'/^{\circ}C$
1	0.02	110.00	120.00	200.00	140.00	1.40	1.40	191.36	148.64
2	0.02	110.00	130.00	200.00	140.00	2.00	2.00	189.55	150.45
3	0.02	110.00	140.00	200.00	140.00	2.70	2.70	187.04	152.95
4	0.02	160.00	170.00	200.00		3.50		191.50	

注: (1) u 指物料在筒体内的流量, u', u'' 分别为换热介质的流量, 设定为定值; (2) t_1, t_2 分别指筒体入口处物料的温度和出口处物料温度; (3) T_1, T_1' 某段筒体入口处换热介质的温度; T_2, T_2' 某段筒体出口处换热介质的温度。

表 2 冷却过程计算参数及结果

序号	$u/kg \cdot s^{-1}$	$t_1/^{\circ}C$	$t_2/^{\circ}C$	$T_1/^{\circ}C$	$T_1'/^{\circ}C$	$u' \times 10^{-2}/kg \cdot s^{-1}$	$u' \times 10^{-2}/kg \cdot s^{-1}$	$T_2/^{\circ}C$	$T_2'/^{\circ}C$
1	0.02	200.00	195.00	140.00	140.00	0.60	0.60	151.60	151.67
2	0.02	200.00	190.00	140.00	140.00	1.00	1.00	155.10	155.20
3	0.02	200.00	185.00	140.00	140.00	1.10	1.10	162.30	162.10
4	0.02	200.00	170.00	140.00	140.00	1.80	1.80	164.50	164.64

3 试验验证

为了验证对双流道筒体换热模型的分析是否可行以及计算过程、结果是否准确, 分别进行加热过程以及冷却过程的验证试验, 验证结果列于表 3、表 4。

表 3 加热过程试验结果与模型计算对比表

序号	$T_2/(试验)/^{\circ}C$	$T_2/(模型)/^{\circ}C$	$T_2'/(试验)/^{\circ}C$	$T_2'/(模型)/^{\circ}C$	$K'/(试验)/W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$	$K/(模型)/W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$	$\Delta K/\%$
1	192.96	191.36	147.24	148.64	87.30	80.20	8.80
2	191.95	189.55	148.35	150.45	114.10	104.50	9.20
3	188.94	187.04	150.15	152.95	168.20	154.70	8.70
4	193.64	191.50			124.50	114.20	9.00

注: 每组试验中, 参数 $u, t_1, t_2, T_1, T_1', u', u''$ 的设定值与对应计算过程中的设定值一致, 表中未列出。

表4 冷却过程试验结果与模型计算对比表

序号	T_2 (试验)/℃	T_2 (模型)/℃	T_2' (试验)/℃	T_2' (模型)/℃	K' (试验)/ $W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$	K (模型)/ $W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$	ΔK /%
1	150.80	151.60	150.17	151.67	99.60	91.50	8.90
2	154.10	155.10	153.30	155.20	124.20	114.20	8.70
3	160.90	162.30	160.50	162.10	169.80	155.60	9.10
4	163.20	164.50	163.20	164.64	208.30	191.10	9.00

由以上数据得出结论:传热系数的试验值小于理论计算值,其偏差为8.92%。分析原因可能是模型简化以及熔体一侧实际热阻比文献上查的数据大等造成的。该结构筒体已成功应用于国内某企业的双螺杆挤出机上,在降低能耗的同时大大提高设备的换热能力,得到了用户的好评。

4 单流道筒体与双流道筒体换热性能比较

为了更全面地了解各种筒体的换热性能,进行了双流道筒体与普通单流道筒体的换热对比试验,结果如图6~图8所示。

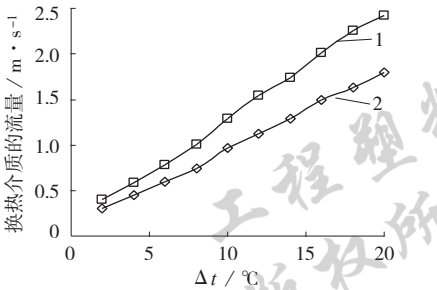


图6 换热介质的流量与聚合物温升/温降 Δt 对比曲线

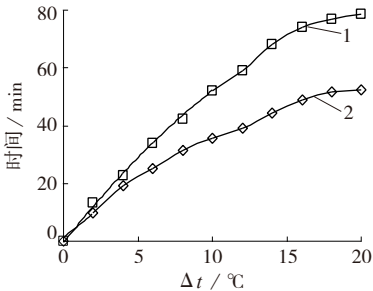
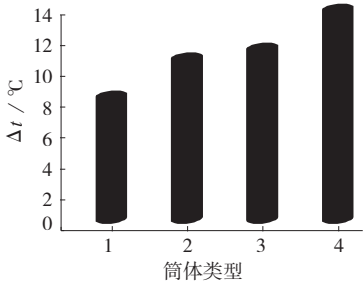


图7 加热/冷却时间与聚合物温升/温降 Δt 对比曲线

由图6可知,在使物料产生同样温差的情况下,



筒体类型
1—单流道/单进单出; 2—单流道/双进双出;
3—单流道/三进三出; 4—双流道/双进双出
图8 几种筒体换热能力的比较

双流道筒体(双进双出)比单流道筒体(双进双出)要节省35%的能耗。由图7可知,在忽略能耗的前提下,使聚合物产生相同温差时,双流道筒体(双进双出)的换热时间要明显低于单流道筒体(双进双出)的换热时间。由图8可知,在试验条件相同的前提下,双流道筒体(双进双出)的换热效果最好。

5 结语

双流道筒体的成功研制为以后挤出机在反应、脱挥等新领域的广泛应用提供了可靠的技术支撑,大大加快了筒体的换热速度,提高了换热效率。在设计双流道筒体过程中,笔者探索建立的换热模型及换热计算理论对筒体换热结构的设计(包括流道数量、流道直径、加工流道的位置等)具有一定的指导意义。若要对筒体换热进行深入研究及精确计算,仍需进行大量的理论计算及试验研究工作。

参考文献

[1] 耿孝正. 双螺杆挤出机及其应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003, 1: 30~38.
[2] Todd D B. Determining pressure drop in extruders[J]. Plastics Compounding, 1994, 17: 23~24.
[3] 张学伟. 挤出机冷却装置换热能力的设计计算[J]. 橡塑技术与装备, 2003(10): 3~6.
[4] 杨世铭. 传热学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980: 315~326.
[5] 彭海宏. 挤出机的传热方案[J]. 塑料, 1997, 26(5): 16~20, 24.

DESIGN OF EXTRUDE'S DOUBLE-CHANNEL BARREL AND CALCULATION OF ITS HEAT TRANSFER

Pan Baoxia, Jia Zhaoyang

(Gansu Research Center of Polymer Compounding Modification Technology & Equipment Engineer, Lanzhou 730060, China)

ABSTRACT The necessity of design double-channel barrel was described, the design principle of double-channel barrel and heat transfer calculation were discussed in detail by establishing physical and mathematical models, and those models were verified by experiment. The reliable conclusion was drew after comparing the heat exchange ability between single-channel barrel and double channel barrel.

KEYWORDS extruder, barrel, double channel, exchange heat energy, model