挤出口型中混炼胶出口压力降的预测

梁基照
（华南理工大学　510641）

摘要　阐明混炼胶于口型流动中挤出胀大比 B 与出口压力降 ΔP_{exit} 之间基本上呈幂律关系。应用文献中提出的数学模型，预测了两种混炼胶于毛细管挤出过程中的 ΔP_{exit} 值。结果表明，ΔP_{exit} 在末端压力损失中所占比例 β 随着剪切速率的增加而有所减小，β 的平均值为 15%—18%。

关键词　混炼胶，挤出，出口压力降

粘弹性流体于挤出口型中出口区的流动状态与挤出物畸变、口型膨胀及出口压力损失等因素密切相关，一直备受关注。出口压力损失和口型膨胀均可视为流体弹性的贡献，分别用出口压力损失 ΔP_{exit} 和挤出胀大比 B 来表示。对于圆截面口型，$B = D_e/D$。其中，D_e 为挤出物直径，D 为口型直径。

不少研究者曾分别考察过聚合物熔体挤出过程中的胀大行为和出口压力损失及其影响因素[1—4]。但对两者间的定量关系的研究则相对地少，尤其是对橡胶及其共混或复合材料的研究就更少了。在先前的工作中，作者[4]曾探讨过两者之间的关系，并提出相应的关系式。本工作拟在此基础上预测混炼胶在挤出口型流动时的出口压力损失。

1　理论分析

当粘弹性流体从大截面流道（如料筒）被挤入小截面流道（如口型）时，由于流道截面突然收缩而形成入口收敛流动。入口收敛流动包括拉伸流动和剪切流动。流体产生相应的弹性能贮存和粘性耗散，导致明显的入口压力损失 ΔP_{ent}。在口型出口区流动时，由于残存应力以及流速分布的重整而导致的拉伸效应，产生相应的出口压力损失 ΔP_{exit}，两者之和构成末端压力损失 ΔP_{end}，即

$$\Delta P_{end} = \Delta P_{ent} + \Delta P_{exit} \qquad (1)$$

定义

$$\alpha = \Delta P_{ent}/\Delta P_{end} \qquad (2)$$

$$\beta = \Delta P_{exit}/\Delta P_{end} \qquad (3)$$

以 α 和 β 定量地表征入口压力损失和出口压力损失占末端压力损失的比例。

已提出过各种各样的理论来解释粘弹性流体挤出胀大的起因，如法向应力效应、弹性记忆理论、熵增效应等。较为一致的观点是，口型膨胀主要是流体弹性行为的贡献，ΔP_{exit} 和 B 是挤出口型流动中粘弹性流体弹性行为的重要表征，两者之间存在着某种形式的内在联系。Han[1]应用毛细管流变仪，考察了挤出条件下高密度聚乙烯（HDPE）熔体的 ΔP_{exit} 与 B 的关系，发现两者大致上存在着幂律关系：

$$B = a\Delta P_{exit}^{b} \qquad (4)$$

式中 a 和 b 是与熔体物性有关的常数。

对于长口型挤出，可忽略入口流动对口型膨胀的影响。这样，按宏观流变学的观点，挤出物胀大可主要归因于流体在口型内剪切场作用下产生剪切形变于离模后的弹性回复。基于此，在假设条件下，文献 4 提出了 ΔP_{exit} 与 B 的关联式：

$$\Delta P_{exit} = \tau_w(B^4 - 1)^{0.5}/3 \qquad (5)$$

式中 τ_w 为壁面剪切应力。

2　试验结果与讨论

2.1　试验测量数据

有两种试样，试样 I 是 NR 炭黑填充胶

料，试样Ⅱ是 NR/SBR/BR 共混炭黑填充胶料。试验用 Instron-3211 型毛细管流变仪，以短毛细管（$D=0.78$mm，$L/D=0.256$）测量 ΔP_{ent}，以长毛细管（$D=1.214$mm，$L/D=40$）测量试样的流变特性参数。流变仪料筒温度为 90℃。两试样流变特性参数测量数据分别列于表 1 和 2。

2.2 ΔP_{exit}的预测

将表 1 和 2 中的 τ_w 和 B 的实测值代入式(5)，可求得试验条件下两试样的 ΔP_{exit} 的理论计算值。然后，由式(1)—(3)计算出相应的 ΔP_{end}，α 和 β 值。计算结果列于表 3。

表 1 试样Ⅰ的流变特性参数[5,6]

$\dot{\gamma}_a$，s^{-1}	τ_w，kPa	η_a，kPa·s	n	B	ΔP_{ent}，kPa
3.04	90	17.10	0.255	1.322	115
10.14	123	7.08	0.260	1.323	224
30.42	160	2.90	0.255	1.339	364
101.40	205	1.03	0.206	1.347	637
304.20	262	0.55	0.310	1.402	1176
1014.00	426	0.34	0.497	1.495	—

注：$\dot{\gamma}_a$—表观剪切速率；η_a—表观剪切粘度；n—流动指数。表 2 和 3 同。

表 2 试样Ⅱ的流变特性参数[5,6]

$\dot{\gamma}_a$，s^{-1}	τ_w，kPa	η_a，kPa·s	n	B	ΔP_{ent}，kPa
3.04	190	30.8	0.194	1.237	336
10.14	240	11.3	0.186	1.264	560
30.42	293	5.52	0.251	1.303	742
101.40	434	3.21	0.428	1.311	1176
304.20	770	2.19	0.615	1.343	2450

表 3 ΔP_{exit}，ΔP_{end}和 β 的计算值

$\dot{\gamma}_a$，s^{-1}	试样Ⅰ			试样Ⅱ		
	ΔP_{exit}，kPa	ΔP_{end}，kPa	β，%	ΔP_{exit}，kPa	ΔP_{end}，kPa	β，%
3.04	43	158	27	73	409	18
10.14	59	283	21	100	660	15
30.42		445	18	134	876	15
101.40	103	740	14	202	1378	15
304.20	148	1324	11	385	2835	14

从表 3 可以看出，在相同的挤出条件下，试样Ⅱ的 ΔP_{exit} 和 ΔP_{end} 值均高于试样Ⅰ；试样Ⅱ的 β 值随 $\dot{\gamma}_a$ 的变化不太大，基本上在 15%左右；试样Ⅰ的 β 值随 $\dot{\gamma}_a$ 变化的幅度则较大，其平均值约为 18%。Santamaria 和 Guzman[7]应用毛细管流变仪，考察了聚苯乙烯和高抗冲击聚苯乙烯挤出条件下的末端压力损失。发现，当 $\dot{\gamma}_a$ 大于 $10s^{-1}$ 时，ΔP_{exit} 和 ΔP_{end} 之间有如下关系：

$$\Delta P_{exit} = 0.17\Delta P_{end} \quad (6)$$

这与上述结果极为类似。

2.3 ΔP_{exit}与 τ_w 的关系

Han[1]指出，以流体的弹性参数对剪切应力作图时无温度依赖性。图 1 展示了两试样的 ΔP_{exit} 与 τ_w 的关系。从图中可以看出，两者之间大致呈线性关系，且直线的斜率较为接近，这意味着在挤出条件下，两试样的出口压力损失对剪切应力的敏感性相近。此外，当

τ_w 一定时，试样 I 的 ΔP_{exit} 值高于试样 II。由表 1 和 2 也可以看出，在相同的剪切应力下，试样 I 的 B 值也高于试样 II，但 η_a 却低于后者。这表明，试样 I 的弹性较试样 II 的大。

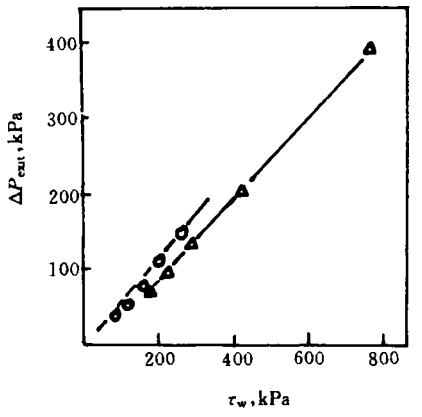

图 1　ΔP_{exit} 与 τ_w 的关系

○—试样 I；△—试样 II

2.4　B 与 ΔP_{exit} 的关系

以挤出胀大比对出口压力损失作图，可得出两试样在试验条件下的 B 与 ΔP_{exit} 之关系曲线，见图 2。B 随 ΔP_{exit} 的增加而增大，两者之间大体上呈幂律关系，只是试样 II 的曲线下弯，试样 I 相反。这反映出两试样的幂律常数 a 和 b 存在较大差异，主要原因是材料的组成和配方不同。此外，在相同的 ΔP_{exit} 下，试样 I 的 B 值明显地高于试样 II，尤其是当 ΔP_{exit} 较大时，更为显著。研究[1]发现，HDPE 熔体的出口压力随 $\dot{\gamma}_a$、口型长径比 (L/D) 和流道收缩比的变化与 B 随这些参数的变化极为相似，且当 $L/D>12$ 后，出口压力趋于恒定。这表明，挤出物胀大和出口压力损失的存在，是粘弹性流体弹性行为的明显体现，因此这两个现象必定有相同的起因。

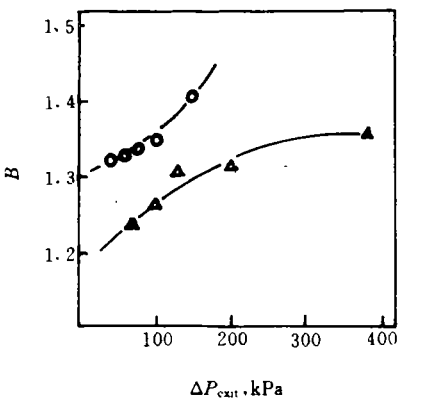

图 2　B 与 ΔP_{exit} 的关系

注同图 1

3　结论

挤出物胀大和出口压力损失均是粘弹性流体于口型流动中弹性行为的重要体现，两者之间存在着必然的内在联系。研究结果表明，ΔP_{exit} 与 B 之间基本上呈幂律关系；在实验室条件下，两试样的 ΔP_{exit} 于 ΔP_{end} 中所占比例 β 的平均值为 15%—18%；随着 $\dot{\gamma}_a$ 的增加，β 值有所下降，表明试样的入口效应相应地随之增强。

在一般的试验条件下，直接测量 ΔP_{exit} 较为困难，应用挤出胀大比估算流体挤出口型流动中的出口压力损失十分简便。

参考文献

1　Han C D. Rheology in polymer processing. Academic Press, New York, 1976: 118

2　Bagley E B and Duffey H J. Exit pressure effects in capillary die data recoverable shear strain and the barus effect in polymer extrusion. Trans. Soc. Rheol., 1970; 14: 454

3　Graessley W W *et al*. Die swell in molten polymer. Trans. Soc. Rheol., 1970; 14: 519

4　梁基照. 聚合物熔体挤出流动中的弹性行为. 合成橡胶工业. 1995; 18: 107

5　郑　融. 毛细管进出口流动中聚合物熔体粘弹行为的唯象研究. 华南工学院, 1984

6　谭志明. 毛细管挤出过程中参变量与橡胶流变性能的相关性研究. 华南工学院, 1984

7　Santamaria A and Guzman G M. Melt rheology of high impact polystyrenes at high shear stress. Polym. Eng Sci., 1982; 22: 365

收稿日期　1996-02-26

Prediction of Exit Pressure Drop of Rubber Mix in Extruder Die

Liang Jizhao
(South China University of Science and Technology 510641)

Abstract It was shown in this paper that the power-law existed between the die swell ratio B and the exit pressure drop ΔP_{exit} of the rubber mix during flowing in the extruder die. The ΔP_{exit} values of two rubber mixes during capillary extrusion were predicted using the mathematic model proposed in the previous paper. The result showed that the proportion β of ΔP_{exit} to the end pressure drop ΔP_{end} decreased as the shear ratio increased, the average value of β was 15%—18%.

Keywords rubber mix, extrusion, exit pressure drop

浙江黄岩东海化工厂——为您提供

一、氯丁橡胶防焦剂 CR-X

主要性质：

本品为淡黄色粉末，不溶于水，无毒，由有机金属离子和>N—S—结构的有机化合物化合而成。

用途：

主要用于防止氯丁橡胶在加工过程中的焦烧。本品不仅适用于硫调节型，也适用于非硫调节型，用量0.5—3份(同时对焦烧较快的胶料在回炼时加入本品也可使焦烧时间延长)。

包装：

聚丙烯编织袋内衬PVC薄膜，每袋25kg装，置于干燥通风处贮存。

二、橡胶防焦剂 YG-1

主要性质：

白色或略带微黄色粉末，稍溶于冷水，易溶于酒精、苯等有机溶剂。

用途：

适用于用硫黄硫化的天然橡胶、顺丁橡胶、丁苯橡胶、丁腈橡胶及并用胶胶料。用于M、DM和TMTD并用的胶料中有极佳的防焦烧作用，用量在0.2%—0.5%范围内。对硫化胶物理机械性能及老化性能无影响，并且对白色和艳色橡胶制品不污染，但对无硫硫化体系的各种胶料无防焦烧作用。

包装：

聚丙烯编织袋内衬PVC薄膜，每袋25kg装，置于干燥通风处贮存。

三、橡胶塑解剂 AP

主要性质：

本品为五氯硫酚活性剂和惰性分散剂的混合物，外观为浅绿色粉末，基本不溶于常用溶剂。

用途：

可缩短橡胶塑炼时间1/3左右，在密炼机、开炼机及高、低温条件下，都有塑解效应，且效果较好，对橡胶物理机械性能无不良影响。加硫化剂后，塑解效能消失。是天然橡胶、丁苯橡胶、丁腈橡胶有效的塑解剂。

包装：

聚丙烯编织袋内衬PVC薄膜，每袋25kg装，置于干燥通风处贮存。

地址：浙江黄岩外东浦8号 邮编：318020
电话：(0576)4111642 4214011
电挂：7316 联系人：缪育键 缪绍光