

## 冷喂料橡胶挤出机喂料过程动力学

胡雪华, 刘彦昌, 潘弋人

(青岛科技大学机电工程学院 高分子材料先进制造山东省重点实验室, 山东 青岛 266061)

**摘要:**文中将冷喂料挤出机喂料楔形间隙简化为线性楔形区域,采用Bird-Carreau本构模型,对喂料过程进行动力学模拟,得到了沿楔形方向的压力分布以及在楔形区横截面上的压力和速度分布的图像。将模拟结果与前期试验数据以及基于牛顿本构模型的计算结果相对比。通过对比发现,它们都有相似的变化趋势。沿楔形方向压力呈现的模拟结果小于计算结果而大于试验数据,并且在楔形区入口位置,模拟结果和试验数据都有压力值;在楔形区横截面上的压力和速度分布,模拟结果小于计算结果。通过研究表明,已有的基于牛顿本构模型的计算方法,尽管可以粗略地分析喂料过程动力学,但是更精确的喂料过程动力学模型必须考虑胶料非牛顿行为和机筒表面合适边界条件。

**关键词:**冷喂料挤出机;喂料过程;动力学

**中图分类号:**      **文献标识码:**A      **文章编号:** 1000-7555(2023)03-000-

冷喂料橡胶挤出机是橡胶工业的一种基本成型设备。虽然冷喂料挤出机螺杆构型不断优化发展,但胶条喂料方式通常没有改变。目前已经发展了许多不同螺杆构型的冷喂料挤出机,可几乎都采用胶条喂料的方式<sup>[1,2]</sup>。喂料过程对挤出质量<sup>[3]</sup>、挤出稳定性、螺杆侧向受力和挤出机功率消耗有重要影响。胶条喂料方式,通常采用喂料辊/螺杆系统。在这种喂料系统中,喂料辊作用仅是增加喂入推力<sup>[4]</sup>或产生额外压力增加<sup>[5]</sup>,而喂料成功的关键结构是喂料楔形间隙(螺棱顶面和机筒下凹沟槽之间形成的楔形区)。当旋转的螺棱拖曳胶条通过喂料楔形间隙时,胶条逐渐被压缩而变薄,沿螺棱两侧方向被挤出,螺棱逐渐嵌入在胶条内。当胶条至最小楔形间隙值(在螺杆外圆与机筒内壁之间的间隙)附近时,发生纵向断开,进入螺棱两侧螺槽内,完成喂料过程。由此可见,喂料楔形间隙影响挤出机喂料过程。

然而,到目前为止,还没有建立喂料辊/螺杆系统的喂料理论,胶条通过喂料楔形间隙的过程研究也较少<sup>[6,7]</sup>。这种情况造成冷喂料挤出机喂料理论大大落后于工程实际,无法对工程实际提供指导。

刘彦昌等<sup>[6]</sup>使用旋转圆盘模型试验装置,研究了冷喂料橡胶挤出机的喂料行为。试验结果表明,嵌入胶条的螺棱侧面有不可忽视的附加拖曳作用;胶条通过喂料楔形间隙过程实际上是一种挤压流动过程,并且这一过程存在单个峰值压力分布、温升明显和功率消耗。于芳<sup>[7]</sup>利用旋转圆盘模型,基于牛顿本构模型,在准稳态和等温过程下,通过运动学转换(基于微分平板模型),近似推导建立了在胶条通过喂料楔形间隙过程中的速度分布、压力分布、总挤压力和功率消耗的关系式,并将基于牛顿本构模型的计算结果与试验获得的压力分布和功率消耗<sup>[7]</sup>进行对比。对比结果表明,基于牛顿本构模型的计算结果与试验数据有相同的变化趋势,然而后者低于前者,造成这种结果的原因是没有考虑胶料的剪切变稀和弹性效应。

通过以往文献研究可以发现,在试验表征上难以获得在楔形区横截面上的速度和压力分布图像。因此,为了更加全面精确地得到冷喂料挤出机喂料过程的动力学分析,本文基于Bird-Carreau本构模型,利用Polyflow有限元分析软件对胶条通过喂料楔形过程动力学进行模拟,并与前期试验数据及

基于牛顿本构模型的计算结果进行对比分析。

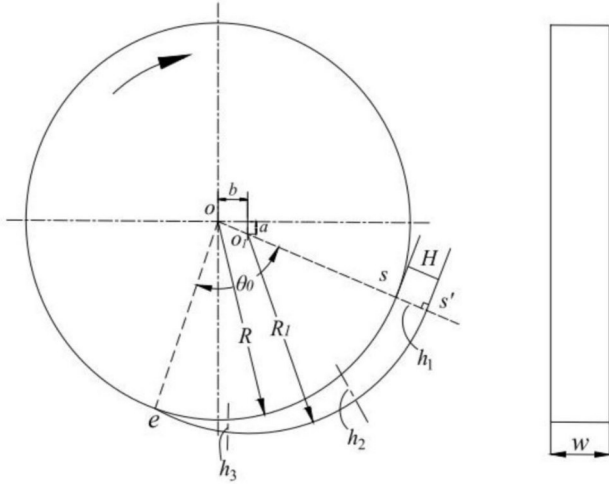


Fig.1 Rotating disk model

$a$ : vertical offset between  $O$  and  $O_1$  circle centers;  $b$ : horizontal offset between  $O$  and  $O_1$  circle centers;  $H$ : the start position of the model wedge

## 1 方法说明

### 1.1 几何说明

模拟分析同样基于旋转圆盘模型<sup>[6-8]</sup>(Fig.1)。这一模型是根据与实际喂料楔形间隙相同的压缩(或挤压)路径来建立的:在机筒下凹沟槽(或 $R_1$ )不变的情况下,用 $0^\circ$ 螺旋角圆盘代替螺杆螺棱,圆盘的半径( $R$ )和宽度( $w$ )分别等于螺杆半径和螺棱轴向宽度。显然,模型喂料楔形间隙是一种非线性楔形区域。而且,在这模型楔形中的挤压流动是由边界拖曳运动引起的,不是由边界闭合运动<sup>[9-12]</sup>引起的。因此,要获得这种挤压流动动力学问题的精确解析解几乎是不可能的。

由于胶料仅“湿润”部分的圆盘顶面,因而在Polyflow软件中进行模拟时不能达到预期结果。为了模拟获得这种挤压流动动力学的基本特征,将在Fig.1中的非线性楔形区域近似简化为线性楔形区

域(Fig.2)。因为最小楔形间隙值很小(在Fig.1中 $e$ 点位置的间隙),可以认为楔形顶端是封闭的。

在Fig.2中,宽度 $w$ 的倾斜平条(圆盘或螺棱)移动,宽度大于等于 $w$ 的水平平板(机筒)静止,于是,将圆盘的旋转运动变为移动平条的倾斜直线移动。然而,为了能够实现旋转圆盘模型的挤压流动,移动平条应当有足够长度。计算楔形角( $\alpha$ )和移动平条速度( $V$ )的公式如式(1)和式(2)(参见Fig.1)

$$\alpha = \arctan\left(\frac{ss'}{es}\right) = \arctan\left(\frac{H}{R\theta_0}\right), \text{度}(\circ) \quad (1)$$

$$V = \frac{\pi RN}{30}, \text{mm} \cdot \text{s}^{-1} \quad (2)$$

式中: $\theta_0$ ——在喂料楔形内圆盘外圆圆弧对应的中心角; $N$ ——圆盘旋转速度, r/min。

分析使用的冷喂料挤出机规格是 $\Phi 65$ 。其中 $\Phi$ 喂料楔形间隙典型几何参数值是, $b=5 \text{ mm}$ ,  $R=R_1=32.5 \text{ mm}$ ,  $\theta \approx 1.49 \text{ rad}$ ,  $w=10 \text{ mm}$ ,  $H=5.4 \text{ mm}$ ,根据式(1)和式(2),计算得到 $\alpha \approx 6.36^\circ$ 。需要说明的是,由于 $\alpha$ 较小,为了便于模拟,采用在Fig.2中从点 $s$ 到线段 $es'$ 的垂线长度作为近似楔形入口间隙值,即 $H \cos \alpha = 5.37 \text{ mm}$ 。这一近似也适用于基于牛顿本构模型计算,且不影响前期压力试验数据的采用。

分析采用直角坐标系,如Fig.3所示。坐标原点 $o$ 位于在楔形顶端移动平条宽度一半的位置, $x$ 轴位于移动平条宽度对称线在静止平板的投影线上(胶条长度方向), $y$ 轴位于通过原点 $o$ 并垂直于静止平板的直线上(胶条厚度方向), $z$ 轴位于通过原点 $o$ 并垂直于 $x$ - $y$ 平面的直线上(胶条宽度方向)。

### 1.2 网格划分

在网格划分之前,基于满足喂料实际情况和正确模拟条件下,对流道的5个面(入口,前、后两侧出口和上、下两壁面)进行如Fig.3所示的命名。

将线性楔形模型导入Polyflow模块,通过Mesh

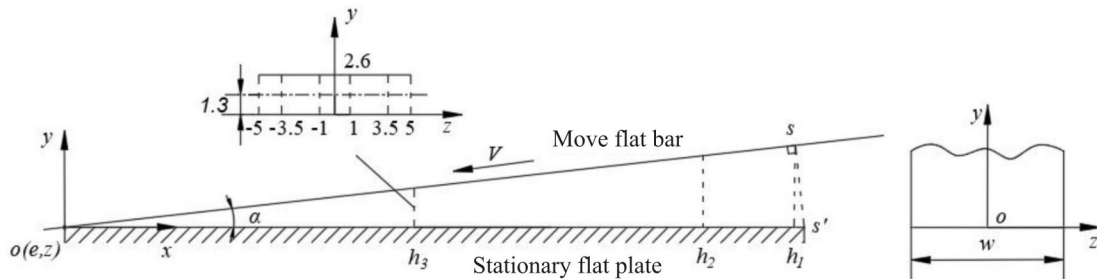


Fig.2 Linear wedge model

模块对模型进行网格划分。为了提高模拟结果精度、节约计算时间和方便结果对比<sup>[13]</sup>,选用六面体网格,将单元尺寸设置为0.3 mm。划分完成后的网格节点数为477812,网格单元为416580。

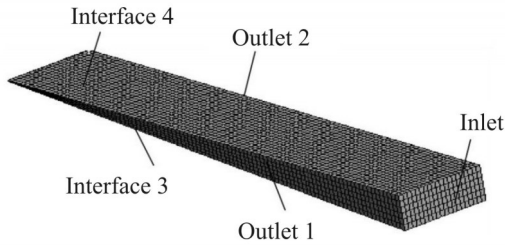


Fig.3 Meshing diagram

### 1.3 本构模型和参数设置

因为分析不考虑温度变化,只考虑胶料在低剪切速率下的牛顿行为和中等剪切速率下的剪切变稀行为,模拟使用Bird-Carreau本构模型<sup>[14]</sup>:

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty}) [1 + (\lambda \dot{\gamma})^2]^{-\frac{n}{2}} \quad (3)$$

式中: $\eta$ ——剪切黏度; $\eta_0$ ——零剪切黏度; $\eta_{\infty}$ ——无穷大剪切黏度; $\lambda$ ——特征时间( $\lambda^{-1}$ 是在牛顿行为和剪切变稀行为之间转变的剪切速率); $\dot{\gamma}$ ——剪切速率; $n$ ——幂律指数。

在模拟分析中,使用的胶料是卡车轮胎的胎面胶(TTT)、胎侧胶(TTS)和内衬层胶(TTI)3种混炼胶<sup>[6]</sup>。用平行板塑性计在室温下测得TTT,TTS和TTI的 $\eta_0$ 分别是 $2.4 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ,  $2.2 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 和 $2.1 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ <sup>[7]</sup>。模拟分析选择的其它参数是 $\eta_{\infty}=0$ ,  $\lambda=0.4 \text{ s}$ 和 $n=0.3$ <sup>[8]</sup>。

因为 $n < 0.75$ ,计算问题属于非牛顿特性较强的非线性问题,所以使用Picard插值法进行黏度迭代计算<sup>[13]</sup>。

### 1.4 简化假设和边界条件

在分析中,假设初始胶条的厚度等于 $H$ 、宽度大于等于 $w$ ,流动是不可压缩液体的等温和准稳态过程。

采用的边界条件包括:

(1)入口处流率 $Q=wHV$ ( $V$ 的计算见式(2))。在3种圆盘转速(30 r/min, 45 r/min和60 r/min)下的移动平条速度( $V$ )和入口流率( $Q$ )见Tab.1。

(2)在移动和静止壁面上使用法向应力和切向应力。移动平条两侧出口压力是大气压,因为在喂料过程中,胶料没有完全填满螺槽。

## 2 结果与讨论

使用ANSYS/Polyflow软件,进行模拟分析。将模拟生成的结果通过后处理软件CFD-post进行可视化图像输出,以云图和折线图的形式显示。

Tab.1 Moving flat strip velocity and inlet flow rate

$N(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	30	45	60
$V(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	102	153	204
$Q \times 10^{-3}/(\text{mm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	5.50	$8.25 \times 10^3$	11.0

$N$ : disk rotational speed;  $V$ : velocity of moving flat strip;  $Q$ : inlet flow rate

### 2.1 压力分布

**2.1.1 压力分布云图:**在压力分布模拟中,使用30 r/min, 45 r/min和60 r/min 3种圆盘(或螺杆)转速(相应的移动平条速度 $V$ 分别是102 mm/s, 153 mm/s和204 mm/s),选用上述胎侧胶(TTS)、胎面胶(TTT)和内衬层胶(TTI)。由于这些混炼胶有类似的压力分布云图,因此, Fig.4只显示胎侧胶的压力分布云图。

从Fig.4可知:(1)沿楔形方向,随楔形间隙值的减小,在挤压初期压力缓慢增加,在挤压后期压力

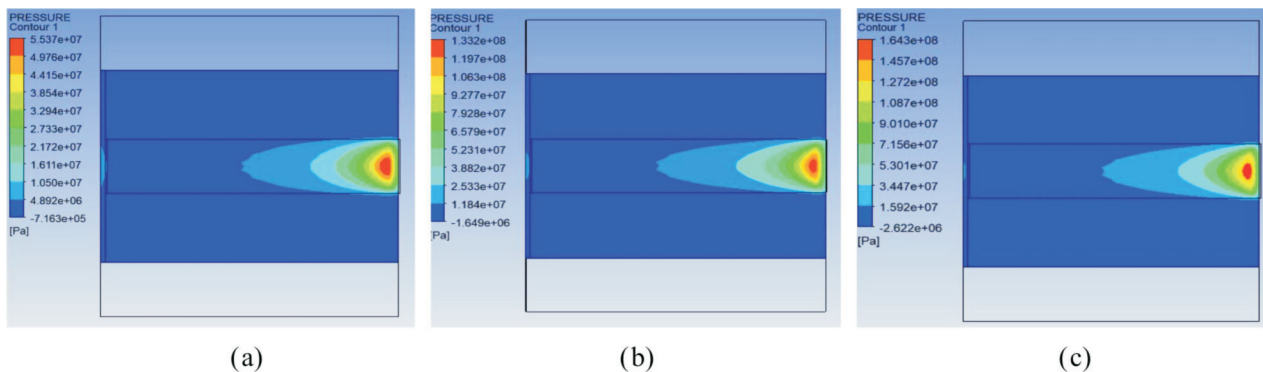


Fig.4 Cloud diagrams of pressure distribution of TTS along the wedge

(a):  $V=102 \text{ mm/s}$ ; (b):  $V=153 \text{ mm/s}$ ; (c):  $V=204 \text{ mm/s}$

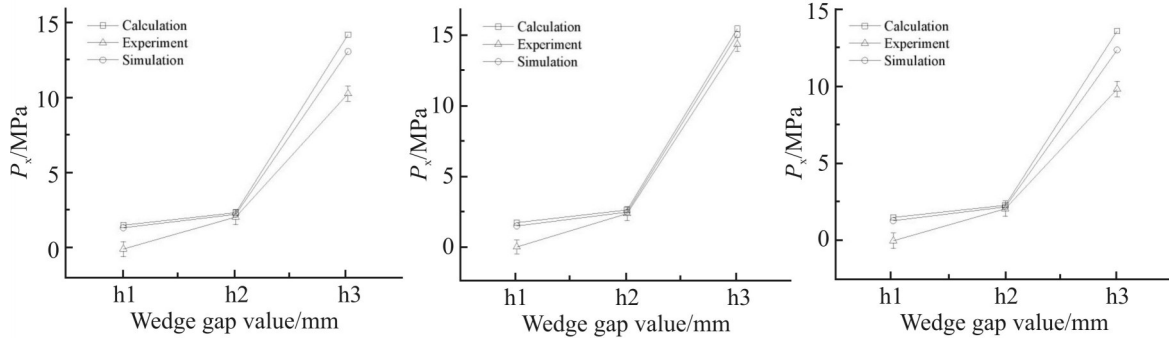


Fig.5 Comparison of pressure distribution along the wedge among simulation value, experimental data and calculated prediction of (a)TTS, (b)TTT and (c)TTI at the disk (or screw) speed of 30 r/min

激增,至楔形间隙顶端附近出现峰值后又骤减。产生这个行为的原因是由于在不断变小的楔形间隙中产生快速增大的挤压作用(或速度),导致胶料的剪切变稀效应增大。当胶料到达楔形间隙顶端附近时,黏度下降至一个很低值,但挤压速度和楔形间隙值几乎不变<sup>[7]</sup>,从而使挤压力达到最大值后又快速下降(参考式(4))。(2)在楔形区域入口存在“入口压力效应”,即模拟的入口压力值不为0。入口压力效应反映了在圆盘模型试验和实际喂料过程中胶条被“咬住”而进入楔形区域时的行为。(3)随着螺杆转速增加,在楔形区域中压力均增大。

**2.1.2 沿楔形方向压力分布:**为了比较沿楔形方向压力分布的模拟结果、试验数据<sup>[6]</sup>和基于牛顿本构模型计算结果<sup>[7]</sup>,选取  $h_1=5.37$  mm,  $h_2=4.7$  mm 和  $h_3=2.6$  mm 3个楔形间隙值位置(Fig.2)。 $h_1$ ,  $h_2$  和  $h_3$  分别是在前期试验中安装3个压力传感器的位置<sup>[6]</sup>(Fig.1)。模拟结果从Fig.4导出。试验数据采用文献[6]的数据。基于牛顿本构模型计算的压力( $p_x$ )计算按照式(4)<sup>[7]</sup>进行

$$p_x = \frac{\bar{\eta}_0 \bar{h} w^2}{h^3} \quad (4)$$

式中: $\bar{h}$ 是平均挤压速度( $\bar{h} = \pi N H / 300 \theta_0$ )。将有关参数值代入式(4),可以获得不同楔形间隙值位置的计算压力值。Fig.5是3种胶料在30 r/min的圆盘(或螺杆)转速下( $\bar{h} = 11.4$  mm/s),压力的模拟结果、试验数据和基于牛顿本构模型的计算结果的比较。在其它圆盘(或螺杆)转速下的压力分布情况与Fig.5类似。

从Fig.5可知,对于这3种胶料,压力的模拟结果、试验数据和计算结果随楔形间隙值的变化趋势与Fig.4相一致,然而压力模拟结果小于计算值而大于试验数据,更接近试验数据。这表明,考虑胶料

的剪切变稀效应对获得更加准确的喂料过程动力学分析是必要的。

在Fig.5中也显示,模拟结果和试验数据都存在于入口压力效应,而基于牛顿本构模型的计算结果不能反映这一效应。因为在计算入口压力时,假定挤压速度为0。例如,对于胎侧胶,在30 r/min的圆盘(或螺杆)转速下,在入口( $h_1$ )位置,模拟和试验的压力值都近似是1.42 MPa。

**2.1.3 在楔形断面中压力分布:**在楔形横截面中,基于牛顿本构模型计算的压力( $p_z$ )计算按式(5)<sup>[7]</sup>

$$p_z = \frac{3\bar{\eta}_0 \bar{h} w^2}{2h^3} - \frac{6\bar{\eta}_0 \bar{h} z^2}{h^3} \quad (5)$$

式(5)的一个假设是在同一 $z$ 处而不同 $y$ 位置有相同的压力。显然,对于给定的圆盘(或螺杆)转速( $N$ )和楔形间隙值( $h$ ), $p_z$ - $z$ 是抛物线。为了显示典型的比较,选取胎侧胶和30 r/min圆盘(或螺杆)转速的操作条件以及 $h_3$ (=2.6 mm)位置的楔形横截面,并且在这楔形横截面中选取 $z=0$  mm,  $\pm 1$  mm,  $\pm 3.5$  mm 和  $\pm 5$  mm 位置(Fig.2)。将相关参数代入式(5),可以获得不同 $z$ 位置的 $p_z$ 计算值。这些 $z$ 位置的 $p_z$ 模拟结果从Fig.4导出。Fig.6是在这种情况下压力分布的模拟结果和计算结果的比较。

从Fig.6看出,在楔形断面中模拟获得的压力分布也是抛物线图像,然而,除了移动平条两侧边位置外,模拟结果均低于计算结果。造成模拟压力偏低的原因也由于剪切变稀效应。

## 2.2 在楔形横截面中速度分布

**2.2.1 速度分布云图:**对于给定的混炼胶和移动平条速度,在任意一个楔形横截面中有类似的速度分布云图。Fig.7显示胎侧胶在102 mm/s移动平条速度(30 r/min圆盘(或螺杆)转速)下,在 $h_3$ (=2.6 mm)位置楔形横截面中的速度分布云图。由于速度分



布云图关于  $h_3/2(=1.3 \text{ mm})$  线(见 Fig.2 中的上方)上下对称,故在 Fig.7 中只显示下半部分。

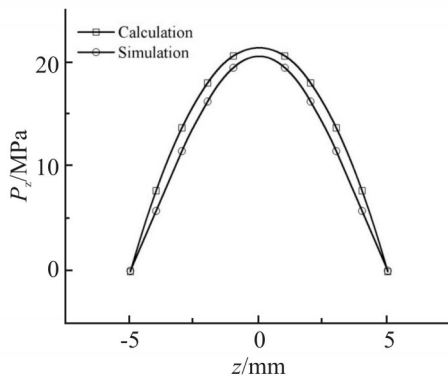


Fig.6 Comparison between simulated and calculated pressures of TTS in the cross-section of  $h=2.6 \text{ mm}$  at the disc (or screw) speed of  $30 \text{ r/min}$

从 Fig.7 看出,在楔形横截面中,速度分布云图关于  $w/2$  线(宽度中间线)也是对称的,并且在同一高度层  $y$ ,从宽度中间线到平条左右两侧出口,速度增加,即不同宽度位置的材料微元之间产生拉伸流动;在同一宽度位置  $z$ ,从壁面到高度中间线,速度也增加,即不同高度层材料之间产生剪切流动。

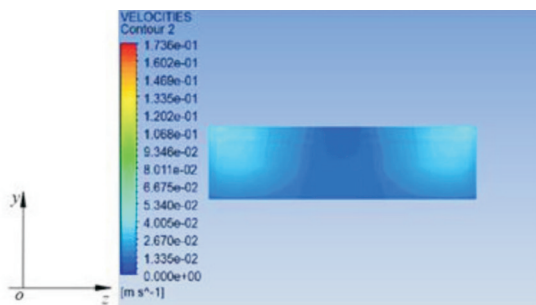


Fig.7 Cloud diagram of velocity distribution of TTS in the cross-section of  $h=2.6 \text{ mm}$  at  $30 \text{ r/min}$

2.2.2 在楔形横截面中速度分布:在楔形横截面中,基于牛顿本构模型计算的速度分布( $v_z$ )计算按式(6)<sup>[7]</sup>

$$v_z = -\frac{6\dot{\bar{h}}z}{h^3}(y^2 - hy) \quad (6)$$

显然,在式(6)中的  $v_z$  与胶料无关。

下面分 2 种情况讨论在楔形横截面中的速度分布。第 1 种情况是给定  $\dot{\bar{h}}$ (或  $N$ ),  $h$  和  $z$ , 研究  $v_z$  与  $y$  的关系;第 2 种情况是给定  $\dot{\bar{h}}$ (或  $N$ ),  $h$  和  $y$ , 研究  $v_z$  与  $z$  的关系。模拟结果从 Fig.7 中导出。选取胎侧胶、 $30 \text{ r/min}$  圆盘(或螺杆)转速和  $h_3(=2.6 \text{ mm})$  位置的楔形横截面。Fig.8 和 Fig.9 分别显示在这 2 种情况下模拟和计算获得的速度分布。

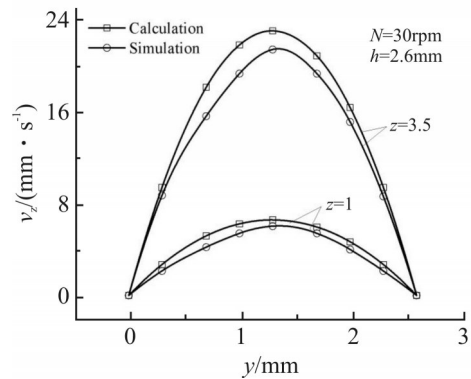


Fig.8 Comparison between simulated and calculated velocities of TTS at  $z=1 \text{ mm}$  and  $3.5 \text{ mm}$  in the cross-section of  $h=2.6 \text{ mm}$

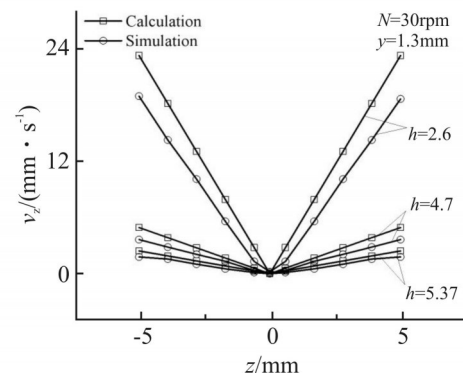


Fig.9 Comparison between simulated and calculated velocities of TTS in the cross-sections of  $h=2.6 \text{ mm}$ ,  $4.7 \text{ mm}$  and  $5.37 \text{ mm}$

Fig.8 显示,在给定  $N$ ,  $h$  和  $z$  的条件下,模拟和计算获得的  $v_z$ - $y$  曲线均是抛物线图像,在  $y=h/2$ ,  $v_z$  最大,在  $y=0$  或  $h$ ,  $v_z$  为 0,然而,除了移动平条两侧边位置外,模拟值均稍低于计算值,当最大  $v_z$  时,这一差别最大。

Fig.9 显示,在给定  $N$ ,  $h$  和  $y$  的条件下,模拟和计算获得的  $v_z$ - $z$  曲线均是线性函数,然而,模拟值也低于计算值。

造成  $v_z$  的计算值高于模拟值的原因是,基于牛顿本构模型的计算在机筒(或静止平板)表面上使用沿楔形方向完全滑移边界条件,导致沿楔形方向流率较大,导致沿平条两侧方向(宽度方向)的挤出流速增大。

### 3 结论

本文将非线性喂料楔形间隙简化成线性楔形区域,在准稳态和等温流动条件下,基于 Bird-Carreau 本构模型,利用 Workbench/Polyflow 软件,对冷喂料挤出机喂料过程动力学进行模拟,使用已有的基于牛顿本构关系的喂料过程动力学计算模型,

得到相应的计算。将模拟结果、计算结果与前期的试验数据之间进行有关对比分析。分析结果表明：

(1)沿楔形方向的压力分布,在同样喂料条件下,模拟结果、试验数据和计算结果都有沿楔形方向压力增加的变化趋势。模拟结果小于计算结果而大于试验数据,更加接近试验结果。同时,模拟结果和试验数据都出现反映在楔形入口胶条被“咬住”的“入口压力效应”,而基于牛顿本构模型计算结果不能反映这一效应。

在楔形横截面中,模拟和计算2种方式获得的沿横截面宽度方向的压力分布都是抛物线型的图像。但是模拟结果也小于计算结果。可以说明,模拟压力小于计算压力反映胶料剪切变稀行为的影响。

(2)在楔形横截面中,模拟和计算获得的速度分布均有类似的图像。根据这些速度分布图像发现,在同一宽度位置,不同高度的相邻材料层之间产生剪切流动;在同一高度层中,不同宽度的材料微元之间产生拉伸流动。然而,速度分布的模拟结果几乎都小于计算结果。这些分析结果主要反映胶条在机筒表面边界条件的影响。

(3)已有的基于牛顿本构模型计算方法,虽然可以对喂料过程动力学进行粗略的分析,但是更加精确的理论模型必须考虑胶料非牛顿行为和机筒表面合适边界条件。这需要今后进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Anders D. Method of and apparatus for the controlled feeding of a quantity of material into the intake opening of an extruder for processing rubber or plastics material: US,4247272 [P]. 1981-01-27.
- [2] Capelle G. Method of maintaining the force of a stripper blade on an extruder feed roller constant and an apparatus therefor: US, 5068069 [P]. 1991-11-26.
- [3] Joseph Francis P J, Joseph R, George K E. Significance of feeding rate in the extrusion of filled and gum IIR vulcanizates [J]. International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials, 1997, 38: 65-78.
- [4] 李健斌, 冯良为, 翟淦波, 等. 橡胶冷喂料挤出机加料段输送能力的研究[J]. 橡塑技术与装备, 1984(4): 13-21.
- [5] Li J B, Feng L W, Zhai G B, *et al.* Study on the conveying capacity of feeding section of rubber cold feeding extruder [J]. Rubber and Plastic Technology and Equipment, 1984(4): 13-21.
- [5] Andreas L, Dominik S. Process description for the extrusion of rubber compounds - development and evaluation [J]. Macromolecular Materials and Engineering, 2002, 287: 824-835.
- [6] 刘彦昌,于芳,马冲,等. 冷喂料橡胶挤出机的喂料行为[J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 36(10):103-108.
- [6] Liu Y C, Yu F, Ma C, *et al.* Feeding behaviour of cold-feed rubber extruders [J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2020, 36 (10): 103-108.
- [7] 于芳. 冷喂料橡胶挤出机喂料行为的理论分析[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2020.
- [7] Yu F. Theoretical analysis on feeding behavior of cold-feed rubber extruder [J]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2020.
- [8] Nishizawa H. Heat controls and rubber flow behaviour in screw of extruder and injection machine and the problems occurring in these processes[J]. Journal of the Society of Rubber Industry, 2015, 43: 136-143.
- [9] Phan-Thien N. Sliding and squeezing flow of a viscoelastic fluid in a wedge[J]. Journal of Applied Mathematics and Physics, 1990, 41: 431-439.
- [10] Phan-Thien N. Squeezing a viscoelastic liquid from a wedge: an exact solution [J]. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 1984, 16: 329-345.
- [11] Phan-Thien N. Squeezing a viscoelastic fluid from a cone [J]. Rheologica Acta, 1985, 24: 119-126.
- [12] Phan-Thien N, Dudek J, Boger D V, *et al.* Squeeze film flow of ideal elastic liquids [J]. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 1985, 18: 227-254.
- [13] 汤霖森, 郭树国, 王丽艳. 基于 ANSYS 的带行星轮同轴变速单螺杆挤出机三维流场分析[J]. 食品与机械, 2021, 37(5): 107-110.
- [13] Tang L S, Guo S G, Wang L Y. Three dimensional flow field analysis of coaxial variable speed single screw extruder with planetary gear based on ANSYS [J]. Food & Machinery, 2021, 37 (5): 4.
- [14] 王福军. 计算流体动力学分析——CFD 软件原理与应用 [M]. 北京:清华大学出版社.

---

## Dynamics in Feeding Process of Cold Feed Rubber Extruder

Xuehua Hu, Yanchang Liu, Yiren Pan

*(Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Shandong Key Laboratory of Advanced Manufacturing of Polymer Materials, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)*

**ABSTRACT:** The feed wedge gap of the cold feed extruder was simplified into a linear wedge region, and the feeding process was dynamically simulated by using the Bird-Carreau constitutive model. The images of the pressure distribution along the wedge direction, and the pressure and velocity distribution on the cross section of the wedge region were obtained. The simulation results were compared with the previous test data and the calculation results based on the Newton constitutive model. Through comparison, it is found that they all have similar change trends. The simulation results along the wedge direction are smaller than the calculation results but larger than the test data, and at the entrance of the wedge area, both the simulation results and the test data have pressure values. The simulation results of the pressure and velocity distribution on the cross section of the wedge-shaped area are smaller than the calculation results. The research in this paper shows that although the existing calculation methods based on Newton's constitutive model can roughly analyze the dynamics of the feeding process, the more accurate dynamic model of the feeding process must consider the non-Newtonian behavior of the rubber compound and the appropriate boundary conditions on the surface of the barrel.

**Keywords:** cold feed extruder; feeding process; dynamics