第三章 流固耦合CFD混合分析

在探讨了通过拉伸流场的原理设计出的新型混合元件后，本章将利用有限元流体仿真软件ployflow针对三棱柱挤出机元件的不同构型分别模拟其混合流场状态，以从流场的压力、速度场、粘度等参数表征不同构型下混合元件的流场特性，并从分布混合指数、回流系数等混合指标评估元件的混合能力，最终得到对混合元件混合效果影响最大的参数，便于后续结构的优化设计。

3.1物理及有限元模型

本章采用的混合元件模型采用第二章设计的三棱柱挤出元件，基本结构如图【】所示。为了探究结构参数对混合性能的影响，模型将分为偏心与非偏心，研究的结构参数包括混合元件的螺旋导程和起点螺旋角度，而对应的流道模型将保持一致，如图【】所示，流道圆半径为30mm，內径为20mm，中心距为48mm。其余结构参数示意图如图【】所示，数值如表【】所示。

确定了混合元件的几何构型后，用gambit软件对其进行网格划分，混合元件和流道均为非结构四面体网格，如同【】所示。特别的，在流道网格划分时，注意到混合元件与流道外壁存在间隙，因而在流道外壁划分了边界层以保证结果的准确性。最后通过Polyfuse组合元件和流道网格，如图【】所示。

3.2数学模型

3.2.1基本假设

流体的基本数学模型为控制方程及其对应的假设条件。基本假设条件简化了流道中流体流动的复杂特性，理想化流体的流动特征，其主要包括以下六个条件：

1. 流体是广义等温流体；
2. 流体不可压缩；
3. 流道内流体充盈；
4. 流体区域出入口为自由流动；
5. 流道外壁无滑移，流道内壁为滑移边界；
6. 粘滞力的作用远大于惯性力和重力，因此忽略重力。

3.2.2控制方程

CFD的任何形式都建立在流体力学基本控制方程——连续性方程、动量方程和能量方程之上，依据的物理学定律分别是质量守恒定律、牛顿第二定律和能量守恒定律。此处假设流场是等温流场，没有能量的交换，因而可以不考虑能量方程。同时鉴于流体是连续的，在形式上，控制方程应将以微分形式给出。

连续性方程可表示为：



式中，为流体密度；为流体微团速度矢量。

动量方程的Navier-Stokes方程守恒形式为：







式中：是应力张量的分量，是方向上的体积力。

再根据假设（6），即没有密度和体积力的变化，可对控制方程作简化：

连续性方程可简化为：



动量方程可简化为：







3.2.3本构方程

由于实际流体是非牛顿流体，本文采用Bird-Carreau本构方程描述流动特性，方程表达式为：



式中：—物料粘度（）

—零剪切粘度（）；

—无穷大剪切速率下粘度（）；

—剪切速率（）；

—幂指数

3.3仿真参数设置

3.3.1边界条件设置

根据假设（4）（5）配置边界条件参数法向力、切向力和法向速度、切向速度如下：

1. 流道入口：自由流入，有；
2. 流道出口：自由流出，有；
3. 流道外壁：壁面无滑移，有；
4. 流道内壁：滑移边界，有。

3.3.2材料特性参数设定

本文所采用的材料是合作方提供的聚醚多元醇及异氰酸酯配混物，物理特性参数按照Bird-Carreau law给出，如表【】所示。

3.3.3运动参数设定

模型中两混合元件同向转动，旋转中心即为两螺筒的中心，其坐标为(-0.024, 0, 0)。设定转速时规定其正负由右手定则为准，右手拇指与挤出方向一致，如果转动方向与四指方向相同则角速度为正，反之为负。相应地，若要使得混合元件具备输送能力，右旋结构的元件应将角速度设为负值。

运动参数设定后需要根据其数值设定相应的迭代数据，主要是时间上限（time-limit）和时间步长（time-step）的设定。考虑到运算数据体量，混合元件每转动6°输出一次计算结果，转动一圈则计算完毕。所以时间上限对应的是转动一圈所需要的时间，时间步长对应的是转动6°所需要的时间。设定的系列转速和迭代参数如下表【】所示。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 转速（rpm） |  |  |  |
| 时间上限（s） |  |  |  |
| 时间步长（s） |  |  |  |

3.3.4后处理任务设定

后处理任务完成流体物理参数的计算以准确量化评估流场混合性能，主要包含剪切速率、变形速率张量和混合指数，各场量定义如下：

变形速率张量为：



剪切速率定义为：



混合指数定义为：



式中：为涡旋量大小。当时为平推流，当时为纯剪切流动，当时为纯拉伸流动。

3.4仿真结果

3.4.1压力场分析

3.4.2剪切场分析

3.4.3速度场分析

3.4.4分布混合特性

3.5本章总结