

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2012.06.001

EPS 聚合反应釜内混合过程的数值模拟

杨 阳, 赵建平

(南京工业大学 机械与动力工程学院, 江苏 南京 211816)

摘 要:可发性聚苯乙烯(EPS)的黏度较高,聚合搅拌反应釜作为 EPS 生产的核心装置,釜内物料的流动状态对产品质量有很大的影响,所以选择合适的搅拌器显得非常重要。文章采用 CFD 方法分别模拟了 Rushton 涡轮桨、三叶后弯桨和三叶 PTU 桨应用于反应釜时的混合过程。选用多重参考系法(MRF)及标准 $k-\varepsilon$ 模型,分开求解了速度场和浓度场,分区讨论了不同桨型的混合特性。模拟结果表明:釜内流型对混合过程有决定性的影响,Rushton 桨以径向流动和周向流动为主,而三叶后弯桨和 PTU 桨以轴向流动和周向流动为主。从混合时间上看,除了液面监测点外,其它监测点的结果都是三叶后弯桨的混合时间最短。综合比较来看,三叶后弯桨的流场特性比较适合 EPS 聚合反应的高粘工况,混合效率相对较高。图 5 参 11

关 键 词:EPS 反应釜;计算流体动力学(CFD);高黏度;混合时间

中图分类号:TQ052.6;TQ051.7

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2012)06-0001-05

Numerical Simulation of Mixing Process in EPS Polymerization Reactor

YANG Yang,ZHAO Jianping

(School of Mechanical and Power Engineering,Nanjing University of Technology, Nanjing 211816,China)

Abstract:The viscosity of expandable polystyrene (EPS) is relatively high. Polymerization mixing Reactor is the key devices of the production of EPS and the flow field in the vessel has a great effect on the quality of products, so it's very important to choose the appropriate agitator. In this study, the flow fields generated by a three-bladed backswept agitator, three-bladed PTU agitator and six-bladed Rushton turbine were simulated separately by using the CFD. A multiple reference frame (MRF) approach and standard k -turbulent model were used to predict the velocity and concentration profiles separately, and the mixing characteristics of three agitators were compared. The results show that flow field in the vessel has a critical influence on the mixing process, the flow field of Rushton turbine was dominated by radial and circumferential flow, and the other two agitators were controlled by axial and circumferential flow. In addition to the monitoring near the liquid-level, the mixing time of three-bladed backswept agitator is the shortest. The flow field characteristics of three-bladed backswept agitator are more appropriate for the high viscosity condition of EPS polymerization, and the mixing efficiency is relatively better. [Ch,5 fig.11 ref.]

Key words:EPS reactor; computational fluid dynamics(CFD); high viscosity; mixing time

0 引言

发泡成型的可发性聚苯乙烯(EPS)是当前极有价值的绝缘、绝热、保温和包装缓冲材料,广泛用于建筑、电子、制药等行业^[1]。聚合反应釜作为 EPS 生产的核心装置,釜内物料的流动状态对 EPS 颗粒粒径有很大的影响。

前几年从 CFD 角度对搅拌釜混合过程的研究多集中于单层桨,模拟的介质大多为水^[2-6],并且大部分研究的是涡轮桨。近几年来,对于多层桨、组合桨的研究逐渐增多,桨叶型式、模拟的工作介质也趋于多样化^[7-10]。其中,张国娟等^[4]²⁴对单层涡轮桨进行数值模拟,模拟所得的混合时间与实验值吻合。Javed 等^[5]¹⁰⁰对单层涡轮桨的

收稿日期:2012-04-12;修回日期:2012-04-26

基金项目:国家科技支撑计划(2011BAK06B03-06)

作者简介:杨阳(1989),女,福建三明人,南京工业大学硕士研究生,主要从事化工机械方面的研究 E-mail:youngyoung0917@163.com

混合时间进行了模拟,分析了 8 个不同加料点对混合时间的影响。赵静^{[7]23}等对组合桨的流场特性进行研究,讨论了桨叶层间距、浸没深度等对流型的影响,模拟结果表明标准 $k-\varepsilon$ 模型对流场的预测较为准确。Leila 等^{[9]2218}模拟了 Scaba 6SRGT 桨叶的混合情况,工作介质为黄原胶,模拟结果也与实验结果吻合。

涡轮桨作为典型的径向流搅拌桨,适用于气体及不互溶液体的分散以及液液相反应过程,广泛应用于化工设备中。三叶后弯桨和三叶 PTU 桨是轴向流搅拌桨,其中三叶后弯式搅拌桨具备较合适的剪切循环比^[11],常用于固体微粒的溶解和悬浮。本研究的模型为三层桨叶,分析比较了 3 种桨型的混合特性,探讨了在聚合反应高黏度工况下 3 种桨型的特性。

1 CFD 模拟数学原理

采用有限体积法离散计算域,在每个网格单元内求解质量守恒方程和动量守恒方程,守恒方程的通用形式为

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v_i \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) + S$$

式中, Φ 为传递变量(v_i, k, ε, c), S 为单位体积源项, S 为 Schmidt 准数, Γ 为扩散系数,其具体表达式及其它项的含义可参考文献。^{[5]111}

2 反应釜结构和模拟策略

2.1 反应釜结构及模拟条件

反应釜几何模型和具体结构尺寸如图 1 所示,3 种桨叶的形状由图 2 给出,挡板采用指形挡板。文中共有 3 个模型,分别为 Rushton 桨模型,三叶后弯桨模型和 PTU 桨模型。工作介质为 EPS,黏度取 $0.9 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,釜内压力为 1.38 MPa ,模拟转速为 120 r/min 。

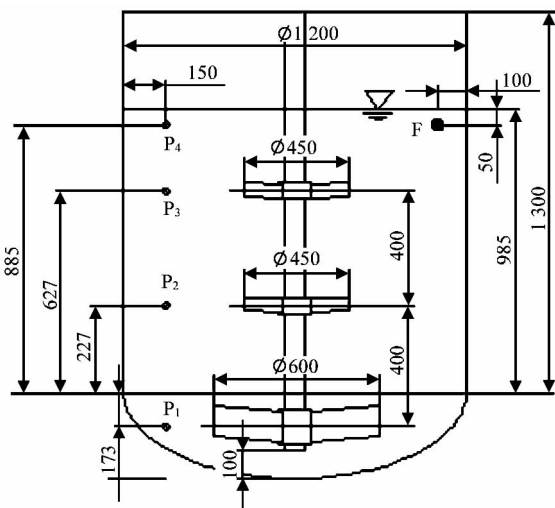


图 1 反应釜几何结构及加料点、监测点位置

Figure 1 Schematic geometry of tank and positions of feeding and detecting tracer

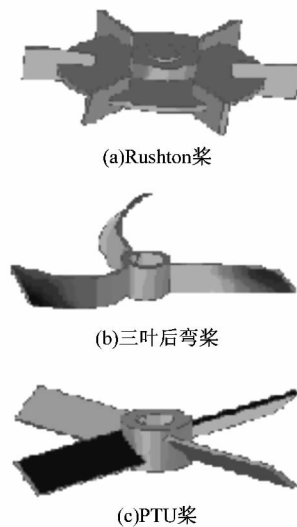


图 2 3 种桨叶的形状

Figure 2 Shape of the three blades

2.2 模拟方法

模拟使用的软件是 FLUENT6.2。选用 MRF 方法进行模拟,桨叶及其附近流体区采用旋转坐标系,其它区域采用静止坐标系。模拟选用标准 $k-\varepsilon$ 模型,压力—速度耦合使用 SIMPLE 算法,差分格式采用一阶迎风格式进行收敛。选取整个釜内的流体作为计算域,分开求解流动场和浓度场。由于实际生产中物料由釜顶加入,所以文中模拟的加料方式为液面加料,监测点位置见图 1。

3 结果与讨论

3.1 搅拌轴所在平面的宏观流动特性

图 3 为 3 种桨型搅拌轴所在平面的宏观速度场。把整个流场分为近液面区、近桨区、主体区和釜底区。从图 3 可以看出, Rushton 桨近液面区流速相对均匀,近桨区流动相对较弱。主体区顶层的涡轮桨产生了典型的“双循

环”流动^{[4]24},中间层受顶层桨叶抑制,与底层桨叶在搅拌釜下部合并成一个大旋涡,而底部的桨叶受釜底的抑制,在釜底区产生小旋涡,Rushton 桨属于典型的径向流搅拌器。

三叶后弯桨和 PTU 桨由于桨型相似,所以产生的流场也相似。从图中可以看出,近液面区和釜底区的速度都比较小,而近桨区轴向流动剧烈。主体区液体由上层桨叶吸入,往下流动,到达中间桨叶,到底层桨叶后往上翻动,仅在釜下部产生 1 个大旋涡,2 种桨都属于轴向流搅拌器。

比较 3 种桨型可知,Rushton 桨搅拌釜中产生较多旋涡,产生各自独立的作用范围,近液面区流速比其它两个桨型相对高,流动较均匀,而近桨区三叶后弯桨和 PTU 桨近桨区比 Rushton 桨流动相对剧烈,其中三叶后弯桨流速高于 PTU 桨,流场也更均匀。

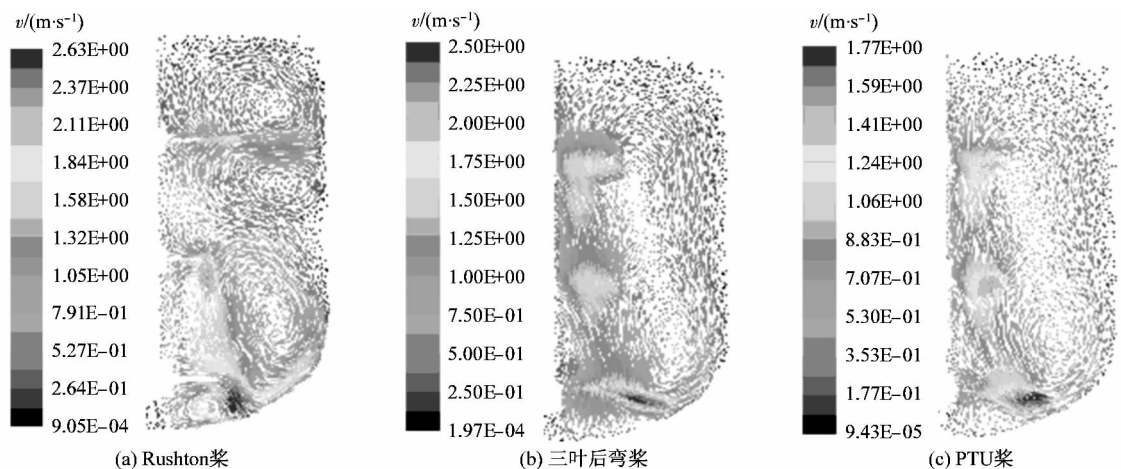


图 3 搅拌轴所在平面的宏观速度场

Figure 3 Velocity vector of axial section of tank

3.2 时均速度场特性

图 4 为 3 种桨型叶端径向、轴向、切向速度曲线分布图,纵坐标上箭头所示位置分别为三层桨叶所在位置。从图中可以看出,无论是径向、轴向还是切向速度都在桨叶附近产生一个峰值。从径向速度来看,Rushton 桨的流速最大,三叶后弯桨和 PTU 桨流速都比较小,特别是在上两层桨叶区域,后者的速度几乎为零。轴向速度三叶后弯桨流速明显最高,Rushton 桨与 PTU 桨在搅拌釜下部流速差不多,在上部前者比后者流速高一些。对于切向速度,三种桨型流速都相对较高,在流体上部及近液面区 Rushton 桨比其他 2 种桨型流速高一些。

综上可知,Rushton 桨型整体流动以径向流和周向流动为主,而三叶后弯桨和 PTU 桨以轴向流和周向流动为主。

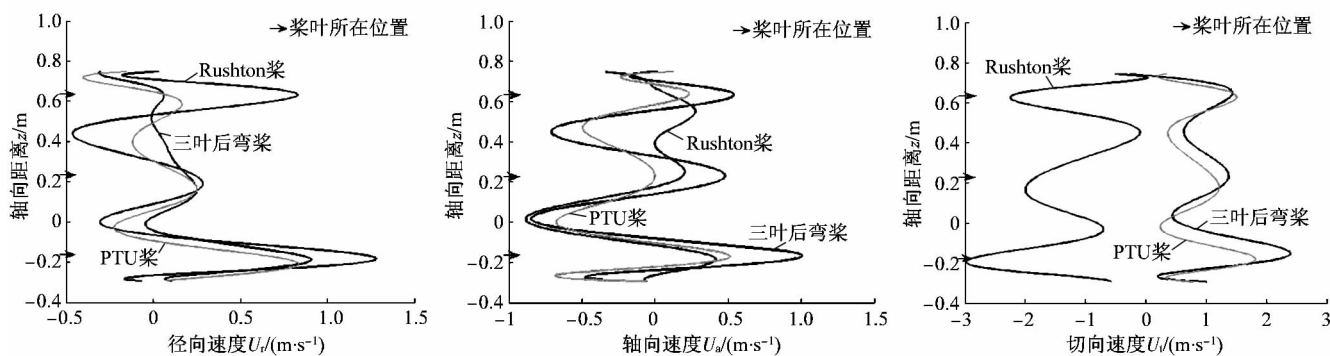


图 4 3 个模型叶端径向、轴向和切向速度分布

Figure 4 Radial profiles of the radial, axial and tangential velocities at agitators' tips

3.3 混合时间特性

不同时刻示踪剂浓度分布如图 5 所示。由于 PTU 桨和三叶后弯桨浓度响应图相似,所以图 5 只给出 Rushton 桨和三叶后弯桨的浓度分布图。

从图中可以看出,搅拌釜内流型对混合过程有决定性的影响。在液面处加料时,Rushton 桨搅拌釜中物料先随着上层旋涡周向流动,然后再与下部分旋涡交换,所以在上层的监测点先出现峰值,并且波动比较大,下面的 2 个监测点浓度单调递增,逐渐地趋于稳定,这符合 Rushton 桨叶径向流桨的特性。相对的,三叶后弯桨和 PTU 桨在液面加料后,物料由桨叶吸入,大部分沿轴向向下混合,所以下面 2 个监测点先出现峰值,产生波动,然后物料再往上输送,上层的两个监测点单调上升,逐渐趋于稳定,这与轴向流的桨叶的特性相符。

图 6 直观地反映了监测点位置对混合时间的影响,从图中可以看出,在液面处加示踪剂,Rushton 桨搅拌釜上部的监测点 P_1 和 P_2 先出现浓度值,混合时间比底部的监测点 P_3 和 P_4 略短。而三叶后弯桨和 PTU 桨都是底部的 P_3 和 P_4 先监测到浓度的增加,并且 P_1, P_2 和 P_3 监测得到的混合时间比 P_4 短得多。

3 种桨型 P_1, P_2 和 P_3 点监测得到的混合时间对比可知,Rushton 桨的混合时间比 PTU 桨长得多,而 PTU 桨的混合时间比三叶后弯桨长。而液面处的 P_4 点监测到的混合时间 Rushton 桨的时间最短,其次是三叶后弯桨,最长的是 PTU 桨。这是由于 PTU 桨在液面处速度很小,物料传递到这个区域时,扩散的速度就非常慢,所以混合时间非常长。综合来看,三叶后弯桨的混合效率相对较高,适合 EPS 聚合反应工况。

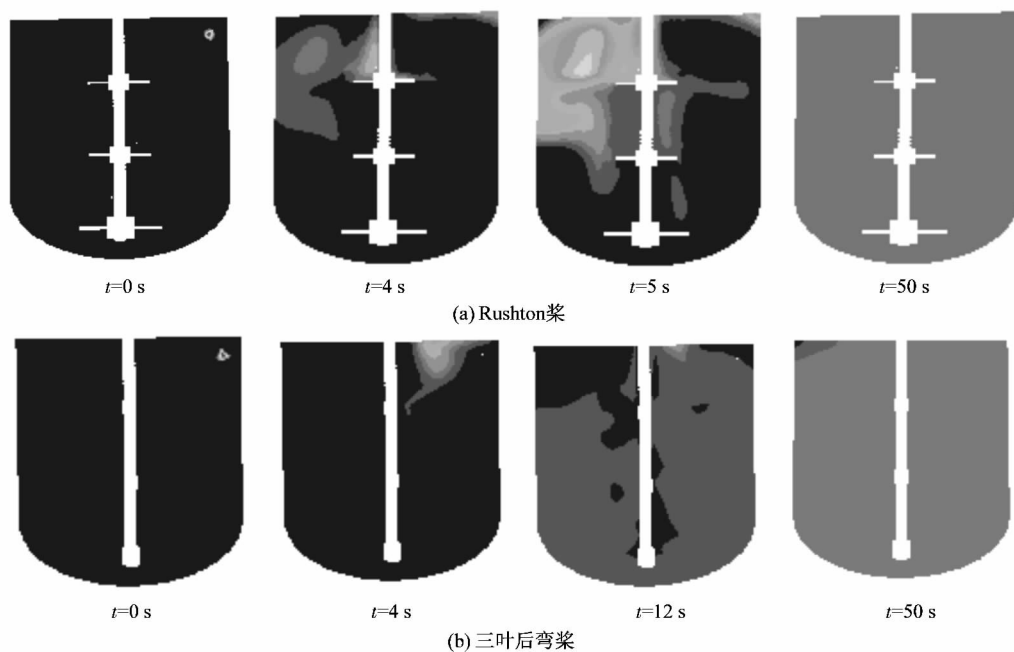


图 5 不同时刻示踪剂浓度分布

Figure 5 Concentration distribution of tracer at different time

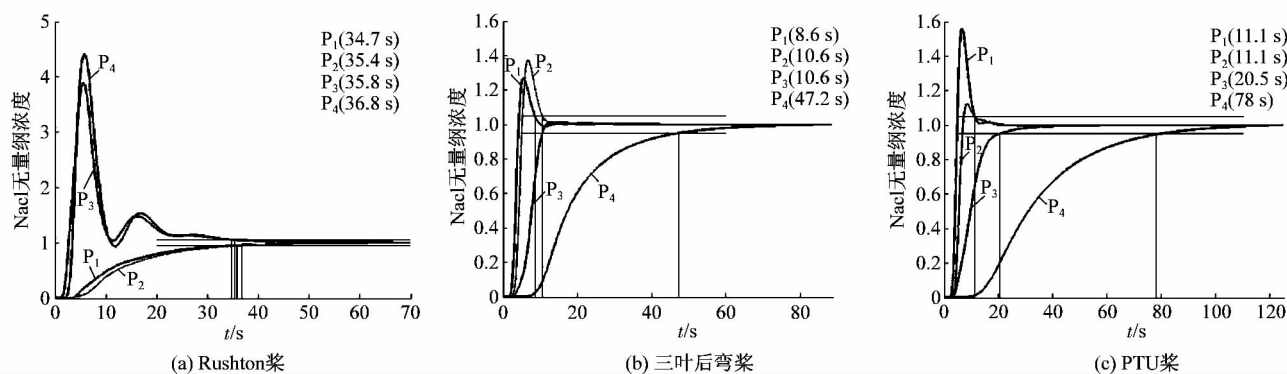


图 6 不同监测点示踪剂浓度随时间的变化曲线

Figure 6 Concentration of tracer vs time of different tracers

(下转第 9 页)

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2012.06.002

基于 CAE 技术的建筑模板注射成型工艺参数优化设计

郭梅¹, 李金国^{1,2}, 刘红¹

(1. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014;
2. 台州职业技术学院 模具工程研究所, 浙江 台州 318000)

摘要:建筑模板是混凝土结构工程施工的重要工具,用于确保墙面的平整度,但由于其面积较大,壁厚薄,在注塑成型中,容易出现翘曲变形,无法满足现代建筑要求。结合工程经验和 CAE 技术,建立浇注系统和冷却系统。借助正交试验法对成型关键工艺参数进行优化设计,获得一组最优工艺参数。通过现场测试,结果表明模板的翘曲量得到控制,满足行业标准。图 11 表 6 参 9

关键词:建筑模板;翘曲变形;正交优化;CAE 技术

中图分类号:TQ320.66 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2012)06-0005-05

Processing Parameters Optimizing Design in Building Template with Injection Molding Based on CAE Technique

GUO Mei¹, LI Jinguo^{1,2}, LIU Hong¹

(1. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;
2. Mold Design Research Institute, Taizhou Vocational & Technical College, Taizhou 318000, Zhejiang, China)

Abstract: As an important construction tool, building template is used to ensure the flatness of the concrete wall. Because of the larger area and thickness wall of building template, it is easy to warp deformation, which unable to meet modern architectural requirements. Combination of engineering experience and CAE, the gating system and cooling system were established. Based on orthogonal experiment method, the key process parameters were optimized and the best process parameters were obtained. Through testing on the spot the results show that the warpage of the template is controlled and meets the requirements of industry standards. [Ch, 11 fig. 6 tab. 9 ref.]

Key words: building template; warpage deformation; orthogonal optimization; computer aided engineering (CAE)

0 引言

建筑模板是混凝土结构工程施工的重要工具,在现代浇混凝土结构工程中,模板(包括支架)工程一般占混凝土结构工程造价的 20%~30%,占工程用工量的 30%~40%,占工期的 50%左右。模板的成型质量直接影响工程建设的质量、造价和效益。

建筑模板材料为增强聚丙烯,其成分由聚丙烯和 45% 的玻璃纤维 (PP+45% GF) 组成的复合材料。该材料质量轻,屈服、拉伸、压缩强度和硬度优,耐热性能

较好,稳定性好,高频电性能不好,成型容易,但收缩率大,低温呈脆性,耐磨性不高。

由于建筑模板面积大,其成型质量好坏将直接影响建筑墙体的质量。因此对模板注塑成型质量要求较高,其成型后要求:模板翘曲量控制 5 mm 以下、表面无熔接痕、焦斑等影响制品其性能的缺陷。目前企业生产的建筑模板翘曲量远大于要求,无法满足建筑施工要求。因此,在详细了解它的特性的基础上,对建筑模板注塑成型进行 CAE 分析,优化工艺参数,提高一

收稿日期:2012-04-05;修回日期:2012-05-25

作者简介:郭梅(1979),女,台州路桥人,讲师,硕士研究生,主要研究方向为模具 CAD/CAE 技术。通信作者:李金国, E-mail: lijinguo_2002@126.com