

基于 Polyflow 的缓凝砂浆 在螺旋槽中的流场模拟*

杜王芳, 张建辉*

(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对缓凝预应力筋包覆装置连续作业的可靠性问题,在包覆试验研究基础上,采用流体力学和流变学理论与计算方法,运用 Polyflow 等软件,建立了螺旋输送的物理模型、几何模型以及有限元网格模型,结合假设和边界条件,对宾汉姆流体的缓凝砂浆在螺旋槽内的流动和变形进行了计算流体力学(CFD)模拟,并得到了可视化流场。分析结果表明,在不同螺杆转速下,缓凝砂浆在螺旋槽中出现完全流动状态或“塞流”的固体输送状态,验证了包覆试验现象,同时为机件的优化与设计提供了依据。

关键词:缓凝砂浆; Bingham 流体; 螺旋输送; 计算流体力学; 可视化流场

中图分类号: TU57⁺8.1; TU311.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)05-0028-03

Polyflow-based flow field simulation of postponed-set mortar in screw channel

DU Wang-fang, ZHANG Jian-hui

(School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the reliability of postponed-set mortar(PSM) successive coating on prestressed strand, on the basis of coating experiments, the physical, geometric and finite element lattice models of screw conveying were built by using Polyflow software, etc. . The hypothesis and boundary conditions were given, the flow and deformation for PSM with Bingham liquid in screw channel were simulated and a visualized field was obtained by computational fluid dynamics(CFD) method. The simulative results indicate that the existences of fully flow or plug flow state for PSM at the different screw revolution are demonstrated in screw channel. The coating experiments are verified and the foundation of optimization design for the machine part is provided.

Key words: postponed-set mortar(PSM); Bingham liquid; screw conveying; computational fluid dynamics(CFD); visualized flow field

0 引 言

宾汉姆流体属于非牛顿流体中的一个分支流体,工程中许多材料都类似于宾汉姆流体,如水泥浆、污泥、沥青、石油制品、高含蜡低温原油、牙膏、油漆以及中等浓度的悬浮液等^[1]。缓凝砂浆是由水、水泥、砂和复合缓凝剂按一定比例搅拌而成,新拌缓凝砂浆的流变特性可用宾汉姆流体来描述^[2-4]。将缓凝砂浆包裹在预应力混凝土用钢筋上形成缓粘结筋,既具有现行无粘结筋和有粘结筋的优点,又具有在预应力筋密集布置的狭窄空间部位施工简捷等优势,使预应力混

凝土技术使用更方便、更广泛。如何实现在预应力钢筋上连续包裹一层缓凝砂浆则是缓粘结预应力体系在工程中推广应用的关键^[5]。

单螺杆挤出机是连续式挤出机,利用螺杆旋转输送物料,能产生平稳而连续的物料流,其主要特点是成本低、设备简单、坚固而可靠,以及满意的性能/成本比^[6]。针对单螺杆挤出机中物料输送特性在理论上已有了相关的研究,如 Darnell-Mol 的塞流固体输送理论,朱复华的非塞流输送理论^[7-8],涉及牛顿液体^[9]和无弹性非牛顿液体^[10]情形下的展开螺槽模型的简化理论等。

收稿日期: 2009-09-28

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y107205)

作者简介: 杜王芳(1985-),男,浙江瑞安人,主要从事缓凝预应力筋包覆技术方面的研究。E-mail: duwangfangkobe@live.cn

通信联系人: 张建辉,男,教授,博士,硕士生导师。E-mail: zhangjh@hdu.edu.cn

在单螺杆机中处理缓凝砂浆在挤出机中常常出现缓凝砂浆“脱水”结块,从而使输送受阻^[11-12]。因此有必要建立较精确的物理和数学模型,运用计算机模拟,对宾汉姆流体的缓凝砂浆在螺旋槽和机头空间处的流动和变形进行分析,以此得出可靠作业和结构优化的理论依据。

针对缓粘结预应力体系在工程中推广应用的关键问题,在缓凝预应力筋包覆装置实验研究的基础上^[13],本研究运用 Polyflow 软件,对宾汉姆流体的缓凝砂浆在螺旋槽内流动和变形情况进行 CFD 模拟,得到一个可视化的流场,为缓凝砂浆在单螺杆挤出机中的流动分析提供一种新的方法,为机件的优化和设计提供理论依据。

1 分析方法与软件的选择

1.1 求解方法

在单螺杆挤出加工过程中,宾汉姆流体本身具有复杂的流变行为,而且由于单螺杆流道的截面形状不规则,在模拟时很难得到精确的解析解,因此本研究采用数值方法来求解。目前在工程领域内常用的数值模拟方法主要有有限元法(FEM)和有限差分法(FDM)。本研究采用了有限元法(FEM)。

1.2 Polyflow 软件介绍

Polyflow 是基于有限元法的专用 CFD 软件,它具有解决非牛顿流体及非线性问题的能力,并且有很多种流动模型,可以解决聚合物、食品、玻璃等加工过程中遇到的多种等温/非等温、二维/三维、稳态/非稳态的流动问题,可用于聚合物的挤出、吹塑、拉丝、层流混合、涂层过程中的流动、传热和化学反应过程分析。

运用 Polyflow 软件进行挤出成型的模拟研究,与其它流行的 CFD 软件相比具有非常明显的优势,所以本研究采用 Polyflow 软件来模拟螺旋槽内物料的流动情况。

2 分析步骤

(1) 有限元网格的生成。

建立所需要的有限元网格,通常使用前处理器 GAMBIT, GAMBIT 是专用的 CFD 前置处理器。本研究采用 Pro/E 软件建立几何模型,然后导入 GAMBIT 中对其进行修改网格划分。

(2) Polyflow 中任务的建立。

将有限元网格模型,导入软件模块 POLYDATA 中,设置任务的物理模型、材料特性、边界条件和重新划分网格等。

(3) Polyflow 中仿真求解。

任务设置完毕,运行 Polyflow 软件模块进行求解,并参看分析的列表文件,确定分析是否收敛和达到预定的精度要求;若不收敛,分析其原因,重新进行修改并进行求解。

(4) 分析仿真结果。

本研究使用 FIELDVIEW 软件作为后处理器,得到一个可视化的流场结果。

3 假 设

为了便于计算,根据流道的特点和物料的特性,本研究作了如下假设:

(1) 流体为非牛顿粘性流体,不可压缩,其流变特性满足宾汉姆流体特性;

(2) 宾汉姆流体的雷诺数都比较小,可以认为物料在螺旋槽内的流动为层流;

(3) 流动是稳定的,即流场的分布与时间无关;流场为等温场;流道壁面无滑移;

(4) 忽略惯性力和重力等体积力。

(5) 在建模过程中选择笛卡尔坐标系,坐标原点设在物料入口截面的中心点,物料挤出方向为 Z 轴的正方向;采用国际单位制。

4 模型的建立

4.1 有限元网格模型

如图 1 所示,网格模型分为两个部分:螺杆部分、流体流经区域。几何尺寸为:底径 $D_s = 0.04$ m;螺距 $t = 0.08$ m;等距螺杆长 $L_m = 0.315$ m;机筒内径 $D_b = 0.081$ m;机筒总长 $L = 0.325$ m。

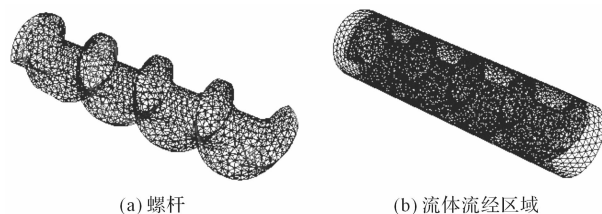


图 1 网格模型

4.2 材料物性参数与边界条件

材料物性参数为: Bingham 模型,给定屈服应力 $Y_{str} = 23.7$ Pa;零剪切速率粘度 $f_{ac} = 2.25$ Pa·s;临界剪切速率 $g = 10$ s⁻¹。

边界条件主要考虑流体流动时的壁面无滑移效应,进口流量取 10 cm³/s。

4.3 模拟方案

在螺杆转速分别取 30 r/min, 78 r/min, 150 r/min 的

情况下,本研究对比分析了模拟的速度流场分布情况。

5 计算结果分析

在本研究中,运用 Polyflow 软件对有限元网格模型进行求解,并用 FIELDVIEW 软件进行后处理分析,以得到速度场结果。通过轴线截面、不同螺杆转速下缓凝砂浆流场的速度分布情况示意图如图 2 所示。

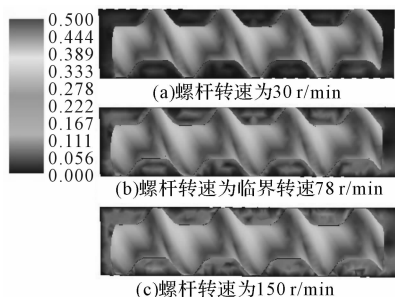


图 2 速度流场分布图

缓凝砂浆包覆试验表明:利用螺旋输送挤出、模具成型,宾汉姆流的缓凝砂浆可以较薄地包裹在钢绞线上,但螺杆有临界转速。当螺杆转速低于 78 r/min 时,缓凝砂浆挤出不可靠,开始能挤出,但很快就不能连续挤出,这时缓凝砂浆在螺槽中出现“塞流”的固体输送,经机头变径处受压致使砂浆“脱水”而变硬,致使输送挤出受阻而失败;当螺杆转数在 78 r/min ~ 240 r/min 时,缓凝砂浆便能连续不断地沿螺旋槽输送,并从机头挤出包裹在预应力筋上,黏塑性良好,不会出现砂浆“脱水”而变硬,此时砂浆在螺槽内完全处于一种流动状态。

从图 2(a)可以直观地看出,当螺杆转速为 30 r/min 时,缓凝砂浆除在螺槽内螺棱附近的速度值较大外,其余部分的速度值较小,并且各点的速度值相等。这说明在输送挤出过程中,砂浆在螺槽内以相同的速度输送,即砂浆在螺槽中出现“塞流”的固体输送,当这部分砂浆输送至机头,经机头变径处受压而“脱水”结块,阻止了输送,从而不能实现连续包覆。

从图 2(b)的速度场颜色变化可知,当螺杆转速处于临界转速 78 r/min 时,缓凝砂浆在螺槽内的速度明显有分布且螺棱附近的速度值较大,沿螺槽深度方向物料各点的速度值虽然不大,但不相同,表明砂浆此时已发生变形而开始处于流动状态,即螺杆旋转对物料起了混合和搅拌作用^[14-15];当螺杆转速大于临界转速(150 r/min)时,从图 2(c)清楚可见,速度场颜色变化更加明显,表明缓凝砂浆在螺槽内各点的速度变化和差异更大,物料的变形和流动效果更为显著,螺杆旋转对物料的混合和搅拌作用更为剧烈,缓凝砂浆在螺槽内完全处于流动状态。如此,砂浆便能连续不断地沿螺旋

槽输送,并从机头挤出包裹在预应力筋上,黏塑性良好。

6 结束语

(1) 本研究运用 Polyflow,对宾汉姆体的缓凝砂浆在单螺杆挤出机中的流动进行了模拟分析,得到一个可视化的流场,并能直观地观察到不同螺杆转速条件下的速度分布情况,此方法为后期的优化设计提供了依据。

(2) 当螺杆转速低于临界转速(78 r/min)时,缓凝砂浆在螺槽内以固体形态存在,从而验证了“塞流”固体输送的现象。

(3) 当螺杆转速处于临界转速时,砂浆材料内部之间开始变形并流动;并且,随着螺杆转速增大,变形更为明显,螺杆旋转对物料的混合效果更好。

参考文献(References):

- [1] 胡春波,姜培正,胡志伟. 圆管内宾汉流体湍流流场的数值模拟[J]. 西安交通大学学报,1997,31(6):95-100.
- [2] 王起才. 缓粘结预应力混凝土构件试验研究[J]. 铁道学报,2001,23(1):92-93.
- [3] 赵建昌,李永和,王起才. 新型缓粘结预应力体系试验研究[J]. 建筑结构学报,2005,26(4):52-59.
- [4] 江见鲸,冯乃谦. 混凝土力学[M]. 北京:中国铁道出版社,1991.
- [5] 张建辉,薛德胜,周又和. 缓凝预应力筋包覆试验[J]. 机械工程学报,2008,44(1):212-216.
- [6] 陈文瑛. 塑料挤出[M]. 北京:中国轻工业出版社,1996.
- [7] 朱复华. 挤出理论及应用[M]. 北京:中国轻工业出版社,2001.
- [8] ZHU Fu-hua, FANG Shi-zeng, CHEN Li-qin. Studies on the theory of single screw plasticating extrusion (part2): non-plag flow solid convey[J]. Poly. Eng. Sci.,1991,31(15):1117-1122.
- [9] TADMOR Z, GOGOS C. Principles of Polymer Processing[M]. NewYork: Wiley,1979.
- [10] BOHME G. Non-Newtonian Fluid Mechanics[M]. Amsterdam: North-Holland,1987.
- [11] 张建辉,薛德胜. 宾汉姆体的缓凝砂浆在单螺杆挤出机中的流动[J]. 力学学报,2004,36(4):479-483.
- [12] BOHME G, BROSZEIT J. Numerical flow simulation for Bingham plastics in a single-screw extruder[J]. Theoret Comput. Fluid Dynamics,1997,9:65-74.
- [13] 张建辉,薛德胜,周又和. 用单螺杆挤出机制备缓凝砂浆包裹钢筋的研究[J]. 建筑材料学报,2007,10(5):604-608.
- [14] 刘耀林,张舜德,李 华. 喷雾器喷嘴流场仿真研究[J]. 轻工机械,2008(1):20-24.
- [15] 彭荣强. 洁净室内设备的热通量及位置对流场影响的数值模拟[J]. 轻工机械,2008(2):25-29.

[编辑:张 翔]