

管式气流干燥系统应用于淀粉干燥的数值模拟研究

冯新伟¹, 李小艳², 刘志森²

(1. 沈阳农业大学 高等职业学院, 辽宁 沈阳 110122; 2. 辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要:淀粉干燥是淀粉生产过程中的一个关键工序,弄清干燥过程中湿物料的传热传质过程对生产效率的提高至关重要,现选用管式气流干燥器作为淀粉物料的干燥设备,对其中的 U 形等径干燥管进行研究,用 Fluent 软件对干燥管内的气固两相流动进行了数值模拟,通过对管内气固两相流中各流场的分析,阐述了干燥过程中湿物料的传热传质过程及机理,并探讨了各参数对管内气固两相间传热效果的影响。

关键词:淀粉;管式气流干燥;Fluent 数值模拟;气固两相流

中图分类号:S226.6

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2012)03-0135-04

淀粉生产在农作物加工业中占有很大的比重,淀粉干燥是淀粉生产过程中十分关键的一个工序,它的工作效率直接影响到最后的干淀粉性质。在一般淀粉生产工艺中,进入干燥器前,湿淀粉含水量约为 35%,干燥后含水量可降到 10%~14%。为了保证淀粉产品在储存、保存、运输和使用过程中的质量,淀粉厂湿物料的干燥大都采用气流干燥机,这种干燥方法连续、可靠、效率高,可得到均匀不板结的物料^[1-3]。

气流干燥也称瞬间干燥,属于高效的连续式固体流态化干燥方法,加热介质与待干燥的固体物料直接接触,适用于粉状物料的干燥,其设备简单、干燥强度大,被广泛应用于工业实践。其中直管式气流干燥器是在我国应用最广、发展最久远的一种干燥器,其干燥时间短,管道长度一般达 10~20 m,安装的限制是制约其发展的瓶颈,为降低高度,近年来各种新型的气流干燥器层出不穷,例如多级组合式短管气流干燥器在生产上应用很普遍,干燥效果较好。干燥管的改型和强化方面也有很大发展,其中斜管式、脉冲式和倒锥式等气流干燥器仍在完善之中。干燥过程改革的主要方向是降低成本、减少设备的占地空间、改进产品质量和提高技术可靠性等^[4-6]。

该文以管式气流干燥器作为淀粉类物料的干燥设备,选用 U 形等径管为干燥管,通过 Fluent 软件对干燥管内的气固两相流动进行了数值模拟,探讨了干燥管内气固两相流的各流场分布及热空气温度和速度对干燥效果的影响,该模型具

有较好的准确性和预测能力,能形象地展示气固两相在干燥管内的流动和传热情况,为工业化管式气流干燥器的优化设计提供理论依据。

1 气流干燥系统

该文在对湿淀粉物料进行干燥的研究中,选用的管式气流干燥系统主要包括:空气加热器、螺旋加料器、送风系统、引风系统、干燥系统及分离除尘系统等,其中干燥管为倒立 U 形等径管,总管高 2 m,直径 38 mm。在倒立的 U 形等径管内,湿淀粉物料的输送方向为自下而上,和热空气流同向运动,经弯管处时运动方向发生改变。这种干燥管的设计在达到工艺要求的前提下可减少设备的体积和高度,从而大大减少干燥厂房面积。

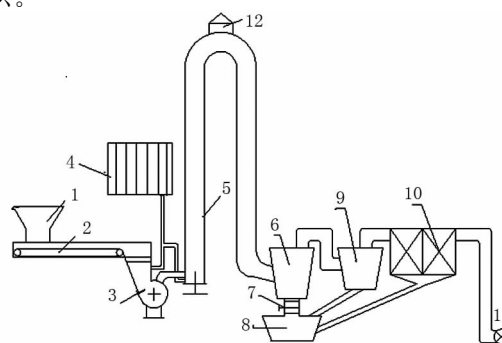


图 1 管式气流干燥系统

1. 给粉仓; 2. 输粉机; 3. 输粉风机; 4. 空气加热器; 5. 干燥管; 6. 一级分离器; 7. 锁气器; 8. 粉仓; 9. 二级除尘器; 10. 布袋除尘器; 11. 引风机; 12. 安全阀

Fig. 1 Schematic diagram of the tubular airflow drying system

1. Transport powder cabin; 2. Transport powder machine; 3. Transport powder fan; 4. Air heater; 5. Drying tube; 6. Primary separator; 7. Air lock; 8. Powder cabin; 9. Secondary filter; 10. Bag dust extractions; 11. Draft fan; 12. Safety valve

收稿日期: 2011-12-19

第一作者简介: 冯新伟(1956-),男,辽宁省昌图县人,学士,副教授,从事农业机械研究。E-mail:fxw001@163.com。

空气经空气加热器加热,进入U形干燥管内,同时给入高含湿量的淀粉物料,物料在入口处与高温热气流接触并在热气流的带动下上升,随着淀粉颗粒和热空气速度及温度的不断变化,湿淀粉中的水分慢慢被除去,从而达到干燥湿淀粉的目的。旋风分离器对干燥管排出的含料气流进行气固分离,然后由袋式除尘器进一步捕集,最后由粉仓收集各处干燥后的物料,除尘后的气体由引风机排入大气。对含湿量较高的物料,可适当采用回粉改善进料状况。

2 数值模拟

为了清楚地了解淀粉干燥系统中干燥管内气固两相流的流动及传热情况,该文对干燥段进行了准确的建模,通过Fluent软件对干燥管内的干燥过程进行了数值模拟。基于气流干燥的特点,模型建立时做以下简化假设:气固两相并流,且固体悬浮无返混现象;固体的温度和湿度变化沿轴向是均匀的;固体颗粒在管内横截面上均匀分布;淀粉颗粒为球形,粒径和水分均匀一致;管壁绝热^[7-9]。

2.1 模型的建立

在气固两相流流动和传热相关理论及假设条件的基础上,对适用于该研究的淀粉干燥管进行建模,干燥管为倒立的U形等径管,管径38 mm,总体高度为2 m,取Y轴正方向为管高方向,重力加速度为沿Y轴负方向。

流动入口选择速度进口边界,出口为自然流出;根据各工况参数设置入口速度、温度和入口的固相体积分数;湍流定义方式为湍流强度和水力直径;壁面采用无滑移边界条件,选择基于有限体积法的分离隐式求解器,稳态求解。多相流模型选择欧拉模型,主相密度为 $1.293 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,比热容为 $1.004 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$,动力粘度为 $1.79 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$,导热系数为 $2.3 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$;次相为固体颗粒,密度为 $1600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,比热容为 $1.87 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$,导热系数为 $0.190 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$,颗粒平均直径取 $200 \mu\text{m}$;气固两相间的曳力选用Gidaspow曳力模型,颗粒碰撞恢复系数默认认为0.9,热交换模型选择Gunn模型^[10-11]。

2.2 模拟结果分析

2.2.1 U形等径干燥管内压力分布 在整个干燥过程中,管内混合相压力沿干燥管是逐渐降低

的,入口处压力值最大,下降段固相和气相的混合逐步趋于均匀,直到出口处压力降到最小,且为负值。图2为气流干燥管内淀粉和热空气混合相在弯管处的压力局部图,可知:弯管处压力值发生了很大变化,外侧的压力高于内侧,这是由固体颗粒在此处的惯性作用引起的。该干燥系统是简化的动压气力输送装置,高温热空气在入口处的压力值最大,混合相在管道内流动时存在压力损失,在呈负压的出口处需设置引风机将混合相的尾气抽走。



图2 混合相压力局部图

Fig. 2 The partial pressure distribution of mixture

2.2.2 U形等径干燥管内速度分布 由图3可以看出,固体颗粒进入干燥管后在一定速度的高温热气流的输送下开始加速,速度发生剧烈变化,之后随着气固相相对速度的不断减小,颗粒完成加速过程开始等速运动,在弯管处速度有所降低,且弯管内侧的速度比外侧的大,弯管和下降管段衔接处的速度呈减小趋势,下降管段的速度又有

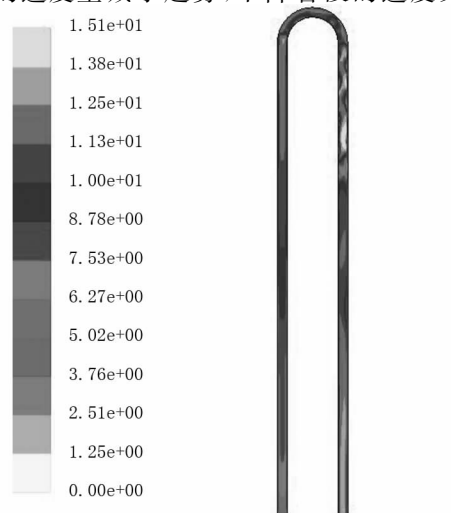


图3 固相的速度分布云图

Fig. 3 The velocity distribution of the solid phase

所回升。对气流干燥过程进行理论分析可知,在干燥管入口段,初速度为零的淀粉颗粒被具有很大的速度的热空气加速,此时两相间的相对速度最大,同时由于干燥管底部的固体颗粒最为密集,即传热表面积最大,因此干燥管入口段的传热传质系数最大,此处的对流传热传质效率远远大于之后的干燥段。由此可知,入口加速段对整个干燥过程的影响最大。

2.2.3 U形等径干燥管内温度分布 由图4可以看出,干燥管上升段的温度变化幅度较大,弯管处温度变化较缓慢,其内侧温度比外侧温度高,这是因为惯性力的作用使固体颗粒在弯管外侧部分聚集并与热空气再次充分混合,使得这部分的固相浓度较大,热量交换更剧烈,下降管段温度继续下降,直到出口温度达最低值。

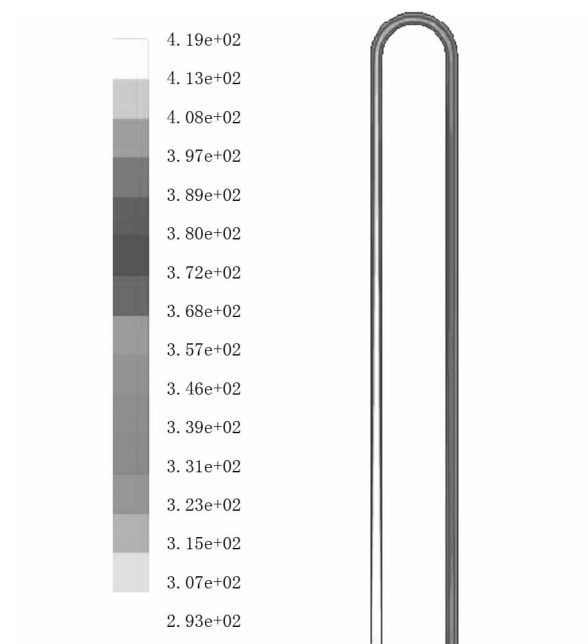


图4 干燥管内气相温度分布云图

Fig. 4 The temperature distribution of the gas phase

随着高温热空气和淀粉颗粒间热交换的进行,热空气的温度逐渐下降,淀粉颗粒的温度则逐渐上升,由此实现湿淀粉物料的干燥。在该过程中,高温空气的热量从周围环境向淀粉颗粒表面传递,使颗粒表面的湿分受热蒸发,并以水蒸汽的形式自颗粒表面向周围环境扩散。淀粉颗粒表面的湿分以水蒸汽形式向周围扩散的过程也伴随着传热,因而,强化传热便能够使干燥得到强化。

2.2.4 不同参数下管内努塞尔数分布 由图5和图6可以看出,干燥过程中管内努塞尔数沿管

长变化规律为:在上升管段缓慢增大,到弯管处急剧增大,下降管段又缓慢减小;入口热空气的速度取不同值时,干燥管内各个位置的努塞尔数基本保持不变,说明进气温度的变化对管内气固两相间的传热效果基本无影响;增大入口热空气的温度,气固两相间的努塞尔数也随之增大,即温度越高,管内气固两相流间的换热效果就越好。

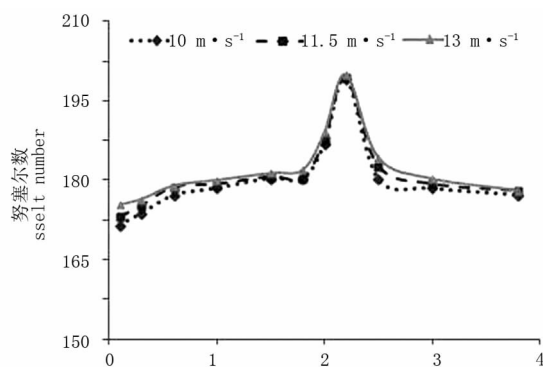


图5 不同速度下努塞尔数沿管长分布

Fig. 5 The distribution of Nusselt number along the tube under different velocity

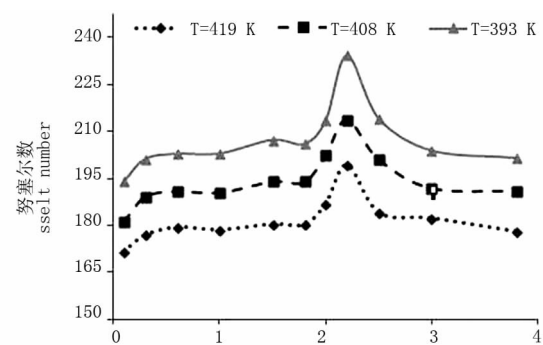


图6 不同温度下努塞尔数沿管长分布

Fig. 6 The distribution of Nusselt number the along the tubes under different temperature

3 结论

根据湿淀粉物料的特点及基础数据,对适用于淀粉干燥的管式气流干燥系统进行了研究,采用 Fluent 软件对 U 形等径干燥管内气固两相流的流动过程进行了数值模拟,通过不同工况下的参数设置,较真实地呈现了干燥管内气固两相流的干燥过程,分析了干燥管内气固两相流的各流场分布,并讨论了入口热空气的温度和速度变化对传热效果的影响,并得出结论:该模拟方法可用于预测各种条件下湿淀粉颗粒在气流干燥中的流动和传热过程,为实际工业试验线的建立提供了很好的指导作用。在淀粉物料干燥过程中,由于

气固相对速度的影响,U形等径管弯管处的努塞数急剧增大,即此处传热系数达最大值;在维持热空气温度和固气比不变的情况下,入口热空气的速度变化对传热基本没影响;入口热空气温度越高,气固间的传热效果越好,为达到更好的干燥效果,在保证不改变淀粉化学性质的条件下,入口热空气可尽量选择较高温度。

参考文献:

- [1] 刘应杰. 对淀粉干燥器中风机的探讨[J]. 粮食与饲料工业, 2004(7):18-20.
- [2] 林春. 淀粉的气流干燥及其进展[J]. 调味副食品科技, 1983(8):13-16.
- [3] 施建平. TGBD型变性淀粉干法反应生产线与生产工艺[J]. 化工科技市场, 2004(8):27-29.
- [4] 潘永康. 中国现代干燥技术发展概况[J]. 通用机械, 2005(8):42-43.
- [5] 许军, 郑伟胜. 气流干燥器的种类和特点[J]. 加工技术, 1998(6):26-27.
- [6] 舒安庆, 刘燕, 顾芳珍. 直管气流干燥器操作优化[J]. 石油化工自动化, 2001(4):36-38.
- [7] Shen L, Yue D K P. Large-eddy simulation of free-surface turbulence [J]. Journal of Fluid Mechanics, 2001, 440: 75-116.
- [8] 郭鸿志. 传输过程数值模拟[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998.
- [9] 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, 2004.
- [10] 郑国生, 曹崇文. 颗粒物料气流干燥的数学模型[J]. 北京农业工程大学学报, 1994, 14(2):35-42.
- [11] 沈选举. 管式干燥气固两相流的相似性原理及耦合数值模拟[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2005.

Numerical Simulation of Starch Drying with Tubular Airflow Drying System

FENG Xin-wei¹, LI Xiao-yan², LIU Zhi-sen²

(1. Advanced Vocational Technical College of Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110122; 2. Mechanical Engineering College of Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000)

Abstract: Starch drying is a critical process in starch production, it is essential to find out heat and mass transfer process in wet material drying for the production efficiency improving. Using the tubular airflow dryer to dry starch material and focusing on U-type drying tube, gas-solid flows in drying tube was simulated with Fluent, the mechanism and process of heat and mass transfer in wet material drying were described by analyzing the flow fields of gas-solid flow, and the effects of heat transfer between gas and solid in different situations were discussed.

Key words: starch; tubular airflow drying; Fluent numerical simulation; gas-solid flow

初春拖拉机的保养

春季温度刚刚回升, 农机金属部件脆性较强, 农机润滑系统一定要按规定标准保养。

使用前要全面清理。做好润滑、调整、紧固等项工作, 避免冬天农机长时间闲置带来的不同零部件间出现的松动和涩滞, 以确保机具以良好的技术状态投入作业。

拖拉机作业结束, 应停放于避风保暖的屋檐内。如果露天放置, 应把蓄电池拆下, 以防蓄电池被忽冷的气温冻坏。

来源: 中国农业科技信息网