

文章编号:1671-1513(2011)03-0055-04

筒式玉米烘干机烘干过程的计算机模拟

赵 粟

(北京工商大学 材料与机械工程学院, 北京 100048)

摘要: 针对筒式玉米烘干机的烘干过程进行了理论研究,并列出了烘干过程的数值解法. 通过编制的程序对烘干过程进行了计算机模拟. 经过实验验证,证明此数学模型适合于玉米烘干过程的模拟.

关键词: 玉米; 烘干过程; 计算机模拟

中图分类号: TS210.4

文献标志码: A

玉米烘干是一个复杂的热质交换过程,影响因素较多. 在理论上一般采用非线性偏微分方程描述热质交换现象,由于数学方法的局限性,要求出准确的解析解还比较困难,目前通常用离散的方法求得数值解,该解与真实结果存在一定偏差. 本文利用计算机模拟技术对玉米烘干过程进行模拟,并通过实验来修正,以提高计算机模拟的准确性.

1 玉米烘干过程的理论研究

1.1 理论假设

玉米烘干理论方程需要求解的参数有 4 个:玉米水分、玉米温度、热风温度和热风湿度. 求出这 4 个参数后,再通过它们和烘干时间等参数就可确定烘干机的性能指标. 因此,只要用传热传质理论方程推导出含有这些参数的 4 个方程,解出上述 4 个未知数,便可以进行烘干过程的理论计算. 由于影响玉米烘干过程的因素非常多,所有因素都考虑进去将使分析变得极为复杂,因此,在推导过程中,将忽略一些不重要的因素^[1],现做如下假设:

1) 烘干过程中,玉米体积无明显变化.

2) 忽略玉米粒内部的温度梯度及玉米粒之间的导热.

3) 流经玉米的气流场和玉米都看成由薄层堆砌而成,每一层状态一致.

4) 烘干空气的温度、湿度相对于时间的变化率忽略不计.

5) 薄层玉米失水方程和平衡水分方程作为已知条件.

6) 空气和玉米的有关参数在短时间内看作定值.

在玉米层中任取一厚度为 dx 的薄层玉米作为研究对象,热的干空气从一侧穿入,从另一侧流出,以带走水分,实现烘干的目的,如图 1.

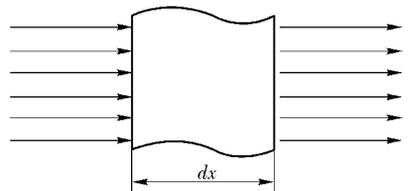


图 1 单位层厚玉米

Fig. 1 Unit width corn

1.2 质平衡方程

烘干时玉米吸收热风中的热量从而蒸发水分,蒸发的水分又被热风带走. 因此,存在玉米和空气中水分的质平衡关系. 即:

从玉米中蒸发的水分 = 热风吸收的水分.

依上述质平衡关系有:

$$-GSd\tau \times \frac{\partial H}{\partial x} dx = Sdx \times \rho_p \frac{\partial M}{\partial \tau} d\tau,$$

化简得:

$$G \frac{\partial H}{\partial x} = -\rho_p \frac{\partial M}{\partial \tau}. \quad (1)$$

式(1)中,薄层玉米的面积为 $S(\text{m}^2)$ 、玉米密度为 ρ_p (kg/m^3)、热风单位面积的质量流量为 $G(\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}))$ 、玉米水分 $M(\text{kg}/\text{kg})$ 、热风湿度 $H(\text{kg}/\text{kg})$.

1.3 热平衡方程

根据热平衡关系有:

热空气通过对流换热传给玉米的热量 = 从玉米中蒸发水分所需热量 + 使水蒸汽升温所需的热量 + 加热玉米所需要的热量.

则热平衡关系得:

$$h \times a \times (T_a - T_g) d\tau \times Sdx = GSd\tau \times \frac{\partial H}{\partial x} dx \times H_{fg} + GSd\tau \times \frac{\partial H}{\partial x} dx \times C_v (T_a - T_g) + (\rho_p C_p + \rho_p M C_w) Sdx \times \frac{\partial T_g}{\partial \tau} d\tau. \quad (2)$$

式(2)中, h ——对流换热系数 ($\text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$);

a ——玉米的比表面积 (m^2/m^3);

H_{fg} ——水的汽化热 (kJ/kg);

C_v ——水蒸汽的比热容 ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{C})$);

C_w ——水的比热容 ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{C})$);

C_b ——冰的比热容 ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{C})$);

H_{ff} ——冰的溶解热 (kJ/kg);

C_p ——玉米的比热容 ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{C})$);

T_g ——玉米温度 (C);

T_a ——热风温度 (C).

1.4 热传递方程

热空气通过对流传给玉米的热量 = 空气通过薄层玉米前后焓的差值 + 空隙内气体在 $d\tau$ 时间内焓的变化.

则热传递方程化为:

$$\frac{\partial Ta}{\partial x} = \frac{-h \times a}{GC_a + GC_v H} (T_a - T_g). \quad (3)$$

设玉米的空隙率为 ε 、空气的比热为 C_a ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{C})$)、空气的密度为 ρ_a ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{C})$).

1.5 薄层烘干方程

设玉米某一时刻的水分 $Mx(\text{kg}/\text{kg})$ 、玉米的平

衡水分 $Me(\text{kg}/\text{kg})$.

$$\frac{\partial M}{\partial \tau} = -K(Mx - Me). \quad (4)$$

根据式(1)~(4) 4个方程,采用差分的方法,可以解出玉米的水分、温度、热风温度和湿度4个未知数,就可以对烘干机的烘干过程进行仿真计算.

2 传热传质理论方程的解法

解偏微分方程的准确解析解是很困难的,只能利用数值方法得到它的数值解,本文利用差分方法来求解.以 $(x + \Delta x/2, \tau + \Delta \tau)$ 为参考点,即不致使计算次数过多,又保证差分格式的稳定性,数值解的精度也较高,是一种折衷的格式^[1-4].

符号替换:

$$\begin{aligned} T_{gf} &= T_g(\tau + \Delta \tau), & T_i &= T(x); \\ T_f &= T(x + \Delta x), & T_{gi} &= T_g(\tau); \\ M_f &= M(\tau + \Delta \tau), & M_i &= M(\tau); \\ H_f &= H(x + \Delta x), & H_i &= H(x). \end{aligned}$$

下标 i 代表初值,下标 f 代表热风吹过一层玉米后各参数变化后的状态.

参考点值:

$$\begin{aligned} T(x + \Delta x/2) &= (T_f + T_i)/2, \\ H(x + \Delta x/2) &= (H_f + H_i)/2. \end{aligned}$$

用差分代替微分,则薄层烘干方程变成:

$$M_f = (M_0 - M_e) \times \exp(-k\tau^n) + M_e.$$

质平衡方程变成:

$$H_f = H_i - \frac{\rho_p \Delta x}{G_a \Delta \tau} (M_f - M_i).$$

热传递方程变成:

$$T_f = T_i - \frac{h \times a \times \Delta x \left(\frac{T_f + T_i}{2} - T_{gf} \right)}{G_a C_a + G_a C_a \frac{(H_f + H_i)}{2}} =$$

$$T_i - \frac{h \times a \times \Delta x (T_f + T_i - 2T_{gf})}{2G_a C_a + G_a C_v (H_f + H_i)}.$$

热平衡方程变成:

$$\frac{T_{gf} = T_{gi} + h \times a \times \Delta \tau \left(\frac{T_f + T_i}{2} - T_{gf} \right) - G_a \Delta \tau \left(\frac{H_f + H_i}{\Delta x} \right) \left[H_{fg} + C_v \left(\frac{T_f + T_i}{2} - T_{gf} \right) \right]}{\rho_p (C_p + C_w M_f)}.$$

3 模拟程序的编制

根据上面推导出的相应数学模型,编制相应的

程序以解出 T_{gf}, T_f, H_f, M_f 4 个参数, 计算步骤如下:

1) 将粮层厚度分成若干薄层, 每层厚度为 dx , 如图 2.

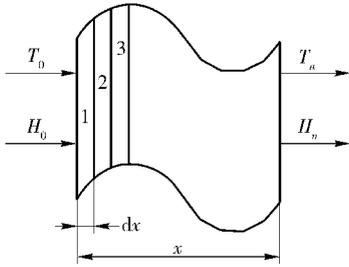


图 2 粮层模型

Fig. 2 Modal of corn layer

2) 将烘干时间分成若干时间间隔, 对于时间的处理方法与对玉米的处理方法相同, 即对整个时间内的各参数的变化不易直接求解出来, 可以先对其中一个小时间段进行分析, 之后再推广到整个时间段内. 每一时间间隔称之为时间增量 $\Delta\tau$.

3) 确定已知条件和边界条件, 即各层玉米初始温度 T_{gi} 、水分 M_i , 进入第一层玉米的热风温度 T_i 、热风湿度 H_i .

4) 在第一个 $\Delta\tau$ 时间内, 对于第一层玉米, 由于知道了热风温度 T_i 、热风湿度 H_i 和玉米初始温度 T_{gi} 、玉米水分 M_i , 利用前面所推导出的方程, 分别求出玉米温度、水分的变化值, 以及相应的热风温度、湿度的变化值.

5) 以流过前一薄层玉米变化后的热风温度、湿度作为下一层玉米层的输入条件, 再依据 4 个方程求出相应的热风温度、湿度.

6) 依此类推重复进行, 直到计算完所有薄层.

7) 将时间增加 $\Delta\tau$, 重复 4~6 步.

8) 持续增加 $\Delta\tau$ 直到达到规定的烘干时间为此.

至此已经算出了各个时间段内各薄层玉米的水分、温度, 以及热空气的温湿度, 这即是 4 个偏微分方程的数值解.

4 模拟程序结果的分析验证

将所编制的模拟程序应用于 AP 2500 型筒式烘干机, 进行理论计算. AP 2500 烘干机粮层厚度为

306 mm, 塔高 18 m, 日烘干湿粮 1 000 t, 湿粮初始水分为 28%, 烘干后干粮水分为 15%. 将 306 mm 厚的玉米分成 9 个薄层, 每层玉米厚 34 mm, 将整个烘干时间 120 min 分成 30 段, 每段 $\Delta\tau = 4$ min. 通过对以上数据的模拟计算, 与相应的验证实验结果比较, 结果如图 3. 从图 3 可见模拟曲线与实验曲线吻合的较好, 模拟结果基本能反映出实验结果的趋势, 因此证明模拟所用的数学模型较为合理.

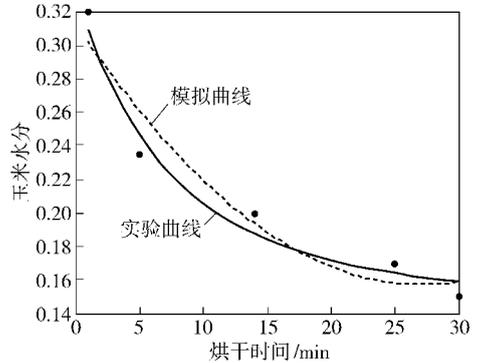


图 3 模拟与实验结果对比

Fig. 3 Results of simulation and experiment

5 结论

从图 3 中对比来看, 模拟结果所反映出的规律和实验结果反映出的趋势基本上吻合, 最大偏差处小于 5%. 有了模拟程序可以通过计算机进行模拟实验, 便于深入分析筒式烘干机的烘干过程, 以确定最佳的结构参数.

参考文献:

- [1] 刘永志, 宋国敏. 高大平房玉米烘干入库机械通风降温降水应用试验[J]. 粮油仓储科技通讯, 2008(5): 10-12.
- [2] 刘焱峰, 顾祥明, 邴永晋, 等. 烘干温度对玉米脂肪酸值的影响[J]. 粮油仓储科技通讯, 2008(1): 49-50.
- [3] 杨平, 郭景勋. 高温烘干对玉米湿法加工的影响[J]. 粮油食品科技, 2009(17): 1-4.
- [4] 胡景川, 沈锦林. 农产物料干燥技术[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 1989: 100-120.

Drying Process Simulation of Cylindrical Corn Dryer

ZHAO Fu

(*School of Material and Mechanical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China*)

Abstract: Based on the theoretical research of the cylindrical corn dryer, a numerical solution to the drying process was presented in this paper. The developed program was provided for the simulation of drying process and the model was verified to be feasible for simulating the corn drying process.

Key words: corn; drying process; simulation

(责任编辑:檀彩莲)

(上接第 54 页)

Immobilization of a Denitrification Strain by Sodium-alginate

JIU Wei-jing, WANG Ping, LI Ao-bo, LI Jin-sui, QI Qi-ge

(*School of Food, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China*)

Abstract: The mechanical strength of immobilized beads was enhanced using sodium alginate as the embedding agent and CaCl_2 as the crosslinking agent. Orthogonal experiments and one-factor experiments were designed to optimize the immobilization conditions. The effects of quantity of entrapping bacteria, concentration of sodium alginate, crosslinking time, and diameter of the immobilized beads on the immobilization were studied. Under optimum conditions, the nitrogen removal ability of immobilized bacteria was similar to that of dissociation bacteria.

Key words: immobilization; entrapment; sodium alginate

(责任编辑:檀彩莲)