

烘丝过程烟丝中某些化学成分变化数值模拟^{*}

顾中铸, 张奕

(南京师范大学动力工程学院, 210042, 南京)

[摘要] 在试验基础上, 运用参数估计法, 建立了烟丝在烘烤过程中某些化学组分变化动态数学模型, 并利用 Matlab-simulink 语言对此进行了数值模拟. 计算结果与实验数据基本吻合, 表明所建立的理论模型具有较高的准确性, 对于烘丝工艺过程的优化具有一定的参考价值.

[关键词] 烟丝, 化学组分, 模拟

[中图分类号] F768.29; TK122; [文献标识码] B; [文章编号] 1672-1292(2002)02-0075-03

烘丝是卷烟生产的重要环节, 该过程中由于一系列的化学反应, 烟丝的内在品质变化较大. M. Matsukura 等曾作过有关的试验研究^[1], 认为温度对于烘后烟丝的质量有明显的影响, 但迄今为止相关理论研究尚未见过报道. 由于缺乏系统的理论研究, 人们大都凭经验来确定烘丝工艺, 难免具有盲目性. 本文基于实验结果, 结合数学建模、化学反应动力学有关理论, 对烟丝烘烤过程中某些化学组分的变化情况进行了数值模拟, 旨在为卷烟生产尤其是工艺优化提供相应的理论依据.

1 物理模型

在卷烟生产中, 烟丝烘烤大都采用转筒式烘丝机. 该设备以高温(120~150℃)热空气作为干燥介质, 湿烟丝进入烘丝筒后, 温度迅速升高, 同时散发出大量的水蒸汽. 该过程中, 由于烘丝温度、水分的急剧变化, 其内部发生一系列剧烈的化学变化, 产生一些香味成分, 同时使烟碱含量减少, 从而改善烟丝的内在品质, 提高产品的质量.

2 数学模型

烟丝在烘烤过程中不仅发生热量和质量的迁移、扩散, 而且同时还产生一系列的化学反应. 为了对这一包含热、质交换的复杂化学反应过程进行定量计算, 在数值计算过程中作如下假设:

(1) 烟碱的热解与挥发, 取决于烟草本身的温度, 水蒸汽的逸出对烟碱的挥发没有影响.

(2) 烟草香味组分的变化, 取决于糖与氨基酸在一定条件下所发生的棕色化反应的程度, 反应速率与烟草本身的温度、水分及 pH 值有关.

(3) 反应符合一级反应模型, 反应速率与温度之间的关系呈阿累尼乌斯规律.

(4) 棕色化反应的速率与烟草含水量呈二次曲线变化, 与 pH 值成正比.

基于上述假设, 可以给出下列化学反应动态方程:

$$dX_N/d\tau = -K_N X_N \quad (1)$$

$$dX_i/d\tau = K_i X_{NH} X_S \quad (2)$$

式中: X_N 为烟碱含量(%); τ 为时间(s); K_N 为烟碱反应系数, 由下式给出:

* 收稿日期: 2002-08-10.

基金项目: 国家烟草专卖局重点科研项目(0605).

作者简介: 顾中铸, 1963-, 工学博士, 南京师范大学动力学院副教授, 主要从事热工过程优化的研究.

$$K_N = K_{N0} \exp(-E_N/RT) \quad (3)$$

式中: K_{N0} 为反应速度常数; E_N 为反应活化能(J/mol); R 为玻尔兹曼常数; T 为温度(K); X_i 为香味组分 i 的含量(%); X_{NH} 为氨基酸含量(%); X_S 为糖含量(%); K_i 为香味组分 i 的反应常数, 由下式给出:

$$K_i = K_{i0} \exp(-E_i/RT) \quad (4)$$

其中:

$$K_{i0} = (a + bw + cw^2) N_{ph} \quad (5)$$

式中: a, b, c 为试验常数, w 代表水份或含水率, N_{ph} 为 pH 值.

上述数学模型中, 活化能 E_N 和 E_i 以及有关常数, 均由实验数据通过参数估计法(微分法和最小二乘法)求得.

3 结果与分析

Matlab-simulink 语言以其强大的功能在国外早已得到了广泛的应用. 利用它可以方便地对上述模型进行数值求解^[2,3]. 图 1 和图 2 将模型计算结果与实验结果进行了比较, 可以发现二者吻合较好, 说明所建立的理论模型具有一定的应用价值.

图 1 给出了某种牌号烟丝中某些香味成分含量(以 70℃时的变化量为基准) 随温度的变化规律. 由此可见, 某些挥发性酮类物质、呋喃类和内脂类物质等焦糖香味成分随温度的提高几乎呈指数规律增加, 与 70℃时相比, 140℃时它们的含量增加了 20~70 倍. 这主要是因为高温条件下, 烟丝中糖分与氨基酸在一定的湿度下发生美拉德反应所致.

烟丝中烟碱含量(以 70℃时的变化量为基准) 随温度的变化如图 2 所示. 可以发现, 烟碱含量随温度提高而减小, 140℃时烟碱的减少量较 70℃时增加了近 110 倍. 这是因为在高温条件下, 大量的挥发性烟碱热解并随水蒸汽一起逸出.

图 3 为 100℃条件下, 几种香味组分的相对含量(以 90% 水分含量时的变化量为基准) 随水分变化的理论计算结果. 由此可见, 在一定的温度下, 美拉德反应的速率与水分呈抛物线型变化, 含水量 45% 左右时反应最为剧烈.

应当指出, 在生产实际中, 烘丝筒内烟丝的温度和水分含量是不断变化的, 其变化规律取决于烟丝

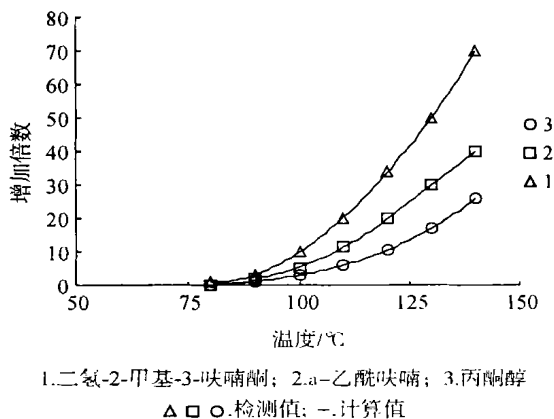


图 1 烟丝中某些香味成分随温度的变化曲线

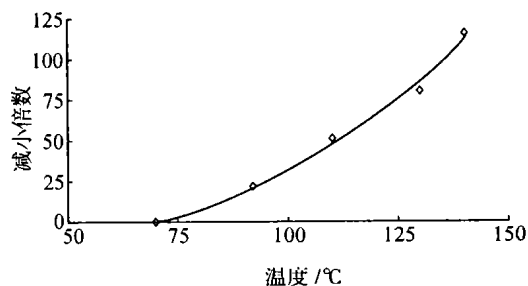


图 2 烟丝中烟碱含量随温度的变化曲线

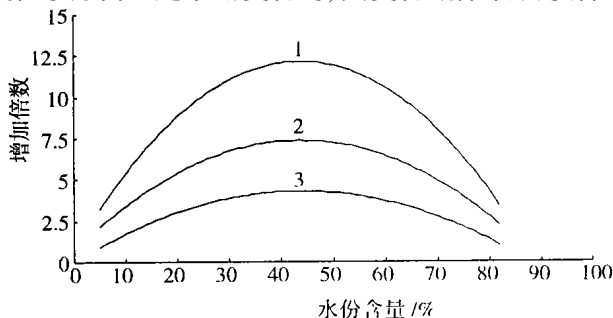


图 3 某些香味物质相对含量随水分的变化规律

与湿空气的热质交换特性,这就使得本模型的求解变得相当复杂.为此,首先必须建立烘丝机内烟丝热质迁移动态数学模型,笔者曾作过类似的研究^[2].

4 结论

(1) 数值模拟结果与实验数据基本吻合,说明所建立的理论模型具有一定的应用价值.

(2) 一定配方的烟丝,烘烤过程中内在品质的变化主要取决于其本身的温度和水分.提高温度,一些香味成分的含量呈近似指数规律增加,烟碱的相对减少量也呈类似的规律提高;在一定的温度下,烟丝中某些香味成分的含量随水分含量呈近似抛物线规律变化.

(3) 在实验研究的基础上,运用本模型和热湿迁移动态模型,可方便地对烘丝过程中烟丝内在品质的变化进行动态模拟计算,可用于工艺过程优化.

[参考文献]

- [1] 冼可法.烟草香味物质研究[J].烟草化学分析与检测,1988: 15~ 32.
- [2] 顾中铸,刘百战等.烟草热湿传递机理及其过程优化分析[J].国家烟草专卖局课题研究报告,2001,3: 1~ 64.
- [3] 许波等. Matlab 工程应用[M].北京:清华大学出版社,2000.

Numerical Simulation for Some Chemical Changes of Cut Tobacco in Drying Process

Gu Zhongzhu, Zhang Yi

(College of Power Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

Abstract: Based on experimental investigations, the dynamic mathematical model describing the changes of some chemical components in cut tobacco drying process is set up by means of parameter estimating method. The Matlab-simulink is applied to make corresponding numerical simulation. The simulation results tally with experimental data, and show that the theoretical model is correct and can perform important function for the optimization of cut tobacco drying process.

Key words: cut tobacco, chemical component, simulation

[责任编辑: 刘健]