

烟丝干燥特性实验研究

顾中铸¹, 许爱琴¹, 吕留根¹, 蔡 崧², 解 俊²

(1 南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042 2 东南大学 能源与环境学院, 江苏 南京 210096)

[摘要] 目前烟草热质传递过程的研究, 均采用静态实验研究方法, 得出的实验结果与生产实际有一定程度的偏差. 针对这种情况, 为了使研究结果更加贴近生产实际, 模拟了烟丝在转筒内的热质交换规律, 自行设计、安装、调试了一座实验台. 在该实验台进行了烟丝干燥过程动态试验研究, 重点考察了湿烟丝增温减湿条件下的热质迁移的规律, 以及该过程对烟草填充力的影响. 结果表明, 烟丝干燥过程分为恒速和降速两个阶段, 恒速阶段干燥速率主要取决于外部干燥条件, 提高风速或风速可大大缩短干燥周期. 因而在保证烟丝干燥质量的前提下, 应该改善流动和传热条件, 争取在恒速阶段就把烟丝干燥到工艺要求. 烘丝方式、来料温度和水分、干燥介质状态参数等对烘后烟丝的填充力有显著影响. 对于转筒式烘丝机, 采用顺流烘丝方式, 较高的来料温度和水分, 较大的热风流速, 可获得较高的烘丝填充力.

[关键词] 烟丝, 干燥特性, 香味, 填充力

[中图分类号] F768.29 TK122 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2007)01-0032-05

Experimental Investigations on the Drying Characteristics of Cut Tobacco

Gu Zhongzhu¹, Xu Aiqin¹, Lu Liugen¹, Cai Song², Xie Jun²

(1. School of Power Engineering Nanjing Normal University Nanjing 210042 China

2. Department of Power Engineering Southeast University Nanjing 210096 China)

Abstract At present the researches on the mass and heat transfer mechanism of cut tobacco are in the static process. These experiment results have a certain degree of deviation from the industrial practice. In response, we designed, installed and put up a dynamic experimental facility, so as to simulate industrial reality. A dynamic experiment of cut tobacco drying was made on this facility. The mass and heat transfer mechanism of wet cut tobacco and the filling power changes in heating or humidifying processes were also researched. The research results show that the drying process includes constant rate period and falling rate period. The drying rate corresponding to the constant stage depends on the drying conditions. Increasing the temperature or velocity of airflow greatly shorten the drying process. From the perspective of improving tobacco's drying properties, it is suggested that the air flow and heat transfer rate should be increased in the constant rate period. The filling power of dried cut tobacco is significantly influenced by drying methods, the temperature and moisture content of entrancing cut tobacco and drying medium conditions. For rolling dryer, the higher filling power value corresponds to downstream quickly drying way, higher inlet temperature and moisture content.

Key words cut tobacco, drying characteristics, flavor, filling power

烟草的热质传递过程, 贯穿于卷烟生产的全过程. 制丝是卷烟生产的关键环节, 在此过程中, 温度、水分的大小及其变化, 对于原料损耗, 产品内在质量有着极其重要的影响. 因此, 一定程度上说, 制丝工艺就是研究如何科学、合理地控制烟叶(丝)的热质传递过程, 以较小的投资, 获得最大的收益.

烟草加工过程中, 烟草的热湿传递过程大多是在动态条件下进行, 卷烟厂普遍采用的热质交换设备基本上是转筒式的. 迄今为止, 人们虽然对烟丝的热质传递特性及其过程中物理、化学性能的变化进行过一定的研究, 但所采用的均为静态实验研究方法, 因而实验结果与生产实际难免会有一些偏差. 为了使研究

收稿日期: 2006-11-07

基金项目: 国家烟草专卖局基金(981025)资助项目.

作者简介: 顾中铸(1963-), 教授, 博士, 主要从事烟气除尘与净化、燃烧理论与技术、多孔介质传热与传质以及卷烟加工工艺等方面的教学与研究. E-mail: guzhongzhu@njnu.edu.cn

结果更加贴近生产实际,我们模拟烟丝在转筒内的热质交换规律,自行设计、安装、调试了一座实验台.该实验台不仅在一定程度上模拟了实际生产情况,而且实验工况可调,操作简单,参数测量容易、快速、准确.考虑到烘烤过程对烟草的理化性能影响比较明显,动态试验重点考察了在湿烟草增温减湿条件下,其热质迁移的规律,以及该过程对烟草填充力和内在品质的影响.

1 试验装置

静态实验与该动态实验装置的区别很明显,前者采用的是烘箱,而后者则是更贴近生产实际的转筒.

实验装置系统如图 1 所示.

该实验装置系统是由实验段、测量装置、热风系统、加湿系统、底部加热装置等几部分组成.加湿系统用来调节实验用空气的初始含湿量,把烟丝松散盛放在实验段盛料箱内,从加热装置出来的热空气经热电偶测量后,从试验段上、下两面吹过,为烟丝热质传递提供热源并带走蒸发水分,此后直接将热空气排空.

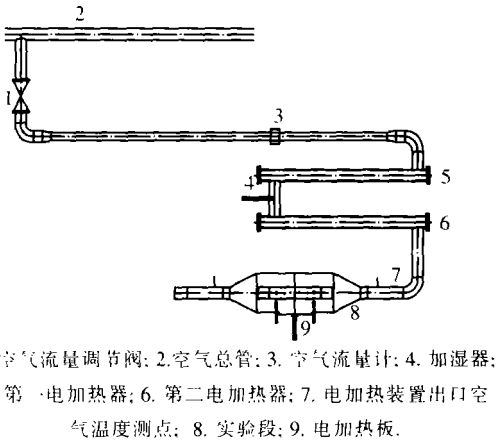


图 1 实验装置系统图

Fig.1 The diagrammatic sketch of the dynamic test facility

2 试验结果与分析

2.1 热质迁移特性

实验用烟叶丝和烟梗丝是从卷烟生产线上取出的样品,调节该样品的湿度,使其满足所需的湿度要求,密封放置较长的一段时间,让其温、湿度趋于均匀.由于实验目的是研究特定增温减湿(干燥)条件下烟丝的热质传递特性,因此在实验中始终保持干燥条件的恒定^[1].

对烟叶丝和烟梗丝总共进行了 6 种不同工况下的干燥实验,相关实验参数见表 1,通过实验 1、2 和实验 4、6 的比较可知热风温度对烟丝干燥特性的影响;通过实验 4、5 的比较可知热风风速对烟丝干燥特性的影响;通过实验 1、2 和 3 的比较可知用加热板对烟丝下表层进行加热或不加热对烟丝干燥特性的影响.

表 1 实验工况

Table 1 Variation of operation conditions

实验编号	初始含湿量 /%	烟丝种类	热风温度 /℃	热风风速 /(m/s)	热风相对湿度 /%	加热板温度 /℃
1	20	烟叶丝	140	1.0	3	—
2	20	烟叶丝	120	1.0	3	—
3	20	烟叶丝	100	1.0	3	80
4	20	烟梗丝	120	1.0	3	—
5	20	烟梗丝	120	0.7	3	—
6	20	烟梗丝	100	1.0	3	—

注:“—”代表加热板撤下不对烟丝加热,这时烟丝下表层同样被热风加热干燥.

烟丝温度由放置在该处的热电偶测量,图 2 和图 3 给出了几种工况条件下,上表层和中表层烟丝温度随干燥时间的变化情况.由此可以看出,烟丝一旦进入干燥环境,温度便逐渐升高,且热风温度越高,烟丝的升温速率也就越大^[2-3].由于热量要从表面逐渐传递到中部^[4],所以在同一时刻,表层烟丝温度要比中心层烟丝温度高一些.每种样品均有一个较为明显的恒温阶段,这是由于此时烟丝吸收的热量和干燥烟丝中的表面自由水和大空隙中的水分所需的热量大体相当.随着干燥时间的增加,烟丝含湿量的减少,其吸收的热量当中有很大一部分可以用于升高自身的温度^[5],因此在恒温阶段后有一个明显的升温阶段.

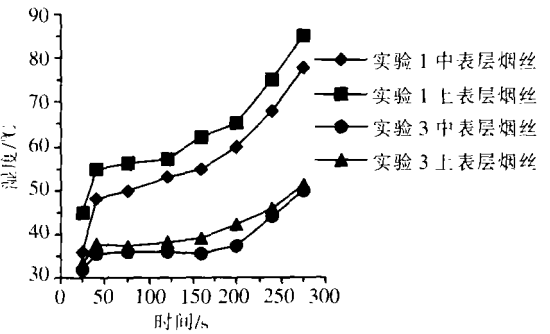


图 2 实验 1、3 烟丝热谱图

Fig.2 Variance of cut tobacco temperature with time (test 1 and test 3)

图 4~图 7 为不同干燥条件下,不同部位烟丝的干燥曲线,从中可以发现,在烟丝干燥的初始阶段,由于烟丝的温度较低,其含湿量的下降幅度不大;此后便进入恒速干燥阶段,这时排除的是烟丝中较易除去的自由水分,因此其含湿量下降速度较快;在接下来的降速阶段,含湿量的下降速度又减慢,这是因为在该阶段除去的主要是烟丝中的结合水分,结合水分的排除较困难^[1],所需的时间较长。

另外还可以从图 8 清楚看出表层烟丝和中心层烟丝含湿量之差的变化规律:大约在从 50 s 到 150 s 之间的恒速干燥阶段,烟丝的含湿量下降最为迅速,且在这段时间内表层烟丝和中心层烟丝的含湿量之差也最大。而在此之前和之后两者的差距不是很明显,这是由于干燥刚开始时,表层和中部烟丝温度都较低,两者干燥速度都比较小、含湿量的降低有限,且烟丝中心的自由水分能及时向表层转移,故含湿量差距不大。随着干燥过程的进行,两者温度逐渐升高,表层烟丝到烟丝块表面的距离较短,这对水分的排除较为有利,因此含湿量下降较快。而中部烟丝到烟丝块表面的距离较长,排除水分较困难^[1,6],含湿量下降较慢,因此两者的含湿量差距逐渐增大。随着干燥过程的继续进行,表层烟丝在自由水分干燥完毕后开始干燥结合水分,干燥结合水分要比干燥自由水分困难,因此表层烟丝含湿量的下降速度变慢,而中部烟丝此时尚有部分自由水分可以干燥,其含湿量的下降速度开始减小,时间要比表层烟丝含湿量的下降速度开始减小时间滞后,这样两者的含湿量又趋于相近,之后表层和中部烟丝干燥的都是结合水,干燥速度都很小,含湿量的差距不大^[4,7]。

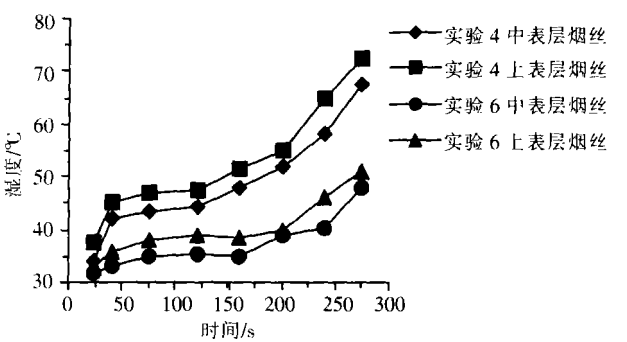


图 3 实验 4、6 烟丝热谱图

Fig.3 Variance of cut tobacco temperature with time (test 4 and test 6)

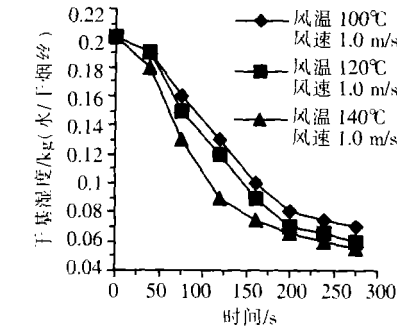


图 4 实验 1、2、3 表层烟丝干燥曲线

Fig.4 Drying curves for cut tobacco in surface layer (test 1, test 2 and test 3)

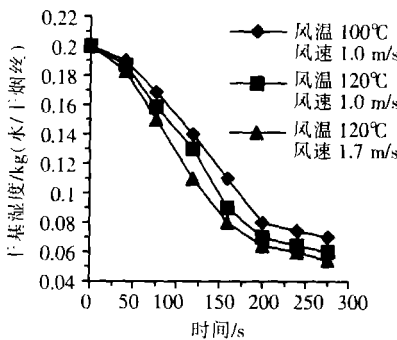


图 5 实验 4、5、6 表层烟丝干燥曲线

Fig.5 Drying curves for cut tobacco in surface layer (test 4, test 5 and test 6)

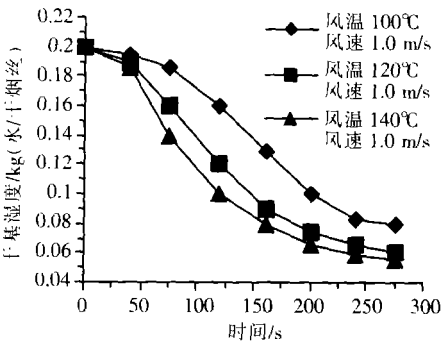


图 6 实验 1、2、3 中心层烟丝干燥曲线

Fig.6 Drying curves for cut tobacco in middle layer (test 1, test 2 and test 3)

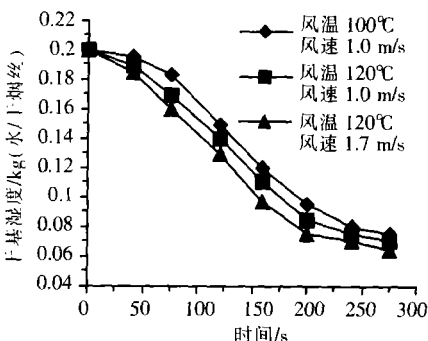


图 7 实验 4、5、6 中心层烟丝干燥曲线

Fig.7 Drying curves for cut tobacco in middle layer (test 4, test 5 and test 6)

从图 4~图 7 还可以看出,热风温度越高或者热风风速越高,曲线的位置就越低,表明达到某一含湿量所需的干燥时间较短^[18]。热风温度越高、热风风速越大,烟丝的干燥速率就越大,这是由于热风的温度

越高,热驱动力越大,烟丝升温速率越快,最终能达到的温度越高,为烟丝中水分的脱除创造了有利条件;热风风速越大,烟丝表面的气体边界层越薄,换热系数越大,表面换热效果越好,这也为烟丝升温速率和干燥速率的加快起到了积极的作用^[3].这说明在恒速阶段烟丝的干燥速率主要取决于干燥介质的状态参数等外部条件,因此提高风温或风速可以很大程度地缩短干燥周期^[8].烟丝的绝大部分水分是经恒速阶段排除的,且相比其它阶段恒速阶段的能量利用率较高^[5,8],因此在保证烟丝干燥质量的前提下^[5],应该改善流动和传热条件,争取在恒速阶段尽快把烟丝干燥到工艺要求.对于同一种烟丝而言,烟丝所处的降速阶段的干燥速率大体相等,这也说明了在降速阶段干燥速率主要取决于烟丝的内部特性(烟丝的物理、化学结构,内部水分或水汽的扩散阻力^[5]),外部条件对它的影响不大^[1].

2.2 物理结构的变化情况

填充力是衡量烟丝物理性能的一个重要参数,也是卷烟生产中的一个主要控制因素.为了考察增温去湿过程对烟丝填充力的影响,进行了变工况试验研究,有关参数如表 2 所示.

图 9 给出了不同的工况条件下,烘后烟丝填充力的相对变化率(以工况 1 为基准).由图可见,对于顺流式烘丝方式,适当增加来料的温度和水分,提高干燥介质的流速,可以获得较好的膨胀效果;而对于逆流式烘丝方式,适当减少来料的温度和水分,降低干燥介质的流速,有利于提高烘后烟丝的填充力.

表 2 实验工况

Tab 2 Variation of operation conditions

序号	方向	空气介质		来料烟丝	
		流速 / (m / s)	最终湿度 / (g / kg)	水分 / %	温度 / °C
1	顺流	2.5	70	20	25
2	顺流	0.5	350	20	25
3	顺流	3.5	70	30	70
4	顺流	0.5	350	30	70
5	顺流	1.4	190	20	75
6	逆流	2.4	100	20	25
7	逆流	0.7	350	20	25
8	逆流	2.4	100	30	70
9	逆流	0.7	350	30	70

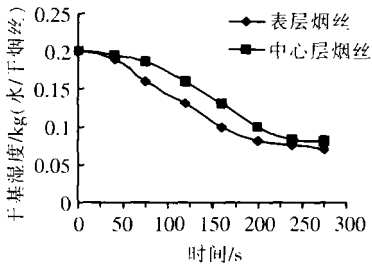


图 8 实验 1 表层烟丝与中心层烟丝干燥曲线对照
Fig.8 Drying curves for cut tobacco in middle layer and surface layer(test 1)

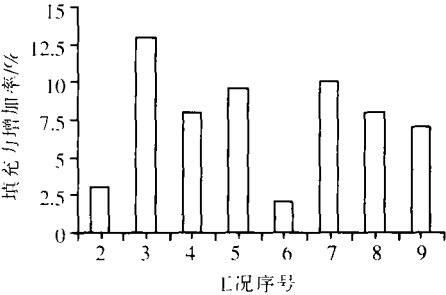


图 9 不同处理方法的比较
Fig.9 The changes of filling power in different conditions

3 结论

- (1) 烟丝干燥过程存在一个明显的恒温阶段和随后的升温过程.
- (2) 烟丝干燥主要包括恒速和降速两个阶段,恒速阶段干燥速率主要取决于外部干燥条件,而降速阶段的干燥速率则主要取决于烟丝的内部特性.烟丝中绝大部分水分是在恒速阶段脱除的,该阶段能量利用率较高,实际生产中,在保证烘后烟丝质量的前提下,应强化传热传质条件,尽快在恒速阶段把烟丝干燥到工艺要求的水分含量.
- (3) 烘丝方式、来料温度和水分含量以及干燥介质的流速等对烘后烟丝的填充力有不同程度的影响.对于转筒式烘丝机,采用顺流方式,适当增加来料的温度和水分,提高干燥热风的流速,有利于提高烘后烟丝的填充力.

[参考文献] (References)

[1] 田晓亮,孙晖,王兆俊,等.软胶丸干燥特性的系统分析和研究[J].青岛大学学报:工程技术版,1997,12(3): 59-63
Tian Xiaoliang Sun Hui Wang Zhaojun, et al Study on the drying characteristics of soft shell capsules[J]. Journal of Qingdao University: Engineering and Technology Edition, 1997, 12(3): 59-63 (in Chinese)
[2] 付丰,孔祥谦,王金忠.多孔介质干燥过程传热传质研究[J].工程热物理学报,1988,10(3): 34-38
Fu Feng Kong Xianqian, Wang Jingzhong Study on heat and mass transfer in drying of porous medium[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 1988, 10(3): 34-38

- neering Thermophysics 1988 10(3): 34-38 (in Chinese)
- [3] 马先英, 赵世明, 林艾光. 不同干燥方式对胡萝卜干燥特性的影响 [J]. 大连轻工业学院学报, 2006 25(2): 155-156
Ma X ianying, Zhao Shi ming, Lin A i guang. Infection to technological parameter of different carrot drying [J]. Journal of Dalian Light Industry College, 2006 25(2): 155-156 (in Chinese)
- [4] 常建民, 张斌. 落叶松干燥过程热质传递特性的实验研究 [J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1997, 30(4): 72-74
Chang Jian min, Zhang Bin. Studies on heat and mass transfer properties of dahurian larch-wood during drying [J]. Journal of Harbin University of Architecture and Engineering 1997, 30(4): 72-74 (in Chinese)
- [5] 潘永康. 干燥过程特性和干燥技术的研究策略 [J]. 化学工程, 1997, 25(3): 37-41.
Pan Yong kang. The characteristic of drying process and research strategy on drying technology [J]. Chemical Engineering 1997, 25(3): 37-41. (in Chinese)
- [6] 林玉红, 闫亚明, 罗登山, 等. 烤烟叶丝微波干燥特性研究 [J]. 烟草科技, 2006(4): 5-8
Lin Yu hong, Yan Ya ming, Luo Dengshan, et al. Study on cut tobacco drying by microwave [J]. Tobacco Science and Technology 2006(4): 5-8 (in Chinese)
- [7] 王福娟, 李成华. 胡萝卜真空干燥工艺参数的试验研究 [J]. 中国农机化, 2005(3): 55-57.
Wang Fu juan, Li Chenghua. Experiment study on technological parameter for carrot vacuum drying [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2005(3): 55-57. (in Chinese)
- [8] 徐之平, 赵贤良. 物料干燥特性的研究 [J]. 上海机械学院学报, 1993 12(4): 52-57.
Xu Zhi ping, Zhao X ian liang. A study of drying characteristics of materials [J]. Journal of Shanghai Industry Mechanics Engineering 1993, 12(4): 52-57 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]

(上接第 17 页)

[参考文献] (References)

- [1] 华刚, 郑南宁, 薛建儒. 基于改进遗传算法的边缘检测阈值自动选取及其应用 [J]. 小型微型计算机系统, 2002 23(3): 318-321
Hua Gang, Zheng N anning, Xue Jian ru. An approach based on improved genetic algorithm to selecting the threshold automatically in edge detection and its application in computer vision system [J]. Mini micro System, 2002 23(3): 318-321 (in Chinese)
- [2] 张淑艳, 姚晓东, 邹俊忠, 等. 基于开放式遗传算法的图像阈值选取 [J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 2004 30(2): 170-174
Zhang Shuyan, Yao X iao dong, Zou Junzhong, et al. Selection of image threshold based on an open genetic algorithm [J]. Journal of East China University of Science and Technology: Natural Science Edition 2004 30(2): 170-174 (in Chinese)
- [3] 王春柏, 赵保军, 何佩琨. 基于免疫遗传算法的自适应图像分割方法 [J]. 红外与激光工程, 2004 33(2): 178-180
Wang Chun bai, Zhao Bao jun, He Pei kun. Adaptive segmentation method based on immune genetic algorithm [J]. Infrared and Laser Engineering 2004 33(2): 178-180 (in Chinese)
- [4] Zheng Y J. A survey on evaluation methods for image segmentation [J]. Pattern Recognition, 1996 29(8): 1 335-1 346
- [5] N k h i l R P, Sankar K P. A review on image segmentation techniques [J]. Pattem Recognition, 1993 26(9): 1 277-1 294
- [6] Goldberg D. Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning [M]. Addison-W esley, Peaison Reading MA, 1989.
- [7] 吴一全, 朱兆达. 图像处理中阈值选取方法 30 年 (1962~ 1992) 的进展 () [J]. 数据采集与处理, 1993, 8(3): 193-201.
Wu Y i quan, Zhu Zhao da. The progress of the methods for image threshold selection in the last thirty years (1962~ 1992) (I) [J]. Journal of Data Acquisition and Processing 1993, 8(3): 193-201 (in Chinese)
- [8] 吴玲艳, 沈庭芝, 方子文, 等. 基于直方图熵和遗传算法的图像分割法 [J]. 兵工学报, 1999, 20(3): 255-258
Wu Ling yan, Shen Ting zhi, Fang Zi wen, et al. An image segmentation method using the entropy of histogram and genetic algorithm [J]. Am Am entarij 1999 20(3): 255-258 (in Chinese)
- [9] 金聪, 彭嘉雄. 利用遗传算法实现数字图像分割 [J]. 小型微型计算机系统, 2002, 23(7): 875-877.
Jin Cong, Peng J iaxiong. Digital image segmentation based on genetic algorithm [J]. Mini micro System, 2002, 23(7): 875-877 (in Chinese)
- [10] Sahoo P K, Soltani S, Wong A K C. A survey of thresholding techniques, computer vision [J]. Graphics Image Processing 1988 41(2): 233-260

[责任编辑: 刘 健]