

· 研究简报 ·

(24)

湿蚕蛹干燥过程的实验研究

133-136

The Experimental Study of Drying Process
of Wet Silkworm Chrysalises

靳明聪 李友荣 唐经文 柯玲 杨利
Jin Mingcong Li Yourong Tan Jingwen Ke Ling Yang Li

(重庆大学热力工程系)

TS149

摘 要 对缫丝副产物湿蚕蛹的干燥过程进行了实验研究,采用垂直穿流热风强制对流干燥方式。根据实验结果分析了热风温度、流速、蚕蛹层厚度对干燥过程的影响,获得了指数形式的实验关系式。

关键词 湿蚕蛹; 热风干燥; 实验研究
中国图书资料分类法分类号 TK 124

缫丝副产物

ABSTRACT The drying process of wet silkworm chrysalises, which are the subproducts of the silk production industry, is experimentally studied. The mode of forced convection drying with hot air permeating vertically is adopted. The influence of temperature and velocity of the hot air as well as the thickness of the chrysalises layer in the drying process is analyzed on the basis of the experimental results. An experimental relation of exponential model for wet silkworm chrysalises drying process is obtained.

KEY WORDS wet silkworm chrysalises; the hot air drying; the experimental study

0 前 言

我国是世界的丝绸大国,生丝产量约占生丝世界总产量的60%,缫丝副产物蚕蛹有着极丰富的资源。当前我国各缫丝厂普遍采用推进式燃煤烘房干燥湿蛹,依靠灶胆及烟道壁辐射及空气自然对流对湿蚕蛹供热。供热不良,排湿不畅,干燥效率极低,耗煤量大,一般不能干燥当日所产湿蛹。湿蛹腐烂不仅严重污染环境,还使丝厂因此蒙受直接经济损失,这种现象在冬日及阴雨季节更为严重。湿蛹的干燥作业是缫丝厂最落后的工艺环节,要推动其技术进步,必须首先研究湿蛹的干燥特性。

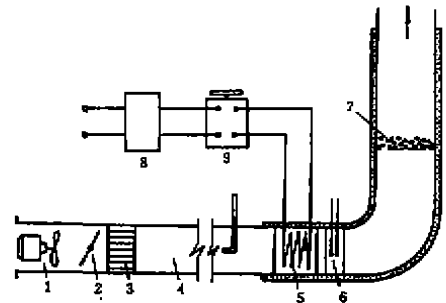
湿蛹的热风干燥过程是极其复杂的传热、传质过程,它不仅受外部干燥条件的影响,还与湿蛹的结构及物理、化学性质相关。笔者认为,获得其干燥特性最可靠的手段是实验研究。

· 收文日期 1992-8-31

1 实验装置及工况

湿蛹热风干燥实验装置如图1。送风机1供给流动的空气,调风门2控制风量大小,均流栅3促使空气均流,能在 $L/De > 3$ 的较短流程内达到稳态流动以便测速。采用 QDF-3型热球风速仪测量冷风流速。电加热器5加热空气,电源经稳压器引入电加热器,其功率由自耦变压器调节。干燥实验段7上开有一小门,试件料盘由门放入段中。实验段、热风管道表面用石棉及硅酸铝纤维保温隔热,热风温度用电偶测量,蚕蛹重量由 ASC-1型自动显示电子称量度。

由于蛋白质耐热温度为 $80 \sim 90^\circ\text{C}$,为使湿蛹蛋白质成份不受损失,热风温度 T 控制在 80°C 以下;风速 u 选择在 $0.9 \sim 1.8\text{m/s}$ 范围内,以使蛹层不出现局部漏风。本实验研究工况列于表1中。



1 风机 2 调风门 3 均流栅
4 测速段 5 加热器 6 测温、测湿段
7 实验段 8 稳压器 9 调压器

图1 实验装置简图

表1 实验工况

序号	δ/mm	$T/^\circ\text{C}$	$u/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	序号	δ/mm	$T/^\circ\text{C}$	$u/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
1	27	57	1.35	11	27	80	0.95
2	35			12	27	73	1.75
3	40			13			1.35
4	50			14			0.95
5	27	80	1.75	15	27	64	1.75
6	31			16			1.35
7	42			17			0.95
8	50			18			1.75
9	27	80	1.75	19	27	57	1.35
10			1.35	20			0.95

2 实验结果与分析

湿蚕蛹的干燥速度曲线反映在物料干燥过程中干燥速度 n 与含湿率 W 之关系。图2给出风速 u 为 1.7m/s 时不同温度下的湿蛹干燥速度曲线。由图2可以看出,湿蛹的恒速干燥阶段很短,干燥过程主要处于降速干燥阶段。这是由于蚕蛹表面为一蜡壳层,表面光滑且带油性,不易附着水份所致。

干燥曲线反映物料在干燥过程中含湿率随时间变化的规律。以下三组干燥曲线示出不同参数对蚕蛹干燥过程的影响:

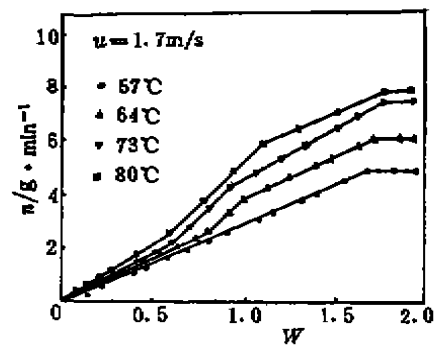


图2 蚕蛹典型干燥速度曲线

2.1 料层厚度的影响

由图3可以看出当料层厚度 δ 在从0至27~35 mm时,料层厚度变化对干燥过程影响甚微,只有 δ 超过27~35 mm时,随着 δ 的增加,干燥曲线将上移,干燥速度下降。

在干燥过程中,水分在物料表面汽化与物料内水分的扩散是同时进行的,对于包括蚕蛹在内的一类物料,其内部水分扩散速度大于表面汽化速度,干燥过程受表面汽化控制,即干燥的外部条件决定着物料的干燥速度。当干燥介质垂直穿流料层时,一方面因对料层放热,导致自身温度下降、湿度增大,这将引起干燥速度下降;另一方面受到料层的扰动,使蚕蛹表面的对流传热、传质系数加大,干燥速度将有所增加。在较薄的料层厚度中,两种因素对干燥过程的影响相当,表现出干燥速度与料层厚度无关。对于这种“干燥薄层”,干燥介质穿透时参数变化较小,可按集总参数处理。

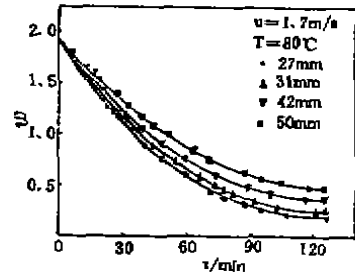


图3 料层厚度 δ 对蚕蛹干燥特性的影响

2.2 干燥介质温度的影响

图4示出干燥介质温度对湿蛹干燥特性影响的部分实验结果。由图4可见,随着风温提高,干燥曲线逐渐下移,干燥速度加快。风温对干燥过程的影响可以从以下方面说明:风温升高,干燥介质的相对湿度减小,吸湿能力增大,风温升高使干燥介质对蚕蛹的传热、传质过程增强;对于蚕蛹降速干燥过程,蛹体内部水份扩散传质系数是料层温度的增强函数,风温升高,料层温度亦高,内部扩散过程得到强化。

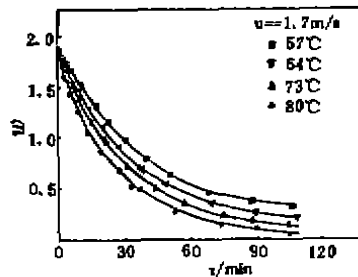


图4 风温对蚕蛹干燥特性的影响

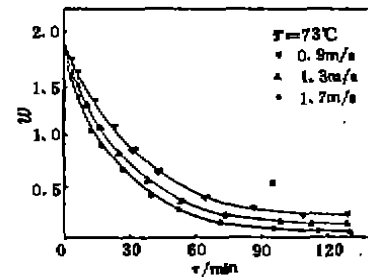


图5 风速对蚕蛹干燥特性的影响

2.3 风速的影响

图5示出风速 u 对湿蛹干燥特性影响的部分实验结果。由图可见,随着风速升高,干燥曲线下移,干燥速度增大。

从湿蛹的干燥实验研究可知,干燥介质的温度及流速是影响其干燥特性的重要因素,在实验范围内,风温愈高,风速越大,湿蛹的干燥速率越快。

3 数学模型及实验关系式

根据本文的研究范围,其数学模型的推导具有以下前提:

1) 湿蚕蛹处于纯热风对流干燥状态;

2) 湿蛹层厚度小(选定为27 mm),视为薄层干燥,料层归为集总参数问题,且忽略干燥介质穿过物料时的状态变化。

根据 Lewis 类比牛顿冷却定律:
$$-\frac{dW'}{d\tau} = K(W' - W_e) \quad (1)$$

式中 K 为模型常数,其值取决于干燥介质温度 T 和速度 u ,即: $K = f(T, u) \quad (2)$

把(2)式代入(1)式积分整理得:

$$(W' - W_e)/(W_1 - W_e) = \exp[-f(T, u)\tau] \quad (3)$$

取: $f(T, u) = cT^{m_1}u^{m_2} \quad (4)$

令: $F = W - W_e \quad (5)$

$F_1 = W_1 - W_e \quad (6)$

把(4)、(5)、(6)式代入(3)式得:

$$F/F_1 = \exp[-cT^{m_1}u^{m_2}\tau] \quad (7)$$

以上式中:

W_e —湿蛹的平衡含湿率; W_1 —湿蛹的初始含湿率; F —自由湿分,是本干燥过程中可以除去的湿分; F_1 —初始自由湿分,是本干燥过程中可以除去的最大湿分; τ —物料由 W_1 干燥至 W 所经历的时间; c, m_1, m_2 —模型常数,由实验确定。

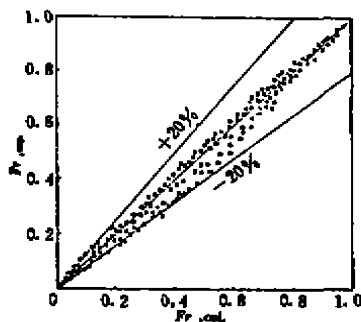


图6 F_2 的拟合值与实验值比较

根据(7)式对实验数据进行回归整理,获得湿

蛹薄层热风对流干燥规律的实验关系式为:

$$F_2 = F/F_1 = \exp(-7.64 \times 10^{-5} T^{1.3811} u^{0.5832} \tau) \quad (8)$$

图6给出了拟合值与实验值的比较结果。由图6可见,绝大部分实验点落在±20%的误差范围内,平均误差为11%,说明实验值与拟合值吻合较好,(8)式可以信赖。

由(8)式可以得到湿蚕蛹由 W_1 至 W_2 所需之干燥时间 τ_{1-2} 为:

$$\tau_{1-2} = 0.1309 \times 10^5 \ln \frac{F_1}{F_2} T^{-1.3811} u^{-0.5832} \text{ min} \quad (9)$$

4 结 论

- 1) 当湿蛹层厚小于27~35 mm时,料层厚度对湿蛹干燥过程无明显影响;
- 2) 对于湿蚕蛹薄层热风干燥过程,风温越高,风速愈大,干燥速度越大。风温以蛋白质所能承受的温度为限;风速以垂直穿流料层时不发生漏风现象为限;
- 3) 实验关系式(8)反应了湿蚕蛹热风穿流强制对流干燥规律,为湿蚕蛹工业化干燥作业中适宜干燥条件的选择及热风烘蛹机设计提供了可靠依据。

参 考 文 献

- 1 D. S. Jayas, S. Söhsanj, Thin-Layer Drying of Wheat at Low Temperature, Drying' 86, pp. 844~847, 1986.
- 2 L. Hui zhen, R. V. Morcy, Thin-Layer Drying of Yellow Dent corn, Transfer of the ASAE, 581~585
- 3 中国食品工业年鉴,轻工业出版社,1988.