

## 参考文献

1 罗宁铭编, 三元络合物及其在分析化学中的应用, 人民

教育出版社, 1981, 128.

2 中国光学学会光谱专业委员会, 分析样品的预处理, 1985, 409.

# 滚筒干燥技术在食品加工中的应用

中国其 杨 芳 侯建丽 山西农业大学农工系 030801

滚筒干燥装置由一个或多个内部加热的旋转滚筒组成。浆糊状物料均匀涂布在滚筒外表面, 通过滚筒的金属壁把内部的热量传递给物料, 物料内水分受热蒸发而得脱水产品。通常用蒸汽做为热源, 有时用电加热。涂布在滚筒表面的物料, 随滚筒转过一定角度, 当水分含量达到要求时, 被适当位置的刮刀将干燥后的物料刮下, 与滚筒分离。

滚筒干燥技术在造纸业中早已得到成功的应用。在食品加工中, 国外成功地应用到即食土豆片, 果酱, 南瓜粉等多种脱水加工中, 日本用改进的结构加工春卷皮。本文将介绍国外滚筒加工技术在食品加工中的应用, 简述滚筒干燥装置的类型, 讨论滚筒干燥技术的有关理论及影响传热传质的因素, 并列举各操作变量与产品质量及生产能力之间相关关系。

## 1 滚筒干燥装置的种类

常用的有以下 3 个类型:

- (1) 双滚筒干燥装置
- (2) 对滚双滚筒干燥装置
- (3) 单滚筒干燥装置

根据工作环境上述 3 种类型又分为开放式和真空式两大类。图 1 为开放式双滚筒干燥装置, 具有如下优点: (1) 适应性强; (2) 运转成本低; (3) 附着在滚筒表面的料膜厚度能自动控制; (4) 干燥结束后, 无物料残留。液态物料连续地输入两滚筒之间的 V 型空间, 慢慢地由通过两滚筒之间的缝隙, 膜的厚度由两滚筒的间隙控制。沿滚筒有效长度上, 应保证供料均匀, 特

别是滚筒两端, 防止物料膜厚度不均匀对干燥质量的影响。图 2 为对滚式双滚筒干燥装置, 特别适宜于含晶粒物料或可能生成晶体的物料脱水。与双滚筒式相比有如下特点: 1、两滚筒彼此在上部转离; 2、刮料刀片置于滚筒底部; 3、供料可以从上部、也可以从下部。从上部供料时, 要利用延展滚子控制料膜的厚度。从下方

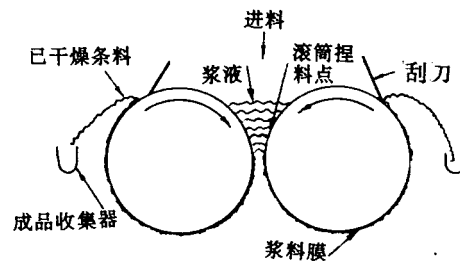


图 1 对滚双滚筒干燥机

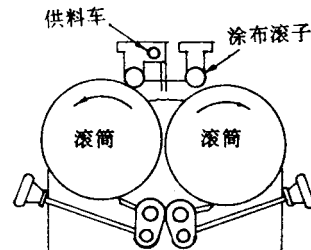


图 2 对开式带涂布滚子中间给料双滚筒干燥机

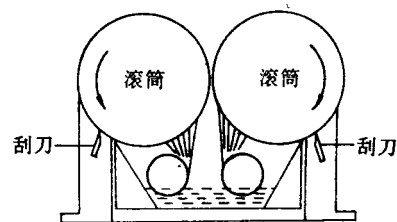


图 3 飞溅式给料对开双滚筒干燥机

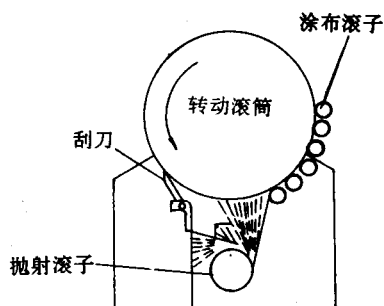


图4 飞溅成膜单滚筒干燥机

供料可采用飞溅式或浸渍式,图3为飞溅式;浸渍式是把滚筒底部浸入物料浆液中。图4为单滚筒干燥装置,料膜厚度靠延展滚子控制,根据物料特性可设计不同形式的延展滚子以使物料与滚筒表面更好地接触。图5是真空密封式双滚筒干燥装置。滚筒干燥装置置于一密闭真空桶中,干燥后的物料卸入集料器,一般有两个集料器,当其中一个集料器工作时,把另一个集料器解除真空,卸出物料。为保证内部的真空状态,调整给料系统,给料分布器及刮料刀片,必须通过真空密封箱,操作较困难。真空式滚筒干燥装置最大的优点是可以干燥热敏性物料,但投资和操作成本都较高。此外,适于糊状物料的一种滚筒干燥装置,滚筒表面加工出圆周形凹槽,槽间距6.5~16 mm,槽深8 mm,显著地加大了传热面积。物料以飞溅式向滚筒表面供料,干燥后由对准凹槽的指状刮刀刮出,这种干燥装置一般用于糊类物料的中间脱水。

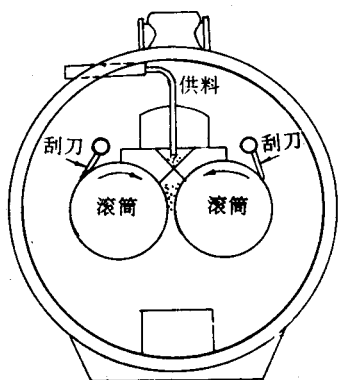


图5 真空对滚双滚筒干燥机

## 2 干燥部件和辅助装置

用于食品加工的滚筒筒壁一般选用不锈钢材质,也有镀铬铸铁的。规格从适用于实验室直径150 mm长200 mm到实际生产的直径1500 mm长3650 mm各种尺寸。

滚筒壁厚及圆柱的精度直接影响操作性能、生产能力和产品质量。现在大多数制造厂家都采用模拟现场加工条件加工滚筒,即在蒸汽加热条件下进行加工,以保证滚筒的精度与实际生产条件相适应,消除热变形的影响。

从滚筒表面分离物料是很重要的,分离不彻底,不仅使残留物料过热,质量损坏,还会减小滚筒传热效率,生产率下降。刮刀装置应保证刀片在滚筒整个长度方向上均匀一致,压紧力足、刀刃锋利,使物料清理完全。

端面板用于维持上部供料液一定高度。常选用酚醛树脂板,用弹簧紧压在滚筒两端面上。

对物料不停地搅拌,可防止可溶性固形物析出或物料变稠、流动性变差而影响成膜。还可利用螺旋输送器及破碎装置把已干燥物料切碎推运到收集器内。

采用虹吸管,通过接头伸到滚筒底部,迅速从滚筒内排走冷凝水,靠蒸汽压力迫使其从底部通过虹吸管排出。冷凝水占据一定面积实际上减少了滚筒表面的有效传热面积。

## 3 滚筒干燥的理论

滚筒干燥的传质过程是水分在热表面蒸发,穿过物料使物料内部形成一定水分浓度梯度,促使液态水分向热表面扩散。物料内温度是随着远离热表面而逐渐降低,水蒸汽向温度低的方向扩散,使热量穿过物料的速度加快,物料开放表面的温度也迅速高于周围温度,这时开放表面也开始蒸发,同时促使物料内形成一定的水分浓度梯度,液态水分向开放表面扩散。于是形成物料内水分在热表面和开放表面同时蒸发、同时扩散,而气化的小蒸汽向开放表面扩散,散发。试验表明,物料内液态水分浓度最高区在从开放表面到热表面距离的20%~

30%处。物料内 70%~80% 的水分在热表面上蒸发。其临界水分含量决定于物料特性和成膜厚度。

滚筒干燥过程中, 筒表温度, 物料在滚筒表面停留时间; 料膜厚度及物料物理特性(水分含量、粘度、热容量、热传导性和热扩散性等)等都影响产品的质量。一般用控制通入蒸汽的压力调节筒表温度, 通过调整滚筒转速控制物料停留时间, 用机械方法, 如两滚筒之间的间隙控制料膜厚度, 物料物理特性一般通过试验确定其影响规律。

用双滚筒干燥装置干燥红薯浆制取红薯即食片的试验中, 得出筒表温度, 物料停留时间, 料膜厚度与干燥速率, 最终产品水分含量之间的相关关系为

$$W \propto V \cdot h \cdot x_i / x_f$$

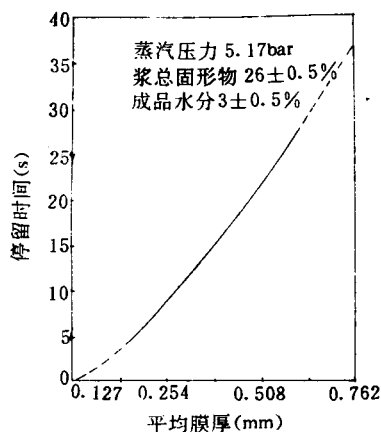


图 6 成品水分不变时停留时间与膜均厚度的关系

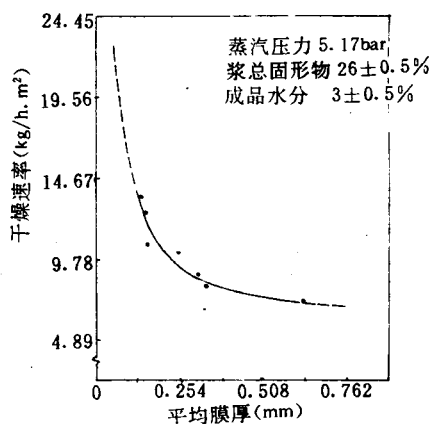


图 7 膜厚度与干燥速率的关系

干燥速率( $W$ )指每 h 每  $m^2$  滚筒表面可以干燥成品的 kg 数,  $W$  与滚筒表面的线速度( $V$ ), 浆膜厚度( $h$ )及物料最初固形物含量( $x_i$ )与成品固形物含量( $x_f$ )的比值成反比, 式中  $V$  与料膜厚度也是相互关联的。图 6 为保证产品水分含量一定, 料膜厚度的变化与物料停留时间之间的关系。当用对数坐标替换图 6 时可得一斜率为 1.3 的直线, 表明物料在滚筒表面停留时间是料膜厚度的指数为 1.3 的指数函数, 即:  $T \propto h^{1.3}$ 。对于确定尺寸的滚筒, 其切线速度  $v$  与物料在滚筒表面停留的时间成反比, 即,  $v \propto \frac{1}{T}$ , 当  $x_i/x_f$  一定时,  $W \propto 1/h^{0.3}$

上式表明干燥速率与料膜厚度的 0.3 次方成反比。图 7 的试验证实了上述结果。图 7 的对数坐标图, 得直线斜率 0.33。从上述关系可以推知, 利用滚筒干燥, 最大干燥速率是由物料的最小膜厚来限定。

表 1 给出料膜厚度蒸汽压力一定的条件下, 物料在滚筒表面上的停留时间对干燥速率( $W$ )与产品最终水分含量的影响。图 8 所示, 表明干燥速率与物料在滚筒表面停留时间的倒数成正比, 即  $W \propto \frac{1}{T}$ , 这与上述理论推导是一致的。∵  $W \propto Vh x_i/x_f$  中  $h, x_i$  常数,  $x_f$  变化很小, 可以忽略, 则  $W \propto V$ , 即  $W \propto 1/T$ 。

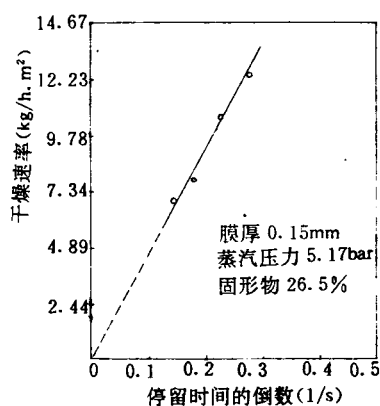


图 8 干燥速率与停留时间的倒数成正比

图 9 为物料在滚筒上的停留时间与成品水

分含量之间的关系。随停留时间延长,水分含量在达到4%以前蒸发迅速,在4%以下时,干燥速率很低。这与其它干燥方法的干燥过程是类似的。

表2给出当其它条件保持一定,蒸汽压力与干燥速率及成品水分含量的关系。试验显示,随蒸汽压力增加,产品最终水分含量减少时,干燥速率的变化非常小。这是因为较高的滚筒表面温度,加快了热量传送,可以缩短物料在滚筒表面的停留时间。而保持干燥速率变化较小。当然,较高的干燥速率可以在较高的蒸气压力下获得。实际上,蒸汽压力的选定受物料耐瞬时高温能力的限制,易灼伤发生异味的物料不能用很高的蒸汽压力。

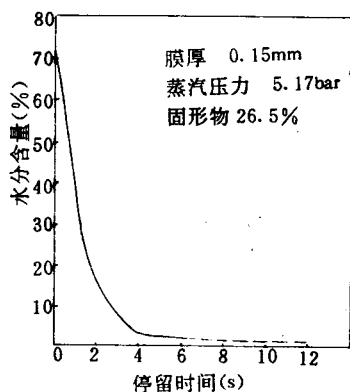


图9 停留时间和成品水分含量的关系

表1 停留时间对干燥速率和成品含水量的影响

停留时间 s	干燥速率 kg/h. m <sup>2</sup>	成品水分 %
3.6	12.36	4.1
4.4	10.60	2.9
5.6	7.82	2.2
6.9	6.94	2.0

膜厚=0.15mm;蒸汽压力=5.17bar 初始固形物含量=26.5%

表4给出了物料初始总固形物对干燥速率和成品水分含量的影响。当物料初始总固形物含量减少,干燥速率减小,成品水分含量增加,但不显著。这是因为两种相反作用的结果。当初始总固形物减少,应排除的水分增多,要求延长干燥时间;但随着物料内总固形物减少,料

表2 蒸汽压力对干燥速率和成品含水量的影响

蒸汽压力 (bar)	干燥速率 kg/h. m <sup>2</sup>	成品水分 %
4.14	9.73	2.7
4.83	10.02	2.5
5.52	9.73	2.2
6.19	8.26	1.9
6.90	9.73	1.2

膜厚度 0.23 mm 停留时间 6.3 s 初始固形物 22.9%  
1 bar=10<sup>5</sup>Pa

膜对传热,传质的阻力减小,这一效应减少了排除一定量水分所需的时间。

表4中资料表明,物料初始总固形物高,干燥速率也高。实际操作中,物料总固形物含量不能太高,否则成膜不均匀,成品质量下降。红薯浆干燥时,适宜的固形物含量为26%~28%。适合不同物料干燥的最高初始固形物含量可通过试验决定。

在相同操作条件下,不同物料的干燥速率相差很大。例如料膜厚度和蒸汽压力一定,红薯浆的干燥速率为8.55 kg/h. m<sup>2</sup>,桃浆的干燥速率为4.94 kg/h. m<sup>2</sup>。干燥速率与物料物理性能:热传导性,热扩散性有关,食品物料的热传导系数可在13.85~623.15W/m.k的范围内变化。

表3 蒸汽压力和停留时间同时改变对干燥速率的作用

停留时间 (s)	蒸汽压力 (bar)	干燥速率 (kg/h. m <sup>2</sup> )	成品水分 (%)
5.8	4.13	10.02	3.2
4.5	4.83	11.78	3.8
3.6	5.50	13.83	3.4
3.6	6.21	13.24	2.8
2.9	6.90	15.93	3.6

膜厚度=0.15mm, 初始固形物含量=26.4% 1bar=10<sup>5</sup>Pa

料膜厚度及其均匀性与物料的动力学特性有关。物料附着到滚筒表面有两个过程,第一阶段,滚筒表面的高温使一部分物料灼热附着形成第一层,灼热层物料转过物料时,对物料剪切,及物料高度的静压挤压,促使物料附着

到滚筒表面形成第二层物料膜, 通常第二层比第一层厚的多。

表 4 浆料总固形物对干燥速率及成品水分含量的作用

初始固形物 (%)	干燥速率 (kg/h. m <sup>2</sup> )	成品水分 (%)
18.3	8.55	3.9
21.9	10.31	3.5
25.2	12.36	3.1
26.9	13.24	2.8

膜厚度=0.15mm, 停留时间=3.6s, 蒸汽压力=5.17 (bar), 1bar=10<sup>5</sup>pa

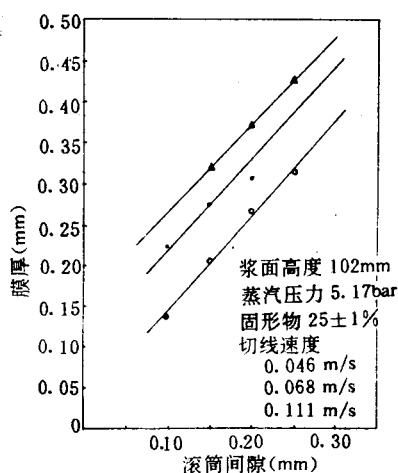


图 10 滚筒间隙对附着浆膜厚度的作用

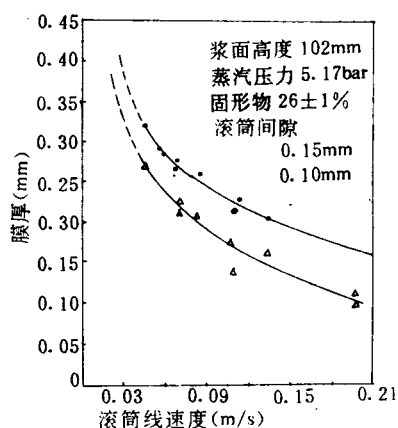


图 11 滚筒切线速度对附着浆膜厚度的作用

图 10 表明附着到滚筒表面上的膜厚度正

比于滚筒间隙。

图 11 给出滚筒表面线速度对红薯浆膜厚度的影响, 随速度增加料膜厚度变小。

表 5 给出供料器中物料高度对物料成膜厚度的影响 (物料高度是从两滚筒的切点向上到物料顶部的距离) 物料膜厚度随物料高度增加而增厚。

表 6 表明物料成膜厚度随浆液内总固形物含量的变化情况。总固形物含量变化, 粘度也会变化, 浆料变稀, 粘度会下降。根据上述分析, 滚筒对浆料的作用力基本保持不变, 而物料通过两滚筒间隙的速度随粘度减小而增加, 因滚筒速度不变, 物料成膜厚度会增加。

表 5 浆料高度对膜厚度的作用 (mm)

浆料高度	成膜厚度
50.8	0.24
101.6	0.34
152.4	0.44

滚筒间隙=0.25mm 切线速度=0.06m/s

蒸汽压力=5.17bar 总固形物=24%

浆料高度是从两滚筒的共切点向上测得

表 6 浆料总固形物含量对膜厚度的作用

总固形物 (%)	浆料粘度 (Brabender 单位)	膜厚度 (mm)
18.6	662	0.42
20.7	823	0.41
22.7	1210	0.40
24.8	1346	0.37
26.6	1770	0.31

滚筒间隙=0.25mm, 切线速度=0.062m/s, 蒸汽压力=5.17bar, 浆料高度=127mm

浆料粘度影响成膜均匀性及产品质量还由于热表面水蒸汽蒸发形成的气泡, 随粘度增加而排除困难, 成品中出现大的空穴, 以及干燥的不均匀。

综上所述, 影响物料成膜厚度的因素包括滚筒间隙, 转速, 物料高度, 料液粘度等。为获得较高的干燥速率生产上通常通过调整其它各量来保证在最小滚筒间隙下工作。

#### 4 滚筒干燥在食品工业中的应用。

在国外, 滚筒干燥技术已成功地用于大量

新型食品的工业化生产中,并不断开发出新的方便食品,例如最近推出的纸状食品。

牛奶加工:在奶粉初具商业价值时,滚筒干燥以其投资低,曾起了不可替代的作用。而喷雾干燥更适宜于牛奶这种热敏性物料的脱水加工,故得以推广。

谷物加工:以谷物原料为主的早餐麦片,婴儿食品的加工最适宜采用滚筒干燥加工,通常选用的规格是直径 1050 mm,长 3050 mm 开放式双滚筒干燥装置。

白土豆片:分别在双滚筒和单滚筒干燥装置上用土豆泥加工即食土豆片。试验表明,单滚筒干燥更适合土豆泥的加工,这时涂布滚子与滚筒表面之间的间隙约 6.35 mm,防止细胞的破裂,影响成品质量,生产能力可达 13.68 kg/h·m<sup>2</sup>。

即食红薯片:用双滚筒干燥装置加工红薯片,规格为直径 1065 mm 长 3050 mm,生产能力为 200~230 kg/h,试验发现,红薯片干燥中,供料量变化大,主要原因与物料品种,生长条件,采收时间,以及加工前的预处理有关,为保证成品的一致性,原料的预处理是至关重要的。

苹果酱:适当改进的双滚筒干燥装置适用苹果酱等高糖分浆料的脱水加工。高糖物料在滚筒上的分离通过刮离前向物料膜吹冷空气使

分离容易。另外高糖物料脱水后容易吸水潮解,产品应及时排入干燥环境中。生产中脱水果酱装置生产能力达 135 kg/h。

此外,西红柿、桃、梨、杏、酸果、鱼酱、淀粉、小麦面筋、汤料、南瓜、无花果等的脱水加工都普遍应用了滚筒干燥装置。

滚筒干燥装置还用于泡沫物料的挤压,增加其容积密度,改变产品性能,以及高糖物料的成形及新型纸状食品的开发。

总之滚筒干燥干燥速率高,操作成本低,连续作业。物料在滚筒表面停留时间为 2~30s,适宜于浆糊类物料的连续加工。有资料介绍,干燥 1 kg 物料,各类干燥装置的操作成本分别是:强制对流空气——0.7,滚筒式——0.8,喷雾干燥——1.0,真空干燥——2.0,冷冻干燥——4.0,显然,滚筒干燥是比较经济的一种连续干燥技术。

#### 参考文献

- 1 Van Arsdell, W. B. Food Dehydration Voll—Principle. The Avi Publishing Co Inc, Westport, Lonn, 1963.
- 2 Cowan Wavell F. The Mechanism of hot—surface drying. Tappi 1964, 47, (12): 808.
- 3 Spadaro, J. J., Instant Sweetpotato flakes—processing modification necessitated by varietal differences Food Technol in press 1966.

## 豆制品加工自动生产线

王世龙 吉林工学院 130012

**摘 要** 以传统的豆制品加工工艺为基础,研制出一条自动化生产线。对其工艺流程及主要生产工艺作了详细介绍。

**关键词** 浆渣分离

### 1 问题的提出

我国豆制品加工业发展很快,生产设备与加工工艺不断更新。但总体工艺水平还比较落

后。通过对一些规模较大的豆制品厂的考察,发现在豆腐加工中基本上还停留在手工操作水平上,即靠手工分离浆渣、手工点脑、压制、人工搬运等。因此,改革传统工艺,提高效率,提