

静电干燥原理及应用*

梁运章 那日 白亚乡 李玉峰

(内蒙古大学农业物理工程技术研究中心 呼和浩特 010021)

摘要 简述了国内外物料干燥的技术水平,提出了一个全新原理的新型干燥技术——静电干燥,介绍其技术原理、技术特点,并对应用开发作了展望。

关键词 静电场,干燥,应用

THE PRINCIPLE AND APPLICATIONS OF THE ELECTROSTATIC DRYING

LIANG Yun Zhang NA Ri BAI Ya Xiang LI Yu Feng

(Research Center of Agriculture Physics Engineering Technology, Inner Mongolia University, Huhhot 010021)

Abstract A brief review of the current development of static electric drying both at home and abroad is given. The technical theory and characteristics of a new drying technique are presented, as well as the prospects for its applications.

Key words electrostatics, drying, application

1 概述

物料干燥是国民经济工农业各部门广泛采用的生产工序,通常采用自然干燥、蒸汽、热风、太阳能热源或电流的热效应(如工频、高频、红外、微波)等方法,它们分别存在能耗高、干燥不均匀、物料升温等缺点,还有一种干燥方法就是冷冻真空干燥,它设备造价高,运行费用高,不宜大规模普及使用^[1]。人们在生产中不断要求提高产品质量、生产过程节能及减少环境污染,从而促进了干燥科学与技术的发展。目前,国际干燥新技术的发展趋势具有如下特点^[2]:

- (1) 组合式传热方式(对流、传导与介电或辐射的组合);
- (2) 常规干燥技术的组合(气流-流化床干燥、喷雾-流化床干燥、喷雾-带式干燥等);
- (3) 气固新型接触技术(气流-流化床干燥、喷雾-流化床干燥、喷雾-带式干燥等);
- (4) 新的或有效的生热方法及应用(如脉冲燃烧);
- (5) 机械式及热力脱水的结合(如过滤器-干燥器);

(6) 运用非常规的方法(如超临界干燥)。

本文介绍的则是一种全新干燥原理支撑的新型干燥技术,它是利用高电压电晕电场对多孔性物料进行脱水而实现干燥目的的。它具有能耗低、不污染空气、干燥均匀、物料不升温、还可杀灭细菌的优点,它特别适合于蔬菜、食品加工、土特产品加工、中药材加工、农作物种子干燥等部门,目前在国内尚未见到报道。

2 静电干燥原理

多孔性物料的含水结构由以下几部分组成:充满在物料中的狭窄而微细的孔隙的毛细管水(亦称游离水);被胶体粒子所吸收而渗透入内的膨胀水;被分子力场束缚在胶体表面上的吸附水;作为分子组成成分而与物料相结合的化学结合水。其中,毛细管水是最易排出的,其次是膨胀水和吸附水,化学结合水则必需用高温排除。

通常干燥脱水是两个过程的结合:一是水分子从物料内部向表面迁移;二是水分子从物料表面蒸

* 国家自然科学基金资助项目

1998-10-14 收到初稿,1999-03-22 修回

发.

2.1 水分子在电场作用下从内部向表面的迁移

在毛细管水结构模型中,存在固液两相的界面,其界面处将形成偶电层.界面偶电层电荷形成平板电容器,将其电位称为 ξ 电位 (Helmholtz 模型^[3,4]):

$$\xi = \frac{d\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r}, \quad (1)$$

式中 σ 为面电荷密度, d 为偶电层间隔.

在这样的体系中加上电场时,由于界面两侧的电荷极性相反,作用于它们的静电力方向相反,因此产生挟持着界面的相对运动,即产生动电现象.

液体中电荷将受到电场力的作用而运动,由于粘性力的影响,这些电荷与中性分子一同被搬运,故产生流体运动.

毛细管中水受电场作用的原理如图 1 所示.

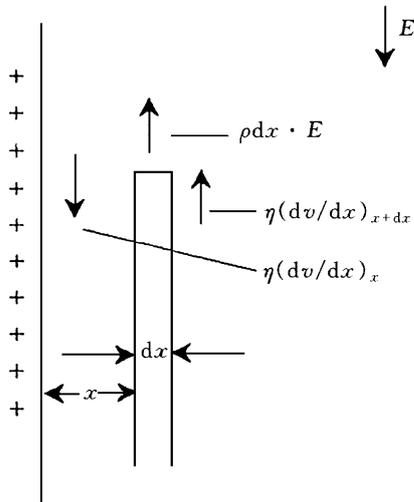


图 1 毛细管中水受电场作用的原理

在图 1 中,设外加与界面平行的电场为 E ,瞬间形成稳定状态,在该状态下,考虑离界面 x 的厚度 dx 的层面,它以均匀速度与界面平行运动,作用于该层上的力有:

$$f_{\text{电场}} = E\rho dx, \quad (2)$$

式中 ρ 为电荷密度;

$$f_{\text{粘}} = \eta \left(\frac{dv}{dx} \right)_{x+dx} - \eta \left(\frac{dv}{dx} \right)_x = \eta \frac{d^2 v}{dx^2} dx, \quad (3)$$

式中 v 为 dx 层的移动速度.

当 $f_{\text{电场}} = f_{\text{粘}}$ 时,则

$$\rho = \frac{\eta d^2 v}{E dx^2}. \quad (4)$$

将此式代入一维泊松方程

$$\frac{d^2 \phi}{dx^2} = - \frac{\rho}{\epsilon_s} \quad (5)$$

中,得

$$- \epsilon_s E \frac{d^2 \phi}{dx^2} = - \eta \frac{d^2 v}{dx^2}. \quad (6)$$

将其对存在的液体的整个区域进行两次积分,得

$$v = \epsilon_s E \xi / \eta. \quad (7)$$

由此式可见,在电场作用下毛细管中的水分运动的速度与外电场强度成正比.

膨胀水和吸附水则主要靠浓度梯度到达毛细管,这部分水量较少.

2.2 表面水分的蒸发

通常表面水分的蒸发主要受空气温度、湿度、压力等因素制约,而不由物料内部条件决定.但在电场干燥时,运动到物料表面的水分还要受到电场力的作用而加速蒸发.

水分子是很强的极性分子,彼此间存在着电偶极矩的相互作用,在电晕电场中的偶极矩将受到电场力的作用,将偶极子拉入电场强度最大的区域中去.

$$dF = \epsilon(\epsilon - 1) \cdot \text{grad} \left(\frac{E^2}{2} \right) dv, \quad (8)$$

式中 dv 为自由水体积元, dF 为体积元所受的电场力, E 为体积元处的电场强度模, ϵ_s 为水的相对介电系数.

3 静电干燥技术特点

静电干燥技术具有以下特点:

(1) 静电干燥是一种物料不升温干燥技术,这无疑对那些需要干燥的热敏性物料具有重要的实用价值;

(2) 在干燥过程中伴随产生一定量的臭氧,而臭氧具有很强的消毒灭菌作用,因此在干燥过程中还可以同时对物料进行灭菌;

(3) 静电干燥是在电场力的作用下实现的,电场力是在高电压小电流的条件下产生的,因此能耗低是显著特点;

(4) 实现静电干燥技术的设备造价低,因为现代材料工业和电工技术的发展使静电电源的制造成本大大下降.

由于静电干燥具有以上特点,使它在干燥技术领域具有不可替代的地位.干燥技术领域中使用各种干燥方法的技术特点见表 1.

从表 1 比较结果可看出,用造价、能耗等较低的

设备,可得到品质较高的干燥效果。

表1 各种干燥方法技术特点比较

干燥方法特点	传统加热干燥	真空冷冻干燥	静电干燥
工作原理	分子热运动	升华干燥	电场力作用
对热敏性物料品质的影响	色香味不变 不灭菌	色香味不变 可灭菌	色香味不变 可灭菌
设备造价	一般	高昂	较低
能耗	一般	高	较低
运行费用	一般	高	较低

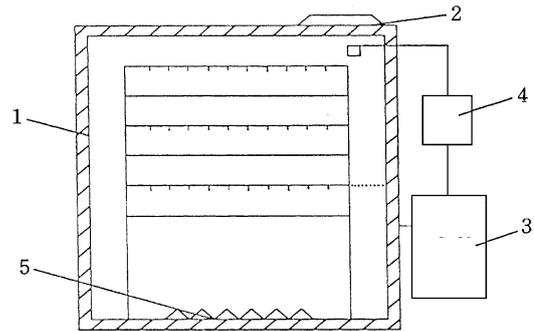


图2 静电干燥装置

1. 金属保温箱; 2. 通风装置; 3. 高压装置;
4. 控制系统; 5. 加热装置

4 应用举例

为了实现该技术的应用,我们研制了一个小型工业试验装置(见图2),选择了部分物料进行干燥工艺试验。

4.1 胡萝卜片干燥

将选好的胡萝卜清洗去皮后,整体热烫15 min,立即用冷水冷却,切成3—4 mm厚的薄片,均匀铺入网盘置于静电干燥箱中,试验结果如表2。

表2 胡萝卜片的静电干燥与热力干燥对比

干燥方式	湿料重量 / kg	含水量 / %	铺放面积 / m ²	干燥温度 / °C	初级电压 / V	干燥重量 / kg	含水量 / %	干燥时间 / h	干燥速度 / kg H ₂ O / m ² h
静电	0.719	86.8	0.15	40	160	0.097	8.2	4	0.94
热力	5	85	1	75	0	1.68	12	7	0.52

表3 马铃薯片的静电干燥与热力干燥对比

干燥方式	湿料重量 / kg	含水量 / %	铺放面积 / m ²	干燥温度 / °C	初级电压 / V	干燥重量 / kg	含水量 / %	干燥时间 / h	干燥速度 / kg H ₂ O / m ² h
静电	4.425	78	1.9	40	140	1.125	11	4	0.39
热力	316.5	70.7	160	79	0	78.5	10.5	7.4	0.16

从表2中可见,40 °C温度环境下静电干燥比75 °C温度环境下热力干燥速度提高约80%。

4.2 马铃薯片干燥

将质量好的马铃薯切成3—4 mm厚的圆片,用沸水热烫5 min,用凉水冲洗后,凉干表面水,然后放入网盘,置于静电干燥箱中,试验结果如表3所示。

从表3中可见,40 °C温度环境下的静电干燥比79 °C的热力干燥速度提高约144%。

试验结果还表明:静电干燥的干燥质量明显好于加热干燥,运行费用也低,已引起部分用户极大兴趣,我们相信,它必将在干燥技术领域占有相当重要地位。

参 考 文 献

[1] 潘永康等.现代干燥技术.北京:化学工业出版社,1998.14—20

PAN Yong-Kang *et al.* Modern Drying Technology. Beijing: Chemical Industry Press, 1998. 14—20 (in Chinese)

[2] Mujumdar A S. 中国第五届干燥技术交流会论文集. 1995. 23—32

Mujumdar A S. In: The Proceedings of the 5th China Symposium of Drying Technology. 1995, 23—32 (in Chinese)

[3] 方俊鑫等.电介质物理学.北京:科学出版社,1989.128—130

FANG Jun-Xin *et al.* Physics of Electrostatics. Beijing: Science Press, 1989. 128—130 (in Chinese)

[4] 鲍重光.静电技术原理.北京:北京理工大学出版社,1993.287—289

BAO Chong-Guang. The Principle of Dielectric Technology. Beijing: Beijing University of Technology Press, 1993. 287—289 (in Chinese)