

高压电场浓缩液体物料技术的研究及进展*

丁昌江 杨军 梁运章[†]

(内蒙古大学离子束与静电生物工程实验室 呼和浩特 010021)

摘要 高压电场干燥技术是一种全新的干燥技术.文章对高压电场浓缩液体的机理进行了探讨,认为是内部离子注入、非均匀电场和外部离子风吹动三合一的结果.通过以自来水、葡萄糖酸钠溶液等液体物料为样品,首次
在高压电场下进行浓缩实验,表明高压电场能够加速水分子的脱出.文章对当前的研究状况进行了介绍.

关键词 高压电场 液体 机理

Concentration of liquids under a high voltage field

DING Chang-Jiang YANG Jun LIANG Yun-Zhang[†]

(Laboratory of Ion Beam and Static Electricity Bioengineering of Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China)

Abstract Drying under a high voltage field is a new technique. It is believed that the mechanism of concentrating liquid materials in this way is based on a combination of the internal injection of ions, the effect of an uneven electric field and the function of an external ion wind. Through experiments on tap water and sodium gluconate solution we have observed for the first time that a high electric field can accelerate the evaporation of water molecules. A review is also presented of other current research in this area.

Key words high electric field, liquid, mechanism

1 引言

静电技术具有广泛的应用,如静电除尘、静电摄影、静电分选、静电保鲜、静电解冻、静电生物效应等^[1,2].干燥是耗能最多的工业操作之一,在发达国家,热力脱水加工约占全国工业的9%—25%.在传统的干燥技术中,热敏性液体物料的干燥一直是困扰干燥行业的难题,干燥温度过高和干燥时间过长将会造成营养成分的严重损失,造成干燥物料的品质下降.对热敏性物料通常用热风干燥或真空冷冻干燥,它们分别因为干燥使物料的品质降低或成本昂贵而使应用受到限制.多年来,科学家致力于脱水技术的研究,新的技术不断涌现.利用高压电场对含水物料进行干燥则是又一新的应用领域,是一种全新的技术.它是一个将高压电场直接加到含水物料

上把物料中的水分脱出的物理过程.目前高压电场干燥技术正逐渐得到发展和应用,因为它在节能、品质、环保等方面有着较大的优点^[3].

2 基本原理

在传统加热干燥中,提高物料温度使水分子的不规则运动加剧,即水分子动能加大,从而克服表面层的分子间引力,加快水分子的蒸发速率.

液体的浓缩主要受以下因素影响:首先,液体表面是有一定厚度的薄层,表面层的厚度等于分子引力的有效作用距离,表面层内分子引力大于斥力,使表面层内出现张力,即表面张力,使表面层水分子不

* 国家自然科学基金(批准号 59377327)资助项目

2003-07-01 收到初稿 2003-11-26 修回

[†] 通讯联系人. 电话 0471-4994128

容易逸出;其次,在液体内部,水分子之间相互作用,形成不均一的水分子团 $(\text{H}_2\text{O})_n$,水分子团的这种构造是一种动态结合,其稳定存在时间只有 10^{-12}s 左右,即不断有水分子加入某个水分子团,又有水分子离开水分子团,即 $(\text{H}_2\text{O})_n \leftrightarrow m\text{H}_2\text{O} + (\text{H}_2\text{O})_{n-m}$,而水分子团的大小只是个平均数.在室温下,一般水的分子团大小约为30—40个水分子.另外水分子与液体内部溶质通过分子间氢键、亲疏水基相互作用、离子间相互作用联系在一起,也形成大小不同的团簇,使液体内部水分子也不易于输送到液体表面.

高压电场干燥技术利用离子束与物料中水分子内部的相互作用和外部的吹动作用,电场力使液体内部水分子作定向移动.水分子的无规则运动在电场力作用下变成顺着电场强度增大的方向做定向移动,物料温度不升高,可以有效地保留液体物料中的有效成分不受损失.

高压电场是一种综合效应场,它具有离子束的作用,同时又存在电磁场辐射和恒定电场的作用.高压电场干燥是各种作用集合于一身的综合作用.电磁场辐射的作用比较小,这里可以忽略.

2.1 离子束的内部注入作用

高压电场中的离子束是低能离子,与物料相互作用发生能量沉积效应和电荷交换效应.高压电场浓缩液体类物料的过程主要是实现离子束在水分子上能量沉积、电荷交换.一方面,载能离子进入液体类物料后,与溶质分子和水分子相互作用,逐渐把动能传给溶质分子和水分子,直至离子的动能完全散失并在物料中停止下来(即入射离子能量的传递和沉积过程),从而使水分子的能量加大,促进水分子中氢键的断开,破坏液体类物料的表面张力;同时使分子团变成单个的水分子,减小单个水集团的体积,使水分子和液体中亲水物质分离,为水分子脱出时减小阻力.另一方面,离子和水分子发生电荷交换,使水分子的携带离子的能力增加,即使水分子携带的电荷数增加,在电场作用下,水分子所受的电场力增加,这两方面的作用使种子内水分子团的动态平衡方程向右发展,且在电场力的作用下,液体内部的自由水向表面移动.离子在液体中有一定的射程,在射程内的水分子接受能量,逐步脱离液体,从而使水分下降,然后射程以外的水分子通过渗透作用补充进来,即产生一个水分梯度.入射离子的能量越高,射程越远,入射离子接触的水分子也就越多.溶质分子数量较少,可以认为离子的能量基本上都被水分子吸收了.这样,就有更多的水分子获得能量,使之

脱离物料,从而加速了水分的浓缩.

2.2 非均匀电场的脱水作用

将物料置于高压电场中,电场产生两种效果不同的作用力 f_1 和 f_2 ^[4], f_1 为非均匀电场对物料表面层的作用力,

$$f_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_m} \cdot E_g^2 (\varepsilon_m - \varepsilon_g), \quad (1)$$

f_2 为非均匀电场对物料内部水分子的牵引作用力,

$$f_2 = \varepsilon_g (\varepsilon_m - 1) \text{grad} \left(\frac{E_m^2}{2} \right), \quad (2)$$

式中 ε_m 为物料的介电常数, ε_g 为空气的介电常数, E_m 与 E_g 分别为物料中和空气中的电场强度.

同时作用于液体内部和表面层的水分子,破坏了液体表面层的表面张力以及液体内部水分子团和分子间氢键,使表面层的水分子在外力 f_1 和 f_2 作用下克服分子间引力从表面层脱离,由于离子风的作用,表面逸出的水分子被吹送到环境中,从而使内部水分子不断运输到表面层,从而加快了水分子的运输过程.在表面水分的逸出过程中,水分子不需要汽化,直接被电场力拉出,这样会减少大量的汽化潜热所需能量,因此高压电场干燥节约干燥能耗,也不会升高物料的温度.

2.3 离子束的外部吹动作用

在本实验中,高电压使针极板的针尖端放电,将与针尖端带电性相反的离子“吹”向每个针尖下方的液面,从而产生波动现象,风速可以达到 2.5m/s .随着高压电压的升高,尖端放电加强,空气中的离子数增加,风量加大,使液面波动加剧.这样就加速了液体表面水分子的运动,不断产生的离子风使液体表面空气的湿度降低,加大了液体表面空气湿度梯度,使水分子更加有利于从液体表面脱离出来.在此过程中,由于没有热量的直接传递,物料的温度没有明显的变化,可以保持物料的有效成分不受损失.

3 研究进展

日本的浅川在1976年发现了“浅川效应”,即在高压电场下,水的蒸发变得十分活跃,施加电压后,水的蒸发速度加快,并认为电场消耗的能量很小^[5].内蒙古大学农业物理工程技术研究中心在梁运章教授的领导下,经过十多年的潜心研究而发明的一项高新实用技术——高压电场干燥技术,已获得专利(专利号为ZL 99 2 11064.5)经过有关专家的技术鉴定及文献检索查新报告,表明该技术已达

到“国内首创,世界领先”水平,已经实现了产业化^[6]. 该技术通过对各种物料,包括葡萄糖酸钠溶液^[7]、西洋参、金霉素^[8]、胡萝卜片^[3]等多种物料的高压电场干燥研究,发现高压电场干燥具有能耗低、不污染环境、干燥均匀、物料不升温、还可杀灭细菌等优点,且能很好地保存物料的有效成分. 当前国内外在此方面的研究还处在开始阶段. Bajgai 和 Hashinaga 在 2001 年通过高压电场对菠菜叶干燥的试验研究,结果表明,高压电场干燥使物料不升温,速度快,能很好地保存叶绿素 a 和 b 的优点^[9]. 且用高压电场对日本萝卜片进行干燥,结果表明,高压电场干燥的速度比热风干燥的快,高压电场干燥后的萝卜片与热风干燥的相比,收缩较小,复水率较高,有效成分损失少,颜色较好^[10]. 李里特和翁明在这方面也有做了一些试验研究,在高压电场中对凝胶^[11]和菜叶^[12]进行了干燥的初步试验研究,取得了比较满意的结果.

4 浓缩液体物料的应用

利用内蒙古大学研制的高压电场干燥设备对液体物料进行浓缩实验,取得了比较满意的结果.

在环境温度为 20℃,场强(交流电)为 2.08kV/cm 和 2.92kV/cm 的条件下,自来水的干燥速度比自然蒸发速度分别加快了 142.4% 和 312.7%,并且经过多次平行重复实验,表明浓缩速度不随水的电阻率的变化而变化. 葡萄糖酸钠溶液(浙江黄岩精细化学品集团提供)分别加快了 117.7% 和 266.1%. 猪胆汁(畜禽屠宰场购买的新鲜猪胆汁,初始含水量为 89.1%)在高压电场(物料温度 40℃)和热风(物料温度 80℃)条件下的干燥时间为 315min 和 360min,干燥后的猪胆汁中胆酸含量分别为 13.06% 和 11.67%,胆红素的含量分别为 0.05% 和 0.038%. 生物活性酶浆(内蒙古轻工业研究所提供,初始含水量为 95.56%)在高压电场中浓缩 7 小时,含水量达到 50% 时,再放入真空冷冻干燥,与直接用真空冷冻干燥机中干燥在时间上缩短 7 小时. 高压电场与真空冷冻干燥组合后生物活性酶的活菌数和酶比活力分别为 217 亿个/克干粉和 7955/克干粉,直接用真空冷冻干燥的分别为 207 亿个/克干粉和 7424/克干粉. 郭军等人进行免疫初乳乳清的干燥,结果表明,高压电场干燥对 IgG 的含量和免疫

活性无显著影响^[13].

5 展望

高压电场干燥具有速度快、不损失有效成分、不污染环境的优点. 从机理上说,高压电场干燥完全不同于传统干燥原理,是一种全新的干燥技术. 这些必将会使高压电场干燥在干燥领域,特别是在热敏性物料的干燥中,发挥重要作用. 另外,它也存在着一一些问题需要解决,例如,机理研究还处在初步阶段,干燥机的推广方面欠缺,干燥工艺方面还不完善等等.

参 考 文 献

- [1] 梁运章,于永芳. 静电研究与进展. 呼和浩特:内蒙古大学出版社,1992 [Liang Y Z, Yu Y F. Study and Progress of static electricity. Hohhot: Inner Mongolia University Press, 1992(in Chinese)]
- [2] 方胜,李英杰,陆守道. 食品科学,1999(3):26 [Fang S, Li Y J, Lu S D. Science of Food, 1999(3):26(in Chinese)]
- [3] 梁运章,那日,白亚乡等. 物理,2000,29:39 [Liang Y Z, Na R, Bai Y X et al. WuLi(Physics) 2000, 29:39(in Chinese)]
- [4] 解广润. 高压静电场. 上海:上海科学技术出版社,1964,377—384 [Xie G R. High Electrostatics. Shanghai: Technology Press of Shanghai, 1964, 377—384(in Chinese)]
- [5] Asakawa Y. Nature, 1976, 261(5):20
- [6] 梁运章,丁昌江. 科学技术与工程,2003,3(2):196 [Lang Y Z, Ding C J. Science Technology and Engineering, 2003, 3(2):196(in Chinese)]
- [7] 曹瑞雪,那日,梁运章等. 化工进展(增刊),2000,19(11):53 [Cao R X, Na R, Liang Y Z et al. Chemical Industry and Engineering Progress(Supplement), 2000, 19(11):53(in Chinese)]
- [8] 梁运章. 化工进展(增刊),1999,18(10):33 [Liang Y Z. Chemical Industry and Engineering Progress(Supplement), 1999, 18(10):33(in Chinese)]
- [9] Bajgai T R, Hashinaga F. Drying Technology, 2001, 19:2331
- [10] Bajgai T R, Hashinaga F. Drying Technology, 2001, 19:2291
- [11] 李里特,刘志会,李发德. 食品与机械,2000(2):14 [Li L T, Liu Z H, Li F D. Food and Machinery, 2000(2):14(in Chinese)]
- [12] 翁明,耿艳霞. 西安交通大学学报,2001,35(3):316 [Weng M, Geng Y X. Journal of Xi'an Traffic University, 2001, 35(3):316(in Chinese)]
- [13] 郭军,田立杰,董贵成等. 中国乳品工业,2001,29(6):4 [Guo J, Tian L J, Dong G C et al. China Dairy Industry, 2001, 29(6):4(in Chinese)]