

# 微波真空干燥技术的运用与前景

上海曦龙微波工程设备有限公司(200060) 汤大卫 张天使

**摘要** 简述了微波真空干燥的原理和特点,系统设计以及应用领域。

**关键词** 微波真空干燥 介电加热 选择性加热 分子极性

## 1 微波加热原理及特点

### 1.1 原理

微波是一种电磁波,其波长在 1mm ~ 1m 之间。由于其波长较普通无线电波短,而较红外线长,故称微波。微波最早由英国在二次大战时应用于雷达。之后,美国将其转入民用,60年代,开发出了世界上第一台微波炉。

微波的加热方式与普通的热传递有着较大不同。通过空间高频电场在空间不断变换方向,使物料中的极性分子随着电场作高频振动,由于分子间的摩擦挤压作用,使物料迅速发热。此种加热方式称为介电加热,由于这一不同的加热原理,使微波具有以下特征:

(1)穿透性:微波可以直接穿透入物料内部,对内外均衡加热,从而大大缩短了加热时间。

微波穿透深度计算公式为:

$$D = \frac{9.56 \times 10^7}{f \sqrt{\epsilon_r} \times \tan \delta}$$

式中

f—微波频率

$\epsilon_r$ —相对介电常数

$\tan \delta$ —介质损耗角因子

(2)选择性加热:不同物料对微波吸收程度是不一样的。一般来说,物料分子极性越强,越容易吸收微波,水是分子极性非常强的物质,非常容易吸收微波而发热,物料含水

量越高,其吸收微波的能力越强,含水量降低,对微波的吸收也相应减少,当干燥器内物料的含湿量有差异时,含水量较高的部分会吸收较多的微波,因此在腔体内起到一个能量自动平衡作用。由于这些特点,使微波非常适合于干燥。

(3)加热响应快,易于控制:微波加热的时滞极短,加热与升温几乎是同时的。

通过实践证明,微波干燥的速率是非常高的,主要来源于以下因素:

a)微波加热时,由于外部水分的蒸发,外部温度会略低于内部温度,热量从内向外传递,水分的转移同样由内向外,传质与传热是同向的,极大地提高了干燥速率,而传统干燥过程中,物料的温度梯度是外高内低,热量由外向内传递,水分自内向外转移,传质与传热逆向,干燥速率大大降低。

b)微波降低了水分子,尤其是结合水,与物料分子间的亲合力,使水分子容易脱离物料分子而向外逸散。

将微波技术与真空技术结合起来,使干燥过程既具有高效率,又具有低温、隔绝氧气的特点,使得这一技术非常适合于各种热敏感性物质的干燥。

### 1.2 特点

总体而言,微波真空干燥技术具有以下特点:

(1)成品质量好,微波真空干燥对物料中

热敏感性成份及生物活性物质具有极高的保存率,一般可达 90%~95%,成品品质达到或超过冻干产品。其原因,主要是因为微波真空干燥时间较冻干大大缩短的缘故。

(2)成本低:微波能源利用率高,对设备及环境不加热,仅对物料本身加热。运行成本比冻干降低 30%~40%,也低于红外干燥。系统的优化设计使设备维护费用降到最低。

(3)效率高:微波可以穿透至物料内部,使内外同时受热,蒸发时间比常规加热大大缩短。微波真空干燥设备每干燥一批物料,约 40~60min;冻干一批同样含水量的物料约 24~30h。连续式微波真空干燥设备可进一步提高效率,可对大宗物料进行高速连续化生产。

(4)适用范围广:对物理状态的产品,不同形状及大小的物料均可有效干燥(但为了

保持较高效率,一般物料最薄处<20mm)。

(5)环保:无有毒有害废水或气体产生,工厂环境清洁卫生。

(6)安全性:微波不会给被加热物料带来不安全因素,其安全性得到国际认可。为保障设备使用的安全性,微波泄漏量应满足国际电工委员会(IEC)对微波安全性要求。

(7)小巧:相对于同样生产能力的冻干设备,微波真空干燥设备体积小,重量轻,节省了厂房面积和空间,也便于安装。

(8)操作简单:微波设备的操作使用十分简单。可以实现高度自动化操作。

(9)相容性:对于对热高度敏感的物质干燥,如一些生物药品,可采取微波与真空冷冻干燥相结合的方法。微波真空冷冻干燥较传统冻干工艺缩短干燥周期,进一步提高品质。

以下为微波真空干燥的一组实验数据。

实验数据表

阳极电流(A)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
时间(min)	1.5	3	4.3	6.8	8.4	10.2	12	16.1	17.7	20.2
温度(°C)	28.8	30.5	32.1	31.7	33.3	31.8	30.7	32.1	30.7	31.2
阳极电流(A)	1.1	1.1	1.1	0.95	0.95	0.95	0.8	0.8	0.8	0.8
时间(min)	22.2	24.6	26.2	28.2	30.5	32	32.7	35.2	37.2	37.6
温度(°C)	31.5	33.6	32.5	31.2	35.7	34.2	33.8	33.2	34.4	33.3
阳极电流(A)	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2
时间(min)	41.6	42.5	44.2	45.6	47.5	51	53.6	55.3	56.1	56.8
温度(°C)	33.1	34.3	32.4	32.3	32.4	30.2	31.1	32.3	32.2	34.2

表中阳极电流大小代表着微波输出功率的大小。系统真空度为 0.97bar,原料含水量 92%,干燥成品含水量为 5%,经检测,成品色泽,气味,营养成分几乎未发生变化,且具有良好的复水性。

## 2 微波真空干燥系统

对于对热更敏感,即要求更低的蒸发温度的产品,应当采用更高的真空度。以下讨论干燥系统的配置整个干燥系统的设计是至关重要的。

系统由微波谐振腔(加热器),微波源,波导管,真空系统,制冷系统,自控系统等

组成。

设备除了要考虑到微波设备的功能性之外,还要考虑到制药企业要求的卫生,便于操作等特点:

(1)与物料接触的部位完全为 304 或 316L 不锈钢,以确保环境的卫生,设备内部无死角,便于清洗,且不存在积液。

(2)设备的加热能力(微波功率),排气能力,冷凝系统能力应相互匹配。

(3)确保系统加热的均匀性和良好的电压驻波比。

(4)微波对各种检测仪表无干扰。

(5)确保加热腔内的功能部件不会对微波造成干扰。

(6)确保操作的安全性,设备的各连接部位都经特殊设计,确保气密性以及微波的抑制和屏蔽,保障微波泄漏量在国际以及国内的安全指标内。

(7)系统各部件安装于同一基座上,便于安装和运输。

(8)设备便于检修和维护。

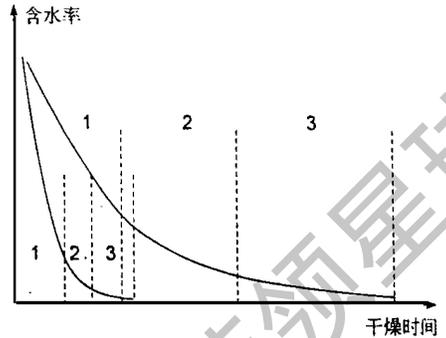
### 3 自动控制

设备的自动控制是另一个重要因素。

适当地控制干燥进程是自控的核心要素。

如常规干燥程序,干燥过程分为常率期,降率期和扩散期。在常率期,水分以均衡的速度从表面蒸发到环境中,快速蒸发,内部水分以同样的速度向表面迁移,水分蒸发消耗热能,其蒸发温度基本恒定,在这一阶段,表面呈湿润状态;在降率期,表面开始干燥,水分从物料内部向外迁移的速度开始减慢,蒸发面向内推移,物料温度开始上升;在扩散期,物料已基本干燥,剩余的结合水经过一个分子扩散过程而脱除,此时物料的导热性变差,需要一个较为温和的干燥条件。所不同的是,在微波干燥过程中,后二个阶

段的时间大大缩短了。



图中 1, 2, 3 分别代表干燥的常率期,降率期和扩散期。

不同物料的介电常数不同,蛋白质,油性成分,多糖,纤维素等,对微波的吸收各不相同,在水分含量降低时,其对微波的吸收会逐渐增加,表观温度将有所上升。

该自控是基于一个非常简单而基本的原则:随着物料水份的减少,其温度会高于该真空度下的蒸发温度,即温度的上升指示着物料干燥阶段性的变化。

干燥过程中,微波功率随着物料的干燥程度作自动调节,将物料温度控制在设定温度  $2^{\circ}\text{C}$  范围内,从而保障成品的质量。

上述参数也成为干燥终点判断的一项指标。

### 4 应用

由于微波真空干燥的一系列优点及设计的完善,使这项技术展现出极为广泛的应用前景:

(1)中药领域:对各种热敏感性制剂,如植物浸提物的干燥,对各种名贵中药原材料的干燥,对各种成品药及粉末,结晶物料的干燥等。

(2)西药:对各种热敏感性成品药及中间体的干燥,剩余溶剂的脱除。

(3)食品:对各种需要保存其原有营养成

分, 色泽, 风味的液体或固体产品干燥, 各种热敏性保健食品的干燥。

(4)其他: 鲜花干燥, 标本干燥

(5)农业: 谷物干燥, 海产品干燥, 大宗农副产品干燥。

#### 4.1 注意事项

应用微波真空干燥也有一些需要注意的地方:

(1)每一批干燥应尽可能采用同一种物料, 不建议将不同物料混合干燥。

(2)物料的大小应基本接近。

(3)物料应尽可能分散而非堆积。

(4)干燥物中不可混入金属物件。

(5)设备不可空载运行。

综上所述, 微波真空干燥具有效率高, 成品质量好, 能耗经济, 自动化程度高等特点。随着我国加入 WTO 后, 医药及食品业的迅速发展及面对的全球性的市场, 这一技术必将进一步发挥巨大的优势。

收稿日期: 2000-06-16

## 间歇生产中的污染防治

间歇生产常常应用于一些小量, 高附加值产品的生产, 如在制药, 企业材料和精细化工等领域。但间歇生产往往会产生大量的废弃物, 过去, 很多单位往往忽略了废弃物的排放, 过去没有严格的法规限制。近年来, 情况发生了变化, 首先, 业界了解了废弃物产生的真实成本, 它常常高于废弃物处理的成本, 包括产品损失的经济价值, 溶剂购买的成本, 废弃物监测费用, 安全和环境的危险因子增加等。另外, 由于政府对大气、水、土壤污染的法规越来越严格, 用现有的控制设备已经无法满足处理的要求, 间歇生产中产生的浓缩的有毒的废弃物, 特别是废水的处理往往满足不了法规的要求, 或者处理成本过高。所以, 新设计的工厂, 常常在把废水进入生物处理之前, 进行预处理, 以提高生物处理的废水处理能力。还有用现代化焚烧的方法处理废液, 同时, 在焚烧中防止空气的污染。

鉴于废弃物产生的实际费用, 使间歇生产必须考虑确认和解决污染防治问题。本文为工程师们介绍这方面的技术, 以减少间歇

生产中废弃物的产生, 内容包括反应器的出料、运行、加料、清洁; 间歇生产的模型, 间歇生产和连续生产的比较等。

### 1 废弃物的本质和来源

间歇生产是指非连续性的生产, 过程变数如温度、压力、浓度在间歇生产的过程中不断变化。所以, 在间歇生产中的废弃物也认为是恒定的。例如, 一个间歇反应中, 可能产生氮气浪, 其中的挥发性有机化合物浓度随时间而变化。废弃产生的峰值往往在 1 小时内, 随着反应趋向完成, 释放量越来越少。

这些和时间相关的参数使它很难被认为是一个连续的气体减少系统。为了符合允许极限, 处理设备必须足够大, 以处理可能产生的废水和其浓度。有的废弃物, 其最大只有保持几分钟, 但设备仍然需要很大, 说明了预处理废弃物的重要性。它可以降低处理费用, 防止污染于其源头。

每一步的间隙生产都会有一些废弃物产生, 在反应器加料和出料的过程中都会有不凝性气体生成, 如氮气和空气, 它们会带有挥