

# 可降解有机废物湿解产物 干燥方法的分析

郭淑青<sup>1</sup>,董向元<sup>1</sup>,肖云汉<sup>2</sup>

(1. 中原工学院能源与环境学院, 河南 郑州 450007; 2. 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100080)

**摘要:**可降解有机废物湿解产物的干燥涉及节能与环保的双重考虑, 构建了过热蒸汽干燥与可降解有机废物湿解相联合的高效节能新系统, 对其进行了能量分析, 并与常规热风干燥方式进行了比较。结果表明, 采用过热蒸汽干燥可以完全满足湿解所需的蒸汽与热量, 并且可以回收剩余蒸汽加热干燥介质, 使得系统实现高于 60% 的能量自给率; 同热风干燥相比, 节能超过 40%。

**关键词:**可降解有机物湿解; 过热蒸汽干燥; 热风干燥; 能量分析

中图分类号: TQ028.63

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2007)10-0046-04

## Analysis of drying process for hydrothermal-treatment products of degradable organic wastes

GUO Shu-qing<sup>1</sup>, DONG Xiang-yuan<sup>1</sup>, XIAO Yun-han<sup>2</sup>

(1. Department of Energy & Environment, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China;

2. Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract:** Based on the consideration of energy-saving and environmental protection, a new combined process of hydrothermal degradation (HTD) and superheated steam (SHS) drying in disposal and processing of degradable organic wastes in municipal solid wastes (MSW) is proposed, an energy analysis is applied to the combined process. A comparison between the novel efficient combined process and the traditional hot-air drying process is carried out. The thermal energy analysis shows that the combination of HTD and SHS drying can achieve more thermal energy self-sufficiency (TES) than 60% by manipulating process variables. The comparison with the hot-air drying, energy-saving is over 40%.

**Key words:** degradable hydrothermal organic; superheated steam drying; hot-air drying; energy analysis

湿解是一项新型的可降解有机废物处理技术, 在废物综合处理工艺中, 该技术易和可燃物焚烧工艺相匹配, 利用有机废物焚烧发电产生的部分蒸汽使可降解有机物在密闭容器内降解为土壤改良剂或有机肥料, 具有处理时间短(不超过 2 h)、有机质保留多和环境友好等优点<sup>[1]</sup>。但为了便于湿解产物的使用、储存和运输, 有必要对其进行干燥。选择高效、节能的干燥方法会给企业带来很大的经济效益<sup>[2]</sup>。

过热蒸汽干燥是利用过热蒸汽直接与被干燥物料接触而去除水分的一种干燥方式<sup>[3]</sup>。在美国、加拿大、德国、日本、丹麦和英国等发达国家已有将过热蒸汽干燥技术用于烘干木材及木头压块、煤炭、纸张、甜菜渣、陶瓷、污泥、酒糟、蔬菜、食品及城市废弃物等多种物料的干燥<sup>[4-8]</sup>。与传统的热风干燥相比<sup>[3,5-6,9-10]</sup>, 过热蒸汽干燥以水蒸气作为干燥介

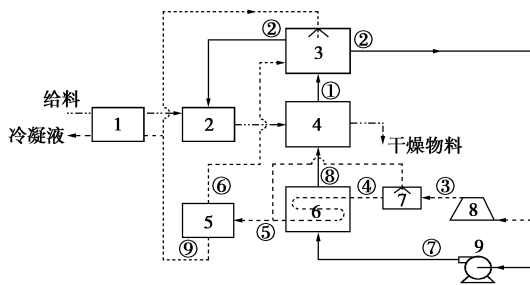
质, 干燥机排出的废气全部是蒸汽, 利用冷凝的方法可以回收蒸汽的潜热再加以利用, 因而热效率较高; 并且由于水蒸气的热容量要比空气大 1 倍, 干燥介质的消耗量明显减少, 故单位热耗变低。此外, 过热蒸汽干燥对环境无污染, 无起火和爆炸危险, 蒸发的水分本身就可作为干燥介质。

为此, 笔者提出了将过热蒸汽干燥和可降解有机废物湿解系统联合的新型有效的经济和环境友好系统, 并对该系统进行了能量分析, 同时与常规热风干燥方式进行了比较。

### 1 系统的构建

过热蒸汽干燥与湿解联合系统如图 1 所示, 系统尽可能的回收利用过热蒸汽干燥机的废热。在稳态操作时, 首先使可降解有机废物在预热器中由闪蒸罐出来的一部分冷凝液预热至 70℃, 然后进入到

湿解反应釜(HTD),经来自喷水减温器(DSH1)的饱和蒸汽处理,处理后的湿解产物进入过热蒸汽干燥机(SHD)进行干燥。干燥后的物料由干燥器排出,同时有微过热的蒸汽(状态①)从干燥机排出后进入DSH1。产生的饱和蒸汽(状态②)从DSH1内排出,一部分提供给HTD用来处理可降解有机废物;另一部分分为2股,一股作为再循环干燥介质,在风机中被升压(状态⑦),其余的进入到压缩机,压缩后的蒸汽(状态③)进入喷水减温器(DSH2),喷水减温后的蒸汽(状态④)进入再热器。



1—预热器;2—湿解反应釜;3,7—喷水减温器;4—过热蒸汽干燥机;5—闪蒸罐;6—再热器;8—压缩机;9—风机

图1 过热蒸汽干燥与湿解联合系统示意图

传统的热风干燥系统如图2所示。图中采用被空气掺混的烟道气作为干燥介质,取其温度为600℃,排气温度为125℃,此温度可以保证后捕集设备(如旋风分离器、袋式过滤器等)上不结露。出料温度近似等于排气温度。由于现在一般的连续热风干燥机,废气中包含约15%(质量分数)的水蒸气,这种废气的饱和温度为53℃。如果回收这部分潜热,需将其冷却到40℃,甚至更低。大多数工厂不能利用这样温度下的废热<sup>[3]</sup>。因此在热风干燥计算模型中不考虑废气热量的回收,都假设其直接排入大气。

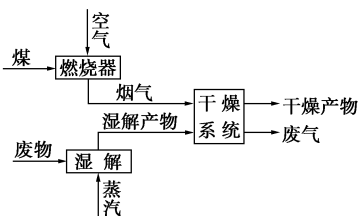


图2 热风干燥系统

## 2 能量分析

在热力学第一定律范围内,对2个联合系统进行能量分析,以确定系统能量的利用率。系统每个单元都处于稳态流动。再热器用来加热再循环干燥

介质(状态⑦)到干燥器入口温度(状态⑧)。再热器传热端温差为10℃。从再热器出来的冷凝液(状态⑤)一部分作为减温水喷入DSH2,其余的进入闪蒸罐(状态⑥)。闪蒸蒸汽和一部分冷凝液体(状态⑨)直接进入DSH1,其余的冷凝液体进入预热器预热给料。压缩机等熵效率为80%,干燥机和湿解反应器压力维持在0.6 MPa。风机产生的压差为20 kPa,用来弥补在再热器、干燥室和管道中的压力损失。尤其是用过热蒸汽流化床干燥系统时,这种压力损失不可忽略<sup>[8]</sup>。从干燥器内排出的蒸汽过热度为10℃。

在物料稳定流动基础上,根据质量和能量守恒方程,在干燥介质入口温度为202.38~234.19℃和可降解有机废物含水质量分数为32.5%~65.0%时,对系统进行能量分析。

计算参数如表1所示。

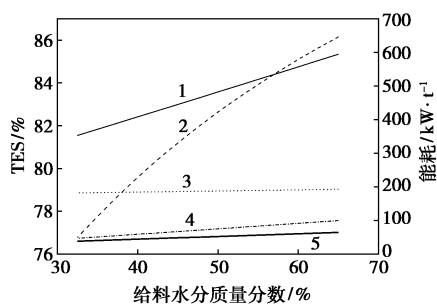
表1 计算参数值

项目	数值
湿解给料的质量流量/t·h <sup>-1</sup>	10
湿解产物干燥后的水分质量分数/%	30
湿解给料的比热容/kJ·(kg·K) <sup>-1</sup>	2.81
空气自然对流换热系数/W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup>	4.0
保温层厚度/m	0.02
保温层导热系数/W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	0.046
湿解反应器总传热系数/W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup>	1.46
风机效率/%	85
过热蒸汽干燥机排出微过热蒸汽的温度/℃	168.83
湿解反应器和干燥器表面温度/℃	40
环境温度/℃	20
湿空气比热容/kJ·(kg·K) <sup>-1</sup>	1.10
汽轮机内效率	0.85
汽轮机机械效率	0.985
发电机效率	0.98
汽轮机排气焓/kJ·kg <sup>-1</sup>	2060.50

## 3 计算结果及分析

图3给出了当干燥器入口温度为202.38℃,湿解给料水分含量变化时,系统热量自给率(TES)、湿解反应釜和过热蒸汽干燥器的热能需求及压缩机和风机能耗的变化。

从图中可明显看出,当给料含水质量分数从32.5%增加到65.0%时,热量自给率从71.28%增加到

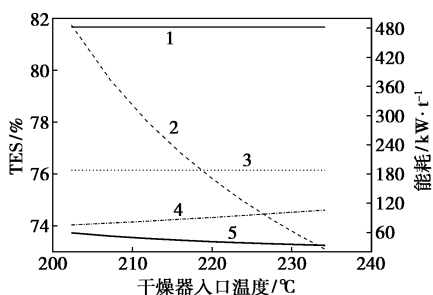


1—SHD; 2—TES; 3—HTD; 4—压缩机; 5—风机

图 3 TES 和热能消耗随湿解给料水分含量的变化

78.14%, 干燥机热量的需求从 353.09 kW 增加到 594.71 kW, 湿解反应釜热量的需求从 182.34 kW 增加到 193.00 kW, 而压缩机和风机的能耗分别从 47.26 kW 和 27.00 kW 增加到 99.78 kW 和 45.48 kW。这主要是因为随湿解给料含水量的增加, 系统中可回收的蒸汽量增加, 需要从外界补充的蒸汽量减少, 虽然风机和压缩机的能耗因再循环的干燥介质和可用于压缩的蒸汽量的增加而增加, 但增加幅度明显小于干燥器和湿解反应釜的热需求, 从而使 TES 随湿解给料含水量的增加而增加。

图 4 给出了当湿解给料含水质量分数为 50%, 干燥器入口温度增加时, 系统热量自给率、湿解反应釜和过热蒸汽干燥器的热能需求及压缩机和风机能耗的变化。



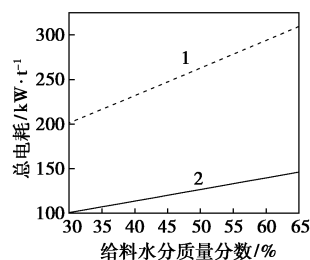
1—SHD; 2—TES; 3—HTD; 4—压缩机; 5—风机

图 4 TES 和热能消耗随干燥器入口温度的变化

从图中可以看出, TES 随干燥器入口温度的增加而降低, 压缩机由于压缩比的增加而耗功量增加, 因湿解给料含水量不变, 故湿解反应釜和干燥器热能需求不变, 因此再循环干燥介质需求量稍有降低, 风机耗功减少。

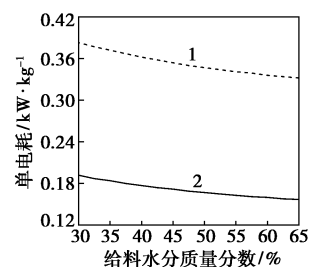
图 5 和图 6 给出了过热蒸汽干燥机和热风干燥机的总电耗和单电耗随给料含水量的变化。过热蒸汽干燥机的入口温度为 212.83°C。从图 5 中可以明显看出, 在 2 个干燥系统中, 每吨可降解有机废物作为给料输入时, 热风干燥机的总电耗大约是过热蒸

汽干燥机总电耗的 2 倍之多。随给料含水量的增加, 因过热蒸汽干燥机中产生蒸汽的回收利用, 导致热风干燥机的总电耗增加趋势较过热蒸汽干燥机的快, 因此给料中含水量越高, 过热蒸汽干燥机越显现出节能的趋势。从图 6 中可以看出, 每干燥 1 kg 水分, 过热蒸汽干燥机的电耗较热风干燥机低约 2 倍之多。随给料含水量的增加, 二者的单电耗均呈减少的趋势, 同样, 因过热蒸汽干燥机中产生蒸汽的回收利用, 下降趋势较显著。



1—热风干燥机; 2—过热蒸汽干燥机

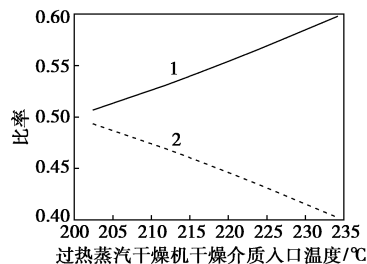
图 5 过热蒸汽干燥机与热风干燥机的总电耗



1—热风干燥机; 2—过热蒸汽干燥机

图 6 过热蒸汽干燥机与热风干燥机的单电耗

图 7 给出了当给料含水质量分数为 50% 时, 过热蒸汽干燥机和热风干燥机的总电耗比随过热蒸汽干燥机干燥介质入口温度的变化。当过热蒸汽干燥机干燥介质入口温度为 202.38°C 时, 过热蒸汽干燥机和热风干燥机的总电耗比为 0.51, 节能 49%; 当过热蒸汽干燥机干燥介质入口温度为 234.19°C 时, 过热蒸汽干燥机和热风干燥机的总电耗比为 0.60, 节能 40%。



1—总能耗比; 2—节能百分数

图 7 过热蒸汽干燥机与热风干燥机的总电耗比

图8给出了过热蒸汽干燥机和热风干燥机风机电耗比随过热蒸汽干燥介质入口温度的变化曲线。随过热蒸汽干燥机入口温度的升高,因过热蒸汽干燥机所需循环干燥介质体积流量的减少,风机电耗比减少。当过热蒸汽干燥机干燥介质入口温度为220.06℃时,过热蒸汽干燥机的风机电耗比低于热风干燥机的电耗。

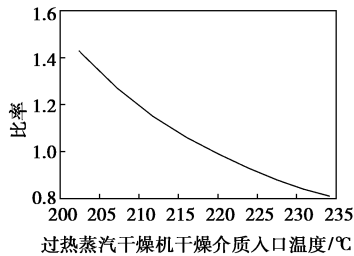


图8 过热蒸汽干燥机与热风干燥机的风机电耗比

#### 4 结语

采用过热蒸汽干燥可以完全满足可降解有机物湿解所需的热量与蒸汽消耗;而且,通过压缩剩余的过热蒸汽可以回收一部分热量用来加热循环干燥介质。对能量的分析表明,该工艺的整个系统超过60%的能量可以实现自给,有很好的经济与环境效益。同热风干燥相比,当过热蒸汽干燥机入口温度一定时,随给料含水量的增加,过热蒸汽干燥机的总电耗和单电耗只有热风干燥机的一半左右。当给料

含水质量分数为50%时,过热蒸汽干燥介质入口温度在202.38~234.19℃变化时,过热蒸汽干燥机和热风干燥机的总电耗比为0.51~0.60,节能超过40%。

#### 参考文献

- [1] 北京博朗环保技术开发公司. 无害化、资源化、易分选、无剩余的垃圾处理工艺: 中国, 1242266A[P]. 2000-01-26.
- [2] 杜垲, 张建成. 分离式热管回热器用于热泵干燥系统传热分析[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(12): 50-53.
- [3] 潘永康. 现代干燥技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [4] Canmet T K, Mujumdar A S. Advanced drying technologies[M]. New York: Marcel Dekker Inc, 2001.
- [5] Fitzpatrick J. Sludge processing by anaerobic digestion and superheated steam drying[J]. Water Resource, 1998, 32(10): 2897-2902.
- [6] Beeby C, Potter O E. Steam drying[C]// the 4th International Drying Symposium. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1985: 41-58.
- [7] Tarnawski W Z, Mitera J, Barowski P. Energy analysis on use of air and superheated steam as drying media[J]. Drying Technology, 1996, 14(7/8): 1733-1749.
- [8] Aly S E. Energy efficient combined superheated steam dryer/MED[J]. Applied Thermal Engineering, 1999, 19: 659-668.
- [9] Faber E F, Heydenrych M D. A techno-economic comparison of air and steam drying[C]// the 4th International Drying Symposium. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1985: 588-594.
- [10] Nurnura T, Hyodo T. Behavior of inversion point temperature and new application of superheated vapor drying[C]// the 4th International Drying Symposium. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1985: 517-522. ■

### Evonik Degussa 公司在上海建设新的甲基丙烯酸酯生产工厂 2.5 亿欧元投资项目在上海化学工业区奠基

2007年9月15日, Evonik Degussa 公司在上海工业区(SCIP)举行甲基丙烯酸甲酯(MMA)以及甲基丙烯酸酯特种化学品一体化基地的奠基仪式。该工厂的投资额将达到2.5亿欧元。

此次奠基仪式从许多方面来讲对 Evonik Degussa 而言是一个里程碑。“对我们来说, 此项目代表着我们全球增长策略的一个重要组成部分”。Evonik 工业集团负责化学业务的董事会成员英凯尔博士(Dr. Klaus Engel)在出席于2007年9月13日在上海举行的新闻发布会上强调说。“工厂的建成将为我们加入到这一极具吸引力、不断增长的市场打下了坚实的基础。这一投资同时巩固了我们作为世界领先的甲基丙烯酸甲酯生产商的地位”。该一体化基地投资为2.5亿欧元, 是 Evonik Degussa 的第二大单项投资。这一处于世界领先水平的工厂计划于2009年中期投产, 建设周期大约为2年。除了具有约10万t的MMA年生产能力以外, 一体化基地还生产甲基丙烯酸、甲基丙烯酸丁酯及有机玻璃模塑料。由此可为光电子学、涂料和粘合剂产业以及汽车制造领域的客户提供一系列品种齐全的产品, 在世界上可谓独树一帜。

该一体化基地将建在上海化学工业区 Evonik Degussa

的多用户基地。自2006年6月以来, 集团投资的聚酯与色浆生产厂就开始在上海化学工业区里进行运营, 而一个特种聚合物缩聚厂及混料厂也将在明年投入使用。新的热塑性甲基丙烯酸树脂生产厂计划于2009年下半年开始运营。集团在中国拥有将近20家公司, 在10个城市有生产厂。其产品系列包括沉淀硅土、碳黑、橡胶硅烷、着色剂、氨基酸、聚亚安酯泡沫添加剂以及用于塑料生产的引发剂。Evonik Degussa 在2006年初就与一家中国公司嘉联一起成立了一家合资公司; 同时它还与中国公司绿源一起于2006年6月成立了另外一家合资公司; 另外, 集团也在与英耐时公司进行合作, 共同生产用于锂电池的电极产品。Evonik Degussa 目前在上海的研发中心是所有跨国公司在上海最大的研发中心之一。这一研发中心是为中国乃至整个亚太地区客户提供服务的平台。

Evonik Degussa 是 Evonik 工业集团独资的子公司。Evonik 工业集团是一家创新型的工业集团, 主要致力于发展3个高效益和发展前景良好的产业领域: 化工、能源和房地产。Evonik 的业务遍布全球的100多个国家。Evonik 工业集团计划将于2008年上半年上市。(童志勇)