

低能耗涡扇热风干燥机在 PET 塑料干燥中的应用研究

胡长盛¹ 皮瓦·里纳尔多¹ 沈彬² 通讯作者

(1 普朗斯塑料机械(上海)有限公司 上海 200000; 2 上海交通大学材料科学与工程学院 上海 200000)

摘要: 工程塑料对含水量较为敏感, 采用热风干燥时能耗较高且降耗方法复杂。本文采用涡扇风机代替单段风机的方法, 介绍了一种结构简单、低能耗的涡扇风机热风干燥系统。对 PET 塑料颗粒干燥试验结果表明, 涡扇风机比两台单段风机的干燥效率更高。本文提出了一种计算热风干燥能耗的方法, 干燥时间为 60min、120min 和 240min 时, 涡扇风机的能耗比采用两台单段风机时分别低 28.8%、15.7% 和 10.1%, 热挤出后 PET 弯曲强度分别高 18.0%、8.5% 和 4.5%。涡扇热风干燥设备对降低工程塑料的干燥能耗有显著的工程意义。

关键词: 工程塑料; 热风干燥; 涡扇风机; 低能耗

0 引言

近年来, 工程塑料作为重要的高分子材料在航空航天、武器装备、汽车、电子和食品包装等领域的应用越来越广^[1]。工程塑料可以分为吸湿性工程塑料和非吸湿性工程塑料。非吸湿性塑料, 如聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)等水分子会聚集在塑料颗粒表面; 吸湿性塑料, 如 PET 树脂、ABS 树脂和 TPE 合成橡胶等具有更高的亲水性, 水分子会进入颗粒内部。在热塑性成型中, 无论是塑料颗粒表面的水分子还是内部的水分子, 都可能导致产品内部出现气泡、斑纹等质量缺陷, 水分子造成的湿应力还会使得产品的冲击性能下降^[2]。因此, 生产前对塑料颗粒严格干燥至关重要, 要求含水量达到 0.05% 以下甚至更低水平。

热风干燥是 PET 塑料常用的干燥技术, 即利用 150 ~ 170℃ 的热空气作为对流介质, 一方面可以与塑料颗粒形成热交换使得其中的水分气化, 另一方面持续流动的干燥热空气流又可以将气化的水分排出^[3]。然而, 干燥工艺是能源消耗较大的生产环节, 提高热风干燥效率, 减少热风干燥中的能源消耗一直是干燥领域的关注重点。赵昌友等通过提高热风循环改造了设备结构, 达到了降低热风干燥能源消耗 15% ~ 20% 的目的^[4]。田震等人提出了一种充氮控氧气同时密闭循环干燥的思路, 有效防止了干燥爆炸, 改进后的设备运行能耗降低 82.5%, 效率提升达 66.7%^[5]。

虽然上述的热风干燥解决方案能够有效降低能耗, 但设备改造难度高、可操作性差, 对于一般的热风干燥要求不具有经济性。本文提出了一种基于涡扇结构

改良热风干燥机的技术, 利用涡扇风机代替高能耗单段风机的方法降低热风干燥中的能源消耗, 对提升 PET 工程塑料的干燥效率和干燥质量具有显著的应用价值, 在其他塑料干燥中具有可推广性。

1 涡扇式热风干燥机

传统的热风干燥机由两台或两台以上单段风机提供动力, 热风经由过滤器再经由通风管道后, 被输送到出风口持续干燥。由于单段风机功率小, 为了满足干燥需求往往需要多台连用, 这不仅增加了结构的复杂性, 还大幅增加了干燥能耗。

涡扇热风干燥机由回风过滤器、热交换器、回风软管、涡扇风机、驱动电动机、送风管道和出风口法兰构成。经热源加热的热风温度较高, 途径料斗后温度仍有 90 ~ 110℃ 并且带有一定的水分子和粉尘颗粒。随后热风先经过涡扇热风干燥系统的回风过滤器将粉尘过滤干净, 防止粉尘对环境造成污染, 再经过热交换器将温度降低至 60℃ 以下。热交换器可以将部分热能回收并实现热能的二次利用。最后, 热风经涡扇和送风管道至出风口。出风口法兰与干燥设备的分子筛塔连接, 利用分子筛塔对水分子的强力吸附特性达到热风干燥的目的。

2 涡扇热风干燥机的干燥能效

2.1 实验方法和设备

为验证涡扇热风干燥机的干燥效率, 采用国产某型号 PET 塑料颗粒进行了涡扇风机干燥能效验证试验, 并与采用两台单段风机的热风干燥设备进行对比。

如下表所示，测试时 PET 塑料颗粒各 10kg，热风温度 130℃，两台单段风机总功率 0.8kW，总进风量约 210m³/h。而涡扇风机采用的驱动电动机功率 0.75kW，总进风量约 350m³/h。干燥时环境温度 28℃，环境相对湿度 30%，总干燥时间 240min，每间隔 30min 采用质量测试法换算得到 PET 含水量，干燥试验前测得 PET 塑料颗粒的初始含水量为 1.01%。

表 单段风机和涡扇风机基本参数

干燥机结构	PET 质量 /kg	热风温度 /℃	总功率 /kW	总进风量 / (m ³ /h)
单段风机	10	150	0.4+0.4	约 210
涡扇风机	10	150	0.75	约 350

为确定热风干燥对 PET 产品性能的影响，将不同时间干燥后的原料进行挤出，挤出温度为 (275±5)℃，螺杆转速 240r/min。其力学性能标准采用弯曲试验进行评定，弯曲试样制备和测试方法参考 GB/T 9341-2008，测试设备为 Instron-3400 型万能电子试验机。

2.2 实验结果及分析

图 1 为两种不同干燥设备下 PET 含水量随干燥时间的变化曲线。从图中可以看出，两种干燥方式下 PET 含水量都是随干燥时间的增加先快速下降随后缓慢下降。这主要是由于干燥前期热风空气与 PET 塑料颗粒的含水量差异较大，塑料颗粒中的水分快速挥发，随着干燥时间的增加，干燥效率逐渐降低。从图中还可以看出，干燥时间相同时，采用涡扇风机干燥的 PET 塑料颗粒含水量比采用两台单段风机的更低，这表明涡扇风机明显提升了热风干燥效率。

涡扇风机对热风干燥效率的提升主要归因于其出风量更大，同时采用单台涡扇风机简化了通风路径，进一步提高了热风的通风效率。涡扇风机干燥效率的提

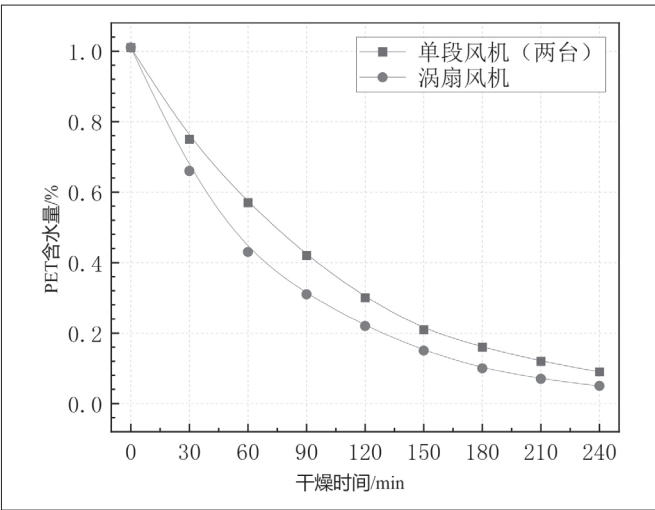


图 1 单段风机和涡扇式结构对 PET 干燥效率的影响

升还可能归因于热风通风均匀性的提升。黄帅等人进行热风干燥炉风循环系统设计时发现，干燥温度相同时提升热风流速和均匀性有利于干燥^[6]。对于两台单段风机结构的热风干燥系统而言，多个环形通道内的热空气流动增加了空气湍流和壁面换热的复杂程度，不利于通风均匀性。

为进一步确定涡扇风机在 PET 塑料颗粒干燥过程中的节能效果，定义如下公式对热风干燥能耗进行计算，热风干燥能耗 Q 代表将每千克 PET 的含水量降低 1% 时所需的风机能耗，尽管这并不代表实际热风干燥过程中的真实能耗，但采用这一参数能够直观地评估涡扇风机在不同干燥时间段内的能耗水平：

$$Q = \frac{P \cdot t}{m \cdot \Delta w}$$

式中： Q —热风干燥能耗 (kW·h/kg)；

p —风机总功率 (kW)；

t —热风干燥时间 (min)；

Δw —热风干燥 t 时间后的含水量变化。

图 2 为利用上述公式计算得到的干燥时间为 60min、120min 和 240min 时两种干燥方式的热风干燥能耗。实验结果表明，两种干燥方式的热风干燥能耗 Q 都随着干燥时间增加而逐渐增大，这说明在干燥后期进一步降低 PET 含水量需要的能耗增加。值得一提的是，当塑料颗粒中的含水量降低至合格水平时，为避免额外的能源消耗无论采用何种干燥方式都应该及时停止干燥。对比两种干燥方式的能耗柱状图可以发现，干燥时间为 60min、120min 和 240min 时涡扇风机的能耗比采用两台单段风机分别低 28.8%、15.7% 和 10.1%，涡扇风机的热风干燥系统在 PET 塑料干燥中起到了明显

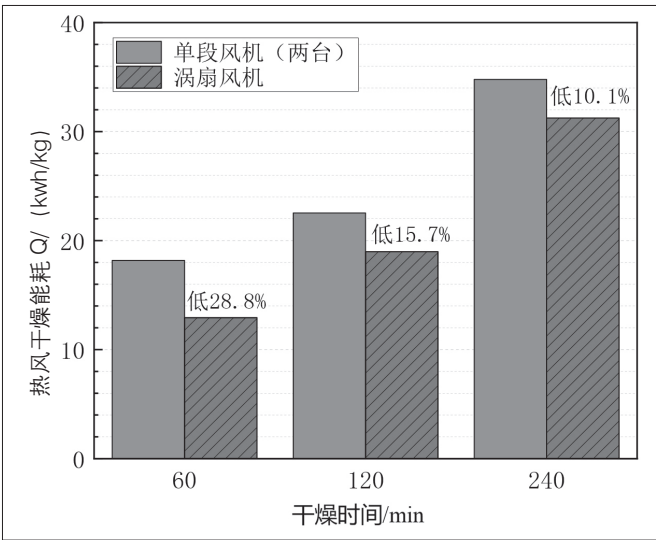


图 2 单段风机和涡扇风机不同干燥时间的热风干燥能耗

的节能降耗效果,在某些特定的预干燥环节,如干燥时间小于 2h 时节能优势更加明显。

弯曲测试结果如图 3 所示,热塑性成型前的干燥程度对热挤出后的弯曲强度影响很大。涡扇风机和单段风机两种方法干燥后,PET 挤出料的弯曲强度都随着干燥时间的增加而增加,在干燥 240min 后挤出料的弯曲强度达到最大,分别为 93MPa 和 89MPa。对比相同干燥时间下的 PET 热挤出试样弯曲强度可以发现,涡扇风机干燥后得到的 PET 产品弯曲强度比单段风机更高,干燥时间为 60min、120min 和 240min 时高出 18.0%、8.5% 和 4.5%。在其他生产条件相同时,热挤出后的强度主要受到挤出前 PET 颗粒含水量的影响。研究表明,PET 高温加工时含水量过高会直接导致部分 PET 发生水解降^[7]。采用涡扇风机热风干燥能更高效地去除 PET 中的水分子,有效提升 PET 热挤出后的力学性能。

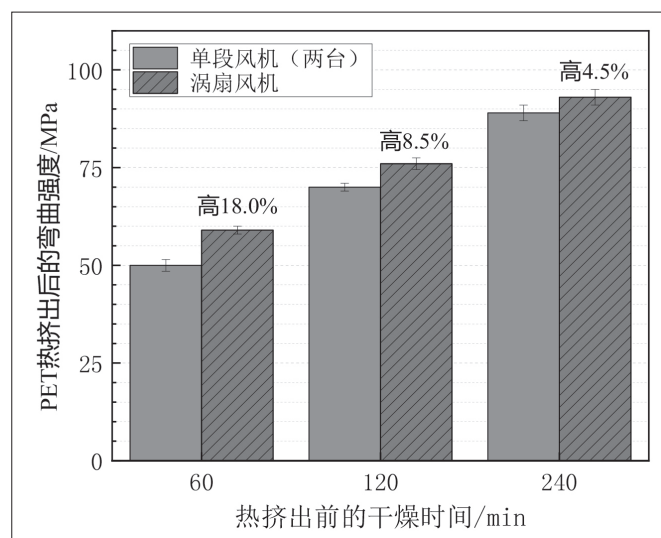


图 3 单段风机和涡扇风机不同干燥时间对 PET 弯曲性能的影响

3 结语

工程塑料表面和内部的水分子都会对产品质量造成较大影响,传统多台单段风机联用进行热风干燥的方

式,无法满足低能耗的要求,采用其他方法进行设备改造时结构复杂且经济性差。而涡扇风机采用涡扇风机进行热风设备改造后,极大地简化了设备结构,通过涡扇风机和两台单段风机热风干燥设备对 PET 的干燥对比试验,可以得出以下结论:

(1) 随着干燥时间的增加,涡扇风机和两台单段风机的干燥效率逐渐降低,但相同干燥时间时,涡扇风机的热风干燥效果更好;

(2) 涡扇风机干燥节能效果显著,干燥时间为 60min、120min 和 240min 时涡扇风机的能耗比采用两台单段风机分别低 28.8%、15.7% 和 10.1%;

(3) 涡扇风机干燥后再热挤出的 PET 弯曲强度更高,相同干燥时间下,涡扇风机热风干燥能够更有效提高 PET 热挤出后的弯曲强度。

参考文献:

- [1] 刘问民. 航天特种高分子材料的应用 [J]. 技术与市场, 2017, 24(11): 177.
- [2] 别俊龙, 孙学伟, 贾松良. 吸收湿气对微电子塑料封装影响的研究进展 [J]. 力学进展, 2007(1): 35-47.
- [3] 王桂英. 粮食热风干燥冷凝增效节能机理与技术的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- [4] 赵昌友, 陈震. 基于 PLC 热风干燥设备节能控制系统的设计 [J]. 广东石油化工学院学报, 2018, 28(1): 48-50.
- [5] 田震, 戴卓, 宋博达. 热风循环干燥设备安全节能改进技术 [J]. 化工机械, 2017, 44(6): 638-642+678.
- [6] 黄帅, 赵梁博, 朱林涛. 干燥炉中热风循环温控系统的设计 [J]. 电子工业专用设备, 2013, 42(7): 52-56.
- [7] 卢康东. PET 加工中水分对粘度的影响 [J]. 中国包装工业, 2003(6): 34-38.

通讯作者: 沈彬 (1976.03-), 男, 汉族, 上海人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 材料科学。