

气流冲击式转筒干燥机设计与试验^{*}

姚雪东¹ 肖红伟¹ 高振江¹ 田松涛¹ 杜荣²

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 河北交通职业技术学院汽车工程系, 石家庄 050091)

【摘要】 设计了一种气流冲击式转筒干燥机, 与常规式转筒干燥机相比, 具有传热系数高、物料受热均匀、节约能源、单位体积装载量多等特点。干燥机采用保温隔热、热空气循环利用以及换气除湿等方法, 工作时可根据不同物料的特性和产品要求调整热风温度、相对湿度、风速、转筒转速等工艺参数以及分支喷管直径、高度、倾角等结构参数。以牧草种子(披碱草种子)和胡萝卜丁为试验物料对气流冲击式转筒干燥机进行了性能试验, 干燥后的披碱草种子可达到国家Ⅰ级种子标准, 脱水胡萝卜丁复水后与原物料 L 、 a 、 b 色差 ΔE 仅为 5.95。

关键词: 气体射流冲击 转筒干燥机 牧草种子 胡萝卜丁 结构 设计

中图分类号: S226.6

文献标识码: A

Design and Experiment of Air-impingement Rotary Dryer

Yao Xuedong¹ Xiao Hongwei¹ Gao Zhenjiang¹ Tian Songtao¹ Du Rong²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Automobile Project Department, Hebei Jiaotong Vocational & Technical College, Shijiazhuang 050091, China)

Abstract

An air-impingement rotary dryer was designed, with a high coefficient of heat transfer, uniform heating of materials, energy conservation, high-volume loading compared to conventional rotary dryer. Some special structural design was used in thermal insulation, recycling of hot air, and dehumidification. The technical and structural parameters of this dryer such as hot air temperature, relative humidity, wind speed, rotary speed, branch nozzle diameter, height and angle, can be adjusted according to different materials properties and products requirement. Herbage seeds (*Elymus dahuricus*) and carrot cubes were adopted to test the performance of air-impingement rotary dryer. The results of drying can reach national first-class seed quality standard for *Elymus dahuricus*, and the value of L , a , b color difference, ΔE , between rehydration and raw materials of carrots was only 5.95.

Key words Air-impingement, Rotary dryer, Herbage seeds, Carrot cubes, Structure, Design

引言

近年来, 气体射流冲击技术在农产品的干燥与烫漂上取得了较为显著的研究成果^[1~3], 但水平式气体射流冲击装置的缺点是处理量小^[4], 物料盘上仅能平铺一层物料, 不利于工厂化的大规模作业。转筒干燥机是当前世界上应用范围最广的干燥设备之一。常规式转筒干燥机具有生产能力大、结构简

单等优点, 但同时也存在着设备庞大、热效率低以及干燥时间相对较长等缺点^[5]。

结合气体射流冲击干燥技术与转筒干燥技术于一体的通气管式转筒干燥机^[6~7], 其热、质传递速率是常规式转筒干燥机的 2 倍^[8], 并可减少设备 50% 的钢耗量^[9], 但其显著缺点是干燥机内不同位置的物料受热不均。

鉴于气体射流冲击干燥技术具有传热系数高和

转筒干燥技术生产能力大等特点,本文结合气体射流冲击干燥和转筒干燥的技术,设计一种气流冲击式转筒干燥机,以解决水平式气体射流冲击装置处理量小和常规式转筒干燥机热效率低、干燥时间长以及通气管式转筒干燥机物料受热不均等问题。

1 工作原理及整体结构

1.1 工作原理

气流冲击式转筒干燥机的工作原理如图 1 所示。热空气在高压风机的作用下,通过气流主管将具有一定温度、压力、流速的气流,由底部 3 排分支喷管近似垂直地喷射冲击到物料层中。在高传热系数气体射流冲击下,可使物料在较短的时间内达到或接近冲击气流的温度,从而快速完成热、质传递过程。此外,由于喷出气体的流速较高,当其冲击物料后,由于物料对喷射气流的阻碍,使喷射气流又立即反射至周围物料之中,即物料不仅受到喷嘴喷出高速气流的冲击,同时也受到周围反射气流的冲刷。与此同时,在筒体转动(气流主管和分支喷管固定不动),以及横棒和分支喷管的多重搅拌作用下,使转筒内的所有物料都能够被高速运动的气流所包裹和冲刷,实现物料的均匀受热。

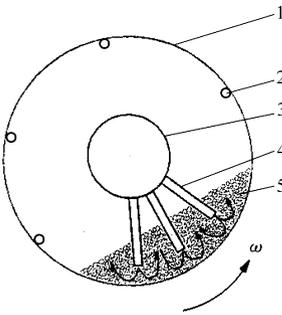


图 1 工作原理示意图

Fig.1 Schematic of working principle

1.筒体 2.横棒 3.气流主管 4.分支喷管 5.物料

根据气流冲击式转筒干燥机的设计要求,以及工作时所需考虑的工艺和结构因素,通过对主要工作部件的设计计算和相关文献查阅,确定气流冲击式转筒干燥机的整体结构如图 2 所示。

1.2 整体结构

干燥机的筒盖、筒体、进回风中心管、进回风弯管段、进回风直管段以及进回风蜗壳外部均填充着保温材料,由此实现干燥机作业时的保温隔热,降低能耗和对周围环境的热辐射。

热风循环机构由气流主管、进回风中心管、进回风弯管段、进回风直管段和进回风蜗壳把整个干燥机的通风管路分为进风和回风 2 个通路,由此实现

对热风的循环利用。

干燥机的排气装置工作时,会立即从回风通路中强制吸出部分高湿空气排至干燥机外,与此同时,在大气压的作用下,等量的低湿新鲜空气由进回风蜗壳外部的通风管进入干燥机中,由排气装置的连续工作实现干燥机的换气与除湿。

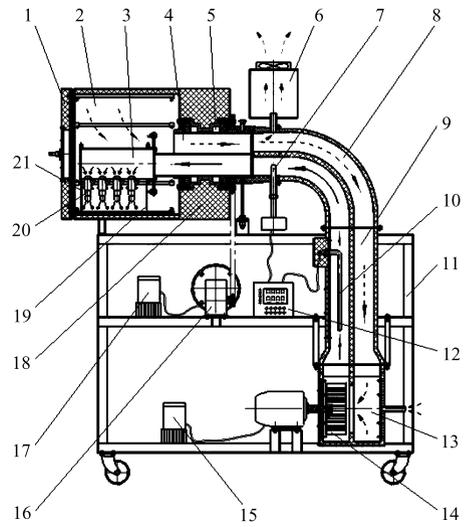


图 2 整体结构示意图

Fig.2 Schematic of mechanism

1.筒盖 2.筒体 3.气流主管 4.进回风中心管 5.轴承及链轮机构 6.排气装置 7.温湿度传感器 8.进回风弯管段 9.进回风直管段 10.加热管 11.机架 12.温湿度监控装置 13.进回风蜗壳 14.风机 15.变频器 I 16.减速器 17.变频器 II 18.保温材料 19.后物料挡板 20.分支喷管 21.前物料挡板

对热风的循环利用。

干燥机的排气装置工作时,会立即从回风通路中强制吸出部分高湿空气排至干燥机外,与此同时,在大气压的作用下,等量的低湿新鲜空气由进回风蜗壳外部的通风管进入干燥机中,由排气装置的连续工作实现干燥机的换气与除湿。

通过改变变频器的频率即可改变与之相连电动机的转速,从而可对风速和转筒转速进行调节。

气流冲击式转筒干燥机主要技术参数如表 1 所示。干燥机为试验样机,初选加热管功率为 2.5 kW,风机功率为 0.55 kW,转筒减速器功率为 0.75 kW。

表 1 主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters

参数	数值
外形尺寸(长×宽×高)/mm×mm×mm	1 500×600×1 700
干燥室尺寸(内径×长)/mm×mm	φ494×270
风速调节范围/m·s ⁻¹	0~30
温度调节范围/℃	环境温度~200
喷管直径调节范围/mm	5~30
喷管高度调节范围/mm	10~50
喷管倾角调节范围/(°)	10~40
转筒转速调节范围/r·min ⁻¹	0~200

2 主要部件设计

2.1 气流主管

如图 3 所示,各分支喷管通过紧固螺栓固定在气流主管的下部,并实现分支喷管距筒底高度的无

级调节或更换不同内径的分支喷管。

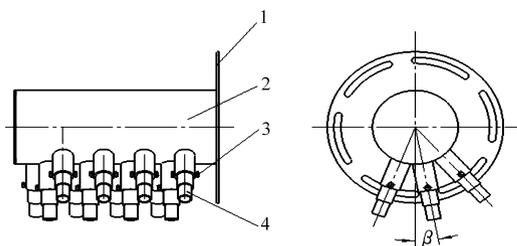


图 3 气流主管结构示意图

Fig. 3 Schematic of central pipe

1. 法兰 2. 主管 3. 紧固螺栓 4. 分支喷管

喷管倾角 β 定义为中间一排分支喷管与铅垂面的夹角。法兰上设计有多段弧形槽,通过旋转法兰便可使连接螺栓在弧形槽内滑动,实现对喷嘴倾角 β 的调节。

在通气管式转筒干燥机中,分支喷管在水平面的投影为矩阵排列,如图 4a 所示。这种排列方式会导致喷管下方和喷管间隙下方的物料所受到的气流冲击强度和搅拌强度不同,即不同位置处的物料局部受热不均。为解决上述问题,本干燥机的分支喷管采用螺旋线排列方式,如图 4b 所示。与矩阵排列方式相比,螺旋线排列方式可使各分支喷管在铅垂面上的投影间距减小 $2/3$,进而使分支喷管下方和喷管间隙下方的物料所受到的气流冲击强度和搅拌强度更趋相同,物料受热更均匀。

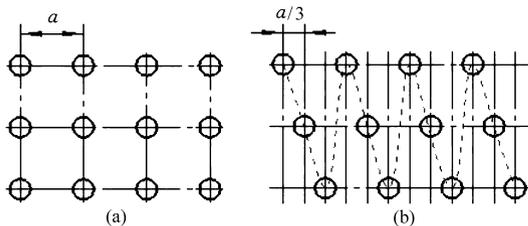


图 4 分支喷管排列方式

Fig. 4 Branch pipes arrangement

(a) 矩阵排列 (b) 螺旋线排列

2.2 温湿度监控装置

温湿度监控装置用于干燥机内温湿度数据的采集、显示及控制,温度的分辨率为 0.1°C ,相对湿度的分辨率为 3%。

温湿度监控装置主要由 5 个模块组成:① 主控模块:用于整个系统的信号采样、数据处理及数据显示功能。② 扩展模块:设置了看门狗电路,负责系统中实现断电数据保存、看门狗、上电、掉电复位及电源电压监控等功能。③ A/D 转换模块:选用了盛世瑞恩公司生产的数字式温湿度传感器 SHT11 芯片,可以直接与单片机进行数字交换。④ 输出控制模块:用于输出数字信号,通过控制继电器的开关实现加热管和排风装置电源的通断。⑤ 键盘及显示模块。

该控制系统的硬件结构框图如图 5 所示。

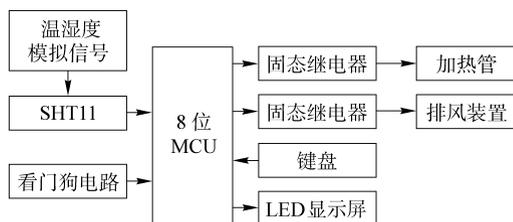


图 5 控制系统硬件结构框图

Fig. 5 Block diagram of control system

3 性能试验

以牧草种子(披碱草种子)和胡萝卜丁($9\text{ mm}\times 9\text{ mm}\times 9\text{ mm}$)为试验物料对气流冲击式转筒干燥机进行性能试验。

披碱草种子:填充率约为 12%,选用分支喷管内径为 19 mm,设置喷管倾角为 10° ,喷管口距转筒底部高度为 20 mm,风温为 45°C ,风速为 20 m/s ,转筒转速为 6 r/min 。历时 2 h 干燥处理后,披碱草种子含水率由 20.1%(湿基)降为 9.6%(湿基)。进行发芽试验后,测得发芽率为 95%,达到披碱草种子 I 级国家标准。图 6 为干燥过程中披碱草种子湿基含水率随时间的变化曲线。

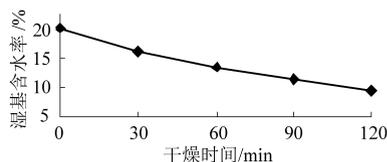


图 6 披碱草种子湿基含水率随时间变化曲线

Fig. 6 *Elymus* seeds moisture content over time curve

胡萝卜丁:烫漂 2 min 灭酶护色,填充率约为 16%,选用喷管内径为 12 mm,设置喷管倾角为 20° ,喷管口距转筒底部高度为 30 mm,风温为 70°C ,风速为 20 m/s ,转筒转速为 9 r/min 。历时 8 h 干燥处理后,胡萝卜丁含水率由 91.6%(湿基)降为 10.1%(湿基),达到脱水蔬菜储藏国家要求,且色泽变化很小,复水后与原物料 L 、 a 、 b 色差 ΔE 仅为 5.95。一些学者研究发现:对于热风对流干燥,当热风温度不超过 70°C 时,干燥后胡萝卜 β -胡萝卜素和番茄红素等营养成分的损伤较小^[10~11]。因此,本试验选择 70°C 作为干燥温度,以在较低营养成分损伤的前提下尽可能的提高干燥速率。图 7 为干燥过程中胡

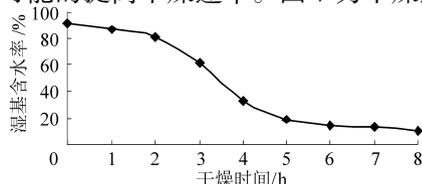


图 7 胡萝卜丁湿基含水率随时间变化曲线

Fig. 7 Carrot cubes moisture content over time curve

萝卜丁湿基含水率随时间的变化曲线。

4 结论

(1) 结合气体射流冲击干燥和转筒干燥技术,设计了一种气流冲击式转筒干燥机,工作时可根据不同的物料特性和产品要求调整热风温湿度、气流流速、转筒转速等工艺因素以及分支喷管直径、高度、倾角等结构因素,适用于谷物、农牧产品、食品等流动性较好的颗粒物料的干燥。

(2) 干燥机分支喷管采用螺旋线排列形式,同时结合保温隔热、热空气循环利用以及换气除湿等方法,解决了通气管式转筒干燥机局部受热不均、能耗大以及无法根据干燥不同物料而合理调整相应结构参数等缺点,对物料具有更强的适应性。

(3) 以披碱草种子和胡萝卜丁为试验物料对所设计的干燥机进行了性能试验,干燥后的披碱草种子达到国家Ⅰ级种子标准,脱水胡萝卜丁复水后与原物料 L 、 a 、 b 色差 ΔE 仅为 5.95。

参 考 文 献

- 1 中国农业大学. 气体射流冲击海参干燥方法与装置:中国,200710176389.5[P]. 2007-10-26.
China Agricultural University. Air impingement drying equipment and method of sea cucumber. China, 200710176389.5[P]. 2007-10-26. (in Chinese)
- 2 中国农业大学. 一种杏干的加工方法:中国,200710063255.2[P]. 2007-01-11.
China Agricultural University. A processing method of apricot; China, 200710063255.2[P]. 2007-07-11. (in Chinese)
- 3 杜志龙. 气体射流冲击果蔬烫漂及干燥试验研究[D]. 北京:中国农业大学, 2007.
Du Zhilong. Experimental study of blanching and drying infruits and vegetables on the air-jet impingement oven[D]. Beijing: China Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 4 中国农业大学. 水平式气体射流冲击烤箱:中国,02238211.9[P]. 2003-05-07.
China Agricultural University. Air-impingement oven in adinic mode; China, 02238211.9[P]. 2003-05-07. (in Chinese)
- 5 潘永康. 现代干燥技术[M]. 北京:化学工业出版社,1998:104.
- 6 Yukio Yamato. A novel rotary dryer with through air combination[C]//Drying'96:Proceedings of the 10th International Drying Symposium. Krakow, Poland, 1996:627~630.
- 7 Yukio Yamato. Aeration-type rotary dryer: US,5996245[P]. 1999-12-07.
- 8 Lisboa M H, Alves M C, Vitorino D S. Study of the performance of the rotary dryer with fluidization[C]//Drying 2004: Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004). São Paulo, Brazil, 2004: 1 668~1 675.
- 9 Mujumdar A S. Research and developments in drying: recent trends and future prospects[J]. Drying Technology, 2004, 22(1~2):13.
- 10 Regier M, Mayer-Miebach E, Behsnilian D. Influences of drying and storage of lycopene-rich carrots on the carotenoid content[J]. Drying Technology, 2005, 23(4):989~998.
- 11 Fano Castro P, Cruzy Victoria M T, Anaya Sosa I. Biochemical quality assessment of dehydrated carrots[J]. International Journal of Food Properties, 2008, 11(1):13~23.

(上接第 105 页)

- 14 Lee D S, Hagger P C, Lee J, et al. Model for fresh produce respiration in modified atmospheres based on principles of enzyme kinetics[J]. Journal of Food Science, 1991, 56(6): 1 580~1 585.
- 15 Zhu J Y, Wang X Y, Xu Y C. Controlled atmosphere preservation technology of agaricus bisporus[C]//Agricultural Engineering for a Better World. Bonn, 2006.
- 16 朱继英, 王相友, 许英超. 贮藏温度对双孢蘑菇采后生理和品质的影响[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 91~97.
Zhu Jiying, Wang Xiangyou, Xu Yingchao. Effects of storage temperature on the postharvest physiology and quality of *Agaricus bisporus* [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 91~97. (in Chinese)
- 17 石启龙, 王相友, 王娟, 等. 不同贮藏温度对双孢蘑菇生理特性的影响[J]. 食品工业科技, 2005, 26(3): 165~169.
Shi Qilong, Wang Xiangyou, Wang Juan, et al. Effect of different temperature on physiological characteristics of *Agaricus bisporus* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2005, 26(3): 165~169. (in Chinese)