

## 粮食烘干机械高效高品质烘干关键技术发展现状与展望

何昌娇<sup>1</sup>, 潘家保<sup>2</sup>

(1. 中联重机股份有限公司, 安徽谷王烘干机械有限公司, 安徽芜湖 241080; 2. 安徽工程大学机械与汽车工程学院, 安徽芜湖 241000)

**摘要** 粮食烘干机械作为农业机械的核心装备, 其技术的发展水平直接体现了我国农业机械化现代化的水平。近些年, 随着国家对农业机械的支持力度持续加大, 粮食烘干机械得到了暴发式的增长, 粮食烘干也逐渐朝着高效率高品质要求方向发展。分析了粮食烘干机械的技术发展现状, 以及提高粮食烘干效率和品质的紧迫性和必要性; 归纳了影响粮食烘干效率和品质的关键技术因素, 以及现有技术在提高粮食烘干效率和品质方面的应用效果; 最后, 对粮食烘干机械如何实现高效高品质烘干进行了技术展望。

**关键词** 粮食; 烘干机; 高效高品质; 关键技术; 发展现状; 展望

中图分类号 S226.6 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)06-0020-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.06.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Development Status and Trends of High Efficiency and High Quality Drying Key Technology for Grain Drying Machine

HE Chang-jiao<sup>1</sup>, PAN Jia-bao<sup>2</sup> (1. Anhui Guwang Drying Machinery Co. Ltd., ZOOLION Heavy Machinery Co. Ltd., Wuhu, Anhui 241080; 2. School of Mechanical and Automotive Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui 241000)

**Abstract** Grain drying machine is the core equipment of agricultural machinery. And the levels of its technological development reflect the agricultural mechanization and modernization levels for our country. Recently, the grain drying machine gets an explosive growth due to the state's persistent support for agricultural machinery. Grain drying is developing towards high efficiency and high quality as well. The technological development status of grain drying machine was analyzed. The necessary and inevitable of high efficiency and high quality grain drying machine was discussed. Moreover, the key technology and its application for improving grain drying efficiency and quality were concluded. At last, the technology prospect of how to realize high efficiency and high quality drying of grain drying machine was presented.

**Key words** Grain; Drying machine; High efficiency and high quality; Key technology; Development status; Trends

传统农业生产过程中, 粮食收获后, 需要经过较长时间的晾晒后才可以入库储存, 否则将会出现粮食的发霉、变质等不利影响, 造成储存过程粮食的损耗。这使得粮食收获工作持续较长, 生产效率低。传统的农业生产过程已经制约了农业的发展, 收获工作持续时间长也是农业生产人员收入较低的因素之一。

随着我国经济社会的发展, 农村劳动力逐渐向城市转移, 从事农业生产人员骤减促使了农业向机械化方向发展。近些年, 对粮食去水逐渐采用了烘干方法, 其烘干核心原理是通过热空气促使粮食内部的水分蒸发并随热空气一起排出, 并将粮食的含水率降低至可安全储存的含水率之下。烘干效率高、便于实现自动化控制, 目前已经有非常多的产品进入市场。特别地, 国务院发布了《中国制造 2025》实施纲要, 农机装备被列为了未来重点发展的 10 个重点领域, 农机装备需要重点提高农机装备信息收集、智能决策和精准作业能力, 推进形成面向农业生产的信息化整体解决方案<sup>[1]</sup>。这促使粮食烘干技术及装备向着更高要求发展, 实现机械化农机装备向集成化、智能化高端农机装备转变。

目前, 粮食烘干机主要包括小吨位的批式循环烘干机、大吨位的连续式烘干塔以及适用于散户的移动式烘干机。这 3 类产品面对不同的烘干规模, 三者之间为互补关系, 而非竞争关系, 近些年均得到了一定的发展, 但在烘干过程中出现的烘干缺陷(如爆腰、碎米、焦糊、烘干不均)很难彻底杜绝。粮食烘干机现场安装、调试人员技术水平对粮食烘干效

果影响非常大, 如何保证烘干品质稳定, 一直是研究人员孜孜不倦的追求目标<sup>[2]</sup>。笔者首先分析了批式循环烘干机、连续式烘干塔和移动式烘干机发展现状; 进一步归纳了影响粮食烘干高效高品质的关键技术因素, 分析了现有技术在提高粮食烘干效率和品质方面的应用效果; 最后, 对粮食烘干机械高效高品质烘干关键技术的未来发展趋势进行了展望。

## 1 粮食烘干机械的发展现状

**1.1 批式循环烘干机** 批式循环烘干机是最早发展起来的烘干设备, 目前市场上应用也最为广泛<sup>[3-4]</sup>。批式循环烘干机的工作核心步骤包括进料—循环烘干(提升、运输、排粮)—出料。湿粮分批次进入烘干机内部, 粮食在烘干机内部持续循环干燥, 直至水分降低至目标值, 待烘干好的粮食出机后, 进行下一批次粮食的烘干。

从批式循环烘干机的工作原理角度来分析, 完成一批次粮食烘干, 粮食进料和出料均占用时间; 同时需提升机和输送设备才能够完成粮食的提升、输送、排粮以达到循环的效果, 烘干过程中的能源消耗量大, 成本也较高。此外, 批式循环烘干机容易出现碎米、爆腰、烘干不均等烘干缺陷。王发明<sup>[5]</sup>分析了批式循环烘干机在粮食烘干过程中出现碎米和爆腰等烘干缺陷的原因, 对粮食热物性参数认识不足, 在烘干过程工艺设置不合理将会对粮食烘干品质产生重要影响。李留胜等<sup>[6]</sup>在分析了现有批式循环烘干机不足的基础上, 提出了一种两段混流批式循环烘干机, 混流效果可提高烘干效率, 在较少的循环次数下即可实现粮食的烘干, 谷物破碎率也较低。批式循环烘干机在技术原理上均非常成熟, 但烘干过程中不可避免循环模式是出现粮食烘干品质降低的重要原因。李留胜等<sup>[6]</sup>开展的批式循环烘干机原理创新将是一

**作者简介** 何昌娇(1989—), 女, 安徽庐江人, 助理工程师, 从事粮食烘干机械的设计与开发工作。

**收稿日期** 2018-11-13

个重要技术思路。

**1.2 连续式烘干机** 连续式烘干机是近几年发展起来的一种大吨位的新型粮食烘干机械,烘干吨位达到上百吨,甚至是千吨级别。大吨位的连续式烘干机又被称为“烘干塔”,其工作原理是湿粮连续不断地通过烘干机,经干燥达到所要求的含水率后出机。烘干过程中,粮食经过了持续性的缓苏—干燥—缓苏—冷却,粮食的水分可以被充分地去除。烘干过程中,连续式烘干塔(机)在烘干过程中,实现粮温、湿度的在线监测,具备较高的自动化程度。粮食温度<sup>[7]</sup>、水分监测<sup>[8]</sup>是连续式烘干塔(机)2个核心的监测指标,作为控制连续式烘干机(塔)的反馈信号,以评判粮食的烘干程度。连续式烘干机烘干效果较好,由于对粮食不需循环,少去了提升和拨粮工艺,碎米和爆腰的烘干缺陷减少,但是一次烘干时间较长,在小批量烘干过程中不经济。因此,连续式烘干塔主要应用在粮库或大型粮站。

**1.3 移动式小型烘干机** 批式循环烘干机、连续式烘干塔均需要专门安装在固定位置,安装过程中需要设定固定的底座或地基,无法移动,同时吨位相对较大。结合我国国情,虽然农业机械化得到了充足发展,但是相当一部分的粮食作物还是采用人工收获,粮食的除水依然采用的是晾晒的方法。针对散户粮食烘干问题,近年来也诞生了移动式的小型烘干机<sup>[9-11]</sup>,其烘干原理与批次循环烘干机的原理类似,同时移动式小型烘干机底部安装在工程车底盘上,实现可移动。然而,这类烘干机由于要考虑到运输,移动式小型烘干机在结构上与有固定安装的批次循环烘干机有很大的区别,导致烘干过程中热量利用效率低、烘干不均匀。此外,对于散户粮食烘干,最为关心的因素是烘干成本问题。目前,移动式烘干机热量利用效率低,成本居高不下,将严重制约着此类烘干机的发展。因而,目前在市场上移动式小型烘干机推广效果并不理想。

## 2 粮食高效高品质烘干关键技术发展现状

**2.1 烘干过程的自动化控制技术** 随着农业机械化的发展,粮食烘干机械在烘干过程必然要实现自动化,烘干过程的自动化控制技术也被广泛研究。张虎等<sup>[12]</sup>开发了以 PLC 和触摸屏相结合的粮食烘干机组合控制系统,实现了变频器和现场各工作单元的控制,并通过触摸屏对机器的工作状态进行显示。吴峰等<sup>[13]</sup>基于 PLC 开发了粮食烘干机燃油炉的控制系统,可实现燃烧无极调节、风温自动控制,对提高烘干质量和效率具有较好的应用效果。程乐等<sup>[14]</sup>基于计算机网络、嵌入式等技术,开发了一套粮食烘干机的远程控制系统,实现了粮食烘干机远程在线监测、控制,相对于传统的自动化,该系统实现了人机交互。祝国武<sup>[15]</sup>系统地分析了我国烘干机控制系统的技术现状,炉温、原粮水分、供料系统等因素在工作过程中均表现出高度的不稳定性和时变性,并给出了相应的解决方案。

粮食烘干机中广泛采用的控制算法为经典的 PID 控制算法,但不同谷物需要调节的参数不一样,谷物物性参数也对控制提出了要求,这使得 PID 控制在烘干机控制的应用中

受到一定的限制。陈洪军等<sup>[16]</sup>基于模糊控制理论的鲁棒性和控制稳定性优势,将模糊控制引入烘干机的控制系统,可较为方便地对不同对象进行控制,取得了较好的效果。蔡有杰等<sup>[17]</sup>通过抗饱和 PID 控制算法,以温度数据为反馈进而控制热风机的供风情况,进而达到控制过程中恒温调节的目标。

由此可见,粮食烘干机已实现了较好的自动化程度,普遍均采用粮食湿度(评判烘干程度的直接指标)作为反馈信号。然而,粮食湿度本身在烘干过程中也是受多重因素影响。

**2.2 粮食湿度的在线监测技术** 粮食烘干评价的重要指标为含水率,针对粮食的含水率测定方法 GB/T 5497—1985 给出了具体的测定方法。标准中,对粮食的烘干采用多次复烘方法可以达到降低含水率的目标。实际上,采用连续式烘干也能够达到类似的应用效果,陆汉双等<sup>[18]</sup>对小麦、小麦粉、大米及大豆 4 个品种的样品进行了水分测试,发现采用连续式烘干方式也能够达到较好的粮食去水效果,测试误差值小于 GB/T 5497—1985 规定的要求。

在烘干机粮食烘干过程中,含水率是动态变化的,对粮食烘干过程中的湿度动态在线监测显得尤为必要。孙继卫等<sup>[19]</sup>基于复阻抗测量原理,研制了粮食烘干用的水分含量在线监测系统,实现了粮食烘干过程中的在线、实时监测。纪立波等<sup>[20]</sup>比较了高温短时烘干与定温定时烘干效果,发现高温短时烘干也能够达到定温定时烘干的效果。吴志东等<sup>[21]</sup>针对顺流式烘干塔采用单点湿度监测以及开关信号在烘干过程控制中的不足,提出了采用多点测试方法,并将湿度信息用于控制热风机转速和排粮机构,达到风量与排粮速度匹配的效果,进而实现较高品质的烘干效果。

由此可见,实现粮食烘干过程中的湿度在线监测,准确地反馈给控制系统,并相应地调整烘干机工作系统的参数(风量、排粮速度等),能够达到高品质的烘干效果。在实现粮食自动化、高品质烘干的基础上,还需要考虑粮食烘干的效能问题,烘干成本降低是实现粮食烘干机普及的关键因素。

**2.3 高效节能型烘干技术** 粮食烘干机能够可持续发展,必须降低烘干成本。现有粮食烘干机在粮食热效率利用方面缺乏认识,一些研究人员对粮食烘干机的烘干过程热效率问题进行了讨论。曹顺<sup>[22]</sup>采用增大烘粮风量,适当降低干燥温度,粮层厚度适宜,多点供风,顺逆流结合,充分缓苏等工艺,可以到达高效低耗的烘干效果。董丽等<sup>[23]</sup>提出采用稻壳等生物质为燃料,开发了低成本的粮食烘干机,相对于传统烘干机热风炉,以稻壳为燃料的烘干机需要增加稻壳仓、稻壳螺旋输送机 and 除灰螺旋输送机。黄志章等<sup>[24]</sup>认为对热风炉进行科学设计、高精度安装、良好保温措施以及科学管理均可提高粮食烘干热风炉的热效率。姜亚南等<sup>[25]</sup>利用气气换热器和水气换热器两级串联设计了粮食烘干机的余热回收系统,将缓苏仓分为热缓苏和冷缓苏 2 个仓,余热回收系统的热量用于粮食热缓苏仓的热源,进而实现节约能源的

效果。王继勤<sup>[26]</sup>设计了一款节能型粮食烘干设备,采用无缓苏快速连续干燥技术,通过提高粮食的受热时间,以提高去水效果,同时通过余热自动循环利用,达到节约能源的效果。程长青<sup>[27-28]</sup>提出了真空低温烘干方法,通过降低烘干过程中的气压,以降低水的沸点,使水在低于淀粉糊化温度下就可以沸腾,实现高效率高品质烘干的效果。

### 3 高效高品质烘干发展趋势分析

**3.1 粮食脱水机理有待进一步深入研究** 不同谷物、不同含水率粮食在烘干过程中,烘干温度、烘干时间、缓苏时间等均不相同,这与谷物的成分、热物性参数等具有高度关联性。同时,对烘干过程中粮食的失水规律也缺乏认识。现有评价多采用粮食湿度作为评价指标。虽然湿度为烘干程度的直接指标,但温度、时间控制不当,粮食还未烘干就有可能出现焦糊现象,严重影响烘干品质;缓苏时间控制不当极易造成烘干不均,影响烘干品质。实现粮食烘干的高品质化,必须要对粮食烘干过程中的脱水机理开展深入研究和广泛探讨。

**3.2 烘干过程传热传质机理有待深入探讨** 粮食烘干过程中,热源通过热空气形式与谷物进行热交换实现粮食的烘干;另外,缓苏阶段粮食内部也是一个热量交换和传递过程;粮食最后出机过程中,需经过充分冷却才可出机。热空气与谷物之间的热交换情况直接决定了粮食的烘干效率,缓苏阶段粮食内部热量传输直接影响着粮食烘干的均匀性,而冷却段的粮食冷却速率是否恰当直接决定了粮食是否会出现碎米、爆腰等烘干缺陷问题。这3个阶段均涉及复杂的物料传热传质问题。现有研究对此类问题缺乏深入探讨,设计过程大多局限在经验公式。提高烘干机的烘干品质和效能必须要探明粮食烘干过程中的传热传质问题,得出其影响因素,阐明其影响规律。

**3.3 粮食烘干技术与智慧农业紧密对接** 《中国制造2025》明确规划了我国未来农业装备需提高农机装备信息收集、智能决策和精准作业能力。然而,现有粮食烘干机的控制仍然停留在如何更好地实现自动化控制。面向智慧农业的粮食烘干技术,已经有文献报道<sup>[29]</sup>。但智慧农业下,粮食烘干机如何与其他农机具之间实现信息交互,如何对烘干过程中粮食物性参数进行感知进而实现智能烘干,智能化烘干机系统稳定性问题等,都将会是未来粮食烘干机必须要解决的问题。

### 4 展望

近些年,我国粮食烘干机取得了快速发展,未来批式循环烘干机、连续式烘干塔、移动式小型烘干机均具有各自的市场空间,发展也会齐头并进。粮食烘干机的自动化控制、湿度在线监测、高效节能烘干是粮食烘干机关键技术,粮食烘干机在实现自动化控制的基础上,未来将会朝着智能化方向发展;烘干程度的评判不能仅停留在湿度单一指标,需要

对粮食的烘干脱水机理开展深入研究,以揭示湿度与含水率之间更精确的对应关系,进而实现粮食烘干过程的更精准控制;粮食烘干过程中的传热传质机理需开展深入研究,以此为烘干机设计提供理论指导,以实现高效率和高品质烘干。

### 参考文献

- [1] 国务院. 国务院关于印发《中国制造2025》的通知: 国发〔2015〕28号 [A]. 2015.
- [2] 刘颖. 浅谈高水分梗稻谷烘干对粮食质量的影响 [J]. 科学之友, 2010(10): 143-144.
- [3] 王国强. 小型批式循环谷物烘干设备 [J]. 粮油加工与食品机械, 1998(5): 26, 28.
- [4] 王国强. 几种小型批式循环谷物烘干机的使用效果 [J]. 农机试验与推广, 1999(4): 25-26.
- [5] 王发明. 批式循环烘干机碎米增多的原因及排除 [J]. 现代农机, 2017(3): 53-54.
- [6] 李留胜, 邵刚国, 殷金龙. 双段批式循环粮食烘干机的开发 [J]. 粮食与饲料工业, 2017(12): 11-13.
- [7] 蔡有杰, 范鹏灿, 胡宏佳, 等. 粒状粮食烘干塔温度控制系统设计 [J]. 饲料工业, 2017, 38(7): 9-14.
- [8] 蔡有杰, 吴志东, 李明, 等. 顺流式烘干塔粮食水份监测与控制系统设计 [J]. 食品工业, 2017(8): 181-184.
- [9] 裴勇, 袁家厚, 马艳, 等. 农户用移动式小型粮食烘干机的研究与应用 [J]. 粮食与饲料工业, 2013(8): 15-19.
- [10] 吴修文, 何伟宁, 吴乃刚, 等. 小型粮食烘干机的现状及发展设想 [J]. 农业装备与车辆工程, 2016, 54(6): 65-67.
- [11] 郭桂霞, 张来林. 连续和批次循环小型粮食烘干机的研发 [J]. 粮食与饲料工业, 2015(8): 14-18, 21.
- [12] 张虎, 吴文福, 付海东, 等. 触摸屏和 PLC 在粮食烘干机中的组合应用 [J]. 农业机械, 2011(35): 90-92.
- [13] 吴峰, 胡志超, 张会娟, 等. 基于 PLC 的粮食烘干机燃油炉控制系统设计与实现 [J]. 中国农机化, 2010(2): 71-73, 77.
- [14] 程乐, 张洪斌. 粮食烘干机远程控制系统的研究 [J]. 科技创新导报, 2012(9): 77.
- [15] 祝国武. 粮食烘干机自动化控制的研究与探讨 [J]. 粮食流通技术, 2014(6): 23-24, 30.
- [16] 陈洪军, 高国丽. 基于模糊控制的粮食烘干控制系统研究 [J]. 时代农机, 2016, 43(11): 62-63.
- [17] 蔡有杰, 范鹏灿, 胡宏佳, 等. 粒状粮食烘干塔温度控制系统设计 [J]. 饲料工业, 2017, 38(7): 9-14.
- [18] 陆汉双, 管秀珍, 黄振. 不同烘干试样方法测定粮食、油料水分含量结果对比试验探讨 [J]. 粮油加工 (电子版), 2015(2): 46-48.
- [19] 孙继卫, 王威, 朱敬坤. 粮食烘干过程水分在线检测系统研究 [J]. 粮油加工 (电子版), 2010(3): 51-53.
- [20] 纪立波, 肖雅斌, 赵东霞, 等. 粮食水分快速烘干测定法 [J]. 粮油仓储科技通讯, 2012, 28(4): 40-42.
- [21] 吴志东, 蔡有杰, 郝鹏, 等. 顺流式烘干塔粮食湿度检测与控制系统改进 [J]. 粮食与油脂, 2017, 30(11): 85-88.
- [22] 曹顺. 高效低耗的粮食烘干机研制与试验报告 [J]. 粮食储藏, 2004, 32(5): 33-35.
- [23] 董丽, 王继焯. CHGT 系列粮食烘干机供热系统分析与评价 [J]. 粮食加工, 2007, 32(1): 55-57.
- [24] 黄选章, 齐森, 刘丹, 等. 提高粮食烘干热风炉热效率的探讨 [J]. 粮食加工, 2012, 37(1): 50-51.
- [25] 姜亚南, 赵冉冉, 杨帅. 基于余热回收的粮食烘干系统的设计与实现 [J]. 安徽农业科学, 2016, 44(26): 228-230.
- [26] 王继勤. 节能型粮食烘干设备的设计 [J]. 农业开发与装备, 2017(4): 65, 67.
- [27] 程长青. 连续性真空低温粮食烘干塔的研发及性能介绍 [J]. 现代农机, 2015(3): 47-49.
- [28] 程长青. 粮食真空低温烘干技术的特点及应用前景 [J]. 新农业, 2016(20): 43.
- [29] 沈玉杰, 李长友, 王润发, 等. 粮食烘干现场智能交互监控系统 [J]. 安徽农业科学, 2014, 42(10): 3109-3110.