

# 新型粮油烘干机的研究和开发

王斌兴, 李云克

(中粮工科迎春农牧机械(山东)有限公司, 山东 东营 257000)

**摘要:**为改善我国粮油物料机械化烘干过程中存在的热效率不高、热风温度波动大及污染环境等问题,研发了新型粮油烘干机,对新型粮油烘干机的工艺参数、结构、高效供热装置、多重环保装置、过程监测控制等方面开展的集成化设计和创新型应用工作进行了阐述。新型粮油烘干机采用负压吸入式进风形式,工艺参数上设置不同的烘干缓苏时间比,热风风量较以往设计提高20%,控制表观风速在0.20~0.25 m/s,实时监测料温以控制受热温度和时间;结构上采用全镀锌装配式结构,多段烘干和缓苏相结合工艺,变截面角状上下交错布置形式,分层进风梯度冷却方式,变频电机驱动可调节排料机构,多点进料、多点出料方式;同时采用天然气线性燃烧技术和燃烧装置供热,重力沉降和离心除尘相结合对烘干废气进行处理及多个温度传感器进行干燥过程的监测控制。实际应用表明,新型粮油烘干机具有高效、节能、低碳、清洁的特点,符合我国现代农业高质量发展的实际需求。

**关键词:**粮油烘干机;负压烘干;节能环保;烘干品质

**中图分类号:**TS223.2;TQ643+.13 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2024)06-0124-05

## Research and development of a new grain and oilseed dryer

WANG Binxing, LI Yunke

(COFCO ET Yingchun Agricultural and Animal Husbandry Machinery (Shandong) Co., Ltd.,  
Dongying 257000, Shandong, China)

**Abstract:** In order to improve problems such as the low thermal efficiency, hot air temperature fluctuations and environmental pollution existed in drying process of grain and oilseed in China, a new type of grain and oilseed dryer was researched and developed. The integrated design and innovative application of the process parameters, structure, efficient heating device, multiple environmental protection device, process monitoring and control of the new grain and oilseed dryer were expounded. The new grain and oilseed dryer adopted negative pressure suction air intake form, different drying retardation time ratios were set on the process parameters, the hot air volume increased by 20% compared with the previous design, the apparent wind speed was controlled at 0.20 - 0.25 m/s, and the material temperature was monitored in real time to control the heating temperature and time. The structure adopted the fully galvanized assembled structure, the combination of multi-stage drying and retardation process, the variable cross-section angular upper and lower staggered arrangement form, the gradient cooling mode of layered air intake, the frequency conversion motor-driven adjustable discharging mechanism, the multi-point feeding and discharging mode, while using natural gas linear combustion technology and combustion devices for heating, gravity settling combined with centrifugal dust removal for drying exhaust gas treatment and multiple temperature sensors for drying process monitoring and control. The actual application shows that the new model has the characteristics of high efficiency, energy saving, low carbon, clean, in line with the

actual needs of China's modern agricultural development of high quality.

**Key words:** grain and oilseed dryer; negative pressure drying; energy conservation and environmental protection; drying quality

收稿日期:2023-10-10;修回日期:2024-03-09

作者简介:王斌兴(1981),男,高级工程师,硕士,主要从事粮食仓储物流项目的规划设计、装备制造及工程承包方面的工作(E-mail) wangbinxing@cofco.com。

“十四五”期间,随着农业供给侧结构性改革深入推进,以规模化种植为基础,依托农业产业化龙头企业带动,聚集现代生产要素,建设“生产+加工+科技+营销”的现代农业产业园<sup>[1]</sup>,成为我国农业现代化发展的主要模式。粮油物料收获后的机械化烘干处理,作为现代农业产业园建设中的关键一环,其运营质量对推动现代农业产业园的高质量发展,促进农业提质增效至关重要。

我国现有粮油烘干机以燃煤、生物质颗粒燃料为主,配套燃煤(生物质)热风炉,其热效率普遍不高,热风温度波动大,进而影响烘干效率和粮油物料烘后品质;此外,烘干机排出的废气,大部分未经处理直接排入大气,对环境造成严重污染,不符合国家建设资源节约型、环境友好型社会的总体要求。为此,在消化吸收国外粮油烘干机先进工艺和结构设计的基础上,我们开展了新型节能、高效、低碳、清洁型连续式粮油烘干装备的研究和开发工作,主要从工艺参数、结构、高效供热装置集成、多重环保装置、过程监测控制等方面开展新型粮油烘干机的集成化设计和创新型应用工作,确保其能够更好地满足我国现代农业机械化烘干的实际需要。

## 1 新型粮油烘干机的研发

### 1.1 工艺参数的优化

在烘干机设计过程中,烘干时间、缓苏时间、热风风量、表观风速、物料受热温度等参数的科学计算和合理选取是关键。

#### 1.1.1 烘干时间和缓苏时间的优化组合

对于高水分粮油物料,一般采用多段烘干、多段缓苏的烘干工艺,合理的烘干、缓苏参数设计不仅能够确保物料烘后品质,还能降低能耗<sup>[2]</sup>。烘干时间过长、缓苏时间过短,难以保证物料烘后品质;烘干时间过短、缓苏时间过长,势必影响烘干效率。对于玉米,由于物料体积较大,水分由内向外转移缓慢,烘干完成后需要较长的缓苏时间才能达到内外水分的平衡,因此需要设置较长的缓苏时间;而对于油菜籽,缓苏时间则不易过长,否则影响油菜籽出油率。新型粮油烘干机采用标准化、模块化结构设计,可根据烘干物料的不同,通过烘干段和缓苏段的不同组合方式,设置不同的烘干缓苏时间比,能够适应不同粮油物料的干燥特性。

#### 1.1.2 热风风量和表观风速的合理选择

实际应用表明,增加热风风量和提高表观风速

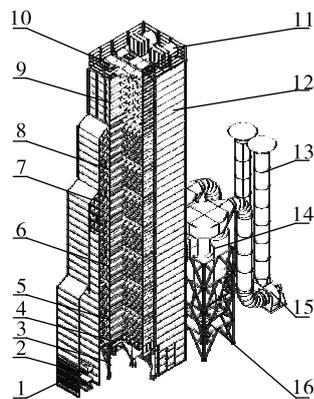
均能够提升烘干效率和烘干机的处理能力,但是,随着热风风量的增加,表观风速增加,干燥介质与物料接触换热时间缩短,穿过物料后的废气温度较高,热量损失较大,不利于烘干机的节能。新型粮油烘干机在热风风量选用上,较以往设计提高20%,同时控制表观风速在0.20~0.25 m/s范围内,烘干效率和热效率有了显著改善,在同样降水幅度下,烘干时间缩短15%以上。

#### 1.1.3 受热温度和受热时间的控制

较高的受热温度会导致物料脂肪酸值增高,裂纹率、破碎率增加,对物料烘后品质影响很大。另外,受热时间也会影响物料本身的温度和品质<sup>[3]</sup>。因此,控制合理的受热温度和受热时间,是保证物料烘后品质的关键。新型粮油烘干机中,通过对各个烘干段内物料温度的实时监测,适时调整烘干参数,确保物料的允许受热温度在要求范围内,并合理控制受热时间,确保物料烘后的品质。

### 1.2 结构的优化设计

通过三维设计软件进行全过程设计,保证最终产品与设计初衷的吻合性,基于离散元理论对机内物料流动状态进行模拟仿真,科学优化烘干机结构,应用有限元分析软件对烘干机关键结构和部件进行受力分析,保证整体结构的安全性。图1为烘干机结构。烘干机主要由设备主体(包括储料段、烘干段、缓苏段、冷却段、排料段)、前风室、后风室组成,风机设置在整个系统的末端。工作时,机体内部始终保持负压的工作环境,有利于物料内水分的蒸发和带出,也利于热风在烘干机内均匀分布和流动,可提高烘干效率、保证物料烘后品质有显著提升。



注:1. 进风口;2. 供热装置;3. 底座;4. 排料段;5. 下部冷却段;6. 中部烘干段和缓苏段;7. 前风室;8. 上部烘干段和缓苏段;9. 储料段;10. 顶盖和护栏;11. 风机;12. 后风室;13. 风管;14. 除尘器;15. 下部风机;16. 灰箱和支架

图1 烘干机结构

### 1.2.1 全镀锌装配式结构设计

烘干机采用全装配式结构设计(图2),所有板材采用热镀锌材质,具有以下优势:①装配精度和外观质量得到提升,板材采用激光下料、数控折弯和冲压成型工艺,加工质量和精度得到保证,结构件采用螺栓连接拼装成型,减少了焊接过程中的应力集中和变形,能够保证烘干机的整体装配精度和外观质量。②使用寿命和稳定性能得到提升,选用热镀锌材质和冷加工工艺,材料抗腐蚀性能进一步加强;由于镀锌材质表面更加光滑,有利于粮油物料的顺畅流动,减少了机内杂质的滞留和堆积,烘干作业连续稳定性能提升。

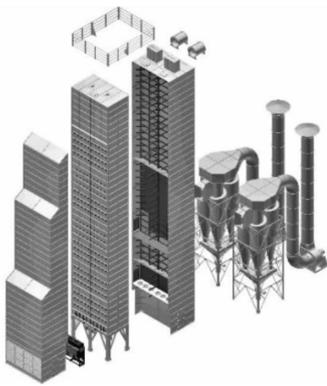


图2 烘干机的模块化设计和装配结构

### 1.2.2 多段烘干和缓苏相结合

图3为烘干段和缓苏段结构。根据物料的干燥特性和降水规律,烘干机上部设置较多的烘干段和相对较少的缓苏段,有利于物料中自由水分的快速蒸发和排出,提高烘干效率;烘干机中部设置相对较少的烘干段和较多的缓苏段,有利于后期物料内外水分转移和温度梯度的平衡,保证烘后品质。此外,整个烘干机结构采用标准化、模块化设计(图2),可根据不同物料的烘干特性和实际需要,灵活调整烘干段和缓苏段的布置,以适应不同物料的烘干需求。



图3 烘干段和缓苏段结构

### 1.2.3 变截面角状上下交错布置形式

烘干段内布置有多层进风角状和出风角状,进风角状和出风角状上下交错布置,使物料在通风层内呈S状向下流动,利于物料和干燥介质的充分接触,保证物料降水的均匀性;进风角状和出风角状为

变截面结构(见图4),能够保证通风的均匀性。针对物料水分高、含杂多、破碎高的不利条件,对角状截面尺寸和角状间距进行优化调整,在保证通风均匀的前提下,更利于内部物料的顺利流动。



图4 变截面角状结构

### 1.2.4 采用分层进风梯度冷却方式

新型粮油烘干机的冷却段设置为上部缓苏段和下部冷却段,外部自然空气进入烘干机主体后不是直接与高温物料接触,而是先经过下层冷却段再进入上层冷却段。采用分段梯度冷却工艺,能够降低受热后的粮油物料籽粒骤冷出现的爆腰率、裂纹率,有利于烘后品质的提升。

### 1.2.5 变频电机驱动可调节排料机构

排料段设有多组六叶轮排料机构,每组排料机构由排料轮,以及设置在排料轮一端的链轮和上、下导流板组成,上、下导流板与排料轮叶片保持一定间隙,便于物料顺利排出;为便于清理堵塞在排料轮上方的杂质,上导流板下端部设置有活动翻板,可调整上导流板与排料轮叶片的间隙;排料电机采用无极变频控制,可在设计产量的50%~200%范围内调节,能够适应不同种类物料、不同降水幅度的实际生产需要。

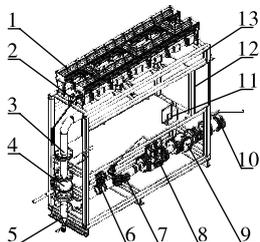
### 1.2.6 多点进料、多点出料

由于烘干机截面较大,物料从顶部中心进料口进入后,会造成严重的自然分级现象,流动性不好的灰尘、杂质和破碎的小颗粒会集中在中间部位<sup>[4]</sup>,不利于热风通过和物料的均匀烘干;同样,底部排粮斗也因尺寸较大,物料在下落过程中,由于重力作用,会造成烘后物料的进一步破碎。基于以上问题,将单点进料改为多点进料,能够有效解决进料过程中的自然分级现象;底部采用多个排料收集斗,每个收集斗的尺寸变小,能够缩短物料自由下落高度,避免烘后物料破碎率的进一步增加。

### 1.3 高效供热装置的集成

传统的天然气热风炉采用枪式燃烧器,工作时火焰长度较长,需要设计单独的燃烧炉膛和热风通道,散热面积大,不利于节能;随着供热量的增加,热风炉整体结构尺寸变大,需要占用更大的空间,不利于烘干机整体布局和工艺优化。

新型粮油烘干机的供热采用天然气线性燃烧技术和燃烧装置,工作时火焰高度不超过0.5 m,结构紧凑,可将整个燃烧器内置于烘干机前风室内部,外界空气通过前风室底部进入,在导风板的作用下与燃烧器产生的高温气体充分混合,形成烘干过程中需要的热风温度和热风风量。图5为燃烧器结构。



注:1. 燃气烧嘴;2. 检火装置;3. 管路;4. 球阀;5. 转接管路;6. 蝶阀和执行器;7. 压力开关;8. 组合电磁阀;9. 过滤器;10. 进气阀门;11. 点火组件;12. 控制柜;13. 整体支座

图5 燃烧器结构

与传统的天然气热风炉比较,采用天然气线性燃烧技术和燃烧装置具有以下显著优势:①热效率高,燃烧器直接安装在前风室内,外界空气进入后穿过燃烧器,能够带走全部热量,无热损失;②集成度高,燃烧器模块化设计,内置于烘干机风道内,不额外占用空间,安装简单,操作方便;③供热稳定,采用线性燃烧技术,电子连续比例调节控温,调节比达到25:1,供热温度精度可控制在 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,利于烘干机的连续稳定工作;④洁净环保,天然气燃烧充分,氮氧化物排放低,CO排放几乎为零, $\text{NO}_x$ 排放80 mg/kg以下;⑤安全可靠,整个系统具有调压、过滤、安全切断、流量控制、压力检查、内泄漏检测等多重防护功能,安全性更高。

#### 1.4 多重环保装置的应用

粮油物料烘干排出的废气中,含有大量的灰尘和轻杂,直接排放对周边环境影响较大,尤其是大型连续式烘干机,由于废气排量,粉尘浓度高,温度、湿度大等因素制约,对烘后废气的完全净化处理还缺乏有效的方法。现有方法多在烘干机两侧设置环保型废气道,废气在废气道内聚集沉降后通过废气道上部及侧壁废气排放口集中高空排放(重力沉降除尘),除尘效果较为明显<sup>[5]</sup>。但在某些地区,由于粮油物料含杂高、破碎度高,烘干过程中会产生较多的粉尘和轻杂,通过单一的重力沉降除尘效果甚微。

通过借鉴国外烘干机结构设计和废气处理方式,结合国内现有技术条件和成熟设备,采用重力沉降和离心除尘相结合的方式对烘干废气进行处理。参数选取方面,综合考虑气体流量、除尘效率、排放浓度、压力损失等因素,着重优化风室内部结构和设

计尺寸,保持废气中的颗粒物在后风室内有较低的流动速度和较长的沉降时间,提高重力沉降的分离效率。工艺流程方面,烘干初期,烘干废气中的粉尘浓度较低,废气湿度较高,采用重力沉降去除其中大部分的杂质,然后从顶部风机直接排放;烘干后期,随着物料水分的降低,废气中的细小灰尘和有机粉尘增多,通过重力沉降联合离心除尘方式,达到废气的有效净化处理。结构设计方面,后风室从下到上和烘干机主体连通,烘干过程中排出的废气在后风室内聚集,风室顶部和下部均设计有出风口,顶部出风口和顶部风机直接相连,下部出风口通过离心除尘器后和下部风机相连接,实现烘干废气分段净化和分段排放的目的。

#### 1.5 过程监测控制的应用

连续式粮油烘干机干燥过程具有非线性、多参数、大滞后的特点<sup>[6]</sup>,一般的过程控制方法,由于进机物料水分的变化、热风温度的波动,均会造成出机水分的波动,烘后物料品质难以保证。在实际应用中发现,在烘干机内随着物料内部水分的不断降低,温度逐渐升高,物料水分和温度具有一定的对应关系。基于这一规律,在烘干机内部,从上到下设置多个温度传感器,用于监测烘干过程中各阶段的物料温度变化,其优势在于:①实时监测烘干过程中物料温度变化,当某一温度明显偏离正常数据时,表明烘干过程中不利因素的出现,应及时查明原因;②通过温度的变化规律,预判物料水分变化是否偏离正常运行状态,为及时调整烘干机运行参数提供依据,保证最终出料水分的连续稳定;③控制物料最高受热温度,确保烘后品质。

## 2 新型粮油烘干机的应用效果及优势

### 2.1 烘干效率和物料烘后品质提升明显

将新型粮油烘干机应用于日处理1 200 t玉米烘干生产线中,根据玉米烘干的实测数据,在降水幅度为15%的情况下,物料在烘干机内停留时间缩短1 h以上,烘干效率较现有机型提升15%;此外,出料水分不均匀度也有显著改善,避免了过度干燥或干燥不足对物料烘后品质的不利影响。

### 2.2 节能减排和清洁生产效果显著

根据山东地区秋季高水分玉米烘干数据,烘干机单位能耗不超过4 500 kJ/kg,远低于传统热风炉粮食烘干机的I级能耗(6 000~6 500 kJ/kg)。在环保方面,采用重力沉降和离心除尘相结合的方式对烘干废气进行处理,较现有烘干机减少污染物排放80%以上,有效改善了烘干作业对周边环境的影响。

(下转第144页)

- virgin olive oil[J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(24): 6053 – 6063.
- [25] VELÁZQUEZ – PALMERO D, ROMERO – SEGURA C, GARCÍA – RODRÍGUEZ R, et al. An oleuropein  $\beta$  – glucosidase from olive fruit is involved in determining the phenolic composition of virgin olive oil [J/OL]. *Front Plant Sci*, 2017, 8: 1902[2023 – 02 – 25]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01902>.
- [26] LIMIROLI R, CONSONNI R, OTTOLINA G, et al.  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR characterization of new oleuropein aglycones [J/OL]. *J Chem Soc, Perkin Trans 1*, 1995(12): 1519 [2023 – 02 – 25]. <https://doi.org/10.1039/p19950001519>.
- [27] KARKOULA E, SKANTZARI A, MELLIYOU E, et al. Quantitative measurement of major secoiridoid derivatives in olive oil using qNMR. Proof of the artificial formation of aldehydic oleuropein and ligstroside aglycon isomers [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(3): 600 – 607.
- [28] RAGAZZI E, VERONESE G. Quantitative analysis of phenolic compounds after thin – layer chromatographic separation [J]. *J Chromatogr A*, 1973, 77(2): 369 – 375.
- [29] PIRISI F M, CABRAS P, CAO C F, et al. Phenolic compounds in virgin olive oil. 2. Reappraisal of the extraction, HPLC separation, and quantification procedures [J]. *J Agric Food Chem*, 2000, 48(4): 1191 – 1196.
- [30] LÓPEZ – HUERTAS E, LOZANO – SÁNCHEZ J, SEGURA – CARRETERO A. Olive oil varieties and ripening stages containing the antioxidants hydroxytyrosol and derivatives in compliance with EFSA health claim [J/OL]. *Food Chem*, 2021, 342: 128291[2023 – 02 – 25]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128291>.
- [31] OLMO – GARCÍA L, POLARI J J, LI X, et al. Deep insight into the minor fraction of virgin olive oil by using LC – MS and GC – MS multi – class methodologies [J]. *Food Chem*, 2018, 261: 184 – 193.
- [32] OLMO – GARCÍA L, FERNÁNDEZ – FERNÁNDEZ C, HIDALGO A, et al. Evaluating the reliability of specific and global methods to assess the phenolic content of virgin olive oil: Do they drive to equivalent results? [J]. *J Chromatogr A*, 2019, 1585: 56 – 69.
- [33] ROMERO C, BRENES M. Analysis of total contents of hydroxytyrosol and tyrosol in olive oils [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(36): 9017 – 9022.
- [34] PIÑERO M Y, AMO – GONZÁLEZ M, BALLESTEROS R D, et al. Chemical fingerprinting of olive oils by electrospray ionization – differential mobility analysis – mass spectrometry: A new alternative to food authenticity testing [J]. *J Am Soc Mass Spectrom*, 2020, 31(3): 527 – 537.
- [35] ARENA K, CACCIOLA F, RIGANO F, et al. Evaluation of matrix effect in one – dimensional and comprehensive two – dimensional liquid chromatography for the determination of the phenolic fraction in extra virgin olive oils[J]. *J Sep Sci*, 2020, 43(9/10): 1781 – 1789.
- [36] ZHU Z, LI X, ZHANG Y, et al. Profiling of phenolic compounds in domestic and imported extra virgin olive oils in China by high performance liquid chromatography – electrochemical detection [J/OL]. *LWT – Food Sci Technol*, 2023, 174: 114424[2023 – 02 – 25]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114424>.

(上接第 127 页)

### 2.3 整体质量和使用寿命得到保证

烘干机轻量化设计,零部件均采用板材加工成型,较国内现有烘干机节省材料 15% 以上,由于零部件通用化程度高,加工和建设时间缩短 30% 以上。全镀锌材料的加工和应用,使烘干机适用范围更广、使用寿命更长,整体使用寿命可达 20 年。

### 3 结束语

“十四五”期间,随着加快粮油产地烘干能力建设工作的深入实施,发展节能高效绿色技术与装备,推广应用节能、高效、低碳烘干设施装备,成为保障粮油品质、减少产后灾后损失、确保粮油丰收到手的重要环节和关键措施。新型粮油烘干机已在农业产后领域、深加工企业和种子行业得到初步应用,经实际运行和性能测试,在提升物料烘后品质、减少产后损失、设备节能降耗减排、清洁生产方面效果显著,

符合我国现代农业高质量发展需求。

### 参考文献:

- [1] 中共中央、国务院关于深入推进农业供给侧结构性改革加快培育农业农村发展新动能的若干意见[EB/OL]. (2017 – 02 – 06) [2023 – 10 – 10]. [http://www.moa.gov.cn/ztl/yhwj2017/zywj/201702/t20170206\\_5468567.htm](http://www.moa.gov.cn/ztl/yhwj2017/zywj/201702/t20170206_5468567.htm).
- [2] 任广跃,张伟,陈曦,等. 缓苏在粮食干燥中的研究进展[J]. *食品科学*, 2016, 37(1): 279 – 285.
- [3] 赵思孟. 粮食干燥技术[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 1991.
- [4] 刘磊,杨迎亚,张泽禹. 防自动分级装置在粮食筒仓中的应用[J]. *现代食品*, 2018(10): 68 – 69, 72.
- [5] 邸坤,李云克,闫汉书,等. 我国高水分稻谷干燥工艺设备的研究设计及应用[J]. *粮食与饲料工业*, 2012(3): 16 – 20.
- [6] 潘永康. 现代干燥技术[M]. 北京:化学工业出版社, 1998.