

2005年 中国农业工程学会 学术年会论文集

农业工程科技创新与建设现代农业

第IV分册



中国农业工程学会

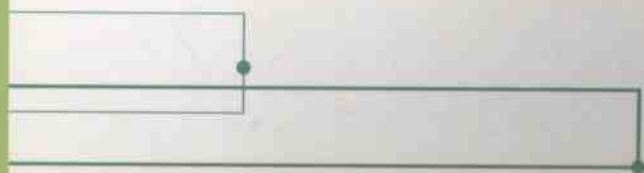
2005年12月19日—21日

主办单位：中国农业工程学会

承办单位：广东省农业厅 华南农业大学

责任编辑:马瑞峻

封面设计:汪隽



华南农业大学
《中国农业工程学会 2005 年学术年会论文集》
编辑委员会

主 任：罗锡文

编 委：(以姓氏笔划为序)

马瑞峻 区颖刚 刘 瑛 刘金艳 朱立学

李就好 张兆国 洪添胜 梁松练 蒋恩臣

简秀梅 臧 英

责任编辑：马瑞峻

封面设计：汪 隽

主办单位： 中国农业工程学会

承办单位： 广东省农业厅

华南农业大学

特别鸣谢： 中国一拖集团公司

中国农机化导报

目 录

第IV分册 农产品贮藏加工与生物质资源利用

质构重组技术平台的构建与功能开发.....	魏益民 康立宁 张 余等(1)
现代干燥的发展趋势——精准干燥.....	彭桂兰 吴文福 韩 峰(3)
粮食干燥系统的控制.....	李长友(6)
稻谷集中干燥自动控制系统.....	李长友(10)
水稻干燥中心在线检测与变位控制机理研究.....	班 华 李长友 胡万里(15)
热泵干制试验系统的研制.....	胡 飞 尹文庆(19)
^{60}Co γ 辐照预处理对晚粳稻干燥特性及加工、食用品质的影响研究.....	王 俊 于 勇(22)
糙米的含水率与其碾米性能的影响规律研究.....	贾富国 南景富 白士刚(27)
谷物水分测量方法的比较研究.....	龚红菊 姬长英(31)
基于改进 G.Murphy 定理的滚筒式牧草干燥机参数研究.....	郑先哲 蒋亦元(34)
干燥过程对紫花苜蓿粗蛋白含量影响规律的试验研究.....	车 刚 汪 春 李玉清(39)
苜蓿草干燥加工工艺及设备研究.....	李玉清 汪 春 车 刚(43)
因次分析在农产品干燥系统中的应用.....	胡万里 李长友(46)
典型食品物料的共晶、共熔温度研究.....	董铁有 李素云 张建龙(50)
香菇远红外辐射真空过热干燥特性研究.....	徐凤英 李长友 陈 震等(54)
胡萝卜微波真空干燥试验研究.....	张进疆 胡光华(59)
高压脉冲电场在果蔬干燥预处理中的研究与应用.....	刘振宇 郭玉明(62)
冷冻干燥工艺参数对解析干燥能耗影响的试验研究.....	崔清亮 郭玉明 姚智华(65)
农产品品质无损检测技术研究进展.....	应义斌 于海燕(70)
猕猴桃内部品质光谱检测技术研究进展.....	陈香维 岳田利 杨公明(84)
水果组织中光子传输的蒙特卡罗模拟研究.....	刘木华 李细荣 黎 静等(90)
酿酒葡萄采摘期的近红外光谱预测.....	耿朝曦 鲁 超 田 磊等(95)
基于电子鼻的对掺假的牛奶的检测.....	王 俊 徐亚丹(101)
苹果渣中多酚物质的体外抗氧化活性研究.....	仇农学 王 宏 赵雁武(108)
果蔬预冷保鲜技术的研究.....	杨 洲 赵春娥 马 征(112)
加热预处理对青梅低温贮藏品质的影响.....	余小林 徐步前 梁佳伟(117)
可食性膜对红地球葡萄品质和衰老的影响.....	李桂峰 刘兴华(122)
高频介电在粮食防虫中的应用研究进展.....	程学勋 赵思明 熊善柏(126)
二氧化碳气调防治储粮害虫应用研究.....	孔晓玲 王继先 蒋德云等(131)
微波、光波对烟种中病原物灭杀作用的初步研究.....	钱玉梅 王德华 王凤龙等(135)
无糖型话梅含片的研制和生产.....	吴 青 李 雁 罗兰欣等(138)
话梅果糕的制作.....	李 雁 吴 青 朱博通等(143)
蜜李坯中二氧化硫脱除方法的研究.....	黄 苇 孙远明 余小林等(149)
枸杞子阿拉伯聚糖的分离纯化及其构造特征研究.....	秦小明 林华娟 宁恩创(153)
低温豆粕的食品工业用途分析.....	魏益民 康立宁 赵多勇等(159)
挤压系统参数对秸秆挤压膨化机生产率的影响.....	赵凤芹 中德超 刘远洋等(164)
量纲分析的函数理论建立挤压脱胚玉米生产淀粉糖浆的经验公式.....	申德超 肖志刚(169)

基于量纲分析的油菜籽挤压膨化试验参数的研究	张兆国 蒋亦元 申德超(177)
小型螺杆挤压膨化机加工全脂大豆的试验研究	张祖立 王宏立 白晓虎等(185)
55mm 厚红桉板材气干特性的研究	李凯夫 陆绍聪 许少宏(189)
抽提影响尾巨桉木材干缩机理的研究	李凯夫 彭万喜 黄素涌等(195)
稻糠/高密度聚乙烯复合材料人工加速老化行为规律的研究	李凯夫 谢雪甜(203)
中密度纤维板老化过程中甲醛释放机理的研究	许少宏 李凯夫(206)
生物质资源及其产业	王海(210)
生物质能源概况和研究进展	李文哲 张波(213)
植物油酯与柴油的混合物作为代用燃料的研究	吴伟斌 洪添胜 Khalid I 等(218)
植物黄酮与糖尿病防治	董华强 宁正祥 刘本国等(222)
苜蓿叶蛋白提取工艺研究	吴万灵 韩鲁佳(226)
玉米蛋白粉中叶黄素提取及皂化工艺的研究	王薇 韩鲁佳(231)
万寿菊中叶黄素的提取皂化工艺	王振 韩鲁佳 王唯涌(238)
新疆小白杏杏仁原油的脱色工艺研究	牟朝丽 陈锦屏 张有林(242)
亚/超临界乙醇-水中生物质的液化研究	刘孝碧 毛志怀(246)
HPB-III 型生物质成型机的试验研究	李保谦 张百良 狄恩仓(250)
生物质材料低温热解特性实验研究	蒋恩臣 何光设 简秀梅(253)
生物质热分解技术比较研究	蒋恩臣 何光设(257)
生物质转换技术发展现状分析及其前景展望	何光设 蒋恩臣(263)
生物质快速热裂解制取生物油的研究	刘荣厚 武丽娟 李天舒(269)
上吸式生物质气化炉加料密封技术探讨	孙永霞 董磊 强宁等(274)
植物功能成分浸提过程动力学研究进展	王唯涌 韩鲁佳(278)
近红外漫反射光谱技术快速评定青贮饲料质量	刘贤 韩鲁佳 甘利雅弘(283)
基于近红外分析技术检测大豆脂肪酸含量的研究	柴玉华 张长利 谭克竹(288)
厌氧发酵过程数学模型研究	何光设 蒋恩臣(292)
厌氧发酵过程中 PH 值的影响因素探讨	何光设 蒋恩臣(298)
蚓粪对废水厌氧发酵影响的试验研究	杨世关 张彦 张百良(302)
牛肉大理石花纹计盒维和信息维的测定	陈坤杰 姬长英(306)
仪表化畜产品质量追溯系统的研究	胡肆农 陆昌华 王立方等(314)
猪肉在浸泡式通电加热过程中的温度分布及其电导率	李法德 杨玉娥 王明林等(318)
咸蛋腌制动力学研究	荣建华 张正茂 韩晓等(324)
高压脉冲电场杀菌机理的试验研究	张长利 房俊龙 杨方等(328)
超声波及稀释对固体厌氧发酵酸化性能的影响	陈羚 李保明 蒋伟忠(332)
有机固体废弃物厌氧酸化产物对其性能的影响	周涛 蒋伟忠 李保明等(337)
麦饭石和活性炭对固体有机物厌氧酸化产物的吸附性能	甘静 蒋伟忠 李保明等(341)
利用改进 BP 网络预测初产母牛 305 天产奶量模型的实现	戚国强 魏晓莉 张长利(346)
国内外生物制氢技术研究进展	张全国 尤希凤 周汝雁等(350)
生物柴油的研究生产现状和发展前景	苏有勇 戈振扬 张无敌等(355)
我国畜禽粪便废弃物资源化利用现状	相俊红 胡伟(362)

质构重组技术平台的构建与功能开发

魏益民¹, 康立宁², 张余², 张波¹, 毕金峰¹, 钟耕¹

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100094; 2. 西北农林科技大学食品学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 本文理论联系实际, 系统介绍了质构重组技术的内涵, 质构重组技术平台的构建、功能、开发和应用。

关键词: 质构重组; 技术平台; 功能; 开发应用

0 前言*

质构重组技术是通过机械的混合、揉搓、剪切、高压、加温等物理因素, 使物料发生物质变形、变性或产生化学反应的加工过程。常用设备或手段包括单螺杆挤压机、双螺杆挤压机、高压容器、物理射线等。质构重组技术在广义上也可以理解为分子改性技术, 其对象和技术体系属于流变学的理论和技术研究范畴。质构重组技术已被广泛应用于食品工业、塑料工业、橡胶工业和制药工业等领域。机电一体化、自动控制技术和在线检测技术的进步使质构重组技术的应用范围和开发深度仍在迅速发展。

1 质构重组技术平台的构建

技术平台是研究或实现某类理论问题、试验过程、加工工艺、制造技术的硬件条件、人力资源和软件技术系统; 它能够提供解决某一研究领域或某一类技术难题的基本支撑条件, 满足研究和开发项目对硬件条件、人力资源和软件支持的最低需求, 形成某一类技术的研发基地。技术平台由硬件条件、人力资源和软件支持系统组成, 各要素相互依存、相互支持、相互制约; 而这三种要素中, 人力资源是最具活力的要素, 是最具主观能动性的要素, 也是最为关键的要素。

质构重组技术平台在食品科学与工程学科领域主要涉及挤压、膨化制造技术、高压技术、均质化技术等。因研究对象的不同, 产品性质的差异, 质构重组技术平台在具体构建上也会有一定的差异, 也会有大平台和小平台之分, 但其在基本功能方面应该满足技术平台的基本要求。

在质构重组技术研究方面组建的食品加工技术平台, 在硬件构成上包括了双螺杆挤压实验工作站、中试水平的单螺杆挤压机和双螺杆挤压机; 用于原料

特性检测的原料粉碎系统、原料成分分析系统、粘度分析仪、在线粘度检测仪等; 用于成品质量和结构特性检测的质构仪、营养成分分析系统等。

2 质构重组技术平台的功能

技术平台的功能就是要能够满足研究或解决某一科学问题或某一类工程技术需求; 它必须是一个相对独立, 又与外部保持密切联系的系统, 即应有入口和出口或出入接口; 其相对独立部分是指其特有的理论和技术核心, 独特的思维体系和特有的技术或技巧。衡量技术平台的标志是看他从哪里得到技术需求, 技术需求经过平台的研究是否得到了满意的答案或提出了技术建议, 完成的技术方案与谁对接, 为谁服务。也就是说某一理论问题或技术问题在经过平台的处理后得到了提高或进步。

质构重组技术平台主要研究解决植物蛋白质、淀粉、纤维素的挤压膨化技术, 形成相对稳定的加工工艺, 开发出新型产品, 以及对相关机器制造业、食品加工企业及原料生产企业提出技术和产品改进方案或建议, 扩大质构重组技术在新产品开发中的应用范围, 提高应用的技术水平。例如在植物蛋白质的组织化技术方面, 国外采用了将“植物蛋白浓缩—分离—组织化—产品开发”的技术路线, 能否直接利用植物蛋白原料, 或富含植物蛋白的油脂工业副产物饼粕生产组织化蛋白产品, 是质构重组技术平台力求攻克的关键技术问题之一。

3 质构重组技术平台的开发与应用

质构重组技术平台可以为食品工业、塑料工业、橡胶工业、中药材加工业提供一系列关键加工技术、加工工艺, 及可开发出相应的新产品, 或者改造传统产品的制造工艺。例如利用质构重组技术的均质化技术, 注塑成型技术生产粉丝、通心粉、荞麦粉面条和饴糖等; 利用平台的膨化技术生产植物组织化蛋白, 进而生产以膨化产品为材料的素肠、素肉、或蛋白肠衣; 利用平台的高剪切和高压技术生产膳食纤维; 利用平台的挤压腔作生物反应器生产变性淀粉和多孔淀

*基金项目: 中国农科院杰出人才基金

作者简介: 魏益民, 男(1957年—), 陕西咸阳人, 博士, 教授。主要从事农产品加工及食品安全方面的研究。

通讯地址: 北京 中国农业科学院农产品加工研究所, 100094。

Email: weiyimin36@hotmail.com

粉；利用平台多组合连续加工技术生产耐贮藏面包或快餐面包；利用平台的均质化和高压技术生产高密度颗粒化中药。质构重组技术平台还是塑料、橡胶工业新产品开发，特别是可降解塑料膜开发不可缺少的技术支持。

质构重组技术从诞生到广泛应用已经有 100 多年的历史。由于新材料、新构型、自动控制技术和电子信息技术的发展，使得质构重组技术的应用范围和深度仍然在迅速发展。目前，质构重组技术平台除了继续完善硬件条件建设，加快吸收材料科学、食品科学、流变学、电子技术方面的科技成果以外，还应在蛋白质、淀粉、纤维素质构重组的机理，加工工艺参数，物料混合效应，螺杆构型，自变量和因变量之间的关

系，以及新原料的应用，新产品开发方面开展深入系统的研究，加快实验室技术向产业化转化的速度。

【参考文献】

- [1] 彭少麟.论科研院所创新系统定位与技术创新平台的构建.科技管理研究.2000(1):1-4,11
- [2] 张宗臣,苏敬勤.技术平台及其在企业核心能力理论中的地位.科研管理,2001,22(6):76-81.
- [3] 刘红武.食品挤压技术.食品科学,2000,21(12): 184-187.
- [4] 朱国洪,彭超英.食品挤压技术及最新研究进展.食品与发酵工业,2000,26(4):59-62.
- [5] 邓洁红,曹乐平.螺杆挤压机在膨化食品生产中的应用.包装与食品机械,2004,22(5):30-32.

The establishment and functional exploitation of technology platform on food texture and structure recombination

Wei Yimin¹, Kang Lining², Zhao Duoyong², Zhang Bo¹, Zhong Geng¹

(1. Institute of Agro-Food Science and Technology, CAAS, Beijing, 100094, China; 2. College of Food Science and Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, 712100, China)

Abstract: In this article, the definition of food texture and structure recombination was introduced, and the The establishment and functional exploitation of technology platform on food texture and structure recombination was discussed.

现代干燥的发展趋势——精准干燥

彭桂兰, 吴文福, 韩峰

(吉林大学生物与农业工程学院, 长春 13025)

摘要: 精准农业将是 21 世纪农业技术的发展方向, 精准农业技术体系也将是 21 世纪农业工程技术的重点。为此, 在精准农业的基础上提出了精准干燥的概念 (PD), 即根据收购谷物的原始水分、品种, 干后的用途选择合适的干燥方法、工艺和设备。介绍了精准干燥的必要性以及实现精准干燥的现有技术基础, 阐述了精准干燥的主要技术体系和应用前景。

关键词: 精准干燥; 现代干燥; 技术体系

中图分类号: 按《中国图书分类法》标注

1 精准干燥的必要性

1.1 精准农业的发展*

精准农业在美国等发达国家已经形成一种高新技术与农业生产相结合的产业, 被广泛承认是可持续发展农业的重要途径, 其技术集成, 将无疑是 21 世纪领先的农业生产技术。美国 20 世纪 80 年代初提出精准农业的概念和设想, 90 年代初进入生产实际应用, 部分技术和设备已经成熟和成型, 但还没有形成系统, 美国实施精准农业是根据需要、经济、实用的原则进行的, 很少有把所有的技术都全套应用。除此, 在英国、德国、荷兰、法国、加拿大、澳大利亚、巴西等国家都有开展精准农业研究和应用的报道。日本、韩国等国家近年来已积极开展精准农业的研究工作, 并得到政府部门和相关企业的大力支持。国际上对这一技术体系的发展潜力及应用前景有了广泛共识, 并将成为发展农业高新技术应用的重要内容。

我国科学家在 1994 年就提出在我国进行精准农业研究应用的建议, 由于当时条件所限, 没有引起政府有关部门的重视。近几年信息技术飞速发展, 信息技术在农业上的应用也提到了重要的议事日程。国家计委刘江副主任访美后, 认为我们应该跟踪国际农业生产技术的前沿领域, 开展精准农业的研究应用。科技部徐冠华部长在谈到发展“数字地球”时认为, 精准农业是中国“数字地球”发展战略的切入点之一。目前我国许多地区已建设了精准农业的试验示范基地, 开展精准农业应用技术的相关研究。

1.2 精准干燥的提出 (precision drying, PD)

农业生产的一个全过程包括种子、播种、施肥、灌溉、收获、干燥等环节。随着人民生活水平的不断提高以及谷物用途的扩大, 对谷物的品质要求也越来越高。干燥是大多数谷物收获后的必要环节, 谷物在不合理的

干燥方法和条件下容易出现爆腰或裂纹、热损伤、蛋白质变性、食味下降、种子的发芽能力减小等。目前收购的谷物水分差别很大, 品种复杂。干后谷物的用途也不一样, 有作种子用的, 有作深加工的, 有作饲料等用途。然而绝大部分都采用统一的干燥工艺和设备, 对于后谷物品质及影响品质的因素研究不多。因此造成干后的谷物不能很好的满足应有的用途。因此干燥作业应该根据收购谷物的原始水分、品种, 干后的用途选择合适的干燥方法、工艺和设备即精准干燥。精准干燥是确保谷物品质和安全仓储的高精机械化手段, 是最终实现优质高效农业的保障。

2 精准干燥的现有技术基础

目前国内已经有些学者对干燥方法和工艺及谷物的水分对谷物干燥品质的影响做了研究, 主要体现在变温干燥上的研究。它为精准干燥奠定了基础。

2.1 先高温后低温的变温干燥工艺

高低温组合干燥工艺是 70 年代后期在美国兴起的一种新的干燥方法, 它是一种能量利用率较高的干燥方法。谷物首先在一个高温干燥系统下 ($90^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$) 进行干燥, 使谷物水分降低到较短时间内不发生霉变的程度, 随后具有一定温度和水分的谷物被排卸到低温通风干燥仓, 用环境空气或低温空气 (比环境空气温度高出 $1^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$) 对其中的谷物进行缓慢干燥, 把谷物的水分降到安全贮藏水分。但是在整个过程中需要确定一个由高温干燥向低温干燥转化的最佳分界水分值, 同一种谷物在不同干燥条件下的转化的最佳分界水分值也不相同。风速、风速对谷物的最佳分界水分是有影响的, 一般来说, 风速、风速提高, 最佳分界水分亦需增加, 即在较高含水率时就需完成高温干燥向低温干燥工艺的过渡; 对应于同一干燥条件, 不同谷物的最佳分界水分也不同, 谷物初始含水率对最佳分界水分的影响不显著。我国的王相友、曹崇文等^[1,2]对稻谷和玉米进行了从高到低三段变温的干燥工艺研究, 试验研究证明这种先高温后低温的干

收稿日期:

修订日期:

作者简介: 彭桂兰 (1966—), 女, 新疆人, 博士生主要从事农产品加工和检测。
长春 吉林大学生物与农业工程学院 130225。

燥工艺不仅能提高干燥效率、节约能源,还能改善谷物的干燥品质。

2.2 先低温后高温的干燥工艺

许多人用不同的理论说明了谷物的裂纹、成分的改变、发芽的变化的温度临界值都和谷物的含水率有着密切的关系。刘木华、曹崇文^[3~5]等人把玻璃化转变理论用到了稻谷的干燥中。玻璃化转变是指物质在一定温度下,其物理形态由橡胶态向玻璃态转变的过程。对应的物质温度即为玻璃化转变温度。稻谷玻璃化转变使稻谷的物理特性产生较大变化:在橡胶态时,稻谷弹性模量小,而膨胀系数大;在玻璃态时,稻谷弹性模量大,而膨胀系数小。稻谷在橡胶态时的受热体积膨胀系数是玻璃态时的5倍左右。对于同一种物质同一条件下两种状态的转变与玻璃化转变温度有关,然而玻璃化转变温度和谷物的含水率有密切的关系并且随着谷物内部水分的降低而升高也就是随着谷物干燥时间的进行玻璃化转变温度也逐渐的升高。实验研究证明稻谷在玻璃态下进行干燥,即使有大的水分梯度也不会产生爆腰现象,而且可以不采用缓苏操作,同样也证明了谷物中淀粉结晶化发生在橡胶区,谷物长时间处在玻璃化转变温度以上谷物的食味品质将变差。这些都能说明谷物的干燥温度处在玻璃化转变温度以下干燥后的品质最好,而玻璃化转变温度随着时间的进行在逐渐升高,因此可以采用先低温后高温的干燥工艺。在此基础上他们又用玻璃化理论研究了稻谷种子安全干燥的温度同样也得出了安全干燥的温度随着水分的减少而升高。前苏联学者普季秦提供的谷物允许最高受热温度公式:

$$T = \frac{2350}{0.37(100-M) + M} + 20 - \lg t$$

(M:湿基水分, t: 受热时间),该公式反映了谷物允许受热温度与原始含水量和受热时间的关系,这个公式也说明了谷物的含水率越低谷物允许的受热温度越高。郑先哲^[6,7]通过实验发现稻谷热变性起始温度与其初始含水率有关稻谷的初始含水率越高,其临界干燥温度越低。杨州等^[8]通过试验也证明了采用逐渐升温的方法能够改变稻谷的干燥品质。吴文福等^[9]在玉米生活力检测等实验的基础上,建立了新的玉米干燥品质劣变模型,通过模拟分析证明先低温后高温干燥工艺的有效性,结合薄层取得了一组有效的玉米变温干燥工艺参数,并在混流式热风干燥机进行了生产实验,生产实验初步证明先低温后高温的变温工艺在提高能源利用率和提高干燥品质方面都是有效的。以上的理论和试验都说明该为了保证谷物干燥后品质,谷物干燥宜采用先低温后高温的变温干燥工艺。

3 精确干燥的主要技术支持体系

精确干燥的主要技术支持体系包括数据采集系统、模拟系统、专家系统和决策支持系统

3.1 数据采集系统 (data acquire system, DAS)

干燥系统的数据采集主要有水分采集和温度采集两部分

1) 水分数据采集。水分包括烘前的水分,各个干燥段的水分,出口的水分。水分采集采用水分传感器进行水分数据的采集。

2) 温度数据的采集。温度包括干燥介质的温度和谷物的温度。采用温度传感器采集。

3.2 模拟系统 (simulate system, SS)

粮食干燥是一个复杂的热质交换过程,粮食本身又是一种复杂的生物化学物质,其干燥过程不仅受物料特性和介质参数的影响,而且还与气候条件与干燥工艺有重要关系。它不仅是一个物理过程。而且还是一个生物和化学过程,对于干燥的要求不仅是去除水分,而且要求保留它的营养成分,有时还要求保持它的色香味和干后的品质,此外,谷物各层水分和温度分布,以及干燥介质温度、流量、湿度和谷物初始水量均影响干燥机的性能。所以,干燥过程研究涉及生物、化学、热力学、机械学和流体力学等多种学科。是一个多学科交叉的加工技术。因此,粮食干燥机的设计研究,多年来一直停留依靠经验的方法进行设计的阶段。生产的粮食干燥机往往是能耗大,效率低,质量不能满足要求。为了能够更准确的分析干燥过程总各个参数的变化有必要建立谷物干燥模拟系统。

3.3 专家系统 (expert system, ES)

该专家系统包括模型库、知识库,数据库,推理机和人机接口。模型库包括谷物干燥模型、平衡模型、谷物损失模型及经济评价模型。专家系统数据库为系统决策和有关计算提供数据。它包含谷物干燥特性数据。如平衡含水率,谷物比热。汽化潜热和谷物的安全储存期等。谷物干燥专家系统的知识库来源于对干燥专家的直接访问和对有关文献的综合分析。知识的表达采用决策树,即根据谷物水分,温度,空气湿度,湿度。谷仓内谷物的水分差等变量值,决定应采取的策略。

3.4 决策支持系统 (DSS—Decision Support System)

决策支持系统是在管理系统的基础上发展起来的新兴科学。干燥生产管理计算机辅助决策支持系统是应用计算机信息处理技术,综合现代相关学科技术成果,制定干燥生产管理措施,是实现“精确干燥”的核心部分。一个完整的干燥生产管理决策支持系统包括干燥系统模拟模型组成的模型库、存储各种信息和数据的数据库、支持模型运算和数据处理的方法库、专家知识库和子系统的管理维护及提供咨询的良好人机接口等。一个完整的干燥生产管理决策支持系统如图1所示。

3.5 精准干燥机械设备及精准控制技术

精准干燥采用的主要方法是根据谷物不同的用途及

不同的水分在不同的干燥段选择不同的干燥温度即变温干燥，完成变温干燥需要相应的机械设备和控制技术。变温干燥机械设备在传统的干燥设备上需要增加数据采集系统和执行系统控制技术采用智能现场总线(AIFCS)技术、虚拟仪器技术(VI)、人工智能技术(AI)建立了实现谷物变温干燥最佳工艺参数的分布式智能自动系统。

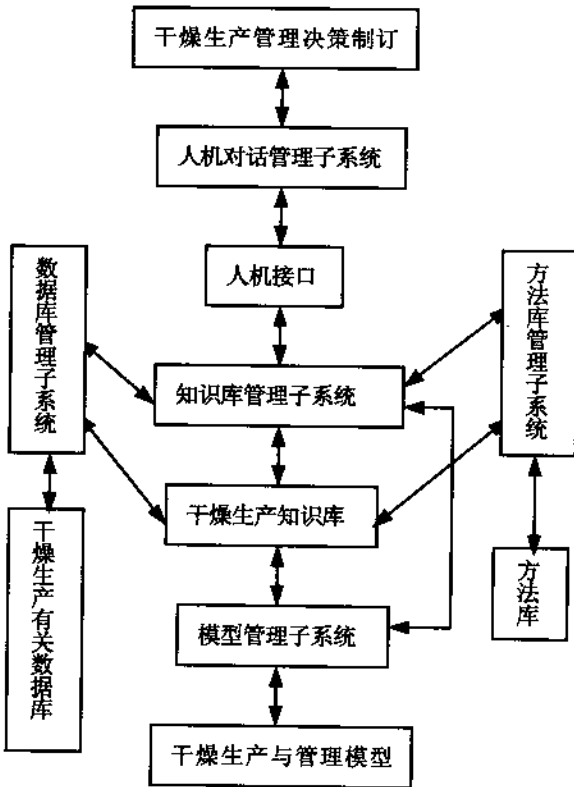


图1 干燥生产管理决策支持系统

Fig.1 Decision Support System of Drying Production Management

4 精准干燥的发展前景及讨论

精准干燥是信息技术发展的必然结果，是现代化干燥的必然趋势。至今为止，干后谷物的品质下降严重。其中重要的原因之一，就是对谷物的干燥不是根据谷物的用途及谷物的特性选择合适的干燥工艺参数。从另一角度看，干燥过程造成的环境污染及能源浪费也越来越引起人们的重视，其解决的途径也必然是采取精准干燥战略。精准干燥的研究才刚刚起步，有关谷物干燥的理论和一些精准干燥的设备都需要深入的研究。实行精准干燥战略后，谷物的干后品质才能从根本上得到改善。从长远看，只有在采取精准干燥战略的前提下，才有可能真正实现环境效益、经济效益与社会效益的统一。

[参考文献]

- [1] 王相友, 曹崇文. 谷物变风温干燥的研究. 农业机械学报, 1996 (3): 76~81
- [2] 王相友. 玉米的高一低温组合干燥工艺. 农机与食品机械. 1997 (2): 16~17
- [3] 刘木华, 杨德勇. 高分子科学中的玻璃化转变理论在谷物干燥及储存研究中的应用初探. 农业工程学报, 2000 (5): 95~98
- [4] 刘木华, 吴颜红等. 基于玻璃化转变的稻谷爆腰产生机理研究. 农业机械 2002 年学术年会论文集. 北京: 中国农业机械协会出版, 2002.
- [5] 刘木华. 稻谷种子安全干燥温度模型研究. 农业机械 2002 年学术年会论文集. 北京: 中国农业机械协会出版, 2002.
- [6] 郑先哲, 赵学笃, 陈立. 稻谷干燥温度对稻米食味品质影响规律的研究. 农业工程学报, 2000 (4): 126~128
- [7] 夏吉庆, 郑先哲. 稻谷热变性温度的试验. 农业机械学报. 2000 (1): 76~78
- [8] 杨洲, 段洁利. 我国南方水稻干燥工艺分析. 现代化农业, 1999 (5): 37~38
- [9] 吴文福. 玉米干燥品质控制机理及方法的研究. [学位论文]

Developing Trend of the Modern Agriculture — Precision Drying

Peng Guilan, Wu Wenfu, Hanfen

(Biological & agriculture Engineering College, Jilin University, Changchun 100325, China)

Abstract: The precise agriculture will be a technical development direction of agriculture of 21 centuries, the precise agriculture technique system also will be a research point of technical agriculture engineering of 21 centuries. For this, based on the precise agriculture, the precise drying concept(PD) is put forward, namely according to the original humidity of the corn, species and use, we choose appropriate drying method, craft and equipments. Necessity and technique foundation of the precise drying are introduced, the technological system and applying foreground of precision agriculture are expounded.

key words: Precision drying; Technological system; Develop prospect

粮食干燥系统的控制

李长友*

(华南农业大学工程学院, 广州, 510642)

摘要:分析粮食干燥系统; 指出了建立干燥控制模型、搭建干燥控制系统的关键, 介绍了干燥控制系统的基本量和类型, 讨论了其动态特性, 给出了系统的控制规律。

关键词:粮食; 干燥; 系统的控制

中图分类号: S226.6

0 引言

粮食干燥是典型的多变量, 大惯性, 高度非线性系统, 其干燥过程不仅是一个物理过程, 而且还伴随着生物和化学的过程。过程参数间的关系复杂, 影响因素繁多, 与其它工业系统有本质的不同, 也不可能将其干燥过程中错综复杂的物理现象用一个数学模型完全表达出来。这就要求必须根据粮食的物性及其干燥特性、选用的干燥系统结构及工况特性、处理工艺、结合生产现场(用户要求)实际, 权衡考虑干燥控制目标, 有针对性地开发粮食干燥控制系统。本文就粮食干燥系统, 控制模型的建立, 控制方案, 硬件系统的搭建诸问题进行研讨。

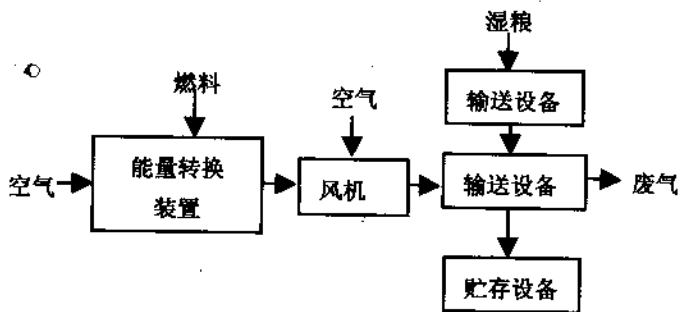


图1 干燥系统的基本构成

Fig.1 Basic composing of the drying system

1 粮食干燥系统

粮食干燥系统是一个输入能量、干燥介质(空气)、湿粮, 得到干粮的多种因素同时作用的复合系统。

形成的干燥设备有平床、塔式、仓式等多种的类型。各类型中因干燥工艺或者处理方式不同又形成了多种形式的干燥机。不论哪种形式的粮食干燥系统, 其基本的原理都是相似的, 设备的基本构成都可以用图1所示的流程图来表示。粮食干燥系统的各环节相互制约, 系统内部的结构参数、工艺参数、干燥特性参数及其的组合形成了系统固有的动态特性。掌握干燥系统的动态特性, 是建立既反映干燥系统的本质, 又便于实现控制的数学模型的先决条件, 也是形成最优控制策略、保证系统的稳定性、精确性、快速性及可靠性的关键。作为控制的方法, 根据不同的干燥工艺及控制精度要求及要实现的干燥目标, 可以有多种。例如可以采用控制燃料流量和空气流量、控制进气温度, 进而达到控制干燥过程的目的; 通过控制排粮电机的转速, 实现粮食在干燥机内停留时间的控制。通过恒值控制系统, 随动系统等有机组合形成质量较高的复合控制系统, 在干燥专家系统的基础上, 通过双向通信技术实现干燥过程专家智能控制^[1]。

分析干燥系统, 搭建控制系统时, 重要的任务之一就是弄清干燥系统的输入量、输出量。

对于粮食干燥系统, 输入量主要包括: 粮食, 干燥介质、燃料。粮食主要的评价量有初期水分、温度、流动速度, 流动方式干燥层厚度, 品质等; 干燥介质, 主要的评价量有湿含量、温度、流动速度, 流量、风压等; 燃料, 主要的评价量, 热值、流量等。

输出量主要有, 干粮和废气。干粮的主要的评价量有, 含水率、温度、阻力, 爆腰增率等。废气主要的评价量有湿含量、温度、干燥时间、干燥效率、流量等。

2 干燥控制模型

粮食干燥控制系统的数学模型是描述干燥系统输入变量、输出变量及系统内部各变量间关系的数学表达式、图形表达式或者数字表达式。为了从理论上考核干燥控制系统, 首先要建立系统的数学模型。建立数学模型的方法很多, 一般采用解析法或实验法。

*收稿日期: 2005.11.12 修订日期: 2005.11.28
基金项目: 稻谷集中干燥工艺及关键技术设备的研究与应用 (2004KY06); 负压红外热辐射干燥机理及技术研究 (20021042)

稻谷集中干燥设备及关键技术的研究 (2005B20601001)
作者简介: 李长友, 1958年8月, 男, 陕西, 教授, 博士, 农产品加工, 华南农业大学工程学院, 510642, Lichyx@scau.edu.cn

干燥控制系统中的数学模型可以有多种形式,它主要取决于变量和坐标系统的选择。针对不同情况可以采用微分方程或一阶微分方程组、传递函数以及频率特性的形式。

构建合理的数学模型,对粮食干燥控制系统的极为重要。由于干燥过程复杂,不可能将过程中错综复杂的物理现象一个模型完全表达出来,必须要对模型的简洁性与精确性进行有选择地折中考虑。因而,要抓住干燥系统的主要输入量、输出量和干扰量,按照品质、能耗、效率、安全性权衡考虑,在误差允许的范围内,针对主要问题进行定量分析,忽略一些次要因素,得到能够遵循干燥设备处理工艺,符合产品质量要求的干燥系统特性表示法,建立既能反映干燥系统内在本质特性,又能简化计算的干燥控制系统模型。

建立干燥系统数学模型的途径主要有两种:一种是利用已经掌握的干燥系统知识,采用演绎的方法建立数学模型。通过对系统本身的干燥特性及机理(物理、化学、生物规律)的分析,确定模型的结构和参数,从理论上推导出系统的数学模型,这种利用演绎法得出的数学模型称为机理模型或解析模型^[2, 3]。另一种途径是根据对系统的观察,通过测量得到大量输入、输出数据,推断出干燥系统的数学模型。这种利用归纳法所建立的数学模型称为经验模型。

列写干燥系统解析模型的步骤

(1) 以干燥室为核心,分析干燥系统的质量平衡、热量平衡和动量平衡,研究设备处理工艺过程的工作原理和信号传递变换的过程,确定系统和各器件的输入、输出量。

(2) 从干燥控制系统的输入端开始,按照信号传递变换过程,依照各变量所表征的物理意义和所遵循的规律,依次列写出各元件、器件的动态微分方程。

(3) 消去中间变量,得到一个描述系统输入、输出变量之间关系的微分方程。

(4) 将与输入有关的项放在等式右侧,与输出有关的项放在等式的左侧,且各阶导数项按降幂排列,整理成标准的控制模型形式。

3 干燥控制系统

3.1 干燥控制对象的动态特性

干燥控制对象是指构成干燥工艺系统的设备,主要有热风炉、热交换器,风机、排料设备和输送设备等。它们的输出信号是干燥过程中要求控制的被调量;它们的输入信号是引起被调量变化的各种因素(扰动作用和控制作用)。

干燥对象对于不同的输入信号所引起的被调量的变化特性是不同的,或者说同一对象的不同信号通道

的传递函数不同,所以要全面了解系统的动态特性。在分析和整定干燥控制系统时,最重要的任务之一的是要掌握干燥过程中,输入量及主要的外部扰动(例如负荷扰动)对输出结构的影响规律及其解算方法,它是确定控制系统方案的先决条件;其次是要掌握控制通道的动态特性,它是整定调节器的依据。

控制对象的动态特性取决于它的内部过程的物理性质,设备的结构参数和运行条件等。对于粮食干燥系统,控制的对象一般选择能量转换装置(燃料供给装置)、排粮轮、风机等。检测的主要内容主要是不同测定点的温度(进排风温度,环境温度,粮温及不同干燥段的干燥温度),干燥机进粮水分或排粮水分。难点在于正确把我粮食干燥动态工艺及其过程的解析,实时精确地检测出进机粮水分及送风温度是现阶段粮食干燥控制的关键所在。必须针对采用的干燥设备及处理工艺,地域的自然环境条件,实地考察和深入研究一下问题

- 1) 干燥介质参数及其在干燥过程中的状态变化特性;
- 2) 粮食的物性及其在不同干燥环境及工艺段的干燥特性;
- 3) 对应处理工艺及干燥设备,深入研究在不同处理条件及干燥段的粮食干燥特性表示法和过程解析法;
- 4) 设备本身的工况特性,各运动参数间的对应关系;
- 5) 分析干燥参数、物性参数、系统各运动参数、控制器件特性参数之间存在的内在联系,搭建既反映干燥系统内在本质特性,又能简化计算的控制系统模型。

特别要强调的是粮食的物性(光、电、热、磁)在不同变化的环境场中的所表征出的特性参数质值并不一定相等。而它对干燥过程精确测量至关重要。例如确立温度对粮食的含水率与其电阻或电容、介电常数变化关系的影响作用时,不仅要考虑温度值及其变化量,还必须考虑物料是升温过程还是降温过程以及温差的大小,即必须考虑热量传递的方向和过程进行的强度。

3.2 干燥控制系统的基本量

干燥控制系统的任务是要能保证干燥系统在合理地操作工艺规程和要求的操作条件下正常运行。实现的目标是要最大限度地保障粮食的品质、提高设备

的工作效率、尽可能降低能量消耗,减少对环境负面影响、保证安全生产。从控制理论的角度考察粮食干燥控制系统,其基本量主要有:

(1) 被控制量

被控制量是表征干燥过程运行是否正常并需要加以控制的物理量,是干燥系统对外界的输出量,也就是控制系统的控制目标。不同用途的粮食要求的被控制量不同,评价的指标和侧重点也有所区别,概括起来主要有:粮食的最终含水率、爆腰率、干燥效率,对于种子粮的干燥则要重点考虑发芽率等。

(2) 给定量

给定量是按干燥要求被控制量必须维持的希望值,又称系统的输入量(如干燥前设定的干燥温度,目标水分等)。

(3) 控制量

由调节机构改变的流量或能量、赫兹数等,用以控制被控制量的变化。称为控制量。例如在塔式干燥机干燥系统中控制的小时给煤量,采用变频马达控制排粮轮转速时的赫兹数增量。这里的调节机构是指用来改变进入燃煤炉的煤流量的阀门、变频器等;控制对象是指,被控制的干燥系统内的干燥设备、能量发生器等部件,如热风炉,排粮轮,风机等。

(4) 扰动

引起被控制量偏离其给定值的各种原因称为扰动。如果扰动不包括在控制回路内部(如外界负荷),称为外扰。如果扰动发生在控制回路内部,称为内扰。其中,由于控制机构开度变化、频率变化等造成的扰动,称为基本扰动。变更控制器的给定值的扰动称为给定量扰动。粮食干燥系统的主要外扰动有气候条件变化、设备本身及其能量发生装置引起的干燥介质参数变化、进粮水分波动、干燥工艺和干燥设备结构及工况波动,输入和输出的物料及介质量变化等。

3.3 干燥控制系统的基本类型

按照控制系统的工作原理,最基本的控制手段可有反馈控制系统、前馈控制系统及复合控制系统。对于粮食干燥系统,能量转换装置、干燥机及输送机是相对独立的设备,但构成系统是一个相互关联的多变量控制对象。可以形成诸如反馈、前馈控制、随动控制、协调控制、比值控制、解耦控制及多种控制方法或系统组成的复杂控制系统。

(1) 反馈控制系统

反馈控制系统是基于反馈原理、通过“检测偏差再纠正偏差”的系统。它的基本工作原理是根据被控量与其给定量之间的偏差进行调节,最后达到减小或消除

偏差。它至少应具备测量、比较(或计算)和执行三个基本功能。如图2所示,为了取得偏差信号,必须

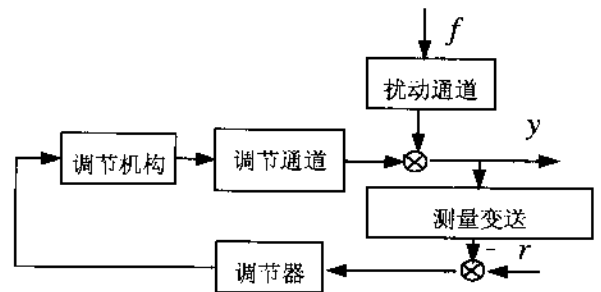


图2 反馈控制系统

Fig.2 Feedback control system

要有被控量测量值的反馈信号,这样系统就构成一个闭合回路,所以反馈系统必然是闭环控制系统。它突出的优点是控制精度高,不管遇到什么干扰,只要被控制量的实际值偏离给定值,闭环控制就会产生控制作用来减小这一偏差。它的缺点是靠偏差进行控制的,因此,在整个控制过程中始终存在着偏差,由于元件的惯性(如负载的惯性),若参数配置不当,很容易引起振荡,使系统不稳定,而无法工作,其次对于输出为出机粮水分的连续干燥控制系统,则不能消除进机粮水分波动对控制精度的影响。

(2) 前馈控制系统

前馈控制系统的基本工作原理是根据扰动信号进行控制,即利用扰动信号产生的控制作用去补偿(抵消)扰动对被调量的影响。简单说就是“扰动补偿”。

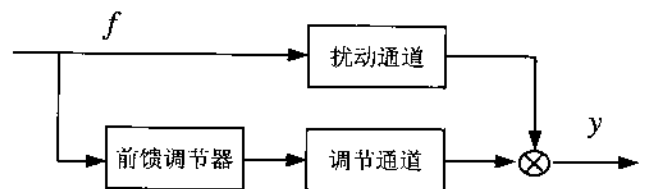


图3 前馈控制系统

Fig.3 Forward feedback control system

图3是一个恒温干燥前馈控制系统,风量和外界空气温度变化 f 是引起被控制量干燥温度 y 变化的原因。前馈调节器在扰动出现的同时就根据扰动信号 f 进行调节,用此控制作用去抵消扰动 f 对被控制量的影响。如果完全抵消,干燥温度(被控制量)就可保持不变。

前馈控制的控制速度快,但不能克服干燥过程中

的扰动，所以无法评价其对干燥过程的控制精度。它只能应用与设备（燃烧器和干燥机）以及组成控制系统的元件特性和参数值比较稳定情况下的干燥，它最大的优点是系统简单，可靠。

(3) 复合控制系统

复合控制是反馈控制、前馈控制等两种或两种以上控制手段有机组合而形成的一种，多段综合控制系统。图 4 是塔式干燥系统中干燥室排粮轮转速复合控制系统。

控制的任务是要保证出机粮水分和爆腰率符合工艺要求。以改变干燥室排粮轮转动的速度为控制手段。把进机粮水分、热风炉出口的温度、环境温湿度变信

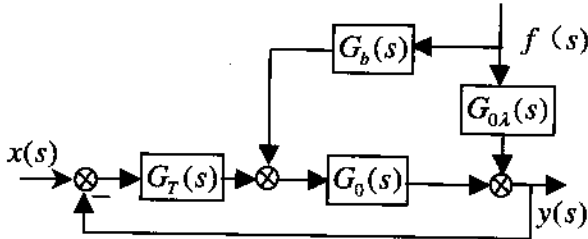


图 4 复合控制系统

号以前馈形式引入干燥控制系统。

$x(s)$ —系统的闭环输入传递函数； $G_T(s)$ —反馈控制器传递函数； $G_0(s)$ —控制通道对象传递函数；

$G_{0d}(s)$ —干扰通道对象传递函数； $G_b(s)$ —前馈控制器传递函数； f —扰动（进机粮水分、热风炉出口温度、环境温湿度） x —输入量（由干燥专家系统给定）； y —被控量（变频器赫兹数）。

在塔式干燥系统中，干燥机的进风温度是工艺要求控制的关键参数。我们把左右干燥过程的主要设备（热风炉）用一个单元子系统来控制，利用其输出的热能在热交换室，混合出两路温度不等的高温热风和

低温热风。通过风量分流调节阀开度变换调整参与冷风（空气）的比例，实现对干燥机进风温度的控制。

这种系统的给定值的变化规律是不能预先确定，它要由干燥专家系统获得的实时风温度、环境温度、进粮水分等前馈量干扰量，计算出物料应在干燥室的停留时间，从而给出变频器赫兹数，通过服务器与设备间的双向通讯给定的。在进机粮水分发生变化时，排粮轮的转速要在相应的时间，位置处平稳地跟随着变化，且能排除各种干扰因素的影响，准确地复现控制信号的变化规律，这样不仅获得比单一系统更高的控制精度和稳定性。双向通信技术、使干燥专家系统融入控制系统也把干燥自动控制系统上升到了干燥专家系统智能控制，使设备的工作效率、干燥效率、爆腰增率等有了大幅度的提高。

4 结语

随着信息技术革命，控制技术及其器件发展很快。但我国粮食干燥系统的控制发展还很缓慢。分析其主要原因在于干燥过程中的粮情检测技术跟不上，干燥过程复杂，影响因素多，干燥过程的动态特性的研究还很稀却。本文分析了粮食干燥系统；指出了建立干燥控制模型、搭建干燥控制系统的关键，介绍了干燥控制系统的基本量和类型，讨论了其动态特性，给出了系统的控制规律。

[参 考 文 献]

[1] 李长友. 稻谷塔式复合干燥专家智能控制系统. 中国科学学报, 1(9), 22-27, 2004
 [2] 曹崇文著. 农产品干燥工艺过程的计算机模拟. 中国农业出版社, 2001
 [3] Li Changyou, Shao Yaojian, Kamide. An Analytical Solution of the Granular Product in Deep-Beed Falling Rate Drying Process. Drying Technology. 17(9). 1959-1969. 1999.

Cereals Drying System Control

Li Changyou

(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou, 510642, China)

Abstract: the cereals drying system was analyzed, a key of the building a control model and drying control system was indicated. The variables and types of the drying control system were introduced, the dynamic feature was discussed and the control discipline was presented.

Key words: cereals; drying; system control

稻谷集中干燥自动控制系统

李长友*

(华南农业大学工程学院, 广州, 510642)

摘要: 把颗粒农产品去水过程的二段性理论及深床层干燥过程解析法, 应用于稻谷的塔式干燥设备自动控制, 开发一种稻谷集中干燥自动控制系统, 说明塔式干燥机的工艺, 处理过程的动态特性, 控制系统方案和控制手段。最后就有关理论和技术问题提出一些看法。

关键词: 稻谷; 集中干燥; 自动控制

中图分类号: S226.6

0 引言

单粒稻谷的去水遵循二段降速干燥过程^[1], 它在温度、湿度、流速一定的干燥场中的去水特性, 可以用同一指数模型的形式来分段表示^[2]; 它的平床深层干燥过程可由文献^[3]的方法获得其解析解。这些基础成果为我们确立稻谷合理地干燥工艺、分析它在实际干燥过程中的动态特性, 分析控制对象动态特性, 建立干燥控制模型提供了理论指导和重要的分析方法。为开发实用的干燥控制系统奠定了过程解析的理论基础。本文把这些成果应用于稻谷的塔式干燥设备自动控制, 开发一种稻谷集中干燥自动控制系统, 说明塔式干燥机的工艺, 处理过程的动态特性, 控制系统方案的确立和控制手段的实现, 最后就有关理论和技术问题提出一些看法。

1 塔式干燥机组工艺设计

1.1 机组的结构特征

塔式干燥机组的结构及处理工艺如图 1 所示。机组由燃烧器、流量控制阀、高温风机、双吸风机、干燥塔本体、排粮装置、输送设备及辅助设备构成。干燥室在塔体内按照稻谷的物性和干燥特性, 被设计成大小结构不同的多段, 自上而下, 分为分粮段、储粮段; 高温、低温交替烘干、缓苏段; 冷却段、排粮段; 烘干段依据物料物性、干燥特性和当地气候条件等可设计为顺流, 横流, 逆流, 混流等多种复合形式,

并设置相应的干燥缓苏比。稻谷被提升机从干燥塔的最上端送入干燥机, 在机内靠自重连续向下流动, 在流动的过程中实现顺流高温干燥——缓苏——低温干燥——缓苏交替进行后进入冷却段, 并在角状盒、导流板的作用下不断改变流太和干燥层的厚度。干燥产品经过干燥机底部的排粮轮定量排出。

能量转换装置可以是热风炉, 燃烧器等各类燃烧设备, 通过在汇流管上设置风量调节器对风量进行调整, 利用能量转换装置输出的高温高品位能于外界空气进行混合, 形成两路温度不等的高温热风 and 低温热风。通过变换高温风道和低温风道间的分流调节阀开度, 调整冷风(空气)参加的比例, 实现对干燥机进风温度的合理利用和控制。

1.2 顺流干燥

在顺流段, 热风 and 谷物同向运动, 稻谷在向下流动的过程中, 在风道壁面的导流作用下, 不断翻滚, 变位, 实现均匀干燥。由于热风 and 稻谷的流向相同, 高温热风首先与最湿、温度较低的稻谷相遇, 热风提供的能量, 主要消耗在谷物温度升高和表层水分的蒸发, 所以, 干燥机的上端可以使用很高的热风温度, 也不会带来干燥质量问题。大幅度提高了生产率, 降低了单位热耗。

1.3 混流干燥段

在混流段, 机内的角状盒的形状、尺寸、排列方法、进气道与排气道的布置是干燥设计的关键。稻谷在干燥塔内受角状盒的作用, 在不断改变流动方向的同时也在不断的翻动, 有效地降低了通风阻力, 使得风量加大而干燥温度相对较低, 由于谷物接触较高温度气流的时间很短, 遇到较低温气流的时间较长, 因而排出废气的温度低而相对湿度高。

2 主要扰动及其控制手段

2.1 干燥室的输入及输出

*收稿日期: 2005. 11. 12 修订日期: 2005. 11. 28

基金项目: 稻谷集中干燥工艺及关键技术设备的研究与应用(2004KY06); 负压红外热辐射干燥机理及技术研究(20021042); 稻谷集中干燥设备及关键技术的研究(2005B20601001)

作者简介: 李长友, 1958 年 8 月, 男, 陕西, 教授, 博士, 农产品加工, 华南农业大学工程学院, 510642, lichyx@scau.edu.cn

分析干燥系统，搭建控制系统时，首要的任务是要进行干燥室的质量衡算、热量衡算及动量衡算。分析能量结构及干燥效率，弄清干燥室的输入与输出。

塔式干燥机的输入量主要包括：湿稻谷，热风。稻谷的主要评价量有含水率、温度、流动速度，流动方式干燥层厚度，爆腰率等；热风主要的评价量有湿含量、温度、流动速度，流量、风压等。

输出量主要有：干粮和废气。干粮的主要的评价量有，含水率、温度、阻力，爆腰增率等。废气主要的评价量有湿含量、温度、湿度等。干燥系统的评价

量主要有干燥时间、干燥效率、爆腰增率、稳定性、可靠性、安全性等。

2.2 影响干燥过程的主要过量有及其控制手段

2.2.1 温度

在干燥过程中，对进气温度有较严格的要求，一般干燥介质的温度不应高过 45℃~50℃，稻谷的温度不应高于 35℃~40℃。对于高湿稻谷，当介质温度过

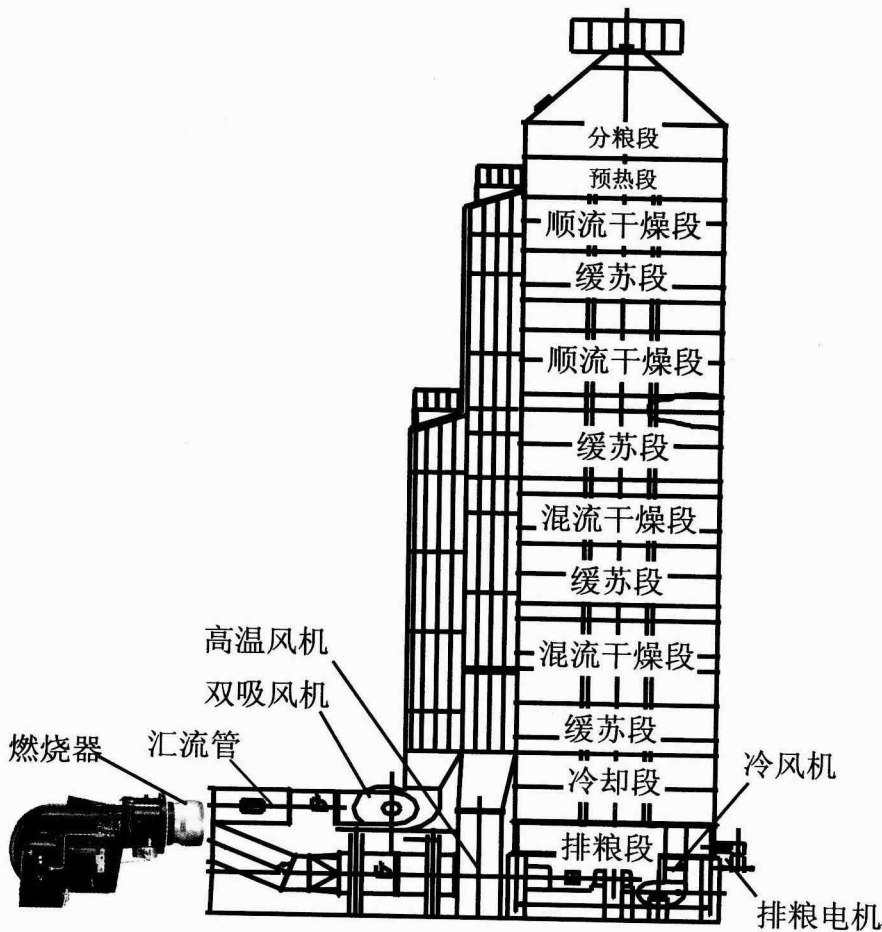


图 1 顺混高低温组合塔式稻谷干燥机组

Fig.1 Sequence-hybrid flow and high-low temperature tower style paddy dryer set

高时，在干燥初期，会使稻谷表面急剧蒸发，引起表面“干结”，使内部水分难于向外扩散而集结，在稻谷继续受热的过程中，集结在内部的水蒸气分压会迅速升高，高过一定值后，必从表皮较薄弱的部位冲出，从而形成爆腰。进风温度可以通过一个燃烧控制子系统加以控制，而进入干燥机的热风通过调节参入两路

风道的空气量，获得在最高温度范围内，温度不等的两种干燥介质。

2.2.2 风量

风量是干燥设计时的一个重要指标。在实际干燥过程中，风量直接影响平均降水速率。气流在通过干燥层的过程中，吸收水分而使温度降低、湿度增大，干燥能力下降。全层的平均降水速率取决于送风风量与谷物量之比，亦即对于初期水分相同的稻谷，在同