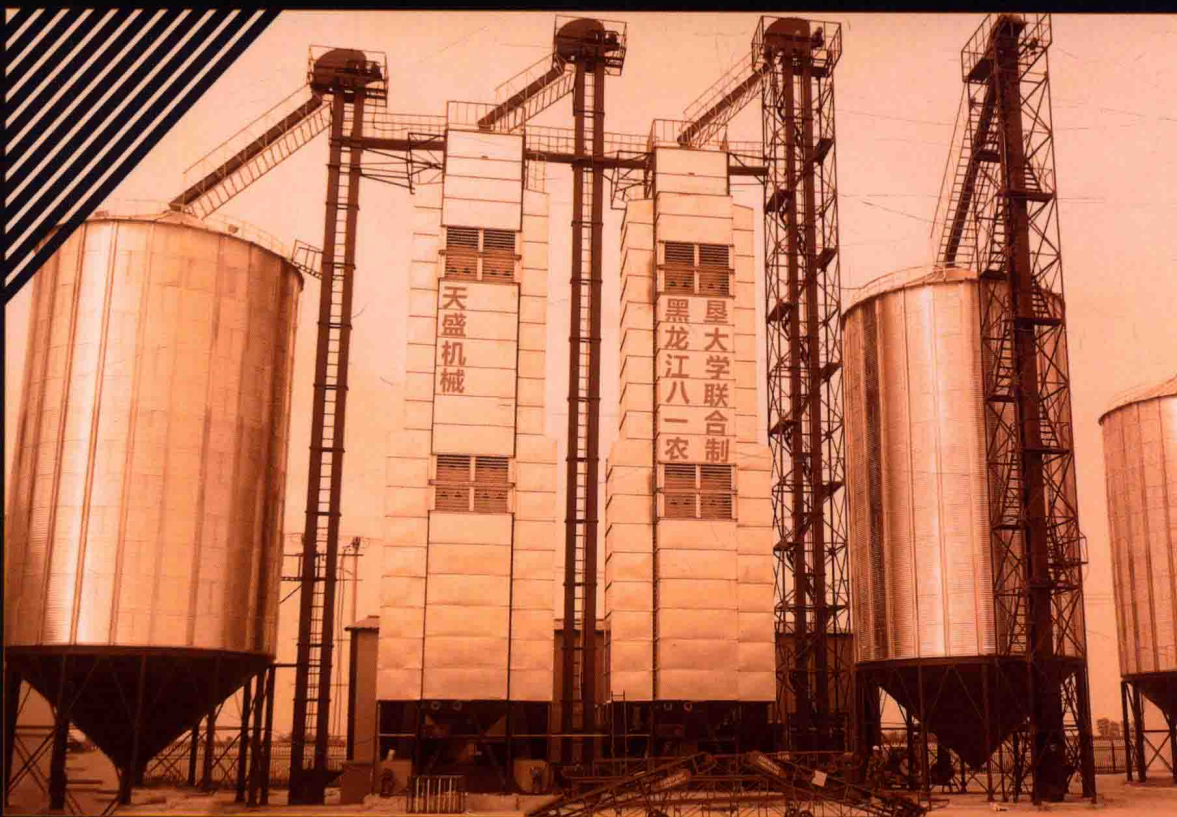


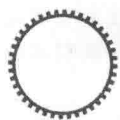
DIANKING NONGCHANPIN GANZAO JISHU
YU ZHINENGHUA ZHUANGBEI

典型农产品干燥技术 与智能化装备

车 刚 吴春升 著



化学工业出版社



DIANXING NONGCHANPIN GANZAO JISHU
YU ZHINENGHUA ZHUANGBEI

典型农产品干燥技术 与智能化装备

车 刚 吴春升 著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共 10 章,第一章概论,主要介绍农产品干燥的目的和意义、国内外农产品干燥技术现状分析、典型农产品干燥设备、干燥机械新技术的应用研究;第二章典型农产品的特性分析,结合谷物的生理特性、热物理特性、空气动力特性和物理机械性质,进行典型谷物的干燥条件分析和籽粒应力分析;第三章介绍了谷物水分及测量原理;第四章介绍了干燥介质的特性分析;第五章介绍了谷物干燥过程的机理研究;第六章介绍了智能谷物干燥机的设计;第七章介绍谷物干燥过程智能控制;第八章介绍了现代谷物干燥机的应用;第九章介绍了白瓜子干燥技术与机型设计;第十章介绍了典型农产品干燥中心设计与应用。

本书既可作为农产品加工工程、粮食工程、农业机械化及其自动化、机械设计与制造等专业的学生教学辅导书,也可供现代化农场、粮食加工企业相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

典型农产品干燥技术与智能化装备/车刚,吴春升
著. —北京:化学工业出版社,2017.9
ISBN 978-7-122-30109-3

I. ①典… II. ①车…②吴… III. ①农产品-干燥
②农产品-智能控制-干燥设备 IV. ①S375

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 156202 号

责任编辑:戴燕红
责任校对:王素芹

文字编辑:向东
装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷:三河市航远印刷有限公司
装 订:三河市瞰发装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 18 字数 358 千字 2017 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:85.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

农产品生产问题是关乎国家粮食安全和国计民生的大问题。随着我国农业供给侧结构性改革与调整的深入实施,国家大力推动土地流转,到2016年全国土地流转面积4.5亿亩。土地流转率达到30%以上。加速了农业领域的规模化种植,随着大宗农产品总产量的提高,势必导致典型农产品收储的难题,尤其是高水分玉米和水稻的烘储质量与粮食品质、烘干能力与能耗的矛盾问题日渐突出。据有关部门统计,国内每年粮食产量约5亿吨,常年库存近一半,理论上都需要烘干处理。但是我国粮食烘干水平过低,粮食烘干机技术参差不齐,无法与欧美国家相比。如何提高我国烘干机械工业的水平已成为保证我国大农业持续发展的关键,农产品收获时间紧、任务重,如果干燥处理不当,将严重影响农产品的品质。本书涉及工程热物理、植物生理学、机械设计、传热传质学、图形学、自动控制理论等多个领域,结合国家科技部的“十三五”发展规划以及国家工信部颁布的农机装备发展行动方案(2016—2025)的重点内容,提出研发粮食智能干燥机械,重点突破在线水分测量、真空低温干燥、热风真空双效干燥、红外真空组合干燥、太阳能谷物干燥、PLC控制、多燃料系统开发、成型生物质燃料热风炉热效率提升等关键技术,优化谷物烘干过程模型、特色农副产品烘干工艺模型,开发高效能、多燃料烘干组合、智能型烘干机,提高粮食、特色农副产品烘干的生产率和质量。尤其黑龙江省是地处高寒地区的农业大省,也是国家重点商品粮生产基地。系统提升典型农产品(玉米、水稻)的高效、节能、保质干燥工艺和自动控制技术,显得尤为重要。

《典型农产品干燥技术与智能化装备》是贯彻落实科学发展观、构建社会主义和谐社会,实现智能农业机械化和保障粮食安全不可或缺的应用性学术著作,农产品干燥环节不仅关系到丰产丰收问题,而且是降低一次能源的消耗和提高粮食干燥品质和产能的关键。本书结合国内外农产品干燥技术发展概况、谷物干燥机的种类和特点、干燥特性,系统地分析了谷物干燥机原理、干燥过程的机理及影响因素。重点探讨了寒区玉米、水稻、白瓜子等典型农产品的干燥特性和规律,以典型顺流和混流干燥机和循环干燥机为例,结合现有5H系列谷物干燥机械的实际应用,给出了谷物干燥机及供热设备的设计过程,着重研究分析了谷物干燥过程检测与智能控制部分,应用多传感器实时采集在线工作参数,配合自适应调控系统,实现大宗粮食的智能保质干燥生产。同时对白瓜子等高附加值农产品的干燥特性及装备机型进行了研究,最后整体阐述了

谷物干燥中心的设计与应用情况。

近年来,国内外干燥机通过计算机、PLC、智能化仪表、常规电器和组态软件组成的控制系统,实现水稻和玉米等干燥生产过程的实时数据采集、中央控制、在线测试、数据库管理是发展的主流。能够在干燥工作流程中实现智能化监控,在全程干燥中实现自动化和智能化操作,是到2020年的发展规划。智能干燥技术的应用前景非常广阔。

为了推进典型农产品先进干燥技术的发展,笔者结合近年来所做的博士阶段的研究和相关科研项目,撰著此书。该项目研究与国内同行有着广泛的学术联系,解析和把握干燥领域的理论发展前沿,并且有干燥环节的创新性构想,在其前沿领域赶超国际先进水平。采用理论分析与试验研究相结合的方法,系统地研究了粮食干燥的强化传热和传质机理。用生产和试验结果结合理论分析进行对比验证。建立了严密的干燥评价体系 and 规律,对相关学科的理论研究具有较高的指导性和参考价值。

本书适用于农产品加工工程、粮食工程、农业机械化及其自动化、机械设计与制造等专业的学生,现代化农场、粮食加工企业相关人员。

本书得到了黑龙江省应用技术与开发项目(GA15B402)、黑龙江省农垦总局重点攻关项目(HNK125B-05-08)和黑龙江省普通高等学校新世纪优秀人才培养计划项目(1155-NCET-012)的技术支持和资助。

本书由黑龙江八一农垦大学工程学院车刚教授与黑龙江省农副产品加工机械化研究所吴春升高级工程师合著。车刚教授独立完成第三、六~十章的内容,吴春升高级工程师完成第一、二、四、五章的内容。由于著者水平有限,书中难免有不足之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

著 者
2017年2月

目录

CONTENTS

第一章 概论 1

第一节	农产品干燥的目的和意义	1
第二节	国内外农产品干燥技术现状分析	3
第三节	典型农产品干燥设备	11
第四节	干燥机械新技术的应用研究	30

第二章 典型农产品的特性分析 36

第一节	谷物的生理特性	36
第二节	谷物的热物理特性	37
第三节	谷物的空气动力特性	40
第四节	谷物的物理机械性质	43
第五节	典型谷物干燥条件分析	45
第六节	典型谷物籽粒应力分析	47

第三章 谷物水分及测量原理 60

第一节	谷物中的水分	60
第二节	谷物中的水分静态测量	65
第三节	谷物水分的在线测量	71

第四章 干燥介质的特性分析 91

第一节	湿空气状态方程及道尔顿定律	91
第二节	重要名词的释义	92
第三节	焓湿图	97
第四节	谷物平衡水分的介质状态曲线	100

第五节	干燥过程的物料衡算与热量衡算	102
第六节	干燥过程中的平衡关系与速率关系	107

第五章 谷物干燥过程的机理研究 110

第一节	干燥过程的机理	110
第二节	谷物干燥特性曲线	111
第三节	影响谷物干燥过程的主要因素	113
第四节	薄层干燥理论	116
第五节	深层干燥理论	118

第六章 智能谷物干燥机的设计 122

第一节	谷物干燥机的设计过程	122
第二节	正压式谷物干燥机设计	133
第三节	负压式智能干燥机的设计	141
第四节	小型移动式干燥机的设计	151
第五节	循环式智能干燥机的设计	160
第六节	圆仓式低温干燥机的设计	168
第七节	粮食干燥用的供热设备	169
第八节	炉灶及换热器设计	173

第七章 谷物干燥过程智能控制 178

第一节	谷物干燥控制系统	178
第二节	典型粮食干燥机控制系统	185

第八章 现代谷物干燥机的应用 197

第一节	低温干燥仓	197
第二节	循环式干燥机	202
第三节	竖箱直流式谷物干燥机	206
第四节	干、湿粮混合干燥机	213
第五节	典型谷物干燥机的应用技术	215

第九章 白瓜子干燥技术与机型设计 228

第一节	真空微波组合干燥技术	228
-----	------------------	-----

第二节	白瓜子真空微波干燥的优化试验研究	230
第三节	白瓜子微波真空干燥设备的设计	241

第十章 典型农产品干燥中心设计与应用 **248**

第一节	谷物干燥中心的设计	248
第二节	典型干燥中心的应用	255

附录 **259**

附录 1	粮食干燥用燃料资料	259
附录 2	谷物干燥室内实验	260
附录 3	国际单位和基础参数	265

参考文献 **274**

后记 **277**

第一节 农产品干燥的目的和意义

一、干燥的内涵

干燥就是利用热能将湿物料中湿分（水分或其他溶剂）去除，以获得固体成品的操作。按方式分，干燥有烘干和晾干。所谓烘干，就是用燃料烘烤方法蒸发物料中的水分。所谓晾干，就是利用自然风来去掉物料中的水分。对于典型农产品而言，大宗粮食作物和经济作物隶属此范畴。按干燥方法分，自然干燥利用太阳能和自然风来去掉谷物中的水分；人工干燥是利用干燥机去掉谷物中的水分，人工干燥必须有热量和风。干燥的主要目的是防止谷物在贮藏中，由于水分过多而发生霉烂、变质的问题，此外干燥还可以减少重量便于运输、贮存，改善谷物性状，提高品质和加工性，以利于下一步作业等。

二、干燥的应用

广义讲：干燥过程是去湿过程，即农产品物料中除去湿分。去湿方法很多。

去湿方法	①机械方法	沉降、过滤、离心分离等。
	②热物理法	加热空气。
	③物理化学法	如醇类+氧化钙（分子筛）。
	④吸附去湿	如 CaCl_2 、硅胶。

干燥本质：被除去的湿分从固相转移到气相中。固相为被干燥的物质，气相为干燥介质。

三、干燥的分类

- | | | |
|-----------|----------------|--------------------|
| (1) 按操作压强 | { 常压干燥
真空干燥 | (真空干燥适于热敏性及易氧化的物料) |
| (2) 按操作方法 | { 连续操作
间歇操作 | |

(3) 按传热方式

- 传导干燥 如焙药（金属板下有火、板上置药）。
- 对流干燥 如用热空气干燥。
- 辐射干燥 如空气：煤气=(3.5~3.7)：1 放置在白色陶瓷板，无焰燃烧到 450℃，陶瓷板发出红外线。
- 介电加热干燥 如将需要干燥的物料置于高频电场内，依靠电能加热物料，并使湿分汽化。
- 联合干燥

四、干燥对象

干燥对象除了粮食外，还有木材、牧草、药材、蘑菇、刺老芽、蕨菜、烟叶、食品、奶粉、纸浆、布匹、染料、渔副产品、金属粉末、鸡类等，涉及农林、牧、副、渔、化工、轻工、机电、食品工业各领域。

农产品干燥是农业生产中重要的步骤，也是农业生产中的关键环节，是实现粮食生产全程机械化的重要组成部分。农产品干燥机械化技术是以机械为主要手段，采用相应的工艺和技术措施，人为地控制温度、湿度等因素，在不损害谷物品质的前提下，降低谷物中含水量，使其达到国家安全贮存标准的干燥技术。

我国是世界上最大的粮食生产国和消费国，国家粮食局最新抽样调查显示，因自然晾晒及储粮设施简陋，粮食在晾晒、储藏过程中损失量高达 150 亿~200 亿千克，年损耗率北方为 3%~5%、南方为 5%~8%。因此，迫切需要高效的机械化干燥方式，谷物干燥机的出现解决了这一难题，缩短了干燥时间，保证了农民和国家的利益。谷物干燥机干燥方式具有不受气候限制、减少谷物损耗、节省劳动力和效率高等优点，使得谷物干燥机普遍受到欢迎。

我国各地的农产品干燥对象有所不同，南方省份主要是干燥水稻，中原省份主要是干燥小麦和水稻，而北方省份则主要是干燥玉米、小麦和水稻。

北方省份由于气候寒冷，除考虑一般谷物干燥外，还要注意种子水分大时不能安全越冬问题，因为水分大时种子将遭受冻害，严重地降低发芽率，因此北方的种子（主要指玉米和水稻）要求在外界环境温度下降到 5℃之前必须干燥到安全水分（13.5%~14.5%），以保证其旺盛的生命力。

据调查我国几种主要谷物在收获时的水分及其安全贮存的水分如表 1-1 所列。

表 1-1 几种谷物收获水分及其安全贮存的水分 单位：%

谷物	最高水分	适时收获水分	一般水分	安全贮藏水分
小麦	38	18~20	9~17	13~14
大豆	20~22	16~20	14~17	13
玉米	35	28~32	14~30	13~14
水稻	30	25~27	16~25	13~14
高粱	35	30~35	10~20	12~13
白瓜子	80	60~72.3	12~20	13~14

从表中数字可看出,各种谷物干燥中的要求降水幅度一般为 $5\%\sim 10\%$,个别的要求降水 $10\%\sim 20\%$ 。

五、农产品干燥机械化的优点

我国自然干燥已有几千年的历史,因自然干燥是利用太阳的热能和自然风来干燥的,它受气候影响很大。收获季节阴雨天较多,谷物常常得不到及时干燥而产生霉烂、变质的问题,另外谷物量大,晾晒空间不好找也很不方便,因此,无论在国内外还是国内,都大力提倡谷物干燥机械化,其优点如下。

1. 适时收获的重要保证

成熟后的作物留在田间时间越长,则产量越低。此时,田间作物还会因风吹雨淋而容易倒伏,尤其玉米,如表 1-2 所示,如用机械化干燥就可避免田间损失。

表 1-2 不同时期收获损失表

收获期	谷物中水分/%	备 注
早期	30~40	机械损失大
晚期	15~20	田间,机械损失大
适时	20~30	高产损失小,但时间短

2. 谷物收获中的重要环节

收获后粮食的水分一般在 $20\%\sim 40\%$ 之间,安全存贮水分 $13.5\%\sim 14.5\%$,高出的水分必须进行干燥才能存贮,否则出现发芽、霉烂、品质下降。

3. 提前收获,合理安排人力、物力和提高土地利用率

我国不少地区是一年两熟,也有一年三熟,就以南方来说,一般是一年两熟,收了早稻后就要立即种晚稻。由于收早稻季节常逢阴雨,应集中绝大部分劳力去抢收粮食。这样影响了晚稻的插秧进度,结果影响晚稻的产量,如有机械干燥则可提前收获,这样既保证了晚稻的收成,又不影响其他作物的田间管理。

4. 减少场院晒谷的损失

自然干燥谷物必须占用一定的晒场面积进行摊晒。我国人口多,可耕地越来越珍贵。粮食总产量虽有了大幅度提高,但场院面积很难增加。因而造成在场院上谷物堆积成山,不能及时干燥,致使谷物等农产品霉变。

第二节 国内外农产品干燥技术现状分析

目前我国生产和应用的干燥设备与先进国家相比,在制造质量、应用数量、自

动控制水平、干燥工艺以及干燥机的通用化、标准化、系列化等方面还存在着较大差距,典型农产品干燥技术以粮食干燥为主,我国粮食干燥机械化程度还很低,研究、分析和借鉴国外先进干燥技术对干燥设备的发展具有重要意义。

一、国外谷物干燥技术发展现状

(一) 国外谷物干燥技术发展现状

国外谷物干燥研究起步较早。在 20 世纪 50 年代以前,国外谷物干燥,仅根据收获水分的不同,去控制热风的温度和一次降水率、粮温等条件,干燥以后谷物的爆腰率增加。60 年代以后,国外注意干燥机理的研究,对谷物的缓苏过程进行深入的研究,认为增加谷物的受烘次数,使用顺流干燥,提高热风温度,采用缓苏处理,可以大大提高干燥后谷物的品质,并且随着电子计算机的普及和应用,计算机模拟干燥过程和干燥结果给研究带来许多方便,理论与实践联系也越来越密切。1990 年以后谷物干燥设备已经达到系列化、标准化。但是,各国的自然条件和经济条件等的差异,干燥理论的研究、应用、发展也存在着差异。

(1) 美国 美国的谷物干燥技术是伴随着谷物联合收割机的推广使用而发展起来的,在全国应用比较普遍,主要的机型有中、小型低温干燥仓及大、中型号高温干燥机,这些机器以干燥玉米和小麦为主要对象,以柴油(煤油)和液化石油气为热源,采用直接加热干燥。设备中一般具有:料位控制、风温控制及出粮水分控制系统。太阳能干燥机也在美国开始应用。

(2) 加拿大 加拿大主要粮食作物是玉米和小麦,其收获水分较高(35%~40%),习惯干燥到 15%~16%才出售,因此各种类型的干燥机应运而生。

由于要求干燥的品种越来越多,产量也逐渐增加,收获的时间越来越短,这些都推动了加拿大干燥技术的发展,其发展趋势是通过自动调节设备的完善来改善干燥机的使用状况,提高烘干质量,增加热量利用率,节约能源,减少损失。

(3) 日本 日本是世界上唯一的以谷物生产为主并实现了农业机械化的发达国家。人工干燥谷物的开发研究起步较早,1952 年以前,为提高产后优质米的品质,研制了人工干燥器;1956 年研制出了静置式常温通风干燥机,1966 年全国推广 107 万台,建立起了称为干燥中心(RC)的大型干燥处理设施。由于这一期间联合收割机的普及速度很快,带动了粮食处理业的发展,开发了高效循环式缓苏干燥机并建立大型干燥储藏设施,使谷物在长时间连续循环过程中实现缓苏,提高干燥温度,减少干燥部分的体积,加大风速,能在较短的干燥时间内较大幅度地降低含水率,并可避免谷物在急速干燥过程中出现爆腰、破裂等质量问题。

日本的谷物干燥设备按规模可分为大型干燥储藏设备和中小型干燥设备两大类,如佐竹生产的 LDR 系列和 ADR 系列,日本生产的 NCD 系列。大型设备主要用于大型烘干加工中心和国家储备库,中小型设备主要用于农户加工烘干,几乎所有干燥设

备均采用燃油加热式,其显著特点是机内装有水分自动检测、控制装置及谷温自动控制装置并通过微计算机进行调整控制,防止干燥过度、米粒爆腰和变质。

(二) 国外干燥机发展现状

国外现在使用的干燥机按结构及干燥原理进行分类,主要有横流、顺流、逆流、混流和循环式干燥机,现将其发展趋势归纳如下。

1. 横流式谷物干燥机

横流式谷物干燥机是目前美国最流行的一种干燥机,具有结构简单、制造方便及使用可靠等优点,国外生产横流式干燥机的主要厂家有 Berico、Zimmerman、Airstream、Superb、Behlen、FF、GSI、M-C 等公司。目前横流式谷物干燥机的发展主要放在提高干燥后粮食水分均匀性上,各国研究机构进行了大量的研究,归纳起来有以下几种措施。

(1) 谷物换位 为克服横流式干燥机的干燥不均匀性,可在干燥机网柱中部安装谷物换流器,使网柱内侧的粮食流到外侧,外侧的粮食流到内侧,可降低干燥后粮食水分不均匀性。美国 Thompson 的研究表明,采用谷物流换位,不仅可大大减少粮食的水分梯度,而且可以降低粮温。

(2) 差速排粮 为改善干燥均匀性,美国 Blount 公司在横流式干燥机的粮食进出口处设置了两个转速不同的排粮轮(进风侧的排粮轮转速高,排风侧的排粮轮转速低),这就使得高温侧粮食受热时间缩短,可使干燥后的粮食水分均匀一致。

(3) 热风换向 采用热风改变方向方法,可使粮食干燥均匀,即沿横流干燥机网柱方向分成两段或多段,使热风先由内向外吹送,再从外向内吹送,粮食在向下流动的过程中受热比较均匀,干燥质量得以改善。

(4) 多级横流干燥 利用多级或多塔结构,采用不同的风温和风向,可大大改善横流干燥机的干燥不均匀性。

2. 顺流式谷物干燥机

在顺流式谷物干燥机中,热风与粮食的流动方向相同,粮食靠重力向下流动(粮层厚度一般为 $0.6 \sim 0.9\text{m}$),最热的空气先与最湿的粮食接触,故可使用较高热风温度。干燥机内没有网筛,一个单级的顺流干燥机一般均有一个热风机和一个冷风机,废气直接排入大气。干燥段风量一般为 $30 \sim 45\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$,冷却段风量为 $15 \sim 23\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$;由于粮层较厚,气流阻力大,静压一般为 $1.8 \sim 3.8\text{kPa}$ 。大多数顺流干燥机设有一级或二级顺流干燥段和一级逆流冷却段,并在两个干燥段间设有缓苏段。国外生产顺流式谷物干燥的厂家有美国的 York、Farrell-Rose、Bird 公司和加拿大的 Westlaken 公司。目前国外顺流式谷物干燥机的发展有以下几方面。



① 因顺流干燥机粮层较厚, 气流阻力大, 热风入口位置高, 热损失大, 故能耗较高, 应在结构参数上进行优化, 研究其降低能耗的措施;

② 对多级顺流干燥机的级数进行优选, 并研究顺流干燥机的自动控制;

③ 进行缓苏段参数选择和效益分析的研究;

④ 顺流干燥机采用热风温度很高, 安全防火是一个关键性的问题。

3. 逆流仓式谷物干燥机

在逆流仓式谷物干燥机中, 热风与粮食的流动方向相反, 最热的空气首先与最干的粮食接触。粮温接近热风温度, 故使用的热风温度不可太高。而低温潮湿的粮食则与温度较低的湿空气接触, 因而易产生饱和现象。逆流式干燥机一般由一个圆仓和多孔底板组成。国外生产逆流仓式干燥机的公司有美国的 Shivvers、Sukup、Stormore、Behlen 等公司和日本的金子、山本制机株式会社等。目前国外逆流仓式干燥机的发展有以下几方面。

① 采用多段变螺距变直径的扫仓螺旋, 以使粮层表面保持平整、透风均匀;

② 增设粮食搅拌装置, 提高生产效率, 降低风阻, 提高干燥的均匀性, 促进上下层粮食的混合;

③ 改进通风底板结构设计, 如提高有效通风面积、增加支撑板强度、利用特殊材料等。

4. 混流式谷物干燥机

混流式谷物干燥机是目前国外应用最广泛的一种干燥设备。其内部设有排进、排气角状盒, 且进、排气角状盒上下交错排列。谷物靠重力向下流动, 受到以顺流、逆流、横流方式的热风加热。由于混流式干燥机的通用性强、电耗低、干燥质量好, 而日益得到发展。国外生产大型混流式干燥机的厂家很多, 主要有丹麦的 Cimbria、加拿大的 Vertec、法国的 Law 和 Fao、英国的 Carrier、德国的 Stela 和 Si-rocco、瑞典的 Svegma、意大利的 Mulmix、美国芦州大学的 Lsu 和 Neco 等, 俄罗斯生产的干燥机几乎全是混流式的。目前国外混流式干燥机的发展有以下几方面。

(1) 采用脉动排粮机构 为使通过干燥机的粮食均匀等速向下流动, 排粮机构起着决定性作用。传统干燥机的排粮部分为锥形底仓和叶板式排粮轮。造成中心部位粮食流速过快, 边缘部位流速过慢而引起粮食干燥不均匀。新型的混流式干燥机如 Cimbria、Law-denis、Svegma 等均采用了脉动排粮机构。

(2) 采用变温干燥工艺 欧洲一些国家如法国的混流式干燥机采用了变风温干燥工艺, 气流温度自上而下逐渐降低, 粮食由高温区逐渐向低温区流动, 粮食不易因受热而降低品质且降低能耗。

(3) 采用可变冷却段 Svegma、Cimbria、Law 等公司生产的干燥机都具有可变的冷却段, 通过调节板可改变冷却段长度, 提高干燥冷却效率。

(4) 设有余热回收装置 欧美国家生产的一些混流式干燥机设置了余热回收装置,使热能得到充分利用,如 Svegma、Stela、Law 等公司生产的干燥机。

(5) 在原有理论分析的基础上(一维模拟模型)开发一维混流式干燥机模型,使混流干燥模拟技术提高一步。

(6) 对角状盒的设计进行深入分析研究,开展角状盒形状、尺寸、配置和干燥性能关系的研究,如粮食品质、干燥效率。

5. 循环式谷物干燥机

循环式谷物干燥机具有生产率高、干燥速度快、使用方便、谷物循环速度快等特点。一个直径 2.4m、高度仅 5m、重 1.5t 的圆筒内循环式干燥机就可干燥玉米 2t (降水 5 个百分点),15min 就完成一个循环,循环 20 次就可降水 10 个百分点,用 29.4kW 拖拉机,既可牵引又可驱动,方便进行流动作业;粮食循环速度快,比混流、横流式干燥机的谷物流速快 3~5 倍,可使用较高的风温,而不致使粮温过高,且干燥均匀。国外生产的圆筒内循环式干燥机有美国的 GT-380、Morige8330、GSI620-B,英国的 Master、Opico380、Lely550 等。

近年来国外许多干燥公司对内循环移动式干燥机进行了大量研究和改进,使干燥机的效率、干燥质量、操作方便性以及针对不同粮食的适应性大大提高,且出现了不少新结构和新设计,归纳起来有以下几个方面。

① 为提高粮食的干燥质量,在机内立式螺旋上方设置清粮部件,可在粮食循环过程中清除细杂物、草籽和颖糠,干燥后的粮食清洁整齐,如美国 Morige 干燥机。

② 采用伸缩式外筛筒和绞盘式传动装置,以适应不同批量的粮食,改变干燥谷物时的缓苏比,如英国 Master 和 Meana 干燥机。

③ 采用大风量、低噪声双轴流风机,以提高干燥速率,改善机内气流的均匀性。

④ 采用折叠式卸粮螺旋,改进粮食通过性能。

⑤ 在热风室设置导流板,使热风室内风量分布均匀,温度一致;在粮道内设置导粮板,可保证粮食均匀向下流动,各处的粮食均能受到相同温度热风的作用,如英国 Lely 公司的干燥机。

二、国内谷物干燥技术发展现状

(一) 国内谷物干燥技术现状

我国的谷物干燥(主要指机械干燥)始于 20 世纪 50 年代,它的发展大致经历了这样几个阶段:①引进阶段;②仿造阶段;③研制阶段。近些年来,我国在引进先进技术的基础上,不断进行技术改进和理论研究,研究适合我国国情的干燥机械。具体如下:50 年代初引进了苏联的高温干燥机应用于生产,后参照该机型结构和原理自行设计了大型高温干燥塔,逐步应用在北方的粮食系统中。60~70 年代各地自行设

计了多种中、小型谷物干燥机,由定点干燥机厂生产,逐步推广到全国。从70年代以后在较大范围内开展了谷物干燥的试验研究和设计研制工作。例如,中国农业大学工程学院先后试验研究了玉米、水稻、小麦、高粱等谷物的横流、顺流、逆流、混流等干燥工艺;黑龙江八一农垦大学研究了干湿粮混合干燥工艺和多级顺流干燥工艺;南京农机化所、广东省农机所研究了横向通风等干燥工艺;中国农机院、中国农工院、四川农机所、黑龙江农副产品加工研究所等均在干燥工艺技术上做了大量的研究工作。黑龙江农垦科学院在“产地谷物处理工厂化”研究中消化吸收了国外技术,建立了一批横流、顺流、混流及高低温组合等干燥工艺流程。另外,在谷物干燥机理、应用基础研究方面中国农大、东北农学院、华南农大、江苏理工大学等院校做了大量的研究工作,分别建立了谷物热特性、水分扩散特性、干燥速率等试验测定装置,研制了固定床、换向通风、循环干燥、流动干燥等试验台,并培养出一批水平较高的博士、硕士。中国农大在国内率先开展了谷物干燥计算机模拟的研究,使国内的干燥技术研究接近和达到国际先进水平。20世纪90年代起,人们对高品位食品的需求增加,加之外商在我国食品工业的投资力度和广度加大,国外先进的食品干燥机械不断地被引进国内,以及我国食品科技人员的开发创新,相继出现了许多型式的食品干燥机械,如空气干燥设备、滚筒干燥设备、真空干燥设备、加压式干燥设备和组合干燥设备等。20世纪90年代后期,我国谷物干燥机械工作者对电磁辐射干燥设备开展了大量的研究,如天津市包装食品机械研究所吸收国外最先进的技术,开发研制出的WTJ系列微波能干燥设备,具有干燥速度快、热效率高、加热均匀、无污染和不破坏谷物的营养成分等特点,可广泛应用于谷物干燥领域。此外,还有利用远红外辐射元件发出的远红外转变成热能进行干燥食品,其特点是设备简单、节约能源、干燥速度快;再有根据太阳能可转变为热能的原理,开发研制的系列太阳能干燥设备可用于干燥谷物。同时,结合我国国情采用价廉的蒸汽喷射真空泵系统的冷冻升华干燥设备也开始在我国用于谷物的干燥。

近年来,在谷物干燥领域开展了一系列的国际合作。我国与美国、英国、日本、加拿大、法国等国家科研机构、学校和干燥机公司就有关谷物干燥技术和设备进行了广泛的技术交流,部分院校、科研和生产单位与国外建立了合作关系。国外干燥机近几年也通过合资、合作方式在国内有所生产,如江苏和上海的三九和金子干燥机等。最近,中国农大还通过技术合作,将国外先进的干燥机核心部件与国内产品配套,组成比较先进的干燥系统提供给用户。

(二) 我国谷物干燥方面存在的问题

我国谷物干燥存在的主要问题是:烘干能力不足,烘干机型庞杂,烘干工艺落后,土建工程量大,专业化的生产厂家少,通用化、标准化、系列化程度较低,热效率低,单位能耗高,与国外的差距有以下几点:

① 干燥机械化水平低,自动化水平低,烘干能力不足。在干燥机械化程度最

高的黑龙江垦区,干燥能力和水平仍显不足。

② 各省的谷物干燥机发展不均衡。目前谷物干燥机主要在大型农场使用,比较发达的地区干燥机拥有量比较多,而欠发达地区干燥机拥有量比较少,因此有很多推广工作可做。

③ 干燥机生产厂家规模小,自主开发的产品少,模仿的多。很多厂家只是几十人的小厂,缺乏研发能力和驾驭市场风险的能力。

④ 同国外的干燥机相比,我国干燥机明显的差距是制造质量差。一部分生产厂不具备相应的技术和设备条件,干燥机的使用寿命和可靠性不高。

⑤ 干燥机型号多、类型杂。有些产品未经任何形式的技术鉴定就进入市场,性能不能可靠保证,给用户造成很大损失。

⑥ 干燥机的自动控制水平低,缺少水分在线检测装置,干燥机出口的谷物水分不能准确控制,造成粮食品质低劣。

⑦ 我国谷物干燥绝大多数以煤作为热源,很难满足环境保护和供粮不受污染的要求。采用机械燃煤炉和换热器相结合的热源虽满足不污染的要求,但热风炉的可靠性差,换热效率低,成本高,寿命短。除此之外,我国干燥机生产厂和热风炉生产厂相脱离,造成干燥机和热源不配套。

(三) 国内干燥机发展现状

目前国内所使用的干燥机种类较多,以常压干燥为主流,按干燥工艺原理分类与国际机型相同,北方地区以大中型连续式干燥机为主,南方以循环式干燥机为主。粮食真空干燥机正在推广,现对国内干燥机进行如下介绍。

1. 横流式谷物干燥机

横流式谷物干燥机是一种谷物流动方向垂直于干燥热风的连续流动干燥机。经典的横流式谷物干燥机,拥有的竖箱横截面是呈矩形,在竖箱内部设有冷、热空气分配室,谷物在通道两侧下落后进入排量段。在干燥机烘干的过程中,在重力作用下湿粮从储粮段流入到干燥段,配风室配送干燥热风,使得热风横向穿过正在下落的谷物,从而达到干燥的目的,冷却段干燥之后,再由排量段排出。

横流式粮食烘干机又可分为两类,即横流循环式和横流缓苏式。其中前者是中小型的干燥机,该干燥机结构简单、容易制造、加工成本低、干燥速度相对较快,因此该干燥方式在目前干燥领域中应用广泛。但也存在着很多不足,如靠近进风口的粮食过于干燥,出风口的粮食没有充分干燥,产生了湿度差距,从而导致干燥后谷物质量变差;能量方面,有相对比较耗能、热能利用率低等缺点。

小型横流循环稻谷干燥机,由广东南海和中国农大生产,拥有 0.75~3t 的装机容量,其工艺流程为:干燥—缓苏—干燥—缓苏。上海三久烘干机与无锡金子烘干机都同属于横流循环式低温谷物干燥机,该干燥机上部是缓苏段,下面部分是干