

中等粮食学校推荐教材

粮食干燥

主编 马 良

主审 张安云



中国商业出版社

中等粮食学校推荐教材

粮 食 干 燥

主编	马 良	
主审	张安云	
参编	裴忠胜	黄 涛
	雷景州	王维彬

中国商业出版社

(京)新登字 073 号

中等粮食学校推荐教材

粮 食 干 燥

马 良 主编

*

中国商业出版社出版发行

(北京宣武区广安门内报国寺一号)

邮政编码:100053

新华书店总店科技发行所经销

中国开发报社安徽分社蚌埠书刊发行站激光照排

安徽省蚌埠南空涂山印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 1/32 10.5 印张 210 千字

1993 年 12 月第 1 版 1994 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—6000 册 定价:6.95 元

LSBN7—5044—1926—5/F·1198

编审说明

本书由原商业部粮食中专教材委员会,组织全国部分粮食学校储检专业教师,根据部颁教学计划和教学大纲编写而成。主要讲授粮食干燥的基本理论,主要干燥设备结构、工作原理、结构特点、工艺过程以及有关参数的计算、操作技术和保养管理知识等。经教材委员会审定,本书可作为中等粮食学校试用教材,亦可供作短训班和粮食部门业务人员学习用书。

参加本书编写的有辽宁省粮食学校马良、安徽省蚌埠粮食学校裴忠胜、湖北省粮食学校黄涛、河南省粮食学校雷景州、吉林省四平粮食学校王维彬。由马良主编,四川省粮食学校张安云主审,裴忠胜责任校对。

本书在编写过程中,得到参编人所在学校的大力支持,并引用了有关院校和科研机构的宝贵资料,特此一并致谢!由于编者水平及时间所限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

《粮食干燥》编审组

一九九三年十二月

绪 言

一、什么叫粮食干燥？粮食干燥在粮食储藏工作中的意义

从广义上理解粮食去水过程，不论用什么方式，只要把粮食的水分除去，就叫粮食干燥。用热能来使粮食水分转移出去称为热力干燥。

民以食为天，粮食是宝中宝。它又是食品工业、饲料工业的原料，粮食是关系国计民生的第一重要物资，所以我们必须坚定不移地贯彻执行：“决不放松粮食生产，积极开展多种经营”的方针。粮食的人工干燥是粮食长期安全储藏、安全运输、贸易经营的重要环节。

全世界每年因水分高而霉烂损失的粮食数量是惊人的。根据联合国粮农组织统计，每年因为高湿高温而储存，造成霉烂损失的粮食占世界粮食总储存量的3%。我国每年因水分高而霉烂损失达几十亿斤。党和国家的领导同志对粮食干燥很重视，并把粮食干燥技术研究列入了我国“六五”期间重点科研项目。

那么，粮食干燥在粮油储存工作中的意义究竟是什么呢？

第一，提高粮食的储藏稳定性。当它送入粮仓储藏时，它仍然是一个活的有机体，就要进行呼吸，与外界进行能量交换。当粮食的水分含量高时，其呼吸作用加强，同时还容易繁殖微生物和害虫，会造成粮食发热、霉变，使粮食受到损坏。因此，粮食水分过高不能安全储藏，必须及时将多余的水分除去，使其达到标准安全水分。当然达到此目的的最有效的办法是进行粮食干燥。

第二,抑制害虫及微生物的生长。当粮食干燥后,它的水分含量减少,使害虫及微生物失去发育繁殖的作用,同时在干燥机内受高温的作用,粮食中的害虫被杀死,微生物感染的程度得到缓解,不但起到了杀虫、灭菌的作用,而且对有些作物提高了发芽率,从而加强了储存粮的安全度。

第三,降低了运输费用。每年,我国要经铁路、水路、公路运输大量的粮食,如果粮食的水分大大超过安全水分,那么在长途运输过程中,一方面导致由于运输时间长而使粮食发热霉变,而损失粮食;另一方面还白白运输大量多余的水分。例如,东北所产的高水分玉米,每年都要大量调入关内,玉米的水分在 25% 左右,有的高达 30% 以上,而玉米的安全水分在 15% 以下。一列载重 2500 吨的玉米运送关内,这批玉米的含水量为 25%,这列车白白地运输了 250 吨水,要是玉米水分高达 35%,那么,车皮的浪费也就更大,由此可见,粮食就地干燥既安全又省钱。

第四,其它。粮食收割以后,要及时的进行凉晒,干燥处理,不然水分大造成粮食生虫长霉,造成农民的经济损失。入库以后进行粮食干燥处理,可增强粮食籽粒的后熟作用,改善粮食的工艺品质。同时进行机械干燥粮食可以减少污染,节约占地,解放劳动力。目前农民晒粮很大一部分在沥青路面上,沥青含有 3.4—苯并芘会污染粮食,同时期间长影响副业生产,机械干燥粮食可以避免以上问题的发生及发展。

二、粮食干燥的发展和现状

我国有着悠久的历史 and 灿烂的文化,在中华民族的开化史上,素有发达的农业和手工业之称。就粮食干燥技术而言,也有许多历史记载。《周礼》上载有“凡以火而干五谷之类,关

西、陇、冀以往谓之“急”。《授时通考》的“方言”说“凡以火干五谷之类。出自山东齐楚以往日熬。陇冀以往日。秦晋之间日”。

由此可见，我国古代已经认识到利用火力干燥粮食。至于粮食的自然干燥、通风干燥以及粮食干燥在粮食加工储藏过程的作用，历史文献的记载就更多了。但是，毕竟长达三千余年的封建社会，阻碍了科学技术的发展，解放前旧中国，在粮食干燥技术工作中也是一个空白。解放以后，粮食工作受到党和人民政府的关怀，粮食生产得到发展，技术水平不断提高，粮食干燥也得到相应地发展。

1950年上海中国柴油公司根据美国赫斯式粮食干燥机原理设计了鱼鳞板结构中柴式粮食干燥机。常州的一家铁工厂仿制过日本金冈式粮食干燥机。由于结构复杂，烘后质量差，未能推广应用。

1954年前后，我国买了一批苏联的库兹巴斯粮食干燥机，在降水幅度为6%时，生产能力只有1.5t/h，粮食系统开始专门培训粮食干燥的操作管理和使用人员。

1958年，我国在储存鉴库兹巴斯干燥机的部分结构的基础上，自己设计，制造了第一台砖结构塔式粮食干燥机，安装在北京东郊粮库。这标志着我国的粮食干燥技术向前迈进了一大步。这时，我国部分大专院校和科研单位开始设立粮食干燥技术的专业课和专门的科研设计机构。如设有粮食工程系的无锡轻工学院，于1960年成立了郑州粮食学院，以及粮食科研所等机构。从此，我国开始独立的研究和设计自己的粮食干燥机。

60年代初期和中期，粮食干燥技术得到了迅速发展。当

时的粮食部科研设计院和省一级的粮食科研所，先后设计和改进了砖砌塔式干燥机。粮食、农垦、机械等部门共同在友谊农场设计安装了大生产能力的金属结构的塔式干燥机。辽宁省研制了快速干燥机；江苏省进一步完善的推广转筒烘干机；粮食科研设计院从事流化槽干燥机的研制。

除粮食系统外，不少单位对粮食干燥技术也进行了研究。例如：

上海华东工学院最早研究了粮食喷动床干燥技术，随后同上海市粮食局，粮食部科研设计院，设计了喷动床粮食干燥机。

六十年代初期，南京工学院对气流粮食干燥机的机理进行了研究；

东北农学院研制了砖砌塔式粮食干燥机；

1964年华南农学院进行了红外线转筒干燥机的试验研究；

天津强声无线电厂试制了小型高频粮食干燥机；

广东省农机所仿维斯霍姆干燥机，研制了竖井式（即塔式）粮食干燥机。

七十年代以来，粮食系统主要推广使用了砖砌双塔式粮食干燥机，流化斜槽式粮食干燥机，转筒式粮食干燥机。吉林省粮食系统研制和推广了蒸汽塔式干燥机。到1982年底，全国粮食系统已拥有1920台生产能力大小不同的粮食干燥机，每年可处理上百亿斤的高水分粮食，但粮食系统每年收购的高水分粮食达200~300亿斤。农业、农垦系统的粮食干燥机发展更快，引进了美国的贝里克式烘干塔，进口了苏联、意大利等国的粮食干燥机，推广了简易的粮食干燥机，目前这两个

系统约有 4000 余台生产能力不同的粮食干燥机具。

现在从事粮食干燥技术研究的部门有粮食,农业,农垦,农机四大部门。从事粮食干燥技术研究的高等院校,中等技术学校,科研机构遍布全国各省市。

三、《粮食干燥》学习的内容和今后发展的方向

粮食干燥是除去粮食中多余的水分,如何使多余的水分跑掉,所以粮食干燥是一个相当复杂的传热,传湿的过程,它不仅在于干燥过程中要保证不得降低粮食品质,而且还要尽可能改善粮食烘后品质,这就要求合理的组织粮食干燥工艺的各环节。

随着农业科学化的发展,粮食生产必将大幅度逐年增产,高水分粮食必然增多。发展粮食干燥机械是势在必行,必须要研制通用,高效,省能实用的粮食干燥机械。

《粮食干燥》课一是门独立的学科,它涉及到粮食储藏,生物化学,热工基础、通风除尘、仓库管理等多种学科的基础知识。我们要学习《粮食干燥》课的主要内容是:第一,在掌握粮食干燥基本地原理的基础上,合理的安排粮食干燥工艺过程;第二学习各种干燥机械的结构,原理的掌握必要的计算;第三,在保证干燥机生产能力和干燥后的粮食品质的基础,降低干燥机的热量消耗和动力消耗;第四,了解各种干燥机的安装,合理使用,加强管理及简易的维修技术。

根据我国粮食干燥现状与国外先进水平相比,还有一定的差距,它不仅数量少,产量低,热耗高;而且,制造工艺落后,缺乏自控手段及供热系统落后等。因此,粮食干燥技术必须在现有设备的基础上进一步巩固、充实和提高。根据我国的实际情况出发,粮食随着改革,由计划经济变商品经济。我国粮食

干燥机今后发展的方向是：多型、多用、低价、省能、高效、无污染。

第一，着重研制多功能，小型，灵活的粮食干燥机，让农民和农村粮库买得起，真正用得上，以适应当前农村粮食经济改革的需要；为适应大型企业的需要，粮食干燥机的生产能力要更大些，生产能力在 30~50t/h，以用在国家储备库为主。

第二，尽快研制新型的供热装置，能烧多种燃料，但于就地取材，价格便宜，且具备较好的隔冷保热性能，适应于农村基层粮库的需要。同时，加强节能研究，一方面利用产热量高，无污染的燃料，另一方面有效地利用余热，提高干燥效率；

第三，高效，粮食干燥机的高效率是指一次干燥处理量大，蒸发水分多，粮食品质好，这样可能减少粮食的搬倒次数，减少干燥管理费用。我们要求粮食干燥机的降水幅度达到 10% 以上，并且干燥冷却时间短；

第四，一机多用。目前我国生产的粮食干燥机只能干燥粮食，每年只在冬末春初使用，东北地区干燥时间稍长，但闲一半。这种固定资产，投资大，闲置是极大的浪费，今后要研究一机多用的干燥机，不但能干燥粮食，还要能干燥各种农副土特产品；

第五，同时，粮食干燥过程可以实现机械化或自动化的干燥机械，一台粮食干燥机应该具有粮位控制，干燥介质控制，降水幅度控制等。

总而言之，进一步完善粮食干燥条件，发展新的干燥方法，提高产量、改善品质、降低费用等，将是研制粮食干燥机人员的长期任务和义务。

目 录

绪 言

第一章 粮食干燥的基础知识.....(1)

第一节 传热学的基本知识..... (1)

一、导热 (1)

二、对流 (8)

三、辐射..... (11)

四、稳定传热..... (15)

第二节 湿气体的基本知识 (19)

一、理想气体的状态方程式..... (20)

二、湿气体的绝对湿度和相对湿度..... (21)

三、湿气体的湿含量和湿容量..... (23)

四、湿气体的重度..... (26)

五、湿气体的比容..... (26)

六、湿气体的热含量..... (27)

第三节 湿气体的 $I-d$ 图 (29)

一、 $I-d$ 图的结构和绘制 (30)

二、 $I-d$ 图的应用 (35)

第二章 粮食干燥的基本原理与基本计算 (43)

第一节 粮食的部分湿热物理特性 (43)

一、粮食的水分..... (43)

二、粮食的热容量..... (44)

三、粮食的导热性..... (47)

四、粮食的异湿性..... (49)

第二节 粮食干燥机理	(52)
一、水分与粮食的结合形式	(52)
二、自由表面水分的气化	(54)
三、粮粒内部水分传导的途径	(56)
四、粮食湿传导和温湿传导	(59)
五、粮食干燥过程及其干燥曲线	(61)
第三节 粮食的热力条件	(65)
一、影响粮食干燥过程的因素	(65)
二、干燥过程对粮食品质的影响	(68)
三、几种主要粮食的热力干燥条件	(70)
第四节 粮食干燥的基本计算	(74)
一、粮食干燥机的工作原理	(74)
二、干燥室粮食水分气化量的计算	(76)
三、干燥室干燥介质消耗量的计算	(81)
四、干燥室热量消耗量的计算	(85)
五、干燥过程的图解计算	(92)
六、冷却过程的图解计算	(100)
第三章 通风干燥仓	(107)
第一节 概述	(107)
第二节 通风干燥仓的类型	(111)
第三节 主要参数的选择和计算	(131)
第四节 操作与管理	(140)
第四章 粮食干燥机	(144)
第一节 基本知识	(144)
一、粮食干燥方法和粮食干燥机的分类	(146)
二、燃料的特性及选择	(149)

三、炉气的制备	(169)
四、换热器	(173)
第二节 干燥机	(174)
一、塔式干燥机	(210)
二、滚筒干燥机	(233)
三、流化干燥机	(261)
四、蒸汽干燥机	(271)
第三节 粮食干燥机的试验	(271)
一、试验的种类、方法和目的	(273)
二、试验的条件和内容	(284)
三、试验的步骤、要求和总结	(298)
附录	(298)
一、饱和水汽参数表	(298)
二、我国各地区的气温和相对湿度	(301)
三、湿气体 I - d 数值表	(304)
四、湿气体的比容 ($B=99322P_a$, $B=101325P_a$)	(305)
五、干空气的物理性质 ($B=1.1325P_a$)	(312)

第一章 粮食干燥的基础知识

第一节 传热学的基本知识

传热是一个复杂的物理过程。热量总是由高温物质传到低温物质,凡有温度差的地方,就有热量转移现象发生,因此,传热就成为自然界和生产领域中非常普遍的现象。传热过程是由导热、对流和辐射三种基本传热方式组成的。

传热学就是研究热量传递规律的一门科学,粮食干燥本身就是一个复杂的传热传湿过程,因此,要学习《粮食干燥》课程,就必须具备传热学的基本知识。

本节重点介绍稳定传热即温度不随时间而改变的传热。

一、导热

(一)概念

导热是指物质各部分没有相对位移、只通过各部分的直接接触而发生的能量传递现象。从微观角度看,导热是由物质中分子、原子及自由电子等微小粒子的不断碰撞而引起的。导热可以在固体、液体及气体中发生,但单纯的导热只能发生在密实的固体中。

(二)单层平壁导热

首先讨论单层平壁导热问题(见图 1-1),设此单层平壁是由一种匀质材料构成(例如红砖砌成的墙),它的长和宽都

远远大于它的厚度 δ , 即所谓大平壁, 故可忽略沿其长和宽两方向的温度变化, 认为温度只沿其厚度方向有变化。并且, 在导热过程中温度不随时间变化而改变, 即所谓稳定导热。设壁的一侧表面温度为 t_1 , 另一侧表面温度为 t_2 , $t_1 > t_2$, 则导热量与壁两侧表面的温度差 ($t_1 - t_2 = \Delta t$) 成正比; 与壁的厚度 δ 成反比; 并与墙体材料的性质有关, 用数学表达式即为:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) F = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t \cdot F \quad (W)$$

或 $q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t \quad (W/m^2) \quad (1-1)$

式中 λ ——导热系数(它反映材料导热性能的好坏。一些常用材料在常温下的导热系数数值见表 1-1)

($W/m \cdot K$)

F ——壁面积 (m^2)

δ ——壁厚 (m)

Δt ——壁两侧表面温度差 (K)

q ——单位面积导热量 (W/m^2)

在稳定导热情况下, t_1 及 t_2 保持不变, 故导热量 q 亦保持稳定不变。

为了求出壁内的温度分布, 可在壁内取一平面, 它离 t_1 温度表面距离为 x 米, 温度是 t_x , 则通过厚为 x 的这一层的热流量等于 q , 根据上式:

$$q = \lambda \frac{t_1 - t_x}{x}$$

于是可求出:

$$t_x = t_1 - q \frac{x}{\lambda} \quad (K) \quad (1-2)$$

式(1-2)表明壁内温度分布 $t_x=f(x)$ 是直线规律,如图 1-1 所表示。

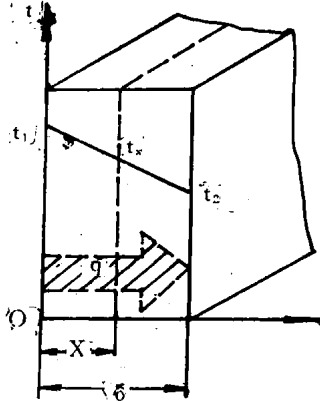


图 1-1 单层平壁导热

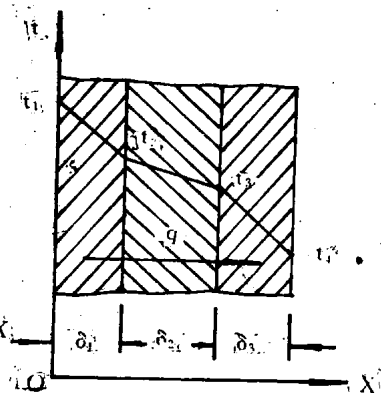


图 1-2 多层平壁导热

表 1-1 一些常用材料在常温下的导热系数 ($W/m \cdot K$)

材料名称	λ 值	材料名称	λ 值
耐火砖	1.05~1.40	石灰泥	0.70~1.05
红砖	0.58~0.81	松木(垂直木纹)	0.17
混凝土	0.81~1.28	松木(顺木纹)	0.35
黄铜	93~116	玻璃纤维	0.03~0.05
铜、生铁	46~58	泡沫塑料	0.02~0.05
玻璃	0.70~1.05	石棉	0.09~0.12
水	0.59	软木板	0.05~0.09
空气	0.02	矿渣棉	0.05~0.06

(三) 多层平壁导热

图 1-2 所示是一个三层不同材料组成的多层平壁,设壁面积很大,每层厚度各为 δ_1 、 δ_2 和 δ_3 ;导热系数各为 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 ,并且是常数;已知内外表面的温度分别为 t_1 、 t_4 , $t_1 > t_4$;若

层与层之间接触良好,则相邻两层接触面的温度相等,第一层与第二层的接触面温度为 t_2 ,第二层与第三层接触面温度为 t_3 。这样,在稳定导热的情况下,通过每一层的热流量应是相等的,根据式(1-1)可分别写出各层热流量的计算式:

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \lambda_1 \frac{t_1 - t_2}{\delta_1} \\ \delta &= \lambda_2 \frac{t_2 - t_3}{\delta_2} \\ \delta &= \lambda_3 \frac{t_3 - t_4}{\delta_3} \end{aligned} \right\}$$

上式经推导整理得:

$$q = \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \quad (\text{W/m}^2) \quad (1-3)$$

已知各层的厚度、材料的 λ 以及壁两侧温度,就可以求出热流量 q 、相邻两层接触面的温度 t_2 和 t_3 。

式(1-3)右侧的分母是各层厚度 δ 与导热系数 λ 的比值之总和。那么 δ/λ 这一项有什么意义呢?

把式(1-1)改写为 $q = \frac{\Delta t}{\delta/\lambda}$, 并和电学中的欧姆定律电流 $I = \frac{\text{电位差 } \Delta E}{\text{电阻 } R}$ 相比较,可以看出: δ/λ 的作用与电阻 R 相当,是一个对热流起阻力作用的量,故称热阻,也用符号 R 表示,所以热阻

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K/W}) \quad (1-4)$$

可见,平壁导热热阻 R 与厚度 δ 成正比,与导热系数 λ 成反比。利用热阻的概念,单层平壁的导热公式可写为: