

余茂勋 杜同牲 编著

烟叶烘烤

轻工业出版社

烟 叶 烘 烤

余茂勋

杜同姓 编著

轻工业出版社

内 容 提 要

这是一部从理论到实践比较全面地论述烟叶烘烤的著作。全书共分三篇：第一篇烘烤理论，主要介绍烟叶烘烤设备理论基础、理论计算、烘烤原理、烘烤过程的内外变化及其控制与机理。第二篇烘烤设备和第三篇烘烤工艺技术，都是烘烤理论的实际应用，其主要内容是总结我国二十多年来烟叶烘烤的经验并综合介绍国外的经验。本书可供具有中等文化程度从事烟叶烘烤或生产的社员、烤烟技术人员以及烟区农业部门和供销部门（供销社、烟叶公司、棉烟麻公司、土产公司、农产品公司等及其所属烟叶收购站）的技术人员阅读，也可供大专院校烟草专业师生参考。

烟叶烘烤

余茂勋 杜同胜 编著

轻工业出版社出版

（北京阜成路3号）

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米1/32 印张：14²⁰/₃₂ 插页：4 字数：322千字

1983年5月 第一版第一次印刷

印数：1—15,800 定价：1.40元

统一书号15042·1727

序

烤烟是我国主要经济作物之一。烟叶烘烤是烤烟生产的初步加工。它既是一个激烈的生化变化过程，又是一个耗热的通风干燥过程。全国现有烟叶烘烤设备——烤房或堆积烤房，计有六十余万座。可见，烟叶烘烤不仅涉及到多种专业性的科学技术知识，而且关系到大量群众性的生产实践活动。

为普及与提高烟叶烘烤技术特写此书。本书初稿于1966年写成，主要内容取材于我所的科研成果。1974年春，余茂勋同志病重，我应山东农学院要求，以我所名义（当时所名为“河南省烟草甜菜工业科学研究所”）将初稿修改后，用作该学院援外烟草技术人员进修班内部教材。本书就是在上述内部教材的基础上进行删改和增补的，并收集了国内外一些先进经验和基础理论。增加了湿空气的性质、热量传播、通风、烘烤设备理论计算、烟叶在烘烤过程中的化学变化、烟叶干燥的理论基础、热风循环烘烤设备——堆积烤烟房、堆积烘烤工艺技术、烟叶催黄技术、测试仪表等章节。书中引用的图表、公式和数据，除通用基础理论和我所的试验结果外，均注明出处，每章最后还列出参考文献目录，供读者查证。

1977年9月，在延边召开的“全国烟叶烘烤设备现场经验交流会”期间，为迅速推广堆积烘烤新技术，应延边人民出版社要求，于1978年3月写成一本普及性读物《烤烟堆积烘烤》，并于1978年12月用朝鲜文和汉文两种版本出版。该小

册子的内容本来不必再编进本书，因汉文版只在吉林省内发行，不仅印刷量少，而且无法向全国各烤烟产区（特别是主产区）提供这方面的资料。为了弥补其局限性，也从本书的完整性出发，现将该小册子的主要内容经过修订后编入本书。本书写成后，曾请山东农学院郑广华教授、郑州纺织机械厂研究所龚大来工程师、我所化学室主任孙瑞申工程师和副主任朱迪民工程师、我所机械室副主任杜秉文工程师等同志，对有关章节进行了审阅修改，在此特表谢意。

由于时间仓促，水平有限，书中难免有错漏之处，请读者批评指正。

杜同姓

目 录

绪言	(1)
第一篇 烘烤理论	(5)
第一章 湿空气的性质	(5)
第一节 湿空气的物理参数	(5)
第二节 $i-d$ 图及其应用	(19)
参考文献	(32)
第二章 热量传播	(33)
第一节 热量传播的实质	(33)
第二节 放热系数	(43)
第三节 冷热流体平均温度差	(61)
第四节 传热的增强与削弱	(64)
第五节 传热计算示例	(70)
参考文献	(80)
第三章 通风	(81)
第一节 自然通风	(81)
第二节 通风管道	(86)
第三节 通风机性能	(93)
参考文献	(101)
第四章 烟叶烘烤设备的理论计算	(102)
第一节 物料衡算	(105)
第二节 热量衡算	(109)
第三节 燃料与燃烧计算	(114)
第四节 火炉、烟管和烟肉	(124)

参考文献	(132)
第五章 烟叶在烘烤过程中的化学变化	(133)
第一节 新采收烟叶的化学成分	(133)
第二节 烟叶的呼吸作用	(137)
第三节 烟叶中的酶及其在烘烤过程中的 作用	(145)
第四节 烟叶在烘烤过程中的内外变化及 其控制	(151)
第五节 烟叶主要化学成分在烘烤过程中 的变化	(158)
参考文献	(165)
第六章 烘烤机理	(167)
第一节 烟叶干燥的理论基础	(167)
第二节 温湿度与烟叶烘烤的关系	(181)
第三节 控制湿球温度的原理	(197)
参考文献	(201)
第二篇 烘烤设备	(202)
第七章 自然通风烘烤设备——烤房	(202)
第一节 概况	(202)
第二节 烤房建筑须知	(212)
第三节 建筑结构	(214)
第四节 通风系统	(219)
第五节 供热系统	(231)
第六节 烤房设计图示	(245)
第七节 连续化烤房	(255)
参考文献	(258)
第八章 热风循环烘烤设备——堆积烤烟房	(259)

第一节	概述	(259)
第二节	整体设计	(266)
第三节	建筑结构	(273)
第四节	通风系统	(278)
第五节	供热系统	(294)
第六节	装夹烟器具	(303)
第七节	三种定型设计	(308)
	参考文献	(313)
第三篇	烘烤工艺技术	(315)
第九章	烟叶的成熟与采收	(315)
第一节	烟叶的成熟	(315)
第二节	烟叶的采收	(321)
	参考文献	(326)
第十章	自然通风烘烤工艺技术	(327)
第一节	绑烟与装烟	(327)
第二节	烘烤原则及一般烟叶的烘烤方法	(334)
第三节	非正常烟叶的烘烤方法	(339)
第四节	半晾半烤法	(342)
第五节	堆黄烘烤法	(344)
第六节	烟叶烤坏的原因	(349)
第七节	回潮	(354)
第八节	烤后烟叶的堆放	(359)
	参考文献	(362)
第十一章	堆积烘烤工艺技术	(363)
第一节	装烟夹(或绑杆)与装房	(363)
第二节	堆积烘烤方法	(367)
第三节	烟叶烤坏的原因	(376)

第四节	检修	(377)
参考文献		(379)
第十二章	烟叶催黄技术	(380)
第一节	乙烯对烟叶的生理作用	(380)
第二节	烟叶变黄发生器	(386)
第三节	乙烯利对烟叶的催黄	(387)
参考文献		(396)
第十三章	烘烤管理	(398)
第一节	测试仪表及用法	(398)
第二节	烧火	(409)
第三节	烘烤检查和记录	(411)
第四节	烘烤物资和用具	(413)
参考文献		(415)
附 录		(416)
一、	单位换算	(416)
三、	物理常数	(427)
(一)	干空气的物性参数	(427)
(二)	烟气的物性参数	(428)
(三)	空气的物理性质	(429)
(四)	常用材料的物理性质	(431)
(五)	常用材料的辐射黑度及烟气辐射黑度	(433)
四、	圆形光滑风管摩擦阻力计算表	(插页)
五、	通风管道局部阻力系数	(435)
六、	常用对数表	(448)
七、	希腊字母表	(453)
基本符号		(454)

绪 言

烟草的生产与一般农作物不同，一般农作物在田里生长成熟、收获之后，就是农产品。烟草在田里生长成熟的时候，其叶片含有高达80~90%的水分，叶色青绿或黄绿，既不能保存，也不能吸用，必须经过加工，才能成为供工业使用的产品。所以，烟叶收获后，要立即在产地进行初步加工，通常称为调制。

烤烟的调制方法与其他类型烟叶(如晒烟、雪茄烟、香料烟、白肋烟等)不同，必须将采收下来的烟叶放在专门的设备——烤房内加热进行，所以此种调制方法称为烘烤。烤烟之名亦由此而得。目前，一般的烤烟烟叶在卷制或发酵之前，都进行一次复烤，以调整其含水量在一定限度之内，使烟叶在打包后的贮存运输过程中不致于霉变或碎损。因此，有时也把烟叶的烘烤叫做初烤。未经复烤的烟叶叫做初烤烟或原烟。

烟叶烘烤的目的是：(1)排除鲜烟叶里的大量水分，使烟叶干燥。(2)使烟叶内对品质起不良作用的成分，部分地分解或部分地转化为对品质起良好作用的物质，使烟叶所特有的色、香、味显露出来。

为了达到上述目的，尤其是后一点，烘烤就必须在一定的温湿度下进行，并在烘烤的不同阶段中保持不同的温湿度。不能把烟叶的烘烤理解成为一种简单的干燥作用。如果不考虑烘烤的温湿度，把烟叶放在烘箱里或火炉上烤干时，会成为死青色或青褐色，价值很低，根本显不出用适当方法

烘烤所得烟叶的品质，因为烟叶内含成分还没有变化就被烤干了，或者边向坏的方面变化边被烤干了。如果先用甲醛或其他化学药剂把鲜烟叶的细胞杀死，即使再用适当的方法烘烤，烟叶的内含成分也不会变化，得不到优质的烟叶。因此，烟叶烘烤的前期乃是有生命的、激烈的生理生化变化，是一种在外界没有养料供给情况下的饥饿代谢过程；烘烤的后期则主要是干燥作用。

为了达到上述目的，必须将烟叶置于能在不同阶段保持不同湿度的设备里进行烘烤。此外，其他的烤前与烤后的工作(如采收、绑烟、装烟、卸烟、回潮等)也同样是很重要的。如果这些工作没有做好，例如采收的烟叶不够成熟、或者不够一致，即使使用很完善的烘烤设备，掌握很理想的温湿度，也是难以把全部烟叶烤好的。由此可以看出，烟叶自田里成熟开始，直至烤干、回潮等一系列工作都属于烘烤这个加工过程。因此，烤烟生产比其他农作物生产要多掌握一种烘烤技术。如果搞烤烟生产的人不懂得烘烤技术，就无从了解烟叶的性质，也无从了解栽培过程各项措施的好坏。甚至于辛辛苦苦在田里种了几个月的烟叶收获下来，在3~5天内就烤坏了，造成很大的损失。所以，烟叶烘烤是在良好栽培技术基础上实现丰产又丰收的关键，是保证烟叶品质的重要过程。

烟叶质量是由品种、土壤、气候，以及栽培条件(施肥、浇水、密度、打顶等)决定的，即在烟叶成熟时就已经形成潜在的质量，烘烤过程只不过是將烟叶的潜在质量显示出来。合理的烘烤使烟叶的潜在质量充分地显示出来；不合理的烘烤则只显示出一部分或甚至完全不显示出来。

最早的烘烤设备是自然通风的明火烤房(火炉直接放在

烤房内烟层下面，上盖隔火散热物)。由于明火烘烤的烤房烧火不方便，每次添煤都要进出烤房，烟叶因煤烟影响而色泽不鲜，又容易引起火灾，因此，很快便为火管烘烤(火炉和火管装设在烤房内烟层下，在烤房外面烧火，利用流经火管内的热烟气使火管表面散热来提高烤房内的温度)所代替。解放初期我国使用的火管烘烤的烤房，大都是三十年代由国外传进来的，结构极不合理，加上凭老经验和凭心劲的落后烘烤方法，烤后烟叶质量差，煤耗量高，容易失火。解放后，各烟区烟农和有关部门都曾进行研究改进。我所从1957年起对这种自然通风的火管烤房及其工艺技术进行研究，1964年提出了新式结构的烤房设计和一套科学烘烤方法(将在第七和第十章介绍)，并在河南省襄城县乔庄等几个生产队试点成功，它与旧工艺相比，烘烤同样的烟叶，每公斤干烟提高售价0.2元以上，有些地方提高达二个等级，青黄和黑糟烟大幅度地减少；每公斤干烟省煤半公斤以上，有些地方省煤达50%。这种新式结构的烤房及其一套科学的烘烤方法，从1965年起已在全国各烤烟产区获得迅速推广，效果显著。

然而，这种被烟农称为乔庄式的烤房，仍然采用自然通风，在烟叶烘烤过程中，流经烟叶间隙的风速最高也不到0.1米/秒，通常为0.01~0.05米/秒之间，风压极微。低风速低风压下，要迅速将烟叶蒸发出来的水分排走，烟叶间隙要相当大。为了多装烟，烤房要建高、建大，登高操作，劳动强度大。从绑烟(用竹竿或绳一束一束地绑)到装烟，又从绑烟、回潮到解烟，需要大量人工。自然通风的烤房受气候和其他人为因素影响较大，烟叶烘烤质量难以保证。为了解决这些问题，各烟区贫下中农和有关部门进行了不少的研究。我所在1966~1967年进行过自然通风连续化烤房的研究。

究；其他单位进行过在现有自然通风烤房上部安装排气风扇，加强排湿时的单向通风；以及电热烤房等的研究。但仍未能解决上述问题。

1975年初，我所吸取了国外的先进经验，结合我国实际情况，设计了第一座具有我国特点、以煤为燃料的气流上升烟管式热风循环堆积烤烟房，在福建省永定县进行试点，获得成功。其后，又在豫、湘、桂、粤、黑、吉等省试点，进行了一系列改进和提高，基本上摸清了有关堆积烤烟房的工艺设计数据和堆积烘烤的工艺操作技术。

堆积烘烤是将烟叶自然地又是紧密地堆积在特制的烟夹中，然后将烟夹挂进堆积烤烟房的装烟室里，采用强制热风循环的方法进行烘烤，因此称为热风循环堆积烘烤，简称堆积烘烤。由于堆积烤烟房改革了历来使用的一束一束地绑烟的方法，改革了自然通风或单向强制通风的系统，使自然通风烤房存在的主要问题基本上得到解决。正因为堆积烤烟房具有大量节省劳动力、降低劳动强度、保证烤烟质量，以及可以综合利用烘干其他农副产品等的优越性，1977年9月，全国供销合作总社和第一机械工业部在吉林省延边朝鲜族自治州召开了“全国烟叶烘烤设备现场经验交流会”，肯定了堆积烤烟房是当前我国烟叶烘烤设备发展的方向。我所受会议的委托，进行了三种堆积烤烟房(装烟室分别为 6×2 米、 8×2 米、 7×2.7 米)的定型设计，并从1978年起，在全国各烟区逐步推广。其中河南省临颖县搞得较好，采用整个大队连片建筑，便于专人管理和设备维修，值得各地借鉴。

第一篇 烘烤理论

烟叶烘烤理论包括烟叶烘烤设备理论基础和烘烤原理两部分。

烟叶的烘烤，无论是自然通风的一般烘烤，或者是热风循环的堆积烘烤，都是利用烘烤设备中的烟管管壁将燃料燃烧时产生的火焰和烟气的热量传出来，利用对流换热的方式加热烟叶并排走自烟叶蒸发出来的水分，把烟叶烤干；都是利用在不同烘烤阶段中调节不同的温湿度，使烟叶内含物质进行激烈的变化、缓慢的变化或基本上停止变化，使烤后的烟叶达到加工的要求。因此，从事烟叶烘烤的研究人员和生产人员，应该掌握烟叶烘烤设备和烟叶烘烤工艺技术的基本原理及计算方法。考虑到本书篇幅和读者对象，没有运用高等数学，有些内容也只能扼要阐述。

第一章 湿空气的性质

第一节 湿空气的物理参数

干空气是含有20.9%氧气、78.1%氮气(按体积计)和少量其他气体(如二氧化碳、氩、氦、氖等)的混合物。若按重量比例，则干空气由23.1%的氧、75.6%的氮和少量其他气

体组成。地球上的空气就是由这种干空气和水蒸气混合而成的，叫做湿空气。湿空气是烟叶烘烤设备中的载热体。湿空气的基本性质或物理参数有下列各项。

一、温 度

温度是表示物质的冷热程度，或者显示物质热运动的激烈程度。通常用摄氏温度，以 t 表示，单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。烟叶烘烤中也有用华氏温度 ($^{\circ}\text{F}$) 的。摄氏与华氏温度换算可参看附录一。在物理学和烘烤设备的理论计算中，经常用到绝对温度，以 T 表示，单位为 K 。摄氏温度与绝对温度换算式为：

$$T = t + 273 \quad (1-1)$$

二、压 力

这是湿空气在单位体积的容器壁上所施之力。气象上的压力单位一般用毫米汞柱表示。海洋面上的大气压平均为760毫米汞柱，陆地上的大气压力一般在720~800毫米汞柱之间，随海拔的变化而变化。也有用公斤/米²表示。在工程计量上，因蒸汽压力很大，常采用大10⁴倍的公斤/厘米²作单位，叫做工程气压或简称气压。通风机所维持的压差一般不大，用毫米水柱作单位。它们之间的换算关系是：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 公斤/厘米}^2 &= 10^4 \text{ 公斤/米}^2 = 735.6 \text{ 毫米汞柱} \\ &= 10^4 \text{ 毫米水柱} \end{aligned}$$

上述气压与气象学上的大气压或物理学上的物理气压不同，一个标准大气压或物理气压规定为760毫米汞柱，等于1.0332气压，等于10332毫米水柱。

道尔顿定律指出，假如有几种理想气体在同一容器内混合，则每一种气体的存在状态，就如同它单独占据容器的整个容积一样。混合气体的总压力 P 等于各个气体分压之和，而且每一气体所显示的压力，就等于在混合气体温度下它单独占据整个容积时所具有的压力。用式表示为：

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots \quad (1-2)$$

对于湿空气，当实际上遇到的水蒸汽分压的变动范围不大时（不超过一个大气压），仍可应用道尔顿定律。即大气压力是干空气与水蒸汽分压的总和。

$$B = P_{\text{干}} + P_{\text{汽}} \quad (1-3)$$

式中 B ——大气压力（公斤/米²或毫米汞柱）

$P_{\text{干}}$ ——干空气分压（公斤/米²或毫米汞柱）

$P_{\text{汽}}$ ——水蒸气分压（公斤/米²或毫米汞柱）

在上述情况下，当气温在 $-30 \sim 100^\circ\text{C}$ 时，干空气与湿空气均遵从理想气体状态方程式（这是玻意耳-马略特、查理、盖-吕萨克三条定律的综合式）：

$$P V = G R T \quad (1-4)$$

式中 P ——气体总压力（公斤/米²）

湿空气为 $P_{\text{湿}} = P_{\text{干}} + P_{\text{汽}}$

V —— G 公斤气体的体积（米³）。若为湿空气时，等于整个成分中每一成分的体积，即 $V_{\text{湿}} = V_{\text{干}} = V_{\text{汽}}$

G ——气体重量（公斤）。若为湿空气时，等于干空气和水蒸汽的总重，即 $G_{\text{湿}} = G_{\text{干}} + G_{\text{汽}}$

R ——气体常数（公斤·米/公斤·K，分子的公斤是力的单位，分母的公斤是气体的重量单位，不能消去）。干空气 $R_{\text{干}} = 29.3$ ，水蒸汽 $R_{\text{汽}} = 47$ ，

$$\text{湿空气 } R_{\text{湿}} = \frac{G_{\text{干}}}{G_{\text{湿}}} R_{\text{干}} + \frac{G_{\text{汽}}}{G_{\text{湿}}} R_{\text{汽}}$$

T ——绝对温度 (K)

三、比重、比容

单位体积气体的重量，称为该气体的比重（又叫容重或重度），用 γ 表示，单位为公斤/米³。单位重量气体所占的体积，称为该气体的比容，用 v 表示，单位为米³/公斤。因此，比重和比容之间存在以下关系：

$$\gamma = \frac{1}{v} \quad v = \frac{1}{\gamma} \quad (1-5)$$

用式 1—4 表示比重或比容时，则

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{P}{RT} \quad P = \gamma RT \quad (1-6)$$

$$v = \frac{V}{G} = \frac{RT}{P} \quad Pv = RT \quad (1-7)$$

若为湿空气时，

$$\gamma_{\text{湿}} = \frac{G_{\text{湿}}}{V} = \frac{B}{R_{\text{湿}} T} \quad (1-8a)$$

或

$$\gamma_{\text{湿}} = \gamma_{\text{干}} + \gamma_{\text{汽}}$$

$$= \frac{P_{\text{干}}}{R_{\text{干}} T} + \frac{P_{\text{汽}}}{R_{\text{汽}} T}$$

$$= \frac{B}{R_{\text{干}} T} - P_{\text{汽}} \left(\frac{1}{R_{\text{干}} T} - \frac{1}{R_{\text{汽}} T} \right)$$

$$= \frac{B}{R_{\text{干}} T} - \psi P_{\text{饱}} \frac{R_{\text{汽}} - R_{\text{干}}}{R_{\text{汽}} R_{\text{干}} T}$$