

低温和太阳能

# 粮食干燥手册

商业部郑州粮食科研设计所  
全国粮仓机械情报中心站



## 低温和太阳能粮食干燥手册

### 前 言

美国中西部计划服务处在一些农业工程师和咨询专家指导下编写出本手册，它是根据美国十二所公立大学和农业部的出版工作计划进行的。编写本手册协作单位如下：

伊利诺斯大学

——伊利诺斯州 61801，厄巴纳  
珀达依大学

——印第安纳州 47907，拉斐特  
衣阿华州立大学

——衣阿华州 50011，艾姆斯  
堪萨斯州立大学

——堪萨斯州 66506，曼哈顿  
密执安州立大学

——密执安州 48824，东兰辛  
明尼苏达大学

——明尼苏达州 55108，圣保罗  
密苏里大学

——密苏里州 65211，哥伦比亚  
内布拉斯加大学

——内布拉斯加州 68583，林肯  
北达科他州立大学

——北达科他州 58105，法戈  
俄亥俄州立大学

——俄亥俄州 43210，哥伦布  
南达科他州立大学

——南达科他州 57006，布鲁克  
英斯

威斯康星大学

——威斯康星州 53706，麦迪逊  
本手册利用太阳能部份是在中西部计

划服务处太阳能委员会成员的指导下编写完成的。

本手册编写委员会成员如下：

堪萨斯州立大学农业工程系，系主任  
C.K.斯皮勒曼

衣阿华州立大学农业工程系 C.J.伯恩

珀达依大学农业工程系，G.H.福斯特

北中部地区，拉斐特，联邦研究人员  
J.G.哈特萨克

南达科他州立大学农业工程系，M.A.赫里克森

威斯康星大学农业工程系，B.J.霍姆斯

北达科他州立大学农业工程系，D.J.约翰逊

明尼苏达大学农业工程系，K.A.乔丹

衣阿华州立大学农业工程系，G.L.克林

明尼苏达大学农业工程系，R.V.莫尔

密苏里——哥伦比亚大学农业工程系  
R.E.菲利普斯

俄亥俄州立大学农业工程系，R.C.里德尔

伊利诺斯大学农业工程系，G.C.肖夫

内布拉斯加大学农业工程系，T.L.汤姆森

## 中西部计划服务处

开发专家 C.J. 赫夫曼

经理 J.H. 皮德森

计划服务工程师 W.F. 威尔克

绘图者 P.W. 萨克

绘图者 C.B. 索巴尔

本手册主要由两部份相互独立的内容组成：低温粮食干燥和太阳能加热原理。

低温粮食干燥已在美国北中部地区应用十年了。（美国农业部，1952年：用不加热空气干燥玉米籽粒和小颗粒粮食）。近来的研究工作是改进现有的管理操作方法并降低石油燃料和电能消耗。

本手册介绍了低温粮食干燥原理和美国北中部地区生产实际的典型情况，提供了低温粮食干燥应用补充热量的适宜时间和数量资料，至于补充热量重点介绍来源于太阳能的。另外，还介绍了太阳能在一些农场用于加热，包括粮食干燥和其它用途的资料。

本手册提供了几种太阳能收集器的设计形式，这些形式是有效地应用于生产实际的一些范例。

虽然太阳能是取之不尽，用之不竭的

一种能源，但设计好利用太阳能设备却不是一件容易的事。评价利用太阳能系统的经济效益是困难的，首先，设备成本是变化的，它受利用热量大小和设备加工工艺及政府资助金额等因素影响；其次，经济效益计算受替换燃料的价格而变动，由于燃料费变化大，使得计算结果不能令人信服。

编写出版本手册得到美国农业部农业研究、科学教育局的支持帮助，美国能源署资助了经费。整个中西部地区工程师委员会提供了技术资料并指导了编写工作。

编写本手册的作者都是从事农业工程开发和研究的工程师，他们在粮食干燥和利用太阳能方面有丰富的实践经验。他们多年来在北中部地区生产实践中汇集的渊博知识，已编入这本公认最好的手册中。当然，随着新技术的发展，本手册还有待进一步提高完善。

本手册提供的全部资料，包含许多最新技术，并介绍了一些新的粮食干燥系统和管理方法，本手册有助于人们熟悉和应用低温和太阳能粮食干燥有关知识和经验。

# 目 录

## 第一部分 低温粮食干燥

### 第一章 低温粮食干燥原理

- 一 粮食平衡水分
- 二 霉菌生长和粮食变质
- 三 粮食就仓干燥过程

### 第二章 空气流量

- 一 空气流量是低温粮食干燥的关键因素
- 二 空气流阻力和静压力

### 第三章 风 机

- 一 风机类型
- 二 风机性能
- 三 影响风机选择的其它因素
  - 1、仓的尺寸
  - 2、收获粮食水分
  - 3、单位电耗的风量

### 第四章 低温干燥仓的风机选配

- 一 低温干燥系统设计
- 二 估算粮食堆满仓的空气流量
- 三 设计低温干燥仓的主要技术条件

### 第五章 低温干燥仓的管理

- 一 进粮原则
  - 1、简单方式进粮
  - 2、分批方式进粮
  - 3、控制方式进粮
- 二 结合型式干燥
- 三 风机管理

#### 1、秋季干燥

#### 2、通风

#### 3、冬季储粮冷却

#### 4、粮食冬季管理

#### 5、春季粮食通风与干燥

#### 6、粮质检测

### 四 潮湿秋季处理湿玉米方法

### 五 低温干燥仓管理要点

### 第六章 补充热量

### 第七章 粮食搅动与低温干燥

### 第八章 搅动粮食的热空气通风干燥

#### 一 太阳能粮食干燥

#### 二 设有搅动装置干燥仓管理

#### 三 高温干燥

### 四 干燥剂系统

#### 1、设备组成

#### 2、系统操作

## 第二部分 太阳能基础知识

### 第一章 有效太阳能

#### 一 昼夜循环

#### 二 季节

#### 三 大气的影晌

#### 四 采光面的方向性

#### 五 太阳能辐射强度表的说明

#### 六 集热器的遮阴

### 第二章 集热器的类型

#### 一 平板式集热器

#### 二 聚焦式集热器

### 三 带有反射器的平板式集热器

## 第三章 平板式集热器的材料

- 一 盖板材料
- 二 吸收器的材料
- 三 保温材料

## 第四章 效率

## 第五章 太阳能的贮存

- 一 显热贮存
- 二 潜热贮存
- 三 热贮存的利用
- 四 干燥剂

## 第六章 太阳能系统

- 一 被动式系统
- 二 主动式系统

## 第七章 平板式气体供热集热器

- 一 结构
- 二 尺寸

## 第八章 费用预算

- 一 初期投资

## 二 年费用

- 1、年固定费用
- 2、年变化费用
- 3、净年费用

## 第九章 太阳能集热器的设计

- 一 装有砾石堆贮热装置的集热器
- 二 移动式集热器
  - 1、伊利诺斯州立大学的移动式集热器
  - 2、珀达依大学的移动式集热器
- 三 独立式集热器
- 四 配备太阳能屋顶的机器车间
- 五 带有墙壁贮热设备的集热器
  - 1、使用说明
  - 2、系统性能
- 六 曲面太阳能集热器

## 附录

表22 晴天单位时间太阳辐射量

表23 日平均太阳辐射量

表24 静压力

## 第一部分 低温粮食干燥

本手册介绍的低温粮食干燥是一种利用空气或仅把空气升温几度（2至10°F）的慢速干燥粮食过程。粮食在同一个仓内进行干燥和贮存，因此，有时称这种干燥过程为粮食贮藏干燥，也叫做粮食深层干燥，它是一种就仓干燥粮食的方法。

粮食干燥仓内通常装设一个布满通风孔的底板，仓外附有一台风机，其供风量至少是每蒲式耳粮食每分钟一立方英尺，排气口的大小要满足于一平方英尺面积每分钟能排放一千立方英尺的气量。仓内装有一个粮食进仓的布料器，使粮食在仓内分布均匀。干燥仓的组成如图1所示。有时还在仓内装设一台粮食搅动装置。但它不是低温干燥仓的关键设备，可有可无。

低温粮食干燥取决于空气能蒸发粮食水分的能力，因此，空气的相对湿度是一个关键因素。干燥气的相对湿度越低，干燥气能从粮食中蒸发出的水分就越多，使干燥后粮食水分较低。干燥气能蒸发水分的能力称为干燥势，它受空气温度和相对湿度所影响。

干燥用风机由于消耗电能，故能使空气升温并降低空气的相对湿度。当风机功率增大，则加入到空气的热量就增多。如果上述热量不够，还要提供补充热量，有时补充热量可来源于太阳能收集器。

至于是否要利用补充热量，这取决于使用低温干燥仓地区空气的干燥势和粮食干燥后要求达到的水分值。通常，在美国的北中部地区，空气由于风机动耗而升温

用于干燥玉米是足够的（详细资料见粮食平衡水分部分），通常在秋季干燥期间，十年中有九个年分可把玉米干燥到冬季安全贮藏所需水分值。在有些年分中，还要于春季对粮食进行干燥处理，使得玉米干燥至长期安全贮藏水分（13至14%）

低温干燥仓中，如不安设粮食搅动装置的话，采用补充热干燥法，不仅要耗用昂贵的热能，还使粮食干燥过度。这样，农场主出售2等黄玉米时，由于粮食水分低于标准，出售数量要减少，另外农场主还要多花费用于过度干燥那部份钱。

估算粮食过度干燥的费用是粮食水分低于15.5%时，每降低一点水，每蒲式耳粮食市场售价的2%，即：玉米干燥到13.5%，一个蒲式耳玉米售价为2.5美元，这样，每出售一蒲式耳玉米，农场主要损失10分（美元）（ $2\% \times 2 \text{ 点水} \times 2.5 \text{ 美元} = 10 \text{ 分（美元）}$ ）有关补充热干燥方法的详细资料见空气流量章节。空气流量是粮食低温干燥和补充热干燥方法的关键参数。

不管是否采用补充热干燥方法，风机选用和管理都是一样的。有关这方面的详细资料，见低温干燥仓的风机造配和低温干燥仓管理章节。

如果精心设计和管理工作得当，低温粮食干燥是一种既经济、效率又高的方法。它使干燥后粮食品质优良，可用于各种大小规模的农场和企业。

低温粮食干燥的优点是：

- 1、饲养主使用低温干燥系统，能增

收用于饲料的粮食，因而可多出售粮食。

2、对于资产小的粮食农场来说，低温干燥系统的投资费最小。

3、采用高温与低温干燥相结合工艺，是提高高温干燥机干燥能力的一种方法。

4、对于大型产粮农场，设计优良的组合式低温干燥仓也是主要的粮食干燥系统。

5、配用粮食输送设备最少。

6、干燥后的粮食品质好（裂纹少，容重大）。

7、耗用燃料少。

8、干燥热效率高（蒸发一磅水耗用的热量少，单位用：英热单位/磅），这是由于低温干燥利用了空气含有的热能。

低温粮食干燥的缺点是：

1、粮食的原始含水率要受到限制，不能太高。

2、耗用电能多。

3、受气候条件影响。

4、往干燥仓的进粮速度受到一定限制。

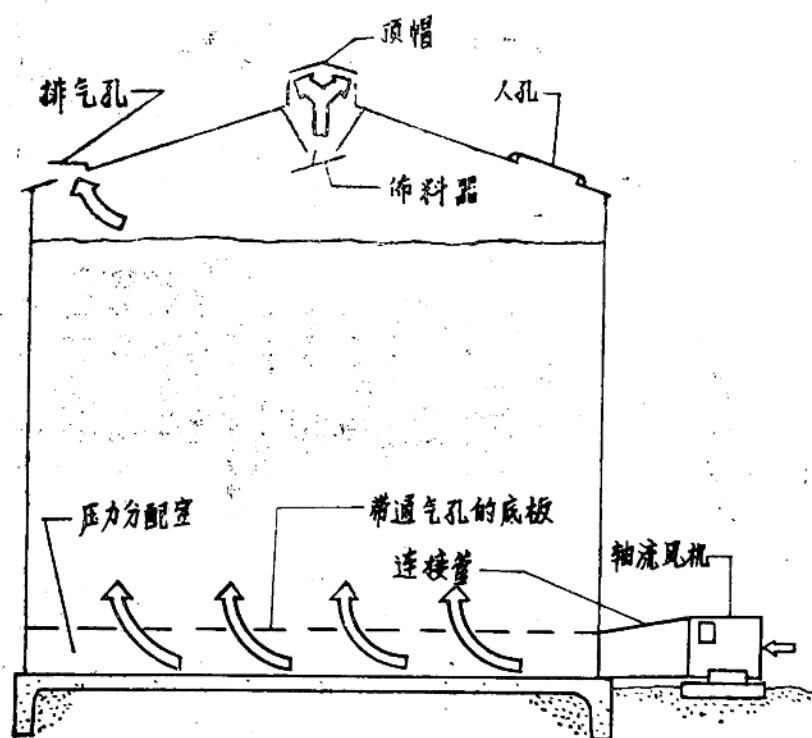


图1、典型低温干燥仓



# 第一章 低温粮食干燥原理

## 一、粮食平衡水分

因为粮食易把水分散发到空气中，所以低温干燥粮食是一种行之有效的方法。玉米籽粒在田间的穗上，就能慢慢地被自然干燥。同理，堆放在仓内玉米，亦能被通风干燥，唯一不同点是仓内玉米要靠风机压力使空气穿透粮堆。当空气穿透粮层时，要把粮食中的水分蒸发出来。

对于任一温度和相对湿度组合条件的干燥用空气，就有一个相应的粮食平衡水分。假如空气的温度和相对湿度不变，那么，粮食最终要达到接近表1所示的水分值，这时粮食与空气是处于平衡状态。表1列出玉米籽粒的平衡水分。

在粮食干燥中，空气的温度和相对湿度是变化的，干燥期间空气平均的温度和相对湿度的组合条件决定了干燥后粮食的水分值。表1给出了仅利用自然空气对粮食进行干燥处理时，粮食能达到的水分值。

例1。假定仓外大气的平均温度为 $50^{\circ}\text{F}$ ，平均相对湿度为 $70\%$ ，试问，用这种条件的空气来干燥处理仓内玉米，干燥后玉米的水分是多少？

由表1查得： $15.4\%$

要注意空气温度对干燥后粮食水分的影响。当空气的相对湿度不变时，空气温度越高，干燥后粮食水分就越低。用湿度高的空气干燥湿粮（水分约 $24\%$ ），则

干燥时间要长达到气温接近于零度之时。

补充热量可升高干燥用空气的温度，并降低空气的相对湿度。当利用补充热量的干燥方法，可利用表1估算出干燥后粮食的水分值。如补充热量使空气温度升高 $5^{\circ}\text{F}$ ，则空气的相对湿度降低 $10\%$ 。

例2。例1中，如外界空气温度是 $50^{\circ}\text{F}$ ，相对湿度为 $70\%$ ，假定补充热量使空气温度升高 $5^{\circ}\text{F}$ ，那么，干燥后玉米水分是多少？

空气温度为 $55^{\circ}\text{F}$ ，相对湿度降低至 $60\%$ ，玉米将被干燥至 $13.5\%$ 。

表1也可用于确定干燥仓内堆粮的籽粒孔隙间空气的温度和相对湿度。知道这种条件，能评定贮粮的贮藏特性。有关这方面详细资料，见“霉菌生长和粮食变质部分”。

例3。假定玉米水分为 $20\%$ ，粮温为 $50^{\circ}\text{F}$ ，那么，粮堆玉米籽粒孔隙间空气的相对湿度是多少？

由表1可查得，相对湿度约为 $90\%$ 。

如果通风时间较长，穿透粮堆的空气相对湿度高的话，粮食能被增湿。然而，粮食干燥季节中，平均的空气相对湿度和温度通常能防止粮食被增湿至约 $17\%$ 。玉米能被增湿至低于表1给出平衡水分值的 $1\%$ 左右范围内。如果空气能把湿粮干燥至 $18\%$ 水分，那么，用同样条件的空气可能把干粮增湿至 $16\%$ 或 $17\%$ 水分。

在低温粮食干燥中，能利用粮食增湿现象使得干燥过程连续进行下去。例如，



表 1 玉米籽粒的平衡水分 (%)

虚线表示例题所求结果 (资料来源于Chung-Plots方程, 美国农业工程师协会论文76-3520)

| 空气的相对湿度(%)   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 空气温度<br>(°F) | 10  | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   |
| 20           | 9.4 | 11.1 | 12.4 | 13.6 | 14.8 | 16.1 | 17.6 | 19.4 | 22.2 |
| 25           | 8.8 | 10.5 | 11.9 | 13.1 | 14.3 | 15.6 | 17.1 | 19.0 | 21.8 |
| 30           | 8.3 | 10.1 | 11.4 | 12.7 | 13.9 | 15.2 | 16.7 | 18.6 | 21.1 |
| 35           | 7.9 | 9.6  | 11.0 | 12.3 | 13.5 | 14.8 | 16.3 | 18.2 | 20.8 |
| 40           | 7.4 | 9.2  | 10.6 | 11.9 | 13.1 | 14.5 | 16.0 | 17.9 | 20.5 |
| 45           | 7.1 | 8.8  | 10.2 | 11.5 | 12.8 | 14.1 | 15.7 | 17.6 | 20.5 |
| 50           | 6.7 | 8.5  | 9.9  | 11.2 | 12.5 | 13.8 | 15.4 | 17.3 | 20.2 |
| 55           | 6.3 | 8.2  | 9.6  | 10.9 | 12.2 | 13.5 | 15.1 | 17.0 | 20.0 |
| 60           | 6.0 | 7.9  | 9.3  | 10.6 | 11.9 | 13.3 | 14.8 | 16.8 | 19.7 |
| 65           | 5.7 | 7.6  | 9.0  | 10.3 | 11.6 | 13.0 | 14.6 | 16.5 | 19.5 |
| 70           | 5.4 | 7.3  | 8.7  | 10.0 | 11.4 | 12.7 | 14.3 | 16.3 | 19.3 |
| 75           | 5.1 | 7.0  | 8.5  | 9.8  | 11.1 | 12.5 | 14.1 | 16.1 | 19.1 |
| 80           | 4.9 | 6.7  | 8.2  | 9.6  | 10.9 | 12.3 | 13.9 | 15.9 | 18.9 |
| 85           | 4.6 | 6.5  | 8.0  | 9.3  | 10.7 | 12.1 | 13.7 | 15.7 | 18.7 |
| 90           | 4.4 | 6.3  | 7.7  | 9.1  | 10.4 | 11.9 | 13.5 | 15.5 | 18.5 |
| 95           | 4.1 | 6.0  | 7.5  | 8.9  | 10.2 | 11.7 | 13.3 | 15.3 | 18.4 |
| 100          | 3.9 | 5.8  | 7.3  | 8.7  | 10.0 | 11.5 | 13.1 | 15.1 | 18.2 |

初秋季节,空气的湿度是较低的,而气温还较高,用这种条件的空气对粮食进行通风干燥处理,粮堆的底层粮要干燥得过度。当冬季临近时,空气的相对湿度增大,且气温降低,此时,人们期望用这种条件的空气对粮堆通风,仍能起少量干燥作用。空气透过粮堆底层过干粮食时,这部分粮食要发生增湿现象,而空气的湿度降低,因此,粮堆底层以上部分粮食可继续进行干燥处理。在雨、雾天气里或于夜间,过干的粮食使通过空气的湿度降低,使得粮食通风干燥可继续进行下去。总之,在粮食干燥期间,如果干燥仓内堆粮顶层还有湿粮的话(水分大于18%),风机就可继续地运转下去。

## 二、霉菌生长和粮食变质

霉菌是粮食变质的主要原因。影响粮食品质的霉菌有两种:田间霉菌和储藏霉菌。

**田间霉菌。**它是粮食处在田间时侵入粮食籽粒的。这种霉菌通常在粮食水分高(约大于20%)和温度为80至90°F条件下生长繁殖。低温干燥仓堆粮顶层的粮食,水分高并且温度适宜霉菌生长,因此,田间霉菌可在低温干燥仓中生长繁殖,致使粮食霉变。秋季气温为40至50°F,降低了霉菌的活性,能防止粮食大量霉变。当粮食被干燥好,田间霉菌就死亡,或者变得无活力了。

**储藏霉菌。**当粮食水分较低时(约低于20%),储藏霉菌能在贮藏仓中被控制着。贮藏霉菌的生长决定于粮食的水分和温度。推荐的粮食安全储藏水分见表2。由于粮食温度和水分对储藏霉菌生长的影响是相互关联的,所以对粮食进行适宜通风和管理并定期观测,使粮食温度保持低于40°F条件,粮食水分可以比推荐的安全水分值略高一点。用于夏季长期安全储藏的粮食,其水分值要低一些。

表2 通风后保持优良品质的粮食安全水分

| 粮 种          | 最大安全水分(%) |
|--------------|-----------|
| 玉米籽粒和高粱      |           |
| 春季出售的2等粮食    | 15.5      |
| 贮藏期到一年       | 14        |
| 贮藏期大于一年      | 13        |
| 大豆           |           |
| 春季出售         | 14        |
| 贮藏期到一年       | 12        |
| 小麦           | 13        |
| 小粒粮食(燕麦、大麦等) | 18        |
| 葵花籽          | 9         |

用控制粮食水分和温度的方法来抑制霉菌的生长繁殖，并且粮食能被干燥好而没有明显变质。粮食的温度和水分确定了粮食安全储藏时间（AST 值）——即粮食变质前，它能安全贮存的时间数值。表 3 给出了玉米籽粒的安全储藏时间（其它粮种的安全储藏时间还未研究得出）。粮食安全储藏时间给出了粮食霉变之前必

须要把粮食干燥好所需干燥时间的估算值和粮食保持优良品质的安全储藏期的估算值。粮食安全储藏时间（AST 值）是这样的一个时间概念，即粮食在储藏期内，在一定温度和水分条件作用下，由于霉变粒已经发生了，粮食的出售等级将降低一个等级。

**表 3**                      **玉米籽粒的安全储藏时间（天）**  
虚线表示例题所求结果（资料来源于汤普森研究论文，美国农业工程师协会会刊 333—337，1972 年）

| 粮温 (°F) | 玉米水份 (%) |     |     |     |    |    |    |
|---------|----------|-----|-----|-----|----|----|----|
|         | 18       | 20  | 22  | 24  | 26 | 28 | 30 |
| 30      | 648      | 321 | 190 | 127 | 94 | 74 | 61 |
| 35      | 432      | 214 | 126 | 85  | 62 | 49 | 40 |
| 40      | 288      | 142 | 84  | 56  | 41 | 32 | 27 |
| 45      | 192      | 95  | 56  | 37  | 27 | 21 | 18 |
| 50      | 128      | 63  | 37  | 25  | 18 | 14 | 12 |
| 55      | 85       | 42  | 25  | 16  | 12 | 9  | 8  |
| 60      | 56       | 28  | 17  | 11  | 8  | 7  | 5  |
| 65      | 42       | 21  | 13  | 8   | 6  | 5  | 4  |
| 70      | 31       | 16  | 9   | 6   | 5  | 4  | 3  |
| 75      | 23       | 12  | 7   | 5   | 4  | 3  | 2  |
| 80      | 17       | 9   | 5   | 4   | 3  | 2  | 2  |

由表 3 可注意到下述情况，在一定粮食温度下，粮食水分增高时，用于粮食干燥和储藏的安全储藏时间将减少。粮食水分不变条件下，粮温升高时，安全储藏时间必要减少。粮食安全储藏时间 (AST) 可近似看成为粮温每升高 10 °F，

AST 值减少一半，或者粮食水分每增加 2%，AST 值也要减少一半。此外，粮食的机械损伤也影响 AST 值。干净的粮食和整粒粮是更不利于霉菌生长繁殖的。

粮食的安全储藏时间 (AST 值) 用于设计低温干燥系统。推荐选用空气流率

的依据是在安全储藏时间内粮食干燥要完成。以下几个例题表明，如何利用 AST 值来估算粮食干燥所需时间。

例 4。假定粮食收获水分为 24%，粮温是 50°F，试问，粮食降低一个出售等级前，所需的贮存时间。

据粮食水分为 24%，粮温 50°F，由表 3 查得，约 25 天，即如果仓内粮食的水分和温度保持不变，粮食约经 25 天将降低一个出售等级。

例 5。如果 7 天后，例 4 条件的玉米被干燥至水分为 20% 和粮温降至 40°F，试问，安全储藏时间有何变化？

7 天后，例 4 的安全储藏时间（25 天）已过了 7 天，安全储藏期还剩  $18/25$  在例 5 的 20% 水分和 40°F 条件下，由表 3 查得玉米的安全储藏时间为 142 天。然而，由于安全储藏期只剩下  $18/25$  所以， $142 \times 18/25 = 102$  天，因此，由于玉米被干燥，安全储藏时间延长了。

### 三、粮食就仓干燥过程

在一个不设有粮食搅动装置的低温干燥仓中，粮食的干燥过程是分层进行的，如图 2 所示。空气流向上穿透粮层，蒸发粮食水分并把蒸发出的水排出仓外。粮食的干燥段仅 1 至 2 英尺厚。干燥段按一定速度向上移动，移动速度的大小主要决定于空气流量和空气的干燥势。仓内三个区段的粮食特征是：第一段是干粮，第二段是正处于干燥的粮食（干燥段），上层是湿粮，底层干粮的粮温约等于所用干燥空气的温度。

在干燥段，粮食正处于被干燥中，粮食水分是低于粮食入仓时的水分，但还未达到与干燥空气相平衡的水分值。由于水分蒸发消耗热量，使粮温下降，故粮温低于所用干燥空气的温度。

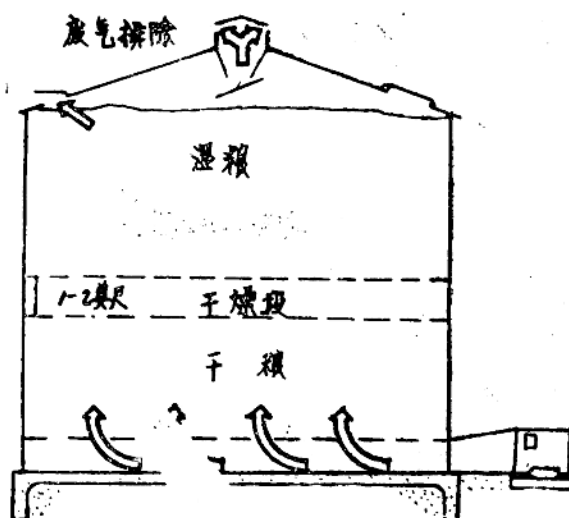


图 2 干燥仓内粮食干燥的三个区段

干燥段上面的湿粮水分是接近于原始水分,如果仓内条件适于霉菌生长繁殖的话,湿粮要较快地霉变,所以定期观测仓内堆粮表层的粮食情况是低温干燥获得成功的关键。粮食必须在安全储藏时间内干燥完毕。如果仓内堆粮表层粮食开始霉变,它必须移至仓外并用一些其它方法进行干燥处理。

由于离开干燥段的空气温度低于进仓

所用干燥空气的温度,延长了湿粮的AST值,所以实际上采用的AST值稍大于预定值。

例3中,仓内条件是:空气的相对湿度为90%,玉米水分为20%,粮温50°F,这种条件是适宜于霉菌生长繁殖的,然而仓内堆粮顶层粮食的温度是40°F,10°F温差能延长约50%的AST值。

## 第二章 空气流量

### 一、空气流量是低温粮食干燥的关键因素。

粮食的干燥时间主要受空气流量限定。空气流量的测定单位是每分钟耗用空气的立方英尺数值。推荐采用每蒲式耳粮食每分钟耗用的立方英尺空气(立方英尺/分·蒲式耳)。空气能从粮食中蒸发水分的能力(干燥势)主要影响干燥后粮食水分,另外也影响干燥时间。

降低粮食的干燥时间有两种方法,但这两种方法的作用原理是不相同的。

一种方法是增加空气流量。较多的空气量穿透粮层,可带走更多的粮食蒸发水分。粮食干燥速度与所用空气量的大小成正比。如果空气流量增加25%,则粮食干燥速率也增加25%。

另一种方法是升高空气温度来提高空气的载湿能力。例2中,在粮食干燥期间,如果气温低和湿度大的天气期间长,采用补充热量方法就能使干燥连续进行下去。若正常气候条件的期间长,采用补充

热量就加快了仓内粮食干燥段向上移动速度。然而,如果粮食水分低于24%,移动速度的增加值是很小的。采用补充热量还增大了粮食水分蒸发的数量和速度,但这种加大主要产生于仓内堆粮的较低层部份,这样致使这部份粮食干燥过度。有关这方面详细资料见“补充热量”部分。

下面对比一下图3所示三个例仓的干燥线变化情况。每个仓的尺寸和容粮量是相同的:直径30英尺,高17.5英尺,玉米容量约为9900蒲式耳。三个仓的不同点仅是风机型号和配用动力上有所差别。玉米原始水分为22%,10月15日开始进行干燥。

可注意到1号仓的工作条件是:空气流量是1.1立方英尺/分·蒲式耳,干燥时间为8周,补充热量使干燥空气温升2.5°F。2号仓的干燥时间为7周,由于仓内底层部分粮食过干,所以干燥后平均的玉米水分略低。

空气流量增加到1.4立方英尺/分·蒲式耳时,3号仓5周时间就把玉米干燥完毕。干燥后玉米平均水分也是低于1号仓的。平均水分较低的主要原因是空

气的干燥势在秋季通常较好，玉米干燥完成得较早些。

这三个仓干燥玉米的实例表明，空气流量是低温干燥的关键因素。送至仓内的空气流量越多，通过粮层的干燥线向上移动速度就越快，蒸发粮食的水水就越多，并且干燥系统就更为可靠。干燥系统采用

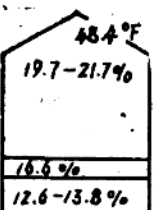
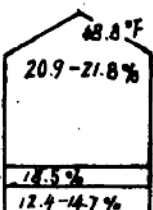
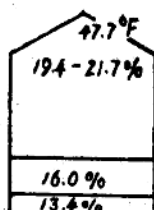
补充热量不允许降低空气流量，更不允许供给的空气流量不足。由于仓内顶层部分粮食干燥很慢，即使采用补充热量仍不降低这部分粮食发生霉变的可能性。有关这方面详细资料，可参见“补充热量”章节部分。

图3 干燥线进展情况

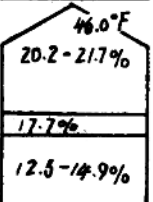
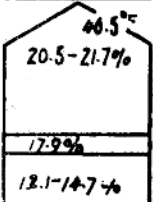
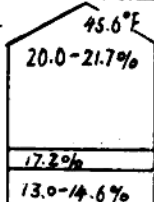
(根据美国德梅因的28年平均气象资料。仓顶所示温度是湿粮温度)

| 1号仓<br>10 马力<br>1.1立方英尺/分蒲式耳,<br>静压力为3.13英寸水柱,<br>2.5°F温度来源于风机<br>动耗,                                                   | 2号仓<br>10 马力<br>1.1立方英尺/分.蒲式耳,<br>静压力3.13英寸水柱,<br>2.5°F温升来源于风机动耗<br>2.5°F温升来源于补充热量<br>(电加热) | 3号仓<br>20 马力<br>1.4立方英尺/分.蒲<br>式耳,<br>静压力4.63英寸水<br>柱,<br>3.8°F温升来源于<br>风机动耗, |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 干燥结束期 11月30日<br>干燥后玉米水分幅度<br>13.3—15.5%<br>干燥后玉米平均水分<br>14.2%<br>玉米的温度<br>34.5—34°F<br>风机运转时间1104小<br>时<br>电能消耗 968.5千瓦 | 11月22日<br>12.1—15.2%<br>13.2%<br>41—39.2°F<br>912小时<br>16027千瓦                              | 11月18日<br>12.5—15.4%<br>13.4%<br>44.8—42.7°F<br>69.6小时<br>12212千瓦             |

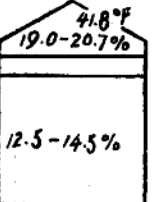
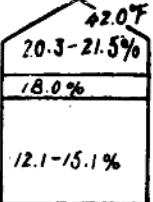
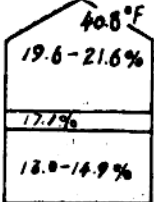
10月22日  
平均温度  
52°F  
平均相对  
湿度62%



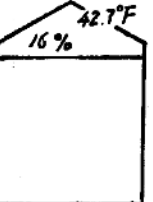
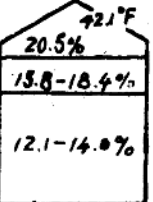
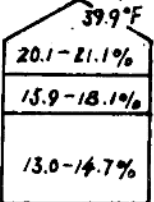
10月29日  
平均温度  
49°F  
平均相对  
湿度63%



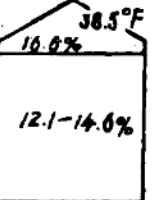
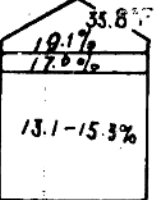
11月5日  
平均温度  
43°F  
平均相对  
湿度66%



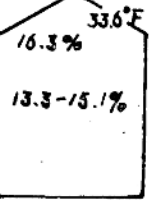
11月12日  
平均温度  
41°F  
平均相对  
湿度69%



11月19日  
平均温度  
36°F  
平均相对  
湿度69%



11月26日  
平均温度  
32°F  
平均相对  
湿度69%

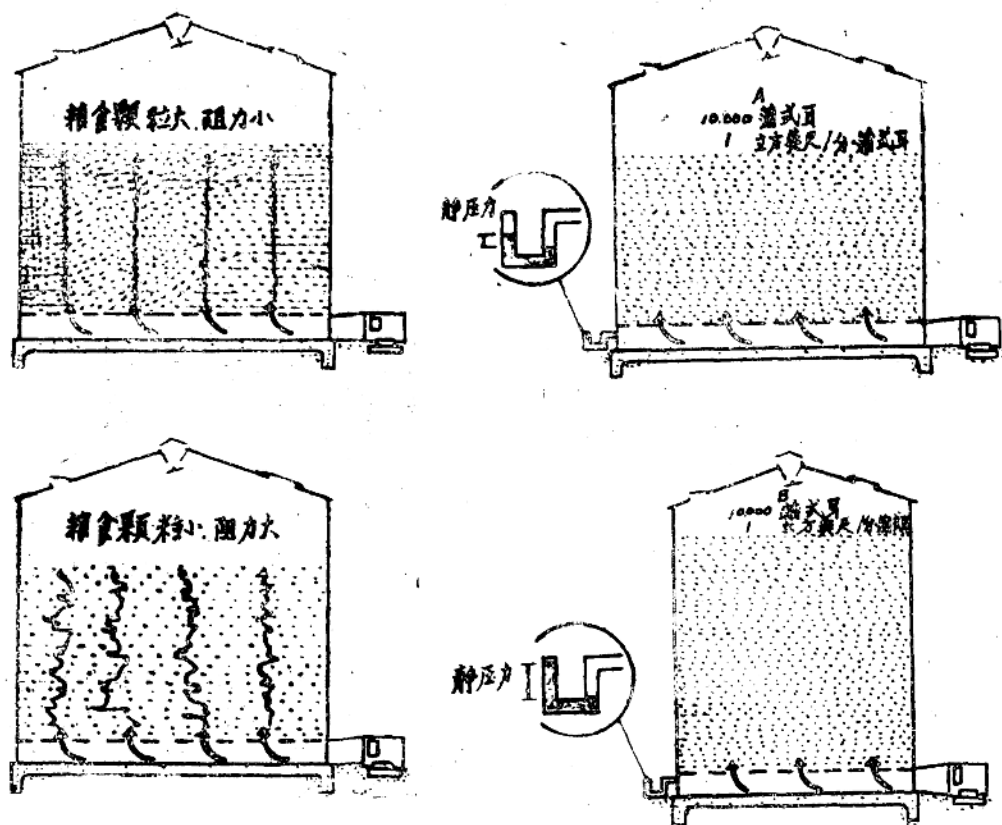




## 二、空气流阻力和静压力

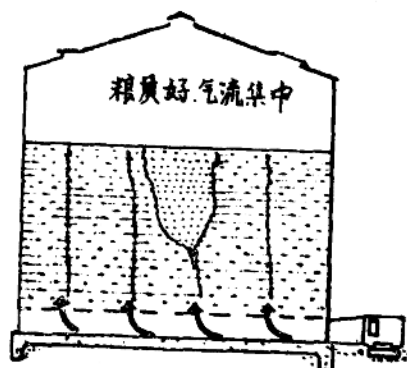
由于粮层对空气流有阻力，故实际上送往仓内的空气流量是受限制的。空气流

的阻力主要受空气流量、粮层深度和粮食种类所影响，另外，粮食干净程度和孔隙度也是影响阻力大小的因素。图4示出风机必须克服的阻力。

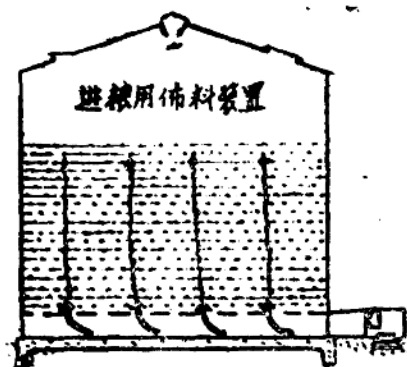
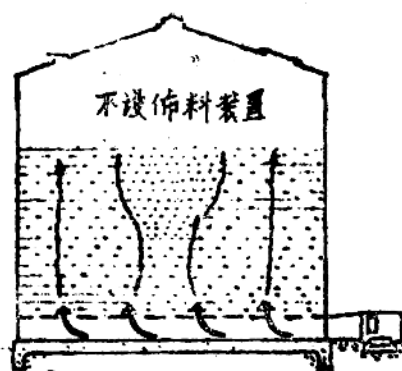


4 a、阻力取决于粮食种类。大粒粮食如玉米、大豆、葵花籽、籽粒间的孔隙较大，故对气流的阻力较小，小粒粮食如燕麦、稻谷、小麦、孔隙度较小，故对气流阻力较大

4 c、仓内容粮量和供给气流量相同，直径大的仓A比直径小的仓B阻力小



4 b. 破损粒和杂质增加对气流阻力 并降低气流量。清理粮食和粮食入仓用一个布料设备, 可大大改善这种情况



4 d. 仓内不设有布料器, 粮食自由散落到仓内, 对气流阻力大; 仓内设有粮食布料器, 可使粮食均匀分布, 并使粮面平, 故对气流阻力小。

#### 图 4. 粮食的压力特性

静压力是风机供出的使空气能穿透粮层的力。静压力用英寸水柱单位来表示。图 5 表示干燥仓内所测静压力的数值。压力分配室的空气静压力为 2 英寸水柱, 大气的静压力为 0。由于压力分配室的空气静压力大于干燥仓内堆粮之上空气的静压力, 所以空气流能穿透粮层。

选用一台风机, 要求能克服干燥系统

的阻力值并能供给所需空气流量。详细资料见“低温干燥的风机选配”部分。