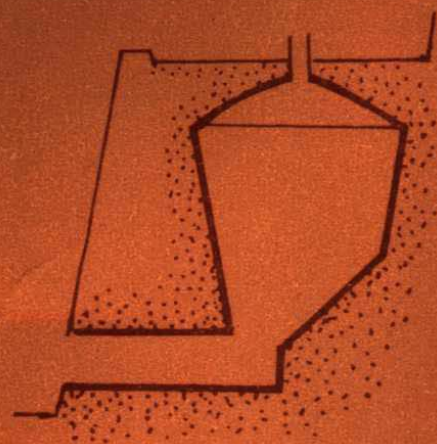
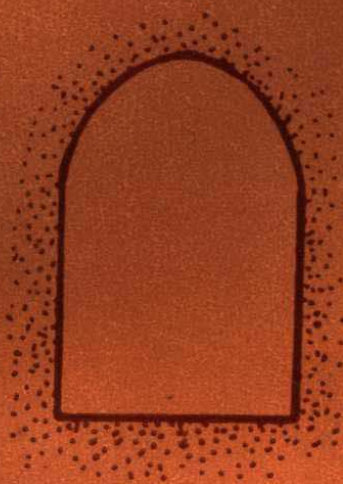
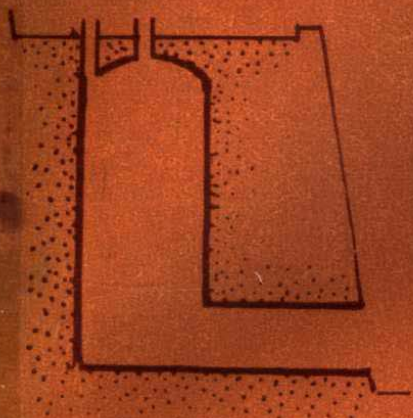
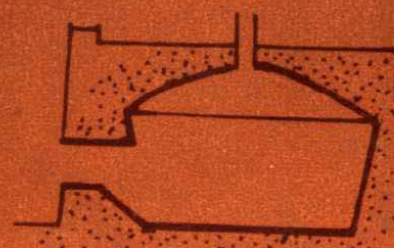
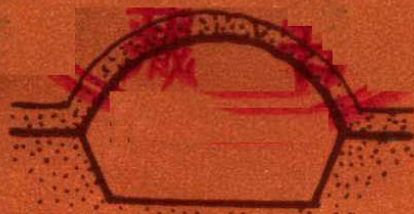
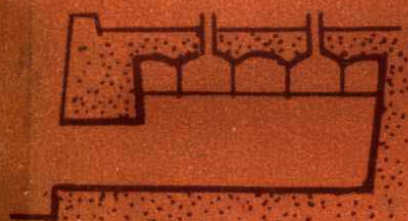
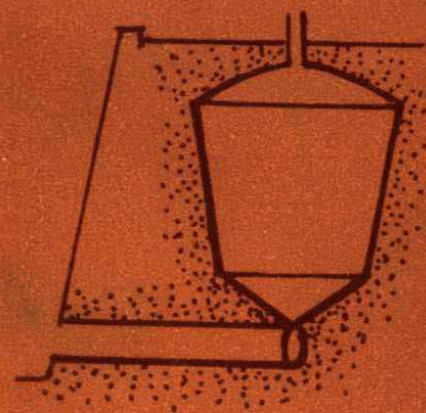
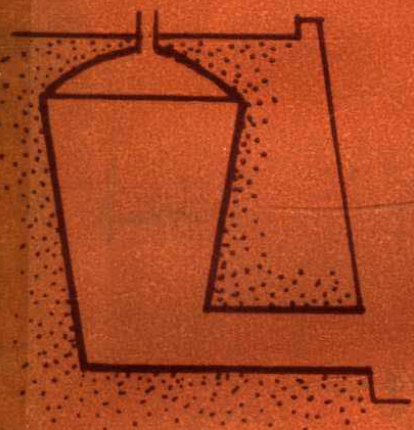




低温 贮存 粮食



低温贮粮

景星 编著

河南科学技术出版社

低 温 贮 粮

周景星 编著

责任编辑 白鹤扬

河南科学技术出版社出版

河南第二新华印刷厂印刷

河南省新华书店发行

787×1092毫米32开本 8.875印张 173千字

1981年7月第1版 1981年7月第1次印刷

印数 1——13,000册

统一书号 16245·11 定价 0.68 元

前 言

低温贮粮是一种新的贮粮技术。许多国家已经比较广泛地用机械制冷的仓库贮存粮食，我国也在迅速地研究发展，并且取得很多经验。

这种方法具有很多优点：首先，它是保质保量延缓粮食陈化的最有效途径；其次，能有效地控制虫、霉对粮食的危害，可以不使用化学药剂，避免有毒杀虫剂对粮食的污染；第三，可以解决难于贮藏的成品粮（大米、面粉等）和油脂的安全过夏问题；第四，可以贮存高水分粮。对于收获季节高水分粮集中入库，烘干设备来不及处理或没有烘干设备的条件下，又是一个应急处理的好办法；第五，可以减少烘干、翻晒、倒仓、仓库管理和药剂熏蒸费用。正是由于此技术有许多优点，所以很快为粮食科技工作者所重视，粮食部已把这种方法列为国家贮藏粮食的重要手段加以研究应用。为满足粮食科技工作者和粮食保管员的需要，根据国内外资料和研究我们的研究成果编写了此书。

国外一般采用冷冻机使粮食形成低温，我国除采用这种方式外，还采用了自然冷却低温贮粮、机械通风低温贮粮和地下仓低温贮粮。我们国家土地辽阔，各地自然条件不同，

应根据本地自然条件按照经济有效的原则选择适当方法。本书对上述四种方法都详细地作了介绍。从研究和实际应用出发，着重于低温技术，对于必要的基础理论知识以及有关的新技术、新机具、新材料等内容也都适当地编入该书。有关计算部分，有例题有解答便于读者理解应用。

在编写过程中粮食部储运局、教育局曾给予指导，李春喬、王宜春、吴祖全同志提供了许多宝贵意见；河南省粮食厅袁世民、何义合、李孝达同志、山东省粮食厅何其名同志、我院的周乃如同志都曾给予帮助；一机部第六设计院梁清岐、常文清同志提供了许多宝贵材料并且详细地审阅稿件提供宝贵意见，郑州市粮食局巴自力同志帮助绘制了本书的全部插图，在此一并表示感谢。

周景星

1980年8月30日

目 录

第一章 低温贮粮的基础知识.....	1
第一节 空气的组成和物理参数.....	1
第二节 传热的基本方式.....	17
第三节 粮食物理性质.....	29
第二章 低温效应与低温指标.....	44
第一节 贮粮低温效应.....	44
第二节 贮粮低温指标.....	48
第三节 低温与贮藏品质.....	54
第三章 自然冷却低温贮粮.....	61
第一节 自然低温基本原理.....	61
第二节 自然冷却隔热保冷法.....	69
第三节 多管自然通风法.....	76
第四章 通风低温贮粮	81
第一节 通风机.....	81
第二节 粮堆机械通风的确定与计算.....	93
第三节 低温贮粮通风法.....	104
第五章 地下低温贮粮	112
第一节 地下贮粮原理.....	116
第二节 地下粮仓的隔热防潮.....	119
第三节 贮粮性能与品质.....	122
第四节 热入冷藏及其效果.....	130

第五节 地下仓的贮粮管理.....	136
第六节 地下仓机械.....	140
第六章 机械制冷贮粮	147
第一节 基本定义.....	147
第二节 天然冷源和人工冷源.....	156
第三节 制冷基本原理.....	158
第四节 制冷设备.....	168
第五节 制冷剂.....	185
第六节 低温粮库的隔热结构.....	190
第七章 冷风系统设计	202
第一节 设计参数的确定.....	203
第二节 低温库耗冷量的计算.....	204
第三节 制冷设备选择和管道配制.....	210
第四节 送回风系统设计.....	215
第五节 国内低温粮库设计类型.....	223
第八章 低温粮库的维护管理与测试.....	228
第一节 低温粮库常用仪表.....	228
第二节 低温粮库的自动控制.....	238
第三节 制冷系统的调试和运行.....	246
第四节 送风系统的测定.....	254
第五节 低温粮库的维护管理.....	263
附录	
1. F—12饱和蒸汽性质表	268
2. 湿空气的物理性质.....	273
3. 焓—湿 (I—D) 图	277

第一章 低温贮粮的基础知识

低温贮粮就是将仓房内的空气进行各种冷却处理，使仓房、粮堆保持低温状态的一种技术。因此，低温贮粮，首先应对空气的成分和物理性质有所了解，对衡量空气性质的常用物理参数具有基本概念。其次，要了解外部热量是怎样从粮食仓库的屋顶、墙壁和地坪传进仓房里来的一些传热知识。并要懂得和合理运用粮食的物理性质，以使贮粮处于低温状态，保持良好的品质，增强贮粮的稳定性。

第一节 空气的组成和物理参数

一、空气的组成

自然界的空气都是干空气和水蒸汽的混合物，叫做湿空气。低温贮粮中从外界引入粮仓、粮堆的空气，都是指的湿空气，或称空气。绝对干燥的空气在自然界是不存在的。

室外空气是由一定成分的几种气体组成的，除所含水蒸汽外，其余的气体都有一定的比例。按体积计算百分比是：

氧 (O_2)21%

氮 (N_2)78%

二氧化碳 (CO_2)0.03%

惰性气体.....0.94%

其他气体和杂质.....0.03%

湿空气中的水蒸汽含量随着天气的变化和水汽的来源情况而改变。一年四季大气温度变化很大，同时由于不同地区，不同自然环境的差异，所以水汽量的大小，温度的升降不仅相同，而且都会直接影响贮粮的稳定性。此外，粮食作为一种活的有机体，具有生命活动，进行呼吸消耗氧气而增加二氧化碳，从而改变空气的组成成分。

二、空气的物理参数

空气的物理性质不仅取决于它的组成成分，而且也与它所处的状态有关。低温贮粮中常用的压力、温度、湿度、比容、焓等都称为空气的物理参数。

(一) 压力

空气对物体单位面积上的作用力，称为空气的压力。压力的单位是公斤/米²或公斤/厘米²。

1. 大气压力：地球表面包围一层很厚的空气，通常叫做大气。大气的分布是不均匀的。这层大气的重量对地球表面所产生的压强，叫做大气压力。通常以空气温度为 0℃ 纬度 45° 处的海平面为准，其大小约为 760 毫米水银柱。大气压

力的大小除与纬度有关外，还与时间、地点、海拔高度而有所不同，通常把相当于 760 毫米水银柱的大气压叫做一个标准大气压。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 个标准大气压} &= 760 \text{ 毫米水银柱} = 1.0336 \text{ 公斤/厘米}^2 \\ &= 10336 \text{ 毫米水柱。} \end{aligned}$$

在工程上为了计算的方便，常以 1 公斤/厘米²做为压力的单位，叫做一个工程大气压。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 个工程大气压} &= 1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 735.6 \text{ 毫米水银柱} \\ &= 10000 \text{ 毫米水柱。} \end{aligned}$$

2. 绝对压力、表压力、真空压力：气体在密闭容器或管路的压气系统中，当通风机运转后，它的压力高于大气压力，处于受压状态，通常叫做正压；在管路的吸气系统中，它的压力低于大气压力，处于真空状态，通常叫做负压，如图 1—1 所示。不论是正压或负压都叫做表压力。通常测定压力的仪器叫做 U 形压力计。管中装酒精、水或水银，其一端接在测压处，另一端通向大气。由于受风压力大于大气压

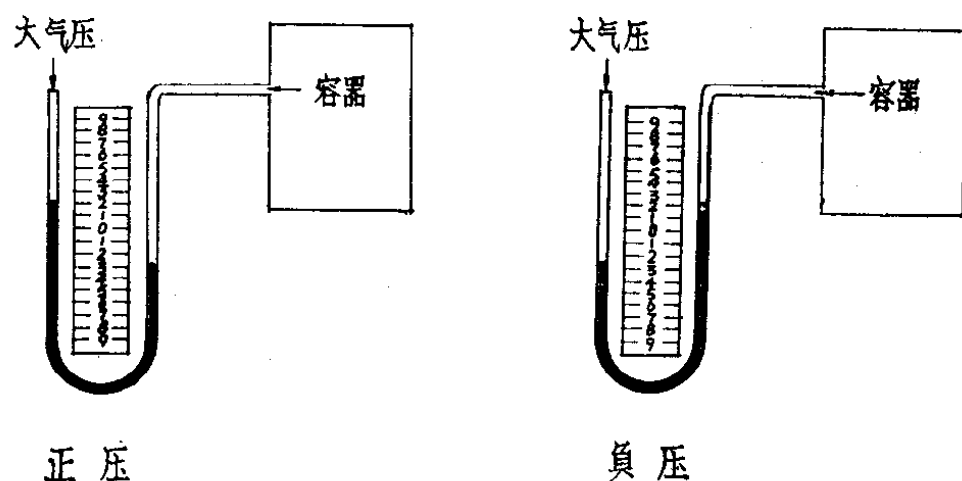


图 1—1 正压和负压

力，所以在U形管的两侧形成了液位差，而作用在容器或管道系统中实际压力的数值，则应该是表压力再加上当地的大气压力，通常把这个实际压力称为绝对压力。

三者关系用下式表示：

绝对压力=大气压力+表压力

例如，一个密闭容器中流体压力比大气压力高50毫米水银柱，若外边大气压力为759毫米水银柱，则容器中流体的绝对压力=759+50=809毫米水银柱。若容器中的流体压力比大气压力低50毫米水银柱，则容器中流体的绝对压力=759-50=709毫米水银柱。这50毫米水银柱叫做真空度，也可叫做真空压力。所以：

绝对压力=大气压力-真空压力

例如制冷装置在作真空密封试验时，要用真空泵将整个系统中的空气抽出，使其真空压力为740毫米水银柱。如当地大气压力为759毫米水银柱，则系统的绝对压力=759-740=19毫米水银柱=0.026公斤/厘米²。

绝对压力、表压力和真空压力的相互关系可用图1—2加以说明。

（二）温度

温度是表示物体冷热程度的指标。它表示空气分子热运动的

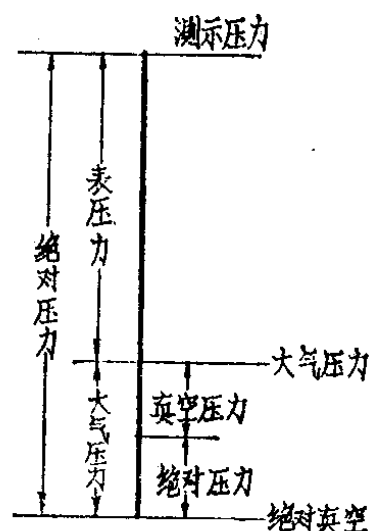


图1—2 几种压力的相互关系

激烈程度。一般用摄氏温度(°C)、华氏温度(°F)和绝对温度(°K)来表示。

1. 摄氏温标：在标准大气压下，先把温度计的水银泡浸入冰水中，待水银面稳定后，刻下水银面的位置，记作0度；再把温度计的水银泡插入沸腾的水中，待水银面稳定后，刻下水银面的位置，记作100度。然后在0度与100度之间划分100分格，每一分格叫做一度。同样，可以向外推移继续刻出100度以上及0度以下的刻度。这种标记温度的方法叫做摄氏温标，以°C表示。

2. 华氏温标：在标准大气压下，用上述方法，其冰点定为32度，沸点定为212度，两点之间划分为180分格，每一分格叫做一度。这种标记温度的方法叫做华氏温度，以°F表示。

3. 绝对温标：用绝对温度来标记温度的方法，叫做绝对温标。绝对温度以°K表示。它的一度分格刻度的大小与摄氏温标的一度分格刻度大小相同。所以，在数值上绝对温度可用下式表示。

绝对温度(°K) = 摄氏温度(°C) + 273.15° (近似计算可用273°)

摄氏温标与华氏温标的换算关系为：

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} \times (^{\circ}\text{F} - 32) \quad ^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} \times ^{\circ}\text{C} + 32$$

在低温贮粮中，温度的高低不能只凭人体的感觉去判断，必须进行科学的测量。广泛使用各种仪表来准确测量和

控制温度，以保证生产过程的正常进行。粮食仓库里，如果温度控制不当，就会造成发热、霉变、生虫。因此温度的测量和控制，在低温贮粮中具有重要的意义。

(三) 湿度

空气中水蒸汽含量的多少，决定着空气的干湿程度，也就叫做湿度。湿度表示方法有下列几种：

1. 绝对湿度：1 立方米湿空气中含有水蒸汽的重量叫做空气的绝对湿度。以符号 Z 表示，单位是克/米³ 或公斤/米³。假设湿空气的体积为 V 米³，其中干空气的重量为 G_g 公斤，水汽的重量为 G_c 公斤，则 $Z = \frac{G_c}{V}$ 公斤/米³。如每立方米空气中含有 8.56 克水汽，空气的绝对湿度就是 8.56 克/米³。还可以用空气中水蒸汽的分压力来表示，其单位是毫米水银柱。湿空气是由空气和水汽组成的，在常温下三者都可以看成是理想气体，并且它们之间的压力、温度、体积和重量的关系，可用图 1—3 示意。

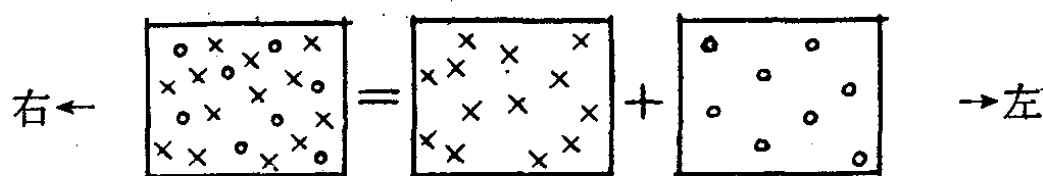


图 1—3 湿空气、干空气及水汽三者的体积、温度、压力和重量的关系

$$\text{湿空气} = \text{干空气} + \text{水汽}$$

体积: $V = V_g = V_c$ 米³

温度: $T = T_g = T_c$ °K

压力: $B = P_g + P_c$ 毫米水银柱

重量: $G = G_g + G_c$ 公斤

由此可见

$$Z = \frac{G_c}{V_c} \text{ 公斤/米}^3$$

根据理想气体方程可得:

$$P_c V_c = R_c G_c T_c$$

或
$$z = \frac{G_c}{V_c} = \frac{P_c}{R_c T_c}$$

式中 P_c ——水汽分压力, 毫米水银柱;

V_c ——水汽的体积, 等于空气或干空气的体积,
米³;

R_c ——水汽的气体常数, 等于3.461;

T_c ——水汽的绝对温度, 等于空气或干空气的绝对温度, °k。

上式表明, 在温度一定时, 水汽分压力 P_c 愈大, 则绝对湿度 Z 愈大, 所以, 水汽分压力可以反映水汽的多少。此外, 也可看出, 绝对湿度和绝对温度 T_c 有关, 温度愈高则绝对湿度愈小。因而, 绝对湿度同时随着水汽分压力和温度两个参数而变化。

2. 含湿量: 在湿空气中, 与一公斤干空气混合一起的水蒸汽重量, 叫做空气的含湿量 d , 单位是克水蒸汽/公斤干空

气。可用下式表示：

$$d = \frac{G_c}{G_g} \text{克水蒸汽/公斤干空气}$$

式中 G_c ——水蒸汽的重量，克；

G_g ——干空气的重量，公斤；

如果一公斤干空气与 $\frac{d}{1000}$ 公斤的水蒸汽相混合，则湿

空气的重量应是 $1 + \frac{d}{1000}$ 公斤。也就是说在 $1 + \frac{d}{1000}$ 公斤的湿空气中含有 d 克的水蒸汽。

由一公斤干空气和 d 克水蒸汽组成的湿空气，由于干空气和水蒸汽在常温下都能看成是理想气体，根据理想气体方程导出：

$$d = 622 \frac{P_c}{P_g} = 622 \frac{P_c}{B - P_c} \text{克水蒸汽/公斤干空气}$$

式中 $P_g \cdot P_c$ ——分别为干空气和水蒸汽的分压力，毫米水银柱；

B ——大气压力，毫米水银柱；

上式说明，在一定的大气压力下，空气的含湿量 d 与水蒸汽分压力 P_c 有关，水蒸汽分压力 P_c 愈大，含湿量 d 也就愈大。它们之间是相互联系参数。在低温贮粮中，含湿量是一个重要的参数。

3. 饱和湿度：在一定温度下，空气中的水蒸汽含量达到饱和状态，再不能容纳水汽，从而出现多余的水汽变成凝结

水的现象，这种空气状态就叫饱和空气。空气能容纳水汽的最大值，就叫做饱和绝对湿度。以符号 Z_B 表示。如果空气中的水汽量小于饱和量，就叫做未饱和空气。这时，每立方米的空气还可接受 $Z_B - Z$ 公斤的水汽量。我们知道，水蒸汽分压力、绝对湿度、含湿量都可以表示空气的湿度。因此，在达到饱和湿度时，也相应存在饱和水蒸汽分压力（ P_{CB} ）、饱和绝对湿度（ Z_B ）和饱和含湿量（ d_B ）。

空气能容纳水汽的饱和量和温度有关，温度越高，容纳水汽量就越大；反之则小。完全饱和时的绝对湿度与空气中的实际湿度两者之间的差数，称为空气湿容量，以符号 D 表示。空气中的湿容量越大，则干燥作用越好。

4. 相对湿度：空气在某一温度时的水蒸汽含量，也就是实际绝对湿度 Z 和在这一温度下的饱和绝对湿度 Z_B 的百分比，叫做这时的相对湿度。用符号 φ 表示。

$$\varphi = \frac{Z}{Z_B} \times 100\%$$

同样，空气在某一温度时所含水蒸汽分压力 P_c ，和在这一温度时饱和水蒸汽分压力 P_{CB} 的百分比，也称为相对湿度。

$$\varphi = \frac{P_c}{P_{CB}} \times 100\%$$

例如：气温在 20°C 时，空气中水蒸汽分压力为9毫米水银柱，在 20°C 时水蒸汽饱和分压力为17.5毫米水银柱，所以这时空气的相对湿度为

$$\varphi = \frac{9}{17.5} \times 100\% = 51.4\%$$

相对湿度是指空气接近饱和的程度。当 $\varphi=100\%$ 时，就是饱和空气；当 $\varphi=0$ 时，就是干空气。 φ 值越小，表示空气越干燥，吸湿能力越大。在粮食贮藏中，相对湿度这个参数很重要。

人体感到适中的相对湿度是60~70%，过低就感到干燥，过高就感到潮湿。贮藏粮食一般为与相对湿度75%相平衡的水分含量是短期贮藏的安全水分最大限量值。进行长期贮存时，其平衡相对湿度一般不能超过65%。

由上所述，绝对湿度、含湿量、饱和湿度和相对湿度都是表示空气湿度的几种方式。湿度对粮食贮藏具有很大影响，空气太潮湿，粮食易于发热、霉变、甚至生芽；空气太干燥，粮食重量损失太大。因此，要求粮仓内的空气具有一定的干湿程度是很重要的。

（四）露点温度

如前所述，在一定压力下的未饱和空气，在其含湿量不变的条件下，将其温度不断降低，可以变成饱和空气。在达到饱和状态下的温度，就叫做露点温度。如果将其温度下降到露点温度以下，空气中的水蒸汽就要凝结成水珠，这就是结露现象。

例如：已知在 $t=40^{\circ}\text{C}$ 时的未饱和空气含湿量 $d=11.4$ 克/公斤干空气；如果将温度下降到 16°C 时，空气的饱和含湿