

國外谷物干燥技术

(专 辑)

科学技术文献出版社重庆分社

S510.9
1

《农村科学实验》(月刊)即将创刊

在以英明领袖华主席为首的党中央的亲切关怀下,经国务院批准,中国科学院科学出版社创办的《农村科学实验》将于一九七八年一月正式出版。

《农村科学实验》是一份面向广大农村的科学普及刊物,是以马列主义、毛泽东思想为指导,以阶级斗争为纲,密切结合农村三大革命运动实际,普及科学知识,宣传辩证唯物主义,促进科学种田,为“农业学大寨”“普及大寨县”服务。

刊物主要内容,以“八字宪法”为指导,包括农、林、牧、副、渔、水利建设、农业机械化、社办企业、农村医药卫生等各个方面,并介绍与农村科学实验有关的基础科学知识(如天文学、气象学)以及重大自然灾害(如地震)的形成与防范。

我们热烈欢迎广大农业战线上的各级领导干部、农村科学实验小组的贫下中农、上山下乡知识青年、科技人员、农村中小学教师踊跃来稿,组织阅读,提出批评和建议,共同努力,把刊物办好。来稿来信请寄北京朝内大街137号科学出版社《农村科学实验》编辑部收。

该刊是16开本,32面,每期定价为壹角伍分,公开发行,请向全国各地邮局订阅。

《农村科学实验》编辑部

国外谷物干燥技术(专辑)

一机部机械研究院农机研究所 编辑
中国科学技术情报研究所重庆分所
科学技术文献出版社重庆分社出版
(重庆市市中区胜利路91号)

新华书店 重庆发行所发行
重庆新华印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米^{1/16}

印张: 5.25

字数: 17万

印数: 4000

1977年11月第一版

1977年11月第一次印刷

书号: 15176·134

定价: 0.45元

目 录

1. 谷物干燥原理和干燥设备·····	(1)
2. 谷物干燥储存设备·····	(5)
3. 散装谷物干燥装置·····	(7)
4. 谷物烘干机—连续流动式及间歇式·····	(16)
5. 美国农场上的谷物干燥简介·····	(23)
6. 欧洲谷物通风与干燥作业的调查报告·····	(25)
7. 低温慢速通风干燥可节省能量消耗·····	(27)
8. 利用通风促进稻谷干燥·····	(31)
9. 玉米籽粒的低温干燥·····	(34)
10. 玉米的烘干费用·····	(37)
11. 玉米的加速干燥·····	(39)
12. 通过回收热量来改进谷物干燥机的燃料效率·····	(47)
13. 谷物烘干装置的热量回收·····	(54)
14. 可以利用太阳能干燥谷物·····	(58)
15. 装有太阳能接收器的谷物干燥仓·····	(61)
16. 美国南达科他州用太阳—电力干燥玉米·····	(63)
17. 在干燥机的设计上节省能源消耗的可能性·····	(67)
18. 进行谷物干燥时的空气流量·····	(73)
19. 烘干和供暖用空气加热器·····	(77)
20. 用红外线辐射加速种子干燥·····	(80)

谷物干燥原理和干燥设备

谷物含水量的排除是通过谷粒中的水份蒸发来实现的。干燥过程包括谷粒表面水份的蒸发和谷粒内部的水份向外表面的扩散。要进行干燥就必须为水份的蒸发和扩散提供热能。其热能可以借助空气介质的对流、固体的传导和辐射等方法传给谷物。谷物受热后,其内部温度和表面温度之间形成温度梯度。此时,谷粒先从外表面开始干燥,并随着水份由内向外移动而逐渐向内发展。谷粒内部所形成的温度和湿度的梯度的范围和大小随着热量供给的方式和比率而变化。谷粒出现应力裂纹和破裂的现象与梯度的大小成正比。在冷却和水份吸收的相反过程中也会产生梯度。

上述两种梯度的产生都是不希望出现的。先在内部,后在外部,这种多次交替地出现梯度的现象最为有害。在采用自然阳光晒谷和干燥作业期间常常产生交替干燥梯度。白天和夜间的温度,湿度和光照强度是变化的。在晒场上,直接对着阳光薄层摊晒的谷物可能干燥的很快,只是在遇到阵雨,夜间的潮气和露水后,才会变湿。

解决加热强制通风式干燥系统中谷粒产生应力裂纹和破裂的问题有两种办法:一种办法是采用低温慢速干燥,其气流温度仅加热到高外界空气温度 $10-15^{\circ}\text{F}$ 。根据谷物含水量的要求,气流温度不应高于保持湿度平衡所需的温度,气流相对湿度也不应低于为保持湿度平衡所规定的相对湿度,否则会造成谷物过分干燥。另一种办法是采用高温短时间烘干干燥,即将谷物在很短的时间内暴露于加热温度为 $50-60^{\circ}\text{C}$ ($120^{\circ}-140^{\circ}\text{F}$)的气流中进行干燥。在每次与热气流接触时,为使谷物含水量的降低不大于 $2-3\%$ 个点*,其谷物暴露于热气流的时间长短应该是可调节的。谷物经过这样快速而又短暂的烘干后,要让谷物的温度取得平衡(即减少温度梯度和解除谷粒内的应力)。烘干后的这种平衡阶段,或叫做调节阶段可反复的循环。这种多次通过的干燥形式通常称为“温度调节”或“温度调节干燥”加工。图1为干燥期间总的干燥时间和用于干燥的气流的温度之间的关系。图1说明干燥气流温度增高时,能碾成 $3/4$ 以上整粒米的稻谷产量下降,特别是在一次干燥作业的情况下下降的很多,对任何的干燥气流温度,靠增加干燥的通过次数均可提高能出整粒米的稻谷产量。干燥气流温度超过 100°F 时,这

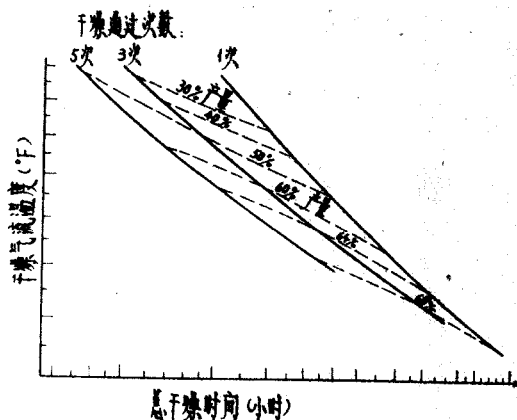


图1 干燥的通过次数和气流温度对干燥时间和能碾出整米粒的稻谷产量的影响。虚线连接点为能碾出整米粒的稻谷产量的相同点。(稻谷是采用谷层厚为2吋的盘式干燥器进行干燥的)。

种能碾出整米粒的稻谷产量增加的更为显著。

低温慢速干燥总的特点是每单位容积的谷物通过的空气流量很低,每蒲式尔谷物通过的空气流量为 $1-5$ 呎³/分。(一蒲式尔等于 1.25 立方呎,这样每立方米谷物通过的空气流量约等于 $1-5$ 米³/分)。在被干燥的谷物堆中,谷物是在一个有限的干燥区内进行干燥的(有时也称为干燥前线),随着干燥作业的进行,干燥区向气流流动方向移动(见图2)。这种慢速干燥适用于谷仓和小型间歇式干燥器。

温度调节干燥加工的速度较快,其特点是每单位容积谷物通入的空气流量大(每蒲式尔谷物通入的空气流量在 25 呎³/分以上,大约等于每立方米谷物通入 25 米³/分的空气流量)。

机械式干燥系统

在不能利用太阳晾晒的地区以及利用太阳和自然空气进行干燥也不便的多雨季节,防止谷物损坏的方法是采用加热空气控制的机械式干燥。现将一些机械

*1个点等于1%的含水量

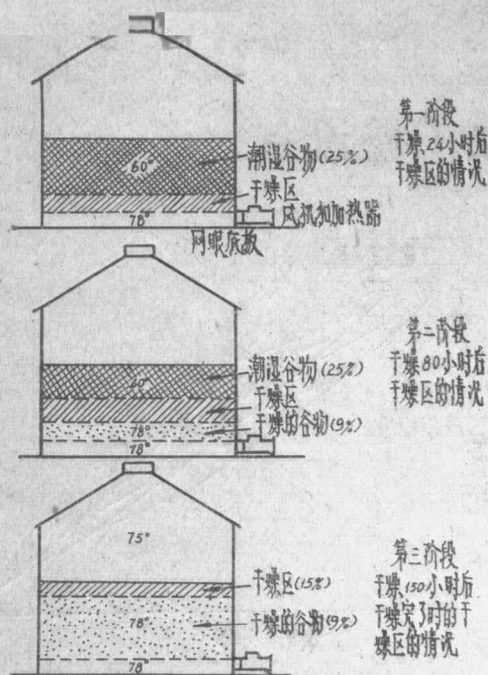


图2 在干燥一层湿玉米籽粒过程中，干燥区的形成和移动。在干燥期间的三个阶段中，给出了每个阶段干燥区的位置。

式干燥系统简介如下：

谷袋式干燥器 这种谷袋式干燥器的干燥方法是将装有谷物的麻袋(谷袋)放在有洞的底板上，该底板盖在压力通风室上面。空气流向上强制通过谷物。一个洞上放一个谷袋。底板的大小可根据谷袋的多少进行设计。这种干燥系统具有可单独和分别进行干燥每个农场主和不同田里的谷物的优点。

在多雨季节和湿度很高的期间可以将强制通过谷袋的空气流进行加热。但是，在通过个别谷袋的气流阻力过低和流经距离很短时，这种干燥系统则不能有效地利用加热后的气流。为了使这种干燥系统实用，必须使用廉价燃料，例如稻壳，木炭等。

根据大多数发展中国家的目前情况，由于燃烧器的控制问题，维护保养问题，零件供应和安全问题，还对输送加热气流的设备不熟悉的问题，采用这种干燥系统是不适宜的。

平床式干燥器 这种干燥系统基本上是一间歇式(分批式)干燥器。谷物也是堆放在压力通风室的上面，但谷物是散装的而不是袋装的。堆放谷物的穿孔底板应该考虑要能很好地控制气流和热能的利用。空气流量每蒲式尔谷物在15呎³/分以下。在空气流量这样低

的情况下，按照谷物最终要求的含水量，气流的温度和相对湿度必须限制在湿度平衡的范围。平台底板必须由能够支撑住谷粒，又能使气流自由通过的有网眼的材料制造。平台面积可制造得大一些，使其足以容纳一定数量的谷物，每批谷物的容量范围在1~20吨之间。

在温暖而又潮湿的气候条件下，为了使这种平床式干燥器能够有效地将谷物含水量干燥到18%以下，必须采用加热的气流。加热空气的热能可以利用发动机风扇排出的热量。这种由小型发动机构成的间歇式干燥器对于个体农民是一种实用的干燥系统。在平台上加上隔板可以分别干燥不同农民的谷物，但谷物层的厚度必须均匀一致。每小时使谷物含水量降低0.5%是可能的。

小型立式干燥器 这是一种谷物固定的间歇式干燥器，其作用原理与平床式干燥一样。区别仅是结构和外形不同。这种立式干燥器比平床式干燥器占地面积小，干燥气流是通过一个垂直地立在中央的空气室强制压入谷物的。为了防止干燥不均匀，空气室周围的谷物层厚度必须一致。

日本有许多制造厂正在制造1~5吨容量的这种型式的干燥器。用容量2.4吨的干燥器来干燥稻谷，每小时大约可降低1%的含水量，气流加热的温度不应超过大气温度10~15°F，否则会出现干燥过分的现象。

谷物循环式干燥器 这种型式的干燥器也是一种小型干燥器，其外形结构与立式谷物不循环型的干燥器相似。所不同的是谷物在里面不停地从下向上移动，其循环速度是2~3小时完成一个周期。每一个周期谷物在容器底部的受热时间只有几分钟。当谷物从干燥器顶部向下慢慢地移动到底部有加热气流处时，在该周期内同时进行谷物的冷却和温度调节。这种干燥器没有延伸到谷仓顶部的中央空气室。由于谷物受热时间很短，所以加热气流温度可达60°C(140°F)，接近等于外界气温的二倍。靠这种多次通过的干燥处理过程减少谷物的裂纹和破裂。当干燥器总的干燥速度为每小时大约能降低0.5%的水分时，用以干燥稻谷，每通过一次其含水量可降低1~2%个点。由于这种干燥器也是做为一个温度调节仓同时使用，所以总的生产率是比较低的。

连续式谷物干燥器 在这种干燥器中，当谷物沿一系列的阶梯挡板向下移动时，通过加热气流竖筒将谷物加热10~12分钟，图3为这种干燥系统的作用原理示意图。加热后的谷物移动到“温度调节”箱(或仓)要几个小时。为了使谷物干燥到所要求含水量，谷物要经过充分的加热和温度调节循环。这种干燥器的干

燥过程与谷物循环式干燥器基本上没有区别。只是这种干燥器的谷物温度调节是在单独的谷仓中进行的，所以它的生产率比谷物循环式干燥器高。

大多数用加热气流干燥谷物的商业部门都是采用这种连续式干燥器。稻谷或其他谷物从顶部喂入，靠

重力往下流动，流动速度可用控制机构进行调节，在谷物往下流动时，风机强制气流通过谷物，大多数干燥装置是靠油或气体的燃烧预热空气，然后将预热的空气直接送入干燥用的气流中。

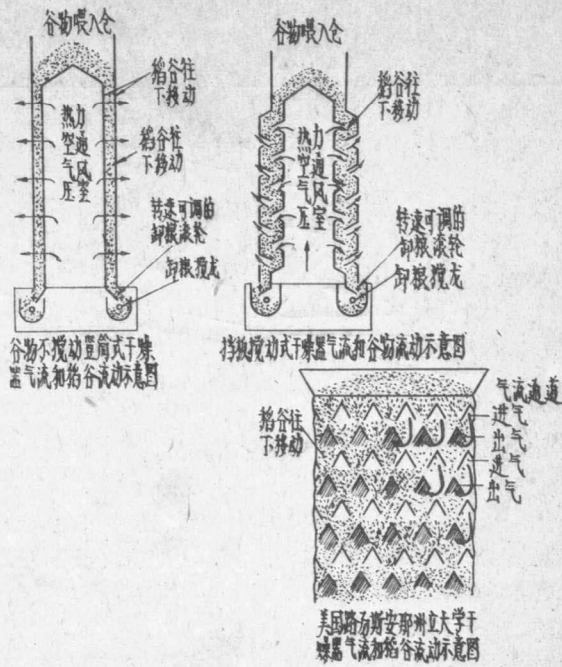


图3 连续式干燥器谷物移动的类型

分层干燥的深床式干燥器 这种干燥系统由底部设有压力通风室的谷物贮仓组成，如图4所示。谷物通常是按每天的进度表加入谷仓，并从底部向上逐渐分层干燥，在谷仓加满谷物时，已经干燥了的谷物可以放在仓内贮藏。这种型式的干燥器-贮藏系统的大小

一般在10~100吨之间。
这种谷仓要装有带孔的底板，其底板可使气流通过，但又不漏谷粒。为了将谷物的含水量降低到14%以便贮存，在大多数的热带地区国家中，将干燥气流稍微加热是必要的。但这种加热气流的温度，根据所要求的谷物含水量，决不应该超过湿度平衡的范围。可以利用驱动风机的发动机的废热作为补充热能。干燥程序是：首先在带孔的底板上放一层散装谷物。在24小时内将第一层谷物干燥以后，再加入第二层谷物。这样连续地加入谷物，直到充满谷仓为止。这种干燥器-贮藏方法，稻谷在干燥仓内是要互相混杂的，所以，只能用于允许稻谷混杂的地方。



图4 干燥谷仓的剖视图

用于干燥稻谷的一种平床-间歇式干燥器

这种平床式干燥装置每批可干燥处理2~20吨稻谷。利用驱动风机的发动机的热能，两天内可将稻谷

表1 一平床式干燥器的设计参数

发动机额定功率(马力)	各箱底板面积(呎 ²)	稻谷容量(1000公斤)	气流流量(呎 ³ /分)	空气室最小进风面积(呎 ²)
3	40	2.2	1,500	1.5
6	80	4.4	3,000	3.0
12	160	8.8	6,000	6.0
24	320	17.6	12,000	12.0

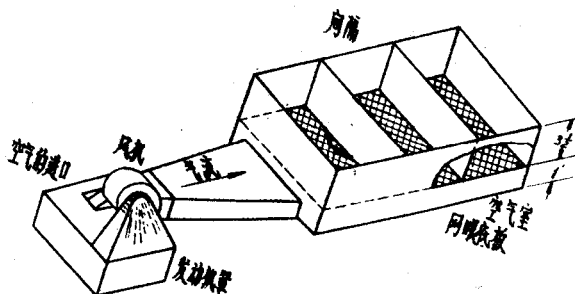


图5 用发动机废气加热气流，并用该发动机驱动风机的平床式稻谷干燥器

干燥到含水量下降10~20%个点。

这种平床式干燥器可利用汽油机或柴油机驱动风机。干燥用的热能可取自发动机的废热。这样取得的热能足能将干燥气流的温度升高10~15°F(5~10℃)。由于在这种平床式干燥器中的谷层很深(大约1米)，气流流速又很低，为了使干燥气流加热得更快一些，每蒲式尔谷物的空气流量可选用25呎³/分，但加热后的气流温度不应超过谷物干燥要求含水量与气流湿度平衡时所要求的温度，气流相对湿度60%时不应超过110°F(44℃)；相对湿度为55%时不应超过100°F(38℃)；相对湿度为50%时不应超过90°F(32℃)。

图5是一平床式干燥器的示意图，主要部件有：谷箱、空气室、带网眼的底板、风机、发动机以及发动机外罩(该外罩将发动机包住以便利用发动机的废热使风机抽送的空气加热)。

在设计这种平床式干燥器时必须保持各方面的平衡。表1给出了谷层深度为42吋、空气室高度为12吋、风机风压为3吋(水柱)时干燥器的生产率、功率和主要尺寸等设计参数。

西北农学院外语组摘译自《发展中国家的农业机械化》一书，1973年版，p. 147—156。解承基校。

谷物干燥储存设备

现代的农场主在自己的农场采用谷物干燥系统去控制天气与市场变化对农业的影响。在出现现代先进的谷物干燥技术以前,农民靠天气把田间的谷物晒到能够收割和安全储存或者达到不扣水份时出售的程度。田间自然干燥需冒着天气变坏和田间损失严重的危险。现在采用一个谷物干燥和储存系统,就能使农民摆脱天气的束缚,适时收获,得到更多的、高质量的谷物,同时能在行情最好时出卖他的谷物。

在任何一个地区,谷物的生产和储存情况差别都很大,因而,在某些场合下,由农场自己单独进行谷物干燥和储存并不是很有利的。但在另一些情况下,额外的投资可以很好地得到补偿。因此,在购置任何农用谷物干燥和储存设备之前,都应当对设备的运用及其未来的效果做全面的分析。

为什么谷物需要干燥储存

在安全储存谷物过程中,遇到的一个最大的问题是谷物中含有大量的水份。只要谷物成熟了就可以用联合收割机很好地进行收获,但这样收获的谷物含水量太大不适于安全储存(表1)。由于天气的关系,延期收割,使谷物完全在田间晒干是靠不住的,这种做法也会造成田间损失。

在农场干燥和储存谷物有下列优点:

1. 可较早收割,以减少天气的威胁或谷物的损失。
2. 由于减少了落粒和破碎损失,从而可以获得较高的产量。
3. 可以在谷物质量最好,产量最高时适时收获。
4. 可选择合宜的收割速度加快收割,而不必等候卸粮卡车从商业性的粮库返回来运输谷物。
5. 谷物在良好的谷仓中贮存,可保持谷物的品质,从而减少了储存损失。

精心规划设计

在任何工程开始之前,都要仔细地规划设计。设计或布置中的错误可以在图纸上很容易地改正过来,但是如在局部或全部建筑完成后再改动则会造 成浪

表1 收获时谷物的含水量和适合于在农场型谷仓中储存一年的谷物含水量

谷物名称	收获时的含水量(%)	安全储存含水量(%)
玉米籽粒	14~30	13 以下
高粱	10~25	12 以下
燕麦	10~18	13 以下
稻谷	16~26	12.5以下
大豆	9~20	11 以下
小麦	9~17	12 以下

费。设计规划不合理和采用效率低的设备会导致增加劳动力,从而增加开支,并为今后使用带来不便。

要使谷仓的布置能满足实际需要,必须提供足够的工作场所,保证能高效地搬运谷物。同时,应当有充足的房间能安装自动搬运设备。

谷物储存建筑应设在不受洪水影响,排水良好和靠近电源的地方。如有可能,最好附近有天然气来源。同时,还应当与现有的设施结合起来考虑。

储存要求

安全储存谷物的必要条件是必须懂得谷物的保藏与干燥的密切关系。两个主要因素是储存谷物的含水量和温度,其中含水量更重要。其它次要的因素是谷物的机械损伤和破碎谷物及夹杂物的含量。

谷物含水量是决定谷物发霉的重要条件。假如有足够的湿度适宜霉菌生长,那么,谷物的温度就是决定发霉不发霉的因素和发霉的快慢。总之,湿度和温度越高,霉菌生长的就越快,谷物损坏得越快。然而,即使在适当的温度下,如果谷物含水量很低,霉菌也将停止生长。通过研究和试验已确定出安全贮存各种谷物含水量的极限值,如表1所示。

储存谷物的温度低,谷物损坏的机会就少。过于潮湿的谷物可用低温的方法遏制霉菌和昆虫的发展。在大型粮库常常采用翻转和移动谷物的办法使谷物冷却。当然,采用通风的办法冷却会更有效。即然,通风可用于冷却谷物,并使潮湿的谷物能保存一个短时期。因此,有效利用通风设备,就可使谷物的含水量

比表1中列出的数字略高的情况下储存六个月。

怎样干燥谷物

在所有实际的谷物干燥系统中，大都用空气作为介质，将从谷物中蒸发出的水份移走。要使谷物中水份蒸发就需要热能。该热能通常靠强迫通过谷物的空气提供——即可利用空气本身包含的热能，也可给以补充热能。

空气穿透粒状谷物层的运动能够吸收和带走水份的多少取决于它的温度、相对湿度、速度、通过的距离和空气通过处的谷物状态。空气在通过柱状的谷物层的进程中吸收水份，从而失去其一部分或全部干燥能力。

当干燥的空气在压力下通过一个深的湿谷物层时，(如图1所示)首先在空气进入的底部开始干燥。如果进入的空气连续不断，就有更多的谷物开始被干

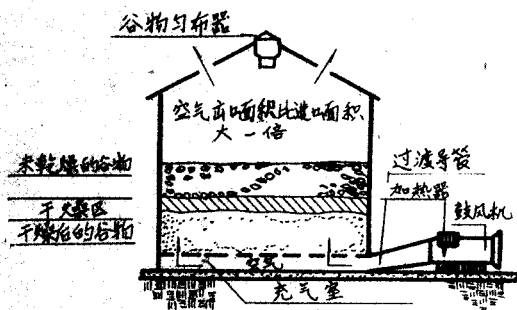


图1 谷物干燥原理

燥，这样便形成一个干燥层，或干燥区域。所以把这个干燥层叫做“干燥区”。这个干燥区的深度(或厚度)是变化的，变化范围大约在30~45厘米之间。干燥区继续向湿的谷物移动，直到表面为止，此时全部谷物干燥完毕。

干燥区在谷物中的移动速度取决于谷物含水量、通过谷物移动的干燥空气的数量和状态。强迫通过谷物的空气速度越高，全仓谷物干燥的越快。

表2给出了谷物的含水量与不同湿度空气的平衡值(温度大约在25℃时)，例如，把温度为25℃和相对湿度为75%的大气强迫通过一个开始含水量为16%的大豆中，这个大豆的含水量将不能干燥到低于13.2%以下。但是靠增加足够的补充热量使空气的相对湿度降低到60%，则大豆的含水量能被干燥到9.7%。当相对湿度接近平衡点时，干燥可能进行的很慢，以致不能进行干燥。

表2 谷物含水量与不同湿度空气的平衡值
(在25℃左右时) 含水量(湿基)%

相对湿度 (%)	15	30	45	60	75	90	100
玉米粒	6.6	8.4	10.4	12.9	14.7	18.9	24.6
燕麦	5.7	8.0	9.6	11.8	13.8	18.5	24.1
稻谷	5.6	7.9	9.8	11.8	14.0	17.6	
高粱粒	6.4	8.6	10.5	12.0	15.2	18.8	21.9
大豆		6.2	7.4	9.7	13.2		
小麦	6.3	8.6	10.6	11.9	14.6	19.7	25.6

收缩损失

当谷物干燥以后，其重量和体积都要收缩，收缩的百分率或重量的损失可用图2来确定。所有谷物只要它们干燥前后的含水量相同，那么干燥以后的重量损失百分率是相同的。

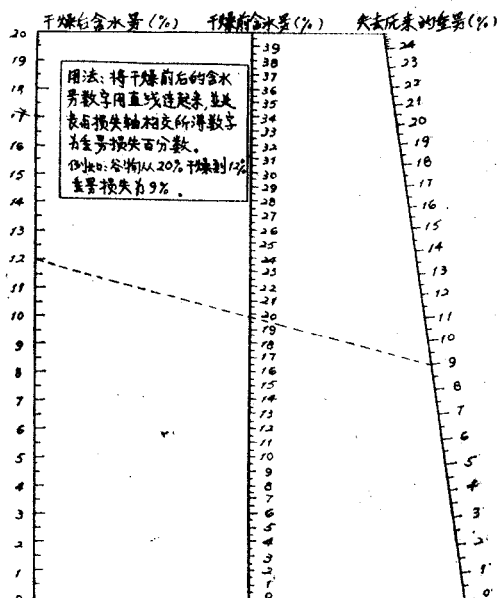


图2 谷物或种子干燥时重量损失估算图

旅大农学院农机系 马建学 译自美国
《World Farming》, 1975, Vol. 17, No. 7,
20~23, 29. 张松明校。

散装谷物干燥装置

本文研究的干燥设备,在干燥时或刚干燥后谷物一般是不动的。地板通风仓、经向通风仓、地板上干燥以及管道仓是散装干燥常用的散装干燥和分批(或称间歇)式干燥之间没有明显的分界线;很多装置可兼用,但一批谷物堆放愈厚,要避免使用空气造成上下层含水量差别愈大的问题,显得更为重要。

一般原理

散装干燥,基本上是一缓慢过程,虽然某些散装干燥系统能允许比别的有较快的干燥速度。所有方法都决定于:谷粒或其它籽粒的含水量与其周围空气中存在的水蒸汽之间有一定的关系。给以足够的时间,谷粒中的水份与围绕它周围的空气中的水份将达到平衡状态。谷物含水量与其周围空气的相对湿度*之间的关系示于图1。虽然这一特殊曲线作为实用时参考是相当准确的,但不同谷物、甚至同一谷物的不同品

种仍可能与此曲线略异。可以看出,只要用低于图上所示平衡状态的相对湿度的空气通风,水份将从谷粒内逸出。例如不论谷物原来的含水量是多少,用相对湿度为70%的空气通风时,都能得到最终含水量为15%的结果。

空气温度对空气的干燥能力有重要影响。如气温为21℃、相对湿度为60%使含水量为20%的谷物干燥的能力要比气温为10℃和同样相对湿度的干燥能力高出40%。因此一个温暖但比较潮湿的天气比同样相对湿度的冷天气有较高的干燥潜在能力。人工加热有降低空气相对速度的作用,因而提高了其干燥能力。

这些基本原理的实际意义将在“操作”一节加以讨论。

几种主要系统

地板通风仓

这种系统包括一个或多个谷物贮存仓,各围以坚实墙壁,下为平坦的或接近平坦的透风地板,地板下有空气室。吹入的干燥用的空气穿过地板及谷粒。正在干燥区(见图2)逐渐地缓缓上升。有将谷物运出的全套机械设备。

地板上干燥系统

这种系统很像一个很大的通风仓库,可以分成很多小间或不分。主要不同点是:大于6—8呎厚的谷粒一般不能烘干;通风设备通常可以移走,留下洁净的地面,房屋可作他用。

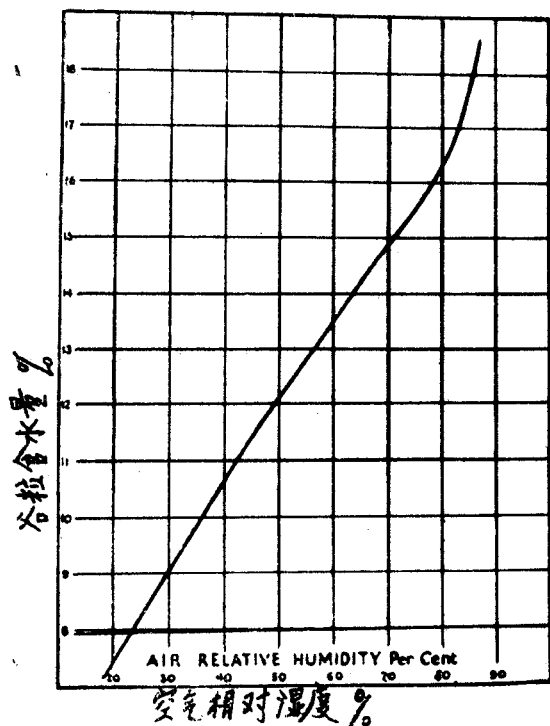


图1 谷粒含水量与空气相对湿度间的关系图

* 相对湿度r.h.是空气中水份的一种量度,以空气中实际水份与同一温度下饱和时能保有的水份之比,用百分数表示。

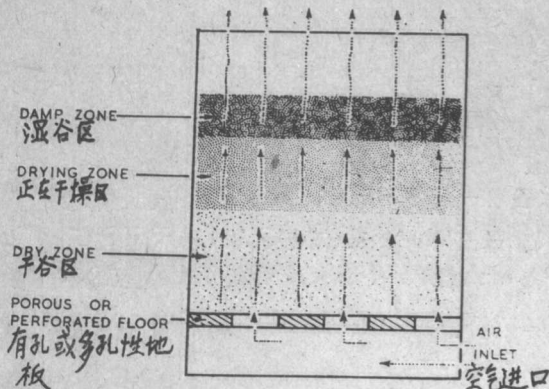


图2 连塔式粮仓中从地板通风时的干燥区域

径向通风仓

这是一种具有透气墙的圆柱塔仓。其中心有一透气的圆柱形管道,通风空气引入该圆柱管后通过谷物,径向快速穿过仓壁而散去,但塔顶部密封。通风路线如图4所示。靠近中心圆管处先行干燥然后向外伸展。

管道通风仓

这是通常为方形或长方形仓,从底部往上按间距设置互相交叉偏置的进气与排气管层。其作用是构成一系列浅薄的干燥区域,使其对空气流过的阻力小。这种通风仓和径向通风仓均可依靠重力做成自卸式。

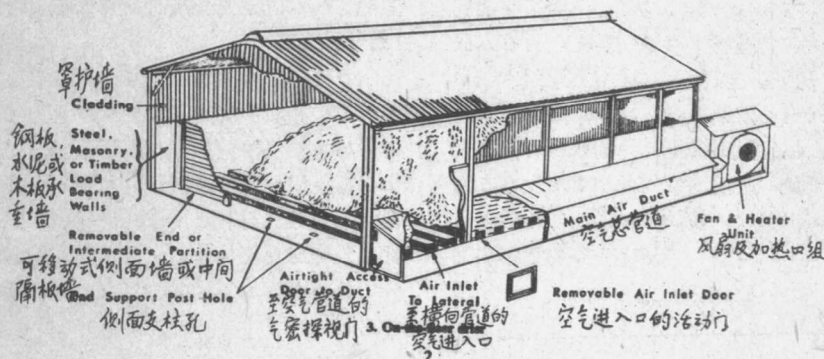


图3 地板上干燥系统

装备的大小

对上述任一散装干燥及贮存系统来说,装备的大小实际上没有什么限制,然而投资费用及运输系统的复杂性可能使某些系统小于或大于某种大小时而不合适。在决定采用何种干燥及贮存系统以前,重要的是要确定贮存谷物总量,长期或短期存放,从田间进仓的速率,以及准备处理的籽粒或谷物的数量及品种。

也应考虑利用现有房屋的可能性。对于多数通风的塔仓以及全部地板面积能够通风的地板上干燥系统来说,不管装备的大小如何,进仓的速率不受限制;然而为了管理上的方便起见,容量超过500吨时,通常将装备分成两个或更多独立的通风单元,以便在收获期及干燥期间对有不同要求的贮存部份采取不同的通风办法。使用径向通风或管道仓来干燥和贮存的地方,联合使用较小的干燥贮存仓和大容量的无通风设施的粮仓常是最经济的。例如若需干燥和贮存200吨,可以

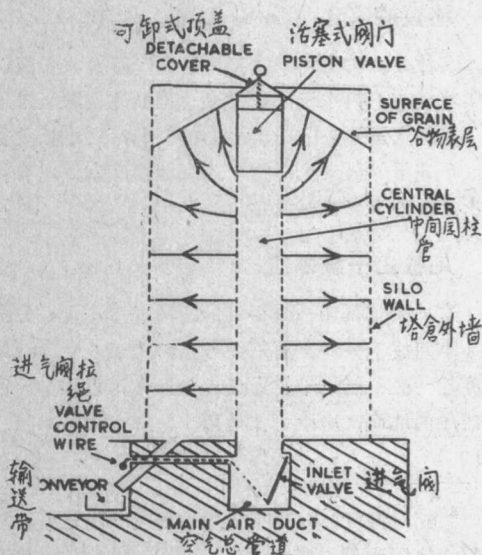


图4 径向通风塔仓

用三或四个12吨的干燥仓而其余则存放在可为长方形的无通风的仓内。在恰当的设计和管理下,每种系统均能得到类似结果,而径向通风仓或管道仓可干燥得更快些,当用作分批干燥时,就必须采用这种干燥仓。

干燥速度

试验表明,在通风仓中要除去谷粒中一磅水时,

平均需要12000呎³的空气,其相对湿度为60%。若谷粒堆放10呎深,24小时内使谷粒含水量平均降低0.5%,每平方米地板面积上应有空气流通量为20呎³/分稍多一些。虽然现在为仓库通风有多种而有效的风扇可以采用,并在实际上对单个仓库通风时采用高于上述空气流量的风扇,但快速干燥并无多大好处。三种散装干燥系统的合适风速列于表1(容量均为240吨);

表 1

	干 燥 方 法								
	垂 直 气 流			地 板 上 干 燥			径 向 气 流		
贮存库尺寸	8个长方柱形库,全有通风,每个为12呎×12呎×15呎高			地板面积全部通风 30呎×60呎×6呎8吋高			4个干燥库, 9呎10吋直径×18呎高 及3个无通风库 12呎2吋直径×18呎6吋高		
谷层深度或厚度	10呎			6呎8吋					
干燥用面积占全部面积之比	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	2库	3库	4库
空气流量(呎 ³ /分/呎 ²)	25	19	15	20	15	12	—	—	—
*在所述谷层厚度下谷粒对气流通过的阻力(水柱高,时)	7	4.5	3.5	3.2	2.4	1.1	—	—	—
呎 ³ /分/吨	125	95	75	150	115	90	290	220	180
干燥谷物量,(吨)(大麦)	60	120	180	60	120	180	52	78	104
每天含水量降低数(%)	0.6	0.45	0.35	0.65	0.5	0.4	1.3	1.0	0.8
含水量从21%降到15%所需天数	10	13	17	10	12	15	4 $\frac{1}{2}$	6	7 $\frac{1}{2}$
需用风扇马力约数	13			15			15		

* 单指谷物(大麦)阻力,管道、地板等的阻力还应加1时至2时,因设计而异。

地板通风仓

在一个时间内只有一、两个库送风而不是所有库都通风时,可能需用较高的空气流量。这时该库可看成是分批干燥式。

地板通风仓内谷物含水量为21—22%时的堆放深度限制为10呎,其主要原因是在这种深度时,无论如何总可在10至14天内干燥。若超过这一深度时,10至14天后表层仍未干燥,则该部份谷粒有发霉和降低发芽率的危险。这时可将湿谷分装几个库而各库不要装满以防止这种危险,但这也显然会发生问题,因为在收获季节接近终了时大多数库均已装满了。在必要时也可将干谷放在10呎之上,或者甚至在风扇合适时在10呎干谷之上放湿谷进行干燥。

地板上干燥系统

就干燥过程而言,地板上干燥系统与通风仓间的唯一差别是前者的谷物堆放深度常限于6—8呎。建议用这个深度的部分原因是可以降低建筑费用,同时也可加快谷物的干燥。

径向通风仓

谷物堆放深度与实际通风流量间的关系已经强调说过了,对此型式也同样适用。一个16呎直径的径向通风仓,如中心圆柱管道直径为2呎,则空气从进入到离开谷层的深度为7呎,这样的通风条件与地板上干燥系统7呎谷深是相同的,其结果是可比的。显然,如用较小直径的径向通风仓,对空气流过的阻力减少

了(见表1),风速增高,因而能经济地快速干燥。使用较小直径的径向通风仓,可以使用稍高的温度,亦即使相对湿度达50%,该仓可用作分批式干燥。这就难免导致内层谷粒过份干燥,必须将谷物移走并在送往最后贮存处的途中将谷物掺和。

管道通风仓

通常设计成分批式干燥,温度升高达14℃。不同含水量的谷物所用干燥时间,部分地由经验来定。移走时完全拌和是很重要的。

散装干燥装备的结构特点

地板通风仓

大多数情况下,予制金属结构最适用于通风式粮仓,用水泥及木结构也可以。予制仓一般易于建造,并能符合预定结构强度的要求。仓库可做成几个长方形柱联合成蜂窝型式,其中有些墙是公用的并用以支撑其房顶;或者采用圆柱形建筑,各个分开,各自有其圆锥形房顶。究竟选用何种,决定于投资费外,也部份决定于选择何种通风设备,更多地决定于在干燥时及干燥后的一般管理要求。蜂窝式建筑宜用固定式通风及运输装置,而独立仓则宜用可移动式设备。

虽然在干燥仓内湿谷深度不宜大于10呎,但仓高15呎是值得的,因为建筑物再增加容积,其建筑费用相对来说增加得少,而在10呎深的谷物干燥后可在上面增加谷物作缓慢干燥。类似结构的大仓常比小仓便宜得多,但如有多种籽粒必须分开时,很大的仓难于充分利用。准备备用仓以加快周转的办法不如用无通风仓的办法好,但可用来转换含水量高而经初步干燥后的谷物。

通风仓的地板

通风仓的地板是装备中最重要的组件之一。主要的要求是对空气流过阻力小,易于清扫和具有适当的强度。合适的材料有多孔金属薄板,膨胀合金,细孔陶瓷砖,槽孔水泥砖及楔形钢丝(steel wedge wire)。多孔金属薄板易于固定在木桁架上,易于打扫清洁和拆卸(在需要时)。对空气流过的阻力很小,可不计。薄板厚16—18号为合适,每平方吋上有 $44 \times \frac{5}{64}$ 吋的小孔,相当于有20—25%的通风面积。在需要时此材料可切成小片使用。有些新式予制仓的地板做成框架式格子板,按位置放入即可,这种地板效

率极高。膨胀合金做成的百叶窗式透气地板的很大优点是它可以利用通风风扇的作用而完全自卸。

细孔陶瓷砖(1呎²)对气流阻力比金属地板高得多,但仍在可用范围内。

现有多孔性地板中,槽孔小泥砖最为便宜,但槽孔尺寸常不均匀,易于破损。

地板上干燥系统

地板上干燥实质上是一种简单的贮存干燥系统,最适用于粮食作物种类少、不致混杂的农场。

不同的少量谷物可用自由放置和自行支撑的“L”型隔板分隔,或用插在水泥地面孔内、可移动立柱上固定的木板或钢板为隔板。但若隔板太多,装卸问题大;仓库装上运输带系统方便得多,费用也贵不了多少。只是在简单房屋和简单的收粮运输设施相结合时,地板上干燥系统的投资费才可能是较低的。从谷物出售时在混杂和变质方面的最低质量标准来看,这种干燥系统最好配有清粮设备及将不同谷物分开的装置。有了这些装置后,地板上干燥系统比其他型式的投资费少的优点也就减小了。

空气的分配

如果贮存谷物的建筑物有时要作其他用途,房屋设计及总气道、辅助气道、地板设计时必须注意到空气的分配问题。

一个重要的要求是采取有效办法使空气以表1所列速度送入谷物中。并须作出安排使空气能集中到地面的每个小块上。

在空气离开总气道后有三种主要分配法:

1. 通过透气的平坦地板;
2. 通过地下横向气道,其顶部是透气的;
3. 通过地面上可搬动的横向气道。

第一种比第三种好得多,可是找不出实例。主要困难是使地面有适当强度以支承沉重的车辆而采取措施后,造成过高的空气流通阻力和高的费用。一种办法是在总气道出口的垂直方向上等间隔地砌砖成行,上面再全面铺上砖地面。有时在这两层砖之间放一层粗的黑森布(一种粗麻布)。下层砖行间隔起着横向气道的作用,空气通过上层砖缝跑出。少数农场用这种地面,结果良好,但气流阻力显著地高于多数地面上横向气道的型式,且由于尘土脏物很快堵塞地面,难于彻底清除,不能保证没有害虫进入。砖块还必须强韧均匀和完好,能经得起载重车开入。

木条间镶装透气的镀锌铁丝网,作成木条地板,下边用与木条垂直的木桁架支承,使用中也很成功。透

气材料也可用膨胀合金,可以钉在间隔安放的木板上。

地面上横向气道比较贵,移走气道后可腾出一干净地面。若谷物进仓时放置气道,清仓后取走气道,则载重车进入仓库房屋并无困难。主要缺点是不便使用斗式前置装载机。有几种气道型式。将“U”或“V”形木槽倒放在截面为2“×2”的支承上,即离地2吋,并用黑森布包住木槽与地面间的漏出部份以防谷粒进入气道时,工作是令人满意的。用金属材料如1“×3”×5号及10号钢丝焊接成加强的“U”形气道,上盖黑森布,能得到良好的干燥结果(图5a)。当气道上谷粒厚度开始超过气道间距时,气道间的地面将有一些空气流动。恰当级别的膨胀合金制成的倒“V”形气道(图5b)及有斜侧面的倒“V”形金属气道结合起来能得出所需特性的气流和强度、轻的重量。气道与地板结合处应配合良好,以免谷粒被吸进气道。

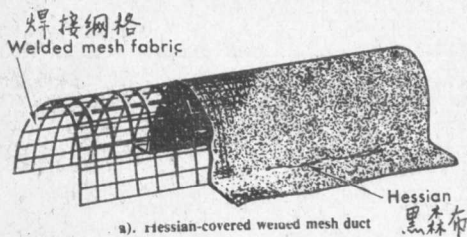


图5a 黑森布覆盖的焊接网格气道

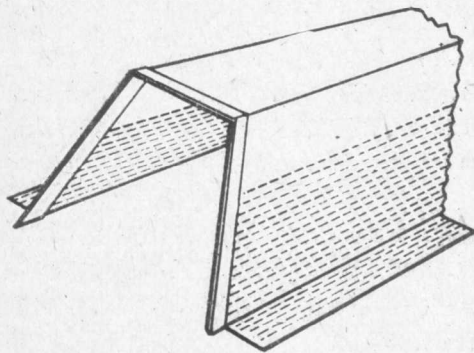


图5b 膨胀合金的横向气道

横向气道超过40呎长仍工作良好,但应记住其最小截面积决定于气道长度及气道间中心距。横向气道内的空气速度一般应低于2000呎/分,只有在仓库面积仅部分通风时可以高出此数。当仓库面积的一半以100呎³/分/吨流量通风时,可用2000呎/分作为合理选用数。此时,横气道中心间距为3呎,谷物层深6

呎,对约11吨谷物通风的单个横道应长30呎。

通风量为100呎³/分/吨,故气道总通风量为1100呎³/分。横向气道截面积用 $\frac{1100}{2000} = 0.55$ 呎²为合适。当通风面积小于地板面积的一半时,气道进气处风速将大大超过2000呎/分,但空气将沿气道逸出,风速迅速下降至低于此数。

实践证明,气道中心间距3呎适用于所有情况,但今广泛应用4呎间距。必须记住,尤其在低的横向气道中,通风地面愈不平整时,空气分配愈差。

用中心气道的地板干燥

地板上干燥要求整个地板上谷物深度一致,这就意味着房屋内可用空间不能全部利用。为了减少这种贮存空间的浪费以及消除清仓时的地面障碍,少数农场已成功地利用房屋中心气道直接分配通风空气的干燥系统。谷物送进房屋后,沿中心气道处堆高,斜度等于谷粒自然休止角,靠墙壁处谷深6呎。房屋四壁应有空气可以跑出来的孔道以保证空气横穿过谷堆的全部宽度。最佳谷物的高宽比,还有待于更多的实践经验,而且也在一定程度上决定于中心气道的设计。

径向通风仓

这是有透气墙的圆柱形仓,墙可用膨胀合金、多孔金属、带多孔金属窄条或包有黑森布的钢丝网窄条的木框做成。空气通过中心圆柱管进入谷堆,径向通过,部分空气从下向上跑出。中心圆柱管应有足够的通气面积。装有许多径向通风仓时,至少应有一个仓的中心圆柱管内装上阀门,用以变动圆柱的有效长度以适应仓内谷堆的深度。

总气道的结构及控制空气的方法

各种贮存干燥装置的总气道和控制空气的方法,在要求上有很多相似之处,只有在通风设备是在仓与仓间移动并几乎是直接进气时才不一样。大量空气移动相当长的距离。在建造费用合理的前提下,气道应有足够大的截面积,光滑内壁,避免不合适的气流阻力。通常应做成大小足够一个人在内移动不太困难。其强度要能支持空气的内压力及谷物的推挤和重量。还必须是气密及不漏水。总气道可设在地上或地下,房内或房外。在宽敞的地板上干燥仓内,中间放置的气道将仓库纵向分开,能形成两半边的方便的隔壁。

管道形状较不重要,而其断面面积应有足够的大小,以保证各仓均在通风、风扇发出最大风量时沿气道的最大风速为2000呎/分。事实上,最大风量只是通过气道的最初几呎处,但此处建议用的最大风速已考虑了这一事实。

总气道可用水泥、木料、钢材或其他方便的材料制造。建造费是装备的主要项目,价廉而有效的方法尚在寻求中。某些情况下,可移动的分节安装的总气道具有很大的优点。

安全注意事项

由于总气道直接或间接与所存谷物相通,谷粒的呼吸及霉烂有可能在气道内造成缺氧的危险。因此任何人进入气道前必须事先吹送新鲜空气。

为保护操作人员的安全起见,必须遵守以下各条:

(a) 总气道的进入门应能从内打开,也能从外打开。

(b) 总气道内应有适当的照明。

(c) 气道内部应有独立的风扇开关以便在内可以使风扇停止。

(d) 风扇应有保护设施,或安放在无人能够触及的地方,以防危险。

(e) 已知气道损坏后,应有正常检查管壁损坏或其它故障的规定。

从总气道进入横气道式各仓的空气控制

空气送往多仓装置系统中的一个仓、或送往地板上的某一区域时,用简单阀或空气门加以控制,阀和门可装在总气道内,也可装在总气道和通风区之间某一点。这些控制器必须使不用风的地方完全封闭。一般来说,蝶形阀或在框架内滑动的阀门较为复杂而不可靠,而用泡沫橡胶或类似材料密封的门或板较好。如总气道内能够走人,最简单是装设用坚硬层板或硬板做的简单门,边框镶以泡沫橡胶,用旋转门门或甚至在门顶插钉销的办法将门关上。气道壁应光滑以保证在鼓风压力下的良好密封。

当气流出口是在人进不去的小风管处,最好用一个顶上铰接的门或板拍,其底部结上铁丝通过一段暗管通到气道外面。铁丝末端可结在螺钉头上,螺钉则拧装在暗管端面上,从而可作气密控制。

风扇及供热

风扇

干燥贮存用风扇应是非过载型(即在正常工作转速范围内、风压很低时,其要求的功率不超过标定功率)。需通风的仓数不多时,宜用双级轴流风扇;如需用大量空气、静压力变动范围大时,宜用后弯曲线叶片的离心式风扇。后者的特点是当通风仓数增加、总鼓风量显著增多,各仓空气流速降低很慢。风量增大时要求功率也增加,但增加的程度比浆式叶片、尤其比前弯曲线叶片的风扇慢得多,后两种风扇不宜用于贮存干燥装置。

下表是对10呎深谷堆通风时后弯曲线叶片离心式风扇特性的例子。风量是指仓库地板面积为100呎²时;对大面积仓应按比例增加,但压力不变。

仓库数	空气流量(呎 ³ /分/呎 ²)	总数*(呎 ³ /分)
1	28	2800
2	24	4800
4	18	7200
6	14	8400
8	11	8800

* 设每仓地板面积为100呎²。

上列表中的空气流量是合适的。

在地板上干燥装置谷深7呎时,对不同比例的地板面积上通风所需的最小流量见表2。在不利条件下流量可高于此数,以作为后备的干燥能力也是值得的。

这样,对200吨的仓,风扇送风能力为14000呎³/分、风压为2"水柱(全部面积),11000呎³/分、风压为3"水柱(一半面积),7000呎³/分,风压为5"水柱(1/4面积)是合适的。

温度的升高

贮存干燥正常所需的最大温升为5.5℃。然而所需的最大温升很少能与全部地板面积通风的需要相符,实际上对3/4地板面积通风时能给以4℃温升的热量时,通常就是合适的了。

在有合适动力供应的地方,小仓使用分级电热元件是方便经济的。每1000呎³/分用约三千瓦可得5.5℃温升。电热器应做成不同大小的元件,可分别独立接

表 2

仓库规模	鼓 风 面 积								
	全 部 面 积			总 面 积 之 一 半			总 面 积 的 四 分 之 一		
	空气流量 (呎 ³ /分/呎 ²)	相 当 于 (呎 ³ /分/吨)	阻力* (水柱时)	空气流量 (呎 ³ /分/呎 ²)	呎 ³ /分/吨	阻力* (水柱时)	空气流量 (呎 ³ /分/呎 ²)	呎 ³ /分/吨	阻力* (水柱时)
250吨以下小仓	10	70	1½—2	15	110	2—3	20	140	3—5
中等仓	9	65	1½—2	14	100	2—3	18	130	3—5
500吨以上大仓	8	60	1½—2	13	90	2—3	17	120	3—5

* 包括总气道和横向气道阻力。

上,以便较好地调节加热量。电热元件的设计应使它在风扇进风处造成的气流阻力最小,这就要求电热箱的截面积应显著大于风扇进风处的面积。

从热值来说,瓶装天然气的费用与电费大致相同,由于烧气的装置一般不贵,故可代替电力,尤其在电力贵的地方更为合适。虽然新式的天然气燃烧器效率高、安全和清洁,但不如电热易于得到精确的自动控制。

对大型仓(250吨以上)来说,电热或天然气加热的操作费用就高了,最好是用电力驱动的风扇和油炉热交换器。设备费比电或气加热为高,但燃料费则低得多。

直接烧油加热不宜用于贮存干燥,因为通风的空气长期接触谷粒,而燃烧器的某些不良作用又不能测出,结果会使谷粒变色及损坏。

所有正常条件下,常用的也是很好的方法是利用带动风扇的内燃机废热。一般温升很合适,天热时温升太高,应加注意,必要时应放进部分未经加热的空气。相反条件下则应有辅助加热装置,但用此法时总的燃料费当然还是很低的。

仪 表 装 备

自动控制

测量和控制贮仓所用空气的干燥能力,有好几种方法,其范围从湿度自动控制到凭经验的简单的温升控制。

具有自动控制系统时,设备调到使通风的空气相对湿度保持一预先选定数值(仍有一定的范围)。当超过或低于这一数值时,控制器将增热或减热以恢复平衡。早期的自动控制设备有时不可靠,但新设计的

用得很有效,只要周期地加以校验。即使这样,最好还是用一简单湿度计放在气道内,有时检查一下相对湿度作为一种预防措施。

半自动控制

这种方法是將一恒湿调节器调到某一数值,在湿度偏离这数值时切断或接入热源。它只是接入或切断予定热量的控制,比全自动控制的项目少。

利用温度表的人工控制

这是最简单而又完全可靠的方法。用两个温度表,一个放在离风扇出口数呎(以保证空气完全混合后的温度)的总气道内测定热风温度,另一个是测定未经加热的空气温度,称遮荫温度(Shade temperature)(图6)。所需温升是根据大气条件凭经验估计。干燥至含水量14—15%以下所需温升可参考下列数字:

湿冷气候 4.5—5.5℃

干热气候 0—3.5℃

在上述气候之间 3.5—4.5℃

在极端情况下,如晚秋的低温及湿度极高时,要进行昼夜干燥,温升可达11℃;但这是例外情况,一般无须作出最大空气流量时准备这么高温升的设计。干燥至最后的含水量较高时,用低的温升即可。

测量已烘干层的谷粒含水量,据此估算作必要的温升调正使谷粒最终含水量达到予期水平。

湿度计

适用于气道的湿度计是比较简单的仪器,其传感元件(天然或合成头发)与仪器的杆件相联接,当空气通过传感元件时,仪表盘上可直接读出空气的相对湿度。一般每年只要注意校核该表二次或三次。大多

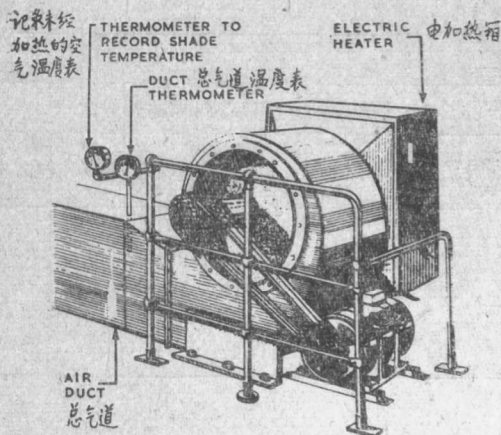


图6 离心式风扇及加热箱装置,表示温度表的位置

数湿度计的传感元件应用一简单的“V”形罩保护使勿受鼓风吹坏。或者将传感元件放在气道外的圆柱筒内,筒内从气道引进少量空气。用这种仪器可以直接读出空气的相对湿度,据此调节给予的热量以获得近似的所需相对湿度和所需的谷物含水量。因为一天的相对湿度有较大的变化,用这种仪器只能作为调节温度的一般参考。

其他设备

测含水量计(湿度计)及谷粒取样器是所有谷物散装干燥装置的基本设备。因为,只有定期检查已干燥层谷粒的含水量才能保证操作正确。

操 作

各种贮存干燥法的操作原理大致相似。因此这里只较详细介绍地板通风仓的操作,对其他型只讨论有显著不同的部份。

通风仓的管理

所有贮存干燥的一个基本要求是不要干扰空气均匀通过整个谷粒堆。气流不均匀的主要原因是堆放不均匀以及在某些地方有较多的灰尘、绿的茎叶或其他杂质。仓内干燥时事先用清选机清选是很重要的。如因故贮存前未经清选,在谷物入仓处应将谷粒尽量散得开些以免灰尘等积聚在一处,这尤为重要。很潮湿的谷粒总是卸在一处会形成密集的湿谷堆,入仓处尽量散开谷粒的办法也能减少湿谷堆的形成。在运输带卸粮处装设散开器,或经常改变卸粮方向,可以减少

这些危险。

当仓库地板上铺上需要干燥的谷粒后,应立即开始干燥。如果一些仓库正在干燥含水量高的谷物,而在一个仓库内对需要干燥得很少(1—2%)的谷物通风,一般说来这是错误的,应该首先注意到最需要干燥的谷物。

对长期散装贮存的谷物建议将含水量降到14—15%,这相当于通风的空气相对湿度在65—75%之间。很多农民喜欢以较高含水量贮存,如果他准备在干燥后将谷物全冷却并经常检查仓内情况的话,这种办法也是实际可行的。这最好是在开动通风风扇后站在仓库或地板顶上,在吹风几分钟后可以感到是否有特殊气味或热气,进行检查。例如在正常冬季温度下,决定以17—18%含水量贮存谷物,则干燥所用空气的相对湿度平均为80—85%,这就相当于在正常收获季节白天干燥时不需加热;但这种低速干燥并不能减少全部干燥的时间。

过份干燥及不完全干燥

对贮存干燥陌生的农民最易犯的普通错误是使用高温及在未完全干燥时即行停止干燥。冷天来了很潮的谷物很自然的反应是要用比平时多的热量,但这实际是很错误的做法。入库的谷粒不仅是潮而且是冷的。如果空气温度升高8.5℃,空气在谷堆内上升途中收集水份,很快成为饱和,饱和空气通过冷的谷粒层时,温度下降,因而持水能力下降,水份重行凝结在谷粒上。结果在该处导致潮湿谷粒层并可能因而造成谷粒膨胀和形成硬板层,对气流有高的阻力,空气流动减少,干燥速度可能降至危险的低水平。正确方法是在开始阶段用少量热或不加热和最大空气流量。对很潮湿的谷粒,即使冷空气湿度相当高(直至85%)仍有些干燥作用,但这种情况下通风的主要作用在于避免谷物损坏并逐渐使谷物堆暖和起来。干燥进行过程中,谷物温度逐渐升高,直至谷物干燥至最终含水量所要的温度为止。在深(10呎)的干燥仓中,很湿的谷粒在可能时最好铺为浅层(3—4呎)进行干燥。这实际等于是分批干燥,可用较高温升(如5.5—6.5℃),因为谷物在转移到别的谷仓时,将被混合。这时底层有些过份干燥是容许的,因这种过干层在添加湿谷时将起干燥贮备作用。全仓干燥的最后阶段,仔细控制相对湿度,将使底层含水量恢复到所要求的水平。

很湿的谷物浅层干燥的另一优点是对气流阻力小,风扇可送出更多空气。一定量的谷物不放在一仓而分在两仓、谷堆深度减半后的典型效果可从下列数字看出: