

国外太阳能谷物干燥

(二)

译文集

哈尔滨市粮食研究所情报资料室编

一九八〇年三月

S 375-53

贵州省图书馆

目 录

太阳能高低温联合干燥谷物的应用潜力.....	(1)
供低温太阳能谷物干燥的收集器.....	(16)
高温谷物干燥时太阳能的收集和贮藏.....	(22)
利用为畜舍设计的加热器干燥谷物.....	(28)
带搅拌和不带搅拌的低温低气流量的太阳能玉米干燥.....	(31)
粮仓外壁的太阳能收集器.....	(38)
通过干燥剂和低温干燥的联合系统进行玉米的太阳能干燥.....	(45)
直接利用太阳能的稻谷干燥和太阳能热贮藏的稻谷干燥.....	(49)
“围裙式”太阳能收集器的实验.....	(56)
利用太阳能粮仓内干燥玉米的搅拌.....	(60)
在带搅拌的粮仓内干燥稻谷.....	(60)
太阳能低温谷物干燥.....	(65)

太阳能高低温联合干燥 谷物的应用潜力

R.V. Morey 等

引 言

能量的利用,干燥能力和质量是谷物干燥中的三个主要问题。目前在谷物干燥中,对于能量的利用是非常注意的。除了减少对丙烷和天然气那样的高级燃料的依赖之外,还强调在谷物干燥中比较有效地利用能量。第二个主要问题就是干燥能力(或工作性能)问题。因为假若干燥系统能够成功地进行干燥,必须首先要求干燥系统具有尽可能高的工作性能。所以,即使把干燥能力放在第二位,但在设计和研究干燥系统时,往往要首先考虑干燥能力问题。因此也就促进了高温干燥机的发展。第三个问题是保持谷物质量问题。这个问题在设计干燥系统时也是需要考虑的。但由于对改善谷物质量问题缺少经济上的刺激,所以改善谷物质量问题一直没有受到高度的重视。然而在利用高温干燥机干燥谷物时,仍然对谷物的损坏问题是敏感的。

高一低温联合干燥对于解决上述问题是有好处的。本文的目的就是要介绍有关高一低温联合干燥的能量利用,并对在低温干燥时除了利用周围空气之外还利用太阳能辅助加热来减少所需的能量进行评定。这些评定是在st.cloud(明尼苏达州), Des Moines (衣阿华州)和Indianapolis (印第安纳州)三个地方进行的。

高一低温联合干燥系统的说明

在高一低温联合干燥系统中,谷物由烘干机用丙烷或天然气进行高温(160—240°F)干燥。高温干燥后的谷物被送至干燥仓内。在粮仓内,谷物缓慢地冷却,有效地回收谷物中的显热,然后用周围空气或低温空气(空气加热2—7°F)干燥。谷物在低水份状态下,利用周围空气进行低温干燥是比较有效的。图1所示的是高一低温联合干燥法的示意图。

谷物的水份超过22—24%。允许贮藏时间就很短,这样就不能发挥低温干燥系统的作用和效率。表1指出的是作为水份含量和温度函数的玉米粒的允许贮藏时间。如表1中指出的那样,温度对允许贮藏时间也有很大的影响。如果在降低温度时能够进行低温干燥的话,那么会大大增加谷物的允许贮藏时间。

为低温干燥提出最低限度的空气流量,是以允许贮藏时间和在平均天气条件下完成干燥的时间为基础的。这包括:当玉米的水份含量为22%时,建议最低空气流量为1—

1.5呎³/分·蒲式尔；当玉米水份为24%时，建议最低空气流量为2—3呎³/分·蒲式尔；当玉米水份为26%时，建议最低空气流量为3—4呎³/分·蒲式尔。这些最低空气流量是以实验地区的许多条件为基础的。本文的后部份将对最低空气流量进行较详细地阐述。

随着空气流量的增加，风机所需的马力也显著增加。表2中，对10000蒲式尔粮仓的风机在不同空气流量和粮层高度时所需的马力进行了估算。这些数据表明，当空气流量较大时，必须控制粮层的高度才能保持风机对动力的合理要求。高一低温联合干燥只允许把水份含量低于22%的谷物放进粮仓，只有这样的谷物才能够在合理的粮层高度和风机动力条件下，进行粮仓内干燥。

减少由高温干燥机除掉的水份量，丙烷和天然气的需要量也会大大地减少；同时，在谷物的水份含量较高时，除掉谷物的水份能够比较有效地进行。因为谷物是以较高的水份含量离开高温干燥机的，所以会大大地增加高温干燥机的能力（通常干燥能力增加3—4倍）。谷物释放出来自高温干燥机的热量，会进一步加强高温干燥的能力。实验表明，如果谷物一入仓就用风机通风，谷物就能够在粮仓内冷却（干燥），而并不产生结露现象（Morey等）。

对于高水份谷物，先用高温干燥，然后再用低温干燥，能够改善谷物的质量。Gustafson等人发现，如果利用高温把谷物干燥到含水22%，然后再通过冷却和低温干燥把谷物干燥到最终水份含量，这种干燥方式同把谷物一下子干燥到含水15.5%的一般高温干燥相比，会大大减少对谷粒的损坏，用高一低温联合干燥，完全能够象低温干燥那样获得合乎要求的谷物质量。

高一低温联合干燥的优点可概括如下：

1. 节省了高温干燥机所需要的丙烷和天然气。
2. 节省了总能量需要（热能加电能）。虽然电能的需要量增加了，但在玉米产地，耗用的电能大部份是在秋季（10—11月）和春季（3—4月），而春季和秋季是处于温度调节和加热高峰之间的季节。
3. 增强了高温干燥机的干燥能力。
4. 由于在水份含量较低时，谷物进行缓慢的冷却和低温干燥，从而改善了谷物的质量。
5. 由于联合干燥是能够干燥高水份谷物的系统，所以在天气条件不利时也不耽误收获。

6. 联合干燥系统能够以不同的方式应用于现有的干燥系统中（联合干燥系统的设备早已在其他类型的干燥系统中应用，许多农场的干燥系统早已能够进行联合干燥）。

联合干燥存在的一个主要问题是，在低温干燥时，辅助加热很重要。在大多数干燥系统中，提供给干燥风机和电机的能量是用于加热干燥空气的。在大部份情况下，干燥空气被加热2°F或2°F以上。如果用电能或丙烷辅助加热，或用尚有一些问题的太阳能辅助加热空气的话，会使干燥空气增加2—4°F。在大多数情况下，利用太阳能辅助加热会使谷物的最终水份较低。在一些情况下，这种干燥方式会产生谷粒过份干燥的现象，但是当春季谷物的平衡水份含量比较低时，也可利用周围空气加上风机的能量，使谷物的水份含量合乎要求。

联合干燥的另一个问题就是，辅助加热（稳定的能源或太阳能）对于在允许贮藏时间内干燥谷物所需的最低空气流量的影响。Pierce和Thompson指出，多数地区的辅助加热都没有显著地减少干燥所需的最低空气流量。借助于太阳能辅助加热，低温干燥时，风机所需的能量看来略微有所减少，其减少的数量因其所在的地区而异。

联合干燥的工作性能分析

对于高温干燥机所需能量的计算，是以干燥温度为200—220°F，空气流量为75呎³/分蒲式尔的错流干燥机的实验结果和模拟结果为基础的（表3）。假定在所有地点的高温干燥机的工作性能都是相同的。

低温干燥的比较，是以Thompson推导的并被Morey等人修改的数学模型的模拟结果为基础的。该数学模型根据天气资料来予报水份变化和干物质损失（由此可以确定谷物的允许贮藏时间）。通过二个田间规模的干燥试验和一个太阳能辅助加热的数据来证实模型。证实的结果表明，该模型适于予报谷物水份含量的变化（Morey等）。该模型的干物质损失部份是不能用田间试验的数据来证实的。但该模型予报出，田间试验利用的粮仓顶部的，与最大允许贮藏时间有关的谷物，干物质损失约为0.5%。通过目检粮仓顶部的谷物，认为谷物已安全地渡过了允许贮藏期。虽然还没有完全地证实，但在最近这方面的报告中指出，该模型能充份地予报在这种情况下谷物的损坏程度。

在模拟低温干燥的工作性能时，利用了每个地区每天的干基和湿基温度的平均值。利用每月幅射到水平面上的太阳幅射，来予报太阳能收集器提供的热量。对St.Cloud, Des Moines和Indianapolis这三个地区来说，分别采用了16年，10年和14年的数据。

操作管理以及低温干燥的有关假设如下：

1. 当谷物被冷却后具有特定的水份含量时，于10月15日进行低温干燥。
2. 干燥的模拟一直进行到粮仓内谷物水份含量低于14%和仓顶的谷物水份含量低于15.5%为止。干物质损失，是指干燥所能达到的最终水份含量时的损失。粮仓顶层是指上部10%的谷物。
3. 一直到谷物达到最终水份含量之前，风机是连续操作的，也就是说风机是到秋末才停止使用的。如果在秋季没有使谷物干燥的话，那么在第二年3月16日继续开动风机，一直到使谷物达到最终水份为止。下面两种情况可以在秋季关闭风机：
 - a) 12月1日之后，当顶层谷粒的水份低于19%，温度低于25°F时；
 - b) 1月1日之后，当顶层谷粒温度低于25°F时。
4. 到顶层谷粒水份低于18%，平均水份低于15.5%，根据操作的时间来进行能量的比较。
5. 假设干燥风机使所有空气流量的总温度上升2°F。在表2中可以为特定的空气流量和2°F的温度上升查出合适的谷物高度和风机的动力要求。根据风机和效率为42.5%的电机的联合作用，使温度上升1.15度加到强制通风系统中去。由于能量在谷粒中不均匀的分配和空气中所引起的磨擦，而使上升的1.15度的温度在谷粒中耗去0.85度。
6. 在一些干燥中利用了太阳能辅助加热。由于太阳幅射所造成的温度上升，可根据Pierce和Thompson的太阳幅射系数来说明。

图2中指出了开始干燥日期为10月15日,空气流量为1呎³/分。蒲式尔,谷物的最初水份含量为22%,空气离开风机没有进行辅助加热而提高2°F的情况下,利用St.Cl-oud地区16年的天气数据模拟干物质损失的结果。介绍了三个最好年和三个最坏年的干物质损失情况。有2年干物质损失超过0.5%。

另外可以发现,每年干物质损失最快的时候是在秋季。在所有记录中,10月份后半月的干物质损失速度都要比11月份快。这是因为10月份的温度比11月份的温度高。另外,还指出了每年秋季风机的关闭日期。这时谷物的温度低于25°F。在干物质损失速度较低时,谷物的品质劣变仍然依赖于水份含量。当3月16日开始连续干燥时,由于谷物温度较高,谷物品质的劣变速度略微增快。

在图3中,对没有进行辅助加热的三个不同时间开始干燥的粮仓的干物质损失进行了比较,标绘出的是,每个干燥日期的最坏二年。这些结果表明,当10月15日开始干燥时,大部份干物质损失发生在秋季。当10月31日和11月15日开始干燥时,一半或一半以上的干物质损失发生在冬季和来年春季。由于10月31日以后温度较低,干物质的损失速度也大大降低。

在图4中,描绘了从10月15日开始的未加热空气干燥,以及太阳系数为10和20的太阳能辅助加热干燥的干物质损失情况。当收集器效率为4%时,太阳系数10符合于0.18呎²/蒲式尔的水平收集器面积和61呎³/分·蒲式尔的空气流量。对于同样条件来说,太阳系数20符合于0.36呎²/蒲式尔的水平收集器面积。因为太阳辐射量是变化的,所以平均温度的上升依据于每年太阳能辅助加热的改变。结果表明,秋季太阳能辅助加热的干物质损失稍高于不加热干燥的干物质损失。但是,不加热干燥系统在春季需要的补充干燥时间所引起的干物质损失却超过了太阳能加热干燥系统的干物质损失。在2年内,利用太阳能辅助加热干燥和不加热干燥,干物质损失的最终差别是不大的。

前面的结果说明了St. Cloud地区不同工作条件下的低温干燥的特点。如果比较不同地区的高一低温联合干燥的能量要求的话,必须比较以相同干物质损失为基础的低温干燥部份的能量需要。通过比较得出,在最坏两年中,在顶层干物质损失0.5%的条件下,选择了低温干燥最低的空气流量。积累干物质损失达0.5%所需要的时间,被看作为允许安全贮藏时间。

图5中指出了St.Cloud地区最坏两年的谷物水份含量和空气流量之间的关系。当谷物的水份含量较高时,次坏一年的最低空气流量明显地低于最坏一年。当谷物的水份含量较低时,这两年的最低空气流量之间的差别很小。当空气流动的变化范围较小时,利用太阳能辅助加热对所需的最低空气流量的影响就明显的表现出来。大约能使所需要的最低空气流量减少10%。

表4中对St.Cloud,De Moines和Indianapolis地区的高一低温联合干燥的能量和工作性能进行了比较。当谷物的水份含量为28%时,先进行高温干燥,当谷物水份含量达到22%时再进行低温干燥。在每个地区的次最坏的一年中,根据产生0.5%的干物质损失,来控制低温干燥部份的空气流量。在最坏的一年中,为了防止谷粒损坏,谷粒需由粮仓中取出,并用高温干燥机干燥。在高一低温联合干燥的低温干燥阶段中,对利用太阳能辅助干燥和利用不加热的周围空气干燥进行了比较。对一般高温干燥机的干燥结果也进行了比较。比较的结果表明,在所有地区,高一低温联合干燥都使高温干燥所

需的热量由23400英热单位/蒲式尔减少到8200英热单位/蒲式尔。由于各地区的天气条件不同,低温干燥风机所需的能量也是不同的。在高一低温联合干燥的低温干燥期间,在任何情况下利用太阳能辅助干燥都比利用周围空气干燥所需的能量少。然而,在大多数情况下,在这里节省的能量较之整个高一低温联合干燥所节省的能量还是很少的。

在所有情况下,利用太阳能辅助加热干燥时,达到干物质损失标准所要求的最低空气流量是比较低的(表4)。在秋季的空气温度和湿度都不利于干燥的Indianapolis地区,所要求的最低空气流量是最大的;而在St.Cloud地区,所要求的最低空气流量是最小的。当空气流量改变时,只要调节风机的马力和谷层的高度,使空气通过风机总是上升2°F就可以了。假设空气通过风机温度上升2°F,相当于通过谷物2.35吋水的静压。

表4中还包括粮仓内谷物的平均水份达到15.5%和顶层谷物水份达到18%时的情况。利用太阳能辅助干燥所需的风机操作时间比利用周围空气干燥所需的风机操作时间短。利用太阳能的联合干燥系统使谷物产生过份干燥的现象,比利用周围空气的联合干燥系统严重。

表4中还列出了最终停止干燥时(谷物的平均水份含量低于14%,粮仓顶层的谷物水份低于15.5%)的一些数据。在许多情况下,一直到春季到来之前,干燥是一直进行的。表4中还介绍了停止干燥时,粮仓顶层谷物在正常年头的干物质损失和最坏两年的干物质损失。最坏一年的干物质损失大于0.5%,而正常年头的干物质损失在0.35—0.4%之间。

表4中还介绍了St Cloud地区对最初水份为28%的谷物的全部低温干燥结果。在这种情况下,对于10000蒲式尔的谷物,如果要求用40马力的风机把空气的总温度上升2°F的话,就必须把粮仓内的粮层高度限定为5.8呎。利用周围空气干燥所需的最低空气流量为5.5呎³/分·蒲式尔。该系统总的能量要求是很低的,这就表明,如果限制粮层高度的话,利用周围空气能够有效地进行低温干燥并能取得令人满意的结果。如果是10000蒲式尔的谷物,粮层高度只有5.8呎,那么,粮仓直径必须有53呎。这除了需要很大的动力之外,在实践中也是很难行得通的。

在谷层高度为16呎,空气流量为1呎³/分·蒲式尔,动力为7.3马力/1000蒲式尔情况下,把联合干燥的能量和工作性能列入表5。在次坏的一年中,调节低温干燥的最初水份含量,以保证干燥系统的粮仓顶层的干物质损失在0.5%。在所有情况下,由于高温干燥向低温干燥转变时略微提高了水份含量,所以太阳能辅助干燥同样会导致干物质损失。在由高温干燥向低温干燥转变时,St.Cloud地区谷物的水份含量最高,而Indianapolis地区的水份含量最低。

表6是太阳能辅助加热低温干燥节约能量的经济分析,和太阳能辅助加热低温干燥与空气干燥的比较。电能和丙烷的节约是在表4和表5所示的条件下。用对收集器的计算求出收集器的年度收本并对收集器进行生产成本比较。在这些比较中作如下假设:

1. 空气通过收集器不需要补充能量。
2. 利用周围空气与利用太阳能辅助干燥时的粮层高度差别对于动力的影响忽略不计。
3. 所有比较是以效率为40%的收集器,在水平面上收集的太阳能量为基础的。

4. 列入表中的现有能量价格是假设的。

5. 收集器的年度成本占收集器生产成本的20%。使用寿命为10年的收集器在其利润为10%时,其投资回收成本为其生产成本的16.3%。投资回收成本有3.7%交付每年的电费和维修费用。

结果表明,太阳能辅助加热是合理的,收集器的成本是低的,每平方呎收集器的成本为15—40美分。这是根据效率为40%的收集器估算的。如果收集器以最适宜的角度朝着太阳并且收集器的效率增至50%的话,那么用面积大约一半的收集器就能收集同样的能量。但这将使收集器的成本增加1倍,即每平方呎为30—88美分。低成本的收集器能够被发展并能够作为新建筑结构的一部份。低成本收集器的一些成本指标,接近于经济上不亏损的指标。

进行该经济分析,试图比较的只是主要的成本。如风机和粮层高度的差别是忽略不计的,因为在许多情况下,这些成本差别是很小或不存在的。另外,使空气通过平板收集器将需要一些补充能量,如收集器设计得好,这个需要量也会变得很小。然而,近来的研究工作表明,收集器的能量输出可能是很大的。

摘要和结论

对利用高一低温联合干燥的节约能量潜力进行了评价。在低温干燥时,通过太阳热的利用可以节约补充能量。根据这些结果,可以得出几个一般性的结论:

1. 高一低温联合干燥可以大大节省谷物干燥所需的丙烷和天然气。
2. 虽然利用高一低温联合干燥方法增加了电能的需要量,但干燥玉米所需的总能量大大减少了。
3. 在低温干燥时,利用太阳能所节约的补充能量,较之在高一低温联合干燥的低温干燥中所节约的大量能量来说是合适的。

参 考 文 献

1. Anon.1976.ASAE.D272—Resistance to air flow through grain and storage components.ASAE Data, Agricultural Engineer's Yearbook.American Society of Agricultural Engineering, St.Joseph,Michigan.
2. Cloud,H.A.,R.V.Morey,R.J.Gustafson and K.L.Walter.1976.A combination high-temperature, Low-temperature corn drying system.Proceedings of the Grain Conditioning Conference,University of Illinois Champaign. Illinois.
3. Gustafson, R.J.,R.V.Morey,C.M.Christensen and R.A.Meronuck.1976. Quality changes for high-low temperature drying.ASAE Paper No. 76—3523.
4. Morey,R.V.,H.A.Cloud and W.E.Lueschen.1976a.Practices for efficient utilization of energy for drying corn.Trans,ASAE.19(1):151.
5. Morey,R.V.H.A.Cloud and W.W.Nelson.1975.Field evaluation of a solar energy grain drying system.ASAE Paper No.75—3515.
6. Morey,R.V.H.A.Cloud and W.W.Nelson.1976b. Simulation of solar energy grain drying-Minnesota contribution.Final report for USDA—ARS—ERDA Contract No.12—1403001—501.
7. Morey,R.V.,R.J.Gustafson,H.A.Cloud and K.L.Walter.1976. Energy requirements for high-low temperature drying.ASAE Paper No.76—3532.
8. Pierce,R.O.and T.L.Thompson.1976.Solar grain drying in the North Central Region-simulation results.ASAE Paper No.76—3517.
9. Steele,J.L.R.A.Saul and W.V. Hukill. 1969.Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production,Trans. ASAE. 12(5): 685—689.
10. Thompson,T.L.1972. Temporary storage of highmoisture, shelled corn using continuous aeration.Trans,ASAE.15(2):333—337.

摘译自“Solar grain drying conference Proceedings” 1977.P162—178

(本文图表在下面)

表 1

玉米粒的允许贮藏时间 (1)

玉米的温度 °F	水 份 含 量						
	15%	18%	20%	22%	24%	26%	28%
35	1174	242	120	71	48	35	28
40	879	181	90	53	36	26	21
50	492	101	50	30	20	15	12
60	275	57	28	17	11	8	6

(1) 以0.5%的干物质损失为基础

表 2

不同气流和粮层高度组合时, 10000蒲式尔的谷物所需的风机马力和总的温度上升。

呎 ³ /分蒲式尔	深度(呎)											
	8		12		16		20		24		28	
	马力	温度上升	马力	温度上升	马力	温度上升	马力	温度上升	马力	温度上升	马力	温度上升
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
0.5	0.30	0.16	0.74	0.40	1.44	0.78	2.40	1.30	3.67	1.99	5.29	2.86
0.75	0.74	0.27	1.87	0.67	3.67	1.32	6.24	2.25	9.36	3.40	14.23	5.13
1.0	1.44	0.40	3.67	0.99	7.31	1.98	12.6	3.41	19.67	5.32	29.12	7.87
1.25	2.40	0.52	6.24	1.35	12.61	2.73	22.06	4.77	34.5	7.46	—	—
1.50	3.67	0.66	9.64	1.74	19.67	3.55	34.51	6.22	—	—	—	—
2.0	7.31	0.99	19.67	2.66	40.34	5.46	71.86	9.72	—	—	—	—
3.0	19.67	1.77	54.46	4.91	115.0	10.40	—	—	—	—	—	—

(1) 10000蒲式尔粮仓所需的风机马力, 以风机效率50%的基础。

(2) 假设风机电机效率为85%, 强力通风时温度上升为总温度上升的57.5%。

表 3

估算高温干燥机所需的能量 (1)

谷物出干燥机的水份含量 % (湿基)	英热单位/除掉每磅水 (丙烷或天然气)	
	加热	电力
15.5	2410	40
20	1800	25
22	1620	25

(1) 以实验和模拟结果为基础。

表 4 高一低温联合干燥谷物的能量和工作性能比较（水份为22%时变为低温干燥）¹

	高温	St. Cloud		Dcs Mofnes		Indlanapolis	
		高温与周围空气联合干燥	低温干燥	高温与周围空气联合干燥	高温与太阳能联合干燥	高温与周围空气联合干燥	高温与太阳能联合干燥
能量输入, 1000英热单位/蒲式耳							
高温加热	23.4	8.2	—	8.2	8.2	8.2	8.2
电力 (风机) ²	0.4	4.1	6.1	2.6	2.1	3.9	2.5
操作特点							
最初水份% W.b.	28	28	28	28	28	28	28
低温干燥最初水份% W.b.	—	22	28	22	22	22	22
空气流量, 呎 ³ /分蒲式耳	—	1.10	5.5	1.32	1.17	1.54	1.33
辅助加热OF ³	—	None	None	None	2.2	None	2.3
每100000蒲式耳所需马力	—	8.4	40.7	9.8	8.7	11.4	9.8
谷物高度, 呎	—	15.4	5.8	14.4	15.1	13.1	14.4
在粮仓内平均水份达到15.5%, 顶部粮食水份为18%时							
平均日期: 秋季	—	11/29(5)	10/28(14)	11/14(9)	11/15(10)	11/12(10)	11/12(13)
(一些年的值) 春季	—	4/6(11)	3/30(2)	3/30(1)		4/1(10)	4/1(1)
平均一年的水份含量%W.b.	15.5	15.4	14.8	14.8	14.1	15.0	14.5
风机操作马力	—	1613	499	775	861	1117	802

续表4

	高温	St. Cloud		Dcs Mofnes		Indlanapolis	
		高温与周围 空气联合干燥	高温与太阳 能联合干燥	低温干燥	高温与周围 空气联合干燥	高温与太阳 能联合干燥	高温与太阳 能联合干燥
在粮仓内平均水份达到14%，顶部粮食水份为15.5% 平均日期：秋季 (一些年的值) 春季 平均一年的水份含量% W.b. 风机操作马力	—	—	—	10/29(7)	11/19(4)	11/21(9)	11/10(4)
	—	4/18(16)	4/5(16)	4/8(9)	4/14(6)	3/30(1)	4/13(10)
	—	13.8	13.8	13.7	13.7	13.6	13.6
	—	2118	1794	1160	1663	998	1826
	—	—	—	—	—	—	—
顶层干物质的分解 ⁴ 一年的平均值 最坏的一年 稍好于最坏的一年	—	0.35	0.36	0.36	0.37	0.38	0.41
	—	0.57	0.59	1.01	0.62	0.62	0.54
	—	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	—	—	—	—	—	—	—

1. 10月15日开始，空气通风机温度提高2°F，整个干燥系统在稍好于最坏的一年产生的相同的干物质损失。
2. 假设高温和低温的电机效果为85%，利用风机把粮食干燥到平均水份为15.5%，顶部水份为18%。
3. 太阳能辅助加热是以太阳系数10为基础的。
4. 最后阶段（平均水份为14%，顶部水份为15.5%）的干物质损失。

表 5 高一低温联合干燥谷物的能量和工作性能比较1 （低温干燥时空气流量为 1 呎³/分蒲式耳）

	高温	St. Cloud		Dcs Mofnes		Indlanapolis	
		高温与周围空气联合干燥	高温与太阳能联合干燥	高温与周围空气联合干燥	高温与太阳能联合干燥	高温与周围空气联合干燥	高温与太阳能联合干燥
能量输入，1000英热单位/蒲式耳							
高温加热	23.4	8.6	8.1	9.7	8.6	10.5	9.7
电力（风机） ²	0.4	3.9	3.0	2.4	2.3	3.5	2.6
操作特点							
最初水份%W.b.	28	28	28	28	28	28	28
低温干燥最初水份%W.b.	—	21.7	22.1	21.2	21.7	20.7	21.1
空气流量，呎 ³ /分蒲式耳	—	1	1	1	1	1	1
辅助加热OF ³	—	None	2.3	None	2.0	None	2.2
每100000蒲式耳所需马力	—	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
谷物高度，呎	—	16	16	16	16	16	16
在粮仓内平均水份达到15.5%，顶部粮仓水份为18%时							
平均日期：秋季	—	11/30(2)	11/28(9)	11/23(9)	11/19(10)	11/20(7)	11/18(12)
（一些年的值）春季	—	4/5(14)	3/22(7)	3/30(11)		4/2(7)	3/31(2)
平均一年的水份含量%W.b.	15.5	15.4	15.2	14.8	14.2	15.1	14.7
风机操作马力	—	1725	1289	1039	886	1495	1092

续表5

	高温	St. Cloud		Des Moines		Indianapolis	
		高温与周围空气联合干燥	高温与太阳能联合干燥	高温与周围空气联合干燥	高温与太阳能联合干燥	高温与周围空气联合干燥	高温与太阳能联合干燥
在粮仓内平均水份达到14%，顶部粮食水份为15% 平均日期：秋季 (一些年的值) 春季 平均一年的水份含量%W.b. 风机操作马力	—			11/29(4) 4/15(6) 13.7 1793	11/26(8) 4/6(2) 13.5 1265	11/20(3) 4/25(11) 13.5 2277	11/19(15) 4/5(9) 13.3 1786
	—	4/5(6)	4/6(2)				
	—	13.8	13.8				
	—	2207	1779				
	—						
顶层干物质的分解 ⁴ 一年的平均值 最坏的一年 稍好于最坏的一年	—	0.35	0.35	0.36	0.38	0.42	0.40
	—	0.56	0.59	0.56	0.65	0.67	0.53
	—	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	—						

1. 10月15日开始，空气通过风机温度提高2°F，整个干燥系统在稍好于最坏的一年产生的相同干物质损失。
2. 假设高温和低温的电效率为85%，利用风机把粮食干燥到平均水份为15.5%，顶部水份为18%。
3. 太阳能辅助加热是以太阳系数10为基础的。
4. 最后阶段（平均水份为14%，顶部水份为15.5%）的干物质损失。

表 6 高一低温空气联合干燥与高一低温太阳能联合干燥的经济比较

地 区	节约丙烷 (1)		节约电能 (1)		每年的燃料节约, 美分/蒲式尔 (4)	收集器面积 呎 ² /蒲式尔 (5)	年度成本 美元/呎 ² (6)	生产成本 美元/呎 ² (7)
	1000英热单位/蒲式尔	加伦/蒲式尔 (2)	1000英热单位/蒲式尔	千瓦小时/蒲式尔 (3)				
水份为22% 时变为低温干燥, 调节气流								
St. Cloud	—	—	1.1	0.32	1.3	0.18	0.072	0.36
Des Moines	—	—	0.5	0.15	0.6	0.21	0.029	0.15
Indianapolis	—	—	1.5	0.44	1.8	0.23	0.078	0.39
空气流量为 1呎 ³ /分蒲式尔, 控制水份								
St. Cloud	0.5		0.9	0.26	1.3	0.18	0.069	0.35
Des Moines	1.1		0.1	0.03	0.6	0.18	0.033	0.17
Indianapolis	0.8		0.9	0.26	1.4	0.18	0.078	0.39

(1) 由于利用太阳能辅助加热, 在低温干燥阶段能量的节约是以周围空气为转移的。

(2) 91,600英热单位/加伦丙烷。

(3) 3,413英热单位/千瓦小时。

(4) 以0.4美元/加伦丙烷和0.04美元/千瓦小时电力为基础。

(5) 假设水平面的收集效率为40%。

(6) 每平方呎收集面积每年节约的燃料值

(7) 假设收集器的年度成本为收集器生产成本的20%, 以这样的收集器为基础可以控制收集器的生产成本。

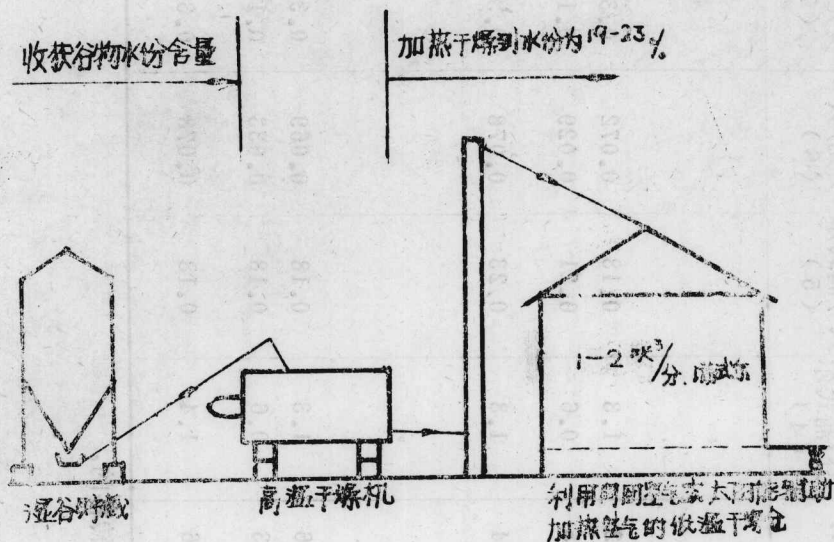


图1. 高一低温联合干燥系统的示意图

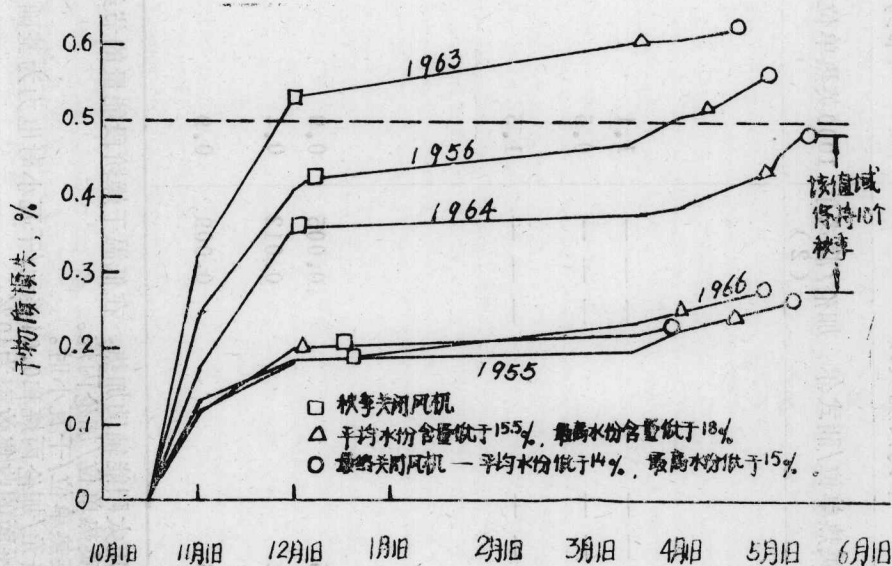


图2. 来自St.Cloud地区16年天气数据的最好三年和最坏三年的顶层干物质损失情况

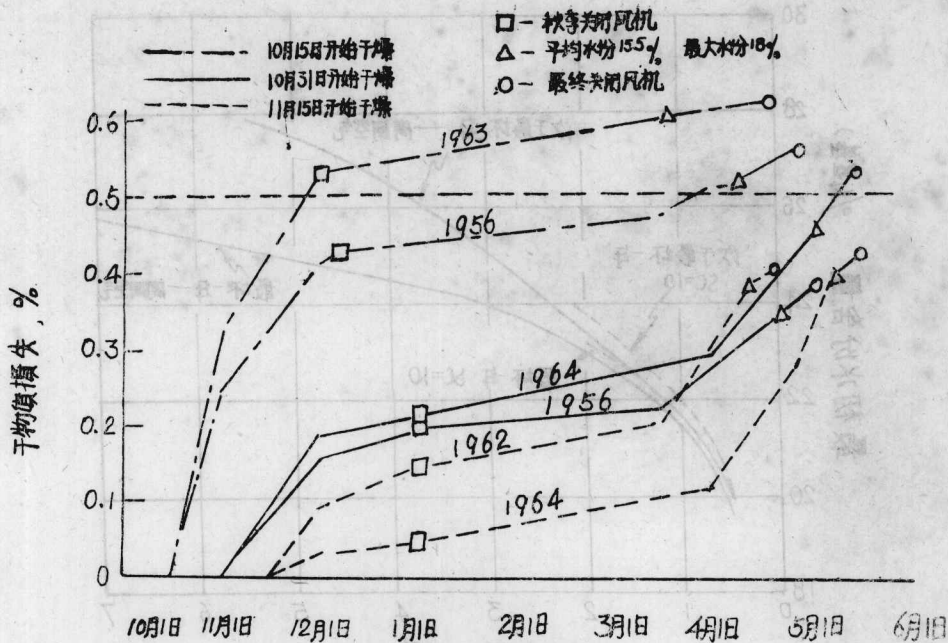


图3 三个开始干燥日期的16年中二个最坏年的顶层干物质损失情况。空气流量为1呎³/分蒲式尔, 最初水份为22%, 没有辅助加热, 空气通过风机总温度上升2°F。(St. loud地区)

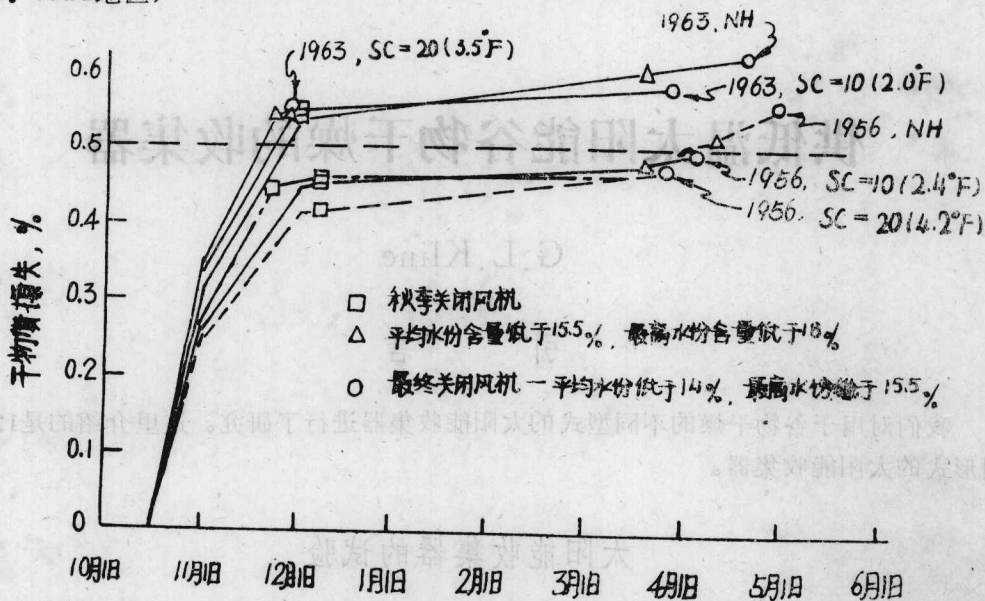


图4 当利用未加热空气 (NH), SC利用太阳系数=10和太阳系数=20的太阳能干燥时, 来自16年中二个最坏年头的顶层干物质损失情况。空气流量为1呎³/分蒲式尔, 最初水份为22%, 干燥始于10月15日, 空气通过风机总温度上升2°F。(St. Cloud地区)