

国农机

农业工程

第3辑

太阳能在农业中的应用

中国农业工程研究设计院 编



上海科学技术文献出版社

2
NN
:3

国外农业工程
(第三辑)
(太阳能在农业中的应用)
中国农业工程研究设计院编

*

上海科学技术文献出版社出版
(上海高安路六弄一号)
新华书店上海发行所发行
上海市印刷十二厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 5.75 字数 145,000
1980年12月第1版 1980年12月第1次印刷
印数 1—1,850

书号: 16192·13 定价: 0.75 元

《科技新书目》178-141

目 录

✓ 1. 农用太阳能干燥器述评·····	1
2. 加拿大西部利用太阳能干燥谷物的潜力·····	7
3. 太阳能在温室烘干系统中的利用·····	15
4. 太阳能泵水·····	19
5. 太阳能动力泵·····	29
6. 农业廉价太阳能集热器·····	31
7. 用于蛋品生产的一种太阳能辅助加热器·····	35
✓ 8. 太阳能集热器模拟技术在谷物烘干中的应用·····	38
9. 太阳能自然对流式空气加热器的试验进展·····	44
10. 用塑料覆盖的太阳能集热器的辐射热损失·····	48
11. 自供式温室·····	52
12. 温室利用太阳能采暖·····	59
13. 住宅采暖与制冷的太阳能辅助热泵系统·····	63
14. 私人住宅利用太阳能热泵采暖制冷系统·····	73
15. 塑料在太阳能利用中的应用·····	76
16. 太阳能轻便作物喷雾机·····	84
17. 利用太阳能贮存农作物·····	85
18. 如何确定用于太阳能模拟中的典型天气·····	88

农用太阳能干燥器述评

Bernard Saulnier

摘 要

保存农产品的传统方法之一，是在阳光下干燥产品。这种干燥技术，通常会受到灰尘、脏物、风、雨以及昆虫、动物出没等不利因素的影响。为了提高这些技术的有效性和被干燥产品的质量，不少研究工作者设计和制造了许多设备，称为太阳能农业用干燥器。本文将简要评述某些设备及工作原理，重点简述供发展中地区农村用的小型干燥器。太阳能干燥器的改进及新的设计在不断地发展，而本文是以现代常见的为题材。

引 言

太阳能干燥器是以其加热形式或从太阳得到的辐射能的利用方式来分类的。大致有以下几种类型，现分述如下。

被动系统类型

所谓被动系统，是指仅使用太阳能或风能运转的干燥器。

日晒或自然干燥器：这些干燥器，利用太阳辐射下环境空气温度、相对湿度和风速的作用来获得干燥。

直接型太阳能干燥器：在这种设备里，要干燥的物品放在有透明盖板或侧壁板的干燥箱内。物品本身以及干燥箱的内表面吸收太阳辐射而产生热量，这些热量使干燥物水分蒸发。此外，还使箱内空气受热膨胀，使水分由循环的空气带走。

混合型(直接和间接)太阳能干燥器：在这些干燥器里，由太阳直接入射到物品上的辐射作用，以及由太阳能空气加热器供热的预热空气的共同作用完成干燥过程。

间接型太阳能干燥器：这种干燥器，不是由太阳直接辐射射到物品上进行干燥，而是空气在太阳能加热器内加热，然后经管道通到干燥室使产品脱水。

太阳能木材干燥器：这些干燥器，由于它们构成了该技术上的重要应用，另列为一类。在大多数情况下使用强迫通风，因为适量的空气循环有助于控制干燥的速度以避免表面硬化。

其它类型

箱式干燥器：把要干燥的物品置于箱内进行干燥。

框架或托架干燥器：是一种把要干燥的物品放在框架或托架上面的干燥器。

混合式系统：在这种干燥器中利用其它形式的能量，如燃料和电力来补充太阳能和(或)通风以便加热。

太阳能干燥器描述

1. 框架干燥葡萄(澳大利亚)

在澳大利亚,把葡萄放在框架上,进行自然干燥和太阳能干燥。采用这个方法为时已久。大规模干燥框架在澳大利亚葡萄生产区广泛使用。1972年,在8~14天内干燥了大约100,000公吨鲜葡萄。一个50米的干燥机组,一般认为可提供足够的框架空间,在干燥季节里可以干燥3英亩(11640米²)的葡萄。

特征:干燥框架是由垂直分布的8~12个电镀金属线网格组成。沿框架3米的间隔上,中间成对竖立的杆埋在地上,横着联结一排支竿,金属线网格纵长沿边缘和栅栏线联结,以利加固。在框架每一端,由两根粗的柱支承;柱是倾斜的并且通过部分埋入地下以对抗应变而固定。需要指出,框架可用金属薄板遮盖,这些顶板很实用,它们可防雨或避免过度暴晒,这样可获得较好质量的产品。顶板由横向固定的波纹铁板构成,框架两侧凸出是相等的。顶板不应有倾角,以便在自不同方向吹来的风带着雨时,将顶板上的水吹走。无风时,顶板的凸出部分能确保水从干燥框架上流下来。荫蔽干燥时,某种葡萄干可得到良好的品质。在框架上常常安置麻布窗帘以提供这种条件。这些窗帘在多雨天气能避免过度的湿气,将有利于葡萄干加工。

2. 自然垂直干燥器(哥伦比亚)

这里介绍的是在专为干燥木薯块而设计的垂直金属网格干燥系统上进行的试验结果。这种干燥系统能更有效地利用环境空气的有效能量使木薯中的水分蒸发,采用这种干燥方法,木薯的质量高,易于存贮和处理。

特征:垂直干燥器如图1所示,它由固定在两根直立木桩上的两个金属丝网板组成,木桩立在地面上,同时也作为支撑和端墙。上部和下部通孔使干燥器易于装料和卸料,实验用样机的金属墙间距可调,以便在每平方米的曝光面内装填不同密度的木薯块时,改变干燥空间。该装置上面装以木顶盖以保护产品免遭雨淋并使干燥在夜间也能进行。

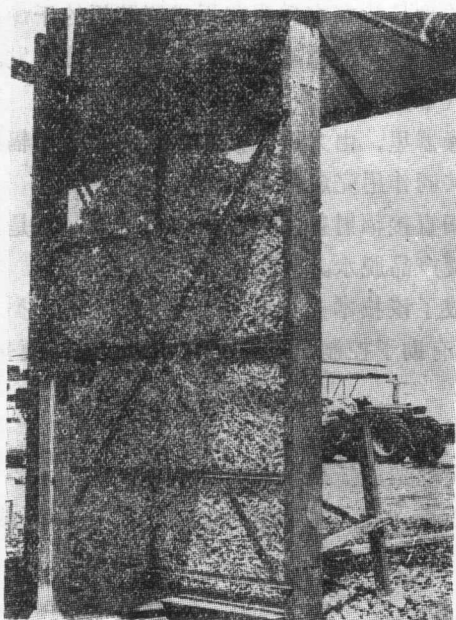


图1 自然垂直式干燥器

3. 箱式太阳能干燥器(叙利亚)

这类干燥器是一种使用很广的直接利用太阳能干燥的设计方案。它几乎可用任何一种建筑材料建成,而且操作、维修和控制都方便。它是一种小型干燥器,可作多用途使用,广泛用于各种农产品的干燥。这种干燥器在许多国家及不同气候条件下的实验和应用表明,它对小规模的粮食保存是一种非常有效和有用的装置(图2)。

特征:该干燥器实质上是一个太阳能热箱。可用它对水果、蔬菜和其它物品进行小规模脱水。它实际上是一个矩形容器,底部保温,在侧壁保温则更好,顶盖是双层透明盖。太阳辐射通

过顶部被吸热板上涂黑的表面吸收，由于箱子保温，使得箱内温度升高。新鲜空气通过底部的孔进入箱中。出口位于箱的侧面和背面的上部。当温度升高时，热空气通过自然对流由上部的开口流出而在箱内形成真空，新鲜空气通过底部的孔进入。因此有一恒定流量通过干燥物。这些干燥物放在底部有孔的托盘上。

4. 锯齿形干燥器(象牙海岸)

锯齿形干燥器最初是在象牙海岸干燥咖啡和可可豆而发展起来的。在加纳政府和联合国粮农组织的资助下，它的设计得到进一步的改善。这种简易干燥器适用于小规模干燥，并易于操作。它适合于热带使用。这类干燥器允许干燥物直接接受太阳进行干燥，这可增加该装置的产量和使产品干燥得更为均匀。

特征：锯齿形干燥器是由把纵长方向均分的平行矩形木架组成，横向用支撑杆组成。干燥器的底部由涂黑的竹杆构成，其上放置干燥物。框架上的盖板为聚氯乙烯透明薄膜。它为阻挡紫外线起到坚实的屏障作用，这样可减少干燥物的光学衰退现象。干燥器内全部涂一层粗糙的黑漆。干燥托盘在操作时可在东西平面内移动，它安装在支架上，支架的高度是框架长度的四分之一。干燥框架斜置，上午面向东侧太阳，下午面向西侧太阳。干燥器的有效面积

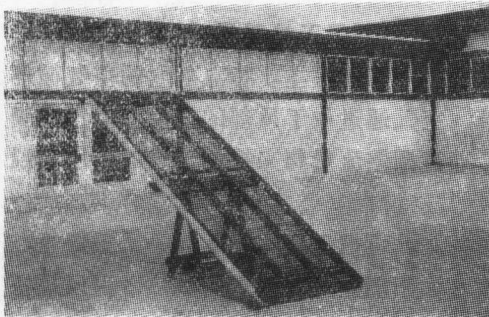


图3 干燥器在30度的初始位置

受到两个固定在离干燥器框架处两侧200毫米处及相距300毫米的另外两根约在横向中心线附近的横向支撑杆的限制。有三条黑色小带靠近支撑杆但不接触干燥品，其目的是将太阳辐射能转化为热。热空气从框架各端所形成的间隙中自下而上自然对流。其余的空气通过干燥器粗糙的底部自然对流，效果同样好。要干燥的物品装在干燥器的水平位置上，一直堆到交叉的水平横向支撑杆。允许盖板下部有间隙以利于空气流动(图3)。

5. 玻璃板的太阳能干燥器(巴西)

一般说来，这种装置类似普通的温室结构，它有一个特殊的小尖顶，起通风风道和防止干燥器内部淋雨的作用。这种尖顶用锌板折叠成的，它可使热空气将可可中的潮气带走并让新鲜空气从侧面百叶窗进入。干燥器沿着南北轴线排列成一行，它基本上由两排平行的干燥平台组成。平台中间有一通道。在干燥平台的上部固定的玻璃板可使太阳光照到干燥器内部和防止雨水或夜间露水的侵入。干燥器内部都涂黑以利于吸收太阳辐射(图4)。

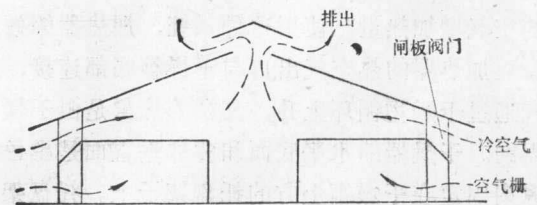


图4 太阳加热式玻璃板干燥器内的空气循环

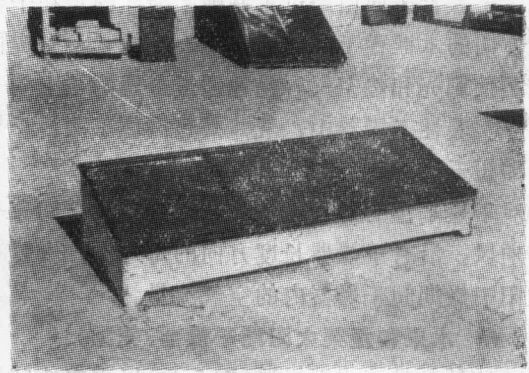


图2

干燥器表面由跨过木制横梁横向固定在平台上的镀锌铁丝网制成，较粗的金属线越过垂直方向的木框置于金属网下部，并拉紧，它提供了辅助支撑，以支撑干燥过程期间的金属网，它可使阳光和热空气容易地通过金属网格上的干燥品。

实验性干燥器中，气体预热器位于两行干燥平台中任意一个的下面，供雨天或夜间使用，以缩短干燥时间。

干燥平台的外表面和玻璃板下表面之间有一个随意的垂直空间，以便对干燥器进行适当的通风。沿着干燥器长度方向的每一侧，安置 6 个百叶窗，它们可以开，可以关，以调节在太阳干燥期间干燥器内的空气流量。

6. 水果和蔬菜太阳能干燥器(美国)

这种简易箱式干燥器(图 5)可以直接或间接方式进行干燥。它用于家庭以及小饭店等的粮食干燥，对于多种农产品如从水果、蔬菜到草药、肉类的干燥也很有效。

特征：在固定于干燥器底部的空气加热器中预热的空气，进入干燥箱的底部，加热的空气从这里上升经过干燥框架，干燥放在框架上的产品，然后将含有水份的潮气，通过位于房子后墙顶部上的孔自然对流排出。也有采用阳光通过顶部、前部、侧面的有机玻璃直接照到产品的方法进行干燥。干燥器朝南。

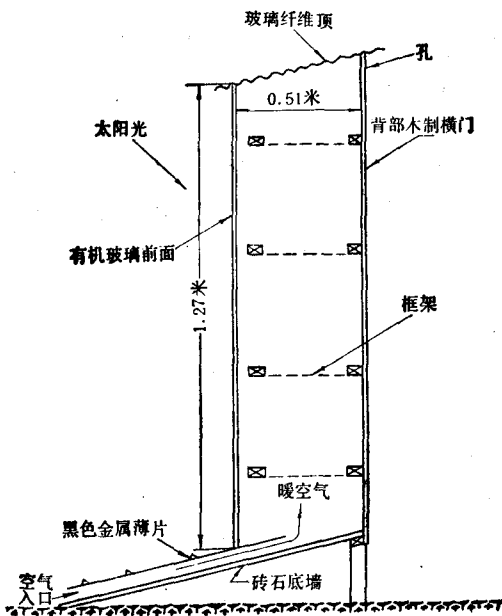


图 5 水果和蔬菜太阳能干燥器截面图

7. 太阳通风干燥器(叙利亚)

这种干燥器的主要特点是它的空气循环系统。空气通过位于顶部的风机，流过干燥器。通过调整流量阀来控制流量的大小和湿度。

特征：可把干燥器描述成一个干燥箱，空气在太阳能空气加热器内加热，用风机将它排出。

太阳能空气加热器是由黑的硬质纤维板组成，纤维板底层绝热并覆盖塑料(玻璃)板。加热器面向南，它的倾斜度对于所在地区及特定季节应为最佳值。

空气通过加热器下部的入口流入，再通过涂黑硬质纤维板(吸热板)和盖板之间的通道向上流动。如果在吸热板和盖板之间放置涂黑的金属网，加热器的效率可以提高。因为太阳辐射通过透明的盖板为金属网和硬质纤维板一起吸收。金属网提供附加的热交换表面，使流过的空气增加热量。使用这种系统，加热器的效率可超过 75%。

加热器的热空气出口与干燥箱底部连接，12个托盘分布在两个相邻的 6 层架子上。热空气通过干燥物循环上升，其余的热量是由于干燥室东、南、西三面透明盖层透过的太阳辐射获得的。干燥器的水平底面和背部垂直面是黑色硬质纤维板，它们需要保温以减少热损失，旋转风扇固定在干燥箱上方的托盘架子上。托盘架子应有足够的长度，以能获得烟囱的效果和更多的风量。

旋转风扇是一个可移动的波形叶片转子(一定翼角的转动叶片),当叶片在风中旋转时,风从通风扇的排气口排出。转子安装在球轴承支承上,它的摩擦力小,即使是另量小风时,动量也能维持风扇自旋。用这种风机进行的大量试验表明,这种旋转式风机,尽管是在间歇阵风间,均能保持高而恒定的排风量。

还可以利用一个置于烟囱顶部的静止排气管。然而,必须指出,无风时,它只能依靠自然对流通风,这种干燥器不是最佳的。

8. 太阳能加热干燥箱(美国)

这里介绍的结构表明,有可能利用原有的干燥仓的结构,将传统的仓式干燥器改装成间接的太阳干燥仓。如果这种廉价的加热部分装到贮存仓上去,它可以节约可观的燃料费用。

特征:这种干燥仓沿着东西方向排成一行,朝南的顶板用作太阳能加热器,顶板加热器的水平面倾角约为 30° ,并设计成能产生比外面空气高 $5\sim 12^\circ\text{C}$ 的最佳温升。谷仓的结构为每 2米^3 的谷物提供 1米^2 的加热器面积。作者发现上述比例为带壳玉米提供了可接受的干燥率。顶板涂黑以利吸收太阳能量,离顶板8厘米处的框架上盖一层透明的塑料薄膜,将它拉紧固定在棱边的侧面上。用风扇引出的空气沿着顶尖部进入开孔,通过加热器上部向下经南面墙进入外部空气管道。在那里,风扇将热空气推入内侧空气管道,并经由有孔的板通过谷物。谷仓设计成一次能干燥一半深度的带壳玉米(1.22米)。假定谷仓是满的,风扇应能为要干燥的每立方米谷物提供 $2\text{米}^3/\text{分}$ 的空气(图6)。

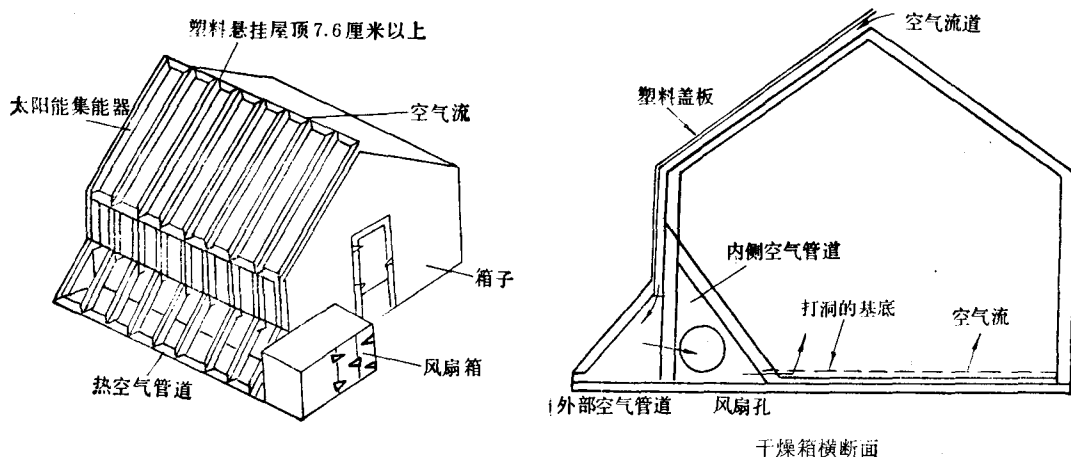


图6 太阳能加热干燥箱

9. 大规模太阳能农业干燥器(巴巴多斯)

大规模太阳能农业干燥器是供应当地喂养牲口的饲料而设计的。最初打算用它来生产干谷物。操作分为两步:首先,产品在可移动的干燥车上进行部分干燥,然后输送到屋里完全干燥,直到达到所要求的含水量。

特征:干燥器主要是为两阶段操作而设计的,每天可以处理 0.9米^3 (770公斤)新鲜的带壳谷物。第一部分由可移动的太阳能加热干燥车组成,在操作的头一天,将刚收获的谷物含水量从30%降低到18%,然后输送到容积为 18米^3 的太阳空气加热的存贮仓里,这里水分含量逐步降低到13%的平衡含水率。特别要注意的是,空气流量的设计应使空气通过系统及干燥箱体所引起的压降最小。

离心式风机将空气通过扩张风道鼓入 29 米长的太阳能田间加热器。加热器用三种塑料板制成，上部是透明盖板，中间一层是一块开孔率占 50% 的涂黑的筛网，下层是保温层。保温层夹在两层薄膜之间，上层薄膜涂黑，下面是铝膜。薄板沿长的棱边上密封，每隔一米要用拉紧的带支撑。中部的筛网固定在刚性的筛网架上，筛网架要与地面上的两杆之间拉直。当空气纵向流过时被加热，加热器的端部与可移动的干燥车连接，后者要保温，以减少热损失，并与支撑带孔干燥板的气流分配器相配合。新鲜谷物装进一个倾斜的双层塑料顶罩盖的车里。

当含水量降低到所要求的水平时，谷物输送到风道，再输送到仓库式箱形干燥器，在这里谷物水份逐步降低到 13%。这个干燥器是农场建筑的一个组成部分，其中一间屋子改成一个具备强制吹风的干燥室和有孔的干燥垫板干燥室，屋顶用作太阳能空气加热器。

10. 太阳能木材干燥窑(印度)

所设计的太阳能木材干燥窑(图 7)与传统的空气干燥方法相比，可提高木材干燥效率。这种特殊设计大量应用于低温加热(高达 60°C)，并能快速干燥而不致使木材品质过分降低(如开裂、翘曲)。

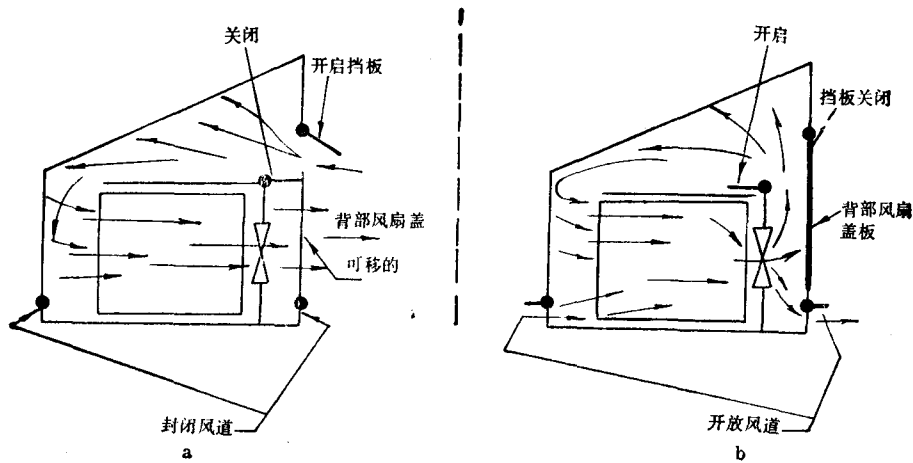


图 7 窑的工作示意图

a. 强迫空气干燥器的一个单一通道

b. 具有部分通风的再循环空气干燥器

特征：窑的结构是木制框架，在东西方向纵向定位，高墙朝北。除北墙外，整个结构用中间有空气间隙的双层透明聚乙烯薄膜覆盖。北墙结构为胶合板，顶部朝南，其倾斜角为当地纬度(27°)的 0.9 倍，室内的干燥空间每次应能容纳 25 毫米厚的 3.5 米³木板，窑内安置要干燥的木堆。另一堵北面的假墙从地面到假天花板覆盖了整个窑的长度，并且北墙的中部有一个装风扇的孔。在窑的内表面全部涂黑，以利于最大限度的集热(内表面包括：木顶上的螺栓和柱、辅助的天花板、北墙隔板、北墙、挡板、混凝土地面)，风扇用 0.75 千瓦双向马达带动，以使空气强迫对流。胶合板的挡板及活动隔板可以作为单通道干燥器或作为以部分空气通风的再循环式干燥器。(参考文献略)

韩建功译自《Sharing the Sun: Solar Technology in the Seventies》,

Vol. 7, p. 7~21

陆维德校

加拿大西部利用太阳能 干燥谷物的潜力

Greg J. Schoenau Robert W. Besant

摘 要

本文对加拿大西部利用太阳能干燥仓内谷物作了分析。研究中使用了加拿大萨斯喀彻温省的萨斯卡通的气候资料。分析评价了干燥系统中使用的三种基本的平板集热器,即裸板、盖板和悬置吸热板集热器。在单位成本效率的基础上,发现盖板集热器最适用于粮仓壁即是吸热板的谷物干燥系统。对这种结构画出了一组设计曲线。可以用这些曲线来预示不同流量及不同集热器面积的温升。太阳能干燥的经济性根据与电加热比较来检验。太阳能系统看来十分可取,即使电费不上涨,经5年多也可回收投资。本文还研究了一个太阳-风力系统,但在近期看来不很实用。

引 言

谷物的变硬或潮湿,通常是由于收获季节恶劣的天气带来的后果。过去两年,加拿大西部糟糕的收割期气候,要求对成千成百蒲式耳的谷物进行干燥。这些谷物中的很大一部分可以用太阳能进行干燥。

太阳能用以加热空气以干燥谷物是一种极好的能源。所要求的干燥空气的温度可以很低,而且并不要求恒定。因此,所用集热器可以十分简单而且价格不贵。

太阳能干燥对小容量的仓内干燥最为合适。这种干燥方式在加拿大和美国大部分地区正在得到迅速推广。将空气强制通过仓内的谷物就可获得干燥效果,虽然空气不预热也能达到很好干燥,但往往还用电或丙烷将空气预热。在这种型式的系统中,在通风机进口处安装太阳能集热器以代替常规的预热能源实现太阳能干燥。

近年来,美国已对太阳能仓内干燥系统作了初步研究^[1~3]。对加拿大西部看来最有希望的系统是 Peterson 为干燥带壳玉米而研究的一种结构^[3]。这种系统的特征是用仓壁支撑集热器。一种垂直放置的集热器对加拿大产粮区所在的纬度来说是比较有效的。

本文目的是研究用于谷物干燥的平板集热器模拟模型。这些集热器的性能(以它们的效率和成本来表示)是在加拿大西部干燥季节典型的气候条件下评价的。还建议在离常规电源遥远的谷仓采用太阳-风力驱动的谷物干燥系统。

太阳能谷物干燥

谷物干燥过程

一种常规的仓内谷物干燥系统示于图1。将普通的贮存室改装成带孔地板结构。孔的面

积至少占总面积的 15%^[4]。空气由风扇打入，强迫通过地板进入谷仓，自顶部出气孔出去时将谷物的水分带走。在风扇后面往往放置一个辅助热源。

谷物干燥的基本原理是谷物与空气之间的一种热传递与水分传递。图 2 是麦子含水量作为空气的相对湿度的函数的平衡曲线。从图中的点划线可以看出，在空气相对湿度为 70% 时谷物的平衡含水量为 14.1%。因此，当通过谷物的空气的相对湿度小于 70%，它就可以从谷物吸收水分。反之，空气的相对湿度大于 70%，则谷物从空气吸收水分。所以，对空气预热就是降低它的相对湿度从而增加它的干燥潜力。

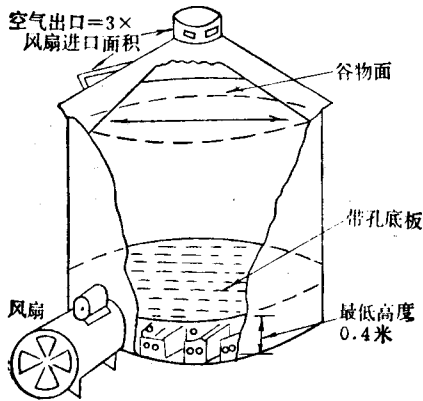


图 1 仓内谷物干燥系统

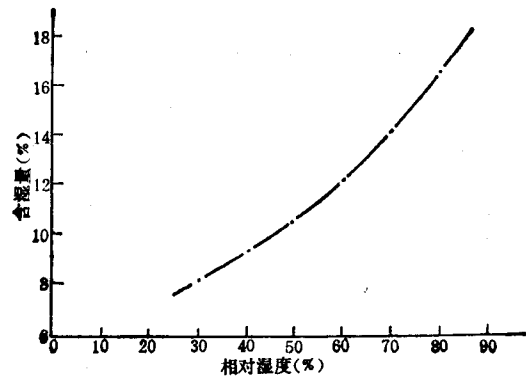


图 2 在 25℃ 时麦子的平衡含水量

气候

加拿大西部的气候一般说来对利用太阳能干燥谷物是适宜的。与北美其它地区相比，空气的相对湿度及太阳辐射强度都是有利的。例如，萨斯卡通的年平均日照时数为 2200 小时，而温哥华仅为 1600 小时。

本文中所用的气候资料是基于谷物干燥期间的平均值。谷物干燥时期是指 9 月 21 日～10 月 21 日正午前后 8 小时。这段时间是一日中太阳强度最大而空气相对湿度最低。但必须指出，在其它时间内，只要环境相对湿度足够低也可以进行干燥。

Moysey 和 Wilde^[5]研究了用加热空气进行干燥的可能性，并编纂了 1953～1962 年的相对湿度的资料。从该资料中得到的谷物干燥期间的平均空气相对湿度为 52%，很有意思的是，在如 1959 年那样不良的收获期，空气的相对湿度仅偏离该平均值 + 3%。

NRC (加拿大国家研究委员会) 编纂的资料中的平均风速是 5.67 米/秒，平均气温为 15.0℃。

表 1 列出了在萨斯卡通干燥季节内垂直南墙上的平均日射。晴天的数据取自 ASHRAE^[7] (美国采暖、制冷、空调工程师学会)，其中所用的清晰因数为 1.1。这些值按 Liu 和 Jordan^[8] 建议的假设地面反射为 20% 来修正。表 1 中列出的平均值是根据 NRC 对萨斯卡通晴天数据得出的晴天值与水平面上的每天平均日照的比率求得的。

集热器结构

有三种比较简单而基本的太阳能集热器结构，可用于太阳能谷物干燥。它们是普通的有盖板的吸热板、裸板和悬放着的吸热板。图 3 为这三种基本型式。

表 1 9月21日~10月21日在萨斯卡通南墙平均日照值

时 间	瓦/米 ²				
	9:00	10:00	11:00	中 午	平 均 值
晴 天	531	711	826	866	734
平均每天	363	486	565	592	502

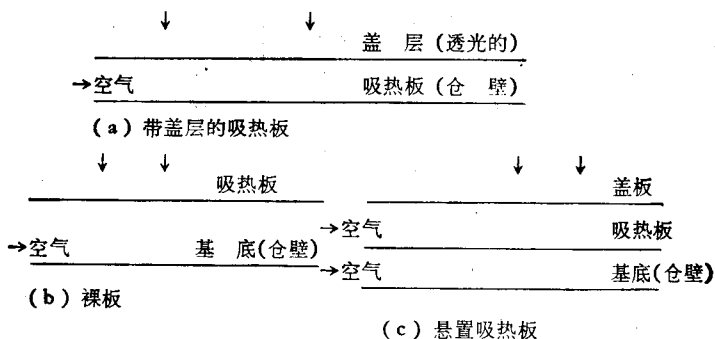


图 3 预热空气用的太阳能集热器

图 4 是圆形和矩形贮谷仓的整个太阳能干燥系统示意图。在圆形谷仓中，集热器置于南半墙；对于矩形谷仓，集热器置于南墙和南屋顶上，集热器盖层用木螺栓挂在谷仓壁上，盖层围住干燥用风扇以使在进风口周围形成一个气密保护罩。于是，空气在进入风扇进口之前吸进集热器，然后强迫吹过谷物。

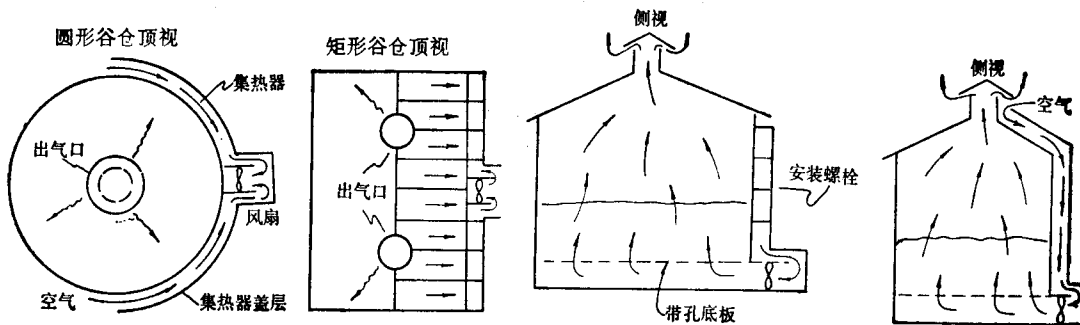


图 4 圆形和矩形结构的仓壁集热器结构

集热器性能

在数字电子计算机上对三种集热器的性能用模拟方法进行了研究。描述方程在附录中给出。气候变量在本文“气候”一节已经给出。

表 2 列出了在一组气象条件下每个集热器性能的模拟计算结果。表 2 列出的常数在附录中有说明。可以预料，悬置吸收板集热器的集热效果最好，而裸板的最差。无风情况下，裸板的性能相对地有所改善，但它仍然是最差的。裸板、盖板吸热板及悬置吸热板的材料费用分别为 5.65、2.56 和 6.60 美元/米²。对于定期替换的盖板及重新油漆的运行费用分别为 0.20、0.50 和 0.50 美元/米²。这种估算是以吸热板用金属板，盖层用 4 密尔聚乙烯，普通黑板漆及木框架为基础的。假定 10% 利润，寿命为 20 年，则裸板、盖板吸热板和悬置吸热板集热器的

年成本分别为 1.04、0.89 和 1.49 美元/米²。以效率(%)与成本(美元)之比为基础,对这三种集热器进行比较,显示盖板集热器的综合性能最佳。

表 2 三种平板集热器的性能

集热器型式	集热器空气		平均气候条件		晴天无风	
	流 量 (米 ³ /分)	流 速 (米/秒)	温 升 (°C)	效 率 (%)	温 升 (°C)	效 率 (%)
裸 板	20	1.0	3.6	10.0	10.9	20.6
	80	4.1	2.3	25.9	6.0	45.2
	140	7.3	1.8	35.2	4.2	56.1
盖板吸热板	20	1.0	10.3	28.5	16.1	30.3
	80	4.1	4.8	52.5	7.6	57.0
	140	7.3	3.2	69.9	5.0	65.8
悬置吸热板	20	1.0	16.0	44.1	24.7	46.7
	80	4.1	5.8	64.4	9.3	69.8
	140	7.3	3.6	70.0	5.7	75.4

集热器参数: $\tau_{e,s}=\tau_{e,l}=0.87$, $\alpha_c=0.065$, $\rho_c=0.065$, $\alpha_p=0.95$, $\rho_p=0.05$;

气候参数: $\tau_a=15^\circ\text{C}$, $V_w=5$ 米/秒, $q_s(\text{平均})=501$ 瓦/米², $q_s(\text{晴天})=734$ 瓦/米²

图 4 是对盖板集热器在平均气候条件下预示温升的一组设计曲线,集热器的参数与表 2 同。这些曲线能够为给定的集热面积与空气流量下预示空气的温升。太阳能集热器的面积由朝南的仓壁和屋顶部分的大小来确定。空气流量有赖于小麦的数量和初始含水量。表 3^[4]列出了在不同的初始谷物含水量下达到保险干燥的最大谷物深度及最小空气流量。

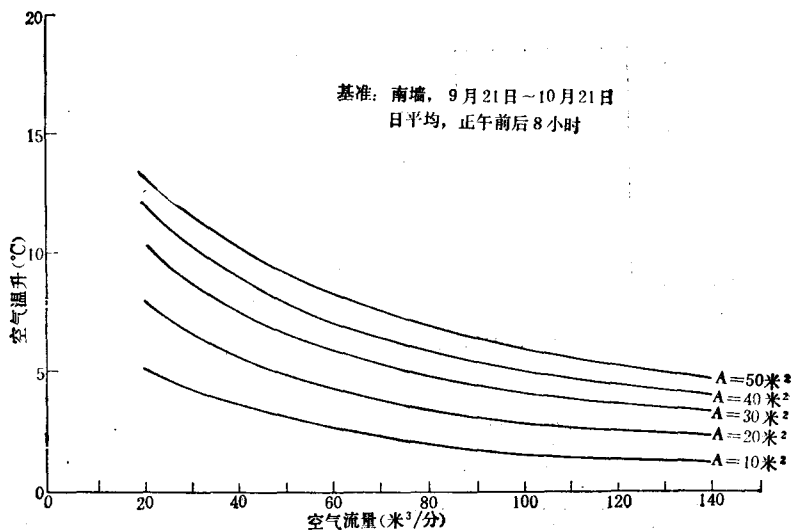


图 5 为盖板集热器预示的空气温升

稍高于环境温度的温升就能明显地缩短干燥时间。例如,在本文例举的平均干燥气候条件下,若有 5 °C 的温升就比户外或自然空气干燥所需时间至少减少一半^[9]。

为谷物干燥系统太阳能部分求出经济回收是有可能的。考虑一个 30 米²盖板集热器系统,空气流量为 80 米³/分。这样的系统有可能干燥 1000~2000 蒲式耳的小麦,其数量取决于初

始含水量。假定在平均气候条件下运行4星期，可用表2的数据来计算太阳能输入量，算得为1770千瓦时。用目前的电费价格2美分/千瓦时计，并假定每年上涨15%，则系统不到3年就可回收。如电费不上涨，回收期限也仅为5年。

太阳能-风能谷物干燥系统

另一种在加拿大大草原上相当丰富的再生能源就是风能。高性能风车的最新发展，如直立轴的NRC涡轮^[10]，可以使风力成为一种实际的替代能源。

一种用NRC涡轮驱动的太阳能-风能谷物干燥系统简示于图6。该系统除了风机置于谷仓顶部并靠风力涡轮驱动以外，基本上与图3所示的系统相同。这种置于太阳能系统上的动力自给系统的一个明显优点是它可以在田间使用，大部分现有的贮谷仓都在那里。

South和Raugi^[10]绘制了一张诺谟图来确定在给定风速及输出功率下风力涡轮的直径。

因为由风力得到的功率随风速的三次方变化，这就需要找出立方根平均风速。欲求此风速，要求有风频分布的资料。NRC已编纂了萨斯卡通地区在干燥季节的平均风速、风频和风速日变化的数据^[6]。根据该数据，计算得正午前后8小时内立方根平均速度为7.2米/秒。该计算中，假定在风速小于3米/秒和超过17米/秒时不能得到有用功。

驱动风扇所需要的功率可由Lampman、Moysey和Norum^[4]介绍的资料确定之。该功率决定于流量和谷物的深度。60米³/分的流量和2米的谷物深度需要700瓦的功率，其中包括经过集热器的压降消耗。

按照South和Rangi的计算，风力涡轮的直径至少需3米。这样的风车太大而且昂贵以致不能实现。然而，小一点的涡轮对变硬的或潮湿的谷物的通风在经济上已证实是可行的。通风是将外界的空气以小流量通过谷物，以冷却及抑制水分流动来防止谷物变质。

表3 为自然空气干燥建议的最大深度及最小空气流量

谷物类型	谷物含水量 (%湿基)	最大深度 (米)	最小流量 (米 ³ /分-蒲式耳)
小麦	20	2.5	0.03
	18	3.0	0.02
大麦	16	3.6	0.01
	20	3.3	0.02
燕麦	18	3.7	0.015
	16	4.9	0.01

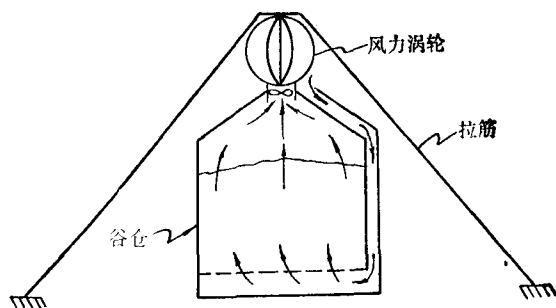


图6 太阳-风力谷物干燥系统

结 语

考查了一个利用置于仓壁上的太阳能集热器预热干燥空气的谷物干燥系统。在成本效率的基础上，盖板集热器看来是所研究的三种集热器中最为合适的。提出的一组设计曲线，用于预示在平均气候条件下盖板集热器在不同流量和面积下的温升。与用电能相比，用太阳加热使谷物干燥在经济上似乎是有利的。少于三年的投资回收期是可能的，它取决于电费的上涨率。

所提出的太阳能-风能驱动系统是不甚吸引人的,主要原因是获得足够流量所需的风力涡轮相当大。然而,风力系统有可能用于通风冷却使变硬或潮湿谷物免遭变质。

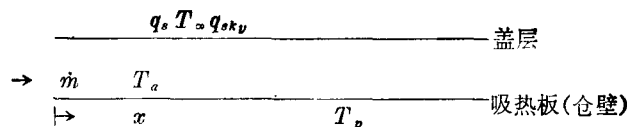
附 录

该附录中提出的公式是用来模拟本文第二节中三个平板集热器的性能的。太阳能集热器的基本传热方程根据参考文献(11、12和13)导出。

符 号

- τ_{cs} ——盖层的短波辐射透过率;
- τ_{cc} ——盖层的长波辐射透过率;
- α_{cs} ——盖层的短波辐射吸收率;
- α_p ——板的吸收率;
- ρ_p ——板的反射率;
- ρ_{cs} ——盖层的短波反射率;
- C_p ——空气比热(千焦耳/公斤℃);
- h_{∞} ——盖层外的传热系数(瓦/米²);
- h_c ——盖层内的传热系数(瓦/米²);
- h_p ——板的传热系数(瓦/米²);
- σ ——斯蒂芬-波尔兹曼常数(5.67×10^{-8} 瓦/米²K⁴);
- \dot{m} ——空气流量(公斤/秒);
- L ——定型长度(米);
- A_c ——盖层面积(米²);
- A_p ——吸热板面积(米²);
- V_a ——通过集热器的空气流速(米/秒);
- V ——风速(米/秒);
- W_c ——盖层宽(米);
- K ——导热系数(瓦/米℃);
- T_a ——空气温度(℃);
- T_p ——板温(℃);
- T_c ——盖层温度(℃);
- T_{∞} ——环境空气温度(℃);
- T_{skv} ——相当于黑体的天空温度(℃);
- q_s ——太阳辐射强度(瓦/米²)。

平板集热器



平板集热器的基本方程如下:

盖层

$$\alpha_{cs}(1 + \tau_{cs}\rho_p)q_s - h_{\infty}(T_c - T_{\infty}) - h_c(T_c - T_a) = 0 \quad (A \cdot 1)$$

吸热板*

* 注意: 在所有集热器中, 假定通过集热器背部热损可忽略。这个假设是合理的, 因为谷物紧挨着仓壁可起到保温作用。小麦的导热系数与木材类同。

$$\tau_{cs}\alpha_p q_s / (\rho_{cs} + \alpha_p q_s) - U_{p1}(T_p - T_{sky}) - A_p h_p (T_p - T_a) / A_c = 0 \quad (A \cdot 2)$$

空气

$$\dot{m}c_p (dT_a/dx) - H_p W_p (T_p - T_a) + h_c W_c (T_c - T_a) \quad (A \cdot 3)$$

上述方程中 T_a 的解是

$$T_a = (T_\infty + K_6/K_7)e^{-k_7x} - K_6/K_7 \quad (A \cdot 4)$$

式中

$$K_6 = (h_p W_p K_5 + h_c W_c K_4) / \dot{m}c_p$$

$$K_7 = (h_p W_p K_5 + h_c W_c K_3 - h_p W_p - h_c W_c) / \dot{m}c_p$$

$$K_5 = (K_2 q_s + U_{p1} T_{sky}) / (U_p + A_p h_p T_p / A_c)$$

$$K_3 = h_p / (A_c U_{p1} / A_p + h_p)$$

$$K_4 = (K_1 q_s + h_\infty T_\infty) / (h_\infty + h_c)$$

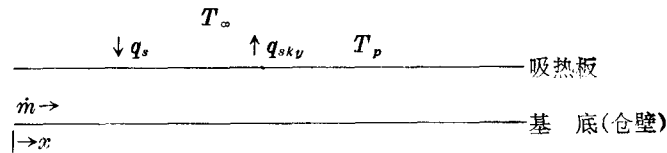
$$K_3 = h_c / (h_\infty + h_c)$$

$$K_2 = (\tau_{cs} \alpha_p q_s) / (\rho_{cs} + \alpha_p \rho_{cs})$$

$$K_1 = \alpha_{cs} + \tau_{cs} \rho_p \alpha_{cs}$$

$$U_{p1} = \alpha_p \tau_{cs} \sigma (T_{p0}^2 + T_{sky}^2) (T_{p0} + T_{sky})$$

裸板集热器



裸板集热器的基本方程是:

吸热板

$$\alpha_p q_s - U_{p2}(T_p - T_{sky}) - A_p h_p (T_p - T_a) / A_b - A_p h_\infty (T_p - T_\infty) / A_b = 0 \quad (A \cdot 5)$$

空气

$$\dot{m}c_p \frac{dT_a}{dx} = h_p W_p (T_p - T_a) \quad (A \cdot 6)$$

T_a 解的形式与带盖板的集热器者同

$$T_a = (T_\infty + K_{12}/K_{11})e^{k_{11}x} - K_{12}/K_{11} \quad (A \cdot 7)$$

式中

$$K_{12} = h_p W_p K_{10} / \dot{m}c_p$$

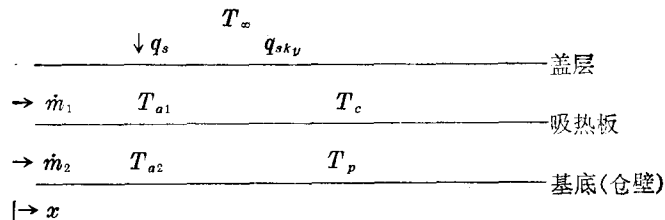
$$K_{11} = (h_p W_p K_9 - h_p W_p) / \dot{m}c_p$$

$$K_{10} = (\alpha_p q_s + U_{p2} T_{sky} + A_p h_\infty T_\infty) / (U_{p2} + A_p h_p / A_b + A_p h_\infty / A_b)$$

$$K_9 = A_p h_p / (A_b U_{p2} + A_p U_p + A_p h_\infty)$$

$$U_{p2} = \alpha_p \sigma (T_{p0}^2 + T_{sky}^2) (T_{p0} + T_{sky})$$

悬置吸热板



悬置吸热板集热器的基本方程是:

盖层

$$K_{11} q_s - h_\infty (T_c - T_\infty) - h_c (T_c - T_{a1}) = 0 \quad (A \cdot 8)$$

吸热板

$$K_{2q_0} - U_{r1}(T_p - T_{skv}) - A_p h_{p1}(T_p - T_{a1})/A_c - A_p h_{p2}(T_p - T_{a2})/A_c = 0 \quad (A \cdot 9)$$

空气流 1

$$\dot{m}_1 c_p \frac{dT_{a1}}{dx} = h_{p1} W_p (T_p - T_{a1}) + h_c W_c (T_c - T_{a1}) \quad (A \cdot 10)$$

空气流 2

$$\dot{m}_2 c_p \frac{dT_{a2}}{dx} = h_{p2} W_p (T_p - T_{a2}) \quad (A \cdot 11)$$

上述两方程中空气温度 T_{a1} 和 T_{a2} 的解是:

$$T_{a1} = K_{26} e^{-k^{**}x} + K_{27} e^{-k^{**}x} + K_{28}/K_{23} \quad (A \cdot 12)$$

$$T_{a2} = (K_{18} - \frac{dT_{a1}}{dx} - K_{16} T_{a1})/K_{17} \quad (A \cdot 13)$$

式中 $K_{29} = (K_{22} - \sqrt{K_{22}^2 - 4K_{23}})/2$

$$K_{28} = (K_{22} + \sqrt{K_{22}^2 - 4K_{23}})/2$$

$$K_{27} = (K_{16} T_{\infty} + K_{28} K_{24}/K_{23} - K_{28} T_{\infty} - K_{18} + K_{17} T_{\infty}) / (K_{29} - K_{28})$$

$$K_{26} = T_{\infty} - K_{27} - K_{24}/K_{23}$$

$$K_{25} = K_{16} K_{21} - K_{19} K_{18}$$

$$K_{24} = K_{20} K_{18} - K_{17} K_{21}$$

$$K_{23} = K_{16} K_{20} - K_{19} K_{17}$$

$$K_{22} = K_{19} + K_{20}$$

$$K_{21} = h_{p2} W_p K_{15} / \dot{m}_2 c_p$$

$$K_{20} = (h_{p2} W_p - h_{p2} W_p K_{13} - h_{p2} W_p K_{14}) / \dot{m}_2 c_p$$

$$K_{19} = -h_{p2} W_p K_{13} / \dot{m}_2 c_p$$

$$K_{18} = (h_{p2} W_p K_{15} + h_c W_c K_{14}) / \dot{m}_2 c_p$$

$$K_{17} = -h_{p1} W_p K_{14} / \dot{m}_1 c_p$$

$$K_{16} = (h_{p1} W_p + h_c W_c - h_{p1} W_p K_{13} - h_c W_c K_{13}) / \dot{m}_1 c_p$$

$$K_{15} = (K_{2q_0} + U_{r1} T_{skv}) / (U_{r1} + A_p h_{p1} / A_c)$$

$$K_{14} = K_{13} h_{p2} / h_{p1}$$

$$K_{13} = A_p h_{p1} / (A_c U_{r1} + A_p h_{p1} + A_p h_{p2})$$

确定传热系数的基本公式以 Kays^[14]的为基础, 但为了与 Tan 和 Charters 的结果相一致, 将它增加 10%, 成为

$$h = 0.0158 K / 2 Re^{0.8} \quad (A \cdot 14)$$

盖层外的传热系数为

$$h_{\infty} = 5.7 + 3.8V \quad (A \cdot 15)$$

这是 McAdams^[16]的工作, 它可用于平板集热器外风的对流换热系数。

黑体天空温度用下式表示:

$$T_{skv} = T_{\infty} - 6 \quad (A \cdot 16)$$

(参考文献略)

陆维德译自《Sharing the Sun: Solar Technology in the Seventies》,

Vol. 7, p.33~49

郑敏棹校