

太阳能利用编译资料

青海省农牧机械科学研究所

一九七九年九月

目 录

青海省的太阳能资源·····	(1)
太阳能利用的展望·····	(4)
阳光的捕集·····	(5)
太阳能集热器设计的变革·····	(12)
盐水池收集太阳能·····	(18)
简易太阳能集聚器·····	(18)
窗上的太阳能集热器·····	(19)
非晶硅太阳能电池·····	(20)
用分裂阳光的方法来获得更多的能量·····	(21)
三种太阳能空气加热器的性能试验·····	(22)
利用低熔点盐类的熔解热贮存太阳的热量·····	(29)
太阳能在农业上的应用·····	(30)
阳光驱动灌溉水泵·····	(37)
大型农场使用的太阳能灌溉水泵·····	(39)
用于猪舍取暖和散热的太阳能系统·····	(40)
10兆瓦的太阳能发电站·····	(41)
太阳能蒸汽装置·····	(42)
供应热水太阳能水池·····	(43)
澳大利亚用太阳能为通讯系统供电·····	(44)

青海省的太阳能资源

青海省气象局科技处

我省位于青藏高原东北部，幅原辽阔，地势高耸，太阳能资源非常丰富。其主要特点是：

一、太阳辐射的总能量多：

辐射总能量决定于两个因素：即单位时间的辐射强度和光照时间。

1、太阳辐射能量的强度：

地面上得到的太阳辐射能量是由两部分组成，一是以平行光形式直接投射到地面的直接辐射。一是阳光通过大气层时，经空气分子、尘埃、烟粒、云体等散射反射后，从天空以漫射形式到达地面的散射辐射。两者之和称为总辐射，即我们用来表达各地日能大小的基本量值。

我省海拔高，空气稀薄，大气干燥，洁净、透明。阳光穿越时被大气层削弱的程度较小，所以，直接辐射强度很大。

表1 各地垂直于阳光射入表面的最大直接辐射值

地 名	高 度 (米)	空气密度 相当海平面 的比值 (%)	近地层水汽含量 (克/米 ³)		直 接 辐 射 强 度 (卡/厘米 ² ·分)	
			一 月	八 月	77年1月	76年8月
唐古拉山	5068	58%	0.8	6.8	1.80	1.66
格 尔 木	2808	74%	1.1	6.6	1.51	1.53
西 宁	2261	79%	1.5	12.0	1.40	1.42
重 庆	261	94%	8.7	26.6	0.71	1.33
上 海	5	100%	6.1	29.8	1.24	1.27

高原上总辐射能量强度也是很大的。经常发生 >2 卡/厘米²·分的现象。如西宁总辐射强度极大值曾达到2.12卡/厘米²·分，唐古拉山区出现过2.4卡/厘米²·分以上的记录，这在内地平原上是绝对达不到的。

2、太阳光照时间（日照时数）：

我省气候干燥，晴天多，阴天少，太阳光照时间长，尤其柴达木盆地更为突出，年日照时数可达3000小时以上，冷湖地区甚至超过3600小时，是全国所罕见的。

注：关于单位换算：

$$1\text{卡/厘米}^2\cdot\text{分} = 600\text{千卡/米}^2\cdot\text{小时}$$

$$1\text{卡/厘米}^2 = 10\text{千卡/米}^2 \approx 0.7\text{千瓦/米}^2$$

$$1\text{千卡/厘米}^2 = 10000\text{千卡/米}^2$$

表2 各地日照时数表(61~70年)

地 名	夏半年(4~9月)	冬半年(10~3月)	全 年
冷 湖	1987	1616	3603
格 尔 木	1667	1434	3101
西 宁	1450	1343	2793
玉 树	1279	1198	2477
北 京	1526	1268	2794
上 海	1194	898	2092
成 都	814	453	1267

3、年(月)辐射总能量:

我省辐射强度既大,光照时间又长,自然年(月)辐射总量也多,全省各地年总辐射在140~180千卡/厘米²·年之间,地理分布趋势是西北多、东南少,但即使辐射能量最少的果洛、玉树南部,其量值也超过内地平原的北京、上海诸地。

表3 各地辐射总量(千卡/厘米²)

地 名	夏 半 年 (4~9月)	冬 半 年 (10~3月)	全 年	记录年代
格 尔 木	102.3	63.2	165.5	61~70
西 宁	90.6	57.9	148.5	61~70
玉 树	89.1	62.5	151.6	61~70
上 海	68.4	46.9	115.3	61~70
北 京	79.8	46.5	126.3	76
成 都	55.3	29.5	84.8	76
南 京	60.3	41.4	101.7	76
西 安	70.3	40.6	110.9	76

二、总辐射能量中直接辐射比重大:

为了有效地利用太阳辐射能量,各种型式的集热系统都要求最大限度的采集与集热感应面相垂直的直射阳光,也就是直接辐射能量,因此,直接辐射在辐射总能量中的比重和量值,才是鉴定太阳能利用价值的最直接、最重要的标志。

我省晴天多,辐射总能量中直接辐射所占的比重大,尤其在集中采暖的冬季比重更大,这为有效地利用日光能提供了最宝贵的条件。

三、紫外辐射强:

太阳辐射波长范围很宽,但绝大部分集中在0.15~4微米(1微米=10⁻⁶米)之间,其中<0.4微米波段的为紫外辐射区;0.4~0.76微米波段为可见光区;>0.76微米波段的是红外光区。

表 4

各 地 时 阴 天 日 数

天 气 型	地 名	夏半年	冬半年	全 年	年 代
晴 天 (平均总云量<2成)	冷 湖	35	50	85	61~70
	格 尔 木	26	43	69	"
	西 宁	18	49	67	"
	玉 树	10	32	42	"
	上 海	14	30	44	"
	重 庆	21	5	26	56~60
阴 天 (平均总云量>8成)	冷 湖	43	24	67	61~70
	格 尔 木	54	29	83	"
	西 宁	69	36	105	"
	玉 树	87	42	129	"
	上 海	93	74	167	"
	重 庆	92	117	209	56~60

表 5

各地直接辐射能男(千卡/厘米²)及其在总辐射能男中的比值

项 目	地 名	夏半年	冬半年	全 年	年 代
直接辐射能量 (千卡/厘米 ²)	格 尔 木	60.6	42.0	102.6	61~70
	西 宁	53.0	35.5	88.5	"
	玉 树	46.8	37.0	82.8	"
	上 海	37.3	23.4	60.7	"
	北 京	40.8	25.3	66.1	76
	重 庆	31.8	7.5	50.3	58~60
直接辐射在总 辐射中的比值 (%)	格 尔 木	59.2	66.5	62.0	61~70
	西 宁	58.5	61.3	59.6	"
	玉 树	52.5	59.2	54.6	"
	上 海	54.5	49.9	52.6	"
	北 京	51.1	54.4	52.5	76
	重 庆	47.2	27.2	41.4	58~60

我省太阳光谱各波段能量,均较内地平原为大,尤其紫外辐射强度增大的更为明显,如唐古拉山区较上海可大2~3倍。各波段能量在辐射总量中的比重各地也不相同,紫外辐射所占比重高原比内地大。红外辐射相反。

(下接第43页)

太阳能利用的展望

关于太阳能系统有可能接管世界能源系统的设想是无可非议的，但是没有几个人已经在考虑出现一个由太阳提供能量的社会的这种戏剧性转变的各问题。目前，海斯研究了最近太阳能在美国全国范围内显现出来的价值之后，向世界提出了一项推广太阳能的计划。海斯在一篇论文中称，如果转变成一个由太阳提供能量的世界准备在50年内完成的话，则必须立即作出主要的财源估价。

据海斯称，预计在2025年世界能源预算中太阳能工艺将占5/6，可能包括使用70万亿平方米的太阳能集热器和7.5百万兆瓦的太阳能电池。他把这些装置看成是最能促使太阳能发电的希望。到那时，世界水力发电的容量将是现在的四倍，还将建造5百万台风力机，而且，世界上大约将有15%的森林被用来生产作为一种“能源作物”的木材。海斯承认，这笔数量庞大的估价“无疑将是野心勃勃的”。

海斯认为，在2025年，要为比今天人口多75%的世界供应燃料，所使用的能量将是现在使用的两倍；并且还将有大约两倍于此的使用能力。即整个能量的消耗，将等于一年燃烧21亿吨煤。假若这些能量的5/6来自太阳，则在这部分太阳能中，36%将直接作为热量应用，44%用来生产固体、液体和气体燃料，还有20%用作发电。

到2025年，现有的核电站将已经达到它们寿命的终点；地下开采的各种燃料，将作为太阳能的后援而约占总能量利用的六分之一，并将持续1000年以上。随着地下开采的各种燃料地位的改变，CO₂污染大气的问题将几乎可被消除。

假如在海斯设想中称之为固体燃料的全部由木材提供的话，则全世界一年将要消耗2.5亿吨，这大约和我们现在各种应用方面所消耗的木材一样多。若世界上需要的液体燃料将由转化乙醇或甲醇工厂来供应，那么，“达到1995年的目标就将需要建造12500个酒精生产机构。2010年需要31250个；而到2025年的最终目标时，则将需要50000个。”

海斯还说，“没有克服不了的技术上或材料上的困难来妨碍这种由太阳提供能量的转变。”“但是，150多个自然条件和社会条件各不相同的国家将未必能使这一转变进行得很顺利并善始善终。官僚机构的情性，策略上的胆小，互相矛盾的社团计划，以及人们面临影响很大的改变时，所进行的无知的、可理解的反对等，这一切都将使这种转变的速度减慢。”

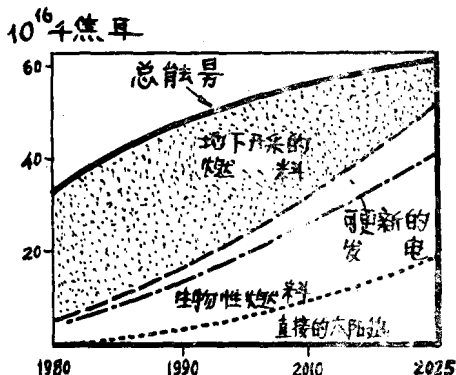


图 阳所提供的能量少于总能量的时间表（左端开始时太阳能转变成由太阳提供能量的百分之一）

——译自《New Scientist》Vol.78, No.1101, 1978.P.276,

阳光的捕集

[美] Janet Raloff

能够利用太阳作动力吗？古代的人们认为这仅是神才能办到的事。但是，经过许多年后，已发展起来的科学和工艺表明，人们曾有企图用一些装备系统将散射的阳光转变成有用的和强有力的能量的梦想，现在已经可以实现了。燃料贮备的减少，更促进了这一进程；因而，美国能源部在太阳研究方面，一年就投资了4亿美元。下面就对利用太阳作动力方面的多样化和技巧性作一简单介绍：

光电效应

市场上一阵短期的混乱活动，激起了寻找利用廉价的光电效应的方法——即将阳光转变成电的太阳能电池。硅太阳能电池是远离地球的宇宙飞船上主要的动力装备；假若其成本不是如此高昂的话，那么，它在地球上将被更加广泛地用作动力。现在，每瓦最大输出功率（即在晴朗天气的中午这一最佳条件下可能输出的功率）的售价高达10或12美元；只有当他们每瓦最大输出功率的成本降到0.5美元时，才能与现有的发电相竞争。但也有一些例外，如少数装在海里浮标上或北极地区遥远的军事设施上的太阳能电池，其成本就远低于从最近的实用处架设动力线。

要成10倍或以更大的倍数来降低硅电池的成本，不是很容易或很廉价就能达到的。许多竞争的工艺正在跨越他们将远在硅电池以前就能达到不可思议的每瓦最大输出功率为1美元或0.5美元的成本。这些竞争者中，大多数的能量转换效率大大低于硅电池——目前，粗略的平均效率约为12~14%——但其中大多数都确信他们至少能在较短的几年时间里达到接近于与硅电池相匹敌的效率。薄膜工艺的出现，就使得这种竞争很有可能。利用涂、喷镀、溅射（Sputtering）或其它一些方法，将半导体材料的薄涂层附着于薄膜上，从而排除了传统的太阳能电池生产过程中某些费用最大的步骤，如拉制纯净的单晶硅并把他们切成薄片，以及薄片表面处理等。

由硫化镉（CdS）和硫化铜（Cu₂S）制成的薄膜复晶（thin-film polycrystalline）太阳能电池，最早约出现在20多年以前。此后的大部分时间里，他们对硅电池的霸权地位并没有形成什么威胁，因为其能量转换效率很低。但是，薄膜复晶电池的效率现正在改进中。据特拉华大学的米金称，该大学能量转换研究所研制的这种电池，目前达到的效率略大于8.5%，而今年年底的目标是10%。他还说，CdS—Cu₂S电池完全可能在10年或15年内，使每瓦最大输出功率的价格降到0.2美元~0.3美元。工艺评定处的凯勒认为，在那样的价格下，利用光电效应产生的电力就能与向大工业用户按巨大功率出售的电力相竞争。

能量转换研究所正完成一项较大的小规模试验工厂的设计，据该研究所所长巴雷特称，到1981或1982年时，CdS—Cu₂S电池将有希望实现每瓦最大输出功率的成本及售价为2美元。他还说，紧接着的计划是打算在1987或1988年，实现按每瓦最大输出功率

售价为0.25美元来生产太阳能电池。

纽约州约克敦洲际弹道导弹高度研究中心的霍维尔称，砷化镓(GaAs)太阳能电池是一个情况不明的候选者，而且很多情况还处在发展中。它也采用薄膜工艺进行生产，这样，制造工艺的费用将少于单晶硅。但材料成本的计算却不是很容易的，因为目前无法购买到金属镓。通常镓是作为金属铝中一种杂质出现的。设计者们被告知，如果镓的需要量增加的话，市场上将会有供应；但是，没有人知道会以什么价格出售。

GaAs电池的主要优点是其效果较高。去年，霍维尔与其合作者伍德勒就这种电池提出的报告称，其能量转换效率为21.9%。这种电池的热输出量也是较高的，但这仅仅是大多数主要设计者目前所作的估计。霍维尔称，GaAs能以20%的效率将阳光转变成电力并能输送100℃—200℃的热水或蒸汽。几乎能使进入的全部太阳能都得到利用。

一个正常的光电池，一般地能将其所接受能量的20%转变成电能，70%转变成热量；其余的则通常由于反射而损失了。霍维尔说，直到最近，太阳能电池的热输出量仍是被抛弃的，虽然这是它适宜于作住宅方面应用的有根据的特性。当光电池产生的电力能带动一些电器时，他们可能被用来补充热水的贮存或房屋的取暖。米金说，实际上特拉华大学建于1973年的阳光一号实验性房屋，就正是利用光电池作这两种应用目的的示范。

将近十年前，发现了非结晶半导体，扩大了利用光电效应的竞争者的阵容。由非晶体硅薄膜制成的太阳能电池，其效率已经达到6%。卡尔森领导了美国无线电公司的新泽西州普林斯顿研究中心生产这些电池的计划。这种非结晶半导体引起了非晶体电池与传统的太阳能电池在结构之间的重大差别。用于一般光电池的硅是一种纯粹而有规则的单晶体，生产起来十分昂贵。非晶体硅的分子结构是不大规则的，其制造费用也不很大，且要简单的多。

卡尔森说，他期望在五年内看到这种电池在商业上推广，而其每瓦最大输出功率的成本约为1美元，在这样的成本下，他们已经可以与效率较高的单晶硅电池相竞争了。他还说，“如果我们能达到10%或更高的效率，就不可能再有人来干涉我们了。”

硫属化合物玻璃(Chalcogenide glasses)是已被密执安州特罗伊能量转换装置公司用来生产商业性太阳能电池的许多非晶体材料之一，该公司的总经理奥新斯克说，“我们认为现在已经解决了那些别的太阳能电池的效率被限制的问题。”

能量转换装置公司早就进行着太阳能电池的制造和试验工作，但是，奥新斯克称，计划的细节还保密着，因为还不曾就他们的能量转换效率向科学界报导过。并说，在明年，予期效率将达到10%左右，而这种非晶体电池在商业上的推广，也可能约于明年实现。它的成本如何呢？奥新斯克回答说，“我们认为，一旦这种电池进行大批量的工业性生产时，将有能力与传统能源的平均发电成本相竞争，如象煤或原子能发电等。”

一般的太阳能电池只有一个半导体结，但级联系统(Cascading systems)在工作中具有两个或更多的结。例如，在北卡罗来纳州的R.T研究所正开始设计“单片级联太阳能电池”(“monolithic cascade solar cells”)，予期的能量转换效率将高于30%。据该研究所的伯吉尔称，单结太阳能电池仅在一光波长度下工作得很好。而级联型则每一个结都被设计来用于太阳光谱的一个不同部分。伯吉尔又说，采用这种结构，就使这些半导体层相当于叠加成的了。从而增加了整个电池的收集效率。

每个半导体层必须让未被利用的各种波长透过，所以这一层没有利用的光谱范围将能进入另外一些层中。这些半导体层是外延性生长的。（晶体的外延附生是一个不同材料都按其晶体基础生长的过程。）伯吉尔说，这种电池将比普通的太阳能电池更为昂贵，但当后者采用了太阳能集聚装置后，电池的成本则仅仅是整个系统成本的一部分。他说，原型的级联型电池可能采用金属互化合金（intermetallic alloys），如砷化镓一个，并将在一年内完成。

一种能增加各种单晶、多晶和非晶体型太阳能电池转换效率的制造技术，正在科罗拉多州立大学试验。这种技术称为中性离子束溅射法（neutralized ion-beam sputtering），是将氧化镓—锡半导体层植入电池。据该大学的杰尼斯称，由此得到的电池通常呈现较大的导电性，且结合的层很薄，所以在光学上的透明度增加（意即上层未利用的波长能较易于进入下层）。杰尼斯说，用这种方法生产的多晶电池至今已经显示出最高的效率。而美国无线电公司的卡尔森说，他正送一些他的电池到科罗拉多州立大学去做试验。

杰尼斯说，这种过程很简单，与相当的其他技术比较，能在低温下操作而电池表面的损伤也较少产生。还说，在“溅射”时采用中性（不带电的）氩束的成本虽然将两倍于生产设备的主要成本，但其结果改善了效率和导电性，这可能还是值得的。

在光电池方面的另一种变型是由海勒尔、米勒尔和罗宾斯在贝尔电话实验室研制的液体结太阳能电池。这种电池由GaAs和碳的两个电极组成，电极沉浸在一种如硒化物—多硒化物的水状溶液里。其显著的优点就是简便，而效率可达9%。

塔 式 发 电 装 置

美国最大的太阳能发电装置与光电效应没有什么关系。在靠近加利福尼亚州巴斯托的某地，有1,760块略为弯曲的相同镜面，排列成32道圆弧，这些镜面每天都跟踪着太阳，并将阳光聚焦于装在离地250多英尺高的一个中央太阳能吸收器上。泵至塔上的冷水加热后转变成960°F的过热蒸汽，用来发电。能源部的10兆瓦太阳能塔式发电装置，正由麦克唐纳—道格拉斯宇宙航行公司和洛克维勒国际公司的火箭达因分部进行研制。

自十八世纪后期起，就在许多屋顶上出现了众所周知的平板式集热器。目前，这种集热器也正在经历着变化。平板式集热器传统上是用一块涂黑的金属板——通常是铜或铝——来吸收阳光，热量则由通过集热器并在管道中循环的空气或液体带走。因为只有完全的黑色表面才能吸收各种波长的光，所以集热器被做成黑色。黑色的油漆或其它普通的涂料并不是完全的黑色，而且，如果他们又是光亮的、有污垢的或者褪色了的，则他们收集的热量就更少。国家科学基金会的威廉士认为，集热器表面能够设计得更好些，以增加所吸收的光谱带，因而也就增加了能量的吸收。他说，碳化钨是一种过渡金属碳化物，在高温时，它仍是坚固的、稳定的，故能应用于薄膜技术，并能承受反复的热—冷循环。看来，它在这方面是很有希望的，但还必须进行试验。

真 空 管 集 热 器

目前，就连输送热交换液体流过太阳能集热器的管道，也正在改变。通用电气公司

和欧文斯——伊利诺斯公司都是真空管集热器的研制者。通用电气公司的集热器形式类似于日光灯管。每个真空管实际上是装在圆筒内的一根玻璃管，而在内管和外筒之间以一较小的真空间隙隔开。这就象一个热水瓶那样，用真空使内部的吸热管隔热，将热损失减至最小。这种真空管的表面在光谱吸收方面具有选择性，它所吸收的能量，通过管子内表面上的薄金属传热片传入热交换器的介质中。管子的周围，还设有反射装置，以增加他们的集聚能力。据通用电气公司称，这种采用该公司自己研制的管子和反射装置的真空管集热器，它所能收集的能量，几乎是传统平板式集热器的两倍，并可提供250°F的热水。

平板式集热器的另一种变型，是将一种“黑色”的液体（实际上兰色、绿色或褐色同样能工作得很好）通过一个透明的集热器。问题在于寻找各种不褪色、不阻塞通道、不剥蚀管路的稳定流体。西雅图的波音公司对一种液体进行了将近6,000小时的试验，其性能良好。该液体含有弥散在乙烯乙二醇（防冻剂）和水中的碳的微粒。这种液体在1975年就开始应用，每加仑价格为0.8美元。

波音公司还设计了一种玻璃集热器，它能采用自动化的玻璃成形过程，以十分低廉的费用来制造，该过程将三块玻璃薄板滚卷合并成为一个夹层的集热器。顶部和低部的薄板是平的，中间薄板呈波纹状，并作为隔热嵌板和工作流体的通道。

波音公司的一名设计师多米尼特说，这种集热器对温室供热是理想的，但由于在美国西南地区“陆地动植物培养槽并发症”（“terrarium syndrome”）使他们的利用受到限制。由于温室本身就是很有效的太阳能集热器，以致可能使作物造成过热并枯死。多米尼特说，可以利用一种碱水或盐水溶液的蒸发来散热，但是，这需要附加的能量去驱使空气循环。他还说：“必须对某些作物采取保护措施，防止雾化盐粒的扩散。”

就温室方面的应用，波音集热器将使用一种特殊的工作流体，它在光谱性质方面，能让用于植物进行光合作用的光波通过集热器。

多米尼特说，为了夜间的取暖或灌溉作物的盐水脱盐，不希望的辐射热亦将被收集。

一种利用相同原理而适合于住宅方面应用的变型，是用塑料制成的，现在正由巴特尔纪念研究所的哥伦布实验室设计着。据领导这项计划的兰士特朗称，这种低温、低成本集热器有望明显地超过相应的有黑色吸收器的平板式集热器。

太 阳 能 水 池

另一种用于农业或乡村供热的低温、低成本太阳能装置的各项试验工作，正由在伍斯特俄亥俄州农业研究和发展中心的肖特及其同事们负责进行。他们的太阳能水池是尼尔桑在俄亥俄州立大学工作时的付产品。深约10英尺、长60英尺和宽28英尺的水池在整个夏季都收集热量，而在秋季温度达到180°F左右。到冷季时，热量则从池底释放出来。

因为热水的密度小于冷水，即有上升到水池表面，并将其热量散失到大气中的趋势。为了使太阳能水池不进行这一过程，肖特在水池中加入了盐。池水中的含盐量是随深度变化的：底部池水含盐量按重量计为15%，中上部为7.5%，池顶部则是淡水。肖特说，这样能使池底密度大的水停在原处不动，就象一大块凝胶，没有对流循环。热量仅仅通过传导损失，而泡沫聚苯乙烯沿着池边和池底隔热，可使这项损失保持一最小值。肖特还说，水池的顶部是敞开的，盖上只能减少太阳能的输入。即使在水池表面堆

积了6~10英寸的冰雪，但在整个冬天，池底水温仍能保持100°F。

以前的政府原子武器专家泰勒，正在普林斯顿大学为一个有100幢房屋的学院单位的取暖、散热和发电等设计一种公用的太阳能水池。泰勒说，每百万英热单位的燃油成本大于2美元。而该系统提供热量的成本可能并将争取与燃油竞争。此外，它还能通过整个冬季逐次地造冰在夏季进行散热；对这些老式的房屋来说，这在以前是不曾有过的。同时，还能在基地上发电。有正当的理由可以认为，其发电成本可能与实际使用提出的要求相竞争。

泰勒在去年秋季的一次能源会议上告诉科学家们，使太阳能具有竞争力的关键是不能太轻视的。在全世界范围内，许多研究正致力于单独房屋的供热，但没有看到提出一幢房屋要采用一套50,000美元的供热系统的任何论点。而这种供热系统还是美国能源部计划的一部分。虽然我们不知道，也不曾证实用太阳能对房屋供热的成本如何，但这成本是不高的，并能够满足全部的能量要求。

俄亥俄州的标准石油公司和能源部正在远离1,000多英里的新墨西哥州的格兰茨研制低成本太阳能浅池，作为商业和工业上的一种热源。这种水池与肖特的深池不同，而类似于巨大的水褥；每个池宽3.5米、长60米，容水深度5~10厘米。池面是透明的，池底则是能吸收热量的黑色。池底上面的地上有一隔热的垫子，以防止热量传给土壤而损失；一层弯成拱形的波纹纤维玻璃板盖在池上，阻止热量的对流和辐射损失。据Lawrence Livermore实验室领导太阳能计划和协调这项设计的迪金森称，这种集热器的整个装设成本（包括场地的准备），大约每平方英尺为5~10美元。他说，“这种集热器早就与燃用每琵琶桶17美元的油料的系统相竞争了。”

1977年，已有三个水池进行了试验。1978年在亚拉巴马州的一座鸡肉加工工厂，1979年在佐治亚州的本宁堡，还将对其性能效果作进一步的观察。

收 集 辐 射 能 的 漏 斗

另一个提供低成本热量的竞争者是：在阿尔贡国家实验室试验的复合抛物面集聚器（CPC：Compound parabolic concentrator）。CPC的反射槽壁由两条交叉的抛物线的内侧形成。阿尔贡实验室的雷布尔说，CPC的作用就象一只收集辐射能的漏斗一样，可将所有照射在集热器口径上的光线都收集起来。他说，它不聚焦也不映像，但却能在一个给定的接受角度下，将辐射能最大限度地集聚起来。实际上，太阳能够在一条40°的弧线上运行而不离开吸收器的接受范围。其吸收器可能就是一根充满热交换流体的黑色管子，流体则沿集热器槽的纵向流动。但是，为较高温度设计的CPC则采用真空管作为其吸收器，以提供较高的效率。

与其它抛物面型集聚器不同，CPC除集聚直射的阳光外，还集聚相当一部分漫射光（多雾天气）。作为低功率的集聚，它一般不需要跟踪太阳（如跟踪就需要某些精确而昂贵的设备）。假如需要跟踪时，它与相应放大倍率的集聚器相比，其要求常常就低得多。据雷布尔称，CPC反射器是“十分廉价的”，铝制的变型每平方英尺约2美元，而塑料的每平方英尺仅为0.5美元。

人 造 树 叶 (Synthetic leaves)

一些较为引人感兴趣的太阳能利用原理，距离商业性试验还很远。阿尔贡实验室的“人造树叶”就是一个例子。卡特兹、詹森和瓦西里斯基已经研制了一种装置，模仿在绿色植物中光活叶绿素进行的受光控制的电子转移。某些种类的叶绿素当用强光照射时，能逐出电子。为了达到设计出一种“植物”这个长期目标，科学家们正在科研上述过程是如何发生的。而这种“植物”，既可能是如像收获的叶绿素等生物物质，也可能是电子部件；它能够发电，或者能将水分解成氢和氧。在这项设计中，甚至还可改善自然现象，使“植物”具有接受较多的太阳光谱的能力，以减少能量的浪费。

另一类人造树叶正由布鲁克黑文国家实验室的苏亭及其同事们进行研制。在某些性能方面相似于叶绿素的金属络合物 (metal complexes) 能吸收光线的光子。被吸收的光子撞击金属原子外壳层的电子。并使之进入较高的能级。假如受激电子在一个 10^{-10} 或 10^{-12} 秒的化学反应中未被俘获，则它仍将返回到较低的能级，并以热和光的形式释放出额外的能量。

苏亭说，钉三二氮苯离子 (ruthenium trisbipyridine ions) 将成为这类金属络合物有希望的候选者。其吸光性能很好，而被激发状态的寿命也很长。所以，它能利用来作为一种还原剂，由水生产氢气。这个原理解决了大多数太阳能集热系统存在的一个先天性问题，即在没有阳光照射时如何贮存太阳能？因为氢气是易于贮存的，而且是一种有效的燃料。

佐治亚大学的一组人员正在利用降水片二烯 (NBD: norbornadiene) 以及它的高能异构体四环烯 (Q: quadricyclene) 作光化学贮存方面的研究。佐治亚大学的库尔特说，NBD是透明的，它不吸收阳光，所以必须用一种化学媒介物来吸收阳光，并将能量转移给NBD。一旦这个过程发生，NBD就会转变成它的同分异构体Q；而每克Q能够贮存230“小”卡 (“small" calories) 太阳能。库特尔说，因为Q是不活泼的，所以能量就可以无限期地贮存起来。当加上一种化学催化剂后，Q又能释出能量，并仍回复成NBD，就与新的一样。

这种工作系统可能是什么样的呢？库特尔推测说，那些在屋顶上的太阳能集热器可能被衬以光激活剂，而房间里散热器的内表面将涂上Q催化剂。贮存能量时，就将NBD通过集热器；房间取暖时，只要让Q流经散热器即可。

加利福尼亚高等工业学校的格雷还正在进行另一种光化学系统的研究。去年，由格雷和该高等工业学校的同事们发现了一种铈的化合物，当它曝露于可见光线下时，即能产生氢。据称，就像在氢气生产过程中发生的那样，这也需要电子对来形成化学键，而少数光活性化学品一次所释放出的电子数就不至一个。这种铈的化合物就确实是这样。因为这种反应过程是可逆的，所以当氢形成之后必须立即移去。

目前，这系统的效率还是十分低的，但化学家们计划用替换各个不同的原子和改变化合物的分子结构，将其分子很好地调整一下，以降低成本并提高效率。马萨诸塞高等工业学校的赖顿已经研制了一种由水和阳光来产生氢气的系统。这两个单位还正在共同研究，以期设计一套有效而完整的太阳能活性化电解系统 (system for solar—

activated electrolysis)。

混合散热装置(hybrid cooler)

绝大多数太阳能系统是被设计来对人们的环境供热的,但太阳亦可用来散热。虽然目前有各种各样的这类系统正在设计中,但只有燃气工艺研究所的Solar—MEC 这一种混合系统已接近于商业化。它不仅能散热,还能供热、调节干湿度和通风。散热时,房间的空气通过一个含有称为分子筛的干燥剂(一般选用硅酸铝钠;因其即使在高温下,仍具有保持水分的能力)的干燥轮(drying wheel)。进入干燥轮的空气,其水分被干燥到极低的程度(如每磅空气含水0.003磅),然后,干燥空气经过一个显热换热器(Sensible—heat exchanger)而被冷却,再经湿润后又返回房间内。如将这一循环过程逆向进行的话,就能加热空气。据燃气工艺研究所称,这个系统几年来一直在进行试验,其热效率与那些燃气炉相当。

被动太阳能系统

最后,如不谈谈被动太阳能系统的话,太阳能的研究就不完全。被动太阳能系统的集热器很简单。就其典型的形式而言,他们不包含移动的部分,一座建筑物本身就是太阳能集热器。建筑物被设计成能够利用各种可能的方法,将太阳的热量贮存在墙壁、地板和天花板里。虽然被动太阳能系统的建筑至少与社区公寓内的印第安人的土砖结构一样古老,建筑师和工程师们至今还在研究一些物理贮存热量,而过后又重新放出热量的原理,以及所能达到的程度。

马萨诸塞高等工业学校最新的五幢实验性太阳能建筑物,全都是属于被动系统的,并利用了该研究所自己研制的材料;但是,其中还没有一幢在商业上有实用性。建筑物的天花板由聚合物砖构成,每块砖的面积为2平方英尺、厚1英寸,其内部并包含一层芒硝、微粒状的二氧化硅(fumed silica)和其它化学品的衬心;它能贮存一天的热量并在以后需要时能将热量释放出来。这层衬心的作用,就象一个建造在里面的恒温器,以保持37°F左右的恒定温度。其工作原理是利用相变时的熔解热。当它放出热量后,就凝固成固体;第二天,当它再吸收热量时,就又熔解成液体。这种天花板砖是由马萨诸塞高等工业学校研制,并由马萨诸塞州Billerica的Cabot公司的Cab—O—Sil分部生产。在这座被动太阳能系统的建筑物上,就连窗上的威尼斯百叶帘也是特殊的。很窄的百叶窗板的上表面都是镜面,可将射入的太阳能反射到贮热的天花板砖上。这样,可望太阳能够提供这座建筑物所应用的热量的85%。

所有被动太阳能系统的建筑物,在保存能量方面的设计上,与太阳能收集的设计一样重要,一层特殊的透明塑料薄板被嵌装在两层玻璃窗的框架之间,用来将否则可能损失的热量反射回室内。据马萨诸塞高等工业学校的约翰逊称,这种窗子结构能比通常的木板墙和间柱墙提供更好的隔热效果,其损失的能量仅为传统双层玻璃窗的25%。

蒙特吉玛的城堡就是早期太阳能时代的产物;在那时代,只有树木(生物)和石造建筑物(被动太阳能集热器)才是人们能用以温暖他们所处的世界的仅有办法。12个世

(下转第17页)

太阳能集热器设计的变革

〔美〕 Allen L. Hammond

William D. Metz

太阳能集热器也许是太阳能工艺的特点,而且国内许多太阳能的热心者,已向着设计精巧的集热器方面发展。其结果就使金属的、玻璃的、塑料的、水泥的,以及这些材料结合成的集热器的型式有了急剧地增长。虽然获取太阳光的现代工艺学还仅是最近五年内形成的,但已有许许多多的设计方案被提出来,每项设计都在制造上或应用上有一些特殊的优点。集热器设计的范围,从低成本、低温度的变型,一直到能将阳光集聚10,000倍并达到极高温度的装置。

因为制造太阳能集热器的工业还比较幼小,并正处于迅速发展中,所以,获得太阳光的经济性也在不断地变化。据政府部门最近的调查估计,目前约有200家左右的公司积极从事太阳能集热器事业;从1975年以来,工业性的集热器的生产一年就增加168%,大约每七个月就翻一番。1977年上半年,平板式集热器的产量相当于165,000平方米。据能源部估计,在此期间内,约有24,000个房主装设了太阳能系统。许多更新颖和更有效的集热器设计方案,现刚进入制造阶段,故其价格还未反映出批量生产的优越性。

人们所熟知的集热器型式是十分普遍的金属或玻璃平板集热器。几年前,这种平板式集热器还是唯一能实际应用的集热器型式,而现在仍然在商业上占主要地位。但是,平板式集热器目前正面临着不断增长的竞争。它们在体积上,正被设计来加热游泳池的塑料或合成橡胶的管状集热器所压倒——这在一定程度上是由于美国西南部的大部分地区,禁止用天然气加热游泳池所致。平板式集热器在价格方面,也正受到被动太阳能供热系统(Passive solar heating system)和采用较廉价的材料而性能更加有效的高级集热器的挑战。而且,各种高级集热器能产生超过平板式集热器所能达到的更高的温度,并正使太阳能的热量在商业和工业方面的应用成为可能。

性能良好的平板式集热器是,由一块黑色的金属吸热板密闭装于带有玻璃或塑料盖的隔热框盒内所构成。收集的热量传递给空气或一种液体,并用管道输送到预定的地方,通常是一个由石块或液体做蓄热材料的贮热箱。在100多家制造厂中,包括所采用的金属吸热器型式,适当的隔热和装嵌玻璃,以及金属表面等方面的各种改变,已使他们在吸收光线,保持热量的性能上得到了提高。平板式集热器在夏季工作比在冬季更加有效。而产生低温热量时比产生高温热量时更为有效。因为其性能对气候条件的影响极其敏感,故效率范围可能从热天的70%到极冷天气的不及10%。典型的适用对象和温度范围,包括由太阳能辅助一个热泵的空气供热(60°F);游泳池的供热(80°F);家庭用热水器(130°F)和直接的空气供热(160°F)等。

平板式集热装置能收集漫射和直射的阳光。像大多数太阳能装置那样，它们主要被用来作为燃料节省器，提供空气供热所需热量的30~60%，而其余部分则依靠辅助的能源系统。这些集热器的价格各自变化很大，但一般在每平方米50美元到150美元的范围内；然而，由于其安装费用高，一座普通住宅完整的太阳能供热系统，可能大体上要化费10,000美元。虽然在建筑业对太阳能供热系统较为熟悉后，价格多少会降低一点，但在集热器本身降低成本方面的潜力，已被制造时所采用的金属和其它高价的材料所限制。

对于很低的温度的利用方面，如游泳池的供热等，约有15家美国公司制造比较廉价的太阳能集热器，这种集热器是一些水在其中循环的合成橡胶管道组成的垫子。这些简易集热器的典型工作温度约为80°F，它们通常使水温升高5或10°F。在1977年上半年，大约生产了280,000平方米这样的集热器。

普林斯顿大学的研究人员正在研制一种与上述集热器相近，但作了较多改变的塑料“平板”集热器。它由多层柔软的塑料薄膜组成。空气被充进这个多层塑料袋的顶部和底部，以起到隔热的作用，而水则流经袋子中间的通道。据该大学的泰勒称，这种由Tedlar、聚氯乙烯和聚四氟乙烯等材料结合制成的组合型塑料集热器，每平方米的原料费只有几美元，而产生的温度却和那些普通平板式集热器所能达到的一样高。这种高级塑料集热器的实际制造成本和耐久性尚待确定。刚性塑料平板集热器亦正由俄亥俄州哥伦布的巴特尔纪念研究所和别的地方研制着。

对于住宅和商业建筑的空气供热，平板式集热器面临着来自被动太阳能系统的竞争。被动太阳能系统这一名称的由来，是因为热量是在不活动的系统中被收集和分配的，即没有使用泵和风扇，而依靠自然界的辐射、传导和对流过程来进行。这种简易性和降低成本的潜力——建筑物本身就可作为典型的太阳能集热器——是被动系统的主要吸引力。

被动太阳能系统的要点是精心设计建筑物，使之适应周围的环境，在冬季能获得并保存热量，而在夏季则仍然保持凉爽。所以，朝北的窗户常常做得较小，或大部分都去掉，而那些朝南的窗户则做得较大，并用突出的屋顶来遮挡夏季的太阳。另外，被动太阳能系统的房屋常常包括有厚厚的石墙，或者有其它热源，以便能在白天吸收太阳的热量，晚上再放出热量供房屋取暖——即一种混凝土型集热器。这种技术的一个早期例子是，大约在公元700年，由居住在悬崖洞中的印第安人建造的蒙特吉玛的卡斯尔楼阁，就在现在的亚利桑那州；楼阁处于一个朝南的洞穴深处，其结实的大土砖墙在冬季用来取暖，而在夏季则用来遮阳。

至少有五种不同的技术单独地结合起来应用于现代的被动太阳能供热系统中。最简单的一种是直接得益，即通过宽大的朝南窗和在其内部用于贮存热量的墙或地板来获得热量。在一幢隔热很好的建筑物中，这常能足够供应其所需热量的一半以上。一个最好的直接得益的实例是美国利物浦的沃拉泽学校。这是一座两层的混凝土建筑，具有一堵双层的朝南墙，照明电灯和学生身体的热量仅提供附加的热量。因此，直接得益的建筑物常常需要较大的墙体厚度，其舒适性也比正常希望的要差些。另一种方法是利用蓄热系统供热的建筑物中，有一种限制温度变动的方法，即利用蓄热材料来吸收多余的热量，并在需要时再释放出来。蓄热材料通常与居住区隔开，并设有管道将热量引入居住区。

的阳光被一堵石墙（Trombe墙）或充满水的鼓状部（水墙）所吸收，热量就通过贮热墙的顶部和底部的孔口在建筑物内流通。这种贮热墙在白天能防止建筑物内过高的温度，而在晚上，则能将贮存的热量传出供室内取暖。属于新墨西哥州北部贝内迪克廷修道院的一座办公大楼和仓库，加建了一套水墙被动太阳能系统，能提供所需热量的95%。

第三种被动太阳能系统是屋顶人工池。充满了液体的塑料袋，在白天，让它曝晒于太阳下；而在晚上，则用一块隔热的垫子复盖在袋子上面，这时候，就向屋顶下发散贮存的热量。在夏季，将这一过程倒过来，即能起到散热的作用。被动太阳能供热系统的第四种型式，是利用一种流体（空气或水）在自然对流回路中循环。放置在低于生活区的集热器加热流体，被加热后的流体就上升并将热量传递给室内的贮热装置。被动太阳能装置的第五种型式，是建在室内或建在房屋前面的一座温室，也常常用一堵贮热墙将它和生活区隔开。除了供热之外，温室还能使空气湿润，并提供一定量的食物。

在美国，被动太阳能供热建筑物有数百幢，大部分都是常规的建筑。上述这几种技术，在建筑工业上还未普遍实施，而且也没有像平板式集热器那样对它们进行分析和引起工程上的注意。但是，新墨西哥州洛斯阿拉莫斯科学实验室的巴尔康布和他的同事们所作的初步研究表明，被动太阳能系统在性能上等于或超过相应集热面积的平板式系统。巴尔康布发现混凝土贮热墙的最佳厚度为30~40厘米。被动太阳能系统需要较大的贮热区，但却能大大减少全部费用。被动太阳能供热系统设计上的革新正在继续着。它们的范围，从几种在晚上遮盖玻璃区域的可移动隔热物到新型的、更为紧凑的贮热系统，如像马萨诸塞高等工业学校研制的顶盖瓦。这种瓦包含有一种在73°F时能发生相变的物质，当它溶解时即能贮存热量，而后，当它凝固时则向房间发散热量。

如果被动太阳能系统代表低工艺向平板式集热器提出挑战，那么，真空管集热器就是代表高工艺的竞争者。据倡议者们称，抽成真空的管系，可能在平板式集热装置一半的费用下，给出相当于其两倍的效率。这种设计，是由一个涂成黑色用以吸收阳光的玻璃内管和一个将内管密封在其里面的保护外管组成，并将两管之间的空间抽成真空。内管一般被复盖上一种能减少由于再辐射引起热量损失的物质，热量则被传递给在内管中流过的一种流体。这种流体可以是空气，也可以是一种液体。

由波音公司研制的一种夹层波纹玻璃（Corrugated glass sandwich），对真空管集热器作出了一种有趣的改变。它利用一种深色的循环流体作为吸热器，而将通道抽成真空来隔热。

柱形真空管集热器能吸收来自任何方向的光线——即在其径向360°的范围内，为利用这一特点，一般是按间距约为一个管子直径来排列的，在它们后面还放置一个反射物。这样的排列，能像平板式集热器那样吸收直射和漫射的光线，而在早晨和傍晚，还要比平板式集热器工作得更好一些。因为真空的隔热性能良好，所以真空管集热器根本不受高风速和寒冷天气的影响，而这两项却是影响平板式集热器性能的主要因素；实际上，真空管集热器的输出主要取决于周围的温度。其效率一般高达40~50%，因而能转变成较高温度的热量。真空管集热器一般可为空气供热和工业生产过程提供180°F或更高的热量，当带有反射装置时，它们的工作温度为240°F，这足以驱动室内空气调节器。

目前，真空管集热器的售价大约为每平方米150到200美元，这多少高于平板式集热

器。虽然其生产容量仍较小，但玻璃的集热器似乎有希望大大地降低成本。真空管的生产过程与日光灯的生产很相近，而且适合于自动化的批量生产。在有些设计中，各个真空管可以单独从整个装置中取出，这就能像灯泡那样进行更换。这种集热器要比平板式装置轻便得多，使用的玻璃和金属也少（据报导，材料费每平方米约为50美元），还更耐腐蚀。制造者们正在力争实现取暖和散热方面的应用，而且，真空管也正开始被一些集聚型集热器所采用。

利用收集太阳能的方法，使温度远高于水的沸点时，则需要较复杂的阳光吸收装置，效率也要求更高。集聚型集热器能增加辐射到吸热器上的能量强度，因而可以提高所能达到的温度。大部分集聚型集热器仅仅利用直射的阳光，并需要跟踪太阳。由于它们在早晨和傍晚的效率较高，所以在美国的大部分地区能跟踪太阳的集热器，都可获得与平板式装置同样多的阳光。但是，跟踪机构可能是昂贵的，这种集热器也比平板式装置更易遭受大风的危害。集聚型集热器的范围，从设计的阳光集聚比为5或5以下的低集聚型到集聚比超过100的高温装置；前者能达到的温度为 300°F ，后者则可高达 $600\sim 1,000^{\circ}\text{F}$ 。集聚型集热器除了产生较高的温度和因此而得到更多的有用能量外，还可能有经济性方面的优点。这是因为来自吸热器的热损失就变得不太严重了，而集聚阳光的反射镜或透镜的价格，一般不比相应面积的平板式集热器更高。

虽然已经提出了几十种集聚型集热器的设计方案，但一般可以粗略地按集聚程度的低、中、高分成三种类型：非聚焦式集聚器、沿单轴转动跟踪太阳的槽形或焦线集聚器和双轴跟踪集聚器。目前，正在发展的设计包括，用抛光金属、有金属涂层的玻璃和塑料，以及合成材料等制成的各种集聚器；能用于这些集热器的吸热器材料，范围也很广泛。

非聚焦式集聚器的优点是，它们不必连续地跟踪太阳，也不需要精密的光学系统把太阳的像聚焦在吸热器上。它们可以利用漫射和直射的光线，因而能在雾天或多云天工作，这对美国中西部或东部来说，是一大优点；但是，聚焦式集聚器却能在早晨和傍晚得到更多的阳光。

一种最简单的非聚焦式集聚器，是由放置在平板式集热器旁边的固定镜面或反射器构成。放置在真空管集热器后面的反射装置，也能起到一定程度的集聚作用。改变最大的非聚焦式集热器是被称为复合抛物面集聚器（CPC）。这是由芝加哥的阿尔贡国家实验室研制的。

CPC来源于高能物理实验上应用的聚光装置，它是由一些抛物状表面组成的，能按给定的集聚比传递大量的光线到吸收器上。一种能集聚阳光1.8倍的聚光装置的变型，可以用作固定的集热器，并能达到 250°F 的温度。集聚比较高（ $3\sim 6$ ）的聚光装置的变型，常用真空管作为吸收器，其工作温度在 $300\sim 450^{\circ}\text{F}$ 之间；当集聚比为6时，集热器的方位必须一个月调整一次，但不需要每天跟踪太阳。如与一相同镜径，但集聚性比较高的槽形集热器相比，则CPC设计可能需要较高的制造费用。实验性的各种CPC集热器，是由金属、有金属涂层的塑料，甚至固体丙烯（solid acrylic）制成。目前还没有进行商业性的生产，一些设计的成本估计每平方米约270美元。

一种单轴跟踪集聚器的变型已达到了更快商业化和较低的成本。目前，约有六家