

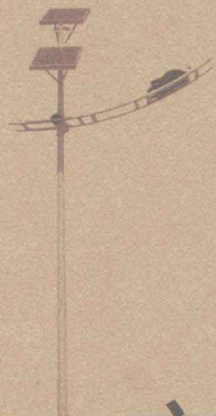
太阳能

在建设领域

推广与应用



孙晓光 王新北 左艳飞◎编写



中国建筑工业出版社

太阳能在建设领域推广与应用

孙晓光 王新北 左艳飞 编写

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

太阳能在建设领域推广与应用/孙晓光,王新北,左艳飞编写. —北京:中国建筑工业出版社,2009
ISBN 978-7-112-10673-8

I. 太… II. ①孙…②王…③左… III. 太阳能-应用-概况-世界 IV. TK519
中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第012455号

本书全面阐述太阳能在世界其他国家以及在国内推广应用情况及相关政策。共分七章,基础知识部分介绍了太阳、太阳能以及太阳能应用基本常识;国内外应用情况重点介绍美国、日本、德国以及国内推广与应用太阳能较好的城市;政策部分收集了全国比较典型的政策;最后对沈阳市的太阳能推广应用情况作详细分析。

本书可作为政府能源部门管理人员、房地产开发商和广大太阳能业爱好者学习参考。

* * *

责任编辑:赵梦梅
责任设计:董建平
责任校对:兰曼利 王雪竹

太阳能在建设领域推广与应用 孙晓光 王新北 左艳飞 编写

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

世界知识印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:11 字数:275千字

2009年3月第一版 2009年3月第一次印刷

定价:50.00元

ISBN 978-7-112-10673-8

(17606)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

人类进入 21 世纪。世界经济飞速发展，同时对能源的需求与日俱增。传统的化石能源日益枯竭，使人类面临着越来越严重的能源危机，能源的潜在危机迫使世界各国积极开发可再生能源。而我国是世界第二大能源生产、消耗国，能源的潜在危机比世界总的形势更为严峻，我国的发展面临着能源瓶颈的制约和环境污染、生态破坏的威胁，唯一现实的选择就是选择可再生能源作为能源供应的基础。

太阳能作为可再生能源的一种，以其清洁、储量巨大、成本低、无地域限制和能源质量高等众多优点成为可再生能源利用的首选能源。太阳能应用主要为光热技术应用和光伏技术应用两种。目前，在我国应用最广的是太阳能热水器，以其方便实用节能而被大多数人接受；而光伏发电目前仅局限于示范项目和国家投资为无电地区居民生活用电上，发展比较缓慢。

近几年，随着国家对节能减排工作的重视，先后出台了《中华人民共和国可再生能源法》和《可再生能源中长期发展规划》，促进了可再生能源尤其是太阳能的发展。全国各城市也先后出台推广太阳能的相关政策，使太阳能在近几年有了较快的发展。沈阳市为开展太阳能推广工作，对世界各国太阳能发展状况进行了学习研究，对全国发展太阳能比较好的城市（德州、烟台、深圳、北京等）进行了调研，并编写成书。本书借鉴山东、河北等地丰富的推广政策及经验，在此表示感谢。

本书由沈阳市地源热泵规划建设管理办公室组织编写，全面介绍了太阳能在世界其他国家以及在国内推广应用情况及相关政策，同时对沈阳市推广应用情况进行了重点分析，仅供大家参考。由于时间仓促，水平有限，书中错误疏漏之处难免，敬请读者批评指正。希望通过阅读本书，能够对您有所帮助。

编 者

2008 年 10 月 22 日

目 录

第一章 太阳能概况	1
一、太阳	1
(一) 太阳概况	1
(二) 太阳结构	1
1. 核反应区	2
2. 辐射区	2
3. 对流区	2
4. 太阳大气	2
二、太阳能	2
(一) 太阳能概况	2
1. 太阳能定义	2
2. 太阳能量大小	2
3. 太阳常数	3
(二) 太阳能资源的主要优缺点	3
1. 太阳能资源的优点	3
2. 太阳能资源的缺点	3
(三) 太阳能采集	4
1. 平板集热器	4
2. 真空管集热器	5
3. 聚光集热器	5
(四) 太阳能传输	6
(五) 太阳能转换	7
1. 太阳能-热能转换	7
2. 太阳能-电能转换	7
3. 太阳能-氢能转换	8
4. 太阳能-生物质能转换	9
5. 太阳能-机械能转换	9
(六) 太阳能贮存	9
1. 太阳能的热贮存	9
2. 电能贮存	11
3. 氢能贮存	11
4. 机械能贮存	11
三、太阳能应用	12
(一) 太阳能光热技术应用	12
1. 太阳能热水器	12

2. 太阳能热水系统·····	14
3. 太阳能暖房·····	16
4. 太阳能热发电·····	16
(1) 太阳能热发电分类及工作原理·····	16
(2) 太阳能热发电系统的发展与展望·····	17
(二) 太阳能光伏技术应用·····	18
1. 太阳能光伏发电概念·····	18
2. 太阳能电池发电原理·····	18
3. 光伏发电技术应用·····	18
(1) 太阳能电池·····	19
(2) 太阳光伏组件·····	20
(3) 逆变器·····	21
(4) 蓄电池·····	21
4. 太阳能光伏产业发展·····	21
第二章 太阳能发展史 ·····	23
一、世界太阳能发展史·····	23
二、我国太阳能发展历程·····	26
三、我国太阳能热水器发展过程·····	27
第三章 太阳能应用概况 ·····	28
一、我国太阳能资源分布·····	28
二、我国推广太阳能技术应用的基本条件·····	30
1. 太阳能推广是政府调整能源结构的有效途径·····	30
2. 太阳能的推广有良好的政策支持·····	31
3. 已经出台了有关太阳能与建筑一体化的国家标准和地方标准·····	31
4. 已颁布实施太阳能热水器国家标准和行业标准·····	31
5. 国家各部门都大力支持发展可再生能源·····	32
6. 我国具备太阳能技术应用推广的自然条件·····	32
三、我国太阳能应用情况·····	32
1. 北京市·····	36
2. 南京市·····	40
3. 德州市·····	42
4. 深圳市·····	45
5. 邢台市·····	46
6. 保定市·····	47
7. 无锡市·····	49
8. 上海市·····	49
9. 海南省·····	51
10. 西部地区·····	52
(1) 西藏·····	52
(2) 青海·····	54
11. 辽宁省·····	55
12. 沈阳市·····	59

四、国外太阳能应用情况	60
1. 美国	61
2. 欧洲	62
(1) 德国	62
(2) 法国	62
(3) 西班牙	63
3. 亚太地区	64
(1) 日本	64
(2) 印度	64
(3) 以色列	64
(4) 澳洲	65
(5) 菲律宾	65
4. 非洲	65
5. 典型太阳能应用项目	65

第四章 国内外太阳能推广政策

69

一、国外太阳能推广政策	69
1. 美国	69
2. 德国	70
3. 意大利	70
4. 西班牙	70
5. 荷兰	71
6. 日本	71
7. 韩国	71

二、国内太阳能推广政策	72
1. 国家级政策	72
(1) 《中华人民共和国可再生能源法》	72
(2) 《可再生能源中长期发展规划》	72
(3) 《民用建筑节能条例》	73
(4) 《关于加快太阳能热水系统推广应用工作通知》	73
2. 省级政策	73
(1) 海南省	73
(2) 江苏省	74
(3) 河北省	74
(4) 辽宁省	74
(5) 黑龙江省	74
3. 市级政策	75
(1) 赣州市	75
(2) 济南市	75
(3) 武汉市	75
(4) 杭州市	75
(5) 深圳市	75
(6) 德州市	76
(7) 日照市	76

(8) 珠海市	76
(9) 保定市	77
(10) 秦皇岛市	77
(11) 青岛市	77
(12) 南京市	77
(13) 昆明市	77
(14) 邢台市	78
(15) 沈阳市	78
第五章 太阳能发展经验	79
一、国外太阳能发展经验	79
二、国外可再生能源政策及其借鉴	81
(一) 发达国家可再生能源强制性政策对中国的启示	81
(二) 发达国家可再生能源经济激励政策借鉴	81
(三) 发达国家可再生能源研究开发政策借鉴	82
三、我国太阳能发展经验	82
(一) 推广太阳能技术应用中存在的问题	82
(二) 发展经验	83
1. 建立示范工程	83
2. 把太阳能应用纳入国家中长期发展规划	83
3. 国家对光伏发电系统采取经济激励政策	84
4. 开展对应用太阳能热水系统、太阳能采暖系统和太阳能光伏发电系统的研究	84
5. 严格资质管理和认证制度	84
6. 开放市场,创造良好的市场环境	84
7. 认真贯彻《可再生能源法》,大力开展群众性太阳能建筑应用宣传推广工作	85
附录 太阳能推广政策	86
附录一 中华人民共和国可再生能源法	86
附录二 国家发改委《可再生能源中长期发展规划》	90
附录三 民用建筑节能条例	105
附录四 建设部、财政部关于推进可再生能源在建筑中应用的实施意见(建科[2006] 213号)	110
附录五 辽宁省建设厅文件辽建[2006] 83号《关于在建筑工程中大力推广太阳能利用和建筑一体化技术的通知》	114
附录六 沈阳市城乡建设委员会沈建发[2007] 125号《关于进一步加强在建筑工程中推广应用太阳能技术的通知》	115
附录七 大连市建筑节能“十一五”规划大连市城乡建设委员会	116
附录八 大连市《关于在建筑工程中全面推广应用太阳热水器的通知》大建委发[2005] 208号	122
附录九 大连市城乡建设委员会文件大建委发[2005] 182号关于发布《大连市太阳能热水器建筑设计导则》的通知	123
附录十 锦州市人民政府关于建设光伏产业基地的实施意见锦政发[2007] 4号	124

附录十一	锦州市城乡规划建设委员会文件锦建发〔2006〕79号转发省建设厅《关于在建筑工程中大力推广太阳能利用和建筑一体化技术的通知》	128
附录十二	德州市人民政府专题会议纪要〔2006〕8号	128
附录十三	德州市人民政府办公室德政办字〔2007〕92号《关于推进建筑领域应用太阳能的实施意见》	129
附录十四	德州市建委《关于在建筑工程中全面推广应用太阳能热水器的通知》	131
附录十五	中共德州市委德州市人民政府关于加快实施“中国太阳城”战略的意见德发〔2005〕19号	132
附录十六	烟台市《关于在住宅建设中推广使用太阳能热水器及成套技术的意见》	135
附录十七	邢台市政府专题会议纪要〔2006〕34号	137
附录十八	邢台市人民政府政字〔2007〕1号《关于实施太阳能建筑一体化打造“太阳能建筑城”的意见》	138
附录十九	保定市人民政府《关于建设保定“太阳能之城”的实施意见》	140
附录二十	保定市建设局文件市建〔2007〕55号《关于推广应用太阳能热水系统与建筑一体化技术通知》	144
附录二十一	保定市人民政府印发《关于鼓励投资“中国电谷”建设的若干规定》的通知保市政〔2006〕196号	145
附录二十二	秦皇岛市人民政府《关于全面推广太阳能与建筑一体化的意见》秦政〔2007〕144号	147
附录二十三	江苏省建设厅《关于加强太阳能热水系统推广应用和管理的通知》(苏建科〔2007〕361号)文件	148
附录二十四	连云港市《关于大力推进太阳能热水系统与建筑一体化结合工作的实施意见》	150
附录二十五	无锡市光伏太阳能推广应用实施方案	152
附录二十六	扬州市《关于加强太阳能热水系统推广应用工作的实施意见》扬建工〔2007〕50号	155
附录二十七	青海省建设厅关于《建筑利用太阳能工作指导意见》	156
附录二十八	南京市《关于进一步规范居民住宅安装太阳能集热器的通知》	160
附录二十九	深圳经济特区建筑节能条例	162
附录三十	《关于在建筑工程中大力推广太阳能利用和建筑一体化技术的通知》呼建委发〔2007〕241号	166

第一章 太阳能概况

一、太 阳

(一) 太阳概况

太阳是离地球最近的一颗恒星，也是太阳系的中心天体，它的质量占太阳系总质量的 99.865%。太阳也是太阳系里惟一自己发光的天体，它给地球带来光和热。如果没有太阳光的照射，地面的温度将会很快地降低到接近绝对零度。由于太阳光的照射，地面平均温度才会保持在 14℃ 左右，形成了人类和绝大部分生物生存的条件。除了原子能、地热和火山爆发的能量外，地面上大部分能源均直接或间接同太阳有关。

太阳是一个主要由氢和氦组成的炽热的气体火球，半径为 $6.96 \times 10^5 \text{ km}$ （是地球半径的 109 倍），质量约为 $1.99 \times 10^{27} \text{ t}$ （是地球质量的 33 万倍），平均密度约为地球的 1/4。太阳表面的有效温度为 5762K，而内部中心区域的温度则高达几千万度。太阳的能量主要来源于氢聚变成氦的聚变反应，每秒有 $6.57 \times 10^{11} \text{ kg}$ 的氢聚合生成 $6.53 \times 10^{11} \text{ kg}$ 的氦，连续产生 $3.90 \times 10^{23} \text{ kW}$ 能量。这些能量以电磁波的形式，以 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 的速度穿越太空射向四面八方。地球只接受到太阳总辐射的二十二亿分之一，即有 $1.77 \times 10^{14} \text{ kW}$ 达到地球大气层上边缘（“上界”），由于穿越大气层时的衰减，最后约 $8.5 \times 10^{13} \text{ kW}$ 到达地球表面，这个数量相当于全世界发电量的几十万倍。

根据目前太阳产生的核能速率估算，氢的储量足够维持 600 亿年，而地球内部组织因热核反应聚合成氦，它的寿命约为 50 亿年，因此，从这个意义上讲，可以说太阳的能量是取之不尽、用之不竭的。

(二) 太阳结构

太阳的质量很大，在太阳自身的重力作用下，太阳物质向核心聚集，核心中心的密度和温度很高，使得能够发生原子核反应。这些核反应是太阳的能源，所产生的能量连续不断地向空间辐射，并且控制着太阳的活动。根据各种间接和直接的资料，认为太阳从中心到边缘可分为核反应区、辐射区、对流区和太阳大气。

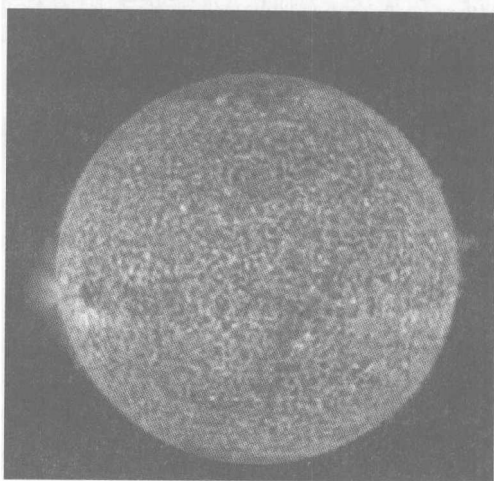


图 1-1 太阳图片

1. 核反应区

在太阳半径 25% (即 $0.25R$) 的区域内, 是太阳的核心, 集中了太阳一半以上的质量。此处温度大约 1500 万度, 压力约为 2500 亿大气压 ($1\text{atm}=101325\text{Pa}$), 密度接近 158g/cm^3 。这部分产生的能量占太阳产生的总能量的 99%, 并以对流和辐射方式向外辐射。氢聚合时放出伽马射线, 这种射线通过较冷区域时, 消耗能量, 增加波长, 变成 X 射线或紫外线及可见光。

2. 辐射区

在核反应区的外面是辐射区, 所属范围从 $0.25\sim0.8R$, 温度下降到 13 万度, 密度下降为 0.079g/cm^3 。在太阳核心产生的能量通过这个区域由辐射传输出去。

3. 对流区

在辐射区的外面是对流区 (对流层), 所属范围从 $0.8\sim1.0R$, 温度下降为 5000 摄氏度, 密度为 $10\sim8\text{g/cm}^3$ 。在对流区内, 能量主要靠对流传播。对流区及其里面的部分是看不见的, 它们的性质只能靠同时观测相符合的理论计算来确定。

4. 太阳大气

大致可以分为光球、色球、日冕等层次, 各层次的物理性质有明显区别。太阳大气的最底层称为光球, 太阳的全部光能几乎全从这个层次发出。太阳的连续光谱基本上就是光球的光谱, 太阳光谱内的吸收线基本上也是在这一层内形成的。光球的厚度约为 500km 。色球是太阳大气的中层, 是光球向外的延伸, 一直可延伸到几千公里的高度。太阳大气的最外层称为日冕, 日冕是极端稀薄的气体壳, 可以延伸到几个太阳半径之远。严格说来, 上述太阳大气的分层仅有形式的意义, 实际上各层之间并不存在着明显的界限, 它们的温度、密度随着高度的变化是连续地改变的。

可见, 太阳并不是一个一定温度的黑体, 而是许多层不同波长放射、吸收的辐射体。不过, 在描述太阳时, 通常将太阳看作温度为 6000°C 、波长为 $0.3\sim3.0\mu\text{m}$ 的黑色辐射体。

二、太 阳 能

(一) 太阳能概况

1. 太阳能定义

太阳是一个炙热的气态球体, 它表面温度约为 6000°C 。它不断向宇宙空间发射电磁波, 包括紫外线、可见光和红外线等, 所谓太阳能实际上就是指太阳内部高温核聚变反应所释放的辐射能。其主要能量集中在 $0.3\sim3.0\mu\text{m}$ (微米) 的波段, 因此太阳辐射为“短波辐射”。到达地表水平面上的太阳辐射包括直接辐射和散射辐射两部分。广义上的太阳能是地球上许多能量的来源, 如风能, 化学能, 水的势能等等。狭义的太阳能则限于太阳辐射能的光热、光电和光化学的直接转换。

2. 太阳能量大小

太阳辐射的能量是巨大的。太阳向宇宙空间发射的辐射功率为 $3.8\times10^{23}\text{kW}$ 的辐射值, 其中 20 亿分之一到达地球大气层。到达地球大气层的太阳能, 30% 被大气层反射,

23%被大气层吸收，其余的到达地球表面，其功率为 $8 \times 10^{13} \text{ kW}$ ，也就是说太阳每秒钟照射到地球上的能量就相当于燃烧 500 万吨煤释放的热量，相当于全世界发电量的几十万倍。太阳辐射能穿越大气层，因受到吸收、散射及反射的作用，故能够直接到达地表的太阳辐射能仅存三分之一，又其中 70% 是照射在海洋上，于是仅剩下约 $1.5 \times 10^{17} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。未被吸收或散射而能够直达地表的太阳辐射能称为“直接”辐射能；而被散射的辐射能，则称为“漫射”（diffuse）辐射能，地表上各点的总太阳辐射能即为直接和漫射辐射能二者的总和。

3. 太阳常数

太阳常数是指日地平均距离时，地球大气层上界垂直于太阳光线表面的单位面积上，单位时间所接受到的太阳辐射通量，国际通用标准为 1353 W/m^2 。那么太阳辐射穿过大气层时，受到空气分子、水蒸气和灰尘的散射和吸收，会显著衰减。对于某一地区来讲，一年总会有一天，当天空情况极为良好的时候，所接收到的太阳辐射能量最接近太阳常数，但这一天并不一定是夏天。不同地区差异很大，各地气象单位一般都有当地一年的太阳辐射观测数据。

（二）太阳能资源的主要优缺点

1. 太阳能资源的优点

太阳能作为一种能源，与煤炭、石油、天然气、核能等矿物燃料相比，具有以下明显的优点：

（1）普遍：太阳光普照大地，无论陆地或海洋，无论高山或岛屿，处处皆有，可直接开发和利用，且无需开采和运输。

（2）无害：开发利用太阳能不会污染环境，它是最清洁的能源之一，在环境污染越来越严重的今天，这一点是极其宝贵的。

（3）巨大：每年到达地球表面上的太阳辐射能约相当于 130 万亿 t 标煤，其总量属现今世界上可以开发的最大能源。

（4）长久：根据目前太阳产生的核能速率估算，氢的贮量足够维持上百亿年，而地球的寿命也约为几十亿年，从这个意义上讲，可以说太阳的能量是用之不竭的。

2. 太阳能资源的缺点

太阳能资源虽然具有上述几方面常规能源无法比拟的优点，但作为能源利用时，也有以下缺点：

（1）分散性：到达地球表面的太阳辐射的总量尽管很大，但是能流密度很低。平均说来，北回归线附近，夏季在天气较为晴朗的情况下，正午时太阳辐射的辐照度最大，在垂直于太阳光方向 1 m^2 面积上接收到的太阳能平均有 1000W 左右；若按全年日夜平均，则只有 200W 左右。而在冬季大致只有一半，阴天一般只有 $1/5$ 左右，这样的能流密度是很低的。因此，在利用太阳能时，想要得到一定的转换功率，往往需要面积相当大的一套收集和转换设备，造价较高。

（2）不稳定性：由于受到昼夜、季节、地理纬度和海拔高度等自然条件的限制以及晴、阴、云、雨等随机因素的影响，所以，到达某一地面的太阳辐照度既是间断的又是极不稳定的，这给太阳能的大规模应用增加了难度。为了使太阳能成为连续、稳定的能源，

从而最终成为能够与常规能源相竞争的替代能源,就必须很好地解决蓄能问题,即把晴朗白天的太阳辐射能尽量贮存起来以供夜间或阴雨天使用,但目前蓄能也是太阳能利用中较为薄弱的环节之一。

(3) 效率低和成本高:目前太阳能利用的发展水平,有些方面在理论上是可行的,技术上也是成熟的。但有的太阳能利用装置,因为效率偏低,成本较高,总的来说,经济性还不能与常规能源相竞争。在今后相当一段时期内,太阳能利用的进一步发展,主要受到经济性的制约。

(三) 太阳能采集

太阳辐射的能流密度低,在利用太阳能时为了获得足够的能量,或者为了提高温度,必须采用一定的技术和装置(集热器),对太阳能进行采集。集热器按是否聚光,可以划分为聚光集热器和非聚光集热器两大类。非聚光集热器(平板集热器、全玻璃真空管集热器、热管真空管集热器)能够利用太阳辐射中的直射辐射和散射辐射,集热温度较低;聚光集热器能将阳光会聚在面积较小的吸热面上,可获得较高温度,但只能利用直射辐射,且需要跟踪太阳。

1. 平板集热器

历史上早期出现的太阳能装置,主要为太阳能动力装置,大部分采用聚光集热器,只有少数采用平板集热器。平板集热器是在17世纪后期发明的,但直至1960年以后才真正进行深入研究和规模化应用。在太阳能低温利用领域,平板集热器的技术经济性能远比聚光集热器好。为了提高效率,降低成本,或者为了满足特定的使用要求,开发研制了许多种平板集热器:按工质划分有空气集热器和液体集热器,目前大量使用的是液体集热器;按吸热板芯材料划分有钢板、铁管、全铜、全铝、铜铝复合、不锈钢、塑料及其他非金属集热器等;按结构划分有管板式、扁盒式、管翅式、热管翅片式、蛇形管式集热器,还有带平面反射镜集热器和逆平板集热器等;按盖板划分有单层或多层玻璃、玻璃钢或高分子透明材料、透明隔热材料集热器等。目前,国内外使用比较普遍的是全铜集热器和铜铝复合集热器。铜翅和铜管的结合,国外一般采用高频焊,国内以往采用介质焊,1998年我国也开发成功全铜高频焊集热器。1937年从加拿大引进铜铝复合生产线,通过消化吸收,现在国内已建成十几条铜铝复合生产线。为了减少集热器的热损失,可以采用中空玻璃、聚碳酸酯阳光板以及透明蜂窝等作为盖板材料,但这些材料价格较高,一时难以推广应用。

平板型太阳能热水器由平板集热器、储热水箱和三角支架三个独立的部件组成,其中平板集热器由涂黑的平板集热板、透光玻璃板、保温、外框和进出水管组成。平板太阳能热水器需将平板集热板和储热水箱通过三角支架和管路连接成一个系统,储热水箱必须高于平板集热板。当太阳光透过玻璃照在平板集热板上时,平板集热板内的水被加热升温,由于热水密度小而冷水的密度大,就使得平板集热板内的热水自动上升到处于高位的储水箱内,而储水箱内的冷水也会自动流入处于低位的平板集热器内。如此在太阳光照射下,平板集热器内的水和储水箱内的水不断循环,而将储水箱内的水加热。由此可见,平板太阳能热水器是通过水自然循环的方式加热储水箱内水的。当然,也可以将多个平板集热器与一个大水箱组成一个平板太阳能热水系统,如大水箱高于平板集热器,仍可组成一个较

大型的自然循环平板太阳能热水系统；也可以将大水箱放置在低处，通过水泵与平板集热器强制循环，组成强制循环平板太阳能热水系统。

2. 真空管集热器

为了减少平板集热器的热损，提高集热温度，国际上 20 世纪 70 年代研制成功真空集热管，其吸热体被封闭在高真空的玻璃真空管内，大大提高了热性能。将若干支真空集热管组装在一起，即构成真空管集热器，为了增加太阳光的采集量，有的在真空集热管的背部还加装了反光板。真空集热管大体可分为全玻璃真空集热管，玻璃-U 形管真空集热管，金属热管真空集热管，直通式真空集热管和贮热式真空集热管。最近，我国还研制成全玻璃热管真空集热管和新型全玻璃直通式真空集热管。我国自 1978 年从美国引进全玻璃真空集热管的样管以来，经 20 多年的努力，已经建立了拥有自主知识产权的现代化全玻璃真空集热管的产业，用于生产集热管的磁控溅射镀膜机在百台以上，产品质量达世界先进水平，产量雄居世界首位。我国自 20 世纪 80 年代中期开始研制热管真空集热管，经过十几年的努力，攻克了热压封等许多技术难关，建立了拥有全部知识产权的热管真空管生产基地，产品质量达到世界先进水平，生产能力居世界首位。目前，直通式真空集热管生产线正在加紧进行建设，产品即将投放市场。

全玻璃真空集热管就像一个拉长了的暖水瓶，它由内外两根直径不同、单端开口的同心圆玻璃管组成，开口端内外管烧熔成环形密封；不开口的一端，内外管之间用金属卡子固定；内管外壁镀上选择性吸收涂层，外管为透明玻璃。内外管之间抽成真空。由于真空保温和选择性吸收涂层，在空晒情况下，真空管内温度可达 200°C 以上。这种产品结构简单，生产技术可靠，成本较低，热效率高，有一定的抗冻能力，适合在冬天气温为 0°C 至 -20°C 的地区适用。不承压，使用时不能缺水空晒，否则易爆裂玻璃管，与平板式集热器相比，存在一定的安全隐患。

热管是一种高效导热元件，安装在全玻璃真空管中。热管和玻璃真空管之间有与二者紧密接触的金属翅片，将玻璃管转换的太阳能热量传导给热管蒸发段，热管再利用内部真空状态下工质的蒸发吸热和放热冷凝，将这一热量传导到被加热流体中。这样既实现了玻璃管不直接接触被加热流体，解决了全玻璃真空管集热器的一系列缺点，又保留了全玻璃真空管在低温环境中散热少、加热工质温度高的优点。尤其是热管工质一般凝固点低，可保证在气温低于 0°C 的环境中不冻坏，在不能进行排空防冻的自然循环系统中，热管-真空管式集热器更具明显优势。

真空热管太阳能集热器有很强的抗冻能力，适合在冬天气温为 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 的地区使用。可承压，耐空晒，不易爆管。热容量小，启动快，可用于产高温热水、开水。热管式效率高，系统较成熟，无安全隐患，其缺点是热量转换带来一定的热效率降低，同时有双真空结构所带来的结构复杂及造价高问题。当然结构复杂本身也极易导致装置的可靠性和寿命问题。目前无论国外还是国内太阳能行业所用热管，都还有很大改进空间。

3. 聚光集热器

聚光集热器主要由聚光器、吸收器和跟踪系统三大部分组成。按照聚光原理区分，聚光集热器基本可分为反射聚光和折射聚光两大类，每一类中按照聚光器的不同又可分为若干种。为了满足太阳能利用的要求，简化跟踪机构，提高可靠性，降低成本，在本世纪研制开发的聚光集热器品种很多，但推广应用的数目远比平板集热器少，商业化程度也低。

在反射式聚光集热器中应用较多的是旋转抛物面镜聚光集热器（点聚焦）和槽形抛物面镜聚光集热器（线聚焦）。前者可以获得高温，但要进行二维跟踪；后者可以获得中温，只要进行一维跟踪。这两种聚光集热器在本世纪初就有应用，几十年来进行了许多改进，如提高反射面加工精度，研制高反射材料，开发高可靠性跟踪机构等，现在这两种抛物面镜聚光集热器完全能满足各种中、高温太阳能利用的要求，但由于造价高，限制了它们的广泛应用。

20 世纪 70 年代，国际上出现一种“复合抛物面镜聚光集热器”（CPC），它由二片槽形抛物面反射镜组成，不需要跟踪太阳，最多只需要随季节作稍许调整，便可聚光，获得较高的温度。其聚光比一般在 10 以下，当聚光比在 3 以下时可以固定安装，不做调整。当时，不少人对 CPC 评价很高，甚至认为是太阳能热利用技术的一次重大突破，预言将得到广泛应用。但几十年过去了，CPC 仍只是在少数示范工程中得到应用，并没有像平板集热器和真空管集热器那样大量使用。我国不少单位在 20 世纪 70、80 年代曾对 CPC 进行过研制，也有少量应用，但现在基本都已停用。

其他反射式聚光器还有圆锥反射镜、球面反射镜、条形反射镜、斗式槽形反射镜、平面、抛物面镜聚光器等。此外，还有一种应用在塔式太阳能发电站的聚光镜——定日镜。定日镜由许多平面反射镜或曲面反射镜组成，在计算机控制下这些反射镜将阳光都反射至同一吸收器上，吸收器可以达到很高的温度，获得很大的能量。

利用光的折射原理可以制成折射式聚光器，历史上曾有人在法国巴黎用两块透镜聚集阳光进行熔化金属的表演。有人利用一组透镜并辅以平面镜组装成太阳能高温炉。显然，玻璃透镜比较重，制造工艺复杂，造价高，很难做得很大，所以，折射式聚光器长期没有什么发展。20 世纪 70 年代，国际上有人研制大型菲涅耳透镜，试图用于制作太阳能聚光集热器。菲涅耳透镜是平面化的聚光镜，重量轻，价格比较低，也有点聚焦和线聚焦之分，一般由有机玻璃或其他透明塑料制成，也有用玻璃制作的，主要用于聚光太阳能电池发电系统。

我国从 20 世纪 70 年代直至 20 世纪 90 年代，对用于太阳能装置的非涅耳透镜开展了研制。有人采用模压方法加工大面积的柔性透明塑料菲涅耳透镜，也有人采用组合成型刀具加工直径 1.5m 的点聚焦菲涅耳透镜，结果都不大理想。近来，有人采用模压方法加工线性玻璃菲涅耳透镜，但精度不够，尚需提高。还有两种利用全反射原理设计的新型太阳能聚光器，虽然尚未获得实际应用，但具有一定启发性。一种是光导纤维聚光器，它由光导纤维透镜和与之相连的光导纤维组成，阳光通过光纤透镜聚焦后由光纤传至使用处。另一种是荧光聚光器，它实际上是一种添加荧光色素的透明板（一般为有机玻璃），可吸收太阳光中与荧光吸收带波长一致的部分，然后以比吸收带波长更长的发射带波长放出荧光。放出的荧光由于板和周围介质的差异，而在板内以全反射的方式导向平板的边缘面，其聚光比取决于平板面积和边缘面积之比，很容易达到 10 : 100，这种平板对不同方向的人射光都能吸收，也能吸收散射光，不需要跟踪太阳。

（四）太阳能传输

太阳能不像煤和石油一样用交通工具进行运输，而是应用光学原理，通过光的反射和折射进行直接传输，或者将太阳能转换成其他形式的能量进行间接传输。

直接传输适用于较短距离，基本上有三种方法：通过反射镜及其他光学元件组合，

改变阳光的传播方向，达到用能地点；通过光导纤维，可以将入射在其一端的阳光传输到另一端，传输时光导纤维可任意弯曲；采用表面镀有高反射涂层的光导管，通过反射可以将阳光导入室内。间接传输适用于各种不同距离。将太阳能转换为热能，通过热管可将太阳能传输到室内；将太阳能转换为氢能或其他载能化学材料，通过车辆或管道等可输送到用能地点；空间电站将太阳能转换为电能，通过微波或激光将电能传输到地面。太阳能传输包含许多复杂的技术问题，应认真进行研究，这样才能更好地利用太阳能。

（五）太阳能转换

太阳能是一种辐射能，具有即时性，必须即时转换成其他形式能量才能利用和贮存。将太阳能转换成不同形式的能量需要不同的能量转换器，集热器通过吸收面可以将太阳能转换成热能，利用光伏效应太阳电池可以将太阳能转换成电能，通过光合作用植物可以将太阳能转换成生物质能，等等。原则上，太阳能可以直接或间接转换成任何形式的能量，但转换次数越多，最终太阳能转换的效率便越低。

1. 太阳能-热能转换

黑色吸收面吸收太阳辐射，可以将太阳能转换成热能，其吸收性能好，但辐射热损失大，所以黑色吸收面不是理想的太阳能吸收面。选择性吸收面具有高的太阳吸收比和低的发射比，吸收太阳辐射的性能好，且辐射热损失小，是比较理想的太阳能吸收面。这种吸收面由选择性吸收材料制成，简称为选择性涂层。它是在 20 世纪 40 年代提出的，1955 年达到实用要求，20 世纪 70 年代以后研制成许多新型选择性涂层并进行批量生产和推广应用，目前已研制成上百种选择性涂层。我国自 20 世纪 70 年代开始研制选择性涂层，取得了许多成果，并在太阳集热器上广泛使用，效果十分显著。

2. 太阳能-电能转换

电能是一种高品位能量，利用、传输和分配都比较方便。将太阳能转换为电能是大规模利用太阳能的重要技术基础，世界各国都十分重视，其转换途径很多，有光电直接转换，有光热电间接转换等。这里重点介绍光电直接转换器件——太阳电池。世界上，1941 年出现有关硅太阳电池报道，1954 年研制成效率达 6% 的单晶硅太阳电池，1958 年太阳电池应用于卫星供电。在 20 世纪 70 年代以前，由于太阳电池效率低，售价昂贵，主要应用在空间。20 世纪 70 年代以后，对太阳电池材料、结构和工艺进行了广泛研究，在提高效率和降低成本方面取得较大进展，地面应用规模逐渐扩大，但从大规模利用太阳能而言，与常规发电相比，成本仍然太高。

目前，世界上太阳电池的实验室效率最高水平为：单晶硅电池 24% (4cm^2)，多晶硅电池 18.6% (4cm^2)，InGaP/GaAs 双结电池 30.28% (AM1)，非晶硅电池 14.5% (初始)、12.8% (稳定)，碲化镉电池 15.8%，硅带电池 14.6%，二氧化钛有机纳米电池 10.96%。

我国于 1958 年开始太阳电池的研究，40 多年来取得不少成果。目前，我国太阳电池的实验室效率最高水平为：单晶硅电池 20.4% ($2\text{cm} \times 2\text{cm}$)，多晶硅电池 14.5% ($2\text{cm} \times 2\text{cm}$)、12% ($10\text{cm} \times 10\text{cm}$)，GaAs 电池 20.1% ($1\text{cm} \times \text{cm}$)，GaAs/Ge 电池 19.5% (AMO)，CuInSe 电池 9% ($1\text{cm} \times 1\text{cm}$)，多晶硅薄膜电池 13.6% ($1\text{cm} \times 1\text{cm}$)，

非活性硅衬底), 非晶硅电池 8.6% (10cm×10cm)、7.9% (20cm×20cm)、6.2% (30cm×30cm), 二氧化钛纳米有机电池 10% (1cm×1cm)。

3. 太阳能-氢能转换

氢能是一种高品位能源。太阳能可以通过分解水或其他途径转换成氢能, 即太阳能制氢, 其主要方法如下:

(1) 太阳能电解水制氢。电解水制氢是目前应用较广且比较成熟的方法, 效率较高 (75%~85%), 但耗电大, 用常规电制氢, 从能量利用而言得不偿失。所以, 只有当太阳能发电的成本大幅度下降后, 才能实现大规模电解水制氢。

(2) 太阳能热分解水制氢。将水或水蒸汽加热到 3000K 以上, 水中的氢和氧便能分解。这种方法制氢效率高, 但需要高倍聚光器才能获得如此高的温度, 一般不采用这种方法制氢。

(3) 太阳能热化学循环制氢。为了降低太阳能直接热分解水制氢要求的高温, 发展了一种热化学循环制氢方法, 即在水中加入一种或几种中间物, 然后加热到较低温度, 经历不同的反应阶段, 最终将水分解成氢和氧, 而中间物不消耗, 可循环使用。热化学循环分解的温度大致为 900~1200K, 这是普通旋转抛物面镜聚光器比较容易达到的温度, 其分解水的效率在 17.5%~75.5%。存在的主要问题是中间物的还原, 即使按 99.9%~99.99% 还原, 也还要作 0.1%~0.01% 的补充, 这将影响氢的价格, 并造成环境污染。

(4) 太阳能光化学分解水制氢。这一制氢过程与上述热化学循环制氢有相似之处, 在水中添加某种光敏物质作催化剂, 增加对阳光中长波光能的吸收, 利用光化学反应制氢。日本有人利用碘对光的敏感性, 设计了一套包括光化学、热电反应的综合制氢流程, 每小时可产氢 97 升, 效率达 10% 左右。

(5) 太阳能光电化学电池分解水制氢。1972 年, 日本本多健一等人利用 n 型二氧化钛半导体电极作阳极, 而以铂黑作阴极, 制成太阳能光电化学电池, 在太阳光照射下, 阴极产生氢气, 阳极产生氧气, 两电极用导线连接便有电流通过, 即光电化学电池在太阳光的照射下同时实现了分解水制氢、制氧和获得电能。这一实验结果引起世界各国科学家高度重视, 认为是太阳能技术上的一次突破。但是, 光电化学电池制氢效率很低, 仅 0.4%, 只能吸收太阳光中的紫外光和近紫外光, 且电极易受腐蚀, 性能不稳定, 所以至今尚未达到实用要求。

(6) 太阳光络合催化分解水制氢。从 1972 年以来, 科学家发现三联吡啶钌络合物的激发态具有电子转移能力, 并从络合催化电荷转移反应, 提出利用这一过程进行光解水制氢。这种络合物是一种催化剂, 它的作用是吸收光能、产生电荷分离、电荷转移和集结, 并通过一系列耦联过程, 最终使水分解为氢和氧。络合催化分解水制氢尚不成熟, 研究工作正在继续进行。

(7) 生物光合作用制氢。40 多年前发现绿藻在无氧条件下, 经太阳光照射可以放出氢气; 十多年前又发现, 蓝绿藻等许多藻类在无氧环境中适应一段时间, 在一定条件下都有光合放氢作用。目前, 由于对光合作用和藻类放氢机理了解还不够, 藻类放氢的效率很低, 要实现工程化产氢还有相当大的距离。据估计, 如藻类光合作用产氢效率提高到 10%, 则每天每平方米藻类可产氢 9 摩尔, 用 5 万平方公里接受的太阳能, 通过光合放工