



太阳能

光热转换及利用

云南人民出版社

责任编辑：林德琼

封面设计：吴国城

太阳能——光热转换及利用

吕恩荣 涂济民 何浩仁 编著
林丽生 刘群生

云南人民出版社出版

(昆明市书林街100号)

云南新华印刷厂印装 云南省新华书店发行

开本：787×1092 1/32 印张：8.5 字数：187,000

1984年6月第一版 1984年6月第一次印刷

印数：1—4,800

统一书号：13116·89

定价：1.00元

出版说明

《太阳能——光热转换及利用》一书是在云南省科委科技成果推广处、云南省科协和云南省科普创作协会等单位的赞助下，在云南省一九七九、一九八〇年两期太阳能短训班，讲授课程讲稿的基础上，参考了国内外太阳能科研和实际利用的大量资料，编辑而成。

本书为太阳能热利用的初、中级普及读物，对有关设计者、制造者力图起到引导入门，辅导提高，实用参考的作用。

本书从科学性、普及性、实用性的观点出发，介绍了太阳能光——热转换的基础理论和太阳能热水器及其系统、太阳灶、农用太阳能干燥设备、建筑用太阳能混凝土构件养护和建筑采暖、工业用热水装置以及太阳能温水游泳池等的设计和施工方面的问题。对太阳能利用的技术经济效果、太阳能热水器和太阳灶热性能的测试方法也作了评价和介绍。此外，书后还附有太阳能光热利用所需的太阳能辐射及材料性能参数图表及云南省各气象台站的地理位置及气象资料，供读者查用。为便于太阳能方面工作者自学，本书力求叙述简明扼要，层次清楚，多举实例。

书中绪论、第一、八章由吕恩荣编写，第二、三、七章由何浩仁编写，第四、九、十章由涂济民编写，第六章由林丽生编写，第五章由刘群生编写。昆明师范学院太阳能研究室对本

书的编写工作,提供了很大的方便,作了许多具体工作。另外,本书部分插图由李荣华、王卫民两同志帮助绘制,在此特表谢意。

由于太阳能利用是一门新兴的科学,我们对它的认识还比较肤浅,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论	(1)
第一章 太阳辐射能	(9)
§ 1 ~ 1 太阳	(9)
§ 1 ~ 2 地球大气层外界的太阳辐射能	(12)
§ 1 ~ 3 太阳角的计算公式	(21)
§ 1 ~ 4 到达地球表面的太阳辐射能	(30)
§ 1 ~ 5 我国太阳能资源区划	(38)
第二章 传热学理论基础	(40)
§ 2 ~ 1 传热机理	(40)
§ 2 ~ 2 热传导	(42)
§ 2 ~ 3 对流换热	(50)
§ 2 ~ 4 辐射传热	(57)
§ 2 ~ 5 总传热系数	(64)
§ 2 ~ 6 天空温度	(66)
第三章 平板型太阳能集热器	(67)
§ 3 ~ 1 平板型集热器的结构型式	(67)
§ 3 ~ 2 平板型集热器的热平衡方程	(73)
§ 3 ~ 3 平板型集热器的热效率特性	(82)
§ 3 ~ 4 平板型集热器的连接方式	(84)
§ 3 ~ 5 平板型集热器有关几个问题的说明	(88)

第四章	太阳能热水系统	(91)
§ 4 ~ 1	自然循环热水系统.....	(97)
§ 4 ~ 2	自然循环定温放 (补) 水系统.....	(106)
§ 4 ~ 3	强制流动 (循环) 热水系统.....	(107)
§ 4 ~ 4	非循环太阳能热水器.....	(113)
§ 4 ~ 5	家用太阳能热水器.....	(116)
第五章	太阳能集热器热效率测定	(119)
§ 5 ~ 1	太阳能平板集热器瞬时热效率、系统日 效率的测定.....	(119)
§ 5 ~ 2	平板集热器的热效率特性 (效率曲线) 的测定.....	(122)
§ 5 ~ 3	聚光式太阳灶热效率测定.....	(127)
第六章	太阳能热水系统的技术经济分析	(131)
第七章	聚光型集热器及其它	(138)
§ 7 ~ 1	平面镜.....	(139)
§ 7 ~ 2	抛物面聚光器.....	(142)
§ 7 ~ 3	复合抛物线聚光器.....	(146)
§ 7 ~ 4	真空管集热器.....	(149)
§ 7 ~ 5	菲涅尔 (Fresnel) 透镜	(152)
§ 7 ~ 6	空气集热器.....	(153)
第八章	太阳灶	(156)
§ 8 ~ 1	箱式太阳灶.....	(156)
§ 8 ~ 2	聚光式太阳灶.....	(163)
第九章	太阳能在工农业上的应用	(177)
§ 9 ~ 1	太阳能干燥器.....	(177)
§ 9 ~ 2	太阳能水泥构件养护.....	(182)

§ 9 ~ 3	太阳能建筑采暖·····	(186)
§ 9 ~ 4	蓄热与太阳池·····	(194)
第十章	太阳能热水装置设计探讨·····	(203)
§ 10 ~ 1	太阳能热水器的设计、安装和管理问题 ·····	(203)
§ 10 ~ 2	有关工业用热水器的探讨·····	(214)
§ 10 ~ 3	关于太阳能温水游泳池的若干问题·····	(221)
附 录	·····	(228)
一、	单位换算·····	(228)
1.	长度换算	
2.	面积换算	
3.	容积换算	
4.	压力换算	
5.	流量换算	
6.	能量(功)换算	
7.	功率换算	
8.	导热系数换算	
9.	传热系数换算	
10.	冷量换算	
11.	速度换算	
12.	温度换算	
13.	水的硬度换算	
14.	粘度换算	
15.	绝对粘度	
16.	运动粘度	
17.	密度(重度)换算	
二、	水的物理特性·····	(234)
1.	水的物理参数	
2.	每米 ³ 水在各种温度下的重量	
三、	常用保温材料性能、产地及价格·····	(236)
四、	部分建筑材料的物理性能·····	(237)
五、	常用管材规格·····	(242)
1.	水煤气输送钢管	
2.	直缝卷焊钢管	
六、	常用板材规格·····	(244)
1.	钢板每平方米面积理论重量表	
2.	轧制薄钢板	
3.	镀锌用原板和酸洗薄钢板	
七、	云南省各气象台站地理位置及气象资料·····	(250)
八、	云南省主要台站太阳各月及全年总辐射资料·····	(257)
九、	水管局部阻力当量长度表·····	(261)

绪 论

能源是发展国民经济的重要物质基础，是提供物质生产和生活的原动力，是现代科学技术的三大支柱（能源、材料、信息科学）之一。在人类的历史上已经经历了从柴薪到煤，由煤再到石油两次变革。能源科学技术的每一次重大突破，都引起了社会生产技术的革命，促进了生产力的飞跃发展。到了现代，以原子能、电子计算机、空间技术为代表的科学技术发展的社会里，能源已成为整个国民经济构成的重要组成部分，能源与国民经济之间的关系是相互制约、互为因果的消长关系。要使国民经济获得一定速度的发展，首先要有能源的一定增长速度为前提，没有这个前提，国民经济的增长也就成为一句空话。可以这样说：我国在本世纪末能否实现四个现代化，这首先取决于能否有充分高质量的能源供应。为了适应我国实现四个现代化对能源不断增长的需要，我国《1978—1985年全国科学技术发展规划纲要》把能源科学列为八个影响全局的综合性科学技术领域之一，要求集中力量对能源的开发利用技术做出显著成绩。

我国是一个能源资源比较丰富的国家。煤的储量达六千亿吨，居世界第三位；石油的储量居世界第八位；天然气的储量居世界第十六位；水力资源极为丰富，估算为六点八亿千瓦，居世界第一位，可开发的装机容量为三点八亿千瓦，现已利用

的装机容量仅一千九百万千瓦。解放以来，我国的能源工业取得了惊人的进展。一九七九年的产量是：原煤六点三六亿吨，为解放初期的二十倍，占世界第三位；原油一点零六亿吨，为解放初期的八百八十多倍，占世界第八位；天然气一百四十五亿立方米，为解放初期的一千三百倍；水电五百零一亿度，为解放初期的六十多倍，占世界第七位。全国能源生产总量（不包括农村非商品能源在内）折合成标准煤为六点四三亿吨，为解放初期的二十七倍。一九七九年我国能源消费总量（不包括农村非商品能源）达五点八六亿吨标准煤，居世界第三位。

我国固然地大物博，但是人口众多，若按目前的人口平均计算，我国的能源现状是不容许我们盲目乐观的。因为我国人口约占世界四分之一，而土地仅占十五分之一，以目前探明的能源可采储量计算，我国按人口平均能源资源量只相当于世界平均数的二分之一，美国的十分之一，苏联的七分之一。若从每人年平均耗能量来计算，按一九七八年的统计，美国为十二点八吨，苏联为六点六吨，西德为六点三吨，日本为四点七吨，而我国平均才零点六吨，仅为世界平均水平二点三吨的四分之一，与世界上发展中国家相比，属于中等偏低水平。

所以，我国能源供应仍很紧张，煤炭生产跟不上电力增长，电力生产又满足不了消费的要求。由于缺煤少电，全国约有百分之二十五的工业生产能力没有得到发挥。全国农村每年缺柴约三分之一，为了解决烧柴每年要耗费大量劳力，并且影响了自然环境的生态平衡，所以说，能源是个长远的战略问题。四个现代化的进程，将在很大程度上取决于能源供应问题的解决。如果能源的供应赶不上经济发展的需要，将会出现能源危机，从而影响四个现代化的进展。因此，我国目前除了积

极勘探，优先开发石油、天然气、煤、水电这些主要的常规能源之外，也非常重视新能源的开发利用。方毅同志在全国科学大会的报告中曾指出：“为了逐步改变我国能源构成，还要在广开能源上大作文章。原子能发电已经在世界上迅速发展，我们要加速这方面的科学研究和原子能电站的建设。太阳能、地热、风力、潮汐、受控热核聚变等能源的科学研究，也要抓紧进行。”最近，党中央和国务院经过认真研究，确定的我国能源方针是：实行开发和节约并重，近期要把节能放在优先地位；大力开展以节能为中心的技术改造和结构改革。这个方针不仅是解决我国能源问题的重大决策，而且是实现我国四个现代化的重大措施、重大步骤。

普照大地的阳光是万物生长的源泉，是人类取之不尽，用之不竭，又无污染的能源。实际上，太阳能是地球上最主要的能量源泉。目前世界上主要使用的各种矿物燃料，例如煤、石油和天然气等，都是远古时代地球上的动植物由于地壳的变动而被埋藏于地下，在地壳内高温高压的作用下，经历了千百万年漫长的岁月才形成和积累下来的宝藏。不论是矿物燃料、薪柴燃料或是我们人类每天不可缺少的粮食，全都是植物通过光合作用积累起来的太阳能。水力资源、风力资源、海水温差发电等，归根结底皆来源于太阳能。因为水的蒸发和降雨、大气压差而形成的风、海水表层与深层的温差等都与水和大气吸收太阳能有关。总而言之，我们今天所接触到的能源，除原子能、地热、潮汐等少数几种能源外，绝大部分是太阳能的不同储存形式。从古至今，我们一直是在间接地大量利用太阳能。从这个意义上说，太阳能是人类所赖以生存的最古老而又最主要的能源。现在之所以把太阳能称为新能源，是指直接利用太阳能

而言。

若将太阳能与其他常规能源作一分析比较，显而易见，太阳能具有如下四个方面的优点：

（1）巨大性：太阳辐射到地面上的能量是非常巨大的，一年内地球上接收到的太阳辐射总能量约为 10^{18} 瓩小时，相当于地球上全部矿物燃料资源的十倍。据推算，太阳照射地球15分钟的能量，就足够全世界使用一年。如果将五平方公里地面积一天中的太阳能收集起来，其能量就相当于一颗二万吨级TNT的原子弹爆炸时所释放出的能量。太阳照射到我国965万平方公里大地上的辐射能，相当于十万个一千二百万千瓦发电站的总功率，或相当于现在全世界确认的煤的全部储量在燃烧时放出的能量。我省面积为39万平方公里，每年所接收的太阳能在 10^{14} 瓩小时以上，相当于现在全世界确认的石油总储量燃烧时所放出的能量。可以说，太阳能是已知的最巨大的能源。

（2）长期性：太阳能是一种自然再生的能源。太阳系已存在约四十亿年，据推算还能继续存在五十亿年之久，真可说是取之不尽，用之不竭。矿物燃料则是开采一点，用去一点就少一点，枯竭的一天迟早总会到来。现在已经探明的世界石油可采储量，大约一千亿吨，按目前生产水平计算，尚可以继续开采三十余年。目前，石油的采收率平均为30%，最高是40%，如果能把采收率提高一倍，则可使石油再延长使用三十年。煤的可采储量为六千四百亿吨，按目前生产水平计算，也只可开采二百五十年。这就迫使人类必需在这有限的时期内积极探索开发新的能源，来代替即将用尽的矿物燃料。否则，其后果将不堪设想。

（3）无害性：太阳能是一种无污染最干净的能源。这一

优点在当前是极为引人注目的，而矿物燃料所造成的污染之严重，则是众所周知的，为了有效地解决消烟除尘问题，世界各国不得不拨出巨额款项，并投入大量的人力和物力。同样，原子能也存在放射性污染问题。

（4）普遍性：阳光，普照大地，到处都有，随处可用，不需运输而且是“免费”供应。值得指出的一点是，太阳能与某些常规的能源不同，它是一种不会受少数国家和地区垄断或控制的能源，这在战略上具有重大的意义。

在目前常规能源日趋短缺，供应紧张的情况下，利用太阳能的好处尤其令人向往。可以说，太阳能利用技术的进展，与解决当代世界的三大课题，即粮食问题、能源危机、环境污染和生态平衡问题都有直接或间接的联系。

太阳能虽具有常规能源所没有的优点，但也有如下两方面的缺点，给推广使用造成一定困难。

（1）分散性：虽然到达整个地面的太阳能量非常巨大，但这种能量非常分散。地面上每平方米获得的太阳辐射能最多不过一千瓦左右，因此，太阳能是一种能量密度极低的能源。要利用太阳能就必须建造收集和转换太阳能的装置和设备。所需要获取的功率越大，则相应建造的设备越庞大，占地面积越广。目前与常规能源相比较，太阳能利用装置的一次投资一般来说相当昂贵。只有某些方面的应用才能和其他常规能源相竞争。但是，也应该看到，利用太阳能在经济上的障碍是暂时性的。随着太阳能利用研究工作的进展，可以预言，许多高效率低成本的太阳能利用装置将会不断涌现。

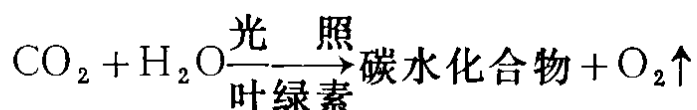
（2）间断性：到达地面的太阳辐射能不仅随着地区、季节、气候而有巨大的变化，即使在晴天的一日之内变化也很

大，而且晚上就没有太阳辐射。因此，为了持续地应用太阳能，就必须有相应的贮能装置，这不仅增加了技术上的困难，也使造价增加。

各种形式的能量，在一定条件下是可以互相转化的。为了有效地利用太阳能，首先需要把它转换为其他形式的能量，如化学能、电能、热能，再加以利用。这些转换方式分别称为光——化学转换、光——电转换、光——热能转换。现扼要地介绍如下：

1. 光——化学转换

光——化学转换最常见的形式，就是绿色植物的光合作用。植物叶子的叶绿素受光照后有如下反应：



在这里，叶绿素起催化剂的作用。所以，植物生长，即碳水化合物的形成是吸收太阳能的结果。植物的光合作用效率最低，都在千分之几到百分之几范围内。例如：大田农作物效率为0.1%，爪哇甘蔗为2.2%，野生藻类为4%。因而，提高光合作用的效率是农业增产的重要途径之一。据报导，光合作用理论值为12%，美国计划研究提高农作物的光合作用效率，预计15年后，农业收成可提高50~100%。

有的国家正试验一种“燃料栽培”法，就是利用太阳能催长草木和藻类，然后将它进行高温分解，制成木炭、煤气和木焦油等燃料，或将藻类发酵，制成沼气和氢气。我国目前也正大力推广营造生长快的薪炭林以解决农村的燃料之不足。

光化反应是把光能转换成化学能的一种途径，这是指某种气体分子在太阳光照射下吸热离解，在复合时释放出所吸收的

太阳能。例如三氧化硫气体分子 (SO_3) 流过太阳能加热器时吸收热量而离解, 生成二氧化硫和氧, 而当它们流经热交换器时重新复合, 生成三氧化硫, 同时放出热量。

利用太阳能分解水, 制取氢气和氧气的方法, 也是当前太阳能利用的重要研究课题。由于氢气具有多方面的用途, 燃烧时无污染。地球上的水又是取之不尽的, 所以利用太阳能制氢具有重大意义。

2. 光——电转换、光——热——电转换 (太阳能发电)

太阳能转换成电能有两种途径, 一种是光——电转换, 即通过光电器件将太阳能直接转换为电能; 另一种是光——热——电转换, 即先把太阳能转变成热能, 然后再将热能转变成电能, 这叫热发电。

目前已投入应用的太阳能光电发电器件, 是利用半导体器件的光电效应制成的光电池或称太阳能电池。例如硅太阳能电池、硫化镉太阳能电池、砷化镓太阳能电池等等。

太阳能电池最初用于空间技术。据统计世界上正在飞行的两千多颗人造卫星和宇宙飞船中90%以上都采用硅太阳能电池供电, 功率从几瓦到几千瓦不等。在地面上, 太阳能电池与蓄电池配套, 可作无人管理灯塔、航标灯、山地自动气象站、微波中继站、边防哨所、铁路信号灯、蒙古包、牧区电牧栏、农用黑光灯、割胶灯、电动喷雾器等电源。这种电源不需要什么补给, 维护也很简单, 只要定期清除电池表面的灰尘和给蓄电池添加蒸馏水。它具有节约劳力、效果好的优点。由于太阳能电池目前价格较高, 因此要广泛地采用尚受到限制。

太阳能热发电, 可以分为两类, 一类是热力发电, 即利用太阳能加热工质, 产生蒸汽推动涡轮机发电。这和普通的火力

发电没有多少区别，只是用太阳能代替煤和石油罢了。另一类是热——电直接转换，例如太阳能温差电偶（热电推）发电。

3. 光——热转换（太阳能热能的利用）

当前利用太阳能运用最广泛最成功的方式，要算是光热转换类型了。太阳能热能的利用，就是通过一定装置收集太阳能，用以加热物体，获得热能。

集热装置称集热器，基本上可分为两大类：一类是平板式集热器；另一类叫聚光式集热器。

平板式集热器是根据“热箱”原理设计的。所谓热箱，实际上是一只开有透明窗口、内壁涂黑且不透气的保温箱。太阳辐射能在箱内逐渐积累，箱内温度不断升高，一般可达一、二百度。聚光式集热器采用抛物面镜或透镜汇聚太阳光，提高能量密度，最高温度可达三千多度。

目前在光热方面推广应用较多的有太阳能热水器、太阳灶、太阳能干燥器、太阳能水泵、太阳能制冰机、太阳能建筑采暖和空调、太阳能高温炉、太阳能蒸馏等。

总之，从长远观点来看，太阳能在人类社会的能源供应中将越来越显示其重要的地位，人类利用太阳能将是必由之路。加速太阳能利用的研究和推广工作刻不容缓。世界各国已逐渐投入大量的人力、物力和财力来开发利用太阳能。无怪有人评价说当前世界科技界对太阳能利用的兴趣与50年代人们对原子能的兴趣相比有过之而无不及的情况。

从世界范围来说，太阳能的利用，到2000年在能源消费中所占的比重不会太大，只能作为一种辅助能源，但是，太阳能将作为二十一世纪人类社会的主要能源之一，这已是举世公认的了。

第一章 太阳辐射能

要应用太阳能，首先必须对太阳辐射能有一个基本的了解。为此目的，本章将简要介绍太阳辐射能的产生、传播、性质和数量，探讨影响太阳辐射能的各种主要因素，研究太阳辐射能的计算方法以及我国太阳能资源区划，提供太阳能资源的有关资料，作为设计应用太阳能的参考。

§ 1—1 太 阳

太阳是离我们最近的一颗恒星。它是一个主要由氢（80%为氢，19%为氦）组成的巨大炽热气体火球，它的表面温度约为6000度，内部温度估计在 8×10^6 至 40×10^6 度的范围内。太阳的直径约为 1.39×10^6 公里，为地球直径的109倍；它的体积为 1.42×10^{18} 立方公里，为地球体积的103万倍；它的质量约 2.2×10^{27} 吨，比地球大33.2万倍；但是，太阳的平均密度仅约为地球的四分之一。太阳与地球的平均距离为 1.5×10^8 公里，在日地平均距离时，太阳圆盘对地球上的观察点所成的角度约为 $32'$ （0.0093弧度）。

实际上，太阳是一个无比巨大的核聚变反应堆。在太阳内部持续不断地、异常猛烈地进行着由四个氢核（质子）聚变成一个氦核的热核反应，其反应过程为：

$H^1 + H^1 \longrightarrow H^2 + e^+ + \nu$ e^+ 是正电子, ν 是微中子。

$H^2 + H^1 \longrightarrow He^3 + r$ r 是光子

$He^3 + He^3 \longrightarrow He^4 + H^1 + H^1$

每一克氢聚变成氦时, 氢质量损失0.0072克, 按照爱因斯坦质量与能量关系式 $E=mc^2$ (E 为能量, m 为质量, c 为光速, $c=3 \times 10^8$ 米/秒) 相应释放的能量就有 6.48×10^{11} 焦耳。在太阳内部, 每一秒钟约有 657×10^6 吨氢聚变成 653×10^6 吨氦, 即每秒内氢的质量亏损约有400万吨, 也就是说此热核聚变所产生的功率为 390×10^{21} 千瓦 (约 232×10^{12} 马力), 这些能量以电磁波的形式向宇宙空间辐射出去。由于太阳与地球间的距离为一亿五千万公里, 太阳辐射能虽以光速 c 传播, 仍需8分多钟方能到达地球。地球的直径为12700公里, 可以算出地球横截面所截到的太阳辐射仅占太阳的总辐射的二十二亿分之一, 也就是说地球的大气层接收到的太阳辐射的功率为173万亿瓩。这个量, 比1970年全世界的全部能量消耗(2×10^{20} 焦耳) 还多3万倍。据研究, 太阳至少存在40亿年, 如果根据太阳上作为核燃料的氢的储量推算, 太阳的寿命还有50亿年之久。因此, 对利用太阳能来说是取之不尽, 用之不竭的。

太阳的结构如图1—1所示, 分为内部和外部结构两部分, 简要说明如下:

在太阳内部分为三个区:

(1) 球心到 $0.23R$ (R 为太阳的半径) 区域称为“产能核心”, 温度大约 $8 \sim 40 \times 10^6$ °K, 密度为水的80~100倍, 占太阳全部质量的40%, 全部体积的15%, 这个区域产生的能量占太阳总能量的90%。

(2) $0.23R \sim 0.7R$ 区域称为辐射输能区, 温度约为