

实用太阳灶

江斌 张咏雪 编写

国防工业出版社

实 用 太 阳 灶

江 斌 编写
张 咏 雪

国防工业出版社

科学出版社
PDG

内 容 简 介

本书从实用角度详细地介绍了各种聚光太阳灶的原理、结构、设计方法、制造工艺、使用及维护技术，并附有大量图表和实物照片。

本书文字浅显，通俗易懂，适合广大农村读者和知识青年阅读；也可供具有中等文化水平以上的科技工作者及业余爱好者参考。

实 用 太 阳 灶

江 斌 编写

张咏雪

责任编辑 唐朝英

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张67¹/₈ 插页2 150千字

1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷 印数：0,001—4,920册

ISBN7-118-00117-1/TK6 定价：1.50元

前 言

太阳能是地球外来的永不枯竭的巨大能源。虽然地球表面积很大，然而，每单位表面积所接收的太阳辐射能却很少（大约 1 千瓦/米²）。长期以来，人们对太阳能的利用仍然停留在初级阶段。

七十年代，能源危机，环境污染和生态不平衡，迫使各国政府和科学家对太阳能的利用日益重视。许多国家都制订了各自的太阳能研究计划，投入了大量人力、物力，财力从事太阳能应用研究，并取得了可喜的进展。

我国幅员广大，人口众多，有 80% 以上的人口居住在农村，这就为太阳能——这种分散性能源的研究和发展提供了广阔的应用前景。然而，长期以来我国农村燃料主要依靠秸秆、薪柴等，这就容易引起植被遭损、水土流失、沙化面积扩大。因此，解决农村能源、保护森林、绿化环境、维持生态平衡就成为实现四化的一项重要任务。

近年来，随着农村改革的深入和发展，农民学科学、用科学热情空前高涨，不少地区已出现了“太阳能村”。太阳灶、热水器在某些地区甚至出现了供不应求的局面。然而，国内有关太阳灶、热水器的书籍却很少，远不能满足广大城乡的需要。为此，我们搜集了国内外有关资料，结合自己的工作体会，编写了这本书。希望通过我们的努力，能够给广大太阳灶、热水器设计者、使用者提供一点方便。

本书在编写过程中得到郭廷玮和徐佐学两位同志的热情

帮助，在此表示衷心感谢！

由于我们的水平有限，不妥之处，诚恳欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 太阳辐射	1
§ 1.1 太阳	1
§ 1.2 太阳常数	2
§ 1.3 我国的太阳能资源	4
第二章 太阳能的利用	7
§ 2.1 利用太阳能的途径	7
§ 2.2 历史的回顾	9
§ 2.3 我国太阳灶的研究	13
§ 2.4 太阳灶的分类	14
第三章 聚光集热器基础	24
§ 3.1 聚光型集热器特性	25
§ 3.2 旋转抛物面聚光	44
§ 3.3 偏轴抛物面聚光	71
第四章 特种聚光方式	81
§ 4.1 菲涅耳平板聚光	81
§ 4.2 固定球面镜聚光	95
§ 4.3 复合抛物面聚光	99
第五章 聚光太阳灶的设计	111
§ 5.1 引言	111
§ 5.2 灶体设计的指导思想	116
§ 5.3 聚光型太阳灶的总体设计	123
§ 5.4 旋转抛物面的成型方法	134
第六章 聚光太阳灶的制作	142
§ 6.1 旋转抛物面水泥灶	142
§ 6.2 正抛轴外聚光纸壳灶	152

§ 6.3	薄膜抽气成型太阳灶.....	161
§ 6.4	箱式太阳能聚光灶.....	169
§ 6.5	抛物柱面聚光箱式灶.....	187
§ 6.6	固定式太阳能聚光灶.....	193
第七章	热性能测试和评价	203
§ 7.1	太阳灶的热效率.....	203
§ 7.2	热效率的测定.....	205
§ 7.3	太阳灶的焦斑性能.....	208
§ 7.4	太阳灶的综合评比.....	209

第一章 太阳辐射

太阳能来源于太阳。太阳每秒钟向周围空间辐射的热量相当于 1.3 亿亿吨标准煤燃烧时所产生的全部能量。在这些能量中，只有二十二亿分之一到达地球。投射到地球的太阳辐射能又仅有一半到达地球表面。因此，利用太阳能，进行太阳能装置设计，必须了解有关太阳辐射的基本知识。

§ 1.1 太 阳

太阳是一个炽热的气体火球，质量为 2.2×10^{27} 吨，为地球质量的 33 万倍，直径为 139 万公里，体积是地球的 130 万倍，平均密度约为地球的四分之一。在构成太阳物质的 60 多种元素中，主要成份是氢（占 70% 以上）和氦（占 20%）。我们平时看到的日轮是太阳的表面，称为“光球”。

太阳表面的有效温度为 6000K，其内部中心区域的温度高达 $2 \sim 4 \times 10^7$ K，压力为 2×10^{16} 帕斯卡。在这样高的温度下，原子失去了全部或大部分的核外电子。因而使得太阳中最丰富的氢原子只剩下原子核——质子。在那样高的温度下，粒子热运动速度非常大，它们相互碰撞发生多种核反应。其中最主要的一种是氢（即四个质子）聚合成氦（一个氦核）的热核反应。在这种热核反应过程中，每一克氢变成氦时，质量亏损了 0.0072 克，释放出能量为 6.48×10^{11} 焦耳。太阳每秒钟将 657×10^6 吨氢经热核反应变成 653×10^6 吨氦，即每秒消耗 4×10^6 吨质量，同时产生功率 390×10^{21} 千瓦

(约 232×10^{12} 马力)。灼热物体中负电质点(如电子)不断以高速度运动,随时互相碰撞,振动产生电磁波。这些电磁波以每秒钟 30 万公里速度,穿越太空,射向四面八方。地球是太阳系一颗行星,根据地球到太阳的距离等参数通过计算可以知道,在太阳总辐射能量中,只有二十二亿分之一到达地球大气层上界(约 173×10^{12} 千瓦)。由于大气层的衰减,最后约有 85×10^{12} 千瓦的能量到达地球表面,这相当于全世界发电量的几十万倍。

太阳不断地发出能量,它的质量不断亏损。根据目前太阳产生的核能速率估计,氢的贮量足够维持 600 亿年,而它内部组织因热核反应聚合为氦的寿命大约为 50 亿年。50 亿年比起人类历史,尤其是与近百年开发利用自然能源相比,可以说,太阳是提供取之不尽、用之不竭能量的宝库。

§ 1.2 太 阳 常 数

热能的传递通常有传导、对流和辐射三种基本方式。前二者都需要有一定的物质(介质)作为媒介。而太阳到地球之间,除太阳表面附近和地球表面附近有薄薄的大气层外,绝大部分是真空地带。太阳只能以辐射的方式把能量传送到地球上,所以地球上接受到的太阳能又叫太阳辐射能。

太阳能以电磁波的形式传向四面八方。电磁波的波长范围很宽,从波长 10^{-10} 微米的宇宙线到波长几千米的无线电波,构成一个完整的电磁波系列——电磁波谱。

太阳辐射光谱的波段虽然很宽,但 99% 的能量集中在波长为 0.15~4 微米的波段中,其中可见光区(0.4~0.75 微米)占 43%,近红外区(0.75~4 微米)占 48.3%,紫外线区(0.15~0.4 微米)占 8.7%。可见光区内不同波长

的电磁波对人眼产生不同颜色视觉，形成红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色。

地球绕太阳运动的轨道呈椭圆形，即一年中太阳与地球间的距离不是一个常数。比如，每年一月三米左右地球离太阳最近，称为近日点，此时日一地间距为 147.1×10^6 公里；七月四日左右地球距太阳最远，称为远日点，此时日一地间距为 152.1×10^6 公里。地球绕太阳运动一周为一年，一年中每天的日一地距离都不一样，最大差别不超过 3%。

对于光和热来讲，某一位置的辐射强度与离光源（或热源）距离的平方成反比。因此，地球大气上界的太阳辐射强度随着日一地间距不同而异。但是，由于日一地间距很大，地球及其大气层的直径与其相比实在太小，因此，可以认为地球大气层上界的太阳辐射强度到处一样。于是，人们选用了—个固定的数值，称为“太阳常数”。

太阳常数 (I_{00}) 是指在平均日一地距离处，地球大气上界垂直于太阳光线表面的单位面积上、单位时间内所接收到的太阳辐射能。根据近年来高空飞机、气球和空间飞行器等现代先进探空工具的测量结果，可得

$$\begin{aligned} I_{00} &= 1353 \text{ 瓦/米}^2 = 135.3 \text{ 毫瓦/厘米}^2 \\ &= 1159.9 \text{ 千卡/米}^2 \cdot \text{时} \\ &= 1.94 \text{ 卡/厘米}^2 \cdot \text{分} \\ &= 1353 \times 10^6 \text{ 尔格/厘米}^2 \cdot \text{秒} \\ &= 428 \text{ 英热单位/英尺}^2 \cdot \text{时} \end{aligned}$$

太阳辐射能到达地球之前，先要穿过地球外围的大气层。大气层中除了以氧、氮为主的大气分子以外，还有大量水汽、小水滴、二氧化碳、灰尘以及由它们组成的云层。太阳光在穿过大气层时，各波段的能量均受到不同程度的衰减，其中

X射线及其它波长更短的辐射受到电离层中氮、氧及其他大气分子的强烈吸收,绝大部分不能穿过大气到达地表,辐射光谱中大部分紫外线又被臭氧吸收;可见光范围内的光谱能量受到地球大气的强烈散射;红外光范围内的光谱能量减弱,主要是由于水汽对太阳辐射选择性吸收的结果,至于那些波长超过2.5微米的辐射,在大气层上界就相当低,再加上 CO_2 和 H_2O 对它强烈的吸收,能达到地面上的能量已是微乎其微了。可见,在地面上利用太阳能只需考虑波长0.29~2.5微米(可见光区和红外区)的辐射。地球表面上实际接收到的太阳辐射能,其强度低于太阳常数。观测结果表明,在最好的条件下,地面上垂直于太阳光线平面上的辐射强度的极大值相当于太阳常数的80%左右。

§ 1.3 我国的太阳能资源

衡量一个地方太阳能资源多少,大体上可有晴天率、日照小时数和太阳辐射测量三种方法。晴天率是指一年中晴天所占的比例。由于冬天的日照时间比夏天要短得多,所以这种表示方法不准确。

日照小时数是指一年中有日照的小时数。我国有三分之二地区年日照在2000小时以上。这种方法比前一种方法要准确一些。但是,有日照的天可能是大晴天,也可能少云,所以实际到达地表面的太阳辐射能量不会一样多。可见,这种方法也不能准确地反映该地区太阳能资源的多少。

太阳辐射的实际测量能够得到比较准确的结果,把一年中每天实测的太阳能累加起来,得到当地年太阳辐射总量($\text{焦耳}/\text{米}^2 \cdot \text{年}$)。不过我国疆域辽阔,而太阳辐射的观测点又极为稀少,所以采用这种方法,实现起来相当困难。

为了估算各地太阳能资源状况，可利用下述经验公式，

$$Q = Q_0(a + bS)$$

式中 Q_0 ——大晴天时的太阳能量值，

S ——日照率（实际日照时数与可能日照时数的百分比），两者均可在各地的气象资料中查到，

a 、 b ——相关系数。

根据我国现有观测站的观测资料，确定出我国西北地区的相关系数为： $a = 0.29$ ， $b = 0.557$ ；其他地区： $a = 0.18$ ， b 与水汽有关，即与年平均绝对湿度 E_a 有关，其关系为

$$b = 0.55 + 1.11 \frac{1}{E_a}$$

式中 E_a ——年平均绝对湿度。

我国西北干旱地区和其他地区分别用下列公式来计算年太阳能总量。

$$Q = Q_0(0.29 + 0.557S)$$

$$Q = Q_0 \left[0.18 + \left(0.55 + 1.11 \frac{1}{E_a} \right) S \right]$$

国家气象局科学研究院根据全国近 700 个气象台（站）的日照百分率和年平均绝对湿度的资料，分别不同地区，按上述两个公式计算了各地太阳能年总量（千卡/厘米²·年），并绘制了“我国太阳能资源分布图”（图 1-1）。

从图 1-1 可看出，我国太阳能资源十分丰富。其分布规律大体上是西部高于东部，北部高于南部（除西藏、新疆外）。纬度小的地区反而低于纬度大的地区，主要是由于南方云雨量大造成的。西藏太阳能资源最丰富，最高值达 220 千卡/厘米²·年。

按照太阳能资源分布情况，习惯上将我国划分为五类地区。

一类地区为太阳能资源丰富区。全年日照为2800~3300小时，每平方米面积上一年内接受的太阳能总量达 $160\sim 200 \times 10^4$ 千卡，相当于230~280公斤标准煤的热量。主要包括宁夏北部、甘肃北部、新疆东南部、青海西部和西藏西部。

二类地区为我国太阳能资源较丰富区。全年日照为3000~3200小时，每平方米面积上一年内可接受 $140\sim 160 \times 10^4$ 千卡的太阳能，相当于200~230公斤标准煤的热量。主要包括河北北部、山西北部、内蒙和宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部和新疆西南部。

三类地区为太阳能资源中等区。全年日照为2200~3000小时，每平方米面积上一年内接受的太阳能为 $120\sim 140 \times 10^4$ 千卡，相当于170~200公斤标准煤的热量。主要包括山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、广东南部、福建南部、江苏北部、安徽北部以及北京市。

四类地区为太阳能资源较差区。全年日照为1400~2200小时，每平方米面积上一年内太阳能总量为 $100\sim 120 \times 10^4$ 千卡，相当于140~170公斤标准煤的热量。主要包括湖南、湖北、广西、江西、浙江、福建北部、广东北部、陕西南部、江苏南部、安徽南部以及黑龙江。

五类地区为我国太阳能资源最少的地区。全年日照1000~1400小时，一年内每平方米接受太阳能总量只有 $80\sim 100 \times 10^4$ 千卡，相当于110~140公斤标准煤的热量。主要包括四川、贵州。

一、二、三类地区是我国太阳能资源丰富地区，面积很大，占全国总面积的三分之二以上，具有利用太阳能的有利条件。

第二章 太阳能的利用

地球上除原子能和地热能以外，所有其他形式能源几乎全部来源于太阳。例如，作烧柴用的柴草、木炭是植物通过光合作用而积累起来的太阳能；煤、石油、天然气等矿物燃料则是来源于古代的有机物，而有机物——无论动物还是植物都是靠太阳能生长起来的；太阳照射使陆上和海中的水分蒸发，水汽上升到高空，凝结成雨、雪降到地面，形成水流，产生水力；太阳能加热空气，由于温度不均匀形成气流——风，产生风能……。因此，太阳能的利用是个极为重要的问题。

§ 2.1 利用太阳能的途径

自古以来人类都在设法利用太阳能，例如晒衣、晒粮、晒盐等等，当然，这些不能称为太阳能利用技术。太阳能利用技术是指人为地采用某些系统或装置，直接把太阳辐射能收集、转换或贮存，以供用户之需。为了提高这些系统或装置的效率，延长工作寿命并降低它们的成本，需要研究其工作原理、设计方法、制造工艺、有关的材料以及试验技术和量测仪表等。发展这门技术的目的是为了有效地、可靠地、经济地把太阳能转换为人们所需要的能量形式，并加以利用。

§ 2.1.1 能量转换方式

太阳能转换成其它形式能量主要有列三种方式。

(一) 光化学转换

即把太阳能转换成化学能（如生物质能）。

植物的光合作用是实现光化学转换的一种方式，目前人们已经培植出多种特殊藻类。这些藻类的光合作用能力比一般植物要强几十倍，其光化学转换效率可达百分之几。现在人们还在研究各种人工的光化学转换方式。

（二）光电转换

即把太阳能直接转换成电能。

某些晶体或晶体材料在阳光照射下产生电子定向移动，利用这种特性人们制造出光生伏打电池，即太阳电池，从而实现了光电直接转换。目前在光电转换技术方面应用比较成熟的是用单晶硅片制造的硅太阳电池，其能量转换效率可达10%以上。另外还有用多晶硅和非晶硅材料制成的太阳电池。如果在太阳电池片外面增加一组聚光系统，则制成聚光太阳电池，那么该电池的输出功率就能大大提高，但对这种电池的耐热要求也相应提高了。

（三）光热转换

即把太阳能转换成热能。

光热转换的内容广泛，研究的历史很长，积累的经验最多。尤其在太阳能低温热利用方面，技术已相当成熟，应用也较为普遍。例如，提供热水的太阳能热水器；用于干燥谷物、木材等的太阳能干燥器；用来培养植物的太阳能温室栽培；冬暖夏凉的太阳房；还有蒸馏器和制冷机等，本书所介绍的太阳灶也属此列。

§ 2.1.2 太阳能的特点

与其他类型的能源相比，太阳能有许多突出的优点：分布范围广、能量用不尽、对环境无污染和不需要运输等。但也存在着明显的缺点，即能量密度低和供能间断性等。

太阳能的分布广与其分散性是相一致的。太阳能虽然巨大，但是分散，其能量密度（即单位面积上的太阳能）很小。地面上的太阳辐射密度最多不过 1000瓦/米^2 ，在最理想的情况下，每天在 1 平方米的地面上最多只能得到 7~8 千瓦小时的能量，以 15% 的转换效率计算，每天只相当 1 度电多一点。因此为了能采集到足够多的太阳能，利用装置必须有较大的采光面积，这样就需要增加集热器的投资。

太阳能的间断性是指在地面上利用太阳能，由于地球自转造成的昼夜变迁和风雨阴晴的气候变化，使太阳集热器不能连续得到太阳能。为了使太阳能利用装置能够均匀供能，可设置贮能系统，这样就增加了技术上的困难，也增加了产品的成本。

基于上述原因，目前某些领域的太阳能利用在经济上比常规能源要贵。为了降低太阳能利用装置的价格，除了研制各种新型的、便宜耐用的材料外，还必须提高光热转换效率。

十几年来，太阳能利用装置的经济效益提高了许多。有些项目，如太阳能热水器，已经达到或接近可与常规能源相竞争的阶段。估计进入 21 世纪后，太阳能有可能在世界能源结构中起到较重要的作用。

§ 2.2 历史的回顾

§ 2.2.1 几种古代发明

远在五十万年以前，我们的祖先“北京人”就知道用火。为了得到火，人们想出各种方法，例如钻木取火。许多年之后，人们又发明了“阳燧”取火，这种取火方法是我国古代劳动人民的伟大创造之一，也是我国最早利用太阳能的一种工具。它集中了太阳射到地球上来的的一部分光，从而得到火。

我国学者在文物整理中发现了两具有重大价值的“阳燧”，一具是外方内圆，四角各铸一狮钮，上面铸有“千秋万岁”四字，从正面看很象一张膏药；另一件是外形如同荷叶，内饰莲瓣花纹，中心为一凹形圆镜。从它们的用料和造型来看，均有唐代的风格。经过鉴定，这两件珍贵文物距今已有一千多年历史。现保存在我国上海博物馆中。

太阳能除用于生活外也被用于战争。据说，公元前 214 年夏天，罗马人利用水路的有利条件和雄厚的兵船，大举进攻希腊。驶在最前面的马采尔号战船满载罗马水兵，逼近栖拉古斯城。在这形势紧急关头，科学家阿基米德想出了一个退兵办法，他选定一个炎热晴朗的日子，纠集了许多妇女，身穿白衣，手持镜子。阿基米德下令让所有的妇女用手中的镜子把反射的太阳光全部射向马采尔号战船的前梢。顷刻之间，这艘战船燃起熊熊烈火，结果船毁人亡。其它战船看到马采尔号战船起火沉没，自己也遭到高温袭击，于是都不敢前进，纷纷撤退，罗马人吃了一次败仗，阿基米德就是利用汇聚太阳能取得了这次胜利。

古时候，人们利用太阳光计算时间，有一种称为“日晷”的装置就是根据太阳光照射得到的影子来精细划分时间的。在此基础上人们发明了“火钟”，这是一种能够在一定时间鸣炮的“太阳闹钟”。在大炮的引火线上方安装一个透镜，当太阳走到一定位置时，这个透镜的焦点恰好落在引火线上。于是大炮马上轰鸣起来，告诉人们现在是什么时候了。

这些古代的重大发明与今天“太阳灶”原理大同小异，可以说它们是太阳灶的先驱。

§ 2.2.2 太阳灶发展概况

人们利用太阳能装置烧菜、煮饭的历史可追溯到 200 多