



下乡家电选购、使用与维修丛书

TAIYANGNENG RESHUIQI TAIYANGNENGZAO

太阳能热水器、太阳能灶

《下乡家电选购、使用与维修丛书》编委会主编



电子科技大学出版社

◆下乡家电选购、使用与维修丛书

太阳能热水器、太阳能灶

《下乡家电选购、使用与维修丛书》编委会 主 编

电子科技大学出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

太阳能热水器、太阳能灶 / 《下乡家电选购、使用与维修丛书》编委会主编. -- 成都 : 电子科技大学出版社, 2010.10

(下乡家电选购、使用与维修丛书)

ISBN 978-7-5647-0672-2

I. (1) 太... II. (1) 下... III. (1) 太阳能水加热器—基本知识 (2) 太阳能炉—基本知识 IV. (1) TK515 (2) TK519

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 198839 号

太阳能热水器、太阳能灶

《下乡家电选购、使用与维修丛书》编委会 主 编

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 张 鹏

责任编辑: 张 鹏

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都火炬印务有限公司

成品尺寸: 140mm×203mm 印张 8.375 字数 230 千字

版 次: 2010 年 10 月第一版

印 次: 2010 年 10 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-0672-2

定 价: 16.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话: (028) 83202323, 83256027。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

本书编委会

主 任：刘桃序

副主任：刘明军 兰 虎 廖晓丽 刘光乾

编写委员会名单（按姓名拼音为序）

包世荣	曹麒麟	陈 亮	陈 毅	代 莲	戴 友
冯香军	韩燕超	贺继平	贾春伟	蒋 洁	兰 虎
李 飞	廖 鸣	廖晓丽	刘光乾	刘桃序	刘金明
刘明军	刘小琴	隆碧波	彭 林	卿 春	孙 霖
汪亚玲	王 斌	王 雷	王 宇	王建刚	吴寒梅
夏小棋	杨安华	叶小飞	游静峰	余 浪	张德鸿
张凯恒	张天斌	张天红	郑 尧	朱春雷	

前 言

中国的太阳能热利用技术研究开发始于 20 世纪 70 年代末，其重点为置于简单、价廉的低温热利用适用技术，如太阳能温室、太阳灶、被动太阳房、太阳热水器和太阳干燥器等。目前这类技术在农村得到推广应用，为缓解农村能源短缺，改善农村生态环境和农民生活起了积极的作用，并收到了实效。

本书主要针对农村应用较为广泛的太阳能用具进行介绍，主要是太阳能热水器和太阳能灶，从它们原理、产品选购、使用维护以及维修等方面进行介绍。本书结构形式灵活，不仅具备知识介绍，而且还有知识问答，以帮助和适宜农村读者阅读。

本书作为《下乡家电选购、使用与维修丛书》的系列丛书之一，将切实结合农村用户知识文化水准较低的现状，采取的描述方法颇为通俗易懂，再配以图片，更加生动形象地对太阳能热水器和太阳能灶等方面知识进行讲解，非常适合农村太阳能工程建设施工人员、及太阳能农村用户阅读。

在本系列丛书编写过程中，虽深入农村进行调研，并对四川部分现有农家书屋管理员做了“什么样的书最受农村和农户

欢迎”的调查，但由于时间仓促，现有相关养殖业机电设备的资料相对较少，以及编著者的水平等因素，难免有不足和疏漏，欢迎广大读者给予批评指正，以便再版时进行修改！

编委会

2010年9月

目 录

第一章 太阳能基本知识	1
第一节 太阳能的来源.....	1
第二节 太阳常数.....	3
第三节 太阳光谱.....	4
第四节 太阳高度角和方位角.....	10
第五节 太阳直接辐射和散射辐射.....	13
第六节 太阳能的吸收、转换和储存.....	15
第七节 我国太阳能资源.....	23
第八节 太阳能利用的广阔前景.....	26
第二章 太阳能热水器与热水系统	28
第一节 概述.....	28
第二节 太阳能热水器的分类及特点.....	31
第三节 平板型集热器.....	38
第四节 真空管集热器.....	47

第五节 家用太阳能热水器的选购、安装、使用与维护.....	59
第六节 太阳能热水系统的工程设计.....	68
第七节 太阳能热水工程的安装施工.....	90
第八节 太阳能热水工程的验收.....	97
第九节 太阳能热水系统运行与维护.....	99
第十节 太阳能热水器选购知识问答.....	125
第三章 太阳灶.....	169
第一节 几种常见的太阳灶.....	170
第二节 聚光式太阳灶的设计原理.....	178
第三节 聚光式太阳灶的结构.....	190
第四节 聚光式太阳灶的材料与制作工艺.....	195
第五节 聚光式太阳灶性能检测.....	202
第六节 聚光式太阳灶的使用与维护.....	208
第七节 自动跟踪太阳灶.....	209
第八节 太阳能自动跟踪器电路.....	215
第九节 太阳灶的设计与制作方法.....	225
第十节 太阳灶的使用与维修保养.....	245
第十一节 太阳灶技术进展和应用.....	248

第一章 太阳能基本知识

第一节 太阳能的来源

太阳从东方升起，到西方降落。太阳带来了温暖，使生物和人类生长、发育，这是人们所熟悉的自然现象。此外，太阳照射的变化，还引起四季和昼夜的更替，造成大气层中的风、雨、雷、电。那么，它的能量是从哪里来的呢？这是我们要考察的问题。

首先，我们要了解太阳的构造。简单地说，太阳是一个炽热的大气体球。它的直径大约为 139 万千米，是地球直径的 109 倍，它的体积是地球的 130 万倍，而它的质量为地球的 33 万倍，所以，它的密度只是地球的 1/4。太阳通常可分为内球和太阳大气两大部分。内球的外层是处于对流之中的流体区域；太阳大气又分为两层，其底层称为光球，就是我们平常所能看见的部分，它的上面是厚约几千千米的色球层，最外面是一层密度很小的日冕，它的形状不规则，而且经常变化。从太阳球心到平均半径为 1/4 的范围内，含有总质量的 40%，温度高达 1500 万℃（万摄氏度），密度超过 100g/cm^3 （克/立方厘米）；在平均半径 70%处，温度降至 50 万℃；在外面的对流层中，温度进一步降至约 6000℃，密度降至 $1\times 10^{-8}\text{g/cm}^3$ 。

太阳的主要成分是氢和氦，其中氢约占 78%，氦约占 20%。在异常的高温、高压下，原子失去了全部或大部分核外电子，它们在高速运动和互相碰撞之中，发生多种核反应。其中最主要的是氢核聚合成氦核的反应，称为热核反应。在这种反应中，每 1 克氢变为氦时，质量损失 0.0072g。太阳每秒钟将 6 亿多吨氢变为氦，损失质量 427 万吨，这些质量转化为能量发射出来，总功率

相当于 3.9×10^{20} MW (兆瓦)。根据地球和太阳的相对位置可知，太阳总辐射能量中，只有二十二亿分之一到达地球大气层的上界，大约为 1 亿 7300 万兆瓦。由于大气层的散射和吸收，最后达到地球表面的太阳辐射功率大约为 8500 万兆瓦。这仍然是全球发电容量的数十万倍。尽管太阳的发射功率如此巨大，但是，太阳的质量毕竟太大了，照这样消耗下去，仍然能够维持几十亿年。

第二节 太阳常数

太阳常数是在日地平均距离处（这个平均距离大约为 1 亿 5000 万千米）地球大气层外、垂直于太阳光线的平面上，单位面积、单位时间内接收到的太阳辐射能。掌握太阳常数的精确值以及太阳辐射的光谱分布，不仅对地球物理学有重要意义，而且对太阳能利用技术的研究和开发也有重要的意义。所以，多年来人们利用高空飞机、气球以及空间飞行器，对太阳辐射进行精确测量，并推算出太阳常数值。20 世纪 60 年代根据美国航空和航天局、美国材料以及试验学会测定，太阳常数为 1353W/m^2 （瓦/平方米）。1981 年 10 月，世界气象组织仪器和观测方法委员会在墨西哥召开的第八届会议上，通过了近年来大量实测结果，建议确定太阳常数为 $(1367\pm 7)\text{W/m}^2$ 。看来，太阳常数虽然随时间有所变化，但其变化是在测量精确度范围以内的。对于太阳能利用技术的研究和开发来说，完全可以把它当做一个常数来处理。

太阳常数是指大气层外垂直于太阳光线的平面上的辐射强度。在穿过大气层时被减弱，太阳辐射引起的这种减弱主要是由于大气的各种成分的吸收和散射大气中的各种成分对各种不同波长的太阳辐射的吸收和散射的作用。总的说来，在地面上测得的最大垂直于太阳辐射的平面上的辐射强度大约是太阳常数的 80%，也就是说，被大气吸收和散射的太阳辐射至少占太阳常数的 20% 左右。过去对太阳常数的测量结果进行估算的，自从有了人造卫星和宇宙飞船，就可以在大气层外对太阳常数进行直接测量了。

第三节 太阳光谱

一、地球大气层外的太阳光谱

太阳表面的温度既然高达 6000°C ，因而太阳物质不可能是固体或液体，而是高温气体，它发射出连续光谱。所谓连续光谱，就是说它发射的光是由连续变化的不同波长的光混合而成。只要用三棱镜，就能把这种光束分解成红、黄、绿、青、蓝、紫连续排列的各色光，也就是按波长分解成连续排列的各色。由此可见，太阳的白光是由许多不同的单色光组合起来的。由各种颜色排列起来的光，上面谈到的光相当于红光，都是人的眼睛可以看得见的，所以叫做可见光谱，它的波长范围是 $0.38 \sim 0.78\mu\text{m}$ ($1\text{m}=10^5\mu\text{m}$)。在可见光中，波长较长的部分相当于红光，波长较短的部分相当于紫光，中间各色光排列的次序就像我们前面列举的那样。其实，可见光只占太阳光谱中一个极窄的波段。波长比红光更长的光叫做红外光，波长比紫光更短的光叫做紫外光。整个太阳光谱波长范围是非常宽广的，从几个埃 (A) (1 埃为万分之一微米) 到几十米。

虽然太阳光谱的波长范围很宽，但是辐射能的大小按波长的分配却是不均匀的。其中辐射能量最大的区域在可见光部分，是在波长 $0.46\mu\text{m}$ 附近。辐射能从最大值处向长波方向减弱较慢，向短波方向减弱较快。实际上， $0.2 \sim 2.6\mu\text{m}$ 这一波段的能量几乎代表了太阳辐射的全部能量，这一部分光谱分布如图 1-1 的曲线所示，比较精确的数据列于表 1-1 之中。

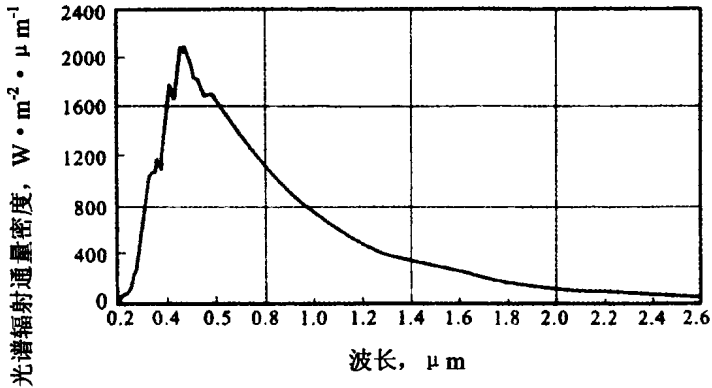


图 1-1 地球大气层外的太阳光谱

现在考察一下太阳光谱中长波一端和短波一端的情况。长波一端包括从 $600\mu\text{m}$ 到 30m 的范围，即无线电波段主要是太阳外层大气发射出来的。这个波段的辐射能量非常小。和太阳的总辐射能相比，几乎可以完全忽略。但是，当太阳有强烈活动时，厘米波段和米波段的辐射就会有剧烈的扰动。短波一端包括紫外辐射到 X 射线段，波长从 $0.1\sim 300\text{nm}$ （纳米）（ $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ）的范围。它的辐射能比起可见光来是很小的，但比无线电波段的能量大得多，约占太阳总辐射能的 1% 强。太阳的紫外辐射绝大部分被地球高层大气吸收，使高层大气电离形成几个电离层，并在离地面 $15\sim 35\text{km}$ 范围内的大气中产生较多臭氧。

表 1-1 地球外太阳辐射光谱 (太阳常数=1353W/m²)

λ	E_{λ}	D_{λ}	λ	E_{λ}	D_{λ}	λ	E_{λ}	D_{λ}
0.115	0.007	1×10^{-4}	0.36	1068	5.32	0.55	1725	29.38
0.14	0.03	5×10^{-4}	0.37	1181	6.15	0.56	1695	30.65
0.16	0.23	6×10^{-4}	0.38	1120	7.00	0.57	1712	31.91
0.18	1.25	1.6×10^{-3}	0.39	1098	7.82	0.58	1715	33.18
0.20	10.7	8.1×10^{-3}	0.40	1429	8.73	0.59	1700	34.44
0.22	57.5	0.05	0.41	1751	9.92	0.60	1666	35.68
0.23	66.7	0.10	0.42	1747	11.22	0.62	1602	38.10
0.24	63.0	0.14	0.43	1639	12.47	0.64	1544	40.42
0.25	70.9	0.19	0.44	1810	13.73	0.66	1486	42.66
0.26	130	0.27	0.45	2006	15.14	0.68	1427	44.81
0.27	232	0.41	0.46	2066	16.65	0.70	1369	46.88
0.28	222	0.56	0.47	2033	18.17	0.72	1314	48.86
0.29	482	0.81	0.48	2074	19.68	0.75	1235	51.69
0.30	514	1.21	0.49	1950	21.15	0.80	1109	56.02
0.31	689	1.66	0.50	1942	22.60	0.90	891	63.37
0.32	830	2.22	0.51	1882	24.01	1.00	748	69.49
0.33	1059	2.93	0.50	1833	25.38	1.2	485	78.40
0.34	1074	3.72	0.53	1842	26.74	1.4	337	84.33
0.35	1093	4.52	0.54	1783	28.08	1.6	245	88.61
1.8	159	91.59	3.2	22.6	98.22	6.0	1.8	99.72
2.0	103	93.49	3.4	16.6	98.50	7.0	1.0	99.82
2.2	79	94.83	3.6	13.5	98.72	8.0	0.59	99.88
2.4	62	95.86	3.8	11.1	98.91	10.0	0.24	99.94
2.6	48	96.67	4.0	9.5	99.06	15.0	4.8×10^{-2}	99.98
2.8	39	97.31	4.5	5.9	99.34	20.0	1.5×10^{-2}	99.99

注：表中 λ 表示波长 (单位 μm)； E_{λ} 是以 λ 为中心的小波段内的太阳辐射平均强度 (单位 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}$)； D_{λ} 是 $0\sim\lambda$ 波长区内的辐射总能量占太阳常数的百分比，引自 Thekaekara 的文章 (1974)。

二、地面上的太阳辐射和光谱

太阳能转换系统大部分都安装在地面上，对我们来说，地面上的太阳全辐射和光谱有着更直接的关系。太阳辐射穿过地球大气层时，由于受大气的散射、反射和吸收的影响，到达地面的太

阳辐射明显地减少，光谱分布也发生了变化，如图 1-2 所示。所以，了解大气层的影响对研究地面的太阳辐射十分重要。

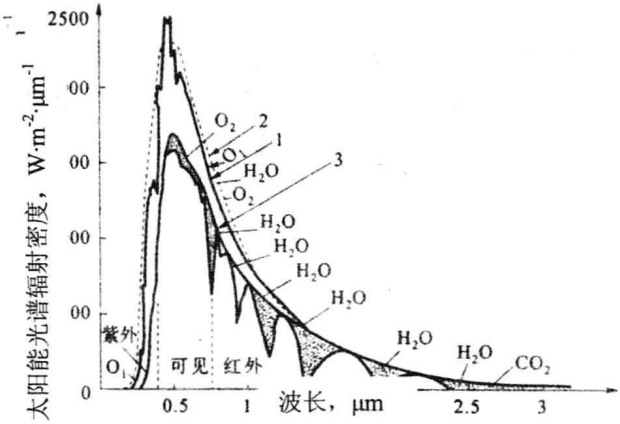


图 1-2 大气层外和海平面的太阳光谱

大气中的空气分子、尘埃、水滴、冰晶等粒子会改变太阳辐射的传播方向，这就是散射。气体分子对短波辐射的散射作用比对长波辐射厉害，这也就是天空呈蓝色的原因。灰尘、水滴、冰晶等是粗粒子，因而较长波的散射也随之而增强。这样一来，长波和短波散射的差异也就减小了。大气的散射集中在能量比较大的可见光波段，因而是使太阳辐射衰减的主要因素之一。大气的散射可在相当大的范围内变化，它取决于太阳高度、云量、云厚、云状、大气透明度和海拔高度等因素，其中尤其以云的变化对散射的影响最大。例如，全阴天时的散射辐射比碧空时的大 1~2 倍，有云隙和透光的高积云或积云散射辐射更可增至 8 倍以上。

地球作为一个整体，对太阳辐射有反射作用，它由 3 部分组成：大气对太阳辐射的反射是一种漫反射，约为入射辐射的 8%；地球表面的反射为入射辐射的 2%~3%；云层的反射随着云状、云厚变化较大，平均约为入射辐射的 25%。

大气外和地面太阳光谱曲线的差异,主要是由大气吸收造成,如上图 1-2 所示。水汽对太阳辐射的吸收起着十分重要的作用,其吸收带大部分集中在红外区,可见光区内也有一部分。当大气中的水汽含量相当大时,水汽的吸收可占入射辐射的 10%左右。臭氧吸收的主要是紫外线,约占入射辐射的 2.1%。此外,氧和二氧化碳对太阳辐射也有一定的吸收作用,但影响不大。

在绝大部分太阳光谱范围内,大气对单色光束的衰减由对数衰减定律来确定。

$$E_{\lambda} = E_{\lambda}^0 e^{-C_{\lambda} M} \quad (1-1)$$

式中, E_{λ}^0 ——大气层外给定波长的辐射强度, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$;

E_{λ} ——通过大气层后给定波长的辐射强度, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$;

λ ——波长, μm ;

M ——大气质量, 数字;

C_{λ} ——衰减系数, 数字。

衰减系数 C_{λ} 是雷利散射系数 C_1 、臭氧吸收系数 C_2 和大气混浊系数 C_3 之和。而 $C^3 = \beta/\lambda^{\alpha}$, α 和 β 是变化的经验数据。 $\alpha=1.3$, $\beta=0.02$ 相应于很清洁的大气; $\alpha=0.66$, $\beta=0.17$ 则相应于很混浊的大气。大气质量也叫空气质量, 就是直射阳光穿过地球大气层路径的长度和太阳在天顶时它穿过大气层路径长度之比。对应于不同的大气混浊度和大气质量的太阳辐射强度的变化, 可以从表 1-2 所示看出来。

表 1-2 对应于不同大气质量的太阳辐射强度

空气 质量	太阳天顶 角 (°)	浑浊系数		总辐射强 度/ (W/m^2)	总辐射强 度与太阳 常数之比 (%)	占总能量的部分		
		α	β			紫外 (λ $< 0.4 \mu$ m)	可见 (0.4 $\mu m < \lambda <$ $0.72 \mu m$)	红外 ($\lambda >$ $0.72 \mu m$) (%)
0	0			1353.0	100.0	8.7	40.1	51.1
1	0	1.30	0.02	956.2	70.7	4.8	46.9	48.3
4	75.5	1.30	0.02	595.2	44.0	1.23	44.3	54.5
7	81.8	1.30	0.02	413.6	30.6	0.35	39.4	60.3
10	84.3	1.30	0.02	302.5	22.4	0.102	34.7	65.2
1	0	1.30	0.04	924.9	68.4	4.6	46.4	49.0
4	75.5	1.30	0.04	528.9	39.1	1.04	42.1	56.9
7	81.8	1.30	0.04	342.0	25.3	0.26	35.9	63.8
10	84.3	1.30	0.04	234.5	17.3	0.065	30.3	69.6
1	0	0.66	0.085	889.2	65.7	4.7	46.4	48.9
4	75.5	0.66	0.085	448.7	33.2	1.14	42.4	56.5
7	81.8	0.66	0.085	255.2	18.9	0.30	36.6	63.4
10	84.3	0.66	0.085	153.8	11.4	0.08	30.7	69.2
1	0	0.66	0.17	800.2	59.1	4.5	45.4	50.1
4	75.5	0.66	0.17	303.1	22.4	0.88	38.3	60.8
7	81.8	0.66	0.17	133.3	9.85	0.14	30.0	69.8
10	84.3	0.66	0.17	63.4	4.69	0.039	22.9	77.1

注： α 为美国标准大气，水 20mm，臭氧 3.4mm。