


新农村生态家园丛书



# 太阳热水器

霍志臣 罗振涛 编著



 中国环境科学出版社

新农村生态家园丛书

# 太阳热水器

霍志臣 罗振涛 编著

中国环境科学出版社  
·北京·

## 内 容 提 要

本书系统地介绍了太阳热水器的基础知识,以及太阳热水器的类型,安装、维护和使用管理知识。内容通俗易懂,重在实用和普及。可供广大农牧民、干部、企业职工和太阳能爱好者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

太阳热水器/霍志臣,罗振涛编著. -北京:中国环境科学出版社,2002.10

(新农村生态家园丛书)

ISBN 7-80163-410-1

I. 太… II. ①霍…②罗… III. 太阳能水加热器-普及读物 IV. TK515-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 075989 号

中国环境科学出版社出版发行

(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)

北京市联华印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2002 年 10 月第一版	开本	850×1168	1/32
2002 年 10 月第一次印刷	印张	3 1/4	
印数 1—7000	字数	82 千字	
	定价:	6.00 元	

PDG

# 出版说明

当前,我国农业和农村经济已经进入了一个新的发展阶段。新阶段除了以增加农民收入为中心、推进农业和农村经济结构战略性调整为主线之外,还有一个显著的特点就是将生态环境建设和保护纳入农业发展目标之中,强调农业的可持续发展。农业部计划在“十五”期间实施的“生态家园富民计划”,就是从农民最基本的生产和生活单元内部,挖掘潜力,以可再生能源的科学利用为切入点,引导农民改变落后的生产生活方式,达到增加收入,保护生态环境,实现可持续发展的目标。

“生态家园富民计划”包括政策和技术两方面的内容,在政策上就是引导农民按生态家园模式安排生产和生活,在技术上就是建设以农村户用沼气池为纽带的各类能源生态模式工程,根据实际需要配套建设太阳能利用工程、省柴节煤工程和小电源工程,使土地、太阳能和生物质能资源得到更有效的利用,形成农民家庭基本生产生活单元内部能流和物流的良性循环,达到家居温暖清洁化、庭院经济高效化和农业生产无害化的目标。同时按照各地不同的生态、社会和经济情况,把“生态家园

富民计划”的执行区分为：黄土高原旱作农业区、西北风沙区农牧交错带、西南诸河流石质山区、西南浅山丘陵区、新疆绿洲农业区、青藏高原区、东北平原农业区、华北平原农业区和东部沿海平原农业区等 9 个生态类型区，按照各区域不同的生态类型特点和农村经济发展状况，因地制宜实施不同的项目内容。

为了配合“生态家园富民计划”的实施，我们组织专家编写了“新农村生态家园丛书”，旨在向农民朋友普及农村可再生能源技术和科普知识，以推动“生态家园富民计划”在全国的顺利开展。

农业部科技教育司  
2002 年 10 月

附：编审人员名单

编写者：霍志臣 罗振涛

审稿组：邓可蕴 王孟杰 焦庆余 罗振涛 陈晓夫

## 前 言

太阳能是一种巨大的无污染的能源,开发利用太阳能是解决能源短缺、保护环境的主要途径之一,太阳热水器又是太阳能利用技术中一种最现实、最广泛的形式。普及和推广太阳热水器不仅能改善和方便广大农牧民生活,而且也具有良好的经济效益和社会环境效益。我国自 20 世纪 80 年代太阳热水器步入广大人民生活中以来,太阳热水器行业在政府扶植鼓励下得到了迅猛的发展,到 2001 年我国太阳热水器年销售量已达到 800 万平方米,累计推广量 3 230 万平方米,企业产值达 98 亿元,太阳热水器目前已成为与电热水器、燃气热水器并列的三大热水器产品,深受广大用户,特别是乡镇农村的用户欢迎,我国已成为名副其实的世界第一的太阳热水器生产和使用大国。农业部“生态家园富民计划”为了帮助广大工作在农村能源建设战线上的工作人员以及广大太阳热水器爱好者,了解太阳热水器基本知识,推动太阳热水器进一步普及与推广,特组织编写了“太阳热水器”科普读物。由罗振涛研究员(四、五、七)、霍志臣教授级高工(一、二、三、六)分工执笔编写。本读物编写力求通俗易懂,重在实用和普及。可供广大农牧民、干部和太阳能爱好者参考。

本书得到了中国农村能源行业协会太阳能热利用专业委员会主任陆维德研究员的审阅和“新农村生态家园丛书”审稿组的审核。提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

由于作者水平所限,本书难免有不妥之处,敬请读者指正。

# 目 录

一、基础知识简要介绍	( 1 )
(一)认识太阳 利用太阳	( 1 )
(二)传热基本知识	( 6 )
二、什么是太阳热水器	(14)
(一)太阳热水器基本构成及工作原理	(14)
(二)太阳热水器关键部件——集热器和保温水箱	(15)
(三)太阳热水器热量输出的测定方法	(19)
三、常用太阳集热器的类型	(21)
(一)太阳集热器分几种类型	(21)
(二)平板太阳集热器	(21)
(三)真空管太阳集热器	(31)
四、太阳热水器怎样配备水箱和补取水	(38)
(一)太阳热水器贮水箱	(38)
(二)太阳热水器的补水和取水	(46)
五、太阳热水系统的类型	(50)
(一)自然循环太阳热水系统	(51)
(二)强制循环太阳热水系统	(55)
(三)定温放水系统	(58)
(四)双回路太阳热水系统	(61)

(五)家用太阳热水器 .....	(62)
(六)选择太阳热水系统(器)的基本依据 .....	(68)
<b>六、太阳热水器的选用常识</b> .....	<b>(70)</b>
(一)太阳热水系统运行方式的选择 .....	(70)
(二)太阳集热器种类的选择 .....	(71)
(三)太阳集热器安装倾角的选取 .....	(72)
(四)集热器前后排距离的确定 .....	(73)
(五)集热器面积的确定 .....	(74)
(六)使用水量的确定 .....	(74)
<b>七、太阳热水系统的安装和维护</b> .....	<b>(76)</b>
(一)家用太阳热水器的安装和维护 .....	(76)
(二)家用太阳热水器的故障分析和排除 .....	(79)
(三)太阳热水系统的安装与维护 .....	(81)
(四)太阳热水系统的故障与排除 .....	(91)
(五)太阳热水系统的防冻措施 .....	(92)
(六)太阳热水系统中的辅助电加热系统 .....	(93)



## 一、基础知识简要介绍

### (一) 认识太阳 利用太阳

#### 1. 太阳与太阳能

众所周知,在浩瀚的宇宙中有一颗离我们最近的恒星——太阳。我们生活在地球上每天都看到日出东方,日落西方,似乎是一个距离我们很近,体积不大的发光球体。正因如此,在科学尚不发达的古代,才有夸父追日的传说。但现代科学表明太阳距离我们相当遥远,达到 1.5 亿千米远,虽然太阳光的传播速度为 30 万千米/秒,但我们在地球上所见到的光线已经是 8 分钟之前从太阳发出的光线了,因此从地球上望去我们才感到太阳个头并不算大。图 1-1 表示了地球与太阳的几何关系。太阳的直径为 139 万千米,而地球直径仅为 1.27 万千米,太阳的直径要比我们地球大很多,达 109 倍,其体积则比地球大 130 多万倍。尽管如此,由于距离遥远,太阳张角仅仅为 32 分,不足 1 度。

现代科学研究表明,太阳是一个巨大的炽热的气团。它主要由氢气、氦气和其他元素构成,其中氢气占 78.4%,氦气占 9.8%,金属和其他元素占 1.8%。太阳的表面温度有 6 000℃,内部温度则高达 1 000 万~2 000 万℃,内部压力有 3 400 多亿大气压力。在如此高温高压之下进行着由氢变氦的热聚变反应,从而释放出大量的辐射能,因而它是不排放污染的能源。据估算太阳向外辐射的总能量约为  $3.75 \times 10^{26}$  瓦,地球上所接受到的太阳能仅为其中的 22 亿分之一,即便如此,地球上的太阳能资源仍然达到 180 万亿千瓦,相当于目前全世界消耗各种能量之和的 2 万倍之多。

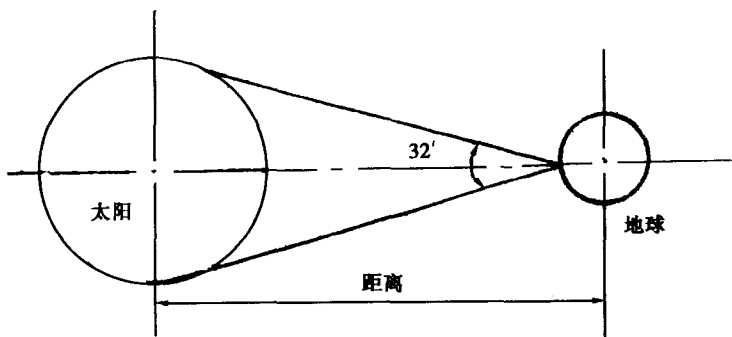


图 1-1 太阳与地球的几何关系

太阳除功率巨大之外,它不像其他能源,如煤、石油等,开采寿命很短,它的寿命可以说是无限的。为什么呢?我们前面提到太阳中的氢占 78.4%,若其中有 2% 转变成氦的话,按目前的太阳辐射功率计算,足以维持 2 亿年,这样算来太阳实际寿命可达几十亿年。

## 2. 太阳光谱与地球表面上的太阳能

太阳辐射是指太阳向宇宙空间发射出的能量,它是由不同波长的电磁波组成的,包括紫外线、可见光和红外线等。太阳辐射能量随波长分布称为太阳光谱。由于地球被一层稠密的大气包围着,它的主要成分是氮、氧、二氧化碳、水蒸汽和臭氧等,因此到达地面的太阳光谱与大气层上方的太阳光谱有所不同。当太阳辐射尚未进入地球大气时,能量集中在 0.3 微米至 3.0 微米波段。图 1-2 为地球大气层之外的太阳光谱辐射。当太阳辐射穿过地球大气层时,不仅要受到大气中的空气分子、水汽和灰尘的散射,而且还要受大气的氧气、臭氧、水汽和二氧化碳等分子的吸收和反射,致使到达地球表面的太阳辐射明显衰减。据估计来自太阳的

光辐射约有 30% 被反射到宇宙中,有 23% 左右被大气层吸收,因此到达地球表面的能量只占 47% 左右,如图 1-3 所示。

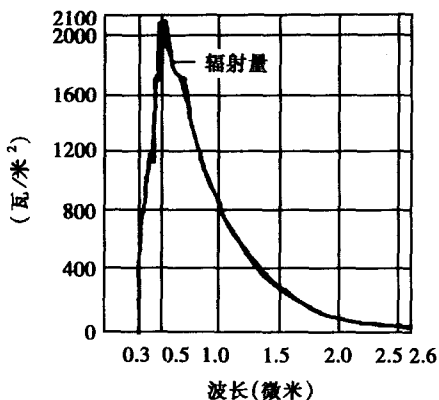


图 1-2 地球之外的太阳光谱辐射

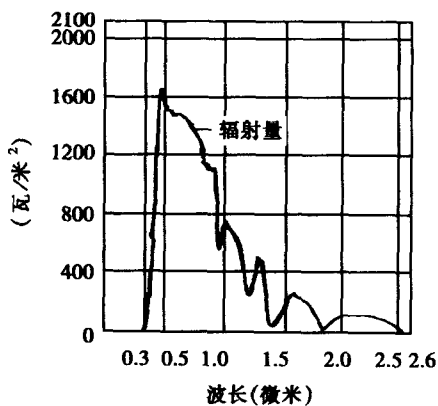


图 1-3 地球海平面上太阳垂直光谱辐射

### 3. 太阳常数

前面已经谈到,地球大气层外与地球表面的太阳辐射强度是不一样的,为了表示地球大气层外太阳辐射强度,人们引入太阳常数这一概念。太阳常数的定义是在太阳与地球平均距离时,地球大气层外垂直于太阳光线的单位面积上单位时间内所接受到的太阳辐射能量的数值,一般取  $1\ 353\ \text{瓦}/\text{米}^2$ ,能量密度比较低。这里应强调的是太阳常数并不等于地球大气层外的太阳辐射强度,因为太阳辐射强度随着地球与太阳距离而变化,一般由于地球轨道偏心率造成地球大气层外的太阳辐射强度有一个约  $\pm 3.4\%$  的强弱改变。

### 4. 我国有丰富的太阳能资源

我国幅员辽阔,南起北纬 4 度的曾母暗沙,北到北纬 52 度多的漠河,西自东经 73 度的帕米尔高原,东至东经 135 度的黑龙江与乌苏里汇合处,从南到北,从东到西相距 5 000 千米以上,全国大部分地区的领土都在北温带范围内,太阳能资源十分丰富,因此,开发利用太阳能在我国前景极其广阔。粗略估计,我国各地太阳辐射年总量大约在  $(3.3\sim 8.4)\times 10^6$  千焦/米<sup>2</sup> 之间,一年获得的太阳能在  $10^{16}$  千瓦时以上,相当于  $1.2\times 10^{12}$  吨标准煤所具有的全部能量。表 1-1 为我国主要地区的太阳能资源状况和与国外相当地区的比较。表中的 1、2、3 类地区是太阳能资源较为丰富的地区,面积占全国领土总面积的三分之二以上,具有良好的利用太阳能条件。我国大陆上太阳能资源分布特点是西部多于东部,南部大部分地区少于北部。四川盆地的西南部和贵州北部是全国最低地区,年辐射量约为 334.4 千焦/厘米<sup>2</sup>。从内蒙古西部经宁夏北部、甘肃西北部和新疆南部到青海、西藏形成一条东北—西南宽带,是我国太阳辐射年总量最高的地段,年辐射量 627~836 千焦/厘米<sup>2</sup>,而在西藏高原的南部则高达 919.6 千焦/厘米<sup>2</sup>。这一太阳能资源丰富的地区,又恰恰是我国生态环境恶化最严重的地方,开

发利用该地区丰富的太阳能资源非常重要。

表 1-1 我国主要地区太阳能资源

类别	全年日照 时数(时)	年总辐射量 (兆焦/米 <sup>2</sup> )	相当于燃烧 标准煤(千克)	主要地区	与国外相 当地区
1	3200~3000	6680~8400	225~285	宁夏北部、甘肃北部、新疆东南部、青海西部、西藏西部	印度、巴基斯坦北部
2	3000~3200	5852~6680	200~225	河北北部、山西北部、内蒙宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部和新疆南部	印尼牙保加达一带
3	2200~3000	5016~5852	170~200	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、广东和福建南部、江苏和安徽北部、北京	美国华盛顿地区
4	1400~2200	4190~5016	140~170	湖北、湖南、江西、浙江、广西、广东北部、陕西南部、江苏和安徽南部、黑龙江	意大利米兰地区
5	1000~1400	3344~4190	110~140	四川和贵州省	法国巴黎和俄罗斯的莫斯科

## 5. 太阳能资源的特点

太阳能资源虽然有丰富、清洁、无需运输等优点,但它也存有  
以下缺点:①能量密度低。实际投射到地球表面的太阳辐射功率,  
晴天时也仅为  $500 \sim 1\,000$  瓦/米<sup>2</sup>。因此要想获得一定的辐射功  
率,需要较大的接收面积。②间断性和不稳定性。由于受昼夜、季  
节、阴雨、地理纬度等自然条件限制,太阳能是一个间断不稳定的  
能源,实用中必须解决好储能问题。

### (二)传热基本知识

传热是太阳热利用中的基本过程,了解传热学知识,特别是太  
阳热水器中的传热问题是非常必要的。太阳能热利用,特别是太  
阳热水器的进展,在很大程度上取决于传热学的进展和传热材料的  
合理利用。为了使读者较为深入地理解太阳热水器这一供热装  
置的传热机理,简要介绍一下与太阳热水器设计相关的传热学知  
识和技术。众所周知,当物体间存在温度差时,热能将自动地由高  
温向低温处传送。热能的传送是通过三种方式实现的,这就是传  
导、对流和辐射,下面分别加以说明。

#### 1. 什么是热传导

我们日常生活中经常遇到最多的问题就是热传导问题,比如  
我们将一根金属棒的一端放在火焰上加热,很快我们就会感到手  
这一端金属棒也热起来,这就是热传导所致。再有冬天外出时,我  
们都戴上手套以防手冻,这也是人们利用手套不易热传导的缘故。  
热传导是固体中热能传递的唯一方式。在太阳热水器中用的最多  
的两种热传导形式是平板导热和圆管导热。

##### (1)平板导热。

图 1-4 表示一个厚度为  $l$ ,面积为  $A$  的平板热传导温度分  
布。该平板为一固体材料,它一侧温度为  $T_2$ ,另一侧温度为  $T_1$ ,  $T_2$   
大于  $T_1$ 。该材料的热传导系数用  $\lambda$  表示。 $\lambda$  是物质的属性,不同材

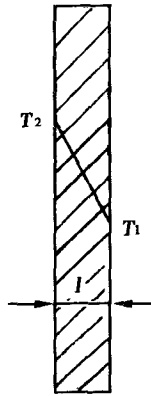


图 1-4 热传导温度分布

料具有不同的  $\lambda$  值,表 1-2 为太阳热水器中常用材料的热传导系数  $\lambda$  值。热流  $Q$  的计算公式为

$$Q = \lambda \cdot (T_2 - T_1)A/l \quad (1-1)$$

从公式可以看出,热传导的热流量  $Q$  随着平板两侧温差加大而增大,也因导热面积、热传导系数加大而提高;相反,它却因导热厚度加厚而减小。所以,我们为了获得良好的保温应在成本合理条件下尽量选用  $\lambda$  值小、隔热层厚度尽量大的保温材料。

表 1-2 常用材料密度和导热系数

材料名称	密度(千克/米 <sup>3</sup> )	导热系数[瓦/(米·℃)]
铝合金	2610~2790	107~169
铜	8930	398
钢	7570~7840	36.7~49.8
聚苯板	35~56	0.0288
矿棉		0.0415
聚氨酯	25~40	0.0231

(2)圆管(筒)导热。

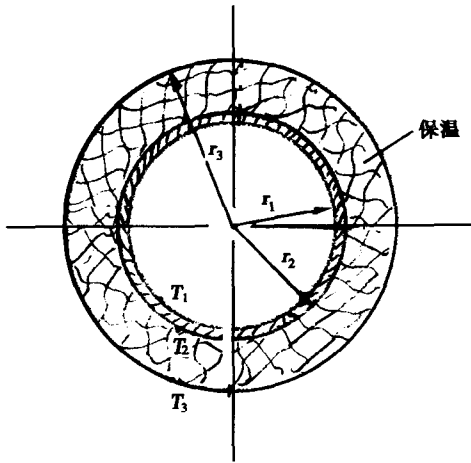


图 1-5 圆筒截面温度分布

图 1-5 为一包有隔热材料的金属筒的径向温度分布,圆筒总长为  $L$ ,半径分别为  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ ,温度为  $T_1$ 、 $T_2$  和  $T_3$ ,  $T_1 > T_2 > T_3$ 。通过圆筒和隔热层的热流量为:

$$Q = 2\pi L(T_1 - T_3) / \left[ \ln \frac{r_2}{r_1} \right] / \lambda_a + \left[ \ln \frac{r_3}{r_2} \right] / \lambda_b \quad (1-2)$$

公式中  $\lambda_a$  为金属筒的热传导系数,  $\lambda_b$  为隔热材料的热传导系数。在设计太阳热水器贮热保温水箱和保温管道的保温时,该方程式是很有实用意义的。

例如:一个直径为  $r_2 = 0.15$  米,壁厚 2 毫米的不锈钢水箱,当外采用 40 毫米厚聚氨酯保温时,计算其传导热损失。假设水箱长度为 1 米,水箱金属内壁温度为  $330^\circ\text{C}$ ,隔热层外壁温度为  $280^\circ\text{C}$ 。

解:由(1-2) 计算公式得到



$$Q = \frac{2 \times 3.14 \times (330 - 280)}{\left[ \ln \frac{0.15}{0.148} \right] / 44 + \left[ \ln \frac{0.19}{0.15} \right] / 0.0231} = 30.6 \text{ (瓦)}$$

## 2. 对流换热和对流换热的计算

我们日常生活中时时刻刻都会遇到对流换热的问题,例如夏天天气很热,为了凉快人们经常用扇子扇风,此时流动的空气就和我们的头部进行对流换热。因此说,对流换热是研究运动着的流体(液体或气体)与同它相接触的固体表面之间的换热。一般说来流体相对运动速度越快,换热效果越好。流体中因密度不同而产生浮力所引起的流动叫做自然对流,靠外力作用而产生的流体流动称之为受迫对流,外力作用一般是水泵、风扇和高位水位等。不论哪种流动形式,对流换热量  $Q$  均可由下式计算。

$$Q_c = \alpha \cdot A(T_s - T_f) \quad (1-3)$$

式中,  $\alpha$  为流体与物体表面  $A$  之间的平均对流换热系数,  $T_s$  和  $T_f$  分别为物体表面  $A$  和液体的温度。研究工作表明,换热系数  $\alpha$  的大小与工作流体性质、流动方式等因素有关。表 1-3 列出了对流换热系数  $\alpha$  的近似值,同时也列出了液体沸腾与凝结状况下的  $\alpha$  值。

表 1-3 对流换热系数  $\alpha$  近似值

工作流体及换热方式	$\alpha$ [瓦 / (米 <sup>2</sup> · °C)]
空气,自然对流	4 ~ 7
过热蒸汽或空气,受迫对流	30 ~ 200
油,受迫对流	50 ~ 500
水,受迫对流	3000 ~ 8000
水,沸腾	> 10000
蒸汽,凝结	5000 ~ 12000
水,自然对流	200 ~ 500

例如,太阳平板集热器玻璃板与空气的换热,就是一个自然对