

太阳能转换设备

陕西省宝鸡市科学技术情报研究所

一九八〇年五月二十日

前 言

太阳是一个巨大的天然能源宝库，它不断地以辐射的方式，向地球投射能量，其能量密度在晴天可高达每平方米1.12千瓦。如将太阳照射地球表面20分钟的能量收集起来，就足够全世界使用一年；在一块300×100平方公里大的地面上，将全年太阳辐射能收集起来，就能满足全世界一年的能量需要。

当前举世瞩目的太阳能，是取之不尽，用之不竭，最干净的能源。一套利用太阳能的装置建成以后，在组成该装置的材料和器件的寿命范围内，可以永远免费地取得所需能量。

近年来，一些工业发达国家对太阳能利用的研究工作进展迅速，规模不断扩大，经费逐年增加。

我国对太阳能的利用研究也是极其重视的。这对促进工农业生产、加强国防建设和改善人民生活都具有重要的现实和长远意义。本书是为了加速推广利用太阳能量而编写的。

本书是一种太阳能利用的普及读物，只是对一些基本原理和太阳能转换的基本设备作了简略地介绍。读者可根据具体情况，通过实践，创造出各种形式利用太阳能的转换设备。

由于手头资料短缺，编者知识浅陋，水平很低，时间仓促，错误之处在所难免，请批评指正。

杜涵明编

1979年8月30日

目 录

第一章 太阳能	(1)
§ 1. 1 概述.....	(1)
§ 1. 2 太阳能的生成.....	(3)
§ 1. 3 太阳辐射的光谱分布.....	(3)
§ 1. 4 地面上所接收到的太阳能.....	(6)
一、太阳辐射到地面上的能量大小.....	(6)
二、影响地面上太阳能大小的主要因素.....	(7)
三、地面上某一点的太阳能.....	(9)
第二章 太阳能的光热转换设备	(12)
§ 2. 1 热箱原理及其设备.....	(12)
一、热箱原理.....	(12)
二、热箱式太阳能设备.....	(29)
§ 2. 2 反射式太阳能设备.....	(39)
一、反射式太阳能热水器.....	(41)
二、伞式太阳灶.....	(46)
三、其它用途的太阳能设备简介.....	(48)
第三章 太阳能光电转换设备	(51)
§ 3. 1 光电转换的基本原理.....	(51)
一、光的本性.....	(51)
二、光电效应.....	(52)
§ 3. 2 太阳电池的基本特性.....	(53)

一、太阳电池的基本原理.....	(53)
二、光谱响应.....	(56)
三、光强与温度因素的影响.....	(57)
四、太阳电池的效率.....	(59)
§ 3. 3 硅太阳电池.....	(60)
§ 3. 4 薄膜太阳电池.....	(63)
一、硫化镉薄膜太阳电池.....	(63)
二、砷化镓薄膜太阳电池.....	(64)
§ 3. 5 太阳电池的使用 及空间太阳能电站的设想.....	(65)
§ 3. 6 太阳电池的用途.....	(67)
§ 3. 7 太阳电池的发展动向.....	(69)
第四章 太阳能的其它转换简介.....	(71)
§ 4. 1 太阳能热电池.....	(71)
§ 4. 2 光化学转换.....	(72)
§ 4. 3 太阳能制氢.....	(73)
第五章 太阳能转换设备的效率.....	(75)

第 一 章

§ 1.1 概 述

能源是发展农业、工业、国防、科学技术和提高人民生活的物质基础。当前，世界需要能量的增长速度大于化石能源生成速度达百万倍，如大力利用原子能，但铀的储藏量却是有限的。在这种情况下，就迫使人们不得不向能源新的领域探索和挖掘。那么普照大地的阳光，能不能作为可以利用的能源呢？于是人们就提出各种设想和方案，进行研究，到现在已经取得了不少成果。

事实上，我国古代劳动人民早在公元前的战国时代，已经懂得用金属做的凹面镜把阳光聚焦来取火。这在现存的《礼记》、《论衡》、《焚溪笔谈》等古籍均有记载。我国利用太阳能已有三千多年的悠久历史，是现代利用太阳能的先驱，为人类作出了重要贡献。

太阳能就是以光辐射的方式，向地球（以及其它星球）一刻不停地输送着巨大的能量。这是一种取之不尽，用之不竭，没有污染的最清洁的自然能源。太阳能实际上是地球上最主要的能量源泉。太阳每时每刻给地球以光和热，使万物得以生长。大气中的种种现象，如风、雨、雷、电等，就是依靠太阳辐射能而产生的；地表土壤和水面（江、河、湖、

海)的受热以及水分的蒸发,是依靠太阳辐射能来进行的;地球表层(地壳)内各种各样的过程(如煤、石油、天然气的形成)也是依靠太阳辐射能来完成的。除了原子能外、地球上的一切能量,诸如风能、水能、燃料能以及由水能和燃料能转换而来的电能等等,归根结底,皆来源于太阳能。据计算,地球一年从太阳获得的能量约为 6×10^{17} 千瓦小时,相当于地球上全部化石资源的十倍,比人类一年消耗的总能量还大三万倍。

我国是一个幅员辽阔的国家,领土面积广达9,597,000平方公里,约占世界陆地总面积的6.44%。因此,我国拥有异常丰富的太阳能资源。假若到达全地球表面的太阳能是平均分配的话,那么,可以粗略地估计,我国一年所获得的太阳能应在一亿亿千瓦小时左右,相当于一万二千亿吨“标准煤①”所具有的能量。这是多么巨大的财富啊!

目前,人类只利用了太阳能的十分微小的一部分。在科学技术上,还没有很好地解决热能的大规模的长期储存和远距离输送以及电能的大规模储存和大功率的无线传输这些问题。一旦这些问题获得解决,人类将不只限于利用到达地球上的太阳能,还将到浩瀚的宇宙空间去索取更多的太阳能。同时,由于太阳能是一种清洁的能源,不会象原子能或使用大量燃料所生成的能那样造成严重的环境污染。因此,可以设想,在未来太阳能将会得到大规模的利用。

①规定一克标准煤的燃烧值(完全燃烧所放出的热量)为7,000卡。

§ 1.2 太阳能的生成

太阳能是太阳本身不断地进行热核反应的结果。

太阳表面的温度为 $6,000^{\circ}\text{K}$ 。据推算，太阳中心的温度要高达 $20,000,000^{\circ}\text{K}$ ，压力为2,000亿大气压，密度为70克/厘米³。在太阳内部深处，由于有极高的温度和上面各层的巨大压力，就会使原子核反应能够不断进行，而产生巨大的太阳能。这种核反应是氢变为氦的热核反应。

热核反应使太阳向空间辐射出十分惊人的巨大能量。据推算，太阳总辐射功率约为 3.75×10^{26} 瓦。

那么，人们不仅会提出一个问题：太阳每时每刻向宇宙空间辐射这么大的能量，它本身的能量会不会很快就消耗完了呢？我们说不会的。据科学家们推算，太阳在漫长的十一亿年中，仅消耗了它本身所储存的能量2%，目前太阳上氢的储存量，还足以继续进行热核反应达数千亿年。

§ 1.3 太阳辐射的光谱分布

太阳以光辐射的方式将能量输送到地球表面上，因此我们就很有必要了解一下太阳光的光谱。图1.1是太阳辐射光谱分布图。由于地球上空有大气层存在，因而到达地面的太阳光谱就与大气上界的太阳光谱不同。图中阴影部分表示太阳辐射被大气所吸收的部分。

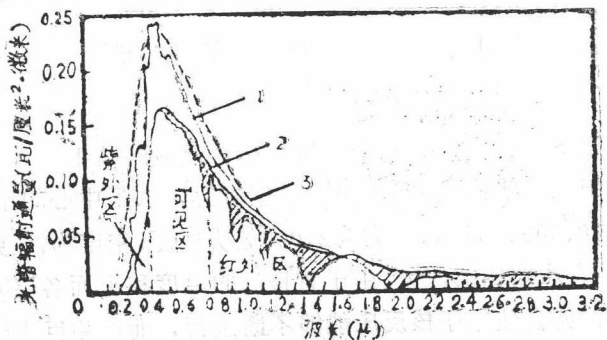


图 1.1 太阳辐射光谱与地球大气吸收的影响

- 1、大气上界的太阳辐射光谱分布
- 2、太阳垂直照射的海平面上的太阳辐射光谱分布。
- 3、6,000°K 黑体辐射的光谱分布

太阳光谱的主要部分大约是由 $0.3 \mu \sim 3.0 \mu$ ($1 \mu = 1$ 微米 $= 10,000 \text{ \AA}$) 的波长区组成。在地球大气上界，太阳光谱的峰值在 0.5μ 附近，而地面上的太阳光谱的峰值均向长波方向移动，特别是当太阳以很低的角度倾斜照射地平面时，更为突出，这就是我们在日出和日落时所看到太阳是红的颜色。粗略地说来，在穿过地球大气层时，太阳光谱的紫外区与红外区被大气吸收比较严重，在紫外区与可见区被大气分子和云、雾等质点散射比较严重。

从图 1.1 中可以看出，到达地面上的太阳辐射能在其紫外区 ($0.3 \mu \sim 0.4 \mu$) 占的比例很小，而在可见区 ($0.4 \mu \sim 0.76 \mu$) 和红外区 ($0.76 \mu \sim 3.0 \mu$) 大约各占 50%。

人的眼睛只能看到整个太阳光谱中的可见光光谱区的光线。可见光光谱区由红、橙、黄、绿、青、兰、紫七种

颜色的光组成，其对应的波长范围如表 1.1。

表 1.1 各色光的波长范围

光的颜色	大致的波长范围
红 色	0.76~0.63 μ
橙 色	0.63~0.60 μ
黄 色	0.60~0.57 μ
绿 色	0.57~0.50 μ
青 色	0.50~0.45 μ
兰 色	0.45~0.43 μ
紫 色	0.43~0.40 μ

太阳光谱中，不同波长的光线，对植物、细菌和人体皮肤的作用是不同的。

植物的生长取决于可见光谱部分，大量的波长短于0.3 μ 的紫外线对植物有害；波长超过0.8 μ 的红外线仅能提高植物的温度，並加速水分的蒸发，而不能引起光合作用。植物中的各种光化学反应过程的光谱曲线是不同的，例如，红光刺激无性繁殖器官的生长，兰光刺激茎的生长，叶绿素形成曲线有两个极大值，在光谱的兰光 and 红光部分中。

太阳射线的杀菌作用主要集中于紫外线部分，但光谱的可见光部分也有很大杀菌作用，这是由于可见光部分的总能量很多而造成的。

太阳光线对人体皮肤的作用表现为下列三种形式：形成

红斑和灼伤，这主要是由波长短于 0.8μ 的辐射所引起的；使皮肤表层中的脂肪光合成为维生素D₃（维生素D₃可防止得佝偻病）；生成黝黑（器官的保护性反应），这是由波长为 $0.3\sim 0.45\mu$ 的辐射引起的。

§ 1.4 地面上所接收到的太阳能

一、太阳辐射到地面上的能量大小

地球的平均半径等于6,371公里，平均直径等于12,742公里。地球表面积为510,000,000平方公里，其中陆地面积占29%，水面积占71%。太阳是离我们地球最近的一个恒星。它的直径等于1,390,600公里，比地球要大一百多倍。

我们知道，地球围绕太阳公转的轨道是偏心率很小的椭圆形，太阳位于其椭圆形轨道两个焦点的一点上。地球和太阳之间的平均距离为149,500,000公里，称为一个天文单位。轨道上距太阳最近的一点即“近日点”为147,001,000公里（1月初），距太阳最远的一点即“远日点”为152,003,000公里（7月初）。地球与太阳的距离和地球本身的大小，就决定了太阳投射到地球所在范围内的能量多少。据计算，太阳投射到地球所在范围的功率约为 1.8×10^{17} 瓦，仅占太阳总辐射功率的22亿分之一左右。由于地球被一层稠密的大气所包围，所以大气反射和吸收了一部分太阳能，剩下的部分才能到达地球表面。根据粗略估计，太阳能被大气层上部反射到宇宙空间去的能量约占三分之一，不到三分之一的太阳能被大气所吸收，剩下的三分之一多一些才能到地球表面。大致估计，一年中真正到达地球表面的太阳能总量约在 6×10^{17}

旺·小时左右。

二、影响地面上太阳能大小的主要因素

1、大气的透明度

地球被一层稠密的大气层包围着。大气层的主要成份是氮、氧、二氧化碳、水蒸气和臭氧等。整个大气层的密度由海平面往上逐渐减少。在距地面数百公里的高空，仍有极稀薄的气体存在。如果将整个大气层的大气密度压缩到等于海平面的大气密度时，整个大气层的厚度大约相当于海平面上8公里的大气厚度。

太阳光线要到达地球表面，必须首先穿过大气层。当太阳光通过大气层时，大气中的气体分子、水气、冰晶及微尘等杂质会吸收相当大的一部分阳光，并散射相当一部分阳光。这种现象就是大气衰减。我们把大气对太阳能的衰减情况用大气透明度表示。就是说，大气透明度好，到达地面的太阳能就多些；相反，大气透明度差，则到达地面的太阳能就少些。例如，在晴朗无云的天气时，大气透明度很高，我们就会感到太阳很热；而在天空云雾很多或风沙灰尘很多时，大气透明度很低，我们就会感到太阳不太热，甚至连太阳也看不到。因此，大气透明度与天空云量和大气中含灰沙等杂质的多少关系很大。如果将城市与农村的大气透明度进行比较，则城市特别是大工业城市的大气透明度较差，而农村地区的大气透明度较好。因此，广大农村地区和中小城镇利用太阳能的条件更好一些。

2、阳光穿过大气层的路径长短

太阳光经过大气的路径越长衰减就越厉害。太阳光穿过

大气层的路径长短，决定于太阳高度。

所谓“太阳高度”，如图 1.2 所示，就是太阳位于地平线以上的高度角 θ 。很明显，太阳高度在一天中每时每刻都在变化着。如日出时的太阳高度为 0° ，之后逐渐增大，到真正午时（当地正午时）最大，之后又逐渐减小，到日落时又变为 0° 。在一天中，以

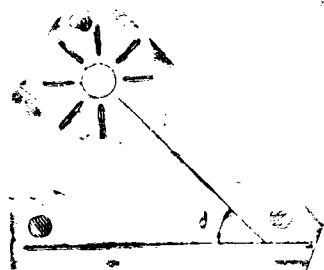


图 2、太阳高度示意图

正午为准，上下午各对应时刻的太阳高度是一样的。同样，我们可以联想到，在一年之中太阳高度也在变化着。

图 1.3 是太阳光穿射大气层的示意图。AB 为地面，CD 为大气层上限， S_1, S_2, S_3, S_4 表示太阳的不同位置。当太阳位于天顶 (S_1) 时，它在地平面上方的高度是 90° ，阳光到达地平面的路程较之 S_2, S_3, S_4 所穿行的路程为最短，受大气衰减作用的影响也

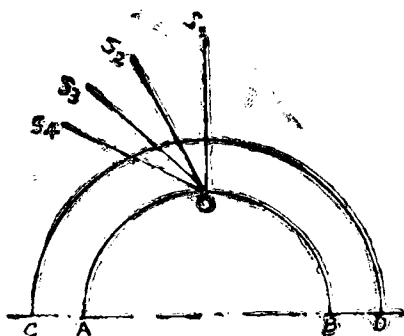


图 3、太阳光穿射大气层示意图

最小。这就是为什么中午时太阳光最强的原因。我们把太阳处于天顶时的这段大气路程作为一个单位，叫做单位大气质量。显然，太阳处于天顶之外的其它位置时，相应地大气质量都大于 1。太阳的不同高度和大气质量之间的相互关

系，可用下列数字来表示：

太阳高度：90° 60° 30° 14.5° 8.3° 5.7°

大气质量：1.0 1.2 2 4 7 10

这些数据表明，太阳在地平面上方的高度越低，阳光被大气衰减作用越厉害，到达地面上的太阳能也就越少。太阳接近地平线时，阳光经过的大气质量较之太阳在天顶时大达数十倍，无怪乎这时的阳光一点也不暖和。

3、日照时间与晴阴天数

很明显，日照时间长，则到达地面的太阳能总和就多一些；反之，日照时间短，则到达地面上的太阳能的总和就少一些。

同样，对全年来说，晴天日数多阴天日数少的地区，到达地面的太阳能总和就多一些；反之，晴天日数少阴天日数多的地区，到达地面的太阳能总和就少些。

三、地面上某一点的太阳能

地面上的太阳能，对于不同地点(如纬度和海拔高度)、不同时间(季节和时刻)以及不同天气(晴天和阴天)是不同的。

前面已讲过，地面上所接受的太阳能，大体可分为两大部分。一是直达辐射，是太阳射线达于大气层后沿直线方向到达地面的那部分能量，这是太阳辐射能的主要部分，在晴朗和干燥的气候条件下，约占太阳辐射能的90%以上。另一小部分是散射辐射，是太阳辐射中波长较短的部分，被空气分子与大气中浮游的灰尘向四面散射的辐射，这种散射来自空中的四面八方，没有集中的方向。

为了知道地面上太阳能大小，首先应确定大气层上界太阳的辐射通量，也就是所谓的“太阳常数”。太阳常数，是指在平均日地距离时，在地球大气层上界，垂直于太阳光线的表面上，单位面积单位时间内的太阳辐射能的数值。现在一般认为太阳常数是 $1353 \text{瓦}/\text{米}^2$ 。这是研究和利用太阳能的一个重要的数据。

根据观测表明，地面在最好的条件下，垂直于太阳光线表面的直接辐射通量的极大值，只有太阳常数的80%左右。也就是说，一平方米最多也不过1000瓦左右($1353 \text{瓦}/\text{米}^2 \times 80\% = 1082.4 \text{瓦}/\text{米}^2$)

以北京市为例。根据北京市气象台1972年的观测，垂直于太阳光线表面的直接辐射通量极大值、水平面上的直接辐射通量极大值和水平面上的总辐射通量极大值的年分布如表1.2（单位为：卡/厘米²·分）。

从表1.2的数据可以看到，垂直于太阳光线表面的直接辐射通量极大值随季节月份变化并不明显，这是因为它们在各月中天气最好时又在太阳较高时在垂直太阳光的方向上测得的；而水平面的直接辐射通量极大值和总辐射通量极大值在冬季月份里比其它月份小得很明显，这主要是由于在冬季的月份里太阳光相对于水平面以很大倾角照射的缘故。

表 1.2 1972年北京直接辐射通量极大值、总辐射通量极大值的年分布

辐 射 量	月 份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
垂直于光线表面的直接辐射	1.39	1.42	1.51	1.46	1.40	1.36	1.36	1.49	1.41	1.38	1.45	1.32
水平面的直接辐射	0.71	0.93	1.14	1.18	1.32	1.29	1.27	1.27	1.07	0.95	0.74	0.60
水平面的总辐射	0.92	1.14	1.35	1.59	1.51	1.56	1.58	1.43	1.55	1.14	0.87	0.77

第二章 太阳能的光热转换设备

太阳能光热转换设备，就是将太阳辐射能转换为热能而加以利用的太阳能设备。按其应用原理大致可分两类，一类是利用“热箱原理”，另一类是利用各种类型的反射镜将阳光会聚后，投射到吸收表面（或称吸热表面）上。

§ 2.1 热箱原理及其设备

一、热 箱 原 理

图2.1是热箱的示意图。它是四个侧面和底面用木板做成的箱子，分内外两层，中间放绝热材料（如木屑等），箱子内壁涂黑，箱子上面装一块平玻璃板（或多层平板玻璃板，

玻璃板之间有空气层）。

当太阳光线投射到玻璃

板上并进入箱子里面时，涂黑的内表面将很好地吸收太阳辐

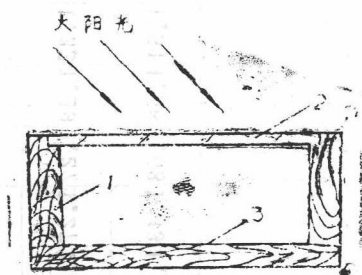


图2.1、热箱示意图

1、木箱 2、玻璃板

3、涂黑内表面

射能，从而使箱内可以达到比室外高的温度（最高可达到摄氏一、二百度）。这一原理被称为“热箱原理”或“温室效应”。基于这一原理，已制成了各种用途的太阳能设备和器具。

1、窗玻璃

太阳能的收集是利用太阳能的第一步。热箱中窗玻璃的作用就是将投射到它上面的太阳辐射能收集起来，“装入”热箱中去。窗玻璃就是一个简单的太阳能收集器。但是，阳光通过窗玻璃时，毫无例外的要被衰减。为此，我们必须研究一下太阳辐射通过窗玻璃时所发生的物理现象。

阳光通过玻璃时，毫无例外的要发生反射、吸收和透过。图2.2是光线通过平板玻璃时反射、吸收和透过的示意图。图中两条平行的直线代表平板玻璃的上下两个平行表面。一束能量为 E_0 的光线以与法线夹角为 i 的方向投射到平板玻璃上，在其表面被反射一部分能量为 E_R ，反射光线同入射光线和法线位于同一平面内， E_R 的反射角为 γ ，则根据“反射定律”得

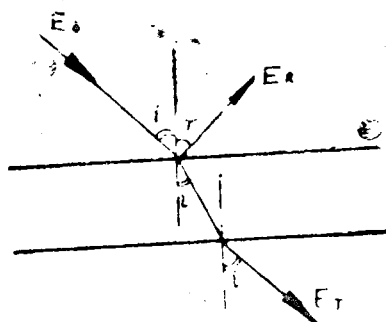


图2.2、光线透过玻璃板时的示意图

剩下的光线（其能量为 $E_0 - E_R$ ）进入玻璃中，它的方向与法线成 i' 角，且同入射光线和法线位于同一平面内。根据折射定律有

$$i = r$$

剩下的光线（其能量为 $E_0 - E_R$ ）进入玻璃中，它的方向与法线成 i' 角，且同入射光线和法线位于同一平面内。根据折射定律有