

93959

TK511
4052

中学生课外读物

现代科学技术丛书

太 阳 能

李 申 生 编

人民教育出版社

前 言

大家知道,能源是能够转换成机械能、热能、电磁能、化学能和生物质能等各种形式能量的资源,它是发展工业、农业、国防和科学技术以及提高人民生活水平的重要物质基础。本世纪以来,世界范围的能源消费量大幅度增长:1900年世界能源总消费量折合7.75亿吨标准煤,而1975年就已增加到85.7亿吨标准煤,即增长了10倍;预计到2000年将增加到200亿吨标准煤以上,即在一百年内将增长25倍!可以说,现代化的社会是建筑在巨大的能源消费之上的。社会越发达,现代化的程度越高,能源的消费量就越大,并且对于能源质量的要求也就越高,因此有赖于能源的大规模开发和更加有效的利用。但是,从20世纪50年代开始的世界能源危机,促使人们对于石油、天然气和煤炭等常规能源的蕴藏量和开采量进行了一番认真的调查研究。结果发现,按照目前的开采水平,世界的石油蕴藏量仅能开采30年左右,天然气也只够开采50年左右。煤炭的总储藏量虽然比较丰富,但也至多只能开采二百年,并且由于环境保护的限制,预计煤的生产量在下个世纪就将达到高峰。因此,对于“新”能源的开发和利用,就日益受到世界各国的重视,逐渐把越来越多的人力、物力、财力和科学技术投入到新能源的开发和利用上去。所谓新能源,主要是指原子核能和太阳能。预计在下个世纪内,新能源将在世界能源的消费构成中占据越来越重要的地位。

太阳能利用既是一门古老的传统学科，又是一门新兴的边缘学科。为什么这样说呢？因为早在远古时期，人类就已经在生产和生活的各个方面自发地利用太阳能了。例如，人类利用太阳能种植粮食和蔬菜；住在北半球的人建造房屋时，在南墙上开大窗以便采光和采暖，而在北墙上开小窗尽量避免热量损失，这也是为了能充分利用太阳能。大家都知道，我国的火药、指南针、造纸和印刷术四大发明是举世闻名的；其实，我们的祖先在太阳能的利用方面，也是世界上最早和最杰出的先驱者。根据记载，早在公元前11世纪即我国的西周时代，就已有人利用铜制凹面镜来会聚太阳光点燃艾绒取火了，称为“阳燧取火”。公元前5世纪即我国的春秋战国时代，《墨经》中更对凹面镜的光学成像原理进行了深入的系统分析。在距今一千多年前的西晋时代，又进一步发现了凸透镜的聚焦特性，因为当时还没有玻璃，竟有人把冰块磨成凸透镜，用来使太阳光聚焦而取火，充分地显示了我国人民的聪明才智。在古希腊的历史上，也曾经流传过这样一段故事：公元前214年，著名的科学家阿基米德让士兵们手拿磨亮的盾牌面对太阳，使照在盾牌上的阳光经过反射而聚集在入侵的古罗马帝国的木质舰船上，使它们全部烧毁而沉没。1774年，法国人拉伏齐尔在巴黎作了一次公开的表演，用两块透镜使阳光聚焦来熔化金属，曾使参观的人们惊奇万分，轰动一时。

不过，在很长一段历史时期内，人类对于太阳能的利用还只是处在自发的感性认识阶段。直到近半个世纪来，特别是近二三十年来，对于太阳能利用的研究和推广，才越来越受到人们的重视，逐渐进入自觉的理性认识阶段。有不少国家（包括我国）已经制订了长远的发展规划，开始有计划、有步骤、有

目的地对于太阳能在各个方面的应用进行了深入的研究并且获得了迅速的发展。这样,太阳能的利用就成为一门新兴的学科了。由于它所涉及的知识范围十分广阔,不仅要有数学、物理、化学、生物以至天文、气象、地理等学科的知识,还要具备工程技术方面的知识,所以它又是一门边缘学科。

在这本小册子中,将着重简单介绍太阳能利用与物理学知识之间的密切联系。有人认为“太阳能是未来的能源”;更有人明确地指出,“太阳能是21世纪的能源”。这本小册子的广大青年读者,都将成为创造历史新局面、实现四个现代化的宏伟目标、迎接光辉灿烂的21世纪的骨干力量,希望大家能够努力学好基础的科学文化知识,为积极开发和充分利用太阳能这种新能源而贡献出自己的智慧和力量!

目 录

前言

一、什么是太阳能	1
(一) 太阳能的起源	1
(二) 到达地球的太阳能	3
(三) 我国的太阳能资源及其分布状况	8
二、太阳能有哪些特点	15
(一) 太阳能的优点	15
(二) 太阳能的缺点	17
(三) 克服太阳能缺点的方法	20
三、太阳能的热利用	31
(一) 太阳能的低温热利用	31
(二) 太阳能的中、高温热利用	68
四、太阳能的电利用	85
(一) 太阳能电池的工作原理	86
(二) 太阳能电池的基本电学特性	92
(三) 太阳能电池的分类	95
(四) 提高太阳能电池效率的方法	107
(五) 未来的太阳电池市场	111
(六) 太阳电池的应用	112
五、太阳能的其他转换形式及其利用	122
(一) 风能	122

(二) 海洋能	131
---------------	-----

(三) 生物质能	135
----------------	-----

后语

一、什么是太阳能

大家一看到这个标题，一定会感到奇怪：太阳能就是太阳发出来的能量，还有什么值得介绍或者讨论的呢？可是，事情并不这么简单。要弄清太阳为什么会发出这么多能量——太阳能的起源、太阳发出的能量怎样到达地面——太阳能的传播以及与物质的相互作用、到达地球表面的太阳能究竟有多少——太阳能的资源、特别是在我国广大领土上的太阳能资源情况等一系列问题，确实还需要费点口舌和周折呢！下面就上面所列举的几方面问题分别来谈一下。

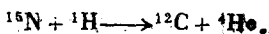
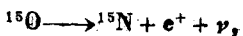
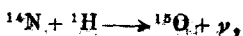
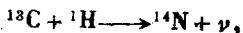
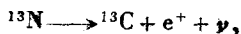
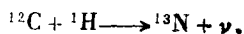
（一）太阳能的起源 太阳是太阳系的“母星”，也是距离地球最近的一颗恒星。它是一个硕大而炽热的球体，直径为 1.39×10^6 米，大约是地球直径的109倍；体积为 1.42×10^{27} 米³，大约是地球体积的130万倍；质量为 1.98×10^{30} 千克，大约是地球质量的33万多倍；而它的密度却只有 1.4×10^3 千克/米³，大约是地球密度的四分之一。

太阳的构造相当复杂，我们日常所能看见的部分称为光球，光球的外面是透明程度不同的太阳大气。太阳大气主要由两部分组成：下层厚约 5×10^5 米，称为反变层；上层厚约 1.3×10^7 米，称为色球层，最外面还有一层密度很小的日冕。太阳的表面温度约为 6×10^3 K，越靠近中心，温度就越高，中心处温度约达 2×10^7 K，压力高达 3×10^{16} 帕。在这样的高温高压条件下，太阳物质的原子早已离子化了，形成了“等离子体”，并

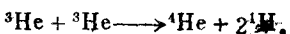
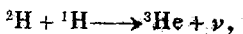
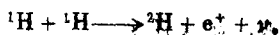
且发生剧烈的热核聚变反应,这就是太阳能的起源。

关于在太阳内部所发生的热核聚变反应,目前有两种说法:

1. 碳氮循环:其反应过程为



2. 氢-氢链式反应:其反应过程为



上述两种热核聚变反应的最终结果都是将四个氢核聚变成一个氦核,同时释放出大量的能量。计算反应前后的质量可以知道,当四个氢核聚变成一个氦核时,就发生了“质量亏损”,即一个氦核的质量(6.64477×10^{-27} 千克)比四个氢核的质量之和($4 \times 1.672648 \times 10^{-27}$ 千克 = 6.690592×10^{-27} 千克)小,亏损值为 4.58×10^{-29} 千克。这部分亏损掉的质量到哪里去了呢?根据爱因斯坦的质-能联系公式

$$E = mc^2$$

可以知道,质量改变了 Δm ,就一定有能量的改变 $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ 与它相对应。也就是说,发生了 4.58×10^{-29} 千克的质量亏损,就一定相应地有

$$4.58 \times 10^{-29} \text{千克} \times (2.998 \times 10^8 \text{米/秒})^2 =$$

$$= 4.12 \times 10^{-12} \text{焦}$$

$$= 25.1 \times 10^6 \text{电子伏}$$

的能量发射出来。

科学家们从太阳光谱的吸收谱线中确定,太阳物质中至少包含六十多种元素,其中含量最丰富的元素就是氢和氦,前者大约占整个太阳物质的70%以上,后者大约占20%左右。根据推算估计,太阳每秒钟向外发射的总能量高达 3.74×10^{26} 焦耳,相当于每秒钟燃烧 1.28×10^{16} 吨标准煤所放出的能量。换句话说,太阳的总辐射功率高达 3.74×10^{26} 瓦。如果以一个功率为百万千瓦的发电厂作为标准的话,那么太阳的总辐射功率就相当于 3.7×10^{17} 个这样大型发电厂发出的功率。

(二) 到达地球的太阳能 巨大的太阳能是从太阳向四面八方发射出来的。那么,究竟有多少太阳能能够到达地球表面,也就是说,人类目前所能利用的太阳能究竟有多少呢?让我们首先计算一下到达地球大气上界的太阳能有多少,然后再进一步讨论能够到达地球表面的太阳能有多少。

1. 到达地球大气上界的太阳能 正因为太阳能是从太阳向四面八方发射出来的,而地球距离太阳又十分遥远,并且这部分空间都是真空,因此太阳能只有通过辐射的方式才能到达地球。由于太阳到地球的平均距离 D 大约为 1.495×10^8 千米,而地球本身的平均半径 R 只有 6.37×10^3 千米,所以从太阳发射出来的总功率中,只有

$$\frac{\pi R^2}{4\pi D^2} = \frac{\pi (6.37 \times 10^3)^2}{4\pi (1.495 \times 10^8)^2} \approx \frac{1}{22 \times 10^8},$$

即大约二十二亿分之一能够到达地球大气上界,如图1所示。尽管如此,到达地球大气上界的太阳辐射功率仍高达 $1.73 \times$

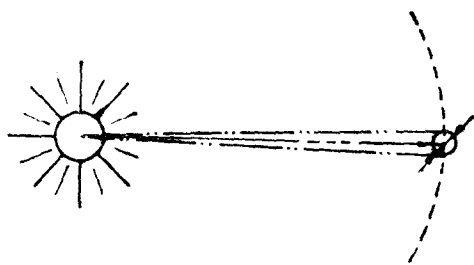


图 1 到达地球大气上界的太阳能

10^{17} 瓦,相当于1.73亿个百万千瓦级的大型发电厂所发出的功率的总和!

此外,因为地球沿一椭圆轨道围绕太阳公转,所以太阳到地球的距离是随时间(也就是随地球在椭圆轨道上的位置)不同而有所差异的,如表 1 所示。

表 1 日地距离随日期的变化

日 期	日 地 距 离
1 月 1 日	1470×10^5 千米
4 月 1 日	1495×10^5 千米
7 月 1 日	1520×10^5 千米
10 月 1 日	1495×10^5 千米

由此可见,在一年当中,日地之间的距离变化可达 5×10^4 千米。这个数字的绝对值虽然很大,但是与日地之间的平均距离相比,却只有 $\pm 3.3\%$ 的变化,如图 2 所示。因此,这种距离变化所引起的到达地球大气上界的太阳能的变化量最多

也只有 $\pm 6.7\%$ 。

此外，太阳本身的活动也会引起太阳辐射能的波动。但是，多年来在世界各地的观测结果表明，太阳活动峰值年比太阳活动宁静年的辐射量只不过增大 2.5% 左右。因此，在一般情况下，可以认为太阳

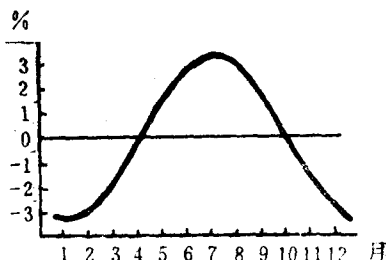


图2 在一年中，日地距离的变化与日地之间平均距离的百分比

辐射量是比较稳定的，从而提出了“太阳常数”这一概念。所谓太阳常数，就是指在日地平均距离处，地球大气外（包括地球大气上界）垂直于太阳光线的平面上在单位时间内单位面积上所接收到的太阳辐射能。它的单位可以用毫瓦/厘米²或者瓦/米²。1957年，国际辐射委员会建议在整个国际地球物理年观测资料时，将太阳常数的值取为 138.4 毫瓦/厘米²或者 1384 瓦/米²。随着测量技术的不断提高，太阳常数的观测值也越来越精确了。近年来，利用人造卫星、火箭和高空气球观测的结果，已将太阳常数的值修正为 135.3 毫瓦/厘米²或者 1353 瓦/米²。

2. 太阳辐射的光谱分布 太阳辐射是电磁辐射的一种，它是物质的一种形式，既具有波动性，也具有粒子性，在本质上与无线电波没有什么差异，只是波长和频率不同而已。太阳辐射光谱的主要波长范围为 $0.15 \sim 4$ 微米，而地面和大气辐射的主要波长范围则为 $3 \sim 120$ 微米；在气象学中，就根据波长的不同，常把太阳辐射叫做短波辐射，而把地面和大气辐射叫做长波辐射。

太阳辐射的光谱可以划分为几个波段。波长短于0.4微米的称为紫外波段,从0.4微米到0.75微米的称为可见光波段,而波长长于0.75微米的则称为红外波段,它还可以细分为近红外(0.75~25微米)和远红外(25~1000微米)两个波段。在可见光谱的波长范围内,不同波长的电磁辐射对于人眼产生不同的颜色感觉。表2列出了各种颜色的波长及其光谱范围。

表 2 不同颜色的波长及其光谱范围

颜 色	波长 (纳米)	光谱范围 (纳米)
红	700	640~750
橙	620	600~640
黄	580	550~600
绿	510	480~550
蓝	470	450~480
紫	420	400~450

用辐射能量作为纵坐标、辐射波长作为横坐标所绘制的曲线称为太阳光谱的能量分布曲线,如图3所示。从图中可以看出,尽管太阳辐射的波长范围很宽,但绝大部分的能量却集中在0.22~4.0微米的波段内,占总能量的99%。其中可见光段约占43%,红外波段约占48.3%,紫外波段约占8.7%。而能量分布最大值所对应的波长则是0.475微米,属于蓝色光。

3. 到达地球表面的太阳能 太阳辐射进入地球大气层后,不仅要受到大气中的空气分子、水蒸气和灰尘所散射,并且还要受到大气中的氧、臭氧、水蒸气以及二氧化碳的吸收。

瓦/米²·毫微米

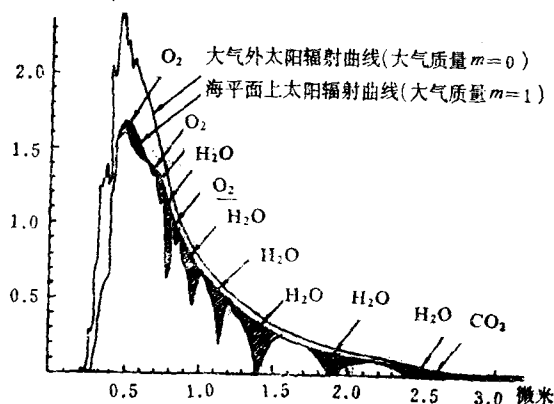


图 3 太阳光谱的能量分布曲线

因此,不仅会使到达地球表面的太阳辐射的强度显著地减弱,并且还会影响到太阳光谱的能量分布发生相当的变化。

观测和计算的结果表明:被大气分子和灰尘反射回宇宙空间的太阳辐射功率为 52×10^{15} 瓦,约占到达地球大气上界的太阳辐射功率的30%;而被大气所吸收的太阳辐射功率为 40×10^{15} 瓦,约占到达地球大气上界的太阳辐射功率的23%。因此,穿过大气层到达地球表面的太阳辐射功率为 81×10^{15} 瓦,约占到达地球大气上界的太阳辐射功率的47%。这就是说,能够穿过大气层到达地球表面的太阳能,还不及到达地球大气上界的太阳能的一半。此外,由于地球表面的海洋面积约占79%,所以到达陆地表面的太阳辐射功率就只有到达整个地球表面的太阳辐射功率的21%,即大约 17×10^{15} 瓦。不仅如此,因为陆地上还有许多高山峻岭、荒芜沙漠、茂密森林以及江河湖泊,所以真正到达人类经常居住和生活的地区的太

阳辐射功率,据估计最多只有 $7 \sim 10 \times 10^{15}$ 瓦,也就是只有到达地球大气上界的太阳辐射功率的 $5 \sim 6\%$ 而已。但是,请千万不要小看这 $5 \sim 6\%$,它比目前全世界人类每年所用各种类型能源的总和还要大得多呢!

(三) 我国的太阳能资源及其分布状况

1. 我国的太阳能资源 我国地处北半球欧亚大陆的东部,幅员十分辽阔:南起北纬 4° 附近的曾母暗砂,北到 $52^\circ 32'$ 漠河以北的黑龙江中心航道;西起东经 73° 左右的帕米尔高原,东至 $135^\circ 10'$ 的黑龙江和乌苏里江汇流处。人们常说,我国“地大物博”,在一般情况下,“物博”就是指物产丰富的意思;其实,还可以增添一层“太阳能资源非常丰富”的意思。根据全国近700个气象站台长期观测所积累的资料表明,我国各地的太阳辐射年总量大约在 $3.36 \sim 8.40 \times 10^8$ 焦/米²·年之间,其平均值约为 5.88×10^8 焦/米²·年,也就是说,一年内在1平方米的面积上所接收到的太阳辐射能的平均值为 5.88×10^8 焦。如图4所示^①,太阳辐射年总量为 5.88×10^8 焦/米²·年的等值线,从大兴安岭西麓的内蒙古东北部开始,向南经过北京西北侧,朝西偏南至兰州,然后径直朝南到昆明,最后沿横断山脉转向西藏南部。在这条等值线的以西和以北的广大地区,除了天山北面的新疆小部分地区的太阳辐射年总量约为 4.46×10^8 焦/米²·年外,其余绝大部分地区的太阳辐射年总量都超过 5.88×10^8 焦/米²·年。

有人曾经估算过,如果把全年照射在全国广大面积上的

^① 图4中所列数字是以千卡/厘米²·年为单位的, $1 \text{ 千卡/厘米}^2 \cdot \text{年} = 4.2 \times 10^4 \text{ 千焦/米}^2 \cdot \text{年}$ 。 $5.88 \times 10^8 \text{ 焦/米}^2 \cdot \text{年}$ 的等值线,即图中的 $140 \text{ 千卡/厘米}^2 \cdot \text{年}$ 的等值线。

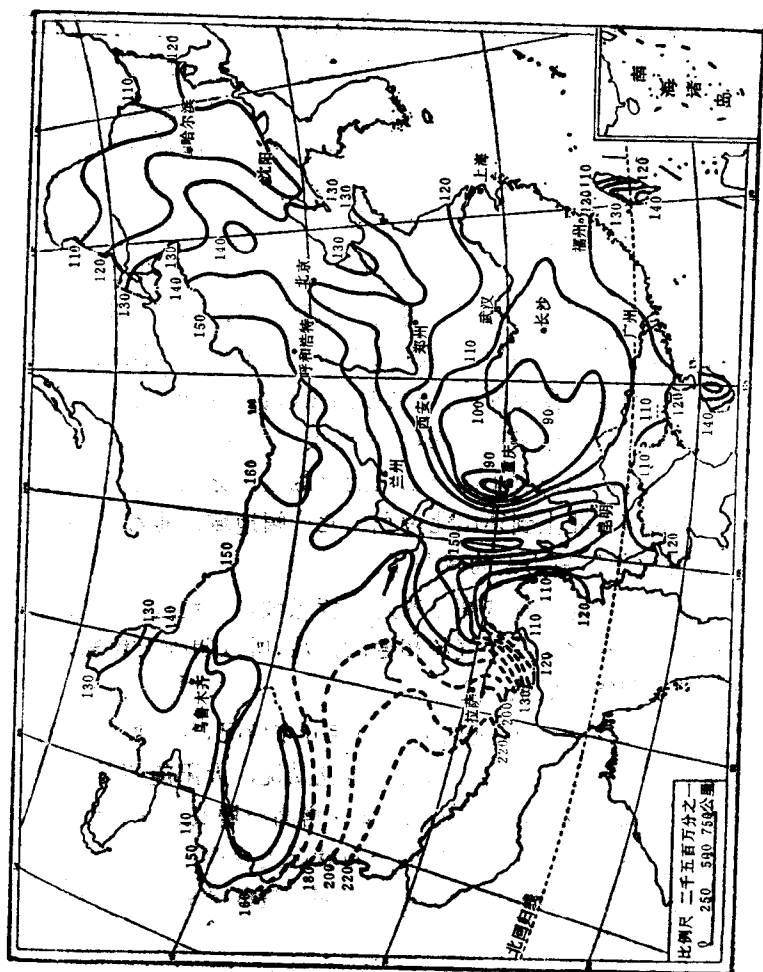


图 4 我国的太阳辐射能区划示意图

太阳能加在一起，就相当于燃烧 1.92×10^{12} 吨标准煤所发出的能量，这个数字大约是我国目前全年煤炭、石油、天然气和各种柴草等全部常规能源所提供能量的2000多倍！由此可见，如果能够充分地开发并有效地利用这样巨大的太阳能，将会对我国的四个现代化建设事业提供多么丰富的能量资源啊！

2. 我国太阳能资源的分布状况 从图4中可以看出，我国太阳能资源分布的特点大致如下：

(1) 太阳能的高值中心和低值中心都处在北纬 $22^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 这一地带之内。青藏高原的高值中心的形成，高原的海拔高度固然起着不小的作用，但海拔7~8千米的喜马拉雅山脉所起的作用也是很大的：它在高原南缘起着屏障的作用，阻挡住由南面的印度洋来的水汽，使其中大部分成云致雨，降落在山脉的南麓；即使有小部分水汽能够翻过山脉或者沿着雅鲁藏布江的河谷北上到达山北坡和山北广阔地域，也都已经成为“强弩之末”，威力大为减弱了。

四川盆地地处青藏高原的东侧背风坡，是绕过高原的南支暖湿气流和北支冷干气流相遇的地域，所以阴雨天频繁，从而形成太阳能的低值中心。

(2) 北纬 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 地区的太阳能分布情况，与一般的太阳能随纬度变化的规律恰好相反。也就是说，太阳能不是随着纬度的增高而减少，而是随着纬度的增高而增长。这种“南低北高”的现象说明了太阳能的分布状况主要取决于云量的多少。至于因为纬度不同而引起的太阳高度的差异，在这里并不起主要作用。

(3) 北纬 40° 以北的地区，太阳辐射年总量的等值线几乎呈南北向排列，并且其值自东向西逐渐增大，这种“东低西高”

表 3 我国太阳能资源分布的地区分类

地区类别	全年日照时数 (小时)	每平方米地面所接收的太阳能辐射年总量 (10^8 焦)	与燃烧多少标准煤所得的热量相当 (千克)	主要包括的省份和地区	与世界上哪些其他国家或地区相当
一	2800~3300	67.2~84.9	230~280	宁夏北部、甘肃北部、新疆东南部、青海西部和西藏西部	印度和巴基斯坦的北部
二	3000~3200	58.8~67.2	200~230	河北北部、山西北部、内蒙和宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部和新疆南部	印度尼西亚的雅加达一带
三	2200~3000	50.4~58.8	170~200	山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南等省以及	美国的华盛顿地区