

太阳能的利用和前景

郭廷玮 李安定 王焕义

编 译

内 容 提 要

本书主要介绍了有关太阳能的基础知识。内容有：太阳辐射能和太阳能的收集及各种收集器；太阳能的贮存和各种太阳能热水器；太阳池与太阳池发电站；太阳热驱动冷冻机及其原理与结构；建筑物的太阳热采暖、制冷和空调；太阳能干燥系统；太阳能蒸馏系统与海水淡化；太阳能热动力系统；太阳光发电系统；太阳能制氢；太阳炉、太阳灶、太阳能动力飞机和太阳能电冰箱及太阳能热泵等太阳能利用装置的原理、结构，以及有关太阳能方面的典型应用实例与世界发展水平和前景。

本书文字浅显，通俗易懂，书中并附有大量图表和实物照片。可供具有中等文化水平的专业人员和业余爱好者及能源管理干部阅读与参考。

太阳能的利用和前景

郭廷玮 李安定 王焕义

编 译

责任编辑：李宝荣

封面设计：范惠民

科学普及出版社出版（北京海淀区白石桥路32号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京妙峰山印刷厂印刷

开本：187×1092毫米 1/32 印张：7⁸/₁₆ 字数：169千字

1984年6月第1版 1984年6月第1次印刷

印数：1—13,900册 定价：0.75元

统一书号：13001·1350 本社书号：0844

序 言

太阳能是地球上唯一外来的永不枯竭的能源,根据估算,地球上每天接收到的太阳辐射能约为 4×10^{15} 千瓦小时,相当于 2.5×10^8 万桶石油,约等于地球石油总蕴藏量的四分之一。然而,地球表面积很大,每单位表面积所能接收到的太阳辐射能很小(最多1千瓦/平方米)。因此,要把如此稀薄的低品位能量收集并贮存起来,加以利用,存在着很多困难。又因它还随季节和昼夜的变化而变化,所以,长期以来,人们对太阳能的利用还停留在原始性阶段。

1973年发生的石油危机,敲响了地球上储存的矿物燃料有限性的警钟,迫使世界上许多国家的政府和科学家竭尽全力寻求开发新能源的途径。太阳能,这一普遍存在的取之不尽用之不竭的能源,便成为各国能源研究开发的焦点之一。十多年来,随着科学技术的发展,在各国政府和科学家的努力下,已经在太阳能的收集、转换、储存、输送以及实际应用等方面取得了显著的进展。

考虑到国内尚无一本全面介绍太阳能利用的科普读物,编译者在总结自己科研工作与阅读国内外文献资料的基础上,欣然担当起编译该书的任务。本书着眼于中等文化水平的广大读者的需要,舍弃一切繁琐的数学分析、推导,力图用通俗语言、深入浅出、简明扼要地全面介绍太阳能利用的基础知识和目前各种太阳能利用装置的原理、结构与运行过

目 录

序 言

第一章 太阳辐射能	1
第一节 太阳和太阳辐射能.....	1
第二节 地球表面上的太阳辐射.....	4
第三节 太阳辐射测量.....	10
第二章 太阳能的收集	13
第一节 平板集热器.....	14
第二节 聚光集热器.....	24
第三节 集热器的材料.....	38
第三章 太阳能的贮存	52
第一节 显热蓄热和潜热蓄热.....	53
第二节 蓄热材料.....	56
第三节 化学反应蓄热.....	61
第四节 浓度差蓄热.....	65
第五节 各种贮能方式的比较.....	67
第四章 太阳能热水器	69
第一节 太阳能热水器的种类.....	70
第二节 密闭式太阳能热水器.....	73
第三节 自然循环式太阳能热水器.....	75
第四节 强迫循环式太阳能热水器.....	78
第五节 太阳能热水器的防冻问题.....	78

第五章 太阳池	81
第一节 太阳池的发展历史.....	81
第二节 太阳池的结构和工作原理.....	82
第三节 从太阳池提取热量.....	84
第四节 太阳池发电站.....	86
第五节 太阳池的其它用途.....	88
第六节 太阳池的诱人前景.....	88
第六章 太阳热驱动冷冻机	90
第一节 太阳热驱动冷冻机的分类.....	90
第二节 制冷机和热机的原理.....	92
第三节 太阳热驱动吸收式冷冻机.....	93
第四节 喷射式太阳能冷冻机.....	98
第五节 太阳热机驱动压缩式冷冻机.....	99
第七章 建筑物的太阳热采暖、制冷和空调	102
第一节 太阳热采暖系统的构成和分类	102
第二节 太阳热自然采暖与制冷系统	103
第三节 太阳热采暖、供热水系统	108
第四节 太阳热泵(制冷)采暖系统	112
第五节 太阳热采暖、制冷、空调及供热水系统	117
第八章 太阳能干燥系统及空气加热器	120
第一节 吸收式太阳能干燥器	120
第二节 对流式太阳能干燥器与空气加热器	122
第三节 太阳能干燥器的应用	129
第九章 太阳能蒸馏系统和海水淡化	131
第一节 太阳能蒸馏器的工作原理	132
第二节 池式太阳能蒸馏器的产量、效率及其影响 因素	133

第三节	池式太阳能蒸馏器的结构研究	134
第四节	多效太阳能蒸馏器	138
第五节	其它形式太阳能蒸馏器	140
第六节	废热在太阳能蒸馏器中的利用	144
第七节	太阳能蒸馏器的发展前景	144
第十章	太阳能热动力系统	145
第一节	太阳能热动力发展历史	145
第二节	太阳热动力系统原理	147
第三节	太阳能热力发电系统	156
第四节	太阳热动力水泵	177
第十一章	太阳光发电系统	183
第一节	太阳电池的工作原理	183
第二节	太阳电池的电流-电压特性	187
第三节	太阳电池的等效回路	189
第四节	太阳电池的效率	190
第五节	太阳电池的构造和制作	194
第六节	太阳电池电源的构成	197
第七节	太阳光发电系统的构成与今后的课题	198
第十二章	太阳炉	204
第一节	太阳炉的主要构成部件	205
第二节	太阳炉的设计	207
第三节	大型太阳炉特性参数举例	208
第四节	利用太阳炉进行的高温研究	213
第十三章	太阳能制氢	216
第一节	氢——理想的燃料	216
第二节	太阳能制氢	217
第十四章	太阳灶	225

第一节	聚光太阳灶	226
第二节	箱式太阳灶	229
第三节	太阳能蒸汽灶	229
第四节	储热太阳灶	230
第十五章	太阳能的其它利用	232
第一节	太阳能游泳池	232
第二节	太阳能动力滑翔机	235
第三节	太阳能电冰箱	236
第四节	太阳能热泵	238

第一章 太阳辐射能

第一节 太阳和太阳辐射能

地球一直受太阳光照射而保持温暖，一切生命都依靠由植物转换成化学能的这种太阳能来维持的。从最早的有文字记载的历史时代起，人们就认识到神秘的太阳对创造生命所起的作用。由于对太阳的敬畏，人们把它奉若神灵，或者是在神灵直接保护下的物体。

太阳究竟是什么？人类一直在探索这个奥秘。早在300多年前，科学家就提出了关于太阳系起源的星云假说。假说中提到：早在46亿年前，在沿着旋涡状银河系的一条旋臂向外走很远的地方，一团巨大的气体尘埃开始在恒星空间收缩。这个云团在坍缩时愈转愈快，变成了一个圆盘。到了某个阶段，在圆盘的中心聚集起一个天体，该天体质量既大，密度和温度又高，以致其中的核燃料被点燃，而它自身则变成了一颗恒星——太阳。又到了另一个阶段，周围的尘埃粒子吸积成束缚于环绕太阳轨道上的行星和束缚于某个行星轨道上的卫星。特别是近几十年来，随着蓬勃的科学技术发展，创造出许多新的测量观测仪器，使人们拨开了层层迷雾，星云假说的一些说法，今天已为许多天文学家所接受。

现在已经确切知道，太阳是直径为139万公里的炽热气

体球，离地球的距离约为15000万公里。太阳也在不断地自转和公转，从地球上看来，太阳旋转一周约需28天，不过它不是固体，因此，赤道区域比极区要旋转得快些（赤道27天而两极30天）。太阳表面的温度，大约为6000K，而其内部温度却要高得多，可能达到800万~4000万K，其密度大约为水的80~100倍，压力也极大，约为两千亿个大气压。在这样高的温度和压力下，太阳内部不停顿地进行着热核反应。因此，实际上太阳是一座在连续进行核聚变的反应堆。其组成的气体，借助于引力的作用，就象装在“容器”里的气体一样。供给太阳辐射能的核聚变反应有几种类型，其中最主要的一种是氢（即四个质子）聚合成氦（一个氦原子核），由于氦核的质量小于4个质子的质量，在反应过程中丧失的质量转化为能量。该能量是在太阳内部产生的，温度可达数百万度，它必然要传到太阳表面，再向空间辐射。在太阳的核心区，所辐射的光谱必定是X和Y射线，在传到外层时，随着温度下降，辐射的波长也随着增加。

太阳的外层称为光球，它是由强烈离子化的气体构成的，能吸收和发射连续的光谱带。这一基本上不透明的光球带，是大部分太阳辐射的主要来源。因此，从传热学角度来看，把太阳作为温度为6000K、波长在0.3~3微米的黑色辐射体是适当的。

由于地球运行轨道呈椭圆状，以致太阳和地球之间的距离有远近百分之三的变化。在相互间距离为平均距离时，太阳的张角为32分。由于太阳的特性及其对地球的空间关系，因此，在地球大气层外的太阳辐射强度，大体上是固定的。太阳和地球的相互关系如图1-1所示。

经过无数次实测，人们得到在平均日地距离时，在地球

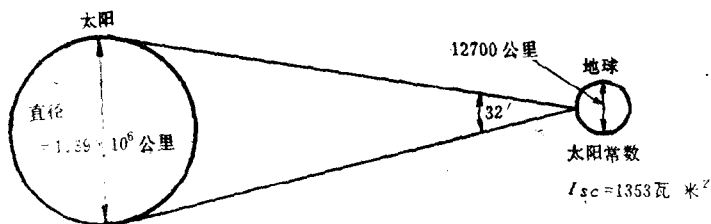


图 1-1 日地关系图

大气层外，垂直于太阳辐射的表面上，单位面积单位时间内所接收到的太阳辐射能为 1353 瓦/米^2 。这个数据叫做太阳常数，用符号 I_{sc} 表示。即

$$I_{sc} = 1353 \text{ 瓦/米}^2$$

$$= 1.940 \text{ 卡/厘米}^2 \cdot \text{分} = 1164 \text{ 千卡/米}^2 \cdot \text{时}$$

$$= 428 \text{ 英热单位/英尺}^2 \cdot \text{时}$$

$$= 48714 \text{ 焦耳/米}^2 \cdot \text{时}$$

事实上，由于太阳——地球相对位置随季节变化，这个

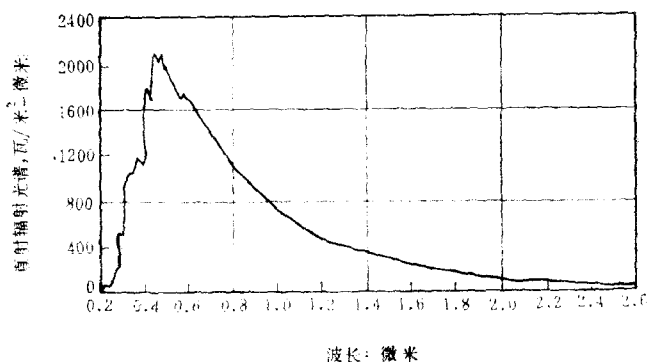


图 1-2 太阳辐射光谱分布图（在日地平均距离处）

太阳常数也是随着季节变化的。在6、7月份，因地球距太阳较远，此时大气层外太阳辐射量最低，不过与1月、12月最大辐射量相差仅6%左右。

要利用太阳能，除了太阳光谱中的总能量，即太阳常数之外，了解太阳辐射的光谱分布是很有用的。在高空及空间测量的基础上，于1971年，美国国家航空和航天局提出了辐射光谱的新的标准曲线（图1-2）。根据此曲线得到的太阳辐射光谱分布列于表1-1。

太阳辐射光谱分布

表 1-1

	紫 外 线	可 见 光	红 外 线
波长范围(微米)	0~0.38	0.38~0.78	0.78~∞
波长区内所占能量(%)	0.0700	0.4729	0.4571
相应的辐射能量(瓦/米 ²)	95	640	618

第二节 地球表面上的太阳辐射

太阳辐射到地面的情况有两种。一种是由太阳直射而来，中途不改变方向，称为直接辐射；另一种是经大气吸收，散射或经地面反射已改变方向的辐射，称为漫射辐射，其中包括由太阳辐射经大气吸收、散射后间接到达的天空辐射以及由地面物体吸收或反射辐射的地面辐射。在太阳能的利用方面，直接辐射和漫射辐射都具有相当重要地位。它们之和称为太阳总辐射通量，也叫做总日射量。

经过科学的测定，在大气层外的太阳辐射变化很小（小

于 $\pm 0.5\%$)，这在计算上可以近似认为没有变化。但在地球表面上接收的太阳辐射则变化很大。原因是多方面的。地球的运行轨道有 $\pm 3\%$ 的误差，即地球和太阳的距离随季节变化会影响地面的太阳辐射，但这并非主要因素。主要还是由于大气的吸收、散射和天空云层的反射与吸收影响太阳辐射到达地面的强度。

大气的组成可分为三大部分：一是永久气体，包括氮、氧、氩、氦、氢、氖、氫等分子；二是变动气体，包括水气、二氧化碳、臭氧等；其次是固体尘埃，如烟、尘、微生物、花粉和孢子一类的有机微粒、放射性微粒等等。这些空气分子、水蒸气、尘埃的散射作用及大气中的氧、臭氧、水分、二氧化碳的吸收，均会影响入射地面的太阳辐射量。许多学者就太阳辐射被大气中气体吸收、散射后的辐射分布进行了研究。结果表明，在太阳光谱中的X射线和短波辐射的大部分，在电离层中被氮气、氧气和大气中其他成份所吸收。而大部分的紫外线则被臭氧所吸收。波长大于2.5微米的辐射，在大气层外本来就较少，加上通过大气层被二氧化碳和水蒸气强烈吸收，因此，只有极少部分能够传到地面上来。到达地面的太阳辐射以0.47微米波长的最多。所以，从地球上利用太阳能的观点出发，只考虑波长在0.3~3.0微米之间的太阳辐射。

太阳辐射通过大气层时有很大衰减，这与人类自身的活动也密切相关。哪怕是在世界最遥远的地区，在大气中也可以发现人类活动产生污染痕迹的微粒。工业发达国家的城市空气污染，几乎有一半是汽车造成的。飞机也在散布排出物，喷气式飞机的排出物在大气对流层飘散很高，在飞机飞行频繁的区域造成了卷云的少量增加，而且久久不能驱

散。由于大量使用矿物燃料（煤、石油、天然气），大气中的二氧化碳含量正在不断增加，据可靠的预测，从现在起到2000年，大气中的二氧化碳的含量还要增加20%左右。种种迹象表明，人类自身活动给到达地球表面的太阳辐射带来衰减。这种减弱的程度在不同地区有所不同，但基本上随工业发展而增加。只要进行粗略的估算就会知道，由于工业污染所造成的太阳辐射能的损失是非常可观的，据报导有的地区接收的太阳能总量因此而损失的可达20%以上。

云层对太阳辐射的反射和吸收影响也很大。但是这个问题相当复杂，不同的云量、云形、云高对太阳辐射的影响相差很大，要用数学计算它的效果十分困难。然而经过许多科学工作者的努力，一定程度上掌握了云形对太阳辐射量的影响。这种影响的情况可绘制成曲线，也可以列表表示。下面表1-2给出的数据可供实际估量云形影响时参考。由表可知，

全天云与晴天的日射量的百分比 (%)

表 1-2

空气质量 m	绢 云	绢 层 云	高 积 云	高 层 云	层 积 云	层 云	乱 层 云	雾
1.1	85	84	52	41	35	25	15	17
1.5	84	81	51	41	34	25	17	17
2.0	84	78	50	41	34	25	19	17
2.5	83	74	49	41	33	25	21	18
3.0	82	71	47	41	32	24	25	18
3.5	81	68	46	41	31	24		18
4.0	80	65	45	41	31			18
4.5					30			19
5.0					29			19

当太阳在天顶，整个天空全部为雾时，日射量仅为晴天时的17%，如布满绢云则为85%。另外，为了衡量云量多少，通

常把云量分为11级（由0~10），不同的级表示云遮蔽天空的程度，也就是出现的云占天空面积的百分比。有时也用日照率表示天空的云量。日照，顾名思义，就是出太阳的时间。若某个地区某日白天有14小时，但6小时是阴天，8小时出太阳，那么可以说该地区那一天的日照为8小时。若一个月内日照是230小时，也就是在该月内，该地区有230个小时是出太阳的时间。一般，各地的气象台都对日照作了长时间的记录，可以给出平均每月的日照和平均每年的日照时数。假定某地区一天的日照时间为 N ，而实际照射时间为 n' ，那末日照率就是 n'/N ，它表示一天之中实际日照占理论日照的百分比，于是就可以用 $(1 - \frac{n'}{N})$ 来表示云量的多少了。

入射到地面的直接太阳辐射和漫散太阳辐射，其中又有一部分由地面反射到天空。一般认为，地面在各个方向上的反射具有相同的反射率。但在海面的情况下，这种反射比较复杂，它随波浪的状态，太阳的高度的不同而有显著的变化。严格地说，反射系数也随波长而变化。在太阳能利用中，研究入射到倾斜面上的太阳辐射时，特别要注意由地面反射直接向给定倾斜面入射的太阳辐射。

地面反射的太阳辐射，在大气中受到散射的影响之后，以散射光的形式再入射到地面，因此，地面反射具有增加天空散射光的作用。太阳高度越高，这种作用越明显。例如太阳高度 $h_0 = 30^\circ$ ，则在反射系数为0.3的情况下，天空散射光较之无任何地面反射时增加约20%；若地面是雪面等情况（此时反射系数为0.8），可增加60~70%。表1-3列举了各种状态下地面的反射系数。

一般来说，大气层厚度约为30公里，但由于太阳光入射

地面和水面的反射系数

表 1-3

(a) 各种地面的反射系数

地面状态	反射系数(%)	地面状态	反射系数(%)
干燥黑土	14	干砂地	18
湿黑土	8	湿砂地	9
干灰色地面	25~30	新雪	81
湿灰色地面	10~12	残雪	46~70
干草地	15~25		
湿草地	14~26		
森林	4~10		

(b) 水面对直接太阳辐射的反射系数

入射角(°) ①	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85	90
反射系数(%)	2.0	2.0	2.1	2.1	2.5	3.4	6.0	13.4	34.8	58.4	100.0

①入射角等于太阳天顶角。

的路径不同,所以实际通过大气层的厚度也不同。显然,在其他条件相同的情况下,通过大气层的厚度愈大,大气对太阳辐射的吸收、反射、散射也愈多。科技工作者把这种太阳辐射通过的路程长度叫做大气质量,用 m 表示。地球大气层的密度分布并非均匀,而且是下层密度大于上层密度,也就是说,下层对太阳辐射的衰减作用要比上层强,因而大气质量 m 并非纯粹几何上的厚度,实际上是所经过大气层内的空气质量的倍数。

如图1-3所示,假定太阳在海平面正上方时 $m=1$;太阳入射线与海平面垂直线的夹角,即天顶角为 θ_z ;太阳入射线与海平面的夹角,即太阳高度角为 h_0 。那么,从图上可以看出,太阳在天顶时, $m=1$; $\theta_z=60^\circ$ 时, $m=2$ 。太阳越是斜

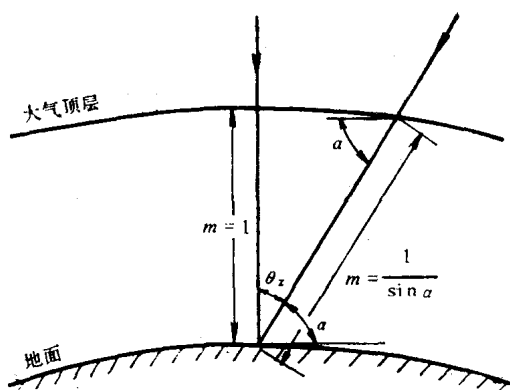


图 1-3 太阳入射大气的路径

射到海平面， m 越大，地面受热越小。

$$m = \sec \theta_z = \frac{1}{\sin \alpha} \quad (90^\circ < \alpha < 0^\circ)$$

因为直射时单位面积上的太阳辐射量大，并且直射时通过的大气厚度较薄，太阳辐射受到的衰减少。根据这样的道理，就很容易理解为什么早上的阳光显得弱，而中午的阳光显得强，冬季的阳光显得柔和，而夏季的阳光显得强烈，这都是由于太阳光通过大气层的路程长度不一样造成的。在我国青藏高原一带，由于平均海拔高度在四、五千米以上，那里阳光走过的路程相对于海平面地区就少走了这么长的路程，而且地势越高，大气越稀薄，加之高原人烟稀少，空气也洁净，所以太阳的垂直辐射通量比平原地区大。

总之，到达地面的太阳辐射，是经过大气吸收、反射、散射等综合作用的结果。一般而言，赤道地区上空直射时的太阳辐射量，只有大气层外辐射量的60~70%，这个数字被称为大气透射系数。透射系数根据大气的情况不同而异，若

天气晴朗，空气干燥，大约为78%；若湿度高，云量多或尘埃多，那只可能有50~60%。根据科学估算，太阳每年射向地球的总能量约为 1.3×10^{21} 千卡，其中约30%又被大气反射回宇宙空间，23%被大气吸收，其余47%，即约 6.1×10^{20} 千卡到达地球的陆地和海洋表面。即便如此，这也是何等巨大的能量啊！它大体上相当于地球上所贮藏的矿物燃料和铀燃料总量的12.5倍。

太阳照射地球属于短波辐射，而地球吸收了太阳辐射能又以红外辐射形式（长波辐射）向天空放射。如在一年内就整个地球而言，则吸收的太阳辐射量与放出的红外辐射量平衡，因而地球的平均温度大体上保持一定。但是，若按地区和季节计算能量收支，并非如此。也就是说，低纬度地区吸收太阳辐射量多，两极地区吸收少。与此相反，地面发射的红外辐射随纬度变化不大。结果，在低纬度地区吸收太阳辐射能，在两极地区放出辐射能。这种能量的收支不平衡，引起大气流动的风力及海洋环流，使高低纬度地区能够转换热量，减少温度差，从而造成天气变化。因此，人们往往也把风力及海洋动力的利用列入太阳能利用，并称之为广义太阳能利用。

第三节 太阳辐射测量

由上节可以知道，影响地面接收太阳辐射量的因素很复杂，要靠计算地球外太阳辐射的衰减来求得地面上可利用的太阳辐射，一般说来是不现实的，因为几乎无法得到计算所必需的气象资料。在太阳能利用装置的设计中，一般用测量当地或与之相近地区的太阳辐射，或者根据有关的气象资料进行估算。