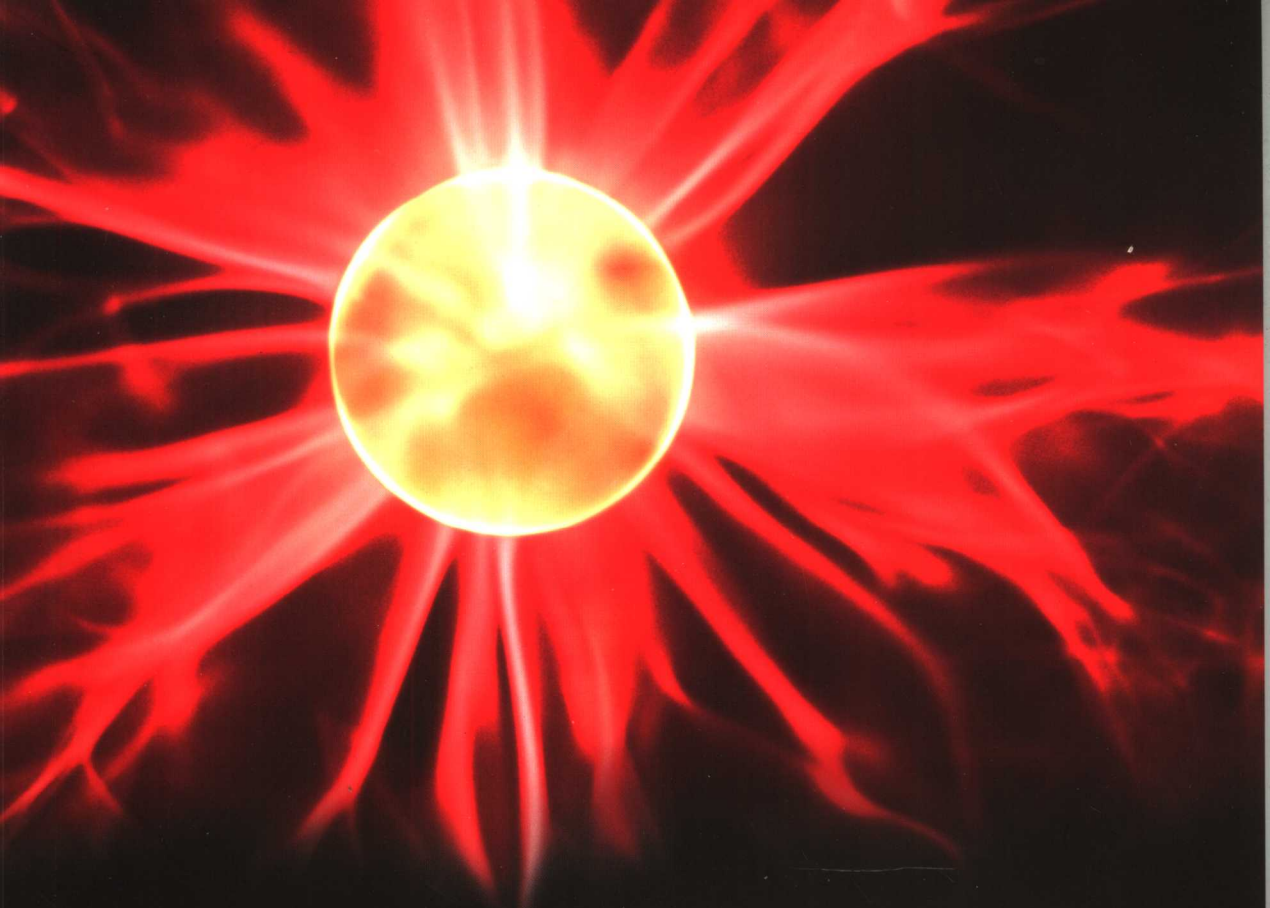




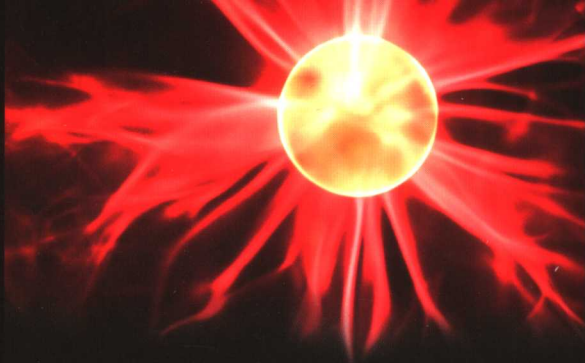
太阳能实用技术丛书

太阳灶技术

任宏琛 陈晓夫 编著



化学工业出版社
环境·能源出版中心



太阳能实用技术丛书

太阳能制冷技术

● 太阳灶技术

太阳热水器及系统

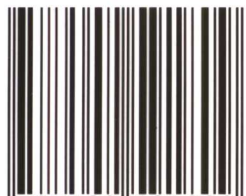
光伏发电户用系统

太阳能干燥技术

太阳能光伏照明系统

并网型太阳能光伏发电系统

ISBN 7-5025-9180-X



9 787502 591809 >

销售分类建议：能源

ISBN 7-5025-9180-X

定价：18.00元

太阳能实用技术丛书

太阳灶技术

任宏琛 陈晓夫 编著



化学工业出版社

环境·能源出版中心

·北京·

本书是《太阳能实用技术丛书》之一。

本书深入浅出地介绍了聚光太阳灶的设计原理,并详细地讲述了太阳灶的制作工艺,对太阳灶的设计、用途、分类、安装调试及使用方法等图文并茂地进行了描述。此外,还介绍了以往多种材质的太阳灶实例,对今后太阳灶技术的发展作了简要的探讨,以期对读者有所启发。

本书语言通俗易懂,内容紧扣制作实际,突出实用技术,适于太阳灶制作人员和太阳灶爱好者参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

太阳灶技术/任宏琛,陈晓夫编著. —北京:化学工业出版社, 2006. 7
(太阳能实用技术丛书)
ISBN 7-5025-9180-X

I. 太… II. ①任…②陈… III. 太阳灶-基本知识
IV. TK519

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 088189 号

太阳能实用技术丛书

太阳灶技术

任宏琛 陈晓夫 编著

责任编辑:戴燕红 郑宇印

责任校对:洪雅姝

封面设计:胡艳玮

*

化学工业出版社
环境·能源出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 5 $\frac{3}{4}$ 字数 101 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9180-X

定 价: 18.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

《太阳能实用技术丛书》编委会

主 编：罗运俊

副 主 编：王长贵

编委会成员（按汉语拼音排序）：

陈晓夫 崔容强 戴燕红

季秉厚 刘 宏 罗运俊

任宏琛 陶 楨 田晓红

王长贵 吴达成 薛德千

张璧光

序

能源是人类社会求生存和发展的物质基础。建立在煤炭、石油、天然气等化石燃料基础上的常规能源体系，曾极大地推动、并继续支撑着人类社会的发展。但化石燃料的大规模开采和使用，已使资源日益枯竭、环境不断恶化，还诱发了不少国家之间、地区之间的政治经济纠纷，甚至引起冲突和局部战争。我国的矿物能源资源以煤的储量比较丰富，然而人均能源资源只有世界人均能源资源的二分之一左右。从能源消费结构来看，我国是世界上最大的煤炭消费国，煤炭消费约占总能耗的 67%，这是导致环境严重污染、生态逐年恶化的根本原因之一。因此，大力开拓新能源与可再生能源的实际应用成为我国解决能源紧张和保护生态环境的重要战略任务。

太阳能是新能源与可再生能源的重要组成部分。太阳能属于分布性洁净的自然资源，能就地开发利用，具有取之不尽、用之不竭、不会污染环境和破坏生态平衡等特点。太阳能的开发利用有着巨大的市场前景，不仅带来很好的社会效益、环境效益，而且还有明显的经济价值。

我国地域广阔，是太阳能资源丰富的国家之一，三分之二的地区年辐射总量大于 $5020\text{MJ}/\text{m}^2$ ，年日照时数在 2200h 以上。尤其在大西北，更具有有效开发利用的潜力。为此，化学工业出版社专门组织了一批长期从事太阳能开发利用研究的专家和学者撰写了这套《太阳能实用技术丛书》。全套丛书共 7 册，涉及太阳能实用技术的各个领域。撰写各分册的作者都是相关专业行家，实践经验丰富，学术水平较高。丛书的内容系统全面、实用性和可读性强，对有志开发利用太阳能行业的人员富有参考价值。期望这套丛书的出版会对我国太阳能行业的发展和产品的创新开发提供有益的借鉴，为节约常规能源、减少环境污染、满足人民生活需要作出应有的贡献。



中国科学院院士
清华大学热能工程与热物理研究所所长
原中国太阳能学会理事长

前 言

太阳以其无比巨大的能量辐射为人类提供了取之不尽、用之不竭的能量源泉，有计划地、自觉地开展太阳能利用，是人类社会走向可持续发展道路的必然选择，也是建设和谐社会、促进生态环境良性循环的重要途径。而太阳灶的应用，则是我国太阳能利用中开展最早、影响最广泛的项目。

早在 30 多年前，我国不少地区已开始了太阳灶的试制与试用，从分散的试验研究到政府主管部门领导下的全国联合技术攻关；从局部地区的试点示范到大面积的推广；从少量的应用到目前全国 60 多万台的推广数量，都证实了太阳灶蓬勃的生命力和受民众欢迎的程度。尤其是经过全国太阳灶技术攻关，太阳灶在设计理论、材料工艺、技术标准等方面都取得了开拓性的成果，广大群众从太阳灶应用中得到了实实在在的效益，所有这些成绩都为国内外太阳能界所瞩目。多年来，太阳灶的应用不但在节能、解决群众燃料问题等方面取得了可喜的成果，更凸显出它在环保方面的巨大意义。在我国西部地区，其成效尤为显著。

另一方面，在太阳灶生产中，由于不少厂家缺乏太阳灶的基本理论与工艺知识，难以进行新灶型的设计和新材料、新工艺的采用，甚至影响到产品的质量，表现在一些太阳灶的技术指标达不到行业技术标准。政府补贴、农牧民掏钱购买的太阳灶如果质量不佳，岂不是误国误民。

本书通俗地讲述了太阳灶的设计理论与制作工艺，并向用户讲述了太阳灶选购和安装调试的方法，由于本书重在实用且通俗易懂，读者只要认真地阅读和实践，不论是生产厂家或太阳灶爱好者，都不难从中获得行之有效的收益，因为本书的主要内容都是来自实验研究或生产实践。

由于作者水平所限，本书不足之处在所难免，敬请读者指正。

编者

2006 年 6 月

目 录

第1章 太阳能	1
1.1 太阳	1
1.2 太阳常数与大气的影响作用	2
1.3 季节变化对太阳能辐射的影响	4
1.4 赤纬角带来四季变化	6
1.5 太阳高度角与方位角的计算	7
第2章 太阳灶	11
2.1 太阳灶的应用状况	11
2.2 太阳灶的用途	11
2.3 太阳灶最适合使用的地区和使用条件	13
2.4 常见太阳灶	14
2.5 两种构造特殊的太阳灶	27
第3章 旋转抛物面太阳灶	33
3.1 抛物线与抛物面	33
3.2 理论太阳影像	35
3.3 聚焦比	35
第4章 太阳灶的设计	38
4.1 聚光式太阳灶的灶面设计	38
4.2 聚光式太阳灶的模具制作工艺	48
4.3 太阳灶的支架结构设计	58
4.4 太阳灶的制作材料及制作工艺	61
4.5 太阳灶的自动跟踪	68
第5章 太阳灶的选购、安装与调试	74
5.1 如何挑选太阳灶	74
5.2 太阳灶的安装	75
5.3 可能出现的问题及解决办法	77
5.4 太阳灶的首次炊事试验	78

5.5 太阳灶使用注意事项	80
第6章 太阳灶技术发展趋势	82
6.1 存在的问题	82
6.2 要解决的问题	82
参考文献.....	84

第1章 太 阳 能

1.1 太阳

太阳是地球环绕的恒星，是地球最主要的能量源泉，除了核能之外，地球上的一切能源，归根结底都是来源于太阳能辐射。

在日常生活中，我们所用的煤、石油、天然气，除核电站外的水力、火力和风力等发电站所提供的电力、生物质燃料（如草木秸秆）等能源，皆是来自太阳。例如，煤是远古植物被长久埋藏地下而生成的，而植物的生长是依靠太阳能的辐射。所以，我们今天使用的煤、石油、天然气等，都是远古时代太阳能为人类储藏的能源。

大自然中的风、雨、雷、电也都是伴随太阳能辐射而产生的，大气温度的变化、云雨与风的形成、江河与大海的澎湃不息，都源于太阳能辐射。拿水电站来说，三峡水电站的水能，是由于地表土壤和水体受太阳能辐射热产生水分蒸发，上升到空中遇冷形成降雨（或降雪），最终汇聚成江河，又利用水位落差的能量建成水电站，产生巨大的电力，这本身就是太阳能量的一种转换。

至于焚烧秸秆和草木，更是一种直观的太阳能利用形式。连人类自身离不开的动植物食品，即我们复杂的食物链，也均是依靠太阳能辐射作为能量来源的动植物提供的。

可以说，没有太阳能也就没有人类本身。人类未来的生存与发展，也同样一刻离不开太阳能。

太阳是一个无比炽热的恒星，这颗恒星是一个巨大的炽热气团。它太大了，直径有 1396000km，比地球直径大 109 倍，质量却比地球大 33 万倍。

这个大恒星的表面温度大约 6000℃，钢铁在这样的温度下也会立即汽化。其中心温度更高，科学家测算其温度高达 $(1500 \sim 2000) \times 10^4$ ℃。为什么会有如此高的温度？原来，这颗“光球”是一座热核反应“工厂”，在 2000 亿个大气压



的高压、高温和高密度条件下，进行着氢变为氦的热核反应。简单地讲就是在太阳能内部的压力、温度和密度条件下，物质的原子早已离子化了，原子失去了电子的“保护”，不同元素的原子核进行猛烈的碰撞，引发不间断的核子反应，即热核反应。这种反应是由四个氢原子结合为一个氦原子的核聚变，从而产生出源源不断的巨大能源，并通过太阳的表面释放出来。这种热核反应要消耗大量的氢燃料，据科学家测算，太阳的氢足够丰富，可以进行热核反应数千亿年，不必担心太阳能耗尽。

太阳向地球传送能量是以辐射的形式进行的。我们知道，热量的传送有三种形式，一是传导，二是交换（对流），三是辐射。太阳离地球 $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ ，十分遥远，太阳与地球之间为真空地带，热量的传导与交换都无法进行，只能以辐射的形式进行热传输。简单地讲，太阳能的辐射传热是一种光辐射，这种光辐射也是一种电波和磁波的传递，它的传播不需要任何物质作为中间媒介。相反，如果在中间有任何物质遮挡辐射，就会被吸收、反射，从而减弱了辐射量。这种辐射的传播速度为 $30 \times 10^4 \text{ km/s}$ ，太阳光经过约 8min 才能到达地球。

太阳的热核反应产生了向宇宙空间辐射的巨大能量，其功率是 $3.75 \times 10^{26} \text{ W}$ ，为了便于理解，我们说太阳每秒向宇宙空间辐射的热量等于 $1.3 \times 10^{16} \text{ t}$ 标准煤全部燃烧所产生的热量，这些热量可以融化覆盖地球表面厚达 1000km 的冰层并把水烧开。太阳对地球大气上界的太阳能辐射约占太阳总辐射的二十二亿分之一，相当 $170 \times 10^8 \text{ kW}$ ，即每秒 $1.765 \times 10^{17} \text{ J}$ ，折合标准煤 600 万吨，全年接受到的太阳能辐射总量为 $1.51 \times 10^{18} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，是地球全年各类能源生产总和的 3 万倍。而这二十二亿分之一的总辐射，大约只能有 47% 的太阳能辐射才能到达地球表面，因为约 30% 的太阳能辐射被地球大气层反射到宇宙空间了，23% 的太阳能辐射被大气层所吸收。据科学家估算，一年中到达地球表面的太阳能辐射总量约在 $6 \times 10^{17} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，这种辐射总量仍然十分巨大，造成了我们这个光彩缤纷、生机盎然的世界。其中，被各种植物吸收的仅占 0.015%，而被人们利用作为食物和燃料的仅占 0.002%，可见太阳能可利用的空间极大。有人做过统计，如果在沙漠地带建造一个长 300km、宽 100km 的太阳能利用装置并把接受到的太阳能全部利用，就能满足全世界对能源的需要。因此，太阳辐射是地球最主要的能量源泉，研究如何利用这一巨大的能量，对缓和日益严峻的能源形势和全球环境恶化，具有非常重大的意义。

1.2 太阳常数与大气的影晌作用

我们知道，太阳能辐射具有无可比拟的意义与巨大的能量，但了解单位面积



上能得到多少太阳能，即在地球上太阳能的辐射强度，具有更重要的实际意义。这里需要引入一个太阳能常数的概念。

所谓太阳能常数，是指平均日地距离、在地球大气外垂直于阳光光线表面上，单位面积单位时间内太阳辐射能的数值，通常以 $\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ 或 W/m^2 表示。世界气象组织仪器和观测委员会在 1981 年 10 月认定的太阳能常数为 $(1367 \pm 7) \text{W}/\text{m}^2$ 。但是，太阳能辐射经过稠密的大气层后，它的能量会逐渐衰减。在地面每平方米截光面积上（垂直于阳光光线的平面）远远达不到 1367W 。

大气对阳光辐射的衰减作用是由于大气中的气体分子、水汽、冰晶和微尘等杂质对太阳能辐射有相当大的吸收作用，并散射相当一部分阳光，大气层对太阳能辐射的反射作用也很强。具体表现在以下几方面。

① 氧气 (O_2) 氧气在大气层中约占 21%，氧气对太阳能的吸收集中在小于 $0.2\mu\text{m}$ 的紫外线区，由于氧气的吸收作用，在低层大气内，几乎测不到小于 $0.2\mu\text{m}$ 的太阳辐射。

② 臭氧 (O_3) 主要存在于 $20 \sim 25\text{km}$ 的高空中，它对从紫外边缘到红外线的极远区都有吸收作用，当然也包括波长在 $0.6\mu\text{m}$ 的可见光的吸收，仅臭氧层本身吸收的太阳能要占太阳能总辐射量的 2.1% 左右。

③ 水 (H_2O) 水汽是吸收太阳能辐射的极重要介质，它吸收波长范围广，吸量大，主要吸收带在可见光区和红外光部分。在大气中，水汽含量较大而太阳能辐射量较少时，水汽吸收可占到太阳能辐射总量的 20%。液态水的吸收能力更强。

④ 尘埃 悬浮于大气中的尘埃对太阳辐射也有一定的吸收作用，特别是浮尘天气或沙尘天气，影响更为显著。

其他如二氧化碳的吸收作用由于很微小，可以忽略不计。图 1-1 为太阳能辐射光谱通过大气被吸收和散射后的变化情况。

大气对太阳能辐射的衰减作用，与光线经过大气的路程长短有很大的关系，路程越长，衰减作用越厉害。当太阳位于天顶时，太阳高度角最大 (90°)，阳光在大气中的旅程最短，阳光受大气减弱的程度也最小，到达地面的太阳能辐射也最强。我们把太阳在天顶时阳光的这段光程定为 1 个大气质量，这样太阳高度角小于或大于 90° 时，光线所走过的光程都大于 1 个大气质量，太阳在任意高度角下的大气质量 m 可表示为

$$m = \frac{1}{\sin\theta} \quad (1-1)$$

式中 m ——任意太阳高度角的大气质量；

θ ——任意太阳高度角。



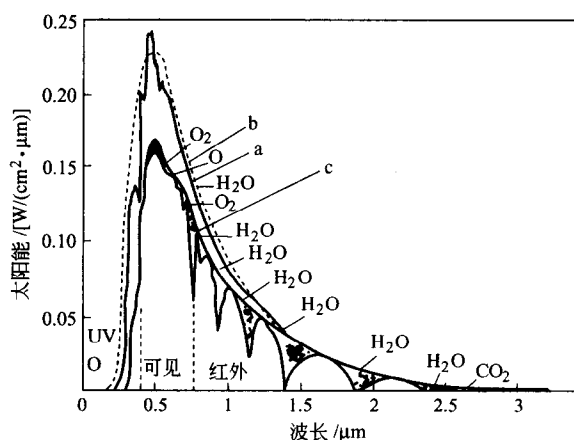


图 1-1 太阳光谱分布与地球大气吸收的影响

a—大气上界的太阳能辐射光谱分布；b—太阳垂直照射的海平面上太阳辐射光谱分布；c—6000K 黑体辐射的光谱分布

图 1-2 是太阳高度和太阳光线在大气中路径长度的关系。

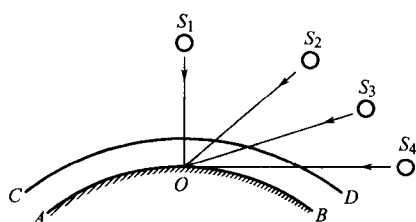


图 1-2 太阳高度和太阳光线在大气中通过的路径长度的关系

到达地面的太阳能辐射总量是由直接辐射和散射辐射两部分组成的。直接辐射是像太阳灶这类反射聚焦式太阳能利用装置利用的辐射能，聚光式集热器对散射光线的利用能力极差。在理想条件下（晴朗天气），直接辐射可占到总辐射量的 90% 以上，而云层和潮湿的空气可使直射比例下降，散射比重增加，两者相加，仍然小于晴天的辐射总量。在最晴朗的天气条件下，

地面中午太阳能辐射量约为 1000 W/m^2 。

1.3 季节变化对太阳能辐射的影响

一年中的季节变化对地面太阳能辐射总量的影响也是很大的。拿一天内太阳高度角最大的时刻来说，同一地点，每天中午时的太阳高度角都有变化，夏至日的中午太阳高度角是一年当中的最大的，冬至日的中午是一年当中最小的，我们可以通过下式很方便地算出每日中午的太阳高度角

$$\theta = 90^\circ - \Phi + \delta \quad (1-2)$$

式中 Φ ——当地地理纬度；



δ ——当日赤纬。

如北京地区，2006年1月29日（春节）12:00（以下均为真太阳时）太阳高度角为

$$\theta = 90^\circ - 40^\circ - 18.2^\circ = 31.8^\circ$$

$$6月21日（夏至）12:00 \text{ 太阳高度角} = 90^\circ - 40^\circ + 23.5^\circ = 73.5^\circ$$

$$3月21日（春分）12:00 \text{ 太阳高度角} = 90^\circ - 40^\circ + 0^\circ = 50^\circ$$

$$9月23日（秋分）12:00 \text{ 太阳高度角} = 90^\circ - 40^\circ + 0^\circ = 50^\circ$$

$$12月22日（冬至）12:00 \text{ 太阳高度角} = 90^\circ - 40^\circ - 23.5^\circ = 26.5^\circ$$

当地地理纬度可以通过地图册查出来或询问气象台站。一年当中，赤纬度在 $\pm 23.5^\circ$ 之间变化，可以通过本书的赤纬角表1-2查出来。

仅中午时分，同一地区一年之中太阳高度角会有 47° 的变化，这种变化不仅造成了阳光通过的大气质量的变化，而且也造成太阳辐射对地平面投射角大小的变化。阳光对地平面的投射角越小，地面所得到的辐射强度也就越小。垂直于阳光光

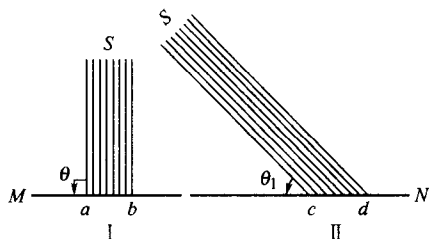


图1-3 水平面与垂直面的关系

线的平面辐射与水平面上的辐射之间的关系是太阳高度角的正弦函数（图1-3）

$$S' = S \sin \theta \quad (1-3)$$

式中 S' ——水平面太阳直接辐射；

S ——垂直于阳光光线的太阳直接辐射；

θ ——太阳高度角。

从太阳高度角的公式中还可以看出，影响太阳高度角的不仅有赤纬的变化，地理纬度的不同也是同样重要的参数。不同的地理纬度地区，同一时刻太阳的投射角是不同的。如北纬 40° 地区，在春分和秋分日其中午投射角为 50° ；而在北纬 30° 地区，同一时刻的投射角则为 60° ；在纬度为 50° 地区其投射角只有 40° 了。

在太阳能利用中，特别是聚光型太阳灶的利用中，要克服地理纬度偏高、冬季太阳投射角偏小的问题，最根本的解决办法是调整聚光器的俯仰角，使其截光面尽可能地同太阳光线垂直，只有这样才能最大限度地接收到更多的太阳能辐射。这是因为在水平面上的太阳能辐射虽然受到地理纬度及季节的极大影响，而在太阳光线的垂直面上，太阳高度角的影响则不大（表1-1）。

在东部地区的晴天，在垂直于太阳光线的平面上的直接辐射强度都可以达到 $2.93 \sim 5.44 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ ，或者 $488.5 \sim 907 \text{ W}/\text{m}^2$ ，这就为太阳灶面积的设计提供了参考依据。

表 1-1 北京直接辐射强度极大值的全年逐月分布 (1972 年)

月份	辐射强度极大值/[J/(cm ² ·min)]	月份	辐射强度极大值/[J/(cm ² ·min)]
1	5.82	7	5.78
2	5.95	8	6.24
3	6.32	9	5.90
4	6.11	10	5.78
5	5.86	11	6.07
6	5.69	12	5.53

1.4 赤纬角带来四季变化

地球绕太阳运行，其绕太阳运行的平面称为黄道面，而地球的自转轴并不垂直于黄道面，它与黄道面的法线有一个 23.5° 的交角，而且地球在公转的过程中其自转轴的方向始终不变，总是指向天球的北极，地球运行在不同的轨道区间，太阳光线与地球赤道平面的交角都在发生变化，从而发生了四季变化，这个交角称为赤纬角。换言之，地球运行于轨道的不同位置时，阳光对地球的投射方向也不相同，即赤纬角在发生变化。对赤道而言，春分和秋分时阳光直射赤道，夏季时阳光偏北直射，冬季时阳光偏南直射。这些变化的直接原因都是由于赤纬变化引起的，从而发生了四季的交替。图 1-4 是太阳高度角变化情况。

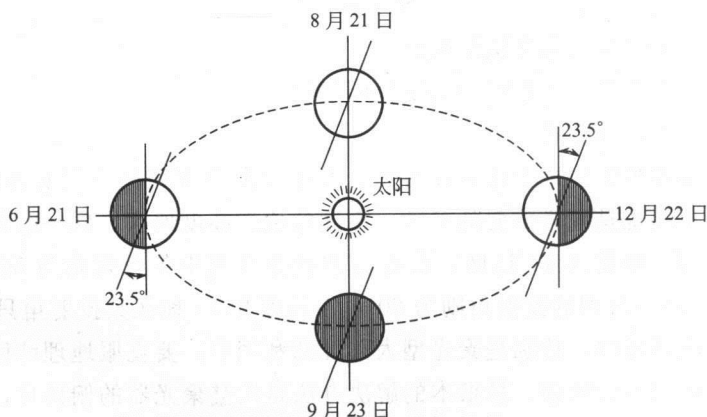


图 1-4 太阳高度角变化情况

下面给出一个计算任一天赤纬角的计算公式

$$\delta = 23.45 \times \sin \left[\frac{360 \times (284 - n)}{365} \right] \quad (1-4)$$

式中 n ——一年中从元旦日计算的天数，春分时 $n=81$ ， $\delta=0$ 。

在太阳能利用中，一般不需要太多的精度，我们可以从表 1-2 中查出近似的赤纬数值。

表 1-2 太阳赤纬度

月份 日期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	-23.1	-17.3	-7.9	+4.2	+14.8	+21.9	+23.2	+18.2	+8.6	-2.9	14.2	-21.7
9	-22.7	-16.2	-6.4	+5.8	+16.0	+22.5	+22.9	+17.2	+7.1	-4.4	-15.4	-22.3
13	-22.2	-14.9	-4.8	+7.3	+17.1	+22.9	+22.5	+16.1	+5.6	-5.9	-16.6	-22.7
17	-21.6	-13.6	-3.3	+8.7	+18.2	+23.2	+21.9	+14.9	+4.1	-7.5	-17.7	-23.1
21	-20.9	-12.3	-1.7	+10.2	+19.1	+23.4	+21.3	+13.7	+2.6	-8.9	-18.8	-23.3
25	-20.1	-10.9	-0.1	+11.6	+20.0	+23.4	+20.6	+12.4	+1.0	-10.4	-19.7	-23.4
29	-19.2	-9.4	+1.5	+12.9	+20.8	+23.4	+19.8	+11.1	-0.5	-11.8	-20.6	-23.4
31	-18.2		+3.0	+14.2	+21.5	+23.3	+19.0	+9.7	-2.1	-13.2	-21.3	-23.3

1.5 太阳高度角与方位角的计算

(1) 太阳高度角 所谓太阳高度角，就是太阳位于地平面以上的高度角，如图 1-5 所示，一般用 θ 表示。

太阳高度角一年之中每日都在发生变化。太阳在冬至时（12 月 22 日）位于南回归线 23.5° ，之后太阳渐渐北移，到春分时（3 月 21 日）移到赤道正上方（纬度为 0° ），然后继续北移，夏至时移到北回归线（北纬 23.5° ）正上方，然后调头南移，秋分时又回到纬度为

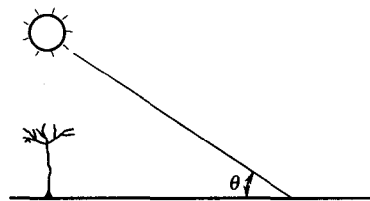


图 1-5 太阳高度角

0° 的赤道线，并于冬至（12 月 22 日）时移到南回归线。这样年年一个往复，四季更替，永无止息。我们可以用下面的公式计算任一时刻的太阳高度角。

$$\sin\theta = \sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\omega \quad (1-5)$$

式中 θ ——太阳高度角， $(^\circ)$ ；

ϕ ——地理纬度， $(^\circ)$ ；

δ ——太阳赤纬， $(^\circ)$ ；

ω ——时角， $(^\circ)$ 。

规定北纬 ϕ 取正值，南纬 ϕ 取负值；赤纬角 δ 的正负值从表 1-2 中查出；时角 ω 在正午（真太阳时） $\omega = 0$ ，每小时增加 15° ，上午 12 时为 15° ，8 时为 $15^\circ \times 4 = 60^\circ$ ，下午 1 时为 -15° ，下午 4 时为 $-15^\circ \times 4 = -60^\circ$ 。

此外, 还可以用实际测量法来测定太阳的高度角, 如图 1-6 所示。

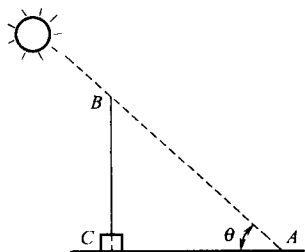


图 1-6 用长杆测量太阳高度角

在平整的地面立一根长杆, 要求长杆直且垂直于地面, 在阳光下迅速量出长杆在地面投影的长度, 长杆的长度是已知的, 就可以求出阳光与地面夹角的正切值, 即可求得太阳的高度角。

例: 一个长 3 米的长杆, 在地平面上投射长度为 3 米, 求此刻太阳高度角。

$$\tan \theta = \frac{BC}{AC} = \frac{3}{3} = 1$$

因此 $\theta = 45^\circ$

当太阳高度角等于 0° 时, 它对应的是太阳的日出与日落的时刻, 我们取 $\theta = 0^\circ$, 即可求出任何地区任何日子的日出日落时间。

$$\Omega = \arccos(-\tan \Phi \tan \delta) \quad (1-6)$$

式中有正负两个值, 负值为日出时刻, 正值则为日落时刻。例如, 在秋分和春分日, 赤纬 $\delta = 0$, 此时 $\omega_0 = \pm 90^\circ$, 每 15° 为 1 小时, 则 $90^\circ \div 15^\circ = 6$ 小时, 表示上午 6 时为日出时间, 下午 6 时为日落时间。

(2) 太阳方位角 太阳方位角含意为, 从地面上的任一点向太阳的中心作连线, 该连线在地面的投影与正南方向的夹角为太阳方位角。正南方向为 0° , 向西为正值, 向东为负值, 其范围为 $\pm 180^\circ$ 。太阳方位角与高度角的示意图如图 1-7 所示。

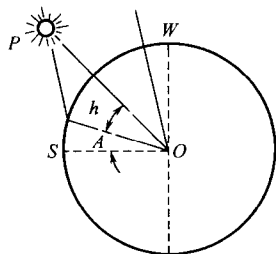


图 1-7 太阳方位角和高度角示意图

太阳方位角可按下式计算

$$\cos A = \sin h \sin \Phi - \frac{\sin \delta}{\cos h \cos \Phi} \quad (1-7)$$

式中 A——方位角;

h——太阳高度角;

Φ ——当地地理纬度;

δ ——当日赤纬。

日出时太阳高度角为 0° , 日落时为 0° , 代入上式得

$$A = \arccos \left(-\frac{\sin \delta}{\cos \Phi} \right) \quad (1-8)$$

建议读者根据公式绘制出本地区 (或其他相关地区) 的三个图表, 一是太阳高度角日变程表, 二是日落时间及方位表, 三是太阳方位角日变程表。如表 1-3~表 1-5 所示。

