

TAIYANGNENG
RELIYONG
GONGCHENG JISHU

太阳能热利用 工程技术

谢建 李永泉◎主编



化学工业出版社

TAIYANGNENG
RELIYONG
GONGCHENG JISHU

太阳能热利用 工程技术

谢建 李永泉◎主编



北京人民教育出版社

·北京·

本书介绍了太阳能热利用工程技术的基本原理、基本知识和基本技能,太阳灶、太阳能热水器等太阳能热利用设备的安装、运行管理和维护的知识与技术,具有较强的技术性和参考价值。

本书可作为太阳能热利用工程技术人员和从业人员的培训用书,也可供该领域的科技人员、管理人员和高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能热利用工程技术/谢建,李永泉主编. —北京:化学工业出版社,2010.11
ISBN 978-7-122-09486-5

I. 太… II. ①谢…②李… III. 太阳能-应用 IV. TK519

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 177519 号

责任编辑:刘兴春 郑宇印

装帧设计:周 遥

责任校对:徐贞珍

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:北京市兴顺印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 339 千字 2011 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00 元

版权所有 违者必究

《太阳能热利用工程技术》编写人员名单

主 编：谢 建 李永泉

副主编：苏庆益 叶凤芬 吴 彤

编写者：（排名不分先后）

谢 建 李永泉 苏庆益 叶凤芬

吴 彤 高文峰 赵正德 黄岳海

朱庆国 朱培石 谢 楠 罗 群

程襄武 杨兴山 唐 瑛 胡钢锋

李军凯

前 言

能源是人类生存和社会发展的重要物质基础。20 世纪 70 年代以来, 鉴于常规能源供给的有限性和环保压力的增加, 世界上许多国家掀起了开发利用太阳能和可再生能源的热潮。20 世纪 90 年代以来, 联合国召开了一系列有各国领导人参加的高峰会议, 讨论和制定世界太阳能战略规划, 推动全球太阳能和可再生能源的开发利用。开发利用太阳能和可再生能源成为国际社会的一大主题和共同行动, 成为各国制定可持续发展战略的重要内容。中国在哥本哈根联合国气候变化会议之后, 国家产业结构开始向低碳经济方向发展。在政府制定的目标中, 到 2020 年, 单位 GDP 碳排放强度要降低 40%~45%, 可再生能源应用比例增至 15%。而这一发展目标极大地刺激了可再生能源产业的发展, 开始形成新一轮的经济增长点。中国如果要达到减排 40% 的要求, 在十年左右的时间内, 可再生能源产业的发展速度要达到每年 20%~30% 左右。在 2020 年, 可再生能源要占我国能源消耗比重的 15%~17% 以上, 而目前的状况是, 可再生能源所占的比重还不到 3%。由此可见, 可再生能源行业的发展空间无比巨大, 而太阳能资源作为一种取之不尽、用之不竭的绿色能源, 更具有其特殊的优势和广阔的发展前景。

本书重点介绍了太阳能热利用工程实用技术的基本原理、基础知识和基本技能, 以通俗易懂的文字介绍了太阳能热利用设备和建设地点的资源环境条件选择, 安装、运行、管理和维护的知识与技术, 并对管理和技能方面做了详细的介绍。通过本书的学习和实际操作中技能的培训, 使从事太阳能热利用技术的相关人员具备实际工作的专业基础知识和专业基本技术, 并使其管理维护的能力得到不同程度的提高。本书可作为太阳能热利用工程技术人员和管理人员的培训用书, 也可供该领域的科技管理和工程技术人员及高等院校相关专业的师生参考。

本书是编写组集体智慧和长期从事太阳能热利用技术的结晶, 凝聚着编写者从事太阳能热利用技术研究、应用和工程建设经验的积累。在本书编写过程中, 得到了云南师范大学太阳能研究所和部分省市农村能源管理和推广应用机构的支持, 参考和引用了部分太阳能热利用技术的著作和工程案例, 在此, 谨向这些作者和单位表示衷心感谢。

本书在广泛征求相关专家、基层太阳能利用技术工作者意见的基础上, 经过初审和终审, 进行了多次修订后定稿。龚彪、周永华、刘颖、曾伊静、李琳、李玲、杨成国、汤叶华等同志参加了文字处理、绘图、制表和校对工作, 在此表示感谢。本书的编写, 虽然注意吸收了新的科研成果和作者几十年从事太阳能热利用技术的研究和工作的经验, 但由于知识水平有限, 书中不当之处在所难免, 敬请各位读者提出宝贵的修改建议。

编 者

2010 年 10 月

目 录

第一章 太阳能基础知识	1
第一节 能源及其分类	1
一、能源的概念	1
二、能源的分类	1
三、能源利用	2
第二节 太阳与地球	3
一、地球与太阳的运动规律	3
二、太阳角的计算	5
三、太阳常数	6
第三节 太阳及太阳辐射能	7
一、太阳	7
二、太阳能资源的特点	7
三、太阳辐射能	8
四、太阳辐射光谱	8
五、到达地球表面上的太阳辐射能	9
第四节 我国的太阳能资源	10
第五节 太阳辐射测量仪器简介	12
一、太阳辐射测量仪器的分类	12
二、几种常用的太阳辐射仪	12
三、太阳辐射仪的使用方法和注意事项	13
第二章 太阳灶	15
第一节 热力学基础知识简介	15
一、气体的基本性质	15
二、工质的状态参数	15
第二节 传热学基础知识简介	16
一、太阳能热利用中的传热学基础	16
二、热量传递的基本方式	16
第三节 太阳灶的分类及结构	18
一、箱式太阳灶	19
二、聚光式太阳灶	19
三、其他太阳灶	19
第四节 箱式太阳灶	19
一、普通箱式太阳灶	19
二、加装平面反射镜箱式太阳灶	20
三、抛物柱面聚光箱式太阳灶	22
第五节 聚光式太阳灶	23

一、旋转抛物面聚光式太阳灶	23
二、偏轴抛物面聚光式太阳灶	24
三、折叠式聚光太阳灶	24
四、新型太阳灶	24
第六节 太阳灶的壳体材料和反光材料	26
一、太阳灶的壳体材料的技术要求	26
二、太阳灶壳体材料	26
三、太阳灶的反光材料	27
第七节 太阳灶的技术要求和安装使用及维护	27
一、太阳灶技术要求	27
二、太阳灶的安装和调试	28
三、太阳灶的使用注意事项	28
第八节 太阳灶结构检测和热性能试验方法	29
一、测试条件及测试仪表	29
二、结构检测方法	30
三、太阳灶热性能试验方法	30
第三章 户用太阳能热水器	32
第一节 平板型集热器	32
一、平板型集热器的结构型式	32
二、注意事项	34
第二节 真空管太阳能集热器	35
一、真空管太阳能集热器概述	35
二、全玻璃真空管集热器的结构原理及其特点	36
三、玻璃-金属真空集热管的结构原理、种类及其特点	38
四、真空管太阳能集热器的构成	40
第三节 太阳能热水器	43
一、平板型太阳能热水器	43
二、真空管太阳能热水器	46
三、闷晒式太阳能热水器	48
第四节 家用太阳能热水器的安装	50
一、闷晒式家用太阳能热水器的安装	50
二、平板型家用太阳能热水器的安装	51
三、家用真空管太阳能热水器的安装	52
四、热管家用太阳能热水器的安装	53
五、家用太阳能热水器管道安装	54
第五节 家用太阳能热水器的防腐保温	54
一、家用太阳能热水器的防腐	54
二、家用太阳能热水器的保温	55
第六节 家用太阳能热水器的调试和运行	56
一、家用太阳能热水器的调试	56
二、家用太阳能热水器的运行	56
第七节 家用太阳能热水器设备移交	57

一、家用太阳能热水器使用注意事项	57
二、家用太阳能热水器故障分析和排除	57
第四章 太阳能热水系统施工准备	59
第一节 识读安装图	59
一、安装图的表示方法	59
二、管径、材质的选择	60
三、施工材料和工具的准备	64
第二节 太阳能热水器类型及循环方式	64
一、相关知识	64
二、洽谈业务	67
第三节 勘察安装现场	67
一、现场勘察的主要内容	67
二、确定集热器安装方位、倾角和热水箱安装位置	67
第五章 太阳能热水系统施工安装	69
第一节 钢结构支架的制作	69
一、操作步骤	69
二、注意事项	69
第二节 设备吊装和管道施工	70
一、设备吊装	70
二、管道施工技术	72
第三节 集热器的安装	75
一、集热器安装的注意事项	75
二、防风避雷常识	75
第四节 辅助电加热系统	76
一、辅助电加热系统的组成	76
二、控制装置	77
三、辅助电加热的安装	78
四、水位控制仪	78
第五节 太阳能热水系统的防腐及保温	79
一、太阳能热水系统的防腐	79
二、太阳能热水系统的保温	79
第六章 强制循环太阳能热水系统施工准备	81
第一节 识读安装图	81
一、建筑识图	81
二、识读直流式太阳能热水系统图	82
三、识读强制循环太阳能热水系统图	82
四、识读电气接线图	83
五、计算工程用料	84
第二节 施工现场的准备	84
一、勘察施工现场	84
二、如何制定施工方案	85
第七章 太阳能热水系统施工安装	87

第一节 定位放线	87
第二节 基础施工的步骤	88
一、水箱承重梁的施工	88
二、集热器支架基础的施工	89
三、屋面防水常识	89
第三节 太阳能热水系统支架和水箱制作	90
一、太阳能热水系统支架制作	90
二、储热水箱的制作	90
第四节 太阳能热水系统的安装	93
一、集热系统的安装	94
二、水泵的安装	96
三、电磁阀的安装	98
第五节 电气装置的安装	98
一、电加热管	98
二、电气控制柜的安装	98
三、动力电缆铺设规范	99
四、电气设备接地保护	100
第六节 热泵技术	101
一、相关知识	101
二、热泵热水器的工作原理	101
三、热泵的安装	102
第八章 太阳能热水系统工程施工安装	104
第一节 太阳能热水系统的施工安装	104
一、基础施工	104
二、钢结构的施工	104
三、集热器安装和管路的施工	105
四、保温施工	106
五、水箱安装施工	106
六、承压系统安全阀的选择安装	107
七、承压系统膨胀水箱的安装及使用	108
第二节 辅助加热装置的安装	109
一、太阳能-辅助加热装置原理	109
二、常压锅炉的安装	109
三、燃油、燃气系统安装	112
四、锅炉运行中应注意的问题	113
五、存在的问题与解决方法	113
第三节 监测仪表的安装	115
一、温度测量仪表	115
二、流量测量仪表	118
三、压力检测仪表	121
四、液位测量仪表	123
五、可控温智能控制模块的应用	124

第九章 分体式太阳能热水器	127
第一节 分体式太阳能热水器概述	127
一、太阳能热水器的发展历程	127
二、分体式太阳能热水器	128
三、分体式太阳能热水器结构形式	130
第二节 分体式太阳能热水器关键设备	131
一、承压水箱	131
二、集热器与辅助热源	134
三、控制系统及执行机构	136
第三节 分体式太阳能热水器安装使用	138
一、集热器安装方式	138
二、管路布置及安装	140
三、应用实例	142
四、运行管理及维护	143
第十章 系统的调试运行和检测	146
第一节 系统的调试和运行	146
一、太阳能热水系统的检漏和试压	146
二、系统流量调整方法	146
第二节 设置系统运行参数	147
一、集热面积的确定	147
二、选择循环方式	147
三、强制循环系统温度的设定	148
四、强制循环系统流量的设定	148
五、辅助电加热功率和温度的设定	149
第十一章 太阳能热水系统的验收	150
第一节 太阳能热水系统的自检	150
第二节 组织验收	152
第十二章 太阳能热水器故障判断与维修	153
第一节 太阳能热水系统常见故障判断与维修	153
第二节 电气控制系统故障及维修	153
一、维修基本要求	153
二、现场维修	154
第三节 故障诊断及排除	154
一、常规检查法	154
二、仪器测量法	154
三、诊断备件替换法	155
四、故障排除方法	155
五、维修中应注意的事项	155
六、维修调试后的技术处理	156
第十三章 建筑材料	158
第一节 胶凝材料、骨料、砂浆、混凝土	158
一、水泥	158

二、石灰·····	160
三、骨料·····	161
四、砂浆·····	161
五、混凝土·····	162
第二节 常用砌筑材料·····	166
一、普通烧结砖·····	166
二、石材·····	167
第三节 保温材料·····	168
一、常用的无机保温材料分类·····	168
二、常用的有机保温材料分类·····	168
三、金属隔热保温材料的分类·····	169
四、太阳能热利用建筑中常用的保温材料·····	169
第四节 常用防水材料·····	169
一、防水材料的分类·····	169
二、沥青材料·····	169
三、防水卷材·····	171
第十四章 安全常识·····	174
第一节 安全用电常识·····	174
一、安全用电的重要性·····	174
二、安全用电措施·····	174
三、安全用电应注意的问题·····	175
第二节 触电的危害及急救·····	176
一、触电的危害·····	176
二、预防触电的措施·····	177
三、触电急救·····	177
第三节 施工安全·····	178
一、施工安全管理·····	178
二、施工的安全制度·····	179
三、高空作业的防护·····	179
附录·····	181
附录 1 太阳能利用工国家职业标准——职业概况·····	181
附录 2 中华人民共和国可再生能源法·····	182
附录 3 各种能源折算标准煤参考值表·····	186
附录 4 国际单位制与工程单位制的单位换算表·····	186
附录 5 常用计量单位表·····	187
附录 6 常用计量单位比较·····	188
附录 7 固体的热物理性质·····	189
附录 8 液体的热物理性质·····	190
附录 9 气体的热物理性质·····	191
附录 10 各类材料的太阳吸收比和发射率·····	193
附录 11 材料表面的发射率·····	195
参考文献·····	197

第一章 太阳能基础知识

第一节 能源及其分类

一、能源的概念

能源指人类获取能量的来源，是可以直接或通过转换提供人类所需的有用能的资源，包括已开采出来可供使用的自然资源与经过加工或转换的能量来源。

人类利用自己体力以外的能源是从用火开始的。世界上一切形式能量的初始来源是核聚变、核裂变、放射性源以及太阳系行星的运行。太阳的热核反应释放出极其巨大的能量，到达地球大气层的辐射能量为 $7.28 \times 10^{14} \text{ kJ}$ 。这种辐射能实际上为地球和太空提供用之不竭的能源。太阳的热效应产生风能、水能和海洋能，煤炭、石油、天然气等化石燃料也是间接来自太阳能。生物质能是植物通过光合作用吸收的太阳能。太阳系行星的运行产生潮汐能。

二、能源的分类

世界上的能源可以分为 10 余种类型：化石能源（煤炭、石油、天然气）、水能、电能、太阳能、生物质能、风能、海洋能、地热能、氢能、潮汐能和受控核聚变，这是能源的基本形式。根据管理和研究工作的需要，可以从不同的角度对能源进行分类，见表 1-1。

表 1-1 能源分类表

项 目			可再生资源	不可再生能源
一次能源	常规能源	商品能源	水力(大型) 核能(增殖堆)	
		传统能源 (非商品能源)	地热 生物质能(薪柴、秸秆、粪便等) 太阳能(自然干燥等) 水力(水车等) 风力(风车、风帆等) 畜力	化石燃料(煤、石油、天然气)核能
	非常规能源	新能源	生物质能(制取沼气、酒精等) 太阳能(收集器、光电池) 水力(小水电) 风力(风力机等) 海洋能 地热	
二次能源	电力、焦炭、沼气、柴油、煤油、重油、蒸汽、热水、压缩空气、氢能等			

(1) 可再生能源与不可再生能源 在自然界中可以不断再生并有规律地得到补充的能源，称之为可再生能源。经过亿万年形成的、短期内无法恢复的能源，称之为不可再生能源，它随着大规模地开采，储量越来越少，总有枯竭之时。

(2) 常规能源与非常规能源（新能源） 在一定历史时期和技术水平下，已经被人们广泛应用的能源，称为常规能源。许多古老的传统能源如太阳能、风能、生物质能等若采用先进的

方法加以广泛利用，以及用新发展的先进技术利用的能源，如氢能等称为新能源。

(3) 商品能源与非商品能源（传统能源） 以经济流通领域中的地位加以区分。商品能源是指进入市场用货币进行交易的能源，如煤炭、石油及其制品、焦炭、电力等。非商品能源是指那些一般不通过市场的能源，如某些传统能源，秸秆、薪柴、牲畜粪便等。虽然它们有时在当地市场上也有买卖，但规模很小，也未将其列入正式商品，称为非商品能源。

(4) 一次能源与二次能源 自然界现成存在，可直接取得而又不改变其基本形态的能源称为一次能源，或称初级能源，由一次能源经过加工转变成另一种形态的能源产品叫二次能源，也称次级能源。

(5) 农村能源 农村能源这个名词不是能源分类学上的一个概念，它是能源管理工作上的一种划分。其研究对象和内容是指农村当地各种自然资源的开发和利用，包括农村地区商品能源的供应和消费；能源技术应用、推广；能源使用中的管理；能源技术和产品的服务社会化和市场化问题等。因此，农村能源是个涵义很广的概念。

三、能源利用

1. 实物量单位

由于各种能源的形态不一样，在对实物量进行计量时往往采用不同的单位，例如，对固体燃料采用质量单位，气体燃料采用体积单位等。而且对于同一种能源，各国所用的计量单位也不一致。计量各种能源的实物量的单位称为“原始单位”。表 1-2 是一些常用的能源计量单位。

表 1-2 能源计量的单位

能源种类	单位	使用的国家和地区
各种固体燃料 液体燃料	吨	世界各国
原油	吨 桶	中国、前苏联、东欧各国 西方各国、各发展中国家
各种成品油	吨 升 加仑	中国、前苏联、东欧各国 中国、前苏联、东欧各国 西方各国
气体燃料	标准立方米 标准立方英尺 按所含热量计算	中国、前苏联等 西方各国
电力	千瓦时	世界各国

2. 通用单位

能源统计要反映多种能源的相互关系，就必须用共同的单位去计量不同的能源。不同的对象能找到一种通用的度量单位的先决条件是这些被研究对象必须要有共同的属性。

各种能源的共同属性之一是都有货币形式表现的价值，所以能源价格可以作为能源的一种通用度量单位。这一属性是所有社会产品所共有的性质，因此，在整个国民经济的综合平衡投入-产出分析中常采用价值表现形式。但是在能源统计分析中用这种通用单位并不理想，因为一方面各种能源的价格是在不断变化的，变化的比例还常常不同；另一方面，它也不反映能源系统内各种技术工艺过程的相互联系以及能源使用与相互替代所依据的基本属性。

各种能源的另一个共同的属性是都含有能。在一定的条件下都可以转化为热。这就是各种能源使用、替代及相互间进行物理或化学转化过程时所依据的基本属性。所以，很自然地选用各种能源所含的热量作为统计计量的通用单位。

在用热量作为通用单位时有两种方法：一种是直接用热量单位；另一种是折合成某种燃料当量作为通用单位（称为“标准煤”或“标煤”），因为我国能源中以煤为主，多年来均沿用此单位。我国规定每千克煤当量为 29.3MJ。

实际应用的通用单位还是比较复杂的。燃料的热值又有总热量和净热量（我国称它们为高位热值与低位热值之分）。卡是很多国家能源计量单位的基础，但它所包含的能量大小却随卡的定义不同而稍有差异。

1969 年国际计量委员会建议废除卡作为热量单位，采用国际单位制(SI)中的焦耳作为能、功和热的单位，其定义为 1 国际安培电流在 1 国际欧姆电阻上 1 秒钟内消耗的电能，采用国际统一单位，在保证信息传递的一致性和准确性方面有很大好处，可以避免混乱，节省大量人力物力。为了向国际标准单位过渡，许多国家和国际组织在采用其他单位的同时，也应用了这个单位。我国国家标准总局发布的国家标准（GB 2586—91 和 GB 2589—81）中对此也做了相应规定。我国现已正式推行以国际单位制单位为基础，同时选用了一些非国际单位制的单位构成了“中华人民共和国法定计量单位”（简称法定单位）。法定单位中的能量单位为焦（焦耳）。但在现行能源统计中仍然常常沿用非法定单位——标煤。

3. 燃料的发热量——热值

完全燃烧一个单位的燃料所发出的热量，称为燃料的发热量或热值。燃料发热量分高位发热量和低位发热量。高位发热量指燃料的最大可能发热量。由于燃料中含水和燃料燃烧后生成的水都要吸收热量汽化，汽化的水蒸气将随排烟进入大气，汽化潜热就不可能被利用，因此，在高位发热量中扣除汽化潜热后就是低位发热量。在计算中，一般都用低位发热量作为燃料的热值。

燃料发热量的大小决定于燃料中碳、氢的含量，其数值一般由试验测定，热值的单位用 kJ/kg、kJ/m³ 或标准煤等。

第二节 太阳与地球

太阳能取之不尽，用之不竭，既无污染，又不需运输，是理想和洁净的可再生能源，也是人类可利用能量的最大源泉之一。但太阳能又是一种低能流密度的能源，太阳辐射能在到达人类居住的地面上时，还受到日夜和气候变化的影响所以，要有效地利用太阳能，进行太阳能利用装置的设计、安装、使用和维护，应了解有关地球与太阳的运动规律、地球大气层的气象变化规律以及太阳辐射的基础知识。

一、地球与太阳的运动规律

众所周知，地球每天绕着通过它自身南极和北极的假想轴（地轴）自西向东地自转一周。每转一周(360°)为一昼夜，一昼夜又分为 24h，所以地球每小时自转 15°。

地球除了自转外，还围绕着太阳循着偏心率很小的椭圆轨道（黄道）运行，称为“公转”，地球在黄道上公转一周为一太阳年。

地球在黄道面上绕太阳运行时，地轴与黄道面的法线成 23°27′ 的夹角。而且地球的自转轴公转时在空间的方向始终不变，总是指向天球的北极。因此，地球处于运行轨道的不同位置时，阳光投射到地球上的方向也就不同，这就使得太阳光线有时直射赤道，有时偏北，有时偏

南，形成地球的四季变化。

地球公转一周，形成四季，四季的重要特征有两点：一是气温高低不同；二是昼夜长短互异。四季的形成主要是由赤纬角 δ 的变化而引起的。太阳光线与地球赤道平面夹角称为太阳赤纬角，简称赤纬，以“ δ ”表示，它是以年为周期的变化量，并规定以北为正值。图 1-1 表示地球绕太阳运行的四个典型的季节日的地球公转行程图，图 1-2 表示对应于上述四个典型季节日地球受到太阳照射的情况。

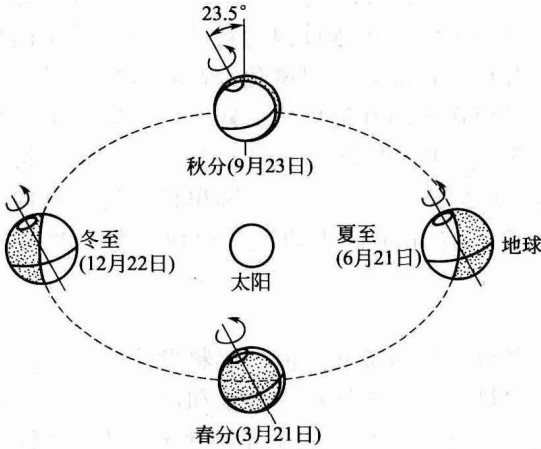


图 1-1 地球绕太阳运行示意

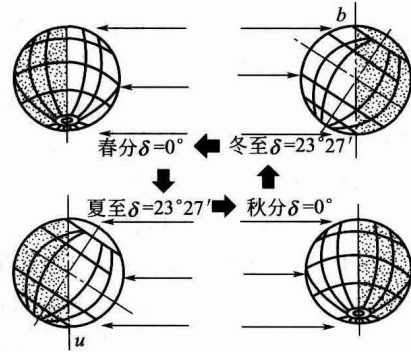


图 1-2 地球受太阳照射的变化

由于地球绕太阳公转，每天都处在运转轨道的不同点，即每天太阳光线直射在地球上的纬度都不相同。例如太阳光线在夏天最大变化到夏至日（约 6 月 22 日），正午时投射于北纬 $23^{\circ}27'$ ；冬天最小变化到冬至日（约 12 月 22 日），正午时投射于南纬 $23^{\circ}27'$ ；在春分日（约 3 月 22 日）正午垂直投射于赤道 0° ，在秋分日（约 9 月 22 日）正午再次垂直投射于赤道 0° 。太阳的赤纬角随季节在南纬 $23^{\circ}27'$ 与北纬 $23^{\circ}27'$ 之间来回变动，在地理纬度上将南、北纬 $23^{\circ}27'$ 的两条纬线称为南、北回归线。图 1-3 给出了中纬度地区一年内太阳的运行轨迹示意。

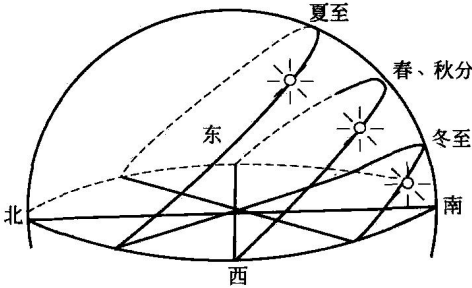


图 1-3 中纬度地区一年内太阳的运行轨迹示意

对于在某一地区随季节变化的太阳赤纬角，可由下式计算：

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

式中， n 为一年中从元旦日算起的天数，如春分， $n=81$ ，则 $\delta=0$ 。

自春分日算起的第 d 天的太阳赤纬为：

$$\delta = 23.45 \times \sin \left(\frac{2\pi d}{365} \right) \quad (1-2)$$

由于地球绕太阳运行的轨道是一椭圆，所以地球和太阳之间的距离在一年内是变化的，一月初，地球经过近日点，那时它离开太阳比日地平均距离短 1.7%，7 月初，地球经过远日点，那时离开太阳比日地平均距离长 1.7%；4 月初和 10 月初，地球至太阳的距离接近于日地平均距离。“日地平均距离”约等于 $1.495 \times 10^8 \text{ km}$ 。日地距离的不同会对到达地面的太阳辐照度有影响。

二、太阳角的计算

1. 太阳高度角

太阳高度角是太阳辐射测量和太阳能利用研究中不可缺少的基本参量。在讨论地球的自转和公转对地球上昼夜和四季变化的关系时，若先不考虑地球的公转，则地球每 24h 自转一周，形成昼夜；因为地球由西向东自转，所以从北半球的某一纬度来说，看到太阳东升西落，太阳光线与地平面之间的夹角随着时间的不同而有所变化。太阳光线与地平面之间的夹角就称为太阳高度角或简称太阳高度，用 h 表示，如图 1-4 所示。

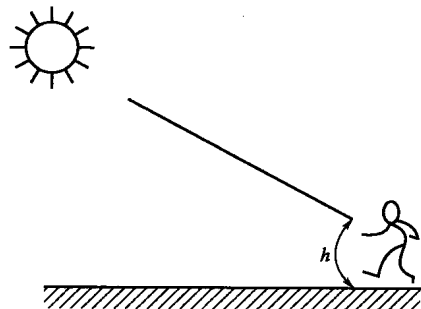


图 1-4 太阳高度角

太阳高度一天中每时每刻都在变化，在天文学中，太阳高度角 h 可通过下式求出：

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (1-3)$$

式中， ϕ 为观测点的地理纬度； δ 为当日观测时刻的太阳赤角； ω 为观测时刻的太阳时角；其单位均以度计。

太阳的时角 ω 定义为：在正午时 $\omega=0$ ，每隔 1h 绝对值增大 15° ，上午为正，下午为负。例如：上午 11 时， $\omega=15^\circ$ ；上午 8 时， $\omega=15^\circ \times (12-8)=60^\circ$ ；下午 1 时， $\omega=-15^\circ$ ；下午 3 时 $\omega=-15^\circ \times 3=-45^\circ$ 。

正午时， $\omega=0$ ， $\cos \omega=1$ 。式(1-3)可以简化为：

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta = \cos(\phi - \delta)$$

因为 $\cos(\phi - \delta) = \sin[90 \pm (\phi - \delta)]$

所以 $\sin h = \sin[90 \pm (\phi - \delta)] \quad (1-4)$

正午时，若太阳在天顶以南，即 $\phi > \delta$ ，取 $\sin h = \sin[90 - (\phi - \delta)]$ ，从而有：

$$h = 90 - \phi + \delta \quad (1-5)$$

在南北回归线内，有时正午，太阳正对天顶，则有 $\phi = \delta$ ，从而， $h = 90^\circ$ 。

由式(1-3)可以计算出任何纬度、任何季节、任何时刻的太阳高度角。需要注意的是，在进行计算时作如下规定：对于北半球，地理纬度取正值；太阳赤纬角在太阳位于赤道以北时取正值，位于赤道时取 0° ，位于赤道以南时取负值。太阳高度角也可通过简单的图算方法得到，读者可查阅有关的资料。

2. 太阳方位角

太阳方位角是指某一时刻，从地面某一观察点向太阳中心作连线，该连线在地平面上有一投影，该投影与正南方的夹角为太阳方位角。并规定正南方为 0° ，向西为正值，向东为负值，其变化范围为 $\pm 180^\circ$ 。方位角以 γ 表示。图 1-5 给出了太阳方位角和高度角的示意图。

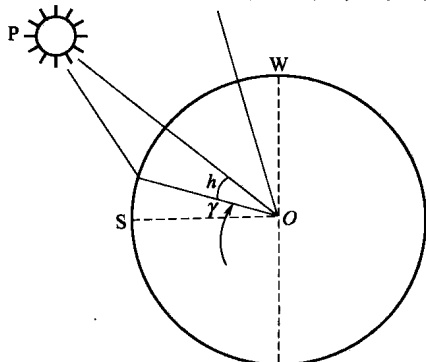


图 1-5 太阳方位角和高度角的示意

太阳方位角按下式计算：

$$\cos \gamma = \frac{\sin h \sin \phi - \sin \delta}{\cos h \cos \phi} \quad (1-6)$$

也可用下式计算：

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

根据地理纬度、太阳赤纬及观测时间,利用式(1-6)或式(1-7)中的一个即可求出任何地区、任何季节某一时刻的太阳方位角。

一天当中,太阳高度角及方位角是不断变化的,同一时刻地球上不同地点的太阳高度角和方位角也不相同。太阳在天空中的位置通常也用这两个参量来描述。掌握太阳高度角和方位角的变化规律,对有效地利用太阳能具有重要意义。

3. 日照时间

日照时间是指昼长的时数,为一天中可能的日出到日落的时间。地面的日照时间,因地球自转和公转的关系,不同纬度地区的日照时间不同。夏季,北半球纬度越高,日照时间越长。冬季,北半球纬度越高,日照时间越短。

根据太阳高度角的计算公式(1-3),太阳在地平线的出没瞬间,其太阳高度角 $h=0$ 。若不考虑地表曲率及大气折射的影响,可以得出日出和日没时角的表达式:

$$\cos\omega = -\tan\phi\tan\delta \quad (1-8)$$

式中, ω 为日出或日没时角,以度表示,正为日没时角;负为日出时角。解式(1-8),可得

$$\omega = \arccos(-\tan\phi\tan\delta) \quad (1-9)$$

因为 $\cos\omega = \cos(-\omega)$, 所以式(1-9)有两个解:正根对应于日落时刻,负根对应于日出时刻。

由式(1-9)还可求得任何季节、任何纬度上的昼长。求出时角 ω 后,一天中可能的日照时间(昼长)可由下式给出:

$$N = \frac{2}{15} \arccos(-\tan\phi\tan\delta) \quad (1-10)$$

由式(1-8)可知,在两分日(春分日与秋分日), $\delta=0^\circ$, 则 $\cos\omega=0$, $\omega=\pm 90^\circ$, 相当于日出时间为早晨6点整,日落时间为晚上6点整,即日照时间为12h。另外, $\delta=0^\circ$ 说明两分日地球上各地的日出时间都相同,与地理纬度无关。而当 $\phi=0^\circ$ 时,也有 $\cos\omega=0$, 它表明地球赤道上一一年四季的日出、日落的时间都相同。

由于云和雾的影响,地面上实际的日照时间 n (可用日照计测量),一般都小于可能的日照时间 N , 两者的比值 n/N 称为相对日照(或日照百分率)。

三、太阳常数

太阳常数 I_0 的数值是指在日地平均距离时,地球大气上界垂直于太阳光线的单位面积上在单位时间内所接收到的太阳辐射的辐照度。其单位一般采用千瓦/米²。

如前所述,地球除自转外并循椭圆轨道绕太阳运行,这就说明太阳至地球之间的距离不是一个常数。如:一月一日是近日点,日地距离 1.471×10^8 km;七月一日是远日点,日地距离 1.521×10^8 km,一年中每天的日地距离都不一样。对于光和热来说,某一点的辐射强度与距光源(或热源)的距离平方成正比,这就意味着地球大气上界的太阳辐照度随日地距离不同而异。然而,由于日地间距很大,当日地距离等于其平均距离时,太阳张角才 $32'$, 这就是说,地球大气层外的太阳辐照度几乎是一常数,因此人们使用“太阳常数”来描述大气上界的太阳辐照度。

过去,由于世界各地所定的太阳常数标度不统一,太阳常数的数值有不少差异。现在已能用气球、火箭、卫星等高新技术在空间进行测量,提高了太阳常数的测量精度。1981年10月召开的世界气象组织仪器和观测方法委员会会议上确定太阳常数的数值为 1367 W/m^2 。

决定太阳常数的数值具有很重要的意义,因为掌握太阳辐射在大气中减弱的规律后,就可