



新能源和 可再生能源的利用

主 编 吴治坚

副主编 叶枝全 沈辉



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



新能源和可再生能源的利用

主 编 吴治坚

副主编 叶枝全 沈 辉

参编人员 (排名不分先后, 按章次排)

郑伟清 吴创之 陈柏铨 黄 聪

陈 严 朱德燕 许功铎 马伟斌

龚宇烈 陈恩鉴 高祥帆



机械工业出版社

新能源和可再生能源,是指太阳能、生物质能、风能、地热能和海洋能。由于这些能源的资源丰富,而且是清洁能源,运行费用又很低,因此深受世界各国的关注。本书将阐述这些能源的资源特性、应用技术和经济评价。重点是应用技术,包括基本原理、设计计算和工程应用等。

本书可供从事能源工作的教学、设计、制造和运行人员参考;本书的各种地热发电方法也可供从事工业余热发电人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

新能源和可再生能源的利用/吴治坚主编. —北京:机械工业出版社, 2006.1

ISBN 7-111-18057-7

I. 新… II. 吴… III. ①能源-新技术②再生资源:
能源-资源利用 IV. TK01-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 146164 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 李万宇

责任编辑: 郑 铨 版式设计: 霍永明 责任校对: 姚培新

封面设计: 王伟光 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·23.25 印张·574 千字

0 001—4 000 册

定价: 39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

能源是经济发展的物质基础，为保证国民经济的可持续发展，必须有可持续供应的能源作为支撑。随着我国经济的快速增长，能源需求逐年上升，能源进口也逐年增加，加上我国能源结构是以煤炭为主，因此由经济发展带来的能源安全 and 环境问题已日益突出。从能源安全、减少污染、改善生态环境和立足于本国资源诸方面来考虑，开发利用安全、可靠的清洁能源——新能源和可再生能源，并提高其在能源结构中的比重，将是实现经济社会可持续发展的一种重要保证。

随着我国《可再生能源法》的实施，国家已将可再生能源的开发利用列为能源发展的优先领域，配合有关鼓励政策的执行，将会推动新能源和可再生能源在研究、开发、生产以及市场的建立和发展方面起着关键的积极作用，并为新能源和可再生能源的规模化发展奠定基础。这对我国能源事业的发展将具有战略意义。编写本书亦即是为此战略目标服务。

新能源和可再生能源，包括太阳能、生物质能、风能、地热能和海洋能，本书将阐述这些能源的资源特性、应用技术和经济评价。重点是应用技术，包括基本原理、设计计算和工程应用等。

作为应用技术，希望读者能“学以致用”，因此本书将根据需要，在一些章节中附有工程应用实例和计算例题。

本书可供从事能源工作的教学、设计、制造、运行人员参考；本书的各种地热发电方法也可供从事工业余热发电人员参考。

参加本书编写的主要是中国科学院广州能源研究所的研究人员，以及汕头大学和中山大学的有关专家。各作者所负责编写的内容，是其从事工作和研究的领域，因此能反映学科的最新进展，和工程应用方面的有关情况。

本书编写分工如下：

第1章 太阳能利用，1.0~1.9节由郑伟清编写，2.0~2.5节由沈辉编写；
第2章 生物质能利用，1.1~1.2、3.1~3.2节由陈柏铨编写，2.1~2.3节由黄聪编写，4.1~4.8节由吴创之编写；第3章 风能利用，由叶枝全、陈严编写；
第4章 地热能利用，1.1~1.3节由朱德燕编写，2.1~2.8节由吴治坚编写，

3.1、3.5、3.6节由许功铎编写，3.2节由马伟斌编写，3.3~3.4节由龚宇烈编写；第5章 海洋能利用 1.1~1.4节由陈恩鉴编写，2.1~2.7节由高祥帆编写。全书由吴治坚统稿。

本书在编写过程中，天津大学吕灿仁教授和蔡义汉教授提出若干宝贵意见，并寄来有关学科最新进展的一些资料，吴静怡同志在绘图和电脑工作方面付出诸多劳动，这里一并表示谢意！

由于编者水平有限，书中难免会有错误和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2005年8月

于中国科学院广州能源研究所

目 录

前言

第 1 章 太阳能利用	1
1.1 太阳能光热转换技术	1
1.1.0 概述	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.1.1 太阳角	1
1.1.1.2 太阳辐射能	3
1.1.1.3 传热方式及其公式	5
1.1.1.4 太阳集热器的方位及其倾角	8
1.1.1.5 建筑物、集热器、水箱阴影的确定	9
1.1.2 太阳集热器	10
1.1.2.1 集热器分类	10
1.1.2.2 平板型集热器	11
1.1.2.3 集热器的能量平衡方程式	14
1.1.2.4 集热效率	15
1.1.3 太阳热水系统	18
1.1.3.1 系统组成	18
1.1.3.2 工作原理和运行方式	18
1.1.3.3 系统设计	21
1.1.3.4 系统布置	23
1.1.4 太阳能与建筑物一体化的设计	25
1.1.4.1 天窗式	25
1.1.4.2 壁挂式	25
1.1.4.3 分体式	25
1.1.4.4 示范性太阳能绿色住宅的设计	26
1.1.5 太阳能干燥	26
1.1.5.1 太阳能干燥装置分类	26
1.1.5.2 太阳能干燥系统的设计计算	27
1.1.5.3 太阳能干燥系统的设计要求	29
1.1.6 太阳游泳池	30
1.1.6.1 太阳游泳池的设计要求	30
1.1.6.2 设计计算	30
1.1.6.3 系统布置	31

1.1.7 太阳能海水淡化	32
1.1.7.1 太阳蒸馏器	32
1.1.7.2 太阳能多级闪蒸海水淡化装置	34
1.1.8 太阳能制冷空调	35
1.1.8.1 太阳能制冷空调的种类	35
1.1.8.2 太阳能制冷空调的原理	36
1.1.8.3 太阳能热泵系统	36
1.1.9 太阳能热发电	37
1.1.9.1 热发电系统组成	37
1.1.9.2 塔式太阳能热发电系统	37
1.1.9.3 抛物面槽式太阳能热发电系统	38
1.1.9.4 太阳能场控制系统	38
1.2 太阳能光电转换技术	39
1.2.1 概述	39
1.2.1.1 国内外光伏发展现状与趋势	39
1.2.1.2 我国光伏产业现状与存在问题	41
1.2.1.3 光伏发展机遇和对策	41
1.2.2 太阳电池	42
1.2.2.1 发展历史	42
1.2.2.2 半导体基础	42
1.2.2.3 太阳电池原理	43
1.2.2.4 太阳电池工艺	44
1.2.2.5 太阳电池理论分析	44
1.2.2.6 太阳电池的效率	45
1.2.2.7 太阳电池分类	46
1.2.2.8 太阳电池的发展	49
1.2.3 太阳电池组件	50
1.2.3.1 太阳电池组件发展现状	50
1.2.3.2 封装材料	51
1.2.3.3 太阳电池组件制造设备	53
1.2.3.4 太阳电池组件封装工艺	54
1.2.4 光伏系统	56
1.2.4.1 光伏系统的组成和原理	56
1.2.4.2 光伏系统设计	57
1.2.4.3 光伏系统设计软件介绍	60
1.2.5 光伏技术应用	62
1.2.5.1 光伏技术在太空的应用	62
1.2.5.2 太阳能灯	63
1.2.5.3 太阳能车和游艇	64

1.2.5.4 太阳能光伏在高速公路上的应用	66
1.2.5.5 太阳能光伏在通信方面的应用	66
1.2.5.6 太阳能光伏在家电产品中的应用	67
1.2.5.7 光伏建筑一体化 (BIPV、BAPV)	67
1.2.5.8 光伏电站	70
本章参考文献	71
第2章 生物质能利用	73
2.1 生物质能概述	73
2.1.1 生物质能的概念	73
2.1.2 生物质能资源	73
2.1.2.1 森林能源	74
2.1.2.2 农作物秸秆	74
2.1.2.3 禽畜粪便	74
2.1.2.4 生活垃圾	74
2.1.2.5 能源作物	75
2.2 沼气发酵及其利用	77
2.2.1 沼气发酵概述	77
2.2.2 沼气发酵与应用	78
2.2.2.1 家用沼气发酵工艺	78
2.2.2.2 家用沼气池设计与施工	81
2.2.2.3 沼气在动力上的应用	86
2.2.2.4 办沼气的效益	87
2.2.3 大中型沼气工程技术	90
2.2.3.1 概述	90
2.2.3.2 大中型沼气工程的调控指标	91
2.2.3.3 提高厌氧消化装置效率的途径	92
2.2.3.4 大中型沼气工程工艺简介	94
2.2.3.5 大中型沼气工程设计	97
2.2.3.6 大中型沼气的启动	98
2.2.3.7 大中型沼气的运行管理与维护保养	100
2.2.3.8 大中型沼气工程安全防护	102
2.3 微生物能量转换技术	103
2.3.1 生物质液化	103
2.3.1.1 能源甘蔗(糖类)生产燃料乙醇的技术	104
2.3.1.2 木薯(淀粉类)生产燃料乙醇的技术	104
2.3.1.3 纤维素生产燃料乙醇的技术	108
2.3.2 产油微生物——高产烃的丛粒藻	109
2.4 生物质气化技术	111

2.4.1 生物质原料	111
2.4.1.1 生物质及资源	111
2.4.1.2 生物质热化学特性	112
2.4.1.3 生物质物理特性	114
2.4.2 生物质气化原理	115
2.4.2.1 主要气化反应	116
2.4.2.2 气化过程	116
2.4.2.3 气化过程的控制参数及指标	118
2.4.3 气化介质	119
2.4.3.1 空气气化	119
2.4.3.2 氧气气化	119
2.4.3.3 水蒸气气化	119
2.4.3.4 空气(氧气) + 水蒸气气化	119
2.4.3.5 热分解气化	120
2.4.3.6 加氢气化	120
2.4.4 气化过程的反应动力学	120
2.4.5 生物质气化设备及工作原理	124
2.4.5.1 上吸式固定床气化炉	124
2.4.5.2 下吸式固定床气化炉	126
2.4.5.3 层式下吸式气化炉	127
2.4.5.4 流化床气化炉	127
2.4.5.5 循环流化床气化炉	128
2.4.5.6 双流化床气化炉	129
2.4.6 焦油裂解	130
2.4.6.1 焦油的主要成分	131
2.4.6.2 焦油裂解技术	132
2.4.7 生物质气化的直接应用	136
2.4.7.1 燃气直接燃烧应用	136
2.4.7.2 集中供气技术	137
2.4.8 生物质气化发电技术	138
2.4.8.1 气化发电工作原理	138
2.4.8.2 气化发电技术的分类	139
2.4.8.3 生物质燃气的净化技术	141
2.4.8.4 气化发电技术的应用	143
本章参考文献	151
第3章 风能利用	155
3.1 概述	155
3.1.1 风能利用的发展	155

3.1.1.1 风能利用的历史	155
3.1.1.2 风力发电的发展	155
3.1.2 风力机的类型	160
3.1.2.1 垂直轴风力机	160
3.1.2.2 水平轴风力机	160
3.1.3 风能资源	162
3.1.3.1 风能资源评估	162
3.1.3.2 我国风能资源的区别	162
3.1.4 风力机的能量输出	163
3.1.4.1 功率曲线	163
3.1.4.2 年能量生产	164
3.2 风力机基础理论	165
3.2.1 风力机的能量转换原理	165
3.2.1.1 风力机性能参数	165
3.2.1.2 风能转换的轴动量理论	166
3.2.1.3 叶片翼型理论	167
3.2.2 风轮空气动力学	168
3.2.2.1 水平轴风力机的叶素动量理论	168
3.2.2.2 Glauert 优化理论	170
3.2.2.3 叶素动量理论模型的修正	172
3.2.3 风力机结构动力学	174
3.2.3.1 作用在风力机上的载荷	174
3.2.3.2 气动弹性分析	176
3.2.3.3 结构动力学的几个重要问题	177
3.3 水平轴风力机主要部件	180
3.3.1 风轮	180
3.3.1.1 叶片	180
3.3.1.2 轮毂	183
3.3.2 机舱	185
3.3.2.1 主轴	185
3.3.2.2 主齿轮	186
3.3.2.3 液压系统	187
3.3.2.4 偏航系统	188
3.3.3 塔架	190
3.3.3.1 塔架类型	190
3.3.3.2 塔架载荷分析	191
3.3.4 基础	193
3.3.4.1 基础承载分析	193
3.3.4.2 海上风力机基础结构	194

3.4 风力发电	196
3.4.1 离网型风力发电	197
3.4.1.1 独立的风电系统	197
3.4.1.2 风力-柴油发电联合系统	197
3.4.1.3 风力-太阳光发电联合系统	198
3.4.2 并网型风力发电	198
3.4.2.1 并网风力发电系统的构成	198
3.4.2.2 恒速恒频风力发电机的并网运行	200
3.4.2.3 变速恒频风力发电机的并网运行	201
3.4.3 风电场的选址	203
3.4.3.1 风能资源评估	203
3.4.3.2 场址的选择	203
3.4.3.3 风电机组的排列及尾流影响	204
3.4.4 风电场的运行与维护	204
3.4.4.1 风电场的运行	204
3.4.4.2 维护与检修	206
3.5 风力提水	206
3.5.1 风力提水机在我国的应用	206
3.5.2 风力提水机的工作原理	206
3.5.2.1 高扬程小流量风力提水机	207
3.5.2.2 低扬程大流量风力提水机	208
3.5.2.3 提水发电综合风能系统	208
3.5.3 风力提水机的配套水泵	209
3.5.3.1 活塞泵	209
3.5.3.2 龙骨水车	209
3.5.3.3 钢管水车	210
3.5.3.4 螺旋泵	210
3.5.3.5 螺杆泵	210
3.5.3.6 离心式泵	210
本章参考文献	211
第4章 地热能的利用	213
4.1 地热资源	213
4.1.1 地热能的基本概念	213
4.1.1.1 地球内部构造及其温度变化	213
4.1.1.2 地温梯度与大地热流	215
4.1.1.3 地热异常与地热异常区	216
4.1.1.4 地热田与热储	216
4.1.2 地热资源	217

4.1.2.1 地热资源的分布规律	217
4.1.2.2 地热资源的类型	217
4.1.2.3 地热资源的水化学特征	218
4.1.2.4 地热资源的勘探	219
4.1.2.5 地热资源的评价和评价方法	219
4.1.3 我国地热资源及其利用前景	221
4.1.3.1 我国地热资源的基本情况	221
4.1.3.2 我国地热资源的类型划分	224
4.1.3.3 我国地热资源的开发前景	225
4.1.3.4 地压地热和干热岩地热资源的探测研究及其重大意义	226
4.2 地热发电	227
4.2.1 地热发电概述	227
4.2.1.1 地热发电资源特性	228
4.2.1.2 地热发电与火力发电比较	228
4.2.1.3 地热发电的热力学基础	229
4.2.2 地热干蒸汽发电	233
4.2.3 地热水发电	237
4.2.3.1 带有深井泵的单级闪蒸地热水发电	237
4.2.3.2 带有深井泵的两级闪蒸地热水发电	240
4.2.3.3 双工质循环地热发电	244
4.2.4 地热湿蒸汽发电	252
4.2.4.1 分离蒸汽(一级闪蒸)地热发电	252
4.2.4.2 分离蒸汽-热水闪蒸(两级闪蒸)地热发电	253
4.2.4.3 单级闪蒸地热湿蒸汽发电	256
4.2.4.4 两级闪蒸地热湿蒸汽发电	258
4.2.4.5 全流系统地热发电	261
4.2.5 地压地热发电	262
4.2.6 干热岩地热发电	263
4.2.7 地热电站有关的几个问题	264
4.2.7.1 地热井口装置	264
4.2.7.2 地热流体输送	265
4.2.7.3 地热电站调节	265
4.2.7.4 地热电站的防腐防垢	265
4.2.7.5 地热电站的环境保护	266
4.2.7.6 地热电站的经济性	266
4.2.8 世界地热发电概况	267
4.2.8.1 世界地热发电进展	267
4.2.8.2 世界主要国家地热电站简介	267
4.2.8.3 我国地热发电及其发展前景	271

4.3 地热直接利用	272
4.3.1 地热直接利用概述	272
4.3.1.1 我国地热资源的特点及最佳开发模式	272
4.3.1.2 地热能利用的评价, 能量分析和焓分析	273
4.3.1.3 以旅游为轴线的地热资源梯级综合开发利用模式	274
4.3.1.4 地热开发利用中所要注意的问题	275
4.3.2 地热制冷	276
4.3.2.1 地热制冷系统组成	276
4.3.2.2 溴化锂吸收式制冷机的基础理论	276
4.3.2.3 两级溴化锂吸收式制冷机	278
4.3.2.4 单级和两级溴化锂吸收式制冷机性能的比较	284
4.3.2.5 地热制冷应用实例	285
4.3.3 地源热泵	286
4.3.3.1 地源热泵含义	286
4.3.3.2 地源热泵工作原理	286
4.3.3.3 地源热泵的特点和优势	288
4.3.3.4 地源热泵系统设计计算	288
4.3.3.5 地源热泵工程实例	292
4.3.4 地热供暖技术	295
4.3.4.1 地热供暖系统组成	295
4.3.4.2 地热供暖系统类型	295
4.3.4.3 地热供暖系统设计	296
4.3.4.4 地热供暖工程实例	300
4.3.5 地热干燥	303
4.3.5.1 物料干燥机理和干燥方法简介	303
4.3.5.2 地热干燥的特点及干燥器的选择	303
4.3.5.3 地热干燥系统的设计计算和热平衡	307
4.3.5.4 地热干燥工程实例	308
4.3.6 温泉疗养和各类功能的温泉池	310
4.3.6.1 温泉治疗和疗养	310
4.3.6.2 温泉浴池的设计	310
4.3.6.3 温泉池的热损失和能量平衡	311
4.3.6.4 温泉水力按摩池的设计	313
4.3.6.5 现代温泉游泳池的设计	315
4.3.6.6 温泉池的卫生安全、循环净化系统的原理设计	316
本章参考文献	318
第5章 海洋能利用	321
5.1 海洋热能利用	321

5.1.1 概述	321
5.1.2 资源情况及特点	321
5.1.2.1 海洋热平衡及温度场结构	321
5.1.2.2 海洋热能资源的分布及蕴藏量的估计	322
5.1.2.3 海洋热能资源的特点	322
5.1.3 可用于海洋热能转换的各种热力循环	324
5.1.3.1 朗肯循环	324
5.1.3.2 全流循环	329
5.1.4 海洋热能电站的设计原则和工程设施	330
5.1.4.1 海洋热能电站的布置形式和结构	331
5.1.4.2 海洋热能电站的厂用电估算	331
5.1.4.3 海洋热能电站的经济性评估	333
5.1.4.4 海洋热能开发的环境问题	333
5.2 海洋波浪能利用	334
5.2.1 概况	334
5.2.2 风浪的形成与发展	335
5.2.2.1 海浪的表现方式	336
5.2.2.2 不规则海浪的分布和表示法	336
5.2.2.3 风浪资料的获取方法	337
5.2.3 波浪的基本特征	338
5.2.3.1 波浪要素	338
5.2.3.2 波浪运动	339
5.2.3.3 波浪的传播与变化	340
5.2.4 波浪能的特征与计算	340
5.2.5 波浪能转换装置的基本方式	341
5.2.5.1 点吸式	342
5.2.5.2 衰减式	342
5.2.5.3 截止式	343
5.2.6 波浪发电基本环节的设计	343
5.2.6.1 选址	343
5.2.6.2 吸能体	344
5.2.6.3 能量转换	348
5.2.6.4 发电与输电	352
5.2.6.5 能量的调控与蓄能	352
5.2.6.6 安全与保护	354
5.2.7 波浪发电装置结构的载荷	355
本章参考文献	357

第 1 章 太阳能利用

1.1 太阳能光热转换技术

1.1.0 概述

太阳能利用技术从能量转换方式来分,有三种方式:即光热转换、光电转换和光化学转换。其中应用最广的是光热转换技术。它是将太阳辐射能转换成热能加以利用的技术。吸热体吸收太阳辐射后温度升高,再将所得热能通过传热工质传递,加以利用。太阳辐射一般从紫外到红外区都被物体吸收,但以 $0.4 \sim 1.9 \mu\text{m}$ 的可见光区和近红外光区辐射对光热利用价值最大。其系统由光热转换和热能利用两部分组成,前者为各种形式的太阳集热器,后者是根据不同使用要求而设计的各种用热装置。光热利用种类繁多,可按其使用温度的高低划分为低温 (200°C 以下)、中温 ($200 \sim 500^\circ\text{C}$) 和高温 (500°C 以上) 三大类。目前以 200°C 以下的低温热利用发展最快,应用面最广,取得了显著节能和环境效益,并已不断开发而形成一定规模产业。如家庭或集体单位供应热水及采暖用的各式太阳热水器、游泳池或鱼池越冬等用的太阳能加温、太阳能温室、太阳能干燥、太阳能制冷与空调、海水及苦咸水淡化、污水净化用的太阳能蒸馏、箱式太阳灶、太阳开水器、太阳消毒器、太阳水泵等。中温热利用技术,如太阳能水泵系统、聚光太阳灶、中温太阳热力发电等。高温热利用技术,如高温太阳炉(热处理等)、高温太阳热发电、太阳能焊接机等。中、高温应用则由于技术较复杂,材料和加工要求高及经济效益较小等情况,大多仍处于研究和试点的阶段。

1.1.1 基本概念

1.1.1.1 太阳角

地球上某处所接受到的太阳辐射能量的大小与太阳相对于地球的位置有关。换言之,地球表面上某一点所接受到日照的日变化和年变化,都是地球自转和它围绕太阳公转而引起的。地球公转一周形成一年的四季变化,春秋分日昼夜等长;夏至日太阳在一年中正午高度角最大,昼最长,夜最短;到了冬至日,太阳高度角最小,昼最短,夜最长。地球自转一周,使我们在地球上每天看到太阳东升西落的运动,这种现象称为太阳的周日视运动,它是地球每天自转的结果。地球自转一周为一天, 24 h , 旋转 360° 。

计算太阳在天球中对地球上某一点的相对位置,可以用地理纬度 (φ)、太阳赤纬 (角) (δ)、太阳高度角 (α)、太阳方位角 (γ) 及时角 (ω) 等太阳角进行定位。

1. 赤纬 (角) δ

地球中心和太阳中心的连线与地球赤道平面的夹角称为太阳赤纬 (角)。

$$\delta = 23.45\sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right)$$

(1-1)

n 为一年中的日期序号

为了计算方便，表 1-1 列出了各特征日季节、日期和太阳赤纬（角）的对照

表 1-1 赤纬、日期和节气对照表

节气	日期	赤纬	节气	日期	赤纬	节气	日期	赤纬
立春	2月4日	-16.4°	芒种	6月6日	22.6°	寒露	10月8日	-5.7°
雨水	2月19日	-11.5°	夏至	6月22日	23.5°	霜降	10月24日	-11.6°
惊蛰	3月6日	-6°	小暑	7月7日	22.7°	立冬	11月8日	-16.4°
春分	3月21日	0°	大暑	7月23日	20.2°	小雪	11月23日	-20.2°
清明	4月5日	5.8°	立秋	8月8日	16.3°	大雪	12月7日	-22.5°
谷雨	4月20日	11.3°	处暑	8月23日	11.6°	冬至	12月22日	-23.5°
立夏	5月6日	16.4°	白露	9月8日	6°	小寒	1月6日	-22.5°
小满	5月21日	20.1°	秋分	9月23日	0°	大寒	1月20日	-20.2°

2. 时角 ω

单位时间地球自转的角度定义为时角 ω ，规定正午时角为 0° ，上午时角为负值，下午时角为正值。地球自转一周 360° ，对应的时间为 24 h，即 1 h 相应的时角为 15° ，每 4 min 的时角为 1° 。

3. 太阳高度（角） α

太阳的高度角 α 是地球表面上某点和太阳的连线与地平线之间的夹角，参见图 1-1。太阳高度公式：

$$\sin\alpha = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega$$

(1-2)

式中 φ ——当地纬度；
 δ ——太阳赤纬；
 ω ——太阳时角。

4. 方位角 γ

太阳方位角 γ 是太阳至地面上某给定点的连线在地面上的投影与南向（当地子午线）之间的夹角。方位角从正午算起，上午为负值，下午为正值。它代表太阳光线的水平投影离正南的角度，由下式计算：

$$\sin\gamma = \frac{\cos\delta\sin\omega}{\cos\alpha}$$

(1-3)

当 $\sin\gamma$ 的计算值大于 1 时，改用下式进行计算：

$$\sin\gamma = \frac{\sin\alpha\sin\varphi - \sin\delta}{\cos\alpha\cos\varphi}$$

(1-4)

根据式 (1-2)、(1-3)，计算了广州地区和北京地区太阳高度角和方位角列于表 1-2。因不同地区就有不同纬度、太阳高度角及方位角，故无法一一列表。表 1-2 可供设计安装太阳集热器时参考。

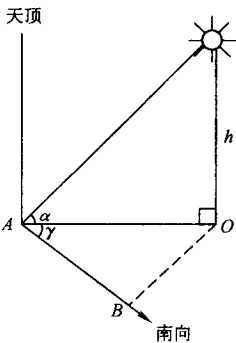


图 1-1 太阳高度角及方位角

表 1-2a 广州地区（北纬 23°）太阳高度角及方位角

节气	日期	时间 太阳角	7	8	9	10	11	12
			17	16	15	14	13	
夏至	6月22日	高度角 α	22.0°	35.3°	48.8°	62.5°	76.2°	89.6°
		方位角 γ	107.2°	103.3°	99.9°	97.0°	94.8°	0°
小满 大暑	5月21日 7月23日	高度角 α	21.0°	34.5°	48.3°	62.0°	75.8°	87.5°
		方位角 γ	103.5°	99.4°	95.0°	90.0°	81.5°	0°
谷雨 处暑	4月20日 8月23日	高度角 α	18.2°	32.0°	45.4°	59.2°	71.7°	78.5°
		方位角 γ	93.3°	89.7°	80.5°	73.1°	53.7°	0°
春分 秋分	3月21日 9月23日	高度角 α	13.8°	27.4°	40.6°	52.9°	62.8°	67.0°
		方位角 γ	84.0°	77.3°	68.7°	55.9°	34.5°	0°
雨水 霜降	2月19日 10月24日	高度角 α	9.0°	21.9°	34.0°	44.7°	52.5°	55.5°
		方位角 γ	73.4°	66.2°	56.8°	43.5°	24.6°	0°
大寒 小雪	1月21日 11月23日	高度角 α	5.1°	17.3°	28.4	37.8°	44.4°	46.8°
		方位角 γ	65.5°	58.4°	49.0°	36.4°	19.9°	0°
冬至	12月22日	高度角 α	3.6	15.5°	26.2°	35.2°	41.3°	43.6°
		方位角 γ	62.6°	55.5°	46.3°	34.1°	18.5°	0°

表 1-2b 北京地区（北纬 40°）太阳高度角及方位角

节气	日期	时间 太阳角	7	8	9	10	11	12
			17	16	15	14	13	
夏至	6月22日	高度角 α	26.0°	37.4°	48.9°	59.8	69.2°	73.5°
		方位角 γ	100°	91°	80°	65°	37°	0°
小满 大暑	5月21日 7月23日	高度角 α	24.0°	35.5°	46.9°	57.6°	66.3°	70.1°
		方位角 γ	96.8°	87.4°	76.4°	61.2°	35.4°	0°
谷雨 处暑	4月20日 8月23日	高度角 α	18.7°	30.2°	41.2°	51.0°	58.5°	61.4°
		方位角 γ	88.5°	79.2°	67.1°	51.2°	29.1°	0°
春分 秋分	3月21日 9月23日	高度角 α	11.4°	22.5°	32.8°	41.6°	47.7°	50.0°
		方位角 γ	80.3°	69.7°	57.3°	42°	22.7°	0°
雨水 霜降	2月19日 10月24日	高度角 α	3.8°	14.3°	23.7°	31.5°	36.6°	38.5°
		方位角 γ	71.6°	61.1°	49.2°	35.1°	18.4°	0°
大寒 小雪	1月21日 11月23日	高度角 α	—	7.9°	16.6°	23.6°	28.2°	29.8°
		方位角 γ	—	55.1°	43.8°	30.8°	16.0°	0°
冬至	12月22日	高度角 α	—	5.0°	13.9°	20.6°	25.0°	26.5°
		方位角 γ	—	53°	42°	29.3°	15.2°	0°

1.1.1.2 太阳辐射能

1. 太阳辐射

太阳辐射是指太阳光球向宇宙空间发射的电磁波。太阳对流区的外层称为光球，即肉眼