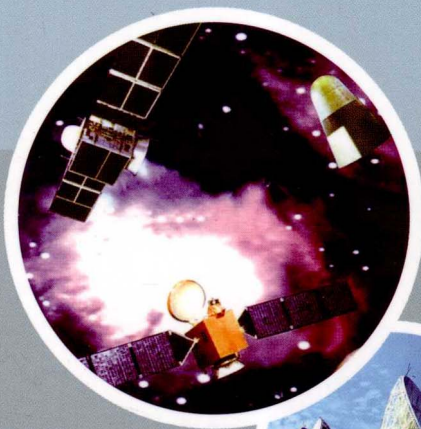




● 侯长来 主编

太阳跟踪装置与技术

Sun-tracking Devices and Techniques



 辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

辽宁省优秀自然科学著作

太阳跟踪装置与技术

侯长来 主编

辽宁科学技术出版社

沈阳

主 编：侯长来

参 编：张 威 高淑杰 纪 宏 黄志东

© 2012 侯长来

图书在版编目 (CIP) 数据

太阳跟踪装置与技术 / 侯长来主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2012.4

(辽宁省优秀自然科学著作)

ISBN 978-7-5381-7411-3

I. ①太… II. ①侯… III. ①太阳能利用 IV. ①S214

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第047862号

出版发行：辽宁科学技术出版社

(地址：沈阳市和平区十一纬路29号 邮编：110003)

印 刷 者：沈阳新华印刷厂

经 销 者：各地新华书店

幅面尺寸：185mm × 260mm

印 张：13.5

字 数：300千字

印 数：1 ~ 1000

出版时间：2012年4月第1版

印刷时间：2012年4月第1次印刷

责任编辑：李伟民

特邀编辑：王奉安

封面设计：嵘 嵘 吴莹莹

责任校对：刘 庶

书 号：ISBN 978-7-5381-7411-3

定 价：30.00元

联系电话：024-23284360

邮购热线：024-23284502

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

《辽宁省优秀自然科学著作》评审委员会

主 任：

康 捷 辽宁省科学技术协会党组书记、副主席

执行副主任：

黄其励 东北电网有限公司名誉总工程师

中国工程院院士

辽宁省科学技术协会副主席

副主任：

金太元 辽宁省科学技术协会副主席

宋纯智 辽宁科学技术出版社社长兼总编辑 编审

委 员：

郭永新 辽宁大学副校长

陈宝智 东北大学安全工程研究所所长

刘文民 大连船舶重工集团有限公司副总工程师

李天来 沈阳农业大学副校长

刘明国 沈阳农业大学林学院院长

邢兆凯 辽宁省林业科学研究院院长

辽宁省科学技术协会委员

吴春福 沈阳药科大学校长

辽宁省科学技术协会常委

张 兰 辽宁中医药大学附属医院副院长

王恩华 中国医科大学基础医学院副院长

李伟民 辽宁科学技术出版社总编室主任 编审

前 言

能源是经济社会发展的重要物质基础。工业革命以来,世界能源消费剧增,煤炭、石油、天然气等化石能源资源消耗迅速,生态环境不断恶化,特别是温室气体排放导致日益严峻的全球气候变化,人类社会的可持续发展受到严重威胁。能源问题是全世界未来难以回避的问题,不可再生能源日趋枯竭,发展低碳经济、开发和利用可再生能源势在必行。

目前,中国已成为世界能源生产和消费大国,但人均能源消费水平还很低。随着经济和社会的不断发展,中国能源需求将持续增长。增加能源供应、保障能源安全、保护生态环境、促进经济和社会可持续发展,是中国经济和社会发展的一项重大战略任务。

开发和利用可再生能源是世界能源发展的大趋势,是进行可持续发展的必由之路。全方位、高效率地利用太阳能是科技界关注的技术问题,太阳跟踪装置与技术是高效利用太阳能的基础和前提,是提高太阳能装备收益的支撑要件。近年来,太阳能的应用范围日益广泛,应用形式逐步多样化,诸如太阳能集热器、光伏发电、海水淡化、太阳能制氢等,都希望高效接收和利用太阳能。为了加快可再生能源的发展,促进节能减排,积极应对气候变化,更好地满足我国经济和社会可持续发展的需要,开发和研制经济、实用、安全、可靠的太阳自动跟踪装置十分必要。目前,我国太阳跟踪装置的开发和利用还处于起步阶段,主要应用在太阳能集热器、光伏发电、气象观测、太阳能路灯等领域,可提高太阳能接收率30%~40%。

为了积极响应和贯彻国家发展和改革委员会《可再生能源中长期发展规划》,推动我国经济发展与社会进步,特编写本书。书中材料主要来自作者单位近年来的研究成果和发表的论文,同时也选取了国内外从事太阳跟踪装置与技术的一些专家、学者的最新科研成果和学术论文,借以丰富本书的内容,展现技术创新和多样化。

我国太阳跟踪装置与技术的研究和应用虽然取得了显著的进展,但毕竟处于起步阶段,有许多概念和技术有待于工程实践的检验和国家有关政策的支持。相信今后会有更多更好的实用技术和示范经验,本书只是在我国可再生能源的利用和发展中起到一个前导性的作用。

本书介绍了当前国内外太阳跟踪装置与技术的发展状况以及太阳跟踪装置产品的类型、原理和应用,分析了太阳跟踪装置与技术的节能潜力和发展模式,给出了近年来太阳跟踪装置与技术在太阳能集热器、光伏发电、太阳能路灯、太阳灶、太阳辐射观测领域的研究成果和应用实例,对各种太阳跟踪装置的跟踪原理和结构进行了详细的分析,可供高等院校、科研院所和相关工程技术人员参考。

本书由辽宁科技学院侯长来、张威、高淑杰、纪宏、黄志东编著,侯长来任主编,第2部分由张威编写,第3部分由纪宏编写,第4部分由黄志东编写,第5部分由高淑杰编写,第1、第6部分由侯长来编写,全书由侯长来统稿和修改。

本书的编写和出版,得到了辽宁省科学技术协会、本溪市科学技术协会、辽宁省可再生能源学会的大力支持,特别是得到了辽宁省科协对优秀自然科学专著的经费支持,使得本书得以顺利出版。

本书作者虽尽努力,但由于时间仓促、水平有限,书中定有不少疏漏、不妥之处,敬请读者批评指正,提出宝贵意见,以便今后修订、补充。

侯长来

2011年5月5日

目 录

1 概论	001
1.1 开发利用太阳能的重大意义	001
1.2 太阳能开发利用的进展概况	001
1.2.1 国际概况	001
1.2.2 国内概况	003
1.3 太阳能的转换及其应用	004
1.3.1 太阳辐射特性	004
1.3.2 太阳能热电转换	006
1.3.3 太阳能光电转换	008
1.3.4 太阳能光化学转换	015
1.4 太阳跟踪装置及其工作原理	016
1.4.1 单轴、双轴太阳跟踪装置	016
1.4.2 光电传感器跟踪、太阳运行轨迹跟踪	017
1.4.3 开环、闭环、混合控制方式	018
2 光伏发电太阳跟踪装置	020
2.1 光伏发电太阳跟踪装置应用简介	020
2.1.1 太阳能光伏发电概述	020
2.1.2 光伏发电产业发展概况	022
2.1.3 国内外光伏发电太阳跟踪装置的应用	025
2.2 基于单片机控制的光伏发电太阳跟踪装置	027
2.2.1 光伏发电太阳跟踪装置的工作原理	027
2.2.2 基于单片机控制的光伏发电太阳跟踪原理	028
2.3 光伏发电太阳跟踪装置的机构设计	030
2.3.1 太阳跟踪装置机构设计的基本要求	030
2.3.2 光伏发电太阳跟踪装置的机构	031
2.4 基于单片机的太阳跟踪装置控制系统	037
2.4.1 控制系统工作原理	037
2.4.2 步进电机的单片机控制	038

2.4.3	控制系统电路图	040
2.4.4	程序框图	040
2.4.5	控制系统的软件设计	042
2.5	典型光伏发电太阳跟踪装置主要器件简介	046
2.5.1	AT89C52 Flash 单片机	046
2.5.2	光伏电池	051
2.5.3	光电传感器简介	058
2.5.4	蓄电池	060
2.5.5	聚光器	063
3	太阳能集热器太阳跟踪装置	067
3.1	太阳能集热器及其跟踪装置简介	067
3.1.1	太阳能集热器简介	067
3.1.2	太阳能集热器太阳跟踪装置简介	067
3.2	太阳能集热器太阳跟踪装置工作原理	069
3.2.1	太阳跟踪方式	069
3.2.2	双轴跟踪装置的组成	070
3.2.3	太阳跟踪原理	071
3.3	太阳能集热器太阳跟踪装置的机构设计	072
3.3.1	集热器太阳跟踪装置机构组成	072
3.3.2	跟踪台的调整	073
3.4	太阳能集热器太阳跟踪装置的控制系统	074
3.4.1	控制系统总体设计	074
3.4.2	控制系统的硬件组成	075
3.4.3	太阳跟踪与聚集系统软件设计	080
3.5	太阳能集热器太阳跟踪装置主要器件简介	084
4	太阳能路灯太阳跟踪装置	085
4.1	国内外太阳能路灯太阳跟踪装置应用简介	085
4.1.1	国内太阳能路灯的应用	085
4.1.2	太阳能路灯简介	086
4.1.3	国外太阳能路灯的应用	090
4.1.4	太阳能路灯太阳跟踪装置的应用	091
4.2	太阳能路灯太阳跟踪装置工作原理	095
4.2.1	太阳能路灯太阳跟踪原理	095
4.3	太阳能路灯太阳跟踪装置的机构设计	097

4.3.1	太阳跟踪平台概述	097
4.3.2	太阳跟踪装置的机构设计	101
4.4	太阳能路灯太阳跟踪装置的控制系统	107
4.4.1	太阳能路灯及其附件	107
4.4.2	太阳能路灯控制系统简介	108
4.4.3	太阳能路灯太阳跟踪装置控制系统简介	115
4.5	太阳能路灯太阳跟踪装置主要器件简介	117
4.5.1	光电传感器	117
4.5.2	光敏二极管	119
4.5.3	光敏三极管	120
5	太阳灶太阳跟踪装置	123
5.1	国内外太阳灶及其跟踪装置研究概况	123
5.1.1	概述	123
5.1.2	太阳跟踪装置研究现状	124
5.1.3	跟踪装置主要组成部分	127
5.1.4	跟踪方式	127
5.1.5	一种全自动太阳跟踪器的简介	129
5.2	典型太阳灶太阳跟踪装置	129
5.2.1	自给动力式太阳跟踪装置的原理	129
5.2.2	自给动力式太阳跟踪装置的结构	129
5.2.3	自给动力式太阳跟踪装置的工作过程	131
5.2.4	应用特点	131
5.2.5	其他太阳跟踪装置原理简介	132
5.3	太阳灶太阳跟踪装置的机构设计	134
5.3.1	太阳自动跟踪装置存在的问题	134
5.3.2	新型太阳自动跟踪装置控制部分结构设计及原理	134
5.3.3	太阳跟踪装置的机构设计	136
5.3.4	其他太阳灶太阳跟踪装置机构简介	138
5.4	典型太阳灶太阳跟踪装置的控制系统	143
5.4.1	控制系统工作原理	144
5.4.2	步进电机的单片机控制	144
5.4.3	主要控制功能	145
5.4.4	单片机控制电路	146
5.5	太阳灶太阳跟踪装置主要部件简介	148
5.5.1	步进电机	148

5.5.2 减速器	149
5.5.3 传感器	150
5.5.4 太阳能集热器	153
6 气象观测太阳跟踪装置	155
6.1 气象观测太阳跟踪装置研究概况	155
6.1.1 平面双轴太阳自动跟踪装置	155
6.1.2 自给动力太阳跟踪装置	158
6.1.3 球面反射正交双轴太阳自动跟踪装置	160
6.1.4 TZG-1 全自动太阳跟踪系统	164
6.1.5 太阳自动跟踪直接辐射表 (日照计)	164
6.1.6 FH FST-I 太阳跟踪器控制器	164
6.1.7 AST-01 全自动太阳跟踪器	164
6.1.8 太阳紫外光谱辐射计及其太阳跟踪器	165
6.2 气象观测太阳跟踪装置的工作原理	167
6.2.1 问题引出	167
6.2.2 自动跟踪太阳的工作原理	168
6.2.3 全自动太阳跟踪装置的应用特点	170
6.2.4 全自动太阳跟踪装置的主要功能	171
6.3 气象观测太阳跟踪装置的传动系统	172
6.3.1 执行机构	172
6.3.2 定位系统	173
6.3.3 传动系统	175
6.4 气象观测太阳跟踪装置的控制系统	175
6.4.1 2 种太阳跟踪模式及其特点	175
6.4.2 传感器太阳跟踪控制模式	176
6.4.3 太阳运行轨迹跟踪控制模式	179
6.4.4 双模式控制太阳跟踪装置的软件系统	183
6.5 气象观测智能型全自动太阳跟踪装置实验运作结果	186
6.5.1 直接辐射的测量	187
6.5.2 散射辐射的自动测量	187
6.5.3 总辐射的准确测量	187
6.5.4 大气长波辐射的准确测量	187
6.5.5 日照时数的准确测量	188
6.5.6 其他应用	188
6.6 2 种太阳跟踪装置对照分析	188

6.7 太阳跟踪装置主要部件简介	190
6.7.1 谐波齿轮减速器	190
6.7.2 光电传感器阵列布置	192
6.7.3 反应式步进电机	193
6.7.4 步进电机驱动器	198
参考文献	199

1 概 论

1.1 开发利用太阳能的重大意义

能源是经济社会发展的重要物质基础。能源问题是全世界未来难以回避的问题,不可再生能源日趋枯竭,发展低碳经济,开发和利用可再生能源势在必行。

能量以电的形式出现,是现代社会文明的重要标志和基础,“电力技术是通向可持续发展的桥梁”,这个论断已经成为共识,人们总是尽可能把一次能源转换为电能使用,电力在终端能源中的比例正在不断提高。但是随着电能利用比例的提高,也带来了很多的问题。一方面,用于发电的传统一次能源,如煤炭、石油等的贮藏量有限,根据目前所探明的储量和消费量计算,石油可用40多a,天然气可用60多a,煤可用20a左右。我国一次能源状况也和世界相仿,国家1999年政府白皮书估计,目前我国石油剩余可采储量为32.736亿t,可供开采20a;天然气剩余可采储量11 704亿m³,可供开采60a;煤炭剩余可采储量为1 145亿t,可供开采不足百年。随着科技的发展、人口的增长等,整个世界面临着能源需求量成倍增长的挑战。另一方面,这些化石能源的大量开采和利用是造成大气和其他类型污染与人类生存环境恶化的主要原因之一,如燃烧化石能源所排放出的二氧化碳和含氧硫化物直接导致了地球温室效应和酸雨的产生。如何在开发和利用能源的同时保护好人类赖以生存的地球生态环境,已经成为一个全球性的重大问题。

形势非常严峻,要在有限资源和环境保护要求的双重制约下发展经济,这就要求我们所寻求的替代能源必须是可再生的清洁能源。因此,开发利用风能、太阳能等可再生的绿色能源,风力发电、太阳能发电、垃圾发电、燃料电池等环保型发电新技术,在世界范围内迅速发展。其中太阳能应用技术及其独特的优势更是得到人们的青睐。

1.2 太阳能开发利用的进展概况

1.2.1 国际概况

人类利用太阳能已有3 000多a的历史,将太阳能作为一种能源和动力加以利用,则只有300多a的历史。真正将太阳能作为“近期急需的补充能源”、“未来能源结构的基础”,则是近年来的事。20世纪70年代以来,太阳能科技突飞猛进,太阳能利用日新

月异, 20 世纪的 100 a 间, 太阳能科技发展历史大体可分为 7 个阶段。

第 1 阶段 (1900—1920 年)。在这一阶段, 世界上太阳能研究的重点仍是太阳能动力装置, 但采用的聚光方式多样化, 且开始采用平板集热器和低沸点工质, 装置逐渐扩大, 最大输出功率达 73.64 kW, 实用目的比较明确, 造价很高。

第 2 阶段 (1920—1945 年)。在这 20 多 a 中, 太阳能研究工作处于低潮, 参加研究工作的人数和研究项目大为减少, 其原因与矿物燃料的大量开发利用和发生第二次世界大战 (1935—1945 年) 有关, 而太阳能又不能解决当时对能源的急需, 因此使太阳能研究工作逐渐受到冷落。

第 3 阶段 (1945—1965 年)。在第二次世界大战结束后的 20 a 中, 一些有远见的人士已经注意到石油和天然气资源正在迅速减少, 呼吁人们重视这一问题, 从而逐渐推动了太阳能研究工作的恢复和开展, 并且成立太阳能学术组织, 举办学术交流和展览会, 再次兴起太阳能研究热潮。在这一阶段, 太阳能研究工作取得一些重大进展。

第 4 阶段 (1965—1973 年)。这一阶段, 太阳能的研究工作停滞不前, 主要原因是太阳能利用技术处于成长阶段, 尚不成熟, 并且投资大, 效果不理想, 难以与常规能源竞争, 因而得不到公众、企业和政府的重视和支持。

第 5 阶段 (1973—1980 年)。自从石油在世界能源结构中担当主角之后, 石油就成为左右经济和决定一个国家生死存亡、发展和衰退的关键因素, 1973 年 10 月爆发中东战争, 石油输出国组织采取石油减产、提价等办法, 支持中东人民的斗争, 维护本国的利益。其结果是使那些依靠从中东地区大量进口廉价石油的国家在经济上遭到沉重打击。于是, 西方一些人惊呼: 世界发生了“能源危机”(有的称“石油危机”)。这次“危机”在客观上使人们认识到: 现有的能源结构必须彻底改变, 应加速向未来能源结构过渡。从而使许多国家, 尤其是工业发达国家, 重新加强了对太阳能及其他可再生能源技术发展的支持, 在世界上再次兴起了开发利用太阳能的热潮。20 世纪 70 年代初, 世界上出现的开发利用太阳能热潮, 对我国也产生了巨大影响。一些有远见的科技人员, 纷纷投身太阳能事业, 积极向政府有关部门提建议, 出书办刊, 介绍国际上太阳能利用动态; 在农村推广应用太阳灶, 在城市研制开发太阳能热水器, 空间用的太阳电池开始在地面应用。各国加强了太阳能研究工作的计划性, 不少国家制定了近期和远期阳光计划。开发利用太阳能成为政府行为, 支持力度大大加强。国际间的合作十分活跃, 一些第三世界国家开始积极参与太阳能开发利用工作。

第 6 阶段 (1980—1992 年)。20 世纪 70 年代兴起的开发利用太阳能热潮, 进入 80 年代后不久开始落潮, 逐渐进入低谷。世界上许多国家相继大幅度削减太阳能研究经费, 其中美国最为突出。导致这种现象的主要原因是: 世界石油价格大幅度回落, 而太阳能产品价格居高不下, 缺乏竞争力; 太阳能技术没有重大突破, 提高效率 and 降低成本的目标没有实现, 以致动摇了一些人开发利用太阳能的信心; 核电发展较快, 对太阳能的发展起到了一定的抑制作用。受 80 年代国际上太阳能低落的影响, 我国太阳能研究工作也受到一定程度的削弱, 有人甚至提出: 太阳能利用投资大、效果差、贮能难、占地

广,认为太阳能是未来能源,主张外国研究成功后我国再引进技术。虽然,持这种观点的人是少数,但十分有害,对我国太阳能事业的发展造成不良影响。这一阶段,虽然太阳能开发研究经费大幅度削减,但研究工作并未中断,有的项目还进展较快,而且促使人们认真地去审视以往的计划和制定的目标,调整研究工作重点,争取以较少的投入取得较大的成果。

第7阶段(1992年至今)。由于大量燃烧矿物能源,造成了全球性的环境污染和生态破坏,对人类的生存和发展构成威胁。1992年以后,世界太阳能利用又进入一个发展期,其特点是:太阳能利用与世界可持续发展和环境保护紧密结合,全球共同行动,为实现世界太阳能发展战略而努力;太阳能发展目标明确,重点突出,措施得力,有利于克服以往忽冷忽热、过热过急的弊端,保证太阳能事业的长期发展;在加大太阳能研究开发力度的同时,注意科技成果转化为生产力,发展太阳能产业,加速商业化进程,扩大太阳能利用领域和规模,经济效益逐渐提高;国际太阳能领域的合作空前活跃,规模扩大,效果明显。

通过以上回顾可知,在本世纪100年间,太阳能发展道路并不平坦,一般每次高潮期后都会出现低潮期。太阳能利用的发展历程与煤炭、石油、核能完全不同,人们对其认识差别大,反复多,发展时间长。这一方面说明太阳能开发难度大,短时间内很难实现大规模利用;另一方面也说明太阳能利用还受矿物能源供应、政治和战争等因素的影响,发展道路比较曲折。尽管如此,从总体来看,20世纪取得的太阳能科技进步仍比以往任何一个世纪都大。

1.2.2 国内概况

当电力、煤炭、石油等不可再生能源频频告急,能源问题日益成为制约国际社会经济发展的瓶颈时,越来越多的国家开始实行“阳光计划”,开发太阳能资源,寻求经济发展的新动力。太阳能作为一种可再生的新能源,越来越引起人们的关注。中国蕴藏着丰富的太阳能资源,太阳能利用前景广阔。我国比较成熟的太阳能产品有2项:太阳能光伏发电系统和太阳能热水系统。

中国光伏发电产业于20世纪70年代起步,经过30多a的努力,已迎来了快速发展的新阶段。在“光明工程”先导项目和“送电到乡”工程等国家项目及世界光伏市场的拉动下,我国光伏发电产业迅猛发展。2008年太阳能电池的产量达到了200万kW。2009年中国太阳能电池/模组制造商的产能较2008年倍增,达到8000MW,电池产量超过4000MW。

经过多年的发展,中国太阳能热水器产业已形成较为完整的产业化体系。2008年我国太阳能热水器行业继续稳步快速发展。其中,产值达430亿元,出口达1亿美元。2009年我国太阳能热水器年产量突破4000万 m^2 ,保有量达到1.45亿 m^2 ,已成为太阳能热水器的世界超级大国。

2009年可谓是太阳能产业在中国高速发展的时期,国家的补贴扶持政策陆续推

出。3月,财政部、住房和城乡建设部印发《关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见》及《太阳能光电建筑应用财政补助资金管理暂行办法》,确定对光电建筑2009年的补助标准为20元/W。7月,财政部、科技部、国家能源局发出《关于实施“金太阳”示范工程的通知》,提出对光伏并网项目和无电地区离网光伏发电项目分别给予50%和70%的财政补贴。11月,财政部、科技部、国家能源局下发了《关于做好“金太阳”示范工程实施工作的通知》,要求加快实施“金太阳”示范工程。随着这些政策的陆续出台,中国光伏产业进入第2个阶段。

2009年我国太阳能热水器“下乡”是太阳能热水器行业的一件大事,标志着太阳能热水器得到国家认可,我国太阳能热水器行业已迈入新的时代。

中国科学院党组已正式批准启动实施太阳能行动计划,该计划以2050年前后太阳能作为重要能源为远景目标,并确定了2015年分布式利用、2025年替代式利用、2035年规模式利用3个阶段目标,太阳能产业在中国市场发展前景广阔。

1.3 太阳能的转换及其应用

太阳能是太阳内部连续不断的核聚变反应过程产生的能量。尽管太阳辐射到地球大气层的能量仅为其总辐射能量(约为 3.75×10^{26} W)的22亿分之一,但已高达 1.73×10^5 TW,也就是说太阳每秒照射到地球上的能量就相当于500万t煤燃烧所放出的热量。地球上的风能、水能、海洋温差能、波浪能和生物质能以及部分潮汐能都来源于太阳;地球上的化石燃料(如煤炭、石油、天然气等)从根本上说也是远古以来储存下来的太阳能,所以广义的太阳能所包括的范围非常大,狭义的太阳能则限于太阳辐射能的光热、光电和光化学的直接转换。太阳能既是一次能源,又是可再生能源。它资源丰富,既可免费使用,又无须运输,对环境无任何污染。

太阳能也有2个主要缺点:一是能流密度低;二是其强度受各种因素(季节、地点、气候等)的影响不能维持常量。

人类对太阳能的利用有着悠久的历史。我国早在2 000多a前的战国时期就知道利用钢制凹面镜聚焦太阳光来点火;利用太阳能来干燥农副产品。发展到现代,太阳能的利用已日益广泛,它包括太阳能的光热利用,太阳能的光电利用和太阳能的光化学利用等。

1.3.1 太阳辐射特性

昼夜是由于地球自转而产生的,而季节是由于地球的自转轴与地球围绕太阳公转的轨道的转轴呈 $23^{\circ}27'$ 的夹角而产生的。地球每天绕着通过它本身南极和北极的“地轴”自西向东自转一周。每转一周为一昼夜,所以地球每小时自转 15° 。地球除自转外还循偏心率很小的椭圆轨道每年绕太阳运行一周。地球自转轴与公转轨道面的法线始终成 23.5° 。地球公转时自转轴的方向不变,总是指向地球的北极。因此地球处于运行轨

道的不同位置时,太阳光投射到地球上的方向也就不同,于是形成了地球上的四季变化。每天中午时分,太阳的高度总是最高。在热带低纬度地区(即在赤道南北纬度 $23^{\circ}27'$ 之间的地区),1 a中太阳有两次垂直入射,在较高纬度地区,太阳总是靠近赤道方向。在北极和南极地区,冬季太阳低于地平线的时间长,而夏季则高于地平线的时间长。

由于地球以椭圆形轨道绕太阳运行,因此太阳与地球之间的距离不是一个常数,而且一年里每天的日地距离也不一样。众所周知,某一点的辐射强度与距辐射源的距离的平方成反比,这意味着地球大气上方的太阳辐射强度会随日地间距离不同而异。然而,由于日地间距离太大(平均距离为 1.5×10^8 km),所以地球大气层外的太阳辐射强度几乎是一个常数。因此人们就采用太阳常数来描述地球大气层上方的太阳辐射强度。它是指平均日地距离时,在地球大气层上界垂直于太阳辐射的单位面积上所接收的太阳辐射能。近年来,通过各种先进手段测得的太阳常数的标准值为 $1\,353\text{ W/m}^2$ 。一年中由于日地距离的变化所引起太阳辐射强度的变化不超过3.4%。

太阳照射到地平面上的辐射或称日射,由直达日射和漫射日射2部分组成。太阳辐射穿过大气层而到达地面时,由于大气中空气分子、水蒸气和尘埃等对太阳辐射的吸收、反射和散射,不仅使辐射强度减弱,还会改变辐射的方向和辐射的光谱分布。因此实际到达地面的太阳辐射通常是由直射和漫射两部分组成。直射是指直接来自太阳,其辐射方向不发生改变的辐射;漫射则是被大气反射和散射后方向发生了改变的太阳辐射,它由3部分组成:太阳周围的散射(太阳表面周围的天空亮光),地平圈的散射(地平圈周围的天空亮光或暗光)及其他的天空散射辐射。另外,非水平面也接收来自地面的反射辐射。直达日射、漫射日射和反射日射的总和即为总日射或环球日射。可以依靠透镜或反射器来聚焦直达日射。如果聚光率很高,就可获得高能量密度,但却损耗了漫射日射。如果聚光率较低,也可以对部分太阳周围的漫射日射进行聚光。漫射日射的变化范围很大,当天空晴朗无云时,漫射日射为总日射的10%。但当天空乌云密布见不到太阳时,总日射则等于漫射日射。因此聚式收集器采集的能量通常要比非聚式收集器采集的能量少得多。反射日射一般都很弱,但当地面有冰雪覆盖时,垂直面上的反射日射可达总日射的40%。

到达地面的太阳辐射主要受大气层厚度的影响。大气层越厚,对太阳辐射的吸收、反射和散射就越严重,到达地面的太阳辐射就越少。此外大气的状况和大气的质量对到达地面的太阳辐射也有影响。显然太阳辐射穿过大气层的路径长短与太阳辐射的方向有关。

近年来,由于臭氧层变薄,特别是南极和北极地区,到达地面的紫外光辐射越来越多。入射的红外光辐射,有一部分被二氧化碳、水蒸气和其他气体吸收,而在夜间来自地球表面的较长波长的红外辐射大部分则传到了外空。这些温室气体在上层大气中的积累,可能会使大气吸收能力增加,从而导致全球气候变暖和天气变得多云。虽然臭氧减少对太阳能集热器的影响甚微,但温室效应可能会增大散射辐射,并可能严重影响太

太阳能集热器的作用。

1.3.2 太阳能热电转换

我国太阳能资源丰富,理论储量达每年17 000亿t标准煤,我国大多数地区年平均日辐射量在 4 kWh/m^2 以上,西藏日辐射量最高达 7 kWh/m^2 ,与同纬度的其他国家相比,与美国相近,比欧洲、日本优势多。作为一种洁净的、取之不尽的能源,应充分利用太阳能资源。

太阳能热发电不仅可以发出电力,还可以同时实现供热、制冷,构成热、电、冷联产。太阳热发电系统由集热系统、热传输系统、蓄热储能系统、热机、发电机等组成。集热系统聚集太阳能后,经过热传输系统将聚集的太阳热能传给热机,由热机产生动力,带动发电机来发电,整个系统的热源来自于太阳能,所以称之为太阳能热发电系统。

太阳能热发电是利用集热器把太阳辐射能转变成热能,然后通过汽轮机、发电机来发电。根据集热的温度不同,太阳能热发电可分为高温热发电和低温热发电两大类。按太阳能采集方式划分,太阳能热发电站主要有塔式、槽式和盘式三类。

高温太阳能热发电,又称塔式太阳能发电,是一种大型太阳能发电,美国、日本和欧洲已建成一些这样的几千至上万kW级的太阳能试验电站。塔式太阳能发电是将集能器置于塔顶,它的部件主要有反射镜阵列、高塔、集能器、蓄热器、发电机组等。反射镜阵列由许多面反射镜(亦称定日镜)按一定规律排列而成。这些反射镜自动跟踪太阳,反射光能够精确地投射到集能器的窗口里。高塔可以建在镜阵中央或南侧。集能器按需要设计成单侧受光或四周受光。当阳光投射到集能器被吸收转变成热能后,使加热盘管内流动着的介质(水或其他介质)产生蒸汽。一部分热量用来带动汽轮发电机组发电,另一部分热量则被储存在蓄热器里,以备没有阳光时发电用。塔式太阳能发电的关键技术有3个方面:

(1) 反射镜及其自动跟踪。由于此种发电要求高温、高压,对于太阳光的聚焦必须有较大的聚光比,需用千百面反射镜,并且要有合理的布局,使其反射光都能集中到较小的集能器窗口。反射镜的反光率要在80%甚至90%以上,自动跟踪太阳要同步,一般采用电子计算机控制。

(2) 集能器。也叫“太阳锅炉”,要求体积小,换能效率高。现有集能器形式多样,有空腔式、盘式、圆柱式等。一般认为意大利研制的盘式太阳能锅炉较好,可以产生150当量大气压、 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的过热蒸汽,可供350 kW发电机组使用。

(3) 蓄热。由于太阳辐射强度时刻在变化,为了保证发电相对稳定,必须采取蓄热措施,这是塔式热发电所不可缺少的部分,但是目前还未找到最理想的贮热材料。根据美国涅威尔公司对300种熔点在 $262\sim 321\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的各类盐的混合物的评定,选出了10种较好的蓄热材料。

1950年,前苏联设计了世界上第1座太阳能塔式电站,建造了一个小型试验装置。