



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

平板型太阳能集热器 原理与应用

孙如军 韩荣涛 李兴宾 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

平板型太阳能集热器 原理与应用

孙如军 韩荣涛 李兴宾 编著

常州大学图书馆
藏书章

北京

冶金工业出版社

2017

内 容 简 介

本书共6章, 主要内容包括绪论、太阳能资源、传热学基础知识、平板型太阳能集热器、太阳光谱选择性吸收涂层、平板型太阳能集热器光热应用等。

本书可作为高等院校建筑工程、暖通设计等相关专业教材(配有教学课件), 也可供相关企业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

平板型太阳能集热器原理与应用/孙如军, 韩荣涛,
李兴宾编著. —北京: 冶金工业出版社, 2017. 10

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7609-0

I. ①平… II. ①孙… ②韩… ③李… III. ①太阳能
聚热气—高等学校—教材 IV. ①TK513.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 237531 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区菖蒲院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

责任编辑 贾怡雯 美术编辑 杨帆 版式设计 禹蕊

责任校对 郑娟 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7609-0

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2017年10月第1版, 2017年10月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 10.5印张; 251千字; 158页

30.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

前 言

太阳能是已知的最原始的能源，也是地球上最主要的能源。它清洁、环保、可再生，永不枯竭，而且遍布全世界，是人类长期依赖的能源之一。几乎所有已知的其他能源都直接或间接地来自太阳能。

人类利用太阳能的历史悠久。从早期的自然利用，到我国西周时代祖先的“阳燧取火”，一直到今天，太阳能光热应用、太阳能光电应用、太阳能光化学应用以及太阳能光生物应用，太阳能利用走过了几千年的发展历程。利用技术可谓日新月异，发生了天翻地覆的变化。但在各种应用中，太阳能热水是目前人类利用太阳能最普遍的形式之一。世界各国科学家和工程师经过百年的努力，使太阳能热水技术成为当前最成熟、经济上最具竞争力、商品化程度最高的太阳能热利用技术之一。在全世界范围内，各种太阳能热水装置的生产已发展成为一个新兴产业，并且正在生活和生产领域得到广泛的应用，具有巨大的推广应用价值。

“十三五”是我国推进经济转型、能源革命、体制机制创新的重要时期，也是太阳能产业发展的关键时期。节能减排的宏观政策为太阳能等可再生能源的发展提供了良好的社会环境和广阔的市场空间。根据“十三五”规划的目标，到2020年底，太阳能热利用集热面积达到8亿平方米。太阳能规模化前景十分广阔，同时对太阳能应用产品的性能提出了更高的要求。

本书正是在此背景下，结合德州金亨新能源有限公司的生产实际编写而成。编者结合多年来研究、生产、应用平板型太阳能集热器及太阳选择性吸收涂层的经验，详细论述了集热器及涂层设计制作方法及注意事项。可以帮助读者快速了解太阳能相关知识，掌握平板型太阳能集热

器的结构设计、工程应用设计以及了解太阳吸收涂层的原理及制备。

本书由德州学院孙如军和德州金亨新能源有限公司韩荣涛、李兴宾合作编写。

本书配套教学课件读者可在冶金工业出版社官网 (www.cnmp.com.cn) 搜索资源获得。

由于编者水平有限,书中不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2017.6

目 录

1 绪论	1
1.1 太阳能光热技术应用历史	1
1.2 太阳能光热技术的发展现状	3
1.3 太阳能光热技术发展前景	4
复习思考题	6
2 太阳能资源	7
2.1 太阳辐射	7
2.2 太阳辐射的特点	8
2.3 地球的自转与公转	8
2.3.1 昼夜交替与四季	9
2.3.2 太阳周日视运动	10
2.4 太阳角	11
2.4.1 赤道坐标系	11
2.4.2 地平坐标系	13
2.5 太阳常数	15
2.6 影响太阳辐射能的因素	16
2.7 大气层对太阳辐射的吸收、反射和散射	17
2.7.1 直射辐射和散射辐射	17
2.7.2 大气质量	17
2.8 倾斜平面上太阳辐射强度计算	18
2.9 我国太阳能资源	20
复习思考题	21
3 传热学基础知识	22
3.1 温度和热量	22
3.2 比热容和热量计算	22
3.3 传导	23
3.4 对流	24
3.5 辐射	24
复习思考题	24

4 平板型太阳能集热器	25
4.1 平板型太阳能集热器原理	25
4.2 平板型太阳能集热器分类	25
4.3 平板型太阳能集热器结构组成	26
4.4 各部分功能、材料及要求	27
4.4.1 透明盖板	27
4.4.2 边框壳体	28
4.4.3 保温材料	28
4.4.4 吸热体	28
4.5 平板型太阳能集热器能量平衡方程	29
4.6 透过率-吸收率乘积	30
4.7 集热器总热损系数	32
4.8 平板集热器瞬时效率及曲线	34
4.8.1 平板集热器瞬时效率方程	34
4.8.2 平板型太阳能集热器效率曲线	35
4.9 平板型太阳能集热器设计	37
4.9.1 集热器类型选择	37
4.9.2 透明盖板、层数及板间距设计	38
4.9.3 吸热体设计	39
4.9.4 隔热层设计	41
4.9.5 边框外壳	41
4.9.6 呼吸系统设计	42
4.9.7 提高平板集热器性能的主要途径	43
4.10 平板型太阳能集热器性能检测	44
复习思考题	45
5 太阳光谱选择性吸收涂层	46
5.1 辐射的特性	46
5.1.1 辐射的吸收、反射和透射	46
5.1.2 黑体及黑体辐射定律	46
5.1.3 基尔霍夫定律	46
5.1.4 普朗克定律	47
5.1.5 维恩位移定律	48
5.2 太阳光谱能量分布	48
5.3 理想光谱选择性吸收表面	49
5.4 太阳选择性吸收涂层研究进展	51
5.5 太阳选择性吸收涂层基本类型及作用机理	53
5.6 薄膜光学理论	54

5.6.1 薄膜光学基础简介	54
5.6.2 吸收涂层的光学性质	55
5.6.3 有效介质理论	56
5.6.4 分层介质理论	57
5.7 太阳选择性吸收涂层的制备方法	57
5.7.1 电化学法	58
5.7.2 物理气相沉积	59
5.7.3 水溶液化学转化法	60
5.7.4 其他方法	60
复习思考题	60
6 平板型太阳能集热器光热应用	61
6.1 设计用气象资料	61
6.2 供热水设计常用资料	63
6.3 太阳能热水系统	69
6.3.1 术语	69
6.3.2 热水系统组成	71
6.3.3 热水系统分类及分析	73
6.3.4 常用热水系统特点及应用范围	81
6.3.5 民用建筑常用太阳能热水系统	92
6.3.6 太阳能热水系统设计	96
复习思考题	124
附录	125
附录1 不同地区太阳能集热器的补偿面积比 R_s	125
附录2 我国主要城市各月的设计用气象参数	131
附录3 生活饮用水水质标准	149
附录4 常用单位换算关系	153
附录5 我国一些城市的经纬度	155
附录6 集热器三种面积计算方法	156
附录7 常用隔热材料导热系数	157
参考文献	158

1.1 太阳能光热技术应用历史

太阳能是已知的最原始的能源,它清洁、环保、可再生而且遍布全世界。几乎所有已知的其他能源都直接或间接地来自太阳能。

太阳能利用技术,是指人为地采用某些系统或装置(它们由一些器件、组件、机构等组成),直接把太阳的辐射能收集、转换或储存,供用户之需。为了提高这些系统或装置的工作效率和延长其工作寿命,并降低其成本,需要研究它们的工作原理、过程控制、设计方法、制造工艺、试验技术以及一些有关的材料和量测仪表,这就是太阳能利用技术这门学科所包括的内容。太阳能利用技术是一门综合性的科学技术,涉及很多学科。太阳能可以转换为热能、机械能、电能、化学能等其他能量形式。发展这门技术的目的是有效、可靠、经济地把太阳能转换为人们所需要的能量形式并加以利用。

人类利用太阳能的历史悠久。但由于生产力和科学技术发展水平的制约,在相当长的一个历史时期内,太阳能利用始终处于自然利用的初级阶段,如晾晒谷物、果蔬、肉鱼、衣被、皮革等。据史料记载,在我国西周时代(公元前11世纪),我们的祖先已经掌握了“阳燧取火”,这是我国有记载的最早利用太阳能的案例。“阳燧”实际上是一种金属凹面镜,在世界科学史上占有重要的地位。世界上第一个大规模应用太阳能的人是希腊著名科学家阿基米德。据说公元前212年,他用许多小的平面镜将阳光聚集起来烧毁了攻击西西里岛西拉修斯港的罗马舰队。

太阳能热水器(系统)是利用太阳辐射能加热水的装置,利用太阳能加热水是目前人类利用太阳能最普遍的形式之一。世界各国科学家和工程师经过上百年的努力,使太阳能热水成为当前技术上最成熟、经济上最具竞争力、商品化程度最高的太阳能热利用技术。在全世界范围内得到广泛的应用。就其发展过程来看,总体上大约可以分为三个阶段。

(1) 太阳能热水初始阶段。1891年美国马里兰州的肯普发明了世界上第一台太阳能热水器——“顶峰”热水器。其基本构造是,在一个白松木盆内放置四个涂黑的铁桶,桶与桶之间用管道相连,木盆四周及底部用油毛毡衬垫隔热,顶部盖有玻璃板,向南倾斜安装在屋顶上。水桶最下面有冷水进口,上面有热水出口。用热水时,打开室内冷水阀,流入桶内的冷水将热水从该桶的上面顶出。虽然“顶峰”热水器只能生产 40°C 以下的水,由于当时,煤、油、电力价格都十分昂贵,“顶峰”太阳热水器的问世,立刻轰动了全国。两年后,当地有30%的家庭都用上了“顶峰”热水器。“顶峰”太阳热水器的发明开启了人类利用太阳能加热水的新时代。

1898年,美国人法兰克·沃克对“顶峰”太阳热水器进行改革,设计了“沃克”太阳热水器。这种太阳热水器将水桶由4个减少为1~2个,并把热水出口置于水桶的顶部,

冷水进口置于桶的底部,从而保证了能够使用最热的水。另外,在水桶的下部还安装了一块抛光金属板,可以把直射阳光反射到热水器上,以提高热水器的热性能。这种沃克太阳热水器于1902年6月获得美国专利,成为世界上继“顶峰”热水器之后的第二个太阳热水器专利,并在加州南部得到了相当广泛的应用。

1905年,美国人查尔斯·哈斯克将热水器中的水桶改为扁形,提高了水的加热速度,于1907年1月获得了美国专利,称为“改进的顶峰”太阳热水器。之后后人又对这种热水器的保温和防冻进行了改进设计,设计出了能昼夜使用及防冻的热水器。

从肯普发明世界上第一个太阳热水器,到第二次世界大战结束,大约经历半个世纪,这期间人们发明了各式各样的闷晒式太阳热水器。这也是太阳能热水器的第一代产品。

(2) 平板集热器发展阶段。第二次世界大战结束后,像日本一些缺少常规能源的国家,开始注意开发利用太阳能,市场上出现了各种简易的平板太阳集热器。但战后初期,由于中东石油的大力开发利用,价格低,各国对太阳能利用的兴趣一度低迷,太阳能的利用和发展比较缓慢。

1961年联合国在罗马召开的国际新能源会议,把太阳能利用作为主要议题之一。世界各国真正开始重视并有组织地对太阳能利用开展较大规模研究开发和试验示范工作。尤其是20世纪70年代初全球石油危机的爆发,更是激起人们对太阳能利用的热情,许多国家都投以相当大的人力、物力和财力进行太阳能利用的研究,尤其是太阳能热水器技术。并制订了全国性的近、中、远期规划。这一时期新能源各个领域研究都快速发展。太阳能空间加热和空调(被动和主动系统)、太阳能热发电、太阳能光伏发电、太阳能制冷、海洋热能发电、波浪和潮汐发电、风力发电、生物质能、地热能、残余物的高温分解(气化)等领域都取得了众多的成果。建立起一批技术先进、规模较大有示范推广意义的系统。

1955年以色列泰伯等人在第一次国际太阳能热科学会议上提出选择性涂层的基础理论,并研制成功实用的黑镍等选择性涂层,为太阳能高效集热器的发展创造了条件。在此期间,平板集热器的设计不断向前发展,各种结构陆续出现。表面吸收涂层从最早的非选择性涂层黑板漆发展到各种选择性吸收涂层,如铝阳极氧化、镀黑镍、镀黑铬等。透明盖板从普通平板玻璃发展到钢化玻璃。集热器的性能不断提高。到70年代末期,全世界大约装有太阳热水器300多万台。太阳热水器的开发利用在美国、澳大利亚、日本、德国、以色列等国都有很大的发展。

平板太阳能热水器属于太阳能热水器的第二代产品。

我国是于20世纪50年代末开始现代太阳能利用的研究,在平板太阳能热水器的开发上,也做出了不少贡献。北京市太阳能研究所于1986年从加拿大引进一条具有国际先进水平的铜铝复合太阳能条带生产线,使我国平板集热器技术跨上一个新的台阶。到20世纪90年代全国已有4000余家生产厂家。1995年销售量超过100万平方米。之后,该项技术先后辐射到沈阳、烟台、广州、昆明、兰州等地,在全国又相继建立起十几条铜铝复合太阳能条带生产线。

(3) 全玻璃真空管太阳能热水器阶段。1975年,美国欧文斯—伊利诺依(Owens-Illinois)公司发明了全玻璃真空管太阳能集热器。当时,集热管的选择性吸收涂层的平均太阳光谱吸收率约为83%,但由于采用了高真空技术,集热器的热损失比普通管板式平板太阳集热器降低了2个数量级,从而大大地提高了太阳能热利用技术水平。

1979年初,我国清华大学开始研制全玻璃真空管太阳能集热器。经过几年的研究,清华大学殷志强教授等人发明了采用磁控溅射工艺技术制作多层(渐变)铝-氮/铝选择性吸收涂层,其太阳光谱吸收率可达0.93,红外发射率约为0.05(80℃)。它是世界上第一次只采用一种金属材料,既制备金属底层又制备复合材料的选择性吸收涂层。申报了中国发明专利,将全玻璃真空集热技术又提高了一步。目前,我国的全玻璃真空集热管和全玻璃真空管太阳热水器,从总体上来说,无论是产量和质量均居世界第一,国内全玻璃真空集热管和全玻璃真空管太阳热水器技术经过多年发展已经普及化。

全玻璃真空管太阳能热水器是太阳能热水器的第三代产品。

1.2 太阳能光热技术的发展现状

目前使用最多的太阳能收集装置,主要有平板型集热器、真空管集热器和聚焦型集热器等3种。通常根据所能达到的温度和用途的不同,而把太阳能光热利用分为低温利用(低于200℃)、中温利用(200~800℃)和高温利用(高于800℃)。目前低温利用主要有太阳热水器、太阳能干燥器、太阳能蒸馏、太阳房、太阳能温室、太阳能空调制冷系统等,中温利用主要有太阳灶、太阳能热发电聚光集热装置等,高温利用主要有高温太阳炉等。截至2016年上半年统计数据,在我国太阳能集热器及系统总体销量中真空管型产品占比86.6%,平板型产品占比13.4%。产品结构从真空管型产品一枝独秀到与平板型产品并重发展。平板型产品2014年上半年占10.2%,2015年上半年占10.6%,2016年上半年占13.4%。

如图1-1、图1-2所示,截至2016年,全国太阳能集热面积保有量达到46360万平方米,年生产量在2013年年生产量达到顶峰为6360万平方米,2016年为3950万平方米,其中真空管型产品销量占3420万平方米,同比下降9.9%,平板型销量占530万平方米,同比下降3.3%。据《2016年全球可再生能源现状报告》统计,2015年全球太阳能集热器装机容量为435GW·t·h。2015年,尽管由于中国和欧洲市场持续萎缩,市场发展步调有所放缓,全球玻璃和非玻璃太阳能集热器容量仍增长了6%。中国约占新增太阳能热水器装机容量的77%,其次是土耳其、巴西、印度和美国。

目前的现状是,应用新技术全力开发高性能平板集热器、全玻璃真空管太阳集热管和热管真空集热管,并不断地加以改进,使其达到更高的性能指标,在此基础上,组构各种型号的家用太阳热水器和大型太阳热水系统,大力发展热水器系统的防冻抗冻技术,以满足太阳热水器全年使用的要求,太阳能热利用成本进一步降低,太阳能供热、制冷及工农业等领域应用技术取得突破,应用范围由单一的生活热水,向采暖、制冷空调、工农业供热、热发电等系统多元化综合应用生产领域扩展,市场竞争力迅速提高。

但近年,太阳能热利用产业升级缓慢。在太阳能光热行业,平板太阳能集热器在设计、工艺、生产、使用过程中还存在一些问题,限制了太阳能的发展及推广速度。传统的太阳能热水应用发展进入瓶颈期,产品雷同,缺乏创新,太阳能热利用市场增长放缓,小规模,低水平的家用太阳能热水器企业已处于关、停、并、转状态。如图1-1和图1-2所示。太阳能热利用产业在太阳能供暖、工业供热等多元化应用总量较小,相应产品研发、系统设计和集成方面的技术能力较弱。在实际中高温工业应用、北方寒冷地区供热采暖应

用领域存在着热损大、太阳能热效率输出低的缺陷,在生产环节自动化程度低、手工工作量大。而且在新应用领域的相关标准、检测、认证等产业服务体系尚需完善。

目前国内太阳能市场,截止 2016 年上半年,工程市场继 2015 年超过零售市场后,比重继续上升。工程市场 2014 年上半年占 38%,2015 年上半年占 55%,2016 年上半年占 68%。零售市场占比 32%,零售市场比重继续下降,市场结构从零售市场为主向工程市场为主发展表现十分明显。

1998~2016年太阳能集热系统状况

□ 年生产量/万平方米 □ 保有量/万平方米

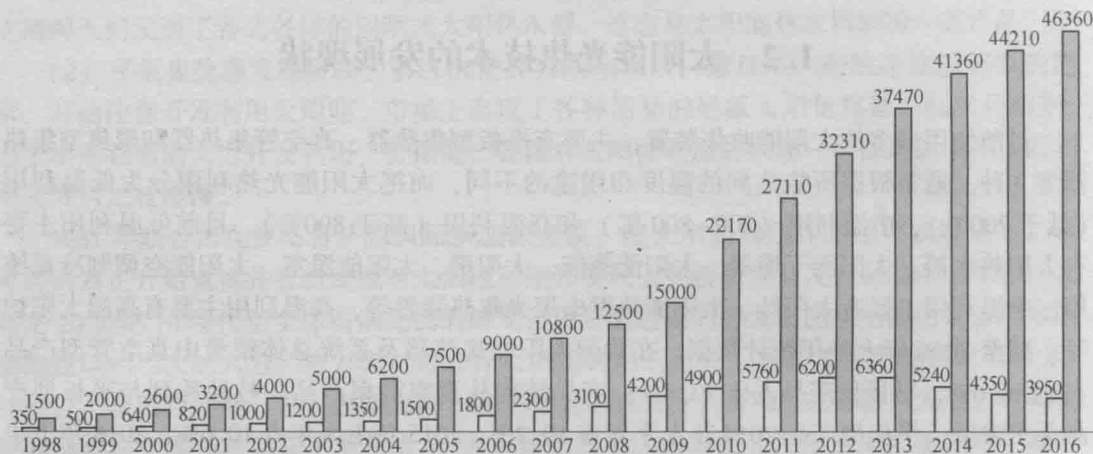


图 1-1 1998~2016 年我国太阳能集热系统状况对比

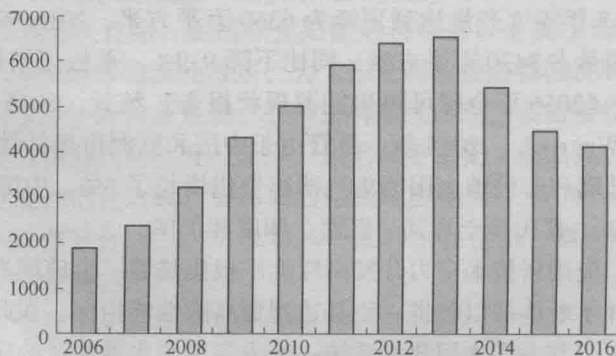


图 1-2 2006~2016 年我国太阳能集热系统总产量对比图

1.3 太阳能光热技术发展前景

由于常规能源的大力开发利用,造成世界范围内的环境污染日趋严重。世界上很多国家已经认识到,太阳能作为可再生能源,在持久使用环境资源为人类造福方面将起到十分巨大的作用。

当然,尽管我国太阳能热水器技术和产业有了较大的发展,但对于一个人口大国来说,太阳能热水器的普及率仍然不太高。从基于玻璃和非玻璃集热器容量,2014 年末世

界各国人均太阳能热水器安装容量排名来看,人均容量最多的是奥地利,排在前五名的分别是奥地利、以色列、塞浦路斯、希腊、巴巴多斯。产品的品种、功能和供应量也都远远不能满足人民物质生活水平日益增长的需求。这就有待我国太阳能热水技术和产业都取得更大的发展。

当前太阳热水器(系统)的主要发展趋势有如下几个特点。

(1) 太阳能热水器在住宅建筑中的应用。太阳热水器发展至今天,技术上已日趋成熟,太阳热水器的经济性取决于当地的太阳能资源和气候条件、热水器的效率和造价以及用户负荷特性。在相互匹配的前提下,太阳热水器在经济上已具备相当的竞争力。家庭有热水供应是居民生活质量达到小康的基本要求,同时开发利用可再生能源,可节约常规能源、减少环境污染、改善生态平衡,其社会效益更大。因此,世界各国都力图将太阳热水器与住宅建筑密切结合,寻求外形美观、布局合理、管路规范的太阳热水器与建筑一体化的住宅设计。

为民用建筑提供生活热水是改善人民生活水平的标志之一,而节能和环保又是当今建设民用建筑的两大主题。所以太阳能热水器在建筑中的大规模应用将成为可持续发展的必然趋势。近年来,我国太阳能界和建筑界的科技人员共同努力,在太阳能热水器与建筑结合方面开展了大量工作,对产品结构功能、热水系统设计、建筑阳台设计、常规能源匹配、系统安装测试、标准化规范化等各项技术专题进行了研究、探索和实践。并通过实施各种形式的试点示范工程。积累了不少成功的经验。这些都为实现太阳能热水器与建筑相结合提供了一定的技术基础。

目前,在以色列已有 65% 的家庭居民住宅已经安装上了太阳能热水器。这已经成为当今时代太阳热水器应用的主要潮流。

(2) 太阳能热水系统在大型生活设施和工业生产中的应用。全玻璃真空管太阳能集热器和热管式太阳能集热器以及一些高性能的平板太阳能集热器可以运行于较高的温度中,且具有较高的效率,可以全年使用。基于这样一些特点,组构采光面积达几千平方米,运行温度达 45~100℃ 的大型太阳热水系统,以满足大型生活设施和工业生产用热,应用越来越广泛。

(3) 大力开发多能互补的高性能太阳热水器。再高性能的太阳热水器,最终也不能完全依赖于太阳能而运行,不同地区太阳能资源有很大差别,而家庭用热基本上是恒定热负荷,因此不可能与当地的太阳能资源完全匹配。在人民生活水平不断提高的今天,单一的太阳热水器已不能满足小康之家恒定热负荷的需求。因此,应开发多能互补的高性能太阳热水器。

未来中国太阳能光热产业将呈现三大趋势:从农村走向城市、从民用走向工商业、从单一能源走向复合能源。有数据显示,在建筑总能耗中,使用能耗约为建筑能耗的 15 倍左右,供暖能耗又几乎占总使用能耗的 35%。建筑节能已经成为我国节能减排的重要目标,“近零能耗建筑”已经成为国际新的发展趋势,可再生能源建筑一体化是必然发展方向。

《中国可再生能源 2050 发展路线图》指出,2020 年前,我国太阳能热水系统的应用仍将是主流应用方式,约 60% 建筑安装太阳能热水系统。同时,太阳能采暖、制冷系统应用快速发展,1% 左右的总建筑面积将应用太阳能采暖、制冷系统。太阳能采暖商业化、

规模化前景十分广阔。对太阳能行业来说,这是机遇也是挑战,对太阳能应用产品的性能提出了更高的要求。

复习思考题

1-1 简述太阳能光热应用发展的三个阶段。

1-2 概括太阳能各应用领域状况。

1-3 简述太阳能发展趋势的特点。

2.1 太阳辐射

太阳是太阳系的中心天体，是距地球最近的一颗恒星。太阳是一个巨大的炽热球体，直径大约为 $1.39 \times 10^6 \text{ km}$ ，是地球直径的 109 倍。就体积而言，太阳的体积为 $1.41 \times 10^{18} \text{ km}^3$ ，是地球的 130 万倍。太阳的质量为 $1.982 \times 10^{27} \text{ t}$ ，占有太阳系总体质量的 99.86%，比地球质量大 33.3 万倍，而它的平均密度约为 1.41 g/cm^3 ，只为地球平均密度的 1/4。

图 2-1 是太阳的结构示意图。由里往外，太阳由核心、辐射区、对流层、光球层、色球层、日冕层构成。光球层之下称为太阳内部；光球层之上称为太阳大气。太阳的主要组分是氢和氦等多种元素，其中氢的含量约为 81%，氦的含量为 17%。

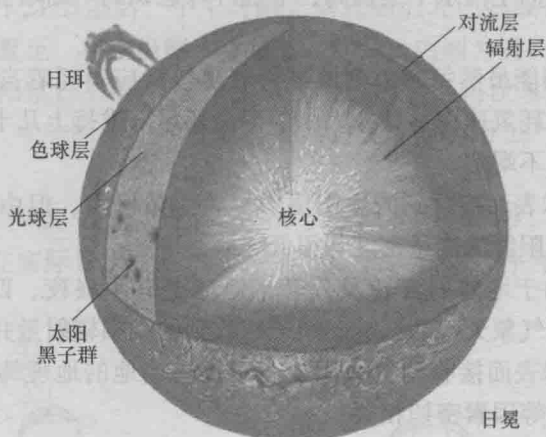


图 2-1 太阳的结构示意图

太阳一刻不停地向四周放射着巨大的能量。这些能量都来自于太阳内部由于高温高压而连续不断地进行着的核聚变反应。其总量平均每秒钟可达 $3.865 \times 10^{26} \text{ J}$ ，相当于每秒钟烧掉 $1.32 \times 10^{16} \text{ t}$ 标准煤释放出来的能量。而地球大气表层所接收到的能量仅是其中的 22 亿分之一。但尽管如此，每秒钟也有 $1.757 \times 10^{17} \text{ J}$ ，折合标准煤约为 $6 \times 10^6 \text{ t}$ 。

太阳热核反应释放出的巨大能量主要以辐射的形式传向宇宙空间。这种能量的传递过程就是太阳辐射。太阳辐射可分为两类：一类是光辐射，又称为电磁波辐射，即以电磁波的形式从太阳光球表面辐射出的光热能量，这种辐射由可见光和人眼看不见的不可见光组成；另一类是微粒辐射，它是由带正电荷的质子和大致等量的带负电荷的电子以及其他粒子所组成的粒子流。微粒辐射的能量较弱，也不稳定，只有在太阳活动剧烈时，才能影响

到人类和地球大气层,由于其带给地球的能量微乎其微,我们通常所说的太阳能,主要是指光辐射。

太阳内部核反应不停地消耗着自身的氢,太阳的寿命大致为 100 亿年,目前太阳大约 45.7 亿岁。相对于人类寿命来说,太阳能可谓取之不尽,用之不竭。太阳能既无污染,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。太阳能是各种可再生能源中最重要的基本能源,像生物质能、风能、潮汐能、水能等本质上都来自于太阳的辐射能。

2.2 太阳辐射的特点

太阳每时每刻都向宇宙空间放射着巨大的能量,但我们却不能随心所欲地使用太阳能,对地球上的人类而言,相较于其他常规能源以及核能来说,太阳能有其独有的特性。

(1) 普遍性。地球上无论是陆地、海洋,还是高山或者岛屿,太阳光都无处不在,人们无需开采和运输就可以直接开发和利用。这对于像山区、沙漠、海岛等偏远、交通不便的地区尤其重要。

(2) 清洁性。太阳能是最清洁的能源之一,开发利用太阳能可以减少常规能源对环境的污染破坏。随着人们生活水平的提高,节能环保意识的不断增强,太阳能的利用越来越得到人们的认可。

(3) 长久性。太阳能虽然每时每刻地进行着热核反应消耗着自身氢的含量,但根据目前太阳核聚变反应的耗氢速率估计,太阳的寿命还足以维持上几十亿年,因而可以说太阳能是取之不尽,用之不竭的。

(4) 分散性。地球表面接收到的太阳辐射尽管总量巨大,但由于其分散到地球的每一处,因而单位面积太阳能的能量密度却很低。

(5) 不稳定性。由于地球的自转及公转,地球上有了昼夜、四季之分,再加上阴、晴、云、雨、雾、霾等气象天气的影响,地球接收到的太阳辐射量并不是恒定的。

(6) 区域性。地球表面接收到的太阳能,不仅与当地的地理纬度有关,还与当地的大气透明度和气象条件等因素密切相关。

2.3 地球的自转与公转

太阳是太阳系的中心,其质量占太阳系总质量的 99.8%,它以自己强大的引力将太阳系内所有天体都牢牢地吸引在它的周围,使它们不离不散、井然有序地围绕自己旋转。

地球是太阳的八大行星之一,它绕太阳逆时针公转,其公转的轨道接近椭圆形轨道,太阳位于椭圆形的一个焦点上,稍有偏心。该椭圆形轨道称为黄道。在黄道平面内,长半轴约为 $153 \times 10^6 \text{ km}$,短半轴约为 $147 \times 10^6 \text{ km}$,太阳与地球的平均距离约为 $150 \times 10^6 \text{ km}$,在太阳与地球的连线上,地球上某点至太阳的张角仅为 $32'$,因此太阳投射到地球上的光线可以近似看作是一组平行光线。

2.3.1 昼夜交替与四季

在地球上，一天中有昼夜之分，一年中有春夏秋冬四季之分，这些自然现象，都是地球自转及地球绕太阳公转引起的。假设有一条轴贯穿地球中心与南北两极，这条轴我们就称之为地轴。地球就像一只陀螺，每天绕着地轴不停地旋转，每转一周形成一个昼夜。地球上朝着太阳的一面是白天，背着太阳的一面是夜晚，于是就产生了昼夜交替的现象。地球自转的方向是自西向东的，所以我们看到日月星辰从东方升起，西方降落。地球自转一周 360° 是一昼夜，每昼夜是 24h，所以地球每小时自转 15° 。

除了自转，地球还在不停的绕太阳公转，其周期是一年。地球绕太阳公转的轨道面称为黄道面，地轴与黄道面有 $66^\circ34'$ 的夹角，也就是说地球赤道面与黄道面有 $23^\circ26'$ 的夹角。在地球绕太阳公转的过程中此夹角始终保持不变，因此当地球处在公转轨道的不同位置时，阳光投射到地球上的角度也就不一样，有时偏北，有时偏南，有时又直射赤道。因此，在地球绕太阳公转的一年中，有时地球北半球倾向太阳，有时南半球倾向太阳。总之太阳的直射点总是在南北回归线之间移动，于是产生了昼夜长短的变化和四季的交替现象。

图 2-2 是以北半球春分、夏至、秋分、冬至四个典型季节日所代表的地球公转的运行图。由图 2-2 可以看到，3 月 20 日前后，中午时阳光垂直照射赤道，地面上昼夜时长相等，此时为春分；6 月 21 日前后，中午时阳光垂直照射北回归线，即北纬 $23^\circ26'$ ，北半球昼长夜短，此时为夏至，在南极圈（南纬 $66^\circ33'$ ）内则为极夜，全天见不到太阳，北极圈内则为极昼，太阳整日不落；9 月 23 日前后，阳光又再次垂直照射赤道，此时为秋分；12 月 22 日前后，中午时阳光垂直照射南回归线，即南纬 $23^\circ26'$ ，南半球昼长夜短，此时为冬至。

地球绕太阳运行一周，历时一年，计 365 天 5 时 48 分 46 秒。这一周期在天文学上称为一个“回归年”。在实际日历中，规定一年 365 天，称为“平年”。每四年增加一天至 366 天，称为“闰年”。

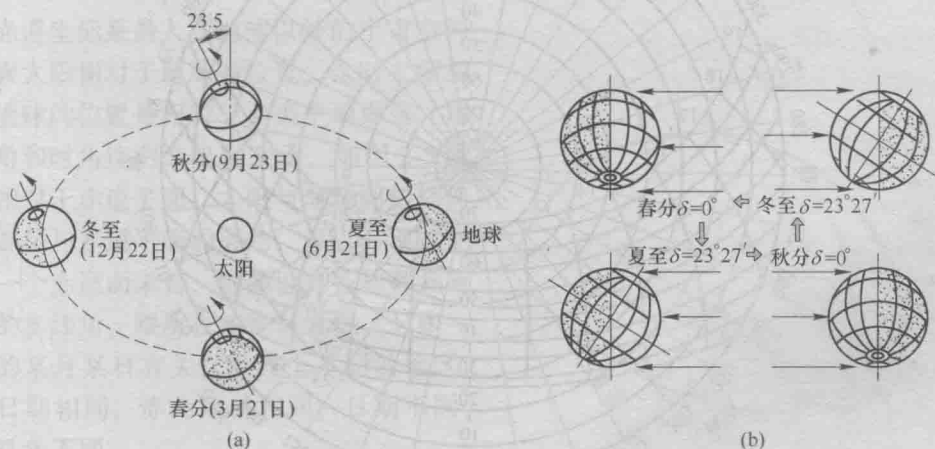


图 2-2 地球绕太阳运行及北半球的四季交替示意图

(a) 地球绕太阳运行示意图；(b) 地球受太阳照射的变化