

高等学校“专业综合改革试点”项目

太阳能热利用技术丛书

太阳能热水 系统及其设计

姚俊红 刘共青 卫江红 主编

清华大学出版社

太阳能热利用技术丛书

太阳能热水 系统及其设计

姚俊红 刘共青 卫江红 主编

清华大学出版社
北京

889780310

内 容 简 介

本书简单介绍了太阳和太阳辐射能,以及太阳能的利用、储存和发展等基础知识,详细说明了太阳能热水系统的关键部件——平板太阳能集热器和真空管太阳能集热器的结构、基本原理、材料、使用要求,以及应用、安装等内容,并结合实例重点讲解了太阳能热水系统的设计过程。

本书可作为太阳能热利用相关专业学生的教材或相关工作者的参考书,也可以作为太阳能热利用领域和将要进军该领域的企业的培训教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

太阳能热水系统及其设计/姚俊红,刘共青,卫江红主编.--北京:清华大学出版社,2014
(太阳能热利用技术丛书)

ISBN 978-7-302-35345-4

I. ①太… II. ①姚… ②刘… ③卫… III. ①太阳能水加热器—热水供应系统—设计
IV. ①TK515

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 020914 号

责任编辑:杨倩洪英

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:170mm×230mm 印 张:16.25 字 数:324千字

版 次:2014年4月第1版 印 次:2014年4月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:35.00元

产品编号:054849-01



太阳能热利用技术丛书

编委会

顾 问：贾铁鹰

主 任：程洪智 袁家普

委 员(按姓氏拼音排序)：

李彩霞 孙如军 王宝泉 王冬梅 王 会
卫江红 魏希德 姚俊红 赵 岩 赵玉磊

丛 书 序 言

能源是人类社会赖以生存和发展的物质基础。纵观人类社会发展的历史,人类文明的每一次重大进步都伴随着能源的改进和更替,能源的开发利用极大地推进了世界经济和人类社会的发展。进入 21 世纪后,全球经济快速发展和人口不断增长,使得一次能源消费量不断增加。人们在物质生活和精神生活不断提高的同时,也越来越感受到大规模使用化石能源带来的严重后果:资源日益枯竭,生态环境不断受到威胁,还诱发了不少国与国之间、地区之间的政治经济纠纷,甚至冲突和战争。因此,人类必须寻求清洁、安全、可靠的新能源和可再生能源。

太阳能是开发和利用新能源与可再生能源的重要内容。太阳能具有资源丰富,取之不尽、用之不竭,处处均可开发利用,无须开采和运输,无污染等特点。因此,太阳能的开发利用有着巨大的市场前景。我国是太阳能资源十分丰富的国家之一,2/3 的地区年辐射总量大于 $5020\text{MJ}/\text{m}^2$,年日照时数在 2200 小时以上。尤其是大西北,太阳能的开发利用有巨大的潜力。

太阳能光热利用是太阳能热利用的一种基本方式。太阳能低温热利用产生的是热水,象征产品是太阳能热水器、商用的太阳能热水系统和工业用的太阳能热水系统;太阳能中温热利用产生的是热能,是太阳能热利用未来 10~20 年内主要的发展方向;太阳能高温热利用产生的是热电,主要作用于“政府”公共工程以及商业领域,是未来太阳能热利用的最高阶段,也将成为替代常规能源的主要途径。

清华大学出版社和德州学院顺应时代需要,组织联系一批学者和太阳能光热企业技术人员,出版了这套“太阳能热利用技术丛书”。本套丛书共七本,从太阳能热利用概述到热水系统设计、施工管理,再到

专业英文文献,体系完整。每本书在编写时,思路清晰,内容丰富充实,不仅有理论介绍,更有大量翔实的案例,既具有很强的实用价值,又具有较高的学术价值。本套丛书不仅可以作为能源类太阳能相关领域的专业图书和教材,还可以作为太阳能相关企业工程技术人员的专业培训用书和参考书。

我们期待本套丛书的出版发行,并希望它能在太阳能光热的研究开发与应用进程中作出应有的贡献。

是以为序。

贾铁鹰

2013年7月

前 言

太阳光普照大地,无论是陆地还是海洋,无论是高山还是岛屿,处处皆有。每年到达地球表面的太阳辐射能相当于 130 万亿 tce(吨标准煤),是现今世界上可以开发的最大能源。根据目前太阳产生的核能速率估算,氢的储量足够维持上百亿年,而地球的使用寿命约为几十亿年,从这个意义上讲,可以说太阳的能量是用之不竭的。开发利用太阳能不会污染环境,它是最清洁能源之一,可直接开发和免费使用,又无须开采和运输,为人类创造了一种新的生活形态,使社会及人类进入了一个节约能源、减少污染的时代。

人们常采用光热转换、光电转换和光化学转换这三种形式来充分地利用太阳能。太阳能光热转换是目前世界范围内太阳能利用的一种最普及、最主要的形式。太阳能热水系统就是利用太阳能集热器收集太阳辐射能并把水加热的一种装置,是目前太阳能热利用发展中最具经济价值、技术最成熟且已商业化的一项应用产品。

尽管我国在太阳能利用领域的从业人员有几百万,但是,由于太阳能行业是一个新兴的行业,目前国内各学校还没有培养这方面人才的专业,相关教材更是屈指可数,且大多数是为职业院校所用。有些企业根据职工培训需要,也编制了自己的“教材”,但从高等教育意义上讲,这样的教材只是针对某个产品或某个工程进行说明,有些类似于“产品说明书”或“项目说明书”,理论知识不够系统和深入。在应对全球气候变化,国家积极推进太阳能利用产业的今天,急需出版相关的技术书籍,为高校人才培养和企业技术人员培训提供有益的参考。

为了实现我国太阳能产业的快速发展,培养更多优秀的行业所需人才,我们充分发挥高校教师和企业优秀技术人员的优势,共同编写了本书,旨在为太阳能热利用领域的工程技术人才培养提供支撑。本书

简单介绍了太阳能利用的基础知识,详细说明了太阳能热水系统的关键部件——平板太阳能集热器和真空管太阳能集热器的结构、基本原理及相关标准,重点讲解了太阳能热水系统的设计过程,并给出了工程实例。

本书是由高校教师与太阳能行业技术人员合作编写的、系统讲解太阳能热水系统及其设计内容的书籍,既有一定的理论知识,结构严谨,编排科学,又有来自工程的实例讲解,易学易懂。本书可作为太阳能热利用相关专业学生教材或相关工作者的参考书,也可以作为太阳能领域和将要进军该领域的大公司的培训教材。

本书在编写过程中参考了国内外的许多文献资料,在此一并表示感谢。由于编者水平有限,书中难免有不足或疏漏之处,敬请读者批评指正,并提出宝贵意见。

编 者

2013年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 太阳能的发展	1
1.2 能源现状	4
1.2.1 中国的能源状况.....	5
1.2.2 我国对使用可再生能源的重视.....	5
1.3 太阳能利用的意义	6
1.3.1 太阳能资源利用.....	6
1.3.2 我国利用太阳能的条件.....	7
1.4 本课程学习的主要内容	8
第 2 章 太阳能利用基础知识	9
2.1 太阳和太阳辐射能	9
2.1.1 太阳的构造.....	9
2.1.2 太阳能辐射	10
2.1.3 到达地面的太阳辐射	11
2.1.4 太阳常数	12
2.1.5 太阳能的波长分布	13
2.2 热传递基本知识.....	14
2.2.1 热传导	14
2.2.2 对流	14
2.2.3 辐射	15
2.3 太阳能集热器.....	15

2.3.1	太阳能集热器的分类	16
2.3.2	常用太阳能集热器	16
2.4	太阳能转换	18
2.4.1	太阳能-热能转换	19
2.4.2	太阳能-电能转换	19
2.4.3	太阳能-氢能转换	19
2.4.4	太阳能-生物质能转换	21
2.4.5	太阳能-机械能转换	21
2.5	太阳能储存	21
2.5.1	热能储存	21
2.5.2	电能储存	22
2.5.3	氢能储存	23
2.5.4	机械能储存	23
2.6	太阳能传输	24
2.7	太阳能光热利用	24
第3章	平板型太阳能集热器	26
3.1	平板集热器的集热原理	26
3.2	平板集热器的选材	27
3.2.1	吸热板	27
3.2.2	透明盖板	32
3.2.3	隔热体	34
3.2.4	壳体	36
3.3	平板集热器的效率	38
3.3.1	集热器效率的定义	38
3.3.2	集热器效率方程	38
3.3.3	总热损系数	41
3.3.4	集热器面积	43
3.3.5	集热器效率曲线	45
3.4	平板集热器的热性能试验	46
3.4.1	集热器有用功率的测定	46
3.4.2	集热器效率的计算	46
3.4.3	归一化温差的计算	47
3.4.4	瞬时效率曲线的测定	47
3.5	平板型太阳能集热器产品的命名和结构尺寸	48

3.5.1	产品的命名	48
3.5.2	结构尺寸	49
3.5.3	技术要求	49
第4章	真空管型太阳能集热器	51
4.1	全玻璃真空管太阳能集热器	51
4.1.1	全玻璃真空管的基本结构	51
4.1.2	全玻璃真空管集热器的基本结构	52
4.1.3	全玻璃真空管集热器的性能特点	53
4.1.4	全玻璃真空管的几种改进形式	53
4.2	玻璃-金属封接式真空管太阳能集热器	55
4.2.1	热管式真空管的基本结构	55
4.2.2	热管式真空管集热器的基本结构	57
4.2.3	其他几种金属吸热体真空管集热器	58
4.3	真空管型太阳能集热器的结构尺寸和产品命名	60
4.3.1	全玻璃真空太阳能集热管的结构尺寸	60
4.3.2	全玻璃真空太阳能集热管产品命名	61
4.3.3	全玻璃真空太阳能集热管技术要求	62
4.3.4	玻璃-金属封接式热管真空太阳能集热管的结构尺寸	63
4.3.5	玻璃-金属封接式热管真空太阳能集热管的产品命名	64
4.3.6	玻璃-金属封接式热管真空太阳能集热管材料要求	64
4.3.7	玻璃-金属封接式热管真空太阳能集热管技术要求	65
4.3.8	真空管太阳能集热器结构尺寸	66
4.3.9	真空管太阳能集热器产品命名	66
第5章	家用太阳能热水系统	68
5.1	家用太阳能热水系统概述	68
5.1.1	家用太阳能热水器的组成及工作原理	69
5.1.2	家用太阳能热水器的主要部件及作用	69
5.2	家用太阳能热水器常用类型及运行方式	71
5.2.1	家用太阳能热水器的分类	71
5.2.2	家用太阳能热水器常用类型和运行方式	72
5.3	家用太阳能热水系统产品标记和性能指标	73
5.3.1	家用太阳能热水系统产品标记	73
5.3.2	太阳能热水器产品性能参数	74

5.4	家用太阳能热水器设计规范	75
5.4.1	基本规定	75
5.4.2	规划设计	75
5.4.3	建筑设计	75
5.4.4	结构设计	77
5.4.5	管路设计	77
5.4.6	运行控制设计	77
5.4.7	电气及防雷设计	77
5.5	家用太阳能热水器安装	78
5.5.1	平板单机太阳能热水器安装	78
5.5.2	阳台壁挂式热水器安装	85
5.5.3	分体式太阳能系统安装	97
5.6	家用太阳能热水器设计选用	103
第6章	太阳能热水工程设计	106
6.1	太阳能热水工程概述	106
6.1.1	太阳能热水系统分类	106
6.1.2	太阳能热水系统设计选用	107
6.2	技术资料准备	108
6.2.1	现场勘查	108
6.2.2	热水系统负荷计算	109
6.2.3	太阳能热水系统集热器换热计算	111
6.3	太阳能集热器数量确定	113
6.4	系统运行方式选择	114
6.4.1	太阳能热水系统运行方式	114
6.4.2	系统运行方式选择应考虑的问题	117
6.5	储水箱设计	117
6.5.1	水箱安装位置的确定	118
6.5.2	水箱支架及加强底座的设计	118
6.5.3	水箱保温设计	119
6.5.4	水箱选型设计	121
6.5.5	太阳能储水箱的开孔位置设计	121
6.5.6	热水锅炉储水箱的开孔位置设计	123
6.6	水泵的选型计算	124
6.6.1	集热循环流量的计算	124

6.6.2	集热循环主管道管径确定	124
6.6.3	太阳能集热循环系统泵的选型依据	125
6.7	管网设计计算	126
6.7.1	热水供应系统管路流量设计	126
6.7.2	管网的水力计算	130
6.7.3	管道的设计选择	131
6.7.4	管路、水箱热损失计算	132
6.8	膨胀罐选型计算	135
6.8.1	膨胀罐总容积计算	136
6.8.2	膨胀罐的选型	136
6.9	辅助能源计算	137
6.10	设备及附件的安装设计	138
6.10.1	集热器支架设计	138
6.10.2	集热器钢构安装平台设计	143
6.10.3	定时供热水装置	145
6.10.4	加压供水装置	145
6.10.5	回水装置	147
6.10.6	供热水管网设计	148
6.10.7	电气控制及电气线路设计	153
6.10.8	排气阀的安装	155
6.10.9	试水阀和排污阀的安装	156
6.10.10	强制循环温差控制器高温传感探头的安装	156
6.10.11	平板集热器的连接件选择	157
6.10.12	连通管管径的选择	157
6.10.13	太阳能热水系统的防冻措施	157
6.11	太阳能热水工程布局方案	160
6.11.1	太阳能集热器的布置	160
6.11.2	平板型太阳能集热器布局方案	161
6.11.3	真空管型集热器布局方案	169
第7章	工程案例	174
7.1	真空管太阳能热水工程案例——山东省淄博市某酒店 15t/d 太阳能热水工程	174
7.1.1	项目概况	174
7.1.2	方案设计依据及标准	174

7.1.3	设计指标	176
7.1.4	运行原理及说明	177
7.1.5	校核计算及说明	178
7.1.6	主要设备选型	180
7.2	平板型太阳能热水工程案例	182
7.2.1	太阳能热水系统	182
7.2.2	太阳能供热采暖工程	191
7.2.3	太阳能游泳池加热系统	195
附录 A	我国主要城市的太阳能辐射参数表	197
附录 B	我国主要城市日照时数及日照百分率	199
附录 C	太阳能热水系统水质要求	201
附录 D	生活饮用水水质标准(GB 5749—1985)	203
附录 E	热水用水量定额	205
附录 F	卫生器具的一次和小时热水用水定额及水温	206
附录 G	冷水计算温度	208
附录 H	太阳能保证率推荐	209
附录 I	低压流体输送用镀锌焊接钢管及焊接钢管 (GB 3091—1993, GB 3092—1993)	210
附录 J	管径和流量比较	211
附录 K	给水塑料管水力计算表	212
附录 L	热水管(钢管)计算内径 d_j 值(YB 234—1963)	214
附录 M	热水管水力计算	215
附录 N	热水管局部水头损失计算	235
附录 O	给排水图例	237
附录 P	U_0 和 a_c 值对应表	242
参考文献		243

绪 论

1.1 太阳能的发展

据记载,人类利用太阳能已有 3000 多年的历史,将太阳能作为一种能源和动力加以利用,也已有 300 多年的历史,而真正将太阳能作为“近期急需的补充能源”、“未来能源结构的基础”则是近年来的事情。

20 世纪 70 年代以来,太阳能技术突飞猛进,太阳能利用日新月异。近代太阳能利用历史可以从 1615 年法国工程师所罗门·德·考克斯在世界上发明第一台太阳能驱动的发动机算起,该发明是一台利用太阳能加热空气使其膨胀做功而抽水的机器。1615—1900 年,世界上又研制成多台太阳能动力装置和一些其他太阳能装置,这些动力装置几乎全部采用聚光方式采集阳光,发动机功率不大,工质主要是水蒸气,价格昂贵,实用价值不大,大部分为太阳能爱好者个人研究制造。20 世纪的 100 年间,太阳能科学技术发展历史大体可分为 7 个阶段,下面分别予以介绍。

1. 第一阶段(1900—1920)

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 73.64kW,实用目的比较明确,造价仍然很高。建成的典型装置有:

(1) 1901 年,在美国加州建成一台太阳能抽水装置,采用截头圆锥聚光器,功率为 7.36kW;

(2) 1902—1908 年,在美国建造了 5 套双循环太阳能发动机,采用平板集热器和低沸点工质;

(3) 1913 年,在埃及开罗以南建成一台由 5 个抛物槽镜组成的太阳能水泵,每个长 62.5m,宽 4m,总采光面积达 1250m²。

2. 第二阶段(1920—1945)

在这 20 多年中,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(1939—1945)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。

3. 第三阶段(1945—1965)

在第二次世界大战结束后的20年中,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了一些重大进展,比较突出的有以下几个。

(1) 1952年,法国国家研究中心在比利牛斯山东部建成一座功率为50kW的太阳炉。

(2) 1954年,美国贝尔实验室研制成实用型硅太阳电池,为光伏发电大规模应用奠定了基础。

(3) 1955年,以色列泰伯等在第一次国际太阳热科学会议上提出选择性涂层的基础理论,并研制成实用的黑镍等选择性涂层,为高效集热器的发展创造了条件。

(4) 1960年,在美国佛罗里达建成世界上第一套用平板集热器供热的氨-水吸收式空调系统,制冷能力为5冷吨。

(5) 1961年,一台带有石英窗的斯特林发动机问世。

在这一阶段里,加强了太阳能基础理论和基础材料的研究,取得了如太阳选择性涂层和硅太阳电池等技术上的重大突破。平板集热器有了很大的发展,技术上逐渐成熟。太阳能吸收式空调的研究取得进展,建成了一批实验性太阳房。对难度较大的斯特林发动机和塔式太阳能热发电技术进行了初步研究。

4. 第四阶段(1965—1973)

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。

5. 第五阶段(1973—1980)

自从石油在世界能源结构中担当主角之后,石油就成了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热潮。

1973年,美国制定了政府级阳光发电计划,太阳能研究经费大幅度增长,并且成立太阳能开发银行,促进太阳能产品的商业化。日本在1974年公布了政府制定的“阳光计划”,其中太阳能的研究开发项目有太阳房、工业太阳能系统、太阳热发电、太

阳电池生产系统、分散型和大型光伏发电系统等。为实施这一计划,日本政府投入了大量人力、物力和财力。

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等。1975年,在河南安阳召开的“全国第一次太阳能利用工作经验交流大会”,进一步推动了我国太阳能事业的发展。这次会议之后,太阳能研究和推广工作纳入了我国政府计划,获得了专项经费和物资支持。一些大学和科研院所,纷纷设立太阳能课题组和研究室,有的地方开始筹建太阳能研究所。当时,我国也兴起了开发利用太阳能的热潮。这一时期,太阳能开发利用工作处于前所未有的大发展时期,具有以下特点。

(1) 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。

(2) 研究领域不断扩大,研究工作日益深入,取得一批较大成果,如CPC、真空集热管、非晶硅太阳电池、光解水制氢、太阳能热发电等。

(3) 各国制定的太阳能发展计划,普遍存在要求过高、过急问题,对实施过程中的困难估计不足,希望在较短的时间内取代矿物能源,实现大规模利用太阳能。例如,美国曾计划在1985年建造一座小型太阳能示范卫星电站,1995年建成一座500万kW空间太阳能电站。事实上,这一计划后来进行了调整,至今空间太阳能电站还未升空。

(4) 太阳能热水器、太阳电池等产品开始实现商业化,太阳能产业初步建立,但规模较小,经济效益尚不理想。

6. 第六阶段(1980—1992)

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,提高效率和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20世纪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、储能难、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。虽然持有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了不良影响。

然而,在这一阶段,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,有的项目进展较大,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