



基于平板集热的 太阳能光热利用新技术 研究及应用

Research and Application of the
Novel Solar Thermal Technologies Based on
Flat-plate Solar Collectors

季 杰 等/著



科学出版社

基于平板集热的太阳能光热利用 新技术研究及应用

**Research and Application of the Novel Solar Thermal
Technologies Based on Flat-plate Solar Collectors**

季 杰 等 著

科 学 出 版 社

内 容 简 介

本书首先介绍平板集热的基本原理、分类、工艺、结构,利用传热学理论建立了传统平板集热器热性能及冻结性能模型并进行了优化分析,在此基础上研发了太阳能平板-环路热管热水器、带有相变储能的太阳能平板热水器、大尺度平板热水器、主动式平板空气集热器、可逆转百叶型被动式集热系统、太阳能双效集热器、太阳能平板蒸发器/直接膨胀式热泵、太阳能平板集热-间接膨胀式多功能热泵、光伏直驱太阳能集热等多种基于平板集热的新技术,详细阐述了各种技术的基本原理、结构设计、数理模型、实验方法、参数分析,并介绍了部分技术的应用案例。

本书可供太阳能领域、建筑热工领域的科研人员、工程技术人员参考,也可作为高等学校相关专业本科生和研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

基于平板集热的太阳能光热利用新技术研究及应用 = Research and Application of the Novel Solar Thermal Technologies Based on Flat-plate Solar Collectors / 季杰等著. — 北京: 科学出版社, 2018

ISBN 978-7-03-056084-1

I. ①基… II. ①季… III. ①太阳能利用-新技术-研究 IV. ①TK51

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第315300号

责任编辑: 刘翠娜 / 责任校对: 桂伟利
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 无极书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年1月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2018年1月第一次印刷 印张: 21 3/4

字数: 426 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

太阳能低温热利用是太阳能应用的最简单、最廉价、最高效的应用方式。在太阳能低温集热中平板集热器和真空管集热器应用最为广泛，主要应用在生活热水供应、低温采暖、农副产品干燥、工业预热等多个领域。以往平板集热在国外应用相对较多，由于其防冻能力差，在我国主要应用于南方地区。然而平板集热具有低温集热效率高、承压性能好、加工方便及易于建筑一体化等优点，近年来在我国得到越来越多的应用，部分省市甚至出台了在建筑中太阳能集热器必须使用平板集热器的规定。

传统平板集热器只是吸收太阳能制备热水，然而，鉴于平板集热的结构特点，中国科学技术大学季杰教授团队研发了基于平板集热的多种太阳能利用新技术，拓展了平板集热的应用范围。本书首先介绍平板集热的基本原理、分类、工艺、结构，利用传热学理论建立了传统平板集热器热性能及冻结性能模型并进行了优化分析，在此基础上研发了太阳能平板-环路热管热水器、带有相变储能的太阳能平板热水器、大尺度平板热水器、主动式平板空气集热器、可逆转百叶型被动式集热系统、太阳能双效集热器、太阳能平板蒸发器/直接膨胀式热泵、太阳能平板集热-间接膨胀式多功能热泵、光伏直驱太阳能集热等多种基于平板集热的新技术，详细阐述了各种技术的基本原理、结构设计、数理模型、实验方法、参数分析，并简要介绍了部分技术的应用案例。

本书由季杰教授策划和组织，其内容主要为季杰教授指导研究生所做成果，共13章。第1章由季杰教授撰写；第2章、第4章、第5章、第6章由周帆、季杰撰写；第3章由裴刚教授据其本人及张涛博士的论文进行编写；第7章、第10章由孙玮博士据其本人及马进伟、罗成龙、于志博士的论文进行编写；第8章由何伟教授据其本人及研究生胡中停博士、王臣臣硕士的工作进行编写；第9章由赵东升、季杰撰写；第11章由黄文竹博士撰写；第12章由蔡靖雍博士撰写；第13章由王艳秋博士撰写。全书由季杰教授统稿并对各章内容进行修改和补充。

衷心感谢国家自然科学基金委、科技部、中国科学院、广东省及东莞市多个项目的支持。衷心感谢广东五星太阳能股份有限公司胡广良董事长和中国科学院广州能源研究所徐刚教授的帮助。

平板集热是太阳能集热的基本方式之一，具有广阔的应用前景。本书内容旨在拓展平板集热的研发和应用范围，希望能对学术研究和行业发展有所帮助。本书虽经多次修改，但疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2017 年 8 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 太阳能平板集热器的基本结构及材料	2
1.1.1 太阳能平板集热的基本原理	2
1.1.2 太阳能平板集热器的基本结构	2
1.1.3 太阳能平板集热器的主要构件与材料	2
1.2 太阳能平板集热器的类型	4
1.3 新型太阳能平板集热技术	5
1.3.1 太阳能平板-热管集热器	5
1.3.2 太阳能平板-相变储能平板集热器	6
1.3.3 太阳能大尺寸平板集热器	7
1.3.4 太阳能平板-直接膨胀式/间接膨胀式热泵	8
1.3.5 太阳能平板-双效集热器	9
1.3.6 太阳能平板-百叶型集热墙	10
1.3.7 光伏直驱平板集热系统	10
1.3.8 太阳能平板 PV/T 技术	11
第 2 章 太阳能平板-肋管集热器及优化	12
2.1 平板-肋管集热器的工艺及构造	12
2.1.1 平板-肋管集热器主要部件	13
2.1.2 平板集热器的生产工艺	14
2.2 平板-肋管集热器的数理模型	17
2.2.1 集热器各部件的能量平衡方程	18
2.2.2 能量平衡方程的求解方法	21
2.3 平板-肋管集热器的测试与分析	22
2.3.1 平板-肋管集热器的性能评价指标和测试方法	22
2.3.2 运行参数对集热器性能的影响	24
2.3.3 结构参数对集热器性能的影响	25
2.4 太阳能平板-肋管集热器的应用	27
2.4.1 阳台壁挂式平板热水器	27
2.4.2 大型平板热水系统-亚运会	30
参考文献	31

第3章 环形热管太阳能平板集热系统的实验和理论研究	33
3.1 重力环形热管太阳能平板集热系统	33
3.1.1 重力环形热管太阳能平板集热系统实验平台介绍	33
3.1.2 实验设计及说明	35
3.1.3 实验结果分析	39
3.2 动力环形热管太阳能平板集热系统	55
3.2.1 动力环形热管太阳能平板集热系统实验平台介绍	55
3.2.2 实验设计及说明	57
3.2.3 实验结果分析	59
参考文献	66
第4章 太阳能平板热水器冻结性能与防冻	67
4.1 平板热水器冻结模型	67
4.1.1 集热器夜晚降温冻结情况下的能量平衡方程	67
4.1.2 模型的求解方法	71
4.2 平板热水器冻结实验与分析	72
4.2.1 实验装置与实验过程	72
4.2.2 实验结果分析	74
4.2.3 影响平板集热器抗冻性能的因素分析	79
4.3 平板热水器防冻	83
4.3.1 隔热装置稳态传热模型及求解方法	83
4.3.2 模拟结果与分析	86
参考文献	88
第5章 带有相变储能的太阳能平板热水器性能研究	89
5.1 带有相变储能的太阳能平板热水器的构造	90
5.1.1 相变储能集热器的结构及设计参数	90
5.1.2 相变储能集热器工作原理	92
5.2 有相变储能的太阳能平板热水器的数理模型	92
5.2.1 相变储能太阳能平板热水器白天运行情况下各部分的能量平衡方程	93
5.2.2 相变储能太阳能平板热水器夜间降温情况下各部分的能量平衡方程	96
5.2.3 模型求解方法	96
5.3 相变储能对平板热水器热性能及冻结性能的影响	97
5.3.1 相变储能集热器和传统集热器的全天运行性能对比	98
5.3.2 PCM材料相变温度对集热器性能的影响	100
5.3.3 PCM材料相变潜热对集热器性能的影响	102
5.3.4 PCM相变板与吸热板之间的热阻对集热器性能的影响	103
5.3.5 PCM相变板厚度的影响	105

参考文献	106
第 6 章 大尺度平板热水器	108
6.1 大尺度平板热水器的构造	108
6.2 大尺度平板热水器的性能分析	110
6.2.1 大尺度平板热水器的数理模型	111
6.2.2 大尺度集热器与传统集热器阵列的比较	114
6.2.3 大尺度集热器结构参数研究	116
6.3 大尺度平板热水器的实验研究	121
6.3.1 实验装置	121
6.3.2 稳态测试结果	122
6.3.3 非稳态测试结果	123
参考文献	124
第 7 章 主动式太阳能平板空气集热器	125
7.1 主动式平板空气集热器的基本结构与原理	125
7.2 主动式平板空气集热器的数理模型	127
7.2.1 单流道空气集热器的理论模型	127
7.2.2 双流道式平板空气集热器的理论模型	131
7.2.3 模型中一些辅助参数的计算	133
7.2.4 空气集热器理论模型的求解及性能评价	136
7.3 主动式平板空气集热器的实验与分析	138
7.3.1 平板型空气集热器的实验测试系统	138
7.3.2 实验结果分析	140
7.4 平板空气集热器的性能优化分析	143
7.4.1 双流道集热器性能的数值分析	143
7.4.2 流道高度对不同结构的空气集热器的性能影响	148
参考文献	153
第 8 章 可逆转百叶型集热墙技术	154
8.1 可逆转百叶型集热墙集热的基本结构与原理	154
8.2 可逆转百叶型集热墙集热的数理模型	155
8.2.1 外玻璃盖板的能量平衡	156
8.2.2 百叶的能量平衡	156
8.2.3 空气夹层中的能量平衡	158
8.2.4 内墙的传热	158
8.2.5 房间内的能量平衡	159
8.2.6 房间热舒适性(PMV)的计算	160

8.3	可逆转百叶型集热墙系统实验平台	162
8.4	模型验证与分析	166
8.4.1	数值计算流程	166
8.4.2	数学模型的验证	168
8.4.3	计算结果讨论与分析	171
8.4.4	小结	176
8.5	实验研究与分析	176
8.5.1	叶片角度对可逆转百叶型集热墙系统热性能的影响	176
8.5.2	风机对可逆转百叶型集热墙热性能的影响	179
8.5.3	冬夏季运行工况的能耗实验研究	181
8.5.4	小结	184
	参考文献	184
第9章	平板被动式空气集热与太阳能炕采暖系统相结合	186
9.1	系统的构成	186
9.2	系统的数学模型	191
9.2.1	被动空气集热系统	191
9.2.2	太阳能炕系统	192
9.2.3	围护结构和室内空气	193
9.3	复合采暖系统的实测与模型验证	194
9.3.1	测试方案	194
9.3.2	设备的运行效果和测试结果	196
9.3.3	模拟结果与实验结果对比	202
9.4	复合采暖系统在青海地区的实际应用	206
	参考文献	209
第10章	太阳能双效集热系统	210
10.1	太阳能双效集热系统的基本结构与原理	210
10.2	太阳能双效集热系统的实验与分析	213
10.2.1	双效集热系统的实验系统简介	213
10.2.2	被动集热水工作模式下的实验研究	214
10.2.3	被动采暖工作模式下的实验研究	218
10.3	太阳能双效集热系统的理论模型及研究	220
10.3.1	集热水工作模式下的热平衡方程	220
10.3.2	采暖工作模式下的热平衡方程	222
10.3.3	建筑耦合的计算	223
10.3.4	模型求解及验证	225
10.3.5	被动式双效集热系统在集热水模式下对空调负荷的影响	230

10.4 太阳能双效集热系统在示范建筑上的应用	233
10.4.1 示范建筑的太阳能采暖	234
10.4.2 太阳能双效集热系统制热水	240
参考文献	243
第 11 章 太阳能平板集热-直接膨胀式热泵	244
11.1 太阳能平板集热-直接膨胀式热泵的基本原理与测试方法	244
11.1.1 工作原理和系统构建	244
11.1.2 焓差实验室及测量仪器	244
11.1.3 性能分析及误差分析	247
11.2 太阳能平板集热-直接膨胀式热泵的数理模型与分析	248
11.2.1 数理模型	248
11.2.2 数理模型的实验验证	255
11.2.3 太阳能平板集热-直接膨胀式热泵系统的结霜特征理论预测	257
11.2.4 太阳能平板集热-直接膨胀式热泵系统的参数分析	258
11.3 太阳能平板集热-直接膨胀式热泵结霜研究	264
11.3.1 太阳能平板集热-直接膨胀式热泵结霜条件	264
11.3.2 太阳能平板集热-直接膨胀式热泵结霜过程	265
参考文献	268
第 12 章 太阳能平板集热系统-间接膨胀多功能热泵	269
12.1 太阳能平板集热系统-间接膨胀多功能热泵系统	269
12.1.1 太阳能平板集热系统-间接膨胀多功能热泵系统结构及工作原理	269
12.1.2 太阳能平板集热系统-间接膨胀多功能热泵系统性能评价	271
12.2 太阳能平板集热系统-间接膨胀多功能热泵系统的实验研究	274
12.2.1 制冷模式性能分析	275
12.2.2 空气源制热模式性能分析	275
12.2.3 空气源制热水模式性能分析	275
12.2.4 太阳能制热水模式性能分析	276
12.2.5 太阳能制热模式性能分析	279
12.3 太阳能平板集热系统-间接膨胀多功能热泵系统的理论研究	282
12.3.1 理论模型及求解	282
12.3.2 在不同运行条件下的性能分析	294
12.3.3 全年性能分析	299
12.4 本章小结	302
参考文献	303
第 13 章 太阳能平板集热系统-光伏直驱式热水系统	305
13.1 太阳能平板集热系统-光伏直驱式热水系统	305

13.1.1	太阳能平板集热系统-光伏直驱式热水系统原理和结构	305
13.1.2	系统性能评价参数	307
13.2	太阳能平板集热系统-光伏直驱式热水系统的实验对比研究	308
13.2.1	对比测试实验平台	308
13.2.2	光伏模块设计	310
13.2.3	实验测试内容	311
13.2.4	实验结果与分析	312
13.2.5	对比实验结果小结	321
13.3	太阳能平板集热系统-光伏直驱动式热水系统的模拟研究	321
13.3.1	不同光伏模块设计的输出特性	322
13.3.2	光伏模块设计对系统循环流量曲线的影响	323
13.3.3	循环流量曲线对系统性能的影响	326
13.3.4	不同光伏模块设计方案的比较	329
13.3.5	有无循环控制器的系统热性能的比较	329
13.3.6	光伏模块与直流泵连接方式的对比与选择	331
13.3.7	模拟研究结果小结	332
13.4	太阳能平板集热系统-光伏直驱式系统的设计方法与性能对比	333
	参考文献	337

第1章 绪 论

太阳能是可再生能源中最引人注目、研究最多、应用最广的清洁能源。按照太阳能利用的不同途径,可将太阳能利用分为太阳能光热利用、太阳能光电利用、太阳能光化学利用、太阳能光生物利用以及太阳能储存与转换利用等,其中太阳能光热利用技术是目前效率最高、经济性最好的太阳能利用方式,而太阳能热水器又是发展最为成熟的利用形式之一。

太阳能热水器以其经济、节能、安全、环保的优点,近年来更是得到了前所未有的发展。中国已成为全球最大的太阳能热水器生产和使用国。2013年,我国太阳能集热器总销量约为 6600 万 m^2 ,与 2012 年 6390 万 m^2 同比增长 3.3%,总产值超过千亿。太阳能平板集热器增长明显,2013 年产量为 650 万 m^2 ,同比增长 27.3%。目前市面上主要存在两种集热器形式:太阳能真空管型集热器和太阳能平板型集热器。太阳能真空管型集热器的特点是成本低、热损小、终温高,但热转移系数小,承压能力不强,不易与建筑结合,尤其是安装在高层建筑上存在安全隐患;而太阳能平板型集热器作为一种最常见的光热利用装置,因具有集热效率高、承压性能好、加工方便以及易于建筑一体化等优点具有良好的发展前景,如图 1.1 所示。



(a) 阳台壁挂式



(b) 墙面嵌入式

图 1.1 太阳能平板型集热器建筑一体化

1.1 太阳能平板集热器的基本结构及材料

1.1.1 太阳能平板集热的基本原理

太阳能平板集热器的基本原理是：太阳辐射穿过透明盖板后照射在集热板上，集热板吸收太阳辐射后温度升高，然后将热量传递给集热板内的传热介质，使得传热工质的温度升高，作为集热器的有用热能输出；同时，温度升高后的集热板通过传导、对流和辐射等方式向四周散热，即为集热器的热量损失。

1.1.2 太阳能平板集热器的基本结构

太阳能平板集热是一种吸收太阳辐射能量并将产生的热能传递给工质的装置。所谓平板型并不一定是平的表面，而是指集热器采集太阳辐射能的表面积与其吸收辐射能的表面积相等。典型的平板集热器主要由集热板(包括吸热面板和传热介质流道)、透明盖板、外壳、隔热保温材料和密封条等几部分组成，其结构如图 1.2 所示。

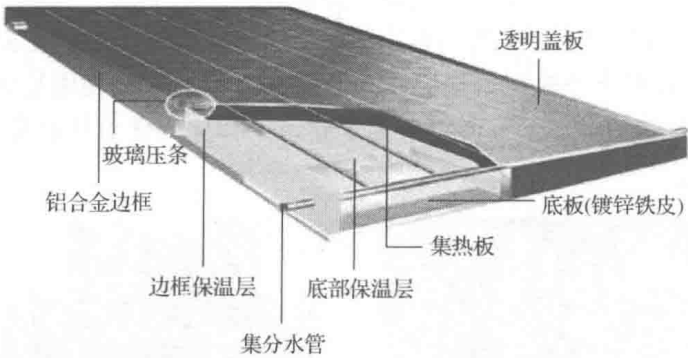


图 1.2 太阳能平板集热器结构示意图

1.1.3 太阳能平板集热器的主要构件与材料

1) 集热板

集热板是接收太阳辐射能并将热能传向传热介质的一种特殊热交换器，其包括吸热面板和与其良好结合的流体流道或通道。吸热面板的材料可以为金属或者非金属，一般采用铜、铝合金、不锈钢、合成树脂以及橡胶等。根据国家标准《平板型太阳能集热器》(GB/T 6424-2007)，集热板的结构形式主要分为管板式、翼管式、扁盒式和蛇管式等几种，如图 1.3 所示。最初的金属吸热板翼管式采用吹胀工艺制作。目前吸热板多采用金属肋管结构，肋片为铝板，肋管为铜管，良好的接触是保证良好传热的关键，管板式和蛇管式主要采用超声波焊接和激光焊接。

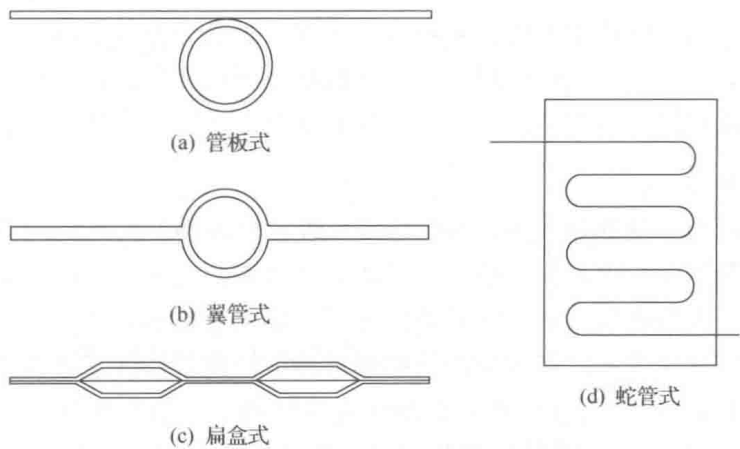


图 1.3 吸热板的基本类型

2) 涂层

为使吸热板最大限度地吸收太阳辐射能，其表面常覆盖有选择性或者非选择性吸收涂层。所谓选择性涂层指的是对太阳的短波辐射具有较高的吸收率，而本身所在温度的长波发射率较低的一种吸收涂层。这种涂层既可使吸热板吸收更多的辐射能，又可以减少集热板向环境的辐射热损失，如图 1.4(a) 所示。

根据太阳光谱能量的分布特点，在太阳辐照范围内 (300nm~2.5μm) 有高的吸收率 α ，在黑体辐射区域 (2.5~25μm) 有较低的发射率 ε ，这就是太阳能光谱选择性吸收涂层的特性。高性能的选择性吸收涂层要求 $\alpha > 92\%$ 、 $\varepsilon < 0.1$ ， α/ε 越大越好[图 1.4(b)]。

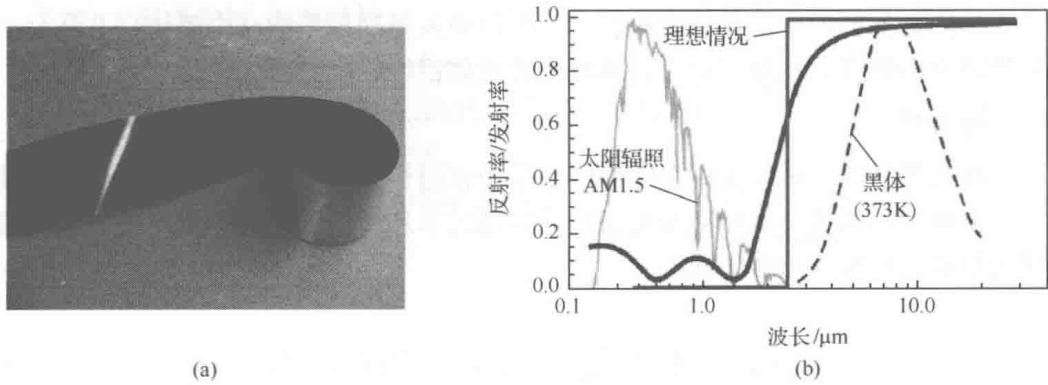


图 1.4 选择性涂层(a)及理想涂层与实际涂层的光谱吸收曲线(b)

目前国内还没有高效、环保且适于平板集热器的光谱选择性吸收涂层：真空管上的磁控溅射技术制备 AL 系薄膜对环境要求高，接触空气会很快氧化，耐候性差；电镀铬制备光热转换涂层的方法不环保，污染极大，在很多大城市禁止使用；高分子材料喷涂、铝阳极氧化等方法不仅制备方法不环保，而且性能不佳，

发射率偏高；真空磁控溅射镀膜制备方法环保，光谱选择性吸收性能好，而且对环境要求不高，可在空气中使用，是与平板集热器最完美结合的涂层，但是由于技术所限，以前绝大多数为进口产品，目前市面上的国产蓝膜的质量参差不齐。

3) 透明盖板

透明盖板位于集热板上方，主要是减少吸热板表面对大气的对流和辐射热损失，同时也起到保护吸热板，使其不受灰尘及雨雪的侵蚀。对透明盖板的主要技术要求包括：太阳透射比高、红外透射比低、导热系数小、冲击性强度高及耐候性能好等。目前国内外广泛使用的是平板玻璃，特别是低铁平板玻璃，其太阳透射比高达 91%。透明盖板的层数取决于集热器的工作温度和使用地区的气候条件。绝大多数情况下，采用的都是单层透明玻璃，包括超白低铁钢化玻璃或超白低铁布纹钢化玻璃。由于平板集热器的热损失主要是通过透明盖板途径散失，特别是考虑到寒冷地区应用的防冻问题，国内外也呈现了双层玻璃、中空玻璃、真空玻璃集热器。

4) 隔热保温层

在集热板的背面和侧面都充填有隔热保温材料，以减少吸热板通过热传导向周围散热。底部隔热保温层的常用材料有：岩棉、矿棉、聚苯乙烯及聚氨酯等，这些材料具有导热系数小、不易变形、吸水性小、耐高温、不分解、便于安装及价格低廉等特点。底部隔热保温层的厚度一般为 3~5cm，四周隔热保温层的厚度大约为底部的一半。

5) 外壳

集热器外壳的作用是将吸热板、透明盖板及隔热层组成一个整体，并具有一定的刚度和强度。一般用钢材、塑料或者玻璃钢等制成。

6) 密封

集热器外壳与透明盖板之间的间隙采用密封条密封，以隔绝外界水蒸气及其他有害物质的渗透，从而减少对透明盖板透过率和涂层的影响，密封条材料一般是采用硫化橡胶或热塑化橡胶。

1.2 太阳能平板集热器的类型

太阳能平板集热器可以按多种方法进行分类。

1) 按传热介质的种类划分

(1) 水作为传热介质——太阳能平板热水器。

(2) 空气作为传热介质——太阳能平板空气集热器。

(3) 制冷工质作为传热介质——直接膨胀式太阳能热泵。

(4) 低沸点工质作传热介质——热管太阳平板集热器。

2) 按是否消耗外界机械动力划分

(1) 主动式平板集热器——利用外加的风机或者水泵驱动循环。

(2) 被动式平板集热器——仅依靠热浮生力或者重力驱动循环。

3) 按功能性划分

(1) 单功能平板集热器——仅具有单一的功能,如采暖、供热水、发电或者干燥等。

(2) 多功能平板集热器——根据用户的需要可同时或分时段空气采暖、供热水或者发电,如热空气/热水双效集热器、PV/T等。

1.3 新型太阳能平板集热技术

普通的平板型太阳能集热器虽然具有结构简单、价格低廉、维护方便等优点,然而经过多年的广泛使用发现有诸多问题亟待解决:冬季结冰导致管道胀裂、表面热损较大、功能单一以及实际运行效率偏低等。为了改善平板集热器存在的上述问题,国内外学者提出了许多新的方法,进行了大量的理论与实验研究。这些工作有些是为了提高平板集热的效率及其功能,有些则是为了提高太阳能建筑一体化的利用。主要涉及的新型平板集热技术如下:

(1) 太阳能平板-热管集热技术;

(2) 太阳能平板-相变储能平板集热技术;

(3) 太阳能大尺寸平板集热技术;

(4) 太阳能平板-直接膨胀式/间接膨胀式热泵热水技术;

(5) 太阳能平板-双效集热技术;

(6) 太阳能平板-百叶型被动集热墙技术;

(7) 光伏直驱平板集热系统;

(8) 太阳能平板 PV/T 技术。

1.3.1 太阳能平板-热管集热器

热管传热是利用低沸点介质的热端蒸发后在冷端冷凝的相变过程(即利用液体的蒸发潜热和凝结潜热),使热量快速传导。与铜、铝等金属相比,单位重量的热管可多传递几个数量级的热量。太阳能平板-热管集热器自管壁至介质的传热,是一个蒸发—凝结—对流的复杂过程,而常规的平板集热器传热仅是管内的对流换热过程,所以开发太阳能平板-热管集热器,降低热损,提高传热性能是关键。

目前太阳能平板-热管集热器的研究主要集中管板式结构,即将圆柱形热管与铝翅片吸热板结合,即圆形热管在下,其上包裹一个吸热铝片,或通过激光焊接,组成铜铝复合板芯,铝板上表面覆盖有高吸收涂层吸收太阳辐射能并将其转换为热能,但该结构的太阳能平板-热管集热器存在一定问题,如热管为铜质,成本较高;热管与板芯之间焊接加工工艺要求高,难度大;热管之间为铝翅片,其集热效率受翅片效率影响较大。近期提出了一种太阳能平板-热管(微槽道平板)集热器的结构,采用二维微通道阵列平板热管与太阳能吸热板结合,如图 1.5 所示。该集热器本身全为吸热体,可阵列式密排实现最大限度采光和传热,其集热性能更优。

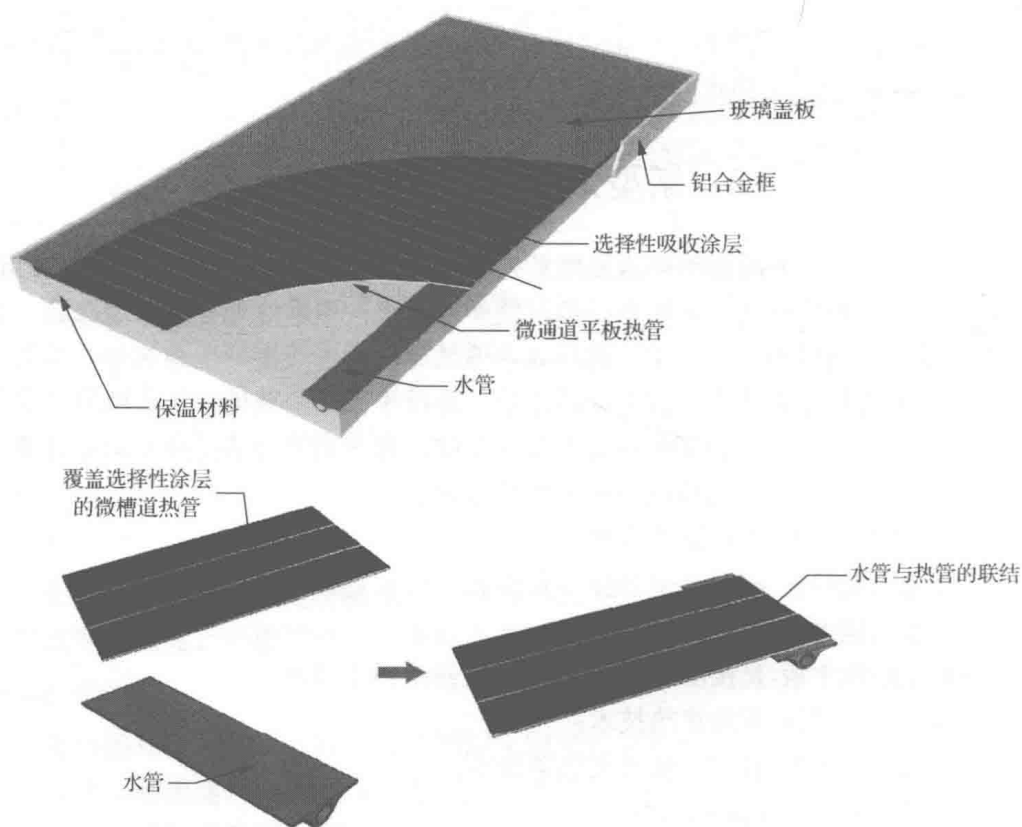


图 1.5 微通道热管平板集热器结构示意图

1.3.2 太阳能平板-相变储能平板集热器

太阳能平板集热系统在晴好天气条件下,特别是夏季,蓄水温度过高,水箱和集热器本身热损失大大增加。另外,在辐照条件不理想条件下,如夜间或阴雨天,蓄热水箱的水温则难以达到洗浴等用户需求。这是由太阳能间歇性及供给与使用的不一致造成的。为此,国内外许多学者提出将蓄热材料用于太阳能平板集