

太阳能吸收式热泵 性能及经济性评价

王洪利 田景瑞 王子兵 等著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

太阳能吸收式热泵 性能及经济性评价

王洪利 田景瑞 王子兵 等著



北京
冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本书以太阳能吸收式热泵系统为研究对象,介绍了太阳辐射相关理论,对太阳能集热器效率和能量损失进行了计算;基于吸收式热泵原理和特点,编制了太阳能吸收式热泵性能分析程序,研究了发生温度、冷凝温度、蒸发温度和吸收温度等因素对系统性能的影响;对给定的用能面积,分别进行了冷、热负荷计算,并对储热水箱进行了数值模拟;利用模糊数学理论,对太阳能吸收式热泵安全运行和经济性进行了模糊评判,得到了影响热泵安全因素和经济性的权重因子;最后分别从设备初投资、年运行费用、年维护费用和投资回收期等方面,对太阳能吸收式热泵和几种用能方案进行了对比。

本书可供从事制冷和热泵产品设计、生产及运行的工程技术人员使用,也可供高等工科院校制冷、低温等专业本科生、研究生阅读,还可供从事能源与节能工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能吸收式热泵性能及经济性评价 / 王洪利等著. —
北京:冶金工业出版社, 2016. 5

ISBN 978-7-5024-7232-0

I. ①太… II. ①王… III. ①太阳能—热泵—经济评价
IV. ①TK515

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 090197 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

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

责任编辑 常国平 美术编辑 彭子赫 版式设计 彭子赫

责任校对 郑 娟 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7232-0

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

2016 年 5 月第 1 版, 2016 年 5 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 11 印张; 216 千字; 166 页

46.00 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

目前,能源和环境已成为制约人类社会可持续发展的关键问题,能源产品在其燃烧过程中产生的粉尘、有害气体和其中的微量重金属使得雾霾、酸雨等灾害天气频发,严重危害自然生态系统,更威胁人类的食物供应和居住环境,一场席卷全球的能源环境危机正在爆发。因此,提高能源利用效率、调整能源结构、开发和利用可再生能源将是能源发展的必然选择。

随着经济发展和人们生活水平的提高,人类对居住环境的舒适性和健康性要求日益提高,暖通空调、热水供应等生活设施日益完善,建筑对能源的需求正在逐渐地加大。近年来,暖通空调能耗与电力需求之间的矛盾十分尖锐,我国多地区都出现空前的用电紧张现象,暖通空调能耗已经严重影响到了人们的正常生活和生产,建筑节能,特别是暖通空调的节能,已经迫在眉睫。另一方面,热泵为重要的节能减排技术,越来越多的国家及政府企业意识到热泵的环保效益,市场前景十分广阔。在我国东北、华北等采暖地区,由于空气质量问题,许多城市开始采用热泵取代燃煤锅炉,而在南方非采暖地区,也有采用空气源热泵和水源热泵采暖的趋势。热泵的广泛应用,使得人们开始关注热泵机组的耗能,如何利用可再生能源来提高机组能效成为了本领域的前沿课题。

太阳能属于一种可再生的清洁能源,分布广、储量大,同时具有很强的季节性和地域性。太阳能直接加热热水用于生活所用或冬季供暖,产生的热水波动很大,遇到极冷低温或阴雨天气甚至不能利用。吸收式热泵利用的是中低温余热,余热温度一般均在 150°C 以下,而这部分余热资源采用传统方法很难加以回收利用。综合太阳能和吸收式热泵特点,可以将太阳能经集热器产生一定温度的热水,这部分热水温度夏季时可以达到 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$,冬季也能达到 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。将太阳能集热器产生的热水储存在储热水箱中,用于吸收式热泵发生器热源,系

统设有辅助热源加热弥补冬季或阴雨天气太阳能热水温度的不足。太阳能和吸收式热泵联合用能系统可以满足冬季制热和夏季制冷的需求,同时也提高了联合系统的效率。

本书以太阳能吸收式热泵系统为研究对象,采用理论分析和数值模拟方法,对影响太阳能热泵系统的因素进行了分析,旨在提高系统性能。全书共分7章,介绍了太阳辐射相关理论,对太阳能集热器效率和能量损失进行了计算;基于吸收式热泵原理和特点,编制了太阳能吸收式热泵性能分析程序,研究了发生温度、冷凝温度、蒸发温度和吸收温度等因素对系统性能的影响;对给定的用能面积,分别进行了冷、热负荷计算,并对储热水箱进行了数值模拟;利用模糊数学理论,对太阳能吸收式热泵安全运行和经济性进行了模糊评判,得到了影响热泵安全因素和经济性的权重因子;最后分别从设备初投资、年运行费用、年维护费用和投资回收期等方面,对太阳能吸收式热泵和几种用能方案进行了对比。

本书由田景瑞负责撰写第1、8章,贾宁负责撰写第2章,唐琦龙负责撰写第3、5章,王洪利负责撰写第4、7章,王子兵负责撰写第6章。路聪莎、杜远航、刘馨和张率华负责资料整理工作。王洪利负责全书统稿工作。

本书的出版得到了华北理工大学现代冶金技术省重点实验室和河北省自然科学基金项目(E2015209239)的资助。感谢所有为本书研究提供文献的国内外作者。

信息时代数据更新很快,如煤炭价格、电价和人工费用等因素波动较快,维修费用也会因使用情况有所不同,书中用能方案对比分析结果可能会与实际存在偏差。但本书介绍的计算方法以及从几种用能方案对比分析中获得的规律,可用于指导生产。

由于作者水平所限,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作者

2016年2月

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 环境保护和可持续发展	1
1.1.2 臭氧层破坏和温室效应	2
1.1.3 吸收式热泵常用工质对	2
1.1.4 太阳能热泵联合应用技术	4
1.2 太阳能的特点及利用技术	4
1.2.1 太阳能的特点	4
1.2.2 太阳能利用形式	4
1.2.3 我国太阳能的分布	5
1.2.4 世界太阳能的分布	7
1.3 太阳能吸收式热泵系统组成及研究现状	8
1.3.1 系统组成	8
1.3.2 太阳能集热器和储热水箱研究现状	8
1.3.3 太阳能吸收式热泵国内研究现状	13
1.3.4 太阳能吸收式热泵国外研究现状	23
1.3.5 太阳能热泵经济性评价	30
1.4 小结	32
参考文献	32
2 太阳辐射与计算	39
2.1 太阳辐射	39
2.1.1 赤纬角和太阳角的计算	39
2.1.2 太阳常数	40
2.1.3 太阳入射角的计算	40
2.1.4 太阳辐照量	41
2.2 计算结果	46
2.3 小结	47

参考文献	48
3 太阳能平板集热器性能研究	49
3.1 太阳能平板集热器热力学分析	49
3.1.1 太阳能平板集热器能量方程	49
3.1.2 太阳能平板集热器热损失系数及效率方程	50
3.2 太阳能平板集热器计算与模拟	51
3.2.1 太阳能平板集热器的模拟	53
3.2.2 太阳能平板集热器模拟结果	54
3.3 小结	57
参考文献	57
4 太阳能吸收式热泵系统性能研究	58
4.1 吸收式热泵基础	58
4.1.1 吸收式热泵定义	58
4.1.2 吸收式热泵分类	59
4.1.3 吸收式热泵特点	59
4.2 第一类吸收式热泵	59
4.2.1 第一类吸收式热泵原理	59
4.2.2 第一类吸收式热泵性能系数	59
4.2.3 第一类吸收式热泵理想循环	61
4.2.4 第一类吸收式热泵热力学分析	62
4.3 第二类吸收式热泵	63
4.3.1 第二类吸收式热泵原理	63
4.3.2 第二类吸收式热泵性能系数	65
4.3.3 第二类吸收式热泵理想循环	65
4.3.4 第二类吸收式热泵热力学分析	66
4.4 吸收式热泵的工质和吸收剂	67
4.4.1 对制冷剂的要求	67
4.4.2 对吸收剂的要求	67
4.4.3 吸收式热泵常用工质对	68
4.5 太阳能吸收式热泵	68
4.5.1 溴化锂工质对的热物性关联式	70
4.5.2 溴化锂吸收式热泵性能参数	71
4.5.3 太阳能吸收式热泵程序	72

4.6 模拟结果与分析	75
4.6.1 热源温度对太阳能吸收式热泵性能的影响	75
4.6.2 冷凝温度对太阳能吸收式热泵性能的影响	76
4.6.3 蒸发温度对太阳能吸收式热泵性能的影响	76
4.6.4 吸收温度对太阳能吸收式热泵性能的影响	77
4.7 设计工况与计算	78
4.7.1 气象参数	78
4.7.2 冷负荷计算	78
4.7.3 热负荷计算	79
4.7.4 设计工况	79
4.8 多热源耦合的吸收式热泵	84
4.8.1 耦合系统工作原理	85
4.8.2 耦合系统热力学分析	86
4.8.3 耦合系统性能程序	87
4.8.4 模拟结果与分析	89
4.9 小结	91
参考文献	91
5 太阳能储热水箱数值模拟	94
5.1 Fluent 软件基础	94
5.2 物理模型	95
5.3 控制方程	97
5.3.1 物质导数	97
5.3.2 连续性方程	97
5.3.3 $N-S$ 方程	98
5.4 模型简化与假设	98
5.5 模型网格划分	98
5.6 储热水箱内流动与换热仿真分析	99
5.6.1 启动 Fluent-2d	99
5.6.2 建立求解模型	99
5.6.3 运行条件	100
5.6.4 边界条件	100
5.6.5 初始化设置	100
5.6.6 残差	100
5.7 计算结果与分析	101

5.7.1 三种类型储热水箱比较	101
5.7.2 II型储热水箱	102
5.8 小结	109
参考文献	109
6 太阳能热泵节能分析	111
6.1 冬季锅炉供暖+夏季分体式空调制冷	111
6.1.1 燃煤锅炉+分体式空调	111
6.1.2 燃油锅炉+分体式空调	113
6.1.3 燃气锅炉+分体式空调	115
6.2 城市集中供热+分体式空调	117
6.2.1 冬季城市集中供热	117
6.2.2 夏季分体式空调制冷	117
6.2.3 成本费用	117
6.2.4 全年费用	118
6.3 热泵型分体式空调	118
6.3.1 制热工况	118
6.3.2 制冷工况	118
6.3.3 成本费用	119
6.3.4 全年费用	119
6.4 中央空调系统	119
6.4.1 制热工况	120
6.4.2 制冷工况	120
6.4.3 成本费用	120
6.4.4 全年费用	120
6.5 太阳能吸收式热泵系统	121
6.5.1 系统组成	121
6.5.2 热力学分析	122
6.5.3 制热工况	123
6.5.4 制冷工况	125
6.5.5 热泵机组用水量计算	125
6.6 太阳能吸收式热泵经济性	126
6.6.1 制热工况	126
6.6.2 制冷工况	127
6.6.3 成本费用	127

6.6.4 全年费用	128
6.7 节能分析	128
6.7.1 设备初投资对比	128
6.7.2 运行费用对比	129
6.7.3 使用寿命对比	130
6.7.4 维护费用对比	130
6.7.5 投资回收期对比	131
6.8 讨论与建议	132
6.8.1 锅炉供暖 + 分体式空调	132
6.8.2 城市集中供热 + 分体式空调	132
6.8.3 热泵型分体式空调	133
6.8.4 中央空调系统	133
6.8.5 太阳能吸收式热泵系统	134
6.9 小结	134
参考文献	134
7 太阳能吸收式热泵模糊评判	136
7.1 模糊数学的基本知识	136
7.1.1 基本概念	136
7.1.2 模糊评价模型的选择及评价步骤	137
7.2 太阳能吸收式热泵系统模糊评判	138
7.2.1 模糊评判指标量化	138
7.2.2 权重向量的确定	139
7.2.3 隶属度及模糊评判矩阵的确定	139
7.3 太阳能吸收式热泵经济性模糊评判	142
7.3.1 评价指标体系	143
7.3.2 模糊综合评判方法	143
7.3.3 因素集和等级集的确定	144
7.3.4 因素和子因素权重系数的确定	144
7.3.5 模糊统计试验	145
7.3.6 模糊统计试验的模糊综合评判	145
7.3.7 综合评价结果	146
7.3.8 算例评判	146
7.4 太阳能吸收式热泵安全运行评价及方法	148
7.4.1 安全运行重要性	148

7.4.2	评价指标体系	149
7.4.3	模糊综合评判方法	150
7.4.4	因素集和等级集的确定	151
7.4.5	因素和子因素权重系数的确定	151
7.4.6	模糊统计试验	151
7.4.7	模糊统计试验的模糊综合评判	152
7.4.8	综合评价结果	152
7.4.9	算例评判	152
7.5	用能方案定量评价及方法	154
7.5.1	模糊综合评判方法	156
7.5.2	因素集和等级集的确定	156
7.5.3	因素和子因素权重系数的确定	156
7.5.4	模糊统计试验	157
7.5.5	模糊统计试验的模糊综合评判	157
7.5.6	综合评价结果	158
7.5.7	算例评判	158
7.6	小结	160
	参考文献	161
8	用能方案经济性对比	162
8.1	投资分配对比	162
8.2	投资回收对比	163
8.3	小结	166

1 绪 论

1.1 研究背景

目前,能源和环境问题已经成为制约人类社会高速发展的主要问题,在社会各种关系中,人与自然的和谐发展显得日益重要与紧迫。酸雨、植被破坏、温室效应、臭氧层空洞、海洋污染等诸多生态环境问题已经成为全球关注的焦点。为推动经济、社会 and 环境的友好发展,节能和环保已经成为 21 世纪全球共同关注的首要问题^[1]。

我国的经济的发展近年来增速平稳,GDP 每年都基本保持了 8% 的增长速度,有些年份增速超过了 10%。经济增长速度虽然是可喜的,但是我国经济增长的粗放型方式却依然没有改变,单位 GDP 的能耗比发达国家还是要高很多,日本的 GDP 单位能耗强度只是我国的 1/6。随着经济的飞速发展,我国消耗的能源数量已经跃居世界前列。

在社会总能耗中建筑能耗所占的比重正在逐年增大,建筑能耗主要包括家用电器、建筑的制冷与供暖等,所占比重已经达到社会总能耗的 1/3,所以对降低建筑能耗问题的研究潜力巨大。对于制冷空调行业,由于本身耗能加之传统制冷剂对环境的破坏,节能和制冷剂替代成为本领域的前沿课题,引起国内外专家学者和科技人员越来越多的关注;同时,越来越多的国内外资金项目也加大了对该领域前沿性和创新性研究的资助力度。

虽然我国自然资源储量丰富,但是由于我国人口基数大,人均资源占有量较世界人均水平低 50%。预计到 2030 年我国能源短缺量达到 2.5 亿吨标准煤,到 2050 年约为 4.6 亿吨标准煤,将占世界煤炭消费总量的一半以上^[2];我国目前国内石油对需求的保证有 40% 的缺口,按照目前的发展趋势,预计到 2020 年我国石油进口量将达到 2.5 亿吨,对进口石油的依赖程度达到 60%^[3]。所以无污染的太阳能等清洁能源的开发与利用引起了广泛关注。

1.1.1 环境保护和可持续发展

在人类社会高速发展的今天,全球范围内的能源和环境问题越发显得重要和

迫切。人类在享受丰富物质生活的同时,也对环境造成了很大破坏。正如恩格斯在《自然辩证法》^[4]中所说的:“我们不要过分陶醉于我们对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利,自然界都报复了我们。”人类在享受生产力巨大发展所带来的丰厚回报的同时,也遭到自然界的无情报复。1962年,Rachel Carson的《寂静的春天》,揭开了人与自然共同生存问题的思考^[5];1972年3月,罗马俱乐部发表的《增长的极限》研究报告,深入分析了人与自然之间的关系,指出自然资源是有限的,人类必须自觉地抑制增长,否则将使人类社会陷入崩溃^[6]。“我们不只是继承了父辈的地球,而是借用了子孙的地球”——这句话寓意深刻,《联合国环境方案》曾用这句话来告诫世人。1972年6月,在瑞典斯德哥尔摩召开的联合国人类环境会议(United Nations Conference on the Human Environment)是世界环境保护运动史上一个重要的里程碑。它是国际社会就环境问题召开的第一次世界性会议,标志着全人类对环境问题的觉醒。1972年出版的《只有一个地球》^[7]一书为可持续发展观奠定了理论基础。1981年,美国学者布朗在《建设一个可持续发展的社会》的著作中首次使用并阐述了“可持续发展”的新观点^[8]。1987年,联合国环境与发展大会(UNCED)的报告《我们共同的未来》对可持续发展进行了明确定义。

1992年联合国环境与发展大会(UNCED)通过了《21世纪议程》报告,并最终促进了1997年《京都议定书》的签订^[9]。中国政府于1994年3月通过了《中国21世纪议程》,其战略目标确定为“建立可持续发展的经济体系、社会体系和保持与之相适应的可持续利用资源和环境基础”。

1.1.2 臭氧层破坏和温室效应

常规制冷剂对环境的影响主要表现在对臭氧层破坏和产生温室效应。臭氧层破坏和温室效应表现在臭氧含量不断减少和 CO_2 浓度不断增加,这将会对人类居住的环境产生巨大的影响,甚至是灾难性后果^[10]。臭氧层破坏和温室效应已经成为全球共同关注的问题。

臭氧层破坏和温室效应已经成为国际间的共同问题,增强环境保护意识,走社会可持续发展的道路,已经成为必然选择的途径。在开展环保制冷剂的替代研究中,启用自然工质不失为一条最安全的途径^[11]。

1.1.3 吸收式热泵常用工质对

吸收式热泵常用工质对有溴化锂-水和氨-水两种。在溴化锂-水吸收式热泵工质对中,溴化锂为吸收剂,水为制冷工质;在氨-水吸收式热泵工质对中,水为吸收剂,氨为制冷工质。

1.1.3.1 溴化锂的物理化学性质

(1) 化学式: LiBr ; 相对分子质量: 86.856。

(2) 成分: Li 为 7.99%, Br 为 92.01%。

(3) 密度: 25℃时, $3464\text{kg}/\text{m}^3$, 熔点: 549℃, 沸点: 1265℃。

(4) 溴化锂溶液是无色透明的, 对金属有腐蚀性。

表 1-1 给出了溴化锂溶液的温度-密度参数。

表 1-1 溴化锂溶液的温度-密度参数

$\xi\text{LiBr}/\%$	温度 $t/^\circ\text{C}$											
	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0
	密度 $\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$											
40.0	1390	1385	1379	1374	1369	1363	1358	1353	1348	1342	1337	—
42.0	1417	1412	1406	1401	1396	139	1385	1380	1375	1369	1364	1359
44.0	1446	1440	1435	1429	1424	1418	1412	1407	1402	1396	1391	1386
46.0	1476	1470	1465	1459	1454	1448	1443	1438	1432	1427	1421	1416
48.0	1506	1500	1495	1489	1484	1478	1472	1467	1462	1456	1450	1445
50.0	1540	1534	1528	1522	1516	1510	1505	1499	1493	1487	1482	1476
52.0	1574	1568	1562	1556	1550	1544	1538	1532	1526	1520	1514	1508
54.0	1611	1604	1598	1592	1586	1579	1573	1567	1561	1555	1549	1542
56.0	1650	1643	1637	1631	1624	1618	1612	1605	1599	1593	1587	1580
58.0	1690	1683	1677	1670	1663	1657	1650	1643	1637	1631	1624	1619
60.0	—	1725	1718	1711	1704	1698	1691	1685	1678	1672	1666	1659
62.0	—	—	—	1755	1749	1742	1736	1729	1723	1717	1711	1704
64.0	—	—	—	1805	1799	1792	1786	1779	1773	1767	1760	1754
66.0	—	—	—	—	—	—	1838	1832	1806	1819	1813	1806
67.0	—	—	—	—	—	—	—	1870	1860	1851	1841	1832

1.1.3.2 氨的物理化学性质

(1) 氨气在标准状况下的密度为 $0.771\text{g}/\text{L}$ 。

(2) 氨气极易溶于水, 溶解度 1:700。

(3) 临界点: 133°C , 11.3atm ($1\text{atm} = 101325\text{Pa}$)。

(4) 蒸气压: 在 4.7°C 时, 506.62kPa , 熔点: -77.7°C , 沸点: -33.5°C 。

(5) 化学性质稳定, 有毒气体。

1.1.3.3 水的物理化学性质

(1) 分子式: H_2O ; 相对分子质量: 18.016; 沸点: 100°C ; 冰点: 0°C 。

(2) 最大相对密度, 温度为 3.98°C 时, 比热容: $4.186\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$; 0.1MPa 、 15°C 时, 比热容: $2.051\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$; 0.1MPa 、 100°C 时, 密度: $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(3) 临界压力为 22.129MPa 、临界温度为 374.15°C , 临界比容为 $0.0031\text{m}^3/\text{kg}$ 。

(4) 纯净的水是无色、无味、无臭的透明液体。

1.1.4 太阳能热泵联合应用技术

太阳能属于一种可再生的清洁能源,分布广、储量大,同时具有很强的季节性和地域性。太阳能直接加热热水用于生活所用或冬季供暖,产生的热水波动很大,遇到极冷低温或阴雨天气甚至不能利用。吸收式热泵利用的是中低温余热,余热温度一般均在 150°C 以下,而这部分余热资源传统方法很难加以回收利用。综合太阳能和吸收式热泵的特点,可以将太阳能经集热器产生一定温度的热水,这部分热水温度夏季时可以达到 $80 \sim 90^{\circ}\text{C}$,冬季也能达到 $50 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。将太阳能集热器产生的热水储存在储热水箱中,用于吸收式热泵发生器热源,系统设有辅助热源加热弥补冬季或阴雨天气太阳能热水温度不足。太阳能和吸收式热泵联合用能系统可以满足冬季制热和夏季制冷需求,同时也提高了联合系统的效率。

1.2 太阳能的特点及利用技术

1.2.1 太阳能的特点

太阳向宇宙空间发射的辐射功率为 $3.8 \times 10^{23} \text{ kW}$ 的辐射值,其中二十亿分之一到达地球大气层。到达地球大气层的太阳能,30%被大气层反射,23%被大气层吸收,47%到达地球表面,其功率为 $8 \times 10^{13} \text{ kW}$,也就是说太阳每秒钟照射到地球上的能量就相当于燃烧 500 万吨煤释放的热量。全球人类目前每年能源消费的总和只相当于太阳在 40min 内照射到地球表面的能量。

太阳能是储量巨大、可再生的清洁能源,在地球已经经历过的数十亿年中,太阳能只向外界辐射了其自身能量的 2%。如果人类能够充分开发利用太阳能,完全可以供给人类几十亿年使用,而且太阳能对环境的危害几乎为零,也不会排放任何温室气体,是人类在以后发展中需要充分开发利用的清洁可再生能源。

太阳能在通过大气层时能量会被耗散,受到空气问题以及气候等多种因素的影响。由于上述所描述的特点,要求太阳能利用设备有较大的集热器面积。为了降低太阳能供给热量的间歇性,太阳能系统还应装备储热装置,这些让太阳能热利用系统的初期设备投资变得很大。由于需要供给普通建筑的供暖用水及生活热水温度不要求很高,采用太阳能热利用设备可以做到热能能级的合理匹配和调控。

1.2.2 太阳能利用形式

太阳能常见利用形式主要概括为如下几方面:

(1) 被动式太阳房区别于主动式太阳房。被动式太阳房不需要任何机械与动力设备。被动式太阳房的设计要考虑建筑物的朝向、当地太阳高度角的大小、

外围护的结构及材料、建筑内部空间及蓄热材料的选择,使建筑物本身能够高效地收集、存储和分配太阳辐射能,无需辅助热源,并且达到冬季采暖、夏季遮阳降温的作用。按不同的采集太阳能的方式,被动式太阳房大致可分为直接收益式太阳房、集热-蓄热墙式太阳房、附加阳光间式太阳房、屋顶池式太阳房和直接收益窗和集热墙组合式太阳房。

(2) 太阳能集热器吸收太阳辐射,将有效热能传给传热工质,并且最大限度地保证吸收的热量不再散失,传热工质多选择液态物质或空气^[12]。太阳能集热器的工作温度范围广,在生活、工业、娱乐业等场所采暖、供热水等诸多领域中已经广泛应用了太阳能集热器。从中国国内市场来看,一半以上的太阳能系统中应用的是真空管式集热器。平板型集热器在耐久性、适用工况、耐压上还不及真空管集热器。但是平板型太阳能集热器造价低廉、故障率低、热传递性及与传热介质的相容性较好^[13],应进一步提高平板型太阳能集热器的效率以及透明盖板、吸热板的加工工艺。

(3) 太阳能热水器是世界太阳能热利用产业中的骨干。太阳能热水器的使用,能大幅缓解由于热水消耗量的增加而引起的能源供应压力和环境压力^[14]。太阳能热水器代替电热水器,每平方米采光面积节电 $300\text{kW}\cdot\text{h/a}$,削弱了城市的晚间用电高峰。但是,现有许多太阳能热水器的功能还不完善,品种、规格、尺寸等都不满足建筑的要求,承载、防风、避雷等安全措施不够健全^[15]。为了使太阳能热水系统成为民用建筑的配套设备,科研人员在最大限度地优化太阳能热水系统的产品结构功能、热水系统与建筑整合设计、太阳能与常规能源的匹配等方面进行了研究。

(4) 太阳能采暖系统就是一种主动式的太阳能热利用系统,由太阳能集热器、蓄热设备、辅助热源和循环水泵等设备组成,可以吸收、存储太阳能,达到连续采暖的效果。但是,系统的运行温度较低,因为太阳能集热器的效率随着运行温度的升高而降低。我国大部分冬季需要采暖的地区,目前大多广泛使用的是短期蓄热的太阳能采暖系统,太阳能保证率在 $20\%\sim 40\%$ ^[16]之间。预计到2020年,我国新建的节能建筑中,约10%的建筑中应用太阳能采暖系统,每年可节约660万吨标准煤。

1.2.3 我国太阳能的分布

我国太阳能光照资源丰富,全国60%以上的地区年辐射总量大于 $5020\text{MJ}/\text{m}^2$,年平均日照小时数大于2000h。我国太阳能资源划分见表1-2^[17]。

我国大部分省市太阳能资源都比较丰富,尤其是在我国西北部,如青海、新疆、西藏等地区;而我国人口密度比较大的中东部,如河北、北京、山东、山西也是太阳能分布比较丰富的地区。如果太阳能利用技术能够在这些省市大规模发

展利用，节约的一次能源耗费和减少的污染物排放将是十分巨大。

由我国气象局风能太阳能资源中心数据，图 1-1 为我国年平均太阳能总辐射量月变化，图 1-2 为我国年平均太阳能直接辐射总量月变化，图 1-3 为我国年平均太阳能直射比月变化，图 1-4 为我国年平均日照时数总量月变化。

表 1-2 我国太阳能资源分布表

类型	日照/h·a ⁻¹	年辐射 /MJ·m ⁻²	等量热量所 需标准燃煤 /kg	主 要 地 区	备 注
一类	3200 ~ 3300	6680 ~ 8400	225 ~ 285	宁夏北部，甘肃北部， 新疆南部，青海西部，西 藏西部	最丰富地区
二类	3000 ~ 3200	5852 ~ 6680	200 ~ 225	河北西北部，山西北部， 内蒙古南部，宁夏南部， 甘肃中部，青海东部，西 藏东南部，新疆南部	较丰富地区
三类	2200 ~ 3000	5016 ~ 5852	170 ~ 200	— 山东，河南，河北东南 部，山西南部，新疆北部， 吉林，辽宁，云南，陕西 北部，甘肃东南部，广东 南部	中等地区
四类	1400 ~ 2000	4180 ~ 5016	140 ~ 170	湖南，广西，江西，浙 江，湖北，福建北部，广 东北部，陕西南部，安徽 南部	较差地区
五类	1000 ~ 1400	3344 ~ 4180	115 ~ 140	四川大部分地区，贵州	最差地区

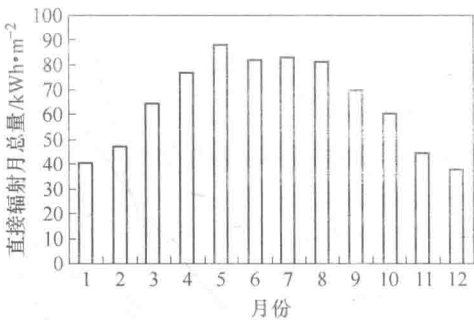
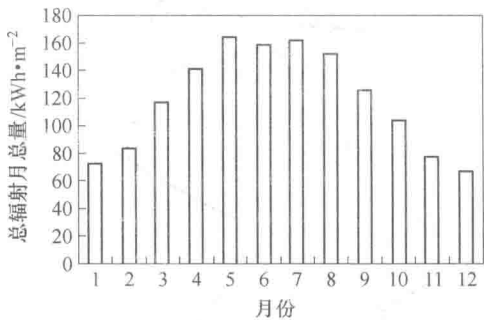


图 1-1 我国年平均太阳能总辐射量月变化 图 1-2 我国年平均太阳能直接辐射总量月变化
(1978 ~ 2007 年) (1978 ~ 2007 年)