

“十二五”国家重点图书
新能源与建筑一体化技术丛书

太阳能空调设计与 工程实践

Solar Air Conditioning: Design Guidelines and
Engineering Practice



代彦军 葛天舒 李 勇 ○ 编著

中国建筑工业出版社

“十二五”国家重点图书
新能源与建筑一体化技术丛书

太阳能空调设计与工程实践

**Solar Air Conditioning: Design Guidelines and
Engineering Practice**

代彦军 葛天舒 李 勇 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

太阳能空调设计与工程实践/代彦军, 葛天舒, 李勇
编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 2
(新能源与建筑一体化技术丛书)
ISBN 978-7-112-20171-6

I. ①太… II. ①代… ②葛… ③李… III. ①空
调设计 IV. ①TB657. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 312257 号

责任编辑: 张文胜 姚荣华

责任校对: 焦 乐 党 蕾

“十二五”国家重点图书

新能源与建筑一体化技术丛书

太阳能空调设计与工程实践

代彦军 葛天舒 李 勇 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11 $\frac{3}{4}$ 字数: 287 千字
2017 年 4 月第一版 2017 年 4 月第一次印刷
定价: 40.00 元

ISBN 978-7-112-20171-6

(29560)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

出版说明

能源是我国经济社会发展的基础。“十二五”期间我国经济结构战略性调整将迈出更大步伐，迈向更宽广的领域。作为重要基础的能源产业在其中无疑会扮演举足轻重的角色。而当前能源需求快速增长和节能减排指标的迅速提高不仅是经济社会发展的双重压力，更是新能源发展的巨大动力。建筑能源消耗在全社会能源消耗中占有很大比重，新能源与建筑的结合是建设领域实施节能减排战略的重要手段，是落实科学发展观的具体体现，也是实现建设领域可持续发展的必由之路。

“十二五”期间，国家将加大对新能源领域的支持力度。为贯彻落实国家“十二五”能源发展规划和“新兴能源产业发展规划”，实现建设领域“十二五”节能减排目标，并对今后的建设领域节能减排工作提供技术支持，特组织编写了“新能源与建筑一体化技术丛书”。本丛书由业内众多知名专家编写，内容既涵盖了低碳城市的区域建筑能源规划等宏观技术，又包括太阳能、风能、地热能、水能等新能源与建筑一体化的单项技术，体现了新能源与建筑一体化的最新研究成果和实践经验。

本套丛书注重理论与实践的结合，突出实用性，强调可读性。书中首先介绍新能源技术，以便读者更好地理解、掌握相关理论知识；然后详细论述新能源技术与建筑物的结合，并用典型的工程实例加以说明，以便读者借鉴相关工程经验，快速掌握新能源技术与建筑物相结合的实用技术。

本套丛书可供能源领域、建筑领域的工程技术人员、设计工程师、施工技术人员等参考，也可作为高等学校能源专业、土木建筑专业的教材。

中国建筑工业出版社

前 言

中国是太阳能热利用大国，集热器年产量约 5000 万 m^2 ，太阳能集热器产量和安装保有量约占世界的 70%，但这些集热器绝大部分用于热水系统。另一方面，空调是能耗大户，例如上海、北京等大城市夏季空调用电占据了社会总用电量的 40%。如能将集热器用于建筑空调，无疑会极大提高太阳能对社会能源的贡献率。

各国学者都在积极寻找能够实现夏季利用太阳能进行空调的有效方法，目的在于可以提高太阳能集热器的全年利用效率，另一方面可以开辟一条利用太阳能解决空调需求的崭新技术途径。太阳能空调的最大优点在于它有很好的季节匹配性，天气越热、越需要制冷的时候，太阳辐射条件越好，太阳能空调系统的制冷量也越大。太阳能空调规模化应用后有助于缓解夏季空调电力负荷。近期来看，也是解决集中式太阳能热水和供暖系统夏季热量过剩现象的理想途径。

国际能源署（IEA）先后专列了 Task38，Task48，Task53 三个专题，组织相关国家协调开展研究。近几年，国际上安装应用太阳能空调的项目超过 1200 个，出现了德国的 GreenChiller，澳大利亚的太阳能空调联盟等专业组织，积极推广太阳能空调制冷技术。我国在适于空调制冷的太阳能集热器及供热系统、热驱动制冷机研发和生产方面具有优势，已经有 100 余个太阳能空调应用工程项目。我国江苏双良、长沙远大、山东威特、山东禄禧等公司的吸收式空调，上海交通大学的吸附式空调、除湿空调，格力等公司的光伏空调产品在世界各地的太阳能空调项目中得到应用。

本书结合国内外太阳能空调的研究进展以及笔者在近 20 年以来的研究实践，就太阳能空调应用中涉及的系统设计、部件选型、运行等问题做了详细介绍和分析，具体内容有：太阳能空调基本原理和技术分类，适用的太阳能集热器和供热系统，太阳能空调机组、系统及末端，太阳能空调系统设计与性能计算，太阳能空调应用实例等。

出版本书期望能对近期太阳能空调进展和应用做一个较全面的总结，其中很多工作是上海交通大学太阳能课题组的研究成果。希望本书的出版能推动我国在太阳能空调方面的规模化应用，为我国太阳能利用事业发挥绵薄力量。本书部分研究成果得到了国家“十二五”科技支撑计划项目、国家 863 项目、国家自然科学基金项目的支持。特别是，意大利环境部支持建成了中意绿色能源实验室，为开展太阳能空调实验测试提供了条件。

本书的编写是在上海交通大学王如竹教授的关心下完成的，他的鼓励和支持给我们以动力，研究团队的成果为本书成稿奠定了基础。本书很多内容来自笔者指导的研究生论文，本书编写过程中，博士生戴恩乾付出了大量心血负责统稿，李慧、赵耀、李显、陈金峰、马继帅、周凌宇等为各章节内容做出了积极贡献。

作者在此对为本书出版做出贡献和帮助的所有人们表示由衷感谢！

代彦军

2016 年 9 月

目 录

第 1 章	太阳能空调概述	1
1.1	什么是太阳能空调	1
1.2	太阳能空调的构成、分类和特点	2
1.2.1	太阳能冷水空调	3
1.2.2	太阳能除湿空调	5
1.2.3	太阳能复合能量系统	7
1.3	太阳能空调的应用	8
1.3.1	应用实例	8
第 2 章	太阳能集热与供热	14
2.1	太阳能集热器	14
2.1.1	平板集热器	14
2.1.2	真空管集热器	24
2.1.3	非跟踪 CPC 集热器	32
2.1.4	跟踪聚焦集热器	33
2.1.5	太阳能空气集热器	37
2.1.6	太阳能热水器	39
2.1.7	辅助热源	41
2.2	太阳能储热	41
2.2.1	储热水箱	41
2.2.2	相变储热	47
第 3 章	太阳能空调装置	49
3.1	制冷机组	49
3.1.1	吸收式制冷机	49
3.1.2	吸附式制冷机	53
3.1.3	蒸汽压缩式制冷机	58
3.2	除湿空调	61
3.2.1	固体除湿空调	61
3.2.2	溶液除湿空调	67
3.2.3	其他部件	71
第 4 章	太阳能空调系统与末端	76
4.1	太阳能空调风系统	76

4.1.1	风管	76
4.1.2	风口	76
4.1.3	风阀	79
4.2	太阳能空调水系统	80
4.2.1	风机盘管	80
4.2.2	冷辐射吊顶	82
4.2.3	辐射地板	84
4.3	带新风的太阳能冷水空调系统	85
4.3.1	太阳能新风除湿	86
4.3.2	显热与潜热回收	87
4.3.3	带新风的空调末端	91

第5章 太阳能空调系统设计	94
----------------------	-----------

5.1	设计一般原则	94
5.2	太阳能空调保证率	94
5.3	集热器选择与热量冷量匹配	96
5.3.1	冷负荷计算	96
5.3.2	集热器类型和面积计算	97
5.4	太阳能空调方案选择	98
5.4.1	气候特点与空调方式	98
5.4.2	集热器与太阳能空调	99
5.4.3	蓄热与蓄冷	101
5.5	太阳能空调能源经济性	102
5.6	仿真模拟	103
5.6.1	建筑负荷计算	104
5.6.2	太阳能空调系统建模	105
5.6.3	集热器模型	108
5.6.4	空调机组模型	108
5.6.5	其他部件模型	109
5.6.6	仿真优化	109
5.7	太阳能空调系统设计	111

第6章 太阳能空调系统性能及效益评估	112
---------------------------	------------

6.1	系统性能指标	112
6.1.1	制冷性能系数	112
6.1.2	除湿量与潜热负荷	113
6.2	能量评价指标	113
6.3	经济性指标	118
6.4	环境效益分析	121
6.4.1	CO ₂ 减排分析	122

6.4.2 环境影响分析 122

第 7 章	太阳能空调设计实例	127
--------------	------------------	------------

7.1	太阳能吸收式空调实例	127
7.1.1	基于中温槽式集热器的太阳能单效吸收式空调系统	127
7.1.2	基于黑腔槽式集热器的太阳能双效吸收式空调系统	133
7.1.3	基于线性菲涅尔集热器的太阳能单/双效吸收式空调系统	136
7.1.4	基于中温线性菲涅尔集热器的 1. N 效吸收式空调系统	142
7.1.5	带储热的太阳能氨—水吸收式空调系统	149
7.2	太阳能吸附式空调实例	151
7.3	太阳能转轮除湿空调实例	153
7.4	太阳能溶液除湿空调设计实例	157
7.5	太阳能光伏空调实例	163
7.6	太阳能除湿换热器空调系统	172
7.6.1	采用除湿换热器的连续型除湿系统	172
7.6.2	采用除湿换热器的回热型全新风除湿系统	175

第 1 章 太阳能空调概述

随着我国国民经济的快速发展以及人民生活水平的不断提高，人们对建筑物空调与制冷的需求日益增加。目前，我国大部分空调制冷设备均是采用传统的电能驱动制冷方式。这种电能驱动制冷空调机不仅消耗大量高品位的电能，同时还会造成一系列的环境问题，例如氟利昂工质的排放而引起的臭氧层破坏，继而引起的温室效应等。太阳能是分布广泛、使用清洁的可再生能源，有望在未来社会能源结构中发挥更加重要的作用。太阳能制冷的提出开辟了一条利用太阳能解决空调制冷需求的崭新技术途径。

1878 年，在巴黎世界博览会上 Augustin Mouchot 展出了第一台太阳能驱动的吸收式制冷示范机组；20 世纪 80 年代，美国和日本的学者做了相对深入的研究；虽然在 20 世纪 90 年代发展进入滞缓期，但是近十年以来太阳能空调逐渐受到了各国学者的关注，其主要原因如下：

一方面，传统制冷空调消耗的电能是由化石燃料转化而来，而这正是环境问题的根源所在；氟利昂等空调里的工质具有破坏臭氧层的威力，继而导致全球温度升高；在一些国家，传统空调的使用已引起电力负荷失衡，造成电力供应短缺。另一方面，近年来随着工业的发展，太阳能集热器的技术水平和生产水平都达到了比较成熟稳定的阶段，自动控制技术发展渐趋完善，各国政府纷纷出台太阳能设备的补贴方案。基于这些条件，太阳能空调技术成为了国内外学者研究和关注的焦点。

1.1 什么是太阳能空调^[1]

利用太阳能实现供热与制冷的可能技术途径如图 1-1 所示，主要包括太阳能转换为热能，利用热能供热制冷，以及将太阳能转换为电能，利用电能驱动相关设备供热制冷两大类。根据需求，太阳能制冷过程也可以实现从空调到冷冻温区的不同要求。图 1-1 的左侧反映了太阳能收集与转换环节，其中太阳能集热器是将太阳辐射能转变为热能的装置，目前主要有平板式、真空管式和聚焦式集热器三种类型，获得的集热温度依次升高。依据太阳能集热器集热温度的不同，可直接用于热水供应以及供暖等，还可以驱动吸收式、吸附式、喷射式、除湿空调、朗肯循环、化学反应等过程获得制冷效应。还可以将太阳辐射通过光伏效应或者通过热发电等途径转变为电能，之后通过电能驱动蒸汽压缩制冷循环、斯特林循环以及热电效应实现制冷过程。另外，通过特定的可逆吸热和放热反应，以太阳能为热源，也能够实现特定场合下的制冷要求。

在各种太阳能制冷转换途径当中，太阳能热驱动空调能够和当前广泛应用的太阳能热水和供暖系统紧密结合，构成太阳能综合利用系统，从而实现太阳能利用与季节变化的最佳匹配。即利用一套太阳能集热器做到冬季供暖、夏季空调、四季热水供应等，因而可与建筑结合在建筑能源结构中发挥重要的作用，这也是实现太阳能规模化、低成本应用的理想途径之一。

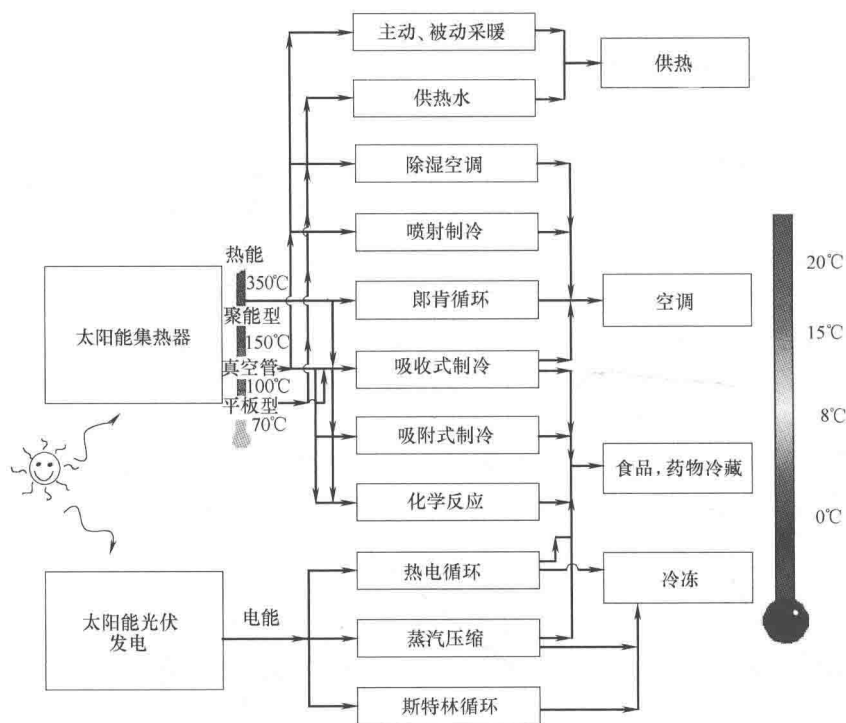


图 1-1 太阳能制冷、空调技术途径

1.2 太阳能空调的构成、分类和特点^[2]

典型的太阳能空调系统由太阳能集热器、储罐、控制单元、管道、泵和热驱动的制冷机组构成，如图 1-2 所示。使用最多的太阳能集热器主要为高效率的平板集热器和真空管集热器。利用太阳能实现空调制冷主要有两种技术方式：一种是产生冷却水为工作介质的制冷方式；另一种是产生调节空气对建筑环境进行调节的技术方式。根据这两种不同的工作原理，太阳能空调主要可以分为太阳能冷水空调、太阳能除湿空调以及太阳能复合能量系统，如表 1-1 所示。

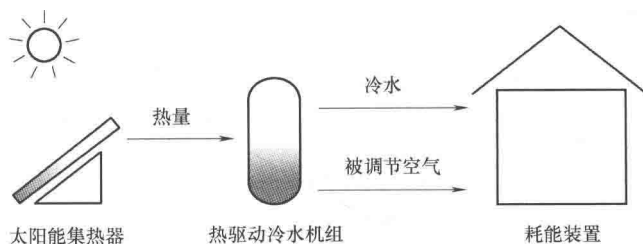


图 1-2 太阳能空调系统

太阳能空调分类

表 1-1

太阳能冷水空调		太阳能除湿空调		太阳能复合能量系统
太阳能吸收式空调	太阳能吸附式空调	太阳能溶液除湿空调	太阳能固体转轮除湿空调	

1.2.1 太阳能冷水空调

太阳能冷水空调是以产生冷却水为工作介质，根据与之匹配的制冷技术的不同，又可以分为吸收式空调和吸附式空调两种。

1. 太阳能吸收式空调

太阳能吸收式空调系统即是用太阳能集热器收集太阳能来驱动吸收式制冷系统，是目前为止示范应用最多的太阳能空调方式。

太阳能吸收式制冷技术，最早起源于 20 世纪 30 年代。到了 20 世纪 70 年代，世界能源危机的爆发，促使可再生能源利用技术以及低能耗、高效率和不破坏臭氧层的吸收式制冷技术得到了较大的发展。太阳能吸收式制冷技术作为二者的结合，受到了更多的关注。常用的吸收式制冷机有氨—水吸收式制冷机和溴化锂—水吸收式制冷机。

太阳能吸收式制冷由于利用太阳能，太阳能集热器的技术对于太阳能吸收式制冷的发展也有限制。目前规模应用的平板和真空管集热器在超过 90℃ 的集热温度下效率较低。因此，用于太阳能制冷的吸收式制冷装置其制冷循环方式都是以采用单效方式为主。再细分下去，有单效单级和单效双级两种。目前国内外的太阳能制冷空调系统通常采用热水型单级吸收式溴化锂制冷机。常用的吸收剂/制冷剂组合有两种：一种是溴化锂—水，适用于大中型中央空调；另一种是水—氨，适用于小型家用空调。

图 1-3 为太阳能驱动单效溴化锂—水吸收式制冷循环原理图。冷水在蒸发器内被来自冷凝器减压节流后的低温冷剂水冷却，冷剂水自身吸收冷水热量后蒸发，成为冷剂蒸气，进入吸收器内，被浓溶液吸收，浓溶液变成稀溶液。吸收器里的稀溶液，由溶液泵送往热交换器、热回收器后温度升高，最后进入再生器，在再生器中稀溶液被加热，成为最终浓溶液。浓溶液流经热交换器，温度被降低，进入吸收器，滴淋在冷却水管上，吸收来自蒸发器的冷剂蒸汽，成为稀溶液。另一方面，在再生器内，由来自太阳能集热器的热水加热溴化锂溶液后产生的水蒸气，进入冷凝器被冷却，经减压节流，变成低温冷剂水，进入蒸发器，滴淋在冷水管上，冷却进入蒸发器的冷水。该系统由两组再生器、冷凝器、蒸发器、吸收器、热交换器、溶液泵及热回收器组成，并且依靠热源水、冷水的串联将这两组系统有机地结合在一起，通过对高温侧、低温侧溶液循环量和制冷量的最佳分配，实现温度、压力、浓度等参数在两个循环之间的优化配置，并且最大限度地利用热源水的热量。以上循环反复进行，最终达到制取低温冷水的目的。

太阳能吸收式空调系统可以实现夏季制冷、冬季供暖、全年提供生活热水等多项功能。与传统空调系统相比，太阳能吸收式空调分别结合了太阳能和吸收式制冷机两方面的优势，因此具有以下显著特点：

- (1) 无温室气体排放，不破坏臭氧层；
- (2) 夏季太阳辐照越好，制冷量越大，制冷效果越显著，具有很好的季节匹配性；
- (3) 系统以太阳能为动力，节能环保。

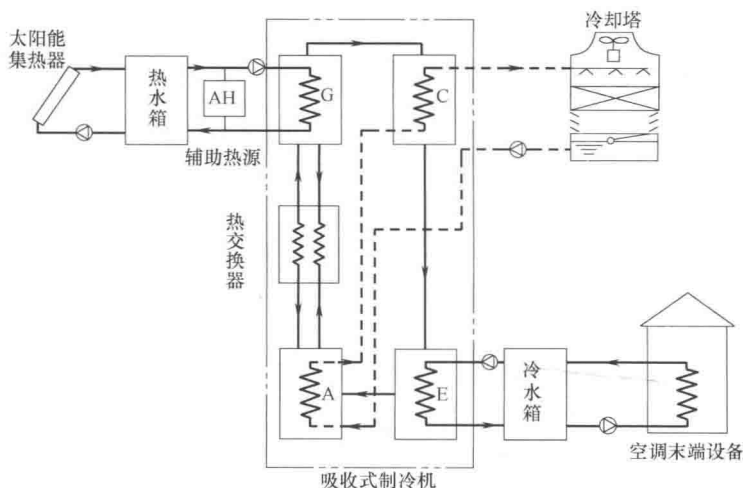


图 1-3 太阳能驱动单效吸收式制冷循环示意图

G—发生器；C—冷凝器；A—吸收器；E—蒸发器

2. 太阳能吸附式空调

太阳能吸附式空调即是以太阳能为热源，利用吸附式原理的制冷空调系统。太阳能吸附制冷由于所需驱动热源温度低、对环境零污染而备受人们关注。吸附式制冷系统可使用水、甲醇等作为制冷剂，可以由 $50\sim 90^{\circ}\text{C}$ 的热源驱动。而普通太阳能集热器的集热温度通常正好在这个范围之内。把太阳能和吸附制冷相结合，可以很好地解决太阳能集热器夏季热量过剩、无处可用的突出问题，为太阳能集热器拓展应用开辟新的领域。

吸附制冷的原理是：吸附剂对某些蒸汽具有吸附能力，当吸附剂吸附制冷剂蒸汽时，制冷剂由液态转变为气态，吸收蒸发器中的热量，产生制冷效果。这个过程叫吸附过程；然后利用热源加热吸附剂，使吸附剂解析出制冷剂蒸汽，制冷剂蒸汽在冷凝器中放出热量凝结为液体，这个过程叫解吸过程；最后吸附剂被冷却水冷却重新获得吸附能力。太阳能吸附制冷，即利用太阳能集热器集取太阳辐射能，加热载热流体（一般为水），然后替代电能或燃气为吸附式制冷解吸过程提供热量。太阳能吸附制冷能力与太阳能提供的水温、吸附工质对性质及吸附压力密切相关。与其他制冷方式相比较，太阳能吸附制冷空调具有以下特点：

- (1) 系统结构及运行控制简单，不需要溶液泵或精馏装置；
- (2) 可采用不同的吸附工作对，以适应不同的热源及蒸发温度；
- (3) 系统的制冷功率、太阳辐射及空调制冷用能在季节上的分布规律高度匹配，即太阳辐射越强，天气越热，需要的制冷负荷越大时，系统的制冷功率也相应越大；
- (4) 与吸收式及压缩式制冷系统相比，吸附式系统的制冷效率相对较低；
- (5) 由于太阳辐射在时间分布上的周期性、不连续性及易受气候影响等特点，太阳能吸附式制冷系统用于空调或冷藏等应用场合通常需配置辅助热源。

吸附式制冷采用的工质对通常为分子筛—水、硅胶—水及氯化钙—氨等，由于采用硅胶—水工质对的吸附式制冷机需要的热源驱动温度低，因而被选作太阳能吸附空调的主要

主机形式。

图 1-4 为上海交通大学发明的硅胶—水吸附制冷机组示意图，该实际系统已经在一系列太阳能空调工程中获得实际应用。

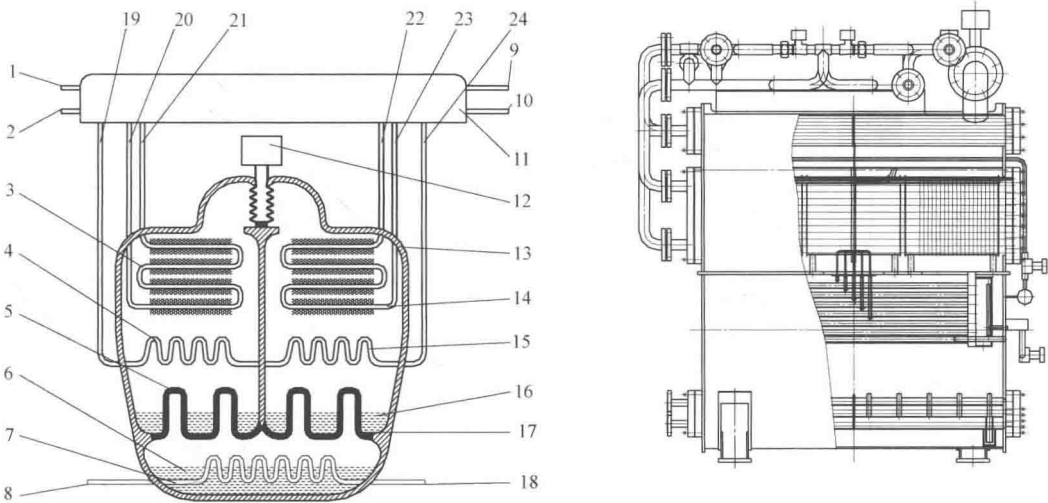


图 1-4 上海交通大学发明的硅胶—水吸附制冷机组示意图

- 1—热水出口；2—热水进口；3—左吸附床；4—左冷凝器；5—左隔离器；6—甲醇；7—蒸发器；
8—冷冻水入口；9—冷却水出口；10—冷却水入口；11—阀门组件；12—回质真空阀；13—机组外壳；
14—右吸附床；15—右冷凝器；16—制冷剂（水）；17—右隔离器；18—冷冻水出口；19—冷凝器出口；
20—左吸附床入口；21—左吸附床出口；22—右吸附器出口；23—右吸附器出口；24—冷凝器入口

1.2.2 太阳能除湿空调

太阳能除湿空调是一种利用干燥剂除湿和蒸发冷却原理，依靠太阳能热能驱动的空调处理技术，可实现夏季空调与冬季供暖。太阳能具有与室内负荷匹配性好且不需要消耗一次性能源的特点，而转轮除湿空调具备对热源温度要求低的特点，将两者结合起来自然成了国内外研究应用的焦点。太阳能除湿空调可以分为太阳能溶液除湿空调和太阳能固体转轮除湿空调。

1. 太阳能溶液除湿空调

太阳能溶液除湿空调利用盐溶液除湿、蒸发冷却以及太阳能集热再生原理进行工作，可实现夏季制冷以及冬季供暖。除湿剂溶液具有的浓度差蓄能作用可以克服太阳辐射的不连续，是太阳能利用的一种有效的途径。

如图 1-5 所示，溶液除湿空调系统主要由除湿器、再生器、换热器、溶液泵组成。在除湿器里，常温状态下高浓度的除湿溶液与被处理空气直接接触，由于除湿溶液表面的水蒸气分压力比处理空气水蒸气分压力低得多，所以空气中的水蒸气以扩散传质的方式进入溶液。经浓溶液干燥后的处理空气在蒸发冷却器里蒸发吸热，产生冷却水或者冷空气，用于空调制冷。稀释后的除湿剂溶液在溶液泵的作用下，被送到再生器，温度较高、浓度较

低的溶液与环境空气/经加热后的环境空气直接接触,此时溶液表层水蒸气分压力高于湿空气表层水蒸气分压力,因而溶液里面的水分不断扩散至空气中,完成除湿溶液的再生过程。

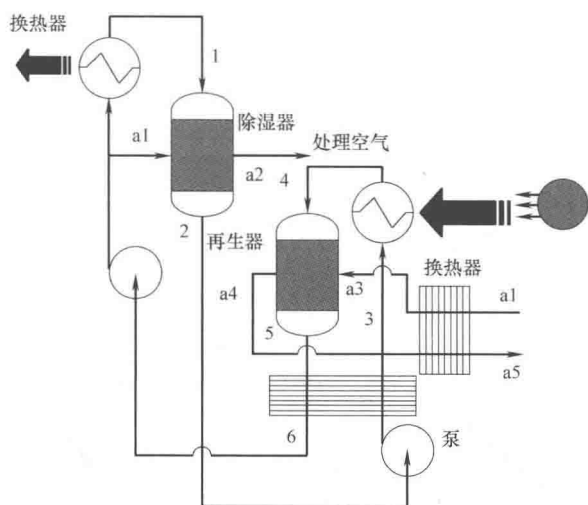


图 1-5 太阳能溶液除湿空调流程图

太阳能溶液除湿空调相对于常规空调, 具有以下特点:

(1) 有利于改善室内空气品质。由于空气经过喷盐水处理, 因此达到了洗涤、除尘和杀菌作用, 从而解决了室内空气中含有粉尘和有害病菌的问题。

(2) 利用可再生能源——太阳能驱动溶液除湿空调, 可以解决夏季制冷特别是空调除湿带来的能耗问题。

(3) 太阳能溶液除湿空调系统蓄存浓溶液蓄存空调能力, 可以实现长时间跨季节无损储存。

2. 太阳能固体转轮除湿空调

固体除湿空调系统,可分为固定床式和旋转床式,其中旋转床式可实现连续除湿,是目前应用研究的重点。转轮是除湿空调的核心部件,通过在基材上添加干燥剂,并利用基材和干燥剂的吸湿作用实现处理空气和再生空气间的热湿交换。干燥剂材料的吸湿性能是影响除湿效果的关键因素,常用的干燥剂材料有活性炭、活性氧化铝、分子筛、硅胶、氯化锂和氯化钙等。

除湿空调融合了干燥除湿和蒸发冷却技术,可实现温湿度的独立控制。

太阳能热水系统是目前应用最成熟的太阳能技术,应用量大面广。太阳能热水系统与除湿空调结合,可有效地将夏季过剩热量转变为空调能力输出。太阳能集热器产生的热水,在换热器中与再生空气进行换热。加热后的再生空气驱动转轮除湿装置对处理空气进行处理,除湿后得到干燥空气。这部分干燥空气经蒸发冷却或者其他措施降温处理后获得理想状态的调节空气送往室内进行空气调节。系统流程如图 1-6 所示,集热系统主要包括了太阳能集热器、蓄热水箱、水—空气换热器、水泵、风机、流量调节与控制部件等。系统可以实现如下功能:采用集热器与辅助热源相结合来驱动转轮除湿空调机组,晴好天气条件下,主要依靠太阳能驱动除湿空调机组进行空调过程,太阳能不足时,可启动辅助能源装置补热或启动常规空调装置进行空调。

基于太阳能热水系统的转轮除湿空调具有热源温度稳定、系统运行连续、集热效率高等优点。与常规空调系统相比,具有以下特点:

(1) 系统循环工质为空气和水, 对环境无害; 干燥剂可以吸附空气中的有害物质, 减少室内环境污染;

(2) 通过该技术可利用普通太阳能集热器获得热能用于环境空调, 最终可实现将约 40% 以上的太阳辐射能量转变为空调能力输出;

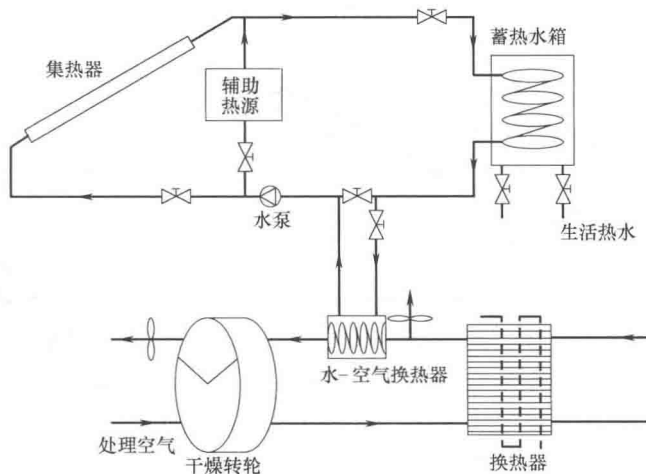


图 1-6 太阳能热水驱动转轮式除湿空调流程图

(3) 太阳能集热系统可用于冬季供暖，太阳能热水系统还可满足建筑全年生活热水需求；

(4) 太阳能除湿空调系统可与热泵空调机组耦合运行，充分利用空调排热，实现潜热和显热分级处理，同时显著提高空气调节的品质。

1.2.3 太阳能复合能量系统

单纯的太阳能制冷空调系统由于要用较多的集热器面积，往往初投资较大，改善系统经济性的途径就是想办法提高太阳能集热器的利用率，如冬季用于建筑供暖、全年供应热水、夏季空调等。图 1-7 为上海交通大学发明的太阳能空调、供暖、热水供应与强化自然通风复合能量利用系统，其特点是能够实现太阳能全年高效利用。冬季利用集热器产生的

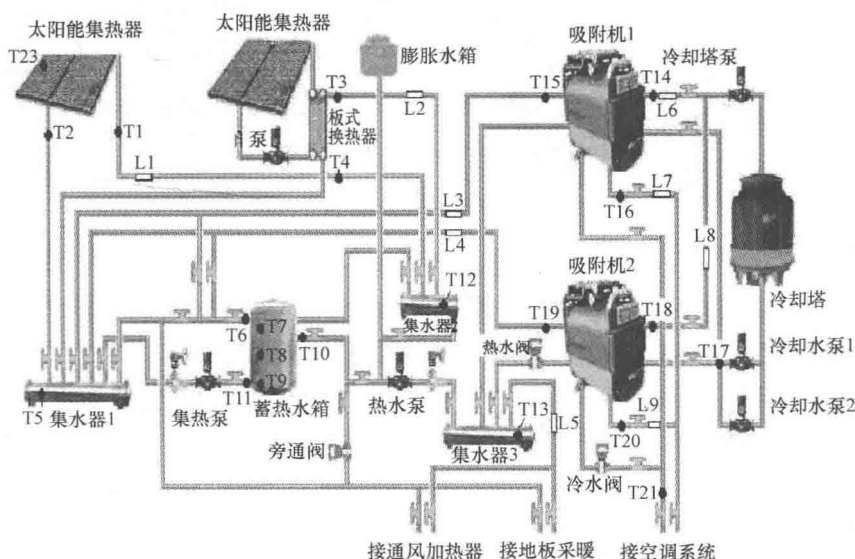


图 1-7 太阳能空调、供暖、热水供应与强化自然通风复合能量利用系统

40℃以上的热水通过地板辐射供暖末端进行供暖，夏季利用 60℃以上的热水驱动吸附制冷机进行空调降温，全年供应热水，过渡季节利用太阳能加热强化室内自然通风，改善室内热环境，该项目入选了国际 Wisions 可再生能源推广计划。复合能量系统技术被认为是建筑结合规模化、低成本利用太阳能的重要方向。

1.3 太阳能空调的应用

从目前国内外报道情况来看，根据 IEA 有关机构报道，2015 年，全球主要是欧洲应用和示范的太阳能空调项目在 1200 个左右，按应用场所分类，不同应用场所所占比例如图 1-8（小型太阳能空调）和图 1-9（大型太阳能空调）所示，其中用于办公室供冷的太阳能空调占比例最大，私人住宅占了小型太阳能空调机组的 28%。按技术分类，不同技术所占比例如图 1-10（小型太阳能空调）和图 1-11（大型太阳能空调）所示。其中太阳能吸收式空调占据了大部分，吸附空调其次，除湿空调所占份额最少。

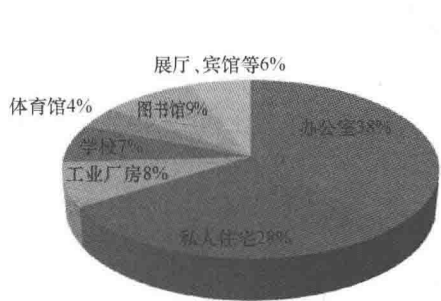


图 1-8 小型太阳能空调的应用

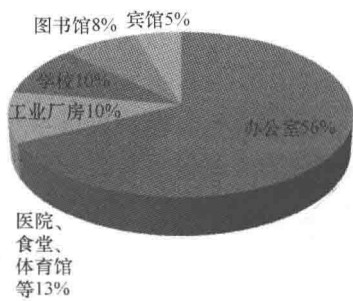


图 1-9 大型太阳能制冷的应用

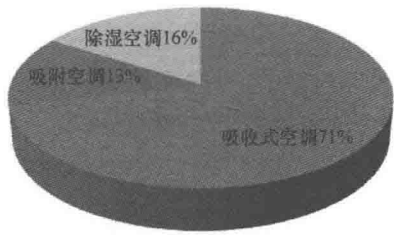


图 1-10 小型太阳能空调的技术分类

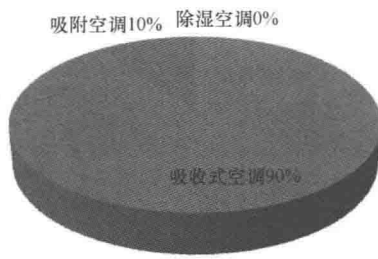


图 1-11 大型太阳能空调的技术分类

我国的太阳能空调应用示范项目根据报道大约 100 个左右。与欧洲的不同在于我国在吸附式制冷、除湿空调和两级吸收式空调的研究应用方面具有特色，有关工作走在了国际前列。

1.3.1 应用实例

1. 德国斯图加特市 Meissner & Wurst 公司太阳能空调系统^[3]

1997 年，德国斯图加特市 Meissner & Wurst 公司和中国北京桑达太阳能技术有限公司德国分公司签订协议，由桑达公司为该公司生产厂建造一套太阳能吸收式空调系统，提

供夏季制冷和过渡季节生活热水功能。1998 年 5 月该系统建成，系统原理图如图 1-12 所示，系统构成如下：

(1) 太阳能集热器系统。该系统采用 1600 支北京桑达太阳能技术有限公司生产的直流式太阳能集热器，以 45°倾角面朝正南安装。实际安装面积 430m²，有效采光面积 300 m²。将来自制冷机 80℃的水加热到 95℃，送到制冷机作为驱动热源。在过渡季节，太阳能热水用来供应生活热水。

(2) 吸收式制冷系统。采用单效溴化锂—水吸收式制冷机，热水进口温度 95℃，出口温度 80℃。最大输入功率 800kW，最大制冷量 560kW。在 95℃热源条件下，产生 6℃冷水，送入空调房间的风机盘管与流经室内空气进行热湿交换，以实现空调效果。

(3) 辅助加热系统。利用电厂发电机和—局部加热系统排出的废热水作为热源，保证系统运行不受天气变化影响。

(4) 该系统没有配备冷量蓄存装置。

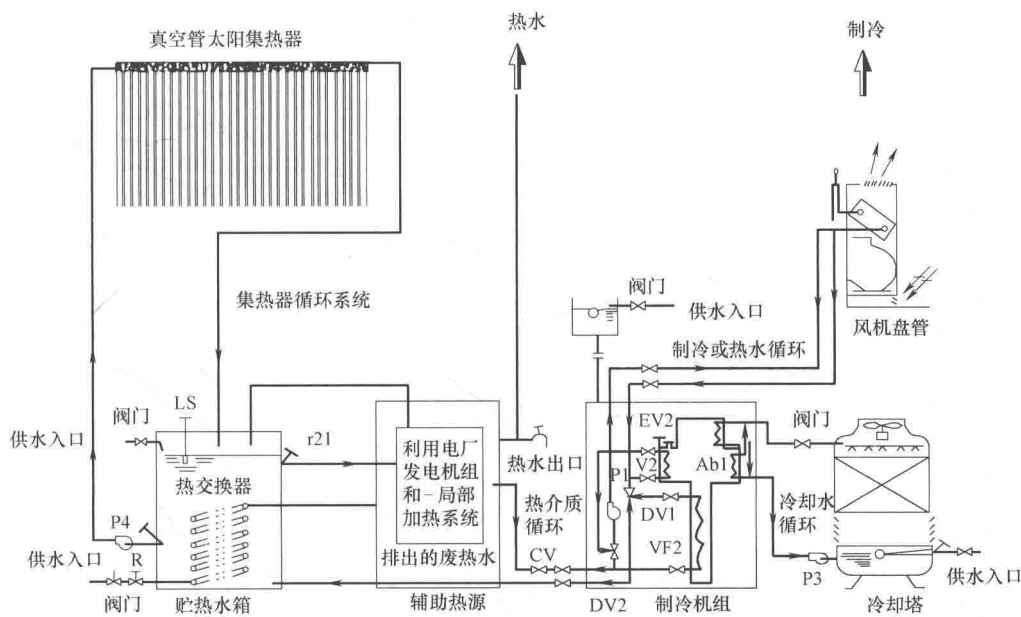


图 1-12 太阳能空调系统原理图

2. 山东乳山太阳能吸收式空调及供热综合系统^[4,5]

“九五”期间，原国家科委（现科技部）把“太阳能空调”列为重点科技攻关项目，要求建成示范系统，以促进太阳能空调的应用与发展。中国科学院广州能源研究所和北京太阳能研究所承担了该项科技攻关任务，一南一北建设了两座大型太阳能实用性空调系统。位于山东乳山，1999 年投入运行的这个太阳能吸收式空调及供热综合系统就是其中之一。

(1) 系统构成

太阳能吸收式空调系统，由于初投资费用大，如果仅在制冷季提供冷量，冬季供暖季及过渡季节闲置，则无疑将造成巨大的资源与能源浪费，因此设计成具备冬季供暖以及常