



太阳能喷射式制冷

田 琦/著



科学出版社

www.sciencep.com

太阳能喷射式制冷

田 琦 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

太阳能制冷技术由于利用可再生和对环境友善的太阳能而受到了越来越多的关注。本书在总结太阳能喷射制冷领域国内外研究成果及作者研究工作的基础上,介绍了太阳能喷射制冷的基础理论,并对太阳能喷射制冷系统及其组成装置的性能预测与设计方法进行了系统阐述。主要内容包括太阳辐射基础、集热器、蓄热装置、喷射器、蒸发器、冷凝器、发生器等主要组成装置的性能分析与设计计算,太阳能喷射制冷系统设计及性能分析等。

本书可供能源、制冷、暖通、环境保护等专业的科研、教学、设计等人员参考,也可作为相关领域研究生、高年级本科生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能喷射式制冷/田琦著. —北京:科学出版社,2007
ISBN 978-7-03-019758-0

I. 太… II. 田… III. 太阳能制冷-喷射冷却-研究
IV. TK511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 131611 号

责任编辑:耿建业 于宏丽/责任校对:钟 洋

责任印制:刘士平/封面设计:耕者工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 8 月 第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2007 年 8 月第一次印刷 印张: 13

印数: 1—2 500 字数: 251 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

前 言

近年来,环境恶化和能源短缺问题越来越严重。因此,开发更有效和无损环境的可持续发展的能源系统是世界各国所面临的重要任务。在各种可再生能源中,太阳能是最重要的基本能源,它不仅“取之不尽,用之不竭”,而且还是分布广泛、无污染、利用经济和清洁的能源。20世纪70年代以来,世界上许多国家掀起了开发利用太阳能等可再生能源的热潮。美国、日本、德国及一些发展中国家也纷纷制定了相应的发展计划。联合国召开了一系列由各国领导人参加的高峰会议,讨论和制定世界太阳能战略规划、国际太阳能公约,设立国际太阳能基金等,推动全球太阳能等可再生能源的开发利用。开发利用太阳能等可再生能源成为了国际社会的一大主题和共同行动,成为各国制定可持续发展战略的重要内容。

空调的需求是一个巨大的市场,而传统的制冷空调系统消耗的电能巨大,显然,以太阳能为冷源的制冷空调装置的开发研究具有广阔的市场基础。利用太阳能制冷主要有两条途径,一是利用光伏技术产生电力,以电力推动常规的压缩式制冷机制冷或热电制冷;二是进行光-热转换,用热力作为制冷动力的热制冷。第一种方式制造成本比较高,而太阳能热制冷除了供冷之外,还可结合供热利用,因此国外的太阳能空调系统通常以第二种为主。太阳能热制冷形式按制冷方式分,主要有压缩式、吸收式、吸附式与喷射式等。

太阳能喷射式制冷系统早已受到人们的关注。喷射制冷的发展可以追溯到20世纪初。从那时起到现在的一百多年时间里,人们在这一领域里进行了许多研究,取得许多成果。但由于水蒸气喷射制冷系统设备庞大、效率低,逐渐被技术和工艺不断完善的机械压缩式制冷系统所取代。如何提高喷射制冷系统的效率一直是困扰喷射制冷研究者和技术人员的难题。到20世纪中叶,Mizrah首次提出了用氟利昂替代水进行喷射循环的理论,并进行了系统循环最佳工况计算。由于氟利昂喷射制冷循环在低温热源利用上具有不可替代的优势,而现实中存在着许多低温热源,这就为氟利昂喷射制冷系统研究的兴起与发展提供了广阔的空间和契机。太阳能喷射制冷系统的研究也在世界上日益受到关注。这种制冷系统由于结构简单、造价低、运行可靠等优势,更加接近实际应用的要求,因此,对其进行研究就更加具有现实可行性。目前,国内尚未见太阳能喷射式制冷方面的著作,所以,希望本书的出版能对太阳能喷射式制冷的研究与应用起到一定的推动作用。

本书系统地阐述了太阳能喷射制冷系统,对其系统性能与设计计算方法进行

了详细分析,从满足专业技术人员研究与设计需要的角度出发,对太阳能喷射制冷系统按系统设计与性能预测两方面进行了内容编排。太阳能与电能联合制冷的形式,克服了太阳辐射不足时太阳能制冷系统的低效性,对于改善太阳能喷射制冷系统性能、提高能源综合利用率、推广应用太阳能具有重要意义。

本书的出版与书中所涉及的研究课题得到了山西省自然科学基金(2007011065)——太阳能喷射与压缩耦合制冷机制及循环优化研究、太原市科委研究项目——太阳能喷射与压缩耦合制冷技术开发及教育部“985工程”项目(TD200111)的资助。在本书即将出版之际,我非常感谢我的硕士生导师王荣光教授,是她引导我走上了太阳能利用研究的道路;也非常感谢我的博士生导师张于峰教授,正是在他的指导下,我对太阳能喷射式制冷进行了系统研究。同时,感谢我的研究生刘玉娜、吴晓庆等人,他们帮助绘制了书中的部分图表。

受水平限制,书中难免存在不足之处,欢迎读者批评指正。

作 者

2007年3月19日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 太阳能	2
1.1.1 太阳能的特点	2
1.1.2 我国的太阳能资源	3
1.1.3 太阳能利用方式	5
1.2 太阳能喷射式供冷	7
1.2.1 太阳能制冷	8
1.2.2 太阳能喷射式制冷	9
参考文献	10
第 2 章 太阳辐射	12
2.1 太阳常数与太阳角	13
2.1.1 太阳常数	13
2.1.2 太阳辐射光谱	15
2.1.3 太阳角	20
2.2 大气层外水平面上的太阳辐射	29
2.2.1 大气层外水平面上的太阳辐照度	29
2.2.2 大气层外水平面上的小时太阳辐射量	29
2.2.3 大气层外水平面上的日太阳辐射量	30
2.2.4 大气层外水平面上的月平均日辐射量	31
2.2.5 例题	31
2.3 地表水平面上的太阳辐射	32
2.3.1 大气层对太阳辐射的作用	32
2.3.2 地表水平面上太阳辐照度计算	33
2.3.3 地表水平面上太阳曝辐量计算	34
2.3.4 标准年气象库	38
2.3.5 例题	39
2.4 地表倾斜面上的太阳辐射	41
2.4.1 直散分离	41

2.4.2 倾斜面太阳辐射计算	43
2.4.3 例题	44
参考文献	46
第3章 太阳能集热器及其性能预测	47
3.1 平板式液体集热器及其性能预测	48
3.1.1 平板式液体集热器结构及材料	50
3.1.2 热性能计算	56
3.1.3 集热量计算	66
3.1.4 例题	67
3.2 全玻璃真空管集热器及其性能预测	69
3.2.1 全玻璃真空管集热器结构及材料	70
3.2.2 全玻璃真空管集热器热性能计算	74
3.3 热管式真空管集热器及其性能预测	81
3.3.1 热管式真空管集热器结构及材料	81
3.3.2 热管式真空管集热器热性能计算	84
3.4 复合抛物面集热器	88
3.4.1 二维 CPC 复合抛物聚光器的设计	90
3.4.2 二维 CPC 复合抛物聚光型集热器的光热性能计算	94
3.5 太阳能喷射制冷系统集热器的选择	96
3.5.1 设计气象条件下太阳能集热器的选择	97
3.5.2 寿命期限内太阳能集热器的选择	98
参考文献	99
第4章 蓄热装置及其性能预测	101
4.1 显热蓄热装置及其热性能预测	102
4.1.1 显热蓄热装置	102
4.1.2 蓄热水箱热性能计算	104
4.2 相变蓄热	107
4.2.1 相变蓄热材料	107
4.2.2 相变蓄热器	109
参考文献	111
第5章 喷射器设计及性能预测	112
5.1 喷射器设计	112
5.1.1 等压法	112
5.1.2 气体动力函数法	119

5.1.3 等动量变化率法	135
5.2 喷射器性能预测	146
参考文献	151
第 6 章 蒸发器设计及其性能预测	152
6.1 蒸发器设计	152
6.1.1 蒸发器种类	152
6.1.2 蒸发器选择设计计算	153
6.2 蒸发器性能预测	159
6.2.1 过热区稳态集中参数模型	160
6.2.2 两相区稳态集中参数模型	161
6.2.3 蒸发器性能计算程序	164
参考文献	164
第 7 章 冷凝器设计及其性能预测	165
7.1 冷凝器设计	165
7.1.1 冷凝器种类	165
7.1.2 冷凝器设计计算	167
7.2 冷凝器性能预测	170
7.2.1 过热区稳态集中参数模型	170
7.2.2 两相区稳态集中参数模型	171
7.2.3 冷凝器性能计算程序	172
参考文献	173
第 8 章 太阳能喷射制冷系统的其他组件	174
8.1 发生器	174
8.1.1 发生器类型	174
8.1.2 太阳能直接集热发生器热性能预测	174
8.2 节流装置	181
参考文献	183
第 9 章 太阳能喷射制冷系统	184
9.1 太阳能喷射制冷系统形式	185
9.2 太阳能喷射制冷系统性能预测	187
9.2.1 太阳能集热-蓄热循环	188
9.2.2 喷射制冷循环	188
9.2.3 喷射器性能计算	189
9.2.4 太阳能喷射制冷系统性能计算框图	189

参考文献	190
第 10 章 太阳能喷射与压缩一体化制冷系统	192
10.1 太阳能喷射与压缩一体化制冷系统描述	192
10.2 太阳能喷射与压缩一体化制冷系统的热力学分析与计算	193
10.2.1 喷射器性能分析与计算	195
10.2.2 增强喷射制冷方式运行时系统性能分析与计算	196
10.2.3 压缩制冷方式运行时系统性能分析与计算	198
参考文献	198

第 1 章 绪 论

随着经济的持续快速发展,能源需求也迅速增加,近年,电力短缺,煤炭、燃油供应和运输紧张,安全事故增加,能源价格上涨等表现能源紧张的现象已成为经济生活中的热点问题。政府和学者从来没有像今天这样关注可持续发展的能源和环境问题。

根据能源的成因,可将能源分为一次能源和二次能源。所谓一次能源是指自然界中以天然形成方式存在的能源,如原煤、原油、天然气、油页岩、核燃料、植物秸秆、太阳能、风能、水能、地热能、海洋能、潮汐能等,也称为天然能源。所谓二次能源是指由一次能源直接或间接转换而成的其他种类和形式的能源,如煤气、焦炭、人造石油、汽油、煤油、柴油、重油、电力、蒸气、热水、酒精、沼气、氢气、激光等,也称为人工能源。一次能源根据其能否“再生”,可以进一步分为可再生能源和非再生能源。所谓可再生能源是指能够重复产生的自然能源,如太阳能、风能、水能、地热能、海洋能、潮汐能、生物质能等,它们不会随着本身的转化或人类的利用而日益减少。所谓非再生能源是指不能在短时期内重复产生的天然能源,如原煤、原油、天然气、油页岩和核燃料等,这些能源的产生周期极长,往往需要数百万年,产生的速率远远跟不上人类对它们的开发速率,总有一天会被人类消耗殆尽。

在世界及我国能源消费结构中,不可再生的常规能源占了能源消费总量的绝大部分,这说明世界的发展对不可再生的常规能源有极大的依赖性。根据现有的统计数据和资料^[1],全世界石油探明储量的开采寿命为 16~18 年,包括潜在储量的开采寿命为 30~40 年;天然气探明储量的开采寿命为 15~19 年,包括潜在储量的开采寿命为 25~40 年;煤炭为最丰富的矿物燃料,探明储量的开采寿命要比前两种长一些,为 30~100 年,包括潜在储量的开采寿命为 150~250 年。这说明,世界及我国的常规能源储量远不能满足社会长远发展的需要,开发可再生的新能源才是解决能源问题的根本出路。

环境问题与能源问题息息相关,常规矿物能源的使用带来了严重的环境问题。煤、石油等矿物燃料是导致环境污染的主要根源。世界上每年排入大气的烟尘约 $1.0 \times 10^9 \text{ t}$,二氧化硫约 $1.46 \times 10^9 \text{ t}$;2005 年我国 SO_2 排放量总量 $2.5493 \times 10^7 \text{ t}$,烟尘排放总量 $1.182 \times 10^7 \text{ t}$,以煤烟型为主的大气污染导致酸雨覆盖面积约占国土的 30%。这些问题最终将迫使人们改变能源结构,采用洁净的可再生能源来解决。

目前世界上开发的可再生能源有太阳能、风能、生物质能、地热能、海流能(温

差能)、潮汐能等。其中,太阳能是最有希望成为未来可替代能源之一。

1.1 太 阳 能

广义的太阳能是指来自太阳的能量,包括太阳辐射能、煤、石油、天然气、沼气、风、波浪、生物质能、水能等。狭义的太阳能则单指太阳辐射能,本书中所说的太阳能即指狭义的太阳能。

1.1.1 太阳能的特点

太阳辐射能作为一种能源,在能源开发利用中具有其独特的优势,主要表现在:

(1) 供给量巨大。太阳每秒钟辐射达到地球表面的能量高达 8×10^{13} kJ,相当于 6×10^6 t 标准煤。按此计算,一年内达到地面的太阳能总量折合成标准煤共约 1.892×10^{13} t,是目前世界主要能源探明储量的一万倍。德国太阳能专家伯尔科说,只需开发非洲部分地区的太阳能发电,便能满足全世界的电力需求。

(2) 可再生性。根据天文学的研究结果,可知太阳系已存在大约 150 亿年。根据目前太阳辐射的总功率以及太阳中氢的总含量进行估算,尚可继续维持一千亿年之久。对于人类存在的年代来说,太阳辐射完全可以源源不断地供给地球,取之不尽,用之不竭。

(3) 普遍性。太阳能不像其他能源那样具有分布的偏集性。世界不少国家因为能源分布的不平衡性不得不花去庞大的购买及维护输电设备和交通费用。而太阳能处处都可以就地利用,有利于缓解能源供需矛盾,缓解运输压力,能解决偏僻边远地区及交通不便的农村、海岛的能源供应,更有其巨大的优越性。

(4) 生态清洁性。由于人类对太阳能的转换和消耗是太阳辐射能转换为热能的固有的自然过程,得到的热能又耗散在地球周围的空间,所以利用太阳能不会像利用矿物燃料那样改变地球的热能平衡,造成温室效应,显然太阳能是一种生态能源。另外,利用太阳能作为能源,没有废渣、废气、废水排出,无噪声,不产生有害物质。每安装 1m^2 太阳能热水器可替代燃煤 130kg,减少 CO_2 排放量 94kg。

(5) 安全性。与原子核能相比,太阳能利用要安全得多,不必担心核泄露、核辐射对人体的危害,也不必担心核电站废墟的掩埋问题。

(6) 经济性。太阳能利用的经济性,可以从两个方面论述:一是太阳能取之不尽,用之不竭,而且其普照大地,可以随地取用;二是在目前的技术发展水平下,对某些地区,太阳能热利用已具备经济性,如太阳能热水器,虽然其一次投资较高,但其使用过程中不需要另外耗能,而电热水器和燃气热水器在使用过程中仍需耗能量。因此,在某些地区太阳能热水器已初步具有和常规能源的竞争力。随着科

技术的发展以及人类开发利用太阳能的技术突破,太阳能利用的经济性将会更明显。

当然,太阳辐射能也有其缺点,存在的主要问题有三点:

(1) 分散性。太阳能的能流密度低、单位面积上的能量稀薄。

(2) 间断性和不稳定性。太阳能随季节、气候、昼夜的变化而变化。

(3) 效率低和成本高。目前大部分太阳能利用设备的效率还较低,因而成本较高。

但总的来说,太阳能有很多其他能源无法相比的优点,有极其广阔的利用前景。

1.1.2 我国的太阳能资源

我国幅员辽阔,有着十分丰富的太阳能资源。我国的西藏和美国的西南部、非洲、澳大利亚、中东等地区是全球全年辐射量或日照时数最多的地方,也即世界上太阳能资源最丰富的地区。这为我国太阳能利用的发展提供了极佳的自然条件。

由于地域广大,太阳辐射资源受气候、地理等环境条件的影响,分布具有明显的地域性。根据全国近700个气象台站长期观测积累的数据资料表明,我国各地的太阳辐射年总量大约在 $3.3 \times 10^6 \sim 8.4 \times 10^6 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,其平均值为 $5.9 \times 10^6 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,相当于 $2.4 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤。太阳辐射年总量为 $5.9 \times 10^6 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的等值线位于以大兴安岭西麓的内蒙古自治区的北部,向南经过北京西北侧,朝西偏南至兰州,然后径直朝南到昆明,沿横断山脉转向西藏南部。这条线以西和以北,除天山北面的新疆小部分地区太阳辐射年总量为 $5.4 \times 10^6 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 左右外,其他地区辐射年总量都超过 $5.9 \times 10^6 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

概括来说,我国大陆上太阳能资源分布的状况:西部多于东部,西南部大都少于北部。或者说,除了西藏和新疆以外,纬度低的地区反而比纬度高的地区少,这主要是受到气候影响的结果。因为我国东部沿海地区主要受潮湿海洋性气候的影响,云量大、降雨多,从而使地面上接收到的太阳辐射年总量相应地减少。而我国西部由于受到干旱大陆性气候影响的结果,晴天多、雨量少,因此地面上接收到的太阳辐射年总量就比较大。

根据我国气象部门测量太阳能年辐射总量的大小,一般将我国大陆部分划分为四个太阳辐射资源带,如图1.1所示。四个太阳辐射资源带所包括的主要地区如表1.1所示,表中还给出该地区的全年日照时数,以及太阳辐射年总量相当于燃煤数。

由表1.1可知,I、II、III类地区是我国太阳能资源比较丰富的地区,面积很大,约占全国总面积的2/3以上,具有利用太阳能的有利条件。IV类地区虽然条件很差,但如能因地制宜,采用适当的方法和装置,仍具有一定的实用意义。

总起来说,如能充分地利用我国丰富的太阳能资源,对节约常规能源、减少环

境污染,将具有重大的经济意义和社会意义。

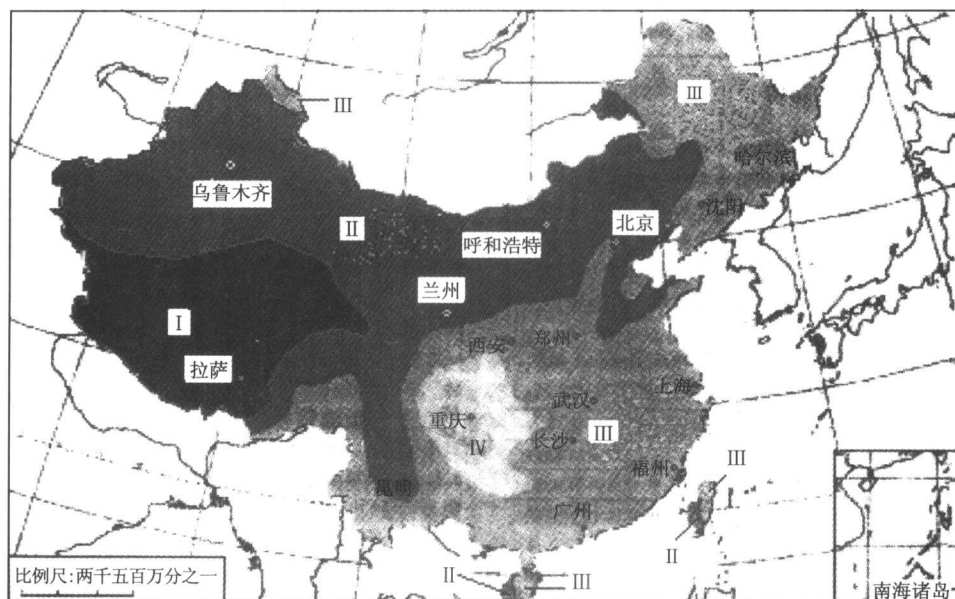


图 1.1 中国太阳能资源分布图[单位: $10^6 \text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]

I—资源丰富带(≥ 6700) II—资源较丰富带($5400 \sim 6700$)

III—资源一般带($4200 \sim 5400$) IV—资源贫乏带(< 4200)

表 1.1 太阳能资源分布

地区 分类	全年日 照时数/h	太阳辐射年 总量/ $10^6 \text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	相当于燃料 煤数/kg	包括的地区
I	2800~3300	≥ 6700	≥ 230	宁夏北部、甘肃北部、新疆东南部、青海西部、西藏西部
II	3000~3200	5400~6700	200~300	河北北部、山西北部、内蒙古和宁夏南部、甘肃中部、新疆南部、青海东部、西藏东南部
III	2200~3000	4200~5400	170~200	山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南等省以及陕西北部、甘肃东南部、广东和福建的南部、江苏和安徽的北部、北京
IV	1400~2200	< 4200	< 170	湖北、湖南、江西、浙江、广西等省以及广东北部、陕西、江苏和安徽三省的南部、黑龙江

1.1.3 太阳能利用方式

太阳能利用方式可以分为太阳能热利用、太阳能发电、太阳能光化利用、太阳能光生物利用等。

1.1.3.1 太阳能热利用

太阳能热利用的基本原理是将太阳辐射能收集起来,通过光热效应转换成热能加以利用,是目前技术最为成熟、成本最为低廉、应用最为广泛的太阳能利用方式。其主要集热装置有平板型集热器、真空管集热器和聚焦型集热器等。根据所能达到的温度和用途,通常把太阳能热利用分为低温利用($<200^{\circ}\text{C}$)、中温利用($200\sim 800^{\circ}\text{C}$)和高温利用($>800^{\circ}\text{C}$)^[2]。低温利用主要有太阳热水器、太阳能干燥器、太阳能蒸馏器、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。

利用太阳能加热水是太阳能利用的最普遍的形式。其应用对象主要有:单户住宅卫生热水供应;栋式建筑热水供应,一般在一栋建筑屋顶上集中设置供热水系统,在办公建筑、学校、公共浴室中的应用较多;游泳馆中的泳池热水供应;作为太阳能制冷、供暖系统的热源等。

世界上第一台太阳热水器在 100 多年前诞生于美国,之后,世界各国相继研究开发出各种类型的家用太阳热水器和太阳热水系统,并且正在逐步走向商业化、市场化。到 2002 年底,全世界累计安装太阳热水器共约 $7.35\times 10^7\text{m}^2$,其中我国安装了 $4.0\times 10^7\text{m}^2$,占世界总量的 54%,居世界第一位。2005 年底,欧洲安装太阳集热器共约 $2.783\times 10^7\text{m}^2$ ^[3]。我国第一台太阳热水器出现在 1958 年,经过近 30 年的应用发展,太阳热水器已成为我国阳光经济产业的支柱行业。据统计,全国太阳能热水器行业现有 1000 多家企业,年产量在 1000 万平方米以上,年产值超过 100 亿元。目前,我国已经成为太阳能热水器的生产和销售大国。太阳热水器的性能价格比已可与电热水器和燃气热水器相竞争,它已与电热水器和燃气热水器并列成为在市场上提供生活热水的 3 种设备之一。

太阳能供暖主要有三种方式:被动式太阳房供暖方式、主动式太阳房供暖方式、联合式太阳能建筑(包括零能建筑)供暖方式,具有较好的节能性^[4,5]。

20 世纪 30 年代,美国麻省理工学院已开始进行太阳房的研究,到 20 世纪 90 年代,美国已建造了约 25 万栋各种形式的太阳房,平均初投资增加 10%~15%,而节约燃料 50%~80%。目前,利用太阳能的低能耗建筑的研究已列入国际能源署(IEA)第 13 项研究攻关任务,由 15 国科学家联合攻关,以新技术、新材料和新部件开发未来先进的太阳能低能耗建筑。主要攻关技术有以下几个方面:①透明隔热材料(TIM)的应用,已有两种新材料,一是用聚酯薄膜制成的透明蜂窝板,二是气凝胶,尚

在试制阶段;②先进的隔热窗户系统,包括中间充氩或氦的惰性气体的多层玻璃窗户,玻璃表面涂有低反射率涂层,双层真空玻璃窗,中间充填气凝胶等方案[透过率为80%~90%,导热系数为 $0.02\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];③各式热泵系统,以太阳能或土壤作低温热源,用于采暖以节约电能;④太阳能电池做屋面板;⑤电脑节能优化控制。用以上新技术、新材料和新部件建成新一代的太阳能试验房,在丹麦已有24座、德国3座、挪威3座。其设计能耗指标是,年采暖常规能源耗量 $25\text{kWh}/\text{m}^2$ (建造面积),总能耗 $50\text{kWh}/\text{m}^2$ 。德国AEG公司开发的将太阳能主动和被动相结合,附有能量回收系统的电脑智能化试验房“Smart House”,比现有建筑节能70%左右。

国外太阳能界已经将太阳能采暖与其他太阳能系统进行了组合。和太阳能热水、制冷等组成“太阳能组合系统”、与太阳能光电组成“太阳能联合系统”、与其他可再生能源组成“混合系统”。目前,欧洲标准化委员会太阳能热利用技术委员会(CEN/TC 312)正在组织制定有关太阳能组合系统的欧洲标准。在一些欧洲国家,太阳能组合系统在安装的全部太阳能热利用系统中已达到相当高的比例。

我国太阳能采暖的研究开发工作始于20世纪70年代末。当前,已在建设太阳能综合利用示范建筑。2004年,北京太阳能研究所在北京建成的中国首座太阳能综合利用示范楼实现了3个方面的重大突破。①实现了太阳能由单一的热水供应到空调、采暖、热水的综合利用,形成了大范围推广利用的基础;②实现了太阳能并网发电,验证了太阳能发电系统的商用价值,不仅不花钱,而且有可能赚钱;③解决了太阳能与建筑的一体化问题,实现了功能与美学的统一。这表明太阳能利用已达到一个新水平,进入一个新阶段。

国家对太阳能供热利用也非常重视。建设部制定的《建筑节能技术政策1996—2010》规定:1996~2000年的新建住宅的采暖能耗要在1980年当地通用设计能耗的基础上节约50%;从2005年起新建住宅的采暖能耗应在2000年的基础上再节约30%。文件指出:在太阳能较丰富的地区要积极推广太阳能利用。它将太阳能热利用纳入国家建筑节能的范畴,为太阳能利用发展奠定了重要的政策基础。

太阳能制冷的进展情况将在1.2节详细介绍。

1.1.3.2 太阳能发电

利用太阳能发电的方式很多,目前实用的主要有以下两种:

(1) 利用光-热-电转换方式发电。即先将太阳辐射能通过光-热转换转化为热能,再通过热-电转换利用热能发电。一般是利用太阳集热器所产生的热能生产高温、高压的工作蒸汽,然后由蒸汽驱动汽轮机带动发电机发电。

(2) 利用光-电转换方式直接发电。其基本原理是利用光生伏打效应将太阳辐射能直接转换为电能,它的基本装置是太阳能电池。

20世纪50年代研制成第一块实用的硅太阳电池,60年代太阳电池进入空间

应用,70年代进入了地面应用,太阳能光电技术已历经了半个世纪。太阳能光电技术应用系统在历经了交通信号、通信、管网保护和边远无电、缺电地区的居民家庭供电等方面的特殊场合应用以后,现在正在迈向较大规模的商业应用。一方面,兆瓦级阳光电站不断出现,在已建成兆瓦级电站中,最大的已达到 6.5MWp (美国加州),而准备建造的阳光电站规模将达到 100MWp (美国)。另一方面,近年来许多国家的政府都非常重视屋顶阳光发电系统的发展。这些系统以家庭为单位进行安装供电,同时与大电网相连,互相补充电能。有人做过乐观的估计,在今后十年内太阳发电量将以平均30%的速度增长,到2010年将达到 4.6GWp ,累计容量将达到 20GWp ,到21世纪中叶,阳光发电量将占世界总发电量的15%~20%,超过核电,成为人类的基本能源之一。

我国的太阳能光电技术自20世纪70年代以来也有相应的发展。至2002年,我国电池和组件的总生产能力约 29MW/a 。2002年,我国电池和组件的生产量约 6MW/a 。1992~2002年,电池和组件的生产平均年增长率为25%。商业化晶硅电池效率由20世纪80年代的10%~12%提高到12%~14%。电池组件成本20多年来不断降低,售价由80年代初的65~70元/ Wp 降到2002年的30元/ Wp 。根据电力部制定的1996~2020年国家太阳能光电(PV)发展计划,我国在2020年太阳能发电总容量将达到 300MWp ,其中家用阳光电源为 50MWp 。在联网阳光电站建设方面,2020年前建成5座兆瓦级阳光电站。

1.1.3.3 太阳能光化利用

太阳能光化利用的基础是光-化学转换,其基本原理是化学反应的光激发,光能直接作用于实现化学反应的基元,被单独的量子吸收,克服反应势垒所需的能量而使化学反应发生,生产富能物质,在此过程中能量被储存了起来,即反应产物比起始反应物能量高。利用太阳辐射能分解水制氢是目前研究最多的领域。日本有人利用碘对光的敏感性,设计了一套包括光化学、热电反应的综合制氢流程,每小时可产氢97L,效率达10%左右。

1.1.3.4 太阳能光生物利用

太阳能光生物利用主要是通过植物的光合作用来实现将太阳能转换成为生物质的过程,如种植速生植物(如薪炭林)、油料作物和白型海藻等。目前,光合作用机理尚不完全清楚,能量转换效率一般只有百分之几,今后对其机理的研究具有重大的理论意义和实际意义。

1.2 太阳能喷射式供冷

太阳能供冷属于太阳能光热利用的低温利用领域,是目前太阳能利用技术中

的研究热点之一。

1.2.1 太阳能制冷

从利用太阳能的角度而言,一般的太阳能热利用项目,如采暖、热水等,在需求上其实与太阳能的提供并不完全一致。当天气越冷、人们越需要温暖的时候,太阳提供的能量往往不足。而由太阳能制冷装置提供冷源的空调系统则不然,在太阳辐射越强、天气越热、人们需要的空调负荷越大的时候,太阳能空调能够提供的冷量也越大。因此,太阳能空调的应用是最合理的^[6]。

利用太阳能制冷可以有两条途径,一是利用光伏技术产生电力,以电力推动常规的压缩式制冷机制冷或热电制冷;二是进行光-热转换,用热力作为制冷动力^[7]。

在太阳能光电转换技术中,太阳能电池的材料是主要问题。目前以半导体硅、锗等材料为主,主要进行工艺研究。需要解决的主要问题是效率和成本问题。虽然半导体太阳能电池的实验室效率已经超过了 20%,但是制造成本依然比较高。因此,虽然太阳能电池驱动的制冷系统的结构简单,但以目前光电池的价格计算,其造价约为太阳能热制冷的 3~4 倍,在目前的技术条件下还不具有实际可行性。

太阳能热制冷除了供冷之外,还可结合供热利用。因此国外的太阳能空调系统通常以第二种为主^[8]。

太阳能热制冷方式按制冷循环方式分,主要有压缩式、吸收式、吸附式与喷射式等。此外还有太阳能直接蒸发冷却^[9]、太阳能除湿空调等形式。

太阳能驱动的压缩式制冷系统见图 1.2^[10],该系统是利用太阳能热机驱动普通的制冷压缩机进行制冷。因其要求的集热器温度高(100℃ 以上),设备复杂、投资高,工作性能系数不高,故目前使用不多。

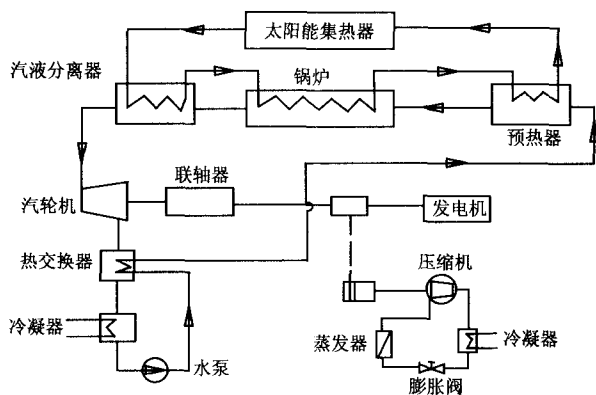


图 1.2 太阳能驱动的压缩式制冷系统

太阳能吸收式空调系统是目前世界上研究最多,也是最成熟的太阳能空调系