

出国参观考察报告
澳大利亚、新西兰太阳能利
用的研究与应用

(内部发行)

编辑者：中国科学技术情报研究所
出版者：科学技术文献出版社
印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆。印张：4.5 字数：115千字

1980年4月北京第一版第一次印刷

印数：1—5,200册

科技新书目：158—18

统一书号：17176·240

定价：0.75元

目 录

概况	(1)
(一) 澳大利亚太阳能利用概况	(1)
(二) 新西兰太阳能利用概况	(2)
一、太阳能在能源中的地位	(3)
(一) 澳大利亚对太阳能的政策	(3)
(二) 新西兰对太阳能的政策	(3)
二、平板型太阳集热器	(4)
(一) 平板型太阳集热器的类型	(5)
(二) 平板型集热器的材料和制造工艺	(12)
(三) 生活用太阳热水系统	(15)
(四) 工业用太阳加热系统	(20)
(五) 游泳池的太阳能加热	(23)
三、高温集热器	(26)
(一) 真空玻璃管集热器	(27)
(二) 聚焦型高温集热器	(29)
四、集热器试验	(32)
(一) CSIRO的试验方法	(32)
(二) 模拟实验	(34)
(三) 高温试验台	(35)
(四) 系统试验	(35)
五、太阳能利用基础材料及性能测试	(36)
(一) 选择性涂层的类型	(36)
(二) 选择性涂层的配方、工艺、结构与性能	(37)
(三) 反光材料	(40)
(四) 材料表面光学性能测试方法及设备	(40)
六、太阳能房屋	(42)
(一) 太阳能空调	(43)
(二) 被动式太阳房	(49)
(三) 低能量消耗的太阳房	(51)
七、太阳能发电	(51)
(一) 太阳能小型动力机	(51)
(二) 太阳能热发电	(58)
(三) 太阳电池	(60)
(四) 跟踪系统	(63)
八、其它	(67)
(一) 氨分解储能	(67)
(二) 太阳能海水淡化	(69)
(三) 太阳能制氢	(70)
(四) 太阳能温室	(71)

澳大利亚、新西兰太阳能利用 研究与应用

中国科学院太阳能利用考察组

概 况

(一) 澳大利亚太阳能利用概况

中国科学院太阳能考察组一行九人，于一九七八年八月二十三日到九月十七日在澳大利亚进行了专业考察，参观访问了堪培拉，布里斯班，悉尼，墨尔本，阿得雷得，佩思等六个城市，访问了三十六个单位。在与政府官员接触中，了解了该国的能源政策和太阳能利用的概况；在研究机构和大专院校，广泛接触了科学家和科技人员，了解到研究工作的现状，特点及其存在问题；在工厂中参观了太阳能利用设备的生产情况；还参观了有代表性的工厂和住宅利用太阳能的情况。因此，通过这次考察，对澳大利亚太阳能利用有了初步的概念。

表 1—1 澳大利亚1974—1975年度能源用途估计

部 门	$J \times 10^5$	%
农业，林业，渔业	58	2.1
矿 业	74	2.6
食品，饮料，烟业	95	3.4
造 纸	29	1.0
化 工	34	1.2
炼 油	135	4.8
非金属矿	102	3.6
钢 铁	387	13.7
有色金属	147	5.2
商品制造	47	1.7
建 筑	20	0.7
批发与零售	37	1.3
家 用	103	3.7
运输与仓库	702	24.9
电	795	28.3
煤 气	37	1.3
其 它	13	0.5
	2815	100

澳大利亚对能源的生产和需要调查得比较细致。煤、天然气比较丰富，石油仅能供应十年左右，目前约有三分之一的石油依赖进口，且逐年有所增加，澳洲阳光充足，日照平均全年有2000小时以上。因此，该国的能源政策是：发电用煤和天然气，太阳能作为辅助能源。在缺煤的西澳及偏僻地区，能源供应困难，电费高，尽可能推广利用太阳能。

澳大利亚能源研究经费1978年度为900万澳元，其中太阳能研究经费为140万澳元，约占六分之一。科学研究机构主要是联邦科学与工业研究组织(CSIRO)以及有关的大专院校。研究课题一般由专家提出，经领导审批，给予经费，而不是政府有计划下达任务，且缺乏协作，有些大专院校感到经费不足，不易开展工作。

联邦科学与工业研究组织的工作人员有七千人左右，分布在全国约一百处实验室及工作区，其中三分之一是科学家，该组织下分三十七个部门，每一部门有一负责人，也

有五个较小研究单位联合一起在一实验馆。至于大专院校我们访问过十所,如国立大学,昆士兰大学,悉尼大学,新南威尔士大学,新南威尔士工学院,墨尔本大学,阿得雷得大学,费尔登大学,西澳大学及西澳工学院。就1978年澳大利亚太阳能研究课题143项而论,其中30项是联邦科学与工业研究组织搞的,80项是各有关大专院校担任,19项是工业方面,14项是政府所属其它单位(CSIRO除外)担任。

澳有著名的年老科学家掌握方向,有经验的中年科学家领导年轻科研人员或研究生开展工作,老中青班子比较配套,并且经常进行国内外学术交流,及时了解世界上太阳能研究的动向,因此,学术水平较高。选题一般结合国内需要,使科研成果取得了实效。此外,科研单位大都使用进口的先进仪器设备,并广泛使用计算机,进行计算和处理数据。一个研究单位的人数并不多,但工作效率较高。

澳大利亚经过对低温($50\sim 60^{\circ}\text{C}$)热水器多年的研究,技术上比较成熟,业已工业生产。

为了保证低温热水器的生产质量,有关部门开展鉴定试验,各产品相比较,以鉴别优劣。对于低温热水器在工业上大规模使用,澳科学与工业研究组织正在两家工厂进行示范性试验,积累数据,摸索经验,据称还需试验两年,以观实效。

太阳房正在研究试行,已建造了几种类型的太阳房,以便试验和积累数据。

为解决太阳能空调和工业供热,正在加紧研究高温集热器(80°C 以上)、选择性涂层和反光材料等。对光电化学转换、热化学储能等也在研究,热发电还在开始阶段,西澳有小型发电的打算,但尚未开展。

(二) 新西兰太阳能利用概况

考察组在澳大利亚考察访问结束之后,从九月十八日至二十八日又赴新西兰进行考察访问,到过惠灵顿,克赖斯彻奇,罗托鲁亚,塔波,哈斯顿,奥克兰,哈密尔顿等七个城市,十七个单位。在能源部和发展部官员接触中,了解到新西兰的能源比较丰富,而且还有很多资源尚未开发,可以供应目前两倍的需要,但石油则须依赖进口。

新西兰对太阳能利用大多是使用热水器作为低温加热,以节省家庭电能的消耗,新西兰对热水器的研究,试验以及应用均很重视,目前有三十余家热水器制造厂,有的厂仅数人且不一定是全年生产,但热水器采用钢或塑料以降低成本,这方面工作还是有成效的。

我们曾访问过三所大专院校,堪脱培赖大学,林肯学院及奥克兰大学,他们正在研究有关太阳能的利用。新西兰除了有关大专院校研究之外,科学与工业研究部门(DSIR)是新西兰最大组织,也在研究能源及太阳能的利用,新西兰科学与工业研究组织,现在约有九百名科学家,七百名科技人员及五百名工作人员,全年经费约二千八百万新元,该组织有二十三个部门,包括地质,地球物理,畜牧,人类健康以及科学为其它方面服务等等。除惠灵顿设有总办公室外,二十三个部门分设于五个中心,下设分部及分站遍于全国,该组织担负着国家研究工作和解决实际问题。

太阳能利用的研究经费1977年度为25万5千新元,1978年度为25万7千新元。

新西兰除了家庭用热水器外,旅馆、牧场均在典型施用太阳热水器,农业方面正在研究利用太阳能进行干燥等等。新西兰气候温和,一般空调需要不多,但游泳池利用太阳热水器加温已逐渐应用增多。

在新西兰考察的时间不长,我们仅了解了一些概况。

一、太阳能在能源中的地位

(一) 澳大利亚对太阳能的政策

澳大利亚能源供应方面在 1974/1975 年调查统计中石油占 48%，煤 40%，天然气 7%，其余 5%（水力发电 2%，2% 为蔗渣，1% 木柴），而这些能源在应用中可分为三类：

1. 各种不同温度下的加热；2. 交通运输方面各种需要的能；3. 电能。

显然，电能有用于热水及低温加热，因此，需要用于加热的能约占总能源的 50%，交通运输需要的能占 40%，而电能占 10%。

发电主要用煤（81%），水力发电占 6%，用天然气发电占 6%，用石油发电占 7%，无疑用油发电趋向减少，水力也已大半开发，今后发电的能源供应主要用煤，因为澳大利亚煤的蕴藏量相当丰富。

石油仅能供应十年左右，目前已近三分之一的石油依赖进口，且逐年有所增加，石油将主要用于交通运输，至于用在工业及家庭生活加热方面很可能用太阳能来代替，目前太阳能加热约达到 80℃，相信今后十年如果提高到 150℃ 左右，则太阳能的应用将更广泛。

澳大利亚的太阳能也很丰富，全澳有二十个地点，经常在测试太阳辐射，根据每半小时累积起来的全天平均太阳的辐射在 8.6~23.3 兆焦耳/米²之间，平均约为 18 兆焦耳/米²。

一般家庭采用三至五平方米的太阳热水器，联接—200~250 立升的水桶，用恒温器自动控制电加热，这样使用太阳热水器每年可节约 70% 的电能。

工业方面能的消耗占能源的 40%（表 1—1），而家庭能耗仅占 4%，所以工业方面如果利用太阳能很值得重视。

澳大利亚的工业和家庭如果利用太阳能则可节省电和油，尤其太阳能利用的温度相当高，则有可能生产液体燃料以代替油的不足。在工业消耗能量中占总能量的 40%，其中 70% 是 140℃ 以下的热能，以食品工业为例，消耗能量约占总能量之 3%，其中 100℃ 以下的热能占 70%，而这些热能大部分由石油提供。澳大利亚能源政策的基点是尽可能节省石油消耗，太阳能作为辅助能源，除供家庭热水，房屋采暖和空调外，重点目标是提供工业用热能，目前正在一啤酒厂和一汽水厂试点示范，悉尼城附近一联合诊所也安装了太阳能空调设备进行试验，以观实效，以便进一步推广。

对于缺煤的西澳洲及偏僻地区，能源供应困难，且电价较高，尽可能推广利用太阳能，到 2000 年太阳能占能量需要的百分数，乐观估计可达 12—15%，客观估计也可达 5%。

(二) 新西兰对太阳能的政策

目前新西兰的水力、地热、煤和天然气的资源比较丰富，石油大多进口。在发电总量中，水力占 74%，地热占 6%，天然气占 9%，煤占 5%，石油占 6%。水力、地热、天然气的资源还有很多尚未开发，可以供应目前两倍的需要，估计二十年内也无问题。

新西兰对今后五十年作过全面的能源规划，根据不同人口增长率作出三种方案，预计 2000 年和 2025 年能源的生产供应和消耗的情况，从每个人，各种工业，交通，发电等等，还

对煤，天然气剩下的蕴藏量以及应进口的能源都作了详尽的估计。在发电方面能源部又作了十五年比较具体的计划。

新西兰电力供应比较充沛，电费也低，但政府认为从长远来看，电费是要增加的，现在就要大力推广使用太阳热水器以节省电能，因此，对太阳能的政策就是大量利用太阳能作为低温加热。

政府为了鼓励和提倡太阳能的利用，作了以下的规定和措施：

1. 凡购买太阳热水器者可以无息贷款500新元；
2. 购买太阳热水器设备的费用可以免收所得税；
3. 政府投资建设一批装有太阳热水器的房屋，以资示范，同时与不装太阳热水器之房屋作对比试验，以观节省电能之收益；
4. 政府对热水器的质量颇为重视，规定工厂产品必须经过鉴定合格后方能生产；
5. 热水器的价格力求低廉，热水器材料大都采用钢或塑料，一般3~5米²的热水器一套约值六百新元。

目前新西兰全国约有一百万户家庭，使用太阳热水器已有5000—10000户，预计太阳能用于低温加热在家庭，商业，工业等的总消耗在2000年将占总能源的10%左右。

（楼惟秋）

二、平板型太阳集热器

澳大利亚和新西兰是世界上研究太阳能利用较早的国家（也是世界上利用太阳能系统的主要国家）之一。早在五十年代初期就开始研究和生产平板型太阳集热器，至今已有20—30年的历史。在平板型太阳集热器的设计、制造、材料选取和性能测定等方面做了大量基础性的研究工作，积累了许多经验，技术上正在逐步成熟。目前两国都已建立了太阳集热器制造业，产品已商业化。澳大利亚已有十几家太阳集热器制造厂，产量逐年上升，1973年8500米²，1974年12000米²，1975年25000米²，1976年35000米²，1977年50000米²，1978年可达到70000米²，其45000米²供应国内，25000米²出口到中东、东南亚、夏威夷等地，据说日本也打算按澳大利亚专利生产太阳集热器。新西兰也有20来家太阳集热器制造厂，但生产规模不如澳大利亚，然而却有他自己的特点，在研究以钢材、塑料等取代铜材，制造低价集热器方面取得了一定成果，目前已成批生产钢材和塑料的平板型太阳集热器。

平板型太阳集热器在澳、新两国主要用于家庭太阳热水系统。为了节约能源，政府积极鼓励一般家庭购买太阳热水器。一些地方也开始采用太阳能加热游泳池的系统，以达到延长游泳季节的目的。至于工业用太阳加热系统，以及太阳房空调和采暖系统，正处于积极研究阶段。并已建立了一些有关的示范系统，打算进行长期细致的测试研究，以便积累数据和经验，然后，通过技术经济分析来确定其是否适宜于推广。

本部分主要介绍澳、新两国的平板集热器的类型、结构和制造工艺，以及家用太阳热水系统、工业用太阳加热系统和游泳池太阳加热系统等。

(一)平板型太阳集热器的类型

澳、新两国目前已经投产和正在研究的平板太阳集热器种类很多,现将主要的几种介绍如下:

1. 管板式太阳集热器

澳大利亚和新西兰所生产的太阳能平板集热器尺寸虽有大有小不尽相同,但大部分都是由金属材料制造的管板热盒式平板太阳集热器。图2—1为澳大利亚Beasley工厂生产的管板式太阳集热器外形,其剖面如图2—2所示,它的几个基本部件的作用是:

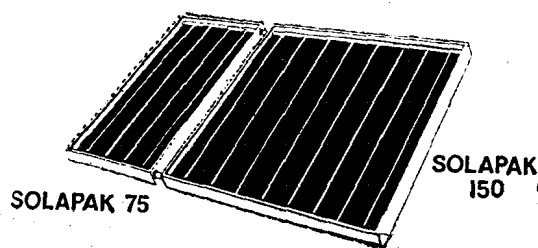


图2—1 澳大利亚Beasley工厂生产的管板式集热器

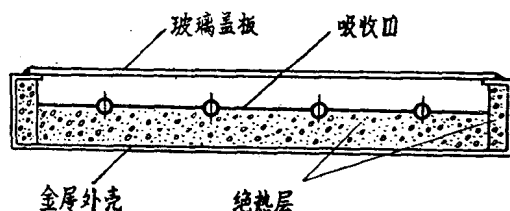


图2—2 管板式集热器剖面

(1) 一块平面吸收板,板面有对太阳光谱具有高吸收率的涂层,将投射到它上面的太阳辐射能吸收,并转换成热能;

(2) 一个绝热外壳,用它来消除或大大减少吸收器底部和四周的散热损失;

(3) 一块或二块由玻璃或透明塑料做的盖板,使尽可能多的太阳辐射透射到吸收器上,并用它来减少吸收器上部的热损失;

(4) 一组并列的排管,由于热虹吸或依靠泵作用而循环流动的流体从排管中通过,并带走吸收板所吸收的热量。

吸收器是平板集热器的关键部件。对管板型集热器来说,吸收器是由吸收板和排管结合而成。吸收板要求传热良好,排管除保证水流通过外,还要不致因与水接触而受到腐蚀。

排管通常用 $\phi 10 \sim 12$ 毫米铜管制造。澳大利亚的CSIRO(联邦科学与工业研究组织)推荐采用100毫米的管间距,但制造厂家为了减少铜材消耗降低制造成本,一般均采用 ~ 150 毫米的管间距(见图2—2)。上下联管也用铜管,直径为 $\phi 24.5$ 毫米。铜的传热性能良好,水对铜通常不腐蚀,但当水中含碳酸钙超过150ppm时,在水温超过 70°C 的条件下,也会引起铜管内壁腐蚀和结垢^[1]。

吸收板大都由0.5毫米的铜板冲压成型,与排管用锡焊连接。铜材吸收板加工成氧化铜选择性表面十分方便,但铜价较贵,所以澳、新两国也都在研究代用材料。如澳大利亚的Solahart工厂就用铝板制造吸收板。铝的导热率比铜低,却可用加大厚度的办法进行补偿。困难的问题是水会使铝和铜之间产生电化学腐蚀。据资料[1]报导,以色列广泛使用镀锌铁管和铁板做太阳集热器的吸收器,寿命可达8~12年。

吸收器上要涂以无光黑漆或选择性涂层,然后再置于一个由镀锌铁板或铝板制的金属外壳中,底部和四周应有绝热层,上部有透明盖板。有的集热器在吸收器与绝热层之间,放有

0.02毫米的铝箔，它的反射率高，可降低热量损失。

就我们考察所见，感到澳、新两国生产的管板式太阳集热器：外形美观，质量甚好，单位重量轻，运输安装方便，据介绍寿命可达15~20年。这种集热器产品，单块面积较小，一般不超过2平米，但具体使用时可根据需要进行任意并联或串联组合。表2—1列出了这两个国家的几家工厂所生产的管板式集热器的规格。目前，管板式集热器的价格大约为每平米100澳元（或新元）。

集热器的效率 η 是集热器的重要热性能指标。文献〔2〕给出了澳大利亚板式集热器效率的函数式：

对非选择性表面集热器：

$$\eta = 0.7 - 5.0 \frac{T_w - T_a}{G} \quad (2-1)$$

对选择性表面集热器

$$\eta = 0.63 - 2.0 \frac{T_w - T_a}{G} \quad (2-2)$$

式中 T_w ——流体平均温度，℃；

T_a ——环境温度，℃；

G ——太阳辐射强度，瓦/米²。

式（2—1）和（2—2）表明：具有选择性涂层的集热器热损失较小，但是它在高的太阳辐射强度和低的流体温度下工作效率反而比非选择性表面的集热器要低。

表2—1 澳大利亚和新西兰管板式集热器规格

制 造 厂	外形尺寸（毫米）			面 积（米 ² ）	重 量（公斤）
	长 度	宽 度	厚 度		
Beasley :					
Solapak 75	1330	610	80	0.75	19.5
Solapak 150	1330	1175	80	1.50	36
Colt (新西兰):	1320	620	100	0.75	24.5
Braemer:	1200	1000	85	1.0	35 (单玻)
	1200	1000		1.0	45 (双玻)
Solarking:	1200	1200		~1.4	
	1200	1500		1.8	
Solahart:	1934	1018		2.0	42

每块集热器到底能吸收多少太阳能？产生多少热水？这是一个复杂的问题，因为它不仅与集热器的效率有关，更重要的是与使用集热器的地区条件（日照时数、太阳辐射强度和气温等）有关。因此，每块集热器的吸热量往往要根据长期实地测试的统计数据来确定。澳、新两国在这方面已做了大量工作，积累了许多有用数据。表2—2列出了新西兰Colt工厂生产的0.75平米管板式集热器在新西兰不同地区、不同月份下每日平均吸取的热量。若以57℃热水计，每块这种集热器每日可提供36~73升。

2. Morrison 平板型集热器

Morrison平板型集热器是新西兰的一种以钢代铜的新式平板型集热器，它是新西兰的

表 2—2 Colt工厂制0.75米²管板式集热器的性能 (大卡/天)

地 名	奥 克 兰	哈密尔顿	罗托奴阿	惠 灵 顿	克赖斯特彻奇	达 尼 丁
月 份						
1 月	2079	2077	2079	2116	2077	1961
2 月	1877	1663	1673	1647	1673	1601
3 月	1474	1323	1246	1327	1310	1279
4 月	1109	932	934	883	907	880
5 月	867	611	611	603	605	587
6 月	605	407	407	488	403	391
7 月	867	611	605	510	605	587
8 月	907	862	857	895	867	819
9 月	1310	1121	1084	1124	1109	1047
10 月	1673	1487	1462	1534	1472	1390
11 月	1865	1840	1890	1828	1875	1771
12 月	2077	2041	1903	2069	2147	1980

DSIR (科学与工业研究部) 所属的物理工程实验室设计的, 由Morrison工厂制造。目前年产量已达 10000块。其特点主要在吸收器上, 它的吸收器是由两块 0.8 毫米厚的铁板冲压成型, 上面有许多长方形的小凸台。图 2—3 中左边为前板 (有 $22 \times 5 = 110$ 个小长方凸台), 右边为后板 (有 $22 \times 4 = 88$ 个小长方凸台), 两板扣合边缘用滚焊封牢, 内部充以1.25加仑除气水, 既作传热介质, 又可防止铁板腐蚀。吸收器的前板为吸收面, 涂有黑漆 ($\alpha = 0.94$, $\varepsilon = 0.80$), 后板中心有一根从上到下的凸肋, 在其中垂直地插入一根铜管, 与凸肋组成套管换热器。此铜管上下两端分别和上下铜联管连接, 以便和供热系统连通。

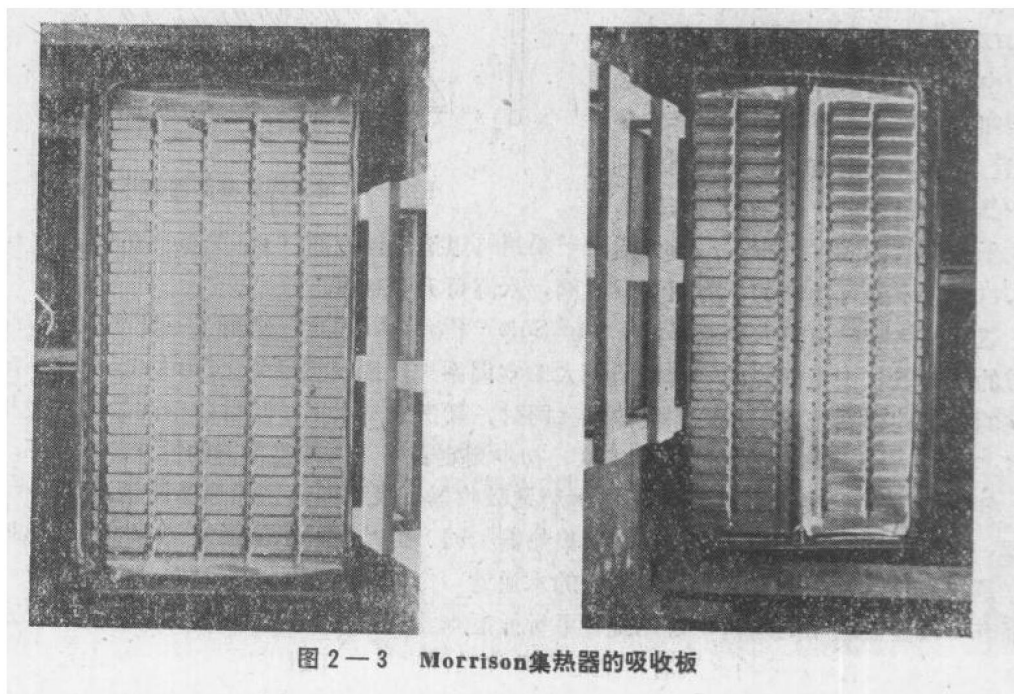


图 2—3 Morrison集热器的吸收板

Morrison集热器的工作过程与管板式集热器不同, 供热用水不能直接从吸收面吸取热量, 而是要依靠除气水作传热介质, 把吸收面的热量传递给供热用水。所以, 除气水将在吸收器内部产生自然循环现象, 集热器两边的除气水由下向上运动, 中部则由上向下运动, 在这种运动过程中将热量不断地通过铜管壁传给供热水。

Morrison平板型集热器的外形尺寸为、长1200毫米×宽600毫米×厚70毫米。采用单层玻璃盖板、铁外壳以及聚氨基甲酸酯的绝热层。每块集热器的有效吸收面积为0.67平米, 重25.5公斤, 零售价87新元。

新西兰DSIR的物理工程实验室曾将Morrison集热器与其它类型的平板型集热器做过对比性能试验测定, 其结果见图2—4, 可以看出Morrison集热器的低温性能较好, 而高温性能较差。

3. 凹窝式平板型集热器

凹窝式平板型集热器是澳大利亚自制的新式平板型集热器, 它是为了满足太阳空调系统要求较高的工作温度而专门设计的。每块凹窝式集热器的尺寸为: 长2000毫米×宽1000毫米×厚80毫米。它的吸收器系用0.3~0.4毫米厚的444号不锈钢制造, 上面冲压成许多圆形凹窝(φ25毫米, 深5毫米, 沿长度方向53个, 宽度方向24个, 整个集热器共有凹窝53×24=1272个)。吸收板的四周和每个凹窝的中心均与底板焊牢, 因而, 两板之间除凹窝外均为水通道。为改善水流分配, 底板沿长度方向左右两侧分别有一凸起的水通道, 集热器的进出水口位于左右两侧成对角布置。据介绍由于采用铬黑选择性表面($\alpha=0.89\sim0.92$, $\varepsilon=0.10\sim0.11$), 水温可达85℃, 若用两层玻璃, 水温可升到100℃。

这种集热器已由澳大利亚Snowside Solar Pty. Limited 试制了一批产品。目前, 悉尼市的新南威尔士工学院的一套试验用太阳空调系统, 以及悉尼郊区Bankstown的一所私人医院的太阳空调系统均采用这种集热器。同时, 新南威尔士工学院目前正在做凹窝式集热器与日本YAZAKI集热器的性能对比试验。初步测定表明, 两种集热器的性能相似。

日本YAZAKI集热器也是用不锈钢制造吸收器, 吸收面为铬黑选择性涂层($\alpha=0.91\sim0.92$, $\varepsilon=0.13$), 外形尺寸与凹窝型集热器相同。但是它的水流通道却与凹窝集热器不一样, 是在沿集热器长度方向有45条平行的水通道, 每一水通道的上下两端(与上下联管连接处都有一段直径较小的缩口, 借此使各平行通道水流量分配较均匀。澳大利亚有许多单位从日本引进YAZAKI公司的集热器和溴化锂吸收式制冷机, 用以进行太阳空调系统的研究。

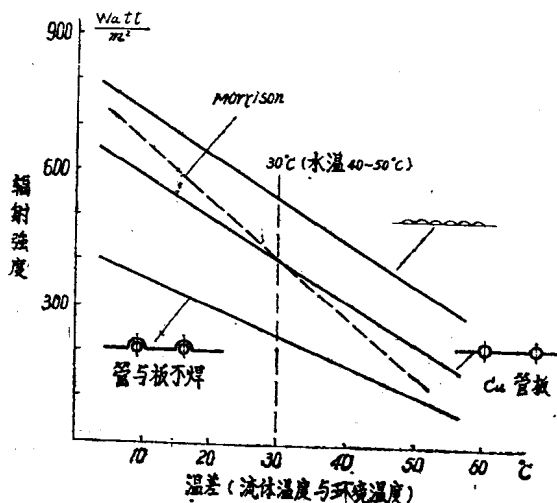


图2—4 Morrison集热器与其它集热器的性能比较

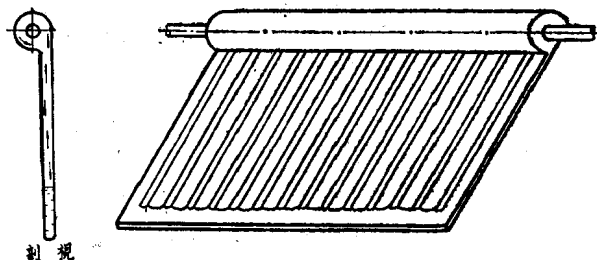


图2—5 沸腾管式集热器的示意图

4. 沸腾管式集热器

澳大利亚的BHP公司 (Broken Hill Propriety Ltd.) 的研究室研制了一种沸腾管式平板集热器。所谓沸腾管, 也有人称它为重力热管, 工作原理和热管相似。但管内没有毛细芯子, 而是依靠重力将冷凝液由冷端流回热端。因此工作时一定要有倾角, 即冷端要高于热端。

图2—5为沸腾管式集热器示意图, 它的吸收板长3英尺宽8英尺, 系由两块0.4毫米厚的不锈钢板制造的。上板成波纹形, 与下板扣合形成许多由下到上的通道。下端封死各不相通, 上端与联管相连通, 联管中心穿有一根直径为 $\phi 20$ 毫米的铜管, 组成套管式热交换器。铜管内装有旋涡子, 使水流产生扰动, 以达到强化传热的目的。

集热器的吸收器内充有1/3 (以体积计) 的去离子水作为热交换工质, 并抽以真空 (据介绍其真空度应能使 20°C 的水汽化)。集热器工作时, 吸收器接受太阳辐射能后, 内部去离子水迅速汽化, 水蒸汽在套管换热器内放出汽化潜热, 又被冷凝成水, 靠重力流回下端, 再次吸热汽化, 如此循环。

BHP研究室已对沸腾管式集热器作了12个月试验, 认为效果不错, 当倾角为 10° 时便可正常工作。测定表明集热器上下温差 $\Delta t = \sim 5^{\circ}\text{C}$, 左右温差 $\Delta t = 1 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 。晴天时和管板式集热器一样, 效率可达50%, 而有云天气下却比管板式集热器效率高。他们认为这种集热器的优点是: 热容量小, 传热反应快; 工作温度可高达 $110 \sim 120^{\circ}\text{C}$; 无腐蚀问题, 可以钢代铜; 夜间不会产生热倒流; 碳酸盐不会沉积于集热器中; 压降小; 价格可比管板式集热器低。

据称这种集热器已在美、日、法等国申请专利, 并将由澳大利亚Rheem公司于1979年正式投产。

新西兰的奥克兰大学也在研究这种类型的集热器, 并做了一块 1000×500 的样品, 上板为平面, 下板有凹窝, 两板间距3毫米, 内充以300毫升去气水。已做了四个月试验, 情况尚好, 今后将继续进行有关试验研究。

5. Sun Power平板型集热器

Sun Power平板型集热器是由新西兰奥克兰市的一家Sun Power Kitsets Lid. 设计制造的产品。这种集热器与普通平板集热器相似, 只是集热器的关键部件吸收器是用CPVC (Chlorinated Poly Vinyl Chloride) 制造, 它是一种能耐较高温度的硬质黑色塑料, 100°C 以内不会变形。据介绍国外早已用这种材料输送热水, 新西兰首次用它来制造太阳集热器。

集热器的吸收器是由18条宽度约为2英寸的平行空心扁塑料 (CPVC) 带组成, 每条扁带上下端均有内径为 $\phi 1$ "的管接头, 其外径一头大, 另一头小, 相邻管接头互相套接 (涂粘结剂), 形成集热器的联管。每条扁带内部被分隔成三条平行水通道, 同时整个吸收器的面积上, 几乎全部与吸热介质直接接触, 吸收效果良好。

Sun Power集热器的扁带塑料吸收器是装在镀锌铁板作为边框, 底面为涂以环氧的人造纤维的外壳中, 底部和四周边框用预制成形的聚氨基甲酸酯作绝热层, 四周的条线聚氨基甲酸酯上喷涂有铝粉漆, 既起反光作用, 又可防止聚氨基甲酸酯掉粉末。集热器的正面有一层5毫米厚的玻璃盖板。

每块Sun Power集热器的外形尺寸为:

$$\text{长} 1.219 \text{米} \times \text{宽} 1.045 \text{米} = 1.274 \text{米}^2$$

透光面积为

$$\text{长}1.194\text{米} \times \text{宽}1.019\text{米} = 1.216\text{米}^2$$

新西兰奥克兰大学机械工程系1975年9月曾对这种集热器进行过鉴定试验,测试结果如图2—6所示。即在工作范围(横座标)为 $0-50^{\circ}\text{C}/(\text{千瓦}/\text{米}^2)$ 时,平均效率为53.5%。这种集热器抗腐力极强,据称寿命可达20年,现每块售价140元,已售出千余块。

Sun Power工厂推荐,在南纬 40° ,以纳皮尔市(Napier)的环境温度为基准时,每块Sun Power集热器的平均出力列于表2—3中(*其中最后一项全年总出力已适当考虑了可能出现的阴雨天气,扣除了三分之一,即每月平均按20天计算)。根据表2—3所列数据,可进行供热系统选取集热器面积的计算。

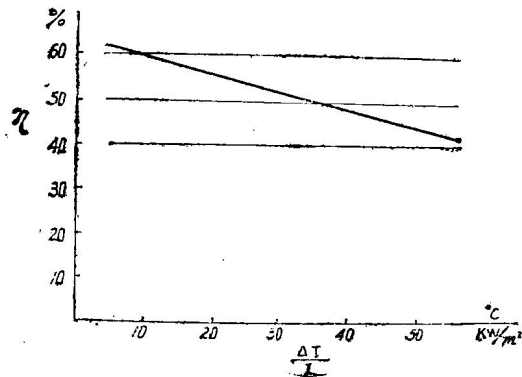


图2—6 Sun Power集热器的性能曲线

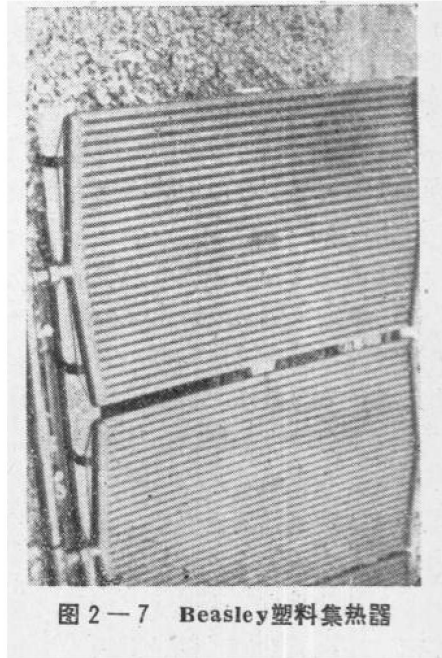


图2—7 Beasley塑料集热器

表2—3 Sun Power集热器的日平均出力(无云天)千瓦小时/每块板

月	份	平 均 水 温				
		30℃	35℃	40℃	45℃	50℃
一	月	7.32	6.81	6.34	5.90	5.46
二	月	6.74	6.30	5.86	5.42	5.02
三	月	5.57	5.14	4.75	4.39	4.03
四	月	4.48	4.12	3.76	3.40	3.08
五	月	2.90	2.59	2.31	2.03	1.75
六	月	2.30	2.02	1.74	1.47	1.24
七	月	2.71	2.43	2.15	1.87	1.59
八	月	4.12	3.76	3.40	3.08	2.80
九	月	4.79	4.61	4.25	3.89	3.56
十	月	6.28	5.84	5.40	5.00	4.64
十 一	月	7.04	6.56	6.12	5.68	5.28
十 二	月	7.41	6.89	6.39	5.93	5.53
全年总出力*		1240	1140	1050	960	880

此外,这种扁带形吸收器也可不加外壳,根据需要确定长度和宽度,直接敷设在房顶上用来加热游泳池。

6. Beasley塑料集热器

澳大利亚Beasley工厂生产的这种塑料集热器是用聚乙烯(Polyethylene)制造的。它是一种黑色硬质塑料,图2—7是Beasley工厂试验场地上的这种集热器。由图可见它呈长方形,每块集热器的尺寸为 ~ 4 英尺 $\times 2.6$ 英尺 ≈ 10 英尺²,其中有30条由下到上的平行水通道,在集热器上下端的中间部位分别有进出口,各集热器之间可用塑料管子零件互相连接。这种集热器没有金属外壳和保温层,可用四个耳环直接固定在支架或房顶上,它只能用来供应低温热水($<40^{\circ}\text{C}$),价格较便宜,每块22澳元。

7. Zane带形集热器

澳大利亚生产的Zane太阳加热系统是由带形集热器组成,它是一种由高密度聚氯乙烯制造的黑色软塑料带。如图2—8所示,塑料带宽55毫米,其中有4条内径为12毫米的水通道。适宜于铺在建筑物顶部,供应 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的家庭用热水或用于加热游泳池。Zane带的长度可根据房顶情况和所需集热器的面积来确定,以便于在房顶铺设。通常,一端用细塑料管连通(见图2—9在Zane带中四条通道1和3、2和4分别连通),另一端与供热系统的进水管连接。

Zane带形集热器效率较高,它不仅正面可直接接受太阳辐射,而且背面还可以从房瓦吸取一定热量。它的价格不高,每米Zane带售价1.35澳元,据估计其寿命可达20年。

目前Zane带形集热器已在逐步得到采用。

例如,澳大利亚黄金海岸(Gold Coast)市就有200户以上采用了这种集热器。

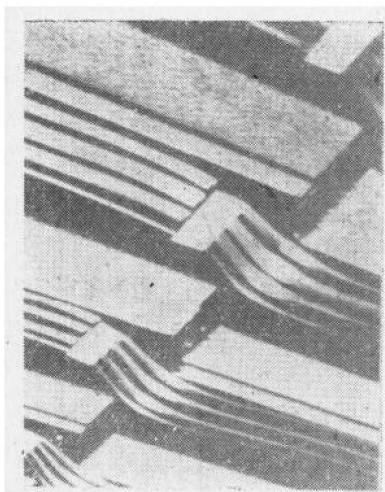


图2—8 铺在房顶上的Zane带形集热器

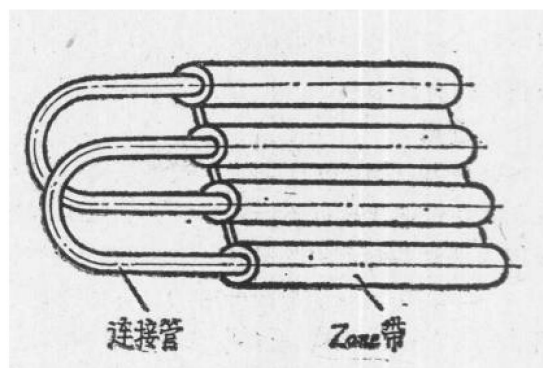


图2—9 Zane带末端连接方式

8. 其它平板型集热器

除了上面介绍的几种平板型集热器外,澳、新两国还在研究一些其它式样的平板型集热器。兹举2—3种介绍如下:

(1) 简易蜂窝平板型集热器。为了提高平板型集热器效率,减少集热器正面的对流和辐射热损失,不少国家都在研究蜂窝板,即在集热器的玻璃盖板与吸收器之间放一层用透光材料(玻璃或塑料)制造的蜂窝板,以达到抑止对流和减少辐射损失之目的。但是,由于在制造廉价的蜂窝板方面遇到了困难,因此还没有进入实用。澳大利亚墨尔本大学机械工程系研究人员提出一种简易蜂窝的设想,他们认为由于温差而产生的对流传热主要发生在垂直方向,因此在平板型集热器盖板与吸收面之间放一些横向玻璃隔条就可抑止对流现象,降低对

流传热损失。目前，他们正在进行有关实验研究。玻璃隔条高30毫米，间距以多少为佳还有待进一步深入研究。

(2) 屋面板集热器。新西兰在设计研究低价平板型集热器方面做了很多工作，并已取得了某些成果。新西兰奥克兰大学正在研究的屋面板集热器就是一种低价集热器。它实际上是一块双层镀锌铁的瓦楞板。正面几乎与普通瓦楞铁板一样，但涂有黑色涂料，作为太阳能吸收面；背面冲有一定数量的凹窝，作为两板间的点焊处。两板间的夹层间隙就是水通道，每块板的上下端分别有进出水口，以便和系统相连。

这种屋面板集热器把太阳集热器与房顶结构完全结合在一起，敷设时正面不放玻璃盖板，仅背面需要保温层，因此价格便宜，可以用于供应低温热水。

(3) 平行通道液体集热器。最近澳大利亚墨尔本大学正在研究一种平行板液体集热器。它的吸收器是用二块平行置放的低碳钢板制造，前板为平面，后板有焊缝凹槽，而板间隙为液体通道。这种结构适合于成批生产。

据墨尔本大学介绍：初步试验研究表明，上有黑涂料的这种集热器工作温度可达85℃，改用铬黑选择性涂层时，工作温度可提高到150℃。目前，正在深入试验研究中。

(二) 平板型集热器的材料和制造工艺

澳、新两国生产制造太阳集热器已有20年以上的历史，目前已经建立了集热器制造业。我们在该两国考察时，参观了一些平板型集热器制造厂，其中有：澳大利亚的 Braemer Appliances Pty. Ltd., Beasley Industries Pty. Ltd., Rheem Factory, 以及新西兰的 Morrison Industries Ltd. 和 Sun Power Limited 等。我们认为他们对于集热器的结构设计、材料选取和制造工艺等方面颇有经验，有些工作值得我们参考。这里以管板式集热器为主将有关情况综合介绍如下：

1. 管板

如前所述，澳、新两国管板式集热器目前大都采用铜材制造管板。他们充分利用铜的展延性和焊接性能比较好这一特点，在制造工艺上想了一些巧妙的办法，用比较简单的方法却可以较大地提高劳动生产率。

(1) 联管。联管是用直径为1英寸的铜管制造，加工制造联管的特点在于一次拔出连接排管的管接头。他们设计了一种特殊的小台钻和专用钻头，钻头向下时先在铜联管上钻出一个 $\sim\phi 5$ 毫米的小孔（见图2—10(a)），钻头上升时用气动开关控制使钻头上甩出两根小飞

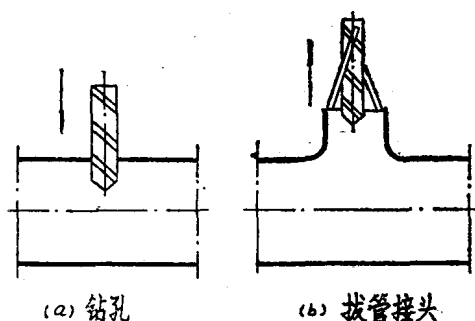


图2—10 集热器的联管加工示意图

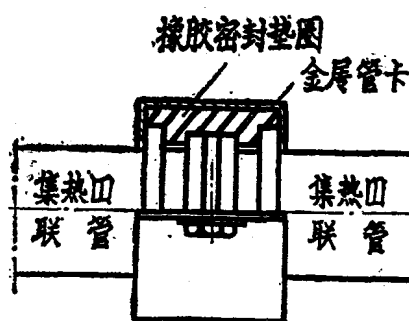


图2—11 两集热器的连接方式

杆，与钻头一起高速旋转，因而在铜联管的小孔上拔出一个内径为10~12毫米（需与排管外径配合）的管接头（见图2—10(b)）。

其次是相邻集热器的连接，不采用法兰，而是直接在联管两端锻挤出二圈小凸台，再用橡胶密封垫圈，外加金属卡子连接（见图2—11）。制造上省料省工，安装操作也十分方便。

（2）排管。先将联管与集热器管在专用的焊接架上组装好，让排管直立。以液化石油气作燃料进行气焊，先焊下端各管口，然后将排管转180°，再焊另一端。有的制造厂，如Beasley工厂，还采用双嘴气焊枪，可使生产速度加快，提高劳动效率。

（3）排管与管板的组合。此工序是在一台专用的液化石油气加热炉上进行。下部为多管式加热炉排，它的炉管根数、长度和管距完全与集热器的排管相同。上部有一个与加热炉形状相似的加压盖。焊接时首先将已冲压出凹槽的铜板放到多管式加热炉排上，让每一条凹槽对一根炉管。在每根凹槽内放一根空心锡焊条，再将排管放入凹槽，放下加压盖，并卡紧。点着加压炉排，锡焊条被加热熔化，并立即将排管与管板焊牢。熄灭加热炉，松开加压盖，即可将焊好的管板吸收器取出。这种焊接工艺，不但速度非常快，而且焊接质量好，排管与管板的连接十分平整。

2. 涂层

正如大家所熟知，平板型集热器的吸收器上需要有涂层，而且涂层对集热器的性能有着重大影响，最初使用的涂层是无光黑漆，现在正在大力研究和逐步推广使用选择性涂层。选择性所以有可能是由于太阳光谱和热辐射光谱的覆盖范围不同的缘故。

一般来说选择性涂层可以大大改进集热器的性能，但是还要取决于它的工作温度。例如，两台结构相同但涂层不同的集热器（其中一台为选择性涂层 $\alpha=0.96$ ， $\varepsilon=0.16$ ；另一台为非选择性涂层 $\alpha=0.96$ ， $\varepsilon=0.92$ ），在环境温度为20℃，辐射强度为900瓦/米²的情况下进行比较：当工作温度为30℃时，两台集热器的效率相同均为70%；当工作温度为100℃时，选择性涂层者效率为35%，而非选择性涂层者效率只有7%^[4]。这说明温度愈高，选择性涂层对集热器性能的改进愈明显。换言之，也就是说选择性涂层愈好，集热器的工作温度就可以愈高。

目前澳、新两国生产的集热器，多半采用无光黑漆和氧化铜涂层。主要适用于温度要求为60~80℃以下的生活用太阳热水系统。为满足工业用太阳加热系统，以及太阳空调和采暖

表2—4 选择性涂层的性能比较^[4]

序号	涂层种类	吸收率 α	放射率 ε (85℃)	允许工作温度
1	黑油漆	0.95	0.89	<70℃
2	铜黑	0.88~0.89	0.09~0.12	<85℃
3	铬酸铵处理过的铜黑	0.92~0.94	0.07~0.09	<100℃
4	镍黑 { 单层(镍底材)	0.88~0.90	0.09~0.15	<150℃
	双层(镍底材)	0.90~0.95	0.05~0.07	
	单层(镀锌铁底材)	0.90~0.93	0.18~0.25	
	化学镍黑(镀锌铁底材)	0.90~0.93	0.09~0.16	
5	铬黑	0.95~0.98	0.08~0.14	空气中<200℃ 真空中<300℃
6	碳化铁	0.83	0.03(200℃)	

系统的需要，往往要求将集热器的工作温度提高到 95°C 以上，因此澳大利亚CSIRO的矿物化学分部、悉尼大学和新南威尔士工学院等单位都在积极从事选择性涂层的研究，并且已经取得了不少成果。表2—4为他们研制的几种选择性涂层的特性。（在本考察报告的第五部分将专门介绍涂层）。

3. 外壳与绝热材料

澳、新两国平板型集热器的外壳是用镀锌铁板或普通铁板制造。有的外壳是由边框和底板二部分组成（如Braemar工厂）；也有将边框和底板制成一体者。用普通铁板制造的集热器外壳，内外侧均喷以保护漆以防生锈。

为降低集热器吸收器底部和四周热损失，有关部位均应有绝热层，以达到缩小温度梯度减少相应的导热损失之目的。澳、新两国太阳集热器中常用的绝热材料有：玻璃纤维、聚苯乙烯（Polystyrene）泡沫塑料和聚氨基甲酸酯（Polyurethane）等。其中聚苯乙烯泡沫塑料一般均按集热器尺寸制成预制件供装配用。聚氨基甲酸酯既可制成预制件（如新西兰Sun Power工厂）也可在集热器装配时直接向集热器内部浇筑，新西兰Morrison工厂就用此法。

4. 上盖板

玻璃是最常用的集热器上盖板，它的作用除了让尽可能多的太阳辐射透射到吸收器外，还可以减少向上的热损失，它既可降低热辐射损失，又可降低对流与导热损失。这是由于玻璃对于波长 >2.5 微米的红外热射线是不透过的。此外，玻璃盖板与吸收器的间距要选择恰当，才能达到减少对流与导热损失之目的。间距过大，空间大，对流损失必增大；间距过小，空气层薄（因空气是热的不良导体），导热损失必增加。澳大利亚认为这一间距以20~30毫米为宜⁽³⁾。目前，两国产品多采用30毫米的间距，以4毫米厚的普通窗玻璃（透过率0.8~0.85）做上盖板。他们认为低铁玻璃透过率虽可高达0.91~0.92，但需从国外进口，价太贵。目前来说，采用低铁玻璃从集热器效率提高所得到的收益，还不如用同样的投资去增加普通窗玻璃的集热器面积的收益大。在澳大利亚悉尼有一座私人医院，其太阳能空调系统用的凹窝式集热器上，是用回火玻璃盖板，韧性较普通玻璃有所改进，能抗冰雹。

澳大利亚还在研究用丙烯酸（Acrylic）做集热器盖板。例如：墨尔本CSIRO机械工程分部有一太阳能试验台和一座试验用太阳房的集热器正在试用丙烯酸透明塑料盖板。它的透过率高达0.91，韧性好不易碎，又可做成瓦楞板形直接取代房瓦，使集热器的敷设与房屋建筑相结合，可降低投资。

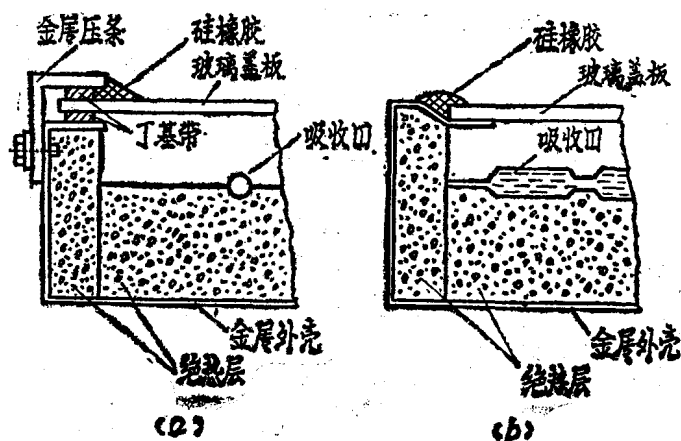


图2—12 集热器玻璃盖板安装方式

澳大利亚平板型集热器的玻璃盖板的安装方式如图2—12(a)所示,在玻璃盖板与铁外壳及铝压条之间均垫有丁基带,铝压条用螺钉固定在铁外壳上,系采用一种尖头粗扣镀锌螺钉,以一种形似小手电钻的专用工具上螺钉,钻孔和拧螺钉一次完成,十分迅速。

新西兰Morrison工厂的集热器中,玻璃盖板是直接放在铁外壳边沿上(见图2—12(b))。

集热器用双层玻璃盖板是否比单层玻璃盖板好?澳大利亚Braemar工厂^[5]认为,这要取决于系统的工作温度。当工作温度低于40℃时,单层玻璃比双层玻璃的效率。工作温度超过40℃时,则双层玻璃的集热器比单层的效率高。例如:在1000瓦/米²辐射强度下,工作温度为50℃时,双层比单层效率高7%,60℃时高19%;反之,工作温度为20℃时,则单层玻璃集热器的效率反而比双层者高6%。由于集热器的工作温度一般都高于40℃,是否都应采用双层玻璃还需从经济上加以考虑。据估计,每平米双层玻璃的集热器每年可节约能量相当于50度电能,若每度电费为2.5分澳元,即每平米双层玻璃的集热器每年可节约: $0.025 \times 50 = 1.25$ 澳元。但双层玻璃要使每平米集热器投资增加30~40澳元。因此,回收这笔附加投资的年限较长。所以,目前两国在家用集热器中大部分采用单层玻璃盖板,仅有一些工业和商业太阳能系统中采用双层玻璃的集热器。此外,对于会出现霜冻的地区,宜采用双层玻璃的集热器,以防冰冻。

5. 密封材料

集热器边框与玻璃盖板之接缝需要密封,以防雨水、灰砂或其它脏物落入集热器中。一旦出现上述情况,不仅会沾污吸收面弄湿保温层降低集热器效率,而且会破坏吸收面的涂层,大大缩短集热器的使用寿命。

澳、新两国广泛使用密封性能较好的丁基带(Butyl Tape)和硅橡胶(Silicone Rubber)做集热器的密封材料。丁基带是一种2~3毫米厚两面均有粘性的泡沫塑料带,它既可起缓冲垫的作用,又可以密封。硅橡胶是一种透明粘性液体,可用20磅/英寸²的压力从盒中直接涂在玻璃与金属外壳之接缝处(见图2—12)。它在接缝处凝固而不硬,稍有弹性,附着力强,密封性好,使用期限长久。且允许玻璃与外壳之间因热膨胀系数不同,而产生一定的相对位移,丝毫也不会破坏密封。

(三) 生活用太阳热水系统

生活用太阳热水系统是利用太阳能平板型集热器加热洗澡、洗脸和洗衣等生活用水。由于上述用途对水温要求不高(一般<60℃),技术上难度小,最易付诸实现,因而就成了太阳能利用的最早领域。目前澳大利亚400万户居民中约有5万户装有太阳热水系统,主要分布在常规能源短缺、电费较高的北澳和西澳地区。新西兰100万户居民中也有近一万户装设了太阳热水系统。而且两国的能源政策都打算把家用太阳热水系统作为平板型集热器推广应用的主要方面来加以发展。图2—13和图2—14分别给出了两国不同地区太阳能可提供的全年热水用量的百分数。

澳、新两国地广人稀,地理条件好,生活水平高。一般家庭都有浴室,每人每天平均热水耗量约45升。过去是用电热水器供应热水,现在一些地区改用太阳热水器后,则以太阳加热器为主,电加热器为辅,使两者组成一个有机整体。天气好时全靠太阳能加热,天气不好时,一旦水箱水温低于57~60℃时,由恒温器控制的辅助电加热器会自动合闸投入运行,无需看管,使用十分方便。制造厂家早已有系列产品供市场需要。