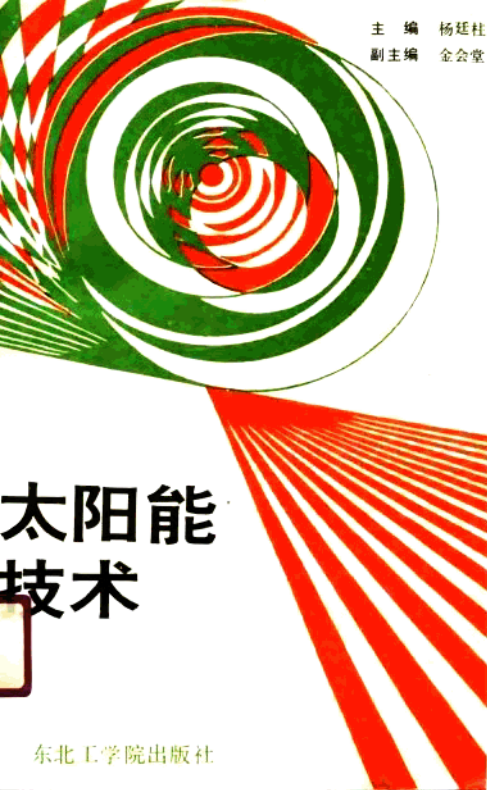


主 编 杨廷柱
副主编 金会堂



太阳能 技术

东北工学院出版社

太 阳 能 技 术

主 编 杨廷柱 副主编 金会堂

东北工学院出版社出版 东北工学院出版社发行
(沈阳·南湖) 沈阳新华印刷厂印刷

※

※

开本787×1092 1/32 印张7.5 字数162千
1990年12月第1版 1990年12月第1次印刷
印数1~5000册

责任校对: 许晓凡 张德喜

ISBN 7-81006-266-2/TB·17

定价: 3.80元

内 容 介 绍

本书简要地介绍了有关太阳能的收集、转换和储存方面的基本原理，并着重介绍了太阳能热水器、太阳房、太阳灶、太阳能干燥、太阳电池和其它太阳能应用装置的结构原理、制作技术和使用方法。

本书适合于从事太阳能技术开发研究的工程技术人员和管理人员阅读。对于太阳能的业余爱好者、大中学校的学生，本书是一本开窍读物；对于专业人员，本书无疑是他们的良师益友。

参加编写人员：

丁长生	王 举	王东兴	王善甫
叶 森	包均昌	刘文永	任岐峰
杨志刚	杨廷柱	张文群	张新范
孟繁德	金会堂	罗庆华	柏吉俭
韩玉珍	黄振友	傅勋典	虞廷镛
穆瑞璋			

前 言

太阳能是一种取之不尽、用之不竭而又无污染的新能源。70年代以来,我国在太阳能利用方面的研究和应用进展较快,技术水平有较大提高,有的已形成商品化生产,或打入国际市场,显示出明显的经济效益和社会效益。

为了适应太阳能事业发展的需要,传播和推广太阳能应用技术,促进太阳能事业的进一步发展,编者根据自己的工作经验,在广泛搜集有关文献资料的基础上,编写了这本《太阳能技术》。

近些年,太阳能技术在我国发展很快,太阳能方面的书籍也不少,但编者们根据了解到的情况看,对于大多数从事太阳能工作人员来说,知识性、趣味性的初级读物不解渴,而专门性、提高性的高级读物又难看懂、用不上。因此,编者们在编写这本《太阳能技术》时,力求写得浅明易懂,简练实用。凡属必要的基本概念、基础原理,尽可能写得明白,凡属应用技术,尽可能写得详尽。总之,编者编写这本书的想法是:让读者看得懂、学得会、用得上。做到“深”而不难懂,“简”而又能说明问题。

在编写过程中,利用、参考了国内能源方面的书刊、文件、会议文献及有关资料,书中未能一一注明,黄世毅对全书作了技术校对,杨岩参加绘图。在此一并向有关作者及参加工作的同志表示感谢。

由于编者水平所限,错误在所难免,诚恳地希望广大读者批评指正。

编 者

1990年4月

目 录

第一章 太阳能的集热原理和热储存

- § 1-1 概 述 (1)
- § 1-2 传热 (3)
- § 1-3 平板集热 (17)
- § 1-4 聚光集热 (41)
- § 1-5 太阳能的热储存 (48)

第二章 太阳能热水器

- § 2-1 概 述 (52)
- § 2-2 太阳能热水器的种类 (52)
- § 2-3 太阳能热水器的热性能测定 (67)
- § 2-4 闷晒式太阳能热水器 (71)
- § 2-5 循环式太阳能热水器 (74)
- § 2-6 热管式太阳能热水器 (81)
- § 2-7 太阳能热水器的管路设计 (82)

第三章 太阳房

- § 3-1 概 述 (94)
- § 3-2 太阳房的基本类型 (96)
- § 3-3 被动式太阳房的设计原理与要求 (101)
- § 3-4 国内外某些太阳房简介 (112)

第四章 太阳灶

- § 4-1 概 述 (130)

§ 4-2	太阳灶的类型·····	(131)
第五章 太阳能干燥		
§ 5-1	概 述·····	(144)
§ 5-2	太阳能干燥原理·····	(145)
§ 5-3	太阳能干燥装置·····	(154)
§ 5-4	太阳能空气集热器·····	(168)
第六章 太阳电池		
§ 6-1	概 述·····	(172)
§ 6-2	太阳电池的种类和构造·····	(173)
§ 6-3	太阳电池电源系统·····	(190)
§ 6-4	太阳电池的使用、维护和保养·····	(193)
第七章 太阳能的其它应用		
§ 7-1	太阳能在乡镇工业上的应用·····	(195)
§ 7-2	太阳能在农业生产上的应用·····	(202)
§ 7-3	太阳能在牧副渔业上的应用·····	(206)
§ 7-4	太阳能在其它方面的应用·····	(210)
附 录	·····	(218)

第一章 太阳能的集热原理和热储存

§ 1-1 概 述

太阳能作为一种新能源（将太阳辐射人工转换成所需要的能量形式）来利用具有下列优点：

- 1、能量很大；
- 2、可再生，取之不尽，用之不竭；
- 3、不产生环境污染。

但是，也存在着一些不足之处：

1、能流密度低，为了集取太阳能需要使用相当大的接收面积；

2、采用平板集热时只能获得低品位的热能，采用聚焦集热时可以获得高温，但是需要一整套跟踪太阳运动的装置和控制系统；

3、供能不连续，受到昼夜、冬夏、晴雨等自然条件的影响，要想使太阳能利用实现供需匹配（数量均衡和时间同步），需要解决太阳能的储存问题。

太阳能的利用可分为光热利用、光电利用和光化学利用。

光热利用中，低温热利用比较简便，易于推广，可用于生产热水、农产品干燥、海水蒸馏淡化、温室和冬季供暖等。

采用聚焦和对太阳跟踪的装置，可以获得高温，制成太阳灶、太阳炉和实现太阳能热力发电。

光电利用和光化学利用需要采用比光热利用更新、更高的技术，其开发、研究的成果已被应用于局部的领域，但要广泛地应用于生产和生活尚要有一段发展过程。

无论实现何种利用，首先要解决的问题是太阳能的集取。

一般的工程材料在受到太阳辐射时，都要进行吸收和反射，而透明材料则还进行着透射过程。若用符号 α 表示材料对太阳辐射的吸收率， ρ 表示反射率， τ 表示透过率，则三者的关系为

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1-1)$$

对于不透明材料，其 $\tau = 0$ ，因而 $\alpha + \rho = 1$ 。

集热装置的不同部分，由于工作的分工不同，对于材料的性能有着不同的要求。例如：用作透明面盖的透明材料和用作聚光透镜的透明材料，要求有尽量高的透过率和较小的吸收率、反射率；用于聚焦的反射镜面，则要求有尽量高的反射率和较低的吸收率；而用作吸收表面的材料，反过来要求有尽量高的吸收率和较低的反射率。甚至对于一种材料要求对于不同波长的辐射有着不同的性能，例如对于透明面盖，一方面要求对太阳辐射有较低的反射率，另一方面又要求对来自吸收表面的长波辐射有较高的反射率。又如对于吸收表面，一方面要求对于太阳辐射有较高的吸收率，而另一方面又要求有较低的自身长波辐射的辐射率（用符号 ϵ 表示），以减少辐射热损失。此外，为了减少集热装置向环境散热，需要使用保温（隔热）材料，要求这些材料有较低的导热率

(用符号 λ 表示)。而为了将吸收表面获得的热能传递给载热体(二次能源),则要求传热面材料具有较高的导热率。总之,在太阳能集取过程中,材料性能是一个至关重要的问题,它在很大程度上决定着集热的效果,影响着集热装置的技术经济性能指标,还影响着集热装置的使用寿命。当然,这并不是低估合理、准确地进行热工设计的重要性,而是强调材料问题是落实设计意图、提高装置性能的重要条件。一般热设备对所用材料的要求,主要在于机械强度和耐热性能方面,太阳能利用装置则与其不同。

§1-2 传 热

一、热量传递的基本方式

热量传递有三种基本方式:导热、对流和辐射。

1、导 热

导热(又称热传导)是指热量从物体中温度较高的部分传递到温度较低部分,或者从温度较高的物体传递到与之接触的温度较低的另一物体的过程。在导热过程中,物体各部分之间不发生相对的位移。

导热过程在固体、液体和气体中均可以发生。

在导热过程中,热量从物体的高温端传导到低温端。单位时间内通过单位横截面积的热量叫做“热流密度”,用 q 表示,单位是瓦/米²。热流密度的大小与导热两端的温度差成正比,与热量经过的路程长短(两端间的距离,也就是物体的厚度)成反比,即

$$q = \lambda \Delta t / \delta \quad (1-2)$$

式中 Δt ——高温端温度 t_1 与低温端温度 t_2 之差，

即 $\Delta t = t_1 - t_2$ °C，

δ ——物体厚度，米，

λ ——比例系数，与物体材料的性质有关，称为导热系数（或导热率），瓦/（米·°C）。

式（1-2）也可写作如下形式：

$$q = \Delta t / (\delta / \lambda) = \Delta t / R_c \quad (1-3)$$

式中的 $R_c = \delta / \lambda$ ，叫做热阻，单位是米²·°C/瓦。

式（1-3）与电学中欧姆定律（电流 = 电压/电阻）非常相似，所以温差 Δt 往往被叫做“温压”。

单位时间内传导的热量为

$$Q = Fq = F \Delta t / R_c = F \lambda \Delta t / \delta \quad (1-4)$$

其单位为瓦。式中的 F 是导热体的横断面面积，米²。

不同材料具有不同的导热率，而且导热率也是随材料温度的高低而变化的。

金属材料的导热率比较大，是热的良导体，表1-1列举了几种金属材料在不同温度下的导热率。

导热率很低的材料用于保温、保冷，通常被称为绝热材料或隔热材料。对于绝热材料要求在平均温度等于或小于350°C时其导热率不超过0.14瓦/（米·°C）。绝热材料导热率与温度之间通常具有下述关系：

$$\lambda = \lambda_0 + \beta \bar{t} \quad (1-5)$$

式中 λ_0 ——在0°C时的导热率，

β ——温度系数，

$\bar{t}$ ——材料的平均温度，°C。

式（1-2）至式（1-4）适用于通过平壁的导热，热流

方向与平壁的法线方向平行，沿平壁而与法线垂直方向的导热忽略不计。

表 1-1 几种金属的导热率〔瓦/(米·℃)〕

金属材料名称	工作温度		
	20℃	100℃	200℃
铜	398	393	389
青铜 (89Cu—11Sn)	24.8	28.4	33.2
黄铜 (70Cu—30Zn)	109	131	143
铝	236	240	238
铝合金 (92Al—8Mg)	107	123	148
铁	81.1	72.1	63.5
灰铸铁 (C≈3%)	39.2	32.4	35.8
碳钢 (C≈1.5%)	36.7	36.6	36.2
铬镍钢	14.7	16.1	17.5

如果是通过圆筒形壁面（如圆管管壁）的导热，热流沿半径的方向传导，则由于圆筒的内、外径不同，与热流方向垂直的横断面面积是变的。尽管热流量的大小不变，但在不同半径处的圆柱面上的热流密度是不同的。此时，单位长度圆筒上单位时间内的导热热量 q_L （瓦/米）按下式计算

$$q_L = \Delta t / R_L \quad (1-6)$$

$$\text{而} \quad R_L = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{D}{d} \quad (1-7)$$

式中 R_L ——单位长度热阻，米·℃/瓦，

π ——圆周率，

D ——外径，米，

d ——内径，米。

此时，沿圆筒长度方向（轴向）上的导热忽略未计。

单位时间内传导的热量为

$$Q = Lq$$

式中 L 为圆筒的长度，米。

对于薄壁圆筒 ($D/d < 2$)，可按平壁导热计算，以使计算简化。此时可用式 (1-2) 至式 (1-4) 进行计算，式中的 $\delta = \frac{1}{2} (D-d)$ 。

2、对 流

对流是指流体各部分之间发生相对位移时所引起的热量传递过程。对流仅能在流体（气体、液体）中发生，而且必然伴随有导热现象。

流体的运动可以靠风机、水泵等机具驱动，也可以是由于流体各部分冷热不同、密度不同所引起。前一种情况叫做强制流动；后一种情况称为自然对流，流体中温度高的部分密度小，温度低的部分密度大，轻者上浮、重者下沉，就发生流体内各部分的相对位移。如果上浮的高温部分受到冷却，就会下降；而若下沉的低温部分得到加热，则要上升。这样就会持续地发生循环流动，也就是自然对流。

工程技术上大量遇到的是流体流过另一物体（通常是固体）的表面时发生的两者之间热量传递过程，称为“对流换热”过程。对流换热是流体的对流与导热联合作用的结果。

对流换热时，单位时间内单位面积（固体表面积）传递

的热量 q （即热流密度）与温差成正比：

$$q = \mu_d \Delta t = \Delta t / R_d \quad (1-9)$$

式中 Δt ——换热的温差，即流体温度与固体表面温度之差， $^{\circ}\text{C}$ ；

μ_d ——比例系数，即对流换热系数，瓦/（米²· $^{\circ}\text{C}$ ）；

R_d ——对流换热的热阻，米²· $^{\circ}\text{C}$ /瓦，它是对流换热系数的倒数。

单位时间内的对流换热量为

$$Q = Fq = F \Delta t / R_d = F \mu_d \Delta t \quad (1-10)$$

式中的 F 是换热表面的面积，米²。

对流换热系数的大小与下列因素有关：流体的物理性质，流体流动的速度、换热表面的形状、尺寸与布置。一般讲，对于同一流体，强制流动时的换热系数高于自然对流，而流体发生相变（沸腾或凝结）时的换热系数高于不发生相变的换热系数。

常见对流换热过程的对流换热系数值的大致范围如下：

空气自然对流	3~10	瓦/（米 ² · $^{\circ}\text{C}$ ）
气体强制流动	20~100	瓦/（米 ² · $^{\circ}\text{C}$ ）
水自然对流	200~1000	瓦/（米 ² · $^{\circ}\text{C}$ ）
水强制流动	1000~1500	瓦/（米 ² · $^{\circ}\text{C}$ ）
水沸腾	2500~25000	瓦/（米 ² · $^{\circ}\text{C}$ ）
水蒸气凝结	5000~15000	瓦/（米 ² · $^{\circ}\text{C}$ ）

在进行工程设计时，对流换热系数要选用适当的公式进行计算。

3、辐 射

物体通过电磁波来传递能量的过程称为辐射。辐射能可

以在真空中传播，而导热和对流则只能在存在着气体、液体或固体介质时才能进行。

自然界中所有物体都在不停地向四周发出热辐射能，同时又不断地吸收着其他物体发出的热辐射能。辐射与吸收的综合结果是以辐射方式实现了物体之间的热量转移，即发生了“辐射换热”。当物体与周围环境处于热平衡时，辐射换热量为零，但辐射与吸收过程仍在不停地进行，只是辐射量与吸收量相抵消而已。进行辐射换热时，不仅发生热量传递，而且伴随着能量形式的转换，即热能转换成辐射能发出去和吸收到的辐射能转换成热能。

物体的辐射能力与物体的温度有关，而相同温度下不同物体的辐射能力和吸收能力有着明显差异。

我们把 $\alpha = 1$ 的物体称为“绝对黑体”（简称黑体）， $\rho = 1$ 的物体称为“镜体”或“绝对白体”； $\tau = 1$ 的物体称为“绝对透明体”。这三种都是假定的理想物体。太阳可以视为表面温度为6000K的黑体辐射体。

单位时间内单位表面积向半球空间所有方向发射的全部波长的辐射能总能量叫做“辐射力”，用符号 E 表示，单位是瓦/米²。

黑体的辐射力为：

$$E_0 = \sigma T^4 \quad (1-11)$$

式中 σ ——黑体辐射常数， $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ 瓦/(米²·K⁴)；

T ——黑体的热力学温度，K。

式(1-11)所表达的黑体辐射力与其热力学温度之间的关系称为斯蒂芬—玻尔兹曼定律（又称四次方定律）。

单位时间内单位表面积向半球空间所有方向发射的某一

特定波长的辐射能，称为“单色辐射力”，用符号 E_λ 表示。

实际物体的辐射力总是小于同温度下黑体的辐射力，而且其单色辐射力随波长的温度发生不规则的变化。

实际物体辐射力 E 与同温度下黑体的辐射力 E_0 的比值叫做该实际物体的“黑度”，用符号 ϵ 表示，其值恒小于1。

$$\epsilon = E/E_0 \quad (1-12)$$

用于实际物体的四次方定律为：

$$E = \epsilon E_0 = \epsilon \sigma T^4 \quad (1-13)$$

实际物体辐射力与其热力学温度不是严格的四次方关系，为便于计算，仍采用式（1-13），由此引起的误差用黑度值来修正，因此，黑度 ϵ 必然与温度有关。

对应于单色辐射力，也存在着实际物体的单色黑度：

$$\epsilon_\lambda = E_\lambda / E_{0\lambda} \quad (1-14)$$

物体表面的黑度取决于物质种类、表面温度和表面状况，也就是说只与辐射体本身情况有关，不涉及外界条件。大部分非金属材料的黑度值都很高，在0.85~0.95之间，而且与表面状况的关系不大，近似估算时可取0.9。金属材料的差别较大，例如：

磨光的铜	20℃	$\epsilon = 0.03$
氧化的铜	50℃	$\epsilon = 0.6 \sim 0.7$
磨光的铝	50~500℃	$\epsilon = 0.04 \sim 0.06$
严重氧化的铝	50~500℃	$\epsilon = 0.2 \sim 0.3$
镀锌的铁皮	38℃	$\epsilon = 0.23$
氧化的钢	200~600℃	$\epsilon = 0.8$

实际物体的吸收率 α 取决于两方面的因素：吸收物体本身情况（物质种类、表面温度和表面状况）和投入辐射的波

长。

物体对某一特定波长辐射能的吸收百分数称为“单色吸收率”，用符号 α_λ 表示。物体对不同波长辐射能的单色吸收率是不相同的。例如玻璃对于可见光和波长小于2.5微米的红外线的单色吸收率很小，基本上可认为是透明体，但它对于紫外线和波长大于3微米的红外线的单色吸收率又接近于1，表现出几乎不透明的性质。所谓“温室效应”，正是利用玻璃对辐射能吸收和透过的选择性：太阳辐射的可见光和波长较短的红外线绝大部分穿过玻璃进入温室，而温室内物体在常温下发射的长波红外线辐射则不能穿过玻璃而进入外界环境。

物体的颜色对可见光的吸收具有很强的选择性，但对红外线辐射的吸收则影响很小。

如果物体的单色吸收率 α_λ 与投入辐射的波长无关，即 α_λ 为常数，此时 $\alpha = \alpha_\lambda$ ，只取决于吸收物体的本身情况而与外界情况无关，问题就简单得多。

把其单色吸收率与波长无关的物体叫做“灰体”，灰体也是一种理想物体，就辐射和吸收的规律性而言，灰体与黑体相同，只在数量上有差别。

工业上通常所遇到的热辐射，其主要波长位于红外线范围内（绝大部分在0.76~20微米之间），在此范围内物体的单色吸收率一般不随波长作显著变化，因此，在红外线波长范围内可以把大多数工程材料视作灰体。灰体的吸收率等于其同温度下的黑度值，因而可以使工程计算大大简化。

但是，这种处理不能推广应用于对太阳辐射的吸收，因