

太阳能热利用技术概况

陈德明 徐刚*

(中国科学院广州能源研究所 中国科学院可再生能源与天然气水合物重点实验室 广州 510640)

摘 要 太阳能是理想的可再生能源. 太阳能热利用技术目前还处于发展时期. 文章对太阳能热利用成熟技术、先进技术以及当前研究的中心问题进行了简要的概述. 成熟技术部分主要包括热水器、太阳灶、太阳房等广为人们使用的太阳能热利用技术; 先进技术部分主要阐述了尚处于研究试验阶段的高品位太阳能热利用技术, 包括太阳能热发电、太阳能空调制冷、太阳能制氢、太阳能海水淡化及太阳能烟囱发电等; 在当前研究的中心问题部分, 主要论述了解决太阳能热利用的关键技术问题.

关键词 太阳能, 热利用, 发电, 制氢

Solar thermal utilization——An overview

CHEN De-Ming XU Gang

(Guangzhou Institute of Energy Conversion, Key Laboratory of Renewable Energy and Gas Hydrate,
Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract Solar energy is an ideal renewable energy source and its thermal utilization is one of its most important applications. We review the status of solar thermal utilization, including (1) developed technologies which are already widely used all over the world, such as solar assisted water heaters, solar cookers, solar heated buildings and so on; (2) advanced technologies which are still in the development or laboratory stage and could have more innovative applications, including thermal power generation, refrigeration, hydrogen production, desalination, and chimneys; (3) major problems which need to be resolved for advanced utilization of solar thermal energy.

Keywords solar energy, thermal utilization, power generation, hydrogen production

由于人类对能源需求的日益增长, 常规能源的日益短缺, 石油价格不断上涨, 全球气候变暖以及环境的压力, 世界各国为寻求能源安全和人类社会可持续发展, 将战略目光转向可再生能源的开发. 太阳能是最理想的可再生能源, 具有清洁、无污染、辐射总功率巨大且取之不尽的优点, 开发和利用太阳能是人类社会可持续发展的重要举措.

人类利用太阳能的历史非常悠久, 太阳能热利用的技术也最为成熟. 太阳能热利用的基本方式是利用光热转换材料将太阳辐射转换为热能. 产生的热能可应用于采暖、干燥、蒸馏、烹饪以及工农业生产的各个领域, 并可进行太阳能热发电、空调制冷、热解制氢等.

当前, 技术成熟的、广泛应用的太阳能热利用方式有太阳能热水器、太阳灶及太阳房等, 其中以太阳

能热水器的应用最为广泛. 我国太阳能热水器的生产和应用始于 20 世纪 70 年代后期, 经过几十年的发展, 我国已成为世界上热水器生产和消费最大的国家. 随着科学技术的发展及能源危机的压力, 人们更加期望从太阳获取更高品位的能源, 太阳能发电、太阳能制氢、太阳能海水淡化等太阳能先进利用技术已成为当前及未来研究、开发和利用太阳能的主要方向. 由于太阳能资源的分散性、高性能材料的研究及能量传递等因素影响, 太阳能热利用先进技术并未广泛应用于社会实践. 人类对太阳能热利用的研究与开发还任重道远.

* 2007-09-27 收到
- 通讯联系人. Email: xugang@ms.giec.ac.cn

1 太阳能热利用成熟技术

1.1 太阳能热水器

太阳能热水器是一种利用太阳辐射能, 通过温室效应把水加热的装置, 它由集热器、储热水箱、循环水泵、管道、支架、控制系统及相关附件组成. 集热器是吸收太阳辐射能并向工质(水)传递热量的装置, 是热水器的核心部件. 根据收集太阳辐射能的形式, 集热器可分为平板型集热器和聚光型集热器两种. 早期的集热器为闷晒式, 后来发展成为平板式和真空管式. 集热器担负着两项主要功能, 一是吸收太阳辐射能, 二是将热量传递给工质. 集热器上的太阳能吸热材料可分为两类: 非选择性吸收涂层和选择性吸收涂层. 非选择性吸收涂层是指其光学特性与辐射波长无关的吸收涂层; 选择性吸收涂层则是指其光学特性随辐射波长不同有显著变化的吸收涂层.

太阳辐射可近似地认为是温度 6000K 的黑体辐射, 约 90% 的太阳辐射能集中在 0.3—24 μ m 波长范围内. 而太阳集热器的吸热体一般为 400—1000K, 其辐射能主要集中在 2—30 μ m 波长范围内. 因此既有高的太阳吸收比又有低的发射率的涂层材料, 就可以在保证尽可能多地吸收太阳辐射的同时, 又减少热量的损失. 集热器主要的吸收涂层材料有氧化铁、氧化铜、黑铬、黑镍、铝、碳等.

当前, 国内绝大多数太阳能热水器都采用非承压的贮水箱, 并利用落水法获取热水; 而从太阳集热器使用的舒适性、安全性、易操作性等因素考虑, 国际上太阳集热器普遍采用承压的贮水箱, 并利用顶水法获取热水. 因而承压贮水箱与顶水法取热水已成为国际上对太阳集热器的一条基本要求, 只有这样的太阳集热器才能与电热水器、燃气热水器等产品进行竞争. 另外, 国内大多数太阳能热水器采用单循环系统, 即集热器内被加热的水直接进入贮水箱提供使用; 而国际上家用太阳能热水器尤其是公用太阳能热水系统普遍采用双循环系统, 即集热器内被加热的是传热工质, 再经过换热器去加热贮水箱内的水提供使用(图 1). 因此, 将集热器回路与生活热水回路分开, 已成为国际上对太阳集热器的另一条基本要求.

1.2 太阳灶

太阳灶是利用太阳辐射能, 通过聚光、传热、储

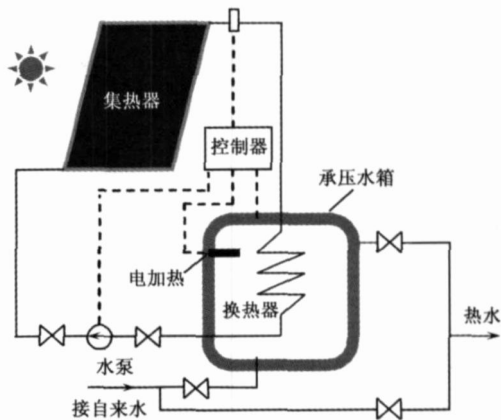


图 1 承压式双循环太阳能热水系统

热等方式获取热量, 进行炊事烹饪食物的一种装置. 太阳灶常用的集热方法有两种, 一种是采用热箱装置, 另一种是采用聚光装置. 故太阳灶也有两种型式: 箱式灶和聚光灶.

1.2.1 箱式太阳灶

箱式太阳灶的工作原理是: 当阳光透过玻璃进入保温箱体后, 遇到黑色的吸收体, 光即转变为热. 在物理学上, 热的辐射也是一种物质运动的形式, 主要为红外辐射, 其波长较长, 恰好玻璃能阻止长波的通过, 安装双层玻璃, 红外辐射就更难透过. 同时, 箱体四周和底部均有保温隔热材料, 也不让热辐射外逸. 换言之, 玻璃起了让短波阳光进、不让长波红外线出的作用. 尽管箱体总是要散失一部分热量, 但箱内的温度随着闷晒时间的延续, 将会逐渐升温, 直至到达平衡为止. 由此可见, 这种太阳灶的箱内最高温度取决于保温材料的优劣. 通常采用棉花保温, 可达 120℃—150℃左右, 这种温度对于炊事使用已足够了. 若选用更好的保温材料, 则将增加太阳灶的造价, 经济上并不合算. 为了提高箱式太阳灶的效率, 缩短闷晒时间, 或防止多云时影响灶温下降, 可在箱侧加装反光镜, 增大受光面积; 也可在箱底加装金属油箱(薄盒), 借助油的储热作用, 维持太阳间歇性照射时箱内的温度稳定. 在条件允许的情况下, 盖面玻璃的表面可以加涂一层光谱选择性材料, 如二氧化硅之类的透明涂料, 以改变阳光的吸收与发射, 提高太阳灶的效率.

1.2.2 聚光式太阳灶

聚光式太阳灶是将较大面积的太阳聚焦到锅底, 使温度上升到较高的程度, 以满足炊事要求. 这种太阳灶的关键部件是聚光镜, 它不仅要有镜面材料的选择问题, 而且还有几何形状的设计问题. 最普通的反光镜为镀银或镀铝玻璃镜, 也有铝抛光镜面和

涤纶薄膜镀铝材料等。聚光式太阳灶的镜面设计,大都采用旋转抛物面的聚光原理。作为太阳灶使用,要求在锅底形成一个焦面,才能达到加热的目的。换言之,它并不要求严格地将阳光聚集到一个点上,而是要求一定的焦面。确定了焦面之后,我们就不难研究聚光器的聚光比,它是决定聚光式太阳灶的功率和效率的重要因素。

1 3 太阳房

太阳房是利用太阳辐射能量来代替部分常规能源,使室内达到一定环境温度的一种建筑物。太阳房分为主动式和被动式两类。1938年世界上第一幢主动式太阳房由美国麻省理工学院建成。它是一种能够控制的采暖方式,用集热器、贮热装置、管道、风机、水泵等设备“主动”收集、储存和输配太阳能。由于它具有利用太阳热能和节约能源的优点,从它诞生的那天开始就十分引人注目。被动式太阳房最早是在法国发展起来的。它主要依靠建筑方位、建筑空间的合理布置和建筑结构及建筑材料的热工性能,使房屋尽可能多地吸收和储存热量。如果所获得的太阳能达到了建筑物采暖、空调所需能量的一半以上,就达到了被动式太阳房的要求。

2 太阳能热利用先进技术

2 1 太阳能热发电

太阳能发电有两种方式:一种是利用半导体光伏效应而制成的太阳能电池来发电的方式;另一种是太阳能热发电。本文主要论述太阳能热发电方式。

太阳能热发电作为一种太阳能高温热利用技术,美国、西班牙、以色列、意大利、澳大利亚、日本、俄罗斯等国家都投入了大量资金和人力进行研究,取得了大量科研成果,先后建立了几十座太阳能热发电系统。太阳能热发电大致有三类:槽式线聚焦系统、碟式系统和塔式系统。研究成果表明,太阳能塔式热发电是最可能引起能源革命、实现大功率发电、替代常规能源的最经济手段之一,将完全有可能给紧张的能源问题带来革命性的解决方案,目前已经处于商业化应用前期和工业化应用初期^[1]。

2 1 1 塔式太阳能热发电

塔式太阳能热发电系统的设计思想是 20 世纪 50 年代前苏联提出的,用于传热的循环介质可以是水、油、熔盐或液态钠^[2 3],聚光比可达 300—1500,运行温度可达 1500℃。塔式太阳能热发电系统由定

日镜装置、高温接收器、蓄热装置和发电系统四部分组成。定日镜负责采集太阳能,接收器负责将采集的太阳能转化为热能,热能由蓄热装置收集,并由装置内的工作流体通过热力循环将热能传输至动力设备(汽轮机或燃气轮机)并带动发电机发电,最终将热能转化成电能。图 2 为塔式太阳能热发电站实物图。

塔式太阳能热发电的特点是:采用高温熔融盐来蓄热储能,聚光比高,容易达到较高的工作温度,接收器散热面积相对较小,可以得到较高的光热转换效率,这种电站的运行参数与高温高压的常规热电站基本一致,因而不仅有较高的热机效率,而且容易获得配套设备。



图 2 塔式太阳能热发电站

2 1 2 槽式太阳能热发电

槽式太阳能热发电通过槽式聚光镜面将太阳光聚焦在一条线上,在这条焦线上安装有管状集热器,以吸收聚焦后的太阳辐射能,管内的流体被加热后,流经换热器的加热工质,借助于蒸汽动力循环来发电。抛物面可对太阳进行一维跟踪,聚光比在 10—100 之间,温度可达 400℃。槽式太阳能热发电最大的优点是多聚光器集热器可以同步跟踪,故跟踪控制代价大为降低。缺点是:能量在集中过程中依赖管道和泵,管道系统比塔式电站要复杂得多,热量及阻力损失均较大,降低了系统的净输出功率和效率。图 3 为槽式太阳能热发电站实物图。

2 1 3 碟式太阳能热发电

碟式太阳能热发电借助于双轴跟踪,抛物型碟式镜面将接收的太阳能集中在其焦点的接收器上,接收器吸收这部分辐射能并将其转换成热能。在接收器上安装热电转换装置,比如斯特林发动机或朗肯循环热机等,从而将热能转换成电能。单个碟式斯特林发电装置的容量范围在 5—50 kW 之间。用氢气或氦气作工质,工作温度达 800℃,斯特林发动机能量转换效率较高。碟式系统可以是单独的装置,也

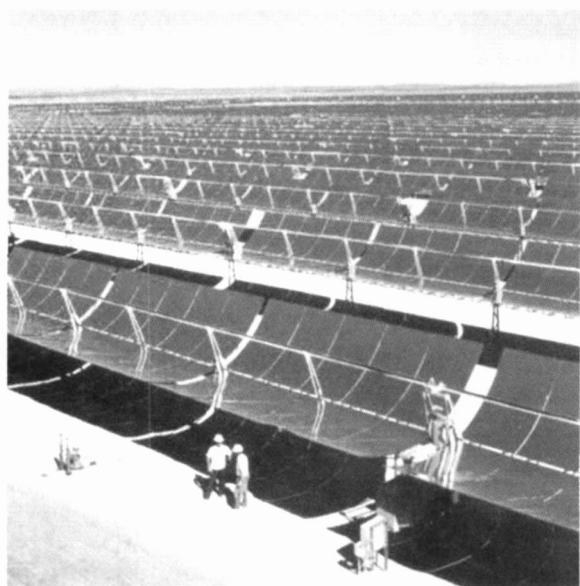


图 3 槽式太阳能热发电站

可以由碟群构成以输出大容量电力. 图 4 为多碟太阳能热发电系统实物图.



图 4 多碟太阳能热发电系统

2.2 太阳能空调制冷

太阳能是一种取之不尽、用之不竭的清洁能源. 在太阳能热利用中, 不仅有太阳能热水和太阳能采暖, 还有太阳能制冷空调. 从节能和环保的角度考虑, 用太阳能替代或部分替代常规能源驱动空调系统, 正日益受到世界的重视. 太阳能空调的最大优点在于季节性好. 夏季太阳辐射强, 太阳能空调系统可以产生更多的制冷量, 正好满足人们夏季对制冷空调的需求, 显著减少常规能源的消耗.

从理论上讲, 太阳能制冷可以通过太阳能电池板将太阳辐射能转换成电能 (即光 - 电转换), 利用此电能来驱动制冷机制冷. 这种制冷原理与普通的电力制冷无明显差异, 只不过所要消耗的电能来自太阳能. 由于太阳能电池光电转换效率较低 (商业化成品在 15% 左右), 且制作成本较高 (销售价约每瓦 40 元), 目前在经济上不具有可行性, 难以大面积推广使用. 另外, 还可通过太阳能 - 热转换实现太阳能空调制冷. 太阳能光 - 热转换制冷是利用相应的设备首先将太阳能转换成热能, 再利用热能作为外界的补偿, 使系统能够达到制冷的目的, 即以热能来制冷. 太阳能光 - 热转换制冷系统主要分为以下几种类型: 太阳能吸收式制冷系统、太阳能吸附式制冷系统、太阳能除湿式制冷系统、太阳能喷射式制冷系统等^[4]. 与太阳能光 - 电转换技术相比, 在相同制冷功率情况下, 光 - 热转换的成本约为光 - 电转换的 1/5. 目前国内外的研究工作, 以太阳能吸附式制冷和吸收式制冷为主.

2.2.1 太阳能吸收式制冷

太阳能吸收式制冷是利用两种沸点不同物质所组成的混合溶液作为工质, 其中沸点高的称为吸收剂, 沸点低的称为制冷剂. 常见的吸收 - 制冷剂有溴化锂 (LiBr) - 水、水 - 氨 (NH_3) 两种. 以溴化锂 - 水工质为例, 其性质和食盐类似, 易溶于水, 无毒、无臭, 沸点 1265°C .

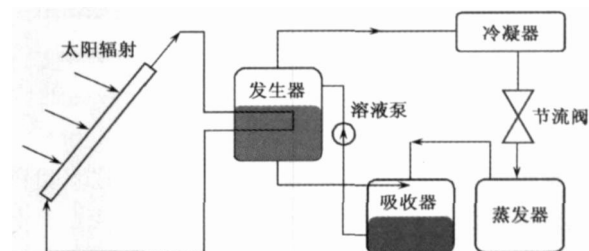


图 5 太阳能吸收式制冷原理图

太阳能吸收式制冷原理如图 5 所示: 首先利用太阳能集热装置把水加热, 高温热水在管道中流经发生器时把热量传递给工质; 混合的液态工质在受热升温时, 由于两种成分沸点不同, 沸点低的水就会大量蒸发, 从而与溴化锂分离; 分离后的制冷剂 (水) 呈气态, 且温度和压力都很高, 经冷凝装置冷却后变成高压低温的液态水; 液态水经过节流阀后进入蒸发室, 因其内压力小, 液态水就会急速膨胀汽化, 变成水蒸气, 气化过程中将大量吸收蒸发室的热量, 从而达到制冷的目的. 低温水蒸气就沿管道进入吸收器. 因为水的不断蒸发, 发生器内溴化锂水溶液

的浓度不断升高;通过管道把高浓度的溴化锂溶液引入吸收器,在吸收器内高浓度的溴化锂溶液会大量吸收从蒸发器流过来的水蒸气而被稀释,同时可使蒸发器内压力降低;稀释后的溴化锂溶液只需用一个功率很小的泵送回发生器就可以进入下一个制冷循环。

2 2 2 太阳能吸附式制冷

太阳能吸附式制冷系统由吸附床、冷凝器、蒸发器和节流阀等构成,如图 6所示:工作过程由热解吸和冷却吸附组成,基本循环过程是利用太阳能或者其他热源,使吸附剂和吸附质形成的混合物(或络合物)在吸附床中发生解吸,放出高温高压的制冷剂气体进入冷凝器,冷凝出来的制冷剂液体由节流阀进入蒸发器,制冷剂蒸发时吸收热量,产生制冷效果,蒸发出来的制冷剂气体进入吸附发生器,被吸附后形成新的混合物(或络合物),从而完成一次吸附制冷循环过程。基本循环是一个间歇式的过程,循环周期长,COP值低,一般可以用两个吸附床实现交替连续制冷,通过切换集热器的工作状态及相应的外部加热冷却状态来实现循环连续工作。

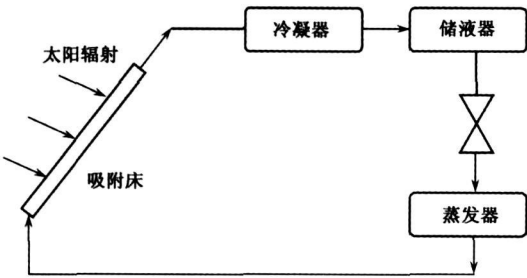


图 6 太阳能吸附式制冷原理图

与蒸汽压缩式制冷相比,太阳能制冷技术目前不是很成熟,但是因为其环保节能的特点,决定其具有良好的发展前景。目前,制约其广泛应用的主要原因是成本较高。太阳能制冷要降低成本,一方面要大力开发高效太阳能集热板,提高热力学性能,另一方面,走产业化发展的道路。另外,太阳能制冷有多种形式,但就目前的研究现状来看,各种不同形式的制冷系统都多少存在着不足,所以限制了太阳能空调制冷技术的广泛应用。如何进一步提高系统的运行效率,以及各种制冷循环的联合运行都是将来研究的重点领域。

2 3 太阳能制氢

氢是一种理想的二次能源,具有清洁、无污染、效率高、重量轻和储存及输送性能好、应用形式多等

诸多优点,赢得了人们的青睐。工业制氢方法主要是以天然气、石油、和煤为原料,在高温下使之与水蒸气反应而制得,也可以用部分氧化法制得。这些制氢方法在工艺上都比较成熟,但是由化石能源(天然气、石油、煤)和电力来换取氢能,在经济上和资源利用上并不合适。

太阳能是最理想的可再生能源,具有廉价、资源丰富、清洁、无污染的优点,利用太阳能制氢是能源利用的最理想的方式之一。太阳能制氢的方法主要有:直接热分解法、热化学循环法、光催化法以及光电化学分解法。直接热分解法需要 2500K 以上的温度,设备要求高,价格昂贵。光催化及光电化学分解法虽然结构简单,耗能低,但目前转化效率还较低,仍处于研究阶段。热化学循环法主要是利用化学材料的特性,在一定的温度下分解水或碳氢类化合物而获得氢气的方法,该方法优点是氢气转化效率较高,能耗较低,成为当前研究的热点之一。

2 3 1 热化学循环法

为了克服直接分解法需要非常高的温度的缺陷,科学家采用热化学循环法来降低反应温度。热化学循环法制氢的研究在 20 世纪 60 年代广泛兴起,于 1974 年到 1986 之间达到高峰,之后虽然减少,但是仍然在不断进行。

早期热化学循环采用多步进行,工艺复杂,成本高,后来科学家越来越倾向于两步热化学循环法的研究。这种方法的优点是:概念和工艺简单,而且不使用氢气分离装置。与此同时,两步法由于涉及的反应阶段少,因而它更有利于原料和热力学的可逆循环,它的总体效率也会比较高。两步热化学循环法中多使用金属氧化物的氧化还原反应。金属氧化物先在高温下吸热分解生成金属或低价金属氧化物,然后它们在第二步放热反应中作为还原剂被氧化。使用较多的金属氧化物有 ZnO/Zn 、 Fe_3O_4/FeO 、 $Ni_5Mn_5Fe_2O_4/Ni_5Mn_0.5Fe_2O_4$ ^[5],反应温度一般在 700—1000℃。当前,另一个研究热点是乙醇催化制氢^[6],它的反应温度进一步降低,可以降到 300—600℃。

2 3 2 光电化学分解法

光电化学分解法制氢是通过由光阳极和对极(阴极)组成的光电化学电池完成的。光阳极通常为光半导体材料,受光激发可以产生电子-空穴对。在电解质存在下,光阳极吸收光能后,电子被激发到半导体导带上,并通过外电路流向对极,水中的质子从对极上接受电子产生氢气。图 7 是太阳能光电化学

电池制氢原理图, 它包括一个光阳极 (一般是金属氧化物) 和阴极 (一般是 Pt), 在电解液中, 氧化和还原反应分别在阳极和阴极发生。

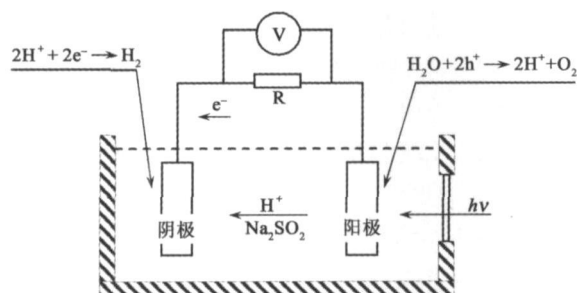


图 7 太阳能光电化学电池制氢原理图

光电化学分解水制氢的转换效率原则上取决于电极的材料, 但通过电极/电解液界面电位的修饰, 可以有效地防止电子-空穴的复合, 从而能够有效地提高效率^[7]。要使分解水的反应发生, 最少需要 1.23V 的能量, 现在最常用的电极材料是 TiO_2 , 其禁带宽度为 3eV, 把它用作太阳能光电化学制氢系统的阳极, 能够产生 0.7—0.9V 的电压, 因此要使水裂解必须施加一定的偏压^[8]。

2.3.3 光催化法

光催化制氢的实质就是在水中加入光催化剂, 通过这些物质吸收光能并有效地传给水分子, 使水发生光解。当能量大于半导体禁带宽度的光照射到半导体材料上时, 电子吸收光的能量由价带跃迁到导带, 从而在半导体内产生电子和空穴, 电子和空穴由半导体内部迁移至表面, 在表面产生反应活性, 与周围的氧和水反应产生活性氧, 如图 8 所示。这些活性氧具有极强的氧化性, 可用于环境净化、光催化分解水制氢等。

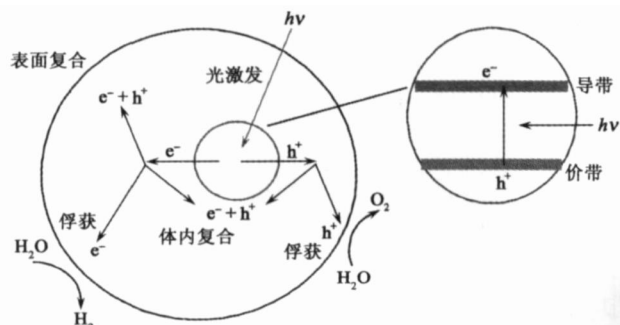


图 8 光催化制氢原理图

半导体光解水制氢的研究比较成熟, 主要经历了以 TiO_2 、过渡金属氧化物、层状金属氧化物和能利用可见光的复合层状物为光催化剂制氢的阶段。和光电化学池比较, 半导体光催化分解水制氢的反

应大大简化, 但通过光激发在同一个半导体微粒上产生的电子-空穴对极易复合。因此如何提高这种方法的太阳能转化效率, 如何实现半导体材料的化学循环, 以及如何寻找高效的光催化剂等成为当前研究的重点问题。

2.4 太阳能海水淡化

地球上的海水资源非常丰富, 97% 的水都在海洋里, 而其中蕴含着大量的淡水。为了解决淡水资源缺乏的问题, 很久以来世界各国的科学家都把目光投向了海洋。如果能从海水中成功地分离出淡水, 那么就能解决淡水资源不足的问题。利用太阳能进行海水淡化是一条廉价有效的途径。

太阳能海水淡化主要有两种方法: 太阳能蒸馏淡化技术和太阳能反渗透淡化技术^[9]。太阳能蒸馏淡化技术主要是指从太阳能采集热量, 使海水 (或介质淡水) 加热, 最原始的是顶棚式太阳能蒸馏装置, 其结构简单, 但占地面积大, 产水率一般为 $2\text{--}4\text{ kg/m}^2 \cdot \text{d}$ 。太大的设施会带来在施工和抗大风问题。因此, 如何充分利用冷凝过程的潜热提高造水率是非常必要的, 只是太阳能是稀薄、低密度的能源, 将传统的多级闪蒸、低温多效蒸馏应用到太阳能海水淡化中必须解决海水的进口温度、流量等技术问题。利用太阳能热扩散多效蒸馏, 每平方米日照面积产水量可超过 30 L。

反渗透海水淡化运行的必要条件之一是需要有驱动高压泵的电能。利用太阳能电池的光伏发电技术, 使反渗透法能够在无商用电源或电力紧张的地区 (特别是海岛和沙漠地区) 淡化海水, 苦咸水成为可能。

2.5 太阳能烟囱发电

太阳能烟囱发电的构想是由德国斯图加特大学的 Jorgan Schlaich 教授于 1978 年提出的^[10]。1982 年, 德国政府和西班牙一家电力公司合作, 在西班牙的 Manzanares 建立了世界上第一座太阳能烟囱发电站。

太阳能烟囱发电系统由太阳能集热棚、太阳能烟囱和涡轮发电机组 3 个基本部分所构成^[11], 如图 9 所示。太阳能集热棚建设在一块太阳辐照强、绝热性能比较好的土地上; 集热棚和地面有一定的间隙, 集热棚采用透光性能好且隔热的材料制成。用来吸收太阳辐射能量使棚内空气温度升高; 集热棚中间离地面一定距离处装着烟囱, 在烟囱底部装有涡轮

机; 位于集热棚中央的烟囱, 高达数百米至上千米, 在烟囱的抽吸力和集热棚内热空气压力的联合作用下, 烟囱引导集热棚内空气形成强大气流, 驱动涡轮机带动发电机发电, 并且可以让周围空气进入系统; 太阳光照射集热棚, 集热棚下面的土地吸收透过覆盖层的太阳辐射能, 并加热土地和集热棚覆盖层之间的空气, 使集热棚内空气温度升高, 密度下降, 并沿着烟囱上升, 集热棚周围的冷空气进入系统, 从而形成空气循环流动. 由于集热棚内的空间足够大, 当集热棚内的空气流到烟囱底部的时候, 在烟囱内将形成强大的气流, 利用这股强大的气流, 推动装在烟囱底部的涡轮机, 带动发电机发电.

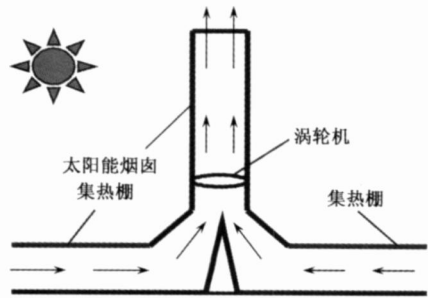


图 9 太阳能烟囱发电原理图

太阳能烟囱发电技术研究的时间并不长, 尽管第一座太阳能烟囱发电站由于集热棚发生故障, 已经停止发电, 但是它给我们带来的思考却是无穷的. 国内在华中科技大学的一座小型太阳能烟囱发电装置也已经建成, 该装置烟囱高 8 m, 集热棚直径为 10 m. 该发电装置已经运行了两年多的时间, 积累了许多运行和相关研究的数据.

3 太阳能热利用中心问题

3.1 跟踪聚焦技术

太阳能是一种低密度、间歇性、空间分布不断变化的能源, 与常规能源有很大的区别, 这就对太阳能的收集和利用提出更高的要求. 目前得到广泛应用的太阳热水器, 一般只能满足人们的洗浴要求, 属于太阳能的低温热利用, 无法提供工业应用上的高温热水及蒸汽等. 为了满足人们对太阳能利用更高的要求, 使太阳能集热器更有效地吸收太阳辐射能和获得高温热能, 集热器须采用聚焦、跟踪等技术.

使用太阳跟踪系统, 可以使太阳光始终垂直照射在接收面, 接收到的太阳辐射将大大增加. 例如, 对于完全相同的平板, 与太阳辐射方向垂直的表面和朝南铅直方向的固定表面, 一天中两者接收到的

太阳辐射的比值大约是 3:1. 相同条件下, 自动跟踪发电设备要比固定发电设备的发电量提高 35%, 成本下降 25%, 因此在太阳能利用中, 进行跟踪是很有必要的. 目前, 已有多种太阳跟踪装置, 但大多造价高、结构复杂, 而未能广泛应用. 结构简单、成本低、跟踪过程不必人工干预, 而且在天气变化比较复杂的情况下, 系统也能正常工作的太阳能跟踪系统是未来研究的重点.

使用太阳能聚焦装置可以增加单位面积的太阳辐射强度, 节省吸热材料, 提高热利用效率. 太阳能聚焦技术广泛应用于太阳能空调、太阳能光伏发电、太阳能热发电、光电化学、太阳能制氢等领域, 是未来中高温太阳能利用研究的重要方向. 太阳热利用中广泛采用反射式聚光集热器, 主要包括点聚焦方式 (碟式、定日镜)、线聚焦 (槽式) 等. 线聚焦温度一般可以达到 200—400℃, 点聚焦可以达到 800—1500℃. 现在这两种聚光集热器完全能满足各种中、高温太阳能利用的要求, 但由于造价高, 限制了它们的广泛应用.

3.2 辐射吸收材料

太阳辐射吸收材料是太阳能热利用中的关键部分, 它承担着太阳辐射能的吸收和热传导双重任务. 当前, 人类太阳能热利用的多数研究成果仅限于低温应用 ($< 100^{\circ}\text{C}$), 特别是国内更是如此. 随着能源短缺问题的日益突出, 人类已开始把目光转向更好品位的太阳能的热利用上——太阳能中高温利用, 通过聚焦装置, 使太阳能热利用温度达到 200°C 以上, 甚至上千度. 中高温吸热材料的研究是太阳能中高温热利用所要解决的关键问题. 光学性能稳定、耐候性强 (受气候影响小)、制备工艺简单、对环境无污染、成本低廉、能适合中高温使用的新型太阳选择性吸收涂层成为当今太阳能热利用研究的重要目标和发展方向.

在太阳能中高温选择性吸收涂层领域, 金属陶瓷薄膜是一种新型的太阳能选择性吸收涂层, 它是将纳米尺度的金属粒子镶嵌在氧化物、氮化物等陶瓷基体中, 制成单层或多层的纳米薄膜材料, 获得优良的光学性能, 同时还可兼具其他的一些特殊的性能, 将这类具有优良光学性能的新型功能薄膜材料应用于太阳能领域必将极大地推动太阳能行业的飞速发展.

3.3 传热技术

如何高效率地将吸收的太阳辐射能以热的形式

传至用户使用是太阳能热利用的关键问题之一. 太阳辐射能转换成热能利用的能量传递过程如图 10 所示.

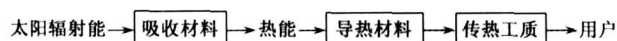


图 10 太阳辐射能转换成热能利用的能量传递过程

辐射吸收材料即选择性吸收涂层一般沉积在导热性能良好的金属材料上, 比如铜、铝、不锈钢等. 太阳辐射能所转换成的热能一般通过中间工质传输至用户端, 比如太阳热发电一般采用导热油、熔盐、空气等工质吸收并传输热能给水和蒸汽, 水蒸气推动汽轮机并带动发电机发电, 将热能转换成电能. 中间热传输工质的选择对太阳热利用效率具有重要的影响.

在太阳热发电系统中, 传热的循环工质水、空气、油、熔盐等由于水、油作为高温吸热载体的热机效率很低, 而钠遇空气和水容易着火, 空气的热容小, 故目前常用的高温吸热载体主要是熔盐. 但是通常熔盐的熔点较高^[12], 其工作温度范围很窄, 为了防止熔盐凝固需要浪费很大的常规能源, 而且熔盐的传热系数较小, 热效率不理想. 所以寻求性能更加优越的高温吸热、传热载体成为太阳能热发电研究的重要内容和方向.

4 结论

太阳能热利用是人类太阳能利用开发中一个重要内容, 在最近几十年里得到了实质性的发展, 诸多

技术日趋成熟并形成了产业. 目前, 太阳能热利用正朝着高技术、高品味、大规模的方向发展.

参 考 文 献

- [1] 张耀明. 江苏科技信息, 2005, 3 1[Zhang Y M. Jiangsu Science and Technology Information, 2005, 3 1(in Chinese)]
- [2] Epstein M, Segal A, Yoge V A. Journal de Physique (IV), 1999 9(P3): 95—104
- [3] Zavoico A *et al*. Solar Power Tower (SPT) Design Innovations to Improve Reliability and Performance—Reducing Technical Risk and Cost. Proceedings of Solar Forum 2001, Solar Energy: The Power to Choose 2001 April Washington DC, 2001
- [4] 罗运俊, 何梓年, 王长贵. 太阳能利用技术. 北京: 化学工业出版社, 2005[Luo Y J He Z N, Wang C G. Technology of solar energy. Beijing: Chemical Industry Press, 2005(in Chinese)]
- [5] 李鑫, 李安定, 李斌. 太阳能学报, 2005, 26(1): 127[Li X, Li A D, Li B. Acta Energiae Solaris Sinica, 2005, 26(1): 127(in Chinese)]
- [6] 王卫平, 吕功煊. 化学进展, 2003, 15(1): 74[Wang W P, Lv G X. Progress in Chemistry, 2003, 15(1): 74(in Chinese)]
- [7] Gratzel M. Nature, 2001, 414: 338
- [8] 黄金昭, 徐征, 李海玲. 太阳能学报, 2006 27(9): 947[Huang J Z, Xu Z, Li H L. Acta Energiae Solaris Sinica, 2006, 27(9): 947(in Chinese)]
- [9] 苏润西. 海洋技术, 2002, 21(4): 27[Su R X. Ocean Technology, 2002, 21(4): 27(in Chinese)]
- [10] Maurer C. Electricity from the sun. Geislingen, Germany, 1995
- [11] 潘垣, 辜承林, 周理兵等. 世界科技研究与发展, 2003, 25(4): 7[Pan Y, Gu C L, Zhou L B *et al*. World Science-Technology R & D, 2003, 25(4): 7(in Chinese)]
- [12] 李斌, 李安定. 电力设备, 2004, 5(4): 80[Li B, Li A D. Electrical Equipment, 2004, 5(4): 80(in Chinese)]

• 物理新闻和动态 •

人类活动影响气候变化的统计分析

大多数的气象模型是将大气作为一个复杂的流体力学体系, 首先用大气温度并加上树轮、气象记录等数据建立起动力学方程, 再利用差分法去解这个方程. 这些计算表明, 地球的温度将会持续地上升. 但有些气象学家们怀疑, 在这个计算过程中, 把人类活动的人为因素过份地夸大了. 因为在三维格点模型中引用了粗粒化的计算, 有可能忽略了大气云层的作用, 而云层却会加大或缩小地球温度的变化. 为此, 德国 Heidelberg 科学院的 P. Verdes 博士不采用气象模型的方法来研究这个问题, 他直接利用过去 150 年的气象记录进行统计分析. 他通过三个主要参数来考虑地球温度的变化, 一是温度的反常, 二是火山的活动, 三是来自太阳的热能. 他的研究方法是利用非线性时间序列的动力学过程, 在分析时, 认为火山的活动和接收的太阳热能是影响地球表面温度变化的内在因素, 同时存在着另一个外界的趋势力 (如人类的活动). 首先他假定外界趋势力为零, 同时选择一个生成函数去匹配计算数据. 然后再将外界趋势力取为非零值来逐步提高计算值与实际数据间的吻合. 计算表明, 一个非零值的趋势力能很好地符合实际数据. 这又一次证明在地球温度变暖的过程中, 人类活动的人为因素是不容置疑的重要原因. 他的研究必将对国际社会应如何面对今后地球变暖的问题给出一定的启示.

(云中客 摘自 Physical Review Letters 24 July 2007)