

太阳能聚光光伏热化学耦合利用系统 ——基于纳米流体光谱分频

黄 玮 邱懿卓

江苏大学 江苏镇江 212013

摘 要: 通过对现有太阳能利用技术优缺点的分析, 结合聚光系统和纳米流体分频技术, 紧扣“节能减排”的主题, 提出了一种基于纳米流体光谱分频的太阳能聚光光伏热化学耦合利用系统。目的在于将太阳光全光谱利用, 一部分用于光伏发电(波长在400-1200nm之间的太阳光), 一部分用于光热甲醇裂解获得氢气(波长<400nm或者波长>1200nm的太阳光), 提高太阳光利用效率。

关键词: 太阳能; 光谱分频; 聚光系统; 热化学

Thermochemical coupling utilization system of solar Concentrated photovoltaic based on nanofluid spectral frequency Division

Huang Wei, Qiu Yi-zhuo

Jiangsu University, Zhenjiang 212013

Abstract: Based on the analysis of the advantages and disadvantages of the existing solar energy utilization technologies, a thermochemical coupling utilization system of solar energy concentration photovoltaic based on nano-fluid spectral frequency division was proposed, combining the concentrating system and nano-fluid frequency division technology, and closely following the theme of “energy saving and emission reduction”. The purpose is to use the full spectrum of sunlight, part for photovoltaic power generation (wavelength between 400-1200 nm sunlight), part for photothermal methanol pyrolysis to obtain hydrogen (wavelength <400nm or wavelength >1200nm sunlight), improve the efficiency of sunlight utilization.

Keywords: solar energy; Spectral frequency division; Concentrating system; thermochemical

引言:

目前, 能源短缺已经成为许多国家面临的一大难题, 根据相关统计, 太阳能向地面释放了近80万kW的能量, 足够每年生产 5.6×10^7 W·h电量, 因此, 将太阳能用于光伏发电将成为中国电力工业发展的主要趋势^[1]。但相比

于其他发达国家, 我们的技术还相对落后, 对于商用硅电池, 转换效率通常在10-25%^[2], 所以还有近80%的太阳光不能利用, 会被直接转化为热能。为了避免太阳能的能源浪费, 现在很多的研究开始将太阳能发电和发热相结合, 光伏光热综合利用(PV/T)技术是当前研究的热点之一。

基于以上现状, 本文提出了一种基于纳米流体光谱分频的太阳能聚光光伏热化学耦合利用系统。纳米流体分频装置将太阳光分为两部分, 光伏发电和热化学同时进行, 实现了太阳能的全光谱利用。

1 系统组件的选用与设计

1.1 聚光装置

基金项目: 江苏大学2021年大学生实践创新训练计划项目, 项目编号: 202110299073Z

作者简介:

黄玮(2001—), 女, 汉族, 安徽六安人, 江苏大学本科在读, 研究方向: 新能源科学与工程;

邱懿卓(2001—), 男, 汉族, 重庆人, 江苏大学本科在读, 研究方向: 新能源科学与工程。

聚光器能提高太阳光的能流密度，从而提高系统对太阳能的利用率。现有的聚光器主要可以分为线性菲涅尔式、槽式、塔式和碟式。其中线性菲涅尔式聚光技术具有以下优点：支撑结构简单，成本更低；主反射镜近地面安装抗风能力强、土地利用率高；二次反射接收器在一定的高度固定安装可以解决旋转接头高温动密封的技术难题，系统运行安全可靠等^[3, 4]。虽然线性菲涅尔式聚光技术相比槽式聚光技术效率较低，但是前者采用复合抛物面二次反射接收器（Composite Parabolic Concentrator, CPC）后，综合考虑下，线性菲涅尔式聚光器不失为一个最佳选择。

基于上述分析，本系统选用线性菲涅尔式聚光器，该聚光器主要由主反射镜阵列、跟踪控制装置和接收器三部分组成，反射镜为大抛物面构造。研究表明，大抛物面主反射镜的聚光效果会优于平面反射镜，且所需吸热管的直径更小，主反射镜更宽，反射镜的数量更少，跟踪控制系统较简单^[5]。接收器采用二次反射接收器，仅有单根集热管，降低了制造成本。聚光器具体结构如图1所示。



图1 线性菲涅尔式太阳能聚光器

1.2 分频装置

光谱分频器可以提升太阳能的热能输出品质，是分频型PV/T系统的核心部件，其分频性能直接决定了系统的总体性能表现。现阶段较为热门的两类光谱分频方式分别是固体薄膜干涉分频和液体分频。但由于固体薄膜干涉分频成本较高，更加经济的液体分频器成为了现在研究的热点。

液体分频器的两大分类主要是传统液体分频和纳米流体分频。传统液体分频主要采用的都要一些廉价经济的液体，如水或醇类等。如果只单纯改变分频液体的浓度和厚度是很难对传统液体分频器的性能进行提高，最本质的还是要找到更佳的分频液体。光谱分频器中所用的光谱选择性吸收液体应满足以下三个要求：一、其光学性能要与所用太阳能电池的光谱响应相匹配，既要使

太阳能光伏板响应波段的太阳光线可以几乎全部透过，又要能够尽可能地吸收非太阳能电池板工作波段的太阳光；二、所选择的液体应该有良好的流动性和传热性能，需具有较高的比热容、导热系数、密度，较低的粘度和热膨胀系数；三、液体物化性质要稳定，价格低廉，无毒环保^[6]。但是，目前传统分频液体普遍无法实现对太阳能电池“理想分频PV窗口”外的能量完全吸收和对“理想分频PV窗口”内的能量完全透过的理想分频^[7]。所以纳米流体分频技术应运而生。

“纳米流体”是美国Argonne实验室的Choi^[8]等人在1995年首次提出，指在液体介质中按一定比例和方式添加纳米级（1-100nm）金属或非金属。纳米颗粒的量子效应、大比表面积效应以及界面原子排列和键组态的无规则特性使其具有独特的光学性能，能对入射光进行吸收和散射^[9]。通过选择合适的纳米颗粒，可以很容易地改变其分频性能。所以，结合上述对比分析，本装置选用了纳米流体作为分频液。

通过阅读文献资料，我们已经了解到，Ag纳米流体和CoSO₄溶液对于短波辐射具有强烈的吸收，相对于传统的分频液体具有更好的分频效果。陈晓彬等^[11]在研究中指出，CoSO₄基Ag纳米流体比水基Ag纳米流体在更宽的光谱上具有高效的吸收性能。因此，在本分频装置中，选择CoSO₄基Ag纳米流体作为分频液，对太阳光进行分频吸收。

2 系统的组装与运行

在太阳能电池板的表面铺设导管，甲醇从太阳能电池板上表面的导管中通入，可以利用太阳能电池板表面的热量对甲醇进行预加热。预热后的甲醇随即进入液体分频集热管（同心圆柱结构）的内管道，外管道内则为Ag纳米流体和CoSO₄溶液。

太阳光通过最底部的聚光器进行聚集，再反射。小于400纳米和大于1200纳米的太阳光会先被液体分频集热管外管道中的Ag纳米流体和CoSO₄溶液吸收，进行光热利用，发出的热量用于给集热管内管道中的甲醇再加热，达到让甲醇裂解的目的；而在400-1200纳米之间的太阳光则穿过液体分频器，照射到太阳能光伏板上，用于发电。这样将太阳光进行分频利用，不仅可以提高太阳光的利用率，同时可避免因温度耦合而限制热利用温度受限的问题^[10]。甲醇裂解，产生氢气，与气态的甲醇从出口【3】通出，进入冷凝器。冷凝后的甲醇循环利用，分离出来的氢气则被收集起来，进行下一步利用。

甲醇裂解的流程主要有如下具体描述：甲醇从发生

器通过计量泵进入质量流量计，然后进入光伏板上的预热导管，预热后通入液体分频集热管内管道，甲醇裂解后进入冷凝装置（气液分离器），得到的氢气进入气体流量计，再通过气相色谱仪分析计算氢气的产氢率，最后将氢气通入收集装置。而冷凝后的甲醇进行回收，重新进入循环，到达重复利用的效果。作为冷凝剂的水，吸收了甲醇释放的潜热，初温升高。用电加热水箱对这些有一定初温的水进行加热，可以一定程度上减少电加热水箱的电能消耗，可以很好地起到节约能源的作用。

在遇到连续阴雨天气或夜晚时，为了保证氢气的产出，采用了电加热装置为甲醇裂解提供热量。电加热装置具有储能的功能，每当光照充足时，系统发电的一部分会输送到电加热装置，储存起来。等到电加热装置需要工作的时候，这部分能量为其提供电力。这种自给自足的方式比仅单纯使用外部电力供能的方式更加节省能源。

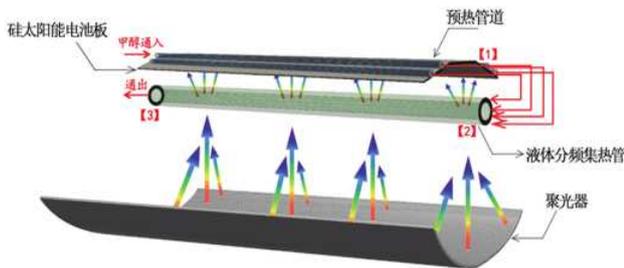


图2 系统的主要装置图

该分频系统在产电的过程中，会生产出大量的氢气。作为理想的清洁能源，氢气在能源利用与节能减排中有着举足轻重的作用，图3详细地描述了整个系统的工作流程及产物利用。图3为主要流程图。

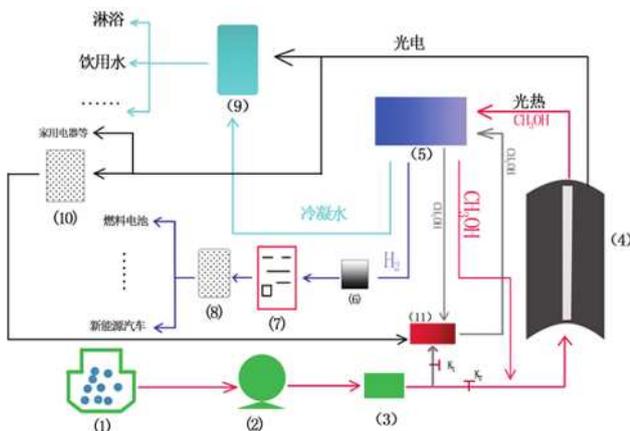


图3 主要流程图

(1) 甲醇，(2) 计量泵，(3) 质量流量计，(4) PV/T主要装置，(5) 冷凝器，(6) 气体流量计，(7) 气相色谱仪，(8) 储氢装置，(9) 电加热水箱，(10) 储电/放电装置，(11) 电加热装置

一般情况下，阀门K1处于关闭状态，K2开启。甲醇从(1)途经(2)、(3)通入装置(4)。经过(5)冷凝后，氢气最终流入装置(8)收集起来，冷凝后的甲醇则又进入(4)，循环利用。冷凝水因吸收了汽化甲醇的热量，温度升高，被通入到电加热水箱后，水箱的水初始温度被提高，使加热的电能消耗有所减小，达到节能目的。

光伏发电一部分用于家用电器（例如加热水箱、电灯照明等），另一部分被储存在(10)中。当遇到恶劣天气或者夜晚时间，没有足够的光照时。阀门K1打开，K2关闭，甲醇通入(11)。装置(10)提供电能给(11)进行加热，为甲醇的裂解提供能量。

3 结语

本项目针对现有相关技术的分析，将线性菲涅尔式聚光器和纳米流体分频器相结合，紧扣“节能减排”的主题，设计出一种基于纳米流体光谱分频的太阳能聚光光伏热化学耦合利用系统，可达到以下预期：

(1) 节能效果。实现了光伏、光热两部分的高效运作，较大限度地提高太阳光光电转化效率和光热转化效率，减少其他不可再生能源的利用，达到较好的节能减排效果。

(2) 经济效益。本项目在实现光伏发电的同时，达到了光热甲醇裂解制氢的目的，尽可能地减少了能量的损耗，成本也相对较低，可以带来很好的经济效益。

(4) 技术参考。本项目为高效利用太阳光提供了一种新的思路，将光伏发电以及甲醇裂解制氢有机地结合在一块，在选择合适的参数下，以期能为后续规模化发展提供可行数据。

但本系统也存在一些不足，关于线性菲涅尔式聚光器的效率仍有待提高，主反射镜、二次反射接收器和镜场的优化设计是提高其光学性能和热性能，减少热损失的主要研究方向。纳米流体分频技术也尚有研究空间，纳米流体的种类选择尤为重要。相信在后续不断地研究下，本系统的各项参数指标会越来越越好。

参考文献：

[1]李艳坤，周荣斌.光伏发电的现状与发展前景[J].现代工业经济和信息化，2021，11（01）：53-54.

[2]G.N. TIWARI, R.K. MISHRA, S.C. SOLANKI, Photovoltaic modules and their applications: A review on thermal modelling, Applied Energy 88(7) (2011) 2287-2304.

[3]SUN JIE, ZHANG ZHI, WANG LI, et al.Comprehensive Review of Line-Focus Concentrating Solar

Thermal Technologies: Parabolic Trough Collector (PTC) vs Linear Fresnel Reflector (LFR)[J].Journal of Thermal Science, 2020, 29(05): 1097-1124.

[4]王锐东, 马军, 王成龙, 俞天智.线性菲涅尔式聚光集热系统研究进展[J].红外与激光工程, 2021, 50(11): 246-264.

[5]Momeni S, Menbari A, Alemrajabi A A, et al.Theoretical performance analysis of new class of Fresnel concentrated solar thermal collector based on parabolic reflectors[J].Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2019, 31(4): 25-33.

[6]韩新月, 薛登帅, 郭永杰, 屈健.聚光分频PVT

系统光谱选择性液体光学性能分析[J].工程热物理学报, 2017, 38(11): 2313-2319.

[7]陈晓彬.基于Ag/CoSO₄纳米流体光谱分频的光伏光热系统的性能研究[D].江苏大学, 2019.

[8]Choi S U S, Eastman J A. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles[R].Argonne National Lab, IL (United States), 1995.

[9]Wang S, Hu L, Lu Z.White and bright radiation from nanostructured carbon [J].JOURNAL OF OPTOELECTRONICS LASER, 2003, 14(2): 215-220.

[10]杨安礼.电池表面镀分光膜的太阳能聚光分频光伏光热综合利用系统研究[D].中国科学技术大学, 2016.