

Research on Solar Photovoltaic Panel Cooling and Power Generation Efficiency

Daolai Cheng*, Yingxuan Fan

School of Mechanical Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai
Email: daolaicheng@163.com, xzfgyx@163.com

Received: Jul. 12th, 2018; accepted: Aug. 3rd, 2018; published: Aug. 10th, 2018

Abstract

Different cooling methods are different for reducing the temperature of solar cells and improving the efficiency of photovoltaic power generation. Combining with the related research results at home and abroad in recent years, the comparative analysis of three kinds of traditional natural circulation cooling, forced circulation cooling and solar photovoltaic solar-thermal cooling and on the basis of the new cooling system cooling and power generation efficiency, is obtained by simulation experiment; natural circulation cooling of the economy is very strong. The forced circulation cooling is suitable for experiment and research. The new solar photovoltaic solar thermal cooling effect is the best, especially when combined with the building. It has the advantage of unmatched conventional technology, but the cost is higher. Compared with the traditional PV/T system, plate type PV/T system let the temperature between working medium and solar cells lower. It can also effectively solve the PV/T system power output and heat output contradictory problem, can effectively improve the high grade transformation and utilization, suitable for promotion of development.

Keywords

Solar Energy, Photovoltaic Cells, Cooling Technology, Generating Efficiency

太阳能光伏电池板冷却及发电效率的研究

程道来*, 范瀛轩

上海应用技术大学机械工程学院, 上海
Email: daolaicheng@163.com, xzfgyx@163.com

收稿日期: 2018年7月12日; 录用日期: 2018年8月3日; 发布日期: 2018年8月10日

摘要

不同的冷却方式对降低太阳能电池温度、提高光伏发电效率是不同的。本文结合近年来国内外相关研究

*第一作者。

成果, 在对比分析三种传统的自然循环冷却、强制循环冷却和太阳能光伏光热冷却及新型冷却系统的冷却及发电效率基础上, 通过模拟仿真实验得到: 自然循环冷却的经济性很强; 强制循环冷却适用于实验与研究; 新型太阳能光伏光热冷却效果最好、特别是与建筑相结合后有着常规技术不可比拟的优势, 但成本较高; 与传统PV/T系统相比平板式PV/T系统使工质与太阳能电池的温差更低, 可比较有效地解决PV/T系统电输出和热输出矛盾的问题, 有效提高高品位能的转化和利用, 适宜于推广开发。

关键词

太阳能, 光伏电池, 冷却技术, 发电效率

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 绪论

随着工业化进程迅猛发展, 不可再生能源日益枯竭, 环境污染日益加重, 可再生能源得到了社会的广泛关注。太阳能作为可再生能源的一种, 其自身具有资源丰富、分布广泛, 清洁且无污染等诸多优点, 被广泛应用于工程领域之中。光伏发电技术也受到世界各国学者的广泛研究。

太阳能系统以其低成本、高效率、无污染的特点, 在可再生能源应用中发挥着主导作用。光伏发电装置/系统是利用太阳能电池将太阳能转化为电能的太阳能可再生能源利用的主要方面。然而, 在最近一段时间内, 光伏电池的电效率不能得到显著改善。主要原因是由于半导体材料的光子跃迁后光子能量过剩, 多余的能量被转化为废热, 从而导致光伏组件的温度升高, 降低了能量转换效率。在太阳能光伏电池的实际应用过程中发现太阳能电池的发电效率会随着电池表面温度的升高而降低。研究表明: 电池温度每升高 1°C , 相对电效率下降 0.5% [1]。单晶硅太阳能电池在零摄氏度时的最大理论转换效率只有 30% , 但在实际应用过程中发现: 标准条件下硅电池转换效率约为 $12\%\sim 17\%$ 。因此, 照射到电池表面的太阳能的以上未能转换为有用能量, 而是相当一部分能量转化成热能, 使电池温度升高, 导致电池效率下降[2]。因此, 太阳能电池冷却对提高其发电效率是有十分重要的意义。

且不同的冷却方式对降低太阳能电池温度、提高光伏发电效率是不同的。本文结合近年来国内外相关研究成果, 在对比分析三种传统的自然循环冷却、强制循环冷却和太阳能光伏光热冷却及新型冷却系统的冷却及发电效率基础上, 通过模拟仿真实验得到: 自然循环冷却的经济性很强; 强制循环冷却适用于实验与研究; 新型太阳能光伏光热冷却效果最好、特别是与建筑相结合后有着常规技术不可比拟的优势, 但成本较高; 与传统PV/T系统相比平板式PV/T系统使工质与太阳能电池的温差更低, 可比较有效地解决PV/T系统电输出和热输出矛盾的问题, 有效提高高品位能的转化和利用, 适宜于推广开发。

2. 不同冷却方式对太阳能发电效率的影响

不同的冷却方式对降低太阳能电池温度、提高光伏发电效率不同。以下从传统冷却方式和新型冷却方式开展比较研究。

2.1. 传统冷却方式对太阳能发电效率的影响

传统冷却方式主要有自然循环冷却、强制循环冷却和太阳能光伏光热冷却, 对太阳能发电效率的影响如下:

1) 自然循环对流冷却

自然循环冷却系统是在太阳能电池板背面加入肋片、通道等结构对电池板进行降温, 工作介质(多为空气或水)通过太阳能背面吸收热量, 以达到降温目的。

自然循环冷却系统的主要特点是成本低廉, 在日常养护方面, 只需要在电池板背后留下合适的空隙用来通风, 在大面积或者高纵深的地方会形成较大的风速, 这样的冷却效果是十分可观的。赵春江等人的研究中指出: 在电池组件框架与屋顶防雨保温层之间可以留出一定高度的间隙, 以此来解决电池组件背面通风降温的问题[3]; 杨洪兴等人在研究中介绍了一种自然冷却通风方式, 可以在 PV 模块屋面设计空气通风流道, 使电池表面温度降低 15℃, 模块电力输出提高 8.3% [4]。黄护林等人的实验表明, 当电池背面的空隙达到 20~40 mm 时, 太阳能电池板的冷却效果达到最佳, 比无通道和无翅片的情况要低 20℃ 左右, 效率提高近 10% [5]。

2) 强制循环冷却

强制循环方式一般采用加肋片、通道等结构, 有时会在电池正背面同时进行冷却。因为采用强制流动循环, 所以需要加额外的驱动动力。同时, 需要有工作介质在驱动力驱使下带走电池板的温度。一般情况下, 采用空气或者透射率高的液体来作为工作介质。

装有风机的强制对流电池板的散热效果明显好于自然对流的电池板, 前者的电效率明显高于后者。在 5 个流量下, 强制对流电池板平均绝对电效率比自然对流的电池板高 0.675%; 当风机的体积流量不断减小时, 电池板的散热效果明显下降, 系统的热效率也随之减小; 虽然电池板的电效率随着体积流量的增大而增大, 但是其净电效率并没有递增, 装有风机的强制对流电池板绝对平均净电效率比自然对流的电池板高 0.565% [6]。

3) 太阳能光伏光热(PV/T)冷却

太阳能光伏光热冷却方式严格来说是自然循环冷却和强制循环冷却的结合延伸。为了提高太阳能的利用效率, 将太阳能电池组件与太阳能集热器结合起来制成集太阳能电池与太阳能集热器功能为一体的光伏/光热集热器(photovoltaic-0082 2011, 39 [1] thermal collector, 简称为 PV/T 集热器), 在正常光照条件和环境温度下, 以水为工质的平板式 PV/T 系统电池板可有效降低太阳能电池的温度, 提高太阳能电池的光电转换效率, 从而获得较高的输出功率。同时, 由于工质的热容量较大, 可以使电池板温度分布均匀且变化相对缓慢, 减少热应力对太阳能电池组件造成的伤害。相比于传统型式的 PV/T 系统, 以水为工质的平板式 PV/T 系统中, 电池板与工质间温差较小, 在平板温较低的情况下, 有利于光伏电池具有较高的光电转化效率的同时, 使工质获得较高出口温度, 提升系统热效率。以水为工质的面板式 PV/T 系统在光照充足但气温较低的地区使用具有一定的热效率。如果能对工质循环加热, 可以使其温度有明显的上升, 可作为生活用热水的预热。

常泽辉等搭建了一种将铜管加装于太阳能电池背面的管板式 PV/T 系统。实验发现, 在相同的太阳辐照度和环境温度条件下, 装有铜管换热器的单块太阳电池的输出功率比普通单块太阳电池实际输出功率提高近 17% [7]。在 PV/T 系统评价方面, 季杰等研究了基于平板型太阳集热器的自然循环式 PV/T 系统。实验结果表明, 在晴朗或多云的天气条件下, PV/T 系统日平均热效率可达 40%, 日平均发电效率约 9.5%, 考虑电能与热能品质的前提下, 系统综合效率多在 60%以上, 在效率上比单独的光伏或热水系统有显著提高[8]。

2.2. 新型冷却方式对太阳能发电效率的影响

新型冷却技术主要有主要有热管冷却技术、微通道冷却技术、液体射流冲击冷却技术等 3 种, 这三种冷却方式都能提高发电效率。其中, 热管技术由于不用增加额外的能源消耗却能提供有效的冷却结果, 是最具发展潜力的。国外研究显示: 使用水作为工作介质时, 温度不超过 140℃ 的环境下, 热管的散热

热流可达到 $250\sim 1000\text{ kW/m}^2$ [9]。也有研究表明指出：在 20 倍聚光率时，光伏发电系统不使用冷却手段时的温度高达 84°C ，电池效率降低达 50%，而采用一种铜制扁平热管时，可以使电池的温度不超过 46°C ，而在该温度下，电池的效率只会降低 10% [10]。

3. 新型太阳能光伏光电(PV/T)循环冷却与发电效率模拟实验研究

从上述讨论对比发现 PV/T 循环冷却对提高发电效率有很好的发展前景，故以此为重点，进行模拟实验与分析。

3.1. 实验测试台的建立

本文搭建了面板式 PV/T 系统，其原理如图 1(a)所示，实验现场与设备如图 1(b)所示。工质从电池板正面双层高透光玻璃形成的流道中流过，吸收近红外区及其他波长的太阳辐射，同时与电池板传热，从而降低太阳电池的温度。PV/T 组件由超白玻璃与 PV 电池片粘合而成，密封效果良好，其中超白玻璃厚度为 3 mm、透射率为 90%，流道高度 2 mm，PV 板中太阳能电池的有效面积为 0.86 m^2 ，电池最大发电功率为 100 W。

3.2. 实验测量

引入小太阳模拟装置，在实验室内进行光伏集热器的相关测试实验，包括光伏性能、光热性能和光伏光热综合性能测试。实验过程中，水泵将水从贮水箱中抽出，送入 PV/T 组件中，水膜吸收辐射能后温度升高，并流回贮水箱，如此循环。在 0.15 ml/s 的体积流量下测量了太阳能电池输出功率、工质进出口温度以及太阳能电池温度等参数。测量的三种结果进行对比。此外，实验系统设置了实验组与对照组：PV/T 系统为实验组，其工质体积流量为 0.15 ml/s ；与 PV/T 系统所用 PV 组相同的普通 PV 板为对照组。实验组与对照组并排放置，电池板倾角均为 35° 、电池板朝向一致。待系统运行一段时间后进行测试。

3.3. 结果分析

3.3.1. 模拟仿真结果分析

图 2 示出了在较低的流体流量下，以光浓度(800 W/m^2)和不同质量流率的工质水的 PV/T 系统的热和电效率、泵功率和净效率。可以看出，这两种类型的太阳能集热器的电效率随着质量流量的增长而不断增加。低流量条件下，对于平板式 PV/T 电效率相对高一点，当流体的流动经历了完整的相位变化与出口

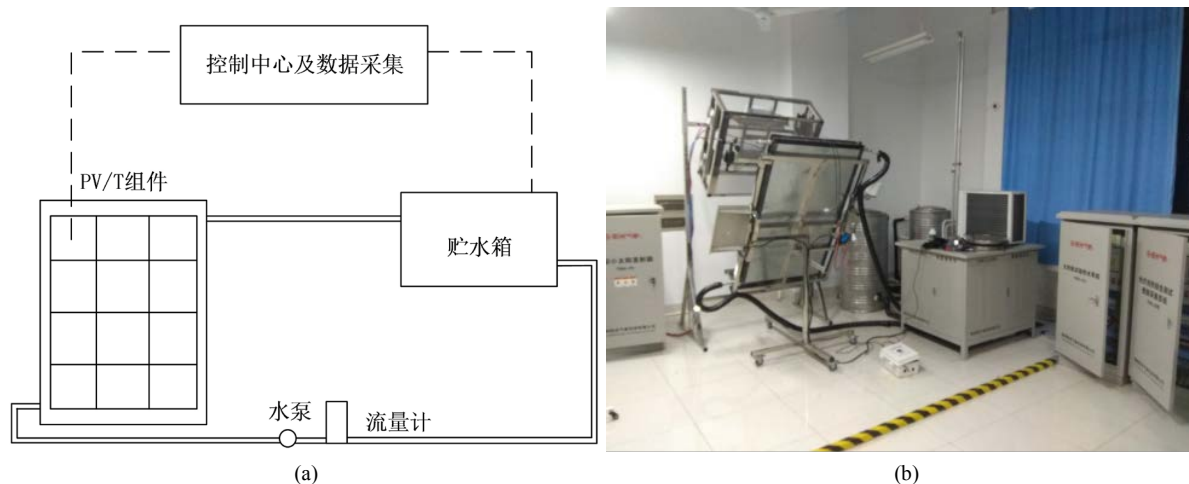


Figure 1. PV/T experiment platform. (a) Schematic of experiment; (b) Experimental site and equipment diagram

图 1. PV/T 测试实验平台。(a) 实验原理图；(b) 实验现场及设备图

流体温度高于 305 K。当流速增加到超过 0.15 ml/s, 因此可以不再提供电效率的提高。基于对集热铜管流道的压力降型泵的效率略有提高的速度比, 与流体的速度增加水的类型相比, 忽视而抑制流体湍流, 导致这个模拟光热效率略有降低, 从而提高了光伏转换效率, 有利于整体高品位能的开发利用。

结果表明: 在 0%~20%, 分别为 150, 175 和 200 kJ/kg 相变潜热和范围不同质量浓度的条件下, 水流出口温度与流速比和相变潜热的增速下滑, 因此热效率相应提高。水流的出口温度高于 303 K, 这表明相变潜热被释放。

3.3.2. 实验结果分析

实验期间, 风速设定 7 m/s, 环境温度 20℃左右。PV/T 组件中 PV 板两种工况下出水口温度、pv 温度、热效率、电效率、综合效率如图 3~图 6 所示。

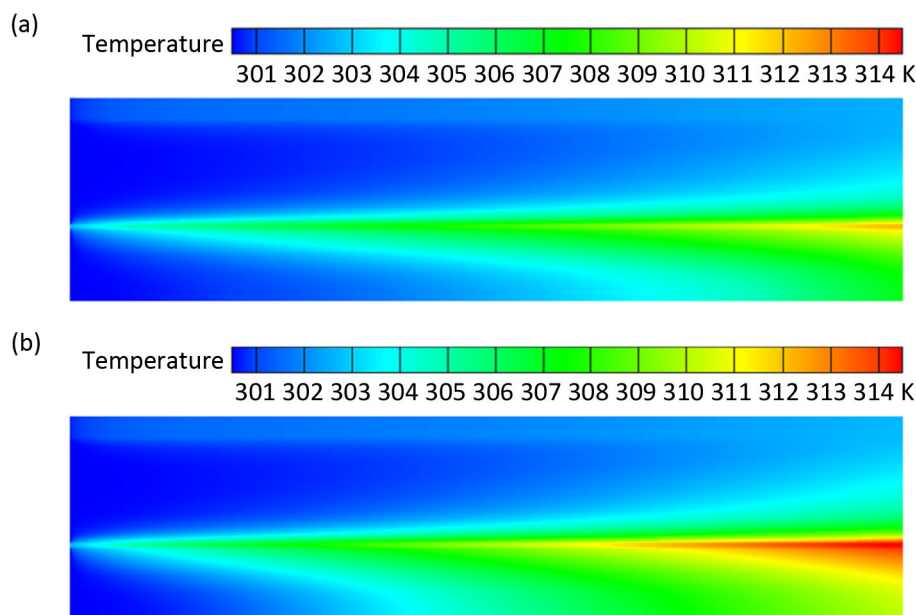


Figure 2. Comparative analysis of simulation results of PV/T components

图 2. PV/T 组件的仿真结果对比分析

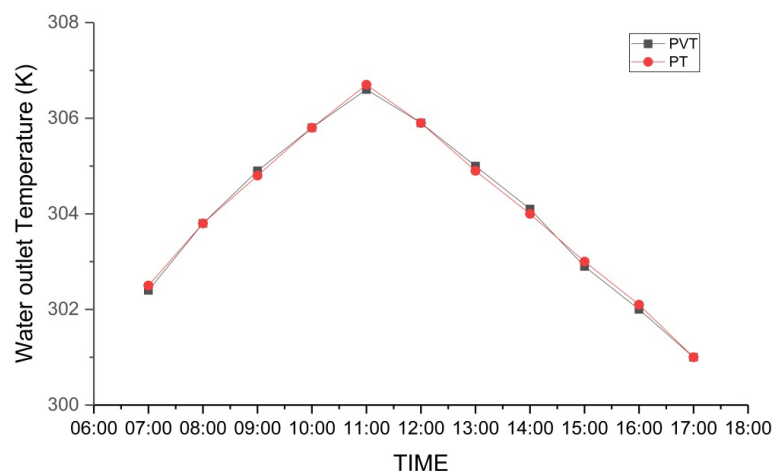


Figure 3. Water outlet temperature of PV/T for one day under normal working conditions

图 3. 正常工作条件下一天 PV/T 的出水口温度

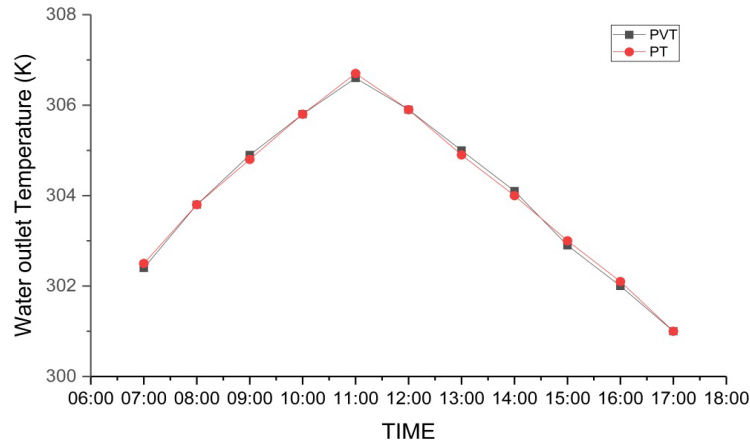


Figure 4. Average PV temperature of PV/T for one day under normal working conditions
图 4. 正常工作条件下一天 PV/T 的 PV 温度

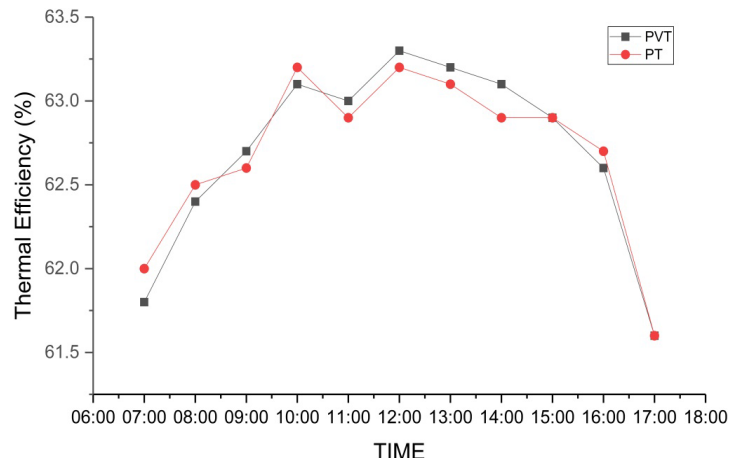


Figure 5. Thermal efficiency of PV/T for one day under normal working conditions
图 5. 正常工作条件下一天 PV/T 的热效率

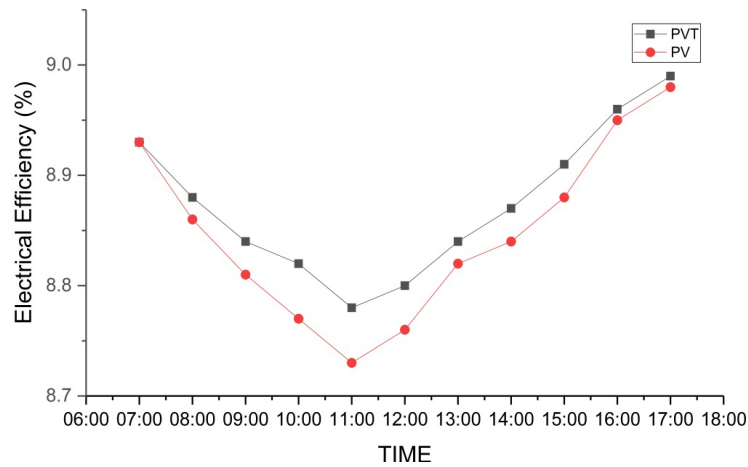


Figure 6. Electrical efficiency of PV/T for one day under normal working conditions
图 6. 正常工作条件下一天 PV/T 的电效率

基于上述模拟实验,以水为工质的面板式 PV/T 系统太阳能电池与流体的温差未超过 3℃,大部分时间保持在 2℃左右。与传统 PV/T 系统相比,平板式 PV/T 系统使工质与太阳能电池的温差更低。比较有效地解决了 PV/T 系统电输出和热输出矛盾的问题,有效提高了高品位能的转化和利用,适宜于推广开发。

3.4. 实验结论

通过实验,我们发现:在低流量条件下,对于平板式 PV/T 电效率相对高一点,当流体的流动经历了完整的相位变化与出口流体温度高于 305 K。当流速增加到超过 0.15 ml/s,因此可以不再提供电效率的提高。基于对集热铜管流道的压力降型泵的效率略有提高的速度比,与流体的速度增加水的类型相比,忽视而抑制流体湍流,导致这个模拟光热效率略有降低,从而提高了光伏转换效率,有利于整体高品位能的开发利用。以水为工质的面板式 PV/T 系统太阳能电池与流体的温差未超过 3℃,大部分时间保持在 2℃左右。与传统 PV/T 系统相比,平板式 PV/T 系统使工质与太阳能电池的温差更低。

4. 结束语

通过对三种传统冷却方式与新型冷却方式与发电效率进行比较及模拟仿真实验研究得知:在现在的科技水平下,自然循环对流冷却技术的成本较低,适合在大范围下取得商业成果;而强制循环冷却系统其降低的温度所节省的浪费很难超过自身所消耗的能量,但在延长光伏板的使用寿命方面也有不错的表现,所以使用时需要考虑电效率,热效率和净电效率等问题;而太阳能光伏光热(PV/T)冷却系统能将两大太阳能所转换得到的能量:热能和电能分别利用起来,而不是单纯的减少温度,能得到更高的太阳能利用效率。而在实验中所展示的新型太阳能光伏光电系统中,使用了平板式 PV/T 系统替代传统 PV/T 系统,能更有效地解决了 PV/T 系统电输出和热输出矛盾的问题,有效提高了高品位能的转化和利用,适宜于推广开发。

基金项目

本文得到上海市科委地方院校能力建设项目(编号 17090503500)资助;同时得到上海应用技术大学 2018 届毕业设计重点项目的资助。

参考文献

- [1] 穆志君, 关欣, 刘鹏. 太阳能光伏光热一体化系统运行实验研究[J]. 节能技术, 2009, 27(5): 447-448.
- [2] 季杰, 程洪波, 何伟, 等. 太阳能光伏光热一体化系统的实验研究[J]. 太阳能学报, 2005, 26(2): 170-173.
- [3] 赵春江, 崔容强. 太阳能建材技术的研究与开发[I]——光伏屋顶热性能的调查[J]. 太阳能学报, 2003, 24(3): 352-356.
- [4] 杨洪兴, 季杰. BIPV 对建筑墙体得热影响的研究[J]. 太阳能学报, 1999, 20(3): 270-273.
- [5] 黄护林. 光伏建材型太阳能电池板自然通风冷却的研究[J]. 太阳能学报, 2006, 3(3): 9-16.
- [6] 陆佳伟, 荆树春, 朱群志. 空冷型光伏光热一体化系统的实验研究[J]. 上海电力学院学报, 2012, 28(6): 529-531.
- [7] 常泽辉, 田瑞, 侯静. 太阳能电池光伏光热一体化系统的性能研究[J]. 电源技术, 2012, 36(5): 682-684.
- [8] 季杰, 程洪波, 何伟, 等. 太阳能光伏光热一体化系统的实验研究[J]. 太阳能学报, 2005, 26(2): 170-173.
- [9] Dunn, P.D. and Reay, D.A. (1994) Heatpipes. 4th Edition, New York.
- [10] Kbarzadeh, A. and Wadowskit (1996) Heatpipe-Based Cooling Systems for Photovoltaic Cell Sunder Concentrated Solar Radiation. *Applied Thermal Engineering*, 116, 81-87. [https://doi.org/10.1016/1359-4311\(95\)00012-3](https://doi.org/10.1016/1359-4311(95)00012-3)

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2328-0514, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aepe@hanspub.org