

太阳能电池降温提效技术的研究进展

马久明,李嘉怡,秦红,董丹

广东工业大学,广东 广州 510006

摘要:以硅太阳能电池组件为例,着重介绍了几种太阳能电池冷却技术的工作原理及研究进展,展望了电池冷却技术的发展趋势。

关键词:硅太阳能电池;温度特性;冷却技术;对比分析

中图分类号:TK514

文献标识码:A

光伏系统最核心的部件是太阳能电池.根据所用材料的不同,太阳能电池可分为:硅太阳能电池、多元化合物薄膜太阳能电池、聚合物多层修饰电极型太阳能电池、纳米晶太阳能电池及有机太阳能电池^[1].其中硅太阳能电池是目前发展最成熟的,在实际应用中居主导地位.在硅太阳能电池中,单晶硅太阳能电池的转换效率最高,技术也最为成熟,实验室里单晶硅太阳能电池的最高转换效率为24.7%^[2].但单晶硅太阳能电池的温度系数较大,其转换效率随工作温度的升高而线性下降.实验结果表明,电池温度每升高1℃,输出功率将降低0.4%~0.5%,而效率同比下降0.08%~0.1%^[3-4].因此,在太阳能电池工作时对其采取一定的冷却降温措施可明显提高电池的转换效率,特别是在高倍聚光光伏系统中,对电池的冷却甚至是不可或缺的.太阳能电池的效率分为固有效率和实际效率,固有效率是太阳能电池出厂时标定的效率,而在工程实际中,由于温度、环境因素及安装方式等原因,太阳能电池的实际转换效率一般达不到固有效率,对太阳能电池冷却是保证太阳能电池转换效率接近固有有效率的措施之一.

1 太阳能电池降温提效的方法

对太阳能电池进行冷却的途径一般是对其组件的

背板结构进行改造,并利用辅助动力源使冷却介质流经组件的正、反表面,通过对流换热或导热把热量带走,达到降低电池温度提高效率的目的.近几年来,也有学者提出利用分频设备,把太阳光中不能转化为电能的那部分能量在到达电池表面前分离走,从而降低太阳能电池的工作温度,达到提高效率的目的.

目前,按冷却介质,可把对太阳能电池组件的冷却分为空气冷却、液体冷却及制冷工质冷却.其中,液体冷却以水冷居多;制冷工质冷却有管板换热、热管技术冷却等;按组件或系统结构可分为分频冷却及微通道冷却等;按冷却介质与背板或冷却器作用的方式可分为液流冷却、射流冲击冷却及喷雾冷却等.

1.1 空气冷却

空气冷却是利用空气的流动,与电池背板进行热交换来降低电池温度的降温方法.2012年,H.G.Teo等人^[5]设计了一套太阳能电池组件主动式降温系统.系统中有一台直流风机和一台交流风机,直流风机向电池组件背部空气管道送风,交流风机控制向管道输送的空氣的流速和流量.另外,系统中带有一个最大功率点跟踪功能的控制器,以确保实时获取最大功率点.实验结果表明,组件的最大转换效率由无冷却措施时的8.6%,提高到有冷却措施时的12.5%.

1.2 水冷却

水冷却的原理与空气冷却相同,由于水的导热系数大于空气,所以在同等条件下水的冷却效果好于空气冷却。H. Bahaidarah 等人^[6]在2013年设计了一套在热带气候条件下的水冷式PV/T(光伏/热)联产系统。该系统由0.37 kW的水泵提供冷却水的循环动力,当水流经集热器时可带走部分热量。实验结果表明,在电能转换效率方面:无冷却时组件的平均温度37.8℃,一天中最大转换效率为15.8%;有冷却时组件的平均温度30.5℃,最大转换效率为18%。由此可见,采用水冷后,组件的平均温度降低了19.3%,全天的电能转换效率提高了9%;热能方面:在相同的工作条件下,PV/T系统全天输出功率的最大值为750 W,而PV系统的最大功率仅为190 W,PV/T系统输出的总功率约为PV系统的4倍,水冷却对提高系统总功率效果显著。

1.3 制冷工质冷却

热管是利用热传导和相变原理进行热量交换的机械元件,它通过在全封闭真空管内的液体的蒸发与凝结来传递热量,利用毛细作用等流体原理,起到类似冰箱压缩机制冷的效果,是一种高效传热元件^[7]。由于其具有很好的均温性能,配合制冷工质应用于太阳能电池的降温冷却,可取得良好的效果。2011年WU Shuangying等人^[8]将芯热管应用于太阳能电池的冷却,建立了一套光伏/热一体化系统。该系统将芯热管蒸发段与电池背板接触,与太阳能电池分别位于背板的两侧,缝隙处用高导热材料填充。一旦电池背板被加热,通过管壁及导热材料将热量传递给芯热管内部的制冷工质,工质受热蒸发变成气体,在管内压力的作用下,气体流向热管的冷凝段,达到降低太阳能电池温度的目的。带有翅片的冷凝段完全浸没在冷却水管中,一方面,通过冷却水的流动,将热管冷凝段内气体的潜热带走,升温后的冷却水还可做他用;另一方面,热管冷凝段内气体被冷却后液化变成液体,受重力及管壁上吸液芯的毛细力作用重新流回蒸发段,如此循环。实验结果表明,一天中电池温度在50.78℃以下,系统的热效率、电效率和火用效率最高可分别达到63.65%,8.45%和10.26%,并且整个电池背板的温度分布均匀,温度最高点与最低点处的温差不超过2.5℃。

1.4 射流冲击和微通道混合冷却

射流冲击冷却由于冷却工质在到达被冷却表面时具有较大的动量,在冲击区域可形成非常薄的边界层,因此,可以均匀地降温,并且在射流冲击点处的换热系数非常高,可以获得很低的热阻(通常只有 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6}$ K/W)。微通道冷却源于20世纪80年代高密度电子器件的冷却和90年代出现的微电子机械系统的散热问题。微通道冷却器的体积小,可以直接对毫米甚至微米级的热源进行冷却,这两项技术在太阳能电池上的冷却研究起步较晚,目前技术还不成熟。

2011年,Jerome Barrau等人^[9]对带有微通道和射流冲击冷却技术的冷却器在太阳能电池上的应用进行了研究。该混合型冷却器的工作原理是:水流以一定的流速从位于管道中间的进水口喷入微管道,并在管道内流动,与冷却器壁面进行对流换热,带走电池产生的热量。对单独的微通道冷却的换热效果与微通道和射流冲击混合冷却的换热效果进行了比较。结果表明,当水流的体积流量 $Q \leq 3.59 \times 10^{-4}$ m³/s时,微通道冷却效果优于混合冷却;当体积流量 $Q > 3.59 \times 10^{-4}$ m³/s时,混合冷却的效果较好。当聚光倍数 $C_s = 610$,接受面积为36 cm²时,微通道冷却方式输出的净功率 $P_{\text{net}} = 493.8$ W,混合冷却方式输出的净功率 $P_{\text{net}} = 494.1$ W,两种冷却方式的输出功率相差不大。

1.5 太阳光分频降温

在太阳能电池响应波段以外的太阳光谱的热辐射,不但不会增加电池的发电量,反而会使太阳能电池的温度升高,降低太阳能电池的光电转换效率。太阳光分频技术,是利用分频器把太阳光中适合太阳能电池发电的频段反射到电池表面进行发电,把不能使太阳能电池发电的频段导向到热接受器转化为热能,供生活用水或制冷。2009年,中国科学技术大学的江守利等人^[10]研制出了二次反射聚光分频系统。该系统由聚光镜、分频器、光伏电池及散热器、热接收器及控制系统等部分组成。对于硅太阳能电池而言,需将波长小于1.1 μm的太阳光谱段反射到光电池上用于发电,将其余的谱段透射到集热器上用于发热。实验结果表明,采用分频器将阳光进行分频利用,大大降低了太阳能电池的温度,使电池的光电转换效率提高了15.67%,系统的功率输出在温度不变,效

率近似不变的条件下提高了 93%。

2 各种冷却方法的对比

2.1 空气冷却

空气冷却分为主动式和被动式冷却,被动式空气冷却不需额外动力源,依靠与环境间的自然对流达到降温目的。主动式冷却需要消耗额外能量,以达到比被动式冷却更好的冷却效果。空气冷却适合于高纬度高海拔地区、中午气温相对不高,或用户对用电量无严格要求的地方。空气冷却系统结构相对简单,成本低,操作方便。但空气的换热系数较低,冷却效果有限,尤其在低纬度地区,且环境温度较高时,冷却效果较差。

2.2 水冷却

水冷却也有主动式和被动式之分,但都需要消耗额外的能量。在低纬度低海拔地区、全年气温在冰点以上的地区应用较多,系统结构简单,成本较低,且无噪音和污染,冷却效果较好。但受地域限制明显,不适用于冬季结冰的地区。

2.3 制冷工质冷却

制冷工质冷却系统中要有冷源,并需有泵和风机等动力设备以使制冷工质不断循环流动。这种冷却方式适用于对用电量要求较大,需持续稳定供电的地方。系统使用寿命长,冷却后电池背板温度梯度小,可以得到比环境和外界更低的温度,但换热器结构复杂,成本较高。

2.4 冲击射流冷却(喷雾冷却)

冲击射流冷却应用于电子设备的冷却较成熟,在光伏电池上的冷却还有待深入研究。该方法换热性能好、喷雾冷却温度分布均匀,但对喷嘴的设计要求高,介质的压力和流速决定了冷却效果,射流核心区的介质压力与流速较大,散热能力强,而远离射流核心区的散热效果较差。

2.5 微通道冷却

微通道冷却对冷却器材料的要求较高,所选材料要耐高压、防腐、导热性好,易于加工。近年来已有一些对其应用于光伏电池冷却方面的研究。单独的微通道冷却器,技术还不成熟,由于其温度梯度和压力损失较大,因此,泵或风机的功耗较大。

2.6 分频技术冷却

利用分频技术冷却的太阳电池,光电、光热能量转换效率高,综合产出比高,适用于城镇及人口密集的乡村地区。但该技术复杂,生产和维护成本高,二次反射抛物线槽式聚光分频系统存在反射损失大及聚光比难以提高等缺点。

3 太阳能电池降温提效技术的发展趋势

太阳能电池冷却技术的一个研究方向是对电池背板或冷却器的结构和材质进行改造和优化,如选用金属背板、微通道结构等,使冷却介质与被冷却表面能有效地进行换热,提高冷却效率;另一个研究方向是选用换热系数大的冷却介质以提高冷却效果。近年来,虽然不断有新的制作太阳能电池的材料被开发出来,但由于受转换效率及材料储量等原因的制约,硅太阳能电池在今后一段时间内仍将占主导地位,所以硅太阳能电池的冷却还将是研究的热点。因此,研制导热性能好的冷却器结构或选用导热系数大的材料作为太阳能电池背板以及选用成本低、换热性能好的冷却介质将是太阳能电池冷却技术的发展趋势。

近年来,聚光光伏(CPV)技术发展迅速,由于其较高的聚光比,增加了辐射密度,在保证输出功率的前提下,可有效地减小电池的面积。但较高的聚光比,在提高光照强度的同时,又会大幅度提高电池的温度,抵消了一部分能量的转换效率。所以对聚光光伏系统中的太阳能电池采取冷却措施是十分必要的。而单一的冷却技术有时不能满足冷却要求,两种或多种冷却技术混合使用将是聚光光伏在冷却技术方面发展的一种趋势。

参考文献:

- [1] 杨德仁. 太阳能电池材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [2] ZHAO Jianhua. Recent advances of high-efficiency single crystalline silicon solar cells in processing technologies and substrate materials[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2004, 82(5): 53-64.
- [3] 梁振南, 秦红, 沈辉. 背板材料对太阳能电池效率影响的实验研究[J]. 材料研究与应用, 2008, 2(4): 432-436.
- [4] 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(5): 445.

- [5] TEO H G. An active cooling system for photovoltaic modules[J]. *Applied Energy*, 2012, 90: 309-315.
- [6] BAHADARAH H. Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions[J]. *Energy*, 2013, 59: 445-453.
- [7] YANG X, YAN Y Y, MULLEN D. Recent developments of lightweight, high performance heat pipes [J]. *Applied Thermal Engineering* 2012, 33-34: 1-14.
- [8] WU Shuangying, ZHANG Qiaoling. A heat pipe photovoltaic/thermal(PV/T) hybrid system and its performance evaluation [J]. *Energy and Buildings*, 2011, 43: 3558-3567.
- [9] BARRAU J. Effect of a hybrid jet impingement/micro-channel cooling device on the performance of densely packed PV cells under high concentration [J]. *Solar Energy*, 2011, 85: 2655-2665.
- [10] 江守利,陈则韶,胡芑,等.半抛物槽式聚光分频光伏系统性能分析[J].*工程热物理学报*, 2009, 3(3): 365-369.

Research progress of solar cell cooling and improving efficiency technology

MA Jiuming, LI Jiayi, QIN Hong, DONG Dan

Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China

Abstract: As an example of silicon solar cell in this paper, their principles and research progress of several kinds of cooling technology were introduced. The future development trend of the battery cooling was proposed at the end of the article.

Key words: silicon solar cell; temperature characteristics; cooling technology; contrast analysis