



双面光伏组件与单轴跟踪相结合的光伏发电系统发电量研究

西安隆基清洁能源有限公司 ■ 肖志刚* 邬林勇 李栋 李志栋 罗黎英 陈晨

摘要: 对比分析了采用“最佳固定倾角+双面光伏组件”与采用“斜单轴跟踪+双面光伏组件”2种方案的光伏发电系统的理论发电量与实测发电量情况,结果表明,实测与理论较为吻合,“斜单轴跟踪+双面光伏组件”的方案具有一定的应用参考价值。

关键词: 单轴跟踪;斜单轴跟踪;光伏发电系统;双面光伏组件;最佳固定倾角;发电量

0 引言

近年来,光伏产业在国家政策的大力扶持及自身的技术进步下,得到了快速发展^[1]。2017年我国光伏总发电量已占到总电力的1.84%,为我国的沙漠治理及节能减排做出了巨大贡献。同时,由于光伏产业发展速度过快,导致国家的新能源补贴负担加重,光伏产业链的质量得不到充分保障。在此背景下,2018年5月31日,由国家发展和改革委员会牵头,推出了光伏产业政策调整通知,在国家补贴和项目审批方面进行了重大调整,加速了光伏产业平价上网的速度,由此,光伏产业面临巨大考验。

从国家政策的趋势及各电力之间的利益平衡来看,光伏产业的发展会经历3个具有明显特征的阶段:

1) 光伏产业的初始阶段。该阶段的特征在于国家政策的大力扶持,给予了光伏发电电量补贴,同时对光伏并网进行保障。在此背景下,光伏产业的发展较为快速,且随着各种光伏新技术不断涌现,光伏发电系统成本不断下降,从2008年

的约30元/W降至目前的约5.5元/W。

2) 光伏平价上网阶段。此阶段的特征在于国家对光伏并网进行保障,但不再给予电量补贴,自从“531”政策出台后,光伏产业开始迈入此阶段。

3) “光伏+储能”应用阶段。此阶段光伏能源形态将替代其他大多数能源形态。当然,此过程还有较长的路要走,如何获得超高性价比的储能系统是该阶段的核心问题。

当前,光伏产业处于第1阶段至第2阶段的产业拐点,是阵痛期,在此期间,光伏发电系统的性价比还不足以支撑光伏产业实现平价上网。实现平价上网有2条平行的技术路线可走:第1条技术路线是降低光伏发电系统各环节的成本,如光伏组件、光伏支架、光伏逆变器等,若要在产业中生存,就必须进行持续不断的技术创新,以降低成本,适应平价上网时代;第2条技术路线是在光伏发电系统的集成水平上进行持续不断的优化研究,推动光伏技术进步,在同等成本条件下,有效提高系统的发电量,从而适应平价

收稿日期:2018-10-29

通信作者:肖志刚(1974—),男,教授、博士,主要从事光伏集成方面的研究。10401034@qq.com

上网时代。针对第2条技术路线,可以从两方面进行光伏发电系统集成优化:一是使光伏组件接收的辐射量最大;二是光能转换为电能后,如何高效地传输到电网,即电性能的匹配问题。本文主要探讨如何使光伏组件获得最大的辐射量。

单面光伏组件只有一面能接收太阳辐射,组件的发电效率受限;而双面光伏组件双面受光,组件的效率不断得到提高,其双面因子可达0.8以上,将是大趋势。在此背景下,研究如何更好地发挥双面光伏组件的优势具有重要意义。当采用固定安装方式时,双面光伏组件与单面光伏组件相比可获得一定比例的发电效率提升,但这仅是利用了组件背面的北向辐射;若双面光伏组件与跟踪系统结合,在充分利用北向辐射的同时还可有效利用东西向辐射。对于跟踪系统而言,单轴跟踪系统的性价比较高,而斜单轴跟踪为单轴跟踪的主要形式之一。因此,本文对双面光伏组件分别与斜单轴跟踪及最佳固定倾角相结合的方式进行了分析。

1 双面光伏组件分别与斜单轴跟踪及最佳固定倾角相结合的理论发电量分析

双面光伏组件与单轴跟踪相结合后,在南北方向通过计算确定一个倾角,在东西方向以天文方式进行太阳跟踪^[2]。组件受光面上的太阳辐射量包括太阳直射辐射量、天空散射辐射量及太阳直射与天空散射共同反射到倾斜面的部分。

倾斜面上的总辐射量 H 可用式(1)进行计算^[3-6]:

$$H = H_b \frac{\cos(\varphi - \theta) \cos \delta \sin \omega_{ss} + \frac{\pi}{180} \omega_{ss} \sin(\varphi - \theta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \varphi \sin \delta} + H_d \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} \right) + (H_b + H_d) \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} \right) \rho \quad (1)$$

式中, H_b 和 H_d 分别为水平面上的直接辐射量和散射辐射量,可从当地气象部门获得; φ 为当地的地理纬度; θ 为倾斜面的倾斜角度; δ 为太阳赤纬角,一年中的任一天可看作是定值; ρ

为地面反射率; ω_{ss} 和 ω_s 分别为水平面与倾斜面上的日落时角。

从以上模型可以看出,对于某一确定地点,在任一时刻,组件倾斜面上的辐射量是可以确定的:在某一时刻,根据天文跟踪方式的特点可确定各受光面的参数,由式(1)可以确定在该时刻的辐射量,然后对时间进行积分则可得到一段时间内目标面上的总辐射量,再根据双面光伏组件的转换效率及双面因子等参数计算出组件的发电量。

以哈密地区为例,对采用最佳固定倾角 40° 及南北方向倾角 12° 的斜单轴跟踪分别与双面光伏组件结合的方案进行研究,分析2种方案的发电量情况。

针对哈密地区的气象数据及相关参数,假设装机容量均为51.12 kW的光伏发电系统的转换效率为0.8,可计算出“斜单轴跟踪+双面光伏组件”光伏发电系统的发电量与“最佳固定倾角+双面光伏组件”光伏发电系统的发电量,二者的发电量曲线如图1所示。图2为“双面光伏组件+斜单轴跟踪”比“最佳固定倾角+双面光伏组件”方案各月发电量提高的比例情况。

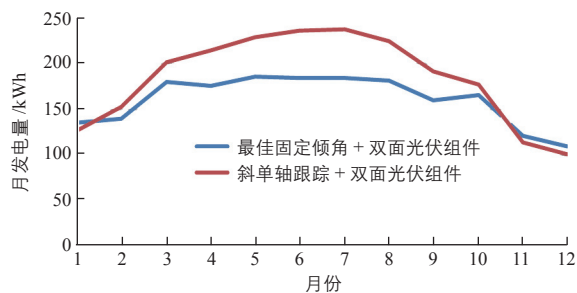


图1 “斜单轴跟踪+双面光伏组件”方案与“最佳固定倾角+双面光伏组件”方案的发电量曲线

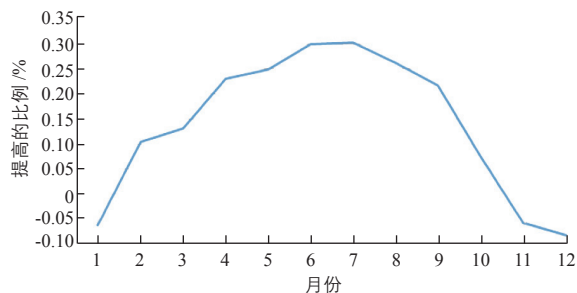
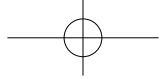


图2 “斜单轴跟踪+双面光伏组件”比“最佳固定倾角+双面光伏组件”各月发电量提高的比例曲线



从图 1 和图 2 中可以看出,“斜单轴跟踪+双面光伏组件”方案的发电量,除 1 月、11 月、12 月略低于“最佳固定倾角+双面光伏组件”方案外,其他月份显著较高,呈现冬季较低而夏季较高的趋势,这与太阳辐射的季节性特点相符。夏季,太阳的高度角较小,采用“斜单轴跟踪+双面光伏组件”的形式可以获得较好的匹配,所以发电量提高比例较大;而冬季,太阳的高度角较大,此时南北方向倾角 12° 的跟踪支架与双面光伏组件的匹配效果会差很多,因此获得的发电量提高比例较小,甚至在有些月份会低于最佳固定倾角的安装方式。但从全年来看,在综合考虑支架成本后发现,“斜单轴跟踪+双面光伏组件”是性价比较高的一种方案。该方案全年的发电量理论上比“最佳固定倾角+双面光伏组件”方案提高约 15%,是值得期待的。

2 实证方案

以位于日照条件良好的哈密柳树泉某光伏电站为例进行实地验证。组件采用隆基 PERC 高效双面单晶硅光伏组件,双面因子为 0.767,功率为 355 W;支架分别采用南北方向倾角 12° 、东西方向倾角采用天文跟踪方式的斜单轴跟踪形式,以及 40° 最佳固定倾角形式;各个阵列分别单独接入 8 kW 的华为逆变器。该电站从 2018 年 3 月 13 日开始运行,数据采集至 6 月 13 日,共 3 个月。



图 3 实证电站实景图

3 实证结果及分析

图 4 为 3 个月内装机容量均为 51.12 kW 的斜单轴跟踪阵列与最佳固定倾角阵列的理论发电量及实测发电量对比。

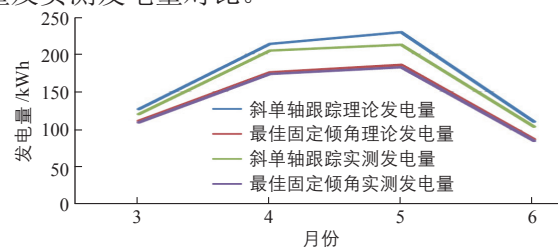


图 4 3 个月内斜单轴跟踪阵列与最佳固定倾角阵列的理论发电量及实测发电量对比

从图 4 可以看出,在 3 月 13 日~6 月 13 日的实测时间段内,最佳固定倾角阵列的理论发电量与实测发电量较为吻合,这主要是由于水平面太阳辐射强度取 20 年的平均值,同时固定支架形式受可变因素影响较小。而斜单轴跟踪阵列的实测发电量则明显比理论值低约 5%,这是由于跟踪支架的跟踪曲线无法与天文跟踪方式完全匹配,导致实测发电量会较大幅度的低于理论发电量。

图 5 为 3 个月内斜单轴跟踪阵列比最佳固定倾角阵列的理论发电量提高的比例及二者实测发电量提高的比例情况。

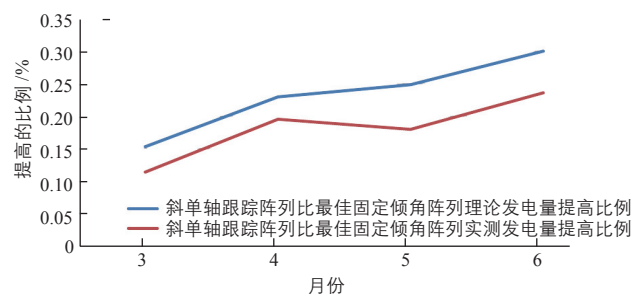


图 5 3 个月内斜单轴跟踪阵列比最佳固定倾角阵列的理论发电量提高比例及实测发电量提高比例情况

从图 5 中可以看出,整体来看,理论值与实测值在误差范围内,较为符合。在实测的 3 个月内,斜单轴跟踪阵列发电量可获得约 18% 的提高,全年预计会有约 15% 的提高。

4 结论

本文对采用“最佳固定倾角+双面(转第 53 页)