



光伏发电效率影响因素分析

尤海侠

(北京京能清洁能源电力股份有限公司华南分公司,广东 湛江 524000)

[摘 要] 随着光伏产业技术的不断进步以及光伏发电具有环保、建设周期短等优势,我国光伏发电得到了快速发展。但光伏发电仍存在发电成本高、发电效率偏低等问题,尤其对于平价光伏项目,发电效率是影响项目经济性的重要因素。本文对影响光伏发电系统效率因素进行了简要分析,并在项目选址、设备选型、项目倾角等设计方面,提出了提升发电效率的策略,以增强光伏项目竞争性。

[关键词] 光伏发电;效率;影响因素

[中图分类号] TM615.2 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1672-9943(2022)06-0147-03

0 引 言

2005 年我国颁布可再生能源法,将可再生能源开发利用列为能源发展的优先区域,通过制定发展规划、产业指导和技术支持,以及鼓励和支持可再生能源并网发电,制定价格管理和费用分摊机制等,鼓励各经济主体参与可再生能源开发、利用。国家相继出台了 12 个配套法规,可再生能源发展开始提速。2013 年国务院发布《关于促进光伏产业健康发展的若干意见》^[1],进一步从价格、补贴、税收、并网等多个层面明确了光伏发电的政策框架,地方政府相继制定了支持光伏发电应用的政策措施。2016 年国家能源局印发“太阳能发展‘十三五’规划”,提出“光伏+”“领跑者”计划、光伏扶贫等多种方式,以及创新融资模式和金融服务、建立太阳能发电发电优先上网和全额保障性收购等一系列保障措施,实现太阳能产业技术进步和产业升级^[2]。自 2011 年初至 2019 年末,我国太阳能发电装机容量由 212 万 kW 增长到 25 300 万 kW,增长了 119 倍,发电量增长了 405 倍。为实现“3060”碳达峰、碳中和目标,我国持续推进能源低碳转型,建立碳排放权交易市场。2021 年 6 月,我国在全国范围内组织开展整县(市、区)推进屋顶分布式光伏开发试点工作,然而近期国内硅料价格不断上涨,对我国平价光伏项目投资建设造成较大影响,对光伏项目经济效益提出了更大挑战,因此提升发电效率,增强竞争性,是实现高质量、可持续发展的关键因素。

1 光伏发电系统效率影响因素分析

光伏发电系统由光伏阵列和其他电气设备组

成,光伏阵列是由数个太阳能电池串并联组成。其中并网型光伏发电系统主要包括太阳辐射、光电转换、汇流、逆变、升压等环节^[3]。

1.1 光伏电站地理位置

达到地面的太阳辐射主要受到当地太阳高度、天气状况、海拔高度、日照时长因素影响,在选择光伏电站地理位置时,通过太阳辐射观测数据并结合以上因素分析来确定。在一定区域内,太阳能资源变化较为稳定,且规律性较强。在正常情况下可有效判断辐射水平的范围。国家标准 GB/37526-2019《太阳能资源评估方法》以年水平面总辐照量为指标,将我国太阳能资源丰富程度划分为 4 个等级,分别为:年水平面总辐照量(GHR) $\geq 6\ 300\text{ MJ/m}^2$,为最丰富等级; $5\ 040\text{ MJ/m}^2 \leq$ 年水平面总辐照量(GHR) $< 6\ 300\text{ MJ/m}^2$,为很丰富等级; $3\ 780\text{ MJ/m}^2 \leq$ 年水平面总辐照量(GHR) $< 5\ 040\text{ MJ/m}^2$,为丰富等级;年水平面总辐照量(GHR) $< 3\ 780\text{ MJ/m}^2$,为一般等级。因此相同情况下,在总辐射量较优的地区选址,光伏电站整体发电量会更高。

1.2 太阳辐射

在太阳能电池组件转换效率一定的情况下,组件接收太阳辐射量是发电效率的主要因素。组件表面太阳辐射量 H_T 包括直射辐射 H_{bt} 、散射辐射 H_{dt} 以及地面反射辐射 H_n 3 个部分^[4]。

$$H_T = H_{bt} + H_{dt} + H_n \quad (1)$$

假设方位角为 0° (正南方向),分别计算直射辐射 H_{bt} 、散射辐射 H_{dt} 以及地面反射辐射 H_n 。

(1) 直接辐射量 H_{bt} 计算公式为:

$$H_{bt} = H_b \times R_b \quad (2)$$

式中: H_b 表示水平面上的直射辐射量; R_b 表示直射辐射的倾斜因子。

其中:

$$R_b = \left[\cos(\varphi - \beta) \times \cos\delta \times \sin\varpi_{sT} + \frac{\pi}{180} \times \varpi_{sT} \times \sin(\varphi - \beta) \times \sin\delta \right] \div \left[\cos\varphi \times \cos\delta \times \sin\varpi_s + \frac{\pi}{180} \times \varpi_s \times \sin\varphi \times \sin\delta \right] \quad (3)$$

式中: φ 表示当地纬度; β 表示光伏组件倾角; δ 表示太阳赤纬角; ϖ_{sT} 表示倾角面上日落时角; ϖ_s 表示水平面上日落时角。

(2)根据 Hay 提出的各向异性天空辐射模型, 散射辐照量 H_d 计算公式为:

$$H_d = H_d \left[\frac{H - H_d}{H_0} R_b + \frac{(1 + \cos\beta)}{2} \left(1 - \frac{H - H_d}{H_0} \right) \right] \quad (4)$$

式中: H 表示水平面的总辐射量, 可通过气象数据取得, 且 $H = H_b + H_d$; H_d 表示水平面上的散射辐射量; H_b 表示水平面上的直射辐射量; H_0 表示大气层外书平面上总辐射量。

(3)地面反射辐射 H_n 计算公式为:

$$H_n = \frac{H\rho(1 - \cos\beta)}{2} \quad (5)$$

式中: ρ 为反射率, 根据组件下方不同地表反射率不同, 干燥地面上的反射率一般取值 0.2; β 为光伏组件的倾角。

(4)组件表面太阳辐射量最终计算公式:

把式(2)~(5)代入式(1)得:

$$H_T = \left[\frac{H - H_d}{H_0} R_b + \frac{(1 - \cos\beta)}{2} \left(1 - \frac{H - H_d}{H_0} \right) + \frac{\rho H (1 - \cos\beta)}{2} \right] \quad (6)$$

由式(6)可以看出, 组件倾角直接影响光伏组件表面太阳辐射量 H_T 。对于固定倾角光伏阵列, 光伏组件倾斜面上全年接收辐射量最大时的倾角即为最佳安装倾角^[5]。因此合理计算、设计组件倾角, 可提高组件接收太阳辐射量。

1.3 组件间距

组件间距过小, 组件间产生相互遮挡, 影响发电效率; 阵列间距过大, 会增大阵列占地面积, 增加用地成本。因此组件安装间距需适当。间距固定时, 不同安装倾角会产生不同程度的遮挡, 组件倾角越大, 遮挡产生的阴影面积越大, 对组件发电效率影响越大。组件光伏阵列布置间距应保证全年每天真太阳时 9:00~15:00 期间内四周互不遮挡。

1.4 阴影遮挡

在光伏系统运行工作过程中, 组件周边树木、建筑和空气颗粒物、积雪、灰尘、鸟粪等都会对光伏组件产生局部遮挡, 甚至会使光伏阵列处于失配运行状态, 大幅降低输出功率。其中积灰遮挡会减少组件接收太阳辐射的有效面积。一是减少太阳辐射的透过率; 二是在一定程度上改变入射光线角度, 使得光线在光伏组件玻璃盖板中不均匀传播, 大幅减少光伏板输出功率。研究表明, 组件阴影比例在 2%~3% 时, 光伏发电系统发电效率将下降 20%^[6]。另外, 光伏面板积灰或鸟粪等物质长时间日照后, 遮挡区域温度会大幅升高进而发生热斑效应。热斑的产生可能损坏整个光伏组件。

1.5 设备选型因素

光伏电站是集光伏组件、逆变器、汇流箱、升压变设备和连接线缆等多种设备的综合系统, 因此应结合当地气候和系统整体设计, 优化设备选型, 确保设备安全、高效、经济。

(1)光伏组件。太阳能电池质量和材料很大程度影响光伏组件的特性, 包括组件开路电压、短路电流、最大工作点电流、最小工作点电流、电流温度变化系数, 以及电压温度变化系数和电压光照变化系数。这些均会直接影响光伏组件转换效率^[7]。太阳能电池分为硅料电池、半导体电池、纳米晶体材料电池等。其中非晶硅太阳能电池具有稳定性较差、衰减较快、占地面积大等缺点, 硅料太阳能电池具有生产工艺成熟、使用寿命长等优点。目前, 硅料电池产量已经占世界太阳能电池生产总量的 90%, 其中单晶硅材料电池转换效率在 16%~24%, 多晶硅材料电池转换效率在 14%~19%。制造成本方面, 多晶硅太阳能电池比单晶硅略低一些, 单晶硅电池寿命比多晶硅电池寿命长。因此, 从转换效率和使用寿命等方面考虑, 单晶硅太阳能电池较好。影响光伏发电系统效率的除自然因素和组件外, 还包括逆变器、变压器、线路的损耗等。

(2)逆变器选择。逆变器的电压和容量需与光伏组串数量相匹配, 如组串数量太小, 逆变器长时间处于低功率和低效率运行状态; 如逆变器输入电压和容量太小, 在太阳辐射量和气候良好的情况下, 会发生组串开路电压超过逆变器工作电压上限, 发生一定程度的电量损失; 同时可能发生发电系统内自弃光现象。

(3)线损、变压器损耗。光伏发电系统内各环节均需使用电缆进行电能输送, 在传输过程中必然存在线路损耗。对于大型光伏发电系统, 交流电能并

网前通过变压器升压,同样产生电能损耗,损耗率一般在 1.5%左右。

2 提高发电效率的策略

2.1 科学选址

通过太阳能辐照数据和风速、雨水、积雪等气候条件,结合周边建筑物、树木等环境,选择日照较丰富、利用价值高的站址,尽量增加接收太阳辐射量,提升发电效率。

2.2 合理设计和布局

在光伏电站设计阶段,根据站址所在地的太阳能资源情况合理估算辐射强度,考虑电站系统设计、方阵布置和环境条件等各种因素后选取最佳倾角。光伏组件最佳安装倾角随着地区和季节等因素的不同而变化。固定倾角光伏阵列安装后倾角不再改变,如设计安装跟踪系统,即通过支架系统的旋转,跟踪太阳入射方向,使光伏方阵受光面接收尽量多的太阳辐照量,可大大提高光伏系统发电效率,实现增加发电量的目的。实时跟踪系统建设成本较高、运行维护频繁、日常维护成本高。因此,可以对固定倾角、多种周期倾角调整等方案进行比选,综合考虑辐射情况、发电量增加及成本投入等因素,对各方案进行经济效益评估比选,确定最佳调整倾角周期和组件间距最优值,在提高发电量的同时提升经济效益。

2.3 优选设备

结合项目设计和环境,严格选择电源设备类型、选用优质的组件、逆变器、电缆等,确保设备具有高转换率、高安全性和低损耗等特性。一是根据装机容量大小选定额定容量适宜的逆变器,减少设备数量,可降低维护成本、减少逆变损耗。二是目前太阳能组件单个容量逐渐增大,投入商用的单个组件容量已经达到 450 W,选用大功率组件既可减少阵列数量、减少占地面积,也能减少汇流箱和线缆数量,降低生产期维护费用;同时可增强单个阵列发电效率,提升光伏阵列发电的稳定性。

2.4 强化施工管控

项目施工建设是将光伏电站设计全面实施的过程,因此项目施工全方位管控是影响项目整体效率的关键节点。为确保项目发电效率达到设计要求,在施工过程中应进行规范化管理和监督,合理选择施工工艺,严格按照光伏电站建设规范开展施工,设备安装正确、精细,避免安全隐患、提高施工

质量、保障整体输出功率。

2.5 强化运维管理

一是积灰、积雪等会影响直接辐射量和散射辐射量,同时长时间积累会因空气湿度增加黏粘性而难以清除;二是长时间积累、密度过大会造成组件透光率下降,输出电流降低,进而影响发电效率。因此应结合站址气候进行清洗实验,对积雪覆盖组件时长、光伏组件表面灰尘积累量等进行定量对比,分析其对组件的影响,合理制定清洗、除雪方案,及时清洗光伏组件。定期进行设备巡视和维护、及时排除设备隐性故障,提高设备故障处理效率,尽量减少电量损失。

3 结 论

文章对光伏电站发电效率影响因素进行了分析,并针对性地提出了相关建议。在并网光伏发电系统设计和维护过程中,应综合考虑站址区域太阳能资源情况、气候、环境条件等因素及其影响。在设备选型、组件倾角和间距取值,以及施工建设、运行维护等方面,通过充分利用自然资源、科学选址,整合技术方案、优化设计、优选设备,强化施工管理和运维管理等措施的实施,提升发电系统稳定性和可靠性,提高光伏系统实际发电效率,增加其生产运营期发电量,提升光伏电站经济效益和经济性,同时为光伏发电持续、稳定发展提供坚实基础。

[参考文献]

- [1] 国务院. 国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见[J]. 门窗,2013(9):49-51.
- [2] 国家能源局. 太阳能发展“十三五”规划[J]. 太阳能,2016(12):5-14.
- [3] 柴亚盼. 光伏发电系统发电效率研究[D]. 北京:北京交通大学,2014.
- [4] 王东娇. 太阳能光伏发电控制技术研究[D]. 太原:中北大学,2010.
- [5] 成驰,陈正洪,孙朋杰. 光伏阵列最佳倾角计算方法的进展[J]. 气象科技进展,2017(4):60-65.
- [6] 郭泉. 光伏组件发电效率影响因子的优化研究[D]. 呼和浩特:内蒙古工业大学,2015.
- [7] 赵昕宇. 风光互补发电潜力分析与系统优化设计研究[D]. 郑州:河南农业大学,2014.

[作者简介]

尤海侠(1987-),女,工程师,硕士,毕业于东北电力大学技术经济及管理专业,长期从事太阳能发电项目生产经营管理工作。
[收稿日期:2022-07-04]