

光伏智能清洗机器人在光伏电站中的应用与分析

文/王学友¹ 周振华²

1. 中国能源建设集团南京线路器材有限公司; 2. 中能建江苏能源科技有限公司

以自主研发的光伏智能清洗机器人在自有光伏电站的应用为例,研究人工清洁和机器人清洁两种运维方式对光伏电站的发电效率、经济收益、运维安全性和智能化程度等的影响,并用实际数据加以论证。研究表明,光伏智能清洗机器人具有较高的推广应用价值。

《“十四五”可再生能源发展规划》明确提出要大力加快发展可再生能源。截至2022年年底,我国光伏累计并网容量达到3.92亿kW,光伏新增装机量、累计装机量连续多年位居全球首位。大规模光伏电站的运维业务量是巨大的,传统的人工运维模式不仅人工成本高、人员需求量大,还存在安全隐患。光伏智能清洗机器人广泛用于光伏电站中,光伏组件的清洗,解决了光伏电站的运维难题。智能清洗机器人依靠自带的独立供电系统为蓄电池进行充电,从而获得电能,它能够被远程控制和监测,也能够定时起动工作。突出的优点是工作时无需人员值守,能够全天候、全时段、全自动地完成组件清扫工作,极大降低了人员作业风险,提高了光伏组件清扫的质量。

本文以自有光伏电站的运营为例,从光伏电站的运维方式、发电量、经济性、安全性及智能化等多方面对人工运维和机器人运维进行比较分析。对光伏电站运维方式的选择和智能化运维的推广都具有积极意义。

运维方式

在光伏电站的全生命周期里,光伏电站生产运行与维修管理的好坏直接决定投资者的收益率,提

高效率 and 降低成本始终是运维人员的目标。一般光伏电站的设计寿命为25年。在光伏电站长期运行过程中,随着光伏板表面积累灰尘等颗粒物,易导致光伏板的传热受阻,成为光伏组件的隔热层,影响其散热。光伏组件在长期阳光照射下,被遮盖的部分升温速度远大于未被遮盖部分,致使温度过高出现烧坏的暗斑,长期被遮挡的电池片导致热斑效应,严重降低发电量,增大火灾隐患。光伏组件的定期清洗尤为重要,现阶段光伏组件的清洁方式有人工清洁和机器人清洁,两种清洁方式比较见表1。

表1 光伏板人工清洁与机器人清洁对比

序号	内容	人工清洁方式	机器人清洁方式
1	方式	人工	智能设备
2	频次	一般每年4次	每天或可设置频次
3	安全性	高空作业、带电作业,有风险	安全性高

电站发电量

发电量是光伏电站经营效率最直接的指标,通常电站建设前都会经过测算来确定发电量指标。电站投入运营后,光伏板表面的清洁度对发电量有直接影响。本文以自主研发的光伏智能清洗机器人(见图1)应用在自有5.95 MW光伏电站为例,对不同运维方式下发电量的提升效率进行说明。

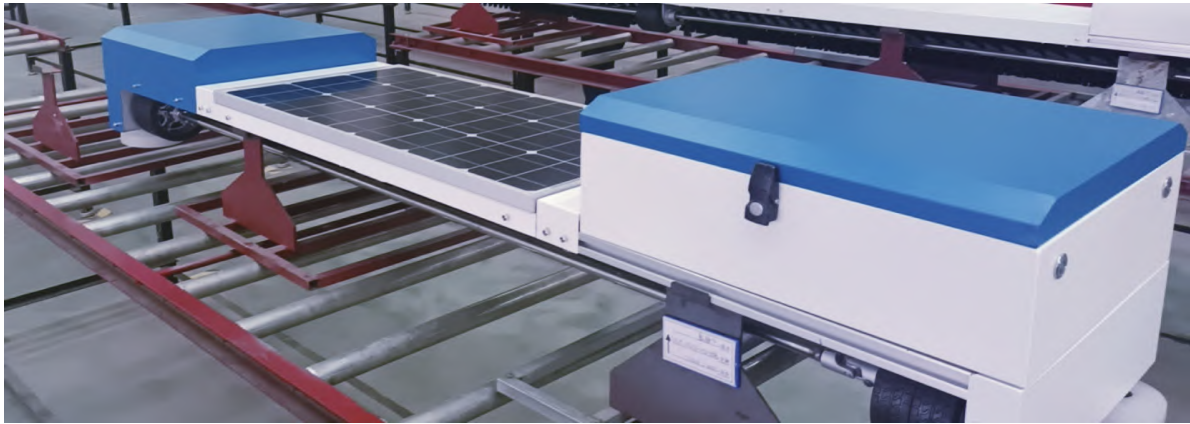


图1 自主研制的光伏智能清洗机器人

项目位于湖南省长沙市浏阳市，装机容量为5.95 MW，系统发电效率和修正系数见表2。

表2 系统效率估算修正系数表

序号	效率损失项目	修正系数 (%)	系统效率 (%)
1	建筑阴影损失	99.5	81
2	灰尘及雨水遮挡损失	96	
3	温度损失	96	
4	组件串并联不匹配损失	99	
5	并网逆变器效率损失	98	
6	变压器效率损失	98	
7	交直流电缆线损	97	
8	其他损失	96	

本工程水平面全年日照辐射总量约1 191.11 kW·h/m²，折合标准日照条件（1 000 W/m²）下日照峰值小时数为1 191.11 h，预期25年的总发电量约为13 187.91万kW·h，年平均发电量为527.52万kW·h，年等效利用小时数为872.5 h。以安装光伏智能清洗机器人前后各两年的电站总发电量进行比较分析，具体见表3。

因人工清洁费用比较高，一般一个季度清洗1次。但根据现场研究发现，清洗后一周左右光伏组件表面就会形成积灰。由表3可以看出，2020年总发电量比2019年下降近6.8%，比可研发量少7.25%；2021年安装光伏智能清洗机器人后，发电

表3 安装光伏智能清洗机器人前后发电量数据表

发电年份	可研发电量 / (万kW·h)	当年发电量 / (万kW·h)	组件清洁方式
2019年 (安装前两年)	527.82	521.22	1年4次，人工清洁
2020年 (安装前一年)	523.68	485.67	1年4次，人工清洁
2021年 (安装后一年)	519.54	514.81	每天定时清洁
2022年 (安装后两年)	515.40	512.38	每天定时清洁

量有了大幅度提升，与可研发电量比较接近。因此，人工清洁方式由于费用较高不能多次进行组件清洁，对电站发电效率影响较大，而光伏智能清洗机器人能够每天定时清洁，还能随时清洁，大大提高了发电效率。

经济性

选择两组工况相同（朝向、安装方式、屋顶坡度）和组件数量相同（每个阵列组件数量均为132块295型组件）的组件阵列A和B阵列，如图2所示。A阵列采用一个季度清洁1次的人工清洁方式，B阵列采用光伏智能清洗机器人每天定时清洁，进行了为期5个月的发电量数据监测（见表4），从而进行经济性测算。

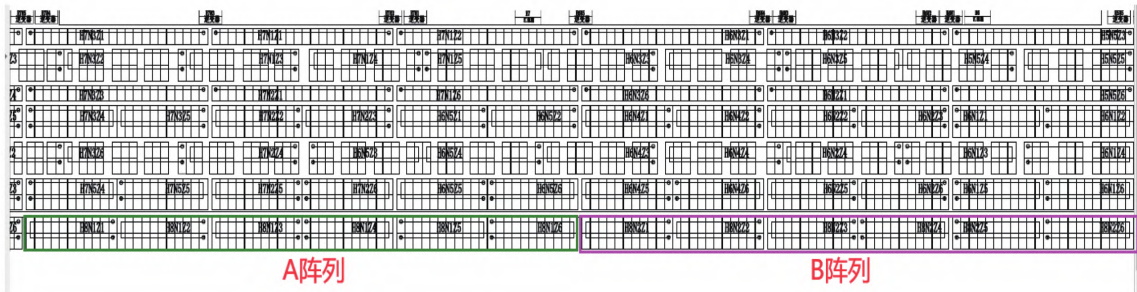


图2 工况相同的两个组件阵列

表4 2023年2—6月发电量

(单位: kW·h)

阵列	清洁方式	串口	2月	3月	4月	5月	6月
A	人工	COM3-81	4 629.63	7 542.88	8 603.13	9 138.54	8 232.54
B	机器人	COM3-82	4 820.85	8 052.32	9 206.34	9 668.74	8 684.06
提升效率 (%)			3.97	6.33	6.55	5.48	5.20

由表4可知, B阵列安装光伏智能清洗机器人后5个月, 提升效率为3.97%~6.55%, 平均提升发电效率为5.51%。按照年平均发电量527.52万kW·h核算, 安装光伏智能清洗机器人后经济性指标的提升见表5。

表5 年均收益测算

年均发电量 / (万kW·h)	平均提升效率 (%)	年均增发电量 / (万kW·h)	度电收益 / (kW·h/元)	收益 / 万元
527.52	5.51	29.04	1.02	29.62

根据表4和表5可知, 采用机器人比人工清洁的年均收益可增加29.62万元。

安全性

安全性主要考虑两方面: 一是组件安全性; 二是人员安全性。首先, 人工清洁特别是屋顶分布式光伏项目, 常有作业人员踩踏光伏组件情况发生, 容易导致组件损坏。而光伏智能清洗机器人是根据设定的程序沿固定轨迹运行, 不会出现损坏光伏组件的问题。其次, 人工清洁需要考虑带电作业、高空作业以及人的不稳定因素等安全问题, 增加安全

措施、安全培训和安全管理等成本, 以确保施工过程中的安全性。

智能化

人工清洁受成本的制约和人为主观因素的影响, 光伏组件清洁次数受到限制, 对发电量的影响是比较深远的。光伏智能清洗机器人具有简单、高效和智能的特点, 可以远程管理, 随时掌握设备运行状态, 根据需求设定工作时间和清洁频率, 使光伏组件的清洁更加智能化、合理化, 从而保证光伏组件以最佳状态发电, 同时还能延长光伏组件的使用寿命。

结束语

本文以自主研发的光伏智能清洗机器人在自有光伏电站和运维中的应用为例, 通过在不同运维方式下光伏电站的发电量、经济性、安全性和智能化等多方面数据的比较和论述, 证明光伏智能清洗机器人在光伏电站的运维中具有较高的推广价值。EA

