

[智能清扫机器人]

智能清扫机器人在星火水面光伏的应用

文/李蒙
中国石油集团电能有限公司

以往清洗光伏组件是用人工的方式清洗，例如用高压水枪、软毛刷和棉拖把等，这种方法虽然简单，但是费时费力，遇到特殊地段的光伏场站，清洗效率更低。电力技术服务公司通过技术分析，并和设备厂家结合，利用智能机器人对光伏组件进行清洗，减少了运维成本，同时大大提高了光伏组件的清洗效率，也提高了发电量。

光伏电站安装完成后，难免会遇到灰尘、落叶和鸟粪等堆积在组件表面的情况，十分影响光伏电站的发电量，所以定期清洗光伏组件成为很重要的维护内容。

进行光伏组件清洗，如图 1、图 2 所示。工作难度较大，且效率较低。

光伏发电概况

1. 基本原理

太阳能光伏发电原理主要是应用太阳能电池将太阳能直接转化为电能进行发电，利用了原始的光生伏特效应原理。当受到太阳光照射时，独立光伏发电系统可以在白天把太阳能转化为电能。

2. 影响光伏发电量因素

天气状况是制约光伏发电量的最大因素，光伏组件的清洗也尤为重要。光伏组件表面污浊对其发电效率的影响相当显著，主要为：①表面的污浊影响了光线的透射率，进而影响到组件表面所接受的辐射量；②组件表面的污浊粘附在电池板表面，会形成阴影，各光伏组件局部产生热斑效应，进而影响发电效率。

星火水面光伏现状

星火光伏电站自 2022 年 7 月 1 日投产以来，受水面地形制约，人员利用载具下水、取水（清水）



图 1 人工清洗光伏板



图 2 水面载具上清洗光伏板

为提高星火光伏电站组件清洗效率，进一步提高发电量，以及推进运维智能化发展工作，电力技术服务公司与上海宝世威石油钢管制造有限公司合作，于2023年6月份在星火光伏电站安装了2台智能清扫机器人来进行对比试验，如图3、图4所示。



图3 智能清扫机器人（前排）



图4 智能清扫机器人（后排）

应用原理

智能清扫机器人是对光伏板上面的浮尘、鸟粪等脏物进行自动化清洗。一是可以设置自动清扫，例如星火水面光伏设置的每天9:00和14:00，自动对光伏组件进行清扫一遍，如图5所示；二是可以人为现场操作，通过遥控器操作进行清扫，如图6所示；三是可以通过一台小型服务器，由集控中心下达指令，进行远程操控，如图7所示。



图5 正在进行组件清扫中的机器人



图6 机器人遥控器



图7 机器人服务器

应用效果

本次安装试验的智能清扫机器人，对光伏组件表面附着的灰尘具有良好的清洁效果。通过安装电表进行对比分析，时间为2023年8月10日—2023年10月4日。该两台机器人覆盖的光伏组件在同一汇流箱（3~9#）内用电表监测电量，监测组串数为16组；未安装智能清扫机器人的电表安装在3-1#汇流箱内进行监测，监测组串数为12串，见表1。

表1 发电量对比

汇流箱编号	组串数 / 个	电表数 / (kW·h)	平均每组发电量 / (kW·h)
3-9#	16	82 392.34	5 149.52
3-1#	12	60 921.45	5 076.79

从表1可以看出，发电量提高为 $(5\ 149.52 - 5\ 076.79) \div 5\ 076.79 = 1.4\%$ 。

后期推广安装数量

根据现场勘察，目前星火光伏电站西泡和北站泡的光伏阵列中间均为油水井或者井排路，阵列之间无法安装连接支架，只能选取适当长度的阵列进行安装。

根据目前统计，星火光伏电站能够安装智能清扫机器人的阵列数为 176 个，安装总数为 176 台。

经济效益

1. 发电量分析

目前通过加装电表分析发电量提高约为1.4%，基于大庆地区的雨季和季节因素，综合考虑全年的运行周期，该数值还有提高空间。根据厂家提供沈阳地区提高4.2%分析计算，大庆地区能提高至约3%。

星火光伏电站设计年平均发电量为2 751万kW·h，按提高3%计算，每年提高电量约为82.53万kW·h。参考电能公司外购电价0.67元/（kW·h）（含税价）计算，可创效益为55万元。

2. 成本分析

安装智能清扫机器人后，通过机器人运行清洗光伏组件工作，可节省相关清洗光伏组件的人员、水和工器具等费用成本。

（1）运维人员数量

目前负责星火光伏电站运维的电力技术服务公司变电工程部项目一部，常规运维人员为8人，其中负责清洁工作人员至少需要4人，遇有重要参观时，加大清洗力度，还需要适当增加人员。

（2）清洗频次

因星火光伏电站参观次数较多，水面鸟类活动非常频繁，特别是在夏季，光伏组件表面鸟粪非常多，鸟粪在光伏组件表面停滞时间长后较难清洗干净，因此运维人员基本每周都要清洗1次。

3. 经济性分析

星火光伏电站水面每年除冰冻期外，按6个月清洗时间计算；按全部区域保持清洁度，提高发电量及参观效果，则至少要有4名人员需要下水进行光伏组件清洗工作。

如清扫机器人能够保证光伏组件鸟粪的清洁效果，则该4名人员的人工费用可全部节省。按照每名员工每年全成本约为17万元计算，其中8.5万元成本是投入到光伏组件清洗工作中，每年的清洗人工成本为4人×8.5万=34万元，算上车辆损耗修理、油料、水面载具、工器具以及水费等成本，每年清洗光伏组件的成本节约为36万元，则安装智能清扫机器人后每年可创效益约为55+36=91万元。

4. 投资回收期分析

根据目前上海宝世威石油钢管制造有限公司提供的智能清扫机器人报价，单台价格约为3.5万元。按安装176台计算，总费用为616万元，成本回收期在6.8年。

社会效益

星火水面光伏智能清扫机器人的应用，减少了人员水上清洗光伏组件存在的风险，提高了运维效率，同时也为社会当中同行业提供了有价值的参考。

结束语

综上所述，光伏组件清洗是光伏发电运行维护工作中一项十分重要且非常必要的工作。在一些特殊地段的光伏场站，星火水面光伏电站智能清扫机器人的应用，不但解决了光伏组件清扫难度大、风险高的问题，同时也减少了运维成本，提高了电站的发电量，增加了收益，相信在今后的光伏电站运维中，智能清扫机器人将广泛应用。EA

（收稿日期：2023-11-15）

参考文献

- [1] 杨金焕. 太阳能光伏发电系统. 北京：电子工业出版社，2009.