

# 新疆地区光伏组件的积灰情况及除灰方法调研

程莹, 张步恩, 李修树

(水电水利规划设计总院有限公司, 北京 100011)

**摘要:**文章针对新疆地区光伏组件的积灰特点及除灰方法应用现状展开调查与研究。通过实地走访和数据收集,分析了新疆东北部和中西部地区光伏组件积灰的特点以及目前应用的除灰方法,包括水洗、自然清洗等。调研发现,新疆地区的光伏电站受到沙漠沙尘的影响,积灰情况相对严重,但合适的清洁方式和频率对发电效率有显著影响。针对不同地区的情况,该研究提出了相应的清洁建议和技术应用,可进一步指导新疆地区光伏电站的运行和维护。

**关键词:**光伏组件;积灰特点;除灰方法;新疆地区

**中图分类号:**TM615;TK284.4

**文献标志码:** B

**文章编号:**1001-2184(2024)06-0094-07

## Investigation on Dust Accumulation and Cleaning Methods of Photovoltaic Modules in Xinjiang

CHENG Ying, ZHANG Bue, LI Xiushu

(China Renewable Energy Engineering Institute, Beijing 100011)

**Abstract:** In this paper, the characteristics of dust accumulation and the application of dust cleaning methods of photovoltaic modules in Xinjiang are investigated and studied. Based on on-site visits and data collection, the characteristics of dust accumulation and the current application of dust cleaning methods of photovoltaic modules in the northeast and midwest regions of Xinjiang are analyzed, including water and natural cleaning methods. The investigation found that the dust accumulation of the photovoltaic power stations in Xinjiang is relatively serious because of desert dust, however, proper cleaning methods and frequency have a significant impact on the power generation efficiency. According to the situation of different areas, this study puts forward the corresponding cleaning suggestions and technology applications, which can further guide the operation and maintenance of photovoltaic power stations in Xinjiang.

**Key words:** Photovoltaic modules; The characteristics of dust accumulation; Dust cleaning methods; Xinjiang

## 0 引言

鉴于新疆地区特殊的气候和环境条件,光伏发电在新疆地区得到了广泛的应用和发展。然而,同样因为新疆地区特殊的气候和环境条件,光伏组件往往容易积灰,这影响光伏电站的发电效率和稳定性。因此,对新疆地区光伏组件的积灰情况及除灰方法应用现状进行调查与研究具有重要意义。

该研究旨在通过实地调研和数据分析,了解新疆地区光伏组件的积灰情况,包括受沙漠沙尘影响的程度、灰(沙)尘堆积的特点以及这些因素如何影响光伏发电的效率。同时,该研究还将调查新疆东北部和中西部地区目前应用的除灰方

法,包括水洗、自然清洗等清洁技术的应用现状和效果。通过对这些数据的收集和分析,提出相应建议,将为新疆地区光伏电站的运行和维护提供重要的参考。

在新能源发展日益受到重视的背景下,该研究对于优化新疆地区光伏电站的运行效率、提高清洁能源利用率具有重要的理论和实践意义。

### 1 新疆太阳能资源与调研选点简介

新疆具有非常丰富的太阳能资源,全年日照时间相对较长。新疆全境日光照射百分率为60%至80%,新疆全境日照6个小时以上的天数处于250天至325天之间。新疆水平表面年太阳辐射的平均值为5800 MJ/m<sup>2</sup>,全年太阳辐射的总量在5000 MJ/m<sup>2</sup>至6500 MJ/m<sup>2</sup>之间,全年

收稿日期:2024-07-23

总辐射量比同纬度地区要高出 10% 至 15%<sup>[1]</sup>。由于新疆的山体北低南高,东低西高,从西方过来的低层气流较难直接进入塔里木盆地,大部分只能从西部几个缺口入境,在西北部形成比较多的云层和降水,从而使减弱太阳辐射,相对而言东南部则云雨少,辐射量大。所以新疆太阳辐射最低值出现在天山北麓、博州和阿尔泰部分地区,最高值出现在南疆东部和东疆一带,年总辐照度的区域分布大致为从西北到东南不均匀递增。西北部太阳总辐射量约为 5 200 MJ/(m<sup>2</sup>·a),东南部则为 5 800 MJ/(m<sup>2</sup>·a) 以上<sup>[2]</sup>。新疆平均日照小时数见图 1。

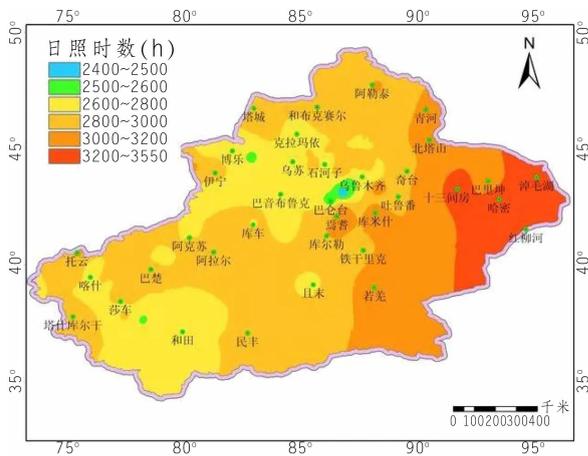


图 1 新疆平均日照小时数 /h

新疆自治区的太阳能资源主要分布在五个较大的区域,即北疆北部、北疆中部、东疆东部、天山北麓和天山南麓<sup>[3]</sup>。准东地区地处天山北麓,位于欧亚大陆腹地,空气干燥,远离海洋,晴天时候较多,光照资源非常丰富。木垒县、奇台县、吉木萨尔县和阜康市属准东地区太阳能资源较丰富区域,其中昌吉回族自治州东部三县(即木垒、吉木萨尔、奇台三县)位于准噶尔盆地东南部边缘、天山北麓东段,全年日照 2 800 h 至 3 100 h,全年平均气温 5 ℃ 至 7 ℃,全年降水量为 130 mm 至 400 mm,全年蒸发量约为 2 320 mm,属于典型的中温带大陆性干旱气候<sup>[4]</sup>。

据新疆维吾尔自治区水利厅于 2013 年 5 月 19 日发布的《2020 年新疆维吾尔自治区水资源公报》(以下简称公报)显示,2020 年新疆年降水量 2 330 亿 m<sup>3</sup>(折合降水深 141.8 mm),比上年偏少 18.8%,与多年均值相比偏少 8.4%,属降水平水年份。新疆十四个地(州、市)降水量与上年

相比,除吐鲁番市比上年偏多,其他十三个地(州、市)均比上年偏少。新疆十四个地(州、市)降水量与多年平均值相比,除喀什、博州、吐鲁番、和田及克州与多年均值相比偏多外,其他较多年均值均有不同程度减少。2020 年新疆各行政分区降水量见表 1。

表 1 2020 年新疆行政分区年降水量表

行政区	年降水量 /mm	与上年比较 /±%	与多年平均比较 /±%
乌鲁木齐市	175.9	-21.0	-20.0
克拉玛依市	74.4	-19.1	-13.2
吐鲁番市	49.4	104.7	5.4
哈密市	48.6	-20.2	-20.1
昌吉州	147.2	-4.6	-17.1
博州	319.2	-14.6	6.7
巴州	78.5	-20.6	-16.8
阿克苏地区	118.4	-43.6	-14.0
克州	266.6	-26.7	2.2
喀什地区	202.3	-2.1	13.9
和田地区	133.6	-16.4	4.0
伊犁州(直属)	467.1	-16.8	-13.4
塔城地区	219.9	-18.3	-18.0
阿勒泰地区	212.5	-18.4	-10.6
全疆	141.8	-18.8	-8.4

注:多年平均值全国统一采用 1956~2000 年系列的平均值。

据公报显示,2020 年新疆地表水资源量 759.6 亿 m<sup>3</sup>,与上年相比偏少 8.4%,与多年平均值相比偏少 3.7%,属平水年。新疆十四个地(州、市)水资源量与上年相比,除阿克苏、和田地区及吐鲁番市比上年偏多,其他十一个地(州、市)地表水资源量与上年相比有不同程度减少。新疆十四个地(州、市)水资源量与多年平均值相比,除和田、喀什、巴州及乌鲁木齐与多年均值相比偏多外,其他十个地(州、市)地表水资源量与多年均值相比有不同程度减少。新疆河流水系分布图见图 2。

2015 年 11 月 16 日,国家能源局发布了国能新能〔2015〕414 号《国家能源局关于准东新能源基地规划建设有关事宜的复函》,复函中同意新疆维吾尔自治区申报的准东新能源基地规划建设方案。这大力推动了准东地区风光电等清洁能源的健康可持续发展,有序促进了准东地区风光电项目开发建设及市场消纳。2015 年 12 月 15 日,新疆自治

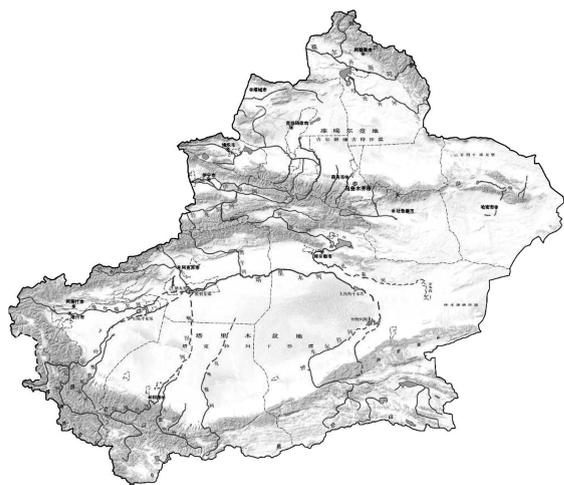


图 2 新疆河流水系分布图

区发改委在此基础上发布了《自治区发展改革委转发国家能源局关于准东新能源基地规划建设有关事宜的通知》，明确了配套外送光电项目布局在东部规划区和西部规划区，其中：东部规划区在木垒县和奇台县境内；西部规划厂址分别在准东煤电基地五彩湾（含吉木萨尔县）和阜康东部区域。

综上，基于新疆光伏发电项目的发展现状、光照和水资源分布特点，此次调研主要围绕 7 个光伏电站。现场调研选点确定为木垒、阿瓦提等区域，新疆地区调研光伏电站位置信息见图 3。



图 3 新疆地区调研光伏电站位置信息

## 2 新疆东北部地区

新疆维吾尔自治区昌吉回族自治州最东边的县即为木垒哈萨克自治县。它位于奇台县以东，地处准噶尔盆地东南部边缘，天山东段北麓，面积 20,785 km<sup>2</sup>。木垒哈萨克自治县位于北疆温带荒漠之中，属于中温带大陆性半干旱气候。降水稀少且多集中在夏季，全年平均降水量为 294.9 mm，夏季降水占全年的 38%。一般平均日温差均在 11.4℃ 以上，温差较大。年均干燥度

为 54%，属于干燥气候；日照时间长，蒸发强。平均日照时间为 3 073.8 h；年均蒸发量为 2 202.6 mm。一般年均活动积温在 2 600℃~3 200℃ 之间。无霜期在 100 d 至 150 d 之间<sup>[5]</sup>。

此次现场调查选取凯升木垒光伏电站项目作为调查对象和样本。

### 2.1 项目概况

凯升木垒光伏园区 100 MWp 光伏发电项目位于昌吉木垒光伏园区。项目装机容量 100 MWp，配套建设 1 座 110 kV 升压站。升压站位于项目西南角，升压站主变规划容量为 100 MVA，110 kV 出线 1 回，接入木垒 220 kV 汇集站 110 kV 侧，JL/G1A-240/30，线路长度约 5 km，升压站工程一次建设完成。

电站选用 280/285/295/300 Wp 多晶硅组件，全站分为 40 个子发电系统，其中 30 个单元采用 2.5 MW 箱逆变一体化设备，10 个单元采用 2.5 MW 箱逆变设备及 75 kW 组串式设备。整个电站所有单元用 10 回集电线路引至新建的 110 kV 升压站中的 35 kV 开关柜内。

该项目建设期 12 个月，经营期 25 年。在运行期内年平均发电量为 12 223.61 万 kWh，年平均利用小时数为 1 217.1 h。工程静态投资 78 264.54 万元，工程动态总投资 79 791.04 万元，单位千瓦静态投资 7 792.94 元/kW，单位千瓦动态投资 7 944.94 元/kW。该项目按含增值税上网电价为 0.88 元/kWh，测算资本金财务内部收益率为 15.68%。

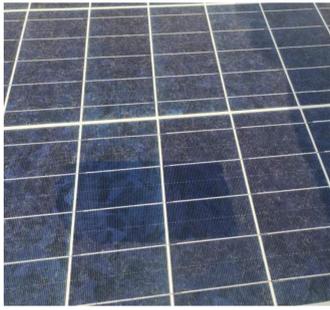
### 2.2 积灰情况

此电站的积灰以重力型积灰为主，去除积灰的较好方式以自然清洗或者人工水洗为主。积灰情况见图 4。

### 2.3 积灰清理

凯升木垒光伏电站位于木垒县北部地区，降雨频次和降雨量属于一般水平，光伏发电项目的运行条件属于较好的条件。通过交流调研，自然清洗和人工水洗相结合的方式为该电站光伏板的主要清洗方式，自然清洗主要靠降雨。该电站中有四个方阵属于标杆方阵。标杆方阵即不限电方阵，因此，标杆方阵采用人工清洗的方式，且清洗频次较高，为一周一次。其他方阵一年 2 次。

#### 1) 标杆方阵清洗分析



(1)清洗前



(2)清洗后

图4 积灰情况

通过座谈交流发现,标杆方阵为不限电方阵,且有电价补贴,采用人工清洗的方式,且每周一次。通过对比2023年5月15日至5月28日的发电数据(场站提供的信息),标杆方阵发电量与辐照量见图5,对于标杆方阵,清洗前后发电功率提高约1.4%,电站(或单条集电线路)峰值功率提高到96.66 MW<sub>p</sub>,为额定值的96.66%。

#### 2) 全方阵清洗分析

全方阵进行每次清理的成本大约为5万元/100 MW,每次清洗用水量约为 $30 \times 10 \text{ m}^3 / 100 \text{ MW}$ ,清洗用水主要来自于市政供水。非标杆方阵发电量与辐照量见图6,为非标杆方阵2023年5月15日至5月28日的发电数据。

#### 2.4 新疆东北部地区调研成果

通过调研和数据整理分析,凯升木垒光伏电站相关信息见表1。

根据调研的情况和数据,新疆东北部地区光

伏组件积灰和清洗情况的小结及建议如下:

(1) 通过人工水洗或自然清洗积灰均能非常显著地提升运行中电站的发电能力,建议将自然清洗和人为水洗充分结合起来并选择合适的清洗时机。

(2) 针对标杆方阵,以人工水洗的方式为主。由于清洗频率较高,清洗前后发电量提升约为1.4%左右。但因为数据获取手段具有不可控性,应结合更多的研究和调研来辨别这些数据是否准确。

(3) 从清洁用水量的角度讲,电站使用洒水车清洗光伏组件的普及度相对较高,清洁用水量相对较小。综合装机容量来计算每兆瓦清洁用水量小于 $5 \text{ m}^3$ ,且年清理次数不高,对当地用水无明显负担。

(4) 针对无水清洁技术的应用,由于该地区用水成本不高,调研的电站暂时无意愿进行无水清洁。

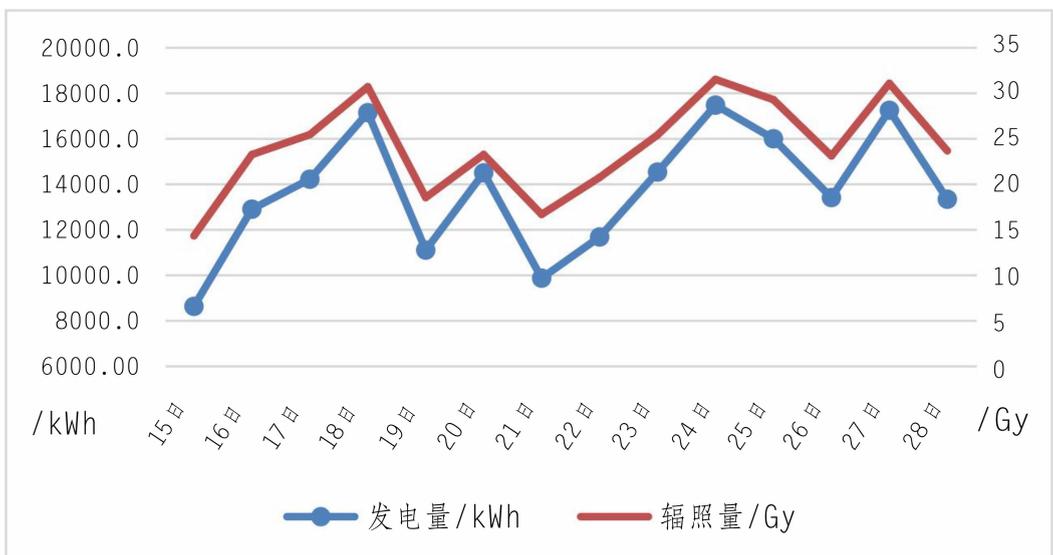


图5 标杆方阵发电量与辐照量

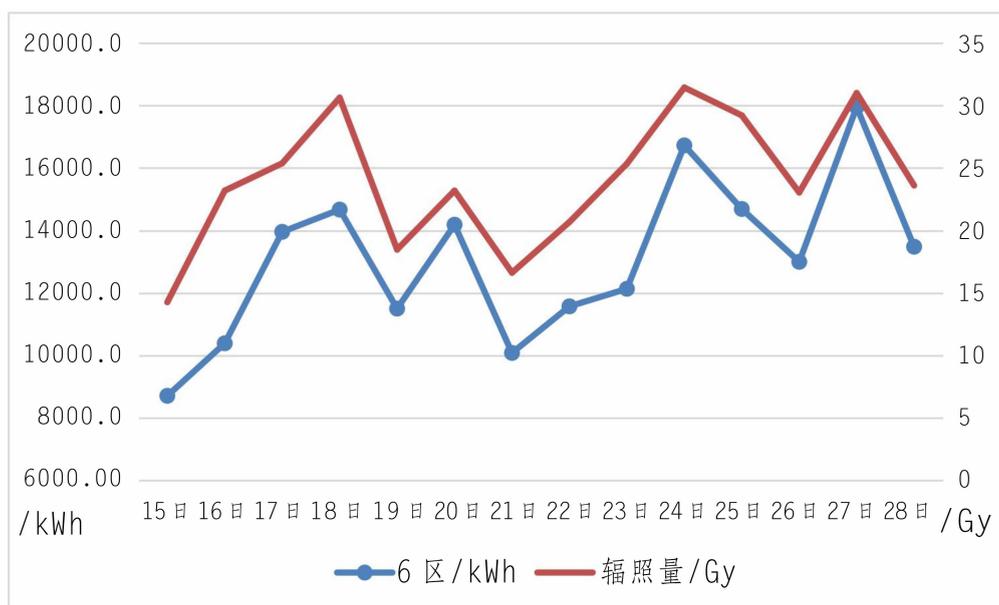


图 6 非标阵列发电量与辐照量

表 1 凯升木垒光伏电站相关信息

具体方式	清洗频率	清洗成本/(元/MW)	清洗用水量/(m <sup>3</sup> /MW)	清洗后效果/%
人工水洗	一年两次,不固定,春季较多。	500	3 m <sup>3</sup>	方阵发电量平均提升 1.4%

### 3 新疆中西部地区

阿瓦提县地处天山南麓,塔里木盆地北部边缘,位于和田河、阿克苏河、吐尔羌河、喀什噶尔河下游形成的冲积平原上。南部延伸进入塔克拉玛干大沙漠的腹地,西部毗邻柯坪县,东、北连接阿克苏市,与墨玉、洛浦两县接壤,地势平坦,由东南向西北倾斜。全年平均降水量 46.7 mm,全年平均气温 10.4℃,全年蒸发量 1 187.5 mm,全年日照 2 570.3 h,无霜期 211 d,属于大陆性干旱气候区<sup>[6]</sup>。

此次现场调查选取阿瓦提二期 20 MWp 光伏并网发电站项目作为调查对象和样本。

#### 3.1 项目概况

阿克苏市阿瓦提并网光伏电站总规划 100 MWp,分为五期建设,本期建设 20 MWp。选址位于阿瓦提县西南方向,距阿瓦提县约 18 公里,距阿克苏市约 50 km,高程约 1 045.00 m,面积 8 000 亩,地势平坦、开阔,后备发展空间大。选址距阿瓦提县丰收三场现有的 110 kV 变电站约 14 km,距南疆主干线 750 的垂直距离约 30 km。

该期装机容量为 20 MWp,采用分块发电、集中并网方案,电池组件选用 230 Wp,共计 88 000 块;逆变器选用 500 kW 型逆变器,共计 40 台。

该期项目包含 20 个 1 MWp 多晶硅电池子方阵;每个子阵由 2 个 500 kW 阵列逆变器组构成,逆变器室位于子方阵的上部中间部位,与箱式变压器布置方向相同;每个逆变器组由 220 路太阳能电池组串单元并联构成;每个太阳能电池组串由 20 块太阳能电池组件串联组成。电池组件方阵采用最佳倾角 30°固定式安装,方阵南、北间距最小值 5.62 m,东、西间距 1.02 m。

电站布置区域总占地面积 458 682 m<sup>2</sup>。生产区包括箱式变压器、逆变器室、电池阵列及检修通道等。电站建成后首年上网电量为 2 754.48 万 kWh。在运行期 25 年内的年平均发电量为 2 469.22 万 kWh。

#### 3.2 积灰情况

该区域电站位置较为特殊,紧邻塔克拉玛干沙漠,因此积灰情况相对严重,不过该县全年盛行的风向是正北风,东北风次之,选址位于沙漠的上风口,减少了沙漠沙尘的困扰。

#### 3.3 积灰清理

该项目所在地降雪、降雨量少,多风,春季多发沙尘暴,导致该电站光伏板污染系数高,因此该电站光伏板的清洗方式以水洗为主。该电站同样分标杆方阵与其他方阵。标杆方阵采用人工清洗

的方式,且清洗频次较高。

### (1)标杆方阵清洗分析

通过座谈交流发现,标杆方阵为不限电方阵,且有电价补贴,采用人工清洗的方式,且每三天一次。通过对比2023年5月17日至5月28日的的数据(场站提供的信息),16A方阵单条线路发电量与平均光强见图7,对于标杆方阵,清洗前后发电功率提高2%;电站(或单条集电线路)峰值功率提高到68.6 MW<sub>p</sub>,为额定值的98%。

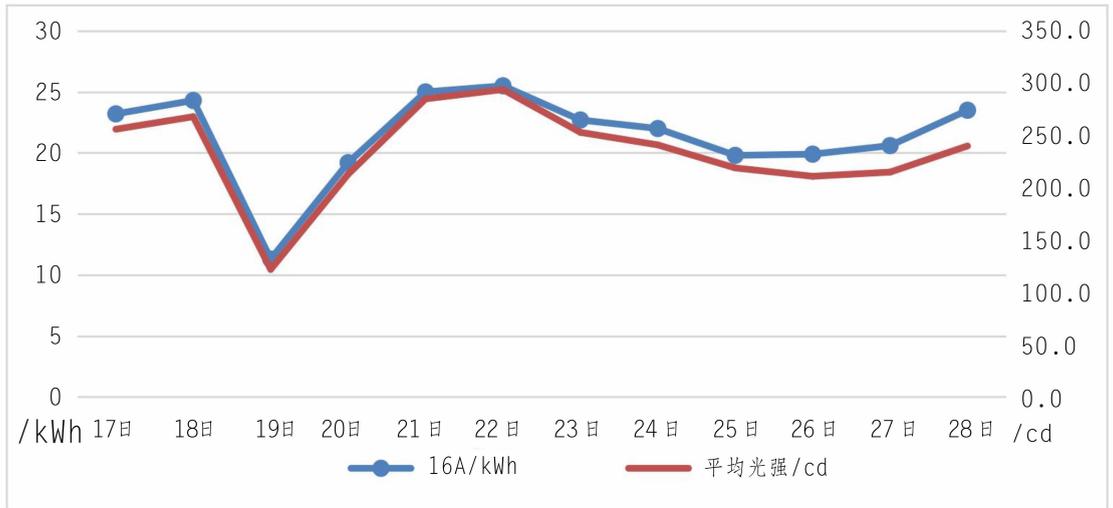


图7 16 A 方阵单条线路发电量与平均光强

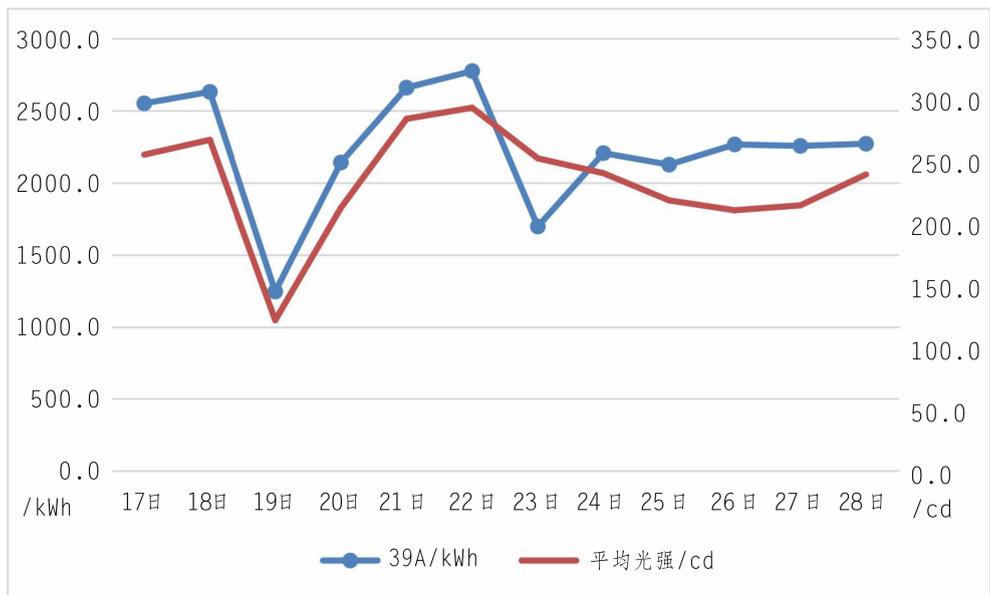


图8 39 A 方阵发电量与平均光强

表2 阿瓦提二期20 MW<sub>p</sub>光伏并网发电站项目相关信息

具体方式	清洗频率	清洗成本/(元/MW)	清洗用水量/(m <sup>3</sup> /MW)	清洗后效果/%
人工水洗	春季一月一次,夏季三次,冬季一次	1 000	28 m <sup>3</sup>	方阵发电量平均提升2%

### (2)全方阵清洗分析

全方阵进行每次清理的成本大约为7万元/70 MW,每次清洗用水量约为20×100 m<sup>3</sup>/70 MW,清洗用水主要来自于市政供水。39 A 方阵发电量与平均光强见图8,为非标杆方阵2023年5月17日至5月28日的的数据。

### 3.4 新疆中西部地区调研成果

通过调研和数据整理分析,阿瓦提二期20 MW<sub>p</sub>光伏并网发电站项目相关信息见表2。

根据调研的情况和数据,新疆中西部地区光伏组件积灰和清洗情况的小结及建议如下:

(1) 该地区位置紧邻沙漠,降雨量少,以人工水洗方式为主,清除积灰可以提升运行中电站的发电能力,全站清洗频次均比较高。

(2) 针对标杆方阵,以人工水洗的方式为主。由于清洗频率较高,清洗前后发电量提升约为 2% 左右。但因为数据获取手段具有不可控性,应结合更多的研究和调研来辨别这些数据是否准确。

(3) 从清洁用水量的角度讲,电站使用洒水车清洗光伏组件的普及度相对较高,清洁用水量相对较大。综合装机容量来计算每兆瓦清洁用水量,每兆瓦高达 28 m<sup>3</sup>,且年清理次数较高,清洗成本较大。

(4) 针对无水清洁技术的应用,由于该地区用水成本不高,调研的电站暂时无意愿进行无水清洁。

#### 4 结 语

根据对新疆东北部地区和新疆中西部地区的调研的情况和数据,可以得出如下结论:

(1) 通过人工水洗或自然清洗积灰均能非常显著地提升运行中电站的发电能力,建议将人工水洗和自然清洗充分结合起来并选择合适的清洗时机。

(2) 针对标杆方阵,以人工水洗的方式为主。由于清洗频率较高,清洗前后发电量提升约为

(上接第 79 页)

效化的 EPC 管理模式体系,通过差异化的实施模式快速匹配,对履约风险进行有效控制。另外,EPC 市场前端合同环境复杂多变,设计企业在向成熟的总承包企业转型过程中,应本着最大化核心设计优势输出和最大程度履约风险管控的原则,结合上述强、中、弱三种管控类型的分析,采取“两头向中间靠”的理念与施工成员企业商讨联合体合作实施模式,为设计企业自身争取到最优的合同实施环境。

#### 参考文献:

- [1] 孙奇. EPC 模式下总承包方 HSE 风险管理研究[D]. 山东大学, 2014.
- [2] Jian Q, Weixin C, Feng Q I, et al. Discussion on EPC

1.4%~2.0% 左右。但因为数据获取手段具有不可控性,应结合更多的研究和调研来辨别这些数据是否准确。

(3) 从清洁用水量的角度讲,电站使用洒水车清洗光伏组件的普及度相对较高,对于降水量较多的区域,清洁水量不大且年清理次数不高;对于紧邻沙漠,降雨量少的地区,清洁水量较大,清洗成本较大。

(4) 由于两个调研地区用水成本均不高,调研的所有电站暂时均无意愿进行无水清洁。

#### 参考文献:

- [1] 魏哲花,冯广麟. 哈密市太阳能资源评估[J]. 气候变化研究快报, 2019, 8(2): 168-174.
- [2] 中电建西北勘测设计研究院. 国投新疆哈密景峡 50 MWp 光伏发电项目可行性研究报告[R]. 西安, 2018: 1-2.
- [3] 赵光竹. 新疆某光伏电站太阳能资源分析和支架结构设计[J]. 西北水电, 2012(2): 87-90.
- [4] 徐磊,熊祖华,丁明,等. 天山北麓东段冬季日光温室效能改进探讨[J]. 西北园艺(蔬菜), 2012, (6): 4-7.
- [5] 沈崇飞. 木垒哈萨克自治县的国土开发[J]. 干旱区地理, 1986, 9(1): 46-49.
- [6] 刘俊霞,李严萍,刘雪莲. 新疆阿瓦提县气象因素对棉花生长周期及产量的影响[J]. 黑龙江科技信息, 2010(29): 257.

#### 作者简介:

- 程莹(1991-),女,四川成都人,工程师,硕士,从事水电、新能源的技术咨询工作;
- 张步恩(1991-),男,河南卫辉人,工程师,博士,从事水电、新能源的技术咨询工作;
- 李修树(1972-),男,湖北仙桃市人,正高,博士,从事水电、新能源的技术咨询工作。

(编辑:廖益斌)

General Contracting Model with Design Institute as the Main Body[J]. Construction Economy, 2011.

- [3] Songdong LI. The Investigation on Designing management in EPC General Contracting Pattern[J]. Construction Economy, 2012.
- [4] 刘桔宏. 浅析 EPC 工程总承包模式下总承包项目管理[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, 23(12): 67-69.
- [5] 于晓飞,王广巍,张传航. EPC 总承包模式下设计施工一体化相关问题探讨[J]. 四川水力发电, 2024, 43(2): 38-41.

#### 作者简介:

- 龙海涛(1986-),男,四川资阳人,高级工程师,博士,从事新能源 EPC 项目管理;
- 何朋(1993-),男,四川达州人,助理工程师,学士,从事新能源 EPC 项目管理。

(编辑:廖益斌)