



雨後清潔對比測試報告

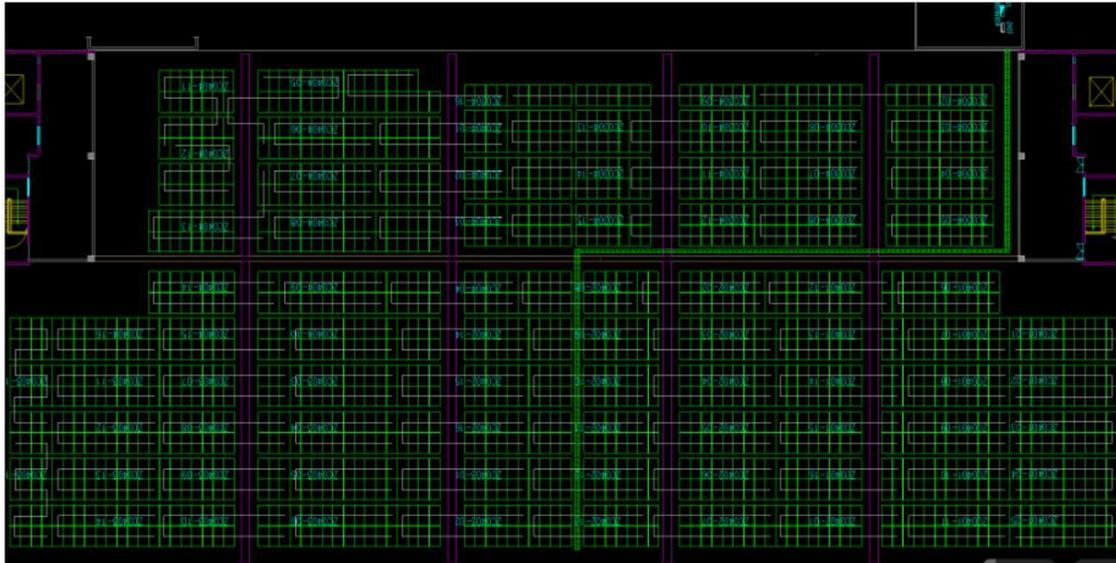
第一篇：廣發清遠專案測試報告（2023年 6 月 8 日）

一、試驗目的

以深圳怪蟲機器人有限公司的” 崧-B33H” 光伏清潔機器人（以下稱該設備）作為實驗物件，研究該設備在清洗元件後對元件發電量的提升幅度以及較雨後不清洗、雨後人工清洗對元件發電量的提升幅度。

二、清洗方案

選擇一號屋面元件作為清洗物件，一號屋面共有 5 台組串式逆變器，每台逆變器共 16個組串，一個逆變器由 320塊元件組成，元件為日托的 SPP425NH7H3，組件排布如下圖：



一號屋面的 5 台逆變器管理的組串分別為 3NB04\4NB02\4NB03\4NB04\4NB01；其中 4NB02及 4NB03組串作為對照組，不清洗； 4NB01組串進行噴淋曬水清洗； 4NB04組串進行人工水洗操作（人工拖把+清水，不加清潔劑）； 3NB04組串用該設備進行水洗（機器+清水，不加清潔劑）；。

三、資料收集分析

收集五個組串清洗前七天（2023年 5 月 25日~5月 31日）後二天（2023年 6 月 1日~6月 2日）的發電量資料，對此資料進行分析，得出不同組串發電量提升幅度。

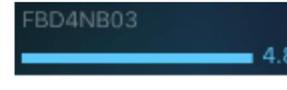


1. 清潔前後圖片

逆變器編號	容量	清潔前圖片	清潔後圖片
3NB04 (機器水洗)	0.12MW		
4NB01 (人工噴淋)	0.12MW		
4NB02 (不清洗)	0.12MW		
4NB03 (不清洗)	0.12MW		
4NB04 (人工沖刷)	0.12MW		

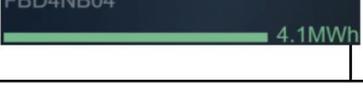


2. 清潔前後等效時長對比

逆變器編號	清洗前 7 天 (5.25-5.31)	6 月 1 日有效時長	6 月 2 日有效時長
3NB04 (機器水洗)	 FBD3NB04 29.1h	 FBD3NB04 3.8h	 FBD3NB04 5.2h
4NB01 (人工噴淋)	 FBD4NB01 27.4h		 FBD4NB01 4.6h
4NB02 (不清洗)	 FBD4NB02 28.1h		 FBD4NB02 4.8h
4NB03 (不清洗)	 FBD4NB03 28.2h		 FBD4NB03 4.8h
4NB04 (人工沖刷)	 FBD4NB04 28.8h		 FBD4NB04 4.8h



3. 清潔前後發電量對比

逆變器編號	清洗前 7 天內總發電量 MWh (5.25-5.31)	清洗後第一天發電量 Kwh (6.1)	清洗後第一天發電量 Kwh (6.2)
3NB04 (坭沖洗)	 4.2MWh	 512.3kWh	 708.3kWh
4NB01 (人工噴淋)	 3.9MWh	 452.6kWh	 628.7kWh
4NB02 (不清洗)	 4MWh	 460.8kWh	 646.3kWh
4NB03 (不清洗)	 4MWh	 459.7kWh	 649.3kWh
4NB04 (人工沖刷)	 4.1MWh	 466.5kWh	 652.7kWh

4. 清潔前天氣狀況 (大雨天氣)

清洗前總共有 17 天為雨天，自然清潔後灰塵堆積較少。



清远5月份天气预报历史

日期	最高气温℃	最低气温℃	天气	风向	风力
2023-05-01	26	19	阴转多云	北风	微风
2023-05-02	28	20	阴	北风	微风
2023-05-03	30	23	小雨转阴	北风	微风
2023-05-04	30	24	多云	北风	微风
2023-05-05	30	25	阴	北风	微风
2023-05-06	32	22	多云转大雨	北风	微风
2023-05-07	24	19	雷阵雨	北风	微风
2023-05-08	26	19	多云转阴	北风	微风
2023-05-09	26	23	多云	北风	微风
2023-05-10	26	20	小雨	北风	微风
2023-05-11	24	19	中雨转雷阵雨	北风	微风
2023-05-12	22	20	中雨转小雨	北风	微风
2023-05-13	22	19	小雨	北风	微风
2023-05-14	26	19	阴	北风	微风
2023-05-15	27	21	阴	北风	微风
2023-05-16	27	24	小雨转雷阵雨	北风	微风
2023-05-17	28	24	雷阵雨	北风	微风
2023-05-18	31	25	雷阵雨	北风	微风
2023-05-19	32	24	雷阵雨转小雨	北风	微风
2023-05-20	31	23	雷阵雨	北风	微风
2023-05-21	32	25	雷阵雨	北风	微风
2023-05-22	32	21	雷阵雨	北风	微风
2023-05-23	29	21	雷阵雨	北风	微风
2023-05-24	29	24	中雨转雷阵雨	北风	微风
2023-05-25	30	24	雷阵雨转多云	北风	微风
2023-05-26	32	25	多云	北风	微风
2023-05-27	34	25	晴	北风	微风
2023-05-28	35	25	晴转多云	北风	微风
2023-05-29	35	25	晴	北风	微风
2023-05-30	36	27	晴	北风	微风
2023-05-31	36	28	多云	北风	微风



5. 坭與對照組實際提升發電率

逆變器編號	清洗前 7 天內總發電量 MWh (5.25-5.31)	清洗前 7 天總發電量基數差	清洗後第一天發電量 Kwh (6.1)	清洗後第二天發電量 Kwh (6.2)	清洗後第三天發電量 Kwh (6.3)	清潔後第一日坭組相較其他組提升	清潔後第二日坭組相較其他組提升	清潔後第三日坭組相較其他組提升	扣除基數差首日坭組實際提升	扣除基數差次日坭組實際提升	扣除基數差第三日坭組實際提升
3NB04 (坭沖洗)	4.2		512.3	708.3	730.9						
4NB01 (噴淋)	3.9	7.69%	452.6	628.7	658.6	13.19% 3.29%	12.66%	10.98%	5.50%	4.97%	
4NB02 (不洗)	4	5.00%	460.8	646.3	672	11.18%	9.59%	8.76%	6.18%	4.59%	3.76%
4NB03 (不洗)	4	5.00%	459.7	649.3	673	11.44%	9.09%	8.60%	6.44%	4.09%	3.60%
4NB04 (沖刷)	4.1	2.44%	466.5	652.7	676.1	9.82%	8.52%	8.11%	7.38%	6.08%	5.67%



四、對比測試結論



圖片所示為本次清潔前廣發清遠電站的污染程度，清潔後首日獨立逆變器測得發電量較其它清潔對比組提升 6.37%。

圖片顯示污染是當地當月 17天下雨後的狀況，為什麼還能提升 6%發電量？

分析：由圖可見

1. 板面的灰塵並未被雨水清除乾淨。
2. 邊框較板面塵土堆積更多。

形成現象 1 的原因是，塵埃顆粒的附著力往往大於雨水的沖刷力，雨水不能全面清除灰塵遮擋。

形成現象 2 的原因是，因元件的“堰塞湖”效應，大雨把泥土沖刷堆積在邊框處，導致邊框處在雨天之後更容易受遮擋。

由於元件電池片均為串聯，導致遮擋降低發電效率出現“木桶現象”——遮擋最嚴重部位決定該元件的發電效率，所以大雨清潔並不能有效提升發電效率，只有主動科學清潔才能將板面及邊框遮擋清除掉從而有效提升發電效率。

結論①：

1. 光伏對遮擋的確非常敏感。
2. 大雨並不能完全清除組件上的灰塵遮擋。
3. 大雨將均勻分佈的灰塵帶到了邊框造成灰塵不均勻分佈，加重了發電效率損失。



4. 大雨清潔誤導了人們，從而忽視了科學清潔，這加重了電站遮擋損失。

結論②：

1. 清潔後首日至第三日提升發電均值分別為：6.37%；4.93%；4.08%呈遞減態勢，說明污染遞增；

2. 本電站清潔頻率建議每週一次，全量發電量提升有望達到 15%以上。

特別提示：

人們誤以為大雨能解決電站清潔問題，只要雨水多就不用清潔，這個想法害死人。不僅耽誤實施科學清潔，讓電企實實在在損失很多發電量。更讓電企人員形成固化思維難以認清科學清潔能挽回許多發電損失的事實，整整影響了一代光伏人。

在多雨的南方大電企，邊框熱斑損害卻比比皆是，都是被這種錯誤思想所毒害，所以我們要對電企高呼“下雨不能代替科學清潔”。



第二篇：垢潔是唯一能讓電站更賺錢的清潔方式

一、垢潔對光伏清潔的認知

1. 可持續清潔=投入<產出

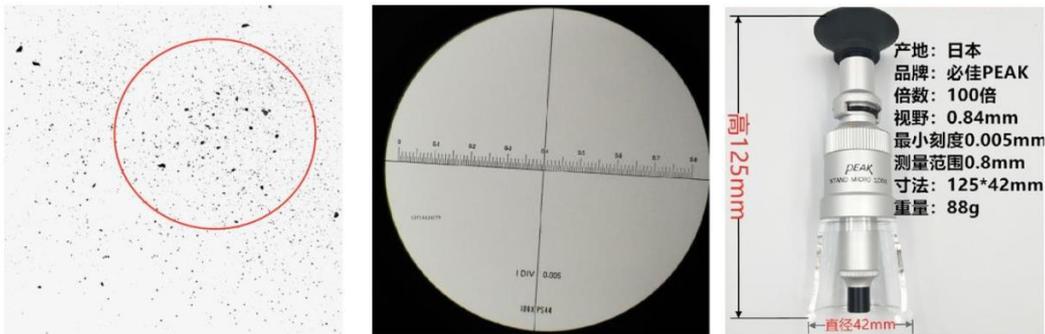
怪蟲公司堅持“可持續清潔”理念讓光伏企業賺更多錢。

二、垢潔清潔品質標準

光伏清潔引入品質標準首先考慮：清潔是消除某個表面區域的污染物使之潔淨，核心是界定潔淨的程度。按 ISO 14644-9 “按粒子濃度劃分表面潔淨度”的分級表界定光伏清潔後的品質標準非常適用，為了便於現場實際實施此標準，垢潔採用等比縮小採樣樣本數的辦法。

小樣本 SCP級數標準驗證方法

在 1cm² 的白色不乾膠貼紙上，用日本 PEAK-2008型帶刻度百倍放大鏡，測量目標顆粒個數判斷 SCP等級



清潔後在該指定 2 個點用 1cm² 的白色不乾膠貼紙將該位置灰塵粘盡，用“小樣本 SCP 級數標準驗證方法”確定“清潔後 SCP 級數”；



1cm² 顆粒個數判斷 SCP等級按下表判斷：

表面潔淨度分級表

SCP 等級	≥5 μm	≥10 μm	≥50 μm	≥100 μm	≥500 μm
SCP 3 級	0				
SCP 4 級	1				
SCP 5 級	2	1			
SCP 6 級	20	10	2	1	
SCP 7 級	200	100	20	10	2
SCP 8 級		1000	200	100	20

每平方釐米表面上大於等於關注粒徑濃度及 SCP 等級

三、發電提升獨立驗證

1. 即時電流驗證方法

①清潔前用電流鉗夾住需清潔元件電纜，讀取並記錄電流資料；

②5 分鐘內完成已測量電流資料元件清潔，用電流鉗夾住已清潔元件電纜，讀取並記錄電流資料；

③對比清潔前後電流讀數。

2. 逆變器資料驗證方法

①清潔前確定好至少兩個逆變器管理的組串位置，組串容量最好相近或者相等；

②在輻照量充足的情況下，在確定的時間內用搵潔方式清潔其中一個組串，另一個組串不清潔；

③對比清潔前後逆變器發電量在該確定時間內的讀數。

3. 發電提升對比驗證

與對比組比較驗證必須滿足如下要求：

①必須分別在一個完整的逆變器管理組串內完成；

②必須在同一時間和同一地點進行比較；



③如果輻照量較小時，所有對比組都需要加大清潔面積便於區分資料差異；
發電提升驗證方法同上述 2 之方法。

四、與人工光伏清潔對比研究結論

1. 人工清潔時不同等級品質所需成本不同；
2. 不同品質應該付不同價格，反之不同價格所提供的品質不同；
3. 人工清潔，SCP6級是投入產出的平衡點，投入勉強收益持平；SCP5級或以上投入都將大於產出；
4. 人工清潔對於電量提升經濟效益不大，需要投入少產出多的可持續投入的新清潔方式；
5. 在相同發電量提升目標下坭潔次數均低於人工清潔次數；
6. 坭潔有效性遠高於人工清潔有效性；
7. 坭潔成本僅相當於人工成本的 20%；
8. 坭潔均能實現投入小於產出，是可持續清潔方式；

五、可持續清潔效率驗證流程

1. 清潔效率獨立驗證

- ①在不少於 500m²的組串上完成完整清潔；
- ②從機器啟動到清潔結束的時間為計算時間，其中如需人員搬移設備則將人員搬移時間計算統計在內；

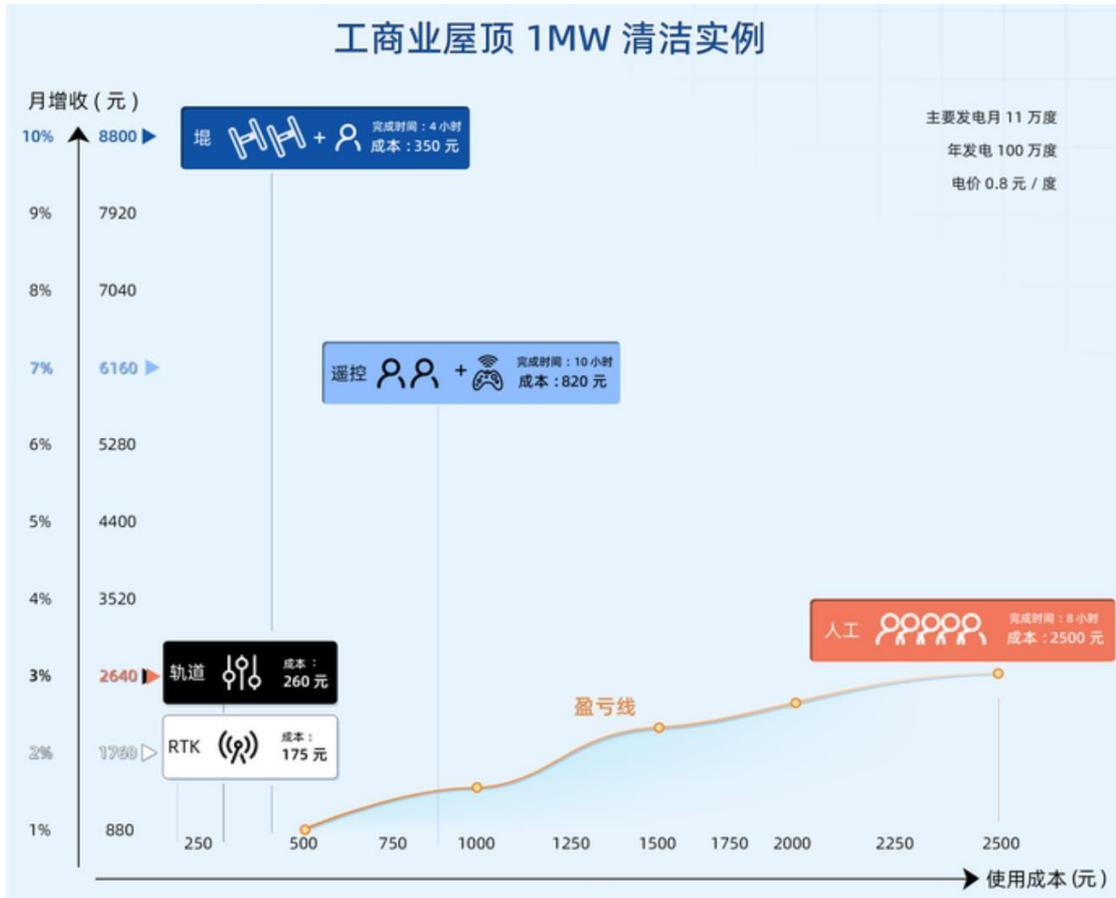
③統計計算時間內完成的實際清潔面積除以統計時間則為“清潔效率”。

2. 清潔效率對比驗證

- ①在不少於 1000m²的組串上完成清潔，其中坭完成 1000m²，對比組完成 1000m²；
- ②無論對比組是人工還是其他設備，完成清潔的定義是：“由清潔工作部 100%接觸組件完成清潔，如過程中有漏洗都需要逐一找補完成清潔。”

3. 各種清潔方式綜合對比結論

坭潔是回報最高的可持續清潔方式。



六、關於最佳清潔策略

1. “怪蟲指數”

“不同清洗週期累計電量損失比例”的概念即“怪蟲指數”概念，方法是將清潔前所有天數損失相加並除以 30 天（如下圖）：



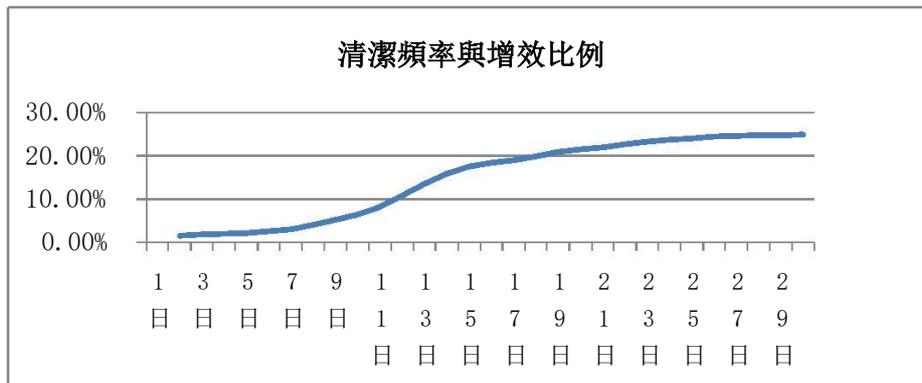
上圖表示測試的某電站如果採取半月清潔一次的方式，電站損失是前 15 天每天發電率下降之和約等於 1 天的發電量，1 天除以 30 天等於 3%；如果採取一個月清潔一次



的方式，電站損失為前 30天每天發電率下降之和約等於 4.35天的發電量，4.35天除以 30天等於 14%；所以“不同清洗週期累計電量損失比例（怪蟲指數）”直觀清晰的反映了客戶採用不同的清潔週期所造成的發電損失。

2. “清潔頻率與增效比例”

怪蟲在某屋頂電站做測試所得到的經驗模型，描述關於清潔頻率與增效之間的關係：



此圖表示“第 N 日”清潔的當日效率提升狀況。清潔頻率對於提升發電效率呈現不同的變化曲率，7 天至 14天之間的頻率選擇對提升發電效率貢獻度最大。

這個實證經驗模型直觀看到清潔策略應該建立在清潔間隔頻率之上。

3. “好天氣前好清潔”

光伏發展趨勢必然要從外延擴張轉型為內延擴展，運營精細化管理是最終趨勢。

1) 最大限度提升發電量的挖潛方向？

①光伏發電的本質是什麼？

光伏發電靠天吃飯，沒有足夠的輻照量再好的設備也沒用。

②氣候條件之外哪些主要因素影響發電量？

設備穩定、延長照射時間、減少遮擋。

③哪些提升發電的因素不可控？

天氣與清潔。

④哪些提升發電的因素可控？

設備品質、運營品質、維護流程可控。

⑤最大限度提升發電量的挖潛方向在哪裡？

管理好不可控要素是最大的挖潛方向。

2) 怎麼提升不可控要素的管理水準？

①天氣管理方法



天氣預報和電站歷史資料分析預測，資料平臺成為精細化管理的基礎。

②清潔管理方法

重點管理專案為：清潔品質、清潔時機和清潔成本。“好天氣前好清潔”是最實際的理想清潔策略。

報告人

深圳怪蟲機器人公司

應用技術部

吳梓東

2023年 6 月 8 日