

2022 年再生能源電力成本報告



施沛宏 2023 / 10 / 30

工業技術研究院 綠能與環境研究所 能源及政策推動組



目錄

摘要	2
一、全球再生能源電力成本發展趨勢	3
二、再生能源所貢獻之能源安全效益	4
三、個別再生能源電力成本趨勢	6
(一)太陽光電	7
(二)陸域風力	8
(三)離岸風力	9
(四)水力	10
(五)地熱	11
(六)生質能	12
參考文獻	13



摘要

國際再生能源總署於 2023 年 8 月發布《2022 年再生能源電力成本報告》。報告指出雖然 2022 年材料與設備成本上升，然新投產的電廠級太陽光電、陸域風電、聚光型太陽光電、生質能及地熱的全球加權平均電力均化成本皆呈現下降趨勢。由於化石燃料價格飆升，2021-2022 年期間為過去 20 年來，再生能源最具競爭力的時期。2022 年的能源危機也讓全球知道，再生能源可在安全上提供可觀的經濟效益，截至 2022 年，自 2000 年所布署的再生能源，預計可為全球電力部門節省 5,210 億美元的燃料成本。

關鍵字：再生能源、發電成本、能源安全



一、全球再生能源電力成本發展趨勢

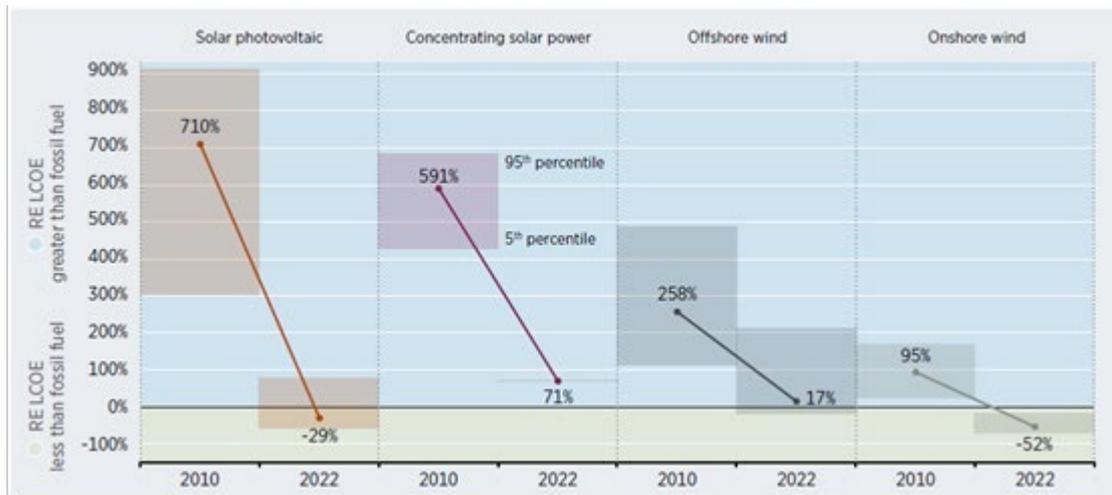
國際再生能源總署(International Renewable Energy Agency, IRENA)於 2023 年 8 月發布《2022 年再生能源電力成本報告(Renewable Power Generation Costs in 2022)》，這份報告說明 2022 年全球再生能源電力成本趨勢，與各項主要再生能源發電技術成本變化趨勢，顯示再生能源的競爭力仍持續提升。

歷經數十年的成本下降與績效改善，太陽能與風力技術除了環境效益外，其經濟效益在目前亦受到矚目。而事實上，雖然 2022 年再生能源材料與設備成本有所上漲，然受到化石燃料價格飆升的影響，近兩年為過去 20 年來，再生能源電力最具競爭力的時期，尤其隨著太陽能與風力發電成本的下降，其競爭力的改善程度也相當驚人。

2010 年陸域風力全球加權平均電力均化成本(Levelised Cost of Electricity, LCOE)為 0.107 美元/度，相較於最低的化石燃料成本(0.056 美元/度)高出 95%，然在 2022 年，新的陸域風力計畫的全球加權 LCOE 為 0.033 美元/度，比最便宜的化石燃料發電選項(0.069 美元/度)還要低 56%。在同期間，離岸風力的全球加權 LCOE 與最便宜的化石燃料相比，則是從高達 258%降到 17%，其成本從 0.197 美元/度降至 0.081 美元/度。

雖然風力發電成本在近 10 年看起來已有顯著下降，然太陽光電的改善幅度更為驚人。太陽光電在 2010 年的全球加權 LCOE 為 0.445 美元/度，遠高於(710%)當時最便宜的化石燃料發電方式，然而歷經這段時間技術的改善使得其成本下降至 0.049 美元/度，較最便宜的化石燃料發電方式低上 29%。

事實上，隨著 2021-2022 年化石燃料發電成本的上升，2022 年新投產的電廠級再生能源發電計畫中，以國家/區域別來分析，約有 86%(約有 187 GW)的再生能源電力成本低於化石燃料發電成本。



資料來源：IRENA, 2023.

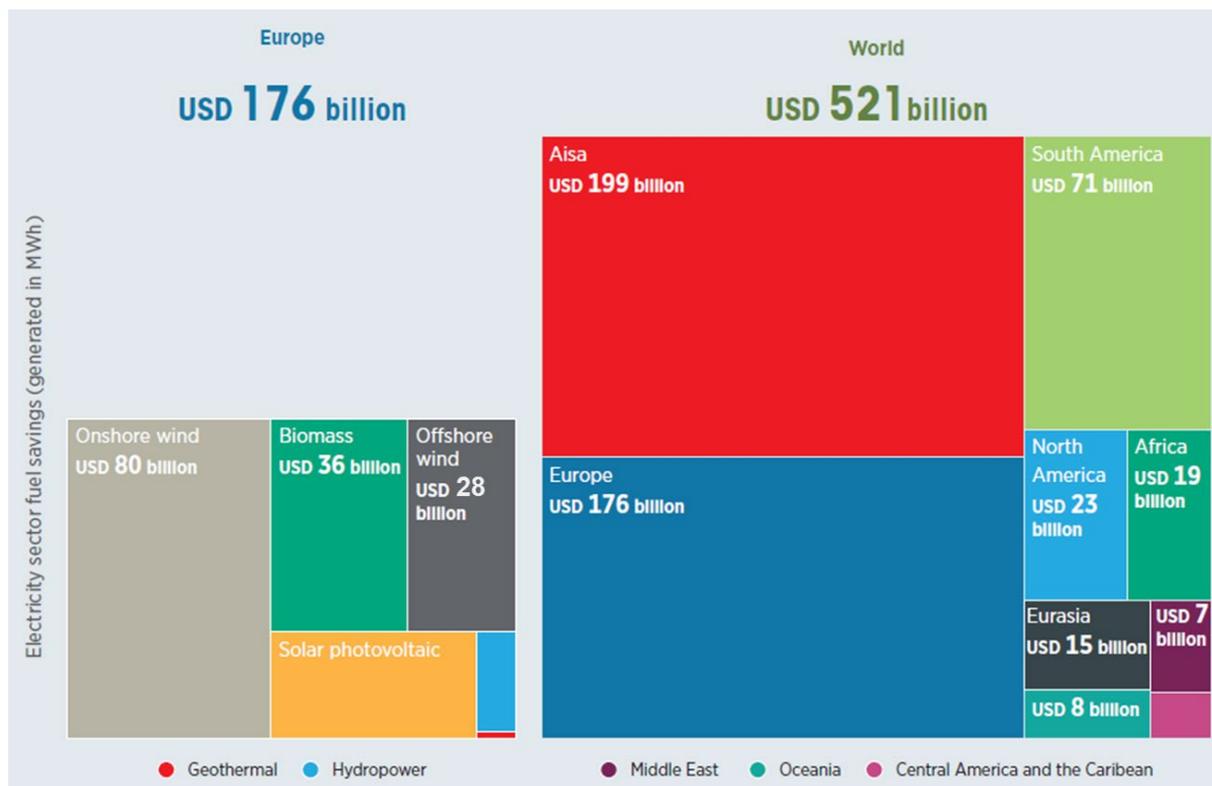
圖 1、太陽能與風力全球加權 LCOE 競爭力變化趨勢(2010-2022 年)

二、再生能源所貢獻之能源安全效益

2022 年化石燃料價格危機讓決策者認知到，當能源安全一直著重在化石燃料自主率與來源的多樣性時，當化石燃料價格高漲時，仍無法保護消費者避免價格衝擊的影響。再生能源電力與能源效率為確保消費者免受化石燃料衝擊的兩個主要選擇，透過發展再生能源電力可減少化石燃料需求與進口，其中地熱能、水力、太陽能與風力發電沒有燃料成本，可有效避免國際燃料價格波動衝擊影響而造成的經濟成本。雖然許多主要材料與零件仍需進口，然而再生能源發展也支持著當地就業與價值創造，這亦是另一層面的助益。

根據 IRENA 報告研究指出(如圖 2 所示)，從 2000 年以來全球布署的再生能源電力，預計到 2022 年將協助電力部門減少燃料成本約 5,210 億美元，其中亞洲燃料成本減少將近 2,000 億美元，歐洲約減少 1,760 億美元，以及南美洲也受益減少將近 710 億美元。

若僅觀察歐洲，由於天然氣與燃煤價格飆升，使得過往發展的再生能源電力約可節省 1,760 億美元，其中貢獻最大的再生能源技術依序分別為陸域風力(800 億美元)、生質能(360 億美元)及離岸風力(280 億美元)。



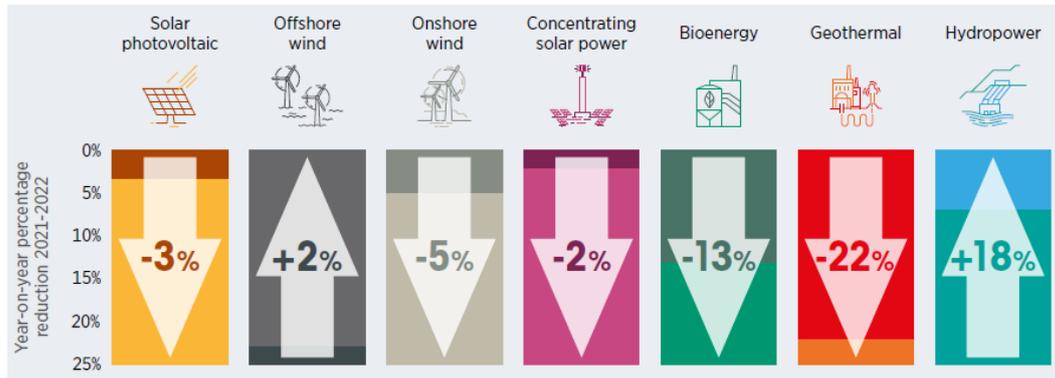
資料來源：IRENA, 2023.

圖 2、自 2000 年以來建置之再生能源電力於 2022 年可節省之燃料成本



三、個別再生能源電力成本趨勢

觀察報告結果指出，2021 年與 2022 年期間，儘管相關的材料與設備成本有所上漲，然新投產的電廠級再生能源計畫中，太陽能、陸域風力、聚熱型太陽能、生質能以及地熱等技術的全球加權平均 LCOE 均下降，如圖 3 所示。



資料來源：IRENA, 2023.

圖 3、2021-2022 年全球新投產電廠級再生能源電力技術 LCOE 趨勢

而觀察圖 4，2022 年與 2010 年各項再生能源技術在總裝置成本與 LCOE 的趨勢變化上，除了地熱與水力發電外，所有技術在成本上都有顯著的下降。以下針對個別再生能源技術成本趨勢變化進行摘述說明。

	Total Installed costs			Capacity factor			Levelised cost of electricity		
	(2022 USD/kW)			(%)			(2022 USD/kWh)		
	2010	2022	Percent change	2010	2022	Percent change	2010	2022	Percent change
Bioenergy	2 904	2 162	-26%	72	72	1%	0.082	0.061	-25%
Geothermal	2 904	3 478	20%	87	85	-2%	0.053	0.056	6%
Hydropower	1 407	2 881	105%	44	46	4%	0.042	0.061	47%
Solar PV	5 124	876	-83%	14	17	23%	0.445	0.049	-89%
CSP	10 082	4 274	-58%	30	36	19%	0.380	0.118	-69%
Onshore wind	2 179	1 274	-42%	27	37	35%	0.107	0.033	-69%
Offshore wind	5 217	3 461	-34%	38	42	10%	0.197	0.081	-59%

資料來源：IRENA, 2023.

圖 4、2010 年與 2022 年再生能源總裝置成本、容量因數及 LCOE 趨勢

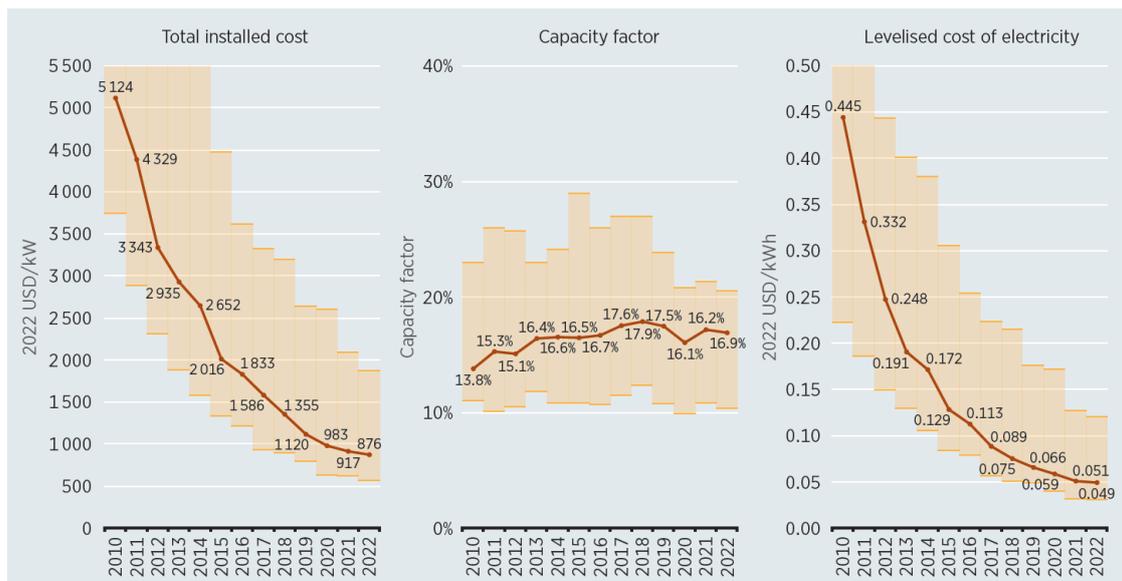


(一)太陽光電

在 2010 年-2022 年間，太陽光電電廠級全球加權平均 LCOE 下降了 89%，從 0.445 美元/度降至 0.049 美元/度，而 2022 年相較去年同期 LCOE 則是下降了 3%。若以個別國家水準進行評估，2010 年-2022 年期間，加權平均 LCOE 下降 76-89%。

太陽光電累積裝置容量在 2010-2022 年期間，成長了 26 倍，截至 2022 年底，已有超過 1,047 GW 的裝置容量。而 2022 年投產的太陽光電計畫之全球容量加權平均總裝置成本為 876 美元/kW，相較 2010 年減少了 83%，與 2021 年比也減少了 4%。

太陽光電全球加權平均容量因數從 2010 年的 13.8%改善至 2022 年的 16.9%，這些變化主要歸功於逆變器負載率的發展、平均市場日照度的轉移以及追蹤器的廣泛使用，推動了太陽光電在更多緯度的使用。



資料來源：IRENA, 2023.

圖 5、2010-2022 年太陽光電全球加權平均總裝置成本、容量因數及 LCOE

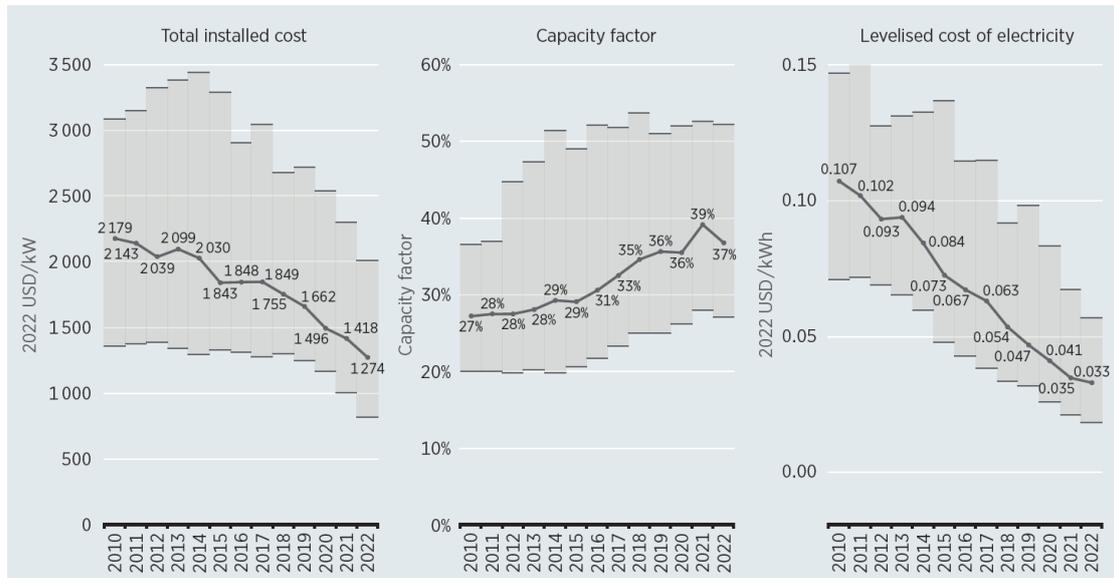


(二)陸域風力

在 2010 年-2022 年間，陸域風力全球加權平均 LCOE 下降了 69%，自 0.107 美元/度降至 0.033 美元/度，而 2022 年相較去年同期 LCOE 則是下降了 5%。若依國家或區域評估，2022 年約有 59 GW 的新投產陸域風力計畫的 LCOE 低於新的化石燃料火力發電。

全球陸域風力累積裝置容量在 2010 年至 2022 年期間已增加了幾乎 5 倍，從 178 GW 增加到 837 GW，而其全球加權平均總裝置成本則是下降了 42%，從 2,179 美元/kW 下降至 1,274 美元/kW，而 2022 年受到中國成本持續下降的推動，相較 2021 年總裝置成本則是下降了 10%。

2022 年陸域風力發電機的平均價格(不包含中國)約介於 870 美元/kW 和 1,066 美元/kW 間，雖然較 2021 年有所增長，但若與 2008/2009 年的價格峰值相比，則下降了 49-64%。另外，受惠於技術的進步，陸域風力全球加權平均容量因數自 2010 年的 27% 提升到 2022 年的 37%，改善了三分之二以上。



資料來源：IRENA, 2023.

圖 6、2010-2022 年陸域風力全球加權平均總裝置成本、容量因數及 LCOE

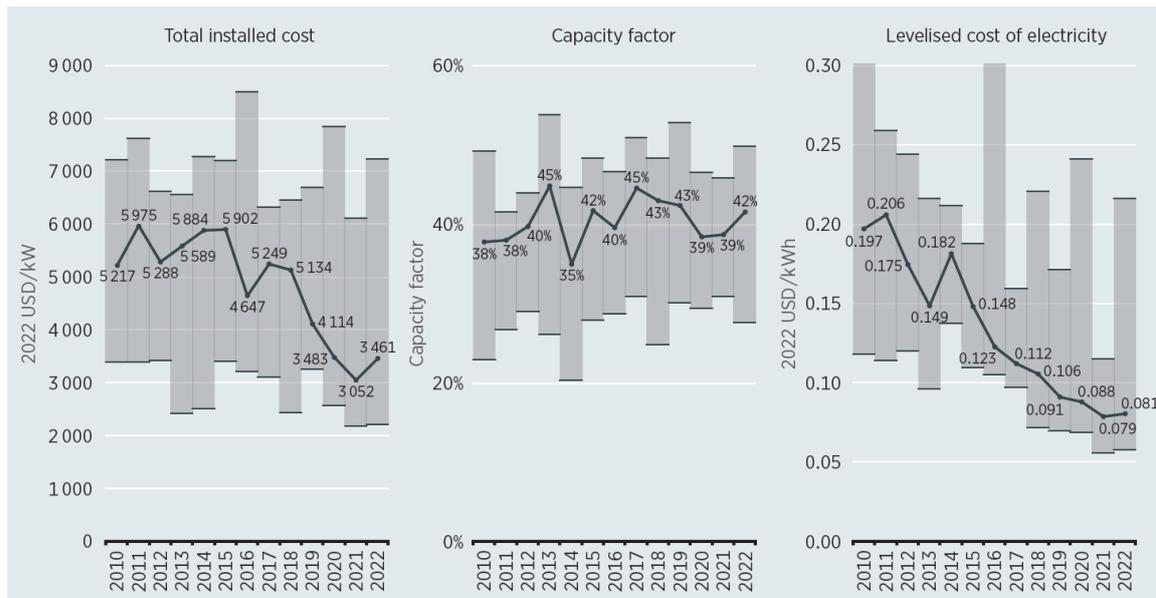


(三)離岸風力

在 2010 年-2022 年間，離岸風力全球加權平均 LCOE 下降了 59%，自 0.197 美元/度降至 0.081 美元/度，而 2022 年相較去年同期 LCOE 則是增加了 2%。在歐洲，2021-2022 年新投產計畫的加權 LCOE 上漲了 18%，從 0.056 美元/度增加至 0.066 美元/度。

全球離岸風力累積裝置容量在 2010-2022 年間增加了超過 20 倍，從 3.1 GW 增加至 63.2 GW。在同期間，全球加權平均總裝置成本下降了 34%，從 5,217 美元/kW 降至 3,461 美元/kW，在 2011 的高峰點，總裝置成本為 5,975 美元/kW，約為 2022 年的 1.7 倍。

受惠於技術的進步，包括更大的風力機、更長的葉片、更高的輪轂高度，以及隨著海床固定技術的改善，使得風電案場得以到達更深的海岸並取得更佳的風力資源，這些均有效改善全球加權平均容量因數，從 2010 年的 38% 上升至 2022 年的 42%。



資料來源：IRENA, 2023.

圖 7、2010-2022 年離岸風力全球加權平均總裝置成本、容量因數及 LCOE

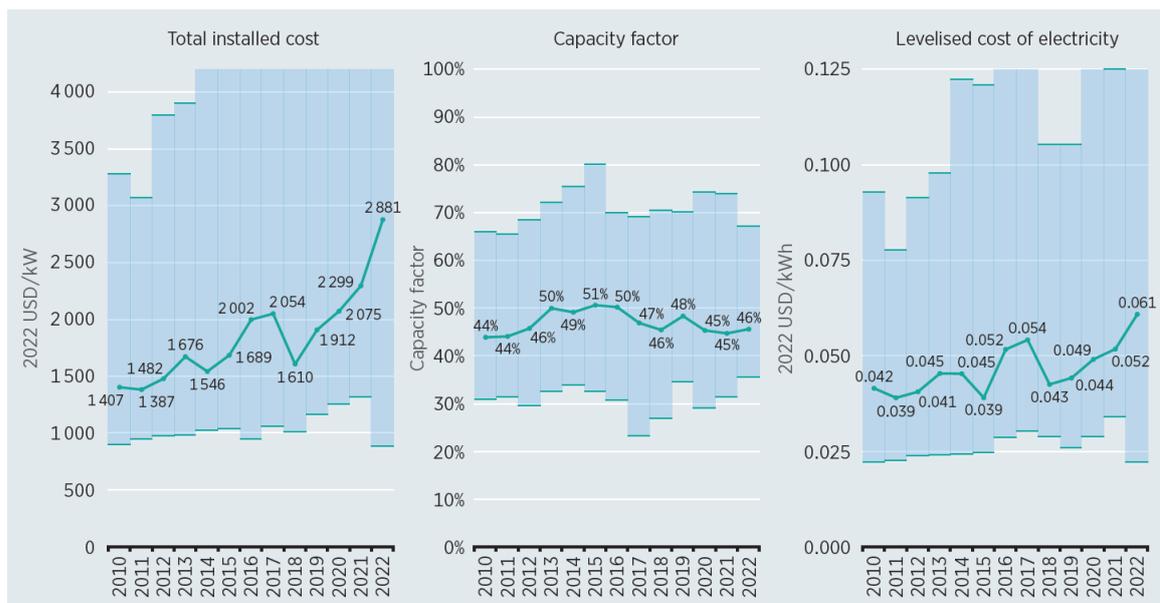


(四)水力

在 2010 年-2022 年間，水力發電全球加權平均 LCOE 增加了 45%，而 2022 年(0.061 美元/度)相較去年(0.052 美元/度)同期 LCOE 則是增加了 18%。儘管全球水力發電的 LCOE 有所增加，然 2022 年在特定國家或地區，有 96% 新布署的水力發電計畫的 LCOE 相較新投產的化石燃料火力發電仍來的低。

自 2010 年以來，水力發電 LCOE 的成長主要是受到裝置成本上升所推動，尤其是在亞洲，可能原因為新的水力電廠其場域條件更具挑戰性，以及近期供應鏈通貨膨脹導致成本上升。2022 年新投產的水力發電，其全球加權平均總裝置成本為 2,881 美元/kW，高於 2021 年的 2299 美元/kW。

2010 年-2022 年期間，水力發電計畫的全球加權平均容量因數約在 44%-51% 波動，2022 年則是 46%。



資料來源：IRENA, 2023.

圖 8、2010-2022 年水力發電全球加權平均總裝置成本、容量因數及 LCOE

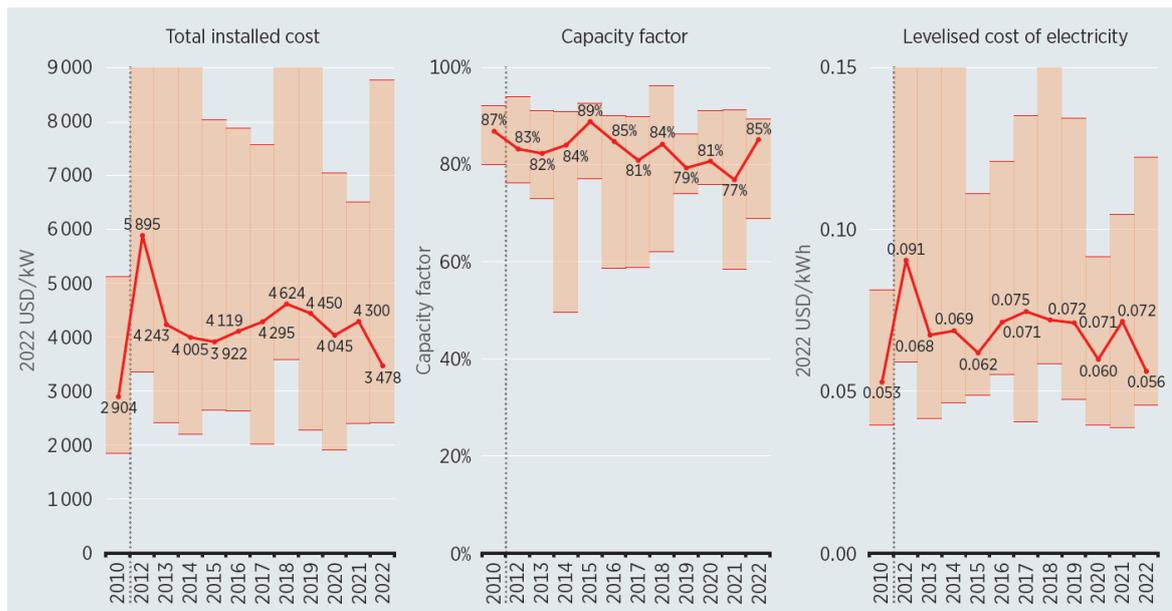


(五)地熱

2022 年全球約有 181 MW 的新增地熱裝置容量，低於 2021 年新增的 279 MW，也是近 10 年來最低的布署量，而地熱的低布署率也意味著期加權平均成本與績效，僅由少數的發電廠所決定。2022 地熱新投產計畫的全球加權平均 LCOE 為 0.056 美元/度，低於 2021 年的 0.072 美元/度。

2022 年在 IRENA 資料庫中的 10 座地熱電廠的全球加權平均總裝置成本為 3,478 美元/kW，低於過去 10 年的數值。而 2022 年新投產的 10 個計畫總裝置成本落於 2,300 美元/kW - 4,812 美元/kW 不等。

地熱發電廠通常設計為盡可能維持儲集層熱流穩定流動，以提供全天候的電力，2022 年新投產的地熱發電其全球加權平均容量因數為 85%，與 2010 年以來所記錄的容量因數數據約略一致。



資料來源：IRENA, 2023.

圖 9、2010-2022 年水力發電全球加權平均總裝置成本、容量因數及 LCOE

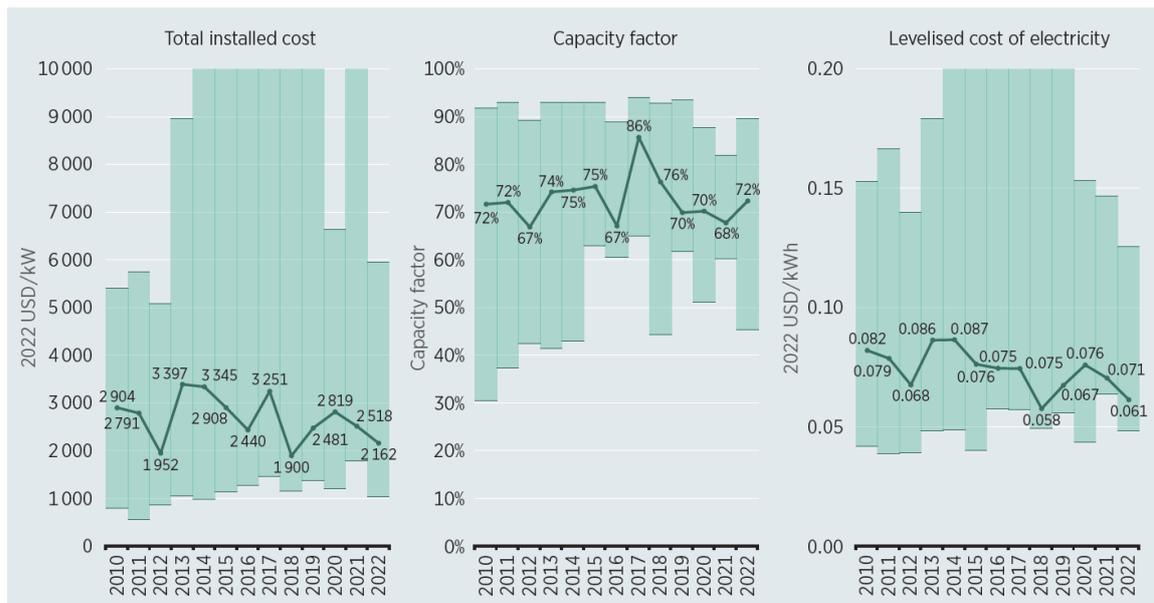


(六)生質能

在 2010 年-2022 年間，生質能電力計畫全球加權平均 LCOE 自 0.082 美元/度降至 0.061 美元/度，這也是自 2010 年以來第二低的紀錄，亦較新的化石燃料火力發電成本來的低。生質能源有一系列的選項可用於發電，涵蓋廣泛的原料與技術，若有低成本原料，如當地有農業或林業加工的副產品，如此即可提供極具競爭力的可調度電力。

2022 年新投產的生質能計畫，其全球加權平均總裝置成本為 2,162 美元/kW，相較 2021 年(2,518 美元/kW)有所降低。而生質能發電廠的容量因數各有差異，會根據其可使用的技術與原料而定，2010-2022 期間，生質能計畫的容量因數在 67%與 86%之間變動。

2022 年若依國家或地區評估，其加權平均 LCOE 範圍落在最低的印度(0.060 美元/度)與中國(0.062 美元/度)以及最高的歐洲(0.092 美元/度)與北美(0.101 美元/度)之間。



資料來源：IRENA, 2023.

圖 10、2010-2022 年生質能電力全球加權平均總裝置成本、容量因數及 LCOE



參考文獻

IRENA, 2023. Renewables Power Generation Cost in 2022.



工業技術研究院內部資訊，禁止複製、轉載、外流，不再使用請銷毀

ITRI PROPRIETARY DOCUMENTS, DO NOT COPY OR
DISTRIBUTE, PLEASE DESTROY AFTER USE



懂能源



工業技術研究院
懂能源