

# 四方安全對話之乾淨能源供應鏈安全

劉翎端

國家安全研究所

## 壹、前言

今（2022）年5月24日，美國、日本、澳洲與印度在東京舉辦「四方安全對話」（Quad），會後所宣布啟動之「四方氣候變遷調適與減緩方案」（Quad Climate Change Adaptation and Mitigation Package, Q-CHAMP），除旨在降低印太地區的自然災害風險、加強該區域基礎建設對氣候變遷衝擊的韌性，建造綠色港埠與進行海運業減碳之外，另一大重點則為強化印太地區的乾淨能源供應鏈合作，包含：加速液化天然氣產業之能源轉型，發展乾淨氫能、乾淨氨燃料，推動碳捕捉、利用與封存（Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS）以及碳循環（Carbon Recycling）技術，將甲烷排放量儘可能降低。<sup>1</sup>

四方安全對話在乾淨能源供應鏈之近期重點工作項目，為今（2022）年7月12至13日澳洲與國際能源署（International Energy Agency, IEA）共同舉辦的「雪梨能源論壇」（Sydney Energy Forum），美日澳印四國能源部長將會面，商談刻正研擬之四方「十年乾淨能源供應鏈路徑圖」，從而建構完善碳交易市場，擴大與印太地區其他國家的合作，加快該區域能源轉型之進程。<sup>2</sup>然而，四方安全對話積極發展乾淨能源供應鏈之更重要目的，則是藉由塑造綠氨與綠氫等新的綠能供應鏈，與目前領先印太區域再生能源發展（包含太陽能、風能、電動車、稀土生產和製造）的中國大幅脫鉤，藉由邀請與凝聚其他印

---

<sup>1</sup> “Quad Joint Leaders’ Statement,” *The White House*, May 24, 2022, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/05/24/quad-joint-leaders-statement/>.

<sup>2</sup> “FACT SHEET: Quad Leaders’ Tokyo Summit 2022,” *The White House*, May 23, 2022, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/05/23/fact-sheet-quad-leaders-tokyo-summit-2022/>.

太盟國夥伴，促使該綠能供應鏈的多樣化，提升區域能源安全，以擺脫中方牽制。<sup>3</sup>本文檢視該乾淨能源供應鏈合作之趨勢與意涵，以及可能面臨的挑戰：

## 貳、以乾淨氫與氨能使印太區域脫碳亦脫「中」

### 一、促使印太區域脫碳亦脫「中」

由於氫與氨燃燒後皆不會產生二氧化碳，若逐步汰換目前使用主流一生產成本低但碳排放量高的灰氫 (Grey Hydrogen)，搭配碳捕捉、利用與封存技術製成碳排放量稍低的藍氫 (Blue Hydrogen)，或是直接以太陽能或風能等再生能源電解水所製成、碳排放量極低的綠氫，即有助於達成淨零碳排目標。<sup>4</sup>因此「四方安全對話」於去 (2021) 年 9 月底成立一項乾淨氫能夥伴計畫，採用自再生能源、碳捕捉利用與封存及核能所生產之氫能，建設安全、有效的能源儲運分配基礎設施，促進及提升印太區域對乾淨氫能的需求與貿易。<sup>5</sup>

「四方安全對話」之乾淨氫、氨能合作模式，是先以美國、日本、印度、澳洲四國之間雙邊或多邊合作為基礎，擴大納入其他印太區域，甚至歐洲地區的國家，以求在氫氨等替代能源上能創造新的區域供應鏈，與中國徹底分離。因為太陽能、風能及電動車供應鏈均有過度集中於中國的趨勢，在印度大力推行乾淨氫能與氨能產業，能降低中國在印太地區之能源影響力，維繫區域政經平衡。雖然在此同時，中國

---

<sup>3</sup> Jun Nagashima, "Can the Quad Lay the Groundwork for Environmental and Economic Security?: Eliminating Vulnerabilities and Ensuring Resilience," *International Information Network Analysis*, [https://www.spf.org/iina/en/articles/nagashima\\_09.html](https://www.spf.org/iina/en/articles/nagashima_09.html); James Bowen, "Enhancing Clean Energy Cooperation," *The National Bureau of Asian Research*, June 23, 2022, <https://www.nbr.org/publication/enhancing-clean-energy-cooperation-in-the-indo-pacific/>.

<sup>4</sup> "The Role of Hydrogen and Ammonia in Meeting the Net Zero Challenge," *The Royal Society*, May 19 2021, <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/climate-change-science-solutions/climate-science-solutions-hydrogen-ammonia.pdf>; 〈產業技術評析：全球氫氣生產方式的發展與趨勢〉，〈經濟部技術處〉，2021年5月26日，[https://www.moea.gov.tw/MNS/doi/industrytech/IndustryTech.aspx?menu\\_id=13545&it\\_id=364](https://www.moea.gov.tw/MNS/doi/industrytech/IndustryTech.aspx?menu_id=13545&it_id=364)。

<sup>5</sup> "Fact Sheet: Quad Leaders' Summit," *The White House*, September 24, 2021, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/09/24/fact-sheet-quad-leaders-summit/>.

亦正計畫大規模發展乾淨氫能，對比於中方可能具有相對較低的氫能價格優勢，印度則擬追求生產高品質氫能，與中國競爭。<sup>6</sup>

## 二、合作計畫與搭配政策

「四方安全對話」規劃未來將進行「乾淨氫能與氫能夥伴計畫」(Clean Hydrogen and Ammonia Partnership)，來發展乾淨氫能與氫能相關供應鏈，並在今(2022)年下半年召開一系列會議，包含日本12月所將舉辦之氫與氨供應鏈經濟國際研討工作坊，印度擬提出之「四方乾淨氫戰略倡議」(Quad Clean Hydrogen Strategic Initiative)、7月亦先針對氫能相關法規標準辦理四方對話研討會。<sup>7</sup>而現階段「四方安全對話」在乾淨氫與氫能的具體合作案例，包含：印度和澳洲於新能源和再生能源的技術合作、日澳脫碳技術與碳回收合作備忘錄、日本與印度乾淨能源夥伴關係、日美乾淨能源倡議等。<sup>8</sup>此外，美國、日本、印度、澳洲各國在氫氫能源的發展現況、產業結構與優勢均不盡相同，故需要透過「四方安全對話」的雙、多邊機制，以創造出最佳的產業策略與商業利基。

此外，因印太區域幅員極為廣大，乾淨氫與氫能從生產、運輸、儲存到配送，須經由複雜管線、運輸槽車與船舶、廠站設施，故需進行妥善的可行性評估，才能確保乾淨氫與氫能供應鏈的推行具備安全性與經濟效益。目前四方安全對話針對幾項氫與氫能供應鏈專案，所進行的可行性評估研究包含：自澳洲運送乾淨氫能至日本<sup>9</sup>、自西澳輸

---

<sup>6</sup> Rishi Ranjan Kala, "Quad Eyes India as Manufacturing Hub for Green Hydrogen," *The Hindu Business Line*, June 28, 2022, <https://www.thehindubusinessline.com/markets/commodities/quadeyes-india-as-manufacturing-hub-for-green-hydrogen/article65576219.ece>.

<sup>7</sup> "Quad Cooperation in Climate Change and Launch of the Quad Climate Change Adaptation and Mitigation Package (Q-CHAMP)," *Ministry of Foreign Affairs of Japan*, May 24, 2022, <https://www.mofa.go.jp/files/100348057.pdf>.

<sup>8</sup> 同註 6。

<sup>9</sup> 此評估案為澳洲國內最大之獨立油氣公司「伍德塞德石油」(Woodside Energy Group)，而日方合作對象則有隸屬經產省之獨立行政法人「石油天然氣金屬礦物資源機構」(Japan Oil, Gas and Metals National Corporation, JOGMEC)，提供日本北陸福井、石川與富山三縣之電力「北陸電力公司」(Hokuriku Electric Power Company)，「關西電力公司」(The Kansai Electric Power Company)，以及綜合商社「丸紅」(Marubeni Corporation)。

出低碳氫能至日本<sup>10</sup>、自南澳維多利亞州輸出至日本神戶港之液態氫海運計畫<sup>11</sup>、美國洛杉磯港口設置現地製氫與耗氫之長期性示範計畫<sup>12</sup>、在印度推展氫燃燒技術<sup>13</sup>、日美澳三方對碳捕捉與封存場址建置光纖監測設備等案<sup>14</sup>。

在「四方安全對話」成員當中，美國、日本與澳洲擁有較前端的乾淨氫能與氫能製造技術，而印度則因有較低廉的勞力與土地成本等優勢，被看好在未來可作為乾淨氫能與氫能的生產中心。<sup>15</sup>印度國內及其他三個成員國與此願景相配合之政策包含：

(一) 印度：推出乾淨能源及技術補貼政策，印度總理莫迪已於 2021 年 8 月發布、旨在打造印度成為全球綠氫生產樞紐之「國家氫能計畫」(National Hydrogen Mission)，印度電力部(Ministry of Power)亦於 2022 年 2 月制定綠氫 / 綠氨政策 (Green Hydrogen/ Green Ammonia Policy)<sup>16</sup>，美國、日本與澳洲也打算透過各項雙邊合作機

---

<sup>10</sup> 本評估案為綜合商社「三井物產」(Mitsui Corporation)在澳洲的油氣生產子公司(Mitsui Exploration and Production Australia, MEPAU)與獨立行政法人「石油天然氣金屬礦物資源機構」合作。

<sup>11</sup> 該「氫能供應鏈試驗計畫」(Hydrogen Energy Supply Chain, HESC)為世界首次液態氫海運計畫，由「零碳氫能供應鏈技術研究協會」(CO<sub>2</sub>-free Hydrogen Energy Supply-chain Technology Research Association, HySTRA)以及日澳雙方中央政府、澳洲維多利亞州政府及雙邊相關天然氣與造船企業所執行與資助，參與成員包含澳方「AGL 能源公司」(AGL Energy)，日本方面則有「川崎重工業」(Kawasaki Heavy Industries)、「川崎汽船」(Kawasaki Kisen Kaisha)、「電源開發株式會社」(Electric Power Development Corporation)、日本液化石油氣市占率居首之「岩谷產業株式會社」(Iwatani Corporation)、綜合商社「丸紅」(Marubeni Corporation)與「住友商事」(Sumitomo Corporation)等。

<sup>12</sup> 本計畫由隸屬於日本經產省之獨立行政法人「新能源產業綜合開發機構」(New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO)協助，參與企業包含：三井造船(Mitsui E&S Machinery Corporation)、豐田通商(Toyota Tsusho Corporation)、屬於豐田集團並以製造中重型貨車與巴士為主的日野汽車(Hino Motors)等。

<sup>13</sup> 本評估案亦由日本獨立行政法人「新能源產業綜合開發機構」(NEDO)支持。

<sup>14</sup> 此研究計畫參與成員包括：美國北達科達大學「能源與環境研究中心」(The Energy and Environmental Research Center, EERC)、日本「地球環境產業技術研究機構」(Research Institute of Innovative Technology for the Earth, RITE)、日本獨立行政法人「新能源產業綜合開發機構」(NEDO)、澳洲國家級科研機構「聯邦科學暨工業研究組織」(CSIRO)、澳洲「溫室氣體合作研究中心」(Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies, CO2CRC)等研究單位。

<sup>15</sup> 同註 7。

<sup>16</sup> 印度「國家氫能計畫」目標為 2030 年以前綠氫年產量需達五百萬噸，總理莫迪並誓言印度於 2047 年以前要成為能源獨立國家；“National Hydrogen Mission (Ministry of New & Renewable Energy),” *Ministry of Information and Broadcasting, Government of India*, March 21, 2022,

會，於印度投資乾淨氫能與氨能製造技術，尤其是再生能源電解（electrolysis）製氫，然後再將所生產之綠氫運回各自國內。<sup>17</sup>

（二）日本：以「日印能源部長對話」推動綠氫與綠氨技術合作，將2022年2月至4月訂為「日印乾淨氫能月」鼓勵日企至印度投資。

18

（三）澳洲：發布《印度經濟戰略 2035》（An India Economic Strategy to 2035），其中指出澳洲與日本在氫能運輸技術合作上的突破，亦即將太陽能或風能製造的綠氫轉成氨作為能源載體，可使澳洲成為印度的氫能供應來源國，故提倡澳洲與日本、印度共同合作，將可發掘氫能產業商機。<sup>19</sup>

（四）美國：繼2018年以來啟動「美印能源戰略夥伴關係」（U.S.-India Strategic Energy Partnership, SEP），規劃美印雙方於電力與能源效率、石油與天然氣、再生能源及永續發展等四大主軸進行合作，2021年9月再進一步與印度提出「美印乾淨能源戰略夥伴關係」（U.S.-India Strategic Clean Energy Partnership, SCEP），並將氫氣新增至雙方於「石油與天然氣」之合作主軸中，推動能源產業、能源終端使用部門之脫碳與電氣化。<sup>20</sup>

---

<https://static.pib.gov.in/WriteReadData/specificdocs/documents/2022/mar/doc202232127201.pdf> ; “Ministry of Power notifies Green Hydrogen/ Green Ammonia Policy,” *Ministry of Information and Broadcasting*, February 17, 2022, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1799067>.

<sup>17</sup> 目前由再生能源電解水製造綠氫，有鹼性電解（Alkaline electrolysis, AE）、質子交換膜電解法（Polymer electrolyte membrane, PEM），以及「固態氧化物電解電池」（Solid Oxide Electrolysis cell, SOEC）等方法，其中SOEC電解效率較佳，未來發展潛力高，為印度希望引進推廣的製氫技術；工業技術研究院綠能與環境研究所，〈國際氫能基礎建設之發展與推動現況〉，《再生能源資訊網》，2022年5月20日，<https://www.re.org.tw/knowledge/more.aspx?cid=201&id=4523>；同註15。

<sup>18</sup> “Japan-India Summit Meeting,” *Ministry of Foreign Affairs of Japan*, May 24, 2022, [https://www.mofa.go.jp/sa/sw/in/page1e\\_000405.html](https://www.mofa.go.jp/sa/sw/in/page1e_000405.html) ; “India-Japan Clean Hydrogen Month,” *Embassy of Japan in India*, February 18, 2022, [https://www.in.emb-japan.go.jp/itpr\\_ja/11\\_000001\\_00499.html](https://www.in.emb-japan.go.jp/itpr_ja/11_000001_00499.html).

<sup>19</sup> Peter N. Varghese AO, “An India Economic Strategy to 2035: Navigating from Potential to Delivery,” *Department of Foreign Affairs and Trade*, April 2018, <https://www.dfat.gov.au/sites/default/files/minisite/static/07db88b0-d450-4887-9c90-31163d206162/ies/pdf/dfat-an-india-economic-strategy-to-2035.pdf>.

<sup>20</sup> 美國商務部國際貿易管理局（International Trade Administration, U.S. Department of Commerce）亦與印度高科技中心（Center of High Technology）舉辦煉油與石油化工業網路研討會，分享

## 參、降低乾淨能源成本為首要任務

目前中國在太陽能、風力發電產業規模與價格上領先全球，其亦打算以該優勢在未來大力生產綠氫，例如中國國家發展和改革委員會已聯合中國國家能源局制定為期 15 年之《氫能產業發展中長期規劃（2021-2035 年）》，規劃 2025 年以前綠氫年產量要達到 10 至 20 萬噸，2035 年納入交通、工業與能源儲存，打造多元氫能供應鏈。<sup>21</sup>而重點城市例如上海，亦搭配推出 2022 至 2035 年氫能產業發展中長期規劃，目標是成為「東亞氫能貿易中心」及「國際一流的氫能科技創新、產業發展及多元示範應用高地」<sup>22</sup>。

面對中國發展乾淨能源的強勁態勢，「四方安全對話」與印太地區的其他國家亦意識到，自己應在區域乾淨能源供應鏈中投入更多資源、提高參與度，以求降低中國對該供應鏈的影響力。<sup>23</sup>然而，在印太區域打造既脫碳又與中國脫鈎的綠氫與綠氨等乾淨能源供應鏈，未來能否推行成功，首要任務即為降低生產、運輸、儲存與配送等相關成本。日前澳洲已有氫能技術開發團隊，成功製造出與天然氣價格相近的綠氫（2 美元 / 公斤），未來可望朝量產規模發展，並輸往印太地區其他國家。<sup>24</sup>此外，美國能源部已於 2021 年提出十年內將綠氫生

---

美國在氫氣生產、碳捕捉、利用與封存 (CCUS) 上的創新技術；“U.S.-India Strategic Clean Energy Partnership: Responsible Oil and Gas Pillar,” *U.S. Department of Energy*, September 2021, [https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-09/SCEP%20Pillars\\_Accomplishments.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-09/SCEP%20Pillars_Accomplishments.pdf)；“Joint Statement: U.S. and Indian Ministers Revitalize the Strategic Clean Energy Partnership,” *U.S. Embassy in India*, September 9, 2021, <https://in.usembassy.gov/joint-statement-u-s-and-indian-ministers-revitalize-the-strategic-clean-energy-partnership/>.

<sup>21</sup> 中國官方宣稱 2021 年生產 33 百萬公噸氫氣，居世界首位，且 2030 年以前年氫氣生產量預計將達 43 百萬公噸，同時也估計 2030 年以前，綠氫於氫氣總生產量占比將由 2019 年的 1%，成長至 10%；Zheng Xin, “Green Hydrogen to Rise in China,” *China Daily*, May 5, 2022, [https://english.www.gov.cn/news/topnews/202205/05/content\\_WS62732b97c6d02e533532a417.html](https://english.www.gov.cn/news/topnews/202205/05/content_WS62732b97c6d02e533532a417.html).

<sup>22</sup> 〈氫能產業發展中長期規劃（2021-2035 年）〉，《中國國家能源局》，2022 年 3 月 23 日，[http://zfxgk.nea.gov.cn/1310525630\\_16479984022991n.pdf](http://zfxgk.nea.gov.cn/1310525630_16479984022991n.pdf)。

<sup>23</sup> James Bowen, Reenergising Indo-Pacific Relations: Australia’s Clean Energy Opportunity, *Perth USAsia Centre*, July, 2022, <https://www.climatecouncil.org.au/wp-content/uploads/2022/07/Reenergising-Indo-Pacific-Relations-Australias-Clean-Energy-Opportunity.pdf>.

<sup>24</sup> “Australian R&D Puts Low Cost Hydrogen within Reach,” *ARENAWIRE*, May 9, 2022, <https://arena.gov.au/blog/australian-rd-puts-low-cost-hydrogen-within-reach/>.

產成本降低 80%至 1 美元 / 公斤的「111 目標」 (\$1 per 1 kilogram in 1 decade) ; 另一方面, 印度「信實集團 (Reliance)」也於 2022 年 2 月宣布, 希望在 2030 年前將綠氫生產成本降至 1 美元 / 公斤以下。

25

## 肆、結語

藉由「四方安全對話」之合作機制, 美國、日本、印度和澳洲得以在印太區域形塑出一條新的乾淨能源供應鏈, 縱然仍有價格問題待克服, 其結合美、日、澳在綠氫與綠氨之製造運儲技術, 印度蓬勃勞動力與低廉土地價格等潛力, 從而發展出與中國脫鈎之脫碳路徑, 仍可提供印太地區其他國家更自由的能源消費選項, 及更為穩固的能源安全保障。

本文作者劉翎端為英國劍橋大學環境、社會與發展碩士, 倫敦政治經濟學院環境與發展碩士, 現為財團法人國防安全研究院國家安全研究所政策分析員。主要研究領域: 氣候變遷、能源與自然資源安全。

---

<sup>25</sup> “Hydrogen Shot,” *U.S. Department of Energy*, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-shot>; Cdr (Dr) Jayakrishnan N Nair, “How Green is Hydrogen?” *Defence Research and Studies*, April 29, 2022, <https://dras.in/how-green-is-hydrogen/>.