

氫能：全球能源轉型中的戰略性角色、技術路徑與政策洞察

引言：氫能——淨零轉型的戰略基石

全球氣候變遷的挑戰日益嚴峻，促使各國加速其能源結構的根本性轉型。根據國際能源署(IEA)的報告，全球已有超過130個國家承諾在2050年實現淨零排放目標，這要求我們不僅要大規模部署再生能源，更需找到能夠解決其間歇性問題，並為「難以減碳」產業提供清潔替代方案的途徑¹。在這一進程中，氫能正從一種傳統的工業原料(主要用於煉油及生產氨、甲醇等)轉變為一種多功能、零碳的能源載體，其在發電、工業、交通運輸等領域的潛力被寄予厚望²。

本報告旨在為高階決策者提供一份全面且具前瞻性的分析。報告將依循氫能的完整價值鏈，從製備技術、儲存與運輸、終端應用，乃至全球主要國家的政策與投資策略，進行深度剖析與比較。本分析將超越表面數據，探討氫能產業發展背後的關鍵技術瓶頸、經濟可行性、市場供需動態，以及各國政策的戰略性考量，以期為理解氫能在未來能源版圖中的可行性與限制提供堅實依據。

第一章：氫能製備技術的經濟與碳足跡分析

氫氣在自然界中幾乎不以純態存在，其製備過程的碳足跡與成本效益，是定義其「清潔」屬性與商業可行性的核心要素。本章將深入剖析綠氫與藍氫這兩種在淨零轉型中備受關注的製備路徑，並對其成本結構與戰略定位進行比較。

綠氫：可再生能源電解的終極路徑

綠氫被視為實現完全去碳化的最終解決方案，其製程是利用風力、太陽能等可再生能源發電，再透過電解水的方式產生氫氣，此過程中幾乎不產生溫室氣體排放¹。然而，目前綠氫的成本極高，

仍處於示範運行階段，尚未能大規模商業化¹。

綠氫的製備成本主要受兩個關鍵因素影響：電力成本與電解槽設備成本。研究顯示，電力成本在電解水製氫的平準化成本(LCOH)中佔比高達70%至90%，這使其成為影響氫氣最終價格的最敏感因素⁵。電解槽設備是另一大成本來源。儘管中國在鹼性電解槽(AE)方面已具備成本優勢，但其電解效率較低，且難以快速應對可再生能源發電的波動性，無法與間歇性的風能和太陽能有效匹配⁶。相較之下，質子交換膜(PEM)電解槽技術雖能快速啟動並適應電力波動，但其高昂的製造成本與對貴金屬(如鉑)的依賴，使得其製氫成本比鹼性電解槽高出數倍，約佔總成本的44%⁶。

值得關注的是，綠氫的成本曲線與再生能源的成本曲線呈現高度正相關。這意味著，綠氫的商業化與普及，本質上取決於風力與太陽能發電成本的持續下降，以及電解槽技術效率的提升與規模化帶來的降本效益。因此，氫能產業的發展瓶頸並不僅限於氫能技術本身，而是更廣泛的再生能源基礎設施、智慧電網調度與系統整合的能力。對台灣等再生能源發展面臨土地限制的地區而言，若要實現其2050年氫能佔總發電量9%至12%的目標，且以綠氫為主，則必須同時考量大規模再生能源建置所帶來的國土空間壓力¹。這需要將自產綠氫的規劃與再生能源設置的集中區域(如中部離岸風力發電區)相結合，以提升本土產氫量，並在一定程度上緩解進口壓力¹。

藍氫：作為過渡性橋樑的角色

藍氫是利用化石燃料(主要是天然氣)來製取氫氣，同時搭配二氧化碳捕獲、封存與再利用(CCUS)技術，以實現低碳排放的氫氣來源¹。由於其製程基於成熟的天然氣重組技術，藍氫在成本上相較於綠氫更具競爭力，且在2030年的成本預測上仍具備優勢⁹。然而，其成本高於傳統的灰氫，主要來自於CCUS的額外投資與營運成本¹。目前，CCUS的碳捕捉成本仍偏高，約為每噸50至70美元，需要進一步降低至35美元/噸才有機會大規模商業化¹⁰。

儘管德國等國已將綠氫定義為長期唯一的永續發展路徑⁴，但在過渡時期，藍氫的戰略角色不容忽視。德國的國家戰略明確指出，在綠氫供應尚未成熟前，藍氫將作為重要的過渡選項，以快速滿足其國內日益增長的需求並降低整體市場價格⁸。這種策略揭示了國際氫能發展的一種務實權衡：在綠氫供應鏈未完全成熟前，藍氫是平衡「淨零排放需求」與「經濟可行性」的實用選項。這也解釋了美國《通膨削減法案》(IRA)中的氫能稅收抵免政策，為何會根據氫氣的生命週期碳排放強度給予不同等級的補貼¹²。

然而，藍氫的碳足跡並非為零，其清潔程度取決於CCUS技術的捕獲效率。若捕獲效率不足，其碳足跡可能依然顯著，這將使其在國際綠色認證標準上可能面臨挑戰。同時，CCUS技術本身也需要額外能源，進一步影響其整體能源效率與成本。

附表1：主流製氫技術之製程、碳排放與成本比較

製氫技術	製程原理	主要原料	碳排放強度 (kg CO2e/kg H2)	目前成本 (美元/kg H2)	優勢與限制
綠氫	電解水	再生能源電力、水	0	較高，尚處於示範階段	優勢：零碳排放，符合長期淨零目標。限制：成本極高，依賴再生能源發電與電解槽技術降本，不具備規模化商業競爭力 ¹ 。
藍氫	化石燃料重組 + CCUS	天然氣、煤	低碳排放，非零碳	高於灰氫，低於綠氫	優勢：利用成熟技術，可快速規模化，是過渡期的重要選項。限制：碳捕捉成本高，非完全零碳 ¹ 。
灰氫	化石燃料重組	天然氣、煤	9-11	最低	優勢：製程成熟，成本最低，目前是主流製氫方式。限制：高碳排放，不符淨零目標 ² 。
藍綠氫	天然氣熱裂解	天然氣	低碳排放，固態碳	較高，處於新創技術階段	優勢：固體碳易於儲存和再利用。限制：熱裂解過程需大量燃料，能

					源效率與技術成本高 ¹ 。
--	--	--	--	--	--------------------------

第二章：氫能儲存與運輸：產業規模化的關鍵瓶頸

氫能的大規模應用不僅取決於製備成本，更受到其儲存與運輸環節的制約。由於氫氣的物理特性，其儲運成本在整個產業鏈中佔比高達30%至40%¹³。本章將探討不同儲運技術的優劣，並分析基礎設施不足所帶來的「雞生蛋、蛋生雞」困境。

多樣化的儲運技術路徑

氫能的儲存與運輸技術涵蓋多種路徑，每一種都針對不同的應用場景與需求。

1. 高壓氣態儲運：這是目前最成熟的技術之一，主要透過將氫氣壓縮至700 bar的高壓狀態儲存在專用鋼瓶中¹⁴。其優勢在於技術成熟且轉換成本較低¹⁵。然而，高壓氣態儲運面臨容器笨重、儲氫密度低（質量儲氫密度約為1%至1.5%）以及潛在的氫脆風險等挑戰¹⁴。高壓氣態運輸因其性價比，在氫能市場發展初期與運輸半徑較小的場景中最具優勢¹⁵。
2. 低溫液態儲運：液態氫在相同體積下的儲存密度比氣態氫更高，因此能儲存更多燃料¹⁷。但其缺點是需要將氫氣冷卻至極低溫（-253°C），且會因外界熱量進入而產生「蒸發損耗」（boil-off gas）現象，導致不適合長期儲存¹⁴。針對此問題，豐田（Toyota）正在開發一項「零浪費」概念技術，旨在回收這些蒸發的氫氣，並將其重新用於發動機燃料或透過燃料電池發電，以驅動車輛內部元件，從而大幅提升液態氫系統的整體能效¹⁷。這種將原本視為「浪費」的氣體轉化為可用能源的創新思維，為氫能的商業化提供了新的經濟誘因。同時，NASA與其他私營公司也在絕緣材料（如玻璃氣泡）和主動熱控制方面取得突破，目標是將蒸發率降至極低，從而提升大規模液態氫儲存的可行性¹⁹。
3. 固態儲氫與化學載體：固態儲氫技術，如利用儲氫合金（鎂基合金）或奈米多孔材料（如硼氫化鎂），能提供更高的儲存密度（奈米多孔硼氫化鎂可達每公升144克，高於液態氫的70.8克），且具備高安全性、無蒸發損耗等優勢²⁰。儘管目前這些技術仍處於研發突破階段，尚未大規模應用，但其在長途運輸（卡車、貨船）與長時間、高安全性運作的場景中，展現出巨大的潛力²⁰。

基礎設施的「雞生蛋、蛋生雞」困境

氫能的大規模應用，需要一個強大且完善的基礎設施網絡，包括運輸管道與加氫站。然而，目前基礎設施的建設仍處於初期階段，面臨著典型的「雞生蛋、蛋生雞」困境²²。加氫站數量不足，導致氫燃料電池車(FCEV)的普及受到限制；反之，FCEV的低普及率又抑制了企業投資加氫站的意願

²³。

此外，氫氣的管道運輸是實現大規模、長距離、低成本供應的理想模式¹³。然而，氫氣分子小、滲透性強，會導致管道材料性能劣化，引發氫脆現象，增加了管道損傷與失效的風險¹³。這需要大量投資於新材料的研發與專用管道的建設。為此，德國萊因(TÜV)正在進行一項實證專案，測試在既有天然氣管網中混合高達20%至30%的氫氣，以利用現有基礎設施，為氫能輸送奠定基礎²⁵。這類務實的試驗路徑，有助於在專用管網建成前，逐步提升氫能的應用規模。

附表2: 主要氫能儲存與運輸方式技術指標比較

儲運方式	儲存密度(wt%)	體積密度(kg/m3)	安全風險	技術成熟度	成本與典型應用
高壓氣態	1%-1.5%(70MPa)	30-40	較高(容器破裂)	高	轉換成本低，初期運輸半徑小，具性價比 ¹⁵
低溫液態	5%-7%	70.8	較高(極低溫，蒸發)	中	運輸密度高，適合中長途運輸與大規模儲存 ¹⁴
固態儲氫	5%-15%	86-144	較低(無氣體洩漏)	低	長期儲存與運輸，長途卡車、貨船等 ²⁰
化學載體	5%以上	可變	取決於載體特性	中	液氫、甲醇等，可利用現有基礎設施 ¹⁵

第三章：氫能的終端應用：深度脫碳的實踐路徑

氫能作為一種清潔燃料與原料，其應用潛力廣泛，能夠在交通、工業與電力等核心領域實現深度脫碳。

交通運輸：從重型車輛到航運

在交通領域，氫燃料電池車(FCEV)與電池電動車(BEV)並非簡單的競爭關係，而是互補共存，服務於不同的應用場景。FCEV以其續航里程長、加注時間短(與燃油車相近)以及車輛輕量化等優勢，被視為重型商用卡車、巴士等長途重載運輸的有效解決方案²⁶。相比之下，BEV則更適合城市短途運輸。這一趨勢體現在各國的政策推廣路徑上，即氫能首先從公共交通與物流車隊等「公用」場景切入²³。這是因為這些場景對加注效率有高要求，且其集中管理的車隊模式更易於建設專用加氫站，從而繞開市場普及的「雞生蛋、蛋生雞」困境。例如，中國的示範城市群政策便是以重型車輛為主要推廣目標，並透過財政補貼與通行費減免等方式，加速市場規模化²⁶。

除了陸上交通，氫能也正擴展至航運領域。氫燃料電池船因其零排放、高效能、低噪音等優勢，正逐漸成為未來船舶動力技術的重要方向³¹。中國已成功開發並運營「三峽氫舟1號」等氫動力工作船，展示了其在商業應用中的潛力³¹。

工業脫碳：難以減碳部門的革命

工業是目前氫氣消費的最大宗，約佔全球氫氣需求量的95%以上，主要用於生產氨、甲醇及煉鋼³。傳統上，這些氫氣幾乎全部來自化石燃料製程，帶來巨大的碳排放³²。將其替換為清潔氫是實現工業深度脫碳的關鍵。

特別是在鋼鐵業，氫能被賦予革命性角色。傳統煉鋼製程中，高爐-轉爐製程約佔全球粗鋼產量的70%，其還原鐵礦石的過程會產生大量的二氧化碳³³。而「氫冶金」(氫直接還原鐵)技術則以氫氣取代傳統的焦炭作為還原劑，其產物將是水而非二氧化碳³³。中國的寶鋼股份已發行綠色債券，用於其氫冶金示範專案，並取得了初步進展³⁴。儘管技術上已具備可行性，但高昂的成本與巨大的資金投入仍是其商業化的主要挑戰³⁴。

電力與儲能：平衡電網的巨型電池

隨著風力與太陽能發電佔比的提升，電網的穩定性面臨挑戰。氫能儲能被視為解決再生能源間歇性與季節性波動的有效途徑³⁵。氫能儲能有兩種主要模式：狹義的「電-氫-電」模式，即利用過剩電力製氫儲存，再於電力不足時透過燃料電池轉換回電能；以及廣義的「電-氫-X」模式，將製得的氫氣直接供交通、工業等下游產業使用³⁶。

儘管狹義的「電-氫-電」模式因兩次能量轉換而導致整體效率較低，其經濟性在現階段仍遜於鋰電池與抽水蓄能³⁶。然而，氫能作為長時、大規模儲能的獨特優勢是其他技術難以匹敵的。氫氣可以進行長達數月甚至一年的季節性儲存，自放電率幾乎為零，且不受地理限制³⁶。因此，氫能儲能的真正價值，在於其作為跨產業、跨季節的能量載體，能夠有效平緩風力發電的季節性波動，或是將夏季過剩的太陽能電力儲存至冬季使用³⁶。這說明氫能的經濟性不應只以單純的能量轉換效率來衡量，而是應從其作為整個能源系統中「全價值鏈」整合者的角度來評估。

第四章：全球主要國家氫能策略與政策比較

全球氫能市場的發展，很大程度上取決於各國政府的頂層設計與政策支持。美國、德國、日本與中國在氫能發展上採取了不同的戰略路徑，體現了各自的經濟結構與戰略考量。

美國：透過財政激勵驅動產業創新

美國的氫能策略主要透過《通膨削減法案》(IRA)中的45V條款，提供每公斤最高3美元的清潔氫能稅收抵免，旨在利用強大的財政槓桿，刺激本土清潔氫能產業的發展¹²。這項政策的核心在於其嚴格的「3個支柱」(Three Pillars)原則，要求製氫所使用的電力必須來自三年內新建或新擴容的清潔能源，並在同一電網、同一小時內與製氫過程相匹配，以確保真正的碳排放削減³⁹。

然而，這項嚴格的規定也引發了核能等既有清潔能源業者的爭議，他們認為這將把氫能發展領導地位拱手讓給中國與歐洲¹²。最終，美國財政部在最終規則中做出了部分放寬，允許特定州的電力、核反應爐等納入補貼範圍³⁸。這反映出美國的氫能政策體現了「市場驅動」與「能源安全」的雙重考量：透過補貼來吸引民間資本快速投入，同時在確保能源多樣性與國家能源安全的戰略目標上進行權衡。

德國：積極的國際合作與進口策略

德國的《國家氫能戰略》明確將綠氫定義為其長期永續發展的唯一路徑⁴。然而，德國政府也務實地承認，其國內有限的風能與太陽能資源無法滿足未來巨大的氫能需求（預計到2030年將有50%至70%的氫氣需要進口），因此將國際合作與進口策略作為其核心戰略⁸。

德國正在與巴西、納米比亞、加拿大、挪威等國家積極建立氫能聯盟與合作關係⁴⁰。這種「能源外交」模式不僅旨在確保未來的穩定供應鏈，同時也為其國內的氫能技術與工業設備開闢新的國際市場。德國的策略並非追求國內生產的完全自給自足，而是透過與能源資源豐富的國家建立互惠關係，確保其在未來清潔能源供應鏈中的戰略地位，是一種以技術換取資源的典型模式⁴¹。

日本：技術與基礎設施的先驅

日本在氫能領域的發展歷史超過50年，是全球氫相關專利最多的國家之一，尤其在燃料電池與電解槽等核心技術上處於領先地位⁴²。日本的《氫能基本戰略》以載具與基礎設施建設為核心，設定了具體的發展目標，例如將2030年的加氫站建置目標從900座提升至1000座⁴²。

日本政府與企業（如豐田）緊密合作，透過大型活動（如2021年東京奧運會）進行大規模氫能車輛示範，旨在克服「雞生蛋、蛋生雞」的市場困境，並逐步推動商業化⁴²。這種技術驅動、循序漸進的策略，展現了日本在氫能領域的長期野心，但高昂的成本與較慢的市場接受度仍是其主要限制²³。

中國：政策引導下的全產業鏈規模化

中國已是全球最大的氫氣生產國和消費國，2024年氫氣產量超過3650萬噸³⁰。儘管目前仍以成本較低的化石燃料製氫為主，但中國政府已透過《氫能產業發展中長期規劃（2021-2035年）》與各地的示範城市群政策，來引導清潔氫能產業的發展³⁰。

中國的氫能發展模式可以概括為「政策驅動、以量取勝」。透過在京津冀、上海、廣東等示範城市群提供車輛補貼、通行費減免等財政激勵措施²⁶，中國成功帶動了燃料電池汽車的推廣與加氫站的建設。到2024年底，中國已建成超過540座加氫站，燃料電池汽車保有量約2.4萬輛³⁰。這種模式以市場規模的快速擴張來倒逼技術成本的下降，並已初見成效：2024年中國氫能生產側與消費側價格均顯著下降³⁰。然而，中國仍需解決儲運等關鍵環節的技術瓶頸，以實現全產業鏈的自主可控²⁹。

附表3：各國氫能發展政策目標與補貼機制對比

國家	核心政策	主要目標	補貼形式	政策特點
美國	《通膨削減法案》(IRA) ¹²	2050年氫產量達5000萬噸 ¹² ；設立七個區域氫能中心 ¹² 。	清潔氫能生產稅收抵免，最高達3美元/kg ¹² 。	市場驅動，透過財政激勵吸引民間投資，以確保能源安全與產業主導地位 ¹² 。
德國	《國家氫能戰略》 ⁴	2030年國內電解氫能力達10GW ⁴⁰ ；2030年氫能需求達95-120TWh，其中50%-70%仰賴進口 ⁸ 。	90億歐元投資基金 ⁴ 。	國際合作與能源外交，將進口視為核心策略，以確保供需平衡 ⁸ 。
日本	《氫能基本戰略》 ⁴²	2030年設置1000座加氫站 ⁴⁵ ；2030年氫能車輛保有量達80萬輛 ⁴² 。	國家預算與公私合營 ⁴² 。	技術驅動，專注於燃料電池與基礎設施建設，透過大型示範專案引領市場 ²³ 。
中國	《氫能產業發展中長期規劃（2021-2035年）》 ⁴⁶	2035年實現氫能在終端能源消費佔比約20% ³ ；燃料電池汽車保有量達5萬輛 ²⁶ 。	示範城市群補貼，包括車輛購置、用氫補貼與通行費減免 ²⁶ 。	政策驅動，以龐大市場規模實現全產業鏈的快速規模化與降本 ²⁹ 。

第五章：結論與前瞻：可行性、限制與未來機會

綜合評估：技術可行，經濟待熟

綜合上述分析，氫能在全球能源轉型中的戰略性角色是無可替代的。其作為清潔、高效、多用途的能源載體，在技術上已具備解決深度脫碳問題的潛力，尤其在重型交通、工業脫碳與長時儲能等領域展現出巨大價值。

然而，現階段氫能的大規模商業化仍面臨三大主要限制：

1. 高昂成本：儘管藍氫已具備一定的經濟競爭力，但實現長遠目標所需的綠氫生產成本仍遠高於傳統製氫方式，其普及化有賴於再生能源與電解槽成本的持續下降¹。
2. 基礎設施瓶頸：儲運技術（尤其是長距離、大規模運輸）與加氫站網絡的建設，需要巨額資本投入，且面臨「雞生蛋、蛋生雞」的市場困境²²。
3. 安全與法規：氫氣的物理化學特性使其安全問題至關重要。建立完善的法規與安全標準，並獲得公眾信任，是產業發展的基石²⁴。

未來展望與建議

氫能的發展將是一個循序漸進的過程，其商業化路徑可分為短期與中長期階段。

- 短期（2030年）：應將發展重點聚焦於特定的「利基市場」，例如重型交通運輸、高溫工業脫碳（如氫冶金）以及特定的電網調度場景。這些領域對氫能的獨特優勢（高能量密度、快速加注、深度脫碳）需求迫切，能夠承受相對較高的初期成本。同時，應務實地將藍氫視為重要的過渡性補充，以滿足近中期需求，避免因供應短缺而阻礙產業發展。
- 中長期（2050年）：展望綠氫生產成本的競爭力，以及儲運技術（如固態儲氫）與管道網絡的成熟。隨著技術進步與規模化效應，氫能將從「利基」走向「主流」，在發電、工業、交通等核心領域發揮關鍵作用，並成為全球能源結構中不可或缺的一部分¹⁵。

為了加速這一進程，各國政府與企業應採取以下策略性行動：加大研發投入，尤其是在電解槽、固態儲氫與管道材料等關鍵技術領域；完善跨國合作框架，以建立穩定的供應鏈與技術交流機制；統一技術標準與綠色認證體系，降低國際貿易壁壘；並透過政策激勵與示範專案，持續推動氫能產業邁向規模化與商業化，最終實現淨零排放的宏偉目標。

引用的著作

1. 氫氣的顏色密碼：綠氫、藍氫、灰氫傻傻分不清楚？ - 科技魅癮，檢索日期：9月 8, 2025, <https://www.charmingstech.nat.gov.tw/post/hydrogen-colours-code>
2. 邁向淨零碳排目標下各國氫能發展政策及應用案例，檢索日期：9月 8, 2025, <https://www.cier.edu.tw/site/cier/public/data/NO198-097-102-%E5%9C%8B%E9%9A%9B%E7%B6%93%E6%BF%9F-%E9%AD%8F%E9%80%B8%E6%A8%BA%E6%9D%8E%E5%BF%97%E5%81%89-%E9%82%81%E5%90%91%E6%B7%A8%E9%9B%B6%E7%A2%B3%E6%8E%92%E7%9B%AE%E6%A8%99%E4%B8%8B%E5%90%84%E5%9C%8B%E6%B0%AB%E8%83%BD%E7%99%BC%E5%B1%95%E6%94%BF%E7%AD%96%E5%8F%8A%E6%87%89%E7%94%A8%E6%A1%88%E4%BE%8B.pdf>

3. 氢能成為工業降碳利器--經濟·科技, 檢索日期: 9月 8, 2025, <http://finance.people.com.cn/BIG5/n1/2025/0117/c1004-40403800.html>
4. 產經消息_德國「國家氢能戰略」(1) - Invest Taiwan, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://investtaiwan.nat.gov.tw/doiNewsPage?lang=cht&search=175356&source=foreign>
5. 碳中和目标下电解水制氢关键技术及价格平准化分析 - 电工技术学报, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://dgjxb.ces-transaction.com/fileup/HTML/2022-11-2888.htm>
6. 电解水制氢成本有多高? 电解水制氢一公斤需要多少电- 资讯、资料、信息, 檢索日期: 9月 8, 2025, http://www.pemzhiqing.com/news_detail.php?cid=3&id=356
7. 氢的颜色- 綠氢、藍氢、灰氢、褐氢怎麼區分? | 能源小常識 | 專欄新知 | 能源教育資源總中心, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://learnenergy.tw/index.php?inter=knowledge&caid=5&id=666>
8. 確保永續能源供應德國政府敲定氫氣進口策略 - 淨零碳排- 中央社, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://netzero.cna.com.tw/news/202407270167/>
9. 全球藍氢生產技術與成本分析|數位醫療與智慧科技應用|物聯網 - IEK產業情報網, 檢索日期: 9月 8, 2025, https://ieknet.iek.org.tw/iekrpt/rpt_more.aspx?actiontype=rpt&indu_idno=14&domain=74&rpt_idno=482449749
10. 臺灣2050 淨零轉型「碳捕捉利用及封存」關鍵戰略行動計畫(核定本) - 行政院, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.ey.gov.tw/File/EF63415FAC210FF2?A=C>
11. 德国能源转型进程中氢能发展经验及启示, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.h2weilai.com/cms/index/shows/catid/55/id/7198.html>
12. 美國綠氢10億補助限3年內新增潔淨能源, 核電業爭取納入 - 台灣氢能與燃料電池夥伴聯盟, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.thfcp.org.tw/xcindustry/cont?xsmsid=0L265415022626956988&sid=00022446708464368025&sq=>
13. 氢能运输方式与技术发展现状及挑战, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://cn-heipa.com/newsinfo/7391212.html>
14. www.moea.gov.tw, 檢索日期: 9月 8, 2025, https://www.moea.gov.tw/MNS/doi/industrytech/IndustryTech.aspx?menu_id=13545&it_id=364#:~:text=%E6%B0%AB%E7%9A%84%E5%84%B2%E5%AD%98%E6%96%B9%E5%BC%8F%E7%8F%BE.%E4%BD%9C%E7%82%BA%E9%95%B7%E6%9C%9F%E5%84%B2%E5%AD%98%E4%B9%8B%E7%94%A8%E3%80%82
15. 两张表看懂三种储氢技术的对比, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.htech360.com/a/17545>
16. 高压储氢容器研究进展 - 储能科学与技术, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://esst.cip.com.cn/article/2021/2095-4239/2095-4239-2021-10-5-1835.shtml>
17. Toyota開發「零浪費」氢能概念技術! 挑戰液態氢極限 - Car1.hk, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.car1.hk/news/toyota-liquid-hydrogen-2024/>
18. Toyota創新氢能技術回收「沸騰」提升動力效率 - 觀傳媒, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.watchmedia01.com/archives/362242>
19. NASA: 世界上最大的液氢储存球罐即将完工 - 氢能促进会, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.cn-heipa.com/newsinfo/2460980.html>
20. 創新材料實現超高密度儲氢, 解決氢氣儲存運輸挑戰, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.thfcp.org.tw/xcindustry/cont?xsmsid=0L265415022626956988&sid=0>

[O065330266120967374&sq=](#)

21. 【研究亮點】高效固態儲氫合金及可攜式溫控儲放氫瓶, 檢索日期: 9月 8, 2025,
https://www.eng.ntu.edu.tw/arc/news_in.aspx?id=5309&chk=a078d4fa-37fb-4288-ab8c-16920f106115&mid=64¶m=pn%3D4%26mid%3D64
22. 行政院2050淨零轉型: 氫能的潛力與未來挑戰- 最新消息 - 詠騰不動產有限公司, 檢索日期: 9月 8, 2025,
<https://www.ytyut.com/modules/news/article.php?storyid=1084>
23. 內地及日本的氫能運輸推廣措施 - 立法會, 檢索日期: 9月 8, 2025,
https://app7.legco.gov.hk/rpdb/tc/uploads/2024/IN/IN14_2024_20240820_tc.pdf
24. 氫能發展的策略, 檢索日期: 9月 8, 2025,
https://cnsd.gov.hk/strategy-of-hydrogen-development-in-hong-kong_booklet_tc.pdf
25. 氫能新里程碑: 德國萊因混氫技術改造城市能源轉型, 檢索日期: 9月 8, 2025,
<https://www.thfcp.org.tw/xcindustry/cont?xsmsid=0L265415022626956988&sid=0N258589340408252206&sq=>
26. 2024年中国氢燃料电池汽车行业现状与竞争格局分析, 檢索日期: 9月 8, 2025,
<https://www.cn-heipa.com/newsinfo/7837551.html>
27. 氢燃料电池: 解答您的所有问题 - 沃尔沃卡车, 檢索日期: 9月 8, 2025,
<https://www.volvotrucks.com.cn/zh-cn/news/insights/articles/2020/jun/hydrogen-fuel-cells-all-your-questions-answered.html>
28. 2021年美國氫能車銷量谷底反彈, 檢索日期: 9月 8, 2025,
<https://iknow.stpi.niar.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=18810>
29. 2024氢能产业报告, 檢索日期: 9月 8, 2025,
<http://www.china-cpower.com/news2.asp?id=2688>
30. 中国氢能发展报告 - 国家能源局, 檢索日期: 9月 8, 2025,
http://www.nea.gov.cn/20250430/96022785b3a747248288ad1c57d3a025/2025043096022785b3a747248288ad1c57d3a025_35aeee443346424eb4a3da029cb007003c.pdf
31. 科普| 什么是氢能船?, 檢索日期: 9月 8, 2025,
<https://h2.in-en.com/html/h2-2439554.shtml>
32. 低碳氫能翻轉工業邁向永續, 檢索日期: 9月 8, 2025,
https://www.itri.org.tw/WebTools/FilesDownload.ashx?Siteid=1&MmmID=1036452026061075714&fd=PublicationsCont_Files&Pname=393-P40-41-%E5%B0%81%E9%9D%A2%E6%95%85%E4%BA%8B-%E7%A2%B3%E6%B0%AB%E8%83%BD%E7%BF%BB%E8%BD%89%E5%B7%A5%E6%A5%AD%E9%82%81%E5%90%91%E6%B0%B8%E7%BA%8C.pdf
33. 全球綠色鋼鐵發展展望, 檢索日期: 9月 8, 2025,
<http://www.cienve.org.tw/Content/Upload/Newsletter/4804c480e2c2412abf545490e21e1233.pdf>
34. 加速首批突破性近零碳钢铁. 投资与部署——中国篇 - 落基山研究所, 檢索日期: 9月 8, 2025,
<https://rmi.org.cn/wp-content/uploads/2024/11/1119%E5%8A%A0%E9%80%9F%E9%A6%96%E6%89%B9%E7%AA%81%E7%A0%B4%E6%80%A7%E8%BF%91%E9%9B%B6%E7%A2%B3%E9%92%A2%E9%93%81-%E6%8A%95%E8%B5%84%E4%B8%8E%E9%83%A8%E7%BD%B2%E2%80%94%E2%80%94%E4%B8%AD%E5%9>

[B%BD%E7%AF%87.pdf](#)

35. learnenergy.tw, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://learnenergy.tw/index.php?inter=knowledge&caid=1&id=166#:~:text=%E5%8F%AF%E4%BB%A5%E8%AA%AA%EF%BC%8C%E6%B0%AB%E6%B0%A3%E5%84%B2%E8%83%BD,%E8%83%BD%E9%87%8F%E8%BD%89%E6%8F%9B%E6%95%88%E7%8E%87%E5%BE%88%E9%AB%98%E3%80%82>
36. 一文了解氢储能, 你想知道的都在这里, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://h2.in-en.com/html/h2-2435435.shtml>
37. uanalyze.com.tw, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://uanalyze.com.tw/articles/673959245#:~:text=2025%E5%B9%B401%E6%9C%8802,%E5%84%AA%E5%88%86%E6%9E%90%E7%94%A2%E6%A5%AD%E6%95%B8%E6%93%9A%E4%B8%AD%E5%BF%83&text=%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E8%B2%A1%E6%94%BF%E9%83%A8%E8%A8%88%E5%8A%83%E6%96%BC,%E7%B6%A0%E8%89%B2%E8%83%BD%E6%BA%90%E7%94%A2%E6%A5%AD%E7%9A%84%E7%99%BC%E5%B1%95%E3%80%82>
38. 美国财政部发布清洁氢能生产税收抵免最终规则, 放宽多项限制 - 新浪财经, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://cj.sina.cn/articles/view/1733360754/6750fc7202001bi5s>
39. 美國對氫能的數十億美元補貼將包括嚴格環境保護措施 - 經濟部國際貿易署, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.trade.gov.tw/Pages/Detail.aspx?nodeid=45&pid=776237>
40. 德国加快推动氢能产业发展 - 第一元素网, 檢索日期: 9月 8, 2025, <http://www.h2media.cn/mobile/index/show/catid/6/id/5140.html>
41. 德國盼建立綠色氫氣全球網路 - 台灣氫能與燃料電池夥伴聯盟, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.thfcp.org.tw/xcindustry/cont?xsmsid=0L265415022626956988&sid=0N152382339671227446&sq=>
42. 日本、歐盟、東南亞搶占「氫」機 - 工業技術與資訊月刊 - 出版品, 檢索日期: 9月 8, 2025, https://www.itri.org.tw/ListStyle.aspx?DisplayStyle=18_content&SiteID=1&MmmlD=1036452026061075714&MGID=1307347611270727203
43. 2050全球氢能市場達1.2兆美元亞太地區占一半技術領先歐美 - 北美智權報, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://naipnews.naipo.com/2675>
44. 2050全球氢能市場達1.2兆美元亞太地區占一半、技術領先歐美 | 聯合新聞網, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://udn.com/news/story/6871/8491812>
45. 2024年日本加氢站行业发展现状分析2030年计划建成1000座加氢站 ..., 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/240511-c4ab3a3f.html>
46. 中國大陸氢能產業發展與研發政策觀察, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://www.cier.edu.tw/site/cier/public/data/NO212-069-074-%E4%B8%AD%E5%9C%8B%E7%B6%93%E6%BF%9F-%E9%8D%BE%E5%AF%8C%E5%9C%8B-%E4%B8%AD%E5%9C%8B%E5%A4%A7%E9%99%B8%E7%9A%84%E6%B0%AB%E8%83%BD%E7%94%A2%E6%A5%AD%E7%99%BC%E5%B1%95%E8%88%87%E7%A0%94%E7%99%BC%E6%94%BF%E7%AD%96%E8%A7%80%E5%AF%9F.pdf>
47. 储运技术瓶颈亟待突破多元化路径助力氢能规模化发展 - 新浪财经, 檢索日期: 9月 8, 2025, <https://finance.sina.com.cn/jjxw/2025-04-11/doc-inesuhhc2721814.shtml>