



李浩然立法會議員辦公室  
Legislative Councillor Office  
Dr. Hon. Hoey Simon Lee



**H<sub>2</sub>**

# 氫能源產業前瞻暨 香港氫能源發展倡導

# 目錄

摘要	2
一・氫能源產業在香港前景廣闊	4
二・氫能源基礎剖析	8
三・氫能源產業鏈分析	12
四・氫能源行業的發展機遇	17
五・總結	21
六・參考資料	23

# 摘要

隨著碳中和碳達峰目標的設定，低碳發展已經成為全球各個國家和地區的發展共識。在這共識當中，最重要的任務就是將化石燃料為主的能源系統轉向可再生能源。縱觀歷史經驗，能源產業作為全社會的支柱產業，其結構轉型絕不僅僅是能源行業本身或者相關技術領域的變革，更牽涉到整個社會經濟形態乃至全球秩序的變化。對於香港來說，在「十四五」規劃和大灣區建設等重大機遇下，香港的創科發展更迎來前所未有的黃金時代，我們必須果斷有為，凝聚社會各界的力量，為新能源時代背景下的香港發展，爭取有利的發展態勢。

特點和優勢決定了氫能是非常理想的儲能形式，有助能源體系互聯互補，能有效提升新能源系統的可用性。首先在清潔能源的消納方面，光伏、風電等難以被電網直接消納的電力可以轉化成為氫能源，再通過燃料電池的方式轉化成為穩定的電能供給電網；其次在消納和使用節點上，氫能源都做到了完全零碳排放，且能量密度甚至高於現有化石能源。目前光伏和風電為主的新能源建設已是成熟產業，而氫能源產業的發展將成為下一個新能源體系建設階段的重頭戲，極具發展空間和爆發力。目前氫能產業整體製造及應用成本偏高，在製備、儲運和使用三個主要環節都存在成本高昂的問題。

在新能源的諸多形式中，氫能是非常重要且特殊的一個。氫能全產業鏈可以實現零碳發展，且具備能量密度高、輸出穩定的特點。氫能具備的

面向未來，依靠光伏和風電發展低成本製氫、提升電解槽效率以降低製氫成本；以及，應用端燃料電池等核心零部件技術漸趨成熟穩定，可以預見，氫能源全產業鏈將協同降本，進入「規模化 - 降本 - 開拓市場」的加速發展軌道指日可待。此外，依託氫能源的碳交易和碳金融也具備廣闊的發展空間。



綜上所述，新能源浪潮下的氫能源產業發展是一次重大的契機，蘊含著香港可以抓住的重大發展機遇。不論是推廣氫能源的使用來推進香港低碳發展模式，還是加強研發力量，把握氫能源產業鏈建設的核心技術，以及結合香港金融優勢，著力推動碳金融的發展，都能

夠給香港帶來全新的發展增量，甚至重塑香港在國家以及全球的經濟角色和地位。目前香港還缺乏氫能源產業發展的系統性規劃，迫切需要開展圍繞氫能源的研究工作，以梳理香港在氫能源產業發展方面的策略，引領香港抓住氫能源產業發展的機遇。

展望未來，我們建議香港可以從以下各方面入手，著力推動香港氫能源產業全面發展，建設及造福國家和香港：

- 一．圍繞氫能源的製備、儲存、利用等環節開展系統性研究，以制訂香港氫能源產業發展的規劃；同時就制定相關法例展開研究；
- 二．與其他粵港澳大灣區城市商討共同研究、開發和推動氫能源產業發展項目，並引入內地氫能源；
- 三．重點關注氫能源認證分級，並根據氫能源的產生過程對氫能源進行認證評級，以及給予相應的碳指標認證；
- 四．積極推動氫能源納入香港碳排放交易市場，進一步發展碳交易和碳金融；
- 五．制訂香港氫能源產業的政策；
- 六．研究根據氫能源的產生過程對氫能源建立一套國際認可的認證評級；
- 七．制訂氫能源產業的標準與規範，包括加強氫能源製備、儲運及應用等環節的安全管理，以及推動氫能專業人才的培訓；
- 八．推廣氫燃料電池巴士和中重型車輛的應用、研究規劃加氫網絡建設，並在現有加油站建設加氫設施；及
- 九．利用北部都會區、落馬洲河套區等新發展區作為「跳板」，引入優質的氫能源產業，以推動香港成為國家發展氫能源的示範基地，並協助氫能源產業走出世界。

# 一．氫能源產業在香港前景廣闊

香港特區政府自從 2021 年起，在《施政報告》中不斷強調碳中和的發展目標。目前香港約六成七的碳排放源自發電，一成八來自運輸，隨著電動車的普及，運輸的碳排放將轉移至發電廠（香港文匯報，2021），因此單純的交通運輸電動化對香港達成雙碳目標的幫助較小。目前電力公司以燃燒天然氣取代燃煤，只是將碳排放減半，不能達致淨零碳排放，香港長遠須採用新的能源形式，而當中氫能就是較為理想的選擇。

目前，香港在能源減碳領域最具系統性的報告是由可持續發展委員會推出的《長遠減碳策略公眾參與報告》，當中明確提出了要制定具長遠和系統性的能源轉型規劃，以

及積極探討氫能源汽車在交通運輸方面的應用。從 2020 年報告發布至今，關於香港的能源轉型和氫能源產業建設方面，香港還未出台更細緻的政策指引和藍圖。我們認為，在能源轉型的全景藍圖內，氫能源相關產業是最適合香港的。

首先，光伏相關應用都需要良好的日照條件和大量的土地，但香港在這兩方面並不具備得天獨厚的優勢，特別是土地面積狹小，極大地限制了光伏相關的應用；

其次在風電方面，海上風電的建設需要海域條件，香港作為國際貿易中心，航運發達，可開發的海域環境也不具備明顯優勢。

而氫能源相關應用，比如電解水製氫、氫能源應用研發、燃料電池研發及使用



用等都對場地、自然條件需求很小，反而對技術、資本和人才要求很高。香港可以發揮自身優勢，探索在氫能源應用方面彎道超車，將香港能源轉型和綠色低碳發展水準提升到國際領先水平。

### 1.1. 利用氫能源發展低碳經濟

圍繞能源供應、交通以及建築等重點領域，開展深入研究，妥善利用氫能源幫助香港實現能源轉型和低碳發展，是香港發展氫能源產業的重要環節。

在能源供應方面，就著《長遠減碳策略公眾參與報告》提及加快轉用零碳能源、推動交通系統的低碳轉型等目標，在港主要電力公司中電曾回應表示，長遠增加低碳供電有兩個方向，包括增加燃氣發電，同時以天然氣發電機組使用零碳氫發電；並透過區域合作，從內地輸入零碳能源。中電集團在香港的供電市場方面，會朝著開發更多可再生能源發電、引進內地可再生能源電力，及綠色能源方面發展。

在交通方面，統計數據顯示，目前香港有大約 58 萬輛私家車和約 15 萬輛商用車，但這些商用車的碳排放量卻相當於私家車整體碳排放的 2.7 倍，若能從商用車特別是公共巴士和重型車輛等商用車型上實現氫能替換，其整體市場潛力將相當可觀。中石化（香港）曾表示，由於電動車及汽車使用氫氣日漸普及，故中石化（香港）不排除會在現有油氣站的基礎上增加「加

氫」、「充電」等新能源服務種類（香港文匯報，2021）。

作為城巴和新巴的母公司，匯達交通全力支持香港碳中和專責小組考慮採用氫能方案以達致減碳的願景及目標。匯達交通提倡使用流動潔淨能源方案，其股東 Ascendal Group 由 2011 年起在倫敦營運領先全球的氫能巴士服務，另一名股東漢思能源則正研究在香港供應及使用氫氣的可行方案（香港文匯報，2021）。近年，市民對空氣質素的要求越來越高，政府對車輛的廢氣排放標準也越加嚴格。新興的氫燃料電池技術正能切合本地交通及運輸業營運環境的可行方案，目前主要的交通服務營辦商正研究並全力支援政府深入探討在港推動氫能及其他潔淨能源減排方案。

從市場主體的積極反饋來看，氫能源代表的低碳發展轉型有很大的市場需求，會產生大量的投資、採購，進而促進香港在氫能源領域的研發、製造和服務，展現了氫能源低碳經濟發展的廣闊前景。

### 1.2. 以區域合作方式幫助香港完成能源轉型

在粵港澳大灣區發展框架下，以區域合作是提高香港低碳轉型速度的理想模式之一。香港在自然資源稟賦方面有所不足，單靠香港自身資源實現能源轉型和低碳發展的成本相對高昂。在這樣的背景

下，香港可利用內地充足的可再生能源稟賦，推動自身轉型的同時，更能促進大灣區氫能源產業的發展，達至互惠互利。

香港政府可以協調本地發電的業務模式，探索引入大灣區綠電以改善香港能源結構；氫能源來源方面，可以採取綠電電解水製氫，或者輸入內地工業副產氫來作為氫能來源。

### 1.3. 聚焦氫能源核心環節，佔領藍海市場高地

從氫能源的基本屬性，應用場景和發展前景來看，氫能源產業發展是資金、技術密集型產業，不論是燃料電池堆、膜電極、電解槽等核心環節，還是配套基礎設施的建設，都對自然條件和稟賦要求不高，但卻對技術和資金要求很高，而這恰恰能夠貼合香港自身的獨特優勢。

首先，香港可以制定長期發展規劃，善用香港的科研優勢，鏈接海外、內地和本地的科研資源，針對未來確定性極高的燃料電池和電解槽等核心環節開展技術攻關，佔據未來藍海市場的高地。

其次，香港可以利用相關技術，解決香港本地的社會難題，如廢物處理，特別是廚餘垃圾處理的問題。目前，香港大部分廚餘垃圾會連同其他都市固體廢物一起被棄置於堆填區內。在 2019 年，每天有 11,057 公噸都市固體廢物需要棄置於堆填

區，而當中約 3,353 公噸（30%）為廚餘垃圾，是棄置於堆填區的都市固體廢物中的最大類別。在棄置於堆填區的廚餘中，約 1,067 公噸來自工商業，包括食肆、酒店、街市、食品製造及加工業等。近年，工商業產生的廚餘由 2012 年每日約 800 公噸上升至 2019 年每日超過 1,000 公噸（香港特別行政區政府環境保護署，2021）。現時把這些有機廢物棄置於堆填區的做法，並不符合持續發展的原則，對環境亦造成不良影響。這類廢物不但佔用了寶貴的堆填空間，而且在自然分解的過程中，產生異味和需要進一步妥善處理的滲濾污水及溫室氣體，亦浪費了其中的有用有機物質。如通過技術攻關和政府政策引導，將廚餘垃圾轉為氫能，就能真正地轉廢為能，可有效減輕焚化廠、堆填區的負荷，更有利於提升再生能源的比例，增加能源供應的多元化，帶動經濟發展。

### 1.4. 關注碳金融發展潛力

香港作為國際金融中心，發展碳金融和碳交易市場能有效發揮香港優勢，並且為香港市場帶來巨大發展潛力的產業機遇。

香港政府建立了綠色和可持續發展金融跨機構督導小組來推動香港綠色金融相關的工作。根據督導小組發布的《香港碳市場機遇初步可行性評估》，認為香港發展碳金融的關鍵在於香港與內地之間的緊密聯繫，使香港得以促進環球資金流入內

地碳市場。此外，香港憑藉享譽國際的綠色認證服務和熟悉內地與國際標準這兩項優勢，將能夠擔當內地接通世界各地的橋樑，繼而提升其碳市場的質素。

具體來看，氫能源認證評級是氫能源產業發展的一個重要命題，也就是督導小組所提及的香港享譽國際的綠色認證服務能力得以發揮的領域。如果香港能夠構建全球認可的氫能源認證評級標準，將氫能源納入碳排放市場，發展碳交易和碳金融，就能有效利用香港稟賦並且推動香港經濟發展。

氫能源根據來源不同，主要可以分為灰氫（由化石燃料重組而成）、藍氫（灰氫加入碳捕集裝置）、以及綠氫（利用可再生能源製備的氫氣）。不

同類型的氫能源在過程當中的碳排放是完全不同的。其中綠氫碳排放最少，減碳效果也最好。在這種情況下，如何溯源產業鏈，辨別氫能源來源，對氫能源的類型進行認證，並確認其減碳額度，就成為了氫能源產業發展的一個重大命題。因為只有經過確認的減碳額度，才能夠在碳交易市場上交易，企業才能夠獲得減碳的收益。據瞭解，目前並沒有全球通行的氫能源認證評級方法和機構。香港作為國際金融中心，一方面背靠內地廣闊的氫能源市場，另一方面國際化程度高，在建立一套能夠獲得廣泛共識的氫能源評級方案的方面擁有得天獨厚的優勢。因此，香港應重點進行氫能源認證評級標準的研究和認證評級組織的建設，從而掌握氫能源碳交易的標準制定權和定價權。在此基礎上，積極推動香港碳排放交易市場，並且從中推動人民幣計價的碳交易，發展新型碳金融，推動香港經濟發展。



## 二．氫能源基礎剖析

### 2.1. 氫能源的第一性原理

#### 2.1.1. 氫能源是優質的儲能形式

與目前主流的傳統或者新能源發電方式相比，氫能源在以下方面具備明顯優勢：

首先，氫能源廣義來看儲量大，是宇宙中存在最多最穩定的元素。相比於明確有儲量限制的化石燃料，氫能來源廣泛，儲量能夠長期滿足人類社會的需求。

其次，氫能源在作為燃料方面，能量密度顯著高於其他燃料。在燃料中，碳氫比越低，能量密度越大；氫氣相對含有碳鏈的化學燃料，能量密度最大，熱效率最高（王寒，2016）。

因此，採取氫能源作為燃料具有加注

時間短，續航里程長，低溫不受影響的特點，用於中長途的交通工具、重型車輛有天然的優勢。

第三，在環保層面，氫能源的利用是絕對零碳排放。氫燃料電池的產物是水，繼續電解水可以產生氫氣，形成零碳循環。對比目前新能源電池面臨的稀有金屬提煉困難，以及回收污染等問題，氫能源在環保方面實現了對其他能源形式的全面超越。

從氫能源的第一性原理來看，氫能源是一種優質的儲能形式。因此，對於氫能源的研究和利用，應主要圍繞作為儲能應用的視角展開，即氫能源的製備、儲運和利用三個環節進行討論。

## 2.2. 氫能源產業的前景展望

### 2.2.1. 政策展望

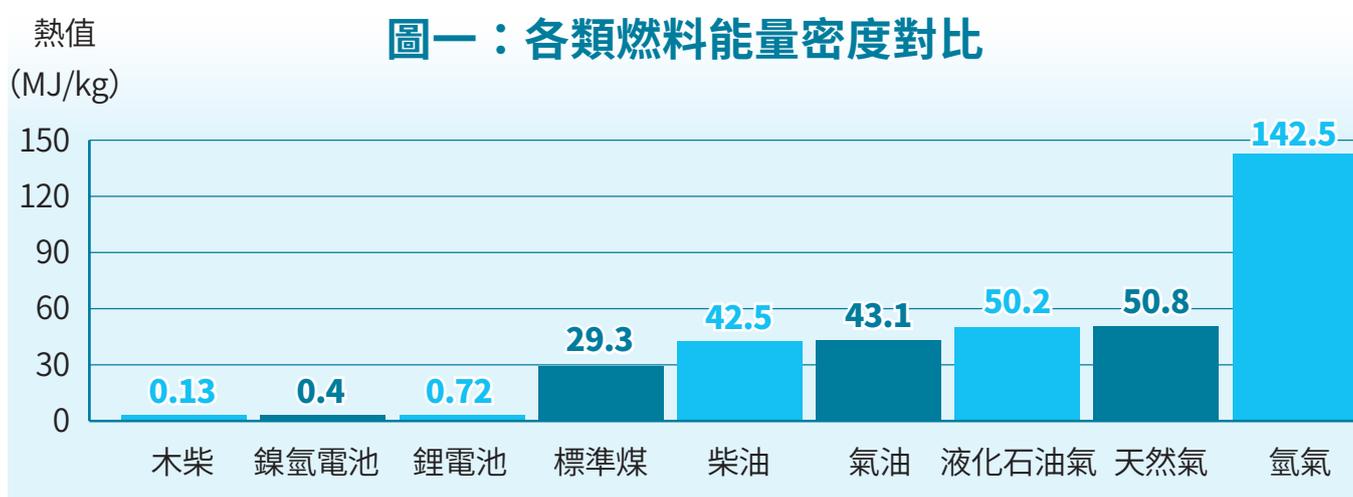
在氫能源產業發展頂層設計方面，於2022年，國家發改委頒布了《氫能產業發展中長期規劃（2021-2035年）》，明確提出了氫能源是國家能源體系的重要組成部分，也是用能終端實現綠色低碳轉型的重要載體；氫能源產業是戰略新興產業和未來重要產業發展方向。

在具體行業應用方面，於2020年底，國務院發布的《新能源汽車發展規劃（2021—2035年）》，和中國汽車工程學會發布的《節能與新能源汽車技術路線圖（2.0版）》，對氫能源的發展做出了頂層設計，明確提出將氫燃料電池商用車作為整個氫能燃料電池行業的突破口，大力攻克氫能儲運、加氫站、等氫燃料電池汽車應用支撐技術，有序推動燃料供給體系建設。

伴隨國家政策的出台，各地紛紛制定扶持氫能源的政策規劃。其中，北京、山東、河北等省市，均發布了氫能源相關專項政策或規劃，明確氫能源產業發展目標，而其餘省市則是通過氫燃料汽車等相關政策規劃發布了氫能源產業建設目標。

2021年8月16日，北京市經濟和資訊化局印發了《北京市氫能產業發展實施方案（2021-2025年）》。預計到2025年，京津冀地區將累計實現氫能產業鏈產業規模1000億元以上，減少碳排放200萬噸；北京將以冬奧會和冬殘奧會重大示範工程為依託，2023年前培育5-8家具國際影響力的氫能產業鏈龍頭企業。《方案》同時對製氫、儲運、加注、燃料電池等環節進行一體化佈局，明確階段目標。

除了國家政策，國際上也高度關注氫能源，各國紛紛出台氫能規劃和產業政



資料來源：中國氫能聯盟，2020

策，將氫能產業提升至戰略高度。法國發布了《國家氫計劃》，擬在 10 年內向氫能研發和相關工業投入 72 億歐元，將法國打造成世界氫能產業的重要參與者；而德國，亦有出台《國家氫能戰略》，其中對 62 個大型氫能項目專案，提供超過 80 億歐元支援；歐盟亦承諾投資 4300 億歐元將氫氣從其能源結構中份額由 12% 提高至 20%；新加坡則出台了《新加坡國家氫能戰略》，擬將氫能源建設成為減碳的主要能源途徑，並且明確規劃了路線。

概覽國家和國際對於氫能源發展的政策態度，可以明確看出政策當局對於氫能源的重視和支持，政策利好十分明顯。與此同時，政策方面的風險也不容忽視。氫能源作為新興產業，其早期的發展速度很大程度上取決於政府的規劃藍圖是否科學有效，以及政策支持的落實情況。在需求端，目前氫燃料電池汽車的訂單主要是公共交通工具和工程建設的重型卡車，相關設備需求高度依賴政府的政策指導甚至是財政補貼，若未來相關需求增速不及預期，將會給氫能源產業的發展速度帶來嚴重不利影響。因此，可以說從政策角度來看，氫能源產業處於確定的利好和上升週期，但是政策制定的科學性和實行情況，將會對氫能源發展的速度和週期產生較大影響，如政策規劃科學性欠佳或者政策支持落地力度不足，可

能會嚴重拖慢氫能源產業的發展速度。

### 2.2.2. 成本展望

目前氫能源產業面臨的重大挑戰是全產業鏈條成本較高。

首先在製備氫氣方面，煤製氫和工業副產氫成本相對較低，但是產能有限並且碳排放較高的問題一時也難以解決；而電解水製氫在原理上就有效率低下的天然劣勢，導致成本高昂。在儲運方面，特製的高壓儲氣罐以及液態、固態儲氫方式成本也相對高昂；氣態儲氫罐壓力高，對製造和使用要求都比較高。液態和固態儲氫目前也主要停留在技術驗證階段，還沒有經過大規模應用的檢驗，應用場景並不成熟。在應用端，氫燃料電池技術門檻高，目前也難以產生規模效應，燃料電池的全生命週期成本一直居高不下。

此外，在氫能源使用的配套產業方面，加氫站，儲氫等配套基礎設施的准入門檻和複雜性要高於電動車產業鏈。因此，在成本和未來產業鏈發展節奏方面，氫能源產業鏈可能面臨比光伏、鋰電等產業更大的難度。



定的成本下降週期。一方面，光伏/風電+電解水製氫技術的應用，在解決可再生能源消納問題的同時，隨著電解槽等技術的進步，電解水效率將持續提升，大幅降低製氫成本；另一方面，隨著燃料電池產業鏈逐漸實現國產替代，應用端成

展望未來，我們認為伴隨著產業鏈的成熟，在政策牽引下氫能源產業鏈能夠迎來較為確

本也有望出現下降。借鑒國家電動汽車和光伏風電產業的發展里程的經驗，可以預見未來氫能源產業由政府帶動，然後進入「規模化-降本-開拓市場」的良性循環，持續的技術進步反哺各環節核心技術的成本，進一步提高競爭力(程一步，2018)。此外在加氫製氫環節，由於這一產業鏈同石油石化等有合作共贏的空間，目前不少氫能源企業也受石化相關企業的大力支持，借助傳統石化管道的幫助，在配套基礎設施建設方面，也能夠降低成本不可控帶來的風險。

# 三．氫能源產業鏈分析

為對氫能源產業鏈作全面分析，我們檢視氫氣從生產到下游應用的主要過程，其中包括製氫、儲運（儲氫、運氫）、加氫（加氫站）、氫燃料電池應用等核心環節。中國的氫能源產業鏈大部分環節正處於成長期，部分基礎技術相對成熟並有具體落地場景，但整體產能規模偏小，需要依靠能源政策扶持。

## 3.1. 製氫

目前氫的製取產業主要有以下三種較為成熟的技術路線：一是以煤炭、天然氣為代表的化石能源重整製氫；二是以焦爐煤氣、氯鹼尾氣、丙烷脫氫為代表的工業副產氣製氫，三是電解水製氫（中國氫能源聯盟，2020）。化石能源中煤製氫技術路線成熟高效，可大規模穩定製備，是當前成本最低的製氫方

式，但是煤製氫會產生大量碳排放，面臨CCUS（碳捕集、固定與利用）問題。天然氣製氫在中國普及性偏低，考慮到中國天然氣資源供給有限且含硫量較高，天然氣製氫處理工藝複雜而且經濟性不高（中國電動汽車百人會，2020）。

工業副產氣製氫主要分佈在鋼鐵、化工等行業。大部分為企業自產自用，利用焦爐煤氣、氯鹼尾氣、丙烷脫氫，提純利用其中的氫氣，但該路線同樣面臨碳捕捉封存問題。

電解水製氫技術主要有鹼性水電解槽(AE)、質子交換膜水電解槽(PEM)和固體氧化物水電解槽(SOE)。電解水製氫具有綠色環保、生產靈活、純度高以及副產高價值氧氣等特點，但製取成本受電價的影響很大，電價佔到總成本的70%以上。

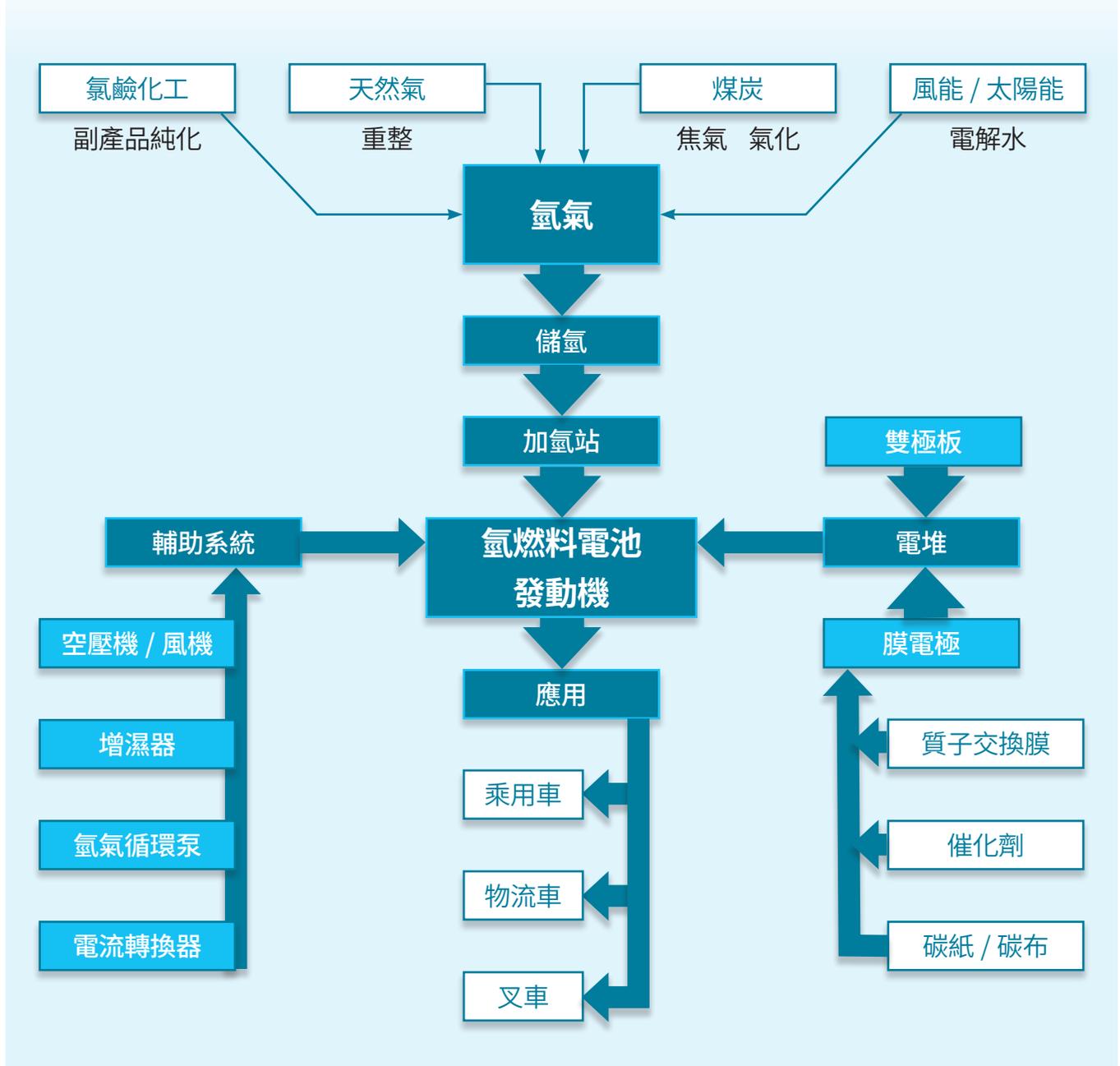


### 3.2. 儲運 - 儲氫

氫的儲存主要有氣態儲氫、液態儲氫和固體儲氫三種方式 (International Energy Agency, 2019)。高壓氣態儲氫已得到廣泛應用，低溫液態儲氫在航太等領域得到應用，有機液態儲氫和固態儲氫

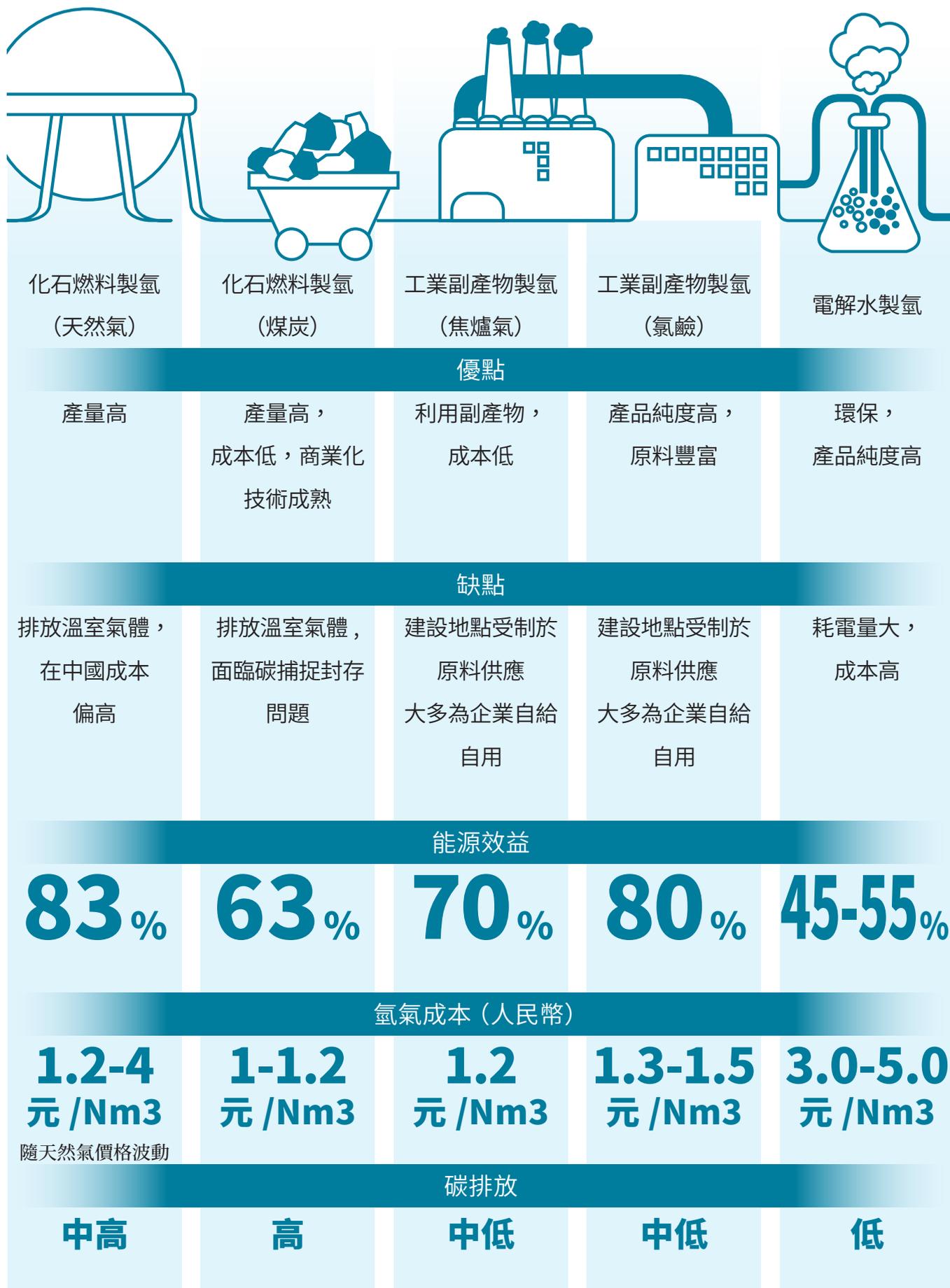
尚處於示範階段。氣態儲氫是現階段主要的儲氫方式，高壓氣態儲氫具有充放氫速度快、容器結構簡單等優點。液態儲氫具有儲氫密度高等優勢，可分為低溫液態儲氫和有機液體儲氫。國內液氫已在航太工程中成功使用，民用缺乏相關標準。有機

圖二：氫能源產業鏈示意圖



資料來源：中國氫能聯盟，2020

圖三：不同製氫方法的特點及成本



資料來源：中國電動汽車百人會，2020

液態儲是將氫氣轉化為甲醇等液體，甲醇是常溫液體，不需要加壓或者降溫就可以儲存和運輸，在經濟性方面有明顯優勢，但整體的應用還處於技術驗證階段，沒有投入大規模使用。固態儲氫具有儲氫密度高、儲氫壓力低、安全性高、放氫純度高等優勢，其體積儲氫密度高於液氫。但主流金屬儲氫材料重量儲氫率低，且金屬儲氫儲存和釋放階段都需要加壓或者升溫，需要消耗額外的能源，整體成本優勢不顯著。並且金屬儲氫可能還需要稀土元素，大幅提升了金屬儲氫成本并限制了規模化的前景。(中國氫能源聯盟，2019; 德勤，2020)。

### 3.3. 儲運 - 運氫

氫的輸運方式主要對應氫氣的儲存方式，主要有氣態輸運、液態輸運和固體輸運三種方式。氣態輸運是氫氣近距離輸運的重要方式，技術較為成熟，氫氣拖車是目前應用最為廣泛的一種氫運輸方式(德勤，2020)。

### 3.4. 加氫

加氫基礎設施是氫能利用和發展的中樞環節，加氫站的技術路線主要分為站內製氫技術和外供氫技術，中國加氫站的氫源絕大部分來自於外供高壓氫氣，使用氫氣長管拖車(運輸高壓氣態氫)、液氫槽車

**圖四：主流儲氫方法及優劣勢**

	高壓氣態儲氫	低溫液態儲氫	有機液態儲氫	固體合金儲氫
優點	成本低、能耗少，充放速度快	儲氫密度高，儲氫容器體積小，安全性高	儲氫量大，運輸安全方便，可迴圈使用	儲氫密度大，運輸安全方便
缺點	需要厚重的耐壓儲氫瓶，存在洩露和爆破風險，且儲氫密度低	液化成本高，且液化將造成約 40% 能量損失	技術複雜，脫氫溫度高，效率低，且有副產物	成本高，技術複雜，加 / 脫氫需在較高溫度下進行
國內技術水準	技術較成熟，廣泛應用於國內主流車用氫能，但關鍵零件依賴進口，儲氫密度較低	民用技術處於起步	處於攻克研發階段	處於攻克研發階段

資料來源：中國氫能聯盟，2020

(運輸低溫液態氫)往返加氫站與氫源之間(郭榮華, 2020)。

中國的加氫核心設備目前比較成熟，國內合建站佔比逐年提高，中石油、中石化等央企已經進行相關的研發和建設，積極探索「油、氫、氣、電」的聯合建設運營模式。

### 3.5. 燃料電池

氫能源的主要利用形式是氫燃料電池。燃料電池的概念最早於 1839 年由英國的 G.R.Grove 提出，依靠電解水的逆反應發電(肖建民, 1997)。燃料電池由電極、電解質隔膜、與集電器組成。通過電解水可以分解出氧氣和氫氣，化學方程式為： $2H_2O=2H_2 \uparrow +O_2 \uparrow$  (通電)，而氫-氧燃料電池反應可以理解為電解水反應的逆過程，在燃料電池中輸入燃料(氫)和氧，氫和氧反應形成水的過程中，會有電粒子移動，得到源源不斷的電能輸出，反應過程中不會產生有害物質，同時因沒有機械運動部件而不會產生噪音，發電反應產生

的水可以繼續提取氫氣，實現循環利用(陳掌星, 2021)。

燃料電池的能量密度高，可達 0.5-1.0kWh/kg，在交通方面具備天然優勢，特別適合重型車輛。氫燃料電池車在續航里程、加氫時間、駕駛舒適度均可與燃油車接近(International Energy Agency, 2019)。目前，中國燃料電池汽車逐步進入商業化初期。國家能源集團、中石化、中石油等二十餘家大型央企紛紛跨界發展氫能產業，積極參與產業鏈各個環節。

燃料電池目前面臨的主要問題仍然是成本問題，必須解決燃料電池購置和使用成本較高的問題，才能推動氫能源大規模發展(Tu, 2020)。目前，燃料電池的國產化仍然存在短板(中國電動汽車百人會, 2020)。中國市場中燃料電池系統成本中最核心的部分，如燃料電池電堆和空壓機，催化劑、質子交換膜、膜電極等核心零部件均主要依賴進口。

## 圖五：央企積極佈局氫能產業鏈

產業領域	重點佈局企業
儲運零售終端建設和營運	中國石化、中國石油
氫能產業鏈及氫能製備	國家能源集團、中船重工(718所)
氫燃料電池及其核心零部件	國家電投、東方電氣、中船重工(712所)
終端應用燃料電池汽車、列車、氫冶金	東風集團、一汽集團、中國中車、寶武集團

資料來源：中國電動汽車百人會，2020



## 四．氫能源行業的發展機遇

### 4.1. 氫能源行業發展定位

碳中和已經成為全球共識，而如果要實現碳中和的目標，需要極高比例的清潔能源。這樣的清潔能源需要具備兩個特性：低成本和穩定性。

目前，光伏、風能的發電技術相對成熟，這個特性決定了光伏風電未來成為主力清潔能源具備足夠的經濟性，而且經濟性會隨著技術的進步還會更加突出。然而光伏風電發電具不穩定性，光伏的能源輸出是隨光照時間與其強度等因素而改變的，風電的能源輸出是隨風力與持續時間等因素而改變，這些清潔能源的能源輸出都有比較顯著的波動性。因此，在未來清潔能源比重較大的能源結構下，必須處理儲能問題以穩定能源供應。

氫能源具備的性質及性能優勢，有助解決儲能問題並提供穩定的能源供應。首先在清潔能源的消納方面，光伏、風電難以被電網直接消納的電力可以轉化成為氫能源，再通過燃料電池的方式轉化成為穩定的電力供給電網；其次在消納和使用節點，氫能源都做到了完全零碳排放，且能量密度高。基於消納場景和使用場景的優勢，氫能源是非常理想的儲能形式，因此我們對於氫能源發展的討論也將基於把氫能源當做儲能形式的定位。

### 4.2. 氫能源產業迎來重大發展機遇

#### 4.2.1. 氫能源開啟向上週期

碳中和的大背景推動氫能源加速推廣，我國氫能源產業發展遲於歐美日韓，但發展速度迅猛，在產業鏈佈局方面已逐

漸趕上西方國家。隆基股份、中石油等能源巨頭紛紛佈局加速氫能產業鏈建設，未來伴隨氫氣成本降低將實現與化石能源應用平價，氫能應用將十分便捷，成為能源的重要組成部分。下游應用端重點關注燃料電池汽車，預計 2025 年國內燃料電池汽車保有量將達 10 萬台，對應燃料電池系統需求年複合增速達 60%-70%，氫能產業鏈有望是繼鋰電、光伏之後新能源領域又一個數千億級的市場（楊光，2021）。

在全球碳中和的框架下，氫能的環保性以及可再生性，使其具有舉足輕重的作用。鑒於其種種優勢，在新能源體系下，氫能被視為與電能相互補的優質二次能源，目前的分散式能源中，已形成「風光發電 - 多餘電量電解水製氫 - 氫氣儲存 - 利用燃料電池發電」較為完整的能源轉換鏈條，氫作為能量儲存的載體形式，能夠有效減少偏遠地區「棄風棄光」的現象。

#### 4.2.2. 發展氫能源能夠改善能源結構

##### (1) 打造多元能源結構體系，降低對外油氣依存度

我國是油氣進口大國，石油與天然氣對外依存度達 73% 及 43%，因此需在上述化石能源之外，尋找新的能源保障（楊光，2021）。當某種能源受到限制時，氫能可以快速作為補充，因此打造可再生能源多元化的供應體系勢在必行。香港的能源結構相比於全國更為單一且更加倚賴外源性輸入，因此具有更加迫切發展氫能的

需要。

##### (2) 促進風光裝機，助力實現雙碳目標

中國在 2020 年 9 月的第 75 屆聯合國大會上進一步明確 2030 年前碳達峰、2060 年前碳中和的目標。氫能源作為能源儲存的一種方式，通過增強對風光發電的消納能力，有效減少「棄風棄光」現象，促進光伏與風電產業發展，並間接地減少溫室氣體與污染物排放。

##### (3) 帶動上下游產業，提供經濟增長強勁動力

從產業鏈角度來看，發展氫能涉及能源、化工、交通等多個行業領域。新興的產業鏈有機會能夠通過拓展全新的賽道，實現相關行業發展的彎道超車，促進我國可再生能源、新能源汽車、工業還原技術等領域的快速發展。香港在產業鏈發展方面，在氫氣製備、新型儲運設施以及燃料電池的研製方面，都有著廣闊的發展空間。

#### 4.3. 重要技術環節

##### 4.3.1. 燃料電池電堆技術

燃料電池系統是氫能產業鏈當中使用場景的核心，電堆是燃料電池系統最為核心的部件，也是價值最高的環節。電堆是燃料電池系統發生化學反應的場所，由多個單體電池以串聯方式層疊組合而成。氫氣與氧氣通過一定比例分別通入電堆的陽極與陰極，化學反應生成水與電能（德勤，

2020)。電堆的品質決定了燃料電池系統整體的功率密度。燃料電池電堆佔到了整個燃料電池系統成本的 61%（丁瑤瑤，2021）。

電堆的性能評價包括體積功率密度以及使用壽命等。國外廠商以豐田、巴拉德和 Hydrogenics 為典型，研發歷史悠久，其中巴拉德對膜電極的研發已超過 40 年，國外電堆整體性能優於國內廠商。國內電堆近年通過自主研發以及技術引進的方式，

正逐步實現燃料電池電堆的國產替代。

#### 4.3.2. 膜電極相關技術

膜電極是氫能源產業鏈中的另一個關鍵環節，在燃料電池效率和電解水製氫效率方面發揮著至關重要的作用。在燃料電池電堆中，膜電極佔了主要的成本。膜電極由催化劑、質子交換膜和氣體擴散層組成，膜電極佔到了整個燃料電池電堆成本的 60%（丁瑤瑤，2021）。

現階段國外企業膜電極主要採用全球供貨機制，產能旺盛，工業控制水準較為領先。國內膜電極目前雖未達到規模量產程度，但發展趨勢顯著。我國首條膜電極生產線於 2017 年落成，隨後進入高速發展期。2019 年鴻基創能、擎動科技、武漢理工氫電以及泰極動力國產生產線先後正式落成，標誌著我國的膜電極領域逐步開啟批量化生產步伐。



### 4.3.3. 電解槽技術

電解槽是電解水製氫的核心裝備，是未來降低製氫成本的核心環節。目前，電解槽的技術路線主要有鹼性電解槽和質子交換膜電解槽。其中鹼性電解槽技術路線成熟，但能源轉換效率不如質子交換膜電解槽。在 2005-2022 的週期中，鹼性電解槽的成本平均下降了 60%，質子交換膜電解槽平均成本下降了 67%。基於這樣的趨勢判斷，在未來可預期的時間內，電解槽的成本下降將大幅度改善電解水製氫方式成本高昂的情況。

目前，中國在鹼性電解槽方面專利數目排名全球第一，2022 年 9 月 21 日，由中國氫能聯盟研究院發起起草的國內首個電解槽評價標準《鹼性水電解製氫系統“領跑者”

性能評價導則》正式發佈。該標準的發布建立了我國在鹼性電解水領域的評價體系，將有助於我國可再生能源製氫裝備製造行業的穩步發展。伴隨著國家氫能政策的出台，2020 年以來，中國電解槽企業迅猛發展。



# 五．總結

氫能是替代化石能源實現碳中和的重要選擇，氫能源產業也已經成為國家乃至國際公認的能源轉型和綠色低碳發展的重要環節。從氫能源的第一性原理來看，氫能源可提供低電能損耗和較穩定的能源輸出，在儲能和交通兩方面發展具備相當大的優勢，有助帶動上下游產業，為經濟增長帶來強勁動力。

從政策支持角度來看，氫能源產業處於確定的利好和上升週期，但是政策制定的科學性和實行情況，將

會對氫能源發展的速度和週期產生較大影響，如政策規劃科學性欠佳或者政策支持落地力度不足，可能會嚴重拖慢氫能源產業的發展速度。

從產業發展階段來看，我們認為伴隨著產業鏈的成熟，在政策牽引下氫能源產業鏈能夠迎來較為確定的成本下降週期，進入「規模化 - 降本 - 開拓市場」的良性迴圈，持續的技術進步反哺各環節核心技術的成本，進一步提高競爭力和產業發展成熟度。

從氫能源產業發展的核心環節來說，這些核心環節的發展對自然稟賦要求不高，切合了這一輪能源革命從採掘業到製造業轉變的歷史性變化。而香港具備的人才、科研、資金優勢就能夠幫助香港在這一輪能源革命中圍繞核心環節，佔據藍海市場高地，特別是燃料電池、電解槽等確定性極高的產業，都可以成為香港彎道超車的理想方向。同時，香港也可以利用技術發展，解決本身遇到的社會問題。

展望未來，我們建議香港可以從如下方面入手，著力推動香港氫能源產業全面發展，建設及造福國家和香港：

- 一．圍繞氫能源的製備、儲存、利用等環節開展系統性研究，以制訂香港氫能源產業發展規劃；同時就制定相關法例展開研究；
- 二．與其他粵港澳大灣區城市商討共同研究、開發和推動氫能源產業發展項目，並引入內地氫能源；
- 三．重點關注氫能源認證分級，並根據氫能源的產生過程對氫能源進行認證評級，以及給予相應的碳指標認證；
- 四．積極推動氫能源納入香港碳排放交易市場，進一步發展碳交易和碳金融；
- 五．制訂香港氫能源產業的政策；
- 六．研究根據氫能源的產生過程對氫能源建立一套國際認可的認證評級；
- 七．制訂氫能源產業的標準與規範，包括加強氫能源製備、儲運及應用等環節的安全管理，以及推動氫能專業人才的培訓；
- 八．推廣氫燃料電池巴士和中重型車輛的應用、研究規劃加氫網路建設，並在現有加油站建設加氫設施；及
- 九．利用北部都會區、落馬洲河套區等新發展區作為「跳板」，引入優質的氫能源產業，以推動香港成為國家發展氫能源的示範基地，並協助氫能源產業走出世界。

## 六．參考資料

1. Bent Erik Sørensen. (2016). 氫和燃料電池：新型的技術和應用（原書第二版：Emerging Technologies and Applications.
2. European Regional Development Fund. (2018). Hydrogen Supply Chain Map.
3. International Energy Agency. (2019). The Future of Hydrogen : Seizing today' s opportunities.
4. Tu, J. (2020). Prospects of a Hydrogen Economy with Chinese Characteristics.
5. 本特·索倫森，索倫森，隋升，等。(2016). 氫與燃料電池：新興的技術及其應用。機械工業出版社。
6. 陳碩翼，朱衛東，張麗，等。(2018). 氫能燃料電池技術發展現狀與趨勢。科技中國，000(005):11-13.
7. 陳掌星。(2021). 水解製氫的研究進展及前景。中國工業和資訊化(09),56-60.
8. 程一步。(2018). 氫燃料電池技術應用現狀及發展趨勢分析。石油石化綠色低碳。
9. 德勤。(2020). 氫能源及燃料電池交通解決方案。
10. 丁瑤瑤。(2021). 氫燃料電池汽車降成本之困。環境經濟(16),24-27.
11. 傅秀梅，王亞楠，王長雲，鹿守本 & 管華詩。(2007). 生物製氫——能源、資源、環境與經濟可持續發展策略。中國生物工程雜誌(02),119-125.
12. 顧綱。(2004). 國外氫能技術路線圖及對我國的啟示。國際技術經濟研究(04),34-37.
13. 郭景傑，李新中，蘇彥慶，等。(2018). 新能源汽車氫燃料製取技術及其應用。
14. 郭榮華。(2020). 氫能利用的現狀及未來發展趨勢。生態環境與保護，3(8).
15. 吉力強，趙英朋，王凡，等。(2019). 氫能技術現狀及其在儲能發電領域的應用。金屬功能材料。
16. 賈宏寶。(2021). 氫能源產業鏈應用現狀及發展前景。化學工程與裝備(09),208-210.
17. 賈同國，王銀山 & 李志偉。(2011). 氫能源發展研究現狀。節能技術(03),264-267.
18. 劉志強。(2020). 一種車用氫氣燃料容器及其使用方法。
19. 羅少文。(2008). 我國新能源汽車產業發展戰略研究(碩士學位論文，復旦大學)。
20. 邵志剛，衣寶廉。(2019). 氫能與燃料電池發展現狀及展望。中國科學院院刊，034(004):469-477.
21. 田世明，欒文鵬，張東霞，梁才浩 & 孫耀傑。(2015). 能源互聯網技術形態與關鍵技術。中國電機工程學報(14),3482-3494.
22. 香港文匯報。(2021)。年內增設3充電站 匯達：續發展電動巴士減碳
23. 王寒。(2016). 世界氫能發展現狀與技術調研。當代化工(06)
24. 王力。(2019). 摻雜碳材料製備及其催化氫能高效利用性能研究。鄭州大學。
25. 星島日報。(2020)。港產量難自給自足 趁早

採購綠色氫能

26. 魏鳳,任小波,高林,高國慶 & 周超峰.(2021). 碳中和目標下美國氫能戰略轉型及特徵分析. 中國科學院院刊 (09),1049-1057.
27. 香港特別行政區政府環境保護署.(2021). 廢物問題與解決方案
28. 肖建民.(1997). 論氫能源和氫能源系統. 世界科技研究與發展 (01),82-86.
29. 許亞傑.(2021). 誰能成功“搶灘”氫燃料電池汽車賽道. 中國青年報,012.
30. 楊光.(2021). 萬億氫能賽道:漫長而執著的“奔赴”. 青島日報,003.
31. 伊文婧,梁琦 & 裴慶冰.(2018). 氫能促進我國能源系統清潔低碳轉型的應用及進展. 環境保護 (02),30-34.
32. 張國有.(2009). 對中國新能源產業發展的戰略思考. 經濟與管理研究 (11),5-9.
33. 張海龍.(2014). 中國新能源發展研究(博士學位論文,吉林大學)
34. 張西子.(2012). 氫能源及其利用. 科技致富嚮導.
35. 張鐘允 & 李春利.(2015). 日本新能源汽車的相關政策與未來發展路徑選擇. 現代日本經濟 (05),71-86.
36. 趙永志,蒙波,陳霖新,王賡,鄭津洋,顧超華 & 張俊峰.(2015). 氫能源的利用現狀分析. 化工進展 (09),3248-3255.
37. 中國電動汽車百人會.(2020). 中國氫能產業發展報告 2020.
38. 中國氫能源聯盟.(2019). 中國氫能源及燃料電池產業白皮書 2019.
39. 中國氫能源聯盟.(2020). 中國氫能源及燃料電池產業白皮書 2020.
40. 朱晏萱 & 孫如田.(2021). 淺談氫能源汽車的發展前景. 時代汽車 (20),88-89.
41. Ministry of Trade and Industry Singapore (2022),《Singapore's National Hydrogen Strategy》.
42. 綠色和可持續發展金融跨機構督導小組 (2022),《香港碳市場機遇初步可行性評估》.

本報告中包含的所有其他圖片均由 canva.com 提供。



李浩然立法會議員辦公室  
Legislative Councillor Office  
Dr. Hon. Hoey Simon Lee

✉ [simonlee@simonleeoffice.com](mailto:simonlee@simonleeoffice.com)

☎ +852 6488 0132

📞 6488 0132

💬 [simonhoylee](#)

📘 李浩然博士, MH, JP

🌐 [www.simonleeoffice.com](http://www.simonleeoffice.com)

