

崑山科技大學

機械工程系

碩士論文

電力系統的氫能源規劃之研究

A Study on Hydrogen Energy Planning of Power System

研究生： 尹道文

Student: DAO-WEN YIN

指導教授： 陳長仁

Advisor: CHANG-REN CHEN

林明權

MIN-CHUAN LIN

Department of Mechanical Engineering

Kun Shan University

Tainan, Taiwan, R.O.C.

Thesis for Master of Science

June 2020

中華民國 109 年 6 月

博碩士論文電子檔案上網授權書



* 1 0 8 K S U T 0 4 8 9 0 0 6 *

Letter of authorization for online electronic files of theses and dissertations

(本聯請於辦理離校手續時，繳至圖書館1F流通服務櫃台) ID:108KSUT0489006

(Please turn in this form to the circulation desk at the first floor in the library when handling leaving school process)

本授權書所授權之論文為授權人在 崑山科技大學 機械工程研究所 108 學年度第二學期取得碩士學位之論文。

This letter attests the authorizer received a 碩士(碩士 master's/博士 doctor's)degree thesis/dissertation at Graduate School of 機械工程研究所 in College of Kun Shan University in the 二 semester of 108 academic year .

論文題目(Title)：電力系統的氫能源規劃之研究

指導教授(Advisor)：陳長仁,CHEN, CHANG-REN；林明權 ,LIN, MIN-CHUAN

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文(含摘要)，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印，此項授權係非專屬、無償授權國家圖書館及本人畢業學校之圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化方式將上列論文進行重製，並同意公開傳輸數位檔案。

The authorizer agrees to give the right of online search, browse, downloading, and printing of the full paper, including abstracts, for personal non-profit purpose. The authorization made above is non-exclusive and non-paid to National Central Library and the library of graduation school, without place and time limits. The above paper will be digitalized for reproduction, and the authorizer agrees to public transmission of electronic file.

◎全文電子檔

校內外立即開放

Publicize on and off campus immediately

校內立即開放，校外於 年 月 日後開放

Publicize on campus immediately, and publicize off campus after //

校內於 年 月 日；校外於 年 月 日後開放

Publicize on campus after //, and publicize off campus after //

其他(Other)

◎作品影音檔（含圖檔、書畫、模型、雕塑等立體物件）

無作品影音檔

校內外立即開放

校內立即開放，校外於 年 月 日後開放

校內於 年 月 日；校外於 年 月 日後開放

其他

正楷簽名(Signature)：_____

日期(Date)：_____年(Year) _____月(Month) _____日(Date)

崑山科技大學圖書資訊館

碩士論文授權書

Kun Shan University Library and Information Center

Dissertation copyright license agreement

本授權書所授權之論文為本人在崑山科技大學 機械工程系 研究所 108 學年
度第 2 學期取得碩士學位之論文。

This form attests that Division at Department of Mechanical Engineering in
Kun Shan University has received a Master degree dissertation from me in the
semester of academic year.

論文名稱：電力系統的氫能源規劃之研究

Dissertation title: A Study on Hydrogen Energy Planning of Power System

同意 (Agree) 不同意 (Disagree)

本人具有著作財產權之論文全文資料，授予教育部指定送繳之圖書館及本人畢
業學校圖書館，為學術研究之目的以各種方法 重製，或為上述目的再授權他
人以各種方法重製，不限地域與時間，惟每人以一份為限。 上述授權內容均無
須訂立讓與及授權契約書。依本授權之發行權為非專屬性發行權利。依本授權
所為之收錄，重製，發行及 學術研發利用均為無償。上述同意與不同意之欄位
若未鉤選，本人同意視同授權。

The author of this dissertation gives the right of reproduction of the content of this dissertation for inclusion in the collection of the library assigned by Ministry of Education and Kun Shan University Library for the use of scholars and researchers as subject to copyright laws in force at the time of use. This permission is not time bound, but no person may make more than a single copy of the dissertation. The agreement made above is non-transferable and non-exclusive. No payment has been received nor will be given for the rights of reproduction, distribution and storing the dissertation. The absence of choosing the agree-box or disagree-box in the above paragraphs shall be seen as consent given for the reproduction and distribution of the dissertation.

指導教授簽名(Chinese signature of major professor) :

(親筆正楷 Autograph in regular script)

林 明 權

研究生簽名(Chinese signature of graduate student) :

(親筆正楷 Autograph in regular script)

學號(Student ID number) : K070H109

(務必填寫 Required field)

日期 : 中華民國 109 年 6 月 26 日

Date of signature : 2020/06/26

崑山科技大學進修部碩士在職專班
碩士學位論文考試委員會審定書

本校 機械工程 研究所碩士在職專班 尹道文 君
所提論文 電力系統的氫能源規劃之研究

A Study on Hydrogen Energy Planning of Power System

業經本委員會審查及口試及格，特此證明

論文考試委員

林明權

尹道文

傅耀賢

指導教授： 尹道文 林明權

系所主任：

尹道文

陳長仁

中華民國 109 年 6 月 26 日

A Study on Hydrogen Energy Planning of Power System

by

Dao-Wen Yin

A Thesis Submitted to the Graduate Division in Partial
Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Mechanical Engineering

Kun Shan University
Tainan, Taiwan, Republic of China

June 2020

Approved by :

Lin Min-Chuan

Fu yaw-shyan

Advisor : Chang-Ren Chen, Lin Min-Chuan

Chairman : Chang-Ren Chen

電力系統的氫能源規劃之研究

尹道文*，陳長仁**，林明權***

*崑山科技大學機械工程研究所 研究生

**崑山科技大學機械工程研究所 教 授

***崑山科技大學電子工程研究所 副教授

摘要

電力系統自 18 世紀美國富蘭克林首次將電引進文明社會以來，歷經工業革命，產業革命，帶動世界經濟起飛，人類從工業進入商業，更進一步廣至民生產業皆深受其惠。但是天有不測風雲，燃煤/燃氣火力發電廠的 PM2.5 空氣污染問題，天然災害引起停電事故，人為因素引起核能電廠輻射線外洩等重大事故，各種災害造成數萬人或數百萬人的不幸。特別是日本 311 福島核能電廠事故以後，世界各國開始注目綠能，再生能源的運用。

台灣是一海島地形，山高川短，礦產資源有限，工業原料多需從國外進口，特別是石化原料，天然氣等重要戰略物資的儲存量僅 7 日或短期使用。一旦發生天災人禍，工業，商業，民生等各方面的損害不是短期內可以復興。

政府的電力政策方面，燃煤/燃氣火力發電廠占全能源比 50% 最大，核能發電廠將於 2025 年退出台灣電力系統，取而代之的能源為太陽光電發電廠，風力發電廠，只是太陽光電能源易受夜晚陰天天候影響，風力發電則是冬季風場多風，夏季風場少風，難以解決台灣夏季缺電之困境。

氫的使用歷史久遠，但是在各種能源中是一種新興能源。氫燃料電池本身即是「發電機」又因可以壓縮儲存，可以運輸，最重要的是氫是潔淨能源，不會產生 CO₂，廢棄物等環境污染問題。氫可以用水電解製氫，甲醇重組製氫，

光觸媒光合作用製氫，石化原料製氫，生物質製氫，化學製氫，金屬製氫等數十種製氫方法，氫如果自製則不受外國戰略物質管控，對台灣工商民生有非常大的助益，商品製造成本也會減低，外國市場競爭則為優勢。

本論文研究主題「電力系統的氫能源規劃之研究」，氫能源雖然現在成本高，但就電力系統的發電系統，輸供電系統，配電系統的部分，氫能源的規劃，特別是電力系統中鴨子曲線的尖峰升載，低峰卸載中氫能源發電，鋰電池儲能可作為補助發電設備之用。

關鍵字：電力系統，發電系統，輸送電系統，配電系統，發電廠，變電所
可再生能源，氫能源，鋰電池儲能



A Study on Hydrogen Energy Planning of Power System

DAO-WEN YIN* , CHANG-REN CHEN ** , MIN-CHUAN LIN***

***Department of Mechanical Engineering, Kun Shan University**

****Department of Mechanical Engineering, Kun Shan University**

*****Department of Electronic Engineering, Kun Shan University**

ABSTRACT

Since the power system was first introduced into the civilized society by Franklin in the 18th century, the power system has experienced an industrial revolution and industrial revolution. Life, the world will take off, the human industry will enter the business, and the industry will become more popular. But there are Unexpected wind and cloud, PM2.5 air pollution problems of coal-fired / gas-fired power plants, blackouts caused by natural disasters, human factors Major accidents such as radiation leakage from nuclear power plants and various disasters have caused tens of thousands or millions of misfortunes. Especially Japan 311 After the Fukushima nuclear power plant accident, countries around the world began to pay attention to the use of green energy and renewable energy. Taiwan is an island with a terrain, short mountains and high rivers, limited mineral resources, and many industrial raw materials need to be imported from abroad, especially petrochemical raw materials. The storage volume of important strategic materials such as materials and natural gas is only used for 7 days or short-term. Once natural disasters, man-made disasters, industry, commerce, civil The damage in various aspects such as health and life cannot be restored in the short term. In terms of government power policy, coal-fired / gas-fired power plants account for 50% of the total energy ratio, and nuclear power plants will be in 2025 Withdrew from Taiwan's power system in 2016 and replaced it with solar photovoltaic power plants, wind power plants, and only solar photovoltaic energy. It is susceptible to the night and cloudy weather, the winter wind field is more windy, and the summer wind field is less windy. It is difficult to solve the dilemma of Taiwan's lack of electricity in

hydrogen fuel cell itself is the "generator" And because it can be compressed and stored, it can be transported, the most important thing is that hydrogen is a clean energy source, and it will not produce environmental pollution such as CO₂ and waste problem. Hydrogen can be produced by water electrolysis, methanol recombination hydrogen production, photocatalyst photosynthesis hydrogen production, petrochemical raw material hydrogen production, biomass production Dozens of hydrogen production methods such as hydrogen, chemical hydrogen production, and metal hydrogen production. If hydrogen is produced by itself, it will not be controlled by foreign strategic substances. Business and people's livelihood has a very large benefit, the cost of manufacturing goods is reduced, and competition in foreign markets is an advantage. The research topic of this thesis "Research on Hydrogen Energy Planning of Power System", on power generation system and transmission system of power system , part of the power distribution system, how to plan hydrogen energy, especially the peak load and low peak of the duck curve in the power system Offloading medium-hydrogen energy power generation and lithium battery energy storage as subsidy power equipment.

Keywords: Power System, Power Generation System, Transmission System, Distribution System, Power Plant, Substation, Renewable Energy, Hydrogen Energy, Lithium Battery Energy Storage

誌 謝

氫的發現非常久遠，氫也是元素周期表第 1 個元素。火力發電排放 CO₂ 造成地球溫暖化問題，太陽光電及風電則易受氣候影響成為不穩定電源，其他再生能源則因尚無商業價值未能普及發展。氫可從大規模的石化燃料製氫，水電解製氫，光觸媒光合作用製氫，生質能沼氣製氫等多種方式取得豐富的氫能源。氫能發電是為近年來新興能源，更是未來氫能社會的基礎建設的重要項目。在此感謝恩師陳長仁教授，林明權副教授，傅耀賢教授的指導，在電力系統的氫能源規劃中，未來氫能源正確的方向與必要的技術。同時也感謝崑山科技大学蘇炎坤，衛祖賞，周煥銘，侯順雄，彭相武，朱孝業，徐孟輝，徐榮昌，王松浩，蘇偉府，林龍富，陳建宏，張育斌，陳國泰，簫明謙，林水木，江智偉，楊松霈，林安，洪榮芳等老師的教學，對於機械工程，光電工程有更深度的理解。感謝機械工程系研究所碩士在職專班同學陳清正，呂定錯，朱鉅濠的二年來同窗相互協助共同完成學業。感謝綠能中心的邱韋丞，宣崇堯，簫宏搖，許瑋庭，鄭博駿，賴育典，蔡國禎，陳高偉，江啓仁等前輩的提供資料。感謝學術界與企業界的先進劉世鈞，張家欽，賴維祥，謝文展，陳嘉鴻，雷敏宏，郭軒甫，梁元文，蔡源禎，吳介清，吳明全，游李興，陳震宇，劉百清，熊明德，黃國彰，謝永寶，黃建中，黃冠仁，嚴坤龍，陳穗祥，陳曼麗，蘇治芬，蘇煥智，賀威蓬，張惠盛，白佑東，章致恩，張秀英，黃小娟，林振榮的學業精進上的支援與綠能技術的交流。最後感謝遠在日本的家族曾玉娥（高木富子），尹立炎（高木立炎），尹立仁（高木立仁）及親戚曾玉河，曾鴻森，曾鴻斌，曾鴻淵，曾彥凱的心靈上的支援，使我在台灣能專心研究並對未來台灣的電力系統中構築一個實用化及可行性的氫能源規劃。

目 錄

	頁數
中文摘要	i
英文摘要	iii
誌謝	v
目錄	vi
表目錄	viii
圖目錄	xi
符號說明	xvii
一 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 研究動機與目的	3
1.3 本論文架構	7
二 文獻回顧	8
2.1 電力系統	8
2.2 氢能源	17
2.3 氢發電廠發展與現狀	18
2.4 國內氢能現況	27
2.5 氢技術	29
2.6 氢能社會	39
三 電力系統發展現況	48
3.1 發電系統	48
3.2 輸供電系統	60

3.3	配電系統-----	62
3.4	電力工廠 DIGSILENT PowerFactory -----	63
四	電力系統的氫能源之規劃-----	76
4.1	概要-----	76
4.2	發電系統的氫能源運用管理-----	92
4.3	輸供電系統的氫能源運用管理-----	96
4.4	配電系統的氫能源運用管理-----	99
五	討論與建議-----	102
5.1	討論-----	102
5.2	電力系統的氫能源規劃的建議-----	104
六	結論-----	105
參考文獻	-----	106
七	附錄-----	118
7.1	氫概要-----	118
7.2	氫製造成本-----	136
7.3	氫發電廠-----	149
7.4	氫技術-----	167
7.5	氫法規-----	184
自傳	-----	192

表 目 錄

	頁數
表 2.1 低頻卸載模擬結果-----	11
表 2.2 燃料電池的比較-----	35
表 2.3 台灣氢能與燃料電池產業供應鏈-----	36
表 3.1 各種發電優缺點-----	54
表 7.1 氢的物理化學性質-----	118
表 7.2 氢氣的物性參數-----	119
表 7.3 常見燃料安全特性比較-----	120
表 7.4 常見燃料燃燒性質比較-----	121
表 7.5 氢的燃燒性質表-----	122
表 7.6 氢氣重量體積單位轉換與熱值轉換表-----	123
表 7.7 元素週期表-----	126
表 7.8 各種能源的轉換效率-----	127
表 7.9 各類能量源的能量轉換效率評比-----	128
表 7.10 氢氣，石油與天然氣於化學特性上之比較-----	130
表 7.11 產氫技術與投入原料產氫效率與商品化成熟度---	131
表 7.12 綠能資料庫氫分類檢索系統-----	132
表 7.13 109 年度再生能源電能躉購費率計算-----	136
表 7.14 109 年度再生能源（太陽光電除外）發電設備電能 躉購費率-----	137
表 7.15 109 年度太陽光電發電設備電能躉購-----	137
表 7.16 台電各種發電方式之發電成本-----	138

表 7.17	各技術發電成本-----	140
表 7.18	各種產氫技術之成本比較-----	141
表 7.19	氫氣製備成本經濟分析-----	144
表 7.20	NEDO 氫製造成本構造-----	147
表 7.21	燃料電池規格-----	151
表 7.22	MHPS 燃氣渦輪機規格-----	153
表 7.23	Mahler AGS 蒸汽重整制氫廠工廠規格-----	156
表 7.24	Caloric Anlagenbau GmbH 蒸汽重整制氫規格-----	157
表 7.25	杭州台連低溫設備公司水電解制氫裝置-----	158
表 7.26	同創偉業蒸汽甲烷重整制氫機規格表-----	160
表 7.27	KAPSOM 天然氣蒸汽重整制氫機規格-----	161
表 7.28	HySTAT™10 室外氫發電機規格-----	163
表 7.29	鼎佳能源公司燃料電池發電系統規格-----	165
表 7.30	4 種主要燃料電池的比較-----	167
表 7.31	各種燃料電池的種類與特性-----	168
表 7.32	不同燃料電池的性能比較-----	171
表 7.33	日本國內業務用燃料電池系統規模-----	176
表 7.34	海外業務用燃料電池系統規模-----	177
表 7.35	常見儲氫合金之熱力學性質-----	178
表 7.36	各種儲氫技術之優缺點比較-----	179
表 7.37	各種碳質材料儲氫性能之比較-----	180
表 7.38	碳材料儲氫性能比較-----	180
表 7.39	文獻中不同奈米碳管之吸附性能比較整理-----	181
表 7.40	使用不同類型電池的儲能電站壽命比較-----	182
表 7.41	各型電池性能比較-----	183

表 7.42	法規及行政規則-----	184
表 7.43	ISO 氢能規範-----	186
表 7.44	中國主要氢能標準-----	188
表 7.45	美國國內各項氢能標準的負責學會-----	189
表 7.46	主要國家新及再生能源政策重點措施-----	190
表 7.47	主要國家產業部門能源政策重點措施-----	191



圖 目 錄

	頁數
圖 1.1 氫能應用構想-----	2
圖 1.2 台電電力系統的發電廠分布示意圖-----	4
圖 1.3 DIgSILENT-Power Factory -----	4
圖 1.4 鴨子曲線運作方式-----	5
圖 1.5 假想地區星型分散式電力系統-----	6
圖 2.1 台電供電系統簡介-----	8
圖 2.2 台電系統電廠及電網分布圖-----	9
圖 2.3 英國電力系統跳機及卸載事故-----	10
圖 2.4 頻率-----	13
圖 2.5 周波數低下-----	13
圖 2.6 諧波-----	13
圖 2.7 神經模型-----	15
圖 2.8 類神經網路模型-----	16
圖 2.9 氢發電廠發展與現狀-----	18
圖 2.10 日本福島氫能源研究站的氫燃料發電廠-----	19
圖 2.11 日本神戶市氫燃料發電廠-----	19
圖 2.12 日本豐田富士山氫燃料發電廠-----	20
圖 2.13 日本三菱日立氫燃料發電廠-----	20
圖 2.14 韓國大山工業園區氫燃料電池發電廠-----	21
圖 2.15 韓國鎮川郡氫燃料電池發電廠-----	21
圖 2.16 澳大利亞昆士蘭第一個氫能電廠-----	22
圖 2.17 挪威 Utsira Island 風力與氫能混合系統-----	23

圖 2.18	西班牙 RES2H2 計畫-----	24
圖 2.19	加拿大 愛德華王子島風氫混合系統-----	25
圖 2.20	日本第 5 次能源基本計畫-----	26
圖 2.21	未來的氫能社會-----	28
圖 2.22	氫氣生產方法-----	29
圖 2.23	二氧化碳零排放氫氣供應鏈-----	30
圖 2.24	氫與燃料電池標準化-----	32
圖 2.25	氫製造與輸送與商業供應-----	32
圖 2.26	水電解-----	33
圖 2.27	光觸媒水分解-----	33
圖 2.28	燃料電池-----	35
圖 2.29	氫能源儲存技術-----	38
圖 2.30	氫氣運輸/存儲技術-----	39
圖 2.31	燃料電池的用途適用車種-----	41
圖 2.32	德國加氫站整備予測圖-----	41
圖 2.33	法國加氫站整備計畫圖-----	41
圖 2.34	氫發電-----	43
圖 2.35	燃料電池車關連安全對策法律-----	44
圖 2.36	加氫站關連法規改正-----	44
圖 2.37	再生能源發展條例修法議題-----	44
圖 2.38	實現氫能社會技術關連課題-----	45
圖 2.39	川崎市氫能網路-----	47
圖 2.40	氫能源發展路徑圖-----	47
圖 3.1	台灣電廠及電網分布圖-----	48
圖 3.2	台灣水力發電廠分布圖-----	49

圖 3.3	台灣火力發電廠分布圖-----	50
圖 3.4	台電公司太陽光電分布圖-----	51
圖 3.5	台灣風力發電廠分布圖-----	52
圖 3.6	台電公司可再生能源各機組發電量-----	53
圖 3.7	集中式電網與分散式電網-----	56
圖 3.8	台電輸電網因應策略-----	57
圖 3.9	NEDO 智能社區示意圖-----	58
圖 3.10	NEDO 氢能智慧電網構想圖-----	58
圖 3.11	區域特色虛擬電廠-----	59
圖 3.12	虛擬電廠商業模式分析架構圖-----	59
圖 3.13	輸電線-----	60
圖 3.14	台電竹園超高壓變電所-----	61
圖 3.15	配電系統-----	62
圖 3.16	電力工廠 DIgSILENT PowerFactory-----	63
圖 3.17	電力傳輸示意圖-----	64
圖 3.18	周波數低下示意圖-----	64
圖 3.19	數據庫整合示意圖-----	65
圖 3.20	分散式發電示意圖-----	66
圖 3.21	電力調配示意圖-----	67
圖 3.22	可再生能源示意圖-----	68
圖 3.23	潮流分析示意圖-----	69
圖 3.24	網絡圖和圖形功能示意圖-----	70
圖 3.25	新西蘭島嶼動態建模-----	71
圖 3.26	火車運轉的模擬-----	72
圖 3.27	崑山科技大學太陽能屋智慧型微電網之規劃-----	73

圖 3.28	太陽能屋屋頂六組太陽能模組系統配置圖-----	74
圖 3.29	EMS 運作關聯圖-----	75
圖 4.1.	集中式電網與分散式電網與智慧電網-----	77
圖 4.2.	常見星型分散式圖形的圖例-----	78
圖 4.3.	假想台電公司星型分散式電力系統圖例-----	78
圖 4.4.	假想北部地區星型分散式電力系統圖例-----	79
圖 4.5.	假想中部地區星型分散式電力系統圖例-----	80
圖 4.6.	假想南部地區星型分散式電力系統圖例-----	81
圖 4.7.	DIgSILENT PowerFactory-----	82
圖 4.8.	PowerStation(ETAP) -----	83
圖 4.9.	PSS®E (Power System Simulator for Engineering) --	83
圖 4.10.	虛擬電廠-----	84
圖 4.11.	台電供電系統簡介-----	85
圖 4.12	池洋公司氫渦輪機發電構造圖-----	86
圖 4.13	氫天然氣混合發電與純氫發電-----	87
圖 4.14	川崎重工氫燃氣渦輪機-----	88
圖 4.15	日立製作所的氫燃氣渦輪機-----	88
圖 4.16	日本氫燃料電池發電廠-----	89
圖 4.17	韓國氫燃料電池發電廠-----	90
圖 4.18	奧地利氫燃料電池發電廠-----	90
圖 4.19	澳洲鋰電池儲能系統-----	91
圖 4.20.	壓縮空氣儲能系統-----	92
圖 4.21.	發電廠的補助發電設備-----	93
圖 4.22.	鳴子曲線運作方式-----	94

圖 4.23.	電力系統與氢能發電鋰電池儲能之構想-----	95
圖 4.24.	輸供電系統的氫能源運用管理-----	96
圖 4.25.	變電所與氫發電廠鋰電池儲能補助設備-----	97
圖 4.26.	智慧化變電所規劃-----	98
圖 4.27.	配電系統的氫能源運用管理-----	99
圖 4.28.	假想配電系統與氫發電廠及鋰電池儲能設備-----	100
圖 4.29.	小型社區內的配電系統-----	101
圖 7.1	全球能源系統轉換曲線-----	128
圖 7.2	能量轉換-----	129
圖 7.3	台電公司電價成本-----	139
圖 7.4	NEDO 氢能源白皮書 氢氣供應-----	146
圖 7.5	池洋株式會社氫燃料電池事業示意圖-----	149
圖 7.6	株式會社 KSF 氢燃料電池示意圖-----	150
圖 7.7	MHPS 大潭電廠設置燃汽渦輪機-----	152
圖 7.8	SOFC-MGT 混合系統「MEGAMIE」-----	153
圖 7.9	MHPS 燃氣渦輪機規格-----	155
圖 7.10	Mahler AGS 蒸汽重整制氫廠-----	157
圖 7.11	Caloric Anlagenbau GmbH 蒸汽重整制氫廠-----	158
圖 7.12	杭州台連低溫設備公司水電解制氫裝置-----	159
圖 7.13	KAPSOM 天然氣蒸汽重整制氫機-----	161
圖 7.14	德國的氫燃料電池電車-----	162
圖 7.15	HySTAT™10 室外氫發電機-----	164
圖 7.16	鼎佳能源公司 燃料電池發電系統-----	166
圖 7.17	家庭用燃料電池-----	173
圖 7.18	家庭用燃料電池價格・普及台數推移-----	174



符 號 說 明

f 交流電在一秒鐘內重複變化的次數



第一章 諸 論

1.1 前言

1.1.1 電力系統 [1] 是指由提供電力的發電廠，將電力從發電廠輸送到變電所的輸電系統，以及將電力輸送到用戶端的配電系統。電力系統的組成：(1) 發電：主要發電廠有水力發電廠，燃煤/燃氣火力發電廠，2025 年終止的核能發電廠，綠能發電廠有太陽光電發電廠，風力發電廠，地熱能發電廠，生質能發電廠等，尚有新興潔淨能源的氫能發電廠，海洋能發電廠，鋰電池儲能電廠等發電廠。(2) 輸電：是電能從發電廠到變電站的電力傳輸運動。以 66 kV 或更高的高電壓傳輸電力，以減少長距離傳輸中發生的能量損失。電力通常通過架空電力線傳輸。地下動力傳輸具有顯著更高的安裝成本和更大的運行限制，但降低了維護成本。(3) 配電：是從傳輸系統向用戶端輸送電力。配電變電站連接到輸電系統，並使用變壓器將輸電電壓降低到 2 kV~35 kV 之間的中壓。配電線路將這種中壓電源傳輸到位於用戶端附近的配電變壓器。配電變壓器再次將電壓降低到照明，工業設備或家用電器使用的 110V~220V 低壓。

1.1.2 電氣的歷史 [2]：十八世紀富蘭克林對電力進行了廣泛的研究。著名風箏實驗是電力史的一項重大突破。十九世紀英國科學家法拉第發現了發電的基本原理，通過在銅線線圈內部移動磁體來產生或“感應”電流，也就是電力學的法拉第定律，電容是電荷變化與其相應電勢變化之比，法拉 (Farad) 是電容單位。蘇格蘭數學家麥克斯威爾將法拉第的理論轉化為數學表達式。愛迪生發明了使用直流電來點亮燈泡。瓦特認為蒸汽機將取代動物動力，其產生動力的功率單位為馬力 (HorsePower)，其計量功率單位是瓦特 (Watt)。1 馬力 =735.49875 瓦特。電學常用單位：安培(Ampere)是電流單位，庫侖(Coulomb)是電荷單位，亨利(Henry)是電感單位，歐姆(Ohm)是電阻單位，伏特(Volt)是電壓單位，特士拉(Tesla)是磁場單位，焦耳(Joule)是能量單位。

1.1.3 傳統集中式電力系統轉型分散式發電系統：十八世紀發明電氣以來，傳統的發電系統是集中式電力系統，由中央電力調度中心維持電力品質，保持穩定供電。但是「天有不測風雲」，偶然不可預測事故造成重大停電事件：

- (1) 2017 年 8 月 15 日 16 時 51 分台灣因為中油天然氣站發生故障 [3]，引起台電公司的電力系統低頻降壓，大潭發電廠跳機，造成大規模停電事件，約 160 萬戶停電。
- (2) 2003 年 8 月 14 日 16 時 12 分美國和加拿大大地區大停電 [4]，約 5000 萬用戶停電。
- (3) 2019 年 8 月 9 日 16 時 52 分英國的輸電鐵塔遭遇雷擊 [5]，電力系統發電機跳機造成低頻卸載事件，約 110 萬用戶停電。

1.1.4 再生能源發電的發展：2011 年 3 月 11 日日本福島核能發電廠受到 311 大地震影響，造成發電廠的放射能外洩，造成避難半徑 20 公里，數萬人緊急避難事件。[6] 世界各國開始對可再生能源發電議題加速展開。

1.1.5 氢能源(Hydrogen Energy)：林國興等人 [7] 提出氫能應用構想為一種潔淨能源、而氫燃料電池本身即為「發電機」，同時也可以儲存在儲氫罐作為儲能設備，燃料電池自動車的電源。[圖 1.1]

資料來源：氫能趨勢分析與儲能應用新思維，氫能應用構想

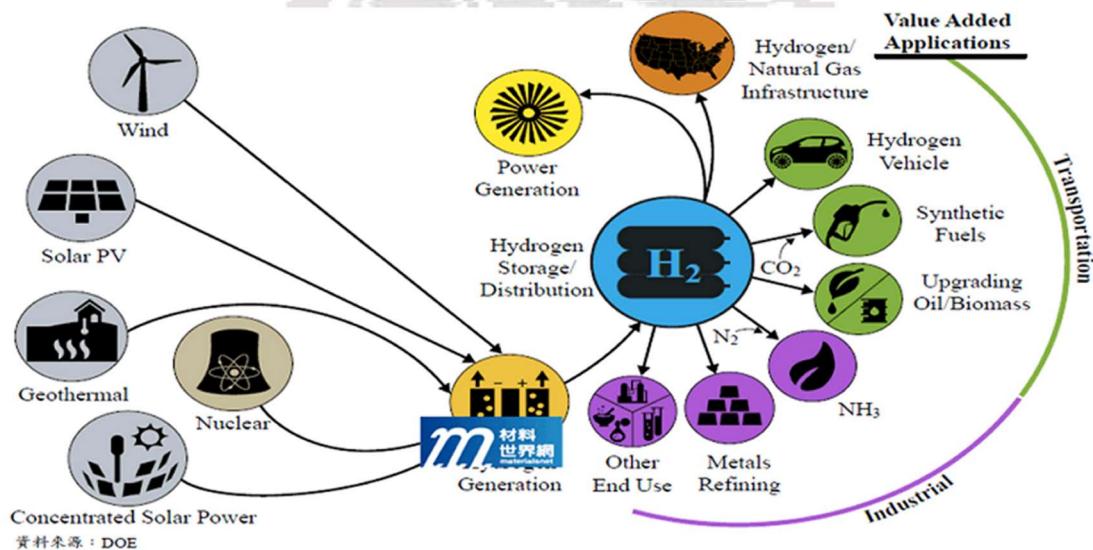


圖 1.1 氢能應用構想 [7]

1.2 研究動機與目的

1.2.1 台灣電力公司的電力系統分 (1) 發電系統 (2) 輸供電系統 (3) 配電系統 [圖 1.2]。電力系統的各種發電廠，各有優缺点，傳統發電廠中 (1) 水力發電廠：電力品質，穩定供電為最安定的發電廠，但是台灣為一島嶼地形，河川短，水庫儲存量小，特別是冬季枯水期，無水可以發電。 (2) 燃煤/燃氣火力發電廠：現在是台灣發電量占比最大的發電廠，但是燃煤/燃氣所產生的 CO₂，PM2.5 空氣污染等造成台灣在環保方面重大問題。 (3) 太陽光電發電廠：台灣地狹，可供設置太陽光電的土地不足，加上太陽光電發電廠，容易受到陰天，夜晚等天侯影響，成為需要電却無電可發的「不穩定電源」之一。 (4) 風力發電廠：台灣西部的彰濱風力發電地域，為世界少有的優良發電地域之一，但是風力最強季節是冬季，而台灣電力不足季節是夏季。 (5) 地熱能發電廠/海洋能發電廠/生質能發電廠：目前因為尚無商業化價值，尚需數年時間才能達到實用性環境。

1.2.2 DIgSILENT PowerFactory [圖 1.3]，德國的電力系統的運營管理模擬軟體，配置色彩化圖形，協助管理中心判定電力狀況，崑山科技大學 DIgSILENT PowerFactory 模擬分析平台訓練。

1.2.3 氢發電廠：氫能源發電是近代新興能源之一，氫燃料電池本身也是「發電機」，又可儲存作為主要發電廠的輔助發電設備及儲能設備。日本自 311 福島核災事故後，推展「氫能源發電」來取代核能發電。積極推動「氢能社會」。

1.2.4 氢能源對於電力系統運作方式：電力系統運行時有低峰卸載與高峰昇載鴨子曲線 [107] 現象，發電機高低循環運行容易發生故障，假設 (1) 發電機維持一定發電量，而在低峰時期將多餘電力用來電解製氫及鋰電池儲電，高峰時期由氫發電機發電及鋰電池放電來填補不足電力，一方面傳統發電機組在維修時減少機組故障，一方面增加綠能發電比率。假設 (2) 傳統集中式電力系統發生故障，無其他支援電力調度會發生停電事故，如能由集中式電力系統轉型分散式電力系統，某地

區電力系統發生故障，則由氫發電機及鋰電池儲電輔助設備或其他地區電力系統支援電力，避免長期停電事故（圖 1.4）。這是本研究的中心主題。電力系統鵝子曲線圖的氫發電機與鋰電池輔助設備運作詳細在第四章說明。

資料來源：Gordoncheng's Blog，台電公司七十年來之發電發展

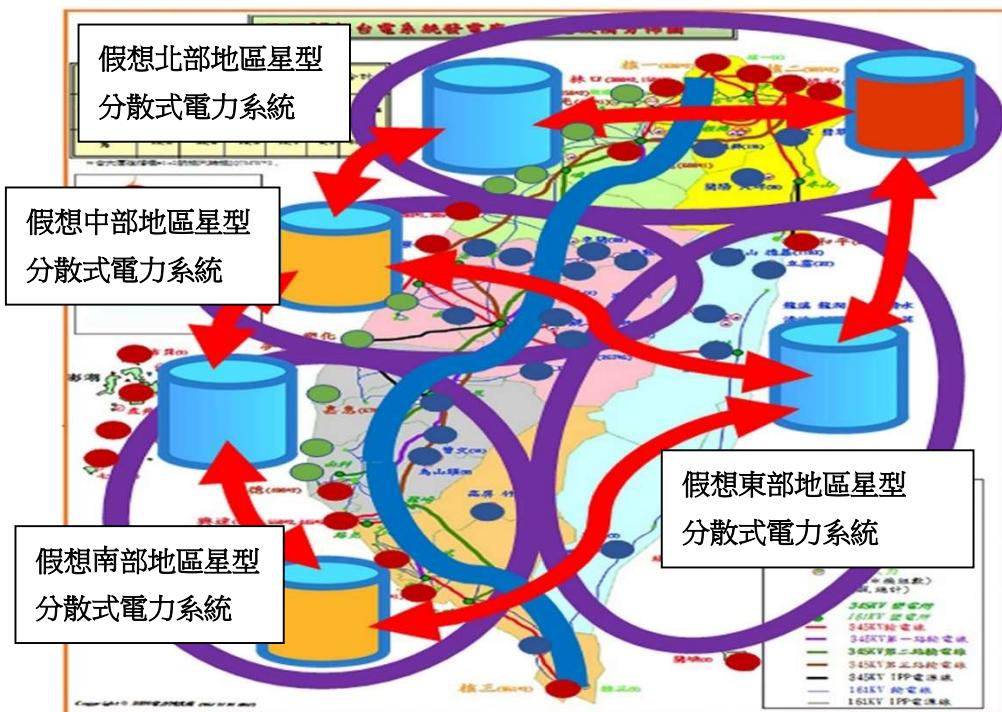


圖 1.2 台電電力系統的發電廠分布示意圖 [90]

資料來源：DIgSILENT-Power Factory Home

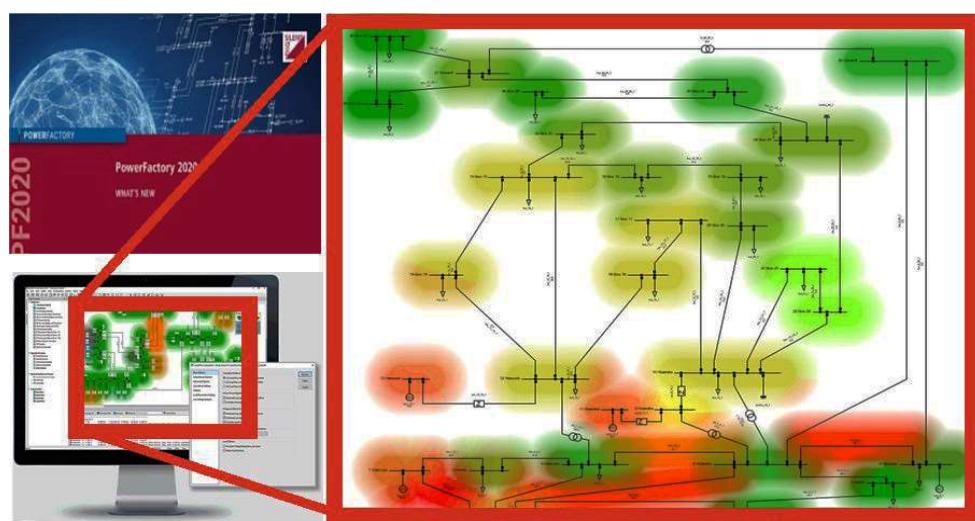


圖 1.3 DIgSILENT-Power Factory [84]

資料來源：Michael Burnett "Energy Storage and the California Duck Curve"

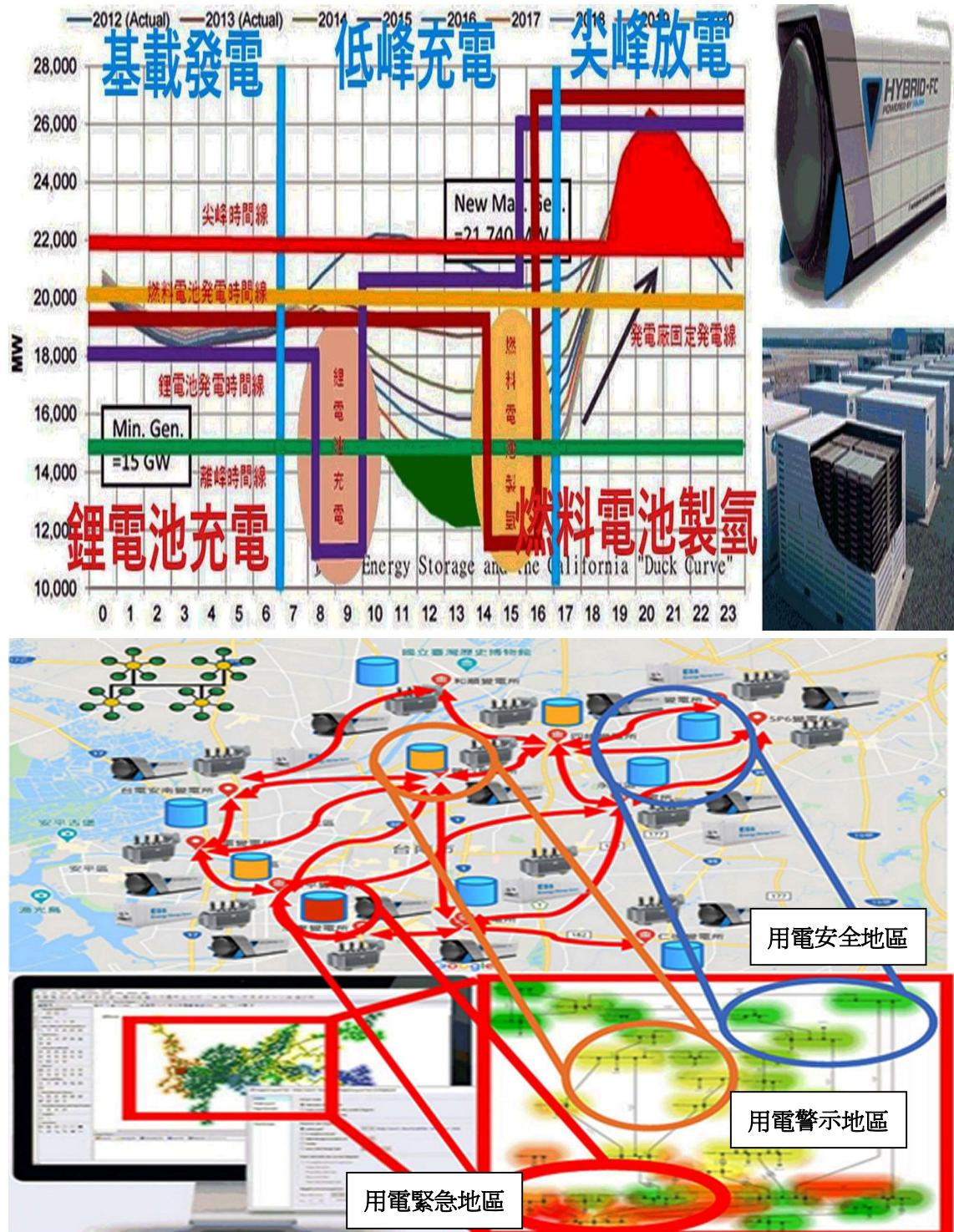


圖 1.4 鴨子曲線運作方式 [107]

1.2.5 民間企業氫發電及鋰電池儲能未來展望

未來的電力系統由傳統集中式電力系統轉型星型分散式電力系統，假想電力系統星型分散式電力系統分為 (1) 假想北部地區星型分散式電力系統(2) 假想中部地區星型分散式電力系統(3) 假想南部地區星型分散式電力系統，(4) 假想東部地區星型分散式電力系統，民間企業可以在各假想地區星型分散式電力系統加入台灣電力市場的經營[圖 1.5]，其運作詳細在第四章說明。



圖 1.5 假想地區星型分散式電力系統

1.3 本論文架構：

本論文分為六章。

1.3.1 第一章為緒論，分別介紹前言，研究動機與目的，本文架構。

1.3.2 第二章為文獻回顧，就電力系統的台電供電系統簡介，停電事故，停電防止對策電力用語，國內外氫發電廠等作電力系統相關論述。

1.3.3 第三章為電力系統發展現況，分別論述發電系統的水力發電廠，燃煤/燃氣火力發電廠，太陽光電發電廠，風力發電廠，可再生能源發電，智慧電網等項目。輸供電系統的送電線，變電所，配電系統等項目的論述。

1.3.4 第四章為電力系統的氫能源之規劃，電力系統的運營管理軟體，電力系統的主要發電設備與補助發電設備，台電公司的電力系統的供電系統，氫能源的發電與儲能設備，鋰電池儲能設備，電力系統的階層的氫能源與鋰電池補助發電設備的構造，發電系統，輸送電系統，配電系統。發電系統的氫能源運用管理，發電系統的氫發電廠，發電廠的補助發電設備，鴨子曲線的氫能發電與鋰電池的發電廠補助設備。電力系統中儲能技術的應用，輸供電的氫能源運用管理，配電系統的氫能源運用管理等項目論述。

1.3.5 第五章為討論與建議。

1.3.6 第六章為論文結論。

第二章 文 献 回 顧

2.1 電力系統

2.1.1 台電供電系統簡介

台電公司的電力系統的供電系統 [8] 如〔圖 2.1〕所示，

- 1.發電系統：由水力發電廠，火力發電廠，可再生能源發電廠等構成。
- 2.輸供電系統：經由高壓電塔傳輸電力到遠方。
- 3.配電系統：提供用戶端電力。

資料來源：台灣電力公司電網供電資訊 台電供電系統簡介

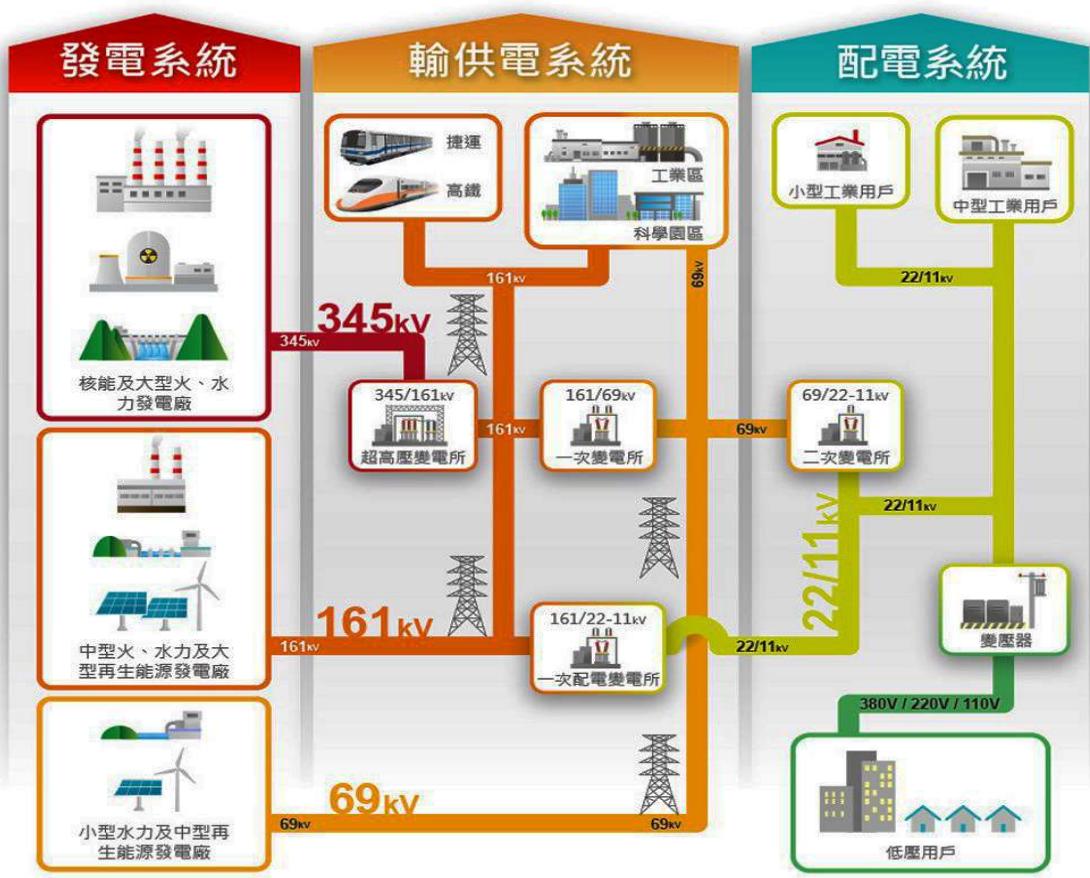


圖 2.1 台電供電系統簡介 [8]

台灣電廠及電網分布圖如 [圖 2.2] 所示，包含發電系統的水力電廠，火力電廠，核能電廠，風力機組，輸供電系統的變電所，高壓輸電線等 [9]

資料來源：臺南水力公司，臺灣發電廠列表 [9]



圖 2.2 台電系統電廠及電網分布圖 [9]

2.1.2 危機管理與停電事故

(1) 邱志淳 [10] 論述危機管理是避免危機引起損失，其特性有緊急情況闖連到組織的威脅性，無法掌握所有的資訊的不確定性，在威脅情境下有限的資訊或資訊的時間有限性，危機所具的負面效果的雙面效果性。 (2) 邱泰川 [11] 論述對於危機管理與偶發事故的應變，危機處理與危機管理理論，國內電力系統偶發事故，輸供電線路災害防止計劃，台電公司災害事故的指揮系統，停電應變和危機管理現況分析等項目。 (3) 台灣於 2017 年 8 月 15 日 16 時 51 分中油換裝天然氣管線事故 [3]，造成台電大潭電廠的跳機，電力系統突然頻率下降，引起電力系統保護措施起動，部分地區的供電系統停止，約 160 萬用戶停電。(4) 美國和加拿大於 2002 年 8 月 14 日 16 時 10 分發生地區性大停電 [4]，造成美國和加拿大 100 部以上的發電機跳機，約 50 萬用戶停電。(五) 英國於 2019 年 8 月 9 日 16 時 52 分超高壓輸電線遭受雷擊 [5]，燃氣機組跳脫，系統頻率下降，電驛保護作用電力系統起動低頻卸載，約 110 萬用戶停電。 [圖 2.3]

資料來源：Gordoncheng's Blog 2019/8/9 英國電力系統發電機跳脫及頻率下降後低頻卸載(LFDD)事故期中報告

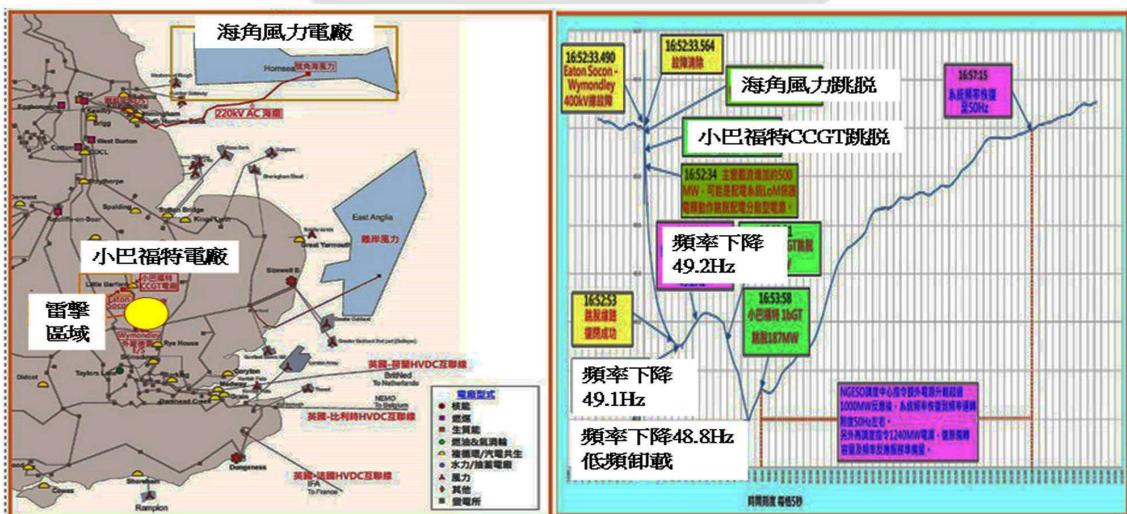


圖 2.3 英國電力系統跳機及卸載事故 [5]

2.1.3 停電防止對策電力関連用語

2.1.3.1 低頻卸載 (Underfrequency Load Shedding)[12] 是通過消除系統某些部分的過載來維持電力系統穩定性的常用技術。通過使用發電機擺幅方式，頻率變化率來計算擾動幅度，建立複合負荷模型配電網的狀態估計，以獲取系統狀態變量的實用價值。黃彥閔 [13] 論述電力系統的運轉頻率如低於最低安全運轉頻率 59.5Hz 時，須卸除系統的適量負載，拉升運轉頻率，低頻卸載透過頻率電驛來實現電力系統安全運轉，一旦運轉頻率低於頻率電驛設定值，即發出系統保護措施降低負載，保護電力系統的安全運轉，相反的用電端的負載因為大量跳脫系統運轉頻率上升，亦可透過頻率電驛設定值，將發電機組切離，降低系統發電量防止輸電線路的過載負荷。

表 2.1 低頻卸載模擬結果

系統狀況\系統模擬事故	(1) 核三臺部機跳脫	(2) 核一兩部機跳脫	(3) 核三兩部機跳脫	(4) 龍潭 E/S 解聯	(5) 大潭五部機跳脫
系統負載量(MW)	34990.3	34990.3	34990.3	14400.8	34888.4
系統發電量(MW)	34038.3	33718.3	33086.3	10538.1	31288.4
短少發電量(MW)	952	1272	1904	3862.7	3600
低頻動作段數	無	第 11 段	第 5 段	第 5~8 段	第 5、11 段
系統卸載量(MW)	0	1072.9	1800.2	3551.2	2873.1
系統最低頻率(Hz)	59.55	59.4	59.19	58.65	59.11
卸載後回復頻率(Hz)	59.55	59.92	60.00	59.99	59.72

備註： 1. (1)、(2)、(3)、(4)指核二停用兩部機，系統其餘發電機組均正常運轉。
2. (5)指系統發電機組均正常運轉條件下。
3. (4)指龍潭以北地區。
4. 低頻動作段數：第 5 段(59.2Hz) 、第 6 段(59.0Hz) 、第 7 段(58.8Hz) 、第 8 段(58.7Hz) 、第 9 段(58.6Hz) 、第 10 段(58.5Hz) 、第 11 段(59.5Hz+延時 50Sec) 、第 12 段(58.4Hz) 、第 13 段(58.3Hz) 。

資料來源：黃彥閔 [13] 淺談低頻卸載 電驛協會會刊 36 期，p74-79

2.1.3.2 電力量測基礎

1. 頻率：陳鑫磊 [14]，如 [圖 2.4] 所示，交流電在一秒鐘內重複變化的次數。以符号 f 表示。单位是 Hz。壹岐浩幸等人 [15] 如 [圖 2.5] 所示，以福岡県北九州市的火力發電廠的機械異常緊急停止，造成周波數低下的案例。

2. 黃啟軍 [16] 論述電力頻率量測技術：(1) 電力訊號模型 (2) 零交越點法 (3) 普羅尼法 (4) 曲線擬合法 (5) 離散傅立葉轉換 (6) 頻域插值法。

3. 諧波：陳鑫磊 [14] [17]：如 [圖 2.6] 所示，是週期性信號的組成，通常應用於正弦波的重複信號，振動弦的節點是諧波。諧波的頻率為原始波頻率的正整數倍的波。例如，如果基本頻率周期為 50 Hz，則前三個高次諧波的頻率分別為 100 Hz (第二諧波)，150 Hz (第三諧波)，200 Hz (第四諧波)。

4. 游志聖 [18] 論述諧波電壓及諧波電流如果超過一定的容量，則會造成電力設備高熱或高壓，讓設備減短壽命或發生事故。馬達和發電機因為諧波電壓與諧波電流發生損害，影響發電機的機械效率。變壓器的諧波電流會使變壓器發生損害。電力電纜因為諧波電流發生異常電流產生過熱現象使導體絕緣部分破壞燒燬。諧波也會引起電驛或是開關設備產生額外的高溫降低額定容量與 絝緣部分的使用壽命。

5. 盧鴻年 [19] 提出台電調度控制自動化工程，依電力調度作業劃分為中央調度控制中心 (CDCC)，區域調度控制中心 (ADCC)，及配電調度控制中心系統 (DDCC) 等三個層級，負責 345kV、161/69kV、22/11kV 系統的監控與運轉，自動化工程係以調度中心之電腦系統設備為核心，以變電所為末端站，在變電所內裝設資訊末端設備 (RTU)，藉通訊線路與調度中心電腦系統連線，負責提供變電所內設備資訊及接受操作指令，達到自動化監視控制與資料收集 (SCADA) 功能。在電力調度自動化工程中，RTU 負責蒐集變電所內各種設備的狀態及類比量，再經由不同的通訊設備傳回給位於調度控制中心的電腦主機，同時並接收電腦主機

的控制訊號，對變電所的各項設備進行控制操作。因此為便於彼此間的傳送與接收，RTU 與電腦主機間就須訂定一套規則來共同遵守，這就是所謂的通訊協定。

資料來源：陳鑫磊 電力量測基礎，頻率，P9

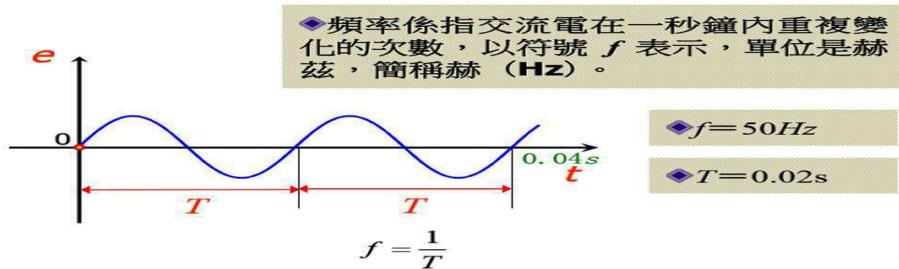


圖 2.4 頻率 [14]

資料來源：壹岐浩幸等人 產業用電力系統への系統診斷技術，P20

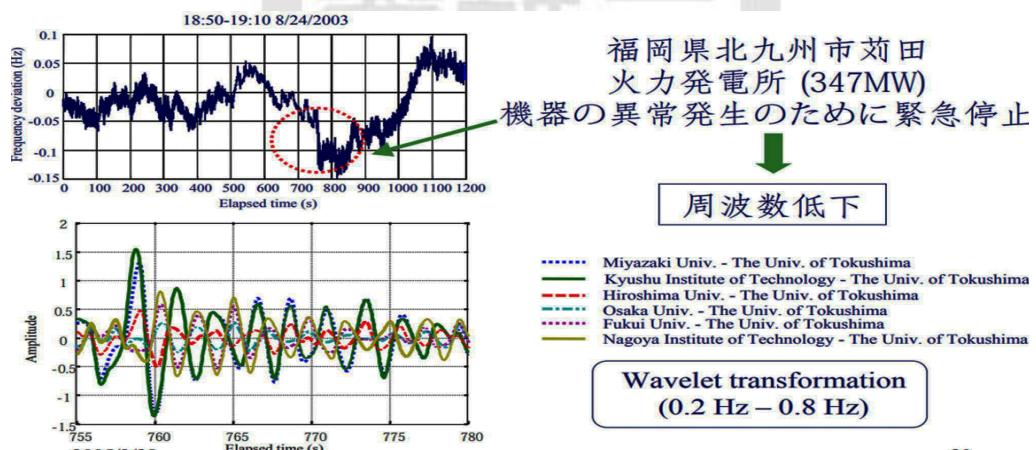


圖 2.5 周波數低下 [15]

資料來源：陳鑫磊 電力量測基礎，諧波，P29

■ Mathematical definition of any waveform

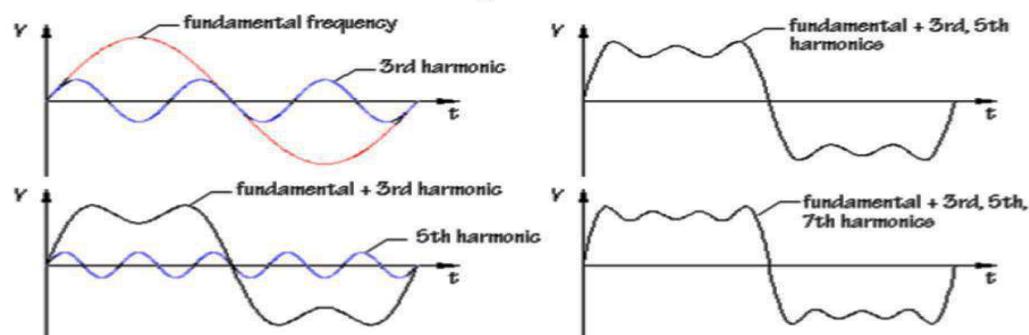


圖 2.6 諧波 [14]

2.1.3.3 電力用語

1. 何嘉昌 [102] 論述電力系統低頻振盪是指電力系統受到擾動，如輸電設施發生嚴重故障電力系統穩定性減弱，發電機組故障電壓下降，電力系統發生大幅度的負載變化引起輸電線路輸送功率超過系統穩定極限，造成電力潮流擾動引發大幅度振盪現象。其振盪頻率為 0.2~2.5Hz 之間，使發電機組轉子間產生搖擺現象，損壞電力設備，降低電力系統的電力傳輸能力。抑制低頻振盪的有效方式，如強化地域性輸電系統縮短輸電長度，強化電力儲存裝置快速儲存及輸出功率調節電力潮流，使用電力系統穩定器 PSS 自動調節電壓抑制低頻振盪的發生。

2. 林祥輝 [103] 論述 2016 年日本實施電力自由化以後對於日本電力市場提出新的規劃，如創設基載電源市場讓電力業者取得低價格的大型火力，水力等基載電力市場。創設容量機制，確保中長期的電力供應穩定及維持電力系統的供給力和調整力。創設非化石價值交易市場，讓電力業者達成非化石電源占比 44%的目標顯示再生能源等低排放的環境價值。

3. 許毓仁 [105] 論述電壓閃爍是中、高電壓系統的大型電弧爐所產生現象。風力發電機在突變風速下也會造成不同的電壓閃爍現象，這種電壓閃爍現象會對電壓變動，諧波，電力系統頻率產生干擾，使電力品質產生極大的影響。利用三種不同的非線性預測模式及電壓閃爍分析儀器，探討電壓閃爍時間序列變化行為，提供用戶管理決策及電力公司使用，改善電壓閃爍問題。

4. 王安志 [20] 再生能源(PV)對台電調度中心電源調度之影響說明一天的電源調度，是即時的且 24hr 無休，時時刻刻預估尖峰負載，隨時監看全系統機組狀況，須隨季節變化調整調度方式。

2.1.3.4 人工神經網路（Artificial Neural Network，ANN）[22]～[28] [84]，源自發展人腦結構的生物神經網絡 [圖 2.7]。類似於具有相互連接的神經元的人腦，人工神經網路可以幫助我們進行聚類和分類。人工神經網路是通過對計算機進行編程而設計的，人工神經網路由多個節點組成，節點可以獲取輸入數據並對該數據執行簡單的操作。這些操作的結果將傳遞給其他神經元。可以將它們視為存儲和管理數據之上的聚類和分類層或加以圖形色彩化 [圖 2.7] [84]。它們有助於根據示例輸入之間的相似性對未標記的數據進行分組，並且當它們具有要標記的數據集時，可以對數據進行分類。人工智能領域的人工神經網路試圖模仿神經元網絡，從而構成了人類的大腦，因此計算機可以選擇以類似人類的方式理解事物並做出決策。

資料來源：TechOrange [28] 27 種神經模型，DIgSILENT-Power Factory [84]

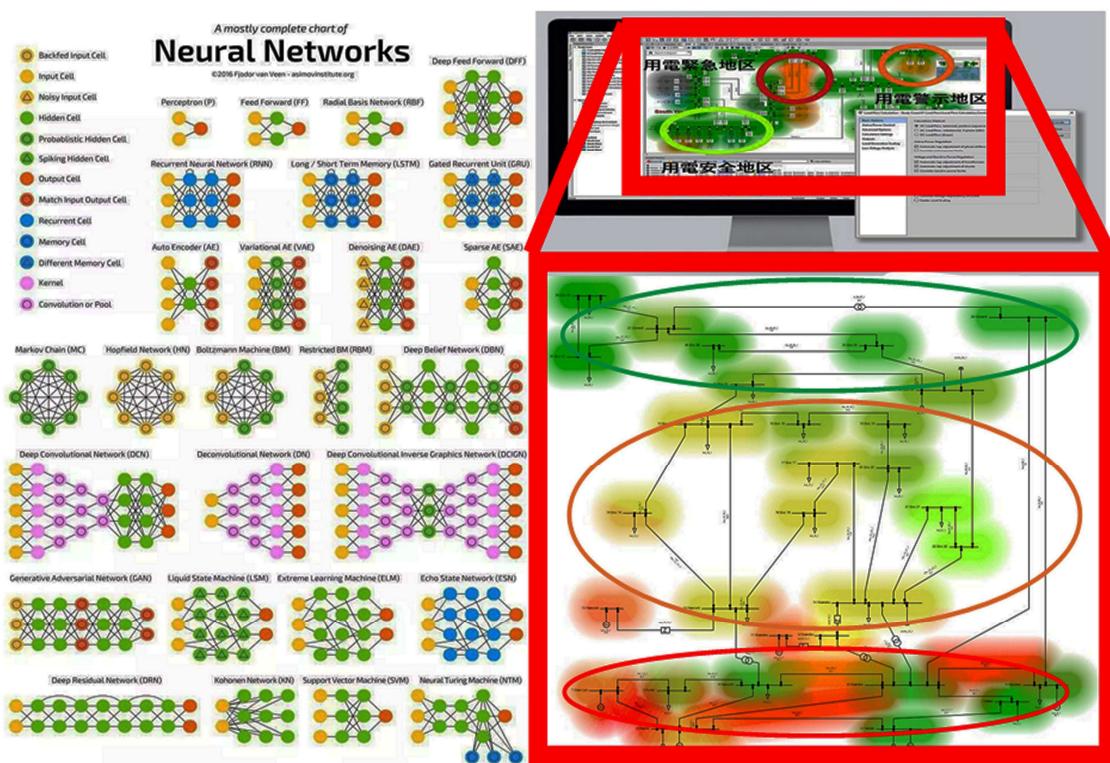


圖 2.7 神經模型 [28] [84]

董道廷 [104] 分析使用實際溫度預測 2016 年負載之結果，如 [圖 2.8] 所示，
使用類神經網路模型作為基礎模型。

資料來源：董道廷 電力系統短期負載預測，使用實際溫度預測 2016 年負載之結果，P73

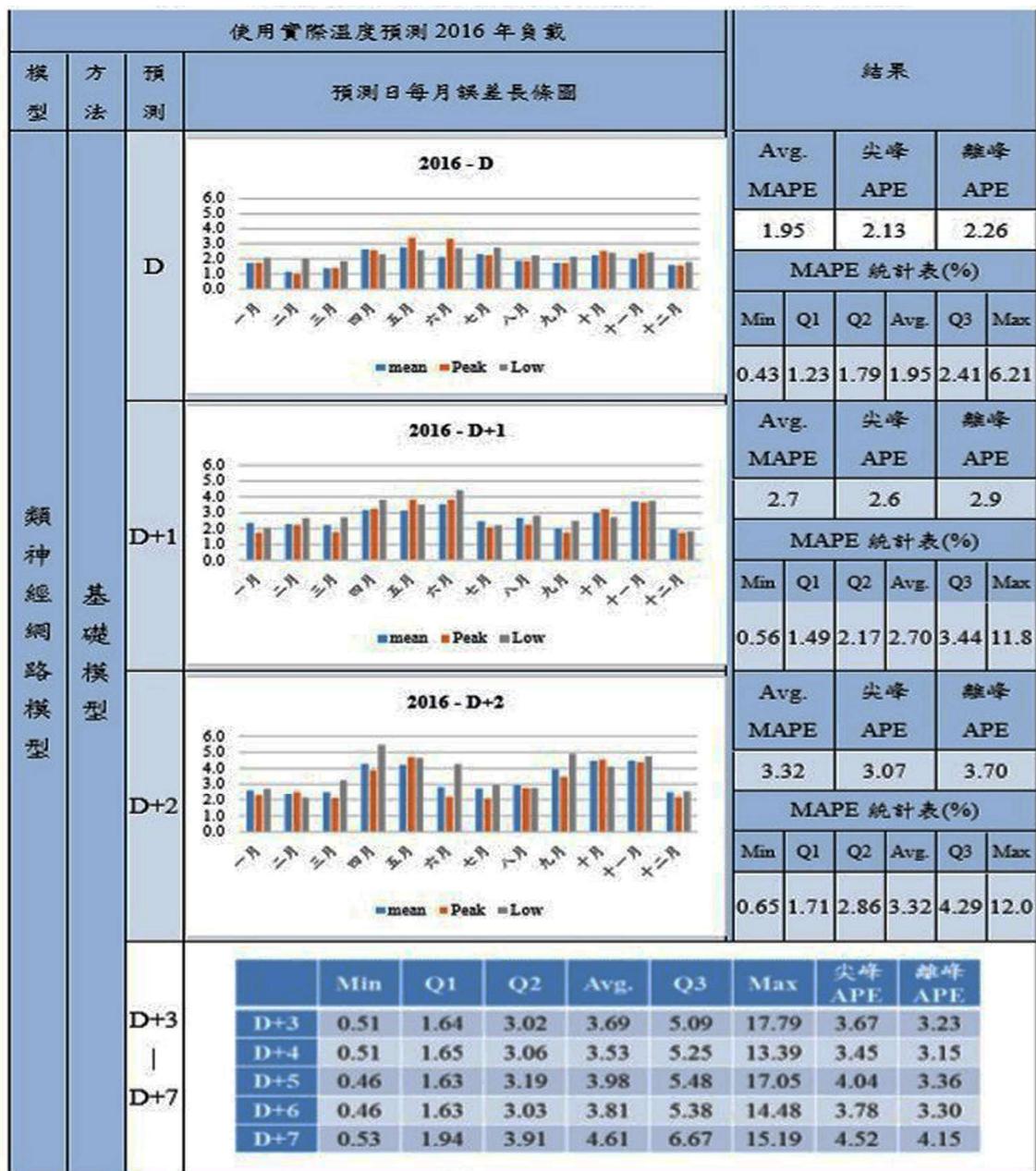


圖 2.8 類神經網路模型 [104]

2.2 氢能源 [29]～[33]

2.2.1 氢是元素表的第1個元素。氫原子僅由一對質子和電子組成。氫存在於汽油，天然氣，碳氫化合物中。重整是通過加熱將氫與碳氫化合物分離。電解是電流用於將水分離成氧氣和氫氣的成分。光觸媒光合作用是以陽光為能源的某些藻類和細菌在光合作用下會釋放出氫氣。氫的特徵是可持續發展最豐富的元素，氫通過氧氣的化學反應產生能量，氫清潔燃燒後產生是水不產生二氧化碳排放，對環境的影響很小。氫具有高功率高燃燒能量，易於儲存和運輸與發電產生電力，節省能源並防止地球溫暖化，氫對潔淨能源的轉型做出重要貢獻。

有關氫能源，氫製造成本等概要說明，參考 [附錄 7.1～7.2]。

2.2.2 改變未來世界的氫能源。人類的未來需要解決化石燃料的枯竭，地球溫暖化，可再生能源利用和等問題。氫具有很高的能量，燃燒氫發動機不產生環境污染，氫可作為能量載體，美國太空總署使用液態氫推動火箭進入宇宙軌道，氫燃料電池為交通工具提供電氣系統的動力源，能量載體以易於使用的形式移動，存儲和輸送能量。日本松下公司推出家用燃料電池，使用從天燃氣中提取的氫氣為家庭提供電力和熱水。

2.2.3 燃料電池是一種新興能源的技術，燃料電池將氫和氧結合起來產生電，熱和水。只要提供氫燃料，燃料電池就可發電。可用作建築物的熱能和電力，以及用作推進車輛的電動機的電源。

2.2.4 氢能社會：(1) 隨著天然氣供應和發電基礎建設技術的進步，展開能夠燃燒天然氣-氫燃料混合物的大型渦輪機轉型為燃燒 100% 氢的渦輪機定下實用化基礎。(2) 歐盟家庭中使用氫氣可以給房屋供暖，現有的天然氣傳輸網絡適合為家庭提供氫氣，氫氣也為一種低碳替代品，它比電加熱更有效。(3) 歐盟地區可再生能源的使用範圍廣泛，海上風電場和太陽能公園所產生的電力超過了電網所需要量，將多餘的電能水電解產生氫氣，製造更多的綠色能源。

2.3 氢發電廠發展與現狀 [圖 2.9]

2.3.1 日本的氫發電廠：(1) 日本福島氫能源研究站〔34〕是世界最大的製造氫氣工廠〔圖 2.10〕，製氫裝置達 1 萬 kW，可以儲存 900 號頓氫氣，驅動巨大製氫裝置的能源來自太陽光電發電設備和風能等可再生能源。(2) 日本神戶市由大林組和川崎重工共同合作以工業用氫作為燃料來提供部分地區電力〔35〕，這個計劃取得神戶市和關西電力的協助，在國際會議中心和波多比亞酒店為中心約 25 公頃的人工島地區供電〔圖 2.11〕。氫能源不只限於汽車和家庭範圍，同時也開始在地區上大量使用的實績。氫在發電時不會產生污染源的二氧化碳，可以減少 20% 的二氧化碳排放。今後探討將來只用氫發電的可行性。(3) 日本豐田公司在富士山下以氫燃料電池發電廠〔36〕為主要能源來建設名為 Woven City 的「超未來城市」〔圖 2.12〕，積極推動豐田公司的 Micro Palette 小型物流機器人的人工智慧技術以及 e-Palette 零排放接駁交通工具等。(4) 三菱日立電力系統公司在福島地區〔37〕建設由 AI 化無人管理運營的氫燃料發電廠〔圖 2.13〕。

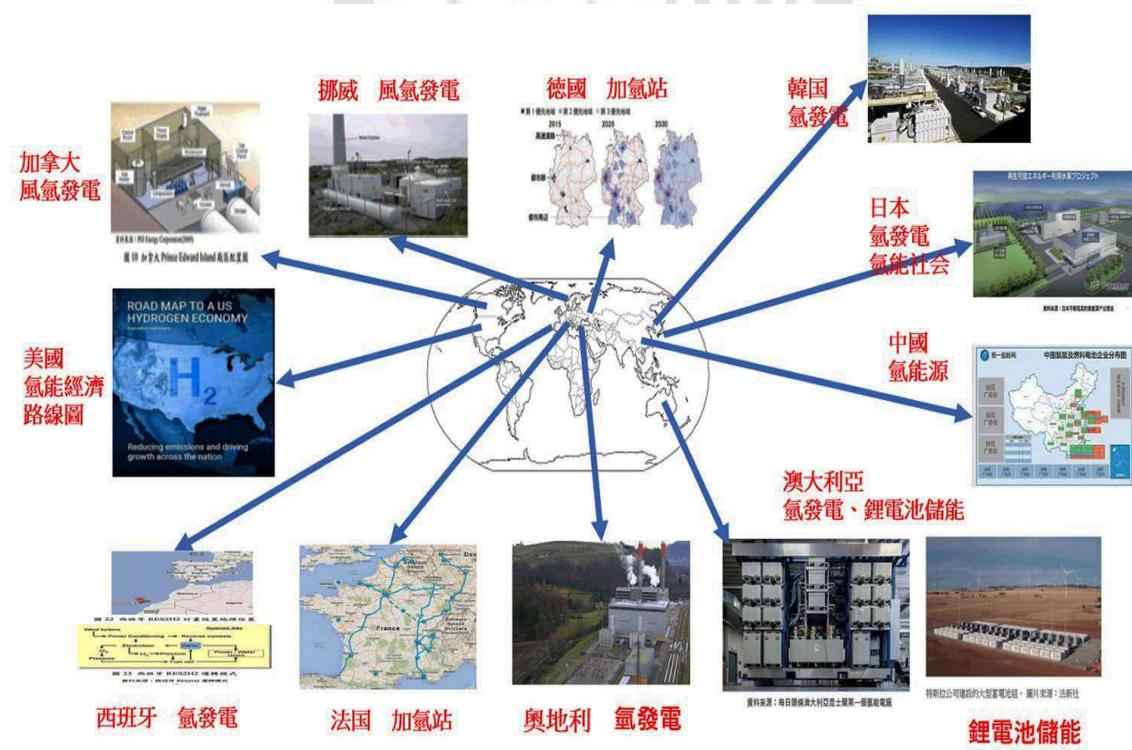


圖 2.9 氢發電廠發展與現狀

有關氫發電廠的發電規格的各種數據，參考 [附錄 7.3] 氢發電廠記述。

資料來源：東芝能源系統福島水素エネルギー研究フィールドについて P14



圖 2.10 日本福島氫能源研究站的氫燃料發電廠 P14 [34]

資料來源：日本經濟新聞中文版 日本嘗試用氫能供電

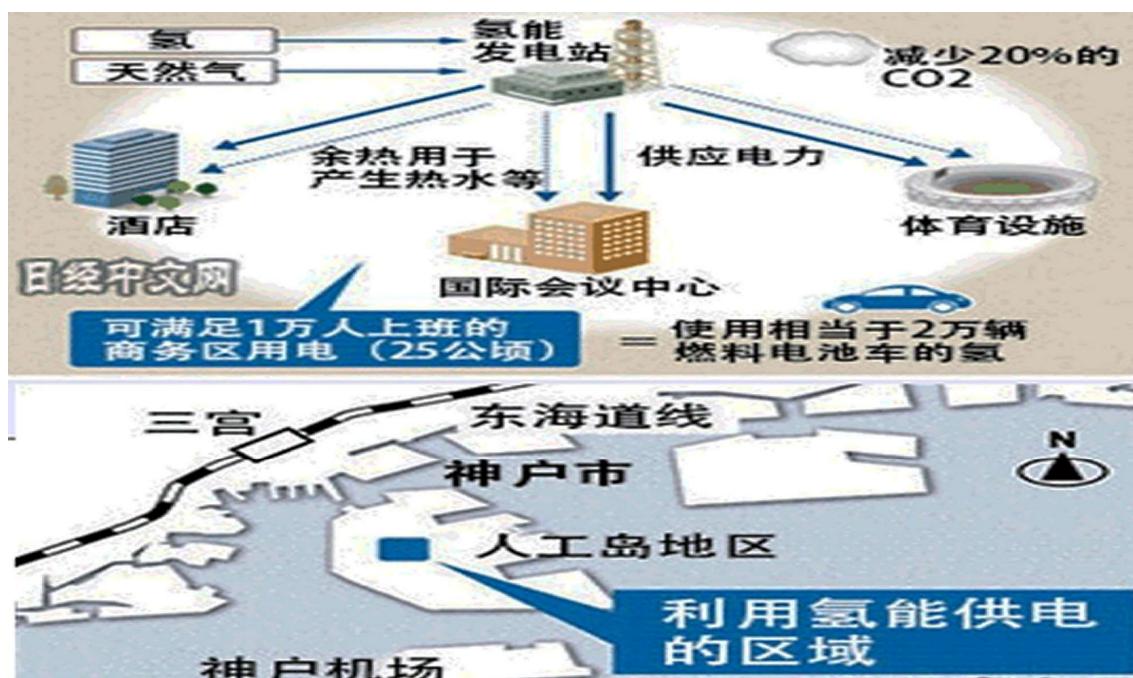


圖 2.11 日本神戶市氫燃料發電廠 [35]

資料來源：ETtoday 車雲 TOYOTA 在富士山下打造「超未來城市」



圖 2.12 日本豐田富士山氫燃料發電廠 [36]

資料來源：雪花新聞 世界上第一座由 AI 運營的氫燃料發電廠



圖 2.13 日本三菱日立氫燃料發電廠 [37]

2.3.2 韓國的氫發電廠：(1) 韓華能源 [38] 在韓國瑞山大山工業園區建造氫燃料電池發電廠 [圖 2.14]，氫燃料電池發電過程中，沒有硫化物等空氣污染物質的產生，副產品年產約 4 萬噸水，可供應大山工業園區使用，氫燃料電池發電廠的發電量達 40MWh，提供 17 萬戶家庭用電。(2) 韓國的西方電力公司，KB 證券公司及 Hanp 公司 [39] 共同合作設置氫燃料電池發電廠 [圖 2.15]，可生產 656GWh 電力，提供約 24 萬戶家庭電力，約占鎮川郡用電量的 23%。

資料來源：韓華能源建造全球首座超大型氫燃料電池發電廠



圖 2.14 韓國大山工業園區氫燃料電池發電廠 [38]

資料來源：TechNews 燃料電池發電廠為儲能潛力軍



圖 2.15 韓國鎮川郡氫燃料電池發電廠 [39]

2.3.3 澳大利亞昆士蘭第一座氫能電廠 [40]：澳大利亞於 2019 年在昆士蘭建造第一座由工廠廢氣轉化為氫源的氫燃料電池發電廠 [圖 2.16]。該氫能設備發電量在 400KW~至 2000KW。其他氫氣建設案包括在維多利亞東部首次使用褐煤制氫及在南澳大利亞中北部太陽能和風氫發電廠。

資料來源：每日頭條 昆士蘭第一個氫能電廠



圖 2.16 澳大利亞昆士蘭第一座氫能電廠 [40]

2.3.4 義大利首座氫燃料發電廠 [41]：在義大利威尼斯附近建設義大利首座工業用氫燃料發電廠。

2.3.5 法國國家氫能源計劃 [42]：(1) 2018 年法國的氫能源計劃支持氫能源的相關部署。(2) 法國在工業，移動和能源領域部署氫氣在通過電解水生產清潔氫氣的用途和技術。(3) 法國的 A 3-axis plan 主要有三個方向：
<1> 2023 年實現 10% 脫碳氫的目標設立脫碳工業部門。
<2> 2023 年在公路方面設立 5000 輛多功能車，200 輛公車，鐵路及河流方面設立火車，船隻等重型車輛和 100 個公共加氫站。
<3> 增加可再生能源儲能設備。

2.3.6 挪威 Utsira Island [43] 於 2004 年利用風力發電及氫能發電作為其再生能源供應的風氫混合系統 [圖 2.17]。平日經由風力機發電，供應島民電力需求。而在強風時所產生的多餘電力，用來水電解產生氫氣，儲存在儲氫設備中。當無風時，氫燃料發電機將儲存的氫氣用來發電，代替風力機供應電力。

資料來源：左峻德等人 風力產氫結合燃料電池應用，P31

設備	數量	廠商	單機規格概要
風力機容量	2(安裝) 1(使用)	Enercon (E-40)	600kW
氫引擎發電機	1	Continental	55kW
PEM 燃料電池	1(未使用)	IRD	10kW
Alkaline 電解槽	1	Hydrogen Technologies	10 Nm ³ /h;50kW
氫氣壓縮機	1	Andreas Hofer	10 Nm ³ /h;12-200bar;5.5kW
儲氫裝置	1	Martin Larsson	2400 Nm ³ ;200bar
飛輪儲能裝置	1	Enercon	5kWh
備用電池組	1	Enercon	50kWh
主同步電機組	1	Enercon	100kVA

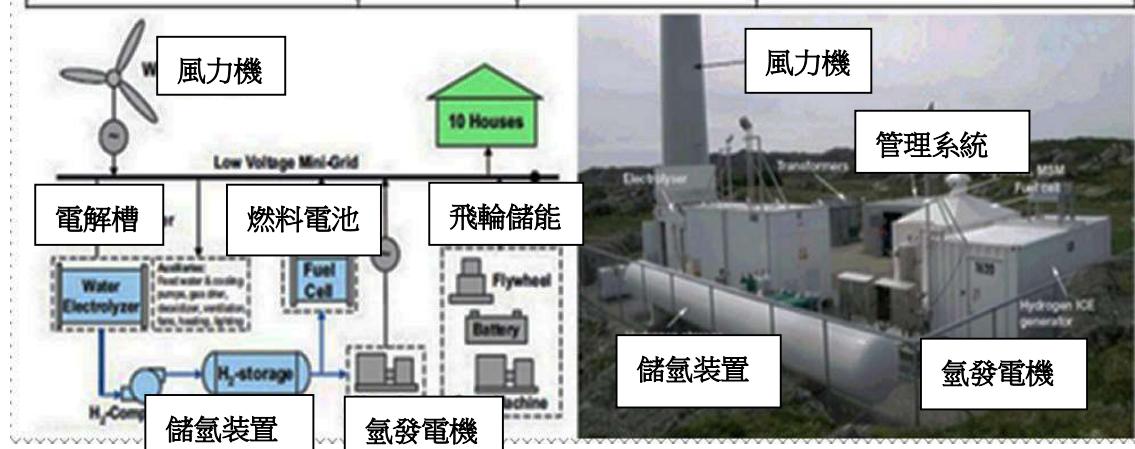


圖 2.17 挪威 Utsira Island 風力與氫能混合系統 [43]

2.3.7 西班牙 RES2H2 計畫 [43]：設置於位在加那利群島的群島技術學院的設施中 [圖 2.18]，計畫目標為整合再生能源與氫能源相關的製氫技術，儲氫技術等項目，目的是為解決再生能源需求供給問題，及研發燃料電池各種技術。

資料來源：左峻德等人 風力產氫結合燃料電池應用於偏遠地區緊急救援系統示範計畫，西班牙、希臘 RES2H2 Project，P45

投資項目	成本 (萬元新台幣)
計畫、許可申請、研究費用	78
基礎建設	316
連電網設備	340
控制系統	227
氣體裝置	43
安全系統及設備	29
設備(燃料電池、儲氫槽、平/逆變器、電力負載等)	2,398
輔助系統	24
總額	3,455

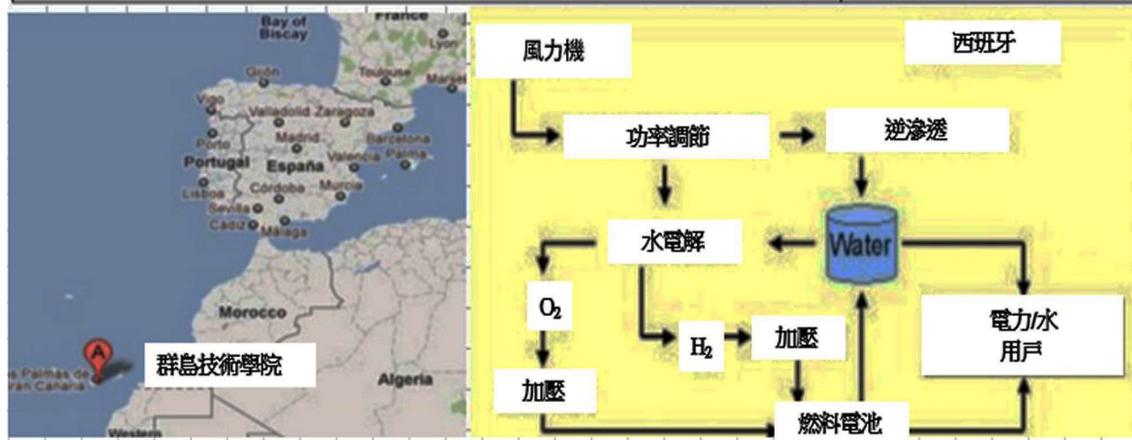


圖 2.18 西班牙 RES2H2 計畫 [43]

2.3.8 加拿大 愛德華王子島風氫混合系統 [43] 為加拿大在偏遠社區設立首座獨立電網系統計畫，有風時風力機提供電力及製氫，而無風時使用儲存的氫來供應燃料電池發電 [圖 2.19]。這套風氫混合系統，包含風力發電，氫的製造過程的水電解，儲存，氫燃料發電機等運作。

資料來源：左峻德等人 風力產氫結合燃料電池應用於偏遠地區緊急救援系統示範計畫，加拿大 Prince Edward Island，P28

設備	規格
風機容量	Vergnet 60kW
電解槽	300kW (6kg/hr) 單極鹼性電解槽, 66 Nm ³ /h
儲氫設備	4000 Nm ³ , 17bar (計畫再加 90kg, 450bar)
發電機組 Genset	改造自柴油發電機組, 120kW

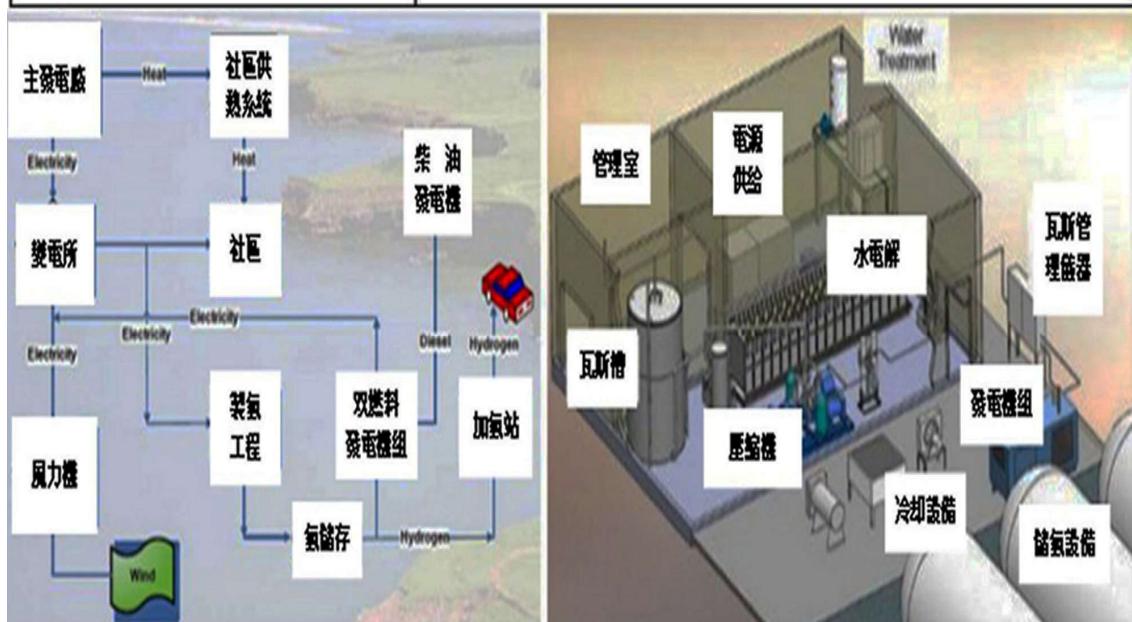


圖 2.19 加拿大 愛德華王子島風氫混合系統 [43]

2.3.9 美國洛杉磯市擬建氫氣發電廠 [44]，在猶他州的 Intermountain 發電廠興建一個 840MW 的燃氣發電場取代目前營運的燃煤設施。在 2025 年安裝能燃燒 30% 氢氣和 70% 天然氣混合的渦輪機。在 2045 年達到 100% 燃燒氫氣。

2.3.10 林祥輝等人 [45] 論述 2018 年日本第 5 次能源基本計畫，從 2030 年和 2050 年的日本能源中長期發展計劃 [圖 2.20]，加速氫氣與燃料電池的技術創新，家庭用燃料電池達 530 萬台，燃料電池汽車達 80 萬台，燃料電池巴士達 1,200 台，燃料電池堆高機達約 1 萬台，加氫站設置 達 320 座，開發再生能源製氫的 P2G 技術，實現氫氣發電，水電解製氫系統，實現商用化的目標。

資料來源：林祥輝等人 日本第 5 次能源基本計畫，P2

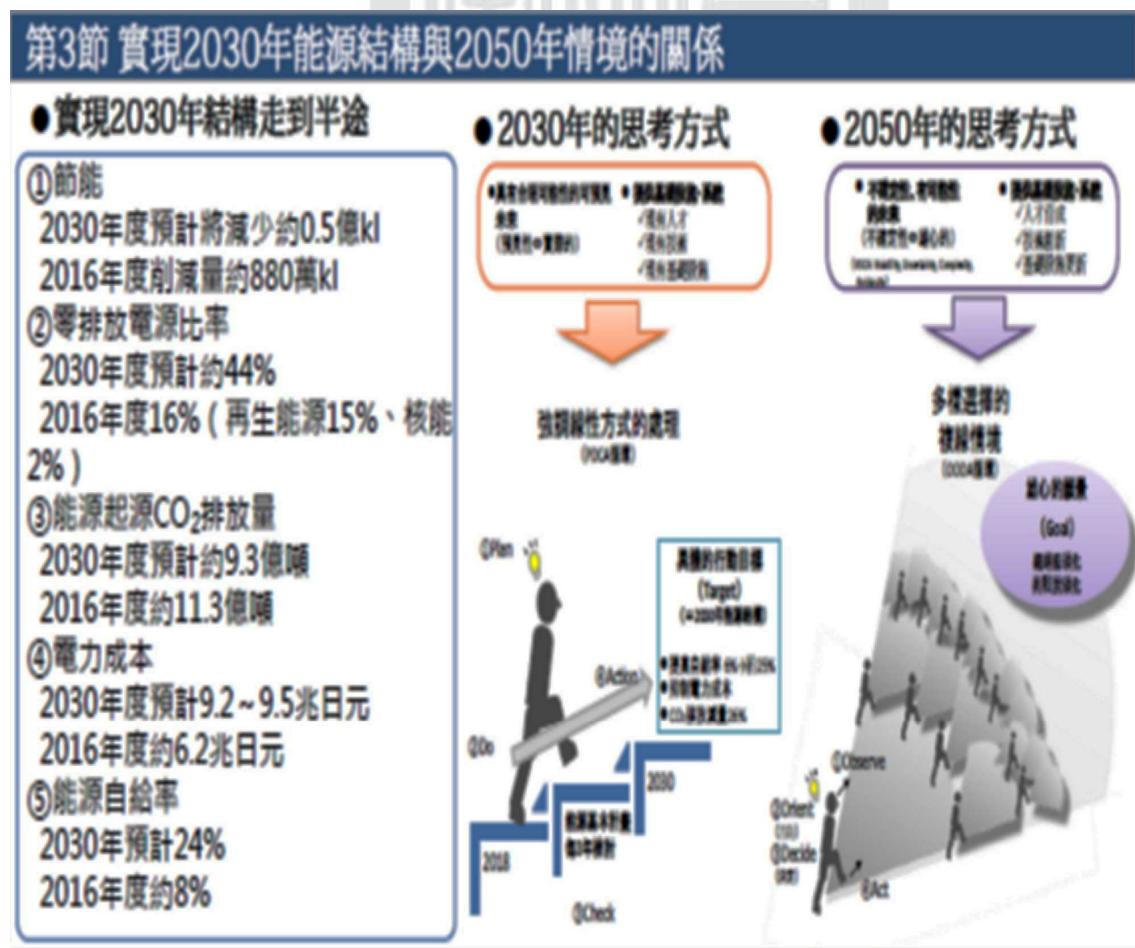


圖 2.20 日本第 5 次能源基本計畫 [45]

2.4 國內氫能現況

2.4.1 氢能發展：(1) 未來的新興綠色能源：氫是元素表中的第一個元素，可以發現在水，煤，石油，天然氣等化石燃料 及各種碳氫化合物。氢能是指氫氧化學能反應產物，密度大，燃值高，可儲存與再生，零碳排零污染的潔淨二次能源。日本，美國，歐盟政府與民間協力推動氫能源的研究。(2) 對於化石燃料制氫的研究熱點包括：**<1>** 傳統工藝的小型化。隨著燃料電池技術的發展，為了給燃料電池提供氫源，移動制氫技術又可分為現場制氫和車載制氫兩大類。**<2>** 新型重組器的開發。包括板翅式反應器，膜反應器，等離子重組器，微通道重組反應器，太陽能氣霧反應器等多類。**<3>** 新型制氫工藝包括熱分解和熱化學分解水制氫等。**(3)** 化石原料製氫的關鍵問題包括：**<1>** 如何通過新技術的創新與集成降低制氫成本。**<2>** 如何進行移動制氫技術的集成，過程強化與耦合。**<3>** 如何消除微量 CO。**<4>** 如何進行 CO₂ 的回收與處理。**[46] [47]** (4) 曹芳海 **[48]** 等人論述國內氫能發展探討，分 4 階段期程推廣氫能：**<1>** 研發氫能發電，氫氣運輸設備的準備期，分析台灣輸配電系統效率，建立小型氫能發電站等系統。**<2>** 氢能發電站的示範期，前期選擇偏遠地區，科學工業園區等示範小型氫能發電系統，後期在縣市示範大型氫能發電站及電力輸配網路。**<3>** 都市發電系統轉型氫能電網的推廣期，前期使用現有電力輸配網路建立大型氫能發電站，後期開發台灣新智慧電網提高電力效率。**<4>** 全面建立氫能供電系統促進氫經濟發展期，提升發電效率與輸配電系統併網。未來的氫能源系統包括氫能的生產，儲存，運輸，應用及 CO₂ 處理等環節。為實現氫能在燃料電池平台的大規模應用，氫的製備和儲存是必須首先解決的關鍵問題。

(5) 2017 年國際氫能產業發展藍皮書 **[49]** 提出氫能產業發展路線圖的方向，氫能是潔淨能源，二次能源，可以解決今後能源不足的危機，日本，韓國，美國，德國，歐盟各國積極發展氫能產業和氫能技術路線圖。**<1>** 氢能技術路線分為利用

化石能源制氢和利用再生能源制氢兩大類。儲氢技術分為儲氢密度高，操作方便與安全性的固態儲氢技術，常溫常壓下安全性，高效儲存與運輸的液態儲氢技術。

<2> 市場路線圖:氢能產業化和市場應用前景廣闊， 氢燃料電池能量和功率密度高，低排放為未來能源的理想動力源。燃料電池產品主要被應用於車用領域，固定式電源領域以及可攜式領域三個方向，氢能分布式發電市場為氢能-燃料電池技術適用於儲能容量大，供電時間長的新能源儲能，電網側調峰等領域,以及商業中心，海島，偏遠地區等需要熱電聯供的場合。(6) 氢能是綠色能源發展重點 [50] [51] : <1> 氢能產業鏈可劃分為三部分：一是氢能的生產和製取， 煤制氢， 水電解制氢， 化工廠富氢副產品。二是氢能的儲運，用槽車，長管車運輸氢能，存儲罐進行存儲。<2> 氢能+太陽光電+風電+儲能，可再生能源制氢與儲能相結合，是理想的發展路線。利用加氢站周邊的太陽光電發電，風電進行制氢，可以保證製成的氢能即刻可用，沒有污染，這是終極的發展目標。<3> 燃料電池汽車是氢能通過電化反應直接變成電。電動汽車是把電存儲在電池當中轉換釋放能量。<4> 加氢站建設採用國標 GB516 設計要求，達到國家的規劃，安檢和消防等環節，所以做加氢站對技術要求比較高。[圖 2.21]

資料來源：每日頭條 國家為何要大力發展氢能？，未來的氢能社會

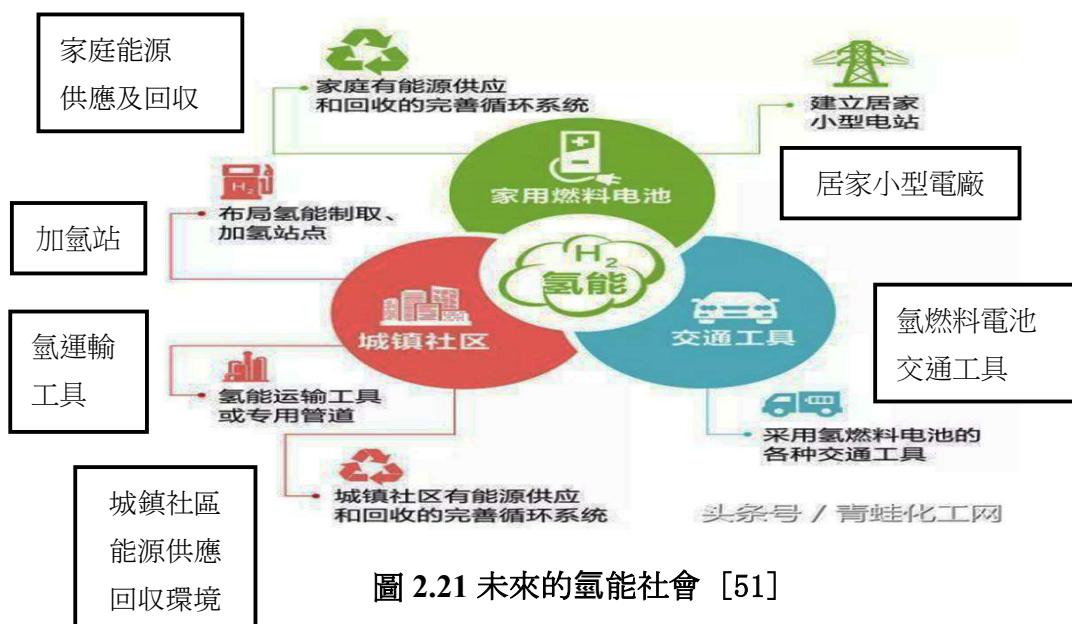


圖 2.21 未來的氢能社會 [51]

2.5 氢技術

1. 氢氣生產方法 [圖 2.22], 橘川武郎 [52] 說明氫氣可以通過 1. 化石燃料蒸氣轉化製氫 2. 工業生產副產品煤氣製氫 3. 生物質產生甲醇加熱製氫 4. 太陽風力等自然能源水電解製氫等方法，改變能源的潛在性是氫能應用魅力所在。有關氫技術的各種數據、參考 [附錄 7.4] 。

資料來源：橘川武郎 [52] 氢氣革命，改變能源結構——氫能源的應用之路

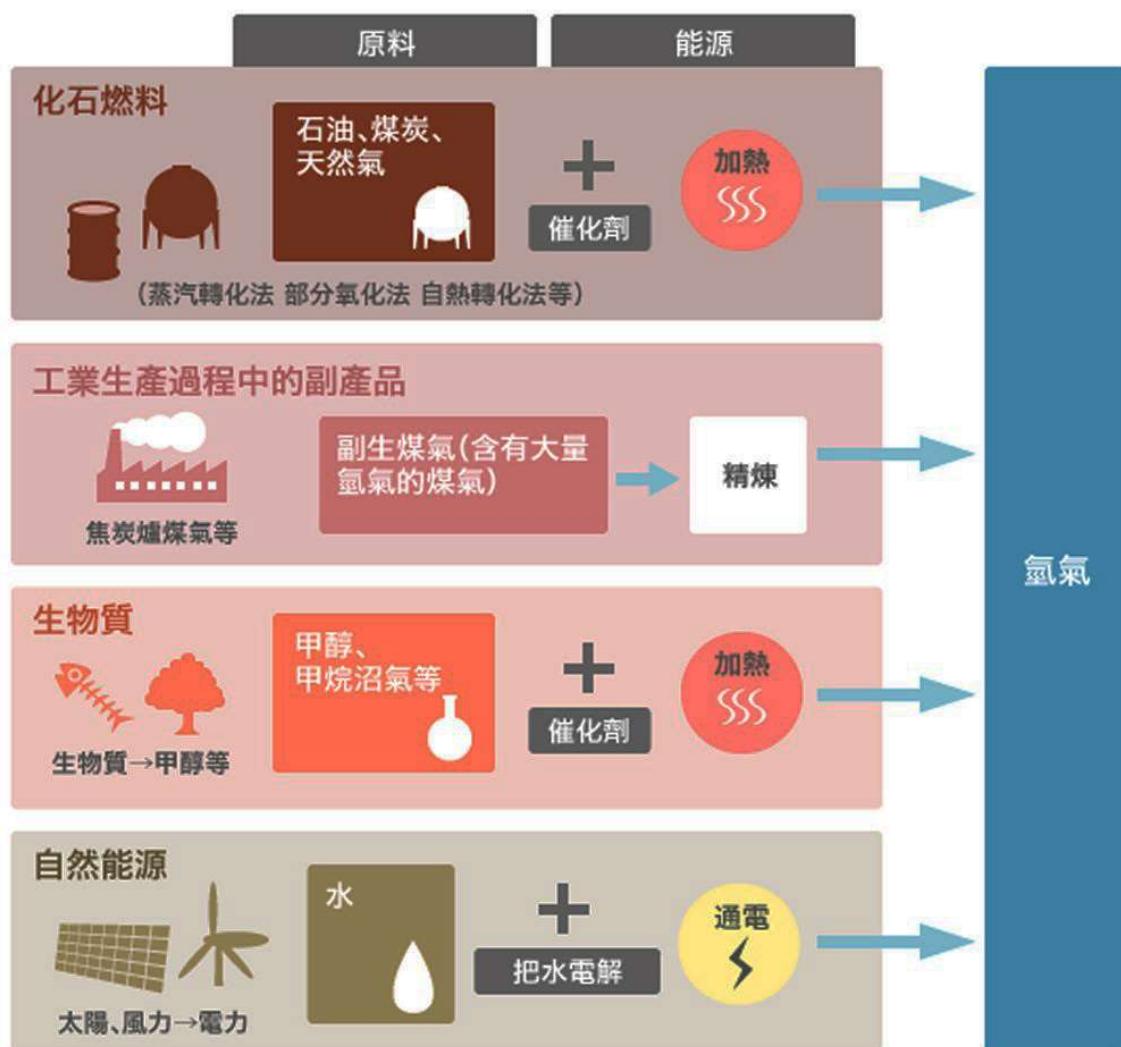


圖 2.22 氢氣生產方法

2. 二氣化碳零排放氫氣供應鏈 [圖 2.23]，橘川武郎 [52] 說明川崎重工業株式會社將褐煤的二氣化碳零排放製氫供應。高成本環保佳的氫氣和價格低環保差的煤炭混合使用。在澳洲維多利亞地區，褐煤經過氣化成氫氣，實施二氣化碳回收儲存，從澳洲使用載氫船運送氫氣到日本，提供日本氫發電、氫燃料汽車的需求。

資料來源：橘川武郎 [52] 氢氣革命，改變能源結構——氫能源的應用之路

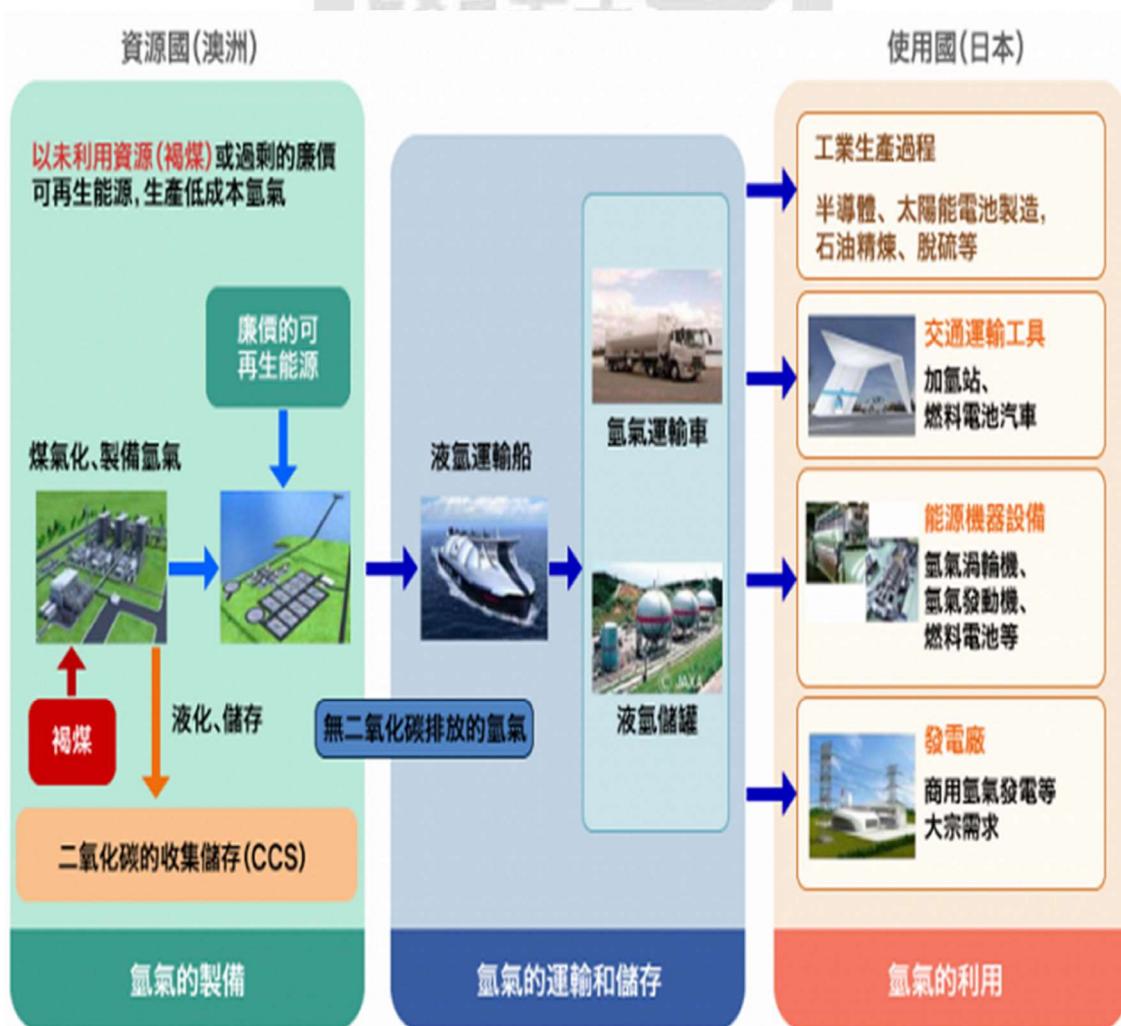


圖 2.23 二氣化碳零排放氫氣供應鏈

3. 日本能源產業技術開發機構 NEDO 的氫能源白皮書 [53] 論述氫相關技術的發展, (1) 氢在運輸和儲存大量氫, 必須以高壓或液化狀態處理氫。而氫在高壓/液化氫環境下具有氫脆 (金屬材料因吸收氫而變脆的現象) 和氫摩擦學 (氫氣氣中兩個物體的接觸表面的摩擦, 磨損, 潤滑) 的作用。提出了材料劣化對策和材料劣化評估方法, 並提出了更安全, 更簡單地使用氫氣所必需的材料和設備。(2) 制定燃料電池汽車/氫氣基礎設施的標準和標準化 [108], 普及燃料電池汽車和氫氣供應基礎設施, 根據政府政策和行業需求審查法規所需的安全確認數據和材料性能, 開發評估方法和測試方法 [圖 2.24]。啟動了“區域氫供應/基礎設施技術社會示範項目”。以改善燃料電池車輛和氫供應基礎設施的商業可行性 [圖 2.25], 包括用戶的便利性, 耐用性和實用性, 並提高整個社會對氫能的接受度。(3) 加氫站組成設備開發了可處理 70 MPa 級高壓氫的製氫設備, 壓縮機, 預冷器和蓄能器等設備, 來降低每種設備的成本。並建設了三個 70 MPa 的商業模型加氫站, 在 3 分鐘內完成了滿負荷 (5 千克) 的實際應用。

4. 水電解製氫技術 [115]: 鹼性水電解法和固體聚合物型 (PEM 型) 水電解方法為已知的水電解實用技術。鹼性水電解法使用強鹼性氫氧化鉀溶液進行水電解, 在工業領域中具有大規模製氫的記錄。聚合物電解質 (PEM 型) 水電解方法由 GE 應用於燃料電池技術。在水電解中, 溫度越高, 理論電解電壓就越低, 因此效率變高。因此, 作為電解高溫蒸汽的技術, 正在研究蒸汽水電解 (800-1000°C 水平)。作為熱源, 現在有效地利用了固體氧化物燃料電池 (SOFC) 的廢熱, 並將其用於電解過程中。固體氧化物水電解槽 (SOEC) 的直接使用可再生能源的電來生產低碳排放的氫氣。如 [圖 2.26] 所示, 上為東芝固體氧化物水電解槽 (SOEC), 右為 Hydrogenics 製造的水電解裝置, 左為 ITM Power 製造的水電解裝置。

5. 光催化劑進行水分解（人工光合作用）[116]：是一種使用半導體顆粒（例如氧化物和氮化物）的光催化劑通過光直接分解水的方法。當光催化劑的表面暴露於日光時，激發電子還原成水並產生氫，並且在價帶中產生的空穴將水氧化。產生氧氣 [圖 2.27]。

資料來源：NEDO 氢能源白皮書 氢與燃料電池標準化，P33

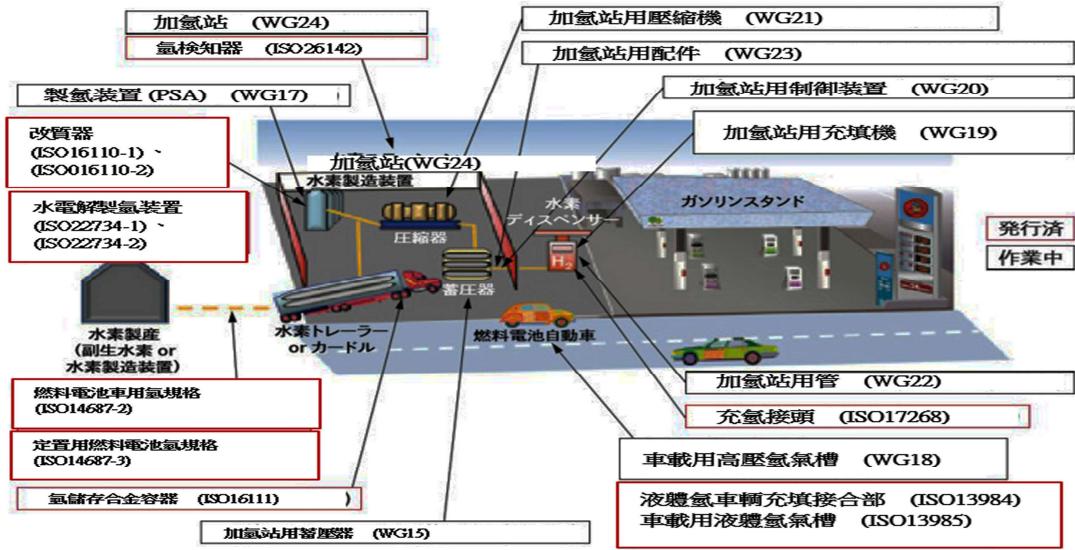


圖 2.24 氢與燃料電池標準化 [108]

資料來源：NEDO 氢能源白皮書 氢能源技術，P102



圖 2.25 氢製造與輸送與商業供應 [114]

資料來源：NEDO 氢能源白皮書 水電解，P110

	鹼性水電解	固體聚合物型水電解
電解溶液	KOH溶液, NaOH溶液	純水
必要電力	4.5~6.5 kWh/Nm ³	5.0~6.5 kWh/Nm ³
系統規模	大型化可能	50Nm ³ /h程度
氫純度	99.99%	99.99%

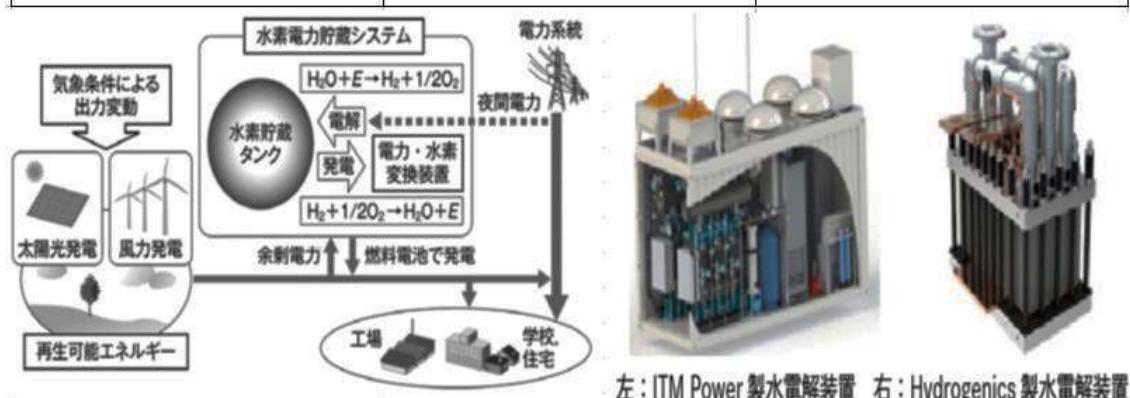


圖 2.26 水電解 [115]

資料來源：NEDO 氢能源白皮書 光觸媒水分解，P115

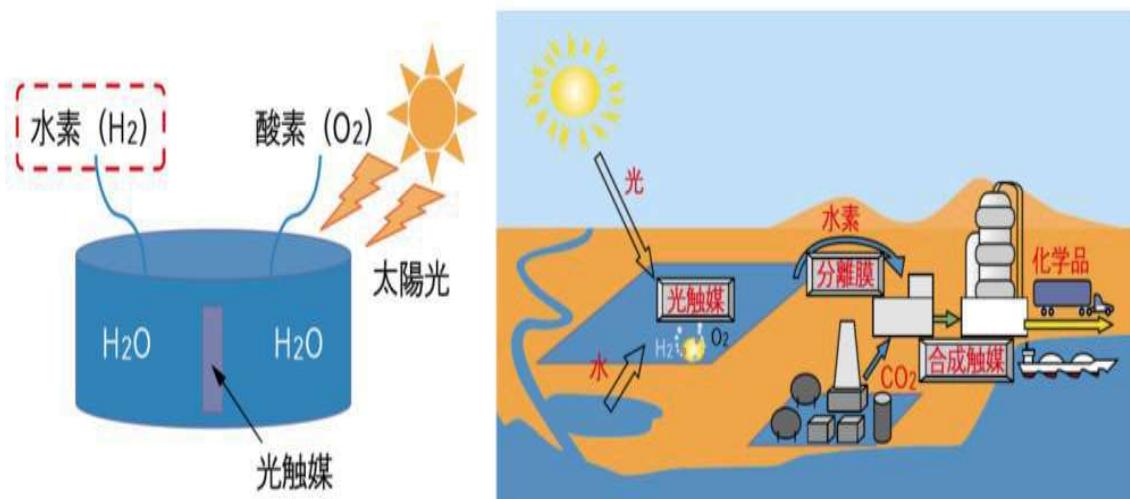


圖 2.27 光觸媒水分解 [116]

2.5.1 氢燃料電池

1. 氢燃料電池 [圖 2.28] [54] [55] [120] 是由陰極與陽極及電解質所構成，氫燃料在陽極透過催化劑發生氧化反應產生帶正電的氫離子和電子，而通過外部的電路，電子由陽極流向陰極，產生電流。電解質使帶正電的氫離子在氫燃料電池的陽極與陰極之間移動。另一種催化劑在陰極使電子，離子和氧氣發生反應形成水和其他產物。
2. 質子交換膜燃料電池 (PEMFC) 使用水基酸性聚合物膜作為電解質，並帶有鉑基電極。氫燃料在陽極進行處理，電子與鉑基催化劑表面上的質子分離。質子穿過膜到達電池的陰極，而電子在外部電路中傳播產生電池的電輸出。在陰極另一個貴金屬電極將質子和電子與氧氣結合，產生水排出。
3. 直接甲醇燃料電池 (DMFC) 使用聚合物膜作為電解質。陽極上的鉑-釤催化劑能夠從液態甲醇中吸收氫，無需使用燃料重整器。甲醇有相對較高的能量密度，易於運輸和存儲。
4. 固體氧化物燃料電池 (SOFC) 使用固態陶瓷電解質如氧化鋯代替液體或膜，在溫度約 800°C 至 $1,000^{\circ}\text{C}$ ，自身中對燃料進行重整而無需外部重整，就可將燃料轉換為電能。SOFC 在大型和小型固定式發電中得到廣泛使用。
5. 鹼性燃料電池 (AFC) 在水中使用氫氧化鉀或純氫等鹼性電解質，由於可在約 70°C 低溫下運作，因此無需在系統中使用鉑催化劑，而是可以使用各種非貴金屬如鎳等作為催化劑來加速在陽極和陰極發生的反應。
6. 熔融碳酸鹽燃料電池 (MCFC) 使用碳酸鋰，碳酸鉀和碳酸鈉等熔融碳酸鹽作為電解質。約 650°C 的高溫下工作可以使用多種不同的燃料運行，包括煤衍生的燃料氣，甲烷或天然氣，而無需外部重整器。用於大型固定式發電，大多數 MW 容量的燃料電池發電廠都使用 MCFC。

7. 磷酸燃料電池 (PAFC) 由陽極和陰極組成，陽極和陰極由鉑催化劑和磷酸電解質的碳化矽結構組成。約 180°C 的中等高溫下運行比其他類型的燃料電池效率低。這種類型的燃料電池用在固定式發電機中，其輸出功率在 100 kW 至 400 kW 之間，可以應用在商業場所或大型車輛提供動力。

資料來源：自由時報 [120]，氫能燃料電池作用圖解

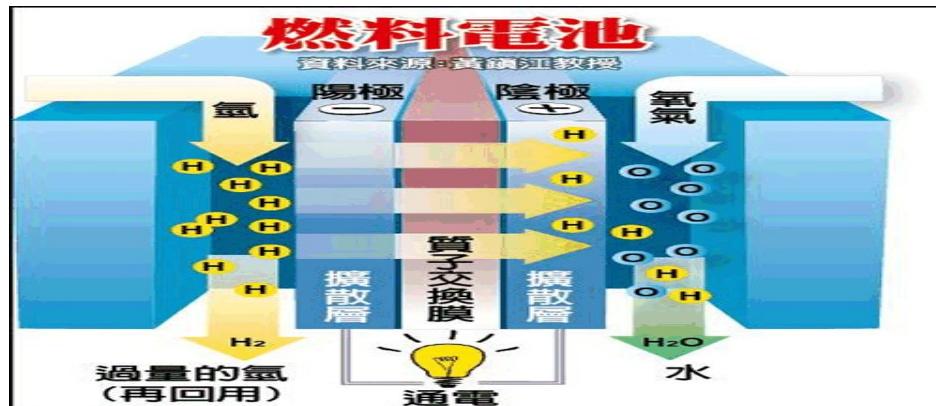


圖 2.28 燃料電池

主要燃料電池的比較 [121] 如 [表 2.2] 所示：

表 2.2 燃料電池的比較

		PEFC 固體高分子	PAFC 磷酸	MCFC 熔融碳酸鹽	SOFC 固體氧化物
電 解 質	電解質材料	交換膜	磷酸鹽	碳酸鈣，碳酸鈉，碳酸	比如穩定氧化鋯
	移動離子	H^+	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}
	使用模式	膜	在基質中浸漬	在基質中浸漬、或粘貼	薄膜、薄板
反應	催化劑	鉑	鉑	無	無
	陽極	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$
	陰極	$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$	$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$	$\frac{1}{2}O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$	$\frac{1}{2}O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$
運行溫度 (°C)		80-100	190-200	600-700	700-1,000
燃料		氫	氫	氫、一氧化碳	氫、一氧化碳
發電效率 (%)		30-40	40-45	50-65	50-70
設想發電能力		數W-數十kW	100-數百kW	250kW-數MW	數kW-數十MW
設想用途		手機、家庭電源、汽車	發電	發電	家庭電源、發電
開發狀況		家庭用實用化、汽車 2015年預計實用化	廢水處理廠、醫院、應急電源		家庭用實用化、大型定製在開發中

資料來源：維基百科[121]，"燃料電池"，主要燃料電池的比較

8. 楊顯整[58]指出台灣有關各種氫能與燃料電池製造商的產業供應鏈，如 [表 2.3] 所示，包含上游的薄膜和膜電極組等原材料製造商，中游的電池堆和重組器等電池組件製造商，下游的燃料電池系統應用商，周邊商品的天然氣和氫氣供應等製造供應商等。

表 2.3 台灣氫能產業供應鏈

原材料(上游)		電池組件(中游)		系統應用(下游)		周邊產品	
薄膜	安炬科技 南亞電路板	電池堆	台達電 南亞電路板 大同世界科技 光騰光電 博研燃料電池 鼎佳能源 中興電工 亞太燃料電池 真敏國際 鼎佳能源 中興電工 博研燃料電池 南亞電路板 光陽工業	思柏科技 大同世界科技 能碩科技 台達電 揚光綠能 亞太燃料電池 真敏國際 鼎佳能源 中興電工 博研燃料電池 南亞電路板 光陽工業	天然氣	中油	
膜電極組	南亞電路板 遠茂光電 光騰光電 台達電 安炬科技 揚志				甲醇供應	伊默克 李長榮公司	
氣體擴散層	碳能科技				氫氣供應	三福氣體 聯華 亞東 中油	
觸媒	安炬科技 碧氫科技				BOP 零組件	高力 大同世界科技 台達電 飛瑞 茂迪 康舒 中興電工	
雙極板	恩良 新永裕 鼎旭開發				水電解	遠茂光電 光騰光電 友荌	
					儲氫合金罐	漢氫科技 亞太燃料電池 博研燃料電池	

資料來源：綠基會通訊，燃料電池應用與產業發展現況

2.5.2 氢能源儲存技術

2.5.2.1 氢能源儲存 [56]：氫氣是最通用的能量存儲方式，可用多種方式生產和存儲，並可用作燃料，化學材料或天然氣替代品。電池不適合長時間存儲大量電能，而氫可由剩餘再生能源生產長期大量存儲，所以氫氣和電池存儲的這種互補作用，是未來能源的新展望[圖 2.29]。

2.5.2.2 氢儲存材料技術 [57]：氫存儲方法包括壓縮或冷卻或兩者混合的物理存儲方法，現在研究其他可以包括固體，液體或表面的材料存儲技術。(1) 公用事業規模的地下液態氫存儲，以高壓和低溫的機械方法或根據需要釋放 H₂ 的化合物製成液態氫，在一定壓力下增加儲存密度，儲存在地下存儲庫。(2) 化學品儲存由於高存儲密度，如碳氫化合物，氫化硼，氫和鋁烷等化學品存儲可以提供高存儲性能，通過水解反應或催化的脫氫反應來製氫。而最有前途的化學方法是鋰，硼和鋁基化合物等材料直接用於電化學儲氫。(3) 納米材料為儲氫系統提供一種替代方法，可以克服散裝材料的吸附速率和釋放溫度的障礙，通過基於納米材料的催化劑摻雜來提高吸附動力學和儲存能力。納米材料的釋放溫度為分解吸附過程的溫度，所釋放的能量或溫度則會影響任何化學存儲策略的成本。(4) 金屬氫化物儲氫：金屬氫化物如 MgH₂，NaAlH₄，LiAlH₄，LiH，TiFeH₂，LaNi₅H₆，氫硼烷和氫化鈀等儲存的氫源。這些材料具有良好的能量密度及氫的重量百分比和存儲過程的可逆性。選擇用於存儲應用的氫化物如氫化鋰，硼氫化鈉，氫化鋁鋰和硼烷氫等具有較低的反應性及高安全性和較高的氫存儲密度。(5) 液態有機氫載體：不飽和有機化合物可以存儲大量氫。這些液態有機氫載體進行氫化存儲，並在需要能量/氫時再次脫氫。使用液態有機氫載體，可以達到相對較高的重量存儲密度，並且總體能源效率高於其他化學存儲選項，例如從氫氣中產生甲烷，環烷烴，N-乙基咔唑，二苯基甲苯，甲酸，等被認為是氫含量較高的有前途的儲氫材料。

資料來源：材料世界網，氫能源儲存技術

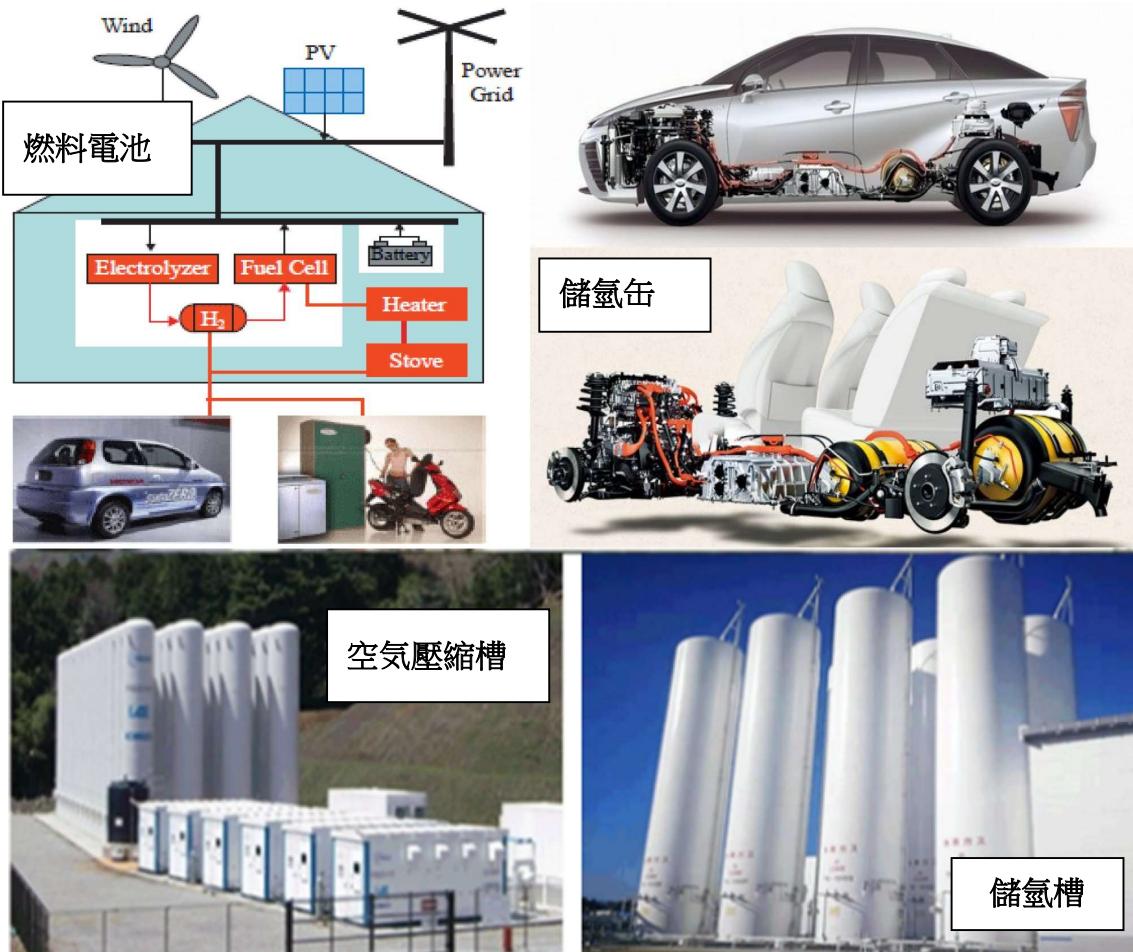


圖 2.29 氢能源儲存技術 [57]

2.5.2.3 壓縮氫氣儲存技術 [57]

壓縮氫氣為可用的存儲技術，地下儲氫是在山洞，鹽丘和枯竭的油氣田中儲氫的一種做法。地下大量液態氫的存儲可以用作電網能源存儲。德國的剩餘電力轉化為氫並存儲在地下，將達到 500,000 立方米，到 2050 年將達到相當於德國目前運營的天然氣洞穴數量的三分之一。在美國正在對貧乏油氣田中的氫氣存儲進行研究，由於存在約 270 萬個貧乏井，因此可以輕鬆吸收大量可再生產生的氫氣。日本在靜岡縣建立空氣壓縮及鋰電池儲能站，同樣原理平日可以將氫氣壓縮儲存，到需要電時則釋出氫氣發電。

2.6 氢能社會

2.6.1 日本 NEDO [117] 氢能源白皮書的氫/燃料電池戰略路線圖 [圖 2.30] 論述氫氣運輸/存儲技術氫氣的單位體積能量密度低，問題是如何在保持高密度的同時運輸和存儲氫氣。根據制氫方法，使用方法以及供需區域之間的距離，可以想到各種方法。在運輸領域中，高壓氣體運輸和液化氫運輸已經被實際使用，有機氫化物運輸已被證明是一種新技術。在日本某些地區也可能會建設氫氣管道。預計將來在諸如氫氣發電業務等應用中將需要大量氫氣，因此預計將構建並使用有機氫化物技術和液化氫技術的全球氫氣供應鏈。

資料來源：NEDO 氢能源白皮書 氢輸送儲存技術 P118

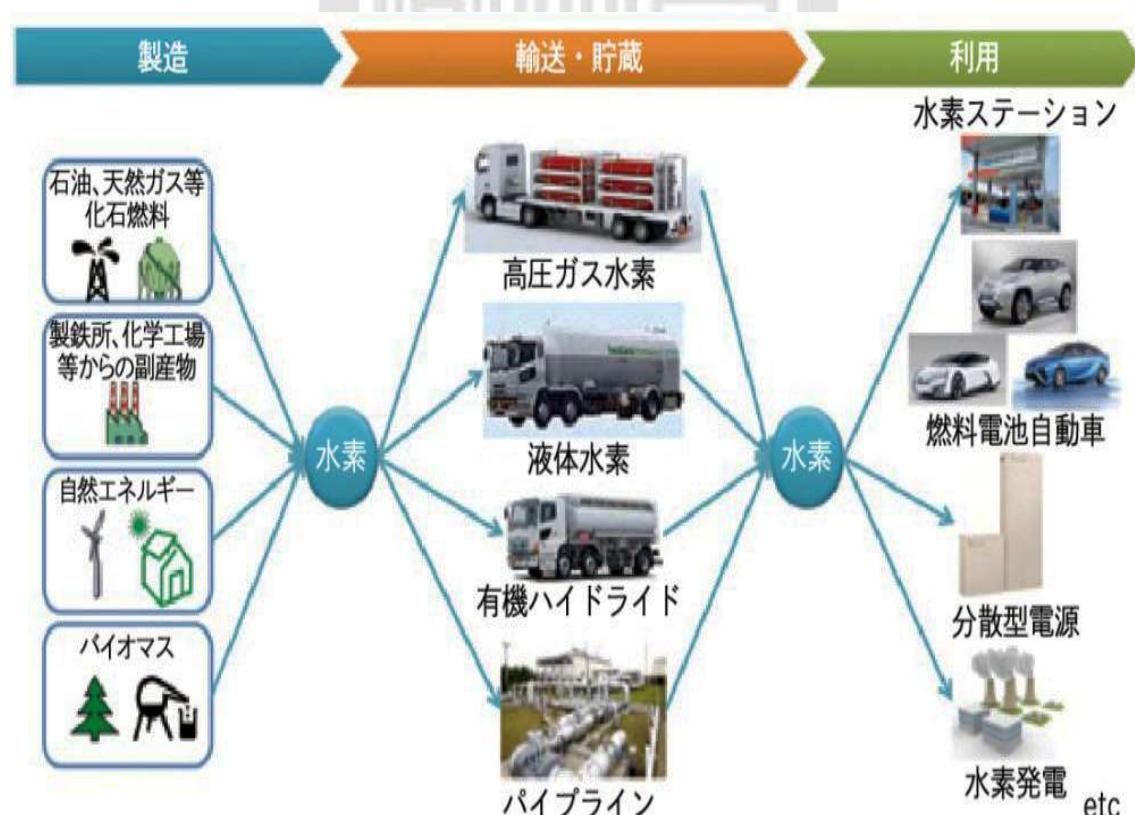


圖 2.30 氢氣運輸/存儲技術 [117]

2.6.2 氢能發展之整體規劃

1. 全國性氫能發展之整體規劃 [59]：就我國目前及過去推動氫能產業發展政策措施，進行整理及檢討。檢討我國目前及過去氫能燃料電池推動或有所影響之相關政策，並就「國家整體相關政策」、「氫能燃料電池相關推動政策」、「能源研發補助計畫」三面向進行討論。並參考經濟部能源局「2016 年能源產業技術白皮書」及 科技部「國家科學技術發展計畫(106~109) 草案」。「國家整體相關政策」主要探討如行政院環保署溫管法。

2. 日本氫能發展：日本 2011 年 1 月，日本 13 家主要製造商（豐田汽車，日產汽車，本田汽車公司，JX 日本礦業和能源，出光興產，巖谷，大阪煤氣，Cosmo 石油，西武天然氣，昭和殼牌石油，Taiyo Nippon Sanso，東京天然氣，東邦天然氣）發布了《關於將燃料電池汽車引入國內市場和發展氫供應基礎設施的聯合聲明》[110]。以期從 2015 年開始將燃料電池汽車引入國內市場，並開始主要面向四個主要大都市地區的普通用戶銷售。加拿大 Ballard Power Systems 進行了燃料電池汽車的開發，該公司開發了高輸出密度的高分子電解質燃料電池 (PEFC)。預計它將從乘用車和公共汽車擴展到叉車和其他工業車輛和輪船的運輸應用。 [圖 2.31]

3. 德國加氫站建設：德國實施了一個針對燃料電池車和氫氣站的示範項目“清潔能源夥伴關係 (CEP)” [112]。到 2015 年燃料電池汽車市場起步階段的所有加氫站開發都將在 CEP 框架內進行[圖 2.32]。德國加氫站的發展可以分為在 CEP 框架下進行的市場啟動階段和在 H2 Mobility 框架下進行市場擴展階段。到 2015 年將聯合安裝 50 個加氫站。到 2023 年將擁有 400 個加氫站。

4. 法國的氫基礎建設 [113] H2 Mobility France 於 2014 年 10 月宣布了燃料電池汽車的部署計劃 [圖 2.33]。它暫時專門研究商用車輛，例如 HyKangoo，氫站的部署壓力為 35 MPa，而引入成本低於 70 MPa。計劃在巴黎，里昂和馬賽等每個主要城市部署一個城市，併計劃與德國和比利時建立聯繫。

資料來源：NEDO 氢能源白皮書，燃料電池用途與車種 P49

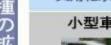
用途の拡大						
乗用車	業務用車両	二輪車	バス	トラック	特殊自動車	鉄道
普通車 	タクシー ハイヤー 	スクーター 	路線バス リムジンバス 	配送車 	フォークリフト 	鉄道車両 
実用化水準	実証・開発中	実証・開発中	未定	未定	未定	未定
小型車 						
未定						
大型車 						
海外で実証・開発中						

圖 2.31 燃料電池的用途適用車種 [110]

資料來源：NEDO 氢能源白皮書，德國加氫站與燃料電池車整備 P61

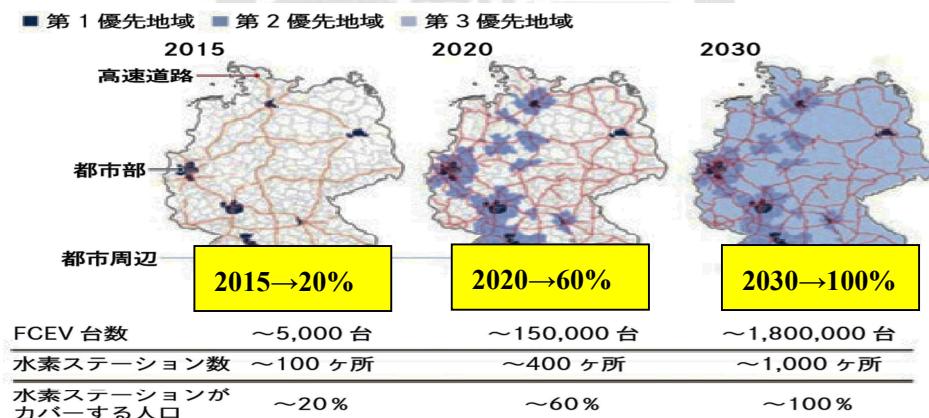


圖 2.32 德國加氫站整備予測圖 [112]

資料來源：NEDO 氢能源白皮書，法國加氫站 P66



圖 2.33 法國加氫站整備計畫圖 [113]

2.6.3 氢發展困境

2.6.3.1 氢能燃料電池的發展障礙 [60]：(1) 以化石原料的傳統工業製氫或水電解製氫為主要來源，今後需要分散製氫的技術。(2) 燃料電池自動車數量不足，且加氫站設施建設困難，所以氫基礎建設為先決條件，才可推廣燃料電池汽車市場。(3) 氢燃料電池產業的障礙是成本高，而燃料電池組，氫燃料罐及電池配件占燃料電池成本的比例最高。(4) 氢儲運送以氫化物狀態，高壓氣態和液態三種形式運輸，高壓罐儲氫是現在氫氣儲存運輸方法。未來需要具備高安全性，長壽命低成本，吸/放氫速率快，高儲氫容量的儲氫材料。但有機液態儲氫材料，輕質儲氫材料，低壓或常壓儲氫材料等技術依然是推廣氫能應用的瓶頸。

2.6.3.2 水氫技術解決燃料電池，加氫站難題 [60]：合即得能源公司發明的水氫技術改變燃料電池氫氣的存儲方式，利用催化重整技術，製氫原料由甲醇水直接發電，加氫站無需壓縮至儲氫罐或管道來運輸氫氣，可以解決儲氫運輸的安全性及降低氫能成本。雷敏宏等人 [181] 提出建立和運行加氫站上針對氫氣供應方式評估，通過選擇由甲醇現場製氫來選擇分散式供氫方式，可以實現較低的氫氣成本和較小的佔地面積以及公眾對安全性的關注。

2.6.3.3 規模化才有未來：何廣利 [61]論述大規模用戶主要是做供應工廠的化工原料氣，直接配建氫氣，氫氣只是其他產業的配角。近年來燃料電池汽車、氫燃料電池發電等普及，氫能產業開始大規模的應用，氫氣製取以大型煤氣化制氫為基礎，儲運系統配以安全及高效的氫儲存，是未來的氫能源發展的趨勢。

2.6.3.4 氢能發電 [118] 基載發電廠因為氫燃料電池成本高，採用大發電量的氫渦輪機為優先考量（參考 4.1.6 節氫發電廠）。通過在天然氣熱力發電中同時燃燒氫，可以直接減少發電過程中的 CO₂ 排放。它可以像常規的燃氣輪機一樣按比例放大，並且通過將其與穩定，廉價且大量的氫氣供應相結合，成為大規模，穩定且低環境負荷的動力源[圖 2.34]。由於引入氫能發電引起對氫的持續且大規模的

需求，因此預期在降低氫價格以及在諸如燃料電池車輛的其他氫利用領域中將產生連鎖反應。為了燃燒氫氣，有必要優化燃氣輪機的各種結構，例如燃料效率和 NO_x 還原技術。燃氣輪機主要有兩種類型：“擴散方法”和“預混合方法”。在擴散方法中，高溫點很可能局部發生，並且 NO_x 的產生成為問題。

2.6.3.5 燃料電池車的安全措施 [122]：日本於 2005 年制定“使用壓縮氫氣作為燃料的燃料電池車的標準” [圖 2.35]，包括氫安全的安全標準及碰撞安全和高壓（電擊防護）等相關事項：(1) 氢氣不洩漏，即使洩漏也不會滯留，即使發生碰撞也要確保與汽油車相同的安全性（抑制氫氣洩漏）。(2) 連接部件的氣密性能，防止氫氣洩漏時保留和進入車廂的設備安裝位置和方法，(3) 氢氣洩漏檢測器的安裝位置和性能以及碰撞時（前/後碰撞，側面碰撞）的氫氣洩漏防護確定了技術要求。

2.6.3.6 法規改正 [123]：氫能源的維護和運營成本占比率高，如加氫站初期設置成本費用在市場的初期階段有大幅波動 [圖 2.36]。未來，氢能發電的引入將產生穩定且大規模的氫需求，通過構建大規模的氫供應鏈來滿足這種需求。現行法規改正變得很重要。台灣經濟部能源局 [129] 也提出對於再生能源發展條例修法[圖 2.39]需開放再生能源發電業，加強彈性措施，明確條例適用規定等各項議題。

資料來源：NEDO 氫能源白皮書，氫發電 P168

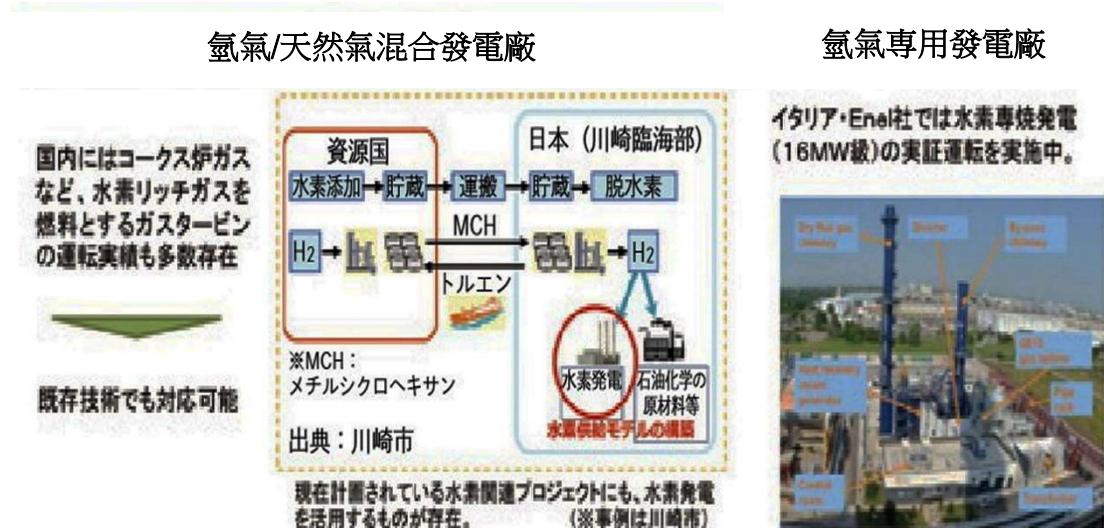


圖 2.34 氢發電 [118]

資料來源：NEDO 氢能源白皮書，燃料電池車関連安全対策法律 P96

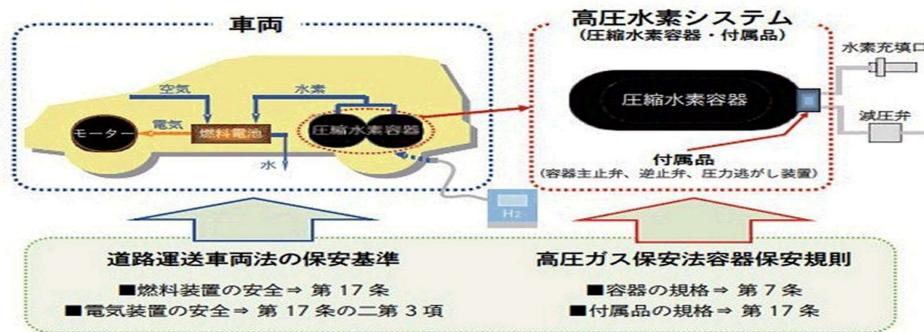


圖 2.35 燃料電池車関連安全対策法律 [122]

資料來源：NEDO 氢能源白皮書，加氫站関連法規改正 P141



圖 2.36 加氫站関連法規改正 [123]

資料來源：經濟部能源局，再生能源發展條例 修正說明會

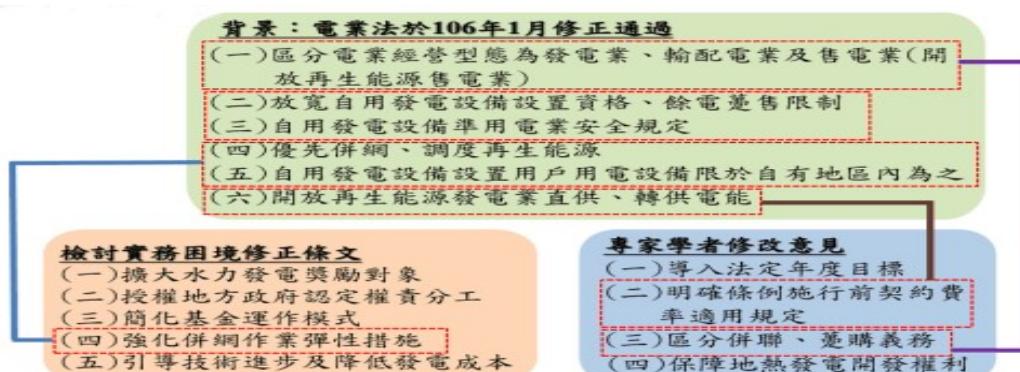


圖 2.37 再生能源發展條例修法議題 [129]

2.6.3.7 實現氫能社會所面對技術問題 [圖 2.38] [119] (1) 提高人們對燃料電池汽車的認識和了解，基於這樣的事實，在氫燃料電池剛剛投入市場後，立即將其用於日常生活中，這種氫僅用於工業用途等有限的用途。為了普及氫的使用，有必要提高公眾對氫和燃料電池車輛的認識和了解。(2) 燃料電池應用領域的擴展燃料電池汽車中使用的燃料電池可能會擴展到各種運輸應用，例如叉車，輪船，燃料電池踏板車和燃料電池鐵路車輛等工業車輛。因此，有必要使用實際設備進行驗證並改善燃料電池的耐久性。(3) 將氫價確定為與傳統汽油車相當的燃料成本目前，燃料電池車的氫成本中約 60% 由氫站的維護和運營成本所佔據，每種成本的一半左右。有必要減少由於氫氣成本根據加氫站的開工率大幅波動，因此重要的是在市場開始時開工率較低的時期內為加氫站提供支持，並提早提高開工率。(4) 加氫站的戰略發展一直在進行商業化加氫站的先進開發，但大都會區的地點數量和燃料電池等存在差異。在對汽車有很高需求的地區以及連接大都市的高速公路上，加氫站的設立還需要在成本，法規改制，土地取得等多方面努力。

資料來源： NEDO 氢能源白皮書，實現氫能社會面對技術課題 P175



圖 2.38 實現氫能社會技術關連課題 [119]

2.6.4 未來的氫社會

2.6.4.1 日本 NEDO 氢能源白皮書 [53] 論述氫能社會：川崎市倡議實現使用氫的低碳社會 [圖 2.39] (1) 努力建設支持氫能社會的基礎設施 (2) 努力利用氫能 (3) 努力利用可再生能源產生的氫 (4) 實現其他氫能社會據說將促進做出貢獻的努力。於 2013 年 10 月成立 “氫能前沿國家戰略特區” 。在城市沿海地區建設大型氫能供應基地，實現氫能發電廠和氫供應網。建立一個以有機氫化物技術為核心的氫氣供應網絡。氫電廠計劃通過將氫氣和天然氣同時燃燒來發電。東芝將在該市沿海地區的社區設施中安裝太陽能發電設施，蓄電池，水電解槽和燃料電池，以建立一個自我維持的能源供應系統。

2.6.4.2 東京都實現氫能社會摘要：(1) 公私營部門將共同努力傳播氫能目標，東京將為實現氫能社會領導日本。(2) 包括燃料電池汽車和燃料電池等與氫有關的各種來源產生的氫，推廣加氫站等氫基礎設施。(3) 促進使用廉價的氫氣為低環境負荷的可持續能源，導致能源結構的改革和低碳社會的建設。(4) 建議國家放寬和澄清許可標準，同時充分考慮安全性。(5) 倡導使用不含二氧化碳的氫向世界傳達一個與環境和諧相處的未來城市形象。 (6) 從長期角度出發，通過氫能的多樣化利用，為改革日本的能源結構和建設低碳社會奠定基礎。

2.6.4.3 日本 NEDO 氢能源白皮書 [53] 論述實現氫社會所面對問題：如體制問題和氫供應系統和加氫站開發基礎設施問題及問題的綜合解決方案。(1) 第一階段 (i) 固定式燃料電池問題 1：提高家用燃料電池的經濟效率。問題 2：擴大家用燃料電池的目標用戶。問題 3：家用燃料電池的海外發展。問題 4：提高商業/工業燃料電池的經濟效率和耐用性。(ii) 燃料電池汽車（包括其他運輸工具）問題 1：進一步降低燃料電池系統等的成本。問題 2：改善燃料電池汽車的基本性能，實現保證長行駛里程的耐用性和經濟性。問題 3：燃料電池汽車的海外開發市場。問題 4：提高人們對燃料電池汽車的認識和了解。問題 5：擴展燃料電池汽車的應用到推高

機，輪船，燃料電池鐵路車輛等工業車輛。(2) 第二階段問題 1：對發電業務引入氫氣發電審查時，氫氣供應方和發電方等需求方必須同時考慮。問題 2：改善氫氣發電燃氣輪機的機構和技術通過氫發電的實際操作和技術標準進行驗證。問題 3：改善海外氫氣供應的體制和技術環境。(3) 第三階段問題 1：為了減少二氧化碳的排放，進行 CCS 捕獲和存儲從供氫國家排放的二氧化碳。問題 2：可再生能源製氫如水電解制氫，大規模，穩定，廉價的製氫技術開發。賴志遠 [125] 說明未來的氫社會的氫能源發展路徑圖 [圖 2.40] 為(1)市場建置期(2)基礎建設期(3)氫經濟。

資料來源： NEDO 氢能源白皮書，實現氫能社會面對技術課題 P39

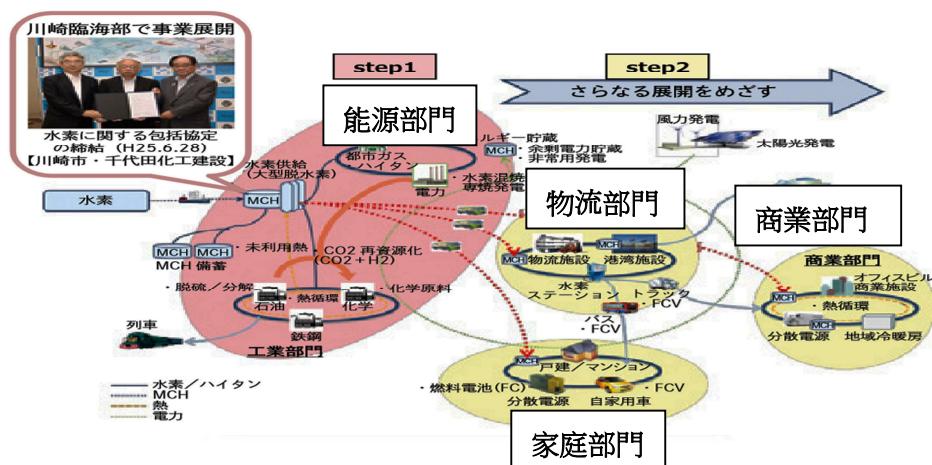


圖 2.39 川崎市氫能網路 [124]

資料來源：賴志遠，”未來的氫社會”

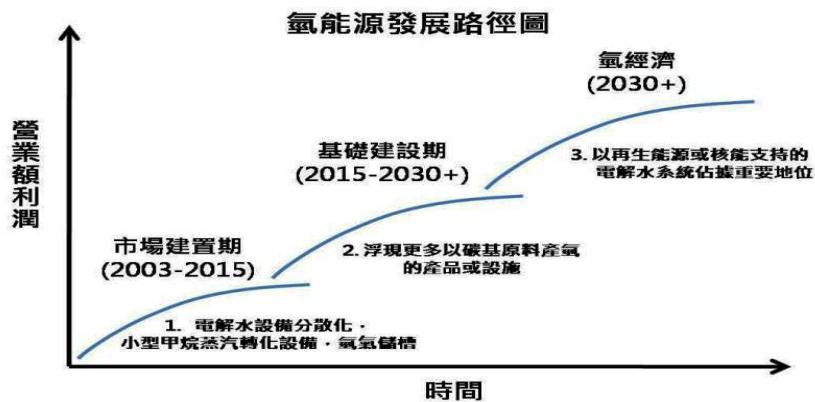


圖 2.40 氢能源發展路徑圖 [125]

第三章 電力系統發展現況

3.1 發電系統

如 [圖 3.1] 所示，台灣的水力發電廠，火力發電廠，核能發電廠，可再生能源發電廠等電廠分布圖。 [9][62][90]。

詳細內容見各節說明



圖 3.1 台電系統電廠及電網分布圖 [9]

3.1.1 水力發電廠 (Hydropower Plants)

水力發電[圖 3.2] [62][64][66]是從下降的水或快速運行的水中獲得的能量，帶動發電機發電。台灣的水力發電廠多集中在水庫，水庫大的水壩可以短期或長期儲水用來發電，較小的水壩，白天或夜間存儲或抽水可逆設備，明潭下池水庫為臺灣第一座抽蓄水力電廠。水力發電的優點是沒有排放污染物，運作成本低，可按需求供電等。缺點是水庫內容易堆積淤泥，壽命短，大型水庫承受巨大水壓，設計，計劃的成本高，上游土地廣地域沈於水下容易破壞生態環境。

資料來源：台灣主要能源介紹及分布，水力發電廠的分佈

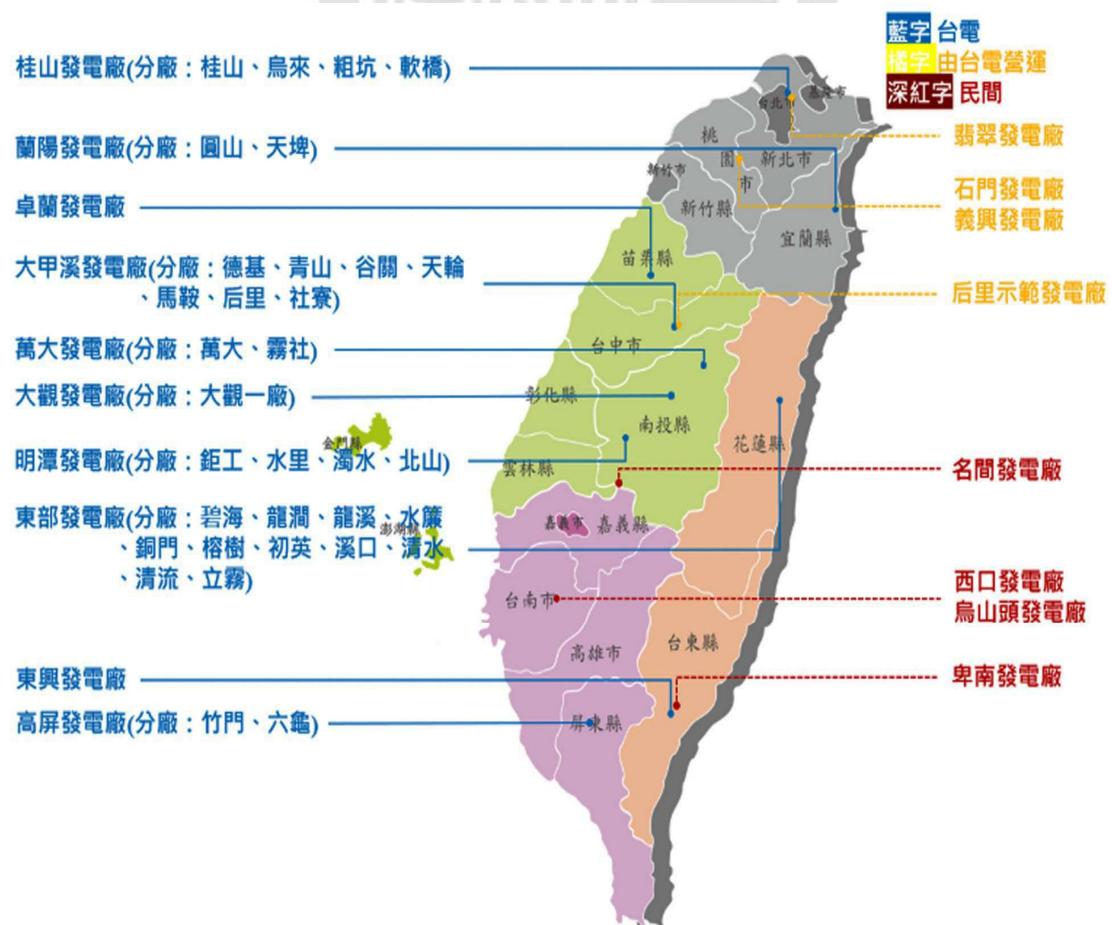


圖 3.2 台灣水力發電廠分布圖 [66]

3.1.2 燃煤/燃氣火力發電廠 (Thermal power plants)

火力發電廠[圖 3.3][62][65][126]是將地下熱源轉換為電力的發電站。原理是水被加熱，變成蒸汽，並使驅動發電機的蒸汽輪機旋轉，轉換成為電力。火力發電方式有（1）汽輪機組發電（2）複循環機組發電（3）天然氣渦輪機發電（4）柴油機發電等。

資料來源：台灣電力公司，各火力發電廠簡介



圖 3.3 台灣火力發電廠分布圖 [126]

3.1.3 太陽光電發電廠 (Solar power plants)

太陽光電發電廠[圖 3.4][62][67][127]將陽光中的能量轉換為電能，太陽光電正迅速成為一種廉價的低碳技術，到 2050 年，太陽光電發電和集中式太陽光電發電將分別佔全球用電量的 16% 和 11%。台電於彰濱工業區打造 100MW 太陽光電廠，加上周邊 35 座陸域風機，預計帶來年發電量總合超過 3.4 億度，能提供 4 萬戶家庭年用電量。

資料來源：台灣電力公司，“再生能源發展概況”，光電分布圖



圖 3.4 台電公司太陽光電分布圖 [127]

3.1.4 風力發電廠 (Wind power plants)

風力發電廠 [圖 3.5] [62][68][128] 是一組用於發電的風力渦輪機，從少量的渦輪機到覆蓋大面積區域的數百個風力渦輪機。世界上最大的風電廠是中國的甘肅風電廠，2020 年達到 20,000 MW。世界最大的海上風電廠是英國的 659MW 瓦沃爾尼風力發電廠。台電公司在彰濱工業區建立 409MW 離岸風力發電廠。

資料來源：台灣電力公司，“再生能源發展概況”，風力分布圖

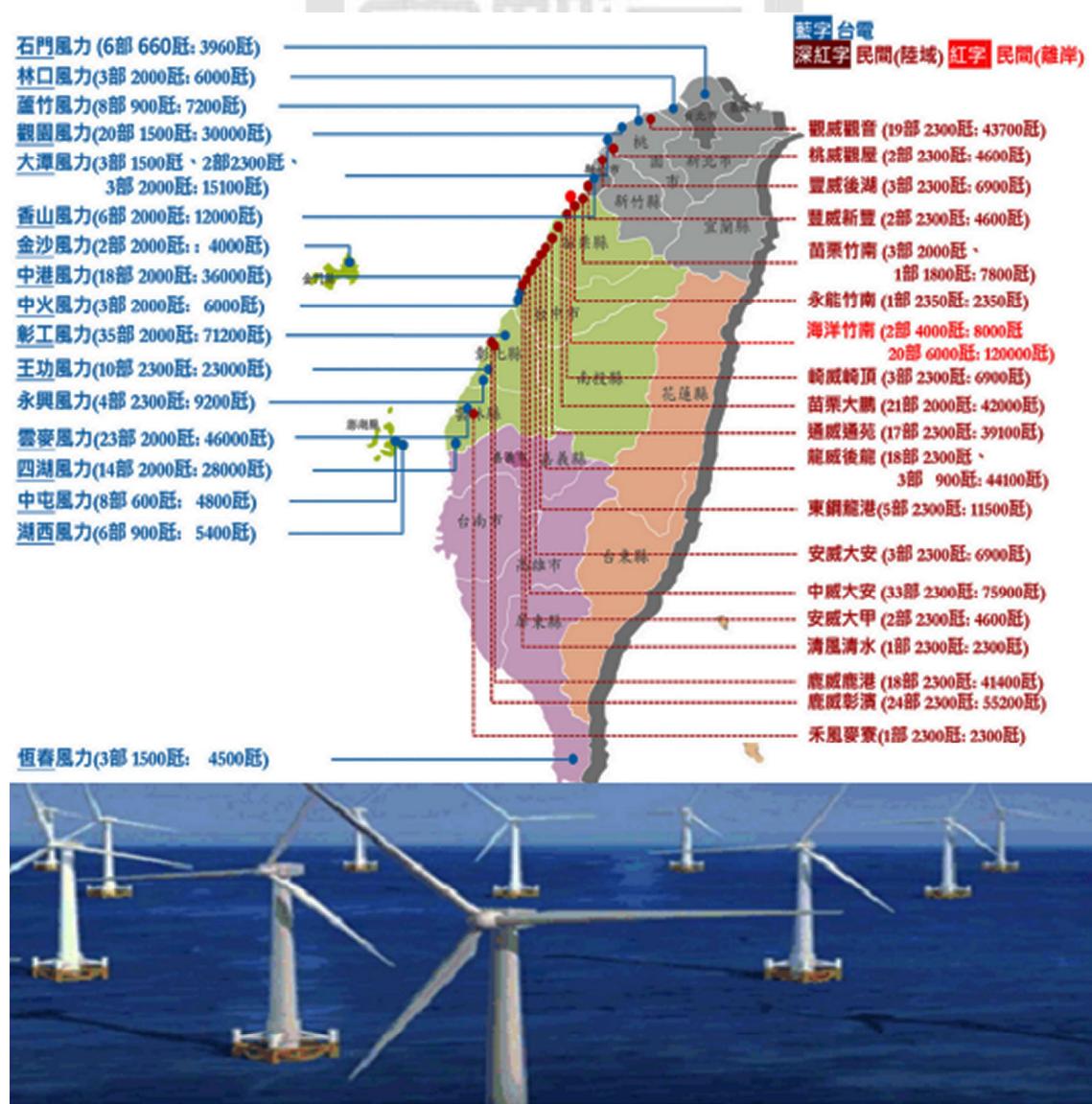


圖 3.5 台灣風力發電廠分布圖 [128]

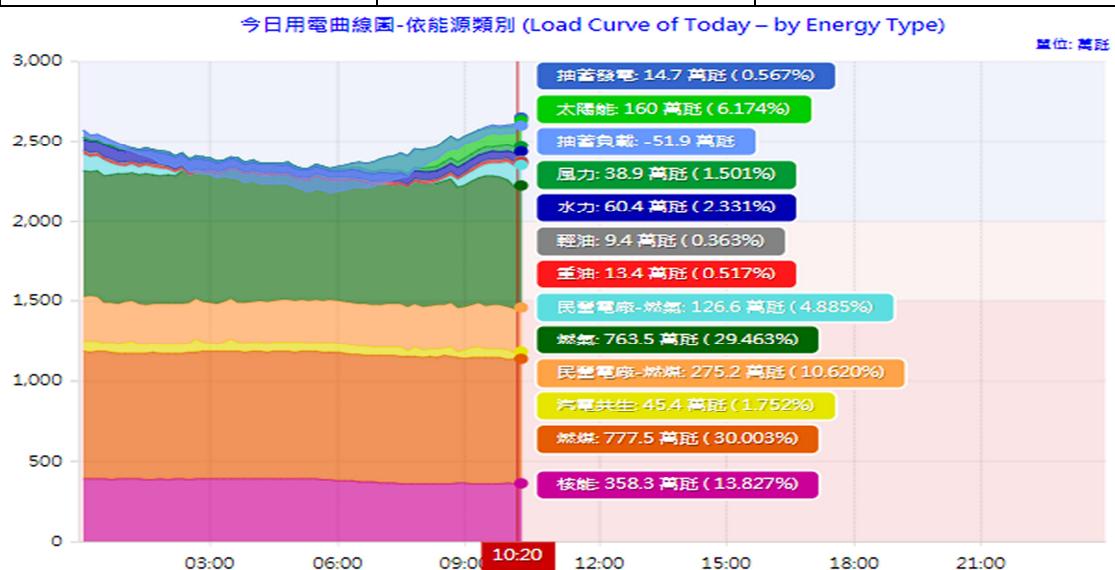
3.1.5 可再生能源發電 (Renewable energy power plants)

3.1.5.1 台電公司可再生能源各機組發電量/能源別 [圖 3.6][62][63]，

2020/05/30 10:20 時點的台電公司線上查訊可再生能源組發電量動態圖表。

單位：萬 KW

核能：358.3 (13.827%)	燃煤：777.5 (30.003%)	汽電共生：45.4 (1.752%)
民-燃煤：275.2 (10.620%)	燃氣：763.5 (29.463%)	民-燃氣：126.6 (4.885%)
重油：13.4 (0.517%)	輕油：9.4 (0.363%)	水力：60.4 (2.331%)
風力：38.9 (1.501%)	太陽能：160 (6.174%)	抽蓄發電：14.7 (0.567%)
抽蓄負載：-51.9	總計：2,591.4	



資料來源：台灣電力公司，台灣電力公司動態圖表

圖 3.6 台電公司可再生能源各機組發電量 能源別 [63]

3.1.5.2 各種發電優缺點

表 3.1 各種發電優缺點

	優點	缺点
水力發電	1.可再生循環使用 2.無 CO ₂ 空氣污染 3.可靠的可再生能源 4.可調式抽蓄使用	1.對魚類的影響 2.較高的初始成本 3.易受干旱 4.洪水風險
火力發電	1.燃料成本較低 2.發熱系統比其他系統簡單 3.簡單的機制 4.相同的熱量可以重複使用 5.簡化發電站維護	1.在大氣中大量產生二氧化碳 2.廢氣加重溫室效應 3.總體效率低 4.熱機需大量的潤滑油成本昂貴 5.向電網供電前需要較長的時間
太陽能發電	1.減少電費 2.多種應用 3.維護成本低 4.技術開發易	1.製造成本高 2.易受天氣影響為不穩定電源 3.太陽能存儲價格昂貴 4.佔用大量空間
海洋能發電	地球海洋占比高未來性高 能源儲量豐富 3.波浪發電的研究成果多	1.開發成本高 2.商業化尚需時間 3.海水容易腐蝕、技術問題難

風力發電	1.風能是可以再生及永續性 2.減少化石燃料消耗 3.工業和家用風力發電都可用 4.風能為偏遠地區提供電力 5.具有巨大的潛力	1.易受風影響為不穩定電源 2.風力發電機價格昂貴 3.風力渦輪機對生物構成威脅 4.風力渦輪機噪音大
地熱能發電	1.地熱能源採購對環境有利 2.地熱系統的高效率 3.地熱系統維護成本低	1.關於溫室氣體排放的環境問題 2.地熱資源枯竭的可能性 3.地熱系統的高投資成本
生質能發電	1.生物質作為一種可再生能源 2.是碳中性的 3.減少對化石燃料的過度依賴 4.比化石燃料便宜	1.不像化石燃料那樣高效 2.不是完全乾淨能源 3.可能導致森林砍伐 4.生物質植物需要大量空間
氫能發電	1.存在多樣化物質中 2.沒有環境污染 3.燃燒效率高	1.製造成本比石化原料高 2.燃點低易燃、危險性高 3.存儲運輸不易
鋰電池儲能	1、電壓可達 3.7V 或 3.2V 2、密度高適合儲存能量 3、充放壽命可達 6 年以上 4. 電可以使用 1000 次的記錄	1.能量密度低，環次數減少 2.製造成本昂貴 3.依存消費市場沒有標準規格 4.容易引起過熱爆炸

3.1.6 智慧電網

1. 王郁青等人 [69] 論述台灣再生能源集中式電網的壟斷障礙[圖 3.7]，台灣的電力系統長期以來由台電主導，集中式電網的水力發電，火力發電中心構造，今後需轉型到小型可再生能源的分散式電網。由於台電一直以來主導電網的建置，發電與維護，能源轉型的原因，造成壟斷台灣電力事業發展，間接也對於再生能源的發展產生了新的限制。而台電在政府主導經營企業化轉型之下，在再生能源的技術研發上比民間企業的研發還是比較被動，民間的再生能源業者必須連結到台電的電網系統，民間的可再生能源才有機會進入台灣的電力市場，這是目前民間再生能源業者所必須面臨的市場障礙。

資料來源：王郁青等人 台灣再生能源集中式電網的壟斷障礙



圖 3.7 集中式電網與分散式電網 [69]

2. 台電供電處 [70] 的「輸電網因應電業法修正與再生能源併網之挑戰」提出 (1) 現有系統由上往下單向之電力供應模式，系統運轉以三階層控制中心分層，電源由 CDCC 統一調度。(2) 再生能源設置空間需求大，常設置電網強度較弱之相對人口稀少(負載低) 地區，造成區域輸電線路容量不足產生電網壅塞，影響供電安全。(3) 引進新輸電監測技術，汰換耐熱 導線，提升區域輸電網供電與輸電能力。[圖 3.8]

資料來源：台電供電處 輸電網因應電業法修正與再生能源併網之挑戰

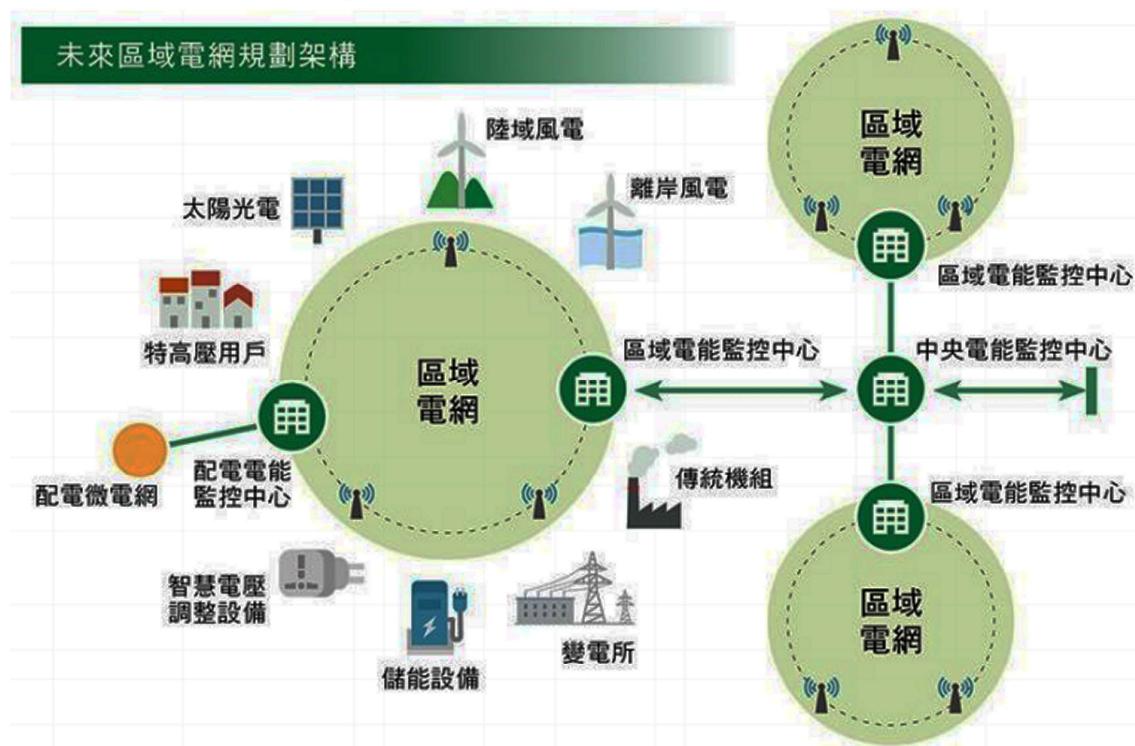


圖 3.8 台電輸電網因應策略 [70]

3. 日本 NEDO 氢能源白皮書 [130] 論述智慧社區和氢能的概念智慧社區將結合區域內現有的電力和可再生能源，利用能源管理系統來更舒適地改造城市的能源系統和交通系統。這是一項旨在智能社區的形像如[圖 3.9]所示。風能和大型太陽能與社區能源管理系統相連，以管理整個區域的電力供需。下一代汽車（包括燃料電池汽車）也正在考慮向家庭供電（V2H：車輛到家庭）以及使用家用燃料電池系統。可以說，氢能是增強智慧社區功能的重要因素。

4. 氢能智慧電網(HyGrid) [111]概念[圖 3.10]提出從富含可再生能源的農村地區部署一種系統，以補充氫和電，作為混合電網。

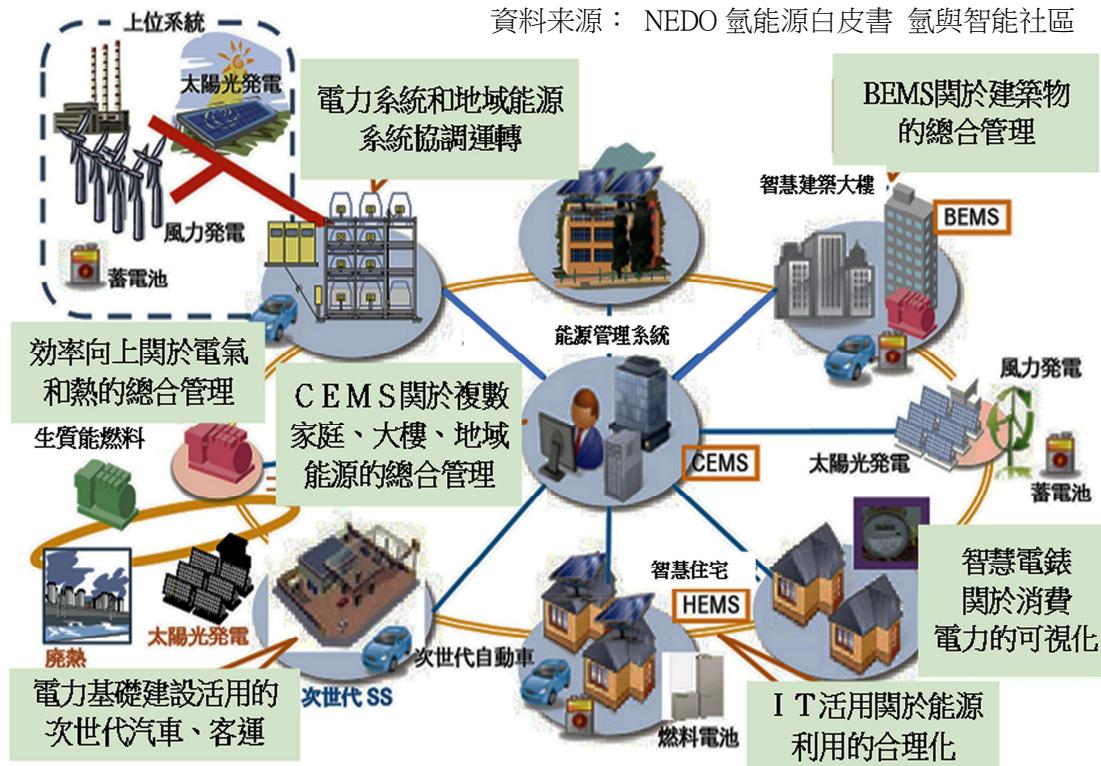


圖 3.9 NEDO 智能社區示意圖 [130]

資料來源：NEDO 氢能源白皮書 氢能智慧電網構想

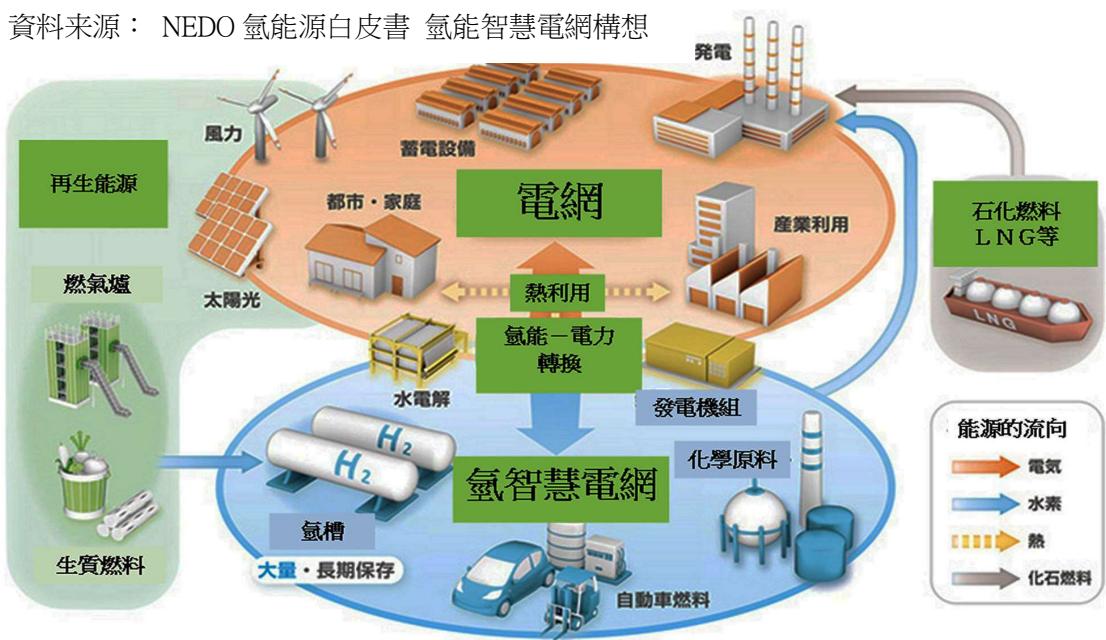


圖 3.10 NEDO 氢能智慧電網構想圖 [111]

3.1.7 虛擬電廠

陳彥豪[131] [132] 論述台電的電網規劃為分散式電網來構築虛擬電廠。區域智慧電網以智慧城市，智慧場域為核心，建立未來各區域特色虛擬電廠 [圖 3.11]。並且整合再生能源發電，儲能等設備，出售電力給用戶使用的商業模式 [圖 3.12]。

資料來源：陳彥豪，以地區條件為主軸建構區域特色虛擬電廠

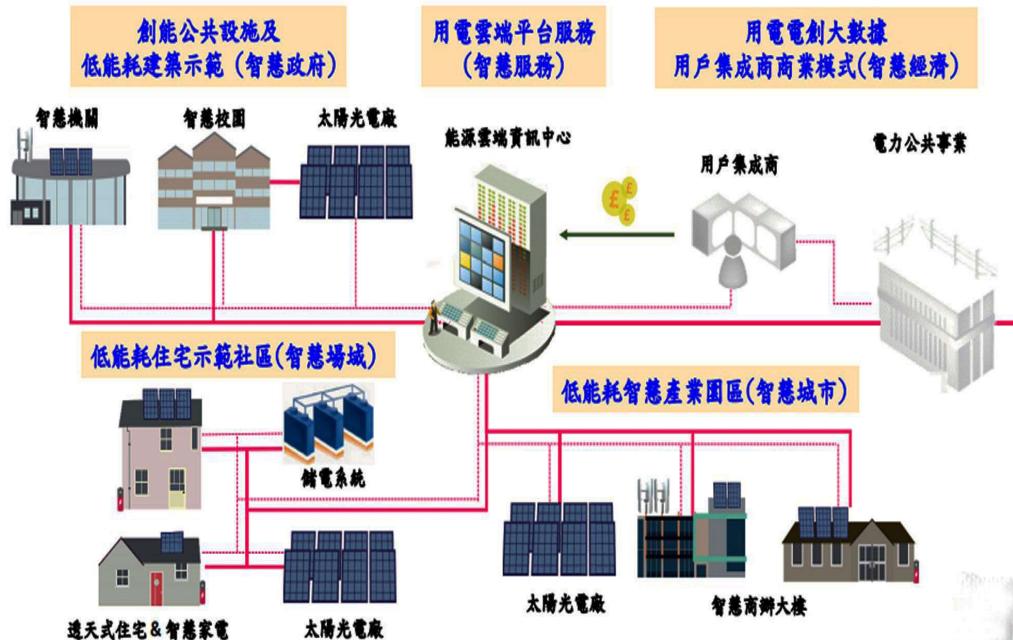


圖 3.11 區域特色虛擬電廠 [131]

資料來源：陳彥豪，虛擬電廠(含微電網)商業模式分析架構圖

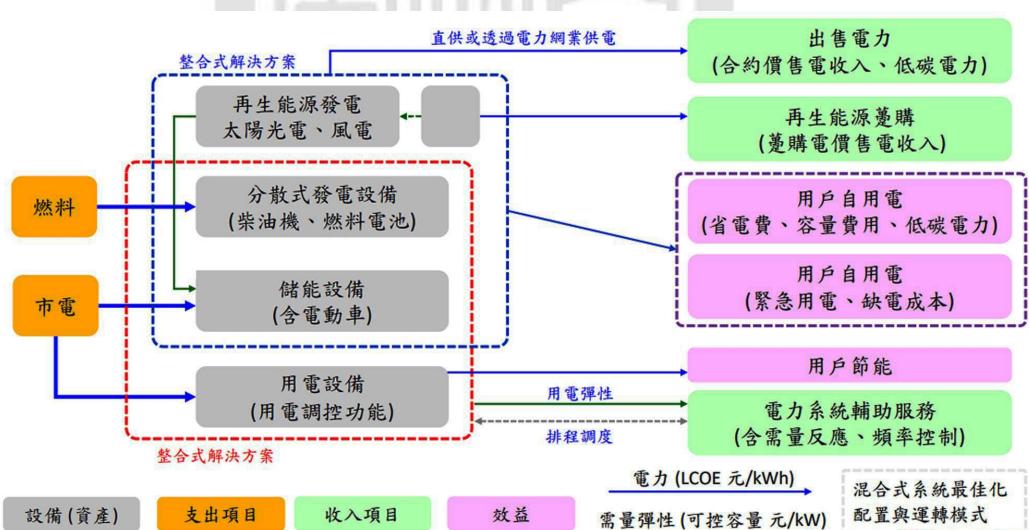


圖 3.12 虛擬電廠商業模式分析架構圖 [132]

3.2 輸供電系統

- 3.2.1 輸電線[圖 3.13]：朱瑞墉[73] 劉泰成[74] 論述台灣輸電線路分為：
- (1) 三列南北輸送的 345kV 超高壓輸電線，超高壓變電所 [圖 3.14]，(2) 161kV 的一次輸電線，一次變電所 (3) 地區中小系統的 69kV 二次輸電線，二次變電所。
- 資料來源：朱瑞墉，台電公司遍佈全台的輸電線路系統

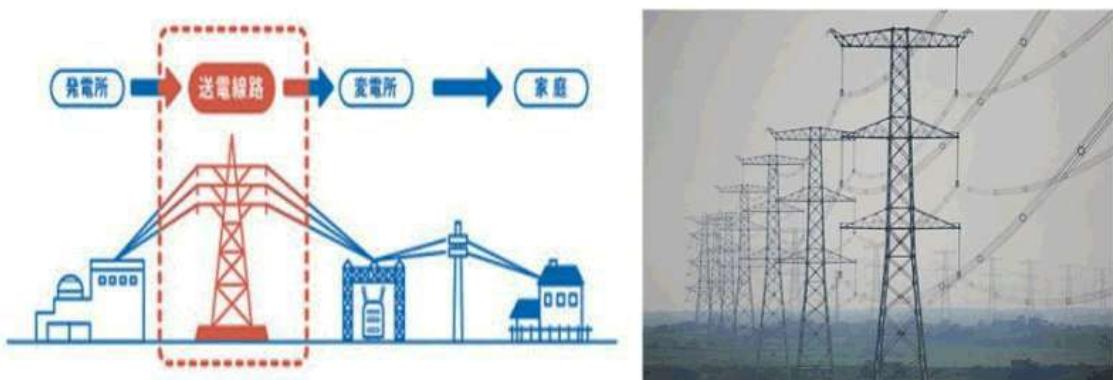
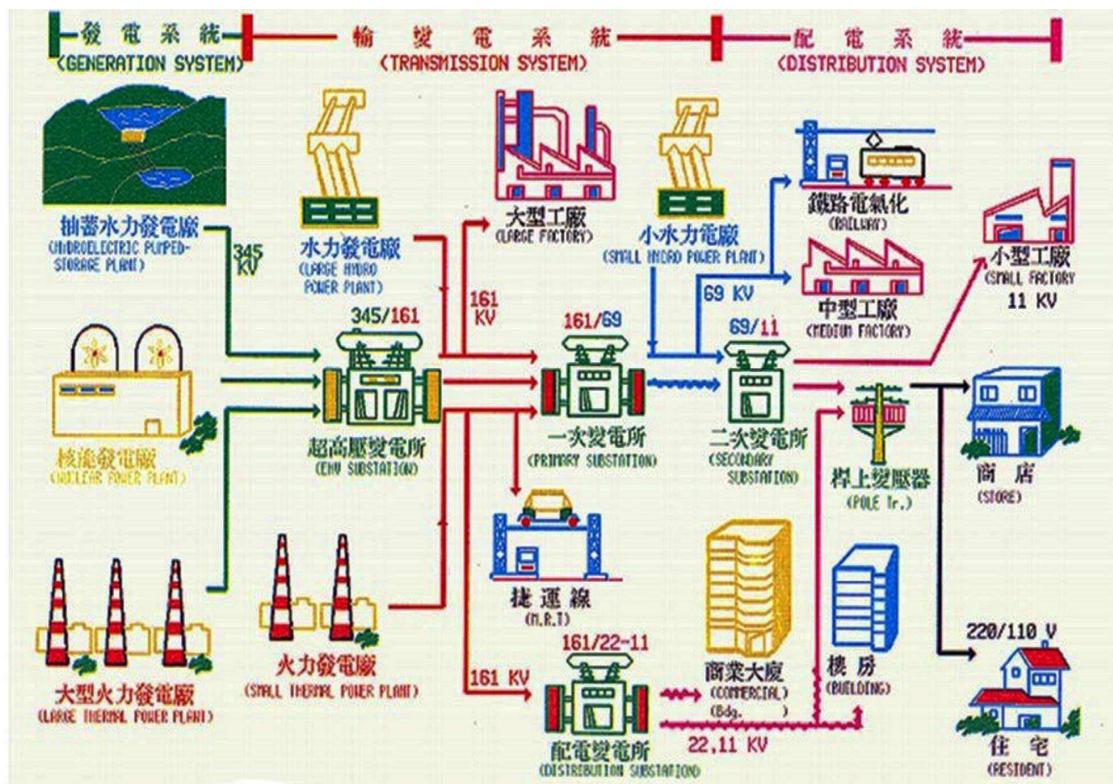


圖 3.13 輸電線 [73]

資料來源：台電公司 竹園超高壓變電所



圖 3.14 台電竹園超高壓變電所 [133]

3.2.2 楊翔閔 [75] 提出利用 **DIgSILENT PowerFactory** 對於 (1) 電力傳輸 (2) 電力調配 (3) 潮流分析 (4) 短路分析 (5) 弧閃分析 (6) 電能質量與諧波分析等項目說明電網的系統與基於事故發生時使用電力潮流計算來觀察相關設備之標么值是否仍在額定範圍內。分成發電機、外部電網、線路單線斷開、線路雙線斷開等事故發生導致停電。黃國倫 [77] 提出採用 **DIgSILENT-PowerFactory** 作為模擬分析平台，將電網分為 13 個地區，由這 13 個地區分別連接成 4 個區域，以此形成的輸電系統作為模擬對象，藉由輸電系統模擬偶發事件並且分析電力潮流進行預防或是補救的動作。內容將對這個電網分成四個方位的區域輸電系統進行偶發事件分析，比對各種情況下的潮流，負載，並討論偶發事件對此輸電系統造成的影响和防治。高典琳 [78] 提出台灣輸電線路多位於山區之中，輸電線路在雷雨天容易受雷擊而發生事故。輸電線路遭受雷擊造成線路跳脫或瞬間壓降，皆會使線路設備損壞，嚴重影響供電的可靠性及品質。洪仁昌 [79] 提出輸電系統的故障為不可預期，當故障發生時，電力工程人員必須盡速找出故障位置，並研判可能發生的故障種類；一方面恢復未故障而遭受停電區域的電力，另一方面須將故障區域迅速隔離，以進行搶救措施。

3.3 配電系統

3.3.1 配電系統 [134]，是從電力傳輸系統向最終用戶端輸送電力[圖 3.15]。配電變電站連接到輸電系統，電壓降低到 2 kV 至 35 kV 之間，再次配電變壓器將電壓降低到照明，工業設備或家用電器使用的使用電壓。

資料來源：維基百科，配電系統

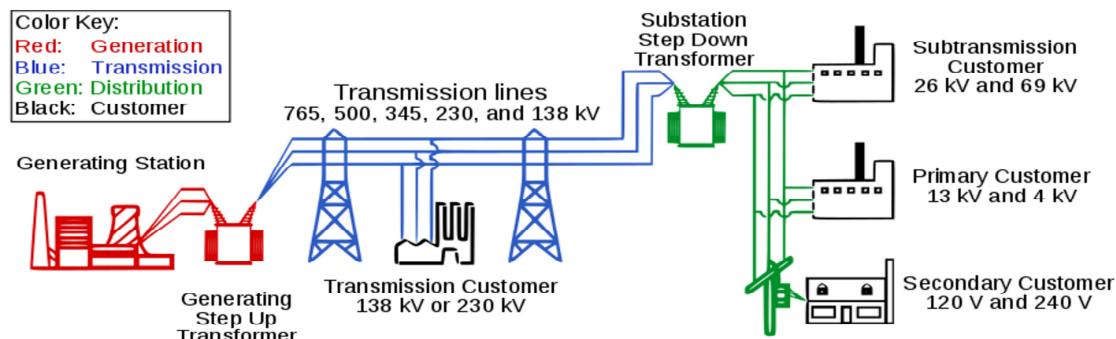


圖 3.15 配電系統 [134]

3.3.2 鄭景鴻 [80] 提出避雷器被大量運用於電力系統雷擊防護，其特性對供電的品質及可靠性有很重要的影響。採用 ATP(暫態模擬軟體)，建立架空配電線路模型，模擬分析不同雷擊位置、避雷器裝置間距及避雷器接地電阻對雷擊響應，進行實務模擬，得知避雷器間距及接地電阻越大，防護效果越差。黃俊傑[81] 提出分散式電源與配電系統並聯運轉時，於發生單線接地故障、兩線短路故障、兩線短路接地故障以及三相短路時，所產生之故障電流對配電系統的影響。曾鴻松 [82] 提出實用性及經濟成本效益之考量下，予以實際建構符合偏遠山區應用之饋線自動化系統。並針對台電配電系統之型態及自動化設備之特性加以分析，同時導入及說明自動化架構與原理；進而以實際應用案例探討運轉中之饋線自動化系統與傳統配電調度控制系統差異比較。陳佳宙 [83] 在配電網切換節點優化--以一個低壓分散式電網為例提出解決低壓分散式系統饋線損失問題，使用 DiGILENT 軟體的範例 MV distribution Network 的專案為例，來模擬優化低壓分散式電網饋線的損失。

3.4 電力工廠 DIgSILENT PowerFactory 電力系統分析軟體

(1) **DIgSILENT-Power Factory (Digital SImuLation and Electrical NeTwork calculation program)** [84] 是德國位在戈馬林根一家諮詢和軟件公司所研發的電力系統分析軟體，為輸電，配電，發電和工業設備的電力系統領域提供計算機輔助工具和電網計算程序。(2) **DIgSILENT-Power Factory** 軟件的功能[圖 3.16]：使用 Oracle，MS-SQL 獨特數據庫概念，使用 OPC 最新的演算法進行數據實時仿真和性能監控，與 CIM，PSS / E，UCTE 等其他電力系統分析軟件互換，具有各種通訊功能與 GIS，SCADA 等資料採集與監控系統交換數據，結合可變負載和分佈式發電如太陽光電，燃料電池，風力發電和電池存儲和虛擬電廠的可靠和靈活系統功能，適合智慧電網的網絡規劃和業務應用程序中高度自動化。(3) **DIgSILENT-Power Factory** 的模組包含潮流計算，短路分析，諧波分析，保護分析，可靠性分析，穩定性分析等系統建模功能。(4) **DIgSILENT-Power Factory** 主要功能：地理圖和用於可視化網絡結構，最佳電源恢復功能，增強的平衡和不平衡網絡可靠性評估，雙向潮流的電壓曲線優化，弧閃計算，靜態電動機啟動仿真，模擬掃描模塊，中壓負載，次級變電站，具有同步功能的數據庫模式，用戶界面以及用戶配置文件等自定義的工具，視頻演示的實際應用示例等。

資料來源：**DIgSILENT-Power Factory**[84]，Home



圖 3.16 電力工廠 DIgSILENT PowerFactory [84]

3.4.1 電力傳輸 (Power Transmission)

DIgSILENT-Power Factory[135]用於研究大型互連電源系統，提供了容納不可分配資源，保持運營效率和全系統成本等完整的功能 [圖 3.17]。對於任何交流或直流網絡提供快速而強大的仿真算法，轉換器的發電，電壓源轉換器，電纜和架空線，直流斷路器，濾波器以及虛擬電廠等新技術的仿真。DIgSILENT-Power Factory 豐富的數據模型，用戶可以對網絡開發項目進行建模，包括電力系統設備的調試，自動使用正確的網絡配置進行計算。

DIgSILENT-Power Factory 也提供直接與網絡元素的連接的多元網絡圖網絡模型，電網分析和報告，穩定性分析和模態分析，停運計劃，諧波/電能質量等功能。壹岐浩幸等人 [85] 如[圖 3.18]所示當機器發生異常狀況，諧波帶來電力周波數低下，電力系統緊急停止。



圖 3.17 電力傳輸示意圖 [135]

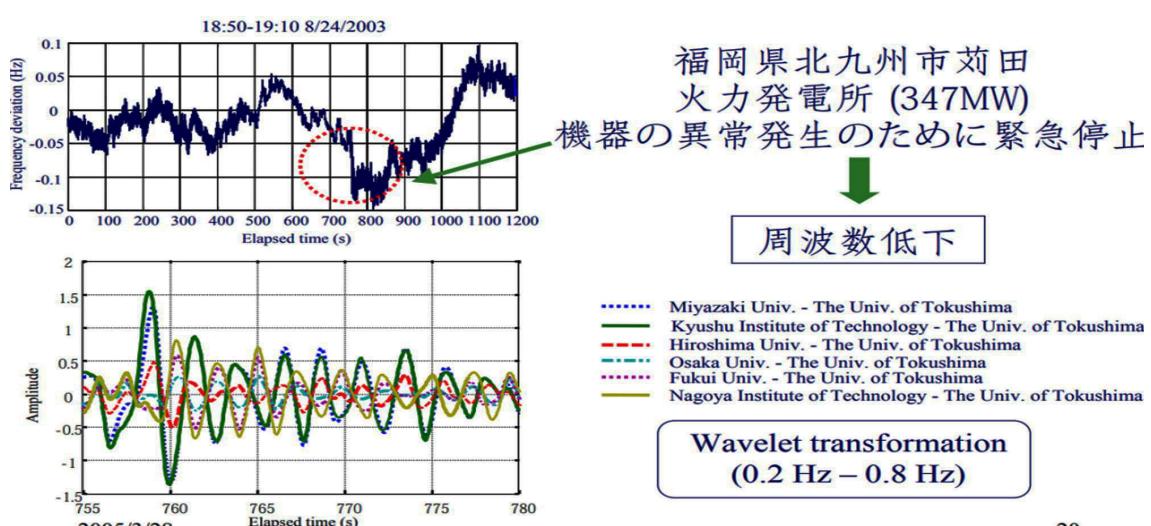


圖 3.18 周波数低下示意圖

3.4.2 數據庫整合 (Database Integration)

DIgSILENT PowerFactory [136] 提供最佳的數據組織 [圖 3.19]，以執行任何類型的計算，存儲設置或軟件操作選項所需的數據。DIgSILENT-Power Factory 數據庫環境完全集成了定義案例，單行圖形，輸出，運行條件，計算選項，圖形，用戶定義的模型等所需的所有數據。(1) 單一數據庫概念：使用一數據庫集中管理所有數據，可以容易操作與管理。適用於圖形，變體，研究案例定義，輸出，運行條件，計算選項，故障序列，監視消息和用戶定義的模型。(2) 多用戶操作：支持多用戶數據庫服務器操作，並定義訪問權限，用戶計費，審計和數據共享。(3) 變體和操作場景：項目和研究案例開發是面向對象軟件原理的獨特應用。採用了創新的方法，易於使用的結構，簡化用戶和組織的數據管理和驗證任務。

資料來源：DIgSILENT Americas，Database Integration

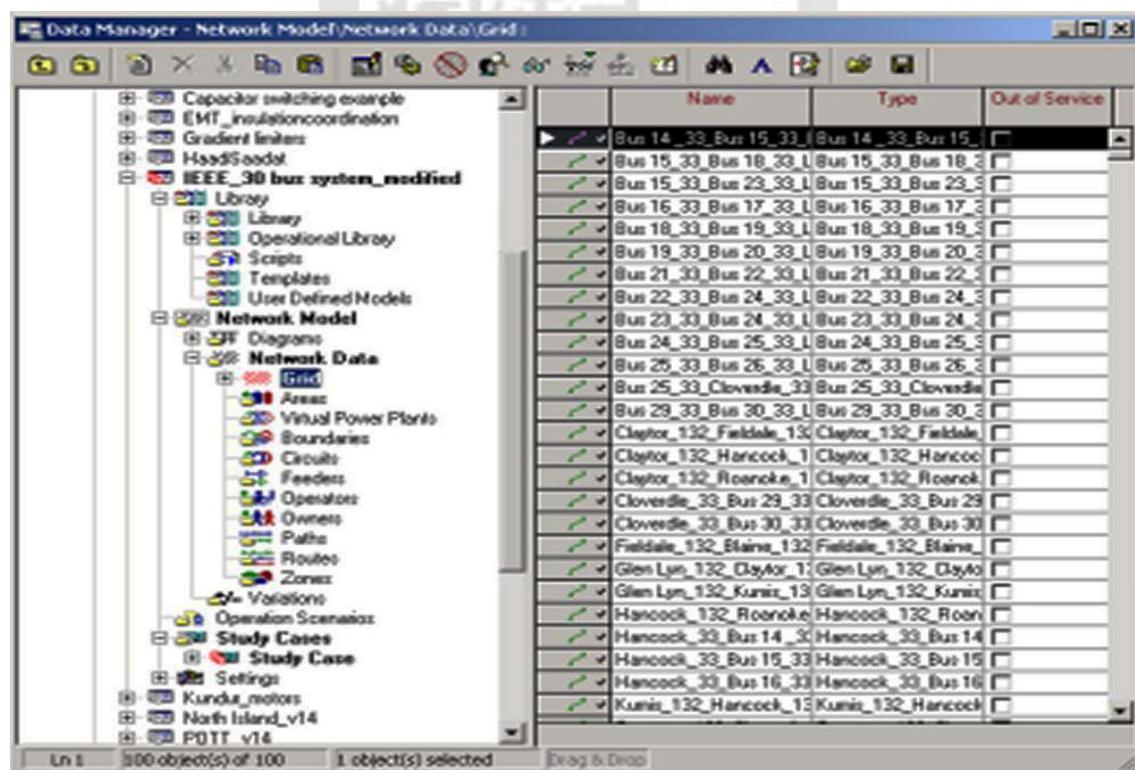


圖 3.19 數據庫整合示意圖 [136]

3.4.3 分散式發電 (Distributed Generation)

電力系統現象，例如反向潮流，電壓驟降和驟升，故障水平變化和設備負載變化，是與電力系統中分散式發電相關項目 [圖 3.20]。可再生資源的高揮發性發電，包含不斷增加的創新設備的網絡。模型庫為用戶提供了使用發電機和轉換器模型，太陽輻射，燃料電池，風力發電機和電池組等功率計算及動態模型。從不平衡的網絡評估和電壓降/上升計算到準動態仿真和電壓曲線優化。使用承載能力計算，可以評估可再生能源的剩餘容量，同時可以執行概率分析和可靠性分析，以確定不確定性風險。DIgSILENT-Power Factory [137] 的功能有基於太陽輻射的集成功率計算的太陽光電系統模型，風力發電機，電池存儲和其他可再生能源發電單元的動態模型，包括風電場/太陽光電站主控制器的各種無功控制方案，變壓器和電壓調節器的線路壓降補償對稱和非對稱網絡表示，可變發電和電池存儲應用的中長期的準動態模擬，分佈式發電的系統中實現雙向潮流，潮流和最優潮流的概率分析，諧波分析，阻抗掃描和閃變計算等計算方式。

資料來源：DIgSILENT-Power Factory，Distributed Generation



圖 3.20 分散式發電示意圖 [137]

3.4.4 電力調配（Power Distribution）

分散式發電所產生的逆潮流和電壓上升，以及電動汽車的成長，導致配電網絡的規劃和運營複雜性增加。處理相關的分析需要復雜而全面的網絡優化工具。DIgSILENT-Power Factory [138] 提供了各種工具和功能 [圖 3.21]。可以使用配電網地理信息系統和數據收集與監視控制系統數據來實現網絡的構築和測量值的輸入，分析網絡的當前狀態，評估負載和生成的主機容量，開路點優化，電壓曲線優化和相位平衡優化。用戶任意時間內掃描仿真功能可分析常規設備和可再生能源對網絡基礎設施的影響，來設計用戶定義的分散式發電和存儲系統。使用標準負載配置文件或可用的智慧電錶數據進行負載模型或太陽輻射，電動汽車，電池存儲等的太陽光電系統模型。用戶端可用網路公開地圖服務或自定義地圖服務作為背景的地理圖形，分散式發電和負荷消耗的隨機建模，概率分析，雙向潮流的電壓曲線優化，可靠性分析，最佳功率恢復，電能質量和諧波分析，保護功能，準動態模擬等界面機能。

資料來源：DIgSILENT-Power Factory[138]，Distributed Generation



圖 3.21 電力調配示意圖 [138]

3.4.5 可再生能源 (Renewables)

可再生能源發電整合 [圖 3.22] 是網絡規劃和分析的重要組成部分。 **DIgSILENT-Power Factory** [139] 結合泛用建模功能與解決方案計算方法，使用直觀的繪圖工具箱可以簡易組建網絡模型，高效率構建完整的電力工廠模型。提供全套工具來進行風電廠，太陽光電廠發電和其他可再生能源發電廠的電網連接和電網影響分析的研究。 使用基本內藏工具可以自動執行重複任務，以簡化分析過程。
DIgSILENT-Power Factory 的主要功能有穩態潮流計算，設定點特性的功率控制器，太陽輻射的整合功率計算太陽光電系統模型，短路計算提供帶有動態電壓中長期的擬動態仿真，隨機風模型和概率分析工具，平衡和非平衡穩定性模擬，多域協同仿真適用於已建立的風力渦輪機和發電機/轉換器類型，太陽光電系統，電池儲能等模型，用戶定義的準動態及動態仿真的建模，電能質量評估，頻率的諾頓等效項的諧波-分析，阻抗掃頻和閃爍計算，模型頻率響應分析。

資料來源：**DIgSILENT-Power Factory**，Renewables



圖 3.22 可再生能源示意圖 [139]

3.4.6 潮流分析 (Load Flow Analysis)

DIgSILENT PowerFactory [140] 提供了一系列潮流計算方法 [圖 3.23]，包括完整的交流平衡和不平衡技術和直流線性方法。具有電流或功率失配迭代的增強型非解耦牛頓-拉夫森解決方案技術通常會為所有饋線產生低於 1 kVA 的四捨五入誤差。所實現的算法具有穩定性和收束性，幾個迭代級別可確保在所有條件下收束，並具有可選的自動降載和昇載修改功能，快速且穩定解決有功功率流和電壓角的直流潮流。主要功能有交流和直流耦合電網的平衡和不平衡潮流，網格直流超電網潮流分析，先進的數值求解器，可從任意起點進行快速而穩定的收束，有功/虛功功率和電壓調節選項，並聯和抽頭控制器和網絡控制功能，本地和遠程控制選項，按負荷和發電量分配互換時間表，電壓相關的發電機能力曲線設定有功和虛功功率極限，用戶可定義的潮流控制器，簡易負載/發電比例縮放，以及自動饋線負載縮放。

資料來源：DIgSILENT-Power Factory，Load Flow Analysis

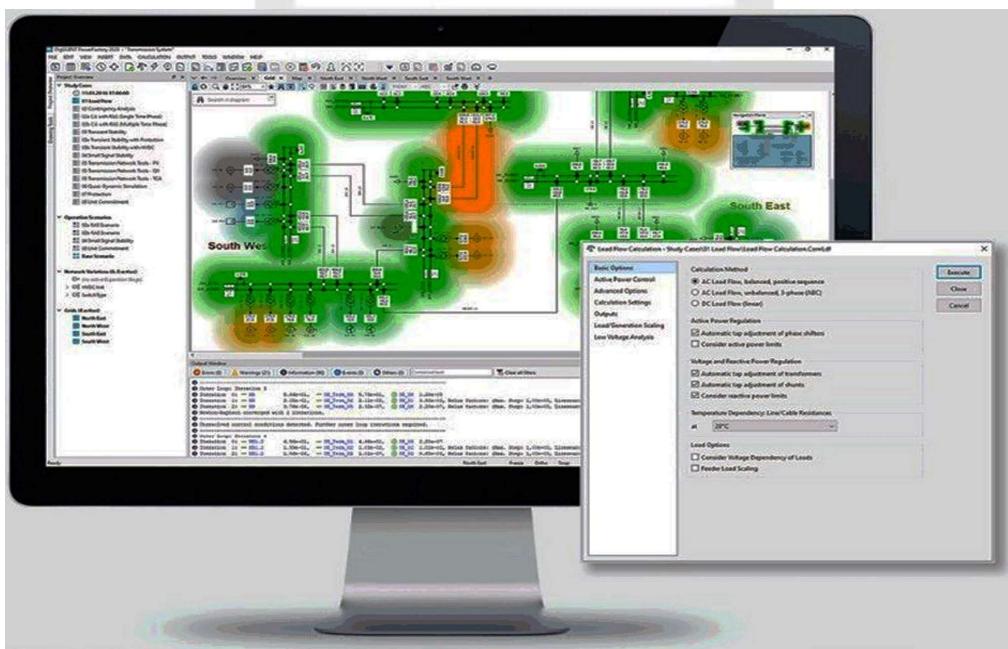


圖 3.23 潮流分析示意圖 [140]

3.4.7 網絡圖和圖形功能 (Network Diagrams and Graphic Features)

DIgSILENT PowerFactory [141] 提供用戶能夠可視化電氣網絡 [圖 3.24]，包括基於 GPS 坐標的地理表示。功能包括在圖形和數據之間簡易導航，圖表圖層以及許多圖表著色選項。可以創建自定義的圖形，原理圖和設計視圖的簡化單線圖顯示了完整的開關和組件模型，通過開放式街道地圖，Google Maps 等地圖服務器界面自動進行背景地圖表示，自動生成區域交換圖，豐富可視化網絡圖，地圖，圖像，文本，圖等註釋圖層，單線圖處理，現場圖和變電站圖的自動繪製或輔助繪製全部或部分網絡，饋線，保護設備，分支機構，站點和變電站圖以及圖的自動展開，變電站配置全局模板庫，多種圖表著色和結果可視化模式，導航窗格功能，查看書籤以在縮放區域之間快速導航，交互式拆分視圖，可同時處理多個圖表或繪圖。

資料來源：DIgSILENT-Power Factory[141]，

Network Diagrams and Graphic Features

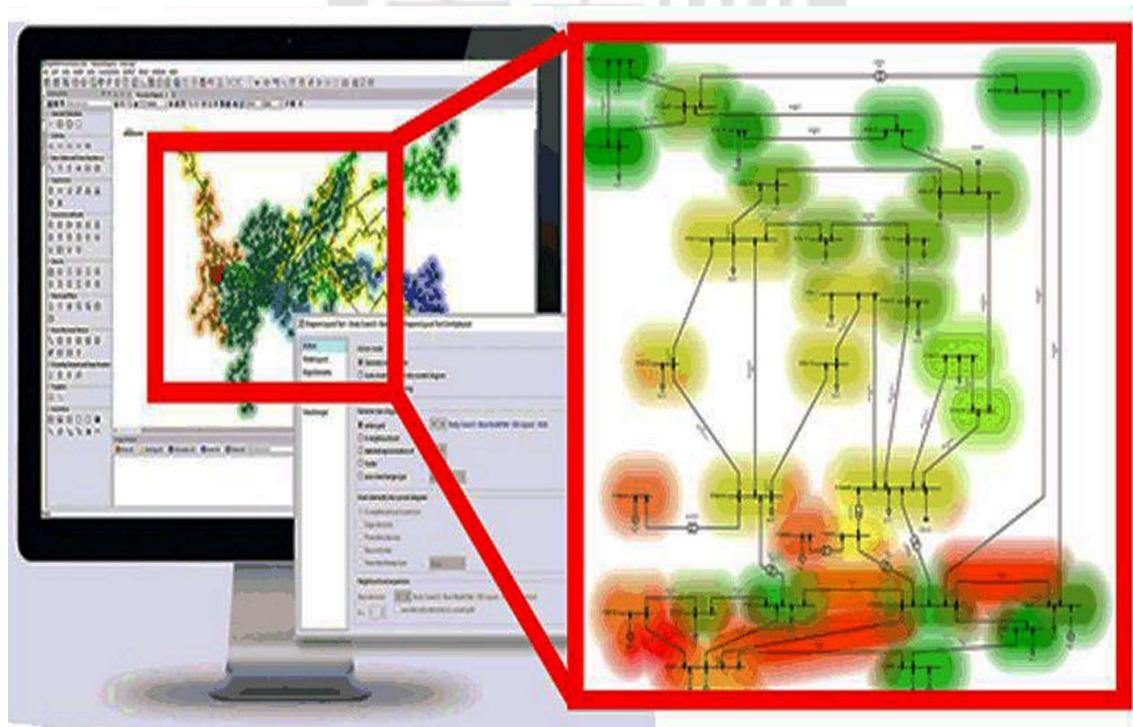


圖 3.24 網絡圖和圖形功能示意圖 [141]

3.4.8 DIgSILENT Pacific-新西蘭島嶼動態建模 2012

DIgSILENT Pacific 公司 [86] 是澳大利亞的墨爾本，珀斯和布里斯班等地電力系統公司，從事發電控制系統設計，輸配電網和控制，再生能源等研究。新西蘭孤島網絡應用的案例 [圖 3.25] 是利用各種生質能源，風能源，太陽能源等可再生能源在島嶼建立不同網路的模型。島嶼電網因為沒有大型發電廠，通常使用性能較低的柴油發電機，而柴油發電機必須在額定容量下運行，所以利用太陽光電和風能代替常規發電機，而太陽光電和風力發電會引入功率振盪，可能導致在極端情況下不穩定的電力損害，所以中長期島嶼電網設計必須準確地模擬發電和負荷的動態模型及用功率譜密度來隨機描述風的湍流，渦輪功率輸出 1,000/秒，功率輸出：600 千瓦～ 3,000 千瓦，模擬電壓 1,000/秒，電壓範圍：1.05 ～ 1.13，DIgSILENT PowerFactory 提供了不依賴傳統模型採用易於動態建模，提高結果的準確性，成為風能的許多世界範圍的研究藍本。

資料來源：DigSILENT Pacific ，Island Dynamic Modelling - Example

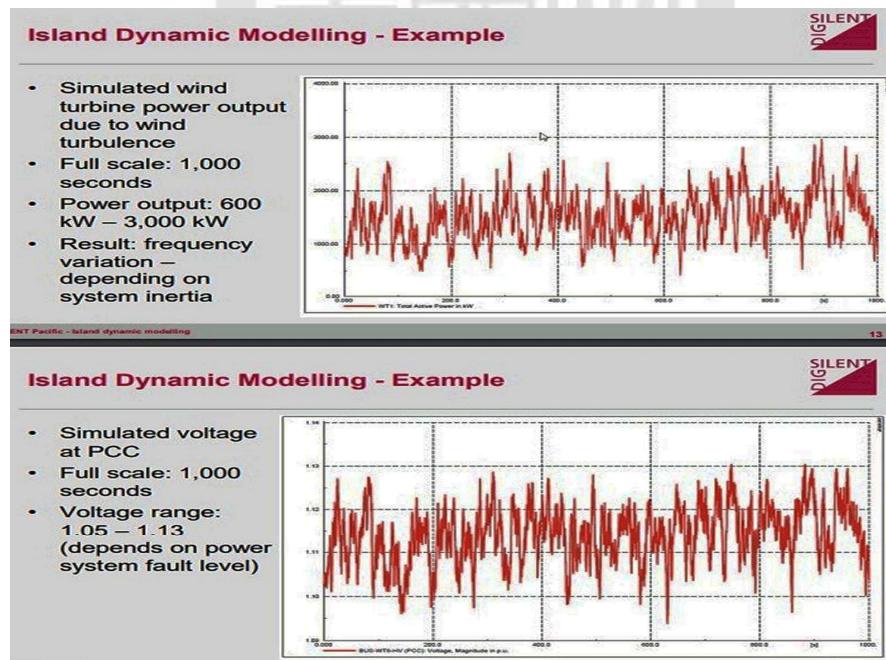


圖 3.25 新西蘭島嶼動態建模 [86]

3.4.9 使用 DIgSILENT 編程語言進行動態鐵路模擬

本案例使用 DIgSILENT PowerFactory 嵌入式 DIgSILENT 編程語言 (DPL) 應用程序 [87] 對鐵路運輸電氣系統 [圖 3.26] 進行建模和仿真。DPL 命令可根據牽引力曲線制動力曲線和列車速度曲線直接用於控制單線網格。在這項研究中，火車運轉的模擬被認為是三個操作模式的序列，即加速模式，恆定模式和製動模式。仿真結果表明，電功率，相電壓和距離隨時間和速度變化。這種特色設計帶來了特定的成果，以改善鐵路運輸系統和鐵路系統研究的進一步質量。

資料來源：IEEE，Dynamic railway simulation using DIgSILENT programming language

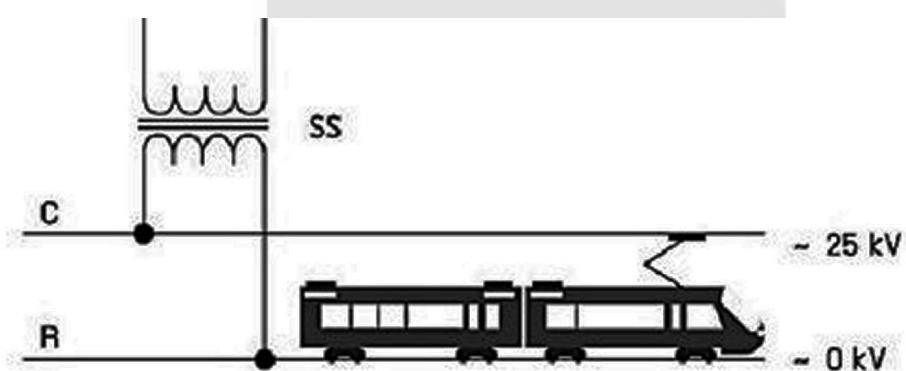


Fig. 1 Direct feeding configuration.

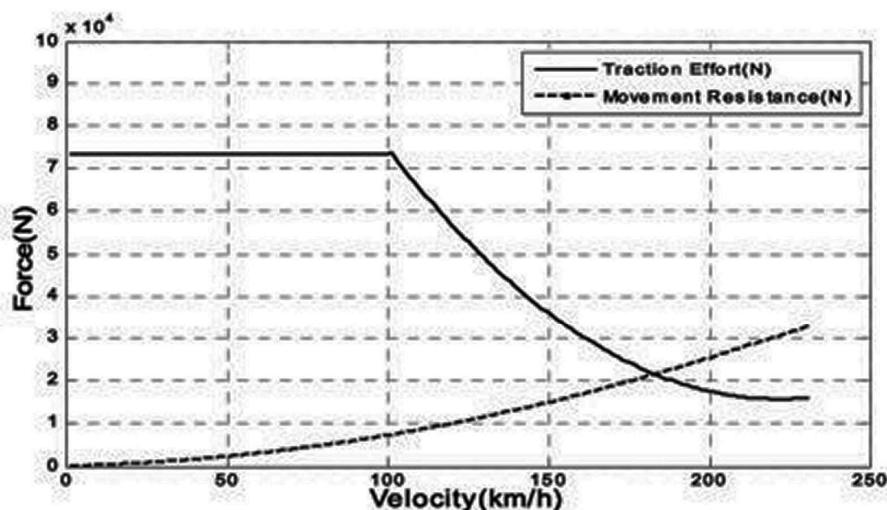


Fig. 8 Tractive effort and movement resistance curve.

圖 3.26 火車運轉的模擬 [87]

3.4.10 使用 DIgSILENT Power Factory 平台來評估智慧型微電網之最佳系統架構

崙山科技大學在太陽能屋已規劃一智慧型微電網之實作場域，系統架構圖如下

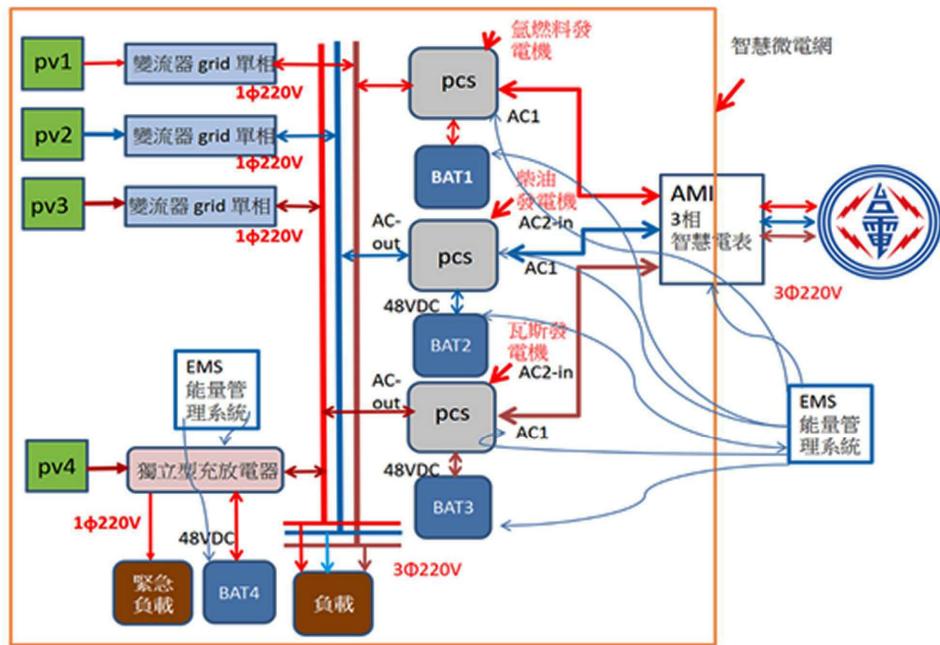


圖 3.27 崑山科技大學太陽能屋智慧型微電網之規劃

本系統是一分散式微電網，主要由三個電力供應系統組成。

第一部分為市電電源：

3 ϕ 220V/60Hz 市電電源透過三相智慧電錶分接三組雙向電力調節器(PCS:Power Conditioning System)併入系統匯流排。三台 PCS 同時各自連接一 48V/3.41kWh 之磷酸鋰鐵儲能電池組。另外也分別連接 5kW 氢燃料電池、3kW 瓦斯發電機與 3kW 柴油發電機。

第二部分為太陽能併聯發電系統：

共有 5.4kW 多晶型、3.54kW 單晶型與 4.1kW CIGS 型三組太陽能系統發電分別透過單向變流器併聯到系統匯流排上。

第三部分為緊急負載供電系統：

此系統被設計成維生系統供電用。此緊急負載供電系統平時皆併聯到系統匯流排上，可接受其他兩部分電力供應給緊急負載用電並對儲能電池充電。本部分以

一台逆變控制器為核心，除了併聯 9kW 太陽能發電系統外，也連接了 3 組 48V/3.41kWh 之磷酸鋰鐵儲能電池組。

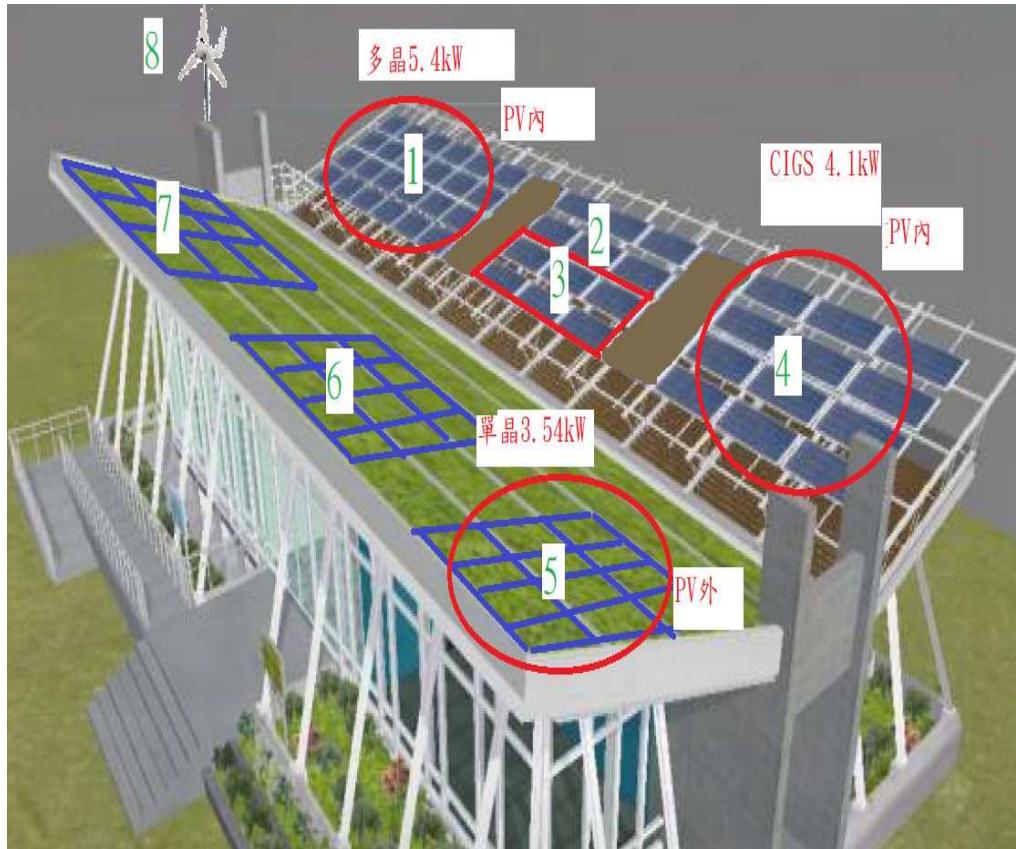


圖 3.28 太陽能屋屋頂六組太陽能模組系統配置圖。

三個部分需透過能量管理系統(EMS：Energy Management System)來作最佳電源排程與調配。當然，EMS 在微電網中的運作依據是該系統之明日負載預測以及明日太陽能發電系統預測資料，如 [圖 3.29] 所示。



圖 3.29 EMS 運作關聯圖

在 EMS 系統之設備資料庫中，所有設備的最佳參數都與明日之負載與發電預測資料相關。假設負載需求與太陽陽能發電量是固定的，那麼我們透過 DIgSILENT Power Factory 的平台模擬電源的排程與調配，一定可以設計出最佳的系統設備參數。例如：第一部分中三相智慧電錶的功能與規格，三台 PCS 的容量、反應速度、斷電與復歸時間，氫燃料電池之發電容量與反應時間，瓦斯發電機的發電容量、反應時間與瓦斯桶容量，柴油發電機的發電容量、反應時間與柴油油桶容量，以及儲能電池組 BMS 之運作參數。第二部分中三台併聯型逆變器的容量與反應速度，以及三組太陽能發電模組的發電容量與反應時間。第三部分中逆變控制器的容量與反應速度，獨立型 EMS 之功能與規格，太陽能發電模組的發電容量與反應時間，以及儲能電池組 BMS 之運作參數。然而，每一天的負載與太陽能發電資料都不同，因此，EMS 最佳運作下的所需的設備參數也不同。因此針對一年 365 天季節性的負載與發電資料變動，就有 365 種設備參數組合。在某些設定的成本或效益之 KPI 指引下，我們可以折衷找出最佳的系統設備參數。因此，我們需要像 Power Factory 這樣的平台工具來模擬與分析在各種狀況下系統的反應。有了這樣的數量化模擬工具，我們就可以最經濟的方式來規劃與建置微電網，因為運作上會以最少代價或最大效益來完成最佳排程與調度程序，因此，我們就可稱它為智慧型之微電網。

第四章 電力系統的氫能源之規劃

4.1 概要

在論述電力系統的氫能源之規劃前，首先伸述本研究的中心構想：

4.1.1 傳統集中式電力系統轉型分散式電力系統

4.1.1.1 傳統集中式電力系統是由中央指揮中心統一管理電力系統的發電系統，輸送電力系統，配電系統等各項作業。優點是電力品質的維持與供電的穩定性。分散式電力系統 [88] 是電網與多種小型發電和儲能設備連結。優點是臨近供電區避免長程電力傳輸的損失，在偏遠區域即刻提供電力，再生能源可搭配智慧型電網電表及儲能系統不易有大規模停電的問題。

4.1.1.2 傳統集中式電力系統停電事故案例：(1) 2017 年 8 月 15 日 16 時 51 分因為中油更換天然氣管線發生事故 [3]，台電大潭火力發電廠的電力系統停止運作，造成臺灣各地區大規模停電事件，接連數日的區域性停電，更造成民間企業的重大損失。(2) 2002 年 8 月 14 日 16 時 10 分美國和加拿大發生大停電 [4]，事故期間有 100 部以上的發電機跳機，造成 50 萬用戶停電。(3) 2019 年 8 月 9 日 16 時 52 分英國因為當天電力系統遭受連續雷擊 [5]，離岸風力機組及燃氣機組及配電系統的電源跳脫，系統頻率下降，低頻卸載採取保護措置，造成 110 萬用戶停電。前述的停電事故，顯示傳統集中式電力系統在電力品質維持，供電潮流的穩定上的脆弱性。

4.1.2 分散式電力系統

4.1.2.1 左峻德等人 [89] 論述集中式電廠或電網因為其供電系統上的結構問題，如果發生區域性故障事件容易引發全面性大停電的連鎖事故，所以傳統式電力系統的電力供應結構由集中式發電轉型為分散式發電為未來的電力系統的發展趨勢 [圖 4.1]。而發展智慧型電網，除了有效監控與調度分散式電源，改善現行的電網保護及電壓，頻率的調整，經由智慧型電網保護輸電系統以及需量反應，隨時掌

握電網頻率，電壓控制的各種有效機制，可以避免電網因為電力系統的連鎖事故而引發的大規模停電。

資料來源：左峻德等人，分散式電力系統相關經濟與產業效益分析

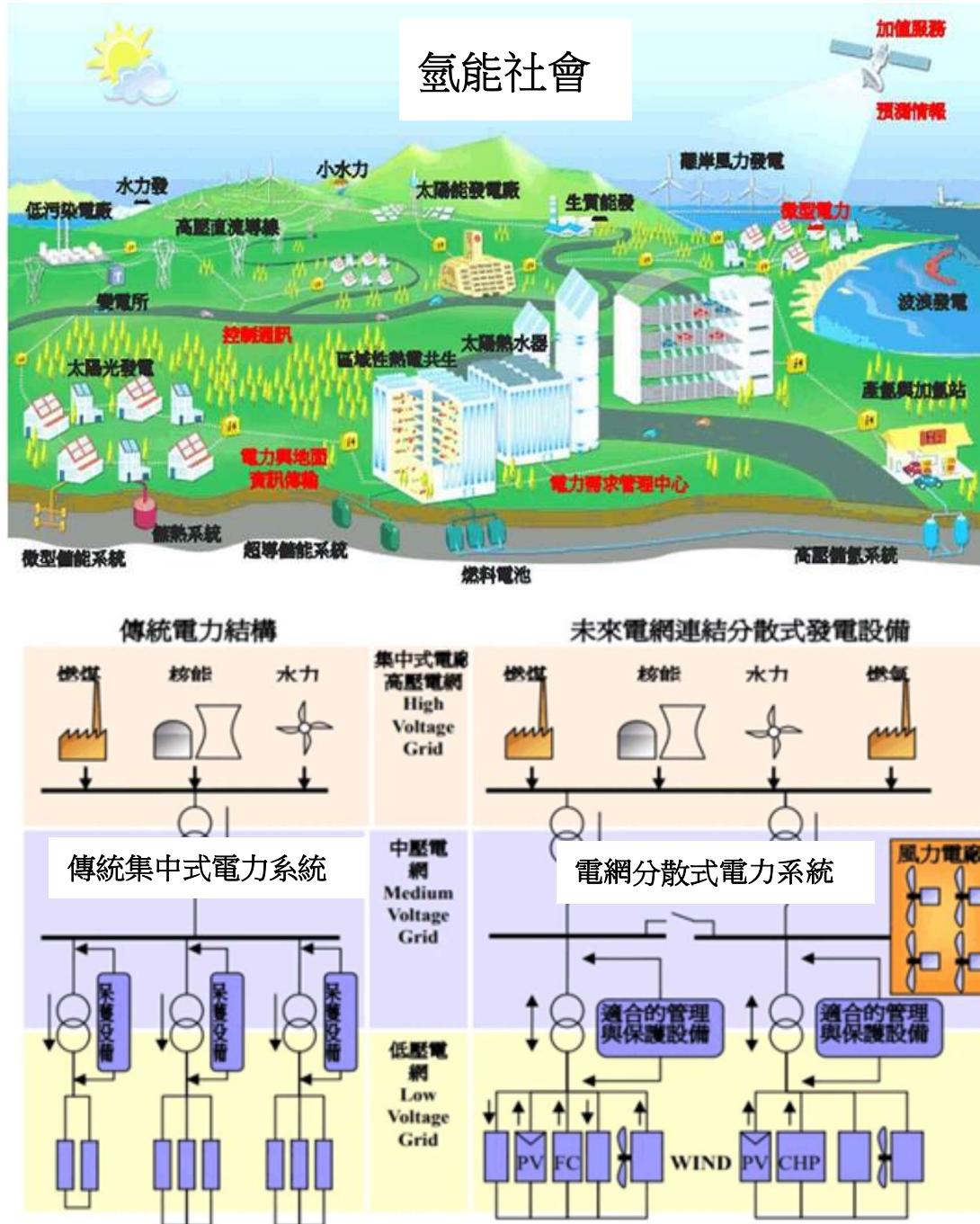


圖 4.1 集中式電網與分散式電網與智慧電網 「89」

4.1.2.2 星型分散式圖例 [圖 4.2] 將一個整體性的組織，地域，分割成數個大集團，每個大集團設立中心機構，管理大集團的各項事務。同樣每個大集團內也可分割成數個小集團，各自設立管理機構，處理小集團的各項事務。

4.1.2.3 假想台電公司星型分散式電力系統圖例 [圖 4.3] [90]：現行的台電公司的電力系統管理中心設立在台北市，統一管理全台灣的電力系統。假想台電公司的星型分散式電力系統圖形的構造，可分為（1）假想北部地區星型分散式電力系統（2）假想中部地區星型分散式電力系統（3）假想南部地區星型分散式電力系統（4）假想東部地區星型分散式電力系統，各設置地區電力系統管理中心，平時可以調度地區內的電力需求供應，如遇緊急突發停電事件則可以立即支援臨近地區的電力需求供應。

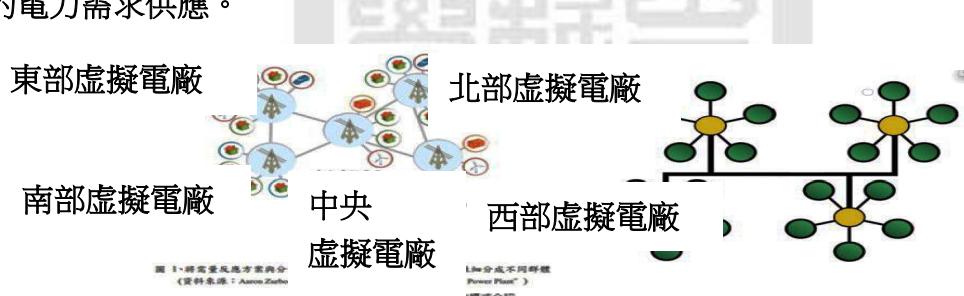


圖 4.2 常見星型分散式圖形的圖例

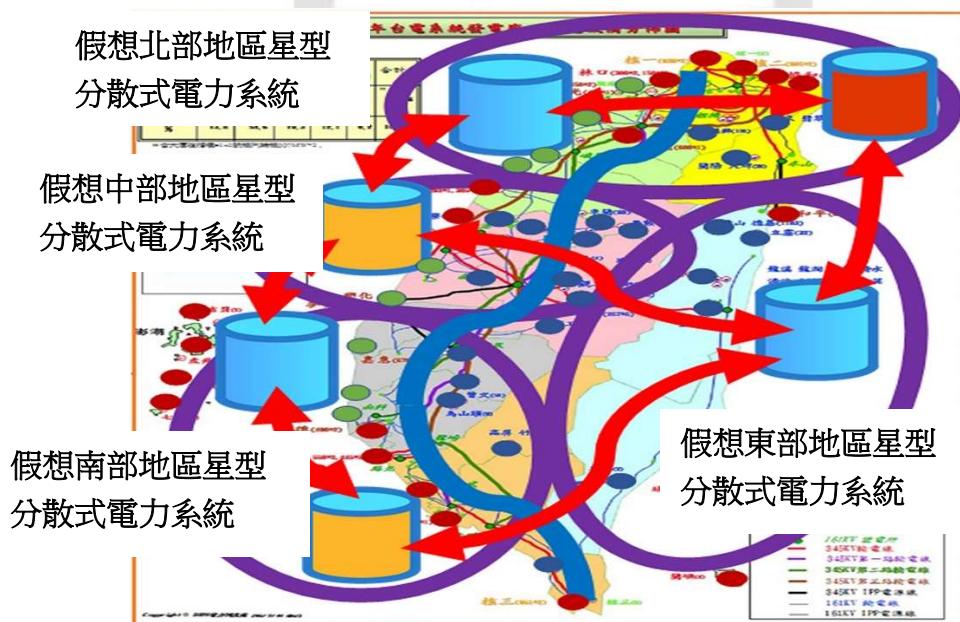


圖 4.3 假想台電公司星型分散式電力系統圖例

4.1.2.4 假想北部地區星型分散式電力系統圖例：

- (1) 水力發電廠：石門水庫水力發電廠，桂山發電廠，蘭陽發電廠等
- (2) 燃煤/燃氣火力發電廠：林口電廠，大潭電廠，國光電廠等
- (3) 核能發電廠：金山核一發電廠，國聖核二發電廠，龍門核四發電廠
- (4) 太陽光電發電廠：大潭光電，北儲光電，竹工光電等
- (5) 風力發電廠：林口風力，觀園風力，大潭風力等

如 [圖 4.4] 所示，水力發電廠與燃煤/燃氣火力發電廠與核能發電廠等相互間連結為一個假想地域型電力系統，加上各個發電廠設置民間企業製造氫輔助發電及鋰電池儲能設備，如遇緊急突發停電事件則可以立即支援臨近地區的電力需求供應。



圖 4.4 假想北部地區星型分散式電力系統圖例

4.1.2.5 假想中部地區星型分散式電力系統圖例：

- (1) 水力發電廠：明潭發電廠，大甲溪發電廠，萬大發電廠等
- (2) 燃煤/燃機火力發電廠：台中電廠，麥寮電力，星能電力等
- (3) 太陽光電發電廠：中火光電，龍井光電，彰濱光電等
- (4) 風力發電廠：中港風力，中火風力，彰工風力等

如同 4.1.2.4 假想北部地區電力系統分散式星型圖例所述，中部地區的電力系統加上各個發電廠設置民間企業製造氫輔助發電及鋰電池儲能設備，如遇緊急突發停電事件則可以立即支援臨近地區的電力需求供應。



圖 4.5 假想中部地區星型分散式電力系統圖例

4.1.2.6 假想南部地區星型分散式電力系統圖例：

- (1) 水力發電廠：曾文水庫發電廠，烏山頭發電廠等
- (2) 燃煤/燃氣火力發電廠：興達電廠，南部電廠，大林電廠等
- (3) 太陽光電發電廠：七股光電，永安光電，核三光電等
- (4) 風力發電廠：恆春風力等

如同 4.1.2.4 假想北部地區星型分散式電力系統圖例所述，南部地區的電力系統加上各個發電廠設置民間企業製造氫輔助發電及鋰電池儲能設備，如遇緊急突發停電事件則可以立即支援臨近地區的電力需求供應。



圖 4.6 假想南部地區星型分散式電力系統圖例

4.1.3 電力系統的運營管理模擬軟體

常用的電力系統的運營管理軟體，在視覺上使用豐富色彩來表示「用電緊急地區」，「用電警示地區」，「用電安全地區」，以輔助運營管理中心作為判斷電力品質維持，供電穩定的輔助機能。

4.1.3.1 DIgSILENT PowerFactory [84] 是德國的電力系統的運營管理模擬軟體 [圖 4.7]，為輸電，配電，發電和工業用的電力系統分析軟體，提供可再生能源的仿真和電網領域的電力系統運用管理。

4.1.3.2 PowerStation (ETAP) [91] 是美國的電力系統的運營管理模擬軟體 [圖 4.8]， ETAP 電力系統分析軟體提供單線圖設計，虛擬實境(Virtual Reality)設計，電力系統的分析，仿真，監視，控制，優化和自動化等多項機能。

4.1.3.3 PSS®E (Power System Simulator for Engineering) [92] 是德國 SIEMENTS 的電力系統的運營管理模擬軟體 [圖 4.9]。為電力系統提供的高性能傳輸計劃和潮流，動態，短路，偶發性分析，電壓穩定性，暫態穩定性仿真等各種分析機能。

資料來源：**DIgSILENT-Power Factory**



圖 4.7 DIgSILENT PowerFactory 「84」

資料來源：Operation Technology, Inc.[91]，ETAP

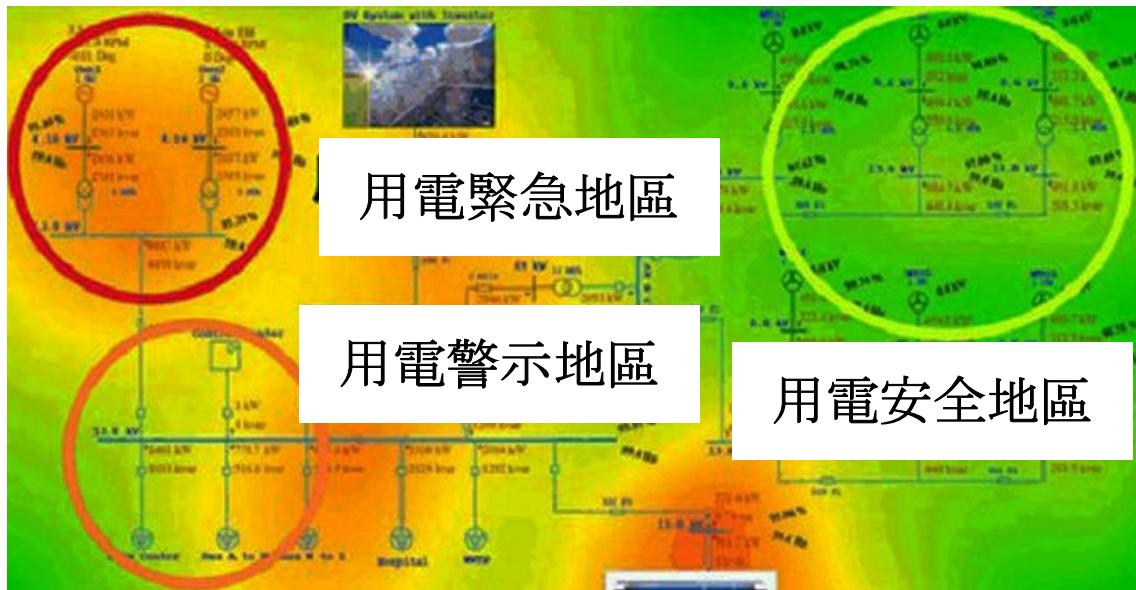


圖 4.8 PowerStation(ETAP)

資料來源：SIEMENS[92]，PSS®E

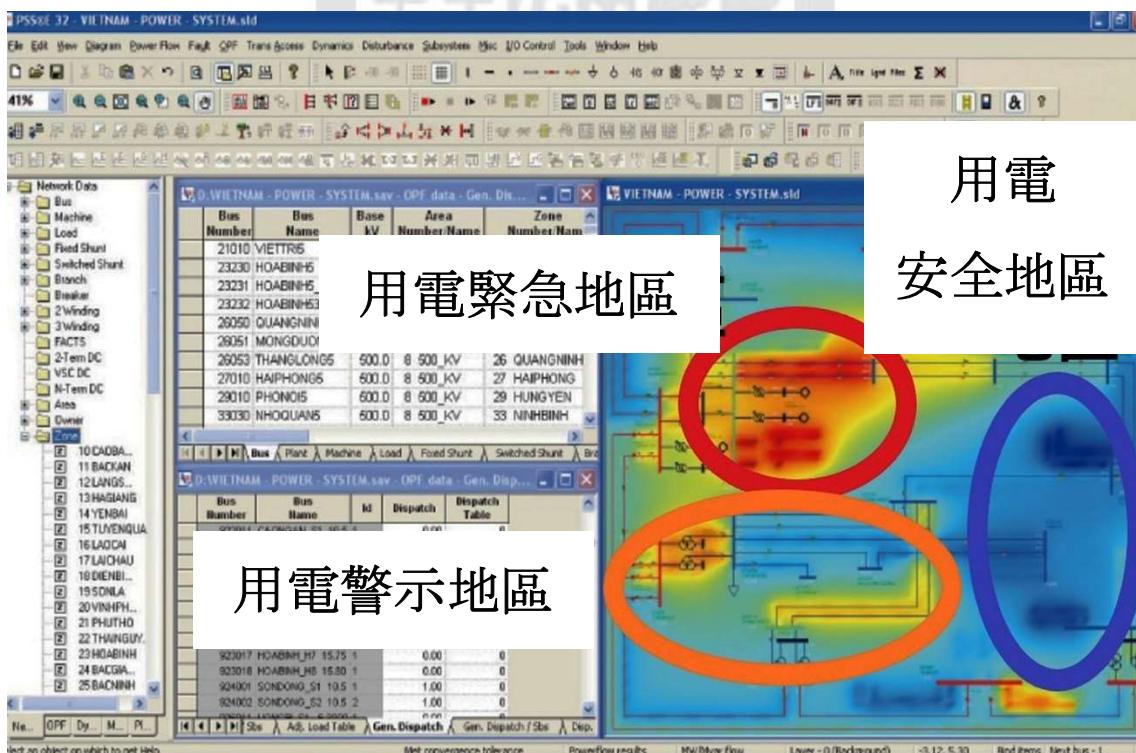


圖 4.9 PSS®E (Power System Simulator for Engineering)

4.1.4 虛擬電廠 (Virtual power plant)

陳彥豪等人 [93] 提出虛擬電廠 是一種雲端的分散式電廠，利用信息和通信技術和物聯網設備，集成多種類型的電源以提供整合性電力系統。能夠在短時間內提供峰值負載電力或負載的發電。可以替代傳統的發電廠，同時提供電力系統具有高效率和靈活性運作模式機能。如 [圖 4.10] 電力公司將配電地區依需量反應與分散式電源，把電力系統分成不同虛擬電廠系統。

資料來源：陳彥豪等人 虛擬電廠概念與運作模式介紹

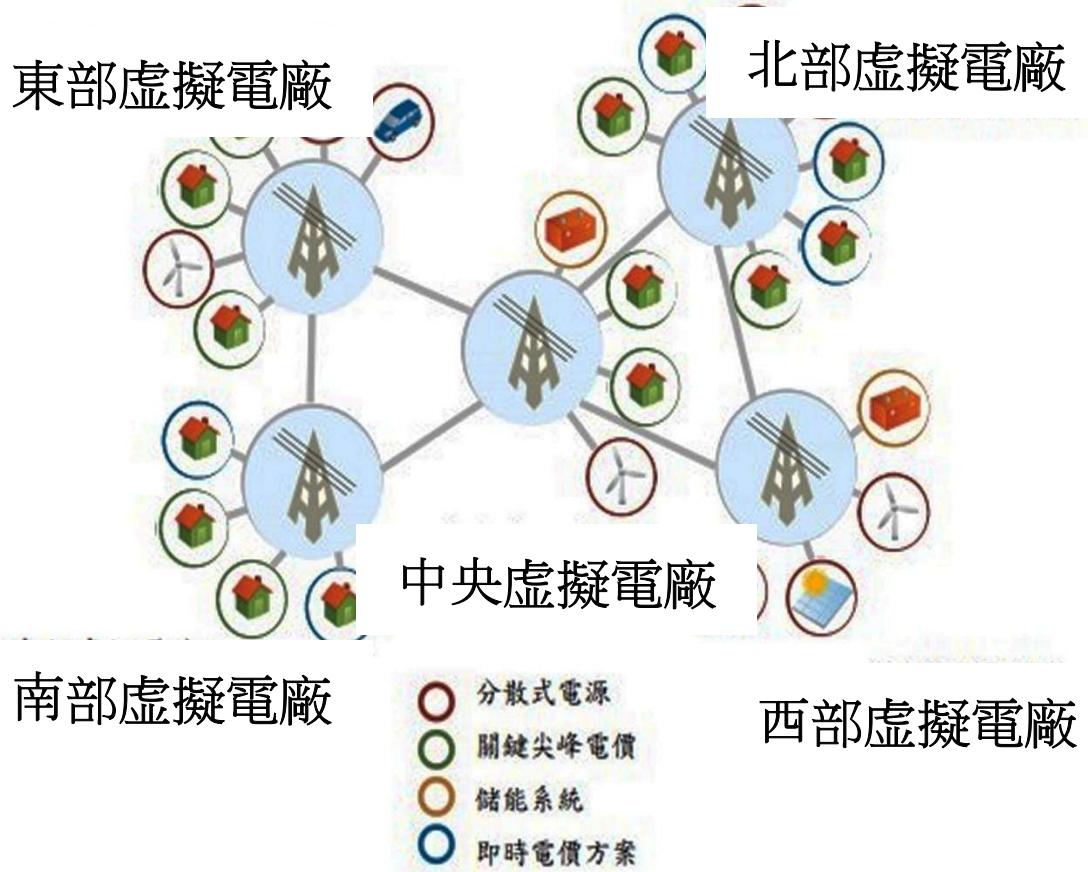


圖 4.10 虛擬電廠 [93]

4.1.5 電力系統的主要發電設備與輔助發電設備

4.1.5.1 台電公司的電力系統的供電系統[8]如〔圖 4.11〕所示，(1) 發電系統的水力，火力，核能發電廠產生電力。(2) 輸供電系統是將發電廠產生的電力升壓至 345kV 的超高壓，經由高壓電塔傳輸電力到遠方，透過一次變電所降壓為 161kV，69kV 等各種等級電壓，提供工業區，交通運輸等大型用戶用電。(3) 電力配電系統將發電廠傳來的電力，透過地區的二次變電所降壓，提供一般用戶或民生用電。

4.1.5.2 電力系統的輔助發電設備，2025 年非核家園是政府主導的電力政策，但是再生能源中的太陽光電發電廠，風力發電廠因容易受氣候環境影響形成不穩定電源。其他再生能源因為製造成本過高尚無法商業化。近年來世界各國注目氫能發電廠與鋰電池儲能電廠為未來的新電力能源的主力，在實用化之前可以短期作為基載水力，火力發電廠的輔助發電設備。

資料來源：台灣電力公司電網供電資訊，台電供電系統簡介

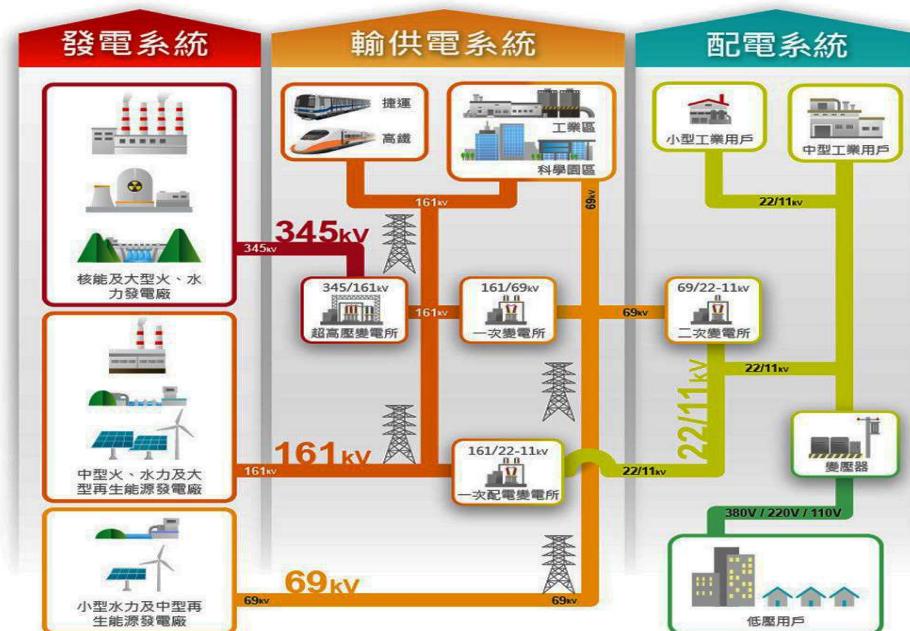


圖 4.11 台電供電系統簡介 [8]

4.1.6 氢能發電廠

4.1.6.1 氢渦輪機發電 (Hydrogen Turbine Power Generation)

1. 日本池洋株式會社與株式會社 KSF 技術合作 [圖 4.12] [94] 的氢能發電廠，利用海水電解產生氫氣，經過氫燃氣渦輪機發電，可產生 120Mwh 電力。

資料來源：池洋株式會社，氢能事業企畫書，P8~P9



圖 4.12 池洋公司氫渦輪機發電構造圖 [94]

2. 氢天然氣混合發電與純氫發電

天然氣發電中同時燃燒氫氣可以減少發電過程中的二氣化碳排放量[118]，這種混合燃燒發電已經取得進展，通過連接廉價且大量的氫氣供應，成為大規模穩定且環保的電源。燃氣輪機的主要分為兩種類型：分別注入燃料和空氣的“擴散系統”和將燃料和空氣預混合併注入的“預混合方法”。日本川崎市臨海地區開發氫與天然氣混合燃料發電，義大利建設 16MW 級純氫發電廠。[圖 4.13]

資料來源：“NEDO 水素エネルギー白書”，氫發電，P168

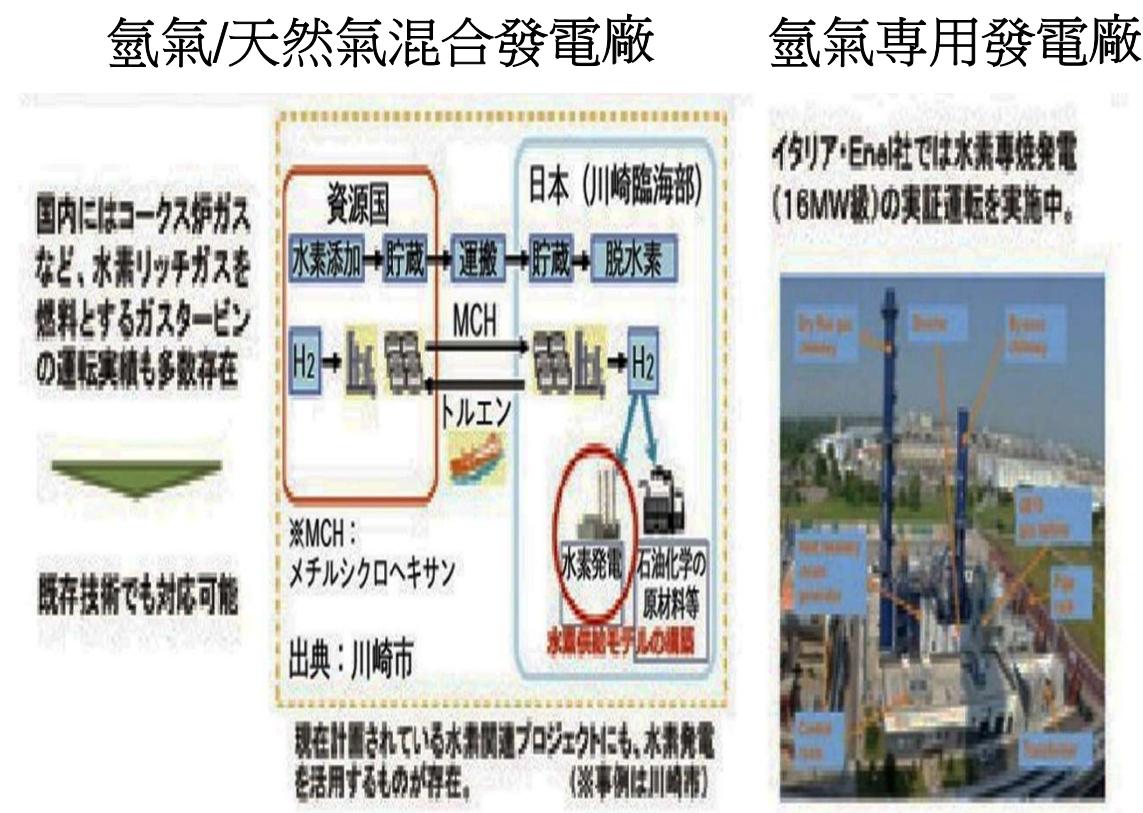


圖 4.13 氢天然氣混合發電與純氫發電 [118]

3. 川崎重工氫燃氣渦輪機

川崎重工 [118] 正在開發一種可自由改變氫氣與天然氣比例的燃氣輪機。川崎重工如[圖 4.14]所示，成功開發了每單位體積的氫氣濃度低 NOx 燃燒技術，相當於混合燃燒中天然氣的燃燒率高達 60%。

資料來源： " NEDO 水素エネルギー白書"，氫發電，P168~P169

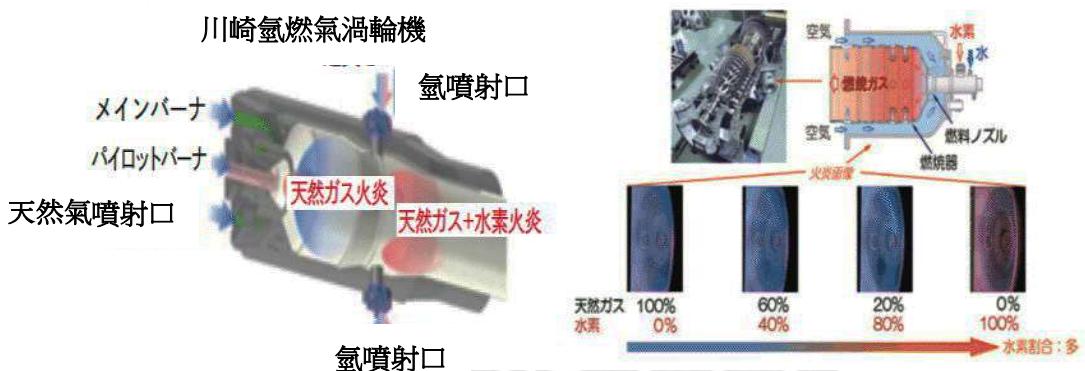


圖 4.14 川崎重工氫燃氣渦輪機 [118]

4. 日立製作所燃氣渦輪機

日立製作所[118]開發 NEDO 的多用途煤氣製造技術 [圖 4.15]，在煤氣，液體和電力的煤炭能源應用試驗工廠中，開發適用於 IGCC 的渦輪機作為用於煤氣化發電的高氫濃度的低 NOx 技術。

資料來源： " NEDO 水素エネルギー白書"，氫發電，P168

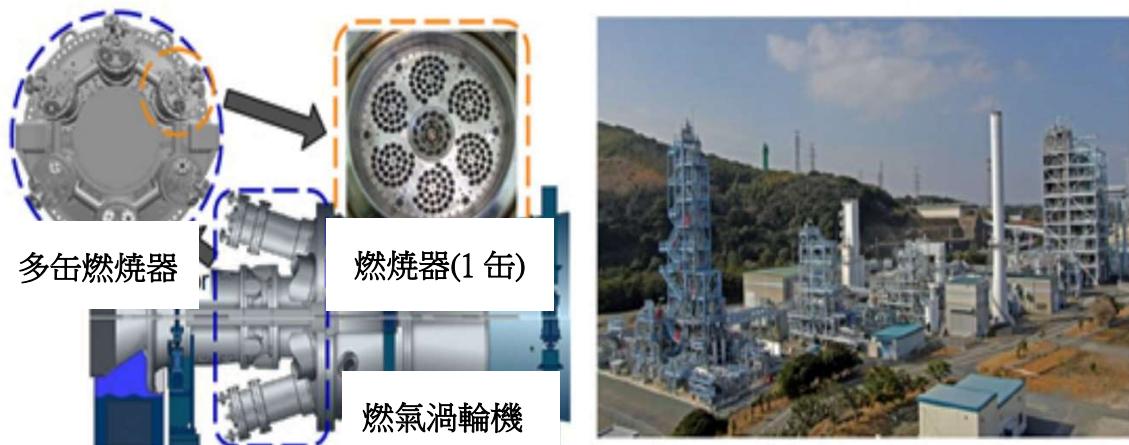


圖 4.15 日立製作所的氫燃氣渦輪機 [118]

4.1.6.2 日本的氫能源產業 [34]，日本福島氫能源研究站完成建設，2019 年 10 月全世界最大的製造氫氣工廠 [圖 4.16]，製氫裝置可製造 1 萬 kW 的氫和儲藏 900 號的氫氣，驅動這些裝置是來自太陽光電發電設備和風能等可再生能源。

4.1.6.3 韓國的氫燃料電池發電廠 [38]，有南韓西方電力公司設置+的氫燃料電池發電廠提供約 240,000 戶家庭電力 [圖 4.17]。南韓東南電力公司建立固態氧化物燃料電池設備可生產 8.350KW 電力。南韓浦項鋼鐵的燃料電池發電廠可生產 171.8MW 電力。其他的燃料電池的發展促進韓國從火力發電大國變成燃料電池發展重地。

4.1.6.4 奧地利燃氣渦輪機用氫氣發電廠 [95]，歐洲各國發展可再生能源，在未來幾年中將建造數百座風力發電和太陽光電站，奧地利從電網獲取多餘的風能和太陽能，並通過高溫電解將其轉化為氫氣 [圖 4.18]。這種綠色氫氣將與天然氣混合，驅動兩個燃氣渦輪機。氫氣將通過高溫電解直接在電廠現場生產，提供電力和熱量。

資料來源：知乎，日本不斷築高的氫能源產業壁壘



圖 4.16 日本氫燃料電池發電廠 [34]

資料來源：韓華能源建造全球首座超大型氫燃料电池發電廠



圖 4.17 韓國氫燃料電池發電廠 [38]

資料來源：NS Energy , "Green hydrogen for gas turbines in Mellach



圖 4.18 奧地利氫燃料電池發電廠 [95]

4.1.7 鋰電池儲電設備

鋰電池儲電的技術非常成熟，特斯拉〔96〕在澳大利亞的詹姆斯鎮建立全球最大鋰電池儲電系統〔圖 4.19〕，儲電容量為 100MW 的鋰離子蓄電池組。

資料來源：每日頭條，全球最大鋰電池正式啟用



圖 4.19 澳洲鋰電池儲電系統 [96]

4.1.8 電力系統中儲能技術的應用項目

陳彥豪〔72〕說明儲能技術在電力系統的發電系統及輸配電系統及用戶端的各種應用項目。儲能技術在電力系統的應用、可分為 1. 大宗能源調度 2. 輔助服務 3. 輸電基礎建設服務 4. 配電基礎建設服務 5. 用戶能源管理服務等五大類別、又可細分各種應用項目：

1. 發電系統上可用於削峰填谷、負載調配、能量管理、減少備載容量需求。
2. 輸配電系統中可用於管理電力品質、供電穩定性與可信度。
3. 用戶端可作不間斷電源以穩定供電、管理容量費用、搭配再生能源發電設備或分時電價降低用戶用電支出。

4.2 發電系統的氫能源運用管理

4.2.1 發電系統的氫發電廠

4.2.1.1 日本靜岡縣賀茂郡河津町壓縮空氣(或氫氣)儲能發電系統 [97]。日本早稻田大學和能源開發機構的 NEDO 共同在靜岡縣賀茂郡河津町設立「壓縮空氣與鋰電池」儲能發電系統〔圖 4.20〕，利用太陽光電或風力發電所產生的電力，經由「壓縮機」，如同「充電」的機能一樣，把空氣(或氫氣) 壓縮成高壓狀態，儲存在儲存塔中。等到要使用電力時，如同「放電」的機能一樣，將儲存的壓縮空氣(或氫氣) 轉動「發電機」產生電氣發電。

資料來源：スマートジャパン，"電力を「圧縮空気」

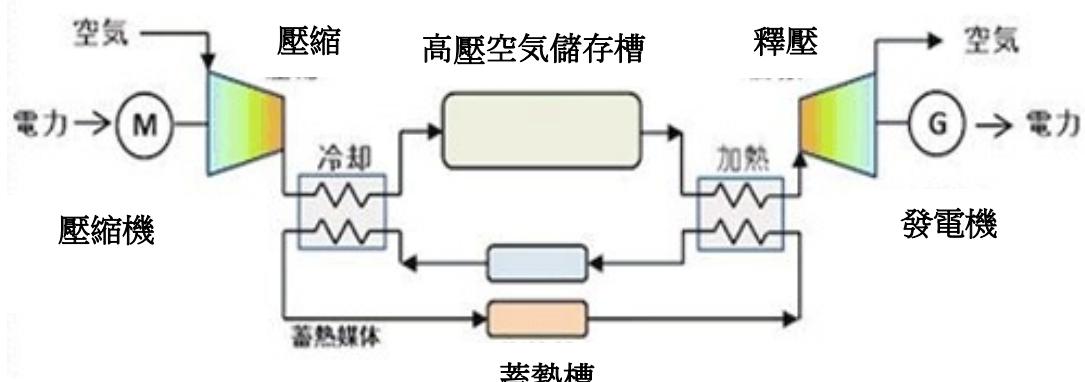


圖 4.20 壓縮空氣儲能系統 [97]

4.2.2 基載發電廠的輔助發電設備

電力系統的主要基載發電廠為水力發電廠，燃煤/燃氣火力發電廠等。下述的鴨子曲線 [107] 中，每日的用電狀態有「低峰狀態」時發電機組卸載，「尖峰狀態」時發電機組昇載，容易造成基載發電機組的故障率，如果基載發電機組能保持固定的發電量，可以在主要基載發電廠的周圍增設民間企業製造的氫發電設備及鋰電池儲電設備，作為基載發電廠的輔助發電設備〔圖 4.21〕。

資料來源：Michael Burnett，Energy Storage and the California Duck Curve

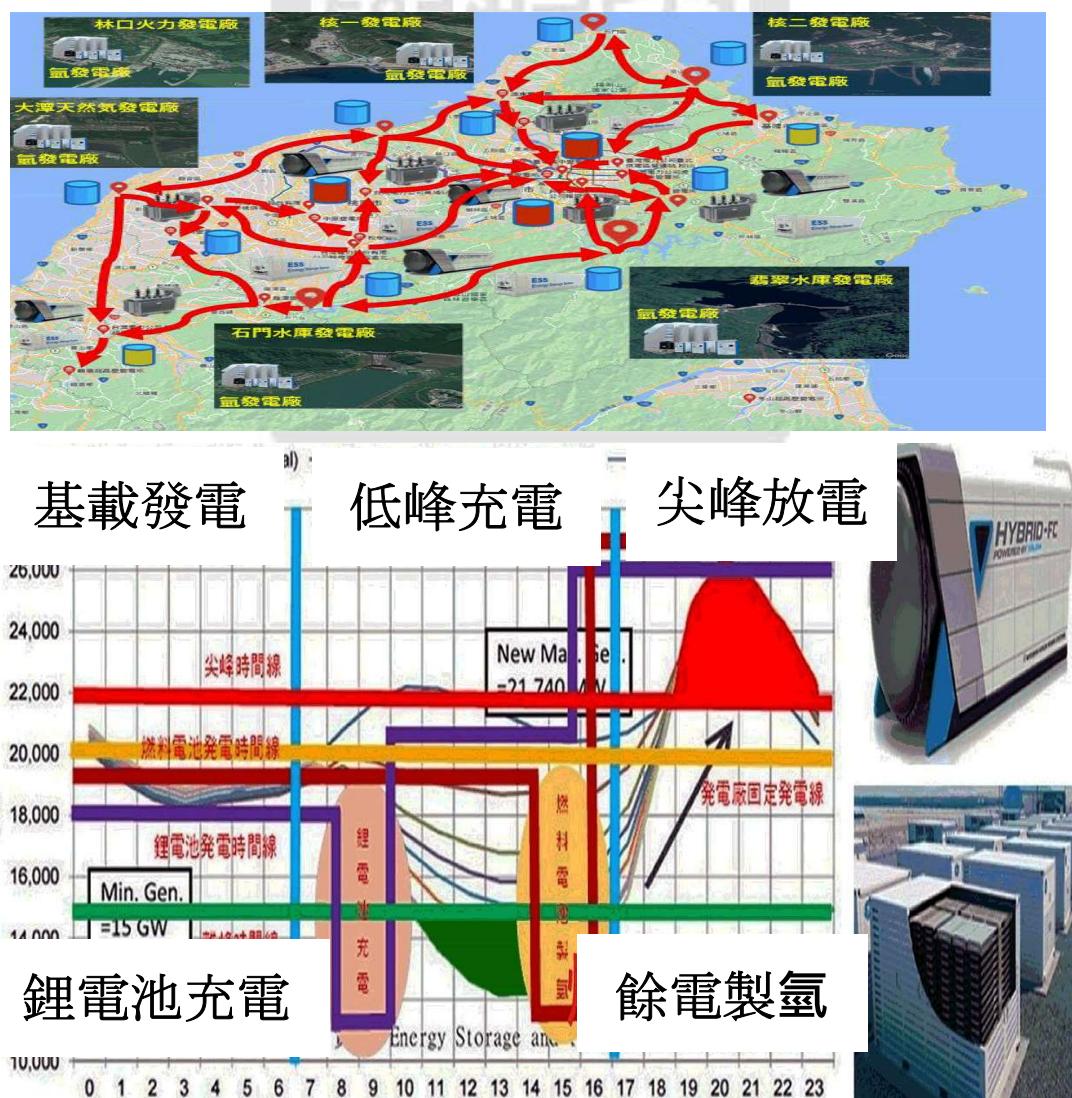


圖 4.21 發電廠的輔助發電設備 [107]

4.2.3 鴨子曲線的氫發電與鋰電池儲電的發電廠運作構想。

4.2.3.1 各地區的用電狀況可依電力系統管理軟體中的用電狀況圖示可以清楚看出（1）紅色狀態為用電緊急地區。（2）橘色狀態為用電警示地區。（3）藍色狀態為用電全地區。

4.2.3.2 鴨子曲線運作方式

鴨子曲線 [圖 4.22] [107] 顯示 0~7 為平峰狀態，10~17 為低峰狀態，19~24 為尖峰狀態。基載發電設備最良狀況是保持一定的發電量，低峰狀態要卸載，尖峰狀態要昇載，容易造成基載發電設備的歲修的設備維修損失，如能保持一定的發電量，則在歲修時減少設備維修損失。（2）低峰狀態時，基載發電設備的電力，先由鋰電池儲能輔助設備充電。（3）鋰電池儲電輔助設備充電完了後，再由氫發電輔助設備水電解，氫發電輔助設備補填氫氣。（4）尖峰狀態時，基載發電設備依然維持一定的電力，不足的電力則由氫發電輔助設備，及鋰電池儲電輔助設備的電力來補填。



圖 4.22 鴨子曲線運作方式 [107]

4.2.4 電力系統與氫發電及鋰電池儲電之構想 [圖 4.23]

各地区的用電狀況可依電力系統管理軟體中的用電狀況圖示可以清楚看出

(1) 紅色狀態為用電緊急地區 (2) 橘色狀態為用電警示地區 (3) 藍色狀態為用電全地區。

4.2.5 發電廠的基載電力維持一定的發電量

(1) 用電緊急地區，可由輔助發電設備的氫發電設備，鋰電池儲電等來對應用電的不足 (2) 氢發電輔助設備啟動需要時間，可由鋰電池儲電輔助設備先行補填電力不足氫發電輔助設備啟動完了後，再加入補填電力不足行動。

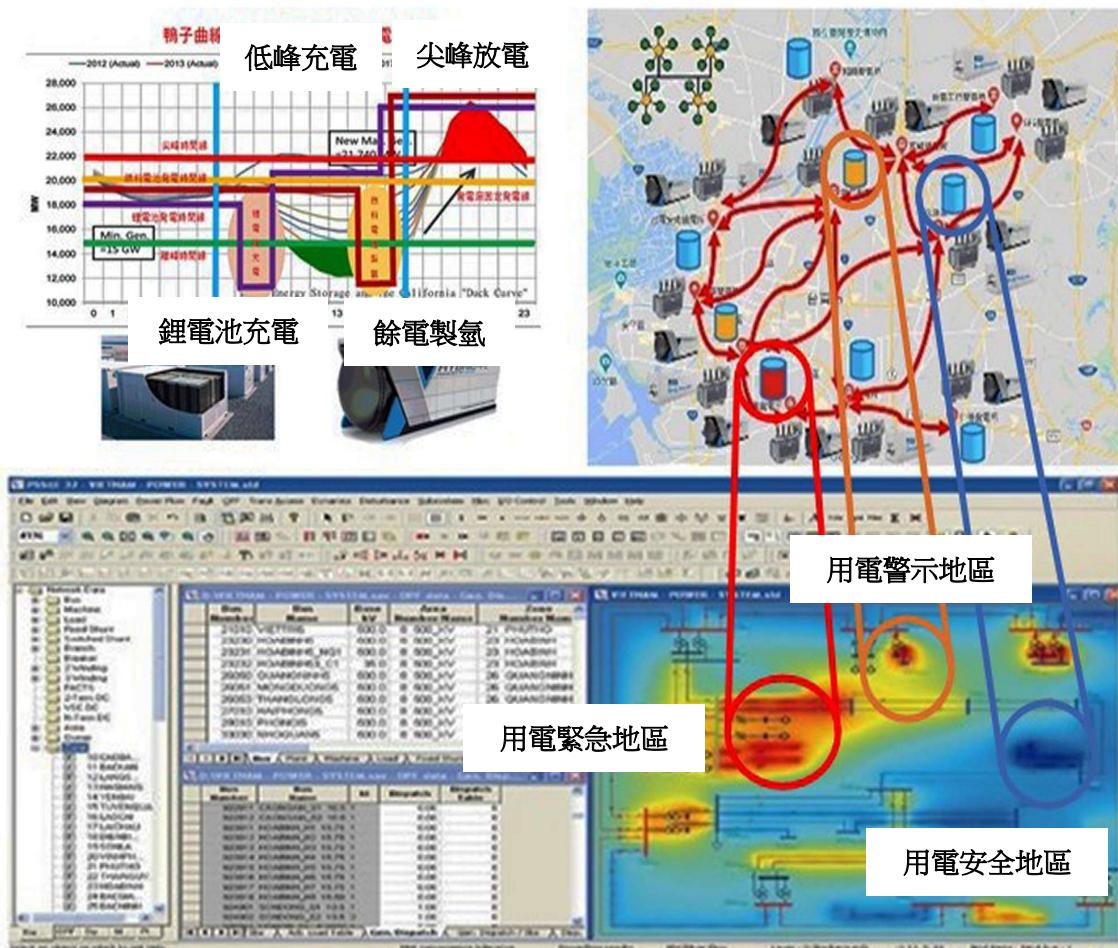


圖 4.23 電力系統與氫能發電鋰電池儲能之構想

4.3 輸供電系統的氫能源運用管理

4.3.1 輸供電系統的氫能源運用管理 [圖 4.24]

- (1) 太陽光電，風能為不穩定電源，受天候影響，發電量時高時低，容易造成電壓的頻率變動造成受電端為保護電源切斷而造成停電現象。
- (2) 採用主副雙設備，副設備為接收太陽光電，風能等傳送來的電力，經過電壓調整後，再傳送至主設備。
- (3) 主設備在接受副設備傳來的電力，此時如發生電力電壓不足現象時，可經由輔助電源設備的氫發電設備，鋰電池儲電設備，調整電力電壓。



圖 4.24 輸供電系統的氫能源運用管理

4.3.2 變電所(substation) [98]：變電所是發電，輸電和配電系統的一部分，變電所將電壓進行調整高低電壓，保護輸配電線路。除了變換電壓外，配電變電所還可以隔離傳輸或配電系統中的故障。集熱變電所在風力發電場或太陽光電站的分散式發電，需要一個收集器變電所。變電所牽引電流或互連的非同步網絡相關。這些變電所包含電力電子設備以更改電流頻率，或者從交流電轉換為直流電或反向轉換。在假想地區星型分散式電力系統的運作構想中，變電所的機能不只是傳送電力，調整電力高低壓，並同時設置民間企業製作的氫發電設備及鋰電池儲電設備[圖 4.25]。當某一個變電所發生偶發事故時，因為氫發電設備需要起動時間，其附近的變電所可以即刻起動鋰電池儲電設備補充電源，等氫發電設備起動後，再由氫發電設備所發出的電來補充電源。



圖 4.25 變電所與氫發電廠鋰電池儲能輔助設備

4.3.3 李偉宏 [99] 在智慧電網有關智慧化變電所規劃 [圖 4.26] 提出通用電氣公司 (General Electric Company, 簡稱 GE), 目前絕緣套管維護方式採用的是定期進行離線測試的方式來驗證套管，並且透過量測的測量值與之前的測試值做比較，尋找任何增加值或趨勢的增加藉以比對判斷。透過線上監測與診斷設備 (系統) 可以持續檢查和檢測故障的早期階段發展，使能計劃性停機維修/更換，防止災難性故障的發生。PAS 儀器是非常穩定的，可重複的監控適合於嚴格的環境和運作手段與遠端監控變壓器相關的要求。PAS 是監測關鍵變壓器的嶄新的高階技術標準。

資料來源：李偉宏，智慧電網有關智慧化變電所規劃



圖 4.26 智慧化變電所規劃 [99]

4.4 配電系統的氫能源運用管理

4.4.1 配電系統的氫能源運用管理 [圖 4.27]

- (1) 電力系統管理軟體顯示用電地区的電力使用狀況。
- (2) 在緊急地區，可由臨近安全地区的電力來調度電力。
- (3) 或是各配電地區內的氫發電設備，鋰電池儲電設備來調度電力。

資料來源：DIgSILENT-Power Factory



圖 4.27 配電系統的氫能源運用管理 [84]

4.4.2 配電室 [100][101]：是分配電能，計量，保護等作用。如 [圖 4.28] 所示以臺南地域為例，在假想配電地域的配電系統設置民間企業製造的氫發電設備及鋰電池儲電設備作為輔助發電設備，即使地域發生停電事故，也能快速提供電力，維持供電需求。

資料來源：每日頭條，配電室概要



圖 4.28 假想配電系統與氫發電廠及鋰電池儲能設備 [100]

4.4.3 氢發電設備用於小型社區內的配電系統 [圖 4.29] 日本 NEDO 氢能源白皮書 [53] 提出商業/工業燃料電池市場的現狀作為商業/工業燃料電池，

(1) 有磷酸燃料電池 (PAFC)，富士電機 [142] 在北九州市，南阿爾卑斯市，山形市，仙台市等地設置商業和工業用途的 100 kW 系統，到目前為止已安裝了 42 台。(2) 固體氧化物燃料電池 (SOFC)，Bloom Energy 和軟銀於 2013 年將固體氧化物燃料電池引入日本市場。

資料來源：NEDO，業務用燃料電池

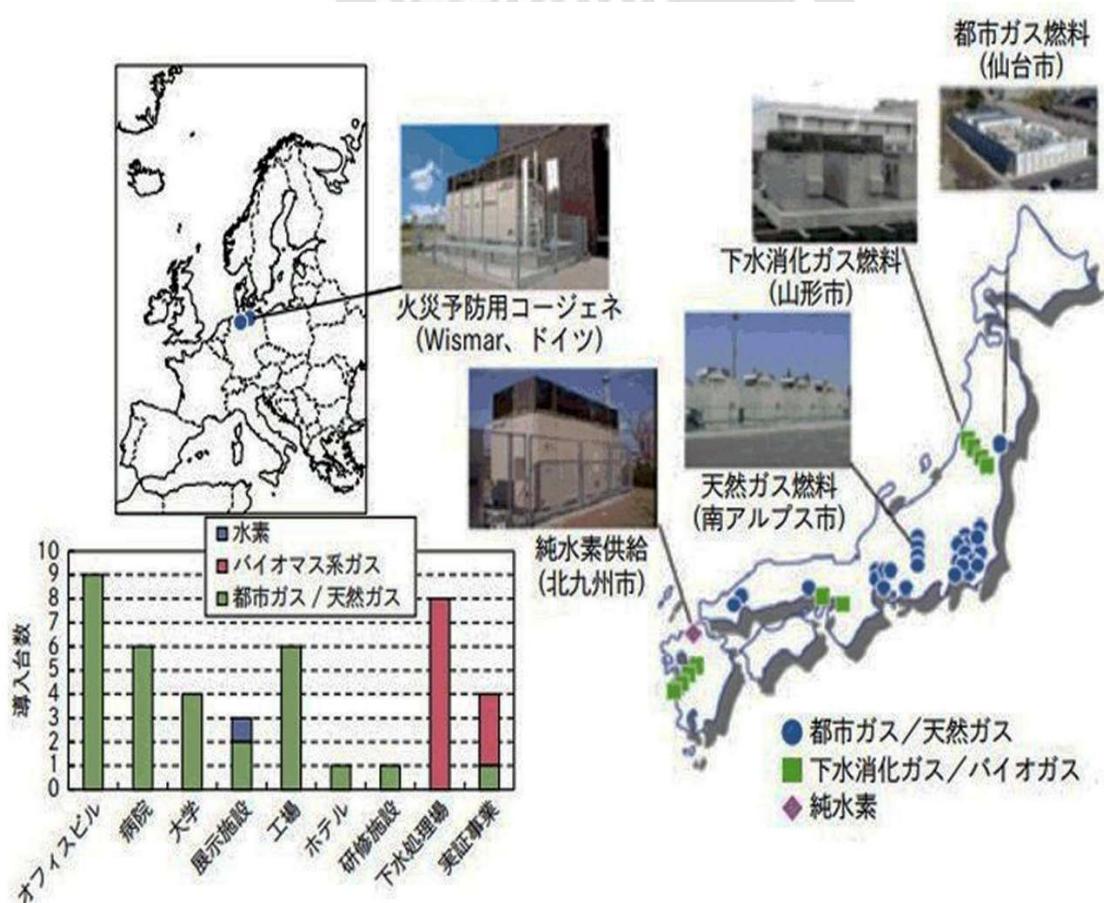


圖 4.29 小型社區內的配電系統 [142]

第五章 討論與建議

5.1 討論

5.1.1 電力系統的脆弱性危機：

20世紀是石化燃料為主要能源。石油，天然氣等帶動工業，民生，電力，運輸工具的社會經濟活動，但是相對的石化燃料所產生的 PM2.5 空氣污染，地球溫暖化環境問題日漸增加。近年來氣溫的上昇，造成炎夏酷熱，寒冬酷冷的氣候異常現象，更增加工廠，辦公室，住宅等使用電力的增加。

5.1.2 再生能源發電尚無法立即取代傳統電源問題：

自 311 日本福島核電廠事故以來，世界各國發展再生能源發電替代核電廠發電。台灣的再生能源政策是 2025 年非核家園，大力發展太陽光電發電，風力發電的再生能源發電。(1) 太陽光電發電方面，台灣地小可用發電面積受限，加上容易受陰天，夜晚的氣候環境因素影響發電效能。(2) 風力發電方面，台灣最需要用電季節為夏季，但是台灣冬季多風，夏季少風，發電量多的冬季風電無法用於夏季缺電季節。(3) 其他的再生能源如地熱，生質能，海洋能，僅有少數研究性再生能源發電，尚無達到大規模商業化價值，來取代傳統火力發電廠，核能發電廠。

5.1.3 電業法，再生能源條例法規的檢討

再生能源的興起，各種能源需要條件與環境不同，有的能源已經技術成熟，有的能源尚在實驗室中研發，熟悉多種多樣能源的人材不足。(1) 國內尚無氫能源的檢驗單位，目前氫能源的試驗單位有工研院。可是民間企業的氫能源製品，中央，各地方政府沒有實際的檢驗單位可以檢驗民間企業的氫能源製品。(2) 太陽光電方面，土地的取得，農地種電許可牽連不同行政單位，中央與地方的法規解釋不同，造成民間企業的經營困難。(3) 風力發電方面、現在借力外國企業技術，本土企業國產化尚需時多日，離岸風電和電網的連接，風場付近的漁業權歸屬漁業單位，管轄單位多業務難統一，相關法規尚待整備。(4) 地熱發電方面，多數原住民居住地

區，地熱發電廠的設立如該地原住民表決否定，則無法設立。(5) 海洋能，生質能，小水力能，氫能等可再生能源因尚無商業化價值，民間企業難以統一單位來管理發電事業。所以政府的電業法，再生能源條例等諸法規難以包含各種再生能源的需求。

有關氫能源法規的各種資料，參考 [附錄 7.5 氢法規] 的各種記述。

5.1.4 氢能發電發展問題：

氢能發電為近年新興能源發電，所以在建設成本過高或是還在實驗室研發中。(1) 氢氣的製造，如水電解製氫，化燃料製氫，光觸媒光合作用製氫等。(2) 氢的儲存與運輸，如儲氫罐，液態氫運輸車，天然氣混合管路運輸等。(3) 各種氫燃料電池在商業化之前尚需時間研發。(4) 加氫站的建設成本過高，在日本建設一座固定加氫站需 4 億日幣（約 1 億台幣），在台灣尚無加氫站的設備，這對氫能發展是一大瓶頸。(5) 基載發電廠的輔助發電設備的促進：一日，一月，一年中的發電狀況如鴨子曲線一般，有低峰時期，尖峰時期。在低峰時期將多餘的電來製氫，鋰電池儲電。在尖峰時期追加氫發電或鋰電池發電。這種基載發電廠的輔助發電設備可以維持基載電力系統的穩定性。(6) 傳統集中式電力系統轉型分散式電力系統，傳統集中式電力系統由中央管理中心統一管理，一但偶發跳電事故發生，無其他支援電力可以運用，造成長時期的停電。所以需要轉型分散式電力系統，如第五章所示一個地區發生停電事故，立刻由臨近地區的電力系統的發電設備支援傳送電力，達成短時期內電力系統復元工作，保持安定電力品質的效果。

5.2 電力系統的氫能源規劃的建議

5.2.1 氢能源的製造成本的降低

氫能源的製造成本過高，在商業化價值的觀點來看，民間企業資金不足，不能積極投入，氫能源的有効使用就越慢，所以降低氫能源製造成本，促進民間企業的參與是第一優先要務。

5.2.2 政府法規的整備

氫能源為新興能源，現行法規尚無完備條例作為氫能源的法理依據，特別是民間企業的氫能源製品的檢驗方法，氫能源的安全管理，氫能源的全體政策的製訂，今後政府應為民間企業做先導，對於氫能產業的發展訂定出完備的法規。

5.2.3 電力系統的氫能源規劃與民間企業參與綠能開發環境

氫能源具備發電設備及儲能設備的特性。目前氫能源的運用成本高，作為電力系統的基載發電廠則會使電價提高。所以現階段比較適合作基載發電廠的輔助發電設備，現階段政府的綠能政策重點在太陽光電，風電方面，而民間企業又屬中小企業，在開發大型發電廠非常困難。所以建議政府「以綠養民」政策，提供民間企業在政府的公眾事業中培養民間企業的參與及成長的環境，例如在基載發電廠的環境中設置民間企業的綠能發電設備，在低峰時期利用多餘電力產氫，鋰電池充電。在尖峰時期則使用氫能發電及鋰電池放電。在氫能源運用成本降低之後，可以取代燃煤/燃氣火力發電廠，進而在分散式發電系統中擔任穩定電力品質，支援臨近地區供電需求，在小地域社區作為發電廠提供潔淨能源改善環境的再生能源發電事業。

第六章 結 論

6.1 氢能社會是未來的潔淨能源的社會，18~20 世紀的石化燃料產物帶給了人類的文明，工業革命，相對的也產生了地球溫暖化問題，氣候異變的環境污染問題，大量的使用石化燃料也使得地球的資源枯竭。核能發電廠的輻射洩漏問題造成人類土地污染，長期後遺病症的潛伏危機。因此世界各國研發再生能源發電廠來取代傳統發電廠。減少環境污染，取代地球資源不足，傳統能源轉型至潔淨能源是新世紀的重要政策。

6.2 社會動力的根源是電力系統。大至工業區小至地域性社區住宅，皆需要電力系統來運轉，所以優良的電力品質維持，穩定電力供電是現在電力系統的重要課題。傳統集中式電力系統因為偶發跳電故障造成大規模的停電事件，需要轉型至分散式發電系統即使某地區發生停電事件，立即由臨近地區傳送電力，或是該地區的氫發電廠或鋰電池儲能電廠自行填補電力，維持電力系統的正常運轉。目前再生能源發電還是在初期運轉或是在實驗室研發，在製造，建設的成本過高的環境中，要取代傳統發電廠尚需時間來改善。加以政府的電業法，再生能源條例尚無法滿足多樣性再生能源的環境。

6.3 政府與民間企業需相互協調，政府訂定完備的法規，輔助民間企業的再生能源事業的投入環境。民間企業於自己公司的環境中使用再生能源發電，共同改善地球溫暖化環境問題，減少政府的電力系統的膨大的費用支出，創造出以再生能源為主要資源的新世紀電力系統。

参考文献

- [1] 維基百科， “Electric power system”
https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power_system
- [2] 維基百科， “電”
<https://zh.wikipedia.org/wiki/電>
- [3] 維基百科， “815 全臺大停電”
https://zh.wikipedia.org/wiki/815_全臺大停電
- [4] 維基百科， “2003 年美加大停電”
https://zh.wikipedia.org/wiki/2003_年美加大停電
- [5] Gordoncheng's Blog ， “2019/8/9 英國電力系統發電機跳脫及頻率下降後低頻卸載(LFDD)事故期中報告” 2019/08/29
[https://gordoncheng.wordpress.com/2019/08/29/2019-8-9_英國電力系統發電機跳脫及頻率下降後低頻卸載 If/](https://gordoncheng.wordpress.com/2019/08/29/2019-8-9_英國電力系統發電機跳脫及頻率下降後低頻卸載_if/)，
- [6] 維基百科， “福島第一核電廠事故”
<https://zh.wikipedia.org/wiki/福島第一核電站事故>
- [7] 林國興、賴建銘、張嵩駿、林俊男、蔡麗端， “氢能趨勢分析與儲能應用新思維” ，氢能應用構想， 2018/04/05
<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=33014>
- [8] 台灣電力公司電網供電資訊， “台電供電系統簡介” ，
<https://www.taipower.com.tw/TC/page.aspx?mid=211>
- [9] 台南水力公司，快熱資訊， “臺灣發電廠列表” ，
<http://www.cndpushshare.com/story/90369.html>
- [10] 邱志淳， “危機管理與應變機制”
http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1_file/MOCS/2/2004112384529.pdf
- [11] 邱泰川， “台電系統偶發事故引起大停電之應變與危機管理改進之研究” ，碩士論文，國立中山大學公共事務管理研究所，2007 年
- [12] M.Karimi，H.Mohamad，H.Mokhlis，A.H.A.Bakar，” Under-Frequency Load Shedding scheme for islanded distribution network connected with mini hydro” ，International Journal of Electrical Power & Energy Systems，Volume 42，Issue 1，12/2012，P127-138
- [13] 黃彥閔， “淺談低頻卸載” ，
電驛協會會刊 36 期，P74-79
- [14] 陳鑫磊，泰克科技有限公司，
“電力量測基礎” ， P9，P29
- [15] 壱岐浩幸，三谷康範，道木慎二，“產業用電力系統への系統診斷技術”，系統擾亂発生時の電力動搖，P20

- [16] 黃啟軍， “基於曲線擬合之電力系統基頻量測” ， 碩士論文，
國立臺北科技大學自動化科技研究所，2019/07/01
- [17] 每日頭條， “什麼是諧波？到底怎麼理解？” ， 2018/07/31
<https://kknews.cc/zh-tw/news/2lzbbyz.html>
- [18] 游志聖， “抑制諧波或共振對變電所電力設備影響之技術” ，
台灣電力公司，90/01/15
- [19] 盧鴻年， “臺南地區電力調度監控系統之探討” ，
崑山科技大學電機工程研究所學位論文，2012/01/01， P1-61
- [20] 王安志， “再生能源(PV) 對台電調度中心電源調度之影響” ，
台灣電力公司
- [22] 維基百科， “人工神經網路”
<https://zh.wikipedia.org/wiki/人工神经网络>
- [23] Luke Dormehl， “What is an artificial neural network?”
2019/01/06 <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/what-is-an-artificial-neural-network/>
- [24] Tutorials Point， “Artificial Intelligence - Neural Networks”
https://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligence_neural_networks.htm
- [25] Javatpoint Services， “Artificial Neural Network Tutorial”
<https://www.javatpoint.com/artificial-neural-network>
- [26] Chris Nicholson， A.I. Wiki， “A Beginner's Guide to Neural Networks and Deep Learning”
<https://pathmind.com/wiki/neural-network>
- [27] Data Science， “Artificial Neural Network”
https://www.saedsayad.com/artificial_neural_network.htm
- [28] TechOrange， “AI 入門必備懶人包：圖解 27 種神經模型，讓你秒懂差在哪” ， 2018/01/24
<https://buzzorange.com/techorange/2018/01/24/neural-networks-compare/>
- [29] ie， “The Future of Hydrogen”
<https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- [30] “Hydrogen Energy”
<https://www.renewableenergyworld.com/types-of-renewable-energy/hydrogen/#gref>
- [31] Panasonic Clean Energy Solution， “For a Hydrogen Energy Society”
https://www.panasonic.com/global/corporate/brand/story/clean_energy.html

- [32] **Johnny Wood , Forbes , "By The Numbers: How Carbon Capture Could Contribute To Decarbonization" , 2020/04/21**
<https://www.forbes.com/sites/mitsubishiheavyindustries/2020/04/21/by-the-numbers-how-carbon-capture-could-contribute-to-decarbonization-infographic/#27e4e7ef6dad>
- [33] **JapanGov , "The Hydrogen Society Starts from Fukushima"**
<https://www.japan.go.jp/tomodachi/2019/autumn2019/fukushima.html>
- [34] 東芝能源系統、"福島水素エネルギー研究フィールドについて" P14
https://jcpage.jp/f19/01_hydrogen/01_hydrogen_07_toshiba_yamane_jp.pdf?1575796716755
- [35] 日本經濟新聞中文版 , "日本嘗試用氫能供電" , 2016/05/09
<https://zh.cn.nikkei.com/industry/ienvironment/19432-20160509.html>
- [36] ETtoday 車雲 , "TOYOTA 在富士山下打造「超未來城市」！發電廠就是氫燃料電池" , 2020/01/12
<https://speed.ettoday.net/news/1619740>
- [37] 雪花新闻 , "世界上第一座由 AI 運營的氫燃料發電廠：三菱日立氫燃料發電廠" , 2018/05/04
[https://www.xuehua.us/2018/05/04/世界上第一座由 ai 运营的氢燃料发电厂：三菱日立氢/zh-tw/](https://www.xuehua.us/2018/05/04/世界上第一座由 ai 运营的氢燃料发电厂：三菱日立氢/)
- [38] 韓華能源 , "韓華能源建造全球首座超大型氫燃料電池發電廠" , 2018/08/30
https://www.hanwha.com/zh/news_and_media/press_release/hanwha-energy-breaks-ground-on-a-groundbreaking-power-plant.html
- [39] TechNews 科技新報 , "燃料電池發電廠為儲能潛力軍，南韓已裝置近 300MW 設備" , EnergyTrend , 2018/08/20
<https://technews.tw/2018/08/20/south-korea-fuel-cell-power-plant-nearly-300mw-equipment/>
- [40] 每日頭條 , , "昆士蘭第一個氫能電廠：讓不起眼的化學元素大放異彩" , 2018/07/18
<https://kknews.cc/zh-tw/world/2bzn589.html>
- [41] 謝芳怡 , 蔡麗伶 , 環境資訊中心 , "全球首座氫燃料發電廠將座落於義大利" , 2006/12/21
<https://e-info.org.tw/node/17869>
- [42] 每日頭條 , 合即得 , "技術革新帶動清潔能源大時代加速到來" , 2018/06/29
<https://kknews.cc/world/blqy5q6.html>

- [43] 左峻德，黃峻維/財團法人台灣經濟研究院，“風力產氫結合燃料電池應用於偏遠地區緊急救援系統示範計畫”，行政院原子能委員會，100年12月6日，P28~45
- [44] 世界日報，“創舉 洛市擬建氫氣發電廠”，2019/12/12
<https://www.worldjournal.com/6673040/article-創舉-洛市擬建氫氣發電廠/>
- [45] 林祥輝，許雅音，“日本第5次能源基本計畫”，國家能源發展策略規劃及決策支援能量建構計畫，工業技術研究院 綠能與環境研究所，P2
- [46] 每日頭條，“未來能源新星：氫能”，2018/05/05
<https://kknews.cc/zh-tw/finance/3ln9x6o.html>
- [47] 每日頭條，“氫能發展現狀與研究前沿”，2018/06/21
<https://kknews.cc/news/q5mxg0o.html>
- [48] 曹芳海，趙令裕，周桂蘭，“國內氫能發展探討”，能源報導 Energy Magazine
<https://energymagazine.itri.org.tw/Cont.aspx?CatID=&ContID=1037>
- [49] 每日頭條，“《國際氫能產業發展藍皮書（2017）》即將問世：繪製我國氫能產業發展路線圖的方向”，2017/08/07
<https://kknews.cc/finance/53624ql.html>
- [50] 每日頭條，“氫能是實現綠色發展、綠色出行的重要一環”，2018/01/02
<https://kknews.cc/news/5x6my46.html>
- [51] 每日頭條，“國家為何要大力發展氫能？”，未來的氫能社會，2018/09/24
<https://kknews.cc/finance/82lp4mq.html>
- [52] 橘川武郎，“氫氣革命，改變能源結構——氫能源的應用之路”，nippon.com 日本網，2015/08/03
<https://www.nippon.com/hk/currents/d00167/>
- [53] 日本新能源與產業技術綜合開發機構(NEDO)，“NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書”，2014年
<https://www.nedo.go.jp/content/100567362.pdf>
- [54] Wikipedia，“Fuel cell”
https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell
- [55] “Fuel Cell Today”
<http://www.fuelcelltoday.com/technologies/pemfc>
- [56] Wikipedia，“Hydrogen storage”
https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_storage

- [57] 材料世界網，"氫能源儲存技術"， 2009/01/15
<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=7490>
- [58] 楊顯整，"燃料電池應用與產業發展現況"，綠基會通訊，民國 101 年 1 月
- [59] 林若蓁，"全國性氢能發展之整體規劃"，財團法人台灣經濟研究院，民國 106 年 4 月 18 日
- [60] 每日頭條，"技術革新帶動清潔能源大時代加速到來"， 2018/06/29
<https://kknews.cc/world/blqy5q6.html>
- [61] 每日頭條，"讓氢能從配角走向主角"， 2016/10/13
<https://kknews.cc/finance/b96jr6.html>
- [62] "台灣電力公司"
<https://www.taipower.com.tw/tc/index.aspx>
- [63] 台灣電力公司，"台灣電力公司動態圖表"
<https://www.taipower.com.tw/tc/Chart.aspx?mid=194>
- [64] Wikipedia，"Hydropower"
<https://en.wikipedia.org/wiki/Hydropower>
- [65] Wikipedia，"Thermal power station"
https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station
- [66] 台灣電力公司，"再生能源發展概況",水力分布圖
<https://www.taipower.com.tw/TC/page.aspx?mid=204>
- [68] Wikipedia，"Wind farm"
https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_farm
- [69] 王郁青，錢克瑄，"台灣再生能源集中式電網的壟斷障礙"，2017/11/23
<http://transdis.ntu.edu.tw/iibrt/press/index.php/2017/11/23/energy003/>
- [70] 台電供電處，"輸電網因應電業法修正與再生能源併網之挑戰" P11，民國 106 年 11 月 27 日
- [71] "台灣發電廠現況"
http://www.ccutf.edu.tw/adminSection/gc_project/downloads/水力發電.pdf
- [72] 陳彥豪，"分散式綠色區域電網發展趨勢介紹"，台灣經濟研究院 研一所，2018/10/22
- [73] 朱瑞墉，"台電公司遍佈全台的輸電線路系統" P9，台灣電力公司
- [74] 劉泰成，"自備變電所設備操作與維護" P4，輸供電事業部高屏供電區營運處，民國 106 年 3 月 30 日
- [75] 楊翔閔，"電力潮流計算-以一個工業電網為例"，碩士論文，崑山科技大學光電工程研究所，2019/07/09

- [77] 黃國倫，"輸電系統偶發事件分析"，碩士論文，
崑山科技大學電子工程研究所，2019/07/08
- [78] 高典琳，"架空輸電線路雷擊模擬分析"，碩士論文，
崑山科技大學電機工程研究所，2015/07/15
- [79] 洪仁昌，"應用共軛梯度類神經網路於輸電線故障診斷之研究"，
碩士論文，崑山科技大學電機工程研究所，2007
- [80] 鄭景鴻，"配電系統架空線路之雷擊模擬"，碩士論文，
崑山科技大學電機工程研究所，2011
- [81] 黃俊傑，"分散式電源對配電系統各種短路故障電流之影響"，
碩士論文，崑山科技大學電機工程研究所，2005
- [82] 曾鴻松，"配電饋線自動化系統架構應用與探討"，碩士論文，
崑山科技大學電機工程研究所，2005
- [83] 陳佳宙，"配電網切換節點優化--以一個低壓分散式電網為例"，
碩士論文，崑山科技大學光電工程研究所，2019/07/09
- [84] "DIgSILENT-Power Factory"，Power System Software &
Engineering <https://www.digsilent.de/en/>
- [85] 壱岐浩幸，三谷康範，道木慎二，"産業用電力系統への系統診断技術"，平成 17 年度電気学会全国大会，2005/3/28
- [86] DigSILENT Pacific，"Island Dynamic Modelling - Example"，
Power System Engineering and Software
- [87] IEEE，"Dynamic railway simulation using DIgSILENT programming language"，2016/11/13
- [88] 維基百科，"分散式發電"，
<https://zh.wikipedia.org/wiki/分散式發電>
- [89] 左峻德，陳俊銘，"分散式電力系統相關經濟與產業效益分析"，
財團法人台灣經濟研究院，民國 99 年 11 月 30 日
- [90] Gordoncheng's Blog，"漫談台灣電業的前世今生(五)-【今生篇(3)-台
電公司七十年來之發電發展】"，2016/01/15
<https://gordoncheng.wordpress.com/>
- [91] Operation Technology, Inc.，"ETAP / Electrical Power System Analysis
& Operation Software"，<https://etap.com/>
- [92] SIEMENS，"PSS®E – high-performance transmission planning
and analysis software"
<https://new.siemens.com/global/en/products/energy/services/transmission-distribution-smart-grid/consulting-and-planning/pss-software/psse.html>
- [93] 陳彥豪，盧思穎，林法正，"虛擬電廠概念與運作模式介紹"，
國立中央大學電機工程學系

- [94] 池洋株式会社，株式会社 KSF，
“氢能事業企画書” ，P8～P9
- [95] NS Energy , "Green hydrogen for gas turbines in Mellach" , 2018/04/01
<https://www.nsenergybusiness.com/news/verbund-building-pilot-plant-to-substitute-hydrogen-with-natural-gas/>
- [96] 每日頭條，"全球最大鋰電池正式啟用 可供 3 萬戶家庭 1 小時用電" , 2017/12/02
<https://kknews.cc/world/alp4l2n.html>
- [97] スマートジャパン，"電力を「圧縮空気」で蓄電するシステム稼働、静岡県で再エネの出力変動対策に" , 2017/04/21
<https://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1704/21/news019.html>
- [98] Wikipedia , "Electrical substation"
https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_substation
- [99] 李偉宏 , "智慧電網有關智慧化變電所規劃、建置 及設備狀態監視、預防維護等資產管理 實習報告" , 台電公司 ,
民國 103 年 01 月 22 日
- [100] 每日頭條 , "配電室概要" , 2018/01/02
<https://kknews.cc/news/qo9n6z8.html>
- [101] 嘉善視聽 , "全省首台（套）“氢燃料電池發電機 C01-30/3530/35 千瓦”產自嘉善經開區！" , 2018/11/13
<http://www.jsgbds.com/news/show-204938.html>
- [102] 何嘉昌 , “電力系統低頻振盪與抑制” , 義守大學電機工程學系碩士
班碩士論文 , 104 年 1 月 , P1-2
- [103] 林祥輝 , “日本電力市場的新規劃” ,
工業技術研究院 綠能與環境研究所
- [104] 董道廷 , ”電力系統短期負載預測” , 類神經網路模型預測結果 ,
使用實際溫度預測 2016 年負載之結果 , P73 ,
國立中山大學碩士論文 , 2017 年
- [105] 許毓仁 , "電壓閃爍之分析與預測" ,
國立中山大學電機工程學系博士論文 , 101 年 7 月
- [106] "Fuel cell" ,
https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell
- [107] Michael Burnett , "Energy Storage and the California Duck Curve" ,
2016/06/01
<http://large.stanford.edu/courses/2015/ph240/burnett2/>
- [108] NEDO , "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
氫與燃料電池標準化 , P33

- [109] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
川崎市氫 NETWORK, P39
- [110] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
燃料電池用途與車種, P49
- [111] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
氢能智慧電網構想, P54
- [112] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
德國加氫站與燃料電池車整備, P61
- [113] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
法國加氫站, P65
- [114] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
氫能源技術, 氢製造與輸送與商業供應, P102
- [115] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
水電解, P110
- [116] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
光觸媒水分解, P115
- [117] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
氫輸送儲存技術, P118
- [118] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
氫發電, P167~168
HITACHI News Releases, "Gas turbine clean combustion technology for next-generation coal-fired thermal power generation"
<https://www.hitachi.com/New/cnews/130411b.html>
- [119] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
實現氫能社會面對技術課題, P175
- [120] 自由時報, 氫能燃料電池作用圖解
<https://news.ltn.com.tw/news/life/paper/922376>
- [121] 維基百科, " 燃料電池 ", 主要燃料電池的比較
<https://news.ltn.com.tw/news/life/paper/922376>
- [122] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
燃料電池車関連安全對策法律, P96
- [123] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
加氫站關連法規改正, P141
- [124] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書" ,
川崎市氫能網路 P39
- [125] 賴志遠, " 未來的氫社會 " , 2015/06/08
<https://portal.stpi.narl.org.tw/index/article/10082>

- [126] 台灣電力公司，”各火力發電廠簡介”，108/06/13
<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=202&cid=130&cchk=f8fb50ec-6465-4637-a2d6-97c05646ada6>
- [127] 台灣電力公司，”再生能源發展概況”，光電分布圖
<https://www.taipower.com.tw/TC/page.aspx?mid=204>
- [128] 台灣電力公司，”再生能源發展概況”，風力分布圖
<https://www.taipower.com.tw/TC/page.aspx?mid=204>
- [129] 經濟部能源局，”再生能源發展條例 修正說明會”
再生能源發展條例修法議題，P4，106年8月
- [130] NEDO，”NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書”
氫與智能社區，P50
- [131] 陳彥豪，”分散式綠色區域電網發展趨勢介紹”，以地區條件為主軸建構區域特色虛擬電廠”，P31，2018年10月22日
- [132] 陳彥豪，”分散式綠色區域電網發展趨勢介紹”，虛擬電廠(含微電網)商業模式分析架構圖”，P34，2018年10月22日
- [133] 台電公司，竹園超高壓變電所，2018/06/05
https://www.taipower.com.tw/tc/news_info.aspx?mid=17&id=1446&ch=cc288ece-7162-49c7-be46-8ed1148e9ddd
- [134] 維基百科，配電系統，
<https://zh.wikipedia.org/wiki/配電系統>
- [135] DIgSILENT-Power Factory，Power Transmission
<https://www.digsilent.de/en/power-transmission.html>
- [136] DIgSILENT Americas，Database Integration
<https://www.digsilentamericas.com/pages/Products/powerfactory>
- [137] DIgSILENT-Power Factory，Distributed Generation
<https://www.digsilent.de/en/distributed-generation.html>
- [138] DIgSILENT-Power Factory，Power Distribution
<https://www.digsilent.de/en/power-distribution.html>
- [139] DIgSILENT-Power Factory，Renewables
<https://www.digsilent.de/en/renewables.html>
- [140] DIgSILENT-Power Factory，Load Flow Analysis
<https://www.digsilent.de/en/load-flow-analysis.html>
- [141] DIgSILENT-Power Factory，Network Diagrams and Graphic Features
<https://www.digsilent.de/en/network-diagrams-and-graphic-features.html>
- [142] NEDO，”NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書”
業務用燃料電池，P80

- [143] 氢，維基百科
<https://zh.wikipedia.org/wiki/氫>
- [144] 賴志遠，國研院科政中心， “未來的氫社會” ，2015/06/08
<https://portal.stpi.narl.org.tw/index/article/10082>
- [145] 旺材氫燃料電池，”關注 | 氢能在我國未來能源系統中的角色定位及再電氣化”路徑初探
<https://wemp.app/posts/5832c9ae-40a1-4123-88c7-30c0efbedabe>
- [146] LiFe 生活化學， “元素週期表”
<https://www.lifechem.tw/periodictable.html>
- [147] 吳鴻鈞，鍾財王，陳邦旭，勞動部，”奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討”，P53～P54，
https://labor-elearning.mol.gov.tw/base/10001/door/816_ILOSH103-S325%20奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討.pdf
- [148] 經濟部能源局，”中華民國一百零九年度再生能源電能躉購費率及其計算公式”，民國 108 年 12 月 31 日
https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=8848
- [149] 台灣電力公司，Home，電價成本，”各種發電方式之發電成本”
<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=196>
- [150] 左峻德，黃峻維等人，財團法人台灣經濟研究院，”風力產氫結合燃料電池應用於偏遠地區緊急救援系統示範計畫”，P16，
民國 100 年 12 月 6 日
https://www.aec.gov.tw/share/file/information/udsOdyHuNCQKpSieHNFug__.pdf
- [151] 每日頭條、氫雲研究：誰是成本之王？主流氫氣製備成本經濟分析
<https://kknews.cc/news/gj33v6y.html>
- [152] 池洋株式会社，”綠能資料庫”氫能檢索系統
<http://greenenergy.main.jp/greenenergy/index.php>
- [153] 株式会社 KSF，”燃料電池”
<http://ksf-corp.jp/>
- [154] 三菱日立電力系統株式会社，Home，”Hydrogen power generation”
<https://www.mhps.com/index.html>
- [155] MHPS，”MHPS Receives Order from Taiwan Power Company for Steam Turbine Facilities for the Datun Power Plant”
<https://www.mhps.com/news/20200422.html>
- [156] MHPS，”Demonstration of SOFC-Micro Gas Turbine (MGT)”
<https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e524/e524047.pdf>

- [157] MHPs , “Gas Turbines, M501D Series”
<https://www.mhps.com/products/gasturbines/lineup/m501d/index.html>
- [158] Mahler AGS , ” Hydrogen Generation by Steam Reforming”
<https://www.mahler-ags.com/hydrogen/hydroform-c/>
- [159] Caloric Anlagenbau GmbH , ” HYDROGEN GENERATION PLANTS” <https://www.caloric.com/en/product/hydrogen-generation/hydrogen-by-steam-reforming/>
- [160] 杭州台連低溫設備公司 , ” Durable Hydrogen Generation Plant ”
<http://www.air-separationplant.com/sale-11174801-durable-hydrogen-generation-plant-by-water-electrolysis-with-h2-capacity-125nm3-h.html>
- [161] TCWY , ” ISO Hydrogen Generation Plant”
<http://www.tcwygasplant.com/sale-11309698-iso-hydrogen-generation-plant-with-steam-methane-reforming-hydrogen-production.html>
- [162] KAPSOM , ” Natural gas steam reforming hydrogen generating plant” https://www.kapsom.com/avada_portfolio/natural-gas-smr-hydrogen-plant/
- [163] Hydrogenics , ” Industrial Hydrogen Generators”
<https://www.hydrogenics.com/hydrogen-products-solutions/industrial-hydrogen-generators-by-electrolysis/>
- [164] 每日頭條 , ” 德國將運行全世界第一列燃料電池火車”
<https://kknews.cc/world/6k8omrv.html>
- [165] 鼎佳能源公司 , ” 燃料電池發電系統”
<https://toplus-e.com.tw/list/12>
- [166] 吳鴻鈞 , 鍾財王 , 陳邦旭 , 勞動部勞動及職業安全衛生研究所 ,
“奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討” , 民國 104 年 4 月
https://labor-elearning.mol.gov.tw/base/10001/door/報告區/816_ILOSH103-S325 奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討.pdf
- [167] 廖偉辰 , 核研所 , ” 發展再生能源對於電價的衝擊” , 2018/06
<http://eip.iner.gov.tw/msn.aspx?datatype=YW5hbHlzaXM%3D&id=MTYw>
- [168] NEDO , "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
氫氣供應 , P84
- [169] NEDO , "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書"
製氫成本構造 , P86
- [170] 能源概論
<http://web.nihs.tp.edu.tw/ezfiles/1/1001/img/28/120977899.pdf>

- [171] geniustechconsult, 原天智科技顧問有限公司, "各類電池大比拏" 2015/08/29
<https://geniustechconsult.wordpress.com/2015/08/29/12/>
- [172] 馬俊強, 劉崑玉, "氫燃料電池發電系統雛形研究", 全球能源系統轉換曲線, 2015/10
<http://www.ceci.org.tw/book/108/web/250-263.pdf>
- [173] 維基百科, "燃料電池"
<https://zh.wikipedia.org/wiki/燃料電池>
- [174] 財團法人台灣經濟研究院, 台灣燃料電池資訊網, "FC 介紹"
<http://www.tfcii.org.tw/Fc/index.asp>
- [175] 邱家璋, 馬崇仁, 李景松, "燃料電池之研究探討"
<http://dspace.lib.fcu.edu.tw/bitstream/2377/4609/1/D932951296101.pdf>
- [176] NEDO, "NEDO 氢能源白皮書/NEDO 水素エネルギー白書" 家庭用燃料電池 (ENE-FARM), P76~P79, P147~P150
- [177] 財團法人台灣經濟研究院, "「全國性氫能發展之整體規劃」期末報告書", 氢能單位轉換/電解水效率/各種氫燃料電池載具里程總表 P72, P128 2016/12/19~2017/04/18
<https://ws.ndc.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS9hZG1pbmlzdHJhdG9yLzEwL3JlbGZpbGUvNTY1Ny8yNzU1OC83NGEzZWVkYy0xNTgwLTQwYzktOGUxNy04Y2RiNzE0MDQ0OGMucGRm&n=5YWo5ZyL5oCn5rCr6IO955m85bGV5LmL5pW06auU6KaP5YqDLnBkZg%3D%3D&icon=..pdf>
- [178] 每日頭條, "儲能電站設計壽命分析" 2016/12/13
<https://kknews.cc/design/lzokkrz.html>
- [179] 經濟部能源局, Home, 能源法規, 法令規章, 再生能源
https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/Law/LawsList.aspx?kind=6&menu_id=3302
- [180] 吳再益, 林唐裕, 侯仁義, 柯亮群, 黃永慧, "我國能源政策發展模式及其未來方向探討", P61~P62 臺灣銀行季刊第六十三卷第二期
https://www.bot.com.tw/Publications/Quarterly/Documents/63_2/63_2_2.pdf
- [181] Min-Hon Rei, Yu-Ling Kao, Guan-Ting Yeh, Shi-Chung Chen, Green Hydrotec Inc., Scientific Research, Vol.11 No.4, April 2020 "The Influence of the Hydrogen Supply Modes on a Hydrogen Refueling Station",
<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=99626>

第七章 附 錄

7.1 氢概要

7.1.1 氢的性質 1. 氢是元素週期表[圖 7.1]的第一個元素，原子排列序是 1，化學符號表示是 H，原子量的值是 1.00794 u。氫氣在常壓常溫下分子式是 H₂，無臭和無味和無色和無毒及易燃的非金屬氣體 [表 7.1]，氫的電子基態為-13.6eV，和非金屬元素容易形成共價鍵，氫取得一個電子稱之為氫陰離子，氫失去一個電子稱之為氫陽離子，工業上經過脫硫步驟後由蒸汽轉化得到氫氣稱之為「蒸汽重整」。

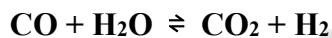
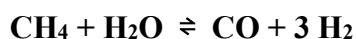


表 7.1 氢的物理化學性質 [144]

物態	氣體
密度	(0 °C, 101.325kPa) 0.08988 g/L
熔點	14.01K, -259.14 °C
沸點	20.28K, -252.87°C
三相點	13.8033K (-259°C), 7.042 kPa
臨界點	32.97K, 1.293 MPa
熔化熱	0.117 kJ · mol-1
汽化熱	0.904 kJ · mol-1
比熱容	28.836 J · mol-1 · K-1
蒸汽壓	10kPa (15K); 100kPa (20K)

資料來源：未來的氫社會 [144]

2. 氢氣的物性參數

常壓下氫氣需要壓縮或液化，才能實現其質量能量密度高及在儲運和使用方面的優勢。如 [表 7.2] 氢氣的物性參數所示、氫氣的沸點低，深度壓縮與液化能耗高，且氫氣易于擴散和泄露，爆炸範圍寬。

表 7.2 氢氣的物性參數 [145]

項目	氫氣	對比
密度(氣態)	0.089kg/m³ (0°C,0.1Mpa)	天然氣的 1/10
密度(液態)	70.79kg/m³ (-253°C,0.1Mpa)	天然氣的 1/6
沸點	(-252°C,0.1Mpa)	比 LNG 低 90°C
質量能量密度(LHV)	120.1MJ/kg	汽油的 3 倍
體積能量密度(常壓,LHV)	0.01MJ/L	天然氣的 1/3
質量能量密度(液態,LHV)	8.5MJ/L	LNG 的 1/3
火焰速度	346cm/s	甲烷的 8 倍
爆炸範圍	4%~77%	比甲烷寬 6 倍
自點火溫度	585°C	汽油為 220°C
點火能量	0.02MJ	

資料來源：旺材、”氫能在我國未來能源系統中的角色定位 [145]

表 7.3 常見燃料安全特性比較

安全特性	氫氣	甲烷	液化石油氣
常溫 293.15K, 常壓 1atm 下之密度 (kg/m ³)	0.0838	0.6512	1.87
自燃溫度(K)	858	813	760
空氣中最小自燃 能量(mJ)	0.02	0.29	0.26
空氣中之自燃上 下限(體積分率%)	4-75	5.3-15	2.1-9.5
空氣中之火焰溫 度(K)	2318	2148	2385
空氣中之爆炸上 下限(體積分率%)	13-59	6.3-14	1.95-9.0
空氣中之爆炸速 度(km/s)	2	1.8	1.85
爆炸壓力(bar)	14.7	16.8	18.25
常溫 293.15K, 常壓 1atm 下之定壓比 熱(J/gK)	14.89	2.22	1.67
空氣中完全燃燒 之化學劑量比(體 積分率%)	29.53	9.48	4.03

最大熱容量(kJ/g)	141.86	55.53	50.41
爆炸能力(gTNT, 黃色炸藥/kJ)	0.17	0.19	0.2
空氣中延燒特性	往上	往上	往下

資料來源：吳鴻鈞等人奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 P99 [166]

表 7.4 常見燃料燃燒性質比較

燃料	氫氣	甲醇	甲烷	丙烷	汽油
可燃限度 (%)	4~75	6~36.5	5.3~17	1.7~10.9	1~6
爆炸限度 (%)	18.3~59	NA	63~13.5	3.1~9.2	1.1~3.3
當量燃燒混合 Vol%	29.6	12.3	9.5	4	1.9
最低著火能量 (mJ)	0.017	0.174	0.274	0.24	0
層流燃燒速度 (cm/s)	270	48	37	47	30
火焰釋放之輻射 熱能(%)	5~10	NA	10~33	10~50	10~50

資料來源：吳鴻鈞等人奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 P99 [166]

表 7.5 氢的燃燒性質表

燃燒熱(kJ/g)	119.93(low) , 141.86(high)
可燃限制(%)	4~75(NTP 空氣中) , 4.1~94(NTP 純氧中)
爆炸限制(%)	18.3~59(NTP 空氣中) , 15~90(NTP 純氧中)
空氣中燃燒當量(%)	29.53
空氣中最小點火能量(mJ)	0.017
自然溫度(K)	858
著火溫度(K)	943
空氣中火焰溫度(K)	2318
火焰對外輻射熱能(%)	17~25
空氣中 NTP 下的燃燒速度(m/s)	2.65~3.25
化學當量混合組成下，爆燃傳遞速度(m/s)	975
空氣中 NTP 下的爆炸傳遞速度(m/s)	1480~21500
空氣中 NTP 下的火焰抑制間隙(cm)	0.064
空氣中 NTP 下的爆炸誘發距離(L/D)	~100

氧氣限制指標(%)	5
液體槽外溢燃燒速率(mm/s)	0.5~1.1
理論爆發能量 g TNT/g H ₂	~24
理論爆發能量 g TNT/kJ H ₂	~0.17
理論爆發能量 kg TNT/m ² G H ₂	2.02
理論爆發能量 g TNT/cm ² NBPL H ₂	1.71

資料來源：吳鴻鈞等人奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 P100 [166]

台灣經濟研究院在「全國性氫能發展之整體規劃」期末報告書 [177] 提出氫能單位轉換/電解水效率等資料。

表 7.6 氢氣重量體積單位轉換與熱值轉換表

1 公斤氫氣 (1 kg H ₂) 等於=>	11.1 立方米氫氣 (Nm ³ H ₂)	120 MJ/kg H ₂ (LHV) 氢氣的熱 值	11 MJ/Nm ³ H ₂ (LHV) 氢氣的熱 值
1 kg 的氫氣以商用燃料電池發電，一般可取得電力 13.3~14.7 kWh(度電)，其餘熱值轉換成熱需回收方能提高轉換效率。			
能量的單位轉換：120MJ = 33.3 kWh			

國際上商用水電解(燃料電池逆反應)產氫之能量消耗與氫氣生產量

1 MW 等級水電解系統	每小時可生產 200m ³ H ₂	耗能為 1MWh (1000 度電)
55kWh (度電)可生產 11.1 Nm ³ H ₂ (~1 kg H ₂)		

氫氣用於燃料電池載具之里程效率整理

車型	氫氣儲槽	氫氣消耗	行駛里程	行駛情境	年用氫量
燃料電池， 汽車(轎車)	5kg	每 1 公斤 行駛 100 公里	500 公里	15000 公里 /年	150 公斤
燃料電池 巴士(12 米)	35kg	每 10 公斤 行駛 100 公里	350 公里	60000 公里 /年	9000 公斤
燃料電池， 摩托車	0.45kg (低壓)	—	市區續航 力 50 公里	5000 公里 /年	45 公斤
燃料電池， 堆高機	1kg (高壓)	平均 4 小時 填充一次	搬貨	一天 24 小 時填充 6 次	2190 公斤

國際氫燃料電池技術之成本分析

技術	產能	效率	期初投資成 本(美元 /kW)	壽命(小時)	技術成熟 度
鹼性燃料 電池	約 250kW	約 50%	200~700	5,000~8,000	初期市場 開發

定置型質子交換膜燃料電池	0.5-400kW	32%~49%	3,000~4,000	約 60,000	初期市場開發
運輸型質子交換膜燃料電池	80-100kW	約 60%	約 500	約 5000 小時	初期市場開發
固態氧化物燃料電池	約 200kW	50%~70%	3,000~4,000	約 90,000	示範階段
磷酸型燃料電池	約 11MW	30%~40%	4000~5000	30,000~60,000	成熟階段
熔融碳酸鹽燃料電池	約 kW MW	約 60%	4000~6000	20,000~30,000	初期市場開發

資料來源：台灣經濟研究院，「全國性氫能發展之整體規劃」期末報告書 氢能單位

轉換/電解水效率/各種氫燃料電池載具里程總表 [177]

7.1.2 元素週期表

元素週期表 [表 7.7] 是依原子序數，核外電子組態情況和化學性質的相似性來排列化學元素的表格 [146]。週期表的橫行被稱作週期，縱列則被稱作族，金屬元素位於表的左端，非金屬位於右端。週期表中六個族具有單獨的別名，包括第 17 族 (VIIA 族) 別名為鹵素，第 18 族 (0 族) 被稱為稀有氣體。

表 7.7 元素週期表 [146]

1	元素周期表																		2
1	元素周期表																		He 氦
2	元素周期表																		Ne 氖
3	元素周期表																		Ar 氖
4	元素周期表																		Kr 氪
5	元素周期表																		Xe 氪
6	元素周期表																		Rn 氪
7	元素周期表																		Og 氪
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	镧系金属																		
	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71				
	La 镧	Ce 钕	Pr 镥	Nd 钕	Pm 镝	Sm 钕	Eu 镝	Gd 钕	Tb 镝	Dy 镝	Ho 镝	Er 镝	Tm 镝	Yb 镧	Lu 镝				
	锕系金属																		
	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103				
	Ac 钍	Th 钍	Pa 长	U 钍	Np 长	Pu 钍	Am 长	Cm 长	Bk 长	Cf 长	Es 长	Fm 长	Md 长	No 长	Lr 长				

資料來源：LiFe 生活化學，“元素週期表” [146]

7.1.3 能量轉換 [170]

宇宙萬物皆有某種能量形態相互轉換之性能 [表 7.8]、常見的能量分為下列幾種：

1 · 物體在特定位置上的「位能」 2 · 物質在運動時的「動能」 3 · 原子在振動時的「熱能」 4 · 電子運動的「電能」 5 · 物質內部的保存原子的「化學能」 6 · 質量轉換能量的「質能」 7 · 物質震動時傳遞縱波的「聲能」 8 · 能量橫向運動波形的「輻射能」 9 · 能量的位置及運動的「機械能」。如 [表 7.9] 所示、各種能源的轉換所產生的效率。

geniustechconsult [171] 也提出類似能源轉換的論述 [表 7.10]。

馬俊強等人 [172] 說明 1850~2150 年間之全球能源系統轉換曲線 [如圖 7.1]，圖中可發現目前液態能源已取代固 態能源，而不久的將來液態能源亦將會被氣態能源取代，其中氫氣將佔有舉足輕重的角色。

表 7.8 各種能源的轉換效率 [170]

名稱	能轉換過程	效率
發電機	機械能→電能	70%~90%
電動馬達	電能→機械能	50%~90%
燃氣工業爐	化學能→熱能	70%~95%
風力發電機	機械能→電能	35%~50%
化石燃料電廠	化學能→熱能→機械能→電能	30%~40%
核能電廠	核能→熱能→機械能	30%~35%
汽車引擎	化學能→熱能→機械能→電能	20%~30%
日光燈	電能→光能	20%
太陽能電池	光能→電能	5%~28%
燃料電池	化學能→電能	40%~60%

資料來源：能源概論 [170]

表 7.9 各類能量源的能量轉換效率評比 [171]

二次電池/燃料電池	化學能→電能	40%~95%
太陽電池	光能→電能	3%~24%
超級電容	電能→電能	90%~95%
火力發電	化學能→熱能→機械能→電能	35%~50%
風力/水力/地熱發電	機械能→機械能→電能	30%~80%
壓電/熱電		壓電 50%~80% 熱電 8%~10%
引擎	化學能→機械能	汽油 25%~30% 柴油 40%~50%

資料來源：geniustechconsult, 原天智科技顧問有限公司,各類電池大比拚 [171]

資料來源：馬俊強等人全球能源系統轉換曲線 [171]

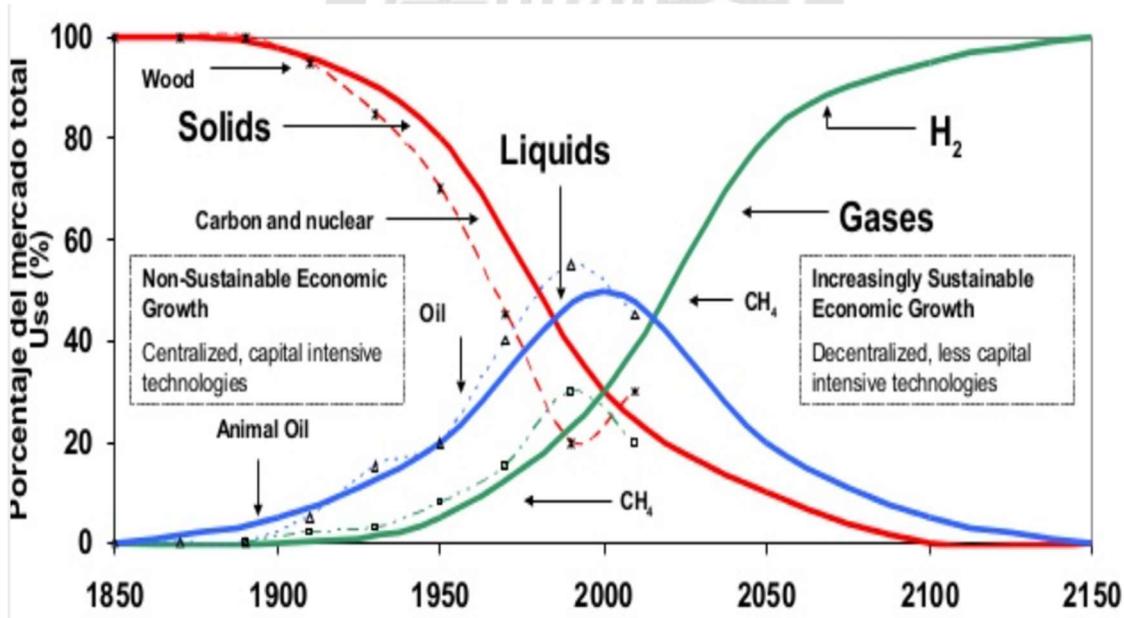


圖 7.1 全球能源系統轉換曲線 [172]

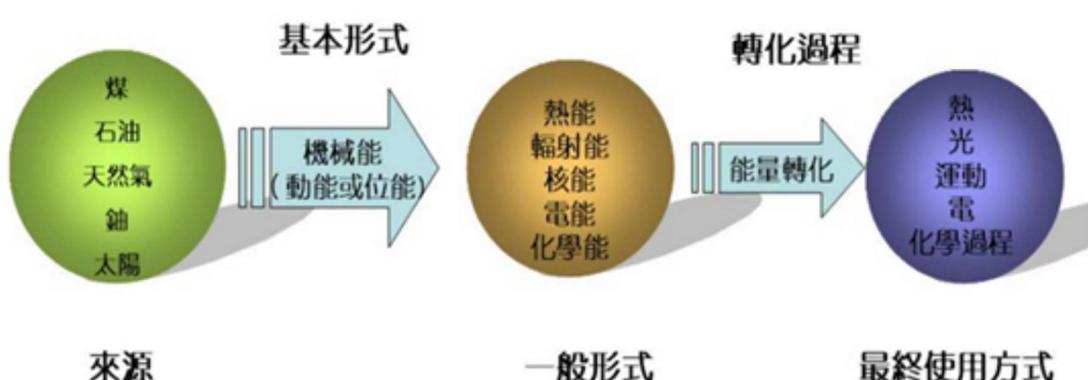
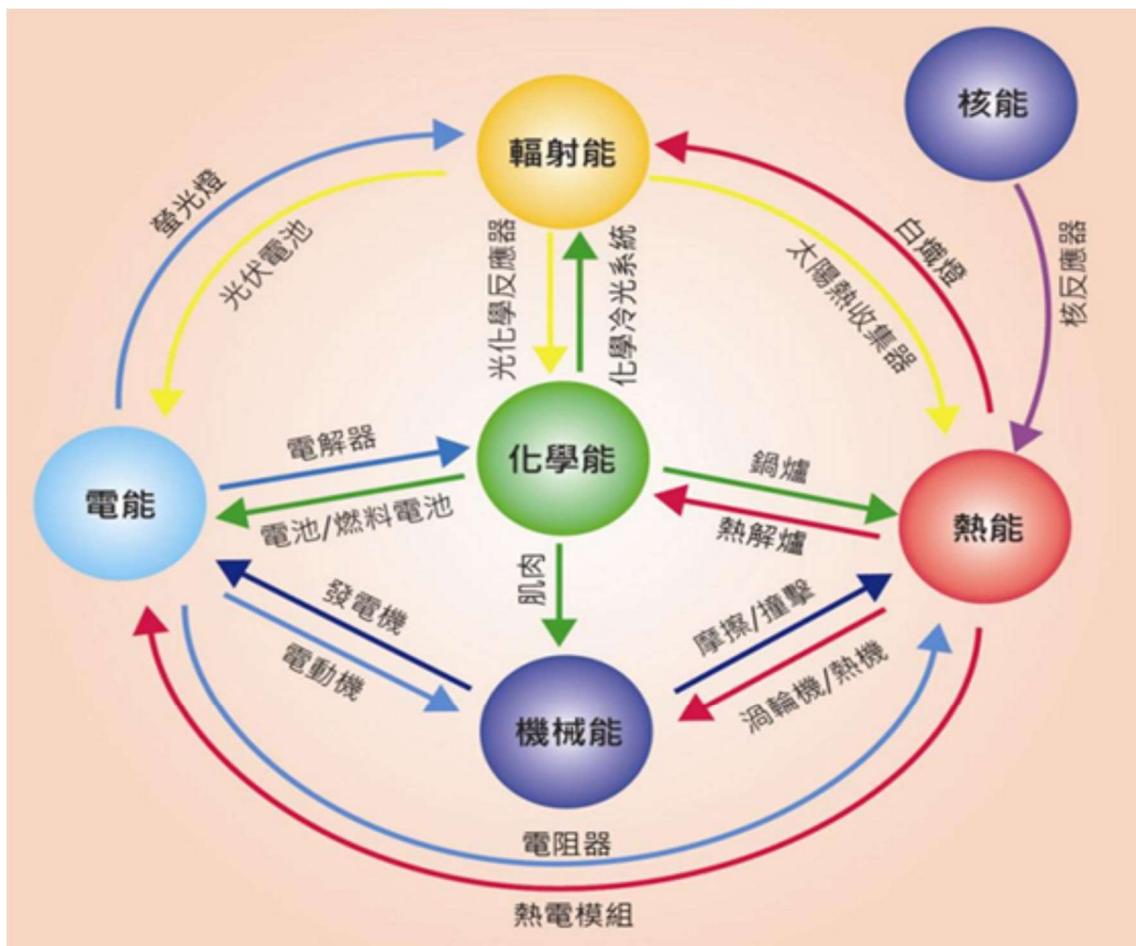


圖 7.2 能量轉換 [170]

7.1.4 氢氣的使用規範與安全性，吳鴻鈞等人 [147] 論述氫氣比天然氣輕，擴散速度為天然氣六倍，在密閉空間，氫氣洩漏後，濃度快速降至燃點之下，排氣不良場所會累積引發爆炸，所以需要適當的排氣系統。氫氣所需能量為為汽油 1/10 [表 7.10]。產氫技術與投入原料不同，產氫效率與商品化成熟度各有差異 [表 7.11]。

表 7.10 氢氣，石油與天然氣於化學特性上之比較 [147]

	氫氣	石油蒸氣 (gasoline vapor)	天然氣
空氣中自燃燒濃度 (下限與上限)	4~74%	1.4~7.6%	5.3~15%
空氣中爆炸濃度 (下限與上限)	18.3~59.0%	1.1~3.3%	5.7~14%
點火所需能量 (mJ)	0.02	0.2	0.29
在空氣產生火焰溫度 (°C)	2045	2197	1875
最大擴散速度(m/sec)	346	47.2	42
燃燒時所需空氣的化學計量 比率(stoichiometric ratio)	29%	2%	9%

資料來源：吳鴻鈞等人，奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 [147]

表 7.11 產氫技術與投入原料產氫效率與商品化成熟度 [147]

產氫技術	投入原料	效率	成熟度
蒸氣重組	碳氫化合物	70~85%	成熟
部分氧化	碳氫化合物	60~75%	商業化
自動熱重組	碳氫化合物	60~75%	近期成熟
電漿重組	碳氫化合物	9~85%	尚未成熟
水溶液重組	碳氫化合物	35~55%	中期達商業化
氨重組	NH ₃	N.A.	近期成熟
生質氣化	生質原料	35~50%	商業化
光水解	太陽光+水	0.50%	尚未成熟
暗室發酵	生質原料	60~80%	尚未成熟
微生物電解電池	生質原料+電力	78%	尚未成熟
鹼性電解	水+電力	50~60%	商業化
質子交換膜電池	水+電力	50~70%	近期商業化
固態氧化物電池	水+電力熱	40~60%	中期商業化
熱化學水裂解	水+熱	N.A.	尚未成熟
光化學水裂解	水+熱	12.40 %	尚未成熟

資料來源：吳鴻鈞等人，奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 [147]

7.1.4 綠能資料庫氫分類檢索系統 [148]

池洋株式會社的綠能資料庫檢索系統，包含綠能各種再生能源資料，設有分類單位，可以檢索各種再生能源的資料。2020年6月時點收集150萬件資料。

表 7.12 綠能資料庫氫分類檢索系統 [148]

氫氣製造	化石燃料製氫	工業廢氫	石油焦製氫
		甲醇製氫	合成甲醇
		甲酸製氫	甲烷製氫
		乙醇製氫	甘油製氫
	電解水製氫	水分裂製氫	餘電製氫
		海水電解製氫	
	光催化製氫	光電化學製氫	二氧化鈦 TiO_2 的光催化機理
		光觸媒人工光合	納米氧化鋅的光催化活性
		N- TiO_2 在 MgO (111) 上的光催化水分解	
		納米粒子的光催化活性	使用 $[Fe(CN)_6]^{3-4-}$ 的光催化水分解
		光催化水分解制氫	銀納米粒子對染料的光催化降解
	化学製氫	化学補助電解製氫	
		熱解製氫	熱化学循環製氫
		液氮製氫	脫硫腸的種系型製氫
		哈柏法製氫	硫碘循環製氫
		氨製氫	部分氧化製氫
	燃氣製氫	蒸氣重整製氫	碳/烴輔助水電解； CAWE

		二氫化碳製氫	二氫化碳封存製氫
		碳捕集與封存電廠	碳捕獲甲烷和甲醇
		甲烷二氫化碳重整	甲醇合成二氫化碳和氫氣
		廢氣甲烷或甲醇	直接二氫化碳甲烷或甲醇
		碳分離	電催化轉化甲烷和甲醇
		工業碳捕集	電化學還原二氫化碳
		碳中性氫	二氫化碳捕獲介孔納米二氫化碳
	煤製氫	煤製氫	
	生物制氫	生物催化電解製氫	可再生燃料製氫
		生物制氫藻類	微生物燃料電池製氫
	發酵製氫	合成生物学製氫	
		酶促產氫	纖維素分解菌產氫
		木糖製氫	多磷酸木酮糖激酶製氫
		黑暗發酵製氫	垃圾填埋氣製氫
	金屬製氫	有機污泥製氫	缺氧氫氣發電機
		鎂製氫	鈀製氫
	鋁矾土製氫		硅鐵法製氫
	其他製氫	核融合製氫	電漿 等離子重整製氫
		幅射製氫	次世代核電站用于制氫
氫技術	氫能發電廠	氫能發電廠	
	可再生能源發電	可再生氫電網	氫燃料電池發電系統
	氫燃料發電機	氫鍋爐	

		氫外燃機(氫汽輪機)	氫內燃機(氫氣燃氣輪機)
氫燃料電池	質子交換膜燃料電池 PEMFC		
	直接甲醇燃料電池 DMFC	固體氧化物燃料電池 SOFC	
	鹼性燃料電池 AFC	甲醇重整制氫燃料電池 RMFC	
	磷酸燃料電池 PAFC	熔融碳酸鹽燃料電池 MCFC	
燃料電池催化劑	鉑催化劑		
	非貴金屬催化劑	非金屬催化劑	
氫氣純化技術	煤製二甲醚 (DME)		
氫能儲能	氫能儲能	氫儲存	地下儲氫
	固態儲氫	固態氫	固態儲氫器
	金屬儲氫	金屬氫	低壓金屬儲氫
		鎳儲氫	
	液態儲氫	液態氫	
	氣態儲氫	高壓氫氣儲存	常溫常壓儲氫技術
	物理儲氫	化合物儲氫	
	固態儲氫材料	金屬儲氫材料	金屬有機框架儲氫材料
		鎂基儲氫材料	鈦系儲氫材料
		鋯系儲氫材料	碳基儲氫材料
	碳基儲氫材料	活性碳	石墨奈米纖維
		碳奈米纖維	奈米碳管儲氫
		化學儲氫材料	碳纖維複合材料
	化學儲氫材料	玻璃微球儲氫材料	

		氫氣罐車	氫氣運輸車
		低壓氫氣罐	高壓氫氣罐
	氫氣罐	燃料電池氫氣罐	車用儲氫缶
		站用儲氫缶	加壓儲存容器(Pressurized)
		氫氣管道運輸	
	加氫站	定置加氫站	移動加氫站
		燃料電池車	燃料電池客車
		氫燃料電池車 FCEV	氫燃料電池機車
	氫燃料電池	氫燃料巴士	氫燃料電車
		氫燃料船	氫燃料潛艦
		氫燃料飛機	氫燃料火箭
		過氧化氫飛機	
		氫燃料無人 drone	氫燃料無人飛機
	氫無人機器	氫燃料無人自動車	氫燃料無人船艦
		氫燃料飛行汽車	氫燃料電池超迴路列車

資料來源：池洋株式會社的綠能資料庫檢索系統 [148]

7.2 氢製造成本

7.2.1 中華民國 109 年度再生能源電能躉購費率及其計算公式

經濟部能源局 [148] 依據再生能源發展條例第九條第一項之規定於中華民國 108 年 12 月 31 日公布「中華民國 109 年度再生能源電能躉購費率及其計算公式」[表 7.13]。經濟部每年原則依各項再生能源的技術進步，各項再生能源的成本變動，訂定目標的達成或依實務需求及社會情勢的變化，招開審定會議修正再生能源的躉購費率。

再生能源（太陽光電除外）發電設備之設置，於公告事項第二項告示，其設備未運轉者，自中華民國 109 年 1 月 1 日起至 109 年 12 月 31 日止，與公用售電業簽訂購售電契約，其電能按 [表 7.14] 規定計算費率躉購二十年。

太陽光電發電設備之設置，於公告事項第三項告示，其設備未運轉者，其電能按 [表 7.15] 規定計算費率躉購二十年。

表 7.13 109 年度再生能源電能躉購費率計算 [7.1]

$$\text{躉購費率} = \frac{\text{期初設置成本} \times \text{資本還原因子} + \text{年運轉維護費}}{\text{年售電量}}$$

$$\text{資本還原因子} = \frac{\text{平均資金成本率} \times (1 + \text{平均資金成本率})^{\text{躉購期間}}}{(1 + \text{平均資金成本率})^{\text{躉購期間}} - 1}$$

$$\text{年運轉維護費} = \text{期初設置成本} \times \text{年運轉維護費占期初設置成本比例}$$

資料來源：經濟部能源局、109 年度再生能源電能躉購費率 [148]

表 7.14 109 年度再生能源（太陽光電除外）發電設備電能躉購費率 [148]

再生能源類別	分類	裝置容量級距	躉購費率(元/度)	
風力	陸域	1 霄以上不及 30 霄	7.7998	
		30 霄以上	有安裝或具備 LVRT 者 2.3219 無安裝或具備 LVRT 者 2.2888	
	離岸 ^{±1}	1 霄以上	固定 20 年躉購費率 (上限費率) 5.0946	5.0946
小水力發電	無區分	1 霄以上	階梯式躉 購費率 ^{±2}	前 10 年 5.8015 後 10 年 3.8227
地熱能	無區分	1 霄以上	固定 20 年躉購費率 5.1956	5.1956
生質能	無厭氧消化設備	1 霄以上	階梯式躉 購費率 ^{±2}	前 10 年 6.1710 後 10 年 3.5685
	有厭氧消化設備			
廢棄物	無區分	1 霄以上		2.6871
				5.1176
				3.9482

資料來源：經濟部能源局、109 年度再生能源電能躉購費率 [148]

表 7.15 109 年度太陽光電發電設備電能躉購 [148]

再生能源類別	分類	裝置容量級距	第一期上限 費率(元/ 度)	第二期上限 費率(元/ 度)	外加模組回 收費(元/度)	外加併聯電業 特高壓供電線 路費(元/度)
太陽 光電	屋頂型	1 霄以上未達 20 霄	5.7132	5.7132	0.0656	--
		20 霄以上未達 100 霄	4.4366	4.3701		--
		100 霄以上未達 500 霄	4.1372	4.0722		--
	地面型	500 霄以 上	無併聯電業特 高壓供電線路	4.0571		--
			有併聯電業特 高壓供電線路	3.9917		0.4674
	水面型 (浮力 式)	1 霄 以上	無併聯電業特 高壓供電線路	3.9383		--
			有併聯電業特 高壓供電線路	3.8752		0.4506
						--
						0.4358

資料來源：經濟部能源局、109 年度再生能源電能躉購費率 [148]

7.2.2 台灣電力公司的電價成本

台灣電力公司在該公司的資訊網站 [149]，公布「各種發電方式之發電成本」，[表 7.16]，民衆可以上網查訊各種電力資訊。

表 7.16 台電各種發電方式之發電成本 [149]

各種發電方式之發電成本		單位:元/度
項目	108 年自編決算	109 年 4 月底止
1. 自發電力(A)		
火力發電	2.22	1.98
燃 油	5.66	6.09
燃 煤	1.63	1.49
燃 氣	2.57	2.2
核能發電	1.14	1.15
抽蓄發電	3.34	3.33
再生能源發電	1.51	2.41
慣常水力	1.36	2.82
風力發電	2	1.1
太陽光電	3.82	3.68
自發電力小計	2.02	1.86
2. 購入電力(B)		
汽電共生	2.06	1.91
民營電廠	2.87	2.55
燃 煤	2.47	2.24
燃 氣	3.24	2.83

再生能源發電	4.17	4.52
慣常水力	1.58	1.87
風力發電	2.43	3.94
太陽光電	5.2	5.01
地熱	6.17	4.32
其他再生能源	3.91	4.91
購入電力小計	2.91	2.74
平均發購電成本(A + B)	2.23	2.07

資料來源：台電公司 Home 電價成本 [149]

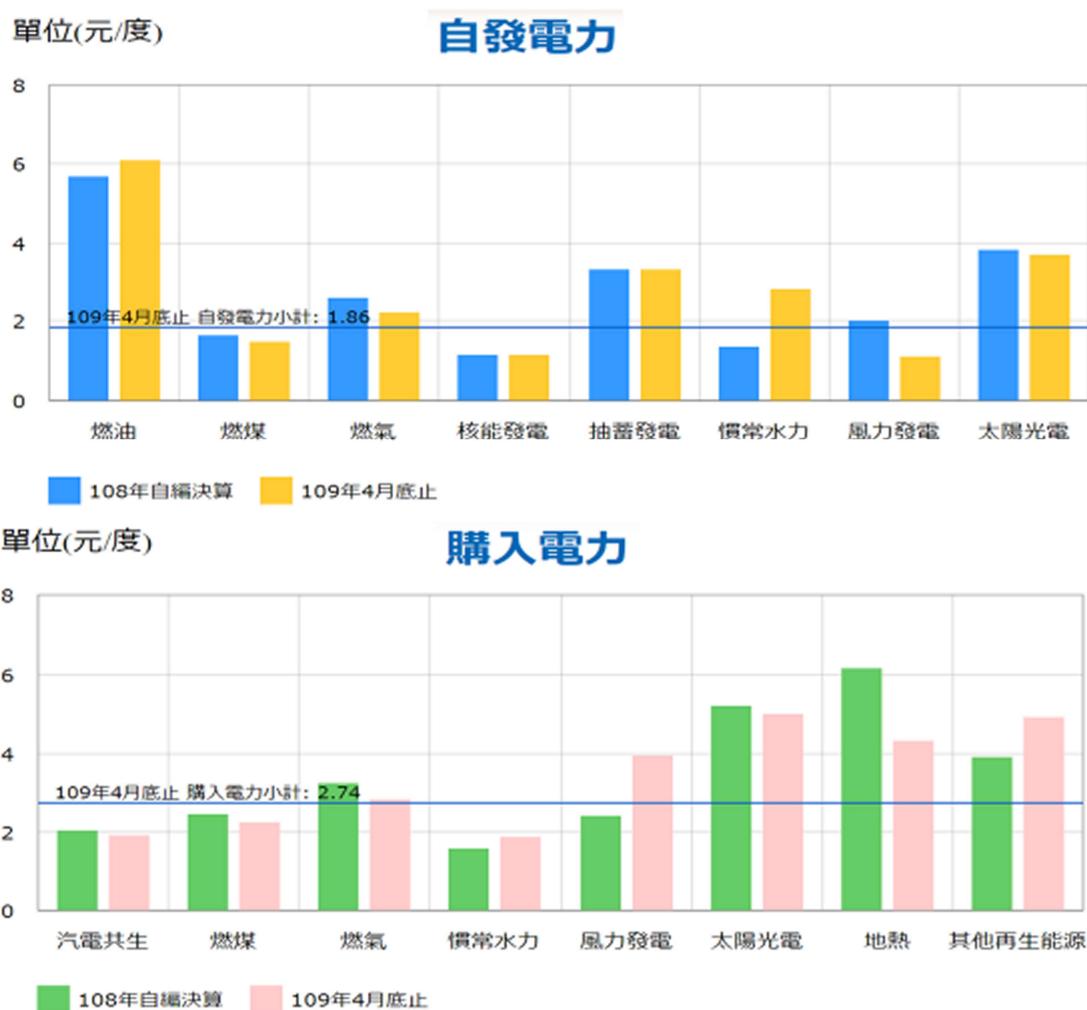


圖 7.3 台電公司電價成本 [149]

廖偉辰[167]提出對於 2030 及 2050 年「國家自定預期貢獻」及「溫室氣體減量及管理法」減碳目標，使用燃氣及再生能源技術，燃料占比 2030 年較 2015 年多 20%，2050 年則多出 50%，所以燃料帶來的發電成本 [表 7.17] 則會影響台灣未來電價。

表 7.17 各技術發電成本 2015 NT/kWh

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
燃煤	1.44	1.53	1.67	1.90	2.19	2.31	2.49	2.68
燃氣	2.81	2.47	2.61	2.70	2.92	2.95	3.25	3.79
太陽光電	4.70	4.36	3.69	3.57	3.50	3.44	2.87	2.94
離岸風力	—	5.50	5.26	5.15	5.09	5.11	4.51	4.44
水力	1.70	1.36	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35

資料來源：廖偉辰，發展再生能源對於電價的衝擊 [167]

7.2.3 各種產氫技術之成本比較

左峻德等人[150] 提出各種產氫技術之成本比較，如 [表 7.18] 所示，如天然氣、煤炭、石油焦等化石能源及生質能、風能、太陽光能、地熱等再生能源以及核能等各種產氫技術成本，結果顯示目前以天然氣產氫最為經濟。

表 7.18 各種產氫技術之成本比較 [150]

原料	技術	生產成本 (新台幣 /MMBtu ^{*1})	效率 (%HHV [*] 2)	預估時程	備註
天然 氣 ^{*3}	蒸汽重組 /變壓吸附	166	83	目前	無 CO ₂ 封存
	蒸汽重組 /變壓吸附	178	78	2015 年後	CO ₂ 封存
	離子穿透薄膜合成 (ITM)	125	83	2015 年後	CO ₂ 封存
煤 炭 ^{*4}	氣化/水氣轉化 /變壓吸附目前	205	63	目前	無 CO ₂ 封存
	先進氣化 ^{*3} 水氣轉化 /變壓吸附	163	59	2015 年後	H ₂ +電力 CO ₂ 封存
	先進氣化 薄膜分離	119	59	2015 年後	H ₂ +電力 CO ₂ 封存
	先進氣化 SOFC 薄膜分離	72	65	2020 年後	H ₂ +電力 CO ₂ 封存
石 油 焦	氣化/水氣轉化 /變壓吸附目前	135	54	目前	H ₂ +電力 無 CO ₂ 封存

生質能	氣化	180~540	—	—	進料費用為 30 ~ 81 新台幣 /MMBtu
	生質油裂解 /蒸汽重組	282~489	—	—	生質油費用為 213 新台幣 /MMBtu
風能	風能 電解水	630	—	目前	—
	風能 電解水	348	—	目前	假設未來技術增 進會減少費用
太陽光能	太陽光電 電解水	1320	—	目前	—
	太陽光電 電解水	780	—	目前	假設未來技術增 進會減少費用
	濃縮太陽光電 電解水	1080~1920	—	2020 年	環境溫度電解
	濃縮太陽光電 電解水	1560~1980	—	2020 年	高溫電解
地熱	地熱 電解水	750~1350	—	目前	基於地熱發電成 本為 1.5~2.4 新 台幣/kWh

	地熱電解水	390~450	—	目前	基於地熱發電 成本為 0.9 新 台幣/kWh
核能	電解水	435	—	—	假設核能安裝 成本為 48,600 新台幣/kW
	Sulfur-Iodine Cycle	291	45~55	2020 年後	—
電能	電解水	300~390	—	目前	電價為 0.6 新 台幣/kWh

註：

- (1)1MMBtu=1,000,000Btu=293kWh
- (2)HHV(Higher heating value)
- (3)天然氣價格為 94.5 新台幣/MMBtu；
- (4)煤炭價格為 870 新台幣/噸；
- (5)先進氣化係採用研發中之離子穿透薄膜空氣分離技術與高溫 淨化技術。

資料來源：左峻德等人風力產氫結合燃料電池應用 [150]

7.2.4 氢氣製備成本經濟分析

氫氣的化學式是 H₂，地球上氫元素的儲量排第三，並且主要以水的形式存在，水電解產生氫、經過燃燒後再變為水、形成循環性能源資源 [151]。主要制氫技術如天然氣蒸汽重整、甲醇裂解、水電解等技術製氫、煤氣化製氫的成本特徵和製氫工藝的選擇。製氫所用原料可分為七大類：(1) 光解水製氫 (2) 天然氣或生物氣製氫 (3) 油類加工製氫 (4) 煤氣化製氫 (5) 甲醇或乙醇裂解製氫 (6) 水電解製氫 (7) 生物體熱解製氫。如.[表 7.19].所示、各種製氫設備成本分析參考。

表 7.19 氢氣製備成本經濟分析 [151]

1.天然氣制氫工藝設備投資額			
工藝設備	設備採購費	運輸及安裝費	合計(萬元)
氫氣壓縮機	368	111	479
轉化爐	320	48	368
天然氣壓縮機	180	27	207
變換爐	90	27	117
變換吸附系統	200	60	260
脫硫槽	27	4	31
儀表	284	42	326
氫氣儲缶	280	42	322
電氣、閥門	112	34	146
其他設備	34	10	44
2.天然氣制氫製備 $1m^3$ 氢氣時各類資源的消耗量及價格表			
消耗資源	消耗量	單價	費用
天然氣	$0.48m^3$	P1 元/ m^3	0.48P
去離子水	1.3kg	0.04 元/kg	0.052 元
冷却水	6kg	0.003 元/kg	0.018 元
電能	0.35KWh	P2 元/KWh	0.35P2 元
3.甲醇裂解制氫項目初始投資費用			
項目	費用 (萬元)		
設備及原材料費用	482.36		
土地及土建費用	216.00		

工程施工費用	196.00
運輸保險費	18.00
軟件費用	30.00
現場服務費	5.00
合計	947.36

4.甲醇裂解制氫製備 1m³ 氢氣時各類資源的消耗量及價格表

消耗資源	消耗量	單價	費用
甲醇	0.54kg	P1	0.54P1
脫鹽水	0.43kg	0.05 元/kg	0.022 元
動力煤	0.14kg	P2 元/kg	0.14P2 元
電費	0.094KWh	P3 元/KWh	0.094P3 元

5 · 電解水制氫項目初始投資費用

NO	物質名稱和 規格型号	數量	價格（萬元）
1	DQ100/1.6 製氫系統設備	2 套	655X2
2	QCZ2000/1.6 氫氣純化設備	1 套	220
3	安裝材料（銅排、電 纜、鋼管）	3 套	25X3
4	服務費(安裝費、運輸 費、賣後服務費)	—	75
5	土地及土建費	—	141.48
6	總投資		1821.48 萬元

6. 煤氣化制氫單位氫氣資源消耗

消耗資源	消耗量	單價	費用
煤炭	755kg	P1 元/kg	0.755P1 元
氧氣	0.42m ³	P2 元/kg	0.42P2 元
輔材	—	—	0.043 元
電費	0.048KWh	P3 元/KWh	0.48P3 元
其他	—	—	0.045

資料來源：每日頭條，氫氣製備成本經濟分析 [151]

7.2.5 NEDO 氢能源白皮書 氢氣供應

日本氫氣供應量約為 150 億立方米 [168]，使用煉油廠製氫設備進行額外的製氫，供應潛力將約為 12-18 億立方米 [圖 7.4]。如果到 2030 年將新建或替換的 LNG 火力發電廠混合 50% 的氫，則最大氫需求將為 220 億立方米。

資料來源：NEDO 氢能源白皮書 氢氣供應 [168]

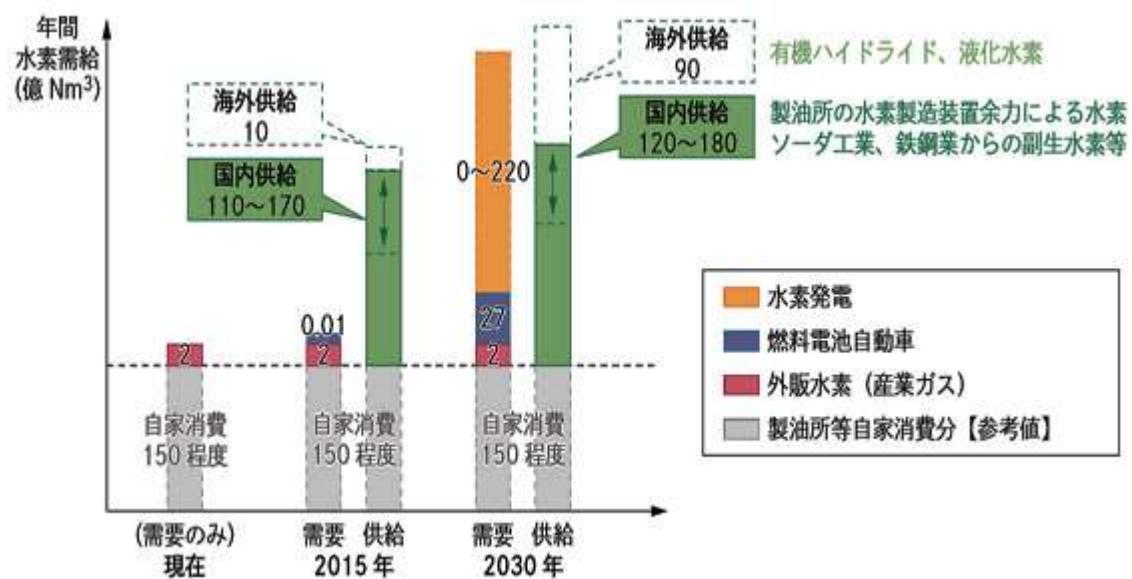


圖 7.4 NEDO 氢能源白皮書 氢氣供應 [168]

7.2.6 NEDO 氢能源白皮書 [169] 製氫成本構造

氫的成本，燃料電池車的氫佔成本中約 60%、未來氫能發電的引入將產生穩定且大規模的氫需求，如 [表 7.20] 所示，由於製氫方法的不同而導致的製氫成本的差異。目標氫供應成本在 2015 年左右為 90 日元/ Nm³，在 2020 年左右為 60 日元/ Nm³，並在 2030 年左右為 60-40 日元/ Nm³。

表 7.20 NEDO 氢製造成本構造 [169]

		製造成本 日元/Nm ³	備 考
副產物氫	燒鹼	20	引用各種資料，細節未知。
	鐵鋼	24~32	<ul style="list-style-type: none">各種資料表示 12 至 20 日元/ Nm³。關於氫供應商的商業模式和石油行業在氫社會中的地位的調查報告（石油工業振興中心，2003 年）為 16.3 日元/ Nm³，但基於最新的能源價格 為 28.1 日元/ Nm³，與上述價格相比增加了 12 日元。
	石油化學	20	引用各種資料，細節未知。

目的生產 既存設備	石油精製	23~37	<ul style="list-style-type: none"> 各種資料表示 10-24 日元/ Nm³。 關於氫供應商的商業模式和石油行業在氫社會中的地位的調查報告（石油工業振興中心，2003 年）為 11.1 日元/ Nm³，但基於最新的能源價格，23.7 日元/ Nm³，比上述價格增加 13 日元
	氫	無	
目的生產 新規設備	水電解	84 電力系統 76~136 風力 ~太陽光	<ul style="list-style-type: none"> 不包括電解設備的設備成本。 假設電解效率為 70%。 2012 年的電網平均電價為 16.5 日元/ kWh。 根據採購價格計算委員會的資料，風力發電為 30 萬日元/ kW，太陽能發電為 10kW 以上為 290,000 日元/ kW，而發電功率為 10kW 以下為 385,000 日元/ kW。估計單價分別為 14.9 日元/ 千瓦時，23.6 日元/ 千瓦時和 26.8 日元/ 千瓦時。 -假設氫的產生在發電現場進行電解，不包括傳輸成本。

資料來源：NEDO 氢能源白皮書 [168] 製氫成本構造 P84

7.3 氢發電廠

7.3.1 池洋株式會社與株式會社 KSF 技術合作氫燃氣渦輪機

池洋株式會社 [152] 為在日本千葉縣的氫發電事業的公司，與株式會社 KSF [153]共同合作開發氫發電事業 [圖 7.5]。以海水淡化水電解產氫，經由氫渦輪機發電，發電容量 120MWh 及鎂化學水分解燃料電池 [表 7.21] 為主要技術開發。

資料來源：池洋株式會社氫能燃料電池事業企畫書 [152]

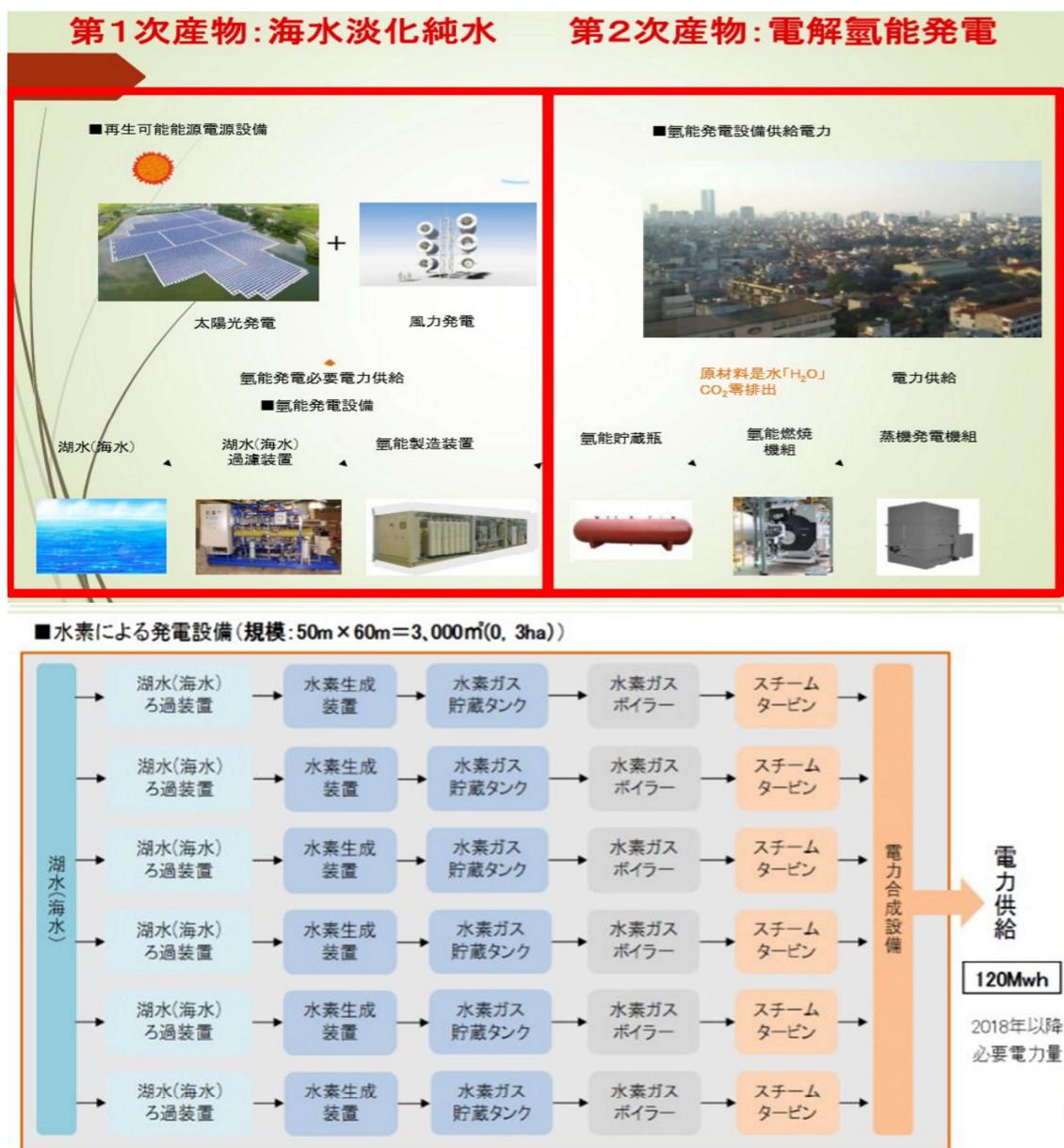
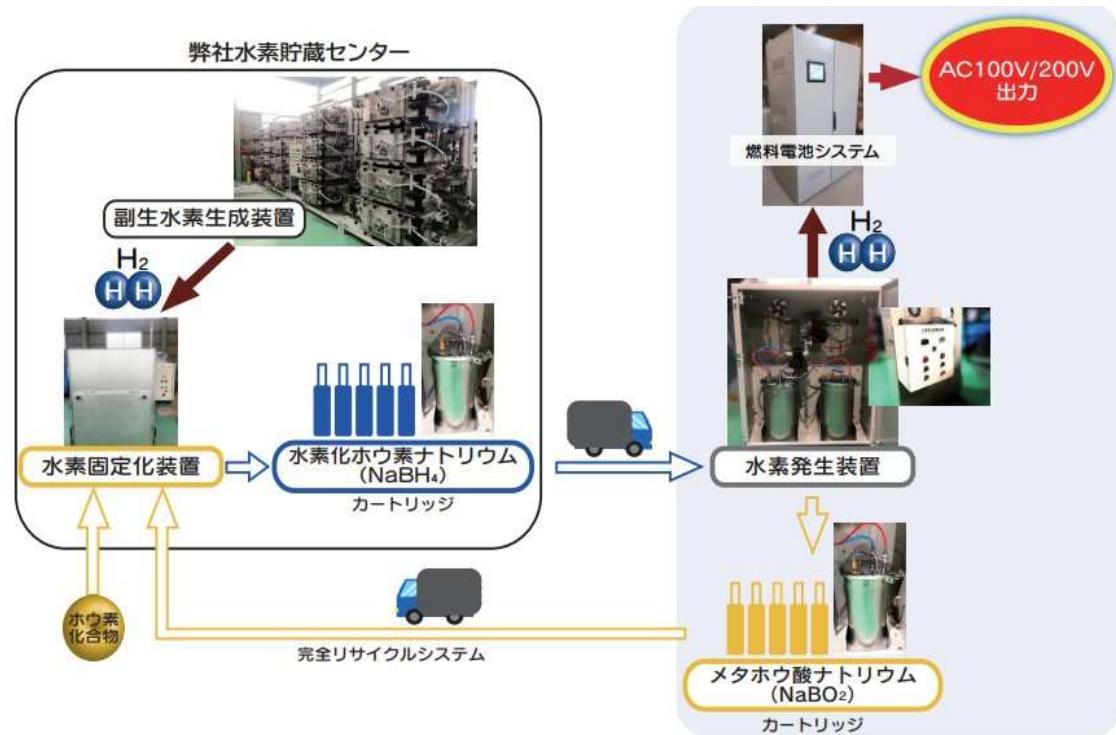


圖 7.5 池洋株式會社氫燃料電池事業示意圖 [152]

資料来源：株式会社 KSF Home [153]



この副生水素生成装置は、マグネシウム (Mg) を化学的に反応させて、酸化マグネシウム (MgO) と水素ガス (H₂) を生成する装置です。



また、この装置は水素ガスを水素固体化合物にする弊社の「水素固定化装置」に接続できます。

水素固定化装置の専用カートリッジでは、メタホウ酸ナトリウムと水素を化学反応させ、水素化ホウ素ナトリウムを製造します。これで運搬・貯蔵が簡単になります。

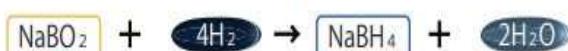


圖 7.6 株式会社 KSF 氢燃料電池示意圖 [153]

表 7.21 燃料電池規格 [153]

	項目	內容 (5kW 出力)	內容 (30kW 出力)
燃料電池	系統額定輸出	5kW	30kW
	燃料電池最大輸出功率	7kW	40kW
	單元數	120	480
	最大輸出	70V-100A	180V-180A
	陽極燃料	氫 99.99%以上	氫 99.99%以上
	陰極側的氣體	空氣	空氣
	工作環境溫度	0 至 55°C	0 至 55°C
	氫氣供應壓力	0.12~0.30Mpa	0.12~0.30Mpa
	陰極側的氣體供應	鼓風機供氣	鼓風機供氣
	加濕方式	自動薄膜加濕	自動薄膜加濕
燃料供給 排氣	電源輸入	電源系統的 24V	電源系統的 24V
	氫氣調壓閥	0.04~0.1Mpa	0.04~0.1Mpa
	自動氫氣供應閥	1 個	2 個
電力變換	自動排氣放氣閥	1 個	2 個
	DC / DC 轉換器	5800W	32kW
		DCIN60~100V	DCIN150~250V
	DC / AC 逆變器	5000W	32kW
		AC100V / AC200V	AC100V / AC200V
尺寸	使用持	W800 : D400 : H1,400	W1,000 : D1,000 : H1,800

7.2.2 Mitsubishi Hitachi Power Systems (MHPS) [154]`是日本的三菱重工集團的子公司之一，為電力行業提供最先進的技術和能源解決方案，為世界各地區提供可靠電源，並通過提供減少和消除二氧化碳排放量的新技術來提供支持。在發電和存儲方面，三菱日立電力系統公司信念是「以熱電和環境技術為我們的星球開創更光明的未來之門，電力脫碳以實現可持續發展的未來。

1. MHPS 收到台灣電力公司的大潭電廠蒸汽輪機設備 [圖 7.7] 訂單-將 7 號機組的天然氣簡單循環發電機轉換為 GTCC 系統的設備-198 號 [155] 計劃於 2023 年 11 月開始的聯合循環作業 plant 工廠總產量將從目前的 600 MW 增加到 900 MW，增加 50%，該項目是與三菱公司的聯合訂單 MHPS 將提供一台蒸汽輪機和一台發電機以及輔助設備和零配件。並於 2018 年開始運營。

資料來源：MHPS NEWS [155]

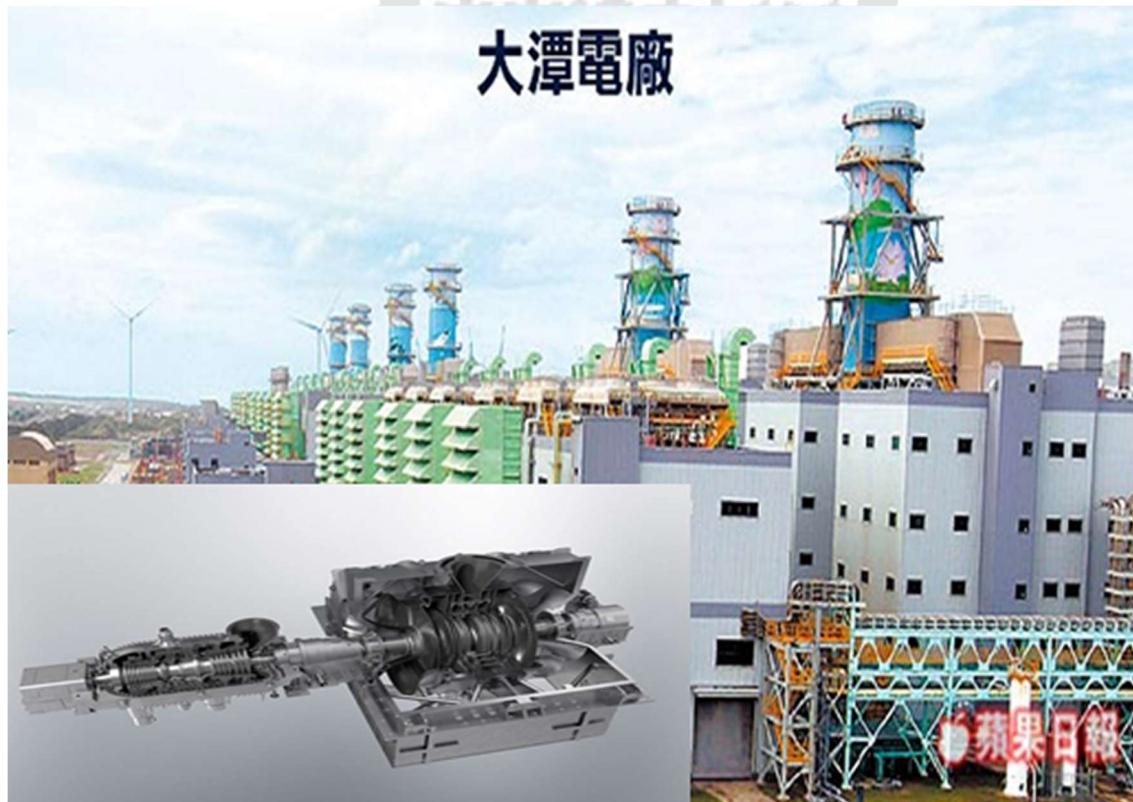


圖 7.7 MHPS 大潭電廠設置燃汽渦輪機 [155]

2. 固體氧化物燃料電池 (SOFC) - 微型燃氣輪機的商業模型 (MGT) 混合電力系統「MEGAMIE」 [圖 7.8] [156]，是 MHPS 致力於開發高效的 SOFC 混合發電系統，包含中等容量的分佈式電源到大容量集中式電源、燃氣輪機燃料電池 (GTFC) 聯合循環和集成煤氣化燃料電池 (IGFC) 聯合循環技術。

SOFC-MGT 混合系統「MEGAMIE」規格 [156]

類型	HYBRID-FC 型發電系統
額定功率 (kW)	250
淨效率 (%-LHV)	55
單位尺寸 (m)	3.4 (W) x 11.5 (L) x 3.5 (H)
燃料	都市天燃氣 13A

資料來源：MHPS, “Demonstration of SOFC-Micro Gas Turbine (MGT)” [150]

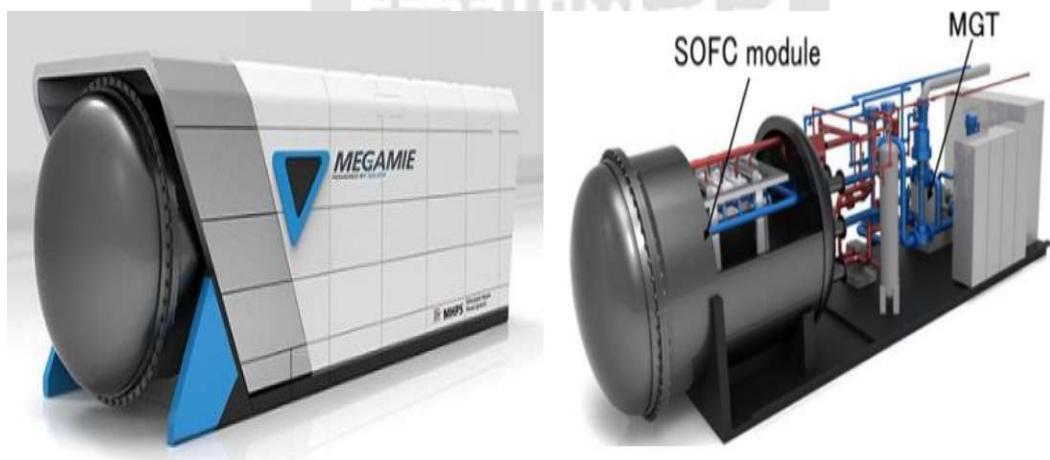


圖 7.8 SOFC-MGT 混合系統「MEGAMIE」 [156]

3. MHPS [157] 於 1984 年推出了世界上第一台商用乾式低 NO_x 燃燒器，燃氣輪機可產生 60 Hz 的動力，並具有多種燃料，在渦輪部分帶有 CURVIC 聯軸器，以確保穩定的扭矩傳遞，固定葉片由獨立葉片環支撐，以防止渦輪機殼體受到熱膨脹的影響。該燃燒器具有空氣旁通機構，可提供燃料燃燒區域的空氣比調節。

表 7.22 MHPS 燃氣渦輪機規格 [157]

組態	M501DA	
壓縮機	級數	19
燃燒室	罐數	14
	冷卻方式	風冷
渦輪	級數	4
轉子	轉子數	1
燃氣輪機	L×W×H	11.4×4.5×4.8 m
	重	190 噸
輸出軸	冷端	
額定轉速	3600 rpm	
簡單的循環性能	M501DA	
頻率	60 Hz	
ISO 基本額定值	113.95 MW	
效率	34.9% LHV	
低溫熱效率	10,320 kJ / kWh	
	9,780 Btu / 千瓦時	
排氣量	354 kg / s	
	780 磅/秒	
排氣溫度	543°C	
	1,009°華氏度	
廢氣排放	NOx	25 ppm @ 15%O ₂
	CO	30 ppm @ 15% 氧氣

降低負荷	75%	
升溫速率	7 MW / min	
起動時間	30 分鐘	
聯合循環表現	M501DA	
一對一	工廠產量	167.4 MW
	工廠效率	51.4% LHV
2 合 1	電站輸出	336.2 MW
	工廠效率	51.6% LHV
起動時間	70 分鐘	

資料來源：MHPS, “Gas Turbines, M501D Series”[157]



圖 7.9 MHPS 燃氣渦輪機規格 [157]

7.3.3 Mahler AGS 蒸汽重整制氫廠

Mahler AGS GmbH [158] 是德國的生產高品質氫氣廠 [圖 7.10]，氯氣廠和氯氣廠等工業氣體以及技術氣體和工藝廢氣的淨化和回收工廠的製造商。該公司的 HYDROFORM-C 製氫機 [表 7.23] 容量從 200 到 10,000 立方米/小時，壓力 10 和 30 bar 純度高達 99,9999 vol.-% 等特徵。HYDROSWING 的淨化系統，將富氫氣體送至四個或五個裝有不同吸附劑的吸附器作純化處理，可獲得純度高達 99,9999 vol.-% 的高純度氫氣。

表 7.23 Mahler AGS 蒸汽重整制氫廠工廠規格 [158]

1 · HYDROFORM-C 制氫廠工廠數據	
原料	天然氣，液化石油氣，石腦油
氫氣容量	200~10.000Nm ³ /h
氫氣產品壓力	10 ~ 30 bar
氫氣純度	高達 99,9999 vol % (體積)
2 · 1.000Nm ³ /h 氢氣的典型消耗數據	
天然氣	430 Nm ³ /h
軟化水	900 kg/h
冷卻水	38 m ³ /h
功率	38 kW
3 · HYDROSWING 氢氣純化加工機數據	
原料:	富氫氣體，合成氣
氫氣量	100~20.000 Nm ³ /h
進料壓力	6~40 bar
氫氣純度:	高達 99,9999 vol%

資料來源：蒸汽重整制氫 | Mahler AGS Home [158]



圖 7.10 Mahler AGS 蒸汽重整制氫廠 [158]

7.3.4 Caloric Anlagenbau GmbH 蒸汽重整制氫廠

Caloric Anlagenbau GmbH [159] 是德國的蒸汽重整制氫廠 [圖 7.11]，通過 HC 工藝，結合 PSA 純化步驟，通過碳氫化合物的蒸汽重整生產高純度氫 [表 7.24]。

表 7.24 Caloric Anlagenbau GmbH 蒸汽重整制氫規格 [159]

蒸汽重整制氫數據	
原料	天然氣，液化石油氣，石腦油
容量範圍	200~6,500Nm ³ / h 單重整器
	6,500~13,000Nm ³ / h 雙重整器
H ₂ 純度	通常為 99.999 vol% (體積)
	(可選 99.9999 vol%)
氫氣供應壓力	通常為 15 bar (g)
操作方式	自動，PLC 控制
設施	要用天然氣生產 1,000Nm ³ / h 氢

需要設施	380-420 Nm ³ /h 天然氣
	900 kg / h 鋼爐給水
	28 kW 電力
	38 立方米/小時的冷卻水

資料來源：Caloric Anlagenbau GmbH 蒸汽重整制氢廠 Home [159]



圖 7.11 Caloric Anlagenbau GmbH 蒸汽重整制氢廠 [159]

7.3.5 杭州台連低温設備公司水電解制氢裝置

台連低温設備 [160] 是氫容量為 $125\text{Nm}^3/\text{H}$ 的水電解制氢裝置 [表 7.25] 製造廠商 [圖 7.12]，原水通過管道進入原水罐，經過鹼溶液泵和鹼溶液過濾器，最後進入電解，產生氫和氧。

表 7.25 杭州台連低温設備公司水電解制氢裝置 [160]

1. 水電解制氢裝置數據	
型號	DQ-125/3.0
氫氣純度	$\geq 99.8\%$
制氧量	$62.5-125\text{nm}^3/\text{h}$

電壓	380V
容量	125-250nm ³ /h
工作壓力	3.0Mpa
控制方式	PLC+ Computer
2. 液態控制系統	
型號	DQ-125/3.0
氫容量	2*125nm ³ /h
氧氣容量	2*62.5nm ³ /h
氫純度	≥99.8%
工作壓力	3.0mpa
控制方式	PLC+computer
電壓	380V

資料來源：Silk Road Enterprise Management Services Home [160]



圖 7.12 杭州台連低溫設備公司水電解制氫裝置 [160]

7.2.6 成都同創偉業新能源科技有限公司 ISO 甲烷蒸汽重整制氫廠

TCWY [161] 是中國成都的一家工業氣體專業公司，化學和石化工業中的某些特定過程需要純氫，最常用方法是蒸汽甲烷重整[表 7.26]，生成含有 H₂，CO₂ 和 CO 的重整氣，通過變壓吸附從轉化後的氣體中提取純度高達 99.999%H₂ (PSA) 技術。

表 7.26 同創偉業蒸汽甲烷重整制氫機規格 [161]

蒸汽甲烷重整制氫廠	
原料	天然氣
容量	50~50000Nm ³ /h
氫氣純度	99%~99.999%
壓力	1.0~2.5MPa
天然氣消耗量	0.4~0.55 Nm ³ /Nm ³ H ₂ (含燃氣)
耗電量	0.8~1.5 kWh/Nm ³ H ₂
電壓	取決於容量
功率 (W)	取決於容量
溫度環境	周圍環境
生產率	50~50000Nm ³ /h
重量	取決於容量
尺寸 (長*寬*高)	取決於容量
工藝	蒸汽重整，PSA
用法	氫

資料來源：成都同創偉業新能源科技有限公司 Home [161]

7.3.7 KAPSOM 天然氣蒸汽重整制氫機

KAPSOM [162] 是中國南京市的天然氣蒸汽重整制氫機 [表 7.27] [162] 的製造公司。商業生產的氫氣主要用於在煉油過程中將氫氣用於原油的加氫處理，處理金屬以及生產用於肥料和其他工業用途的氨。

表 7.27 KAPSOM 天然氣蒸汽重整制氫機規格 [162]

參數	值
容量	500Nm ³ /hr~100,000Nm ³ /hr
氫氣純度	99%~99.9999%
原料	天然氣
燃料	天然氣或其他指定
氫氣的生產成本(USD/Nm ³)	0.07~0.15
處理方式	SMR+PSA
設備類型	固定式和橇裝式

資料來源：KAPSOM 天然氣蒸汽重整制氫機 Home [162]



圖 7.13 KAPSOM 天然氣蒸汽重整制氫機 [162]

7.3.8 康明斯公司 (Cummins Inc.) 旗下公司 Hydrogenics [163] 是加拿大的一家製造氫氣發電及氫氣燃料電池的製造商。製品有工業生產和加油站用的製氫機、用於城市公交車，商用車隊，多用途車，電動汽車的氫燃料電池，世界第一列德國的氫燃料電池電車 [圖 7.14] [164]，及用於獨立式發電廠，不間斷電源 UPS 系統的燃料電池裝置。

資料來源：每日頭條、德國將運行全世界第一列燃料電池火車 [164]



圖 7.14 德國的氫燃料電池電車 [164]

HySTAT™10 室外氫發電機 [表 7.28] [圖 7.15] [163] 安裝在 30 英尺的房屋中，大大簡化了客戶現場的安裝。這是一個交鑰匙解決方案，其中包括制氫單元和我們專有的 IMET™電池堆，控制/電源面板和可控 AC / DC 轉換和所有必需的外圍設備（根據客戶要求）以安全可靠的方式生產氫氣。最大工作壓力為 10 barg（可選 30 barg），氣體純度可高達 99.999%。

表 7.28 HySTAT™10 室外氫發電機規格 [163]

1.系統	HySTAT™10 室外
輸送壓力	10Barg (145PSI) - (30Barg (435PSI) 可選)
類型	鹼性電解水
氫氣產量	4 至 10Nm ³ / h (8.6 至 21.5kg / 24hr) 150 至 380 SCF /小時 71 至 179 SLPM
氫純度	無 HPS 的 H ₂ 純度：99.9% (H ₂ O 饱和，Atm 露點-20°C) , O ₂ <1,000 ppm 使用 HPS 時: 99,998% (可選項 99,999%) ; O ₂ <2ppm; N ₂ <12ppm 大氣壓露點：-60°C; -76°F (-75°C; -103°F 可選)
放氣 O ₂	生產 (可選使用 O ₂)
安裝面積：	
處理部分：	室外，安全區域
電氣和外圍設備：	
相對濕度	<95%
海拔	<500 米
約重	14.5 噸
尺寸 (長 x 寬 x 高)	9.120m x 2.437m x 2.895m (使用乾冷器時為 1.605m)
2.電氣要求	
滿載時的功耗 (全部)	為 5.4 kWh / Nm ³
裝機功率	140 KVA
電壓	3 x 400 VAC±3% (可選 3 x 480 或 575 VAC±3%)

頻率	50 Hz \pm 3% (可選 60 Hz \pm 3%)
3.需要的實用程序	
電解液	H ₂ O + 30%重量 KOH (+/- 300L)
反滲透系統的自來水	1.5 – 2 升/ Nm ³ H ₂ (2 至 4 barg) , 具體取決於自來水的質量 如果沒有反滲透系統，則脫鹽水： <1 升/ Nm ³ H ₂ (2 至 4 barg)
冷卻器提供的冷卻水 (電解液)	由冷水機提供 如果未選擇：最高溫度： 40°C ，流量： $2\text{m}^3/\text{h}$ (2 至 4 barg)
冷卻水(氣體冷卻)製冷 機提供	由冷水機提供 如果未選擇：最高溫度： 15°C ，流量： $0.15\text{m}^3/\text{h}$ (2 至 4 barg)
吹掃氮氣	4 至 10barg 時每次吹掃約 1Nm^3
儀表空氣	不需要

資料來源：Hydrogenics，Industrial Hydrogen Generators [163]



圖 7.15 HySTAT™10 室外氫發電機 [163]

7.3.9 鼎佳能源公司燃料電池發電系統

鼎佳能源 [165] 之燃料電池發電系統 [表 7.29] [圖 7.16]，維護成本低，系統穩定性高，運行時間長，電池組為自行設計，生產，製造，依客戶需求，提供不同功率模塊之燃料電池組，備用電力系統中取代傳統柴油發電機。產品通過工研院，大電力中心 TAF 實驗室認證合格產品，可靠度高，備運行穩定，供電時間長，支援電腦，手機 APP 遠端監控燃料量與性能數據，軟體操作簡易，無汙染、低碳排、低噪音維護環境優良。

表 7.29 鼎佳能源公司燃料電池發電系統規格 [165]

型號	SB015K110N	SB006K048N	SB005K048N	SB002K048N
額定功率	15 kW	6 kW	5 kW	2 kW
額定電壓	110 Vdc	48 Vdc	48 Vdc	48 Vdc
尺寸 (長*寬*高) mm	2,100*1,100*2,100(IP23)		1,050*890*1,550(IP23) / 860*710*1,450(IP20)	
重量, kg	約 600 (IP23)		約 350(IP23) / 280(IP20)	
冷卻系統	水冷式			
氫氣需求	純度： > 99.95 %，壓力： 0.2~0.3 MPa			
氫氣 消耗量	850 L / kWh (@額定功率)			
發電效率	43 % (@額定功率)			

海拔高度	<1,000m
環境溫度	-20~40 °C (低於 0 °C,冷卻水需加抗凍劑)
依據標準	ASME PTC 50 / IEC 62282-3-100 / IEC 62282-3-201

資料來源：鼎佳能源公司 燃料電池發電系統 [165]



圖 7.16 鼎佳能源公司 燃料電池發電系統 [165]

7.4 氢技術

7.4.1 氢燃料電池：是一種電化學電池，將氫和氧化劑的化學還元反應轉化為電能。燃料電池的構成為陽極，陰極，電解質，燃料經由催化劑的氧化反應，生成帶正電的氫離子和電子，離子通過電解質從陽極移動到陰極，同時電子從陽極通過外部電極流到陰極電路產生直流電，在陰極，另一種催化劑使離子，電子和氧氣發生反應，形成水和其他可能的產物。

維基百科如 [表 7.30] 所示、 燃料電池的 4 種主要燃料電池的比較

表 7.30 4 種主要燃料電池的比較

		PEFC 固體高分子	PAFC 磷酸	MCFC 熔融碳酸鹽	SOFC 固體氧化物
電 解 質	電解質 材料	交換膜	磷酸鹽	碳酸鋰，碳酸鈉， 碳酸	比如 穩定 氧化鋯
	移動離 子	H^+	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}
	使用模 式	膜	在基質中 浸漬	在基質中浸漬、 或粘貼	薄膜、薄板
反 應	催化劑	鉑	鉑	無	無
	陽極	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$
	陰極	$O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$	$O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$	$O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$	$O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$

運行溫度 (°C)	80-100	190-200	600-700	700-1,000
燃料	氫	氫	氫、一氧化碳	氫、一氧化碳
發電效率 (%)	30-40	40-45	50-65	50-70
設想發電能力	數 W-數十 kW	100-數百 kW	250kW-數 MW	數 kW-數 十 MW
設想用途	手機、家庭 電源、汽車	發電	發電	家庭電源、 發電
開發狀況	家庭用實用化、汽車 2015 年預計實用化	廢水處理廠、醫院、應急電源		家庭用實用化、大型 定製在開發中

資料來源：維基百科，燃料電池 [173]

台灣經濟研究院的台灣燃料電池資訊網在 FC 介紹 [表 7.31] [174] 提出燃料電池的比較

表 7.31 各種燃料電池的種類與特性

電池種類	磷 酸 (PAFC)	熔融碳酸 鹽(MCFC)	固態氧化 物(SOFC)	鹼 性 (AFC)	質子交換 膜(PEFC)
電解質	H ₃ PO ₄	Li ₂ CO ₃ - K ₂ CO ₃	ZrO ₂	KOH	含氟質子 交換膜
陽極	C(含 Pt)	Ni(含 Cr, Al)	金屬(Ni, Zr)	C(含 Pt)	C(含 Pt)

陰極	C(含 Pt)	NiO	金屬氧化物如 LaMnO ₄	C(含觸媒)	C(含 Pt) 鉑黑
流動離子	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ₂ ⁻	OH ⁻	H ⁺
操作溫度	180~200°C	~650°C	~1000°C	室溫 ~100°C	室溫~80°C
操作壓力	<120psia	<120psia	常壓	<60psia	<30psia
可用燃料	天然氣、 甲醇、輕油	天然氣、 甲醇、石油、煤碳	天然氣、 甲醇、石油、煤碳	精煉氫氣、電解 副產氫氣	天然氣、 甲醇、汽油
池體材料	石墨	鎳、不鏽鋼	陶瓷	合成樹脂	石墨
特性	1. 進氣中 CO 會導致 觸媒中毒 2. 廢熱可 予利用	1. 不受進 氣 CO 影響 2. 反應時 需循環使 用 CO ₂ 3. 廢熱可 利用	1. 不受進 氣 CO 影響 2. 高溫反 應，不需依 賴觸媒的 特殊作用 3. 廢熱可 利用	1. 需使用 高純度氫 氣做為燃 料 2. 低腐蝕 性及低溫 較易選擇 材料	1. 功率密 度高，體積 小，重量輕 2. 低腐蝕 性及低溫， 較易選擇 材料
電池內重 組可能性	可能	非常可能	非常可能	不可能	不可能

優點	1. 對 CO ₂ 不敏感 2. 可用天然氣或甲烷作燃料	1. 可用空氣作氧化劑 2. 可用天然氣或甲烷作燃料	1. 可用空氣作氧化劑 2. 可用天然氣或甲烷作燃料	1. 啟動快 2. 室溫常壓下工作	1. 壽命長 2. 氧化劑 3. 室溫 4. 功率大 5. 啟動快 6. 功率可調整
缺點	1. CO 敏感 2. 高溫度 3. 成本高	工作溫度較高	工作溫度過高	1. 需以純氧作氧化劑 2. 成本高	1. 對 CO 非常敏感 2. 反應物需要加濕
系統效率	40%	50%	50%	40%	40%
用途	汽電共生 分散型發電 離島地區發電 移動式電源 運輸工具之電源	汽電共生 分散型發電 取代大規模火力發電	汽電共生 分散型發電 取代中規模火力發電	太空船 潛水艇	小型發電機組 分散型發電 移動式電源 運輸工具之電源

資料來源：台灣經濟研究院、台灣燃料電池資訊網、FC 介紹 [174]

邱家璋等人[175]，燃料電池之研究探討中提出不同燃料電池的性能比較 [表 7.32]

表 7.32 不同燃料電池的性能比較

電池類型	鹼性	質子 交換膜	直接甲醇	磷酸	熔融碳 酸鹽	固態 氧化物
英文簡稱	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MFC	SOFC
溫度分別	低溫燃料 電池	中溫燃料 電池	高溫燃料 電池			
操作溫度	室溫 ~100 度	室溫 ~90 度	室溫 ~130 度	108 ~205 度	650 度	800 ~1000 度
操作電壓	<60psia	<30psia	<75psia	<120psia	<120psia	常壓
電解質	KOH	含氟質子 交換膜	高分子	H ₃ PO ₄	LiCO ₃ , K ₂ CO ₃	ZrO ₂
陽極	C(含 Pt) , Ru	C(含 Pt) , Ru	C(含 Pt) , Ru	C(含 Pt)	Ni(含 Cr , Al)	金屬(Ni , Zr)
陰極	Metal, C(含 Pt)	C(含 Pt) 、鉑黑	C(含 Pt)	C(含 Pt)	NiO	金屬氧化 物 , 如 LaMnO ₄
流動離子	OH ⁻	H ⁺	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
池體材料	合成樹脂	石墨金屬	石墨金屬	石墨	鎳不鏽鋼	陶瓷

可用燃料	精練氫氣， 電解副產 氫氣	天然氣,甲 醇,輕油	甲醇	天然氣,甲 醇輕油,沼 氣	天然氣,甲 醇石油,煤 炭	天然氣,甲 醇石油,煤 炭
氧化劑	純氧	空氣. 氧氣	空氣. 氧氣	空氣. 氧氣	空氣. 氧氣	空氣. 氧氣
反應物	高純度 氫氣	混合氫氣	甲醇	混合氫氣	混合氫氣	混合氫氣
電效率	60~70%	45~58%	30%	37~42%	>50%	50~65%
電池重組 可能性	不可能	不可能	不需要	可能	非常可能	分常可能
起電時間	<0.1h	<0.1h	<0.1h	1~4h	5~10h	5~10h
技術進展	80KW	1KW	250KW	11KW	2MKW	100KW

資料來源：邱家瑋等人，燃料電池之研究探討 [175]

7.4.2 日本家庭用燃料電池（ENE-FARM）

1990 年代 NEDO 和日本三洋電機，松下電器工業，松下電器廠，東芝等電機製造製造業合作研發家庭用燃料電池 [圖 7.17]，2009 年 1 月，六家能源公司（東京煤氣，大阪煤氣，東邦煤氣，西武煤氣，日本石油有限公司，Astomos Energy）製造了一種固態聚合物分子作為家用燃料電池 “ ENE-FARM ” [176] 類型燃料電池（PEFC）系統開始銷售。ENE-FARM 於 2013 年，高分子電解質燃料電池（PEFC）系統的出貨量為 32,431 單位，固體氧化物燃料電池（SOFC）的出貨量為 1,434 單

位。現在超過了 100,000 個單位。用 戶負擔 (包括安裝費用) 在 2009 年首次投放市場時約為 300 萬日元，現在已減半，減至 150 萬日元 (包括國家補貼系統)。家用燃料電池系統市場目標是到 2020 年普及 140 萬個家庭燃料電池系統，到 2030 年普及 530 萬個 (約佔所有家庭的 10%)。到 2025 年成為 1.1 兆日元的全球市場。

資料來源：NEDO 氢能源白皮書 家庭用燃料電池 [176]

東芝家庭用燃料電池 (PEFC)

	額定輸出	700W
	額定發電效率	38.5%以上 (城市燃氣) 37.5%以上 (液化石油氣)
	整體效率	94%以上
	銷售日期	2012 年 3 月
	尺寸 (mm)	FC 單元：W780/D300/H1000 熱水單元：W750/D440/H1760

Panasonic 家庭用燃料電池 (PEFC)

	額定輸出	750W
	額定發電效率	39%
	整體效率	95%
	銷售日期	2013 年 4 月
	尺寸 (mm)	FC 單元：W400/D400/H1850 熱水單元：W560/D400/H1850

JX 日鑛日石家庭用燃料電池 (SOFC)

	額定輸出	700W
	額定發電效率	45%
	整體效率	87%



銷售日期	2011年10月
尺寸 (mm)	FC 單元：W563/D302/H900 熱水單元：W740/D310/H1760

愛信精機家庭用燃料電池 (SOFC)



額定輸出	700W
額定發電效率	46.50%
整體效率	90%
銷售日期	2012年4月
尺寸 (mm)	FC 單元：W600/D335/H935 熱水單元：W740/D310/H1760

圖 7.17 家庭用燃料電池 [176]

資料來源：NEDO 氢能源白皮書 家庭用燃料電池 [176]

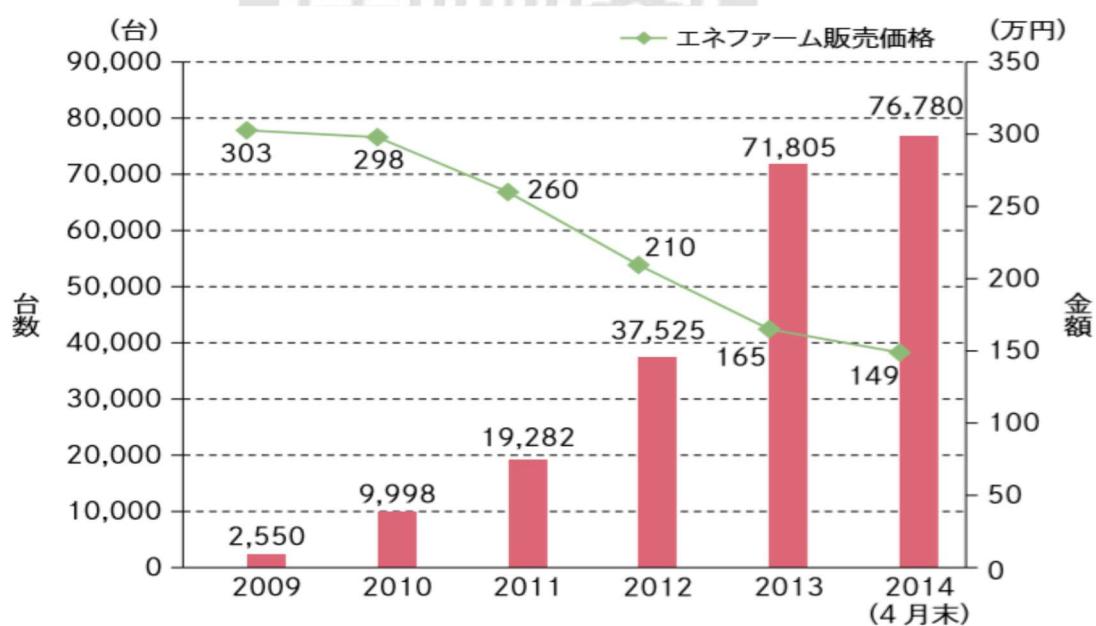


圖 7.18 家庭用燃料電池價格・普及台數推移 P79 [176]

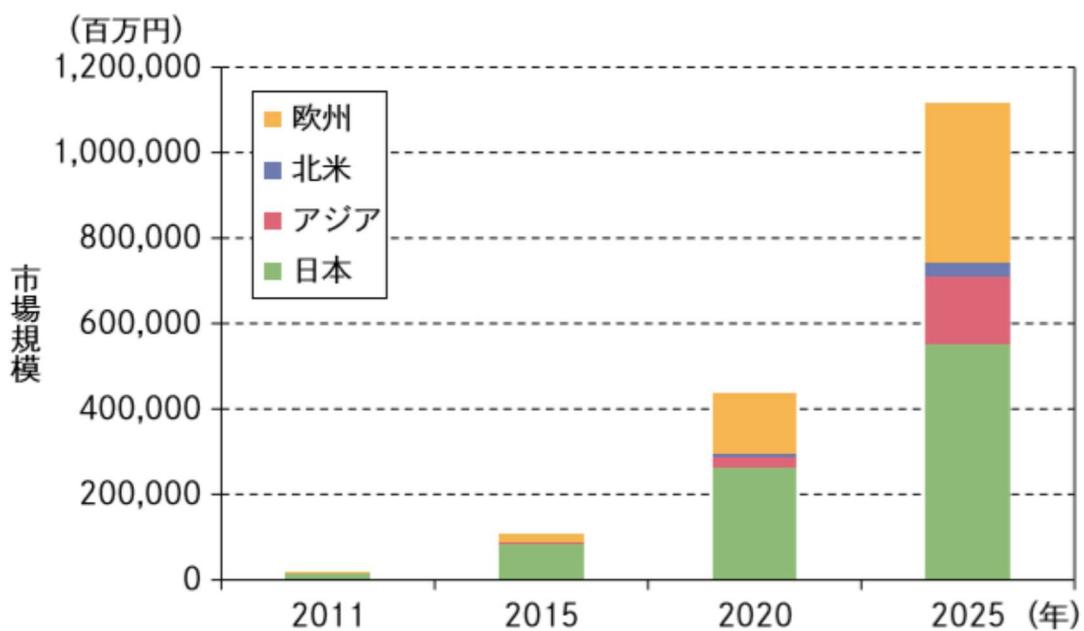


圖 7.19 家庭用燃料電池世界市場 P79 [176]

7.4.3 商用/工業燃料電池

商用/工業燃料電池 [表 7.33] 原理和特性與家用燃料電池一樣，燃料是使用城市燃氣，重整器產生氫氣，和氧氣起反應時，就會產生電力。家用的發電量約為 1 kW，而商業用的發電量為幾 kW 至 1 MW，而工業用的發電量為幾至數百 MW。通常使用磷酸燃料電池 (PAFC)，熔融碳酸鹽燃料電池 (MCFC) 和固體氧化物燃料電池 (SOFC)。自 2008 年以來，富士電機在日本銷售 100 kW 的磷酸燃料電池 (PAFC) 系統。到 2020 年的目標是達到 50% LHV 或更高的發電效率，90,000 小時或更長時間的耐久性以及 100 萬日元/ kW 或更低的發電系統。三菱重工（現三菱日立動力系統）正在開發一種混合動力系統，該系統將 250 kW 固體氧化物燃料電池 (SOFC) 和燃氣輪機結合起來。商用/工業燃料電池在 2025 年的市場規模、日本達 226 億日元、海外市場約 7,000 億日元的規模 [表 7.34]。

表 7.33 日本國內業務用燃料電池系統規模

名稱	5kW 級 業務用 SOFC (假) FC-5	15 式 250kW 導入機 (混合 動力系統)	15 式 1MW 導入機 (混合 動力系統)	FP-100i	ES-5700 Energy Server
製造廠商	三浦工業	三菱重工	三菱重工	富士電機	Bloom Energy
額定功率 (kW)	5	250	1350	105	200
發電效率 (%-LHV)	48	55	55	42	50—60
整體效率 (%-LHV)	90	73 (溫水) 65 (蒸氣)	76 (溫水) 68 (蒸氣)	62	—
單位尺寸/安 裝面積 (m / m ² / kW))	0.7 × 1.1 × 1.8/0.8 (0.15)	12.0 × 3.2 × 3.2/40 (0.15)	24.0 × 5.0 × 3.2/120 (0.09)	2.2 × 5.6 × 3.4/12 (0.11)	9.1 × 2.6 × 2.1/24 (0.12)
運用方法	可汽電共生	可汽電共生	可汽電共生	可汽電共生	可汽電共生
備考	SOFC 證明	SOFC 證明	SOFC 計劃	PAFC	SOFC 擴張性高
市場投入 予定 時期	2017	2017	2018	商業化中	商業化中

資料來源：NEDO 氢能源白皮書，燃料電池 P149 [176]

表 7.34 海外業務用燃料電池系統規模

企業	Doosan Fuel Cell		Bloom Energy	Fuel Cell Energy	Ballard Power Systems	LG Fuel Cell Systems	GE
開發國	韓 (美)		美(日)	美 (韓)	加	美 (韓)	美
形式	PAFC	PEFC	SOFC	MCFC	PEFC	SOFC	SOFC
發電容量	400kW	5kW	200kW	300kW 1.4MW 2.8MW	1MW	—	—
現狀	販售中	販售中	販售中	販售中	實驗中	開發中	開發中
類型	汽電共生	汽電共生	發電專用	發電專用	發電專用	—	—
發電效率	41%	40%	50~60%	47%	40%	—	—
總合效率	90%	90%	—	—	—	—	—
備考	2014 年在美國收購 Clear Edge Power		通過併聯擴展與日本軟銀合資企業	授權予韓國 Posco	—	與勞斯萊斯合資	燃氣發動機混合動力

資料來源：NEDO 氢能源白皮書，燃料電池 P149 [176]

7.4.4 儲氫技術

吳鴻鈞等人 [166] 等人提出氫氣儲存方式可分為 1. 物理儲氫 2. 化學儲氫。物理儲氫方式包括活性碳儲氫，高壓儲氫，液態儲氫，奈米鈦管(線/絲)及奈米碳管或玻璃微球儲氫等。化學儲氫方式包括有機液態氫化物儲氫，金屬氫化物儲氫，無機物儲存及磁鐵性材料儲存等。氫可以和許多金屬形成金屬氫化物，如 [表 7.1] 所示，儲氫合金的熱力學性質的不同、各種金屬氫化物對氫的吸放也不同。在一定的溫度和壓力下此類金屬會大量吸收氫而生成金屬氫化物，且其反應有良好的可逆性，只要適當的調整溫度及壓力後即可發生逆反應，釋放出氫氣。

表 7.35 常見儲氫合金之熱力學性質 [166]

類型	合金	氫化物	吸氫量(%)	放氫壓 (MPa)@(0C)	氫化物生成焓 (KJ/mol H ₂)
AB	TiFe	TiFeH _{1.95}	1.8	1.0 (50)	-23
AB ₂	ZrMn ₂	ZrMn ₂ H _{3.46}	1.7	0.1 (210)	38.9
	ZrV ₂	ZrV ₂ H _{4.8}	2.0	10.9 (50)	200.8
AB ₅	LaNi ₅	LaNi ₅ H ₆	1.4	0.4 (50)	-30.1
	MmNi ₅	MmNi ₅ H _{6.3}	1.4	0.4 (50)	-26.4
	CaNi ₅	CaNi ₅ H ₄	1.2	0.04 (30)	-33.5
A ₂ B	Mg ₂ Ni	Mg ₂ NiH ₄	3.6	0.1 (253)	-64.4

資料來源：吳鴻鈞等人奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 P22 [166]

表 7.36 為各種儲氫技術的優缺點比較。在固態儲氫技術中，碳質吸附材是近年來受到矚目的技術。奈米碳管由於具有較大的儲氫量，且釋放氫氣速度快，可在常溫下釋放氫氣等優點，是一種具有未來前景的儲氫材料。

表 7.36 各種儲氫技術之優缺點比較 [166]

儲氫方法	優點	缺點
壓縮儲氫	1. 成本低、應用廣泛 2. 充放氣速度快，且在常溫下就可進行 3. 運輸和使用方法方便	1. 能量密度低 2. 壓力高，消耗較多的壓縮功 3. 氢氣易洩漏 4. 運輸過程不安全
液態儲氫	儲氫能力大	1. 能量損失大，成本高 2. 儲存容器需有突破之技術
金屬氫化物儲氫	1. 壓力平穩充氫簡單 2. 單位體積儲氫密度大 3. 運輸及使用安全	1. 儲氫量小 2. 金屬氫化物易破碎 3. 材料成本高
吸附儲氫	低溫儲氫能力強	1. 材料成本高 2. 技術尚未成熟

資料來源：吳鴻鈞等人奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 P23 [166]

因為奈米碳管孔洞非常的細小，所以有很大的比表面積，同時也具有許多的微孔，當氫氣分子接觸到表面時，一方面會被吸附在奈米碳管的表面，另一方面在毛細作用下，氫氣分子會被壓縮到微孔中，由氣態轉為液態或固態，因此其儲氫容量相當的大，因此在近幾年，不少的學者都利用奈米碳管當作吸附材來進行儲氫的實驗。

表 7.37 各種碳質材料儲氫性能之比較 [166]

吸附材料	吸附溫度(K)	吸附壓力 (MPa)	吸附容量
活性碳	65~78	4.2	6.8% ~ 8.2%
石墨奈米纖維	常溫	常壓	較好
單壁奈米碳管	200~400	常壓	14% ~ 20%
多壁奈米碳管	300	0.1	1.8%

資料來源：吳鴻鈞等人奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 P23 [166]

表 7.38 碳材料儲氫性能比較 [166]

材料	溫度(K)	壓力(MPa)	最大儲氫量(%)
石墨	298	11.35	4.52
石墨奈米纖維	298	11.35	11.26
奈米碳管	823	0.1	1.8
單層奈米碳管	300	0.04	4
多層奈米碳管	298	10	1.3

資料來源：吳鴻鈞等人奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 P24 [166]

在固態儲氫技術中，碳質吸附材有 1.石墨奈米纖維(CNF) 2.多壁奈米碳管(MWNT) 3.單壁奈米碳管(SWNT) 4.活性碳等，如 [表 7.39] 所示、目前文獻中所使用之材料以及其儲存條件之比較。

表 7.39 文獻中不同奈米碳管之吸附性能比較整理

Material	Hydrogen storage density(wt%)	Temperature (K)	Pressure (Bar)	Reference	Year
SWNT	16.7	-	-	Lee [24]	2000
SWNT	1~6	77	20	Pradhan [25]	2002
SWNT	0.6	78	2	Zuttel [26]	2002
SWNT	1.2	298	48	Smith [27]	2003
SWNT	0.43	298	80	Kajiura [28]	2003
SWNT	0.9	294	200	Lawrence [29]	2004
SWNT	0.25	303	30	Takagi [30]	2004
MWNT	7.7	-	-	Bok [24]	2000
MWNT	2.3~3.1	298	100	Shaijumon [31]	2003
MWNT	0.55	298	18	Zacharia [32]	2005
MWNT	0.71	823	1	Chen [33]	2007
MWNT	0.4	303	10	Yao [34]	2008
MWNT	1.21	77	65	Suttisawar [34]	2009

MWNT	0.39	298	7	Chang [35]	2009
MWNT	0.4	298	5	Skripnyuk [36]	2010
MWNT	1.5	298	30	Wu [37]	2010

資料來源：每日頭條儲能電站設計壽命分析 [178]

如 [表 7.40] 按照儲能電站每天對電池做一次充放電循環計算，可計算出不同類型電池儲能電站壽命。

表 7.40 使用不同類型電池的儲能電站壽命比較

電池形式	電池壽命	儲能電站壽命(年)	備註
鈉硫電池	4000~6000	11~16	占地面積太
液流電池	4000~6000	11~16	占地面積太
鉛酸電池	300	1	方案不成立
磷酸鐵鋰電池	800~1200	2~4	方案不成立
動力電容電池	50000	30~50	方案最優

資料來源：每日頭條儲能電站設計壽命分析 [178]

表 7.41 各型電池性能比較 [71]

電池類型	鉛酸電池	鎳鎘電池	鎳氫電池	鋰離子電池	一般電容器	動力電容電池
比能量 (WH/kg)	35~45	50~60	75~85	110~130	10~12	80~90
能量密度 (wh/l)	85~95	90~100	140~150	160~200	23~25	180~200
循環壽命 (次數)	400~600	600~800	800~1200	800~1200	500000	50000
充電溫度範圍	-10~40°C	5~45°C	5~45°C	0~55°C	-10~40°C	-30~55°C
放電溫度範圍	-15~50°C	-20~55°C	-20~55°C	-20~55°C	-40~55°C	-40~70°C
儲存溫度範圍	-15~35°C	-20~30°C	-20~30°C	-20~30°C	-30~35°C	-30~35°C
正常充電時間	8h 以上	2h~7h	1h~6h	2h~4h	12~15min	10~15min
最大放電倍率	2 倍率	5 倍率	5 倍率	5 倍率	10C 倍率	10C 倍率
安全性	一般	一般	一般	差	好	一般
環保	有污染	有污染	無污染	無污染	無污染	無污染
自放電率 (%/月)	30~35%	25~30%	30~35%	10~15%	6~9%	10~15%

資料來源：每日頭條儲能電站設計壽命分析 [178]

7.5 氫法規

7.5.1 經濟部能源局網頁 [179] 可以查訊台灣主要綠能相關法規及行政規則-

表 7.42 法規及行政規則

電力表	電業法	106 年 01 月 26 日
	發電設備裝置規則	106 年 11 月 23 日
	輸配電設備裝置規則	106 年 10 月 24 日
	其他法規	
再生能源	再生能源發展條例	108 年 05 月 01 日
	再生能源發電設備設置管理辦法	108 年 12 月 18 日
	輸配電業加強電力網成本申報及查核辦法	109 年 01 月 06 日
	再生能源熱利用獎勵補助辦法	104 年 12 月 09 日
	經濟部辦理綠能屋頂全民參與推動作業要點	107 年 03 月 15 日
	一百零九年度再生能源電能躉購費率及其計算公式	108 年 12 月 31 日
	彰化離岸風電海纜上岸共同廊道範圍	106 年 08 月 17 日
	其他法規	
太陽光電	建築整合型太陽光電發電設備示範獎勵辦法	108 年 07 月 01 日

	經濟部太陽光電發電設備競標作業要點 **其他法規**	101 年 02 月 09 日
風力發電	離岸風力發電示範獎勵辦法	108 年 07 月 08 日
	離岸風力發電規劃場址申請作業要點	104 年 07 月 02 日
	離岸風力發電規劃場址容量分配作業要點	108 年 08 月 06 日
	其他法規	
地熱發電	地熱能發電系統示範獎勵辦法	108 年 08 月 06 日
能源科技專案 計畫	經濟部能源局業界能專計畫申請須知	108 年 08 月 29 日
	經濟部業界能源科技專案計畫申請須知	102 年 12 月 25 日
其他法規	**其他法規**	

資料來源：經濟部能源局，能源法規 [179]

7.5.2 氢能的規範主要有數個組織與國家標準化機構，例如：國際標準化組織(ISO) [166]、國際電子工程委員會(IEC)、電氣與電子工程師協會(IEEE)等

表 7. 43 ISO 氢能規範

規範	名稱
ISO 13984:1999	液態氫氣-陸地交通工具填充系統介面(Liquid hydrogen – Land vehicle fuelling system interface)
ISO 13985:2006	液態氫氣-陸地車輛燃料儲存裝置(Liquid hydrogen – Land vehicle fuel tanks)
ISO 14687-1:1999	氫氣燃料產生規格(I) 除了質子交換薄膜燃料電池以外使用於陸地交通工具之應用(Hydrogen fuel – Product specification – Part 1:All applications except proton exchange membrane(PEM) fuel cell for road vehicles)
ISO 14687-2:2012	氫氣燃料產生規格(II) 質子交換薄膜燃料電池應用於陸地車輛(Hydrogen fuel – Product specification – Part 2:Protonexchange membrane(PEM) fuel cell applications for road vehicles)
ISO 14687-3:2014	氫氣燃料產生規格(III) 質子交換薄膜燃料電池於固定式裝置應用(Hydrogen fuel – Product specification – Part 3:Protonexchange membrane(PEM) fuel cell applications for stationary appliances)
ISO/PAS 15594:2004	飛機場燃料填充方法(Airport hydrogen fuelling facility operations)

ISO/TS 15869:2009	應用於陸地用車輛使用氣態氫氣和混合氫氣燃料儲存裝置(Gaseous hydrogen and hydrogen blends – Land vehicle fuel tanks)
ISO/TR 15916:2004	氫氣系統安全的基本考量(Basic considerations for the safety of hydrogen systems)
ISO 16110-1:2007	作為燃料用氫氣產生器技術(I)安全性(Hydrogen generators using fuel processing technologies – Part 1:Safety)
ISO 16110-2:2010	作為燃料用氫氣產生器技術(II)效能測試方法(Hydrogen generators using fuel processing technologies – Part 2:Test methods for performance)
ISO 16111-2008	可移動式氣態儲存裝置 - 使用可重複使用金屬氫化物(Transportable gas storage devices – Hydrogen absorbed in reversible metal hydride)
ISO 17268:2012	針對陸地用車輛氣態氫氣聯結裝置(Gaseous hydrogen land vehicle refueling connection devices)
ISO/TS 20100:2008	氣態氫氣 - 填充站(Gaseous hydrogen – Fuelling stations)
ISO 22734-1:2008	使用電解法產生氫氣(I)工業與商業應用(Hydrogen generators using water electrolysis process – Part 1:Industrial and commercial applications)
ISO 22734-2:2011	使用電解法產生氫氣(II)住宅應用(Hydrogen generators using water electrolysis process – Part 2:Residential applications)
ISO 26142:2010	氫氣偵測裝置 - 固定式應用(Hydrogen detection apparatus – Stationary applications)

資料來源：吳鴻鈞等人奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 P58 [166]

表 7.44 中國主要氫能標準

標準號	標準名稱
GB/T 3634-1995	氫氣
GB 4962-2005	氫氣使用安全技術規程
GB/T 3634.2-2011	純氫、高純氫和超純氫
GB/T 16942-1997	電子工業用氣體 氢
GB/T 19773-2005	變壓吸附提純氫系統技術要求
GB/T 19774-2005	水電解制氫系統技術要求
GB/T 20042.1-2005	質子交換燃料電池 術語
GB 50177-2005	氫氣站設計規範
GJB 2645-1996	液氫貯存運輸要求
GJB 5064-2004	水電解制氫安全要求
GJB 5405-2005	液氫安全應用準則
JB/T 5903-1996	水電解制氫設備
JB/T 9082-1999	水電解制氫設備 術語
QJ 2298-1992	用氫安全技術規範
QJ 3028-1998	液氫加注車通用規範
SJ/T 31458-1994	氫氣純化設備完好要求和檢查評定方法

資料來源：吳鴻鈞等人奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 P59 [166]

表 7.47 主要國家產業部門能源政策重點措施

措施方案		美國	英國	德國	日本	韓國	澳洲	中國	中華 民國
產業結構調整						◎		◎	◎
誘因 機制	徵收氣候變遷 稅/環境稅		◎	◎					
	執行溫室氣體 排放配額制		◎	◎	◎	◎	◎		◎
效率 規範	耗能設備能源 效率指標	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	提供節能諮詢 服務			◎				◎	◎
節能 管理	推廣汽電共生 與能資源整合		◎	◎		◎		◎	◎
	引進現代能源 管理系統			◎	◎	◎	◎		◎
減碳 技術	技術研發 輔導	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎
	引進 CCS 技術				◎				

資料來源：吳再益等人我國能源政策發展模式及其未來方向探討 P62 [180]

表 7.45 美國國內各項氫能標準的負責學會

協會名稱(縮寫)		標準
AGA	美國氣體協會	材料測試標準
API	美國石油產品協會	石油產品製造儲存和處理設備標準
ASME	美國機械工程師協會	跨領域工程標準與教育推廣
ASTM	美國材料測試協會	機械和跨領域工程，設計法規和
CGA	壓縮氣體協會	壓縮氣體系統組件和設備設計和
DOT	美國政府運輸部	聯邦運輸法規
FERC	聯邦能源規範委員會	電子，器和油品跨洲運輸
GTI	氣體科技協會	對能源工業技術協約和訓練
ICC	國際法規委員會	法規制定包括國際防火法規
IEEE	電子電機工程師協會	電力系統標準
NERC	北美電力可靠度協會	電力網格操作標準
NFPA	國家火災防護協會	防火，建築法規
NIST	國家標準技術協會	量測標準
SAE	汽車工程師協會	載具標準
UL	優力國際安全認證有限公司	測試標準效能設備

資料來源：吳鴻鈞等人奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 P60 [166]

吳再益等人 [180] 提示我國在能源方面因為產量不足，容易受到國際情勢變化而影響能源供給量及價格的波動。如何能多元化能源的來源及能源供應穩定上，分析主要國家在工業，商業及運輸部門之能源需求面管理策略，產業部門能源政策重心可分為產業結構調整，實施能源管理，提升能源效率，加強節能研發等四大主軸。[表 7.46] [表 7.47] 參考主要國家推動的能源政策，規劃我國在能源政策上的發展方向。

表 7.46 主要國家新及再生能源政策重點措施

措施方案		美國	英國	德國	日本	韓國	澳洲	中國	中華 民國
目標 設定	訂定再生能源 發展目標	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	提升再生能源 發電占比	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
推動 重點	提高再生燃料 的需求	◎	◎	◎	◎				◎
	推廣沼氣利用			◎				◎	
	推廣再生能源 熱能利用			◎	◎	◎		◎	
誘因 機制	再生能源租稅 優惠		◎	◎	◎	◎	◎		
	執行再生能源 發電義務制度		◎				◎		
	執行再生運輸 燃料義務制度		◎	◎					◎
	收購電價優惠			◎		◎		◎	◎
產業	推動再生能源 產業化			◎	◎	◎		◎	◎
技術	加強再生能源 研發	◎		◎	◎	◎	◎		◎

資料來源：吳再益等人我國能源政策發展模式及其未來方向探討 P61 [180]

表 7.47 主要國家產業部門能源政策重點措施

措施方案		美國	英國	德國	日本	韓國	澳洲	中國	中華 民國
產業結構調整						◎		◎	◎
誘因 機制	徵收氣候變遷 稅/環境稅		◎	◎					
	執行溫室氣體 排放配額制		◎	◎	◎	◎	◎		◎
效率 規範	耗能設備能源 效率指標	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	提供節能諮詢 服務			◎				◎	◎
節能 管理	推廣汽電共生 與能資源整合		◎	◎		◎		◎	◎
	引進現代能源 管理系統			◎	◎	◎	◎		◎
減碳 技術	技術研發 輔導	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎
	引進 CCS 技術				◎				

資料來源：吳再益等人我國能源政策發展模式及其未來方向探討 P62 [180]

自 傳

姓 名 尹道文

出 生 地 台北市

出生年月日 民國 41 年 6 月 20 日



學 歷 崑山科技大学機械工程系研究所碩士在職專班

日本情報處理專門學校情報處理科

中國文化大學德文系

經 歷 池洋株式會社社長

株式会社電算 計算機系統工程師

住 所 日本國千葉県我孫子市湖北台-16-65-302

中華民國台北市萬華區桂林路 2-2

電 話 日 本 (+81) 04-7188-4335

中華民國 (+86) 02-2306-5983

電 子 信 箱 Takagi.mf@gmail.com