

# 奈米技術於氫氣儲存輸送之 特性探討

Discussions on nanotechnology of hydrogen storage and  
transportation



奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 ILOSH103-S325

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

勞動部勞動及職業安全衛生研究所  
INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR



地址：新北市汐止區橫科路407巷99號  
電話：(02) 26607600  
傳真：(02) 26607732  
網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-04-4685-2



9 789860 446852

GPN:1010400748  
定價：新台幣300元

# 奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討

## **Discussions on nanotechnology of hydrogen storage and transportation**

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

## Discussions on nanotechnology of hydrogen storage and transportation

研究主持人：吳鴻鈞、鍾財王、陳邦旭

計畫主辦單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國 103 年 7 月 09 日至 103 年 12 月 05 日

**\*本研究報告公開予各單位參考\***  
惟不代表勞動部政策立場(自行研究)

勞動部勞動及職業安全衛生研究所  
中華民國 104 年 6 月

## 摘要

氫氣是人類未來的理想能源之一，並且只需要水作為來源。更讓人注目的是氫氣有機會不需要危險的開採與探勘，它只需要太陽能、風力、生物能等綠色發電技術所產生的電力即可電解水產生氫氣。製造與使用的過程中完全不會有任何的二氧化碳排放也不會對環境產生任何形式的損害。氫氣可以成為有效的再生能源，並應用於汽車、瓦斯爐、飛機、船隻等交通工具，甚至比這些會產生溫室氣體的石油還更有效率。由其在碳稅即將開徵的現在，氫能可以提供有效的能源，但其製造技術，電能轉換效率與使用安全也受到廣泛的注意。

本計畫使用脈衝式電壓調變控制器為電源管理系統，同時建置了一密閉水路的電極材料開發，組裝與水裂解裝置系統。搭配儲水槽和除水氣裝置建置一套產氫系統。在比較脈衝式電壓調變控制電路和傳統直流電電解水的方法中，研究者發現脈衝式電壓調變控制可以有效控制電流輸出波形，利用暫空比和脈衝頻率的改變以得到最適化與安全的產氫裝置，並減少輸入電流用於加熱水的比例，有效節約輸入能源，提高產氫效率。實驗結果顯示在 12 V，脈衝頻率 500 Hz 下，占空比為 10%，與電極距離為 3 毫米的條件下，KOH 濃度(< 30%) 越高其電解效率越好。在 30%wt 的 KOH 電解液達到 4.3 ml/s 的產氫速率。而氫氣儲存方式大致上可分為物理儲氫及化學儲氫。物理儲氫方式包括液態儲氫、高壓儲氫、活性碳儲氫、玻璃微球及奈米碳管或奈米鈦管(線/絲)儲氫等。化學儲氫有金屬氫化物儲氫、有機液態氫化物儲氫、無機物儲存及磁鐵性材料儲存等。氫氣可以像天然氣一樣儲存在密封的容器內，一般來說儲存壓力約為12~15MPa，此方式適合大規模儲存氣體時使用，但因氫氣的密度太低，且需要消耗較大的壓縮功，使得其在應用面還是受到限制。常壓下，氫氣的熔點為  $-253^{\circ}\text{C}$ ，而汽化潛熱僅有0.904 kJ/mol，液態氫的密度是汽態的845倍，且其熱值為汽油之三倍，但因密度低，使得同體積下的液態氫所能提供的能量只有汽油的三分之一，此意味著在行駛相同里程時，液態氫所需的儲存體積約為汽油的三倍左右。

經由本計畫結果顯示脈衝式電壓調變確實可以有效的電源管理，若能將脈衝頻率、暫空比和電極系統作最佳化，將可以有潛力成為有效的氫氣生產裝置；而氫可以和許多金屬形成金屬氫化物，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。在固態儲氫技術中，碳質吸附材是近年來受到矚目的技術。主要的材料有單壁奈米碳管(SWNT)、多壁奈米碳管(MWNT)、石墨奈米纖維(CNF)及活性碳等。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，因此被認為是一種具有發展前景的儲氫材料。

關鍵詞：氫氣、奈米技術儲氫、氫氣產生裝置

## Abstract

Hydrogen ( $H_2$ ) is one of the ideal fuels for mankind in the near future, with only water being the source. More importantly, the production of hydrogen does not require any dangerous mining, but only solar power, wind power, and biological mass to generate the electricity needed for water electrolysis. Additionally, production of hydrogen does not lead to the formation of carbon dioxide and is thus friendly to the environment.  $H_2$  can be a good secondary energy, and serves as fuel for vehicles, oven, airplane, boat, and other devices, especially when it is more efficient than fossil fuels such as coal, petroleum and natural gas. As it is considered an ideal energy carrier in the foreseeable future, the production of which, its energy efficiency, and safety issues receive a lot of attentions.

Owing to the usage of  $H_2$  energy, a set of advanced electrolysis for water through a pulse width modulation (PWM) controller is built. Also, a closed electrolysis system for KOH solution, associated with a KOH reservoir and de-water filter to split water molecular is established. In comparison with direct current electrolysis, the PWM can control the output wavefront and clamp the output current at the same applied voltage (12V). Through duty cycle modulation and pulse frequency, this approach can enhance hydrogen production efficiency and suppress excessive power that heats up the water. Our experiment indicates that the  $H_2$  gas generation rate reaches 4.3ml/s at 12V, 500Hz frequency, and duty cycle of 10% with 30% KOH as electrolyte. In general, Hydrogen storage can be separated into physical and chemical methods. Physical methods include liquid hydrogen storage, high pressure hydrogen storage, and adsorption hydrogen storage. Chemical methods include metal hydride hydrogen storage, liquid organic hydride hydrogen storage, and inorganic hydrogen storage. At standard temperature and pressure, hydrogen is a colorless, odorless, tasteless, non-toxic, nonmetallic, highly combustible diatomic gas. Since hydrogen readily forms covalent compounds with most non-metallic elements, most of the hydrogen on Earth exists in molecular forms such as in the form of water or organic compounds.

Results from this study shows that the input power could be efficiently managed. By optimizing pulse frequency, output current, duty cycles, and design of plates system, the PWM driven water electrolysis can be a potential candidate of  $H_2$  mass production. Most research in hydrogen storage is focused on storing hydrogen as a lightweight, compact

energy carrier for mobile applications. Hydrogen carriers based on nanostructured carbon (such as carbon buckyballs and nanotubes) have been proposed. However, since hydrogen usually amounts up to ~3.0-7.0 wt.% at 77K, which is far from the value set by US Department of Energy (6wt.% at nearly ambient conditions), it makes carbon materials poor candidates for hydrogen storage.

Keywords: hydrogen, nanotechnology, hydrogen storage, adsorbent

# 目錄

摘要.....	i
Abstract .....	iii
目錄.....	v
圖目錄.....	vii
表目錄.....	ix
第一章 計畫概述.....	1
第一節 背景分析.....	1
第二節 氫能的研究.....	2
第三節 氫氣洩漏及工安事件之整理.....	3
第二章 儲氫技術之蒐集彙整.....	6
第一節 氫的特性.....	6
第二節 氫能趨勢.....	6
第三節 台灣氫能發展.....	14
第四節 氫氣儲存方式.....	18
第三章 奈米技術於儲氫製成應用之探討.....	23
第四章 研究方法與實驗.....	25
第五章 氫氣的使用規範.....	52
第一節 氫氣的安全性.....	52
第二節 氫氣使用規範.....	57
第三節 水電解的安全需知.....	61
第四節 電解水製氫原理.....	63
第五節 水裂解系統操作說明與安全注意事項.....	70
第六節 氫氣的儲存.....	72
第七節 氫氣相關接管規範與鋼瓶使用規範.....	75
第六章 結論與建議.....	78
第一節 結論.....	78



第二節 建議 .....	79
誌謝 .....	81
參考文獻 .....	82
[附錄] .....	86

# 圖目錄

圖 1 IPCC 聯合國跨政府氣候變遷問題小組報告要點，摘自聯合報.....	1
圖 2 行政院綠能產業發展願景，摘自聯合報.....	2
圖 3 美國能源部於 2014 年所公佈 氫能製造於 2014 與 2015 年經費變動.....	10
圖 4 豐田公司所發表 MIRAI (A) 車體 與(B) 車底，搭載兩個氫氣儲存桶.....	13
圖 5 TYPE IV 壓縮儲氫容器.....	20
圖 6 美國太空總署球狀氫氣儲存槽.....	21
圖 7 合金金屬吸附氫氣之示意圖.....	22
圖 8 利用水熱法輔助合成二氧化鈦奈米材料之流程.....	27
圖 9 不同反應溫度下，利用微波消化法所得到之奈米二氧化鈦.....	28
圖 10 不同反應時間之奈米二氧化鈦 TEM 圖.....	28
圖 11 吸附時間對氫氣儲存量之關係圖.....	30
圖 12 不同壓力下氫氣儲存量.....	31
圖 13 奈米二氧化鈦儲氫密度對時間作圖.....	33
圖 14 重量法之吸附平衡設備.....	33
圖 15 不同溫度下，奈米二氧化鈦之氫氣洩漏對時間之作圖。.....	34
圖 16 STANLEY MEYER 於專利中產生氫氣的電路，摘自 U.S. PATENT (US 4936961)。	35
圖 17 STANLEY MEYER 於專利中說明水分子電解過程之原理圖 (US 4936961).....	36
圖 18 控制器外觀.....	37
圖 19 TC4426A 晶片 PIN 腳與外觀。.....	38
圖 20 IRFB4310ZGPBF 金氧半導體元件.....	38
圖 21 PWM 電路串接示意圖.....	39
圖 22 經測試確實可以輸出 12V 的 PWM 波形.....	39
圖 23 PWM 電流源與直流電解測量方式的示意圖。.....	40
圖 24 水裂解系統與傳統水電解差異性比較實驗.....	40
圖 25 重量百分比 20%WT 的 KOH 電解液以 12 V 直接電解.....	41
圖 26 重量百分比 10% 的 KOH 電解液以 10% DUTY CYCLE 的 PWM 電源電解.....	42
圖 27 重量百分比 20%的 KOH 電解液以 10% DUTY CYCLE 的 PWM 電源電解.....	42
圖 28 重量百分比 30% 的 KOH 電解液以 10% DUTY CYCLE 的 PWM 電源電解.....	43
圖 29 STANLEY MEYER 於專利中產生氫氣的腔體結構，摘自 U.S. PATENT	

4936961A。	44
圖 30 導引水路的上下蓋板	45
圖 31 不鏽鋼電極，左邊為模組電力引入電極。	45
圖 32 完整電極模組橫截面透視圖。	46
圖 33 完整電極模組上視圖。	47
圖 34 完整電極模組側視圖	47
圖 35 為本研究中氫氣發生裝置的功能方塊圖 (純水中加入電解質)	48
圖 36 為本研究中氫氣發生裝置組裝完成圖	48
圖 37 使用 PWM 電解槽的電流波型	49
圖 38 使用電解槽的電流與電壓波型	50
圖 39 電解水電能與甲醇/氫氣儲存關聯圖	56
圖 40 鹼性電解質水溶液的電解	65

# 表目錄

表 1 氫氣洩漏及公安國內案例.....	4
表 2 氫氣洩漏及公安境外案例.....	5
表 3 電動車與氫能燃料車的優點與缺點.....	8
表 4 台灣目前與氫能相關公司列表*以上數據根據網路資料.....	16
表 5 美國能源局(DOE)2009 儲氫技術目標.....	19
表 6 常見儲氫合金之熱力學性質.....	22
表 7 各種儲氫技術之優缺點比較.....	23
表 8 各種碳質材料儲氫性能之比較.....	23
表 9 碳材料儲氫性能比較.....	24
表 10 自製奈米二氧化鈦線材料之物理性質.....	28
表 11 文獻中不同奈米碳管之吸附性能比較整理.....	29
表 12 本計畫設計之水裂解裝置與 STANLEY ALLEN MEYER 於美國專利 US5149407 A 及 US 4936961 A 中描述之水裂解裝置差異性。.....	51
表 13 氫氣、石油與天然氣於化學特性上之比較 (參考 HTTP://WWW.ARHAB.ORG/PDFS/H2_SAFETY_FSHEET.PDF，或附錄五).....	53
表 14 產氫技術，與相關投入原料，產氫效率與商品化成熟度.....	54
表 15 ISO 已完成的規範.....	58
表 16 中國主要氫能標準(資料來源：中國標準服務網，上海標準化服務網).....	59
表 17 美國國內各項氫能標準的負責學會.....	60
表 18 固態儲氫技術發展時程.....	79



# 第一章 計畫概述

## 第一節 背景分析

近幾年來世界各國的石油蘊藏量也隨著工業開發越來越少了，國際原油的持續高漲就可以讓汽車駕駛感受到緊迫的壓力。而且汽油的排氣會產生 CO<sub>2</sub>，會污染地球也會破壞臭氧層所引起的溫室效應。

聯合國跨政府氣候變遷問題小組(IPCC) 2014 年四月在德國柏林發布報告指出，世界各國阻止全球暖化的速度太慢，唯有在未來十五年加緊行動，才能避免災難性的氣候變遷。報告建議全球應立即改變能源生產方式，從高碳排放燃料轉移到風力、太陽能 and 核能等低碳能源。報告中說，照目前趨勢暖化下去，到本世紀末溫度將升高最多攝氏四點八度，造成嚴重災難。



圖 1 IPCC 聯合國跨政府氣候變遷問題小組報告要點，摘自聯合報

雖然全球暖化問題嚴重，但是大多數的綠能科技都有其先天的限制性，如太陽能有密度稀薄、夜間無法使用、轉換效率低的嚴重問題。風力則是有地域性，噪音，安全疑慮的問題。或許冥冥之中造物者已經給我們很明確的答案「水」，水在地球與生物體都佔有很大一部分的比例，也是維持生命所需的基本要素，植物的光合作用也是

將水跟二氧化碳結合成醱類以儲存自太陽光取得的能量。我們以電能作為代價將水製成氫氣，使用後氫氣又變回水的狀態，非常符合自然界的循環規律。

在全球能源變少和環境逐漸變壞的情況下，把氫氣能源載體的開發何利用引起人們越來越多的關注。近幾年，世界各國大力發展各自氫能戰略和技術的同時，十分重視相互間的交流和合作，各種國際性的學術討論會合產品展覽會，極力推動氫能源各各領域的進步。氫能源，氫(hydrogen, H)原子，可以從水得來，地球的水是隨手可得的，水占地球表面 71%。氫燃燒後的產物祇會排出水而已，又可以重複的使用也不會污染地球，所以氫會變成以後非常重要的再生能源。

選定重點產業	2015年目標
太陽光電	全球前三大太陽電池生產大國完整的太陽光電產業群聚國家國際太陽光電技術研發重鎮
LED照明	全球最大LED光源及模組供應國高值化LED照明產品生產基地
風力發電	全球風力發電系統供應商之一
生質燃料	國內生質燃料自主供銷系統
氫能與燃料電池	全球燃料電池系統組裝生產基地
能源資訊	國際能源資訊供應體系一員
電動車輛	亞太地區電動車輛主要生產基地

圖 2 行政院綠能產業發展願景，摘自聯合報

## 第二節 氫能的研究

依照危害性化學品標示及通識規則中的分類，將氫氣列為第五類可燃性氣體[1]。這是氫氣應用中最大的問題。此外，因氫氣屬於二次能源，需要經過適當過程來生成。至目前為止，氫氣從製備到使用其實已經有很多的研究，目前整理如下：

電解水：從水分子中取出氫氣最早也最簡單的方法，需要一定純度的水，並且要再添加促進電解的酸鹼物質，由於效率差大部分能量都轉成熱能，所以實用性不大，可藉由改變極板材料/結構與電流輸入方式來增加電解水的效率[2-5]。

燃料電池：雖然燃料電池構造簡單並且目前已經有商業化產品在市面上銷售，但是在電力輸出或是氫氣製造的效果上速率太差所以並未實際在任何應用中使用燃料電

池。為了加速氫氣產生，並且可以增加輸出功率以提高其應用價值則要使用水裂解裝置。

噴射動力：電解水可以得到 2:1 的氫氧氣比例，經過點火後可以直接燃燒後產生水並利用燃燒爆炸與體積改變的效應產生強大的前進動力，不過實用上因為不好控制，目前只有太空火箭使用當作動力來源。

水裂解：由美國的 Stanley Meyer 研發提出，主要是依照水的分子結構與極性，使用特殊的高壓高頻波形電源再利用電極間所形成的電容電場提高氫氣的產生效率。

### 第三節 氫氣洩漏及工安事件之整理

本次高雄石化產業地底管線氣爆事件震驚全國，雖不是氫氣洩漏，但工安事件衍生的災害，事發前如有適當的處置，或許可減少傷亡及財損，平時對工安事件的整理，對未來類似事件的預防與發生時的應變，應有絕對的幫助。近年氫氣洩漏及工安事件也與石化產業相關，整理如下：

台塑六輕煉製一廠於 103 年 3 月 5 日下午 14 點 41 分因重油加氫脫硫，壓力傳送器脫落，氫氣洩漏起火燃燒，消防隊接獲通知後派遣 8 部消防車、1 部救護車、出動人員約 20 人前往事故現場處理，火勢於 15 時 30 分熄滅，廠區人員 2 名(製程 1 名、保養 1 名)二度灼傷面積約為 4%。燃燒面積約為 4 平方公尺，並未擴大至其他製成，依據環保署台西測站監測資料顯示，事故發生前後，空氣品質監測資料並無異常之情形。

台塑六輕煉製二廠於 101 年 4 月 17 日凌晨 4 點 10 分因重油加氫脫硫單元進行試車作業時，氫氣外洩引發潤滑油著火燃燒，經該公司廠區所屬消防隊自行於 4 時 40 分撲滅，現場無人傷亡。火災發生後，廠方緊急處理製程廢氣，並將廢氣排至燃燒塔處理，環保局接獲通報立即派員至事故地點下風處進行空氣品質監測作業，確認經廠方緊急處理製程之廢氣量未超出許可核定最大量並無黑煙排放之情形，對此次工安事件，縣府要求六輕將開、停(試)車作業流程寫成計畫，送請第三公證單位鑑定安全可行性，寫入消防防護計畫書及防災計畫書。



中油大林廠第一重油脫硫工場於 101 年 8 月 10 日上午 10 點 20 分工人在進行施工拆卸盲板時忽有殘存氫氣從輸油管線接頭外洩並引燃，火勢於 11 點 10 分撲滅，共造成三名工人二度灼傷（灼傷面積分別為 26%、18%、12%）。事後遭勒令第一重油脫硫工場停工，須至排除危險因子後，再重新申請歲修，環保局對於燃燒產生黑煙進行採證，確認無毒性化學物質外洩並依空污法開單告發並裁處十萬元。

台塑六輕煉製二廠於 101 年 1 月 2 日上午 10 點 40 分因第一套重油加氫脫硫單元之氫氣壓縮機管線發生洩漏，現場發生冒煙情況，啟動水霧系統降溫，並於 11 時 36 分獲得控制，現場無人傷亡。

台塑六輕烯烴一廠於 100 年 7 月 26 日晚間 6 點 50 分因氫氣公共管線破裂起火，消防局派遣 4 部消防車、動員 14 人赴現場搶救，火勢於 2 小時內撲滅，且無人員傷亡。台塑副總裁王瑞華與縣長蘇治芬、勞委會中檢所副所長陳金川、工業局離島基礎工業區服務中心主任于大千，四人共同簽署台塑六輕工業區新舊管架管線改善計畫與時程協議書，承諾全面改善六輕的公共管線。

以上案例可以整理列表如下，並與境外案例一併列出比較，做為未來檢討改進依據。

表 1 氫氣洩漏及公安國內案例

日期	地點	原由	傷亡
103.3.5	台塑六輕煉製一廠	壓力傳送器脫落，氫氣洩漏起火燃燒	2 名人員二度灼傷
101.4.17	台塑六輕煉製二廠	試車作業時，氫氣外洩引發潤滑油著火燃燒	無
101.8.10	中油大林廠第一重油脫硫工場	施工時殘存氫氣從輸油管線接頭外洩並發生自燃	3 名工人二度灼傷
101.1.2	台塑六輕煉製	氫氣壓縮機管線發生洩漏	無

	二廠		
100.7.26	台塑六輕烯烴 一廠	氫氣公共管線破裂起火	無

表 2 氫氣洩漏及公安境外案例

日期	地點	原由	傷亡
103.3.14	中國江蘇省 泰興經濟開發區	化工廠鍋爐加熱管道氫氣洩 漏釀成火災	無
103.1.9	日本三重縣 三菱集團化工廠	化工廠器材檢驗，氫氣洩漏 導致爆炸	5 死 17 傷
102.7.31	中國漳州市 龍騰芳烴石化廠	壓力測試時，氫氣管件焊接 處出現裂縫，發生閃燃而造 成劇烈燃燒	傷患數名
100.2.17	中國福建省	貨車於隧道內顛覆，運輸之 153 個氫氣體鋼瓶部分漏、5 個起火	無

## 第二章 儲氫技術之蒐集彙整

### 第一節 氫的特性

氫 (H) 是自然界存在最普遍的元素，據估計它構成了宇宙元素的 75%。氫密度為 0.08988 g/l，無色、無味、無臭、無毒，導熱性最好、比大多數氣體的導熱係數高出 10 倍，相對於其它燃料，重量只有空氣的 1/14.4(天然氣為空氣的 1/1.7，以甲烷分子量來計算)特別是其沸點很低、容易燃燒，這些特性都使得氫成為一種極佳的燃料能源。除核燃料外氫的發熱值為 142,351 kJ/kg，是所有石化燃料、化工燃料和生物燃料中最高的，是汽油發熱值的 3 倍。氫能利用形式多，除燃燒可產生熱能外，在熱力發動機中可產生機械功，又可以作為能源材料用於燃料電池。

氫氣密度很低，且其擴散係數為天然氣的 4 倍，汽油的揮發性的 12 倍。一但氫氣外洩，很快的氫氣將會往上擴散被大量的空氣稀釋，因此不會累積濃度，若是液化石油氣外洩，因為其比重比空氣重，將會很快的在地面累積濃度，造成中毒或爆炸的危害。

除了濃度累積效應之外，氫燃燒的輻射熱只有碳氫燃料的 1/10，燃燒溫度約比汽油低 7%，氫氣爆炸與液化石油氣爆炸所產生的殺傷力也有很大差別，由於氫氣與氧氣燃燒產生水蒸氣，兩倍體積氫氣與一倍體積的氧氣產生兩倍體積的水蒸氣，因此氫氣爆炸了火焰是往內收縮並往上，殺傷力不大，若是液化石油氣爆炸，其火焰不但是往外擴張而且是向下延燒，相信大家一定在電影情節裡邊看到過，其殺傷力非常大，除了爆炸以外，其延燒的範圍也很廣；相反的，氫氣爆炸產生比熱很高的水，可以很快帶走熱量，避免延燒。因此作為燃料，氫氣的安全性比液化瓦斯高很多。圖 2 所示為氫能車與汽油車在點燃測試後 60 秒的結果，氫能車在氫氣洩漏完後(在氫能車的車窗測得溫度為 67 °F，車體未受顯著的爆炸影響，氫氣因擴散速度快而很迅速洩漏光；汽油車則受到汽油爆炸影響，此實驗證明以氫燃料為主的汽車其安全性較高；這也暗示氫能安全已受到驗證。

### 第二節 氫能趨勢

零排放的氫能將成為全球矚目焦點，冰島宣布在 2030 年以前，開發成非碳能源的

氫經濟世界，目前先進國家對氫能的研發投入相當多的努力。定址型燃料電池已進入實用化階段。

近 10 年來，由於燃料電池技術的進步與京都議定書對於二氧化碳排放量的管制，因此屬於零排放能源的氫能成為能源發展的注目焦點。世界各大汽車廠爭相投入氫能汽車的開發工作，1998 年冰島更宣布要在 2030 年以前，將冰島開發成非碳能源的氫經濟世界，顯見氫經濟時代即將來臨。但是氫能的推廣應用有一個重大問題亟需克服，氫氣是世上最小的原子，要如何將大量的氫氣儲存使用是一大關鍵，尤其是要如何將氫氣供應給路上行走的汽車使用，及如何將生產的氫氣儲存與運輸至消費地點。為解決此問題，未來的氫氣儲存瓶的瓶壓力將高達 350~700 個大氣壓力(atm)，以利有限體積下能供應更多的氫氣。為了將氫氣加壓，勢必需要發展更符合經濟效益的氫氣壓縮機，而瓶身材料在日本已發展碳纖維提供輕量化儲氫之用。

氫氣車分為兩種，(HICEV)是以內燃機燃燒氫氣(通常透過分解甲烷或電解水取得)及空氣中的氧產生動力，推動的汽車。而氫燃料電池車(Fuel cell vehicle-FCEV)是使氫或含氫物質及空氣中的氧通過燃料電池以產生電力，再以電力推動電動機，由電動機推動車輛。這類車輛的發電廠把氫的化學能轉換為機械能，或者是通過燃燒的內燃機中的氫，或通過在燃料電池中的氧與氫反應來運行電動機。廣泛使用氫助長交通是在提議中的氫經濟的一個關鍵因素。

使用氫為能源的最大好處是它能跟空氣中的氧，產生水蒸氣排出，有效減少了其他燃油的汽車造成的空氣污染問題。

HICEV 一般內燃機為基礎改良而成，要實現並不困難，困難之處在於如何降低成本及達至安全，以及安全地解決氫氣供應、儲存的問題後才可以推出市場。

高速車輛、巴士、潛水艇和火箭已經在不同形式使用氫。不同的應用方式也採用不同的產氫方式作為應變。一般使用綠色能源的機動車輛，相互比較的有電動車與氫能燃料車，雖然在電動車大廠特斯拉總裁 E. Musk 的評論中，氫能的安全性為其最大缺點，因此若能加強其安全性，氫能燃料車亦為解決溫室效應中重要的一環，茲整理優缺點如表 3 所示。

表 3 電動車與氫能燃料車的優點與缺點

	優點	缺點
電動車	(1) 無排溫室氣體 (2) 低噪音 (3) 充電便利 (4) 價格較為便宜 (5) 電力價格較低	(1) 續航力短 (2) 電池成本高/重量過重 (3) 充電時間長 (30 分鐘以上) (4) 極速充電設置未普及，基礎建設不足
氫能燃料車	(1) 副產物為水(無汙染)，無排溫室氣體 (2) 低噪音 (3) 能源效率高 (4) 補充能源時間短 (5) 續航距離 700 Km 以上 (6) 氫能生產來源多種，風險低	(1) 車體造價高 (2) 加氫能站不普及 (3) 氫氣儲存/運輸成本高 (4) 燃料價格高

以下分述世界各國氫能上的發展:

#### 一、 美國的發展

美國 H<sub>2</sub> 能的發展主要由能源部所主導，布希總統在 2000 年時，政府執行 FCFP(Freedom car and Fuel partnership)計畫推動燃料車(Fuel Car，FC)的汽車實用化。

主要發展燃料車的地點在加州，加州提出零排放量汽車 zero emission vehicles (ZEV)。Sandia 國家實驗室報告顯示在美國加州中，可以依附現有加油站的硬體設施，進行氫燃料的儲存和加氫服務，進而實現更廣泛、更便捷的加氫站的設置。這份報告研究了加州的目前 70 個商業加油站，試確認在國家消防協會(NFPA) 2011 年所制定的氫能技術規範(NFPA 2, Hydrogen technology code)指導下，加油站整合加氫站的可能性。在報告中，70 家加油站中有 14 家可以順利實現加氫站的整合，17 家在硬體設施擴建後能夠進行加氫站的整合。在科學、風險資訊的分析將有助於加氫站與現有商業化的加油站的整合，正是科學、風險告知的分析才促成了 NFPA 2-2011 的制定，目前也認為相比其他常規工業易燃氣體，氫氣的安全係數更高一些，風險較低。而氫能的需求也使加州政府預計在 2015 年投入一億美金來建造加氫站。特斯拉總部所在地美國加州計畫在 2015 年秋天建立 25 個全新的氫能源補充站點，屆時將有能力滿足 4000 輛氫 FCV 的使用需求。最新消息顯示，而加州為氫 FCV 支付的退稅是電動汽車的兩倍。加州空氣資源委員會曾在 2012 年預計，未來道路上的氫燃料汽車數量最終將超越電動汽車的

保有量。

另外一方面，新的民-官方合作為 H2USA 計畫，集合美國能源部與日本三大車廠，通用汽車，Daimler，韓國現代參與此計畫。主要聚焦於四大方面在加氫站設置，氫經濟發展，氫經濟工作小組，氫能區域發展藍圖，而多餘的頁岩油氣有可能可以降低氫氣製造的成本，使得氫能社會有機會在美國站一席之地。在美國 2014 年洛杉磯車展中，奧迪(Audi) 發表了新款的氫能車- A7 Sportback h-tron quattro，A7 Sportback h-tron quattro 採取燃料電池驅動模式時，它只需要 1 公斤的氫就能跑 100 公里以上，相當於跑一百公里只要 3.7 公升的汽油，比汽油車還要省。換算它的燃料容積，一箱氫燃料可以跑 500 公里以上。而填充氫燃料，它需要的時間和一般汽柴油車加油一樣，大約只要 3 分鐘。另外還有一顆容量 8.8 仟瓦小時的備用電瓶，充飽電還可以讓它的最大航程增加 50 公里。Audi A7 Sportback h-tron quattro 的時速 0 到 100 公里加速大約只要 7.9 秒，極速 180 公里／小時；這也顯示美國在氫能燃料車輛也接近實用化的階段。

而美國能源部也統計 2014 年與 2015 年氫能製造的預算變動[6](如圖 3 所示)，在再生能源與分離技術方面由 1.9 百萬美元降至 0.9 百萬美元；電解則增加了 0.2 百萬美元，高溫太陽能熱化學反應則由 2.8 百萬美元降至 1.9 百萬美元；光化學由 3.6 百萬美元降至 1.2 百萬美元；生物製氫法則降了 0.1 百萬美元；而新開始的題目有 1.2 百萬美元上升至 4.6 百萬美元。目前氫氣的製造價格約為\$ 5/kg H<sub>2</sub>。同時，美國能源部也極力發展加氫系統與小型加氫站的建置。

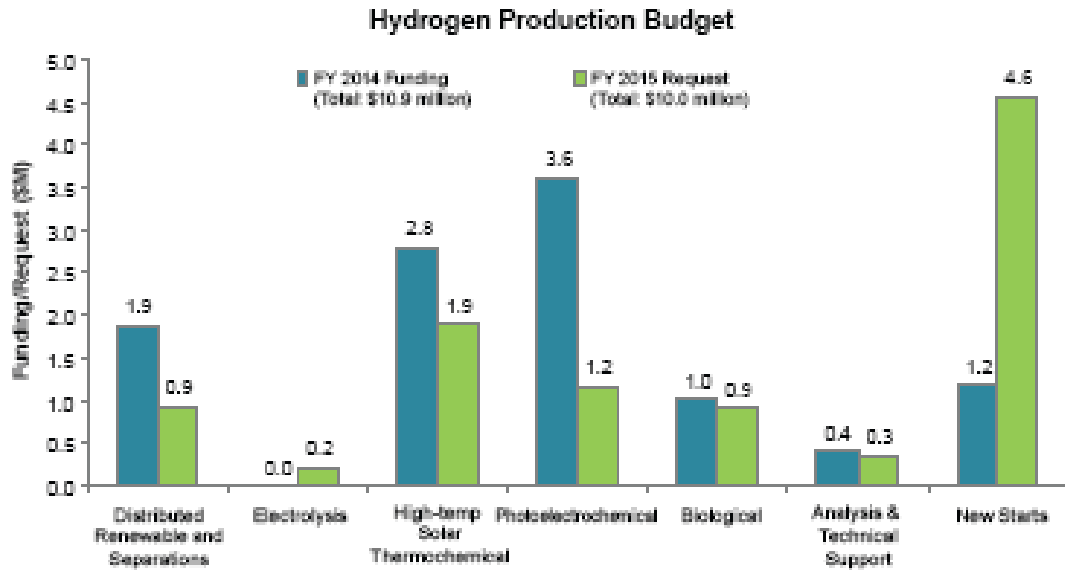


圖 3 美國能源部於 2014 年所公佈 氫能製造於 2014 與 2015 年經費變動[6]

## 二、德國的發展

德國:提出 2007-2016 年 10 年間執行 Nationals innovations program (NIP)計畫投入約 14 億歐元於 H<sub>2</sub> 能與燃燒電池開發，基於同時建造 H<sub>2</sub> 加氣站(成本約每座兩億日圓)。Clean energy partnership (CEP) 在 2015 年預計建造 50 座加氣站；而 2023 年時，預備建置 400 處加氣站。但近年來在氫能車研究投資，似乎有減緩趨勢。BMW H7 是其主要代表車種，而依照其規格 50 升的氫氣可以跑 100 km (在 2007 年的規格)。依照 NIP 的計畫，2023 年市場上有 50 萬輛氫燃料汽車，而 2030 年市場上則有 180 萬輛氫燃料汽車。

## 三、英國的發展

英國在 2012 年執行 UK H<sub>2</sub> Mobility 計畫。預計於 2030 年當年燃料車為銷售達 30 萬輛，加氣站在 2015-2020 年需建造 65 處，2020-2025 年建造 300 處，2025-2030 年建造 150 座。而在 H<sub>2</sub> Mobility 計畫中，預估 2023 年在英國有 100 萬輛氫燃料汽車。

## 四、歐盟的發展

歐盟於 2008 開始啟動 Fuel Cell and Hydrogen joint Undertaking 計畫 2013 建置 13 處加氣站 2014-2020 進入 phase 2 的 FCH<sub>2</sub>-JU 同時也開始 Trans-Europe Transport Network 計畫，將於丹麥建置多處加氣站，荷蘭建 2 處加氣站。

## 五、南韓的發展

南韓 目前在 2015 預計現代汽車有 1 萬輛燃料車 H2 氣加氣站 43 處擴展至 2020 年有 10 萬輛燃料電池車與加氫站 168 處。現代汽車則推出 Tucson ix35 氫能車，來搶氫燃料車在美國與韓國的市場。在 2020 年預計有 10 萬輛氫燃料汽車。

## 六、中國大陸的氫能發展

中國大陸也在大力推進定址型與氫燃料電池車輛的產業化和商轉：「中國氫能與燃料電池協會」正在籌備中，並於大連能源科技中心項目正式啟動。中國大陸對氫燃料電池技術的發展格外重視。前年，中國國務院在發佈《節能與新能源汽車產業發展規劃(2012-2020 年)》時提出，「FCV、車用氫能源產業與國際同步發展」。在此戰略的指導下，上汽、一汽、奇瑞、長安等整車廠與同濟大學汽車學院、清華大學、上燃動力、新源動力、神力科技等產學研聯合，形成了具有自主知識產權的燃料電池乘用車和商用車動力系統技術平臺，分別開發出相應的 FCV 產品投入實際示範運行考核。燃料電池乘用車其目標為 2015 年，FCV 平均燃料損耗為 6.9 升/百公里，節能型車為 5.9 升/百公里；2030 年，FCV 平均燃料損耗為 5 升/百公里，節能型車為 4.5 升/百公里。

根據上海汽車發佈的 FCV 規劃，到 2015 年將實現 FCV 產業化，在北京、上海、大連等試點城市上市銷售，計畫生產數量為 1000 輛。屆時，整車成本將降到 50 萬元人民幣以內。鑒於新能源汽車前景廣闊，氫燃料電池在中小功率領域的應用更具備快速商業化的潛能，市場容量有望達到千億美元。但其發展似乎還是較先進國家為慢。

## 七、日本氫經濟的發展

因東日本 311 大地震所引發的能源問題，使得日本是目前對氫能投入最積極的國家之一，在 2014 年新能源產業技術綜合開發機構(NEDO)發表了氫能白皮書[7]，揭示日本在氫能未來三十年的藍圖，主要建造週邊基礎建設，氫能發電廠，定化型燃料電池，燃料電池車四個部分。

在家庭用定化型燃料電池費用下降，希望 2015 年下降 1/2，約 150 萬日圓左右 依照日本政府所定的定化型燃料電池目標 2020 年為 140 萬部 2030 年則預測為 530 萬部 商業用燃料電池在 2050 年全球規模約為 7000 億日圓 而燃料車發展為日本氫能社會的發展重點 而其價格趨勢中 若以 2015 為成本定為 1，2020 年的預測其成本降至 1/2，



2025 年則為 2015 年的 1/4，而燃料電池車主要銷售區域為歐盟和日本在 H<sub>2</sub> 能成本中 2015 年約為每 Nm<sup>3</sup> 90 元日幣 2020 年將降至 60 元日幣，而 2030 年則為每 Nm<sup>3</sup> 為 40-60 加氫站成本由 1 處 4-5 億，2020 年，建置成本約 2 億日幣 2020 年約有 519 處加氫站，2025 成長為 1169 處。

車廠方面對氫能經濟的看法則相當積極。Toyota 汽車公司產品企劃本部 ZF 主任田中義和在 2014 年 9 月 12 日舉辦的汽車研討會「BEYOND 2020 汽車開拓未來」討論燃料電池車(FCV)的價格前景稱，「我們打算在 2025 年前後使其降至 HEV 同等水準」；由此公開了該公司爭使其燃料電池車降至 200~300 萬日元的方針。田中認為，氫氣未來的價格也有望在 2025 年降至目前的 1/3。他預測稱雖然 FCV 的普及會在很大程度上受到加氫站建設動向的左右，但車輛和燃料的價格將會同時降低，因此到 2020 年代將會全面普及燃料電池車。關於加氫站，田中表示儘管增加數量也很重要、但「選址更為重要」，「就算只建設 100 座加氫站，只要都建在使用方便的地點，就不需要建設很多」。另外，田中還列舉了燃料電池車的意義：(1) 未來製氫技術，使 CO<sub>2</sub> 排放量為零、(2) 可使用多種一次能源製造來製造氫氣，可替代性高、(3) 氫能量密度高於電力。他強調為 FCV 充填氫氣的時間僅為 3 分鐘左右，便利性高，可與目前商業的加油站整合。日本豐田汽車發展氫燃料汽車 Mirai (日文意為未來，如圖 4 所示) 預定銷售日期為 2014 年 12 月 15 日，並且預定美國在 2015 年秋季，而歐洲在 2015 年 9 月開賣。這台 Mirai 售價約 723.6 萬日元，而在日本政府補貼下，用戶所負擔費用約為 520 萬日元，豐田汽車也預估在日本 2015 年底前銷售 400 輛的目標。在 Mirai 採取二個儲氫罐(見圖 4)，而其材料由日本東麗所提供的碳纖維材料以實現燃料罐輕量化的需求。而在燃料汽車上路後，其可能帶動加氫站和儲氫設施的進一步設建，而豐田汽車也計畫將使用氫氣燃料汽車附屬至巴士和推高機的應用。而本田汽車也於 2014 年 11 月 17 日公布了燃料車(Honda FCV concept)的概念車，其燃料輸出功率為 3.1 KW/L，加氫也僅需 3 分鐘完成，加滿燃料可行駛 700 公里以上。同時本田汽車也開發相關供電器以及電解方式產氫的智慧加氫站。本田燃料汽車預計 2016 年 3 月上市。而在 H<sub>2</sub> 能燃料供應上岩谷產業氫燃料每立方公尺為 100 日元，主要為提升 H<sub>2</sub> 能使用率。

在加氫站建置方面，日本岩谷產業常務執行董事、氫能源部部長宮崎淳以「氫基礎設施建設相關舉措及氫的利用潛力」為題發表演講。宮崎表示，日本目前每年的氫

需求約為 150 億立方米，其中 99%用於石油精煉與光纖製造等，對外銷售的氫僅佔 1% 左右。岩谷產業是日本產業用氫氣領域最大的企業，尤其在液體氫的供應方面佔據優勢。該公司 2014 年 7 月在兵庫縣尼崎市的中央研究所設立了日本首個商用加氫站，計劃 2015 年度之前，在全日本設置 20 座商用加氫站。岩谷產業的加氫站不是以氣體狀態儲存及運輸氫，而是在低溫條件下以液體氫進行儲藏的，這也該公司加氫站的一個特點，岩谷產業認為通過製成液態來壓縮氫的體積，更易於進行運輸和儲存。使液體汽化，向燃料電池車供應氫氣時，還可再利用冷能；因此無需使用額外壓縮機和充填時的製冷機，能夠降低加氫站的設置成本。

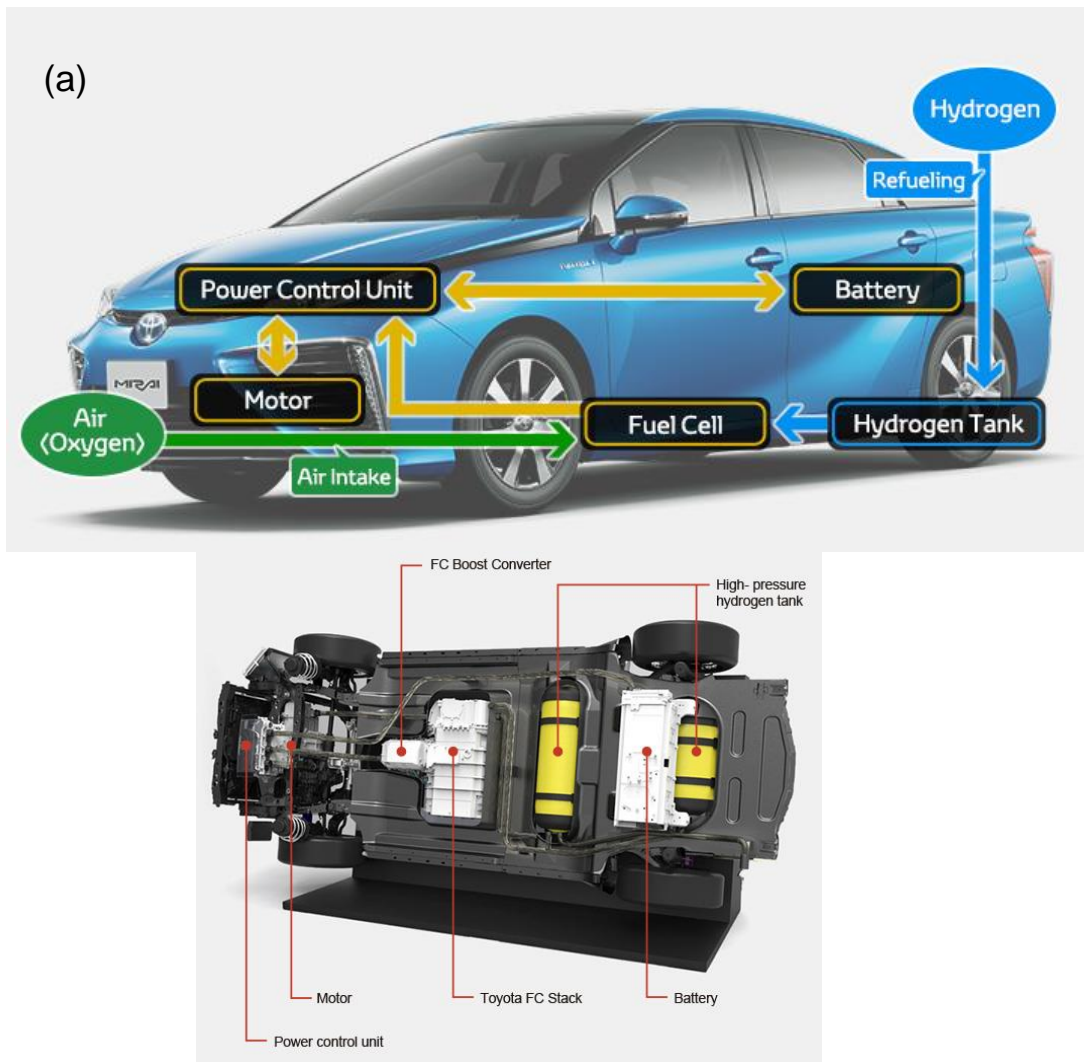


圖 4 豐田公司所發表 Mirai (a) 車體 與(b) 車底，搭載兩個氫氣儲存桶[8]

### 第三節 台灣氫能發展

經濟部能源局表示，為啟動氫能與燃料電池產業，邀集國內業界共同研商產業發展策略，期順應全球發展趨勢，創造倍速以上成長產業，預期從目前燃料電池產業的萌芽期發展到 2011 年的新台幣 40 億元、2016 年的新台幣 130 億元產值，2020 年有接近千億元的潛力，國際市場占有率約達 5%；在分散式產氫及行動氫源方面 2020 年預期可達 50 億元產值，使我國氫能與燃料電池產品技術、產業規模在國際占有重要地位。

燃料電池結合氫能具有能源轉換效率高、低污染及燃料多元化來源的優點，其電化學能源轉換方式是日前最有效率的能源技術。為推動我國燃料電池與氫能產業發展，經濟部能源局於 29 日由葉惠青局長邀集相關產業負責人，共同研商我國燃料電池與氫能產業發展策略，期順應全球新能源技術與溫室氣體減量之發展趨勢，打造低碳新能源產業，並搶占國際市場，創造產業發展之新契機。

經濟部能源局表示，燃料電池實際上是一種發電機，只要燃料不斷的供應，燃料電池就能持續發電，不過有別於傳統的燃燒汽機發電方式，燃料電池是以電化學方式直接把燃料的化學能轉換成電能，減少了傳統發電方式的許多步驟，加上熱回收利用，總能源使用效率可高達 70% 以上，是目前最有效率的能源轉換技術。燃料電池以氫為燃料，氫是地球上最豐富的元素，分佈還算平均，而以氫為燃料發電，水是唯一的排放物，過程幾近零污染，依據日本通產省評估，可降低 CO<sub>2</sub> 排放 28%~40%，NO<sub>x</sub> 排放更大幅降低 63%~90%，因此燃料電池結合氫能被認為可以普遍應用在發電、交通動力、行動電源等領域，同時解決能源與環境問題，並帶來新的產業經濟。由於技術實用化發展快速，經濟部能源局透過此次座談會的召開，傾聽業界建言，並初步規劃推動各項加強策略，結合國內氫能與燃料電池產業共同努力，以提升技術能力與產業競爭力。

目前國內已有 30 多家相關研發機構及業者投入相關技術開發，也具有分工雛型並形成產業價值鏈，包括系統應用業界如亞太燃料電池(電動車載具設計)、大同世界科技(發電機載具設計)、博研(電動車載具設計)等，關鍵零組件產業包括盛英公司(雙極板)、漢氫公司(儲氫罐)、亞太燃料電池(儲氫罐、電池組)、大同世界科技(重組器)等。在發電機應用方面，大同公司主要開發使用甲醇與乙醇重組器的 1-5 kW 級發電機，作為緊急備用與不斷電系統使用，除大同公司之外，真敏國際、亞太燃料電池、博研燃料電

池等公司也在開發氫能的質子交換膜燃料電池(PEMFC)燃料電池發電機組；同時台達電子與中科院合作，正在發展小型特殊用燃料電池電力機組；在燃料電池機車產品開發方面，亞太燃料電池與杜邦公司建立合作關係，主要在開發 PEMFC 電動機車；另博研燃料電池公司亦投入 PEMFC 電動機車之開發；在 3C 應用方面，勝光科技結合南亞電路板、奇鋁科技與思柏科技組成研發聯盟，開發筆記型電腦用甲醇燃料電池電力組；在氫能技術開發方面，台電公司與工研院合作建造再生能源製氫展示系統，碧氫科技開發重組型氫氣產生機，漢氫科技研發與生產合金儲氫罐，同時亞太燃料電池與國外合作也可供應儲氫罐產品。此外，三福氣體完成一座 25 支組先導型儲氫罐充氫站，在零組件方面，安炬科技的離子交換膜已經開始提供樣品供客戶測試，異能科技也可生產鹼性燃料電池用的離子交換膜與空氣極，盛英公司與恩良企業開發複合材料雙極板，高力熱處理可提供板式熱交換器，台全電機則開發機車用燃料電池系統的鼓風機與水泵等。

燃料電池產業鏈從上游到下游包括貴金屬觸媒、質子交換膜等、燃料電池組及其零組件、控制系統與周邊零組件、定置型發電系統、可攜式電源產品、交通運輸工具等，除了上游原材料技術外，國內產業界擁有豐富的量產經驗與成本優勢，切入中下游產品市場具有相對優勢，且我國在發電機、電子資訊與機車等產業已有良好基礎，導入燃料技術後，具有能源效率與環保的特色，產品將更具國際競爭力。為協助業者在燃料電池產業的發展，經濟部能源局特邀請燃料電池零組件、氫氣生產與儲存設備、發電機、行動電源及機車應用等相關業者，召開「2008 國內氫能與燃料電池產業發展策略業者座談會」，研擬產業發展策略重點，具體推動作法包括：(1)擴大氫能與燃料電池產業研發投資，籌組研發聯盟平台，開發共通核心關鍵組件及材料，加速國內產業整合發展、(2)建立國際氫能與燃料電池供應鏈，藉由政府投入之技術成果移轉與獎勵措施，讓業界迅速進入量產開發並形成產業聚落、(3)建立國際級標準檢測驗證平台，提供與國際調和之法規標準，建置氫能與燃料電池整合展示環境，提升產業競爭力、(4)推動燃料電池應用示範與驗證，提高技術可靠度與民眾接受度，加速技術商品化發展、(5)整合技術開發與創意設計，推廣燃料電池應用產品，並藉由參加或籌辦國際展覽會協助業建立品牌形象、(6)結合國內 4C 產業優勢，導入燃料電池應用技術，共創產業新利基。預計國內燃料電池產業在政府推動下，短期內將進入現場運轉驗證階段，

關鍵材料與零件方面也開始量產應用，將帶領我國燃料電池產業搶搭國際第一波燃料電池商機。

由於燃料電池未來應用潛力與市場龐大，日、美、歐、皆積極投入燃料電池與氫能研發，技術實用化進展快速。以小型 0.7~1.2 kW 電熱共生機組為例，日本正進行大規模實證運轉計畫，自 2005 會計年度起開始安裝於一般家庭長期使用測試，至 2007 會計年度止總共有 2,187 個家庭安裝使用，目前實際應用資料顯示可節省能源 15.3%，降低 CO<sub>2</sub> 排放 846kg/台，預計 2008 會計年度結束時將有超過 3,500 個家庭安裝使用。此外，根據美國能源部分析資料顯示，燃料電池應用在備用電力與堆高機(叉舉車)取代電池，即使沒有政府補助也已具有競爭力；未來隨著技術進步、應用市場擴大及成本不斷下降，燃料電池汽車、機車市場又將帶動另一波市場成長。國際預估未來至 2011 年，燃料電池平均複合年成長率可達 42.9%，產值可達 25 億美金，到 2016 年平均複合年成長率亦達 27.7%，產值則升高到 85 億美金，其中接近 60% 的市場屬於發電及衍生應用，若以我國市占比例 5% 估算，產值即達新台幣 130 億元。

氫內燃車和氫燃料電池車不同。氫內燃車是傳統汽油內燃機車的帶少量改動的版本。氫內燃直接燃燒氫，不使用其他燃料或產生水蒸氣排出。這些車的問題是氫燃料很快耗盡。載滿氫氣的油缸只能行駛數英里，很快便沒能量。另一方面，各色各樣的方法正在研究以減少耗用的空間，例如用液態氫或氫化物。

1807 年 Isaac de Rivas 製造了首輛氫內燃車。可惜該設計甚不成功。寶馬的氫內燃車有更多的力量，比氫燃料電池車更快。寶馬的氫汽車以三百公里每小時創下了氫汽車的最高速記錄。馬自達已在開發燒氫的轉子引擎。該轉子引擎反覆轉動，故氫從開口在引擎內的不同部分燃燒，減少突然爆炸這個氫燃料活塞引擎的問題。

其他重要汽車生產商如通用汽車和 DaimlerChrysler 公司，投資在較慢較弱但較有效的固定式氫燃料電池。

台灣目前與氫能直接有關的公司與學術研究單位，大部分都是從事燃料電池相關發展，少數是則是利用氫氣除碳以改善引擎效能，另有一家從事氫水生醫功能開發(友荃科技實業股份有限公司)，而氫氣在人體生化反應中，氫氣可以還原 OH 毒性自由基成為 H<sub>2</sub>O 水，促進細胞內毒素排除[5]。

表 4 台灣目前與氫能相關公司列表\*以上數據根據網路資料

公司名稱	與氫氣相關業務	連絡電話	備註
碧氫科技開發股份有限公司	碧氫科技公司為一個以開發新科技為導向的公司。為配合氫氣經濟時代的到來，目前致力於蒸汽重組與氧化的觸媒和鈀合金膜的製備技術，進而發展和生產輕、薄、短小型化的現場高純氫氣的生產設備，以便降低投資成本，節省空間並有效降低氫氣輸送和儲存的成本，達到實用的經濟目標。	03-3972720	
亞洲氫能	亞洲氫能公司主要致力於發展氫能相關生產及應用解決方案。亞氫公司並與全球的策略合作夥伴進行緊密合作，提供世界領先的氫能相關技術應用範圍，包括： 小型甲醇/天然氣重組產氫系統 燃料電池氫氣加氣站解決提供方案 燃料電池發電系統 遠端燃料電池發電解決方案 燃料電池分散式電力解決方案 <b>Power to Gas / Power to Fuel 能源轉換方案</b>	+886-3-577-1609	
亞太燃料電池科技股份有限公司	APFCT 提供全方位的質子交換膜 (PEM) 燃料電池產品服務，從材料、電池組、BOP 元件以及完整的氫氣儲存系統。	+886-37-584-019	
台灣節能技術服務有限公司	氫能源燃燒系統，初期以取代鍋爐燃油、瓦斯為主要市場，民生營業場所及家庭燃氣為最終市場，並展望着能取代燃油及煤炭之火力發電。		
友荃科技實業股份有限公司	氫油車動力設備 引擎除碳機	+886-7-6235588	
光騰光電	水電解製氫機	+886-(03)455	

		5465	
真敏國際股份有限公司	燃料電池系統、發電機	+886-02-27549451	
盛英股份有限公司	模鑄式變壓器、模鑄式匯流排、質子交換膜燃料電池用之雙極板	+886-02-89944025	
揚志股份有限公司	燃料電池膜電極組體	+886-02-2908-7001	
碳能科技股份有限公司	供 PEMFC 及 DMFC 使用之氣體擴散層（碳紙、碳布）	+886-04-2337-3348	

根據上述資料顯示，國內氫能開發多著重於燃料電池於電動車的應用，相關產業鏈也依附此一技術，氫能於其他部分應用相較於國外尚有一段差距。臺北市環保局 2014 年 11 月 25 日宣佈，進行試用 15 台的「氫燃料電池機車」，作為環保稽查、土地丈量等公務方面使用。這 15 台的「氫燃料電池機車」是亞太燃料電池科技公司研發的最新綠能載具，將氫氣轉化為驅動機車的電能，完全不會排放二氧化碳，最高時速可達 60 公里。以目前市面上排氣量為 50 cc 機車每公里使用汽油 0.68 元，研發成功的「氫燃料電池機車」每公里花費為 0.7 元，雖然花費稍貴，但新研發成功燃料電池的比較環保。最高時速可達 60 公里，在定速情況下，最大續航力可達 86 公里；如果在市區騎乘，會遇到紅綠燈、走走停停，續航力大概是 50 公里。每台車配有 2 支金屬儲氫罐。預計每台氫燃料電池機車售價為 7 至 8 萬元，其中燃料電池成本就占整體售價的 6 至 7 成。目前台灣市面上 50 cc 機車售價約為 5.9 萬至 6.1 萬元，電動機車則是 4.7 萬至 7 萬元左右，因此在目前(2014 年)發展「氫燃料電池機車」還需政府的補貼政策。

#### 第四節 氫氣儲存方式

氫氣儲存方式大致上可分為物理儲氫及化學儲氫。物理儲氫方式包括液態儲氫、高壓儲氫、活性碳儲氫、玻璃微球及奈米碳管或奈米鈦管(線/絲)儲氫等。化學儲氫有金屬氫化物儲氫、有機液態氫化物儲氫、無機物儲存及磁鐵性材料儲存等。

對於車用儲氫系統目標：國際能源署(IEA): 質量儲氫容量>6%；體積容量>45kg(H<sub>2</sub>)/m<sup>3</sup> [9]，而美國能源部(DOE)目標如表一則是：>7.5wt%,> 70kg(H<sub>2</sub>)/L [10]，根據目前氫燃料電動車的容量推算，除了液態氫儲存外，其他的儲存方式還無法滿足此要求，這也是目前在推廣氫能的瓶頸之一。以下介紹幾種目前較常見的儲氫技術或方法。

表 5 美國能源局(DOE)2009 儲氫技術目標[10]

儲氫技術目標	美國能源部目標值		
	2010	2015	最終目標
系統單位重量儲氫量 kWh/kg(wt.%)	1.5 (4.5 wt.%)	1.8 (5.5 wt.%)	2.5 (7.5 wt.%)
系統單位體積儲氫量 kWh/L(kg H <sub>2</sub> /L system)	0.9 (0.028)	1.3 (0.040)	2.3 (0.070)
運送溫度範圍 (°C)	-40/85	-40/85	-40/85
氫氣純度, %H <sub>2</sub>	99.99	99.99	99.99

### 一、高壓氣態儲存

氫氣可以像天然氣一樣儲存在密封的容器內，一般來說儲存壓力約為 12~15MPa，此方式適合大規模儲存氣體時使用，但因氫氣的密度太低，且需要消耗較大的壓縮功，使得其在應用面還是受到限制。目前，國際上已有一種以纖維複合材料組成的新型耐壓儲氫容器。在 2003 年，美國通用公司開發了 70MPa 的儲氫系統如圖 5，利用此一儲氫系統可有效的提升燃料電池車的行駛距離，但要以此技術應用在燃料電池車上仍有許多技術性的問題要突破，因此接下來需要更多的研究以及實驗來驗證此技術的可行性。



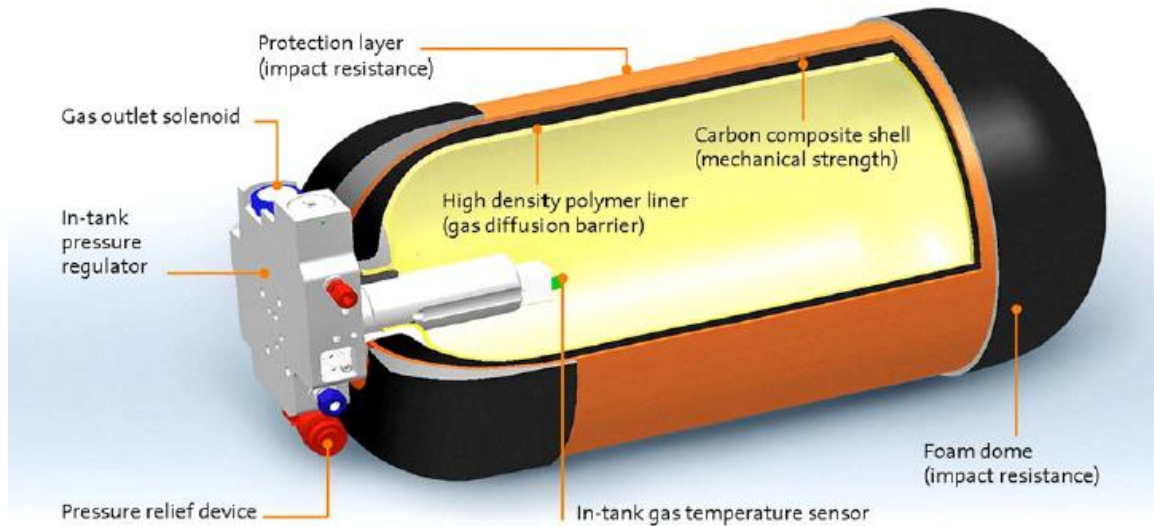


圖 5 Type IV 壓縮儲氫容器[11]

## 二、液態儲氫

常壓下，氫氣的熔點為  $-253^{\circ}\text{C}$ ，而汽化潛熱僅有  $0.904\text{ kJ/mol}$  液態氫的密度是汽態的 845 倍，且其熱值為汽油之三倍，但因密度低，使得同體積下的液態氫所能提供的能量只有汽油的三分之一，此意味著在行駛相同里程時，液態氫所需的儲存體積約為汽油的三倍左右。但液態氫所面臨到最大的問題是在儲存及保養上，由於液態氫儲存容器內部的溫度與外界環境差異很大，因此在儲存容器的結構設計及加工工藝已是相當嚴峻的考驗，再加上液態氫無法長期保持，不可避免的液態氫每天損失率約為 1~2%，因此液態氫不適合用於間歇使用的場合(如汽車等運輸工具)。

目前全球使用最多液態氫能的美國太空總署(NASA)，有一座  $3,800\text{m}^3$  圓形的氫氣儲存槽，如圖 6，其洩漏量為每天 0.03%，因此目前液態儲氫設備在技術上也有重大的突破，未來實際應用在交通運輸工具上也是指日可待。



圖 6 美國太空總署球狀氫氣儲存槽[12]

### 三、金屬氫化物儲氫

氫可以和許多金屬形成金屬氫化物，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。週期表中所有的金屬元素都可以和氫反應成為氫化物，依其反應的性質大致上可分為兩大類：(1)容易與氫反應形成穩定的氫化物，此類反應過程中會放出熱量，稱為”放熱型金屬”，如 Ti、Zr、Mg 及稀土元素，此類金屬與氫有較強的親和力，吸氫量較高，不易釋出氫氣。(2)與氫的親和力較小，不容易形成氫化物，且在反應過程中需要吸收熱量，稱為”吸熱型金屬”，如 Fe、Co、Ni、Cr 等。一般儲氫材料可以分子式  $A_mB_n$  表示，這類型的儲氫合金主要是利用 A 元素控制儲氫量，而 B 元素控制吸放氫的可逆性，並藉著調整 m 和 n 的比例來改善此儲氫材料，對於氫的熱力學及動力學性質，見表 6。

表 6 常見儲氫合金之熱力學性質[13]

類型	合金	氫化物	吸氫量(%)	放氫壓 (MPa)@(°C)	氫化物生成焓 (KJ/mol H <sub>2</sub> )
AB	TiFe	TiFeH <sub>1.95</sub>	1.8	1.0 ( 50 )	-23
AB <sub>2</sub>	ZrMn <sub>2</sub>	ZrMn <sub>2</sub> H <sub>3.46</sub>	1.7	0.1 ( 210 )	38.9
	ZrV <sub>2</sub>	ZrV <sub>2</sub> H <sub>4.8</sub>	2.0	10 <sup>-9</sup> ( 50 )	200.8
AB <sub>5</sub>	LaNi <sub>5</sub>	LaNi <sub>5</sub> H <sub>6</sub>	1.4	0.4 ( 50 )	-30.1
	MmNi <sub>5</sub>	MmNi <sub>5</sub> H <sub>6.3</sub>	1.4	0.4 ( 50 )	-26.4
	CaNi <sub>5</sub>	CaNi <sub>5</sub> H <sub>4</sub>	1.2	0.04 ( 30 )	-33.5
A <sub>2</sub> B	Mg <sub>2</sub> Ni	Mg <sub>2</sub> NiH <sub>4</sub>	3.6	0.1 ( 253 )	-64.4

合金金屬吸附氫氣可分為幾個步驟，如圖三，氫氣分子和合金表面接觸後，會吸附在合金表面，且氫分子會解離成為氫原子並擴散到合金的內部，形成固溶體，此時並不會破壞合金之結構，但隨著合金對於氫原子達到吸附飽和後，剩下的氫原子和固溶體會反應生成氫化物，並改變其結構，從塊狀金屬變成粉末狀[14]。對於儲氫金屬有許多方式可改變其特性並提高其儲氫量，像是表面化學處理[15]、表面鍍膜處理[16]、熱處理[17]及奈米化[18]。其中奈米材料所呈現的特殊物理及化學性質在儲氫合金材料奈米化後，提供了許多新的熱力學及動力學特性，是目前研究的重點之一。

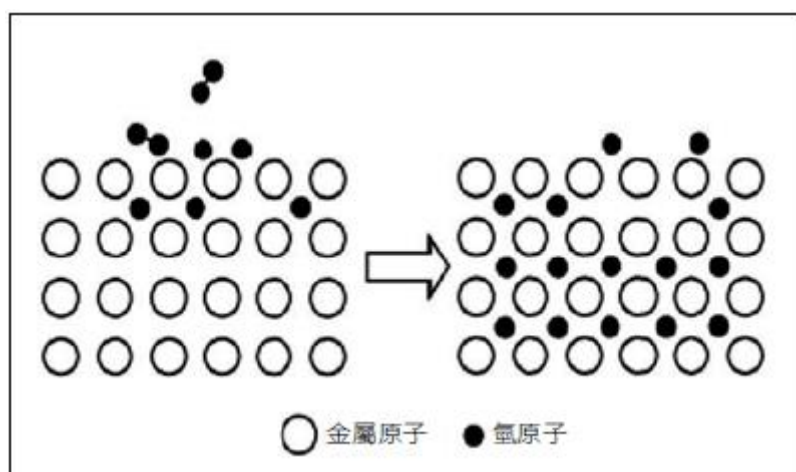


圖 7 合金金屬吸附氫氣之示意圖[14]

### 第三章 奈米技術於儲氫製成應用之探討

一、固態儲氫技術有以下幾種優點[19]：

- (一)體積儲氫容量高。
- (二)不需高壓及隔熱容器。
- (三)安全性佳，爆炸危險性低。
- (四)可得到高純度之氫。

表 7 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。主要的材料有單壁奈米碳管(SWNT)、多壁奈米碳管(MWNT)、石墨奈米纖維(CNF)及活性碳等，見表六。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，因此被認為是一種具有發展前景的儲氫材料。

表 7 各種儲氫技術之優缺點比較[20]

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. 氫氣易洩漏 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，充氫簡單方便 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

表 8 各種碳質材料儲氫性能之比較[21]

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%

奈米碳管孔洞十分的細小，具有很大的比表面積，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，見表 8。

表 9 碳材料儲氫性能比較[22]

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

從上表可發現石墨及單層奈米纖維有較好的儲氫量，但其實驗的重複性差別很大，有的不到 1%，有的則高達 8~10%，再加上奈米碳管的微觀結構、孔洞分佈、開口度及預處理等因素都會影響，而本研究委辦單位建議探討的奈米鈦管或線，在微觀結構上與奈米碳管相似，但文獻上應用多屬於光觸媒方面，並不多見於儲氫應用，因此在奈米鈦管或線的儲氫應用，可以再進行更深入的實驗及探討。

## 第四章 研究方法與實驗

### 一、以微波輔助水熱法合成二氧化鈦奈米材料

本研究以實驗室過去開發的微波輔助水熱法合成二氧化鈦奈米材料，其製備過程說明如圖 8：[23]

用商業化的二氧化鈦奈米顆粒 ST01（100% anatase, 顆粒大小約 7 nm）作為二氧化鈦奈米線合成的起始原料，以傳統水熱法的製備流程為基礎，結合微波輔助加熱技術的優勢，針對傳統水熱法常見的幾個問題進行改善，例如：（1）反應時間太長（2）加熱缺乏均勻性（3）產品容易結塊（4）產品均一性不佳等。除了以系統化的實驗技巧找出此新技術用於二氧化鈦奈米線的合成方法之外，亦針對各種影響參數（例如：加熱溫度、反應時間、觸媒濃度、起始原料的種類、原料總重以及微波功率）進行最佳化處理。希望藉由引進微波加熱技術，來改善傳統水熱法合成奈米線的諸多問題，進而達到控制產品品質以及量產的目的。

取 2 g 商用級的  $\text{TiO}_2$  粉末（ST01, 100% anatase, Ishihara Sangyo, Japan），主要顆粒大小約為 7 nm，比表面積約為  $300 \text{ m}^2/\text{g}$  作為起始原料，加到 100 ml 10 M NaOH(96%, SHOWA) 水溶液中，在室溫下於燒杯中充分攪拌均勻後，以吸量管分別吸取 16.7 ml 之混合液，放置於六個消化瓶內（100 ml volume capacity, maximum operating pressure 100 bar），容器內襯為可抗強酸、強鹼並承受高壓至 435 psig 之鐵夫龍材質，外圍封以耐高壓瓶以防止容器變形，按微波系統之封灌程序後即完成奈米鈦線合成之前置作業。微波輔助水熱處理採用已商業化之微波處理系統（Ethos D microwave labstation, Milestone, Italy），機體內部包含一個耐高溫、耐酸鹼之旋轉機座，其溫度最高操作範圍可達  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ，最大操作功率為 1000 W，並由一溫度控制感測器連結機體與容器。反

應完成後，將產物緩慢冷卻至室溫，此時的水溶液內會有大量白色團聚顆粒沈澱，接著濾掉上層鹼液取沈澱物，先以去離子水洗滌數次，再以 0.1M HCl 水溶液充分清洗固體粉末數次，直到 pH 值為 1.0。將洗滌液與固體試樣進行過濾，再以溫度 60~70 °C 至烘乾為止，即可得白色粉末狀顆粒，將合成之試樣經高溫 450 °C 進行鍛燒 2 h 可獲得 anatase 晶相之二氧化鈦奈米線。

在不同反應溫度下，利用微波消化法得到奈米二氧化鈦線 SEM 觀察如圖 9。可發現，在 210°C 下，可形成較多的柱狀奈米二氧化鈦材料。而反應時間對最終產物之影響，從結果可發現，圖 10 為不同反應時間下之 TEM 圖，從結果可發現，當反應時間拉長，最終的奈米線會變得有點捲曲，因此最後選用之操作條件為功率 350W、反應溫度在 210°C 下，反應兩小時，即可得到實驗用之奈米二氧化鈦，其物性如表 10。

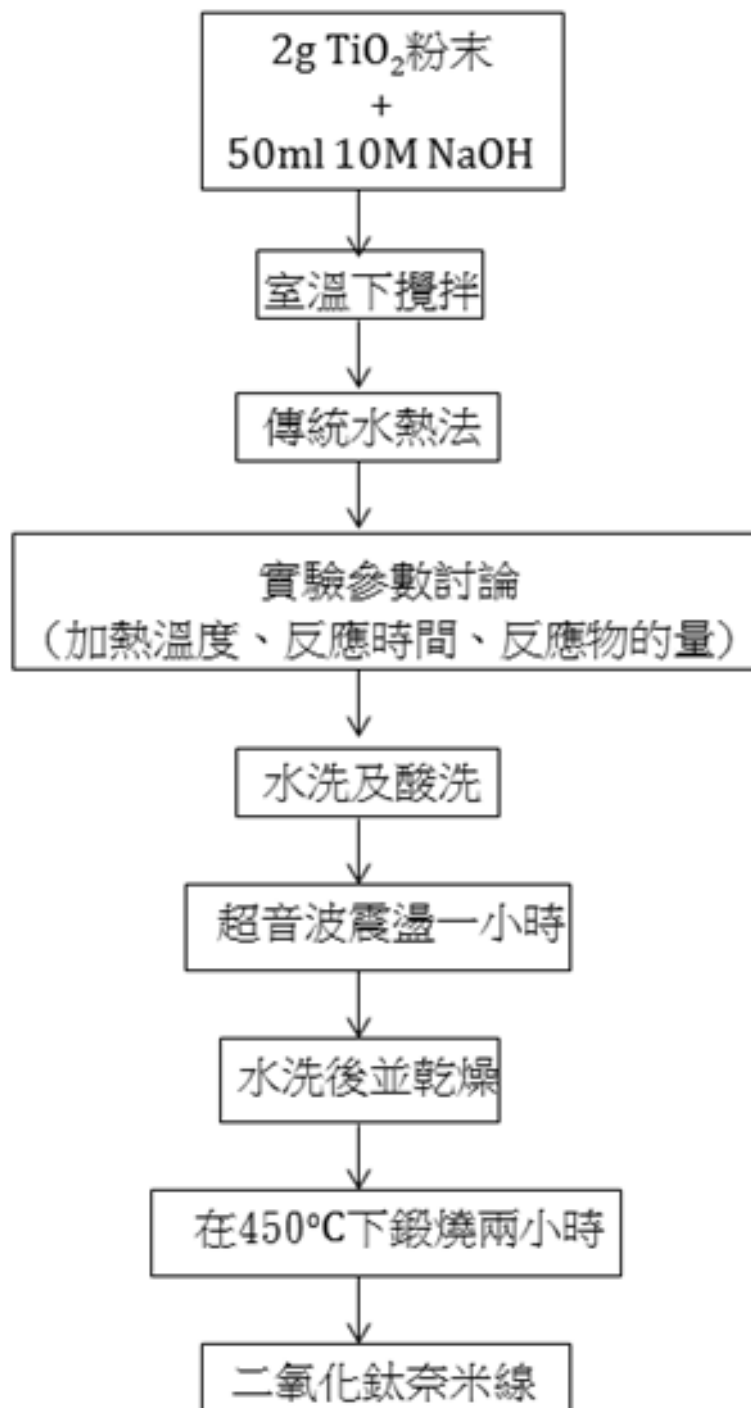


圖 8 利用水熱法輔助合成二氧化鈦奈米材料之流程



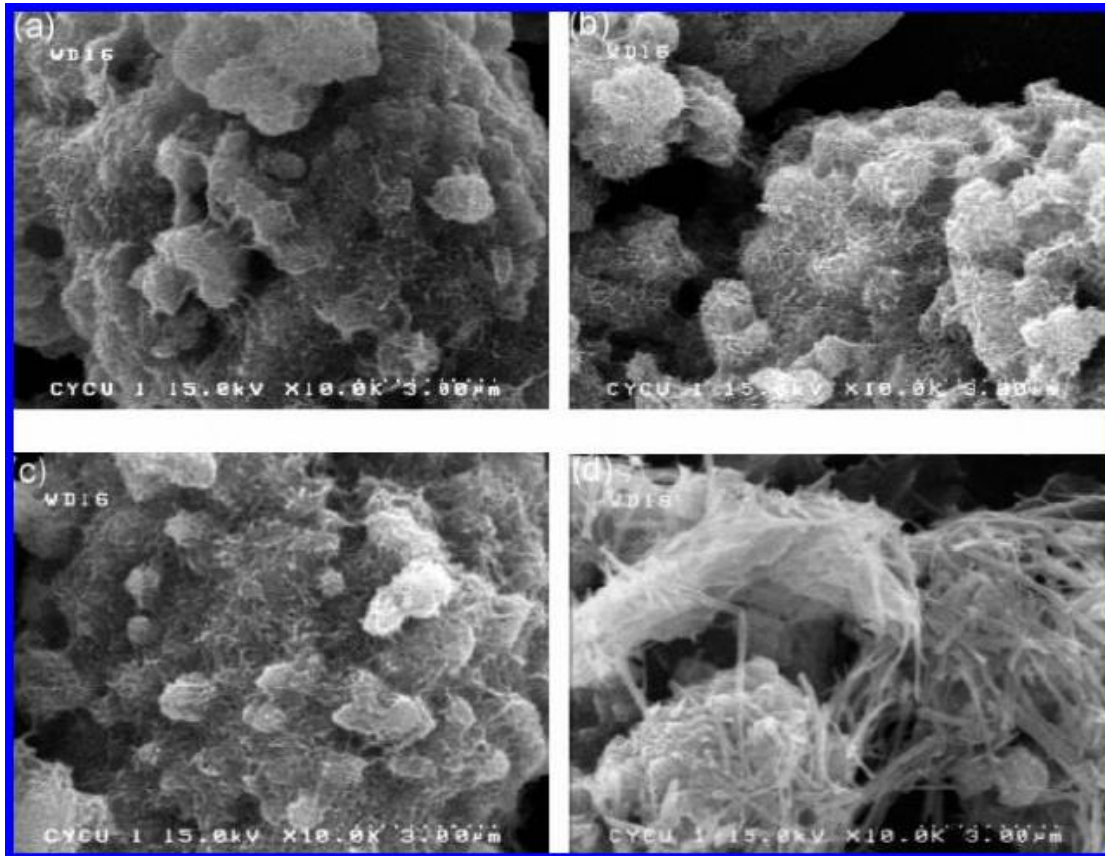


圖 9 不同反應溫度下，利用微波消化法所得到之奈米二氧化鈦  
(a)110、(b)140、(c)180、(d)210°C。

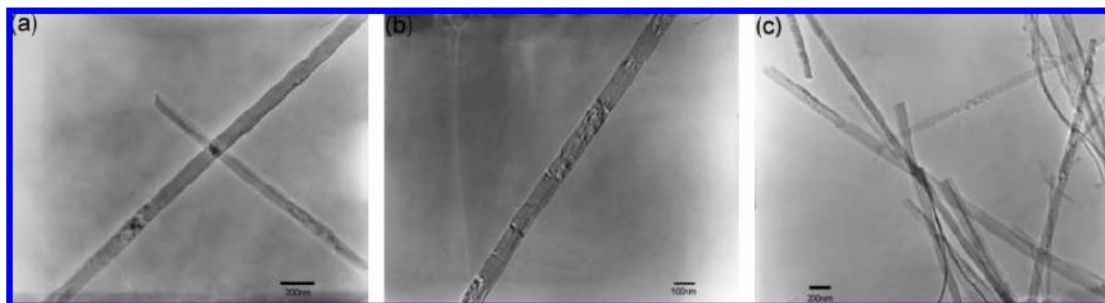


圖 10 不同反應時間之奈米二氧化鈦 TEM 圖  
(a)2、(b)4、(c)5 h。

表 10 自製奈米二氧化鈦線材料之物理性質

	直徑 (nm)	晶相	表面積 (m <sup>2</sup> /g)
二氧化鈦奈米線	80~120	Anatase	65.5

## 二、實驗設備與方法

在固態儲氫技術中，碳質吸附材是近年來受到矚目的技術。主要的材料有單壁奈米碳管(SWNT)、多壁奈米碳管(MWNT)、石墨奈米纖維(CNF)及活性碳等，表 11 整理了目前文獻中所使用之材料以及其儲存條件之比較。

表 11 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	Shajumon [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

要讓氫氣儲存在奈米碳管中，由上表可知須在特定的操作條件下，如 1. 低溫(77K)、常壓，2. 常溫，高壓(5~20 Bar)。目前從文獻可發現，單層的奈米碳管對於儲存氫氣有較好的效能，但各文獻中儲存氫氣的容量差異十分的大，且再現性並不好，在這方面仍有可改善及討論的空間。

從奈米碳管的文獻看來，在常溫常壓下，氫氣應無法儲存在奈米碳管材料中，因此需要提高壓力，或是降低溫度來使氫氣儲存在此材料中。在本次的實驗所選用之材料為奈米二氧化鈦，文獻中並沒有相關資料，以此材料進行儲氫。因此，只能參考奈米碳管之結果，在常溫下，加壓進行氫氣的儲存，並在不同的溫度下測試其洩漏狀況，

並記錄之。由奈米碳管的文獻看來，分別得到不同時間及不同壓力下之氫氣儲存量，  
以及其洩漏率(如圖 11 及圖 12)，可以當作實驗參數設計參考或結果比較之依據。

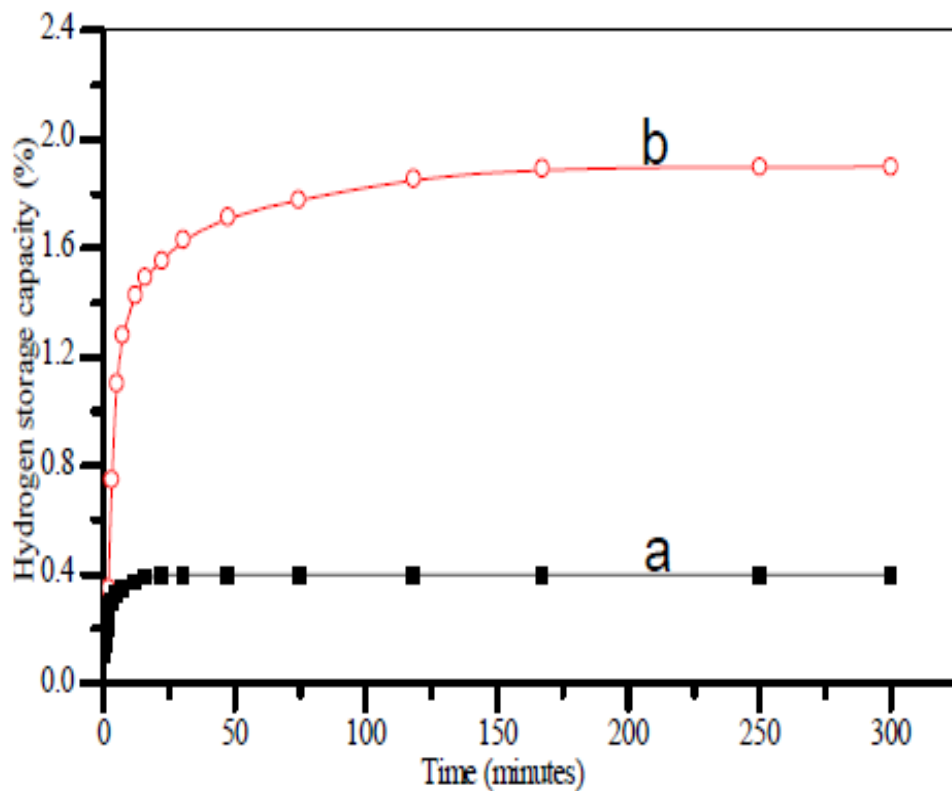


圖 11 吸附時間對氫氣儲存量之關係圖[38]  
(a-MWNTs as grown; b-MWNTs as purified)

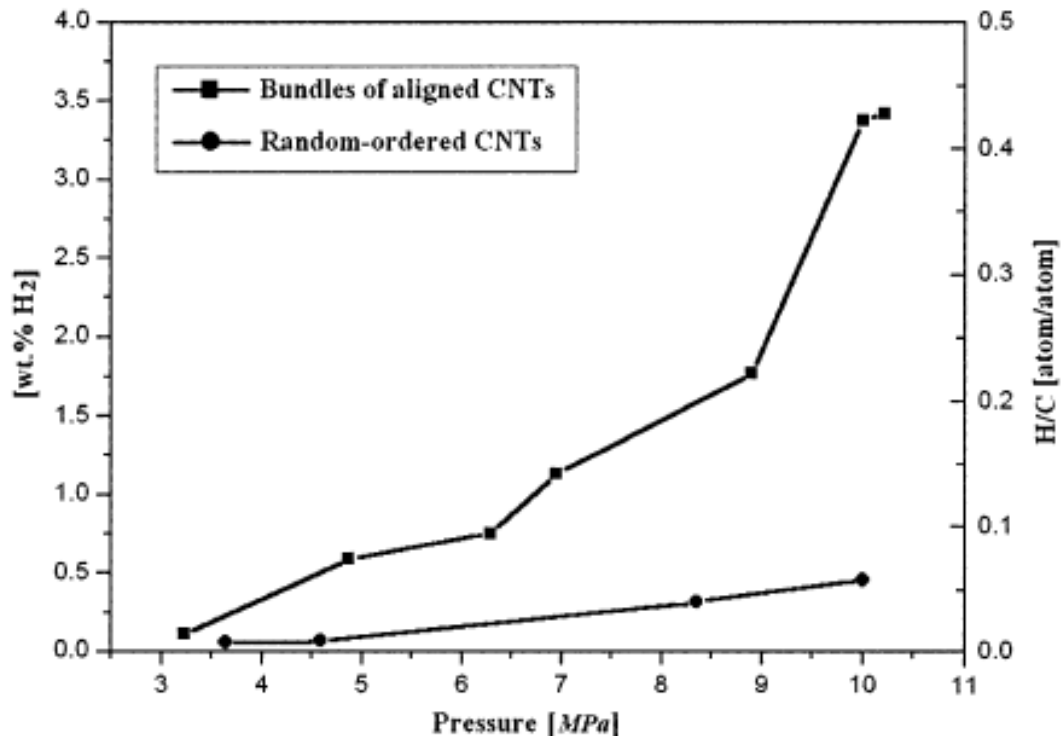


圖 12 不同壓力下氫氣儲存量[39]

依據上述討論，本實驗過程之程序標準化描述如下：

#### (一) 奈米二氧化鈦儲存氫氣實驗

已完成在常溫常壓下，將本研究製備奈米二氧化鈦材料置於氫氣高壓不銹鋼容器中達吸附平衡之儲存氫氣實驗，量測與計算儲氫量發現，在儀器誤差範圍內，其儲氫能力不明確，幾乎無氫氣儲存。再參考文獻中奈米碳管儲氫之壓力與時間，進行本研究製備奈米二氧化鈦材料置於氫氣高壓不銹鋼容器中達吸附平衡之儲氫實驗。從圖 13 可發現，時間與儲存量的關係，同時分別以不同壓力氫氣加壓填充，瞭解氫氣儲存在奈米二氧化鈦材料之儲存量會與壓力成正比，在壓力的選擇上，因操作安全的考量，只將壓力控制在 1~5 大氣壓內。在 1 大壓下，奈米二氧化鈦對於氫氣的吸附效果並不明顯，但當壓力提升到 5 大氣壓時，奈米二氧化鈦對於氫氣的吸附可以來到約 0.15wt %。

## (二) 氫氣洩漏測試

利用實驗室自製的重量測定吸附平衡量測設備來進行，氫氣洩漏之測試，實驗設備如圖 14。將吸附氫氣之奈米二氧化鈦材料置於微量天平上，並隨著時間紀錄其重量損失，將其繪圖後，即可得到常溫下奈米二氧化鈦材料之氫氣洩漏情形，如圖 15。又因實驗系統操作限制，溫度僅能操作在 50°C 以內，實驗發現不管是在常溫下或是將溫度提高到 50°C，大約在 5 分鐘左右就會有將近九成的氫氣脫附量，表示大部分的氫氣是吸附在奈米二氧化鈦的表面，當壓力降下來後，大部分表面吸附的氫氣容易被脫附，剩下未脫附的氫氣，是進入到奈米二氧化鈦材料的孔洞中，因此在較低的溫度下，無法順利脫附出來。

傳統高壓儲氫以及低溫液態儲氫，由於高危險性與高成本的因素而逐漸被淘汰，因此一般研究目標已轉向吸附型儲氫材料。利用材料與氣體分子間的凡得瓦爾力，在其表面形成一層氫的吸附層，此一現象在溫度降低或氫氣加壓的條件之下越加顯著。而吸附材比表面積大小以及其與氫的鍵結情況乃是此儲氫系統性能的關鍵技術。其優勢為可逆性高、操作壓力遠低於高壓儲氫、吸放氫反應極快速、儲氫材料使用壽命長等。依本實驗內容及吸附儲氫上述特性，其安全規範上並無傳統高壓儲氫高危險性之問題，但還是會遵照氫氣 MSDS 上所標示的洩漏處理方式進行預防以及教育訓練，在個人方面，操作時要穿戴適當的個人防護設備，若是發生洩漏時，在汙染區尚未完全清理乾淨前，限制人員接近該區，並確定清理工作是由受過訓練的人員負責。在環境方面，工作環境必須保持通風，避免在操作時任何火源的接近。

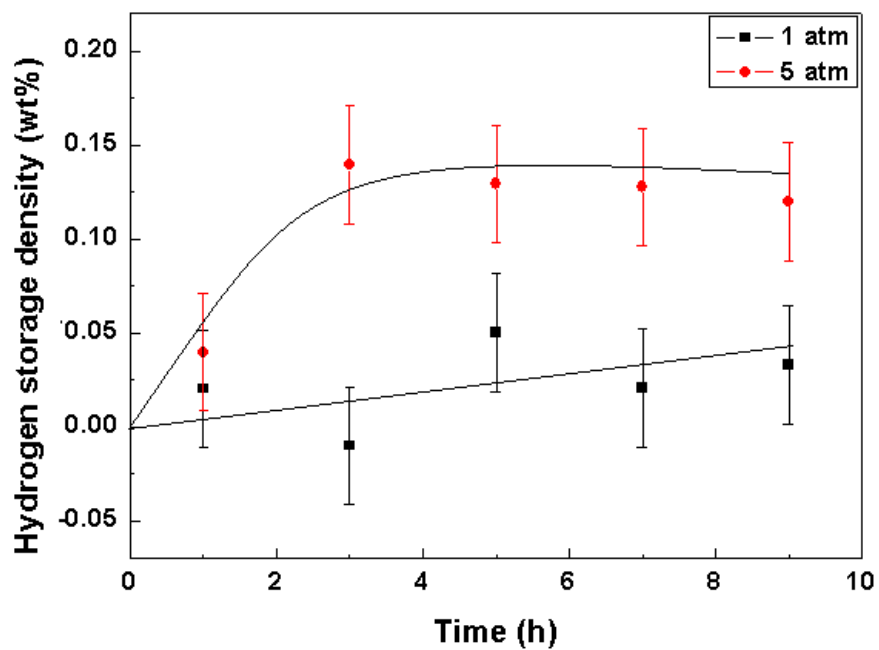


圖 13 奈米二氧化鈦儲氫密度對時間作圖

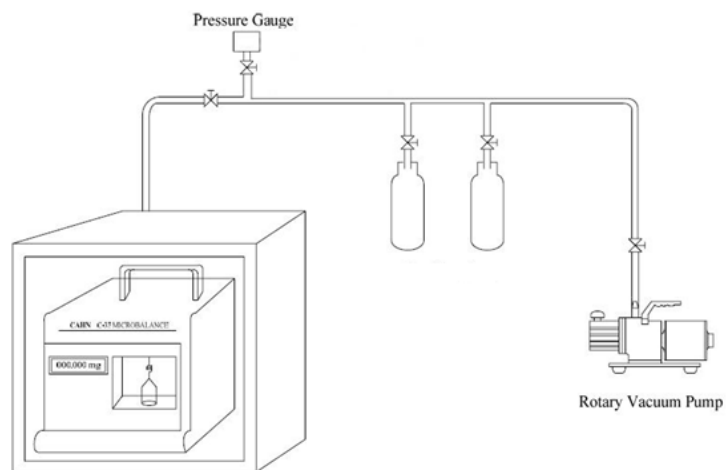


圖 14 重量法之吸附平衡設備

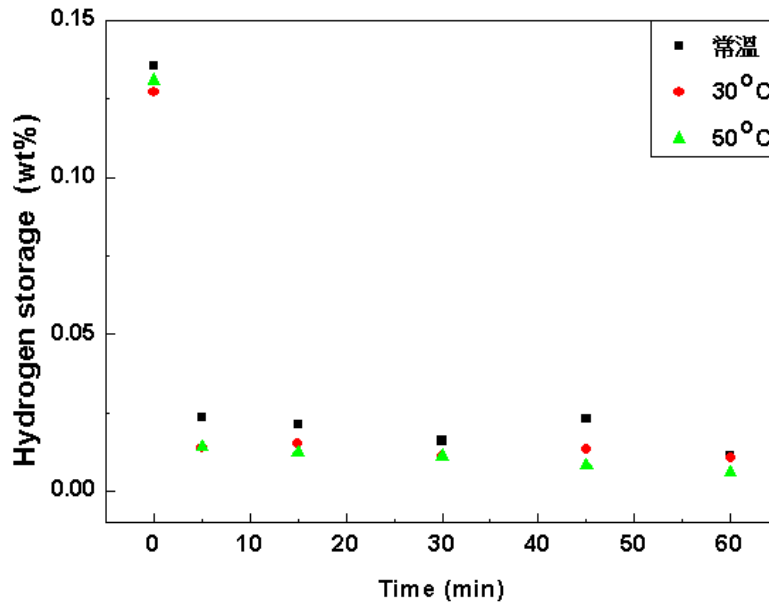


圖 15 不同溫度下，奈米二氧化鈦之氫氣洩漏對時間之作圖。

### 三、水裂解裝置電路設計

#### (一) 電路作用原理

根據 Stanley Meyer 的專利 US5149407A.-"Process and Apparatus for the production of Fuel Gas and the enhanced release of Thermal Energy from such gas"所描述，水分子要裂解為氫氣與氧氣分子需要電容電極所建立的電場以極化水分子並且要持續使用週期性的電源輸入才能確保極化的效果 [40, 41-49]。所以我們把研發的重點放在電壓波形的產生與電極的設計上。

下圖為 Stanley Meyer 於專利中產生氫氣的驅動電路，從電路結構上可分為三個部份 1 是電源及方波產生器，2 是變壓器的昇壓線圈，3 是受二極體控制電流方向的 LC 震盪回路，由於專利中並未說明輸出波形的電壓範圍及週期，我們可能需要進一步測試才能確定電路元件的參數。

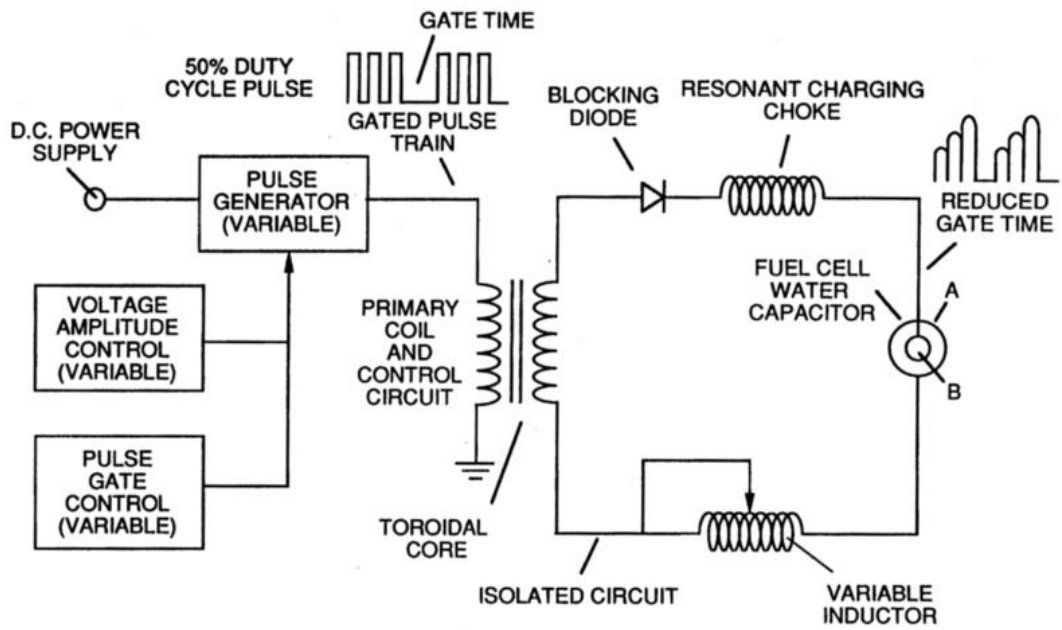


圖 16 Stanley Meyer 於專利中產生氫氣的電路，摘自 U.S. patent (US 4936961)。



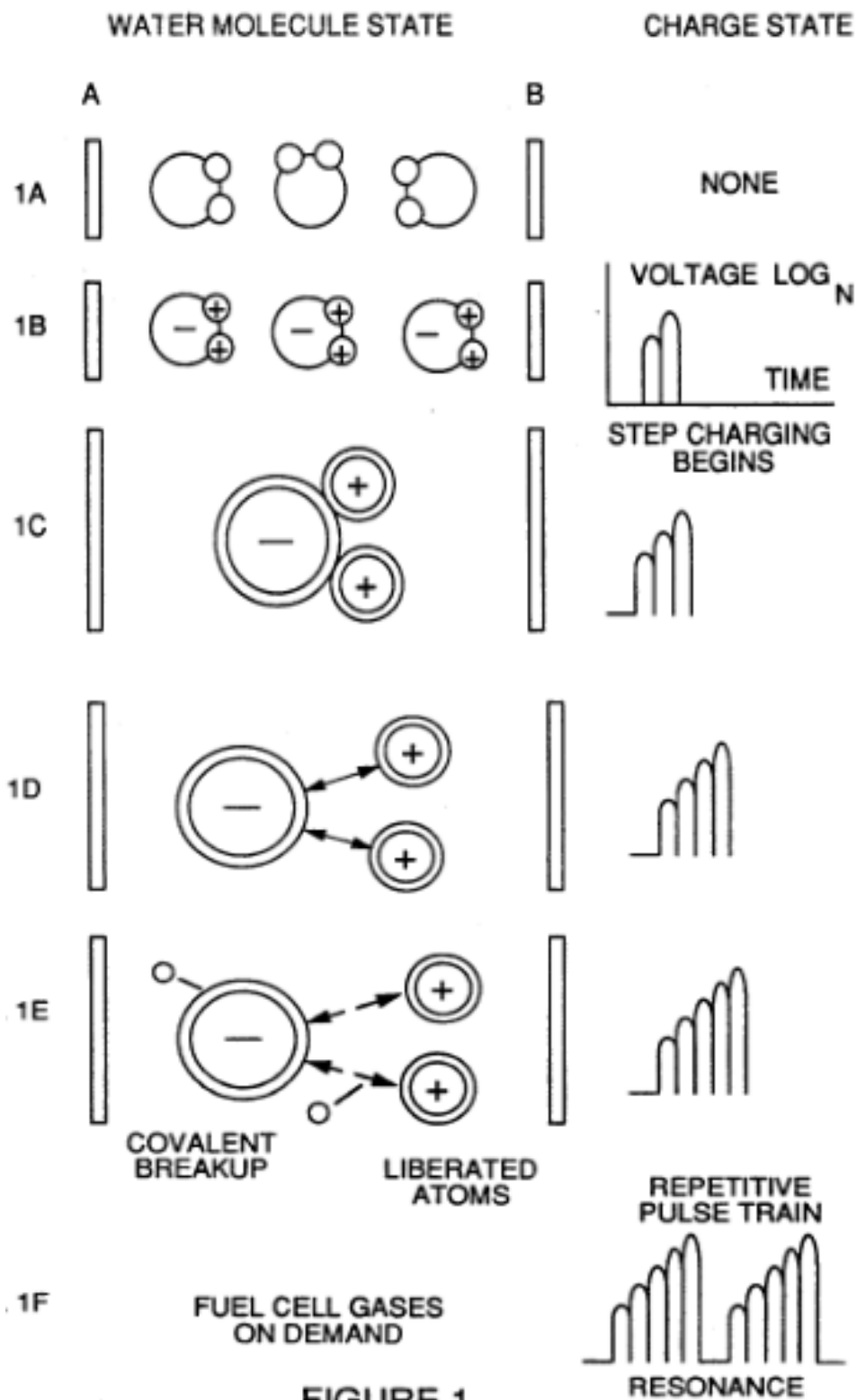


FIGURE 1

圖 17 Stanley Meyer 於專利中說明水分子電解過程之原理圖 (US 4936961)

根據 Stanley Meyer 的理論，正負極的壓降會以電容的方式產生電場，此電場會極化水分子中的氫氧原子，在幾個脈衝式電壓調變控制 (pulse width modulation, PWM) 電路的週期的作用下可以分離氫原子及氧原子達到水裂解的效果。

## (二) 電路設計

根據前一節的理論，我們要在電極間形成一個電場，電場強度除了外加偏壓，也由電極間的距離來決定，考慮高壓電路必須經過線圈升壓，製成成品後會過於笨重，相關電路元件也必須符合高壓操作的規格。

我們採用 12V 直流電源供應器做為電源，採用單晶片程式控制的 PWM 模組來提供裂解水產生氫氣的能源。為了方便設計與操作，我們將電路分為兩個部分，一個是控制電路，一個是 PWM 方波輸出。

控制電路(Controller circuit)：使用單晶片微處理器作為核心，並於記憶體內燒錄預設程式碼，包括一個可變電阻旋鈕，以液晶顯示器(LCD)螢幕顯示輸出電壓，輸出電流等資訊，並可設定 PWM 占空比(duty cycle，在一個週期中，高準位輸出時間與整個週期時間比率)，輸出埠我們採用 RJ45 網路線形式，因為此類線材很容易在市面上購得，而完整的控制電路也很容易購得，並燒錄設計好的程式碼。



圖 18 控制器外觀

**PWM Output**：由於單晶片埠口輸出電壓只有 12V 且輸出電流數個 mA，所以無法推動可以控制大電流的矽控開關，這裡我們使用一個現成的積體電路

晶片作為緩衝，我們選擇型號為 Microchip 的 TC4426A 晶片，TC4426A 是 1.5 A Dual High-Speed Power MOSFET Drivers，可以接受單晶片的邏輯位準，並輸出足以驅動固態開關的電位。開關元件則選用 International IOR Rectifier 的 Power MOSFET IRFB4310ZGPbF，該 MOSFET 為 TO220z 封裝，源汲極間可承受高達 100V 的壓降，並可操作高達 120 A 的電流，為了保護電路我們採用兩顆同型的 MOSFET 分擔操作電流，當其中一顆失效時，還有一顆可以正常工作。

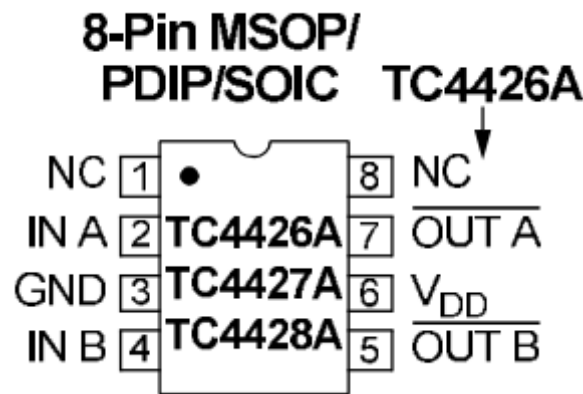


圖 19 TC4426A 晶片 PIN 腳與外觀

International  
**IOR** Rectifier

PD - 96189

## IRFB4310ZGPbF

HEXFET® Power MOSFET

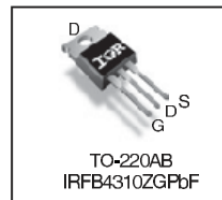
### Applications

- High Efficiency Synchronous Rectification in SMPS
- Uninterruptible Power Supply
- High Speed Power Switching
- Hard Switched and High Frequency Circuits

### Benefits

- Improved Gate, Avalanche and Dynamic  $dV/dt$  Ruggedness
- Fully Characterized Capacitance and Avalanche SOA
- Enhanced body diode  $dV/dt$  and  $dI/dt$  Capability
- Lead-Free
- Halogen-Free

	$V_{DSS}$	100V
	$R_{DS(on)}$ typ. max.	4.8mΩ / 6.0mΩ
	$I_D$ (Silicon Limited)	127A Ⓟ
	$I_D$ (Package Limited)	120A



<b>G</b>	<b>D</b>	<b>S</b>
Gate	Drain	Source

圖 20 IRFB4310ZGPbF 金氧半導體元件

## PWM Connection Diagram

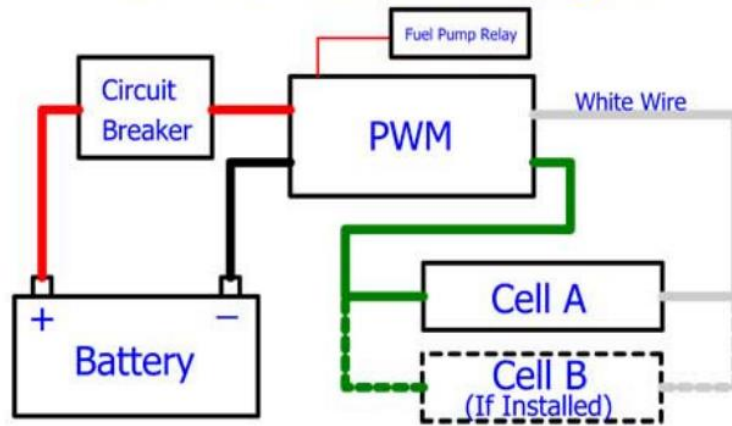


圖 21 PWM 電路串接示意圖

### (三) 電路實作

以下是製作好的 PWM 輸出電路，最大輸出電流可達 12A。



圖 22 經測試確實可以輸出 12V 的 PWM 波形

### (四) PWM 電流源與直流(DC)電解效能比較

為了測試 PWM 電流源與直流 DC 電解效能的效能，我們以不鏽鋼材料作為電極，電極距離為 3 mm。使用高精密度天平(解析度為 1 mg)紀錄電解時的重量變化。

圖 23 則是測量方式的示意圖，圖 24 為整個量測系統的全貌照片。

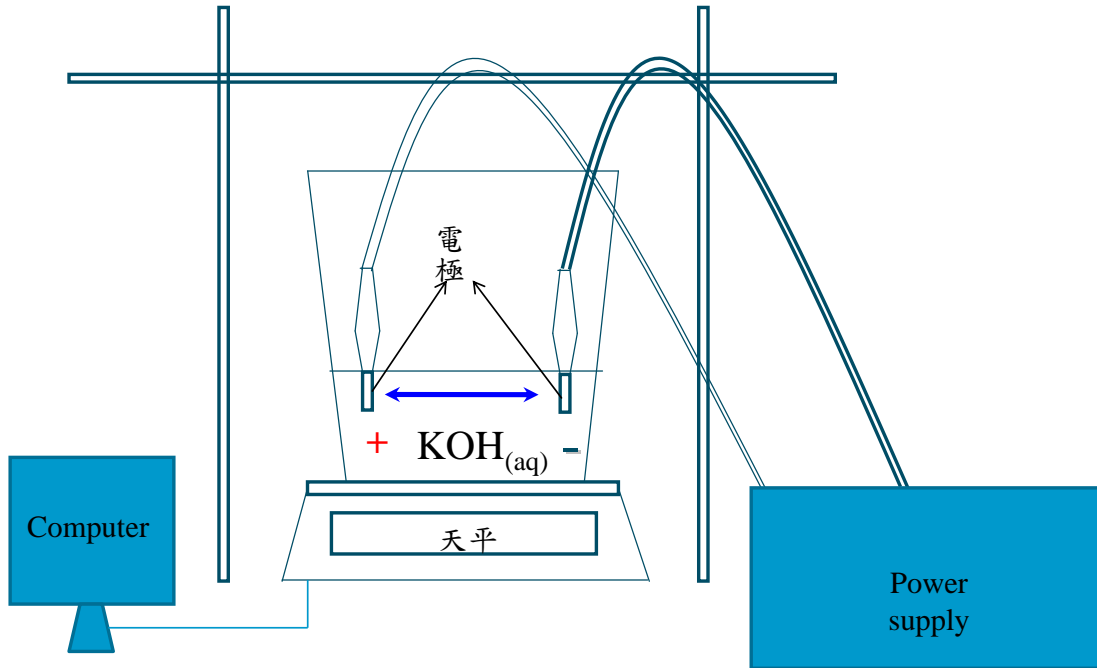


圖 23 PWM 電流源與直流電解測量方式的示意圖



圖 24 水裂解系統與傳統水電解差異性比較實驗

除了將以 12V 直流電(DC)電解水作為對照組，以 DC 12V 推動 PWM 模組產生 500Hz, 10% duty cycle 的脈波推電解水作為實驗組外，我們還對室溫下水的自然蒸發做了紀錄，發現水蒸發的速率遠小於水電解後水分消失的速率，所以本實驗中合理的忽略水分蒸發的質量損失。另外在電解液的重量的百分比濃度，我們也選用重量百分比 10%、20%、30% 三組條件進行實驗分析。

實驗的過程中，我們發現以直流電壓直接電解水，可以於短時間達到很高的氫氧氣產裂，但是耗能過大，相對於 PWM 電解方式只需 9.72 W，傳統電解水耗能 97.2W，是 PWM 電解水的 10 倍，而多餘的功率也變成熱效應使電極與實驗系統急速的上升溫度。而 PWM 電解水則是不管電極系統以及水溫，因為單晶片微電腦進行控制，所以都維持恆定。

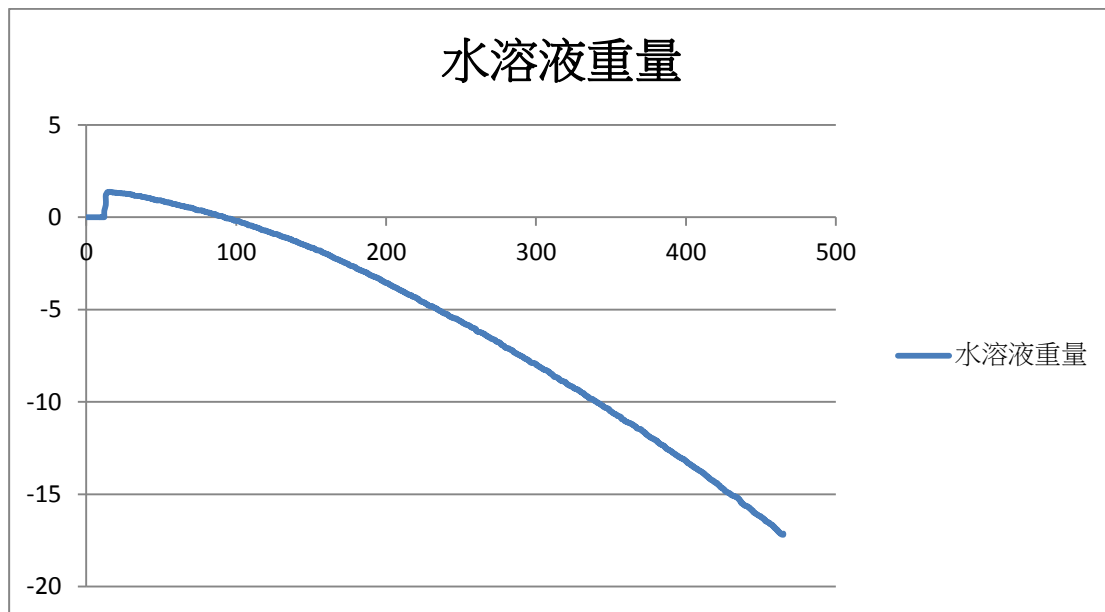


圖 25 重量百分比 20%wt 的 KOH 電解液以 12 V 直接電解

為了在數據間進行比較，我們定義產氫效率為產出氫氣在一大氣壓下的體積數值除以輸入的電能，如果是計算單位時間內產氫的效率，則可表示為每瓦特功率產出的氫氣體積，在本實驗中，計入下列情況：

- 1 反應進行中，僅發生氧氣與氫氣，沒有副反應存在。
- 2 使用去離子水沒有因不純物引起的電解電流之存在。
- 3 在電極以外，沒有其他線路接觸，造成電流洩漏。
- 4 生成物沒有分解或氧化:氫氣不為高活性反應物，且在電解裝置內，沒有會與氫氣發生反應的物種，故假定氫氣沒有分解及氧化情形。

每電解消耗 1 莫耳 18g 水分子，可得 1 莫耳 2g 的氫氣與 0.5 莫耳 16g 的氧氣，根據理想氣體方程式  $V=nRT/P$ ；

氫氣體積為  $V = (1 \text{ mol})(0.082057 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{mol}\cdot\text{K})(273.15\text{K})/1 \text{ atm} = 22.41 \text{ L}$

基於上述假設，研究者提出下列定義[12]:

產氫速率定義為每秒產生的氫氣體積。

產氫效率定義為每瓦產生的氫氣體積。

經過計算，20%wt 的 KOH 電解液以 12 V 直接電解每秒鐘消耗 0.0443 g 水分子，再將數值正規化與 10% duty cycle 的 PWM 資料比較，換算得每秒產消耗水分子 0.00443 g，即 55.3 ml/s 的產氫速率，產氫效率 2L/W 數值略大於 30%wt 以 10% duty cycle 的 PWM 電解情況，實驗時發現直流電解水溫已超過 50°C，其水重量損失有可能包含水溫造成的水蒸發效果。

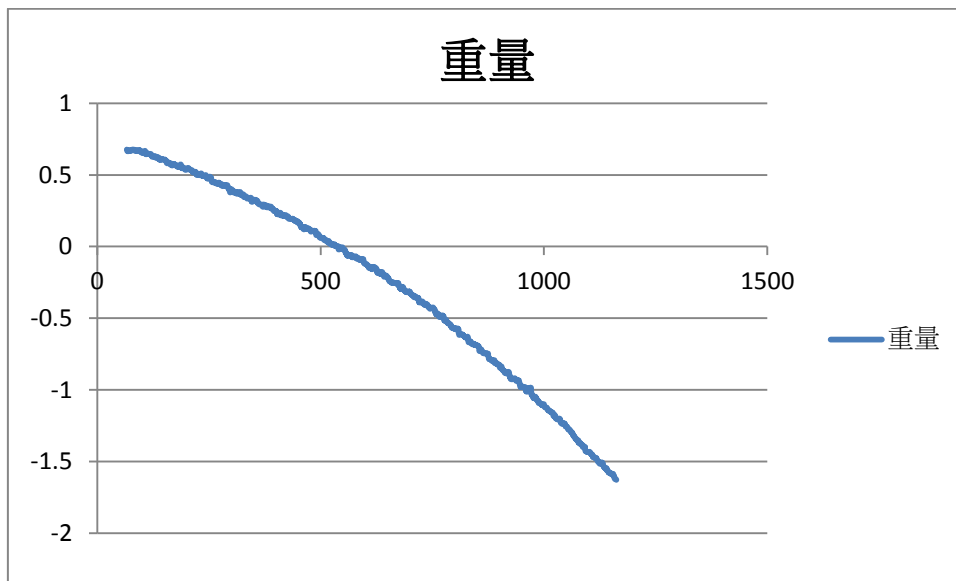


圖 26 重量百分比 10% 的 KOH 電解液以 10% duty cycle 的 PWM 電源電解

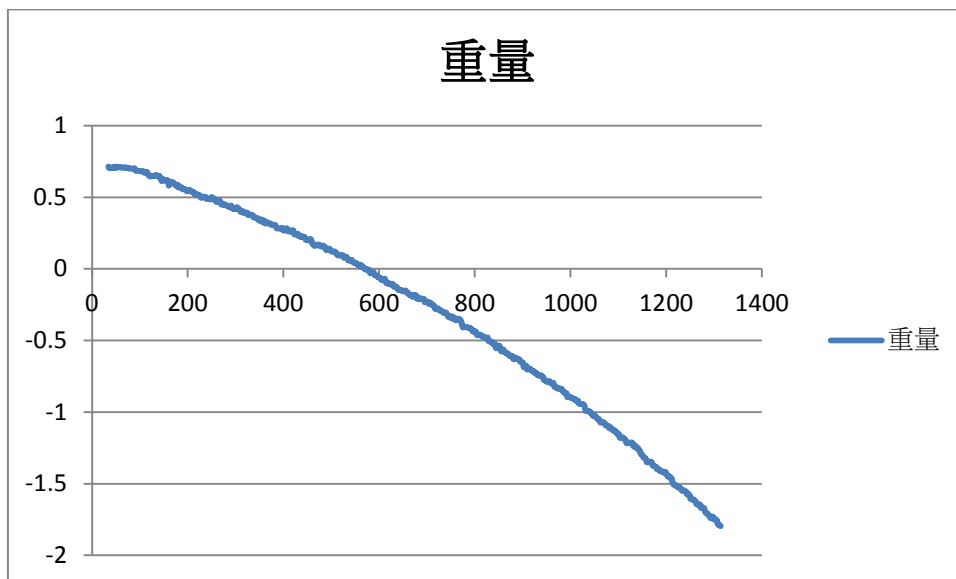


圖 27 重量百分比 20% 的 KOH 電解液以 10% duty cycle 的 PWM 電源電解

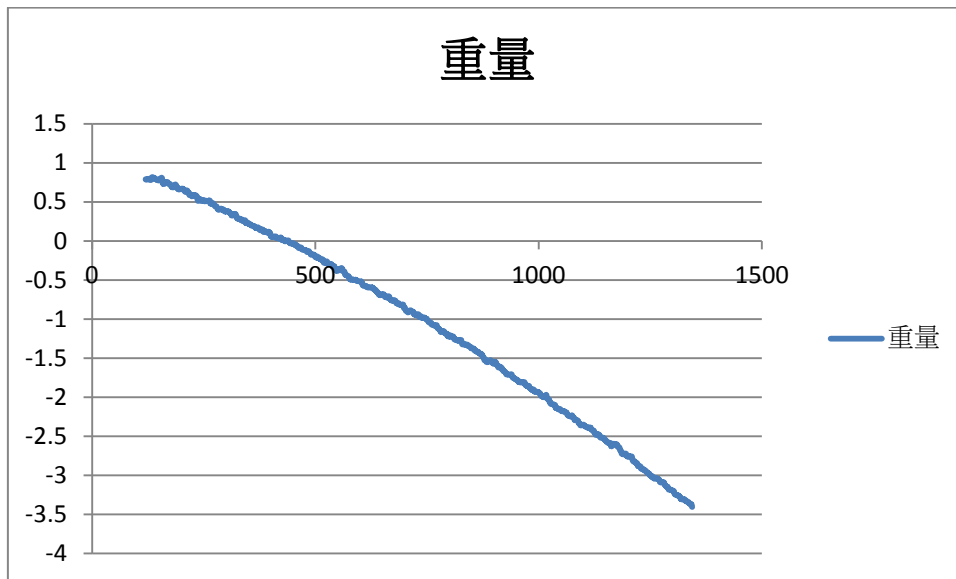


圖 28 重量百分比 30% 的 KOH 電解液以 10% duty cycle 的 PWM 電源電解

10% duty cycle 的 PWM 電源電解每秒鐘消耗 0.0021 g 水分子即 2.62 ml/s 的產氫速率，產氫效率 0.97 L/W。而使用 20wt% 每秒鐘消耗 0.0018 g 水分子即 2.32 ml/s 的產氫速率，產氫效率 0.86 L/W。30% wt 的 KOH 電解液以 10% duty cycle 的 PWM 電源電解每秒鐘消耗 0.0034 g 水分子即 4.3 ml/s 的產氫速率，產氫效率 1.58 L/W。經過實驗比較，直流傳統模式的電解由於在操作上沒有電源管理，導致系統溫度快速升高，可能帶來安全性的問題，而持續電解的效果，產氫的效率也只有 2L/s。而在產氫速度上，我們以實驗中每秒所消耗的水分子計算產氫速率。不同重量百分比濃度的 KOH 電解液中以 30%wt 的電解液效果最好可以在穩定的條件下達到 4.3 ml/s 的產氫速率，產氣效率為 1.58 L/W，如果要採用更高的濃度，主要因 KOH 水溶液電解質導電性接近飽和與固溶質溶解不完全的情況。而電解質濃度也需要搭配 PWM 電源與頻率做最佳化。

#### 四、水裂解裝置電極開發

##### (一) 電極作用原理

電極部份如上面所陳述必須形成一個以水為介質的電容電場以便極化水分子，通常在成本考量下是以不鏽鋼材質作為電極，但是不鏽鋼有氧化可能與電場遮蔽效應，在計畫中我們研究採用氧化導電膜作為反應電極，除此之外此導



電膜還有加熱的功能，當在極端氣候下進行電解可以預熱水分子以提高電解效率。

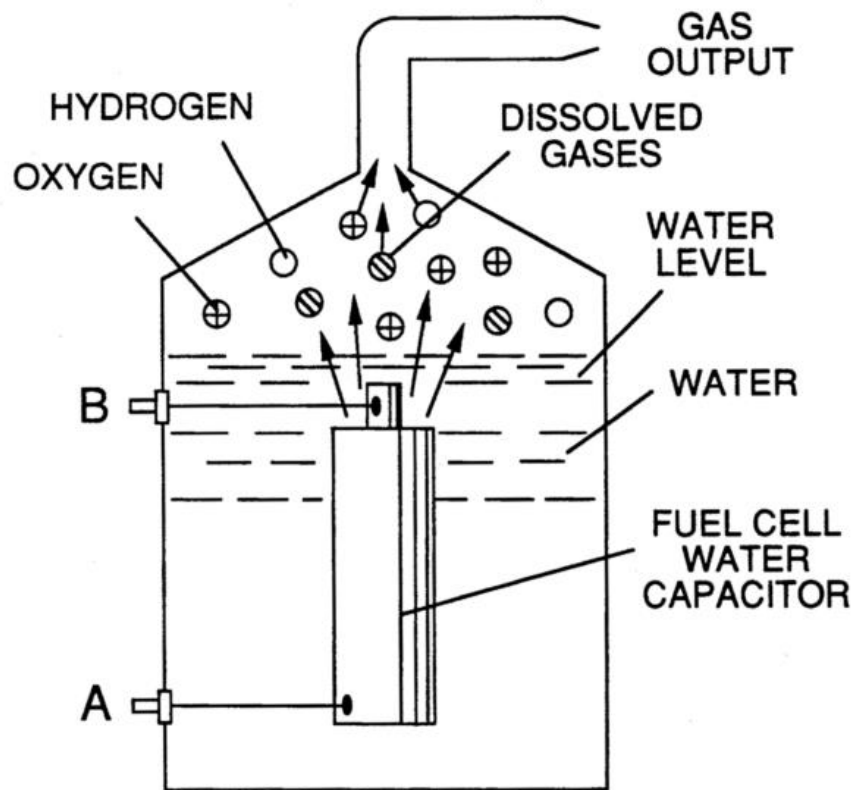


圖 29 Stanley Meyer 於專利中產生氫氣的腔體結構，摘自 U.S. patent 4936961A [41]。

## (二) 電極設計與開發

為了避免電解質的外洩，我們設計 20x20 cm<sup>2</sup> 大小之電極模組，並且採用類似閉路的方式形成封閉水路，使整個模組體積可以大為縮小，並防止電解液的外漏。

首先，在本計畫中以鐵氟龍作為連接口材質，連接入水口及出水口，並作為整個模組的上下蓋板，上置螺絲孔以便於鎖上螺絲施加壓力於電極間的橡膠墊片，使水路可以密閉。

不鏽鋼金屬電極為 15x15 cm<sup>2</sup> 之不鏽鋼鐵片，並在中間不同位置鑽 2 個洞，以使水路貫穿，以利裂解後氣體通過。但通氣孔的數目會與其產生氣體後通過的阻力有關。



圖 30 導引水路的上下蓋板



圖 31 不鏽鋼電極，左邊為模組電力引入電極。

針對水的電解，其電極的上觸媒是重要關鍵，美國 Stanford 大學開發出了可在 1.5 V 的低電壓下[50]、以與貴金屬鉑一樣高的效率電解水的新型催化劑。這種催化劑的材料成本比鉑低很多，還能量產，因此可以低成本量產燃料電池使用的氫氣。在他們的水電解中，用於陰極和陽極的新型催化劑是不同的。陰極用電極上的觸媒是將鎳（Ni）與其氧化物（NiO）的複合粒子附著在氧化多壁奈米碳管上而製成。陽極用觸媒是由鎳鐵（NiFe）合金構成的層狀雙氫氧化物。在他們的研究中 NiO 是提高氫氣電解性能的關鍵，Ni 在以前也被用作代替鉑等貴金屬催化劑的材料。鎳的價格約為 2 美分/克，比價格接近 50 美元/克的鉑便宜很多；但作為觸媒效果比鉑差很遠。在陰極電極上採用的催化劑。NiO 結晶附著在 Ni 粒子周圍製成的複合粒子成長於氧化多壁奈米碳管上：Ni 與 NiO 的複合粒子的直徑為 8~15 nm。Stanford 大學研究團隊通過在陰極用催化劑中採用 Ni 與 NiO 的複合粒子。不過，NiO 層不均勻，有很多部分 Ni 裸露在外面。其實際的作法為，將氫氧化鎳（Ni(OH)<sub>2</sub>）以高壓釜水熱法成長在多壁奈米碳管上，然後在 Ar 保護氛圍下，在 1.5 torr 的低真空中，以 300°C 退火 1 小時，Ni(OH)<sub>2</sub> 就會變成 Ni/NiO 觸媒。使用這種觸媒，室溫下的電解電壓為 1.5~1.6 V 在室溫下，電解電壓為 1.5 V 時，電流密度為 20 mA/cm<sup>2</sup>，即可以有效產生氫氣。這也提供一個可能的水裂解未來電極方向，使用在不銹鋼極板上表面塗佈有效觸媒，以增加產氫效率。而

加大極板面積可搭配通氣孔對於 PWM 操作參數做最佳化。

### (三) 電極材料組裝

在內層的電極，不接電以保持浮接狀態，因此其極片架構為-NNNNN+ (N 代表浮接電極)，+代表加入正電壓，-代表為接地端。因此，在接受外界 12 V 電壓，每一個電解室只有 2 V 的電壓(理論上當所有電路中，歐姆損失為零時，受 1.3 V 以上左右便可以電解水)，此設計主要目的為避免多餘的能量用於產生加熱水，而非用來裂解水分子，產生氫氣與氧氣。因此，此類電極設計，適合 12 V 的車用電力系統，若是 24 V 的外加電壓(卡車或大型車輛，則使用 -NNNNN+NNNNN- 來保持電解室只有 2 V 的電壓。而一般加用可使用變壓器，將 110 V 交流電轉成直流電，輸出 12 V，來推動 PWM。極板與極板間的距離為 1/8 inch。

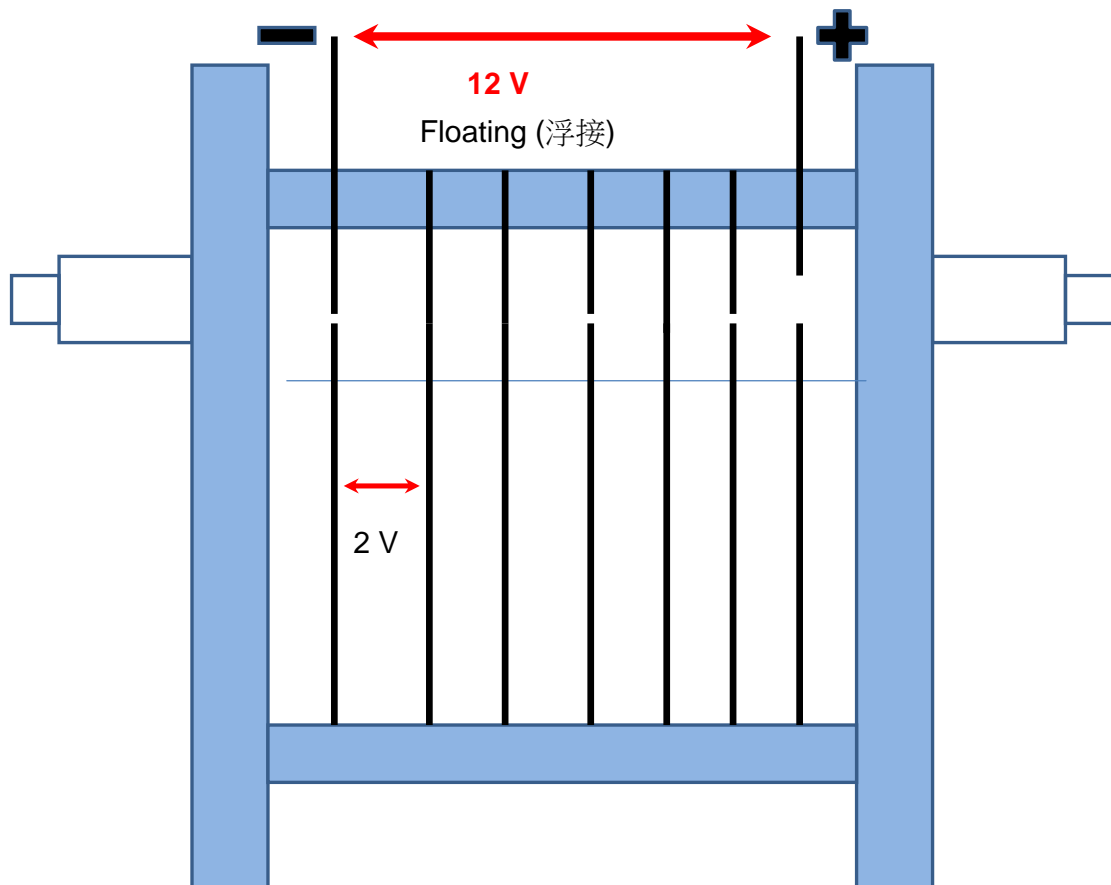


圖 32 完整電極模組橫截面透視圖。



圖 33 完整電極模組上視圖。



圖 34 完整電極模組側視圖

#### (四) 裂解水裝置系統組裝建置與測試

經過組裝電解槽，電源模組，儲水槽等各個部件後，裂解水裝置系統外觀如圖 37。其操作說明，電解質選用與注意事項，與操作注意事項請參見本研究報告第五章第五節。

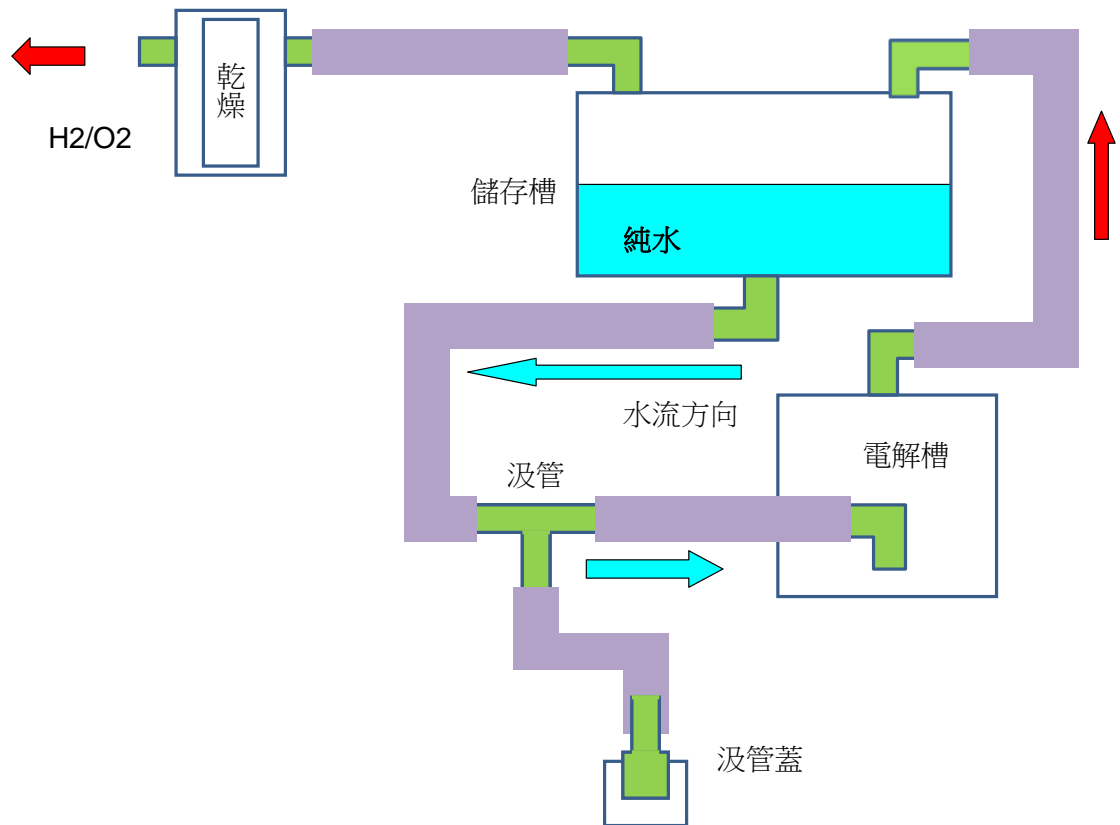


圖 35 為本研究中氫氣發生裝置的功能方塊圖（純水中加入電解質）



圖 36 為本研究中氫氣發生裝置組裝完成圖

### 1. 使用 PWM 水電解的元件模型與設計原理探討:

根據 Meyer 的專利設計，主要產生高壓脈衝將水分子極化。但是根據近期的文獻資料(Mazloom 等人所提出的[51]或參見參考文獻[52,53])，電解水在常溫常壓下基本電解電壓為 1.23 V，只須高過此電壓值搭配合適的電極距離即可產生極化作用的所需的電場強度。如果以電子元件模擬水電解的裝置，可以視為電容串接一個電阻， $C(t)+R(t)$ ，如同元件模型函數所描述的電壓剛加上時，水分子並不導電，此時可視為一個單純的電容，在很短的時間後，電流注入水溶液中，水分子開始導通，此時就像一個單純的電阻一樣，而 Meyer 的專利設計正是利用一開始的電容模式來極化水分子，加強電解水的效應。但是水溶液一旦進入電阻模式後，就與一般的電解水無異，所以為了持續的極化水分子，我們使用 PWM 脈波產生器，每周期(period)的 PWM 脈波都輸出 12V 電壓在一定的暫空比(Duty cycle)後即以固態繼電器(relay)導通形成接地，即可在 PWM 周期開始時加強電解槽中的水極化效應。如此，可提升電解水的效能，也可節省輸入電能的使用。

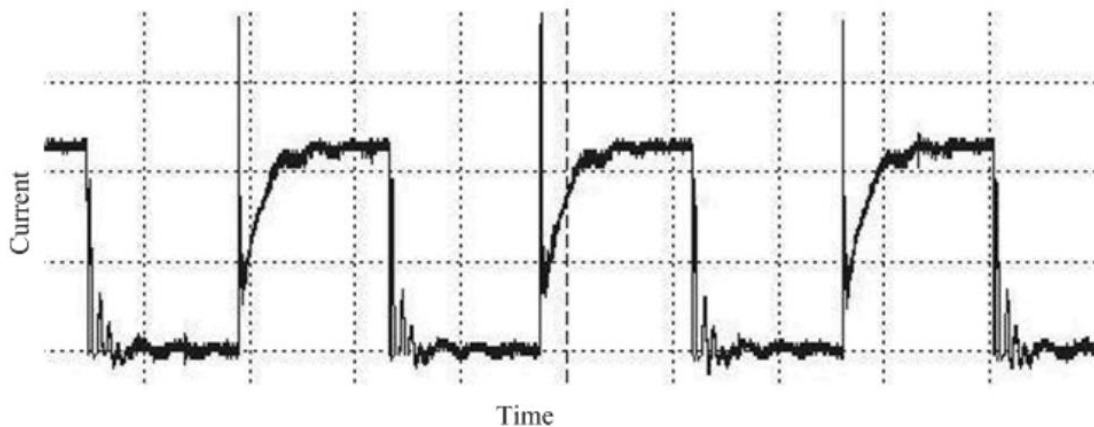


圖 37 使用 PWM 電解槽的電流波型 [51]

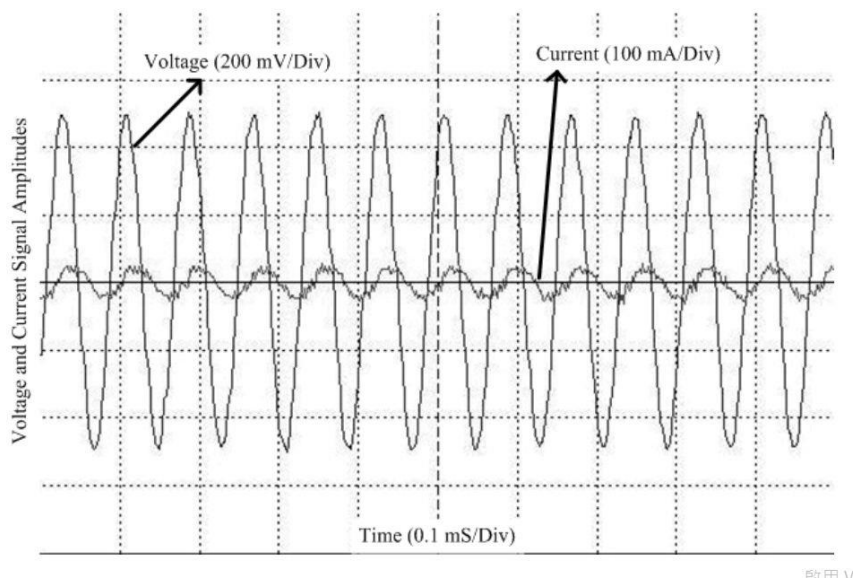


圖 38 使用電解槽的電流與電壓波型 [ 51]

本實驗採用 12 V 車用電壓作為標準操作電壓，所以在電解槽中設置七片電極，其中除最外側兩片分別接 PWM 脈波正極與接地外，中間的五片都充當浮極 (floating electrode，不接地)，主要作用為在電容模式下將電場區分為六個區間，同時極化兩兩電極間的水分子。

## 2. 裂解水裝置系統實機測試

組裝完成之裂解水裝置系統為了測試其功能完整性與產氫速率，我們在注入電解液(30%wt 之 KOH 溶液)後供電運作，使用市電經變壓器輸出 12 V 的電壓，並將系統產出的氫氣以排水集氣法進行集氣測量，在運作 2 分鐘後，一共收集到約 0.6L 的氣體。換算氫氣部分約 0.2L，即產氫速率為 3.3 mL/s。

### (五) 裂解水裝置系統與 Meyer 裝置比較

Stanley Allen Meyer 於 1996 展示了裂解水系統的功能並申請了美國專利 US5149407 A 及 US 4936961 A，但是詳細的製作過程並未公開，留給後世相當的謎團，並且距今已經是十八年前的設計，中間電解水的理論與技術不斷的推陳出新，所以本計畫為了能使裂解水裝置系統能廣泛應用於氫燃料車與其他情況，也以 Stanley Allen Meyer 專利中所描述的系統加以改良，來進行本計畫各部分的研究，表 12 是本計畫設計與 Stanley Allen Meyer 裂解水系統的差異列表。

表 12 本計畫設計之水裂解裝置與 Stanley Allen Meyer 於美國專利 US5149407 A 及 US 4936961 A 中描述之水裂解裝置差異性。

差異點	Stanley Allen Meyer's pattern(US5149407 A, US 4936961 A)	本計畫所採用之設計
水路設計	開放式水路	封閉式水路
電壓	高電壓操作	12V 車用電壓操作
電極設計	環狀電極	平行板電極
浮接電極使用	無	有五片浮接電極
波形	高壓週期波形	PWM 脈波
實際電解電壓	高電壓	電極間電位差 2V
電路設計	使用電容電感變壓器，提升操作電壓	使用矽控半導體切換 PWM 脈波
使用回饋控制器操作波形	無	有，另可感應電壓電流調整 PWM 脈波參數



## 第五章 氫氣的使用規範

### 第一節 氫氣的安全性

相對於天然氣，氫氣因為比較輕，擴散速度快了 3.8 倍，速度為天然氣六倍。這個特性，使氫氣洩漏後，很快的其濃度降至燃點濃度之下，所以除非在密閉空間、排氣不良場所才會累積至爆炸，因此在密閉空間不可以用以氫氣製造，使用時要用適當的排氣系統。

氫氣的安全包括氫氣生產，氫氣處理和氫氣使用等課題。在氫氣的生產、處理、使用中，其因為氫是最小的分子容易洩漏或造成儲存材料的氫脆(Hydrogen embrittle)。低的能量點燃點，與其他氣體混合時的爆炸快。液氫則還要包含其低的保存溫度。因此使用氫氣時須訂定嚴格的法規和標準。而在美國因為廣泛使用氫氣做為火箭燃料，NASA 對氫氣使用提出嚴格的安全規範。在美國 ANSI/AIAA (美國國家標準局/美國太空協會)提出使用氫氣的安全指引 AIAA – G – 095 – 2004 [54, 55]。而太空總署也提出 NSS1740.16 提出如何安全使用氫氣。主要氫氣使用的重要(1)低的引燃能量(minimum ignition energy)，氫氣所需能量為為汽油 1/10(如表 13 所示)。(2)洩漏。氫的燃點為 3,713 °F，在大氣中可燃為 4%。相對於天然氣，為無色、無味、無法用嗅覺偵測。其使用參考氫氣物質安全資料表(見附錄一)。氫氣其主要的物理特性，請參考 ISO/TR 15916:2004 (E) 「Basic considerations for the safety of hydrogen systems」，第六章。

表 13 氫氣、石油與天然氣於化學特性上之比較 (參考 [http://www.arhab.org/pdfs/h2\\_safety\\_fsheets.pdf](http://www.arhab.org/pdfs/h2_safety_fsheets.pdf)，或附錄五)

	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%

一般製氫的方法，大致上有下列五項，我們也將予以簡單的回顧 [28]。

- (一)電解法製氫(如圖 35 所示)
- (二)石化原料製氫，烴類、天然氣、煤氣、甲醇轉化/重整來製氫
- (三)生物製氫
- (四)太陽能製氫
- (五)熱循環製氫 (包括輻射能熱循環製氫)

表 14 產氫技術，與相關投入原料，產氫效率與商品化成熟度 [56]

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 <sub>3</sub>	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

在所有製氫的技術中，因太陽輻射的能量甚高，可以提供足夠能量來製造氫氣，因此這方法目前受到廣泛學術與工業界的注意，例如，美國能源部提供 3.6 百萬美元來研究光化學製氫。以下六項為使用太陽能輻射製氫法的整理(如圖 37 所示)。

- 一、太陽能電解水製氫：電解水製氫是目前應用較廣且比較成熟的方法，效率較高，但耗電大，用常規電製氫，從能量利用而言得不償失。所以，只有當太陽能發電的成本大幅度下降後，才能實現大規模電解水製氫。
- 二、太陽能熱分解水製氫：將水或水蒸汽加熱到 3,000 K 以上，水中的氫和氧便能分解。這種方法製氫效率高，但需要高倍聚光器才能獲得如此高的溫度，一般不採用這種方法製氫。
- 三、太陽能熱化學循環製氫：為了降低太陽能直接熱分解水製氫要求的高溫，發展了

一種熱化學迴圈製氫方法，即在水中加入一種或幾種中間物，然後加熱到較低溫度，經歷不同的反應階段，最終將水分解成氫和氧，而中間物不消耗，可迴圈使用。熱化學迴圈分解的溫度大致為 300-1200 K，這是普通旋轉拋物面鏡聚光器比較容易達到的溫度，其分解水的效率在 17.5%-75.5%。存在的主要問題是中間物的還原，即使按 99.9%-99.99% 還原，也還要作 0.1%-0.01% 的補充，這將影響氫的價格，並造成環境污染。

- 四、太陽能光化學分解水製氫：這一製氫過程與上述熱化學迴圈製氫有相似之處，在水中添加某種光敏物質作催化劑，增加對陽光中長波光能的吸收，利用光化學反應製氫。日本有人利用碘對光的敏感性，設計了一套包括光化學、熱電反應的綜合製氫流程，每小時可產氫 97 升，效率達 10% 左右。
- 五、太陽能光電化學電池分解水製氫：1972 年，日本本多健一等人利用 *n* 型二氧化鈦半導體電極作陽極[30]，而以鉑黑作陰極，製成太陽能光電化學電池，在太陽光照射下，陰極產生氫氣，陽極產生氧氣，兩電極用導線連接便有電流通過，即光電化學電池在太陽光的照射下同時實現了分解水製氫、製氧和獲得電能。這一實驗結果引起世界各國科學家高度重視，認為是太陽能技術上的一次突破。但是，光電化學電池製氫效率很低，僅 0.4%，只能吸收太陽光中的紫外光和近紫外光，且電極易受腐蝕，性能不穩定，所以至今尚未達到實用要求。
- 六、太陽光錯合催化分解水製氫：從 1972 年以來，科學家發現三聯吡啶鈦錯合物的激發態具有電子轉移能力，並從絡合催化電荷轉移反應，提出利用這一過程進行光解水製氫。這種絡合物是一種催化劑，它的作用是吸收光能、產生電荷分離、電荷轉移和集結，並通過一系列偶聯過程，最終使水分解為氫和氧。絡合催化分解水製氫尚不成熟，研究工作正在繼續進行。
- 七、生物光合作用製氫：40 多年前發現綠藻在無氧條件下，經太陽光照射可以放出氫氣；十多年前又發現，蘭綠藻等許多藻類在無氧環境中適應一段時間，在一定條件下都有光合放氫作用。目前，由於對光合作用和藻類放氫機理瞭解還不夠，藻類放氫的效率很低，要實現工程化產氫還有相當大的距離。據估計，如藻類光合作用產氫效率提高到 10%，則每天每平方米藻類可產氫 9 克分子，用 5 萬平方公里接受的太陽能，通過光合放氫工程即可滿足美國的全部燃料需要。

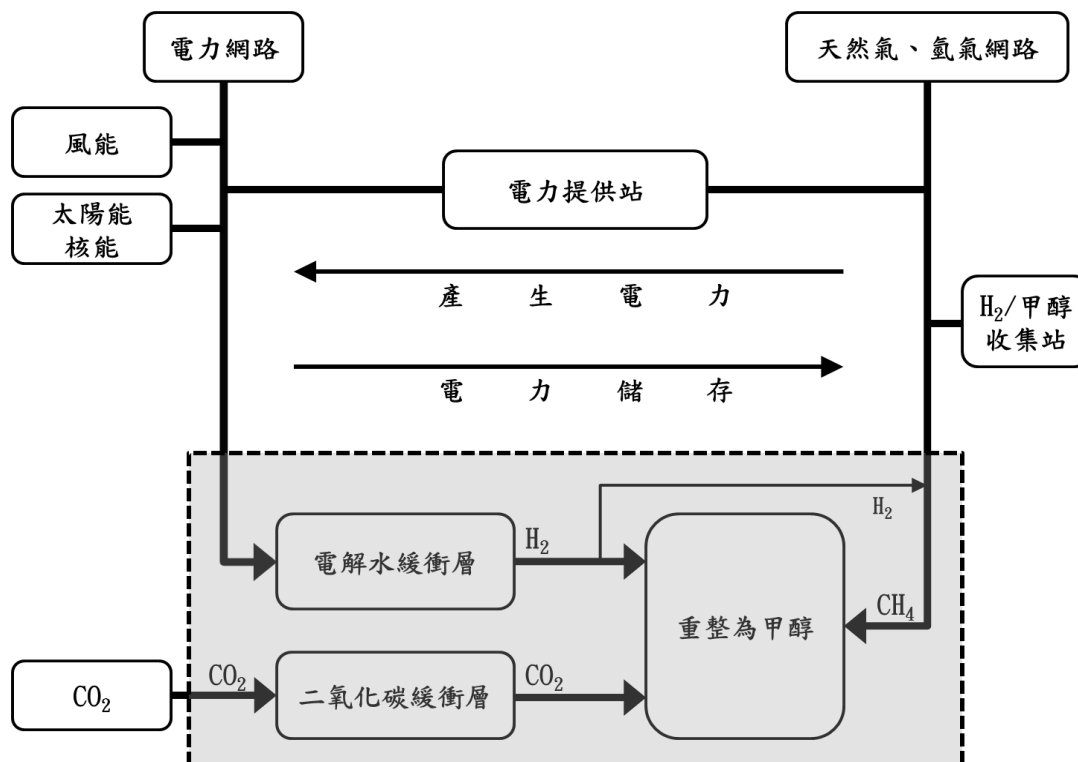


圖 39 電解水電能與甲醇/氫氣儲存關聯圖

在美國 HFCIT 國家型計畫中，在各項製氫技術的價格中希望將天然氣製氫在 2017 年降至 \$2 /gge (gge: gallon gasoline equivalent, 每加侖汽油當量)，水電解的離廠價格為 \$2.0/gge，風力能水電解離廠價格也降至 \$ 2.0/gge，生物能高溫熱化學分解離廠價格降至\$3.0/gge，以擴大氫能的使用利基 [6]。

而在日本，部分的氫氣製造地選擇在澳大利亞進行，其主因是澳大利亞擁有豐富的煤礦資源，可以使用煤來製氫。其地的褐煤產量居世界第三，但是褐煤的含水量較高；很難作為燃料使用，但可以與水反應生成氫氣，還原產生氫氣。同時對生成的二氧化碳進行分離回收，並予以捕捉與儲存，將產生氫氣予以液化。為了日本在 2015 年開始燃料電池車)和固定址式氫氣發電設備的廣泛應用與需求，大量低成本氫氣的製造，運輸和儲存是非常必要的。在整個產業供應鏈中，川崎重工將著手于開發製造電解水製氫設備、液氫運輸船、液氫裝卸設備、以及使用氫氣的氫氣渦輪機、氫氣發動機，以液氫運輸船，運送液氫回日本使用，也增加氫能之氫氣來源的多樣性。

而儲氫方法有，大致上有下列五項，我們也將作簡單的回顧 [57]。

- 一、物理儲氫法。
- 二、金屬氫化物儲氫。
- 三、新型碳材料儲氫材料。
- 四、高分子儲氫。
- 五、無機材料儲氫(包括  $\text{LaNi}_5$ ,  $\text{TiCr}$ ,  $\text{ZrMn}_2$ ,  $\text{TiFe}$ ,  $\text{Ti-M-V}$ ,  $\text{Ti-Cr-V}$ ,  $\text{V-Ti-Cr}$ ,  $\text{Mg}_2\text{Ni}$ ,  $\text{Mg}_2\text{Cu}$ )。

一般而言， $\text{H}_2$  氣的主要危害有下列八項 (參考附錄一 氫氣物質安全資料表)：

- 一、洩漏
- 二、缺氧窒息
- 三、火災
- 四、爆炸
- 五、高壓鋼瓶儲存
- 六、液氫所造成之凍傷
- 七、材料的氫脆化效應
- 八、暴露在  $\text{H}_2$  環境下的輻射效應

下節將介紹相關的氫氣相關使用規範。

## 第二節 氫氣使用規範

氫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)、國際電子工程委員會(IEC)、電氣與電子工程師協會(IEEE)，而在 ISO 中主要由 TC197 的技術委員會來進行工作項目並頒佈相對應的規範，其工作小組(Working group)主要工作項目有：

- 一、WG1：液氫的使用，主要目的規範陸地運輸工具燃料儲存/添加
- 二、WG2：多重目的運輸液氫儲存/添加
- 三、WG4：飛機場填充系統
- 四、WG5：氣態氫氣與氣體混合物和燃料填充、固定式加氣站(filling station)、陸地車輛填充連接器

五、WG6：氣態氫氣與氫氣混合氣-陸地車輛儲存裝置

六、WG7：氫氣系統的安全考量

七、WG8：使用電解水的氫氣產生裝置

而目前在 ISO 已完成的規範有如表 15 所示

表 15 ISO 已完成的規範

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:Proton exchange 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:Proton exchange 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)

表 16 中國主要氫能標準(資料來源：中國標準服務網，上海標準化服務網 [58])

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 氫
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

因此，我們在氫氣使用規範主要針對用在載具用燃料電池(hydrogen fuel cell vehicles)，定址加氫站(stationary)和燃料應用，可攜式燃料電池應用。三個方面。將參考國際標準組織(ISO)，中國主要氫能標準，勞動部職業安全衛生目，危險物與有害物標示及通識規則，高壓氣體勞工安全規則，公共危險物品及可燃性高壓氣體設置標準暨安全管理辦法來撰寫。

ISO16110-1:2001 為針對定此氫氣產生器，此氫氣產生器是用於室內或室外商轉、工業或住宅型應用。此規範可應用於產量低於 400 m<sup>3</sup>/h 的燃料電池廠。其輸入的原材料包括(a)天然氣或甲醇含量高的氣體，(b)石化原料，(c)含氫的混合器。ISO16110-2：為規範氫氣生產氣的效能。ISO 22734-1：2008 為用來電解水商轉或工業用氫氣的產生器；此規範包括建造安全考慮和效能要求。ISO22734-2 則為住宅用的電解水氫氣產生器。ISO14689:1999 處理氫燃料電池的生產規範。歐盟工業氣體協會(EIGA)的文件 IGC



DOC 122 00 則討論氫氣工廠對環境的影響，包刮壓縮氣體，去硫化，重組維護和儲存，而 EIGA 文件 IGC DOC 137/06/E 規範氫氣工廠的退役(decommissioning)；而在使用防止火災等使用規範將參考國家火災防治協會(National Fire Protection Association；NFPA)所發佈的氫能技術防護準則(2011 NFPA：Hydrogen Technologies Code)主要提供新的對氫能應用中對火災和生命安全要求，可應用氫氣產生、氫氣安裝、氫氣的儲存、裝置管路、使用和處理氫氣。特別著重在壓縮氫氣和液態的氫氣中。也包含了下列設施，例如：載具燃料填充設施，在特殊環境/燃燒氣氛下氫氣應用，燃料電池能源產生系統，實驗室中使用氫氣，將可以幫助我們應用氫能科技時所注意的事項，也可以幫助我們在實驗室中使用氫氣中注意防爆的要項，與建立檢核者。NFPA 50A 則用來作為儲氫裝置場址的防火防爆規範。

除了上述的氫氣使用法則和標準(code and standard，RCS)，我們也將參考定址型和輸送型鋼瓶規範(ASME KD-10)，氣體管路規範與標示(ASME B31.12，A13.1)，其他要參考的規範用於氫能載具燃料電池規範(SAE J2579)，儲氫材料要求(SSA CHMC1)來撰寫。

表 17 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，設計法規和標準
CGA 壓縮氣體協會	壓縮氣體系統組件和設備設計和能標準
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

### 第三節 水電解的安全需知

參考在電解水的操作過程中，其所需要注意的事項有:

- 一、電解水設備(應有良好接地，以防止電解過程中所產生靜電，引起所製造的氫氣燃燒和爆炸。整體金屬管路網之接地電阻應在  $10\ \Omega$  以下，管線連接接頭接續兩端管線之電阻應在  $10\ \Omega$  以下。
- 二、電解槽前操作地面上應放置一塊絕緣橡膠板以利操作人員在其上操作，以做好絕緣。
- 三、檢查電解槽各項設備功能正常，收集氫氣部分管路與裝置的完整性。
- 四、電解間應置的照明需設置防爆燈，電解間內應有良好的主動式或被動式通風系統，以防止氫氣累積於室內(低於爆炸量 10%)，並安裝氫氣洩露報警裝置，裝置位置需接近天花板。氫氣偵測器其至少須能提供環境氣氛中氫氣在最低爆炸限度前(lower explosive limit, LEL)提出警試，並滿足 IEEE std 484- 2002 電器設備要求，NFPA 64 與 Uniform building code Sect 6400 的規範[59]。氫氣偵測器的規格可以選擇如下
  - (一) 氫氣量測範圍 0.1~10%  $H_2$  在空氣中的濃度。
  - (二) 偵測器可操作溫度  $-30\sim 80\ ^\circ C$ 。
  - (三) 偵測器可操作濕度允許範圍 10~98 %。
  - (四) 偵測器反應時間小於 1 sec。
  - (五) 正確率 95%以上。
  - (六) 偵測器生命週期 5 年。
- 五、對在電解槽製氫站或氫氣儲存系統附近進行明火(open flame)作業必須嚴格管理，禁止在製氫站中或氫冷發電機與貯氫罐附近進行明火作業或做能產生明火的工作。如必須在製氫站或氫氣系統附近進行焊接或點火的工作，應事先測量以手持式氫氣檢測器檢測明火作業地點的含氫量，證實工作區域含氫量小於 1%，並經廠主管

或實驗室主管批准後方可進行工作。

- 六、電解槽製氫間嚴禁明火，操作人員禁止吸煙，不得穿帶釘子的鞋，應穿防靜電工作服和防靜電鞋，眼鏡帶防護眼鏡。操作時應使用防爆工具，嚴禁操作時有鐵器工具相互撞擊，以免產生火花。
- 七、電解槽製氫間必須設置如二氧化碳滅火器、石棉布等防火器材，電解槽製氫間建置需滿足 NFPA 2-2011 的規範[60]。
- 八、電解槽製氫間內必須備有 2-3%的硼酸溶液與酸鹼測定裝置，以防萬一裝置漏鹼，鹼液噴濺到臉上或身上時及時清洗。在配製鹼液時要戴上橡膠手套、防護眼鏡，耐酸鹼防護衣裙。
- 九、氫氣釋壓或緊急釋壓時，一般僅將氫氣釋壓門或釋壓閥打開，通過自控系統進行，非到萬不得已不允許開氫、氧事故釋壓門來放氣洩壓。因為氫氣由壓力管道急劇放出時，由於靜電原因可能引起自燃並爆炸；氧氣急劇放出時，管道內的氧化層可能引起火花，從而促成燃燒和爆炸，所以隨便開氫、氧事故釋壓門或釋壓閥來洩壓是非常危險的。
- 十、在操作和維修電解槽設備時，手和衣物不能沾有油脂。任何油脂都不允許落入有可能與氧氣接觸的設備上。
- 十一、不允許鹼液洩漏至到電解槽極板之間或極板與逼緊螺栓之間隙，更不允許任何導電體或灰塵雜物掉落到電解槽中，以防引起極板在操作時短路，引起大量電流通過電解槽。
- 十二、在有氫氣系統吹洗(purge)時需用氮氣置換系統，純度合格後方能工作；系統與大氣接觸後啟動前需用氮氣置換系統，純度合格後方能啟動設備。
- 十三、在操作和維修設備時，所有手動操作氫氣閥門，其動作應緩慢操作，嚴禁快開快關，以免產生火花與靜電。

其餘電解水電解槽檢視與電解槽外觀要求所需注意事項可參考，中國大陸規範: SJ/T 31456-94 [61]

- (一) 主要設備各個部份名稱可以有效辨別，主要操作參數與設備位置對應。
- (二) 電解槽電解反應時，每電解小室中的電壓介於 1.9~2.3 V 之間(參考 SJ/T 31456-94 氫氣純化設備完好要求和檢查評定方法)。

- (三) 電解槽電解產生的氫氣和氧氣純度和產率可以滿足後續使用要求。(其可參考 GB/T 3634.2-2011)
- (四) 監控電解槽操作時的電解液溫度，出口氣體壓力調整。
- (五) 電解槽運作時附近不可出現明火、火花和靜電等。
- (六) 電解槽設備完整，電極板、入水口、出氣口無明顯損壞並保持氣密。
- (七) 電解槽與外界環境有良好的絕緣性，電解小室之間有良好絕緣。
- (八) 電解槽槽體安裝正確，無洩漏現象發生。
- (九) 電解槽體正負極需接線正確與標示清楚。
- (十) 直流設備要完全符合防爆要求並依標準與操作流程操作。
- (十一) 連接電解槽氣體管路之管束、氣體管路材料與其安裝確實無阻塞無洩漏。
- (十二) 電解槽與極板需定期保養，及時清洗其內部因電解所產生的沉澱物，定期補充鹼液。
- (十三) 帶水氣之氣體管路，應設置適當管道積水去除設施。
- (十四) 電解槽與其各部分設備與管路檢查與評定，可參考中國大陸規範 SJ/T 31456-94 的第五章。並請參考中國大陸規範 GB 4962-2005 (附錄八)，本標準規定了氣態氫在使用、置換、儲存、壓縮與充（灌）裝、排放過程以及消防與緊急情況處理、安全防護方面的安全技術要求。

## 第四節 電解水製氫原理

所謂電解就是借助直流電或其他形式(例如脈衝電壓)的電流源的通入，將電解槽中水藉由電解分解成新物質(氫氣與氧氣)的過程 [62]，是一種製備氫氣方便的製程。

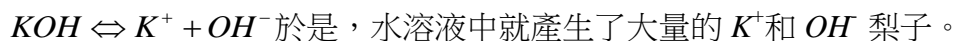
### 一、電解水的原理

在一些電解質水溶液中通入直流電或其他形式的電流源的通入，分解出的物質與原來所加入的電解質完全沒有關係，被分解的是作為溶劑的水；原來的鎖加電解質仍然留在水中。例如硫酸 ( $H_2SO_4$ )、氫氧化鈉(NaOH)、氫氧化鉀(KOH)碳酸鈉 ( $Na_2CO_3$ )、或碳酸氫鈉( $NaHCO_3$ )等均屬於這類電解質。

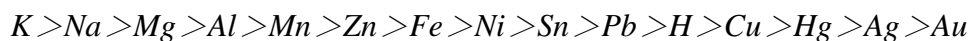
在電解水過程，由於純水的電離度很小，導電能力低，屬於弱電解質，所以需要加入前述的電解質，藉其高電離度，產生帶電的離子，以增加水溶液的導電能力，使水能夠順利地電解成為氫氣和氧氣。在常壓下， $KOH$  的解離係數為 0.5， $NaOH$  的解離係數為 0.2。

氫氧化鉀，氫氧化鈉等電解質不會被電解，現以氫氧化鉀為例子說明電解質的作用：

(一) 氫氧化鉀是強電解質，溶于水溶液中後即發生如下電離過程：



(二) 金屬離子在水溶液中的活性(離子化傾向)不同，可按活性大小順序排列如下：



在上面的排列中，前面的金屬比後面的金屬容易失去電子。

(三) 在金屬離子化傾向順序中，越活潑的金屬越容易失去電子，否則反之。從電化學理論而言，容易得到電子的金屬離子的電極電位較高，而排在活潑性大小順序前的金屬離子，由於其電極電位較低而難以得到電子變成原子態。氫離子的電極電位  $\varphi_H = -1.71 \text{ V}$ ，而鉀離子的電極電位  $\varphi_K = 2.66 \text{ V}$ ，所以，在水溶液中同時存在氫離子和鉀離子時，氫離子將在陰極上首先得到電子而變成氫氣，而鉀離子則仍將留在溶液中。

(四) 水是一種弱電解質，難以電離。而當水中溶有  $KOH$  電解質時，在電離的鉀離子周圍則圍繞著帶有極性的水分子而成為水合鉀離子，而且因鉀離子的作用使水分子有了極化特性。在直流電作用下，鉀離子帶著有極化特性的水分子一同向陰極遷移，這時氫離子就會首先得到電子而還原成為氫氣。

## 二、水的電解反應方程式

在直流電作用於氫氧化鉀水溶液時，在陰極和陽極上分別發生下列氧化與還原反應，見圖 40。

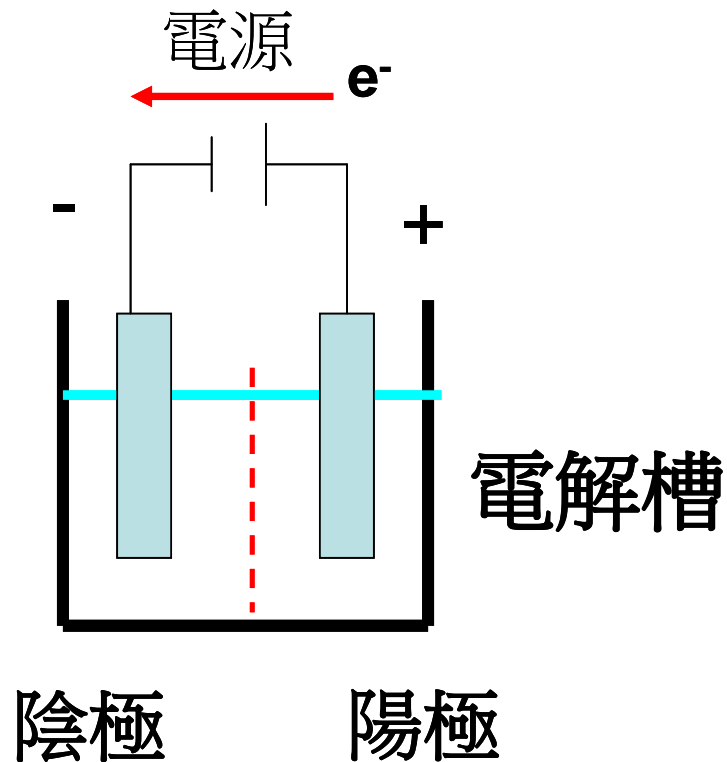
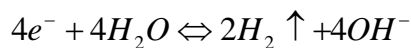
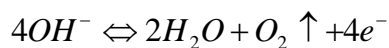


圖 40 鹼性電解質水溶液的電解

(一) 陰極反應。電解液中的氫離子（水電離後產生的）受陰極的吸引而移向陰極，接受電子而析出氫氣，其電極反應為：

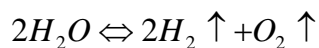


(二) 陽極反應。電解液中的  $OH^-$  受陽極的吸引而移向陽極，最後放出電子而成為水和氧氣，其放電反應為：



陰陽極合起來的總化學反應式為：

電解



所以，在以  $KOH$  為電解質的電解過程中，實際上是水被電解，產生氫氣和氧氣，而  $KOH$  電解質只起運載電荷( $4OH^-$ )的作用。

### 三、電解所需的電壓分析

在電解水時，加在電解池上的直流電壓必須大於水的理論分解電壓，以便能克服電解池中的各種電阻電壓降和電極極化電動勢。電極極化電動勢是陰極氫析出時的超

電位與陽極氧極出時的超電位之和。因此，水電解電壓  $U$  可表示為：

$$U = U_0 + IR + \varphi_H + \varphi_O$$

在上式中  $U_0$  為水的理論分解電壓(單位: V)；

$I$  為電解時所通過之電流，(單位為安培(A))；

$R$  為電解系統的總電阻(單位: $\Omega$ )；

$\varphi_H$  為氫的過電位(V)；  $\varphi_O$  為氧過電位，V。

從能量消耗的角度看，應該盡可能地降低電解總電壓( $U$ )。下面討論影響電解總電壓( $U$ )的幾個因素：

(一) 水的理論分解電壓  $U_0$ 。從電極動力學的研究中指出：原電池所做的最大電的功等於反應處自由能(free energy)的減少，即：

$$-\Delta G_m^0 = n \cdot Fara \cdot E_0$$

式中  $-\Delta G_m^0$  為標準狀態下電池反應的吉布斯自由能(Gibbs free energy, J/mol)；

$n$  為反應中的電子轉移數目；

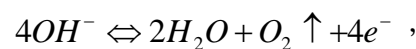
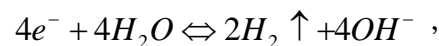
$Fara$  為法拉第常數(Farady constant, 96500 (C/mol))；

$E_0$  為標準狀態下化學反應的標準電動勢，V。

在生成水的化學反應中，自由能變化量為 -474.4 kJ/mol，即



這是一個氧化還原反應，在兩個電極上的半反應分別為：



由上式電子的轉移數  $n=4$ ，由  $-\Delta G_m^0 = n \cdot Fara \cdot E_0$  得下列算式：

$$-474.4 \times 10^3 = -4 \times 96500 E_0$$

$$E_0 = \frac{474.4 \times 10^3}{4 \times 96500} = 1.23 \text{ (V)}$$

可見，在  $10^5 \text{ Pa}$ (一大氣壓)和  $25^\circ\text{C}$  的條件下， $U_0=1.23 \text{ V}$ ；它是水電解時必須提供的最小電壓，它隨電解液的溫度的升高而降低，Jassen 等人提出隨電解槽所受的壓力的升高而增大，壓力每升高 10 倍，電壓約增大 43 mV [63].

(二) 氫過電位( $\varphi_H$ )和氧過電位( $\varphi_O$ )。影響氫、氧過電位的因素很多。首先，電極材料和電極的表面狀態對它的影響較大，如鐵、鎳的氫過電位就比鉛、鋅、汞等低，鐵、鎳的氧過電位也比鉛低。與電解液接觸面積越大或電極表面越粗糙，產生的氫、氧過電位就越小。其次，電解時的電流密度增大，過電位會隨之增大，溫度的上升也會引起過電位的增大。此外，過電位還與電解質的性質、濃度及溶液中的雜質濃度等因素有關，如在鎳電極上，稀溶液的氧過電位大於濃溶液的氧過電位。

為了降低氫、氧過電位，可以採取一些方法來改善。如提高工作溫度及採用合適的電極材料等。此外，適當增大電極的實際表面積或使電極表面粗糙，都可在不同程度上降低電極電阻和過電位，從而達到降低水電解電壓  $U$  的目的。

(三) 電阻所造成的壓降。電解池中的總電阻包括電解液的電阻、隔膜電阻、電極電阻和接觸電阻等，其中前兩者為主要因素。隔膜電阻電壓降取決於材料的厚度和性質。採用一般的質子交換膜，電流密度為  $2,400 \text{ A/m}^2$  時，隔膜電阻上的電壓降約為  $0.25\sim 0.30 \text{ V}$ ，當電流密度再增大時，該電壓降還會增大到  $0.5 \text{ V}$  左右。電解液的導電率越高，電解液中的電壓降就越小。對電解液來說，除要求其電阻值小以外，還要求它在電解電壓下不分解；不因揮發而與氫、氧一併逸出；對電解池材料無腐蝕性；當溶液的 pH 值變化時，應具有一定的緩衝性能。多數的電解質在電解時易其成分易於分解，不宜在電解水時採用。硫酸在陽極生成過硫酸和臭氧，腐蝕性很強，不宜採用。而強鹼能滿足以上要求，所以工業上一般都以 KOH 或 NaOH 水溶液作為電解液。KOH 的導電性能比 NaOH 好，但價格較貴，在較高溫度時，對電解池的腐蝕作用亦較 NaOH 的強。過去大部分常採用 NaOH 作電解質，但是，鑒於目前電解槽的材料已經能抗 KOH 的腐蝕，所以，為節約電能，已經普遍趨向採用 KOH 溶液作為電解液。

此外，在電解水的過程中，電解液中會含有連續析出的氫、氧氣泡，使電解液的電阻增大。電解液中的氣泡容積與包括氣泡的電解液容積的百分比稱作



電解液的含氣度。含氣度與電解時的電流密度，電解液黏滯性、氣泡大小、工作壓力和電解槽的結構等因素有關。增加電解液的循環速度和工作壓力都會減少含氣度；增加電流密度或工作溫度升高都會使含氣度增加。在實際情況下，電解液中的氣泡是不可避免的，所以電解液的電阻會比無氣泡時大得多。當含氣度達到 35%時，電解液的電阻是無氣泡時的 2 倍。

降低工作電壓有利於減少電能消耗，為此應採取有效措施來降低氫、氧過電位和電阻電壓降。一般情況下，在電流較小時，氫、氧過電位是主要因素；而在電流較大時，電阻電壓降將成為主要因素。

若電解槽在高工作壓力下運行時，電解液含氣泡度降低，從而使電解液電阻減小，為此已經研製出可在 3 MPa 壓力下工作的電解槽[63]。但是工作壓力也不宜過高，否則會增大氫氣和氧氣在電解液中的溶解度，使它們通過石棉隔膜重新生成水，從而降低電流效率。提高工作溫度同樣可以使電解液電阻降低，但隨之電解液對電解槽的高溫腐蝕效應也會加劇。如溫度大於 90 °C 時，電解鹼液就會對質子交換膜造成嚴重腐蝕損害，在質子交換膜上形成可溶性矽酸鹽。為此，已經研製出了多種抗高溫電解鹼液腐蝕的隔膜材料，利如石墨烯(graphene)，如鎳的粉末冶金薄片和鈦酸鉀纖維與聚四氟乙烯複合成的隔膜材料，它們可以在 150 °C 高溫的鹼液中使用。為了降低電解液的電阻，還可以採取降低電解池的電流密度，加快電解液的循環速度，適當減小電極間距離等方法。

#### 四、製氫設備的產氫量計算和其所產生電能消耗與水量之消耗

##### (一)、法拉第定律應用於水分解

電解水溶液制氫時，在物質量上嚴格遵守法拉第定律：各種不同的電解質溶液，每通過 96,485.309 Coul 的電量，在任一電極上發生得失 1 mol 電子的電極反應，同時與得失 1 mol 電子相對應的任一電極反應的物質量亦為 1 mol 原子。

$Fara=96,485.309 \text{ Coul/mol}$  稱為法拉第常數，它表示每摩爾電子的電量。在一般計算中， $Fara=96,486 \text{ Coul/mol}$ 。根據法拉第定律，可以得到下式：

$$M=kIt=kQ$$

式中  $k$ ——表示 1 小時內內通過電解槽 1 安培電流時析出的物質質量，單

位:  $g/(A \cdot h)$ ;

在上式中,  $I$  為電流(單位:安培(A));

$t$  為通電時間, 單位: 小時 hour;

$M$  為電極上析出的物質的質量(單位: g);

$Q$  為通過電解池的電荷總量, (單位: 安培·小時(Ah))。

由於庫侖單位很小, 所以工業上常用的電荷量單位是安培·小時 (Amp hour), 一小時為 36,00 秒, 它與法拉第常數  $F$  的關係是:

$$1 \text{ 個 } Fara = 96,486 / 36,00 = 26.8 \text{ A} \cdot h$$

## (二)、電解製氫體積量的計算

從法拉第定律可知,  $26.8 \text{ A} \cdot h$  電荷量能產生 0.5 莫耳的氫氣, 在標準狀態下, 0.5 莫耳的氫氣佔有的體積是 11.2 升, 則 1 安培·小時電荷量在一個電解小室的產氣量  $V_{H_2}$  應為

$$V_{H_2}^0 = \frac{11.2}{26.8} = 0.418 \frac{L}{A \cdot h} \text{ 或 } V_{H_2}^0 = \frac{11.2}{26.8} = 0.0000418 \frac{m^3}{A \cdot h}$$

如果考慮電流效率, 那麼每台電解槽每小時的實際產氫量  $V_{H_2}$  應為:

$$V_{H_2} = 0.0000418 m \cdot I \cdot t \cdot \eta \text{ (m}^3\text{)}$$

式中  $m$  為電解槽的電解小室數,  $m = \frac{V_{Total}}{V_{sub}}$ ,  $V_{Total}$ : 電解槽的總電壓,  $V_{sub}$ : 電解

槽中電解小室所得到的分壓

$I$  為電流, (單位: A);

$t$  為通電時間, (單位: h);

$\eta$  為電流效率(%)。

同樣地, 可以計算出氧氣的產氣量  $V_{O_2}$ , 它正好是氫氣產氣量  $V_{H_2}$  的 1/2。

$$V_{H_2} = 0.0000209 m \cdot I \cdot t \cdot \eta$$

## (三)、電解製氫時, 其電能的消耗

電能消耗  $W$  與電解槽電壓  $U$  和電解時所通入的電荷量  $Q$  成正比, 即

$$W = QU$$

根據法拉第定律, 在標準狀況下, 每產生 1 立方公尺的氫氣的理論電荷量  $Q_0$  為:

$$Q_0 = \frac{2.68 \times 1,000}{11.2} = 2,394 \quad (Ah)$$

因此，理論電能消耗  $W_0$  為： $W_0 = Q_0 \cdot U_0 = 2,393 \times 1.23 = 2,943 \quad (Watt-h)$

在上式中： $U_0$  為水的理論分解電壓，由上一節分析所得為  $U_0 = 1.23 \text{ V}$ 。

在電解槽的實際運行中，其工作電壓為理論分解電壓的 1.5~2 倍，而且電流效率也達不到 100%，所以造成的實際電能消耗要遠大於理論值。目前通過電解水裝置制得 1 立方公尺(1000 升)氫氣的實際電能消耗為 4.5~5.5 *kWatt h*。

#### (四)、電解製氫，其水原料的消耗

電解用水的理論用量可用水的電化學反應方程計算：

通電的整體化學反應方程式為：



加入的電解質為氫氧化鉀時 (KOH)，兩莫耳的水(36 g)形成兩莫耳的體積的氫氣(44.8 升)。在此算式中： $x$  為標準狀況下，生產 1 立方公尺氫氣時的理論耗水量，g；22.4 L 為 1 摩爾，氫氣在標準狀況下(25 °C，一大氣壓下)的體積。

利用等式： $x/18=1,000/22.4$  可以得到  $x=804 \text{ g}$ ，

在實際工作過程中，由於氫氣和氧氣都要消耗一定量的水分子，所以實際耗水量稍高於理論耗水量。目前生產 1 立方公尺 (1,000 升)氫氣的實際耗水量約為 850 g。

## 第五節 水裂解系統操作說明與安全注意事項

本節對針對計畫中的水裂解裝置，撰寫操作說明與操作實安全注意事項。其主要參考規範為：ISO/TR 15916:2004，ISO16110-1：2001，ISO 22734-1:2008，GB 4962-2005 中國大陸氫氣使用安全技術規程，與 NFPA 2 (2011)。

### 一、操作說明

(一)部件說明：本實驗裝置可分為三組迴路，分別為電路迴路，溶液迴路，氣體迴路。

主要的組件為，12V 600 W 的電源供應器，PWM 脈波產生器，PWM 參數調整電路，電極板所組成之電解槽，電解水溶液儲存槽，儲水氣裝置；在裝置時，電解水溶液儲存槽需高於電解槽。

(二)電解液配製：根據文獻我們採用 30% 重量百分比的 KOH 溶液，並加入 1 c.c.的 Poly dimethyl silicone 作為消除水表面張力的 defoaming agent。防止過多的水裂解時所產生的氣泡產生過多的阻抗。

(三)電壓與脈波週期：電壓與脈波週期可透過 PWM 參數調整電路來進行調控，在正常情況下，PWM 參數調整電路的液晶螢幕會顯示電壓、電流、Duty cycle 與頻率四項數值。如果再錯誤訊息顯示模式下則只顯示電壓與電流值。目前系統設定可能產生的錯誤訊息有：

'Fan stopped'，最常見的錯誤訊息，PWM 控制器的風扇停止了，建議更換風扇。

'Low Liquid'，電解槽中的水位過低，建議加入純水提高水位。

'Low Volt'：PWM off，輸入電壓過低，請檢查 PWM 電源供應器。

'No Load'，電解槽與 PWM 控制器間的線路有問題，請檢查後重新開啟。

'Hi Amps'：PWM off，電流過高，PWM 啟動保護機制而關閉。

'Emergency! Disconnect Cell!'，緊急情況請將(電池)電源切斷，此嚴重訊息可能是因為電解槽已經空燒運作一段時間，請速停止操作。

(四)水分補充：根據法拉第電解定律，要電解出 1mole 的氫氣與氧氣，需要 1mole 的電子，總電量為  $6 \times 1,023 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = 96,500$  庫倫，以 30%wt 的電解液測量其電阻值約  $5 \Omega$ ，所以以 12 電壓來電解水，電流大小為 2.4 A，又  $Q = I \times t$ ， $t = 40,208.3$  秒 = 11 小時，此時電解液中消耗的水分子重量為 18 g。又電解槽腔體體積為  $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} = 450 \text{ c.c.}$ ，所以如果一日使用 3 小時連續使用一星期共 21 小時，建議補充乾淨的水約 40 g 即可。補充時直接由儲存槽上蓋打開倒入定量的水即可。

## 二、於 HHO 電解質的選用

電解質為溶解於溶劑中，帶有正離子和負離子的粒子。在受到溶液中的電場作用下，正離子往陰極移動而負離子往陽極移動，可以在溶液中形成導電路徑。主要的電解離子為  $\text{Na}^+$ ， $\text{K}^+$ ， $\text{Cl}^-$ ， $\text{Ca}^{2+}$ ， $\text{Mg}^{2+}$ ，氫氧根離子  $\text{OH}^-$ ，碳酸根  $\text{CO}_3^{2-}$ ，磷酸根  $\text{PO}_4^{3-}$ ，硫酸根  $\text{SO}_4^{2-}$ 。在電解水時，電解質扮演重要的角色，這些離子在電解水時形成導電電流，這離子使水形成一個好的導體。一般而言，純水為絕緣體，此溶液並無法導電。當離子的數目越多，水溶液的導電性越好。雖然水中有許多礦物質亦可以用來導電，但這些礦物質沉積在極片上時，會妨礙  $\text{H}_2$  氣形成。在氫氧器中，使用適當濃度的 KOH

作為電解質。適當濃度的電解質會增加  $H_2$  和  $O_2$  的生成量。同時溶液溫度提升也可以有效提升  $H_2$  和  $O_2$  的生成量，而在氫氧器中可以使用的電解質有氫氧化鈉，氫氧化鉀。根據研究結果顯示氫氧化鉀產生  $H_2$  和  $O_2$  的量高於氫氧化鈉，而氫氧化鉀亦較易調整溶液酸鹼度並可以降低溶液的熔點。(20% KOH 可降至水溶液熔點至  $-8.3^{\circ}C$ )。而 KOH 電解質為強鹼性，因此使用前須詳細閱讀其物質安全資料(附錄)，避免使用會與 KOH 作用的電極極片材料。

### 三、操作注意事項

本機外接電源為 12 V 需要在對應直流電壓下操作，否則會損壞電源供應器。

- (一) 使用純淨水，長期使用沒有經過濾的自來水可能堵塞管道，建議使用純淨水可延長機器的使用壽命。
- (二) 工作環境溫度  $0-40^{\circ}C$  通風良好，禁止在密閉環境中工作。若在室內使用，請裝置氫氣偵測系統(固定式或移動式)。
- (三) 本機要求外電網有良好的防雷效果，否則雷擊時應關機切斷電源。
- (四) 開機作業時，機旁 5 m 內不得吸煙或有其他火源。如機器出氣口或其他部位燃氣著火後只需立即關掉電源即可（當機內餘氣燃盡後會自動熄滅）。
- (五) 本機工作介質中有低濃度的氫氧化鉀(KOH)溶液，不慎濺上人體時，應立即用醋精沖洗，如是眼睛等敏感部位應用清水沖洗後立即就醫。因此，用戶應隨時準備幾瓶食用醋精，以防不測。添加 KOH 的順序為先加純水 再加入 KOH 粉末。

## 第六節 氫氣的儲存

有關氫氣供應系統與儲存之設計及安全防護措施請參考下列美國防火協會 NFPA 50A: 1999 之規範，(目前此規範與 NFPA 2 合併，而對液氫供應系統與儲存之設計及安全防護措施請參考下列美國防火協會 NFPA 50B，壓縮氣體與液態氣體供應系統與儲存之設計及安全防護措施請參考下列美國防火協會 NFPA 55，儲存空間的排氣系統請參考 2009 版 國際防火法規(international fire code，IFC)與 2009 版 國際建築法規(international building code，IBC)) [64]；

### 一、氫氣供應系統之設計要求

### (一) 儲存容器

儲存容器之設計、結構及測試基準應符合美國 ASME 「Boiler and Pressure Vessel Code 2013, Section VIII. Div-1 - Pressure Vessels」之規定。

(二) 固定式容器應有完善的設施水基礎設施，該支撐及基礎設施必須以不燃材料建造或難燃材料，容器應予以固定。殘、實容器應分開貯放，使用先進先出系統避免貯放過期，定時記錄庫存量。

(三) 儲存容器上之標示應依照 ANSI Z48.1 -54/CGA Pamphlet C-4 「Method of Marking Portable Compressed Gas Containers to Identify the Material Contained」之標準。

### 二、釋壓裝置元件 (Pressure Relief Devices )

儲存容器應有釋壓裝置。該釋壓裝置之規格應符合 ASME PD 583 「PTC - 25 Pressure Relief Device」或 Department of Transportation (DOT)標準。

(一) 釋壓裝置之裝設應儘可能使洩出氫氣垂直向上直接排至室外開放空間，避免瞬時噴出之氫氣柱衝到容器、鄰近結構或附近操作人員。

(二) 釋壓裝置及其排氣管線之材質或裝設位置應能防止水氣凝集及結冰等影響操作機能之現象。

### 三、氫氣儲存場域標示

氫氣儲存場所應設置耐久性之標示，其標示內容如下： 氫氣易燃性氣體 請勿使用明火。

氫氣儲存場所設置的基本要求

(一) 設置地點應有供滅火及搶救設備通行之出入口及操作之空間。

(二) 系統基礎之高度應等於或高於地平面。

(三) 其位置不烈在電氣導線、易燃性液體輸送管、可燃性液體輸送管、其他易燃性氣體輸送或氧化物輸送管之下方。

(四) 如果在水平距離 15 m 內之地面上有易燃性或可燃性液體存在，氫氣系統之高度必高於該易燃性或可燃性液體之儲存位置。但是該易燃性或可燃性液體如果有攔液防溢設施或防火隔牆，能防止洩漏液體流向氫氣系統者，不在此限。

存量在 85 立方公尺以下(依照 FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 規

定，在 NFPA 853 規定為 11 立方公尺)之室內氫氣系統與生產區之間無隔牆時，應符合下列規定：

1. 應設有適當循環換氣裝置。
2. 與易燃性或可燃性液體、氯化性氣體、及易燃性固體（如木屑、紙張等）之間，至少應有 6m 以上之距離。
3. 與非防爆型電器及各種點火源之間，至少應有 7.6m 以上之距離。
4. 與空壓機、空調機之進氣口之間，至少應有 15m 以上之距離。
5. 與其他易燃性氣體之間，至少應有 15 m 以上之距離。
6. 對於工作區域內所可能產生之撞擊、掉落物等機械損害，應有防護設施。
7. 在同一層內最多只可儲存 2 套 85 立方公尺以下之氫氣供應系統，且 2 套系統之間至少應 15 m 以上之距離。

若大量氫氣儲存，請參考經濟部工業局的特殊大流量氣體安全參考規範和緊急應變程序，「第三章 大宗氣態氫氣設施安全參考規範 [65]

### 3.1 於室外儲存

- (1) 儲存地點設有屋頂或護牆時，其屋頂及護牆之材質應為不燃材料或難燃材料。
- (2) 4.6 m 範圍以內之電氣設備應為防爆型。其防爆標準應符合 NFPA 70, National Electrical Code, for Class I, Division 2 標準之規定。

### 3.2 於獨棟專用建築物內儲存

- (1) 其結構應為不燃材料或難燃材料；其儲存地點窗戶乃門，在設計與位置上應便於緊急疏散及緊急救護。
- (2) 應有與室外相通之換氣設備。外氣進氣口應設於外牆上高度接近樓地板之位置。排氣口應設於屋頂或外牆上高度接近屋頂之位置。該進氣口與排氣口之面積皆應達到每 300 立方公尺建物內空間體積 1 平方公尺之比例。排氣口出口處應直通室外大氣。
- (3) 其外牆應使用材質較輕之結構或設洩爆口。前頂洩爆設計至少能釋除 13.3 KPa/m<sup>2</sup> 之壓力。
- (4) 該建築物不得有電氣設備、加熱設備或其他能產生火焰、火花之設備，但防爆型電氣設備及使用蒸汽、熱水等間接加熱之設備，不在此限。

### 3.3 於生產區等殊隔間內儲存

- (1) 該生產區之建築物之樓板、外牆及天花板必須以不燃材料或難燃材料建造。

氫氣系統與其他場所間之隔牆應為自天花皮至屋頂、具 2 小時防火性能，具經有緊密固定設計之無孔牆；牆上除了面向室外之外牆外，不得有門及窗戶。外牆之門及窗戶應使於緊急疏散及救護。(2) 其通風換氣設備及洩爆設計之規定，與其禁火之規定與儲存區相同。環境清潔須重視，氫氣儲存容器周圍 4.6 m 內，不得有可燃物或乾燥的草木物品。

### 3.4 防爆排風系統:

在氫氣儲存區應有排風系統(H<sub>2</sub> 物質安全資料表第八項)，使儲存區的氫氣濃度低於氫氣引爆濃度的 10% (0.4)，排風系統可以分為兩種:

(1) 被動式(passive) 或自然式: 因室內與室外壓差所造成的易燃氣體流動所造成的排風效果。(2) 主動式(active)或強制式: 利用風扇，鼓風車，或其他機器設備對易燃氣體流動所造成的排風效果。

在 Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems, NASA 規範中規定，室內室外的排氣口的開口面積比率不小於 0.003 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>。

## 第七節 氫氣相關接管規範與鋼瓶使用規範

由於氫氣分子小，易爆與氫脆化的特性使其在配製管路與其儲存鋼瓶使用上需注意，分述如下，氣體管路接管規範:

一、管線系統應根據 ASME B31.3 「ASME Code for Pressure Piping」進行設計、裝設、檢查、檢驗及測試，管線應為金屬材質，典型材質如鋁、銅、蒙銅、沃斯田鐵不鏽鋼（304、304L、308、316、321、347）、黃銅及銅鋅合金等。因為管線熔接處在與氫氣接觸情況下易產生氫氣脆化現象，優良的熔接技術及檢查是必須的。管線不可使用鑄鐵管，且管線相互連結時，應使用焊接法組裝，除部分特殊要求才得使用連接，例如，壓力釋放裝置，連接容器接點，氣體取樣口，與 purge 氣體接點。

### 二、支撐

管線應根據國內法規及 ASME B31.3 「ASME Code for Pressure Piping」要求使用框架或架台支撐，管線系統框架最典型的為使用支撐結構，如纜線盤、管支撐架或框架系統。

### 三、管架設計



氫氣管線宜採用管橋鋪設，其支撐架應為不可燃材質，分層鋪設時，氫氣管線應位於上方，當管線須位於操作人員工作上方空間的支撐時，其高度應大於 2.1 公尺，在車輛須進入的情況下，其高度應能容許車輛可自由進出設施的高度。

#### 四、管線防護

經由封閉或密封的管溝或管橋所安裝的管線應有防護結構或護欄保護管線進入或離開隧道或溝渠處時，可防止碰撞危險，管溝內管線應有支撐，防蝕及防壓處理。

#### 五、管溝設計

室內管線避免鋪設在排水溝中或地下，室外地溝鋪設的管線，應有防止氫氣洩漏、積聚的措施。埋地鋪設的管線埋深不宜小於 0.7 公尺，避免其上掩埋材料的重力影響，管線穿過牆壁或樓板處，應設不可燃材質之套管。管線應避免穿過排水溝、下水道及鐵路汽車道路等，當必須穿過時應設套管，套管內的管段不應有焊縫，管線和套管之間應用不燃材料填塞。

#### 六、管線標示

管線系統應作標示、貼(掛)上標籤，並依照 ASME A13.1 2007 Standard for the Identification of Pipes 之要求提

供辨識方式。管線系統之識別方式如下：

- (一) 管線系統使用之標示應包含內容物名稱及流動方向。
- (二) 應於下列處所設置標示或標籤。
  1. 各個開關閥門上。
  2. 在牆壁、地板或穿透之天花板上。
  3. 在各個方向改變處。
  4. 至少每 6.1 公尺 (20 呎) 處，或整個管線每個分段。

#### 七、管線接地

氫氣設施應於連接至氫氣供應系統前或於連接時接地，室外直線供應管線應每隔 100 m 左右之處，應與主接地幹線或專設之接地電極相連接。地面或管溝鋪設之管線，應於管線兩端中之任一端、分歧處等及每間隔 200~300 m 設置一處接地。整體金屬管路網之接地電阻應在 10  $\Omega$  以下，管線連接接頭接續兩端管線之電

阻應在  $10\ \Omega$  以下。

鋼瓶使用所需注意事項:

儲存：

- (一) 調壓閥(regulators)：確認調壓閥並無機械損傷，並設計為  $H_2$  所專用，選擇調壓閥可提供 2 倍操作壓力以上的調壓閥與 1.2 倍以上的最大可允許工作壓力，而當調壓閥損壞即予以更換而不修理，在氫氣系統絕不使用轉接器(adapter)。鋼瓶需放置於氣瓶櫃(gas cabinet)中，具有適當的分氣閥箱(Valve Manifold-Box)以確保鋼瓶儲存安全。
- (二) 確認所有氣體鋼瓶放置向上位置，並防止彼此碰撞。
- (三) 當在鋼瓶壓力未藉由適合的調壓閥降至適當工作壓力時，此時鋼瓶不可使用。使用鋼瓶須搭配適當調壓閥。
- (四) 不可敲擊方式去除鋼瓶上的灰塵或微粒，以免引起爆炸。
- (五) 一但調壓閥接上鋼瓶後，在打開鋼瓶前先將調壓閥調整開關放在關閉位置。使用前慢慢打開調壓閥開關，使  $H_2$  氣慢慢進入調壓閥，絕對不使用扳手、榔頭或其他工具打開氫氣鋼瓶
- (六) 當工作完成，關上鋼瓶開關後在移開調壓閥前確保所有氫氣已不在調壓閥中。
- (七) 移動氫氣鋼瓶：在移動氫氣鋼瓶前須蓋上鋼瓶蓋(cylinder cap)。用適當的移動工具來移動鋼瓶，而絕不旋轉鋼瓶以防止鋼瓶售到損傷，而絕不用鋼瓶蓋來抬起鋼瓶，搬運人員須穿上保護鞋來保護腳部。
- (八) 若發現  $H_2$  氣洩漏，須採取下列步驟作為害處置
  1. 疏散非必要人員。
  2. 立刻關閉  $H_2$  氣來源並排出  $H_2$  氣至外部安全區域。
  3. 以緊急防爆排風扇排出  $H_2$  氣。
  4. 連絡消防單位，做緊急處理。

## 第六章 結論與建議

### 第一節 結論

- 一、本實驗以微波輔助水熱法進行奈米二氧化鈦製備，可以較短的反應時間達到高產量的奈米二氧化鈦，其所需時間僅為傳統水熱法的 1/18，節省能耗。且奈米線具有較小的直徑及較為狹窄的直徑分佈，其直徑約為傳統水熱法的 1/2。
- 二、由本實驗結果瞭解二氧化鈦奈米材料具有成為新型儲氫材料的潛力，雖與目前較常用的奈米碳管(SWNT 及 MWNT)文獻數據進行儲存與洩漏比較分析未見明顯優勢(5 atm 常溫下吸附儲氫平衡值分別為 0.15 及 0.4 wt%)，但未來材料製備進一步研究時，或可增加奈米二氧化鈦孔隙度或內表面積，進而提升其吸附儲氫平衡值。
- 三、由本實驗結果瞭解吸附儲氫材料在常溫常壓(或其他儲存壓力)下洩漏量，取決於在該溫度壓力下之吸附平衡值(將持續洩漏至該吸附平衡儲氫值)
- 四、本實驗選用靜態吸附量測設備(重量法)，對於未來各類型之吸附儲氫實驗可能以此進行實驗數據之簡易量測與驗證，且獲取之吸附平衡值可當作未來放大系統參考數據。
- 五、氫能研究趨勢分析: 完成各國氫能趨勢分析，氫能在安全規範操作下，可以安全製造，運輸，充填與儲存。在各國競向發展下，氫能已成為重要的能源來源與減碳的方法之一。日本已做好跨入氫能社會之準備，包括定址型燃料電池，加氫站建置，氫氣製造與氫燃料車的上市，台灣則須要努力趕上，以達能源多樣化的國安與減碳需求。
- 六、因為直流電解水容易造成輸入功率的浪費，同時水溫急速的增加造成使用上工安的疑慮；水裂解裝置電路設計，利用 PWM 電路分解水，利用開路電極，當控制輸入能量與電流，藉由暫空比以達到有效的產氫模式；使用 PWM 模式在 500 Hz 下，電極距離為 3 mm，30%wt 的電解液可以在穩定的條件下達到 4.3 ml/s 的產氫速率，產氣效率為 1.58 L/W。暫空比越高，產氫率也越高。
- 七、水裂解裝置電極開發: 使用不銹鋼板製作各部份電極零件，鐵氟龍做絕緣，並組裝成可以高效率之水裂解裝置的水溶液閉路電極；閉路電極間有 2 個通氣孔；在每個極板間使以 2 V 電壓，以達有效使用 12 V 電壓的目的。

八、產氫裝置整合，並完成產氫裝置功能測試。利用 PWM 電路分解水，可有效控制輸入能量與電流，藉由暫空比以達到有效的產氫模式；使用 PWM 模式在閉路電極下，500 Hz 下產氫速率為約 3.3 mL/s。

九、氫氣的使用規範：在水裂解裝置完成後，即可量產氫氣並儲存，此時我們可以測試各種不同情境下使用氫氣的狀況，並分析危險或災害發生的原因，最後歸納出氫氣的使用安全規範，作為未來氫氣使用上的指引。

## 第二節 建議

一、安全儲存和運輸為氫能利用的關鍵，相較於氣態壓縮以及低溫液態儲氫而言，固態儲氫技術體積儲氫量高，不需高壓及隔熱容器，以及具備儲存及運輸上的安全性。經濟部預期在 2015 年國內產業技術可發展可逆儲放氫材料開發與系統製作 [66]。

二、各類型的固態儲氫目前所面臨到最大的挑戰，在於儲氫材料性能尚未有突破、儲氫系統可靠度及耐用度不佳。因此短程研發的重點應該放在材料性能的突破與儲氫系統的開發；中長程則為開發出固態儲氫系統應用端的整合，其發展歷程圖如表 18。

表 18 固態儲氫技術發展時程[32]

技術項目	短程(~2015)	中程(~2020)	長程(~2025)
金屬儲氫系統開發	材料儲氫動力優化與容器開發	先進儲氫系統設計與應用端整合	備用電力與儲氫系統整合應用
吸附儲氫系統開發	先進吸附材料基礎研究與系統開發	儲氫系統設計優化與製程量產化	儲氫系統整合與應用落實

未來如要繼續進行奈米二氧化鈦儲氫相關研究探討，可針對以下重點進行探討：

三、在奈米材料製備上改進，由生產一維奈米材料，發展至二維甚至三維材料如 奈米管，增加材料表面積及孔隙率，大幅提高單位重量吸附材之吸附儲氫量，並可與目前奈米碳管吸附儲氫量競爭。

四、進行由二氧化鈦(ST01)製備奈米二氧化鈦之轉化率量測標準化探討，並與其它奈

米材料(如奈米碳管)轉化率量測進行比較研究。

(一) 確保批次生產奈米二氧化鈦之轉化率穩定，以提升實驗之再現性及未來商品化之品質穩定性。

(二) 奈米二氧化鈦儲氫系統設計開發，並與其他奈米材料儲氫系統進行比較研究。

五、裂解水裝置的電極的表面處理，可搭配奈米科技，針對水裂解選擇適當奈米觸媒，例如過度金屬與金屬氧化物奈米粒與石墨烯或其他二維材料(MoS<sub>2</sub> 等[67])作為平台，以將低裂解時等效電解的電壓，配合電極面積做最佳化，以提高氫氣有效產率。

六、未來在電源管理上需最佳化，以得到最優的產氫效能，可針對 PWM 的控制電路作最佳化，利如電流回饋控制控制，操作頻率與暫空比回饋控制，電解質濃度回饋控制，系統溫度回饋控制，系統短路偵測控制，期使提高氫氣的能量效值與提高裂解水的安全性。

七、在水裂解系統方面，PWM 與水裂解裝置電極(開路或閉路)，電極數的增減，電極面積的增減，儲水系統的最佳化，期使提高氫氣的能量效值。而電極裝置中各個電極板的空孔率也應給予搭配流體動力學最佳化以降低產氫時的氣體流動所受的阻力，以提高產氫量。

八、目前台灣的國家標準(chinese national standard, CNS) 的規範還主要集中在燃料電池(CNS 15468-1, CNS 15468-2, CNS 15468-3)，對於氫燃料車，加氫站，液氫填充，與大型氫氣製造場域的規範較為缺乏，面對氫燃料商業化的可行性越來越高，應協助台灣建立屬於當地適用的氫氣安全法規，風險評估與使用規範。

九、本研究所製作的氫氣產生系統，建議可以使用在製作小型氫氧焰加熱設備，促進機動車輛燃燒效率設備，以及內燃機除碳設備。同時，因為產氫量可以有效調整與小產量的氫氣，兼以安全性，如能克服電解質的添加或種類(例如使用碳酸氫鈣)，可以用於醫學用於消除人體內發炎症，以降低人體內的氧化。

十、應對大眾作正確的氫能安全教育，避免未來台灣進入氫能社會時，氫能安全性受到質疑與不必要的抗爭。

## 誌謝

本研究計畫參與人員除本所研究員吳鴻鈞、副研究員劉冠廷等人，另包括中原大學鍾財王教授及明新科技大學陳邦旭教授等人，僅此敬表謝忱。

## 參考文獻

- [1] <http://laws.mol.gov.tw/Chi/FLAW/FLAWDAT01.asp?lsid=FL044342>
- [2] Viktor Engelhardt, “The Electrolysis of Water: Processes and Applications...”, Nabu Press, 2012, ISBN: 1276614500, 9781276614504
- [3] Adolphus A. Knudson, “Report Upon Electrolysis of Water Mains in the City of Reading”, Pa. October 20, 1900
- [4] Yuda Yürüm, “Hydrogen Energy System: Production and Utilization of Hydrogen and Future Aspects”, Springer, 1995.
- [5] 陳軍，袁華堂，“新能源材料”，五南圖書出版股份有限公司，2004。
- [6] [Http://www.hydrogen.energy.gov/annual\\_progress.html](Http://www.hydrogen.energy.gov/annual_progress.html)
- [7] <http://www.ckwang.com.tw/>
- [8] <http://www.toyota.com/fuelcell/fcv.html>
- [9] Hydrogen production and storage IEA, 2006
- [10] <http://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>
- [11] Rittmar von Helmolt, Ulrich Eberle, Fuel cell vehicles : Status 2007, J. Power Sources, 2007, 165, 833-843.
- [12] Water electrolysis & renewable energy systems, 2003, FuelCellToday.
- [13] 丁福臣、易玉峰，“製氫儲氫技術”，化學工業出版社，2007。
- [14] 蘇順發，“減碳科技:儲氫材料”，科學發展，2013。
- [15] Kuriyama N., et al., Surface treatment of a Ni5-type metal-hybride electrode with an alkaline solution dissolving cobalt(II) hydroxide, J Alloys and compounds, 1996, 238, 128-140.
- [16] Liu H.K., et al., Improving the performance of hydrogen-storage alloy electrodes, J. New Mat. Electrochem. Systems, 1998, 1, 77-82.
- [17] Klein B., et al., Improvement of the thermodynamical and electrochemical properties of multicomponent Laves phase hydrides by thermal annealing, J Alloys and Compounds, 1998, 280, 284-289.
- [18] Jung H.W., et al., Electrochemical characteristics of nanocrystalline ZrCr2 and Mg2Ni type metal hybrids prepared by mechanical alloying, J Alloys and Compounds, 1999, 293-295, 556- 563.
- [19] 陳軍、袁華堂，Advanced Energy Material，2004。
- [20] 曲新生、陳發林，氫能技術，五南圖書出版股份有限公司，2006。

- [21] 李為民、王龍耀、許娟， 新能源與化工概論，五南圖書出版股份有限公司，2012。
- [22] 毛宗強，氫能-21 世紀的綠色能源，新文京圖書出版股份有限公司，2005。
- [23] Chung C.C., Chung T.W., Yang C.K., Rapid synthesis of Titania nanowires by microwave-assisted hydrothermal treatments, Ind. Eng. Chem. Res., 2008, 47, 2301-2307.
- [24] Lee S.M., Park K.S., Choi Y.C., Park Y.S., Bok J.M., Bae D.J., Nahm K.S., Choi Y.G., Yu S.C., Kim N., Lee Y.H., Hydrogen adsorption and storage in carbon nanotubes, Synthetic metals, 2000, 113, 209-216.
- [25] Pradhan B.K., Harutyunyan A.R., Stojkovic D., Grossman J.C., Zhang P., Cole M.W., Large cryogenic storage of hydrogen in carbon nanotubes at low pressures, J Materials Research, 2002, 17, 2209-2216.
- [26] Zuttel A., Sudan P., Mauron P., Kiyobayashi T., Emmenegger C., Schlapbach L., Hydrogen storage in carbon nanostructures, International Journal of Hydrogen Energy, 2002, 27, 203-212.
- [27] MiltonSmith Jr. R., Bittner E.W., Shi W., Karl J.J., Bockrath B.C., Chemical activation of single-walled carbon nanotubes for hydrogen adsorption, J Physi.Chem., 2003, 107, 3752-3760.
- [28] Kajiura H., Tsutsui S., Kadono K., Kakuta M., Ata M., Hydrogen storage capacity of commercially available carbon materials at room temperature, Applied Physi. Letters, 2003, 82, 1105.
- [29] Lawrence J., Xu G., High pressure saturation of hydrogen stored by single-wall carbon nanotubes, Applied Physi. Letters, 2004, 84.
- [30] Takagi H., Hatori H., Soneda Y., Yoshizawa N., Yamada Y., Adsorptive hydrogen storage in carbon and porous materials. Materials Science and Engineering B, 2004, 108, 143-147.
- [31] Shaijumon M.M., Ramaprabhu S., Synthesis of carbon nanotubes by pyrolysis of acetylene using alloy hydride materials as catalysts and their hydrogen adsorption studies, Chemical Physics Letters 2003, 374, 513-520.
- [32] Zacharia R., Kim K.Y., Fazzle Kibria A.K.M., Nahm K.S., Enhancement of hydrogen storage capacity of carbon nanotubes via spill-over from vanadium and palladium nanoparticles, Chemical Physics Letters 2005, 41, 369-375



- [33] Chen C.H., Huang C.C., Hydrogen storage by KOH-modified multi-walled carbon nanotubes, *International J. Hydrogen Energy*, 2007, 32, 237-246.
- [34] Yao Y.J., Yan Y.J., Zhang S.P., CVD synthesis and hydrogen storage properties of multi-walled carbon nanotubes, 2008, IEEE.
- [35] Suttisawat Y., Rangsunvigit P., Kitiyanan B., Williams M., Ndungu P., Lototsky M.V., Nechaev A., Linkov V., Kulprathipanja S., Investigation of hydrogen storage capacity of multi-walled carbon nanotubes deposited with Pd & V, *International J. Hydrogen Energy*, 2009, 34, 6669-6675.
- [36] Lin K.Y., Chang J.K., Tsai W.T., Effects of heat treatment on materials characteristics and hydrogen storage capability of multi-wall carbon nanotubes, *Diamond & Related Materials*, 2009, 18, 553-556.
- [37] Skripnyuk V.M., Rabkin E., Bendersky L.A., Magrez A., Carreno M.E., Hydrogen storage properties of as-synthesized and severely deformed magnesium-multiwall carbon nanotubes composite, *International J. Hydrogen Energy*, 2010, 35, 5471-5478.
- [38] Wu H.M., Wexler D., Ranjbartoreh A.R., Liu H.K., Wang G.X., Chemical processing of double-walled carbon nanotubes for enhanced hydrogen storage, *International J. Hydrogen Energy*, 2010, 35, 6345-6349.
- [39] Zhu H.W., Cao A.Y., Li X.S., Xu C.L., Mao Z.Q., Ruan D.B., Liang J., Wu D.H., Hydrogen adsorption in bundles of well aligned carbon nanotubes at room temperature, *Applied surface science*, 2001, 178, 50-55.
- [40] Narciso, Dean (July 8, 2007). "The Car that Ran on Water". *The Columbus Dispatch*. Retrieved 2008-03-24.
- [41] U.S. Patent 5,149,407: Process and apparatus for the production of fuel gas and the enhanced release of thermal energy from such gas
- [42] U.S. Patent 4,936,961: Method for the production of a fuel gas.
- [43] U.S. Patent 4,826,581: Controlled process for the production of thermal energy from gases and apparatus useful therefore.
- [44] U.S. Patent 4,798,661: Gas generator voltage control circuit.
- [45] U.S. Patent 4,613,779: Electrical pulse generator.
- [46] U.S. Patent 4,613,304: Gas electrical hydrogen generator.
- [47] U.S. Patent 4,465,455: Start-up/shut-down for a hydrogen gas burner.
- [48] U.S. Patent 4,421,474: Hydrogen gas burner.

- [49] U.S. Patent 4,389,981: Hydrogen gas injector system for internal combustion engine.
- [50] Ming Gong et al. Nature Communications 2014, DOI: 10.1038/ncomms5695
- [51] Kaveh Mazloom, Nasri Sulaiman, Hossein Moayedi, "Review Electrical Efficiency of Electrolytic Hydrogen Production", Int. J. Electrochem. Sci., Vol. 7, 2012.
- [52] Naohiro Shimizu, Souzaburo Hotta, Takayuki Seiya and Osamu Oda. "A novel method of hydrogen generation by water electrolysis using an ultra-short-pulse power supply", Journal of Applied Electrochemistry (2006) 36:419–423.
- [53] Dharmaraj C. H , AdishKumar S." Economical hydrogen production by electrolysis using nano pulsed DC", International Journal of Energy and Environment (IJEE), Volume 3, Issue 1, 2012, pp.129-136.
- [54] AIAA G – 095 – 2004 Guide to safety of hydrogen and hydrogen system
- [55] Gregory, Fred. D "safety standard for hydrogen and hydrogen system"
- [56] 安全管理，<http://www.safehoo.com/>
- [57] 中國氫能源網，<http://www.china-hydrogen.org/>
- [58] Initial Guidance for using Hydrogen in confined Spaces - Results from Inslyde, Safety of hydrogen as an Energy carrier contract No. SES6 CT-502630 (2004).
- [59] NFPA 2, "Hydrogen Technologies code", (2011).
- [60] 電解製氫氧設備完好要求與檢查評定方法，SJ/T 31456 - 94.
- [61] 黃鎮江，"燃料電池"，第三版，滄海書局，2008。
- [62] H. Jassen *et al.* International J. Hydrogen Energy, 29 (2004) 759.
- [63] Department of energy (DOE), Hydrogen Safety program": <http://www.hydrogen.energy.gov/safety.html>
- [64] 特殊大流量氣體安全參考規範和緊急應變程序，經濟部工業局，2009。
- [65] 經濟部，2014年能源產業技術白皮書，2014。
- [66] Z Yin *et al.* Small 17(10), 3537 (2014)。

# [附錄]

## 附錄一: S. A. Meyer 的原使美國專利 US 4936961

**United States Patent** [19]  
Meyer

[11] **Patent Number:** 4,936,961  
[45] **Date of Patent:** Jun. 26, 1990

[54] **METHOD FOR THE PRODUCTION OF A FUEL GAS**

[76] **Inventor:** Stanley A. Meyer, 3792 Broadway, Grove City, Ohio 43123

[21] **Appl. No.:** 207,730

[22] **Filed:** Jun. 16, 1988

**Related U.S. Application Data**

[63] Continuation-in-part of Ser. No. 81,859, Aug. 5, 1987, Pat. No. 4,826,581.

[51] **Int. Cl.<sup>5</sup>** ..... C07G 13/00  
[52] **U.S. Cl.** ..... 204/157.5; 204/157.52  
[58] **Field of Search** ..... 204/157.5, 157.52, 183.1

[56] **References Cited**  
**U.S. PATENT DOCUMENTS**

3,740,283 4/1988 Laas et al. .... 204/183.1 X  
4,511,450 4/1985 Neefe ..... 204/152.5 X  
4,696,809 9/1987 Vialoron et al. .... 204/157.52 X

**OTHER PUBLICATIONS**

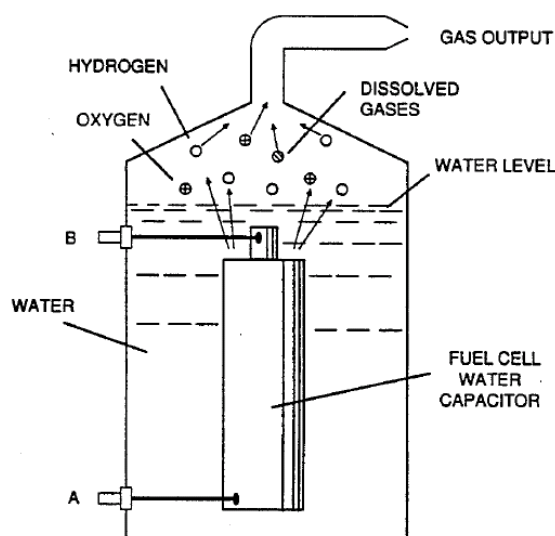
Julius Grant, ed., *Hachh's Chemical Dictionary*, 4th ed., McGraw-Hill Book Co., 1969, p. 282.

*Primary Examiner*—Stephen J. Kalafut  
*Attorney, Agent, or Firm*—Porter, Wright, Morris & Arthur

[57] **ABSTRACT**

A method for obtaining the release of a fuel gas mixture including hydrogen and oxygen from water in which the water is processed as a dielectric medium in an electrical resonant circuit.

**2 Claims, 3 Drawing Sheets**



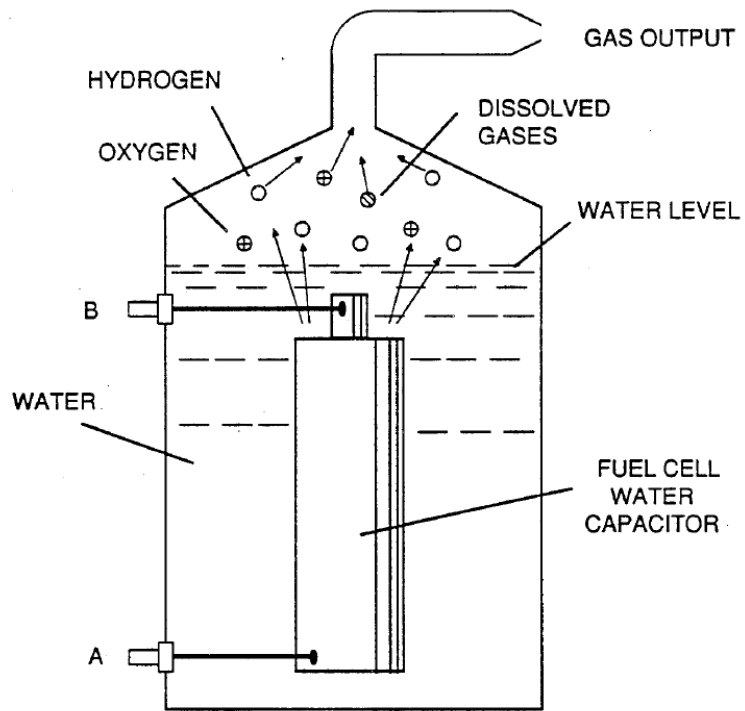


FIGURE 2

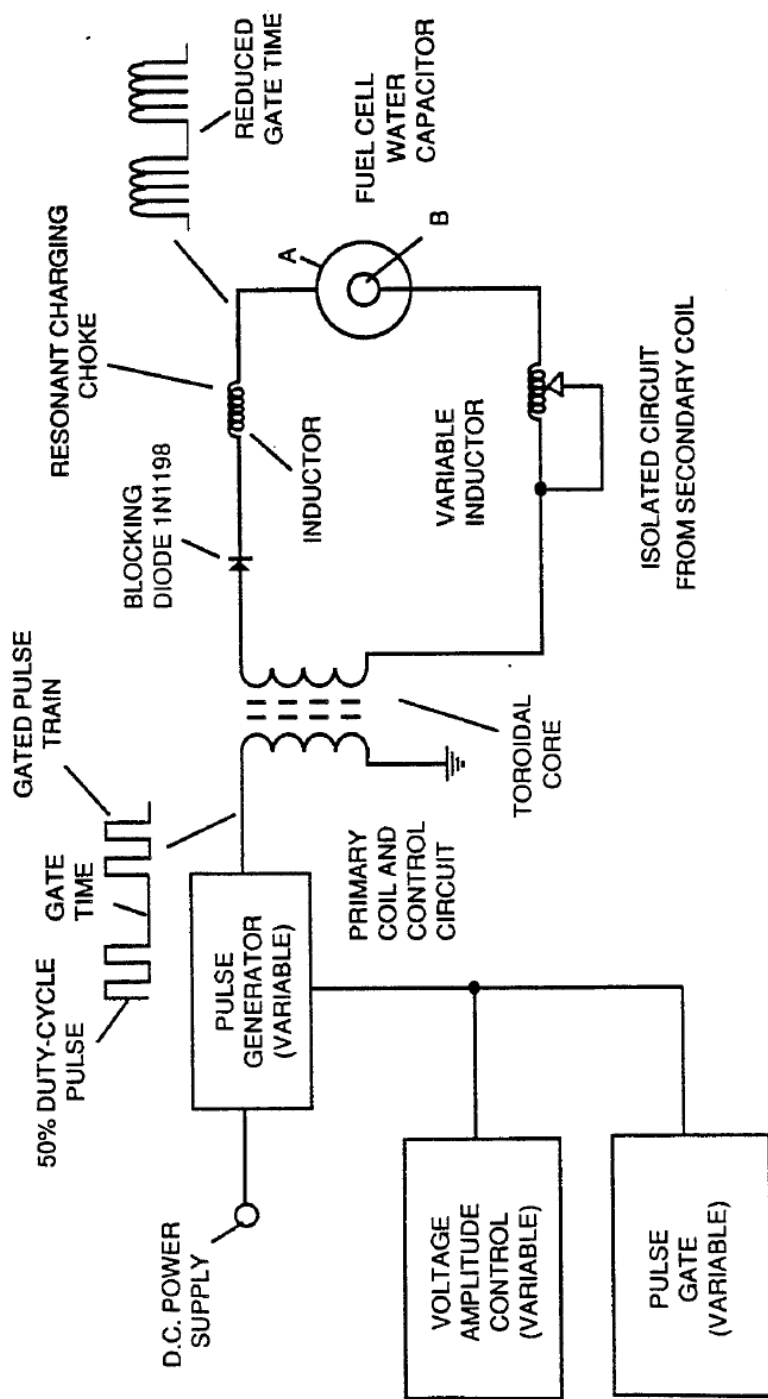
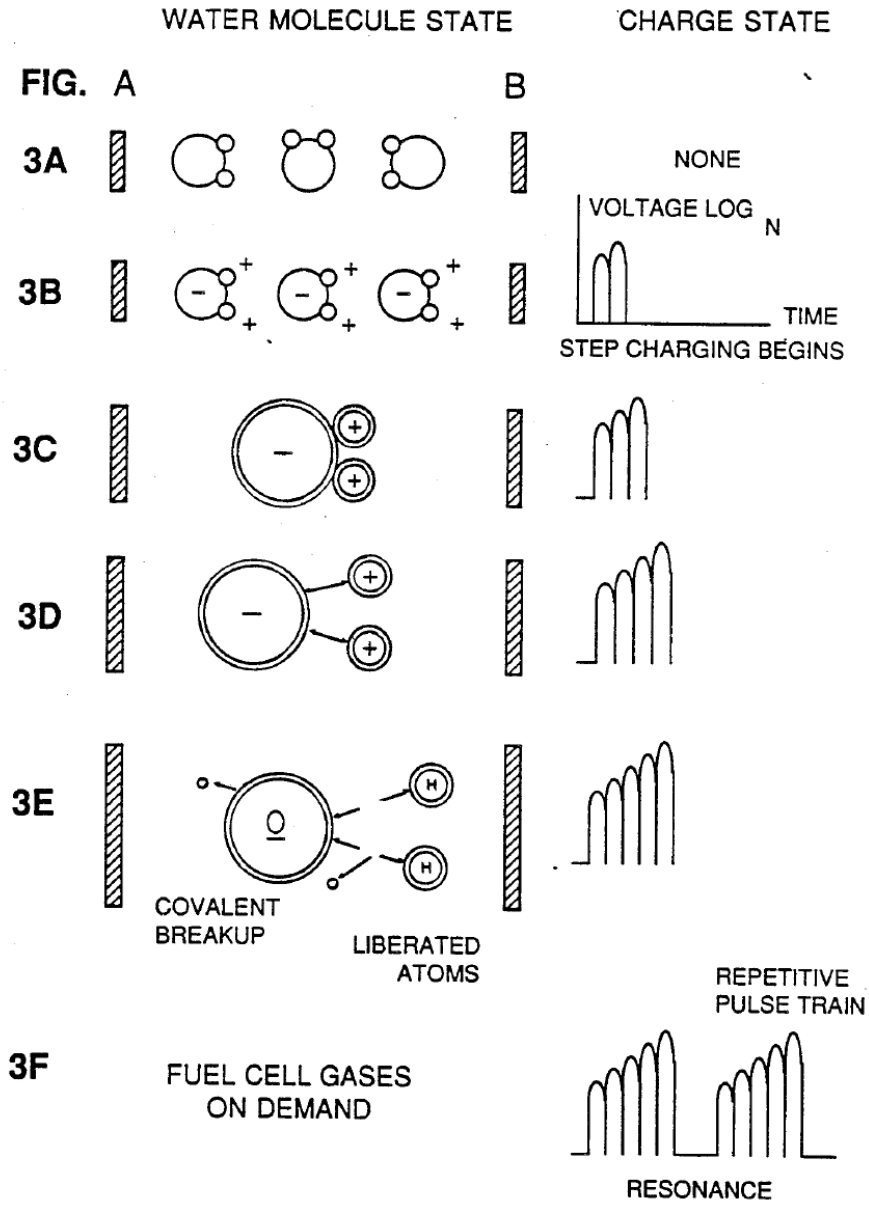


FIGURE 1



## METHOD FOR THE PRODUCTION OF A FUEL GAS

### Related Application

This is a continuation-in-part of my co-pending application Ser. No. 081,859, filed 8/5/87, now U.S. Pat. No. 4,826,581.

### Field of Invention

This invention relates to a method of and apparatus for obtaining the release of a fuel gas mixture including hydrogen and oxygen from water.

### BACKGROUND OF THE PRIOR ART

Numerous processes have been proposed for separating a water molecule into its elemental hydrogen and oxygen components. Electrolysis is one such process. Other processes are described in United States patents such as 4,344,831; 4,184,931; 4,023,545; 3,980,053; and Patent Cooperation Treaty application No. PCT/US80/1362, published 30 April, 1981.

### OBJECTS OF THE INVENTION

It is an object of the invention to provide a fuel cell and a process in which molecules of water are broken down into hydrogen and oxygen gases, and a fuel gas mixture including hydrogen, oxygen and other gasses formerly dissolved within the water is produced. As used herein the term "fuel cell" refers to a single unit of the invention comprising a water capacitor cell, as hereinafter explained, that produces the fuel gas in accordance with the method of the invention. Brief Description of the Drawings

FIG. 1 illustrates a circuit useful in the process.

FIG. 2 shows a perspective of a "water capacitor" element used in the fuel cell circuit.

FIGS. 3A through 3F are illustrations depicting the theoretical bases for phenomena encountered during operation of the invention herein.

### Description of the Preferred Embodiment

In brief, the invention is a method of obtaining the release of a gas mixture including hydrogen and oxygen and other dissolved gases formerly entrapped in water, from water consisting of: (A) providing a capacitor, in which the water is included as a dielectric liquid between capacitor plates, in a resonant charging choke circuit that includes an inductance in series with the capacitor; (B) subjecting the capacitor to a pulsating, unipolar electric voltage field in which the polarity does not pass beyond an arbitrary ground, whereby the water molecules within the capacitor are subjected to a charge of the same polarity and the water molecules are distended by their subjection to electrical polar forces; (C) further subjecting the water in said capacitor to said pulsating electric field to achieve a pulse frequency such that the Pulsating electric field induces a resonance within the water molecule; (D) continuing the application of the pulsing frequency to the capacitor cell after resonance occurs so that the energy level within the molecule is increased in cascading incremental steps in proportion to the number of pulses; (E) maintaining the charge of said capacitor during the application of the pulsing field, whereby the co-valent electrical bonding of the hydrogen and oxygen atoms within said molecules is destabilized such that the force of the electrical field applied, as the force is effective

within the molecule, exceeds the bonding force of the molecule, and hydrogen and oxygen atoms are liberated from the molecule as elemental gases; and (F) collecting said hydrogen and oxygen gases, and any other gases that were formerly dissolved within the water, and discharging the collected gases as a fuel gas mixture.

The process follows the sequence of steps shown in the following Table I in which water molecules are subjected to increasing electrical forces. In an ambient state, randomly oriented water molecules are aligned with respect to a molecular polar orientation. They are next, themselves polarized and "elongated" by the application of an electric Potential to the extent that covalent bonding of the water molecule is so weakened that the atoms disassociate and the molecule breaks down into hydrogen and oxygen elemental components. Engineering design parameters based on known theoretical principles of electrical circuits determine the incremental levels of electrical and wave energy input required to produce resonance in the system whereby the fuel gas comprised of a mixture of hydrogen, oxygen, and the other gases such as air test were formerly dissolved within the water, is produced.

TABLE I

PROCESS STEPS THE SEQUENCE OF THE RELATIVE STATE OF THE WATER MOLECULE AND/OR HYDROGEN/OXYGEN/OTHER ATOMS:	
A.	(AMBIENT STATE) RANDOM
B.	ALIGNMENT OF POLAR FIELDS
C.	POLARIZATION OF MOLECULE
D.	MOLECULAR ELONGATION
E.	ATOM LIBERATION BY BREAKDOWN OF COVALENT BOND
F.	RELEASE OF GASES

In the process, the point of optimum gas release is reached at a circuit resonance. Water in the fuel cell is subjected to a pulsating, polar electric field produced by the electrical circuit whereby the water molecules are distended by reason of their subjection to electrical polar forces of the capacitor plates. The polar pulsating frequency applied is such that the pulsating electric field induces a resonance in the molecule. A cascade effect occurs and the overall energy level of specific water molecules is increased in cascading, incremental steps. The hydrogen and oxygen atomic gases, and other gas components formerly entrapped as dissolved gases in water, are released when the resonant energy exceeds the co-valent bonding force of the water molecule. A preferred construction material for the capacitor plates is a stainless steel T-304 which is non-chemically reactive with water, hydrogen, or oxygen. An electrically conductive material which is inert in the fluid environment is a desirable material of construction for the electrical field plates of the "water capacitor" employed in the circuit.

Once triggered, the gas output is controllable by the attenuation of operational parameters. Thus, once the frequency of resonance is identified, by varying the applied pulse voltage to the water fuel cell assembly, gas output is varied. By varying the pulse shape and/or amplitude or pulse train sequence of the initial pulsing wave source, final gas output is varied. Attenuation of the voltage field frequency in the form of OFF and ON pulses likewise affects output.

The overall apparatus thus includes an electrical circuit in which a water capacitor having a known dielec-

tric property is an element. The fuel gases are obtained from the water by the disassociation of the water molecule. The water molecules are split into component atomic elements (hydrogen and oxygen gases) by a voltage stimulation process called the electrical polarization process which also releases dissolved gases entrapped in the water.

From the outline of physical phenomena associated with the process described in Table 1, the theoretical basis of the invention considers the respective states of molecules and gases and ions derived from liquid water. Before voltage stimulation, water molecules are randomly dispersed throughout water within a container. When a unipolar voltage pulse train such as shown in FIGS. 3B through 3F is applied to positive and negative capacitor plates, an increasing voltage potential is induced in the molecules in a linear, step-like charging effect. The electrical field of the particles within a volume of water including the electrical field plates increases from a low energy state to a high energy state successively in a step manner following each pulse-train as illustrated figuratively in the depictions of FIG. 3A through 3F. The increasing voltage potential is always positive in direct relationship to negative ground potential during each pulse. The voltage polarity on the plates which create the voltage fields remains constant although the voltage charge increases. Positive and negative voltage "zones" are thus formed simultaneously in the electrical field of the capacitor plates.

In the first stage of the process described in Table 1, because the water molecule naturally exhibits opposite electrical fields in a relatively polar configuration (the two hydrogen atoms are positively electrically charged relative to the negative electrically charged oxygen atom), the voltage pulse causes initially randomly oriented water molecules in the liquid state to spin and orient themselves with reference to positive and negative poles of the voltage fields applied. The positive electrically charged hydrogen atoms of said water molecule are attracted to a negative voltage field; while, at the same time, the negative electrically charged oxygen atoms of the same water molecule are attracted to a positive voltage field. Even a slight potential difference applied to inert, conductive plates of a containment chamber which forms a capacitor will initiate polar atomic orientation within the water molecule based on polarity differences.

When the potential difference applied causes the orientated water molecules to align themselves between the conductive plates, pulsing causes the voltage field intensity to be increased in accordance with FIG. 3B. As further molecular alignment occurs, molecular movement is hindered. Because the positively charged hydrogen atoms of said aligned molecules are attracted in a direction opposite to the negatively charged oxygen atoms, a polar charge alignment or distribution occurs within the molecules between said voltage zones, as shown in FIG. 3B. And as the energy level of the atoms subjected to resonant pulsing increases, the stationary water molecules become elongated as shown in FIGS. 3C and 3D. Electrically charged nuclei and electrons are attracted toward opposite electrically charged voltage zones —disrupting the mass and charge equilibrium of the water molecule.

As the water molecule is further exposed to an increasing potential difference resulting from the step charging of the capacitor, the electrical force of attraction of the atoms within the molecule to the capacitor

plates of the chamber also increases in strength. As a result, the co-valent bonding between atoms which form the molecule is weakened —and ultimately terminated. The negatively charged electron is attracted toward the positively charged hydrogen atoms, while at the same time, the negatively charged oxygen atoms repel electrons.

In a more specific explanation of the "sub-atomic" action that occurs in the water fuel cell, it is known that natural water is a liquid which has a dielectric constant of 78.54 at 20° C. and 1 atm pressure. [*Handbook of Chemistry and Physics*, 68th ed., CRC Press (Boca Raton, Florida (1987-88)), Section E-50. H<sub>2</sub>O (water)].

When a volume of water is isolated and electrically conductive plates, that are chemically inert in water and are separated by a distance, are immersed in the water, a capacitor is formed, having a capacitance determined by the surface area of the plates, the distance of their separation and the dielectric constant of water.

When water molecules are exposed to voltage at a restricted current, water takes on an electrical charge. By the laws of electrical attraction, molecules align according to positive and negative polarity fields of the molecule and the alignment field. The plates of a capacitor constitute such an alignment field when a voltage is applied.

When a charge is applied to a capacitor, the electrical charge of the capacitor equals the applied voltage charge; in a water capacitor, the dielectric property of water resists the flow of amps in the circuit, and the water molecule itself, because it has polarity fields formed by the relationship of hydrogen and oxygen in the covalent bond, and an intrinsic dielectric property, becomes part of the electrical circuit, analogous to a "microcapacitor" within the capacitor defined by the plates.

In the Example of a fuel cell circuit of FIG. 1, a water capacitor is included. The step-up coil is formed on a conventional torroidal core formed of a compressed ferromagnetic powdered material that will not itself become permanently magnetized, such as the trademarked "Ferramic 06# "Permag" powder as described in *Siemens Ferrites Catalog*, CG-2000-002-121, (Cleveland, Ohio) No. F626-1205. The core is 1.50 inch in diameter and 0.25 inch in thickness. A primary coil of 200 turns of 24 gauge copper wire is provided and a coil of 600 turns of 36 gauge wire comprises the secondary winding.

In the circuit of FIG. 1, the diode is a 1N1198 diode which acts as a blocking diode and an electric switch that allows voltage flow in one direction only. Thus, the capacitor is never subjected to a pulse of reverse polarity.

The primary coil of the torroid is subject to a 50% duty cycle pulse. The torroidal pulsing coil provides a voltage step-up from the pulse generator in excess of five times, although the relative amount of step-up is determined by pre-selected criteria for a particular application. As the stepped-up pulse enters first inductor (formed from 100 turns of 24 gauge wire 1 inch in diameter), an electromagnetic field is formed around the inductor, voltage is switched off when the pulse ends, and the field collapses and produces another pulse of the same polarity; i.e., another positive pulse is formed where the 50% duty cycle was terminated. Thus, a double pulse frequency is produced; however, in a pulse train of unipolar pulses, there is a brief time when pulses are not present.



By being so subjected to electrical pulses in the circuit of FIG. 1, water confined in the volume that includes the capacitor plates takes on an electrical charge that is increased by a step charging phenomenon occurring in the water capacitor. Voltage continually increases (to about 1000 volts and more) and the water molecule starts to elongate.

The pulse train is then switched off; the voltage across the water capacitor drops to the amount of charge that the water molecules have taken on, i.e. voltage is maintained across the charged capacitor. The pulse train is then reapplied.

Because a voltage potential applied to a capacitor can perform work, the higher the voltage potential, the more work is performed by a given capacitor. In an optimum capacitor that is wholly non-conductive, zero (0) current flow will occur across the capacitor. Thus, in view of an idealized capacitor circuit, the object of the water capacitor circuit is to prevent electron flow through the circuit, i.e. such as occurs by electron flow or leakage through a resistive element that produces heat. Electrical leakage in water will occur, however, because of some residual conductivity and impurities or ions that may be otherwise present in the water. Thus, the water capacitor is preferably chemically inert. An electrolyte is not added to the water.

In the isolated water bath, the water molecule takes on charge, and the charge increases. The object of the process is to switch off the co-valent bonding of the water molecule and interrupt the sub-atomic force, i.e. the electrical force or electromagnetic force, that binds the hydrogen and oxygen atoms to form a molecule so that the hydrogen and oxygen separate.

Because an electron will only occupy a certain electron shell (the shells are well known) the voltage applied to the capacitor affects the electrical forces inherent in the co-valent bond. As a result of the charge applied by the plates, the applied force becomes greater than the force of the co-valent bonds between the atom of the water molecule; and the water molecule becomes elongated. When this happens, the time share ratio of the electrons between the atoms and the electron shells is modified.

In the process, electrons are extracted from the water bath; electrons are not consumed nor are electrons introduced into the water bath by the circuit as electrons are conventionally introduced in an electrolysis process. There may nevertheless occur a leakage current through the water. Those hydrogen atoms missing electrons become neutralized; and atoms are liberated from the water. The charged atoms and electrons are attracted to opposite polarity voltage zones created between the capacitor plates. The electrons formerly shared by atoms in the water co-valent bond are re-allocated such that neutral elemental gases are liberated.

In the process, the electrical resonance may be reached at all levels of voltage potential. The overall circuit is characterized as a "resonant charging choke" circuit which is an inductor in series with a capacitor that produces a resonant circuit. [SAMS Modern Dictionary of Electronics, Rudolff Garff, © 1984, Howard W. Sams & Co. (Indianapolis, Ind.), page 859.] Such a resonant charging choke is on each side of the capacitor. In the circuit, the diode acts as a switch that allows the magnetic field produced in the inductor to collapse, thereby doubling the pulse frequency and preventing the capacitor from discharging. In this manner a continuous voltage is produced across the capacitor plates in

the water bath; and the capacitor does not discharge. The water molecules are thus subjected to a continuously charged field until the breakdown of the co-valent bond occurs.

As noted initially, the capacitance depends on the dielectric properties of the water and the size and separation of the conductive elements forming the water capacitor.

#### EXAMPLE I

In an example of the circuit of FIG. 1 (in which other circuit element specifications are provided above), two concentric cylinders 4 inches long formed the water capacitor of the fuel cell in the volume of water. The outside cylinder was 0.75 inch in outside diameter; the inner cylinder was 0.5 inch in outside diameter. Spacing from the outside of the inner cylinder to the inner surface of the outside cylinder was 0.0625 inch. Resonance in the circuit was achieved at a 26 volt applied pulse to the primary coil of the torroid at 0KH<sub>z</sub>, and the water molecules disassociated into elemental hydrogen and oxygen and the gas released from the fuel cell comprised a mixture of hydrogen, oxygen from the water molecule, and gases formerly dissolved in the water such as the atmospheric gases or oxygen, nitrogen, and argon.

In achieving resonance in any circuit, as the pulse frequency is adjusted, the flow of amps is minimized and voltage is maximized to a peak. Calculation of the resonance frequency of an overall circuit is determined by known means; different cavities have a different frequency of resonance dependent on parameters of the water dielectric, plate size, configuration and distance, circuit inductors, and the like. Control of the production of fuel gas is determined by variation of the period of time between a train of pulses, pulse amplitude and capacitor plate size and configuration, with corresponding value adjustments to other circuit components.

The wiper arm on the second inductor tunes the circuit and accommodates to contaminants in water so that the charge is always applied to the capacitor. The voltage applied determines the rate of breakdown of the molecule into its atomic components. As water in the cell is consumed, it is replaced by any appropriate means or control system.

Variations of the process and apparatus may be evident to those skilled in the art.

What is claimed is:

1. A method of obtaining the release of a gas mixture including hydrogen and oxygen and other dissolved gases formerly entrapped in water, from water, consisting of:

- (A) providing a capacitor in which water is included as a dielectric between capacitor plates, in a resonant charging choke circuit that includes an inductance in series with the capacitor;
- (B) subjecting the capacitor to a pulsating, unipolar electric charging voltage in which the polarity does not pass beyond an arbitrary ground, whereby the water molecules within the capacitor are subjected to the electric field between the capacitor plates;
- (C) further subjecting the water in said capacitor to a pulsating electric field resulting from the subjecting of the capacitor to the charging voltage such that the pulsating electric field induces a resonance within the water molecules;

7

- (D) continuing the application of the pulsating charging voltage to the capacitor after resonance occurs so that the energy level within the molecules is increased in cascading incremental steps in proportion to the number of pulses;
- (E) maintaining the charge of said capacitor during the application of the pulsating charging voltage, whereby the co-valent electrical bonding of the hydrogen and oxygen atoms within said molecules is destabilized, such that the force of the electrical

5

2. The method of claim 1 including the further steps of collecting said liberated hydrogen and oxygen gases, and any other gases that were formerly dissolved with in the water and discharging said collected gases as a fuel gas mixture.

\* \* \* \* \*

附錄二: S. A. Meyer 的美國專利 US 5149407, 首頁



US005149407A

**United States Patent** [19]  
Meyer

[11] **Patent Number:** 5,149,407  
[45] **Date of Patent:** \* Sep. 22, 1992

[54] **PROCESS AND APPARATUS FOR THE PRODUCTION OF FUEL GAS AND THE ENHANCED RELEASE OF THERMAL ENERGY FROM SUCH GAS**

[76] **Inventor:** Stanley A. Meyer, 3792 Broadway, Grove City, Ohio 43123

[\*] **Notice:** The portion of the term of this patent subsequent to Jun. 26, 2007 has been disclaimed.

[21] **Appl. No.:** 460,859

[22] **PCT Filed:** Jun. 15, 1989

[86] **PCT No.:** PCT/US89/02622

§ 371 Date: Feb. 13, 1990

§ 102(e) Date: Feb. 13, 1990

[87] **PCT Pub. No.:** WO89/12704

PCT Pub. Date: Dec. 28, 1989

**Related U.S. Application Data**

[63] Continuation-in-part of Ser. No. 207,730, Jun. 16, 1988, Pat. No. 4,936,961, which is a continuation-in-part of Ser. No. 81,859, Aug. 5, 1987, Pat. No. 4,826,581.

[51] **Int. Cl.:** C07G 13/00

[52] **U.S. Cl.:** 204/157.41; 204/157.5; 204/157.52; 204/193

[58] **Field of Search** ..... 204/157.41, 157.5, 157.52, 204/164, 193

[56] **References Cited**

**U.S. PATENT DOCUMENTS**

3,772,180 11/1973 Prestidge ..... 204/305  
4,511,450 4/1985 Neefe ..... 204/278  
4,696,809 9/1987 Vialaron et al. .... 204/157.52 X  
4,740,283 4/1988 Laas et al. .... 204/182.8  
4,826,581 5/1989 Meyer ..... 204/157.41  
4,936,961 6/1990 Meyer ..... 204/157.5

**OTHER PUBLICATIONS**

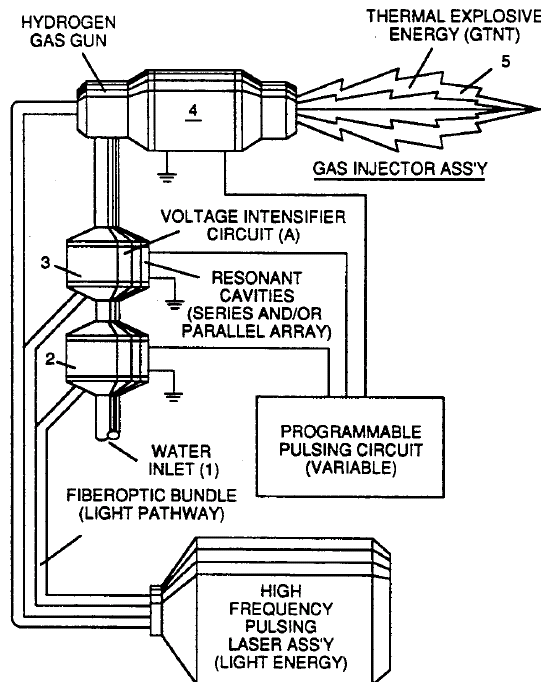
*Chemical Abstracts* vol. 88, NO. 52526n, 1978 (Hasebe).  
*Chemical Abstracts* vol. 77, No. 156261m, 1972 (Zubrilov et al.).

*Primary Examiner*—Stephen J. Kalafut  
*Attorney, Agent, or Firm*—Porter, Wright, Morris & Arthur

[57] **ABSTRACT**

Water molecules are broken down into hydrogen and oxygen gas atoms in a capacitive cell by a polarization and resonance process dependent upon the dielectric properties of water and water molecules. The gas atoms are thereafter ionized or otherwise energized and thermally combusted to release a degree of energy greater than that of combustion of the gas in ambient air.

12 Claims, 15 Drawing Sheets



## 附錄三：氫的物質安全資料表(以三福化工所提供物質安全資料表)


### 一、物品與廠商資料

物品中(英)文名稱：氫氣	Hydrogen
物品編號：F01	
製造商或供應商名稱：	
製造商或供應商地址：	
製造商或供應商電話：	
緊急聯絡電話：	傳真：

### 二、成份辨識資料：

中(英)文名稱	化學式	含量	化學文摘社登記號碼(CAS NO.)
氫氣 Hydrogen	H <sub>2</sub>	>99%	1333-74-0
同義名稱：-			

### 三、危害辨識資料：

最 重 要 危 害 效 應	緊急概要： 此氣體以高壓方式灌裝於鋼瓶內，為可燃、無味、無色之氣體，當其洩漏濃度超過 4% 會有爆炸之危害，此氣體比空氣輕，燃燒之火焰肉眼難見。高濃度之環境有窒息危害，爆炸範圍內禁止人員進入。
	健康危害效應： <ul style="list-style-type: none"> <li>吸入：造成窒息。應該注意超過其空氣中爆炸下限，會造成缺氧及爆炸性的危害。中等濃度吸入造成暈眩、頭痛、反胃、嘔吐、意識不清。</li> <li>眼睛、皮膚接觸：無不良影響。</li> </ul>
	環境影響：無。
	物理性及化學性危害：-
	特殊危害：窒息
主要症狀：暈眩、嘔心、喪失意識、死亡。	
危害物質分類： 2.1	圖 示： 

### 四、急救措施：

不同暴露途徑之急救措施：
<ul style="list-style-type: none"> <li>吸入：將缺氧患者移至新鮮空氣處，立即請人幫忙打電話求救，檢查呼吸維持呼吸道暢通，若呼吸停止由受過訓練之人員施以人工呼吸，若心跳停止立即施以心肺復甦術，或給予 100% 氧氣，立即送醫。</li> <li>皮膚接觸：-</li> <li>眼睛接觸：-</li> <li>食入：-</li> </ul>
最重要症狀及危害效應：窒息。
對急救人員之防護：-

對醫師之提示：—

## 五、滅火措施：

適用滅火劑：化學乾粉、二氧化碳、噴水、泡沫、水霧。直到洩漏源被關閉才可滅火。

滅火時可能遭遇之特殊危害：燃燒時發出肉眼難見之淡藍色火焰，氫氣極易點燃，即使是靜電火花亦會產生燃燒爆炸。曝露於高熱或火焰時，鋼瓶內壓力會上升，大部份的鋼瓶皆被設計可由瓶閥之破裂片釋放高壓氣體。如果破裂片失效，可能導致爆炸。

特殊滅火程序：將所有人員隔離危險區。立即於遠處以水霧冷卻鋼瓶，**小心不可滅掉火焰**。若意外地火源被滅，爆炸性的重新點燃可能會發生。如果可行無風險，在連續的水霧下，將鋼瓶洩漏源關閉。

消防人員之特殊防護設備：須穿著個人防火衣，並攜帶正壓式 SCBA。

危害燃燒產物：無。

## 六、洩露處理方法：

個人應注意事項：

1.將所有人員、車輛隔離洩漏區。2.使用適當防護具。3.消除所有引火源，使用最大的防爆型通風設備，如果可行，關閉洩漏源。4.隔離洩漏容器。5.若鋼瓶洩漏通知供應商。6.使用掃帚偵測，小心謹慎地靠近鋼瓶洩漏點，如此可以辨視火焰。

環境注意事項：不會污染環境。

清理方法：允許排至大氣。

## 七、安全處置與儲存方法：

處置：不要拖、拉、滾、踢鋼瓶，應使用適當鋼瓶專用手推車搬運鋼瓶。禁止嘗試利用瓶蓋來吊昇鋼瓶。鋼瓶於使用中必須固定。加裝調壓閥來安全地使用鋼瓶內的氣體。使用逆止閥避免逆流進入鋼瓶。嚴禁煙火。不可對瓶身任何地方加熱。當鋼瓶連接到製程時慢慢小心地打開鋼瓶閥。打開瓶閥若遇到任何困難，應停止操作並通知供應商。不可用工具(如板手、螺絲起子等)插進瓶蓋(CAP)二邊開孔內打開瓶蓋，因如此會損壞瓶閥造成洩漏，應使用可調式環狀鏈式板手(Strap Wrench)來打開過緊的瓶蓋。確實使用實瓶、使用中、殘瓶之標籤以分辨鋼瓶使用狀況。為避免空氣進入鋼瓶內請勿完全用盡氣體，用畢後請使用扭力板手將閥出品蓋(PLUG)鎖回去。未連接好前勿打開鋼瓶閥，因可能發生自燃狀況。為很輕的氣體，易累積於天花板，固應有適當的通風。以洩漏液作測洩試驗，勿使用火焰。

儲存：鋼瓶應存放於通風良好、安全且避免日曬雨淋之場所，儲存區溫度不能超過 40°C，貯存區不可放置可燃物質、嚴禁煙火、並遠離人員進出繁雜地區和緊急出口。鋼瓶應直立存放並適當鎖緊閥出口蓋(PLUG)及閥保護蓋(CAP)，且瓶身應予固定，殘、實瓶應分開貯放，使用先進先出系統避免貯放過期，定時記錄庫存量。遠離熱、發火源及不相容物如氧化物八公尺以

上，或使用 1.5 公尺高、阻火速率至少 0.5 小時的防火牆。使用不產生火花且接地的通風系統與電器設備，避免成為發火源。

## 八、曝露預防措施：

工程控制：提供自然或防爆的通風以維持濃度低於爆炸下限。

容許濃度	生物指標
------	------

時量平均容許濃度(TWA)	短時間時量平均容許濃度(STEL)	最高容許濃度 (Ceiling)	LD <sub>50</sub> (測試動物、 吸收途徑)	LC <sub>50</sub> (測試動物、 吸收途徑)
—	—	—	—	—

個人防護設備：

呼吸防護：

- 一般使用:不需要。
- 緊急狀況:SCBA 或正壓空氣管面罩，進入前先偵測此氣體及氧氣含量。
- 眼睛防護：安全眼鏡。
- 皮膚及身體防護：安全鞋、皮手套。
- 其他注意事項:—

衛生措施：1.工作場所嚴禁抽煙或飲食。2.維持作業場所清潔。

## 九、物理及化學特性：

物質狀態： <input type="checkbox"/> 液體 <input type="checkbox"/> 液化氣體 <input checked="" type="checkbox"/> 壓縮氣體	pH 值：—			
形狀：—	顏色：無色			
分子量：2.01	氣味：無味			
沸點：-252.8°C (-423°F)	熔點：-259.2°C (-434.5°F)			
分解溫度：—	閃火點：- <sup>0</sup> C - <sup>0</sup> F <input type="checkbox"/> 開杯 <input type="checkbox"/> 閉杯			
自燃溫度：565.5°C (1050°F)	爆炸界限%	下限 (LEL)	4%	上限(UEL) 74%
蒸氣密度(空氣=1)：0.069	蒸氣壓(21.1°C)：—			
密度：0.00521 lb/ft <sup>3</sup> (21 <sup>0</sup> C, 1atm)	水中溶解度：0.019 Vol/Vol at (15.6°C)			

## 十、安定性及反應性：

安定性	安定	✓	特殊狀況下可能之危害反應	—
	不安定	—		

危害分解物：無

應避免之狀況：火源。

應避免之物質：氧化劑。

## 十一、毒性資料：

急毒性：只造成窒息、人體會因急速缺氧造成受傷甚至死亡。

局部效應：—

致敏感性：—

慢毒性或長期毒性：NTP,OSHA or IARC 未列入潛在致癌物。

特殊效應：—

## 十二、生態資料：

可能之環境影響/環境流佈：

- 水中毒性：未列於 DOT(49CFR)海洋污染物。
- 移動性：無。
- 生物累積性：無。
- 注意:此物質未包含於 classI 、classII 破壞臭氧層之化學物質。

### 十三、廢棄處置方法：

廢棄處置方法：

- 未使用或殘存氣體:將鋼瓶回運供應商，不要嘗試去處理。

### 十四、運送資料：

國際運送規定：

- INTERNATIONAL MARITIME DANGEROUS GOODS CODE LABEL : Flammable Gas
- 美國 DOT SHIPPING LABEL :Flammable Gas 、HAZARD CLASS:2.1  
DOT SHIPPING NAME: Hydrogen, Compressed

聯合國編號：UN1049

國內運送規定：運送人員接受”危險物品運送人員專業訓練”。

特殊運送方法及注意事項：在通風良好的卡車上以直立固定的方式運送。不可用後行理箱運送。確認鋼瓶已關緊，閥蓋及瓶蓋已重新裝回並鎖緊。

### 十五、適用法規：

1. 道路交通安全規則。
2. 危險物及有害物通識規則。
3. 高壓氣體勞工安全規則。

### 十六、其他資料：

參考文獻:AIR PRODUCTS MSDS 、INTERNATIONAL MARITIME DANGEROUS GOODS CODE

危害等級分類	NFPA	HMIS	等級: 0:最少; 1:輕微; 2:中等; 3:高的; 4:嚴重		
健康	0	0	NFPA: National Fire Protection Association rating identifies hazards during a fire emergency.美國防火協會定義火災應變之危害等級 HMIS: Hazardous Materials Identification System rating applies to products as packaged.危害物質系統應用於產品危害等級		
著火性	4	4			
反應性	0	0	HMIS: Hazardous Materials Identification System rating applies to products as packaged.危害物質系統應用於產品危害等級		
製表單位	名稱：三福化工股份有限公司竹北廠				
	地址：新竹縣竹北市泰和里泰和路 2~1 號				
	電話：03-5552306 傳真：03-5557984				
製表人	職稱: 安環課副課長		姓名(簽章): 張宏安		
製表日期	1999 年 10 月 1 日	修訂日期	2002 年 09 月 06 日	版次	2

## 附錄四 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 <sup>3</sup> )	0.0838	0.6512	1.8700
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(g TNT 黃色炸藥/kJ)	0.17	0.19	0.2
空氣中延燒特性	往上	往上	往下

## 附錄五 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	29.6	12.3	9.5	4	1.9
Vol%					
最低著火能量(mJ)	0.017	0.174	0.274	0.24	0.24
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



## 附錄六 氫的燃燒性質表

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 <sub>2</sub>	~24
理論爆發能量 g TNT/kJ H <sub>2</sub>	~0.17
理論爆發能量 kg TNT/m <sup>2</sup> G H <sub>2</sub>	2.02
理論爆發能量 g TNT/cm <sup>2</sup> NBPL H <sub>2</sub>	1.71

## 附錄七 供氫站平面佈置的防火間距

名稱		最小防火間距，米
其他建築物耐火等級	一、二級	12
	三級	14
	四級	16
甲類物品庫房		20
屋外變、配電站		25
民用建築		25
重要公共建築		50
明火或散發火花地點		30
水槽式可燃氣體儲罐，米 <sup>3</sup>	≤500	12
	501-10000	15
	>10000	20
水槽式可燃氣體儲罐，米 <sup>3</sup>	≤1000	10
	>1000	12
易燃液體儲罐，米 <sup>3</sup>	1-50	15
	51-200	19
	201-1000	25
	1001-5000	31
可燃液體儲罐		按 5 米 <sup>3</sup> 可燃液體等於 1 米 <sup>3</sup> 易燃液體折算
煤和焦炭，噸	100-5000	6
	>5000	8
場外鐵路(中心線)		30
場內鐵路(中心線)		20
場外道路(路邊)		15
場內主要道路(路邊)		10
場內次要道路(路邊)		5



附錄八 電解質 KOH 的物質安全資料表  
(以義芳化學工業股份有限公司提供物質安全資料表)

## 物質安全資料表

### 一、物品與廠商資料

物品名稱：：氫氧化鉀( POTASSIUM HYDROXIDE ) 45%
其他名稱：—
建議用途及限制使用： 用作乾燥劑、吸收劑，用於製造鉀肥皂，用於電鍍、雕刻等。
製造商或供應商名稱、地址及電話： 義芳化學工業股份有限公司桃園廠；桃園縣蘆竹鄉海湖村海湖東路 377 號
緊急聯絡電話/傳真電話： TEL：(03) 3541944；FAX：(03) 3541957

### 二、危害辨識資料

物品危害分類： 急毒性物質第 3 類(吞食)、金屬腐蝕物第 1 級、腐蝕/刺激皮膚物第一級、嚴重損傷/刺激眼睛物第一級
標示內容：     • 象徵符號：  • 警示語：危險  • 危害警告訊息：吞食有毒 可能腐蝕金屬 造成嚴重皮膚灼傷和眼睛損傷 造成嚴重眼睛損傷  • 危害防範措施：若與眼睛接觸，立刻用大量水洗滌後洽詢醫療 衣服一經污染，立刻脫掉 操作時應佩戴適當個人防護具
其他危害：—

### 三、成分辨識資料純物質：

中英文名稱：氫氧化鉀(POTASSIUM HYDROXIDE)
同義名稱：CAUSTIC POTASH， POTASSIUM HYDRATE， POTASSA， KOH， LYE
化學文摘社登記號碼(CAS No.)：01310-58-3
危害物質成分(成分百分比)：45%

## 四、急救措施

不同暴露途徑之急救方法：

- 吸入：1. 施救前先做好自身的防護措施，以確保自身的安全。2. 移除污染源或將患者移至新鮮空氣處。3. 如果呼吸困難，於醫師指示下由受過訓的人供給氧氣。4. 避免患者不必要的移動。5. 肺水腫的症狀可能會延後出現。6. 立即就醫。
- 皮膚接觸：1. 必要時則戴防滲手套以避免觸及該化學品。2. 立即緩和的吸掉或刷掉多餘的化學品。3. 以溫水緩和沖洗受污染部位60分鐘。4. 沖洗時不要間斷。5. 沖水中脫掉受污染的衣物、鞋子和皮飾品。6. 立即就醫。7. 需將污染的衣服、鞋子以及皮飾品須完全洗淨除污後方可再用或丟棄。
- 眼睛接觸：1. 必要時則戴防滲手套以避免觸及該化學品。2. 立即緩和的吸掉或刷掉多餘的化學品。3. 立即將眼皮撐開，以緩和流動的溫水沖洗污染的眼睛60分鐘。4. 可能情況下可使用生理食鹽水沖洗，且沖洗時不要間斷。5. 避免清洗水進入未受影響的眼睛。6. 如果刺激感持續，反覆沖洗。7. 立即就醫。
- 食入：1. 若患者即將喪失意識已失去意識或痙攣，不可經口餵食任何東西。2. 以水徹底漱口。3. 切勿催吐。4. 給予患者喝240-300毫升的水，以稀釋胃中的物質。5. 若有牛奶可於喝水後再給予牛奶喝。6. 若患者自然性嘔吐，讓患者身體向前傾以避免吸入嘔吐物及反覆給水。7. 立即就醫。

最重要症狀及危害效應：嚴重灼傷、潰瘍及永久性發紅，可能導致永久性失明。

對急救人員之防護：未著全身式化學防護衣及空氣呼吸器之人員不得進入災區搬運傷患，應穿著C級防護裝備在安全區實施急救。

對醫師之提示：眼睛接觸、食入時反覆沖洗及喝水、患者吸入時，考慮給予氧氣。避免洗胃及引發嘔吐。

## 五、滅火措施

適用滅火劑：此物不燃，針對燃燒物質，選用適當的滅火劑。

滅火時可能遭遇之特殊危害：1. 不會燃燒但會與某些物質(如水)反應，產生足夠的熱而引燃附近之易燃物。2. 會與某些金屬反應如鋁、錫、鋅，而釋放出易燃性的氫氣。

特殊滅火程序：1. 撤退並自安全距離或受保護的地點滅火。2. 隔離未著火物質且保護人員。3. 安全情況下將容器搬離火場。4. 以水滅火需非常小心，必須避免水與氫氧化鉀接觸。5. 噴水以冷卻暴露火場的容器。6. 高溫下可能產生薰煙，釋放腐蝕性氣體，未著特殊防護設備的人員不可進入。

消防人員之特殊防護設備：配戴全身式化學防護衣及空氣呼吸器(必要時外加抗閃火鋁質被覆外套)。

## 六、洩漏處理方法

個人應注意事項：1. 在污染區尚未完全清理乾淨前，限制人員接近該區。2. 確定清理工作是由受過訓練的人員負責。3. 穿戴適當的個人防護裝備。

環境注意事項：1. 對該區域進行通風換氣。2. 撲滅或除去所有發火源。3. 移開會與外洩物反應之化學品。4. 通知政府安全衛生與環保相關單位。

清理方法：1. 圍堵外洩物，鏟起或掃起欲回收或處理之外洩物。2. 避免流入下水道及水溝。3. 中和處理最後剩量，用水清洗外洩區。4. 用沙、泥土或其他惰性物質來圍堵洩漏物。5. 溶液可回收利用，或小心地用水稀釋以及用酸（如醋酸或鹽酸）來中和。6. 若有大量物質外洩向供應商、消防及緊急應變單位求助。

## 七、安全處置與儲存方法

處置：

1. 稀釋或製備溶液時，應緩慢將水加入，以免發噴濺。
2. 此物屬強鹼性液體，工作人員應適當受訓並告知此物質之危險性及安全使用方法。
3. 容器標示危險物標示牌。
4. 局部通風(可控制其粉塵及霧滴)。
5. 應用抗腐蝕之通風系統，並與其他排氣通風系統分開。

儲存：

1. 限量貯於不漏水的容器中，並加標示。
2. 貯於陰涼、乾燥處，並與一般作業區隔開。
3. 遠離不相容物。
4. 貯存區之建材、照明及通風系統應用抗腐蝕材質。
5. 不使用或用盡時皆應保持容器緊密。
6. 儲存區應管制進出。

## 八、暴露預防措施

工程控制：

1. 使用抗腐蝕性通風系統並與其他排氣系統分開。
2. 使用局部排氣裝置。
3. 排氣口直接通到室外。
4. 供給足夠新鮮空氣以補足排氣系統抽出空氣。

### 控制參數

八小時日時量平均容許濃度 TWA	短時間時量平均容許濃度 STEL	最高容許濃度 CEILING	生物指標 BEIs
2 mg/m <sup>3</sup>	125 mg/m <sup>3</sup>	—	—

個人防護設備：

- 眼睛防護：
  1. 防粉塵及防濺之化學安全護目鏡。
  2. 安全防護面罩。
- 呼吸防護：

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有粉塵及霧滴濾器的動力型空氣淨化式呼吸防護具。</li> <li>2. 連續流動型供氣式呼吸防護具。</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 皮膚及身體防護： <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 手套。</li> <li>2. 連身工作服。</li> <li>3. 圍裙。</li> <li>4. 工作靴。</li> </ol> </li> <li>5. 防護衣：以丁基橡膠、天然橡膠(NR)、氯丁橡膠、類橡膠/聚氯乙稀(PVC)、新丁二烯/苯乙稀-丁二烯橡膠(SBR)、丁二烯橡膠(SBR)、SBR/新丁二烯等材質較佳。</li> </ul>
<p>衛生措施：1. 工作後儘速脫掉污染之衣物，洗淨後才可再穿戴或丟棄，且告知洗衣人員污染物之危害性。2. 處理此物後須徹底洗手。3. 維持作業場清潔。</p>

## 九、物理及化學性質

外觀：無色透明液體	氣味：無味
嗅覺閾值：無味	熔點：318.4℃ (固態鹼)
pH 值：14(1M KOH-6wt%KOH)	沸點/沸點範圍：135 °C (45%)
易燃性 (固體、氣體)：—	閃火點：不燃
分解溫度：—	測試方法：
自燃溫度：—	爆炸界限：—
蒸氣壓：0 mmHg	蒸氣密度：—
密度：1.46(水=1)	溶解度：全溶於水
辛醇/水分配係數 (log Kow)：—	揮發速率：—

## 十、安定性及反應性

<p>安定性：正常狀況下安定</p>
<p>特殊狀況下可能之危害反應：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 與水混合產生熱反應</li> <li>2. 與金屬接觸生成易燃物及爆炸性氫氣</li> <li>3. 與鹵化物成自然性化合物</li> <li>4. 會腐蝕鋁鋅錫，高溫時會腐蝕鋼</li> <li>5. 順丁烯二酸酐、硝基及氣的有機化合物，可能有爆炸性反應。</li> </ol>
<p>應避免之狀況：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 與某些不相容物接觸。</li> <li>2. 避免高溫下操作。</li> </ol>
<p>應避免之物質：1. 金屬。2. 鹵化物。3. 鋁。4. 鋅。5. 錫。</p>

危害分解物：—

## 十一、毒性資料

暴露途徑：皮膚、吸入、食入、眼睛

症狀：

急毒性：

- 吸入：引起鼻、喉及肺的刺激感。
- 眼睛：1. 強腐蝕性，會穿滲而引起刺激感或嚴重灼傷。2. 嚴重可發生潰瘍，甚至失明。
- 皮膚：1. 強腐蝕性，會造成嚴重灼傷及潰瘍。2. 會穿滲深層皮膚。3. 傷後可能數分鐘至數小時才有疼痛感。
- 食入：1. 強烈疼痛。2. 灼傷口、咽喉及食道。3. 引起腹瀉、虛脫甚至死亡。

1. 動物50%致死量LD50, mg/kg, 食入(大鼠)：183 mg/kg

2. 動物50%致死濃度LC50, ppm, 吸入(大鼠)：40 ppm

3. 恕限量 TLV. ACGIH, ppm：2mg/m<sup>3</sup>(LTV-C)

慢毒性或長期毒性：

1. 重覆接觸引起皮膚乾燥、龜裂發炎(皮膚炎)。2. 曾食入者，在12到42年後得食道癌此應與其有關。嚴重熱灼傷部位也引發相似的癌症，可能因組織破壞，形成疤導致癌症而非其本身具致癌性。

## 十二、生態資料

生態毒性：LC50 (魚類)：165000µg/l/24hr (s)

EC50 (水中無脊椎動物)：—

持久性及降解性：—

生物蓄積性：—

土壤中之流動性：氫氧化鉀若排放到土壤，會滲濾到土壤中。

其他不良效應：—

## 十三、廢棄處置方法

廢棄處置方法：

1. 參考政府相關法規處理。
2. 可中和、稀釋後沖入排水溝。
3. 可在核准的焚化爐內將其稀釋氣化。
4. 高濃度時對水中生物有害。

#### 十四、運送資料

聯合國編號：1814
聯合國運輸名稱：氫氧化鉀
運輸危害分類：第 8 類腐蝕性物質
包裝類別：II
海洋污染物（是／否）：否
特殊運送方法及注意事項：—

#### 十五、法規資料

<p>適用法規：</p> <p>勞工安全衛生設施規則、危險物及有害物通識規則、特定化學物質危害預防標準、勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準、道路交通安全規則、事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準</p>
--

#### 十六、其他資料

參考文獻	<p>1. CHEMINFO 資料庫，CCINFO 光碟，9 9 -2</p> <p>2. HAZARDTEXT 資料庫，TOMES PLUS 光碟，V o l . 41 ， 1999</p> <p>3. RTECS 資料庫，TOMES PLUS 光碟，Vol. 41 ， 1999</p> <p>4. HSDB 資料庫，TOMES PLUS 光碟，V o l . 41 ， 1999</p> <p>5. 危害化學物質中文資料庫，環保署</p> <p>6. 勞委會MSDS 資料。</p> <p>7. 工研院工業安全衛生技術發展中心之MSDS 資料。</p>	
製表單位	<p>名稱：義芳化學工業股份有限公司桃園廠</p> <p>地址/電話：桃園縣蘆竹鄉海湖村海湖東路 377 號 TEL：03-3541944</p>	
製表人	職稱：課長	姓名(簽章)：張明立
製表日期	2012/1/10	



## 附錄九 中國大陸氫氣使用安全技術規程 (GB 4962-2005)

### 一、範圍

本標準規定了氣態氫在使用、置換、儲存、壓縮與充(灌)裝、排放過程以及消防與緊急情況處理、安全防護方面的安全技術要求。

本標準適用於氣態氫生產後的地面上各作業場所,不適用於液態氫、水上氣態氫、航空用氫場所及車上供氫系統。氫氣生產中的相應環節可參照執行。

### 二、規範性引用文件

下列文件中的條款通過本標準的引用而成為本標準的條款。凡是注日期的引用文件,其隨後所有的修改單(不包括勘的內容)或修訂版均不適用於本標準。然而,鼓勵根據本部分達成協議的各方研究是一可使用這些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本適用於本標準。

GB 2893 安全色

GB 2894 安全標誌及其使用導則

GB 3836.1 爆炸性氣體環境用電氣設備 第1部分:通用要求

GB 4385 防靜電膠底鞋、導電膠底鞋安全技術條件

GB 7144 氣瓶顏色標記

GB 7231 工業管路的基本識別色、識別符號和安全標識

GB 12014 防靜電工作服

GB 16804 氣瓶警示標籤

GB 50016 建築設計防火規範

GB 50057 建築物防雷設計規範

GB 50058 爆炸和火災危險環境電力裝置設計規範

GB 50177-2005 氫氣站設計規範

SH 3059 石油化工管道設計器材選用通則

SY/T 0019 埋地鋼質管道犧牲陽極陰極保護設計規範

氣瓶安全監察規程(國家質量技術監督局,2001年7月1日實施)

壓力容器安全技術監察規程(原勞動部,1991年1月1日實施)

汽輪發電機運行規程(1999年版)(國家電力公司標準,1999年11月9日實施)

### 三、術語和定義

下列術語和定義適用於本標準。

#### (一)、供氫站 hydrogen filling station

不含氫氣發生設備,以瓶裝和(或)管道供應氫氣的建築物、構築物等場所的統稱。

#### (二)、氫氣罐 gaseous hydrogen receiver

用於儲存氫氣的定壓變容積(濕式儲氣櫃)及變壓定容積容器的統稱(不含氣瓶)。

#### (三)、氫氣充(灌)裝站 gaseous hydrogen filling station

設有灌充氫氣用氫氣壓縮、充(灌)裝設施及其必要的輔助設施的建築物、構築物等場所的統稱。

#### (四)、爆炸危險區域 explosive hazard zone

大氣條件下,氣體、蒸氣或霧、粉塵或纖維狀的可燃物質與空氣形成爆

炸性混合物，該混合物遇火源後，燃燒或爆炸將傳遍整個未燃混合物的區域。

(五)、動火 hot work

可能產生火焰、火花等明火及形成赤熱表面的施工作業。

(六)、高、中、低壓氫氣壓縮機 low/middle/high-pressure gaseous hydrogen compressor

輸出壓力分別為大於等於 10.0 MPa(高壓)，大於等於 1.6 MPa，小於 10.0 MPa(中壓)，小於 1.6 MPa(低壓)的氫氣壓縮機。

(七)、鋼質無縫氣瓶集裝裝置 bundle of seamless steel cylinders

由專用框架固定，採用集氣管將多支氣體鋼瓶接口併聯組合的氣體鋼瓶組單元。

(八)、氫氣匯流排間 hydrogen gas manifolds room

採用氫氣鋼瓶供應氫氣的匯流排組等設施的房間。

(九)、實瓶 full cylinder

充有氣體的無縫鋼製氣瓶，其水容積一般為 40 L、50 L，工作壓力為 12.0 MPa~20.0 MPa。

(十)、空瓶 empty cylinder

無內壓或殘餘壓力小於 0.05 MPa 的氣瓶。

(十一)、濕氫 humid hydrogen

含有一定數量水蒸氣的氫氣，且在使用過程中通過降低溫度或進行等溫壓縮，使之達到飽和並析出水分的氫氣。

(十二)、明火地點 open fire site

有外露的火焰或熾熱表面的固定地點。

(十三)、散發火花地點 sparking site

帶有火星的煙囪或室內外的砂輪、電焊、氣焊(割)、無齒鋸片切割機、衝擊鑽、電鑽等固定地點。

(十四)、排放管 vent pipe

具有一定高度，且能向大氣中直接排放氣體的管道。

(十五)、阻火器 fire arrestor

防止氫氣回火的一種安全設施。

(十六)、長管拖車 tube trailer

在半掛車或集裝框架內裝有若干大型鋼製無縫氣瓶的高壓氣體運輸設備，通常用配管和閥門裝氣瓶連接在一起，並配有安全附件。

(十七)、濕式可燃氣體儲罐 dish flammable gas holder

濕式可燃氣體儲罐又稱水槽式儲氣罐，主要由水槽、塔節、鐘罩和水封等組成。儲氣罐的設計壓力通常小於 4 kPa。

(十八)、重要公共建築 important public building

人員密集、發生火災後傷亡大、損失大、影響大的公共建築。

#### 四、基本要求

##### (一)、建築及選址

###### 1. 供氫站平面布置的防火間距。

電力系統電壓為(35~500) kV 且每台變壓器容量在 10 MVA 以上的室外變、配電站以及工業企業的變壓器總油量大於 5 t 的室外降壓變電站

- 注 1：建築物之間的防火間距按相鄰外牆的最近距離計算。如外牆有凸出的燃燒物件，則應從其凸出部分處緣算起；儲罐、變壓器的防火間距應從距建築物最近的外壁算起。
- 注 2：供氫站與其他建築物相鄰面的外牆均為非燃燒體，且無門、窗、洞及無外露的燃燒體屋檐，其防火間距可按本表減少 25%。
- 注 3：固定容積可燃氣體儲罐的總容積，按儲罐幾何容積（ $\text{m}^3$ ）和設計儲存壓力（絕對壓力， $10^5 \text{ Pa}$ ）的乘積計算，並按本表濕式可燃氣體儲罐的要求執行。
- 注 4：固定容積氧氣儲罐的總容積，按儲罐幾何容積（ $\text{m}^3$ ）和設計儲存壓力（絕對壓力， $10^5 \text{ Pa}$ ）的乘積計算，並按本表濕式可燃氣體儲罐的要求執行。
- 注 5：液氧儲罐的總容積，應將儲罐容積按  $1 \text{ m}^3$  液氧折合成  $800 \text{ m}^3$  標準狀態氣氧計算，並按本表濕式氧氣儲罐的要求執行。
- 注 6：當甲、乙液體和丙類液體罐佈置在同一儲罐區時，其總儲量可按  $1 \text{ m}^3$  甲、乙類液體相當於  $5 \text{ m}^3$  丙類液體折算。
- 注 7：供氫站與架空電力線的防火間距，不應小於電線桿高度的 1.5 倍。
2. 氫氣罐或罐區之間的防火間距，應符合 GB 50177-2005 規定，具體如下：
- (1) 濕式氫氣罐(櫃)之間的防火間距，不應小於相鄰較大罐的半徑；
  - (2) 臥式氫氣罐之間的防火間距，不應小於相鄰較大罐直徑的 2/3；立式罐之間、球形罐之間的防火間距不應小於相鄰較大罐的直徑；
  - (3) 臥式、立式、球形罐與濕式罐(櫃)之間的防火間距不應小於相鄰較大罐的直徑；
  - (4) 一組臥式、立式或球形罐的總容積不應超過  $30,000 \text{ m}^3$ 。罐組間的防火間距中，臥式氫氣罐不應小於相鄰較大罐高度的一半；立式、球形罐不應小於相鄰較大罐的直徑，並不應小於  $10 \text{ m}$ 。
3. 供氫站、氫氣罐應為獨立的建(構)築物；宜佈置在工廠常年最小頻率的下風側，並遠離有明火或散發火花的地點；不得佈置在人員密集地段和交通要道鄰近處；宜設置不燃燒體的實體圍牆。
4. 氫氣充(灌)裝站、供氫站、實瓶間、空瓶間宜佈置在廠房的邊緣部分。
5. 氫氣使用區域應通風良好。保證空氣中氫氣最高含量不超過 1% (體積)。採用機械通風的建築物，進風口應設在建築物下方，排風口設在上方。
6. 建築物頂內平面應平整，防止氫氣在頂部凹處積聚。建築物頂部或外牆的上部應設氣窗或排氣孔。排氣孔應設在最高處，並朝向安全地帶。
7. 氫氣有可能積聚處或氫氣濃度可能增加處宜設置固定式可燃氣體檢測報警儀，可燃氣體檢測報警儀應設在監測點(釋放源)上方或廠房頂端，其安裝高度距釋放源  $0.5 \text{ m} \sim 2 \text{ m}$  且周圍留有不小於  $0.3 \text{ m}$  的淨空，以便對氫氣濃度進行監測。可燃氣體檢測報警儀的有效覆

蓋水平平面半徑，室內宜為 7.5 m，室外宜為 15 m。

8. 氫氣罐（充）裝站、供氫站、實瓶間、空瓶間周邊至少 10 m 內不得有明火。
9. 禁止將氫氣系統內的氫氣排放在建築物內部。
10. 氫氣儲存容器應與氧氣、壓縮空氣、鹵素、氧化劑及其他助燃性氣瓶隔離存放。
11. 供氫站的耐火等級不應低於二級，應為獨立的單層建築，不得在建築物的地下室、半地下室設供氫站，並應按 GB 50016 的規定對站內的爆炸危險場所設置洩壓設施。當實瓶數量不超過 60 瓶或占地面積不超過 500 m<sup>2</sup> 時，可與耐火等級不低於二級的用氫廠房或與耐火等級不低於二級的非明火作業的丁、戊類廠房毗連，但毗連的牆應為無門、窗及洞的防火牆。
12. 供氫站、氫氣罐、充（灌）裝站和匯流排間應按 GB 50057 和 GB 50058 的要求設置防雷接地設施。防雷裝置應每年檢測一次。所有防雷防靜電接地裝置應定期檢測接地電阻每年至少檢測一次，對爆炸危險環境場所的防雷裝置宜每半年檢測一次。
13. 供氫站、氫氣罐、充（灌）裝站、匯流排間和裝卸平台地面應做到平整、耐磨、不發火花。
14. 供氫站、充（灌）裝站內需要吊裝設備或氫氣的充（灌）裝、採用鋼質無縫氣瓶集裝裝置，宜設起吊設施，起吊設施的起吊重量應按吊裝件的最大荷重確定；在爆炸危險區域內的起吊設施應採用防爆設施。
15. 充（灌）裝站、匯流排間、空瓶和實瓶的佈置應符合下列要求：
  - (1) 匯流排間、空瓶和實瓶應分開放置。若空瓶和實瓶儲存在封閉或半敞開式建築物內，匯流排間應通過門洞與空瓶間或實瓶間相通，但各自應有獨立的出入口。
  - (2) 當實瓶數量不超過 60 瓶時，空瓶、實瓶和匯流排可佈置在同一房間內，但實瓶、空瓶應分開存放，且實瓶與空瓶之間間距不小於 0.3 m。空（實）瓶與匯流排之間間距不宜小於 2 m。
  - (3) 匯流排間、空瓶間和實瓶間不應與儀表室、配電室和生活間直接相通，應用無門、窗、洞的防火牆隔開。如需連通，應設雙門斗間，門採用自動關閉（如彈簧門），且耐火極限不低於 0.9 h。
  - (4) 空瓶間和實瓶間應有支架、柵欄等防止倒瓶的設施。
  - (5) 匯流排間、空瓶間和實瓶間內通道的淨寬應根據氣瓶的搬運方式確定，一般不宜小於 1.5 m。
  - (6) 匯流排間應儘量寬敞。匯流排應靠牆佈置，並設固定氣瓶的框架。
  - (7) 實瓶間應有遮陽措施，防止陽光直射氣瓶。
  - (8) 空瓶間和實瓶間宜設氣瓶裝卸平台。平台的高度應根據氣瓶裝卸形式確定。平台上的雨篷和支撐應採用阻燃材料。
  - (9) 氫氣充（灌）裝間不應存放實瓶，空瓶數量不應超過匯流排待充瓶位的數量。
16. 按 GB 2894 的規定在供氫站、氫氣罐、充（灌）裝站和匯流排間周圍設置安全標識。

17. 任何場所的民用輕氣球不得使用氫氣做為充裝氣體。

(二)、作業人員

1. 作業人員應經過崗位培訓、考試合格後持證上崗。特種作業人員應經過專業培訓，持有特種作業資格證，並在有效期內持證上崗。
2. 作業人員上崗時應穿符合 GB 12014 規定的阻燃、防靜電工作服和符合 GB 4385 規定的防靜電鞋。工作服宜上、下身分開，容易脫卸。嚴禁在爆炸危險區域穿脫衣服、帽子或類似物。嚴禁攜帶火種、非防爆電子設備進入爆炸危險區域。
3. 作業時應使用不產生火花的工具。
4. 嚴禁在禁火區域內吸煙、使用明火。
5. 作業人員應無色盲、無妨礙操作的疾病和其他生理缺陷，且應避免服用某些藥物後影響操作或判斷力的作業。

(三)、氫氣系統

1. 氫氣系統氫氣質量應滿足其安全使用要求。
2. 氫氣系統停運後，應用盲板或其他有效隔離措施隔斷與運行設備的聯繫，應使用符合安全要求的惰性氣體（其氧氣體積分數不得超過 3%）進行置換吹掃。動火作業應實行安全部門主管書面審批制度。氫氣系統動火檢修，應保證系統內部和動火區域的氫氣體積分數最高含量不超過 0.4%。檢修或檢驗設施應完好可靠，個人防護品穿戴符合要求。防止明火和其他激發能源進入禁火區域，禁止使用電爐、電鑽、火爐、噴燈等一切產生明火、高溫的工具與熱物體。動火檢修應選用不產生火花的工具。置換吹掃應按照第 5 章執行。
3. 首次使用和大修後的氫氣系統應進行耐壓、清洗（吹掃）和氣密試驗，符合要求後方可投入使用。鋼質無縫氣瓶集裝裝置組裝後應進行氣密性試驗，其試驗壓力為氣瓶的公稱工作壓力，應以無洩漏點為合格，試驗介質應為氫氣或無油空氣。
4. 氫氣系統中氫氣中氧的體積分數不得超過 0.5%，氫氣系統應設有氧含量小於 3%的惰性氣體置換吹掃設施。
5. 氫氣系統設備運行時，禁止敲擊、帶壓維修和緊固，不得超壓。禁止處於負壓狀態。
6. 氫氣系統檢修或檢驗作業應制定作業方案及隔離、置換、通風等安全防護措施，並經過設備、安全等相關部門審批。未經安全部門主管書面審批，作業人員不得擅自維修或拆開氫氣設備、管道系統上的安全保護裝置。
7. 氫氣充（灌）裝系統應設置超壓洩放安全閥、氫氣回流閥、分組切斷閥、吹掃放空閥、壓力顯示報警儀表，並設有氣瓶內餘氣與氧含量測試儀表、抽真空裝置等。
8. 氫氣系統可根據工藝需要設置氣體過濾裝置、在線氫氣洩漏報警儀表、在線氫氣純度儀表、在線氫氣濕度儀表等。

(四)、設備及管道

1. 氫氣設備應嚴防洩漏，所用的儀表及閥門等零部件密封應確保良好，定期檢查，對設備發生氫氣洩漏的部位應及時處理。
2. 對氫氣設備、管道和閥門等連接點進行漏氣檢查時，應使用中性肥皂水或攜帶式可燃氣體檢測報警儀，禁止使用明火進行漏氣檢查。

攜帶式可燃氣體檢測報警儀應定期校驗。

3. 爆炸危險區域內電氣設備符合 GB 3836.1 的要求，防爆等級應為 II 類，C 級，T<sub>1</sub> 組；因需要在爆炸危險區域使用非防爆設備時應採取防爆措施。
4. 氫氣管道應採用無縫金屬管道，禁止採用鑄鐵管道，管道的連接應採用焊接或其他有效防止氫氣洩漏的連接方式。管道應採用密封性能好的閥門和附件，管道上的閥門宜採用球閥、截止閥。閥門材料的選擇應符合 GB 50177—2005 中表 12.0.3 的規定，管道上法蘭、墊片的選擇應符合 GB 50177—2005 中表 12.0.4 的規定。管道之間不宜採用螺紋密封連接，氫氣管道與附件連接的密封墊，應採用不銹鋼、有色金屬、聚四氟乙烯或氟橡膠材料，禁止用生料帶或其他絕緣材料作為連接密封手段。
5. 氫氣管道應設置分析取樣口、吹掃口，其位置應能滿足氫氣管道內氣體取樣、吹掃、置換要求；最高點應設置排放管，並在管口處設阻火器；濕氫管道上最低點應設排水裝置。
6. 氫氣管道宜採用架空敷設，其支架應為非燃燒體。架空管道不應與電纜、導電線路、高溫管線敷設在同一支架上。氫氣管道與氧氣管道、其他可燃氣體、可燃液體的管道共架敷設時，氫氣管道應與上述管道之間宜用公用工程管道隔開，或保持不小於 250 mm 的淨距。分層敷設時，氫氣管道應位於上方。
7. 氫氣管道應避免穿過地溝、下水道及鐵路汽車道路等，應穿過時應設套管。氫氣管道不得穿過生活間、辦公室、配電室、儀表室、樓梯間和其他不使用氫氣的房間，不宜穿過吊頂、技術（夾）層，應穿過吊頂、技術（夾）層時應採取安全措施。氫氣管道穿過牆壁或樓板時應敷設在套管內，套管內的管段不應有焊縫，氫氣管道穿越處孔洞應用阻燃材料封堵。
8. 室內氫氣管道不應敷設在地溝中或直接埋地，室外地溝敷設的管道，應有防止氫氣洩漏、積聚或竄入其他地溝的措施。埋地敷設的氫氣管道埋深不宜小於 0.7 m。濕氫管道應敷設在冰凍層以下。
9. 在氫氣管道與其相連的裝置、設備之間應安裝止回閥，界區間閥門宜設置有效隔離措施，防止來自裝置、設備的外部火焰回火至氫氣系統。氫氣作焊接、切割、燃料和保護氣等使用時，每台（組）用氫設備的支管上應設阻火器。
10. 氫氣管道、閥門及水封等出現凍結時，作業人員應使用熱水或蒸氣加熱進行解凍，且應帶面罩進行操作。禁止使用明火烘烤或使用錘子等工具敲擊。
11. 室內外架空或埋地敷設的氫氣管道和匯流排及其連接的法蘭間宜互相跨接和接地。氫氣設備與管道上的法蘭間的跨接電阻應小於 0.03Ω。
12. 與氫氣相關的所有電氣設備應有防靜電接地裝置，應定期檢測接地電阻，每年至少檢測一次。
13. 根據 GB 50177—2005 及 SY/T 0019，氫氣管道的施工及驗收符合下列規定：
  - (1) 接觸氫氣的表面徹底去除毛刺、焊渣、鐵銹和污垢等；

- (2) 碳鋼管的焊接宜採用氬弧焊作底焊；不銹鋼應採氬弧焊；
  - (3) 氬氣管道、閘門、管件等在安裝過程中及安裝採用嚴格措施防止焊渣、鐵銹及可燃物等進入或遺留在管內；
  - (4) 氬氣管道的試驗介質和試驗壓力符合 GB 50177—2005 表 12.0.14 的規定；
  - (5) 氬氣管道強度試驗合格後，使用不含油的空氣或惰性氣體，以不小於 20 m/s 的流速進行吹掃，直至出口無鐵銹、無應土及其他污垢為合格。
  - (6) 長距離埋地輸送管道設計、安裝時宜做電化學保護措施，吹掃前宜做通球處理。電化學保護宜每年檢測一次並存檔備案。
14. 氬氣充（灌）裝台宜設兩組或兩組以上鋼質無縫氣瓶集裝裝置，一組供氣，一組倒換氣瓶。
  15. 加氬反應器及其管道因在高溫高壓環境下使用氬氣，加氬反應器及其管道的材質應符合 SH 3059 的要求。加氬反應器運行期間作業人員應嚴格執行工藝操作規程，確保反應溫度和壓力平穩，避免出現飛溫和超壓過程，定期進行安全檢查，包括外觀檢查、定點測壁厚、定時測壁溫、腐蝕介質成分分析；開、停工過程前應編制合理的開、停工方案，停工時增加適當的脫氬過程，避免緊急洩壓、降溫；採取氬氣氣封、對反應器內壁採取無損檢測、內壁宏觀檢查等方法，重點檢查焊縫區、堆焊層及螺栓、螺母、墊圈和容器內外支承結構，必要時採取氣密或水壓試驗等措施以確保加氬反應器的使用安全。
  16. 冶金行業退火爐應採用可編程控制器 PLC 和智能調節器對退火全過程實行全自動控制操作，並對加熱罩和爐罩內的超溫、爐座強對流風機的過流、過載、過熱、冷卻罩的冷卻風機的過流、過載、爐內的氣體置換和退火過程中內的保護氣氛等進行監控。在供給的保護氣體符合安全使用條件下，應確保退火爐的密閉性和保護氣體供給的連續性及其壓力。在退火過程中，退火爐內的氣體正常工作壓力應保持微正壓（絕對壓力 105 kPa，略高於一個標準大氣壓），應設置壓力報警系統。運行期間及開、停工過程應嚴格執行操作規程，開、停工及檢修過程應制定相關的計劃或方案，以確保退火爐的使用安全。退火爐應設保護性氬氣淨化設備。
  17. 電廠（站）的氬冷發電機的技术求可參照《汽輪發電機運行規程》執行。其他技術要求應按電力行業有關規定執行。
  18. 按照 GB 7231、GB 2893 和 GB 2894 的規定塗安全色，並設安全標誌和標識。

#### (五)、置換

1. 氬氣系統被置換的設備、管道等應與系統進行可靠隔絕。
2. 採用惰性氣體置換法應符合下列要求：
  - (1) 惰性氣體中氧的體積分數不得超過 3%。
  - (2) 置換應徹底，防止死角末端殘留余氬。
  - (3) 氬氣系統內氧或氬的含量應至少連續 2 次分析合格，如氬氣系統內氧的體積分數小於或等於 0.5%，氬的體積分數小於或等於 0.4

%時置換結束。

3. 採用注水排氣法確符合下列要求：
  - (1) 應保證設備、管道內被水注滿，所有氫氣被全部排出。
  - (2) 水注滿在設備頂部最高處溢流口應有水溢出，並持續一段時間。
4. 鋼質無縫氣瓶集裝置可採用下列方法置換：
  - (1) 壓力置換法。向設備或系統惰性氣體，充氣壓強不小於 0.2 MPa (表壓)，然後放出，重覆多次後再用氫氣置換多次，然後取樣化驗，合格後通氫氣。也可用惰性氣體直接進行置換。
  - (2) 抽空置換法。適用於能夠承受負壓的設備或系統。該方法先用惰性氣體對設備系統充壓至 0.2 MPa (表壓)，再抽空排掉設備或系統內氣體。重覆充氣—抽空步驟 2~5 次，然後取樣分析，合格後再通氫氣。
5. 若儲存容器是底部設置進(排)氣管，從底部置換時，每次充入一定量惰性氣體後應停留 2 h~3 h 充分混合後排放，至到分析檢驗合格為止。
6. 置換吹掃後的氣體應通過排放管排放。

#### (六)、儲存

1. 氫氣儲存容器應符合《壓力容器安全技術監察規程》。氫氣囊不宜做為氫氣儲存容器。
2. 氫氣儲存容器應設置如下安全設施：
  - (1) 應設有安全洩壓裝置，如安全閥等。
  - (2) 氫氣儲存容器頂部最高點宜設氫氣排放管。
  - (3) 應設壓力監測儀表。
  - (4) 應設惰性氣體吹掃置換接口。惰性氣體和氫氣管線連接部位宜設計成兩截一放閥或安裝“8 字”盲環板。
  - (5) 氫氣儲存容器底部低點宜設排污口。
  - (6) 氫氣儲存容器周圍環境溫度不應超過 50 °C，儲存場所及週邊應設計安裝消防水系統。
3. 氫氣瓶(集裝瓶)
  - (1) 氫氣實瓶和空瓶應分別存放在位於裝置邊緣的倉間內，並應遠離明火或操作溫度等於或高於自燃點的設備。
  - (2) 氫氣瓶的設計、製造和檢驗應符合《氣瓶安全監察規程》的要求。
  - (3) 氫氣瓶根據 GB 7144 應為淡綠色，20 MPa 氣瓶應有淡黃色色環，並用紅漆塗有“氫氣”字樣和充裝單位名稱。應經常保持漆色和字樣鮮明。
  - (4) 多層建築內使用氫氣瓶，除生產特殊需要外，一般宜佈置在頂層外牆處。
  - (5) 因生產需要在室內(現場)使用氫氣瓶，其數量不得超過 5 瓶，室內(現場)的通風條件符合 4.1.5 要求，且佈置符合如下要求：
    - a. 氫氣瓶與盛有易燃易爆、可燃物質及氧化性氣體的容器和氣瓶的間距不應小於 8 m；
    - b. 與明火或普通電氣設備的間距不應小於 10 m；
    - c. 與空調裝置、空氣壓縮機和通風設備(非防爆)等吸風口的間



距不應小於 20 m；

d. 與其他可燃性氣體儲存地點的間距不應小於 20 m。

- (6) 氫氣瓶瓶體在運輸中瓶口應設有瓶帽（有防護罩的氣體除外）、防震圈（集裝氣瓶除外）等其他防碰撞措施，以防止損壞閥門。
- (7) 氫氣瓶搬運中應輕拿輕放，不得摔滾，嚴禁撞擊和強烈震動。不得從車上往下滾卸，氫氣瓶運輸中應嚴格固定。
- (8) 儲存和使用氫氣瓶的場所應通風良好。不得靠近火源、熱源及在太陽下曝曬。不得與強酸、強鹼及氧化等化學品存放在同一庫內。氫氣瓶與氧氣瓶、氯氣瓶、氟氣瓶等應隔離存放。
- (9) 氫氣瓶使用應裝減壓器，減壓器接口和管路接口處的螺紋，旋入時應不少於五牙。
- (10) 氫氣瓶使用時應採用 4.1.15 d) 規定的方式固定，防止傾倒。氣瓶、管路、閥門和接頭應固定，不得鬆動位移，且管路和閥門應有防止碰撞的防護裝置。
- (11) 氣瓶嘴凍結時應先將閥門關閉，後用溫水解凍。
- (12) 不得將氣瓶內的氣體用盡，瓶內至少應保留 0.05 MPa 以上的壓力，以防空氣進入氣瓶。
- (13) 氣瓶閥門如有損壞，應由相關資質單位檢修。
- (14) 開啟氣瓶閥門時，作業人員應站在閥口的側後方，緩慢開啟氣瓶閥門。
- (15) 根據《氣瓶安全監察規程》的規定，氫氣瓶應定期（每 3 年）進行檢驗，氣瓶上應有檢驗鋼印及檢驗色標。
- (16) 氣瓶集裝裝置應有防止管路和閥門受到碰撞的防護裝置；氣瓶、管路、閥門和接頭應經常維修保養，不得鬆動移位及洩漏。
- (17) 氫氣瓶集裝裝置的匯流總管和支管均宜採用優質紫銅管或不銹鋼鋼管。為保證焊縫的嚴密性，紫銅管及管件的焊接採用銀釩焊，焊接完成後對管道、管件、焊縫進行消除應力及軟化退火處理。集裝裝置的匯流總管和支管使用前應經水壓試驗合格。
- (18) 長管拖車的每支鋼瓶上應裝配安全洩壓裝置，鋼瓶的閥門和安全洩壓裝置或其保護結構應能夠承受本身兩倍重量的慣性力。鋼瓶長度超過 1.65 m，並且直徑超過 244 mm 應在鋼瓶兩端安裝易熔合金加爆破片或單獨爆破片式的安全洩壓裝置，直徑為 559 mm 或更大的鋼瓶宜在鋼瓶兩端安裝單獨爆破片式的安全洩壓裝置；在充卸裝口側，每台鋼瓶封頭端設置的閥門應處於常開狀。安全洩壓裝置的排放口應垂直向上，並且對氣體的排放無任何阻擋；長管拖車的每支鋼瓶應在一端固定，另一端有允許鋼瓶熱脹冷縮的措施；每支鋼瓶應裝配單獨的瓶閥，從瓶閥上引出的支管應有足夠的韌性和撓度，以防止對閥門造成破壞。
- (19) 長管拖車鋼瓶應定期檢驗，使用前應檢查製造和檢驗日期或符號，不得超量充（灌）裝。長管拖車應按 GB 2894 規定設置安全標誌，並隨車攜帶氫氣安全技術周知卡。長管拖車鋼瓶使用時應有防止鋼和接頭脫落甩動措施，拖車應有防止自行移動的固定措施。長管拖車停放充（灌）裝期間應接地。

- (20) 長管拖車的匯流總管應安裝壓力表和溫度表。鋼瓶連接宜採用金屬軟管，應定期檢查。拖車上應配置滅火器。使用時應避免長管拖車上壓差大的鋼瓶之間通過匯流管間進行均壓，防止對長管氣瓶產生多次數的交變應力。

#### 4. 氫氣罐

- (1) 氫氣罐應安裝放空閥、壓力表、安全閥，壓力表每半年校驗一次，安全閥一般應每年至少校驗一次，確保可靠。立式或臥式變壓定容積氫氣罐安全閥宜設置在容器便於操作位置，且宜安裝兩台相同洩放量且可併聯或切換的安全閥，以確保安全閥檢驗時不影響罐內的氫氣使用。
- (2) 氫氣罐放空閥、安全閥和置換排放管道系統均應設排放管，並應連接裝有阻火器或有蒸氣稀釋、氫氣密封、末端設置火炬燃燒的總排放管。惰性氣體吹掃置換接口應參照 6.2.4 要求執行。
- (3) 氫氣罐應採用承载力強的鋼筋混凝土基礎，其載荷應考慮做水壓實驗的水容積質量。氫氣罐的地面應不低於相鄰散發可燃氣體、可燃蒸氣的甲、乙類生產單元的地面，或設高度不低於 1 m 的實體圍牆予以隔離。
- (4) 氫氣罐新安裝（出廠已超過一年時間）或大修後應進行壓強和氣密試驗，試驗合格後方能使用。壓強試驗應按最高工作壓力 1.5 倍進行水壓試驗；氣密試驗應按最高工作壓力試驗，以無任何洩漏為合格。
- (5) 罐區應設有防撞圍牆或圍欄，並設置明顯的禁火標誌。
- (6) 氫氣罐應安裝防雷裝置。防雷裝置應每年一次，並建立設備檔案。
- (7) 氫氣罐檢修或檢驗作業應參照 4.3.2、4.3.6 要求執行。進入罐內作業應佩戴氧含量報警儀，同時應有人監護和其他有效的安全防護措施。
- (8) 氫氣罐應有靜電接地設施。所有防靜電設施應定期檢查、維修，並建立設備檔案。

#### 5. 氫氣櫃

- (1) 氫氣櫃在工程收時應進行試漏檢查，防止洩漏。
- (2) 氫氣櫃除工程驗收時進行試漏檢查外，運行過程中也應加強檢查，防止水槽壁、套筒及鐘罩漏水漏氣。
- (3) 氫氣櫃鐘罩高度位置應有標尺顯示高低（儲量），每半小時檢查一次，並設置超高、過低位置報警裝置。
- (4) 氫氣櫃首次進氣或大修後進氣前，應將鐘罩內的空氣全部排淨。
- (5) 導輪導軌應定期加入潤滑油，以確保套筒和鐘罩升降靈活。
- (6) 氫氣櫃水封應保證有足夠的水位，防止氫氣櫃因缺水而逸出氣體。寒冷地區應有防止水封結冰的措施。
- (7) 氫氣櫃正常使用時應保持一定的氫氣量，應防止儲氣過量或抽空。
- (8) 氫氣櫃應安裝在避雷保護區域內，應安裝安全閥、壓力超高自動排放裝置等安全設施，並應設置自動切斷裝置以確保氫氣櫃洩漏時能自動切斷氣源。

- (9) 進出氫氣櫃的氫氣管道上應設置安全水封。
- (10) 氫氣櫃宜設置自動水霧噴淋系統。
- (11) 進入氫氣櫃檢修應排淨水封內的水，排水前應打開鐘罩頂部的排空閥，其他檢修作業可參照氫氣罐 6.4.6 的要求。氫氣櫃靜電接地設施可參照氫氣罐 6.4.7 的要求。

## (七)、壓縮與充（灌）裝

### 1. 壓縮

- (1) 壓縮機應按照 GB 50177—2005 要求設安全防護裝置。
- (2) 使用旋轉式壓縮機（水環泵）壓縮氫氣
  - a. 啟動前應檢查泵和電機的軸承潤滑情況，並確保氣源充足方可啟動；
  - b. 水環泵啟動前和運行中，應檢查氣水分離器的水位，不得低於標準線。氣水分離器內的積水應定時排放，不得隨意開啟排水閥。寒冷地區使用水環泵應防止分離器結冰；
  - c. 啟動前應先用惰性氣體置換系統內的空氣，再用氫氣置換惰性氣體；
  - d. 電機啟動後，應隨時檢查氣體進出口的壓力變化，並及時調整到所需要的壓力；
  - e. 電機、軸承和水環泵應定期檢，潤滑部件應定期加潤滑劑，確保壓縮機各部件的潤滑和密封。
- (3) 使用活塞式壓縮機壓縮氫氣
  - a. 啟動前或大修後，應檢查電氣設備的絕緣和接線情況，防止短路和因電路接錯而造成壓縮機的反向旋轉；
  - b. 啟動前應用惰性氣體吹掃壓縮機和管道系統，檢驗合格後再開氫氣閥，關閉惰性氣體閥，啟動壓縮機；
  - c. 啟動前機組應先通入冷卻水，並檢查潤滑油是否純淨，油位是否適當；
  - d. 應定時檢查壓縮機所有工藝指標如各級氣缸進、排氣壓力及溫度，冷卻水和潤滑油壓力及溫度以及軸承溫度，不得超過工藝規定值。運行中遇冷卻水中斷應立即停車；
  - e. 壓縮機各段安全閥應定期校驗，安全閥的設定起跳壓力宜設定在正常工作壓力的 1.05~1.1 倍；
  - f. 壓縮機設備故障停車後應將設備隔離，用惰性氣體將系統內的氫氣置換完全（氫的體積分數小於等於 0.4%）；
  - g. 不得將氫氣排放在室內，應通過排放管排入大氣；
  - h. 壓縮機的壓力表等安全設備，應半年校驗一次；
  - i. 應確保壓縮機曲軸箱密封環材料和安裝質量，以防止氣體漏入曲軸箱；應每年對密封環進行更換，防止活塞桿與密封環之間因摩擦產生洩漏。此外，宜在曲軸箱填料函回油管中部增設一個小回油管，以防止回油管發生氣阻導致氣體竄入曲軸箱；
  - j. 曲軸箱透氣帽處宜設置可燃氣體報警儀或定期從曲軸箱內取氣體樣本分析，防止可燃氣體濃度達到爆炸極限。

- (4) 使用膜式壓縮機壓縮氫氣
  - a. 應設置膜片損壞報警裝置及連鎖停機；
  - b. 應設置各級壓縮氣出口溫度高限報警裝置；
  - c. 應設置冷卻水溫度及流量報警裝置；
  - d. 其他措施可參照活塞式壓縮機使用要求。

## 2. 充（灌）裝

- (1) 氫氣充（灌）裝的匯流排數量應根據氣源的多少和壓縮機的排氣能力設置，最少 2 排（組），每排 8~24 個瓶位。
- (2) 氫氣充（灌）裝時應先對氣瓶進行確認，嚴禁氫氣瓶與氧氣瓶、氮氣瓶或其他氣瓶混淆。
- (3) 應採用防錯裝接頭充（灌）裝夾具，防止可燃氣體與助燃氣體混裝。
- (4) 充（灌）裝前應嚴格檢查瓶體、閥門等處有無損壞。
- (5) 充（灌）裝時氣瓶應用鏈卡等措施固定，防止傾倒。
- (6) 應設置充（灌）裝超壓報警裝置，保證氣瓶充（灌）裝壓力不超過氣瓶允許的工作壓力。
- (7) 為限制充氣速度，同批充（灌）裝氣瓶數量不得隨意減少，也不得在充（灌）裝過程中插入空瓶充（灌）裝，氫氣充氣速度不得高於 15 m/s。
- (8) 氫氣與氧氣不應在同一充（灌）裝台內進行充（灌）裝。
- (9) 充氣管道應和其連接部件牢靠連接，與氣瓶嘴應緊密連接，防止氣體洩漏。
- (10) 充氣導管宜為紫銅管或金屬軟管。充氣導管若為紫銅管，使用前應經過退火處理，每使用三個月應退火一次。使用過程中紫銅管出現起皺現象應及時更換。
- (11) 充（灌）裝時應緩慢開啟匯流排閥門，防止氣體產生劇烈衝擊。在充（灌）裝過程中應檢查氣瓶溫度，以判斷氣瓶進氣流量的大小，並可檢查氣瓶的充（灌）氣導管或閥門是否有故障。
- (12) 空瓶與實瓶應嚴格分開存放。對不合格或未充（灌）入氫氣的氣瓶應另設區域放置，並設置醒目標識，防止誤裝。
- (13) 經常檢查充（灌）裝壓力，在高壓時應特別注意壓縮機各級溫度壓力是否正常。
- (14) 氣瓶充（灌）裝結束應配戴限瓶帽，防震圈（集裝氣瓶除外），應在充（灌）裝後的氣瓶（或集裝架）上黏貼符合 GB 16804《氣瓶警示標識》和充（灌）裝標識。
- (15) 有下列情況之一的氣瓶不應充（灌）裝：瓶體漆色、字樣模糊、不易識別、無有效標識；安全附件不全（包括瓶帽、膠圈等）或瓶體、閥門有明顯損壞；瓶內氣體餘壓低於 0.05 MPa；按規定超過檢驗年限或鋼印標記不清；空瓶未經檢驗或瓶內氣體未經置換和抽空。

## (八)、排放

1. 氫氣排放管應採用金屬材，不得使用塑膠管或橡皮管。
2. 氫氣排放管應設阻火器，阻火器應設在管口處。

3. 氫氣排放管垂直設置。當排放含飽和水蒸氣的氫氣(產生兩相流)時，在排放管內應引入一定量的惰性氣體或設置靜電消除裝置，保證排放安全。
4. 室內排放管的出口應高出屋頂 2 m 以上。室外設備的排放管應高於附近有人員作業的最高設備 2 m 以上。
5. 排放管應設靜電接地，並在避雷保護範圍之內。
6. 排放管應有防止空氣回流的措施。
7. 排放管應有防止雨雪侵入、水氣凝集、凍結和外來異物堵塞的措施。

#### (九)、消防與緊急情況處理

1. 氫氣發生大量洩漏或積聚時，應採取以下措施：
  - (1) 應及時切斷氣源，並迅速撤離洩漏污染區人員至上風處。
  - (2) 對洩漏污染區進行通風，對已洩漏的氫氣進行稀釋，若不能及時切斷時，應採用蒸氣進行稀釋，防止氫氣積聚形成爆炸性氣體混合物。
  - (3) 若洩漏發生在室內，宜使用吸風系統或將洩漏的氣瓶移至室外，以避免洩漏的氫氣四處擴散。
2. 氫氣發生洩漏並著火時應採取以下措施：
  - (1) 應及時切斷氣源；若不能立即切斷氣源，不得熄滅正在燃燒的氣體，並用水強制冷卻著火設備，此外，氫氣系統應保持正壓狀態，防止氫氣系統回火發生。
  - (2) 採取措施，防止火災擴大，如採用大量消防水霧噴射其他引燃物質和相鄰設備；如有可能，可將燃燒設備從火場移至空曠處。
  - (3) 氫火焰肉眼不易察覺，消防人員應佩戴自給式呼吸器，穿防靜電服進入現場，注意防止外露皮膚燒傷。
3. 消防安全措施：供氫站應按 GB 50016 規定，在保護範圍內設置消防栓，配備水帶和水槍，並應根據需要配備乾粉、二氧化碳等輕便滅火器材或氫氣、蒸氣滅火系統。
4. 高濃度氫氣會使人窒息，應及時將窒息人員移至良好通風處，進行人工呼吸，並迅速就醫。

## 附錄十 氫氣偵測器設置

適當的偵測器位置可以參考 IEC61779-6 規範。其考慮要點如下：

- (1) 為了選擇正確的偵測器位置，了解系統的漏氣流動方向是重要的參考依據，因為氫氣密度比空氣小所以洩漏時會快速上升。
- (2) 因此偵測器位置需置於可能洩漏處。注意氣流可能帶離 H<sub>2</sub> 氣致使偵測器失效或無法得到正確濃度。
- (3) 環境溫度亦可能影響偵測結果，熱空氣密度低有可能形成熱阻層，會降低 H<sub>2</sub> 擴散速度，造成偵測器反應時間的延遲。
- (4) 如液氫雖然密度高於空氣洩漏會累積在地面上，但其回溫後密度下降終會上升至高處。
- (5) 氫氣稀釋效應，下會造成偵測器誤判，因此偵測器距離洩漏點越遠，其濃度稀釋效果越顯著，因此偵測器需有足夠數目與在正確選擇放置地點。

## 附錄十一 小規模氫氣洩漏緊急應變處理

### (一) 基本個人裝備

1. 在被允許操作氫氣和/或附屬設備之前，工作人員必須對氫氣的性質和安全防範非常熟悉。
2. 操作氫氣容器時，宜佩帶安全眼鏡、安全鞋和皮手套。
3. 在緊急情況下，應當穿防火衣並戴手套。建議使用正壓自攜式呼吸器，不要進入在已達可燃範圍的場所內。

### (二) 急救

應當馬上把缺氧的人轉移到有正常空氣的區域。為防止救援人員窒息，要求配備自給式呼吸器。如果受害人呼吸停止，應當進行人工呼吸和供氧。暴露於液態氫氣或低溫氫氣蒸氣會導致大面積組織損傷或凍傷，可用大量溫水（41–46 °C）沖洗患處，以減輕凍傷，且應鬆開任何可能拘束凍傷區域血液循環的衣服，不要加熱，因此可能導致組織損傷，不要摩擦凍傷的皮膚，應用消過毒的防護服或者面積較大的床單蓋住傷處，以防止進一步的傷害，應迅速尋求醫生的幫助。

### (三) 滅火

熱、明火、電氣火花和靜電很容易點燃氫氣。氫氣燃燒時火焰是淡藍色，幾乎不可見。大多數氫氣的火焰具有火炬或噴射狀的特徵，火焰起源於氫氣洩漏處，如果設施的任何部分被懷疑有洩漏，探測氫氣火焰可把掃帚上下晃動，謹慎的接近洩漏源察覺。氫氣火在滅火的最有效的辦法是切斷氣源。如果為了進入可以切斷氫氣氣流的處所而有必要滅火，可使用乾粉滅火器。惟如火滅了，而氣源沒有切斷的話，可能形成爆炸性混合物，此等如果有熱的表面或其它著火源重新點燃會造成比火災更嚴重的危害。通常的滅火方式是防止火勢蔓延，讓它一直燒到氫氣耗盡為止，有氫氣設施區域應備有乾粉滅火器，滅火器應放在方便取得的位置。在氫氣起火時，水的供應要很充分，俾能保持周圍設備冷卻。應當把產品的性質和已知最好的氫氣火災滅火的方法告知當地消防部門。對可能切斷氣源之具有火炬或噴射器特徵的管容器起火時，可依下方法有效控制：

1. 慢慢減少供給火焰的氫氣氣流，不要立即徹底切斷氣源。
2. 當噴射的火焰小到可以接近時，用二氧化碳或乾粉滅火器撲滅火焰。
3. 迅速徹底關斷氫氣的供給源。

4. 讓該區域徹底通風。使在儲存容器內形成氫氣/空氣混合物的機率非常小，以防止氫氣累積至爆炸濃度之上。

而大範圍的氫氣洩漏事故，其緊急應變處理則可以參考北美緊急應變指南之處理原則（2008 年版北美緊急應變指南查詢系統：<http://wwwapps.tc.gc.ca/saf-sec-sur/3/erg-gmu/erg/search.aspx>）



國家圖書館出版品預行編目資料

奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討 / 吳鴻鈞  
等著. -- 1 版. -- 新北市：勞動部勞研所, 民

104.03

面；公分

ISBN 978-986-04-4685-2(平裝)

1.勞工衛生 2.奈米技術

412.53 104006020

奈米技術於氫氣儲存輸送之特性探討

著(編、譯)者：吳鴻鈞、鍾財王、陳邦旭、彭鈺華

出版機關：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

221 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 104 年 6 月

版(刷)次：1 版 1 刷

定價：300 元

展售處：

五南文化廣場

台中市區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話:02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為：  
<http://www.ilosh.gov.tw/wSite/np?ctNode=273&mp=11>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述，並請注意需註明資料來源；有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN: 323262296:

ISBN: 978-986-04-4685-2