

從「小型天然氣重組製氫設備」談氫能設備的安全防護

黃耀忠 黃財旺

台灣中油股份有限公司煉製研究所

一、前言

地球暖化為人類帶來許多前所未有的考驗，由於冰山融化、海平面升高和氣候異常，帶來威力強大的熱帶颶風、高溫熱浪、豪雨、乾旱等環境變因，加上原油及天然氣可能在未來的數十年用罄，能源短缺讓原油價格居高不下，因此積極尋找替代能源包括酒精、生質能、太陽能、氫能各種研究已如火如荼的展開。雖然短期內再生能源因經濟效益，仍不足以跟傳統能源競爭，但是尋找一種方便、乾淨、更有效率的能源，對改善地球暖化及解決能源危機已刻不容緩，氫能源已被視為解決二氧化碳排放及能源短缺的終極手段，先進國家莫不在此投注經費積極研發。從目前世界各國的發展現況來看，利用燃料電池與氫氣搭配的使用方式最被看好，有關氫氣應用從生產、儲存到運輸，各種相關的研究不斷推陳出新，未來氫能的發展與應用，短期內仍以石化燃料重組與小型電解為主，長期發展則為利用太陽光電化學產氫、核能熱化學產氫或再生能源發電電解水產氫，但是不管未來產氫的方式為何，21世紀的新能源絕對非氫莫屬，未來氫能經濟的形成後將會更加快腳步，所以瞭解氫氣的特性，探討氫能設備的使用安全，確保未來生產、儲存及運輸的安全維護將會愈形重要。

二、從氫氣特性談氫氣防爆安全

（一）氫氣的特性與氫能經濟

氫原子是自然界裡最小最輕最簡單的原子，氫為宇宙間存量最豐富之化學元素，約百分之九十的原子是氫氣原子，氫自燃溫度為565.5℃，爆炸界限%下限(LEL) 4%上限(UEL) 74%，但它幾乎無法以元素態穩定存在地球上，它主要以水分子和碳水化合物的形態存在，因水的熱力學能階極低，屬相當穩定之化合物。因此，水可說是氫最為豐富

之載體，而使用氫氣除了主要產生電能、熱能外，副產物主要是水，可視為是零污染(Zero Emissions)的綠色能源。氫能源的使用也代表全球能源產業將產生重大改變，因此有所謂氫能經濟(HydrogenEconomy)的概念[1]，也就是氫能源的使用將對人類的生活、社會、經濟秩序與產業發展造成重大的變化，預期氫能源對人類文明的衝擊將遠大於上世紀電能的導入，如同本世紀初全球所倡導的奈米科技，世界各先進國家莫不卯足全力投入開發，希望在氫能經濟領域中占有一席之地。圖一為氫能經濟的示意圖[2]，在科技技術方面主要分為氫氣製造、氫氣運輸、儲存、燃料電池發電、交通運輸、技術驗證及評估，另外標準規格的制定、氫能教育、氫能安全也必須全面考量，才能達到一有制度、規畫完善之氫能經濟。



(二) 氫氣場所的防爆概念

由於氫氣在常溫下是一種無色、無臭、無毒的氣體，甚至燃燒的火焰都是無色的，很不容易察覺它的存在，而它的問題則出在很容易燃燒和爆炸，氫在低至 20K 的溫度就達到引燃點 (flash point)，其混合氣體的引爆範圍非常廣，在空氣中含有 3 ~ 75% 體積的氫氣都可引發氣爆，而天然氣的範圍是 5 ~ 15%，氫氣的爆炸上、下限非常寬，在空氣中之量足以產生爆炸所以氫氣環境屬於Class I Group

B，爆發等級為II C，防爆溫度等級為T1，所以一般民眾對氫氣的使用仍存有很大的疑慮，因此我們在使用氫氣的場所，為防電氣設備成為引火源，放置於這種危險性區域的電氣設備，均須具有防爆的功能設計，這是一般公認的準則。

但要使這些防爆電氣設備發揮其功能，必須將其正確的安置於適用的工安等級場所[3]，因此明確定出防爆等級範圍為正確使用防爆電氣設備的首要工作，然而對廠商而言，過大的區域範圍設定，將使設置費與維護費大增，對小規模之業者而言，可能因費用太高而影響其經營；反之，如果不適當的縮減，在安全上亦可能產生潛在之工安危害，所以妥善規劃危險區域等級範圍，並選用合宜之防爆等級的電氣機具，為重要且不容忽視的工作。區域等級劃分是一種斟酌氣體種類的爆發等級及溫度等級用以分析並判定可能產生爆炸性氣體環境範圍的方法，同時可幫助選擇及安裝對工作環境具安全的設備，危險區域範圍大小主要受下列的化學與物理參數影響，有些是易燃性物質的固有性質；有些與特定製程裝置的構造有關，區域等級劃分應由具有易燃性物質之性質、製程、設備知識的專家與安全、電氣及其他工程背景的專家共同參與完成。

（三）氫氣環境電氣防爆技術

電氣本安防爆技術實際上是一種低功率設計技術，是針對電火花和熱效應所引起爆炸性危險氣體爆炸的主要引爆源，本質安全防爆技術即通過限制電火花和熱效應[4]，這兩個可能的引爆源來實現防爆，通常認定使用氫氣的各種環境，也就是危險程度最高、最易爆的環境，必須將電路功率限制在1.3W左右，本質安全防爆技術是一種最安全、最可靠、適用範圍最廣的防爆技術，在國際電工委員會(IEC)規定，在危險程度最高的危險場所0區，只能採用Exia等級的本安防爆技術。

而電氣安全防爆技術的四大原理為[5]：

1. 耐爆降溫：電氣設備之器殼要堅固，能承受10kg/cm²的壓力，經過十次以上爆發試驗而不受損，出口線盒要堅固，出口線與內

部密封隔離，結合面深度要夠，表面粗糙度不可超過 $6.3\mu\text{M}$ 。

2. 吹驅正壓：電氣設備運轉前吹入新鮮空氣，運轉時內部保持正壓，防止危險性氣體侵入。

3. 本質低溫：器具內部元件及構造在正常或故障時均不會產生火花或高溫，因此雖處於危險場所，也不會引燃爆炸性氣體，故器材本質上是低溫安全的，稱本質安全防爆構造，代號i (Intrinsic Safety)。

4. 隔離消弧：將機具內部會發生火花、電弧或熱的部分隔離封裝與消弧，因此機具外部雖有可燃性氣體也不會引燃，以達到防爆目的，又分成油入防爆、充填防爆、模鑄防爆。

(四) 從爆炸三條件談氫氣安全

爆炸三條件就是需具備可燃氣、空氣及著火源，而氫氣本身就是可燃氣，所以只要洩漏與空氣接觸，遇著火源就很容易產生爆炸，氫氣重量輕易飄散於空中，所以避開著火源對氫氣來說是很重要的，著火源之種類有明火、高溫表面、摩擦撞擊、化學反應能量、電能、絕熱壓縮、光能。發生燃燒或爆炸所需之最小能量就稱為最小著火能量(MIE)，小於此一能量則燃燒爆炸將不至發生，這在防爆上相當有用，如果能將設備中的所有裝置設計其發生能量不超過MIE，則可有效的防止燃燒爆炸的發生。

(五) 產氫、儲氫、氫運輸的安全

1. 氫氣的生產方式非常之多，研發中的產氫方法有以核能或太陽能熱裂解水、光電化學反應分解法、以及生質物的熱裂解法等，電解水是一種較為簡易的方法，氫離子在陰極被還原產生氫氣，氫氧離子在陽極被氧化產生氧氣，這確是一種簡易乾淨的方法，但耗電量太大，所以採用集中生產或分散生產的方式也須加以考慮，前者須選擇在遠離人煙的地區，可以採用多樣的生產技術，效率較高，但運送成本也較高，後者則可以就地使用，運送不成問題，遠地的傳輸則須把氫氣加壓或液化，然後以特殊的罐裝拖車運送，不管是以何種方式運送，都需要經過加壓的過程，相當耗費能源。

2. 氫可以用氣體、液體或固態化合物三種形態儲存，而氫的儲存方式除使用大、小鋼瓶外，目前儲氫的方式有很多種，依照儲存狀態可區分為：氣態高壓儲氫法、液態儲氫法、儲氫合金吸放氫法及微碳管吸放氫法等方法，但大量的儲存方式仍以鋼瓶為主[6]，而使用氫氣鋼瓶時應將其存放於通風良好、避免日曬雨淋的場所，儲存區溫度不能超過40⁰C，貯存區不可放置其他可燃物質並嚴禁煙火，且應遠離人員進出頻繁及緊急出口，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，定時記錄庫存量，並須遠離熱、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。

3. 氫氣運輸方面常使用氫氣鋼瓶做裝載運輸[6]，因為氫氣大部分均以壓縮氣體的狀態存於壓力容器中，若外洩時因其電阻值高，與噴氣口摩擦極易產生火花，更常因夾雜鐵鏽等雜質而易引燃，因此洩漏必須斷絕氫氣源來滅火，並以水霧防護相關之高壓設備，但可燃性氣體如果噴出或洩漏後，易形成蒸氣雲再遇著火源就會發生爆炸，如果是在剛噴出時就著火，則僅形成該方向噴出的火災，此為其特性，可燃性氣體發生火災時，一定要衡量是否可以像一般火災一樣加以撲滅，而不會發生更大的災害，因為火雖然滅熄了，但氣體依然還不斷的洩漏出來，無法立即加以關閉時，會形成大量易燃性混合氣，遇到附近的火源或高溫表面將引發爆炸，所以關閉或止住洩漏並進行冷卻，才是搶救氫氣火災之正道，因此運送時需遵守危險物品運送相關規定，運送人員需接受”危險物品運送人員專業訓練”。

三、從產氫設備談加氫站安全技術措施

氫能在能源分級中不屬於初級能源(primary energy)，而是能源載體(energy carrier)，需由特殊程序處理後，才具應用價值，一次能源(或稱為初級能源，Primary Energy)如天然氣、石油、煤、核能及可再生能源(太陽能、風能、生質能、地熱能等等)，先轉化成氫氣

後再轉變成二次能源(Secondary Energy)如電能(燃料電池、電廠)或熱能(氫氧焰燃燒) [7]，本文所要介紹「小型天然氣重組製氫設備」，就是讓天然氣通過重組(Reforming)的程序轉換成為氫氣的設備，本設備其製氫能力為 $100\text{NM}^3/\text{hr}$ ，所生產的氫氣純度為 99.99% 以上，其進料為天然氣，主要是將天然氣脫硫後與 RO 水混合氣化進入重組反應，把一氧化碳轉化為氫與二氧化碳，再用 PSA 純化去除不純物 CH_4 , CO , CO_2 , H_2O 而達到為高純度的氫，這套設備目前在美國各地的加氫站中被廣泛使用，未來國內如欲跨入加氫領域，在安裝設備或選擇加氫地點時，即必須從安全的防護上做考量，才能讓員工及消費者在最安全的保障下得到最佳的服務。

(一) 加氫站設置安全注意事項

1. 以「小型天然氣重組製氫設備」為加氫站的產氫來源時，從一開始計畫設置加氫站，設計、建置、試驗及最後運轉之過程，都必須特別留意相關法令之規範，如圖二所示[8]，設置地點的選擇及預留隔離距離等，最好選擇離天然氣輸送管路線上或較近之處，供氫站宜設置於廠區的邊緣，車輛出入方便的地段[9]。

氫氣加氣站之鳥瞰圖



2. 設置加氫站應儘可能選擇大量使用氫氣的地點，貯存和

使用氫氣的場所必須具有良好的通風，而且通風口應設置在屋頂的最高部位，屋頂內平面要平整，不要凹凸不平，以防氫氣洩露時在凹處積聚。

3. 供氫站平面佈置的防火間距，需要依照設置規定，日本最新規定離火源需距離至少4公尺以上，離住家需距離至少6公尺以上[10]，供氫站應採用獨立的單層建築，其耐火等級不應低於二級，不得在建築物的地下室、半地下室設供氫站，供氫站應有防雷措施。

4. 設置地點應有供滅火及緊急搶救設備通行之出入口及操作之空間，其位置不得設在電氣導線、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，在接近屋頂的上部不能有火源和電源，在設置電源時應盡量考慮佈置在下方。

5. 系統基礎之高度應等於或高於地平面，所安裝的電氣設備應滿足場所防火防爆的要求。

6. 輸送氫氣的設備和管路應有良好的接地，管路的法蘭處應進行跨接，如果在水平距離15m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。

7. 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 locations 之規定[11]。

(二) 加氫設備管線的安全[12]

1. 氫氣管道應採用無縫金屬管道，管道和附件材質之規格要求，應選用符合國家標準規格的產品，其材質應適合其操作溫度及操作壓力，管線接合處應以銅鋅合金焊接，或以法蘭、螺紋或其他有效防止漏氣的連接方式，螺紋上之密封材料應與氫氣相容，焊接用之金屬之熔點必須在 538°C 以上，並應適合氫氣工作壓力、溫度的要求，管線的材料如使用碳鋼，須注意和氫發生氫脆 (hydrogen embrittlement) 之安全的問題[8]。

2. 管道上應設放空管、取樣口和吹掃口，其位置應能滿足管道內氣體吹掃、置換的要求，當氫氣作焊接、切割、燃料和保護氣

等使用時，應於用氫設備的支管上設阻火器，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、導電線敷設在同一支架上，氫氣管道與燃氣管道、氧氣管道平行敷設時，中間宜有不燃物料管道隔開，或淨距不小於 250 毫米，分層敷設時，氫氣管道應位於上方，室內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、積聚或竄入其他溝道的措施，埋地敷設的管道埋深不宜小於 0.7 米。

3. 含濕氫氣的管道應敷設在冰凍層以下，管道穿過牆壁或樓板處，應 密切的，套管內的管段不應有焊縫，管道和套管之間應用不燃材料填塞，管道應避免穿過地溝、下水道及鐵路汽車道路等，當必須穿過時應設套管，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，當必須穿過吊頂或技術(夾)層時，應採取安全措施。

4. 室內外架空或埋地敷設的管道和匯流排及其連接的氣瓶均應互相跨接和接地，跨接和接地措施按國家現行的有關規定執行，放空管應採用金屬材料，不准使用塑料管或橡皮管，放空管應設阻火器，凡條件允許，可與滅火蒸汽或惰性氣體管線連接，以防著火，室內放空管的出口，應高出屋頂 2 米以上，室外設備的放空管應高於附近有人操作的最高設備 2 米以上，放空管應採取靜電接地，並在避雷保護範圍之內。

5. 氫氣供應系統在安裝後，應以最大操作壓力施以氣密試驗，加壓後無漏氣現象始可啟用，新安裝或大修後的氫氣系統必須做耐壓試驗、清洗和氣密試驗，符合有關的檢驗要求才能投入使用，氫氣系統吹洗置換，一般可採用氮氣(或其他惰性氣體)置換法或註水排氣法。

6. 氫氣系統動火檢修，必須做環境測定，確保系統內部和動火區域氫氣的最高含量不超過 0.4%。

7. 氫是分子量最小的氣體，運動速度非常快，滲透性也最強，因此所有的管線或儲存槽的界面連接都須非常嚴緊，氫氣閥需要

特別設計，否則很容易產生漏氣問題，氫氣系統每年至少應實施 1 次檢查保養，其檢查保養之標準應由該氫氣系統之專業人士訂之。

(三) 加氫設備電氣的安全維護

1. 使用本質安全防爆電氣，電路功率需限制在 1.3W 左右。
2. 避開著火源禁止使用電爐、電鑽、火爐、噴燈等一切產生明火、高溫的工具與熱物體，不得攜帶火種進入禁火區。
3. 選用銅質或鈹銅合金工具。
4. 穿棉質工作服的防靜電鞋。

(四) 加氫設備電腦程式控制安全系統

「小型天然氣重組製氫設備」設有設計燃料處理器、增壓機及氫氣純化系統，所有需要之控制軟硬體組件與介面[13]，並將控制介面整合至正壓的「走道式控制區」(DCS 控制室)內，所有相關控制環路(control loop)必須使用 hard wired (需符合製造國安全規定之 sensor 或 switch 等) 或使用符合製造國安全規定之 PLC 的控制程序，且須提供系統工作區中各相關控制環路(control loop)的 HAZOP 分析資料擷取功能。

1. 箱體內含易燃氣體感測器及後續關機動作，即氫氣產生器配備兩具可燃物偵測器(AIH-710A/B)設定爆炸下限的 25%。
2. 箱體內含燃燒感測器(fire detection sensor)及後續關機動作，即氫氣產生器配備兩具失火偵測器(AIH-720A/B)。
3. 箱體內含有毒氣體感應器，配備一具 CO 偵測器(AIH-730)，當偵測 50ppmv 以上 CO 氣體立刻硬電停機。
4. 箱體內含連續排風系統，避免可燃氣累積。
5. 箱體外部附一緊急啟動／停止開關
6. 控制室設一緊急停止開關。
7. 箱體內含壓力安全閥避免相關設備有過壓情形產生，所有排風口將集中至單一總出風口。
8. 本系統的相關電器設備必須符合 NFPA CLASS I，DIV. I，GROUP B、C&D 的防爆功能。

(五) 加氫設備火警應變處理

加氫設備火警消防應變處理時，所有參與救火人員應確實瞭解所處理物質之特性，例如：物理、化學特性、爆炸上下限、閃火點、所需最小著火能量、是否屬預混合氣體或物質，現場溫度、壓力、氧濃度與溼度等環境狀況，瞭解因該等狀態對物質造成之危險性變化，現場可能存在之著火源及其能量之大小，並採取消除該能量造成危險之相對防範措施，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，供氫站應按 TJJ16-74 的有關規定設置消防用水，並應根據需要配備“乾粉”、“1211”和“二氧化碳”等輕便滅火器材或氫氣、蒸汽滅火系統，現場須設置火警自動警報設備如手動報警設備、緊急廣播設備、漏氣火警自動警報設備。

四、結論

國內氫能經濟的發展已慢慢受到矚目，氫能應用與發展將會與我們生活更密切相關，未來發展的過程中除考慮到能量轉換效益的問題外，建立安全的使用環境才是氫能經濟發展的主要關鍵，氫氣的使用並不會比天然氣來的危險，重要的是在使用氫能的場所，不管是生產、儲存或運輸等危險場所區域的界定，需依照危險場所區域等級選用正確之防爆電氣產品，使用者應選用正確的施工方法及適合的安裝配管方式，對於氫能設備運轉後採取正確妥適之維護與保養，未來在推動的過程中，可以透過標準安全法規的審查制度，確立設備的安全機制，再藉由對國人專業教育宣導，讓大家能更瞭解氫氣的特性及好處，如此一來國內在推動氫能經濟一定可以事半功倍，讓氫能經濟早日為我們帶來更安全、乾淨、便利的生活環境。

五、參考文獻

(1) 未來的氫能經濟 作者：柯賢文 中山科學研究院材料暨光電研

究所 2006/3/9

- (2) Turner, J. A. 2007, Photoelectrochemical Water Splitting,
<http://www.nrel.gov>
- (3) 電氣防爆 吉祥技正 行政院勞委會中區勞動檢查所
- (4) 儀表本安防爆技術及其在化工現場的應用
<http://www.autooo.net/autooo/yibiaoyiqi/jishu/2007-10-22/19008.html>
- (5) 電氣防爆實務 作者：蘇清一 97 年安全衛生觀摩研討會
- (6) 東京瓦斯氫氣生產技術發展現況作者：湯慰祖 大台北瓦斯
200804
- (7) 再生能源產氫技術開發計畫 鄭名山 工業技術研究院 9808
- (8) 氫氣使用安全技術規程(GB 4962-85) 中國國家標準規範
<http://www.docin.com/p-8140794.html>
- (9) 貯存和使用氫氣如何防火防爆 林劍斌 福建莆田荔城消防大隊
7/25/2006
- (10) Tetsuya Kogaki, Japasn's Approach to the
Commercialization of Fuel Cell and Hydrogen Technology.
2007
- (11) H₂ 儲存標準-NFPA50A 明台產物保險股份有限公司
http://www.mingtai.com.tw/life_n2_20.asp
- (12) 氫氣使用安全及加氫站設置安全規定 2008 年 12 月 26 日
- (13) 「小型天然氣重組製氫設備」期末報告書 亞太燃料電池科技
股份有限公司 7/10/2009