



作者：徐業良(2004-12-13)；推薦：徐業良(2004-12-13)。

附註：本文發表於汽車購買指南雜誌，2005年一月號，史丹福專欄。

## 談氫燃料內燃機引擎

這幾個月油價飆漲，每次加油的時候，心中都會有那麼點兒忐忑不安，不曉得呆會兒帳單會不會又再創新高。本來我的車子加滿一缸汽油大概是一千元出頭，還附帶塞進來一大堆贈品、免費洗車卷之類的，現在每次加油卻動輒要加到一千三、四百元。

有時和同事聊起這件事，研究能源的教授就會很悲觀地告訴大家，地球上石化燃料存量只剩下四十年，加上中國工業化之後對能源需求大幅提昇，油價上漲是一路向前不可逆的趨勢…

怎麼辦呢？替代能源是什麼？特定一些，汽車的替代能源是什麼？扯了一陣太陽能、風力發電之後，這類汽車替代能源的討論一定會結論到一使用氫氣。

使用氫氣？噢，又要談燃料電池電動車了…

談到燃料電池電動車，很多人都會有同樣的，呃，不耐煩。樓梯響了不知道多少年，人卻總是下不來，燃料電池電動車始終還只是研究計畫，最最樂觀的估計，至少還需要十年才會上市賣給消費大眾。而且燃料電池電動車和您現在開的汽車是完全不一樣的車子，性能是否符合期待，駕駛習慣改變大眾接受度如何，都還是個未知數，燃料電池電動車整體生產及維修體系、氫氣供應體系的建立，更不是一蹴可幾的。

談到氫氣供應體系的建立，最近在美國首都華盛頓東方大約一英里，有處新開的加油站，引起國際媒體廣泛報導。這個加油站看起來沒什麼特別，和所有加油站一樣，車主可以停下來上廁所、買飲料，自己拎起加油槍，幫車子加點兒汽油、柴油，呃，或加點兒氫氣。

這個加氫站不是世界第一個「加氫站」，卻是第一個和一般加油站整合在一起的加氫站。當然除了一堆記者擠在一塊兒等著拍照採訪之外，並沒有車主在這裡大排長龍等著加氫氣，well，也許再過十年都不會有。不過這個由 Shell 石油公司和通用汽車公司聯合設立的加氫站，卻有很大的宣示意義（或者廣告意義），通用汽車公司希望藉此宣示汽車使用氫能源的時代即將正式來臨。

等等，剛剛不是說燃料電池電動車還只是研究計畫，十年之內恐怕都不會正式上市嗎？

誰說只有用燃料電池的車子需要加氫氣？這個加氫站的目標顧客是那些裝置「使用氫燃料的內燃機引擎」的車子，英文全文是“Hydrogen-fueled internal combustion engines”，簡寫成 H2ICEs，或者直接叫做“Hydrogen Engine”，氫引擎。

在這個加氫站駕駛人可以選擇買超低溫的液態氫，或者是超高壓的氣態氫。一公斤的氫氣在氫引擎燃燒產生的能量，大約和一公升的汽油差不多，一公升汽油的售價也是 1.99 美金，這個加氫站一公斤氫氣的售價也正巧是 1.99 美金。

燃料電池電動車將氫氣經過電化學變化產生電力，再來推動車子，一公斤氫氣車子行駛的距離大約是一公升汽油車子行駛距離的兩倍，效率好得多，不過目前車子本身的成本就要超過十萬美金。燃料電池其實技術上沒有太大的困難，最大的困難是目前還太貴，在太空梭上用沒問題，要成為民生用品，燃料電池電動車的成成本必須減少 90% 才有機會和傳統內燃機引擎車競爭。

好幾家主流車廠包括通用、福特、BMW，已經沒有耐心等到燃料電池電動車大量生產才使用氫氣，紛紛投入氫引擎的概念，發展改良活塞引擎（甚至轉子引擎）來直接燃燒氫氣，就像使用汽油一樣。氫引擎被認為是銜接汽油引擎車和燃料電池電動車最好的中介產品，可以很快地讓車廠、加油站、政府、消費者加速學習「如何使用氫能源」，華盛頓附近這個加氫站，就是通用汽車公司使用氫能源的發展規劃之一。這個加氫站一共花了兩百萬美金建置，目前可能只有 6 個顧客會用到這個加氫站—通用汽車公司改裝了六部氫引擎汽車，免費借給一組人輪流使用。加氫站要賺錢或回收是完全沒指望的，但是兩家公司希望藉此學習氫氣、製造、運輸、銷售的模式，未來燃料電池電動車成熟之後也可直接應用，同時藉此推廣氫引擎汽車技術，期望這是連鎖店的開端，加氫站能夠一家一家擴展到紐約，乃至於全美國。

大家普遍看好氫氣是未來汽車能源，主要原因有二：一是不像石化燃料存量有限，理論上氫燃料的來源是水，是取之不盡用之不竭的；第二個原因是氫燃料使用後

的產物也只是水，除了少許機油燃燒的產物之外，近乎零廢污染，完全沒有石化燃料沒有石化燃料燃燒後產生的一氧化碳、二氧化碳、碳氫化物等等一大堆麻煩的廢氣。

用氫氣當內燃機引擎的燃料，其實也不算是什麼最新科技，早在 1920 年代，就有一位叫做 Rudolf Erren 的德國發明家，研究過如何改裝內燃機引擎來使用氫氣做燃料，他發展出的改裝引擎教科書上就叫做“Erren engine”，當年他自己就改裝過兩三千部汽車、巴士、和卡車使用氫氣做燃料。不幸的是當年對氫燃料的安全性沒有很好的掌握，1937 年有名的「興登堡號(Hindenburg)」飛船空難事件正是使用“Erren engine”，804 英尺長最壯觀的載客飛船興登堡號在降落時發生爆炸意外，熊熊烈火將整艘船燃燒殆盡，徹底終止了飛船的黃金年代，加上當時石化燃料非常便宜，內燃機引擎的發展就此也完全走向汽油引擎。

直到這幾年許多車廠才又重新想起氫引擎，將引擎從燃燒汽油改為燃燒氫氣所需要的改裝不多，內燃機引擎基礎架構幾乎完全不變，可以使用現有生產汽油內燃機引擎的生產架構來生產，只有一些內部元件，像是引擎進排氣閥座之類的需要做改裝，以防止氫氣造成脆化使金屬產生裂隙。然而興登堡號飛船空難事件遺留下來對氫氣易燃性的恐懼卻還是存在，華盛頓這家加氫站風光開幕，卻也有大約一二十個當地居民恐懼氫氣可能造成的火災，拿著牌子在加氫站現場抗議兩家公司。

車主可能會對車子上載著一缸子氫氣更加恐懼。福特公司曾經發表了一款由 Zetec2.0L 改裝的氫引擎，裝置在福特 P2000 五速手排車上，載運氫氣的安全性便是這部原型車基本的設計考慮。福特公司也根據其發展燃料電池電動車和壓縮天然氣車的經驗，在這部原型車上發展一套獨特的載運氫氣「三重防護系統(triple-redundant system)」，結合了氫氣偵測及主動、被動通風裝置。這套系統的核心是可燃性氣體濃度偵測，由位在引擎室、乘客箱、行李箱（這部原型車的「油箱」位在行李箱下方）共有四個感測器，氫氣濃度在 0.6%、1.0%、1.6%（氫氣的燃燒濃度是 4%）即會發出警告訊號，系統並會自動切斷引擎供氣、打開天窗、打開所有未開的通風裝置，減少點火的可能性。除了偵測可燃性氣體濃度之外，安全系統也依靠幾個循環風扇使行李箱和引擎室內空氣循環流動，避免高濃度氫氣形成。此外氫氣比空氣輕，會浮在空氣上方，因此第三重被動的防護裝置，是在引擎室和行李箱頂上設有通風口，方便氫氣逸出。

氫氣是最輕的元素，只包含一個質子和一個電子，如何能夠裝載足夠的重量的氫氣，讓車子能夠行駛足夠的里程，也是氫引擎車的一個大挑戰。通用汽車公司選擇用高壓的方式儲存氫氣，壓力高達 5000psi，大氣壓力(14.7psi)的 340 倍，相當於在海底 3400 公尺深的水壓，這麼大的壓力「油箱」的結構必須好好加強才行，高壓氫氣的

體積卻還是很大，一個油箱載不了多少氫氣。通用汽車公司試過將一輛悍馬 (Hummer)H2 用上三個碳纖維加強油箱，只能裝載 12 磅的氫氣，只夠行駛 60 英里。

通用汽車公司面對氫氣在內燃機引擎燃燒另一個問題是混和比的調整。高壓氫氣被傳送到引擎進氣口由電子燃料噴射裝置噴出，理想的混和比是 34 份空氣對 1 份氫氣可以剛好完全燃燒，但是氫氣燃點比汽油低，這樣的濃混和比會因為壓縮過程中溫度過高造成提前點火，因此工程師普遍採用的是用最少 68 份空氣對上一份氫氣，壓縮空氣溫度會下降。稀薄混和比的缺點是會造成引擎馬力下降，悍馬原先汽油 V-8 引擎可已有 316 匹馬力，乾淨稀薄的氫引擎卻只能產生 180 匹馬力。

看起來氫引擎還是有些技術問題需要解決，BMW 似乎有好主意。BMW 今年十月大手筆地發表了一款「氫引擎記錄車(H2R Record Car)」，號稱是只有在外太空火箭上才看得到的氫引擎最高性能，立下了加速、極速等一共九項氫引擎車記錄，目的就是要證實氫氣可以取代傳統汽油，而駕駛人不需要在性能上有任何妥協，更展示在可靠度和耐用度上 BMW 已達到量產車水準。

這部氫引擎記錄車 H2R Record Car 光看規格就頗驚人，6 公升 12 汽缸，輸出馬力 285bhp，0-100km/h 加速只需要 6 秒，極速 302.4km/h。這部原型車是由 BMW760i 的汽油引擎改裝，利用 BMW 的引擎管理系統，搭配特別設計的噴氣策略和汽缸冷卻設計來處理氫氣提前點火問題，使得引擎性能不減。BMW 則認為將氫氣壓縮成液體才是最好的儲存方式，但是液態氫需要冷卻到攝氏-250 度以下，油箱如何「保冰」又是個大問題。BMW 的設計將液態氫氣裝在一個雙層壁真空超隔熱的油箱裡，45 加侖油箱可以裝 11 公斤氫氣，足夠跑將近 200 英里。

BMW 特別強調這款原型車開發只花了 10 個月，表示技術已十分成熟，該公司的氫引擎技術會用在七系列少數車款，三到五年就會上市。200 英里的續航力對量產車來說還是不夠，BMW 的規劃是這些車子將能同時使用氫氣和汽油來增加行駛里程，預測可以氫氣行駛 180 英里，以汽油行駛 375 英里。

除了汽車本身的技術問題外，在汽車上使用氫氣長久的障礙，包括氫氣很難取得，運送、儲存價格高，仍然還沒有被克服。

前面提到華盛頓新設的加氫站，氫氣的來源是由加拿大一個化學工廠生產，將天然氣中的甲烷暴露在高溫水氣之下提煉出氫氣，然後氫氣被冷卻成液體，再用卡車運到這個加氫站。這個中間有兩個問題，第一是氫氣的來源仍然是石化燃料天然氣，並沒有真正替代石化燃料；第二是提煉、冷卻、運送、儲存的過程似乎耗費了更多能源。

氫氣通常是在煉油廠和化學廠生產，來源並不是水，要用電解水產生氫氣少量製造也許可以，但是環境學家說電力對環境的傷害大於使用氫燃料對環境的幫助；且因為氫氣很難被運送、儲存，通常都在生產的地方立刻被用掉。不過許多人對氫燃料生產還是十分樂觀的，目前氫燃料的市場需求不夠，能源公司在沒有足夠的需求前不願意創造合乎經濟規模的氫氣生產、儲存、運輸的供給模式，氫引擎車的出現也有助於創造這個氫氣市場需求。

不管如何，您正在見證人類從過去的「碳基經濟(carbon-based economy)」走向未來的「氫經濟(hydrogen economy)」的腳步。