

74-21-508

車輛以天然氣爲燃料所產生 環境問題之有關認識

交通部運輸研究所

中華民國七十四年十月

運輸研究所出版品摘要表

管 制 等 級			
本出版品： <input type="checkbox"/> 機密（ <input type="checkbox"/> 解密日期為 年 月 日， <input type="checkbox"/> 承辦單位視情況通知資料組解密） <input checked="" type="checkbox"/> 一般			
本 表： <input type="checkbox"/> 機密（ <input type="checkbox"/> 解密日期為 年 月 日， <input type="checkbox"/> 承辦單位視情況通知資料組解密） <input checked="" type="checkbox"/> 一般			
出版品名稱： 中文：車輛以天然氣為燃料所產生環境問題之有關認識 外文：State of Knowledge of Environmental Concerns Related to Natural Gas-Fueled Vehicles.			
行政機關出版品統一編號		運輸研究所出版品編號	
09139740055		74-21-508	
研究工作主持人：楊正行（編譯） 主要研究人員：鄭松文 楊正行（編譯） 鄭松文		研究期間：自73年7月至74年6月 研究經費： 經費來源：本所預算	
研究方式： <input type="checkbox"/> 自行辦理－主辦單位： 地 址： 聯絡電話： <input type="checkbox"/> 委託辦理－受委託單位：國立交通大學交通運輸研究所 地 址：台北市忠孝西路一段114號4樓 聯絡電話：3146515			
關鍵詞：			
摘 要：車輛以天然氣為動力最近在美國及世界其他地區使用，雖然在美國使用的車輛還很少，但其有成長的潛力存在，因此由於以天然氣為燃料的車輛其性能、排棄物和安全特性與以汽油或柴油為燃料的車輛不同，本研究即在說明與天然氣車輛有關的環境問題，並對天然氣車輛的排棄物和安全有很明確的結論。			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
74年10月	69	95	<input type="checkbox"/> 洽本所免費贈閱 <input checked="" type="checkbox"/> 洽本所訂購 <input type="checkbox"/> 其他（ ）
備 註：			

目 錄

簡 介.....	1
摘 要.....	2
1. 緒 論.....	7
2. 車輛技術.....	8
2.1 燃料及引擎系統.....	8
2.2 汽缸和油箱.....	13
2.3 車輛操作.....	14
3. 供應系統.....	19
3.1 天然氣的生產.....	19
3.2 地區配送、儲存和車輛的添加燃料.....	22
4. 市場.....	26
4.1 現在使用的狀況.....	26
4.2 潛在的車隊市場.....	26
4.3 個人使用的潛在市場.....	27
5. 衝擊與討論的課題.....	28
5.1 來源.....	28
5.2 自然環境.....	31
5.3 健康與安全.....	35
5.4 社會經濟的衝擊與存在的問題.....	53
6. 管理法規有關問題.....	56
6.1 空氣品質規定.....	56
6.2 安全法規.....	58
6.3 天然瓦斯之銷售.....	61

6.4 汽車燃料稅.....	62
結 論.....	64
參考文獻.....	65

簡 介

車輛以天然氣 (Natural Gas 簡稱NG) 為動力最近在美國及世界其他地區使用，雖然在美國這種使用 NG 的車輛還很少，但其有成長的潛力存在。因此由於以 NG 為燃料的車輛其性能、排棄物和安全特性與以汽油或柴油為燃料的車輛不同，本研究即在說明與 NG 車輛有關的環境問題。並對 NG 車輛的排棄物和安全有很明確的結論。與以汽油為燃料的車輛比較，以 NG 為燃料的車輛明顯地排出較少的 CO，較多的 HC 總量，以及較少的非甲烷 HC；而 NO_x 的排棄量可能較高亦可能較低。此外，複式燃料 (dual-fuel) 車輛若使用汽油時；其排棄污染物質的程度比純粹汽油車輛來得高。至於安全方面，以 NG 為燃料的車輛已被發現在某些情況下比汽油為燃料的車輛有較高的危險性，但在其他情況下則顯示相對的安全。雖然國家防火協會現正開發一套標準，但對以 NG 為燃料之車輛，尚未有全國性被認同的安全管制規則或標準存在。

摘 要

以壓縮天然氣或液化天然氣為動力的車輛最近在美國和世界其他地區使用，在美國這種 NG 車輛數量少，全國所有車輛中估計有 20,000 至 30,000 輛左右。瓦斯研究協會已預測在西元 2000 年時美國將有一百萬到四百萬的天然氣（NG）車隊（fleets），而且在主要的車隊使用開始之後，個人使用的市場將有所突破。因為這種成長的潛力和因為以 NG 為燃料的車輛具有和以汽油或柴油為燃料的車輛不同之性能、排棄物及安全特性，故本研究即在說明這些與 NG 車輛有關的環境問題。

車輛技術與燃料的添加

大部分現今的NG車輛均以火星塞點火（Spark-Ignition簡稱SI）引擎為動力，而且已改換成可以汽油和NG作為動力，NG基本上以壓縮的型態在高壓（接近 2400 psig）下儲存於汽缸內。當NG流經壓縮控制器送到用來計量流入引擎NG量的瓦斯——空氣混合時，壓力降低至接近大氣壓，除了可能需改變火星塞點火時間外，SI引擎不需任何的改變；當車輛以壓縮的天然氣（Compressed Natural Gas簡稱CNG）來操作時，汽油關閉活門關閉；同樣的處理安排，當車輛以汽油來操作時，關閉NG。一些CNG車輛已被設計成只專用NG來操作，因此引擎參數使這種車輛的NG達到最佳利用。

以SI引擎為動力的車輛也已被改換成以液化NG（Liquefied Natural Gas，簡稱LNG）來操作，LNG系統的特性是有一低壓（5到60 psig）的冷凍箱。如果需要的話，在送到瓦斯——空氣混合器前，壓力控制器組合和熱氣交換器會降低壓力且使LNG蒸發；而且和CNG系統一樣，SI引擎不需任何的改變。轉換裝置被設計成可使壓縮點火（即柴油）動力引擎的車輛能以NG來操作，是直到最近才在商業上具有可行性，因為這種以NG來操作的車輛需要點火輔助裝置，此乃因NG是一種高辛烷的燃料，像柴油燃料一樣在大氣壓下不會自動點火。

現有兩種一般性的添加LNG燃料方法，一種是緩慢的灌入，直到80部車輛能同時添加由燃料站壓縮機以接近最終灌入壓力所送來之NG為止，這種添加燃料法所費的時間可達14小時；另一種是快速的灌入，一次一部或二部車輛快速的從以前是由壓縮機灌入，現是由高壓的（3600 psig）階式罐灌入燃料，第三種方法尚在發展中，是由設在私人住宅的小型壓縮機緩慢的灌入車子。在LNG車輛添加燃料時，燃料是在低壓下由燃料站儲存箱補給站分配器，可以同時灌數部車輛，其灌入時間大約是10分鐘。

衝擊與課題

本報告所檢討的環境問題最重要的是關於廢棄物的排放及安全方面。NG車(CNG或LNG)的排放視引擎口徑規格及硬體設置對天然氣的優點所能達到的最佳利用程度而定。本報告檢討了實驗測試結果、車隊資料及試驗資料來說明以NG為燃料的車輛其排棄物的影響。一般而言這些測試和資料顯示與以汽油為燃料的車輛相比較的話，(1)以NG為燃料的車輛其CO排放量明顯地較低，(2)碳氫化合物(HC)總排放量較高，(3)非甲烷(再反應的)HC(Nonmethane HC，簡稱NMHC)排放量較低，(4)NO_x排放量可能較高亦可能較低，以及(5)複式燃料車輛如以汽油來操作會排出較高含量的污染物質。因有關以NG為燃料的CI引擎其排棄物資料非常少，故沒有作出整體性的結論。

關於NG車輛的安全問題集中在正常操作情況下，包括車輛添加燃料，以及發生意外時燃料系統的危險性。換言之，這些危險部分是由於NG本身的性質使然。這些潛在的危險包括由於故障的燃料系統元件、壓力鬆弛裝置正常功能故障、油箱爆破失火、CNG汽缸受到腐蝕，以及燃料系統元件的干擾侵入乘客的乘坐空間。在此亦檢討了NG車輛的安全性能歷史，作為氣體燃料安全性能的數項評估指標。

由本報告所得的結論是這些迄今所完成的安全性能分析並沒有剝奪氣體燃料作為公共使用的資格，氣體燃料已被發現在某些情形，如與汽油比較的話，具有愈來愈增加的危險性存在，但在其他情形則似乎是相對的安全，工程技術和安全管制可以減輕這種危險；再者需要一份表格化且具全盤性的資料來評估NG車輛碰撞安全性和系統整體性，但這種資料尚未被發展出來。一些已發表的資料不但過時陳舊而且沒有全盤性。總而言之，NG車輛系統的安全性能留下一個很重要而尚未完全解決的爭論。

管制的考慮

聯邦、州及地方管制措施之不同會影響 NG 車輛之操作與使用，尤其對廢棄物排放及安全方面的管制特別受到關切。

車輛改換成以 NG 來操作受到聯邦清潔空氣法案反非法擅自改裝的限制；不幸的是，這種反非法擅自改裝的政策和美國環保局（Environmental Protection Agency 簡稱 EPA）對 NG 改裝的實際情形存有很大的矛盾，其結果造成 NG 轉換設備市場之間的混亂。EPA 的政策是規定所有的轉換均應受到全盤性的聯邦測試程度（Federal Test procedures 簡稱 FTP）限制，或轉換者應得到州或地方環境管制機構的許可證明（該許可證明只限於該機構管轄範圍的地理區域內有效），加州是目前唯一已對 NG 車實施排放許可計劃的州。在實際上，EPA 接受加州的許可證明適用於全國各地，且亦建議一替代性而較 FTP 所規定的測試程序不那麼嚴格的測試程序；但是假如採用後者這種方法，車輛的改裝者不能獲得美國環保局 EPA 的許可或證明，證明其車輛符合 EPA 的要求且不違反聯邦反非法擅自改裝的法令。

某些 NG 車輛轉換並沒有符合聯邦對輕型（light-duty）車輛排放 HC 總量的標準，雖然它們排出比汽油車輛還低的一種具有光化反應的非甲烷 HC（Nonmethane HC 簡稱 NMHC）。HC 的標準主要在控制臭氧在大氣中的形成，加州所提供的改裝許可證明即根據 NMHC 的排放量，而不是根據 HC 的排放總量。

美國運輸部物資運輸局（Materials Transportation Bureau 簡稱 MTB）已建立汽缸設計及測試的管制規定，這些管制規定應用於運輸散裝的工業用瓦斯的車輛；但實際上，設計符合 MTB 規格的鋼製汽缸已很廣泛的使用在 NG 車輛上。除了這些管制規定外，雖然有些其他的管制規定可能會利用到，但並沒有其他的聯邦管制規定特別宣布 NG 為一種動力車輛的燃料。

除了兩個州例外外，州及地方對利用 NG 為車輛燃料的管制規定均置於消防部門，而且由地方消防官員來管理。某些管制規定已被發現太過於複雜，而且不太合適，他們之所以以這種方式發展，乃因沒有聯邦管制規定或全國性的標準設置機構的指導；然而國家防火協會正在發展一套整體性的 CNG 車輛和添加燃料站的標準規範，LNG 車輛的標準規範則尚未發展。

1. 緒 論

美國及世界其他地區使用了天然氣（NG）作為車輛的動力，在美國這種車輛使用的數量尚少；有人估計大約有 20,000 部這種車隊，但瓦斯研究協會（Gas Research Institute 簡稱 GRI）根據美國能源供需的預測說，在西元 2000 年以前，將有 1.3 到 3.9 百萬部的車隊使用 NG 來作為動力燃料，此外私人使用的市場亦有突破的可能（見 4.3 節）。

本報告歸納出已知今日與以 NG 為燃料的車輛有關的環境問題，安全性能發生意外、排棄物、能源使用及組織的爭論均被描述，而且亦將說明影響 NG 車輛的聯邦及州的管制規定。本報告主要在強調與車輛操作及燃料添加站燃料送到車上的有關問題及管制規定，雖然有關天然氣的探勘、生產、運輸及配送之環境問題並不包括在內，但有很多討論這方面問題的報告可以利用參考。

2. 車輛技術

2.1 燃料及引擎系統

數種不同型式的 NG 車輛最近正在使用或尚在發展中，具有商業可行性的 NG 車輛一般以火星塞點火（SI）引擎為動力，而且改成以複式燃料來操作，即能以 NG 和汽油兩者來操作。NG 以壓縮天然氣（CNG）或液化天然氣（LNG）的型態儲存。火星塞點火引擎的車輛也有已被設計成專用 NG 來操作，即改裝引擎及燃料系統使其利用汽油來操作變成不切實際或根本不可能。雖然這種轉換裝置在最近才具有商業可行性，但以壓縮點火（即柴油）引擎為動力的車輛用 NG 來操作在技術上亦為可行。以下進一步地描述每一個燃料及引擎系統，這些描述是根據參考文獻 1 和 10 到 17 所提供的資料而來。

最廣泛使用在以 NG 引擎為動力的車輛之複式燃料 CNG 系統是複式燃料系統公司（Dual Fuel System Inc. 簡稱 DF SI）的複式燃料 CNG 系統（圖 1）。此系統包括一個或一個以上的鋼製 CNG 儲存汽缸，一條高壓的灌入及輸送管線，一個組合檢查及灌入（再添加燃料）活門、壓力控制器、一個關閉活門、一條可伸縮的蒸汽管以及一個瓦斯——空氣混合器。除了汽缸和燃料供應管線外，其它的裝置均安裝在引擎隔室裡。汽缸可以不同型式安裝在車上（在車體或車底下），因汽缸大小及重量（每個大約 1.5 ft^3 ，110 lb）的關係，客車改裝時汽缸常被安裝在傳動軸上面的車體。

汽缸灌入被壓縮到至少 2400 psig 之 NG，檢查及灌入組合活門使燃料於再添加時能流經燃料供應管線到汽缸裏，同時亦作為警戒超壓時的減壓裝置（再添加燃料後活門自動關閉此系統）；車輛操作時燃料供應管線亦作為燃料的輸送線。在操作中，二個壓力控制器減低瓦斯壓力使之接近大氣

壓，然後瓦斯進入瓦斯——空氣混合器。瓦斯——空氣混合器用來計量進入引擎之 NG 量以及維持適當的空氣——燃料之燃燒比例。

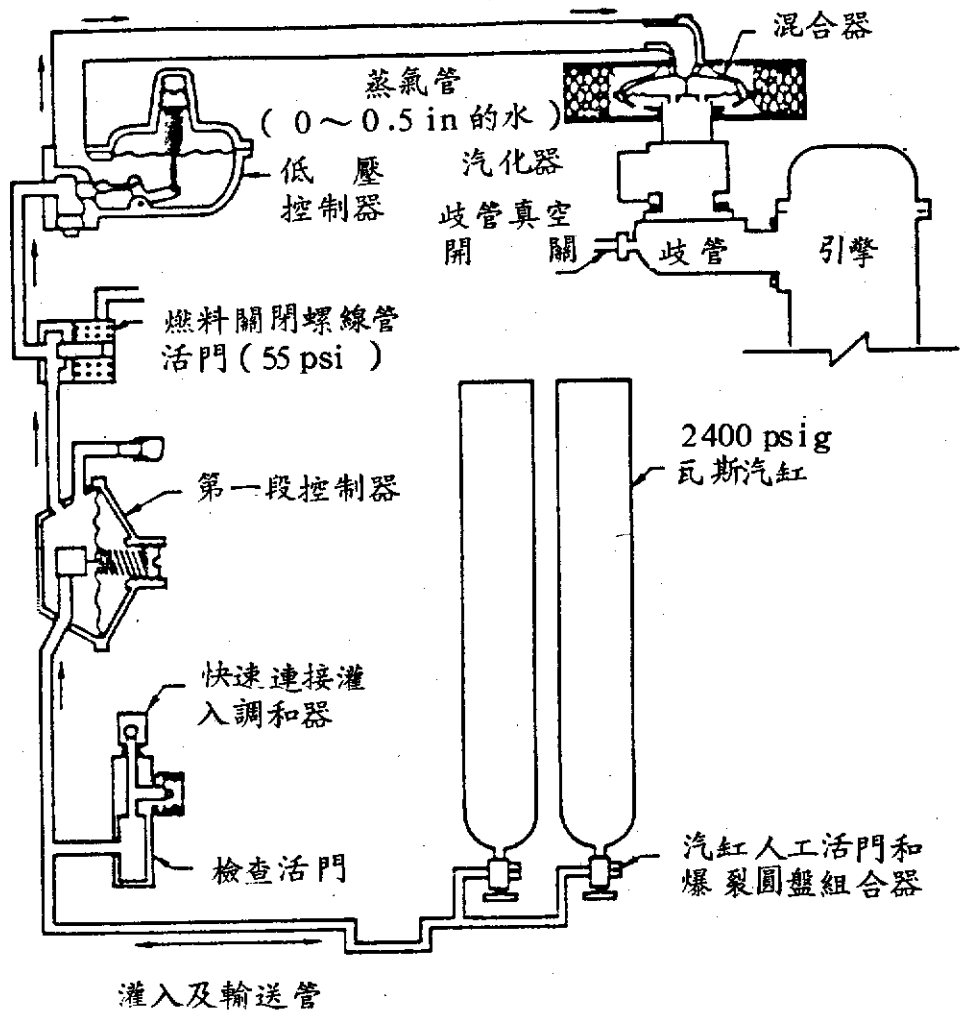


圖 1 車輛火星點火引擎的 CNG 系統

當引擎停止或利用汽油操作時，CNG 燃料管線的螺線管活門就關閉 NG；同理，當引擎使用 CNG 操作時，螺線管關閉活門安裝在汽油燃料管線來關閉汽油。這些活門是由一個駕駛人操作的燃料選擇裝置來操縱，每次只允許一個活門開啓，在駕駛中一般均作燃料轉換。

其他的 CNG 轉換系統與上述者相似，其間的差別主要在瓦斯——空

氣混合的方法（使用一個如上所述的分離式瓦斯——空氣混合器，或在汽化器下灌入瓦斯，然後瓦斯和空氣混合流經汽化器），壓力控制器的設計（譬如，二段式或三段式控制器和熱量控制以避免控制器冷凍），以及在其間的燃料轉換方法。

一般除了空氣濾清器組合和瓦斯——空氣混合器可能需要更新外（在使用汽油時，瓦斯——空氣混合器在DFSI系統當作一濾清器）以及點火時間可能需要加快以改善利用NG時引擎的動力外，對SI引擎不需有任何的改變。因為NG的氣體性質關係，天然氣的使用會因汲取系統空氣的取代而使尖峰的引擎動力產生適當的減少，而時間的加快需避免在使用汽油時引擎的爆震和廢棄物的排放有明顯的增加。只在引擎使用NG時，才使時間加快的裝置已發展出來，而且可以使用。

以SI引擎為動力的車輛其單一燃料CNG系統一般不能利用，船外海事公司（Outboard Marine Corporation簡稱OMC）生產了一種以儀表輔助型的3輪，且限於使用CNG的車輛，福特汽車公司亦建造了數輛已公開的CNG展示車，而且正就一些效用建立一小型的試驗車隊以決定其市場潛力。這種已問世的CNG車輛利用和上述所說的複式燃料CNG車輛相同的元件，但其(1)汽油系統已除去，(2)引擎壓縮比例、點火時間及其他引擎參數使NG能達到最佳利用，(3)使用重量輕的CNG汽缸，同時一些汽缸安裝在以往是安裝汽油箱的地方，福特問世的車輛即是使用這種重量輕的汽缸。

已有裝置可利用來將以SI引擎為動力的車輛改換成複式燃料LNG系統，圖2是已使用在複式燃料汽車和卡車多年的LNG系統的示意圖。此系統的特色是有一安裝在車體上的低壓、雙面、汽缸式的冷凍（小於259°F）液體油箱，這18加侖的油箱重75到100磅，而且可經由快速而不相連的活門灌滿油箱正常容量的90%到95%，由油箱而來的NG蒸氣經由另外的快速而不相連的活門流出返回燃料添加站。在操作時，油箱的NG以液態型式經由油箱底部的出口排出或以蒸氣型式經由油箱上部的出口排出

，並以流量控制活門來控制油箱的壓力。油箱操作的壓力通常為 5 到 60 psig，正常的操作壓力是 25psig。當壓力低於 20 到 40psig 時，NG 成液態被汲取，但油箱壓力高時則以蒸氣來汲取。

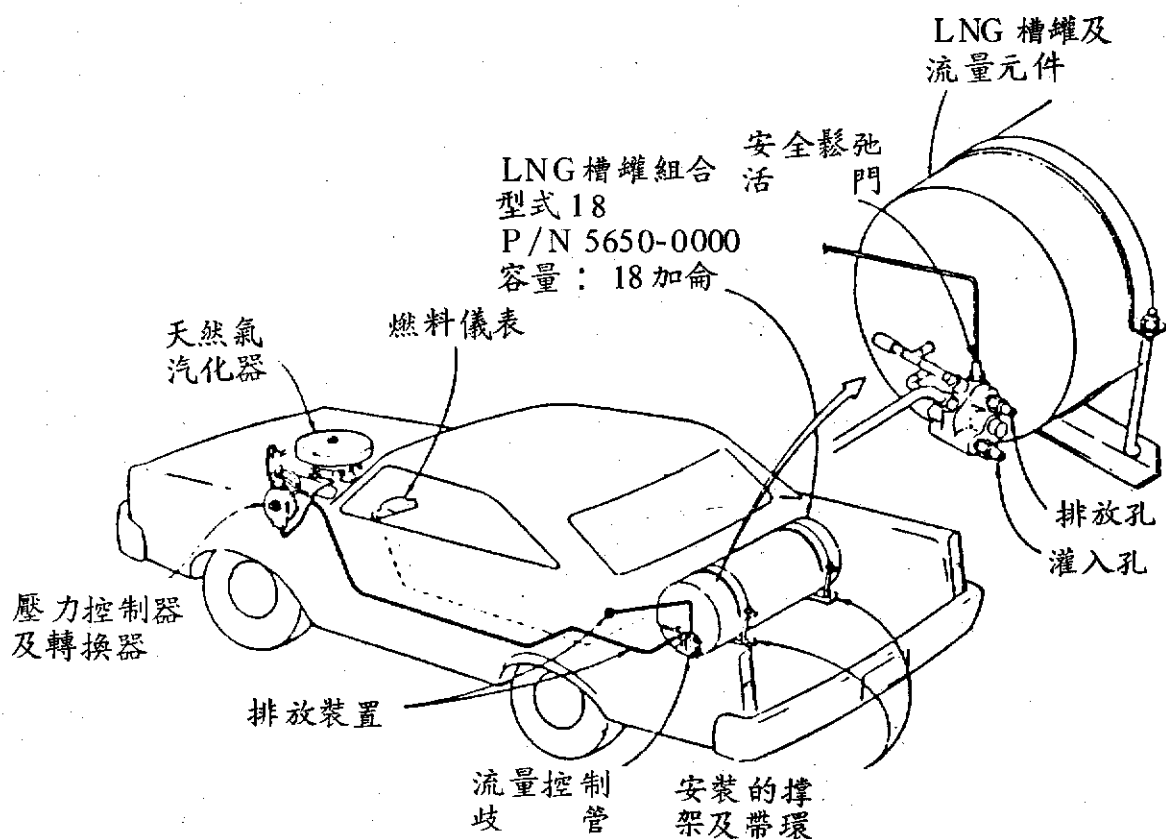


圖 2 安裝於客車的典型 LNG 轉換裝置

螺線管活門控制燃料進入壓力控制器——熱氣交換器組合，這種壓力控制器——熱氣交換器用來輸送氣體燃料在一可接受的溫度下到達瓦斯——空氣混合器（天然氣汽化器）；如需要時，熱氣交換器蒸發 LNG，並且控制進入壓力控制器的氣體瓦斯溫度。瓦斯——空氣混合器根據引擎速度和加速器踏板位置所決定的流率，輸送一均勻的燃料——空氣混合到引擎裏。鬆弛活門避免來自外界環境的多餘熱氣轉換為 LNG 所造成的危險壓力，油箱壓力大約高於 60psig 時，鬆弛活門會自動的將壓力鬆弛，現有一種

靈敏的裝置可用來衡量油箱的液體含量水準。

其他的轉換裝置基本上都是相似的，其主要的不同在油箱的構造、汲取活門的構造以及壓力控制器——熱氣轉換器和燃料——空氣混合器的設計。像在 CNG 系統一樣，除了空氣濾清器可能需要更新和點火時間可能需要改變外，SI 引擎並不需改變。

除了燃料分離裝置可以免除和引擎參數（如點火時間）對 NG 操作更能達到最佳利用外，對 SI 引擎動力車輛而言，其單一燃料 LNG 系統的轉換裝置基本上和商業用途的複式燃料裝置相同。車體容量的大部分是用來儲存 LNG 以提供某一行駛範圍，此乃與只用汽油的車輛相互比較的結果。最佳利用的單一燃料操作車輛可經改良來增加引擎壓縮比率和得到免除汽油系統後空出來的空間利益。雖然這種裝置尚未具備商業可行性，但已有兩種單一燃料的 LNG 轉換已經展示出來，一是由福特公司，一是由 Beech 飛機公司所展示的。

天然氣是一種高辛烷的燃料，像柴油燃料一樣不會在大氣壓下自燃，因此不適合直接利用在未經改良的 CI 引擎上；但基本上如有點火輔助裝置可利用，則 NG 系統可使用在 CI 引擎上。有些固定的工業車輛和海上柴油運輸工具使用 NG，但其動力車輛的轉換裝置直到最近才在商業上具有可行性。

基本上，將 NG 導入柴油引擎可藉汲取歧管來導入（以燻蒸法使 NG 和空氣混合或以直接法灌入）或在接近壓縮衝程將結束時，直接灌入汽缸內，這二種方式皆需要點火輔助裝置，點火輔助裝置可以是化學燃料添加物、火星塞、灼熱塞（glow plugs）或其他灼熱的東西，或是加入柴油燃料補助火種；後者這種情形，需要兩套燃料系統而且不能單獨用在 NG 上，天然氣燻蒸配合添加柴油燃料補助火種最近很受多數研究者的喜愛。但在較低的動力水準時，可被 NG 取代的柴油燃料比例很小，因為柴油燃料補助火種的添加量最少需能使 NG 氧化燃燒；再者補助柴油燃料／氣體燃料的比例隨動力需要而改變，因此需要一複雜的控制系統來達到最佳的燃

料使用。總之，使用 NG 的柴油車輛其燃料供應系統與以前所討論的 SI 引擎車輛沒有顯著的不同，但其引擎的改裝則是很明顯的。

2.2 汽缸和油箱

CNG 的汽缸和 LNG 的油箱是 NG 車輛的主要項目，乃因其所增加的重量、體積、成本以及操作的限制之故，特別是對減輕 CNG 汽缸重量的努力一直都在進行著。現在的 CNG 汽缸常是鋼製的，約有 $\frac{3}{8}$ 吋厚，重 100 磅以上，這種設計是要符合美國運輸部（Department of Transportation 簡稱 DOT）管理工業用氣體運輸的法令（見 6.2.1 節對此法令有更深入的探討）。每個汽缸其典型的容量是 325 標準立方呎（Standard Cubic Feet 簡稱 SCF）或大約 2.6 加侖的汽油（以 125 scf/gal 的汽油和較低的熱值為基準），一個二汽缸系統約可增加 250 到 300 磅的重量到已轉換的複式燃料車輛（其佔了車體的大部分），因此可提供的行駛範圍只有 60 到 120 哩。

設計動力車輛輕重量的汽缸正在進行著而且包括高強度的鋼、鋁合金或複合結構，福特公司所展示的 CNG 車輛就是使用鋁複合汽缸，但這種油箱其重量問題只得到部份解決而已（減少 30 到 50% 的重量），而且成本高，此外這些標準尚未得到美國運輸部的核准。汽缸可藉較高的儲存壓力來減少其體積，但添加燃料站必需改良；另一種氣體儲存觀念則包含了在 350 到 400 psig 壓力下吸附在分子篩的甲烷或已反應的碳粒子，大約有 2 倍的瓦斯能以這種方式加以儲存，如同最近才來用的高壓油箱一樣。最後欲述者是擁有世上最大的 CNG 車隊的義大利使用高強度鋼汽缸，其重量明顯地比美國所使用的來得輕，但卻不符合美國運輸部的規定（見 6.2.1 節）。

LNG 的油箱提供比 CNG 的汽缸大得多的行駛範圍（200 到 400 哩），一個 18 加侖的油箱大略可包含相當於 12 加侖的汽油。就像 CNG 汽缸一樣，LNG 油箱所佔的空間比一個汽油油箱所佔的空間來得大。LNG 油

箱由鋼製成，其特色是雙層結構，且在經濟的限制下其內殼要與外殼盡可能的分開，其設計亦需符合美國運輸部的規定。現在國內的冷凍油箱其支撐內油箱的設計與外油箱不同，而且用來減少液體蒸發的超絕緣覆蓋材料數亦有不同，這種特性直接影響油箱成本和粗硬度。一個典型的18加侖油箱重75到100磅，未來LNG油箱能藉使用更有效率的油箱外形、更佳的材料組合（如使用鋁合金是）以及更有效的絕緣材料使其製作得更輕更精確。

2.3 車輛操作

基本上，NG（CNG和LNG兩者）本身傾向於使用SI引擎，NG作為SI引擎燃料最主要的好處是其辛烷值（估計為130）比現在的汽油辛烷值（91到95）高，這種好處允許特別為甲烷而設計的车辆得以使用高壓縮率的引擎，同時具有燃料效率及效能的好處；再者NG廣泛的燃燒能力範圍（見5.3.1節）使引擎能以比使用在汽油還少的空氣——燃料混合來操作，這更加改善了熱效率。再者，燃料的氣態性質(1)改善汽缸到汽缸的燃料分配（氣體燃料比液體燃料能更快地與空氣混合），因此能使引擎在接近燃料不良燃燒限制內操作，(2)藉空氣的置換減少引擎的運轉損耗，因此減少了動力機組所必需降低運轉速度的程度。一氧化碳（CO）和氮氧化合物（NO_x）的排放量比用汽油所放出的低，乃因其有較少的引擎運轉，雖然碳氫化合物（HC）排放總量較高，但大部分均為不能再反應的甲烷HC，其尚未被視為是臭氧的前生物。

另一方面，NG作為動力車輛燃料亦有數項缺點，它的氣態性質易導致車輛在所有的速度下均會減少節流閥全開時（Wide-Open-Throttle 簡稱WOT）之引擎動力。NG要取代進入的空氣，否則將和部份液體燃料一起被引入，而且取代空氣會使每次活塞行程產生較高的動力輸出。限制燃料的輸入會使無用的操作加重動力的損失。就LNG而言，在最高負荷量時充分混合能減少這種影響，而且燃料蒸發的熱氣潛在地能用來增加

進入的冷空氣之容積效率。NG 的另一項缺點是其低的燃燒速度，此增加了燃燒時間因而減少了引擎的熱效率，部份這種損失能以進步的點火時間來回收，雖然此舉會增加 NO_x 和 HC 的排放量。只用 NG 的車輛，其動力損失可藉增加引擎壓縮比率和配合渦輪充電器來減少；同時亦藉進步的點火時間器來減少動力損失。最後欲指出的是 NG 的零烷值使 NG 不適合單獨作為未經改良的傳統 CI 引擎的燃料。

在一篇 Aerospace 公司為美國能源部 (Department of Energy 簡稱 DOE) 所做的報告收集了 13 部 CNG 和 LNG 車隊操作以及 7 部實驗車試驗的燃料經濟性、性能和排放物的資料，燃料經濟性和性能的結果列於表 1 和表 2，排放物的結果將在 5.2 節討論，大部份收集的資料是以複式燃料車輛為準，這種車並沒有完全達到 NG 的最佳利用，故其結果應以此觀點來看。

所有已報導的資料指出使用 NG 操作動力會減少，但加速時間增加 (計算結果增加 20 到 50%)，(加拿大最近的一項試驗計劃，加速時間的增加範圍對 0 ~ 60 mph 來說是 35 到 81%)，雖然有一些車隊操作者預測燃料經濟性有明顯的減少，然大多數的車隊駕駛人均說會有大量的增加；如對試驗車輛的測驗愈加控制，其結果顯示 NG 和汽油車輛大約有相同的能源燃料經濟性。不同的車隊操作者資料其屬性可表達成回答式的能源當量因子、駕駛週期的差異、引擎最佳利用的變動和一些純用汽油車輛的使用，這種車輛其燃料經濟性須符合排放標準和能行駛的能力要求。

如上所述，很少或根本沒有可用的 NG 車輛操作資料是根據已達完全最佳利用的 NG 系統而來，在缺乏這種資料的情況下，Aerospace 公司做了一項最佳利用 NG 系統的模擬，其所得的結果如與用相似動力的汽油車輛相比較時，20% 以上的能源效率利益能以輕型的單一燃料 LNG 車輛來達成。但經最佳利用的輕型單一燃料 CNG 車輛最多只能達到 3% 的燃料經濟利益，其加速度亦較低，如其加速度 (和行程) 與汽油車輛相比較時，CNG 車輛之燃料經濟降低了 10%，這些模擬結果均列於表 3。

雖然可以利用的 CI 車輛資料很少，而且車隊使用的資料根本沒有，但一些消息來源指出在大約一半負荷量時，NG 燃料的 CI 引擎其動力和熱效率低於平常的柴油燃料操作，這需視系統設計的參數和引擎速度而定，然而動力和效率在高負荷量時常會增加，故以 CI 為燃料的柴油 NG 車輛其操作週期大大的影響 NG 燃料引擎的效率和動力。

總之，這些結論性的資料尚未能對 NG 車輛潛在的燃料經濟和效率有可利用之處，特別是那些既已最佳化而且是單一燃料的車輛。

表 1 NG 車隊操作的燃料經濟性和效能資料

車 隊 操 作 者	車 輛		變 化 百 分 比		NG 對 汽 油	
	車 年	樣 份 用 途	動 力	加 速 時 間	燃 料 經 濟 性	
CNG						
Ara 公司	1966-81	服務業	減少 ^a	-- ^b		10
Battle Creek 瓦斯公司	1973-81	服務業	--	--		17
Eaton 學校特區	1969-79	公車業	減少 ^a	--		31
公衆服務局	1968-69	服務業	--	47		11
Greeley 市	--	--	--	--		4
Mich. 聯合瓦斯公司	1969	服務業	--	32		2
Sedgwick County	1980	警 察	減少 ^a	--		-17
Shawnee County	1980	警 察	減少 ^a	--		-30
Southern Calif. 瓦斯公司	1969-69	--	--	--		5
Washington 瓦斯公司	--	服務業	--	--		--
Wellington 瓦斯公司	1974-78	服務業	-18	20		13
Yellow Cab 公司	--	計程車業	--	--		-12
LNG						
Atlanta 瓦斯公司	1974-81	服務業	減少 ^a	--		42

a 沒有特定的報導資料

b 虛線=沒有資料報導

資料來源：參考文獻 1。

表 2 試驗性的NG車燃料經濟性和性能資料

操 作 者	車	輛	變化百分比	NG 對汽油	
	車樣年份	用途	動 力	加速 時間	燃 料 經濟性
<u>CNG</u>					
DOE/BETC ^a	1978	輕型	--- ^b	---	1
DOE/礦物局	1968-70	輕型	減少 ^c	增加 ^c	減少 ^c
DOE/EPA	1979-80	輕型	-27	55	1
複式燃料系統公司	1977-81	輕型			
		中型	---	---	-1
通用公司	1967	輕型	-15	---	---
<u>LNG</u>					
Beech飛機公司	1980	輕型	---	---	---
Shell 研究公司	1970	輕型	-24	---	13

^aBETC = Bartlesville 能源技術中心

^b虛線=沒有資料報導

^c沒有特定的報導資料

資料來源：參考文獻 1

表3 輕型的火星塞點火車輛的模擬結果

車 輛 特 性	汽 油 (基準線)	複式燃料		單一燃料	
		CNG	LNG	CNG	LNG
<u>改裝轉換</u>					
操作特性					
都市燃料經濟 (mpg。) ^a	28.0	26.3	26.9	28.7	33.7
0-60 mph 加速時間 (sec)	17.6	28.0	26.9	20.6	15.7
駕駛範圍 (mi)	350	429	659	350	350
車輛假設					
慣性重 (lb)	2356	255.2	2487	2977	2421
可利用的引擎動力 (bhp)	69.0	51.8	51.8	77.3	77.3
汽油箱容量 (gal)	12.5	12.5	12.5	0	0
其他的燃料箱容量 (gal [scf])	0	[477]	18.0	[1525]	15.6
<u>相比較的車輛</u>					
操作特性					
都市燃料經濟 (mpg。) ^a	28.0	18.2	20.7	25.4	36.0
0-60 mph 加速時間 (sec)	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6
駕駛範圍 (mi)	350	350	350	350	350
車輛假設					
慣性重 (lb)	2356	2857	2603	3104	2382
可利用的引擎動力 (bhp)	69.0	83.7	76.2	90.9	69.8
汽油箱容量 (gal)	12.5	13.8	0	0	0
其他的燃料箱容量 (gal [scf])	0	[688]	25.4	[1724]	14.6

^ampg。=每加侖汽油當量哩數

資料來源：參考文獻1

3. 供應系統

3.1 天然氣的生產

在本報告的內容裏，NG的生產包括從天然資源蘊藏地的探勘到零售點（都市的出入口，見3.2節）所有的步驟，包括有下列的步驟：探勘、汲取（掘井與產地的收集）、處理（淨化）、壓縮、管線傳輸、有時需要時所作的液化、然後是儲存和配送。圖3說明整個系統，雖然此圖並沒有包括輸入LNG的精確過程。以下簡略地說明NG的生產系統，以洞察使用在CNG和LNG車輛之燃料的性質，這些說明是根據參考文獻1和3的資料而來。

油井的天然氣是多種碳氫氣體的混合物，其主要包括有甲烷（60到97%）、乙烷、丙烷、丁烷以及其他相似的碳氫化合物；除此之外，天然氣亦包括少量的水、硫化物、二氧化碳（ CO_2 ）、氮（ N_2 ）以及其他雜質。地底的瓦斯其形成視其在原油中是否結合或分解而定，再者，其形成因產地之不同而不同，因此天然氣處理要求變化很大。自沒有關連的氣體貯存處（即與油沒有關係）產生的瓦斯在灌入輸送線路前，只需要最小的處理，相反地；相關的瓦斯、分解的瓦斯以及瓦斯液化物（液體）則在其能供應市場前需要充分的處理。

在處理上，大部分的丁烷和較重的碳化氫及一部份的乙烷和丙烷從瓦斯移作天然氣液體（NGL），因其可為石化原料或液化石油氣（LPG），雜質亦除去以符合州法令或管線公司的規定。特別是小水滴和水蒸氣必須除去以避免氫氧化物的形成（硬質化合物會從水和甲烷而形成），氫氧化物之會形成乃由於隨瓦斯膨脹而冷卻的結果，其能引起活門、計量儀器及管線的阻塞。

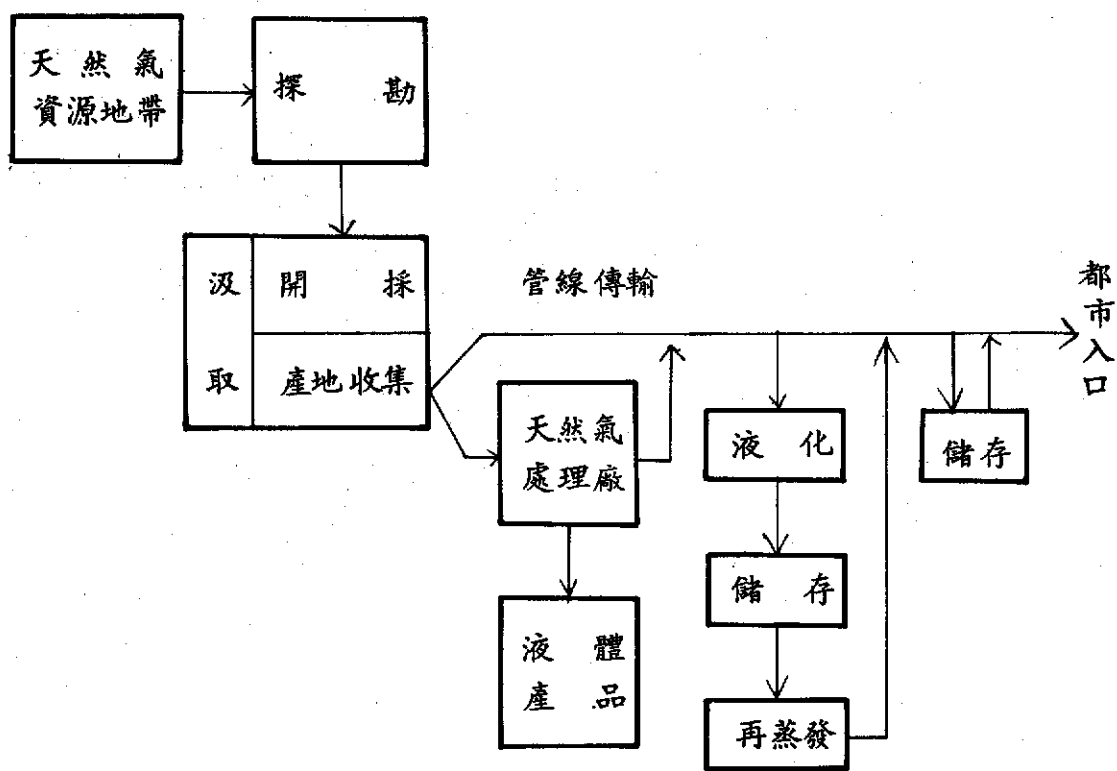


圖3 天然氣的生產（資料來源：參考文獻1，3）

沒有聯邦或全國性的NG規則管理管線輸送NG或NG配送至消費者的事宜。州的管制常限於處理氣味的事宜（為確保瓦斯外洩時能偵察得到常加些帶有臭味的物質），因為這樣而且地底瓦斯之組成和處理NG的程度不同，因此配送到美國消費者的瓦斯其組成變化相當大，但管線運送的NG其容量85%以上包含甲烷，而且有一較低的熱值840到1020 Btu/scf，NG組成和熱值的變化將影響車輛瓦斯氣缸的能源儲存能量；再者，NG的品質亦會影響這些汽缸的整合性能，這些問題在5.3.2節將作進一步的討論。

經過處理後，NG被壓縮灌入密集的全國性管線輸送系統，其操作壓力範圍700到1000 psig，某些管線超過1000 psig，壓縮站一般在管線上每隔50到100哩設一處。

NG的儲存設備已配合長距離的管線來發展，所以系統一年當中基本

上能以一固定的最大流量來操作。夏天多餘的瓦斯儲存下來在冬天尖峰需求時使用，儲存在地底已枯竭的瓦斯或原油貯藏槽是常用的方法，當瓦斯要被汲抽時，若需要則瓦斯需經脫水和除去硫磺質，現在26個州裡大約有400個這種儲存槽。除此之外，在 peak-shaving 工廠（或接近 peak-shaving 工廠）以 LNG 形式存在的瓦斯，其儲存是一項很重要的技術，此種技術用來調節尖峰的冬天熱氣需求能維持一段時日。以 LNG 當作一儲存媒體是很吸引人的，因為 1 ft^3 大約相當於 630 scf 的瓦斯；如需要時，LNG 可再蒸發進入管線系統。

以上的討論可應用於能完全使用於 CNG 車輛的瓦斯運送，對於完全使用於 LNG 車輛的 LNG 之生產而言，尚需增加一些步驟。在液化過程，瓦斯的組成份子如 CO_2 、硫化氫 (H_2S) 和水蒸氣須首先減低到低標準要求或它們形成固態且最後會塞住液化裝置，假如欲被液化的瓦斯是來自輸送管線，則只需最少的事先處理。在其他的情形，基本上由氣源來的瓦斯是液化時的原料，因此如上所述的天然氣處理過程是必需的。此外，NG 的液化能利用數種可以感覺得到而又潛隱不見的熱氣除去能源的處理方法之一來進行，NG 可以冷卻至 -260°F ；在此過程，留在 NG 的乙烷能再回收，而且 N_2 可被除去以改善瓦斯的熱值；視 NG 供應來源的情況，液化前瓦斯處理的程度、所使用的液化過程、以及儲存槽 LNG 年限的程度假如 LNG 已儲存相當的時日而且蒸氣 (boil-off) 已逸出， N_2 和較輕之硫化氫其密度將會減少，所以 LNG 的形成有一相當大的變動範圍。

LNG 存儲在靠近大都會區或在港口的 peak-shaving 工廠，由此接收進口的 LNG（經過再氣化後灌入管線輸送系統供應基準量的天然氣），由國內液化工廠運送 LNG 到衛星儲存廠（靠近 peak-shaving 工廠）是藉分離的槽罐貨車、火車或管線，後者常用於短距離運送。

除了天然氣外，合成天然氣 (Synthetic Natural Gas 簡稱 SNG) 亦可用於以 CNG 和 LNG 為燃料的車輛，甲烷可由不同的有機原料製造得到，從固態的化石燃料到石油殘渣和都市垃圾均可。經適當淨化後所

產生的瓦斯能用來替代，混合 NG，一旦製成後，其傳輸、儲存、配送、壓縮以及液化均與 NG 相同。當與天然氣混合，其組成和熱值改變，影響瓦斯汽缸和 LNG 油箱的儲存容量。SNG 最大的潛在來源是對美國煤礦的廣大資源所作的氯化作用而得到，但其他的資源亦能完全做顯著的貢獻，至少以地區的水準來看是如此。但 SNG 的大規模生產有很多經濟上、技術上以及環境上的限制，這些因素在 1990 年代以前可能對主要的 SNG 瓦斯供應產生不利的影響；然而幾乎所有的 NG 供應預測均指出未來對 NG 有顯著的依賴在某一水準上。

3.2 地區配送、儲存和車輛的添加燃料

全國性管線輸送系統有運送大約 23×10^{12} scf/yr 的容量，地區配送系統是用來運送瓦斯給最終的消費者，以車輛的情況言，其意指包括車隊之車庫、公共服務站和個人住宅（1981 年全美住家有 76% 利用 NG）。地區配送系統包括有活門、控制器、計量器和其他設備的主要網路裝置，用以輸送、控制和測度流到個別顧客之瓦斯流量。NG 進入地區配送系統之處叫都市入口站或都市邊界站（city border station），雖然大部份之社區只有一個都市入口站，但一些大都市有高壓迴路和數個都市入口站使瓦斯進入地區系統。NG 常以 100 到 150 psig 的壓力進入地區系統。

使用大量 NG 的商業和工業顧客（2500 scf/hr 或更多）通常由個別的直接線路由高壓迴路或輸送線路來供應，這種供應個別工商業顧客的線路其所包含的 NG 壓力是 0.2 到 0.4 psig，此係在 25 到 60 psig 壓力由地區配送主要系統所供應。個別住家的壓力控制器已在現代實務上使用了。

CNG 車輛添加燃料有兩種一般性的使用方法，其有可能利用在同一地點（現時美國只用於車隊的車庫），方法有(1)由高壓的壓縮機慢慢灌入或計時灌入直到大約 80 部車輛能同時從高壓的壓縮機灌入，(2)一次一部或二部車輛快速的灌入，係由高壓汽缸的階式槽灌入，以前則係由一具壓縮機灌入。慢慢灌入式所需的時間是可利用的壓縮機的數目、管線和儲存區

的大小，以及被灌入車輛數目的函數，最高需達14小時，而快速灌入式基本上可在2到5分鐘內完成。

圖4顯示典型的組合系統主要元件，天然氣由公共設施管線導入壓縮機抽氣通風線路。對快速灌入式而言，一部高容量的壓縮機（亦可能超過一部）大約以3600 psig排出CNG到個別之階式槽（3600 psig的壓力而不是2400 psig乃因在加添燃料接近完成時需提供足夠之壓力補足階式槽和車輛油箱壓力之差）。在控制上，一部份儲存的CNG用一控制的方法經一套灌入管輸送到車上；基本上，兩個車輛灌入位置分別提供給階式槽罐以便車隊能快速添加燃料。為了達到完全載運，亦即同樣的瓦斯數量，車輛汽缸最終壓力會隨周圍溫度而變，壓力係由添加燃料站決定而且能以人工或藉溫度補償控制器來控制。添加燃料站若為計時灌入，則包含由壓縮機到數個灌入站（fill-post）或hose-drop的組合裝置的高壓歧管，這能同時對許多車輛慢慢的添加燃料；而且由壓縮機而來的瓦斯會減低壓力，使其接近在周遭溫度時最終的灌入壓力。

這兩種添加燃料系統的車輛灌入歧管包括有灌入——排出活門、可調節的輸管以及調合器，這使操作者能對車輛添加燃料。現有多種的調合器和連結方法在使用，有些是自動封閉式的，有些則不然。對所有的方法而言，灌入——排出活門均是必需的，添加燃料後餘留在輸管之瓦斯在CNG再添加燃料管線沒連接以前必需排出。

如前所述，天然氣中的濕氣會引起車輛控制器結冰，縱當周遭之溫度在結冰溫度之上。不管是不同的加熱器或其他以某種設計組合的機械裝置，這種結冰均可能發生，因此；大部份的國內CNG使用者不是在壓縮前乾燥了管線的瓦斯，就是對離開壓縮機的CNG添加少量的甲醇。

另外尚有兩種可能的CNG添加方法，一是在添加燃料站用已用過空的車輛油箱替代已裝滿的油箱，另一是可能使用在家庭的小型壓縮機，則尚在發展。天然氣可經由現有之配送系統輸送，而且車輛亦可計時灌入，但這些壓縮機的現有資本成本高，其維護成本亦相當可觀；若不用電力操作

，其利用之經濟效率將減少，而且其在住宅區之安全亦會發生問題。

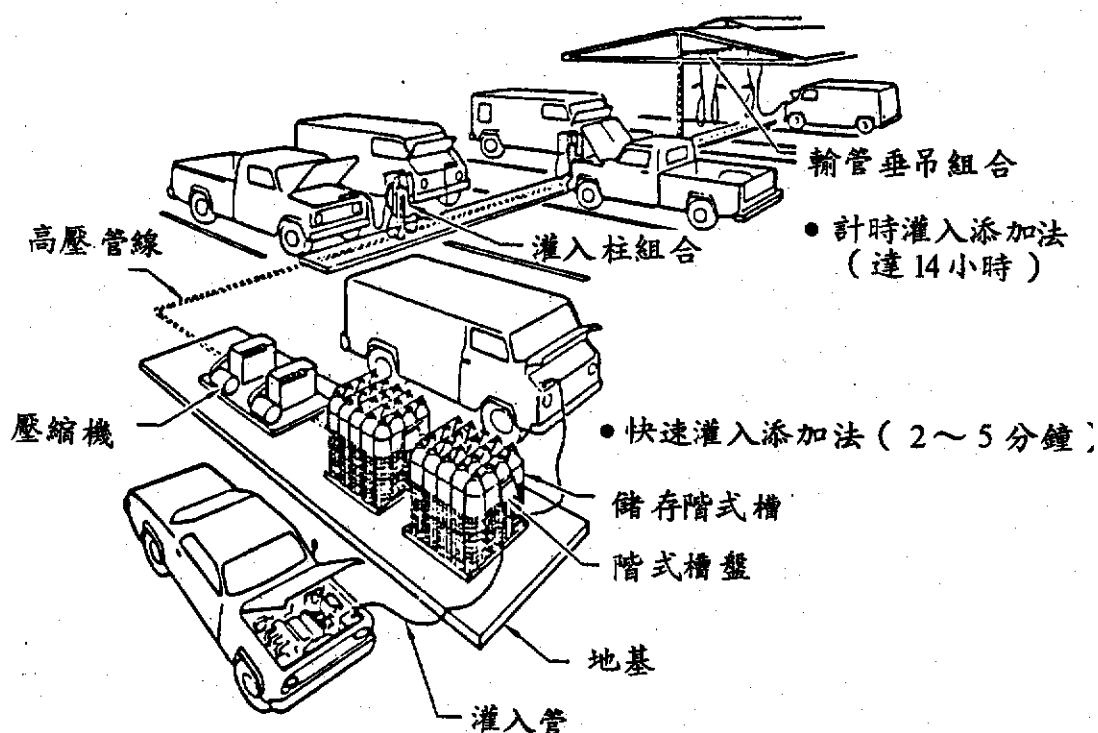


圖 4 CNG車隊添加燃料站

一個基本的 LNG 站包含一散裝儲存箱及其控制裝置、燃料轉換系統以及蒸氣處理系統（圖 5），儲存箱由液化工廠經真空絕緣的管線定期補充，或藉卡車或火車運輸定期補充。

一般而言可同時灌入數部車子，灌入時間大約是10分鐘，燃料是在40到60 psig 壓力下，由儲存箱流到分配器的，這個壓力是由一自動倒壓控制器和熱氣交換線圈來控制，藉以蒸發來自箱罐之液體作為所需的一種壓力物質（另一種 LNG 泵浦系統可用來供應液體給分配器，其保持儲存槽在一較低的壓力）。分配器的添加燃料連結器就連接到車上，二個承受口讓液體流入同時將蒸氣回收（LNG 很容易蒸發），當油箱裝滿時，分配器會自動關閉。

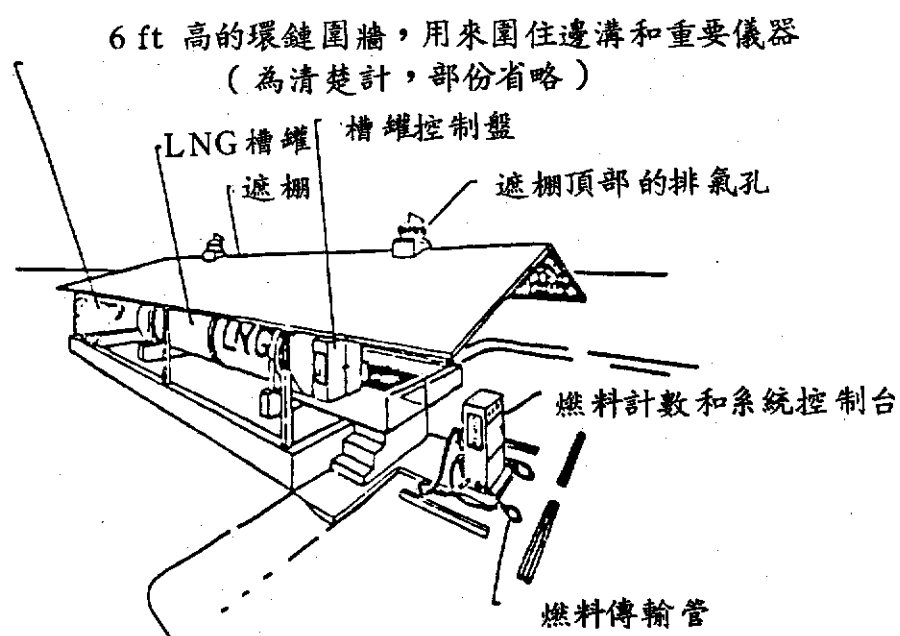


圖5 LNG車隊添加站

4. 市 場

4.1 現在使用的狀況

義大利自 1930 年代後期起，就將 CNG 當作一種 SI 引擎車輛的燃料，而且最近大約有 275,000 輛私人的車輛和車隊使用了 CNG。這對任何國家而言均是很大的數目。在義大利大約有 220 處公共的 CNG 添加站使用了很多年。法國、伊朗和其他地方的數千部車子亦使用 CNG，紐西蘭計劃在 1985 年前將 150,000 輛車隊和私人車輛改用 NG，加拿大政府現提供鼓勵措施，鼓勵使用 NG 或其他替代性燃料作為車輛的燃料。

在美國 CNG 只用於車隊車輛上，現大約已有 20,000 到 30,000 部，在這些使用中的少數 LNG 車輛中，亞特蘭大瓦斯公司的車隊有 200 部車輛，西北天然氣公司（在奧勒岡州的波特蘭市）有 25 部車輛。1968 和 1974 年間有更多的車隊使用了 LNG，現在使用減少主因是 LNG 的利用能力受到限制。

4.2 潛在的車隊市場

對 NG 車輛潛在市場的討論焦點大都集中在車隊的市場，車隊車輛特別適用以天然氣作為添加的燃料，其因(1)很多的車隊車輛可在同一地點添加燃料，減少壓縮機和場站的成本，(2)車隊車輛經特殊訓練的技工可使維護容易。很多型式的車隊可用 CNG，一項為紐約州而做的報告將車隊型式予以分類，這對 CNG 轉換特別適宜，包括有校車及報紙郵件包裹運送車隊。根據經濟上的計算，Aerospace 在另外的報告中結論說小車隊（車隊中只有 9 輛或更少的客車、五輛或更少的貨車）單單在經濟的基礎上並不能證明轉換 NG 係屬適當（假如添加燃料站亦須購買的話）。車隊的總車數其適當大小（即具有經濟轉換潛力）在 1981 年是客車 4.85×10^6

部、貨車 3.18×10^6 部；2000 年以前適合轉換的車隊客車預測將達 5.87×10^6 部；貨車估計達 7.59×10^6 部（當然，這些車隊的一部份可能不轉換，因對某些特定設施或地理區域 NG 並沒有利用的可能性）。GRI 估計適當的車隊大小其車輛的 10 到 30%，或 1.3 到 3.9×10^6 部的客車和貨車將在 2000 年以前會轉換到 NG。

4.3 個人使用的潛在市場

私人使用 CNG 車輛預測將隨主要的車隊使用之後而起。公共的添加燃料站很貴，而且個人使用 CNG 車輛的市場展望在這種燃料站發展前，必須予確定。家庭壓縮機的缺點使個人 CNG 車輛在近期內使用的情況更為複雜；再者，有 $\frac{1}{4}$ 的住戶沒有可利用的天然氣，因此不能使用家庭壓縮機。預測這種個人使用車輛的潛力並不容易，假設已解決燃料輸送到個人車輛持有人的問題，一項由 ANL 為 DOE 所做的報告預測，在 1995 年以前有 2 百萬部的 NG 車輛（大約是車輛銷售總量的 18%）將被都市住戶購買，而且大約有 12% 的都市住戶其行駛之車輛哩程（Vehicle Mile Travelled 簡稱 VHT）是使用 NG 燃料車輛的。但作者要提醒注意，這些圖的確顯示了對任何替代性的燃料車輛而言，其有牢固的市場，因其性能和以汽油為動力的車輛相似，但操作成本較低。

5. 衝擊與討論之課題

5.1 來源

5.1.1 資料

關於製造 CNG 及 LNG 車輛，沒有可利用的資料問題在這篇報告有關的參考文獻中可以找到。

5.1.2 天然氣的供給

關於使用天然氣做為汽車燃料的一個主要問題就是在未來 20 年內天然氣是否能在可被接受的價格下充分的供給。美國被證實是世界上第三大傳統天然氣 (NG) 儲存量的國家蘊藏量 (191×10^{12} scf 1981 年 1 月)。然而美國國內天然氣的消耗率大約是每年 20×10^{12} scf (1981 年)，因此這些儲藏量可供給的年限也不長，不過除了這些儲藏量外有更多的 NG (即使尚未被確定) 蘊藏在 48 州及阿拉斯加靠海及遠離海洋的地區，蘊藏量有 913×10^{12} scf。這些潛在的天然氣中大約有 60% 是位於很難開採的地方 (如阿拉斯加及大陸棚的外緣或是需開挖深井開採等地方)。此外在特定區非傳統天然氣資源 (在煤縫內，地層岩內，密閉保存的天然氣及受地壓的鹽水等) 經預測的結果比傳統天然氣資源還要多，即使由這些資源萃取天然氣的技術已經發展出來，但是所有關於天然氣萃取的潛在問題與環境的問題仍然未知，而且製造的水準及成本都無法正確估計。其他可能從煤，生物群體，市鎮內之固體廢物及其他來源中製造 (合成天然瓦斯 SNG) 的過程也存在類似的問題。

由於經濟、科技及政府策略等因素的不確定因素在預測這個世紀尚存的總天然氣量及各別來源的分配比例有很大的變動。表 4 提供一些近來的計劃，正如我們所見，天然氣供給的差異，在於 48 州及非北極阿拉斯加區供應 (14-17 quads 2000 年)，進口 NG 對供應的增加 (1.8-2.6

表4 西元2000年天然氣的供給預測與1980年生產的比較(quads)

天然氣來源 的型式	1980	2000		
		GRI (10月/82年)	AGA (3月/82年)	DOE (8月/82年)
天然氣 ^a	19.3	13.8	17.2	16.9
ANGTS ^b	—	1.2	1.4	0.8
由管綫進口	0.9	1.8	1.1	2.2
進口LNG	0.1	0.8	0.7	—
煤氣	—	0.6	1.0	0.5
由石油中 提煉SNG	0.1	0.2	0.1	—
新生產技術	—	—	0.7	—
其他	—	—	1.0 ^c	—
總和	20.4	18.4	23.2	20.4

註a：非北極阿拉斯加區及48州傳統和非傳統天然氣。

b：阿拉斯加天然氣運輸系統管線。

c：代表天然氣“直接銷售”給工業及電力工廠使用者，包括煤氣及大量天然氣。

quads)，新科技方法的貢獻(0—0.7 quads)。GRI(瓦斯研究協會)的研究假定與瓦斯有關的工業技術沒有進步，而美國瓦斯協會(AGA American Gas Association)的推測認為天然氣技術進步具有衝擊性。即使在本世紀末天然氣的來源將大大的改變，但綜觀在本世紀末每年天然氣的供應將不會與目前每年的消耗量20 quads相差太遠。依據未來天然氣工業的供應推測，非傳統天然氣來源及阿拉斯加天然氣的開發，再配

合增加天然氣的進口，如此到21世紀才能很理想的符合國家的需要。

即使可取得的NG使用在汽車燃料上並不會產生限制的因素，假如極大部份汽車改用天然氣，則衝擊是可感受的，尤其是T. Joyce 與其同僚為瓦斯研究所（Gas Research Institute 簡稱GRI）所做的一個研究，其結論是NG車輛消耗1 quad / 年不算多。NG車輛在西元2000年時需求水準很接近此數。GRI所做的預測是NG燃料車隊在2000年的平均消耗量是0.3 quad，奧岡國家實驗室（Argonne National Laboratory 簡稱ANL）研究顯示NG車輛打入小汽車市場在1995年的消耗量是0.4 quad。

5.1.3 總能源需求量

可替代燃料車輛經常是以其所需的總能源量來互做比較，總能源不但包括車輛運轉所需的燃料（在2.3節討論）而且能源在萃取，提煉過程及分配燃料以至於汽車的建造成本各方面都包括。總能源由天然氣中製造CNG（壓縮天然氣）及LNG（液化天然氣）以及由石油製造汽油及柴油二種方式，再以這些燃料來操作車輛做為評估的依據，評估的結果報告如下（製造汽車所需能源不包括在這個分析中）。

The Aerospace 之研究顯示複式燃料NG車輛比汽油車輛需要更多的總能源，而單一燃料NG車輛與汽油車輛在總能源的需求量方面相似。在2.3節指出單一燃料LNG車輛比汽油車輛可達到更好的燃料節省，而單一燃料CNG車輛只可達到相當甚至較差的燃料節省。LNG燃料供給鏈的效率（供給鏈即從天然氣的萃取到配送的過程）比汽油低，然而CNG供給鏈的效率大概與汽油相等。

美國瓦斯協會（American Gas Association 簡稱AGA）結論是CNG與LNG兩種車輛其總能源的消耗均比汽油車輛省。AGA假定燃料供給鏈效率與Aerospace研究的假設是類似的，同時還假定CNG與LNG兩種車輛在能源節省方面均比汽油汽車好。

最後汽車使用NG藉著壓縮點火引擎產生動力只有Aerospace曾經調

查檢驗過。事實上所有狀況的檢查，使用NG利用CI引擎所需的總能源將比使用柴油者多。

5.2 自然環境

NG車輛在營運操作時會排出大量的廢氣，因此將影響自然的環境，當我們檢討此一問題時，其他重要的問題就產生了：(1)第一個主題是：假使用家庭壓縮機，住宅區附近一帶的噪音會潛在增加。(2)第二主題是：在人口稠密地區，從規模大的燃料補給站內潛在流出物的處理數量及地點問題。這類的問題在文獻上很少被討論，因此在這一節將針對從NG車輛中排出的廢氣所造成的影響加以討論。

使用NG燃料之火星塞點火(SI)車輛其排放的廢氣，將視引擎密合度及硬體結構的配置是否能最佳使用燃料。比方說引擎在貧油之空氣與燃料混合比例下(lean air/fuel ratio)能降低CO及No_x的排出量。此外因為氣態燃料在低溫啟動車輛時，無需使用更濃的空氣燃料比來滿足車輛的操作，因此在低溫狀況下使用NG運轉的車輛將排出較少的CO及HC，因為NG在任何速度下，均會減弱引擎的動力，幸好利用超前的點火產生動力才復原一部份動力的損失，利用超前點火的時制將增加HC與No_x氣體的排放。相反地，假使引擎是專為NG單獨設計的，壓縮比將會增高以達到改進燃料的效率，然而這却促使HC的排出量增加。實驗室測試車隊的資料及實驗的資料加以複查如下，以期對從使用NG車輛所排出的廢氣影響做更明確的說明。一般而論，跟汽油車輛相比，從NG車輛排出的CO將顯著的減少，總HC的排出量較高，非甲烷碳氫化物的排出量較低，No_x的排出量可能較高也可能較低。而複式燃料(dual-fuel)車輛以汽油運轉時，由經驗得知將排放較高的廢氣。

正如2.3.節所示，燃料的節省，效率及排氣等資料由13個CNG及LNG車隊的駕駛員那兒搜集而得，並由Aerospace研究而發表：僅有三個車輛(全部是CNG)確定公布排放資料，這三個資料顯示比汽油運轉

時，HC，CO，及 No_x 的排出量較低（降低HC 45～84%，降低CO 75～80%及降低 No_x 50～65%）。這些排氣量減少的原因有二個：(1) CNG 燃料車輛在運轉時空氣燃料比很小，這種情況對排氣有利。(2) 基準車輛是較舊的車型（1968～69，1967～69，1974～78）其運轉時使用較大的空氣燃料比因此產生較多的廢氣。此外三種HC經不擴散紅外線（nondisperive infrared 簡稱NDIR）儀器測試後，結果無法充足說明是甲烷類HC。縱然1975年環保局（EPA）曾利用FID（檢波器測試HC）與FID法比較，NDIR在原因(2)時低估HC的排出量，尤其對甲烷幾乎是沒有感應。

Aerospace也提供關於NG燃料車輛試驗的資料（表5），這些資料比較完整，而且是在更多可控制的條件狀況下記錄而得，接受測驗的車輛是可使用複式燃料的車輛，但並不是對NG燃料能到達最佳情況的利用。概括來說表5大抵顯示降低CO及 No_x 的排出量，但是增高HC的排出量。

在表5我們尤其感興趣的是由環境保護局的Ann Arbor 汽車排氣實驗室主持的DOE'S車輛測試計劃的結果（表5中以DOE/EPA表示）。這個工作是Aerospace替DOE研究的一部份。兩輛複式燃料的車輛（1979及1980年車型），用汽油及CNG來作測試，點火時間沒有改變，而且空氣燃料比在空轉及載重輕的情況下被調整到最小排氣的程度。依據聯邦標準測試程序在EPA城市及公路駕駛推進循環下衡量汽車排氣，正如表5所示，使用NG的車輛比使用汽油者在CO及 No_x 的排氣方面較少，而HC則較高。表5中並未顯示當複式燃料（Dual-fuel）車輛使用汽油時，HC，CO及 No_x 的排氣量將比基準汽油車輛高出5～30%，在某些情況下，可利用的排氣標準將超過，舉例來說，基準1979年羚羊型（Impala）車輛符合 No_x 的標準，而改換車輛的運轉為汽油燃料的車輛就不符合 No_x 的標準，縱然以CNG為運轉燃料是順乎趨勢，其他的研究也有相似結果的報導。

DOE/EPA之測試計劃同時也測度出使用CNG運轉車輛將增加

表 5 實驗的 NG 車輛排氣的資料

車 隊 經 營 者	車	輛	最佳的 參數	NG 對汽油的改變百分比			
	車型年代	用		途	HC	CO	No _x
CNG							
DOE/BETC ^a	1978	輕	型	效率	150	- 12	26
DOE/礦業局	1968-70	輕	型	排氣	- 47	- 87	- 22
DOE/EPA	1979-80	輕	型	排氣	150	- 99	- 20
複式燃料系統 公 司	1977-81	輕型/	重型	排氣	340	- 96	- 46
通用汽車公司	1967	輕	型	排氣	0	- 81	- 50
LNG							
Beech飛機公司	1980	輕	型	經濟	與 汽 油 相 似		
Shell 研究中心	1970	輕	型	經濟	- 65	- 80	47

a : BETC = Bartlesville 能源科技中心 (Bartlesville Energy Technology Center)

HC 的總量，這個增加是很明顯的，1980 年 Diplomat 每英里超過可被利用 HC 標準 0.41 g，這個增加是因為較高甲烷排出的結果，非甲烷 HC (NMHC) 每英里降 35~55%，而 CNG 車輛關於 NMHC 之部份降低 13~18%，相對地汽油車輛降低 56~87%。目前汽車廢氣觸媒劑在消除甲烷的功能上是相當無效的，因為甲烷是穩定的廢氣碳氫化合物，所以甲烷在這些觸媒劑下很難氧化，然而使用 NG 運轉其甲烷類 HC 的排氣將增加，因為甲烷 HC 物的排出是不反應的，他們並未主動參與形成光化學氧化劑或在大氣中產生臭氧層的過程反應。

在表 5 我們也想知道的是使用 NG 運轉時 No_x 的排出量，有時候報告說較高了一些，尤其是對兩輛車來說，我們強調燃料節省與績效的最佳狀況，

而不要求排氣的最佳情況時會有如此的結果。CNG 車輛 No_x 的排出量比汽油車輛高，應用點火時間的超前加上選擇特定(空氣燃料)比，將可促使LNG車輛增加 No_x 的排放。在DOE/BETC(Bartlesville 能源科技中心)的車輛中，要作如何的調整才會導致 No_x 的排出量增高的原因不太清楚。

最後關於SI引擎使用NG燃料，BETC早在1970年代初期以單汽缸引擎使用NG與汽油兩種燃料做實驗，結果顯示使用NG及汽油的排氣量與A/F的依存關係在數量上相類似，又發現CO的排出量在任何指定相同的A/F比下是必然相等的，在總HC排出量方面發現使用NG的車輛在任何相同的A/F比下均比使用汽油者較少。在 No_x 之排氣方面，使用NG車輛之排出量發現將一直降低直到A/F比大約是1.2為止，超過1.2的A/F比，NG車輛之 No_x 量將比使用汽油者多。又針對六輛1968—1970年代的車輛做試驗，結果顯示使用NG的車輛降低總HC排出量。應用火焰游離檢測器(flame Ionization detectors 簡稱FID)可正確的計算甲烷類HC。這些結果與其他近來對於車隊的試驗顯示汽車使用NG之總HC量較高者很明顯是不一樣的。(註A/F=Air/Fuel)

在BETC之研究中關於使用NG車輛降低總HC的狀況有幾個原因存在，受測試的車輛沒有使用接觸反應的轉化器(Converter)，假如這些車輛是以汽油做試驗，非甲烷HC(NMHC)的排出量仍然很高。此外受測試CNG車輛當與基準汽油車輛比較時，對於甲烷其運轉可達最佳狀況，受測試的CNG車輛顯示比典型非最佳化CNG車輛在總HC之排出量上較少。

然而NG燃料SI車輛的廢氣排放資料非常有限，而且廢氣的排出量將隨NG燃燒是否為最佳狀況的程度改變。現在做成一些概括性的結果，然而有關NG燃料CI車輛排氣影響的資料不包括在內，很少排氣的資料可被用來做分析，CI引擎使用NG本質上受到固定裝置及船舶引擎的限制。兩項研究結果報導如下。

西南研究所(Southwest Research Institute)將底特律柴油引

擎改變成LNG型式，並從事引擎動力試驗，結果顯示LNG車輛之HC及CO排氣量比基準汽油車輛高出很多（分別是1300%及300%），排出這樣多的HC，一般咸信是因為轉化為甲烷及汽缸與汽缸間混合氣體變動等因素造成高的排氣量。LNG車輛 No_x 的排氣（27%），排煙的程度為1%（4%排煙將成為可見的煙氣），此外附帶臭氣的程度也很低，噪音也減少（當與基準汽油車比較時）。

Karim與Burn之報告指出，將甲烷直接注入單缸柴油引擎做燻蒸實驗，尤其當增加甲烷時，將造成甲烷廢氣量的增加。當車輛輕載時（載重輕）20~80%的甲烷燃料仍然以未反應狀態留在引擎內，而CO量因燻蒸將增加高達六倍（600%），車輛適載時， No_x 的排氣量將比由標準柴油運轉的排出量低，當車輛重載時， No_x 量將等於或高於正常柴油燃料運轉的排出量，在車輛重載時廢氣煙霧將降低，因為甲烷幾乎完全燃燒，沒有煤煙存在。

5.3 健康與安全

關於以天然氣為燃料的車輛對人體健康及安全的問題，主要焦點集中在NG車輛在正常操作及肇事時燃料系統的危險性。這些部份根源於NG特有的危險性做成如下的記錄，大部份的資料是取自Aerospace及Los Alamos國家實驗室替DOE做研究所產生的結果。只要適當，我們將使用其他燃料的車輛拿來做比較。一般說來使用CNG及LNG的車輛系統的安全性仍然是一個還沒完全解決的重要問題。

5.3.1 根源於燃料特性的危險性

許多獨特的、本質的、化學的、及有毒的特性在使用甲烷、汽油、及柴油時出現潛在的危險性。主要的危險性有燃燒、爆炸、以及生理上的傷害（如中毒、窒息、高溫燃燒及冷劑灼傷的傷害），次級的危險性包括燃料外漏，熱量的幅射及無限制的擴散及引發可燃物。

本質的特性

表 6 指出汽車燃料的一些選擇過的特性，氣體濃度影響安全，NG 在密閉的溫度下從 CNG 槽中洩出時其濃度比空氣還要低，所以其溫度會升高，擴散到無限的空間。因此當與汽油蒸氣比較時，汽油蒸氣比空氣重，甲烷蒸氣在密閉情況下儲存在較小的空間可助長其安全性。然而在限制的空氣內，NG 很迅速的擴散是有利的，因為可燃的空氣與燃料混合氣可以更方便的積存下來。因為 NG 的易燃性限制在 5 % 的濃度與 1 % 限制的汽油相比，NG 需要更多的燃料與空氣混合以促成混合氣的容易燃燒，此外使用汽油失火的危險性將持續較久的時間。

相對地，水蒸氣或瓦斯比空氣重，接近地面時易於處理，因為它們可以形成可燃的混合氣。在其正常沸點（華氏 - 259 度）時，甲烷比空氣重，在 LNG 溢出量超過數立方公尺時，此溢出的蒸氣溫度是夠冷的，因而 LNG 蒸氣與空氣混合的雲狀物，其濃度將比空氣在密閉的溫度下還要高，所以這個雲狀物如果能漂浮的話，將可持續較久的時間，此外這個混合氣將馬上散布及漂浮到溢出去的空間。汽車中使用的 LNG 其溢出量相當少，這蒸氣將完全的浮起與空氣快速的混合。

熱化學的特性

與安全有關在熱化學上的燃料特性列在表 6 中，較低著火的限定是一個衡量有對著火危險性的一個準則，尤其是針對很少的外溢燃料量的情況時。這個外溢量甲烷比汽油高，顯示甲烷著火的危險性較低。自動點火的溫度是當可燃的燃料與空氣混合氣在缺乏外在點火來源下而能點火的最小溫度。因為這個最小點火的溫度，甲烷比汽油高，因此甲烷在此一標準下又比汽油的起火危險性為低。所以在相當微弱的點火來源下而需要點火時，只需少量的能量，火花點火能量或是空氣中最低限度的點火是必然等於如表 6 所示之各種燃料。

在液體表面上形成可燃之燃料蒸氣與空氣混合氣體其所需的最小溫度——即所謂的燃燒點，是液態燃料的另一個重要的安全特性。液化甲烷的燃燒點是華氏 - 306 度，在不設防的燃燒情況下很顯然是危險的。此外甲烷即

表 6 車輛燃料的一些特性

特 性	天 然 氣 ^a		LPG ^b	汽 油	二 號 柴 油
	CNG	LNG			
可燃燒限度(空氣中含量%)	5.3 — 15.0	—	2.1 — 9.5	1.0 — 7.6	0.5 — 4.1
	6.3 — 13.5	—	3.1 — 7.0	1.1 — 3.3	—
空氣中最小點火能量(mJ)	0.29	—	0.27	0.24	0.3 (est)
自動點火溫度(°F)	1004	—	855	442 — 880	500
發 火 點(°F)				— 45	125
能量含量(低熱量值)					
Btu/gal	在2400psi及70°F為19,760	在NBP ^d 及1atm為76,300	82,450	116,400 ^e	129,400 ^e
Btu/lb	21,300	21,300	19,770	18,900 ^e	18,310 ^e
空氣中擴散係數(cm/sec)	0.16	—	0.10	0.05	—
空中漂浮速度 ^f (m/sec)	0.8 — 6	—	不 會 浮	不 會 浮	不 會 浮
液體密度(g/cm ³)	—	在NBP下為0.4226	在NBP下為0.585	在1atm為0.70-0.78	0.82—0.86
與空氣的相對密度(空氣=1.00)	0.555	—	1.56	3.4	> 4.0 (est)
蒸氣的壓力(atm) ^g	1	1	1	0.6-0.8在310(100)	0.0005在310(100)(calc)
正常沸點(°F)	—	— 259	— 44	100 — 400	405 — 620
儲 存 狀 況	在 2400—3000psig 壓縮氣體	在 25—60psig 液 體	在 105—140psig 液 體	在密閉溫度及壓力下液體	在密閉溫度及壓力下液體

a：主要是甲烷的特性，因為天然氣依成分而變，由少到全甲烷。

b：主要是甲烷的特性，在汽車應用上只有特別等級HD-5 是適合的。

c：LNG 與 LPG 在其沸點以上的任何溫度都會發火。

d：NBP 正常沸點。

e：平均值。

f：在常溫常壓下。

g：對氣態燃料而言，所謂“相當蒸氣的壓力”是從高壓儲存槽中放出或在密閉情況下最大可能的壓力，對液態燃料而言，乃是在最大密閉壓力下取蒸氣壓力值。

使是在完全燃燒的情況下，其火焰呈淡黃色，不如汽油燃燒容易被發覺。汽油燃燒的火焰很像甲烷混著煤煙及冒著煙，因此汽油燃燒火焰很清晰。在全國防火協會（National Fire Protection Agency 簡稱NFPA）所建立用來鑑定可燃燒危險性的系統中，汽油的等級是3，而甲烷的等級是4，這表示最嚴重的危險性。

在無限定比例的情況下，甲烷與空氣的混合氣是否會爆震的問題存在著相當多的不確定因素。在密閉情況下，不限定甲烷與空氣的混合比是否產生爆震，已被做實驗觀察。這些爆震僅在當一開始時存在超過1 Kg高量爆炸物的情況下發生。一般咸信在沒限定甲烷與空氣混合物的情況下，爆震是很難發生的，當汽缸或油箱破裂時會產生很強烈的震波，因而引發爆震。此外構成天然氣的成分乙烷，只需很少的量就可增強甲烷與空氣混合物的爆震，相反地，從不限定LNG的蒸氣中，已被證實不太可能產生震爆。

關於有限定甲烷與空氣混合比例的氣體，已經在充滿爆炸物少於1 Kg的情況下進行實驗。許多在下水道及隧道發生NG意外爆炸的事件，已被編成記錄，這些爆炸推測其原因可能是由微弱的熱量產生點火之根源引發而來，例如無設防的火種，熱燙的表面，或火花均可造成爆炸。

毒素：

此處健康風險的評估是以燃料外露被人吸入攝取或是與皮膚接觸的相關毒性為依據，表7摘要了一些選擇性的燃料毒性資料。甲烷過量將置換空氣很容易使人昏厥（窒息）但是沒有毒性。LNG對人健康潛在的危機是經由接觸冷凍的燃料或燃料器皿而造成皮膚細胞組織的傷害。The Aerospace研究指出已經存在建立完善教人如何避免這類危險接觸的方法。然而一小部份的意外事件是在補給燃料的時候發生的。The Aerospace研究做了一個結論是使用甲烷發現比使用汽油對於危害人體健康的影響顯著的降低。

表 7 經過選擇之燃料對人體健康的危險性

曝 露 的 型 態	汽 油	甲 烷	甲 醇	丙 烷	氫 氣
吸 入					
連續曝露吸入限制	不 定	無 毒	200ppm	1000ppm	無 毒
在吸入限制以上曝露的主要影響	不 定	無 毒	昏 迷	昏 迷	無 毒
連續短期曝露（相對健康危險性 5 最高 1 最低）					
眼 睛 接 觸	2	—	2	—	—
吸 入	3	3	2	3	3
皮 膚 侵 蝕	3	—	2	—	—
皮 膚 刺 激	2	a	1	—	a
攝 取（吞食）	2	—	1	—	—
其 他 作 用	慢 性 毒	單 純 窒 息 物	永 久 的 傷 害	單 純 的 窒 息 物	可 能 為 窒 息 物

a：與冷凍物質接觸造成皮膚組織受傷。

基本相對安全性的等級：

根據醫藥化學特性的審查選自前面已討論過的問題，在洛斯阿拉摩斯（LOS Alamos）研究中，對於天然氣，汽油、柴油及LPG等燃料的相對安全性等級產生出來了。各種燃料根據他們隔離獨存或混合時的一定特性來分等（表 8 及 9）。這些等級跟前面燃料的評估是相同的。單以基本等級為基準，洛斯阿摩斯下了一個結論是，指定任一種燃料要比另一種更安全是很困難的。

表 8 根據選定的特性做成燃料基本相關危險性的等級

特 性	危 險 性 的 等 級 ^a
最 低 可 燃 限 度	$D > G > LPG > NG$
擴 散 係 數	$NG > G^b$ 或 $G > NG^c$
自 動 點 火 溫 度	G 與 $D > LPG > NG$
體 積 能 量 含 有 數	$D > G > LNG > LPG > CNG$
質 量 能 量 含 有 數	大約都相同
點 火 能 量	大約都相同
熱 量 消 散 率	$D > G > LPG > NG$

a : NG = 天然氣 (甲烷) D = 柴油 LNG = 液態天然氣
LPG = 液化石油氣 (丙烷) G = 汽油

b : 限定的

c : 不限定的

表 9 依據選定之次級危險性^a 燃料間基本相關安全性的等級

燃 料	外 漏 量	熱 幅 射 量	不 受 限 制 擴 散	燃 燒
CNG	D	A	A	C
LNG	D	A	A - B	C
LPG	C	B	B - C	C
汽 油	B	C	C	B - C
柴 油	A	D	D	A

a : 燃料等級之英文字母指定是定性的方式，由 A 到 D 其意義為危險性漸增，在這些字母間沒有任何的數學關係存在。

5.3.2 在正常操作下燃油系統的危險性

本小節我們審查在正常汽車操作下關於潛在本體與特性損壞之；燃油系統的危險性。主要的問題包括：燃料外漏，LNG 蒸氣的蒸發及 CNG 儲存槽的腐蝕等問題。

燃料外漏：

燃料外漏是車輛平常運轉時所發生的主要問題，因為它能使可燃的混合物積存在汽車內的各有關部份，燃料的外漏可能是在車輛添加燃料時濺出或漏出或因燃料系統發生故障而產生。在平常運轉下使用壓力噴射燃料的裝置也可能發生燃料外漏的情形。

在 1970 年代早期由美國運輸部完成的 CNG 燃料系統分析中提出燃料的濺出與外漏是由於機件某部份的功能故障或因為正常的磨損與裂痕所造成的結果。表 10 列出機件功能故障及經認定與安全有關的條款，燃料的外漏可能遍佈整個系統。除了表 10 的資料項目外，其他燃料的外漏可能源自汽缸的手動關斷閥，這樣將產生侵蝕作用或造成金屬的潛變。表 10 的一些安全條文並不需要全部都是典型的轉換裝置，因此他們可以不必存在於一輛 NG 燃料的車中。再者一些條款依賴駕駛員對機件故障的注意，但是光靠駕駛員的注意是不夠的。

想要決定因為汽車天然氣的外漏而造成火災的可能性及嚴重性，加州公路局在 1970 年從事一連串的試驗，就是將天然氣注入 1964 年轎車內各部份，以火星塞點火，火星塞則安裝在引擎室或客艙中，並將所有的門與窗子都關上，高壓洩漏進入引擎室中的天然氣很穩定一致地產生可燃性的混合氣，但是並沒有發生燃燒爆炸的現象，也沒有火焰蔓延到乘客室的情況。低壓（150 psig）洩入引擎室僅有百分之二十五的試驗中發生起火的情況，要累積到可燃混合氣的密度大約需 100 秒的時間，風的存在與否可能影響這個結果。若是天然氣外漏進入幹管（trunk），在前輪的地方要達到可燃的濃度需 15～90 秒，只發生起火而沒有爆炸的情形。這個試驗指出幹管的通風須要改良，客艙與天然氣貯存處須要隔離，客艙的通

風亦應改善。

LNG 蒸氣的特性引發一個特別的安全問題，從 LNG 槽中漏出 NG 蒸氣必需降低，因為密閉熱量無法避免轉移到液態燃料所增加的壓力。比琪 (BEECH) 飛機公司之報導指出他們目前真空隔離 LNG 車輛的儲存槽在發生漏口前可保存超過 7 天的時間，當有漏口時，一小時的漏出量將小於 0.032 磅，此種情形假使車輛停在室外可預先防止任何的危險性，但是在修車場內 (車庫) 可能造成潛在的危險。因此使用 LNG 的車隊老闆，一般都採用露天停車場。(在封閉車庫內從 CNG 車輛外漏產生天然氣的聚集也是重要的問題請看 5.3.6 節)

在真空隔離下燃料的損失已經被認定與含氫燃料車輛有關，成為一個主要的安全問題，因為這樣會增加燃料的沸騰率。相同的考慮因素也被應用在真空隔離 LNG 儲存槽。在洛杉磯阿拉摩斯國家實驗室的試驗中當氫氣真空槽突然破裂時，所有的液態氫氣在二小時內全部溢出。正常的洩漏率是每天百分之十，在非真空情況下洩漏率很明顯地會加諸相當的負荷到氫氣擴散的系統。

總體說來，潛在性燃料外漏的情況，有時氣體燃料系統比液態燃料系統還要多，這是因為高壓儲存及分子量較小及黏性較小的結果。此外雙重燃料系統的複雜性在某些情況下比液態或氣態單一燃料系統提供更多潛在的外漏燃料的路綫。然而在無毒的甲烷情況下，少量的外漏是不會有危險的，除非燃料在濃度達到最低燃燒限度 5 % 前已經擴散了。Aerospace 研究所做的結論是：關於 NG 在裝填或由 LNG 蒸發時外漏所造成的危險，可以使用現有的技術及已建立的程序 (那就是檢查，維護的程序及燃料系統與乘坐室隔離及與引擎室，儲物箱隔離，再應用天然氣氣味偵測裝置) 來控制。

CNG 油槽腐蝕

油槽的腐蝕對 CNG 車輛來說是一個安全上的問題，在以往 NG 腐蝕的成分例如硫化氫 (H_2S) 對於許多鐵製用來儲存或運送 NG 的圓筒容器

，已經造成重大災禍的損毀。圓筒容器由於內部腐蝕而造成的功能喪失，曾經發生在義大利早期的CNG車輛，但後來使用乾燥，防腐的天然氣使得容器喪失功能的事件逐漸減少。

1977年美國一輛運送NG的車輛因為在NG內混合 H_2S 的濃度過高及接近容器壁內部的小區域的高硬度鐵皮而發生爆炸，從那時起運輸部就禁止在壓縮容器內運送NG的量超過1000加崙，而利用特殊管狀拖車運送NG是被允許的，不受運輸部所定規則的約束。然而 H_2S 與 H_2O 的可接納標準比油管運送天然氣的配送系統的要求還要嚴格。

因為LNG容器車輛不受運輸部管理，而且對於NG做為汽車燃料沒有品質標準的限定（6.2節），一個潛在的危險可能存在的。到目前為止在NG中 H_2S 及其他污染物的最大可接受的安全濃度範圍尚未被決定。 H_2S 長期曝露在CNG鐵製容器內的影響效果也不清楚。全國防火協會（NEPA）最近建議從事一項重要的研究計劃，(1)在壓縮狀況下檢查在CNG儲存容器中放了不同性質的NG有何影響。(2)不再被用於裝運CNG的儲存容器，時間在10~15年者觀察其毀損的程度。這些將可由有效的統計資料基礎來輔助發展天然氣性質的規格說明記載。

在CNG車輛上鋁製或內殼鋁製的合成容器將代替鐵製的容器，關於NG對鋁製容器腐蝕的結果，現存可資利用的資料很少。然而有一個研究指出因CNG合成容器腐蝕而造成功能喪失的原因是內殼破裂，天然氣經由裂縫擴散到外層加強的材料壁，這個控制燃料外漏的容器比鐵製容器爆破安全多了。

表10 燃料系統故障及相關安全性規定

系 統 成 分	故 障	安 全 規 定
儲油槽	壓力過高	改裝線路的充氣圓盤在 3000 — 3600PSI 會破裂
歧管線路	漏油進入幹管	從幹管中抽出燃料
高壓綫圈閥	卡住開著	不太可能，因為進氣壓力將關上閥在正常操作下沒有影響
高壓供給管綫	漏出燃料	乘客室抽出，或隔離
高壓調整器	閥座漏出燃料（允許高壓天然氣在低壓管綫中）	增加壓力易於關上閥，調節器漏氣進入大氣中氣體壓力 2000 PSI 低壓綫圈在進氣壓力高於 600 PSI 不打開
低壓綫路	漏出燃料進入引擎室內	當引擎運轉時，剛起動沒有重大問題會產生危險
低壓綫圈	卡住開著	不太可能因為進氣壓力將關閉閥關掉高壓綫圈
低壓調整器	閥座漏出燃料	駕駛人發現引擎效率不良並關掉系統。調整器抵抗 60 PSI 的出口壓力
燃料空氣混合器及供給管綫	漏出量進入引擎室內	由於較稀濃度混合氣及不良引擎效率所造成的燃料外漏，駕駛人可以察覺
到 Dash Gauge 之高壓綫	漏出燃料	從動栓切斷管綫流通
真空歧管開關	當引擎不運轉時緊緊黏著不打開	假使點火開關斷路則無效

5.3.3 肇事時燃料系統的危險性：

有關汽車在意外事件情況下，燃料系統的危險性包括(1)燃料外漏的影響，(2)燃料箱破裂著火，(3)燃料系統的組成件侵入乘客艙，此外複式燃料車輛比單一燃料車輛在意外事件中將有更多的零件受到損壞。

燃料外洩影響的控制

燃料在肇事中及肇事後外漏，可能是因為油槽穿孔或破裂或其他燃料系統部份受到損壞的結果。目前 CNG 儲油槽的設計已符合運輸部的標準而且跟傳統汽油槽相比，可謂相當結實，儲油槽的設計符合工業用油運輸業者的要求標準，如此對於粗糙的工業處理尚有安全的餘地。兩個研究計劃測試燃料外漏的結果報導如下。

一個試驗計劃在 1971 年由美國運輸部執行包括 CNG 複式燃料車輛外壁破裂的試驗，CNG 儲油槽墜重試驗，CNG 儲存槽限制系統敲擊試驗等。表層上產生一些可見的小毀損，但是沒有看到燃料漏出來。車輛、燃料系統等在這些測試情況下，其設計與方針並不具有代表性。一個使用 1981 車輛更新的 CNG 測試計劃在加拿大進行中，測試內容包括時速 50 英哩的車輛首尾相撞，使用三輛福特 Econoline 客貨車及三輛 Oldsmobile Omega 轎車來做實驗。結果汽油車輛與 CNG 車輛兩者都沒有發生燃料外洩、燃燒及爆炸等情形。而在 CNG 系統之車輛油箱及輸送管線有輕微的偏離，而該燃油系統保持原有的壓力。

除了堅實的儲油槽外，其他的一些安全措施也被應用在一旦肇事發生時，當流出量已超過使用中 CNG 系統的設計標準，過量設施裝置將切斷燃料的供給。這個設施的主要目的是消除在高壓的運送管線中發生較大漏油而產生潛在的危險。此外有人提議在共同的各種 CNG 儲油槽中使用人工或自動切斷燃料閥。自動閥可以避免一旦車輛動力中斷；熄火時燃料的排出，（例如從破裂的高壓燃料管線排出）。雖然過多流量活門與自動切斷燃料活門的使用在某些方面看來是多餘的，但是他們能在不同的原則下發揮其功用，因此他們要在相同的地方很完善的裝設好。

輕量級的 CNG 儲油槽現在正在開發中，這種儲油槽在碰撞時易受到毀損可能併發燃料外漏及起火。此種油槽在意外事件中能否保持完整，尚未作完全的評估。僅有一家公司所使用的增強鋁質玻璃纖維合成儲油槽曾從事於儲油槽的毀損試驗。

雙層隔絕牆的 LNG 儲油槽，一般的設計是用來承受每平方英尺 60 磅的工作壓力情況，因此其內壁所需厚度比 CNG 儲槽還要薄。雙層壁的結構物是用來抵抗破裂，而絕緣是為了遲延當 LNG 燃燒時熱量的傳遞，一旦儲槽破裂，LNG 槽將比 CNG 槽漏出更多的燃料能源。但 LNG 儲槽破裂的程度較輕微。從翻倒的車輛上漏出 LNG 也是一個重要的問題，因為液體充滿正常蒸氣的空間，在壓力下由出油管線強迫流出。檢討 LNG 卡車經營者之安全經驗發現數次的肇事中有在拖車頭（牽引車）損壞的情況下，LNG 拖車却經得起車身翻滾，頭對頭相撞及起火等情況的發生。然而卻沒有對完整的 LNG 車輛進行撞毀試驗。

燃料儲槽破裂著火的控制：

由於起火而產生過高的壓力會造成燃料箱中燃料的外漏，及燃料箱的爆炸使人受傷及財務損失。一種用來控制起火時燃料箱的破裂的方法就是使用減壓設施用來控制燃料的流出。這個方法由美國運輸部訂成具體化的規定，適用於運送 LNG 及 CNG 的儲槽，雖然這些規定並不適用於汽車的燃料系統，而汽車汽缸的一般設計都符合這個規定。

在 LNG 系統，應用減壓閥；而在 CNG 系統中減壓閥是一個可熔栓及可破碎的圓盤的結合體。這個裝置試圖藉著放出氣體以避免在一定的溫度下發生爆炸，除非溫度也高到足以熔化這個可熔的材料，否則其作用相當有效。有一個報告顯示，即使減壓閥裝置未能適當地操作，現在儲油槽的設計也可以抗拒油槽壁快速的破裂。相反地裂縫會慢慢加大，NG 的外漏相當慢。為此又產生了另一個問題即是天然氣經由這些設施外漏將造成起火燃燒或對已有的燃燒添加火勢。

在加拿大之試驗計劃中從事一項 CNG 車輛著火的試驗。一個金屬平

鍋裡面放了汽油，在一輛敞蓬運貨小卡車內點燃，在引發燃燒的階段不去注意與 CNG 燃料系統有關的事情，一會兒之後再去檢查發現下方加蓋的燃料調整開關已經被熔掉了，因此引起推斷燃料在這一點被燒掉。測試前油槽的壓力是每平方英吋 1100 磅，低於正常壓力的每平方英吋 2400 磅。

第二種控制油槽破裂的方法是使用足夠抵擋燃燒的油槽，這個方法義大利採用，所有的油槽能抵抗每平方英吋 8800～9600 磅的壓力，根據義大利運輸部的資料顯示還沒有車輛儲油槽爆炸的記錄。

旅客車廂侵入的控制：

由燃料系統侵入旅客乘座室的零件可能對人產生傷害，兩種功能欠缺的型式會造成燃料槽侵入旅客室的情況：(1)因為減速力量的衝擊使油槽閉止系統喪失功能，(2)在車輛首尾相撞時造成衝擊，因後保險桿距燃料槽的有效距離不足而發生，例如發生在 DOT 試驗的二個保全系統喪失功能的例子，其中之一造成油箱零件衝入乘座室內，DOT 從事了一個衝擊車尾的試驗，從結果看來推測當車速到達每小時 27 英哩的撞擊尚可以忍受而不致危害後座的乘客。在加拿大的試驗計劃中，車尾撞擊試驗中產生油槽移位但並未侵入乘客室內。

假使 NG 槽可以附在車身下方，保衛系統防止零件侵入旅客室的設計就簡單了，福特汽車公司已經報導指出單一燃料 CNG Mercury Zephyr 車輛的發展，其特色就是使用五個重量輕，先進科技製造的 CNG 槽，其中三個槽裝在車身底下以代替汽油箱，另二個裝在車身行李箱內。

複式燃料系統的危險：

目前複式燃料系統的裝設像是零件市場的裝備一般廣為使用，因此他們與原車的安全設計及測試無法融合成一整體，而且也不符合運輸部(

Department of Transportation 簡稱 DOT) 擊碎的標準。一個無法合成整體影響的例子是當很重的鋼質油槽裝在中型或小型的車上，重量分配的轉移做某些程度的緩合。

另一範疇的問題是燃料的轉換，一般而言在駕駛中可以轉換燃料，但是福特汽車公司發現該公司第一輛複式燃料系統汽車為了安全的理由，燃料由汽油轉換成NG時的行為，必需等車停止使化油器內空無一物時才可進行。

最後在複式燃料系統，由一種燃料流出起火可引起另一燃料系統的著火，損毀或爆炸。此外兩種燃料洩出將比任一種各別燃料更容易擴大燃燒的範圍。在一個研究中在複式燃料車輛有5次到10次汽油起火的原因是由於汽油外洩所引起的，汽油外洩又歸咎於汽油迂迴管線設備的缺點多多而產生的。在這些失火情況中，NG的被點燃及加速造成嚴重的火災，裝上一個改良過的天然氣排氣系統以補救這個問題。

5.3.4 車輛補給燃料的危險：

CNG燃料的補給伴隨當填滿的油管斷裂漏出少量的燃料蒸氣起火的危險，加油站的裝填歧管是由有彈性的管子及填油出口閥所構成，俾使操作員加油，當車輛加油後出口閥閉上，天然氣在大約高出地面10~12呎的油管中流出。一項報告有個結論是只要注意適當的程序，CNG燃料的補給其危險性並不比汽油的加油為高，因汽油燃料補給本身伴隨著天然氣與空氣混合氣及任何灑落的汽油著火燃燒的危險。

當車輛駛離加油站而仍與加油歧管連接時可能造成燃料的外漏，標準的加油操作方式是車輛的點火與燃料系統彼此連鎖不動，使得車輛在加油時引擎不能發動直到車輛加好油可離開為止。紐約市消防局要求在燃料線路上需加裝過量油閥，假使一輛LNG車輛由LNG分配站駛離，油管破裂，可經由計測器電纜自動切斷分配站的燃料以阻止大量LNG的發出。

根據一項報告指出LNG車輛燃料補給的工作應由經過高度訓練的人員擔任，那是因為牽涉到在低溫下嚴重表皮組織損害的危險性，此類意外已發生過若干次。相對地比琪（Beech）飛機公司指出LNG燃料設備指定由加油的工人來處理，一隊工人給予短期的授課，另一隊工人則在LNG加油站給予人工維修與操作的訓練，並指示他們在處理冷凍設備時穿上安

全衣。

關於使用家庭壓縮機做為車輛燃料補給的工具的安全問題可資利用的資料很少，瑞克（Rix）工業用壓縮機可允許無人照料的操作，而且能自動切斷壓縮機的動力。壓縮機、汽油唧筒及馬達在密閉的場地內予以隔離。

5.3.5 關於天然氣汽車安全性的沿革：

天然氣燃料車輛的詳細肇事資料是很稀少的，美國瓦斯協會（AGA）在 1979 年使用車隊的資料由三個天然氣公用事業及一個計程車公司的車隊中搜集 1970～1979 年的資料，做成一份初步的安全分析。使用的 2700 輛車子有包括大約 500 輛小汽車，200 輛輕型卡車，及 200 輛中型及大型的卡車，這些車輛的總行駛里程數大約是一億七仟五佰萬英里，而屬於複式燃料車輛的里程數估計約為一億三仟三佰萬英里。

在推斷的 1,360 件肇事中，其中牽涉到 CNG 車輛，沒有報告指出與碰撞有關的着火及喪失功能的事件是與 NG 系統有牽連的，然而一些其他的事件報告中指出，NG 系統被認定是起火的根源。這些失火歸咎於汽油旁管線路的裝設錯誤及排氣系統的不足。在 NG 為肇事的主因事件中只有一個人受傷而沒有死亡的記錄。

從義大利得來的肇事資料一般是無法應用的，因為意外事件而發生爆炸的情形在 30 年的營運中未曾發生，然而有一些起火的報導。在早年的車輛營運中曾發生儲油槽喪失功能的事情，但是對天然氣品質的良好控制，這些事件已經顯著的減少了。

在洛杉磯阿拉摩斯國家實驗室研究一個對於可獲得的肇事資料做全面性的評估，根據這個研究使用汽油燃料的車輛數及其里程數比起使用 LNG 燃料車輛數及相對的里程數目少很多。在嚴格的統計基礎下，今日之所以很少碰到着火及爆炸意外事件的事實可能是遇到統計太小或無意義的原因。此外在美國 CNG 車輛幾乎不在公營的車隊中使用，公營車隊有高水準的維修及駕駛員訓練，還有良好的行車記錄，因此來自公營車隊營運資料所產生的統計數字無法在將來被一般大眾的操作所應用。

5.3.6 肇事情節的分析：

在 Los Alamos 的研究中，評估一些肇事情節，其目的是為了根據相關的安全性，列出氣體及液體燃料的等級（燃料包括 CNG, LNG, LPG, 汽油及柴油）。引用專家對燃料相關安全性的鑑定，使用一個互相影響群體的方法來評估。關於肇事所有的情節包括：燃料的外漏及在等量能源消耗的基礎下各種燃料互相比較，因為危險性的大小是變動而且是時間的函數，因此在評估兩種燃料的危險性時選擇每一種燃料具有最大危險性的時刻做比較。只評估單一燃料的車輛，以及假設人民是為車輛擁有者及操作者。並假設 CNG 及 LNG 儲油槽符合運輸部的規定供做工業天然氣運送的商業行為。肇事情節研究包括：

- 停放及儲存在封閉的停車房中，燃料外漏

情況 A：住宅的

情況 B：地下公共停車場

- 在加油站燃料管線破裂，燃料外漏

情況 A：私人使用車輛

情況 B：運送車輛

- 車輛碰撞，燃料外漏

情況 A：郊區，時速 60 英哩

情況 B：都市地區，時速 30 英哩

情況 C：隧道，時速 45 英哩

因點火而發生的情況下，關於漏油的所有情節考慮的主要危險性，有起火燃燒、爆炸及人員的受傷。

這個研究的結果詳細報告如下，LPG 車輛的資料不包括在內。分析結果顯示柴油比起其他燃料來是相當安全的。因此這裡比較的報告是介於 NG 與汽油兩者間。

氣態燃料（CNG 與 LNG）在住宅區封閉的車庫中情節的分析比起汽油，被認為有顯著爆炸的危險，但針對人員受傷的評估方面，氣態燃料

被認為較安全，此三種燃料關於失火危險性這一項的評估相似。基本上一個存在住家停車場的有限空間，即使有一些空氣的流通，然而研究指出對於漏油量及混合物的詳細分析需要數量，以決定在特定的停車場數量及停車容量與空氣滲透時間的限制下，達到產生可燃或可爆炸混合物所需的真正時間。

在地下大眾停車庫的情節分析中，關於氣體燃料及汽油在失火或爆炸危險性方面並沒有發現重要的差異，在所有燃料中發現爆炸的危險性相當低。

至於燃料補給管線破裂的情節分析，加壓氣體燃料展現相對較高的著火危險性。這是因為高壓系統在本質上比存放在密閉或低壓槽中的燃料更具危險性。在補給管線破裂情況 A 中，燃料管線假定是在燃料轉移到個人使用的汽車上時破裂，假定汽油潑灑很快速，但是流出的量有限，那是因為有燃料自動切斷裝置。即刻的點火可能在注油管子的末端產生火炬，因為這是一個較易控制的失火，它比延遲點燃的情形較安全。這火炬發生的可能性依燃料的儲存壓力而定，理論上 CNG 之可能性最大，LNG 及汽油產生火炬的可能性相同。相對地由這些補給管線破裂而可能發生失火、爆炸或人員受傷的情況來看，這些燃料之間沒有顯著的差異。

情況 B 中，補給管線假設是在補給站裝填大油槽時發生破裂，在情況 A 中，燃料的潑灑假定很快速，而流出量有限，那是因為有燃料自動切斷裝置，因此燃料的灑出量約為小汽車油量的 5~10 倍。因為情況 B 中燃料的灑出量比情況 A 還要多，所以潛在起火的危險性較高。在此情況下，使用 CNG 及 LNG 燃料比汽油較具危險性，而爆炸危險性却相當低。CNG 與 LNG 比汽油安全，因為他們會較快速的消散無踪，而人員受傷方面使用 CNG 及 LNG 較嚴重主要是因為來自連枷油管及冷凍灼傷的傷害。（對於從運送卡車之油管或儲油槽的大量燃料外漏情況不在 Los Alamos 研究範圍內）。

在所有三種碰撞情節分析中發現天然氣的快速消散比起汽油更安全，

僅就可能失火這一項，在郊區及隧道情節中 CNG、LNG 及汽油平均而言是相等的，而在都市地區情節分析發現 CNG 與 LNG 的起火燃燒偏向高一點。又關於著火及人員受傷的可能性而言，在三種狀況下以汽油的可能性較高，此三種燃料爆炸的可能性都很小，但汽油比 CNG 及 LNG 在程度上高了一點。

全體說來，Los Alamos 的研究說明了被評估的特定情節中各燃料間的安全等級依存性。根據發現氣體燃料在某種情況下會增高相對的危險性，但是幾乎與汽油的危險性程度相當，而在其他狀況下也許又更安全。Los Alamos 的結論是：分析的結果，並不會剝奪汽油被大眾使用的資格，而且工程技術及安全的規定可被應用藉以消除實際存在的危機。

末尾在 Los Alamos 情節分析研究中並不是選擇最壞的情況，比如說這個研究並未診查在隧道內因通風設備故障所引起的危險，同時重大的災害（身體受傷或致命死亡等）主要由著火、爆炸及人員受傷所引起的也未被提出。1972 由 A.D. 研究的結論中很少提到關於以往在波士頓港口隧道以氣態燃料車輛的營運資料。例如推測使用 CNG 的車輛在沒有通風設備的情況下一旦失火，從 300 標準立方呎（scf）的天然氣產生的熱燃燒將迷漫 60 ft 寬的港口隧道，對於正在前進的車輛會造成嚴重的傷害或使乘客受傷的可能性很低，那是因為停在燃燒區的時間很短，但是很顯然的沒有考慮肇事後被困的駕駛人或 CNG 車輛內的乘客安危。此外假定降壓設備故障，關於爆炸造成人員的受傷據估計距 CNG 油槽爆炸 140 ft 及距 LNG 油槽爆炸 45 英呎內會造成人員傷害。而與汽油槽起火爆炸的比較沒有說明。所以 A.D. 全部的結論是設計良好的轉換系統（CNG 及 LNG）及適當的安裝、檢查及維修顯示並不比汽油系統更具有風險。

5.3.7 摘要：

CNG 及 LNG 車輛系統的安全性仍然是一個尚未被完全解決的重要課題，Los Alamos 研究的結論是氣態燃料雖然在某些狀況下會增高其相對的危險性，但還算是相當安全，而在其它狀況下可能又比汽油更安全。

Aerospace研究的結論是沒有任何的理由指出能推翻汽車使用NG的安全性。然而建立在完整CNG車輛系統的廣泛資料，供做徹底的評估之用者尚未擬具。對於NG車輛沒有一個國家認可的標準存在，而這個標準的定義是需要確保有固定正式的設計、製造、性能、安裝及檢查等程序。（N FPA目前正在發展CNG車輛的此類標準請看6.2.3節）。

5.4 社會經濟的衝擊與存在的問題

5.4.1 使用者經濟性：

將車隊改裝為NG系統必需對每個單獨的適用性分開來審查以決定是否具有經濟價值。當分析車隊改裝NG燃料系統時必需考慮許多因素，而這些因素在車隊中是變動的，被考慮的因素有改裝成本、燃料補給設備、NG目前及未來的價格、維修成本、汽油汽車被改裝的經濟性、車隊每年里程數及與地區有關的變數，如轉賣的可能性及所有人納稅的負擔。

至於CNG車隊的改裝，目前的改裝成本是每輛車2,300～3,600美元，這個費用包括改裝費本身（\$1,100～\$1,500）及建造燃料補給的費用，LNG車輛的改裝（車輛本身）費用是每輛大概要2,200美元，這些期初的投資成本必需靠燃料的節省來彌補。在能源基礎上，目前氣態燃料的成本比液態運輸燃料成本（包括壓縮溶解成本，Aerospace預測NG發動機燃料成本在1981年是汽油的百分之六十，不包括稅金）還要低。然而天然氣的價格在過幾年以後將比汽油上漲的較快，因此氣體燃料的邊際節餘漸漸減少了。氣態燃料可以降低車輛的維修成本，但是大部份氣態燃料的補給設備的維修費用比液態燃料的同一項費用高。車輛具有很好的燃料節省或是用油量很少，其產生的節省費用將無法達到抵償投資所需的費用。

上述的所有考慮因素可以應用在工廠設計NG車輛的買賣上，高容量的NG車輛其額外的費用（保險費），可能比改裝費要低，據估計大約為零件市場改裝費的 $\frac{1}{3}$ 到 $\frac{1}{2}$ 。然而轉手賣掉這些單一燃料的車輛，剛開始可

能很困難，同時也影響這些車輛的經濟分析。NG設備可由被改裝的車輛上卸下繼續使用，而車輛可以當做汽油車輛轉賣，具有單一燃料的車輛，第二個購買者將需要使用CNG，一些公用事業考慮未來購買CNG車輛時，顯然超過他們轉賣這些車輛的能力。

關於個人使用NG車輛，很少有看到經濟上的分析。如果要做分析，上述對公營車隊所提到的考慮因素全部都要納入。此外家庭用壓縮機的成本假使在大眾加油站被額外或替代使用，必需包含在經濟分析中，根據經濟性及消費者的偏好，這種壓縮機其最大可被接受的價格一般咸信為1,000美元。但目前預測的價格在4,000～6,500美元。

5.4.2 制度上的因素：

一個制度上的多種因素可能限制或阻止NG廣為用作汽車燃料的發展。一個由傑克佛斯特會員（Jack Faucett Associates簡稱JFA）替能源部（DOE）所做的研究中，確定了一些車隊使用NG在制度上潛在的障礙。這些障礙同時也適用在私人使用NG車輛的情況。JFA之研究認為潛在的障礙包括某些聯邦、州及地方的規定（第六章討論）。這些規定對NG車輛的使用是一個障礙物，因為條文規定不明確而且過時不適用。

關於NG車輛因為缺少聯邦的規定或是國家安全的標準，使汽車設計及使用的準則無法確定，而且在許多州及地方階層有一些不一致的規定，而有些條文實際上是錯誤的方針。例如LPG的標準應用在LNG車輛並不全是適當的，而環保局（EPA）的反干預施行政策也是混亂的，而它實際應用在NG車輛也與既定的政策有出入。結果使NG車輛的銷售者及潛在使用者，不知道他們的車輛是否違反環保局的規定而要被科以罰金。美國流動來源HC無法使一些NG車輛符合他們的標準，因為他們排放相當高的非甲烷HC，EPA建議使用NMHC的標準，但是這個建議的標準太高，目前無法達到，因此這個提議未被採用。NG車輛加油站可能由州的公共設施委員會管理，然而是否必需如此做及應該採用那種管理型式，並沒有明確的決定。

其他制度上的問題可能影響 NG 車輛市場的擴展率，比如說福特汽車公司及通用汽車公司（GM）的Chevrolet部門已經宣布汽車的改裝擔保將仍予以承認，只要是車輛在尚未改裝前一直被服務即可。但是這仍然是含糊不明確的。製造商的問題將被視為因改裝而引起的，同樣地保險合同對市場擴展造成一個障礙，然而在 JFA 的研究中對於市場商人、使用者及保險公司等對象在尊重保險合約時都沒有困難。

6. 管理法規有關問題

6.1 空氣品質規定

6.1.1 聯邦

交通工具改由 NG 運作，受到清潔空氣法案反干涉法之限制。在其他許多條文中，清潔空氣法禁止任何汽車銷售商或製造廠在將機動車輛交予顧客之前或之後，不得在車上拆除或加裝任何不能使用之排棄物控制裝置或設計元件。1977 年這項法律之修正案把那些禁止規定延伸到車隊從業人員，及從事於汽車服務、修理、銷售、出租或買賣汽車或汽車引擎的那些人。

EPA 施行清潔空氣這項法律政策，是用文字來公佈，並公佈於汽車來源施行摘要 1 A（此後以 1 A 表示之），發佈於 1974 年。1 A 公佈之法律項目的目錄，如果在合理的基礎下得知排棄物之行為並沒有危險的影響，就沒有構成違反 sec.203(a)(3) 的法律。根據美國 EPA，對於瓦斯轉換系統設備以及汽車引擎或操作之媒介物，將列入那些目錄之中。EPA 在摘要 1 A 中所提到之合理的基礎存在於如果：

(a) 銷售公司（或其他列名於 1977 年修正案的）知道，排棄試驗之執行是根據試驗過程中規定在 40~85 CFR，表示出這項法令並不會引起類似之汽車或引擎在其有效年限（5 年或 50,000 英里，指輕型汽車）無法達到排放之標準或

(b) 部份或系統製造者，在寫這項試驗時，如(a)所描述，而且已經被執行，並且有類似的結果；或

(c) 聯邦政府、州立或地方環境控制機關，明白表示有合理的基礎存在。（這項條款限制在州或地方在地理區域之管轄權之內。）

上面的文字說明了，這些方案意味著，用瓦斯作為轉換之交通工具，

企圖去建立一個合理的基準，就如同上面所提之(a)，或(b)，這都將受制於廣泛的聯邦試驗程序(Federal Test Procedures 簡稱FTP)。此項程序，要求排棄測試在汽車之有用年限中每 5000 哩實施之。在事實上，EPA 並未對方案(a)及(b)做精確的說明。EPA 推荐用排棄測試設備及步驟來測驗裝備有轉換器的汽車，而且和 FTP 所要求之在測試中 4,000 英哩類似。轉換器之技術判斷，以及測試設備的技工，可能適合在 4,000 英哩，這個結果來決定是否需要耐久測試(每 50,000 英哩之 5,000 英哩排放測試)，以及是否需要各種引擎和現年之引擎轉換之這種類似的測試。關於 C 點，摘要 1 A 曾提到這種任選其一之方案被限制在特別的地理區域上，但事實上，EPA 已經接受加利福尼亞州全國性之認可。

成文政策和 EPA 實際上的做法，對於購買瓦斯轉換設備的市場上商人及潛在的購買者，已經引起相當的曖昧與困擾。更深的混淆產生是因為，即使一個轉換器符合 EPA 之建議之選擇方案，即一個比較不嚴格的測試過程，而一個轉換器不能得到 EPA 之檢定合格，或一部汽車符合 EPA 之要求，這個認許，都不違反聯邦的反干涉法。一部轉換器得到加州之認許及證明(由於受到 FTP 法定那一套測試之後比較能相對確定 EPA 之要求被達到)，則所有 EPA 之標準都會被符合。

原來的設備及製造之天然瓦斯汽車，當上市時，大概將會被預期符合國家汽車排放標準，然而此類國家標準現在只有適合汽油汽車或柴油汽車。

6.1.2 州

根據 JFA 之研究，加州乃唯一對瓦斯轉換器有排放認可程式的州。在加州駕駛用瓦斯為動力之汽車，必須按照 1975 年 4 月採行及 1981 年 4 月修正案的“加州排放標準和為用液化石油或天然瓦斯燃料的汽車所設計之測試系統之規則”，這些排放及測試過程是由加州空氣資源局所管理。加州測試程序需要二部汽車來測試各別之汽化器模式轉換系統；如果這項測試是同時為輕型及中型的汽車，那麼四部汽車將被用來做各別之汽化器

模形轉換系統測試。如果使用瓦斯轉換器的汽車遵守了排放的標準，那麼不僅基年之汽車，以及基年以前的汽車，都會被准許。

JFA 同時也調查了其他州環境保護法及規章，來確定是否任何的州有限制，例如反干涉法或維護檢查之計畫（凡對使用 NG 汽車有阻礙者）。大約有 40 州有反干涉法，但沒有一州對轉換器或使用瓦斯之汽車之違法而採取行動。有許多州之環境法規對燃料之轉換完全不予約束，但有些州僅須符合聯邦環境要求條件即可。許多州同樣有檢查及維護計畫措辭不當之要求，則可能會被解釋為禁用燃料轉換器。JFA 之研究發現在所有情況中，對使用瓦斯的汽車不予約束的州，特別會發生這樣的問題。

6.1.3 HC 標準

聯邦對重級汽車 HC 排放量之標準為 0.41 g/mile ，正如在 5.2 節所述，目前有一些 HC 汽車轉換器尚未達到這個標準。然而它們排放之 HC 大部份是不反應的甲烷 HC。在 1981 年，EPA 提出非甲烷 HC 之標準為 0.39 g/mile ，如同現存之標準由二選其一，但不久又取消了。EPA 最近考慮設立使用甲醇汽車之 HC 標準，這個標準將會根據甲醇引擎排氣之光化學反應和汽油或柴油引擎之排氣相比較。如此之 HC 標準，也可能充當 NG 汽車之標準。

在前面我們討論到加州為 1981 或稍早期汽車所設計測試瓦斯轉換器之步驟，全部 HC 排放是受甲醇容量修正因素所調整。在 1982 年及之後之基年，非甲醇硫化氫之標準是由非甲醇硫化氫學會來決定。加州對於轉換器之認可是根據非甲醇硫化氫之排放標準，而不是全部硫化氫之排放標準。

6.2 安全法規

6.2.1 聯邦

除了對壓縮瓦斯油槽的設計與檢查判斷標準外，聯邦的法規沒有特稱天然瓦斯是汽車的燃料。美國聯邦法規應能源部之需要而作檢討，以確定

其適用性，其中包括對燃料運作之管理。這個檢討顯示出若干管理機構職掌不明，而其中有關聯邦法規却適用於以天然氣為燃料的機動車輛。

美國運輸部之物資運輸局所訂立之運輸危險物質管理規章中，已經對設計或正在測試之壓縮瓦斯油槽，設下管理規則（49 CFR Part 173 : DOT-3AA[CNG]及DOT-4L[LNG]）。這個規則是適用於運送大量的工業氣體，包括甲醇，但不包括瓦斯。運送大宗瓦斯可被免除，但腐蝕性的物質是被限制的。然而鋼鐵的油槽，其設計為配合物資運輸局規格，經廣泛的使用于NG汽車。DOT也為壓縮瓦斯業所專用的一種鋁槽，訂定製造規格。至於熔合油槽，則沒有標準，雖然在公佈標準以前，有一連串的免除條款來允許使用于特別用途。

運輸部的汽車運送安全局，對於州與州之間的安全法規，涵蓋私營、公共，或契約運送人所經營車輛有關燃料系統之完整性，但在這些規則中並沒有特別的提到CNG及LNG的汽車（49 CFR part 393）。運送安全局對於LPG系統訂有管理規則，但JFA的研究發現“是否那些LPG之要求將會適用於以LNG為動力的汽車”，這點與運送安全局的看法不一致。

DOT的國家高速公路交通安全局（National Highway Traffic Safety Administration簡稱NHTSA），已頒佈一連串的聯邦車輛安全標準（Federal Motor Vehicle Safety Standards簡稱FMVSS）。這個標準是為了設計和測試那些各種車輛的標準而設立的。（49 CFR part 571）。FMVSS適用於新車，在某些情況下，舊車也可以適用。事實上只有FMVSS 301-75可能會被採用，而它是一個車輛的標準，載明在衝擊試驗後允許從燃料系統漏出的液體燃料量。然而這個標準只適用於使用的燃料，其燃點在32°F以上的汽車。所以，它並不適用於只使用以天然瓦斯為轉換的汽車，它適用於把汽油轉換成複式燃料，天然瓦斯/汽油系統的汽車。

聯邦職業安全與健康局（OSHA），負責頒佈與執行不屬其他機構管

轄之標準。聯邦職業安全與健康局 (Occupational Safety and Health Administration 簡稱 OSHA) 沒有一項標準是直接適合 NG 的，然而在 29 CFR part 1910, 101 (壓縮瓦斯) 以下的，OSHA 要求對於壓縮瓦斯油槽之檢查要按 MTB 之規定來管理。聯邦對於瓦斯用導管輸送，以及分售給消費者並沒有管理細則。

6.2.2 州與地方

JFA 同時也研究了州與地方對 NG 汽車及設備之法規。加州有廣泛的一套管理規則適合于 NG 汽車以及燃料補給之操作。加州公路巡邏隊 (California Highway Patrol 簡稱 CHP)，已經公佈了 CNG 和 LNG 的汽車，其設計與裝設之法規。這些法規要求要根據 DOT 之規定來檢查及建造油槽。CHP 之法規對關於以 LNG 為燃料之抗禦撞擊汽車，有更深一層的要求。其他加州的法規提到 LNG 和 CNG 油槽可能被用來儲存或給補燃料。最近紐約州也公佈了 NG 汽車之管理規則。

除了幾個例外，其他州與地方對於瓦斯充當汽車燃料規則，由防火法公佈之，並由當地防火官員來執行。JFA 研究推斷有若干複雜，且有時並不適當之法規由當地政府所擬訂，那是因為缺乏聯邦的標準，NFPA，或其他國家標準制訂機構的引導。這些州與地方之管理法規將不在此作廣泛的探討，但下列五項除外：

- 墜道與橋樑的限制 (紐約、新澤西港務局之港口以及馬里蘭州港口之墜道)。
- 高速公路的限制。
- 學校巴士的限制。
- 燃料供應站之區域管理。
- 停車庫之限制。

在這些廣泛法規中，有一個例子是馬里蘭州禁止校區巴士用瓦斯燃料，但在紐約某些學校則正準備購買用 CNG 為燃料之校區巴士。最後，各州對有關管路瓦斯法規，通常是限制其氣味。

6.2.3 國家防火協會 (National Fire Protection Association 簡稱 NFPA)

認識了對於 NG 汽車缺乏國家標準，以及地方增加發展和瓦斯汽車燃料補給站廣泛不同之規則，美國瓦斯協會 (AGA) 組成了一個委員會來發展 CNG 汽車之標準之草案。在 1981 年，AGA 要求 NFPA 組織一個技術委員會來支持這個計畫。在 1982 年，NFPA “ 壓縮天然瓦斯車輛之燃料系統 ” 委員會 (52) 成立，現正著手於檢討 CNG 車輛之標準。在 1984 年夏天可能會公佈。

如 JFA 研究所討論，NFPA 標準將由瓦斯系統組成分子製造者及安裝工及從業人員所使用。這個標準完全依賴於 DOT，壓縮瓦斯協會及其他機構所建議的壓縮瓦斯技術及標準。這個標準將會適用於設計或安裝 CNG 引擎之各種汽車燃料系統，以及與它們有關連的燃料系統。其中亦將包含瓦斯品質的標準。NFPA 標準，一般而言是與加州管理規則平行的，只是加州之規則要比 NFPA 具有規格導向性。然而，NFPA 並不像加州法規包括 LNG 汽車之標準，而且包括燃料站之實施標準，但卻不包括家用壓縮瓦斯。

NFPA 之標準，其本身並非是一種法規，然而它將會被州與地方機關，加以檢討列入防火法中。NFPA 所發展之標準，希望能為當地防火的首長所接納，這個標準本身能被各政府以寫成具體的方案，而被採用，或者它的條款可以視情況而做適當之修正。

6.3 天然瓦斯之銷售

6.3.1. 聯邦

聯邦能源管理委員會 (Federal Energy Regulatory Commission 簡稱 FERC) 規定州際間天然瓦斯之運輸及銷售。在 1 (b) 節中的天然瓦斯法中，地方上分散之天然瓦斯不屬於 FERC 所管理，但是它受到特定的州或地方管理機關所管理。再者天然瓦斯之銷售者，其交易限于一州內，

但不受FERC之管理，（在1(c)節中的天然瓦斯法規，通常被稱為Hinshaw 免除條款），我們所關心的一點是：是否FERC規則，將會引用到燃料供應站，以及售賣NG予可越過州界之車輛的供應商。這個問題在於是否賣給NG汽車從業人員之瓦斯是“最後的消費”。

關於JFA之報告，FERC已經公告了若干非正式意見和一個正式的宣告規則，認為當燃料注入汽車時，天然瓦斯可以視為最後的消費。FERC同時也宣稱，如果瓦斯供應商擁有Hinshaw exemption，在州內購買瓦斯，再零售給NG汽車，將不會影響到FERC對燃料供應站之免除條款，（雖然上述一節特准北伊利諾州瓦斯公司使用，並且嚴格的只能適用該公司，但據測其他執有Hinshaw exemption的供應商，也將能夠順利成功的請願到類似之免除。）。然而，如果州際間管路賣瓦斯給燃料供應站，如同其他管路銷售一樣，將會受到FERC之管轄。

雖然這些意見為FERC所提出，但到目前為止只有一項正式的意見被公佈，這些一般性建議資料及意見，可能不會被全部的委員會所支持。

6.3.2 州

在FERC沒有管轄之燃料供應站，從事NG買賣的州，其州或當地之管理當局，通常對交易有管轄權。然而據JFA之研究發現，因為大部份州之委員會還沒有面臨在其州內公共燃料供應站之操作問題，因此亦不知供應站應否要受到管轄，或應適用那些法規。州屬公共事業委員會，有時覺得有必要來限制NG公司之間來來往往的瓦斯銷售。上列限制，可認為禁止銷售瓦斯給燃料供應站再行出售。再者，在有些州，其公共設施定義為包括那些從事瓦斯銷售業，所以燃料供應站可能受到公共事業機關的管理。

6.4 汽車燃料稅

從聯邦政府燃料稅9¢/gal（26 uscs sec.4010），可見聯邦政府免除CNG的稅，但顯然不含LNG。在州階層中，JFA之研究顯示，

除了 5 州之外，其他州均課 CNG 汽車燃料使用者稅及州道使用稅。

在這些州，對應課稅之汽車燃料，其定義只包括液態燃料，而不含瓦斯。26 州及哥倫比亞特區，對於 CNG 沒有特別的稅率或繳費制度。4 個州有為 CNG 制定特別低的稅率。在南達科塔州，在道路使用稅，CNG 汽車征課稅在實質上在某些狀況下比汽油汽車較高。有關 LNG 如何由州來課稅的有關資料，在此報告中尚付闕如。

7. 結 論

在這篇報告中主要的結論如下

- 有關於潛在性之燃油經濟，及 NG 汽車性能的資料尚無決定性。
- 通常，以火星點火引擎為動力之 NG —— 燃料汽車，其排放之 CO，比汽油汽車大幅降低，全部 HC 之排放量要高，非甲烷 HC 排放量要低，NO_x 排放或高或低，以及以汽油運轉之複式燃料汽車，可能經驗上要比基線汽油燃料汽車，排放增多。關於使用 NG 之壓縮引擎排放的資料很少。
- 關於安全，氣態燃料被發現在某些狀況下要比汽油危險性增多，但在其他情況下，在相對安全方面，或許是更安全。在許多研究所得到的結論是，目前之安全分析，在公共用途中並不排除氣態燃料。工程技術及安全法規強調危險確實是存在的。然而在現存之安全相關資料，不夠廣泛，在某些例子中，已嫌陳舊。
- 現在對於 NG 汽車，沒有國家認可的安全規則或是標準存在。國家防火協會，正為 CNG 汽車及燃料供應站研擬標準。
- EPA 之反干涉法，即影響 NG 轉換者的，被視為是混淆不清的，矛盾存在于成文政策與 EPA 現行之慣例。
- 有些 NG 汽車轉換器，並未符合聯邦之 HC 排放標準。
- NG 燃料補給站，受到公共事業委員會或 FERC 之管理之程度並不清楚。

REFERENCES

1. *Assessment of Methane-Related Fuels for Automotive Fleet Vehicles*, Aerospace Corp., U.S. Dept. of Energy Report DOE/CE/50179-1 (Feb. 1982).
2. Holtberg, P. D., et al., *1982 GRI Baseline Projection of U. S. Energy Supply and Demand, 1981-2000*, Gas Research Insights (Oct. 1982).
3. *Energy Alternatives: A Comparative Analysis*, The Science and Public Policy Program, University of Oklahoma (May 1975).
4. *Division of Environmental Control Technology Program - 1979*, U. S. Dept. of Energy Report DOE/EV-0128 (June 1980).
5. *Liquefied Gaseous Fuels Safety and Environmental Control Assessment Program: Second Status Report*, U. S. Dept. of Energy Report DOE/EV-0085 (Oct. 1980).
6. *Liquefied Gaseous Fuels Safety and Environmental Control Assessment Program: Third Status Report*, Pacific Northwest Laboratory Report PNL-4172 (March 1982).
7. *Safety Aspects of Liquefied Natural Gas in the Marine Environment*, National Academy of Sciences, National Materials Advisory Board Report NMAB-354 (June 1980).
8. Elder, L. C., Columbia Gas System, personal communication (Nov. 1983).
9. Tison, R. R., E. F. Technology, Inc., personal communication (Feb. 1984).
10. *State-of-the-Art Assessment of Methane-Fueled Vehicles*, U. S. Dept. of Energy Report DOE/CE-0026 (Feb. 1982).
11. *Bipac: The Dual Fuel System*, Dual Fuel Systems, Inc. (1981).
12. *Gas Service Energy Corporation Compressed Natural Gas (CNG) Vehicle System Information Paper*, Gas Service Energy Corp. (1982).
13. Joyce, T. J., *Assessment of Research and Development Needs for Methane Fueled Engine Systems: Final Report*, Gas Research Institute Report GRI 81/0046 (March 1982).
14. *The Cushman CNG Haulster*, Outboard Marine Corp. (1982).
15. Nichols, R. J., *Ford's CNG Vehicle Research*, 10th Energy Technology Conf., Washington, D. C. (March 1983).

16. Fischer, F. L., *Introduction of a Commercial System for Liquid Methane Vehicles*, presented at Nonpetroleum Vehicular Fuels III, Washington, D. C. (Oct. 1982).
17. Jones, D. B., and J. C. Glaub, *The Effect of Various Developments in the Design of Automotive Engines on Their Compatibility with Methane Fuel*, SAE paper 819531 (1981).
18. Peitsch, G., Ford Motor Co., personal communication (1983).
19. *Gas-powered Vehicle Evaluation Program*, prepared for Transport Canada by TES Limited, TES Report C372 (March 1982).
20. *Safe Testing and Handling of Alternative Fuels*, Mueller Associates, U. S. Dept. of Energy Report DOE/CS/56051-6 (Jan. 1982).
21. Fleming, R. D., and R. L. Bechtold, *Natural Gas (Methane), Synthetic Natural Gas and Liquefied Petroleum Gases as Fuels for Transportation*, SAE Paper 820959 (Aug. 1982).
22. *U. S. Natural Gas Supply, Consumption and Price Data*, Energy Topics, Institute of Gas Technology (July 1983).
23. *The Gas Energy Demand Outlook: 1981-2000*, American Gas Association (May 1982).
24. Fischer, F., Beech Aircraft Corp., personal communication (Nov. 1983).
25. Cole, R. I., *Compressed Natural Gas as a Transportation Fuel in the United States*, presented at Gastech 82, Paris, France (1982).
26. *Technology and Market Assessment of Gas Fueled Vehicles in New York State*, Mueller Associates, Inc., presented at Gaseous Fueled Vehicle Contractor Coordination Meeting, Albany, N. Y. (April 1983).
27. Jablonski, J., et al., *Assessment of Institutional Barriers to the Use of Natural Gas in Automotive Vehicle Fleets*, U. S. Dept. of Energy Report DOE/NASA/0295-1 (Aug. 1983).
28. Saricks, C. L., et al., *The Effects of Relaxing Automobile Emission Standards: A Generic Analysis and an Urban Case Study*, Argonne National Laboratory Report ANL/ES-133 (Jan. 1983).
29. Hays, N. G., and P. L. Wilkinson, *Comparison of Alternative Vehicular Fuels: 1982 Update*, Gas Energy Review, Vol. 7 (July 1982).

30. Perry, G. C., and M. C. Smith, *The Development of CNG Systems for Automobiles*, prepared for Alternative Fuels Contractors' Coordination Meeting Workshop, Windsor, Ontario (June 1983).
31. Fleming, R. D., and J. R. Allsup, *Natural Gas as an Automotive Fuel, An Experimental Study*, U. S. Bureau of Mines Report of Investigations No. 7806 (1973).
32. Fleming, R. D., U. S. Dept. of Energy, personal communication (Sept. 22, 1983).
33. *Project Clean Air '72: LNG Conversion of GM-71 Series Diesel Engine*, U. S. Dept. of Transportation, as cited in Ref. 1.
34. Karim, G. A., and K. S. Burn, *The Combustion of Gaseous Fuels in a Dual Fuel Engine of the Compression Ignition Type, with Particular Reference to Cold Intake Temperature Conditions*, SAE Paper 800263 (Feb. 1980), as cited in Ref. 1.
35. Krupka, M. C., et al., *Gaseous Fuel Safety Assessment for Light-Duty Automobile Vehicles*, prepared for U. S. Dept. of Energy by Los Alamos National Laboratory, Report No. LA 9829-MS (Nov. 1983).
36. Carson, L. K., et al., *Study of Methane Fuel for Subsonic Transport Aircraft*, NASA CR 159320, Lockheed California Co., Burbank, Calif. (Sept. 1980), as cited in Ref. 1.
37. Karim, G. A., *Some Considerations of the Safety of Methane (CNG) as an Automotive Fuel - Comparison with Gasoline, Propane and Hydrogen Operation*, SAE Paper 830267 (Feb. 1983).
38. Hord, J., *Is Hydrogen Safe?* Report No. NBS-TN-690, Cryogenics Division, National Bureau of Standards, Boulder, Colo. (Oct. 1976), as cited in Ref. 1.
39. Schneider, A. L., et al., *U.S. Coast Guard Liquefied Natural Gas Research at China Lake*, Report No. USCG-M-003-80, U. S. Coast Guard (Jan. 1980), as cited in Ref. 1.
40. Mckinnon, G. P., and K. Tower, eds., *Fire Protection Handbook*, 14th Ed., National Fire Protection Association, Boston (1977), as cited in Ref. 1.
41. Vander Molen, R., and J. A. Nicholls, *Blast Wave Initiation Energy for the Detonation of Methane-Ethane-Air Mixtures*, 21:75-78 (1970), as cited in Ref. 1.
42. *Liquefied Energy Gases Safety*, Report No. EMD-78-28, Government Accounting Office (July 1978), as cited in Ref. 1.

43. Benedick, W. B., *High-Explosive Initiation of Methane-Air Detonations*, 35:87-91 (1979), as cited in Ref. 1.
44. Steare, J. V., ed., *CRC Handbook of Laboratory Safety*, 2nd Ed., CRC Press, Inc., Boca Ration, Fla. (1971), as cited in Ref. 1.
45. Enserink, E., *Dual-Fuel Motor Vehicle Safety Impact Testing*, Report No. DOT/HS-800 622, U. S. Dept. of Transportation (Nov. 1971), as cited in Ref. 1.
46. Pacey, J. C., et al., *Feasibility Study: Utilization of Landfill Gas for a Vehicle Fuel System. Rossman's Landfill, Clackamas County, Oregon*, U. S. Dept. of Energy Report DOE/RA/50366-T1 (Jan. 1981).
47. Critique by the American Gas Association of Letter of March 24, 1980, from U. S. Dept. of Energy Undersecretary John M. Deutch to Representative Richard L. Ottinger (D-NY) concerning the potential for the use of natural gas as a vehicular fuel, American Gas Association, Arlington, Va. (June 1980), as cited in Ref. 1.
48. Stewart, W. F., and F. J. Edeskuty, *Liquid Hydrogen as a Vehicular Fuel: An Evaluation*, 103 (5) (May 1981), as cited in Ref. 1.
49. Christ, B. W., *Analysis of the Pneumatic Burst of a Large Seamless Steel Vessel in Natural Gas Service*, Report No. DOT/MTB/OHMR-78-4, U. S. Dept. of Transportation (March 1979), as cited in Ref. 1.
50. Abram, R. N., A. L. Titchener, and J. P. West, *Report of Overseas Vist to Investigate Compressed Natural Gas in Italy*, Report No. LF2002, Liquid Fuels Trust Board New Zealand (Feb. 1980).
51. Elder, L.L., *Status Report on the NFPA Standard on CNG Vehicular Fuel Systems* presented at Gaseous Fueled Vehicle Contractor Coordination Meeting, Albany, N.Y. (April 1983).
52. *Recommendations for Development of a National Standard for Compressed Natural Gas (CNG) Vehicle Systems, Fuel Dispensing, and Bulk Storage Facilities*, American Gas Association (May 1982).
53. Tison, R. R., et al., *Safety Issues Surrounding the Use and Operation of Compressed Natural Gas Vehicles*, SAE Paper # 831078, presented at CNG as a Motor Vehicle Fuel Conference, Pittsburgh, Penn. (June 1983).
54. Tison, R.R., E.F. Technology, Inc., personal communication (Sept. 1983).
55. Ronzi, R.C., and R. J. Nichols, *Alternative Fuels II*, presented at Nonpetroleum

- Vehicular Fuels II (symposium sponsored by the Institute of Gas Technology), Detroit (June 1981), as cited in Ref. 1.
56. Porter, J. W., *Preliminary Analysis of the Safety History of Natural Gas-Fueled Transportation Vehicles*, prepared for the Policy and Analysis Group, American Gas Association, Arlington, Va. (Dec. 1979).
 57. *Operating and Maintenance Manual for the Northwest Natural Gas Company Liquefied Methane Fueling Station*, Beech Aircraft Energy Division, Manual Number M-14900-1 (July 23, 1982, Revision A: March 17, 1983).
 58. Promotional literature on Rix compressors provided by Rix Industries, Emeryville, Calif. (Feb. 1983).
 59. Shooter, D., and A. Kalelkar, *The Benefits and Risks Associated with Gaseous Fueled Vehicles*, Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Mass. (May 1972), as cited in Ref. 1.
 60. Bechtold, R. L., et al., *Advancement of Gaseous Fuels for Highway Use*, presented at Mid-Atlantic Energy Conference, Baltimore, Md. (Dec. 1982).
 61. *Oil Replacement Analysis: Phase I-Selection of Technology*, prepared for the Office of Technology Assessment, U. S. Congress, by Gibbs and Hill, Inc. (April 1983).
 62. *Ford Introduces a Gas Burner, Machine Design* (1982).
 63. Peitsch, G., Ford Motor Co., personal communication (Nov. 1982).
 64. Hall, J., Rix Industries, personal communication (Feb. 1983).
 65. Fleming, R. D., U. S. Dept. of Energy, personal communication (Dec. 1983).
 66. 40 Code of Federal Regulations, Parts 85-86.
 67. *California Exhaust Emission Standards and Test Procedures for Systems Designed to Convert Motor Vehicles to Use Liquefied Petroleum Gas or Natural Gas Fuels*, State of California Air Resources Board, Adopted April 16, 1975 and Amended April 18, 1981.
 68. U. S. Environmental Protection Agency: Notice of Proposed Rulemaking, 46-FR-62366 (Dec. 23, 1981).
 69. U. S. Environmental Protection Agency, *Standards for Emissions from Methanol-Fueled Motor Vehicles and Methanol-Gasoline Fuel Equivalency Factor* (Advanced Notice of Proposed Rulemaking), 49-FR-14244 (April 10, 1984).