

高耗能引擎的未來

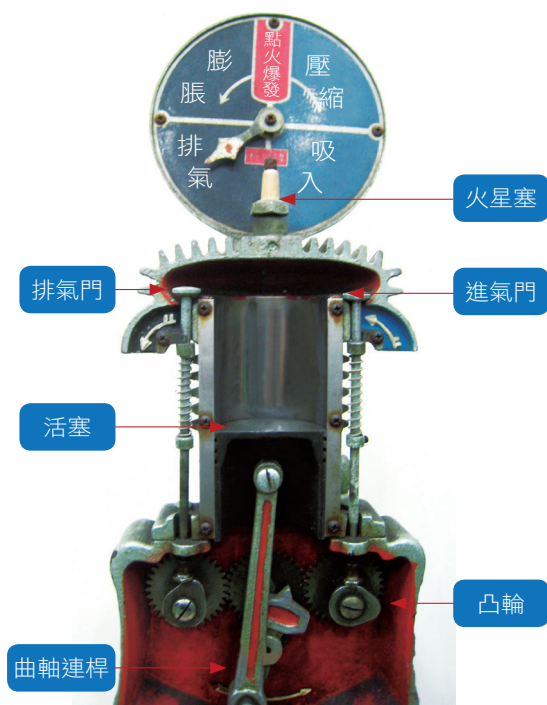
■ 張崴縉、李卓昱

車輛帶來行的方便，使人類文明快速發展。但由於使用內燃機，不僅消耗大量化石燃料，也帶來環境汙染。相對於電動汽車的興起，研究人員也積極開發新技術以延續傳統引擎的使用生命。

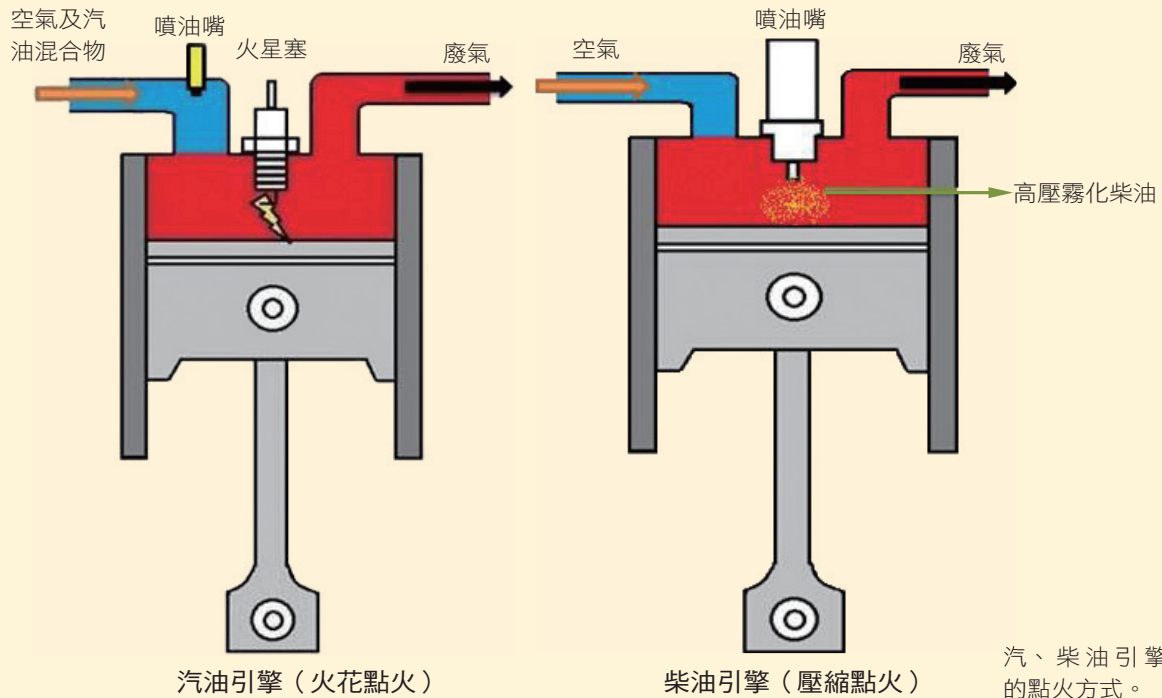
工業革命時期，蒸氣機加速了人類科技文明的進步。英國發明家詹姆斯·瓦特（James Watt）改良的瓦特蒸氣機，效率較當時格拉斯哥大學的紐科門蒸氣機高 5 倍。之後，瓦特把蒸氣機應用在工業上，這貢獻讓他獲選為倫敦皇家學院的會員。

在動力引擎的發展過程中，蒸氣機也扮演著重要的角色。第一輛能自行驅動的公路車輛，就是 1769 年由法國尼古拉·約瑟夫·居紐（Nicolas Joseph Cugnot）使用蒸氣機所驅動的。蒸氣機屬於外燃機，燃料在外部燃燒，對鍋爐內部的水間接加熱產生高溫高壓水蒸氣，再輸送到機器作功，是一種把熱能轉化為機械能的裝置。

相對於外燃機，今日汽車所配備的引擎是內燃機。1860 年，比利時工程師製作出首部以天然氣為燃料的引擎，同時是世界上第一部實用且大量生產的內燃機。儘管當時的效率甚低，卻已經預告蒸氣機將被取代。



四行程引擎的基本構造



內燃機是燃料對工作物質直接加熱，依據使用原理的不同，燃燒方法也不一樣。現代汽車最常使用的是往復活塞式內燃機，引擎本體稱作汽缸，除進、排氣通道和閥門外，還包含一可移動的活塞。氣缸內的空氣和燃料的混合氣燃燒後，因熱膨脹在汽缸內形成高壓氣體，推動活塞帶動曲柄連桿機構產生旋轉扭矩，燃料的化學能最終轉化為旋轉的動能以推動車輛前進。

汽油和柴油引擎

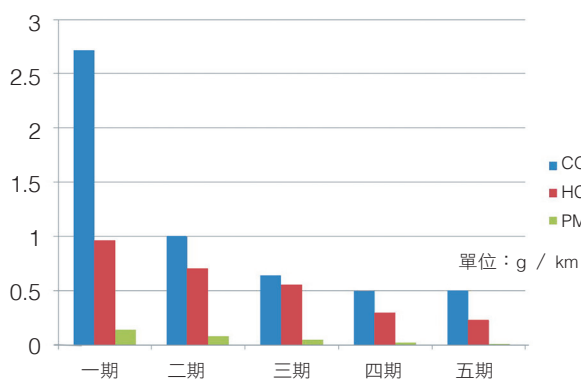
早期引擎主要使用液態燃料，汽油和柴油最為常見，這兩者都屬於有機物質經過數百萬年的分解過程而自然形成的化石燃料（fossil fuel）。汽油引擎一般用在小

型車輛和輕型裝置上，柴油引擎則多用在大型車輛和重型設備上，二者在結構上有所不同。1876年，歐洲研發出汽油引擎，使用火星塞點燃汽油和空氣的混合氣，稱為火花點火引擎。柴油引擎的歷史要回溯到西元1892年，德國工程師魯道夫·迪塞爾（Rudolf Christian Karl Diesel）利用壓縮空氣產生高壓和高溫點燃氣化燃料，不需另外點火，因此也稱為壓燃式引擎。

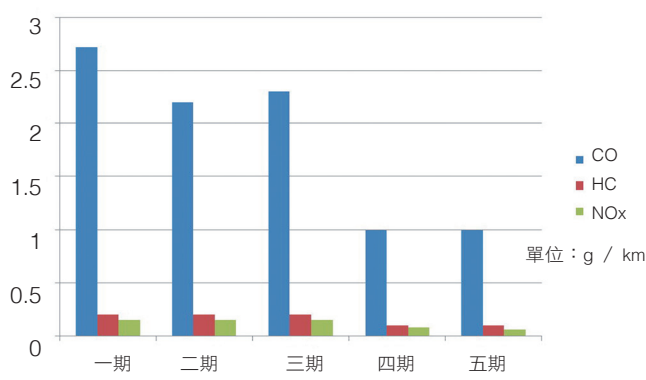
車輛帶來行的方便，使人類的文明快速發展。但由於使用內燃機，也帶來環境污染。引擎使用的化石燃料主要由碳氫化合物所構成，在汽缸內燃燒後會產生大量的二氧化碳。

相較於汽油引擎，柴油引擎的效率較佳，可減少二氧化碳排放，不只是因為

由於化石燃料耗竭，導致油價上揚。此外，環保意識抬頭，廢氣排放受到嚴格監控，可以取代汽、柴油傳統化石燃料的替代燃料逐漸受到重視。



歐洲柴油車廢氣排放標準



歐洲汽油車廢氣排放標準

燃油的熱值不同，柴油引擎的壓縮比約為 16 : 1 到 24 : 1 之間，大於汽油引擎的 8 : 1 到 12 : 1 之間。壓縮比是引擎混合氣體被壓縮的程度，即汽缸內活塞位置在最高和最低點時汽缸內容積的比值。評定引擎性能時，一般來說壓縮比越高越好，但是高壓縮比的引擎要承受的燃燒溫度和壓力較高，因此柴油引擎的成本高於汽油引擎。同時，柴油的燃燒溫度比汽油高，也帶來較嚴重的污染。

近年來由於森林被大量砍伐，自然界中以光合作用吸收二氧化碳的能力降低，導致二氧化碳逐漸累積於大氣中而過量，因此吸收很多陽光中應被反射離開地球的紅外線，使全球溫度逐漸上升。

替代燃料

由於化石燃料耗竭，導致油價上揚。此外，環保意識抬頭，廢氣排放受到嚴格監控，可以取代汽、柴油傳統化石燃料的

替代燃料逐漸受到重視。可用的替代燃料種類繁多，在選擇上要考慮燃料取得方便，而且燃燒後產生的廢氣必須符合漸趨嚴苛的排放標準。

在液體燃料中，以醇類、生質柴油較為常見；氣體燃料則以甲烷，即天然氣最為主要。雖然氫氣的各項性能都很優秀，但在安全上需要投入更多的心力。和液體燃料相比，氣體燃料和氧氣混合容易，能釋放出更多熱量（甲烷和汽油類似，氫氣則是 3 倍），產生的有害氣體較少。然而氣體的儲存較液體困難，一般都採用壓縮或液化的方式。

汽油引擎常用液化石油氣替代汽油，在台灣多應用在公共車輛上，這方法需要額外裝置大瓦斯桶，增加重量和所占的空間。酒精（乙醇）也可代替汽油做為燃料，它的燃燒溫度低於汽油，大幅減少氮氧化物（NO_x）的排放量。由於同屬液態燃料，原來的供油系統不需做太大的改變，只要強化燃油管路的抗腐蝕性即可。

各大車廠在排氣汙染問題上也下了許多功夫，希望能彌補引擎燃燒設計上的不足。

氫氣和汽油相比，自燃溫度高、點火能量低、燃燒範圍大，且燃燒速度快，是一種高效率的替代燃料。若不改變汽油引擎結構，也可以添加少量氫氣，藉由稀薄燃燒方式（燃料減少）提高引擎效率。氫氣較高的火焰傳播速度可使混合氣瞬間引燃，減少燃燒遲滯造成的燃燒不全問題。添加氫氣的比率必須適量，過少無法發揮氫氣輔助的功能，太多則會產生引擎回火（燃燒不正常）的問題。

氫氣燃燒後的產物是水，排放一氧化碳和碳氫化合物的量很低，但會產生一定量的氮氧化物。若在稀薄燃燒狀態下，氮氧化物排放量可大幅降低。

近年來，著重於生質柴油的研發。生質柴油指的是以各種動植物油脂為原料，經過轉酯化反應、中和、水洗和蒸餾後，所製成的一種燃料，排放的廢氣可被分解且無毒，透過廢棄食用油的再利用便可產生能源，兼具環保功能。

空氣汙染問題

使用汽車所造成的空氣汙染，除前述來自引擎燃燒占 60% 外，20% 是油箱和化油器通氣口排放的碳氫化合物，另 20% 是曲軸箱所形成的碳氫化合物。碳氫化合物來自未燃燒或不完全燃燒的汽油蒸氣，排放量在加速時最多。一氧化碳則是汽油在燃燒時，空氣量供給不足，不完全燃燒時所產生的，排放量也是在加速時較多。引擎燃燒溫度越高，氮氧化物產生的越多。另一較常見於柴油引擎的是粒狀汙染物

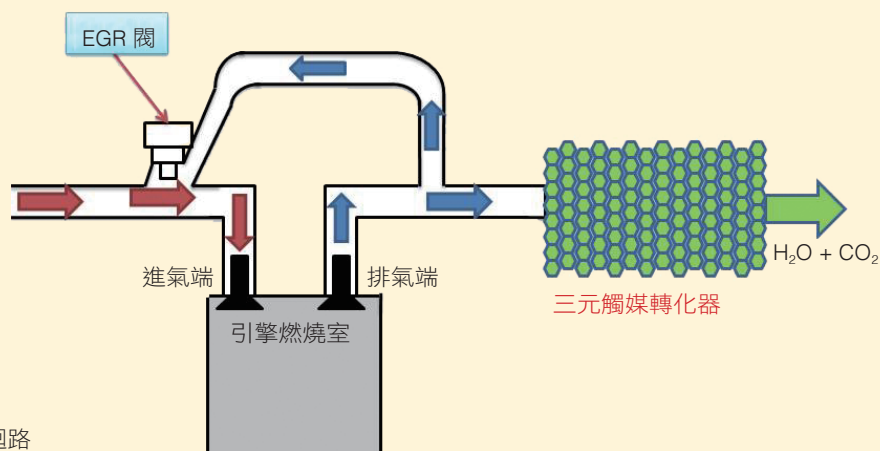
（PM），會飄浮在空氣中，影響駕駛人的可見度。

這些廢氣對人類的健康造成不利的影響。吸入的一氧化碳會取代氧和血紅素結合，使人體內血液運送氧氣的能力降低，使腦部缺氧，頭痛、暈眩和嘔吐，嚴重時可能導致死亡。低濃度的碳氫化合物會刺激人體的呼吸系統；較高濃度時則可能影響中樞神經系統，長期吸入可能造成肺纖維化。氮氧化物對呼吸系統的影響最大，它會刺激鼻部、咽喉和氣管的黏膜，嚴重的可能損害肺部的正常功能和引起呼吸系統發炎。粒狀汙染物吸進體內會刺激呼吸系統，長期則造成慢性呼吸疾病、肺功能變差。

各大車廠在排氣汙染問題上也下了許多功夫，希望能彌補引擎燃燒設計上的不足。早期較常使用的廢氣處理裝置，有積極式曲軸箱通風系統、燃料蒸發控制裝置、觸媒轉換器、廢氣再循環系統等。

現今汽油引擎上最常見的是 1970 年代發明，至今仍使用的觸媒轉換器，又稱為三元觸媒轉換器。它的核心材料是含鉑、鈀、銻等貴金屬的多孔性陶瓷，可消除汽車排氣中高達 9 成的有害物質。近年來，把奈米稀土材料加入貴金屬觸媒中，預期可大幅提高貴金屬觸媒的抗毒性能和高溫穩定性，同時可降低貴金屬用量。目前使用於汽車觸媒的奈米級稀土材料，主要是鈾和鐳的氧化物。

氮氧化物是最毒也是最難處理的，一般車輛會裝設廢氣再循環系統，把一部分排氣再送入進氣系統和新鮮混合氣混合，



廢氣再循環迴路

以降低燃燒時的最高溫度來減少氮氧化物的發生量。排氣中含有多量的二氧化碳，二氧化碳在燃燒時不發生作用，但能吸收大量的熱，使最高燃燒溫度降低並減少氮氧化物。近幾年，在觸媒轉換器後方裝置選擇性還原觸媒，利用氨氣或尿素水和氮氧化物進行化學反應，使有毒的氮氧化物氣體變成無毒的氮氣和水氣，大幅降低氮氧化物的排放。

為解決柴油引擎排放粒狀污染物的問題，在排氣管中段會加裝柴油碳微粒濾清器，除收集柴油燃燒廢氣外，並過濾碳微粒。當碳微粒多到某種程度時，行車電腦會進行「濾清器再生」，把濾清器內的碳微粒燃燒成二氧化碳排出，以淨化過濾器，維持它的功能。簡單地說，和三元觸媒轉換器結合在一起的柴油碳微粒濾清器就是一個會自動加熱的過濾器，可以降低柴油燃燒後的黑煙排放。

引擎新技術

相對於電動車輛的興起，研究人員也

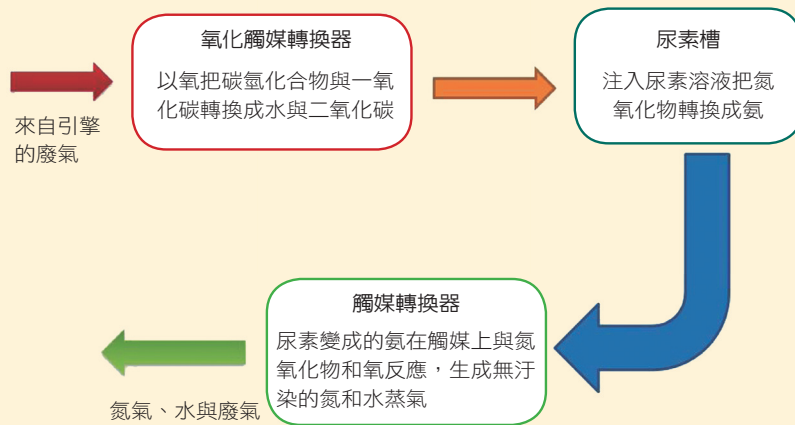
積極開發新技術以便延續傳統引擎的使用生命。以下介紹近幾年所發展的與引擎相關的技術。

均質充量壓縮點火 這是一種融合汽、柴油引擎原理的新燃燒方法，充分混合的燃料和空氣（汽油引擎）以壓縮方式自燃（柴油引擎），燃燒效率高但燃燒溫度較低。如何掌控燃料自燃的時間點，是這項技術須克服的挑戰。

可變壓縮比 紳寶汽車在 2003 年推出可變壓縮比技術，比起一般引擎在正常行駛狀態下，可減少 30% 油耗。藉由改變汽缸前傾角度，以改變燃燒室的容積。換言之，可調整引擎的壓縮比，在高負載時用低壓縮比，如此可提高燃料效率。

標緻汽車的可變壓縮比引擎則是用一組油壓缸控制齒輪位置，改變活塞的行程，降低活塞運動時所產生的徑向力和力矩，使摩擦損失降低。

渦輪增壓 一般引擎是自然進氣，當活塞下移時汽缸會產生負壓，把空氣吸入，汽缸容積和活塞速度會限制空氣被吸入引



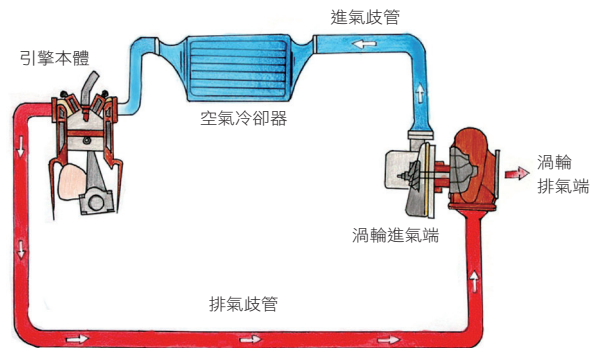
選擇性還原觸媒作用圖

擊的體積。吸入燃燒室內空氣的多寡和汽缸容積的比值稱為容積效率。若要提高容積效率，則需使用強制的力量把更多的空氣送進燃燒室，這時可使用渦輪增壓或機械增壓。

渦輪增壓是利用排氣氣體推動排氣渦輪葉片，帶動進氣葉片旋轉，把大量的空氣推入汽缸。渦輪增壓的優點是不加大引擎排氣量，就能大幅提高引擎的馬力和扭力矩。一般而言，加裝渦輪機的引擎可增加 20 ~ 30% 的動力輸出。

機械增壓是利用曲軸帶動皮帶驅動增壓器本體的鼓風機，產生壓縮空氣，壓縮的空氣經過空氣冷卻器後，進入引擎的燃燒室中和燃料混合。由於壓縮機的動力來自引擎曲軸，造成引擎功率的損耗，也會產生渦輪遲滯的問題（即駕駛者踏下油門和渦輪提供增壓反應的時間差）。

為減少這問題，傳統渦輪葉片被可變渦輪葉片所取代，利用改變渦輪葉片的幾何角度，即使在低轉速增壓壓力較低時，也能夠使渦輪輕易地提升轉速。在引擎高



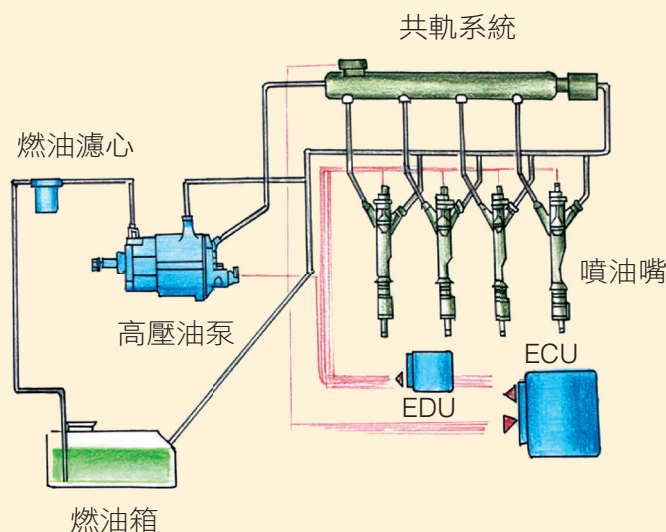
渦輪增壓系統

轉速時，則調整角度維持渦輪轉速。這樣的機構設計可大幅度降低渦輪遲滯的產生，還能夠減少低速扭力的損失而發揮最大效率，連帶降低廢氣的排放。

高壓共軌系統

為了讓柴油引擎排放的氣體更加環保，追求更大的動力，近年來導入高壓共軌系統，把傳統柴油引擎的噴射壓力提高。

一般噴射系統的壓力大約是 100 ~ 120 巴 (bar)。共軌式噴射系統是由高壓泵浦



柴油引擎供油共軌系統

把燃油加壓後，輸送至具有調壓閥的共用油軌中，再由噴油嘴把油軌中的燃油注入汽缸內，由引擎控制系統控制高壓泵浦、調壓閥、噴油嘴等元件的運作。燃油在很高的壓力（約 1,600 巴）下，依當時引擎負載和轉速準確地調整噴油量，讓引擎運轉順暢，運轉噪音和排汙量都較傳統柴油引擎小。噴油泵浦體積和重量也較舊式柱塞式噴射泵浦小，可減輕重量。

未來動力新趨勢

在人類極度依賴石油能源的今日，石油日漸短缺的警訊開始受到重視，各大車廠紛紛訂定中程和遠程的計畫，希望找到新的替代能源。現在推出的油電混合動力車就是中程計畫，遠程計畫則是幾乎零汙染的氫能車。

油電混合動力車的最大節能亮點，是把電力做為第二輔助能源。它的怠速熄火系統，在汽車暫停時，電動馬達會取代引擎，這時引擎會停止耗油。當汽車再啟動並於低速行駛時，僅使用電力，直到電力不足或高速行駛時，引擎的燃油動力才啟動。引擎在汽車怠速和低速時中斷燃油的功能，將會帶來低油耗的經濟效益和減少廢氣排放的環保效益。

此外，汽車的煞車能量回收系統是油電混合動力的另一大優點。傳統汽車煞車時，是經由煞車系統產生的摩擦力抵銷動能，這時動能會轉換成熱能消散至周圍環境中。相較之下，油電混合車使煞車時的動力轉換成電能儲存在電池中，電能可再次用來驅動汽車，能源回收和再利用的效率可以達到百分之三十。市區中行車，常

油電混合動力車的引擎在汽車怠速和低速時中斷燃油的功能，將帶來低油耗的經濟效益和減少廢氣排放的環保效益。



圖片來源：種子發

遇到車流量大和十字路口的紅綠燈，駕駛模式呈現停停走走的狀況，油電混合動力車的效能可達到最大化。

目前，油電混合動力車尚未普及，應是因為售價高於傳統汽車太多。此外，油電混合動力車需要加裝大且重的電池，以及電動馬達和第二套傳動系統，增加了安裝的複雜性、重量和成本。雖說低油耗和低排放可以帶來環保效益，但是電池的製造和回收一樣會對環境造成衝擊。再者，油電混合車在郊區和高速公路行駛時，效能和傳統汽車相去不遠，對不在市區生活的駕駛缺乏購買的誘因。

新型的油電混合動力車增加了充電功能，可以讓電池在汽車行駛前處於飽滿狀態，將會更省油和減少更多的廢氣排放。然而充電電力的來源，以台灣來說，目前尚需要一般 / 核能電廠的供給，考慮到化石燃料 / 核廢料的使用和回收，這樣的電力來源並不符合環保的訴求。

不論是傳統引擎汽車或油電混合車，引擎仍將扮演推動我們生活前進的重要角色。隨著各項新能源技術的研發，引擎是否會像當年取代蒸氣機般被替換，仍難以下定論。但在可見的將來，更乾淨、有效率的引擎一定可以讓我們行動更方便，生活更舒適。

張崑縉、李卓昱
南台科技大學機械工程系
