



作者：徐業良(2006-05-08)；推薦：徐業良(2006-05-08)。

附註：本文發表於汽車購買指南雜誌，2006年六月號，史丹福專欄。

## 現代科技讓柴油引擎更乾淨

油價飆漲，而且似乎不是暫時性的波動，高油價的時代確實來臨了。高油價立即連帶的影響就是汽車市場買氣縮手，然而汽車市場一片衰退聲中，唯有柴油引擎車一枝獨秀，成為最搶眼的成長車種。

從原油提煉時，柴油需要較少的精煉，所以價格通常比汽油便宜，然而柴油的「能量密度」比汽油還高，也就是說每公升的柴油內包含了更多的能量，加上柴油引擎效率比較高，柴油引擎車跑起來還比汽油引擎車省油 25% 到 40%，便宜、省油也正是柴油引擎車在高油價時代吸引車主最大的優勢。

然而光是省油當然是不夠的，從早年的柴油引擎車到現代的柴油引擎車，其中有一項很重要的改變，就是柴油引擎變乾淨了。一般車主對柴油引擎車的印象，也從不知道多少年前，粗糙、廉價、高污染的烏賊車，轉變成一種很酷的時尚商品。

史丹福專欄曾經在 2003 年 11 月，國內剛要開放進口柴油車前夕，寫過一篇「淺談柴油和柴油引擎」的文章，向讀友們交代柴油的來源與提煉過程，以及柴油引擎的動作原理。事隔兩年半，這個月史丹福專欄再來談一次柴油引擎，不過這回咱們把焦點放在現代科技如何把柴油引擎變乾淨了。

事實上歐洲的道路上早就已經充斥著柴油引擎汽車，佔有率已經超過一半，也就是說歐洲選擇柴油引擎車的車主已經比汽油引擎車還要多了。傳統柴油引擎車的缺點也被高科技逐一馴服，最新的歐洲柴油引擎車不會從車尾排氣管噴出臭臭的黑煙，引擎蓋下也沒有粗糙的引擎聲，更可以提供和汽油引擎跑車同等級的性能。

歐洲的法規容許柴油引擎在比較不嚴格的廢氣排放標準之下操作，甚至給柴油引擎車比較低的燃料稅，鼓勵車主購買柴油引擎車，希望能降低歐洲對進口原油的

依賴。然而全球最大汽車市場美國的車主，還是沒有柴油引擎車可以買，理由是現代的柴油引擎車還是不能滿足美國嚴苛的廢氣排放標準。因此眾家車廠還是持續努力發展能讓柴油引擎更乾淨的各種技術，不單單只是環保意識的問題，更是市場的考量。美國還是主要目標，一方面美國是全球最大的汽車市場，同時美國的汽車廢氣排放標準也是全球最嚴格，如果符合美國的標準，柴油引擎車在全球必定也暢行無阻了。

汽油引擎廢氣控制技術已經非常成熟，至少符合美國的汽車廢氣排放標準毫無問題，這些汽油引擎廢氣控制方法難道不能用在柴油引擎上嗎？

汽油引擎使用的燃料和運轉方式都和柴油引擎完全不同，廢氣控制技術的確沒有辦法直接轉過來使用。汽油引擎的動作原理，進氣、壓縮、燃燒、排氣四個衝程，您大概早就十分清楚。汽油引擎燃料和空氣在進入汽缸之前便已經混合好了，引擎經由進氣閥門吸入汽缸內的是油氣混合氣，壓縮之後經由火星塞點火。壓縮衝程中汽油引擎油氣混合氣一起被壓縮，限制了汽油引擎的壓縮比，如果壓縮比太大，油氣混合氣會在壓縮衝程就提前自燃而產生爆震(knocking)，所以一般汽油引擎壓縮比限制在 8:1 到 12:1。

柴油引擎的動作原理基本上也類似，進氣、壓縮、燃燒、排氣四個衝程，柴油引擎通通都有。柴油引擎和汽油引擎動作原理上最重要的不同點，是進氣衝程時柴油引擎僅僅吸入空氣，壓縮之後再將燃料噴入汽缸內壓縮空氣中，由空氣被壓縮產生的高溫和高熱點燃燃料（所以柴油引擎是沒有火星塞和點火系統的）。柴油引擎只壓縮空氣，沒有提前自燃的顧慮，且要靠壓縮空氣產生的高溫高熱點燃柴油，先天上就需要比較高的壓縮比，因此柴油引擎壓縮比一般從 14:1 到高達 25:1。柴油引擎的壓縮比高，燃燒效率比較好，動力衝程力道大，因此低速時的扭力大，也是柴油引擎重要的特色。但也正因為其壓縮比高，壓縮衝程中活塞要走的行程較長，壓縮的抗力也較大，所以柴油引擎轉速拉不高，柴油引擎車極速、最大馬力的數字相對於汽油引擎車來說都要略遜一籌。

廢氣排放一直是柴油引擎車最麻煩的問題。事實上因為柴油引擎只壓縮空氣，燃燒過程中吸進的空氣比燃燒實際所需空氣至少多了 20%，使得燃燒更完全，和汽油引擎比起來，柴油引擎排放廢氣中未完全燃燒的碳氫化物排放反而更低。柴油引擎廢氣主要的問題是含碳微粒（黑煙）和氮氧化物（也就是 NO<sub>x</sub>，這是空氣污染煙霧和酸雨的來源），柴油引擎的燃燒過程可說是廢氣微粒和氮氧化物之間的平衡。如果燃燒過程溫度足夠高、燃燒比較完全，可以減少含碳微粒，但是其高熱會增加

廢氣中的氮氧化物。如果將使燃燒溫度降低，廢氣中氮氧化物的產生降低，但燃燒比較不完全，未燃燒的碳又凝聚成更多碳微粒。

所以您知道，柴油引擎廢氣排放的問題不那麼容易解決，1980 年代還曾經發現柴油引擎廢氣中的含碳微粒帶有可能導致癌症的化合物，如果不是高油價時代有很強的經濟誘因，車廠或車主對柴油引擎車可能都還是興趣缺缺。

那麼現代科技有什麼法寶讓柴油引擎更乾淨呢？

所有的污染控制方法思考過程上都是由其污染源的管制做起，就柴油引擎而言，降低廢氣排放首先要從其燃燒過程開始著手。噴油系統是柴油引擎上最複雜的元件，至今仍是柴油引擎研發的重點。柴油引擎的噴油器必須能夠克服汽缸內的高溫高壓，而仍然能將柴油以細霧狀噴射出，同時現代大型的柴油引擎則是由引擎控制模組(ECM)全盤掌控，利用一系列感測器量測引擎所有的狀況，從轉速到引擎水溫、油溫，透過各種快速運動的電磁或壓電噴射閥調整噴油時間，控制霧狀柴油在汽缸中充分循環、平均分佈，以得到最好的燃燒品質，除了提升柴油引擎燃燒效率外，也能改進其廢氣排放。對柴油引擎著力最深的福斯車廠(Volkswagen)一連串 SDI 柴油引擎、TDI 柴油引擎的研發，重點都是在噴油器的設計。

OK，污染源控制之外，引擎廢氣產生之後的「後處理」也非常重要，也就是在排氣管上加裝各種裝置，把廢氣弄乾淨一些再排出來。

柴油引擎排放廢氣後處理的方法，目前各家車廠有好幾個研究方向。最早被採用的是將排放廢氣重新循環，灌回汽缸中，使得燃燒溫度降低。前面提到，柴油引擎燃燒溫度降低時，廢氣中 NO<sub>x</sub> 的產生降低，但燃燒比較不完全，含碳微粒又會增加。因此這種廢氣重新循環的處理，需要同時搭配特殊的微細陶瓷或多孔金屬過濾器，把微粒狀物質被從廢氣氣流中過濾掉，而這些被過濾掉的碳微粒也需要定時清除，多半是在引擎運轉過程中定時對過濾器加熱，使這些粒子能和過量空氣反應後燒掉。不過這種處理方式，還是不能讓柴油引擎車滿足美國、特別是加州嚴格的廢氣排放標準。

氮氧化物 NO<sub>x</sub> 是柴油引擎廢氣比較麻煩的問題，降低柴油引擎廢氣中的氮氧化物目前有兩個主要的新技術。一個方式是使用一個誘捕氮氧化物分子的吸附器，其所使用活性觸媒是稀有金屬鉬，能把廢氣中的 NO<sub>x</sub> 給吸附住。和前面微粒碳的過濾器一樣，這種鉬吸附器只能把 NO<sub>x</sub> 暫時吸附幾分鐘，引擎運轉過程中也需要定時對鉬吸附器加熱，將鉬吸附器中吸附的氮氧化物釋放出來，以化學方式轉化成為無害的氮氣。除此之外，燃料中的硫也會被鉬吸附器吸附住，也因此減低了鉬吸附器的

效率，所以使用這種銀吸附器的話必須使用低硫柴油才有效果，燃料的成本也就相對提高了，估計一公升柴油大概要貴上美金 7 分。

美金 7 分？聽起來不太貴的樣子，不過問題是美國加油站還沒有賣這種比較高級的低硫柴油。

另外一種對付氮氧化物 Nox 的最新技術，叫作“Selective catalytic reduction”，選擇性催化劑減量法。這個技術其實也不新，是火力發電廠處理廢氣所用的技術，Mercedes-Benz 利用相同原理開發了一個柴油引擎車用系統，叫作“Bluetec”。這種技術主要是在廢氣排放過程中增加一個輔助的氮氣來源，像是尿素或氨（阿摩尼亞），噴在柴油引擎排放的廢氣裡，然後再流經觸媒轉換器。在觸媒轉換器的化學作用中，廢氣中的 NOx 上與加入之尿素中的氮結合，成為無害的氮氣分子和水再排放出來。

Mercedes Benz 宣稱 Bluetec 這項技術使得柴油引擎車的廢氣排放能夠滿足美國 50 州廢氣排放法規，即使是像加州那麼嚴格的廢氣排放法規。

那麼柴油引擎車不就萬事 OK，沒有問題了？！

問題是不管是尿素或阿摩尼亞，在 Bluetec 這個系統中都是消耗品。Bluetec 系統得加帶一隻 5 到 7 加侖的容器來裝尿素，大約可以支持 12,000 到 16,000 英里，然後就需要重新填充。Mercedes Benz 認為這就像換機油一樣，固定里程維修保養時加一項服務叫作「灌尿素」，沒什麼大不了的。但是美國的環境保護局(Environmental Protection Agency, EPA)可不這樣認為，EPA 認定的汽車污染控制設備必須是一個「黑盒子」，裝在車上之後車主就不需要操心維護，或更換，至少要能維持 120,000 英里。

怪怪，折算一下，柴油引擎車不是得有個 70 加侖的「尿素缸」才能滿足這個標準？！

在這個認定上，Mercedes Benz 和美國 EPA 可能還有場官司要打，當這些問題被解決之後，車主們可以期待買到省油、且性能和廢氣排放和汽油引擎車沒什麼兩樣的柴油引擎車。