

# 柴油車排放黑煙之原理與實用對策(一)

大道寺達\*黃光輝\*\*

## 前　　言

現代社會裏，大、中、小各型柴油汽車到處可見，搬運生活必需物品、新鮮食糧、鋼鐵材、其他一般資材等之運輸柴油汽車，和輸送居民之客運柴油汽車，因為對現代文明及文化建設等具有莫大貢獻之交通工具。但是，它們也相對的產生所謂的空氣污染、噪音、震動等破壞環境之「公害」。由於柴油汽車數量之急劇增加，所帶來加重交通之紛雜、噪音及震動之害，致使居住環境不得安寧、空氣的污染威脅人畜、動植物之生存等，構成不得不正視之公害問題，尤其是人口密集的大都市為最。

因此，我們也面臨必須提出管制對策解決問題之關頭，除了必須一方面加強道路網之建設以便疏解交通擁擠現象以外，亦須強化管制公害法規以疏解危害，兩治並進，效果方可相得益彰。

應如何實施柴油汽車排放黑煙防止對策，必須先了解柴油引擎特有之燃燒方式，及排放黑煙之原理，否則若對排放黑煙施以限制，恐將拘束柴油引擎之原有性能，現仍存在若干問題，有待技術突破。

然而，為使柴油汽車更能為人類之繁榮及利益貢獻發揮功能，更為使柴油汽車成為不污染空氣、不破壞環境的完美利益，應如何克服困難及應如何了解柴油汽車排放黑煙之原理、原因，並提出實用有效之防止對策及改善方法，為本文追求之目標。

本文或能提供若干概念與實際應用方法，但難免有遺珠之處，懇請各界賢達惠賜斧正。對於本文之完成，給與啓示與指導之衛生署環境保護局局長莊進源先生及多位有關先進人士之關懷與協助，黃天章先生之校對及助譯等，作者在此清表由衷之謝意。

## 第一章 柴油汽車與交通運輸實態

近年來，由於柴油車的優點，例如使用同量的燃料可行駛的里程，大致而言為汽油車之兩倍，燃料價格在我國也僅及汽油的一半，加上引火危險性小、引擎故障少且熱效率、扭力較佳等性能，凡大型的客運汽車及貨運汽車，世界各國大多已採用柴油汽車。柴油引擎除了在公路、鐵路、海運及航空等交通運輸上扮演著逐漸重要的角色以外，我們知道它在工、農、林、漁、礦等各業，以及軍警用車輛、X光攝影車、街道清掃車等各項用途，都較其他原動機有利。

同時，一般均認為即使為小型汽油車，也正在積極研究開發引擎「柴油化」，成功的例子如朋馳小客車。柴油汽車發展歷史雖僅80年，而它對今日社會的貢獻程度，比起其他交通運輸工具實已不能同日而語。

\* 日本關東學院大學名譽教授

\*\* 行政院衛生署環境保護局科長

然而，任何人類文明成功的產物，我們都不能忽略它帶來的環境衝擊，即不能使背影遮蓋過光彩的一面，對於柴油引擎仍然有的缺點例如重量較大、價格較昂、剎車較差，尤其是低速運轉時易引起的震動、空氣污染等問題，必須正視檢討而加以改進。表一比較了汽油柴油車、和丙烷車排放空氣污染有毒氣體物質，即一氧化碳(CO)、碳氫化合物(HC)以及氮氧化物(NO<sub>x</sub>)的排氣成分。柴油車在汽車引擎空轉以及車速降低時，所排放的氮氧化物濃度高過汽油車，其他正常行駛狀態則低於汽油車。事實上，由於柴油汽車的普及率提高，在都市道路上車數的增加，因而隨著人為因素促成的不正常行駛狀態的層出，快速起動、超速變速、超載(超負荷)駕駛、維護不良等原因形成了柴油汽車排放大量黑煙和製造噪音震動，使得都市生活環境品質下降，甚至造成嚴重公害問題，不僅在汽車製造技術的更新上有待突破，在交通行政、環境管理各方面也被爭論不休，構成了當今嚴重社會問題之一。

表一 汽車排氣成分比較表

行 車 狀 態	排 氣 成 分	燃 料 種 類	柴	油	汽	油	丙	烷
			CO %	NO <sub>x</sub> (NO)PPM	HC PPM	CO %	NO <sub>x</sub> (NO)PPM	HC PPM
怠 速	CO %		0			11.7		5.1
	NO <sub>x</sub> (NO)PPM			59		33		47
	HC PPM				390		4830	2410
加 速	CO %		0.05			3.0		3.5
	NO <sub>x</sub> (NO)PPM			849		1347		1290
	HC PPM				210		960	390
減 速	CO %		0			5.5		4.2
	NO <sub>x</sub> (NO)PPM			30		18		56
	HC PPM				330		16750	19030
定 速	CO %		0			3.4		1.75
	NO <sub>x</sub> (NO)PPM			237		653		2057
	HC PPM		90			320		330

爲了解決柴油汽車排放過量黑煙的問題，許多國家都已在公害防治及環境保護行政上採取了立法措施，即依據都市道路上實際行走車數及交通狀況等調查，規定了柴油車排放黑煙管制標準（參見表二），作爲減輕或去除環境破壞根源之一「黑煙」的管制對策，即以目標價值或最大容許限值作爲實際交通行政上取締的依據。

## 第二章 柴油汽車排放有煙塵之形成機轉

道路交通上每每歸咎柴油汽車排放大量有色煙塵的現象，多是由於柴油在引擎不完全燃燒使然。形成不完全燃燒的原因很多，諸如過量供給燃料、燃燒室內燃料噴射霧化不良（參考圖一

表二 汽車排放黑煙濃度管制值

	透光率法 (HSmU)				反射光法 (Bosch)	比較法 (Ringelman)
歐洲	最大	50	目標	35	相對5.0 2.0	相對3.0 1.5
英國 (倫敦)	最大	50	目標	35	相對5.0 2.0	相對3.0 1.5
美國 (EPA)				0.94 g/km		
日本					5.0	相對 3.0
中華民國	最大	相對20			相對 4.0	2.0

註:EPA (Environmental Protection Agency, U.S.A.) HSmU(Hatridge Smoke Unit)

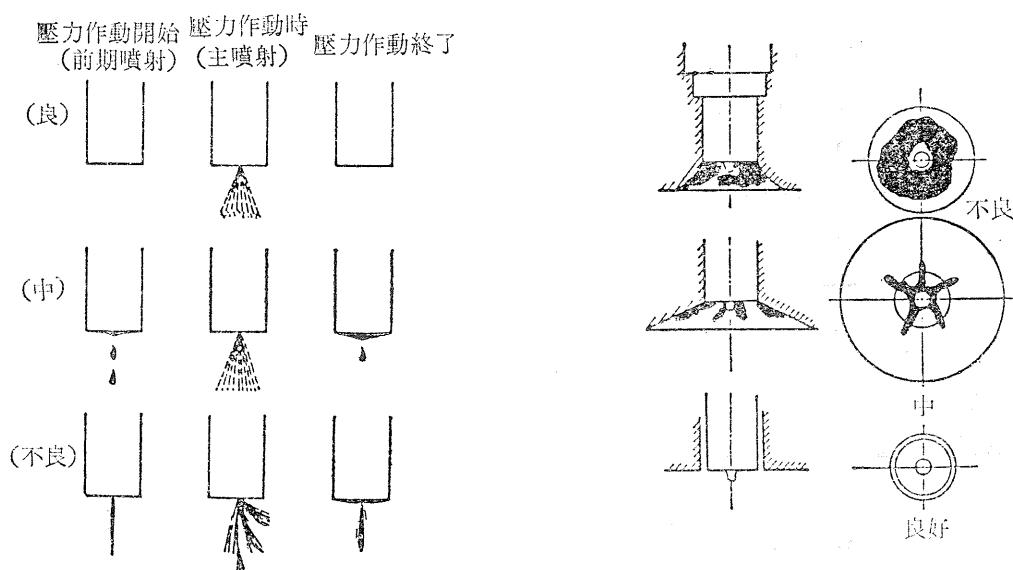
最大 (容許最大限值)

目標 (目標值)

相對 (各測定法之相對值，例如透光率法最大值50，相當於反射光法5.0，比較法3.0；透光率法目標值35，則相當於2.0及1.5)。

)，燃料噴射系統機能故障 (參考圖二) 引起噴射時間不正確、壓縮不良漏洩導致燃燒過程惡化，潤滑油形成飛沫侵入燃燒室內等等，使引擎不能發揮正常功能。

排放有色煙塵的顏色有黑色、白色、藍白等不同深淺程度，其中尤以黑色最為人們所詬病。排放黑煙表示燃燒不完全狀態發生，大部分歸咎於噴射燃料時間不當所引起的燃燒狀態不良，或者噴射閥機能故障導致燃料滴粒化或霧化程度不良，以及空氣濾清器的過濾裝置阻塞促使空氣吸入量不足所引起。簡而言之，排放黑煙主要係以燃料的噴射不良為內在原因，且經常與壓縮不良



圖一 噴嘴尖口的正常及異常狀況  
(單孔式閥為例)

圖二 噴嘴尖口附近堆積碳之影響噴射  
(多孔式閥為例)

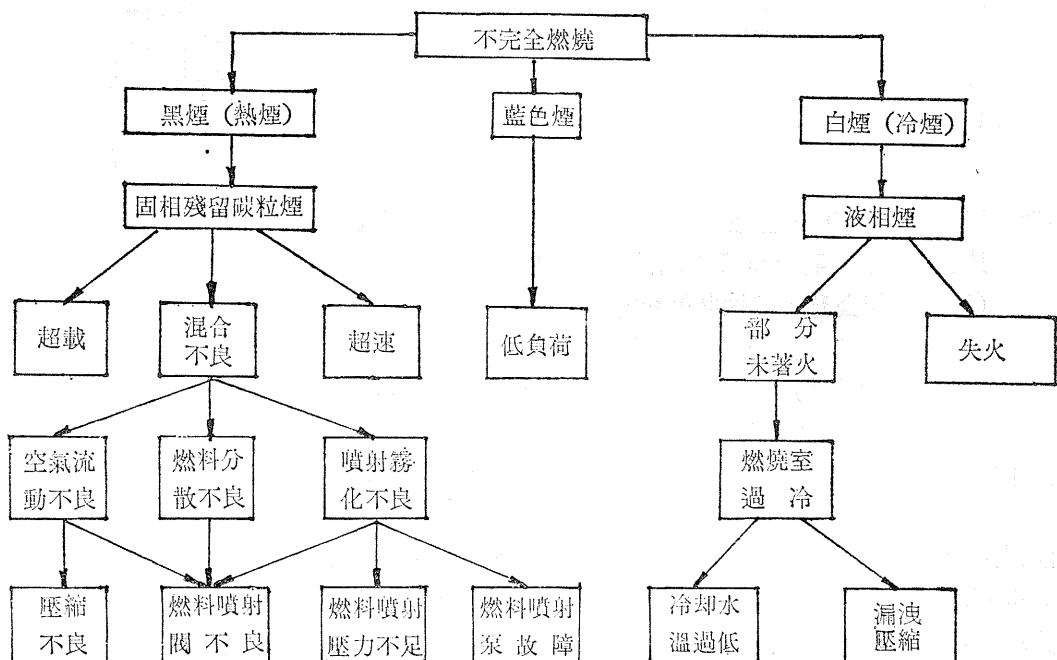
相伴生。

第二種為排放白煙的現象，常以燃料中混入水分，以及潤滑油形成飛沫大量侵入或殘留燃燒室內時最顯著發生。其他如柴油引擎的冷卻水溫度過低，或氣缸壁溫過低，燃燒所產生的水蒸氣接觸到冷空氣，便會形成白煙，特別是冬天最常發生，但這種現象如果柴油引擎的冷卻水溫回升便會消失。

第三種情況，有時排煙呈藍白色，這種現象往往出現在經消音器向外散逸煙氣時，或以長管排氣出現其出口處，而且通常都在暖機運轉期間或低負載狀況。排氣中因為含有碳氫化合物的凝結小粒子，也即未著火燃燒過的碳氫化合物排放至大氣中，經太陽光照射而呈現藍色色彩。但是，如果在高負載狀況，通常藍色會轉變為黑色或藍黑色。

概括而言，排至大氣的汽車廢氣，如係經過汽缸內完全燃燒後所排放者，應該是清澄無色的，但是經驗告訴我們，經常眼前呈現的柴油汽車排氣不是黑色的，便是白色的或藍白的居多，直覺地我們可以判斷，看到了白煙表示柴油引擎處在過冷狀態，看到藍白煙表示汽車在急速低負荷行駛狀態，而黑煙出現了表示汽車超載了或須要保養引擎了。

因此，目測判煙有經驗的人，靠著他的眼力，往往可以合理地判斷出柴油汽車的作動情況是否正常，而且屢試不爽。如果要更進一步探討排放有色廢氣的原因，我們無妨利用因果圖來分析。如同圖三所示，當柴油汽車的心臟——柴油引擎發生機件故障或作動狀態不良時，為了追究異常原因，我們必須對於樹枝上所列出的每一個因子由上往下逐一檢討，便不難找出真正的問題癥結所在。特別是當發現汽車排放黑煙時，馬上可以判斷，並非受到大氣溫度、濕度或大氣壓力等氣象條件很大的影響，甚至也非使用燃料性質（但汽油除外）所左右，可檢討的因子為柴油引擎



圖三 汽車排放有色煙塵之因果系統圖

的燃燒方式，即這些燃料噴射壓縮自己點火等特有的引擎因子。

### 第三章 影響柴油引擎性能諸基本因子

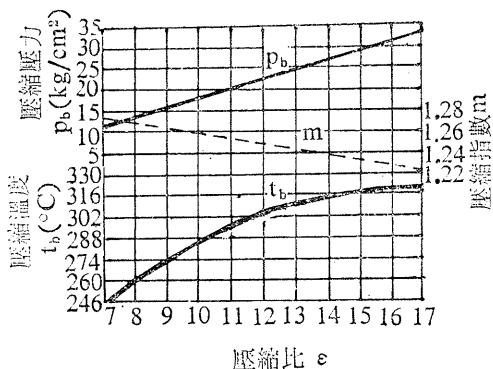
在柴油引擎內，將液狀燃料促成霧狀微粒，向被加熱過的高溫（ $500^{\circ}\text{C}$ 以上）、高壓（ $38\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上）壓縮空氣中噴射，則霧狀微粒得到周圍高溫高壓壓縮空氣所供給的熱量，引起物理及化學變化，而轉化成爲所須的有效功。

具有上述特性的柴油引擎，影響其性能的幾個重要因子將逐一分述於後。爲確保柴油引擎的性能，使具有維持圓滑的正常作動狀態，同時保證其耐久性及信賴度，必須充分瞭解這些因子。

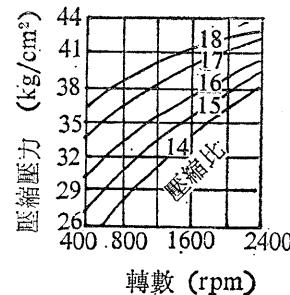
#### 3—1 壓縮溫度與壓力

在柴油引擎的壓縮過程中，隨著氣缸容積的減少，壓縮的功轉化成熱，而貯存在壓縮空氣當中，以此時之空氣溫度稱爲壓縮溫度，供作霧狀微粒燃燒條件所需。

壓縮壓力、壓縮溫度及壓縮比三者的相互關係如圖四所示。而轉速與壓縮壓力的關係，如圖五所示。



圖四 壓縮壓力( $P_b$ )、壓縮溫度( $t_b$ )、壓縮比( $\epsilon$ )及壓縮指數( $m$ )實驗結果關係圖  
(單缸0.48公升，定速600rpm)



圖五 轉速與壓縮壓力的關係

霧狀微粒從自然的瞬間起，爲了維持不斷燃燒，必須轉化成爲物理性及化學性都很安定的燃燒核（或稱火焰核），而轉化必須要有過剩熱量，亦即多數粒子和周圍環境之間須有溫差，此溫差大約是霧狀微粒自燃溫度（例如輕油約  $220^{\circ}\text{C}$ ）的兩倍左右。由於此溫差的存在，也即因能從壓縮空氣向粒子快速熱傳遞，促使粒子急遽著火燃燒，此種瞬間著火也使引擎之高速回轉變爲可能。

因此之故，給與霧狀微粒的溫度最低必須達  $500\sim 550^{\circ}\text{C}$ ，而與此溫度對應的壓縮壓力最低須  $28\sim 30\text{kg}/\text{cm}^2$ ，此值和道路上行車狀態無關，而僅係爲達到圓滑作動所必要的條件。

也即，爲了保證柴油車排氣達到清澄的目的，必須在維護保養時，注意壓縮壓力的大小。在保養檢查時，通常處在燃料不噴射狀態，並且取出起動用預熱栓裝上壓力計，然後令柴油引擎的起動馬達動作，在此狀況下因壓縮唧筒產生壓縮作用，從壓力計便可讀取氣缸內壓縮壓力的值。

此值是否在容許標準之內，可根據表三所示，作為檢查的重點。並且，多引擎情況時，必須對各個引擎逐一檢查，而各個引擎之間的壓力偏差值必須在10%以下方為正常。

表三 標準壓縮壓力

回轉數 r.p.m	150	180	200
壓縮壓力 kg/cm <sup>2</sup>	20	25	30

### 3—2 膨脹最高壓力

如果壓縮氣缸內的膨脹壓力容許某種程度的增大，則平均有效壓力也將隨著增加，而對於引擎的輸出功將有幫助。

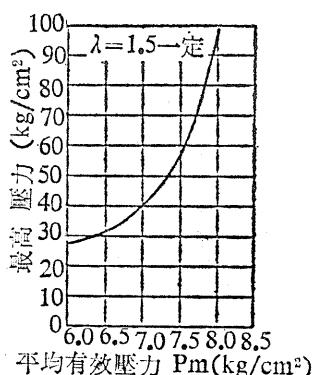
圖六表示膨脹最高壓力與平均有效壓力之間的關係。但是，從現實的觀點而論，由於如果無限制地增大膨脹壓力，最後將導致振動和噪音的發生，進而影響引擎的壽命，事實上是不被接受的。

因此，通常依據經驗而言，膨脹過程所產生無害的最高壓力界和壓縮氣缸的內徑大小相對應的，例如表四表示連續負載運轉可承受的最高壓力標準。

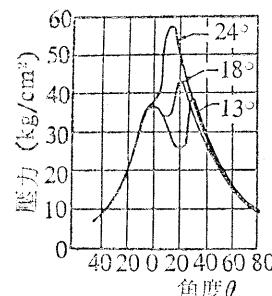
表四 最高壓力標準

氣缸內徑mm	最高壓力kg/cm <sup>2</sup>
150以下	70
150~200以下	65
200~240以下	60
240~280以下	55
280以上	50

上表所列的數值是表示自然進氣而且無過剩給氣的情況，可是從最近的引擎發展趨勢來看，經常以附加排氣渦輪機或離心式壓縮機作強制給氣，如果以此兩種方式使大氣壓力升高，而促使過剩給氣產生膨脹最高壓力，一般均採表四所示值加上15%當其上限標準。



圖六 膨脹最高壓力與平均有效壓力的關係 ( $\lambda$  表過剩空氣率)



圖七 噴射燃料各階段 (曲柄角θ) 的膨脹最高壓力

其次，從現象的觀點來說，由圖七所示可明顯看出，最高壓力在噴射燃料各階段的變化情形，此變化是由於壓力上升的各種情況，主宰了氣缸內活塞桿的位置使然。例如，噴射時機過早時（在上死點前24度），活塞桿仍在繼續上升過程當中，由於氣缸容積很小，使得缸內壓力的上升急遽；反之，噴射燃料時機太遲（在上死點後13度），活塞桿已在下降過程（膨脹衝程）當中，雖然壓力增加，因為氣缸容積不斷在增大，結果膨脹壓力反而變小。

上述現象如更依噴射霧燃料粒子著火所需時間（延遲點火時間）來說明，則我們瞭解因為存在著延遲點火時間如可能儘量加長，隨著汽缸內未著火粒子數將大量增加的緣故，而且這些未著火粒子一旦燃燒然後膨脹，勢必使單位時間之壓力上升，或使曲柄軸單位角度之壓力增加量變大，而達到因為壓力急遽增加造成的膨脹最高壓力值情況。在此情況，則所謂柴油引擎之「撞擊音」同時存在，此種燃燒時所伴生之噪音，為柴油引擎特徵之一。

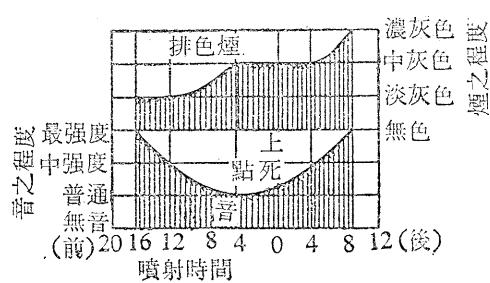
因此，我們認為當油粒燃燒時，造成柴油引擎燃燒膨脹最高壓力限值之因素，決定於壓縮壓力和壓縮溫度當基因，而為同時承受物理和化學作用所產生的一種現象。

### 3—3 燃料噴射時期

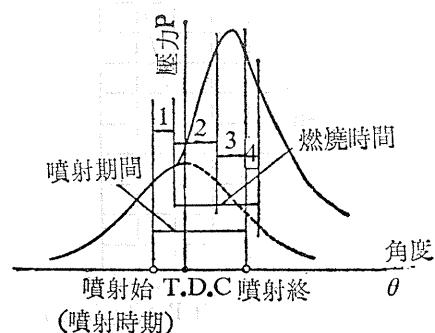
液體燃料轉化成微粒，關於柴油引擎動作過程，最能充分發揮引擎性能，而且能持續維持穩定之噴射燃料狀態，決定於許多影響條件，且多須經過慣常的多次嘗試錯誤的實驗以後才能判定。

圖八明白地表示燃料噴射時期如何影響柴油引擎的性能。以下將燃燒過程分作四階段，依此將可合理說明為何以圖八來表示其變化形態。

在圖九中所表示的第一階段，稱為延遲點火期間，此時噴霧微粒和壓縮空氣相混合，空氣中的熱量被噴霧微粒吸收，而引起物理和化學變化，即噴射開始至粒子本身自然著火為止這段期間為第一階段。其次，第二階段期間，為呈現急遽燃燒期間，此時被噴射的燃料粒子羣當中，有若干個數的噴霧微粒已開始自然著火，其餘尚未著火粒子緊跟著也急遽著火燃燒，而使得壓力突然上升。第三階段稱為控制燃燒過程期間，此時由於噴霧微粒燃燒使得火焰範圍擴大，燃燒室內形成高溫（1200°C左右）和高壓（50至80kg/cm<sup>2</sup>範圍）狀態，而如果在這段期間內供給燃料，則這些燃料即馬上燃燒，因此如改變了燃料噴射量，將可自由控制輸出馬力和回轉數的大小。第四階段稱為後期燃燒期間，實際上即使柴油引擎內燃料的噴射已經終了，氣缸內的燃燒仍然繼續存在，也即後期燃燒過程這段期間經過以後，理論上才適宜進入膨脹行程。



圖八 噴射時期（依曲柄角區分）的叩擊音及排煙色之關係



圖九 依柴油引擎P-θ線圖區分燃燒過程  
(Ricardo 氏區分)

至於在第一至第四階段過程當中，究竟最適當的噴射時期是在曲柄軸角度呈上死點前幾度時，這不僅受到燃料噴射前唧筒內存在空氣的壓縮狀態很大的影響，而且由這些不同狀態左右引擎性能，因此普通寧可拋開理論而從嘗試錯誤的實驗方法決定。

### 3—4 燃料噴射壓力

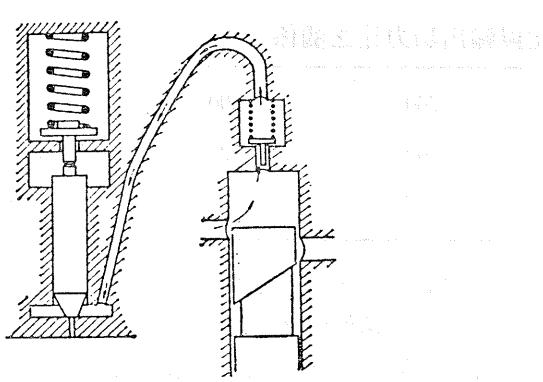
汽車柴油引擎欲求能夠動作順暢，以及擁有優越的性能，必須具備有燃料在燃燒室內和其間分布的高溫、高壓的空氣呈均質混合這個條件，以現象而言，燃料須轉變成噴射流的形態，且此噴射流已經充分微粒化，然後考慮燃料噴霧粒子液，由機械方式的操作處理，使其在燃燒室內完全擴散。

為達到上述目的，必須特別注意在燃燒室內空間混合氣及時間混合氣的形成物理過程。但是此兩種混合氣中的時間混合氣的形成，雖然受到了噴射開始時期、噴射過程形態、噴射持續時間等因素所左右，如果能依嘗試錯誤的實驗方法求取最正確的噴射時期，則剩下來的僅是如何形成空間混合氣的問題而已。

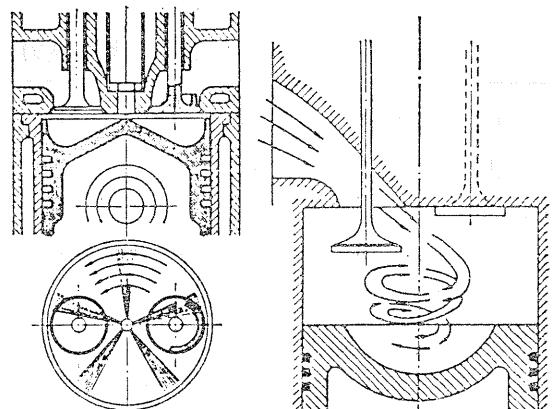
如圖十噴射系的模型所示，噴射燃料的系統主要由噴射燃料唧筒、噴射燃料閥及燃燒室當主體所構成，對於這個系統能不能或者如何將燃料霧粒化、噴出、擴散、分布等問題，必須慎重推敲。

上面所述種種影響燃燒的條件，簡單來說都決定於噴射壓力。由於噴射壓力的控制，即對燃料噴射閥的機能，噴霧狀況及噴霧微粒的一舉一動如可掌握，便能改善柴油引擎的性能，特別是僅從噴射壓力便可判斷有色排氣這種論調並不為過。

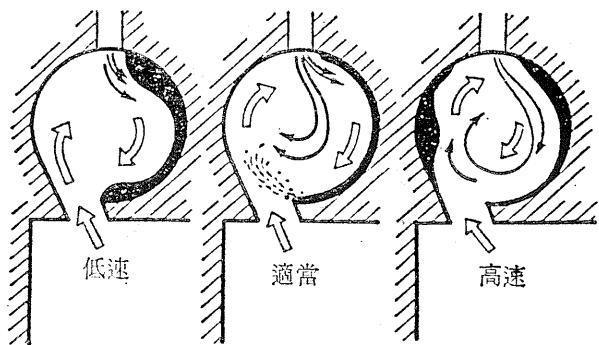
圖十一，十二及十三分別依燃燒室的形式表示燃燒室內不同的空氣流動形態，由於空氣的流動促進噴射燃料所形成粒子羣的擴散、分布效果，這種效果雖然降低了噴射壓力，很顯然地却可確保噴射燃料閥的壽命。如此一來，排制粒子羣的噴射壓力，將可達成縮短延遲點火時間、實現高速回轉、減輕排放黑煙等目的。



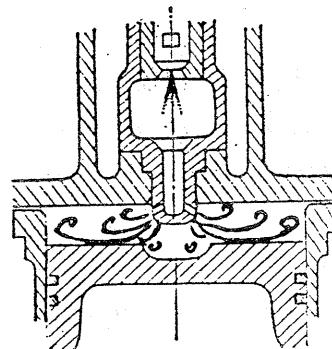
圖十 噴射系模型示意圖



圖十一 直接噴射式（開放燃燒式）由導片形成吸氣閥的流動（如左圖）及吸入孔促成方向性的流動（如右圖）



圖十二 涡流燃燒室中渦流速度與油粒分散分  
布狀態圖



圖十三 預熱燃燒室中渦流與油粒分散  
分布狀態

### 3—5 大氣條件之影響

汽車柴油引擎的性能（輸出功力、回轉數、燃料消耗量等）主要受到吸入空氣溫度及其大氣壓力所支配。

表五表示空氣入口溫度 $t(^{\circ}\text{C})$ 及輸出功力比間的關係。

表五 空氣入口溫度與輸出功力比之關係

$t^{\circ}\text{C}$	0	20	40	60	80	100
輸出功力比%	150	100	95	85	83	80
增減比%	+5	0	-5	-15	-17	-20

表六 表示吸入管入口大氣壓力變化對輸出功力及影響，標準氣壓為760毫米水銀柱高。

表六 大氣壓力變化與輸出功力比之關係

入口壓力mmHg	500	630	760	890	1020
輸出功力比%	60	80	100	120	135
增減比%	-40	-20	0	+20	+35

如表五及表六所示，柴油引擎受到大氣條件及狀態的變化，可相應作某種程度的變化。因此，受到汽缸內供給之空氣量所左右，當大氣壓力越高、氣溫越低時，便會形成空氣過剩狀態，而此時，對應可達到完全燃燒、輸出功力增加、排放有色煙氣減少等狀況。一般以「自然吸入引擎」稱吸氣壓力在760毫米水銀柱高以下者，而以「過剩供給引擎」稱呼吸氣壓力在760毫米水銀柱高以上者。

從實用上而言，一般大氣溫度如在 $4^{\circ}\text{C}$ 以下，將使柴油引擎發動困難或不良，因此為了使吸入溫度因預熱或加熱而提高，通常必須加裝預熱栓當附件。

### 3—6 冷却水溫度

爲使柴油引擎能圓滑運轉，受熱負荷的活塞桿、汽缸、汽缸蓋等須要時常冷卻，故利用空氣及水來做冷卻物質，其中採用比重及比熱較高的水來冷卻效果較大，水又有耐高負荷的優點，所以水冷式引擎多被採用。但實際應用前須了解冷卻水溫度與引擎性能的密切關係。

表七說明固定回轉數的引擎受冷卻水溫度影響，運轉燃燒噪音之情形。

表七 冷却水溫度之影響

回 轉 數	出 力 (PS)	變 化 率 (%)	水 溫 (°C)	燃 燒 噪 音
1200	29	100	82.2	微
1200	27.4	94	65.5	稍 中
1200	25.0	86	48.4	中
1200	22.0	76	26.4	稍 強
1200	21.2	73	15.4	強

因此常須高溫度冷卻水來維持柴油引擎的良好動作狀態，以過去的經驗而言，其溫度在60—85°C之範圍內最為恰當，但是即使冷卻水出口溫度在此範圍內，若令入口溫度在15—20°C之間，因出入口溫度之差異太大，容易發生汽缸及汽缸蓋等之熱不平衡現象。這就是表示冷卻水量的不足，又流通引擎各部門的過程不平均，致使熱負荷增大的緣故。因此雖然出口溫度容許值定為60°C，但汽缸及活塞桿之間仍有存在著熱不平衡現象的危險。所以出入口溫度的差距愈小愈好，就經驗5—10°C之間最適當。

總而言之，爲使柴油引擎保持圓滑正常的動作狀態，冷卻水的出口溫度若是 60—85°C，相對的入口溫度最少須要在 55—75°C 為適當，因此冷卻水循環量與冷卻水溫度同樣是須重視的重要因子。

使用多量循環冷卻水之時，即使出口溫度偏高，引擎也將安然無礙。

### 3—7 潤滑油溫度

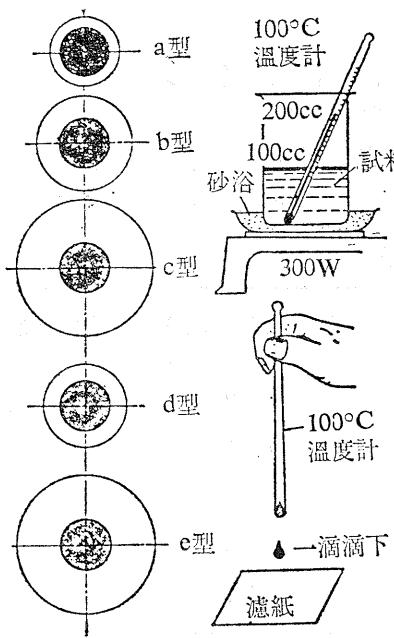
潤滑油之用途爲當柴油引擎或其他引擎及機械之作動運轉之時，機械構成之各部金屬互相摩擦，爲了減輕摩擦，使其能耐久持續性地使用，並作圓滑正常的動作及運動所需的物質。

圖十四爲潤滑油的粘度 (Centi-poise, cp, 百分泊) 實際影響到柴油引擎性能的表示圖。

潤滑油之粘度在起動時或寒冷時屬高粘性，運轉時或高溫度季節屬低粘性，粘度有此差異，所以須有保持適當粘度的必要。

圖十四所示潤滑油溫度左右粘度，進而影響潤滑油的功能。舉例說，潤滑油溫度高至 130°C 附近時，可想像已經妨礙到運動性能了，但是多流量的潤滑油流通在循環系統之時，雖然潤滑油溫度高至 130°C，相對的出入口之溫度差在4—10°C之範圍內之時，有 8 小時以上連續負荷運動仍很圓滑的經驗例可循。

其次檢討由潤滑循環系統顯示的油壓問題，油壓與潤滑油溫度有密切的關係，當潤滑油溫度

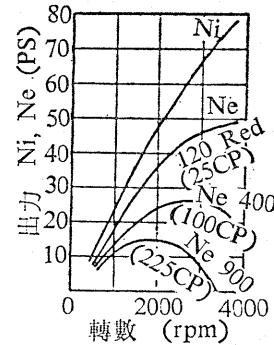


圖十四 潤滑油粘度對引擎輸出功力的影響  
(Red表雷氏粘度秒，CP表百分泊)

較低時，油壓偏高；而當運轉時間延長時，則隨著潤滑油溫度上昇，油壓相對地降低。

然而潤滑油循環系統若有充分的循環流量供給之時，雖然油壓降低也不會損害到引擎的安全性。不過若由潤滑油污染使粘度提高，隨之而油壓上昇，對引擎的危險性將較大，因此須要鑑定潤滑油之污染度。

圖十五為簡易又實用的滴油 (oil spot) 法之圖示。此種簡易鑑別法乃以200cc燒杯，採取使用中的潤滑油100cc，加熱並攪拌使其溫度達60°C。其次在濾紙上滴油一滴，觀察油滴污染的自然擴大，其內部出現黑色部份，而其周圍形成浸滲油的輪廓，將此濾紙透過光線，依據表八所示的基準，以肉眼判別確認污染形像是否呈d, e程度，方屬輕微污染。



圖十五 滴油法操作要領圖

表八 潤滑油污染程度判別標準

標 準	污 染 度	內 部 之 黑 色 態	周 圍 浸 滲 油 部 分 之 形 態
a	最 大	不 透 光	完全不浸滲
b	大	不 透 光	浸滲程度普通
c	中	半 透 光	相當(中) 浸滲
d	中	全 透 光	少許浸滲
e	小	全 透 光	大量浸滲