

89.3853

X52

汽車柴油發動機基本原理

許金釗編著

人民交通出版社

汽車柴油發動機基本原理

許金釗編著

人民交通出版社

本書是按汽車柴油發動機的機構系統編著的，共分十節，用較淺近的文字和插圖來敘述柴油發動機的工作原理。由於供油系是柴油發動機的主要機構，關係着發動機的功率和經濟性，所以用了較多的篇幅來說明這方面的問題。

有關柴油發動機各種機構的類型，在書中也作了原理方面的介紹，以便讀者在理論上能得到一些基本知識。

汽車柴油發動機基本原理

靳金釗編著

★

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號

新華書店發行

地方國營錦州印刷廠印刷

★

書號：15044·4055

開本：787×1092 1/32 印張：2 1/2 字數：50000

1955年4月上海第1版

1959年4月北京第9次印刷 印數：40235—0735冊

定價(10)：0.34元

目 錄

一	四衝程柴油機的工作情況	1
二	二衝程柴油機的工作情況	8
三	柴油機的增壓充氣	15
四	柴油的霧化	21
五	柴油機的燃燒室	27
六	柴油機的供油設備——噴油泵	33
七	柴油機的供油設備——噴油嘴	42
八	柴油機的調節裝置——調速器	50
九	柴油機的特性曲線	57
十	柴油機的起動	62

一 四衝程柴油機的工作情況

柴油機又叫壓燃式發動機 柴油機是內燃機的一種，它與汽油機的主要區別之一，就是氣缸內工作混合物的點火和燃燒方法。柴油機氣缸內的工作混合物，由於壓縮後的高溫空氣遇到噴射進來的燃油微粒而發生點火燃燒，與汽油機氣缸內混合物靠高壓電火花來引燃是截然不同的；因此，柴油機又稱壓燃式發動機，而汽油機則稱為他燃式發動機。

什麼叫四衝程柴油機 活塞來回四次，走了四個衝程而完成了一次工作循環的，叫做四程循環。利用四程循環的柴油機稱四衝程柴油機。除了四衝程柴油機以外，還有在活塞來回二次的時間內完成一次工作循環的，我們叫它為二衝程柴油機。本節僅談四衝程柴油機，至於二衝程柴油機的工作情況，在第二節裏敘述。

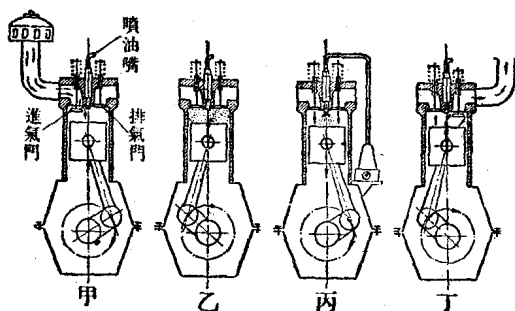
柴油機的工作循環

柴油機的工作循環，上面已經說過，是由活塞來回四次來完成的，它包括進氣、壓縮、燃燒與工作以及排氣等四個過程。

進氣過程（又稱充氣過程） 這一過程主要是發生於活塞在氣缸中由上止點向下移動到下止點的一段時間內（圖一甲）。由於活塞下行時，在氣缸中逐漸地讓出了空間，空氣便經過進氣

門而衝入補充，但進來的氣體，不是汽油機裏的燃料和空氣的混合物而是純粹的空氣。就是爲了這點的不同，柴油機在工作上和構造上都與汽油機有了顯著的差別。

充氣效率總是小於 100 % 我們知道，燃燒是一個劇烈的氧化過程，要燃燒除了燃料外還必須要有氧氣，兩者不能缺少其一。燃燒時的氧氣，是靠空氣來供給的。因此，進入氣缸的空氣量，關係着以後與燃料混合後所形成的混合物的燃燒性能。進入氣缸的空氣量，往往比理論上應該吸入的空氣量（理論空氣量 = 活塞排量 × 在大氣壓力和溫度下的空氣密度）要少，即充氣效率總是小於 100 %。這是由於：①進氣系統（指進氣管、進氣門等）中存在着阻力；②氣缸中積存有上次循環所餘留下來的廢氣；③空氣進入氣缸而與熱機件接觸後發生膨脹；④進氣門的開放時間很短。



圖一 甲-進氣過程 乙-壓縮過程 丙-工作過程 丁-排氣過程

爲了改善充氣性能，提高充氣效率，可以減少進氣通路上的阻力（如放大通路的斷面積、減少轉角、增大轉角處的弧度、使通路的表面光滑、增加進氣門的開啓程度等），儘量清除上一循環的廢氣剩餘量（這與排氣通路的阻力和排氣時間有

關)，降低氣缸內高熱機件的溫度（過份的降低對發動機的工作是有害的）和延長進氣門的開放時間。但是這些改善工作，祇能做到一定的程度而無法加以徹底解決，因此充氣效率總是小於100%的。一般來說，在低速機上，充氣效率在82—90%，而在高速機上為75—80%。至於利用增壓進氣（用壓力把空氣送進氣缸去）來提高充氣效率的問題，在第三節中討論。

❖ **壓縮過程** 壓縮過程主要是發生在活塞由下止點走向上止點的一段時間以內（圖一乙），它的目的在擴張工作過程的溫度範圍，保證在實際情況中獲得最大可能的膨脹比和創造良好的燃燒條件。

柴油機的壓縮比 壓縮比等於氣缸的總容積與燃燒室容積之比。汽油機的壓縮比，不能太大，經常在4.5—7.5之間，過大了就會發生突爆，以致毀滅了發動機因提高壓縮比而所得的一切優點；因為發生突爆時燃料所發出的熱量，非但不能加以利用，並且還有使發動機的工作機件發生損壞的可能，因此發動機的突爆燃燒，是不容許的。但在柴油機中，情形就大不相同了，因為進入氣缸的是空氣而不是燃料與空氣的混合物，因之有條件提高壓縮比而不致像汽油機那樣發生突爆現象。提高壓縮比可以增加發動機的热效率（發動機輸出功能與消耗燃料所含能量的比率）。那末柴油機的壓縮比是不是可以無限止的提高呢？這是不可能的，因為壓縮比的不斷增加將引起得不償失的後果。根據公式：壓縮終了時的壓力 = 壓縮開始時的壓力 $\times$ （壓縮比） n ，而壓縮終了時的溫度 = 壓縮開始時的溫度 $\times$ （壓縮比） $n-1$ 。假定 $n = 1.35$ （ n 稱多變指數，轉速在每分鐘1000以上時， n 約在1.30到1.35，每分鐘為一、二百轉時，約為1.2上下），就可得到壓縮終了時的壓力和溫度與壓縮開始時的壓力和溫度之比值，如表一：

表一

壓 縮 比	4	6	8	10	12	14	16	18
壓縮終了時的壓力	6.50	11.2	16.5	22.4	28.5	35.1	42.2	49.3
壓縮開始時的壓力								
壓縮終了時的溫度	1.62	1.87	2.14	2.24	2.39	2.52	2.64	2.73
壓縮開始時的溫度								

從表上可以看出壓縮比由4增加到6，壓力提高了72%

$$\left(\frac{\text{壓縮比6時的提高倍數} - \text{壓縮比4時的提高倍數}}{\text{壓縮比4時的提高倍數}} = \frac{11.2 - 6.50}{6.50} \right. \\ \left. \times 100\% = 72\% \right)$$
，而溫度的提高也達15%；但是壓縮比由16增加到18時，壓力的提高祇有26%多些，溫度的提高還不到4%，這說明了壓縮比的提高，在原來壓縮比是小的時候，對擴張工作過程的溫度範圍和獲得最大的膨脹比方面，起着很大的作用。但無限止的增加壓縮比，過了某一限度以後所起的作用不大；相反的，因為壓力和溫度的增加，不得不相應地加強發動機的強度，增加零件的尺寸，以便承擔高壓力和高溫度的侵襲；因此，壓縮比的無限止提高，是不必要的。

過去汽車上為什麼很少用柴油機 柴油機的熱效率比汽油機高（因為壓縮比大），同時柴油又比汽油來得便宜，那末過去的汽車發動機為什麼不用柴油機而用汽油機呢？其中原因之一，就是為了柴油機的單位馬力重量（發動機的總重量除以發動機的馬力數）較汽油機來得大，由於柴油機的壓縮比高，所以機件的尺寸粗壯得很，當然笨重的發動機裝在汽車上是不合適的。近來由於冶煉技術的提高和二程循環的應用，汽車上裝用柴油機，就愈來愈多了。

燃燒和工作過程 燃燒是一個複雜的過程。柴油機氣缸中的空氣，經過壓縮以後，壓力和溫度大大地被提高了（提高的

程度與壓縮比有關)。假設壓縮開始時的壓力為每平方公分1公斤，則壓縮終了時壓力可達30—40公斤/平方公分，而此時的溫度通常大於500—550°C，若使壓縮前的空氣壓力提高(用增壓進氣)，壓縮終了時的壓力可高達70公斤/平方公分。

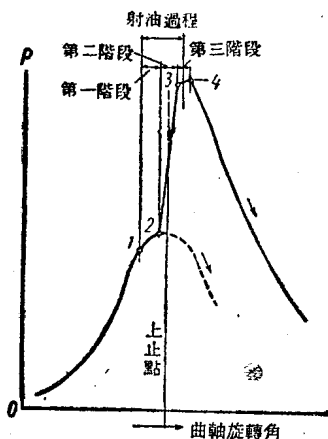
在活塞將達上止點的時候，如果把噴散得很細的柴油微粒噴射進去的話，因為這時柴油微粒所接觸的空氣溫度，已超過了柴油的自然溫度，所以就可以很快的燃燒起來。

自然溫度是燃料雖不用點火而即能自行着火的溫度，柴油的自然溫度約為350°C。

如何能將柴油噴散得很細，並且很均勻地分佈在燃燒室內的問題，在後面的幾節中討論。

過量空氣係數 上面已經說過，要燃燒，必須要有燃料和空氣，但是進入柴油機氣缸的是空氣而不是混合物，所以燃燒時所需要的混合物是在很短的時間內配合起來的；配合的時間，僅僅約為汽油和空氣混合時間的十分之一。因之，為了使燃料微粒容易找到所需要的空氣中的氧氣起見，進入的空氣量一定要比理論上所需的空氣量多(1公斤柴油理論上需要20公斤左右的空氣)。實際上的空氣量與理論上的空氣量之比稱過量空氣係數，這係數通常為1.4到1.5。

空氣量的增加，減低了燃燒和膨脹時的溫度，因為燃燒時所產生的熱量，一部份為過量空氣所吸收，因之柴油機的溫度比汽油機為低。



圖二 柴油燃燒的三個階段

燃燒的三個階段 柴油機的燃燒過程，是分三個階段來進行的，每一階段所佔時間的長短與燃料的性質、燃料霧化的程度、燃燒室的形狀和結構等一系列的因素有關。這裏僅就一般情況加以介紹(參看圖二)。

柴油機與汽油機的主要區別

表二

	進氣	壓縮比	點火	壓縮終了溫度	壓縮終了壓力	最高溫度	最高壓力	燃燒過程
柴油機	空氣	12—20	壓燃	500—550°C	30—40公斤/平方公分	1600—2000°C	60—100公斤/平方公分	在等容等壓下進行
汽油機	混合氣	4.5—7.5	他燃	380—480°C	7—10公斤/平方公分	2200—2500°C	30—40公斤/平方公分	在等容下進行

第一階段為發火延遲時期，從燃料開始噴射(圖二1)到燃料開始着火(圖二2)為止。在這一段時期內，進入氣缸內的燃料微粒受到加熱和蒸發，並與空氣混合，之後又與氧發生化學反應；並在對着火最有利的混合層內形成導火核心，這一時期的長短與燃燒室的形狀和大小、燃燒室的溫度、燃料的性質、柴油機的轉速和負荷、廢氣剩餘量等有關。這一時間希望短，時間一長，燃料積量就多，在燃燒發生時，發出大量的熱，以致壓力突然上升，這樣也就引起柴油機的突爆，使運轉不平穩。

第二階段為速燃時期。從混合物着火開始直到把第一階段時期所積存下來的燃料燒完(圖二3)為止。在燃燒時期火焰從導火核心迅速向周圍推進，同時壓力急增，如果曲軸每迴轉一度，壓力的增加超過 2.4 公斤/平方公分時，柴油機就要發生突爆。這一階段的時間長短與上一階段內的積油量、燃料在空氣中的分佈情況和火焰的推進速度有關。

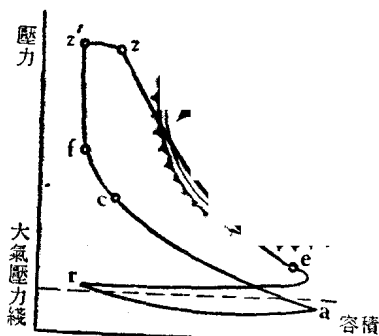
第三階段為慢燃時期，又稱隨噴隨燃時期。這一階段內所噴射進來的燃料微粒，由於前一階段速燃的結果，把氣缸中的

混合氣溫度和壓力，提高到這樣的程度，使噴進來的油粒立刻燃燒，而氣缸內的壓力，由於活塞下行而容積擴大，幾乎沒有增加，這一時期是燃燒過程中的主要階段。決定慢燃時期的久暫要看燃料供應時間的長短，如圖二 3—4 段所示。

工作過程 在燃燒過程中所生的壓力，一般高達 60—100 公斤/平方公分，在活塞從上止點向下止點移動 15—20% 的衝程以後，氣缸內的氣體壓力推壓活塞下行（圖一丙），同時壓力逐漸下降，活塞的推力經連桿的傳遞而使曲軸迴轉，這樣使燃料的熱能有一部份轉變成有用的機械功。

排氣過程 爲了便於產生下一次循環，在氣缸中已經燃燒過而且做了功的廢氣，必須把它排除出去，這就是排氣過程的任務。在排氣進程中由於反壓力（氣缸內的壓力大於外界壓力，這是由於排氣系統內存在着阻力的緣故）的形成，以致使進氣過程的充氣效率下降，同時廢氣留存在氣缸內的量也因之增加，這一過程主要發生於活塞從下止點到上止點的一段時間內，參看圖一丁。

根據上述各點，我們可以畫一個四衝程柴油機的工作循環圖（又叫壓容圖），從圖三上可以看出柴油機與汽油機工作循環的基本區別，並可列成表二加以比較。



圖三 四衝程柴油機工作循環圖

- ra 線爲進氣過程（空氣）
- ac 線爲壓縮過程（空氣）
- cf 線爲燃燒第一階段
- fz' 線爲燃燒第二階段
- z'z 線爲燃燒第三階段
- ze 線爲工作過程
- er 線爲排氣過程

二 二衝程柴油機的工作情況

最近幾年中，二衝程發動機和四衝程發動機得到同樣的發展。但在汽化器式發動機上，如採用二衝程循環，會發生新鮮混合物經排氣機構而洩漏的重大損失，所以它的發展受到了限制。至於在二衝程柴油機中，因吸入的是空氣，所以沒有這一問題存在，因此就有發展的可能。

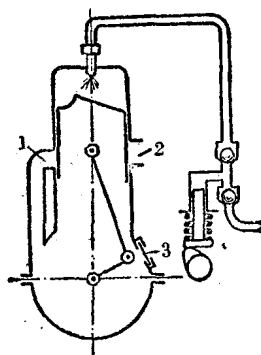
二衝程柴油機的工作循環

二衝程柴油機的工作循環是由活塞來回各一次完成的，也就是在曲軸迴轉一次的時間內完成了一個工作循環；因此我們不能再像分析四衝程工作循環時那樣地按進氣、壓縮、燃燒——工作和排氣四個過程來說明，而必須以活塞的衝程順序作為分析的根據。

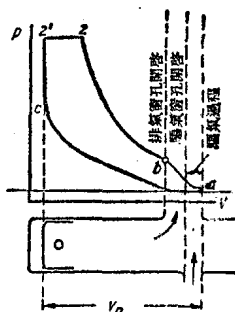
第一衝程 當活塞從下止點向上止點移動時（圖四），在活塞關閉了氣缸邊上的洞孔 1 和 2 之後，氣缸內的空氣便受壓縮，而活塞下面的空間增大，造成真空，外界的空氣便推開曲軸箱上的閥門 3 而流入。氣缸內的空氣受壓時壓力和容積的變化用圖五上的 ac 綫來表示，在活塞開始由下止點向上移動到洞孔 1 和 2 被關閉之前的一段時間內，因洞孔與外界相通，所以壓力是不會升高的。

第二衝程 活塞移近上止點時，空氣的壓力和溫度已相當

的高，如及時把燃料噴入，霧化了的油粒將與高溫空氣混合而發生劇烈的氧化作用——着火和燃燒。燃燒後的高壓氣體，便推動活塞下行，造成了工作過程。但當活塞頂端的邊緣讓開洞孔 2 時，排氣即行開始；再繼續下行時，洞孔 1 也被開啓；在曲軸箱內因活塞下行而受壓的空氣，使閥門 3 關閉，一俟孔 1 啓開便衝入氣缸，一面向氣缸充氣，一面幫着氣缸清除廢氣。這一現象直到活塞下行經過下止點而再向上移動時把洞孔 1 關閉為止，才告完成，之後便開始第二次壓縮。



圖四 二衝程柴油機的簡圖



圖五 二衝程柴油機的壓力容積圖

在圖五上： cz' 表示燃燒過程， zb 為工作過程，而 ba 為換氣過程。

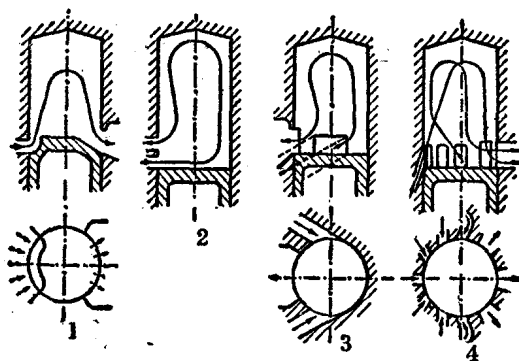
二衝程柴油機的幾個問題

從上面的循環分析中可以很清楚的看出，二衝程柴油機的單位功率的提高是有相當困難的，因為它存在着下列的二個主要困難：

清除廢氣和進氣問題 廢氣的清除是靠進入氣缸的新鮮空氣來進行的，又爲了減少氣缸內廢氣的剩餘量，排氣孔的關閉遲於進氣孔，以致充氣後氣缸內的新鮮空氣中常含有四分之一左右的廢氣。這種沒有燃燒價值的廢氣的存在，無疑地會使發動機的功率下降；尤其是在高轉速的情況下，換氣時間很短，這種現象更加惡化。爲了改善發動機的排氣和進氣，採取了兩種換氣制度——迴綫式和單流式。

迴綫式換氣制 這種換氣制的特點爲進入氣缸內的空氣主流在運動時形成一迴綫，進氣孔和排氣孔的啓閉都由活塞來控制，這樣比用非迴綫式換氣時的清除效率要高得多。使空氣主流形成迴綫運動的構造，有下列幾種方法。

橫渡迴綫式換氣（圖六，1）——這種形式的特點爲排氣孔和進氣孔排列在氣缸相對的兩壁上，氣孔的中心綫互相平行，活塞頂有凸起部份。當進氣孔初開時，進入氣缸的空氣流突然碰擊活塞凸頂而折向上行，其後由於活塞的繼續下移，空氣遂折回向下而形成迴綫，以驅除廢氣。



圖六 各種迴綫式換氣制

1-橫渡式 2-全迴綫式 3-切向式 4-聯合式

全迴綫式換氣（圖六，2）——這種形式的特點為排氣孔和進氣孔都位於氣缸的一邊，氣孔的中心綫也是平行的。空氣進入氣缸後，經 180 度而折回向下，幫助驅氣。蘇聯的紅色蘇爾墨佛工廠曾採用這種換氣制。

切向迴綫式換氣（圖六，3）——這種形式的特點為進氣孔的方向在平面上是沿着氣缸圓周的切綫方向。實驗證明，如果氣孔排列適當，可以使清除效率及混合物品質得到顯著的改善，俄羅斯狄賽爾工廠在這方面有很好的成就。

聯合迴綫式換氣（圖六，4）——是根據橫渡迴綫和切向迴綫換氣的特性加以適當的組合而形成的。如果進氣和排氣孔的安排妥當，則氣缸的清除和進氣可能獲得顯著的改善。

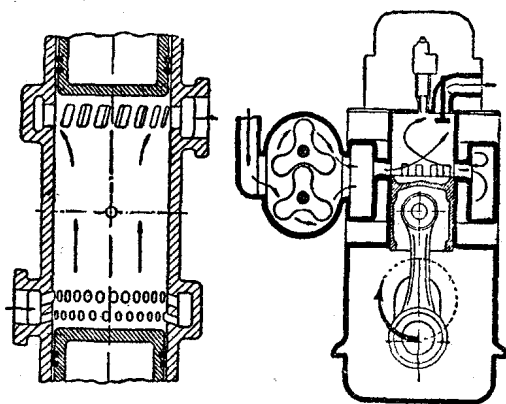
單流式換氣制 這種換氣制的特點為廢氣從氣缸的一端排除，而新鮮空氣由氣缸的另一端進入，這樣廢氣和新鮮空氣不再發生互相侵擾，換氣效率亦因此而提高。此外，由於驅氣孔改變了所處的地位，壓縮開始得比較早，因而增加了壓縮比，使壓縮終了時空氣的溫度增高，相應地縮短了發火延遲時間，防止了柴油機的突爆。由於這些原因，柴油機的功率和經濟性都有了很大的改善。但這種換氣制的應用，將使發動機的構造變成複雜，增加了製造和保修費用。

單流式換氣制的主要組合，可有多種方法，這裏僅提出壁孔換氣和氣門壁孔換氣兩種形式加以說明。

壁孔換氣（圖七，1）——這種換氣制的特點為在同一氣缸內兩個活塞排列在對置地位，所以又稱對置活塞式。一個活塞操縱進氣，另一個控制排氣。這樣的安排提高了清除——充氣的品質並協助混合物的形成。清除——充氣品質的改善是由於進氣孔和排氣孔排列在氣缸的兩端，而混合物品質的提高則是由於進氣孔的形式，保證了空氣在氣缸內產生了有規律的旋

流，協助燃料與空氣作均勻的混合。應用這種換氣制的發動機適用於工業及運輸工具的動力裝置。

、氣門壁孔換氣（圖七，2）——這種換氣制的特點是以氣門代替排氣孔，活塞的工作情況比較良好，因為它在清除——充氣過程中受到新鮮冷空氣的沖洗作用，獲得必要的冷卻。另一方面，當進氣過程接近終止時，進氣孔的開啓面積還比排氣門的開啓面積大得多，因此使氣缸獲得良好的充氣。有了這樣形式的換氣制，才有可能使發動機排列成V形或直排形。雅羅斯拉夫里汽車工廠所出產的亞斯-204和206就是應用這種換氣制的。這裏有一個問題：是不是可以由氣門進入空氣而由壁



圖七 單流式換氣制

1-壁孔換氣

2-氣門壁孔換氣

孔排除廢氣呢？這樣形式的換氣制雖有人建議過，但由於氣缸中難於獲得必要的旋流，而且活塞頂部在排氣過程中受到廢氣的侵襲以致溫度增高，所以這種形式不能應用在運輸和工業用的發動機上。

冷却問題 第二個困難問題，是工作循環中平均溫度比較高。在二衝程發動機中每當曲軸迴轉一次即發生一個工作衝程。與四衝程發動機相比較，無疑地在同一轉速下，二衝程發動機的活塞、氣缸壁和氣缸蓋等機件的溫度大為提高，因而影響了它們的工作性能。尤其是在公升功率（發動機每公升排量所佔的馬力數，如亞斯-204A 型發動機的排量為4.65公升，而它的馬力等於110，所以公升功率 = $\frac{110}{4.65} = 23.65$ 馬力/公升）大的發動機中這一情形更是嚴重，所以對於活塞、氣缸壁和氣缸蓋需要採用特殊的構造和有效的方法來加以冷却。

二衝程柴油機與四衝程柴油機的比較

當二衝程柴油機與四衝程柴油機作比較時，可得出下列各方面的結論：

二衝程柴油機的平均指示壓力低 如果二衝程和四衝程柴油機的轉速、進氣情況和過量空氣係數等都是相同的話，則發動機的功率應該由它的衝程數和平均指示壓力來決定。二衝程柴油機的平均指示壓力所以低於四衝程柴油機的原因，在二衝程柴油機氣缸壁上有氣孔存在（尤其是迴綫式換氣制），損失了一部份活塞衝程，同時廢氣清除得不淨，也影響了指示壓力的提高。因此，轉速和其他因素都相同時，二衝程柴油機的功率不是四衝程機的二倍，而是1.5—1.7倍。

二衝程柴油機的機油消耗率大 上面已經提到過由於二衝程柴油機每當曲轉迴轉一次即發生一個工作衝程，以致前後兩燃燒過程之間所隔的時間縮短，熱量的傳導不易，結果使機件的溫度上升，摩擦面間的機油變稀，這樣就不得不提高機油的