

大學用書選譯

# 內燃機原理

*A. R. Rogowski* 著

秦大鈞 譯

教育部出版  
世界書局發行

中華民國五十八年五月再版

大學用  
書選譯

# 內燃機原理

(全一冊) 平裝本 基本定價 壹圓玖角貳分 整

著者 A. R. Rogowski

譯者 秦大鈞

出版者 教育部

發行人 吳開先

內政部登記證 內版臺業字第〇一八八號

印刷者 世界書局

發行所 世界書局

臺北市重慶南路一段九十九號

版權  
所有  
禁止  
翻印

# **ELEMENTS OF INTERNAL-COMBUSTION ENGINES**

*by*  
**A. R. Rogowski**

*Copyright 1953 by*  
*McGraw-Hill Book Company, Inc.*  
*New York, U. S. A.*

Published in Chinese Translation  
*by*  
**COMMITTEE FOR TRANSLATION AND  
COMPILATION OF COLLEGE TEXTBOOKS  
MINISTRY OF EDUCATION**  
Taipei, Taiwan, China  
1960

## 譯 者 序

陸閣基教授 A. R. Rogowski 所著內燃機原理 Elements of Internal-combustion Engines 一書，於民國四十二年 (1953) 出版於紐約之麥克莫拉黑爾書局 McGraw-Hill Book Company, INC.; New York, Toronto, London)。

對於內燃機之基本原理，相似循環之應用，實際循環之計算，燃燒所有現象，內外摩擦，熱之放散與冷卻，燃料採擇，潤滑問題，各項定時之闡述，以及附件如汽化器增壓機類機件之說明與理論上之影響等，均扼要啓示。並能以各項計算，及探求極大功率與效率及適用性，先後聯繫之。所排習題，皆顧及課本內容之目的與用處，足以激發學生之思路。

全文不遺要目，說理清楚，而無瑣屑之感，可稱簡明切要。國內各大學內燃機一學程選用之課本，其合於理工學生每週演講三小時以內一學期授畢者，淺見所及，斯書為尙，爰譯之以供同好。

秦 大 鈞

72A 15 / 10 /

## 弁 言

目下坊間流行之發動機課本，似可歸納於下列二類。其一主要為實際從事發動機之專家而編，或為希望來日從事發動機發展與研究設計之學生而作。又一則屬於技術上之便覽，為發動機修護者而寫。

經與教師及出版家討論之餘，覺另有大部份工程學生，樂於有一學期之發動機課程，目的在明瞭此項機械之基本原理，而無加入發動機範圍謀職業之企圖。

工程師雖甚難舉出發動機之一個公認目標，但對於其發展完全並高度應用部份之成例，已頗多明示。例如：燃燒、流體流動、摩擦、熱力、輸熱、潤滑、顫動。顯見內燃機可用為理想之教育媒介物，俾工程學生由此得一練習，以各種基本定理應用於解答許多實際工程問題。

此書本此目的而著，其主要材料已有效的用於戰時訓練實施中，並適應機械工程船舶工程公用工程以及工程管理四系中四年級生的一學期課程。內容着重於應用物理與化學及力學等基本定理於特殊的工程問題，而以計算及探求內燃機之極大功率 maximum power 效率 efficiency 與適用性 reliability 聯繫之。

此書之習題，乃採用麻省理工學院司羅實驗室 (Sloan Laboratory at MIT) 諸位學者對於發動機定理之許多試驗與考問中者，所期此等習題能激發思路，明示學生以課本內容之目的與用處，並足值教師參訂試題。其中習見的自然現象諸問題，較宜留作平常自修之用，其有若干觀點於課堂內應提出討論者，則于文中加重之。此類習題如隨需要而先予計劃，當更有效，因此書中所舉諸習題多數可易於簡化或縮減，俾便利用。

本書為中等程度之教科書，僅包括少量他書所不經見者，切望此書簡明之敘論，足以表現其重要價值。就此觀點而言，著者

對於兩位泰勒教授 (C. F. Taylor, E. S. Taylor) 所賜，至為感謝，因在其所著傑出之內燃機學中，得將其所述之空氣容量節 (Air Capacity) 與熱量放散節 (heat rejection) 以極少之變更錄入本書也。

蔡君 (Donald H. Tsai) 辛勞助製圖表，並此誌謝。

陸 關 基 A. R. Rogowski

本書係教育部從積存譯稿中選  
印，列爲大學用書之一。除教育  
部印製一千冊免費供應僑生閱讀  
外，由世界書局照約加印發行。

7-28 151/01

## 目 錄

- 一、緒論 ..... 1  
 基礎術語 四衝程循環 發動機式樣 各部份之機能與材料
- 二、物理定律 ..... 20  
 基量 氣體定律 能之方式 不流動過程 流動過程  
 功率與效率 單位及其變換因數
- 三、近似「空氣循環」 ..... 51
- 四、近似「燃料-空氣循環」 ..... 64  
 燃料-空氣圖表之製繪 發動機變數之影響
- 五、實際發動機循環 ..... 81  
 燃燒所需時間 發動機變數對於火焰進速之影響，  
 其他實際循環之損失 實際循環之功率及效率
- 六、發動機摩擦 ..... 94  
 發動機總摩擦 活塞摩擦 軸承及附件摩擦 排吸摩擦  
 潤滑 潤滑油之重要性質
- 七、爆震 ..... 112  
 爆震之重要性 爆震之理論 爆震之結果 發動機變數  
 對於爆震之影響 燃料之爆震率 爆震之管制 爆震之  
 覺察 先期點火
- 八、空氣容量 ..... 131  
 空氣容量之估計 發動機變數對於容積效率之影響  
 靜力動力聯合影響



九、燃料-空氣-比的要件 .....	149
穩定行動要件 間暫行動要件 分佈	
十、汽化器 .....	162
主要計量系 混合劑管制 噴射汽化器	
十一、火花-點火 .....	185
點火要件 先期點火 點火定時 火星塞 標準電池點 火系 磁電機點火系	
十二、散熱與冷卻 .....	193
熱傳遞理論 操作條件的影響 發動機零件的溫度梯度 冷卻	
十三、壓縮-點火發動機 .....	207
燃燒的階段 操作變數的影響 燃料噴射 燃燒室 操作與性能	
十四、二衝程發動機 .....	227
二衝程發動機之型式 二衝程的空氣容量	
十五、性能與增壓 .....	238
效率 輸出 性能圖 增壓	

# 第 一 章

## 緒 論

凡轉變燃料化學能爲可覺能或熱能，並以此可覺能做有用工作之機器，謂之發動機。此二項步驟實現於汽缸之內，燃燒時受熱物質直接推動活塞者，則爲內燃機。

最習見之外燃機蒸汽機，所需運動發動機之總熱能必須首先離熱的燃燒所成物，繼之經過熱交換器或鍋爐之壁，而後進入工作介質，此項工作介質尋常爲水與空氣。蒸汽必須經過通管導入汽缸，轉變熱能爲機械能，最後推動活塞而成工作。蒸汽與鍋爐壁之溫度，必須維持較熔爐煤氣甚低，否則鍋爐之金屬部份勢將溶解。因此於蒸汽機汽缸內僅可達到某一適度之高溫，此類發動機其效率受有有限制。

內燃機汽缸內之氣體，有相對的小量熱能經傳至發動機金屬部份。當氣冷式發動機燃燒室內之氣體溫度達華氏表四百度或超過時，其燃燒室壁可於華氏表四百度情況下工作。斯項利用於內燃機之氣體高溫及溫度落差，可使此類原動機得高效率。

具有高效率，而無熔爐鍋爐冷凝器之笨重附件，使內燃機之出品相對的輕而簡實。內燃機具此諸優點以外，並爲人類服務最可適用之一項機械，幾成爲飛機與公路車輛單一之動源。於一九五〇年，美國鐵路訂購之新機車，超過百分之九十九以狄塞爾發動機爲動力。全球船隻用內燃機裝置之馬力，超過船隻用各式蒸汽機動力裝置之和。

約自一千八百年起，創製許多實驗之內燃機，直至一千八百七十六年，德國發動機製造家鄂圖博士 (Dr. N. A. Otto) 始完成其著名之鄂圖氣體發動機 (Otto gas engine)。此發動機之工作循環，乃基於一千八百六十二年法國工程師巴杜洛夏 (Beau de

## 2 內燃機原理

Rochas) 所述之定理。大部份近代內燃機依此同一定理動作，因之鄂圖發動機乃最近內燃機之鼻祖。

著名狄塞爾發動機之發展，約於一千八百九十三年自狄塞爾 (Rudolf Diesel) 開始。雖此發動機於許多方面異於鄂圖發動機，但現代高速狄塞爾發動機之工作循環，於熱力動力方面，與鄂圖循環極為相似。

### 基礎術語

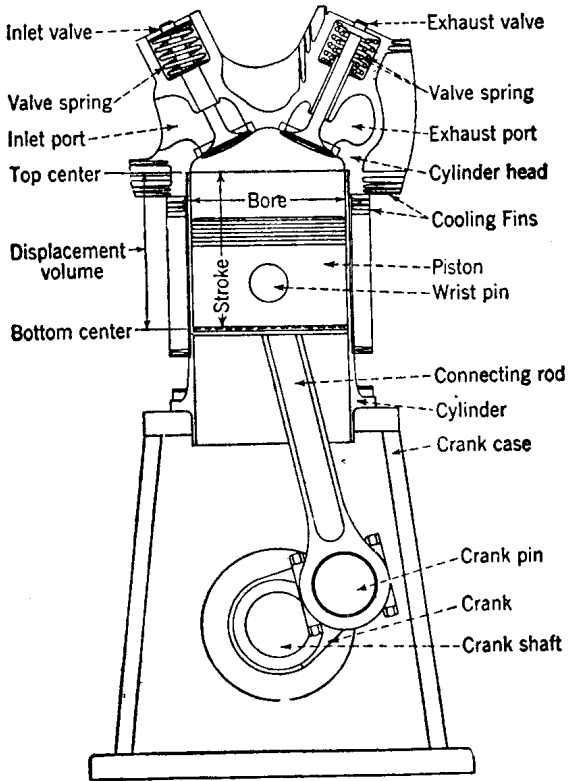
習知之內燃機，有一個或數個氣缸 (Cylinder)，燃料在氣缸內完成其燃燒。圖(一)示一個氣冷發動機之剖形及其主要部份標誌。氣缸之一端蓋以缸頭，大抵於此頭上裝有進氣閥，為空氣與燃料混合氣體之入口，並有排氣閥，以排出燃燒後之氣體。此閥尋常以閥彈簧壓緊關閉，用凸輪藉齒輪連於發動機軸司開放。缸頭上面引至氣閥或由氣閥離開的過道，謂之出入口。由各個氣缸進口連至空氣共同入口之導管系，名曰進氣歧管 (Inlet manifold)。設排氣口同樣連至一個共同排氣系，則此系導管謂之排氣歧管 (exhaust manifold)。

活塞 (Piston) 乃一倒置杯形閉塞裝配機件，進退滑行於氣缸中，閉端形成燃燒室之活動壁。活塞自近缸頭處之一點行至氣缸另一開端近處之一點，前一點名曰頂心，後一點名曰底心。活塞自一端至另一端經行之路名曰衝程，活塞一衝程經行之距離，即自頂心至底心之距，為衝程之長度，或簡稱之為衝程。氣缸內周之直徑，稱為內徑。

曲柄軸為發動機之主要轉動機件，此項曲柄軸延伸之端，經常發動機外功由此實施。圖(3)至(5)示曲柄軸之形式。此軸由一個或幾個偏心部份所組成，此項偏心部份即所稱之曲柄或衝程曲柄，曲柄經連桿之聯繫發生活塞之往復運動。

連桿連結曲柄銷及活塞，氣缸內氣體壓力於活塞頭上形成之力，經由連桿下達至曲柄軸。為使連桿能擺動，桿之上端，藉圓

柱形之肘銷緊附於活塞。此肘銷得擺動於活塞上之軸承，連桿之上端得轉動於肘銷，尋常在飛機發動機上，此二種運動皆屬可能。



圖(1) 發動機氣缸剖形

Inlet valve.....	進氣閥	Exhaust valve.....	排氣閥
Bore.....	內徑	Valve spring.....	閥彈簧
Stroke.....	衝程	Exhaust port.....	排氣口
Inlet port.....	進氣口	Top center.....	頂心
Bottom center.....	底心	Displacement volume.....	排量容積
Cylinder head.....	缸頭	Cooling fins.....	助冷片
Piston.....	活塞	Wrist pin.....	肘銷
Connecting rod.....	連桿	Cylinder.....	氣缸
Crank case.....	曲柄箱	Crank pin.....	曲柄銷
Crank.....	曲柄	Crank shaft.....	曲柄軸

#### 4 內燃機原理

發動機之主身，即氣缸所附着之部份，內裝曲柄軸及曲柄軸軸承，名曰曲柄箱。此箱維持其他發動機部份與之成直線裝置，並抵抗爆力與慣力，亦用以保護各機件之清潔，並用為滑潤組織之一部份。

熟習上述諸部份，實為明白發動機動作根本定理之基礎，此諸部份與發動機其他部份當於下章詳論之。

### 四 衝 程 循 環

一般情形，實現其作用時，必重複經過某一種順序之操作。此組操作之順序有一定，所有發動機之機件於每組操作之末回至原位置，此種完全一組操作順序，稱為循環。

大部份內燃機，在所謂四衝程循環情況之下操作，即每一氣缸由其活塞之四衝程，或曲柄軸之兩轉，完成其一組正常操作。斯項操作之四衝程循環自 1876 年起實施，當時鄂圖博士 Dr. N. A. Otto 依之首製四衝程燃氣機。凡利用四衝程循環，以定時電火花或一種小型熱點引燃空氣燃料之混合物，並於活塞停留於近頂心之一閃時燃燒混合物（等容燃燒），此種發動機常統稱曰鄂圖循環發動機。狄塞爾發動機可用四衝程循環，但因其另有獨一點火與燃燒之方法，不列入於鄂圖循環發動機類。狄塞爾循環，於後第十三章中詳論之。

在多數飛機及汽車發動機，組成尋常火花一點火四衝程循環（鄂圖）之一組順序操作，與巴杜洛夏於 1862 年所提出者同樣，今申述於下。

吸氣衝程 intake or suction stroke，於活塞在頂心時開始。進氣閥於此時左近開放，活塞向低心移動，將新鮮空氣（尋常混合燃料）吸入氣缸。於活塞抵達底心後短時間內，新混合劑停止流入氣缸，故進氣閥安排在近於此點時關閉。每衝程間，活塞掠過之容積，命之曰氣缸之排量容積 Displacement volume of cylinder。當活塞在頂心時，留在活塞上方空隙之容積名曰餘

隙容積 clearance volume。圖 (2a) 表示吸氣衝程進行時情況。

壓縮衝程 compression stroke 在所有氣閥關閉時發生，同時目的在使活塞回至頂心，俾氣缸內之氣體得於活塞上施工。於壓縮衝程間，原佔滿全氣缸容積之氣體，被壓縮入餘隙容積。剛在壓縮衝程尾之前點火於混合劑，於燃燒室壁有一個或數個電極，經過電極發生電火花以點火。在此後之  $30^\circ$  至  $40^\circ$  曲柄轉過時間，燃燒漸進至混合劑之各部份。在近頂心曲柄轉移時相應一度之活塞移動距離微小，故燃燒發生幾近於恆容。近於壓縮之末但先於發生燃燒，氣缸內氣體溫度可高至華氏表  $500^\circ$ ，同時壓力具有 150 磅/平方吋絕對值。於燃燒過程間，燃料大部份之化學能轉變成可覺能，產生溫度升至幾近於華氏表  $3500^\circ$ ，此溫度最後可達華氏表  $4000^\circ$  附近。氣體所施壓力增至 700 磅/平方吋絕對值，斯時氣體成爲燃燒後之混合物。設確知動作條件，（參閱第四章），則氣缸內壓力與溫度之極近正確數值可算出。圖 (2b) 表示於燃燒之一閃時壓縮衝程情形。

次一衝程，即所謂動力衝程 power stroke，或膨脹衝程 expansion stroke。於此衝程間，所有氣閥仍皆關閉，具高壓之熱氣體推動活塞至底心。因斯時氣體之具高壓，氣缸內之氣體於膨脹衝程所做之功，較之壓縮衝程活塞施於氣體之功幾大五倍。當氣缸內氣體膨脹時，氣體給其能於活塞，氣體隨之變冷，故近膨脹衝程之末，氣體溫度約降至華氏表  $2500^\circ$ ，壓力近 75 磅/平方吋絕對值。於動力衝程，氣缸內氣體愈膨脹，氣體愈冷，其可覺能轉變爲活塞之有用功者愈多。易言之，膨脹愈甚，則熱量隨排氣 (exhaust gases) 放出愈少，而發動機之效率愈增。

其膨脹比之廣度，約如下比。

$\frac{\text{活塞在底心時其上之容積}}{\text{活塞在頂心時其上之容積}}$

或

$\frac{\text{餘隙容積} + \text{排量容積}}{\text{餘隙容積}}$

## 6 內燃機原理

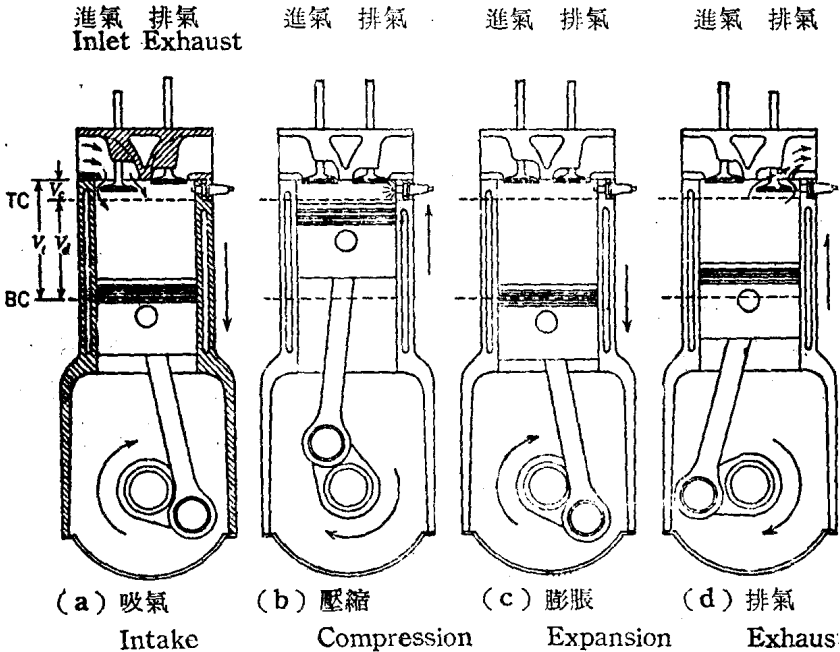


圖 (2) 四衝程週期操作時情形

(The four-stroke cycle in operation)

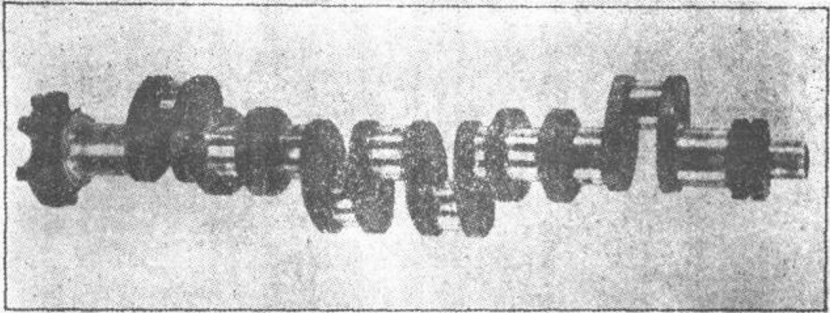
此比值名曰壓縮比 Compression ratio，影響於發動機性能者大，為一至要之值。

近膨脹衝程之末，排氣閥開，此時氣缸內較高氣壓迫大部份氣體衝出氣缸。排氣以高速衝出為大部份內燃機噪聲之由來。圖 (2c) 示剛在開排氣瓣前之膨脹衝程。

於排氣衝程，活塞回行至頂心，掃出所有用過之氣體（佔留在餘隙容積內之殘氣除外），經開放之排氣閥而出。活塞在近頂心時，排氣閥關，留殘氣 residual gases 於餘隙容積，殘氣壓近於排氣口壓力。此項殘氣，在次一個進氣衝程，與新鮮充氣混合。圖 (2d) 示活塞在排氣衝程中途情形。

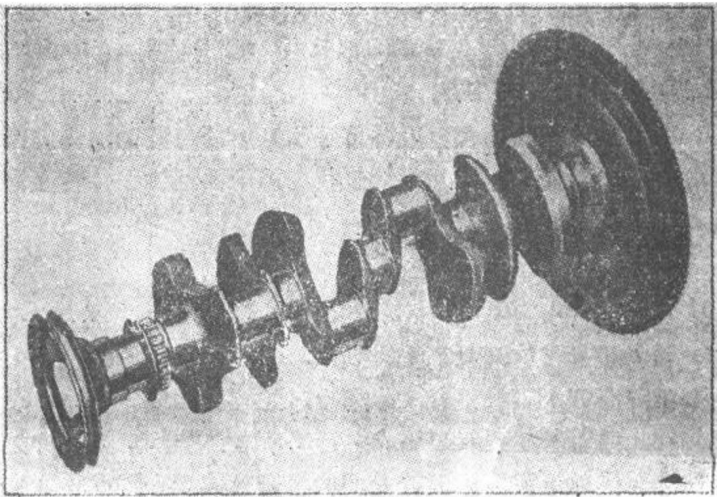
在此應提出者，即施於活塞上之正值功，僅為四衝程週期中之一衝程。保持其他三衝程進氣與壓縮及排氣時機軸轉動所需之

能，乃由發動機曲柄軸上附裝之飛輪或別種平衡重量所供。飛輪貯受其能於動力衝程，而在其餘三衝程用出之。於多氣缸發動機，各動力衝程，不同時發現，常安排之使依曲柄轉動之平均間隔距離發生，因此一氣缸之動力衝程，例如可發現在另一氣缸之壓縮衝程間，故多氣缸發動機所需飛輪較小。



圖（3）直線排列六汽缸發動機之曲柄軸

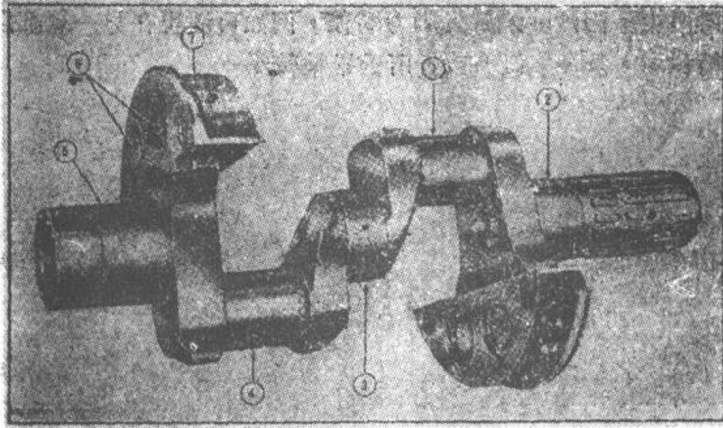
於壓縮衝程，關於混合劑之壓縮，並無特別理則，亦應予以指出。當活塞在頂心時，設用外邊的泵，泵入氣缸內同樣重量之



圖（4）八氣缸V形發動機之曲柄軸



新鮮充氣，繼之以燃燒，於此可免吸氣衝程與壓縮衝程，而膨脹衝程所得之功，與前述者同。惟尋常樂用同一活塞執行吸取與壓縮新鮮充氣，並接受燃燒後氣體給與之能。



(圖 5) 兩列輻射形發動機之曲柄軸

- |                            |                                |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1. Front crankpin …前曲柄銷    | 2. Front journal ………前軸頸        |
| 3. Center journal……中軸頸     | 4. Rear crankpin……後曲柄銷         |
| 5. Rear journal……後軸頸       | 6. Rear vibration damper pins… |
| 7. Rear counterweight…後配衡重 | 後減振栓                           |

以上簡述之四衝程發動機每一氣缸，於每發動機轉動兩次，完成其一組之操作。例如六氣缸發動機，曲柄軸之每轉僅有三個吸氣衝程或三個動力衝程。

### 發 動 機 式 樣

發動機尋常依其氣缸之排列分類。設氣缸裝於曲柄箱，氣缸逐個相隨而列，其軸平行，此類命曰並列發動機 “in line” engine。此種若干並列氣缸組成之行，命之為排。巨大動力之發動機常有兩排以上氣缸，裝於一個曲柄箱，同用一個曲柄軸。上述發動機之具兩排氣缸者命曰 V 發動機，具四排者命曰 X 發動機。