

科學圖書大庫

依據教育部頒布最新課程標準編著

五 專 用 書

內 燃 機

編者 周 濂 溪

徐氏基金會出版

編輯要旨

- 一、本書係遵照教育部新頒工專五年制暫行課程標準編輯而成。
- 二、本書內容介紹一般理論與實際問題，使讀者有基礎性的認識與了解，以淺近精簡的講述，使讀者易於吸收。
- 三、有關內燃機的各種循環，以層次的解析，使讀者易於了解及計算，較繁雜問題及計算，亦有提示及舉例，目的在使更有興趣讀者能深入了解。
- 四、五專學生畢業後為技術人才之基幹，本書除理論外，多介紹內燃機實務，故所附照片很多，習題也是使讀者讀過本書後，在腦海裡能塑造出一實體內燃機，庶幾能即學即用。
- 五、本書編輯，不免掛一漏萬，敬祈諸授課老師及讀者不吝指教，或討論，均表熱誠歡迎。

周濂溪 謹識

西元一九七七年十一月

目 錄

編輯要旨

第一章 總 論

第一節 概 說	1
第二節 內燃機分類	2
第三節 四衝程火花式內燃機	4
第四節 二衝程火花式內燃機	5
第五節 壓燃式內燃機	6

第二章 熱力學基本原理的複習

第一節 介質及其性質	7
第二節 理想氣體	7
第三節 多變過程與能量公式	8

第三章 燃料與燃燒

第一節 燃料的種類	12
第二節 汽 油	13
第三節 爆燃及辛烷數	14
第四節 柴 油	15
第五節 酒精及其他液體燃料	18
第六節 氣體燃料	19
第七節 燃 燒	21
第八節 化學能與熱值	24
第九節 廢氣分析	31

第四章 理想內燃機循環

第一節 循環類別	34
第二節 空氣標準循環	35
第三節 空氣標準雙燃機循環	36
第四節 空氣標準歐圖循環	38
第五節 空氣標準狄塞爾循環	40
第六節 溫度—熵的關係圖	41
第七節 理想內燃機循環	42
第八節 理想歐圖內燃機的循環分析	42
第九節 理想狄塞爾內燃機的循環分析	51
第十節 理想雙燃機內燃機的循環分析	55
第十一節 理想內燃機循環效率	57

第五章 實際循環與理想循環的差異

第一節 從理想循環到實際循環	59
第二節 直接熱損失	60
第三節 影響熱損失的各因素	62
第四節 熱損失的計算	63

第五節	四衝程發動機的排吸損失	67
第六節	四衝程發動機的容積效率	68
第七節	四衝程發動機的充量效率	69

第六章 內燃機的燃燒問題

第一節	空氣標準循環、理想內燃機循環與實際內燃機循環的比較	76
第二節	燃燒時間	77
第三節	點火定時	81
第四節	爆燃現象	82
第五節	爆燃理論	85
第六節	影響爆燃之因素	87
第七節	避免爆震發生的方法	90
第八節	燃燒室種類、特性與比較	91

第七章 氣體燃料混合器

第一節	氣體燃料與空氣的混合	96
第二節	空氣—燃氣混合器	96
第三節	調節法	98

第八章 汽化器

第一節	汽化原理	100
第二節	汽化器的任務及條件	100
第三節	簡單式汽化器	102
第四節	輔氣限流式汽化器	106
第五節	增氣式汽化器	108
第六節	汽化器之起動裝置	111

第七節	汽化器之加速裝置	112
第八節	高負荷加濃裝置	113
第九節	司空轉機構	113
第十節	汽化器實例	113
第十一節	汽油噴射裝置	117

第九章 二衝程內燃機

第一節	二衝程內燃機之各種型式	118
第二節	回流換氣法	118
第三節	單流換氣法	121
第四節	二衝程機與四衝程機的比較	124
第五節	迴轉式內燃機	125

第十章 點火系統

第一節	點火	128
第二節	低電壓火花制	128
第三節	高電壓火花制	129
第四節	電壓要求	135
第五節	磁電機點火制	135
第六節	磁電機制與蓄電池制比較	138
第七節	多氣缸的點火順序	138

第十一章 重油噴射問題及重油噴射系

第一節	燃料噴射系	140
第二節	燃料噴射系的任務	141
第三節	空氣噴射法	142
第四節	無氣噴射法	144
第五節	噴咀	148

第十二章 潤滑與冷卻

第一節	潤滑目的	153
第二節	支承種類	154
第三節	各種潤滑部分之工作 情況	154
第四節	潤滑系	155
第五節	冷卻的重要性	160
第六節	液體冷卻法	161
第七節	冷卻液環流	162
第八節	蒸發冷卻制	164
第九節	水的再冷卻	165
第十節	氣冷式	167
第十一節	排氣活門冷卻	171

第十三章 內燃機試驗

第一節	測功器	172
第二節	轉速的測定	176

第三節	燃料消耗量的測定	177
第四節	示功器	178
第五節	內燃機試驗	180
第六節	功率定額	182
第七節	性能曲線	183
第八節	摩擦損失與機械效率	185

第十四章 故障排除與搶修

第一節	引擎構造簡述	191
第二節	常見之故障	198
第三節	引擎之故障及排除	198
第四節	點火系統之故障及排 除	204
第五節	其他部分之故障及排 除	205

附圖 習題

第一章 總 論

第一節 概 說

所謂內燃機是燃料在汽缸內燃燒，燃料中所貯蓄的熱能直接變為機械能的一種動力機器。內燃機產生熱能變為機械能（也可以說是機械作功）說起來很簡單，實際上需經過一套繁複的過程，最簡單的例子是日常所見的摩托車引擎（Engine）。將汽油從油口灌入後，與空氣混合，經火花塞點燃，由於化學作用放出熱能，這種熱能即刻轉變為機械能，產生推力，推動汽缸中的活塞使作往復運動，再藉活塞連桿與曲軸等機件的傳遞，活塞的往復運動因而變成車輪的圓周運動，摩托車賴以前進。其他如汽車、飛機、輪船、以及發電廠，由於燃料使用簡單，價格便宜，而且比較潔淨，大都採用內燃機。

但也有燃料在外面燃燒，燃燒熱能藉鍋爐壁傳導給水，水然後變為水蒸汽，由水蒸汽的熱能再轉變為機械能推動汽缸中的活塞而作功，這種燃料在外面燃燒使熱能變為機械能作功的引擎應該叫做外燃機。

內燃機與外燃機的分別可從下面兩圖看出，一般常見的內燃機與外燃機從表一可以了解。

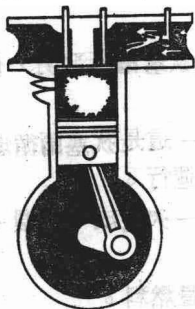


圖 1-1 內燃機

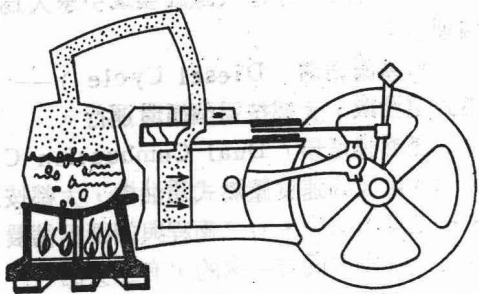


圖 1-2 外燃機

2 內燃機

表一 內燃機與外燃機的區別

類 別	名 稱	往復式或轉動式	大小	主 要 用 途	優 點
內燃機	汽 油 引 擎	往 復 式	小中	汽車、小船、飛機	1. 效 率 高 2. 冷 却 效 能 好。 3. 重 量 (或 體 積) 和 輸 出 能 量 比 低。 4. 機 構 簡 單。 5. 造 價 廉。
	狄 塞 爾 引 擎 (Diesel Engine)	往 復 式	小中	汽車、小船、飛機 發電機	
	煤 氣 機 (Gas Engine)	往 復 式	小中	發 電 機	
	氣 輪 機 (Gas Turbine)	轉 動 式	中大	發電機、飛機	
	噴 射 引 擎 (Jet Engine)	轉 動 式	中大	飛 機	
外燃機	蒸 汽 機	往 復 式	小中	火車、輪船	1. 沒 有 一 般 往 復 或 所 產 生 的 震 動。 2. 可 用 低 廉 的 燃 料。
	蒸 汽 輪 機	轉 動 式	中大	發電機、大的船艦	
	熱 空 氣 引 擎 (Hot-Air Engine)	往 復 式	小		
	封 閉 式 汽 輪 機	轉 動 式	中大	發電機、船艦	

第二節，內燃機分類

內燃機的分類，可以按照它各方面的特徵來分，譬如運用的循環，充氣的方法，使用的燃料，一般的設計。但就設計又可分點火的方法，氣缸的數目與排列，以及轉速等。這樣的分類有時會互相抵觸，因為看法不同，也就不能一概而論。

一、按內燃機循環分有下列三種，以後將詳細說明。

(一)歐圖循環 (Otto Cycle) —— 為法人 Beau De Rochas 於 1862 年所規劃，1876 年德人歐圖製成引擎大為成功。火花式內燃機大都按這個循環運行。

(二)狄塞爾循環 (Diesel Cycle) —— 1897 年狄塞爾所發明，低速度壓燃式重油機，大都按這個循環運行。

(三)雙燃燒循環 (Dual Combustion Cycle) —— 這是狄塞爾循環的變相，中速度及高速度壓燃式重油機，大都按這個循環運行。

二、按充氣方法分，有二衝程與四衝程循環，即充氣一次完成一循環，活塞在汽缸中來回有一次的，有二次的。

三、依使用燃料來分，有氣體燃料，液體燃料，與固體燃料。

液體燃料又可分為易揮發的液體燃料，用汽化器使之蒸發，然後與使用

氣體燃料相似。另一種為不易揮發的重油，使用重油燃料的大都是二衝程循環，因其壓縮比大，空氣被壓縮產生高溫而點火，這種靠空氣被壓縮所達高溫的點火法，簡稱壓燃（Compression ignition）。

四、依點火方法來分有用電火花點火，簡稱火花式內燃機。一種靠空氣被壓縮時所達的高溫，將噴入的燃料點燃，簡稱壓燃式內燃機。

五、依設計分又可分為：

(一)依氣體作用於活塞的情況分：

1. 單動式——活塞只有一面完成吸氣、壓縮、膨脹及排氣循環，叫單動式引擎。
2. 複動式——活塞的兩面都各完成吸氣、壓縮、膨脹及排氣循環，叫複動式引擎。

(二)以汽缸數目分有：

1. 單缸式——此種引擎旋轉扭矩不均勻，轉速難達平穩。
2. 多缸式——如單缸引擎的汽缸加大到某種程度，仍不能獲得所需的馬力，或其他各項因素如穩定、平衡、加工造價還不如多缸的好，則採多缸式。

(三)依汽缸中心線位置分有：

1. 立式引擎——所佔地面積小，其上下往復不能平衡之惰性直接傳於地基。
2. 臥式引擎——高度、穩定性大，但所佔面積大，往復惰力不能平衡。

3. 輻射式引擎——各汽缸中心均通過曲柄軸中心成輻射狀。其特點為此種引擎長度遠較其他引擎短，多個汽缸共用一曲柄軸箱故每匹馬力之引擎重量較小。但潤滑油須靠油泵給油。主要用於螺旋槳飛機。如圖 1-3。

4. V式引擎——引擎總長可較立式引擎短，曲柄

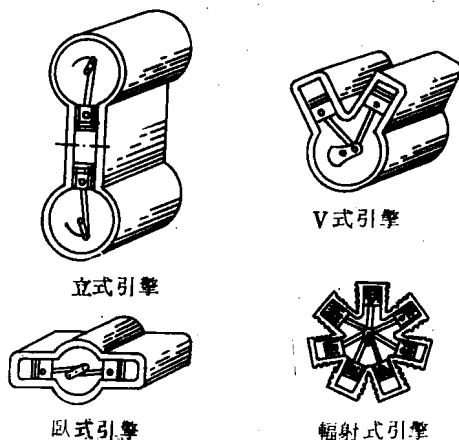


圖 1-3 氣缸排列形式

軸彎曲數目少，多用於船上。

(四) 依引擎冷卻方式分有：

1. 空氣冷卻式
2. 液體冷卻式

第三節 四衝程火花式內燃機

圖 1-4 為四衝程火花式內燃機各部機件和其運行情況。

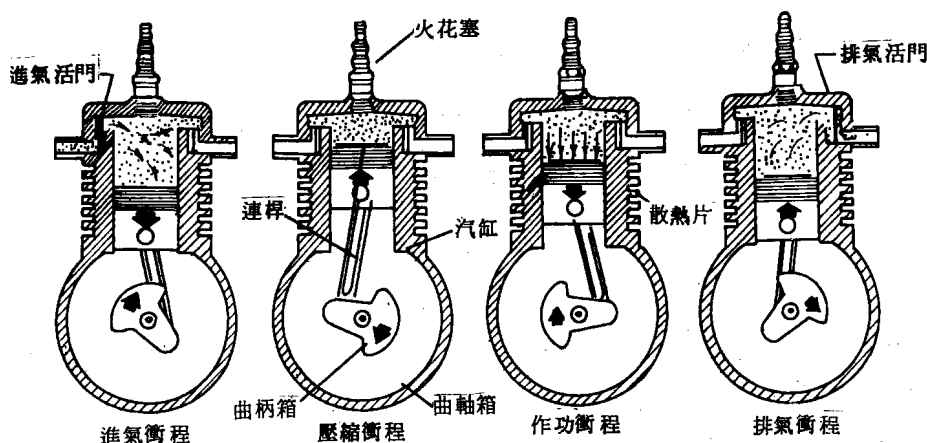


圖 1-4 四衝程循環引擎作用圖

四衝程火花式內燃機為大多數汽油機或煤氣機，以及其他許多輕油機所採用。這種循環內燃機示功圖如圖 1-5 由二個等容積過程和二個等熵過程所代表。

第一為進氣衝程。如圖 1-5 示功圖由 a 至 b ，排氣活門（或稱閥）關閉，進氣活門打開，活塞由 a 至 b 吸入新鮮燃氣進入汽缸。這一衝程可視為等壓力衝程。

第二為壓縮衝程，即圖 1-5 之 bc 曲線，此時排氣活門仍然關閉，進氣活門亦同時關閉，活塞由 b 開始壓縮燃氣至 c ，因沒有熱量的變化，稱之等熵過程，即絕熱過程。此時燃氣所佔體積為 V_c ，壓力增至 P_c 。

第三為燃燒過程，當燃氣被壓縮至 c 時，火花塞開始點火，因燃燒過程很快，假設此時活塞沒有動，而溫度與壓力在等容積情況下急劇上升至 d 。

第四為膨脹衝程，此時進氣與排氣活門仍然關閉，燃燒的氣體迅速由 d 膨脹至 e ，推動活塞使成為機械能作功，故又稱為作功衝程。由於體積迅速增大，溫度與壓力很快降低，至 e 時排氣活門打開。由 d 至 e 因沒有熱量的變化，仍稱之為等熵過程。

第五為放氣過程，因活塞膨脹至 e 時，排氣活門自動打開，讓廢氣逸出，溫度與壓力再次迅速下降，因時間很短，仍可視為等容積逸氣。

第六為排氣衝程，此時活塞受惰力影響由 f 運動至 g ，使廢氣完全排出，完成一個循環。

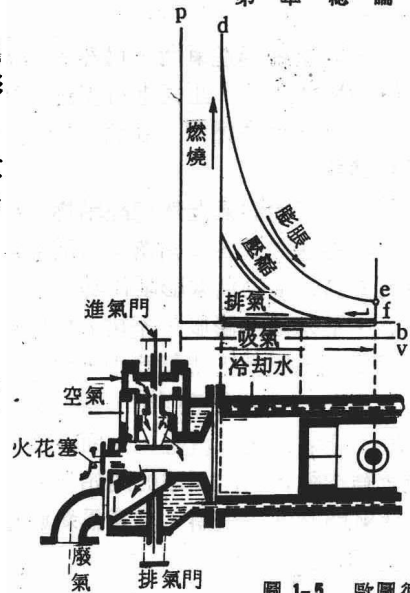


圖 1-5 歐圖循環

第四節 二衝程火花式內燃機

所謂二衝程引擎，如圖 1-6 所示。曲軸每轉一轉，活塞在汽缸內來回一趟即完成一循環。二衝程引擎活塞被作用遮蓋及開啓的氣門，即或作進氣門，或作排氣門，或兩者同時都用。

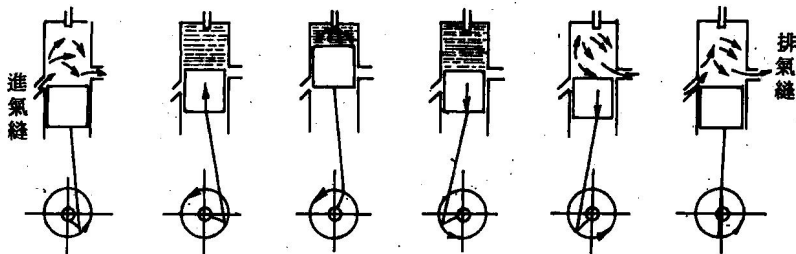


圖 1-6 二衝程循環引擎動作

二衝程引擎為多數巨型引擎所採用，圖 1-6 為二衝程引擎進氣及掃氣情形，現說明如下。

一、活塞剛剛越過下頂點，開始向上行動進行壓縮，進氣及排氣門仍在開啓狀態，新鮮空氣充滿汽缸，或有部份從排氣門逸出。如已有工作循環，此新進空氣正作最後掃氣工作。

二、活塞越過進氣門，仍然有部份空氣從排氣門逃出，但活塞繼續壓縮，當越過排氣門時，正式進行壓縮工作。此時有一氣泵把氣體燃料打入汽缸。

三、活塞繼續壓縮，在將到達上頂點前數度地方，引擎火花塞開始點火，引起燃燒。

四、汽缸內燃氣雖然已經點燃，但活塞因有慣性作用，繼續壓縮，可以幫助火焰迅速達於各個角落。當活塞越過上頂點時，此時汽缸內溫度、壓力均很高，壓力推動活塞膨脹作功。

五、活塞繼續膨脹，至排氣門開啓時，氣體壓力已降至三個大氣壓左右，廢氣藉此餘壓衝入排氣管中，由於這種突然的洩氣，造成很大響聲。

六、活塞仍在繼續膨脹，當進氣門開啓時，新鮮預壓（約 1.6 至 2.5 大氣壓）空氣即衝入汽缸，一面將殘留的廢氣趕出汽缸，同時使整個汽缸內充滿新鮮空氣作第二循環的開始。

進氣門略向上偏斜，其意為新鮮空氣進入很快衝向汽缸頂部，使廢氣很快且乾淨被排出。

第五節 壓燃式內燃機

狄塞爾首先發明壓燃式內燃機，所以這種內燃機，很多稱為狄塞爾機。這種內燃機，也有四衝程與二衝程之別。

火花式內燃機與壓燃式內燃機主要差別為，火花式內燃機運行時，空氣與燃料的混合汽在壓縮行程就已全部送入汽缸，因此，當壓縮比達到某一相當大值時，燃氣因被壓縮而使溫度上升可能超過燃氣的點火溫度，而發生先期點火現象。但在壓燃式內燃機內，被壓縮的全是空氣，或少量的餘隙氣體，在汽缸材料容許下，壓縮比可以加到很大很大，大到務必使氣體升高的溫度達到燃料的點火溫度，於是當燃料用高壓力噴入汽缸時，碰到高溫的空氣，隨即點火燃燒，而達到不用火花塞點火的目的。其餘各衝程與作功原理都與火花式內燃機相同。

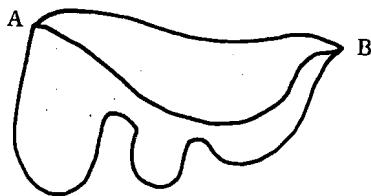
第二章 熱力學基本原理的複習

第一節 介質及其性質

內燃機吸進的主要是空氣，也就是主要的介質。它在普通情況下是氣體，而使引擎運動作功的還是氣體，燃料方面雖然有氣體、液體和固體。但是內燃機裡介質的狀態，可能是氣體、汽體或液體。

每單位介質的態（液態或氣態）可由它的基本性質如溫度（ t ）、壓力（ P ）和體積（ V ）等來討論。

介質的其他性質如熵（ S ）（entropy），內能（ U ）（internal energy），化學能（ C ）及焓（ H ）（enthalpy）等，都是點函數，意即他們的性質只是代替某一壓力、溫度、或體積的性質，與它們經歷的過程或路線無關。如右圖。



介質可用 $P-V$ ， $T-S$ ，及 $H-S$ 等坐標圖來討論。

第二節 理想氣體

內燃機裡所用的氣體，我們都假設為理想氣體，理想氣體可應用理想氣體方程式。

$$PV = RT$$

C.G.S. 制

F.P.S. 制

P ：壓力 kg/m^2

lb/ft^2

T ：絕對溫度 $^{\circ}\text{K} = 273 + t^{\circ}\text{C}$

$^{\circ}\text{R} = 460 + t^{\circ}\text{F}$

V ：容積 m^3

ft^3

R ：萬有氣體常數 1545

假設溫度不變，即

$$T = \text{常數}$$

亦即

$$PV = \text{常數}$$

於是壓力和體積成反比。壓力增大則體積被壓縮變小；如壓力減小，則體積膨脹而增大。

假定體積不變，則

$$\frac{P}{T} = \text{常數}$$

於是壓力和溫度成正比。壓力增加或減小，溫度成相對的升高或降低。

假使壓力不變，則

$$\frac{T}{V} = \text{常數}$$

於是體積和溫度成正比，即體積隨溫度的升高或降低而增大或減小。

綜合上面壓力、溫度、體積的關係，我們可以寫成公式來表示，即

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots = \frac{P_n V_n}{T_n} = R (\text{常數})$$

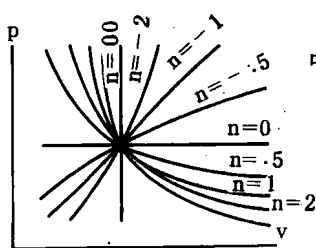


圖 2-1 多變過程圖

如果如 P - V 坐標圖表示，則如圖 2-1。圖中之 n 為多變過程的指數，可如下式所示。

$$PV^n = C (\text{常數})$$

如溫度 T 不變， $n = 1$

體積 V 不變， $n = \infty$ (無窮大)

壓力 P 不變， $n = 0$

如為等熵過程 ($S = C$)，則 $n = k$ ， $k = C_p / C_v$

C_p ：等壓比熱

C_v ：等容比熱

第三節 多變過程與能量公式

從上節我們介紹

$$PV^n = C (\text{常數}) \quad (2-1)$$

$$PV = RT \quad (2-2)$$

其中 n 代表多變過程指數，即 $n = 0$ 至 $n = \infty$ 。代表無窮熱力學的過程。如用 1 2 3 等表示各個過程中點的情況，則 2-1 式可寫成

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^n \quad (2-3)$$

如 2-1 與 2-2 式合併，消去 P 則得

$$TV^{(n-1)} = C \quad (2-4)$$

此式又可寫為

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \quad (2-5)$$

如從 2-1 與 2-2 式消去 V ，則得

$$\frac{P^{\frac{n-1}{n}}}{T} = C \quad (2-6)$$

上式又可寫為

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (2-7)$$

當氣體膨脹作功時，從圖 2-2 壓力體積圖看出

$$dW_K = PdV \dots\dots\dots (2-8)$$

從 1 至 2 氣體所作的功

$$W_K = \int_1^2 PdV \dots\dots\dots (2-9)$$

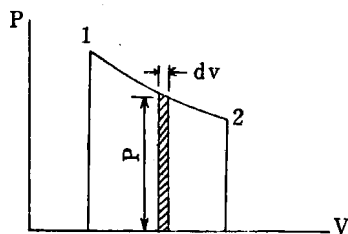


圖 2-2

此式就代表 1 2 曲線下積分面積，將 2-1 及 2-9 積出，則得氣體所作功

$$W_K = \frac{(P_1V_1 - P_2V_2)}{(n-1)} \quad (2-10)$$

若將 2-2 代入 2-10 式又得

$$W_K = \frac{R(T_1 - T_2)}{n-1} \quad (2-11)$$

多變過程熱量傳導的增加或減少，先從內能公式

$$dU = C_v dT \quad (2-12)$$

$$U_2 - U_1 = \int_1^2 C_v dT = C_v (T_2 - T_1) \quad (2-13)$$

又因爲能量不減，故熱量的變化

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + W_{12} \quad (2-14)$$

將 2-13 及 2-11 代入 2-14 式，及利用 2-12 與 2-13 式得

$$Q = C_v \left(\frac{n-K}{n-1} \right) (T_2 - T_1) \quad (2-15)$$

將式中

$$C_v \left(\frac{n-K}{n-1} \right) = C_n \quad (2-16)$$

則式 2-15 可爲簡單式

$$Q = C_n (T_2 - T_1) \quad (2-17)$$

C_n 值可爲正數，亦可爲負數，視 n 的值而定。當 C_n 爲負時， Q 仍可能爲正，意即當熱量傳入介質時它的溫度反而下降。

下面介紹內燃機內所常討論的過程的熱功公式。

一、等容過程—— $V = C$ ， $n = \infty$ ，式 2-1 寫成

$$P^{\frac{1}{n}} V = C \quad (2-18)$$

P 與 T 的關係可寫成

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1} \quad (2-19)$$

從式 2-9 得

$$W_x = 0 \quad (2-20)$$

又從式 2-15

$$Q = C_v (T_2 - T_1) \quad (2-21)$$

二、等壓過程—— $P = C$ ， $n = 0$ ，式 2-1 可得

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} \quad (2-22)$$

從式 2-9 得

$$W_x = P (V_2 - V_1) \quad (2-23)$$

又從式 2-15 得

$$Q = C_p (T_2 - T_1) \quad (2-24)$$

三、等溫過程—— $T = C$ ， $n = 1$

從式 2-1 得

$$PV = C \quad (2-25)$$

從式 2-9 及 2-25 得

$$W_K = PV \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad (2-26)$$

利用式 2-14 及 2-13 得

$$\begin{aligned} Q &= AW_K = APV \ln \frac{V_2}{V_1} \\ &= ART \ln \frac{V_2}{V_1} \quad A = \frac{1}{778} \end{aligned} \quad (2-27)$$

四、等熵過程—— $S = C$ ， $n = K = \frac{C_p}{C_v}$

從式 2-1 得

$$PV^K = C \quad (2-28)$$

從式 2-15 得

$$Q = 0$$

從式 2-14 得

$$\begin{aligned} AW_K &= U_1 - U_2 = C_u (T_1 - T_2) \\ &= \frac{(P_1 V_1 - P_2 V_2) A}{K - 1} \end{aligned} \quad (2-29)$$

第三章 燃料與燃燒

第一節 燃料之種類

內燃機所用的燃料，大都是碳、氫、及碳氫化合物。後者簡稱為烴；氣體、液體及固體都有，但以液體烴為最適用。因液體烴易於使用，且每單位體積的熱值較高，所以較不佔地位。至於燃料在內燃機裡的分佈問題，氣體與液體都沒有什麼問題，惟有固體是一個難題，雖然固體燃料也可像液體燃料一樣用噴射法送入汽缸，但難予調節。採用氣體燃料，大都因就地有較廉價的氣體燃料出品，如在油田附近，或在煉鋼廠內，鼓風爐氣就是煉鋼所生的副產品。內燃機直接使用固體燃料的，尚屬罕見，因固體燃料燃燒之後，殘餘的灰燼，處理困難，且易使氣缸壁磨損，固體燃料的分佈與調節，也都非常困難，除非在燃料非常缺乏的情況下，很少有用固體燃料的。

內燃機用燃料按液體、氣體與固體分大致有下列幾種：

一、液體燃料：

(一)石油——液體燃料主要來源為石油，成份極為複雜，低溫 200°C 蒸發可得汽油，從 180°C 至 280°C 得出煤油， 280°C 至 360°C 得出柴油。

汽油用於飛機、戰車及汽車以及各類小型引擎。

柴油用於船舶巨型引擎，工廠發電，其他動力發電機，以及其他拖拉機。

煤油在蒸發石油得量最多，因其揮發性低，不易點火。

(二)頁岩油——乾餾油母頁岩所得的礦，再經提煉，即可得汽油和柴油。

(三)人工汽油——用人工方法可從煤中提煉出汽油來。人工汽油抗爆性比天然汽油好。

(四)苯——煤膠中可提出苯，抗爆性也好。加入汽油可增強汽油抗爆性，惟易凍結，不適於航空或寒帶地方。

(五)動力油精——純度須 96% 以上，否則使機件生銹。

(六)植物油。