

柴油機燃料

蘇聯 恩·格·普契科夫著

燃料工業出版社

柴 油 機 燃 料

蘇聯 恩·格·普契科夫著

陳 振 之譯

燃 料 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書首先說明壓燃式內燃機的分類和工作原理，然後詳細地介紹了柴油機燃料的物理化學參數和它對內燃機工作的影響；柴油機燃料的分類和來源；對柴油機燃料的基本技術要求。此外，本書還敘述柴油機燃料的商品品種和節約的途徑。

本書可供從事生產和使用柴油機燃料部門的工程技術人員參考。

* * *

柴 油 機 燃 料

ДИЗЕЛЬНЫЕ ТОПЛИВА

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1953年列寧格勒俄文第一版翻譯

蘇聯 Н. Г. ПУЧКОВ 著

陳 振 之 譯

燃料工業出版社出版

廠址：北京東長安街燃料工業部

北京市書刊出版登記證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：王顯達 校對：汪立群

書號379油61 * 850 × 1092 $\frac{1}{4}$ 開本 * 6 $\frac{1}{2}$ 印張 * 156千字 * 定價一元一角二分

一九五五年四月北京第一版第一次印刷(1—3,100冊)

目 錄

序 言	3
一、壓燃式內燃機的分類	9
二、高速運輸用柴油機	11
三、壓燃式內燃機的工作過程	13
理論循環	14
壓燃式內燃機的循環(狄塞爾循環)	16
火花點火式內燃機的循環(奧圖循環)	18
薩巴代混合循環	19
壓燃式內燃機循環的經濟性	20
四衝程循環和二衝程循環	23
壓縮機式和無壓縮機式內燃機	26
燃燒室隔離的和燃燒室不隔離的內燃機	30
四、內燃機內燃料的點燃及燃燒	36
五、燃料的物理性對燃料噴霧和燃燒的影響	45
六、柴油機燃料的黏度	49
七、柴油機燃料的表面張力	59
八、柴油機燃料的可壓縮性	63
九、柴油機燃料點燃性的指標(關於十六烷值的概念)	64
十、柴油機燃料最適當的十六烷值	67
十一、柴油機燃料的化學成分對其十六烷值的影響	71
十二、提高柴油機燃料十六烷值的方法	90
原料的選擇	90
清洗程度和清洗方法的影響	90
添加劑的影響	91
添加劑的安定性	96
添加劑對燃料的理化性質及發動機性的影響	97
十三、評價柴油機燃料點燃性的方法	99

臨界壓縮比法	101
滯延點燃期法	101
同時閃火法	103
測定燃料十六烷值的計算法	106
柴油機燃料的自燃點	108
在全尺寸的發動機中試驗柴油機燃料	111
十四、柴油機燃料的馏分組成	116
十五、柴油機燃料的凝固點和濁點	125
十六、柴油機燃料中的硫	131
十七、與柴油機燃料硫腐蝕鬥爭的方法	137
柴油機燃料的脫硫	138
抗蝕金屬的應用	139
向滑油中加入降低腐蝕耗損的添加劑	140
十八、柴油機燃料的其他性質在運行上的意義	142
酸度	142
閃點	144
炭值	145
燃料的灰分	145
機械雜質及水分	145
比重	146
十九、柴油機燃料的來源	146
催化裂化柴油機燃料	147
加氫柴油機燃料	156
合成柴油機燃料	156
二十、重質柴油機燃料(發動機燃料)	159
二十一、柴油機燃料的商品品種	163
二十二、運行中的一些問題	167
冬季使用柴油機燃料的特點	167
柴油機燃料的儲存和運輸	169
節約柴油機燃料的途徑	173
柴油機的調整	177
柴油機燃料的消耗定額	180

序 言

汽化器發動機在航空事業及汽車運輸中的廣泛應用，及其高速度的技術改善使得輕質汽化器用燃料的科學得到突飛猛進的發展。

近三十年來，石油煉製工學及化學方面的一切著作及研究，都是在受着汽化器發動機不斷改善的直接影響下進行的。汽化器發動機實際上在左右着現代石油的煉製方法和應用的發展方向。

壓燃式發動機現在正處於所謂「轉折」時代，它們的技術改善保證了其在所有國民經濟部門中飛速的擴展和應用。

在今天我們就可以斷言，壓燃式發動機在很多國民經濟部門中，特別是在載重汽車運輸及拖拉機事業中要把汽化器發動機排擠出去，並在許多部門中將完全採用壓燃式發動機。

壓燃式發動機發展及改善的速度之高，使這種發動機所用的燃料及潤滑劑的科學不能經常趕得上它，而現有的煉製石油的方法，也不能經常保證這種發動機工作所需的高質量的燃料和潤滑劑。這裏廣泛的研究才正在開展，在這方面已經進行的一些工作是非常零散的，沒有充分系統化起來。

壓燃式發動機(柴油機)所以能夠得到廣泛的利用其原因如下：

1. 高度的燃料節約。壓燃式發動機的燃料單位消耗量低於汽化器式發動機 30—40%；這樣可以增加機器的使用範圍，並降低運行費用。

2. 壓燃式發動機所用的燃料為石油的較重餾分——從重汽油-煤油-索拉油餾分至重油，這樣就可以大量開闢國家的燃料資源。

3. 在沒有所需牌號的柴油機燃料時，可以比較容易地以另一種柴油機燃料來代替。中等轉數和低轉數柴油機，可以用廢潤

滑油和其他低質的石油產品做為柴油機燃料的摻和劑。

4. 柴油機燃料在引火方面是比較安全的，這無論在儲存或使用時都是一樣。

5. 柴油機具有良好的加速性能，並且不需要預熱即可轉變到全負荷。

6. 壓燃式發動機在運行中是比較能持久和可靠的。

7. 壓燃式發動機溫度上昇較低，因為在吸氣和排氣行程中，其溫度比汽化器發動機的溫度低。

在表 1 中列舉了柴油機和汽油發動機某些運行指標的比較數字。

上面所列舉的一些優點，促使壓燃式發動機(柴油機)能够在一切國民經濟部門中廣泛的應用。

表 1

指 標	汽油發動機	柴 油 機
機器負荷, 公斤	8120	8120
從開動起的平均加速度, 公尺/秒 ²	0.25	0.25
最低速度, 公里/小時	9.65	7.8
在平路上行駛時燃料的消耗量, 公斤/100公里	31.7	15.6
在不平的路上行駛時燃料的消耗量, 公斤/100公里	32.53	19.64
每天行 200 公里時運行費總計, %	100	80

必須指出，壓燃式發動機有着很多的嚴重缺點，特別是，製造這種發動機比製造汽化器發動機複雜得多，單位重量大，也就是說如製造同一能力的發動機，則壓燃式發動機要用較多的金屬。

運行和修理壓燃式發動機的工作比較複雜，需要技術高的服務人員，並需要質量高的潤滑劑。

然而上面所指出的缺點，並無損於壓燃式發動機比汽化器發動機的優越性，只不過重覆一下，需要更進一步開展這方面的研究工作。

壓燃式發動機出世已經五十多年了，在這一期間內它有了根

本的技術上的改變。

最初的壓燃式發動機只有 20 馬力和 160 轉/分鐘。關於這種發動機的發展路線曾有兩個不同的意見。一部分專家建議應設計和製造小型的發動機，利用動力設備分散的便利和技術上的優點。另一部分工程師們證明了必須製造大容量的發動機，這樣可以減低燃料單位消耗量和降低運行費用。

這種發動機的製造業和使用者的經驗證明了，第二個意見是正確的，如果說，在初期時多半利用小容量的發動機，則這並不能以它們的技術上的和經濟上的優點來說明，而應以當時機器製造的技術水平低來解釋。

在單缸發動機的基礎上，很快地就製造出四缸的發動機，這種發動機具有較高的節約燃料的性能（200—250 克/有效馬力小時）。初期的發動機的燃料單位消耗量是非常高的，竟達 250 公斤/馬力。然而到 1910 年就製出快速發動機，其容量達 2000 馬力，並具有較高的節約燃料的性能，同時重量也不大。

在 1908 年產生了二衝程循環，容量 750 馬力，150 轉/分鐘的發動機，而在 1912 年把這種發動機的閥式沖洗改變成沖洗口，沖洗口位於汽缸的底部，這樣就大大地簡化了並改善了發動機內的換氣過程。

無壓縮機噴射燃料的發動機的創造，是這方面巨大技術改進的基礎。利用燃料的機械噴射，始創造出重量比較小的（5 公斤/馬力）和金屬耗量最小的發動機。採用發動機增壓的方法也是很有價值的，這是提高「每公升」功率最有效的方法。採用增壓方法使得壓燃式發動機能夠廣泛地利用於航空事業中，同時，如果再配合上其他的構造部件製造固定式和船用發動機，其功率可達到 10 000 或更大的馬力。

在設計、製造和使用壓燃式發動機方面，蘇聯的科學和工業走過了其獨特的道路。

狄塞爾工程師所著的關於他所發明的新型熱力發動機的書，是在 1893 年發表的。但是，正如實驗所證明的，他所敘述的情

況和他所提出的簡單循環是實現不了的。在1897年狄塞爾創造了以照明用煤油為燃料的發動機。關於用重質燃料的問題，他從來也沒有想過。

世界上第一個用石油為燃料的壓燃式發動機，是在1898年俄國的「俄國狄塞爾」工廠製造出來的。這一年才真正算是壓燃式發動機工業生產的開始。

在1898年俄國克·波·勃克列夫斯基教授曾提出了很多改變發動機構造的办法，以便使它能夠適合於船用。五年以後，在1903年伏爾加河及卡斯比河上在世界上首次出現了裝有石油發動機的輪船航行着。

俄國的學者特林克列爾教授提出了製造不用壓縮機噴射燃料的發動機的思想（1898年）。1908年馬民首先就製造出無壓縮機噴射燃料的壓燃式發動機，而在1910年他又設計了世界上第一個裝有這種發動機的拖拉機。

內燃機的經典的理論和熱計算的基礎，是1906年莫斯科高等工業學校教授伏·依·哥利聶維茨基創造出來的。

從哥利聶維茨基及其學派所創造的經典的理論基礎出發，蘇維埃的學者布利林格，奧爾林，司捷其根，米里古莫夫，維魯保夫，托爾斯托夫及其他許多學者和研究家發展並加深了設計、製造及使用高壓發動機的理論基礎，因而鞏固了蘇聯在這方面的科學和技術的優先權。

現在我們的工業、農業及運輸業，在製造、改善和廣泛應用壓燃式發動機方面，有着足夠的科學技術的及物質的基礎。

一直到最近還認為，石油煉製的主要燃料產物為發動機用的汽油。由於必須保證國家航空及汽車用汽油的需要，燃料生產的工藝（選擇原料，選擇煉製流程及方式）問題，首先是從汽油煉率 and 質量出發加以解決的。石油中較重的煤油餾分，特別是柴油餾分則是不予提高和不須精製的產品，同時在選擇原料方面也受到很大的限制，並且只是放在次要地位。蘇聯的汽車拖拉機柴油機化，就好像是可以把解決石油煉製中複雜的化學問題消除，也就

是把要求製造有一定化學成分的高辛烷值燃料的問題消除。

這種對於柴油機燃料質量和製造方法的認識是不合乎發動機製造的遠景的，因此必須重新考慮。製造高質量的柴油機燃料，同時還要大量的生產，是不能只靠直餾石油的方法。這裏同樣也需要催化裂化的方法。只有應用新的製造方法才能保證得到大量有一定化學成分的產品，才能滿足現代發動機的一切要求。毫無疑問，在不久的將來，破壞加氫、合成和催化裂化等方法在一定的改變之下，將成為製造高質量柴油機燃料的主要方法。

近代強力的壓燃式發動機對所用燃料的質量具有高度的敏感性。高速的和經濟的小型柴油機所用的燃料，必須經過一定的清洗，並且要有適當的餾分和化學成分。現代的高速柴油機的耐久性，主要決定於汽缸套筒和漲圈的耐磨性，而這些零件對磨損的持久性又與所用燃料的性質是有很大關係的。

向燃燒室供給柴油機燃料的方法，在柴油機內工作混合物的形成及燃燒過程，並不比現代汽化器發動機簡單，而是更複雜。因此，現代在某些工作人員中還存在的那種把柴油機燃料看成是一種任何石油的適當餾分都可以有的產品和認為這樣與實際工作是毫無關係的想法，必須徹底改變。在製造柴油機燃料時，特別是確定燃料的主要指標時，必須表現出和製造高質量汽油時同樣的仔細和嚴格的要求。

發動機製造的發展是和柴油機燃料製造的發展互相關聯着。

新的強力的和熱力強的壓燃式發動機的出現，要求在燃料製造中採取新的方法，反過來說，增加高質量燃料的來源是這種發動機進一步技術改善和發展的基礎。因此，這些問題的解決不可能是一方面的，而必須是石油工業工作者和機器製造業工作者緊密地聯系起來才能使之實現。

標準的柴油機燃料必須保證：

- 1) 供油不間斷，噴射得好；
- 2) 發動機易於啓動；
- 3) 工作混合物燃燒和緩，並且工作的強烈性為最小（強烈

性]這一術語的意義，是指曲軸轉一度壓力的增漲速度而言)；

- 4) 各摩擦零件的磨損最少；
- 5) 在燃燒室內沒有過多的積炭和沉積物；
- 6) 不腐蝕零件；
- 7) 工作混合物燃燒完全，排出物中無煙；
- 8) 熱值高；
- 9) 自燃點低。

能够保證以上所指發動機工作的各項條件的，只能是有嚴格的一定理化性質的燃料。

一、壓燃式內燃機的分類

所有活塞式內燃機可以分爲兩種主要類型：

1. 低壓內燃機，這種內燃機的可燃混合物的燃燒，是藉助於任何其他的點火火源（汽化器式內燃機，燃氣內燃機，半狄塞爾內燃機）。

2. 高壓內燃機，其可燃混合物，是藉助於內燃機汽缸內空氣被高度壓縮所產生的高熱而燃燒的（壓燃式內燃機）。

壓燃式內燃機與汽化器內燃機的區別，在於壓燃式內燃機的構造非常複雜。內燃機的標準分類法，是把內燃機按照工作過程，活塞運動速度（旋轉數），燃料噴射的方法，構造型式等不同來分類。

根據壓燃式內燃機的技術、構造和運行的主要標誌，可將其分成以下各類。

按照實現工作過程的方法分類

1. 四衝程內燃機，在每四個衝程，其曲軸旋轉兩次之間即完成一個工作過程。

2. 二衝程內燃機，在每兩個衝程，其曲軸旋轉一次之間完成一個工作過程。

按照所用燃料分類

1. 利用重質燃料的內燃機，即以重油，發動機燃料，石油原油，索拉油，重質粗柴油等工作的內燃機。

2. 利用輕質燃料的內燃機，即以輕質燃料馏分（索拉油，粗柴油，煤油）工作的內燃機。

3. 燃氣內燃機（以電火花點燃燃料）。

按照供給燃料及噴射燃料的方法分類

壓縮機式內燃機，其工作原理是燃料靠壓縮機中所產生的壓縮空氣噴射。

無壓縮機式內燃機，其工作原理是燃料藉助於燃料泵所造成的高壓力來噴射的，燃料則是經小徑孔進入汽缸中。

無壓縮機式內燃機又可分為以下幾類：

1) 直流噴射或直接噴射式，有一個燃燒室，燃料在這個燃燒室內進行噴霧和燃燒。

2) 預燃室式，在這種內燃機內燃燒室分為兩部分：前室（預燃式），燃料在這裏進行噴霧，並有一部分預燃；另一為活塞上的主燃燒室，燃料在這裏全部燃燒。

3) 旋氣室式內燃機，燃燒也分成兩部分：旋氣室有特殊的形狀，旋氣室可使進入其中的空氣和燃料成為旋渦運動，燃料即在這裏噴霧，混合和預燃；在活塞上有主燃室，燃料在這裏遇到補充空氣而完全燃燒。

燃燒分開的內燃機的優點是對燃料的性質敏感性非常低。但是由於氣體流過溝道時熱力和流動力的大量損失，則使這種內燃機的燃料單位消耗量增高，並且不易發動。

4) 有特型燃燒室的內燃機，例如代蓄熱室的內燃機，可以使工作混合物有好的燃燒條件，並能加速燃燒。此外還有低壓縮比的內燃機以及利用電火花點燃工作混合物的所謂半狄塞爾機等等。

按照活塞運動的平均速度的分類

低速內燃機，活塞平均速度在 6.5 公尺/秒以下。

高速內燃機，活塞平均速度在 6.5 公尺/秒以上（至 12 公尺/秒或更高）。

內燃機屬於那一類，還有另一個標誌，即是內燃機的單位重量，也就是內燃機單位功率的重量（公斤/馬力）。

現時，壓燃式內燃機有以下概略的單位重量(公斤/馬力)

低速四衝程.....	50—70
低速二衝程.....	30—40
高速船用輔助內燃機.....	15—50
高速船用專用內燃機.....	8—12
高速拖拉機用內燃機.....	10—50
高速汽車用內燃機.....	5—10

汽車用汽化器式內燃機的單位重量為3—8公斤/馬力，而航空用則為0.5—1公斤/馬力。

當然，柴油機既然這樣複雜就不可能使柴油機燃料有一個共同的性質，以適合於各種型式和各種構造的柴油機。但是運行經驗確定了，做為柴油機燃料的分類，應該以迴轉數在1000轉/分鐘以下(發動機燃料)和1000轉/分鐘以上(柴油機燃料)的為標準。

這種分類法在一定程度上是帶有假定性的，而在個別情況下，柴油機的工作性質和它的構造可能對燃料的性質有另外的要求。

二、高速運輸用柴油機

高速運輸用壓燃式內燃機已經成為大批製造的內燃機了。特別是在拖拉機和汽車方面以及國民經濟中某些其他部門，如內河及海洋航行，鐵路運輸等部門，這種內燃機得到了廣泛的利用。

由於這種內燃機要在各種不同條件下利用，所以對這種內燃機的構造和技術性能也就有着特殊的要求。特別是拖拉機用柴油機，在運行中必須可靠和經濟，在製造方面應該簡單，並且價格低廉，同時在近於最大負荷的情況下還應保證工作能夠持久。

汽車用柴油機除以上所指各點外，還應具有在負荷和轉速劇烈變化的情況下工作的性能，並且機器尺寸要小，重量比要小。這些要求使得所設計的汽車用柴油機必須是熱力強的和強力的。

表 2

高速运输柴油机油 (1)

柴 油 机	冲 程 数	汽 缸 数	功 率 (N) 马 力	每 分 钟 转 数	压 缩 比	汽 缸 有 效 容 积 公升	平 均 有 效 压 力 公斤/平方公分	公 升 功 率 马力/公升	活 塞 平 均 度 公尺/秒	燃 料 耗 量 克/马力小时	轴 承 垫 的 材 料	活 塞 材 料	应 用 范 围
B-2	4	12	500	1800	15	38.90	6.45	12.8	11.2	165	鋁-青銅	鋁合金	— 拖 拉 机
KDM-46	4	4	93	1000	15.5	13.52	6.25	6.9	6.8	215	巴 比 特	鋁合金	拖 拉 机
KD-35	4	4	37	1400	17	4.08	5.82	9.05	6.1	210	鋁 青銅	鋁合金	拖 拉 机
DT-54	4	4	54	1300	16	7.45	5.02	7.25	6.59	205	鋁 青銅	生 鋁	汽 車
3HC-Д-7	4	6	96	2200	17	6.12	6.48	15.27	9.5	205	鋁 青銅	鋁合金	汽 車
ДБЗ-204	2	4	112	2000	16	4.85	5.43	24.1	8.5	205	鋁 青銅	生 鋁	汽 車
扎烏拉	4	16	135	1900	—	7.95	8.05	17.0	8.9	180	鋁 青銅	鋁合金	—
雷 兰 特	4	6	95	2000	15.5	6.96	6.15	13.6	8.5	—	—	—	—
GMC-6046	2	6	188	2100	16	6.96	5.82	27.0	8.9	—	—	—	—
吉米林格SLA-16 (空气冷却)	4	16	750	2000	—	36.70	9.20	20.4	10.6	—	鋁 青銅	鋁砂合金	—
达特拉 (空气冷却)	4	12	250	2000	—	16.8	7.6	14.9	8.7	—	鋁 青銅	生 鋁	汽 車
B 2-300	4	12	300	1500	15	38.9	—	7.75	—	185	鋁 青銅	鋁合金	汽 固 定 式
Д-6	4	6	150	1500	15	19.4	—	7.75	—	190	鋁 青銅	鋁合金	汽 固 定 式
Д-50	4	6	1000	740	12	159.6	—	6.3	—	185	巴 比 特	鋁合金	汽 固 定 式 和 船 头

根據以上所指的特性，布列林格及其共同工作者提供出四衝程拖拉機用柴油機，其主要技術指標如下：

1. 活塞平均速度(c_{π})，公尺/秒..... 6—8
2. 在最大功率時，每分鐘迴轉數(n)..... 1000—1500
3. 公升功率，馬力/公升..... 8—11
4. 平均有效壓力(p_e)，公斤/平方公分..... 5—7
5. 燃料單位消耗量(g)，克/馬力小時..... 210—230

根據著者的意見，以上所指的柴油機的性能可以保證拖拉機用柴油機有足夠高度的耐磨性，因為活塞在這種速度下，曲軸連桿機構上的慣性負荷不大；並且在立軸承和連桿軸承上的壓力比將在 15—25 公斤/平方公分的範圍內。

汽車用柴油機的這些特性就完全不同了，如：

1. 活塞平均速度(c_{π})，公尺/秒..... 9—12
2. 在最大功率時，每分鐘迴轉數(n)..... 2000—2500
3. 公升功率，馬力/公升..... 25—25
4. 平均有效壓力(p_e)，公斤/平方公分..... 6—7.5
5. 燃料單位消耗量(g)，克/馬力小時..... 190—220

汽車柴油機的這種很嚴格的技術性能，相對地提高了使用柴油機的技術要求和對燃料及潤滑油質量的要求。這種柴油機立軸及曲軸軸頸上的單位壓力達到 40—50 公斤/平方公分。拖拉機用柴油機的單位壓力為 20—35 公斤/平方公分。

表 2 所列為現代應用最廣和最常見的高速運輸用壓燃式內燃機的重要技術指標。

壓燃式內燃機主要是利用水冷却。用空氣冷却，一般在轉數低時將引起汽缸蓋和汽缸壁的過熱現象，因為這時風扇的效率減低了，同時，在冬天還會使柴油機啟動困難。

三、壓燃式內燃機的工作過程

壓燃式內燃機工作過程的理論基礎，在專門的著作和指南中有詳細的論述。在本書中，關於這種工作過程的特性，只敘述些

一般的，並且只限於爲了理解某種循環的經濟上的優點，和燃料的理化特性對於實行這種循環的作用所必須知道的一些知識。

熱力學中的第一個定理爲：熱可以變成機械功，反過來，機械功在一定的條件下也可以變成熱。一大卡的熱可以做 427 公斤公尺的功。這一數值就叫做熱功當量。

所有的熱力發動機，包括壓燃式內燃機在內，其功用就是把燃料燃燒所得的熱能變成機械功。

熱力學的第二個定理是說：燃料內所含的熱不是全部都能變爲功。在最完善的發動機和機械中，也只能把所消耗的熱中的某一部分熱變成機械功，這一部分的多少只看在進行循環時絕對溫度的比率如何。一部分熱一定放出於周圍的介質中。在實際的條件下，除去這種不可避免的損耗之外，還有很多其他熱力的和機械的損耗，這些損耗更減低了從發動機身上所能取得的功率，而這種損耗的大小則依於某個機器的運行特性和構造特性。不可避免的熱的熱力損耗完全在於發動機的工作過程和工作循環。用理想循環的定義可以把這些損耗做一比較。理想循環是不把任何其他的熱損失計算在內，而只包括熱力學第二定理的損失在內的工作過程。若把理想循環與卡爾諾理論循環進行比較，即可以根據理想循環確定出各種內燃機最高的熱利用和熱效率。

理論循環

理想內燃機的理论循環——卡爾諾循環——在座標軸 PV 上由兩個絕熱曲線和兩個等溫線組成。圖 1 所繪係卡爾諾環形循環曲線。在點 1 至點 2 之間，氣體於 $T_1 = \text{常數}$ 的情況下沿等溫線膨脹，同時吸熱；從點 2 到點 3——氣體沿絕熱線膨脹；從點

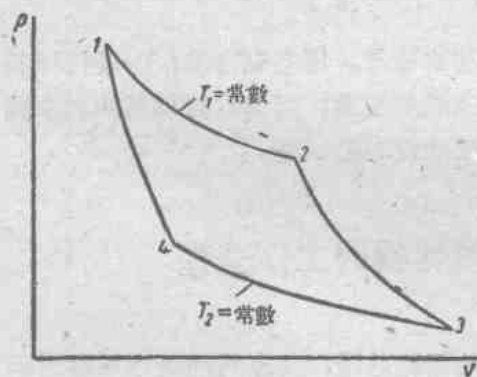


圖 1 卡爾諾環形理論循環