

發動機設計

(下 冊)

黃步玉 錢洪昌 潘宗岳

編 著

上海科學技術出版社

發 動 機 設 計

(下 冊)

黃步玉 錢洪昌 潘宗岳

編 著

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本書系專論發動機設計中之各項問題，全書共分上中下三冊：在上冊分為七章，討論了影響發動機功率的因素，發動機動力計算，軸承負荷分析，活塞設計，連杆設計等問題；中冊分為五章，討論了發動機轉矩與飛輪，發動機的平衡，曲軸設計，扭轉振動、汽缸、燃燒室，汽缸套等問題；下冊分為三章，討論了發動機凸輪機構，氣閥機構及曲軸箱等設計問題。在每章最後提出“設計提示”作為每章之總結與所討論機件步驟之參考，並在下冊有發動機設計示例、蘇聯發動機設計紀錄及性能曲綫之設計公式等三個附錄。本書可供從事發動機設計、研究工作或大專學生之參考。

發 動 機 設 計

(下 冊)

黃步玉 錢洪昌 潘宗岳 編著

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可証出093號

上海大東集成聯合廠印刷 新華書店上海發行所總經售

開本787×1092 1/27 印張10 26/27 字數229,000

(原大船、科技版共印3,500冊)

1958年10月新1版 1959年3月新1版第2次印刷

印數1,501—3,500

統一書號：15119·252

定價：(十四)1.50元

目 錄

(下冊)

第十三章 閥門定時、凸輪及凸輪軸設計.....	641
(13.1) 閥門定時.....	641
1. 氣閥運動和定時的要求 2. 閥門開關之定時	
(13.2) 凸輪之設計.....	648
1. 凸輪及其從動體 2. 凸輪外形曲線的構成 3. 切線凸輪之凸輪外形曲線的作法 4. 切線凸輪氣閥之提昇速度及加速度 5. 切線凸輪各項尺寸間之關係 6. 凸側面凸輪之凸輪曲線的作法 7. 凸側面凸輪氣閥之提昇速度及加速度 8. 凸側面凸輪側面圓弧半徑之決定 9. 等加速度凸輪外形曲線作法 10. 等加速度凸輪所生之惰性力及所需之彈簧力 11. 切線凸輪、凸側面凸輪及等加速度凸輪所需彈簧力之比較 12. 切線凸輪與凸側面凸輪之比較 13. 比例凸輪及其特性 14. 凸輪與氣閥桿或挺桿之間的間隙 15. 緩衝曲線 16. 凸輪之尺寸	
(13.3) 凸輪軸及其軸承之設計.....	688
1. 凸輪軸之設計 2. 凸輪軸軸承	
(13.4) 凸輪軸之傳動.....	699
(13.5) 設計提示.....	702
第十四章 氣閥及其附件之設計.....	704
(14.1) 氣閥機構簡述.....	704
1. 吊掛式氣閥機構 2. 傍置式氣閥機構 3. 其他式樣氣閥機構	
(14.2) 氣閥氣體通路及其氣體速度.....	709

1. 氣閥氣體通路之要求 2. 氣閥氣體通路面積 3. 氣體平均速度
4. 氣閥閥座傾斜角 5. 錐形氣閥與閥座間之有效面積 6. 氣閥開口及提升尺寸之決定 7. 提升之大小

(14.3) 氣閥設計..... 717

1. 氣閥之工作情況及要求 2. 氣閥材料之要求 3. 氣閥材料
4. 氣閥底盤 5. 氣閥桿之粗細 6. 氣閥桿頂端 7. 充鈉冷却氣閥

(14.4) 閥座..... 731

1. 閥座之磨損、材料及氣閥間隙 2. 鑲入式閥座之構造形式

(14.5) 氣閥彈簧..... 736

1. 氣閥彈簧之任務與要求 2. 氣閥彈簧材料 3. 氣閥彈簧各部尺寸之計算 4. 氣閥彈簧振蕩

(14.6) 氣閥導..... 753

1. 氣閥導管之材料 2. 氣閥導管之構造 3. 氣閥桿與氣閥導之間的間隙

(14.7) 彈簧座..... 756

(14.8) 搖桿..... 757

1. 搖桿強度之計算 2. 排氣閥搖桿滾輪計算 3. 滾輪銷 4. 搖桿叉孔之頂端截面 5. 搖桿滾輪叉臂根部強度 6. 搖桿調節螺釘 7. 接觸面應力

(14.9) 挺桿..... 770

(14.10) 從動桿..... 773

1. 從動桿之一般構造

(14.11) 設計提示..... 776

第十五章 曲軸箱之設計..... 778

(15.1) 曲軸箱之概述..... 778

1. 曲軸箱之任務 2. 曲軸箱材料 3. 曲軸箱之構造 4. 曲軸箱安排計劃

(15.2) 曲軸箱之壁厚及主軸承螺栓.....	786
1. 曲軸箱之壁厚 2. 主軸承螺栓	
(15.3) 防漏裝置、油底壳及通氣管	792
1. 防漏裝置 2. 油底壳	
(15.4) 曲軸箱之前端及後端.....	797
(15.5) 發動機支架.....	800
1. 支架之種類與形式 2. 防振橡皮 3. 通氣管	
(15.6) 設計提示.....	806

附 錄

附錄一 發動機主要機件之初步計算

附錄二 蘇聯發動機設計記錄

附錄三 性能曲線之計算式公

第十三章 閥門定時,凸輪及凸輪軸設計

(13.1) 閥門定時

1. 氣閥運動和定時的要求 若單以氣體流動之觀點言之,氣閥之開與關以愈快愈好,全開之時間以保持愈長愈好,但為避免產生過大之惰性力,減低氣閥機構間之撞擊與噪聲,其開關動作又以緩慢為宜,故其間有矛盾存在,必須適當加以取捨。茲將一般對氣閥運動和開關時間的要求列敘如下:

(1)進排氣閥開放時間應儘量長,使進氣充足,排氣完全,並可適當延遲其全開時間,充分利用進排氣流之動能,對於進氣閥,使活塞過下死點開始壓縮時,仍能適當進氣,以期獲得優良之充氣效果,對於排氣閥,使開始吸氣時,仍能向外排洩廢氣。

(2)應儘可能減少氣體進出氣缸的節氣作用,以減少排吸損失。

(3)開始開啓時應緩慢,一方面儘量減少凸輪與氣閥間的撞擊與噪聲;同時,另一方面對於進氣閥,使剛開啓時由於狹小的罅縫,增高氣流速度(一般可達每秒數百公尺),以使混合氣產生渦流。

(4)在減小氣閥與閥座撞擊之條件下,關閉速度,應儘可能迅速,特別對於進氣閥當延遲關閉期間開始壓縮衝程時,不致使混合氣重被推回。

(5)氣閥行程曲線,應儘可能與活塞速度變化相仿,以期氣體流經閥門的流速不致過大,進氣閥開足時的進氣速度,應不超過 50~90

m/sec 的限度，以防進氣密度減低，以致降低功率。

(6) 排氣閥的開啓時間不應太早，以期儘可能獲得最大的示功圖面積，同時又要使作用在氣閥桿上的壓力處在正常範圍以內。且其開啓之快慢應使當活塞移至下死點時，氣缸內壓力恰能降至將近 2 倍大氣壓力附近。

(7) 氣閥升降行程的中間，應適當減小加速或減速。

2. 閥門開關之定時 就理論上言，進排氣閥的開關時間，應恰在活塞的上下死點，事實上爲使汽缸中充氣較足，和廢氣的排除較完全，氣閥的開關時間常略予以提早或延遲。進氣閥開始開啓，多在活塞未達上死點以前；但高速飛機發動機爲安全起見，有時在上死點以後，惟最大不超過 9° 。其關閉時間，延遲到活塞已過下死點開始上行的時候，此時活塞雖已開始上移，但速度較慢，氣缸內尚存在吸力，新鮮混合氣體仍能繼續進入，加以高速氣流的慣性，也能幫助繼續進氣，如圖 13.1

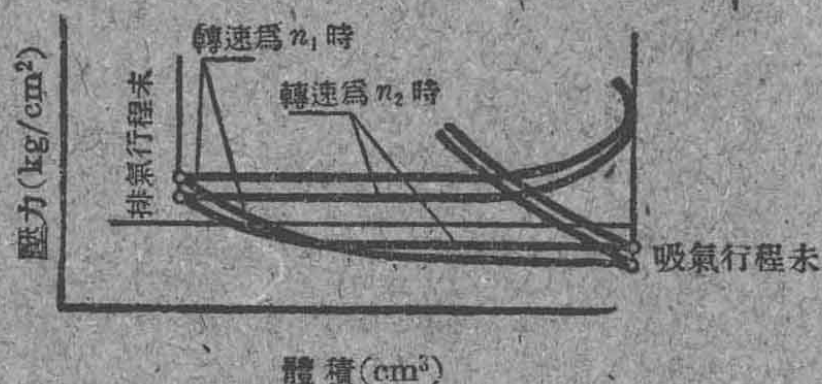


圖 13.1 不同轉速時進排氣行程末壓力之差別

所示，當轉速增大時，吸氣終了壓力降低，使進氣的慣性增高，可以允許進氣閥關閉的延遲角較大；但不能延遲過久，以防進入的氣體當壓縮時被重新推回。至於排氣閥的開啓，常提早到活塞到達下死點以前開始，使排氣期間氣體損失的功與活塞在排氣行程期間所耗費的功爲最小，如圖 13.2 所示，排氣閥在下死點 b 開放，則在排氣行程中要耗費面

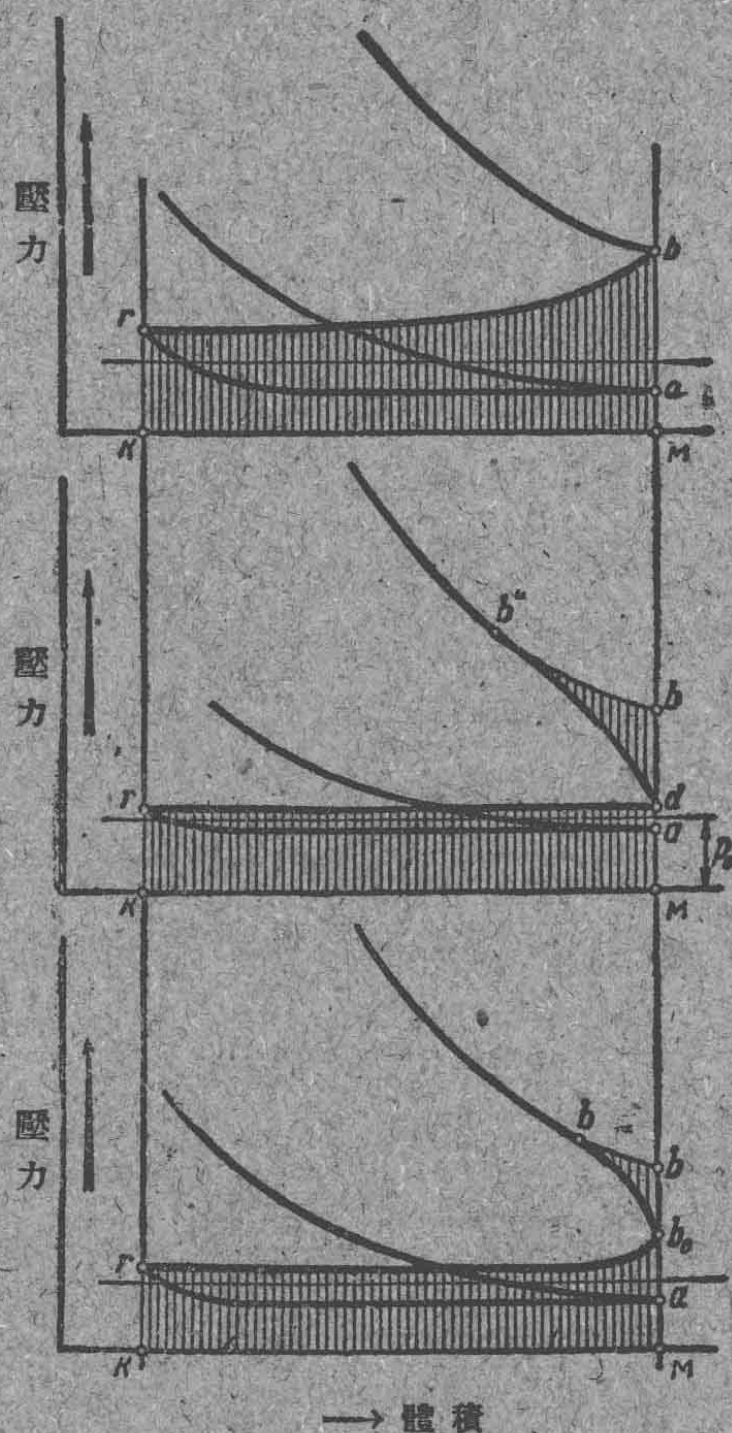


圖 13.2 排氣開放時間對於示功圖的影響

積 $b_0 km$ 之功, 若在 b' 處開放 (第二圖), 雖然排氣所需要耗費的功較小, 但在排氣期間, 氣體損失功相當大為面積 $b''bd$, 故應選擇適當之提前開啓時間, 最大不超過下死點前 80° , 此時活塞雖尚在下行, 但因氣缸內壓力尚高, 約高於大氣壓力 $4 \sim 6 \text{ kg/cm}^2$, 部分廢氣得迅速衝出, 此後活塞經下死點向上, 再將留在氣缸內的廢氣推出, 其關閉時間, 在

活塞走過上死點以後，最大不超過 25° ，此時活塞雖已下移稍許，但因廢氣在排氣管中流動的慣性作用，能使氣缸中廢氣繼續排出，發動機之轉速愈高，排氣行程末之壓力愈高，如圖 13.1 所示，則排氣閥關閉的落後角可較大，氣缸內廢氣的清除可較為完全。

因此，氣缸的充氣或是發動機的功率，與氣閥的開關時間有密切關係，而氣閥定時又與發動機轉速有關，若要以提高轉速，增加機器功率，得靠較大的進氣遲關角度，以便增高活塞速度、增高進氣流速和增加氣缸的充氣量。高速比賽用汽車發動機，其進氣閥關閉，可達下死點後 70° ，但若再增大，例如到 90° ，則功率反要減少。一台轉速為 1,200~1,400 R. P. M. 的貨運汽車發動機的氣閥開關時間，與 2,000 R. P. M. 的客運汽車發動機完全不同，而 2,000 R. P. M. 之客運汽車，又與 3,600

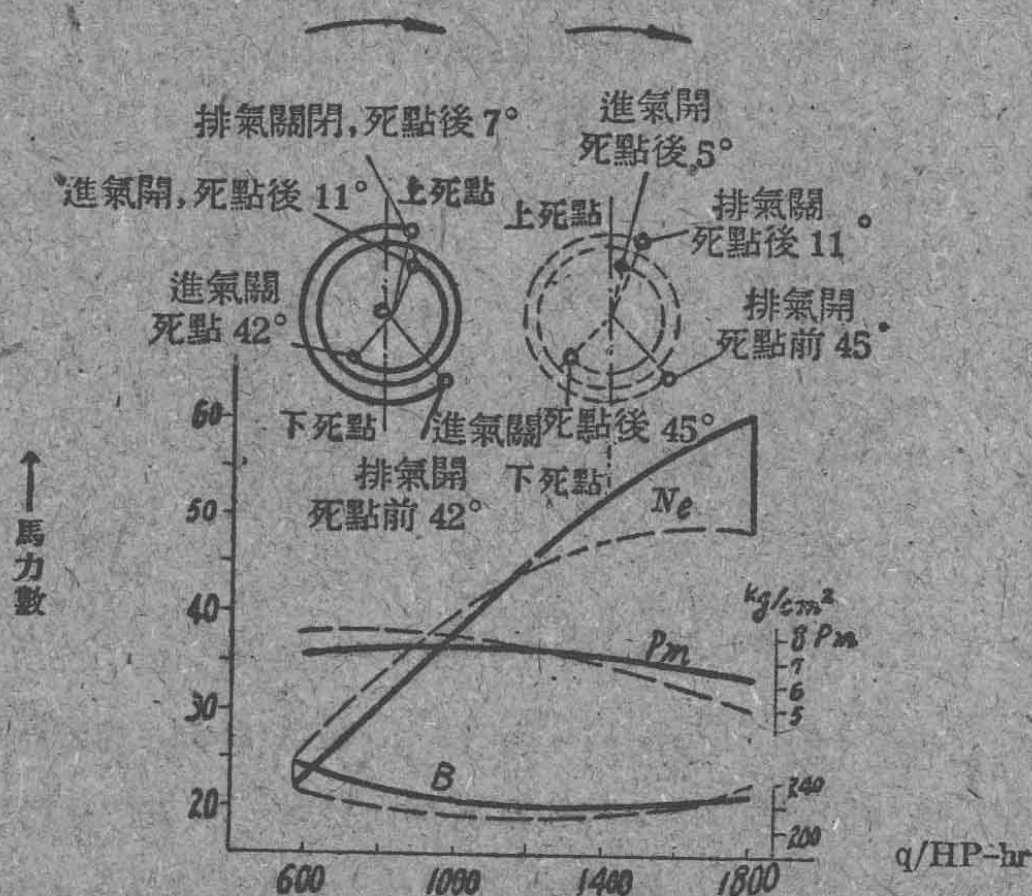


圖 13.3 同一台機器以不同凸輪式樣所作制動馬力試驗結果，發動機為四汽缸直徑 100 (mm) 衝程 150 (mm) 壓縮比 $\epsilon=5$
 N_e = 制動馬力 P_m = 平均有效壓力 B = 耗油量

R. E. M. 或更高的高速發動機完全不同。一種氣閥開關時間, 只適用於一種或一個小範圍轉速, 一台完全相同的發動機, 由於氣閥開關時間的不同, 其功率特性曲線等亦不相同, 例如圖 13.3 所示。

同時, 由於排氣閥尚未關閉, 而進氣閥已經開放, 其間有一段搭頭時間, 搭頭時間愈大, 則進氣吸入的燃料混合氣, 愈易從排氣閥排失, 所以氣閥定時, 又與燃料的消耗有相當關係。

總之, 發動機之氣閥定時與發動機常用的轉速、負荷及汽缸數、進氣管的形式、化油器的多少等而不同。普通先選擇一種定時及凸輪機構, 將所屬氣閥升高曲線, 按第一、第四兩相連的活塞衝程作圖如圖

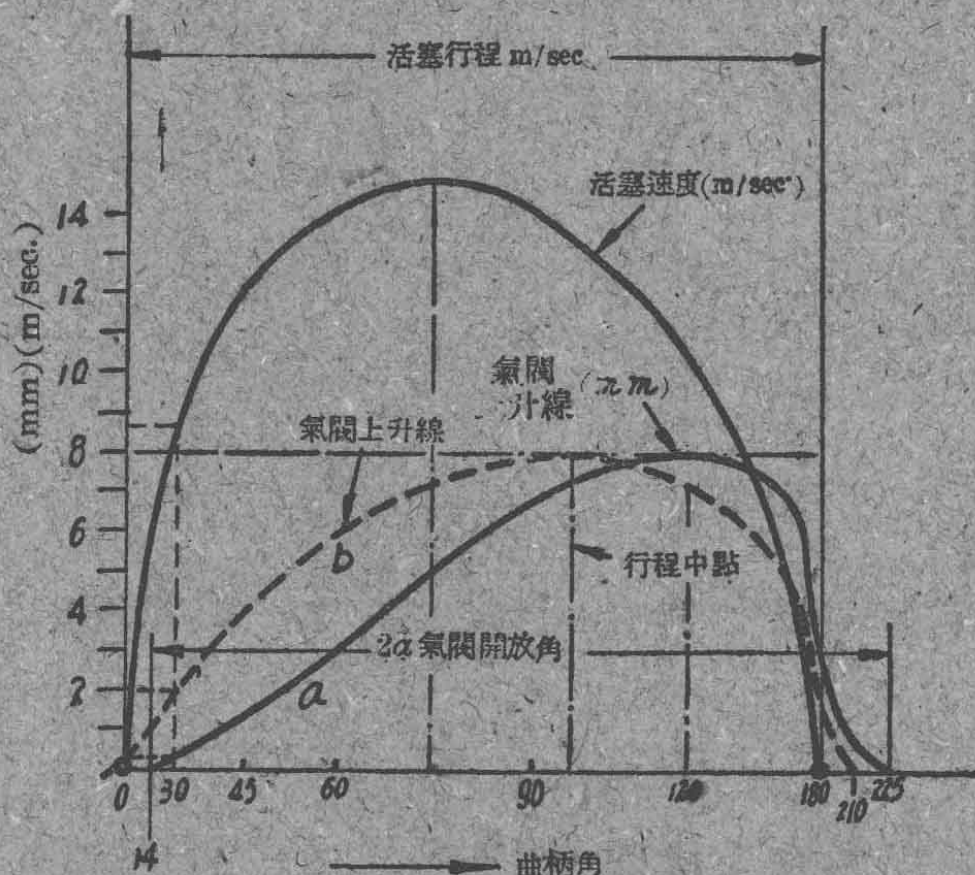


圖 13.4 同一種凸輪而開關時間不同的活塞速度與氣閥升高曲線

- a. 上死點後 14° 開, 下死點後 50° 關;
- b. 上死點前 6° 開, 下死點後 30° 關。

13.4 所示, 並畫氣閥速度加速度曲線, 從該項曲線及與在同一條橫坐標上所畫的活塞速度曲線之間的關係, 加以研究, 從而得出關於功率高

低、燃料消耗、氣閥動作的安靜與否等一般結論。但是最好還是多選幾種不同定時之凸輪，加以實際試驗後確定。

根據試用證明，下述幾種轉速的氣閥定時較為滿意：

	2,000—3,000 RPM	3,000—4,000 RPM	4,500 RPM 以上
進氣閥開啓時間	上死點前 10°	上死點	上死點前 15—20°
進氣閥關閉時間	下死點後 40°	下死點後 45°	下死點後 45—60°
排氣閥開啓時間	下死點前 45°	下死點前 45°	下死點前 60°
排氣閥關閉時間	上死點後 5°	下死點後 10°	上死點後 20—23°

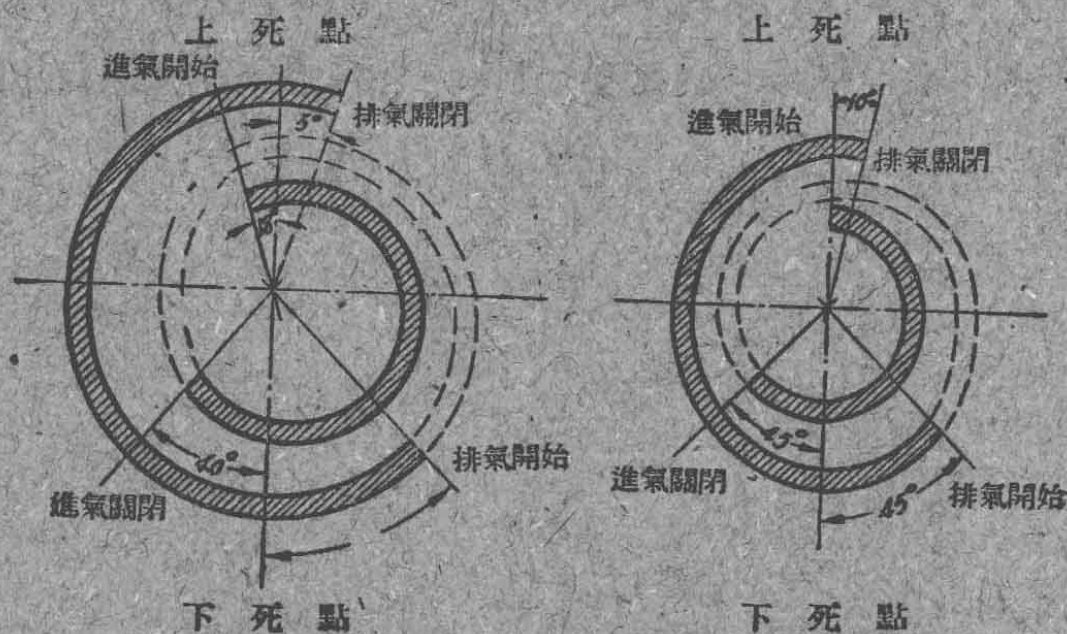


圖 13.5

上述定時情形僅為一例，並非規定；但一般之設計，均不超過下述範圍：

	正 常 情 況	其 他
進 氣 開	上死點前 15° 至後 8°	上死點前 30° 至後 20°
進 氣 關	下死點後 40° ~ 50°	下死點後 30°—80°
排 氣 開	下死點前 40° ~ 55°	下死點前 30°—80°
排 氣 關	上死點後 5° ~ 10°	上死點後 0—25°

其中高數值適用於高速發動機；低數值適用於 1,800~2,000 R. P. M. 的發動機。另附常用各種發動機氣閥開關時間，如下列表 13.1。

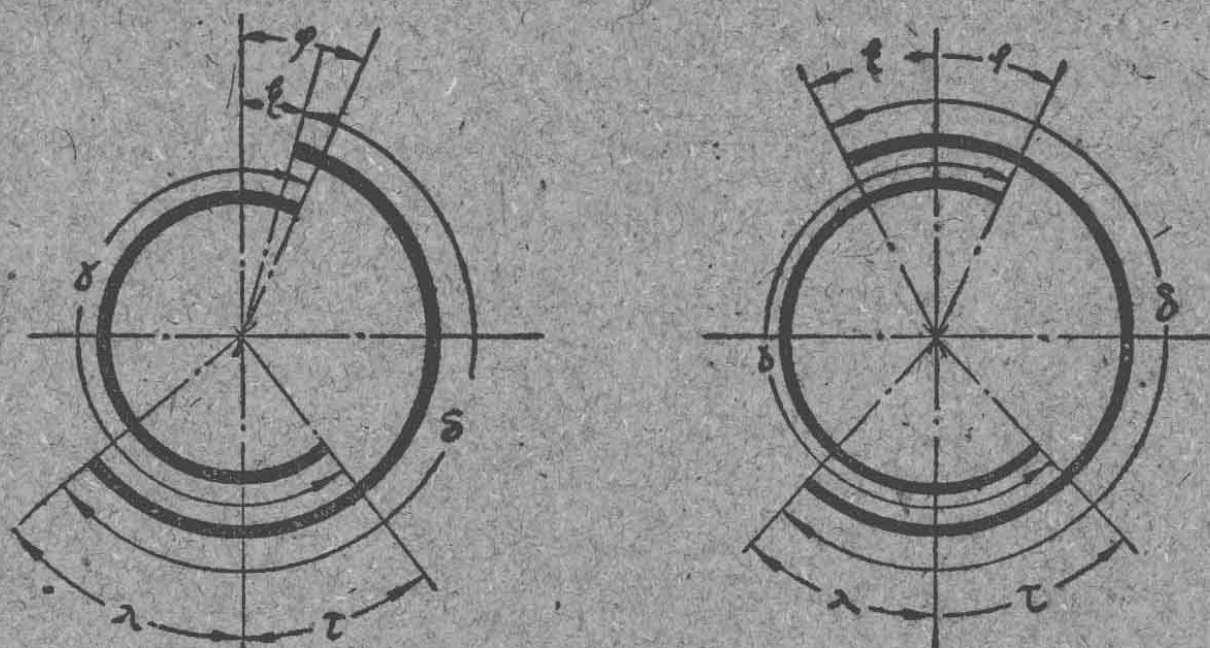


圖 13.6

表 13.1 各種發動機開關時間表

發動機 名稱	每分鐘 轉數	氣 閥 開 關 時 間				採用之 間 隙	工 作 次 序
		進 氣	排 氣	進 氣	排 氣		
		ϵ°	λ°	τ°	ϕ°		
莫斯科人	3,600	$\epsilon' = 5^\circ$	39	50	6	0.15—0.20	1-2-4-3
格斯 MM	2,800	$\epsilon' = 21$	70	60	13		
格斯 51	2,800	$\epsilon' = 9$	51	47	13		
勝利	3,600	$\epsilon' = 9$	51	47	13		
吉斯 5	2,300	$\epsilon' = 535$	$46^\circ 525'$	$43^\circ 75'$	$1^\circ 535'$	0.25—0.38	1-5-3-6-2-4
吉斯 150	2,400	$\epsilon' = 20$	69	67	22		
格斯 A	2,200	$\epsilon' = 7.5$	48.5	51.5	4.5	0.25—0.33	1-2-4-3
格斯 M-1	2,800	$\epsilon' = 8$	56	56	8	0.3—0.55	1-2-4-3
格斯 11	3,600	$\epsilon' = 6$	56	42	8	—	1-5-3-6-2-4
吉斯 110	3,600	$\epsilon' = 4$	51	49	10	無	1-6-2-5-8-3-7-4
吉斯 21	2,400	$\epsilon' = 1$	50	48	3	0.25—0.25	1-5-3-6-2-4
猛牌	2,500	$\epsilon' = 1$	46	43	1	0.15—0.18	1-5-3-6-2-4
威利斯	3,600	$\epsilon' = 9$	50	47	12	0.35	1-3-4-2
雪佛蘭	3,400	$\epsilon' = 3$	35	46	6	0.18—0.35	1-5-3-6-2-4
吉姆西 353	3,000	$\epsilon' = 4$	55	55.5	27.5	0.15—0.33	1-5-3-6-2-4
道奇 WF	3,600	$\epsilon' = 12$	44	50	6	0.2—0.3	1-5-3-6-2-4
福特 6	3,300	$\epsilon' = 3$	41	48	6	0.3—0.38	1-5-3-6-2-4
萬國	2,600	$\epsilon' = 5$	45	40	10	0.4	1-5-3-6-2-4
潑拉姆司		$\epsilon' = 6$	46	42	8		
美國汽車 一般情形		$\epsilon' = 16^\circ$	29—71	40—57	前後 10° 25°		
平均 值		$\epsilon' = 5$	47	48	9		

(13.2) 凸輪之設計

1. 凸輪及其從動體 凸輪外形除須適合開關迅速、升降緩慢等上述氣閥運動與開關時間之要求外，並須外形簡單，易於製造。近代發動機常用之凸輪，約有下列三種，其外形多半係採用不同之圓弧與直線所組成：

(一)切線凸輪；

(二)凸側面凸輪；(圓弧凸輪)

(三)等加速度(凹面凸輪)凸輪。

分別如圖 13.7 之 a、b、c。

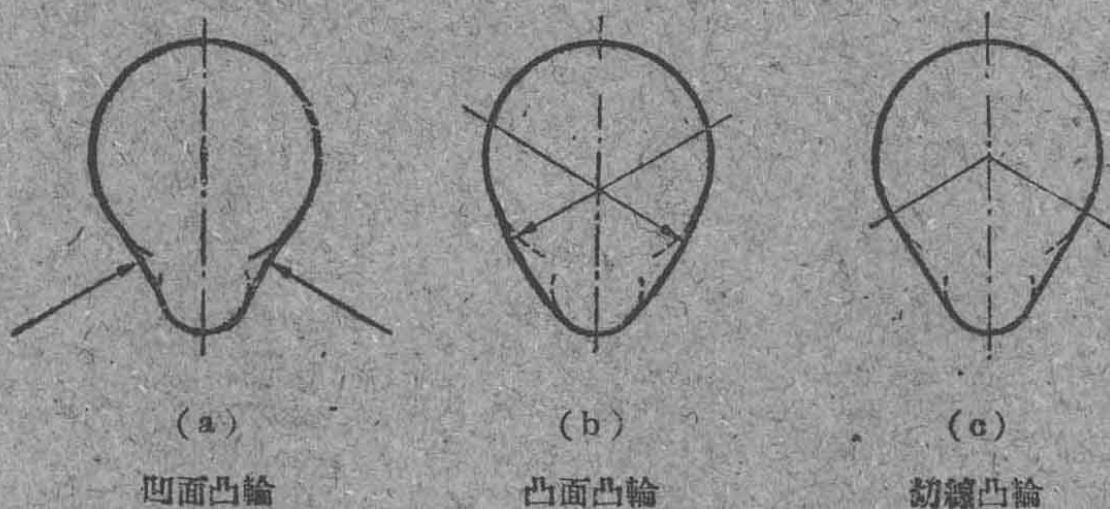


圖 13.7 凸輪之三種型式

上述三種凸輪外形中，以切線凸輪外形最簡單，但是氣閥開關之加速度過大，使閥座間產生衝擊，故不適用於高速發動機，而一般高速發動機，均用凸側面凸輪或凹側面凸輪，特別是等加速凸輪及滾子從動體應用最多。

一般發動機常用之凸輪與從動體組合，如圖 13.8 所示。茲分別將各種從動體之優缺點分析如下：

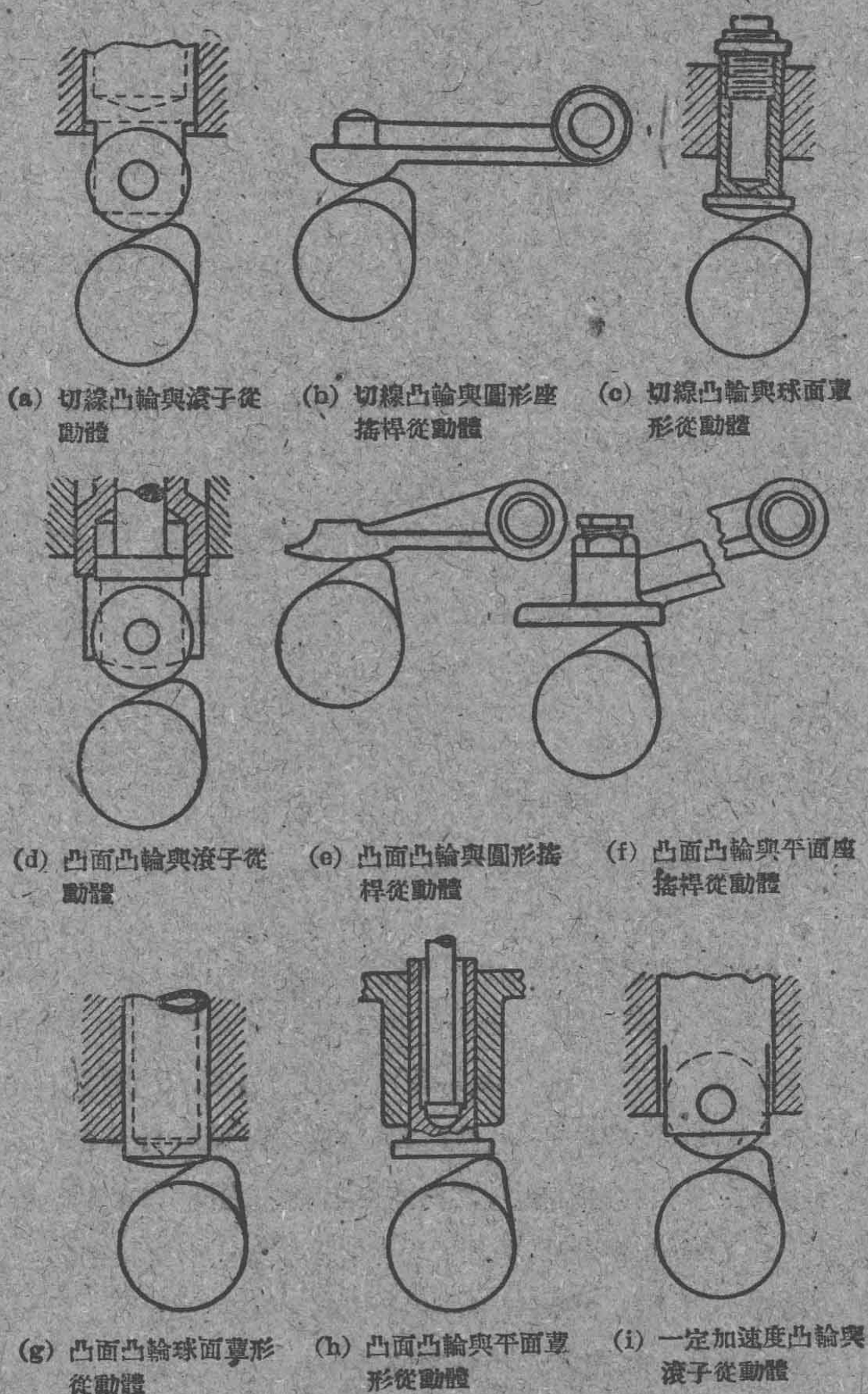


圖 13-8 凸輪與從動體之各種組合

(1) 滾子從動體組合之優缺點

優點：1. 由於滾子的滾動接觸，動作時摩擦較小；

2. 需要的推動力較小；

3. 設計簡便；

4. 外形較其他式樣小；

5. 不拘凸輪曲線外形。

缺點：1. 零件多，費用高；

2. 重量增加較大；

3. 滾子軸銷磨損後有噪聲；

4. 對於小發動機因滾子小，軸銷亦小，使滾子軸承面積太小，易發熱燒燬。

(2) 平板從動體組成之優缺點

優點：1. 構造簡單；

2. 其與凸側面凸輪組合之氣閥啓閉快，有利於容積效率，且所用彈簧可較弱；

3. 摩擦面積大小，可按需要設計，不受限制；

4. 當滑動磨耗時，主要是從動體表面，對於氣閥之啓閉影響不大，且可以調整。

缺點：1. 氣閥啓閉動作快噪音響；

2. 磨耗比滾子大。

上述缺點，由於近年來材料的進步，各件之大小配置適宜，接觸面經充分之硬化，並給以適當之潤滑已可避免，故採用者最普遍。

(3) 搖桿式從動體組合之優缺點

優點：挺桿不受側壓力，減少挺桿與導管間之阻力與磨耗。

缺點：構造複雜，並增加搖臂之慣性。

2. 凸輪外形曲線的構成 凸輪外形曲線上，均有一基圓，當氣

閥關閉時，從動體在其上滑行，凸輪凸出部分共有兩個側面：司氣閥開啓之側面稱開啓側面，其形狀恰足以使汽閥如所希望的狀態開啓；另一側面司汽閥之關閉，稱關閉側面。當汽閥全開時，從動體行至尖端，凸輪之尖端有時為平形，有時為圓形，其為圓形者稱尖端圓，當氣閥全開時，一般需要較長之時間，使氣閥靜止於全開位置不動，稱住止期間，故尖端圓亦稱為住止圓。總括凸輪外形曲線，可分下列諸部分：

(1) 基圓部分：氣閥停止於全閉位置；

(2) 側面或直線部分：使氣閥提昇或回至氣閥座；

(3) 住止圓: 保持氣閥全開, 此圓係以基圓中心為圓心, 基圓半徑加氣閥提昇為半徑作圓;

(4) 住止圓之弧與側面直線交接處, 必須為圓角。

3. 切線凸輪之凸輪外形曲線的作法 切線凸輪常用於直線型或 V 型發動機上, 其從動體通常恆為滾子, 或圓頭滑動從動體亦可用, 其開啓側面與關閉側面均係直線, 其尖端之小圓稱尖端圓, 有時不用尖端圓, 而用住止圓, 切線凸輪之計劃與繪製有如下例:

設進氣閥之凸輪, 其氣閥之開啓須於上死點之前 10° , 而其關閉須在下死點之後 40° , 則凸輪外形之作法如下:

由已知凸輪凸出部分所佔之角度, 如不計間隙應為:

$$180^\circ + 40^\circ + 10^\circ = 230^\circ \text{ 曲柄角}$$

故 $\phi = 115^\circ$ 凸輪角

若提升時間等於關閉時間, 則提升時所佔之角度為 $\frac{1}{2}\phi = 57\frac{1}{2}^\circ =$ 關閉時之角度, 因此, 以 R_1 作基圓, 如圖 13.9 在圓周上取兩點 A、B, 使 AOB 為 115° 。

作 AOB 之分角線 OC , 在 OC 上取 OC 之長, 等於基圓半徑加氣閥提昇之最大值。

過 A 及 B 作基圓之切線, 過 C 作圓與二切線相切; 即得所求凸輪之理論外形。如凸輪以圖中箭頭所示之方向旋轉,

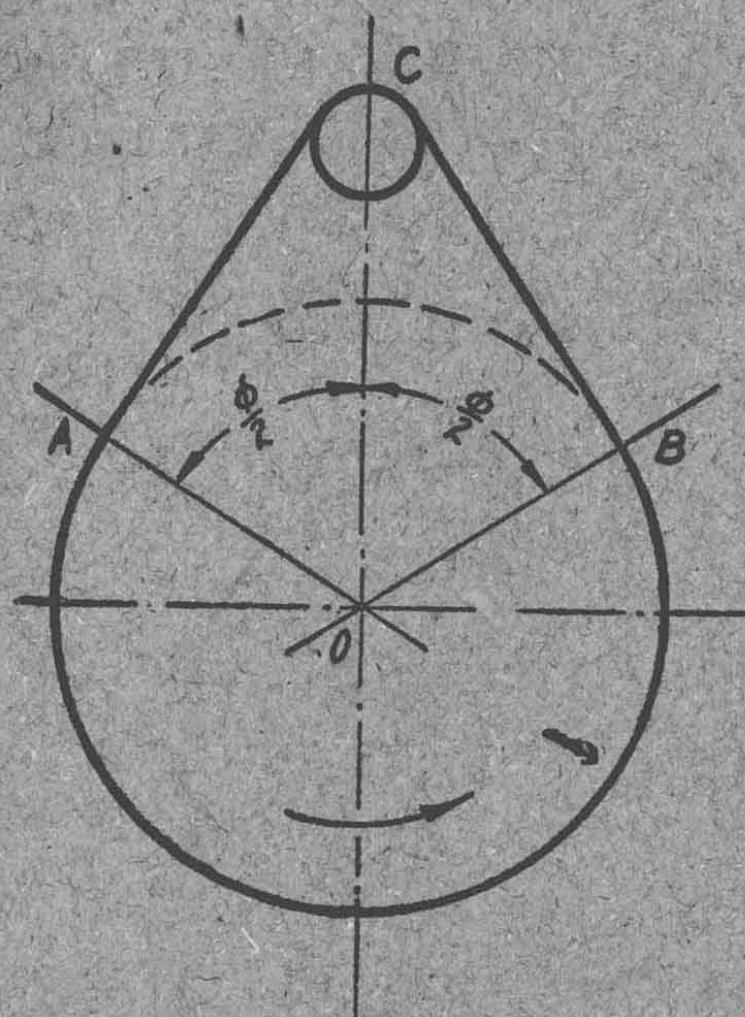


圖 13.9 具有止住圓之切線凸輪曲線