

大學用書
機 構 學

I. H. Prageman 著

曹 鶴 蓀 譯

中國科學圖書儀器公司

印 行

大學用書

機 構 學

MECHANISM

原 著 者 I. H. Pragerman

譯 述 者 曹 鶴 蓀

中國科學圖書儀器公司

印 行

1270

大 學 用 書

機 構 學

MECHANISM

一九四八年一月初版

一九五〇年九月三版

版權所有 翻印必究

原 著 者

Irving Henry Prageman

譯 述 者

曹 鶴 蓀

發 行 人

馬 蔭 良

發 行 所

中國科學圖書儀器公司

上海(18)延安中路537號

分 發 行 所

中國科學圖書儀器公司

北京 南京 廣州 重慶 漢口 瀋陽

原 序

近代對於機械之應用日廣，故每一青年工程師，須熟知數種基本型式之機器。此種需要，亦日見迫切。本機構學編訂之目的，原為供給各系之工程學生，開始研究機械部分之運動之用。故於工學院課程中，採用為二三年級之教本，最為適宜。

本書內詳述各機械部分之運動，速度與加速度。數種簡單機械所傳送之靜力，作用於機械部分之慣性力，亦均述及。欲對於機械部分因加速度而產生之慣性力，作進一步之研究，本書實奠其基礎。此種力之研究，對於機械工程師有特殊之意味，將於“機械動力學”內討論之。

在研究機械部分之運動之前，須具有關於物理及初等力學之知識。此方面有關機械運動之若干重要原理之復習，均包括在第一章內，各問題之探討，均極簡單，使基本各點，不為細節所蒙蔽。機械部分中，僅包括有實用者及有歷史上重要性者。如用為短期教程，本書內有若干部分，可以略去。例如“機械之摩擦力”部分，或“機械部分之加速度”一章，而對於正文之連續性，並無妨害。

本書為余在門省大學 (University of Maine) 所授機構學之講義加以編訂而成。對於布朗 (C. D. Brown) 雷克伯 (H. P. Leckberg) 兩先生校讀手稿，諸同仁之協助，各製造工廠供給表冊材料，深感謝意。

一九四二年七月普雷渠門 (Irving H. Prageman)
序於門省 (Maine) 沃洛諾 (Orono)。

譯 序

機構學爲工學院課程中難授功課之一。其原因在教材太瑣碎，所牽涉之範圍亦太廣泛，因之不易提綱挈領，忤極有系統之講解。另一原因爲在一般大學或專科學校內，對於此門功課之示範設備太少，徒恃教授之口頭講授，而不輔以各種表演，不易使學生得到清晰準確之觀念。

本書之特點，爲簡單明瞭，雖材料瑣碎，讀之不感困難。所用之數學，亦非常基本。插圖甚多，清楚而確當。故對於初學者，最爲適宜。

譯本對於原書，略有增刪。例如“利用固定中心求靜力法”及“科賴奧來定律”兩節，均經重編。其他部分，隨添腳注。以期與有關之科目，互相銜接。惟附錄內關於科賴奧來定律之證明，仍依原書譯出，未予修改，但恐不能使讀者完全了解。研究此項問題，應先明瞭關於轉動軸之速度與加速度，最好參考其他力學之書籍。

本書教材，如授課時間爲每週三小時，適能於一學期內授完，如爲每週二小時，則於第四章，第八章，第十一章，第十二章內各節，得斟酌從略。

本書承薛鴻達先生校讀，並參加意見甚多，附此誌謝。

一九四七年十二月

曹鶴蓀序於上海國立交通大學。

目 次

第一章 定義及基本復習 1—24

1. 導言 2. 機器與機構 3. 機器之結構 4. 運動 5. 速度與速率
6. 加速度 7. 等加速度運動方程式 8. 力 9. 轉矩 10. 功 11. 能
12. 功率 13. 效率 14. 矢量 15. 矢量之應用 16. 鎖合 17. 對偶
18. 草圖

第二章 連動裝置與位移 25—44

19. 四連件機構 20. 四連件機構之倒置 1. 平行四邊形機構 22. 直動機構
23. 滑子曲柄機構 24. 等腰連件組 25. 滑子曲柄機構之倒置
26. 歐氏聯軸節 27. 位移: 位移圖

第三章 機械部分之速度 45—65

28. 機械各部分之速度 29. 中心 30. 瞬時中心 31. 開納第理論
32. 開納第理論在機構上之應用 33. 利用瞬時中心求速度法 34. 利用速度多邊形求速度法
35. 線速度圖 36. 極速度圖

第四章 機械部分之靜力 66—85

37. 利用固定中心求靜力法 38. 利用速度多邊形求靜力法 39. 機械之摩擦力
40. 滑動連件上摩擦力之效應 41. 軸與軸承間摩擦力之效應
42. 滑動摩擦與軸摩擦 43. 力圖

第五章 機械部分之加速度 86—100

44. 機械部分之加速度 45. 法線加速度與切線加速度 46. 四連件機構之加速度
47. 滑子曲柄機構之加速度 48. 六連件機構之加速度 49. 科賴奧來定律
50. 慣性力 51. 加速度圖

第六章 銼 101—122

52. 銼之形式 53. 運動型式 54. 盤形銼之區劃 55. 具有中心線經過銼中心的從動滾子之盤形銼
56. 具有中心線經過銼中心的平面從動部之盤形銼 57. 盤形銼與偏置從動部
58. 具有擺動從動部之盤形銼 59. 漸開線銼 60. 確動盤形銼 61. 反銼 62. 柱形銼 63. 銼之配置
64. 機製銼之方法

第七章 齒輪與輪齒 123—149

65. 齒輪之用途 66. 摩擦輪 67. 齒輪之型式 68. 輪齒部分 69.

輪齒制 70. 齒輪之速度比 71. 擺線輪齒 7. 用格蘭脫齒規畫出之擺線輪齒 73. 漸開線輪齒 74. 用格蘭脫輪齒規畫出之漸開線輪齒 75. 輪齒之阻涉 76. 各種輪齒型之優點

第八章 輪齒比例與製造方法 150—182

77. 正齒輪 78. 螺旋齒輪 79. 斜齒輪 80. 蝸桿與蝸輪 81. 螺旋齒輪 82. 歪斜齒輪與歪斜螺旋齒輪 83. 製造輪齒法 84. 銑成形法 85. 鉋成形法 86. 磨成形法 87. 銑輪齒——造形法 88. 鉋輪齒——造形法 89. 磨輪齒——造形法 90. 齒輪之互換性

第九章 輪系 183—203

91. 輪系之用途 92. 輪系之速度比 93. 對於一輪系內齒輪之選擇 94. 時鐘之輪系 95. 自動車齒輪箱 96. 車床上之變速齒輪 97. 追逐齒輪 98. 有蝸輪之輪系 99. 周轉輪系 100. 惠斯吞三級起重器 101. 老式福特自動車之傳動法 102. 捲繩機 103. 自動車之後軸傳動

第十章 撓性傳動 104—233

104. 撓性接合物之用途 105. 滑輪之速度比 106. 開接帶之長度 107. 交叉帶之長度 108. 用開接帶之級輪 109. 用交叉帶之級輪 110. 等級輪 111. 聯接不平行軸之帶 112. 定輪與游輪 113. 聯接大小兩滑輪之帶 114. 滑輪之隆起面 115. 繩傳動 116. 繩傳動制度 117. 帶槽輪 118. 滑輪組 119. 惠斯登差動滑輪組 120. 鏈 121. 起重鏈 122. 運物鏈 123. 傳遞動力之鏈 124. 鏈調整器

第十一章 間歇運動, 反向運動, 離合器, 軋機構 234—252

125. 間歇運動之機構型式 126. 用瓦特之間歇運動 127. 間歇齒輪 128. 日內瓦輪 129. 反向日內瓦輪 130. 棘機構 131. 擒縱機 132. 反向機構 133. 離合器 134. 確動離合器 135. 摩擦離合器 136. 軋

第十二章 其他型式之機構 253—275

137. 聯軸節 138. 虎克聯軸節 139. 水力聯軸節 140. 停放機構 141. 指數機構 142. 螺釘及螺釘聯接 143. 閥機關

附錄 276—280

科賴奧來定律 參考書

索引 281—300

第一章

定義及基本復習

1. 導言。一般均承認吾人現正生於機器時代之中。自從 1769 年瓦特氏 (James Watt) 發明蒸汽機後，機器進步非常迅速。在比較先進的國家中，各種式樣之機器，已成為生活上的重要部門。

設計機器時，工程師大抵以過去所發明之原理或觀念作為準繩。一新機器之造成，並非少數設計者之功，而為過去曾經用種種方法做過實驗而得到重要發明之許多科學家及設計家共同努力之果。新式機器，即根據他們所開發之原理而造成。工程師憑自己之判斷力量，把他種機器之運用方法，採取到自己機器上。祇有極少數之裝置，可算得真正發明。根據美國專利局報告，在一年之內，申請專利之千百東西內，祇有兩三種可以說得上是別出心裁之新發明，其餘的不過把從前舊有之設計略加改良而已。

設計時應該具有的知識極廣，因此分成許多不同的部門。

此書名為機構學 (Mechanism)，其研究對象為機器各部分之運動。所討論者，有連件組 (linkage)，齒輪 (gear)，帶 (belt)，鏈條 (chain)，與許多機器所用之標準裝置；因動力傳送而在機器各部分內所產生之靜力及慣性力之計算方法，均包括在內。至於純粹的機構學，謂之運動學 (Kinematics)，祇對於機器各部分之運動，作詳細之研究。

機動力學 (Dynamics of Machinery) 所討論之範圍，是機器各部分因加速度而產生之慣性力及如何平衡此種力量。機器振動 (vibration) 問題，亦包括在內。

力學(Mechanics)所討論者,爲固體液體及氣體之相對運動,與作用於此等物體上之力。這門科學,通常從理論之觀點出發,所討論者不完全是機器。

材料力學(Strength of Materials)研究物體受到外力後所產生之應力與應變。

工程材料(Materials of Engineering)所討論者是工程上所用各種材料之性質及如何製造此等材料。

在工學院課程表中,還有其他許多科目,研究工程師設計機器時應有之許多基本知識。

在本章內,對於許多研究機器各部分運動常用名詞之定義,及設計時所必需之基本關係,略加復習。

2. 機器與機構: 雷魯氏(Reauleaux)所界說之機器定義如下:
“機器爲許多堅強物體之組合,使自然界之機械力,利用某種運動,而完成某種工作者。”

安格士(R. W. Angus)教授另有更好定義。安氏謂:“一架機器包含許多堅強部分,其間互有已知一定之相對運動,並且可使某種可用能(available energy)完成所欲做之工作。”

要對於機器下定義,必需四個條件:一、它的各部分必需堅強。二、各部分間必須有一定之相對運動。三、它們必須與能源聯接。四、它們必須做有用的工作。

若不計最後兩個條件,此種裝置,通常謂之機構(mechanism)。故機構爲一組堅強部分其間有一定之相對運動者。

機器與機構之區別爲:機器產生能之變化,機構祇能產生運動之變化。

在機器之一類中,包括蒸汽機(steam engine),燃氣機(gas

engine), 車床 (lathe), 龍門刨床 (planer), 衝床 (punch press), 等等。機器模型與機器剖件, 均屬機構; 加算機 (adding machine), 打字機 (typewriter), 鐘 (clock), 可認為機器, 亦可認為機構。

3. 機器之結構。支持機器運動部分者, 謂之機架 (frame), 或簡稱架。架可能是固定的, 例如車床架; 亦可能是活動的, 例如汽車或蒸汽機車 (steam locomotive) 的架。機器各部分之運動, 通常是指相對於機架之運動而言。

剛體連接物, 如曲柄 (crank), 連桿 (connecting rod), 謂之連件 (link)⁽¹⁾; 撓性連接物, 如帶, 鏈, 繩等, 均謂之連帶 (band)⁽²⁾。機器產生運動的部分, 謂之主動部 (driver), 被動部分, 謂之從動部 (follower)。機器部分, 可能同時是主動部, 亦是被動部。

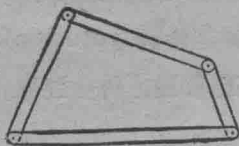


圖 1.

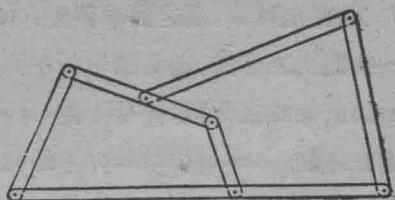


圖 2.

組成機器或機構的一串連件, 或稱之運動鏈 (kinematic chain)。若運動鏈之每個連件, 祇有兩個接頭, 則稱單鏈 (simple chain)。若其中一連件有兩個以上之接頭, 便稱複鏈 (compound chain)。圖 1 為單鏈的例, 圖 2 為複鏈的例。

【譯註】(1) 國立編譯館所編訂之機械工程名詞(普通部)內, 將 connecting rod 及 link 兩字均譯作連桿, 本書將 link 一字譯作連件。實際上, 如十字頭 (cross head) 等並不作桿狀, 但亦稱之為 link。

(2) band 比 belt 之意義較廣, belt 譯作帶, band 譯作連帶。

4. 運動。物體變換其位置時，即有運動。機械構件 (machine element) 之運動，通常是對其機架而言。假如一物體之運動，對於地面上一靜止之物體而言，謂之絕對運動 (absolute motion)；對於一運動之物體而言，謂之相對運動 (relative motion)。

若一機械構件之所有部分，循着諸平行平面而運動，此種運動，謂之平面運動 (plane motion)。大多數機器部分之運動，均屬此類。

假如一點循同一路線，並以同一方向無盡期地運動，謂之連續運動 (continuous motion)。假如在運動中，夾着靜止的間歇期，便謂之間歇運動 (intermittent motion)。

一物體上所有各點之速率相同，並以同一方向運動，則此物體具有所謂移動 (translation)。設物體上所有各點，均沿直線移動，則謂之直線移動 (rectilinear translation)。設物體上所有各點，在曲線上移動，謂之曲線移動 (curvilinear translation)。

一物體上之各點，循着諸平行平面而運動，並與垂直於此等平面之所設直線間之距離，保持不變，此種運動謂之轉動 (rotation)。

螺旋運動 (helical motion) 是轉動與直線移動之併合運動，轉動與移動之間，保持一定之比值。

物體之運動部分之動跡上所有各點，若與空間之一定點間，保持一定之距離，而此距離不止在一個平面上，則此運動謂之球面運動 (spherical motion)。

蒸汽機十字頭 (cross head) 之運動為移動。齒輪，曲柄，與滑輪之運動為轉動。螺旋之運動為螺旋運動。飛球式調速器 (fly-ball governor) 之錘 (weight) 之運動為球面運動。許多機械部分之運動，為此數種運動之併合。尚有許多部分之運動為不規則運動。

設一機器之運動部分，從所設位置起始，經過各可能之位置，再

回到其原來位置時，則此機器完成其整個之運動循環(kinematic cycle)。一個四程循環之燃氣機，須經過四個完全之衝程後，其各部分，方完成一個運動循環。

5. 速度與速率。速度(velocity)與速率(speed)兩名詞，時常混用。但是速度是指一物體在某方向上之運動，速率則並不包含運動之方向。

物體之速率，即其運動率(rate of motion)⁽¹⁾。

物體之速度，為在某定向之運動率。若在等時間內經過之距離相等，此種速率，謂之等速率(uniform speed)。設方向亦為一定者，謂之等速度(uniform velocity)。若在等時間內經過之距離不同者，謂之變速率(variable speed)。若在等時間內，經過之距離與方向不同者，或距離雖同而方向不同者，或方向雖同而距離不同者，謂之變速度(variable velocity)。

瞬時速率(instantaneous speed)及瞬時速度(instantaneous velocity)是一物體在所設時刻之速率及速度。在研究連件之運動時，瞬時速率或瞬時速度常要用到，計算時，線速度之單位為〔呎/秒〕。

6. 加速度。加速度(acceleration)為在單位時間內速度之增加率。因速度包括速率與運動方向，故加速度包括運動速率之變化，或方向之變化，或速率與方向之變化。若速率為遞增者，加速度為正。若為遞減者，加速度為負。物體之加速度，可能為常數或變數。假設機械部分之加速度為變數，則其在任一所設時刻，任一所設位置之加速度，謂之瞬時加速度(instantaneous acceleration)。線加速度之單位為〔呎/秒²〕。

【譯註】(1) rate 譯作率，表示在每單位時間內之變量。所謂速率是物體在單位時間內位移(displacement)之變量。

7. 等加速度運動方程式。 等加速度運動(直線運動)時之方程式爲：

$$V_1 = V_0 + At$$

$$S = V_0 t + \frac{1}{2} At^2$$

$$V_1^2 = V_0^2 + 2AS$$

式中

A = 加速度, [呎/秒²],

V_0 = 初速度, [呎/秒],

V_1 = 末速度, [呎/秒],

S = 所經過之距離, [呎],

t = 時間, [秒],

計算轉動時用徑 (radian)⁽¹⁾。 圓弧等於圓之半徑時, 所張之圓心角, 爲一[徑]。 一周角有 2π [徑]。 將圓輪之角速度, [徑/秒], 乘以其半徑, [呎], 即得其周速度 (peripheral velocity), [呎/秒]。

等角加速度運動之方程式爲：

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$$

式中

α = 角加速度, [徑/秒²],

ω_0 = 初角速度, [徑/秒],

ω_1 = 末角速度, [徑/秒],

θ = 所經過之角度, [徑],

t = 時間, [秒],

例 1. 一列車在 1 [分] 30 [秒] 內, 從每 [小時] 30 [哩] 之速率, 增加到每 [小時] 50 [哩] 之速率。 試求其加速度 (假定是等加速度運動), 並求在此時間內所經過之距離。

【譯註】 (1) 徑, 讀如徑, 亦可譯作弧度。

【解】 $V_0 = 30 \times \frac{5280}{3600} = 44 \text{ [呎/秒]},$

$$V_1 = 50 \times \frac{5280}{3600} = 73.4 \text{ [呎/秒]},$$

$$t = 90 \text{ [秒]},$$

$$V_1 = V_0 + At$$

$$73.4 = 44 + 90 A$$

$$A = \frac{73.4 - 44}{90} = \frac{29.4}{90} = 0.326 \text{ [呎/秒}^2\text{]} \cdots \cdots \text{列車之加速度 (答)}$$

$$S = 44(90) + \frac{1}{2}(0.326)(90)^2$$

$$= 3960 + 1320 = 5280 \text{ [呎]} \cdots \cdots \text{所經過之距離 (答)}$$

例 2. 設有以等角加速度轉動之飛輪，在一[秒]鐘內，從每[分]鐘 200 轉增至每[分]鐘 300 轉，試求其角加速度與所轉過之角度。

【解】 $\omega_0 = 200 \times \frac{2\pi}{60} = 21 \text{ [徑/秒]},$

$$\omega_1 = 300 \times \frac{2\pi}{60} = 31.4 \text{ [徑/秒]},$$

$$t = 60 \text{ [秒]},$$

$$\omega_1 = \omega_0 + \alpha t,$$

$$31.4 = 21 + 60 \alpha,$$

$$\alpha = \frac{10.4}{60} = 0.173 \text{ [徑/秒}^2\text{]}. \text{ (答)}$$

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\theta = 21(60) + \frac{1}{2}(0.173)(3600) = 1571 \text{ [徑]} = 250 \text{ [轉]}. \text{ (答)}$$

習 題

1. 汽車之速率為 20 [哩/時]，假定其用等加速度前進，在走 500 [呎]後，速率增加到 40 [哩/時]。試求其加速度之絕對值，及所需時間。
2. 直徑等於 40 [吋]之圓輪，用 400 [轉/分]之角速度轉動，試求其用 [徑/秒]表示之角速度，並分別求輪邊上一點，及離中心 12 [吋]的定點之綫速度。
3. 在車床上裝有一塊直徑 4 [吋]之坯料，用 100 [轉/分]之速度轉動，試

求割削速率(cutting speed)(單位用[呎/秒])。

4. 一石塊從 600[呎]高之塔上落下。假設不計算空氣之阻力，試求此石塊到達地面時之速度及所需之時間。但重力加速度等於 32.2[呎/秒²]。

5. 假定題 2 之圓輪，用等角加速度轉動，在 2[分]鐘內其角速度自零增加到 600[轉/分]，求此輪之角加速度，及輪邊上一點之綫加速度。

8. 力。力是一物體對於另一物體所施之作用，此種作用會使運動產生變化，或有產生變化之傾向者。其性質，可能為推力(push)或拉力(pull)。直接作用於物體上之力，謂之接觸力(contact force)；隔某距離作用之力，謂之場力(field force)。摩擦力是接觸力之例，磁鐵對於與其隔一距離之物體作用之磁力，為場力。

牛頓氏(Newton)之運動三定律，為力之作用之最好說明。此三定律為：

1. 一物體若未受到外力之作用，則永遠保持靜止或等速度運動之狀態。

2. 假定有一力，作用於可以自由運動之物體上，此物體便在力之作用方向上得到一加速度。此加速度之大小，與力成正比。

3. 對於每一個力，一定有大小相等，方向相反之反力(reaction)。

第二定律，可以用下式表示之，

$$\frac{F}{A} = \frac{W}{g}$$

式中 F = 作用於物體上之力，[磅]。

A = 因力而產生之加速度，[呎/秒²]。

W = 物體之重量(即地球對於物體之拉力)，[磅]。

g = 重力加速度，[呎/秒²]。

力之英美制單位為[磅]⁽¹⁾。

[譯註] (1) 國際權度制之力之單位為[克](gram)或[達因](dyne)，一[磅]等於 453.6[克]，或等於 4.448×10^5 [達因]。

物體之質量，與其重量成正比例。質量用 $\frac{W}{g}$ 表示之。上述關係之另一種普通寫法為：

$$F = \frac{W}{g} A = MA$$

式中 M 是物體之質量。

9. 轉矩。轉矩 (torque)，即力矩 (moment of a force)，為力與力臂 (arm of a force 即 lever arm) 之積。力臂為力之作用線與軸間之垂直距離。例如設一滑輪上皮帶之淨拉力為 200 [磅]，其

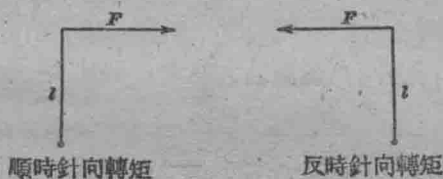


圖 3.

半徑為 $1\frac{1}{2}$ [呎]，則作用於滑輪上之轉矩為 $200 \times 1\frac{1}{2} = 300$ [磅·呎]。轉矩之方向，可能是順時針向，或反時針向，依據力關於軸之運動之轉向而定，如圖 3 所示。

10. 功。功 (Work) 為作用力與其所經過距離之積。所經過之距離，必須與力在同一方向。在圖 4 內，力 F 作用經過之距離為 S ，則功為 FS 。若一人以 100 [磅] 之力，在載荷運動之同一方向作用，而拉過 20 [呎] 之距離，則其所做之功為 2000 [呎·磅]。

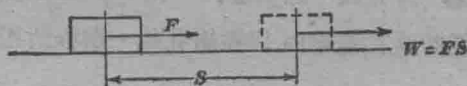


圖 4.

設此 100〔磅〕之力，與運動方向所成之角度為 30° ，如圖 5 所示，則在運動方向上之分力為 $100 \cos 30^\circ$ ，故得所做之功為

$$100(0.866)(20) = 1732 \text{〔呎·磅〕}.$$

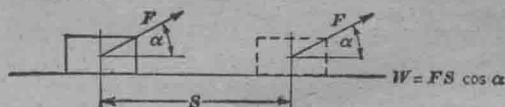


圖 5.

功與轉矩之單位雖同，但功以〔呎·磅〕計，轉矩以〔磅·呎〕計，一〔呎·磅〕等於將一〔磅〕重之物體舉高一〔呎〕時所做之功。

11. 能。 能(energy)為做功之能力。假使對一物體上做功，此物體即得到能。

勢能(potential energy)隨物體之位置或形狀而定。貯藏在堤後之水具有勢能，因為它能作功。被壓縮之彈簧亦具有勢能。

動能(kinetic energy)隨物體之運動而定。任一以所設速度運動之物體，有蘊藏之動能，此動能會做一定量之功。正在行動之列車有動能。落鎚(drop-hammer)在下落時亦有動能，此動能可以使受到其作用之材料變形。

一機器之能循環(energy cycle)與其運動循環時有不同，機器自所設能的狀況開始，經過不同之能變化，再回到其原來之能的狀況，謂之完成一能循環。裝有飛輪之衝床，可能每經八個衝程，方衝出一孔。此衝床之主要部分，每經兩衝程便完成一運動循環。但須經八個衝程，方完成一能循環。在不做功時之惰程(idle stroke)中，將能貯藏在飛輪內，以備衝孔的一衝程所用。

在一能循環中，

$$\text{所得之能} = \text{有用之功} + \text{損失之功}$$