

機械工程

機動學之部

錢迺楨編著

龍門聯合書局出版

機 械 工 程

(機動學之部)

錢 迺 楨 編 著

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

龍 門 聯 合 書 局 出 版

序

公元一九五〇年，各工科大學土木工程學系，電機工程學系（電信組），及化學工程學系所開屬於機械部份各課，設一綜合性學程，定名為機械工程。其教材內容包括機械基本原理，動力簡單設備，及若干種主要工業機械，以代替往昔各學系機動學及熱力工程分開學習，或僅習熱力工程而不習機動學之分岐情形。蓋設課主旨，為以系統及重點作學習基礎，適應各學系之具體需要。

本書即應上述需要編著，共分六篇：第一篇，機動學；第二篇，蒸汽鍋爐；第三篇，蒸汽機；第四篇，內燃機；第五篇，空氣壓縮機；第六篇，唧筒。全書共計二十餘萬言，足供每周三小時一學年教材，或每周五小時一學期教材之用。機動學部份為各學系所均需，其他各篇則可視各學系實際需要，斟酌取捨。所有材料，均採自現在各大學通用教本，唯加以剪裁編纂，另成系統。茲以本書急待應世，先將第一篇機動學印行，以後各篇，陸續出書。謹述編著緣由如上。唯自慚譴陋，難免舛訛，尚祈不吝指正，曷勝幸感。

錢 迺 楨

一九五一年一月於上海交通大學

目 次

第一篇 機 動 學

第一章 緒論	1
第二章 鏈系	8
第三章 直接接觸之傳動	34
第四章 凸輪	45
第五章 純粹滾動接觸之傳動體	68
第六章 齒輪及齒	79
第七章 輪系	121
第八章 皮帶, 繩索, 及鏈條	148
第九章 雜述	169

第一篇 機動學

第一章 緒論

1-1. 機動學為研究機械運動定律及傳力定律之科學。為設計一機械，或研究一現存機械之設計，提供顯著不同，但又密切相關之問題兩類：第一，機械各部必須有適當比例及相互裝置，使每部機件均有規定之運動。第二，每一機件必須適當配合，使能抵抗作用於其上之應力。運動之性質並不有關於機械運動部份之強度，或實際尺寸。此可以機器之模型說明，模型尺寸大異於為適應強度所需要之尺寸，但模型各部之運動，相同於實際機器所有者。故力與運動可分別研究，因此機動學可分為下列二部：

1. 純粹機動學或機械幾何學，研究機器各部之運動及形狀，與機器各部承托及導引之狀態，不涉及其強度。

2. 構造機動學，包括作用於機器各部份力之計算，選擇材料以抵抗此力所必需之強度，經久性，及其他物理性質，並顧及修理便利與製造容易。

機械運動學為一常用名詞，其所指者即上節所述機動學之一部，稱謂純粹機動學或機械幾何學。本書以下所述，即此部科學範圍內諸問題。

1-2. 機械為許多剛體，以一定方法排列之綜合組織；依此組織，可約束自然界之機械力，循行預為規定之運動，產生定量效果或工作。更概括言之，機械為許多部份之集合體，安置在力源與工作之中間，以一方配合於他方為目的。機械中之每一部份或自己運動，或作導引以扶助其他部份之運動。尚有另一定義：機械為許多部份以一定方法接合

之集合體；當第一部或力源作用之部份有一定運動時，工作之部或產生效果部份將有預爲規定之其他一定運動。

任何機械不藉外力不能自動，亦無任何機械能創造動力；動力必自外在之淵源獲得。蒸汽引擎爲最常應用機械之一例。設有外力作用於其上，使引擎各部運動，即能獲得定量之工作。其構造包括一固定機座，承托各運動部份；運動部份中有使引擎軸作旋轉運動者，有司動汽閥，以分佈進入汽缸之蒸汽，及其他各種功能之機件。此運動部份必須適當排列，使當外力作用於活塞時，相互間發生一定相對運動。圖 1-1 示蒸汽引擎及其主要部份之名稱。

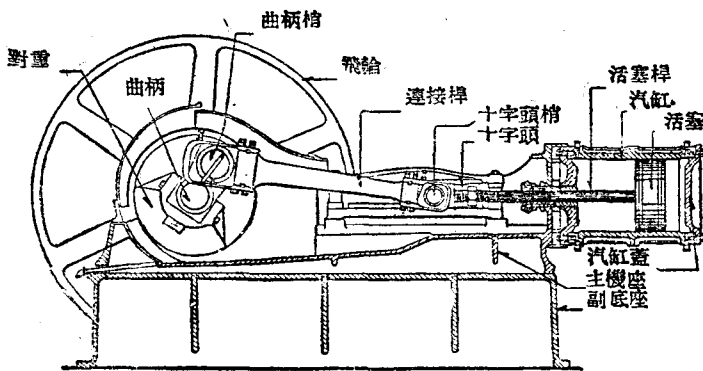


圖 1-1. 蒸汽引擎

1-3. 傳動方式 不計自然吸引力及反斥力，一物體不能使其他物體運動，除非此二物體直接接觸，或相互間以中間物體聯繫之，此中間物體有傳達運動自一體至他體之能力。

故自原動體傳達運動至從動體之方式，計有：

1. 直接接觸 { 滑動
滾動
2. 中間接合物 { 剛體式
撓性式
流體式

剛體式中間接合物稱謂連桿(註一)，能傳推力或牽力，例若蒸汽引擎之連接桿，其本身係一連桿裝接於原動體及從動體間，用樞軸(註二)或其他方法接合之。

撓性中間接合物稱謂帶，假定無延伸性，僅能傳達牽力。密閉流體於一適當容器內，可作傳動接合物用，例若水壓機。流體可稱謂壓力器官，以別於帶，蓋帶為牽力器官。

1-4. 原件之偶合(註三) 為使一運動體，*A*，圖 1-2，經久接觸於物體 *B*，同時又在一定路線上行動，則根據 *A* 所佔有相對於物體 *B* 之一列系連續位置，描畫此依次佔有位置之外包線(註四)，即為物體 *B* 將有之形狀。故若 *A* 之形狀如圖所示，*B* 之形狀將為一曲線溝渠。因此，為約束物體行動於一定路線計，此物體必須與另一物體偶合，而另一物體之形狀，決定於此二物體相對運動之性質。物體 *A* 與 *B* 稱謂原件，上述情形稱謂原件之偶合。

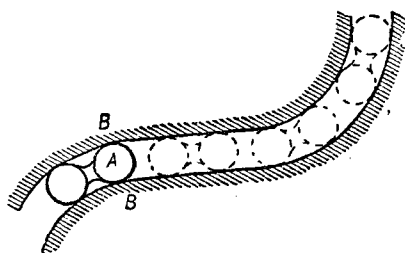


圖 1-2. 高偶合

1-5. 合偶合或低偶合(註五) 若一原件不僅為另一原件之外包線，且完全包圍之，此二原件之幾何形狀相同，不過一為實體，一為空心，則吾人稱此種偶合為合偶合或低偶合。在低偶合中，二原件間為面與面之接觸狀況。

構成低偶合之二物體，在其接觸面上，假定畫相合之二線，每一接觸面上有一線；若二相合線之形狀，可使二線發生相互運動。即此偶合

(註一)連桿 Link.

(註二)樞軸 Pivot.

(註三)原件之偶合 Pairs of Elements.

(註四)外包線 Envelope.

(註五)合偶合或低偶合 Closed or Lower Pairs.

之二物體，能作相對運動；相合線之形狀，僅有三種可以存在：

1. 直線，發生直線運動，圖 1-3 *a*。
2. 圓周，發生旋轉運動，圖 1-3 *b* 及 1-3 *c*。
3. 螺旋線，發生直線及旋轉之合併運動，圖 1-3 *d*。

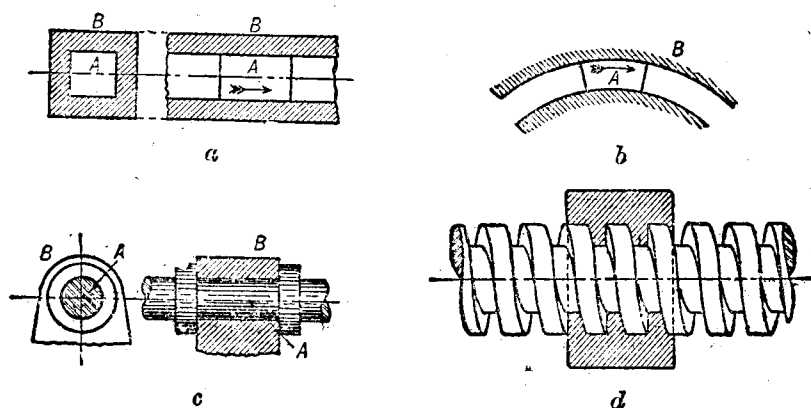


圖 1-3. 低偶合

1-6. 高偶合(註一) 圖 1-2 所示之偶合，其原件 *A* 與 *B* 間非若上節所述，互相包圍，故為非合偶合。此種偶合稱謂高偶合，原件相接為點接觸或線接觸。球軸承及滾子軸承為高偶合之實例。

構成偶合之二原件，其相互約束，迄今為止假定為完全性質；換言之，即二物體中每一物體，完全依靠構造形狀及材料剛性，約束另一物體，非受外力作用，使其互相偶合。

但在若干場合，二原件之互相偶合，依靠外力作用。一原件上不受外力作用之部份，可以割去。此種偶合稱為原件之不完全偶合(註二)。圖 1-4 *a* 為火車軸承。軸承 *B* 僅與車軸 *S* 圓周之一小部接觸。*B* 與 *S* 由火車重量使其接合。圖 1-4 *b* 為直立軸承。直軸 *S* 上之重量，使其壓入軸承 *B* 內。圖 1-4 *c* 為鉋床，台鉋以其重量固定於床座頂面之滑槽內。以上均為不完全偶合之實例，係比較價廉之構造。

(註一)高偶合 Higher Pairs.

(註二)原件之不完全偶合 Incomplete Pairs of Elements.

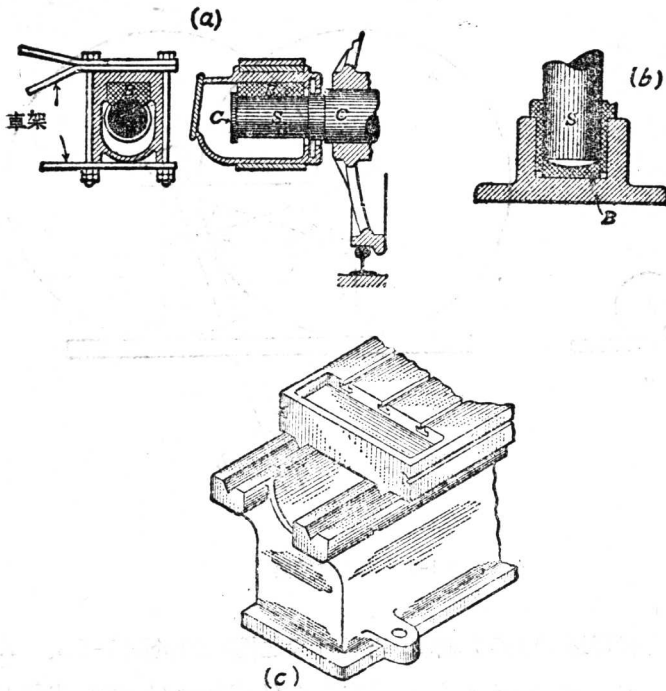


圖 1-4. 原件之不完全偶合

1-7. 偶合之轉換(註一) 在圖 1-3 a 中, 若原件 B 為固定體, 原件 A 上各點均作直線運動。若原件 A 為固定體, 原件 B 上各點亦均作直線運動。換言之, 任何一原件作固定體, 另一原件之絕對運動均相同。圖 1-3 b, c, 及 d 所示之各種偶合亦然。

一原件與其配合原件互為固定體之變換, 稱謂偶合之轉換; 在任何合偶合或低偶合中, 此種轉換不變更其絕對運動或相對運動。

圖 1-2 及 1-5 a 所示之偶合為高偶合; 當 A 為固定體時, A 與 B 間之相對運動, 同於當 B 為固定體者。但當 B 為固定體時, A 之絕對運動, 不同於當 A 為固定體時, B 之絕對運動。

(註一) 偶合之轉換 Inversion of Pairs.

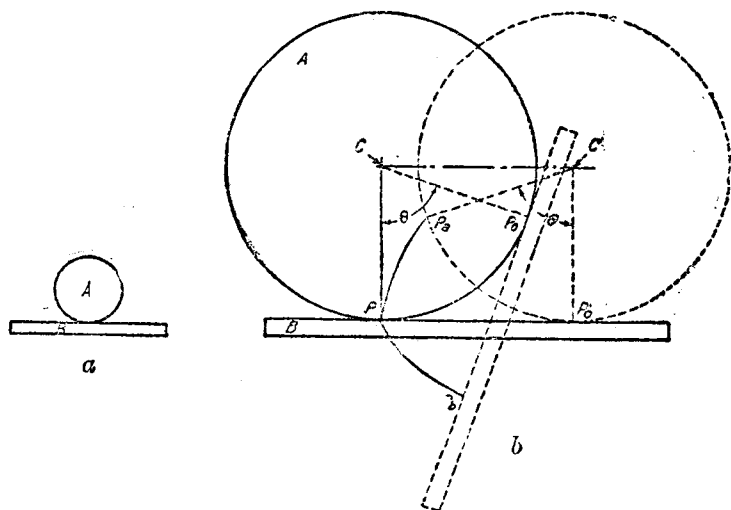


圖 1-5. 偶合之轉換

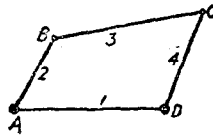
此種情形可以圖 1-5 *b* 說明，此圖所示之機構同於圖 1-5 *a*。A 與 B 接觸在點 P。沿 B 滾轉 A，直至其中心 C 移動至 C'，於是半徑 CP₀ 將在 C'P₀；原在 P 處 A 上之一點將在 P_a，此點所描畫之路徑為擺線（註一）PP_a。回復 A 至原處，繞 A 滾轉 B，直至與 A 相切於點 P₀。則原在 P 處 B 上之一點，將在 P_b，其所描畫之路徑為漸開線（註二）PP_b。雖此本相接觸之兩點，其所行動之曲線不同，但自 P_a 至 P，及自 P_b 至 P，兩者之直線距離則相等，故在行動之終點，不論任何一體作行動，一體相對於另一體之位置均相同；但當一體行動時，此體上一點所作之絕對運動，則不同於當另一體行動時，此另一體上相當點所作之絕對運動。故高偶合之轉換，不變更其相對運動，但所發生之絕對運動則不同。

（註一）擺線 Cycloid.

（註二）漸開線 Involute.

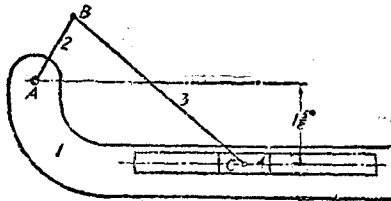
習題

1-1. 軸 A 及 D 固定。 $AB=1\frac{1}{2}$ 吋, $BC=3$ 吋, $DC=2$ 吋, $AD=3$ 吋。曲柄 2 爲原動體, 以反時針方向旋轉。各桿比例如此規定, 即當 2 作一完全圓周時, 4 搖擺一定角度。以圖解法求曲柄中心線之兩極端位置。



習題 1-1.

1-2. 塊 4 滑動於固定體 1 之槽內。曲柄 2 之軸 A 裝牢於 1 上。 $AB=1\frac{1}{2}$ 吋, $BC=4\frac{1}{2}$ 吋。畫此機構之全尺寸, 假定 1 之大小, 或僅用其中心線亦可。以圖解法求 C 之兩極端位置, C 爲連桿 3 裝接於塊 4 上所用梢釘之軸。量度 C 所作衝程之長, 即兩極端位置間之距離。



習題 1-2.

第二章 鏈 系

2-1. 一鏈系(註一) 包括一定數目原件之偶合, 偶合間以連桿結合之。若此結合能使所有連桿作相對運動, 且每一連桿對於其他連桿之運動又屬一定, 則此鏈系即變為一運動鏈(註二)。若運動鏈中以一桿固定之, 此運動鏈即變為一機構。

為使鏈系能構成一運動鏈計, 鏈系中固定點之點數, 必須對於連桿之桿數有一定關係, 即鏈系應為四桿鏈系(註三), 或二個或更多於二個四桿鏈系之綜合體。此固定點之運動由本鏈系外其他方法決定。參閱

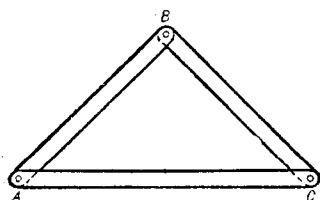


圖 2-1 三桿鏈系

圖 2-1, 2-2, 及 2-3, 可解釋上說。圖 2-1 鏈系包括三連桿, AB , AC 及 BC , 成一三角形; 因三定線僅能構成一三角形, 故連桿相互間顯然不能作相對運動。另一方面, 若包含之連桿數為四, 如圖 2-2 所示, 則可產生一定性質

之相對運動。若構成鏈系之連桿有五, AB , BC , CD , DE , 及 EA , 圖 2-3, 任何連桿, 可固定之, 例如 AE ;

則 AB 及 DE 為曲柄, 但曲柄 AB 之一定角運動, 不能傳達結果一定之運動於曲柄 DE , 除非點 C 以其他外在方法導引之。故若以向定點 F

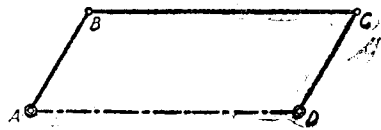


圖 2-2. 四桿鏈系

作旋轉運動之曲柄 FC 導引 C , 則所有連桿之運動可決定。但在鏈系上加以曲柄 FC , 已變為二個四桿鏈系之綜合體, 即 $ABCF$ 及 $FCDE$,

(註一)鏈系 Linkage.

(註二)運動鏈 Kinematic Chain.

(註三)四桿鏈系 Four Bar Linkage.

並以 A, F , 及 E 爲定點。總括言之,可謂任何機構均可分析爲一四桿鏈系,或兩個或更多於兩個四桿鏈系之綜合體。

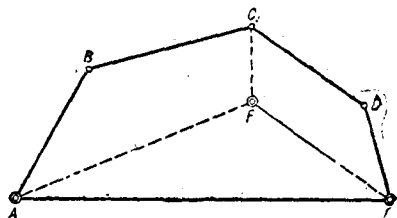


圖 2-3. 五桿鏈系

2-2. 四桿鏈系 機構爲許多剛體之組合,根據其排列方法及性質,一剛體之運動,可約束其他剛體之運動。故僅用以傳達運動或改變運動形態之組合,稱機構;若機械則爲用以傳能或工作之剛體組合。蒸汽引擎中之曲柄及連接桿,伴以導路及機座之組合,爲一種機構,因其將往復運動變爲圓周運動。爲使此一機構變爲機械計,必須另加其他許多機構,若汽閥機件及各種附件,以使蒸汽所含之功能轉變有效工作。故機械爲一系列或一聯串機構之綜合體,但機構不一定即爲一機械。

本章以下各節將分析若干種較爲常用之機械,以獲得分析方法,可爲研究其他機械之借鏡。應用四桿鏈系定律,以研究機構運動,第一步必須認識機械中所包括之四桿鏈系,或四桿鏈系不止一個,應尋求各個間之串聯系統。

認識連桿,常以原動體起始爲最好,並求原動體作旋轉運動所向之定軸。此原動體係剛體,向一定軸作旋轉,故爲一曲柄。其次,若可能,決定由原動體獲得運動之剛體,及旋轉所向之定軸。傳動方式或以直接接觸,或經過一中間結合物。因此求得一四桿鏈系之兩曲柄。上述二定軸所附着之物體,爲一固定連桿,連接兩定軸之直線爲連心線(註一)。若原動曲柄向從動曲柄所傳給之運動,係經過一中間結合物,則此中間

(註一)連心線 Line of Centers.

結合物爲聯結器或連接桿，其中心線爲連結關節梢軸（註一）之直線，此關節梢用以連接聯結器至曲柄。自此連接點至定軸之直線，爲每一曲柄之中心線。若兩曲柄作直接接觸，聯結器之中心線爲兩接觸面之公法線（註二）；含有此線之中間接合體爲零值尺寸，故係虛物。第一四桿鏈系既已認得，串聯系統中之其他四桿鏈系，可依同法尋求。

任何連桿毋須真實靜止。連桿 AD ，圖 2-2，係假定爲固定者，可附着於機械一定部位，而機械本身即在運動。因此 AD 亦在運動。但 $ABCD$ 仍爲四桿鏈系如常，其四連桿之相對運動亦無變更，雖每連桿之絕對運動，當然不僅須以對於假定爲固定連桿（此處爲連桿 AD ）之相對運動而定，並有關於此假定爲固定連桿所作之運動。

本書內，對於假定爲固定連桿所作之運動，均以絕對運動論。此爲明顯之事，即四桿鏈系內任何點之運動，依各連桿長對於固定連桿長之相對量而定。連桿長之意義爲一連桿上兩關節梢軸間之距離，此關節梢用以結合連桿至鄰近兩連桿上。

如上所述，各連桿對於一假定爲固定連桿所作之相對運動，不以此固定連桿行動與否，有所變更；因此不論以何一連桿固定之，任何連桿對於任何其他連桿所作之運動均相同。換言之，四桿鏈系各連桿之相對運動，與連桿之固定性（註三）無涉。此一原則可利用以增加四桿鏈系應用之範圍，後將說明。

2-3. 曲柄及搖桿 設以連桿 AD （圖 2-4）爲固定桿，假定曲柄 AB 作旋轉運動，而搖桿 DC 向軸 D 搖擺之。爲使此種運動可以發生，必須存着下列諸條件：

1. $AB + BC + DC > AD$.
2. $AB + AD + DC > BC$.
3. $AB + BC - DC < AD$.
4. $BC - AB + DC > AD$.

（註一）關節梢軸 Axes of Pin Joints.

（註二）公法線 Common Normal.

（註三）連桿之固定性 Fixedness of Links.

條件 1 及 2 必須維持，以便任何運動可以發生；條件 3 可自三角形 AC_2D 見之，此為鏈系在極右位置 AB_2C_2D 時所成，在此位置時四連桿必須不合併為一直線；條件 4 可自鏈系在極左位置 AB_1C_1D 時所成三角形 AC_1D 見之。

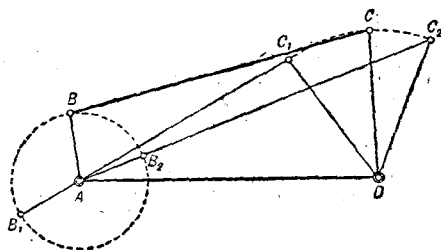


圖 2-4. 曲柄及搖桿

搖桿之運動在其路徑上 C_1 點及 C_2 點時，變換其方向；因此可見，若搖桿 DC 為原動體，則當點 C 在 C_1 或 C_2 時，不藉外助不能驅動曲柄 AB ，因作用於連桿 BC 之牽力或推力，僅使 A 軸受有壓力而已。若曲柄 AB 為原動體，則無上述情況。

2-4. 拉桿 圖 2-4 以較長二連桿之一作固定桿，其各部比例之規定，僅使一曲柄(AB)作旋轉運動。圖 2-5 各部之比例約相同於圖 2-4

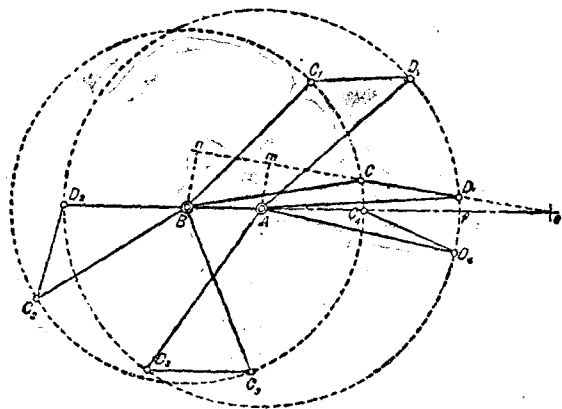


圖 2-5. 拉桿

者，唯以 AB 爲固定桿。連桿 BC 及 AD 分別向 B 及 A 作旋轉運動，即變爲曲柄，而 CD 則變爲連接桿。此機構定名爲拉桿。

爲使二曲柄能作旋轉運動，在其旋轉周程中不發生呆點（註一）計，必須保持下列各條件：

1. 每一曲柄之長，必須大於連心線；此無須說明。
2. 連桿 CD 必須大於較小圓份（註二） C_4D_4 ，而小於較大圓份 C_4D_2 ，此圓份爲二曲柄所作圓周中較大者之直徑，爲較小圓周所分割者。茲表示如下：

$$CD > AB + AD - BC \quad (\text{參閱三角形 } AC_4D_4)$$

$$CD < AD + BC - AB \quad (\text{參閱三角形 } BC_2D_2)$$

若 BC 以反時針方向旋轉，並作原動體論，則在位置 ABC_3D_3 及 ABC_1D_1 間，曲柄 AD 之旋轉，快於 BC ，而在 ABC_1D_1 及 ABC_3D_3 間，慢於 BC 。

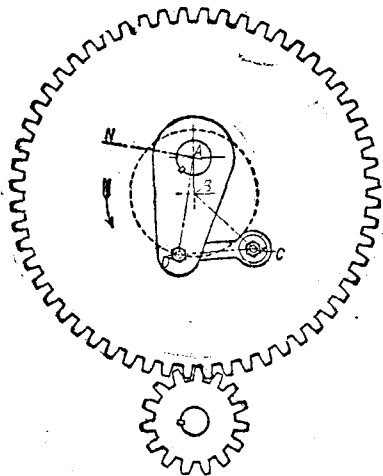


圖 2-6. 狄爾插床

（註一）呆點 Dead Point，爲從動曲柄與連接桿在一直線時之位置，在此

位置時僅以連接桿，不能使從動曲柄轉動，必藉外力之助。

（註二）圓份 Segment.

圖 2-5 示以拉桿爲急回機構(註一)時之應用情形,若裝於狄爾插床(註二)上者。本圖各連桿所標註之字母,相當於圖 2-5 所用者。

大齒輪裝有銷釘 C , 旋轉於機座上之固定凸出部, 其中心點爲 B 。故爲原動曲柄, 相當於圖 2-5 之 BC 。軸 A 之軸承在上述凸出部之一孔內, 軸上鍵有曲柄 AD 。在軸之他端, 有另一曲柄, 或其相當體, 其中心線爲 AN 。在此後一曲柄上, 裝有連接桿, 用以驅動撞鏈(註三)。圖 2-6 所示, 爲當撞鏈約在其向下或割切衝程之中點時, 機構所佔有之位置。

2-5. 平行臂四桿鏈系 圖 2-7, 曲柄 AB 之長等於曲柄 CD , 連心線 AD 等於連接桿 BC 。若二曲柄以同方向旋轉, 在每一位置此鏈系之各連桿中心線, 成一平行四邊形。因此二曲柄常以等轉速作旋轉運動。此鏈系常見之實例爲火車頭所用之曲柄及平行桿。連接車架上相鄰二軸承之連桿, 相當於連心線, 此軸承用以承托車輪之轉軸, 但上述連桿本身亦在行動。

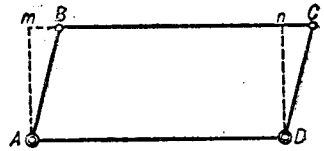


圖 2-7. 平行臂四桿鏈系

2-6. 不平行等臂鏈系 圖 2-8 所示之鏈系, AB 等於 CD , 及 AD 等於 BC 。但以適當設備, 使二曲柄作相反之旋轉。因此若曲柄 AB 以等轉速旋轉, 曲柄 DC 之轉速則爲變值, 雖在同一時間內, 二曲柄均轉動一圓周。

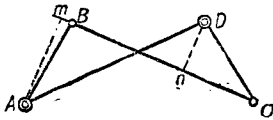


圖 2-8. 不平行等臂鏈系

旋轉之反向, 其獲得方法應使曲柄在呆點時, 依正當方向轉過之。若製有切面爲橢圓形 f 及 h 之二相等圓筒, 圖 2-9, 圓筒 f 固定不動, 而以 h 在 f 上滾動,

(註一)急回機構 Quick Return Mechanism.

(註二)狄爾插床 Dill Slotter.

(註三)撞鏈 Ram.