

科學圖書大庫

# 機 構 設 計

譯者 徐萬椿

徐氏基金會出版  
世界圖書出版公司

# 譯者序

本書原名 MECHANISM DESIGN : ANALYSIS AND SYNTHESIS，由歐德曼 (ARTHUR G. ERDMAN) 和杉多爾 (GEORGE N. SANDOR) 兩位教授所合著。本書共分八章，諸如運動學與機構學之介紹；機構設計哲學；位移和速度分析；加速度分析；介紹機構之動力學；凸輪設計；齒輪與齒輪系；介紹運動綜合分析法及圖解和線性分析法；無不詳細闡述。本書並有工業上甚多實際設計舉例和個案研究，例示複數法之用途。內容新穎豐富，是美國大學機械工程系之教本，出版以來各大學已競相採用。

歐德曼是美國明尼蘇達大學 (UNIVERSITY OF MINNESOTA) 機械工程教授，杉多爾是佛羅里達大學 (UNIVERSITY OF FLORIDA) 機械工程研究教授。本書是由此兩位教授憑過去十五年之教育經驗和研究心得撰寫而成，甚受美國各大學之歡迎，曾一度供不應求。

本書係以平實信達之筆法譯述，務使讀者易於瞭解。所有名詞悉依國立編譯館出版之機械工程名詞、物理學名詞為準，以資劃一。惟以書成倉促，謬誤之處恐亦難免，尙祈先進惠予核正，是爲序。

徐萬椿謹序

# 原作者序

本書含有上下兩冊，上册爲機構設計之分析與綜合，下册則爲高等機構設計之分析與綜合。此兩部機構設計學之撰寫，主要者係得自作者等過去十五年之教育、研究、切磋實務，以及工作同仁發表論文之採用而成。作者可說已提供出三十年以上在機構設計教育經驗和共同爲三十五家公司在機械系統設計與分析的聯合成果。

本書之撰寫，代表著對運動學、動力學、電影彈性動力學之分析和綜合研究之累積，而趨於一種通用之方法，先以哥倫比亞大學（COLUMBIA UNIVERSITY）弗利烏譚斯坦博士（DR. FREUDENSTEIN）指導下之杉多爾博士（DR. SANDOR）之論文開始，繼之以100篇以上之論文研究。作者之目的則在提供適時，電腦導引，優良可教的大學教本，其中含有甚多例題，均已妥爲演算，每章之末並有習題。

本書所含標題之選定，旨在提供學生具有足夠之理論背景，以瞭解現代機構設計技術，另一方面則在啓發學生之技術，應用此等理論於實務。本書之其他目的，則爲提供實習設計師作爲參考資料，和研究人員作爲基本研究工作。關於此方面，即是對機構設計以電腦協助方法處理之特性。極爲有用之線圖資料，即是基於電腦協助方法之聯合技術，此包含相互作用線圖之應用，對學生和實習設計師而言，是強有力的機構設計工具。如此，作者將提供學生和繁忙的實習設計師所有現代運動學之分析和綜合資料，不必閱讀大量有關文獻和論文，也不必消化其內容。

本書中包含工業上甚多實際設計舉例和個案研究。此等設計舉例和個案研究，例示複數法 ( COMPLEX - NUMBER METHOD ) 之用途，和連桿組分析與綜合其他技術之用途。此外，本書每章之末有 250 個以上多方面習題，並以公制單位與英制單位混合表示。

作者等認為學生方面，只需具備數學與力學之基本知識，就可研讀本書。故本書上册，可作為機構學運動學分析和綜合大學一學期或兩學期第一階段教本之用。舉例說，一個學期的課程，本書上册可酌予調整，將第六章 ( 凸輪 ) 與第七章 ( 齒輪 ) 省略。本書下册所含內容，則適用於研究生一學期或兩學期課程之用。為特別之一個學期課程所用者，則可選用若干章。舉例說，第五章，機構之動力學，此是高級觀念，可與第二章和第三章之部分聯合研讀，此將提供包含電影彈性動力學、時間反應、振動、平衡，及包括堅實轉子平衡之連桿組機構之電影彈性動力學。

上面所述若干舉例，指出如何運用本書。不過，由於本書多數各章，均屬單獨立之章，故教師為某特定課程可選用其他章或配合運用。本書每冊之末，列有豐富的參考書誌，是讀者欲進一步研究之最佳資料來源。本書上册與下册，是分開的整體書籍，上册不必參考下册，因為上册之第一章和第八章，在下册之第一章和第二章已予重複。

茲將本書上下册之內容簡要描述如下。上册第一章為運動學與機構學之介紹，描述機構設計之一般基本概念。第二章為機構設計哲學，包括設計方法學，可用以選擇本書某特別之章以處理特定工作，和設計機構時或處理實際作業上所發生問題之準繩。第三章為位移與速度分析，討論圖解和分析法，以求得絕對速度與相對速度、接頭力量，及機械利益。本章含有所有必需之資料以發展一複數為基之電腦程式，以分析適合於各種電腦之四桿連桿組。第四章為加速度分析，此係以圖解法與分析法決定加速度差異，相對加速度和柯若利士加速度 ( CORIOLIS ACCELERATIONS )。此處解釋共面機構之速度當量，並以舉例例示其觀念。第五章

介紹動力學與運動學以各種方法分析，強調機構連桿之自由體圖。第六章則提供簡單凸輪與從動件系統之設計方法，和凸輪調節連桿組之設計方法。第七章則為使學生熟悉漸開線齒與齒輪系，包括速度比，和行星齒輪系之力的分析及動力流之分析。上册最後一章，即是第八章，係介紹應用基於標準型複數方法之圖解法和閉環線性分析為共面機構作尺度綜合。本章處理簡單機構和多環機構之綜合作為函數、路線，及運動發生器，以得一次元和多次元之近似值。

本書下冊之第一章與上册之第一章相同，係運動學與機構學之介紹。下冊第二章則與上册之第八章相同。第三章則包括布麥斯脫理論 (BURMESTER THEORY) 之閉式非直線法延伸共面分析運動學合成至大於三條件精度，並描述一電腦封裝 (COMPUTER PACKAGE)，稱為 LINCAGES，以承擔計算負荷。本章亦包含擺線曲柄 (CYCLOIDAL CRANK) 及齒輪連桿組。第四章則以新的明確型式之奧衣勒和沙弗利方程式 (EULER-SAVARY EQUATION 簡寫為 ESE) 對共面路線曲率理論提供一新電腦導向之複數方法，並描述各種鮑勃利爾構造 (BOBILLIER'S CONSTRUCTION, 簡寫為 BC)，例示奧衣勒沙弗利方程式法和鮑勃利爾構造法之當量。第五章則描述機構運動之廣泛處理。此處包含矩陣法、拉格朗日法 (LAGRANGIAN APPROACH)、自由振動與阻尼振動、振動隔絕、堅實轉子平衡，以及為搖動力量和搖動力矩之連桿組平衡，所有此等項目均有電腦程式。本章又包含電影彈性動力學 (KINETO-ELASTODYNAMICS 簡寫為 KED) 之介紹，研究高速機構，通常堅實連桿之假設，必予放棄，由於彈性連桿之慣性力必須列計其應力和應變。堅實體之運動學和動力學應與彈性有限元件技術配合，以協助解決此項複雜問題。下冊之最後一章，即第六章，則敘述三維空間機構之位移、速度，和加速度分析，及應用矩陣法之機器人操縱器。本章內容易於教學，含有奧衣勒角旋轉之目視處理。

本章及下冊全書以介紹若干工具及對空間運動學之綜合應用作為結語，並以舉例說明之。

鑑於 ABET 新發展之大學標準要求以增進機械工程課程設計內容，就設計觀點研究機構學，此兩冊機構設計確實提供一最佳之媒介。此兩冊機構設計亦能加強配合電腦協助之機構設計 (CAD/CAM) 及電腦協助之工程 (COMPUTER AIDED ENGINEERING 簡寫 CAE) 諸種課程。甚多電腦程式已以舉例輸入和輸出之流程表包含於課本中，或可經由本書作者取得之。

在本書中之複數法，係用作相互作用之電腦程式基準，此等電腦程式係應用圖解輸出終端和 CRT 顯示終端。設計師可以不必研究基本理論即能在電腦螢光幕上之圖解圖找出介面，在成千可能的交替介面上找出設計問題之最佳答案。因之，當繁重的計算已在電腦上顯示，但每一階段設計師仍然站在迴環上，其決定仍然需要人腦作判斷。

作者等及其合作者將繼續發展新的材料，以便涵蓋於未來新的版本，為此對本書讀者和使用者，如能提供高見和建議，甚表歡迎和感謝。

歐德曼 (ARTHUR G. ERDMAN)

杉多爾 (GEORGE N. SANDOR)

# 目 錄

譯者序 .....	I
原作者序 .....	II
<b>第一章 運動學與機構學之介紹 .....</b>	<b>1</b>
1.1 介 紹 .....	1
1.2 運 動 .....	2
1.3 四桿連桿組 .....	3
1.4 相對運動科學 .....	5
1.5 運動線圖 .....	6
1.6 六桿鏈 .....	11
1.7 自由度 .....	18
1.8 分析與綜合 .....	27
習 題 .....	28
<b>第二章 機構設計哲學 .....</b>	<b>55</b>
2.1 介 紹 .....	55
2.2 工程設計之七個階段 .....	57

2.3	七個階段與本書如何關連	63
2.4	機構綜合過程	65
2.5	設計程類與機構參數	69
2.6	故障檢查準繩：徵候、原因，及協助之來源	76
<b>第三章 位移和速度分析</b>		<b>77</b>
3.1	位移分析：連桿組位置分析有用之指標	77
3.2	位移分析	85
3.3	相對運動之觀念	94
3.4	速度分析	96
3.5	瞬時中心	110
3.6	應用瞬時中心作速度分析	121
3.7	機械利益	127
3.8	為決定速度和機械利益之分析法	140
3.9	四桿連桿組運動分析之電腦程式	146
附錄： 複數之溫習 ( 85, 33 )		154
練習		156
習題		162
<b>第四章 加速度分析</b>		<b>199</b>
4.1	介紹	199
4.2	加速度差異	200
4.3	相對加速度	206
4.4	柯若利士加速度	212
4.5	具有曲線槽之機構	232
習題		232



<b>第五章 介紹機構之動力學</b> .....	252
5.1 介紹.....	252
5.2 在連桿組之慣性力.....	258
5.3 以複數法作電影彈性靜力分析.....	269
5.4 重疊法〔 83 〕.....	270
5.5 設計學例：一變速傳動之分析〔 29·78 〕.....	278
5.6 矩陣法.....	290
5.7 重疊與矩陣法對電影彈性靜力之討論.....	300
習 題.....	300

## **第六章 凸輪設計**..... 316

6.1 介紹.....	316
6.2 凸輪與從動件之型式.....	319
6.3 凸輪綜合.....	322
6.4 位移圖.....	324
6.5 高等凸輪輪廓技術.....	341
6.6 凸輪輪廓圖解綜合.....	355
6.7 分析凸輪輪廓之綜合.....	360
6.8 間接從動件之凸輪綜合.....	375
6.9 凸輪調節之連桿組〔 92 〕.....	378
習 題.....	388

## **第七章 齒輪與齒輪系**..... 401

7.1 介紹.....	401
7.2 齒輪齒之名稱.....	407

7.3	齒輪齒之形成	408
7.4	齒輪系	412
7.5	行星齒輪系	416
7.6	公式法	420
7.7	列表法	426
7.8	瞬時中心法或切線速度法	431
	習題	451

## 第八章 介紹運動綜合分析法及圖解和線性分析法 466

8.1	介紹	466
8.2	運動綜合之工作	470
8.3	數字綜合：配合連桿組觀念	483
8.4	尺寸綜合之工具	497
8.5	圖解綜合——運動產生：兩個特定位置〔103〕	497
8.6	圖解綜合——運動產生：三個特定位置	500
8.7	為路線產生之圖解綜合：三個特定位置〔90〕	502
8.8	具有特定時間之路線產生：三個特定位置	504
8.9	路線產生之圖解綜合（無特定時間）：四個位置	506
8.10	函數產生器：三個特定點	510
8.11	覆蓋法	513
8.12	分析綜合技術	515
8.13	以複數法造型運動綜合	517
8.14	並矢型式或標準型式	519
8.15	特定位置數目對自由選擇數目	522
8.16	三個特定位置作為運動，路線，和函數產生	525
8.17	四桿連桿組三個精密點綜合之程式	532

8.18	三個精密點綜合：分析法對圖解法	541
8.19	三個精密點綜合延展至多迴環機構	542
8.20	圓點圓和中心點圓	545
8.21	地面樞點規格〔 82 〕	555
8.22	為三點函數產生之弗利烏譚斯坦方程式	561
8.23	閉環方程式技術	566
8.24	次序綜合：四桿函數產生	569
附錄：	個案研究——普通玻璃窗機構之型式綜合〔 42 〕	572
習題		596
<b>參考書誌</b>		623

# 第一章 運動學與機構學之介紹

## 1.1 介紹 (INTRODUCTION)

工程是基於數學、物理學，與化學等基本科學。在多數情形，工程是應用此等科學之一種或多種基本原理分析自某種能源變換成一種或多種輸出。固體力學是物理學之分支，可分三種主要之再分支，即：運動學 (KINEMATICS)，此是研究相對運動；次是靜力學 (STATICS)，此是研究力與力矩，與運動無關；再次是動理 (力) 學 (KINETICS)，此是研究力對物體之作用。運動學與動理學的聯合則稱為動力學 (DYNAMICS)。本書將描述用以完成機構設計所需適當之數學、運動學及動力學。

機構是一種機械設施，此種機械設施，則可自一個能源傳輸運動及/或力量至一個輸出。一個連桿組 (LINKAGE)，含有若干連桿，見表 1.1，通常為堅實連桿，而以接頭相連接，見表 1.2。此等接頭可為銷 (或轉銷)，或稜柱接頭，以形成開式或閉式鏈 (或環)。此等運動鏈，最少有一支連桿固定，(1)若此運動鏈至少有其他兩支可動連桿者，則此運動鏈就成為機構；(2)若此運動鏈無其他連桿可動者，則此運動鏈就成為結構 (STRUCTURES)。換言之，一機構在其堅實連桿之間許可有相對運動，則結構在其堅實連桿之間並無相對運動。由於連桿組可製成簡單之機構，可設計以作複雜之工作，諸如非直線運動及力的傳輸，此等複雜之工

作，本書中將予特別強調。本書所提供之若干連桿組設計技術乃是基於電腦對機構學理論再起之結果。甚多設計方法，早在 1960 年代以前發明，可是由於冗長而繁複的計算使人氣餒，在該時節未能再作發展。

## 1.2 運動 (MOTION)

大多數機構所呈現之運動，其連桿係在平行面上移動。本書將強調此種運動，此種運動稱為二維運動、平面運動，或共面運動。共面堅實體運動含有對垂直於運動平面之軸之旋轉運動和平移運動，在堅實體之所有點則沿相同之直線路線或曲線路線移動，堅實體埋置之所有線，則均保持與其原始方位相平行。空間機構，將在高等機構設計第六章討論則許可在三維空間移動。對三個不平行軸之旋轉和對三個方向之平移之配合亦有可能對，視接頭所施之約束而定（球狀、螺旋、圓柱等，見高等機構設計，表

6.1)

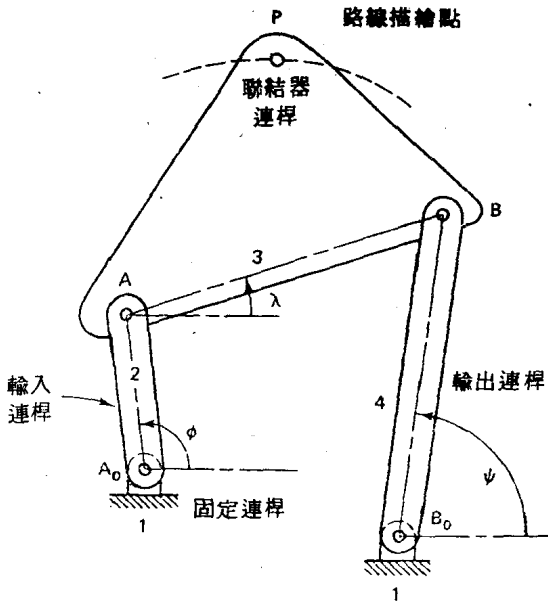


圖 1.1

### 1.3 四桿連桿組 (THE FOUR-BAR LINKAGE)

各種機器和設施均應用機構。最簡單之閉環連桿組則為四桿連桿組，此種四桿連桿組含有三個移動連桿，一個固定連桿，和四個銷子接頭，見圖 1.1。此一連桿係連接動力源或原動機，稱為輸入連桿 ( $A_0A$ )。輸出連桿則將移動樞點  $B$  與地面樞點  $B_0$  相連接。聯結器或浮動連桿則將兩移動樞點  $A$  與  $B$  相連接，因之將輸入連桿與輸出連桿相連接。

圖 1.2 所示為三種應用，以四桿連桿用以完成不同之工作。圖 1.2 a 之水平動臂起重機是一種空間式之四桿連桿，此種連桿之路線描繪點 ( $P$  點) 可產生近乎直線運動。此種型式之起重機可定額為 50 噸之容量，通常其聯結器描繪點直線行進距離約長 9 公尺。

圖 1.2 b 所示為一草地噴水器之驅動連桿組，此連桿組可以調節，以得噴水頭不同之擺動範圍。此種可調節之連桿組可應用夾緊螺絲變更輸出連桿之長度和角度而變更其功用。圖 1.2 c 所示為四桿汽車引擎蓋連桿組設計。此連桿組可控制引擎蓋與車架之間之相對運動。

圖 1.2 所示之三種應用甚不相同，事實上，此三種應用代表著三種不同之工作，亦即是所有機構以應用分類：路線之產生、功用之產生，和運動之產生（或堅實體之導引）。在路線之產生（圖 1.2 a），吾人重視描繪點之路線。一功用產生器（圖 1.2 b），則為一連桿組，其連接於地面連桿之間之相對運動（或力量），乃吾人有興趣者。在運動之產生（圖 1.2 c），則聯結器連桿之整個運動乃吾人所重視者。此等工作，將在本書第二章和第八章作深入之討論。

四桿連桿組若使一個連桿或多個連桿為無限長度，就能產生某種空間型式。圖 1.3 所示之滑件曲柄（或曲柄滑件）機構是一種四桿鏈機構，以一滑件代替無限長之輸出連桿。內燃引擎即製造有此種機構，其曲柄為連桿 2，連桿為聯結器（連桿 3），活塞則為滑件（連桿 4）。

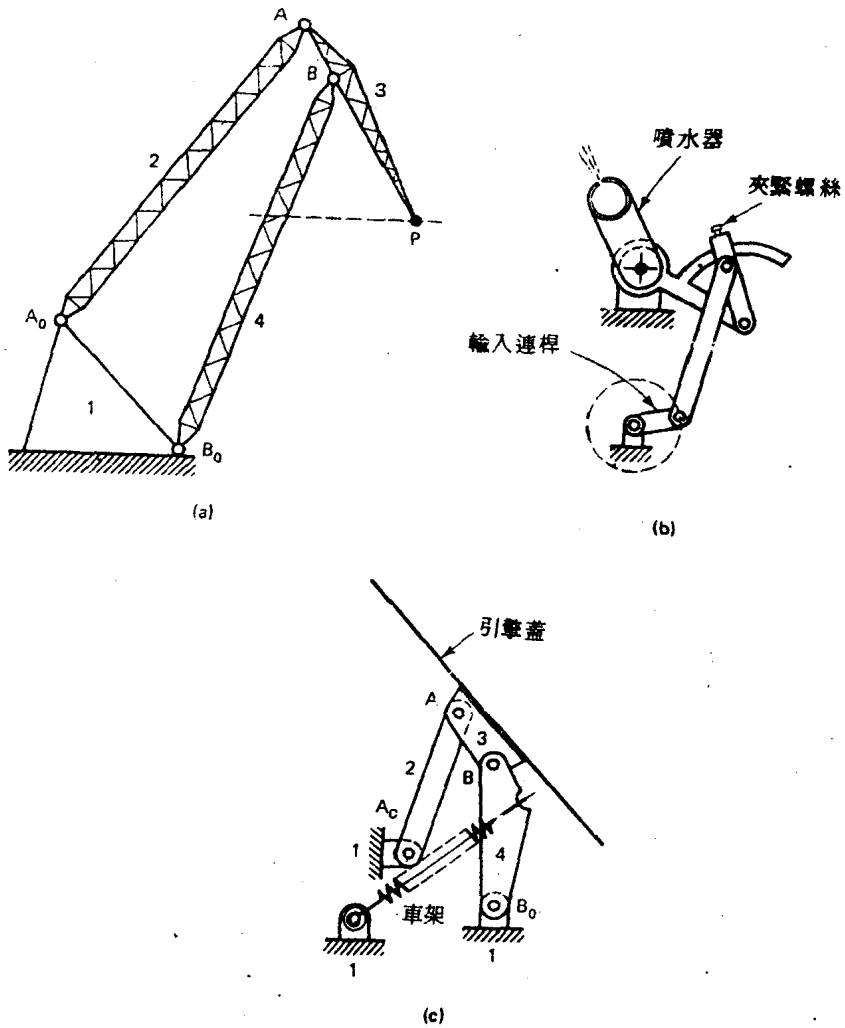


圖 1.2

四連桿機構之其他型式，其滑件係為移動連桿所引導，而非為固連桿所引導。此稱為滑件曲柄倒置，此在另一連桿（曲柄、聯結器，或滑件）為固定連桿時發生之。第 3.1 節指出滑件曲柄倒置之若干應用。

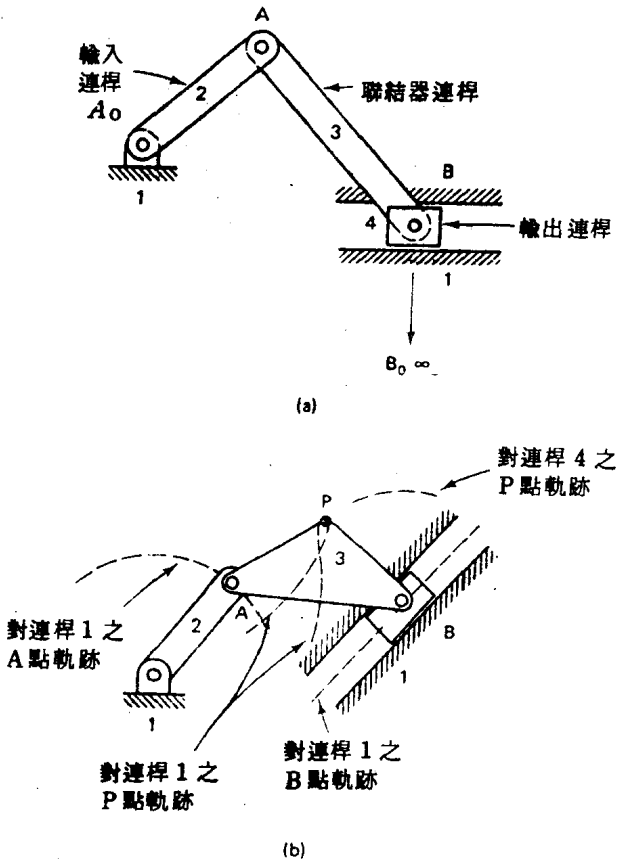


圖 1.3

### 1.4 相對運動科學 (THE SCIENCE OF RELATIVE MOTION)

在自然界所觀察之所有運動是相對運動，亦即觀察物體對觀察者之運動為相對運動。舉例說，乘坐於公車之乘客對在公車站等候之觀察者乃是相對移動，但對其他乘坐於公車內之乘客而言，則是相對靜止。反之，乘客在公車走道走動時，對乘坐於座位之乘客而言則是相對運動，對在公車站等候之觀察者而言，亦是相對運動。



研究運動與運動學，稱為相對運動科學。設計和分析機器及機構，則視設計師觀察機器構件之相對運動之能力而定。本章之一個主要目的，則在使讀者熟悉由各種連桿機構所產生之運動，從而基於此項基本瞭解，準備分析和綜合問題。圖 1.3 b 指出一滑件曲柄連桿組和一個三角形聯結器連桿  $ABP$ 。聯結器連桿之每一個點描繪一不同之路線，此稱為對地面（連桿 1）之聯結器曲線。 $A$  點則描繪出以  $A_0$  為中心之圓弧， $B$  點則以一直線行進，而  $P$  點則描繪出一更為複雜之曲線。所有此等聯結器曲線，乃是連桿 3 絕對運動之部。假定  $P$  點對連桿 4 以代替連桿 1 之路線有其需要，則此項相對運動可以想像一人坐於連桿 4 而觀察連桿 3 之運動得之，尤以在連桿 3 之特別  $P$  點觀察得之。換言之，吾人將機構顛倒，固定連桿 4（滑件）以代替連桿 1，將其他機構（包括先前固定連桿）對連桿 4 移動。此時  $P$  點對連桿 4 之相對路線是以  $B$  點為圓心之一段圓弧。因之，絕對運動是相對運動之一特別情形。

## 1.5 運動線圖 (KINEMATIC DIAGRAMS)

雖然四桿連桿與滑件曲柄係極為有用之連桿組，並有幾千種的應用，但是吾人稍後可以看出，此等連桿組具有有限度的性能位準。具有多構件之連桿組，常用於需要更多要求之情形。

圖 1.4 所示為一多環機構典型之應用，此種多環機構則需要一機械連桿組。一玻璃窗必需自窗框向外啓開  $90^\circ$ ，自一邊必需具有足夠距離，以符合出口規則，而在窗框外邊必需具有足夠之空間以便清理。又，操縱連桿組所需力量應該適當，以使用手操作。圖 1.4 a 及 1.4 b 分別指出在  $90^\circ$  及  $30^\circ$  位置之普通玻璃窗操作機構。

如圖 1.4 所示之多環連桿組之移動，常難以目視觀察，尤其當其他構件呈現於同一圖上為更甚。比較複雜之機構運動分析之第一步，則為草繪當量運動圖或骨架圖。此需要一分解之線狀圖，諸如圖 1.5 所示。此種骨