

科學圖書大庫

高等機構設計

譯者 徐萬椿

徐氏基金會出版
世界圖書出版公司

科學圖書大庫

高等機構設計

譯者 徐萬椿

徐氏基金會出版
世界圖書出版公司

高等机构设计
徐万椿 译

徐氏基金会(台) 出版
世界图书出版公司
(北京朝内大街137号)
北京中西印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

1990年3月第一版 开本: 850×1168 1/32
1990年3月第一次印刷 印张: 25.25

ISBN 7-5062-0659-5

定价: 12.40元

经徐氏基金会允许, 世界图书出版公司重印, 1990
限国内发行

譯 者 序

本書原名ADVANCED MECHANISM DESIGN: ANALYSIS AND SYNTHESIS, VOLUME 2。由杉多爾教授 (PROFESSOR GEORGE N. SANDOR) 和歐德曼教授 (PROFESSOR ARTHUR G. ERDMAN) 所著。共分六章敘述：第一章，介紹運動學和機構學。第二章，以圖解法和線性分析法介紹運動綜合。第三章，連桿組之運動綜合。第四章，路線曲率理論。第五章，機構之動力學。第六章，空間機構和機器人介紹。本書係由兩位教授之教育經驗，研究工作，顧問服務，以及無數論文精粹之集體創作，內容豐富新穎，適用於大學機械工程系高年級學生或研究生之用。美國各大學已競相採用。本書具有足夠之理論背景，瞭解現代機構設計技術，以電腦協助機構設計之方法，該屬本書之特色。

本書係機構設計之延續，但兩書可分別獨立研讀運用，適合我國大綱機械工程系之用。對機構設計師更是不可或缺之典籍。

本書係以平實之筆法譯述，最低限度做到信達二字。所有專門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，謬誤之處定然難免，尚祈 先進指正，是為序。

徐 萬 椿 謹 序

作者序

本書分成上册與下册。上册為機構設計，分析與綜合；下册為高等機構設計，分析與綜合。此上下兩册機構設計，是作者等過去十五年之教育、研究，顧問服務，工作同仁之貢獻，和已發表論文之採納而成。故此書代表着作者等在機構設計三十年之教育經驗，和為三十五家公司作機構系統分析與設計顧問服務之集體成果。

此項著作代表着研究運動學，動力學，電影彈性動力學分析和綜合一般方法之絕頂，最初係由杉多爾博士(DR. SANDOR)之博士論文開始，該論文之指導教授為哥倫比亞大學(COLUMBIA UNIVERSITY)之弗利烏譚斯坦博士(DR. FREUDENSTEIN)，接着又成功地提出100篇以上之論文。作者等之目的，則在提供適時、電腦導引，而易於教育之教本，內容甚多已經解答之舉例，在每章之末並有習題。

此兩書之標題，特為學生所選擇，一方面具有足夠之理論背景，以瞭解現代機構設計技術，在另一方面，要發展應用此等理論之技術於實務。此兩書之另外之目的，則為實習設計師作為參考，和為研究人員作為研究工作來源。關於此點，以電腦協助機構設計之方法，是其處理之特色。極為有用而富資料性之圖解技術，與電腦協助之方法，包括交互圖解之應用，可提供學生和實習設計師以有力之機構設計工具。在此種情形下，作者等企圖使學生和繁忙之實習設計師即時可有現代運動分析和綜合資料，不必閱讀大量相關文獻，並消化其內容。

自工業界之甚多設計學例和個案研究，均已包含於本兩書內。此等設計學例和個案研究，均例示複數法和其他連桿組分析與綜合技術之用途。此外，在本兩書中每章之末有甚多習題。每書中有 250 個以上習題是雙重度量制，代表公制和英制之混合制。

作者等認為學生方面只需具備數學和力學之基本知識。本書上册可作為低年級在機構之運動分析和綜合課程一學期或兩學期之用。舉例說，為一個學期之獨立課程，可將第六章與第七章（凸輪與齒輪）可予省略。本書下册所含之內容，可為研究生一學期或兩學期之用。所選之章，可為特別一季或一學期課程之用。舉例說，第五章，機構之動力學——高等觀念，可與第二章和第三章之部份聯合運用，成為一個課程，包括電影彈性靜力學，時間反應，振動、平衡，和連桿組機構之電影彈性動力學，後者並包括堅實轉子平衡。

上面所述，只是幾個學例，本書能夠如何運用。不過，由於多數諸章均屬獨立，教師可為某種目的，運用其他各章，或與他章配合運用。每書之末，附有豐富之參考書單，對有興趣之讀者作進一步之閱讀和研究，極有幫助。本書上下册均為獨立之整體，相互不必參閱，因為上册之第一章和第八章，即是下册第一章和第二章之重複。

每册之內容，茲簡述如下。上册第一章，介紹運動學與機構學，是機構設計之一般基本。第二章，機構設計哲學，包括設計方法學，可用作選擇本書某特別之章以處理在機構設計或實際操作所發生之特定工作和問題之準繩。第三章，位移和速度分析，討論以圖解法和分析法求絕對速度和相對速度，接頭力量，以及機械利益；此含有所有必需之資料，以發展一複數為基之電腦程式，以分析能配合於各種電腦之四桿連桿組。第四章，加速度分析，係以圖解法和分析法以決定加速度差異，相對加速度和柯若利士加速度（CORIOLIS ACCELERATION）；此解釋共面機構之速度當量，以舉例例示其觀念。第五章介紹以各種方法作動力分析和運動

分析，並強調機構連桿之自由體積。第六章則提示簡單凸輪和從動件系統，以及凸輪調節連桿組之設計方法。第七章，則使學生熟悉漸開線齒輪和齒輪系，包括速度比，以及行星齒輪系之力和動力流之分析。上册之結尾章第八章，是介紹應用基於一標準型複數法以圖解和閉式線性分析法作共面機構之尺度綜合。此處理單迴環和多迴環機構之綜合作為具有第一次序和較高次序之函數產生器，路線產生器，和運動產生器。

本書下册第一章亦如上册第一章介紹運動學與機構學作為開始。下册第二章與上册第八章相同。第三章，以閉式非線性法包括布麥斯脫理論，完成展延其共面分析運動綜合至大於三個狀況精密，並描述一電腦封裝“LINCAGES”以承擔電腦負荷。擺線曲柄連桿組與齒輪連桿組亦包括在內。第四章提示以奧衣勒沙弗爾方程式（EULER-SAVARY EQUATION 簡寫為ESE）新而明確型式之一種新的電腦複數法於共面路線曲率理論，並描述鮑勃利爾構造（BOBILLIER'S CONSTRUCTION 簡寫為BC），說明奧衣勒沙弗爾方程式法（ESE）和鮑勃利爾構造法（BC）相當。第五章為機構動力學之廣泛處理。此包括矩陣法，拉格朗日法（LAGRANGIAN APPROACH），自由振動和阻尼振動，振動隔絕，堅實轉子平衡，及為搖動力和搖動力矩之連桿平衡，所有均係參照電腦程式。此又包含電影彈性動力學（KINETO-ELASTODYNAMICS，簡寫為KED）之介入，此是高速機構之研究，通常，堅實連桿假定由於慣性力在彈性連桿中所引起之應力和應變，必需予以鬆弛。堅實體之運動學和動力學與彈性有限元素技術相聯合，以協助解決此種複雜問題。本書下册之最後一章，第六章，包含三維空間機構之位移分析，速度分析，和加速度分析，包括應用矩陣法之機器人操縱。此包含奧衣勒角（EULER-ANGLE）旋轉之一易於教育和易於看見之處理。本書下册之此一章，以介紹若干工具及其空間運動綜合之應用以舉例說明作為結束。

鑒於大學發展標準之法定要求，以增加機械工程課程之設計內容，本書上册與下册，就設計觀點研究機構學，將提供最佳之媒介。本書上册與下册又能配合工程課程之電腦協助之機構設計（CAD/CAM），和電腦協助之工程（CAE）。甚多電腦程式已包括科本中之流程表和舉例輸入與輸出表，或可經由作者取得之。

在本書之複數法係用作相互作用電腦程式之基本，此係利用圖解輸出和陰極射線管（CRT）顯示終端。設計師可不必研究基本理論，能以電腦介面於線圖螢光幕，並開發成千交替之可能，以為設計問題找出一最佳之答案。因之，當繁重之計算依賴電腦，設計師仍然在每一階段之迴環上，其決定仍然需要人腦作判斷。

作者等欲對甚多同仁和學生表示感謝，但是人數實在太多，不能一一列舉芳名，此等人士在準備本書時，提供評論，建議，製作及/或核對舉例，在某些章節並提供第一手之草稿。後者部份，則有密特哈博士（DR. ASHOK MIDHA），準備電影彈性動力學（KED）部份，黎果（DIANNE REKOW），準備平衡部份；威廉博士（DR. ROBERT WILLIAMS），準備空間機構；及李萊博士（DR. DONALD R. RILEY），首先教授此教本，提供甚多改進之建議。其他提供顯著之貢獻者，則為高斯塔夫遜（JOHN GUSTAFSON），李亨（LEE HUNT）卡爾遜（TOM CARLSON），習士（RAY GIESE），達羅甫（BILL DAHLOF），威斯（TOM CHASE），王洪（SERN HONG WANG），譚迪博士（DR. SANJAY G. DHANDE），施塔爾博士（DR. PATRICK STARR），卡松博士（DR WILLIAM CARSON），雷霍茲博士（DR. CHARLES F. REINHOLTZ），習羅拉摩（MARTIN DI GIROLAMO），宋克龍（XIRONG ZHUANG），楊相白（SHANG-PEI YANG），以及其他人士。

作者等對下列單位表示由衷的謝意，機械系統計畫，土木工程系和機械工程系，國家科學基金會，以 MEA - 8025812 號研究經費贈予給佛羅里達大學 (UNIVERSITY OF FLORIDA)，由此，本書中方能含有曲率一章，並能在雜誌上發表若干篇論文。例示圖與個案研究之資料來源，已在科本中和插圖中說明並致謝。其他支援人士，甚多雜誌論文之作者，作者等表示感謝，其芳名和論文，均已列於參考資料。此等資料皆已列入本書。

作者等和共同研究同仁，將繼續發展新的材料，以便包涵於未來之版本。關於此點，作者對於讀者和使用本書教授們之高見與建議，當為採納，特先致謝。

杉多爾 (GEORGE N. SANDOR)

歐德曼 (ARTHUR G. ERDMAN)

謹 序

目 錄

譯 者 序.....	I
作 者 序.....	II
第一章 運動學與機構學之介紹.....	1
1.1 介紹.....	1
1.2 運動.....	2
1.3 四桿連桿組.....	3
1.4 相對運動之科學.....	5
1.5 運動圖.....	6
1.6 六桿鏈.....	11
1.7 自由度.....	18
1.8 分析與綜合.....	27
習題.....	28
第二章 介紹運動綜合分析法及圖解和線性分析法.....	55
2.1 介紹.....	55
2.2 運動綜合之工作.....	59

2.3 數字綜合：配合連桿組觀念	72
2.4 尺寸綜合之工具	86
2.5 圖解綜合—運動產生：兩個特定位置	86
2.6 圖解綜合—運動產生：三個特定位置	89
2.7 為路線產生作圖解綜合：三個特定位置	91
2.8 具有特定時間之路線產生：三個特定位置	93
2.9 為路線產生之圖解綜合（無特定時間）：四個位置	95
2.10 函數產生器：三個精密點	99
2.11 覆蓋法	102
2.12 分析綜合技術	104
2.13 在運動綜合之複數模製	106
2.14 並矢型式或標準型式	108
2.15 特定位置數目與自由選擇數目	111
2.16 三個特定位置之運動產生，路線產生和函數產生	114
2.17 為四桿連桿組三個精密點之綜合程式	121
2.18 三個精密點之綜合：分析法和圖解法	130
2.19 三個精密點綜合延伸至多迴環機構	131
2.20 圓點圓和中心點圓	134
2.21 地面樞點規格	144
2.22 為三點函數產生之弗利烏譚斯坦方程式	150
2.23 閉環分程式技術	155
2.24 次序綜合：四桿函數產生	158
習題	185
第三章 連桿組之運動綜合	212
3.1 介紹	212

3.2	四個特定位置：運動產生	212
3.3	四個特定位置之解答程序	216
3.4	四個特定精密點之電腦程式	221
3.5	具有四個一定分隔特定位置之運動產生：	
	三個特定點之兩種情形之重疊	225
3.6	四個位置綜合之特別情形	228
3.7	運動產生：五個位置	238
3.8	五個特定位置之解答程序	242
3.9	布麥斯脫點對點理論之延伸：	
	具有特定時間之路線產生及函數產生	245
3.10	布麥斯脫理論之再延伸	253
3.11	多環連桿組機構之綜合	260
3.12	雙目標多環機構之應用	262
3.13	齒輪連桿組之運動綜合	275
3.14	多分隔位置綜合之討論	288
	習題	316
第四章 路線曲率理論		362
4.1	介紹	362
4.2	固定瞬心線與移動瞬心線	362
4.3	速度	367
4.4	加速度	376
4.5	廻折點和廻折圓	380
4.6	奧衣勒—沙弗利方程式	386
4.7	鮑勃利爾之構造	394
4.8	共線軸	398

4.9	鮑勃利爾之定理	400
4.10	哈脫曼之構造	401
4.11	勃利西圓	406
4.12	加速度場	408
4.13	回行圓	411
4.14	會切圓	413
4.15	結點	414
4.16	ρ 曲線	414
4.17	為移動平面四個無窮小緊密位置之二次固定曲率 或布麥斯脫圓點曲線和中心點曲線	417
4.18	為四個無窮小分隔之位置之圓點曲線和 中心點曲線	426
4.19	鮑爾點	429
	習題	430
第五章 機構之動力學		446
5.1	介紹	446
5.2	應用矩陣法之電影彈性靜力分析複習	446
5.3	時間反應	458
5.4	機構時間反應之變更	470
5.5	虛假工作	473
5.6	拉格朗日之運動方程式	481
5.7	單一自由度系統之自由振動	498
5.8	自由振動之衰變	503
5.9	具有單一自由度之系統之強迫振動	507
5.10	轉子平衡	518

5.11	連桿組之力量 and 力矩平衡介紹	526
5.12	力量平衡	527
5.13	擺動力矩平衡	540
5.14	力矩平衡對輸入轉矩之效應	559
5.15	平衡連桿組之其他技術	567
5.16	力量平衡和力矩平衡之電腦程式	570
5.17	平衡——附錄 A：複擺	576
5.18	平衡——附錄 B：配重外形對平衡之效應	583
5.19	高速彈性機構之分析	584
5.20	在平面運動之彈性梁元素	588
5.21	梁元素之位移範圍	591
5.22	元素質量和剛性矩陣	592
5.23	系統質量和剛性矩陣	596
5.24	彈性連桿組模式	599
5.25	總系統矩陣之構作	599
5.26	運動方程式	605
5.27	在連桿組之阻尼	606
5.28	堅實體加速度	609
5.29	應力計算	610
5.30	解答之方法	612
	習題	637
第六章 空間機構和機器人介紹		650
6.1	介紹	650
6.2	描述共面有限位移之變換	659
6.3	共面有限變換	660

6.4 恒等變換.....	662
6.5 爲有限旋轉之共面矩陣運算子.....	663
6.6 齊次座標和有限共面平移.....	664
6.7 有限位移之連繫.....	666
6.8 對不通過原點之軸之旋轉.....	670
6.9 堅實體變換.....	672
6.10 空間變換.....	673
6.11 空間機構之分析.....	695
6.12 以初等矩陣爲連桿和接頭造型.....	703
6.13 一工業機器人之運動分析.....	716
6.14 位置分析.....	736
6.15 速度分析.....	740
6.16 加速度分析.....	742
6.17 在三維空間之點之運動.....	746
6.18 舉例：一三維機構之運動分析.....	749
6.19 空間機構之綜合.....	752
6.20 空間機構之向量綜合.....	762
習題.....	775
練習.....	786
參考資料	792

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)

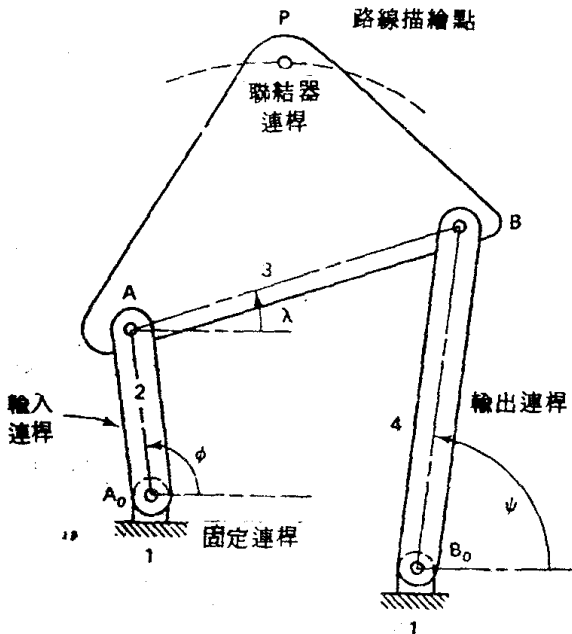


圖 1.1