

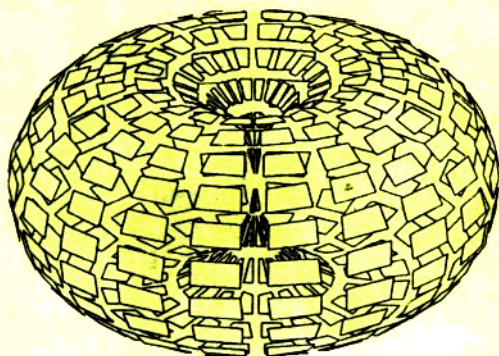
電腦輔助設計與製造

ELEMENTS OF COMPUTER-AIDED DESIGN AND MANUFACTURING

CAD/CAM

原著者：Y. C. Pao

譯述者：劉柏宏



科技圖書股份有限公司

電腦輔助設計與製造

Elements of Computer-Aided
Design and Manufacturing
(CAD/CAM)

原著者：Y. C. Pao

譯述者：劉 柏 宏

科技圖書股份有限公司

659489



A0401809

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書名：電腦輔助設計與製造
原著者：Y. C. Pao
譯述者：劉柏宏
發行人：趙國華
發行者：科技圖書股份有限公司
台北市重慶南路一段49號四樓之一
電話：3118308・3118794
郵政劃撥帳號 0015697-3

七十五年七月初版

特價新台幣 220 元

原 序

本書初稿原係供 Nebraska 大學 1982~83 學年春季班預備課程“電腦輔助設計 (CAD)”的講義用。這是 Nebraska-Lincoln 大學，工藝學院配合課程的一部分，使在學院中研修課程時，能用電腦輔助設計與製造等技術。

因購置兩部 Tektronix 4054 電腦繪圖系統，可順利發展本書中所提出的各種電腦程式、顯示、以及硬拷貝。第一部 4054 系統係在 1982 年三月，由 Nebraska 大學基金會 Fred J. Kelly, II 基金中撥款購置。這是著者擔任研究主任時提出的開講與研究建議書，並得 R.T. DeLorm, L. Kersten, C. W. Martin, R.N. McDougal, 以及 G. M. Smith 諸教授贊助的結果。隨後，由 Nebraska-Lincoln 大學，工藝學院撥出基金購置第二部 4054 系統。對所有的此等支持，著者均表謝意。

此處提出的許多 BASIC 程式，係由以往著者出版著述中的 FORTRAN 程式轉譯而來。曾對準備此等程式具有貢獻的研究生助教與友人，計有：L.C. Chang, T.A. Huang, W. T. Kao, C.M. Lin, M. N. Maheshwari, G.K. Nagendra, J. Nikkola, K. A. Peterson, R. M. Sedlacek, D.S.S. Shy, A. J. Wang, J.D. Wilson, 與 S. J. Zitek。其中一部分曾接受通運汽車公司 CAD/CAM 獎學金計畫的獎助。著者感謝彼等以及通運汽車公司對本書的貢獻。

波音公司的 Leon Hill, IBM Thomas J. Watson 研究中心的 Han-Chung Wang 博士，與 Mayo 診所的醫學博士 Erik L. Ritman 均曾詳讀本書手稿，並對本書的內容提過無數建設性建議。著者對此種長遠的友情及其無價的貢獻，深表感激。

2 電腦輔助設計與製造

著者亦對 Minnesota 大學的 Donald R. Riley, Ohio 州大學的 Gary L. Kinzel, 及 Bridgeport 大學的 Lawrence L. Durocher 等教授以及 Boeing 電腦服務公司的 Kenneth W. Neves 博士等表示謝忱。經彼等的審查, 曾提供許多建設性的修正建議, 尤其是在增列經發展所得的 BASIC 程式的某些 APPLE, IBM, 與 TRS-80 BASIC 譯本方面, 有利於未備高度解像力的 Tektronix 4054 系統, 但擁有一部大眾化微電腦的讀者。因之, 乃附有附錄 D, 用來滿足一部分的此項需要, 並提出一些有關 PLOT-10 軟體的應用。Nebraska-Lincoln 大學化學系教授 David W. Brooks 與機械工程系教授 George R. Schade 允許著者與助教使用彼等的 IBM 個人電腦與 APPLE 微電腦, 亦多所感謝。

Louise Simmons 夫人曾代著者甚多著作打字, 同時, 本書的大部亦係其熟練的技巧成果。值得一提的是, 與編輯同仁一起工作, 甚感暢快。彼等衷心的, 審慎的, 辛勤的工作, 並且極為合作。這是一段快樂而值得回憶的經驗。著者對彼等, 尤其是 Bill Stenquist, Susan Winick, Elyse Rieder, 以及 Cindy Stein 均致由衷的感謝。最後, 著者拙荆 Rosaline Shao-Ann 在從事著述本書期間的容恕與瞭解, 必需值得一提, 且深致謝忱。

Y. C. Pao

電腦輔助設計與製造

目 錄

原 序

第一篇 交談式電腦製圖與CAD 簡例

第一章 緒 論

1.1 電腦輔助設計與電腦輔助製造 (CAD/CAM)	2
1.2 工程起草與電腦製圖	6
1.3 交談式繪圖	7
1.4 機器人 [*]	13
1.5 CAD/CAM課程的發展	17
1.6 本書目的與範圍	17

第二章 CAD/CAM 的硬體

2.1 導 論	22
2.2 加法機器、袖珍電算機與電腦	23
2.3 位元、位元組與字組	27
2.4 陳列處理機 [*]	28
2.5 輸入與輸出設備	29
2.6 通路、埠頭與中斷	31
2.7 調變器	32
2.8 圖形顯示	33
2.9 交談設備	35

第三章 CAD/CAM 的軟體

3.1 導 論	40
---------------	----

2 電腦輔助設計與製造

3.2	數系	41
3.3	整數(定點)與實數(浮點)	43
3.4	符號的處理	45
3.5	陰極射線管顯示符號與圖形	47
3.6	程式語言	48

第四章 電腦描圖與顯示

4.1	導論	52
4.2	電腦描圖之基本概念	53
4.3	描繪曲線的平滑情況	55
4.4	繪製重複圖形	58
4.5	顯示與解像度	61
4.6	齒輪牙剖面	62
4.7	旋轉	65
4.8	平移	69
4.9	定比例	70
4.10	顯示程式與例題	71
4.11	觀察埠頭	76
4.12	窗	78
4.13	剪裁	82
4.14	三維物體的透視投影	85
4.15	隱藏線算法	89
4.16	程式 CONTOUR	103

第五章 交談式繪圖

5.1	導論	114
5.2	指撥輪,亮筆與搖桿	116
5.3	交談式剪裁舉例	118
5.4	繪圖版	121
5.5	自定鍵	136

5.6	組 件.....	147
5.7	動態圖與動畫.....	149

第六章 電腦輔助繪圖、設計與分析簡例

6.1	導 論.....	154
6.2	齒輪配對.....	155
6.3	凸輪剖面設計.....	162
6.4	線圈型彈簧的設計.....	168
6.5	橫斷面分析：面積、形心與慣性矩.....	171
6.6	Mohr 圓 - 特徵值問題.....	179
6.7	交談式定尺寸.....	186
6.8	管路圖用的 P.MODULE	193
6.9	將版上圖／表拷貝到 CRT 與資料檔	205
6.10	曲柄與滑桿機構運動.....	210
6.11	Wheatstone 電橋：平衡電路元件.....	217

第二篇 CAD/CAM的元件與分析

第七章 元件與系統的模式化

7.1	導 論.....	224
7.2	能量消耗元件.....	225
7.3	能量儲存元件.....	229
7.4	能量變換元件.....	235
7.5	LCR 串聯電路與阻抗	236
7.6	線性系統的類比與模式.....	238
7.7	系統反應的分析解（雙槽問題）.....	242
7.8	時間領域中的設計規格.....	252
7.9	Wheatstone 電橋問題 - 列出矩陣控制方程式	255
7.10	結論與註釋.....	257

第八章 系統變換函數的操縱

8.1	導 論	262
8.2	變換函數	262
8.3	頻率反應	265
8.4	操縱變換函數的方塊圖	267
8.5	頻率領域中的設計規格	273
8.6	BODE 分析	276
8.7	系統的補償	286

第九章 有限元素矩陣分析初階

9.1	導 論	294
9.2	有限元素分析	294
9.3	數值例題	299
9.4	電腦程式 TRUSS.FE	302
9.5	前階段處理與後階段處理	306
9.6	程式 FINITE.E	314
9.7	流體的流網圖	326
9.8	程式 PIPEFLOW	329
9.9	電路網中的導納矩陣	336

第十章 基本數值分析解法

10.1	導 論	346
10.2	向前差分近似法	347
10.3	混合槽問題	353
10.4	熱交換器	358
10.5	樑分析與設計	364
10.6	四連桿組合的疊代處理過程	373
10.7	相繼線性內插法	379
10.8	面積與體積的計算	382

10.9 結論與註釋.....	386
-----------------	-----

第十一章 類比與混合電腦之應用

11.1 導 論.....	390
11.2 半導體二極管.....	391
11.3 雙極連接電晶體.....	392
11.4 放大器.....	394
11.5 電位計.....	395
11.6 運算放大器.....	396
11.7 工程系統的類比模擬.....	399
11.8 定比例步驟.....	401
11.9 函數產生器.....	406
11.10 雙槽問題的類比模擬.....	408
11.11 非線性類比模擬 - 混合槽問題.....	411
11.12 數位 - 類比變換器.....	414
11.13 類比 - 數位變換器.....	416
11.14 電腦輔助繪圖的類比圖 A. MODULE.....	418

第十二章 高等與雜項論題

12.1 導 論.....	430
12.2 參數研究.....	431
12.3 最適研究：旋轉圓盤問題.....	438
12.4 公共汽車的最適路線.....	445
12.5 製造過程的數值控制 (NC).....	447
12.6 用APT 語言寫得的NC 程式例 - 機製凸輪剖面.....	450
12.7 軸對稱殼繞線用的CAD/CAM.....	452
12.8 四連桿組合的 $y = \log x$	460
12.9 編後記.....	469

附錄A 矩陣代數CRAMER法則與 GAUSS 消去法

6 電腦輔助設計與製造

A.1	導 論	471
A.2	矩陣加法與減法	473
A.3	矩陣乘法	473
A.4	方陣的反演	475
A.5	CRAMER 法則	476
A.6	矩陣方程式的解	478
A.7	副常規 BANDEQ	483

附錄B 多項式根的Bairstow解法

B.1	導 論	487
B.2	迭代步驟 Newton-Raphson 法	488
B.3	計算諸 b' 值與諸偏導數值用式	489

附錄C Laplace 變換

C.1	導 論	494
C.2	由微分方程式變換成代數方程式	497
C.3	Laplace 變換的反演	500

附錄D 發展諸程式FORTRAN譯本，與 APPLE，IBM，與TRS BASIC 等譯本

D.1	FORTRAN 譯本	502
D.2	BASIC 副常規 VIEW, WIN	510
D.3	BASIC 程式的APPLE 譯本	513
D.4	BASIC 程式的IBM 譯本	517
D.5	RADIO SHACK TRS-80 BASIC 程式	524

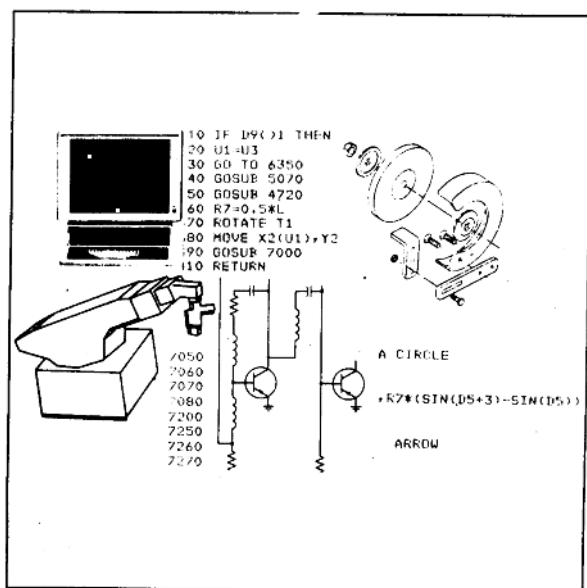
FORTRAN, BASIC 與電腦繪圖指令

交談式繪圖與CAD/CAM 程式索引

第一篇

交談式電腦製圖與CAD簡例

第一章 緒 論



1.1 電腦輔助設計與電腦輔助製造(CAD/CAM)

設計與製造銷售產品，是工程職業的主要任務。設計人運用其想像力與創造力，通常尚需經過起草、繪製流程圖，與方塊圖、製造試驗用模型，以及執行實驗等處理過程。必需在有限經費內，對有限可獲得的材料數量以及製造技術加以採擇，並克服既有的各種限制，達成任務。經過一段試驗性 (trial) 過程，設計人對其問題益加通曉，終於得到滿意解答。

在實際情況中，符合設計規範 (specification) 的各種可能途徑，均公開在設計人面前。開始的初步設計可能符合一部分規範，但不



圖 1-1 利用交談式繪圖設備，作小客車某部分變更設計。

是全部。為要加以修正、改良，並求最適 (optimize) 的設計，則需另加調整 (adjustment)。因之，其中包括相當分量的一再重複工作。電腦最適合從事此項重複性工作，且速度極快，效率特高。因之，在調整步驟中，電腦成為非常重要的角色 (圖 1-1)。

表 1-1 CAD/CAM 在工業中的應用

應 用	具代表性的 應用數量 *
電腦輔助設計	
1. 機器與結構元件及電路版等設計	21
2. 問題求解	17
3. 交談式繪圖設計	14
電腦輔助製圖	
4. 編輯與變更已成圖	14
5. 自動製圖	25
電腦輔助製造	
6. 編製財產，管理作業，人事紀錄 等報表	20
7. 數值控制機	19
8. 材料管理與監督	8
9. 歸併交換資料	4
10. 無破壞性試驗與其他試驗	3

來源：摘自 "Some Common Characteristics in Industrial Applications of CAD/CAM,"
Engineering Design Graphics Journal, American Society of Engineering Education, Fall 1981.
 Courtesy of Professor R. N. McDougal.

* 參閱表 1-3

經選取適合所有規範的設計後，在進行製造設計成品時，亦需借助電腦。微電腦可用在以數值控制機具的運轉，製造過程中的許多其他方面，亦需用電腦作實時 (real time) 控制。

1977 年，Hatvany 等¹曾經對電腦輔助設計的應用，作過調查。晚近，R. N. McDougal 曾將美國對電腦輔助設計 (computer-aided

¹ T. Hatvany, W. M. Newman, and M. A. Sabin, "World Survey of Computer-Aided Design," *Computer-Aided Design*, Vol. 9, No. 2, 1977.

4 電腦輔助設計與製造

design, 縮寫為CAD)與電腦輔助製造(computer-aided manufacturing, 縮寫為CAM)等應用結果, 予以發表。表1-1, 1-2與1-3所列為CAD, CADR與CAM在工業界的各種不同應用情形。其中CADR為電腦輔助製圖(computer-aided draft)的縮寫。根據1981年, 十一月份“工程時報(Engineering Time)”刊載美國職業工程師學會發表的一文中說: “電腦輔助設計與製造(CAD/CAM)世界市場, 將自1980年的九億美元, 提高到1986年的58億美元。”

S. H. Chasen 最近發表的一篇論文中敘述², 五種行業在CAD/

表 1-2 電腦輔助在工業中的應用

應 用	具代表性 應用數量*
電腦輔助製圖	39
1. 自動製圖	25
2. 編輯與變更已成圖	14
電腦輔助設計	
1. 機器與結構元件及電路版等設計	21
2. 問題求解	17
3. 交談式繪圖設計	14
電腦輔助製造	
1. 編製財產, 管理作業, 人事紀錄 等報表	20
2. 數值控制機	19
3. 材料管理與監督	8
4. 歸併交換資料	4
5. 無破壞性試驗與其他試驗	3

來源: 摘自 "Some Common Characteristics in Industrial Applications of CAD/CAM," *Engineering Design Graphics Journal*, American Society of Engineering Education, Fall 1981. Courtesy of Professor R. N. McDougal.

*參閱表 1-3

² S. H. Chasen, "Guidelines for Acquiring CAD/CAM Information," *Computers in Mechanical Engineering*, Vol. 1, No. 1, August 1982, pp. 37-42.

言，由於在此方面的改變，速率驚人，故其提出的報告難期詳盡。但對 CAD/CAM 的未來使用人，有關這方面的知識，以及在市場上如何選取可資利用的硬體（hardware）與軟體（software），則提供一個優良而健全的忠告。

1.2 工程起草與電腦製圖

設計人首先在紙上作草圖，開始其試探性設計。當其設計逐漸發展成最後形式時，需按其審慎繪圖，以便核對所包括的各部分尺寸，是否能作正常裝配。尤其用於製造的圖樣，更需繪出各部分詳細尺寸。工程畫（engineering drafting）幾乎是所有工程教育中所需研修的課程，用來學習有關使用比例尺、訂定尺寸、寫工程字，並設計物體的正投影與輔助投影等技術。

投影幾何是工程畫中的基本角色，可求得與三維設計（three-dimensional design）有關的幾何資料。因所有製圖均為二維的，故必需將三維物體作投影，並導得計算兩直線間、直線與平面間、兩平面間、平面與曲面間等夾角用的，以及計算面積、長度與其他單位用的各類方程式。

電腦採取各種不同方式來協助製圖（見圖 1-2）。由於其速度快精確度高，故可很易用電腦取代人工寫字畫圖，同時，若在設計中常會用到某一標準部分，該部分也可作成電腦常規（routine）一起描繪出來。

電腦描圖、自動製圖、電腦輔助製圖、電腦繪圖以及許多其他名詞，均可交互使用。教授 R. N. McDougal 曾對電腦輔助製圖在教育與工業兩方面的應用加以調查統計。（表 1-4 與表 1-5）。因在這方面的成長極為快速，故本書出版以後，表中所列的已增加了十倍，甚至百倍，不足為奇。

言，由於在此方面的改變，速率驚人，故其提出的報告難期詳盡。但對 CAD/CAM 的未來使用人，有關這方面的知識，以及在市場上如何選取可資利用的硬體（hardware）與軟體（software），則提供一個優良而健全的忠告。

1.2 工程起草與電腦製圖

設計人首先在紙上作草圖，開始其試探性設計。當其設計逐漸發展成最後形式時，需按其審慎繪圖，以便核對所包括的各部分尺寸，是否能作正常裝配。尤其用於製造的圖樣，更需繪出各部分詳細尺寸。工程畫（engineering drafting）幾乎是所有工程教育中所需研修的課程，用來學習有關使用比例尺、訂定尺寸、寫工程字，並設計物體的正投影與輔助投影等技術。

投影幾何是工程畫中的基本角色，可求得與三維設計（three-dimensional design）有關的幾何資料。因所有製圖均為二維的，故必需將三維物體作投影，並導得計算兩直線間、直線與平面間、兩平面間、平面與曲面間等夾角用的，以及計算面積、長度與其他單位用的各類方程式。

電腦採取各種不同方式來協助製圖（見圖 1-2）。由於其速度快精確度高，故可很易用電腦取代人工寫字畫圖，同時，若在設計中常會用到某一標準部分，該部分也可作成電腦常規（routine）一起描繪出來。

電腦描圖、自動製圖、電腦輔助製圖、電腦繪圖以及許多其他名詞，均可交互使用。教授 R. N. McDougal 曾對電腦輔助製圖在教育與工業兩方面的應用加以調查統計。（表 1-4 與表 1-5）。因在這方面的成長極為快速，故本書出版以後，表中所列的已增加了十倍，甚至百倍，不足為奇。