

692678

數位電子計算機原理

Digital Computer
Fundamentals

原著者：Jefferson C. Boyce

譯述者：陳 友 武



科技圖書股份有限公司

692678

數位電子計算機原理

Digital Computer Fundamentals

原著者：Jefferson C. Boyce

譯述者：陳 友 武



05430567

人民财产，加意爱护，
遵守纪律，按期归还。

南 京 工 学 院

73.876

分类号

76.

登录号

692678

科技圖書股份有限公司

原 序

今日各種問題的求解上，電算機確實證明它的能力，也給我們無比的信心。這就是本書要向諸君介紹的主題。

工業革命之後，人們的能力，憑着機械向前邁進一大步。如今，又藉着“智慧”（intellectual）革命的電算機，更拓展了智慧思維的領域。舉例來說，現代化的電算機技術為難以言宣的大量資料提供了儲存的技巧與裝置。試想，一位律師要能靈活運用儲在電算機中的判例、法律、規定與程序等資料，對他該有多大的幫助。原先花在閱讀這些資料的時間，都可有效地用來創新思考，更增益其行業能力。而工程師們典型的設計工作，包括一段短時間的構思，接着一段較耗時的系統分析。如今，可將耗時的分析工作交給電算機執行了。當然，醫生、飛行員、教師等，幾乎每個人都能分享電算機儲存的大量資料，並能在極短時間內處理這些資料的特性與利益。上述理想的實現，全賴電算機與吾們對其發展的使用能力而定。朋友！電算機正是步向未來美好遠景的大門，讓本書為您而開啓吧！

本書在介紹電算機的程序上與一般傳統方式略有不同。雖然，第一章仍依例作一般性的簡介，將讀者諸君引進電算機之門。但第二章就與傳統的介紹程序有所不同了。作者認為在讀者的早期經驗裏，應當建立有關電算機的理論基礎。所以第二章就電算機的各個基本功能單元，作了較詳盡的敘述。諸君當不會為此而覺得苦澀難讀。此一安排，使您對下述各章能更有效地理解，同時也使您與其他的電算機同好能早些溝通意見。

第三章介紹基本電路，並教給諸君，在準備對各功能單元作細節討論時，如何分析這些電路。第五章將利用基本邏輯電路與邏輯簡化（代數及圖解法）向諸君介紹電算機數學——波林代數。第三章的基本電路與第四章的波林代數，將於第五章綜合，以說明許多複雜的電算機功能，諸如：計數（counting）、解碼（decoding）、多工制（multiplexing）等。第六章討論各種資訊的編碼（coding）及如何將其運用於電算機。

第七章詳細介紹電子計算機的控制功能，同時也介紹電算機其他各部門的基本定時原理（basic timing）與資料流程（data flow）。第八章介紹電算機的記憶單元。本章將由高速半導體記憶起到大量儲存的磁帶記憶

數位電子計算機原理

裝置止，逐一向諸君說明。第九章介紹簡單的電算機數學運算，並介紹與運算有關的邏輯電路。第十章介紹各種輸入（input）功能及輸入裝置。第十一章介紹輸出（output）及輸出裝置。

在第十二章中，將介紹一些非常基本的電算機程式寫作原理。諸如：機器語言（machine language）、組合語言（assembly language）、高級語言（high-level language）、及作業系統（operating system）的辭彙等，都將逐一介紹。此外尚有簡單的程式實例供諸君參考。第十三章將前述五種基本功能加以組合，並就其運用到日益普遍的匯流排組合（bus-organized）觀念中的適應性加以說明。最後，諸君若欲更進一步去探討邏輯電路內部作業狀況，附錄三將討論二極體（diodes）及電晶體（transistors），同時，附錄四將討論各個不同邏輯族（logic families）的邏輯功能運用。

諸君若能理解並運用本書所介紹的電算機理論，您將十分有把握地就功能方面來討論電算機的工作原理。也能在電算機裏找出各種資訊的流程、解釋電算機五大功能單元的工作狀況，體會出各不同階層的程式寫作條件。您也有能力隨着日進的電算機科技而前進，並能隨時接受並運用新的觀念。

本書能公諸於世，實有賴各界人士鼎力相助。居功最偉的是電算機製造業的各位同仁，由於他們毫不保留地提供各項技術資料，使本書能逐一地介紹給讀者諸君。本書所有圖例註脚均載明製造廠商牌號，以感謝他們的協助與支持。其次，在本書編著期間，由賓第斯霍爾公司出版的 Digital logic 與 Switching circuits 兩書中，獲得的寶貴資料。Margaret Macbe 女士對作者試寫本書階段中影響最鉅。若非她的鼓勵，本書實難問世。最後，萬分感謝內子及家人的通力合作，她們終日操持煩瑣的家務，使我能有充分時間來從事編寫工作，其功厥偉而不可沒。

Jefferson C. Bayce

傑非孫 C. 博愛司

數位電子計算機原理

目 錄

序 言

第一章 數位電子計算機簡介

1-1 緒 言	1
1-2 電算機的過去	3
1-3 現代電算機	8
1-4 電算機的未來	14

第二章 電算機工作原理

2-1 基本概念	16
2-2 控制單元	23
2-3 儲存（記憶）單元	26
2-4 運算 / 邏輯單元	30
2-5 輸入單元	34
2-6 輸出單元	40
2-7 摘 要	45

第三章 基本電算機電路

3-1 電算機概念	46
3-2 簡單閘與放大器	57
3-3 衍生閘	64
3-4 正反器	66

3-5 摘要	74
--------------	----

第四章 布林代數 —— 電算機的數學

4-1 布林代數理論與定律	80
4-2 代數簡化法	96
4-3 邏輯圖解與簡化	107

第五章 電算機作業的應用

5-1 計數與定時電路	120
5-2 決策電路	139
5-3 資訊處理電路	150
5-4 摘要	162

第六章 與電算機通訊

6-1 基本概念	164
6-2 以二進位及其相關基數碼來表示數字	166
6-3 用BCD碼表示數系	169
6-4 符號數字碼	174
6-5 摘要	183

第七章 控制單元

7-1 簡介	185
7-2 電算機定時	186
7-3 電算機字句	189
7-4 電算機控制	192
7-5 摘要	201

第八章 記憶功能

8-1 資訊儲存導論	203
8-2 內部儲存	206

8-3 外 儲	242
8-4 未來發展	259

第九章 運算 / 邏輯功能

9-1 二進位加法與減法	262
9-2 二進位的乘除	276
9-3 運算邏輯單元 (ALU) 的作業	282
9-4 二進位碼十進制	285
9-5 摘 要	289

第十章 輸入功能

10-1 功能需求	292
10-2 打孔帶輸入	295
10-3 電鍵輸入	300
10-4 鍵 盤	303
10-5 直接字元輸入	306
10-6 打孔卡片	311
10-7 摘 要	317

第十一章 輸出功能

11-1 功能條件	319
11-2 以電算機爲主的輸出	321
11-3 字元直接顯示	323
11-4 定型字元印字	334
11-5 綜合字印字機	338
11-6 繪圖電算機終端機	344
11-7 其他輸出裝置	348
11-8 總 結	349

第十二章 電算機程式寫作

12-1	概 述	352
12-2	機器語言	355
12-3	組合語言	360
12-4	高級語言	364
12-5	作業系統 / 執行	367
12-6	微程式	369

第十三章 電算機的再檢討

13-1	完整系統—簡化	371
13-2	完整系統—詳述	374
13-3	電算機作業選述	389
13-4	結 語	399

附 錄

附錄A	布林代數的假定、定理與定律	401
附錄B	數 表	403
附錄C	邏輯電路的二極體與電晶體	404
附錄D	邏輯族	412
附錄E	參考書目	423



數位電子計算機簡介

Introduction to Digital Computers

1-1 緒 言

1-1.1 何謂數位電算機？

讀者若能接受字典裡的廣義解釋，這個問題倒是很容易回答的。屬於電算機類的機器，是一種裝置，它能接受資料。用原已設計好的執行程序來處理這些資料，並將處理的結果提供出來。要是再細分，數位電算機（digital computer）對上述資料的處理，是以一種個別（a discrete）的或非連續（discontinuous）的格式（form）來代表資料，並以某些數字系統裡能以符號表現的所謂數位（digits）方法來處理執行。

字典的定義是完整的，但它却無法反映出各不同階層不同行業對數位電算機的看法。今日一般學者認為，電算機是一種能拓展他們能力的工具，而且在解一般問題時，能為其節省大量時間。不少人在早年的生活裡，就已接觸到電算機操縱的教學器材，因而認識電算機。學校利用電算機來準備各種報表、排課，省却計算時間而讓思維更能創新，甚至只要一按“查詢”鍵鈕，可馬上獲得所要的大量教材。大專院校，在電算機的使用上更為進步，甚至有許多大學畢業的學生，對電算機已運用得十分熟練。今日的學生，也就是明日的領導者，都已枕戈待旦，迎接電算機世界的挑戰。

至於一般國民對電算機的看法如何呢？當然，由於各人背景不同，自然會產生許多不同的意見。就以某工廠生產線上的工人為例，來說明他們的看法。新的機器安裝了，隨着機器來的是一種稱為電算機的新玩意。工

2 數位電子計算機原理

人看着新機器的工作生產，他聽說這機器完全由電算機指揮的。於是，電算機對工人而言，就成了工作競爭上的一大威脅！

一部計算收費帳單的電算機，若在程式設計上出毛病，拿錯收費款額，使客戶吃虧，那他一定認為電算機是一部沒有靈性，毫無價值的笨機器。但是，同一部電算機，能在瞬間為航空公司或大旅館解決定座位定房間的問題，則對它的看法就變了。此時它是善解人意，而又聽話的好幫手。幸好電算機的印象是好多於壞，且對社會有着深遠而良好的影響。

電算機對社會的真實影響非常大。以往的貢獻都有文獻記載，而今日的成績更是有目共睹。比方，人類登陸月球、自動電算機控制的太空船飛向宇宙行星，在大百貨公司裡，信用卡的即時驗證、電算機指揮下的交通信號與大選結果的預報等等，真是不勝枚舉。顯然，未來電算機的前途是無可限量的。

一般國民對電算機的濃厚興趣，受大眾傳播媒介的影響頗鉅。報章、雜誌、收音機與電視等，在無形中就傳播電算機與它的貢獻。一個生活在現代社會的人，簡直就無法否定電算機的存在。例如，刑案發生時，資料輸入電算機，馬上就可驗明身份並找出嫌犯。

太空船拍得的星球照片，一經電算機處理，馬上成為十分有用的圖片。將有人駕駛或無人駕駛太空船所蒐集的各项資料，存入電算機，並借重電算機科技，將資料歸納簡化，提供科學界最新的資料。事實上有人或無人的太空探險活動，都是由電算機控制的。當然亦可由人在必要時，實施人為操縱。因此可以斷言，沒有電算機，今日的許多太空探險活動是難以成功的。

所以，電算機的定義，可分為學術性及非學術性兩種。對學術界而言，學術性定義較有意義。但對一般國民而言，非專業性的解釋（說明電算機做什麼）較為淺顯而易懂。本書的各個定義，均融和了學術性定義與實用說明，誘導讀者由一般的電算機常識進入專業化的知識。

1-1.2 數位電算機做些什麼？

泛言之，數位電算機所實施的工作就是資料處理（procssing of

information)。不論太空船的控制或是驗證信用卡號，電算機的工作都不外是某種資料的處理。它不斷地接受新資料，儲存這些資料，並依資料特性實施數學運算，再將資料送至電算機內部需要的單元去，或將處理好的資料供給使用者。所有這些功能，在本章及後述各章會作較詳盡的說明。

1-2 電算機的過去

1-2.1 1940年以前

算盤，可說是人類在智慧思維的追求上所造的第一種工具，這種數位的工具，早在公元前就有歷史記載。圖 1-1 所示的算盤，是由早期算盤

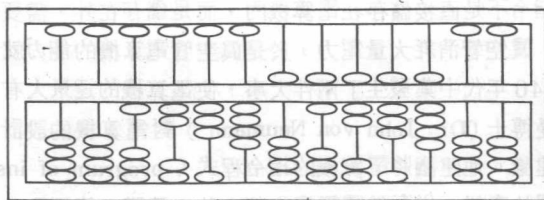


圖 1-1 算 盤

演進來的。以往在中國或日本曾被廣泛地使用。儘管電算器能很輕易地凌駕算盤及機械計算器之上，但一個技藝精純的算盤手，至今仍能成功地與機械式桌上型計算器一爭長短。迄至 1642 年巴斯咯 (Pascal's) 桌上型加法器推出之前，數學運用方面的機械輔助，進展至微。巴斯咯加法器，是利用簡單的齒輪組來作加減運算。另外一些數學家改進了巴斯咯加法器，使其能作乘法運算，但由於缺乏機械精度而阻礙了發展。

電算機演進的第二個里程碑是在十九世紀初期。巴倍奇 (Charles Babbage) 構思了一部機械式的工具，引用了許多近代電算機原理。巴氏的差數機 (Difference Engine) 是發展來計算並印出數表的。但由於材料的不健全，與精密工具的缺乏，政府停止經援，加上助理們的缺乏了解，製作幾部不完整的機器之後，巴氏計畫只好放棄。

1 - 2 . 2 1940年以後

由於科學家不斷地將電機與電子方面的理論運用到資料儲存、帳務管理、簿記處理，於是新的多用途機器應運而生。1940年代的人們，都曾目睹電力機械計算機（electro mechanical computer）的發展過程。隨着二次大戰，由雷達發展而茁壯的脈波技術（Pulse techniques）又與應用數學緊密結合。為配合戰時的生產需求，自動化作業勢在必行，於是能實施常性工作而不須人操作的機器也因之產生。接着電子技術興起，不久生產機械均加上程式，使其能在質、量等方面作決定。二次大戰真空管電子計算機發展之後，對所謂“智慧機器”（intelligent machines）的設計應用，可說是與日俱增。

儘管真空管的應用使電算機的作業速度比以往的電力機械式快了許多，但機器指令不是直接儲存在電算機內，而是儲存在外，需要時才依序輸入。此外，真空管消耗大量電力，於是真空管電算機的能力就大受限制。幸好在1940年代中葉發生了兩件大事，使電算機的遠景大有可為。1946年，范諾曼博士（Dr. John von Neumann）對電算機的設計，提出了影響深遠的建議。他建議將電算機的指令程式（program of instructions），與被處理的資料一併存於電算機內部。此一建議，使電算機未來的結構型態改觀。1947年（Drs. William Shockley, John Bardeen 與 Walter H. Brattain）幾位博士苦心鑽研，示範了固態放大裝置（solid state amplifying device）於是電晶體問世了。僅需極小的體積與電力，電晶體終於掃除了設計上的障礙。不久，原先需要極大空間來放列的電算機原件，已縮小到桌上型式。而且超乎想像的太空時代電算機，也開始出現了。

在發展與使用小而更有效的電算機的同時，我們可獲得更多的知識，使電算機不斷地改進。大容量的記憶裝置，也隨着科技進步而設計成功，但其形體却比以往小了些許。原用於研究製造電晶體的技術，也應用到其他固態的發展上，於是有了多功能的固態裝置。不久，複雜的電算機功能，又可組合在一塊小區域內，而不再是一般的電晶體。

也許最好的方法是，向讀者介紹一些實體圖片，來說明電算機的演進。圖1 - 2所示，為一部早期的電力機械電算機。它只有132個字句（words）的儲存量，而且兩數相加要花上三秒鐘。第二代的電算機，是用

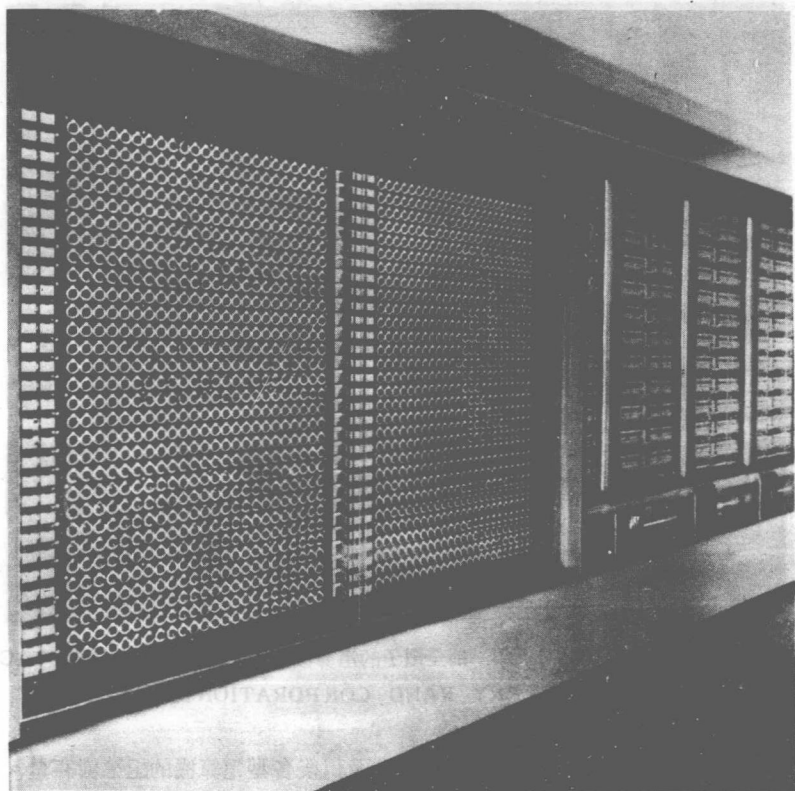


圖 1-2 自動程序控制計算器，MARK I, 1940 年代 (IBM 公司提供)

真空管造的。圖 1 - 3 所示的機種，可在 $1/5000$ 秒內算出兩個十位數相加的數字，比起三秒鐘來，時間上是飛躍了一大步（但記憶能量仍然有限）。這部電算機佔地 15,000 平方呎，重 30 噸，使用 18,000 只真空管，真可謂電算機時代裡的龐然巨物。

以電晶體為主的電算機，在體型與電力損耗方面確實減少了許多。圖 1 - 4 所示，為一部早期的電晶體電算機，它只需不到百萬分之一秒（microseconds）的時間裡就能做完加法。內記憶儲存量約在 1000 到 4000 個字句之間，外圍（外儲）記憶裝置，如磁帶（magnetic tape）

* 1 微秒，指 1 百萬分之 1 秒

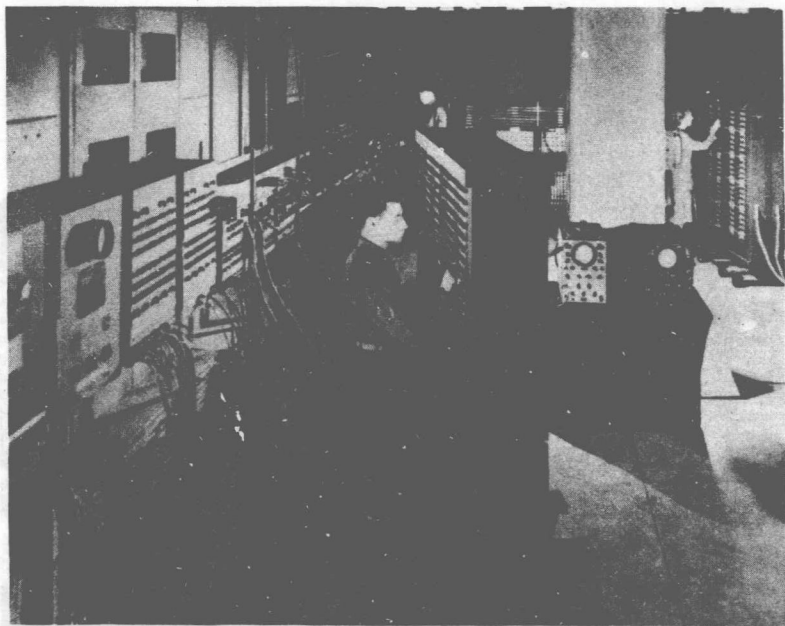


圖 1-3 ENIAC，第一部全電子的電算機，1940 年代末期（UNIVAC DIVISION，SPERRY RAND CORPORATION 提供）

（圖 1 - 4 所示），大為增加了第二代及以後各型電算機的記憶儲存量。積體電路(integrated circuit)技術的發展，又再度減少體積與耗電量。圖 1-5 所示的電算機，就是今日所謂的袖珍型電算機(minicomputer)。當然，袖珍僅描述體形小，但這部電算機却有下列各項功能：(1)作業時間以十億分之一秒(nanoseconds)來計算。(2)記憶儲存量可達 31,000 個字句。(3)全重不過 110 磅。

像圖 1 - 6 所示的現代化大型電算機，它的作業時間以十億分之一秒來計算，儲存量超乎想像，其價值數百萬美元。這種電算機，正顯示半世紀以來，電算機科技進步的結果。由於新技術與裝置的不斷出現，使作業時間減少，成本降低，儲存量却大為增加。這種神速的進步，連電算機專家們也不得不為之咋舌。

* nan 秒指十億分之 1 秒

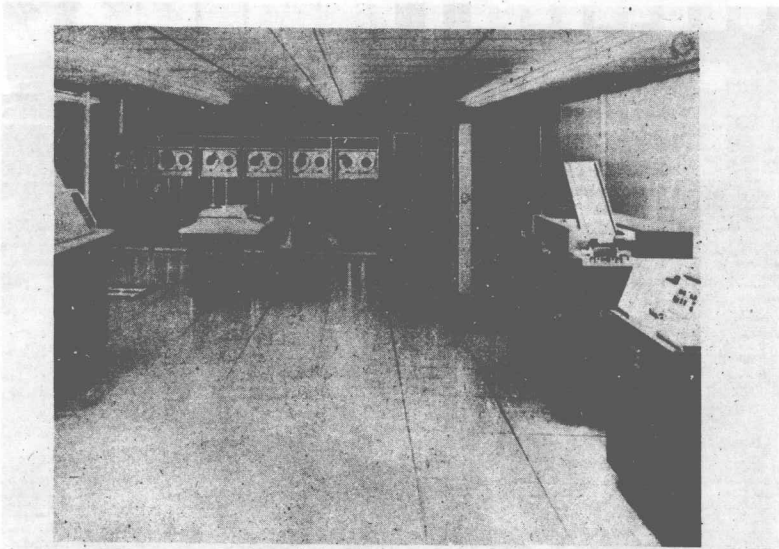


圖 1-4 The HONEYWELL 400, 電晶體中型第二代電算機系統 (HONEYWELL 公司提供)

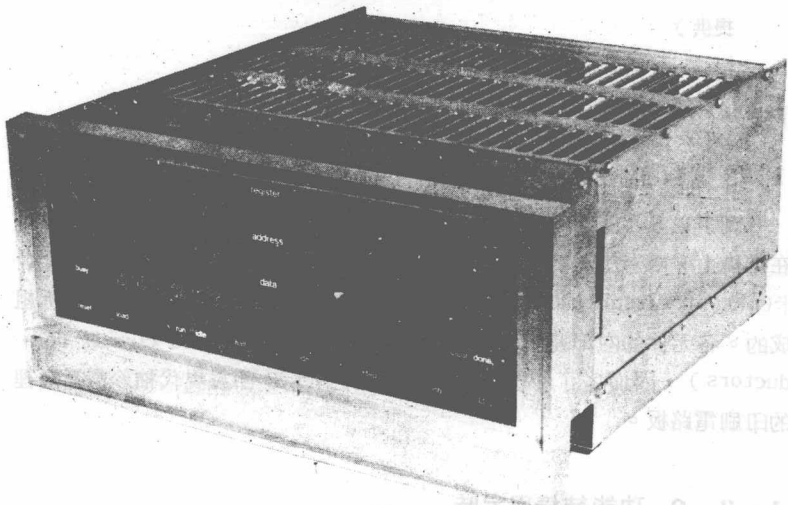


圖 1-5 現代袖珍電算機 (LOCKHEED ELECTRONICS CO., INC., DATA PRODUCTS DIVISION 提供)



圖 1-6 BURROUGHS B6500 大型現代化電算機 (BURROUGH 公司提供)

1-3 現代電算機

1-3.1 現代電算機的構造

圖 1-5 及圖 1-6，分別代表今日的“袖珍”與“巨型”電算機。在結構上，兩者差別不大，一般硬體 (hardware) 是由安裝在插裝電路卡 (plug-in circuit cards) 上的一些元件 (如積體電路、晶體、電阻等) 所組成的。各元件的內部連接，是利用印刷電路導體 (printed circuit conductors)，因而省了不少配線。圖 1-7 所示，即為現代袖珍電算機裡的印刷電路板。

1-3.2 功能結構與定時

研究數位電算機，必須認清兩大事實。第一，可由功能方面着手，而

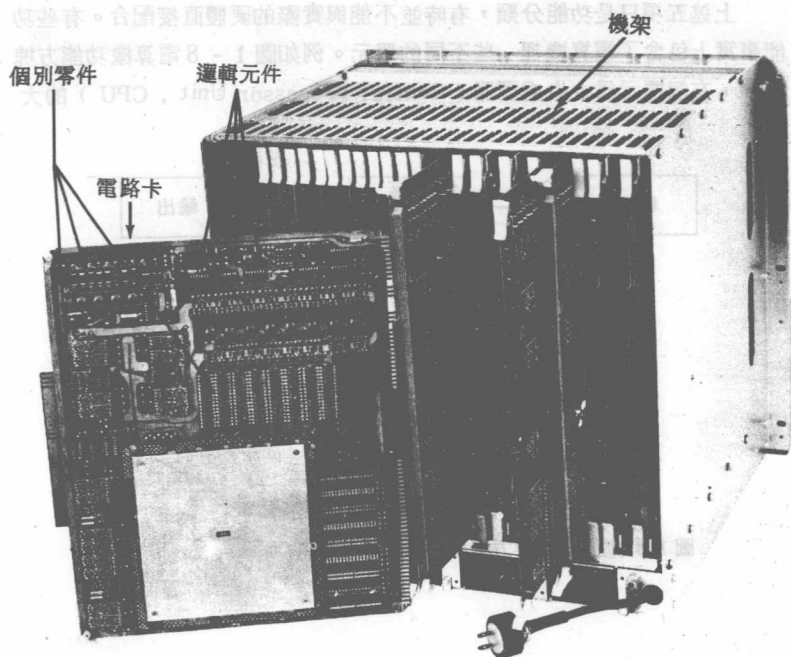


圖 1-7 袖珍電算機裡的印刷電路 (LOCKHEED 電子公司提供)

強調電算機究竟做些什麼。第二，電算機是以時間為本位 (time-oriented)。而功能執行時的內在相互關係及完成這些功能需耗的時間，是最重要的研究關鍵。

數位電算機的五大基本功能如下：

1. 輸入功能 (INPUT)，為外界與電算機溝通的橋樑。
2. 輸出功能 (OUTPUT)，是與外界溝通的橋樑。
3. 儲存 (STORAGE) [記憶 (MEMORY)] 功能是，儲存資料及儲存處理資料的各種指令 (instructions)。
4. 運算 - 邏輯 (ARITHMETIC-LOGIC) 功能是，執行電算機的數學運算及邏輯決定。
5. 控制 (CONTROL) 功能是，控制並安排整個電算機的作業。