

電子計算機之基本原理及其在氣象上之應用

Basic Concept of Electronic Computer and its Application
in Meteorological Field

吳宗堯

一、前言

電子計算機之正式名稱為“高速電子計算機”(High Speed Electronic Computer)，簡稱計算機或電算機(Computer)。同時，因計算機具有類似人類頭腦之能力，能解答問題，作邏輯與數學上之運用，故又有“電腦”之稱。電腦之記憶能力雖強，且思算敏捷，判斷準確而客觀，惟終不若人腦所具有之無窮無盡之思考推理及記憶之能力。

1944年哈佛大學 MARK 1 型電子計算機問世後，人類才真正進入電腦時代。二次世界大戰後，電子計算機之發展驚人，有一日千里之勢，無論在體積、儲量以及運算速度上均有驚人之進步，過去窮年累月竭盡人力所不能解決之問題，今日舉手之間即可獲得答案。今日科學之進步與發展，以及近年來人類在太空方面之成就，實不得不歸功於電子計算機之貢獻。

各國對電子計算機之研究發展與製造，均不遺餘力，目前以美國數量最多，日本次之，其餘英德法蘇等亦均有之。電子計算機因使用目的及對象不同而種類繁多，各有其特性及特殊用途，諸如軍事上用於防空之計算機，一切雷達情報之識別研判以及飛彈之發射與攔截，均可由電子計算機操縱控制之，其他各商業上工廠中整個生產程序，可由商用之計算機負責管理。一般言之，電子計算機在使用目的上可分為商業性及科學性二大類，前者用之於會計賬目，生產程序，盤存以及人事資料等等；後者則用於設計，校驗，試驗以及模擬(Simulation)等等。

二、電子計算機之程式

電子計算機有二種基本程式：數字式計算機(Digital Computer)與比擬式計算機(Analog Computer)。此二種程式之基本上不同點，乃前者用於不連續性之情況，後者用於連續性之情況。

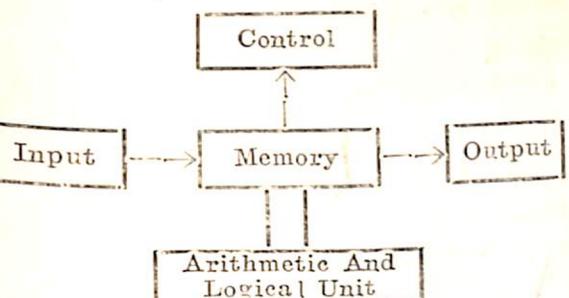
比擬式係利用電路表數字方程式而進行計算之一

種計算器，其最大用途為解決微積分，尤其是微分方程方面問題，凡以微分方程表之物理系統，可藉比擬引計算機求其結果，並可精確地瞭解實際系統在不同情況下之工作情形，此種連續性之工作程序，吾人謂之「模擬運算」，譬如飛彈之雷達指揮儀即屬於比擬式之計算機，蓋飛機在空中活動是一種連續性情況，飛機之位置可以 XYh 座標系表示之，計算機根據 XYh 三變數可算出其航跡，此等計算機由於其構造多為特殊問題而設計，以致在資料處理上用途不廣。數字式計算機係以數字代替比擬式計算機中以直流電壓表示問題之變數，譬如 $f(x) = 2x^3 + 3x^2 + 4x + 5$ 中， x 變數可令其為任何數如 1, 2 或 0.1, 0.2 等等，此等數字與數字間並非為一種連續之情況；數字式計算機另一特點為採用一種“二進制”之數系，即任何變數量均用“0”與“1”之組合表示之，數字式計算機採用二進制之原因，乃是電子脈波與交換電路之關係，例如閉路情況或電壓消失表示“1”，開路或產生電壓表示“0”，換言之，亦即代表“有”或“無”之意義，此二種符號在電子計算機中稱為“比提數”(Bits-Binary Digits)，計算機一旦獲得適當之資料後，立即利用二進位語言進行其一切算術計算及邏輯操作。比擬式與數字式兩種計算機各有其優缺點，比擬式計算機可極迅速解決繁複多變之問題，但不够精確且應用不廣；數字式計算機運算精確應用廣泛，但運算速度不及比擬式。因此，又有複合式計算機之產生，取二者之長而成，成為一種應用最廣泛之電子計算機，可解決比擬式或數字計算機單獨所不能解決之問題，使各種繁複之數學問題得以迎刃而解。複合電子計算機已能達成之用途有(1)太空航行器導引與控制之運算，(2)複雜化學程序之運算，(3)生物系統之研究，(4)最佳複變數系統之解答。

三、電子計算機之主要構造與性能

應用廣泛之數字式計算機，其主要結構有五大部份：(1)存儲單位(Memory)(2)控制機構(Control)

(3)算術與邏輯單位(Arithmetic and Logical Unit)
(4)輸入(Input)(5)輸出(Out put)。電子計算機之整個系統(System)如附圖一。



圖一 電子計算機系統圖

(1)存儲單位用於存儲各種符號指令以及所需之資料。

(2)控制機構負責控制電子計算機內部各種操作次序，使各部門能按一定程序執行各種符號指令。

(3)算術與邏輯單位用於算術上加減乘除之運算以及鑑定正負值或零值等。

(4)輸入用於存入計劃以及所需之資料，由打孔卡片，錄音膠帶或磁性錄音帶提供之。

(5)輸出用於放出演算或操作結果。目前電子計算機銷路最廣性能最優之廠商計有 IBM (International Business Machine Corporation) 及 CDC (Control Data Corporation) 二家，IBM 公司所製造之各型電子計算機中有 IBM 1401, 1620, 7040, 7090, 及 7094 等等，CDC 公司所製造之各型電子計算機有 CDC 1604, 3300, 3600, 及 6600 等等，IBM 公司中目前以 IBM 7094 型別最新，性能最優，其價值為四百萬美元，該計算機記憶部份可儲藏 32,768 複體字，機器轉速為每秒二百萬次，每秒可作廿五萬次算術上之動作。CDC 公司目前以 CDC 6600 型別最新，性能較 IBM 7094 更佳，CDC 6600 型為一種多元執行系統(Multiple Processing System)，即十個計劃(Program)可以同時處理執行，其存儲單位容量亦較 IBM 7094 型大，計算速度則快五至十倍。

四、電子計算機之計劃(Program)

電子計算機之計劃，其目的在使計算機能按一定程序而執行指定之演算或操作工作，因此，此種計劃乃是溝通人類與計算機間之主要橋梁。各種電子計算機在製造時，各有其特殊之機器語言(Machine Language)，猶如人類有各種語言，欲使電子計算機依照吾人指令(Instruction)而執行工作，吾人首先須瞭解機器語言，發出能為計算機接受之指令，然後，由計算機中之翻譯機(Compiler)自行譯成其本身語言而執行(Execute)指令，吾人所發出之指令稱為「原始計劃」(Source Program)，譯成機器語言後之計劃稱為「目的計劃」(Object Program)，由「原始計劃」譯成「目的計劃」之工作，稱為「編譯」(Compilation)。

數字式電子計算機語言(Digital Language)計有 Algol, Fortran, Cobol, Compass 等等數種，目前最適用之一種機器語言為 Fortran (即 Formula Translating System 之簡稱)。IBM 公司以及 CD 公司各種大小型之計算機均可接受 Fortran。

計劃之撰寫(Programming)為電子計算機應用過程中最重要之階段。在撰寫計劃前，應先設計一「步驟圖」(Flow Chart)，如圖二：



圖二：步驟圖

「步驟圖」完成後，根據各種機器語言，撰寫計劃，若以 Fortran 為例，則依 Fortran 之各種規定格式撰寫 Fortran 計劃，Fortran 中有各種極嚴格之規定，即使一逗點「，」一句點「。」或一空格，均不容許有些微混淆錯誤，否則計算機即拒絕工作，因此，在機器語言中即使「。」「，」等符號均有其特殊意義，例如，在算術運算計劃中，常以「*」表示乘號，以「**」表示指數，亦

即 $A * B$ 表示普通算式中之 $A \times B$, $A ** 3$ 表示普通算式中之 A^3 。計劃之長短視問題簡繁而定，有時一個繁複之問題，一個主計劃中尙可包含若干副計劃。

計劃撰寫完成後，次一步驟將計劃內容打成卡片，稱為卡片軋孔，連同「系統卡片」(System Cards) 以及「資料卡片」(Data Cards) 依規定次序排成一工作卡片組 (Job deck) ，放入續卡機，計算機開始編譯原始計劃，使成為目的計劃，隨後計算機依指令執行任務，並將結果印出，如果執行過程中發現計劃有錯誤時，除拒絕繼續工作外，目前各種新型計算機並可指出錯誤所在，將診斷結果印出，對計劃之更正工作極有幫助。

電子計算機之基本運算法爲基於二進制之加減，任何數學公式之運算，均可使其分解爲連續之加法或減法完成之，此種問題方式之運用，實由於高速度之加減所致。例如：從1加到100，首先告訴計

算機 $SUM=0.0$, $I=1$, 然後, 列出一加法公式
 $UM = SUM + \times(I)$, $I = I + 1$, 計算機在算術演算中先從右邊做起, (注意: 上式中右邊 SUM 與左邊 SUM 以及右邊 I 與左邊 I 意義不同) 計算機在作第一次演算中, 右邊 SUM 是 0.0 , $\times(I)$ 為 $\times(1)$, 亦即普通算式中 \times , 因此, 第一次演

A, B, C三值為任意值，圖例中為一求解二次方程根之一般公式，此計劃一旦寫成後任何二次方程僅需將A B C三值放入「資料卡」（Data Card）即可求得。（圖例中A B C三值各為1.23, 7.89, 4.56）本圖例之計算適用於CDC3300之電子計算機。

五、電子計算機氣象作業上之應用

圖三 FORTRAN 計劃圖例

、填圖，繪圖，甚至預報正逐漸由電子計算機取代之勢。目前歐美各國甚至日本各重要氣象單位均紛紛裝備電子計算機，使擔任部份氣象工作，例如，美國國家氣象中心 (National Meteorological Center) 裝備有IBM 7094，IBM 1401，美國環境技術應用中心 (The Environmental Technical Application Center) 擁有IBM 7040，IBM 1040其他如美空軍環球氣象中心 (GWC-The Globe Weather Central) 幾乎為一氣象資料完全自動處理之氣象機構，關於電子計算方面擁有Automatic Data Exchange ADX 7300，Univac 418，Univac 1004，IBM 7094，IBM 1041，IBM 7711等計算機，其規模之大極少可與之比擬，美海軍各主要氣象單位有關高空資料之預報，諸如高空氣流駛流颶風預報等工作，亦均已由電子計算機擔任計算工作。日本氣象廳在1959年亦採用電子計算機從事分析預報以及長期預報，其初期曾租用IBM 704計算機，近已換用日立廠出品之新型計算機。

電子計算機在氣象上之應用，大致可分為三大類：(1)氣候資料之處理，(2)氣象觀測，(3)天氣預報。

(1)氣候資料之處理利用電子計算機處理氣候資料既迅速又準確，且易於保管，此項工作係屬於一種純打孔卡片之資料處理系統，將某一地逐時氣象觀測資料，依照一定排列次序用數字代字或英文代字打入卡片，作為氣候資料之原始憑證，然後，由累積之卡片，利用簡單之電子計算機即可達成氣候資料統計之目的。

本系統中機器種類繁多，惟各廠出品均大同小異，其主要機件計有卡片打孔機，卡片驗孔機，卡片分類機，卡片對照機，複製打孔機，譯印機，列

圖四、標準型卡片

必亦將由電子計算機取代之，自可斷言。此種氣象觀測系統一旦建立完成，將為氣象史上劃時代之創舉。

(3)天氣預報——在天氣預報部份又可分為三部
(a)資料之彙集，(b)繪圖分析，(c)預報。

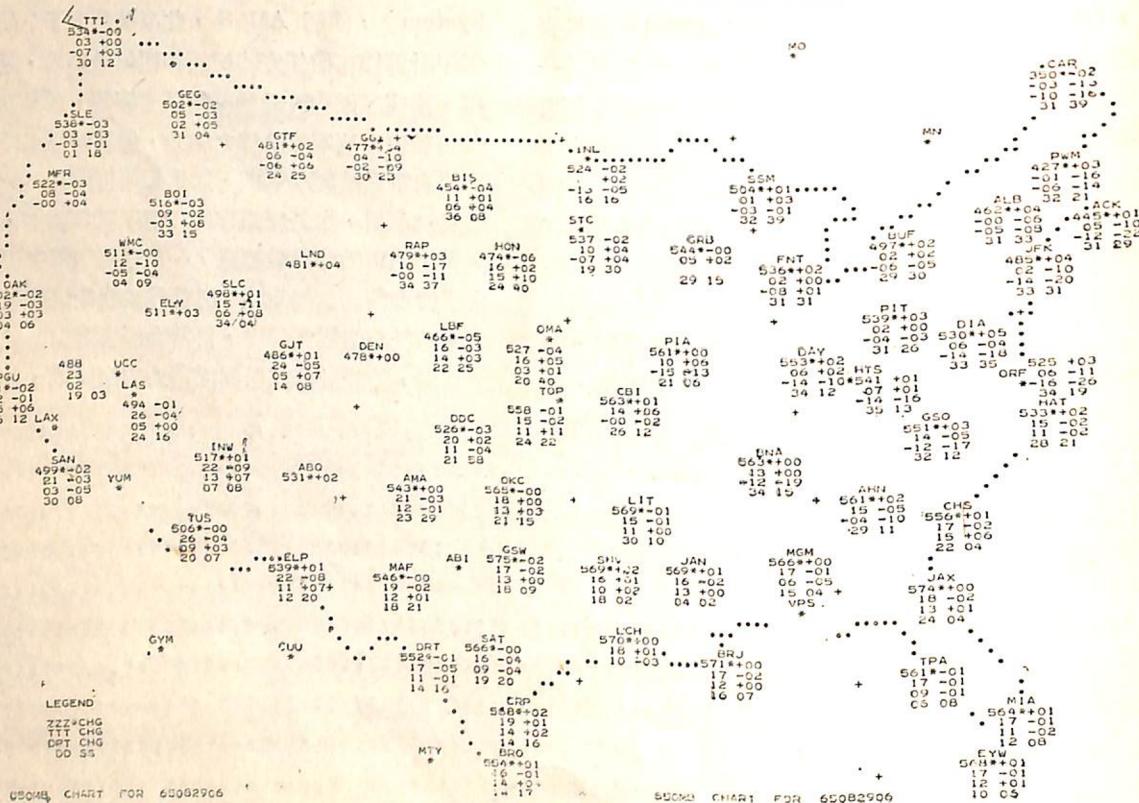
(a)資料蒐集與編審，近年來世界各地地面海上氣象報告，高空探測報告，飛機報告，雷達報告等其數量正在劇增中，舊有之通信設備及方法與人力編審已無法應付此種任務，目前世界各國已開始啓用一種通信用之電子計算機，負責氣象電碼之接收、存儲、歸類、整理、轉播以及譯佈等等工作，非但在編審上節省時間人力，且更能精確檢查各類氣象報告之內容，此實非今日利用人力編審可望其項背。

(b)填圖分析——電子計算機在氣象上之最大應用，乃以理論與經驗令電子計算機具備製作天氣圖及預測圖之能力，至於填圖一項工作一般電子計算機均可擔任之，諸如填入各測站之高度數值溫度露點以及各該值之廿四小時變差值等等，圖五係由電子計算機填製之高空圖，在填圖工作中除主電子計算機外，另應裝備“多元資料通信器”(Multi-

Data-Communicator) 俾自動負責處理輸入輸出之資料。

至於繪圖工作，除上述機件外，另需增加“自動繪圖器”(Automatic Curve Plotter)，無論天氣分析圖或預測圖，從資料之輸入計算機後，再送入“自動繪圖器”始可自動繪出天氣圖，雖然此項工作目前仍在試驗階段，然已接近實用階段，目前機器所繪之圖表，已可與一熟練之氣象官所繪之圖表一較長短。

(3)預測圖之製作，以電子計算機所作之預測圖及預報應屬於動力天氣預報(Dynamic Weather Forecast)，或稱數值預報(Numerical Forecast)，應用動力氣象方程為理論基礎，使氣象方程儘量簡化且仍接近大氣之真實變化情況，而又能為計算機能力可解決者，根據此等方程擬定計劃，事先輸入電子計算機中，然後，將當時實際氣象資料輸入，令電子計算機執行演算工作，此項工作，過去在電子計算機未問世前，無論氣象方程如何簡化，其計算工作若以人力擔任則需以年月計始可完成，因此，以往氣象理論難配合實際預報工作，今日，此項工作藉電子計算機之利，僅需數分鐘即可完成。



圖五、電子計算機填製之 850 高空圖
(下接第22頁)