

科學圖書大庫

電腦基本組合語言

(一名IBM 360系統基本組合語言)

譯者 趙元和 樂嘉謨 校閱 孫賡年

徐氏基金會出版

校閱小言

IBM 公司為全世界組織最龐大，資財最雄厚的電腦製造公司，而其於一九六四年所推出的 360 電腦系統，更是全球最流行、最被廣泛應用的通用電子計算機。即以我國而論，目前臺灣全省三十部左右的電腦系統中，有二十二部是 IBM 公司的出品。至於去年由 IBM 公司所宣佈的 370 系統，迄今尚未聞有取代 360 之勢。故研究 360 系統之基本組合語言，仍為目前從事電腦工作人員所迫切需要。

所謂「組合語言」(Assembler Language)，其邏輯與指令的安排，係配合電腦硬體之組織與機能。故如使用此種語言，即能獲得下列三項利益：

(一)「組合語言」，是一種熟知機器構造與功能的語言。從事電腦工作人員，如能學習「組合語言」，可以透徹瞭解電腦內部的結構與機能。

(二)、有一些電腦能夠完成的工作，但却無法使用高等語言來表達。在此種情況之下，必須使用「組合語言」，方能達到目的。

(三)、「組合語言」程式之寫作，雖較高等語言稍為複雜，但其「編輯」(Assembly)時所需耗用之時間較少，且其使用主記憶裝置中的磁圈領域也較小。

本書原名係“IBM System 360- Basic Assembler Language”，係由美國「電腦程式學院」(Electronic Computer Programming Institute)所出版。該書原為一般學習「組合語言」者所編著，故其說明甚為詳盡，且其內容由淺入深，條理分明。全書共分三十三章，最後並附有測驗題，以供學習者作自我測驗。故本書即適宜於作教本或自修之用。

由於全書內容甚為豐富，字數亦因而增多，故詳述工作係由趙元和、樂嘉模二位先生擔任，其中一小部份，且經陳雪平小姐之協助。全部譯述工作，費時幾近二載。至於校閱工作，係逐句與原文核對，為求釋文之信達，潤色辭藻，煞費周章，故所耗時間，亦將一載。深願本書出版後，能供從事於電腦工作或有志於電腦研究者之閱讀、學習及參考。

孫廣年

民國六十一年四月

目 錄

校閱小言

第一章

1.1	電子資料處理簡介	1
1.2	電子資料處理系統諸元	2
1.3	IBM 360 系簡介	4
1.4	數系	7

第二章

2.1	資料表示法及形式	28
2.2	程式設計 ABCD 四部曲	36
2.3	指令執行與分支	40

第三章

3.1	組合語言程式設計概論	45
3.2	基本程式計劃支援系統 (BPS)	49
3.3	主儲藏位置之編址	56
3.4	機器與符號指令通式	58

第四章

4.1	起始與終結指令	67
4.2	搬動與分支指令	69
4.3	空間定義指令	77
4.4	例題及解答	81

第五章

5.1	反身定義項	86
5.2	搬動隨即資料指令	87
5.3	基壘記錄器之指定與錄進	90
5.4	儲藏空間內資料之定址	95

5.5	例題及解答	102
第六章		
6.1	集體指令	110
6.2	輸入輸出控制系統 (IOCS)	114
6.3	命令性集體指令	119
第七章		
7.1	二進位數算術	134
7.2	由「類集十進位數」轉變成二進位數	138
7.3	由二進位數轉變成區域十進位數	145
第八章		
8.1	代數加算指令	153
8.2	邏輯加算指令	160
8.3	常數定義指令	169
第九章		
9.1	代數減算指令	180
9.2	邏輯減算指令	185
9.3	符號之試測與撤除	187
第十章		
10.1	二進位數乘算	205
11.2	半字乘算	214
第十一章		
11.1	二進位數比較指令	221
11.2	二進位數除算	226
第十二章		
12.1	代數移位	246
12.2	邏輯移位	254
12.3	移位法的乘算與除算	256
第十三章		
13.1	資料之搬動	260
13.2	錄進指令	260
13.3	特殊目的的錄進指令	266
第十四章		
14.1	邏輯比較	291

14.2	使用邏輯比較，來累積中間和數	296
第十五章		
15.1	貝特之演算及試測	315
第十六章		
16.1	程式開關	333
16.2	彙總列印	353
第十七章		
17.1	習作問題	361
第十八章		
18.1	習作問題	363
第十九章		
19.1	十進法指令	366
19.2	十進位加法與減法	368
19.3	報表控制及堆槽選擇指令	383
第二十章		
20.1	十進位乘法指令	401
20.2	歸零加指令	404
第二十一章		
21.1	數位搬動指令	419
21.2	錯位搬動指令	422
21.3	類集十進位數欄之移位	426
第二十二章		
22.1	習作問題	447
第二十三章		
23.1	十進位數比較指令	449
23.2	類集十進位數除算指令	451
第二十四章		
24.1	練習問題	462
第二十五章		
25.1	編輯指令	464
25.2	編輯標號指令	478
25.3	字面字作運算部	480
第二十六章		

26.1	練習題	494
第二十七章		
27.1	磁帶的特性	497
27.2	磁帶機	504
第二十八章		
28.1	定義磁帶檔	508
28.2	磁帶記錄之讀與寫	513
28.3	多種記錄器之使用——地址常數	521
28.4	資料檔維護之技巧	529
第二十九章		
29.1	練習題	547
第三十章		
30.1	延伸簡化運算碼	549
30.2	環路與指引術	552
第三十一章		
31.1	BXLE 及 BXH 指令	570
31.2	查表法	578
第三十二章		
32.1	習作問題	590
第三十三章		
33.1	系統監督程式	593
33.2	程式中頓系統	602
	測驗一	611
	測驗二	614
	測驗三	616
	測驗四	620
	測驗五	622
	測驗六	625
	測驗七	629
	測驗八	632
	測驗九	635
	測驗十	637
	測驗十一	639

測驗十三	644
測驗十四	645
測驗十五	648
測驗十六	650
測驗十九	653
測驗二十	654
測驗二十一	657
測驗二十三	658
測驗二十五	659
測驗二十七	660
測驗二十八	662
測驗三十	664
測驗三十一	667
測驗三十三	668
IBM 360 系指令索引表	669

第一章

1.1 電子資料處理簡介

今日日益擴充的工業組織及政府機構中，工作人員的急速增加，反映出這些組織與機構中，事務的複雜與繁重。在這繁雜的工作中。工作人員用盡各種有助事務處理，（諸如打字機等等）的各種事務機械。近年來，許多辦公機構都裝設有能將資料記載於卡片上的打孔設備，然後，再將打孔卡片予以分類，更從中抽取資料列印成各式報表。縱使事務處理機械不斷地改進着，這些組織與機構中的工作人員的人數，並不因之而減少，所以這些工作部門的主管們亦不斷地在尋覓更新、更進步的事務處理機械，俾便處理日益增多的工作負荷。

在過去幾年中，大家尋求更進步之事務處理機械的注意力，均集中在使用電子計算機（*electronic computer*）以處理大宗的資料。電子計算機之所以引人注目，就是因為電子計算機能夠以閃電般的速度自動地處理數百萬個諸如加算，減算，乘算及除算的計算。據估計，電子計算機能以半小時的時間完成一個人一年中利用桌上計算器（*desk Calculator*）所作的計算工作量！

當計算機（*computer*）及其各型相關輔助設備，被組合而裝設完成後，一個完整的電子資料處理系統始告建立。這種電子資料處理系統包括有中央處理機（*Central processing Unit*）及諸如譯轉器（*Converters*），閱讀器（*Reader*），列表機（*Printer*）等等的輔助設備。譯轉器可將記載於打孔卡片上之資訊（*information*）傳送到磁帶（*Tape*）或將磁帶上之資訊記載於卡片上。閱讀器則讀入能供計算機執行運算，但是却儲藏於卡片或磁帶上的指令或資訊。列表機則能將計算機處理的結果印出供人閱讀參考。

一個完整的電子資料處理系統，能夠在程式控制之下，自動地執行諸如薪工計算，存貨控制及統計工作等等實際的應用，並迅速地產生各項有關報表。

縱然電子計算機經常被形容成爲一部具有“思維”的機械，其實非然。

正如其他各種事務處理機械，電子計算機必須在人們的控制與操作之下始能啓動，必須供給以正確的工作指令，始能從其正確的運算及處理動作中，得到滿意的結果。電子計算機除非由使用者，給予適當的工作指令，使其執行各種必要的計算，以得到最後希望的結果，否則電子計算機真與一部廢物無異。這種準備電子計算機工作指令的人稱之為程式設計師 (programmer)。

1.2 電子資料處理系統諸元

一個電子資料處理系統，係由一系列能夠處理資料的機械所配合組成的。基本上，所有資料處理系統係由輸入單位 (input units)，輸出單位 (output units) 及中央處理機 (Central processing units) 三個不同要件所組成。其間關係示如圖 1。

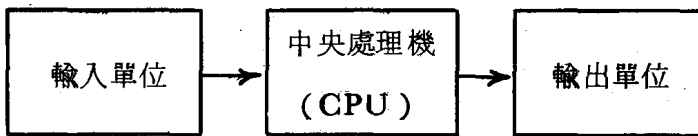


圖 1 資料處理系統諸元

現在讓我們個別地將資料處理系統中各要件加以討論之：

1. **輸入單位**：一個資料處理系統，必須備有能將資料傳送到系統中的機械始能處理資料。這些能將資料傳送到系統中的諸要件稱之為輸入單位。資料處理系統中最常用的兩種輸入介質即為(1)打孔卡片及(2)磁帶。打孔卡片由卡片閱讀機 (Card Reader) 讀入。卡片閱讀機由卡片讀得記載於其上的資訊，並將之傳送到系統中。磁帶則由磁帶機 (Tape Units) 讀入，同時磁帶機並將磁帶上資訊，解碼 (decode) 為機械認得的電碼並傳送到系統中。

2. **中央處理機 (Central Processing Unit, 縮寫成 CPU)**：該機即通稱之“計算機”，是為整個資料處理系統的心臟。資料處理系統中，真正處理讀進資料的單位就是中央處理機 (CPU)。中央處理機包括有各種電路使能對輸入資料執行必要的算術及其他運算，做邏輯決策 (logical decision)，或解釋程式設計師所撰寫的工作指令並指揮系統中其他輔助設備之操作。

中央處理機中有一個稱為主儲藏體 (Main Storage) 的區域，資料的

實際處理工作就在此區域內完成的，故當資料由輸入單位讀得即被儲存於主儲藏體 (Main Storage) 並就地處理之。中央處理機亦包括有一機械管制臺 (Machine Console)，電子計算機系統操作員 (System Operator) 可經由此管制臺探悉計算機內部資料處理狀況且可人為地經由此管制臺管制整個操作系統。

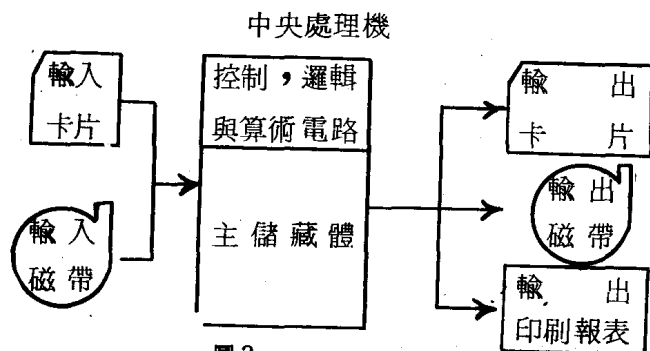
3、輸出單位：由輸入單位讀得的資料，經中央處理機執行必要處理後，必須將所得結果變成可供人們閱讀與利用之形式輸出，換言之，亦即將所得結果以一種可供人立即查閱的形式輸出或將之儲存於機外儲藏體以供日後進一步處理的方式輸出。

最通用的輸出介質有(1)打孔卡片，(2)磁帶捲 (reel of magnetic tape)，及(3)印刷報表。這種將資料儲存在打孔卡片及磁帶捲的輸出形式即屬上述前兩種形式的輸出。換言之，輸出資料所產生的打孔卡片及磁帶捲可作為其他程式的輸入資料。然而，印刷報表是不可作為其他程式的輸入資料的。

機上打卡機 (Card Punch)，磁帶機，及列表機均是產生輸出的裝置。機上打卡機將輸出資訊打在空白卡片上，列表機則將處理過的資料變成容易閱讀的形式印出。磁帶機則將輸出資訊“寫”在磁帶捲上。由此可知，磁帶是可當輸入介質及輸出介質使用的機外儲藏裝置。中央處理機可由一卷磁帶讀得未經處理的原始資料，再將處理過的結果 (資料) 寫在另卷磁帶上。

就上述有關資料處理系統諸元摘要如下：

為了將資料送入主儲藏體加以處理，資料處理系統必須備有輸入單位。最通用的輸入單位有卡片閱讀機 (或稱讀卡機) 及磁帶機。輸入單位傳送資料到主儲藏體使按所撰寫程式處理之，而主儲藏體則是中央處理機的一個部門，其中含有許多必要的電路以便執行所撰寫的程式。通常，在讀入即將處



理的次一套資料以前，吾人必須將前一套資料處理所得結果以某一種形式輸出，因此資料處理系統也必須備有輸出單位，俾將處理結果以打孔卡片，磁帶或印刷報表的任何一種形式輸出。圖 2 所示為資料處理系統中資料之流程圖。

1.3 IBM360系簡介

第一代及第二代電子計算機通常是針對商業應用或科學應用兩種資料處理方式之一種而設計的。商業應用的電子計算機大都處理一些混有文字與數字，且長度不定的資料，而科學應用的電子計算機則處理一些固定長度語 (fixed-length word) 的二進位資料。

因為 IBM 360 系電子計算機具備有可執行定點二進位數 (fixed-point binary)，浮點二進位數 (floating-point Binary) 及十進位數算術的指令集 (Instruction Set)，故 IBM 360 系電子計算機是一種能夠處理商業資料及科學資料的第三代電子計算機。

雖然所有 IBM 360 系之各型電子計算機容量之大小及其處理速度之快慢均有不同，但是其相互間是可以通用的 (Compatible)。換言之，以 IBM 360 系某一型電子計算機所撰寫的程式而論，只要程式本身特徵相同及必要的輸入輸出單位俱全，是可以在同系另型的電子計算機上使用的。

IBM 360 系電子計算機之另一特性就是它能同時在機內執行許多程式。“監督者 (Supervisor)” 程式的發展成功是其具備此種特性的關鍵所在。監督者程式通常稱之為監督程式 (Monitor Program) 或控制程式 (control program)，是由 IBM 公司發展成功的。該監督程式寄存於不同輔助儲藏體而構成不同的操作系統 (Operating System) 供應各種不同機型的客戶使用。監督程式控制所有有關輸入及輸出機械的操作，處理各種中頓 (interruption) 的特殊情況，及監督安排許多程式的同時執行。監督程式的其他各種功能將詳於以後各章。

現在讓我們看些有關標準 IBM 360 系電子計算機的照片。圖 3 所示為一張具有輸入輸出單位及中央處理機的 IBM 360 系 30 型電子計算機之照片。圖 4 所示為 2540 讀卡打孔機 (Card Reader/punch)。2540 讀卡打孔機其實是由讀卡機及打卡機組合而成，照片中右半部即是讀卡機，而左半部則為打卡機。讀卡時，打孔卡片以「面朝下且使卡片之“9”邊先讀進」的方式堆放於讀卡部的餵卡器 (feeder)。2540 讀卡打孔機能以每分鐘 1000 張卡片的



圖 3

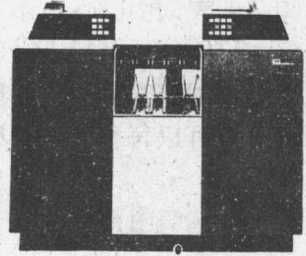


圖 4



圖 5

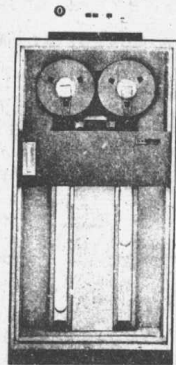


圖 6

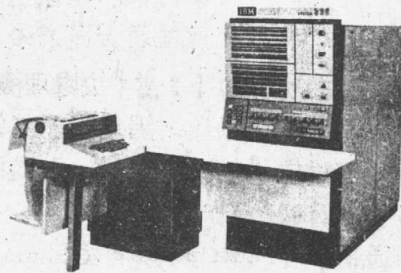


圖 7

速度讀入卡片。打卡時，空白卡片以「面朝下且使卡片之“12”邊先餵入」的方式堆置於打卡部之餵卡器。2540讀卡打孔機則可以每分鐘300張卡片的速度打孔。

印刷報表則由圖5所示之1403列表機 (printer) 所印出。1403列表機每分鐘可印1300行 (每行132個印刷位置) 。

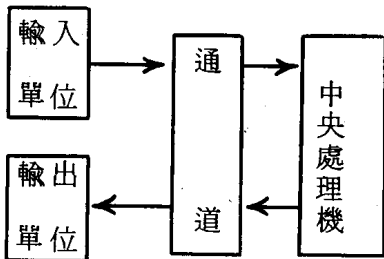
磁帶卷則被安裝於圖6所示之2401磁帶機。因各型電子計算機之不同，2401磁帶機可以每秒30,000個至90,000個字母的速度讀出或寫入資料於磁帶。

圖7所示為附帶有管制台的中央處理機的完整外貌。

通道與控制機 (Channels and control units)

IBM 360系電子計算機的另一種特性，即是其利用通道 (Channel) 及控制機 (Control units) 來完成資料輸入及輸出的傳送工作。茲先以通道的功能加以討論。

如下圖所示，所有資料進入或離開主儲藏體均必須經過通道。



通道可構想為一部小型而獨立的計算機，而該計算機有其獨具的所謂通道指揮語 (Channel Command word) 的指令集。通道可為獨立的單位，亦可附屬於中央處理機。當程式中需要執行一個輸入或輸出的動作時，中央處理機即通告通道 (Channel) ，然後由通道執行輸入與輸出所必需的動作，中央處理機通告通道後，隨即恢復資料處理的

功能。由此可知，通道最主要功能如下：當中央處理機執行資料處理工作的同時，其本身亦能執行輸入與輸出之動作。因為許多其他類型電子計算機的資料處理工作與資料輸入輸出動作不能同時進行，上述通道的功能打破了此種限制，因而大大地提高了計算機系統的工作效率。

通道有「多元調節通道」 (Multiplexor Channel) 及「單一選擇通道」 (Selector Channel) 兩種。多元調節通道適用於諸如讀卡機，打卡機，列表機等低速輸入輸出單位 (Low-Speed Input/output units) 。單一選擇通道則適用於諸如磁帶機，磁碟機等的高速輸入輸出裝置 (high-Speed

Input/output device。多元調節通道與單一選擇通道根本上的區別，乃在於單一選擇通道每次只能將資料傳出或送入到一個 I/O(輸入 (Input) / 輸出 (Output)) 裝置，而多元調節通道則可以同時將資料傳出或送入到許多個不同的 I/O 裝置。

控制機 (Control units) 乃是通道與 I/O 裝置間的一種緩衝器 (Buffers)。一個多元調節器或單一選擇器可連接多達八個控制機。每一控制機可控制多個 I/O 單位。每個多元調節通道或單一選擇通道具有控制多達 256 個輸入輸出 (I/O) 單位的能力。圖 8 所示為通道，控制機與中央處理機間之關係示意圖。

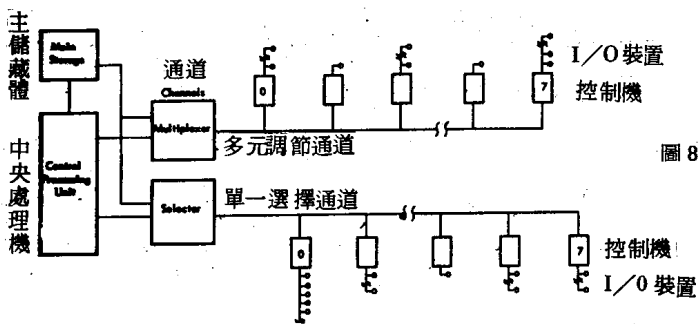


圖 8

1.4 數系

IBM360系電子計算機為一種二進位電子計算機。換言之，這種計算機儲藏體內資訊均以二進數碼 (Binary code) 表示。因此，在更進一步研究以前，學習一些有關二進位數系 (binary System) 及十六進位數系 (hexadecimal System) 是必要的。

在研究二進位數系以前，先讓我們回顧所有數系的一些基本通用的原則。吾人將以日常熟悉的十進位數系來說明這些通用的原則。

正如許多其他數系，十進位數系也用了位置符號 (positional notation) 來代表數值。例如，820一數中的數字 2 表示兩個 10，其相當數值為 20，

而其數字 8 表示捌個 100，其相當數值為 800。設若將 8 與 2 兩數字互換位置而成 280，則數字 2 代表兩個 100，其相當數值為 200，而數字 8 代表捌個 10，其相當數值則為 80。

有人稱這種“位置符號”原則為“位值”法 (position Value)。但是，不論稱之為位置符號或位值，數字零是不可或缺的。此數字 0 除了具有佔位 (place-holder) 的功用外，尚表示當計算某一數目的數值時，該位的位值不予計值。例如，吾人皆知，1000 代表數值壹仟，但若稍加仔細觀察，不難發現該數只有一個位值 1000，而位值 100，10，及 1 則全無。因此，除非另有特別符號具有零的功能，否則，吾人是不可能不用零而以位置符號寫出數值壹仟的。

吾人皆知，一個十進位數目，從數目最右邊起各位位值分別為個位，十位、百位、千位、萬位，及最後的十萬位。雖然，我們日常不經由位值觀念去想一個數目的數值，其實，每個數目的數值為數目中各非零數字倍數位值之總和。圖 9 以數目 2,873 例示位值原則。

2	8	7	3				
貳個壹仟	捌個壹佰	柒個拾	叁個壹				
2,000	+	800	+	70	+	3	= 2,873

圖 9

在十進位數系中，每位數之位值為緊接其右一位之位值的 10 倍，且為緊接其左一位之位值的 1/10 倍。換言之，十進位數系中，位值按 10 的倍數由右而左漸增。十進位數的最右一位之位值為 10^0 (即 1) 或個位，由右之第二位之位值為 10^1 (即 10) 或十位，由右之第三位之位值為 10^2 (即 100) 或百位，由右之第四位之位值為 10^3 (即 1000) 或千位等等。因此，數目中，最右一位的位值最小，而最左一位的位值最大。

現在，讓我們看看如何以乘方來表示數值 2,873：

$2 \times 10^3 = 2,000$
$8 \times 10^2 = 800$
$7 \times 10^1 = 70$
$3 \times 10^0 = 3$
2,873

這種位值以某數乘方增加方式的特性，是所有使用位置符號數系所具有之共同特徵。事實上，吾人可敘述為某數中，各位之位值由右而左以基數 (Base) 的乘方漸增。然而，何謂基數呢？一個數系的基數

即為該數系中用來表示數值的符號總個數。例如，在十進位數系中，吾人用 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 等十個符號來代表一個十進位數目，故其基數為 10。

茲就前述，摘要如下：

- a、許多數系都用位置符號原則，數目中某一數字代表之數值因其在數目中位置不同而迥異。
- b、若沒有零，則不可能以位置符號表示數值。
- c、數目中每位數字之位值自右而左以基數之乘方漸增。
- d、一個數系的基數為該數系中所用符號之總個數。
- e、一個數目之最右一位之位值最小，最左一位之位值最大。

二進位數 (Binary Numbers)

二進位數系中以 0 與 1 兩種符號代表各種數值。由前述「一個數系的基數為該數系中所用符號之總個數」的規則，則知二進位數系的基數為 2。因此，在二進位數系中，位值將接 2 的乘方而非以 10 的乘方由右而左遞增。按此規則，則知二進位數 1,000 與十進位數 1,000 是代表不同數值的。

下表所示為二進位數目中，由右而左最初八位之位值：

2 的乘方	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
二進位數	0	0	0	0	1	0	0	0

若將上表中各 2 的乘方以相當的十進位數表示如下表，則最右一位之位值為 1，而最左一位之位值為 $2^7 = 128$ 。

位 值	128	64	32	16	8	4	2	1
二進位數	0	0	0	0	1	0	0	0

因在二進位數系中，位值由右而左以 2 的一次冪增加，故每一位之位值為緊接其右一位位值的 2 倍，而為緊接其左一位位值的一半。

圖 10 所示為十進位數 0 - 15 間各數與相當二進位數的對照表。

由圖 10 知，二進位數 1000 相當於十進位數 8。然而，假若我們祇寫 $1000 = 8$ ，除非知道其基數不同，否則是不具有意義的。當處理不同基數之數據時，為避免混淆，習慣上，將數目置入括弧內，再將該數目的基數以十

十進位數	相當的二進位數
0	0000 0000
1	0000 0001
2	0000 0010
3	0000 0011
4	0000 0100
5	0000 0101
6	0000 0110
7	0000 0111
8	0000 1000
9	0000 1001
10	0000 1010
11	0000 1011
12	0000 1100
13	0000 1101
14	0000 1110
15	0000 1111

圖 10

進位數註於右括弧之下的附標位置。有了這種慣用法，吾人即可在一個式子中寫出不同基數的數據了。如：

$$(00001000)_{2} = (8)_{10}$$

二進位數化為十進位數的變換法

(Binary to Decimed al Con version)

以前，吾人曾將十進位數 2,873 分解成其位值之總和。現在就二進位數 1011 1010 加以分解：

二進位數	1	0	1	1	1	0	1	0
各位位值	128	0	32	16	8	0	2	0

各位位值相加，得

$$128 + 0 + 32 + 16 + 8 + 0 + 2 + 0 = (186)_{10}$$

剛才所做的計算祇是將二進位數中各二進位數字為 1 的各相當位值相加而得一十進位數值。亦即二進位數化成十進位數。在以後各章，我們將會時常遇到這種由二進位數化成十進位數，或由十進位數化成二進位數的工作。

求位值的總和是由二進位數化成十進位數的方法之一。另有一種稱為“倍和法” (double-and-add Method) 亦可完成這種變換工作。該法先將最左邊有效數字 (即最左邊一個二進數字為 1 者) 加倍，再與緊接其右的二進位數字相加求和，加倍此和數，再與緊接其右的二進位數字相加求和，如此，加倍，求和，加倍，求和，一直計算到該二進位數目之最右一位二進位數字。至此，即已得到該二進位數之相當十進位數了。例 1 所示為倍和法之實例。由最左邊二進位