

電腦輔助製造的簡介

1 甚麼是電腦輔助製造？	2
(a) 電腦數控機床的優點	3
(b) 電腦數控機床的限制	3
2 電腦數控機床的工業應用	3
(a) 電腦數控機床的設計	3
(b) 輔助機械元件	4
(c) 座標系統	4
(d) 各種電腦數控機床簡介	5
(i) 電腦數控鑽床	5
(ii) 電腦數控車床	5
(iii) 電腦數控銑床	5
(iv) 電腦數控加工中心	6
(v) 電腦數控衝床	6
(vi) 電腦數控摺床	7
(vii) 電腦數控點焊機	7
(viii) 電腦數控電火花切削機	7
(ix) 電腦數控電子束機	8
(x) 電腦數控激光切削機	8
(xi) 電腦數控座標量度機	8
(xii) 其他電腦數控機械	9
3 電腦數控機床的操作	9
(a) 基本操作原理	9
(b) ISO 碼	10
(c) 編寫程式	10
(d) 電腦數控車床應用實例	12
4 電腦數控機床的應用軟件	14
5 使用電腦數控機床的安全措施	14
練習	16

電腦輔助製造的簡介

1 甚麼是電腦輔助製造？

大部分的機械設備都需要控制系統來操作，控制系統有許多種類，例如：人手控制、自動控制、電腦控制或遙遠控制等。為便利大量生產，工業上的生產機器通常需要不斷重覆精確、快速和自動化的動作。生產機器可以用機械、氣動、電子等自動化系統來控制，但通常都有固定的生產程序，更換程序或工具時便需要大量時間來重組整個系統(圖 1)。



圖1 大量生產的工業設備



圖2 電腦數控機床

隨著電子和電腦科技的發展，它們亦被廣泛應用到生產機器上，以節省生產時間、改善質素和提高效率。所以，現代工廠通常會使用數控機床，簡稱為 NC 機床。配置有電腦的數控機床則稱為電腦數控機床，簡稱為 CNC 機床(圖 2)。電腦數控機床使用數碼資料來控制刀具和工件的運動，例如：刀具的轉速、移動方向、切削速率等。只要改變電腦中的資料或程式，便可以快速地更換生產程序。

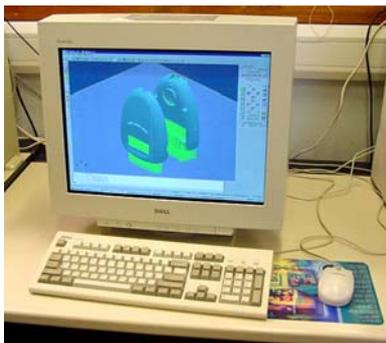
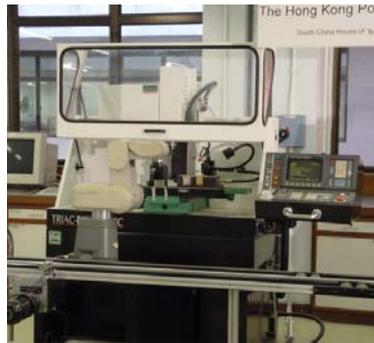


圖3 (a) 電腦輔助設計(CAD)



(b) 電腦輔助製造(CAM)

利用電腦控制機械的生產方法稱為電腦輔助製造，簡稱為 CAM。電腦輔助製造與電腦輔助設計(簡稱為 CAD)有密切的關係，因為由 CAD 所輸出的產品資料可以用來輔助編寫生產程式，然後便可以立刻進行測試和生產，所以能夠簡化從產品設計到製造的過程(圖 3)。

(a) 電腦數控機床的優點

電腦數控機床有不少的優點：

- (i) 電腦可以根據產品的資料來計算最佳的刀具移動路徑，刀具轉速和進刀速度等資料，所以能節省生產成本和時間。
- (ii) 電腦數控機床通常具有自動更換刀具功能。
- (iii) 電腦數控機床可以精確地控制刀具在各軸上的移動，所以能夠快速地切削較複雜的工件部分。
- (iv) 利用電腦的多種輸入設備和記憶體，電腦數控機床可以快速地下載和修改程式，所以能夠快速地改變生產程序。
- (v) 電腦數控機床操作時無須人手調校，所以能夠以高速運作，而且能夠減少依靠熟練工人，以減低勞工成本。
- (vi) 電腦數控機床利用多種設計來產生回輸，所以能維持一致的高可靠性及質量，因而減少了不合規格的產品，亦減少品質檢查的成本。

(b) 電腦數控機床的限制

不過，使用電腦數控機床亦有不少的限制：

- (i) 購置機器的成本高昂，所以許多小型工廠未必能夠負擔。
- (ii) 操作工人需要先接受編寫電腦控制程式的訓練。
- (iii) 控制系統複雜而精密，維修費用亦較昂貴。

2 電腦數控機床的工業應用

(a) 電腦數控機床的設計

電腦數控機床需要採用新的設計，以符合自動化的需要。首先，電腦數控機床需要有精確的路徑量度系統，以便電腦能自動確定刀具和工件的位置(圖 4a)。路徑量度系統有多種設計，例如：使用光電感應裝置來把電子信號直接輸入電腦(圖 4b)。

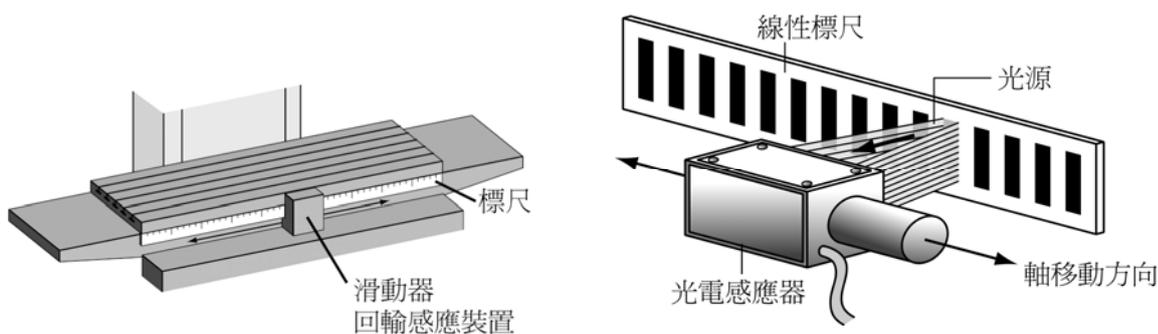


圖4 (a) 路徑量度系統

(b) 光電感應裝置

此外，為提供較高的精確度，電腦數控機床的刀具必須不易彎曲和吸震能力良好。滾珠軸承和軸亦不可有偏移，驅動系統和轉軸在操作時必須能保持平衡。減少驅動系統的摩擦力可減少熱能損耗、提高機械效率、提高精確度和增加最大負載重量。

另一方面，驅動轉軸和刀具旋轉的電動機需要有較精密的速度變化和較大的速度範圍。主轉軸亦需要有感應裝置來確定靜止時的角位移，以便移動和更換刀具。衝壓機械的驅動系統則需要較高動力、良好的散熱能力和高穩定性，以提供高速衝壓的能力。

(b) 輔助機械元件

電腦數控機床需要較多的輔助機械元件，例如：方便更換刀具的工具夾、自動換刀系統、工件的夾持工具和傳送系統等。有些機械會使用轉盤來貯存各種刀具，以便自動更換刀具，另一些則會使用機械臂來自動更換刀具和安裝工件(圖 5)。



圖5 (a) 自動換刀 CNC 車床



(b) 可用機械臂安裝工件的機床

(c) 座標系統

電腦數控機床需要座標系統來控制刀具，例如：國際通用的 ISO R841 標準規格便是較常用的標準。刀具需要切削立體的工作，亦即是在三維空間(即立體空間)內移動，所以需要包括三條互相垂直主軸的座標系統。三條垂直軸分別稱為 X、Y 和 Z，它們的相對位置可以分別用右手的姆指、食指和中指互相垂直來顯示，這稱為右手定則(圖 6a)。

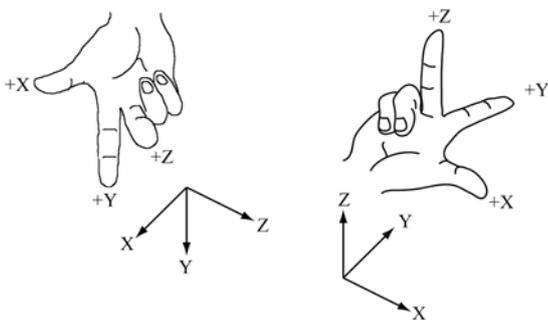
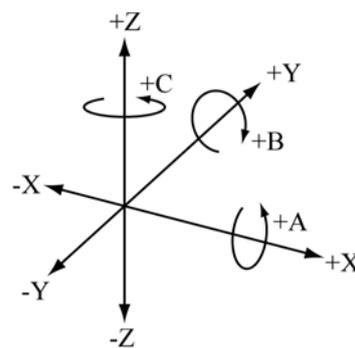


圖6 (a) 右手定則



(b) 主軸和旋轉軸座標系統

旋轉軸則可以用主軸來設定，A、B 和 C 分別代表沿主軸 X、Y 和 Z 旋轉的旋轉軸。各旋轉軸通常以順時針方向為正值、逆時針方向為負值，如圖 6b 所示。此外，通常以 U、V 和 W 來代表平行主軸 X、Y 和 Z 的副軸，P、Q 和 R 來代表平行主軸 X、Y 和 Z 的較遠軸，例如：工件上的主軸。

(d) 各種電腦數控機床簡介

電腦數控機床有許多不同種類，例如：電腦數控鑽床、電腦數控車床、電腦數控銑床等。

(i) 電腦數控鑽床

電腦數控鑽床利用夾頭來夾持鑽咀，然後控制鑽咀的轉速和進入工件(Z 軸)的深度和寬度。工件則通常夾持在可沿平面(X 和 Y 軸)移動的桌面上。由於鑽咀有不同的長度，所以有些電腦數控鑽床會使用程序來補償鑽入的深度(圖 7)。有些電腦數控鑽床亦會有自動轉換鑽咀的裝置。

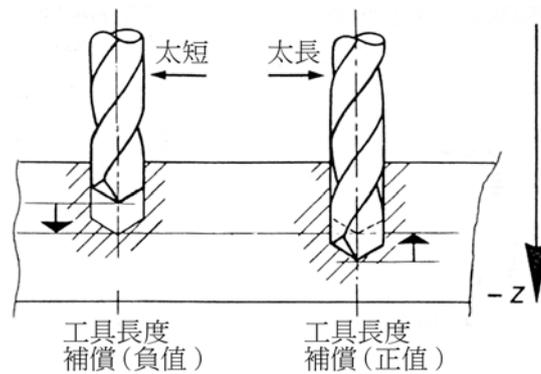


圖7 補償鑽入的深度

(ii) 電腦數控車床

大多數電腦數控車床只需要控制 X 和 Z 軸(圖 8a)，但亦有增加控制 W 軸的種類(圖 8b)。它們除具備線性(即單一方向)路徑控制功能外，亦會同時控制轉軸轉速、進刀速率和更換刀具等功能。

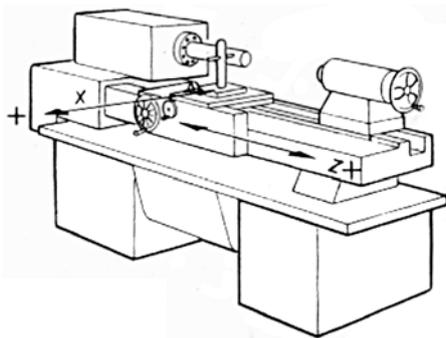
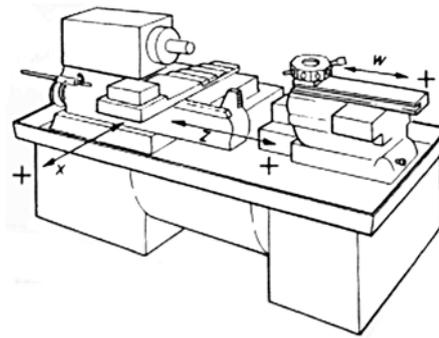


圖8 (a) 兩軸中心車床



(b) 三軸中心車床

(iii) 電腦數控銑床

電腦數控銑床可以分為直立式和橫置式兩大類，它們通常具備連續路徑控制能力，並可以控制三軸、四軸、五軸或以上的運作(圖 9)。此外，大多數電腦數控銑床都可以利用電腦的運算能力來自動找出兩點之間的直線或彎曲路徑，能夠切削極複雜的形狀。

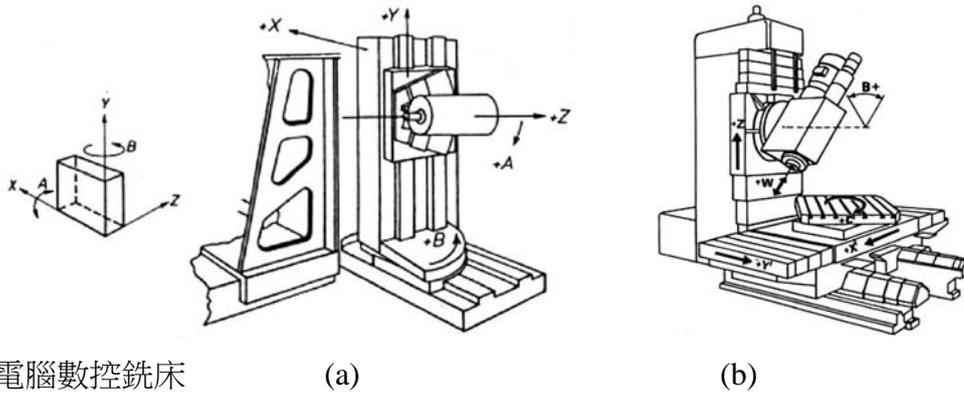


圖9 五軸電腦數控銑床

(iv) 電腦數控加工中心

電腦數控加工中心是常用的電腦數控機床，它具備多種刀具，可以進行表面銑削、鑽孔、擴孔、切削螺紋和複雜表面處理等工序。它可以控制四至五軸，所以能夠切削工件的四至五個表面(圖 10)。

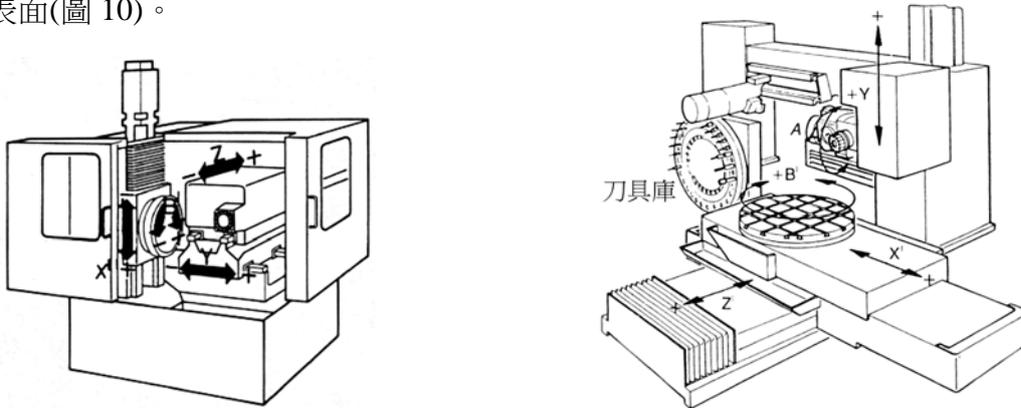


圖10 (a) 四軸電腦數控加工中心

(b) 五軸電腦數控加工中心

各種刀具可以根據電腦程式控制而更換，數量一般由 60 至 120 不等，視乎刀具庫的設計(圖 11a)。有些電腦數控加工中心還設置自動輸送工件的設備，可以減短更換工件的時間，加快生產效率(圖 11b)。



(a) 刀具庫



(b) 自動輸送工件設備

圖11 電腦數控加工中心

(v) 電腦數控衝床

衝壓工序是利用衝頭在金屬薄片上壓出孔洞、圖案或小薄片(圖 12a)。電腦數控衝床通常裝有多個不同形狀的衝頭，可以根據電腦輔助設計的要求快速地移動薄片，然後換上合適的衝頭，自動和精確地衝壓金屬薄片(圖 12b)。



圖12 (a) 衝壓金屬薄片



(b) 電腦數控衝床

(vi) 電腦數控摺床

電腦數控摺床(圖 13)不但能夠利用電腦來輔助摺曲金屬薄片，它還可以配合電腦數控衝床，精確地把金屬薄片摺曲成接合的容器。



圖13 電腦數控摺床

(vii) 電腦數控點焊機

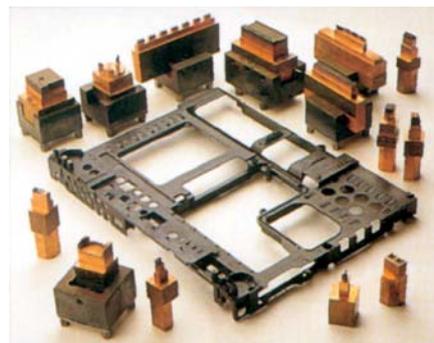
點焊工序是利用兩個電極接觸所產生的電流來焊接金屬薄片。電腦數控點焊機常用於汽車工業，並通常由數部點焊機組成焊接生產線。

(viii) 電腦數控電火花切削機

電火花切削是利用金屬線和工件作為電極，並以兩者間的電火花來切削堅硬工件(圖 14a)。電腦電火花切削機可以利用電腦程式來切削複雜的形狀(圖 14b)。



圖14 (a) 電腦數控電火花切削機



(b) 複雜形狀的工件

(ix) 電腦數控電子束機

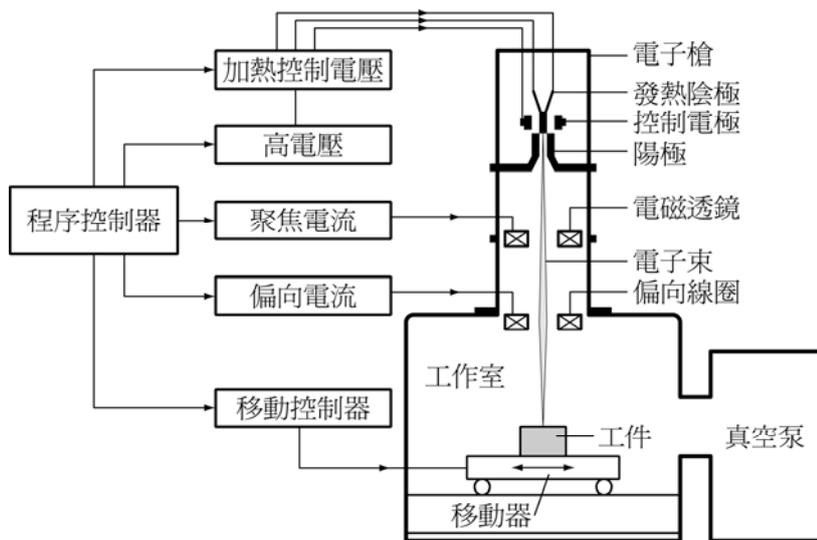


圖15 電腦數控電子束機操作原理

電子束機(EBM)利用高能量、狹窄、高度集中和高速電子來進行焊接、鑽孔和刻劃等工序。當高速電子穿越真空而射到金屬工件表面時，它的動能差不多會全部被工件吸收而產生高熱，圖 15 顯示它的工作原理。由於電子束可以產生多種工序，所以常配合電腦數碼控制器來操作，以簡化控制程式。

(x) 電腦數控激光切削機

激光切削機(圖 16)利用高能量和集束的激光來精細地切削金屬工件。電腦數控激光切削機可以利用電腦程式來精確控制工件的平面移動，所以能夠切削複雜的形狀(圖 17)。



圖16 激光切削機



圖17 激光切削的工件

(xi) 電腦數控座標量度機

一部座標量度機(CMM)主要用來精確地量度工件或物體的尺寸，可以用來提供物體的立體數據、品質控制或修改加工工序的數據等。它通常利用多個互相垂直的探針沿被量度物體的表面移動，以找出表面上各點的座標(圖 18a)。電腦數控裝置可以自動控制探針的移動，並不斷收集、貯存和處理數據。有些座標量度機利用低能量的激光束來代替探針，以提高精確度(圖 18b)。

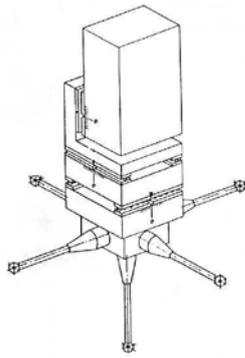


圖18 (a) 互相垂直的探針



(b) 電腦數控座標量度機

(xii) 其他電腦數控機械

電腦數控機械還有許多用途，例如：電腦數控磨床、電腦數控屈管機、電腦數控水力切削機等。此外，隨著電腦的能力不斷發展，電腦數控機械亦會越來越多，例如：許多工廠現在已使用電腦控制的機械臂來進行各種工序。

3 電腦數控機床的操作

(a) 基本操作原理

圖 19 顯示簡化的電腦數控機床操作過程。首先，先根據工件的設計準備工程繪圖，這過程可以使用電腦輔助設計(CAD)軟件來協助。然後，利用工程繪圖的資料，便可以編寫控制電腦數控機床的程式，稱為數控機床程式。數控機床程式包括所有製造工件的幾何資料和技術資料。幾何資料決定刀具移動的目標位置、進刀方向和移動次序等。技術資料則包括所選的刀具、主軸轉速和旋轉方向、進刀速度等資料。

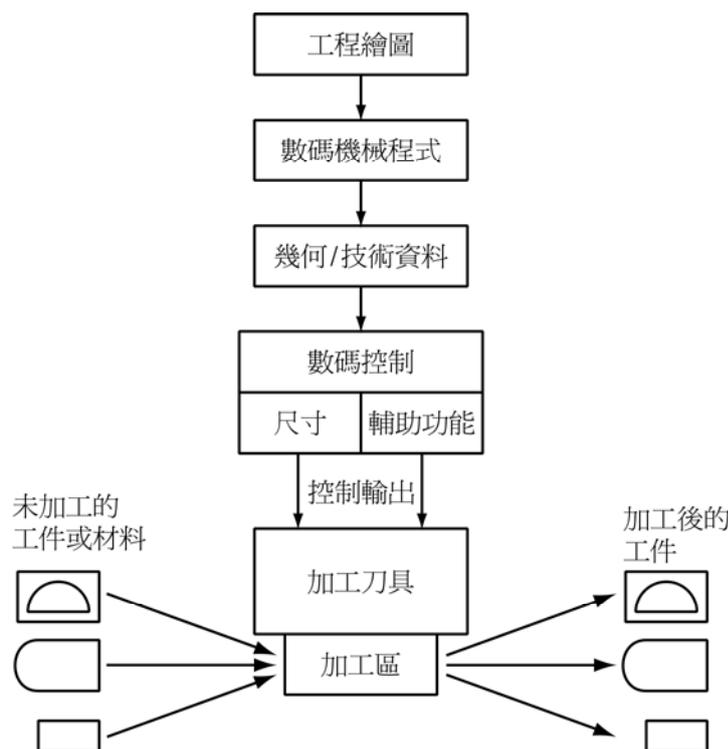


圖19 簡化的電腦數控機床操作過程

數控機床程式將幾何資料和技術資料輸入到數碼控制器內，輸入設備包括紙帶、磁帶、外置鍵盤等。數碼控制器處理各種資料後，便可以找出刀具的移動路徑和合適的工序。最後，數碼控制器便會適當地控制整部機械和刀具，將材料加工成為合適的工件。

電腦數控機床的數控機床程式通常會採用國際通用的 ISO RS358 標準規格來編寫。美國及其鄰近國家則可能會採用一種相似的美式規格 EIA RS244。

(b) ISO 碼

根據 ISO 標準規格，數控機床程式可以用 8 字元(bit)的 ISO 碼來編寫。圖 20a 顯示一條紙帶上的一些 ISO 碼，留意每個 ISO 碼通常會有特別的功能，例如：A 代表沿 X 軸旋轉位址、G 代表準備功能位址等。

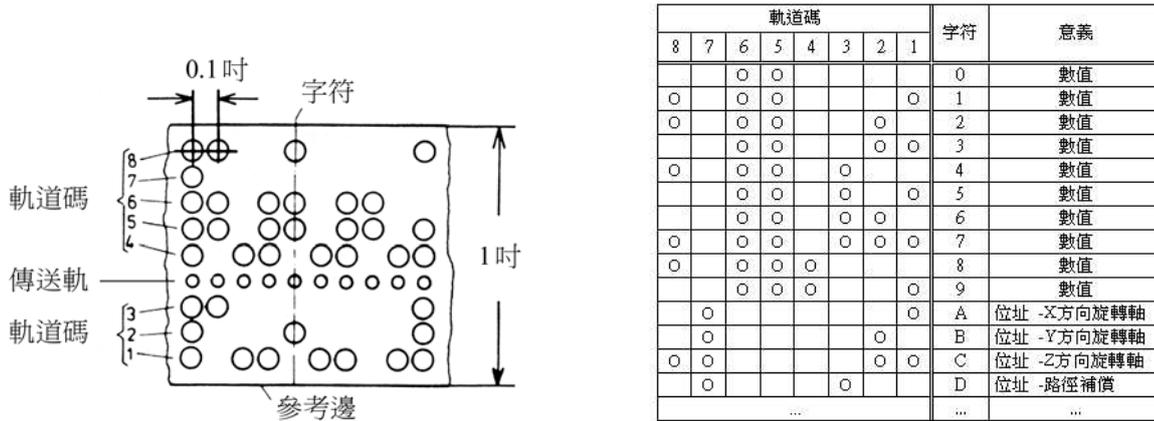


圖20 (a) 紙帶

(b) ISO 碼

(c) 編寫程式

利用 ISO 碼來編寫數控機床程式可以有多種方法，其中最常用的方法是 ISO 標準的字和位址規格，它將一個程式分為多個信息塊(block)，每個信息塊內則利用字母來代表不同的字(word)。信息塊和字的長度則按設計需要來決定。

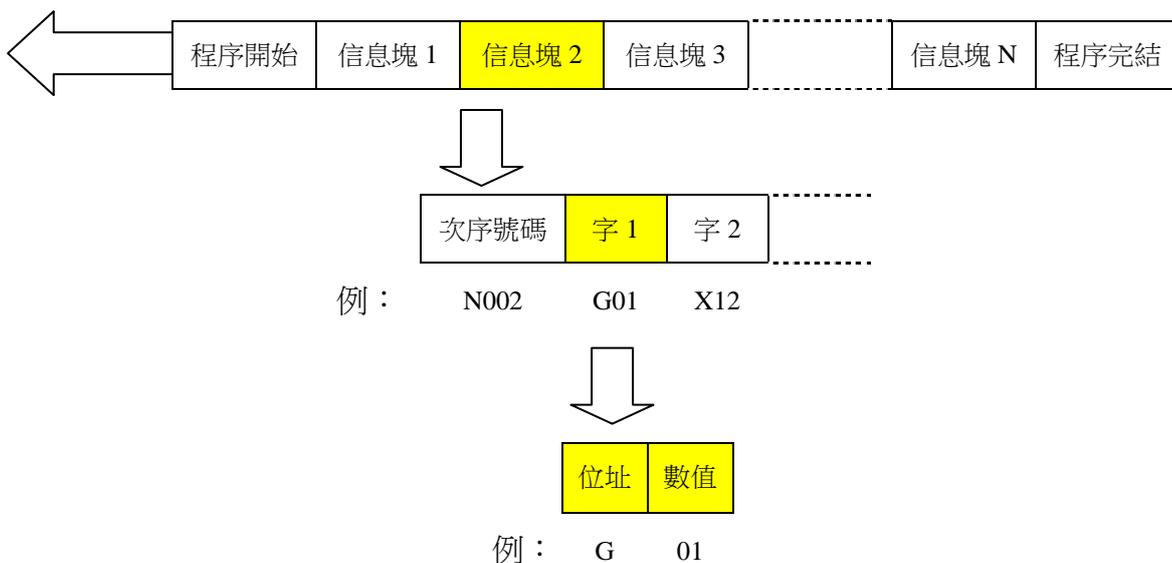


圖21 數控機床程式的結構

圖 21 顯示數控機床程式的結構，它由多個信息塊所組成，每個信息塊利用不同步驟來控制機床的工作次序。每個信息塊除了包含幾何加工步驟外，還可能包含某種機械功能。各信息塊均會依次序編上序號，並由信息塊完結碼(\$)互相分隔。

一個信息塊是由一個或多個字(word)組成的。而一個字是由一個識別字母和一組數字組成的，負責控制機床的運動和轉換功能。一個信息塊可以包含不同的指令，如表 1 所示。例如：字母 F 代表進刀速率，所以 F200 代表進刀速率是 200 mm/min。放在每字前的識別字母稱為位址(address)。

指令	功能	位址
次序號碼	將每個信息塊順序編碼以識別每行。	N
幾何	控制刀具和工件的相對運動，例如：線性座標和軸向運動。	X,Y,Z,A,B,C,U,V,W
弧形插值	在兩點間加入弧形線時的參數。	I, J, K
進刀功能	描述進刀時的速率。	F
轉速功能	描述主軸的每分鐘轉速。	S
工具功能	辨別所用的工具。	T
準備功能	標明移動種類，例如快速移動、線性插入位置或曲線插入位置等。	G
雜項功能	包含多種功能，例如：主軸的旋轉方向、開關冷卻劑供應等。	M

表 1 信息塊內的指令

信息塊內的字通常由位址和數值組成，位址由字母(例如：G)表示，並標註隨後的數值放在哪裏。所以，在一個信息塊內，每一個位址只應出現一次。此外，加入數碼時必須留意小數點的位置、0 的前置和後置安排、數值單位等規律。以下是一些字的例子：N20 代表序號 20、G00 代表刀具快速移動到指定位置(須要附加座標)、F60 代表刀具會以每分鐘 60 mm 的進給速度移動、M06 代表轉換刀具等。

G碼	準備功能
G00	快速移動
G01	直線插值
G02	圓形插值(順時針)
G03	圓形插值(逆時針)
...	...
G18	指定ZX平面
...	...

表2 一些常用的 G 碼

M碼	雜項功能
M00	程式關閉
...	...
M03	主軸轉動(順時針)
M04	主軸轉動(逆時針)
M05	主軸停止
M06	轉換工具
...	...

表3 一些常用的 M 碼

有些字可以再仔細地分類為代表不同功能的碼，例如：G 碼和 M 碼。表 2 和 3 列出一些大多數數控機床常用的 G 碼和 M 碼。

將多個字組合在一起，就可以構成一個信息塊。表 4 列出程式內的一些信息塊的例子。多個信息塊依數號組合起來，就可以構成一個完整的數控機床程式。

信息塊例子	序號(N)	說明
N040 G18 X100 Z50 ;	40	指定 X 軸的 100 和 Z 軸的 50
N080 G97 S1000 ;	80	指定主軸轉速為 1000 rpm
N090 M03 ;	90	主軸轉動(順時針)
N160 G00 X0 Z20 ;	160	快速移動至 X 軸的 0 和 Z 軸的 20
N170 M08 ;	170	開始供應冷卻劑

表4 數控機床程式例子

(d) 電腦數控車床應用實例

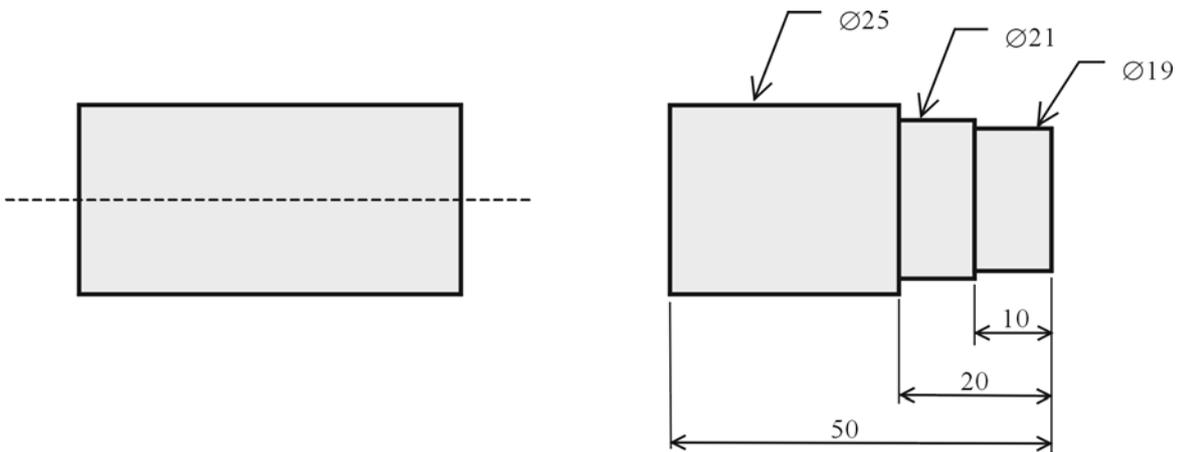


圖22 (a) 金屬圓柱體

(b) 數控車床切削的製成品

圖 22 顯示一個應用電腦數控車床來切削金屬圓柱體的實例，資料如下：

材料：鋁

數控車床轉速：2250 轉/每分鐘

進給：60 mm/每分鐘

切削深度：1 mm

數控車床使用絕對值座標

輸入公制尺寸

主轉軸逆時針轉動

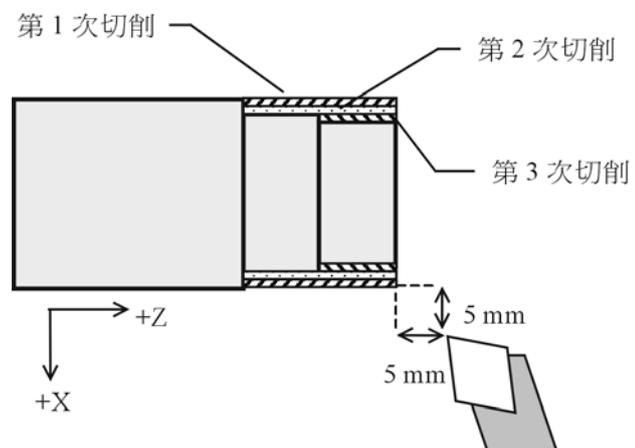


圖23

圖 23 顯示車刀的原點、切削的部分和次序。

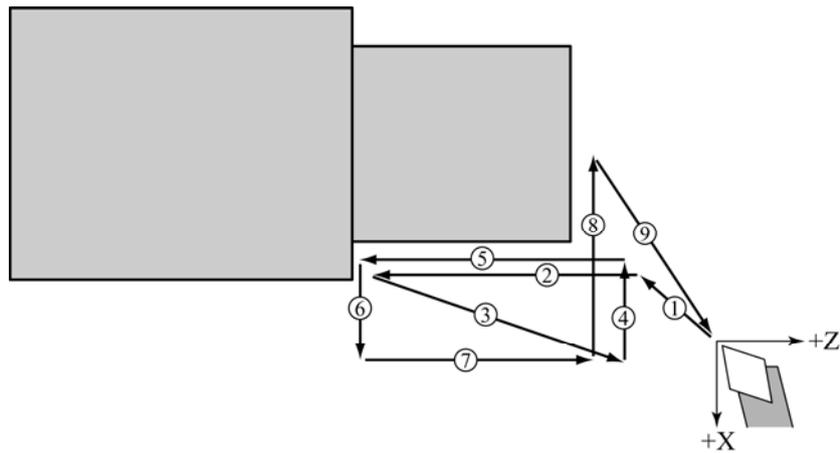


圖24

圖 24 顯示第 1 次切削時，車刀的移動路徑。在第 2 和第 3 次切削時，車刀有相似的移動路徑。表 5 列出有關的資料和程式。假設主軸已連同工件一齊轉動。

序號	碼	X 座標	Z 座標	進給	信息塊	刀具描述
N	G	X	Z	F		
10	00	-600	-400	0	N10 G00 X-600 Z-400 ;	刀具快速移動到準備位置
20	01	-600	-2500	60	N20 G01 X-600 Z-2500 F60 ;	以每分鐘 60 mm 的速度進給，切削第 1 次
30	00	-500	-400	0	N30 G00 X-500 Z-400 ;	快速移到完結位置
40	00	-700	-400	0	N40 G00 X-700 Z-400 ;	移到第 2 次切削的準備位置
50	01	-700	-2500	60	N50 G01 X-700 Z-2500 F60 ;	以每分鐘 60 mm 的速度進給，切削第 2 次
60	01	-500	-2500	60	N60 G01 X-500 Z-2500 F60 ;	以每分鐘 60 mm 的速度進給，切削第 3 次
70	00	-500	-600	0	N70 G00 X-500 Z-600 ;	快速移到第 3 次切削的準備位置
80	01	-1500	-600	60	N90 G01 X-1500 Z-600 F60 ;	以每分鐘 60 mm 的速度進給，切削第 4 次
90	00	0	0	0	N100 G00 X0 Z0 ;	快速移到起點位置

表 5

4 電腦數控機床的應用軟件

數控機床程式主要由簡單的字母和數值組成，所以較難明白，而且需要較長時間計算數值和編寫，亦容易出錯。為了減輕程式編寫員的工作負荷，研究人員便發展了一些電腦輔助編寫程式的應用軟件，例如：COMPAC、SPLIT、COMPACT II、MASTERCAM 等。

程式編寫員只需要根據工程繪圖來草擬工作程序和數據，再使用應用軟件來輸入程序，應用軟件便會自動分析數據，然後產生數控機床程式。應用軟件有不少優點：

- 通常使用較簡單易明的符號語言來表示幾何和技術數據。
- 可以節省描述工件和加工程序的時間。
- 減少輸入數據、計算等工作，所以亦能減少產生數控機床程式時的錯誤。
- 應用軟件大多通用於不同的機床，所以程式編寫員無須理會不同機床的編碼。
- 有些應用軟件還可以在電腦上先模擬執行程式，讓程式編寫員檢查程式有否出錯和作修改，這便能夠節省因出錯而浪費的時間和成本。

5 使用電腦數控機床的安全措施

為確保安全，在使用電腦數控機床應留意下列事項：

1. 選擇合適的控制器，並確保控制器與電腦之間互相配合。
2. 選擇適當的電腦程式軟件來控制系統。
3. 編寫電腦控制程式後，應先在電腦上進行模擬操作測試，方可確保所編寫的程式正確無誤，並可免除因程式錯誤而對系統造成損害。
4. 必須按照數控機床生產商的指引操作電腦控制系統。
5. 選擇合適的電腦數控機床安全裝置，如圖 24 所示，例如：
 - 透視的保護裝置
 - 轉速波動感應器
 - 過度滑動安全限制
 - 閉環式編碼器回饋
 - 電子互鎖保護裝置

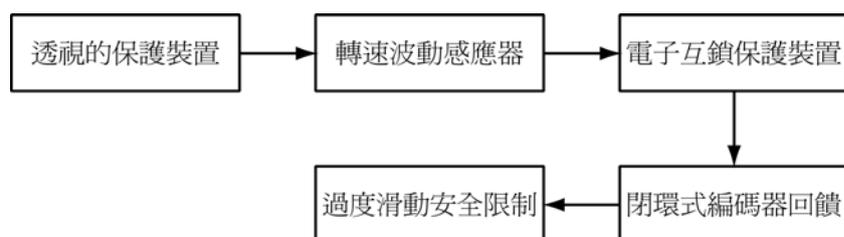


圖25

- 必須知道緊急停止操作按鈕的位置，才可以操作任何電腦數控車床機械工具。
- 必須確定電腦數控車床已停止運作後，才可進入車床的工作間。
- 使用乾潔的抹布清理桌面及墊板表面的油漬，使用合適的工具清理碎屑。
- 機器桌面上不可放置任何工具或物料。
- 避免碰撞電腦數控車床控制部分。
- 操作電腦數控車床機械之前，必須確定已實施安全措施。
- 不可接觸機械中的移動部分。
- 當機械運作時，不可離開。

練習

1. 闡述數控衝床的工作情況。
2. 電腦數控機床為提供較高的精確度，刀具必須具備什麼性能？
3. 寫出利用電腦控制機械生產方法中「CAD」和「CAM」的意思。
4. 寫出電腦數控機床需要哪些輔助機械元件協助操作？
5. 列出五種利用電腦數控的機床名稱。
6. 簡述電腦數控機床的基本操作原理。
7. 簡述電腦數控加工中心和激光切削機的操作原理。