

目錄

摘要	1
第 1 章 數值控制簡介.....	2
一、前言.....	3
二、數值控制之意義.....	5
三、數值控制工具機基本加工流程.....	6
四、數值控制工具機之優點與缺點.....	9
第 2 章 數值控制工具機之座標軸向設定.....	14
一、座標系統.....	15
二、座標原點之設定.....	17
三、絕對值與增量值座標系統.....	19
四、右手座標系統.....	21
五、工具機之座標軸.....	22
第 3 章 數控程式製作基本知識.....	25
一、程式的組成	25
二、NC 資料輸入格式	27
三、NC 機能的分類	28
四、CNC 銑床	35
五、CNC 車床	38
第 4 章 MaststCAM 簡述.....	40
一、MasterCAM 概述.....	41
二、系統簡介	42
三、CAD 繪圖部分	48
四、銑床刀具路徑部分	53
五、設計到製造.....	56
第 5 章 空心字製作過程.....	61
一、AutoCAD 空心字製作過程	61
二、Solidworks 空心字製作過程	65
三、MasterCAM 空心字製作過程	70
四、成品圖片	76
結論.....	79
參考文獻.....	80

摘要

電腦化是時代進步的趨勢，各種行業無不全力以赴求趕上世界潮流。而機械產品為了達到大量生產、互換性、彈性的要求，必須使用電腦數值控制(CNC)工具機，CNC 工具機與 CAD/CAM 連線，不僅在程式設計上更為便捷。製造技術隨著科技的進步，航太、光學、機械元件需求的增加，而步上自動化的階段。在整個自動化的過程中，機器設備的汰舊換新可能再短時間內完成，但人才的培育卻是需要長遠的計畫，尤其是在電腦軟體的操作上更是完全不同，而操作技術的好壞更與加工品質、效率、成本有著直接的關聯。而我們目前所學 AutoCAD、Solidworks、MasterCAM 這幾套軟體擁有 CAD/CAM 強大系統，從設計到製造它提供了完整的解決方案，在 CAD 方面提供強大的曲面或是實體建構功能，在 CAM 方面提供了二軸到五軸的 CNC 銑床加工、車床加工以線切割加工等。我們將利用 MasterCAM 這套軟體作為主要的模擬與實作刻出空心字。

第一章 數值控制簡介

我國由農業為主之社會形態漸轉變為今日之工業社會後，機械製造業即以一日千里之勢蓬勃發展，由二十年前之勞力密集，迅速轉化為資本與技術密集之市場形態，對於產品零件之品質、精確度，重複性與互換性之要求大為提升外，產品生產之速度、成本之降低、複雜而多樣式產品變化及對技術工人之依存度等等，無一不在各企業主考慮之範圍。凡此種種，皆非昔日單純人工操作之能力所及，為因應類此諸多問題，生產自動化之趨勢，勢所難免，對於機械工業而言，數值控制工具機乃其中最主要之環節，近年來，更因結合 CAD/CAM 之強大功能，而使其居於舉足輕重之地位與態勢已甚為明顯。

一、前言

工具機乃是製造機械的機械，它是各種基礎加工和精密加工不可或缺的機械設備，因此有人說工具機為機械之母，或俗稱為「工作母機」，工具機在整體機械工業中佔有關鍵性之地位，尤其如國防工業、汽車工業、航太工業等，一個國家之國力及工業技術水準，常以工具機之產值、生產規模及技術層次來衡量與評估，我國有鑑於此，對於工具機產業之研發及推展均投入大量人力與物力，根據統計資料顯示，我國工具機產量在世界之排名，由 1984 年之第十三名逐年晉級，1991 年為第九名，至 1996 年我國工具機之生產規模及產值更晉級為第六名，超越了傳統的先進國家如英、法等國，和第五名的瑞士也只在伯仲之間，預期往後之成長率仍可保持 10% 以上，因此，工具機業只要能把握目前之發展時機，並能強化企業體質，提升技術層次，將可成為如同日本及西歐部分先進國家一樣，成為世界工具機生產強國。

自從 1952 年美國麻省理工學院(MIT)完成第一部 NC 洗床後，對傳統工具機產生了革命性之轉變，至今經過四十年來不斷研究、改良及推廣，工具機 NC 化已是不可避免之趨勢，所

謂工具機 NC 化既是將一部工具機設備，裝上一套數值控制系統，藉由數值控制系統來控制工具機之運轉、刀具更換、刀具移動……等動作，既為通稱之數值控制工具機，數值控制工具機是產業自動化不可或缺之機具，國內早期生產傳統工具機業者，其不論大廠或小廠，數值工具機已取代傳統工具機，成為公司之主力產品，一般中小型之加工廠，廠內機具設備也均逐步 NC 化，以解決目前基層技術人力短缺現象，並提升加工技術層次。

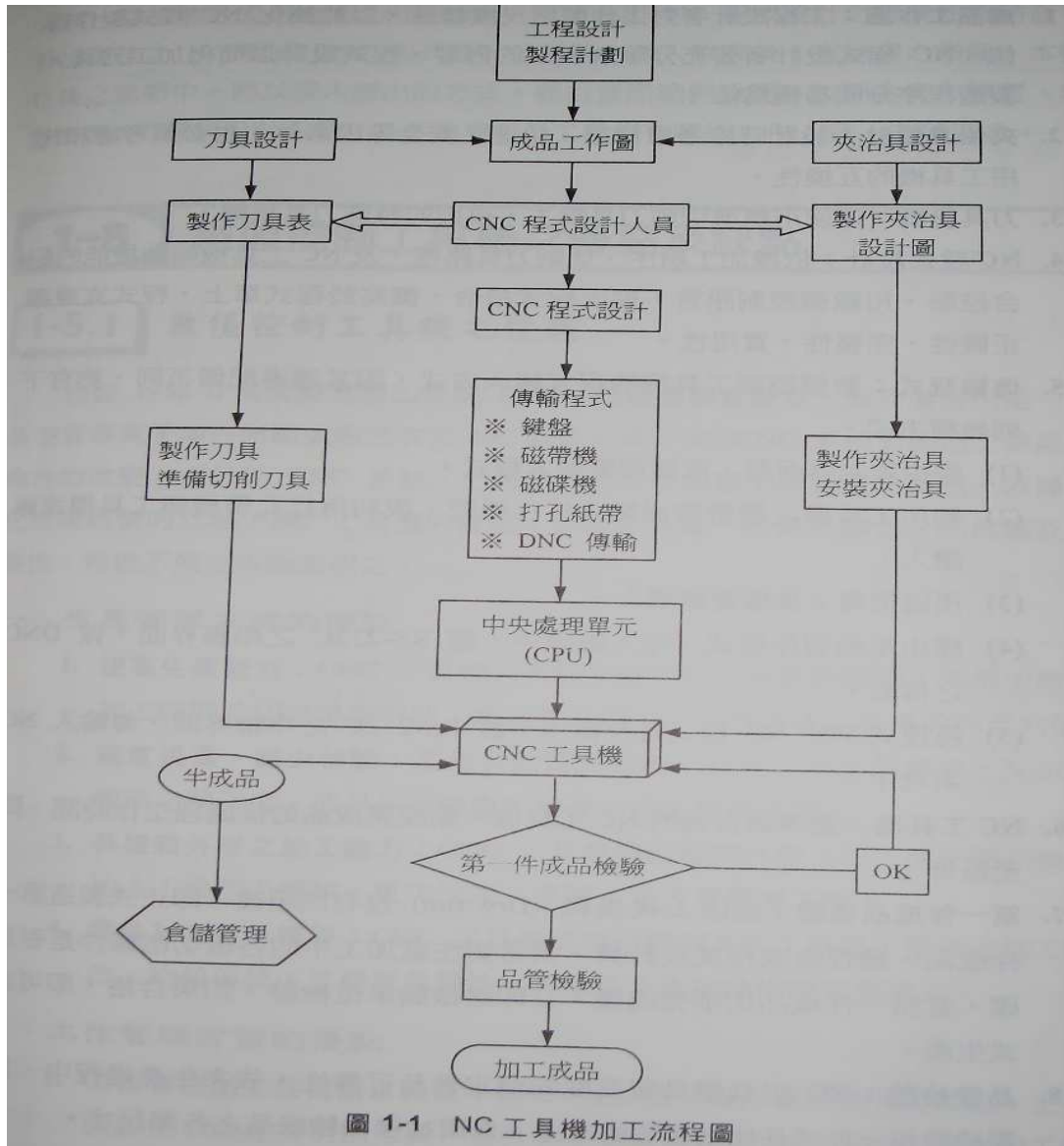
二、數值控制之意義

所謂數值控制(numerical control)，簡稱 NC 或數控，乃經由控制器上之面盤、磁碟機、磁帶機或讀帶機將加工程式指令，輸入數控系統之記憶體後，經由電腦之計算與編譯，透過位移控制系統，將資訊傳至驅動器以驅動馬達之過程。

然而，數控工具機也絕非萬能，若無其他周邊設備之配合，則功能將無法做淋漓盡緻之發揮，如數控車床若欠缺相關夾具或治具之輔助，則無法作偏心工作之切削，數控洗床無法結合 CAM 系統，則亦難以做 3D 之曲面加工，同時，對於簡易外型零件之大量生產，則其適應性也絕無法與單能機相互此擬，少量生產則又不符經濟效益之須求。故而數控工具機較適用於下列場合之中：

- (1) 符合最大經濟效益時。
- (2) 需求更高品質之產品與零件時。
- (3) 要求提高產品之生產速度時。
- (4) 複雜外型與輪廓之工件加工時。

三、數值控制工具機基本加工流程



1. 成品工作圖: 工程設計者對工作圖之尺度標註，以能簡化 NC 程式製作為佳。NC 程式設計者要充分了解加工的內容，程式設計以簡化加工刀具，製造程序分明易懂為佳。
2. 夾治具設計: 設計時除考慮精確、快速、安全等因素外，也必須考慮和代用工具機的互換性。

3. 刀具設計:以使用標準切削刀具為主，自製的特殊刀具為輔。
4. NC 程式設計:依據加工順序、切削刀具路徑，及 NC 工具機輔助機能的配合，用數值控制語言，編成程式指令，撰寫於程式單上，程式宜兼顧正確性、完整性、實用性。
5. 傳輸程式:數值工具機的程式輸入方式，因其週邊配備不同，約有下列幾種方式。
 - (1) 經由控制器面盤，直接按鍵輸入程式。
 - (2) 利用工具機之讀帶裝置輸入打孔紙帶，或利用打孔帶機與工具機連線讀入。
 - (3) 用磁帶與工具機連線讀入。
 - (4) 經由電腦製作程式，存入磁碟中，經 RS-232C 之串聯界面，作 DNC 之輸入。
 - (5) 將程式存於 NC 程式暫存器中，經 RS-232C 之串聯界面，傳輸入 NC 系統中。
6. NC 工具機:選擇最適合的 NC 工具機，其能將成品的後處理工作時間，降至最低。
7. 第一件成品檢驗:經由上機模擬沒有問題後，既正式製造第

一件成品。操作員或程式設計員，須密切注意加工中的各種切削條件是否正確。當第一件成品切削完成後，立即送檢驗單位檢驗，如果合格，既可正式生產。

8. 品管檢驗:NC 工具機具有高度的穩定性及可靠性，故在生產過程中，只須檢驗每一件成品比較重要的尺寸，偶爾抽樣檢驗成品之各部尺寸。

在前面所述之加工步驟中，成品之良否，主要關鍵在第 4 步驟-NC 程式設計人員，必須熟悉成品加工之相關知識，在將其與 NC 程式設計之專業知識結合，設計出最佳之 NC 程式。NC 程式設計並不難，深入了解後，有無窮之樂趣。

四、數值控制工具機之優點與缺點

數控技術發展至今已五十多年的歷史，經歷了許多革命性的修正，所以數控技術至今已是一項非常成熟的科技。它之所以能經歷半個世紀未遭淘汰，更證明它具有許多無可取代的優點，其優點如下：

1. 具高精度

機器的精密度是指要求機器要達的位置與機器實際到達位置間的差異程度，或定義為機器在某範圍內的不準確度。例如：CNC 機器之滑軌在長度 500mm 的行程內准許有 $\pm 0.002\text{mm}$ 之不準確。CNC 控制系統的精度要求則是在長度 250mm 的行程內准許 $\pm 0.01\text{mm}$ 之不準確。

2. 具高重現性

機器的重現性是指多次要求機器到同一位置與機器每次實際到達位置之差異程度。因 CNC 工具機為閉迴路控制系統，具有量測裝置及回受迴路，所以可以不斷地修正調整，因此加工件在尺寸及形狀上有非常好的重複精度。

3. 操作者技術需求低

在現場操作 CNC 工具機之操作人員，不須具備 CNC 的相關知識既可再很短的時間之內將所需的簡易操作學會。例如現場操作人員只須學會裝卸加工件及刀具、操作面板的使用及監控加工過程既可，不需如操作傳統工具機所需的熟練技術。

4. 增加生產力

數控工具機若運用於模具加工業時，由於 3D 模具加工時間很長，時常需徹夜加班，數控工具機只要能在適當的操作環境下，可依天 24 小時，一年 365 天不間斷的工作。即使是操作人員在休息，他也可毫無怨言的繼續工作，所以數控工具機的生產力是傳統工具機的 4 倍至 6 倍。

5. 減少人為錯誤

數控工具機為電腦控制操作，只要程式設計人員將程式完成，設定好，試做無誤後既可開始量產。傳統工具機之操作則由熟練的技術人員操作，其每天加工成品之不良率會受操作人員身體、心理因素及許多外在因素的影響，所以數控工具機是一種可以將人為因素的影響降至最低的工具機。

6. 適用於中、小量形狀複雜，要求精度高的加工

大量生產應選用量產型的專用機，因為其生產速度絕對比數控工具機快的多。數控工具機對於形狀複雜，要求精度高的中、小量生產，其適用性甚佳，因為它可減少單位成本的支出。同時，他對於不是非常複雜且要求精度不高的生產亦不適合，因為使用傳統工具機既可。

7. 節少人事支出

傳統工具機的操作需一人一機，而數控工具機的操作人員可同時照顧數台數控工具機，所以每個月都可以節省一大筆人事支出。

8. 工時估算容易

數控工具機的操作順序及操作時間固定，故可正確地估算單位成本及掌握工程進度。

9. 機器管理容易

在正常的操作環境下，數控工具機的故障率低、保養簡便、管理容易，且因機械操作簡便，現在操作人員的訓練費用因而降低。

10. 生產進度易掌控

數控工具機的生產順序固定、故障率低，故生產計畫掌控容易、且富彈性，可有效降低庫存壓力、減少呆料，降低庫存成本。

儘管數控工具機有諸多的優點，但仍有一些美中不足較難以克服的小缺點，分述如下：

1. 數控工具機的初期添購成本高

每部數控工具機動則一百萬至數百萬，故在採購前應先評估該設備的可能訂單及使用率，在決定是否既投資採購。

2. 維護費用昂貴

機器難免會有故障發生，若無法自行解決，則一定要找專業人員進行維修，通常服務費用昂貴，且可能會延誤生產進度，所以機器操作者必須找個性慎重的人來擔任。

3. 維護人員養成不易

維護人員需同時專精於機構及電子領域，所以專業維修人員養成不易，較一般技術人員的要求更高。

4. 程式設計人員養成不易

程式設計人員需熟悉機械加工製成及程式指令，所以程式設計人員養成不易。

5. 加工低技術層次之產品較不符合經濟效益

數控工具機適用中、小量、形狀較複雜及要求精度高的產品加工，故當工件複雜度增高時，CNC 工具機才會變的較具經濟效益。

第二章 數值控制工具機 之座標軸向設定

數值控制工具機乃依據工作圖中，工件之尺寸與幾何形狀，依其加工進行之先後順序，即切削加工之刀具路徑，於妥善設定刀具與加工條件後，撰寫程式，利用各種傳輸媒體(紙帶、磁碟或由控制器之面盤直接輸入)將其輸入控制器中，藉以驅動刀具或床台，對工作物進行預期之加工，已精確快速的完成完美之成品。然而，從公件的尺寸、外形之描述，到刀具路徑之決定，無一不需程式製作者給予座標與方向，已確定刀具或床台移動之方向與距離，因而對於程式設計者而言，座標系統之決定，有絕對重要之必然性。

工具機中，凡能移動或控制之軸皆可稱為控制軸或座標軸；銑床之控制軸數包含 X、Y、Z 三個標準軸與 A、B、C 三個旋轉軸；車床上，則通常僅作 X、Z 軸向之加工。

一、座標系統

撰寫 CNC 程式時，刀具路徑必須以公件之形狀與尺寸為依據，因而其位移座標，實際上是由一連串之點、線與圓弧所組成之座標系統。運動位移之符號等均有一定規範，如此可使得各廠家甚至各國製造隻數值控制機械，能讓使用者操控自如而不致混淆。

數控系統所採行之座標系統乃法國數學家笛卡兒所創之直角座標系統(rectangular coordinate system)，依工具機運動之軸數，區分為二軸與三軸向座標系統。

〈一〉 二軸向座標系統

二軸向座標系統即平面座標系統，乃由相互垂直之二直線所構成。係由 X 軸與 Y 軸線所組成之座標系統，兩軸線之交點，是為原點，其 X、Y 軸座標皆為零。兩軸線區分平面為四個等分，即四象限。右上角是為第一象限，X、Y 皆位於軸之正方向；因而 X、Y 皆為正值；左上角為第二象限，X 為負，Y 為正值，左下角第三象限，則 X、Y 均為負值，右下角第四象限，X 為正值，Y 為負值。

車床為應用二軸向座標系統設定工作物座標，已撰寫工作程式之數控工具機。

〈二〉 三軸向座標系統

於二軸座標系統中，若再加上垂直於此二直線之第三軸，即行程由相互垂直三直線所構成之三軸向座標系統，一般亦稱為 3D(three dimensions)或立體座標系統。

銑床之切削加工，時則為三度空間充分運用之數控機械，以其床台左右移動之方向為 X 軸，前後移動之方向為 Y 軸，刀具上下移動之方向為 Z 軸，X、Y、Z 三軸向相互垂直，其交點則為原點或零點。吾人於撰寫加工程式設定座標時，皆假定工件固定不動，而使刀具沿其欲加工之路徑進行切削，因而刀具路徑之正向，實為工作台位移之負方向。

二、座標原點之設定

數值控制機械於加工進行之前，乃依工作物之外形尺寸，確定各點、線、圓弧之座標後，方能撰寫程式，輸入電腦，進行切削。於確定各位置座標之前，首先須選擇其原點座標，以作為各加工面尺寸之基準。數控工具機之座標原點，依設定位置不同，可分為固定零點與浮動零點兩種。

〈一〉 固定零點

乃機械製造廠家所設立於工具機上一特定之原點座標或稱之為機械原點，通常數控車床之固定零點位於主軸中心與夾頭端面之交交點，數控銑床則以工作台面之最左端會最右端，而刀具主軸位於最頂端時之座標為固定零點。

撰寫加工程式時，若以此零點座標為所有尺寸座標之基準時，則無論公件位於床台上之任何位置，則所有尺寸均需重新計算其至固定零點之相對座標。工具機於完成加工或須作換刀時，則可以手動方式或以程式指令，使刀具回到此點。

〈二〉 浮動零點

程式設計時，設計者可依實際加工之需要，選擇工件上最方便於程式製作時，各位置座標值計算之一點，設定為

各尺寸座標基準之原點，是為浮動零點，此零點可置於工件上任何位置。如數控車床，浮動零點可置於工件之左端面或右端面與軸心之交點，數控銑床或綜合加工中心機則可選擇工件之左下角、右下角或工件之中心位置，如以夾具挾持工件，則可選擇定位銷之中心為原點。

浮動原點因其可設定於床台上之任何位置，於程式製作時，即可大為簡化加工路徑座標之計算，且大型工件加工時，可於工件上同時設定若干零點，使程式製作更形簡便，因而目前數控程式之設計，大多採此種零點座標系統。

三、絕對值與增量值座標系統

數值控制工具機其床台或刀具之位移控制程式指令，通常採兩種方式表示，其一為依座標點之移動而標示之絕對值座標標註法，另一則以前後兩點座標實際之位移與方向所表示之增量座標標註法。依工具機形式或加工成品之不同，所採用之方式亦不盡相同，但對於實用性而言，則絕對與增量座標混合使用，常能給予程式設計者較大之便利。

〈一〉絕對值座標標註法

以絕對值標註座標時，乃以工件之座標零點為所有尺寸座標之基準，其座標設定為(0, 0)。刀具或床台之位移均以此零點為依據，進行切削或定位，即所有切削、定位之位移指令值均以位移目標點至座標原點間之軸向距離來表示。

〈二〉增量值座標標註法

以增量值標註工件之尺寸時，刀具或床台之位移乃依據前一點之座標為起點，以其與目前程式指令所要求到達位置間之增量值來表示。即程式指令之座標值，實為刀具或床台本身的移動距離，換句話說，一單節之終點即為另一單節位移之起點。

無論撰寫程式時，係採用絕對或增量座標系統，皆各有其優缺點，以絕對座標撰寫程式，若某一點座標設定或計算錯誤，則僅須對該點座標加以修正即可，增量座標則勢將影響往後加工路徑上其他各點之座標。且絕對座標中，工件每一點均以原點為基準，因而無累積誤差之虞，但若工件外形複雜則座標計算將十分繁雜，此時，則以增量座標系統較為適宜。一般而言，對稱性之工件以絕對座標較佳，工件外形複雜或呈階梯狀，則以增量座標方式較為理想。另外，絕對與增量座標可以混合標示，以互補彼此之不足，發揮相輔相乘之功效。

四、右手座標系統

依據 CNC 中國國家標準之規定，數值控制工具機均採右手座標系統，即以右手姆指代表 X 軸，環繞 X 軸旋轉之旋轉軸為 A 轉軸，以食指扁是 Y 軸，繞其旋轉之軸是為 B 軸，中指為 Z 軸向，繞 Z 軸旋轉者為 C 軸。右手三指分別表示 X、Y、Z 三軸，且互相垂直，因而此系統又稱為右手直角座標系統。右手座標系統中，X、Y、Z 分別表示立體座標之三軸向，指尖方向分別為三軸之正向。若以數值控制立式銑床為例，則 X 軸表示床台之左右移動方向，Y 軸為床台前後移動之方向，Z 軸則為床台或刀具之上下進刀方向。至於旋轉軸之方向，設以右手姆指指尖代表 X、Y 或 Z 軸之方向，則其餘四指之“旋向”，即為旋轉軸 A、B 或 C 之旋轉方向。

五、工具機之座標軸

數值控制工具機於執行切削加工之前，所撰寫之家工程式，其位移之軸向與距離必須與工具機之運動軸向相符，方不致因軸向認定之混淆而造成加工作業之缺失。根據 CNC 之規範，數控工具機之座標乃以右手座標系統定義之，可分為 X、Y、Z 三軸向運動之工具機(如 CNC 銑床、CNC 加工中心機、CNC 鑽床……等)，與二軸向運動者(如 CNC 車床、CNC 磨床……等)。至於軸向，則通常以心軸之方向為 Z 軸，X、Y 軸之方向則是工具機之不同而有所不同。以下將分別就工具機三個軸向之定義加以介紹：

〈一〉 工具機之 Z 軸

1. 工件旋轉之數控工具機

工件挾持於心軸且迴轉之工具機，其心軸方向即為 Z 軸之軸向，遠離夾爪或工件之方向為 Z 軸之正向，反之，則為負向。如車床。

2. 刀具旋轉之數控工具機

工件挾持固定於床台，刀具則安置於主軸上之工具機如銑床、綜合加工中心機即是。其平行心軸之方向即定義為 Z 軸，而以刀具遠離床台之方向為 Z 軸之正向。

3. 工件與刀具皆不旋轉之數控工具機

工件與刀具都不作旋轉運動，而僅作上下、左右、前後之移動，如牛頭鉋床者，取其衝錘上下移動之方向，即垂直於工具機上工件固定面之軸為 Z 軸，而以刀具遠離工件面之方向為 Z 軸正方向。

〈二〉 工具機之其他軸向

1. 工件旋轉之工具機

如車床與外圓磨床，因其僅為二軸向之切削加工，因而，垂直於心軸之刀具運動方向即為 X 軸，刀具遠離心軸之方向即為 X 軸之正向，為 X 軸實為工件之徑向。

2. 刀具旋轉之工具機

可分為兩類，一為 Z 軸乃水平之方向者，如臥式銑床，則垂直於 Z 軸之水平方向，即面對心軸之床台左右移動方向，即為 X 軸，取刀具往右移動(床台往左移動)之方向為正向。

另一則 Z 軸為縱向，如立式銑床或立式綜合加工中心機，取面對機器，床台左右移動之方向，即垂直於 Z 軸之床台左右移動方向為 X 軸，而工作台向左移動(刀具向右移動)之方向是為 X 軸之正向。

3. 工件與刀具皆不旋轉之工具機

如牛頭鉋床，則取刀具切削移動之方向為 X 軸，以其向外切削之方向為 X 軸之正向。但若如插床，則其切削運動之方向與 Z 軸相同時，則取床台向床柱之左右位移方向為 X 軸，並以其方向右之方向為正向。

至於工具機之 Y 軸，則乃同時垂直於 X 軸與 Z 軸之第三軸，其方向則依 X、Z 軸之正負方向，由右手座標系統定之。三軸向之旋轉方向，也依右手座標系統，以姆指為其中一軸，另四指指尖方向即為各旋轉軸之方向。

不論數值控制工具機之形式為刀具旋轉，工作物旋轉或兩者皆不旋轉，吾人於製作加工程式時，皆假定工作物為固定不動，而刀具則沿工作物之切削路徑進行切削加工，因而床台之位移方向與刀具之切削方向恰好相反。

第三章 數控程式製作基本知識

NC 程式是由許多的指令碼所組成，用來控制床台的運動、主軸的轉速即各種加工的功能。指令碼是由英文字母(A、B、C、D、…、X、Y、Z)、阿拉伯數字(1、2、3、…、9)及標點符號(+、—、/、…)等所組成。這些指令是經科技化、技術化的數值性指令。

一、程式的組成

每一行稱為一個單節(Block)，而每一個單節是由一個以上的字語(Word)所組成。每一個字語是由位址碼(Address)及一些阿拉伯數字所組成，這些數字有時候有正負號與小數點。例如：X-100.。每一個單節結束稱為 EOB(End Of Block)，用 “;” 表示。

每一個字語的開頭為一個字母，該字母主要是用來定義後面的阿拉伯數字所表示的意義。

位址碼	所代表的意義
A	繞 X 軸旋轉的角度
B	繞 Y 軸旋轉的角度
C	繞 Z 軸旋轉的角度
D	(1) 刀具半徑補正編號的選擇；(2) 第二旋轉軸(D 軸)的旋轉角度
E	第二旋轉軸 (E 軸)的旋轉角度
F	進給機能
G	準備機能
H	刀具長度補正編號的選擇
I	起點到圓心的向量在 X 軸方向的分向量
J	起點到圓心的向量在 Y 軸方向的分向量
K	起點到圓心的向量在 Z 軸方向的分向量
L	(1) 固定循環重複執行的次數；(2) 執行副程式的次數
M	輔助機能
N	程式序號
O	程式編號(EIA 碼用)
P	(1) 暫停時間；(2) 固定循環的開始單節之序號
Q	(1) 固定循環的終止單節之序號；(2) 深孔啄鑽循環之每次啄鑽深度
R	固定循環於切削前刀具之快速定位高度
S	主軸轉速機能
T	刀具選擇機能
U	(1) 與 X 軸平行之增量座標值；(2) 暫停時間
V	與 Y 軸平行之增量座標值
W	與 Z 軸平行之增量座標值
X	(1) X 軸之絕對座標值；(2) 暫停時間
Y	X 軸之絕對座標值
Z	X 軸之絕對座標值

二、NC 資料輸入格式

NC 程式中的每一個指令都有一個固定的格式，依控制器製造廠商的不同其輸入格式亦稍有不同，使用時必須依照控制器製造廠商所提供的指令格式來書寫，否則格式錯誤，會造成程式無法執行而出現警告訊息。

尤其是表示距離大小的數值資料特別要注意其輸入格式。通常公制系統之最小移動量為 0.001 公厘(mm)，而英制系統之最小移動量為可精確到 0.0001 英吋(in)。

三、NC 機能的分類

大部份的英文字母(位置碼)皆被用來指定代表某些 NC 機能，這些機能可分為八大類型：

- 〈一〉 準備機能(或稱 G 機能)
- 〈二〉 輔助機能(或稱 M 機能)
- 〈三〉 刀具機能(或稱 T 機能)
- 〈四〉 主軸轉速機能(或稱 S 機能)
- 〈五〉 進給機能(或稱 F 機能)
- 〈六〉 尺寸位址碼(X、Y、Z)
- 〈七〉 圓心位置碼(I、J、K)
- 〈八〉 程式序號(N)

茲分述於下。

一. 準備機能(或稱 G 機能)

準備機能由英文字母 G 及兩位數來定義，主要是用來定義各種不同的加工模式。此『準備』所代表的意義是指控制系統預作某種功能動作之準備。G 機能依其使用得持續狀態可分為下列兩種形式：

1. 單節有效形式(00 組群的指令)

此 G 指令只在它使用的單節才有效，若次一單節也要使

用時，得重複寫之。

2. 持續有效形式(非 00 組群以外的所有組群)

此 G 指令只要使用過後會一直持續有效到同一組群的另一個 G 指令被使用時才會被取代。所以當次一單節也要使用此指令時，可省略之，不必寫出來。

注意：(1) 組群之分類，可查看 G 機能表之組群分類欄位。

(2) 00 組群的指令是屬於單節有的指令。

(3) 00 組群以外的指令的所有組群，均屬於持續有效的指令。

(4) 屬於 00 組群指令較少，所以大部分的 G 指令均屬於持續有效的指令。

(5) 因工具機的種類不同，所其動作原理亦不相同。所以用再銑床的 G 機能與再車床的 G 機能有些許差異，不可混淆使用。

二. 輔助機能(或稱 M 機能)

M 機能是以位址碼 M 為首，其後接兩位數字來表示。亦稱為輔助機能，也可稱為雜項機能，主要是用來控制數控工具機的一些簡單的開關(ON/OFF)動作。執行 M 機能指令期間，工具機

不作任何座標運動(即位移)。大部分的 M 機能指令以標準化，可適用在大多數的 CNC 控制器上，但不同的廠牌所設計的 M 機能可能有少數的不同，使用時必須注意。標準化的 M 機能指令及其說明如下表。

M 指令	機能
M00	程式停止，機器的進給停止，但主軸仍在旋轉，可再啟動以便繼續執行下面的單節
M01	選擇性暫停，是由操作面盤上的選擇性暫停(OPT STOP)開關所控制，當此開關放再 ON 十會暫停，反之當此開關放再 OFF 時，機器不會暫停而會繼續執行下面的單節
M02	程式結束，操作面盤上的 M02 指示燈會亮
M03	主軸正轉(CW)
M04	主軸逆轉(CCW)
M05	主軸停止
M06	自動換刀，本指令使用在 CNC 切削中心機時需與刀具選擇(T 機能)一起使用。但使用再沒有自動刀具交換裝置的工具機如 CNC 銑床時，M06 指令會使控制器命令主軸停止，並使 Z 軸自動返回機械原點，使操作人員可用手動方式更換刀具。
M07	霧狀冷卻液啟動
M08	切削液打開
M09	切削液關閉
M10	Z 軸鎖緊(CNC 銑床用，CNC 切削中心機不用)
M11	Z 軸放鬆(CNC 銑床用，CNC 切削中心機不用)
M12	刀塔正轉
M13	刀塔逆轉
M14	主軸逆時中旋轉及冷卻液啟動
M19	主軸定位
M30	程式結束，且電腦游標會自動跳回程式的第一個單節
M98	主程式呼叫副程式
M99	副程式結束，並跳回主程式

三. 刀具機能(或稱 T 機能)

T 機能是以位址碼 T 為首，其後接兩位數字來表示，T 機能只要是用來選擇欲使用的刀具號碼，但刀具機能應配合 M06 指令一起使用，如此自動刀具交換裝置(Automatic tool changer, ATC)便會將存放在刀具庫中的刀具更換至準備加工的位置上。

CNC 銑床因無自動換刀裝置，且無刀具庫故需手動換刀。CNC 切削中心機因有 ATC，故可自動換刀。其刀具庫有兩種：圓盤型及鏈條型。換刀的方式也有兩種：無臂式及有臂式。

無臂式換刀方式較常搭配圓盤型的刀具庫，換刀時刀具庫先靠向主軸的方向，再卸下主軸上的刀具，刀具庫再旋轉至欲更換的刀具、上升裝入主軸。因屬於固定刀號式換刀，所以再更換刀具時，主軸上的刀具一定會插回元取刀時之位置。及 5 號刀一定放回刀具庫的 5 號位置。

有臂式換刀方式較常搭配鏈條型的刀具庫，因屬於無固定刀號式換刀，所以在更換刀具時，主軸上的刀具不一定會插回原來取刀時之位置。即 5 號刀不一定放回刀具庫的 5 號位置，其刀具庫上的刀號與設定的刀號由數控系統的可程式控制器(PLC)管理。程式中 T 指令後面所接的刀號表示下一次換刀時

才會使用的刀具編號，所以當 T 指令被執行時，被呼叫的刀具會轉至準備換刀的位置，但無換刀動作。因此 T 指令應在換刀指令(M06)之前先設定，以節省換刀時等待刀具庫旋轉的時間。量產時，有臂式換刀可省下可觀的換刀時間。

換刀的位置一般會選擇距離工件或床台較遠的地方，以避免發生碰撞。通常 Z 軸的機械原點是距離床台最遠的安全位置，所以一般換刀前都需回 Z 軸的機械原點後，才能執行換刀的指令。但有些製造商，如台中精機的切削中心機，除 Z 軸回機械原點外，還必須作第二參考點復歸(即 G30 指令)，才能更換刀具。

總之，無臂式換刀只需 Z 軸回機械原點即可換刀；有臂式換刀除 Z 軸回機械原點外，Y 軸尚需作第二參考點復歸，才可換刀。

四. 主軸轉速機能(或稱 S 機能)

主軸轉速機能是用來定義每分鐘主軸的旋轉數(rev/min, rpm)，S 位址碼後可接 2~5 位數字以表示主軸轉數，並配合主軸旋轉方向 M03 或 M04 指令一起使用。例如：M03 S3500 表示

主軸正轉，轉數 3500rpm。

特別注意在 S 位址碼後的轉數值，並非代表主軸實際的轉數，而是設定一個大約的轉數值。

五. 進給機能(或稱 F 機能)

進給機能是以 F 位址碼後接數值來指定切削加工的進給速度。由於加工的方式不同，所以 CNC 車床與 CNC 銑床控制器所內定的進給率單位亦不同。

(1)CNC 車床常用的進給率單位為：每一迴轉刀具所移動的距離，即 mm/rev 或 in/rev。

(2)CNC 銑床常用的進給率單位為：每一分鐘刀具所移動的距離，即 mm/min 或 in/min。

〔例〕：CNC 車床程式中 G01 X100. Z200. F0.15 表示切削進給率為 0.15mm/rev。

〔例〕：CNC 銑床程式中 G01 X100. Y200. F150. 表示切削進給率為 150mm/min。

六. 尺寸位址碼(X、Y、Z)

X、Y、Z 是用於定義各種運動軸的終點座標。終點座標的輸入格式必須依照控制系統而定，程式輸入時必須依照控制器規定的格式，否則無法輸入，或是輸入某些數值會無效。

七. 圓心位址碼(I、J、K)

I、J、K 是用來表示圓弧切削時，由圓弧切削起點到圓心在 X、Y、Z 方向的分向量。I、J、K 的字元格式與其單位系統與 X、Y、Z 的位址馬字元完全相同。

八. 程式序號(N)

程式序號又稱為 N 指令，其號碼由 N0000~N9999，有些控制系統為五位數，由 N00000~N99999。N 指令在 CNC 銑床應用上，一般使用在搜尋某一些部分的程式或診斷錯誤，也可省略不用。但使用在 CNC 車床的某些切削循環指令(如 G71~G73)時，N 指令則一定要使用，不可省略。

四、CNC 銑床

下表為數控銑床或切削中心機常用的準備機能表。

G 碼	組群	功能
G00	01	快速定位
G01		直線切削
G02		圓弧切消/螺旋切消 CW
G03		圓弧切消/螺旋切消 CCW
G04	00	暫停
G09		確實停止檢查
G10		資料設定(補正值輸入)
G11		資料設定模式消除(補正輸入模式取消)
G15	17	極座標指令取消
G16		極座標指令
G17	02	XY 平面指定
G18		ZX 平面指定
G19		YZ 平面指定
G20	06	英制尺寸
G21		公式尺寸
G22	04	內藏行程檢查機能 ON
G23		內藏行程檢查機能 OFF
G27	00	參考點回復檢測
G28		參考點回復
G29		由參考點回復
G30		第三第四參考點回復
G31		跳略功能
G33	01	螺牙切削
G38	00	刀具半徑補正方向變更
G39		刀具半徑補正圓弧轉角
G40	07	刀具半徑補正取消
G41		刀具半徑補正在左
G42		刀具半徑補正在右
G43	08	刀具長度補正, 正方向
G44		刀具長度補正, 負方向

G45	08	刀具補正一倍補正
G46		刀具補正一倍減少
G47		刀具補正雙倍補正
G48		刀具補正雙倍減少
G49		刀具長度補正取消
G50	11	比例切削消除
G51		比例切削
G52	00	特定座標系設定
G53		機械座標系設定
G54	14	第一工作座標系統選定
G55		第二工作座標系統選定
G56		第三工作座標系統選定
G57		第四工作座標系統選定
G58		第五工作座標系統選定
G59		第六工作座標系統選定
G60	00	同向趨近
G61	15	正確停止模式
G62		自動轉角百分率模式
G63		攻牙模式
G64		切削模式
G65	12	非持效性巨集指令呼出
G66		持效性巨集指令呼出
G67		持效性巨集指令取消
G68	16	座標系統旋轉
G69		座標系統旋轉消除
G73	09	分段鑽孔循環
G74		攻左牙循環
G76	09	精搪孔循環
G80		自動循環消除
G81		鑽孔循環, 粗搪孔循環
G82		沉頭加工循環
G83		分段加工循環
G84		攻右牙循環
G85		搪孔循環
G86		搪孔循環
G87		背搪孔循環

G88		搪孔循環
G89		搪孔循環
G90	03	絕對座標指令
G91		相對座標指令
G92	00	程式原點設定
G94	05	每分鐘進給
G95		每轉進給
G98	10	自動循環中回到起始點
G99		自動循環中回到起始點 R

五、CNC 車床

下表為數控車床所相關車削或車削設定的準備機能之定義。

標準 G 語法	組群	機能
G00	01	定位(快速定位)
G01		直線切削
G02		圓弧切削順時針
G03		圓弧切削順時針
G04	00	暫停
G10		資料設定
G17	16	XY 面選擇
G18		ZX 面選擇
G19		YZ 面選擇
G20	06	英制資料輸入
G21		公制資料輸入
G22	09	記憶行程檢查 ON
G23		記憶行程檢查 OFF
G25	08	主軸速度變檢出 OFF
G26		主軸速度變檢出 ON
G27	00	原點復歸檢查
G28		原點復歸
G29		又機械原點自動復歸指定位置
G30		第二原點復歸
G31		跳躍機能
G32	01	螺旋切削
G34		可變導程螺旋
G36	00	自動刀具補正 X
G37		自動刀具補正 Z
G40	07	刀鼻半徑補正取消
G41		刀鼻半徑左補正
G42		刀鼻半徑右補正
G50	00	座標系統設定, 最大主軸轉設定
G65		自設程式群取消

G66	12	程式群持續呼叫
G67		程式群持續呼叫取消
G68	04	對向刀架鏡射取消 ON
G69		對向刀架鏡射取消 OFF
G70	00	經車削加工循環
G71		軸向切削循環
G72		徑向切削循環
G73		成型加工循環
G74		Z 軸鑽深孔循環
G75		X 軸切溝槽循環
G76		螺旋切削復循環
G80		09
G81	鑽孔循環、點塘孔	
G83	啄式鑽孔循環	
G84	攻牙循環	
G86	塘孔循環	
G87	反塘孔循環	
G88	鉸孔循環	
G89	塘孔循環	
G90	01	
G92		螺旋切削循環
G94		端面切削循環
G96	02	周轉數一定控制(切削速度設定)
G97		周轉數一定控制取消(固定轉速設定)
G98	11	每分鐘進給率
G99		每轉進給率

第四章 MaststCAM 簡述

Mastercam 前言

隨著個人電腦的普及使得各行各業已逐漸地使用電腦來達成自動化的目的，電腦在產業升級的轉換角色中的確扮演的非常重要的角色。以傳統的繪圖為例，都是由經過基礎圖學訓練的技術人員來繪製的，但當凸面需要變更設計時往往需要花更多的時間來做更改，如今拜電腦之賜，這些繁瑣的過程都可以利用電腦來完成，而且檔案管理、維護與精準度也更勝以往，因此通稱使用電腦來輔助設計的過程，稱為 CAD(Computer Aided Design)。

以加工製造來說，在電腦尚未普及的時代，多憑現場老師傅的經驗以及操作熟練的技工來完成，但卻造成工件單價昂貴而且互換性不高及產量無法提升的現象；自電腦出現之後，透過設計精準的 CAD 圖面，再輔以規劃加工順序及參數條件來產生加工程式，然後在經由電腦傳輸到 CNC 綜合加工機上進行加工，如此不但達到製品多樣生產的目的也降低了

各項製造成本與時間，同時也降低製品不良率。這種藉由電腦來輔助製造物件的過程稱為 CAM(Computer Aided Manufacturing)；由此可知不論 CAD 或是 CAM，都是利用電腦為媒介，但是真正要將設計理念時現出來，還得借重電腦軟體，以目前的 CAD 與 CAM 軟體來說，其強大的功能已經可以充分的幫助實現設計者的理念。

一、Mastercam 概述

Mastercam 是一套整合 CAD 與 CAM 的強大軟體，它內建的 CAD 功能可以幫助您輕鬆的建構 2D 或 3D 圖形，並且可以透過刀具路徑之規劃以及設定各項必要參數來加工完成您所要的成品。所建構的圖形完全適用於 Mastercam 的洗床、車床與線切割模組中無須再重新繪製。Mastercam 不僅提供精確可靠的刀具路徑，更讓 NC 程式設計師可以隨心所欲地規劃出心目中最有效率的加工程式。

現在將 Mastercam 在 CAM 上的特點摘要說明如下：

- ◆ 提供可靠與精確的刀具路徑
- ◆ 可以直接在曲面及實體上加工
- ◆ 提供多樣式的加工方式
- ◆ 備有完整的刀具庫及加工參數資料庫
- ◆ 提供多種候處理程式，可以產生適用的 NC 程式

完整的 Mastercam 包含二軸到五軸洗削、車洗複合加工及線切割等模組，它可以與其他 CAD 軟體的輸出圖檔相容，例如 DXF、IGES、STL、SAT 檔等。

二、系統簡介

Mastercam 是一套專為複雜外型及曲面加工所設計的工具軟體。它允許使用者使用系統所提供的繪圖功能去建構所需要的 3D 圖形，並且可以自行定義加工路徑及條件來得到 3D 曲面的 NC 加工程式。

一、CAD 功能

1. 利用原有的 2D 幾何圖形功能，強化 3D 的圖形建構及 2D、3D 尺寸標註。
2. 可以透過圖層的設定，隱藏與遮罩的功能，亦可用來操控某些特定的圖層的圖元。
3. 提供參數式 Spline 曲線、NURBS 曲線的曲面，使得建構的 3D 圖形更為容易。
4. 提供多種字型，除系統內建的字型：方體、斜體、羅馬字以及單線字體外，並且可以使用 Windows 所相容的字體，使用上更具多樣化。
5. 可以建構曲面之交線、延伸、熔接、修剪、炸開、倒變化 R 角。
6. 提供標準圖形轉換程式，包含有 IGES、DXF、SAT、CADL、STL、VDA、ASCLL、DWG、STEP、X_T 等。

二、CAM 功能

1. 依功能區分為 2D、2.5D、3D 模組。
2. 2D 外型銑削、挖槽和鑽孔、2D 挖槽殘料加工與具有島嶼的槽銑。
3. 全圓銑削功能。
4. 曲面等高粗、精銑削功能。
5. 曲面刀具路徑修整與編輯。
6. 曲面相交之交線與變化倒圓銑削。
7. 曲面投影銑削、5 軸刀具路徑銑削。
8. 強大的操作管理並提供實體切削模擬驗證。
9. 單一曲面粗加工、精加工、沿面加工、投影加工、直紋曲面掃描、旋轉曲面加工。
10. 多曲面粗加工方式達 7 種以上、精加工方式達 10 種以上。
11. 刀具路徑能完全結合挖槽、外型銑削和鑽孔修改圖面或刀具參數，可以立刻產生新的刀具路徑。

12. 提供多曲面等高、清角、等距、沿面、挖槽、投影、插拉削、同向等加工方式。

三、圖形介面轉換部分

1. 3D ASCII(X、Y、Z 座標點)檔直接接收能力，可與三次元量床相互運用。

2. CDL 檔可以與 CADKEY 系統作直接溝通，而不需做任何處理。

3. IGES 檔可以與有提供 IGES 轉換版本之軟體做轉換。

4. DXF 檔可以與有提供 DXF 轉換版本之軟體(如 AUTOCAD)做轉換。

5. GEO、GE3 檔可以與 Mastercam 先前的版本做轉換。

6. SAT、X_T 檔可以與實體模型檔相互轉換(例如:Solidworks、SolidEdge、Pro-E 等)

四、嶄新的操作界面、刀具以圖形方式定義，刀具與刀具路

- 徑同時顯現，可以檢測加工程式有無問題。
- 五、更快的刀具路徑計算及圖面顯示，圖元的建構數量的不受 RAM 的影響，完全視硬碟容量而定。
- 六、提供圖元資料分析以及平銑刀、圓角銑刀羽球銑刀補正計算。
- 七、提供多種常用控制器之程式轉換(後處理程式)。
- 八、同時具有 2D、2.5D 以及 3D 的工作能力。

2D 刀具路徑：

- 外形
- 鑽孔
- 槽銑，挖槽方式共提供 8 種之多

2.5D 刀具路徑：

除包含 2D 的所有刀具路徑外再加上

- 直紋曲面
- 掃描曲面

- 旋轉曲面
- 斜面投影
- 圓柱投影
- 球面投影
- 圓錐面投影
- 任意截斷面投影

3D 刀具路徑：

除包含 2.5D 的所有刀具路徑外加上

- 舉昇曲面
- 昆式曲面
- 曲面修整
- 倒角處理
- 3D 曲面投影
- 改變切削方向

- 重新改變補正條件
- 粗銑削設定

三、CAD 繪圖部分

◆ 自動突顯功能：

系統會自動突顯游標靠近的圖素，方便且可正確地選取所需的圖素。此功能可由滑鼠右鍵來開啟或關閉，另外滑鼠右鍵的補助選單也增加動態平移及動態縮放。

◆ 更靈活的線上求助功能

直接案工具列的 “?”、ALT+H、或各對話窗中的 “說明” 鍵，便可得到您所需要的資料。

◆ 群組設定

位於次功能表的新增功能。可以讓您設定不同屬性的圖素，方便爾後的運用。

◆ 作圖層別

新的層別管理工具，包含層組設定、圖素數量以及層別報表。

◆ 圖素屬性

可以事先設定圖層所在圖素之顏色、線型與線寬等屬性。

◆ 增加工作座標系統(WCS)及視角管理員。

◆ 分析

再提示區以單頁方式顯示所有被選取圖素的資料。

增加小的曲面及實體檢測，可過濾不必要的小曲面及實體。

可由分析→編輯資料中重新定義圖素，而不需要刪除後再重新繪製。

◆ 尺寸標註

提供快速的編輯功能，並且尺寸與圖形兼具有關聯性。其他功能如下所述：

線性標示：可隨意切換標示方式水平、垂直或平行。

圓弧標示：內定全圓為直徑標示及弧為半徑標示，並可隨意切換直徑或半徑標示。

角度標示：可隨意切換標示的位置，另增加E鍵功能。

◆ 註解文字及標籤抬頭

將註解文字及標籤抬頭整合為單一對話窗。您可直接鍵入不長度的文字，或由其他的文件截取所需的資料。

其他新增功能包含：載入檔案、增加符號、剖面線、多重編

輯等。

◆ 繪圖

曲面：掃描曲面之截斷面不限數量，曲面之延伸計有線性及切線兩種方式。

矩形：在選項功能中增加以前 C-HOOK 之*Shapes 功能。

點：次功能表中的線型/線寬選項，增加 6 種點(3D 星形、點、十字、X 形、圓形與矩形)的型式。

邊界盒：應用程式改為標準功能。

使用方式：繪圖→下一頁→邊界盒。

繪圖功能表：加強倒角、文字、呼叫副圖、橢圓、多邊形及邊界盒等功能，更靈活、更人性化。

螺旋線：spiral 及 thelix 合併成標準的功能。

使用方式：繪圖→螺旋線。

壓扁：squash 改為標準功能。

使用方式：轉換→壓扁。

套疊式串連排序：包含下一個最靠近的、由內而外、由外而內、由內而外最佳化、改善修整→動態移位選項。

簡化轉換→比例縮放的設定。

選取圖素部分：改善選取的限定功能、可動態選取串連的起始點、單體模式可選取曲面邊界，油串連的選項中設定。刪除重複圖素時，可指定特殊屬性。

◆ 檔案

再取檔時可先預覽圖形；此外，在檔案總管中亦可快速檢視圖形並且圖檔資料中包含單位訊息；取檔時，系統會自動切換規劃檔(公制或英制)，螢幕左下角並顯示單位圖示(mm 或 inch)。

取檔時，如果圖素顏色與工作區底色相同，系統會立即提示更改顏色。外部圖檔支援 AutoCAD R13 的 DWG、DXF 及 Inventor v5.0。並可對 STL 檔執行鏡射、旋轉、比例縮放及改變方向，並提供另存新檔，以供爾後的刀具路徑及驗證模擬時使用。

◆ 螢幕拷貝

可用彩色方式輸出，螢幕拷貝及使用印表機出圖時，可指定出圖的線寬。

◆ 傳輸

提供硬體及軟體控制，最高速率提高為 115200。

◆ 螢幕

系統規劃：可設定存檔之預設檔名，NCI 之命名規劃及加工報表。

改變層別：可輕易的將圖素搬移到另一層。

顯示部分圖素：使用 ALT 與+或 ALT 與-來增加或減少要顯示的圖素。

回上步驟：包含改變層別、改變顏色及改變屬性

◆ 實體

此功能由繪圖功能表改為主功能表；實體圖檔支援 Parasolids 14.1 及 ACIS 10.0，讀取實體時，可選擇是否修復有瑕疵的實體。

四、洗床刀具路徑部分

- ◆ 支援 WCS(工作座標系統)，可設定多重工作原點。
- ◆ 除了刀具直徑及刀角半徑外，可立即更改其他刀具參數而不需重新計算並且提供新的刀具補正控制。
- ◆ 安全高度可選擇是否只有在最前至最後的操作才使用
- ◆ 在刀具參數頁中，又見功能新增進給率及主軸轉速計算器
- ◆ 可動態選取串連的起始點
- ◆ 新的程式過濾選項
- ◆ 自設的刀具圖形，可存 MC9 檔中指定的圖層。
- ◆ 取檔時，可選擇是否載入 NCI 資料。代幅縮短讀取大檔案的時間。
- ◆ 鑽孔操作增加深度的計算器。
- ◆ 增加挖槽的高速切削：擺線式切削，可增加進給率並減少刀具磨耗。
- ◆ 轉換過的操作可在執行轉換。
- ◆ 全圓路徑中增加銑鍵槽及螺旋鑽孔。
- ◆ 螺旋銑削功能增加錐度角的設定。
- ◆ 鑽起始孔：在每個下刀位置，自動建立鑽孔操作。

- ◆ 實體鑽孔：自動偵測實體中的孔，並建立鑽孔操作。
- ◆ 新的省時高效加工控制，可選只有精加工或粗加工及精加工。
- ◆ 可指定單一實體面做為干涉。
- ◆ 3D 曲面加工設定：加工面、干涉面、CAD 檔及切槽範圍等選項，提供更方便且更人性化的介面。
- ◆ 將切槽方向誤差值及程式過濾合併成整體誤差。
- ◆ 在曲面加工參數中的進階設定，可勾選忽略實體主體中隱藏的偵測，以加快複雜實體之刀具路徑的計算。
- ◆ 曲面粗加工→挖槽：可指定下刀位置針對起始孔排序。
- ◆ 切削深度的設定中，增加偵測平面功能，可自動辨識臨界深度。
- ◆ 鑽削是粗加工的下刀路徑，可選擇雙向(兩點定義矩形)或 NCI(先前操作)。
- ◆ 曲面粗加工→殘留加工：將 8 版曲面等高外型的殘料加工改為獨立操作。
- ◆ 曲面粗加工的鑽削式、等高外型及殘料加工中，增加螺旋式下刀。
- ◆ 在曲面刀具路徑的間隙設定中，除了切湖半徑及切弧掃

掠角度外，新增切線長度。

- ◆ 曲面精加工→投影→兩弧線的熔接：類似曲面流線加工，但不需要是連續曲面，切可由兩串連曲線決定切銷的路徑。
- ◆ 曲面精加工→殘料清角：可指定保持切削方向與殘料區域垂直及採用混合路徑(在指定角度上方採等高切削，下方則改採 3D 環繞切削)。
- ◆ 可輕易地由實體產生 2D 或 3D 的刀具路徑，在自動存檔功能中，新增每一個刀具路徑之操作後存檔。

常見 Mastercam 副檔名介紹

- MC9 為 Mastercam 所儲存的幾何圖性或字型檔。
- TL9 為 Mastercam 所提供的刀具資料庫檔。
- MT9 為 Mastercam 所提供的材質資料庫檔。
- DF9 為 Mastercam 的關聯性與曲面刀具路徑的預設參數檔。
- OP9 為 Mastercam 所提供的操作資料庫檔。
- NCI 為 Mastercam 所提供的刀具路徑檔。
- NCS 連接外形檔。
- EXE 可執行檔。

- TXT 文字檔。
- COM 命令檔。
- PST 為 Mastercam 所提供的後續處理程式檔。
- IND 曲面中間檔。
- CDB 補正後的刀具路徑檔。
- DOC ASCII 格式的註解檔。
- DAT 資料檔。
- MAT 工製材料庫檔。
- CFG 參數設定檔。

五、設計到製造

從設計到製前準備，模型檔案是不可或缺的，以繪製方式來區分可以分為線架構模型、曲面模型以及實體模型等三種。Mastercam 具備了完整的線架構、曲面模型與實體模型建構能力，它所擁有實體核心技術，可以讀取像是 Unigraphics、Solidworks、solidEdge、Pro-E 等 CAD 系統所建立的實體模型檔案；也可以透過曲面對於實體進行編修。

接下來說明設計到製造 (CAD/CAM) 的一般基本流程：

1. 圖面之產生：使用任何一套 CAD/CAM 軟體，第一個工作一定是要建立圖面。以下是常用的方法。

繪圖：以滑鼠或數位板藉由軟體所提供的指令來精確地繪出或修整圖形。

掃描：以接觸式探針或非接觸式掃描儀來產生模型(X、Y、Z)座標數據，以提供 CAD/CAM 軟體編輯。

轉入圖檔：不同的軟體都有屬於自己的特定圖檔格式，但這些軟體本身也都

有提供轉入特定格式圖檔的功能，這些圖形交換檔多半為 IGES 等工業標準格式。

2. 產生刀具路徑：當被加工物之幾何模型建立後，接下來便是要進行加工路徑規劃，Mastercam 會根據使用者設定的刀具尺寸、完成加工面之表面粗糙度及加工次數等特定參數計算而產生刀具路徑。它會將路徑資料及刀具參數儲存在 NCI 檔中，透過後處理程式轉譯為 NC 加工程式，以指示刀具去運動切削工件，此 NC 程式最常用到的是 G、M 碼指令，由於 NC 加工碼並非各廠都是一致的，所以轉換時必須加以注意。

在 3D 的 CAM 系統中，主要的工作乃是在刀具、加工程式、加工參數等限制條件下對 3D 幾何模型自動產生 NC 加工程式，一個 3D 工件的加工品質優劣，一方面取決於 CAM 系統所提供的功能，同時也取決使用者在 CAM 系統中所設定的加工條件(加工方式、刀具型式、刀具大小、進刀/退刀方式、加工順序、進給率、切削深度及精密度等)。

一般 CAM 加工的基本流程：

- 依圖面設計資料決定素材大小與材質
- 決定加工特徵的種類及數量
- 決定加工特徵的加工方法、順序及加工機具
- 決定加工用刀具、加工參數及夾治具
- 產生 NC 加工程式

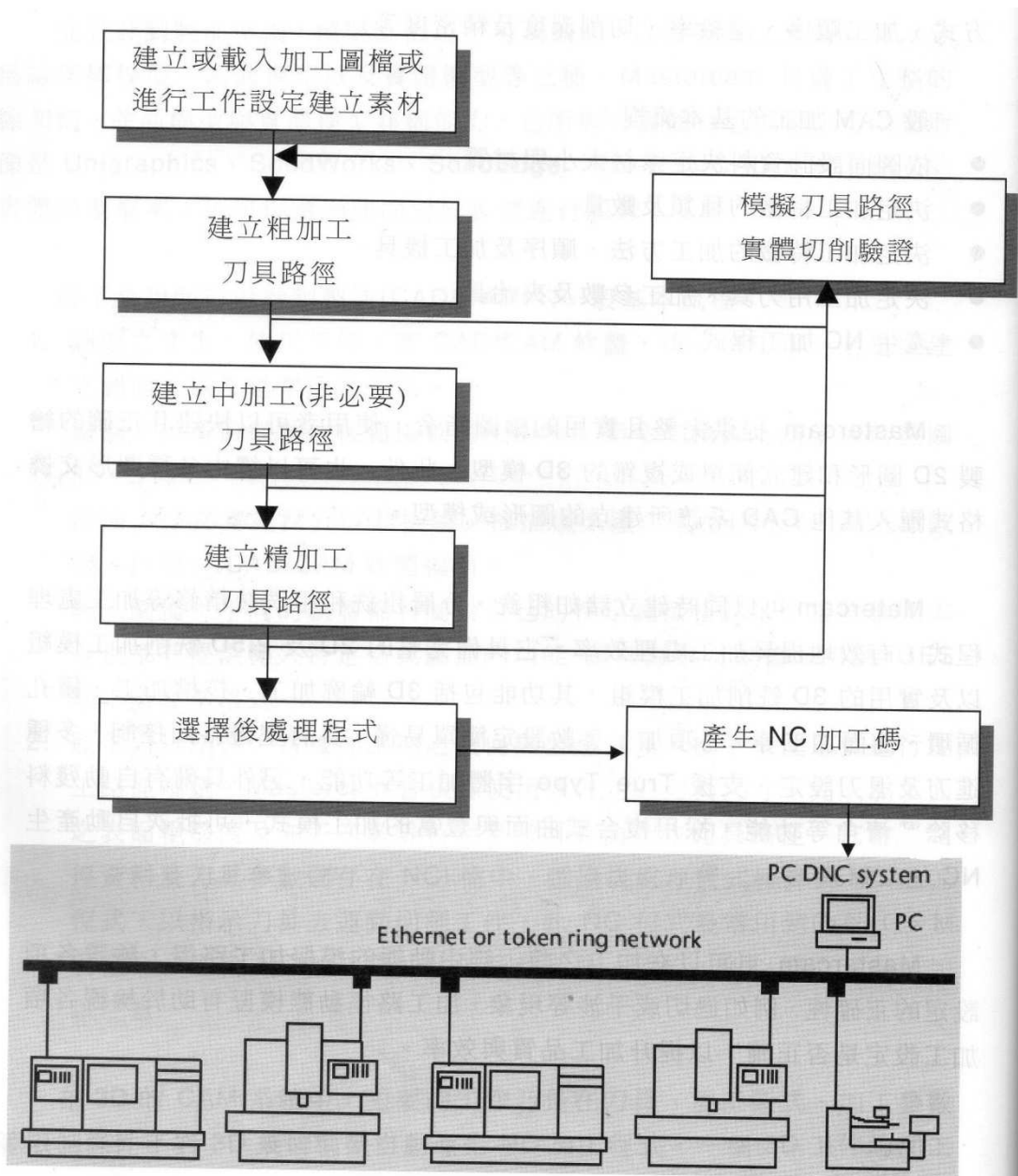
Mastercam 提供完整且實用的繪圖指令，使用者可以快速且正確的繪製 2D 圖形和建立簡單或複雜的 3D 模型。此外，也可以經由各種圖形交換格式匯入其他 CAD 系統所建立的圖形模型。

Mastercam 可以同時建立諸如粗銑、分層粗銑和粗銑後精修等加工處理程式，有效地提升加工處理效率。它具備完整的 2D 及 2.5D 銑削加工模組以及實用的 3D 銑削加工模組，其功能包括 3D 輪廓加工、挖槽加工、鑽孔循環、曲面加工等。各項加工參數設定簡單易懂，具有壁邊斜面控制、多種進刀及退刀設定、支援 True Type 字體加工等功能，另外具備有自動殘料移除及清角等功能，採用複合式曲面與豐富的加工模式，可批次自動產生 Nc 加工程式。

Mastercam 更可以再加工之前，經由動態的模擬加工路徑，驗證各項設定的正確性，列如過切或干涉等現象。加工路徑動態模擬有助於檢視各項加工設定是否正確，以提升加工品質與效率。

一般圖檔的繪製及加工程式的規劃可用下列流程圖來表示。

Mastercam 的基本操作過程：

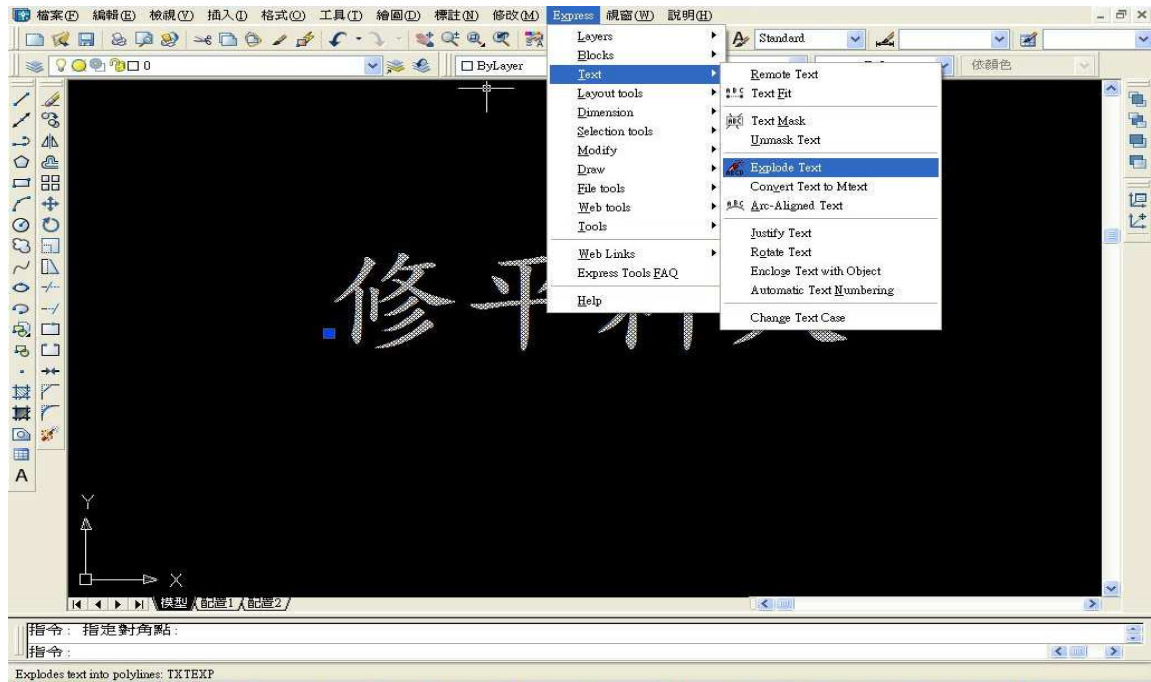


AutoCAD 空心字型運用

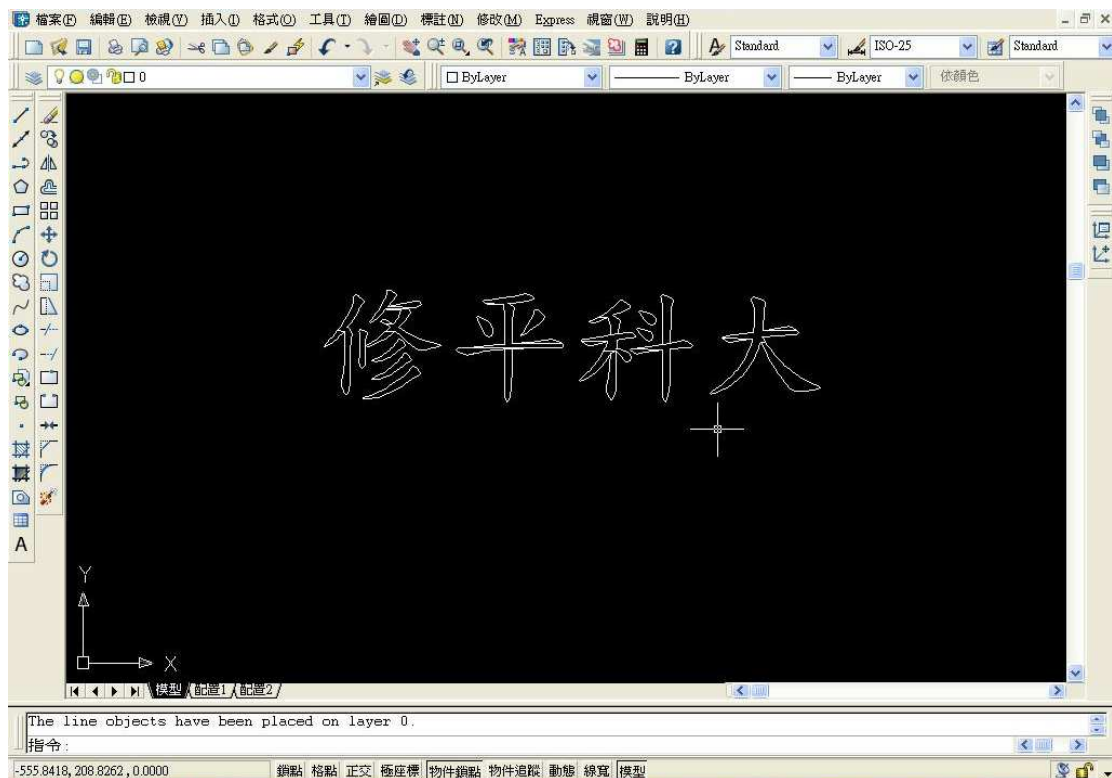
1. 首先把文字打出來→設定字型→輸入 Text→設定文字的起點→字型高度→旋轉角度→打上文字。



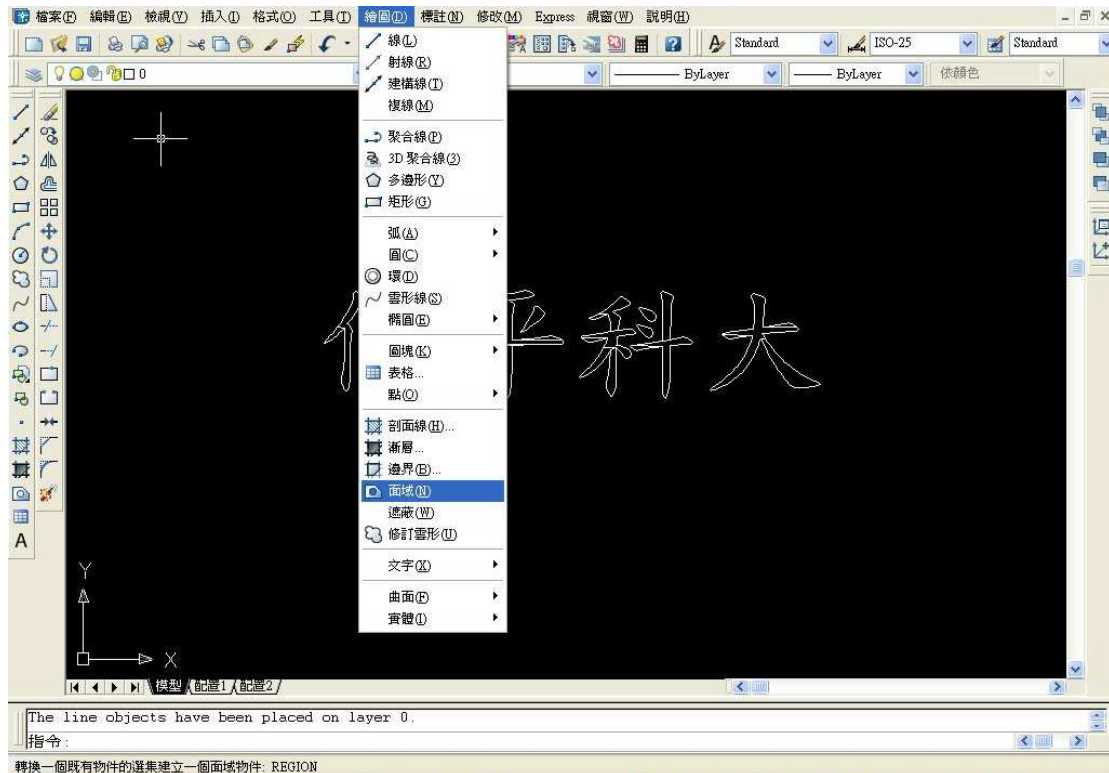
2. 炸開文字: 圈選文字 Express→text→Explode Text。



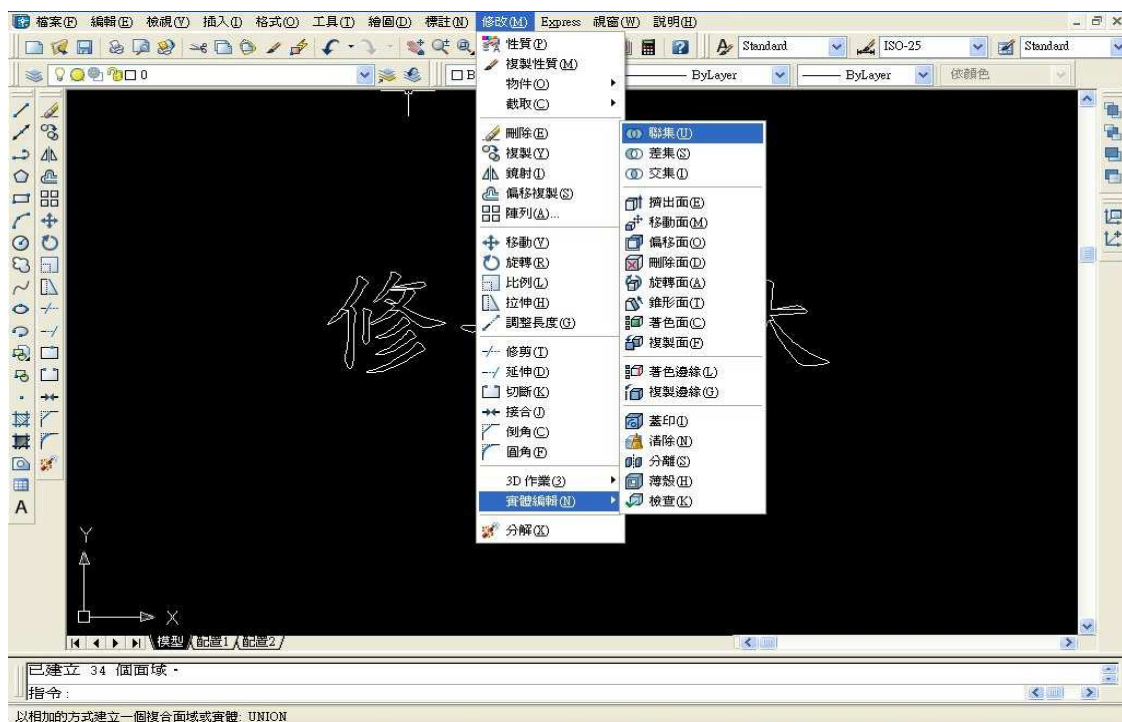
3. 炸開後



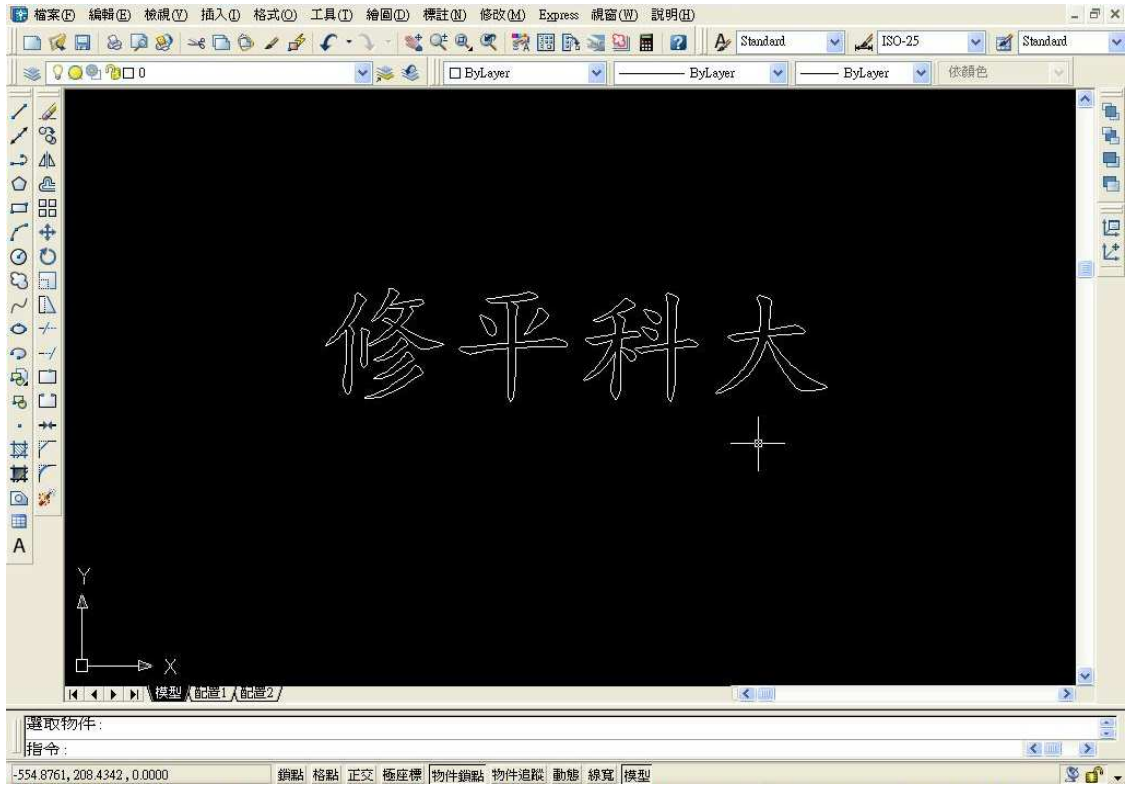
4. 面域:繪圖→面域



5. 清除文字文字內多餘線條，修改→聯集

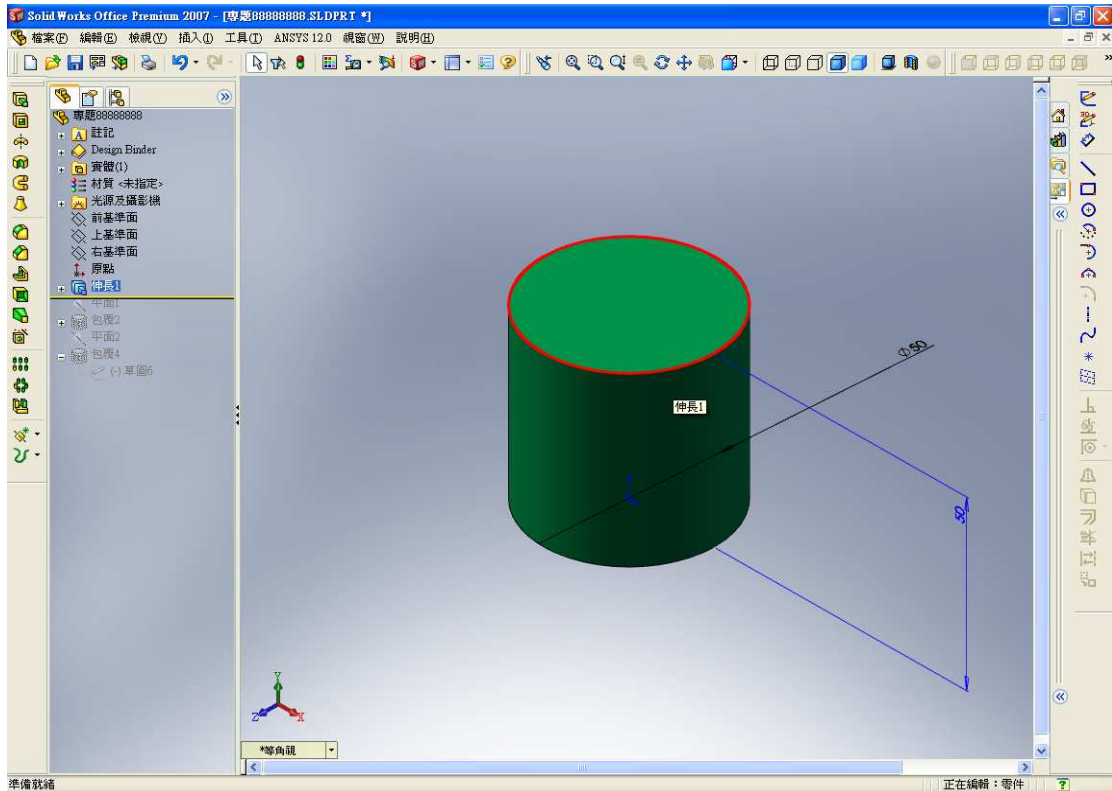


6. 文字完成空心，這樣就有草圖可以運用在其他 CAD 進行除料或填料。

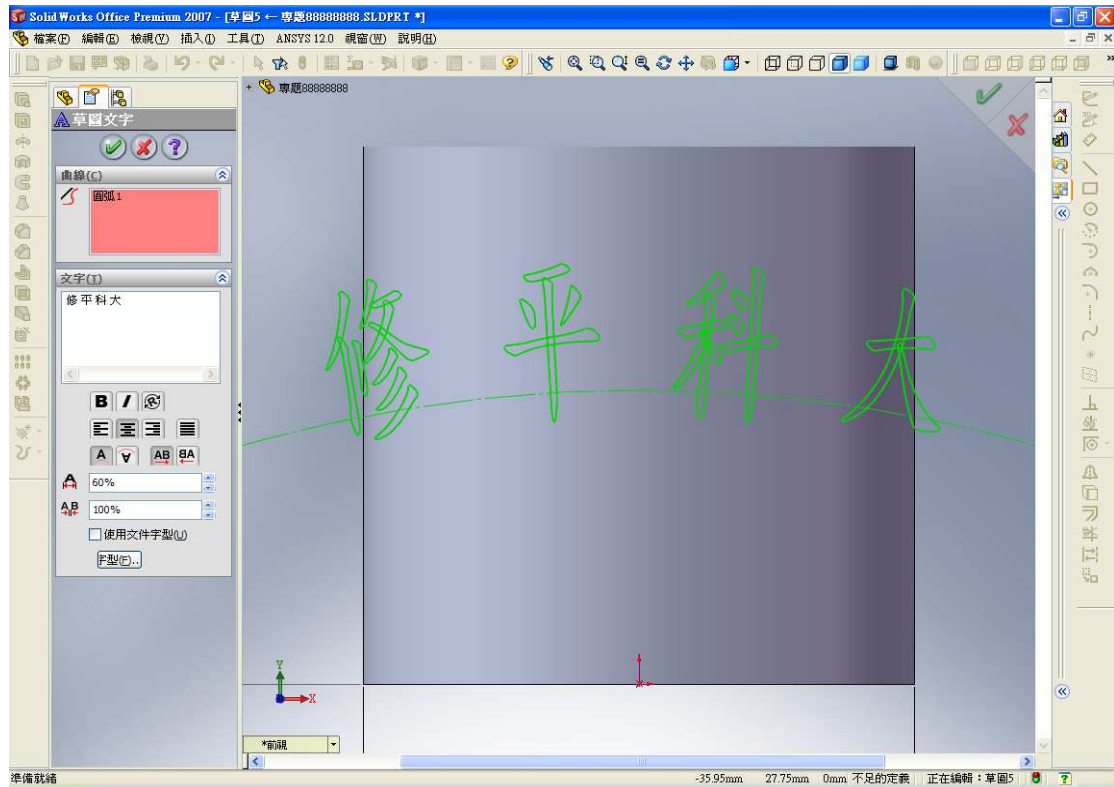


Solidworks 空心字過程

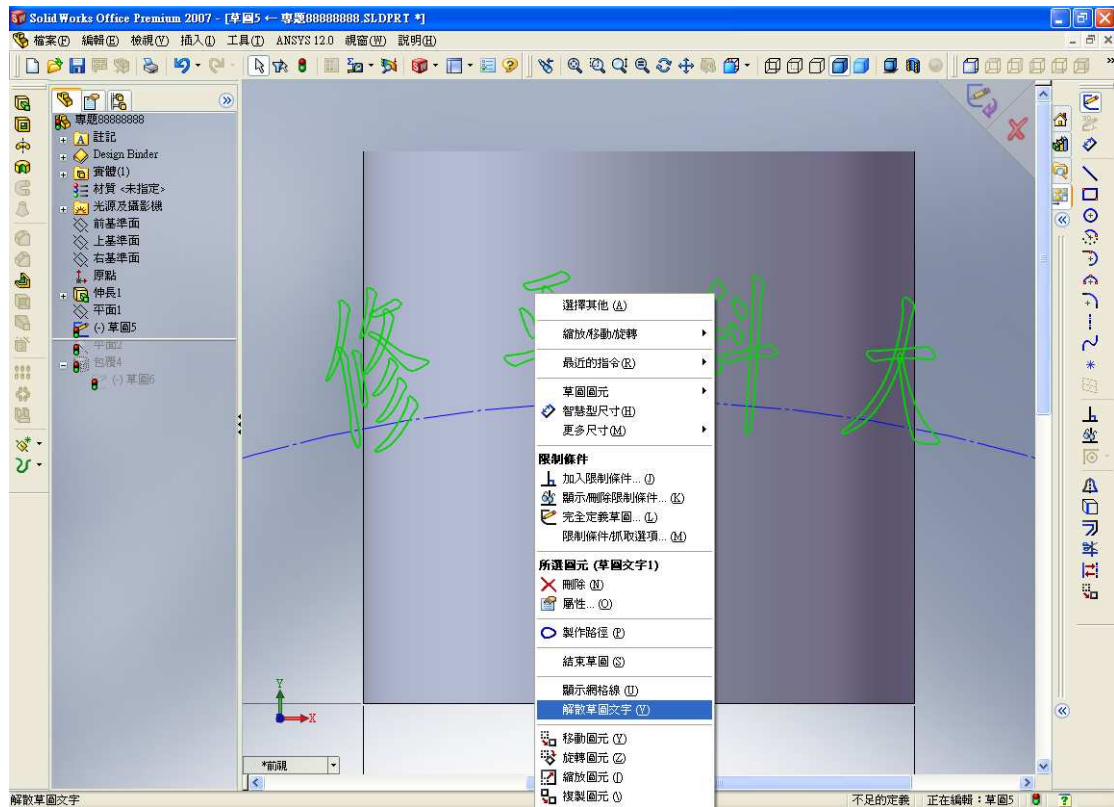
1. 首先建立一個圓柱:開啟新檔→上基準面→草圖(圓) ϕ
50→伸長填料高 50。



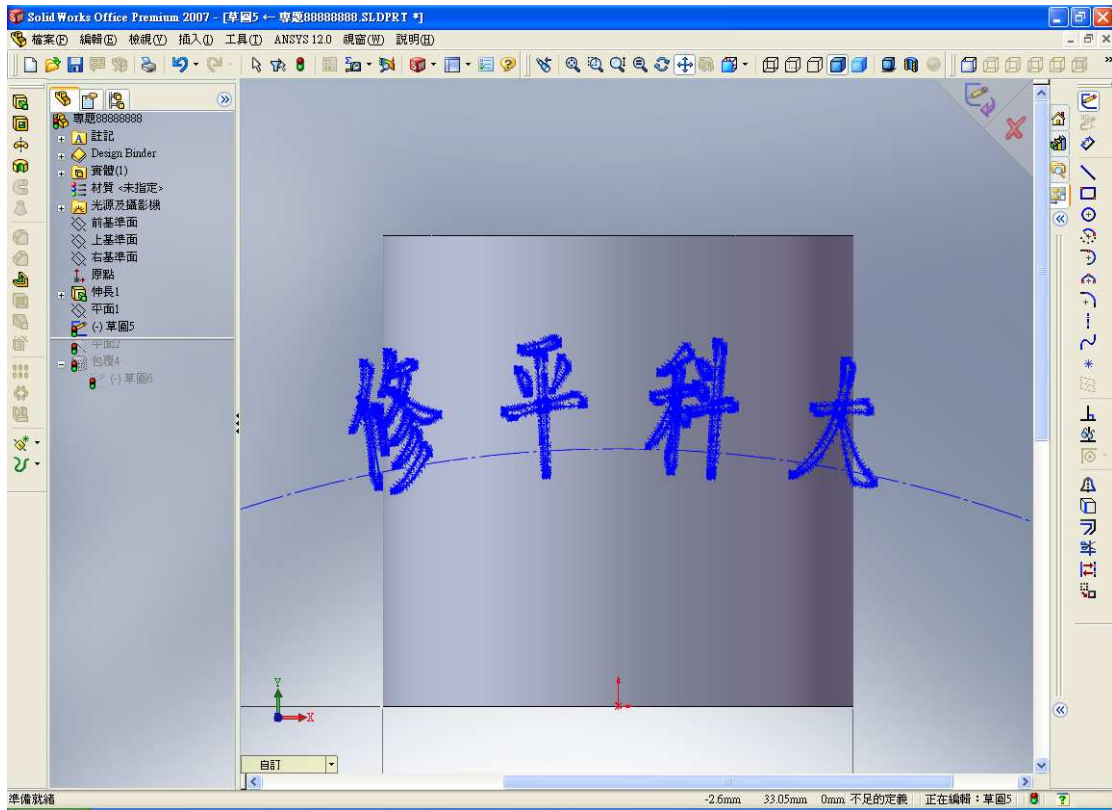
2. 建立文字草圖:先建立一基準面超過半徑圓→草圖一圓弧(自訂)→工具的草圖圖圓→文字修平科大→曲線(自訂的圓弧)。



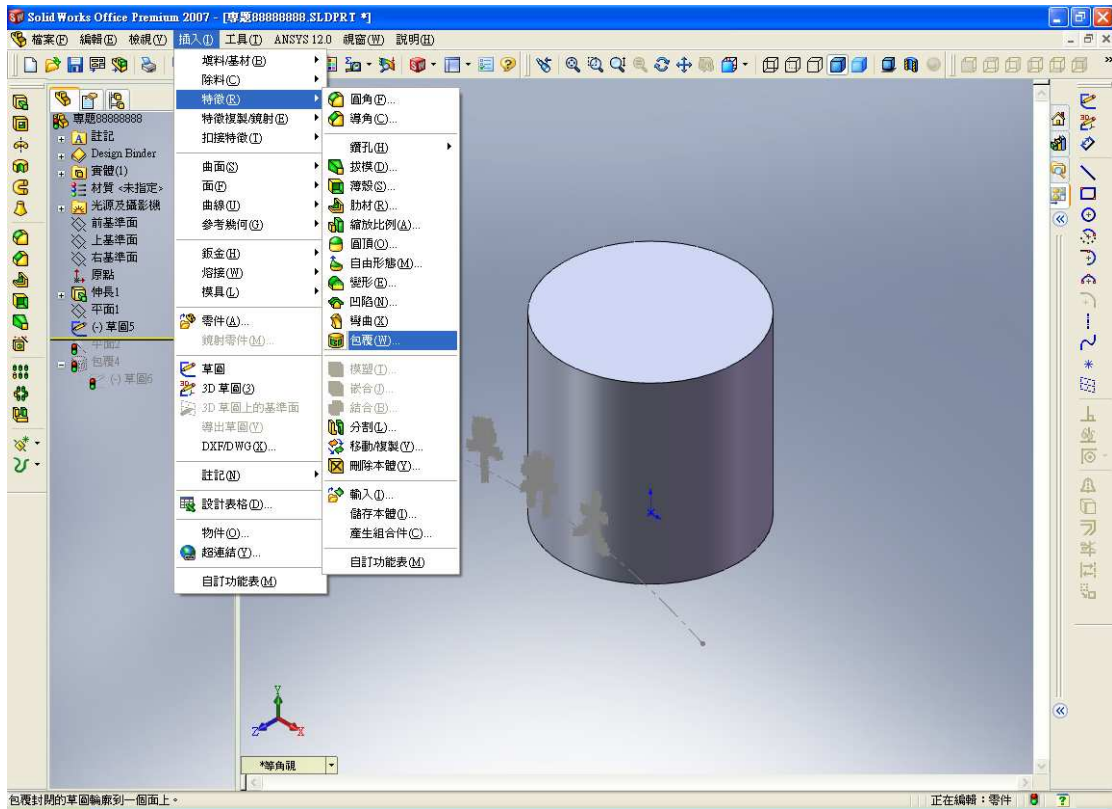
3. 修改文字草圖: 選取文字 → 右鍵 (解散草圖文字) → 把在空心字內的交叉線去除。



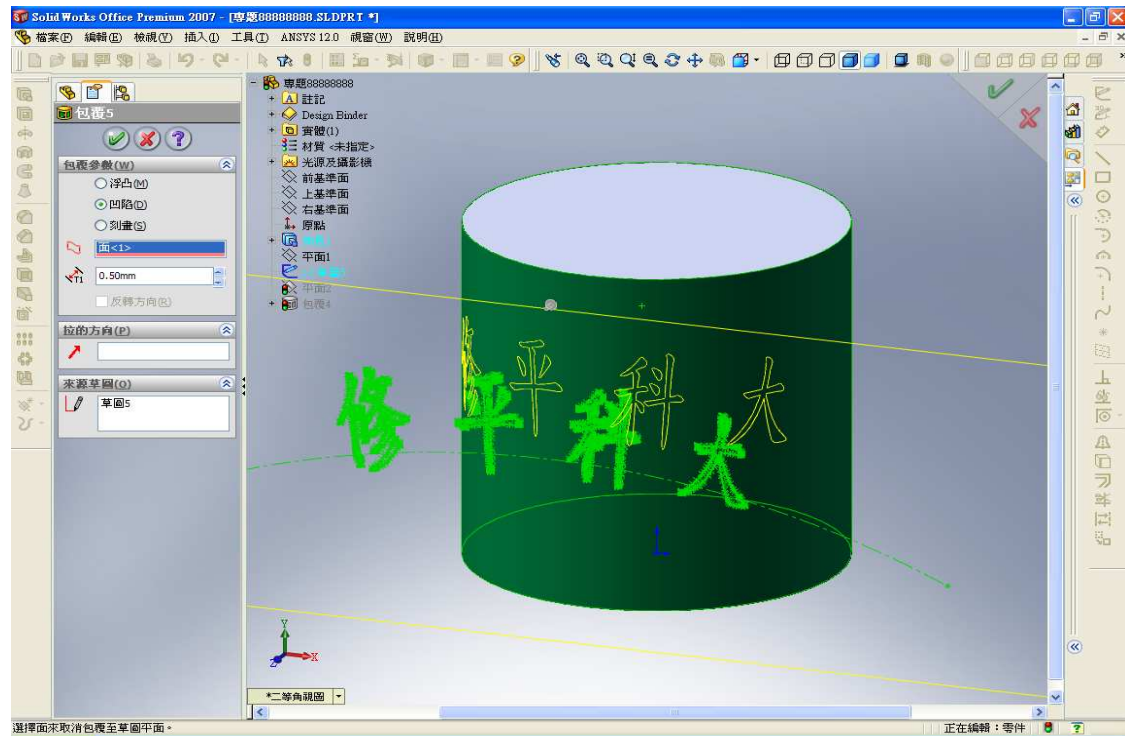
解散文字的用意是分成無數的線段。



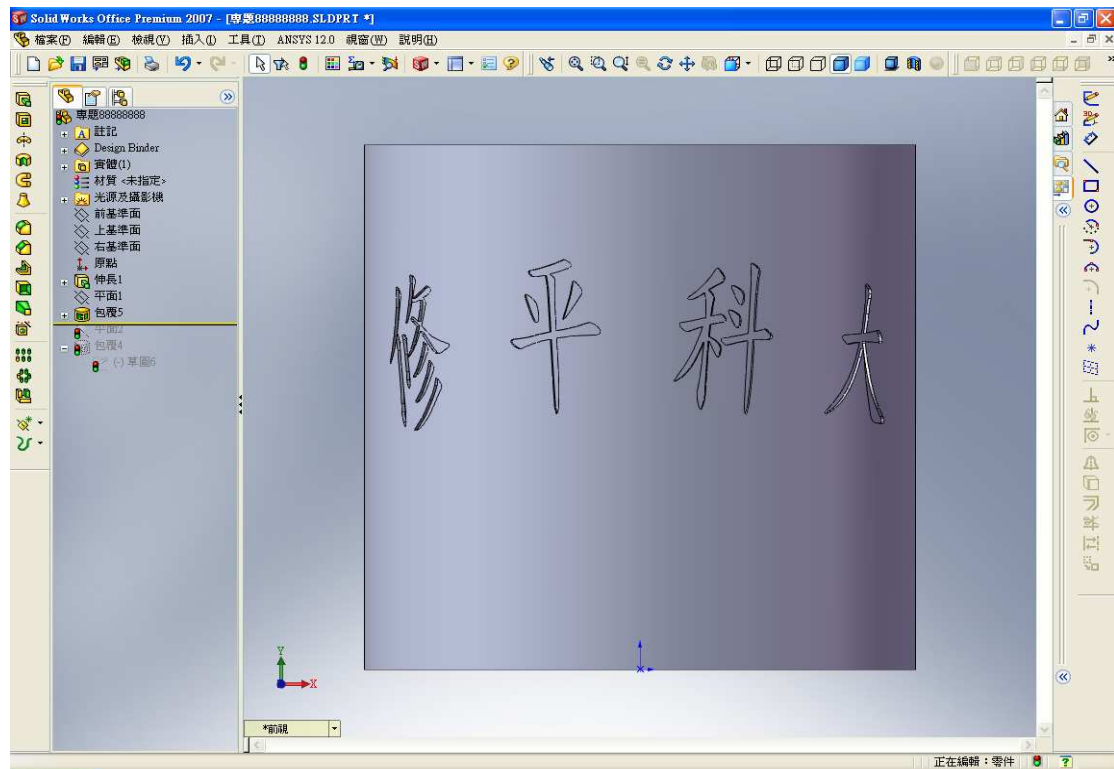
4. 將文字包覆在元件上:選擇插入→特徵(包覆)



包覆參數(凹陷) → 選擇圓件的曲面 → 來原草圖(選擇你所打的文字) → 確定。



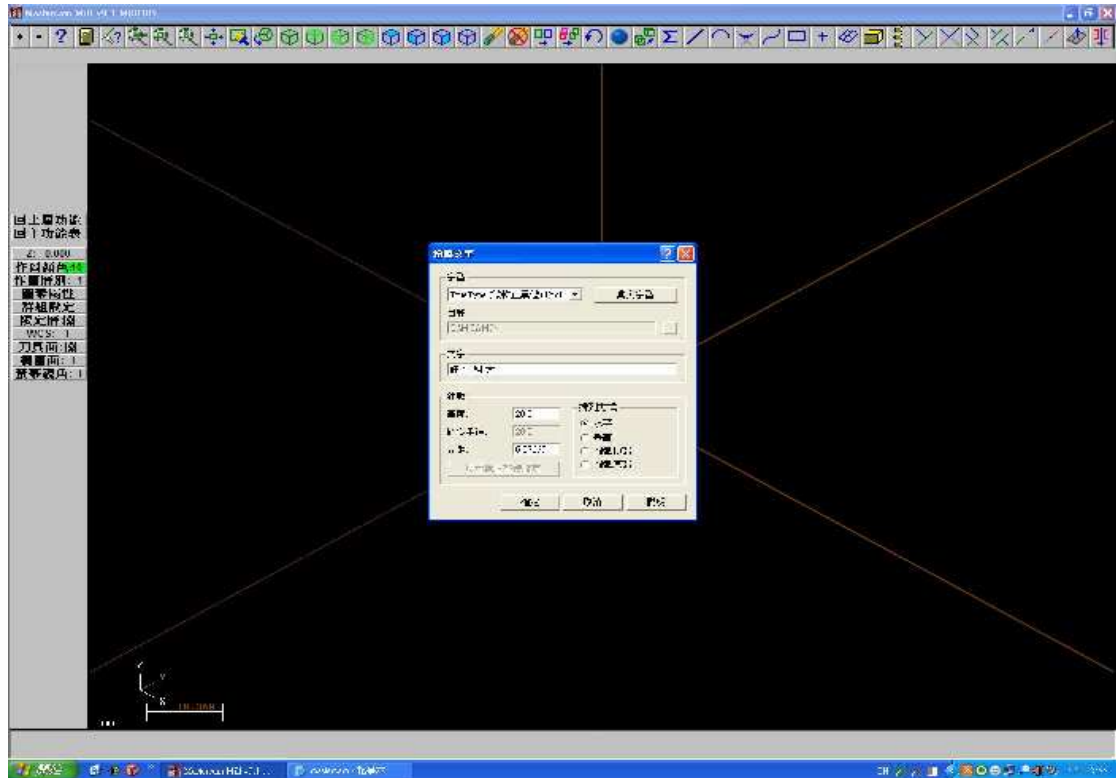
完成

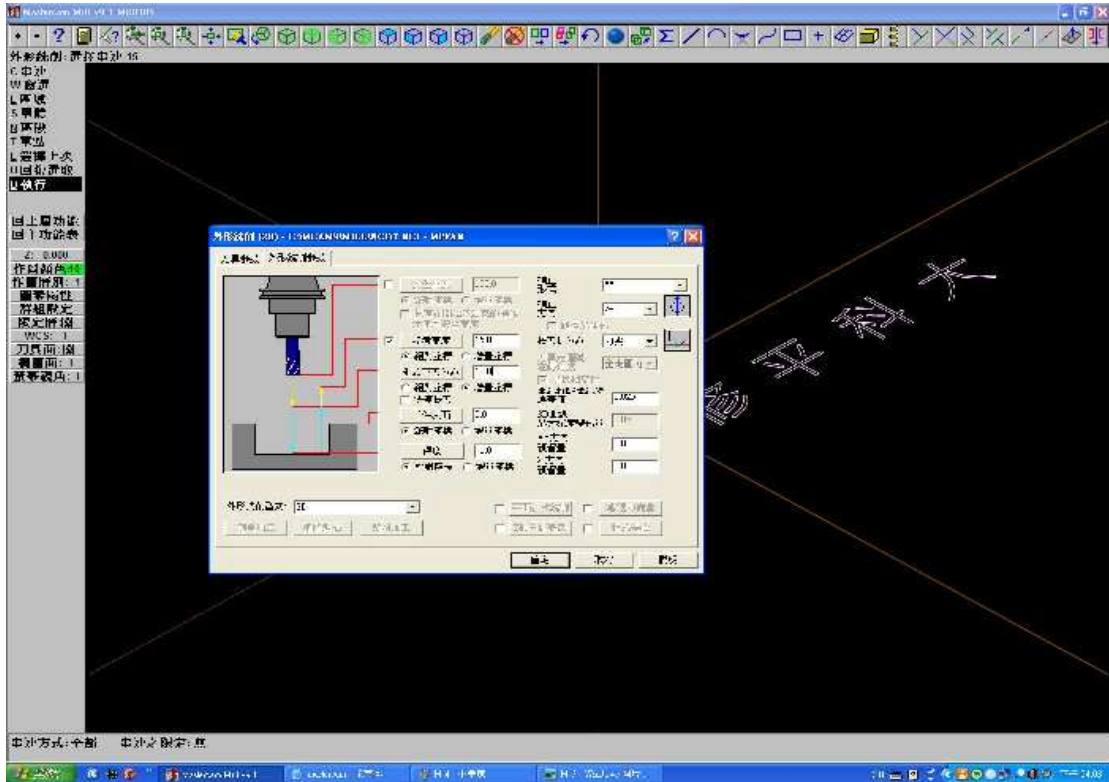


在 solidwork 中繪製文字草圖較過於繁雜，還是能做出空型字的運用，不同的字體也有可能會有不一樣的變化。

Mastercam 模擬過程

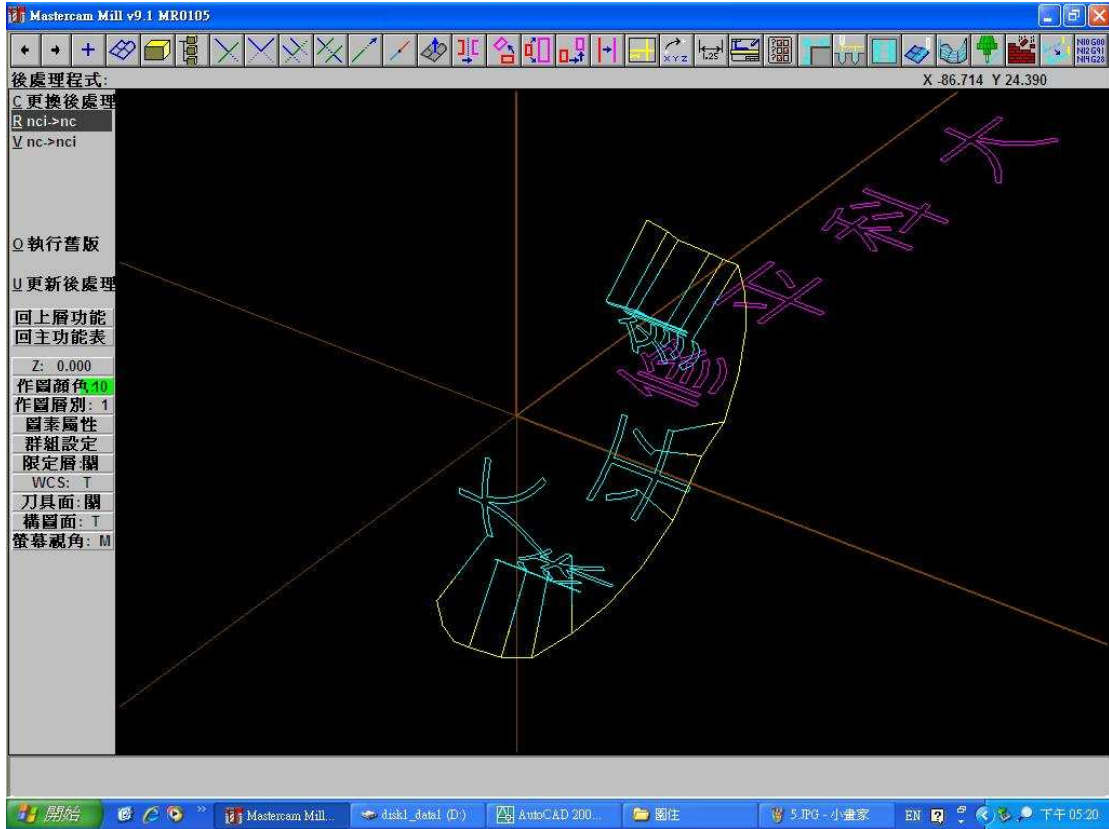
1. 先輸入文字，建立 X.Y.Z. 3 軸座標，方便模擬設定。



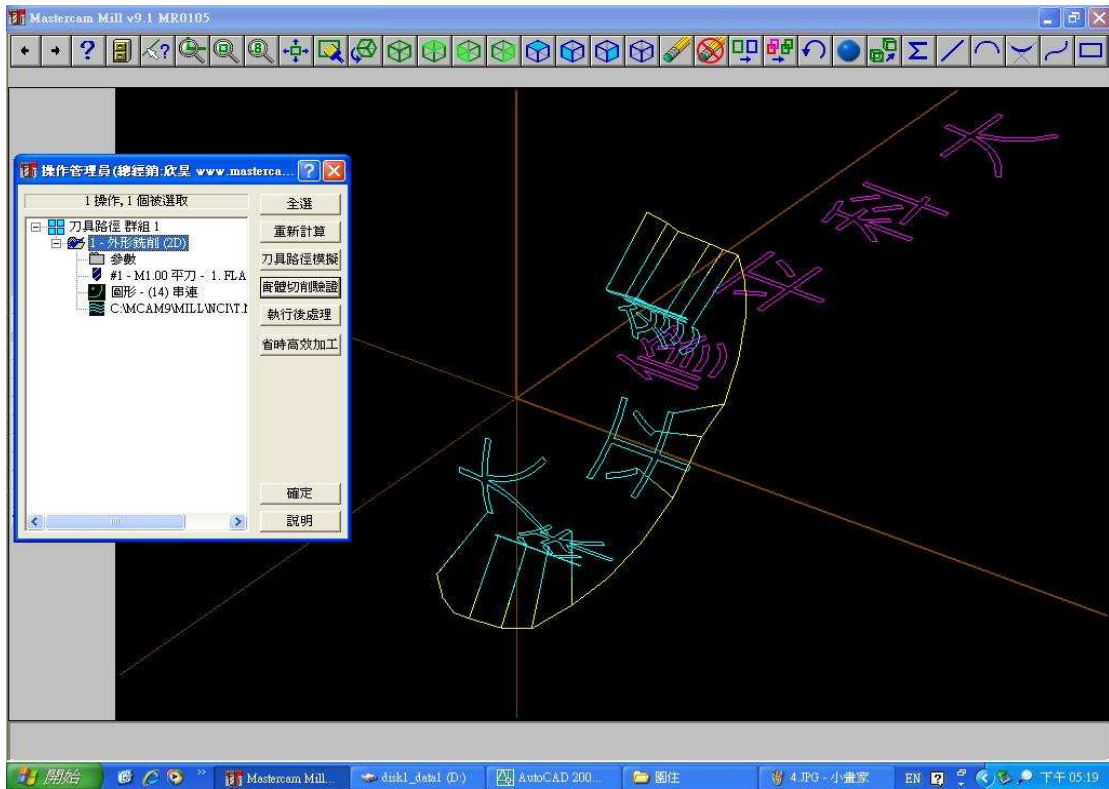


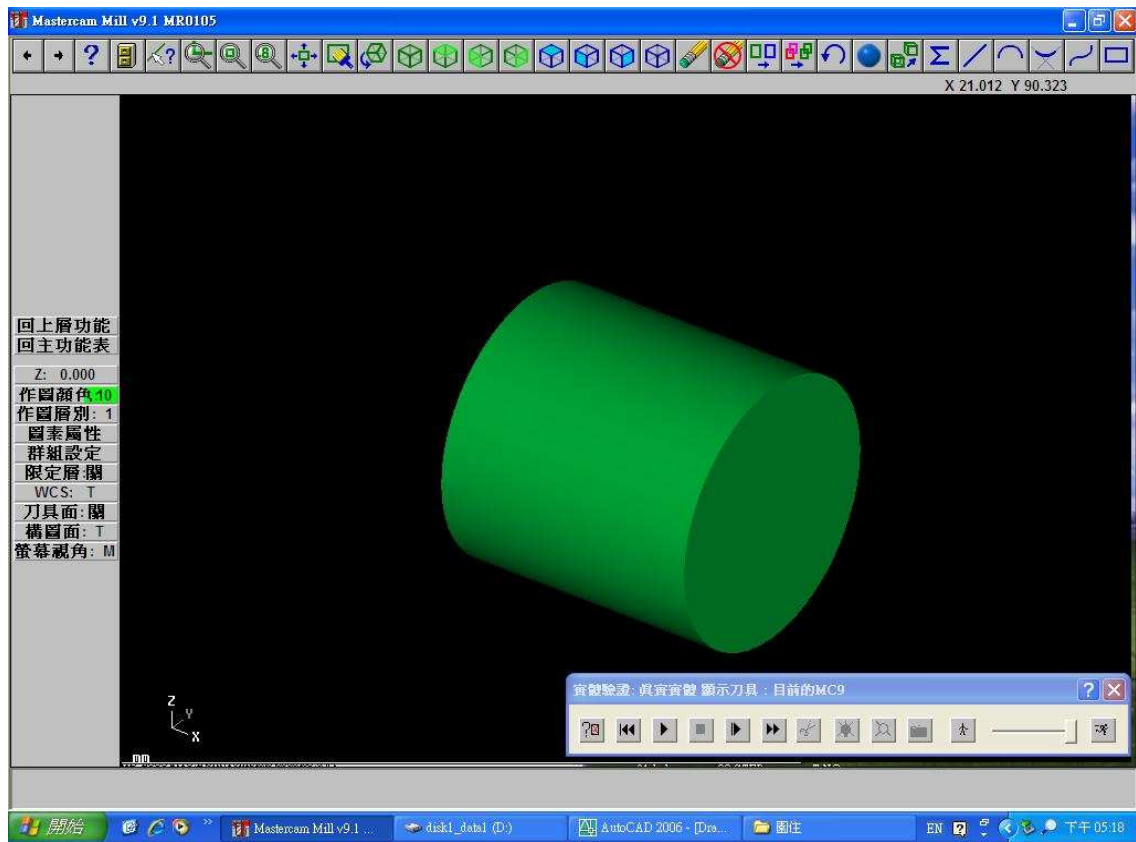
4. 接著實體驗證之參數設定、素材、最高點、最低點。



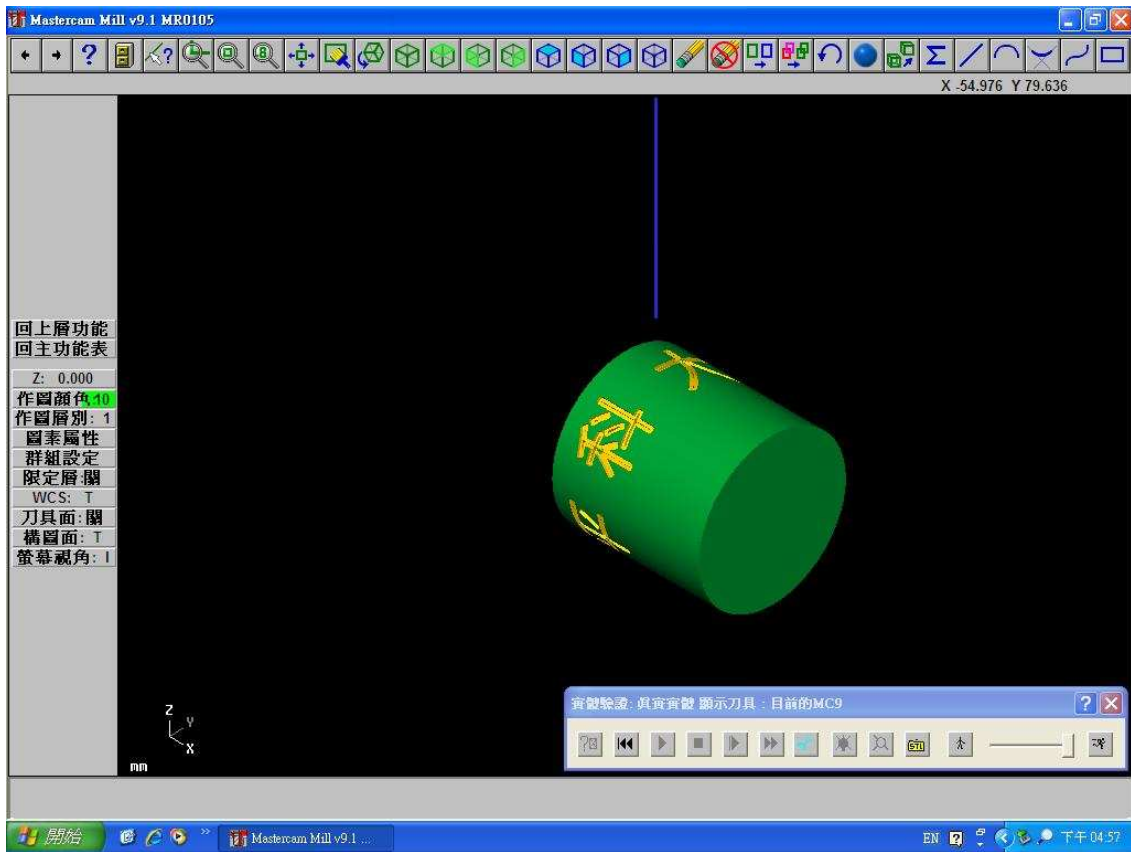


5. 操作管理

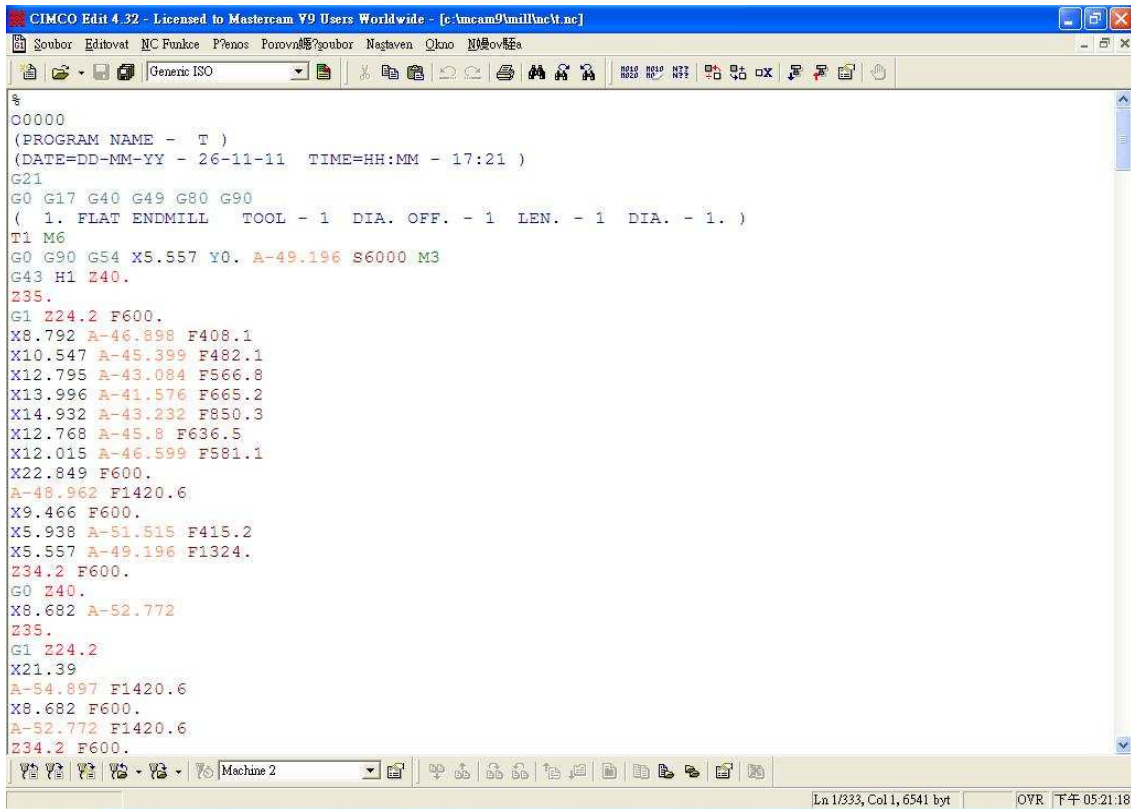




6. 完成模擬切削



7. 轉換 NC 程式



成品結果

肥皂曲面刻字





可愛圖片與刻字



圓柱雕刻文字



結論

這次專題是先用 Solidworks 3D 建模，再轉 IGS 到 MasterCAM，打開後排刀做模擬加工，由於要刻字有關於深度還有曲面跟刀具的限制，使得作品字體要加大，此專題過程中做練習的時候，也有因為模擬過程沒有注意到導致刀具在加工的時候，過切使刀具壓力過大而斷刀，幸好沒有對機台產生影響。

雖然我們是用壓克力來進行加工，純粹只有觀賞作用，但是製作模擬刻字的過程，也讓我們從過程中學習到不少 CAM 的使用方法。

參考資料：

數控工具機原理與實習 陳天生黃寶建 編著

高立圖書有限公司

數控技術 林聰德 編著

全華科技圖書股份有限公司

Mastercam 入門與範例應用 V9 版 周文成 編著

全華科技圖書股份有限公司