

東南技術學院機械工程系  
專題製作報告

# 半導體真空幫浦轉子之 設計與模型製作

指導老師：周榮源 老師

學	生：	何靖國	王錦智
		林亮言	倪啟彬
		葉朝文	蔡銘昇

中華民國 90 年 12 月 28 日

# 東南技術學院機械工程系 專題製作評審老師審定書

何靖國 林亮言 葉朝文

王錦智 倪啟彬 蔡銘昇

君所提之報告

經過審議後，認為符合專題製作標準

專題製作評審老師

---

---

---

---

專題製作指導老師

老師

---

中華民國 90 年 12 月 28 日

# 專題製作摘要

## 專題製作名稱：半導體真空幫浦轉子之設計與模型製作

乾式真空幫浦顧名思義是在幫浦進氣、壓縮、排氣行程中，轉子運動所掃過的行程中，並不需要油脂來潤滑或密封，因此可避免油氣回流，對造成系統的污染。並影響真空度。而其中魯式幫浦具有加工容易、良好抗腐蝕性、保養維修容易、與安全性高等優點。所以在乾式真空幫浦中應用最廣泛。

本專專題有鑑於此，利用專題指導老師以前所分析研究過的魯式轉子的外形曲線理論，再利用 Visual Basic 物件導向程式來撰寫程式，作驗證老師以前的理論是否能開發出此軟體及應用，而正好學校又有 CNC 線切機設備，所以用 CNC 線切割機來製造轉子外形，看看是否可行，經由這些方式來驗證理論是否可行，是否可用物件導向程式設計繪圖，及線切割機製造的可能性為何。

本專題就是要利用：

- 一、幾何解析方式分析、設計並繪製魯氏真空幫浦之外形曲線。
- 二、利用 Visual Basic 6.0 撰寫程式，設計出繪圖程式介面，並利用其繪製真空幫浦轉子外形曲線。
- 三、直接於程式中轉出產生 NC 碼，進而利用線切割機來做加工完成其外形曲線。
- 四、做出之真空幫浦轉子，可以供未來教學及學習之用。

指導老師：周榮源 老師

學生：何靖國、林亮言、葉朝文  
王錦智、倪啟彬、蔡銘昇

中華民國 90 年 12 月 28 日

# 目錄

第一章	前言	-----2
第二章	真空幫浦之介紹	
2.1	真空的基本認知	-----3
2.2	真空之技術應用	-----3
2.3	真空的分類與用途	-----4
2.4	何謂真空幫浦	-----4
2.5	真空幫浦有何分類	-----5
2.6	真空幫浦的功能與用途	-----8
2.7	真空幫浦之現況	-----10
第三章	魯式真空幫浦之介紹	
3.1	魯式真空幫浦之簡介	-----11
3.2	魯式真空幫浦之特性與原理	-----12
3.3	魯式幫浦之幾何分析	-----14
第四章	Visual Basic 程式繪圖	
4.1	程式選擇	-----20
4.2	建立繪圖介面	-----20
4.3	如何繪圖	-----21
4.4	轉 NC 碼	-----23
第五章	線切機加工	
5.1	線切割原理	-----23
5.2	加工步驟、方法	-----24
5.3	加工注意事項	-----29
第六章	結論	-----30
	參考文獻	-----31
	附錄	-----32

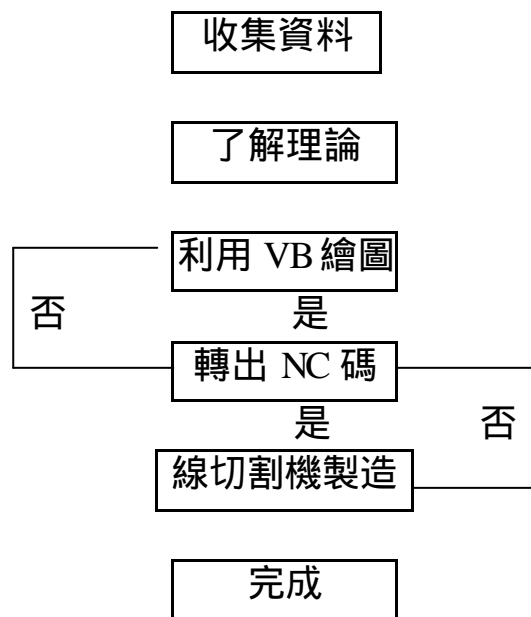
# 第一章 前言

真空幫浦在工業上的應用有愈來愈廣的趨勢，如半導體製程中的薄膜沉積或乾蝕刻等，均需要在低壓、真空的環境下操作，由於半導體製程技術不斷往更小線寬與更高密度的方向進步，因此半導體製程環境對真空度與潔淨度的要求也就愈來愈高。由於魯氏真空幫浦屬於乾式真空幫浦，在操作時不需要油脂或水來做為潤滑或密封的界質，因此可以避免油氣回流，對系統造成污染，影響系統之真空度。而且魯氏真空幫浦具有加工容易、良好抗腐蝕性、保養維修容易、與安全性高等優點。所以在乾式真空幫浦中應用最廣泛，所以魯氏真空幫浦在半導體工業及其它薄膜相關產業之應用也愈來愈廣泛。

乾式真空幫浦顧名思義是在幫浦進氣、壓縮、排氣行程中，轉子運動所掃過的行程中，並不需要油脂來潤滑或密封，因此可避免油氣回流，對造成系統的污染。並影響真空度。而其中魯氏幫浦具有具有加工容易、良好抗腐蝕性、保養維修容易、與安全性高等優點。所以在乾式真空幫浦中應用最廣泛。

本專專題有鑑於此，利用專題指導老師以前所分析研究過的魯式轉子的外形曲線理論，再利用 Visual Basic 物件導向程式，來作驗證及分析，而正好學校又有 CNC 線切機設備，嘗試以 CNC 線切割機來製造轉子外形，看看是否可行，經由這些方式來驗證老師的理論是否可用物件導向程式設計繪圖，及線切割機製造的可能性為何。

專題步驟為：



## 第二章 認識真空

### 2.1 真空的基本認知

「真空」(Vacuum)一詞指比大氣壓力為低之壓力下的特定空間狀態而言。真空並非表示絕對真空(0 Torr)，這點容易讓人誤解，大氣壓力的大小隨時隨地都在變化，真空的範圍也隨著改變，故科學家們以大氣壓力的平均值 760 Torr 作為基準，0~760 Torr 之間的壓力即稱為真空。使用 Torr 之單位甚為方便，因為 Torr 一定表示絕對壓力，而不會與錶壓力混淆不清，如果使用 mmHg 則需區分 mmHgabs 或 mmHgg。另外英制以 0~29 in Hgabs 表示真空壓力。從這個真空的定義來看，造成真空並不困難，而使用真空的器具也並不一定是價格昂貴或構造複雜的儀器。家庭用具中很多都是利用真空原理以達到其功用的。例如噴水器、吸塵器以及保暖保冷的水瓶等都是最明顯的例子。事實上很多用具利用真空與大氣的壓力差將其固定，如利用真空吸力掛勾等，或推動某些物體如抽油吸水等，從小到小孩玩具，大到工業上應用實例甚。

### 2.2 真空技術之應用

真空技術對現代科技文明的發展具有舉足輕重之地位，從學術基礎研究到民生工業及高科技產業均演著吃重的角色，尤其現今攸關我國經濟發展的半導體元件製造產業對真空技術更是著高度的依賴性，提供一個純淨不受氣體分子干擾的空間，以進行科學研空或產品生產，這些工作主要是利用在真空條件下的某些物理上或化學上的特質（如圖 1 所示）如下：

物理特質：

- 1、 真空與大氣壓力間的壓力差所造成之吸附效果。
- 2、 真空中氣體分平均自由徑加長，分子間碰撞減少，有利於電子、離子長距離運動。
- 3、 真空中氣體稀薄可降低熱傳導、提高電絕緣。

化學特質：

- 1、 真空中氣體分子數目少，有助於防止水汽、氧氣對物件造成破壞、污染等。
- 2、 真空中可形成持續之電離效應，有助於使用電漿反應以進行鍍膜、蝕刻、材料化合等工作。

物理意義	運用的目的	壓力範圍	應用實例
壓力的降低	差壓的運用	760~10 Torr	真空成型、輸送
	有害氣體的去除、調整	$10 \sim 10^{-5}$ Torr	真空包裝、真空熱處理、表面處理、真空蒸餾
分子密度的減少	將內含有害成分的去除	$10 \sim 10^{-5}$ Torr	真空乾燥、脫水、脫氣、脫臭、凍結乾燥、真空鑄造
	能量傳遞的減少	$10^{-2} \sim 10^{-5}$ Torr	真空隔熱、宇宙環境試驗、極低溫容器
平均自由行程的增長	衝突的迴避	$10^{-2} \sim 10^{-7}$ Torr	電子管、粒子加速器、電子顯微鏡、真空蒸著、分子蒸餾
	放電的持續	$1 \sim 10^{-4}$ Torr	螢光燈、水銀燈、核融合裝置
入射偏斜角度變小	清淨表面的維持	$10^{-8} \sim 10^{-12}$ Torr	薄膜形成、電子放射、宇宙用機材的研究

資料來源：金屬中心 ITIS 計畫

圖 1 真空技術之運用

### 2.3 真空的分類與用途.

真空技術中，將真空依壓力大小分為四個區域，如下：

1. 粗略真空 (Rough Vacuum)  $760 \sim 1$  torr -----\黏滯流
2. 中度真空 (Medium Vacuum)  $1 \sim 10^{-3}$  torr -----\過度流
3. 高真空 (High Vacuum)  $10^{-3} \sim 10^{-7}$  torr -----\ 分子流
4. 超高真空 (Ultra-high Vacuum)  $10^{-7} \sim$  torr 以下 -----\ 分子流

真空設備目前大量的使用在半導體製成上，食品的真空包裝上，等一些高科技及民生產業上應用範圍相當大，甚至日常生活中的保溫瓶、吸盤、、等這些都是真空的應用。

### 2.4 何謂真空幫浦

凡能將一特定空間內之氣體去除，以減低氣體分子數目，造成某種程度之真空狀態之機件，統稱為真空幫浦。但真空技術上的幫浦比此廣義。也有的真空幫浦是將真空裝置內的氣體輸送到較高壓力的外部而排出，諸如油旋轉幫浦、魯式鼓風機型的機械式增壓器之類的機械幫浦、擴散幫浦或噴射幫浦之類的蒸氣噴射幫浦。但也有的真空泵幫浦不是將氣體運出外部，只是捕捉它而已。因其在真空技術上的作用相同，所以也稱為幫浦。以除氣作用為主的幫浦或以低溫吸著、凝結作用為主的幫浦等屬此，亦即，真空幫浦宜視為有除去氣體機能的裝置。圖 2 為目前實用的主要真空泵幫浦，作動範圍可分為從大氣壓作動者與不如此者。這是幫浦操作上的根本差異。後者需要預先將壓力降到幫浦可作動的領域，並保持該壓力的幫浦，稱為補助幫浦。

真空幫浦性能的要點在如何在短時間除去某容器中的氣體(排氣速度)與可形成何等低壓力狀態(到達壓力)。排氣速度以體積速度表示，單位為【l / min】或【l / s】。

分類	種類	操作範圍 (Torr)	特 性			摘 要
			水蒸汽	灰塵	低沸點物	
機械式 真空幫浦	往復式幫浦(一級)	5~760	強	稍強	強	基礎面積大，適用蒸汽排氣，腐蝕性氣體亦可。
	往復式幫浦(二級)	10 <sup>-1</sup> ~760	強	強	稍弱	大型，基礎面積大，適用蒸汽排氣，腐蝕性氣體亦可。
	液封式幫浦	50~760	強	強	強	化工用，適用水蒸汽、腐蝕性氣體、灰塵。
	魯氏幫浦(一級)	300~760	強	稍強	強	魯式鼓風機之反用，可加水，噪音大。
	魯氏幫浦(二級)	100~760	強	稍強	稍強	魯式鼓風機之反用，可加水，噪音大。
	油旋轉幫浦	10 <sup>-4</sup> ~760	弱	弱	弱	一般所常用。
	機械式助力器	10 <sup>-3</sup> ~10	強	稍弱	稍弱	排氣量大。
	分子幫浦	10 <sup>-6</sup> ~10 <sup>-2</sup>	—	弱	弱	製造較麻煩。
	輪機形幫浦	200~760	強	稍強	強	輪機形送風機、鼓風機之反用。
液體噴射 真空幫浦	水噴射幫浦	30~760	強	強	強	祇需高壓水，使用簡單，適用蒸汽、灰塵、腐蝕性氣體。
	液油噴射幫浦	1~760	強	強	強	適用腐蝕性氣體或與水會起反應之氣體。
蒸汽噴射 真空幫浦	蒸汽噴射器(一級)	100~760	強	稍強	強	適用水蒸汽、灰塵。
	蒸汽噴射器(五級)	10 <sup>-2</sup> ~(760)	強	稍強	強	適用水蒸汽、灰塵。
	空氣噴射器	100~760	強	強	弱	不太經濟，但有特殊用途。
	油噴射幫浦	10 <sup>-3</sup> ~5	弱	稍弱	弱	容量大，可當擴散幫浦之助力器。
	油擴散噴射幫浦	10 <sup>-5</sup> ~0.2	弱	稍弱	弱	處於噴射器與擴散幫浦之間。
	油擴散幫浦	10 <sup>-8</sup> ~10 <sup>-2</sup>	弱	稍弱	弱	高度真空時常用，使用時要注意。
	水銀擴散幫浦	10 <sup>-8</sup> ~5	弱	弱	稍弱	需要凝汽閥。
凝 結 真空幫浦	大氣壓凝結器	20~760	強	強	強	水蒸汽排氣用。
	吸收幫浦	10 <sup>-2</sup> ~760	—	—	稍強	使用液態氮及吸附劑。
	冷卻幫浦	10 <sup>-8</sup> ~10 <sup>-2</sup>	—	—	稍強	使用液態氮。
	冷卻噴射器	10 <sup>-4</sup> ~760	—	—	強	使用二氧化碳。

圖 2 為目前實用的主要真空泵浦

## 2.5 真空幫浦有何分類

真空泵浦(vacuum pump)係以產生真空為目的的低壓發生器，氣體自動會流向壓力較低之處乃是一種自然的基本法則。真空泵浦的使命就是在系統中連續維持低壓，使氣體自相連的容器繼續流動過來；依照自然法則，氣體是自然流過來，而不是勉強硬拉過來。

製造低壓的第一種方法比較單純，祇把氣體的容積淘汰出去，第二種方法是使氣體與運動中的固體或流體接觸，可獲得一定方向的運動量而得以循其方向移



動，以造成低壓。兩者對於壓縮工作或壓力差的移動，皆需加以能量做功，所有機械性真空泵浦及流體噴射真空泵浦都屬於這兩種範圍。此類屬於狹義的真空泵浦。

除利用上述方法產生低壓外，尚有物理方法及化學方法。也就是降低溫度使氣體凝結或使氣體與活性物質發生化學反應而產生固體的方法，只需連續造成此種作用即可達到目的。屬於此類者有凝氣閘、吸收閘、或連續性集質等。又，先使氣體於特定空間內離子化，再附著固定於附近的固體表面或內部，亦可降低此空間內的壓力。若與化學吸附配合同時作用時，即可構成集質離子泵浦。若直接以離子狀態排出系統之外時，則為純粹的離子泵浦。此類機器可包括在廣義的真空泵浦之內。按照泵浦其處理被抽氣體的方法可分成兩大類(圖 3 為真空幫浦之分類)，亦即：

### 1. 排氣式：

此類真空泵浦其作用為將低氣壓處的氣體排送到高氣壓的地方，如果只應用一個泵浦抽氣，通常多係將系統內得氣體直接排出到系統外面的大氣中，如果應用兩階段抽氣，亦即應用兩種不同的泵浦串聯抽真空，則氣體從系統內較低氣壓處被一泵浦送到較高氣壓處，然後再由另一泵浦抽送到大氣中，通常後者被稱為前段泵浦亦稱為粗略泵浦，前者有時被稱為高真空泵浦。而排氣式真空泵浦又可分為下列兩大類，即：

(1) 機械泵浦：此類泵浦利用機械能力直接將氣體排送出系統，其作用原理通常可分為：

- A. 將氣體從低氣壓處捕捉後經壓縮而送到高氣壓處，真空系統的最初氣壓如為大氣壓，通常只有利用此類泵浦可將其抽低，故真空系統的前段泵浦多需採用此類的泵浦。
- B. 利用泵浦中迅速轉動的機件給予氣體高速率以使其從低氣壓處向高氣壓處運動。此類泵浦通常需要與前段泵浦串聯使用，當氣體分子運動到高氣壓處時即被前段泵浦捕捉排送到外界大氣中。

(2) 氣噴流泵浦：此類泵浦通常簡稱為蒸氣泵浦。其主要操作原理為利用加熱使某種液體蒸發成蒸氣。這些蒸氣分子由於溫度高運動甚速，當其經過所需抽真空的系統附近，即與被抽的氣體分子碰撞而給予動能將其帶向蒸氣循環的路徑。在此路徑上蒸氣分子被冷卻變成液體流回原加熱槽，而所帶的氣體分子則在此處被前段泵浦抽出排送到外的大氣中。一般來說此類泵浦必需有前段泵浦才可有作用，僅下述的噴射泵浦有時可直接將所抽的氣

體排送到大氣中。利用蒸氣噴流的泵浦又分為下述兩類：

- A. 擴散泵浦：又稱為凝結泵浦或高真空高速率泵浦，因為此類泵浦利用氣體擴散，蒸氣凝結的原理，其抽氣速率通常很高而且可用來抽高真空，故有此名稱。
  - B. 噴射泵浦：此類泵浦的操作原理與蒸氣泵浦頗似。其不同點為蒸氣噴流的方向與真空系統的抽氣口方向垂直，被抽的氣體分子擴散到噴口的附近，即從蒸氣噴流的邊界上擴散入或被蒸氣分子的黏滯性拖曳入蒸氣噴流中，然後通過擴散室以超音速的速度穿過一管喉送出泵浦。
- (3) 貯氣式：此類泵浦其抽氣原理與排氣式完全不同，被抽的氣體被泵浦抽到其中，永久或暫時貯藏再泵浦中而不排出。通常被抽的氣體分子在泵浦進口的附近或受高電壓離子化後，被泵浦中的一種特殊物質物理吸附或結合成化合物（化學吸附）。或受到正離子、電子甚至放射線的作用使氣體分子電離，然後再在高壓電或磁場的作用下被某些物質吸收，亦有靠低溫將此些氣體分子（通常為空氣），冷凍而貯在泵浦內。貯氣式泵浦近年來發展迅速，幾乎所有高真空及超高真空均採用此類泵浦，新式的種類頗多，現僅就常用者分為下列三類介紹：
- A. 化學吸附泵浦：此類泵浦的作用原理係利用一種活性物質，稱之為結拖者，與所要抽的氣體分子化合變成固體或化學吸附貯留在泵浦內不再放出，此種結拖物質通常為薄膜、細絲、或粉狀。利用加熱昇華、離子撞濺、或燃燒等方法使結拖物質與所要抽的氣體分子結合散佈在泵浦的內面。
  - B. 吸附泵浦：此類泵浦操作原理為物理吸附，亦即利用某一些吸附力很強的物質如活性碳或沸石等，將所欲抽的氣體吸附在其表面上。此類泵浦通常需保持低溫，故常與冷凍泵浦聯合使用。因其吸收氣體為物理作用，故仍有再放出被吸收的空氣的可能，在使用時應盡量保持一定溫度或低溫。
  - C. 冷凍泵浦：亦即利用非活性金屬使其在急冷的狀況下將欲抽的氣體冷凍成固體而貯於泵浦內。一般所採用的冷凍劑均為液態氦或超冷的氦氣，因為通常所抽的氣體多為空氣，而空氣在液態氦溫度下可凝結成固體。此種泵浦除氫、氫、氖等稀有氣體外，通常使用效果良好，並可用作高真空泵浦。

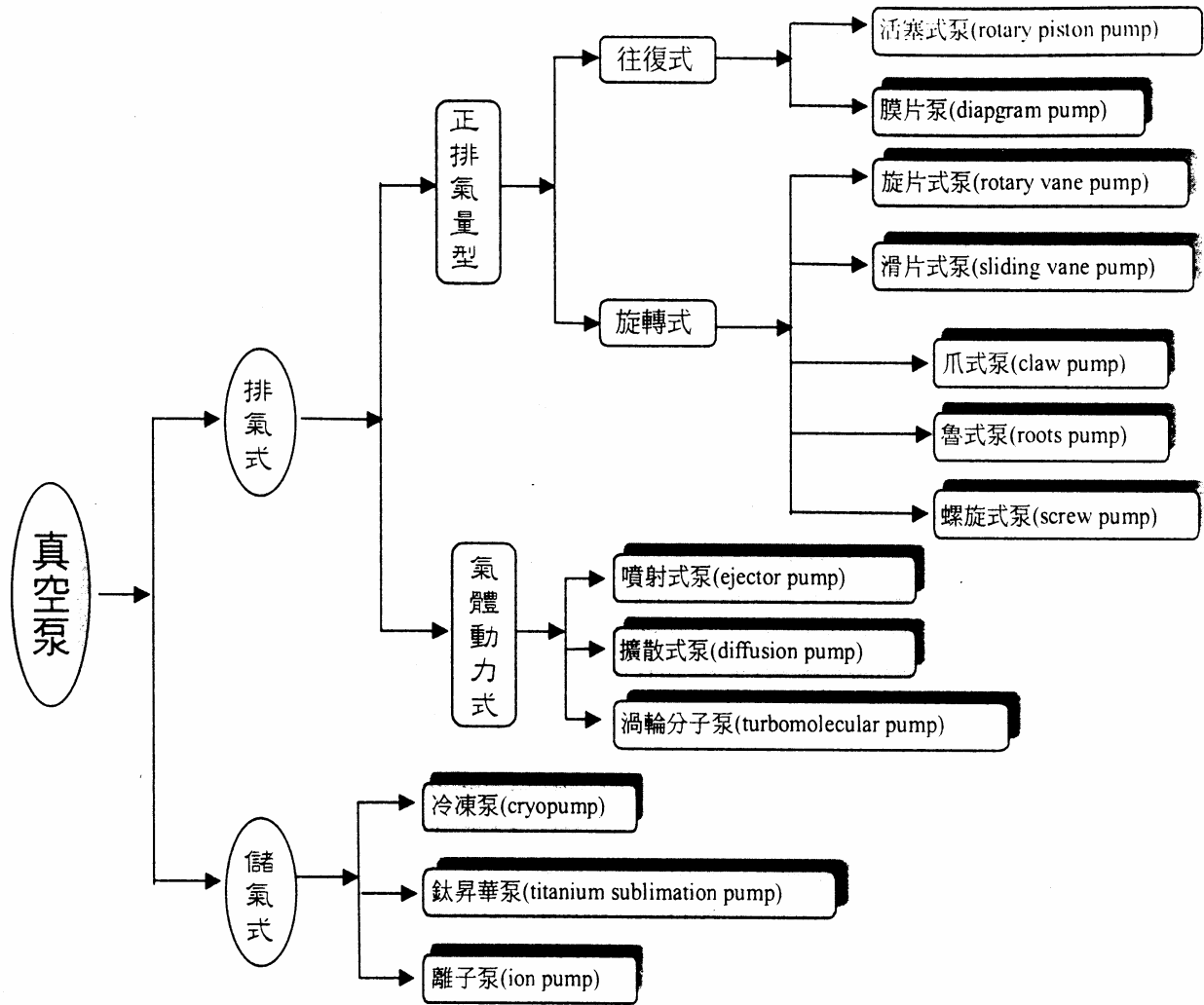


圖 3 為真空幫浦之分類

## 2.6 真空幫浦的功能與用途

真空幫浦技術是一項古老的技術，早在 1640 年 Galileo 即曾經利用活塞機構來抽真空。現今之真空幫浦則與舊有的幫浦在抽氣性能、功能設計及應用範圍上有著截然不同之處。最主要原因是因應高科技產業如半導體製造及光電產業等新興科技產業之蓬勃發展，帶動了整個真空泵浦技術對潔淨度、耐酸鹼腐蝕、低顆粒沉積、低振動及低運轉成本等方面之技術創新與改良，我們可以說真空產業是整個高科技產業之基礎。近年來廣為半導體製造及液晶顯示器生產等產業所使用之乾式幫浦的研發，是因應產業需求所發展出來之真空幫浦的最佳例證。

由於真空幫浦之性能隨操作條件有很大的差異，針對不同之操作壓力範圍必須使用不同種類之真空幫浦，同時對一典型之真空系統中，往往不僅只有一台幫浦，通常需有二至三台幫浦串聯組合而成，藉以達到所需之真空度。真空幫浦對

產業之重要性，是因為對任何製程機台、鍍膜設備或真空儀器而言，唯有靠真空泵幫來抽真空，才能以人為方式創造出一低壓、潔淨、無污染、低水氣之高品質真空環境，這個真空環境正是確保製程品質，達到設計目標之最重要條件。圖 4 為真空幫浦未來的發展動向。圖 5 是真空幫浦的抽氣範圍

項目	技術不足之處	優點	改進之處
增加抽氣速率	300mm 晶圓尺寸將擴充其真空室，原本到達真空時間將會延長	降低運轉成本、減少製程週期時間	轉子、氣道系統設計改良。
減少製程產物沈積	未反應之製程氣體及反應副產物(NH <sub>4</sub> Cl、AlCl <sub>3</sub> 等)易於邦浦內部凝結	避免泵卡死、減少不必要的維修	氮氣 Purge 系統設計、監控方式之改良。
提高潔淨之真空	真空泵齒輪箱、軸承仍有油氣滲入的可能	避免油氣污染製程反應室	密封材質選用、密封元件應用。
智慧型及網路化	數百台真空泵同時運轉，管理不易	可預知或快速瞭解問題所在	網路監控
減少噪音及振動	數百台真空泵同時運轉將產生極大噪音	降低吵雜噪音	轉子軸承及接觸面的改進
元件標準化	各家廠商產品不一，造成維修技術的困難	降低製造及維修成本	制定元件標準化

資料來源：工研院 ITIS 計畫/金屬中心 ITIS 計畫整理

圖 4 為真空幫浦未來的發展動向

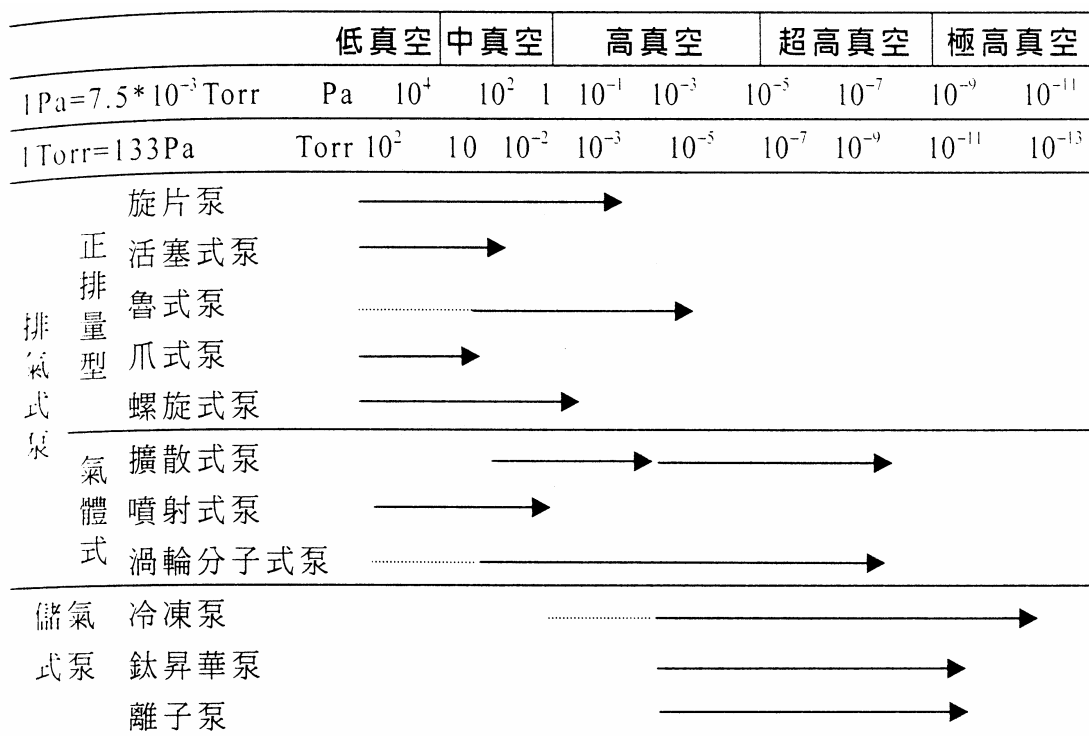


圖 5 是真空幫浦的抽氣範圍

選用真空幫浦時，必須考慮以下四項主要因素：

1. 所能達到之最低壓力(Lowest pressure)
2. 有效之工作壓力範圍(Pressure range)
3. 抽氣速率大小(Pumping speed)
4. 排氣口壓力(Exhaust pressure)

## 2.7 真空泵浦之現況

圖 6 為半導體主要製程技術與真空幫浦之應用，近幾年來半導體生產設備或液晶顯示器生產設備中真空環境所使用的乾式真空泵浦不但在日本，連國外都已經廣為運用。由於乾式真空泵浦之初期安裝成本居高不下，以及保養費用等問題，所以乾式真空泵浦並沒有被廣泛地運用於其他的範疇中。乾式真空泵浦在現在半導體產業界中，主要是被運用在生產 8 吋晶圓之半導體廠上。而事實上，在使用 8 吋晶圓的量產工廠中所運用的粗抽真空泵浦也大多都使用乾式真空泵浦。乾式真空泵浦除了在液晶生產之上所使用的蝕刻製程上有應用到之外，在生產 TFT 螢幕的電漿 (PLASMA) 的 CVD 製程之中，其排氣系統也開始正式地採用以乾式真空泵浦為中心的系統。使用乾式真空泵浦的方式，從其轉子型態來分，以可分為多級魯氏、爪氏+魯氏、多級爪氏、渦輪式、渦卷式與螺旋式等。為配合其用途及應用壓力與要求之排氣速率等分別組合魯氏泵浦、渦輪分子泵浦、冷凍泵浦等來運用。在運用且抽真空泵浦方面，因為需要將氣壓縮到和大氣壓力相同之壓力，所以在半導體的製程用途上，種泵浦和其上位之泵浦比較起來，其化學上的負荷也比較大(意即腐蝕性，或是因發生化學反應而產生的負荷)。

	機台名稱	真空應用點	真空重要性	常用真空泵
顯影區	Stepper(步進機)	晶片座	低	
	Coater&Developer(光阻覆蓋、顯影機)	晶片座	低	
蝕刻區	掃描式電子顯微鏡	真空腔、電子束	高	渦輪分子泵
	氮化矽蝕刻機	真空電漿蝕刻	高	乾式泵、渦輪分子泵
	複晶矽蝕刻機	真空電漿蝕刻	高	乾式泵、渦輪分子泵
	氧化矽蝕刻機	真空電漿蝕刻	高	乾式泵、渦輪分子泵
	鎢及鎢矽蝕刻機	真空電漿蝕刻	高	乾式泵、渦輪分子泵
	金屬蝕刻機	真空電漿蝕刻	高	乾式泵、渦輪分子泵
	電漿光阻去除	真空電漿蝕刻	高	乾式泵、渦輪分子泵
	刷洗機	晶座吸座	低	--
薄膜區	常壓式 CVD	抽氣壓力控制	中等	乾式泵、渦輪分子泵
	電漿輔助式 CVD	真空電漿鍍膜	高	乾式泵、渦輪分子泵
	金屬濺鍍機	真空濺鍍膜	高	乾式泵、冷凍泵、渦輪分子泵、鈦昇華泵
	鎢及鎢化矽 CVD	CVD 真空鍍膜	高	乾式泵、渦輪分子泵
擴散區	快速熱處理機	氣密性	低	
	常壓氧化/擴散爐管	抽氣控制	中	
	LP CVD Furnace	低壓 CVD 沈積	高	乾式泵、渦輪分子泵
	離子植入機	離子束植入	高	乾式泵、冷凍泵
	化學清洗站	無	無	
	厚度量測機台	晶片真空吸座	低	

資料來源：真空科技(九卷一期)/金屬中心 ITIS 計畫整理

圖 6 為半導體主要製程技術與真空幫浦之應用

### 第三章 魯式真空幫浦之介紹

#### 3.1 魯式真空幫浦之簡介

魯氏泵在工業上的應用有越來越廣的趨勢，尤其在新科技或在較尖端的科技領域中，如在半導體製程中，不論是薄膜沈積、乾蝕刻、離子植入或是微影製程均需在低壓真空的環境下操作，由於半導體製程技術不斷往更小線寬與更高密度的方向改善，因此半導體製程環境對真空度與潔淨度之要求也越來越高。因為魯氏真空泵屬於乾式真空泵，在操作時本身並不含油氣，因此可避免油氣污染真空環境，同時因其具有廣泛的工作區域及容易維修等優點，魯式泵的工作原理，乃是利用兩轉子共軛運動之關係，以防止氣體由高壓端流回低壓端，並同時造成一封閉的氣塊將氣體由低壓端帶至高壓端。

### 3.2 魯式真空幫浦之特性與原理

現就以此次專題製作的主題魯式幫浦來稍加介紹：

魯式鼓風機只要供給少量的油脂（甚至不用），使達到密閉與冷卻的目的，即可當作真空泵浦使用，一般時可達 360Torr，二級時可達約 20Torr，魯式鼓風機藉兩個轉子以相反方向旋轉而壓縮空氣，然而兩轉子在高速旋轉時並不互相接觸，而且中間保持在 0.1~0.3mm 的間隙，因為轉速夠快，使排氣速度遠遠大於間隙間所溢漏的速度，所以可得壓縮，轉子之間不需添加潤滑油所以能傳送潔淨不含油氣之乾淨空氣。魯式鼓風機的轉子一般在使用上有二葉、三葉、五葉等的轉子外形，大多串連使用，形成多段壓縮及多級壓力。

作動行程如下：

1. 進氣。
2. 包覆至轉子與氣缸間。
3. 排氣。

而本專題就針對二葉、三葉、五葉的外形曲線來做分析製造出其外形曲線供教學之用。（圖 7、8、9、10 是魯式幫浦的工作原理）（圖 11 是魯式幫浦特性圖）

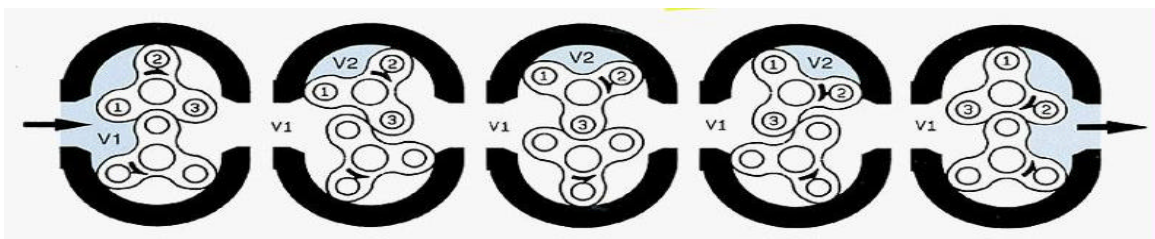


圖 7 是魯式幫浦的工作原理

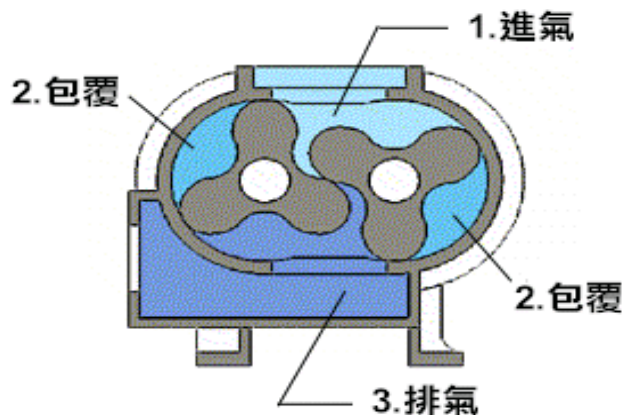


圖 8 是魯式幫浦的工作原理

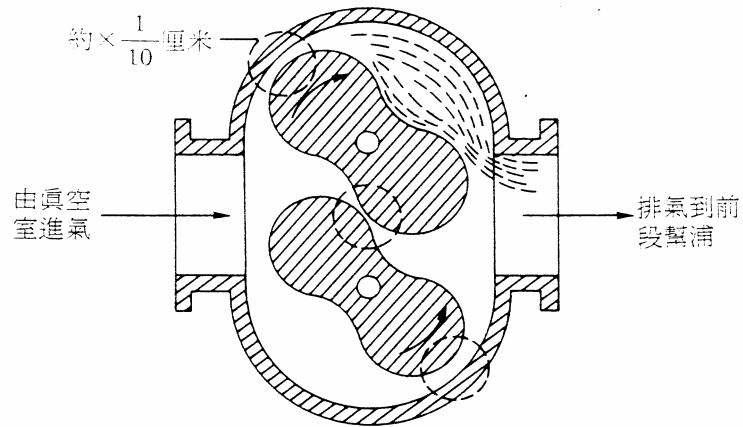


圖 9 是魯式幫浦的工作原理

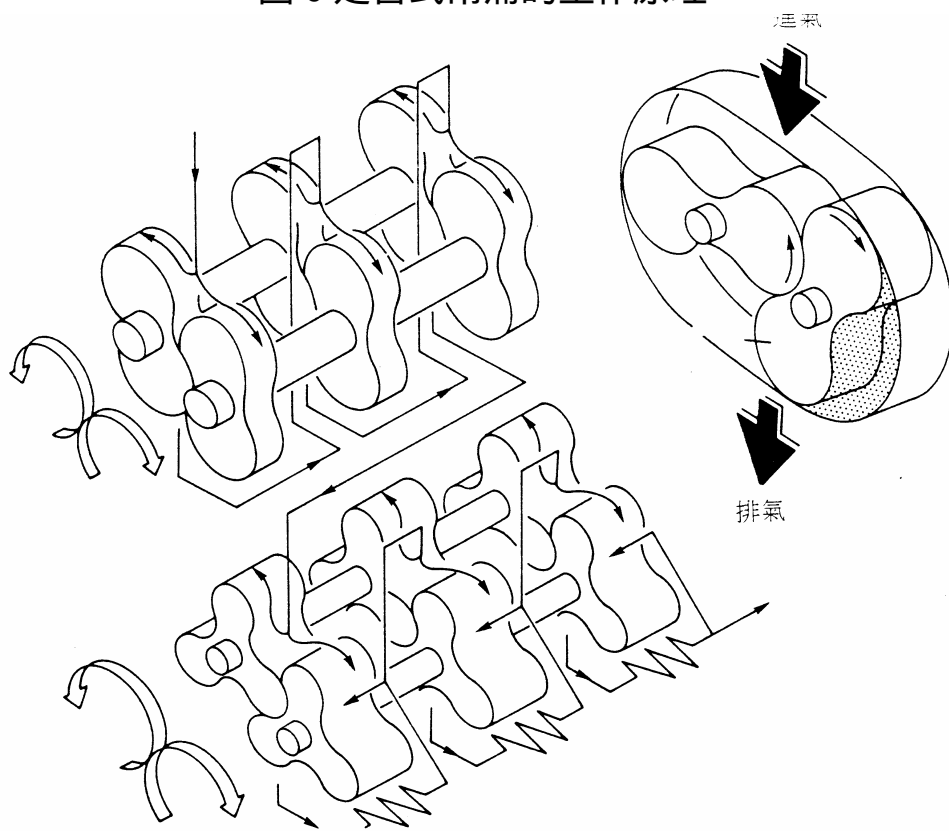


圖 10 是魯式幫浦的工作原理



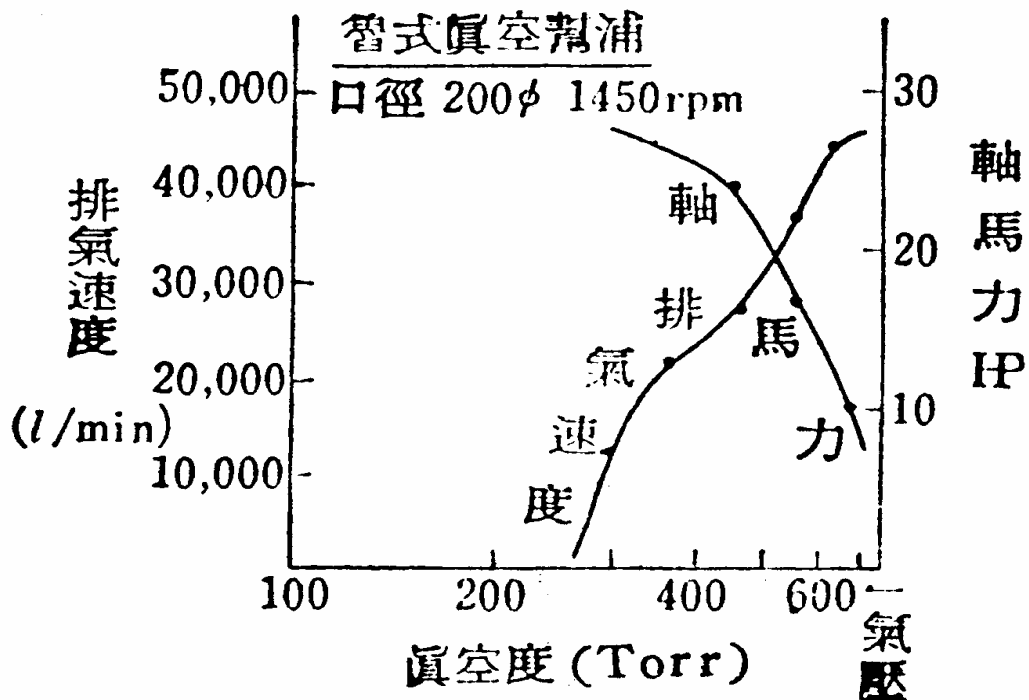


圖3.20 魯式真空幫浦的特性

圖 11 是魯式幫浦特性圖

### 3.3 魯式幫浦之幾何分析

運動機構的主動件與從動件在傳動時，可以不經由中間連接物而以直接接觸來傳達運動，若傳動機構之主動件與從動件的動角速比維持一固定函數，那麼這對主動件與從動件其接觸面的外形曲線，稱之為共軛曲線。

對於主動件(或從動件)其外形的一段曲線若為已知，則其從動件(或主動件)與之接觸傳動的共軛曲線繪製方法，可依據一般機動學的圖解法，一點對應一點的分別求得，最後再以曲線板將這些求得的點連起來即為其共軛曲線。

魯氏泵轉子之線形主要可以分成兩個部分：

- (1) 基本線形部分，此部分之線形是由一些基本平面曲線所組成，而在設計轉子線形時，一般均以轉子在節圓外的線形為設計之基本線形。
- (2) 共軛線形部分，此部分之線形乃是根據基本線形以及轉子間共軛運動之關係，再依據齒輪嚙合之基本理論加以推導與其相對應線形之方程式，此時共軛線形

為基本線形對包絡線，而這種線形產生的方式便是所謂的創成法，因此共軛線形與基本線形間之接觸恆保持相切之情況。

魯式幫浦兩共軛嚙合之外形。由於魯氏泵之轉子外形在 Z 方向均相同，故探討其轉子外形及其抽排氣效率時，可以簡化成二維的問題來加以處理。被動轉子外形之創成方法是以互相嚙合的主動件(刀具)來創成，亦即主動件一與刀具是完全一樣的外形，用以創成被動之共軛運動對轉子。因此，轉子之間的轉速比是 1，而共同的基本線形則是圓形，在嚙合時兩轉子間的相位角相差了 90 度，通常兩轉子是由外加的兩個具有相同齒數的齒輪來分別帶動，各組轉子與齒輪是同軸的。

以下是轉子外形的推導

### 一、基本假設：

1. 兩轉子為共軛接觸。
2. 兩轉子旋轉方向相反且角速度相等。
3. 假設轉子冠頂之幾何外形為圓形。
4. 圓形部分接觸占去四分之一的行程。

### 二、定義座標系：

如圖 12 13 所示，定義固定座標系 $\{ O, X, Y \}$ 及轉子上之動作標系 $\{ O_1, X_1, Y_1 \}$ 和 $\{ O_2, X_2, Y_2 \}$ ， $\{ O_1, X_1, Y_1 \}$ 和 $\{ O_2, X_2, Y_2 \}$ 將隨著轉子轉動。另外基於前述的基本假設，由於兩轉子旋轉方向相反且速度相等，當轉子旋轉角度  $\theta$  時，座標系間之關係將如圖 14 所示。

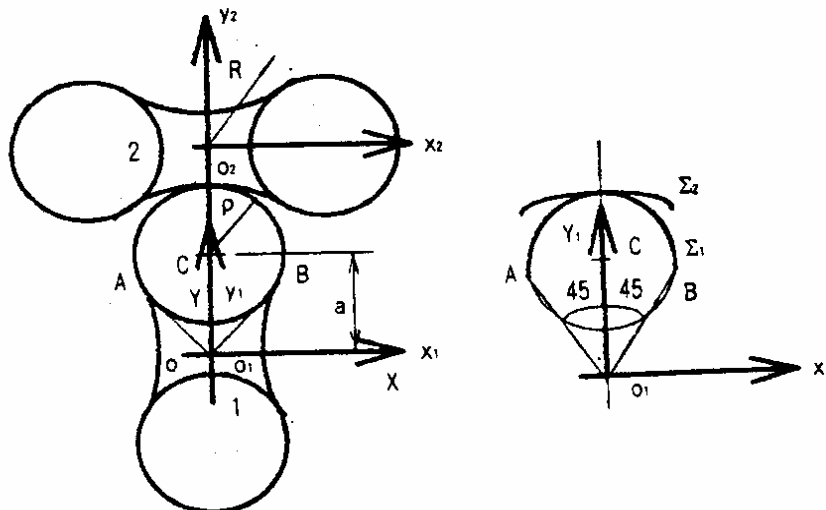


圖 12 轉子參數及座標系

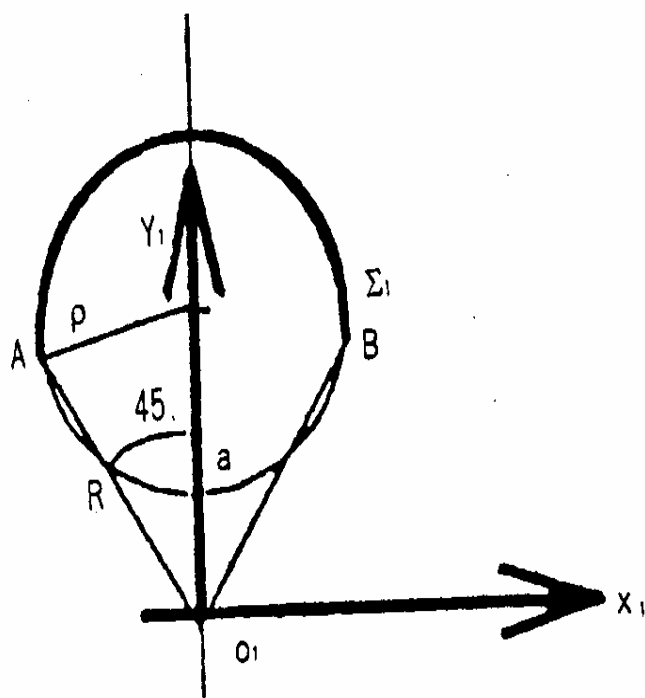


圖 13 轉子參數  $a$ 、 $R$  之幾何關係

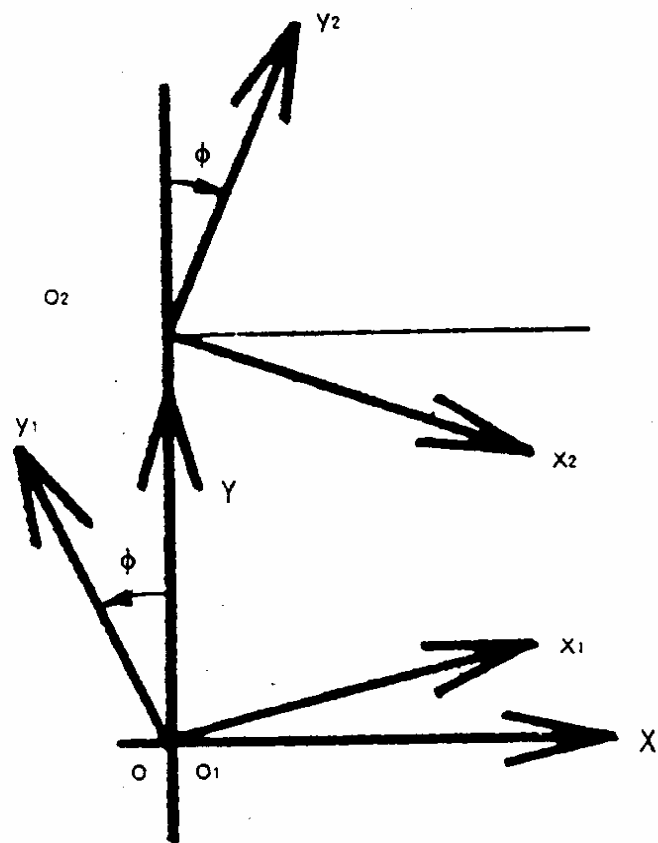


圖 14 轉子座標系與固定座標系之相對關係

另外，由於基本假設（圓形部分接觸占去四分之一的行程），如圖 12 右側，可得到轉子上之參數  $a$ 、 $R$ 、之關係：

$$R^2 + a^2 - 2aR\cos 45^\circ = \rho^2 \quad \text{-----}(1)$$

### 三、齊次座標轉換：

由於建構共軛接觸曲線的過程需要一連串的座標轉換關係，以下將介紹關於共軛原理之運算基礎，且規範在平面的曲線及座標運算。

首先要介紹的是齊次座標表示，一平面點座標  $P(X, Y)$  之齊次座標表示為：

$$r_p = \begin{bmatrix} x \\ y \\ t \end{bmatrix}$$

其中  $t$  為齊次因子，在本文中的運算一律令  $t=1$ 。如圖 14 所示，座標系  $\{O_1, X_1, Y_1\}$  和  $\{O_2, X_2, Y_2\}$  間之轉換關係為：

$$\begin{aligned} M_{21} &= M_{2r} \cdot M_{r1} \\ &= \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 2r\sin\phi \\ \sin\phi & \cos\phi & -2r\cos\phi \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos 2\phi & -\sin 2\phi & 2r\sin\phi \\ \sin 2\phi & \cos 2\phi & -2r\cos\phi \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{-----}(2) \end{aligned}$$

其中，下標 21 表示由座標系  $\{O_1, X_1, Y_1\}$  至  $\{O_2, X_2, Y_2\}$  之座標轉換， $r$  則為魯式轉子之節圓半徑，二轉子中心距  $O_1O_2=2r$

### 四、曲線與曲線軌跡

一平面之曲線參數表示就如同式所示：

$$r(\theta) = \begin{bmatrix} x(\theta) \\ y(\theta) \\ 1 \end{bmatrix}$$

因此，根據前述之基本假設，如圖 12，轉子冠頂之輪廓  $r_1$  為一圓， $r_1$  相對於座標系  $\{o_1, x_1, y_1\}$  之參數就表示為：

$$r_1(\theta) = \begin{bmatrix} \rho \sin \theta \\ \rho \cos \theta + a \\ 1 \end{bmatrix}, \quad -45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$$

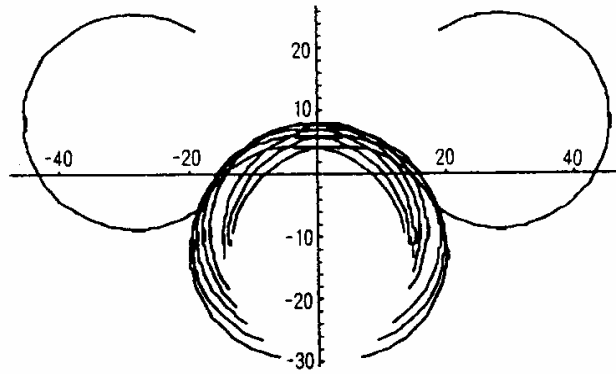
另外  $r_1$  相對於座標系  $\{o_2, x_2, y_2\}$  之表示就是：

$$r_2(\theta) = M_{21} r_1(\theta) \quad \text{-----}(3)$$

由於轉子不停轉動  $r_1$  相對於座標系  $\{o_2, x_2, y_2\}$  之位置必然隨之變化，因此  $r_1$  在  $\{o_2, x_2, y_2\}$  座標系上之軌跡  $r_2$  就可表示為：

$$\begin{aligned} \Sigma_{\phi} : r_2(\theta, \phi) &= M_{21}(\phi) r_1(\theta) \\ &= \begin{bmatrix} \cos 2\phi & -\sin 2\phi & 2r \sin \phi \\ \sin 2\phi & \cos 2\phi & -2r \cos \phi \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho \sin \theta \\ \rho \cos \theta + a \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \rho \sin(\theta - 2\phi) - a \sin 2\phi + 2r \sin \phi \\ \rho \cos(\theta - 2\phi) + a \cos 2\phi - 2r \cos \phi \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{-----}(4) \end{aligned}$$

假設二轉子間距為 20，圓形冠頂半徑 25，代入(4)後可得如下圖之冠頂之曲線族， $r_2$  為冠頂曲線在相對於另一轉子運動時的軌跡。



## 五、共軛曲線

已知  $C_2$  為轉子 2 上的一段曲線，在運動過程中，兩轉子保持接觸，在座標系  $\{O_2, x_2, y_2\}$  上  $C_2$  與  $C_1$  之軌跡 理應相切而不干涉，換言之， $C_2$  即為  $C_1$  之包絡線。依此原理，吾人將可依循包絡理論推演出  $C_2$  之曲線方程式。

首先，由包絡線存在的必要條件可以推導出  $C_2$  之包絡線  $C_2$ 。根據包絡線存在的必要條件：

$$f(\theta, \phi) = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \theta} & \frac{\partial y}{\partial \theta} \\ \frac{\partial x}{\partial \phi} & \frac{\partial y}{\partial \phi} \end{vmatrix} = 0 \quad \text{-----}(5)$$

其中， $x$  與  $y$  分別為曲線軌跡  $C_1$  之  $x$  項與  $y$  項，所以

$$f(\theta, \phi) = -2ap \sin \theta + 2rp \sin(\theta - \phi) = 0$$

或化簡為：

$$a \sin \theta - r \sin(\theta - \phi) = 0 \quad \text{-----}(6)$$

接下來將上述必要條件代入  $C_1$  即可得  $C_2$  之曲線參數表示式：

$$\Sigma_2: r_2(\theta) = \begin{bmatrix} \rho \sin(\theta - 2\phi) - a \sin 2\phi + 2r \sin \phi \\ \rho \cos(\theta - 2\phi) + a \cos 2\phi - 2r \cos \phi \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{-----}(7)$$

其中  $\rho$  和  $r$  之關係代入

$$a \sin \theta - r \sin(\theta - \phi) = 0$$

接著將檢驗以所得到的共軛曲線  $\Sigma_2$  是否在奇異點。同樣地，也將引用包絡理論之相論觀念來檢驗。根據包絡理論，若

$$f(\theta, \phi) = 0$$

$$\text{以及 } \frac{\partial f(\theta, \phi)}{\partial \theta} \neq 0, \quad \frac{\partial r(\theta, \phi)}{\partial \phi} \cdot \frac{\partial f(\theta, \phi)}{\partial \theta} - \frac{\partial r(\theta, \phi)}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial f(\theta, \phi)}{\partial \phi} \neq 0$$

則 存在包絡線且包絡線上沒有奇異點。

## 六、二葉及多葉轉子

將上述的推導步驟付諸實行，將(6)代入(7)式，以數值分析求解共軛曲線之值解，再將其結果以 Visual Basic 繪出。

根據前述之基本假設，推導二葉轉子時，圓形冠頂接觸占四分之一行程。同樣的推導三葉轉子時，可以假設冠頂接觸戰六分之一，亦即  $-30^\circ$  到  $30^\circ$ ，五葉轉子時占十分之一， $-18^\circ$  到  $18^\circ$ ，在將其代入(6)式代入(7)式，求解與冠頂共軛接觸的共軛曲線。

## 第四章 Visual Basic 程式繪圖

### 4.1 程式選擇

Visual Basic 是物件導向的程式開發軟體，其語法類似以前 DOS 下的 Basic 語言只是現以圖形化的介面操作，使用起來相當易學易用，對初學者來說相當容易上手，再加上現在功能強大的微處理器，使之功能強大。加上我們上學期學校

上過圖控程式，也是學 Visual Basic 所以我們在既有的基礎上及軟體上選擇以 Visual Basic 來作為繪圖程式設計。

## 4.2 建立繪圖介面

利用 Visual Basic 物件導向的程式建立繪圖介面，建立基本一般程式應有之功能界，如列印、二葉、檔案、等。如圖 14 Visual Basic 之基本介面。

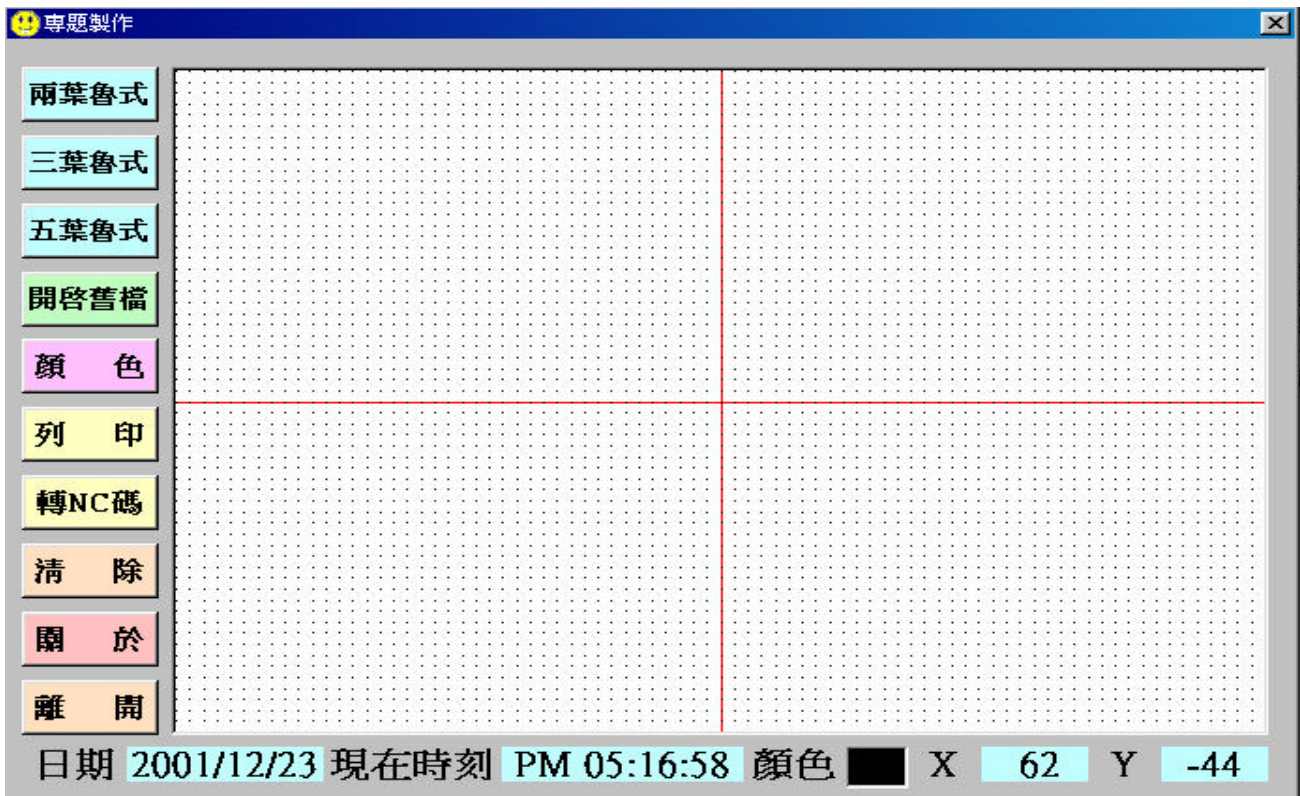


圖 14 Visual Basic 之基本介面

## 4.3 如何繪圖

利用上一章中所得之分析結果，及矩陣及迴圈的方式，使用者輸入  $D$  (即為  $2r$ )，則是二葉魯式的範圍由  $45^\circ$  至  $-45^\circ$ ，三葉為  $30^\circ$  至  $-30^\circ$ ，五葉  $18^\circ$  至  $-18^\circ$ ，用 Visual Basic 計算繪圖，繪出圖形。如圖 15、16、17 所示。



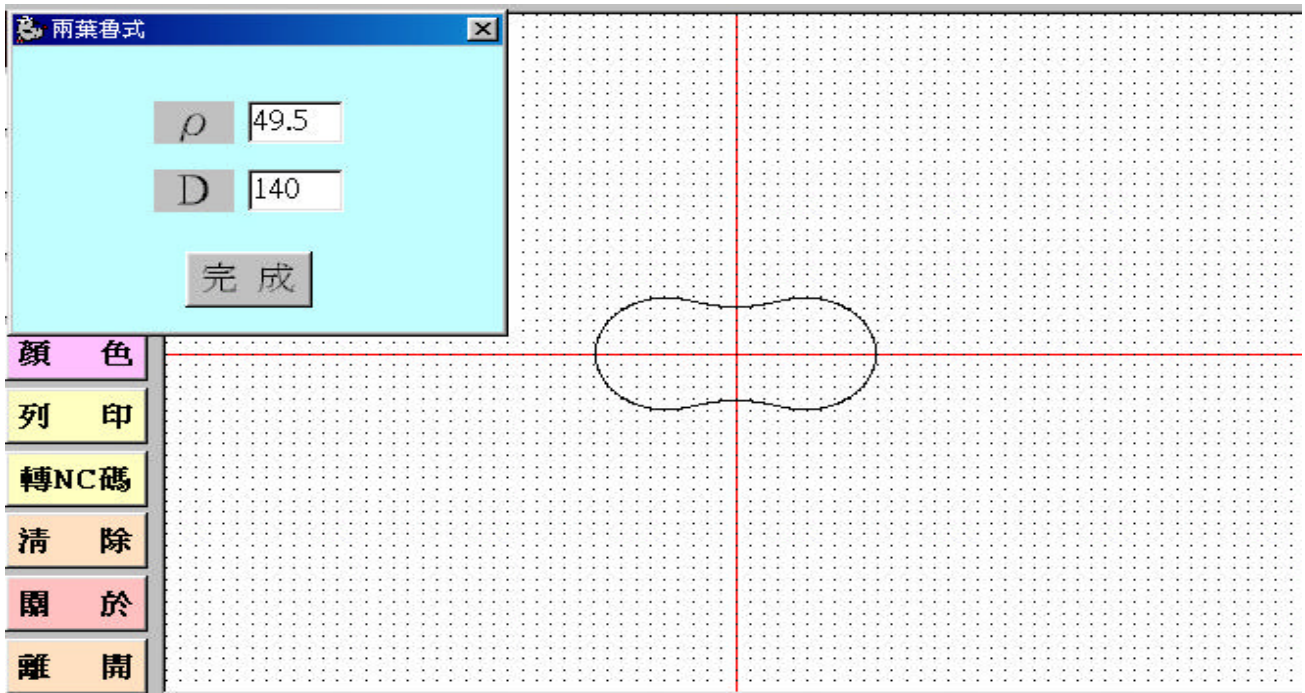


圖 15 兩葉魯式

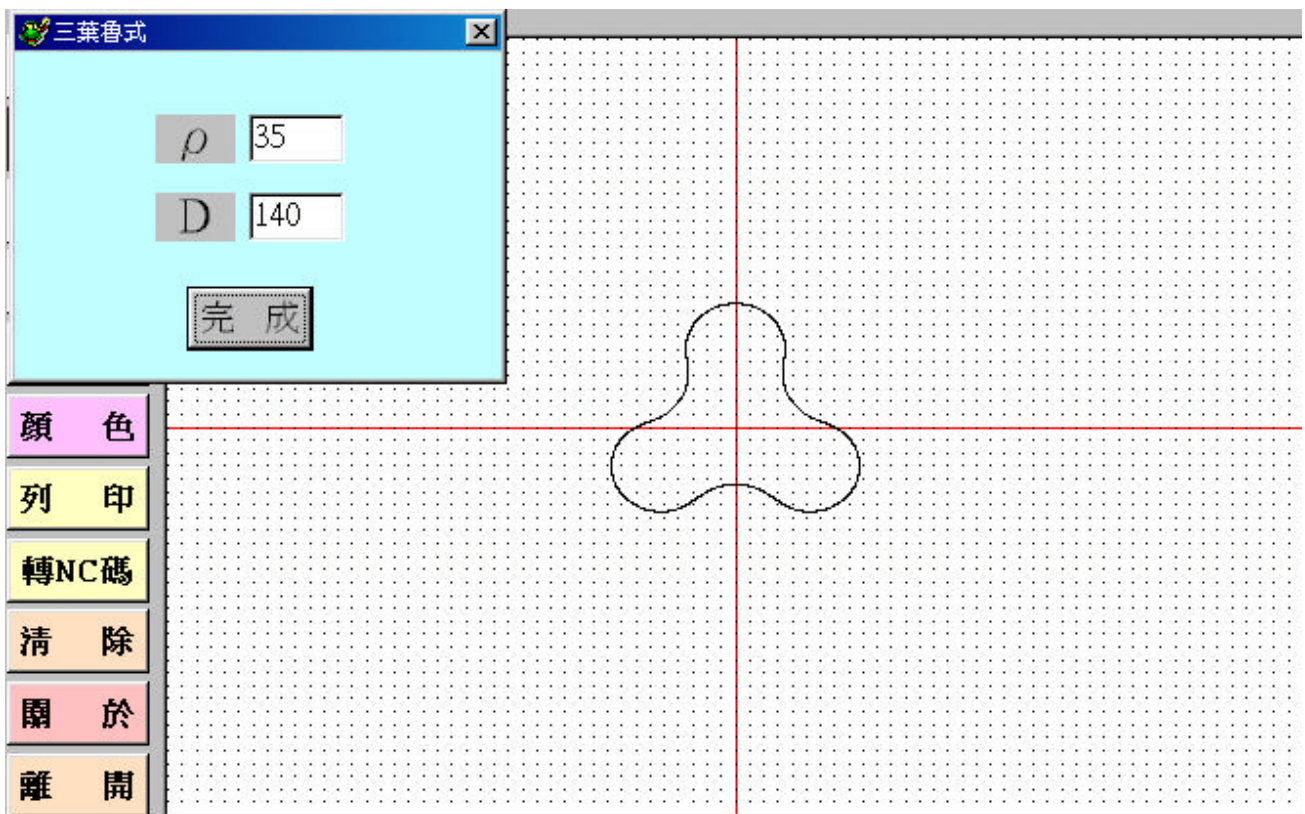


圖 16 三葉魯式

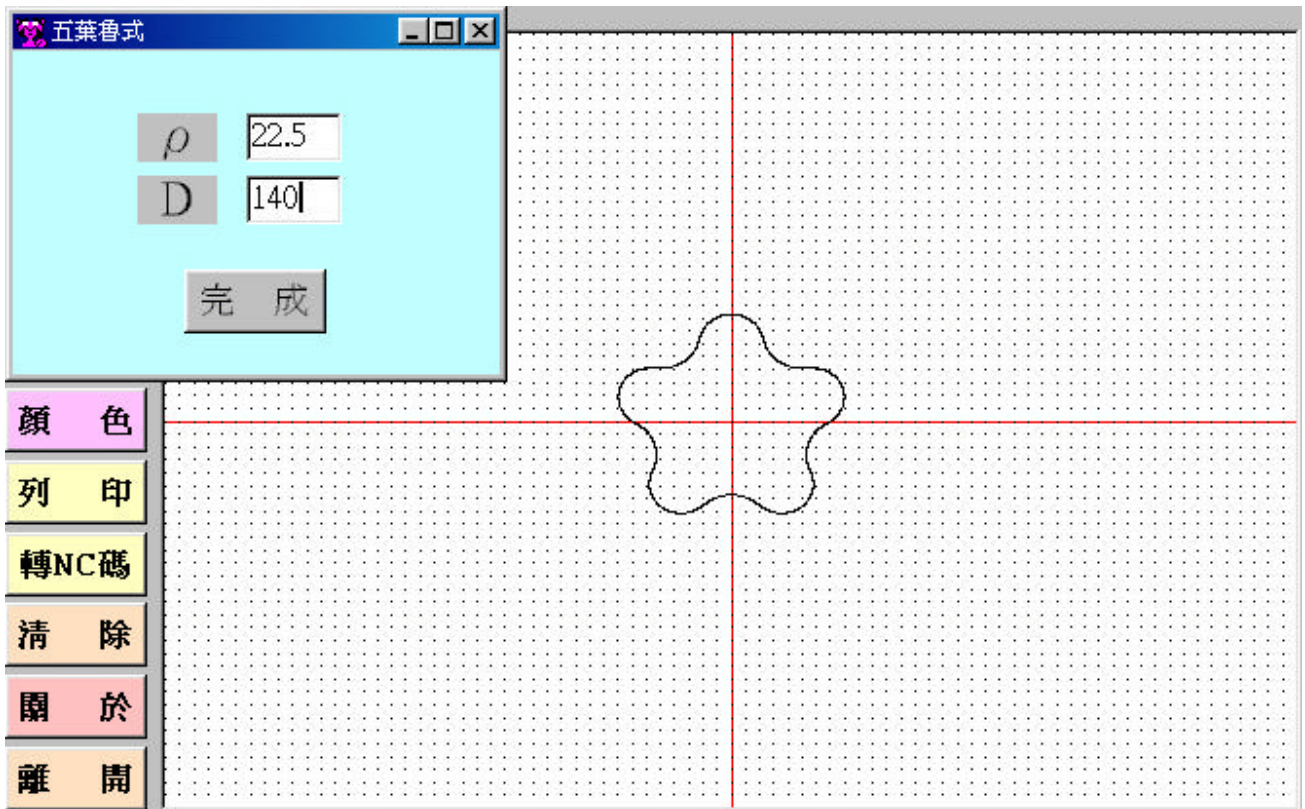


圖 17 五葉魯式

#### 4.4 轉 NC 碼

再來就是把畫出的每一點座標輸出成當案的格式，在座標前面加上 X，Y 兩字即可以轉成 NC 碼了，把轉出的 NC 碼存在磁片裡。如圖 18 轉 NC 碼。

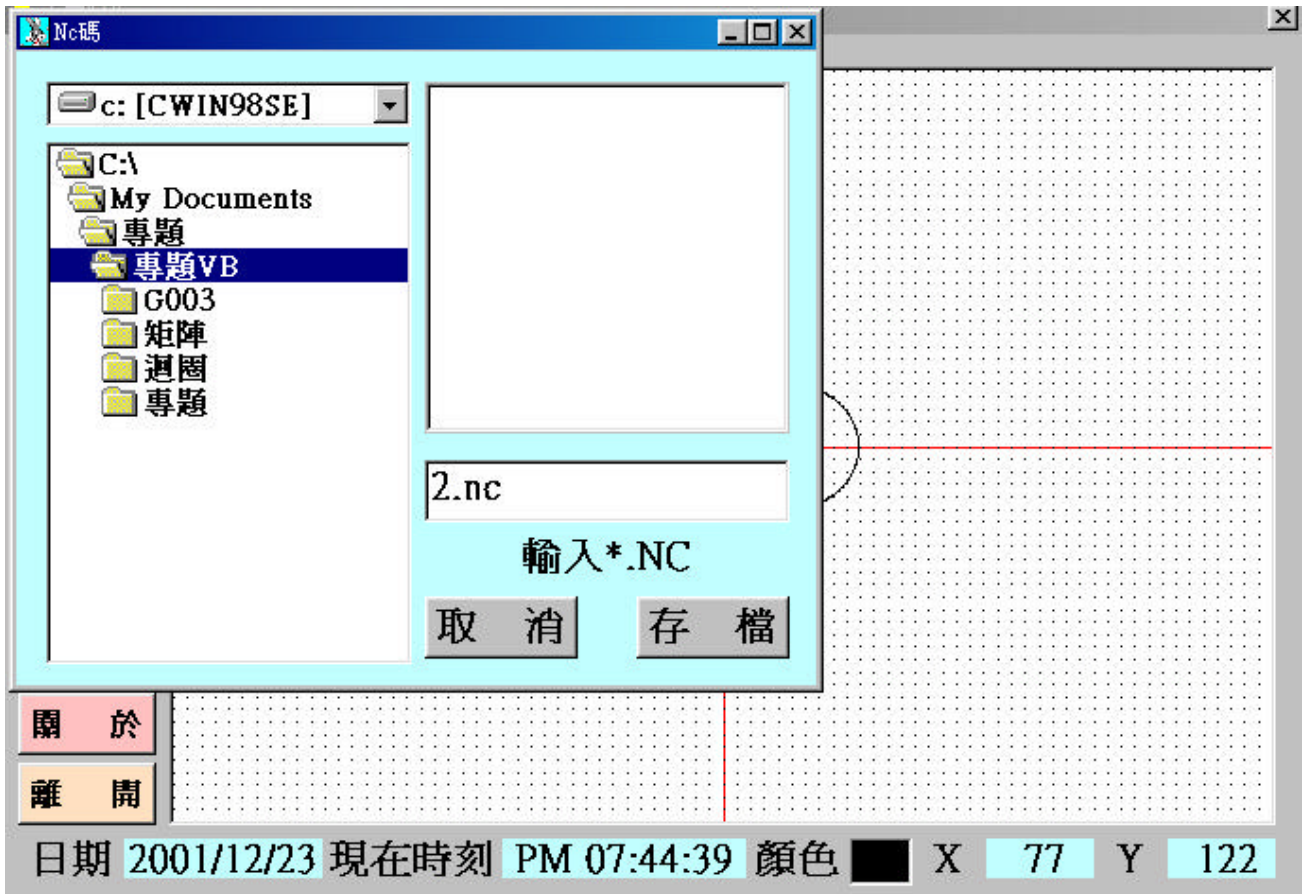


圖 18 轉 NC 碼

## 第五章 線切割機加工

### 5.1 線切割原理

線切割放電加工法是在線割電極及工作物之間(極間)通過電流而進行加工的機械。其加工銅線並不接觸工件表面，利用突波電流將工件融化再由加工液帶走完成切割動作。加工速度及面粗細度的決定，取決於電流的大小(尖峰電流)、電流流過的時間(脈衝寬幅)、沒有施加電壓的時間(休止時間)、以及雖然施加電壓卻沒有電流流過的時間(無負荷時間)。線割放電加工機的基本加工電源回路，如圖 19、20 線切割原理示意圖。

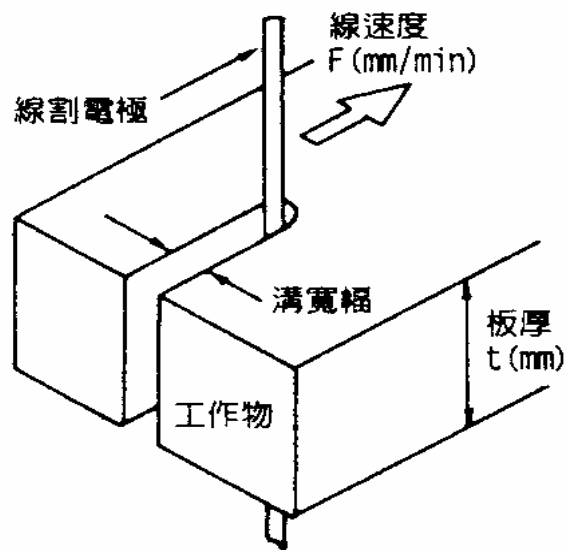
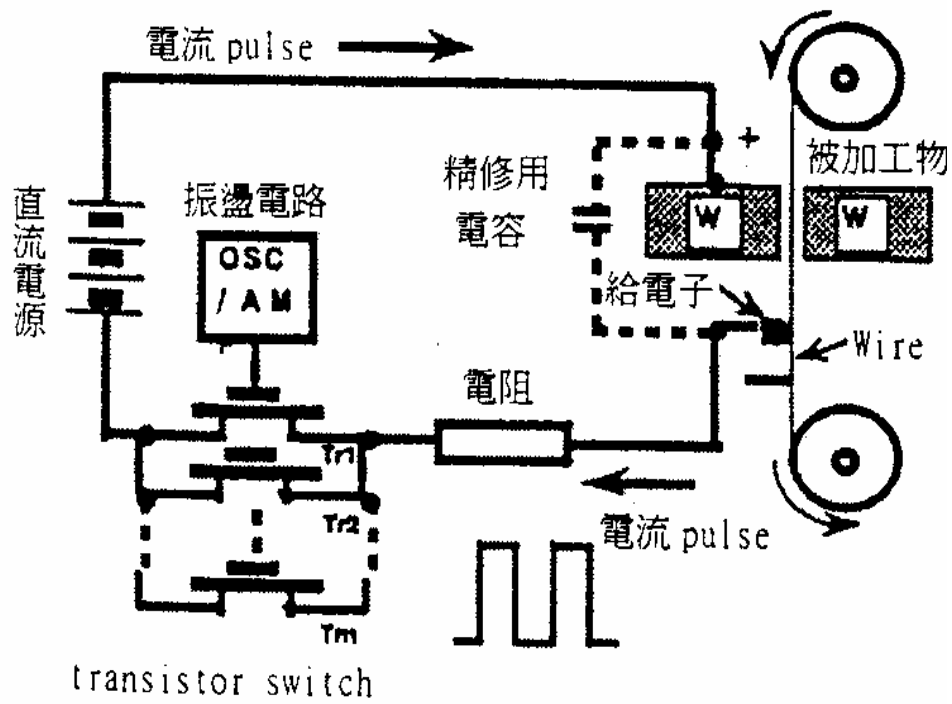


圖 19、20 線切割原理示意圖

## 5.2 加工步驟方法

- 一、首先我們先把工件夾上機台，NC 碼載入加工機電腦中，先做模擬動作，空行程跑完以確定沒問題。如圖 21 載入 NC 碼、22 夾上工件。





圖 21 載入 NC 碼



22 夾上工件

二、考加工條件表(參考附錄 1)依不同材料設定加工參數,如:電壓、電流、休止時間、、、等。如圖 23 設定參數



圖 23 設定參數

三、開始加工。圖 24 開始加工

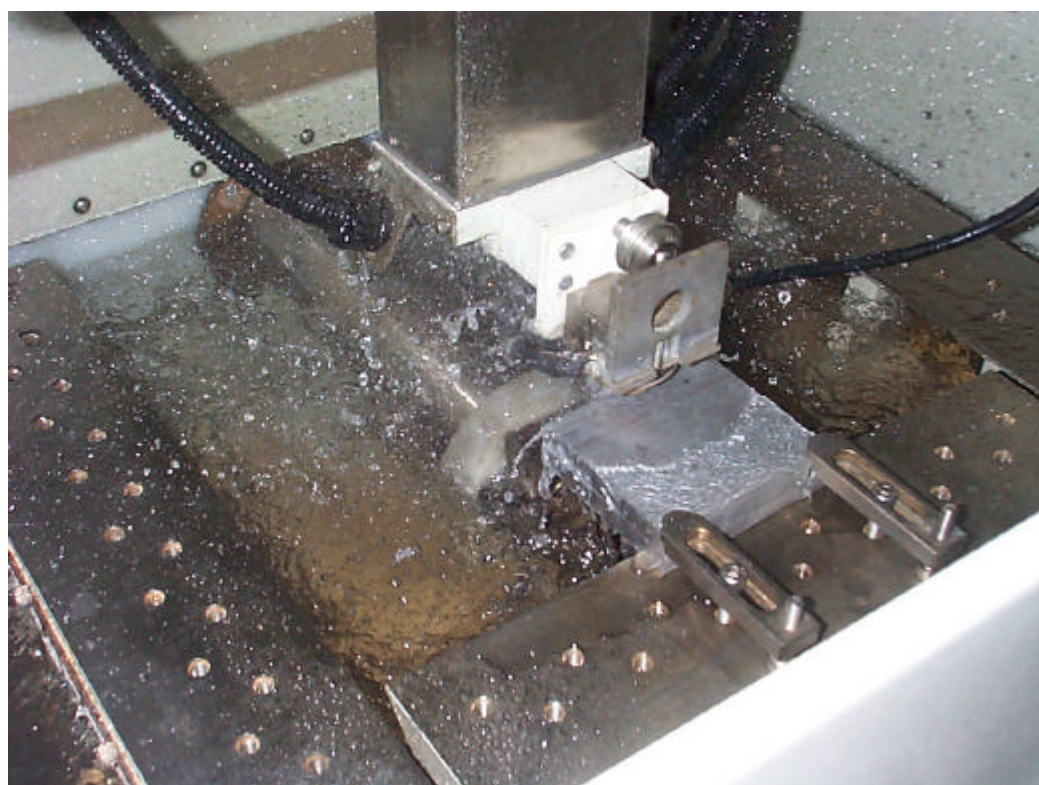


圖 24 開始加工



四、 把加工液放滿，以得較佳的加工表面及效果。圖 25 加工液放滿。



圖 25 加工液放滿

五、 時時注意加工機台之狀況。

六、 依序完成二、三、五葉轉子。如圖 26、 27、 28 加工完成。



圖 26 二葉加工完成



圖 27 三葉加工完成



圖 28 五葉加工完成



### 5.3 加工注意事項

1. 加工時要時時注意機台之狀況，在機器未停止前或完成前不可離開。
2. 注意機台的 Z 軸是否 Lock 住，否則會撞機造成機台毀損。
3. 時時注意加工電流是否穩定，若不穩定可於加工中調整加工參數，但注意調整時不要變化太大。否則容易斷線及加工表面將會粗糙。
4. 注意加工液量不可太多或太少。
5. 一定要先做模擬不可以貿然直接加工。
6. 一有緊急情況要馬上按下 Stop 鈕。及通告師長。
7. 注意移動方向小心不要撞機。
8. 使用完成後要保養及填寫使用手冊。

## 第六章 結論

傳統的共軛曲線求解法是利用圖解法，一點一點的作圖求得，然後再用曲線板設法將它圓滑的連接起來，以獲得共軛曲線。以圖解法求解一個外形比較簡單曲線之共軛曲線，其作圖所需取之點數可以少些，但仍需有足夠的點數，方可求得較準確的共軛曲線，如果所給之已知曲線外形較複雜，則圖解法求解共軛曲線，不但誤差在所難免而且費時，而其共軛曲線是以圖解法，一點一點的分別求得，最後再以曲線板連起來，所以圖解法求得的共軛曲線，為一近似的共軛曲線，誤差勢必存在，對於精度要求甚高的精密傳動機構無法適用。

本專題利用指導老師的曾作過的理論來求得共軛曲線，利用微分幾何與機動學的觀念，以推導嚙合方程式和共軛曲線方程式，因此以解析法所求得之共軛曲線是精確的解答，並應用 Visual Basic 來撰寫程式，再利用 Visual Basic 將圖繪製出來，再將繪製出的圖轉成 NC 碼後，利用線切割機將轉子切割下來，然因為若要驗證的話需要較高的技術與經費所以並不在此次專題範圍內。經過了這些方式我們不只驗證指導老師理論的正確性，更驗證了可以用圖控程式做出轉子來，以及利用線切割機可得到表面精準，精度高的成品，然而轉出的 NC 碼可以移植到任一部 CNC 加工機器上進行加工，不一定要使用線切割機，增加了程式的功能性。

未來希望能更加的擴充本程式，可以加入 RS-232 與 NC 加工機直接連線、分析轉子外形以求得最佳壓縮率、比較設計參數的最佳化、驗證所做之轉子是否正確、密合度為何等之方向研究，更進一步的加入其他轉子的設計，使用其他 NC 加工機台加工等這些都是未來的展望及目標。

此專題製作過程中，能接觸到半導體真空幫浦機構完整的發展過程，一方面學習可到原理及設計技巧，另一方面能夠學習到目前工業上最常使用的半導體設備應用，能夠瞭解所學進而學以致用。

## 參考文獻

1. 陳峰志，周榮源，“乾式真空幫浦魯式及爪式轉子幾何輪廓”，機械月刊，中華民國八十六年五月號，第 298 頁至 305 頁。
2. 周榮源，陳峰志，鄭鴻斌，張郁雯，“半導體製造設備用真空幫浦技術”，機械月刊，中華民國八十七年六月號，第 412 頁至 425 頁
3. 盧毅，Visual Basic 6 中文版程式學習寶典，中華民國八十九年二月，碁峰
4. CNC 線切割機使用手冊，慶鴻公司，
5. 梁瑞芳，戴亞君，蔡承甫，線切割機技術，機械工程雙月刊。
6. 林永森，Visual Basic 6 視窗程式設計經典技巧篇，中華民國八十八年三月，碁峰
7. 蔡正發，Visual Basic 6 視窗軟體程式設計，中華民國八十八年二月，松崗
8. 金屬中心計畫，真空系統金屬元件市場專題研究
9. 譚，線切割放電加工機-基本回路，中華民國八十七年，二月號，第 1 頁至第 13 頁
10. 蔡忠杓，“以解析法求魯式鼓風機旋轉葉瓣之共軛曲線”機械月刊，中華民國七十六年月號，第 129 頁至 133 頁
11. 姜曉峰，蘇再發，“魯式真空幫浦之性能與運用簡介”機械工業，中華民國一月號第 157 頁至 164 頁
12. 呂登復，實用真空技術，中華民國七十八年修訂版，黎明書局，新竹

附錄 1

工件名稱： 魯氏幫浦 記錄： 倪啟彬 日期： 90.09.01

加工條件表							
加工件	材質	Al		銅線	材質	Cu	
	材料厚度	10mm			直徑	F0.25mm	
加工條件表							
	approach	1	2	3	4	5	6
	<b>S.C</b>	2534		2536	2537	2538	2539
	<b>L.P</b>	0		0	0	0	0
	<b>ON</b>	2		5	6	7	8
	<b>OFF</b>	15		15	15	15	15
	<b>A.N</b>	1		3	4	4	4
	<b>A.F.F</b>	25		15	15	15	15
	<b>S.V</b>	60		55	55	55	55
	<b>F.R</b>	10		20	30	35	35
	<b>W.F</b>	10		10	10	10	10
	<b>W.T</b>	9		9	9	9	9
	<b>W.L</b>	3		5	6	7	7
	<b>F.M</b>						
	<b>F</b>						
	V 表實際電壓				58		
	Speed(mm/min)			2.5-3.0	3.6-4.0	4.2-4.5	4.4-4.8
	OFFSET(μm)						
	水壓(Kg/cm <sup>2</sup> )上			6	10	10	15
	下			6	10	10	15
	水導電度(x10 <sup>4</sup> O)						
	工件長度(mm)						
	加工時間(min)						
	表面粗度 (μmRmax)						