

### 第三章 不確定需求下之機台組合模型

本章節主要是建立一個不確定需求環境的機台規劃模型。爲了清楚的描述我們的研究模型，我們先介紹確定需求環境下有週期時間限制之機台規劃基本模式，進而建立不確定需求下機台組合之模式。

#### 3.1 確定需求環境下有週期時間限制之機台組合問題基本模型

機台規劃是一種長期的產能規劃，必須以產品未來的預測需求爲基礎，實務上品圓廠業者通常每隔一段時間(每一季或每半年)會做一次產品需求預測。目前業者的需求預測大多由公司內部的一組研究人員來完成。研究人員收集了相關的市場訊息，再經過彙整與分析後便可得到公司未來的需求預測值。而預測的結果通常是一個需求情境(demand scenario)，此需求情境包括每種產品在下個期間的需求量。例如，預測的需求情境可表達成 $(A, B, C) = (300, 200, 100)$ ，表示未來的需求爲 A 產品 300 單位、B 產品 200 單位、C 產品 100 單位。上例的需求情境也可表達成需求總量與產品比例的形式。如上例，可表達成需求總量(aggregate demand volume) = 600，產品比例 $(A: B: C) = (3: 2: 1)$ 。我們在本章節以下的討論中，需求的表示方式是以需求總量與產品比例的型態來表達。

通常在預測的過程中，這些專家可能考慮了許多種可能的需求情境，但最後從中選擇一個未來最可能出現的需求情境，來當作最後的預測值。而本小節所謂確定需求環境(deterministic demand model)，便是指當需求是一個已決定的需求情境而言(如上例)。根據前段的描述，我們可以明白在一個確定需求的環境下，產品比例及需求總量均爲固定值。所以確定需求的機台決策並不涉及隨機的需求(stochastic demand)規劃方式。

在本小節我們描述的機台規劃基本模型，是確定需求環境下有週期時間限制之機台組合問題，機台規劃的目標是使利潤極大化。確定需求環境在前段已描述，亦即產品比例及需求總量均爲固定值。在此模型中，我們考慮了生產的週期

時間的評估。此乃因為產品的生產週期時間對晶圓代工業者而言，是非常重要的績效指標。代工業者會如此重視生產的週期時間，主要是應客戶的要求。晶圓廠主要的客戶為電路設計公司，而電子產品的生命週期非常短，所以設計業者愈早能推出其商品則愈能獲得市場的先機，賺取更多的利潤。在此情況下，連帶的晶圓代工業者也需保持短的生產週期時間，以吸引客戶的訂單。若業者的生產週期時間過長，便會失去競爭優勢，進而導致客戶訂單的流失。所以我們認為生產週期時間對機台組合是一個重要的因素，在規劃機台時需加以考慮。

我們問題描述如下：假設有一現存的晶圓廠，未來的產品需求均為已知，此晶圓廠計畫增購機台以滿足未來的市場需求。由於競爭優勢的考量，業者希望產品的平均週期時間不能超過一門檻值，再者預算的考量，增購的機台成本不能超過採購預算。機台規劃的目標是希望能藉由增購的機台，使得工廠所增加的利潤越大越好。

我們以下列的例子說明我們的問題。有一晶圓廠目前已有舊機台設備，為了因應未來的需求因而計畫增購新機台。公司預測未來半年的產品需求主要包含三種家族產品(A, B, C)，此三種產品的在未來半年的需求總量為 20 萬片晶圓，而其中三產品的需求比例為(A: B: C) = (0.4: 0.3: 0.3)。為了保持工廠的競爭優勢，工廠希望生產的週期時間不能超過 30 天，新機台採購預算為美金 4 億元。則工廠應該如何決定增購的機台種類與數量，才能使機台採購後與採購前的利潤差距最大。模型的假設與相關數學符號說明如下：

#### 假設

##### (1) 工廠目前已有機台設備

本問題是針對一個既存的晶圓廠所作的新機台規劃，所以工廠目前已有現存的機台設備。

##### (2) 下一期間的需求總量已知，產品比例固定

我們假設業者未來的需求為一個已確定的需求情境，並假設業者未來的客源

穩定所以產品比例固定。

(3) 規劃期間為半年

本問題為新機台增購問題，所以規劃時程一般為半年。

(4) 生產週期時間不能超過預定的目標週期時間

因為目標週期時間為晶圓代工業者的主要績效指標，所以生產週期時間不能過長。

(5) 有機台採購預算限制

公司對於機台採購所需的投資金額有財務預算的考量。

符號

$i$  產品種類( $1 \leq i \leq n$ )。

$j$  機台群類別( $1 \leq j \leq m$ )。

參數

$d$  下一個期間所預測的產品的總需求量。

$PX_0$  產品的生產比例,  $PX_0 = (b_1 : \dots : b_i : \dots : b_n)$ , 其中  $b_i$  為產品  $i$  的生產比值,

$$\sum_{i=1}^n b_i = 1。$$

$X^0$  晶圓廠現有的機台組合,  $X^0 = (x_1^0, \dots, x_j^0, \dots, x_m^0)^T$ , 其中  $x_j^0$  代表機台群  $j$  的機台個數。

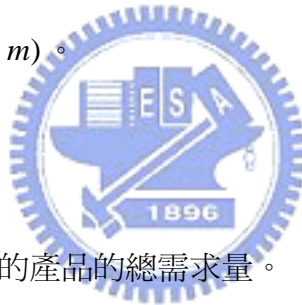
$C$  機台群的成本向量,  $C = (c_1, \dots, c_j, \dots, c_m)$ , 其中  $c_j$  為第  $j$  種機台群的機台單位成本。

$s$  所允許最大的缺貨量。

$B$  機台採購的預算金額。

$CT_0$  目標平均週期時間。

$p_i$  第  $i$  種產品的單位售價。



$v_i$  第  $i$  種產品的單位變動成本。

$e_i$  第  $i$  種產品的單位缺貨成本。

$\bar{p}$  產品比例為  $PX_0$  時的每單位產品平均售價， $\bar{p} = \sum_{i=1}^n b_i \cdot p_i$ 。

$\bar{v}$  產品比例為  $PX_0$  時的每單位產品平均變動成本， $\bar{v} = \sum_{i=1}^n b_i \cdot v_i$ 。

$\bar{e}$  產品比例為  $PX_0$  時的每單位產品平均缺貨成本， $\bar{e} = \sum_{i=1}^n b_i \cdot e_i$ 。

$N$  機台折舊攤提的期數。

### 決策變數

$X^f$  加上新機台後工廠最後的機台組合， $X^f = (x_1^f, \dots, x_j^f, \dots, x_m^f)^T$  其中  $x_j^f$  代表最後機台組合中第  $j$  種機台群的機台個數。

$X^1$  決定購買的新的機台群， $X^1 = X^f - X^0 = (x_1^1, \dots, x_j^1, \dots, x_m^1)^T$ ，其中  $x_j^1$  代表所購買的新機台群中第  $j$  種機台群的機台個數。

$n(X^f)$  工廠使用機台組合  $X^f$  生產的最佳產量。

我們將確定性需求的機台規劃問題(tool planning problem for deterministic demand，簡稱 *DDTP*)規劃成下列數學模型：

$$DDTP: \text{Maximize } f(X^f) - f(X^0)$$

s.t.

$$n(X^f) \leq Q(X^f) \quad (1)$$

$$n(X^f) \leq d \quad (2)$$

$$d - n(X^f) \leq s \quad (3)$$

$$CX^1 \leq B \quad (4)$$

$$x_j^f, x_j^1, n(x_j^f) \text{ 爲非負整數} \quad (5)$$

以上的數學式， $f(\cdot)$ 和  $Q(\cdot)$ 者為機台組合的函數。如數學式(6)所示， $f(X)$ 為機台組合  $X$  的利潤。

$$f(X) = n(X) \cdot (\bar{p} - \bar{v}) - (d - n(X)) \cdot \bar{e} - \frac{C \cdot X}{N} \quad (6)$$

在數學式(6)中，第一項代表邊際貢獻收入，第二項為缺貨成本，第三項為單一期間機台的折舊費用。

$$Q(X) = f_{qb}(X; PX_0, CT_0) \quad (7)$$

數學式(7)中， $Q(X)$ 代表一特定機台組合  $X$ ，在以下兩個條件下  $X$  的最大產量。第一個條件是產品比例為  $PX_0$ ，而第二個條件是平均週期時間需小於等於業者的目標週期時間  $CT_0$ 。因為  $Q(X)$  的直接數學推導非常複雜且困難，所以在此我們使用等候模型(queueing model)並配合二元搜尋法(binary search)來計算  $Q(X)$ ，我們並以數學函數  $f_{qb}$  來代表此計算程序。 $f_{qb}$  的輸入有三項，包括任一機台組合  $X$ 、產品比例為  $PX_0$ 、目標週期時間  $CT_0$ ；而  $f_{qb}$  的輸出則是機台組合  $X$  在此相關條件限制下的最大產量  $Q(X)$ 。我們知道對一機台組合而言，當產品比例固定時，其產量與平均週期時間是成正比的關係。在此關係下，每一個特定產量均可對應一平均週期時間。因此我們即可利用此性質，設計二元搜尋法來計算與目標平均週期時間所對應的產量。 $f_{qb}$  的主要觀念是使用等候模型來計算一特定產量下的平均週期時間，當產量增加時平均週期時間便會變長，反之當產量減少時平均週期時間便會變短，我們不斷的調整產量直到平均週期時間非常接近  $CT_0$ 。我們在下一小節將會詳細的說明  $f_{qb}$  的計算程序。

因為工廠在尚未增購機台前已有現存的機台設備，所以當業者以現有的舊機台設備在下一期生產時，會有一個起始的利潤值。而當增購新機台後，業者的利潤會因產能的擴增而增加，所以新機台採購的前後會存在一個利潤差距，*DDTP* 的目標式便是使這個利潤差距極大化。目標式中  $f(X^f)$  代表機台增購後工廠最終的機台組合  $X^f$  所產生的利潤，而  $f(X^c)$  則代表機台增購前工廠現有的

機台組合  $X^c$  所產生的利潤。限制式(1)代表產量不能超過機台最大產能(產量)。限制式(2)代表產量需小於等於需求量。而限制式(3)是使缺貨量不能超過業者既定的上限值。至於限制式(4)表示機台採購成本需控制在採購預算下。最後限制式(5)使我們的決策變數為整數解。

### 3.2 機台組合的最大產量估計-等候模型

在本小節我們將說明本研究如何估計一機台組合在目標週期時間限制下的最大產出量。我們的方法主要是以等候理論為基礎，而從第二章的文獻回顧我們知道，有許多研究使用等候理論來評估晶圓廠機台組合的績效，相關的研究在過去 20 年間陸續的發表與探討。這些等候模型主要是使用一種拆解式的方法 (decomposition-based approach) 來加以建立。所謂拆解式的方法，是將一個網路系統內部的所有節點(nodes)拆解開來，分別計算這些個別節點的交通流量(traffic rate)與交通的變異性(traffic variability)，最後再彙總成爲系統的等候資料。根據網路系統中的交通資料，節點間的交通流量與交通的變異性會存在某些相關性，而這些相關性可以化成兩組主要的線性方程組，其中一組爲交通流量的線性方程組，另一組爲交通變異性的線性方程組。因此我們只要解兩組線性方程組便可得到個別節點的交通流量與交通的變異性。至於這些等候模型的精確性，主要是看其規劃節點的資料是否能完全代表其系統的作業特性。這種拆解式的方法在相關的研究廣爲使用，當我們應用這些網路等候模型於機台組合問題時，網路系統即代表一個晶圓廠，而個別節點即是不同的機台群種類。

由於本研究主要的目的是解決機台規劃的問題，爲了避免重複的研究成果，我們採用 Connors 等作者[5]在 1996 年所提出的等候模型，以建立本研究最大產出量的計算程序。我們採用他們的模型的主要原因，是在於此等候模型是針對晶圓廠的製造體系而加以建立的，因此較能表現晶圓製造環境的作業特性。

我們的最大產出量的計算方法，其分析過程討論如下。等候模型的輸入與輸出關係，大致上可以使用數學式(8)來加以表達。此方程式的意義是，當我們給

定產品比例( $PX_0$ )和晶圓片的投料率(或到達率)( $R_0$ )時，等候模型( $f_q$ )便可快速的計算一機台組合( $X_i$ )的生產平均週期時間( $CT_i$ )。

$$CT_i = f_q(X_i; PX_0, R_0) \quad (8)$$

在此數學關係式中，我們以下標符號  $q$  來表示函數  $f_q$  為等候模型。此外值的特別注意的是  $PX_0$ 、 $R_0$  和  $X_i$  三者，在函數  $f_q$  中均為獨立變數(independent variables)。本研究在函數  $f_q$  的後續分析，必須在某些變數固定之下才得以進行，因此我們使用分號“;”來區別所討論的狀況中哪些變數是固定的，哪些變數是可變動的。 $f_q$  的函數式中，在分號“;”右邊的變數是固定的，在分號“;”左邊的變數是變動的；換言之，在  $f_q$  的函數式中變數產品比例( $PX_0$ )和變數投料率( $R_0$ )是固定的，而變數機台組合( $X_i$ )是變動的。數學式(8)所代表的意義是，當我們給定產品比例與投料率( $PX_0, R_0$ )時，等候模型  $f_q$  可以計算一組機台組合  $X_i$  的平均週期時間  $CT_i$ 。

在穩定狀態 (steady state)下，一個系統的投料率會等於其產出率/量(output rate or throughput  $Q_0$ )，否則系統將無法達成平衡。再者倘若投料率超過其產出率時，工廠的在製品存貨將無限制的增加，會導致生產的平均週期時間變成無限大。所以在此我們讓投料率等於產出率的假設是合理的，數學式(8)因而可改寫成數學式(9)：

$$CT_i = f_q(X_i; PX_0, Q_0) \quad (9)$$

根據數學式(9)，在一個既定的產品比例與產出量的情況下，我們可以計算一機台組合的平均週期時間。

在晶圓廠裏，所謂瓶頸機台群是指工作量最重的機台群，因其是工廠產量的

瓶頸故而稱之。因為有瓶頸機台的緣故，所以工廠的投料率不能超過瓶頸機台的產能，否則會使工廠的在製品存量變的無限大。由此我們可以得知一晶圓廠的產量有一個上限值。另外由過去的文獻顯示，不論是使用模擬方法如 [4, 12]或是等候模型 [3, 5]，當我們增加產量時也會增加產品的平均週期時間。因此我們可以使用此數學式(9)及產量的上限性質，作出產量與平均週期時間的關係圖形(圖 3.1)。

如數學式(10)所示，我們可以固定產品比例與機台組合，以計算在不同產出水準下的平均週期時間。

$$CT_i = f_q(Q_i; PX_0, X_0) \quad (10)$$

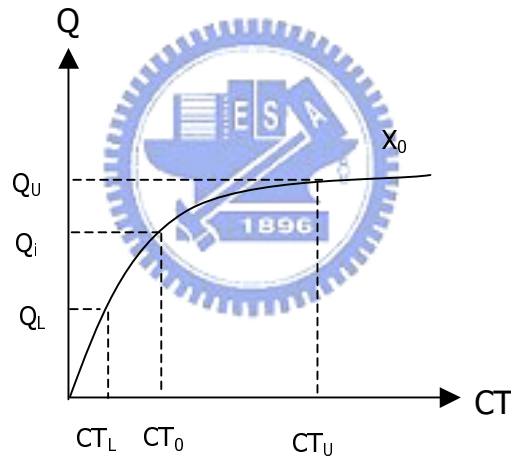


圖3.1 機台產量與週期時間之關係圖

依照文獻 Neacy[12]的等候模型觀念，當產品比例與機台組合固定時，平均週期時間與產出的關係曲線可見於圖 3.1。由此圖形我們可以發現，對一組機台組合而言若增加產出量  $Q_i$  將會使其平均週期時間  $CT_i$  變長，換言之，產出量與週期時間二者有單調遞增(monotonically increasing)的關係。我們利用此單調遞增的特性，設計一個二元搜尋的程序，來計算當平均週期時間  $CT_i$  等於目標週期時間  $CT_0$  時的產出量  $Q_i$ 。此二元搜尋的步驟說明如下：



步驟一：參照圖 3.1，當產品比例與機台組合為情境( $PX_0, X_0$ )時，估計產量上限( $Q_U$ )與產量下限( $Q_L$ )。

- 1) 計算每一種機台群的靜態工作負荷(static loading)。所謂靜態工作負荷是指在一固定產品組合下，平均每片晶圓所需一機台群的加工時間[13]。
- 2) 將靜態工作負荷最重的機台群定為瓶頸機台。
- 3) 讓瓶頸機台的使用率為 100%時的產量等於  $Q_U$ 。
- 4) 讓瓶頸機台的使用率為 70%時的產量等於  $Q_L$ 。

步驟二：使用數學式(15)分別計算當產量為  $Q_U$ 與  $Q_L$ 的週期時間  $CT_U$ 與  $CT_L$ 。

$$CT_U = f_q(Q_U; PX_0, X_0)$$

$$CT_L = f_q(Q_L; PX_0, X_0)$$

步驟三：檢查是否已得到最大產量  $Q_a$ 。

$$Q_a = (Q_U + Q_L)/2$$

$$CT_a = f(Q_a; PX_0, X_0)$$

若  $|CT_a - CT_0| \leq \delta$ ，其中  $\delta$  為很小的正數，

則  $Q_a$  即為所求，並結束搜尋；

否則，執行步驟四。

步驟四：修正  $Q_U$ 與  $Q_L$ 。

假如  $CT_a < CT_0$ ，則  $Q_L \leftarrow Q_a$

假如  $CT_a > CT_0$ ，則  $Q_U \leftarrow Q_a$

至步驟三。

我們將上述的二元搜尋程序以數學式(11)的函數  $f_{qb}$ 來表達，其中下標  $qb$  代表等候模型與二元搜尋方法的合併應用。數學式(11)表示對一情境( $PX_0, CT_0$ )，(對一特定產品組合  $PX_0$ 與一特定目標週期時間  $CT_0$ )，函數  $f_{qb}$ 能夠計算機台組合  $X$  的最大產量  $Q(X)$ 。

$$Q(X) = f_{qb}(X; PX_0, CT_0) \quad (11)$$

### 3.3 不確定需求下有週期時間限制之機台組合模型

在 3.1 節所討論的機台組合模型，是針對需求確定的環境而言。但由於市場的需求日趨多變，使得機台組合的研究對於不確定需求環境的探討愈加重視，如 [7, 8, 22, 23]。因此本小節針對不確定需求環境，建立一個機台規劃模型。以下不確定需求機台組合模型的建立，是以 3.1 節的確定需求機台組合模型為基礎，將確定需求的架構延伸至不確定需求的環境。

在 3.1 節我們曾對確定需求加以定義，即需求總量固定且需求的產品比例固定。所以我們可以得知，需求的不確定性主要是來自需求總量或產品比例，需求總量或產品比例任一者不確定時，均會造成不確定的需求狀態。而本小節所討論的不確定需求環境，便是指由需求總量的不確定所造成的不確定需求。

晶圓代工廠因為是接單生產模式，所以必須定期的向客戶調查未來的訂單需求，以供生產計畫之安排且可規劃所需要的機台設備。晶圓代工廠因為與其客戶有長期的業務往來關係，代工業者的客戶來源基本上並不會有太大的變化，所以在此情況下產品種類比例可視為固定的。換言之，代工廠可以維持一固定的產品需求比例。但因客戶的需求量會受到全球半導體市場的景氣影響，以致訂單的需求總量存在一個不確定性。因此代工廠所調查的客戶訂單資料可以整理成下列結果：一個特定的產品比例和一組需求總量情境(a set of scenarios for aggregate demand volume)，其中產品比例汎指產品家族的需求比率。

本研究的需求總量使用情境的方式(scenario based)來表達此不確定性。我們假設未來的需求總量可能會出現幾種情境，每一種情境出現的可能性以一機率值來代表。所以將這些需求總量所有可能的情境加以集合，便成為一組需求總量情境。例如，未來的需求總量可能出現三種情境：需求總量情境一  $d_1 = 24$  萬片，機率為 0.5；需求總量情境二  $d_2 = 21$  萬片，機率為 0.3；需求總量情境三  $d_3 = 18$  萬片，機率為 0.2。以上三種需求量的情境也可使用以下的一組需求情境加以表達， $d = (d_1, d_2, d_3) = (24, 21, 18)$ 。

本小節所討論的不確定需求的機台規劃問題，除了需求的模式之外，與 3.1 節的確定需求機台規劃問題大致上是一樣的。其問題描述如下：有一現存的晶圓廠面臨增購機台的決策。該廠因為與客戶有長期的業務關係，所以客源很穩定，因此該廠認為未來的產品需求比例是固定的。但因客戶的需求量會受到全球半導體市場的景氣影響，以致訂單的需求總量無法確定。我們以一組需求總量的情境  $d = (d_1, \dots, d_k, \dots, d_l)$  來代表不確定需求，表示未來的需求總量有可能出現幾種情境，其中  $d_k$  表示第  $k$  種情境的總需求量。且每一種情況均有一個機率值代表此情況會出現的可能性。該業者希望產品的平均週期時間不能超過一目標值，且增購的機台成本不能超過採購預算。機台規劃的目標是希望能使工廠所增加的利潤越大越好。

我們並以下例說明上述的問題。有一現存晶圓廠目前計畫增購新機台。該廠生產三種產品 A, B, C，因為業者的客源很穩定，所以認為未來的產品需求比例變化不大，可視為是固定的，目前需求比例為(A: B: C) = (0.4: 0.3: 0.3)。但因受到全球的景氣影響，導致業者訂單的需求總量無法確定。假設未來的需求總量有可能為四種情境  $(d_1, d_2, d_3, d_4) = (24, 21, 18, 16)$ ，而這四種情境會發生的機率分別為  $(r_1, r_2, r_3, r_4) = (0.4, 0.3, 0.2, 0.1)$ 。工廠希望生產的週期時間不能超過 30 天，新機台採購預算為美金 4 億元。則工廠應該如何決定增購的機台種類與數量，才能使機台採購後與採購前的期望利潤差距最大。模型的假設與相關數學符號說明如下：

#### 假設

##### (1) 工廠目前已有機台設備

本問題是針對一個既存的晶圓廠所作的新機台規劃，所以工廠目前已有現存的機台設備。

##### (2) 下一期間的需求總量不確定，產品比例固定

我們假設業者未來的景氣不確定，總需求可能會出現好幾種需求情境，所以需求總量不確定。但因業者未來的客源穩定所以產品比例固定。

(3) 規劃期間為半年

本問題為新機台增購問題，所以規劃時程一般為半年。

(4) 生產週期時間不能超過預定的目標週期時間

因為目標週期時間為晶圓代工業者的主要績效指標，所以生產週期時間不能過長。

(6) 有機台採購預算限制

公司對於機台採購所需的投資金額有財務預算的考量。

模型的相關數學符號說明如下：

符號

$i$  產品種類( $1 \leq i \leq n$ )。

$j$  機台群類別( $1 \leq j \leq m$ )。

$k$  需求量情境( $1 \leq k \leq l$ )。

參數

$d_k$  需求情境  $k$  的總需求量。

$r_k$  需求情境  $k$  可能出現的機率。

$PX_0$  產品的生產比例,  $PX_0 = (b_1 : \dots : b_i : \dots : b_n)$ , 其中  $b_i$  為產品  $i$  的生產比值,

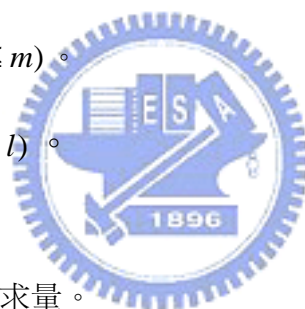
$$\sum_{i=1}^n b_i = 1。$$

$X^0$  晶圓廠現有的機台組合,  $X^0 = (x_1^0, \dots, x_j^0, \dots, x_m^0)^T$ , 其中  $x_j^0$  代表機台群  $j$  的機台個數。

$C$  機台群的成本向量,  $C = (c_1, \dots, c_j, \dots, c_m)$ , 其中  $c_j$  為第  $j$  種機台群的機台單位成本。

$s_k$  在需求情境  $k$  中, 所允許最大的缺貨量。

$B$  機台採購的預算金額。



$CT_0$  目標平均週期時間。

$p_{ik}$  在需求情境  $k$  中，第  $i$  種產品的單位售價。

$v_{ik}$  在需求情境  $k$  中，第  $i$  種產品的單位變動成本。

$e_{ik}$  在需求情境  $k$  中，第  $i$  種產品的單位缺貨成本。

$\bar{p}_k$  在需求情境  $k$  中，產品比例為  $PX_0$  時的每單位產品平均售價，

$$\bar{p}_k = \sum_{i=1}^n b_i \cdot p_{ik} \circ$$

$\bar{v}_k$  在需求情境  $k$  中，產品比例為  $PX_0$  時的每單位產品平均變動成本，

$$\bar{v}_k = \sum_{i=1}^n b_i \cdot v_{ik} \circ$$

$\bar{e}_k$  在需求情境  $k$  中，產品比例為  $PX_0$  時的每單位產品平均缺貨成本，

$$\bar{e}_k = \sum_{i=1}^n b_i \cdot e_{ik} \circ$$

$N$  機台折舊攤提的期數。

決策變數

$X^f$  加上新機台後工廠最後的機台組合， $X^f = (x_1^f, \dots, x_j^f, \dots, x_m^f)^T$  其中  $x_j^f$  代表最後機台組合中第  $j$  種機台群的機台個數。

$X^1$  決定購買的新的機台群， $X^1 = X^f - X^0 = (x_1^1, \dots, x_j^1, \dots, x_m^1)^T$ ，其中  $x_j^1$  代表所購買的新機台群中第  $j$  種機台群的機台個數。

$n_k(X^f)$  在需求情境  $k$  中，工廠使用機台組合  $X^f$  生產的最佳產量。

本研究的多需求情境的機台規劃問題，其數學模式表達如下(問題全文為 Tool Planning problem for the Multiple probabilistic Demand scenarios, 簡稱為 *MDTP* 問題)：

$$MDTP: \text{ Maximize } F(X^f) - F(X^0)$$

s.t.

$$n_k(X^f) \leq Q(X^f) \quad \forall k \quad (12)$$

$$n_k(X^f) \leq d_k \quad \forall k \quad (13)$$

$$d_k - n_k(X^f) \leq s_k \quad \forall k \quad (14)$$

$$CX^1 \leq B \quad (15)$$

$$x_j^f, x_j^1, n_k(x_j^f) \text{ 爲非負整數} \quad (16)$$

以上的 *MDTP* 模型， $F(\cdot)$ 和  $Q(\cdot)$ 二者爲機台組合的函數。 $F(X)$ 爲機台組合  $X$  的期望利潤，如同函數  $f(X)$ ， $F(X)$ 也爲機台組合  $X$  的函數，但與  $f(X)$ 不同的是  $F(X)$ 爲機率性的函數。

$$F(X) = \sum_{k=1}^I [r_k \cdot n_k(X) \cdot (\bar{p}_k - \bar{v}_k)] - \sum_{k=1}^I [r_k \cdot (d_k - n_k(X)) \cdot \bar{e}_k] - \frac{C \cdot X}{N}. \quad (17)$$

在數學式(17)中，第一項代表期望邊際貢獻收入，第二項爲期望缺貨成本，第三項爲單一期間機台的折舊費用。

而  $Q(X)$ 的函數意義，代表對一情境( $PX_0, CT_0$ )，(一特定產品組合  $PX_0$ 與一特定目標週期時間  $CT_0$ )，的機台組合  $X$ 最大產量，我們已於前小節詳細說明。

目標式是使機台採購前後的利潤差距極大化，其中  $F(X^f)$ 代表機台增購後工廠最終的機台組合  $X^f$ 所產生的利潤，而  $F(X^0)$ 則代表機台增購前工廠現有的機台組合  $X^0$ 所產生的利潤。限制式(12)代表在需求情境  $k$  中的產量不能超過機台最大產能。限制式(13)代表需求情境  $k$  中的產量需小於等於該情境的需求量。而限制式(14)是使需求情境  $k$  中的缺貨量不能超過業者既定的上限值。至於限制式(15)表示機台採購成本需控制在採購預算下。限制式(16)使問題的決策變數爲整數解。

以上的 *MDTP* 問題，在我們合併與整理部分限制式後，可化簡為下列數學式：

$$MDTP: \text{Maximize } F(X^f) - F(X^0)$$

$$n_k(X^f) = \text{Min}(Q(X^f), d_k) \quad \forall k \quad (18)$$

$$Q(X^f) \geq (d_k - s_k) \quad \forall k \quad (19)$$

$$CX^1 \leq B \quad (20)$$

$$x_j^f, x_j^1, n_k(x_j^f) \quad \text{爲非負整數} \quad (21)$$

限制式(18)代表產量的相關數學式，其推導原理主要是來自限制式(12)與限制式(13)的合併。從限制式(12)我們知道產量  $n_k(X^f)$  需小於等於機台最大產能  $Q(X)$ ，而從限制式(13)我們也可得知產量  $n_k(X^f)$  須小於等於需求量  $d_k$ 。所以爲了滿足限制式(12)與(13)，產量  $n_k(X^f)$  需小於等於  $Q(X)$  且小於等於  $d_k$ 。由此可推論出下列數學式：

$$n_k(X^f) \leq \text{Min}(Q(X^f), d_k) \quad \forall k \quad (22)$$

另一方面從利潤函數式(17)，我們可以發現利潤  $F(X^f)$  是產量  $n_k(X^f)$  的嚴格遞增函數，換言之，當產量  $n_k(X^f)$  愈大時其利潤  $F(X^f)$  也隨之變大。因爲從數學式(12)我們可以得知產量  $n_k(X^f)$  的上限爲  $\text{Min}(Q(X^f), d_k)$ ，因此我們便可推論當  $n_k(X^f) = \text{Min}(Q(X^f), d_k) \quad \forall k$  時可使目標函數有極大值。

而限制式(19)則是應用等式  $n_k(X^f) = \text{Min}(Q(X^f), d_k)$  來取代限制式(14)。經過移項我們可以將數學式(14)改寫成下列式子：

$$n_k(X^f) \geq (d_k - s_k) ,$$

而從  $n_k(X^f) = \text{Min}(Q(X^f), d_k)$  的等式，我們又可將上式改寫成

$$\text{Min}(Q(X^f), d_k) \geq (d_k - s_k),$$

此乃隱含下列關係式

$$Q(X^f) \geq (d_k - s_k) \text{ 且 } d_k \geq (d_k - s_k)$$

因為  $d_k \geq (d_k - s_k)$  恆為真，可以將它從上列數學式移除而無需考慮，所以限制式(14)等於限制式(19)因而得證。

從以上 *MDTP* 問題的數學式，我們可以瞭解此問題涉及複雜的非線性整數規劃，其中  $Q(X^f)$  和  $n_k(X^f)$  為變數  $X^f$  的非線性函數方程組。此外，*MDTP* 問題的另一個特性是解空間非常大。我們知道一座典型的晶圓廠約有 100 種機台群，若有一座現存的晶圓廠只單純的考慮機台群  $j$  ( $j = 1, \dots, 100$ ) 是否須增購一台時，其答案的組合便有  $2^{100}$  (或者  $1.27 \times 10^{30}$ ) 之多，更何況 *MDTP* 的問題比這種機台決策複雜多了。因為以上的特性，使得 *MDTP* 問題不太可能使用一般的數學求解方法得到最佳解，因此我們提出基因演算法來解決此問題。

### 3.4 基因演算法之求解設計

我們使用基因演算法的理由主要有二：第一、*MDTP* 問題較其他不確定需求的機台規劃問題[7, 8, 22, 23]複雜。文獻[7, 8, 22, 23]的不確定需求機台規劃問題，為整數線性規劃模型，所以作者建立許多解析法來解決其問題。*MDTP* 問題因為包含非常複雜的非線性整數規劃，以至於無法使用一般線性規劃的解法求解。其次，基因演算法對於解空間大的問題能提供有效率的搜尋。學者 Lawrence 在文獻[34]的研究顯示，只要基因演算法設計妥當，甚至是處理非常大且複雜的搜尋空間，基因演算法仍就能得到最佳解或近似最佳解。正如前段所談的，*MDTP* 問題解空間非常大，所以很適合以基因演算法解決。

為了使用基因演算法來解決 *MDTP* 問題，我們以下列小節說明本主題的基



因演算法的設計。

### 3.4.1 染色體的表達

本研究以一條染色體來代表採購機台後晶圓廠最終的機台組合，在我們設計下一條染色體  $X^f$  由  $m$  個正整數所組成。讓  $X^f = [x_1^f, \dots, x_j^f, \dots, x_m^f]$ ，其中  $x_j^f$  為一條染色體中的一個基因，代表第  $j$  種機台群最終的機台個數。讓  $N_p$  代表一個母體  $P(t)$  的母體大小數量。我們以隨機法來產生起始母體，其詳細做法是每一條染色體以隨機的方式從區間  $[LB(x_j^f), UB(x_j^f)]$  來決定每一個基因值  $x_j^f$ ，其中  $LB(x_j^f)$  和  $UB(x_j^f)$  分別代表  $x_j^f$  值的上界與下界。至於如何訂定  $LB(x_j^f)$  和  $UB(x_j^f)$ ，我們將在以下小節另外說明。



### 3.4.2 適合度評估函數

GA 的適合度函數主要是使用來評估一條染色體的品質好壞。本研究所提出的 GA，其適合度函數如數學式(23)所示，是以 *MDTP* 問題的目標式為基礎，並參考文獻[32]中的懲罰法來處理問題的限制式。

$$\begin{aligned}
 Fitness &= [F(X^f) - F(X^0)] - Y_k \sum_{k=1}^l \left(1 - \frac{Q(X^f)}{(d_k - s_k)}\right) - Z \cdot \left(\frac{C \cdot X^1}{B} - 1\right) \\
 Y_k &= \begin{cases} 0, & \text{if } Q(X^f) \geq (d_k - s_k); \\ M_k, & \text{otherwise} \end{cases} \quad Z = \begin{cases} 0, & \text{if } C \cdot X^1 \leq B; \\ H, & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned} \tag{23}$$

其中  $M_k$  和  $H$  代表很大的正整數。

以上數學式的第一項便是 *MDTP* 問題的目標式，如同我們之前所討論，我們使用關係式  $n_k(X^f) = \text{Min}(Q(X^f), d_k)$  來決定  $F(X^f)$  值。第二項是考慮限制式

(19)的處罰機制，相似的，第三項是另一限制式(20)的處罰機制。當有機台解違反這兩個限制式時，這些處罰機制便會發揮作用使這些機台解的適應質變小。這些違反者的適應值很小，代表他們存活於母體中的機率很低，所以最後可能會在演化過程中被母體所淘汰。

以上我們使用處罰法而不使用剔除法來處理非可行解，此乃因為非可行解染色體可能擁有某些良好的基因，若使用剔除法便會喪失產生良好基因的機會；另一方面我們使用處罰法可以讓這些違反者有些許希望(雖然機率較低)存活下來，因而有機會得到優良的基因。

### 3.4.3 交配與突變操作因子

本研究所提出的基因演算法，使用交配與突變操作因子來產生新染色體。

在每一代的演化中，交配操作因子可以產生  $N_p \times P_{cr}$  個新染色體，其中  $P_{cr}$  代表交配的機率，即所謂的交配率。交配因子的運作是從母體  $P(t)$  中隨機挑選  $N_p \times P_{cr}$  個染色體，並以隨機的方式將所選出的染色體兩兩配對，所以共有  $(N_p \times P_{cr})/2$  對。每一對染色體以隨機的方式來決定交配的位置(即所謂的交配點)，之後兩個染色體便互換位於交配點右方的基因。例如，下列將進行交配的染色體分別為  $X_1 = [5, 7, 9, 1, : \underline{2, 3, 6}]$  和  $X_2 = [1, 4, 5, 6, : \underline{9, 8, 1}]$ ，其中“:”代表交配點。交配後新染色體為  $Y_1 = [5, 7, 9, 1 : \underline{9, 8, 1}]$  和  $Y_2 = [1, 4, 5, 6 : \underline{2, 3, 6}]$ 。

突變操作因子在每一代可以產生  $N_p \times P_{mu}$  個新染色體，其中  $P_{mu}$  代表突變的機率，即所謂的突變率。突變的程序首先從母體  $P(t)$  中隨機挑選  $N_p \times P_{mu}$  個染色體，對於每一個所選出的染色體以隨機的方式決定需突變的一個基因  $x_j^f$ ，最後從區間  $[LB(x_j^f), UB(x_j^f)]$  隨機產生一個整數來取代  $x_j^f$ 。

### 3.4.4 選擇方法

基因演算法需要訂定一個選擇方法來選取較優良或較具潛力的染色體進入下一代。根據基因演算法的演化程序，母體  $P(t)$  的舊染色體與新染色體(突變及交配因子所產生)均被置於一個存放區(pool)。讓  $S$  代表此存放區，在  $S$  中的染色體個數是  $h = N_p \cdot (1 + P_{cr} + P_{mu})$ ；其中  $N_p$  代表從  $S$  中被選出並進入下一代母體  $P(t+1)$  的染色體個數。本研究使用學者 Winston[37]所描述的選擇方法，稱為排序-空間法(rank-space method)，此方法的特色是同時注重染色體的適應值與母體中個體間的異質性。我們使用排序-空間法，乃基於有部份學者如 Gen [30]和 Winston [37]的文獻顯示，保持母體中染色體彼此的基因的相異性，可有較佳的演化後代。排序-空間法的步驟說明如下。

步驟 1：將  $S$  中的所有染色體依據其適應值從高至低排序。讓  $X_1, X_2, \dots, X_h$  代表排序後的結果，而  $X_i$  的排序名次稱為品質-名次，在此我們以  $R_q(X_i)$  為代表。

步驟 2：將  $S$  中品質-名次最高的染色體從  $S$  移至  $P(t+1)$ 。

$$S = S - \{X_1\};$$

$$P(t+1) \leftarrow X_1;$$

$$Y_1 = X_1; /*對移至  $P(t+1)$  的染色體重新命名*/$$

$$N = 1; /* 記錄在  $P(t+1)$  中的現有染色體數量*/$$

步驟 3：對於  $S$  中每個染色體  $X_i$ ，計算其異值指標(*diversity index*)  $D(X_i)$

$$D(X_i) = \sum_{k=1}^N \frac{1}{|X_i - Y_k|} \text{ for } i \neq k; /*Y_k \text{ 是 } P(t+1) \text{ 中的一個染色體*/$$

步驟 4：將  $S$  中的所有染色體依據其異值指標  $D(X_i)$  從高至低排序。而  $X_i$  在此排序名次稱為異值-名次，在此我們以  $R_d(X_i)$  為代表。

步驟 5：對於  $S$  中每個染色體  $X_i$ ，將其品質-名次與異值-名次相加得到加總值  $T(X_i)$ 。

$$T(X_i) = R_q(X_i) + R_d(X_i)$$

步驟 6：將  $S$  中的所有染色體依據其  $T(X_i)$  從小至大排序。而  $X_i$  在此排序名次稱為綜合-名次，在此我們以  $R_c(X_i)$  為代表。

步驟 7：對於  $S$  中每個染色體  $X_i$ ，給予一特定機率值  $Prob(X_i)$ ，此機率值代表染色體  $X_i$  會被挑選存活至下一代母體  $P(t+1)$  的機率。

$$r = R_c(X_i);$$

$$Prob(X_i) = p \cdot (1 - p)^{r-1}; \text{ /* } p \text{ 是一個預定機率值，一般設為 } 0.667 \text{ */}$$

步驟 8：產生一個亂數來決定在  $S$  中哪一個染色體被挑選存活至下一代。

讓  $X_m$  代表被挑選的染色體。將  $X_m$  從  $S$  移至  $P(t+1)$ 。

$$S = S - \{X_m\};$$

$$P(t+1) \leftarrow X_m;$$

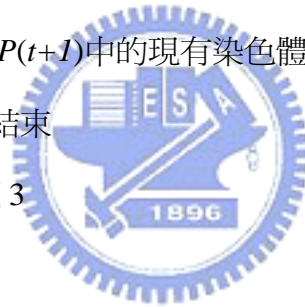
$$Y_m = X_m; \quad \text{ /* 對移至 } P(t+1) \text{ 的染色體重新命名 */}$$

$$N = N + 1; \quad \text{ /* 記錄在 } P(t+1) \text{ 中的現有染色體數量 */}$$

步驟 9：檢查選擇程序是否結束

假如  $N < N_p$  則回到步驟 3

否則結束選擇程序



### 3.4.5 基因演算法終止條件

母體  $P(t)$  在演化過程中持續的更新其中的染色體成員，直到終止搜尋條件滿足。本研究的基因演算法在下列情況下終止，當某一個染色體經歷了  $N_G$  代演化仍是母體中最好的解；或是當  $t = N_f$  時。

我們演算法的流程架構如圖 3.2 所示。從這個流程圖當中，我們可以了解染色體的評估值包含產量  $Q(X)$  的計算。所以每當評估一個染色體時，便需要先呼叫二元搜尋機制  $f_{qb}$  來計算機台組合的產量  $Q(X)$ 。



### 3.5 搜尋空間

搜尋空間的大小會影響一個基因演算法的效率。在本研究所提出的演算法當中，每一個基因的值是從區間 $[LB(x_j^f), UB(x_j^f)]$ 內隨機選擇一整數。以下我們說明 $LB(x_j^f)$ 與 $UB(x_j^f)$ 的訂定方式。

從數學式(19)我們可以知道總產量有一下限值 $n^L$ ，可表達為 $n^L = \text{Max}_{k=1}^l (d_k - s_k)$ 。因此對第 $i$ 種產品而言，其產量下限即等於 $n^L \cdot b_i$ 。晶圓廠為了滿足產量下限，所需要的機台群 $j$ 的機台數量 $x_j^L$ 可表達成下列等式

$$x_j^L = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^n t_{ij} \cdot n^L \cdot b_i}{a_j} \right\rceil,$$

其中 $t_{ij}$ 為第 $i$ 種產品在機台群 $j$ 所需的單位加工時間， $a_j$ 為每單位機台群 $j$ 可供應的加工時間， $\lceil \cdot \rceil$ 符號則表示無條件進位後的整數值。因為晶圓廠還有現存的機台 $x_j^c$ ，所以添購新機台後的機台數量 $x_j^f$ 可以寫成

$$LB(x_j^f) = \text{Max}(x_j^L, x_j^c) \quad \text{for } j = 1, \dots, m.$$

此外，從數學式(18)我們也可得知總產量有一上限值。因為對每一個 $k$ 情境而言， $n_k(X^f) \leq d_k$ 。晶圓廠最大產出量 $n^U$ 因此受限於最大需求量，所以產出量的上限值 $n^U$ 可表達成下列等式， $n^U = \text{Max}_{k=1}^l d_k$ 。讓 $x_j^U$ 代表晶圓廠所需要的第 $j$ 種機台群的機台數量上限，其數學式可以表達成

$$x_j^U = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^n t_{ij} \cdot n^U \cdot b_i}{a_j \cdot \beta} \right\rceil$$

其中 $0 < \beta < 1$

上式中 $\beta$ 是爲了考慮週期時間限制式而訂定的啓發式的參數(heuristically)

defined parameter)。最後再考慮現存的機台因素，機台數量  $x_j^f$  的上限可以寫成

$$UB(x_j^f) = \text{Max}(x_j^U, x_j^c) \quad \text{for } j = 1, \dots, m.$$

### 3.6 數值範例說明

本研究建立了 *MDTP* 問題，並提出了一個基因演算法來解決此問題。為了檢驗模型的正確性，本研究將模型應用於以下四個案例。這四個案例代表不同需求情境的各種機率組合情況。這些案例的假設資料描述如下。

晶圓廠機台規劃的時間區段為半年。此晶圓廠共生產四種產品 A、B、C、D，預定生產的產品比例依序為  $PX_0 = (0.3, 0.2, 0.3, 0.2)$ 。每一種產品的生產約需要 400 至 500 道加工步驟，所需要的機台種類約 101 種。目標平均週期時間  $CT_0$  設為平均純加工時間  $PT_0$  的四倍，亦即  $CT_0 = 4 PT_0$ 。新機台的採購預算為 4 億美元 (400 million in US dollars)。

晶圓廠以目前現有機台在半年內，可生產 18 萬片(180K)晶圓(產品比例為  $PX_0$ )。表 3.1 為市場調查部門所預測的三種不同需求情境的總需求量。情境 1 代表需求中度成長的情況；情境 2 代表需求高度成長的情況；至於情境 3 則代表需求持平的情況。

表 3.1 三種不同需求情境的需求量

	情境 1	情境 2	情境 3
需求量 $d_k$	210K	238K	189K

表 3.2 顯示在四個應用案例中的每一種需求情境的出現機率，其中  $r_i$  代表第  $i$  種情境的機率。

表 3.2 四案例中每一種需求情境的出現機率

	$(r_1, r_2, r_3)$
案例 1	(0.5, 0.3, 0.2)
案例 2	(0.3, 0.5, 0.2)
案例 3	(0.3, 0.2, 0.5)
案例 4	(0.34, 0.33, 0.33)

爲了檢驗本研究所提出 *MDTP* 規劃的效果，我們以四個案例來比較 *MDTP* 規劃所產生的利潤與確定性法的機台規劃利潤。表 3.3 即爲此兩種規劃方式的比較資料。因爲確定性的規劃方式，只考慮單一需求情境來規劃機台所需數量，所以表 3.3 的確定性法-情境 1，即表示專爲需求情境 1 所做的規劃，以此類推確定性法-情境 2 與確定性法-情境 3 分別表示專爲需求情境 2 與情境 3 所做的 *DDTP* 規劃。表三中以案例 1 而言，未來三種需求情境可能會發生的可能性分別爲  $(r_1, r_2, r_3) = (0.5, 0.3, 0.2)$ 。我們讓  $X_1^m$  代表案例 1 中 *MDTP* 規劃的最適機台組和解，讓  $X_0^n$  代表案例 1 的確定性法-情境 1 的規劃最適機台組和解。從表 3.3 的第二列的數據，我們可以發現添購機台組  $X_1^m$  所得到的期望利潤(24,065)高於添購  $X_0^n$  所得到的期望利潤(22,678)。至於其他案例也有類似的結果(第二列至第五列)，採用 *MDTP* 規劃所得到的解(第三行)均優於確定性規劃的解(第四行至第六行)。表 3.3 中 *MDTP* 規劃與確定性規劃的利潤差距百分比約從 2.4% 至 306%，其中利潤差距的百分比的計算方式以 306% 爲例， $306\% = (35,945-8,846)/(8,846)$ 。以上的結果顯示 *MDTP* 規劃方式較能顧及所有的需求情境，因此能大幅的降低需求不確定時的機台投資風險。



表 3.3 *MDTP* 規劃法與確定性規劃法之期望利潤比較 (單位：美金千元)

案例	$(r_1, r_2, r_3)$	<i>MDTP</i>	確定性法- 情境 1	確定性法- 情境 2	確定性法- 情境 3
案例 1	(0.5, 0.3, 0.2)	24,065	22,678	22,363	7,913
案例 2	(0.3, 0.5, 0.2)	35,945	25,453	35,102	8,846
案例 3	(0.3, 0.2, 0.5)	12,163	10,771	6,179	5,281
案例 4	(0.34, 0.33, 0.33)	21,217	18,867	20,021	7,446

表 3.4 列示 *MDTP* 規劃法與確定性規劃法應用於案例 1 之細部結果，表中的數據為三個需求情境發生時分別所產生的利潤。此表的結果顯示當需求情境 1 出現時，確定性法-情境 1 的利潤最高，因為它是專為需求情境 1 所做的規劃方式。當需求情境 2 出現時，確定性法-情境 2 的利潤最高，因為它是專為需求情境 2 所做的規劃方式。相同的，當需求情境 3 出現時，確定性法-情境 3 的規劃方式所產生的利潤最高。但此種確定性需求的規劃法風險相當高，因為當真正的需求並非當初所規劃的需求時，會導致錯誤的機台採購決策，進而影響企業利潤甚至產生鉅額的損失。例如，確定性法-情境 3 是專為情境 3(需求量低)所做的機台規劃，但當未來真正的需求為情境 2(需求量高)時，利潤只有 12,112，遠較其他規劃方式來的低。此乃因確定性法-情境 1 所購買的機台數量較少，以致於當需求很高時，產能不足造成高額的缺貨成本，進而影響其獲利。再如確定性法-情境 2 是專為情境 2(需求量高)所做的機台規劃，但當未來的需求為情境 3(需求量低)時，便會因為購買過多的機台，使得設備閒置並導致鉅額虧損。本論文所提出的 *MDTP* 規劃方式，雖然在每一種需求情境下並非最佳利潤者，但也不會成為最差者。*MDTP* 規劃方式包含了三種情境的考慮，因此當任何一種情境出現時，其規劃不至於有太差的結果。因為未來的需求充滿不確定性，所以不確定需求的規劃方式 *MDTP*，可以明顯的降低業者機台投資的風險。

表 3.4 *MDTP* 與確定規劃法在三個需求情境的利潤比較 (單位：美金千元)

案例 1	需求情境機率 $r_k$	<i>MDTP</i>	確定性法- 情境 1	確定性法- 情境 2	確定性法- 情境 3
情境 1	0.5	23,549	25,020	9,796	7,446
情境 2	0.3	47,076	38,894	73,493	12,112
情境 3	0.2	-9,164	-7,499	-22,918	2,779
期望利潤		24,065	22,678	22,363	7,913

我們更進一步的分析在不同的目標週期時間時，*MDTP* 規劃法的結果比較。表 3.5 為不同的週期時間限制下的期望利潤與新機台的投資成本，此四個目標週期時間，分別代表目標週期時間為加工時間的兩倍至五倍。表 3.5 顯示當目標週期時間愈短時，所需增加的機台投資金額越多，會造成期望利潤減少甚至發生虧損。相反的，目標週期時間愈長時，所需的機台數量較少、投資金額較低，可以產生較高的期望利潤。由此可見目標週期時間定的太短，所需的機台投資金額將會非常龐大，對企業並無好處。另一方面，目標週期時間定的太長時，雖然機台投資金額較低，但恐怕會造成顧客的不滿而導致訂單的流失。所以適合的目標週期時間之決定，需仰賴業者對產業的深入了解。圖 3.3 與圖 3.4 為目標週期時間對期望利潤與新機台設備折舊費用的相對圖。

表 3.5 不同週期時間限制下的期望利潤與新機台設備折舊費用 (單位：美金千元)

案例 1	$CT_0 = 2 PT_0$	$CT_0 = 3 PT_0$	$CT_0 = 4 PT_0$	$CT_0 = 5 PT_0$
期望利潤	-18,805	21,133	24,065	24,569
新機台設備折舊	48,290	22,340	19,506	18,205

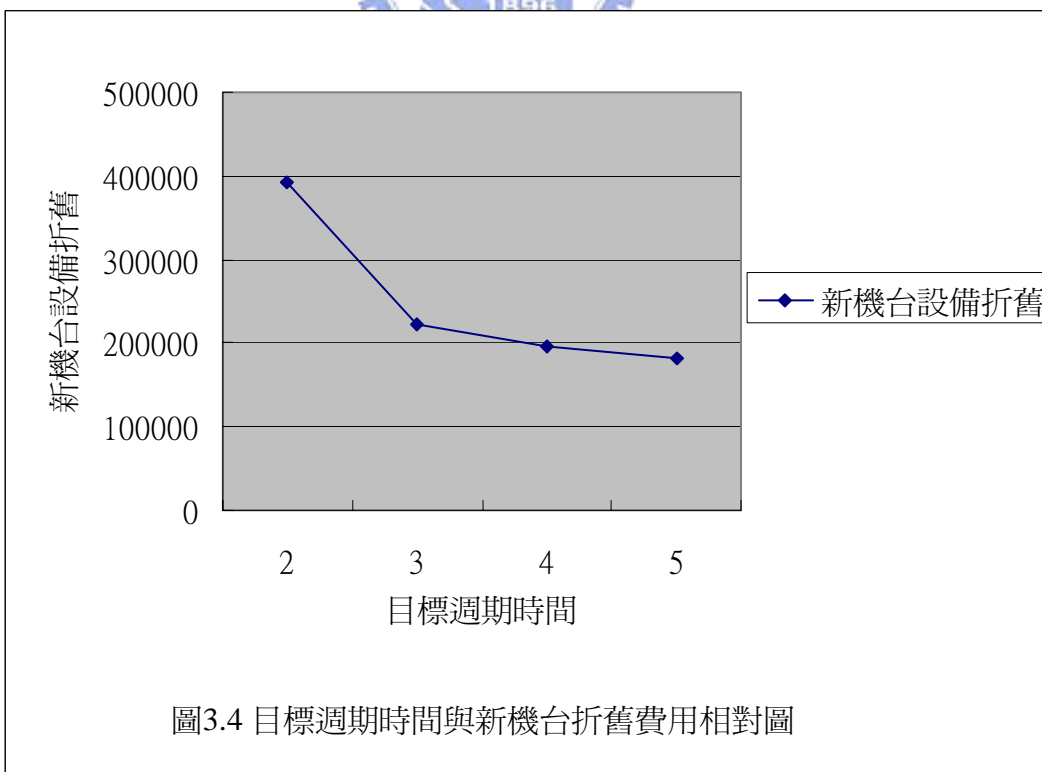
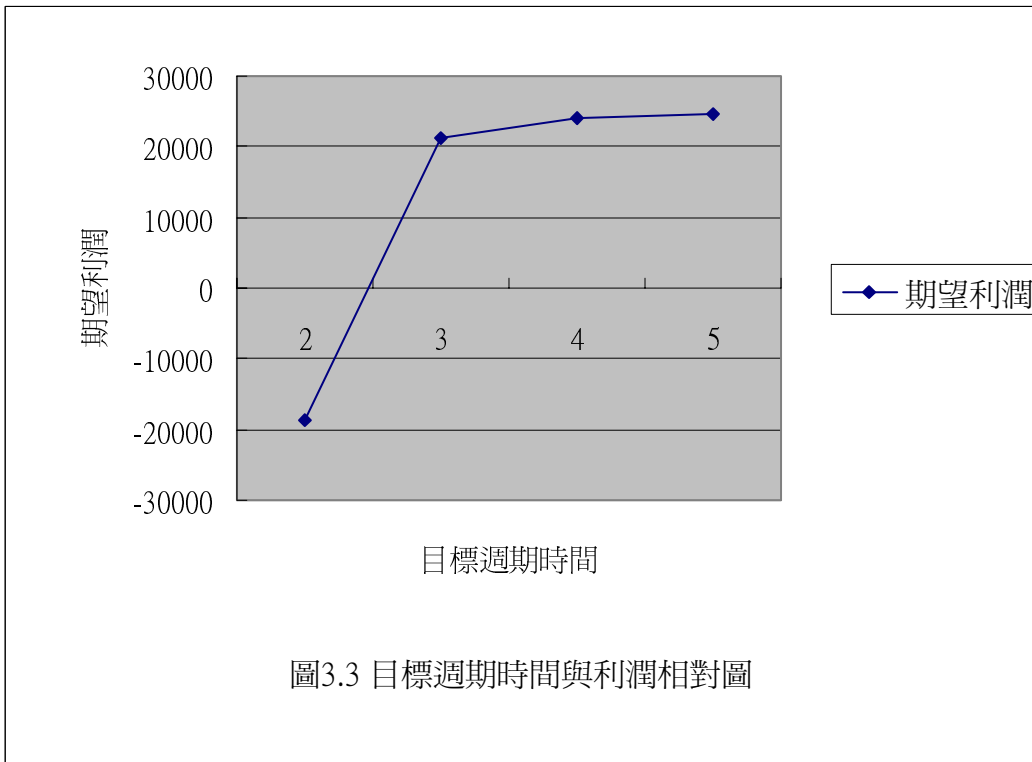


表 3.6 為基因演算法與其他啟發式方法對於 *MDTP* 問題的所提供的利潤答案比較。此數值案例所使用的模擬退火法相關參數為：起始溫度 = 100000，降溫函數係數 = 0.99，降溫方式為每更新 100 次解則降溫一次。禁忌搜尋法相關參數為：鄰近區域大小 = 100，禁忌名單的形式為記錄目標值較好的變數值[28]，這些變數值可被保留 5 個迭代數不能被改變。此表的結果顯示基因演算法的答案在每一個案例的應用均較其他兩個方法好。我們也觀察其他兩個方法當中，模擬退火法在我們案例的結果較禁忌搜尋法效果好。表 3.6 中，模擬退火法與基因演算法的利潤差距百分比約從 0.48% 至 4.17%，禁忌搜尋法與基因演算法的利潤差距百分比約從 0.4% 至 38.67%。表 3.7 為三者得到最好解的約略計算時間比較，其中以模擬退火法與基因演算法的效率相當，禁忌搜尋法的效率較低。我們推測原因可能在於，模擬退火法的演算法較單純，所以所需的計算時間較少；而禁忌搜尋法的禁忌名單需佔據電腦的一部份記憶體容量，且搜尋過程需花時間比對禁忌名單，以至於計算時間較長。本研究使用基因演算法得到最終解的計算時間約為 8 小時，對於長期的產能決策問題而言是合理的決策時效。

表 3.6 基因演算法與其他啟發式方法的利潤結果比較 (單位：美金千元)

應用案例	基因演算法	模擬退火法	禁忌搜尋法
案例 1	24,065	23,778	23,967
案例 2	35,945	34,506	28,678
案例 3	12,163	12,104	10,364
案例 4	21,217	20,452	15,300

表 3.7 基因演算法與其他啟發式方法的計算時間

解法	基因演算法	模擬退火法	禁忌搜尋法
計算時間	8 小時	8 小時	10 小時

本研究所提出的基因演算法以 C++ 語言撰寫，並使用 Pentium IV 的電腦加以執行。在我們所使用的基因演算法當中，交配率設為  $P_{cr} = 0.6$ ，突變率設為  $P_{mu} = 0.01$ ，染色體的母體大小設為  $N_p = 50$ 。搜尋的終止條件定為，當一機台組合解經歷了  $N_G = 500$  代演化仍能維持其為母體中最好的解。在我們應用的案例中，全部的搜尋空間約為  $2.22 \times 10^{37}$  組解，而所提出的基因演算法約測試了  $1.2 \times 10^5$  組解。我們的計算時間約為 8 小時，對於長期的產能決策問題而言是可以接受的範圍。

