第五章 多廠環境之機台規劃模型

本章節所探討的機台規劃主題，是針對一個晶圓業者目前已擁有多個晶圓廠，然而須建一座新廠的機台規劃問題。晶圓代工業者隨著規模的擴展通常擁有多座晶圓廠，每一座晶圓廠在建廠之際，分別以某一特定產品比例加以建立的，所以此建廠的產品比例亦爲每一座晶圓廠產出的最佳產品比例。晶圓廠的生產規劃方式一般是由總公司定期對未來的市場需求做預測，再根據預測的結果決定每一個分廠須生產的產品產量。此種決定每個分廠應生產的產品種類與數量的供作，本論文稱之爲產量配置。

對於一個目前已有多個分廠的晶圓業者而言，若其考慮新建一座新廠時，勢必先決定此新廠的產品產出比例，進而才能決定該廠所需的機台數量。若下一期的各產品總需求可以涵蓋現有分廠目前的產品產出量時，業者可以很容易的決定新廠的產品產出比例，其做法是將各產品總需求扣除目前各分廠的產出後，所剩餘的各產品需求量即爲新廠的產品產出比例。例如：一晶圓代工業者目前擁有兩座晶圓廠且計畫增建一座新廠，該業者目前生產三種家族產品。此兩座舊廠建廠時的每個月最佳產出片數分別爲(300, 500, 400)與(500, 300, 400)，且目前仍然生產此產品比例。若該業者預測下一期的三種產品每個月需求爲(1200, 1200, 1000)時，則業者可讓新廠的產出等於總需求扣除目前就分廠的產出，亦即(1200-300-500, 1200-500-300, 1000-400-400) = (400, 400, 200)，而舊廠的產量維持不變。此方法的優點是，使舊廠維持其最佳的產出量下，來規劃新廠所需的機台數量。

但若下一期的市場需求變化較大時，例如某些產品的需求減少或新產品的加入，則下一期的各產品需求量未能涵蓋現有分廠目前的產品產出量，此時上述的做法便無法適用。換言之，在這種情況下現存的分廠無法維持與之前相同的產出比例，須重新決定舊廠的產出比例。此外，當業者面臨新廠的機台決策時，首要的目的不外乎使新廠的機台投資成本最低。所以綜合以上的分析，多廠的機台決

策問題所在，便是重新決定每一個舊廠與新廠的產出比例，以使新廠的機台成本最低。我們延續上例來說明本問題。上例中之業者，若下一期的每個月需求為(1200, 1200, 200，800)時，其中前三項產品為舊產品第四項產品為新產品。則舊廠的產量因第三種產品需求的減少和第四種產品的加入，而未能維持其目前(最佳)的產品產出比例。而舊廠產出比例的決定，與新廠的產出比例息息相關，進而影響新廠所需的機台數量。上例的舊廠勢必減少第三種產品的產量，然而應減少多少產量？舊廠是否須生產新產品？是否須減少第一及第二種產品的產量？舊廠的產量應如何配置使得新廠的機台成本較低？以上的問題均為業者在新建晶圓廠時所面臨的問題。所以多廠環境的機台規劃問題所考慮的因素較廣，在規劃須新廠的機台所需數量時，須同時決定各分廠的產量。

過去的機台規劃文獻均在單廠的範圍中討論如何決定機台所需數量，至目前為止，多廠的機台規劃主題的相關探討仍舊非常少。一般單廠的機台規劃模式，須給定一組產品的產出比例，然而曾如上述所言，多廠環境的新廠機台規劃與舊廠的產量相關，我們須訂定每個分廠(包括舊廠與新廠)的產出比例以決定新廠的機台種類與數量。換言之，多廠的機台規劃問題的產出比例並非事先給定的，而是機台決策需決定的事項。由此可見單廠的機台規劃方法無法應用於多廠的機台規劃問題，因此我們希望建構一個可以分析上述的多廠機台規劃模型。

在我們的規劃下，此模型考慮了週期時間的限制，目標是使新廠的機台採購成本最低。我們使用基因演算法來決定各分廠的產量配置，新廠則根據它所配置的產量來規劃所需要的機台種類與數量。數值案例的結果顯示本模型所得到的機台規劃結果優於其他的啓發式規劃法，所節省的機台成本超過 7 千萬美元。

5.1 多廠環境下的機台規劃問題描述與模型建立

在本小節我們描述的機台規劃模型，是針對一個晶圓業者目前已擁有多個晶圓廠，然而須建一座新廠的機台規劃問題。此模型考慮了週期時間的限制，目標是使新廠的機台採購成本最低。

我們以下列的例子說明上述的問題。有一晶圓代工業者目前已有兩座舊廠，爲了擴充產能業者決定再建一座新廠，因此面臨新廠的機台決策的問題。業者的生產規劃方式是由總公司對未來的市場需求做預測，再根據預測的結果決定每一個分廠須生產的產品產量。該業者目前生產三種家族產品 A、B、C，此兩座舊廠建廠時的每個月最佳產出片數分別爲(300, 500, 400)與(500, 300, 400)，且目前仍然生產此產品比例。工廠希望生產的週期時間不能超過 30 天。在下一期的生產計畫當中，業者希望加入一新產品 D 的生產。業者預測下一期的需求量爲(A, B, C, D) = (1200, 1200, 200，800)，則業者應如何配置各分廠的產量，使得新廠的機台成本較低？以下爲我們模型的假設。

假設

(1) 業者現存有多座舊廠，然而考慮建新廠的機台決策

(2) 各分廠所需生產的產品種類與數量均由總公司加以分配

此乃目前業界大部分的作法。

(3) 分廠不能互相支援機台當作備用機台資源；換言之，一個產品的全部加工程序必須在一個廠內完成，不能分開在兩個廠進行加工。

因爲分廠的互相支援會使本問題的分析過於複雜，所以我們在本主題暫不考慮分廠的互相支援，在後續研究中希望能加入此因素的探討。

(4) 規劃期間爲一年

本問題爲新廠的機台採購問題，規劃時程一般爲一年。

(5) 生產週期時間不能超過預定的目標週期時間

因爲目標週期時間爲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。

多廠的機台規劃問題描述如下。一晶圓代工業者共生產 k 種家族產品，產品加工所需要的機台群種類有 m 種。此業者目前已擁有 $n\text{-}1$ 座晶圓廠，F_i (i = 1, ..,

n-1)。假設業者預測下一個期間內未來每一個月的需求爲 $D = (d_1, \ldots, d_j, \ldots, d_k)$，其中 d_j 代表第 j 種產品的每月需求量。因爲未來的產品需求量大幅的增加，所以業者覺得有增建一座晶圓廠的需要。

業者目前已有 n-1 座舊廠，每一座分廠 F_i 當初是根據一特定的產品產出比例加以建構的，且舊廠目前仍生產此產出比例。讓此產品產出比例爲 $P_i = (p_{i1},\ldots, p_{ij}, \ldots, p_{ik})$，其中 p_{ij} 代表分廠 F_i 目前的第 j 種產品的每月的產量。如前述所言，因爲產品市場的變化，當業者建新廠時爲了使新廠的機台成本最低，其他舊廠的產品產量可能無法維持之前的產出比例 P_i，而須重新配置。讓 $Q_i = (q_{i1}, \ldots,q_{ij}, \ldots, q_{ik})$代表分廠 F_i 重新配置後所應生產的產量，其中 D 爲公司所預測的總需求量，$D=\sum_{i=1}^{n} Q_i$，且 $d_j=\sum_{i=1}^{n} q_{ij}$ $(j = 1, \ldots k)$。

讓 $C=(c_1,\ldots,c_g,\ldots,c_m)$代表機台單位成本向量，$c_g$ 其中爲第 g 種機台群的單位機台成本。讓 $X_i = (x_{i1},\ldots,x_{ig},\ldots,x_{im})^T$ 代表分廠 F_i 的機台組合，其中 x_{ig} 其中爲分廠 F_i 中第 g 種機台群的機台數量。爲了競爭優勢的考量，業者希望每一座分廠的生產週期時間不能超過其目標週期時間 CT_0。本主題的機台決策問題，是如何將總需求量 D 分配至各分廠生產，讓各分廠有一產量配置 Q_i $(i = 1, \ldots, n)$，目標是使新廠的機台組合 X_n 的機台成本最低並符合週期時間的限制。

多廠環境的機台規劃問題因此可使用數學式表達如下。

$$Min\ \ C \cdot X_n$$

s. t.

$$D=\sum_{i=1}^{n} Q_i \qquad (32)$$

$$CT_i \le CT_0;\ i = 1, \ldots, n \qquad (33)$$

$$CT_i = f_q(X_i, Q_i);\ i = 1, \ldots, n \qquad (34)$$

$$x_{ng}\ \text{爲非負整數};\ g = 1, \ldots, m \qquad (35)$$

以上的數學式中，數學式(32)表示各分廠的產量配置總合須等於總需求，數學式(33)表示每一個分廠的生產週期時間不能超過目標週期時間。而數學式(34)在之前的 3.2 節已說明，代表一組機台組合 X_i 產量爲 Q_i 時之週期時間。預測的總需求 D 與舊廠的機台組合 X_i (i = 1, …n-1)均假設爲已知；但新廠的機台組合 X_n 及各分廠的生產量配置 Q_i (i = 1, …, n)則爲問題的決策變數。讓 $Q = [Q_1, \ldots, Q_n]^T$ 代表分配至各分廠產量的一組候選解，其中 Q 爲爲 $n \times k$ 的矩陣，而矩陣中第 i 列 $Q_i = [q_{i1}, q_{i2}, \ldots, q_{ik}]$則代表分廠 F_i 所分配的生產產量。對於每一個候選解 Q，根據新廠的生產量配置 Q_n 來決定新廠的機台組合 X_n。以上的數學規劃目標是使新廠機台組合 X_n 的成本最低。

5.2 求解方法

以上的機台規劃問題不僅要決定新廠的機台數量，並且需將總需求量 D 分配至各分廠加以生產，此外還需考慮週期時間的限制，比起單廠的機台規劃問題更顯得複雜難解，因此需要一個有效率的解法。在本小節我們建立了基因演算法來解決多廠的機台規劃問題，我們的解法包含以下兩個程序。

第一個程序：選出 M 個好的 Q(矩陣)，我們並且將這些 Q 矩陣存放在一個稱之爲 *X-空間* 的集合中。

上述所謂好的 Q 向量必須符合以下兩個性質。第一個性質，每一個舊廠 F_i (i = 1, …n-1)所分配到的產量 Q_i，必須滿足數學式(29)的週期時間限制。第二個性質，暫不考慮新廠的週期時間限制，針對新廠所分配到的產量 Q_n，規劃一個成本很低的機台組合 Y_n 使得 Y_n 可產出 Q_n。因 Y_n 是暫不考慮滿足週期時間限制所規劃的機台組合，所以其週期時間可能比目標週期時間長。我們使用一個啓發式方法來產生 Y_n，該方法將在以下詳細說明。

第二個程序：從 X-*空間* 的集合中決定最好的產量配置 Q^*。

對於每一個 Q 矩陣均包含一 Q_n 向量，而根據 Connor 等作者在文獻[5]的機台決策模型，每一個 Q_n 向量可以使用邊際分配(marginal allocation procedure)的方法，來決定一組成本最低且滿足數學式(29)的週期時間限制之機台組合 X_n。因爲在 X-*空間* 中有 M 個 Q 矩陣，所以也表示可以找到 M 個機台組合 X_n。在這 M 個機台組合當中，最小成本的機台組合 X_n^*即是新廠 F_n 的最好機台組合，而此時 X_n^*所對應的產量配置 Q^*即爲各分廠最好的產量配置。

在本小節中，我們建立一個基因演算法來決定 X-*空間*，在此空間中存放 M 個好的 Q 矩陣。我們所建立的基因演算法的相關設計說明如下。

5.2.1 染色體的表達方式

在我們的基因演算法中，一個染色體即是一個 Q 矩陣，而在 Q 中的每一個元素 q_{ij}(一正整數)爲一個基因。Q 矩陣如下所示：

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} \cdots q_{1j} \cdots q_{1k} \\ \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \\ q_{i1} \cdots q_{ij} \cdots q_{ik} \\ \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \\ q_{n1} \cdots q_{nj} \cdots q_{nk} \end{bmatrix}_{n \times k}$$

讓 N_p 代表染色體母體 $P(t)$的母體大小個數。我們使用隨機產生的方式來建立起始的染色體母體 $P(0)$。值得注意的是，並不是所有隨機產生的染色體均可放入染色體母體 $P(0)$，染色體需具有以下性質才可成爲母體的一份子。當染色體 Q 矩陣的前 n-1 列向量 Q_i (i = 1, …, n-1)滿足數學式(33)的週期時間限制才可放入染色體母體。滿足此條件我們稱之爲有效的染色體，否則稱爲無效之染色體。

當產生一個染色體 Q 時，每一個基因 q_{ij} 從區間[$LB(q_{ij})$, $UB(q_{ij})$]隨機選出，其中 $LB(q_{ij})$和 $UB(q_{ij})$分別代表 q_{ij} 的下界與上界。我們將下界 $LB(q_{ij})$設爲 0，至於上界 $UB(q_{ij})$的訂定說明如下。

讓 q_{ij}^{u} 代表分廠 F_i 只生產產品 j 並滿足週期時間限制數學式(33)時的最大產量。q_{ij}^{u} 的決定可以逐步的增加 q_{ij} 並應用等候模型[4]來決定；另一方面我們也可使用二元搜尋法來取代逐步增加的方法，以增進計算的效率。爲了決定每一個舊廠 F_i (i =1, …, n-1)中第 j 種產品的產量上界 $UB(q_{ij})$，我們首先以隨機的方式將舊廠加以排序。讓 W_s (s = 1, …, n-1)代表經過排序後的分廠順序，其中函數 $\phi(s) \to i$ 代表 s 與 i 之間的對應函數。對於每一種產品 j (j = 1, …k)，每一個染色體的 $UB(q_{ij})$ (i = 1, …, n-1)訂定步驟如下。

步驟 1：以隨機的方式安排 n-1 個舊廠的順序，其中排序後的號碼 s 與排序前分廠原來的代號 i 之間有一函數對應之關係，$\phi(s) \to i$ 。

步驟 2：對於每一個舊廠 F_i, (i = 1, …, n-1)計算其 q_{ij}^{u} 。

步驟 3：讓 s = 1，H = 0

當{$s < n$}執行

{ $h = \phi(s)$

$UB(q_{hj}) = \text{Min}\ \{ q_{hj}^{u}, d_1 - H\}$

從區間[0, $UB(q_{hj})$]中隨機選擇一個數值 v_{hj} 作爲基因 q_{hj} 的值

$q_{hj} = v_{hj}$

$H = H + v_{hj}$

$s = s + 1$

}

步驟 4：決定 q_{nj} 的數值

$$q_{nj} = d_j - \sum_{i=1}^{n-1} q_{ij}$$

我們以一個例子來說明以上的 $UB(q_{ij})$訂定程序。假設一業者目前有三個現存分廠，以 F_i, (i = 1, 2, 3)來表示。該業者生產兩種產品 j (j=1, 2)，令第一種產品下一期的需求量為 d_1 = 150、d_2 = 250。

步驟 1：隨機安排分廠產量決定的順序，若順序安排的結果為 F_2、F_3、F_1。

步驟 2：對於每一個舊廠計算其 q_{ij}^u，其中 q_{ij}^u 代表分廠 F_i 只生產產品 j 並滿足週期時間限制數學式(33)時的最大產量。若分廠 F_1 的 q_{11}^u=90，q_{11}^u=120；分廠 F_2 的 q_{21}^u=70，q_{22}^u=90；分廠 F_3 的 q_{31}^u=80，q_{32}^u=110。

步驟 3：我們依照步驟 1 排序的結果，先決定分廠 F_2 的產量，再決定 F_3 及 F_1。

分廠 F_2

第一種產品而言，$UB(q_{21})$ =Min {70, 150}=70。所以我們從 q_{21} 的上下界區間 [0, $UB(q_{21})$] = [0, 70] 中，隨機選擇一個數值來決定分廠 F_2 第一種產品的產量 q_{21}，若我們隨機選擇的值為 60。

相同的，對第二種產品而言，$UB(q_{22})$ = Min {90, 250}=90。我們從區間 [0, 90] 隨機選擇一個數值來決定 q_{21}，若我們隨機選擇的值為 40。

分廠 F_3

第一種產品上界 $UB(q_{31})$ = Min {80, 150-60}=80，假設我們從區間 [0, 80] 選擇數值 50 來決定 q_{31}。

第二種產品上界 $UB(q_{32})$ = Min {110, 250-40}=110，隨機選擇讓 q_{32} = 80。

分廠 F_1

第一種產品上界 $UB(q_{11})$ = Min {90, 150-60-50}=40，隨機選擇讓 q_{11} =

30。

第二種產品上界 $UB(q_{12})$ = Min {120, 250-40-80}=120，隨機選擇讓 q_{12} = 70。

步驟 4

所以業者新廠 F_4 所應生產的產量為

新廠 F_4

第一種產品的產量 q_{41} = 150-60-50-30=10。

第二種產品的產量 q_{42} = 250-30-80-70=70。

以上所描述的 $UB(q_{ij})$訂定步驟，不但能縮小基因的搜尋空間，並且還能顧及滿足限制式 $\sum_{i=1}^{n} q_{ij} = d_j$。另外須注意的是，步驟 1 的隨機排序作用可以使不同的染色體具有不同的分廠產量上界 $UB(q_{ij})$，若無隨機排序步驟而以原始分廠的順序來處理時，恐怕會造成每一個染色體的分廠產量上界 $UB(q_{ij})$過於相近，進而影響染色體的演化，容易產生區域最佳解(local optimum solution)的缺點。我們解釋此現象乃因為，先被安排產量的分廠其產量上界較高，而後被安排產量的分廠其產量上界較低，長期而言後安排的分廠很少有機會有產量高的配置。如上例，分廠的產量安排順序為 F_2、F_3、F_1，而我們也可見其產品 1 之產量上界分別為 $UB(q_{21})$ = 70、$UB(q_{31})$ = 80、$UB(q_{11})$ = 40。若每一個染色體均依此順序來決定其產量上界，則每個染色體中分廠 F_1 的產量上界大致上都不會太高，換言之每個染色體中 F_1 的產量不太可能被安排高的產量，如此一來會造成我們的搜尋無法全面化而影響解的品質。

5.2.2 適合度評估函數

我們所設計的基因演算法中，每個染色體 Q 均會包含一個第 n 列的向量 Q_n，Q_n 所代表的意義是新廠 F_n 所應生產的產品產量。染色體 Q 的評估函數，便是計

算新廠生產 Q_n 而暫不考慮週期時間限制時，所需的機台成本。我們提出下列的啓發式方法來估計上述新廠所需的機台成本。

讓 t_{gj} 代表生產一單位第 j 種產品時對第 g 種機台群所需的加工時間。若要生產 Q_n 時對第 g 種機台群所需的所有加工時間 T_{ng} 便爲 $T_{ng} = \sum_{j=1}^{k} q_{nj} \cdot t_{gj}$。讓 H_g 代表第 g 種機台群每台所供應的機器小時數，因此生產 Q_n 時所須第 g 種機台群的最少機台數量 (機台數量下界) y_{ng} 便可表示爲 $y_{ng} = T_{ng}/H_g$ ($g = 1, \ldots, m$)，其中 $y_{ng} \in R^+$。讓 $Y_n = [y_{n1}, \ldots, y_{ng}, \ldots y_{nm}]^T$ 代表生產 Q_n 時所須最少的機台數量，染色體 Q 的評估函數爲 Y_n 的機台成本 $C \cdot Y_n$。

5.2.3 交配與突變操作因子

我們使用交配與突變操作因子來產生新染色體，分別描述如下。

假設 P_{cr} 爲交配率，則每一代的演化中可透過交配操作因子產生 $N_p \times P_{cr}$ 個新染色體。首先，我們從 $P(t)$ 中隨機選出 $(N_p \times P_{cr})/2$ 對染色體來執行交配。因爲我們的染色體結構爲一個矩陣，對於每一對將進行交配的染色體先隨機選擇某一行作爲交換位置(此位置我們稱爲交換線)，然後這對染色體位於交換線右邊的基因彼此互換。我們以下例說明我們基因演算法交配的程序。

讓 A_i 代表一染色體，且 A_1 和 A_2 爲一對將進行交配的染色體，其結構如下所示。

$$A_1 = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \end{bmatrix} \qquad A_2 = \begin{bmatrix} q'_{11} & q'_{12} & q'_{13} & q'_{14} \\ q'_{21} & q'_{22} & q'_{23} & q'_{24} \end{bmatrix}$$

假如交配線爲第三行及第四行之間，則經過交配後這對染色體會產生新的染色體 A_3 和 A_4。

$$A_3=\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q'_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q'_{24} \end{bmatrix} \quad A_4=\begin{bmatrix} q'_{11} & q'_{12} & q'_{13} & q_{14} \\ q'_{21} & q'_{22} & q'_{23} & q_{24} \end{bmatrix}$$

而突變的程序說明如下。讓 P_{mu} 代表突變率，每一代需要突變的基因個數為 $N_p \times P_{mu} \times k \times (n\text{-}1)$。我們從 $P(t)$中隨機選出 $N_p \times P_{mu}$ 個染色體，對於每個被選的染色體 Q，執行 $k\times(n\text{-}1)$次突變，每次只突變一個基因。所以每個被選的 Q 突變後可產生 $k\times(n\text{-}1)$個新染色體。突變的方式是從 Q 中隨機選取其中一個基因 q_{ij} $(1 \le i \le n-1 \text{ and } 1 \le j \le k)$，並以新基因$q'_{ij}$來取代原來基因 q_{ij}，其中q'_{ij}是從區間$[LB(q_{ij}),\ UB(q_{ij})]$隨機所選出的整數。此時因為需滿足總產量的等式$\sum_{i=1}^{n} q_{ij} = d_j$，所以此染色體 Q 矩陣中新廠 F_n 的基因 q_{nj} 需隨之改變為 $q_{nj}+(q_{ij}-q'_{ij})$。我們以下例說明。讓 A 為將進行突變的染色體如下所示

$$A=\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \end{bmatrix}$$

若隨機選取q_{14}的基因突變，而若突變後的基因為q_{14}'，且突變後的染色體為 A'，則 A' 為

$$A'=\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14}' \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & [q_{34}+(q_{14}-q_{14}')] \end{bmatrix}$$

然而這些由交配或突變作用而產生的新染色體卻不一定為有效的染色體，因為他們或許未能滿足數學式(33)的週期時間限制。新染色體為無效染色體時，我們將放棄他們，只有有效染色體被保留並繼續完成評估程序。

5.2.4 X-空間的更新

隨著基因演算法每一代的演化，X-空間需持續更新。X-空間儲存 M 個染色體，這 M 個染色體是經過以下過程而產生的。亦即，從起始至目前的基因演化過程所產生的有效染色體中，選出評估值名次最好的前 M 個染色體。我們並且使用 X-空間來找出本主題的機台規劃問題最適解(Q, X_n)。

讓 A_i $(i = 1, \ldots M)$代表 X-空間的 M 個染色體，且讓 R_{ni} 代表 A_i 的第 n 列向量，亦即，R_{ni} 為新廠 F_n 所應生產的產品產量。當給定一個 R_{ni} 向量時，我們可使用邊際分配演算法[4]來決定一組成本最低的機台組合 X_{ni}，X_{ni} 並且滿足生產的週期時間限制 $CT(R_{ni}, X_{ni}) \le CT_0$ (數學式(33))。讓 A_s 代表此機台規劃問題的最適解，A_s 即等於在 X-空間的所有 X_{ni} 中成本最低者，亦即

$$s = Arg\{\underset{1 \le i \le M}{Min}(C \cdot X_{ni})\}$$

5.3 數值範例說明

為了檢驗我們機台規劃模型的有效性，我們以業界某一晶圓業者為應用案例，其中產品的加工途徑資料與機台成本資料均為業者過去的真實工業數據。此晶圓業者目前已有兩座現有分廠 *Fab_1* 和 *Fab_2*，且預計增建一座新廠 *Fab_3*。這三座分廠相距較遠因此無法互相支援機台當作備用機台資源；換言之，一個產品的全部加工程序必須在一個廠內完成，不能分開在兩個廠進行加工。

該公司下一期預計生產四種家族產品：U、V、W 和 Z。我們分別從每一種家族產品中選出一典型產品來代表此四種家族。這四種代表產品的加工道次約為 400 至 500 道，而平均的存加工時間約 $PT_0 = 10$ 天。

現存的兩座分廠當初是分別以某特定產品比例加以建廠的(換言之建廠之產品比例為晶圓廠的最佳生產比例)，且該兩座分廠目前仍持續生產此產品產出比例。分廠 *Fab_1* 的建廠產出比例為 $(U{:}\ V{:}\ W{:}\ Z) = (360, 340, 480, 0)$，亦即分廠 *Fab_1* 每個月的產量為 U 360 lots、V 340 lots 和 W 480 lots。分廠 *Fab_2* 的建廠

產出比例爲 (U: V: W: Z) = (600, 360, 240, 0)。因爲 Z 爲業者下一期計畫生產的新產品，所以業者的舊廠 *Fab_1* 和 *Fab_2* 之前所生產的產品並不包括 Z 產品。

再者，由於產品市場的變動，業者並不打算繼續生產 W 產品。經過業者的市場研究後，決定未來每個月的產品需求爲(U: V: W: Z) = (1200, 1200, 0, 1200)。因爲未來的產品需求很高，所以業者需要新建一座分廠 *Fab_3* 以擴充其不足之產能。值得注意的是，因爲 W 產品的消失，造成舊分廠 *Fab_1* 和 *Fab_2* 無法再維持之前最佳的產品比例，必須分別有一個新的產品比例。所以當業者規劃新廠 *Fab_3* 的機台時，也必須重新規劃各分廠(包括新舊廠)所分配的產品產量。

業者希望每一個分廠的平均週期時間不能超過目標週期時間 CT_0。所以業者所面臨的決策問題，是如何分配各分廠所應生產的產量，讓每個分廠均能符合生產的週期時間，並使得新廠 *Fab_3* 的機台成本最低。

我們將本文所提出的方法其應用的結果，與業界常用的一啓發式方法比較以了解本方法的績效。此啓發式方法主要是使舊廠的所分配的產品產出比例配置盡可能的接近其建廠的最佳產品比例。我們以表格 5.1 的數據來說明，啓發式方法的分析結果，顯示 *Fab_1* 和 *Fab_2* 所分配產品 U 和 V 的生產量與之前的原有產品比例相同。例如，*Fab_1* 原來的產品比例爲(U: V: W: Z) = (360, 340, 480, 0)，啓發式法分析的結果爲(U: V: W: Z) = (360, 340, 0, 110)。至於 Z 產量 110 的計算方式，則是當分廠 *Fab_1* 生產 U 產量 360 和 V 產量 340 時，所剩餘的產能全部使用來生產 Z 產品的產量結果。我們可以使用等候模型[5]來估算 Z 的產量，我們簡單敘述如下。當我們輸入一個 Z 產量時，等候模型[5]便可計算一晶圓廠的週期時間 CT，而當我們逐漸增加或減少 Z 產量時，便可使週期時間 CT 增長或減短，所以當我們嘗試多次的調整 Z 產量時，我們最終將發現有一特定 Z 產量的週期時間非常接近 CT_0，則該 Z 產量即爲所求。

表 5.1 顯示我們所提出的方法與啓發式方法比較的結果，其中我們所使用的目標週期時間爲 CT_0 = 30 天。從此表可以發現，我們所提出的方法的規劃結果與啓發式規劃法的結果相較，可讓新廠的機台成本節省約$76 百萬美元，差距比

例約爲 5.2%。由此結果我們也可發現，啓發法讓舊廠盡量維持與之前相同的產品比例，並不能使新廠的機台成本最低。反觀我們所提出的方法，重新分配每個分廠的產品比例，才能讓新廠有一最佳產品比例以使其機台成本最低。

表 5.2 爲不同的週期時間限制下的新機台的投資成本。表 5.2 顯示當目標週期時間愈短時，所需增加的機台投資金額越高。此結論與我們的認知非常一致。

表 5.1 本研究的方法與其他方法之比較結果

	本研究所提出的方法	啓發式規劃法
Fab_1: (U, V, W, Z)	(383, 393, 0, 98)	(360, 340, 0, 110)
Fab_2: (U, V, W, Z)	(606, 394, 0, 108)	(600, 360, 0, 115)
Fab_3: (U, V, W, Z)	(211, 413, 0, 994)	(240, 500, 0, 975)
Fab_3 的機台成本	$1,461 百萬美元	$1,537 百萬美元
成本差距	0	$76 百萬美元
成本差距百分比%	0 %	5.2%
Fab_3 的機台數量	517	548

表 5.2 不同的目標週期時間的新機台的投資成本　　(單位：百萬美元)

目標週期時間	20 天	30 天	40 天	50 天	60 天
機台折舊成本	1,740.45	1,461.13	1,436.51	1,428.69	1,423.46

表 5.3 爲基因演算法與模擬退火法和禁忌搜尋法的利潤答案。其相關參數爲：起始溫度 = 1000000，降溫函數係數 = 0.99，降溫方式爲解每更新 100 次則降溫一次。禁忌搜尋法相關參數爲：鄰近區域大小 = 7，禁忌名單的形式爲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。在表中的基因演算法答案比其他兩種方法好，而禁忌搜尋法所提供的解最差。GA、SA、TS 三者的搜尋時間於表 5.4，三者的計算時間差不多。

表 5.3 基因演算法與 SA 和 TS 的利潤結果比較 (單位：百萬美元)

	基因演算法	模擬退火法	禁忌搜尋法
機台成本	1461.13	1463.09	1598.21

表 5.4 基因演算法與其他啓發式方法的搜尋時間

解法	基因演算法	模擬退火法	禁忌搜尋法
計算時間	3 小時	3 小時	3 小時

以上所提出的方法我們以 C^{++}電腦語言加以撰寫，並使用 Pentium 4 的電腦機型來執行。在基因演算法的參數設定部分，交配率 $P_{cr} = 0.6$，突變率 $P_{mu} = 0.1$，母體大小 $N_p = 100$。搜尋的終止條件爲，當某一組解連續 500 代均爲最好的解，；換言之該解即是本問題最終的答案。

我們所提出的方法包括兩個程序。第一個程序是決定 X-空間，而 X-空間主要是儲存一些較好的產量配置解當作候選解。這些候選解當未考慮新廠的週期時間限制時，其新廠所需的機台成本很低。以本案例我們在 X-空間存放了 500 個較佳的產量配置解。接下來在第二個程序中，我們針對每一個在 X-空間的產量配置解，並考慮了週期時間限制，計算新廠所需的最低機台成本。最後再從這些候選解中找出新廠最低的機台成本解即爲最終解。在第一個程序中，我們針對 X-空間的解所計算的機台成本，因尚未考慮週期時間限制，所以稱爲起始機台成本。而在第二個程序中，所計算的機台成本以包含了週期時間限制的考量，因此稱爲最終機台成本。

在第一個程序中，GA 所測試的解共約有 2.4×10^5 個，所搜尋的代數約爲 1000 代。爲了決定 X-空間，GA 所搜尋和計算的時間約爲 3 小時。至於第二個程序的計算時間，則與 X-空間存放解的數量多寡有關。若我們在 X-空間只儲存 100 個

起始解，則在第二個程序的計算時間約需要 3 小時；若 *X*-空間儲存了 500 個起始解，則第二個程序約需要 15 小時的計算時間。由於機台決策屬於長期的產能決策，以上所需的計算時間爲合理的範圍。

本例的應用，我們在 *X*-空間存放了 500 個解，這些解的起始機台成本與它們所對應的最終機台成本顯示於圖 5.1。此圖並顯示這些解的起始機台成本與最終機台成本的分佈十分一致，換言之，對於起始機台成本較低的解其最終機台成本亦較低。此現象表示當我們大幅的增加 *X*-空間的解數量時，並不能找出更好的解。事實上，由本圖形我們可以明顯的看出，最低的最終機台成本解其所對應的起始機台成本應位於前 100 名之內。因此，我們認爲本研究所提出的方法能有效的找出(近似)最佳解。

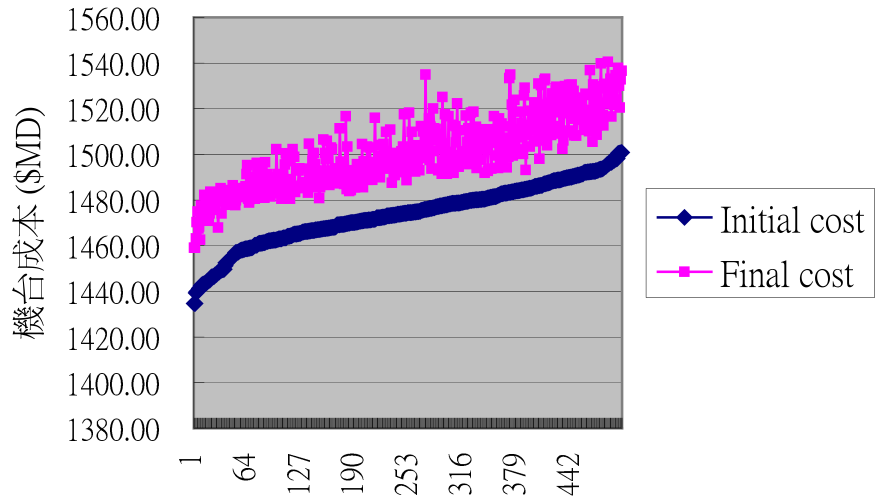

圖5.1 500 個候選解之起始和最終機台投資成本