

第二章 相關文獻探討

在此章節的文獻回顧，我們分為兩部分加以探討。第一部分我們回顧有關機台規劃的文獻，此外，因為本研究使用基因演算法來解決所提出的問題，因此第二部分我們將簡單的介紹基因演算法並回顧基因演算法在機台規劃的應用。

2.1 機台規劃文獻

有關機台規劃的文獻很豐富，我們先回顧一般機台規劃的研究，再介紹不確定需求下的機台組合模型，然後說明考慮週期時間因素之機台規劃研究，之後便討論多廠機台規劃的相關研究。最後我們將這些文獻分類並彙整成表格，以提供一個更清楚的文獻整理表達。

2.1.1 一般機台組合相關文獻

靜態法(static models)是實務界在規劃機台時很常使用的方法，其基本概念是分析所需的機台加工時間與機台可供應時間，以估計需要的機台數量。Witte [10] 使用靜態法建立一個電腦的決策系統，以分析重要的機台群所需要的數量。Martin [11]也對靜態規劃法做更深入的探討，把影響產能因素做成階程式的分析以找出關鍵因素。Chou and You [2]則對靜態法在機台規劃的相關文獻做了一番詳細的討論。從他們的文獻整理當中，我們可以瞭解使用靜態法來規劃機台數量，可分析許多因素包括：單片及批量機台的可用率和效率、加工的良率、機台加工的前置時間和備用機台的問題。靜態產能法所發展出來模型的優點為，簡單易懂且計算快速。然而，這類模型卻有兩大缺點，正確性不高且無法計算些重要的機台生產的績效指標，例如等候時間。綜合以上的討論，我們可以發現靜態產能法適合用來快速粗估機台需要的數量，但另外需要其他方法來修正粗估值或生產績效的分析。有許多機台組合的研究採用此策略來建立模型如文獻[12, 13]。

電腦模擬(simulation)與等候模型(queueing models)因為可以衡量機台的生

產績效，所以二者在機台規劃學術領域被廣泛的應用。模擬是使用電腦來模擬真實系統的複雜環境，並收集模擬的數據結果以整理成決策者所需要得資料。以晶圓廠的系統模擬為例，模擬所供應的結果通常包括週期時間、產出量以及在製品量等等。模擬方法不論在學術界或業界的應用非常廣泛，商業的套裝軟體也日趨成熟。一般認為模擬結果精確度佳，但以晶圓廠的機台規劃問題而言，一組機台組合所需模擬的時間很長（將近一小時），因此若需模擬很多組解以決定最佳解時，使用模擬方法便顯得效率不足。

另一種常用的績效衡量方法為等候網路模型。等候網路模型本質上為數學解析法(analytical approach)，使用數學推導以得到系統的等候時間、週期時間、等候隊伍的長度等數學公式。這些等候模型的分析原理相似，根據Connors [5]的觀念描述，等候模型是將網路系統拆解成多個節點，分別計算這些節點的等候相關資料，最後再彙總成為系統的等候資料。與模擬方法相比較，等候模型的建立較為簡單、計算很迅速；但計算結果的精確性不如模擬方法。

有許多文獻的機台規劃問題涉及了生產績效的因素的考慮，所以這些研究的模型會包含一個績效評估的機制。但即使是以計算速度較快的等候模型來評估機台績效，尚需幾秒鐘的時間計算一組機台的績效值，這類的模型因為受限於評估時間，所以需要一個有效搜尋方法來決定較佳的候選機台組。因此很多相關研究便以模擬或等候模型為績效評估的基礎，發展出許多不同的搜尋方法，希望能有效率地搜尋最佳機台解。

以下幾篇文獻是以模擬法作為績效評估基礎的相關研究。Neacy [12]等學者描述一個考慮多項績效因素的機台規劃問題，並提出一個啟發式原則配合模擬法來決定最適機台組合。他們模型的構想，是使用靜態法先產生一組起始機台解，再使用模擬法得到起始解的績效值，根據這些系統的績效值作為增添機台的依據，重複這個評估-增添的步驟，直到得到滿意的績效值。作者考慮了在製品存量、產出、週期時間等績效因素，而所提出增添機台的原則有三項：(1)該機台群閒置時間百分比低於 2%，或(2)產品在該機台群的等候時間超過 8 小時，或

(3)(該機台群的等候時間+加工時間)/加工時間 的比率大於 3，則添加該機台群一部。此模型主要的缺點是模擬次數太多太費時，另外便是作者沒有考慮機台的成本因素較不實際。

Grewal 等學者[4]於 1998 年提出一個機台規劃模型，此模型以機台成本最低為目標且須滿足最大週期時間上限，作者並使用最大邊際貢獻法來搜尋候選機台解。該方法的求解設計是先求得一起始解，再以一次加一台機台的方式更新其最佳解，直到滿足週期時間上限為止。選擇機台加入的方式，是針對每一種機台群計算每單位金錢投入相對於其降低的週期時間，比率愈大者的機台則優先加入最佳解。

Mollaghasemi and Evans [14]探討機台規劃的多目標問題，並提出一個迭代方法來決定最佳機台組合。作者以晶圓廠最重要的兩個目標-產品週期時間和機台使用率，作為機台規劃問題的目標函數，在考慮決策者的對目標偏好下運用 STEM 方法決定最佳機台數量。

Chen and Chen [15]使用實驗設計法與模擬法來決定機台規劃最佳化問題。作者以各機台群的數量為控制因子，而以產品的產量、產品組合、產品重工率等因素為噪音因子，設計直交表後，利用模擬方法得到這些因子在不同水準組合下的績效值。作者並使用一些啟發式方法和這些模擬結果，解決預算限制下的機台組合最適解。綜合以上的討論，我們可以發現模擬法因為模擬時間過長，不適合應用於需要大量測試機台解的搜尋方法，較適合與小範圍的搜尋方法配合應用與規劃最後階段的驗證。

過去陸續有許多學者為了能更精確的評估機台的績效，而分別建立不同的等候模型，較重要的文獻例如[5, 16, 17, 18]。等候模型因為計算速度很快，所以有些研究便利用等候模型的優勢，發展出許多搜尋機台解的方法。Yoneda 等學者[19]使用模擬退火法來尋找最佳機台組合。他們問題的目標是使總成本極小化，而總成本包括機台成本與在製品成本。作者將其模型應用於 31 種機台群總數為 278 部機台的規劃案例，有不錯的結果。

Bretthauer [20]探討有在製品存量限制的機台組合問題，其目標是極小化機台成本。作者將整個製造系統視為一個 Jackson 網路，並提出一個 Branch and Bound 的演算法可導出問題的最佳解(global optimization)。

Donohue [21]等作者建立一個等候模型以解決晶圓廠的機台組合問題。此問題的目標是使每年的總成本最低，而限制式為目標週期時間。總成本定義包括：生產固定投資成本、機台投資成本、每年固定生產費用、每年每種機台的生產費用。作者並提出一個啓發式方法得到最佳解。

Bard 等學者[6]探討在既定的預算下，如何購買平均週期時間最低的機台組合。作者的解題架構是使用啓發式方法不斷的產生候選機台解，並使用等候模型來計算等候時間，直到搜尋程序結束得到(近似)最佳解。

Connors 等學者[5]建立一個等候模型，來解決有週期時間限制的機台規劃問題。作者所提出的等候模型，是針對晶圓廠的特性加以建立，考慮的因素包括：機台當機相關事件、產品重工及報廢事件、以及單片加工和批量加工的不同機台類別。作者並提出最大邊際貢獻法來搜尋候選機台，該方法的求解設計是先求得一起始解，再以一次加一台機台的方式不斷的更新其最佳解，直到滿足週期時間上限為止。而機台的篩選方式是使用最大邊際貢獻法，意即比較各類機台每單位金錢投入造成其降低的週期時間多寡的比率，邊際貢獻率愈大者則優先加入最佳解。

Chou [3]以等候模型為基礎，建立一個決策模式以解決晶圓廠的機台組合問題。作者認為機台組合是一個多屬性考量的決策問題，必須同時考慮產量、週期時間、在製品存量和機台的數量，所以作者使用定性法(qualitative reasoning)來評估機台的多種屬性，以找出符合決策者要求的機台組合。Chou and You [2]延續之前的機台問題研究，考慮週期時間與機台投資成本的因素，提出一個模型決定最佳效率的機台組合。在這個模型之下，先使用靜態法決定起始解，再使用鄰近搜尋方式(neighborhood search)尋找較佳的機台組合。當機台投資成本不斷增加時，其生產績效也隨之產生不同，決策者可以依據本身對週期時間或投資成本的

考量，選擇適合的機台組合。

Chou and Wu [13]更深入的探討機台規劃多屬性問題，以經濟學觀點的效用理論來分析問題。作者先使用靜態法和瓶頸資源的觀念產生一些較佳的候選機台解，接著分析這些機台解的週期時間與產量的作業曲線，之後再建立決策者對週期時間與產量效用的無異曲線，二者的切點即為這些機台解的最大效用值。最後再加入機台成本的考量，從這些候選解之中找出每單位投資成本的效用最大者即為最佳解。

2.1.2 不確定需求下之機台規劃文獻

之前所探討的研究模型，均在需求為確定的假設下所建立的。但近年來由於市場的多變，所以有許多研究探討不確定需求環境的機台規劃問題。Swaminathan [7]假設產品需求是不確定的情況下，建立一個晶圓廠機台規劃模式。在他們的文章中，產品的需求假設為一組有機率性的情境(scenarios)。每一個需求情境均對應一機率值，代表各種產品未來可能會出現的需求量。模型考慮在預算、產能和需求的限制下，如何決定機台組合以使缺貨成本的期望值最小。模型中包含二個變數，機台群的數量及每一個需求情境的產品產量。因為此問題為規模龐大的整數線性規劃，很難以一般線性規劃的解法解決，所以作者建立了複雜的求解方法。實驗結果顯示在不確定需求下，作者提出的機率性模型比只考慮單一需求情境的模型效果較佳。Swaminathan [8]延續他在不確定需求下的機台決策問題的研究，在 2002 年提出一個多期間的機台決策模型。此篇文章與他上篇文章(2000)主要的不同在於兩個部份，他將之前只考慮單期的模型擴展至多期間的決策模型，此外更仔細的將產品在機台的加工作業列入規劃，使模型更完整。作者認為多期間的考量，是因為可反應產品的生命週期對機台決策的影響；而加入機台的加工作業規劃有助於擬定細部生產計畫。在作者多期間的規劃下，產品的需求假設仍為一組機率性情境，但每一個需求情境為各種產品在第 t 個期間可能會出現的需求量，問題的目標是讓期望的缺貨成本最小。Swaminathan 的模型以缺貨來

當做機台規劃的績效指標，並未考慮生產的週期時間，與實際晶圓廠的狀況有很大的差別。Barahona [22]和 Hood [23]等作者同樣也對需求不確定的機台決策主題，提出了一個機率性模型。他們的模型對未來產品需求的表達方式與 Swaminathan 的模型類似，並且也涉及多期間的機台採購問題。模型的決策變數包括每個期間的產量與需求差距、每種產品的產量，每種產品在不同機台群的每天加工數量，以及各種機台的採購數量。而模型的目標是在產能和預算限制下，使產量與需求差距的期望值極小化。由於變數及限制式的龐大使得問題很難解，作者使用 Cutting plane 及啓發式方法加以求解。唯較可惜的是，這些不確定需求假設下的機台規劃文獻 [7, 8, 22, 23]均未考慮週期時間問題，以至於這些機台規劃模型無法顧及晶圓代工業者的產業特質。

2.1.3 有生產週期時間限制之機台規劃文獻

如同我們在前一章所強調，對晶圓廠而言週期時間是一個衡量生產績效的重要指標，因此在規劃機台時應將週期時間因素列入考量。Chou and You [2, 13]探討機台週期時間與機台投資成本的關係，並做出二者之間的曲線圖。他們的主要貢獻是讓決策者可以了解不同的週期時間所需要的機台投資金額，進而決定機台組合。Connors 等作者[5]提出一個機台決策模型，希望能決定一組成本低且符合目標週期時間的機台組合。Grewal [4]的研究也有類似問題的探討。Bard [6]的機台規劃模型，則是探討在機台採購預算下，採購最低週期時間的機台決策模型。以上的機台規劃模型包含週期時間的評估，唯較可惜的是這些文獻的需求模式均為確定性需求假設。

所以至目前止，我們尚未發現有機台規劃文獻是建立在不確定需求假設，且考慮生產週期時間因素。本論文基於目前這方面的問題缺乏相關文獻的探討，因此也針對此問題來建立我們的機台規劃模型。

2.1.4 多廠機台規劃

目前以機台規劃為主題的文獻仍然不多見，截至目前為止我們只發現兩篇有關多廠產能的研究。

Hsieh and Lin 在[24]的研究是以晶圓廠為對象探討多廠的生產問題。作者主要是針對需求面很強時，如何安排各分廠的產品種類與產量問題。作者所提出的演算法觀念如下：先使每個分廠盡量生產利潤最高的產品，若有機台不足的情況則可尋求分廠間的機台支援。再使每個分廠利用剩下的產能，盡量生產利潤次高的產品，若機台不足可考慮他廠的機台支援。此時尚有剩餘產能再依此規則繼續決定其他產品之產量。作者所提出的演算法很直覺，但此方式的安排卻不能保證每個分廠(或總公司)的利潤最大，且作者對於分廠間的機台支援計畫亦未有所討論，所以此模型應該是作者所建立的一個雛型尚未發展完成。

Levis and Papageorgiou[25]以製藥業為對象，探討多廠的產量配置(或稱之訂單分配)問題，並決定各廠是否應增加設備投資。上述所謂多廠的產量配置，便是決定每個分廠應生產何種產品和產量的問題。一般製藥業新藥品上市前需通過嚴格的人體測試，而人體測試則需要很長的時間，因此業者為了市場的先機，通常還在人體測試階段時便需面臨是否須投資設備的問題。所以作者的模型牽涉了測試結果的不確定性。若業者同時測試多種新產品，而每種產品測試結果分為通過或不通過兩種，則業者的測試結果便有許多情境。且若每種產品通過或不通過的機率值已知，則每一種情境會發生的機率值便可計算得知。作者將問題規劃成混合整數線性規劃(Mix-Integer Linear Programming, MILP)模型，目的是決定各分廠的產量和資本投資金額，以達成企業稅後的期望淨現值(eNPV)最高的目標。作者並提出一個演算法來解決此問題。因為此研究是針對製藥業，其生產設備型態為生產線，與我們所討論的晶圓廠的零工式佈置方式相異，所以對於機台採購計畫的討論內容並不相同。此外，此論文並不包含生產週期時間的評估。

其它有關多廠環境的文獻大多集中於生產計畫(production planning)的主題，而非產能規劃的主題，我們將這些文獻整理如下。Timpe and Kallrath [26]針

對化工產業討論一個多廠且多市場區域的產量配置問題。他們的模型主要是決定各分廠的產品種類與生產數量，目標是使邊際貢獻收益最大。模型考慮了生產的多種因素，包括訂單、產品需求、工廠產能、存貨、與運送成本等，其規劃方式為混合整數線性規劃，作者並使用 LP-relaxation 加以求解。曾氏[44]也進行類似的研究，並額外考慮了交期和籌製成本因素，作者以模擬退火法加以求解。

Gnoni *et al.*[27]以汽車零件工業為對象，建立一個多廠多期間的產量配置模型，並以一個個案來討論其問題。文章假設業者成品的生產需歷經三個分廠，第一個分廠生產半成品以供應第二分廠和某些次要客戶，第二個分廠生產半成品以供應第三分廠和次要客戶，第三個分廠組裝成品以供應主要客戶。作者假設三個廠未來的需求分別為某種分配，考慮了存貨、產能、需求、籌製成本等因素，主要是決定各分廠的批量大小和產量，目標是使生產總成本最少。作者將問題規劃成混合整數線性規劃，使用解析法和模擬法來解決問題。

我們將上述有關機台規劃的文章分類並整理於表 2.1。



表 2.1 機台規劃相關文獻整理

文獻	工廠環境		需求模式		週期時間		解法
	單廠	多廠	確定	不確定	有	無	
本論文主題一	●			●	●		基因演算法、等候模型
本論文主題二	●		●*		●		基因演算法、等候模型
本論文主題三		●	●		●		基因演算法、等候模型
Witte [10]	●		●			●	靜態法
Martin [11]	●		●			●	靜態法
Chou [2]	●		●		●		靜態法、等候模型
Neacy [12]	●		●		●		靜態法、電腦模擬法
Chou [13]	●		●		●		靜態法、等候模型
Connors [5]	●		●		●		邊際貢獻法、等候模型
Grewal [4]	●		●		●		靜態法、電腦模擬法
Mollaghasemi [14]	●		●		●		多目標法、電腦模擬法
Chen [15]	●		●		●		實驗設計法、模擬法
Donohue [21]	●		●		●		啓發式法、等候模型
Chou [3]	●		●		●		靜態法、等候模型
Bard [6]	●		●		●		啓發式法、等候模型
Swaminathan [7]	●			●		●	數學解析法
Swaminathan [8]	●			●		●	數學解析法
Barahona [22]	●			●		●	數學解析法
Hood [23]	●			●		●	數學解析法
Hsieh [24]		●	●			●	啓發式法
Papageorgiou [25]		●		●		●	啓發式法

註：本論文主題二為確定需求環境，但為多產品比例的機台規劃方式，目前尚未有其他文獻探討。

2.2 啓發式演算法與基因演算法

啓發式演算法(heuristic algorithm)在學術研究中，扮演不可或缺的角色。由於大型的最佳化問題(optimization problem)或 NP hard 的問題無法以一般的解析法解決，所以許多研究常常使用啓發式演算法加以求解。以下爲啓發式演算法的介紹及其應用。

2.2.1 啓發式演算法

啓發式演算法具有兩大特性，其一便是具有跳脫區域最佳解(local optimal)的能力，另一是能有系統且效率的搜尋到全區域最佳解(global optimum)或近似最佳解(near global optimum)。所以啓發式演算法可以透過其演算法的搜尋步驟，經過足夠多的迭代次數後，便可找到全區域最佳解或近似最佳解[45]。

在啓發式演算法中，最常被使用來相提並論有三個方法，包括基因演算法(GA)、模擬退火法(Simulated Annealing, SA)和禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)。此三者雖然演算方式與基本觀念不同，但目標均希望透過其演算法有效率的搜尋到最佳解。基因演算法(GA)模仿生物界演化的過程，依循「物競天擇，適者生存」法則，希望透過每一代的演化讓後代的解品質越來越好。基因演算法使用複製(reproduction)、交配(crossover)、突變(mutation)的操作來進行演化，並經由競爭淘汰來保留適應力較佳的染色體(解)。基因演算法的內容及應用，我們於下一節有詳細的說明。

模擬退火法(SA)模仿晶體從液態高溫不穩定狀態，逐漸降溫至結晶的低溫穩定的狀態。SA 的精神是仿效金屬經由緩慢降溫的方式，以找到最低能量狀態(最佳解)。在降溫的過程若降溫速度過快會產生淬煉現象(quenching)，導致不是最低能量的非結晶態；但若保持緩慢的降溫速度，便可使物體分子有足夠的時間找到適合的穩定位置，最後便可得到最低能態，使系統最安穩[46]。其方法簡述如下：先產生一起始解並設定起始溫度。隨機產生一鄰近解，若此解較現行解好便接受並更新現行解；反之，若此解較現行解差，則給定一個機率並依照此機率大小判

斷是否接受此解，若接受則更新現行解，若不接受則繼續搜尋下一個解。當接受的解達到一預定的數目時，便依降溫公式給予降溫，並更新溫度。重複以上的程序，直到滿足終止搜尋條件為止。SA 的蒐尋特色便是，在高溫時(剛開始搜尋時)容易接受鄰近解，此時類似隨機搜尋；而在低溫時(搜尋一段時間後)，較不容易接受鄰近解，此時類似區域搜尋[46]。在機台規劃的相關研究中，Bard 等學者[6]使用模擬退火法來決定一組週期時間最短的機台組合。

禁忌搜尋法(TS)則是模仿人類記憶體特性，將最近所搜尋過的解記錄在禁忌名單內，表示這些解禁止出現於未來的幾個迭代內。TS 利用禁忌名單來避免重複的搜尋，進而促使往尚未拜訪過的區域搜尋，希望能使搜尋更具效率以得到最佳解。禁忌搜尋法的記憶體可分為短期記憶即長期記憶。短期記憶主要是記錄過去路徑所經歷的移動，可避免重複的搜尋路徑，形成迴圈。而長期記憶則記錄過去搜尋某個地點的頻率，可使搜尋的區域更具廣泛性。禁忌搜尋法的基本演算步驟[47]描述如下：先隨機產生一起始解，將起始解設定為現行解並設定為目前最佳解。搜尋鄰近的最佳解並檢查此解是否在禁忌名單中，若此解在禁忌名單中則選出鄰近的次佳解，更新現行解；若此解未在禁忌名單中則更新現行解，並更新禁忌名單。若此解的目標值較目前最佳解更好，則更新最佳解。上述步驟持續搜尋，直到符合終止搜尋條件。以上為簡單的禁忌搜尋法步驟，有許多研究則進行更進階的討論[28, 29]。在這些新觀念下，禁忌名單的使用也可有與之前不同的詮釋。例如，可將搜尋過程中目標值較好的移動(或變數值)記錄於禁忌名單中，這些變數值在未來某特定迭代數內不能被改變，希望能導引更正確的搜尋方向[28]。

2.2.2 基因演算法

本論文的問題為複雜的非線性整數規劃問題(詳細內容見於第三、四、五章)，很顯然無法以解析法解決，我們於是使用啟發式演算法求解，希望能兼顧解的效率與品質。

本研究使用 GA、SA、TS 三種啟發式方法來解決問題，但本研究在後續的

說明較強調基因演算法，我們的理由主要是根據有部分的文獻[30,31,32]顯示，基因演算法在資源規劃方面均有不錯的成效。此外，我們認為基因演算法使用交配及突變的功能，應可使搜尋更具效率及效果。而模擬退火法的搜尋主要觀念類似 GA 的突變的功能，而無交配功能，我們判斷基因演算法的搜尋效果應比模擬退火法佳。至於禁忌搜尋法在每次的搜尋當中，需花時間比對禁忌名單，對於像本論文的機台規劃如此的大型問題而言，搜尋效率可能不佳。我們並且認為對於解空間大的問題，會重複搜尋過去解的機率很低，因此使用禁忌名單來避免重複搜尋，對於我們的問題實質效果不大。綜合以上的原因，我們選擇基因演算法當作本論文問題的主要解法。但為了瞭解此三方法應用於本論文的效果差異，我們同時使用此三方法於數值範例，並比較應用之結果，讀者可見於第三、四、五章之數值範例結果。

基因演算法是一種廣為應用的最佳化的工具。基因演算法屬於人工智慧的方法之一，是一種隨機搜尋方法(stochastic searching technique)，它模仿生物演化的過程，希望經由不斷的演化過程產生較佳的後代(候選解)進而得到最適後代(最適解)。基因演算法的基本概念最早於1970 [33]年代提出，之後便被廣泛的應用以解決各種問題。學者Gen在文獻[30]中，並將過去的研究有關GA應用於各類問題的解決，整理成許多表格。而許多應用的結果均顯示，基因演算法對於解空間大的問題，是一個兼具效果與效率的解決方法。

基因演算法主要的觀念是應用迭代(iterative)的程序，在此程序中 GA 從一個起始的候選解母體(population of candidate solutions)開始演化，所謂的候選解母體便是指母體中的候選解個數。候選解母體 $P(t)$ 在演化過程中的母體大小是固定的，其中 t 為疊代的代數(在基因演算法中，一個疊代(iteration)我們亦稱為一代(generation))。從上一代至下一代的演化過程中，GA 使用一些操作因子產生了新染色體。兩種主要操作因子為交配(crossover)與突變(mutation)。所謂的交配便是將兩個父母(上一代)染色體彼此交換部分基因，以創造新的染色體；而突變是使一個父母染色體的某些基因改變而產生新染色體。這些新染色體即是所謂的子孫

染色體(offspring $C(t)$)。每一個染色體(包括父母染色體與新染色體)均被評估以決定其適應值(fitness)，此時 GA 便可根據每個染色體的適應值，從父母染色體與新染色體當中選擇較佳或較具潛力的染色體進入下一代，於是新一代候選解母體 $P(t+1)$ 便形成。這個疊代的程序持續進行，直到終止條件滿足為止。基因演算法的程序[30]可以下列步驟說明。

- 步驟 1. 讓 $t = 0$ 以設定起始的候選解母體 $P(t)$ 。
- 步驟 2. 評估母體 $P(t)$ 中的每個染色體的適應值。
- 步驟 3. 若終止條件滿足，則停止程序並輸出最適解；否則繼續下一個步驟。
- 步驟 4. 使用交配與突變的操作因子產生了新染色體 $C(t)$ 。
- 步驟 5. 評估新染色體 $C(t)$ 中的每個染色體的適應值。
- 步驟 6. 從父母染色體 $P(t)$ 與新染色體 $C(t)$ 當中，挑選較佳的染色體進入下一代的候選解母體 $P(t+1)$ 。
- 步驟 7. 讓 $t = t + 1$ 並至步驟 2。



當 GA 的程序停止時，我們便可得到最適(佳)解。此外，GA 在其不斷的搜尋過程中，也可得到許多的近似最佳解，讓決策者可以從這些近似最佳解做多方面的考量，以提高決策品質。

一個基因演算法設計的優劣，主要與 GA 的五個要素[34]有關，此五要素分別為：

(1) 問題的染色體表達方式

在使用基因演算法時，如何將問題的解答以染色體的方式來表達是非常重要的。一般染色體大多為條狀(string)設計，根據問題的特性一條染色體由某一特定數量的基因所組成。而基因的編碼方式，早期是以二進位編碼(binary encoding)來表達問題的解答，但隨著所處理的問題愈複雜，後來便發展許多其他的編碼表達方式，包括：實數編碼(real-number encoding)、整數編碼(integer encoding)、資料結構編碼(data structure encoding)。二進位編碼(0

與 1)的優點是簡單，然而對於較複雜的問題其效果卻未如其他編碼方式佳。實數編碼很適合處理最佳化的問題[30]。而整數編碼對於組合問題的效果很好。至於某些較特別的問題，則染色體可以設計成非條狀(例如矩陣結構)以解決問題，此種染色體的設計我們稱為資料結構編碼。

(2) 染色體起始母體的訂定方式

染色體的起始母體會影響基因演算法最終的答案與搜尋最適解的時間。有許多文獻[35]表示使用隨機的方式來產生起始母體，通常可以得到不錯的結果。其他比較常用的起始母體產生的方式包括：經驗值、加權隨機方式等。

(3) 適合度的評估函數(fitness function)

在建立問題的適合度評估函數時，我們必須注意下列兩個相關事項。首先，評估函數應包含常態化(normalization)的轉換功能。因為有些問題的原始適合度很大，若評估函數未包含常態轉換功能時，很有可能造成母體中的染色體的適應值彼此差異不大，導致基因演算法不敏銳，無法產生(演化)較佳的後代。

另一重點便是應如何建立評估函數以處理有限制式的問題。最直覺且簡單的方式便是在演化過程中放棄所有非可行解的染色體，但此種方法的效果並不佳。Gen [30]表示懲罰法(penalty technique)是目前處理限制式問題較有效的方式，其基本概念是對於違反限制式的染色體給予一個懲罰分數。懲罰法讓違反限制式的染色體有機會於母體當中生存下來，希望這些違反限制式的染色體或許擁有部分良好的基因，有助於產生優良的後代。

(4) 產生新染色體的基因操作因子

基因演算法產生新染色體的主要操作因子有兩種：交配、突變。交配是將兩條染色體的部分基因彼此交換，以產生新染色體。其做法是先選出要交配的兩個染色體，以隨機的方式決定交換點，然後互換彼此在交換點右邊的基因長串。如圖(a)(b)所示，有兩條染色體結構分別為”11000”與”00111”，若交換點的位置為”:”，則此二染色體互換後可得新染色體(c)(d)。

原染色體	新染色體
(a) 11 : <u>000</u>	(c) 11 : <u>111</u>
(b) 00 : <u>111</u>	(d) 00 : <u>000</u>

突變是改變一條染色體的某個基因。例如下圖(e)的染色體為”11110”，若第三點為突變點，則突變後的新染色體為(f) ”11010”。

原染色體	新染色體
(e) 11 <u>1</u> 10	(f) 11 <u>0</u> 10

突變能產生新基因，讓新基因有機會保留於母體當中，使得母體中的個體更多元化，進而希望能產生較佳的後代。

(5) 基因演算法所使用的相關參數設定

基因演算法所使用的相關參數(例如：母體大小、交配率和突變率)會影響最終結果，但最佳參數的設定值卻因不同的問題而相異。母體太大或太小對於基因演算法會產生不良的影響。母體太大会造成收斂的時間過長，而母體太小則會產生品質較差的最終答案。相關的文獻探討中，根據不同的問題特性，母體大小的合理值約從 10 至 160。

交配率則是控制由交配而產生新染色體的頻率，交配率愈高表示母體產生新染色體的速度愈快。交配率的合理值約從 0.25 至 1.00，過高的交配率代表新染色體產生的速度過快，因此可能會放棄掉表現不錯的舊染色體；另一方面，過低的交配率則因新染色體產生的速度很慢，搜尋容易停滯而陷入區域最佳解的結果。

突變率則可增加母體的異質性，高突變率表示母體內的個體相異性愈高。目前相關的文獻探討中，突變率從 0.0 至 1.0 均出現過。

在機台規劃的應用方面，Wang and Lin [31]使用基因演算法來決定測試廠的

機台數量，但因為測試廠的作業方式較單純不似晶圓廠複雜，且作者無考慮週期時間因素，所以與本論文的機台規劃主題不盡相同。在其他產業方面，Levitin [32] 使用基因演算法來解決電力公司的設備擴展計畫，此文章也無週期時間的評估。

