

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

半導體產業大型廠房之設施規劃

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 96 - 2628 - E - 009 - 026 - MY3

執行期間：2007年8月1日至2010年10月31日

執行機構及系所：國立交通大學工業工程與管理學系

計畫主持人：巫木誠

共同主持人：無

計畫參與人員：陳振富、施昌甫、陳曉嚴、蘇泰盛、黃亮銓、陳文旻、
江冠賢、黃俊霖、陳世哲、洪浩瀚、戴邦豪、謝佩芸

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

- 赴國外出差或研習心得報告
- 赴大陸地區出差或研習心得報告
- 出席國際學術會議心得報告
- 國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中 華 民 國 99 年 11 月 18 日

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無（已經獲得四項發明專利）

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究計畫目前已經發表 3 篇 SCI 國際期刊論文

1. Muh-Cherng Wu, Chen-Fu Chen, and Chang-Fu Shih, "Route Planning for Two Wafer Fabs with Capacity-Sharing Mechanisms," *International Journal of Production Research*, Vol 47, No 20, pp.5843-5856, 2009 (SCI)
2. Muh-Cherng Wu, Chang-Fu Shih and Chen-Fu Chen, "An Efficient Approach to Cross-Fab Route Planning for Wafer Manufacturing," *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, pp. 10962-10968, 2009 (SCI)
3. Muh-Cherng Wu, Chang-Fu Shih and Chen-Fu Chen, "An Analysis of Ceiling Height Requirement for a Large-scale Semiconductor Fab," *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 12, pp. 3697-3706, 2010 (SCI)

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期：99年11月18日

國科會補助計畫	計畫名稱：半導體產業大型廠房之設施規劃 計畫主持人：巫木誠 計畫編號：NSC 96-2628-E-009-026-MY3 領域：工業工程		
研發成果名稱	(中文) 半導體產業大型廠房之設施規劃		
	(英文) Facility Layout Design for Large Scale Fab Space		
成果歸屬機構	國立交通大學	發明人 (創作人)	
技術說明	N/A (說明：本研究計畫成果只有學術期刊論文發表，並無專利之申請)		
產業別			
技術/產品應用範圍			
技術移轉可行性及預期效益			

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：99年11月18日

計畫編號	NSC 96-2628-E-009-026-MY3		
計畫名稱	新半導體產業大型廠房之設施規劃		
出國人員姓名	N/A	服務機構及職稱	N/A
會議時間		會議地點	
會議名稱			
發表論文題目	(中文) (英文)		

● 不適用：在本專題計畫下，本人未曾到出國開學術會議

一、參加會議經過：

二、與會心得

三、考察參觀活動(無是項活動者略)：

四、建議

五、攜回資料名稱及內容：

六、其他

國科會補助專題研究計畫項下赴國外(或大陸地區)出差或研習心得報告

日期：99 年 10 月 28 日

計畫編號	NSC 96-2628-E-009-026-MY3		
計畫名稱	新半導體產業大型廠房之設施規劃		
出國人員 姓名	N/A	服務機構 及職稱	N/A
出國時間	年 月 日至 年 月 日	出國地點	

- 不適用：在本專題計畫下，本人未曾到國外（或大陸）出差或參加研習

一、國外(大陸)研究過程

二、研究成果

三、建議

四、其他

國科會補助專題研究計畫項下國際合作研究計畫國外研究報告

日期:99年10月28日

計畫編號	NSC 96-2628-E-009-026-MY3		
計畫名稱	新半導體產業大型廠房之設施規劃		
出國人員 姓名	巫木誠	服務機構 及職稱	國立交通大學工業工程與管理系
合作國家		合作機構	
出國時間	年 月 日至 年 月 日	出國地點	

- 不適用：在本專題計畫下，本人未參加任何國際合作。

一、國際合作研究過程

二、研究成果

三、建議

四、其他

中文摘要

半導體產業由於廠房和機台取得的前置時間都很長，為了快速反應市場需求的變動，晶圓廠逐漸採取「預建大型廠房」的產能擴充策略。亦即先建一個大型廠房，然後再根據市場需求，逐步添購機台。此等大型廠房約當是一般晶圓廠的兩倍大。面對如此大的廠房空間，會產生一些設施規劃的決策問題：到底要當一個廠來規劃，還是當成兩個廠來規劃？如果是當成兩個小廠，每個小廠內部應該如何規劃較佳？兩個小廠之間的運輸應該如何規劃？決策問題兼具學術與實務價值，但是過去文獻卻甚少探討。本計畫提出三種設施規劃方案，以等候網路模式進行績效評比，期能幫助管理者在各種不同的產能需求情境下，選出最適的廠房空間規劃模式；在進行績效評比時，為求公平起見，我們是以各方案的最佳運作模式來相互評比。本研究成果豐碩，到目前為止，本研究已經發表三篇 SCI 的國際期刊論文。

關鍵詞：設施規劃、半導體製造管理、等候網路、基因演算法、績效評比、

Abstract

In semiconductor industry, the lead times for establishing a fab building and the acquisition of equipments are quite long. To quickly respond volatile market demand, semiconductor companies are adopting a “*large-fab-space*” policy to fast expand fab capacity. That is, a large scale fab building is established in advance, and equipments are progressively moved in according to the pace of market demand. Such a large-scale fab may be two times the size of a typical wafer fab. This characteristic raises some new research issues in facility layout. Should such a large-scale fab be designed as one fab or two fabs? What is the best layout among two-fab alternatives? How to make two fabs effectively support each other in capacity? How to effectively design material transportation system for each facility layout alternatives? What are the capacity upper bounds for adopting a particular facility layout alternative? This research proposes three facility layout alternatives and aims to develop methods to answer the above questions. Up to now, the results of this research project have published three SCI international journal papers.

Keywords: facility layout, semiconductor manufacturing, queueing network, performance evaluation

章節目錄

第一章 緒論-----	1
1.1 研究問題-----	1
1.2 研究成果-----	2
1.3 章節安排-----	3
第二章 文獻探討-----	4
2.1 半導體廠房設計-----	4
2.2 跨廠房生產規劃-----	5
2.3 等候網路模式-----	6
第三章 雙廠區的跨廠途程規劃-----	9
3.1 問題描述與求解架構-----	9
3.2 階段一的求解流程-----	11
3.3 階段二的求解方法-----	17
3.4 實例驗證-----	20
3.5 本章結論-----	22
第四章 運輸軌道層數設計-----	23
4.1 問題描述及研究架構-----	23
4.2 階段一：決定最適機台數目-----	25
4.3 階段二：決定最適運輸軌道層數-----	28
4.4 實例驗證-----	31
4.5 本章結論-----	33
第五章 三種廠房規劃方案比較-----	34
5.1 情境假設-----	34
5.2 結果分析-----	35
5.3 本章結論-----	39
第六章 結論與建議-----	42
6.1 結論-----	42
6.2 未來研究方向-----	42

圖目錄

圖 1.1	非字形廠區-----	3
圖 1.2	兩個獨立的廠區-----	3
圖 1.3	半非字形廠區-----	3
圖 2.1	半導體廠房設計相關議題-----	4
圖 2.2	Spine 式佈置型態-----	5
圖 2.3	產能分配議題分類-----	6
圖 2.4	產出與生產週期時間的關係-----	7
圖 2.5	將軌道視為機台的途程規劃-----	8
圖 3.1	雙廠區跨廠生產-----	9
圖 3.2	途程規劃決策變數說明-----	10
圖 3.3	研究架構-----	11
圖 3.4	階段一的求解架構-----	12
圖 3.5	LP 模組的功能-----	12
圖 3.6	MS-Loop Call LP 模組-----	15
圖 3.7	多元搜尋法(Multiple Search)-----	16
圖 3.8	BS-Loop-----	16
圖 3.9	階段二求解架構-----	18
圖 4.1	運輸軌道與加工機台之關係-----	23
圖 4.2	機台區位與運輸路徑關係-----	24
圖 4.3	本章研究架構-----	25
圖 4.4	Connors <i>et al.</i> (1996)等候網路模式-----	26
圖 4.5	決定最適機台數目流程-----	26
圖 4.6	運輸軌道的站點-----	28
圖 4.7	運輸軌道視為機台的新生產途程規劃-----	29
圖 4.8	運輸軌道層數設計流程-----	30
圖 5.1	三方案利潤分析線圖-----	39
圖 5.2	單一廠房軌道與工作站配置-----	40
圖 5.3	功能分割雙廠房軌道與工作站配置-----	40
圖 5.4	機台共享效應-----	41

表目錄

表 3.1	情境一：三種產品的途程規劃-----	20
表 3.2	情境二：六種產品的途程規劃-----	20
表 3.3	情境三：九種產品的途程規劃-----	20
表 3.4	四種求解方法對產出績效的比較分析-----	21
表 3.5	四種求解方法在不同情境下的求解時間比較-----	21
表 3.6	Method_0 與 Method_2 的求解時間分析-----	21
表 4.1	運輸軌道視為機台之從至圖(from-to-table)-----	29
表 4.2	不同目標產出下，各運輸軌道層數的產出績效分析-----	32
表 4.3	報酬率分析($R_{i \rightarrow j}$ 代表從 i 層擴充到 j 層)-----	32
表 4.4	不同產品組合對運輸軌道層數設計的影響-----	33
表 5.1	不同目標產出下的廠房設置機台數以及廠內運輸時間比例-----	36
表 5.2	不同目標產出下，功能分割雙廠房的最適運輸設計-----	37
表 5.3	不同規模下，擴增運輸軌道數的報酬分析-----	37
表 5.4	三個廠房方案的實際產出比較-----	38

第一章 緒論

1.1 研究問題

製造積體電路的晶圓廠 (wafer fabrication) 是一個資本密集的行業，一個 12 吋晶圓廠則約需投資新台幣 600-800 億元。由於廠房和半導體機台的成本都很高，兩者的供應商一般都會採專案生產，因此採購的前置時間都很長。廠房的建築時間約需 9-12 個月，機台的採購前置時間則約需 3-9 個月。

由於積體電路市場的需求很難預測，為了快速反應市場的需求變動，晶圓廠逐漸採取「預建大型廠房」的產能擴充策略。亦即先建一個大型廠房，然後再根據市場的需求變動，逐步添購機台，以避免未來因為廠房空間不足，造成有機台來源卻苦無廠房空間的現象。譬如說，公司可能根據未來 5 年的需求預測，先建一個可月產量 10 萬片晶圓的廠房空間，然後再根據未來市場的實際需求，機動性的擴充機台數量，逐步擴產到 10 萬片。

在上述的釋例中，若一個典型晶圓廠的月產量在 5 萬片左右，一個月產量 10 萬片的廠房空間，約當是一般晶圓廠的兩倍大。面對如此大的一個廠房空間，會產生一些設施規劃的決策問題：到底要當一個廠來規劃，還是當成兩個廠來規劃？如果是當成兩個小廠，每個小廠內部應該如何規劃較佳？兩個小廠之間的運輸應該如何規劃？此等設施規劃問題，考察學術文獻與實務，可能有下列三種方案。

第一、將 10 萬片的廠房空間當成一個大廠，亦即所有功能相近的機台只分成一群。機台群的位置布置是採用典型的「非字形」模式來規劃。如圖 1.1 所示，一個晶圓廠分成幾個長方形區塊，每一區塊稱為一加工區 (bay)，同一機台群的機台或功能相近的機台，以放在同一個 bay 為原則。bay 的位置布置於晶圓廠的兩側，中央是 among-bay 的物料搬運系統，負責 bay 與 bay 之間的運輸，每一個 bay 之內又設有 within-bay 的物料搬運系統，負責機台與機台之間運輸。

第二、將 10 萬片的廠房空間規劃成兩個「獨立的廠區」，每一個廠區的月產能是 5 萬片，亦即此兩個廠區都可獨立生產出積體電路。如圖 1.2 所示，每一個廠區內部均採用上述「非字形」的模式來布置，亦即分別設有 among-bay 和 within-bay 的物料搬運系統，bay 設在晶圓廠兩側。在兩個廠區之間設有 among-fab 的物料搬運系統，使兩個廠區的機台產能，在必要時可互相支援。在此方案中，功能相近的機台是分成兩群，每一群分別設置在不同的廠區。在擴充產能時，機台是先填滿一個廠區，再填到另一個廠區。

第三、將 10 萬片的廠房空間規劃成兩個「對稱的廠區」(symmetric fab modules)。與第二方案相比，此案有幾個類似點：每一廠區的月產能是 5 萬片，皆可獨立生產出積體電路，功能相近的機台分成兩群。然而在機台群的位置布置上，此案與第二方案大不相同。如圖 1.3 所示，此案是將功能相近的兩機台群分別放置在兩廠區的對稱位置，期能方便兩廠區間機台的相互支援。此案的每一廠區，其布置是成「半非字形」，亦即一廠區內的 bay 都設在同一側，among-bay 的搬運系統則在 bay 的外側。among-bay 的運輸系統是採上下兩層規劃，上層是由左向右行駛，下層則是由右向左行駛。兩個廠區之間又設有 among-fab 的運輸

系統，亦即，在功能相近的兩機台群之間設有運輸捷徑(short-cut paths)，使功能相近的機台群，其產能支援可以充分發揮。設若此案的兩廠區分別為 A 與 B，若 A 廠區某一機台群 WS-A1 的產能不足，可透過運輸捷徑將 WS-A1 的工件即時送到 B 廠區的 WS-B1 機台群加工，因為兩機台群的空間距離很近，在機台產能的相互支援上較為方便。

上述三個方案，一般晶圓製造公司都採取方案二，然而過去文獻幾乎沒有對此問題做過有系統的探討；到底哪一個設施規劃組態較佳，其實不得而知。有鑑於此，本研究擬針對上述三個設施規劃方案，發展系統性的方法來進行績效評比。

1.2 研究成果

本研究主要研究成果主要有下列三項。第一項成果是發展出跨廠生產的最佳運作模式，此項研究成果已經發表兩篇 SCI 國際期刊論文(Wu *et al.* 2009a, 2009b)。此等研究的情境假設如下：兩廠之間產能可相互支援，一產品之製造可跨廠生廠，因此一個產品有四種可能途程：(1) 全部在 A 廠生產，(2) 全部在 B 廠生產，(3) 前段在 A 廠，後段在 B 廠，(4) 前段在 B 廠，後段在 A 廠生產。此項研究的決策變數可分為兩群二，第一群是決定跨廠生途程的切割點，第二群是決定各種生產途程的比例。決策的績效準則是產出最大化。此項研究分成兩階段進行，第一階段，我們首先假設運輸時間為零，發展一線性規劃模型，快速找出上述兩群決策變數的最佳解，繼而藉此決定跨廠生途程的切割點。第二階段，我們假設運輸時間不等於零，利用等候網路模式，以及基因演算法，求解各種生產途程的比例。由於上述研究方法(Wu *et al.* 2009a)所花的計算時間太長，因此我們繼而研究如何縮短計算時間。研究成果已經發表於 SCI 國際期刊(Wu *et al.* 2009b)。此研究的主要構想是縮小解空間，我們假設兩廠有產能預填機制，亦即各廠約 80% 產能，預先指派某些產品全部在 A 廠生廠，另某些全部在 B 廠生產，因此大約只有 20% 的產品需要搜尋求解。此種產能預填機制，可大幅降低計算時間約 70%。

第二項研究成果是針對每一設施規劃方案，計算運輸軌道所需的最佳數量，此成果已經發表於 SCI 國際期刊(Wu *et al.*, 2010)。主要利用等候網路模型結合搜尋演算法來求解。求解分為兩步驟，第一步驟是假設運輸時間為零，計算機台數目。第二階段是假設機台數目已知，考慮運輸產能有限的情況下，計算最佳的運輸軌道數目。

第三項研究成果是對此三個設施規劃方案綜合比較，主要結論如下：產能需求小時，建議採用方案一；，產能需求較大時，建議採用方案三；產能需求非常大時，建議採用方案二。此部分研究成果，正進行論文撰寫，準備投稿 SCI 國際期刊。

1.3 章節安排

本報告其餘章節安排如下：第二章是文獻回顧。第三章是討論跨廠生產的最佳運作模式，或稱為跨廠最佳途程規劃問題。第四章是針對每一設施規劃方案，計算運輸軌道所需的最佳數量。第五章是對此三個設施規劃方案綜合比較。第六章是結論和建議。

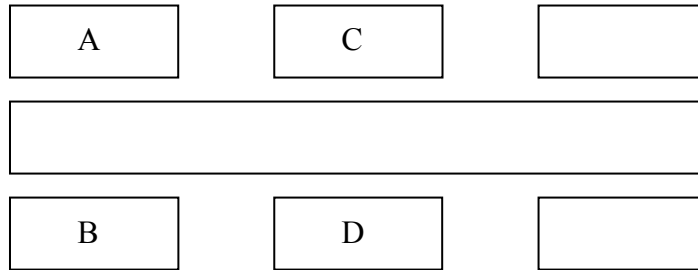


圖 1.1: 非字形廠區

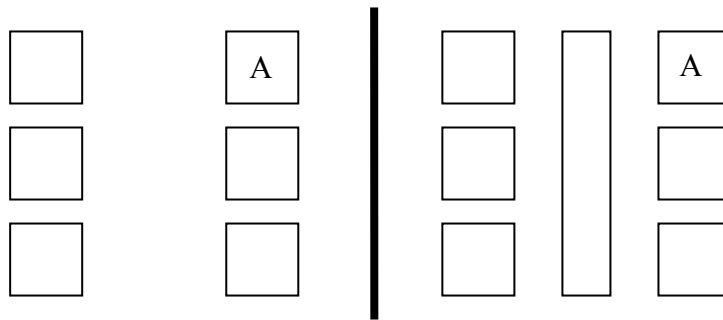


圖 1.2: 兩個獨立的廠區



圖 1.3: 半非字形廠區

第二章 文獻探討

本章討論三個相關議題的過去文獻，內容包括(1)半導體廠房設計，(2) 跨廠房生產規劃，(3) 等候網路模型。各議題的文獻分別討論如下。

2.1 半導體廠房設計

半導體廠房設計的相關議題基本上可以分成三個部份，分別是機台數目規劃、機台區位規劃以及自動化物料搬運系統設計，如圖 2.1 所示：

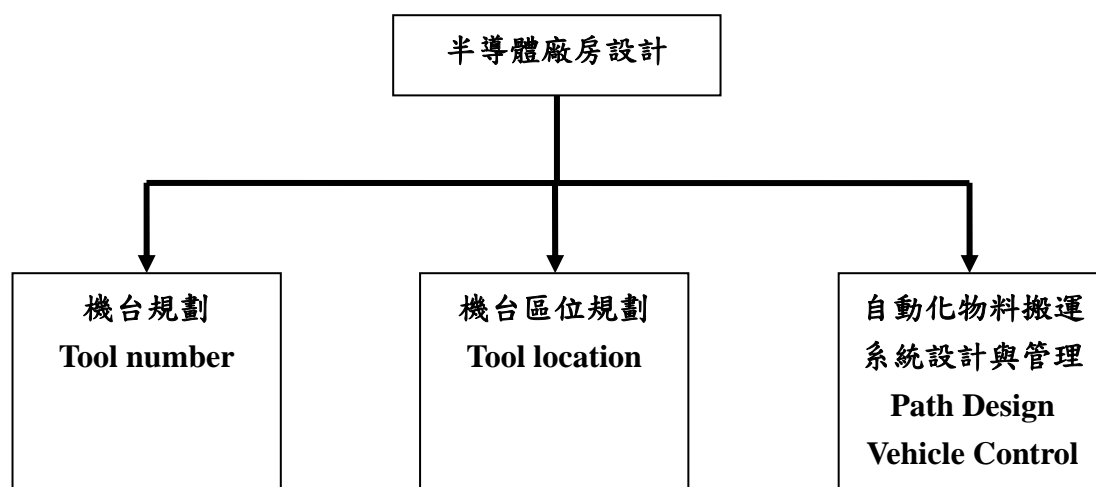


圖 2.1: 半導體廠房設計相關議題

機台規劃決定一間晶圓廠的機台種類、數量多寡以達到產出需求的規劃，當需求變動時，最適機台組合配置也會跟著改變。以下為一些過去探討機台規劃問題的相關文獻，如 Swaminathan (2000) 提出啟發式的機台規劃方法，對於每一個需求可能發生的情境給予相對應的機率值，並考慮產能預算、購買機台預算的限制，在缺貨成本極小化的目標下，決定晶圓廠機台配置的規劃。Hood *et al.* (2003) 則以預算邊際效用遞減的概念，提出機台採購規劃之決策模式。

機台區位規劃決定半導體廠房的加工區(Bay)間運輸系統設計以及機台配置方式，Peters & Yang (1997) 提出 Spine 式以及 Perimeter 式。本研究假設的晶圓廠房佈置方式採取 Spine 式，關於 Spine 式的廠房機台區位規劃如圖 2.2 說明。

如圖 2.2 所示：(1) 整個搬運系統由中央單迴圈軌道和轉換裝置 (Pickup/Deposit Point) 建構而成，中央運輸迴圈內不設置任何機台；(2) 加工區位於中央軌道的兩側，各加工區放置機台進行加工，一個加工區可容納多種類工作站。加工區內各個工作站依序由軌道相連形成一個單迴圈運輸軌道，工件在加工區內可流通於各工作站間進行加工；(3) 各加工區至少需要有一邊連接中央軌道，經由轉換裝置，工件流通於中央軌道與各加工區之間。(4) 各加工區的高度需要一致；(5) 12 吋以上的晶圓廠房，運輸軌道架設在天花板上，都採用自動化

搬運，工件在天花板上流動，到達需要加工的工作站後，經由垂直升降梯將工件搬運下來進行加工。

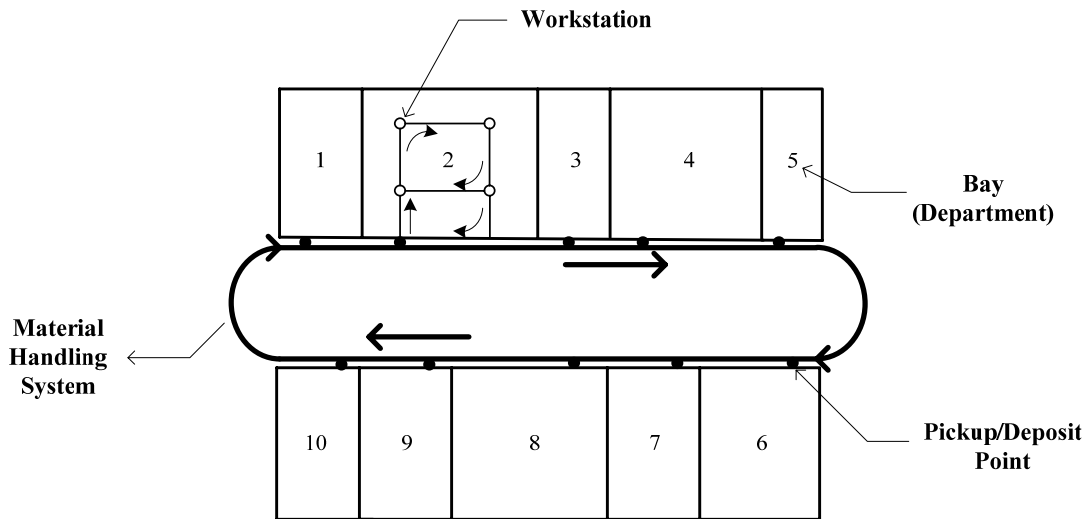


圖 2.2: Spine 式佈置型態

目前半導體晶圓廠大都採用自動化物料搬運系統(Automated Material Handling System, AMHS)。過去有許多學者對於自動化物料搬運系統有許多相關研究，Egbelu (1987)提出解析法來決定無人搬運車的數量。Lin *et al.* (2003)提出了不同類型搬運車的指派方法。Jang (2001)提出有效率的搬運車路徑選擇方式。Nazzal & McGinnis (2007)認為等候網路模式會因為搬運車發生阻塞(blocking)而使衡量出來的績效失真，所以提出間斷式的馬可夫鏈評估模式，此模式包含了搬運車阻塞的情境，可快速且準確的評估封閉式自動化物料搬運系統的績效。

過去自動化搬運系統設計議題，大都是建立在單層軌道情境下的運輸系統設計議題，而因市場需求因素，單層的運輸軌道可能不足維持大規模產出的晶圓廠運作，本研究除了探討多層軌道設計，也考慮多跨廠通道數以符合功能分割雙廠房設計的跨廠需求。

2.2 跨廠房生產規劃

跨廠房生產規劃問題是指將不同廠房的產能整合並重新做分配，屬於一種產能分配問題。通常產能分配問題可以分成作業層級以及產品層級，如圖 2.3，產品層級是指派產品生產數量給各廠房，沒有跨廠生產。而作業層級的產能分配，則是將完成產品各項作業指派到各單元(Cell)，半導體廠房可視為生產單元，產品流通於廠房間完成，並衍生出跨廠途程規劃問題(Cross-Fab Route Planning)。

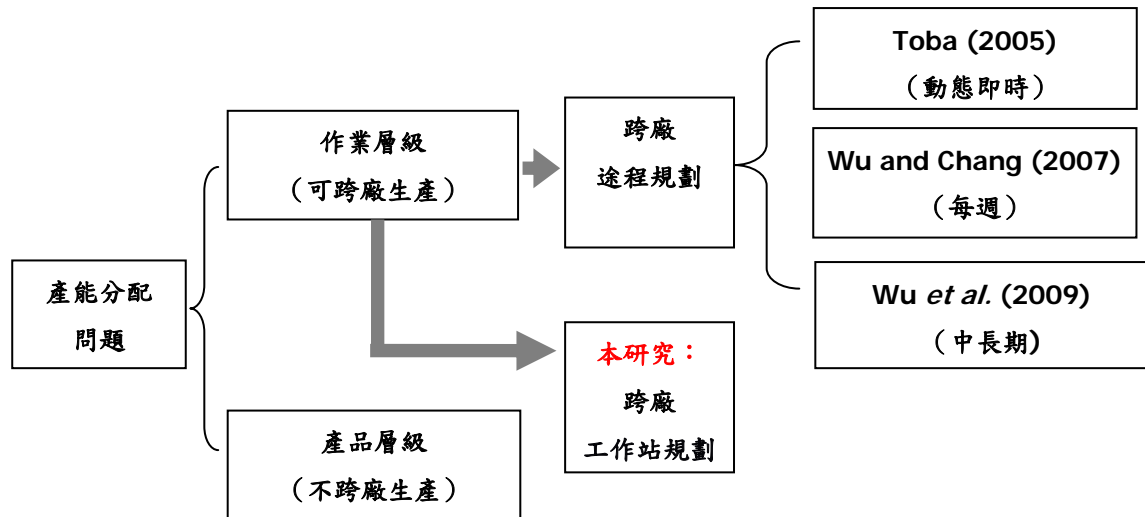


圖 2.3: 產能分配議題分類

Toba (2005)在假設跨廠搬運系統的產能為「無限」的前提下，也就是跨廠運輸時間等於 0 的情況下，將作業(operation)分成多個作業集合(operation set)，每個「作業集合」完工之後需即時決定下一個「作業集合」的生產工廠，為一動態、及時的跨廠途程規劃，其目標為最小化生產週期時間。Wu & Chang (2007)則是同樣假設跨廠搬運的產能為「無限」的情境下，決定每週最佳的產能交易。其作法為每週按「原訂生產計畫」與「現在機台狀況」預估各廠房每一工作站的下週產能利用率，低利用率工作站賣產能給他廠高利用率工作站，為定期決策，每週進行「跨廠產能交易」。

本研究假設功能分割雙廠房跨廠生產，其廠房可視為作業集合的單元，各廠房都具有某「部份作業功能」(亦即具備某部份工作站)，無法單一獨立完成產品，研究規劃跨廠的工作站配置而非產品途程規劃，一旦各廠完成工作站設置，便不以更動，因此可視為長期的途程規劃。本研究也是假設搬運產能是有限的情況下進行跨廠生產。

2.3 等候網路模式

等候網路模式是一種可以快速對半導體廠作績效分析的工具。根據 Connors *et al.* (1996)所設計的等候模式，可以將半導體廠內的每一工作站視為一個等候節點，而工件製造會經過特定的工作站，一個工件就視為一個物件(Entity)。當物件到達某等候節點直到離開等候節點的這段時間，就是工件在某工作站的加工時間，由於半導體產品具有回流加工現象，加工過的工件有可能再回到相同的工作站加工，當物件到達此節點的次數越高，則代表此工作站利用率越高，週期時間也就跟著拉長。整個等候模式以數學關係式來看，可以簡單表示如下：

$$CT = f(Th, PX, MX)$$

輸入參數為目標產出量(Throughput; Th)，產品資訊(Product Mix; PX)途程，以及機台資訊(Machine Mix; MX)，輸出參數則為產品的生產週期時間(Cycle Time;

CT)。給定特定的產品組合以及機台組合後，當產出越高，機台利用率也會越高，則產品生產週期會越長。其關係圖 2.4 如下：

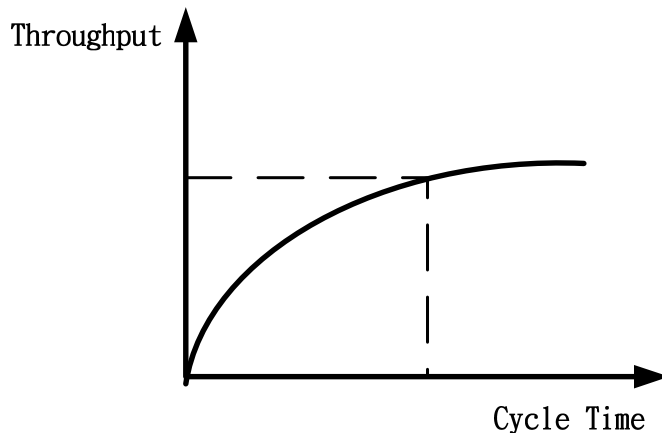


圖 2.4: 產出與生產週期時間的關係

然而 Connors 所設計的等候網路模式是假設運輸的產能是無限，如果能夠考慮實際運輸產能，則對於評估工廠的表現則能夠更加精確，尤其產出大規模下運輸極有可能成為工廠生產瓶頸，不能忽略運輸的存在性。

Wu *et al.* (2009a)修改 Connors 的等候網路模式，發展出考慮運輸時間不等於 0 的等候網路模式(Enhanced Queuing-Network)，其塑模的概念是將運輸軌道視為機台，廠房內的各工作站藉由運輸軌道互相連通。假設每兩站點間的路徑有一區段運輸軌道連接，將運輸軌道區段視為一部機台。同一時間下，一層軌道就只有一台機台在負責搬運(圖 2.5)。

不考慮運輸時間的情況下，假設原始生產途程為 W1 到 W3，則表示為 W1→W2→W3。如果考慮運輸時間情況的話，則在各站點間運輸區段視為加工機台，如 W1、W2、W3 之間的運輸機台為 S2、S3，新的生產途程將變成 W1→S2→W2→S3→W3，當工件要跨越其他加工區加工時，則加工區與中央軌道的聯繫依靠轉換裝置 T1、T2。半導體產品途程約有 600~700 道製程，加入運輸機台之後，生產途程變得更加複雜。

在這樣的假設下，運輸軌道區段也是等候模式的節點，當運輸產能不足時，就會發生塞車現象。其修改等候網路模式數學關係式可以簡單表示如下：

$$CT = f(Th, PX, MX, Traffic)$$

其輸入參數為目標產出(*Th*)、產品資訊(*PX*)、機台資訊(*MX*)以及運輸軌道層數(*T*)。當擴增一層運輸軌道時，代表各運輸區段增加一條軌道，站點間的運輸產能越大，縮短了運輸時間，避免運輸成為瓶頸。

利用等候網路模式可以快速去評估半導體廠房的運作情況，尤其是些微改變半導體廠房的參數，如增減一、兩台機台。如果用軟體模擬工具去評估工廠績效，則每變動一次機台數，就需要耗費長時間去得知模擬結果；反之，等候網路模式所需時間則相對縮短很多，且結果不會有太大的失真程度。本研究將利用 Wu 所

修改的等候網路模式作為評估工廠的績效工具。

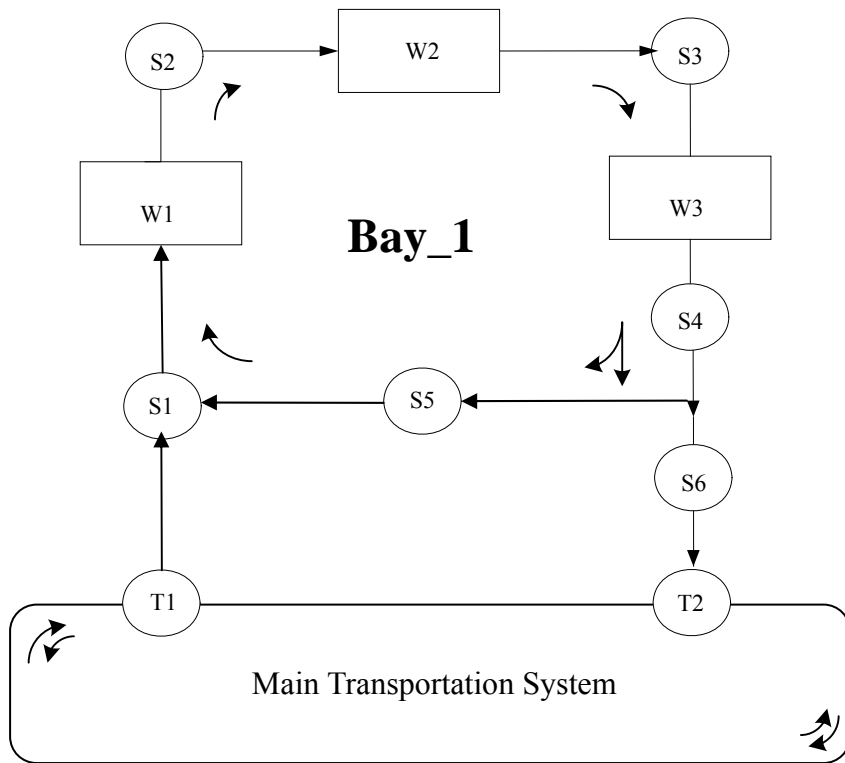


圖 2.5: 將軌道視為機台的途程規劃

第三章 雙廠區的跨廠途程規劃

本章探討雙廠區跨廠生產的途程規劃問題。本研究發展出兩個求解方法，第一個方法(Wu *et al.* 2009a)是假設全部的產品都可跨廠生產，經過實驗結果，此法的求解時間太長。因此我們繼而發展出第二個方法(Wu *et al.* 2009b)，亦即假設只有少部分產品需要跨廠生廠，並提出三種啟發式的方法來判斷哪些產品需要跨廠生產，結果發現第二個方法效果較佳。由於第二個方法是第一個方法的改良，本章主要是介紹第二個方法，此求解方法是分成兩階段求解，我們將分別在第二與第三小節說明各階段的求解流程。第四小節以實例驗證比較此三種啟發式解法與第一種方法(Wu *et al.* 2009a)的績效；最後是本章結論。

3.1 問題描述與求解架構

同一間公司的半導體廠房通常會設置在鄰近的位置，主要原因是方便管理，但由於半導體廠資本密集的特性加上晶圓生產技術的大幅進步，廠房越蓋越大晶圓的尺寸也越做越大，因此大量的產出可以大幅降低製造成本；在這樣的時空背景下，有學者開始研究該如何將獨立運作的兩廠整合成可以立即相互支援產能的兩半導體廠，故衍生出雙廠區可跨廠生產的設計方式，如圖 3.1 所示。雙廠區跨廠途程規劃主要的目的在使兩廠的總產出最大化，因此需要有良好的途程安排。其研究構想為在一個大型晶圓廠的空間內，建立兩個相鄰的小廠區且可跨廠區生產。建兩個相鄰小廠區時，廠區內的運輸距離會縮短，可避免運輸成為瓶頸，然而廠區間又可利用跨廠運輸的方式達成產能相互支援的功效，以提升機台利用率。此構想的研究重點在於：給定產品組合與機台組合，在最大化產出的考量下，如何決定跨廠區生產的最適途程規劃方式。

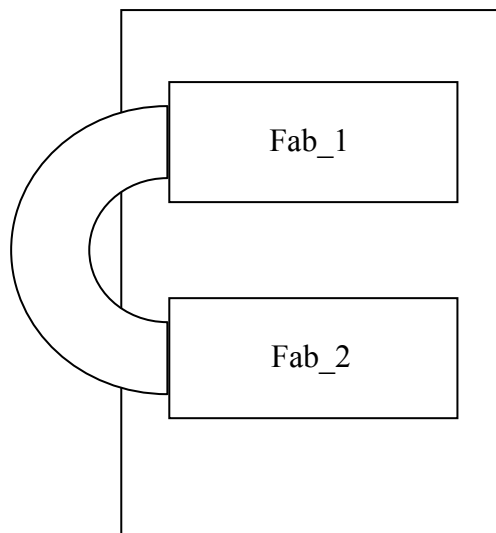


圖 3.1 雙廠區跨廠生產

在上述跨廠途程規劃問題中，我們假設每一產品最多只有四類生產途程。如

圖 3.2 所示，第一類途程是該產品只在 *Fab_1* 廠生產，第二類途程是該產品只在 *Fab_2* 廠生產，第三類途程是該產品前段 *Fab_1* 廠生產，後段在 *Fab_2* 廠生產。第四類途程是該產品前段在 *Fab_2* 廠生產，後段在 *Fab_1* 廠生產。根據上述假設，在進行跨廠途程規劃時，對每一個產品 i ，我們有兩組決策變數。第一組變數是該產品 i 跨廠途程的切割點 π_i ，第二組變數是該產品 i 在四個可能加工途程的生產比例 $\bar{r}_i = [a_i, b_i, c_i, d_i]$ 。假設有 n 個產品需要生產，我們可將決策變數表達如下 (Π, R) ，其中 $\Pi = [\pi_i], 1 \leq i \leq n$ 代表所有途程切割點， $R = [\bar{r}_1, \dots, \bar{r}_n]$ 代表各產品各途程的生產比例。

針對上述的途程規劃問題，Wu *et al.* (2009a) 假設所有產品都可能需要跨廠生產，並提出求解方法；該方法有一缺點：在大規模的情境時，計算時間會非常久。本研究採用 Wu *et al.* (2009a) 的求解架構，但假設只有 1/3 的產品需要跨廠生產，另外 2/3 的產品都是單廠生產即可；並提出三種啟發式的方法來選擇哪些產品需要跨廠生產。

茲將此三種啟發式方法說明如下：我們根據各產品在瓶頸機台的負荷高低排序，將產品分成三群：「高負荷」、「中負荷」、「低負荷」。第一種啟發式方法(簡稱 *Method_1*)是假設只有「高負荷」產品會跨廠生產，第二種啟發式方法(簡稱 *Method_2*)是假設只有「中負荷」產品會跨廠生產，第三種啟發式方法(簡稱 *Method_3*)是假設只有「低負荷」產品會跨廠生產。為了便於比較，我們將 Wu *et al.* (2009) 的方法稱為 *Method_0*，該方法假設所有產品都有可能跨廠生產。

這四種方法(*Method_0, Method_1, Method_2, Method_3*)都是採用相同的求解架構，但各方法對需要進行跨廠生產的產品所採用的假設不同。以下我們將說明此四個方法通用的求解架構。

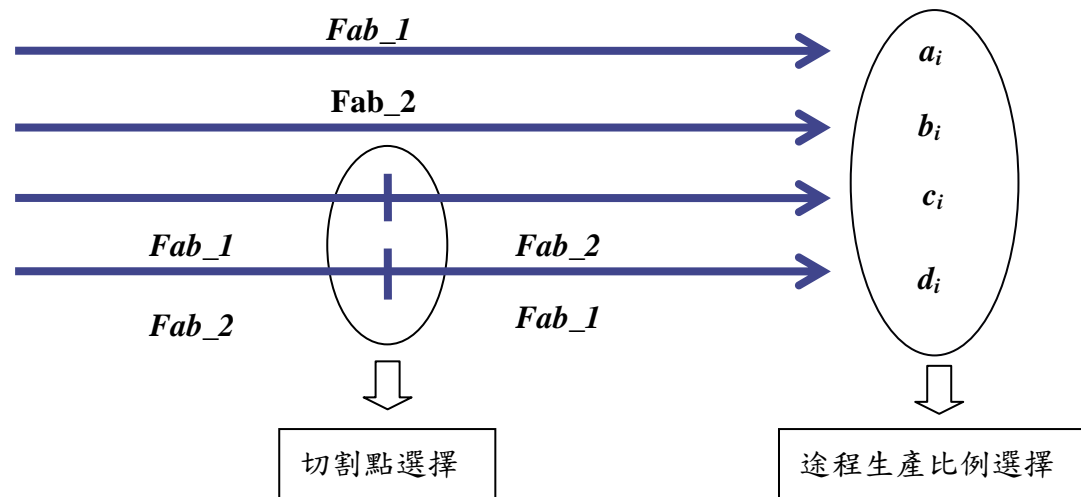


圖 3.2 途程規劃決策變數說明

如前所述，本研究的求解變數可表達成 (Π, R) ，其中 Π 代表途程的切割點的決策， R 代表各途程的生產比例。本研究所採用的求解架構是源自 Wu *et al.* (2009a)，此架構係分成兩階段方式求解，如圖 3.3 所示，茲將求解流程說明如下：

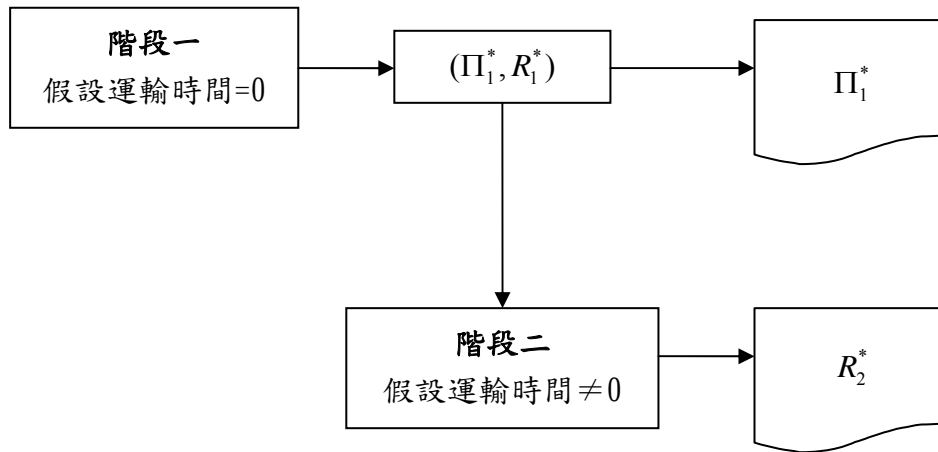


圖 3.3 研究架構

階段一是假設運輸時間為零，利用一個線性規劃模式(linear Program；LP)求解，目標函數是最小化跨廠運輸的次數，茲將此階段所求得的解以 (Π_1^*, R_1^*) 表示。階段二是假設運輸時間不等於零，將階段一所求得的切割點 Π_1^* 當成輸入的參數，但將途程比例 R 視為決策變數，其目標函數是最大化產出，利用基因演算法求得 R_2^* 。經過此兩階段求解後，最終的解為 (Π_1^*, R_2^*) 。

3.2 階段一的求解流程

如圖 3.4 所示，上述求解架構中，第一階段的求解流程可分成三個模組：(1) LP 模組；(2) 利用多元搜尋法迭代 (Multiple Search Loop；MS-Loop) 求解最佳切割點；(3) 利用另一個二元搜尋法迭代求解(Binary Search Loop；BS-Loop) 求解最佳的總產出量 (V^*) 。

茲將此三個模組的關係說明如下，首先，在給定 (V, Π) 的情境下，我們可利用 LP 模組，求得此情境下最佳的途程比例 R^* 。其次，在給定 V 的情境下，我們利用 MS-Loop，以三元搜尋方式，求出此情境下最佳的切割點 Π^* 。最後，在一給定區間 (V_L, V_U) 內，我們可利用 BS-Loop，以二元搜尋方式，求出此區間內最佳的總產出量 V^* 。經由上述三模組的整合，我們可求得最佳的解 (V^*, Π^*, R^*) 。茲將上述三模組的細部流程分別說明如下，並進行複雜度分析。

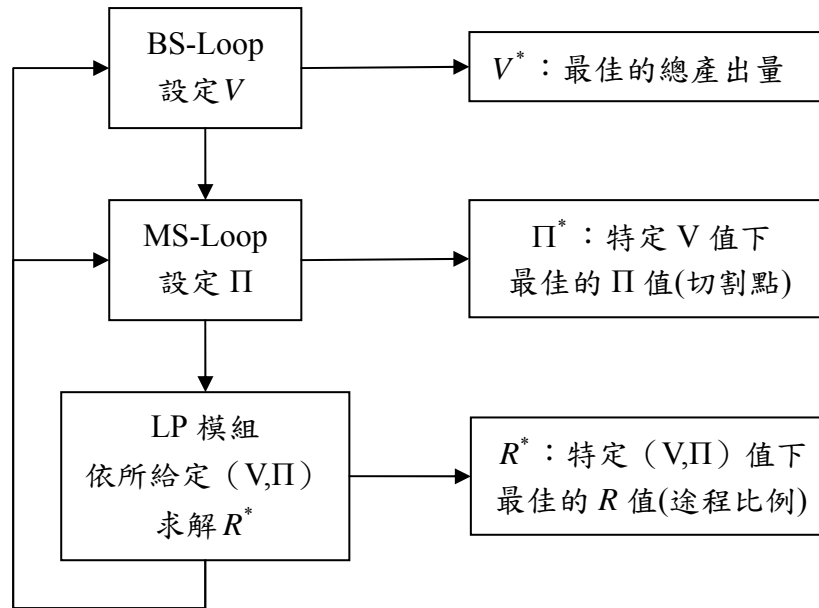


圖 3.4 階段一的求解架構

3.2.1 LP 模組

此 LP 模組的功能可說明如下(參閱圖 3.5)，在給定兩廠總產出量(V)及途程切割點(Π)的情境下，此 LP 模組求出此情境下的最佳途程比例(R^*)。若給定的 V 值太大 (超出產能限制式)，此 LP 模式會產生無解的情況。

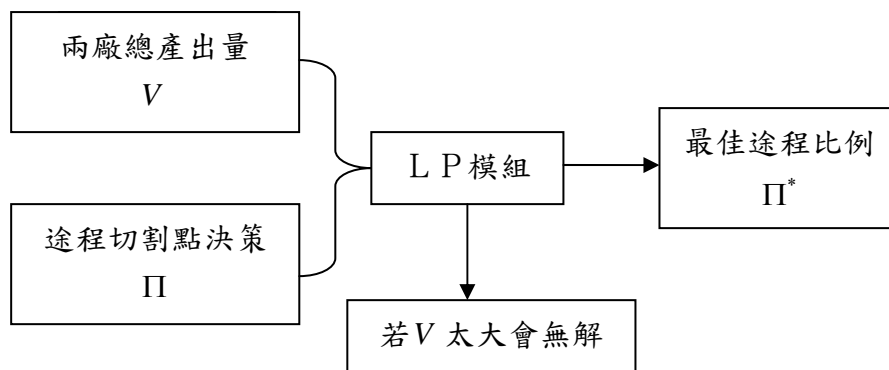


圖 3.5 LP 模組的功能

此 LP 模組有三個基本假設：(1) 在此兩晶圓廠中，每一晶圓廠皆可單獨生產所有的產品；(2) 工作站/暫存區之間的運輸軌道唯一，亦即運輸路徑是固定，並且事先規劃完成；(3) 每一種產品只有四個可能生產途程。分別為 $1 \rightarrow 1$ 、 $2 \rightarrow 2$ 、 $1 \rightarrow 2$ 及 $2 \rightarrow 1$ ，符號 $i \rightarrow j$ 表示先在 Fab_i 生產然後跨廠至 Fab_j ， $\bar{r}_i = [a_i, b_i, c_i, d_i]$ 依序代表四種可能生產路徑的生產比例。以下分別說明此 LP 模式的數學符號和數學模型。

數學指標(Indices)

i : 產品種類的指標

g : Fab_1 的工作站的指標

h : Fab_2 的工作站的指標

參數(Parameters)

n : 總產品種類

o_i : 產品 i 的總加工道次

V : 兩廠區總產量的估計 (由使用者輸入)

z_i : 產品 i 的生產比例 ($\sum_{i=1}^n z_i = 1, 0 \leq z_i \leq 1$)

C_g : Fab_1 內工作站 g 的可用產能 (單位: 機器小時)

C_h : Fab_2 內工作站 h 的可用產能 (單位: 機器小時)

m_1 : Fab_1 的總工作站數

m_2 : Fab_2 的總工作站數

W_{ig}^a : 產品 i 採 $1 \rightarrow 1$ 生產途程時, 每批量在 Fab_1 的工作站 g 所需的加工時間

W_{ig}^c : 產品 i 採 $1 \rightarrow 2$ 生產途程時, 每批在 Fab_1 的工作站 g 所需的加工時間

W_{ig}^d : 產品 i 採 $2 \rightarrow 1$ 生產途程時, 每批量在 Fab_1 的工作站 g 所需的加工時間

W_{ih}^b : 產品 i 採 $2 \rightarrow 2$ 生產途程時, 每批量在 Fab_2 的工作站 h 所需的加工時間

W_{ih}^c : 產品 i 採 $1 \rightarrow 2$ 生產途程時, 每批量在 Fab_2 的工作站 h 所需的加工時間

W_{ih}^d : 產品 i 採 $2 \rightarrow 1$ 生產途程時, 每批量在 Fab_2 的工作站 h 所需的加工時間

Q_c : 可跨廠生產的產品集合

Q_s : 只能在單廠生產的產品集合

決策變數(Decision Variables)

a_i : 產品 i 採 $1 \rightarrow 1$ 生產途程的加工比例

b_i : 產品 i 採 $2 \rightarrow 2$ 生產途程的加工比例

c_i : 產品 i 採 $1 \rightarrow 2$ 生產途程的加工比例

d_i : 產品 i 採 $2 \rightarrow 1$ 生產途程的加工比例

π_i : 產品 i 跨廠生產途程的切割點, $1 \leq \pi_i \leq o_i - 1$

Π : $\Pi = [\pi_i], 1 \leq i \leq n$, 所有產品的切割點

R : 各產品的各途程生產比例 $R = [\bar{r}_1, \dots, \bar{r}_n]$, 其中 $\bar{r}_i = [a_i, b_i, c_i, d_i]$

數學模式

$$\text{Min } Z(V, \Pi) = \sum_{i=1}^n V \cdot z_i \cdot (c_i + d_i)$$

s. t.

$$a_i + b_i + c_i + d_i = 1 \quad 1 \leq i \leq n \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n V \cdot z_i \cdot (a_i \cdot W_{ig}^a + d_i \cdot W_{ig}^d + c_i \cdot W_{ig}^c) \leq C_g \quad 1 \leq g \leq m_1 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n V \cdot z_i \cdot (b_i \cdot W_{ih}^b + d_i \cdot W_{ih}^d + c_i \cdot W_{ih}^c) \leq C_h \quad 1 \leq h \leq m_2 \quad (3)$$

$$c_k = 0, d_k = 0 \quad \text{for each product } k \text{ in } Q_s \quad (4)$$

上述數學模式中，目標函數是最小化跨廠生產的批量數，亦即在總產出固定的情況下，盡量減少跨廠生產方式。限制式(1)描述途程生產比例間的相依關係。限制式(2)和(3)則在確保 Fab_1 及 Fab_2 兩個廠中每個工作站的產能需求會小於其產能供給。限制式(4)是對於不可跨廠生產的產品，限制其生產途程比例。在此 LP 模組中，如果 V 太大可能會造成無解的現象，因為無法滿足產能限制。若是 LP 模組無解，我們設定 $Z(V, \Pi) = -1$ 。

3.2.2 MS-Loop

上述的 LP 模組簡稱為 LP_Module(V, Π)，此 LP 模組在給定(V, Π)時，可求一組 R^* 。MS-Loop 模組是以 LP_Module(V, Π)為基礎，在給定 V 值下，對 Π 的解空間進行多元化搜尋，以求解出最佳切割點 Π^* (參閱圖 3.6)。

此多元化搜尋的演算法是採迭代方式(iterative search)求解，在每一個迭代(iteration)，每一種產品的生產途程都有三個切割點(P_1, P_2, P_3)可選擇，此三個切割點分別代表三個局部途程(Seg_1, Seg_2, Seg_3)的中點。若選擇切割點 P_i ，代表此產品的最佳切割點可能落在局部途程 Seg_i 上(參閱圖 3.7)。若有 n 個產品可跨廠生產，在每一迭代將有 3^n 個組合可供選擇，在每一個迭代我們要求其最佳組合 Π^* 。在下一個迭代，我們根據所選出的 Π^* ，訂出各產品所需考慮的局部途程，然後在重複上述步驟，每個產品可選三個切割點，此新迭代中的 3^n 個組合中，可求出其最佳組合 Π^* 。因為一個半導體產品的途程最多約 1000 個加工道次，上述的 MS_Loop 一般而言迭代的總數大約 6~7 次($3^6 = 729$)，因此 LP 模組的其搜尋的解空間為 $3^n \cdot 7$ 個解。

茲將上述的求解流程簡稱為 Procedure MS_Loop 並細部說明如下：

Procedure MS_Loop (V)

Initialization

$j = 1$, /*iteration number*/

For each product k , set the lower/upper bounds for searching π_k^*

$$L_{jk} = 0, U_{jk} = O_k, 1 \leq k \leq n$$

Identify the longest route /* for terminating the following While loop*/

$$h = \underset{1 \leq k \leq n}{\text{Arg Max}} O_k$$

While $\{j = 1 \text{ or } (m_{2h} - m_{1h}) > 2\}$

Step 1: Determine three cut-off points for a route segment

$$m_{1k} = \lfloor (1/4)U_{jk} + (3/4)L_{jk} \rfloor, 1 \leq k \leq n$$

$$m_{2k} = \lfloor (U_{jk} + L_{jk}) / 2 \rfloor, 1 \leq k \leq n$$

$$m_{3k} = \lfloor (3/4)U_{jk} + (1/4)L_{jk} \rfloor, 1 \leq k \leq n$$

Step 2: Generate all possible combinations of cut-off points

$$S_j = \{\Pi \mid \Pi = (\pi_1, \dots, \pi_n), \text{ where } \pi_k = m_{1k}, \pi_k = m_{2k}, \pi_k = m_{3k}\}$$

Step 3: Identify the best combination of cut-off points from S_j

Set $H_j = \phi$
 For each $\Pi \in S_j$,
 Call LP_Module (V, Π)
 Put $Z(V, \Pi)$ in H_j
 Endfor
 If $Z(V, \Pi) = -1$ then
 Set LP_Check = "Fail", **Output** LP_Check, **Stop**
 Else Set LP_Check = "Pass", Compute $\Pi^* = \text{ArgMin}_{\Pi \in H_j} Z(V, \Pi)$

Step 4: Update the interval for each product k

If $(\pi_k^* = m_{1k})$ then $L_{j+1,k} = L_{j,k}$, $U_{j+1,k} = \lfloor (U_{jk} + L_{jk}) / 2 \rfloor$, $1 \leq k \leq n$

If $(\pi_k^* = m_{2k})$ then $L_{j+1,k} = \lfloor (1/4)U_{jk} + (3/4)L_{jk} \rfloor$,

$U_{j+1,k} = \lfloor (3/4)U_{jk} + (1/4)L_{jk} \rfloor$, $1 \leq k \leq n$

If $(\pi_k^* = m_{3k})$ then $L_{j+1,k} = \lfloor (U_{jk} + L_{jk}) / 2 \rfloor$, $U_{j+1,k} = U_{j,k}$, $1 \leq k \leq n$

Step 5: Go to next iteration

$j = j+1$

Endwhile

Output Π^* , LP_Check

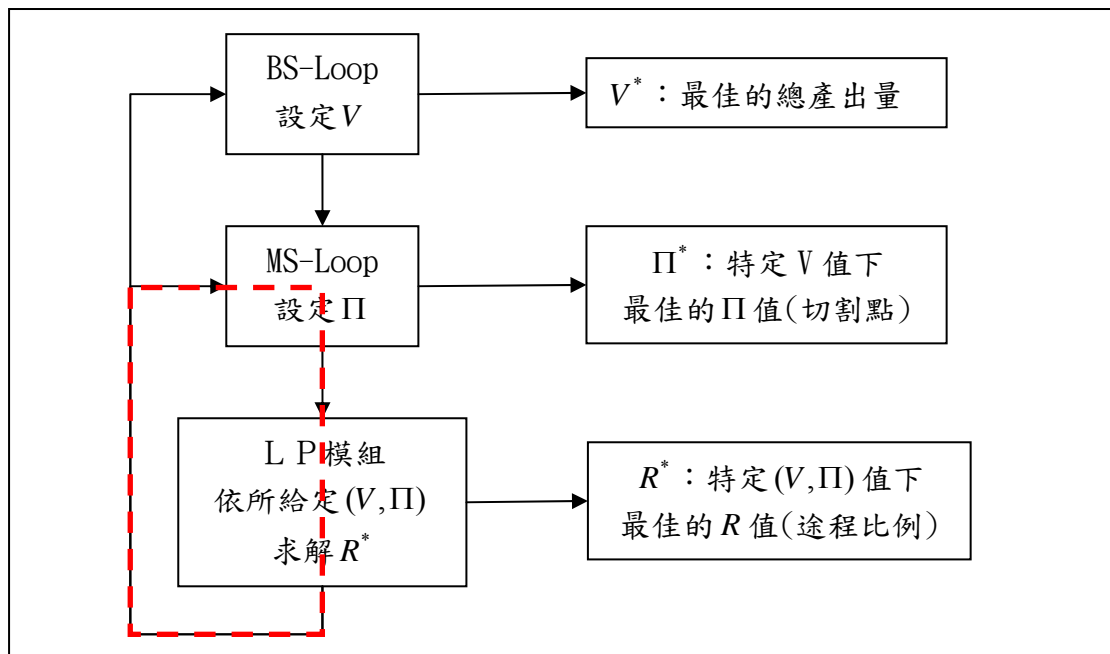


圖 3.6 MS-Loop Call LP 模組

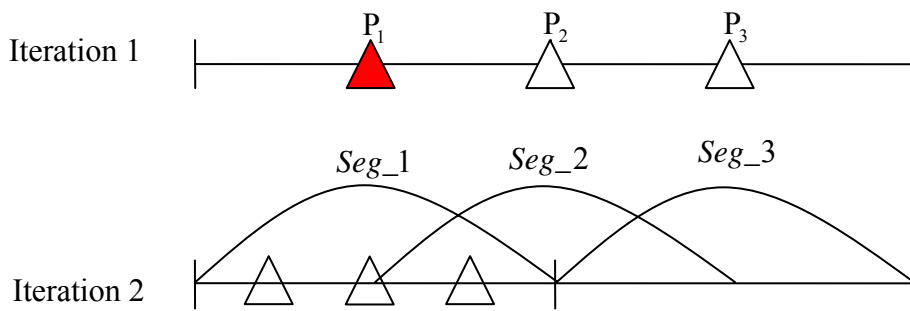


圖 3.7 多元搜尋法(Multiple Search)

3.2.3 BS-Loop

BS-Loop 主要目的是求解最佳的總產出量 V^* ，首先需推估出 V 值的上下界 (L,U) ， L 代表 LP 模組的一可行解(產出量小)， U 則代表 LP 模組的不可行解(產出量太大，無法滿足產能限制式)。然後在 (L,U) 區間內找出 V^* ，通常 (L,U) 最多約差 200 批量，利用二元搜尋法搜尋時，迭代次數約 7 次即可求得最佳的 V^* 。BS-Loop 的求解流程如圖 3.8 所示，其細部流程說明如下：

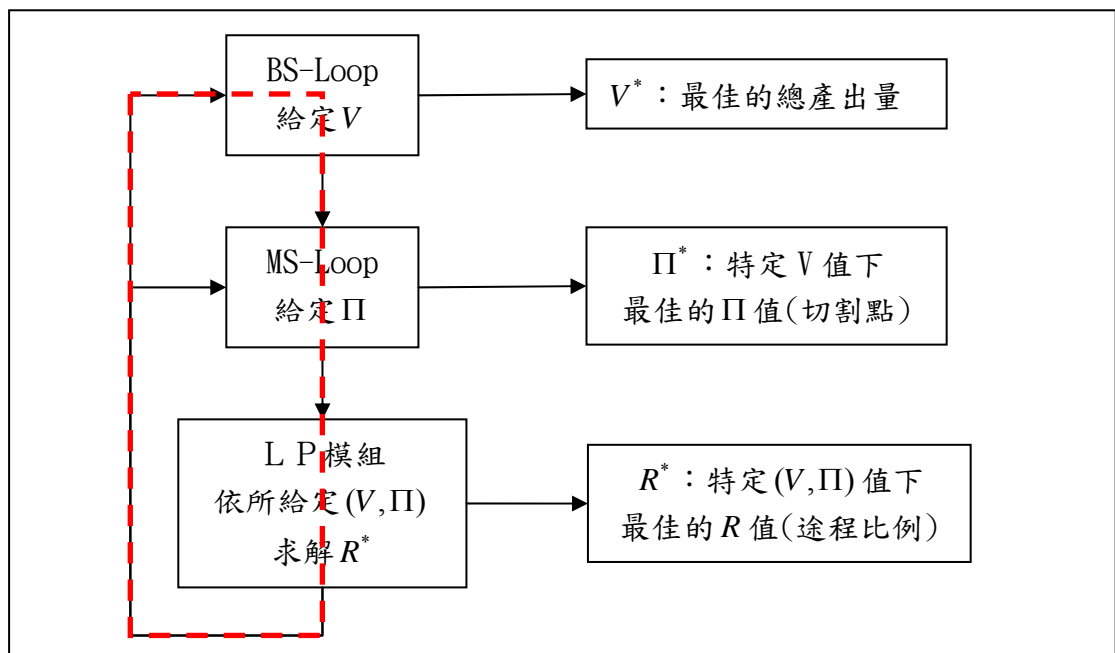


圖 3.8 BS-Loop

Procedure BS_Loop (L, U)

Initialization /* set initial range of throughput*/

$i = 1$, /* i is iteration number*/

$L_i = L, U_i = U$

While $\{(i = 1 \text{ or } \frac{V_2 - V_1}{V_1} \geq \varepsilon)\}$ /* ε is a small value, e.g., 0.2%*/

Step 1: Determine the two test points within the lower/upper bounds

$$V_1 = \lfloor (1/4)U_i + (3/4)L_i \rfloor$$

$$V_2 = \lfloor (3/4)U_i + (1/4)L_i \rfloor$$

Step 2: Evaluate the performance of the two test points

Call *MS_Loop*(V_1)

Set $P_1 = \text{LP_Check}$

Call *MS_Loop*(V_2)

Set $P_2 = \text{LP_Check}$

Step 3: Update the throughput interval for search

If ($P_2 = \text{"Pass"}$) then $L_{i+1} = \lfloor (U_i + L_i) / 2 \rfloor$, $U_{i+1} = U_i$, $k = 2$

If ($P_1 = \text{"Pass"}$ and $P_2 = \text{"Fail"}$) then $L_{i+1} = L_i$, $U_{i+1} = \lfloor (U_i + L_i) / 2 \rfloor$, $k = 1$

If ($P_1 = \text{"Fail"}$ and $P_2 = \text{"Fail"}$) then $L_{i+1} = L_i$, $U_{i+1} = \lfloor (U_i + L_i) / 4 \rfloor$, $k = 0$

Step 4: Next iteration

$$i = i + 1$$

Endwhile

If $k = 0$, Stop. /*User warning: the input value of L is too large*/

Else Set $V^* = V_2$, **Output** V^*

若 V 值的上下界差異是 200 批量，利用 BS-Loop 搜尋 V 時約需經過迭代 7 次。再者，如前所述，給定一個 V 值，利用 MS-Loop 約搜尋 $3^n \cdot 7$ 個途程切割點組合，因此在階段一本研究總共需要評估 $3^n \cdot 7 \cdot 7$ 個可能解，其中 n 代表需要跨廠生產的產品個數。

茲將以一實例將 *Method_0* 與 *Method_1* 的計算次數比較如下，若有一跨廠途程規劃問題有 9 種產品，*Method_0* 假設 9 種產品都可跨廠生產，*Method_1* 則假設只有 3 種產品需要跨廠生產。若 *Method_0* 的求解時間為 T_0 ，則 *Method_1*

的求解時間約為 $\frac{3^3}{3^9} T_0 = \frac{1}{729} T_0$ ，亦即計算時間將大為縮短。*Method_2* 和 *Method_3* 的計算時間則大約與 *Method_1* 相近。

3.3 階段二的求解方法

階段二的求解問題是假設切割點組合 Π^* 已經確定的情境下，擬求解該情境下最佳的生產途程比例 R^* 。此階段二求解架構，如圖 3.9 所示，是以第三章所提的 Enhanced Q-Network 為解的評估工具，然後發展基因演算法求解。此 Enhanced Q-Network 的功能是在給定一組 (Π, R) 的情境下，可求出該情境下的最大產出，亦即可評估每一可行解 (Π, R) 的績效，基因演算法則是經由一進化機制，不斷的產生可能較為優秀的解 (Π, R) 。在此階段，由於 Π 已經固定為 Π^* ，因此基因演算法實際上只搜尋 R^* 。

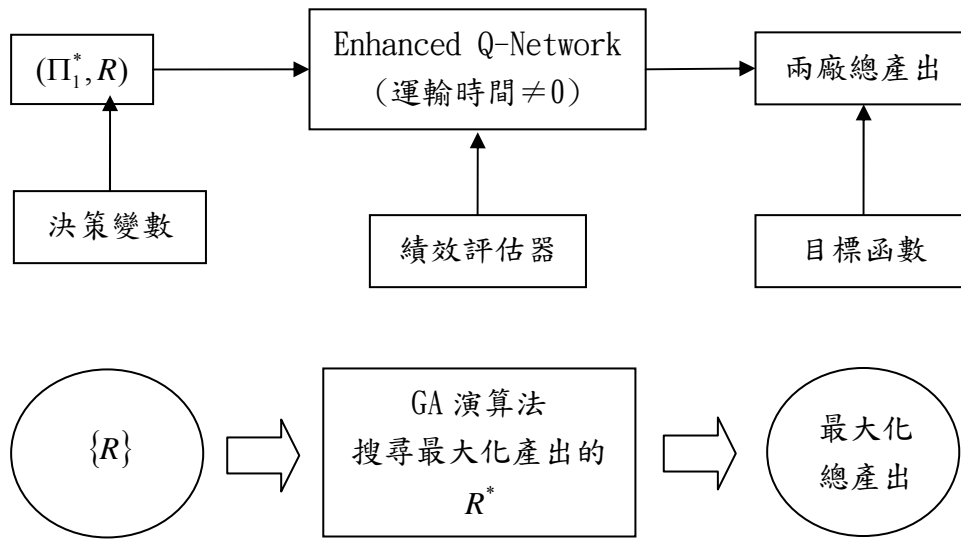


圖 3.9 階段二求解架構

此基因演算法的運算流程可簡述如下：

Procedure GA

Step 1: Initialization

- $t = 0$, Status = 'Not-terminate'
- Randomly generate N_p chromosomes to form a population P_0

Step 2: Genetic Evolution

While (Status = 'Not-Terminate') do

- Use a *cross-over* operator to create N_c new chromosomes
- Use a *mutation* operator to create N_m new chromosomes
- Form a pool by taking the union of P_t and the set of newly created chromosomes
- $t = t + 1$, and select the best N_p chromosomes from the pool to form P_t
- Check if *termination condition* is met; if yes, set Status = "Terminate"

Endwhile

Step 3: Set the best chromosome in P_t as R^* Output R^* .

根據上述基因演算法的求解流程，我們在此補充敘述該演算法的染色體表達法(chromosome representation)、適應函數(fitness function)、進化運算子(genetic operators)、運算結束條件。

此基因演算法的一個染色體可表達成 $R = [\bar{r}_1, \dots, \bar{r}_n]$ 其中 $\bar{r}_i = (a_i, b_i, c_i, d_i)$ 稱為基因區段(gene-segment)，在 \bar{r}_i 內的元素則稱為基因(gene)。由於 $a_i + b_i + c_i + d_i = 1$ ，故在 Q_c 集合（可跨廠生產的產品集合）內的每一種產品有三個自由基因(free gene)，而在 Q_s 集合（不可跨廠生產的產品集合）內的每一種產品則只有一個自由基因。基因演算法是以進化的方式不斷變動自由基因，期能尋找最佳組合。由於本研究假設某些產品不會跨廠生產，染色體的自由基因數目會變少，由原本 Wu *et al.* (2009) 的 $3n$ 個減少至 $3n_c + (n - n_c)$ 個，其中 n_c 代表 Q_c 集合中產品個數，

n 是全部要生產的產品數目。

此基因演算法一染色體的適應函數，是代表該染色體解的品質，亦即在特定的目標週期時間下，兩廠區的總產出，總產出越大表示其解的品質越好。此適應函數可用上述的 Enhanced Q-Network 求得。

此基因演算法的進化運算子(genetic operators)有兩種：交配(crossover)和突變(mutation)。交配運算(crossover operator)是利用既有的兩條染色體(R_1, R_2)去創造新的兩條染色體(R_3, R_4)。如前所述，染色體 R_1, R_2 的第 i 個基因區段可分別表示為 $\overline{r_{i1}}$ 及 $\overline{r_{i2}}$ 。設若產品 i 是可跨廠生產的產品，我們可利用單點交配的方式將 $\overline{r_{i1}}$ 和 $\overline{r_{i2}}$ 組合創造出 $\overline{r_{i3}}$ 及 $\overline{r_{i4}}$ ，兩條新的基因區段。

茲將此交配的運算方式說明如下：首先隨機選擇一自由基因（假設選到第二個基因），據此我們先將 $\overline{r_{i1}}$ 及 $\overline{r_{i2}}$ 的第二個基因值互換，然後根據 $a_i + b_i + c_i + d_i = 1$ 的限制式修正其他自由基因的值。因為產品 i 可跨廠生產，所以 $\overline{r_{i1}}$ 和 $\overline{r_{i2}}$ 有 4 個自由基因， $\overline{r_{i1}}$ 和 $\overline{r_{i2}}$ 經由此種交配方式會產生兩個新基因區段 $\overline{r_{i3}} = (a_{i1}, b_{i2}, c_{i1}, 1 - a_{i1} - b_{i2} - c_{i1})$ 和 $\overline{r_{i4}} = (a_{i2}, b_{i1}, c_{i2}, 1 - a_{i2} - b_{i1} - c_{i2})$ 。

上述交配運算只用來處理可跨廠生產的產品，不可用來處理不可跨生產的產品。若產品 i 為不可跨廠生產的產品，則 $\overline{r_{i1}}$ 及 $\overline{r_{i2}}$ 兩基因段將分別是 $\overline{r_{i1}} = (a_{i1}, b_{i1}, 0, 0) = (1 - b_{i1}, b_{i1}, 0, 0)$ 和 $\overline{r_{i2}} = (a_{i2}, b_{i2}, 0, 0) = (1 - b_{i2}, b_{i2}, 0, 0)$ ，若運用上述的交配方式，所產生的結果將為 $\overline{r_{i3}} = \overline{r_{i2}}$ 及 $\overline{r_{i4}} = \overline{r_{i1}}$ ，並無法產生新的基因區段。

在每一次進行交配運算，對染色體 R_1, R_2 而言，其 n 個基因區段中，每一個「可跨廠生產」的產品所對應的基因區段都需進行交配，藉此可產生兩個新的染色體 $R_3 = [\overline{r_{i3}}], R_4 = [\overline{r_{i4}}]$ 。

突變運算(mutation operator)是從一個既有染色體 R_1 產生另一個新的染色體 R_2 。茲將此突變運算說明如下：首先，在染色體 R_1 中隨機選出一個基因區段（假設是基因區段 i^* ），若該產品 i^* 可跨廠生產，則該基因區段可表達成 $\overline{r_{i^*1}} = (a_{i^*1}, b_{i^*1}, c_{i^*1}, d_{i^*1})$ ，其次在此區段的四個基因中隨機選一個（假設選到第二個基因），並隨機調整其數值（假設調整為 k ），然後根據 $a_i + b_i + c_i + d_i = 1$ 的限制式修正其他自由基因的值，藉此可產生一個新的基因區段 $\overline{r_{i^*2}} = (a_{i^*1}, k, c_{i^*1}, 1 - a_{i^*1} - k - c_{i^*1})$ 。若該產品 i^* 是不可跨廠生產，則該基因區段可表達成 $\overline{r_{i^*1}} = (a_{i^*1}, b_{i^*1}, 0, 0)$ ，藉上述突變運算可產生一個新的基因區段 $\overline{r_{i^*2}} = (1 - k, k, 0, 0)$ 。

此基因演算法定義兩個運算結束條件：第一、最佳解經過 T_b 次的迭代過程仍維持不變。第二、當迭代的次數超過原先設定的上限 T_u 。此基因演算法結束運算後所存留的最佳解，就是此基因演算法所求得的最佳途程比例 R^* 。

3.4 實例驗證

本研究以實驗方式比較 *Method_0*, *Method_1*, *Method_2* 及 *Method_3* 的求解績效。實驗時所使用的電腦配備規格為 Pentium (R) Dual CPU 3.4GHz 1G RAM。在此實驗中，機台資訊、產品途程、作業時間等等相關資訊皆根據業界半導體廠所提供的資訊修正而得。這兩個廠區中每一個廠房皆有 60 個工作站。*Fab_1* 包含了 292 台機台，*Fab_2* 則包含了 352 台機台。每一台機台的 MTBF (mean time between failure) 及 MTTR (mean time to repair) 皆服從指數分配。假設目標週期時間為 $CT_0=40,000 \text{ min. or } 27.7 \text{ days}$ 。

本實例驗證包含了三種情境。情境一考慮了三種產品的情況如表 3.1 所示。情境二考慮了六種產品的情況如表 3.2 所示。情境三考慮了九種產品的情況如表 3.3 所示。在基因演算法方面，本研究的參數設定如下： $T_u = 10000$ (執行設定的世代數)， $T_b = 500$ (最佳解維持不變的世代數)， $P_0 = 1000$ (族群數)， $P_{cr} = 0.9$ (交配率)， $P_m = 0.1$ (突變率)。

表 3.1 情境一：三種產品的途程規劃

產品	P1	P2	P3
加工道次	338	338	338
產品比例	0.5	0.3	0.2

表 3.2 情境二：六種產品的途程規劃

產品	P1	P2	P3	P4	P5	P6
加工道次	338	338	338	300	300	300
產品比例	0.25	0.25	0.15	0.15	0.1	0.1

表 3.3 情境三：九種產品的途程規劃

產品	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
加工道次	338	338	338	300	300	300	250	250	250
產品比例	0.17	0.17	0.16	0.1	0.1	0.1	0.07	0.07	0.06

表 3.4 為四種求解方法在雙廠區跨廠生產下總產出的比較。在本研究所提出的三種方法中 *Method_2* 的績效最好，在情境三中只比 *Method_0* 少 2.48% 的產出，然而在計算求解時間方面 *Method_2* 是計算求解時間最短的。由表 3.5 可知，在情境三的情況下，*Method_0* 需要 46,587 秒 (大約 13 小時)，*Method_2* 只需要 2,112 秒 (大約 35 分鐘)。在實際應用上，計算求解的時間超過半天以上是不能被業界所接受的，因此 *Method_2* 是解決跨廠途程規劃問題很實用的決策方法。

表 3.6 則在說明情境三的情況下兩個求解模組各自所需的計算時間。這張表說明了計算求解時間的提升主要來自於 LP 模組，在 LP 模組中，原本的 *Method_0* 需要花 42,900 秒 (大約 12 小時)。但 *Method_2* 只需要 110 秒 (大約 2 分鐘)。

表 3.4 四種求解方法對產出績效的比較分析

情境	情境一		情境二		情境三	
	總產出 (批量)	差距 (%)	總產出 (批量)	差距 (%)	總產出 (批量)	差距 (%)
<i>Method_0</i>	652	0	725	0	846	0
<i>Method_1</i>	650	0.31%	724	0.14%	795	6.03%
<i>Method_2</i>	651	0.15%	723	0.28%	825	2.48%
<i>Method_3</i>	650	0.31%	697	3.86%	790	6.62%

表 3.5 四種求解方法在不同情境下的求解時間比較

情境	情境一		情境二		情境三	
	時間 (秒)	差距(%)	時間 (秒)	差距(%)	時間 (秒)	差距(%)
<i>Method_0</i>	892	0%	3111	0%	46587	0%
<i>Method_1</i>	437	48.99%	1497	48.12%	2197	4.72%
<i>Method_2</i>	532	59.64%	1478	47.51%	2112	4.53%
<i>Method_3</i>	539	60.43%	1590	51.11%	2940	6.31%

表 3.6 *Method_0* 與 *Method_2* 的求解時間分析

情境三						
啟發式 解法	LP 求解 (sec.)	差距 (%)	GA + Queueing (sec.)	差距 (%)	總計算時間 (sec.)	差距 (%)
<i>Method_0</i>	42900	0%	3687	0%	46587	0%
<i>Method_2</i>	110	0.26%	2002	54.3%	2112	4.53%

3.5 本章結論

本章說明雙廠區可跨廠生產的途程規劃方式。雙廠區可跨廠的途程規劃非常重要，好的途程規劃可以使總產出增加。為了使雙廠區內的機台能相互支援產能，有人傾向建立將一大規模的廠房空間，規劃成兩個可跨廠生產的小廠運作，如此一來可以解決運輸系統成為生產瓶頸的問題，亦可以增加兩廠的總產出。

本研究所提出的第一個方法(Wu *et al.* 2009a)假設所有的產品皆可跨廠生產，其求解時間將近 13 小時，無法符合業界需要。本研究所提出的第二個方法(Wu *et al.* 2009b) 則提出了只允許「部分」產品可跨廠生產的方式，其求解時間只需 0.5 小時，大幅縮短計算求解的時間，而在求解品質亦有優良的表現。

第四章 運輸軌道層數設計

本章探討最適運輸軌道層數設計的方法，首先描述問題及研究架構，其次說明最適運輸軌道層數的決策方法。此方法分成兩個階段求解，第一階段求解最適機台數目，第二階段求解最適運輸軌道層數。然後以實例驗證說明單廠區運輸軌道層數設計的重要性；最後是本章結論。

4.1 問題描述及研究架構

半導體產業為了降低製造成本，製造晶圓的尺寸越來越大，目前建造 300mm 晶圓廠已成為主流，但 300mm 的晶圓一批量加上載具的重量約 8.2 公斤，已經超出人力長時搬運下所能負荷的範圍，必須用自動化物料搬運系統(automated material handling system, AMHS)來執行在製品在半導體廠內的搬運動作，基於生產動線的流暢度及安全性的考量，半導體廠的運輸軌道通常會採用懸吊式的運輸軌道，如圖 4.1 所示。

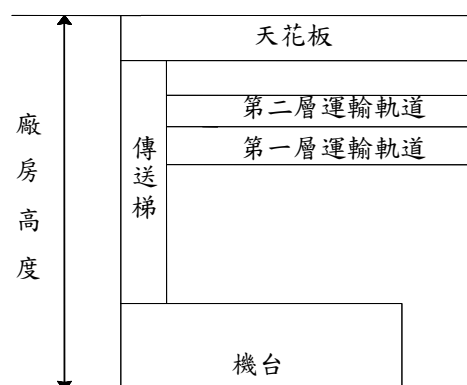


圖 4.1 運輸軌道與加工機台之關係

運輸軌道位於機台上方，透過傳送梯傳送到機台加工，加工完成後，再利用傳送梯將晶圓上傳至運輸軌道，並運往下一個加工機台；然而在大規模產出的需求下，廠房會越蓋越大，機台與機台間的運輸距離變長，運輸量也增大，因此運輸軌道成為瓶頸的狀況在大規模產出的晶圓廠是一個常見的現象。

當運輸軌道一旦成為瓶頸時，半導體廠會因廠房高度的既定限制及運輸軌道只能有一層的思維下的補救工作(例如：增加捷徑)。但如果在建廠初期就將所需運輸軌道層數納入考量，可以避免運輸軌道成為瓶頸。

本研究子題一假設運輸軌道是整層擴充，屬於一次到位的整體空間規劃，非局部擴充的方式。事實上，局部擴充的方式在實務上並不可行。因為若採局部擴充運輸層數的方式，除了須考量需原始高度是否足夠擴建外，施工區域內的機台必須停機或搬遷至另外的加工區(Bay)，會大幅降低機台的利用率。為了避免上

述情況發生，運輸軌道層數需做整層擴充的考量。

子題一對單廠區的機台區位與運輸方向的假設如下（圖 4.2）：（1）Spine 式的佈置方式；（2）加工區(Bay)位於運輸軌道兩側、每個加工區內可容納多種類機台群(workstation)；（3）加工區與加工區間的運輸軌道(中間走道)為雙向；（4）加工區內的運輸軌道則為單向順時針方向；（5）區與區之間的運輸路徑固定，並採最短路徑運輸。

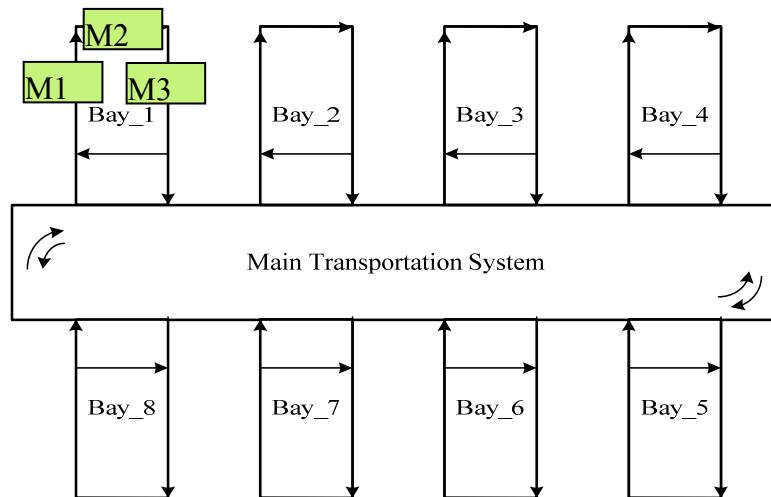


圖 4.2 機台區位與運輸路徑關係

單廠區最適運輸軌道層數設計的研究流程可分成兩階段。如圖 4.3 所示，階段一是假設運輸時間等於零，在給定目標產出、產品組合及目標週期時間的情況下，利用等候網路模式決定最適機台數目，藉由最適機台數目估算廠房面積、運輸距離及運輸時間。階段二是假設運輸時間不等於零，在給定產品組合、目標產出、階段一推估出的運輸時間及最適機台數目的情況下，利用 Wu *et al.* (2009) 的等候網路模式（包含運輸軌道的等候網路模式）求得實際產出，並利用邊際搜尋法，在總利潤最大化的目標下，求得最適的運輸軌道層數。

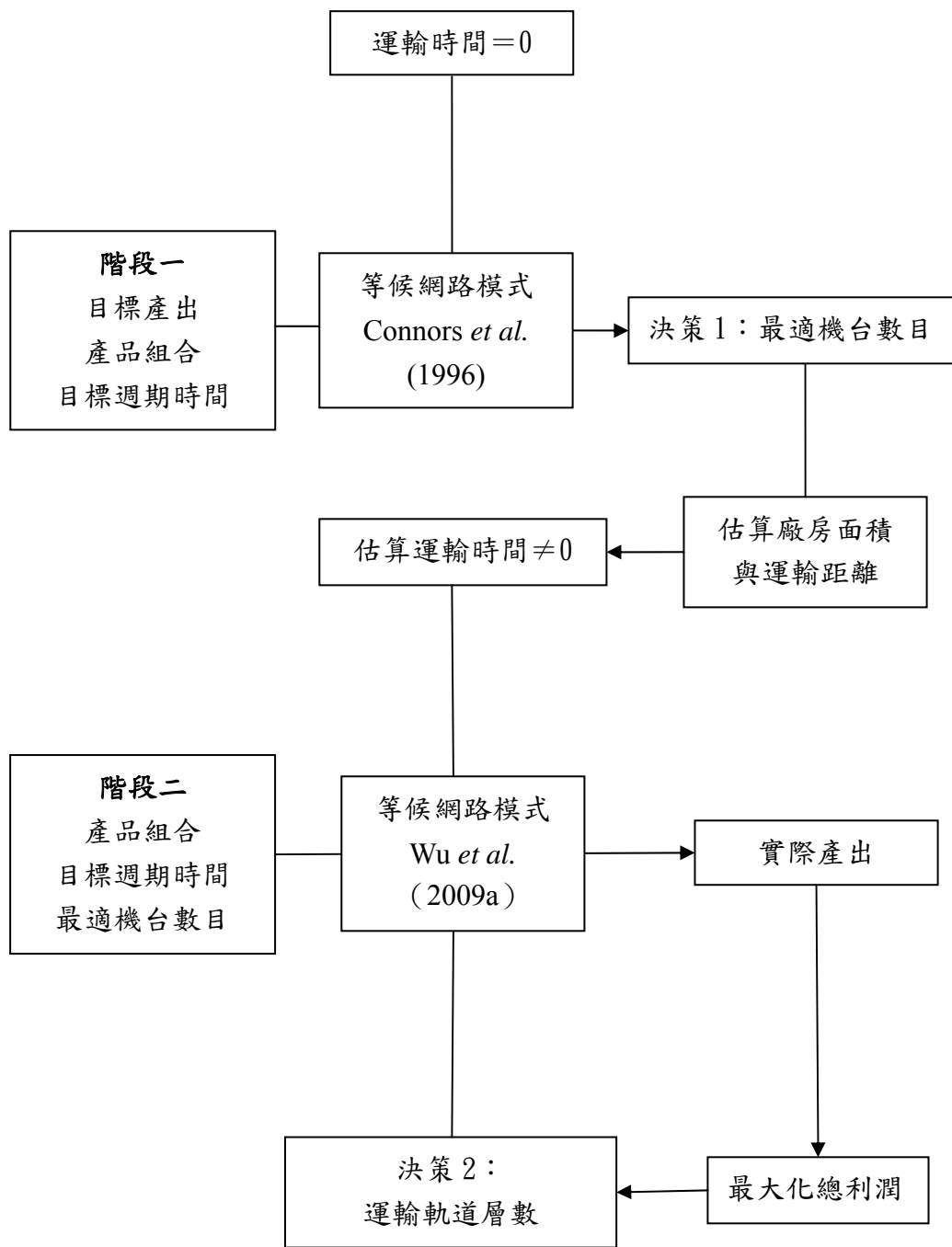


圖 4.3 本章研究架構

4.2 階段一：決定最適機台數目

階段一是假設運輸時間為零，擬決定最適機台數目。由於此階段以 Connors *et al.* (1996) 的等候網路模式為生產系統的績效評估模式，因此本節首先介紹 Connors *et al.* (1996) 的等候網路模式，其次再說明最適機台數目的搜尋方法。

4.2.1 Connors 等候網路模式

Connors *et al.* (1996) 設計的等候網路模式，其輸出參數與輸入參數的關係可表達如圖 4.4 所示，主要的運算輸入參數包含目標產出量 (Th)，產品資訊 (PX)

流程資訊以及系統機台資訊，而輸出參數則包含產品生產週期時間（ CT ）。

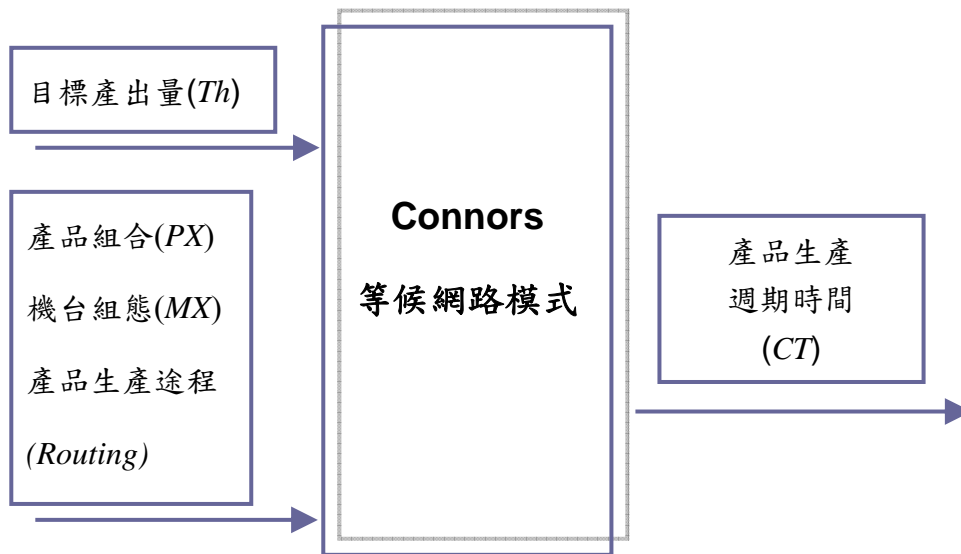


圖 4.4 Connors *et al.*(1996)等候網路模式

Connors *et al.* (1996)將等候網路模式發展成一個系統，輸入與輸出間關係如下所示，

$$CT = f(Th, PX, MX)$$

在等候網路模式中，假設任兩個工作站之間的運輸時間為零。此系統的輸出為週期時間(工件從開始生產到完成的平均週期時間)，輸入為目標產出、產品組合及機台組合的函數，目標產出為月目標產出，產品組合為每種產品的生產比例，機台組合為每種不同功能性機台的數量。

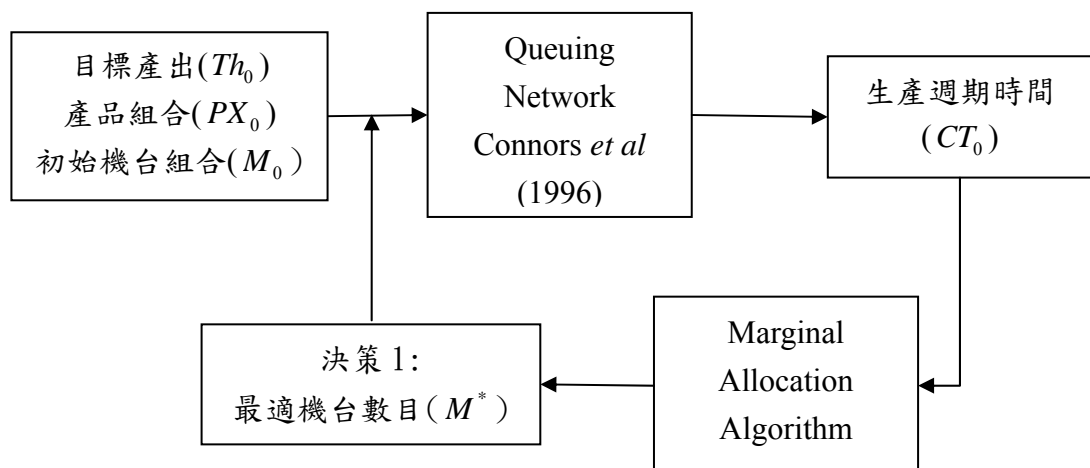


圖 4.5 決定最適機台數目流程

4.2.2 決定最適機台數目

階段一是假設運輸時間為零，擬決定最適機台數目。其詳細流程如圖 4.5 所示：本階段是在給定目標產出(Th_0)，產品組合(PX_0)、初始機台組合(M_0)、目標生產週期時間(CT_0)之後，擬求出最適機台組合 $M^* = (m_1^*, \dots, m_k^*)$ ，其中 m_i^* 代表第 i 個工作站所需的機台數目。

Connors *et al.* (1996)的等候網路模式可表達如下： $CT = f(Th_0, PX_0, MX)$ 。亦即給定一組 MX ，我們可利用此等候網路模式求得其相對應的 CT ，並利用邊際搜尋法逐一增加機台數，直到 CT 達到目標生產週期時間 CT_0 。邊際搜尋法的程序如下所示：

Procedure *Machine_Mix_Determination*

Set $i = 0$ and $flag = \text{"start"}$

While ($flag = \text{"start"}$) Do

$$CT^{(i)} = f(Th_0, PX_0, MX^{(i)})$$

If $CT^{(i)} > CT_0$ then

$$m_{j^*}^{(i+1)} = m_{j^*}^{(i)} + 1, (j^* \text{ is the tool type with the highest utilization})$$

$$m_j^{(i+1)} = m_j^{(i)}, \text{ for } j \neq j^*, 1 \leq j \leq k$$

$$i = i + 1$$

Else $flag = \text{"stop"}$

Endif

Endwhile

Set $M^* = M^{(i)}$ & Output M^*

決定最適機台數目之後，我們可利用「標竿晶圓廠」的資訊推估出所需要的廠房面積大小，再利用廠房面積推估各機台與機台之間的運輸距離，如此一來即可推估各機台與機台間的運輸時間。茲將上述步驟釋例如下：假設 Fab_0 為資訊已知的標竿晶圓廠， N_0 代表標竿晶圓廠的機台總數， A_0 代表標竿晶圓廠所需的面積， L_0 為標竿晶圓廠某特定運輸路徑的長度， T_0 則為 Fab_0 的運輸路徑 L_0 的運輸時間。假設 Fab_i 為一晶圓廠其機台總數已知，但運輸時間未知。亦即 N_i 為 Fab_i 晶圓廠的已知資訊，但 A_i ， L_i ， T_i 為 Fab_i 晶圓廠的待求資訊，則 A_i ， L_i ， T_i 等資訊可利用下列公式求得。：

$$\frac{N_i}{N_0} = \frac{A_i}{A_0} \quad (1)$$

$$\frac{T_i}{T_0} = \frac{L_i}{L_0} = \sqrt{\frac{A_i}{A_0}} \quad (2)$$

4.3 階段二：決定最適運輸軌道層數

階段二是假設運輸時間不為零，擬決定最適運輸軌道層數。此階段所使用的生產系統績效評估模式為 Wu *et al.* (2009) 根據 Connors *et al.* (1996) 的模式修改而得。Wu *et al.* (2009) 的等候網路模式我們稱之為 Enhanced Q-Network，此模式的特色是將運輸路徑視為加工機台，因此運輸時間會隨運輸數量而改變。以下我們首先介紹 Enhanced Q-Network 模式，其次說明最適運輸軌道層數的搜尋方法。

4.3.1 Enhanced Q-Network 模式

Wu *et al.* (2009) 修正 Connors *et al.* (1996) 的等候網路模式，將運輸軌道視為有限的產能。其基本假設如下：(1) 兩站點間的軌道視為單一「運輸軌道」；(2) 一條運輸軌道，在同一時間，只能容許一部搬運車行走(運輸流量增大時，運輸時間會拉長)；(3) 運輸軌道視為一部機台，其運輸所需要的總時間為搬運時間加上等待時間，可將搬運時間視為加工時間，等待時間視為等候加工的時間。

此模式把運輸軌道當成一個等候節點，如圖 4.6 所示，一個節點代表一個狀態，*s*1 代表工件在工作站的卸貨點，*t*1 則代表運輸軌道的轉折點。兩個節點之間的運輸軌道當成一個等候節點。把所有的運輸軌道中任何兩個連續不斷的節點視為加工機台。運輸軌道上的運輸的速率則視為等候網路模式中，機台的加工時間。當運輸的軌道不同，運輸速率也不相同，則加工時間也不同，因為每一個 Bay 都有不同的運輸需求。

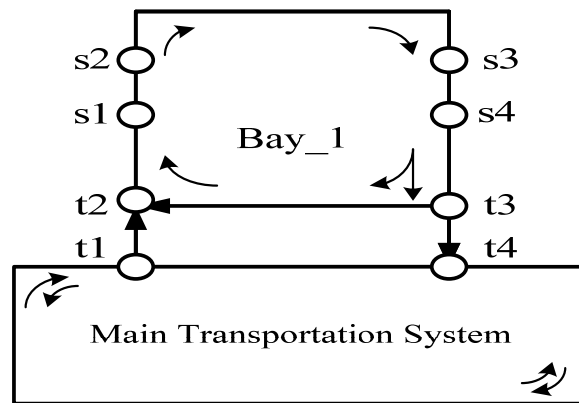


圖 4.6 運輸軌道的站點

在 Enhanced Q-Network 內中，將運輸路徑視為加工機台時，首先需假設運輸路徑唯一（走最短路徑）如圖 4.7 所示，

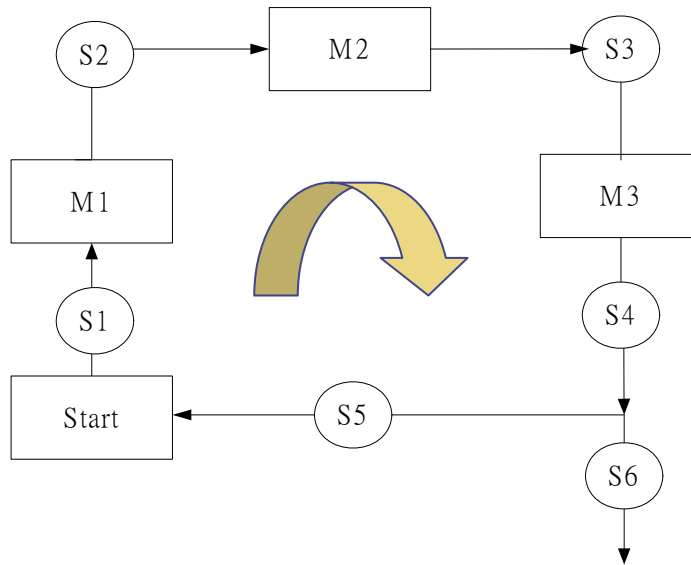


圖 4.7 運輸軌道視為機台的新生產途程規劃

藉由此方式可建立整個等候網路模式的機台（包含運輸軌道）從至圖 (from-to-table)，如表 4.1 所示：

表 4.1 運輸軌道視為機台之從至圖(from-to-table)

	<i>Start</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
<i>Start</i>	*	<i>s1</i>	<i>s1,s2</i>	<i>s1,s2,s3</i>
<i>M1</i>	<i>s2,s3,s4,s5</i>	*	<i>s2</i>	<i>s2,s3</i>
<i>M2</i>	<i>s3,s4,s5</i>	<i>s3,s4,s5,s1</i>	*	<i>s3</i>
<i>M3</i>	<i>s4,s5</i>	<i>s4,s5,s1</i>	<i>s3,s5,s1,s2</i>	*

簡單釋例如下：假設運輸時間等於零，原始生產途程為 $M1 \rightarrow M3$ ，可以表示為 $M1 \rightarrow M3$ ，但如果假設運輸時間不等於零(將運輸軌道視為機台)，則生產途程會變複雜。由表 4.1 的從至圖可得知所有機台(包含運輸機台在內)的運輸關係，原來的生產途程為 $M1 \rightarrow M3$ ，若加入運輸機台則會變成 $M1 \rightarrow s2 \rightarrow s3 \rightarrow M3$ ，由於晶圓廠的晶圓通常需要 600~700 道以上的加工道次，因此生產途程會變得十分複雜。本研究利用上述方式，即可完整建構將運輸軌道視為加工機台的等候網路模式。

4.3.2 最適運輸軌道層數設計

階段二則假設運輸時間不為零的情況下，決定最適運輸軌道層數(T_r^*)。亦即利用給定的目標產出(Th_0)、既定的產品組合(PX_0)、目標週期時間(CT_0)及步驟一所求得的機台群組合(M^*)，來決定此運輸軌道所需的層數。

Wu *et. al.* (2009)的等候網路模式的輸入輸出關係，可簡單表達如下

$CT = f(Th, PX_0, M^*, T_r)$ 。亦即給定一組運輸軌道層數(T_r)，不斷的增加 Th 直到其 CT 值達到目標生產週期時間(CT_0)，此時的產出稱為其實際產出($Actual_Th$)。我們若增加運輸軌道層數(T_r)，其實際產出也會增加，但運輸成本也會增加。因此我們需找出一個最適的運輸軌道層數，使利潤最大化。上述步驟如圖 4.8 所示：

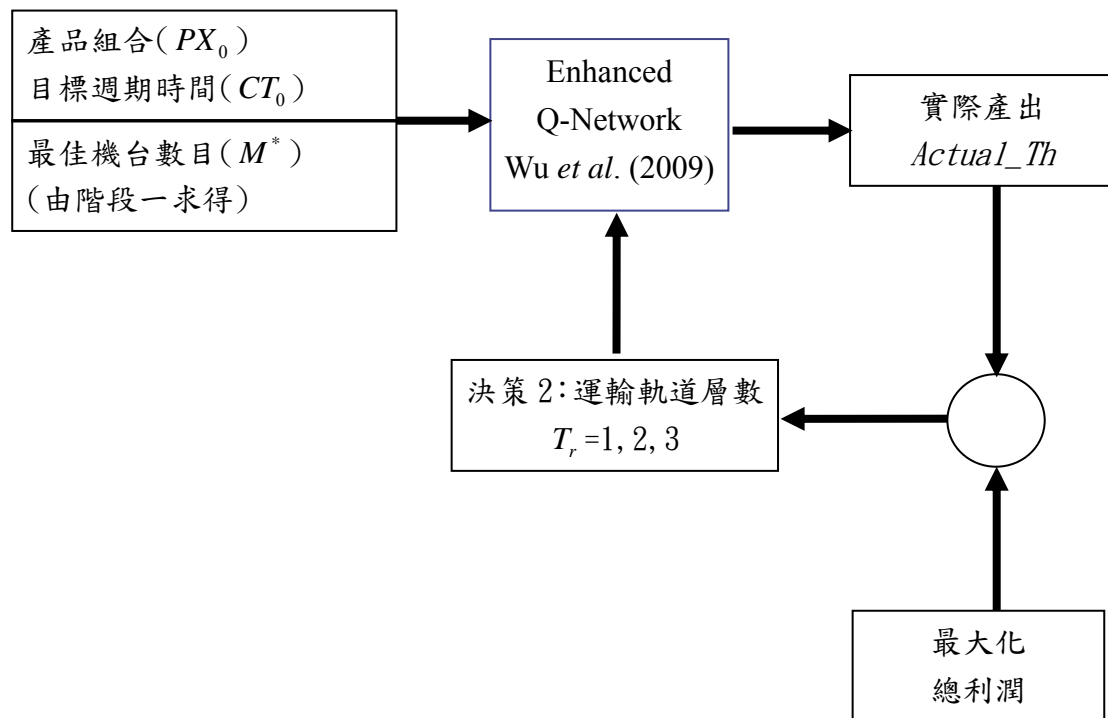


圖 4.8 運輸軌道層數設計流程

茲將求解最適運輸軌道的搜尋程序敘述如下：

Procedure

Set $i = 1$ and $flag = \text{"start"}$

While ($flag = \text{"start"}$) Do

$CT^{(i)} = f(Th_0, PX_0, M^*, T_r^{(i)})$, where $T_r^{(i)} = (i, \dots, i)$

If $CT^{(i)} > CT_0$ then $i = i + 1$

Else $flag = \text{"stop"}$

Endif

Endwhile

Set $T_r^* = T_r^{(i)}$ and Output T_r^*

4.4 實例驗證

茲將上述求解方法以實例驗證如下，資料的來源是根據工業界 12 吋晶圓廠的資料修改而得。此實例驗證假設生產 A、B 與 C 三種產品，產品比例為(A: B: C) = (5: 2: 3)，A 產品的生產途程需經 781 加工道次，B 產品需要 700 加工道次而 C 產品則需要 650 加工道次，平均每個機台的作業時間大約為 30 分鐘。晶圓廠為 Spine 式佈置，總共有 15 個 bay、60 個工作站及 132 條運輸軌道，因此在等候模式裡有 192 個服務點。

運輸時間的假設如下，假設運輸的速度為 4m/sec。標竿廠房的資訊如下：月產能 45K 的廠房，空間大小約為 200m × 100m，可容納 660 台機台為基準。我們假設晶圓廠面積大小與機台數呈正比，因此當晶圓廠的機台擴充到 800 台時，所需要的面積為表示為 $(\frac{800}{660}) \times 100\text{m} \times 200\text{m}$ ，其長寬可表示為 $(\sqrt{\frac{800}{660}} \times 100\text{m}) \times (\sqrt{\frac{800}{660}} \times 200\text{m})$ ，因此晶圓廠的運輸路徑距離為標竿廠房的 $\sqrt{\frac{800}{660}} = 1.10$ 倍，其運輸時間亦為標竿廠房的 1.10 倍。

給定一個特定的產品組合(A: B: C) = (5: 2: 3)及 35 天的目標週期時間，不同的目標產出時晶圓廠運輸軌道層數的關係。如表 4.2 所示，當小規模產出時（例如 25K）一層運輸軌道就足夠，如果大規模目標產出時，單層的運輸軌道設計會造成機台沒辦法充分利用導致實際產出減少的現象—當目標產出提升為 30K 時，一層的運輸軌道會使總產出只剩下目標產出的 80%。當產出規模越大，機台不能充分利用的情況越嚴重。原因在於單層的運輸軌道不預期的成為生產系統的瓶頸。因此本研究增添了運輸軌道的層數來克服此項缺點。如表 4.2 所示，為了使機台產能充分利用，當目標產出為 30、35 及 40K 時需要兩層的設計，當目標產出為 45、50、55 及 60K 時，需要三層運輸軌道的設計。

假設增加一層運輸軌道需要 6,000 萬美金，本研究針對表 4.2 的生產情境作成本/效益的分析。在此分析中，假設 $Q_{i,i+1}$ 代表運輸軌道為 i 層時，若增加一層運輸軌道，所因而增加的產量。根據表 4.2，在 $Th_0 = 45k$ 時，可求出 $Q_{1,2} = (44.08k - 24.2k) \cdot 12 = 238.56k$ 晶圓/年、 $Q_{2,3} = (45.0k - 44.08k) \cdot 12 = 11.04k$ 晶圓/年。

假設 r 代表毛利率、 p 代表每片晶圓的平均售價（美金），根據工業界提供的資料，本研究可合理的預估毛利率大約為 $r = 40\%$ ，每片晶圓的平均售價 $p = 2,500$ 美金且整個晶圓廠設備分五年折舊，以五年為一個週期，由一層運輸軌道增加至兩層運輸軌道時需 $5 \cdot Q_{1,2} \cdot r \cdot p = 1192.8$ 百萬美元，此情境下的報酬率為 $1192.8/60 = 19.88$ 倍。根據上述的計算方式，亦可求得當運輸軌道由原本的兩層運輸軌道擴增至三層運輸軌道時的報酬率只有 0.92，因此並不值得作三層運輸軌道的設計。表 4.3 是在各種產出規模下，採用不同運輸軌道層數的投資報酬率分析。

在不同的產品組合下，可能需要不同的運輸軌道層數設計。舉例來說，如

3.4 所示，當目標產出為 30K 時，產品組合為(A: B: C) = (4: 3: 3)時，只需要一層的運輸軌道，而當產品組合為(A: B: C) = (5: 2: 3). 時則需要兩層的運輸軌道，當目標產出為 45K 時，產品組合為(A: B: C) = (5: 2: 3)時，需要三層的運輸軌道，而當產品組合為(A: B: C) = (4: 3: 3). 時只需要兩層運輸軌道。

表 4.2 不同目標產出下，各運輸軌道層數的產出績效分析

目標產出	機台數	面積百分比	運輸時間百分比	一層運輸軌道實際產出(K)	兩層運輸軌道實際產出(K)	三層運輸軌道實際產出(K)
25K	382	57.79	76.02	25	25	25
30K	448	67.78	82.33	24.2	30	30
35K	518	78.37	88.52	27.33	35	35
40K	594	89.86	94.80	25.53	40	40
45K	661	100	100	24.2	44.08	45
50K	727	109.98	104.87	23.08	6.15	50
55K	798	120.73	109.88	22	44	55
60K	875	132.38	115.05	21.03	42.08	60

表 4.3 報酬率分析($R_{i \rightarrow j}$ 代表從 i 層擴充到 j 層)

目標產出	$(r=40\%, P=2500)$	
	$R_{1 \rightarrow 2}$	$R_{2 \rightarrow 3}$
25K	0	0
30K	5.80	0
35K	7.67	0
40K	14.47	0
45K	19.88	0.92
50K	23.07	3.85
55K	22.00	11.00
60K	21.05	17.92

表 4.4 不同產品組合對運輸軌道層數設計的影響

目標產出	產品組合	機台數	一層運輸軌道實際產出 (K)	兩層運輸軌道實際產出 (K)	三層運輸軌道實際產出 (K)
30K	5:2:3	448	24.2	30	30
	4:3:3	447	30	30	30
	3:2:5	445	30	30	30
45K	5:2:3	661	24.2	44.08	45
	4:3:3	659	24.45	45	45
	3:2:5	661	25.05	45	45

4.5 本章結論

本研究子題一強調單廠區的最適運輸軌道層數設計。為了使機台產能能得到充分的利用，有人傾向建造大規模的單廠區廠房使機台產能得到充分的利用，然而運輸軌道卻不預期的變成瓶頸，這樣的結果會造成機台利用率過低的問題。為了提升運輸的產能，必須先決定晶圓廠的運輸軌道層數，此外亦衍生了廠房高度設計的問題，由於廠房高度必須在在建廠時納入考量，通常有經驗的建築師會忽略天花板高度會成為運輸軌道層數的限制，在建造半導體廠時只用單層運輸軌道所需空間的天花板高度設計。

本研究說明大規模廠房單廠區如果只有單層運輸軌道會減少晶圓廠的產出，並提出最適運輸軌道層數的設計可以解決運輸變成瓶頸時所造成的產出減少的問題。為了確定這個提議是有否可行，本研究利用等候網路模式來衡量晶圓廠的績效。此等候網路模式採用了 Connors *et al.* (1996)所提出來的方法加以改良，將運輸軌道當成有限的產能納入 Wu *et al.* (2009)等候網路模式，並衡量整個生產系統的績效。實例驗證說明本研究子題一的提議對於總產出及利潤的提升有顯著的效果。

另外，從表 4.2 可知，在同樣目標產出為 60K 之下，單廠的設計需要 975 台機台與建造兩個 30K 的雙廠房所需的 896 台機台相比，雙廠的機台成本要高很多，然而雙廠的結構設計之下需要兩層的運輸軌道，而單廠區的結構設計則需要三層的運輸軌道。因此，雙廠區設計的運輸軌道的成本與無塵室空間的作業成本會小於單廠的成本。

第五章 三種廠房規劃方案比較

本章以實例驗證比較三種廠房方案的優劣，並進一步推論各方案適合的生產情境。最後探討不同產品回流率對於三種建廠方案的影響。

5.1 情境假設

(A) 產品資訊

- (1) 三種產品 A、B、C，其生產比例為 5:2:3。
- (2) A、B、C 產品為同一產品族，加工製程特性類似。功能分割雙廠房方案，面對同樣產品族的產品，其工作站配置都相同。
- (3) 一個批量(Lot)大小為 25 片晶圓(Wafer)。
- (4) 產品途程：

產品	加工道次數	回流次數	回流比率
A	781	204	26.12 %
B	700	175	25 %
C	650	177	27.23 %

- (5) 回流比率：本研究定義回流比率=回流次數/加工道次數。工作站經指派過後，即可得知產品途程需要經過幾次跨廠回流次數。

(B) 廠房資訊

- (1) 晶圓廠皆採取 Spine 式佈置
- (2) 加工區(Bay)：15 個
- (3) 工作站(Workstation)：依照本研究提出的工作站分配法，Fab1_包含 24 個工作站，Fab_2 包含 36 個工作站，兩廠總共 60 個工作站。
- (4) 平均每部機台加工時間為 30 分鐘，並考慮當機情況。
- (5) 運輸軌道區段(Transportation Track Segment)：Fab_1 共有 114 個運輸區段，Fab_2 共有 126 個運輸區段。
- (6) 兩廠大約相距 250 公尺，跨廠運輸時間大約 25 秒。
- (7) 當決定增加運輸軌道時，單廠房以及雙廠方案的兩廠房內的所有運輸區段都同時增加運輸軌道數，屬於一次到位的整層軌道擴建。

(C) 成本資訊

- (1) 標竿廠(月產量 45K)增加一層運輸軌道的成本為 12,000 萬美元，假設 運輸軌道成本隨廠房內運輸距離成正比。
- (2) 增加一條跨廠通道的成本為增加運輸軌道成本的 4%。
- (3) 每片晶圓單價大約 2,500 元，半導體產品毛利率大約等於 30%。
- (4) 不考慮機台成本，因各方案具有相同的機台組合，機台總成本相同。

故比較利潤時，可以忽略機台成本的計算。

(5) 半導體廠房設備折舊週期為五年。

(D) 其他資訊

(1) 目標週期時間：運輸時間等於零，規劃廠房機台數時，目標週期時間為 20 天。運輸時間不等於零，求實際產出量時，目標週期時間為 35 天。

(2) 標竿廠房資訊：月產量 45K(1800 lot)；廠房面積= 200m * 100m；廠內運輸速率= 4.0 m/s；總機台數：621 台

(E) 實驗變動參數：不同的目標產出規模需求，分別為月產量 30K(1200 lots)、45K(1800 lots)、60K(2400 lots)、90K(3600 lots)以及 120K(4800 lots)。

5.2 結果分析

5.2.1 實驗參數推估

不同的目標產出下，廠房需要的機台數目不同，大規模的目標產出需要較多的機台數以及較大的廠房面積去容納機台，廠房變大造成廠內的運輸距離變長，各運輸區段搬運時間變長。如下表 5.1 所示，與標竿廠 45K 相比，120K 廠房所需要的總機台數為 1594 台，廠房面積大約為標竿廠的 2.57 倍，廠內運輸時間大約為標竿廠的 1.6 倍。而 120K 廠房新增一條運輸軌道成本大約 192.26 佰萬美元。

5.2.2 功能分割雙廠房的最適運輸系統設計

表 5.2 說明不同的目標產出下，功能分割雙廠房方案其運輸系統設計的實際產出績效，以月產量 30K 為例，只需要一層運輸軌道，但是需要三條跨廠通道才可以達到目標產出，45K 的規模產出則需要一層運輸軌道、四條跨廠通道。而當產出規模持續上升，廠內的運輸系統成為生產瓶頸。如 60K 的規模產出只架設一層運輸軌道，則實際產出量最多達 1807 lots，約為目標產出的 75.3%。如果擴增運輸軌道數為兩層，則可以達成 60K 的目標產出(2400 lots，五條通道)。120K 規模的運輸則需要四層運輸軌道、九條通道。

5.2.3 軌道擴建報酬率

根據表 5.2 得到的結果，本節將計算功能分割雙廠房方案軌道擴增的報酬率。假設 $Q(X)_{i,i+1}$ 代表當目標規模產出為 X 、運輸軌道為 i 層時，增加一層軌道所增加的產量。由於架設跨廠通道的成本遠低於運輸軌道的成本，因此面對不同規模的運輸系統設計，都以滿足跨廠運輸為優先，也就是跨廠通道數必須足夠。以規模產出 120K 廠為例， $Q(120K)_{1,2} = (2598-1298)*25*12 = 390K$ 晶圓/年，代表目標產出為 120K 時，運輸軌道從第一層擴增到第二層，每年可多產出 390K 晶圓片。 $Q(120K)_{2,3} = (3888-2598)*25*12 = 387K$ 晶圓/年。

表 5.1: 不同目標產出下的廠房設置機台數以及廠內運輸時間比例

目標產出	最適機台數			面積百分比		運輸時間百分比		運輸軌道 成本
	Fab	Fab	總	Fab1	Fab2	Fab1	Fab2	(佰萬美 元)
30K(1200 lots)	212	218	430	67.7	70.8	82.3	84.1	99.86
45K(1800 lots)	313	308	621	100	100	100	100	120
60K(2400 lots)	409	413	822	130.7	134.1	114.3	115.8	138.06
90K(3600 lots)	606	608	1214	193.6	197.4	139.1	140.5	167.78
120K(4800 lots)	770	814	1584	246	264.3	156.8	162.6	192.26

根據工業界提供的資料，本研究假設每片晶圓單價 $P = 2500$ 美元，產品毛利率 $r = 30\%$ ，而半導體廠折舊週期為五年。以目標產出 120K 的規模來看，從一層軌道數擴增到兩層軌道數，軌道總成本為 207.63 佰萬美元，其增加的獲利為 $5 * Q(120K)_{1,2} * r * p = 1462.5$ 佰萬美元，其報酬率為 $1462.5 / 207.63 = 7.04$ 倍。而從兩層軌道擴增到三層軌道，其報酬率 = 7 倍。假設 $R(X)_{i \rightarrow j}$ 為規模產出為 X 下，擴增運輸軌道數 $i \rightarrow j$ 的投資報酬率，表 5.3 為不同規模下，擴增運輸軌道數的投資報酬率。從表中可以發現在小規模產出的情境下，如月產量 30K、45K 情境只需要一層運輸軌道數即可，而 60K、90K、120K 情境擴增運輸軌道數即可以獲得極大的報酬率。

5.2.4 廠房設計方案比較

本章節將比較不同的廠房生產設計方案，其廠房設計方案有單廠房、功能完整雙廠房以及功能分割雙廠房方案。給定相同的生產情境假設，針對不同的規模目標產出下，導入利潤/成本考量，比較各方案的利潤表現。

表 5.2: 不同目標產出下，功能分割雙廠房的最適運輸設計

目標產出	跨廠通道	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	運輸層數									
30K (1200Lot)	1	594	1188	1200						
	2	594	1188	1200						
	3	594	1188	1200						
45K (1800Lot)	1	594	1188	1783	1800					
	2	594	1188	1783	1800					
	3	594	1188	1783	1800					
60K (2400Lot)	1	594	1188	1783	1807	1807				
	2	594	1188	1783	2377	2400				
	3	594	1188	1783	2377	2400				
90K (3600Lot)	1	594	1188	1487	1487					
	2	594	1188	1783	2377	2972	2972			
	3	594	1188	1783	2377	2972	3567	3600		
120 (4800Lot)	1	594	1188	1298	1298					
	2	594	1188	1783	2377	2598	2598			
	3	594	1188	1783	2377	2972	3567	3888	3888	
	4	594	1188	1783	2377	2972	3567	4162	4757	4800

表 5.3: 不同規模下，擴增運輸軌道數的報酬分析

功能分割雙廠房	(R = 30%, P = 2500)			
	目標產出	$R_{1 \rightarrow 2}$	$R_{2 \rightarrow 3}$	$R_{3 \rightarrow 4}$
30K		0	0	0
45K		0	0	0
60K		4.65	0	0
90K		9.22	3.90	0
120K		7.04	7	4.94

表 5.4 三個廠房方案的實際產出比較

(下標數字為跨廠通道數)

廠房設計	運輸層數	目標產出				
		30K (1200 lots)	45K (1800 lots)	60K (2400 lots)	90K (3600 lots)	120K (4800 lots)
單廠房	1	1200	1060	921	758	661
	2	1200	1800	1843	1517	1324
	3	1200	1800	2400	2276	1986
	4	1200	1800	2400	3037	2649
	5	1200	1800	2400	3600	3311
	6	1200	1800	2400	3600	3974
	7	1200	1800	2400	3600	4636
	8	1200	1800	2400	3600	4800
功能完整 雙廠房	1	1037 ₍₁₎	1529 ₍₁₎	2072 ₍₁₎	1989 ₍₁₎	1743 ₍₁₎
	2	1037 ₍₁₎	1529 ₍₁₎	2147 ₍₁₎	3396 ₍₁₎	3482 ₍₁₎
	3	1037 ₍₁₎	1529 ₍₁₎	2147 ₍₁₎	3396 ₍₁₎	4593 ₍₁₎
	4	1037 ₍₁₎	1529 ₍₁₎	2147 ₍₁₎	3396 ₍₁₎	4593 ₍₁₎
功能分割 雙廠房	1	1200 ₍₂₎	1800 ₍₄₎	1807 ₍₄₎	1487 ₍₃₎	1298 ₍₃₎
	2	1200 ₍₂₎	1800 ₍₄₎	2400 ₍₅₎	2972 ₍₅₎	2598 ₍₅₎
	3	1200 ₍₂₎	1800 ₍₄₎	2400 ₍₅₎	3600 ₍₇₎	3888 ₍₇₎
	4	1200 ₍₂₎	1800 ₍₄₎	2400 ₍₅₎	3600 ₍₇₎	4800 ₍₉₎

從表 5.4 中，單廠房方案在目標產出 30K、45K、60K、90K、120K 的規模產出情境下，單廠房方案需要的運輸軌道數分別為一層、兩層、三層、五層、八層；功能完整雙廠房方案則是在 30K、45K 只需要一層運輸軌道，60K、90K 需要兩層運輸軌道，120K 則需要三層運輸軌道，任何目標產出規模皆只需要一條跨廠通道。但功能完整雙廠房方案則無法達到目標產出，經過分析機台利用率表現後，發現加工機台成為產出瓶頸而非運輸節點，本研究將其原因留待本章結論再作說明；功能分割雙廠房方案在 30K、45K 需要一層運輸軌道，所需的跨廠通道數為兩條、四條，60K 需要兩層軌道數以及五條通道，90K 需要三層運輸軌道以及七條通道，120K 需要四層運輸軌道以及九條通道。

在目標最大化利潤下，各方案的最佳選擇的利潤表現如附表 A。以目標產出月產量 45K 為例，單廠房方案的最佳運輸設計為兩層運輸軌道，實際產出可達

1800 lots；功能完整雙廠房方案的最佳方案為一層運輸軌道，一條通道，實際產出可達 1529 lots；功能分割雙廠房方案的最佳方案為一層運輸通道，四條通道，實際產出可達 1800 lots。各方案毛利計算後分別為：單廠房(17.85 億美元)；功能完整雙廠房(15.95 億美元)；功能分割雙廠房(18.86 億美元)。在目標產出 45K 的規模下，功能分割雙廠房方案比單廠房方案 5 年高出 1.01 億美元的利潤，比功能完整雙廠房方案 5 年高出 2.09 億美元。

5.3 本章結論

茲將各方案利潤表現製作出利潤折線圖，如圖 5.1:

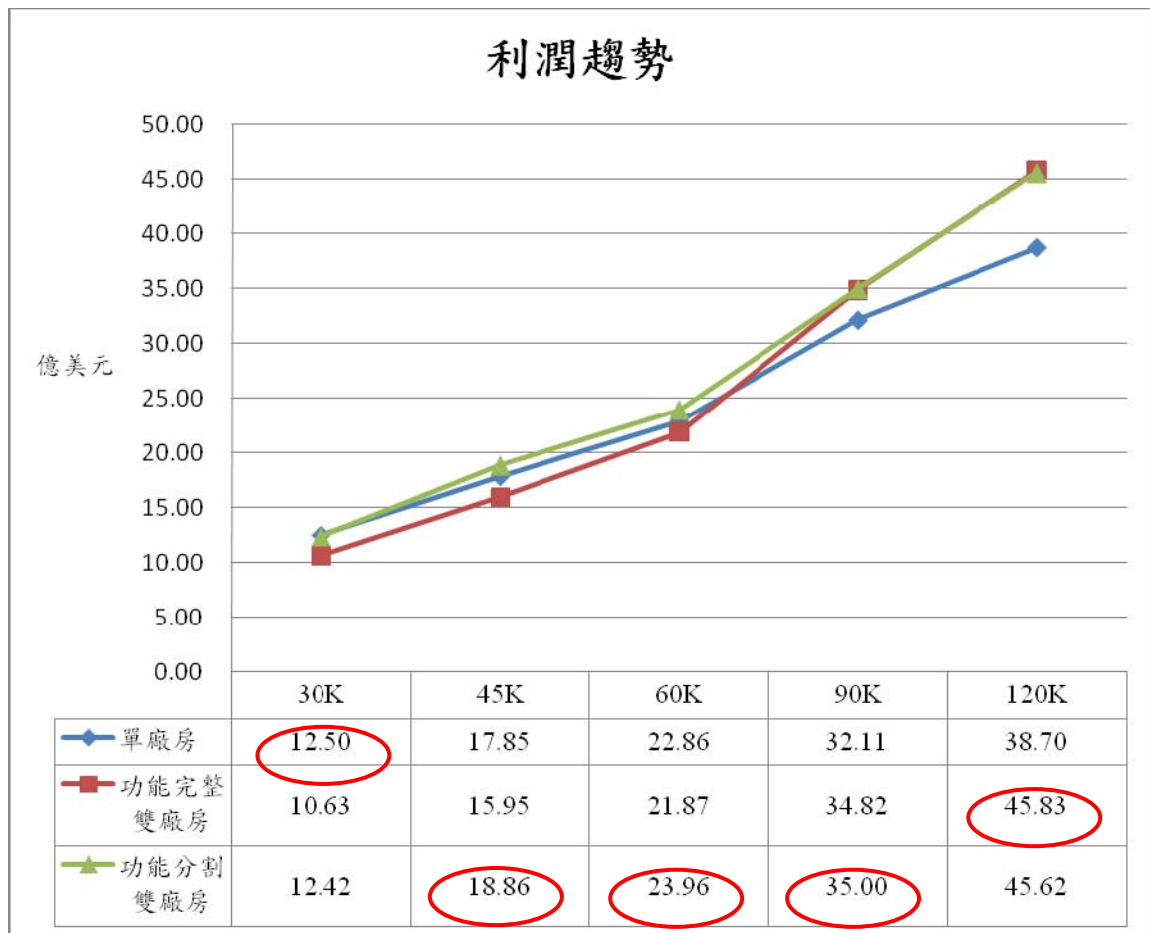


圖 5.1: 三方案利潤分析線圖

根據圖 5.1，除了在目標產出 30K 的情況下，單廠房方案表現最好(12.5 億美元)。產出規模 45K~90K，功能分割雙廠房方案表現最好。隨著目標產出規模需求上升，功能分割雙廠房方案對單廠房方案的利潤差距拉大，但與功能完整雙廠房的利潤差距則縮小。而當產出規模來到 120K 時，功能完整雙廠房表現最好(45.83 億美元)。

本研究認為功能分割雙廠房方案之所以會比單一廠房方案要好的原因在於

運輸軌道與工作站設置的位置有關，單一大廠房的中央運輸軌道等同一個大迴圈，工作站位於軌道兩側，如圖 5.2:

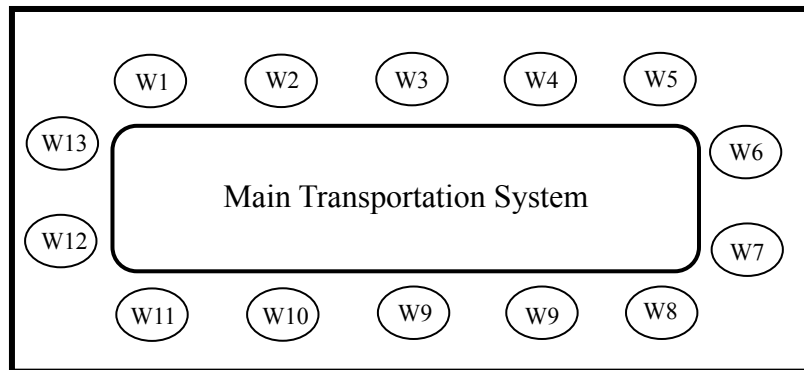


圖 5.2: 單一廠房軌道與工作站配置

在單一大廠房內，中央軌道迴圈內不設置工作站，廠房面積大使得各工作站距離較遠，工件運輸距離變長。

功能分割雙廠房方案如果將跨廠通道視為廠內運輸，其概念雖然類似單一大廠，但其軌道以及工作站的設置卻是有所不同，如圖 5.3:

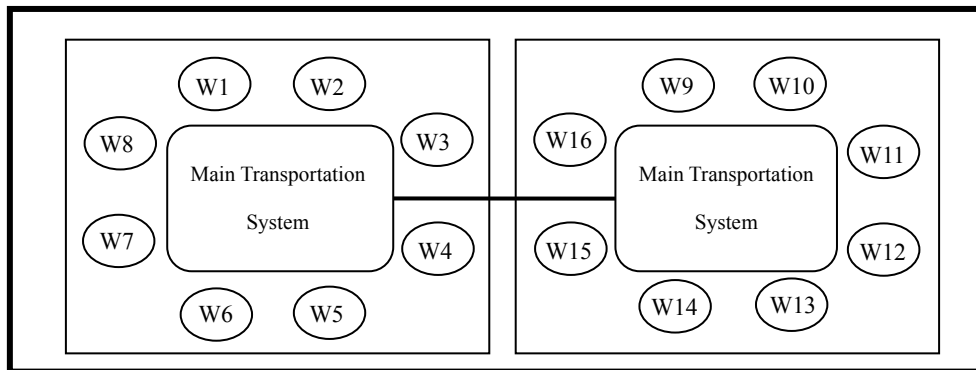


圖 5.3: 功能分割雙廠房軌道與工作站配置

雙廠房的中央軌道迴圈較小，且兩廠中央軌道間可以設置工作站(如 W3、W4、W15、W16 的工作站位置)，廠房面積小使得工作站間距離較近，因此搬運時間較短，故功能分割雙廠房方案表現優於單一大廠方案。

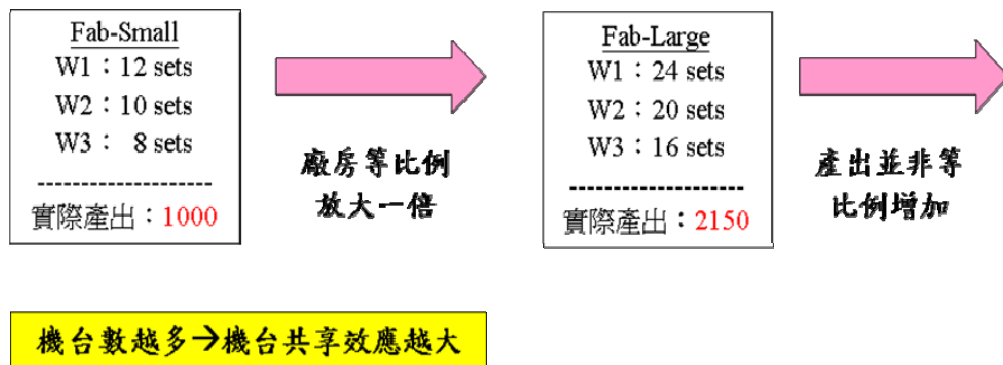


圖 5.4: 機台共享效應

廠房內隨著機台數增加，機台共享效應越大，如圖 5.4 所示：當廠房機台組合等比例放大時，因為有更多機台可以互相支援產能，產出增加量超出等比例。各方案的最適機台配置都是在單一廠房的假設下所規劃的機台配置。功能完整雙廠房方案將相同機台平均分配到兩廠，等同於將廠房縮小一半，廠房產出量縮小超過一半，兩小廠加起來的實際產出就無法達到預定的目標產出。

功能分割雙廠房是將工作指派到兩廠，相同的機台依然設置在一起，不會破壞最適機台配置，且機台設置在一起可互相支援。在目標產出規模 30~90K 下，功能分割雙廠房方案皆優於功能完整雙廠房方案。

值得注意的是隨著目標產出規模越來越大，兩方案的利潤差距變小，甚至根據圖 5.1 趨勢，當目標產出規模大於一定程度以上(月產量 120K)，功能完整雙廠房的利潤表現會優於功能分割雙廠房。關於這樣的結果，本研究認為隨著目標產出規模越來越大，需要的建廠機台數越來越多，當機台數量多到一定程度時，則功能完整雙廠房方案的兩小廠機台數增加，機台共享效應發揮優勢。

第六章 結論與建議

6.1 結論

本計畫目的是研究大規模產出下，半導體廠應該採取何種設計方案。本研究共討論三種廠房設計方案。第一種方案是單一大廠，第二種兩個功能獨立的小廠，第三種是兩個功能分割的小廠。針對此三種廠房設計方案，本研究分成三個子題進行研究，目前已經發表三篇 SCI 的國際期刊論文(Wu *et al.* 2009a, Wu *et al.* 2009b, Wu *et al.* 2010)。茲將各子題的研究貢獻分述如下：

子題一是發展求解的雙廠區跨廠途程規劃方法，共提出兩種方法，第一個方法是假設全部產品都可跨廠生產，雖可求解但速度較慢，求解約需計算 13 小時，第二個方法是第一個方法的改良，假設只有部分產品可跨廠生產，求解速度較快，求解約需 0.5 小時。但是求解品質約有 2% 的誤差。此兩方法的求解架構很類似，都是分成兩階段求解。階段一是求解各產品途程切割點的選擇方式，階段二是求解途程生產比例的。

子題二是發展大規模生產下，最適運輸軌道層數設計的方法，此子題過去並無文獻探討，本研究應可視為首創性研究。此子題分成兩階段求解，階段一提出了最適機台數目的決定方法，階段二則提出了最適運輸軌道層數設計的方法，可提供作為未來單廠區半導體廠房設計時的參考依據。實例驗證說明運輸軌道在大規模晶圓廠時很容易成為生產瓶頸，因此可能需要設置多層軌道的運輸系統，亦即廠房高度需要適度加高，此中資訊對於建築師非常重要，若未能在建築廠房即考慮建築高度，到最後可能因為運輸軌道成為瓶頸，而使機台的產能無法充分發揮。

子題三是上述兩子題的應用，主要是比較三種廠房規劃方案，實例驗證顯示，在小規模產出(30K 以下)時應採用方案一(單廠區多層軌道的方案)，大規模產(45K~90K)時則應採用方案三(功能分割雙廠區方案)。但當產出規模太大(120K)時，則建議採用方案二(功能完整之雙廠房方案)。

6.2 未來研究方向

本計畫未來研究有兩個可能方向：(1)增加途程切割點；(2)多廠區的跨廠途程規劃。在增加途程切割點方面，本研究目前只考慮一個切割點，亦即每種產品最多只能跨廠一次，如果有多個切割點，在途程選擇上會比較有彈性，也可能會提高產出。

在多廠區的跨廠途程規劃方面，本研究目前只考慮兩個廠區的跨廠問題，當可跨廠的廠區增多時，其複雜度會更高，管理上會更複雜，因此多廠區跨廠途程規劃是另一個值得研究的議題。

參考文獻

- Connors, D. P., Feigin, G. E., & Yao, D. D. (1996). A Queueing network model for semiconductor manufacturing. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 9(3), 412-427.
- Egbelu, P. J., (1987). The use of non simulation approaches in estimating vehicle requirements in an automated guided vehicle based transport system. *Material Flow*, 4, 17-32.
- Hood, S. J., Bermon, S., & Barahona, F., (2003). Capacity planning under demand uncertainty for semiconductor manufacturing. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 16(2), 273- 280.
- Jang, J., Suh, J., & Ferreira, P. M., (2001). An AGV routing policy reflecting the current and future state of semiconductor and LCD production lines. *International Journal of Production Research*, 39(17), 3901-3921.
- Lin, J. T., Wang, F. K., & Wu, C. K., (2003). Simulation Analysis of the Connecting transport AMHS in a wafer fab. *IEEE Transactions on semiconductor Manufacturing*, 16(3), 555-564.
- Mackulak, G. T., & Savory, P., (2001). A simulation-based experiment for comparing AMHS performance in a semiconductor fabrication facility. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 14(3), 273-280.
- Nazzal, D., & McGinnis, L.F., (2007). Analytical approach to estimating AMHS performance in 300mm fabs. *International Journal of Production Research*, 45(3), 571-590.
- Peters, B. A., & Yang T., (1997). Integrated facility layout and material handling system design in semiconductor fabrication facilities. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 10(3), 360-369.
- Swaminathan, J., (2000). Tool capacity planning for semiconductor fabrication facilities under demand uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 120, 545-558.
- Toba, H., Izumi, H., Hatada, H., & Chikushima, T., (2005). Dynamic Load Balancing Among Multiple Fabrication Lines Through Estimation of Minimum Inter-Operation Time. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 18(1), 202-213.
- Ting, J. H., & Tanchoco, J. M. A., (2001). Optimal bidirectional spine layout for overhead material handling systems, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 14(1), 57-64.
- Wang, F. K., & Lin, J. T., (2004). Performance evaluation of an automated material handling system for a wafer fab. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20, 91-100.
- Wu, M. C., & Chang, W. J., (2007). A short-term capacity trading method for semiconductor fabs with partnership. *Expert systems with application*, 33(2), 476-483.
- Wu, M. C., Chen, C. F., & Shih, C. F., (2009a). Route Planning for Two Wafer Fabs with Capacity-Sharing Mechanisms. *International Journal of Production Research*, 47(20), 5843-5856.
- Wu, M. C., Shih, C. F, and Chen, C. F., (2009b) “An Efficient Approach to Cross-Fab Route Planning for Wafer Manufacturing,” *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, pp. 10962-10968.

Wu, M. C., Shih, C. F. and Chen, C. F., (2010) "An Analysis of Ceiling Height Requirement for a Large-scale Semiconductor Fab," *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 12, pp. 3697-3706.