

南 華 大 學

資訊管理學系

碩士論文

半導體製造機台組態配置之研究

A Study of Tool Portfolio Allocation for Semiconductor Manufacturing



研究生：林佳蓉

指導教授：李翔詣

中華民國 九十八 年 六 月

南 華 大 學

資訊管理學系

碩 士 學 位 論 文

半 導 體 製 造 機 台 組 態 配 置 之 研 究

研 究 生：林 佳 蓉

經 考 試 合 格 特 此 證 明

口 試 委 員：江 春 臣
李 翔 詣
柯 志 貴

邱 宏 村

指 導 教 授：李 翔 詣

系 主 任 (所 長)：資訊管理學系
系主任 鍾國貴

口 試 日 期：中 華 民 國 98 年 06 月 17 日

南華大學資訊管理學系碩士論文著作財產權同意書

立書人：_____ 林佳蓉 _____ 之碩士畢業論文

中文題目：半導體製造機台組態配置之研究

英文題目：A Study of Tool Portfolio Allocation for Semiconductor Manufacturing

指導教授： 李翔詣 博士

學生與指導老師就本篇論文內容及資料其著作財產權歸屬如下：

- 共同享有著作權
- 共同享有著作權，學生願「拋棄」著作財產權
- 學生獨自享有著作財產權

學 生： 林佳蓉 (請親自簽名)

指導老師： 李翔詣 (請親自簽名)

中 華 民 國 98 年 6 月 17 月

南華大學碩士班研究生
論文指導教授推薦函

資訊管理學系碩士班林佳蓉君所提之論文
半導體製造機台組態配置之研究
係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授 李翔詣

98年6月17日

誌 謝

本論文得以完成，必須由衷感謝我的恩師 李翔詣老師悉心的指導與教誨，無論在專業技巧、邏輯思考與待人處事的能力上，也因此有了更深的體認。更感謝林義貴老師、江育民老師及邱宏彬老師給予本論文的各項意見，使得本論文更趨於完整。

也感謝研究室中親愛的小練學長、宣均學姐與育弘學長對我的鼓勵與提點，以及這二年陪伴我的可愛夥伴，「高學歷家庭主婦」一意純，與常來串門子的幾位 204 的研究生夥伴們，還有三位越來越優秀的學弟妹佳燕、怡伶與山田，因為有你們才讓我覺得做研究的道路不是我一個人的單打獨鬥，更不如想像中如此地枯燥乏味。另外，還必須感謝亦師亦友的小護士、伊汝姐、文雯姐與王佳文老師，以及衛生保健組和系辦的可愛學弟妹，在我為論文忙碌的期間，協助我處理各項事務。

最後，最需要感謝我最最親愛的家人們，與隨時在身旁為我充電的安娜、紅蓮與襄理，還有遠在天邊近在眼前的阿沛舅舅，所給予我的各項生活起居的照顧與心境轉換的陪伴，謝謝你們。如果沒有你們，我真的沒辦法堅持理想這麼久！

在此，謹將本篇論文獻給以上我最愛的大家，以及所有愛我及我所愛的人。

林佳蓉 謹致於南華大學

中華民國九十八年六月

半導體製造機台組態規劃配置之研究

學生：林佳蓉

指導教授：李翔詣

南 華 大 學 資 訊 管 理 學 系 碩 士 班

摘 要

在傳統上，許多半導體製造廠採用靜態產能模型搭配人工試誤的方法進行機台組態規劃，但該方法在產能驟然變化時，無法即時且彈性地得到合理的機台組態。故本研究發展一套改良式機台組態規劃系統。此系統具有二種功能，首先是在產能過剩的情況下，建立生產線機台縮減之規則，以配合公司縮減成本之考量；再者也可以於產量回升時，尋找關鍵瓶頸製程，讓使用者據此進行機台組態之調整。

此線性規劃模型利用靜態產能模型結合混合整數規劃之特性，進行模型之建構。此模型二個部份分別為：「機台縮減規則」以及「關鍵瓶頸製程找尋」，二者藉由環環相扣的方式進行一連串機台組態規劃之動作。其主要觀念建構分別為：在符合排定的主排程表前提下，機台數量最小化；在滿足新的主排程表與不改變現有機台組態前提之下，各製程所必須增加的 MOVE 數最小化。

本研究透過半導體製造廠商所提供之各項實際生產線運作資料進行驗證得到不錯的結果，其平均運算皆在 50 秒內。初步來說，本研究所提出之改良式機台組態規劃系統具有一定的實用價值。

關鍵字：機台組態、靜態產能模型、混合整數規劃、瓶頸製程

A Study of Tool Portfolio Allocation for Semiconductor

Manufacturing

Student : Lin, Jia-Rong Advisor : Dr. Lee, Hsiang Yi

Department of Information Management

The M.I.M. Program

Nan-Hua University

ABSTRACT

The objective of this study is to develop a system for the semiconductor tool portfolio allocation with three functions: tool portfolio for maximization output, minimization of operation tool for MPS and identification of key processes when capacity is not enough. As semiconductor industry is very capital intensive, it is important to allocate the tool portfolio efficiently. However, as the tool capacity ceiling varies based on whether it is used in single process or not. It is very time consuming to find a feasible solution via spreadsheet manually as industry currently does. Besides, demand changes rapidly in today's market. Therefore, this study developed a system that could minimize the number of operation tool as the demand shrinks and determine the critical process when demand booms. This study adapts the mixed integer programming method and introduces some binary integer to indicate the status of tool usage, tool usage in certain process ...etc. And find the optimal solution via these binary integer variables. On the other hand, a variable for the extra capacity demand is introduced in identifying the key processes. The processes with positive extra capacity demand are the key processes when capacity does not meet demand MPS. A validation using factory MPS showed that this system could quickly provide the satisfactory solution when the demand varies.

Keywords: tool portfolio, static capacity model, mixed integer programming, key process

目錄

書名頁	II
論文著作財產權同意書	III
論文指導教授推薦函	IV
論文口試合格證明書	V
誌謝	VI
中文摘要	VII
英文摘要	VIII
目錄	IX
表目錄	XI
圖目錄	XII
第一章、緒論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目的	3
第三節 研究限制	4
第二章、文獻探討	5
第一節 機台組態	5
第二節 系統瓶頸	13
第三章、研究方法	16

第一節 機台縮減規則	17
第二節 關鍵瓶頸製程找尋	24
第四章、實例驗證與數據分析	27
第一節 生產線資料建立	27
第二節 LINGO運算及結果	30
第三節 數據分析	33
第五章、結論與未來展望	36
第一節 結論	36
第二節 未來展望	38
參考文獻	39
附錄	42

表目錄

表 1-1 2008 年國內半導體產業產值現況.....	1
表 4-1 生產模型運作平台.....	29
表 4-2 MPS 驗證.....	30
表 4-3 MPS1 縮減機台結果.....	30
表 4-4 MPS2 之實驗結果.....	31
表 4-5 機台縮減階段驗證結果.....	32
表 4-6 關鍵瓶頸製程階段驗證結果.....	33
表 5-1 本研究模型與人工配置方法比較結果.....	35

圖目錄

圖 2-1 等候線基本模型.....	7
圖 2-2 開放式等候網路模型.....	8
圖 2-3 封閉式等候網路模型.....	8
圖 3-1 改良式機台組態規劃模型示意圖.....	17
圖 4-1 生產線及機台資料輸入介面.....	26
圖 4-2 主排程表輸入介面.....	27
圖 4-3 縮減機台輸出介面.....	27
圖 4-4 關鍵瓶頸製程輸出介面（數字為該製程缺少的 MOVE 數）..	28

第一章、緒論

第一節 研究背景與動機

在全球半導體產業分工之中台灣表現極為優異，其原因主要是因為代工技術的增進以及完善的成本控制。2008 年金融海嘯衝擊全球，全球經濟狀況仍動盪且不明朗的情形之下，強烈衝擊到一向視為台灣指標性產業的半導體產業。

根據工研院 IEK ITIS 計畫的調查報告[4]指出，2008 年台灣 IC 產業整體產值大幅衰退，約為一兆三千四百七十三億台幣，整體較 2007 年衰退 8.1%，尤以 IC 製造產業衰退最為明顯，衰退程度高達 11.2%。其各項分類如下表 1-1。

表 1-1 2008 年國內半導體產業產值狀況

產業別	產值（單位：億元）	較 2007 年衰退程度
IC 設計產業	3,749	6.2%
IC 製造產業	6,542	11.2%
IC 封裝產業	2,217	2.8%
IC 測試產業	965	5.7%

資料來源：工研院 ITIS 計畫

對半導體製造廠商而言，機台的產能利用率會直接影響其營收及獲利，在景氣動盪如此劇烈的情形之下，更是相形重要的關鍵績效指標之一。

因此半導體製造廠商若可以依照需求量，彈性調整適當的機台組合及其使用量，便能快速達到控制成本的目的。但除機台建置費用之外，半導體各製程的機台基本維護費用、耗材的使用及水電費等變動成本等，更是半導體廠商的一大開銷。以新竹科學園區 V 公司為例：其目前共生產十四種產品必須經過三道製程，包含了曝光 (Stepper)、塗光阻 (Coater) 及顯影 (Developer)。其中，若各關閉一台機台則每月省下來成本約各自為一萬、六萬及十八萬，再加上每台塗光阻機台之光阻劑成本約為二萬，粗略估計之下，平均每關閉一台機台則每月省下十萬元以上，在景氣蕭條時不失為節省成本的方法之一。

國內半導體製造業原本就有足量的機台數目以應付景氣繁榮的訂單，故在景氣不佳的情形下，能夠關閉多餘產量的機台，以解決機台閒置的問題；在景氣回升時，快速找尋何為關鍵瓶頸製程，解除其瓶頸現象，即時反應增加的訂單需求，是半導體製造商努力的目標。然而在實際半導體製造業中，機台組態的配置相當不易。在機台購買及運行相關成本居高不下的情況下，半導體製造廠商在景氣狀況較佳時，會將部份暫時使用不到的機台，維持在待機的狀態，以應付隨時需要增加的產量，或進行部份跨製程機台的調校，將該跨製程機台運用在不同生產作業上，試圖以最小的機台數量來應付目前訂單產量，此特性以黃光區製程機台更為顯著。

但在過去，許多半導體製造廠採用靜態產能模型搭配人工試誤的方法進行機台組態規劃，此技術只能知道機台產能配置是否足夠應付訂單需求。當訂單數量驟減時，其現有機台組態之剩餘產能不但無

法即時反應在靜態產能模型上，此模型更不會告知使用者是否可進行「機台縮減」的動作。然若遇到產能不足以應付訂單數量時，也無從得知產量不足的「關鍵瓶頸製程」為何，更遑論進一步解決瓶頸現象的產生。再加上，過去機台組態配置的研究，主要為單一機台開關與否的配置，並無考慮機台跨程使用所造成的產能浪費，故此方法並不符合實際的成本效益，不合適目前半導體製造業所使用。

本研究期望針對半導體製造廠商現有的機器設備進行機台組態配置，並同時考慮機台跨製程所造成的產能耗損情形，在滿足需求量的前提之下，進一步分配產能至各個機台上，並得到一個合理的機台組態配置。同時，接續上述之機台組態進行關鍵瓶頸製程的找尋，以排除瓶頸現象。故本研究根據問題的特性與實際生產線情況進行分析研究，並利用混合整數規劃之特性，提出一套改良的機台組態規劃模型。

第二節 研究目的

本研究期望經由半導體製造廠商所提供之各項真實資料，例如：機台各製程的運作參數、最終產出的產品組合及主生產排程（Master Production Schedule, MPS）等，實際生產線運作資料進行研究，並發展一套考量瓶頸製程的改良式機台組態規劃模型。

本研究期望提出之線性規劃模型主要分為二個部份，第一部份主要目的為：在產能過剩的情況下，建立生產線機台縮減之規則，以配合公司縮減成本之考量；第二部份則為：在不改變現有機台組合的前提之下，尋找關鍵瓶頸製程，並提供各個機台之使用量，以供給使

用者足夠的資訊，全力進行機台組態之調整，以符合主排程表所增加之需求。

因此，本研究以整數規劃的特性，配合 LINGO 數學規劃模型，進而歸納出一套線性規則，同時透過 Microsoft Excel 進行生產線機台資料輸入，據此建構一套系統，期待在短時間內達到以上二個目的。

第三節 研究限制

本研究概念上為依照主生產排程之需求，進行生產線機台組態及其使用量之配置。不同的製造業者其生產方式與產品組合皆不盡相同，本研究所設計之數學模型，不一定適用於所有的半導體相關產業。若將來半導體相關製造業者欲進行使用時，則需掌握本研究之概念，並將本研究所提出之數學模型作適切性的調整，即可得到合適的求解方式與結果。

另一方面，本研究主要考量為主生產排程之需求以及跨製程相關變數調整，以進行機台組態的規劃。但由於本研究主要目的為單純機台組態之規劃及其使用量分配，故尚無考慮生產週期時間 (Cycle Time)、產品獲利比重、製程延遲或重工等因素。

第二章、文獻探討

第一節 機台組態

「產能規劃」是製造業用來確定機台設備、器具等等生產資源，或是總體生產能力的一個程序，各大製造業者也期望透過產能規劃，可以建立公司長期競爭策略的基礎 [21]。在產能規劃的議題中「機台組態」是十分重要的決策之一，其主要的工作為依據產品的需求與產品的製程要求，決定工廠內機台類別與數量的規劃程序。

半導體製造業具有設備成本高、製程步驟多、機器設備複雜等特性，加上產品需求量不確定性、產品組合變動高、製程轉換中機台調校的漫長時間等原因，使得半導體製造業在機台組態的規劃，相對較傳統製造業困難許多。

針對半導體機台組態規劃國內外皆有學者提出各種解決方法，一般可見的機台組態規劃主要採用五種類型：靜態產能分析、等候理論、模擬方法、數學規劃方法和啟發式演算法。本研究將五種類型之相關文獻說明如下：

壹、靜態產能分析

靜態產能分析為一直覺且方便使用的方法，尤以「粗略產能規劃」是晶圓廠最常使用的產能規劃方式 [18,19,25,27]。此方法是以產品需求、生產途徑及機台資訊等明確的數據作為輸入的資料，接著依照單位產品對應之機台工時以及機台利用率、製程不良率等資料，計算出所需的機台數量及其利用率，

並透過建立試算表的模型，讓使用者可以快速得到粗略的估計值。

Neudorff (1999) [18]認為影響靜態產能分析精確度的因素，為其所考慮之各項輸入基本因素，例如：機台使用率、機台利用率、機台產出量及前置時間等，是否充足。

雖然靜態產能分析被晶圓廠廣泛地採用，但由於其計算後為一粗略估計值，必須不斷地佐以離散事件的模擬，透過試誤法 (Trial-and-Error) 來進行驗證程序，且此方法所獲得的結果也未必接近最佳解。故本研究認為，由於此產能規劃方法，計算時間曠日費時容易失去市場先機，且需要增加額外的人事成本，尚具有改善空間。

貳、 等候理論

等候理論 (Queuing Theory) 又名排隊理論，是丹麥的科學家 A.K. Erlang 在 1910 年所提出，主要是研究各種「等候系統」的特性，用來分析各類服務系統中的閒置與忙碌等狀態問題。在日常生活中，只要有人或物等待接受服務，等候系統即自然形成，而生產製造系統中，原物料等候不同製程機台加工的現象亦是其中之一。基本等候模型如下圖 2-1 所示，一般的等候模型由客戶陸續抵達系統要求服務開始，當顧客進入排隊等候區開始排隊即進入了此等候系統，同時依照等候原則 (Queue Discipline) 先後接受服務設施的服務，直到服務結束後離開等候系統。

等候理論應用於生產製造系統，可將系統中的「客戶」視為等待進行加工的原料，原料在各生產線中排隊等候機台進行加工；而該等候系統中的「等候原則」則是等同於真實生產線的加工法則，原料會依據其成品所需的加工法則，依序行進至不同機台進行加工；直至該原料所需之製程中的機台(服務員)加工完畢，「客戶」成為完成品離開生產線系統後，整個等候系統才算完全結束。

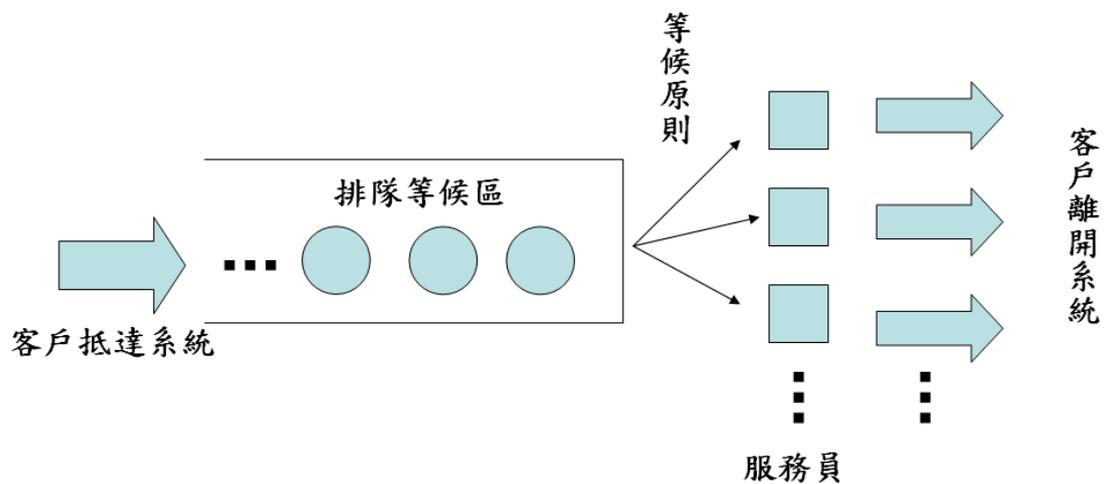


圖 2-1 等候線基本模型

然而，真實的製造系統中常有多條的等候線存在，更有不同的限制等候原則及服務機制，其複雜程度非單純的等候理論基本模型所能夠清楚表達，因此逐漸發展出「等候網路」

(Queuing Network) 的進階模型，等候網路模型中將每一組服務的設施以及其等候線皆視為一個節點 (Node)，按照每個節點中顧客到達或離開與外界的關係，等候網路的模型可分為開放式與封閉式二類，圖 2-2 (Hock 1996) [14]表示開放式等

候網路中，顧客依外部的到達過程（external arrival process）隨機進入系統中的某一（或某些）節點，系統並未限制客戶的數量。然而圖 2-3（Hock 1996）[14]則說明了封閉式等候網路中的顧客來源數則是固定的。

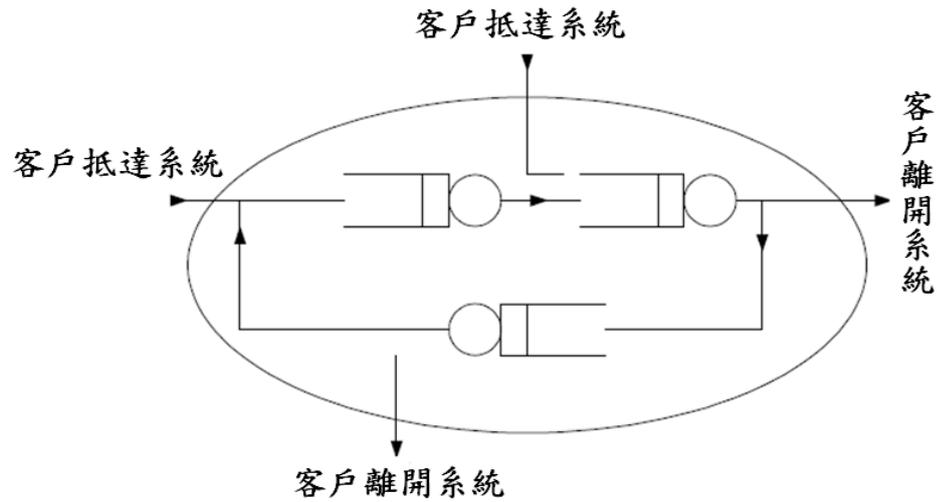


圖 2-2 開放式等候網路模型

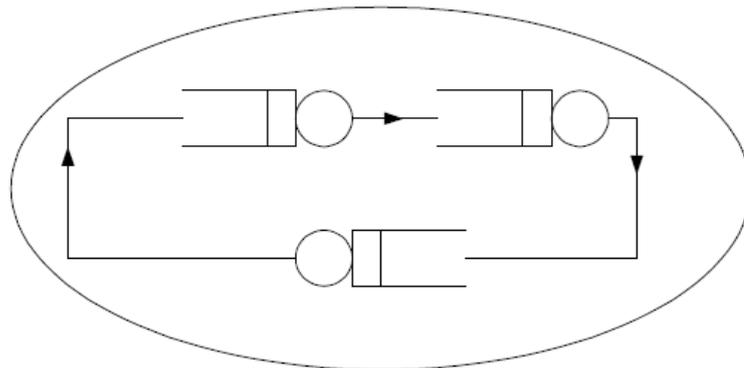


圖 2-3 封閉式等候網路模型

等候理論模型應用在生產製造系統目前已十分地廣泛 [7,9,10,26]。Bretthauer, (1996) [7] 佐以分支界限演算法 (Branch

& Bound Algorithm) 減少計算的次數，以達到其快速求解最小機台運作成本的各工作站最佳產能配置的目標，並根據等候理論發展出一套多種類的製造系統產能模式。Chou & Wu (2002) [10]、Wu et al. (2005) [26]以及許治平 (2005) [3]也指出，等候網路模型可以在產能穩定的前提情境下，進行動態產能分析，並進一步評估使用率、利用率、生產週期時間及在製品等產出績效。

等候理論使用在機台組態規劃雖可以得到相關的動態產能分析，並達到系統彈性調整之目的，但其假設前提為「產能穩定」的情形之下，故在訂單驟然增減時，效用並不高。且等候理論主要解決問題多為較高層級且多樣化產品的生產排程問題，對於初步的跨製程機台使用量分配以及跨製程產能耗損的考量甚少著墨。

參、 模擬方法

模擬方法是一種可以用來研究真實世界系統運行之績效的方法。模擬方法在機台組態的應用則是藉由建構每一產品詳細的加工步驟、製程順序、詳細的機台狀況及複雜的派工規則等細部描述，以提供使用者更多元且更準確的產能規劃相關資訊。Grewal et al. (1998) [13]利用 Seagate 的生產線真實資料，加以各項統計分析的方法進行模擬，並實驗機台生產預算與生產週期時間 (Cycle Time) 對於生產績效的影響。

晶圓製造廠生產方式具有產品生命週期短、產品種類繁多

以及極度複雜的生產規則等特性，若晶圓製造廠欲模擬一套完整的晶圓廠生產製造模型，則需要耗費龐大的金錢及時間，更要花費冗長的運算時間，才可得到模擬的結果[8,13]。是故，模擬模式相較於其他方法則較不適用於初期的機台組態規劃問題。

肆、數學規劃方法

機台組態規劃的問題中，「線性規劃模型」(Linear Programming Model) 為數學規劃法最常使用的技巧之一，線性規劃模型通常是由目標函數 (Objective Function) 及限制式 (Constraints) 所組成。其中，目標函數是為描述產能規劃中控制變數與目標變數的相關性，例如：滿足需求量的前提之下，機台組態的最小化；滿足最小生產週期時間的前提之下，產量的最大化等。限制式則是根據問題的定義，加以限制某些可以控制的變數，例如：產出量必須大於或等於需求量；跨製程的機台利用率必須小於或等於 90% 等。

整數線性規劃 (Integer Linear Programming) 則是在線性規劃的模式中，要求每一個決策變數均為整數的線性規劃方法，故可將其視為線性規劃的一種特例。整數線性規劃可依照問題，進一步設計決策變數之特性，例如：決定產品組合系統中其目標為希望求得最小的零件數目時，其解則必須為整數；若問題需要由不同的二面向做取捨時，也可將解答設計為只出現“是”或“否”的二元整數。故整數線性規劃的模式依照其變數

的型態，可分為三個種類：純整數規劃（Pure Integer Programming, PIP）、二元整數規劃（Binary Integer Programming, BIP）及混合整數規劃（Mixed Integer Programming, MIP）。

機台組態規劃的解空間十分地龐大，應用線性規劃模型在此種問題複雜度甚高的情況下，其相對的困難度亦會提昇。Neudorff（1999）[18]指出，線性規劃應用在機台組態規劃的方法在早期較少學者進行研究。時至今日，以線性規劃進行機台組態配置的相關研究雖仍是屬於少數，但有不同學者陸續進行成果的發表[15,16,28]。

Yang（2000）[28]提出一個考慮配置空間（Space）大小與顯影機台產量等變數的線性規劃模型，並比較其在不同的生產線上是否有較佳的產出。Hsieh and Lin（2002）[15]根據蒐集、分析各製程機台的歷史資料，得到不同的產品組合之利潤，以及產品的生產週期時間（Cycle Time）當作參數，藉此發展一套增加機台產出並有效的提高產能的彈性製造輔助系統，並在半導體製造公司實際運行，得到不錯的結果。

練鴻展（2008）[5]為考慮機台跨製程使用時實際損耗之產能，使用混合整數規劃作為工具，建立一套機台組態配置系統。其將主排程表做為輸入之變數，並將機台能否跨製程之設定，運用二元變數的觀念進行線性模型設計，同時透過真實的生產線資料及其生產規則進行限制式撰寫，以得到產品總量的最佳化及所需的機台組態配置。該研究最後配合個案進行實證，並在個案公司內實際進行使用，得到了相當不錯的結果，

極具參考價值。故本研究也基於練鴻展(2008)所提出的模型，進行改良與修正的工作，使其趨於完整。

伍、 啟發式演算法

運用啟發式演算法進行機台組態規劃，是近年來機台組態規劃研究的趨勢之一。有部份學者更進一步使用啟發式演算法配合上述幾種方法，以達到更快速與正確的規劃機台組態。啟發式演算法簡單來說，是藉由一個經過設計的啟發函式估計目前狀態與目標狀態的距離，進而增加搜尋的效率。若啟發式演算法的設計者，對問題本身有極大程度的了解，其所設計出來的啟發函式則越佳，越有機會將解的品質提高。

在機台組態規劃中，除了單純使用啟發式演算法進行探討外 [11,22,23,24]，更有許多相關的研究使用啟發式演算法配合模擬方法、等候理論等進行解的建構[6,12,17,26]。Swaminathan (2000) [22]根據需求的不確定性、缺貨成本 (Stock-Out Cost) 及機台生產預算 (Budget) 等參數的設定，提出一種基於貪婪 (Greedy-Based) 與寬裕 (Slack-Based) 的啟發式演算法，經過驗證其得到不錯的成果，更進一步於 2002 年提出加入多期存貨 (Multi-Period Inventory) 的觀念以進行機台組態規劃。Wu et al. (2005) [26]使用基因演算法配合等候網路模型，同時考慮到需求本身的不確定性 (uncertain demand)、產品所生產的週期時間 (Cycle Time) 及成本問題，進行機台組態規劃並得到不錯的產能產出。

啟發式演算法運用於機台組態規劃相較於傳統方法，可大量節省解的搜尋時間是為其最大的優點，但其最大的問題在於該方法只可以在較短時間內找到「近似最佳解」，無法保證成功找出最佳解答。

本研究沿用半導體製造廠商現行的靜態產能分析模型，取其直覺且方便使用的優勢，加上成效不錯的混合整數規劃觀念，進行考量跨製程產能耗損的機台使用率分配，並解決生產線瓶頸的機台組態最佳化配置。

第二節 系統瓶頸

半導體生產製造系統中若因任何造成產出被限制的情況，一般稱之為「瓶頸現象」。若在整個生產製造系統中，某些製程的生產狀況對整個系統有著高度影響力時，該製程則通常被定義為「關鍵瓶頸製程」，但依照不同的定義及指標，會產生不同的「關鍵瓶頸製程」，同時隨著不同的產品組合、及產品生產途徑的差異，更會造成關鍵瓶頸製程的轉移。再加上半導體機台種類繁多、機台的基本生產特性各不相同以及生產製造的流程極度複雜等因素，使得半導體製造業者尋找「瓶頸」變得十分地困難。

Lawrence & Buss (1994) [20]依瓶頸現象的時程進行分類及定義，主要依據時程分別定義為短期、中期與長期的瓶頸，其定義分別如下：

短期瓶頸定義：任何工作站的生產量暫時低於產能需求。

中期瓶頸定義：工作站目前有最多的工作正在等候進行加工。

長期瓶頸定義：機器的使用率最高者。

本研究在主排程表排定後，將直接進行機台組態之線性規劃，若假使有瓶頸現象產生，則即時尋找其發生瓶頸的關鍵瓶頸製程，並將此結果告知使用者，讓系統的使用者在第一時間盡全力調配是當得機台組態，以解決此瓶頸現象，故本研究所進行之機台組態規劃，是屬於解決短期的瓶頸現象。

目前國內進行機台組態之瓶頸分析研究的相關論文為數並不多，在此本研究將列出二篇針對「瓶頸現象」的發掘與解決此「瓶頸現象」之文獻分開說明如下。

吳全順（2001）[2]提出一套半導體製造產能與機台組態規劃的經濟分析與優化模式，其主要是考慮產品組合與機台組態的變動，提出一套跨廠區產能調配方法。吳氏欲達到其目的，首先針對給定的產品組合進行機台組態優化，其在相同的基本假設、輸入資訊與輸出資訊之下，進行靜態產能分析模型、等候線模型與模擬模型進行比較，探討在相同環境下，不同模型的策略進行機台調整在成本與生產績效的影響。再者透過使用率（Utilization）、等候時間（Queuing Delay）以及剩餘產能（Remnant Capacity）等瓶頸指標，尋找生產製造系統中的瓶頸機群，使產能不足的晶圓廠向產能過剩的晶圓廠進行租借或購買產能，藉此在短期間內達到改善本身生產績效的目的。最後以其所提出之等候線模型與模擬方法結合，進行生產製造系統在穩定狀態（Steady State）與暫態（Transient State）時生產績效表現的相關資訊

討論與比較。

呂金隆（2002）[1]根據限制理論的觀點發展一套電腦模擬系統，呂氏首先透過實際案例的探討，透過實際長時間連續性的蒐集晶圓廠機器加工率之資料，並探討比較機器加工率與傳統機器瞬間的使用率或稼動率的差別，定義「瓶頸」與「非瓶頸」機台的情況。再者，依據該研究所提出之最大有效產能的定義與計時的模式，以找尋系統長期的瓶頸所在，並針對瓶頸的問題提出因應的管理模式，最後使用 ASAP 模擬軟體加以建構進行實驗。

上述二篇文獻之目的雖然皆為「發現瓶頸現象並處理之」，但其所運用之機台組態規劃方法以及欲解決的問題假設，皆與本研究所欲解決的問題尚有落差。

本研究進行機台組態的規劃，首重現有機台組態可提供之產量，必須滿足既定的主排程表需求量，同時，當生產線發生產能不足的瓶頸現象時，則必須指出瓶頸之所在，以供使用者進一步調配產能。故本研究採用線性規劃模型方法，在需求量十分不穩定的情況下，可以直接透過主排程表之需求量，以快速決定生產線是否應該進行「機台縮減」或「找尋關鍵瓶頸製程」的動作。

第三章、研究方法

本研究目的主要是進行半導體製造機台組態的配置，用以解除生產製造的瓶頸，並供半導體製造業者進行彈性機台組態配置之用。

由於半導體製造廠原本就有既定的機台數量及根據訂單所產生之主排程表，如何根據訂單數量即時變動機台組態之彈性，成為廠方急需解決的目標之一。故本研究便在此前提之下進行機台組態配置模型。簡而言之，本研究之線性規劃模型主要建立在已有初步的組態配置之下，進行機台組態之配置規劃。

在過去，許多半導體製造廠採用靜態產能模型搭配人工試誤的方法進行機台組態規劃，此技術只可以知道機台產能配置是否足夠應付訂單需求。當訂單數量驟減時，其現有機台之剩餘產能不但無法即時反應在靜態產能模型上，此模型也不會告知使用者是否可進行「機台縮減」的動作。若遇到產能不足以應付訂單數量時，也無從得知產量不足的「關鍵瓶頸製程」為何。同時，機台本身跨製程與否的情況，使得此機台組態規劃問題之困難度以倍數成長。故本研究根據問題的特性與實際生產線情況進行分析研究，並利用混合整數規劃之特性，提出一套改良的機台組態規劃模型。

此改良模型分為二個部份，分別為：「機台縮減規則」以及「關鍵製程找尋」。此二個部份各自為不同的線性規劃模型，藉由環環相扣的方式進行一連串機台組態規劃之動作，如下圖 3-1。

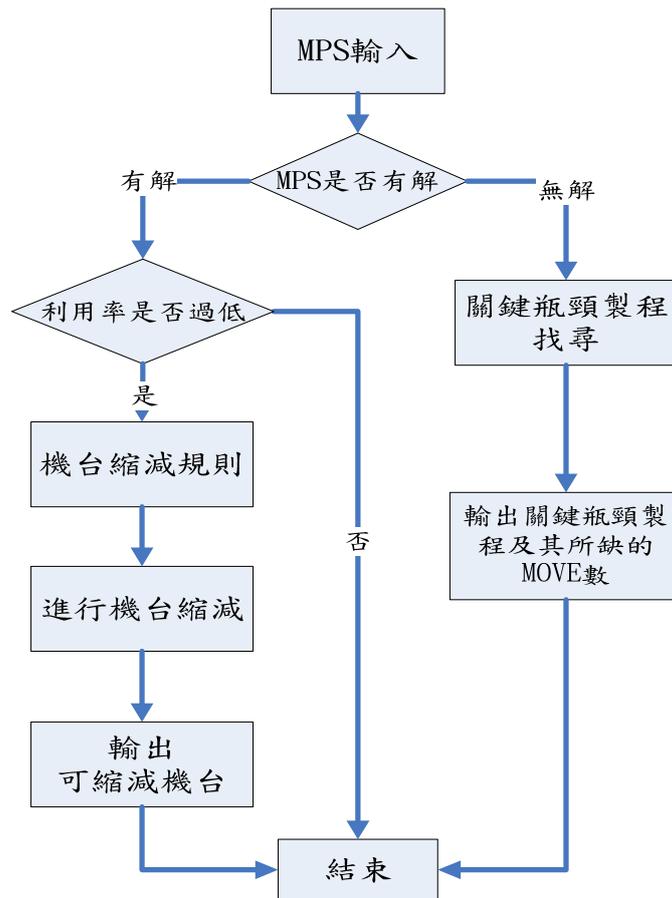


圖 3-1 改良式機台組態規劃模型示意圖

由於，生產線模型包含了三個程序，分別為：曝光(Stepper)、塗光阻(Coater)與顯影(Developer)。而三個程序之目標式與限制式皆相同，故在本章節僅以曝光程序中的變數作為例子。以下說明以 S 代表曝光程序，另外未列出之塗光阻與顯影程序，則以 C、D 表示之，而 S 程序之二部份線性規劃模型詳細分述於下。

第一節 機台縮減規則

本研究所建立之線性規劃模型的第一個部份為建立「機台縮減規則」。此部份最主要之目標為：「符合主排程表的前提下，機台數量最

小化。」。故本研究於此部份訂定目標式為「各製程使用機台最小化」，如公式 1。

$$\min \sum_{i=1}^n uS_j \quad (\text{公式 1})$$

其中 uS_j 指的是機台 j 使否使用，其為一二元變數，若該機台有使用其值為 1，反之則為 0。

目標底定後，本研究緊接著依據生產製造之規則進行限制式修訂及撰寫。限制式修訂及撰寫方向主要分為四大部份：個別產品總量必須滿足其最低需求量、限定單一機台使用量範圍、限制機台使用數量、機台種類及其使用上限。在此章節中以壹至肆小節分別說明如下：

壹、個別產品總量必須滿足其最低需求量

在各大生產製造過程中，生產線產量必定要足量供應且必須大於或等於需求。故本研究針對此限制，將從「個別產品總生產量必須滿足最低產品需求量」及「機台產能供應必須滿足產品數量之需求」二個方面進行限制式編撰。

關於總生產量之限制為：產品 k 的最高生產數量 (QU_k) 必須要大於或等於主排程表所排定之產品 k 數量 (QL_k)。其中，機台最高的生產量則限定為整數。故本研究設定公式 2 限制式如下：

$$QU_k \geq QL_k, \text{ for all } k \quad (\text{公式 2})$$

本研究亦從機台所提供產能的角度來審視產能需求。依據問題的不同，「產能」的定義表示方法也不盡相同，而本研究將產

能用「MOVE 數」表示之。簡而言之，在本研究審視產能供需時，生產線模型中每一機台所能提供的 MOVE 數之總和必須大於或等於預先排定之主排程表需求之產品組合所需要的 MOVE 數。

各個機台所能提供的產能（MOVE 數）與該機台之產能利用率（Utilization）有著絕對的關係，且在製程轉換以及機台維修等等情況下，其產能利用率也會直接受影響，故本研究則修定機台產能利用率之寬放係數為 5%，將單一機台之產能利用率上限限制為 95%。

另一方面，依據機台使用的規則，單一機台在不同製程所提供的產能（MOVE 數）不盡相同，故本研究將機台的使用量定義為每小時實際可提供的 MOVE 數，稱之為機台時間稼動—TPS，其計算方式如公式 3，其中，*Avail* 為機台有效的使用率；*Eff* 則為使用率；工程借機或維修則用 *Eng* 所表示；而 *WPH* (Waver Per Hour) 即為機台 *j* 每小時可以提供的 MOVE 數。

$$TPS_j = (Avail - Eng) \times Eff \times WPH_j, \text{ for all } j \quad (\text{公式 3})$$

若將製程 *i* 內所有可用的機台 *j* 與 TPS_j 進行矩陣運算，即可得到 *i* 製程中所有可運行機台每小時所可以提供的 MOVE 數。依據前述之機台所提供產能的角度原理，本研究增加公式 4 限制式如下：

$$0.95 \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (S_{ij} \times TPS_{ij}) \times HOUR \right] \geq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (FS_{ik} \times QU_k), \text{ for all } i, j, k \quad (\text{公式 4})$$

公式 4 中， S_{ij} 為機台 j 在製程 i 中的使用量， $HOUR$ 為產能配置週期，以小時為週期單位，本研究採用之生產週期為一個月，即 720 小時。 FS_{ik} 是指 k 產品在製程 i 中所需的 MOVE 數， QU_k 則是指產品 k 的生產數量。此線性規劃模型藉由公式 4 將產能利用率上限訂定為 95%。

貳、限定單一機台使用量範圍

機台縮減規則之第二部份限制式編撰考慮到單一半導體機台不一定可以使用於每一道製程，且若該機台是處於開啟的狀態，其機台合理的使用量範圍則必須在 0~1 之間，故本研究在此將機台在各製程開與關的運作狀態設計為二元變數，並加以設計將此二元變數與單一機台使用量結合，得到如公式 5：

$$0 \leq BS_{ij} - S_{ij} < 1, \quad 0 \leq S_{ij} \leq 1, \quad \text{for all } i, j \quad (\text{公式 5})$$

其中， i 為製程別、 j 為機台編號。公式 5 中，機台可否使用的二元變數 BS_{ij} 與機台本身使用量 S_{ij} 相互對應，當 j 機台可使用於 i 製程時，二元變數 (BS_{ij}) 為 1，反之則為 0。

參、限制機台使用數量

機台使用數量是「機台縮減規則」模型所欲求得之最終目標，而合理的機台使用數量之總和則必須要小於或等於各製程當中可使用的機台數量總和，故本研究之模型，增設公式 6 以表達此種情況。

$$uS_j \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m BS_{ij} \leq K \times uS_j, \text{ for all } i, j \quad (\text{公式 6})$$

其中， uS_j 為表示 j 機台是否使用的二元變數，該機台有使用為 1，反之為 0。 BS_{ij} 則為機台 j 可否使用於製程 i 的二元變數，可使用為 1，反之為 0。而 K 唯一常數項，表示機台 j 使用的製程數總和。

肆、機台種類及其使用上限

依照機台屬性的不同，半導體生產製造機台可分為「一般機台」與「跨製程共用機台」二種，其各自有不同的使用量限制。其中，一般機台使用量上限必定為 1，而跨製程共用機台則可以依照真實使用情況，決定其是否跨製程支援其他機台之產能，若是該機台必須為跨製程使用，由於製程轉換所產生的產能耗損因素，其使用量上限則為 0.9，但若其只使用於單一製程，則其使用量上限則與一般機台無異。

本研究為表達此種機台的特性，在此部份的限制式撰寫則是利用線性規劃中「二選一限制式」(Either-Or Constraints) 的特性，以達到在同一線性規劃模型中，達到動態選擇不同機台使用量之目的。

由於此部份需要動態選擇的變數分別為「機台種類」與「機台使用量限制」二個，故本研究在此模型增設公式 7 與公式 8，以確保此二變數皆可達到預期之動態選擇作用。此二公式中， BS_{ij} 如前所述為二元變數代表製程中該機台可否使用，當 j 機台可使用於 i 製程時， BS_{ij} 為 1，反之則為 0。另再增加另一二元變數一

BTS_j 表示機台可否跨製程使用，若模型中的 j 機台可跨製程使用時， BTS_j 為 1，反之則為 0。

$$2 \times BTS_j \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (BS_{ij}) \leq K \sum_{j=1}^m BTS_j, \text{ for all } i, j \quad (\text{公式 7})$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{ij} \leq (1 - BTS_j) + 0.9 \times BTS_j, \text{ for all } i, j \quad (\text{公式 8})$$

機台縮減規則的線性規劃模型中，公式 7 是依據 BS_{ij} 與 BTS_j 的相互限制進行推理，意即利用機台 j 使用的製程數量來判斷機台是否為跨製程共用機台。換句話說，若公式 7 中 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m BS_{ij} \geq 2$ ，則此時 BTS_j 則必定為 1，也就是說機台 j 必定為跨製程共用機台。反之，若該機台 j 為只使用於單一製程之一般機台，則其 BTS_j 則為 0。

如前所述，一般機台與跨製程共用機台各自有不同的使用量限制，分別為 1 與 0.9，故本研究設計公式 8 與公式 7 相互限制以表達此種機台特性。公式 8 中，二元變數 BTS_j 產生於公式 7，當其為 1 時，表示該機台為跨製程共用機台，此種機台跨製程使用會造成製程轉換之耗費產能問題，故其最高的使用量則為 0.9。舉例來說，若生產模型中，機台 j 為跨製程共用機台，經公式 7 運算後，其 BTS_j 必定為 1。將其代入公式 8 中，將會得到：

$\sum_{i=1}^n S_{ij} \leq 0 + 0.9 \times 1$ ，其所代表的意義為，機台 j 在所有製程 i 中的使用量總和，必須小於或等於 0.9。

透過上述之目標式與限制式的編撰，「機台縮減規則」部份的整體現性規劃模型表示如下：

目標式：

$$\min \sum_{i=1}^n uS_j \quad (\text{公式 9})$$

限制式：

$$QU_k \geq QL_k, \text{ for all } k \quad (\text{公式 10})$$

$$0.95 \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (S_{ij} \times TPS_{ij}) \times HOUR \right] \geq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (FS_{ik} \times QU_k), \text{ for all } i, j, k \quad (\text{公式 11})$$

$$0 \leq BS_{ij} - S_{ij} < 1, \quad 0 \leq S_{ij} \leq 1, \text{ for all } i, j \quad (\text{公式 12})$$

$$uS_j \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m BS_{ij} \leq K \times uS_j, \text{ for all } i, j \quad (\text{公式 13})$$

$$2 \times BTS_j \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (BS_{ij}) \leq K \sum_{j=1}^m BTS_j, \text{ for all } i, j \quad (\text{公式 14})$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{ij} \leq (1 - BTS_j) + 0.9 \times BTS_j, \text{ for all } i, j \quad (\text{公式 15})$$

第二節 關鍵瓶頸製程找尋

當機台數量已經縮減的情況下，若遇到現有機台組態的配置所產生的產能，不足以應付訂單數量時，工業工程部門則必須尋找何為關鍵瓶頸製程，並調整生產線上目前所可以利用的機台，全力解除此生產線瓶頸現象的產生。但若要直接透過現有的線性規劃模型進行關鍵瓶頸製程找尋的工作，有著相當的困難度。

依據定義的不同亦會產生不同的「關鍵瓶頸製程」，故本研究將「關鍵瓶頸製程」定義為：可以補足目前主排程表所欠缺之 MOVE 數差額的製程。舉例來說：假設目前生產線有 A、B、C、D、E 共五道製程，新的主排程表排定後，發現在新的產品需求組合中，尚欠缺 3,875 個 MOVE 數，分別是製程 A 與製程 D 分別各缺少 2,003 個及 1,872 個。故依照本研究之定義，製程 A 與製程 D 則為此產品需求組合下之關鍵瓶頸製程。

在關鍵瓶頸製程找尋的階段，最終希望達成的目標為：在滿足主排程表與不改變現有機台組態的前提之下，各製程所必須增加的 MOVE 數為最小。故此階段的目標式，則如公式 17 所表示：

$$\min \sum_{i=1}^n MOVE_i \quad (\text{公式 16})$$

公式 16 表示，製程 i 中所缺少的 MOVE 數總和。換句話說，此線性規劃模型經過運算後，會列出每個製程尚欠缺的 MOVE 數。當此生產線中的任一製程出現 MOVE 數欠缺時，則稱之為關鍵瓶頸製程。

由於生產線機台本身的特性，例如：機台總產量特性限制、單一機台的使用量範圍、機台種類及其使用上限，並不會因不同模型運算後而改變，故「關鍵瓶頸製程」階段模型的限制式大致上與機台縮減規則階段雷同，但仍然有部份限制式必須進行修改。

在原本的縮減機台的線性規劃模型中，預設機台產能利用率上限為 0.95，並且此供應量必須大於等於需求量。但由於經過機台縮減運算之後，現有的機台組態即使運行至上限 0.95，也會產生 MOVE 數不足的情況，所以原本所設計之公式 11 不適用於此關鍵瓶頸製程找尋階段。故本研究將公式 11 改為公式 17。

$$0.95 \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (S_{ij} \times TPS_{ij}) \times HOUR \right] + MOVE_i \geq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (FS_{ik} \times QU_k) \quad (\text{公式 17})$$

公式 17 所代表的意義為：製程 i 中，所有開啟的機台提供的 MOVE 數，加上其所缺少的 MOVE 數總和，必須大於或等於需求的 MOVE 數。舉例來說，同樣假設目前生產線有 A、B、C、D、共四道製程，其關鍵瓶頸製程為 C，其缺少 1,326 個 MOVE 數，公式 17 將會將關於製程 C 的產能（MOVE 數）限制為：C 製程中所有可開啟的機台 j（機台利用率上限為 0.95）所提供的 MOVE 數，加上製程 C 中所缺少的 1,326 個 MOVE 數，必須大於或等於主排程表的產品組合需求的 MOVE 數。

經過目標式與限制式的修訂，在關鍵瓶頸機台找尋的階段，其完整的線性規劃模型如下：

目標式：

$$\min \sum_{i=1}^n MOVE_i \quad (\text{公式 18})$$

限制式：

$$QU_k \geq QL_k, \text{ for all } k \quad (\text{公式 19})$$

$$0.95 \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (S_{ij} \times TPS_{ij}) \times HOUR \right] + MOVE_i \geq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (FS_{ik} \times QU_k) \quad (\text{公式 20})$$

$$0 \leq BS_{ij} - S_{ij} < 1, \quad 0 \leq S_{ij} \leq 1, \text{ for all } i, j \quad (\text{公式 21})$$

$$2 \times BTS_j \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (BS_{ij}) \leq K \sum_{j=1}^m BTS_j, \text{ for all } i, j \quad (\text{公式 22})$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{ij} \leq (1 - BTS_j) + 0.9BTS_j, \text{ for all } i, j \quad (\text{公式 23})$$

第四章、實例驗證與數據分析

本章節將根據本研究所提出之線性規劃模型，進行實例驗證。此線性規劃模型主要是建立在半導體生產製造公司之靜態產能模型之上，同時搭配線性規劃軟體「LINGO」進行機台組態的配置。本研究並取得半導體製造公司真實的生產製造資料，進一步分析並進行實例驗證，驗證內容包含：生產線資料建立、LINGO 運算及結果、驗證數據分析。各階段實例驗證內容分述如下。

第一節 生產線資料建立

本研究所提出之線性規劃模型使用 Microsoft Excel 作為輸入資料之介面，故必須將所有取得的生產線資料，依照線性規劃模型中的各項參數進行數據設定、介面編排及輸入。

在建立生產線資料之時數據設定時其介面編排如圖 4-1，圖中顯示，本研究利用 Excel 將線性規劃模型中所設計的各個參數，例如：主生產排程 (QL)、機台每小時所可以提供的 MOVE 數 (TP)、及生產週期時數 (HOUR) 等等，皆集中在一個完整的介面中。

同時，本研究另在電子試算表中增加 ON/OFF 的變數，見圖 4-1，此變數主要是讓使用者可以依據機台的特性進行分析，再行輸入該機台是否可以使用於該製程，以便模型進行計算產量的分配，經使用者輸入後，此參數便會當作模型決定是否計算該機台各項資料的決定性參數。

此驗證資料共有 14 種產品別，產品生產需要三個程序反覆進行，

包含：曝光（Stepper）、塗光阻（Coater）與顯影（Developer），相關機台群組分別稱為 S-type、C-type 與 D-type，其中，S-type 共有八道製程，十六台機台；C-type 有十二道製程，二十二台機台；D-type 則有十二道製程及十七台機台。

															Hour	720
Tool Type	Process	EQ	on/off	Product	P1	P2	...	P14	Tool Qty	EH	WPH	Avail. ENG	TP	Demand Move	Supply Move	Util (%)
				MPS	19	61	...	8049								
				Max Mps	0	0	...	0								
				Weight	1	1	...	1								
曝光 (Stepper)	Process1	Machine1	1		7	5	...	3	1.00	90%	46.0	87%	36	0	25,933	0%
		Machine2	0						0.00	90%	0.0	87%	0			
		Machine3	1						0.00	90%	55.0	87%	43			
	Process2	Machine1	0		0	5	...	0	0.00	90%	0.0	87%	0	0	26,384	0%
		Machine2	1						0.60	90%	78.0	87%	61			
		Machine3	1						0.00	90%	43.0	87%	34			
	Process3	Machine1	0		1	0	...	2	0.00	90%	0.0	87%	0	0	4,228	0%
		Machine2	1						0.30	90%	25.0	87%	20			
		Machine3	1						0.00	90%	35.0	87%	27			

圖 4-1 生產線及機台資料輸入介面

在主排程表數值輸入的部份，本研究亦將其另規劃一個輸入介面，如圖 4-2，主要目的為方便使用者輸入主排程表之後，直接進行求解。此介面配合 Excel 的巨集功能，結合 Excel 所建立之生產線各項資料與 LINGO 線性規劃模型，進行生產線之機台組態求解。

	A	B	C	D	E
1	Tech	Product	SamplePart	MPS	
2	TCF5	3T	TMJ409	19	
3	TCF5	3T	TMG186	61	
4	ACF	RI(AF)	TML316	1155	
5	ACF	MP(AG)	TML521T5	1079	
6	ACF	MP+SOG(A B)	TML316 TML521 TML340	1137	
7	ACF	WLCSP	OV7670	3000	
8	ACF	3D(A5)	TML316	4240	
9	TCF7	MP	TMR088	3918	
10	TCF7	MP+SOG	TMR088	3900	
11	TCF7	3D	TMR088	10071	
12	TCF7-D		TML602	265	
13	TCF9	3D		16245	
14	TCF9	MP+SOG	TMR088	8500	
15	TCF9	MP		8409	
16					
17		Reset		Query	
18					

圖 4-2 主排程表輸入介面

在解的輸出的方面則有「機台縮減」及「關鍵瓶頸製程」二個部份，「機台縮減」所輸出的介面如圖 4-3，若是該機台總使用量為 0，在 Excel 介面中，則會將該機台的使用量總合用紅色的網底標示出來，讓使用者明顯分辨出何者為可縮減機台。而且在圖 4-3 的輸出介面中，更可以見到各個機台之明確使用量，故可提供更詳細的資訊，以供使用者調配產能之用。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	S Type																			
2	E0	Process	Σ(S)	BTS	Process1	Tool Qty	Process2	Tool Qty	Process3	Tool Qty	Process4	Tool Qty	Process5	Tool Qty	Process6	Tool Qty	Process7	Tool Qty	Process8	Tool Qty
3	Machine1	0.67	0	1	0.00	1	0.67	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.00	1	0.00	
4	Machine2	1.00	0	1	0.00	1	0.00	1	1.00	0	0.00	1	0.00	1	0.00	0	0.00	0	0.00	
5	Machine3	1.00	0	1	0.00	1	0.00	1	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
6	Machine4	1.00	0	1	1.00	1	0.00	1	0.00	0	0.00	1	0.00	1	0.00	1	0.00	0	0.00	
7	Machine5	1.00	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.00	1	0.00	1	1.00	0	0.00	0	0.00	
8	Machine6	0.69	1	1	0.33	1	0.00	0	0.00	1	0.36	1	0.00	1	0.00	1	0.00	1	0.00	
9	Machine7	0.00	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.00	1	0.00	1	0.00	1	0.00	0	0.00	
10	Machine8	0.00	0	1	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.00	
11	Machine9	0.00	0	1	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
12	Machine10	0.00	0	1	0.00	1	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
13	Machine11	1.00	0	1	0.00	1	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
14	Machine12	0.90	1	0	0.00	1	0.45	1	0.00	0	0.00	1	0.35	1	0.10	0	0.00	0	0.00	
15	Machine13	1.00	0	0	0.00	1	0.00	1	1.00	0	0.00	1	0.00	1	0.00	0	0.00	0	0.00	
16	Machine14	1.00	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	1.00	
17	Machine15	0.82	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.82	1	0.00	
18	Machine16	0.90	1	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.38	1	0.52	

圖 4-3 縮減機台輸出介面

關鍵瓶頸製程之輸出介面則為下圖 4-4，曝光 (Stepper)、塗光阻 (Coater) 與顯影 (Developer) 三個程序中，若其製程尚缺少主排程表所需之 MOVE 數，則亦將該製程以紅色網底標出，讓使用者一目了然，可以全力將現有閒置產能進行調配，以符合主排程表所需之產能。

	Stype	Ctype	Dtype
Process1	0	126.288	0
Process2	0	13537	0
Process3	0	0	3811.1
Process4	0	0	0
Process5	0	0	0
Process6	0	0	10692
Process7	0	0	0
Process8	2230.82	0	7822.05
Process9		7994.39	0
Process10		240	0
Process11		0	0
Process12		7550.57	0

圖 4-4 關鍵瓶頸製程輸出介面 (數字為該製程缺少之 MOVE 數)

第二節 LINGO 運算及結果

LINGO 為一常用之線性規劃數學軟體，系統的運作平台之環境會直接影響模型求解的時間，故本研究將線性規劃模型之運算平台，詳列於下表 4-1 中，以供使用者與後續進行研究者進行參考之用。

表 4-1 生產模型運作平台

系統設備	名稱	備註
作業系統	Windows XP Professional SP2	
記憶體	2GB	
中央處理器	Intel T2080 @ 1.73 GHz	
線性規劃軟體	LINGO Extend 11.0	
資料輸入來源	Microsoft Excel 2003	儲存參數與變數

再者，本研究將半導體生產製造公司所提供之實際生產資料，透過 Excel 輸入至 LINGO 所建立之數學規劃模型中。進行驗證之二組 MPS 如下表 4-2，在所有機台皆開啟的情況之下，執行該期所排定之 MPS1。執行後得知 MPS1 之利用率偏低，故將此 MPS1 輸入至「機台縮減」之模型，便會得到一組機台組態。

接著，進一步假設需求量上升，故該公司重新排定新一期之 MPS2，經模型運算後發現，在此機台組態之下無法產出足夠的產量以支應 MPS2 的需求，故再行將 MPS2 輸入於「關鍵瓶頸製程」之模型，以得知其關鍵製程為何。

表 4-2 MPS 驗證

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
MPS1	19	61	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	10071	265	16245	8500	8409
MPS2	19	61	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	20071	265	16245	8500	8409

將表 4-2 之二組 MPS 進行模型驗證，將 MPS1 輸入至「機台縮減」的模型，運算時間 45 秒後，得到其可縮減之機台為下表 4-3，故本研究進一步將原本所有機台皆可使用的組態，進一步根據表 4-3 之結果，進行機台組態之調整。

表 4-3 MPS1 縮減機台結果

	可縮減機台編號	備註
S-type	機台 8、機台 9、機台 10、機台 15	
C-type	機台 7、機台 10	
D-type	機台 7、機台 11、機台 12、機台 17	

接著，本研究將 MPS2 輸入至根據表 4-3 所調整過後之機台組態，運作 9 秒之後，得到之關鍵瓶頸製程結果如下表 4-4。

表 4-4 MPS2 之實驗結果

	關鍵瓶頸製程	缺少的 MOVE 數	備註
S-type	製程 3	2526.47	
	製程 8	16037	
C-type	製程 2	2544.81	
	製程 9	16535.4	
	製程 10	240	
	製程 12	8719.03	
D-type	製程 5	7511.35	
	製程 6	10692	
	製程 7	15835.6	

第三節 數據分析

本節內容中，本研究將各用 10 組主排程表所得之數據，進行分析，其所得結果如下所述。

本研究針對「機台縮減階段」進行驗證，使 10 組 MPS 在所有機台皆可使用及其利用率偏低的情形之下，進行機台縮減運算。得到結果如下表 4-5，而其所使用之 10 組主排程表，詳細記錄於附錄 A 之表 A-1。而附錄 A 之表 A-2，則紀錄 10 組 MPS 計算所得之詳細結果。

表 4-5 所得之驗證結果，10 組 MPS 平均運算時間為 43.7 秒，可見機台縮減之線性規劃模型，可在符合 MPS 的前提之下，於極短的時間內求得機台最小的使用數量。

表 4-5 機台縮減階段驗證結果

	運算時間	總機台數量	縮減機台數量	機台使用比例
MPS1-1	45	47 台	11 台	76.60%
MPS1-2	22	47 台	12 台	74.47%
MPS1-3	30	47 台	5 台	91.49%
MPS1-4	54	47 台	1 台	97.87%
MPS1-5	27	47 台	12 台	74.47%
MPS1-6	77	47 台	12 台	74.47%
MPS1-7	36	47 台	15 台	68.09%
MPS1-8	67	47 台	15 台	68.09%
MPS1-9	38	47 台	14 台	70.21%
MPS1-10	41	47 台	12 台	74.47%

本研究進行「關鍵瓶頸製程找尋」之驗證，亦包含了 10 組 MPS，此 10 組 MPS 運算前必須先有初步的機台組態情形，故本研究設定之初步機台組態是為：在前述之表 4-2 中的 MPS1 進行機台縮減所建立之初步機台組態下，進行關鍵瓶頸製程找尋。本階段中所使用的 10 組主排程表進行運算之結果如下表 4-6。本階段之各項驗證數據，

亦詳細記錄於附錄 B 之表 B-1。附錄 B 之表 B-2，則為紀錄 10 組 MPS 計算所得之詳細結果。

表 4-6 關鍵瓶頸製程階段驗證結果

	運算時間	缺少總 MOVE 數
MPS2-1	9 秒	80641.66
MPS2-2	1 秒	705.922
MPS2-3	24 秒	13067.55
MPS2-4	17 秒	90587
MPS2-5	15 秒	212110.838
MPS2-6	10 秒	7356.6
MPS2-7	34 秒	26552.10
MPS2-8	34 秒	23238.865
MPS2-9	34 秒	18914.864
MPS2-10	30 秒	78716.646

由表 4-6 得之，使用已排定的 MPS 進行「關鍵製程找尋」之階段，其平均運算時間為 20.8 秒。同時，因其輸入之主排程表不同，故得到不同的關鍵瓶頸製程，然若現有的機台組態足夠支應主排程表所需求之產能（MOVE 數），其則無任何製程被列為關鍵瓶頸製程。

第五章、結論與未來展望

第一節 結論

過去半導體製造公司無法快速地將 MPS 需求量，即時反應於機台組態之上，其最大的原因是由於目前所使用之靜態產能分析模型，往往不能在短時間內求出最佳的機台組態。

故本研究結合靜態產能分析與線性規劃模型，發展出一套考量瓶頸製程之改良式機台組態規劃模型，該模型分為「機台縮減規則」與「關鍵瓶頸製程找尋」二部份。二部份方法皆為自 Excel 輸入 MPS 後，使用 LINGO 線性規劃軟體進行機台組態之求解，再將運算之結果重新存回 Excel 中，以利使用者參考之。

故本研究結論可分為「機台縮減規則」、「關鍵瓶頸製程找尋」二方向說明：

壹、 機台縮減規則

此部份進行運算後，可在滿足 MPS 的前提下，決定該組 MPS 是否可以進行機台縮減的動作。故半導體製造公司，可以透過此套線性規劃模型的運算，進行機台的縮減動作，以配合公司縮減成本之考量。

貳、 關鍵瓶頸製程找尋

本研究透過此「關鍵瓶頸製程」的線性規劃模型運算後，可在現有機台組態之產出無法滿足 MPS 所需求的情況之下，在極短時間內指出瓶頸現象發生的製程，讓使用者進行產能重新配置或機台組態的再次調配，已達到舒緩瓶頸現象之目的。

最後，由第四章之實驗數據指出，在「機台縮減」及「關鍵瓶頸製程找尋」二階段，此線性規劃模型與最原始之人工配置方法進行比較，如表 5-1，其模型求解之運算時間分別為 34.7 秒和 20.8 秒。

表 5-1 本研究模型與人工配置方法比較結果

	本研究所提出之模型		人工配置方法	
平均運算 時間	縮減機台	43.7 秒	縮減機台	難以計算
	關鍵瓶頸製程	20.8 秒	關鍵瓶頸製程	難以計算
機台使用 量配置	明確知道使用量，且知其上限。		無法提供充足資訊，產能不能充分利用。	

此結果可看出，本研究提出之模型，可依照需求量的動盪，快速且彈性地進行機台組態的調整。對於半導體製造公司進行生產接單及成本控制，有著極大的幫助。

第二節 未來展望

本研究的發展對於半導體製造業有著極大的助益，故未來若是持續進行研究，可進一步分析本研究所提出之關鍵瓶頸製程，以得知造成生產製程瓶頸之「瓶頸機台」為何，進而建立「機台重新開啟規則」。並進一步告知模型使用者，在經過機台縮減後，必須在該關鍵製程中，開啟哪些使生產受限之瓶頸機台。

另外，由於影響產量之因素十分之多，諸如：生產週期時間(Cycle Time)、產品獲利比重、製程延遲或重工等因素。故此線性規劃模型亦可進一步考慮更多影響產品生產之因素進行研究，使得本研究模型之規模更趨於完整。

參考文獻

- [1] 呂金隆，晶圓製造廠瓶頸管理模式之研究，碩士論文，華梵大學，2002。
- [2] 吳全順，晶圓廠機台組態之經濟分析與優化，碩士論文，台灣大學，2001。
- [3] 許治平，結合模擬及啟發式解法求解半導體廠機台組態決策，碩士論文，成功大學，2005
- [4] 經濟部投資業務處，半導體產業分析及投資機會，民國 97 年 2 月。
- [5] 練鴻展，機台產能配置輔助系統與實證研究，碩士論文，南華大學，2008。
- [6] Bardm, J. F., Srinivasan, K., & Tirupati, D. “An optimization approach to capacity expansion in semiconductor manufacturing facilities.” *International Journal of Production Research*, 37, 3359–3382 (1999).
- [7] Bretthauer K. M.. “Capacity planning in manufacturing and computer networks.” *European Journal of Operations Research*, 19, 386–394 (1996).
- [8] Chen, L. H., & Chen, Y. H. “A design procedure for a robust job shop manufacturing system under a constraint using computer simulation experiments.” *Computers & Industrial Engineering*, 30, 1–12 (1996).
- [9] Chou, Y. C., & You, R. C. “A resource portfolio planning methodology for semiconductor wafer manufacturing.” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 18, 12–19 (2001).
- [10] Chou, Y. C., & Wu, C. S. “Economic analysis and optimization of tool portfolio in semiconductor manufacturing.” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 15(4), 447–453 (2002).

- [11] Chung, S. H., Hsieh, M. H.. “A tool portfolio elimination mechanism (TPEM) for a wafer fab.” In Proceedings of Semiconductor Manufacturing Technology Workshop, Hsin-chu, Taiwan, 51–53 (2004).
- [12] Donohue, K. L., Hopp, W. J., & Spearman, M. L. “Optimal design of stochastic production lines: A dynamic programming approach.” *IIE Transactions*, 34, 891–903 (2002).
- [13] Grewal, N. S., Bruska, A. C., Wulfm, T. M., Robinson, J. K. “Integrating targeted cycle-time reduction into the capital planning process.” In Proceeding of Winter Simulation Conference Washington, USA, 1005–1010 (1998).
- [14] Hock, N. C., *Queueing Modelling Fundamentals*, Wiley, NY (1996).
- [15] Hsieh, M. H., Lin, T. K. “MFE Practice: Manufacturing flexibility enhancement for multi-site fab production.” In Proceeding of IEEE/SEMI Semiconductor Manufacturing Technology Workshop, Hsin-chu, Taiwan , 193–194 (2002).
- [16] Hua, Z., & Banerjee, P. “Aggregate line capacity design for PWB assembly system.” *International Journal of Production Research*, 38, 2417–2441 (2000).
- [17] Iwata, Y., Taji, K., & Tamura, H. “Multi-objective capacity planning for agile semiconductor manufacturing.” *Production Planning and Control*, 14(3), 244–254 (2003).
- [18] Neudorff, J. “Static Capacity Analysis Using Microsoft Visual Basic.” International Conference on Semiconductor Manufacturing Operational Modeling and simulation, 207-212 (1999)
- [19] Occhino, Thomas J., “Capacity Planning Model: The Important Inputs, Formulas, and Benefits,” 2000 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, 455-458 (2000).
- [20] Lawrence, S. R. and Buss, A. H., “Shifting Production Bottlenecks: Causes, Cures, and Conundrums.” *Production and Operations Management*, Vol.3, No.1, 21-38 (1994).
- [21] Lin, S.Y., Chang, Y.C. and Chou, Y.C., ”Application of Stochastic Programming to Tool Portfolio Planning in Semiconductor Manufacturing.” *Journal of Management & System*, Vol.12, No.4, 1-15 (2005).
- [22] Swaminathan, J. M. “Tool capacity planning for semiconductor fabrication facilities under demand uncertainty.” *European Journal of Operations Research*, 120, 545–558 (2000).

- [23] Swaminathan, J. M. “Tool procurement planning for wafer fabrication facilities: A scenario-based approach.” *IIE Transactions*, 34, 145–155 (2002).
- [24] Wang, K. J., & Lin, S. H. “Capacity expansion and allocation for a semiconductor testing facility under constrained budget.” *Production Planning and Control*, 13(5), 429–437 (2002).
- [25] Witte, J. D. “Using static modeling techniques in semiconductor manufacturing.” In Proceedings of IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, Cambridge, MA, 31-35 (1996).
- [26] Wu, M. C., Hsiung, Y., & Hsu, H. M. “A tool planning approach considering cycle time constraints and demand uncertainty.” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26, 565–571 (2005).
- [27] Wu, W. F., Yang, J. L., Liao, J. T. “Static capacity checking system with cycle time considered.” In Proceeding of the 7th International Symposium of Semiconductor Manufacturing, Tokyo, Japan, 307–310 (1998).
- [28] Yang, J. L. An approach to determine appropriate fab development plans by taking space constraints and cost-effectiveness into consideration. In Proceeding of the 9th International Symposium of Semiconductor Manufacturing, Tokyo, Japan, 217–220 (2000).

附錄 A、機台縮減階段實驗結果

表 A-1 機台縮減階段之 MPS

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
MPS1-1	19	61	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	10071	265	16245	8500	8409
MPS1-2	19	61	1155	1079	1137	3000	3240	3918	3900	10071	265	16245	8500	8409
MPS1-3	19	61	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	20071	265	16245	8500	8409
MPS1-4	19	61	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	23920	265	16245	8500	8409
MPS1-5	19	61	1155	1000	1137	3000	4240	3918	3900	10071	265	1500	8500	8409
MPS1-6	19	61	155	1079	1137	3000	4240	3000	3900	10071	265	16245	8500	8409
MPS1-7	19	61	1155	1079	949	3000	4240	3918	3900	10071	265	10000	8500	8409
MPS1-8	19	61	1155	878	1137	1500	4240	3918	2800	10071	265	16245	5840	8409
MPS1-9	19	35	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	10071	199	16245	8500	5000
MPS1-10	10	61	1155	1079	1137	3000	2000	3918	3900	10071	265	16510	8500	8409

表 A-2 10 組 MPS 進行機台縮減之結果

	總運行機台數	運算時間	可縮減機台	
MPS1-1	36 台	45 秒	S-type	機台 8、機台 9、 機台 10、機台 15
			C-type	機台 7、機台 10
			D-type	機台 7、機台 11、 機台 12、機台 17
MPS1-2	35 台	22 秒	S-type	機台 8、機台 9、 機台 10、機台 11 機台 14
			C-type	機台 10、機台 18
			D-type	機台 8、機台 10、 機台 12、機台 17
MPS1-3	43 台	30 秒	S-type	機台 8、機台 9、 機台 10
			C-type	機台 18
			D-type	無
MPS1-4	46 台	54 秒	S-type	機台 10
			C-type	無
			D-type	無
MPS1-5	35 台	27 秒	S-type	機台 8、機台 9、 機台 10、機台 11、 機台 16
			C-type	機台 10、機台 18
			D-type	機台 11、機台 12、 機台 13、機台 17

	總運行機台數	運算時間	可縮減機台	
MPS1-6	35 台	77 秒	S-type	機台 5、機台 8、 機台 9、機台 10、 機台 11
			C-type	機台 10、機台 18
			D-type	機台 9、機台 10、 機台 12、機台 17
MPS1-7	32 台	36 秒	S-type	機台 5、機台 8、 機台 9、機台 10、 機台 11、機台 15
			C-type	機台 7、機台 10、機台 18
			D-type	機台 7、機台 10、 機台 12、機台 13、 機台 17
MPS1-8	32 台	67 秒	S-type	機台 5、機台 8、 機台 9、機台 10、 機台 11、機台 14
			C-type	機台 7、機台 10、機台 18
			D-type	機台 7、機台、11 機台 12、機台 13
MPS1-9	33 台	38 秒	S-type	機台 1、機台 5、 機台 8、機台 10、 機台 11
			C-type	機台 7、機台 10
			D-type	機台 7、機台 12、 機台 13、機台 16、 機台 17
MPS1-10	35 台	41 秒	S-type	機台 8、機台 9、 機台 10、機台 11、 機台 14
			C-type	機台 10、機台 18、
			D-type	機台 7、機台 12、 機台 15、機台 17

附錄 B、關鍵瓶頸製程階段實驗結果

表 B-1 關鍵瓶頸製程找尋階段之 MPS

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
MPS2-1	19	61	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	20071	265	16245	8500	8409
MPS2-2	19	61	1155	1079	1200	3000	4240	3918	3900	20071	265	16245	9000	8409
MPS2-3	19	100	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	20071	265	20245	8500	8409
MPS2-7	30	61	1155	1079	1137	4000	4240	3918	3900	15000	265	16245	8500	8409
MPS2-4	19	61	2000	1079	1137	3000	4240	4000	3900	20071	265	16245	8500	8409
MPS2-8	19	61	2000	1079	1137	3000	4240	8000	3900	20071	265	16245	8500	8409
MPS2-9	100	61	1155	5000	1137	4000	4240	3918	3900	20071	265	16245	8500	8409
MPS2-10	19	61	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	20071	265	25000	8500	9000
MPS2-5	19	61	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	30071	265	16245	8500	8409
MPS2-6	19	61	5000	1079	1137	3000	4240	4000	3900	20071	265	16245	8500	8409

表 B-2 10 組 MPS 進行關鍵製程找尋之結果

	運算時間	關鍵瓶頸製程		缺少的 MOVE 數
MPS2-1	9 秒	S-type	製程 3	2526.47
			製程 8	16037
		C-type	製程 2	2544.81
			製程 9	16535.4
			製程 10	240
			製程 12	8719.03
		D-type	製程 5	7511.35
			製程 6	10692
			製程 7	15835.6
MPS2-2	1 秒	S-type	無	0
		C-type	製程 8	705.922
		D-type	無	0
MPS2-3	24 秒	S-type	製程 8	1864.65
		C-type	製程 8	11202.9
		D-type	無	0
MPS2-7	21 秒	S-type	製程 8	6650.81
		C-type	製程 12	570.513
		D-type	製程 6	11702
			製程 7	7628.78

	運算時間	關鍵瓶頸製程		缺少的 MOVE 數
MPS2-4	17 秒	S-type	製程 3	2523.47
			製程 8	18094
		C-type	製程 2	4769.66
			製程 9	21039.6
			製程 10	240
			製程 12	8717.42
		D-type	製程 6	7751.35
			製程 7	11536
			製程 8	15915.6
MPS2-8	34 秒	S-type	製程 8	2121.36
		C-type	製程 2	352.005
			製程 10	240
			製程 11	1080.77
		D-type	製程 6	11508
			製程 7	7936.73
MPS2-9	34 秒	S-type	製程 8	1966.39
		C-type	製程 2	1487.03
			製程 10	483
			製程 11	811.774
		D-type	製程 6	8330.04
			製程 7	5836.63

	運算時間	關鍵瓶頸製程		缺少的 MOVE 數
MPS2-10	30 秒	S-type	製程 3	569.436
			製程 8	16981.3
		C-type	製程 2	2587.06
			製程 8	27240.9
			製程 10	240
			製程 12	6718.85
		D-type	製程 5	5549.35
			製程 6	3677.15
			製程 7	15152.6
		MPS2-5	15 秒	S-type
製程 8	28855.2			
C-type	製程 1			126.288
	製程 2			13537
	製程 7			22560.8
	製程 9			35536.5
	製程 10			240
D-type	製程 12			18744
	製程 5			37511.4
	製程 6			10692
		製程 7	25835.6	

			製程 8	7822.05
MPS2-6	10 秒	S-type	無	0
		C-type	無	0
		D-type	製程 6	7356.6