

南 華 大 學

資訊管理學系

碩士論文

機台產能配置輔助系統與實證研究

An empirical study on the tool capacity allocation system

研 究 生：練鴻展

指 導 教 授：李翔詣

中華民國 九十七 年 六 月 十 一 日

南 華 大 學
資 訊 管 理 學 系
碩 士 學 位 論 文

機台產能配置輔助系統與實證

研究生：練鴻展

經考試合格特此證明

口試委員：江育民

李翔詣

符志貴

邱宏村

指導教授：李翔詣

系主任(所長)：鍾國貴

口試日期：中華民國 96 年 06 月 11 日

誌 謝 辭

本論文得以完成，首先由衷地感謝恩師 李翔詣博士兩年來悉心指導，從找尋論文方向開始到確定內容，一直到寫作的過程中，總是耐心給予建議及適時指出錯誤，非常感謝老師的無怨教導，因為我的才識潛薄及不甚細心，常使得論文寫作陷入停滯狀態，如果沒有老師這樣拉拔，本論文必無法順利完成，另外也從老師身上學到許多做事的態度，這必能使我往後日子甚至找工作更為順利。

也必須感謝合作廠商中與我配合的人員陳依姐，黃子晟及游智閔兩位大哥。在與陳依姐的對談討論中學到很多關於科技業的知識，以及代工業的運作流程，使我對整個科技產業有更進一步的認識，也必須感謝她在程式上給予無私教導，否則程式不可能可以順利運作。還必須感謝，黃子晟及游智閔大哥在程式寫作與邏輯上給予的建議

還必須感謝研究室的夥伴們，宣均、蕙仁、佳蓉、育弘學長，在論文寫作陷入冰凍狀態時，能看到大家為研究室帶來歡樂氣氛，讓苦悶的心情得以融化，雖然說研究生是沒有歡樂的，不過我知道這麼做是用心良苦阿。還有研究所朋友們，能一起度過兩年絞盡腦汁為論文的日子。也須感謝一同渡過兩年的室友偉倫，雖然不同研究所，但可以時常討論彼此的論文得到靈感，在宿舍閒暇之餘有你的一同聊天、呼吸新鮮空氣，使得研究的日子多添一些輕鬆，不甚感謝。

最後要感謝家人及女友育瑩的支持鼓勵，尤其是育瑩，研究所的日子就很一起出遊，也沒有很多空閒時間可以陪妳，但妳給我精神上的鼓勵不乏於他人，謝謝妳。

回想起剛進入研究所的無知與懵懂，到現在對事物與問題的研究分析有了更深一層的認識，我將帶著在研究所學到的態度繼續往後的日子，並將所學到的知識作更大的發揮，才不枉這段時間辛苦教導的老師，特此，再一次感謝所有一路相伴的朋友。

練鴻展謹識于南華大學

中華民國九十七年六月

機台產能配置輔助系統與實證研究

學生：練鴻展 指導教授：李翔詣

南華大學 資訊管理學系碩士班

摘 要

本研究目的是為晶圓代工廠建立一個產能配置決策支援系統。在現今競爭激烈的商業環境裡，高度的生產效率是保持競爭優勢的關鍵因素。而充份利用工廠產能的產能規劃，才能得到最佳化的產出，提高生產效率。然而，由於不同機台產能上限與不同產品的產能需求不一，要得到產能最佳化配置並不容易。必須建立出正確的產能規劃模型並配合數學規劃軟體的計算。在本研究的個案中，最主要問題是工廠機台在跨製程使用時，產能會因為製程變動而下降。當機台使用於單一製程時，產能使用上限為 1.0，當機台跨製程使用時，使用上限則為 0.9。本研究利用整數規劃具有可依據變數值選擇限制式的特性，將機台使用狀況以二元變數來表示。當二元變數為 1 時表示機台有使用，當二元變數為 0 時表示機台沒有被使用。再使用另一個二元變數來表示機台是否跨製程使用，以決定限制性的上限為何。本系統建構是以數學規劃軟體 Lingo 為核心，以 Excel 檔案為資料來源。結果顯示，個案工廠目前採用的手動方式配置產能需時超過 10 分鐘，且僅能確認產能配置是否可行，無法知道最佳產量為何。而本系統可以在 1-2 分鐘內得到結果，且機台產能配置可以確保產量為最佳。顯示本系統的確可以對於 IE 人員的產能規劃有具體幫助。

關鍵字：產能配置、最佳化、整數規劃

An empirical study on the tool capacity allocation system

Student : Lian, Hong-Jhan Advisors : Dr. LEE, HSIANG YI

Department of Information Management
The M.IM. Program
Nan-Hua University

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish a capacity allocation decision support system for a wafer foundry factory. In today's fierce competing world, one of the key factors for maintaining competitive advantage is to reach production efficiency. And this is based on the fully utilization of tool capacity. However, this is not an easy job since tool capacity varies as tool type varies and different products usually consume different tool capacity. A correct math programming model must be set up to gain the optimal allocation and computer software may be required. The challenge this study faced is that tool capacity changes as it is used in a single process or multiple process. That is, the capacity limitation is not fixed, it is 1.0 when a tool is assigned for one single process only and it is 0.9 when the tool is assigned for multiple processes. The study then adapts an integer programming model with two types of binary integer variables. The first one is to indicate that the tool is used in certain process or not. It becomes 1 when the tool is allocated or 0 when the tool is not allocated. Another binary integer is then used to indicate whether the tool is used in single process or cross-process used. The result is then used to determine the right capacity constrain. The system is developed via an Excel file with a Lingo kernel. The results indicate that the system could get the result within 1-2 min, while the manual way used in that factory took more than 10 min. The system also makes sure the output is

optimized with the capacity allocation. This indicates that this system could be helpful for Industrial Engineer when making capacity planning

Keyword : capacity allocation, optimization, integer programming

目 錄

書名頁.....	I
碩士論文著作財產權同意書.....	II
論文指導教授推薦書.....	III
論文口試合格證明.....	IV
誌謝.....	V
中文摘要.....	VII
英文摘要.....	VIII
目錄.....	X
圖目錄.....	XIII
表目錄.....	XIV
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍與限制.....	3
1.3.1 研究範圍.....	3
1.3.2 研究限制.....	3
1.4 研究步驟與流程.....	4
1.5 論文架構.....	6
第二章 文獻探討	8
2.1 半導體晶圓代工業現況.....	8
2.1.1 我國半導體產業.....	8
2.1.2 晶圓.....	8
2.1.3 晶圓代工.....	9
2.1.3.1 晶圓代工定義.....	9
2.1.3.2 晶圓代工現況.....	10
2.1.3.3 晶圓代工前景.....	10
2.1.3.4 晶圓代工的優點及努力方向.....	11
2.2 產能規劃(Capacity Planning).....	11
2.2.1 產能規劃定義.....	11

2.2.2 產能利用率.....	12
2.2.3 產能規劃重要性.....	12
2.2.4 產能規劃方法.....	13
2.2.4.1 基本假設.....	13
2.2.4.2 傳統做法.....	13
2.3 線性規劃.....	19
2.3.1 二選一限制式(Either-Or Constraints).....	21
2.3.2 線性規劃輔助軟體.....	21
第三章 研究方法.....	22
3.1 問題定義.....	22
3.2 個案介紹與生產規則及產能調整方式.....	24
3.2.1 個案簡介.....	24
3.2.2 產品生產流程.....	24
3.2.3 生產設備.....	24
3.2.3.1 一般機台.....	24
3.2.3.2 共用機台.....	25
3.2.4 機台使用量.....	25
3.2.5 機台產能配置.....	26
3.3 參數與變數說明.....	27
3.3.1 參數.....	27
3.3.2 變數.....	28
3.4 產量配置的線性規劃模式.....	29
3.4.1 模型簡述.....	30
3.4.2 建立目標式.....	30
3.4.3 建立限制式.....	30
3.5 建構產能配置系統.....	33
3.5.1 資料建立.....	33
3.5.2 建立 Lingo 程式.....	34
3.5.3 Lingo 軟體求解結果.....	35
3.6 系統驗證方式.....	36

第四章 實例驗證與數據分析	38
4.1 資料建立.....	38
4.2 建立 Lingo 程式.....	39
4.3 實例運算及結果.....	40
4.4. 數據分析.....	42
第五章 討論與結論	43
5.1 討論.....	43
5.2 結論.....	43
參考文獻	45

圖 目 錄

圖 1-1 研究流程圖.....	5
圖 2.1 產能規劃方法之比較.....	17
圖 2.2 產能需求規劃執行邏輯.....	18
圖 3.1 研究架構.....	23
圖 3.2 系統運作步驟.....	33
圖 3.3 Lingo 程式.....	35
圖 3.4 線性規劃模式運算結果.....	36
圖 4.1 系統所需參.....	38
圖 4.2 線性規劃模型.....	41

表 目 錄

表 3.1 共用機台說明.....	25
表 3.2 製程資源供應量說明.....	26
表 4.1 MPS.....	38
表 4.2 系統運作平台.....	40
表 4.3 求解結果之生產數量.....	41
表 4.4 結果比較.....	42
表 4.5 五組 MPS 驗證系統結果.....	42

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

台灣是個高科技的島嶼，不甚廣闊的土地中，竟可以容納上百家的高科技廠商。從八十年代的產業萌芽期開始，在歷經九十年代的成長茁壯後，晶圓代工的生產模式，不僅加速了IC設計的蓬勃發展，更在專業晶圓代工廠的陸續成立後，形成一股全球半導體產業垂直分工及專業化的發展趨勢(蘇艷雯，1999)。然而傳統由IDM(Integrated Device Manufacturer)公司所一手包辦的半導體產業，不但在產品上被設計公司所擁有的獨特利基追上，更在不景氣的壓力下，改採利潤中心制的半導體產品部門，亦不得不考慮以擴大委外代工的方式來降低成本。而半導體最重要的一項原料就是晶圓，又因上述情況，專業晶圓代工將獲得更多設計公司的訂單，而面對IDM所釋出的龐大產能需求，將會更加應接不暇。

晶圓代工廠資本支出佔整體投資相當大的比率，因此對於一個投片數量為固定的晶圓廠來說，過多的設備投資會造成生產力下降，也無益產出量的提升。反之過少的設備投資會使產出不如預期造成收益上的損失並影響生產績效。以一座八吋晶圓廠為例，其建廠費用高達10億美元以上(蘇艷雯，1999)，其中運作機台動則也要數百萬，因此若是能夠善用現有的設備做最妥善的規劃，將可以較低的成本賺取更多的利潤。

晶圓代工業者為提供客戶成長需求，須持續進行擴廠以提供其所需產能，若代工業者無力持續擴廠，則客戶成長性勢必受限，進而無法與其他IDM廠商競爭，但是擴廠並非容易之事，要考慮現有資金是否能支應添購設備之需，因此在不進行擴廠及添購設備的前提之

下，妥善利用產能提高產出便是件可以創造更多利潤的方法。

針對上述競爭環境與限制，使本研究聯想到，要是能善加利用產能，利用產能規劃的方式，對一間晶圓代工廠做產能上的使用改善，是否可以提高產出，進而來帶更多的利潤，如果產出及產能利用率皆提高，無疑問的可以使代工廠有更多的機會與其他廠商競爭，也可以為上游的IDM 公司有更多的競爭成本。

本研究針對一間目前假設擁有固定數量機台設備的半導體晶圓代工廠作為實證研究的對象，利用廠商現有的機台設備，考慮生產晶圓片(wafer)所需規則作為主要輸入，發展出一套數學運算模型，藉由數學運算，改善以往人工模擬產能配置時的缺點並可以得到最佳(多)產出，使晶圓廠生產系統績效維持在一優良狀態。

1.2 研究目的

目前個案廠商使用人工試誤法來做產能的配置，不僅耗費工時也可能因為人為疏失造成機台使用上的配置錯誤，該方式可能在長時間內得到一組解，卻沒有辦法在更有效率的時間內得到一組較佳解，這樣不僅花費掉時間成本，更可能因為配置錯誤造成產能的浪費或錯失更佳的產出。

本研究主要目的可分為二點：

(1)利用數學模型配合電腦運算得到現有產能下最佳產出：

晶圓代工廠在生產過程中具有一定規則，例如哪些產品要經過哪些製程加工、製程內的工作機台是否開啟、效率為何、機台是否可跨製程使用.....等等。收集所有生產規則，及整理之後，撰寫為數學模型，配合目前知名的數學運算軟體，Lingo 做為工具，把目標設定為產出最大，如此便可以得到現有生產設備下可生產數量的最佳(大)解。

(2)利用電腦快速運算能力得到機台產能配置以改善傳統配置耗時的缺點：

過去個案在配置產能時都是用人工方式，以試誤法調整出所有機台的使用量，因為面對的數據資料相當多且規則性不只一條，因此若以人工方式必定會花費相當多的時間，更因為人無法長時間專心做數字上的調整，所以稍不謹慎便會發生數字調整錯誤的問題，為了解決這樣的問題，我們選擇電腦科技及數學運算軟體作為工具，以電腦強大的運算能力，可以在短時間內得到所有機台的使用量，也就是機台產能配置，大大提高生產前的準備工作，更可以讓產能配置人員有更多時間做提高生產效率方面的思考。

1.3 研究範圍與限制

1.3.1 研究範圍

本研究針對產能在目前製造代工業作相關性的了解，發現產能均為其營運重點之一，然而在高單價生產設備的半導體產業更顯重要，產能利用不慎將可能造成產品過剩或不足，對整個公司的營運影響甚大，因此本研究針對半體業的生產過程提出有效利用產能的模型，將產能儘可能的利用，達到生產設備的充分利用，更可以因為提高廠房的產出而使公司更具競爭力。

1.3.2 研究限制

本研究為半體業晶圓代工業的個案研究，針對個案的生產方式與產品的生產規則最一針對性的產能規劃，不同代工業者有不盡相同的方產方式，因此本研究模型不一定適用於所有的半導體業，但概念上屬盡可能利用產能，達到產出的最大(佳)化，將來若能在其他業者或

製造業使用，僅需掌握本研究概念，將模型作適切性的調整，便可得到適合的求解方式與結果。

1.4 研究步驟與流程

宏觀世界上的科技業，一日千里的發展，尤其在台灣這個科技矽島更是發展快速，也造就競爭激烈的環境，想要在這種環境脫穎而出，其中之一的方法便是在現有機具設備下提高產出，並且更快速對訂單需求作反應，以上因素便促成本研究的誕生。研究開始先蒐集產業相關背景及問題所在，探討出產能對產業的影響，進而可以開發出如何針對產能作適當的改善方式，經過針對性的了解與思考研究方法，可以設計出一套解決問題的模型，以適切的模型搭配強大的運算工具，且因為使用最佳化的概念運算，得到的結果為一組最佳解，再將模型套用於個案研究上，與先前未使用本研究的結果比較，將可以得到本研究較先前運作方式更具有操作上的效率，與生產數量上的明顯差別。研究步驟流程整理為圖 1.1。

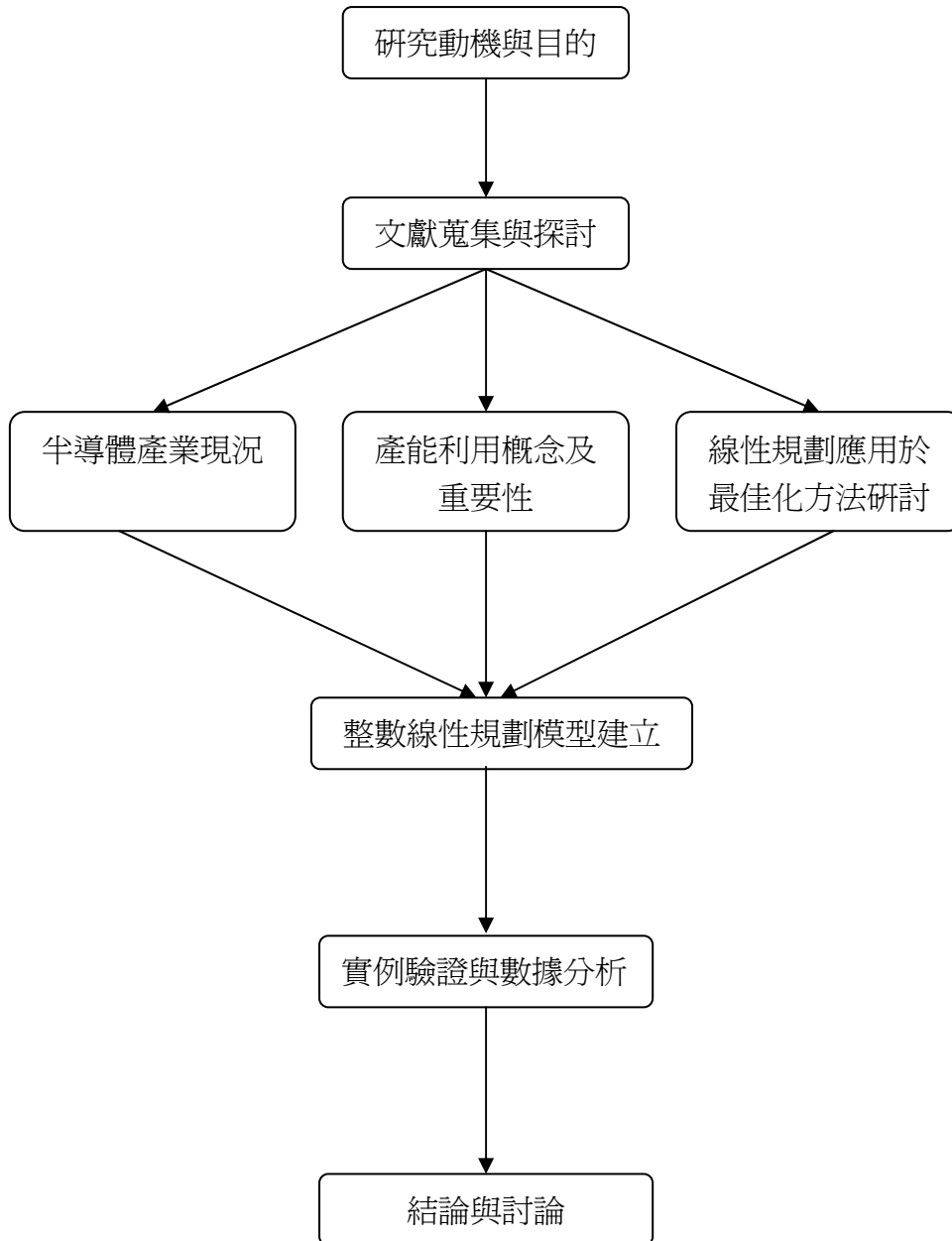


圖 1-1 研究流程圖

1.5 論文架構

本研究共分為五章：

第一章緒論：

敘述本研究之研究動機目的與論文架構。

第二章文獻探討與個案現況：

1. 半導體晶圓代工業現況
2. 產能利用在代工業的重要性
3. 個案現行產品生產規則與產能調整方式
4. 針對優化產能利用可行方法
 - (1) 最佳化
 - (2) 整數線性規劃

第三章整數線性規劃模型建立：

瞭解個案目前生產流程的規則後，配合運算工具使用方式，設計一套數學模型，確認模型目標式正確及置入運算軟體作語法檢查無誤後，即可套用個案現行數據作實際資料的運算。

第四章實例驗證與數據分析：

本章節運用個案目前實際上線資料為來源數據，將所有資料置入模型配合數學運算軟體，得到結果後，與先前個案以人工方式調整的產能數據做比對，可以比較出未使用本研究模型與使用模型後的差別。

第五章結論與討論：

說明本研究所提供模型的貢獻與不足，並加以建議未來可延續的研究方向。

第二章 文獻探討

2.1 半導體晶圓代工業現況

2.1.1 我國半導體產業

自 1960 年聯合國特別基金會核准在交大電子研究所設立「遠東電子電信訓練中心」，遂於 1964 年建立「矽平面電晶體技術」，以迄行政院於 1988 年核准建立「國家毫微米元件實驗室」，為研發的一條軌跡。另外，產業的萌芽肇始於 1970 年萬邦電子公司的成立，1976 年工研院電子研究中心引進 RCA 的 7 微米 CMOS 技術，1980 年以 3 微米技轉聯華電子公司的成功，以迄 1994 年次微米計畫技轉 8 吋 DRAM 廠的世界先進半導體製造公司。從此我國各大企業如台塑、永豐裕等紛紛轉型建設 8 吋廠，至此使我國正式進入以韓、台為主的世界半導體製造中心(交大思源基金會網站)。

而經濟部工業局於 2002 年主導推動「兩兆(半導體、影像)雙星(數位內容、生物技術)產業發展計畫」，在半導體產業的推動方面，政府之策略思維乃在於強化並延伸產業既有的優勢，且我國半導體廠商的成本控制能力及製程管理優勢在全球的半導體產業已佔有舉足輕重的地位。未來如能充分運用此利基，不僅將促使我國的半導體產業鏈更加完整，亦將鞏固我國半導體產業在全球的領先地位。展望未來，在政府產業政策綜效的持續發揮下，必能帶領我國半導體產業在 2009 年挑戰新台幣 1 兆 9,600 億元之新高峰(阿扁總統電子報，2008)。

2.1.2 晶圓

「晶圓」乃是指矽半導體積體電路製作所用之矽晶片，由於其形狀為圓形，故稱為晶圓；在矽晶片上可加工製作成各種電路元件結

構，而成為有特定電性功能之 IC 產品。

「晶圓」的原始材料是「矽」，地殼表面有著取之不盡用之不竭的二氧化矽，二氧化矽礦石經由電弧爐提煉，鹽酸氯化，並經蒸餾後，製成了高純度的多晶矽，其純度高達 0.9999999999。晶圓製造廠再將此多晶矽融解，再於融液內摻入一小粒的矽晶體晶種，然後將其慢慢拉出，以形成圓柱狀的單晶矽晶棒，由於矽晶棒是由一顆小晶粒在熔融態的矽原料中逐漸生成，此過程稱為「長晶」，矽晶棒再經過研磨、拋光、切片後，即成為積體電路工廠的基本原料——矽晶圓片，這就是「晶圓」。國內自 1997 年起已有廠家生產八英寸(200mm)晶圓片，未來將會生產十二寸晶圓。

「晶圓」的製造是整個電子資訊產業中最上游的部份，「晶圓」產業的發展優劣，直接影響半導體工業，也可從中觀察出整個資訊產業的發展趨勢(彰化教育網中心)。

2.1.3 晶圓代工

2.1.3.1 晶圓代工定義

「晶圓代工」就是積體電路晶圓製造公司，例如：台積電、聯華電子等大家耳熟能詳的國際級企業，為「晶圓代工」的大廠。晶圓廠取得客戶（電子產品設計公司）委託的產品製造訂單後，將電子產品的設計圖透過光罩製作公司轉製在數層光罩上，再以矽晶圓為基材，經過積體電路晶圓生產製造流程，將每一層光罩上的設計圖案轉置在晶圓上，每片晶圓在完成製造程序後，即可在晶圓上形成數百到數仟顆相同的積體電路小晶片。產品設計公司將晶圓送至晶片包裝廠切割、封裝，再送經最終電性測試，即可銷售上市(阿扁總統電子報，2008)。

2.1.3.2 晶圓代工現況

傳統上由 IDM 公司所一手包辦的半導體產業，不但在產品上被設計公司所擁有的獨特利基追上，在景氣的壓力下，改採利潤中心制的半導體產品部門，亦不得不考慮以擴大委外代工的方式來降低成本。在此種趨勢下，專業晶圓代工將獲得更多設計公司的訂單，而面對 IDM 所釋出的龐大產能需求，將會更加應接不暇(蘇艷雯，1999)。

長期看來，半導體代工業每年都已一五%成長，在公元 2006 年成長到五百億美元，且代工市場也日漸寬廣。原本代工市場的客戶來源為缺乏資本蓋工廠的半導體設計業，但國際水平分工愈盛，晶圓廠投資日益昂貴，技術也日益複雜，很多元來專做半導體的大公司，如摩托羅拉、德州儀器公司，未來可能無法大量建廠，而要將某些晶圓製造交給代工公司，這些大企業具更大市場潛力，也開拓很多新機會。晶圓代工已進入第二波，張忠謀曾說：我們只要專心作代工，就已經做不完了(劉強，2006)。

2.1.3.3 晶圓代工前景

由 1996 年至 1998 年，在全球代工市場中，晶圓代工專業廠的市場佔有率由 41.2% 成長至 63.5%，而 IDM 垂直整合半導體廠的市場佔有率卻由 58.8% 下降至 46.5%(劉常勇，2006)。這個數字顯示，在晶圓代工市場中，未來是屬於晶圓代工專業廠的天下，IDM 廠不但將逐漸退出代工市場，並且還將釋出一部份的產能需求，委託專業廠進行代工。因此有人估計，將來晶圓代工市場可能佔到整體半導體市場的 15%，以 2004 年全球半導體市場的 2500 億美元估計規模來看，晶圓代工的市場就可能高達 375 億美元的規模，前景實在是非常亮麗。

2.1.3.4 晶圓代工的優點及努力方向

最大的優點在於本身不必負擔產品銷售與研發的成本，避免產品開發失敗的風險；另一方面因本身沒有產品，委託代工的客戶，不必擔心專業代工廠會偷學技術而轉變為競爭者(黃瑞生，2006)。但代工場本身就是依賴客戶訂單而生存，因此必須與客戶保持密切合作關係才能較其他代工廠具有競爭優勢，使客戶保持信賴的條件除了產品品質外更重要的就是要能充分負荷訂單的需求，不過成立一間晶圓代工廠所需資金龐大，想要充分滿足訂單需求最重要的就是要擁有充足的產能，就必須靠生產設備來應付，根據觀察，影響晶圓代工成本最大的項目為製造費用約佔 75%，其中建廠設備之折舊攤提費用佔最大宗。以投資一座 8 吋月產能 25000 片的晶圓廠其投資金額保守估計 10 億美元，生產設備約佔 7.5 億美元(210 億台幣)。若以五年線性折舊加一年殘質攤提，一年所需提列 35 億元折舊費用，佔其銷售成本五成。故廠商非得以提升生產效率、產品良率，並延長設備使用年限來降低生產成本(范書愷，2005)。

2.2 產能規劃(Capacity Planning)

2.2.1 產能規劃定義

產能 (Capacity) 的定義為一個工作者、設備、工作中心、工廠或組織，在一段時間內的最大可能合格產出。所謂的產能規劃 (Capacity Planning)，在於預測並決定組織什麼時候應建立多少與什麼樣的產能，以符合組織的最大利益。「公司規劃總體的製造資源所做的中長期策略規劃」(范書愷，2005)。本研究針對設備(機台)做使用量上的分配。

2.2.2 產能利用率

產能規劃時必須知道程序現有之產能和其利用率。利用率 (utilization)，即設備、空間或勞動力使用的程度；以百分率表示(潘昭賢，2005)，其公式如下：

$$\text{利用率} = \frac{\text{平均產出率}}{\text{最大產能}} * 100\%$$

平均產出率和產能必須是以相同的單位衡量，例如時間、顧客數、單位數量或金額。

2.2.3 產能規劃重要性

因為要投資一間晶圓代工廠所需的資金甚為龐大，因此在現有的廠房機具設備下，發揮其最大效用成為可以提高產出且應付更多訂單的關鍵，換言之，產能為晶圓代工的經營策略成功因素之一(其三分別為:技術、品質、服務)(阮世昌，2006)，若能提高產能，則必定更有機會為企業帶來更多的經濟效益。

提高產能的方法有：使產能利用率達到高點，或是擴建廠房，但以興建一座八吋晶圓廠需要 12 億美元，興建一座十二吋廠需 30 億美元，這樣高額的資金還必須承擔相當的風險，非有相當把握並不會貿然投資，因此另一個方法就是運用現有設備達到充分利用產能，將產能做最適當的配置來提高產出，也就是產能規劃。而產能規劃決策對生產系統而言是管理者的最基本決策之一，生產系統的產能決策是一家公司的競爭範圍。它決定合理的企業營運模式並影響企業各相關子系統的協調運作能力及提高企業生產方面的經濟效益(黃維民，2001)。

產能過剩或不足皆會造成公司困擾。在美國曾發生實際的案例，一間郵輪公司因為誤判遊客在近年內會大量增加而開始引進更多大容量的郵輪，但事實卻是遊客量並未增加，造成產能過剩而必須大幅的削價促銷；另一個案例為一間飛機製造商接受的過多的訂單，產能嚴重不足無法負荷，終於被其他公司所收購。以上皆顯示產能規畫的重要性，將產能做最適當的分配才能得到最大的獲益。

2.2.4 產能規劃方法

2.2.4.1 基本假設

J. C. Wortman 等人，提出無限負荷及有限負荷同為產能規劃的重要觀念及技巧，此兩種觀念於輸出及輸入的資料上也不盡相同。有限負荷的特性包括：機台的使用率不得高於可用產能、訂單有優先序等，因此可制訂交期並作為業務人員對外協調交期之參考；而無限負荷規劃允許機台的使用率高於可用產能且訂單無優先序，由此可估算出的機台的負荷程度，作為製造部門或生管部門安排機台間互相支援 (Machine Backup)、外包或加班之決策支援的依據。本研究為個案研究，目前生產設備硬體為固定，在產能的供應上屬於有限負荷，因此以有限產能的負荷最作為本研究的研究假設。

2.2.4.2 傳統做法

產能規劃的方法可分為兩類，一類為粗估產能規劃 (Rough-Cut Capacity Planning; RCCP)，另一類為細部產能規劃 (Detailed Capacity Planning)。雖然於觀念作法與範圍上有所差異，其目的皆在於合理地分配安排機台之產能負荷及生產線平衡之問題。以提供相關決策人員

因應負荷變動的狀況。兩者主要之不同點在於輸入資料與估算的詳細程度。粗估產能規劃考慮較粗略之資料適用於長期的產能預估，而細部產能規劃則考慮較詳細之資料適用於短期的負荷變化的估算。

在粗估產能規劃方法中，較著名的方法有三種，分別為產能規劃因子法（Capacity Planning Using Overall Factors, CPOF）、產能料單法（Capacity Planning Using Capacity Bill, CB）及資源概算法（Capacity Planning Using Resource Profile, RP）等。而細部產能規劃之方法就是生產管理領域中所提的產能需求規劃法（Capacity Requirement Planning, CRP）（張百棧，1996），本研究範圍即為晶圓代工廠細部產能規劃方法的開發。

◎產能規劃因子法

產能規劃因子法是利用試算之方式來進行粗略產能之預估。其主要之輸入資料為：主生產排程、產品之標準流程時間（Flowtime）、產品之標準流程時間於各加工中心之分攤比例。而輸出資料為各加工中心每週或每月之產能負荷量。產能規劃因子法可粗略預估每個加工中心之產能負荷量，先決條件是產品比例及每個加工中心產能之歷史分攤比例已知。本方法之優點為計算簡單，其所需之資料量也較少。

◎產能料單法

產能料單法也是一種粗估產能規劃方法。其較產能規劃因子法需要更多之資訊。主要之輸入資料為：主生產排程、產品於各加工中心之加工時間。而輸出資料為各加工中心每週或每月之產能負荷量。產能料單法之計算邏輯與產能規劃因子法類似，其不同點在於產能規劃因子法是依據以往在各加工中心加工之工件設定流程時間的歷史分攤比例。然而產能料單法則真正計算出實際產品比例於各加工中心加工之產能負荷。

◎資源概算法

產能規劃因子法及產能料單法皆未考慮各加工中心產能需求時間差的關係。造成此種結果的原因則是此兩種方法皆未考慮前置時間(Leadtime)。資源概算法考慮了前置時間，因此資源概算法在粗估產能規劃方法中算是較為詳細的一種方法。其主要輸入資料為：主生產排程、生產途程、標準工時、生產前置時間。而輸出資料為各加工中心每週或每月之產能負荷量。比較產能規劃因子法、產能料單法及資源概算法之產能需求差異，我們可發現時間差對產能需求所造成之衝擊。使用資源概算法可反應資源需求的時間差。

◎產能需求規劃法

產能需求規劃法為細部產能規劃之方法，其主要的輸入資料有：主生產排程、生產途程、標準工時、庫存狀況、在製品、生產資源之數量等。而主要的輸出資料為生產資源之產能負荷情形。由於各產業的生產環境不盡相同，加上產能需求規劃法需要詳細之生產資料，因此不同產業執行產能需求規劃法便不盡相同。相較於其他粗估產能規劃方法而言，執行產能需求規劃法將可提供較準確之產能負荷資訊，供管理者決策。

以下將就上述之規劃方法的準確性(Accuracy)、資料需求度(Information Requirements)、計算次數(Number of Calculations)、執行試誤法之容易性(Ease of Trial-and Error Use)等四部份進行討論，分述如下(R. E. Markland, 1995)，參見圖2.1。

◎準確性

由於輸入資料的詳細程度不同，以準確性方面來說，粗估產能規劃方法較細部產能規劃方法來得差。然而卻不能因此否定粗估產能規劃方法的價值，粗估產能規劃方法可使用於中長期之產能規劃上，其機台

產能負荷檢視通常為月、週。而細部產能規劃方法則通常用於短期之產能規劃上，其解析度詳細到天。四種產能規劃方法的準確性由高至低分別為：CRP、RP、CB、CPOF。

◎資料需求度

為求輸出結果之準確性，細部產能規劃方法的資料需求度較粗估產能規劃方法高。四種產能規劃方法之資料需求度由高至低分別為：CRP、RP、CB、CPOF。

◎計算次數

細部產能規劃方法的計算次數較粗估產能規劃方法高。此項評估因素代表著細部產能規劃方法計算時間也較粗估產能規劃方法計算時間為多。由於細部產能規劃方法之輸出結果與考慮之因素較多，相對地其計算次數及花費時間也較長。四種產能規劃方法之計算次數由高至低分別為：CRP、RP、CB、CPOF。

◎執行試誤法之容易性

執行試誤法之目的在於系統發生改變時，如機台可用數目增加、不同之機台互相支援策略、主生產排程改變等狀態發生時，即可藉由資料之即時更新以反應產能負荷狀況。由於資料需求的程度不同，造成四種產能規劃方法在執行試誤法之簡便性上亦不相同。資料需求的程度愈大，將愈不利執行試誤法，而資料需求的程度愈小，則將愈容易執行試誤法。比較四種產能規劃方法，執行試誤法之容易性由高至低分別為：CPOF、CB、RP、CRP。

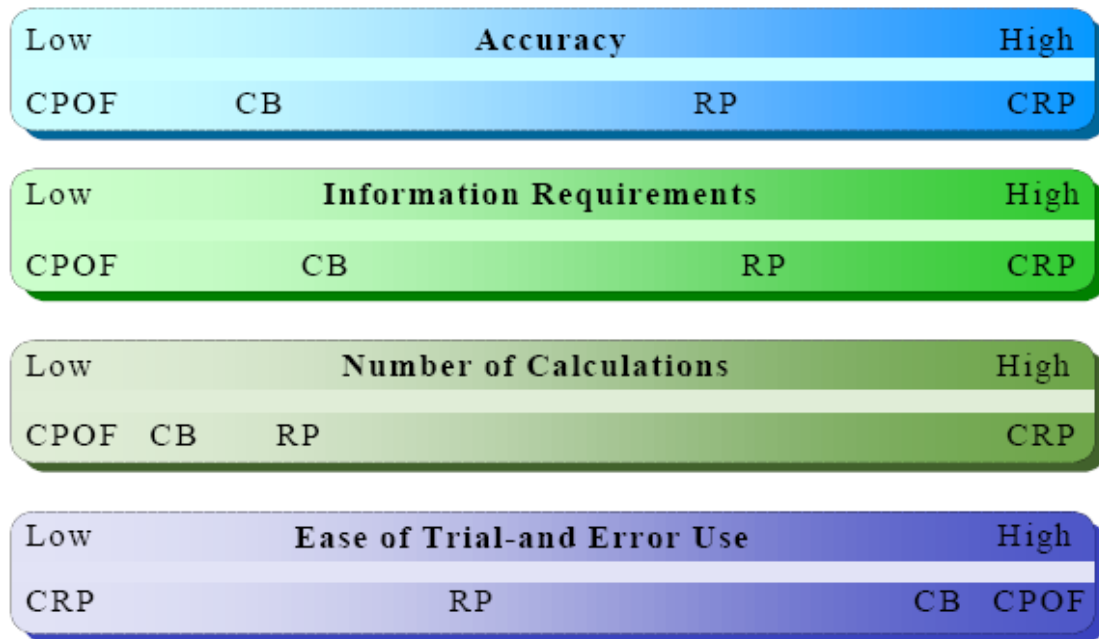


圖2.1 產能規劃方法之比較(R. E. Markland, 1995)

上述所提各種產能規劃方法皆可提供管理人員進行決策時之依據。執行邏輯如圖2.2 所示，在執行粗估產能規劃方法後，粗估之主生產排程配合物料需求規劃、產品流程、生產資源限制… 等資料執行產能需求規劃法。從產能需求規劃法的輸出報表中檢視生產資源的負荷狀況。當工廠內可提供的產能與需求的產能不能匹配時，則產能供應（生產資源可用產能）或產品需求（主生產排程）必須加以修正。

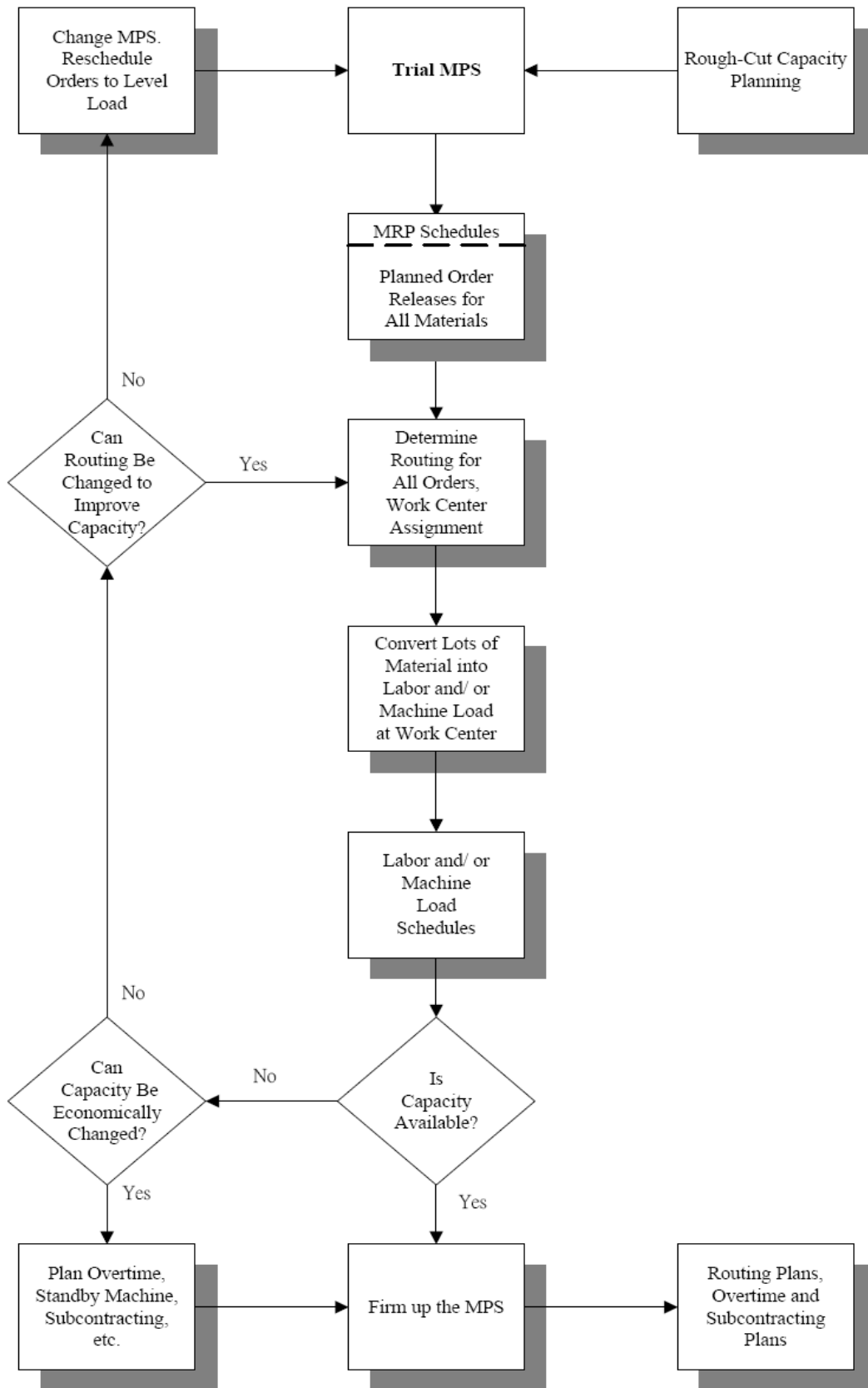


圖 2.2 產能需求規劃執行邏輯(G. Norman 等人，1999)

2.3 線性規劃

Linear Programming 是 20 世紀中葉最重要的科學進步之一。LP 處理的典型問題是將有限的資源(limited resource)以最佳的(optimal)方法，分配至相競爭的活動(competing activities)中。更詳細的說，此問題包括從互相競爭稀有資源的各個活動中，選擇其使用資源的水準。這些選擇的水準會決定各活動使用個別資源的數量。而這些問題可能發生在各式各樣的應用上，例如分配設備給生產各種產品、分配國家資源以滿足各地的需求、投資組合選擇、貨運方式選擇、農業區規劃、放射性治療設計等等。這些不同的應用中皆有共同特性，即是每一種應用都是選擇活動的水準，以分配資源到各個活動中(劉浚明，1995)。

本研究採用線性規劃作為求解技術，考慮主要求解目標最佳解及產能配置的各種限制式，線性規劃為相當有力之工具，陳振益(2001)，就曾經發表研究「製造商之最佳化可允諾量分配模型」(陳振益，2001)，以線性規劃處理最佳化問題，得到不錯的結果，除此之外，國內外也有相當多最佳化研究，都是採用線性規劃的技術，作為求解工具。

整數規劃(Integer Programming, IP)屬線性規劃之特例，其性質是某些決策變數只能以整數方式表達，廣泛應用於環境規劃之課題。整數規劃有下列三種型態：

一、純整數規劃(Pure Integer Programming)：即所有決策變數均為整數。

二、混合整數規劃(Mixed Integer Programming)：即所有決策變數均為實數及整數。

三、二元整數規劃(Binary Integer Programming)：即所有決策變數均為二元變數。

◎基本特徵

- 1.目標函數必需為線性 (The Objective Function (O.F.) is linear)
- 2.限制式(不論是等式 or 不等式)必需為線性 (The constraints are linear (equality and/or inequality))
- 3.所有參數均為非負之實數 (The variables are nonnegative variables)
- 4.標準模式如下所示：

最佳化 (Optimize : MAX or MIN)

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

限制在 (Subject to , s.t.)

$$A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n < B_1$$

$$A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \dots + A_{2n}X_n < B_2$$

...

$$A_{m1}X_1 + A_{m2}X_2 + \dots + A_{mn}X_n < B_m$$

且 $X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0$, 其中

$m \geq n$ or $m < n$,

m : number of constraints, n : number of unknowns

計算的複雜度一般可採 $m2n$ 為指標。

2.3.1 二選一限制式(Either-Or Constraints)

Either-Or Constrain 為選擇性的限制式，會根據得到的決策變數選擇不同的限制式。式子 2-1、2-2 為 Either-Or 的限制式， y 為一個二元決策變數，會依照 0-1 不同，而選擇不同限制式。

$$\text{Either} \quad 6X_1 + 2X_2 + 6X_3 \leq 150 + My \quad (2-1)$$

$$\text{or} \quad 6X_1 + 2X_2 + 6X_3 \leq 100 + M(1-y) \quad (2-2)$$

2.3.2 線性規劃輔助軟體

LINGO是用來求解線性和非線性優化問題的簡易工具。LINGO內置了一種建立最優化模型的語言，使用「集合」(sets)作為其基本建構元件，主要是用來建立以及求解各種最佳化的問題，除了線性規劃外，也能夠解決整數規劃以及非線性規劃等問題，可以簡便地表達大規模問題，利用LINGO高效的求解器可快速求解並分析結果(LINDO SYSTEM INCC.)。

第三章 研究方法

本研究目的在於建立一個可以進行機台產能配置，以求取產品產量總和最佳化的系統。個案工廠現在面臨的問題為產品共計有 14 種，每一種產品都需要經過曝光，塗光阻與顯影三個程序。但由於每一種產品在每一個程序裡所需經過的製程不同，因此，所需使用的機台也不同。如此，在確認每一週期的主排程表(Master Production Schedule)的可行性時，調整跨製程機台產能配置讓 MPS 可行成為棘手的問題。更不用說在滿足 MPS 下，工廠的實際產能有多少，以使業務單位進一步接單努力的空間，提升生產效率。因此本研究預計建構一套系統，在滿足 MPS 的前提下，求取產品總量的最佳化以及所需的產能配置組合。本系統建構的流程如下：首先針對產能配置的限制定義出相關的參數與變數。接著建立數學規劃中的目標式與限制式。接著轉換成 lingo 語法，利用 lingo 來求解。

3.1 問題定義

目前該工廠現行的產能配置方式，是以人工試誤法對所有機台的使用量作調整，大多數的機台皆為共用機台，也就是可以跨製程使用，使用量上限會有單製程使用的 1.00 與跨製程使用時的 0.90 分別，在調整上造成時間的耗費。另外各產品在不同的製程中需要不一樣的產能，因此要將機台產能配置給不同製程會造成產品產量的不同，因此想在符合主生產排程表 MPS 需求下，還能使產出數量最大化，幾乎是很難以人工試誤法方式將機台產能調整出來。

由上可以得知生產的主要目標，及產品生產規則，本研究運用建立線性規劃模式，在考量所有的生產條件之下，進行產能配置最佳化

求解，以減少人工試誤法的耗費時間，並藉由模式求解出產出最大化。

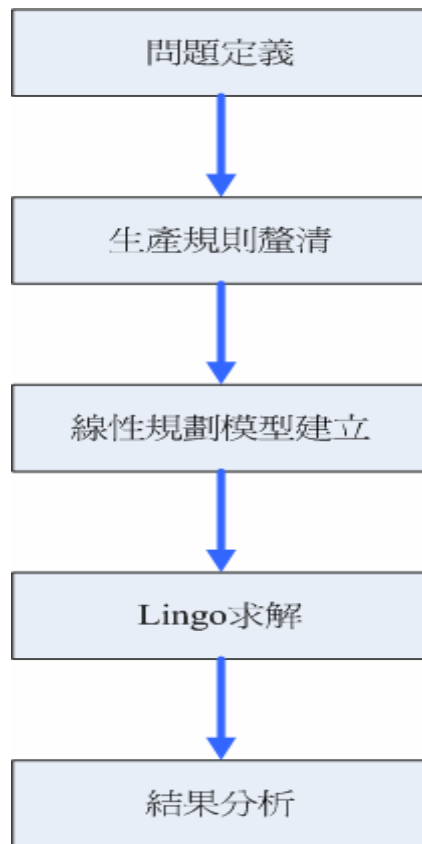


圖 3.1 研究架構

整合上述產能配置之目標與限制，針對本研究主題建立如圖 3.1 之架構。本研究透過與個案公司互談，了解產品生產流程與規則，依照主要目標與規則建立數學模型中的目標是與限制式，加以數學軟體的輔助，計算結果、分析產能配置結果，並做出建議產能之最佳可行解。

3.2 個案介紹與生產規則及產能調整方式

3.2.1 個案簡介

個案是一間位於新竹科學園區的八吋晶圓代工廠，接受客戶訂單生產所需的產品，月產能可生產二萬以上的晶圓片。因為是接單生產，產品的需求並不固定，為了能夠配合訂單所需的產能，甚至可以利用多餘產能生產更多產品，產能的配置就成為重要議題。

3.2.2 產品生產流程

個案目前生產 14 種產品。產品須經過三道程序，分別為曝光(Stepper)、塗光阻(Coater)、顯影(Developer)。在三項程序內又各有數道不同的製程(Process)：曝光有 7 道製程、塗光阻有 12 道、顯影有 8 道。依照不同的需求，產品在加工時必須透過不同的製程處理，也就是不同的產品可能會經過不同的製程數及製程別。

產品在經過製程加工時，同樣的，依照產品特性必須透過同一製程來回加工數次。每經過一次加工稱為一個 move。也就是說，以整個生產規則來看，不同的產品在經過不同的製程時會有不一樣的加工(move)數，在經過所有的製程加工後即可完成生產。

3.2.3 生產設備

目前該公司的生產程序主要有三種，各程序內配置有數十台機台可進行生產，依照機台使用規則可分為一般機台與共用機台：

3.2.3.1 一般機台

在三道程序內分別有個別製程，一般機台僅使用於這些製程中

的某一個道製程，對單獨製程做產能供應，在製程產能不足的情況下，為了因應訂單的需求，勢必要再添一台新設備來供應產能，不過新設備雖能滿足需求，但機台僅可使用於單一製程，新設備很可能會有多餘產能發生，造成產能浪費，為了節省設備成本及避免產能浪費，而有共用機台的產生。

3.2.3.2 共用機台

共用機台可使用於不同的製程中，目的是為了充分利用機台的產能、節省設備成本。舉例來說製程 1 與製程 2 分別使用機台 1 與機台 2 完成工作，如果兩個機台都稍不足以負荷製程的需求，勢必就要再添購兩台機台設備，以成本來說是非常不划算的，假設機台可以工作於不同製程，那僅須添購一台新設備機台 3 即可，此為共用機台的目的。共用機台可使用於單一製程或兩個製程以上，假設僅供應單一製程產能，則可完全發揮該機台產能，如果使用於兩個製程以上，在轉換製程的過程中將會損耗 10% 的產能，如表 3.1 所示。

表 3.1 共用機台說明

製程	機台設備	機台使用量(產能)
製程1	機台1	達上限，不足10%產能
	機台3	供應10%產能
製程2	機台2	達上限，不足10%產能
	機台3	供應10%產能，尚餘70%產能

3.2.4 機台使用量

一般機台使用量範圍以 0.00 到 1.00 代表 0 到 100% 的使用；在共用機台的部份，如果僅使用於單一製程，最高使用量也是 1.00，但如果使用於兩個製程以上，則會需要 10% 的產能作為轉換過程耗損，最高使用量成為 0.90。而使用量的調整是以 0.01 做為調整間隔，使用

量越高代表供應的產能越多，直到滿足訂單所需的產能為止。

根據機台使用規則，機台真正使用量還必須乘上以下數據：有效使用率(Avail)、使用率(Eff)、工程借機或維修(ENG)、每小時可提供的 move 數(WPH)，得出時間價動(TP)，也就是每小時實際可提供的 move 數整理成以下公式：

$$\text{時間價動(TP)} = (\text{Avail} - \text{Eng}) * \text{Eff} * \text{WPH}$$

舉例來說，某製程內有 10 台機台可完成該製程工作，將 10 台機台的使用量，與每小時可提供的 move 數做矩陣加總運算，即可得到該製程的產能提供量。因為產能配置是以一個期間作為週期，並以小時為單位計算，假設某產能配置期有 720 小時，則得到上述的矩陣運算結果後還必須乘上 720 小時，如表 3.2，可得到製程的資源供應量，140,709。

表 3.2 製程資源供應量說明

									Hour	720
Process	EQ	Tool Qty	Avail	Eff	ENG	WPH	Demand Move	TP	Supply Move	Util.(%)
Process	Machine1	1.00	90%	90%	3%	46.0	#REF!	36	140,709	#REF!
	Machine2	0.64	90%	90%		59.0		48		
	Machine3	1.00	90%	90%		55.0		45		
	Machine4	0.00	90%	90%		46.0		37		
	Machine5	0.00	90%	90%		0.0		0		
	Machine6	0.27	90%	90%		43.0		35		
	Machine7	0.00	90%	90%		0.0		0		
	Machine8	1.00	90%	90%		25.0		20		
	Machine9	1.00	90%	90%		35.0		28		
	Machine10	1.00	90%	90%		32.0		26		

3.2.5 機台產能配置

目前該公司是以人工試誤法的方式調整產能配置，以 0.01 為單位間隔，一般機台及共用機台最高使用量分別為 1.00 及 0.90，而共

用機台也可用於單一製程使得最高使用量微 1.00，因此，人工方式調整的困難在於共用機台是否使用於多製程或單一製程，兩種的產能配置會帶來不同的產品輸出，而且機台跨製程配置過程中還必須注意是否超過上限值 0.90，此為人工試誤法耗費時間之處。

3.3 參數與變數說明

本節依照生產流程依序介紹相關變數。產品生產分為三個程序：曝光(Stepper)、塗光阻(Coater)、顯影(Developer)。三個程序皆屬相同限制式，故僅舉出曝光程序中的變數，以下說明皆以 S 表示曝光程序，另外未舉出之塗光阻與顯影，以 C 和 D 表示。

3.3.1 參數

根據訂單需求不同所需生產的產品數量、產品權重，產品在製程中所需產能、機台是否可使用於製程，及其在製程中所能提供的產能，皆在模型運算前必須要得到的資訊。

(1) 生產需求(MPS)： QL_i ，工廠收到訂單後，IE 工程師會將訂單數量排入主排程表，也就是每一種產品在產能計算期間內需生產的數量，目前有 14 種產品， i 為 1~14。

(2) 產品權重： W_i ，依據各產品帶來的利潤不同，提高權重，可讓產品數量明顯增多。

(3) 產品在製程中所需的產能(move)： FS_{ik} ，F 表 frequency、 i 為曝

光中的製程別、 k 為產品別。例如:FS12，表示第二種產品在曝光中第一道製程需要的產能。塗光阻與顯影的製程，以 FC_{ik} 、 FD_{ik} 表示。

(4)機台是否可以使用於該製程： ONS_{ij} ，每個機台使用量 S_{ij} 都會跟有一個開啟或關閉的控制訊號，此為 IE 工程師據機台特性，決定機台是否可以使用於那些製程。 i 為製程別、 j 為機台編號。在塗光阻與顯影的製程， ONC_{ij} 、 OND_{ij} 表示。

(5) 機台每小時可提供的產能： TPS_{ij} ，相同機台使用於不同製程時，會因為製程不一樣的特性，所提供的產能也有所不同，因此機台在不同製程需乘上各自的 TPS，才能得到該機台在某製程可提供的產能。 i 為製程別、 j 為機台編號。在塗光阻與顯影的製程，以 TPC_{ij} 、 TPD_{ij} 表示。

(6) 產能計算期間時數： $HOUR$ ，機台的使用是以小時計算，目前產能計算期間是以 720 小時計算。

3.3.2 變數

由數學模型運算後可得到的相關變數，在得到結果後可由運算模型紀錄回電子試算表中。

(1) 可生產最高數量： QU_i ，經過本研究模型運算，各產品可做到的

最大數量，且產品數量必須限制為整數。此變數為一決策變數，可供 IE 工程師作為產品生產數量的決策參考。

(2) 曝光中的機台使用量： S_{ij} ， i 為製程別、 j 為機台的編號，每個製程裡面有相同數量的機台。例如編號的機台 1 存在曝光中 7 道製程裡面，可利用開啟或關閉訊號表示機台是否使用於該製程。塗光阻與顯影的製程，以 C_{ij} 、 D_{ij} 表示。

(3) 決定機台跨製程與否： BTS_j ，機台的跨製程使用與否會影響產出的數量，經由模型運算可決定機台是否跨製程使用。 BTS 為二元變數，0 表示機台只使用於單製程；1 表示機台於跨製程中使用。 j 為機台編號。在塗光阻與顯影的製程，以 BTC_j 、 BTD_j 表示。

(4) 機台使用與否： BS_{ij} ，各機台都有其二元變數，在模型中的作用為決定機台是否使用於該製程，提升生產效率。以 1 表示有使用、0 表沒有使用。在塗光阻與顯影的製程，以 BC_{ij} 、 BD_{ij} 表示。

3.3 產量配置的線性規劃模式

本研究主要的規劃方法是以線性規劃方法，考量企業生產數量最大下，以機台的產能須大於生產所需的產能為限制，並在目標式及限制式下配置出所有機台的使用量。

3.3.1 模型簡述

- 利用線性規劃方法，建立目標函數，決定決策變數及導入必要的限制式，最後透過試算軟體程式演算求最佳解。
- 各項決策變數滿足非負數值的要求。
- 模型以取得產能計算期間的最大生產量，及機台產能配置為最終研究目標。

本研究根據線性規劃以目標式與限制式，設計出下列公式：

3.3.2 建立目標式

目標式在求取各產品生產數量總和的最大化，而每種產品其重要性可能不同，因此各產品須有其權重(W)，權重越大表越重要，可在模型求解過程中優先給予比較大的數量。因此可得目標式：

$$QT = \sum_{i=1}^N (W_i * QU_i) \quad (3-1)$$

QT：各產品數量總和。

N：產品種類數量，目前個案廠生產 14 種產品。

3.3.3 建立限制式

依照限制式的型態將研究中所需要的限制式分類為以下幾類：生產量須滿足最低需求、機台使用量範圍限制、決定機台是否共用、機台(共用與否)使用上限、機台資源供應須滿足產能需求。以下皆以曝光(Stepper)做限制式的說明：

(1) 生產量須滿足最低需求

各產品的最高生產量(QU)必須滿足主排程生產數量(QL)，也就是目前的訂單需求，因為產品是以整數生產，因此最高升產量也必須

限定為整數。因此可得到限制式：

$$QU_i \geq QL_i \quad , \quad \forall QU \in Integer \quad (3-2)$$

(2) 機台使用量範圍限制

決定機台的使用量範圍，限制於 0~1 之間。設計二元變數(BS_{ij})與每一個機台使用量(S_{ij})對應，目的在於使二元變數為 1 時，機台代表有使用，且使用範圍在 0~1 之間；二元變數為 0 時，表示機台不使用，使用量即為 0。i 為製程別、j 為機台編號。公式如下：

$$0 \leq BS_{ij} - S_{ij} < 1 \quad , \quad S_{ij} \geq 0 \quad (3-3)$$

(3) 決定機台是否共用

機台本身為一般機台或共用機台，是以產能規劃師根據機台特性不同，使用 ONS_{ij} 表示是否於製程中使用，i 為製程別、j 為機台編號，該訊號作用可使得沒有使用的機台不會分配到任何使用量(產能)。例如 ONS₁₂=1，則表示機台編號 2 在曝光的第 1 道製程為使用的狀態；反之 ONS₁₂=0，表機台 2 在製程 1 不使用，此使用與否的控制訊號來自電子試算表上，以人工填上。

式子(3-4)主要目的是要決定機台是否共用的二元變數，BTS。只要機台經模型運算後，使用於兩製程以上($\sum BS \geq 2$)，BTS 必定為 1；單獨使用於一個製程時，即僅一個 BS 為 1，此時 BTS 為 0。

$$BTS_j \leq \sum (BS_{ij} * ONS_{ij}) - 1 \leq \sum ONS_{ij} * BTS_j \quad (3-4)$$

(4) 機台(共用與否)使用上限

而 BTS 是決定機台是否共用的二元變數，它產生於式子(3-4)，此限制式為一個動態選擇的限制式，當二元變數為 0 時，表示機台沒有使用於多製程，單獨使用於一個製程，此時因不需要轉換製程耗費產能，因此最高使用量為 1.00；當二元變數為 1 時，表示機台使用於兩製程以上，此時為共用機台，最高使用量成為 0.90。限制式如下：

$$\begin{aligned} \Sigma(S_{ij} * ONS_{ij}) &\leq (1 - BTS_j) + 0.9 * BTS_j \\ \forall BTS_j &\in \text{binary integer} \end{aligned} \quad (3-5)$$

(5) 機台產能供應須滿足產能需求

在產能需求來說，是以每個製程需要多少產能(move)數，將各產品數量與各產品在製程內所需產能做矩陣運算， $\Sigma(FS_{ik} * QU_k)$ ， i 為製程別、 k 為產品別，運算後即可得到製程需要多少產能。

每個相同的機台運作於不同製程時，會因為製程的特性不同而會使得該機台每小時所能供應的產能(move)不同，因此機台在不同製程都會有個變數， TPS ，將製程內所有可用機台與其 TPS 做矩陣運算，即可得到該製程可運作的機台，每小時可供應多少 move，而產能配置週期是以小時計算，以變數 $HOUR$ 表示。

一般來說產能利用率(utilization)可達 100% 甚至更高，本研究的產能利用率是以製程內所有機台使用做計算，且依據個案廠要求，使其不超過 95%。公式如下：

$$0.95 * (\Sigma(S_{ij} * ONS_{ij} * TPS_{ij}) * HOUR) \geq \Sigma(FS_{ik} * QU_k) \quad (3-6)$$

3.5 建構產能配置系統

本研究採用電子試算表(excel)為參數來源，先行將運算時所需的參數數據輸入於試算表中，將以 Lingo 語法建立好的模型運算，運算前會抓取試算表中的參數，執行運算得到結果後，再將變數結果寫進試算表中，系統運作步驟如圖 3.2。

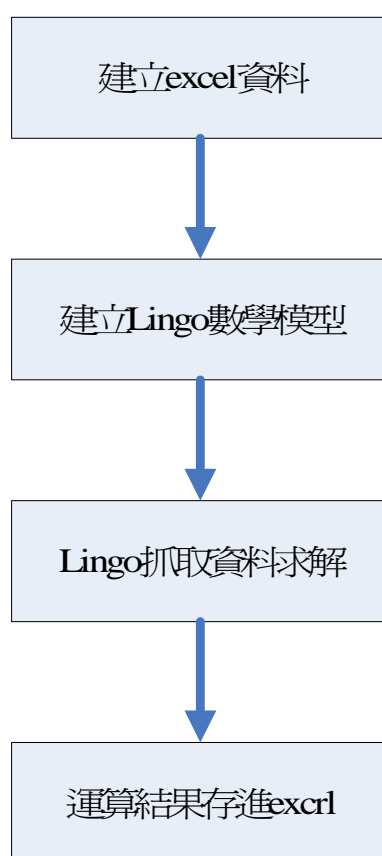


圖 3.2 系統運作步驟

3.5.1 資料建立

首先將參數先行輸入於電子試算表中：生產主排程(QL)、產品的權重值(W)、機台每小時可提供的資源數(TP)、機台根據特性是否使用於製程中(ON)、及產能的計算週期時數(HOUR)。

系統求解前會先抓取試算表中的參數值，接著進行數學運算，再將變數的運算結果：各產品可生產最高數量(QU)、機台的產能配置，儲存進試算表中。

3.5.2 建立 Lingo 數學程式

Lingo 是使用「集合」(sets)作為其基本建構元件，將 sets 視為參數、變數的宣告，可以使模型更具彈性，以下為本研究撰寫於 Lingo 的 sets，同樣以曝光為例用 S 表示，將 S 以 C、D 代換即是塗光阻及顯影：

(1) product/1..14/:W,QL,QU;

宣告產品，目前有14種產品種類，將來產品別數量變動，也須從此改變。W，QL，QU為產品的屬性，屬性可以是參數或變數，只是要參數皆需資料來源，以變模型讀取。

(2) tools/1..21/:BTS;

宣告機台，目前有21台機台可使用於曝光中，機台數如有變動，可於此作改變，增加使用上的彈性。機台有一個屬性，BTS。

(3) process_s/1..8/;

宣告曝光中有八道製程。

(4) processtool_s(process_s,tools):S,BS,ONS,TPS;

曝光中的製程與機台所組成的二維矩陣，其屬性有：S，表示機台使用量；BS，表示機台是否使用的二元變數；ONS，依機台特性是否可使用於製程中的參數；TPS，機台每小時可供應的產能。

(5) Frequency_s(process_s,product):FS;

曝光中的製程與產品所組成的二維矩陣，其屬性FS表示產品在製程內所需的產能(move)。

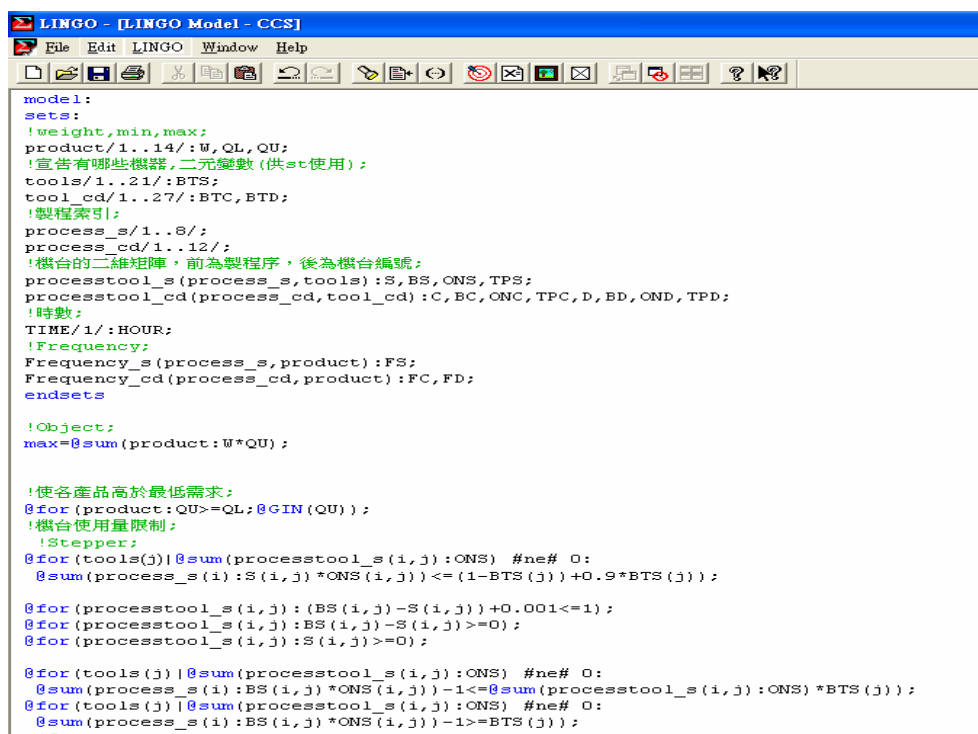
(6) TIME/1/:HOUR;

宣告產能規劃期間內的時數，該參數僅有一個，以屬性 HOUR 表示。

依照 3.3.2 及 3.3.3 所建立的目標式與限制式，將公式轉換為線性規劃軟體，Lingo 的程式語言，再藉由軟體求解。

3.5.3 Lingo 軟體求解結果

宣告數學模型所需的參數與變數後，配合由目標式與限制式，即可利用 Lingo 開始進行運算，圖 3.3 及 3.4 為利用 Lingo 軟體運算的程式與結果：



```
model:
sets:
!weight,min,max;
product/1..14/:W,QL,QU;
!宣告有哪些機器,二元變數(供st使用);
tools/1..21/:BTS;
tool_cd/1..27/:BTC,BTD;
!製程索引;
process_s/1..8/;
process_cd/1..12/;
!機台的二維矩陣,前為製程序,後為機台編號;
processtool_s(process_s,tools):S,BS,ONS,TPS;
processtool_cd(process_cd,tool_cd):C,BC,ONC,TPC,D,BD,OND,TPD;
!時數;
TIME/1/:HOUR;
!Frequency;
Frequency_s(process_s,product):FS;
Frequency_cd(process_cd,product):FC,FD;
endsets

!Object;
max=@sum(product:W*QU);

!使各產品高於最低需求;
@for(product:QU>=QL:@GIN(QU));
!機台使用量限制;
!Stepper;
@for(tools(j)|@sum(processtool_s(i,j):ONS) #ne# 0:
@sum(process_s(i):S(i,j)*ONS(i,j))<=(1-BTS(j))+0.9*BTS(j));

@for(processtool_s(i,j):(BS(i,j)-S(i,j))+0.001<=1);
@for(processtool_s(i,j):BS(i,j)-S(i,j)>=0);
@for(processtool_s(i,j):S(i,j)>=0);

@for(tools(j)|@sum(processtool_s(i,j):ONS) #ne# 0:
@sum(process_s(i):BS(i,j)*ONS(i,j))-1<=@sum(processtool_s(i,j):ONS)*BTS(j));
@for(tools(j)|@sum(processtool_s(i,j):ONS) #ne# 0:
@sum(process_s(i):BS(i,j)*ONS(i,j))-1>=BTS(j));
!Coater;
```

圖 3.3 Lingo 程式

Variable	Value	Reduced Cost
W (1)	1.000000	0.000000
W (2)	1.000000	0.000000
W (3)	1.000000	0.000000
W (4)	1.000000	0.000000
W (5)	1.000000	0.000000
W (6)	1.000000	0.000000
W (7)	1.000000	0.000000
W (8)	1.000000	0.000000
W (9)	1.000000	0.000000
W (10)	1.000000	0.000000
W (11)	1.000000	0.000000
W (12)	1.000000	0.000000
W (13)	1.000000	0.000000
W (14)	1.000000	0.000000
QL (1)	19.000000	0.000000
QL (2)	61.000000	0.000000
QL (3)	1155.0000	0.000000
QL (4)	1079.0000	0.000000
QL (5)	1137.0000	0.000000
QL (6)	3000.0000	0.000000
QL (7)	4240.0000	0.000000
QL (8)	3918.0000	0.000000
QL (9)	3900.0000	0.000000
QL (10)	10071.00	0.000000
QL (11)	265.00000	0.000000
QL (12)	16245.00	0.000000
QL (13)	8500.0000	0.000000
QL (14)	8409.0000	0.000000
QU (1)	19.000000	-1.000000
QU (2)	61.000000	-1.000000
QU (3)	1155.0000	-1.000000
QU (4)	1079.0000	-1.000000
QU (5)	1137.0000	-1.000000
QU (6)	11250.00	-1.000000
QU (7)	4240.0000	-1.000000
QU (8)	3918.0000	-1.000000
QU (9)	3900.0000	-1.000000
QU (10)	17304.00	-1.000000

圖 3.4 線性規劃模式運算結果

3.6 系統驗證方式

本研究以設計數學線性規劃模型，數學運算軟體輔助計算，因此驗證系統的方式即以人工試誤方式調整產能配置，與系統運算結果做比較。

IE 工程師在做產能配置時，會先得到一組 MPS，依據此需求配置出各機台的產能配置，雖然所有作業皆於電子試算表上配置，配合試算表的公式可以方便計算，但由於機台產能配置的組合相當多，因此在產品需求及產能利用率的限制下，要配置出合適的結果也必須花費相當多的時間；而本系統在滿足 MPS 的需求下，尚可計算出多餘的產能空間，所以若人工試誤法方式無法在更短的時間內，配置出本

系統的計算結果，即可證明本系統的價值。

第四章 實例驗證與數據分析

根據 3.4 的系統運作步驟，實際建構產能配置系統並應用。4.1 建立所需的資料；4.2 建立 Lingo 數學模型；4.3 說明求解的結果；4.4 透過系統得到的結果與過去產能配置結果做比較。

4.1 資料建立

首先將參數先行輸入於電子試算表中：生產主排程 MPS(QL)、產品的權重值(W)、機台每小時可提供的資源數(TP)、機台根據特性是否使用於製程中(ON)、及產能的計算週期時數(HOUR)。

圖 4.1 為系統進行求解前必須輸入的參數，僅列出部分資料。

															Hour	720
Tool Type	Process	EQ	on/off	Product	P1	P2	...	P14	Tool Qty	Eff	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 系統所需參數

系統參數主要變動的為 MPS，其他參數根據機台特性變動的機會不大。表 4.1 為一組工廠實際訂單需求，本系統以該組 MPS 做驗證。

表 4.1 MPS

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
19	61	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	10070	265	16245	8500	8409

4.2 建立 Lingo 程式

將 3.3.2 及 3.3.3 所建立的目標式與限制式，將公式轉換為線性規劃軟體，Lingo 的程式語言。

目標式：

```
max=@sum(product:W*QU);
```

限制式：

(1) 生產量須滿足最低需求

```
@for(product:QU>=QL;@GIN(QU));
```

(2) 機台使用量範圍限制

```
@for(processtool_s(i,j):(BS(i,j)-S(i,j))+0.001<=1);
```

```
@for(processtool_s(i,j):BS(i,j)-S(i,j)>=0);
```

```
@for(processtool_s(i,j):S(i,j)>=0);
```

(3) 決定機台是否共用

```
@for(tools(j)|@sum(processtool_s(i,j):ONS) #ne# 0:
```

```
@sum(process_s(i):BS(i,j)*ONS(i,j))-1<=@sum(processtool_s(i,j):ONS)*BTS(j));
```

```
@for(tools(j)|@sum(processtool_s(i,j):ONS) #ne# 0:
```

```
@sum(process_s(i):BS(i,j)*ONS(i,j))-1>=BTS(j));
```

```
@for(tools(j)|@sum(processtool_s(i,j):ONS) #ne# 0:
```

```
@sum(process_s(i):S(i,j)*ONS(i,j))<=(1-BTS(j))+0.
```

```
9*BTS(j));
```

(4) 機台(共用與否)使用上限

```
@for(tools(j) | @sum(processstool_s(i,j):ONS) #ne# 0:
@sum(process_s(i):S(i,j)*ONS(i,j)) <= (1-BTS(j))+0.9*BTS(j));
```

(5) 機台產能供應須滿足產能需求

```
@for(process_s(i) | @sum(processstool_s(i,j):ONS)
#ne# 0:
0.95*(@sum(tools(j):S(i,j)*ONS(i,j)*TPS(i,j))*HOUR(1)) >= @sum(Frequency_s(i,k):FS(i,k)*QU(k));
```

4.3 實例運算及結果

本研究所使用的是數學運算模型，藉由數學軟體 Lingo 求解，系統運作環境平台會影響求解的時間，表 4.2 為本研究所使用的系統運作平台。

表 4.2 系統運作平台

設備	名稱	備註
作業系統	Windows XP	
記憶體	1GB	
CPU	AMD 64 2.1G	
輔助軟體	LINGO	
資料來源	EXCEL	儲存參數與變數

依照 4.3 建立之線性規劃模型，將實際資料帶入目標式、機台使用限制式，得到模擬實況的數學模型，結果如圖 4.2 所示，表 4.3 為符合 MPS 下，機台產能尚可生產的最高產品數量。

```

model:
sets:
!weight,min,max;
product/1..14/:W,QL,QU;
!宣告有哪些機器,二元變數(供st使用);
tools/1..21/:BTS;
tool_cd/1..27/:BTC,BTD;
!製程索引;
process_s/1..8/;
process_cd/1..12/;
!機台的二維矩陣,前為製程序,後為機台編號;
processtool_s(process_s,tools):S,BS,ONS,TPS;
processtool_cd(process_cd,tool_cd):C,BC,ONC,TPC,D,BD,OND,TPD;
!時數;
TIME/1/:HOUR;
!Frequency;
Frequency_s(process_s,product):FS;
Frequency_cd(process_cd,product):FC,FD;
endsets

!Object;
max=@sum(product:W*QU);

!使各產品高於最低需求;
@for(product:QU>=QL:@GIN(QU));
!機台使用量限制;
!Stepper;
@for(tools(j)|@sum(processtool_s(i,j):ONS) #ne# 0:
@sum(process_s(i):S(i,j)*ONS(i,j))<=(1-BTS(j))+0.9*BTS(j));

@for(processtool_s(i,j):(BS(i,j)-S(i,j))+0.001<=1);
@for(processtool_s(i,j):BS(i,j)-S(i,j)>=0);
@for(processtool_s(i,j):S(i,j)>=0);

@for(tools(j)|@sum(processtool_s(i,j):ONS) #ne# 0:
@sum(process_s(i):BS(i,j)*ONS(i,j))-1<=@sum(processtool_s(i,j):ONS)*BTS(j));
@for(tools(j)|@sum(processtool_s(i,j):ONS) #ne# 0:
@sum(process_s(i):BS(i,j)*ONS(i,j))-1>=BTS(j));
!Constraint;

```

圖 4.2 線性規劃模型

表 4.3 求解結果之生產數量

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
MPS	19	61	1155	1079	1137	3000	4240	3918	3900	10071	265	16245	8500	8409
MAX Wafer	19	61	1,155	1,079	1,137	11,250	4,240	3,918	3,900	17,304	265	16,510	8,500	8,409
Weight	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

經過 Lingo 求解，可得到所有機台的產能配置，也可得到符合 MPS 下尚可生產的產品最大數量。

4.4. 數據分析

過去工廠在做產能配置的作法為，接受訂單產生一組 MPS，根據該組 MPS 對各機台配置出可行解，配置的過程中不僅耗時，也可能因為共用機台的使用限制而增加困難，而且要想知道剩餘產能尚可做到的產品最大量，無法在短時間內配置出。表 4.4 為過去人工試誤法產能配置時間，及產品數量與本系統求解結果比較。

表 4.4 結果比較

	本研究	過去人工方式
MPS	61,999	61,999
最佳生產數量	77,747	無法達到最佳
運算時間	2 分 29 秒	10 分鐘以上
機台使用配置	產能利用率可達上限	產能無法充分利用

以五組 MPS 做系統驗證，表 4.5 顯示本系統配置機台產能的平均時間為 2 分 29 秒，對於原先的配置，節省了不少時間，並且得到的結果為最佳，在產出方面還可以付出的產能空間也相當可觀，此結果可提供代工廠做決策上參考，更可為代工廠帶來更多的利潤。

表 4.5 五組 MPS 驗證系統結果

MPS 數量總和	最佳解	多餘產能空間	運算時間
(1)61,999	77,747	15,748	2'30''
(2)52,606	78,745	26,139	4'12''
(3)60,100	73,351	13,251	2'32''
(4)71,062	75,683	4,621	1'22''
(5)74,269	74,969	700	2'12''
平均			2'24''

第五章討論與結論

5.1 討論

目前本研究系統所運作的方式為讀取電子試算表中的參數，經過數學模型求解後，將得到的結果存回試算表中，IE 工程師可以讀取試算表中的結果報告，作為決策輔助。但如此的做法缺乏一般系統的運作介面，因此未來研究方向可以朝此目標前進，設計一個優良的人機介面供使用者操作。

在數學規劃求解過程中，因為有許多的限制式，在輸入得到 MPS 後，並非所有目標式都可以得到解，必須降低產品需求以致現有產能可負荷下，才可以得到解，但需要降低哪些產品類別的數量，除了依訂單產品別的重要性決定外，尚可利用演算法決定，因此未來可設計新的演算法決定降低哪個產品數量。

5.2 結論

本研究為探討並開發機台產能配置，提供 IE 工程師做產能配置時輔助工具。系統作法將所需參數先行輸入於電子試算表中，將目標式與限制式藉由數學軟體 Lingo 運算，再將求解結果，也就是機台產能配置存回試算表中。

本研究結論可從下面幾個方向來說明：

壹、產品生產數量：

運算結果可以得到符合 MPS 的情況下，尚可利用現有產能生產出的最大數量，並在此產品數量下得到機台產能的配置結果，過去無法配置出產能最大化的原因在於，機台使用量的限制，會隨著跨製程使用與否而有所不同，造成工程師在配置時的困難，而本系統所求解

出的產品量最大化，可為公司帶來更多的訂單空間，增加利潤。

貳、系統彈性：

程式撰寫時保留機台使用的彈性，將來工廠增減機台時，僅需於電子試算表中做資料的修改即可，不需要更改數學模型的部份，增加 IE 工程師使用上的方便。

參、求解時間：

藉由電腦軟體快速的運算能力，可以在三分鐘內得到求解結果，相較於過去運算時間超過 10 分鐘，甚至可能因為機台使用的限制而配置錯誤，由本系統所運算時間及結果都可較佳。

參考文獻

交大思源基金會網站，<http://www.spring.org.tw/>。

阮世昌，晶圓代工業現況分析，

<http://203.71.221.50/stddata/510/51031/circle.htm>

阿扁總統電子報 332 期 2008.02.21。

范書愷審訂，「生產作業與管理」，台灣培生教育出版公司出版，2005。

黃瑞生、陳水恩、曾世凱、孫治民，2006，

<http://cm.nsysu.edu.tw/~cyliu/pb7/pb7.htm>

黃維民，產品產能最佳化配置之線性規劃研究，成功大學工程管理研究所碩士論文，2001。

陳振益，製造商之最佳化可允諾量分配模型，台灣大學商學研究所碩士論文，2001。

張百棧，生產管理，華泰書局出版，1996。

彰化教育網中心，<http://www.chash.chc.edu.tw/>。

劉強、杜佳芬、羅文正、施正雄、李坤，2006，

<http://cm.nsysu.edu.tw/~cyliu/pb7/pb7.htm>。

劉常勇，<http://cm.nsysu.edu.tw/~cyliu/pb7/pb7.htm>，2006。

劉浚明，數學規劃:理論與實務，華泰書局出版，1995。

潘昭賢譯，生產與作業管理，初版，華泰文化出版，台北市，2005。

蘇艷雯.王碩文，晶圓代工業特性及市場趨勢，新電子科技，P70，1999。

- Christie, R.M.E. and S.D. Wu, "Semiconductor capacity planning: stochastic modeling and computational studies," IIE Transactions, 34, 131-143, 2002.
- Dorfman, Robert, Samuelson, Paul A., Solow, Robert M., "Linear Programming and Economic Analysis" ,Dover Pubns,1987.
- Hiller Lieberman, "Introduction To Operations Research 8e" , McGrawHil, 2005
- LINDO SYSTEM INCC. <http://www.lindo.com>
- Markland R. E., Vickery S. K., Robert A. Davis, Operations Management Concepts in Manufacturing and Services, WEST, p519, 1995.
- Norman G., F. Greg, Production and Operation Management, eighth edition, p421, 1999.
- Taal M. and Wortmann J.C., "Integrating MRP and finite capacity planning," Production Planning & Control, 8(3), 245-254,1997.
- Weber, C. A., Current J.R., and Desai A., "An optimization approach to determining the number of vendors to employ," Supply Chain Management: an International Journal, 2(5), 90 – 98,2000.
- Wuttipornpun, T. and Yenradee P., "Development of finite capacity material requirement planning system for assembly operations," Production Planning & Control, 15(5), 534 – 549,2004.
- Wortman J. C., Euwe M. J., Taal M., Wiers V. C. S., "A Review of Capacity Planning Techniques within Standard Software Package",

Production Planning and Control, Vol. 7, No. 2, pp. 117-128, 1996.