

國立交通大學
工業工程與管理學系碩士班

碩士論文

薄膜電晶體陣列廠下
雙等級工單之主生產排程設計
The Design of Master Production Scheduling
with Two Priority Orders for
TFT-LCD Array Factory

研 究 生：莊依潔
指導教授：鍾淑馨 博士

中華民國九十八年六月

薄膜電晶體陣列廠下雙等級工單之主生產排程設計
The Design of Master Production Scheduling
with Two Priority Orders for TFT-LCD Array Factory

研究生：莊依潔

Student : I-Chieh Chuang

指導教授：鍾淑馨 博士

Advisor : Dr. Shu-Hsing Chung

國立交通大學
工業工程與管理學系
碩士論文

A Thesis
Submitted to Department of Industrial Engineering and
Management
College of Management
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in
Industrial Engineering
June 2009
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

薄膜電晶體陣列廠下雙等級工單之主生產排程設計

研究生：莊依潔

指導教授：鍾淑馨 博士

國立交通大學工業工程與管理學系碩士班

摘要

薄膜電晶體陣列段，因產品具製程規格、垂直鎖定機台與雙等級工單等限制，造成等候時間延長，因而提高產品生產週期時間之變異。規劃主生產排程時不考慮上述限制，將無法精確控制生產週期時間。有鑑於此，針對預定之產品/等級組合及目標產出量，本文擬建立一快速提供主生產排程結果之規劃模組，使產品可準時達交。另外，為得知具長期競爭優勢之最適產品組合/等級比例，本文擬建構一評選機制，以求得良好之產品組合/等級比例。

針對考量雙等級工單、具製程規格與垂直鎖定機台之情境。本論文之「主生產排程模組」，首先建構一混合整數規劃模式，以最小化黃光工作站機台間之產能負荷差異為目標，求得各機台在負荷均衡下之產能分配。再透過 Jackson Network 演算法得知每一等級產品於各工作站之到達率，最後使用非逐位性等候模式估算各產品於每一工作站之流程時間，並依照產品途程將流程時間加總，以得每一等級產品之生產週期時間。依據估算之各等級產品生產週期時間，估算現場在製品數，並制定對應之投料計劃及派工法則，以確保各機台間產能負荷均勻化，及達成預定生產績效。

驗證結果顯示，本文所提出之主生產排程模組，在考量機台利用率具差異之情況下，所推估之產品生產週期時間，與模擬系統所推估之結果相比，平均誤差在 $\pm 3\%$ 以內；而本文提出之投料規劃，可使生產現場運作能達預定產出目標之 99% 以上。整體而言，本文所發展之模式，可作為在考量具雙等級工單、製程規格能力與垂直鎖定機台等限制下，規劃主生產排程之參考依據。

本論文之「最適產品組合/等級比例評選機制」，係以上述模組為基礎，運用資料包絡分析法針對產品生產週期時間、訂單達成率與利潤等生產績效指標進行整體評估，決定最具競爭優勢之產品組合/等級比例，以提昇整體生產效率。

關鍵詞：薄膜液晶體陣列廠、製程規格能力、垂直鎖定機台、雙等級工單、產品組合、資料包絡分析法

The Design of Master Production Scheduling with Two Priority Orders for TFT-LCD Array Factory

Student : I-Chieh Chuang

Advisor : Dr. Shu-Hsing Chung

Department of Industrial Engineering and Management

Natural Chiao Tung University

Abstract

In TFT-LCD array environment, the waiting time of products will be extended if products have the characteristics of process window, machine dedication restrictions and priority order. If considering the above characteristics is not considered when planning the master production scheduling (MPS), then it is unable to control cycle time precisely. Hence, MPS mechanism is proposed for such an environment.

In this thesis, we develop mix-integer programming to allocate capacity loading between each machine in photo workstation for minimizing the variability of utilization rate at first. Second, in order to calculate the cycle time for every priority order of products, we use Jackson Network algorithm to solve the arrival rate of each product type at each workstation so as to estimate the flow time of products by using non-preemptive priority queuing model. Finally, to ensure the estimated cycle time of products can be achieved. We propose a material release planning module by adopting CONWIP release rule and develop the corresponding dispatching rule.

To validate the proposed mechanism, a simulation method is built. The results show that the average of cycle time estimation error is within 3% and 99% of the output target can be achieved.

To find the product and priority mix with the most competitive advantage for the factory, we select feasible scenarios as decision making units (DMUs) by applying the proposed MPS mechanism. Then we use data envelopment analysis (DEA) to evaluate and to select sets of the DMUs with considering cycle time, profit, output target, work in process(WIP) and delivery rate.

Keywords: TFT-LCD array, process window, machine dedication restrictions, product and priority mix, DEA

誌謝

終於要畢業了...當不自覺吐出這一句話後，我呆了一下，突然覺得最後一段學生涯在此結束，感覺還不錯。(其實我想了超多開頭文...哈哈)

首先謝謝教我三年的指導教授—鍾淑馨老師。師者，所以傳道、授業、解惑也。除了課業與論文上的指導外，生活瑣事也一併關心了，大大小小的事總是逃不了老師的法眼，能跟老師聊心事的感覺很好，我也終於了解為啥畢業的學長姊總會想要回來找老師的原因了。因為，我也是☺。最後一個學歷能遇到老師真的是我莫大的幸運。老師，謝謝您辛苦的教導，我想我應該是您教過中最皮的學生之一了，謝謝您的耐心和不放棄，您所教所說所念的點點滴滴我會謹記在心。之後到社會工作，不會忘了自己最初的那一面還有身體會注意的啦^_^。

在這條路上，我曾跌倒但又爬了起來，我曾逃避但後來仍勇敢面對，能完這一段艱鉅難走的路要感謝的人實在多而又多，當然啦！要按照學長制來排囉！

平哥，謝謝你在碩二時期長駐實驗室，你所推行的每週運動終於讓實驗室宅宅們定時去外面被太陽晒晒，也讓我這個對疊球一竅不通的人當上交大工工所疊球隊經理(呵呵，經理耶)，看到你對於一切的準備總是全力以赴，讓我懂得凡事要事前準備規劃完善。論文遇到問題時，能跟你討論真好，尤其是最後階段的 DEA，跟您討論讓論文更加親近我。平哥謝啦！別忘了炸我哦！

威良學長，謝謝你的脆梅與鳳梨，脆梅真的好好吃，可以在寫論文做文字排列組合時，吃一下脆梅的感覺真的好好，我的嘴也因此變刁><，那真的是我吃過最好吃的了。學長，別再趴著睡覺了，有空要好好休息呀！元銘學長，謝謝你指定的「玉山行」，若沒有你的邀請，還有我們這群傻傻答應的宅宅們，我想我這一輩子也不能看到那麼美的山稜、日初與雲海。清貴學長，謝謝你在我最後一年要忍受我的碎念還有不定時的吵鬧，能吃到道地的澎湖名產真好，我下次去澎湖玩再找你事先做功課買名產囉！于婷學姊，偷偷跑到小間跟你偷偷聊天，聊那屬於臭男生不懂的事，在男生堆生存的我，能跟你吐怨氣真好。

再來，就是這一群學長姊了...，蕙純、阿立，謝謝你們回到 lab 來陪我們吃宵夜(其實是找平哥的:p)，在寫論文陷入低潮時能跟你們聊聊真的很不錯；書銘、bo 姊、東錡和耀陞，跟書銘討論系模，被 bo 姊出賣電話，賺到耀陞帶來的飲料和鮮芋仙，東錡的半自動維修電腦...能認識你們這群學長姊真好，聽到你們工作的甘苦談，讓我也能提早適應這個社會；再來就是孟儒啦！你這個超嘴炮前任大總管，沒事就愛嘴碎，酒量也不太佳，連蔓越莓還是白酒都傻傻分不清，沒事還拗學妹幫你做苦力，明明我沒車還硬是要我去借車載你去面試，而且只有一杯青心福全@@，接你的工作

還要順便接你的論文，後，孽緣啦！但能跟你嘴炮，悶時跟你抱怨一下，壓力就會瞬時不見，我會好好工作，為您這老人家鋪路的。

接者是這群兄弟們。柏懿，我居然賭輸了，還欠你一頓飯，你還真的在畢業後當兵前找到女友(早知道要跟小毛先確認才是)，每天在實驗室跟你鬥嘴，看你一次跟七八個妹聊 msn，那個 alt+tab 的轉換速度無人能比，還被我看到你的八卦，只能說你做事我在看，別做虧心事呀！小毛，如果我是孫悟空，你就是那如來佛，聽到你一開始念我就認輸了(緊箍咒別再念啦)，但也只有你會認真回應我，哪像柏懿總是哦啊…一聽就是沒誠意，你做事總是全力以赴認真無比，也不知道在要求啥(跟脫線的相比啦)。不過，你很可靠，至於你所說的帶線課長妹很多的事一點都不屬實，難怪你要向外發展了…對了！到時別真要用到柏懿家外面的那個看板電話，你要加油！別輸給柏懿那嘴炮傢伙；迪喬，雖然他們都說柏懿帥，但我覺得你比他帥多了，衣服穿搭好看，又會自彈自唱，不像柏懿只會做三角伏立挺身，還偷偷學你買衣服，每次看到你用各種姿勢聊手機，真覺得你太強了…那時在車上跟我聊論文，真的幫助很大，我們可是 lab 唯一的北部人，同一陣線的！別忘啦！苗人，每次北南大戰時，你這中部人就在旁邊偷笑，看你玩跑跑卡丁車，讓我自嘆不如，提早看清我不適合在遊戲中打滾，你看似隨意的外表下，做事警慎細心，有莫名好運的你在台積要好好撐下去，加油！

謝謝學弟妹們的陪伴，從剛開始總是要我陪妳去找老師才安心，到現在能獨當一面成為老師的好幫手—凱欣，妳是學弟妹們的依靠，凡事認真又有點孩子氣，別忘了我跟妳所說的話，有事沒事都記得再找我聊天，就算我之後很忙妳也要記得這件事呀！阿派，你這個很愛問為什麼的人，有自我的步調、要求及堅持，到時再約一起出去玩吧！浩子，跟我很像很容易被其他事物分心的你，要記得現在這個角色要做的事是什麼，先把該完成的完成後，才能更放心的去試其他的事，別忘了，只差一點點，加油！小可、小吳、蠻頭、大雅和鴨子，跟你們去綠島還有雪霸，是我最後一年學生生涯最開心的旅遊了，被你們逗到開心不已，天天哈哈大笑，只怕我這老人的笑紋又要長出許多了。在寫論文的日子，其實苦的並不是寫論文，而是你們的心志會不會被打敗，老師費了許多苦心在測試磨練你們的心志、文筆、邏輯及思慮，這個過程每屆生管實驗室的學長姊都經歷過，也都過來了，加油！只要敢進來這間實驗室就代表你們一定行的！

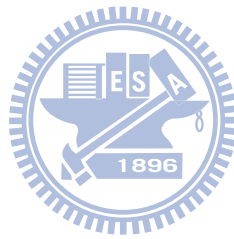
還要謝謝在這三年中陪伴我的好室友們—小寶、怡芳和佳芬，我唯一一次的宿舍生活能跟你們在一起真好，謝謝你們不定時的鼓勵與關心，還有美食之旅以及瘋狂 shopping，這都是我難以忘記的，當然，就等小寶再辦一個新竹回顧旅囉！

宜芳、靜芳和志華，謝謝你們陪我吵吵鬧鬧，跟你們在一起總是有聊不完的話題和看日初的衝動，雖然現在各奔東西，但我會記得我們的香港約，瞬間決定要結婚時一定要跟我說，別偷偷來呀！

最後，要謝謝我的家人，爸媽沒有你們的無條件支持就沒有女兒現在的成就，能夠走到現在，完全是因為有你們無微不至的照顧，才有這個開朗活潑樂觀不小心過了頭的女兒，辛苦你們了！女兒能有這份榮耀是你們所給予的。妹，謝謝你的溫馨接送情，總是在我任性打電話回家時來接我，在我耍笨時冷眼看我再罵我白痴，在我決定任何事時，跟我說好呀！去試試吧！總沒有多餘的廢話，但妳也懂我需要的就只是那句話。謝謝妳。

謝謝交大工工 95 級的各位，那份生日快樂我感動至今，也謝謝這條路上所有認識幫助我的各位，謝謝你們，我將勇敢面對挑戰那未知的世界。(再謝下去誌謝就比論文長了…哈哈)

小潔 於交大 519 生管實驗室



目錄

摘要	I
Abstract	II
誌謝	III
目錄	i
圖目錄	iii
表目錄	iv
符號表	vi
第一章 緒論	1
1.1. 研究背景與動機	1
1.2. 研究目的	3
1.3. 研究範圍與限制	4
1.4. 研究方法	5
第二章 文獻探討	6
2.1. 薄膜電晶體陣列段之介紹	6
2.1.1. 薄膜液晶體顯示器之製程簡介(TFT-LCD)	6
2.1.2. 薄膜電晶體陣列(TFT-array)段之製程簡介	7
2.1.3. 薄膜電晶體陣列段(TFT-Array)之特性	10
2.2. 生產週期時間之文獻探討	11
2.3. 多等級工單對系統績效之影響	17
2.4. 製程規格能力與垂直鎖定機台之相關文獻	20
2.4.1. 製程規格能力與垂直鎖定機台之定義	20
2.4.2. 製程規格能力與垂直鎖定機台之文獻探討	21
2.5. 資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)	27
2.5.1. 資料包絡分析法之效率排序法	30
2.5.2. 資料包絡分析法於產品組合中之應用	31
2.5.3. 資料包絡分析法之優點與限制	32
第三章 模式建構	33
3.1. 問題描述與假設	33
3.1.1. 生產環境介紹	33
3.1.2. 問題定義與分析	34
3.2. 整體邏輯與架構	36
3.3. 主生產排程設計	39
3.3.1. 主生產排程模組	39
3.3.1.1. 機台產能負荷評估模組	39
3.3.1.2. 生產績效估算模組	47
3.3.1.2.1. 生產週期時間估算	47
3.3.1.2.1.1. 源於負荷因子之等候時間估算	48
3.3.1.2.1.2. 產品之生產週期時間	57
3.3.1.2.2. 瓶頸工作站每日作業數	59
3.3.1.2.3. 系統在製品估算	60
3.3.1.3. 投料規劃與派工法則	61
3.4. 最適產品組合/等級比例規劃	64
3.4.1. 產品組合/等級比例設計機制	65
3.4.2. 資料包絡分析法	65

第四章	實例驗證	68
4.1.	系統環境說明	68
4.1.1.	生產環境資料	68
4.1.2.	生產排程規劃假設	69
4.1.3.	模擬環境說明	71
4.2.	案例說明	71
4.2.1.	機台產能負荷評估模組之執行過程	71
4.2.2.	生產週期時間估算之執行過程	76
4.2.2.1.	源於負荷因子之等候時間估算	76
4.2.2.2.	估算產品之生產週期時間	86
4.2.2.2.1.	搬運時間估算之執行步驟	88
4.2.3.	瓶頸工作站每日作業數估算之執行步驟	92
4.2.4.	系統在製品估算之執行步驟	94
4.2.5.	投料規劃之執行步驟	95
4.3.	結果比較與分析	97
4.3.1.	模擬驗證	97
4.3.2.	生產週期時間估算分析	97
4.3.3.	曝光工作站利用率差異分析	100
4.4.	最適產品組合/等級比例規劃執行過程與結果	100
4.4.1.	產品組合/等級比例之設計	100
4.4.2.	資料包絡分析法之評估	103
第五章	結論與未來研究方向	109
5.1.	結論	109
5.2.	未來研究方向	111
參考文獻	112
附錄	117
附表 A-1	產品 A 之加工步驟與作業時間(有檢測) (單位：分).....	117
附表 A-2	產品 A 之加工步驟與作業時間(未檢測) (單位：分).....	118
附表 A-3	產品 B 之加工步驟與作業時間(有檢測) (單位：分).....	119
附表 A-4	產品 B 之加工步驟與作業時間(未檢測) (單位：分).....	120
附表 A-5	產品 C 之加工步驟與作業時間(有檢測) (單位：分).....	121
附表 A-6	產品 C 之加工步驟與作業時間(未檢測) (單位：分).....	121
附表 B-1	各工作站相關資訊	122
附表 C-1	符合工作站利用率介於 0.895-0.905 之產品組合/等級比例	123



圖目錄

圖 1-1 研究範圍	4
圖 1-2 研究方法流程圖	5
圖 2-1 TFT-LCD 產業生產流程關係圖	7
圖 2-2 薄膜電晶體陣列流程圖【74】	9
圖 2-3 平均生產週期時間比較表	18
圖 2-4 平均生產週期時間之標準差比較表	18
圖 2-5 產出率比較表	18
圖 2-6 在製品比較表	18
圖 2-7 平均整體等候時間比較表	18
圖 2-8 垂直鎖定機台限制與無鎖定機台限制之示意圖【6】	20
圖 3-1 薄膜電晶體陣列段設備佈置簡圖【73】	33
圖 3-2 主生產排程設計之邏輯架構圖	37
圖 3-3 最適產品組合/等級比例規劃之邏輯架構	38
圖 3-4 機台產能配置及負荷評估流程圖	40
圖 3-5 生產週期時間流程圖	47
圖 3-6 產品途程示意圖	48
圖 3-7 源於負荷因子之時間估算流程	48
圖 3-8 產品於瓶頸工作站之等候時間估算流程	49
圖 3-9 非瓶頸工作站之等候時間估算流程	51
圖 3-10 產品製造流程圖	52
圖 3-11 A 產品製程步驟	53
圖 3-12 B 產品製程步驟	53
圖 3-13 C 產品製程步驟	54
圖 3-14 產品生產週期時間估算流程圖	58
圖 3-15 瓶頸工作站派工流程圖	63
圖 3-16 最適產品組合/等級比例規劃流程圖	64
圖 3-17 DEA 評估流程圖	67
圖 4-1 範例系統之設備佈置圖【52】	68

表目錄

表 2-1 薄膜電晶體陣列段與半導體晶圓廠比較[自行彙整].....	8
表 2-2 各世代玻璃基板可切割各尺寸之層級數對應表【73】	10
表 2-3 生產週期時間估算方法[【65】及本文彙整].....	16
表 2-4 多等級工單對系統績效影響之相關文獻[自行彙整].....	19
表 2-5 製程規格能力與垂直鎖定機台之文獻彙整[【56】及本文彙整].....	25
表 2-6 製程規格能力與垂直鎖定機台之文獻彙整(續).....	26
表 3-1 績效指標之屬性	66
表 4-1 搬運車於各工作區間所需搬運圈數(單位：圈).....	69
表 4-2 各產品之產出目標	70
表 4-3 曝光製程各產品層級與製程規格對應表	70
表 4-4 各產品於各製程規格所需生產層級數	70
表 4-5 黃光區曝光工作站內機台與其具備製程規格之對應表	71
表 4-6 黃光區曝光工作站之機群機台數分配表	72
表 4-7 iLOG 數學模式之統計資訊(機群產能分配模式)	73
表 4-8 機群產能負荷分配模式之非關鍵層與關鍵層之分配結果	73
表 4-9 機群產能負荷分配之各機群與曝光工作站平均利用率差異	73
表 4-10 iLOG 數學模式之統計資訊(機台產能分配模式)	74
表 4-11 各機台與工作站平均利用率正差異.....	74
表 4-12 機台產能負荷分配模式結果(單位：層級數-製程規格)	74
表 4-13 各製程規格分配至各機台之層級數(H-T)	75
表 4-14 各製程規格分配至各機台之層級數(N-NT)	75
表 4-15 各製程規格分配至各機台之層級數(N-T)	75
表 4-16 各機台之平均服務時間(單位：分鐘).....	76
表 4-17 曝光工作站內各機台之平均服務率	76
表 4-18 不同等級產品於各機台之到達率	77
表 4-19 不同等級產品於瓶頸機台之系統穩態等候時間與等候線上期望等候時間	77
表 4-20 高等級檢測類(H-T)各產品各規格別於瓶頸機台加工之層級數比例	78
表 4-21 一般等級非檢測類(N-NT)各產品各規格於各瓶頸機台加工之層級數比例	78
表 4-22 一般等級檢測類(N-T)各產品各規格於各瓶頸機台加工之層級數比例	78
表 4-23 高等級檢測產品(H-T)在不同製程規格下於各瓶頸機台之到達率	79
表 4-24 一般等級非檢測產品(N-NT)在不同製程規格下於各瓶頸機台之到達率	79
表 4-25 一般等級檢測產品(N-T)在不同製程規格下於各瓶頸機台之到達率	79
表 4-26 A 產品於各層級之製程規格與來源工作區之對照表.....	80
表 4-27 B 產品於各層級之製程規格與來源工作區之對照表.....	80
表 4-28 C 產品於各層級之製程規格與來源工作區之對照表.....	80
表 4-29 各產品在不同製程規格下黃光區之來源工作區比例	80
表 4-30 高等級檢測產品(H-T)由特定來源工作區到臨各瓶頸機台之到達率	81
表 4-31 一般等級非檢測產品(N-NT)由特定來源工作區到臨各瓶頸機台之到達率	81
表 4-32 一般等級非檢測產品(N-T)由特定來源工作區到臨各瓶頸機台之到達率	81
表 4-33 各產品於黃光區之到達率組合	82
表 4-34 各產品於每一工作區到達率	82
表 4-35 各產品經過每一工作站之機率值	83
表 4-36 各工作站到達率	83
表 4-37 每一工作站之服務率	84

表 4-38 不同等級工單在各工作站之穩態等候時間	85
表 4-39 高等級檢測產品 A 之製程步驟週期時間(單位：分鐘).....	87
表 4-40 所有產品之生產週期時間	88
表 4-41 A 產品搬運流程從至表.....	88
表 4-42 B 產品搬運流程從至表.....	88
表 4-43 C 產品搬運流程從至表.....	88
表 4-44 A 產品所需繞行圈數.....	89
表 4-45 B 產品所需繞行圈數.....	89
表 4-46 C 產品所需繞行圈數.....	89
表 4-47 各產品於工作區之搬運次數	90
表 4-48 各產品於各工作區之總搬運次數	90
表 4-49 不同等級工件在各工作區之總搬運次數	90
表 4-50 不同等級工件於各工作區之平均到達率	90
表 4-51 搬運車於各工作可接受服務之次數	91
表 4-52 搬運車於各工作區之平均服務率	91
表 4-53 各等級工件於各工作區之等候時間	92
表 4-54 各工作區間所需搬運時間表	92
表 4-55 各產品於瓶頸工作站每日產出之層級數	93
表 4-56 一般等級非檢測產品 A 於瓶頸工作站之每日產出數.....	93
表 4-57 各產品於瓶頸工作站之每日產出量	93
表 4-58 各產品之每日平均產出率	94
表 4-59 各產品於系統最適在製品數量	94
表 4-60 各產品之投料順序表	95
表 4-61 各產品之投料順序表(續).....	96
表 4-62 各產品之生產比例	97
表 4-63 各產品生產週期時間估算值與模擬值之比較	97
表 4-64 各產品規劃產出與模擬產出之比較	98
表 4-65 曝光工作站內各機台利用率規劃值與模擬值比例	100
表 4-66 產品別組合比例	101
表 4-67 產品屬性比例設定	101
表 4-68 產品組合/等級比例	102
表 4-69 各方案之績效指標值	104
表 4-70 各方案標準化後之績效指標	105
表 4-71 績效指標之排序	106
表 4-72 CCR 模式之效率值	107
表 4-73 OW 模式之效率值.....	107

符號表

下標

- d : 製程規格能力編號($d=1, \dots, D$)
- j : 產品別($j=1, \dots, J$)
- pri : 工件等級, 當 $pri=1$ 為緊急工件, $pri=2$ 為一般工件
- r : 屬性別, 當 $r=1$ 為不經過檢測產品; $r=2$ 為需過檢測產品
- x : 工作區($x=1(\text{film area}), 2(\text{photo area}), 3(\text{etch area}), 4(\text{test area})$)
- w : 工作站($w=1, \dots, W_x$)
- k : 機群($k=1, \dots, K_w$, K_w 為工作站 w 總機群數)
- m : 在工作站 w 的第 m 台機台($m=1, \dots, M_k$, M_k 為機群 k 總機台數)

機台產能負荷評估模組之符號說明：

參數

- $a_{k,d}$: 表示機群 k 能夠處理製程規格能力 d 則 $a_{k,d}=1$; 否則 $a_{k,d}=0$
- $aar_{j,k,m}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 產品 j 於機群 k 內機台 m 之平均到達率
- ac_k : 黃光區曝光工作站機群 k 之實際可用產能
- $acap$: 黃光區曝光工作站針對產出目標所需耗用之產能
- al : 黃光區曝光工作站之平均產能利用率
- c_k : 黃光區曝光工作站之機群 k 實際可用機台數
- $cr_{j,d}$: 產品 j 的關鍵層為製程規格能力 d , 則 $cr_{j,d}=1$; 否則 $cr_{j,d}=0$
- $dcap$: 黃光區曝光工作站在規劃幅度內之可用產能
- $dc_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 之產品 j 產出目標
- jc_j : 產品 j 所具有的關鍵層層級數
- $mttr_{k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均當機時間(mean time to repair)
- $mtbf_{k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均當機間隔時間(mean time between failure)
- $mttpm_{k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均預防保養時間(mean time to PM)
- $mtbpm_{k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均預防保養間隔時間(mean time between PM)
- $P_{j,d}$: 黃光區曝光工作站內產品 j 製程規格能力 d 之平均加工時間
- $pt_{j,l}$: 產品 j 於黃光區曝光工作站在層級 l 之所需加工時間
- $pncl_{j,d}^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 所具有非關鍵層且製程規格力 d 之層級數
- Q : 表示極大的數
- $st_{k,m}$: 機群 k 內機台 m 之層級平均服務時間
- T : 規劃長度

決策變數

$CL_{j,d,k}^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 且製程規格能力 d 之關鍵層分配給機群 k 的個數

$MN_{j,d,k,m}$: 產品 j 製程規格 d 之光罩放置於機台 m 上, 則 $MN_{j,d,k,m} = 1$; 否則 $MN_{j,d,k,m} = 0$

$NCL_{j,d,k}^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 製程規格能力 d 之非關鍵層分配給機群 k 之層級數

$PLN_{j,d,k,m}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 產品 j 製程規格 d 指派於機群 k 機台 m 之層級數

$UM_{j,d}$: 產品 j 製程規格 d 之可用光罩數量

u_k^+ : 黃光區曝光工作站之機群 k 利用率與該工作站平均利用率之正差異

u_k^- : 黃光區曝光工作站之機群 k 利用率與該工作站平均利用率之負差異

$u_{k,m}^+$: 機台 m 與黃光區曝光工作站平均利用率之正差異

$u_{k,m}^-$: 機台 m 與黃光區曝光工作站平均利用率之負差異

生產績效估算模組

估算瓶頸工作站等候時間之符號說明：

參數

$aar_{j,k,m}^{pri,r}$: 屬性 r 等級 pri 產品 j 於機群 k 內機台 m 之平均到達率

$E(BST_{k,m})$: 機群 k 機台 m 之期望服務時間

$mttr_{k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均當機時間(mean time to repair)

$mtbf_{k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均當機間隔時間(mean time between failure)

$mtt_{pm,k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均預防保養時間(mean time to PM)

$mtb_{pm,k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均預防保養間隔時間(mean time between PM)

$nar_{k,m}^{pri}$: 等級 pri 產品於機群 k 內機台 m 之平均到達率

$st_{k,m}$: 黃光區曝光工作站機台 m 之平均服務時間

$W_{k,m}^{pri}$: 等級 pri 於機台 m 之穩態等候時間(含服務時間)

$W_{k,m}^{pri,q}$: 等級 pri 於機台 m 之等候線上期望等候時間(不含服務時間)

$\lambda_{k,m}$: 黃光區曝光工作站機台 m 之平均到達率

$\mu_{k,m}$: 黃光區曝光工作站機群 k 機台 m 之平均服務率

估算非瓶頸工作站等候時間之符號說明：

參數

$aar_{j,k,m}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 產品 j 於機群 k 內機台 m 之平均到達率

$E(NBST_{x,w})$: 工作區 x 工作站 w 之期望服務時間

$farea_{j,d,x}$: 產品 j 規格 d 於黃光區之來源工作區 x 比例

$laar_{x,w}^{pri}$: 等級 pri 產品於工作區 x 工作站 w 之平均到達率

$nbd_{x,w}$: 工作區 x 工作站 w 之當機比例

$nbp_{x,w}$: 工作區 x 工作站 w 之保養比例

$nbpt_{x,w,j}^{pri,r}$: 屬性 r 等級 pri 產品 j 於工作區 x 工作站 w 加工時間

$nl_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級 pri 產品 j 加工層級總數

$p_{xx',j}$: 產品 j 於工作區 x 到達特定工作區 x' 之機率值

$PLN_{j,d,k,m}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 產品 j 製程規格 d 指派於機群 k 機台 m 之層級數

$soar_{j,d,x,k,m}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 規格 d 產品 j 至機群 k 內機台 m 之來源工作區 x 到達率

$rnl_{j,d,k,m}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 規格 d 產品 j 於規格在機群 k 內機台 m 加工之層級數比例

$\alpha_{l,j}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 產品 j 於薄膜區之投入率

$\lambda_{x,j}^{pri}$: 等級 pri 產品 j 於工作區 x 之平均到達率

λ_x^{pri} : 等級 pri 產品於工作區 x 之平均到達率

$\mu_{x,w}$: 工作區 x 工作站 w 之平均服務率

$W_{x,w}^{pri}$: 等級 pri 產品工作區 x 工作站 w 之穩態期望等候時間

$W_{x,w}^{pri,q}$: 等級 pri 產品於工作區 x 工作站 w 之等候時間

$dc_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 之產品 j 產出目標

$E(NBST_{x,w})$: 工作區 x 工作站 w 之期望服務時間

$nar_{k,m}^{pri}$: 等級 pri 產品於機群 k 內機台 m 之平均到達率

$nbd_{x,w}$: 工作區 x 工作站 w 之當機比例

$nbp_{x,w}$: 工作區 x 工作站 w 之保養比例

$nbpt_{x,w,j}^{pri,r}$: 屬性 r 等級 pri 產品 j 於工作區 x 工作站 w 加工時間

$nl_{j,k,m}^{pri,r}$: 屬性 r 等級 pri 產品 j 於機群 k 內機台 m 之加工層級總數

tar^{pri} : 等級 pri 產品於檢測工作站之到達率

λ_x^{pri} : 工作區 x 非瓶頸工作站等級 pri 產品之平均到達率

$\mu_{x,w}$: 工作區 x 工作站 w 之平均服務率

$W_{x,w}^{pri}$: 等級 pri 產品工作區 x 工作站 w 之穩態期望等候時間

$W_{x,w}^{pri,q}$: 等級 pri 產品於工作區 x 工作站 w 之等候時間

瓶頸工作站每日作業數估算之符號說明：

參數

- bmo : 瓶頸工作站每日產出之層級總數(每日作業數)
- bnl_j : 產品 j 於瓶頸工作站之加工次數
- $CL_{j,d,k}^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 且製程規格能力 d 之關鍵層分配給機群 k 的個數
- $NCL_{j,d,k}^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 製程規格能力 d 之非關鍵層分配給機群 k 之層級數
- $mo_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 每日加工層級數
- mop : 瓶頸工作站每日產出之產品總數
- T : 規劃長度

系統在製品估算之符號說明：

參數

- σ : 寬放係數
- $ct_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級 pri 產品 j 之生產週期時間
- $par_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級 pri 產品 j 之平均產出率
- $wip_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 於系統之在製品量
- $mwip$: 系統最適在製品數



第一章 緒論

1.1. 研究背景與動機

半導體產業和影像顯示產業為政府在 2002 年推動的「兩兆雙星」產業。其中，平面顯示產業為影像顯示產業的第一階段發展重點，根據 IEK 統計指出，2007 上半年台灣平面顯示器產業總產值已達新台幣 6920 億元，較 2006 年同期成長超過 20%。且根據 Display Bank 對於 2008 年面板市況的調查與評估表示，預估 2008 下半年 TFT-LCD 面板將供不應求更甚於 2007 年【1】。

事實上，2008 年下半年經歷全球金融海嘯，TFT-LCD 產業需求雖急劇縮減，但台灣手機面板出貨量成長 113%，雖目前稍有微衰退現象，但 Display Search 指出該產業於 2010 年將恢復成長。

TFT-LCD 製程主要區分為三階段，分別為第一階段之薄膜電晶體陣列(TFT array)段製程、第二階段之液晶面板組立(LC cell assembly)段製程以及第三階段之電路模組組立(module assembly)段製程。其中，第一階段薄膜電晶體陣列製程與半導體晶圓製程十分相似，又稱為前段製程，具有回流(reentry)、製程規格能力(process window)限制以及垂直鎖定機台(dedicated machine)限制特性。

由於薄膜電晶體陣列段製程為三段製程中途程最長者。因此，機台產能是否滿足產品訂單之產能需求，將影響到產品是否能在允諾期間內交貨。產能規劃必須考量製程規格能力與垂直鎖定機台兩項限制，不同產品的製程精度相異，精度越高，表示電路線寬越窄，造成產品僅限定於符合其製程技術之機台上進行加工，即為製程規格能力限制，這種限制條件發生於黃光區機台。再者，在黃光區中每台曝光機(exposure)在溫度、氣壓、濕度等諸多因素下，機台間會有些微製程差異，導致產品於不同機台上進行加工時，易造成疊對誤差(overlay error)【55】。因此，在第一關鍵層加工之機台，之後於關鍵層進行加工時，仍回到原機台上進行加工，以避免誤差形成，不良率增加之情形，此種情形稱為垂直鎖定機台限制。

除製程特性和機台限制外，另有等級工單之考量。衍生等級工單之原因分為三大點：一、在工程批導入製程時，為加快工程批途程速度，因此提高工程批之工單等級，以快速判斷技術更新之可行性。二、當新產品導入時，為驗證新產品之規格，先提高新產品測試工單之等級，以儘快確認各機台生產該產品之能力。三、為滿足部份客戶，加速產品上市時間要求，藉由提高工單等級，縮短產品生產週期，以達到滿足客戶服務。等級工單的設定，可分辨工單之緊

急程度，通常工廠會將工單分為三等級工單，即為 hot lot、rush lot 與 normal lot，而本文所探討之情境將設定為 hot lot 與 normal lot，稱為雙等級工單。

當系統存在雙等級工單時，若工作站之暫存區有各等級之工件，此時，工作站會挑選高等級工件進行加工動作，導致一般等級工件延後加工。顯然地，高等級工件會因擁有優先加工權而較一般等級工件縮短生產週期時間，反之，一般等級工件則因優先權之設定而延長生產週期時間，造成無法如期達交之可能性，因此，加深排程規劃之困難度。

在 TFT-LCD 之 Array 產業情境下建構主生產排程機制時【71】【58】，並未考量製程規格能力及垂直鎖定機台限制，亦未考量雙等級工單，因此引發吾人之研究動機，設計出可考量上述限制條件之主生產排程。

由於產品組合/等級比例不同，對系統之負荷也會有所差異。如之前所言，各種產品所需製程規格能力不同，必須在具備對應製程規格能力的機台上進行加工。當產品組合(product mix)比例懸殊時，易造成負責加工產品比例較高之機台利用率過高，而其他機台卻閒置之情形，使產品在等候加工時間延長，影響到整體績效；另一方面，若高等級工單比例超過 20%時【25】，一般等級工單之生產週期時間會急遽攀升，使得高等級與一般等級工單之生產週期時間變異過大；但高等級工單比例過低時，無法提供特定客戶需求，加速產品產出。如何訂定適當之產品組合/等級比例，以避免機台利用率差距過大，以及高等級工單與一般等級工單之生產週期時間拉距過長，亦為本文研究動機之一。

1.2. 研究目的

基於上述之研究背景與動機，本文將依據薄膜電晶體陣列廠之特性，在考量製程規格能力及垂直鎖定機台限制下，加入雙等級工單因素，以設計能快速反應之主生產排程機制以及訂定最適產品組合/等級比例機制。吾人計劃以下列模組來達成本文之目的：

1. 主生產排程設計

考量機台產能負荷，並針對雙等級工單、產品製程規格能力與垂直鎖定機台限制因素，估算系統之產品生產週期時間、在製品數量以及每日作業數，以做為主生產排程規劃之依據。

將上述績效指標與機台產能負荷作為考量，求得投料循環與產出時程表，使主生產排程得以落實。

2. 最適產品組合/等級比例規劃模組

當主生產排程設計完成後，為考量於需求不穩定情境下以評估何種產品組合/等級得使生產系統獲得最佳績效。故以資料包絡分析法(DEA)遴選出高效率產品組合/等級比例並加以分析排序，以提供管理者作為接單依據。



1.3. 研究範圍與限制

本文發展之主生產排程為中短期產能規劃，如圖 1- 1 所示。由於薄膜電晶體陣列廠之生產系統複雜，為易於瞭解主題且降低研究環境之複雜度，做了下列主要假設：

1. 生產系統方面：採用存貨式生產(make to stock, MTS)。
2. 生產作業方面：不考慮物料在工作區內之搬運時間，每次搬運車最大負載量為 1 cassette 之工件；亦不考量緊急插單之情境。
3. 產品製程方面：各產品途程已知且製程穩定，並無報廢與重加工之情況，各產品之製程規格能力為已知；產品等級不會在途程中突然改變。
4. 系統限制方面：不考慮人員、物料、附屬資源與工具之產能限制。
5. 本文僅針對 Array 段進行探討，Cell、Module 與供應商、顧客之關係不在本文研究範圍。
6. 不考慮跨世代廠生產之情境，亦即僅考量單一廠內之生產情形。

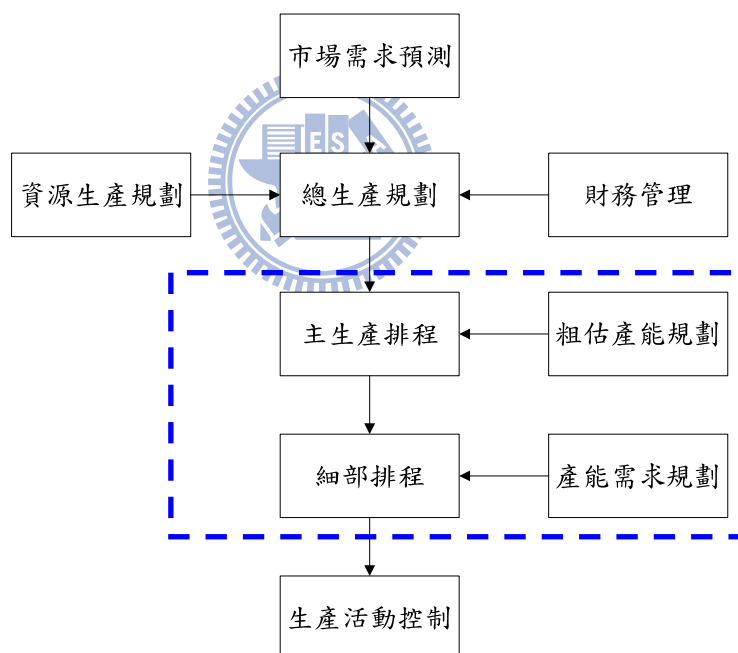


圖 1- 1 研究範圍

1.4. 研究方法

為達成前述之研究目的，故本研究方法採下列方式進行：

1. 文獻探討
2. 問題定義與分析
3. 主生產排程設計
4. 最適產品組合/等級比例規劃
5. 結論與未來研究方向

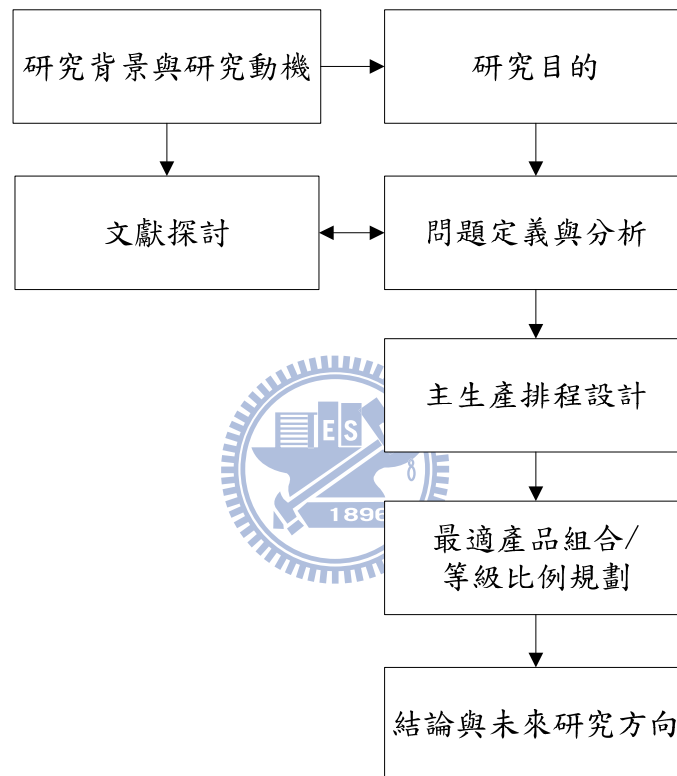


圖 1-2 研究方法流程圖

第二章 文獻探討

本文研究環境為薄膜液晶顯示器之薄膜電晶體陣列段，並考量到產品製程規格能力限制以及等級工單之情形，在此限制下探討主生產排程，故此，將分為以下幾個方向進行相關文獻探討：

1. 薄膜電晶體陣列段(TFT-Array)介紹
2. 生產週期時間
3. 多等級工單對系統績效之影響
4. 製程規格能力與垂直鎖定機台
5. 資料包絡分析法

2.1. 薄膜電晶體陣列段之介紹

2.1.1. 薄膜液晶顯示器之製程簡介(TFT-LCD)

薄膜液晶顯示器共分為三大製程，分別為薄膜電晶體陣列段(array)製程、後段面板組立段(cell)製程以及模組組裝(module)製程，其流程為在玻璃基板上製作薄膜電晶體，並將 TFT 陣列工程基板和彩色濾光片(color filter, CF)基板貼合在一起後，注入液晶而組成液晶胞，最後與電路板和背光板等進行模組組裝【72】【60】(圖 2- 1)，以下簡介此三大製造程序：

1. 薄膜電晶體陣列(TFT-array)製程：

此階段之製程類似半導體製程，主要是在玻璃基板上製作薄膜電晶體，透過洗淨、鍍膜、曝光、顯影、蝕刻等步驟在玻璃基板上進行一定次數的重覆加工，最後在玻璃基板上形成電晶體。

2. 液晶面板組立(LC cell assembly)製程：

液晶面板組立製程為將在陣列製程完成的玻璃基板進行尺寸切割之工作，並與彩色濾光片做配向處理，再經過壓合與封入液晶等過程，即可成為薄膜液晶顯示器的面板。

3. 液晶模組組裝(LC module assembly)製程：

組裝製程為將上一階段完成之液晶面板與 IC、電路板及背光模組等零組件進行組裝，再經過最後的檢驗使其成為一個 TFT-LCD 模組。

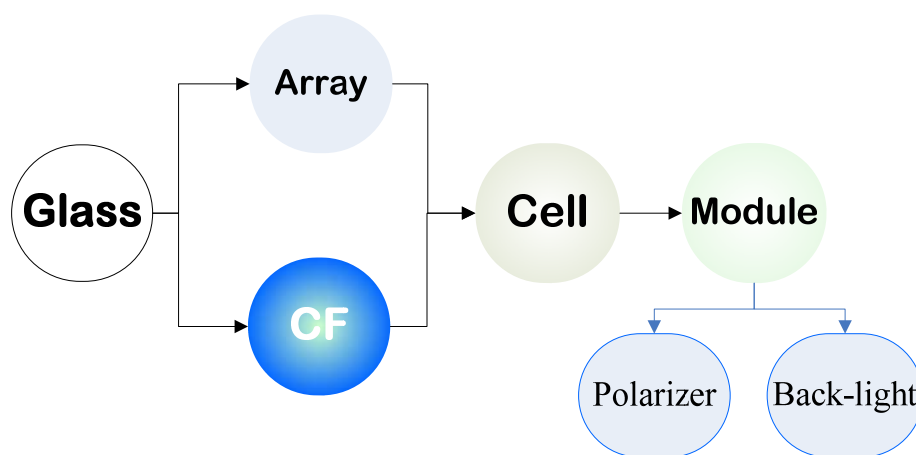


圖 2- 1 TFT-LCD 產業生產流程關係圖

由於本研究著重於薄膜電晶體陣列段探討，因此將針對此段製程做詳細介紹。

2.1.2. 薄膜電晶體陣列(TFT-array)段之製程簡介

由於薄膜電晶體陣列段製程與半導體晶圓廠多有相似之處，如半導體在晶圓上製作電路圖，而薄膜電晶體陣列段則在玻璃基板上所劃分之裁切位置製作電路圖等。故將薄膜電晶體陣列段與半導體晶圓廠相互比較異同，如表 2- 1 所示。並將薄膜電晶體陣列段製程流程說明如下【60】【2】【72】：

1. 玻璃基板投入：首先對於欲投入加工製程之玻璃基板進行品質檢驗，確保玻璃基板之厚度均勻以及邊緣無毀損等品質狀況，再將其投入加工製程步驟。
2. 洗淨(cleaning)：對原物料玻璃基板進行清洗，其目的在於使基板具有良好的導電性、提升薄膜的密著性以改善表面品質，以及清除基板表面的微塵粒子以提昇製程良率。
3. 成膜(film deposition)：在成膜製程中有物理方式的濺鍍法(sputtering)和化學方式的電漿化學氣相沉積法(deposition)。濺鍍法是用於形成閘電極、源電極、汲電極、掃瞄線、儲存電容電極、信號線和畫像素電極功能之金屬薄膜；電漿化學氣相沉積法是用於成長閘電極絕緣膜、半導體層、保護膜等。
4. 光阻劑塗佈(coating)、曝光(exposure)、顯影(developing)：將經過成膜製程步驟之基板上塗佈光阻劑，並在黃光區中利用光罩照射進行曝光步驟，曝光之後再進行顯影之工作。
5. 蝕刻(etching)、去光阻(resist stripping)：經過曝光顯影製程步驟後，將不需

要之透明電極層進行蝕刻去除，再將表面被光阻覆蓋之介質層去除。

6. 測試(testing)、TFT 陣列基板完成：將玻璃基板重複以上洗淨、成膜、光阻劑塗佈、曝光、顯影、蝕刻及去光阻等製程步驟五至九次，最後再進行測試步驟，並完成 TFT 陣列基板之加工。

表 2-1 薄膜電晶體陣列段與半導體晶圓廠比較[自行彙整]

類別	差異特性	半導體晶圓廠	TFT Array 廠
生產型態		訂貨式生產	訂貨式/存貨式生產
設施佈置型態		Job shop & Flow shop	Job shop
製程特性	製程步驟	多擴散與離子植入製程	製程較半導體簡單
	回流特性	十幾次至三十幾次不等	四至九次
	批量生產	批量生產	無批量生產
	綁機限制	有	有
機台特性	機台共用	有	有
	光罩限制	尺寸較小，成本較低	尺寸較大，成本較高， 為重要的輔助資源

如圖 2-2 所示，陳氏【72】依照加工步驟及製程相似性，將薄膜電晶體陣列段之設備分為薄膜區、黃光區、蝕刻區、測試區等四大工作區，介紹如下：

1. 薄膜區：洗淨、濺鍍以及電漿設備。
2. 黃光區：光阻劑塗佈、曝光以及顯影設備。
3. 蝕刻區：濕式蝕刻、乾式蝕刻以及光阻剝離設備。
4. 測試區：測試以及修復設備。

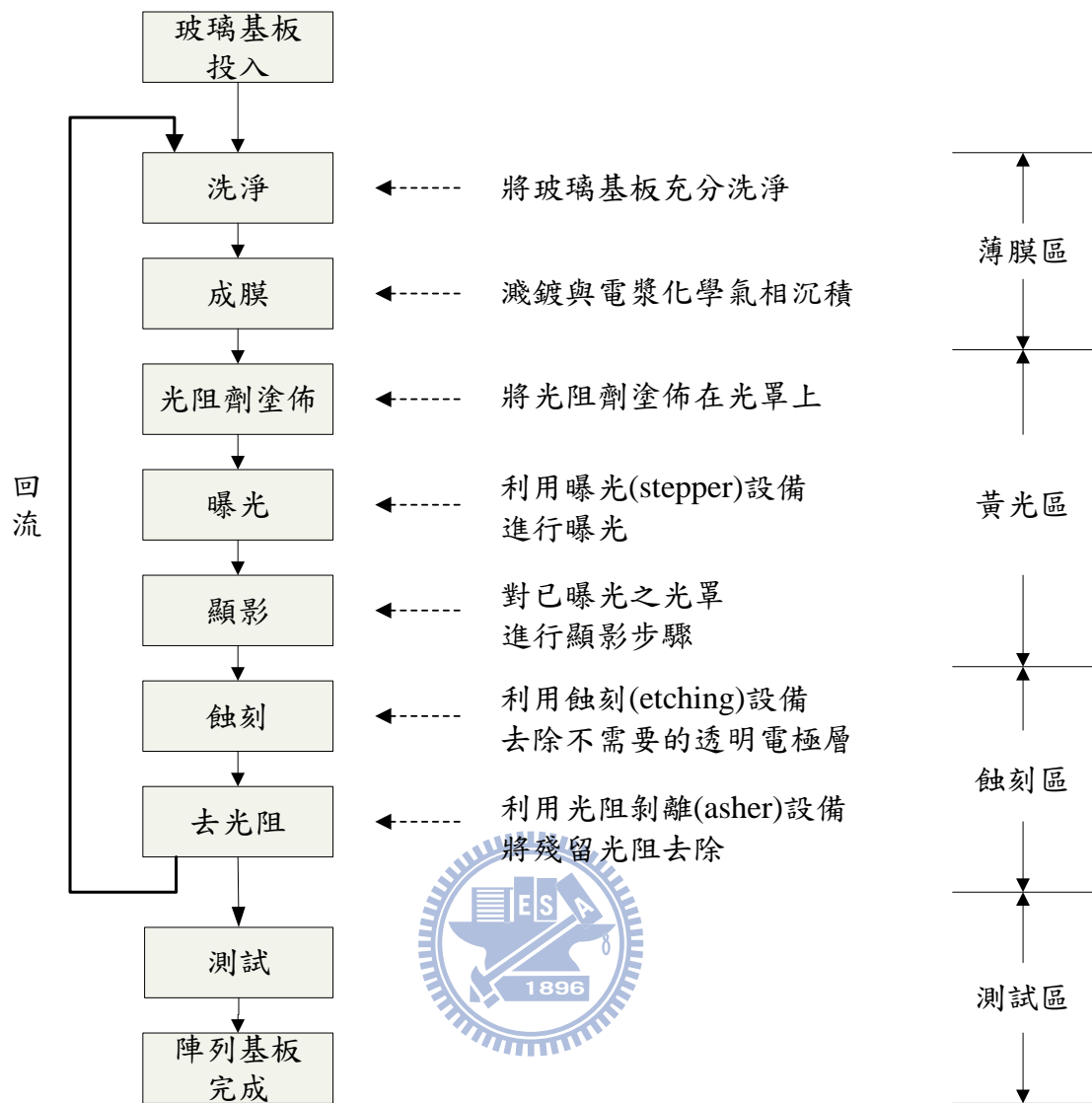


圖 2-2 薄膜電晶體陣列流程圖【72】

2.1.3. 薄膜電晶體陣列段(TFT-Array)之特性

陳氏【71】與梁氏【58】皆對薄膜電晶體陣列段之特性進行分析，吾人根據兩位分析再加上業界訪談，彙整特性如下所示：

- 1.生產型態：在薄膜電晶體陣列廠，依照產品種類尺寸大小而區分為不同世代，目前業界在中小型尺寸為訂單式生產(make to order, MTO)或存貨式生產(make to stock, MTS)，大型尺寸為存貨式生產(MTS)。
- 2.佈置型態：業界大部分採零工式佈置(job shop)，依照機台功能別將相同功能之機台放置一起。
- 3.產品種類：由於製程世代之不同能力，可將玻璃基板裁切為不同產品之尺寸大小，大致分為 15 吋、17 吋、19 吋、26 吋及 46 吋等，陳氏【71】透過訪談將不同世代之玻璃基板所能切割之片數整理如表 2-2 所示，不同產品種類間具有製程步驟相同、製程時間差異小之特性。
- 4.產品比例：產品之組合比例隨著時間及淡旺季而有所變化。
- 5.製程特性：薄膜電晶體陣列段之製程具有再回流與重加工之特性。
- 6.機台特性：由於原物料為大尺寸之玻璃基板，所佔體積龐大，故基於空間考量，薄膜電晶體陣列段皆為序列加工機台，和半導體晶圓廠中有批量加工機台之特性不同；機台設置時間方面，除了黃光機台更換光罩時需要換光罩時間外，其餘機台僅需數秒之換線時間。

表 2-2 各世代玻璃基板可切割各尺寸之片數對應表【71】

	15 吋	17 吋	19 吋	26 吋	46 吋
3 代	2 片	2 片	2 片	1 片	0 片
3.5 代	6 片	4 片	4 片	2 片	0 片
4 代	6 片	6 片	4 片	2 片	0 片
5 代	15 片	9 or 12 片	9 片	4 or 6 片	1 or 2 片
6 代	30 片	25 片	16 or 20 片	12 片	3 片
7 代	42 片	36 片	25 片	18 片	6 片

2.2. 生產週期時間之文獻探討

由於本文為確保產能需求規劃之準確性，將估算生產週期時間以推估投料時點，故生產週期時間的準確估算為本文關鍵之處。然而隨著生產系統複雜度提升，預測生產週期時間之困難度因而倍增。Blackstone【7】即指出，所有排程元素(elements)中，以等候時間之估算最為困難，若期盼產能需求規劃(capacity requirement planning, CRP)能有效運作，則生產週期時間及等候時間必須是可預測的。

在生產週期時間分類方面，Enns【22】將零工工廠之流程時間預測法分為解析關係法(analytical relationship)、動態績效回饋法(dynamic performance feedback)與實證資料分析法(empirical data analysis)。其中以實證資料分析法建立預測模型者最多，但各模型之建立係基於特定環境下發展出來，缺乏通用性原則。另一方面，Glynn【27】、Matsuynama & Atherton【36】、Raddon & Grigsby【39】將生產週期時間預測模式，區分為模擬法、等候理論與統計迴歸法。Lawrance【31】則區分為實證資料分析法、模擬法與及數值分析法。

黃氏【64】則綜合上述說明並依據生產週期時間估算法之特性差異，將估算法區分為下列五種類型，並簡述各類型之相關研究。

1. 直接程序法(direct procedure)

直接程序法係利用目前可得之資訊，如工件特徵、現場狀況之資訊，來進行週期時間的估算。

Vig & Dooley【47】及張氏【67】均認為剛完工工件的生產績效，往往相當程度反應系統現況，故採用動態回饋與更新法，利用最新完工的三個工件之週期時間資訊，動態求算工件在各製程步驟之平均流動時間(flow time)，並結合製程步驟數與加工時間等特性，透過適當的加權原則，以做為新工件之週期時間推估。

2. 模擬法(simulation)與人工智慧法(artificial intelligence, AI)

所謂模擬乃模仿真實世界過程或系統之操作行為。主要透過電腦快速運算能力，觀察操作性系統隨著時間前進下，系統內之組成成份依相關資料所產生的交互影響，推論該系統之績效指標與特質，以作為決策或評估之參考【57】。另一方面，亦可利用專家系統(expert system)與類神經網路(neural network)等人工智慧方法進行預測程序，由於人工智慧方法常以模擬結果做為模型知識庫(knowledge database)之建立，故與模擬屬於同一類型。

模擬為晶圓製造廠最廣泛使用的作業研究工具之一，其具有模擬系統動態行為及解決 what-if 問題之能力【46】。Atherton & Atherton【5】即認為模擬係具有描述晶圓製造廠動態產能之唯一工具。劉氏【56】亦針對晶圓廠情境，以 eM-Plant 建構該生產排程與模擬系統，得以快速估算產品週期時間與排程規劃。且大多數晶圓廠已導入模擬系統，以做為預測生產績效或決策支援之工具。

在實務上，模擬系統雖已廣泛運用，但於學術研究方面，則將研究重心移置生產策略、排程及活動控制績效之研究分析，如下列與模擬有關之文獻中【23】【25】【55】【58】【59】【60】【63】【70】【71】【73】，模擬僅做為驗證各種策略或方法成效之工具，並非研究之重點。

人工智慧方面，Chang et al.【11】運用案例式推演(case-based reasoning approach)方式，透過模擬系統取得大量資料，再刪除對生產週期時間影響性較低之因子，並於確認重要因子後，將多個因子合併為一組資料作為一向量，經由歐氏距離(euclidian distance)衡量資料與資料間距離(式 2- 1)，再透過式 2- 2 衡量資料間之相似性，並以多組資料量準確預測生產週期時間。其結果顯示，運用案例式推演造成根號均方誤(RMSE)較倒傳遞類神經網路小，亦證實此方法之準確度較倒傳遞類神經網路佳。

$$\overline{ab} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2} \quad \text{式 2- 1}$$

$$s_{ab} = e^{-\overline{ab}} \quad \text{式 2- 2}$$

Yu et al.【51】運用類神經網路建立每一工作站之輸入與輸出關係，並做為生產週期時間預測之學習系統(learning system)基礎，游氏【75】則將此機制運用於晶圓製造廠之整合性訂單達交系統中。由於類神經網路在學習過程中需耗費相當多時間，且模型之建構與維護需要特殊專業知識，使得其與模擬之應用領域均受到相當限制。

3.統計分析法(statistical analysis method)

利用迴歸分析或相關分析等統計方法，尋找週期時間與各種變數之間的關係，並依此關係建立統計模型進行預測。

Raddon & Grigsby【39】依據歷史資料建立迴歸模型，以預測工件生產週期時間。透過此模型可從 50% 提升至 100% 預測週期時間，且估算誤差於 ±2 天之比例。

陳氏【71】估算薄膜電晶體陣列段之生產週期時間時，考量區間搬運之環境下，使用迴歸分析建構「個別工作站等候時間模式」及「整體迴歸式」進行

估算週期時間，前者估算誤差小於 25%；後者估算誤差小於 3%，故整體迴歸式遠優於個別工作站等候時間模式。

Backus *et al.*【7】利用資料挖礦(data mining)發展非線性預測模組以估算生產週期時間。使用群組(clustering)、K-Nearest Neighbors 與迴歸樹(regression trees)演算法估算週期時間並相互比較，以判定何種演算法對於生產週期時間估算較佳。結果證實迴歸樹演算法於分析類別與連續變數時優於其他演算法。

由於此種分析方式乃藉由過去狀態以推測未來狀態，且所分析之生產情境須符合該統計分析假設。當系統變異大時，所推測之準確度愈差，故與實證資料分析法面臨相同問題，即發展之模型缺乏通用性原則，且僅適用於穩態生產情境。

4.數學分析法(mathematical method)

此法主要以等候理論或數學模式為基礎，利用數學公式推導工件流動時間之平均值及標準差，並以常態分配假設設定所需參數。

Wang *et al.*【48】結合 Little's formula($L = \lambda W$)及 Kingman's equation【29】，以估算工作站週期時間(式 2- 3)，其中 u 為機台利用率、 a 與 b 為估計參數，其值由歷史資料分析而得。

$$T = a + b \times \frac{u}{1-u} \quad \text{式 2- 3}$$

Kramer【30】與 Martin【35】則直接以等候理論為基礎，發展出理論週期時間與實際週期時間之比值(x-factor)估算式，如下所示。而業界常將 x-factor 視為生產週期時間評估指標之一。

$$\text{Kramer: } X - \text{Factor} = \frac{1}{(1-u)} \quad \text{式 2- 4}$$

$$\text{Martin: } X - \text{Factor} = \frac{1-u/2}{1-u} \quad \text{式 2- 5}$$

Conway *et al.*【21】利用拉普拉斯轉換式(laplace transforms)估算單一機台之流動時間(式 2- 6)。其中 $E(X)$ 為工件之期望流動時間、 $E(P)$ 為期望實際作業時間、 $E(P^2)$ 為作業時間平方之期望值、 λ 為工件到達率、 ρ 為機台利用率。

$$E(X) = E(P) + \frac{\lambda E(P^2)}{2(1-\rho)} \quad \text{式 2- 6}$$

由於晶圓製造廠中，批次機台之批量特性為一重要製程特性，然而上述方法均未將此特性納入考量，難以適用於晶圓製造廠中。於是蘇氏【74】將批量因素納入考量下修正 Conway 估計式，修正後之公式(式 2- 7)對生產週期時間估算準確性亦有相當幅度之提升。(其中 ABS 為批量大小，若序列機台則

$ABS=1)$

$$E(X) = E(P) + \frac{\lambda E(P^2)}{2(1-\rho) \times ABS} \quad \text{式 2-7}$$

Connors *et al.* 【20】運用等候網路模型估算晶圓製造廠之工作站利用率、生產週期時間等績效指標，於模式型中考量重加工(rework)、報廢(scarp)與批量大小等製程因素之影響，並分別依據序列機台及批量機台之加工特性建構等候模型。在其模型中，將工作站之到臨事件分為兩大類，分別為因當機或維修保養所造成之失效事件，以及欲加工之工件。

式 2-8 與式 2-9 分別代表到臨事件之到達率皆服從 poisson 分配之情形下，不同機台數之序列工作站其平均等候時間的估算式。式 2-8 為非逐位性優先服務之 M/G/1 等候模式中，用來估算單一機台之序列工作站其平均等候時間之公式，式 2-9 為式 2-8 乘上一修正因子後之 M/G/C 等候模式近似公式，用來估算多部機台之序列工作站其平均等候時間。若將機台數等於 1 代入兩者公式，即可發現公式皆相同。

$$E(D_g) = \frac{\sum_{b \in B_g} \Lambda_b E(S_b^2) + \sum_{k \in T_g} \Lambda_k E(S_k^2)}{2(1-\rho_g^{inc})(1-\rho_g^{inc}-\rho_g)} \quad \text{式 2-8}$$

$$E(D_g) = \frac{(\rho_g + \rho_g^{inc})^{\sqrt{c_g}-1}}{c_g^2} \cdot \frac{\sum_{b \in B_g} \Lambda_b E(S_b^2) + \sum_{k \in T_g} \Lambda_k E(S_k^2)}{2(1-\rho_g^{inc})(1-\rho_g^{inc}-\rho_g)} \quad \text{式 2-9}$$

其中 $E(D_g)$ 表示平均等候時間， T_g 表示在工作站 g 加工之作業集合， $E(S_k^2)$ 表示作業 k 加工時間平方期望值， Λ_k 表示作業 k 到達率， ρ_g 表示工作站 g 利用率， B_g 表示工作站 g 所發生之失效事件集合， $E(S_b^2)$ 表示失效事件 b 之失效時期平方期望值， Λ_b 為失效事件 b 之到達率， ρ_g^{inc} 表示失效事件造成工作站 g 之利用率。

Chung and Huang 【16】考量晶圓廠批次機台與序列機台混雜之物流時性，發展出區段基礎式週期時間估算法(block-based cycle time estimation methodology, BBCT)，分別考量源於負荷因子以及批量因子之等候時間，亦即批量限制及其他因素導致物流阻塞之主因。該演算法先將晶圓製程以批次機台加工作業為分割點分解成數個獨立區段，再依製程特性對各區段進行週期時間之估算，最終將全部區段加總即為整體製程之週期時間。其結果顯示應用 BBCT 於晶圓製造廠之生產週期時間估算具有相當不錯之成效。

陳氏【70】考量系統存在多等級工單情境，發展多等級工單下晶圓廠生產週期時間估算模式。其將工單等級造成負荷因子之影響，採用非逐位性優先等

候時間(non-preemptive priority queueing model)進行估算，並進一步將 BBCT 推廣為系統存在多工單環境下之區段基礎式估算法(BBCT-MP)；郭氏【60】繼續延伸 BBCT-MP，並多加考量區間搬運狀況之搬運時間，發展包含搬運時間之晶圓廠生產週期時間估算法，使其估算更臻完備。

梁氏【58】套用 Connors *et al.*【20】之 M/G/C 等候模式，估算薄膜電晶體陣列廠中工件於各工作站之負荷因子等候時間，並在進行等候搬運時間估算時，於測試區採用 M/M/1 等候模式，薄膜、蝕刻與黃光區採用 M/D/1 等候模式，將搬運時間與工作站之週期時間加總得各產品之平均生產週期時間，結果證實估算誤差小於 3%。

李氏【55】考量製程規格能力對垂直鎖定機台限制下之生產週期時間。將 BBCT 推廣為存在機群利用率差異下之區段基礎式週期時間估算法(BBCT-VU)，以避免機群之利用率差異過大下，導致產品生產週期時間產生大幅變異，進而喪失各產品之生產週期時間競爭力。結果證實估算誤差於 5% 左右。

5.混合法(hybrid method)

此法將整合多種研究方法，以進行週期時間之預測。

Enns【22】考量工件特徵與現場負荷，同時運用數值分析與模擬法，發展一動態流程時間估算法，並以此法預測週期時間，做為交期訂定之基礎。張氏與朱氏【68】則結合模擬、迴歸分析與類神經網路法，透過模擬系統蒐集系統到達穩態後之訂單資訊，並藉由迴歸分析找出對於影響流動時間之因子及各項參數，再交由類神經網路進行測試及評估，以找出有效交期指定模式。

Baykasoglu *et al.*【10】使用統計預測技術以預估於零工式生產佈置下之動態流程時間。考量交期指派模式(due date assignment model, DDAM)之 last data point(LDP)、dynamic total work content (DTWK)、dynamic process plus waiting(DPPW)與 Adaptive response rate exponential smoothing (ADDRES)演算法，並套用 FIFO、EDD、SPT 與 S/RO 等派工法則，代入模擬系統，再以實驗設計分析 DDAM、派工法則與系統負荷率之間關聯度，亦分析不同系統負荷率下之績效值。結果證實 ADDRES 與 EDD 結合之方法於所有系統負荷率下績效值最佳。

文中亦指出不同類別之工件以隨機方式進入生產系統，僅使用等候理論估算工件於工作站之等候時間，易造成在複雜生產系統中等候時間估算不準確且高估。故 ADDRES 考量方式為修正工件於機台前之等候時間 w_{ij} ，使用指數平滑法(exponential smoothing model)估算誤差(式 2-11)，由於每一工件於機台之等候時間隨著前一工件之等候時間進行調整。因此，此演算法遠優於其他 DDAM 之演算法。

$$d_i = r_i + \sum_{j \in S\{i\}} m_{ij} + \sum_{j \in S\{i\}} w'_{ij} + \bar{p}_i \quad \text{式 2-10}$$

$$w'_{(i+1)j} = \alpha_{ij} w_{ij} + (1 - \alpha_{ij}) w'_{ij} \quad \text{式 2-11}$$

最後吾人參考黃氏之分類方式將文獻整理如表 2-3。

表 2-3 生產週期時間估算方法[【64】及本文彙整]

求算方法	說明	適用情境	優點	缺點
直接程序法 【47】【67】	使用目前可得之資訊(如：工件特徵、現場狀況)等。	短期、動態環境	簡單、不須繁複計算	模式中所使用之系數須以其它方法得知。
模擬與人工智慧法 【5】【11】 【36】【75】 【57】	建立離散事件模擬模型，經由模擬結果預測週期時間。	<ul style="list-style-type: none"> ● 缺乏相關生產資訊(如：新廠籌建、新製程導入) ● 中長期決策評估 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 透過所建立之模型，可以提昇預測之精準度。 ■ 有效模擬動態環境且瓶頸問題易透過模擬預知。 ■ 解答 what-if 問題，提供決策參考或預測控制參數值。 ■ 可建立再造系統流程，以建立操作共識與規範。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 模式之驗證預經由多次模擬方能確保其可行性；在確認方面雖有理論方法可確認特定之模式，但尚無一套嚴謹、有效率且通用性之確認方法 ■ 模擬過程耗時。
統計分析法 【39】【71】 【7】	利用迴歸分析或相關分析等統計方法，分析過去生產資料，以尋找週期時間與各類參數之關係，並依此建立統計模式以進行預測	<ul style="list-style-type: none"> ● 穩定之生產情境。 ● 中長期決策評估。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 模型簡單，易於使用。 ■ 現場人員接受度較高。 ■ 適用於生產情境穩定之動態估算分析。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 需處理龐大資料，極為耗時。 ■ 過去之趨勢未必適用於未來。 ■ 需求改變、產能改變等情形發生時，均可能造成模型之不適用性。
數學分析法 【48】【35】 【30】【21】 【74】【70】 【60】【58】 【55】	以等候理論或數學模式為基礎，利用數學推導工件流動時間及其標準差，進而使用常態分配假設來設定系統參數值。	<ul style="list-style-type: none"> ● 中長期生產策略 ● 穩態生產環境 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 具統計分配之特性，可以推導出預測誤差的分佈。 ■ 所須執行運算時間較短。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 數學模式所設定之假設，與實際情形可能有所差異。 ■ 數學模式複雜度高，有時不易推導出可用模式。
混合型 【22】【68】	整合多種研究方法，以進行週期時間之預測。	依據結合之方法，而有不同的適用環境	可整合各種方法之優點，不同的限制條件或影響因子，可各別採用不同方法處理。	<ul style="list-style-type: none"> ■ 各種方法之假設前提可能相互存在矛盾點。 ■ 模型估算差異原因之分析較為困難。

2.3. 多等級工單對系統績效之影響

工廠設定工單不同等級之目的為：一、在工程批導入製程時，為加快工程批之產出速度，因此提高工程批之工單等級，以快速判斷技術更新之可行性。二、當新產品導入時，為驗證新產品之規格，先提高新產品測試工單之等級，以儘快確認各機台生產該產品之能力。三、為滿足部份客戶，加速產品上市時間要求，提高工單等級，縮短產品生產週期，以達到滿足客戶服務。

Ehteshami *et al.*【23】利用 Glassey【26】所設計之 BLOCS 模擬系統，探討晶圓廠緊急批量對生產系統所成之影響。在系統利用率越高的生產環境下，緊急批量對其生產週期變異所造成的邊際影響越大。此外，隨著緊急批量比例攀升，一般批量之平均生產週期時間與標準差亦大幅上升。以整體系統觀看，平均生產週期時間仍維持在一固定常數，可是標準差卻呈現大幅變動。由此可知，緊急批量會降低一般批量達交績效，進而影響客戶滿意度以及存貨成本的積壓，增加生產系統不穩定性。為平衡此現象，應對緊急批量之價格設定做一合理評估。

Fronckowiak *et al.*【25】利用不連續事件模擬法，探討不同產品緊急工單比例對生產週期時間之影響。其研究結果顯示，在無回流特性的生產情境中，緊急工單對生產週期時間影響不大；但對回流特性之生產情境，緊急工單比例對生產週期時間具有顯著影響，當其比例超過 20% 時，一般訂單之生產週期時間也會急遽上升。因此，Fronckowiak 認為在策略制定時，緊急工單應限制在 10%-20% 之間。

Narahari and Khan【38】參考 Lu *et al.*【34】的模擬系統，以模擬法及平均值分析法（mean value analysis, MVA）研究緊急批量之存在以及不同的暫存區派工法則對生產績效之影響。結果顯示當緊急批量百分比逐漸增加時，一般批量之產出率將大幅下降，平均生產週期亦會大幅上升；同時，當緊急批量的平均產出率增加時，平均生產週期也會逐漸上升，且週期時間之變異會大幅增加。此文除了分析出緊急批量對於一般批量會有嚴重影響性外，另外證明除了模擬分析外，還有平均值分析法可以適切地表達及分析緊急批量之影響。

Wang *et al.*【49】針對半導體製程具有回流之特性，設計 compound priority control (CPC) strategy，其方法為當工件進入等候區時，判斷產能是否達其上限或下限，亦或介於兩者之間，以此依據變更其工件等級，以降低產品生產週期時間、標準差與整體在製品數。並套用 Wein【50】的晶圓工廠模式，模擬 CPC、FIFO 與 SRPT 法則，比較績效值差異。如下圖所示，在平均生產週期時間、

平均生產週期時間之標準差、產出率、在製品量與平均整體等候時間下，CPC 皆較 FIFO、SRPT 獲得較佳績效值，且較 FIFO 法可降低 50% 以上的等候時間；比 FIFO 與 SRPT 提升 0.004lot/hr 的產出率，但當時間間隔(time interval, TIR)拉長時差異較不明顯。

Wang 將等級應於派工法則上，而非一開始投料時，即得知各工件之等級屬性，與本文探討情境不同，但由此可知，適當等級比例調整可降低生產週期時間標準差。

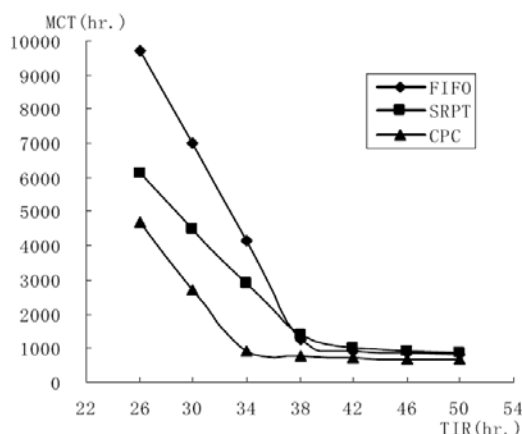


圖 2-3 平均生產週期時間比較表

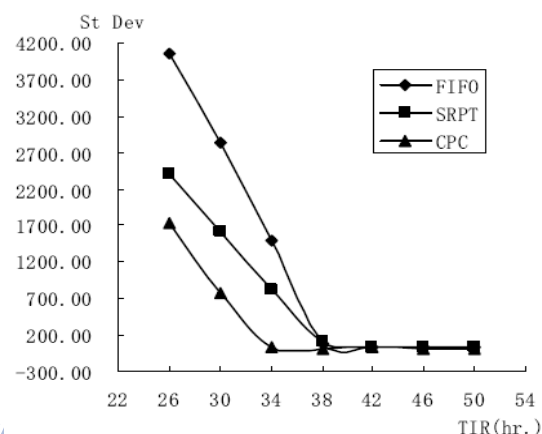


圖 2-4 平均生產週期時間之標準差比較表

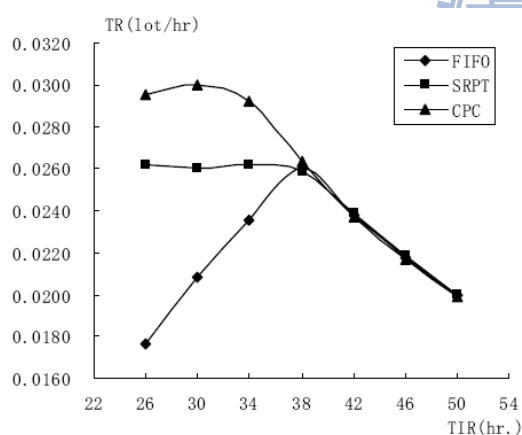


圖 2-5 產出率比較表

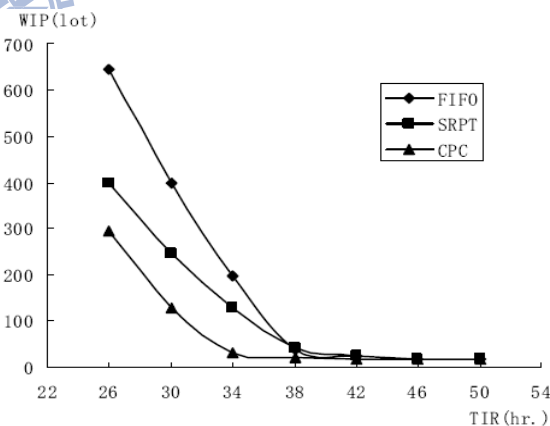


圖 2-6 在製品比較表

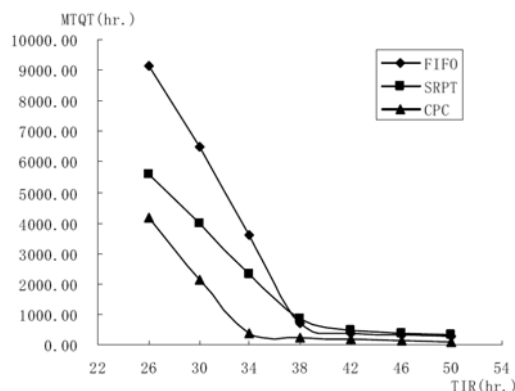


圖 2-7 平均整體等候時間比較表

上述文獻皆使用模擬法以分析等級工單(亦或批量、工件)的比例變化對生產系統之影響(如表 2- 4)。在生產週期時間之文獻中，亦有考量多等級工單之情境，但是是在緊急工單比例固定之情況下，進行生產規劃及生產週期時間估算，二者探討角度不同。

表 2- 4 多等級工單對系統績效影響之相關文獻[自行彙整]

作者	模擬方法	探討目標	結果
Ehteshami et al. 【23】	BLOCS 模擬系統	晶圓廠緊急批量對生產系統之影響	<ul style="list-style-type: none"> ■系統利用率上升→緊急批量對生產週期時間造成之邊際影響越大。 ■緊急批量比例↑→一般批量的平均生產週期時間及其標準差也大幅上升。 ■緊急批量會降低一般批量之達交績效，進而影響客戶滿意度及存貨成本積壓，故應對緊急批量之價格做一合理評估。
Fronckowiak et al. 【25】	不連續事件模擬法	不同產品緊急工單比例對生產週期時間影響	<ul style="list-style-type: none"> ■無回流特性之生產情境→並無影響。 ■有回流特性之生產情境→緊急工單對生產週期時間有顯著影響。故應將比例設定於10%-20%。
Narahari Y. & L. M. Khan 【38】	參考 Lu et al. 之模擬系統使用模擬法及平均值分析法	緊急批量之存在目的及不同暫存區之派工法則對生產績效影響	■如同之前學者所提出緊急批量對生產週期之影響外，亦證明平均值分析法可適切表達及分析緊急批量之影響。
Wang et al. 【49】	套用 Wein 的晶圓工廠模式	設計 CPC 之派工法則，並與其它派工法則比較。	■工件等級在生產系統中適當調整時，可降低平均生產週期時間、在製品數量、平均整體等候時間，並提升產出率。

2.4. 製程規格能力與垂直鎖定機台之相關文獻

2.4.1. 製程規格能力與垂直鎖定機台之定義

❖ 製程規格能力

所謂製程規格能力(capability)係指為達成某一特定之製造作業，機台所必須具備之特定的製程規格能力【17】。在同一工作中心之機台，可能因技術層次、穩定性等差異，造成該工作中心內，各個機台各自擁有不同的製程規格能力。現場作業員在進行派工作業時，必須先判別該製程步驟之製程規格限制，並挑選符合該製程規格能力之機台進行加工作業。由於有些機台可能只擁有一個製程規格能力，有些則擁有十數個製程規格能力，任一製程步驟是否能在某特定機台上加工，端視該機台是否具備該製程步驟所必須具備的製程規格能力，與該機台隸屬於哪一個工作中心無關。因此，產能供給將不再以工作站的機台數目多寡來表示，而是以具有特定製程規格能力的機台數目來表示。

❖ 垂直鎖定機台限制

當工件於第一關鍵層進入特定機台加工時，由於垂直鎖定機台限制，其後之關鍵層限定加工於此機台，即便其他相同製程規格能力之機台呈現閒置狀態，亦不得進行加工，以避免疊對誤差造成產品不良率上升。相反的，工件進入無鎖定機台限制之工作區，可被安排於任一閒置機台上進行加工。

由圖2-8可知，垂直鎖定機台限制易造成某一特定機台(machine X)成為該工作站中之關鍵機台，若此機台突然當機，則易堆積過多待加工工件，進而造成工件等候時間拉長。其影響陳述於下：

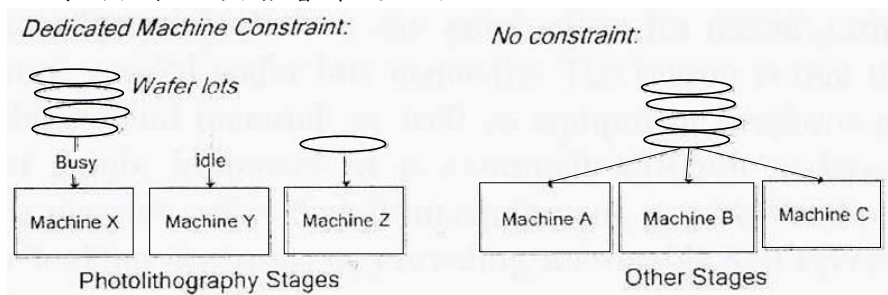


圖 2-8 垂直鎖定機台限制與無鎖定機台限制之示意圖【6】

1. 瓶頸工作站内機台負荷不均

若綁機決策點並無考量機台現在及未來負荷，直接逕行機台指派，使得工件於符合製程規格之機台前卻因在製品堆積而無法進行加工，且其他相同製程規格之機台卻因為鎖定機台限制亦無法加工，造成非鎖定機台之產能利用率較低，工作站内機台間產能負荷不均。

2. 非瓶頸機台成為暫時性瓶頸

由於機台間負荷不均，在製品無法順暢流動，導致某特定層級堆積大量在製品，而其它層並無在製品可生產。一旦瓶頸機台為消化某特定在製品而大量加工，將對後續非瓶頸機台造成瞬間負荷，形成暫時瓶頸，導致在製品堆積於非瓶頸機台前，甚至影響在製品再回流速度，易使瓶頸機台飢餓而影響產出。

由上述得知，於垂直鎖定機台限制下，最重要挑戰為提升產品產出率及達交率，黃光區為回流製程中之重要工作站，產品良率通常決定於此。若未做好機台指派，將對於系統績效指標造成莫大負面影響。因此，如何合理指派工件於機台，使物流平順化、瓶頸機台利用率最大化且非瓶頸機台也能有效發揮產能，達到整體最大產出為值得研究之課題。

2.4.2. 製程規格能力與垂直鎖定機台之文獻探討

由於製程規格能力與垂直鎖定機台息息相關，故將兩種文獻共同探討。

Toktay and Uzsoy【44】考量機台之可用產能、設置時間、機台加工能力限制，規劃極大化產出、最小化生產變異之短期生產規劃，並將該問題轉換為網路流量問題(network flow problem)，以進行現場各班次之微影工作站產能分配。文中之各機台視為等效機台，亦即每一作業之加工時間並非因機台不同而有所差異。

Chung and Huang【17】認為傳統產能需求規劃乃以工作中心為運算單元，對於強調機台製程規格能力之晶圓半導體廠，易造成估算誤差進而影響後續之細部排程。故提出考量製程規格能力之負荷分配演算法(capacity-oriented loading allocation, COLA)，依據負荷平準化原則，將晶圓批指派至具有執行該製程規格之機台上進行加工，以避免因製程規格之限制造成負荷分配不均，使部份作業延誤加工之情形。COLA演算法主要分為兩階段，第一階段為考量各機台預期之總體負荷水準與可用產能水準比例，作為負荷分配之基準求得起始解。而第二階段將第一階段所求之起始解，利用遞迴求算方式，使執行相同製程規格能力機台之負荷率趨於一致。

Akcalt *et al.*【3】利用模擬系統對微影作業之製程特性與生產週期時間之關係進行研究。將測試運作頻率(test run frequency)、檢驗時間(duration of inspection)與垂直鎖定機台策略(machine dedication policy)做為實驗因子。其中垂直鎖定機台策略分為鎖定機台指派策略(dedicated assignment policy)，亦即將所有作業視為關鍵作業，同一晶圓批須於相同之微影機台上加工；另一策略為彈性指派策略(flexible assignment policy)，亦即將作業視為非關鍵層作業，故同一晶圓批可於不同微影機台進行加工。

此種垂直鎖定機台策略，與實務界將作業區分為關鍵層與非關鍵層之作業並不相同。其實驗結果顯示鎖定機台指派策略對於生產週期時間具有非常顯著之影響，而彈性指派策略則有助於降低生產週期時間。

黃氏【66】考量垂直鎖定機台之條件，應用Chung and Huang之COLA演算法【17】，求得各機台之製程規格負荷量，依其負荷量進行工單之機台指派；再運用Sule【42】之網路基礎指派法(network-based assignment)，以工單製程規格彈性之大小決定工單選取順序，並以機台製程規格彈性決定機台指派優序。待所有工單分派完畢後，估算機台利用率。由於兼顧綁機與非綁機之產能需求及工單指派下，設計產能規格與決策流程，故能透過電腦運算快速產生相關產能負荷及派工資訊，規劃流程以輔助管理者進行決策分析。

黎氏【53】針對黃光區工作站微影機台之綁機情境，避免瓶頸飢餓原則下，提出投料法則以考量機台之現行與未來負荷，降低機台間負荷不均、高光罩轉換率及高重工率。以雙界法(two boundary, TB)為基礎，發展區間負荷(region loading, RL)與總負荷(total loading, TL)，並訂定區間負荷上限(region bound, RB)與總負荷上限(total bound, TB)。其中，區間負荷為已加工第一層關鍵層級而尚未加工第二層關鍵層級之在製品對機台之產能負荷(式2-12)；總負荷為系統每層級的在製品對機台之產能負荷，乘於剩餘關鍵層級數(如產品共有三層關鍵層級，則第一層關鍵層級之剩餘層級數為2)(式2-13)。而前者之上限值(RB)為機台每日平均分配給第一層關鍵層至第二層關鍵層之產能負荷(式2-14)；後者之上限值(LB)為機台平均分配給每一關鍵層級之產能，乘於每層級的剩餘關鍵層級數之加總(式2-15)。

$$ALI_{jm} = Q_{2jm} \times P \quad \text{式 2-12}$$

$$AL_{jm} = \sum_{i=1}^k Q_{ijm} \times (k+1-i) \times P \quad \text{式 2-13}$$

$$SLI_{jm} = C_m \times PW_{jm} \times P \times R_j \quad \text{式 2-14}$$

$$SL_{jm} = \sum_{i=1}^k C_m \times (k+1-i) \times P \times R_j \quad \text{式 2-15}$$

依照估算總負荷差距與區間負荷差距，計算出最大可再投入量(式2-16)，再由生管人員將每日計畫投料量之結果依序分配批量。若計畫量大於機台之總負荷量，則將未投入之批量留置隔日繼續。

$$\min\left(\frac{SL_{jm} - AL_{jm}}{\sum_{i=1}^k (k+1-i) \times P}, \frac{SLI_{jm} - ALI_{jm}}{P}\right) \quad \text{式 2-16}$$

另外，為能充份利用瓶頸機台產能，亦需搭配適用之派工法則，以確保瓶頸機台不致缺貨。根據Little's Law估算標準在製品數量。若實際在製品量低於此值，則針對在製品不足數，將瓶頸機台之上游機台加工之工件等級提高，直至符合其在製品數為止；相反時，則以最小餘裕法(least slack)選擇工件指派至機台加工，而非瓶頸機台之派工法則為先進先出法(FIFO)。如此規劃得以滿足產品交期。

黃氏【65】修正黎氏之投料法則，於計算總負荷差距(系統總負荷上限-總負荷界限)時，加以考量在製品執行第一關鍵層加工後，對系統造成之倍數負荷($k-1$ 層級數)，故最大可投料量如式2-21所示。

$$TB = C_m \times \left[\sum_{i=1}^{k-1} (k-i) \times CT_{(i,i+1)} \right] \quad \text{式 2-17}$$

$$TL = \sum_{i=1}^{k-1} (k-i) \times WIP_{(i,i+1)} \quad \text{式 2-18}$$

$$RB = C_m \times CT_{(1,2)} \quad \text{式 2-19}$$

$$RL = WIP_{(1,2)} \quad \text{式 2-20}$$

$$\min\left(\frac{TB-TL}{k-1}, RB-RL\right) \quad \text{式 2-21}$$

另一方面，由於黎氏【53】並未針對綁機特性設計一派工法則，故黃氏【65】提出以生產線平衡(line balance)觀念控制並平衡各關鍵層間之在製品量，使系統達到生產線平衡之目標。由於各關鍵層之週期時間與在製品流量皆不同，故加速在製品流量最高之關鍵層區域，以便快速將在製品移至流量較低之關鍵層，使各區間之在製品流量趨於一致。亦針對非瓶頸工作站控制其派工優序，以避免瓶頸工作站飢餓及其在製品量變動，進而達到生產線平衡。結果證實其法則於生產週期時間及達交率均優於FIFO。

楊氏【76】修正黃氏【65】派工法則，採用兩階段權重控制決定瓶頸工作站之最適在製品種類，使各關鍵層之流入速度(產品到達率)維持一致，達到流量平衡之觀念。結果證實與過去之派工法則相比，可得較佳之達交率與生產週期時間。

由於機台對各產品之加工時間皆不相同，再加上生產線上有許多不可控制之變異因素(如機台當機)，故要切確掌握各關鍵層之到達率較為困難，因此本文採用黃氏【65】之投料法則及派工法則理念，多加考產品等級特性，使投料及派工法則更加全備。

黃氏【18】針對製程規格能力與垂直鎖定機台限制，假設各工單負荷時點

已知下，於細部產能規劃階段採用 (capacity allocation problem for photolithography area, CAPP) 之混整數規劃模式，以追求各機台間產能利用率平準化。並針對混整數規劃所需求解時間較長之缺點，將CAPP問題轉換為限制滿足問題(constraint satisfaction problem, CSP)，並提出負荷不平衡上限值之設定值，以避免CSP應用於求解CAPP問題時，需多次運算及設定目標限制式，並期望夠透過CPS之優點縮短求解時間。實驗結果證實，CAPP問題轉換成CPS，可提高求解效率，並於可接受時間內得一品質良好之解。

綜觀上述將彙整其特性如表2- 5

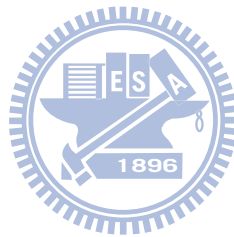


表 2-5 製程規格能力與垂直鎖定機台之文獻彙整[【55】及本文彙整]

作者	製程規格	綁機	方法論	考量因素	追求目標	特點
Toktay and Uzsoy【44】	✓		網路流量問題	<ul style="list-style-type: none"> ◆機台之可用產能 ◆設置時間 ◆機台加工能力限制 	<ul style="list-style-type: none"> ◆極大化產出 ◆極小化生產變異 	考量機台限制下，設計短期生產規劃。雖有機台加工能力限制，但相同之工件於不同機台上之加工時間仍然相同。
Chung and Huang【17】	✓		製程規格能力之負荷分配演算法(COLA)	<ul style="list-style-type: none"> ◆機台預期之總負荷水準與可用產能水準比例 ◆機台製程規格能力 	相同製程規格能力機台之負荷水準趨於一致。	針對機台製程規格能力問題下，使機台間產能負荷能趨於一致，以降低部份作業加工延誤之情境。
Akcalt et al.【3】		✓	實驗設計	<ul style="list-style-type: none"> ◆測試運作頻率 ◆檢驗時間 ◆垂直鎖定機台策略 	藉由模擬觀察微影作業之製程特性對生產週期時間之影響	經實驗結果可得鎖定機台指派對生產週期時間有顯著影響，但彈性機台指派可降低生產週期時間。
黎氏【53】		✓	投料法則： (基礎：雙界法) 區間負荷界限值 派工法則： (瓶頸機台)最小餘裕法 (其它機台)FIFO	投料法則： <ul style="list-style-type: none"> ◆避免瓶頸飢餓 ◆系統與第一、二層關鍵層間之負荷程度 派工法則： <ul style="list-style-type: none"> ◆確保瓶頸不致缺料 	<ul style="list-style-type: none"> ◆降低機台間負荷不均 ◆降低高光罩轉換率 ◆降低高重工率 ◆滿足交期率 	針對綁機特性，考量系統與關鍵層第一、二層之負荷，以確保當產品投入時，易造成回流時某一層級發生產能負荷過多之情形。
黃氏【65】		✓	生產線平衡觀念 (Line Balance)	派工法則： <ul style="list-style-type: none"> ◆每層級產能負荷平衡 ◆針對非瓶頸工作站控制派工優序 	<ul style="list-style-type: none"> ◆避免瓶頸工作站飢餓 ◆平衡各關鍵層之在製品量 	以生產線平衡之觀點，控制並平衡各關鍵層間之在製品數量。當數量不同時，將加速在製品流量最高之關鍵層區域，以移至流量較低之關鍵層，進而達到生產線平衡。

表 2-6 製程規格能力與垂直鎖定機台之文獻彙整(續)

楊氏 【76】		✓	<ul style="list-style-type: none"> ◆生產線平衡觀念 ◆兩階段權重控制 	派工法則： 控制各關鍵層之流入速度 (即到達率)，以維持一致。	<ul style="list-style-type: none"> ◆較高達交率 ◆較佳之生產週期時間 	沿用黃氏之想法，並改以控制各關鍵層之到達率，以達到生產線平衡。
黃氏 【66】	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> ◆COLA【17】 ◆網路基礎指派法【42】 	<ul style="list-style-type: none"> ◆產品於關鍵層之垂直鎖定機台限制 ◆DUV scanner 與 DUV stepper之機台皆有不同製程規格能力 	<ul style="list-style-type: none"> ◆使相同製程規格能力之機群負荷比例趨於一致 ◆在製品於黃光區各層級別之生產週期時間均維持穩定水準 	<ul style="list-style-type: none"> ◆同時考量製程規格與垂直鎖定機台限制下，考量產能需求指派，使黃光區機群之產能負荷趨於一致。 ◆產品層級有區分為關鍵層與非關鍵層。前者將需特定於同一機台上進行加工；後者無此項限制。
黃氏 【18】	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> ◆CAPP之混整數規劃模式(MIP) ◆將CAPP問題轉換為限制滿足問題(CSP) 	黃光區之 <ul style="list-style-type: none"> ◆製程規格能力 ◆垂直鎖定機台限制 	<ul style="list-style-type: none"> ◆機台間產能利用率負荷平準化 	設定負荷不平衡之上限值，以縮短限制滿足問題之求解時間。
李氏 【55】	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> ◆混合整數規劃模式 ◆BBCT-VU 	<ul style="list-style-type: none"> ◆黃光區與蝕刻區之製程規格能力 ◆垂直鎖定機台限制 ◆上述限制對批量之影響 	<ul style="list-style-type: none"> ◆針對製程規格能力與垂直鎖定機台限制之特定生產環境下，規劃主生產排程。 	所規劃之主生產排程可快速估算法群利用率差異所導致之生產週期時間改變，並可確保所規劃之排程為合理且良好之結果。
本文	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> ◆混合整數規劃模式 ◆等候理論 	<ul style="list-style-type: none"> ◆製程規格能力 ◆垂直鎖定機台限制 ◆雙等級工單 	針對考量因素制定能快速反應之主生產排程	將綜合之前文獻所考量，針對製程特性與生產情境，制定一良好之生產排程。

2.5. 資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)

資料包絡分析法採用柏拉圖最適境界¹(Pareto Optimality)觀念，將一群決策單位(Decision Making Unit, DMU)之各項投入與產出加以線性組合，在客觀的環境下評估對受評單位最有利之相對效率值【62】；由於資料包絡分析法無需預設函數，故屬於無參數分析法。

Farrell【24】提出以「非預設生產函數」代替以往的「預設函數」來推估效率值之概念，利用數學規劃技巧求出效率邊界，此效率生產函數之前緣即為「確定性無參數前緣」(deterministic non-parametric frontier)。「確定性」是指所有 DMU 之技術水準相同，面對共同的生產前緣，「無參數前緣」指未預設生產函數的型態；此一多項投入下的效率衡量，奠定了 DEA 基礎。

CCR 模式【14】為 Charnes、Cooper 及 Rhodes 三人於 1978 年提出，將 Farrell 之概念加以擴展為多產出衡量，且將 DEA 之分數規劃，轉為線性規劃模式，用來衡量 DMU 在固定規模報酬下，具有多項投入與多項產出時之生產效率。其模式可分為投入導向(在目前的產出水準下，比較投入資源之使用情況)與產出導向(在相同投入水準下，比較產出之達成狀況)，再配合對偶定理(duality theory)之應用，使得此模式得到許多具有經濟意義的指標。投入導向之原問題模式如下所示：

假設有 n 個 DMU($j=1, \dots, n$)，每一 DMU 使用 m 個投入項($i = 1, \dots, m$)，並產生 s 個產出項($r = 1, \dots, s$)， u_r 、 v_i 分別代表第 r 個產出項與第 i 個投入項的權重。此等權重值須大於一極小的正值 ε ，Charnes 等人稱之為 non-Archimedean small number， ε 實際應用上常設為 10^{-4} 或 10^{-6} 。而第 k 個 DMU 的相對效率值，可由下式算出：

目標式：

$$\text{Max } E_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \quad \text{式 2-22}$$

限制式：

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad \text{式 2-23}$$

$$u_r \geq \varepsilon \geq 0, \quad r=1, \dots, s \quad \text{式 2-24}$$

$$v_i \geq \varepsilon \geq 0, \quad i=1, \dots, m \quad \text{式 2-25}$$

x_{ij} ：第 j 個 DMU 的第 i 項投入值

y_{rj} ：第 j 個 DMU 的第 r 項產出值

¹ 柏拉圖最適境界意指無人可以在不損及他人的情況下增加個人利益。

u_r ：第 r 個產出項之權數(weights)或乘數(multipliers)

v_i ：第 i 個投入項之權數(weights)或乘數(multipliers)

E_k ：第 k 個 DMU 之相對效率值

ε ：極小正數(非阿基米德數；non-Archimedean quantity)

CCR 模式將效率值定義為每個 DMU 的產出線性組合除以投入線性組合，每個 DMU 可任選其加權值(u_r 、 v_i 未知)使其效率值為最大(即投入愈少、產出愈多，愈有效率)，但選取的過程必須滿足一限制式，即評估之效率值不得超過 1。由於每個 DMU 均有機會進入目標函數中，故將產生 n 個線性規劃模式，而所有的限制條件均相同，因此 DEA 方法所得到的各 DMU 之效率值可互相比較，即所得到的的是相對效率。

上述原問題模式可求解出無窮多組解，換言之，若加權值(u^*, v^*)為最佳解，則在固定規模報酬的假設下， $(\alpha u^*, \alpha v^*) \forall \alpha > 0$ 亦為最佳解。為解決此問題，Charnes and Cooper 【13】令解(u, v)滿足式 2- 27。由於上述原問題模式為分數規劃模式，不易求解，故轉換成為線性規劃模式，如下所示：

目標式：

$$\text{Max } h_k = \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} \quad \text{式 2- 26}$$

限制式：

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1 \quad \text{式 2- 27}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad \text{式 2- 28}$$

$$u_r \geq \varepsilon \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \quad \text{式 2- 29}$$

$$v_i \geq \varepsilon \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad \text{式 2- 30}$$

另外，產出導向模式之建構方式是將投入導向之模式改以最小值為目標，並將所有投入項線性組合與產出項線性組合之比例形式改為倒數，最後再將限制式之投入項線性組合與產出項線性組合之比例值修正為大於等於 1 之形式；變數之限制條件則不變。由此可知，產出導向模式所求得之目標函數值將與投入導向模式所求得之目標函數值互為倒數。

然而，Banker *et al.* 【8】認為 CCR 模式屬於固定規模報酬，當投入量以等比例增加時，產出量亦會等比例增加。但是在一個無效率的決策單位，其無效率的原因可能來自於不同規模報酬之營運，導致生產過程中可能屬於規模報酬遞增或規模報酬遞減，因此擴充 CCR 模式範圍，更進一步考慮規模報酬可變動之情形，即為 BCC 模式。BCC 模式與 CCR 模式之差異在於目標式多了一個 u_0 項，相當於截距，允許生產函數不必通過原點，以便使受評的 DMU 在生產函數上可被觀察為有效的凸原點(convex)組合，用以

導出可衡量純技術效率與規模效率之關係，才可了解 DMU 欠缺效率的原因是純粹技術效率或是規模效率。其模式亦可分為投入導向與產出導向兩種，投入導向之原問題模式如下所示【8】：

假設有 n 個 DMU， m 個投入($i = 1, \dots, m$)， s 個產出($r = 1, \dots, s$)，則第 k 個 DMU 的相對效率值，可由下式算出：

目標式：

$$\text{Max } g_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \quad \text{式 2-31}$$

限制式：

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \geq 1 \quad \text{式 2-32}$$

$$u_r \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s \quad \text{式 2-33}$$

$$v_i \geq \varepsilon, i = 1, \dots, m \quad \text{式 2-34}$$

$$u_0 \text{ is unrestricted} \quad \text{式 2-35}$$

上述之模式將目標式與各限制式之分母(投入項之線性組合)加上 u_0 (式 2-31)，其餘線性條件則皆不變；其目的是在相同的投入水準下，比較各 DMU 的產出達成狀況。同時藉著 u_0 可得知生產前緣線段是屬於規模報酬遞增²(increasing returns to scale, IRS)、固定規模報酬³(constant returns to scale, CRS)亦或規模報酬遞減⁴(decreasing returns to scale, DRS)。

然而，除了上述 CCR 與 BCC 之基本模式外，後續有學者【43】【62】以此想法與精神，提出許多應用模式，如加法模式(additive model)、乘法模式(multiplicative model)、配置效率模式(allocation efficiency model)以及差額基礎模式(slack-based model, SBM)【45】等。

² 當 $u_0 < 0$ 時，則為規模報酬遞增。

³ 當 $u_0 = 0$ 時，則為固定規模報酬。

⁴ 當 $u_0 > 0$ 時，則為規模報酬遞減。

2.5.1. 資料包絡分析法之效率排序法

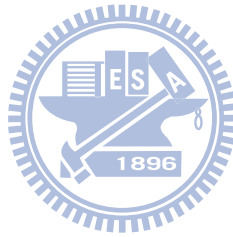
藉由資料包絡分析法之模式衡量每一 DMU 的多項績效值後，即可得出高效率 DMU 與一般效率 DMU，但無法明確指出那一 DMU 效率值為最佳。故需經由其他方式排序，其常用之效率排序方法可分為兩種。

1. 交叉效率(cross efficiency)

Sexton *et al.* 【41】所提出，用以區別真正有效率之 DMU，其衡量方法是以其他受評 DMU 所選擇之最佳加權值來評估自己的效率，再求出平均值，因此又稱為同儕評估。而 CCR 模式則採用對 DMU 本身最有利之加權值以計算其效率，則稱為自我評估。由於自我評估之效率值不列入計算，故當共有 m 個 DMU，則每一 DMU 皆有 $(m-1)$ 個同儕評估效率值，將其取算數平均值即為平均交叉效率(式 2-36)。

$$\begin{aligned}
 \max \quad E_{kk} &= \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ik}} \\
 s.t. \quad E_{kl} &= \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rl}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{il}} \leq 1 \\
 \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ik} &= 1 \\
 v_{ij}, u_{rj} &\geq 0 \quad \forall i, r, j=1, \dots, m \quad l \neq k
 \end{aligned}$$

式 2-36



2. 超高效(super efficiency)

大多數的 DEA 模式，均將高效率之 DMU 給予 1 之效率值。為了能將高效率之 DMU 加以排序，Andersen and Petersen 【4】設計一排序方法，將具高效率之 DMU 從效率邊界中剔除，以其他剩餘之 DMU 為基礎，形成新的效率邊界，並計算被剔除之 DMU 到新效率邊界的距離，由於被剔除之 DMU 不被新的效率邊界所包絡，故衡量出來之新效率值會大於 1，更易於排序，其線性規劃模式如式 2-37。

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \theta \\
 \theta X_{ik} &\geq \sum_{j \in J-k} \lambda_j X_{ij}, \quad i=1, \dots, m \\
 Y_{rk} &\leq \sum_{j \in J-k} \lambda_j Y_{rj}, \quad r=1, \dots, s \\
 \lambda_j &\geq 0, \quad j \in J-k
 \end{aligned}$$

式 2-37

2.5.2. 資料包絡分析法於產品組合中之應用

李氏【54】運用 DEA 分析在追求多指標下之最佳產品組合。其收集多個產品組合比例在模擬晶圓廠環境裡所產生的多項產出指標，並以資料包絡分析法依據之產品組合比例所產生的多項產出指標，在這些產品組合中，找出最好的產品組合比率。所考量的績效指標包含生產週期時間、在製品量、瓶頸機台在製品量、產出量、瓶頸利用率和邊際利潤。

Chung *et al.*【19】考量跨期需求變動和多項績效指標等因素，以產品族組合的觀點，運用資料包絡分析法之視窗分析（此方法用於多個受評單位於不同時期之績效），求出一最適產品族組合，以因應半導體廠之長期營運。此法雖能求算出產品族組合，但未能直接用於短期之產品別組合之接單決策上，係其未完備之處。

賴氏【59】提出利用資料包絡分析法之二階段產品組合訂定評估機制，作為公司之中長期生產規劃決策依據。此機制所提供之產品別區間組合表，可使決策者明瞭接單後所形成之產品組合對整體生產系統績效，以作為判斷接單與否之依據，並訂定出兼顧獲利能力且維持生產績效之平穩度的產品組合。

曾氏【73】以系統化分析遴選出最適生產之產品組合以供決策者參考。主要考量 TFT-LCD 產業之產品種類繁多複雜下，設計總體產能粗估模組，考量陣列及組立段之瓶頸工作站利用率下，進行篩選動作。再運用資料包絡分析法得出在績效指標衡量下之最適產品組合，其中績效指標為生產週期時間、支援次數、利潤與產出量。

2.5.3. 資料包絡分析法之優點與限制

資料包絡分析法克服了傳統效率衡量法的缺點，成為更加一般化的衡量模式。本計劃透過文獻將其優點彙整如下【12】【15】【62】：

1. 可同時處理多項投入與多項產出，且投入項與產出項指標之權重視由數學模式所決定，不需事先設定一組權數，可以排除主觀判斷的成分，較為公平。
2. 各項產出和各項投入可保留其原始單位進行效率評估，不需轉換成同一單位，不會面臨預設生產函數與參數估計的困難。
3. DEA所求解的效率值可視為一綜合性指標，可以用來表達經濟學上總要素生產力之概念。
4. 由DEA中之差額變數及效率值可瞭解組織資源使用狀況，並指出效率有待改進之單位，以達到全面效率。
5. 可同時處理比率資料及非比率資料。
6. 可處理組織外之環境變數。

然而，雖然DEA擁有許多優點，但是在使用上仍具備一些限制：

1. 受限於線性模型的假設：線性假設是DEA簡化分析之條件之一，而正值變數的前提是線性規劃求解的基本假設。
2. DMU個數應為所考慮之投入項與產出項個數和之兩倍或兩倍以上，否則將會嚴重影響研究的效度與信度。
3. 效率分析的正確與否，受限於投入項與產出項的選用與衡量：不能處理投入或產出項有零或負的值，且受資料極端值之影響。
4. DEA 的分析是相對性而非絕對性的，因此被認定為效率值為 1（亦即高效率）的單位，未必就是真正有效率的單位。另外，真正造成非效率之原因亦必須透過進一步的考察才能得知。

經由了解資料包絡分析法之特性相關優點與限制後，吾人考量其在使用上之優點，以及應選用之 DMU 的個數以及欲評估之績效數值等相關資訊，決定採用資料包絡分析法進行產品組合/等級比例遴選機制之決策。

第三章 模式建構

3.1. 問題描述與假設

TFT-LCD 製程由上而下分別為：薄膜電晶體陣列段、液晶面板組立段以及模組組裝段。其中薄膜電晶體陣列段為三段製程中途程時間最長者，當此段規劃不佳時，將影響到後續製程績效，故本文將著重於薄膜電晶體陣列段之主生產排程規劃。

3.1.1. 生產環境介紹

薄膜電晶體陣列段廠會依照面板尺寸之不同區分為 3 代至 7 代廠，由於近年來數位產品普及化，且產品偏向於輕薄短小，導致小型面版需求大增【1】。故本文所考量之薄膜電晶體陣列段廠為 3.5 代廠，以生產小型尺寸面板為主，其產品多樣化且生命週期短，為快速反應市場需求，生產型態為訂單式生產。

由於薄膜電晶體陣列廠所生產之玻璃基板在加工時尚未進行切割動作，面板體積龐大，需仰賴自動化運輸系統將本工作區完工之面板運至下一製程步驟。在此，本文承襲梁氏【58】之情境，採用單迴圈繞行軌道佈置之 Interbay 系統，且搬運車輛將平均散佈於運輸系統中，等速且均勻於軌道中單向繞行，其佈置圖如圖 3-1 所示。

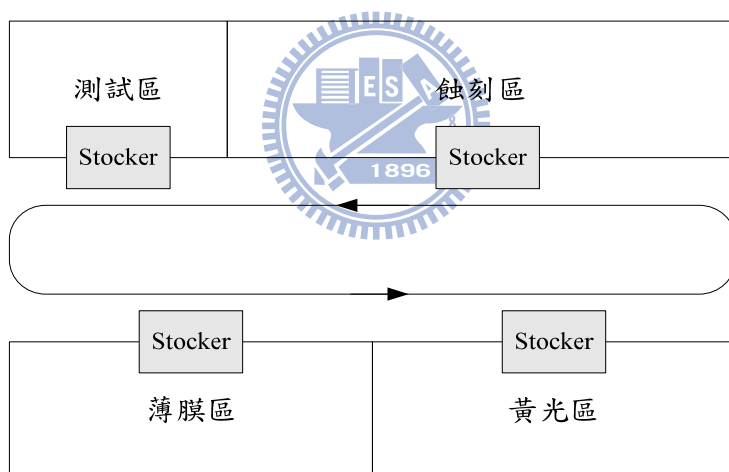


圖 3-1 薄膜電晶體陣列段設備佈置簡圖【71】

由圖 3-1 可知於薄膜電晶體陣列段之工廠有四個工作區，每一工作區有不同功能之工作站(如黃光區包含光阻劑塗佈、曝光與顯影工作站)，其中曝光工作站為薄膜電晶體陣列段之瓶頸工作站，該站之機台因製程規格能力差異，區分為不同機群，每一機群內之機台其製程規格能力皆同。而其他工作站並無機群之區分。

在生產系統方面，設施佈置採用零工式生產(job shop)，亦即相同或相似功能之機台放置於同一工作站。在工作站中，會依照機台製程規格能力區分為不同機群，由於面板體積龐大，故所有機台皆為序列機台。

工廠生產之產品可區分為一般工件批及實驗工件批，本文針對一般工件批進行生產規劃，其生產途程係由第一個製程步驟執行到最後一個步驟，亦即無跳站或僅執行部份製程步驟之情形；反之，實驗工程批則有上述情況發生。當一般工件批之產品依據生產途程加工完畢，會隨機抽樣至測試區檢測產品，故每種工單皆有不同比例進行抽樣檢測動作。

3.1.2. 問題定義與分析

在 3.1.1 節生產環境下，由於各種產品具備不同電路之線寬要求，造成產品對特定製程規格能力之需求，使得產品於黃光區之曝光工作台上進行加工時，僅能於符合製程規格之機台上進行生產動作，因而導致機台因製程規格差異造成產能負荷不均。再者，工廠為降低不良率而採用垂直鎖定機台之限制，亦即產品於關鍵層級(即第一、三、五層)加工時，需回到第一層關鍵層所加工之機台上進行加工。於上述兩項限制情況下，若未規劃良好之生產排程，易造成多種產品需由同一機台進行加工，使得機台間利用率差異加大，系統中存在過多在製品等候加工而延長生產週期，使得整體生產績效不佳。因此，在生產排程規劃時，需妥善配置產能，才能達成負荷平準化之目的。

當系統存在雙等級工單時，派工法則改為依等級優序進行派工，在相同等級別下才使用先進先出法。值得注意的是，若所有高等級工單皆指派至同一機台加工，於遇同等級工件時，採用先進先出之派工法則，此時，高等級工單將無法因等級差異而縮減生產週期，喪失訂定等級之意義。因此，產能指派時，除了注意機台間負荷平準化外，亦需考量每一機台生產之產品等級比例，使得高等級工單之生產週期時間得以縮短，且一般等級工單之生產週期時間不致延長過多。

有鑑於生產績效受主生產排程之投料時點與產能指派規劃之影響，在系統存在製程規格能力與等級工單限制下，本文先估算各項生產績效指標值，再規劃一主生產排程，使產出績效符合所估算之生產績效指標，並使規劃之時程更加精確。

另外，當產品組合比例設定不當時，如某一製程規格能力之產品比例較高，易使具備此能力之機台產能負荷過重，此等機台前將堆積過多在製品等候加工。反觀其他機台則因閒置而浪費產能。此種機台間利用率差異擴大，拉長部分產品之生產週期時間，將造成生產績效不佳；另外，產品等級比例設定不當時，如高等級工單比例過高，除拉長高等級工單之生產週期時間外，亦使一般等級工單之生產週期時間過度延長，影響達交之績效。

綜合上述問題，本文之另一研究目的即為設計一模組以找出適合系統之產品組合比例與產品等級比例(產品組合/等級比例)。當產出目標及產品組合/等級比例出現總產出量

變更或比例之調整時，生產之相關系統績效指標也有所差異，因此吾人將採用資料包絡分析法以分析在各種生產績效指標下之最適產品組合/等級比例，從中拿捏數量與比例以兼顧各項生產績效指標之水準。

為降低研究之複雜度，本文考量下列之基本假設：

1. 所規劃之薄膜電晶體陣列廠為 3.5 代廠，以存貨式生產系統為主。
2. 運輸系統採用 Interbay 系統，該系統上之搬運車數量及運行速度皆已知且足夠使用。
3. 於曝光工作站中，所有機台之製程規格能力已知，且相同製程規格之機台為同一機群。
4. 所有機台製程並無偏移情形。
5. 不考慮機台設置時間(setup time)。
6. 每一產品之製程規格能力已知，且其關鍵層對應之製程規格皆相同。
7. 產品將分為緊急及一般等級。
8. 除了等級別差異外，各等級產品中有 5% 為檢測產品(屬性別不同)。
9. 檢測產品之生產途程須經檢測工作站。
10. 經過檢測工作站之產品因機台製程無偏移情形而無重加工之必要。
11. 等待加工之產品並無等候時間(queueing time)限制。
12. 工作站及機台前之暫存區並無容量限制(infinite queue)，產品不會被阻擋(balking)無法加工。
13. 所有產出產品皆為良品。

3.2. 整體邏輯與架構

由於本文之生產情境較為複雜，且因應不同層面之需求，故採用「階層式」架構模式，分別建構主生產排程與最適生產產品組合/等級規劃之模組。

工廠為確保產能足以應付生產目標，在得知該目標後先進行產能粗估，於確認產能足以負荷後進行生產規劃。由 TOC 觀點得知系統產出速度取決於瓶頸工作站，因此在進行產能評估時，無需逐一評估該系統內眾多工作站及機台之產能負荷。因此，本文於第一階段「主生產排程設計」，將針對瓶頸工作站—黃光區曝光工作站，考量該站生產不同製程規格之產品時產能是否足夠負荷後，在機台間利用率差異最小化下，規劃各等級產品指派於符合製程規格之機台進行加工。當確認工作站之產能足以負荷且將產品配置於符合製程規格之機台後，即可確定系統能否達成預定之生產目標。

將各產出目標指派至符合製程規格之機台後，為求工廠現場能如期產出產品組合/等級之預定數量，需制定投料規劃。然而僅知生產目標，而無其他生產績效指標相佐，則難以制定良好之投料順序與時點。若投料間隔過短將造成系統在製品過多；而投料間隔時間過長將導致機台產能利用率過低等情形。故吾人設計「生產績效估算模組」，估算系統生產績效指標，包含生產週期時間、瓶頸工作站每日作業數與系統在製品量，便可規劃投料機制，完成主生產排程設計。

為確定主生產排程之可行性，須進行模擬驗證，以確保按照投料規劃生產時，可達到預期之產出目標且生產績效與估算值相近。若模擬結果之生產績效指標與預估差異甚距，則重回投料規劃階段重新評估，直到模擬與估算之生產績效指標相符合時，才確保此階段之主生產排程規劃完成。其架構圖如圖 3-2 所示。

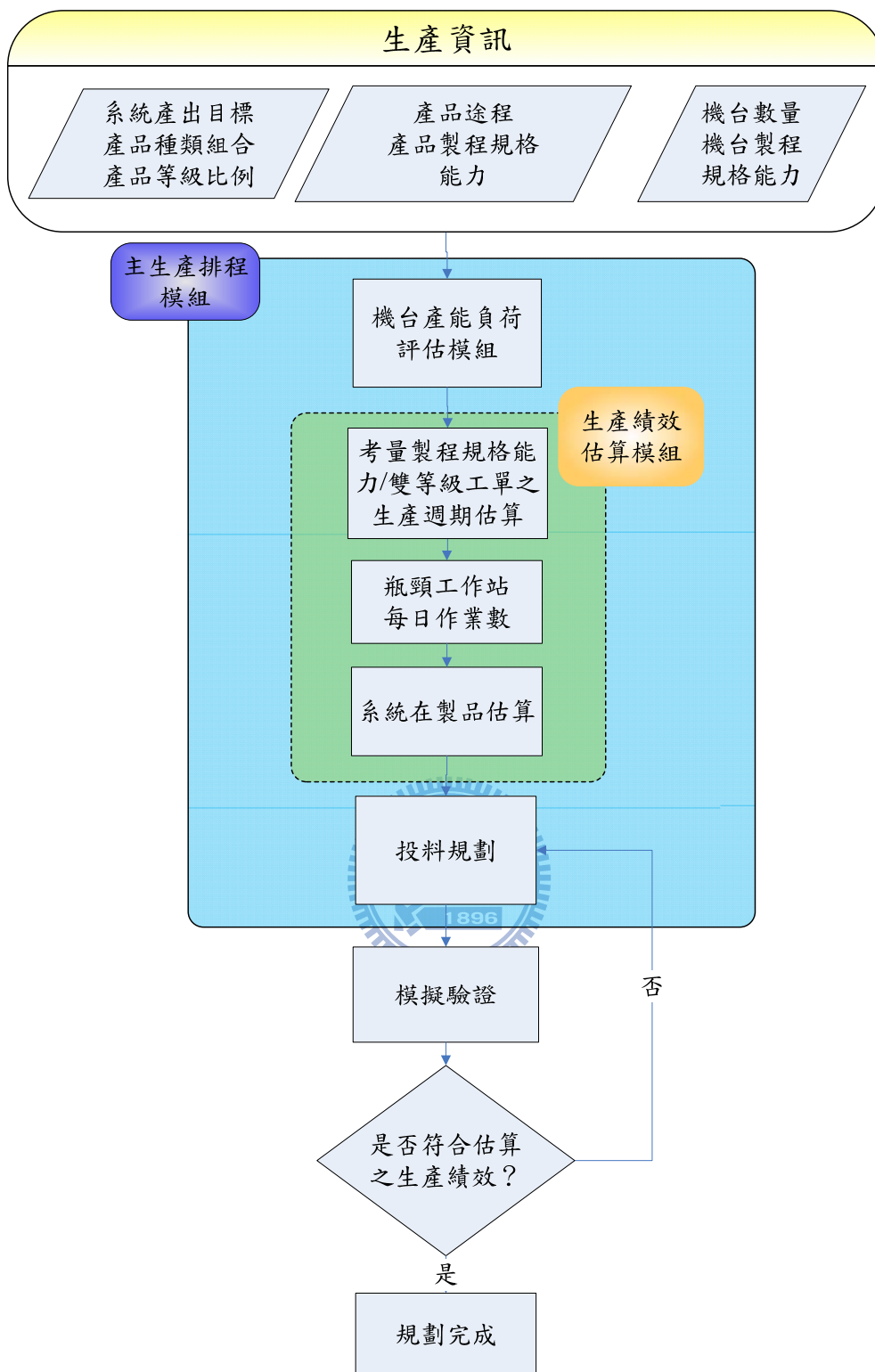


圖 3-2 主生產排程設計之邏輯架構圖

當產品組合/等級比例更動時，主生產排程的生產績效值也隨之變更。在系統之機台數、製程規格能力已配置之情境下，如何找出最適合系統情境之產品組合/等級比例，是本階段之工作。第二階段的「最適產品組合/等級比例規劃」階段之探討重點是如何訂定產出目標。

首先決定可行方案，於列出所有產品組合/等級比例之方案後，將各方案套入第一階段主生產排程，以得知每一方案耗用瓶頸工作站產能時，是否造成產能閒置亦或不足之情形，並將具此等情形之方案剔除，留下可行之組合/比例，則所保留之組合/比例皆為可行方案。

當確定可行方案後，即評估何種方案之生產績效是否最佳，但績效指標值眾多且單位不一，此時將使用資料包絡分析法評估生產績效，得出具高效率之產品組合/等級比例，再加以排序得最適產品組合/等級比例，以作為工廠規劃系統產出目標之考量。其該階段之架構圖如圖 3-3 所示。

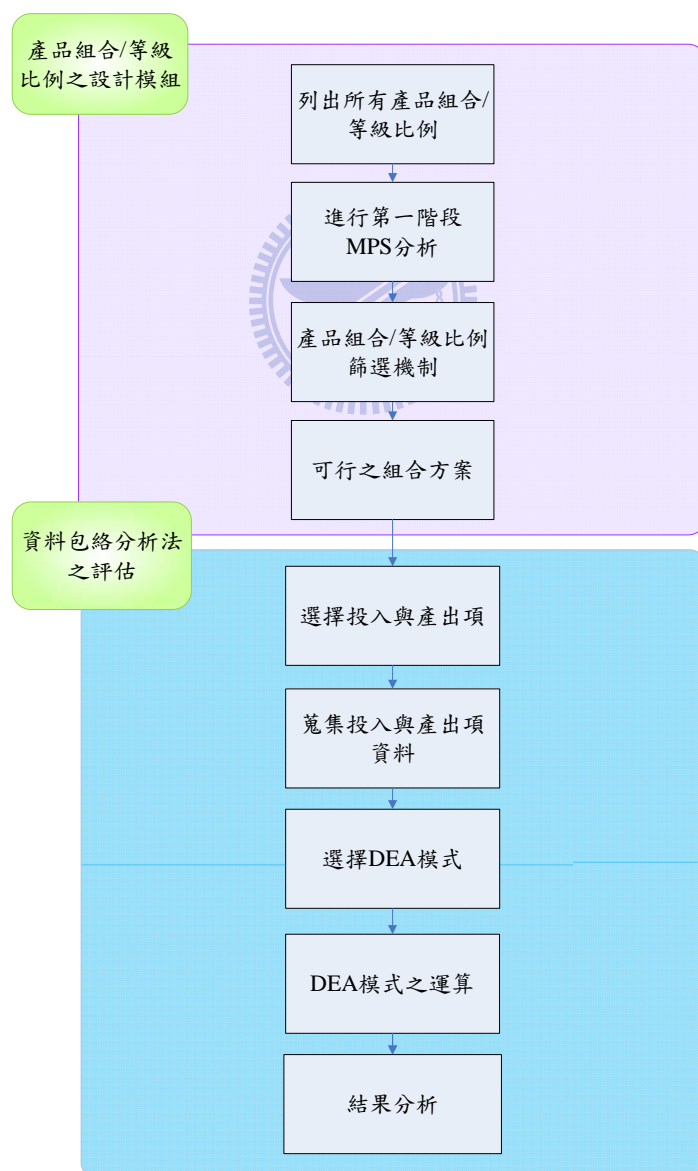


圖 3-3 最適產品組合/等級比例規劃之邏輯架構

3.3. 主生產排程設計

為確保主生產排程規劃達到預期生產目標，本文在 3.3.1 節之「主生產排程模組」中，將評估機台產能負荷是否足夠，並將產出目標分派至符合該製程規格之機台，規劃投料機制，使系統運作順暢且產品得以準時達交。為切確求出投料時點，須仰賴生產績效指標以預知產品在系統中所需逗留時間。因此，3.3.1.2 節「生產績效估算模組」，考量產品製程規格以及雙等級工單情境下，估算生產週期時間，並推算系統在製品數量及系統計劃每日作業數，將估算之生產績效指標值做為「主生產排程模組」投料規劃欲達成之目標。並於 3.3.2 節進行模擬驗證，以確保規劃之生產績效指標與模擬結果相符合，如此主生產排程才得以規劃完成。

3.3.1. 主生產排程模組

3.3.1.1. 機台產能負荷評估模組

本節針對系統瓶頸工作站—黃光區曝光工作站，評估產能是否足夠，且考量機台間產能負荷變異最小化下，指派各等級產品至符合製程之機台上進行加工，以降低產品生產週期時間變異。

李氏【55】考量產出目標以及產品組合比例，將晶圓廠黃光區機台依製程規格差異分為不同機群，並分為二階段評估工作站產能負荷是否足夠。第一階段以產出目標套入線性規劃模式求解各機群產能負荷分配，以使機群間產能利用率差異最小化。為落實第一階段機群產能配置之結果，且降低使用之光罩總數量，第二階段依據第一階段所得之每一機群產能負荷，使用混合整數規劃分派給各個機台，以求得機群內之機台產能負荷差異最小化。

李氏評估產能利用率差異最小化時，僅考量系統存在單一工單等級之情境。本文延伸為雙等級工單以彌補不足之處，並於第二階段多加考量每一機台加工之工單等級，使每一機台所處理之工單等級組合比例接近，以便相同等級產品之生產週期時間趨近一致化。

因此，本節之流程圖如圖 3-4 所示。先估算瓶頸工作站之可用產能及產出目標於該工作站需耗用之產能，再求得該站之產能利用率。將其資訊套用至李氏【55】第一階段「機群產能負荷模式」，求得在機群利用率差異最小化下之機群產能配置結果，並修正李氏之第二階段模組「機台產能負荷模式」，考量雙等級工單之情境下，分派機群產能至各機台，進而估算產品於各機台之到達率以及平均服務時間，以便進行之後主生產排程規劃流程，其估算所需使用符號及步驟如下：

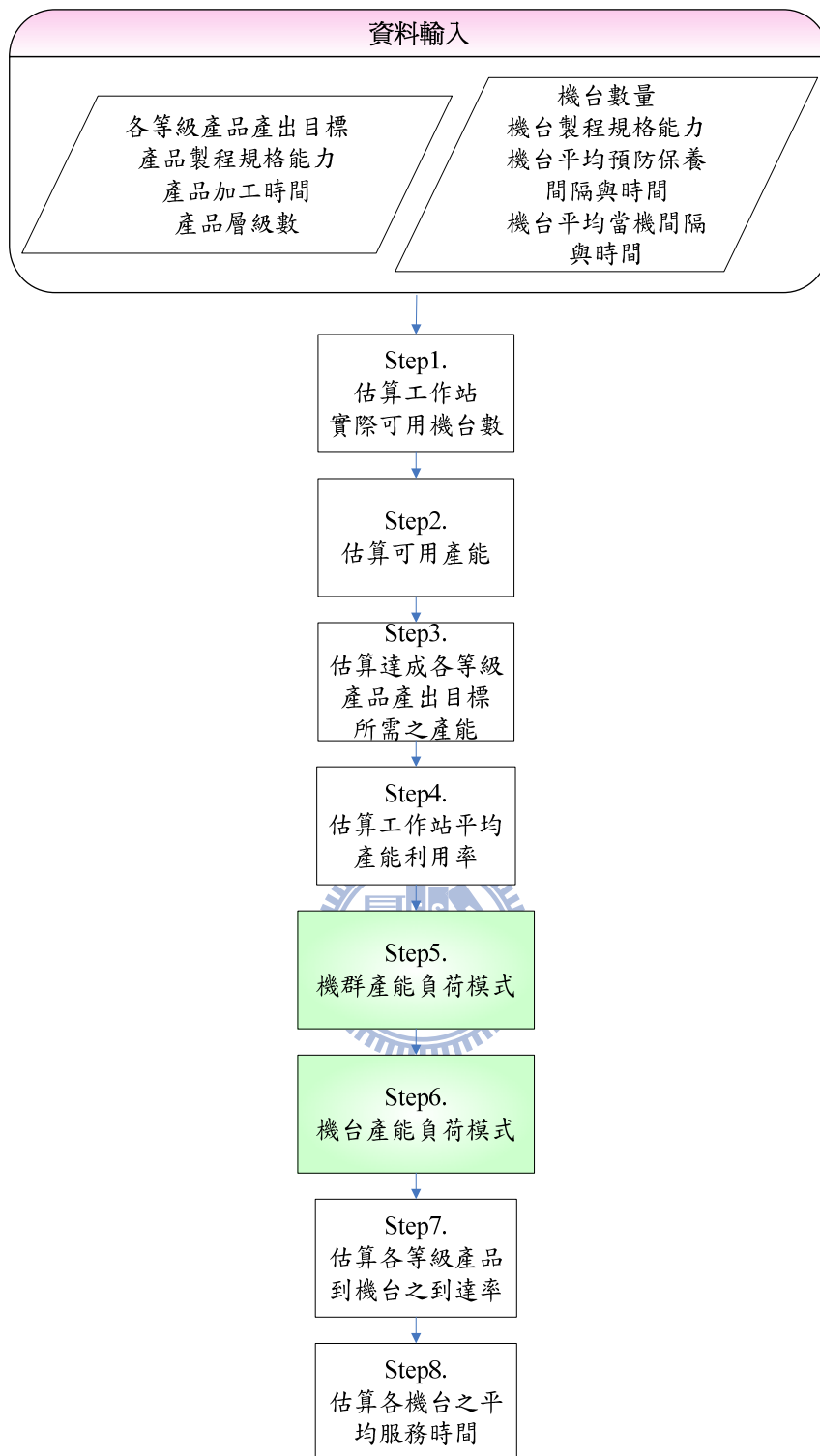


圖 3-4 機台產能配置及負荷評估流程圖

符號說明：

下標符號

d : 製程規格能力編號($d=1, \dots, D$)

j : 產品別($j=1, \dots, J$)

l : 層級別($l=1, \dots, L_j$)

pri : 工件等級，當 $pri=1$ 為緊急工件， $pri=2$ 為一般工件

- r : 屬性別, 當 $r=1$ 為不經過檢測產品; $r=2$ 為需過檢測產品
- x : 工作區 ($x=1(\text{film area}), 2(\text{photo area}), 3(\text{etch area}), 4(\text{test area})$)
- w : 工作站 ($w=1, \dots, W_x$)
- k : 機群 ($k=1, \dots, K_w$, K_w 為工作站 w 總機群數)
- m : 在工作站 w 的第 m 台機台 ($m=1, \dots, M_k$, M_k 為機群 k 總機台數)

參數符號

- $a_{k,d}$: 表示機群 k 能夠處理製程規格能力 d 則 $a_{k,d}=1$; 否則 $a_{k,d}=0$
- ac_k : 黃光區曝光工作站機群 k 之實際可用產能
- al : 黃光區曝光工作站之平均產能利用率
- $acap$: 黃光區曝光工作站針對產出目標所需耗用之產能
- c_k : 黃光區曝光工作站之機群 k 實際可用機台數
- $cr_{j,d}$: 產品 j 的關鍵層為製程規格能力 d , 則 $cr_{j,d}=1$; 否則 $cr_{j,d}=0$
- $dcap$: 黃光區曝光工作站在規劃幅度內之可用產能
- $dc_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 之產品 j 產出目標
- jc_j : 產品 j 所具有的關鍵層層級數
- $mttr_{k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均當機時間(mean time to repair)
- $mtbf_{k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均當機間隔時間(mean time between failure)
- $mtt_{k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均預防保養時間(mean time to PM)
- $mtb_{k,m}$: 機群 k 機台 m 之平均預防保養間隔時間(mean time between PM)
- $p_{j,d}$: 黃光區曝光工作站內產品 j 製程規格能力 d 之平均加工時間
- $pt_{j,l}$: 產品 j 於黃光區曝光工作站在層級 l 之所需加工時間
- $pnc_{j,d}^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 所具有非關鍵層且製程規格力 d 之層級數
- T : 規劃長度

決策變數符號

- $NCL_{j,d,k}^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 製程規格能力 d 之非關鍵層分配給機群 k 之層級數
- $CL_{j,d,k}^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 且製程規格能力 d 之關鍵層分配給機群 k 的個數
- u_k^+ : 黃光區曝光工作站之機群 k 利用率與該工作站平均利用率之正差異
- u_k^- : 黃光區曝光工作站之機群 k 利用率與該工作站平均利用率之負差異

Step 1.計算實際可用機台數

扣除各機台之當機時間、預防保養時間，得工作站 w 機群 k 實際可用機台數。

$$c_k = \sum_{m=1}^{M_k} \left(1 - \frac{mttr_{k,m}}{mtbf_{k,m} + mttr_{k,m}} - \frac{mttpr_{k,m}}{mtbpm_{k,m} + mttpr_{k,m}} \right) \quad \forall k \quad \text{式 3-1}$$

Step 2.計算工作站之可用產能

依據實際可用機台數與規劃時間即得知工作站可用產能。

$$dcap = \sum_k c_k \times T \quad \text{式 3-2}$$

Step3.計算工作站所需耗用產能

將各屬性別等級產品之產出目標乘於該產品於各層級所需加工時間，即為工作站所需耗用產能。

$$acap = \sum_j \sum_{pri} \sum_r \sum_l dc_j^{pri,r} \times pt_{j,l} \quad \text{式 3-3}$$

Step4.估算工作站產能利用率

將上述步驟所求得之可用產能與耗用產能相除即為產能利用率。

$$al = \frac{acap}{dcap} \quad \text{式 3-4}$$

估算曝光工作站之平均產能利用率後，加上由生產資訊得知的產出目標、產品組合/等級比例、產品製程規格能力、機群產能及其製程規格等資訊，輸入至 step5.「機群產能負荷分配模式」，考量機群間利用率差異最小化下，產品關鍵層與非關鍵層產能分派至符合其製程規格之機群，其模式如下，並於模式後詳加敘述各限制式之涵意。

Step5.機群產能負荷分配模式【55】

目標函數

$$\text{Minimize} \quad \sum_k (u_k^+ + u_k^-) \quad \text{式 3-5}$$

限制式

$$\sum_{pri} \sum_r \sum_d \sum_k (NCL_{j,d,k}^{pri,r} a_{k,d}) = \sum_{pri} \sum_r \left(dc_j^{pri,r} \times \sum_d pncl_{j,d}^{pri,r} \right) \quad \forall j \quad \text{式 3-6}$$

$$\sum_{pri} \sum_r \sum_d \sum_k (CL_{j,k}^{pri,r} jc_j cr_{j,d} a_{k,d}) = \sum_{pri} \sum_r dc_j^{pri,r} jc_j \quad \forall j \quad \text{式 3-7}$$

$$u_k^+ - u_k^- = \frac{\sum_j \left(\sum_d NCL_{j,d,k}^{pri,r} p_{j,d} a_{k,d} + \sum_d CL_{j,d,k}^{pri,r} jc_j p_{j,d} cr_{j,d} a_{k,d} \right)}{ac_k} - al \quad \forall k \quad \text{式 3-8}$$

$$CL_{j,d,k}^{pri,r} \geq 0 \quad \forall j, pri, r, d, k \quad \text{式 3-9}$$

$$NCL_{j,d,k}^{pri,r} \geq 0 \quad \forall pri, r, j, d, k \quad \text{式 3-10}$$

$$u_k^+, u_k^- \geq 0 \quad \forall k \quad \text{式 3-11}$$

模式說明

目標函數【55】

$$\text{Minimize} \quad \sum_k (u_k^+ + u_k^-) \quad \text{式 3-5}$$

目標函數之設計在於各機群於規劃週期內之產能利用率差異最小化。以避免工作站內各機群利用率差異過大，導致產品於通過該工作站加工後，生產週期時間變異拉距之情形。

限制式

$$\sum_{pri} \sum_r \sum_d \sum_k (NCL_{j,d,k}^{pri,r} a_{k,d}) = \sum_{pri} \sum_r \left(dc_j^{pri,r} \times \sum_d pncl_{j,d}^{pri,r} \right) \quad \forall j \quad \text{式 3-6}$$

式 3-6 表示任一產品 j 之非關鍵層層級數均能分配至符合其製程規格之機群上進行加工(左式)，且該加工總數等於規劃期間該產品需求之非關鍵層總層級數(右式)。

$$\sum_{pri} \sum_r \sum_d \sum_k (CL_{j,k}^{pri,r} jc_j cr_{j,d} a_{k,d}) = \sum_{pri} \sum_r dc_j^{pri,r} jc_j \quad \forall j \quad \text{式 3-7}$$

式 3-7 表示任一產品 j 之關鍵層層級數均能分配至符合其製程規格之機群上進行加工(左式)，且該加工總數等於規劃期間該產品需求之關鍵層總層級數(右式)。

$$u_k^+ - u_k^- = \frac{\sum_j \left(\sum_d NCL_{j,d,k}^{pri,r} p_{j,d} a_{k,d} + \sum_d CL_{j,d,k}^{pri,r} jc_j p_{j,d} cr_{j,d} a_{k,d} \right)}{ac_k} - al \quad \forall k \quad \text{式 3-8}$$

式 3-8 表示各機群與工作站之利用率差異。由於製程規格能力差異，故此處機群利用率有可能大於或小於工作站利用率之情形發生。

$$CL_{j,d,k}^{pri,r} \geq 0 \quad \forall j, pri, r, d, k \quad \text{式 3-9}$$

$$NCL_{j,d,k}^{pri,r} \geq 0 \quad \forall pri, r, j, d, k \quad \text{式 3-10}$$

$$u_k^+, u_k^- \geq 0 \quad \forall k \quad \text{式 3-11}$$

式 3-9 至式 3-11 為變數之值域限制。

Step6.機台產能負荷分配模式

此模式將上一步驟「機群產能負荷分配模式」配置結果之產能，分派至各製程規格機群內之所擁有機台。為避免各機台之高等級產品比例過高，導致一般等級產品等候時間拉長，影響達交率。故考量分派至同一機台之產品等級比例，確保高等級產品比例不至過高。此外，亦考量光罩之總數，以降低各產品之製程規格光罩數量。

考量上述限制後，可求算出每一機台所分派之符合製程規格的各等級產品數量，進而估算機台之產品到達率，以及機台每層級之平均服務時間，以利後續產品生產週期時間估算，其模式及其符號如下所示。

符號說明：

參數符號

$ac_{k,m}$ ：黃光區曝光工作站機群 k 機台 m 之實際可用產能

al ：黃光區曝光工作站之平均產能利用率

$aar_{j,k,m}^{pri,r}$ ：等級 pri 屬性 r 產品 j 於機群 k 內機台 m 之平均到達率

$NCL_{j,d,k}^{pri,r}$ ：機群產能負荷分配模式中等級 pri 屬性 r 產品 j 製程規格 d 分配至機群 k 之層級數。(此為機群產能負荷分配模式結果)

$p_{j,d}$ ：黃光區曝光工作站內產品 j 製程規格能力 d 之平均加工時間

$st_{k,m}$ ：機群 k 內機台 m 之層級平均服務時間

Q ：表示極大的數

變數符號

$MN_{j,d,k,m}$ ：產品 j 製程規格 d 之光罩放置於機台 m 上，則 $MN_{j,d,k,m}=1$ ；否則 $MN_{j,d,k,m}=0$

$PLN_{j,d,k,m}^{pri,r}$ ：等級 pri 屬性 r 產品 j 製程規格 d 指派於機群 k 機台 m 之層級數

$UM_{j,d}$ ：產品 j 製程規格 d 之可用光罩數量

$u_{k,m}^+$ ：機台 m 與黃光區曝光工作站 w 平均利用率之正差異

$u_{k,m}^-$ ：機台 m 與黃光區曝光工作站 w 平均利用率之負差異

目標函數

$$\text{Minimize } \sum_m (u_{k,m}^+ + u_{k,m}^-) \quad \text{式 3- 12}$$

限制式：

$$NCL_{j,d,k} = \sum_{m=1}^{M_k} \sum_r \sum_{pri} PLN_{j,d,k,m}^{pri,r} \quad \forall j,d,k \quad \text{式 3- 13}$$

$$\sum_r \sum_{pri} PLN_{j,d,k,m}^{pri,r} \leq Q \times MN_{j,d,k,m} \quad \forall j,d,k,m \quad \text{式 3- 14}$$

$$\sum_k \sum_m MN_{j,d,k,m} \leq UM_{j,d} \quad \forall j,d \quad \text{式 3- 15}$$

$$u_{k,m}^+ - u_{k,m}^- = \sum_j \sum_r \sum_d \left(\sum_{pri} PLN_{j,d,k,m}^{pri,r} \times p_{j,d} / ac_{k,m} \right) - al \quad \forall k, m \quad \text{式 3- 16}$$

$$\frac{\sum_d \sum_r PLN_{j,d,k,m}^{1,r}}{\sum_d \sum_r \sum_{pri} PLN_{j,d,k,m}^{pri,r}} \leq 0.2 \quad \forall j, k, m \quad \text{式 3- 17}$$

$$PNL_{j,d,k,m}^{pri,r} \geq 0 \quad \forall k, m, j, d, pri, r \quad \text{式 3- 18}$$

$$UM_{j,d} \geq 0 \quad \forall j, d \quad \text{式 3- 19}$$

$$u_{k,m}^+, u_{k,m}^- \geq 0 \quad \forall k, m \quad \text{式 3- 20}$$

$$MN_{j,d,k,m} \in \{0, 1\} \quad \forall j, d, k, m \quad \text{式 3- 21}$$

模式說明

目標函數【55】

$$\text{Minimize} \quad \sum_m (u_{k,m}^+ + u_{k,m}^-)$$

設計之涵意為使機台與工作站利用率差異最小化，以避免產品於機台進行加工後造成生產週期時間拉距加大。

限制式

$$NCL_{j,d,k} = \sum_{m=1}^{M_k} \sum_r \sum_{pri} PLN_{j,d,k,m}^{pri,r} \quad \forall j, d, k \quad \text{式 3- 13}$$



式 3- 13 表示分配至該機群內所有機台加工之總量(左式)等於機群產能負荷分配模式中分配至該機群之數量(右式)。為求算各產品生產週期時間之便利性，故將各產品之等級別及屬性別納入考量，以便得知每一機台各屬性及其等級產品之分派結果。

$$\sum_r \sum_{pri} PLN_{j,d,k,m}^{pri,r} \leq Q \times MN_{j,d,k,m} \quad \forall j, d, k, m \quad \text{式 3- 14}$$

式 3- 14 為考量製程規格之光罩數量僅能分配至符合其產品製程規格之光罩上，方能進行加工。

$$\sum_k \sum_m MN_{j,d,k,m} \leq UM_{j,d} \quad \forall j, d \quad \text{式 3- 15}$$

式 3- 15 表示使用之光罩數量須小於各產品各層級所供應之光罩數量。

$$u_{k,m}^+ - u_{k,m}^- = \sum_j \sum_r \sum_d \left(\sum_{pri} PLN_{j,d,k,m}^{pri,r} \times p_{j,d} / ac_{k,m} \right) - al \quad \forall k, m \quad \text{式 3- 16}$$

式 3- 16 為機台利用率有可能大於或小於工作站之平均產能利用率。

$$\frac{\sum_j \sum_d \sum_r PLN_{j,d,k,m}^{1,r}}{\sum_j \sum_d \sum_r \sum_{pri} PLN_{j,d,k,m}^{pri,r}} \leq 0.2 \quad \forall k, m \quad \text{式 3-17}$$

Fronckowiak et al.【25】提出高等級工單比例高於 20%時，將導致產品生產週期急遽攀升，故本模組設定每一機台所生產之高等級工單比例需小於或等於 20%。由於產能配置至各機台時，各產品有其各自之等級別及屬性別，故將各種屬性別產品之高等級加工層級數加總，再除以同一機台上進行加工之總產能，以確保加工比例不影響生產週期時間變異。

$$PNL_{j,d,k,m}^{pri,r} \geq 0 \quad \forall k, m, j, d, pri, r \quad \text{式 3-18}$$

$$UM_{j,d} \geq 0 \quad \forall j, d \quad \text{式 3-19}$$

$$u_{k,m}^+, u_{k,m}^- \geq 0 \quad \forall k, m \quad \text{式 3-20}$$

$$MN_{j,d,k,m} \in \{0, 1\} \quad \forall j, d, k, m \quad \text{式 3-21}$$

式 3-18 至式 3-21 為變數之值域限制。

於「機台產能負荷模式分配」所得結果，可得黃光區曝光工作站各機台所分派之各製程規格的待加工層級數，利用此結果，吾人可推估各機台平均服務時間，以及產品平均到達率，以便於生產週期時間估算時套用。

Step7. 估算屬性 r 等級 pri 產品於機群 k 內機台 m 之平均到達率

彙整機台產能負荷分配模式結果，得知所有產品之製程規格於機台 (k, m)

加工所需產能數量後，分別估算屬性 r 等級 pri 產品於各機台之每一單位時間的到臨工件數。

$$aar_{k,m}^{pri,r} = \frac{\sum_j \sum_d PNL_{j,d,k,m}^{pri,r}}{T} \quad \forall k, m, pri, r \quad \text{式 3-22}$$

Step8. 估算各機台之平均服務時間

依照機台產能負荷分配模式結果(屬性 r 等級 pri 產品 j 分配至機台 (k, m) 之層級數)，乘於每層級平均加工時間，除於配置量(該機台之總加工層級數)，為機台 m 加工每一工件，其層級平均加工時間，即為機台 m 平均服務時間。

$$st_{k,m} = \frac{\sum_j \sum_{pri} \sum_r \sum_d PNL_{j,d,k,m}^{pri,r} \times p_{j,d}}{\sum_j \sum_{pri} \sum_r \sum_d PNL_{j,d,k,m}^{pri,r}} \quad \forall k, m \quad \text{式 3-23}$$

3.3.1.2. 生產績效估算模組

生產績效指標可反應工廠生產系統之成效。為維持所期望之生產系統，以協助生產人員規劃工廠運作模式，本節於機台產能負荷評估後，針對生產週期時間、在製品數量與每日作業數等具代表性之生產績效指標進行估算，以協助推算投料順序與時點。

3.3.1.2.1. 生產週期時間估算

本小節將建構一模組，針對薄膜電晶體陣列廠之產品，由投入至產出所需之生產週期時間進行估算。採用 Chung and Huang 【16】之物流觀念，考量生產系統特性，將影響生產週期時間之因子分為二部份探討(如圖 3-5)：

1. 源於搬運因子：即產品於生產系統中需藉由搬運系統運送至各工作區之所需時間。其中包含產品於各工作區之等候時間及理論搬運時間。此處將沿用郭氏【61】之模式估算產品所需搬運時間。
2. 源於負荷因子：即因機台負荷水準而造成之等候。因機台製程規格能力不同及垂直鎖定機台之限制，各機台之產能利用率難以一致，將導致各產品因加工之機台不同而有所不同之負荷因子等候時間。而工單等級造成加工優序之更動所引發之等候時間，亦與負荷水準相關。本文將針對此二項加以探討。

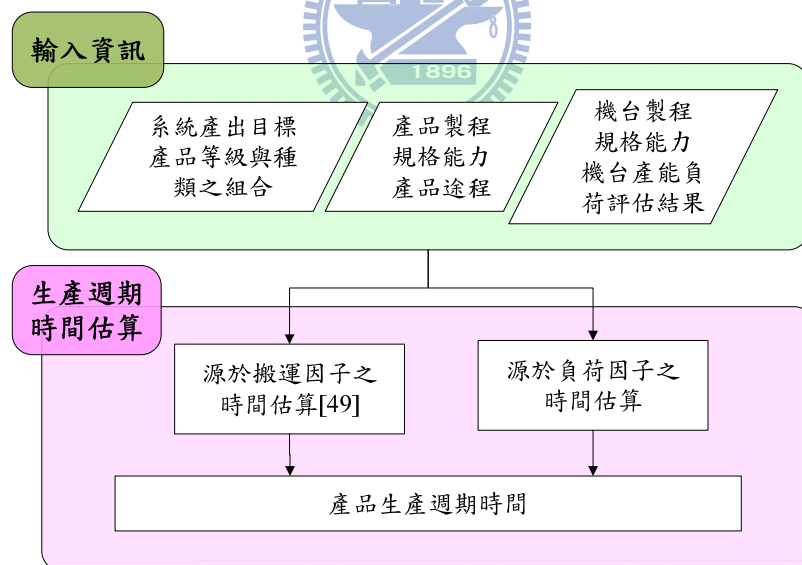


圖 3-5 生產週期時間流程圖

3.3.1.2.1.1. 源於負荷因子之等候時間估算

由於製程規格能力、垂直鎖定機台限制與工單等級之設定因素，易造成瓶頸工作站前堆積龐大在製品數量，進而延長工件之等候時間。對 TFT-Array 工廠而言，雖然各產品種類之製程順序差異不大，但對各工作站而言，則會因每一產品造成回流次數不同，使得各工作站之到達率不同。

如圖 3- 6 所示，A 產品之屬性為檢測產品，故在黃光區之工作站(光阻劑塗佈、曝光、顯影工作站)加工完畢後，需於檢測工作站檢測，再至蝕刻區之工作站執行後續加工程序(蝕刻區→薄膜區→黃光區)；另外，B 產品為另一屬性產品，其製程無須經由黃光區檢測工作站，故僅於蝕刻區、薄膜區與黃光區回流加工。當兩者達到所需回流層級後，經由測試區之工作站，測試產品是否為良品，即加工完成。

因此，本文先針對瓶頸工作站估算與負荷因子相關之等候時間；再依照產品物流順序，觀察瓶頸工作站之產出對非瓶頸工作站之到達率影響，採用 Jackson Network 【28】理論，估算非瓶頸工作站估算與負荷因子相關之等候時間(如圖 3- 7)。

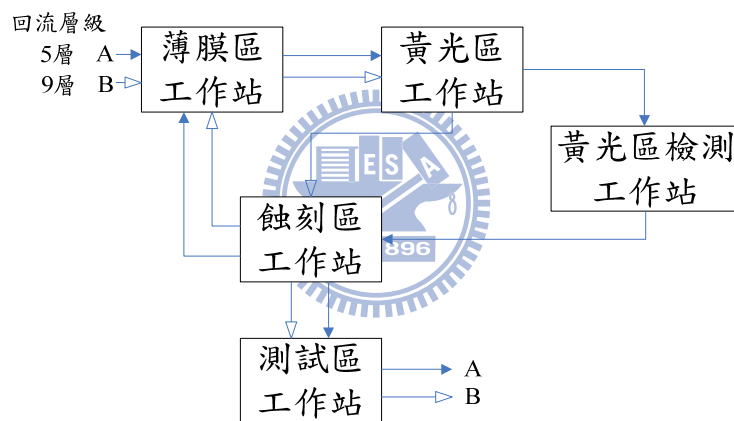


圖 3- 6 產品途程示意圖

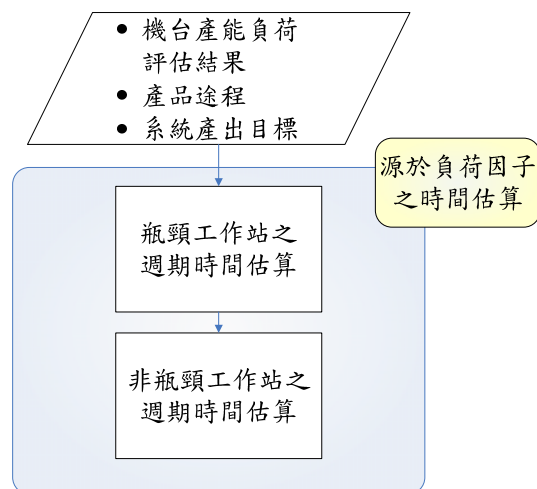


圖 3- 7 源於負荷因子之時間估算流程

❖ 瓶頸工作站(黃光區曝光工作站)之等候時間估算

由 3.3.1.1 節運算結果得知瓶頸工作站之每一機台因製程規格能力與垂直鎖定機台限制緣故，機台間負荷率不等；若以工作站平均負荷率代入等候模式，以估算負荷因子之等候時間，易造成估算誤差增大。因此，本文視各機台為單一系統，依照 3.3.1.1 節各機台之每層級平均服務時間以及各種屬性等級之產品於每一機台到達率，分別求得各機台服務率及不同等級產品之到達率；並且將服務率以及到達率套入「單一機台之非逐位性等候模式」中，求得各機台上每一等級產品之等候時間。其估算步驟如圖 3-8 所示。

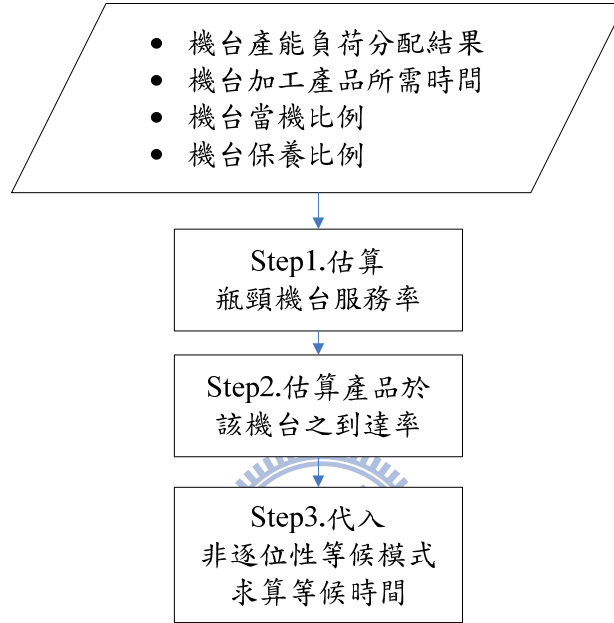


圖 3-8 產品於瓶頸工作站之等候時間估算流程

符號說明

$aar_{j,k,m}^{pri,r}$ ：屬性 r 等級 pri 產品 j 於機群 k 內機台 m 之平均到達率

$E(BST_{k,m})$ ：機群 k 機台 m 之期望服務時間

$mttr_{k,m}$ ：機群 k 機台 m 之平均當機時間(mean time to repair)

$mtbf_{k,m}$ ：機群 k 機台 m 之平均當機間隔時間(mean time between failure)

$mttpm_{k,m}$ ：機群 k 機台 m 之平均預防保養時間(mean time to PM)

$mtbpm_{k,m}$ ：機群 k 機台 m 之平均預防保養間隔時間(mean time between PM)

$nar_{k,m}^{pri}$ ：等級 pri 產品於機群 k 內機台 m 之平均到達率

$W_{k,m}^{pri}$ ：等級 pri 於機台 m 之穩態等候時間(含服務時間)

$W_{k,m}^{pri,q}$ ：等級 pri 於機台 m 之等候線上期望等候時間(不含服務時間)

$st_{k,m}$ ：黃光區曝光工作站機台 m 之平均服務時間

$\lambda_{k,m}$ ：黃光區曝光工作站機台 m 之平均到達率

$\mu_{k,m}$ ：黃光區曝光工作站機群 k 機台 m 之平均服務率

Step1.估算瓶頸機台之平均服務率

依 3.3.1.1 節機台產能負荷評估模組之配置結果，得知每一機台之平均服務時間，考量當機時間及保養時間(由製程資訊得知)，可估算各瓶頸機台之期望服務時間(式 3- 24)。將期望服務時間之倒數即為該平均服務率。

$$E(BST_{k,m}) = st_{k,m} \times \left(1 + \frac{mttr_{k,m}}{mtbf_{k,m} + mttr_{k,m}} + \frac{mttpm_{k,m}}{mtbpm_{k,m} + mttpm_{k,m}} \right) \quad \forall k, m \quad \text{式 3- 24}$$

$$\mu_{k,m} = \frac{1}{E(BST_{k,m})} \quad \forall k, m \quad \text{式 3- 25}$$

Step2.估算等級產品於機台之到達率

承 3.3.1.1 節之結果，加總所有屬性產品於各機台平均到達率，可得每一等級產品於機台之平均到達率。

$$nar_{k,m}^{pri} = \sum_j \sum_r aar_{j,k,m}^{pri,r} \quad \forall k, m, pri \quad \text{式 3- 26}$$

Step3.估算等級產品於瓶頸機台之等候時間

得知每一機台於各等級產品到達率後，此處採用「非逐位性優先等候模式(non-preemptive priority)【28】」，計算各等級產品於單一瓶頸機台(k, m)之等級時間。因單機(等級系統之機台數 $s=1$)狀態可簡化公式，使得 $A_{k,m} = \mu_{k,m}^2 / \lambda_{k,m}$ 。

並將上述步驟所得之服務率(式 3- 25)與到達率(式 3- 26)代入模式(式 3- 27)，求得各等級產品在系統之穩態期望等候時間(包含機台之服務時間⁵)。為求得各等級產品在等候線上期望等候時間($W_{k,m}^{pri,q}$)，故扣除機台之平均服務時間($1/\mu_{k,m}$)後即為所求(式 3- 28)。

$$W_{k,m}^{pri} = \frac{1}{A_{k,m} B_{k,m}^{pri-1} B_{k,m}^{pri}} + \frac{1}{\mu_{k,m}} \quad \forall k, m, pri \quad \text{式 3- 27}$$

$$\text{其中 } B_{k,m}^0 = 1, B_{k,m}^{pri} = 1 - \frac{\sum_{i'=1}^{pri} nar_{k,m}^{i'}}{\mu_{k,m}}$$

$$\lambda_{k,m} = \sum_{i'=1}^2 nar_{k,m}^{i'}$$

$$W_{k,m}^{pri,q} = W_{k,m}^{pri} - \frac{1}{\mu_{k,m}} \quad \forall k, m, pri \quad \text{式 3- 28}$$

⁵ 取自於 Hiller and Lieberman 【28】 Chap 17 pp.805-806

❖ 非瓶頸工作站之等候時間估算

針對非瓶頸工作站，吾人依照每一產品製程，採用 Jackson Network 理論估算各工作站之到達率。接著，吾人將分別求算各工作站之服務率；以便將各工作站到達率、服務率與機台數，代入「非逐位性等候模式」，求得每一非瓶頸工作站源於負荷因子之等候時間，其流程圖如圖 3-9 所示。

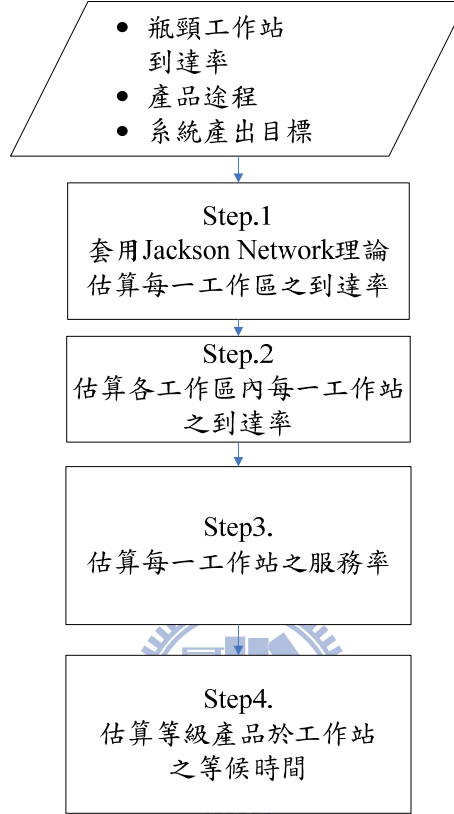


圖 3-9 非瓶頸工作站之等候時間估算流程

符號說明

$aar_{j,k,m}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 產品 j 於機群 k 內機台 m 之平均到達率

$E(NBST_{x,w})$: 工作區 x 工作站 w 之期望服務時間

$farea_{j,d,x}$: 產品 j 規格 d 於黃光區之來源工作區 x 比例

$laar_{x,w}^{pri}$: 等級 pri 產品於工作區 x 工作站 w 之平均到達率

$nbd_{x,w}$: 工作區 x 工作站 w 之當機比例

$nbpm_{x,w}$: 工作區 x 工作站 w 之保養比例

$nbpt_{x,w,j}^{pri,r}$: 屬性 r 等級 pri 產品 j 於工作區 x 工作站 w 加工時間

$nl_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級 pri 產品 j 加工層級總數

$p_{xx',j}$: 產品 j 於工作區 x 到達特定工作區 x' 之機率值

$PLN_{j,d,k,m}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 產品 j 製程規格 d 指派於機群 k 機台 m 之層級數

$soar_{j,d,x,k,m}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 規格 d 產品 j 至機群 k 內機台 m 之來源工作區 x 到達率

$rnI_{j,d,k,m}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 規格 d 產品 j 於規格在機群 k 內機台 m 加工之層級數比例

$\alpha_{1,j}^{pri,r}$: 等級 pri 屬性 r 產品 j 於薄膜區之投入率

$\lambda_{x,j}^{pri}$: 等級 pri 產品 j 於工作區 x 之平均到達率

λ_x^{pri} : 等級 pri 產品於工作區 x 之平均到達率

$\mu_{x,w}$: 工作區 x 工作站 w 之平均服務率

$W_{x,w}^{pri}$: 等級 pri 產品工作區 x 工作站 w 之穩態期望等候時間

$W_{x,w}^{pri,q}$: 等級 pri 產品於工作區 x 工作站 w 之等候時間

Step.1 每一工作區之到達率估算

由製程資料可知，產品先投入薄膜區工作站加工後，先至黃光區工作站生產，才至其他工作區進行後續加工流程。具檢測屬性產品與不具檢測屬性產品之差異是其於黃光區黃光顯影工作站(光阻劑塗佈、曝光、顯影)加工後，需經黃光區檢測工作站檢測，才至其他工作區進行後續加工流程。當各產品依照製程特性，完成回流加工 5-9 次層級加工後，於測試區工作站檢查，即為完工。

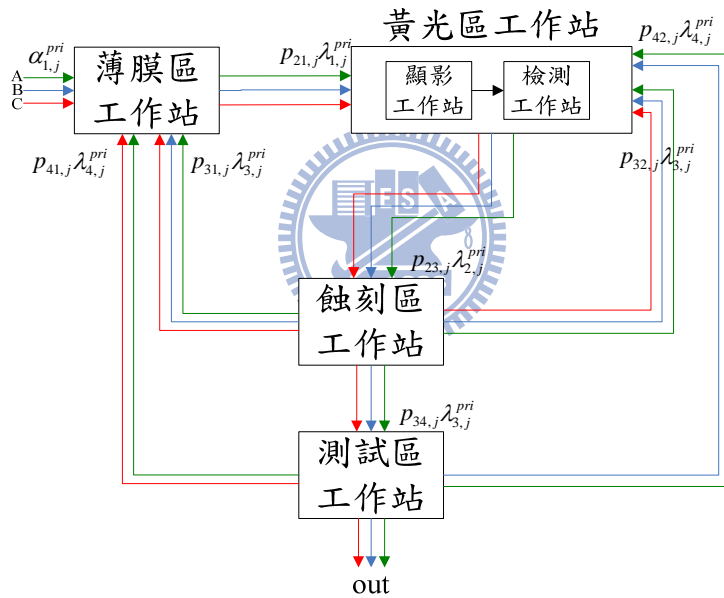


圖 3-10 產品製造流程圖

吾人採用 Jackson Network【28】理論，依據每一產品流經薄膜區工作站、黃光區工作站、蝕刻區工作站與測試區工作站之物流關聯性，計算各產品於每一工作區之到達率(式 3-29)，再分別針對每一工作區加總各產品之到達率，即得每一工作區到達率，如式 3-30。

$$\begin{cases} \lambda_{1,j}^{pri,r} = \alpha_{1,j}^{pri,r} + p_{31,j} \lambda_{3,j}^{pri,r} + p_{41,j} \lambda_{4,j}^{pri,r} \\ \lambda_{2,j}^{pri,r} = p_{12,j} \lambda_{1,j}^{pri,r} + p_{32,j} \lambda_{3,j}^{pri,r} + p_{42,j} \lambda_{4,j}^{pri,r} \\ \lambda_{3,j}^{pri,r} = p_{23,j} \lambda_{2,j}^{pri,r} \\ \lambda_{4,j}^{pri,r} = p_{34,j} \lambda_{3,j}^{pri,r} \end{cases} \quad \forall j, pri, r \quad \text{式 3-29}$$

$$\begin{cases} \lambda_1^{pri,r} = \sum_j \lambda_{1,j}^{pri,r} \\ \lambda_2^{pri,r} = \sum_j \lambda_{2,j}^{pri,r} \\ \lambda_3^{pri,r} = \sum_j \lambda_{3,j}^{pri,r} \\ \lambda_4^{pri,r} = \sum_j \lambda_{4,j}^{pri,r} \end{cases} \quad \forall pri, r \quad \text{式 3- 30}$$

首先，吾人將產品流程步驟(附表 A- 1 至附表 A- 6、附表 B- 1)轉成網路圖(圖 3- 11、圖 3- 12 與圖 3- 13)表示，圖中每一工作區間連結線之數字代表產品於各工作區間流程步驟。並以每一工作區出發之流程步驟總數為分母，以其中某一特定工作區間之流程步驟次數為分子，計算產品於此工作區到達特定工作區之機率值($p_{xx',j}$)，並將每一產品於到達特定工作區之機率值代入式 3- 29 中，得式 3- 31 至式 3- 42。由於產品在檢測及不具檢測屬性之流程差異，僅於黃光區內是否經過檢測工作站，故兩種屬性別所行經流程皆同，並無特別標示產品屬性別差異下所行經之流程。

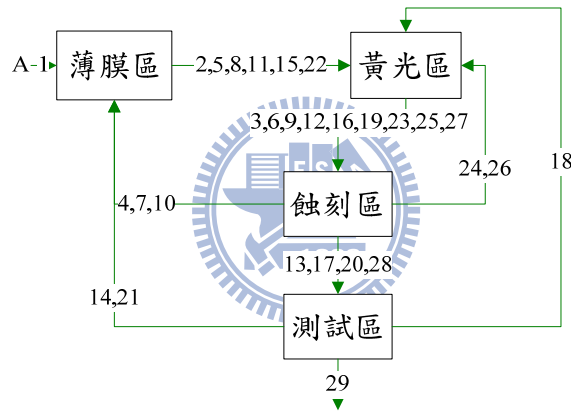


圖 3- 11 A 產品製程步驟

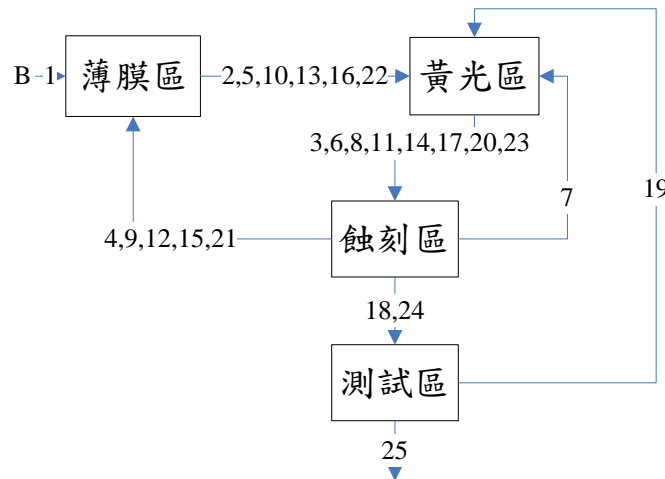


圖 3- 12 B 產品製程步驟

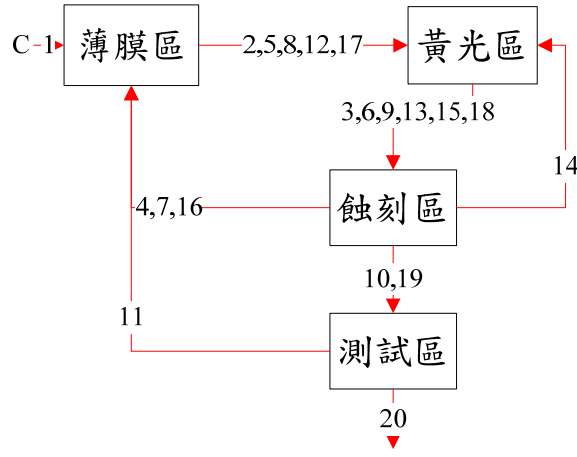


圖 3-13 C 產品製程步驟

以 A 產品為例，觀察蝕刻區($x=3$)於下一步驟到達其他工作區之次數，其中黃光區($x=2$)為第 24 與 26 步驟，測試區($x=4$)為第 13、17、20 與 28 步驟，薄膜區($x=1$)為第 4、7 與 10 步驟。故蝕刻區到達其他工作區共九次步驟，其中到達黃光區之機率為 $2/9$ ($p_{32,1} = 2/9$)，到達測試區之機率為 $4/9$ ($p_{34,1} = 4/9$)，到達薄膜區之機率為 $3/9$ ($p_{31,1} = 1/3$)。並將機率值分別代入式 3-31、式 3-34 與式 3-41。

$$\lambda_{1,1}^{pri,r} = \alpha_{1,1}^{pri,r} + \frac{1}{3} \lambda_{3,1}^{pri,r} + \frac{1}{2} \lambda_{4,1}^{pri,r} \quad \text{式 3-31}$$

$$\lambda_{1,2}^{pri,r} = \alpha_{1,2}^{pri,r} + \frac{5}{8} \lambda_{3,2}^{pri,r} \quad \text{式 3-32}$$

$$\lambda_{1,3}^{pri,r} = \alpha_{1,3}^{pri,r} + \frac{1}{2} \lambda_{3,3}^{pri,r} + \frac{1}{2} \lambda_{4,3}^{pri,r} \quad \text{式 3-33}$$

$$\lambda_{2,1}^{pri,r} = \lambda_{1,1}^{pri,r} + \frac{2}{9} \lambda_{3,1}^{pri,r} + \frac{1}{4} \lambda_{4,1}^{pri,r} \quad \text{式 3-34}$$

$$\lambda_{2,2}^{pri,r} = \lambda_{1,2}^{pri,r} + \frac{1}{8} \lambda_{3,2}^{pri,r} + \frac{1}{2} \lambda_{4,2}^{pri,r} \quad \text{式 3-35}$$

$$\lambda_{2,3}^{pri,r} = \lambda_{1,3}^{pri,r} + \frac{1}{6} \lambda_{3,3}^{pri,r} \quad \text{式 3-36}$$

$$\lambda_{3,1}^{pri,r} = \lambda_{2,1}^{pri,r} \quad \text{式 3-37}$$

$$\lambda_{3,2}^{pri,r} = \lambda_{2,2}^{pri,r} \quad \text{式 3-38}$$

$$\lambda_{3,3}^{pri,r} = \lambda_{2,3}^{pri,r} \quad \text{式 3-39}$$

$$\lambda_{4,1}^{pri,r} = \frac{4}{9} \lambda_{3,1}^{pri,r} \quad \text{式 3-40}$$

$$\lambda_{4,2}^{pri,r} = \frac{1}{4} \lambda_{3,2}^{pri,r} \quad \text{式 3-41}$$

$$\lambda_{4,3}^{pri,r} = \frac{1}{3} \lambda_{3,3}^{pri,r} \quad \text{式 3-42}$$

由於一個式子中需衡量產品於 pri 與 r 不同之情形，計有四種組合，故每一式可演化出四個限制式 ($pri=1,2$ 且 $r=1,2$)，式 3- 31 至式 3- 42，共 48 個限制式，60 個變數 ($\lambda_{x,j}^{pri,r}$, $pri=1,2; r=1,2; j=1,2,3; x=1,2,3,4$ 與 $\alpha_{1,j}^{pri,r}$, $pri=1,2; r=1,2; j=1,2,3$)，當變數大於限制式總數時，無法透過上述式子求解各個變數，故需思考如何藉由已知的每一產品於瓶頸工作站之到達率推算上述變數。

在得知每一產品至各工作區之機率值 ($p_{xx',j}$) 後，為求得每一產品於各工作區之到達率，先由 3.3.1.1 節「機台產能負荷分配模式」結果，得每一產品於瓶頸工作站內各瓶頸機台到達率 ($aar_{j,k,m}^{pri,r}$) 與每一產品於各製程規格分派至瓶頸機台之加工層級數 ($PNL_{j,d,k,m}^{pri,r}$)。吾人先以各產品於每一規格分派至瓶頸機台之加工層級數 ($PNL_{j,d,k,m}^{pri,r}$) 代入式 3- 43 求得各產品於每一規格在瓶頸機台加工之層級數比例 ($rnl_{j,d,k,m}^{pri,r}$)，再將此比例 ($rnl_{j,d,k,m}^{pri,r}$) 乘上各產品在每一瓶頸機台之到達率 ($aar_{j,k,m}^{pri,r}$)，得每一產品於各規格下在各瓶頸機台之到達率 ($nlar_{j,d,k,m}^{pri,r}$) (式 3- 44)。

$$rnl_{j,d,k,m}^{pri,r} = \frac{PNL_{j,d,k,m}^{pri,r}}{\sum_j PNL_{j,d,k,m}^{pri,r}} \quad \forall k, m, j, d, pri, r \quad \text{式 3- 43}$$

$$nlar_{j,d,k,m}^{pri,r} = rnl_{j,d,k,m}^{pri,r} \times aar_{j,k,m}^{pri,r} \quad \forall k, m, j, d, pri, r \quad \text{式 3- 44}$$

之後觀察產品途程，整理每一產品 (j) 各規格 (d) 於黃光區之來源工作區 (x) 比例 ($farea_{j,d,x}$) (於第四章敘述)。將此比例與每一產品各規格至瓶頸機台之到達率 ($nlar_{j,d,k,m}^{pri,r}$) 相乘 (式 3- 45)，得每一產品各規格至瓶頸機台之來源區到達率 ($soar_{j,d,x,k,m}^{pri,r}$)。並依照規格別、機台別、機群別與來源區，將其加總 (式 3- 46)，即為各產品於黃光區之到達率 ($\lambda_{2,j}^{pri,r}$)。

$$soar_{j,d,x,k,m}^{pri,r} = nlar_{j,d,k,m}^{pri,r} \times farea_{j,d,x} \quad \forall x, k, m, j, d, pri, r \quad \text{式 3- 45}$$

$$\lambda_{2,j}^{pri,r} = \sum_x \sum_k \sum_m \sum_d soar_{j,d,x,k,m}^{pri,r} \quad \forall j, pri, r \quad \text{式 3- 46}$$

得各產品於黃光區之到達率 ($\lambda_{2,j}^{pri,r}$) 後，代入式 3- 37 至式 3- 39，得各產品於蝕刻區到達率 ($\lambda_{3,j}^{pri,r}$)，再將蝕刻區到達率代入式 3- 40 至式 3- 42，得各產品於測試區之到達率 ($\lambda_{4,j}^{pri,r}$)。並將黃光區、蝕刻區與測試區之到達率代入式 3- 34 至式 3- 36，得各產品於薄膜區之到達率 ($\lambda_{1,j}^{pri,r}$)。最後所有工作區之到達率代入式 3- 31 至式 3- 33，得各產品於薄膜區之投入率 ($\alpha_{1,j}^{pri,r}$)。

Step.2 估算各工作站之服務率

在 Step1.估算產品於各工作區到達率 $\lambda_{x,j}^{pri}$ 後，依照產品途程資訊，得知各產品經過每一工作站之機率值，將此機率值乘以工作區到達率，即為工作站到達率。

$$laar_{x,w}^{pri} = \sum_j p_{x,w,j}^{pri} \times \lambda_{x,j}^{pri} \quad \forall x, w, pri \quad \text{式 3-47}$$

Step.3 估算工作站之服務率

吾人由製程資料得知產品於工作站所需加工時間 $nbpt_{x,w,j}^{pri,r}$ 、加工層級數 $nl_j^{pri,r}$ 、當機比例與保養比例，計算於各工作站加工每一層級作業之期望服務時間。再將該期望服務時間之倒數即為工作站之服務率。

$$E(NBST_{x,w}) = \frac{\sum_j \sum_{pri} \sum_r nbpt_{x,w,j}^{pri,r} \times nl_j^{pri,r} \times (1 + nbdt_{x,w} + nbpm_{x,w})}{\sum_j \sum_{pri} \sum_r nl_j^{pri,r}} \quad \forall x, w \quad \text{式 3-48}$$

$$\mu_{x,w} = \frac{1}{E(NBST_{x,w})} \quad \forall x, w \quad \text{式 3-49}$$

Step4.估算等候時間

採用系統中存在多台機台之「非逐位性優先等候模式【28】」。將工作站之服務率、到達率及機台數代入模式中，求得各等級產品於系統之穩態期望等候時間(包含服務時間)。等候線上之期望等候時間則以期望等候時間減 $1/\mu_{x,w}$ 後之數值。

$$W_{x,w}^{pri} = \frac{1}{A_{x,w} B_{x,w}^{pri-1} B_{x,w}^{pri}} + \frac{1}{\mu_{x,w}} \quad \text{for } pri = 1, 2$$

$$W_{x,w}^{pri,q} = W_{x,w}^{pri} - \frac{1}{\mu_{x,w}}$$

$$A_{x,w} = M_w! \frac{M_w \mu_{x,w}}{z^{M_w}} \sum_{j=0}^{M_w-1} \frac{z^j}{j!} + M_w \mu_{x,w} \quad \text{式 3-50}$$

$$\text{其中 } B_{x,w}^0 = 1, B_{x,w}^{pri} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{pri} \lambda_x^i}{M_w \mu_{x,w}}$$

$$z = \frac{\sum_{i=1}^{pri} \lambda_x^i}{\mu_{x,w}}$$

3.3.1.2.1.2. 產品之生產週期時間

此節依照產品製程步驟順序，加總各工作站之週期時間以及在工作區間相互搬運時所需之搬運時間，得出各屬性等級產品於系統之生產週期時間，其流程如圖 3- 14 所示。

Step1.初始化，產品 $j=1$ 等級 $pri=1$ 屬性別 $r=1$ 製程步驟 $i=1$ 。

Step2.確認該產品所進行之製程步驟所需加工之工作站，並套入 3.3.1.2.1.1 節源於負荷因子之等候時間估算，得該工作站源於負荷因子之等候時間。

Step3.計算產品於工作站之週期時間(製程時間+等候時間)。

Step4.該製程步驟 i 至下一步驟 $i+1$ 時，是否需 Interbay 系統協助搬運至下一工作站？
是，則套用郭氏【59】之搬運模組，計算所需搬運時間 $MT_x^{pri,j,r}$ ；否，則搬運時間 $MT_x^{pri,j,r} = 0$ 。

Step5.將 Step3.週期時間與 Step4.搬運時間加總。

Step6.確認製程步驟是否結束？是，則得 $ct_j^{pri,r}$ 並至 Step7.；否，則 $i=i+1$ 且回到 Step2.求得步驟 i 至工作站之等候時間。

Step7.該產品之另一屬性別生產週期時間是否估算完畢？是，則至 Step8.；否則 $r=r+1$ 、 $i=1$ 回到 Step2.進行估算動作。

Step8.確認該產品兩種等級工單之生產週期時間是否皆估算完畢？是，則至 Step9.；否，則 $pri = pri+1$ 且 $i=1$ 、 $r=1$ 並回到 Step2.進行估算動作。

Step9.是否所有產品之生產週期時間皆估算完畢？是，則結束生產週期時間估算流程；否，則 $j=j+1$ 、 $r=1$ 、 $i=1$ 且 $pri=1$ 回到 Step2.進行估算動作。

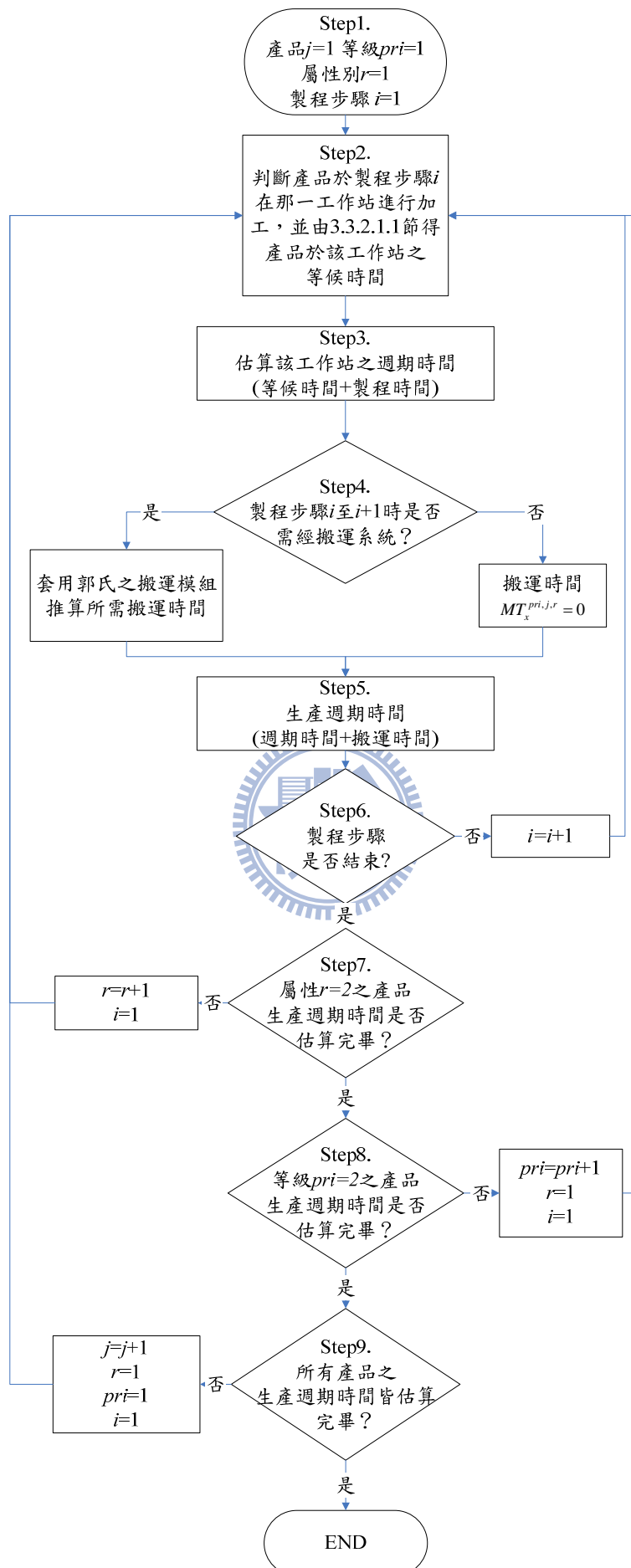


圖 3- 14 產品生產週期時間估算流程圖

3.3.1.2.2.瓶頸工作站每日作業數

TOC【40】提出系統產出速度決定於瓶頸工作站之觀點，因此瓶頸工作站完成一工件之加工時，亦表示系統某一層級完成一「作業數(moves)」。故每日作業數可由瓶頸工作站所加工之每日工件數得知。

吾人於 3.3.1.1 節產能負荷評估模組，已求得瓶頸工作站內各機群加工之層級數，將各機群之加工層級數加總再除以規劃長度，便可得知瓶頸工作站每日完成屬性/等級/產品之作業數，即可求得每日作業數做為投料規劃之輸入資訊。

符號說明

bmo : 瓶頸工作站每日產出之層級總數(每日作業數)

bnl_j : 產品 j 於瓶頸工作站之加工次數

$CL_{j,d,k}^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 且製程規格能力 d 之關鍵層分配給機群 k 的個數

jc_j : 產品 j 所具有之關鍵層層級數

$NCL_{j,d,k}^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 製程規格能力 d 之非關鍵層分配給機群 k 之層級數

$mo_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 每日加工層級數

mop : 瓶頸工作站每日產出之產品總數

T : 規劃長度



估算步驟

Step1.瓶頸工作站每日產出屬性 r 等級 pri 製程規格 d 產品 j 之層級數

透過 3.3.1.1 節產能負荷分配模式之結果，可知各機群所需加工之非關鍵層總層級數 $NCL_{j,d,k}^{pri,r}$ 以及關鍵層之產品個數 $CL_{j,d,k}^{pri,r}$ 。將每一產品之關鍵層產品個數與所對應之關鍵層層級數 jc_j 相乘後，再與非關鍵層之總層級數相加除以規劃長度，即可得知瓶頸工作站每日平均加工屬性 r 等級 pri 製程規格 d 產品 j 之層級數。

$$mo_{j,d}^{pri,r} = \frac{\sum_k NCL_{j,d,k}^{pri,r} + CL_{j,d,k}^{pri,r} \times jc_j}{T} \quad \forall pri, r, j, d \quad \text{式 3-51}$$

Step2.瓶頸工作站每日產出之層級總數(系統每日作業數)

將瓶頸工作站每日平均加工屬性 r 等級 pri 製程規格 d 產品 j 之層級數加總，即為所得。

$$bmo = \sum_j \sum_{pri} \sum_r \sum_d mo_{j,d}^{pri,r} \quad \text{式 3-52}$$

Step3.瓶頸工作站每日產出之產品總數

由於每一產品之製程規格於瓶頸工作站之加工次數皆不相同，故將瓶頸工作站每日平均加工屬性 r 等級 pri 製程規格 d 產品 j 之層級數除以產品 j 製程規格 d 於瓶頸工作站之加工次數($bnl_{j,d}$)，即得知屬性 r 等級 pri 產品 j 於瓶頸工作站每日產出之產品數。

$$mop_j^{pri,r} = \frac{mo_{j,d}^{pri,r}}{bnl_{j,d}} \quad \forall pri, r, j \quad \text{式 3- 53}$$

3.3.1.2.3.系統在製品估算

由 Little's Law 【11】可知當系統產能負荷較低時，在製品增多可使產出量增加，但系統產能達到一定上限時，在製品增加會導致生產週期時間的無限延長。李氏【54】將此理論加以驗證，確認當系統產能滿載時，增加在製品數量會導致生產週期時間無限延長之可能，故在製品對於確保生產週期時間之穩定相當重要。為控制產品生產週期時間符合估算值，則須對系統在製品量加以規劃與控制。

由本文在 3.3.1.2.1 節已完成各產品之生產週期時間估算，因此，透過規劃週期內各產品之到達率推估，以及每一產品之生產週期時間估算，將之套入 Little's Formula 推算各產品之系統最適在製品數量。為避免估算值與實際值間不可避免之差異，需乘上一寬放係數⁶【63】，以確保系統達到所預期之生產目標。

符號說明

σ : 寬放係數

$ct_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級 pri 產品 j 之生產週期時間

$par_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級 pri 產品 j 之平均產出率

$wip_j^{pri,r}$: 屬性 r 等級別 pri 產品 j 於系統之在製品量

$mwip$: 系統最適在製品數

Step1.系統之平均產出率

由規劃週期內之每一產品之產出目標除以規劃週期，即得各產品之每日產出率。

$$par_j^{pri,r} = \frac{dc_j^{pri,r}}{T} \quad \forall j, pri, r \quad \text{式 3- 54}$$

Step2.各產品之系統最適在製品數量

將各產品每日產出率乘與 3.3.1.2.1.2 節所得各產品生產週期時間，即

⁶ 寬裕值之設定可採用經驗法則或較產出目標為高之產出量為輸入進行估算，例如產出目標為 640lot 時，則以 645lot 或 650lot 代入 Little's Low 估算 λ 值，所得之最適在製品數量即具備寬放效果。

推算出各產品之最適在製品數量。

$$wip_j^{pri,r} = par_j^{pri,r} \times ct_j^{pri,r} \quad \forall j, pri, r \quad \text{式 3- 55}$$

Step3.系統最適在製品

將在製品數量乘於一寬放係數，即為系統最適在製品數量。

$$mwip = (1 + \sigma) \times \sum_j \sum_r \sum_{pri} wip_j^{pri,r} \quad \text{式 3- 56}$$

3.3.1.3. 投料規劃與派工法則

瓶頸工作站因生產速度較慢，導致等候線易堆積在製品，當考量機台製程規格能力，更加深機台間產能負荷不均之情形，機台前可能累積更多在製品數。當其他在製品回流至瓶頸工作站，再加上原已堆積之在製品，使得在製品遽增，產品等候時間拉長，無法於估算之生產週期時間內完工，以致於達交率下降，顧客滿意度降低。為確保系統在製品數量，以維持系統之穩定性，投料時點之掌控相當重要。

文獻【64】【70】證實，固定在製品投料法(CONWIP)能維持系統生產週期之穩定性，方法為系統產出一產品時即引發投料時點。故本文採用固定在製品投料法則，務使物流順暢，維持系統之穩定性。

由於產品種類眾多且各產品之產出目標相異，故確認投料法則後亦需考量產品投料順序，以確保產出結果與預期數量一致。在規劃投料順序時，本文將高等級產品之投料順定位於一般等級產品之後。因高等級產品在生產系統加工時，等級優勢使生產速度加快，縮短等候時間。因此，投料順位先後對其生產週期時間之影響較小。

對於相同等級下之各產品別設定投料順序時，加工層級數作為權重，與對應在瓶頸工作站之每日預定產出量相乘後，得各產品別每日加工總層級數。吾人就其中選出具最大數值之產品別，做為第一順位之投料工件。選定第一順位投料產品別後，扣減該產品別一單位所對應之加工層級數，再次挑選具最大加工總層級數之產品別，以此類推，循環求出各產品之投料順序。若遇兩產品別之加工總層級數相同之情形，則以具最少投料量之產品別優先投料。

吾人以加工層級數作為權重，乃因加工層級數越多之產品，將於系統中停留時間越長，亦占用較多產能。故吾人將每一產品別之加工層級與對應之每日預定產出量相乘後，選出具加工總層級數最多之產品，優先投料，以確保在限定時間內可產出該產品之預期數量。

在此舉例說明，產品 A、B 與 C 之加工層級數分別為 9、8 與 5 層，而每日產出量為 5、3 與 7，相乘得每日加工總層級數分別為 45、24 與 35，產品 A 數值最大，選擇產品 A 投料，並扣減該產品一單位對應之加工層級數(9)，得總層級數為 36。將之與另兩

產品別數據相較，產品 A 依然為各產品別中最大數值，再次選擇產品 A 投料。同法扣減對應之加工層級數，得 27，與其他產品別現有之加工總層級數相比後，改為產品 C 優先投料。以此類推，投料順序為 AACCACBACBCCABC。

決定投料順序後，應以合適之派工法則加以輔佐，以維持系統生產平順。非瓶頸工作站之派工乃依據工件等級特性，優先選擇高等級工件派工至閒置機台，當工件等級相同時，則依 FIFO 法則派工；但瓶頸工作站各機台間存在機台製程規格能力之區別，及產品垂直鎖定機台之特性，若無適宜之派工法則，則易使機台間產能利用率差異加大。故吾人設計一派工法則，針對瓶頸工作站之特性進行派工，使瓶頸機台間產能利用率差異最小化，流程圖見圖 3-15。

在產能負荷分配模式之分派結果，每一機台被分派到相同製程規格之工件數不一，若僅以機台需加工該工件數較多而優先指派時，易造成工件因垂直鎖定機台特性，在後續關鍵層級時皆回到該機台加工，造成機台前有過多相同工件等候，其等候時間拉長；或其他亦可加工此工件之機台閒置而浪費產能。故在數個機台皆符合分派結果時，以「最大待加工比例」原則作為衡量標準，以降低浪費產能或拉長工件等候時間。若比例相等時，則以待加工數最大為優先考量。例如，X 機台與 Y 機台皆可加工產品 A，但前者僅能加工 50 個，後者可加工 100 個。使用「最大待加工比例」判斷，兩者待加工比例分別為 50/50 與 100/100，比例相同，在第一次分派產品 A 時，由於 Y 機台需加工較多產品 A，便將該產品分派至 Y 機台加工。於第二次分派產品 A 時，因 Y 機台待加工完成比例變更為 99/100，與 X 機台 50/100 相較下較小，故分派至 X 機台。

確定數個機台皆可分派時，以「最大待加工比例」作為派工依據後，吾人重新確認派工流程。當瓶頸工作站之暫存區有待加工工件時，先依據工件等級作為優先派工順位，挑選第一順位工件後，判斷工件應加工之層級數與對應之製程規格，選取符合「機台產能負荷分配模式」所指定且閒置之機台。若有數個符合條件之機台，則依據「最大待加工比例」進行指派。若比例仍然相同時，則以待加工數較多之機台優先派工。

需多加注意的是，因工件垂直鎖定機台特性，使工件在後續關鍵層級時，會回到同一機台進行加工，若無預先將此產能扣除，易造成低估機台產能利用率，且分派情形可能無法如同「產能負荷分配模式」之分派結果。故待分派之工件加工層級為第一層關鍵層時，確認指派機台後，需將該工件後續關鍵層之層級數加到該機台已加工層級數中，以控制機台之分派情形，而後續關鍵層級之加工時，則無需再重複記錄已加數。此派工法則乃依照「產能負荷分配模式」作為派工之考量，故派工結果可符合該模式之分派結果，且可達到吾人預定之規劃結果。

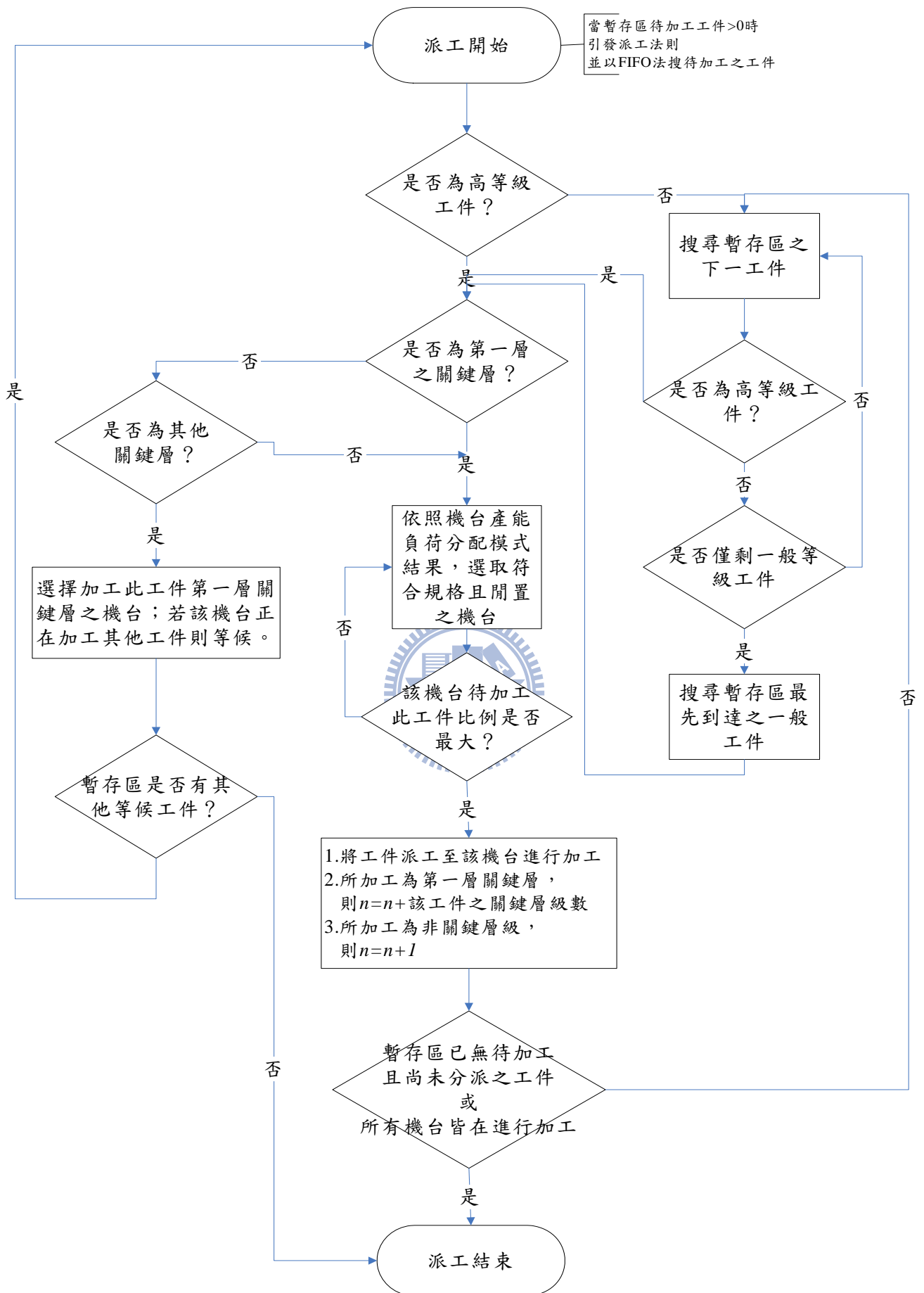


圖 3- 15 瓶頸工作站派工流程圖

3.4. 最適產品組合/等級比例規劃

產出目標的產品組合比例不當時，易使該系統之生產績效指標值表現不佳(如生產週期時間拉長)；另一方面，產出目標之等級比例分配不當，也易造成該系統之生產績效指標表現不佳(如達交率降低)。故對決策者而言，遴選出最適系統之產品組合/等級比例，作為訂定產出目標之參考，以力求整體生產績效指標之卓越表現。

本節之目的為藉由系統化方式篩選出可行之產品組合/等級比例，並選取適當之生產績效與評估工具，以遴選出高效率產品組合/等級比例並加以排序，提供給決策者作為規劃生產目標之依據，藉以提升生產系統績效指標。其整體流程圖如圖 3-16 所示。

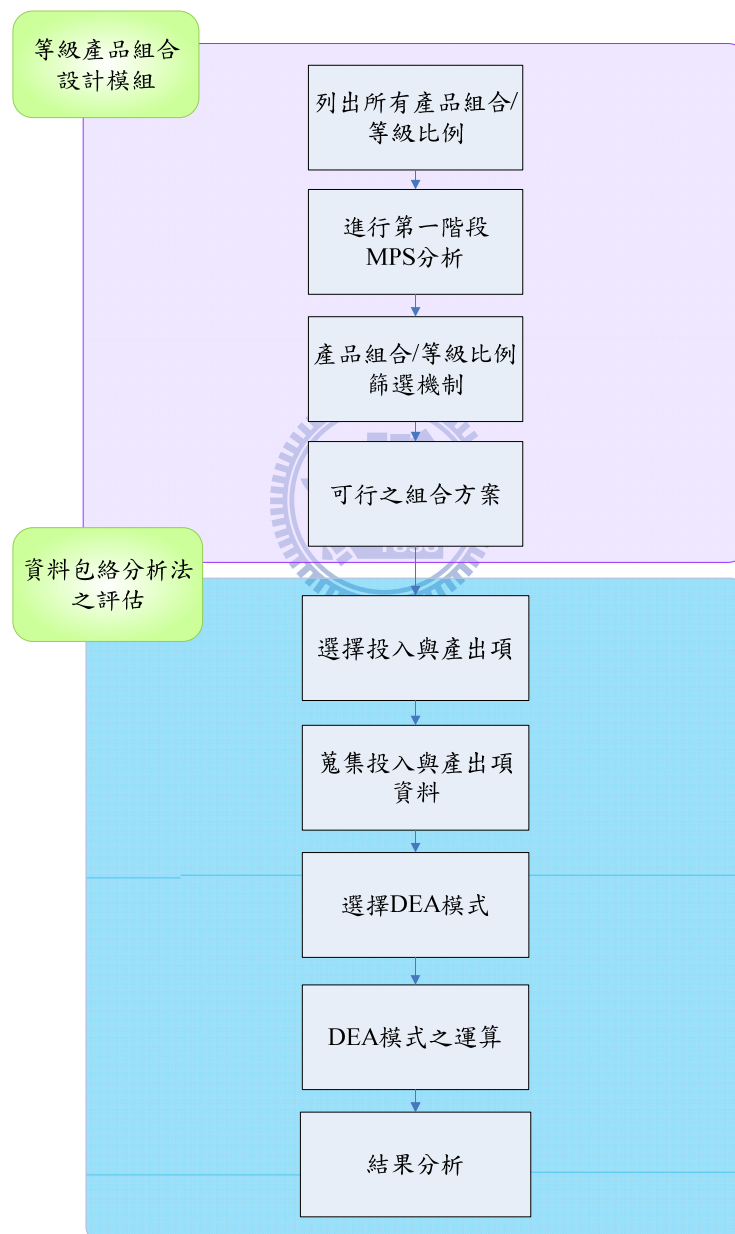


圖 3-16 最適產品組合/等級比例規劃流程圖

3.4.1. 產品組合/等級比例設計機制

由於產品組合/等級比例眾多，本文將於生產績效指標評估前，利用產能負荷限制及生產週期時間限制，剔除不可行之產品組合/等級比例，以利後續作業之執行，詳細步驟如下：

Step1.列出所有可能之產品組合/等級比例(以下簡稱方案)

Step2.進行第一階段之 MPS 分析

將每一方案，投入第一階段之 MPS 分析，以計算出各方案之產能利用率以及生產週期時間，作為篩選憑據。

Step3.產能負荷篩選條件

依據限制理論理念，系統產出受限於瓶頸資源。為充份運用瓶頸資源，可行方案須使瓶頸工作站之平均利用率介於 $90\% \pm 0.5\%$ 。

由於本文考量機台製程規格及產品垂直鎖定機台限制，使得瓶頸機台間之利用率差異變大，造成瓶頸機台利用率提升。為維持機台間利用率平準化，刪除機台利用率不介於工作站平均利用率 $\pm 2\%$ 之方案。

將所有方案代入第一階段「機台產能負荷評估模組」並求得數據，選出滿足上述兩條件之方案，即為此階段所挑選出之可行方案。

Step4.可行之組合方案

將每一可行方案視為一決策單元(decision making unit, DMU)，投入模擬系統中，以獲得生產績效指標值(如瓶頸工作站利用率、生產週期時間、達交率等)，作為評斷該組合優劣之依據。

3.4.2. 資料包絡分析法

工廠評估之生產績效指標值眾多，在遴選產品組合/等級比例時，無法以單一生產指標確認那一組合方案最適合生產系統，故需適當方式評估可行之組合方案。

資料包絡分析法為一客觀數量衡量之方法，在評估決策單位之效率值時，均採用對本身最有利之權重；因此，本文採用資料包絡分析法，從中分析以衡量每一方案之績效，其詳細步驟如下(如圖 3- 17)：

Step1.設定分析目的

遴選出最具生產績效之產品組合/等級比例

Step2.設定欲評估之受評單位

由產能負荷篩選機制與生產週期篩選機制，得可行之產品組合/等級比例，而每一組合即視為一受評單位。

Step3.選擇投入與產出項

透過業界實際訪談，將生產績指標主要分為：(1)財務方面：主要以利潤為指標；(2)

生產製造方面：主要以生產週期時間、達交率、產出量、在製品數等。各績效指標及其屬性⁷整理如表 3-1。

表 3-1 績效指標之屬性

項目	績效指標	說明
投入項	平均生產週期時間	每一產品於陣列段從投入至製程完畢平均所需之時間。
	在製品數	生產系統中工作站間等待加工之工件總數。
產出項	利潤	考量利潤對整體生產效率所造成的影響。其為各產品時價所得之總邊際利潤。
	達交率	於規劃幅度內能準時完成之產出目標比例。
	產出量	生產系統在規劃期間內所生產之總產出量

Step4. 蒐集投入項與產出項資料

蒐集每一受評單位於模擬系統中所得之生產績效指標。

Step5. 選擇 DEA 模式

資料包絡分析法於計算效率值時，將求解每一 DMU 對自身最有利之加權值 (u_r, v_i) 。為將決策者之意見納入考量，吾人採取加權值之關連性設定，在每一 DUM 採取對自身最有利之加權值同時，亦不能超越決策者所設定之條件限制。

目前對加權值限制較為廣泛之應用模式為 AR(assurance region restriction)模式與 OW(ordering weight restriction)模式，兩者皆為 CCR 模式中增加加權值之限制式；前者為考量加權值之絕對範圍限制(式 3- 57、式 3- 58)，後者則是對績效指標之加權值範圍設限(式 3- 59)。在本文中，由於各個績效指標單位不一，訂定絕對範圍較為困難，且經由業界訪談得知各生產績效之重視程度並不相同，例如加權過後之在製品效率值不能高於加權後之達交率效率值。因此採用 OW 模式，吾人考量每一 DMU 在具有多項投入與多項產出之生產效率間對應加權值之關連性限制，以決定最能維持經營績效之產品組合。

$$L_{Or} \leq u_r \leq U_{Or} \quad , r = 1, \dots, s \quad \text{式 3- 57}$$

$$L_{Ii} \leq v_i \leq U_{Ii} \quad , i = 1, \dots, m \quad \text{式 3- 58}$$

$$u_r \geq v_i \geq \varepsilon \quad , \varepsilon = 10^{-6} \quad , r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m \quad \text{式 3- 59}$$

⁷ DEA 定義績效指標之值若越小代表績效越好，則歸屬投入項指標；反之，則為產出項指標。

Step6. DEA 之模式運算

由於每一生產績效指標單位皆不相同，為避免在進行 DEA 運算時，有加權值過大或過小之情形，故先將每一 DMU 之生產績效指標標準化後，再代入 OW 模式進行運算。

Step7.選出最適 DMU

經由 OW 模式運算得知高效率之 DMU 後，分析決策者在衡量不同績效指標之權重時，選擇所適合之 DMU。

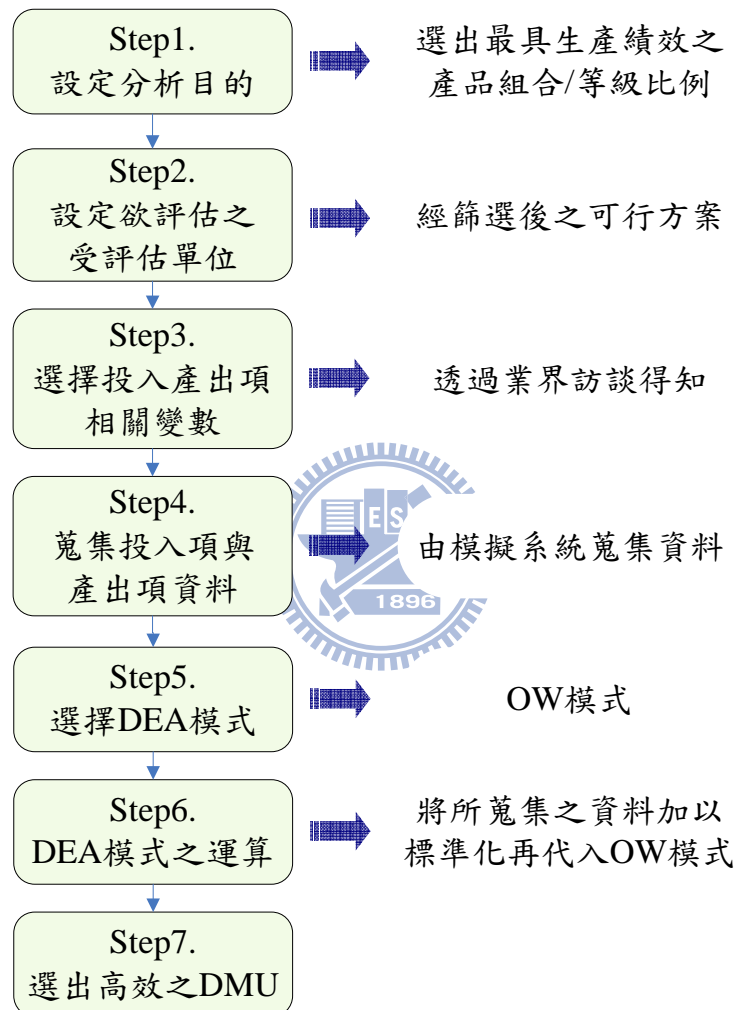


圖 3- 17 DEA 評估流程圖

第四章 實例驗證

為驗證本文於第三章中針對薄膜電晶體陣列廠之雙等級工單情境，所提出「主生產排程設計與最適產品組合/等級比例規劃」之可行性，於本章節中，吾人將建構一模擬 TFT-Array 廠之生產情境，並依據本文之研究架構與流程進行實例驗證。

本章之模擬驗證主要可分為三部份，分別為：

1. 系統環境說明：描述系統環境之基本資料與相關假設。
2. 規劃執行階段：輸入範例資料，依序說明本文第三章所建構之排程系統執行步驟與演算方法。
3. 成果分析：根據模擬結果與範例執行所求得之解進行比較分析。

4.1. 系統環境說明

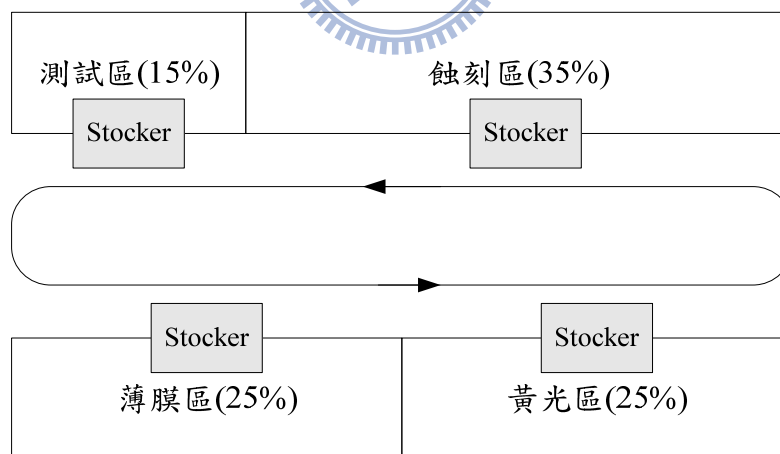
本章採用之生產環境、機台設備與製程步驟等相關資料由學術文獻及廠商訪談中獲得，並根據本文之環境假設作適當修正，進而建構一模擬系統。

4.1.1. 生產環境資料

生產環境區分為設備規劃資訊、工作站資訊和產品基本資訊等，如下所示：

1. 設備規劃資訊

依本文第三章之假設，薄膜電晶體陣列廠之設備佈置主要分為四大工作區：薄膜區、黃光區、蝕刻區與測試區，其佈置圖如圖 4-1 所示。



*百分比表示各區所佔之空間比例

圖 4-1 範例系統之設備佈置圖【52】

該搬運系統為 Interbay 系統，搬運車將均勻散佈且單向等速繞行於軌道上，繞行一圈需 15 分鐘，一次僅能搬運 1 lot 之工件。而各工作區間所需繞行圈數如表 4-1 所示，可藉由此表及製程資料求算產品於投入至產出所需之搬運圈數。

表 4-1 搬運車於各工作區間所需搬運圈數(單位：圈)

From \ To	薄膜區(TF)	黃光區(Photo)	蝕刻區(Etch)	測試區(Test)
薄膜區(TF)	-	0.25	0.55	0.8
黃光區(Photo)	0.75	-	0.3	0.55
蝕刻區(Etch)	0.45	0.7	-	0.25
測試區(Test)	0.2	0.45	0.75	-

2. 工作站資訊

本文採用之生產系統共有 23 種不同之工作站(W01-W23)，皆為序列工作站，而瓶頸工作站為 W07 黃光區曝光工作站。

所有工作站之平均當機間隔時間(MTBF)與平均當機修復時間(MTTR)依指數分配予以設定，而平均預防保養間隔(MTBPM)與平均預防時間(MTTTPM)為已知常數，若未列示，為該工作站之當機機率極低而假設為零，或不需安排預防保養，資料詳見附表 B-1。

3. 產品基本資料

本文之生產系統共生產 A、B、C 三種產品，各產品分為兩種等級(高等級與一般等級)比例外，另亦區分為一般工件與檢測工件兩種屬性別，其中檢測工件比例為 5%。同一產品之屬性別不同，其製程相異。而各製程步驟所在之工作站以及加工時間均已知，詳細資料附表 A-1 至附表 A-6 所示。

4.1.2. 生產排程規劃假設

1. 規劃幅度與規劃週期

本文之規劃幅度為十二週，規劃週期為一週。

2. 投料法則

著眼於系統穩態產出，以達生產週期時間穩定之理念，故以固定在製品量(CONWIP)法進行投料。

3. 產品良率

對於生產系統中產品因製程或生產週期時間所造成之不良狀況，均不加以考慮，亦即假設各加工步驟良率皆為 1。

4. 需求預測

假設目標產出量與產品組合比例皆為已知，其規劃幅度內之月產出目標為 1740 lots，產品組合比例為(A：B：C)=(2：2：1)。

5. 各產品之工件等級比例(高等級工件/一般工件)

產品 A 為(0.05:0.95)，產品 B 為(0.05:0.95)，產品 C 為(0:1.00)。

6. 各產品之檢測比例(檢測工件/非檢測工件)

高等級產品之檢測比例為 100%，而一般等級產品之檢測比例為(0.05:0.95)。得知需

求預測以及各產品之等級比例與檢測比例後，將各產品的需求預測彙整如所示。

表 4-2 各產品之產出目標

(單位：lots)		A產品	B產品	C產品	合計
高等級	檢測	35	35	0	70
一般等級	檢測	33	33	17	83
	非檢測	628	628	331	1587
總數		696	696	348	1740

7. 各產品之製程規格資料

為接近實務，本文假設黃光區曝光工作站之製程規格能力共有四種，產品於關鍵層級時，須於符合其製程規格之機台上進行加工，各產品之層級與其所需之製程規格對應表，如表 4-3 所示(其中製程規格能力數越高，表示所需加工之精度越高)。A 產品為 9 道層級低溫多晶矽(Low Temperature Poly-Silicon, LTPS)製程，B 產品為 8 道層級的互補性氧化金屬半導體(Complementary Metal-Oxide Semiconductor, CMOS)製程，而 C 產品為 6 道層級的 PMOS 製程。

表 4-3 曝光製程各產品層級與製程規格對應表

層級 \ 產品	A	B	C
1	3(Y)	4(Y)	3(Y)
2	1	1	1
3	3(Y)	4(Y)	3(Y)
4	2	2	2
5	1	3	2
6	1	1	1
7	2	2	-
8	2	1	-
9	1	-	-

註：(Y)表示此層級為關鍵層級

得知產品之需求預測(表 4-2)與製程規格(表 4-3)後，將各種產品於各製程規格所需生產層級數彙整如下。

表 4-4 各產品於各製程規格所需生產層級數

單位：lot	高等級(H)			一般等級(N)						合計
	檢測(T)			非檢測(NT)			檢測(T)			
製程規格	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
1	140	105	0	2512	1884	662	132	99	34	5568
2	105	70	0	1884	1256	662	99	66	34	4176
3	70	35	0	1256	628	662	66	33	34	2784
4	0	70	0	0	1256	0	0	66	0	1392
合計	315	280	0	5652	5024	1986	297	264	102	13920

在此將高等級產品代號表示為 H (high level)，一般等級產品代號表示為 N (normal level)，檢測產品代號為 T (test)，非檢測產品代號為 NT (non test)。故 A 產品為高等級且需檢測之代號為 AH-T，其他產品以此類推。

8. 各機台所具備製程規格能力資料

吾人假設黃光區曝光工作站(W07)之機台依製程規格能力區分為兩個機群，而機群內各機台所具備製程規格能力強弱皆一致。而曝光工作站之總機台數為七台，吾人設定機群 1 之機台數為四台，機群 2 之機台數為三台。由業界訪問得知，若是機台得以進行高製程規格層級之加工，則該機台必能支援低製程規格層級。因此，吾人依循此邏輯訂定兩機群之製程規格能力設定，以符合業界機台製程規格能力之設定邏輯。其機台製程規格對應表如表 4- 5 所示。

表 4- 5 黃光區曝光工作站內機台與其具備製程規格之對應表

	機群別	Cap_1	Cap_2	Cap_3	Cap_4
W07_1	W07_Group_1	1	1	1	1
W07_2		1	1	1	1
W07_3		1	1	1	1
W07_4		1	1	1	1
W07_5	W07_Group_2	1	1	1	0
W07_6		1	1	1	0
W07_7		1	1	1	0

1:具備此製程規格能力

0:無具備此製程規格能力

4.1.3. 模擬環境說明

本研究透過 Tecnomatix 公司所發展之 eM-Plant 軟體，以國內某面板廠之製程資料，構建一擬真之生產環境。為配合主生產排程之規劃幅度(三個月)，將進行 84 天的 Warm up，再蒐集 84 天的資料，即總模擬時間為 168 天，模擬次數為 15 次。

4.2. 案例說明

經由 4.1 節之各項參數設定完成後，將其參數依序代入「3.3 主生產排程設計」與「3.4. 最適產品組合/等級比例規劃」之各項模組，以檢視模組之可行性，執行過程如下所示：

4.2.1. 機台產能負荷評估模組之執行過程

Step1.估算實際可用機台數

吾人將黃光區曝光工作站之機台依照製程規格能力分為兩個機群，並透過式 3- 1 計算出該工作站各機群之實際可用機台數。

表 4-6 黃光區曝光工作站之機群機台數分配表

	機群一 (W07_Group_1)	機群二 (W07_Group_2)
機台數	4 台	3 台

$$c_1 = \sum_{m=1}^4 \left(1 - \frac{1.5}{1.5+24} - \frac{3}{3+163} \right) = 3.692$$

$$c_2 = \sum_{m=1}^3 \left(1 - \frac{1.5}{1.5+24} - \frac{3}{3+163} \right) = 2.769$$

Step2.計算黃光區曝光工作站之實際可用產能

將 Step1.估算之實際可用機台數乘於規劃時間，即可得知該工作站之實際可用產能。

$$dcap = (3.692 + 2.769) \times 28 \times 24 \times 60 = 260507.52 \text{ (分)}$$

Step3.計算黃光區曝光工作站所需耗用產能

將產出目標於曝光工作站的每層級所需加工時間相乘，即可得知在規劃期間該工作站所需耗用產能。其中由表 4-2 得知各產品之產出目標，而由附表 A-1 至附表 A-6 得知，不同等級之相同產品於曝光工作站的加工時間相同，且需檢測與不需檢測之相同產品於曝光工作站之加工時間亦同，故直接將相同產品之各等級類別產出目標相加，並乘上曝光工作站之各層級加工時間，即可得知該工作站所需耗用產能。

$$\begin{aligned} acap &= (35 + 33 + 628) \times (15 + 18 + 15 + 15 + 18 + 18 + 15 + 15 + 18) \\ &\quad + (35 + 33 + 628) \times (18 + 18.37 + 18 + 16.5 + 17.23 + 18.37 + 16.5 + 18.37) \\ &\quad + (17 + 331) \times (15 + 20 + 15 + 15 + 15 + 20) \\ &= 235484.6 \text{ (分)} \end{aligned}$$

Step4.估算黃光區曝光工作站產能利用率

將 Step2.與 Step3.所得之可用產能與耗用產能相除，即為所得。

$$al = \frac{235484.6}{260507.52} = 0.9039$$

Step5.黃光區曝光工作站之機群產能分配模式

此模式依據上層給定之產出目標、工作站內各機群製程規格能力與產能限制，依照式 3-5 至式 3-11 等限制式建構模式，以求得工作站平均利用率與機群利用率差異最小化目標。

本研究所使用之運算環境為中央處理器(CPU) Intel Pentium® D 3.00GHz，隨機存取記憶體(RAM) 1.00GB，作業系統為 Window XP。以此環境執行 iLOG OPL Stdio 3.5.1 運算，求得之規劃結果整理於表 4-7 至表 4-9。

表 4-7 iLOG 數學模式之統計資訊(機群產能分配模式)

最佳解(Optimal Solution)：0.0001		
限制式總數 (No. of constraints)	個數變數 (No. of variables)	求解時間 (Solving Time)
51	100	0.00 秒

表 4-8 機群產能負荷分配模式之非關鍵層與關鍵層之分配結果

單位:lot		AH-T	BH-T	CH-T	AN-NT	BN-NT	CN-NT	AN-T	BN-T	CN-T	Total
Group1	1	140	105		2512	1591	201	132		34	4715
	2		70			1256			66		1392
	3								33		33
	4		70			1256			66		1392
Group2	1					293	461		99		853
	2	105			1884		662	99		34	2784
	3	70	35		1256	628		66		34	2089
	4										
Total		315	280	0	5652	5024	1986	297	264	102	13920

表 4-9 機群產能負荷分配之各機群與曝光工作站平均利用率差異

	Group_1	Group_2
u_k^+	0.0000	0.0001
u_k^-	0.0000	0.0000

得知各產品非關鍵層與關鍵層分配至各機群之層級數(表 4-8)，與需求預測之所需層級數(表 4-4)相互對照，即可確認用 iLog 所撰寫之程式結果，其分配層級數總數與事先預估相符。如 BN-NT 於製程規格 1 在機群 1 之生產層級數為 1591，於機群 2 之生產層級數為 293，兩者加總為 1884。

由上一步驟得黃光區曝光工作站平均利用率為 0.9039，將平均利用率與產能分配模式所求得之數值(表 4-9)相加，得機群一利用率為 0.9039，機群二利用率為 0.9040。而機群一、二與工作站平均利用率差異值加總即得 0.0001，吾人將機群產能負荷分配結果(表 4-8)作為 Step6 之輸入資訊。

Step6.機台產能分配模式

依據 Step5.各機群之分配結果以及製程資訊代入式 3-12 至式 3-21 之限制式，求得在機台與工作站利用率差異最小化下產出目標分配至各機台之數量。其規劃結果如表 4-10 至表 4-12 所示。

表 4- 10 iLOG 數學模式之統計資訊(機台產能分配模式)

最佳解(Optimal Solution)：0.0003		
限制式總數 (No. of constraints)	個數變數 (No. of variables)	求解時間 (Solving Time)
520	1091	0.06 秒

表 4- 11 各機台與工作站平均利用率正差異

Group_1	u[m1] = -0.0037	u[m2] = -0.0027	u[m3] = -0.0037	u[m4] = 0.0102
Group_2	u[m5] = 0.0039	u[m6] = 0.0001	u[m7] = - 0.0038	

由表 4- 11 得知各機台利用率皆大於曝光工作站平均利用率 0.9039，其中以機台 4 之利用率差異最大為 0.0102。但各機台利用率差異並無超過 0.1，故可確定經由機台產能分配模式，將各產品之產出目標依照製程規格能力分配至各機台後，機台利用率不超過 100%。

表 4- 12 機台產能負荷分配模式結果(單位：層級數-製程規格)

等級別	屬性別	產品別	Group1				Group2			合計
			機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7	
H	T	A	140-1		105-1 70-2 70-4		105-2		70-3	315
		B						35-3	280	
	合計		140		245		105		105	595
N	NT	A	622-1			1890-1		1884-2	1256-3	5652
		B	1009-1	509-1 1256-2	73-1 1256-4		628-3	293-1		5024
		C			201-1		461-1 556-3		662-2 106-3	1986
	合計		1631	1765	1530	1890	1645	2177	2024	12662
	T	A		132-1			66-3		99-2	297
		B	33-3	66-2	66-4		99-1			264
		C	34-1				34-2 34-3			102
	合計		67	198	66	0	233	0	99	663
總計			1838	1963	1841	1890	1983	2177	2228	13920

表 4- 12 之數值表示每一產品各製程規格分配至瓶頸機台之層級數，如 AN-NT 製程規格 1 所需生產之層級數，分別分派至機台 1 加工 622 層與機台 4 加工 1890 層，加總數後與需求預測之所需生產層級數(表 4- 4) 2512 層相等。

Step7.各機台之到達率

得知機台產能分配模式結果後，將表 4- 12 再分別依照高等級-檢測(H-T)、一般等級-非檢測(N-NT)以及一般等級-檢測(N-T)整理如下，並代入式 3- 22 計算各機台在不同等級與檢測類別下之平均到達率。(此處計算過程以機台 3 H-T 為例)。

$$aar_{i,3}^{1,1} = \frac{\sum_j \sum_d PNL_{j,d,k,m}^{pri,r}}{T} = \frac{105+70+70}{28 \times 24 \times 60} = 0.0061 (/分)$$

表 4- 13 各製程規格分配至各機台之層級數(H-T)

製程規格	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7	合計
1	140	0	105	0	0	0	0	245
2	0	0	70	0	105	0	0	175
3	0	0	0	0	0	0	105	105
4	0	0	70	0	0	0	0	70
總和	140	0	245	0	105	0	105	595
到達率	0.0035	0	0.0061	0	0.0026	0	0.0026	0.0148

表 4- 14 各製程規格分配至各機台之層級數(N-NT)

製程規格	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7	合計
1	1631	509	274	1890	461	293	0	5058
2	0	1256	0	0	0	1884	662	3802
3	0	0	0	0	1184	0	1362	2546
4	0	0	1256	0	0	0	0	1256
總和	1631	1765	1530	1890	1645	2177	2024	12662
到達率	0.0405	0.0438	0.0379	0.0469	0.0408	0.0540	0.0502	0.3141

表 4- 15 各製程規格分配至各機台之層級數(N-T)

製程規格	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7	合計
1	34	132	0	0	99	0	0	265
2	0	66	0	0	34	0	99	199
3	33	0	0	0	100	0	0	133
4	0	0	66	0	0	0	0	66
總和	67	198	66	0	233	0	99	663
到達率	0.0017	0.0049	0.0016	0	0.0058	0	0.0025	0.0165

Step8.各機台之平均服務時間

依照機台產能分配模式結果(表 4- 12)，以式 3- 23 計算各機台之平均服務時間，吾人彙整如表 4- 16(此處計算過程以機台 1 為例)。

$$st_{1,1} = \frac{\sum_j \sum_{pri} \sum_r \sum_d PNL_{j,d,1,1}^{pri,r} \times p_{j,d}}{\sum_j \sum_{pri} \sum_r \sum_d PNL_{j,d,1,1}^{pri,r}}$$

$$= \frac{140 \times 18 + 622 \times 18 + 1009 \times 18.37 + 33 \times 17.23 + 34 \times 20}{1838} = 18.2263(\text{分})$$

表 4-16 各機台之平均服務時間(單位：分鐘)

	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7
平均服務時間	18.2263	17.0858	18.1971	18	17.0369	15.4536	15.0350

4.2.2. 生產週期時間估算之執行過程

將 4.2.1 節機台產能負荷評估模組之執行結果做為輸入項目，並依照 3.3.1.2.1 節之規劃步驟，進行生產週期時間估算，其過程如下：

4.2.2.1. 源於負荷因子之等候時間估算

在此按照 3.3.2.1.節運算步驟，分別估算瓶頸工作站之等候時間以及非瓶頸工作站之等候時間。

◆ 瓶頸工作站之等候時間

Step1.估算瓶頸機台之平均服務率

考量當機與預防保養兩項因素，透過式 3-24 與式 3-25 計算出曝光工作站內各機台期望服務時間 $E(BST_{k,m})$ 與平均服務率 $\mu_{k,m}$ 。(計算過程以機台 1 為例)。

$$E(BST_{1,1}) = st_{1,1} \times \left(1 + \frac{mttr_{1,1}}{mtbf_{1,1} + mttr_{1,1}} + \frac{mttpr_{1,1}}{mtbpm_{1,1} + mttpr_{1,1}} \right)$$

$$= 18.2263 \times \left(1 + \frac{1.5}{24 + 1.5} + \frac{3}{3 + 163} \right) = 19.6709(\text{分鐘})$$

$$\mu_{1,1} = \frac{1}{E(BST_{1,1})} = \frac{1}{19.6709} = 0.0508(\text{lot/分鐘})$$

表 4-17 曝光工作站內各機台之平均服務率

	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7
$E(BST_{k,m})$	19.6278	18.3996	19.5964	19.3841	18.3469	16.6419	16.1912
$\mu_{k,m}$	0.0508	0.0543	0.0510	0.0516	0.0545	0.0601	0.0618

Step2.估算等級產品於瓶頸機台之到達率

參照機台產能分配模式之各機台配置結果，可得每一機台於各產品等級類別下之到達率。並以式 3-26 及表 4-13 至表 4-15 之數據計算出各機台於不同等級之平均到達率。(計算過程以機台 1 一般等級別產品為例)。

$$nar_{1,1}^2 = \sum_r aar_{1,1}^{2,r} = 0.0405 + 0.0017 = 0.0422$$

表 4-18 不同等級產品於各機台之到達率

等級	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7
H	0.0035	0.0000	0.0061	0.0000	0.0026	0.0000	0.0026
N	0.0422	0.0487	0.0395	0.0469	0.0466	0.0540	0.0527

Step3.估算等級產品於瓶頸機台之等候時間

分別由 Step1.與 Step2.計算出曝光工作站內各機台之平均服務率與不同等級的平均到達率後，採用非逐位性等候模式，以式 3-27 與式 3-28 分別計算曝光工作站內各機台在不同等級產品下之系統穩態等候時間 $W_{k,m}^{pri}$ 與等候線上期望等候時間 $W_{k,m}^{pri,q}$ 。並將求得結果如表 4-19 所示。(計算過程以機台 1 之高等級工單 H 為例)。

$$W_{1,1}^1 = \frac{1}{A_{1,1}B_{1,1}^{1-1}B_{1,1}^1} + \frac{1}{\mu_{1,1}} = \frac{1}{0.0568 \times 1 \times 0.9313} + \frac{1}{0.0509} = 38.5325$$

$$W_{1,1}^{1q} = W_{1,1}^1 - \frac{1}{\mu_{1,1}} = 38.5325 - \frac{1}{0.0509} = 18.8861$$

$$A_{1,1} = \frac{(\mu_{1,1})^2}{\lambda_{1,1}} = \frac{0.0509^2}{0.0457} = 0.0568$$

$$\text{其中 } B_{1,1}^0 = 1, B_{1,1}^1 = 1 - \frac{\sum_{i'=1}^1 nar_{1,1}^{i'}}{\mu_{1,1}} = 1 - \frac{0.0035}{0.0509} = 0.9313$$

$$\lambda_{1,1} = \sum_{i'=1}^2 nar_{1,1}^{i'} = 0.0035 + 0.0422 = 0.0457$$

表 4-19 不同等級產品於瓶頸機台之系統穩態等候時間與等候線上期望等候時間

(單位：分鐘)

	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7
$W_{k,m}^1$	38.5325	34.8867	39.4851	37.0065	35.7377	31.5973	31.3254
$W_{k,m}^{1q}$	18.8861	16.4871	19.8887	17.6224	17.3907	14.9554	15.1342
$W_{k,m}^2$	190.5449	177.0199	184.1677	213.2829	188.4982	164.2206	154.7487
$W_{k,m}^{2q}$	170.9171	158.6203	164.5714	193.8988	170.1513	147.5788	138.5576

◆ 非瓶頸工作站之等候時間

Step1.估算每一工作區之到達率

機台產能負荷分配模式結果(表 4-12)，得知產品在不同製程規格分配至瓶頸機台之層級數($PNL_{j,d,k,m}^{pri,r}$)，將其層級數代入式 3-43，可算出每一產品之製程規格在各瓶頸機台加工層級數比例，如 AN-NT 在製程規格 1 時，於機台 1 之層級數比例為 $622/1631=0.3814$ 。並將結果整理如下。

表 4-20 高等級檢測類(H-T)各產品各規格別於瓶頸機台加工之層級數比例

產品別	製程規格	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7
A	1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	1	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0.6667
B	1	0	0	0.4286	0	0	0	0
	2	0	0	0.2857	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0.3333
	4	0	0	0.2857	0	0	0	0
合計		1		1		1		1

表 4-21 一般等級非檢測類(N-NT)各產品各規格於各瓶頸機台加工之層級數比例

產品別	製程規格	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7
A	1	0.3814	0	0	1	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0.8654	0
	3	0	0	0	0	0	0	0.6206
B	1	0.6186	0.2884	0.0477	0	0	0.1346	0
	2	0	0.7116	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0.3818	0	0
	4	0	0	0.8209	0	0	0	0
C	1	0	0	0.1314	0	0.2802	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0.3271
	3	0	0	0	0	0.3380	0	0.0524
合計		1	1	1	0	1	1	1

表 4-22 一般等級檢測類(N-T)各產品各規格於各瓶頸機台加工之層級數比例

產品別	製程規格	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7
A	1	0	0.6667	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	1
	3	0	0	0	0	0.2833	0	0
B	1	0	0	0	0	0.4249	0	0
	2	0	0.3333	0	0	0	0	0
	3	0.4925	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	1	0	0	0	0
C	1	0.5075	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0.1459	0	0
	3	0	0	0	0	0.1459	0	0
合計		1	1	1	0	1	0	1

確認各產品於瓶頸機台之層級數比例(表 4-20 至表 4-22)後，代入式 3-44，將其乘上各瓶頸機台之到達率(表 4-13 至表 4-15)，即為各產品各製程規格別在每一瓶頸機台之到達率(表 4-23 至表 4-25)。

表 4-23 高等級檢測產品(H-T)在不同製程規格下於各瓶頸機台之到達率

產品別	製程規格	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7
A	1	0.0035	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0.0026	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0.0017
B	1	0	0	0.0026	0	0	0	0
	2	0	0	0.00175	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0.0009
	4	0	0	0.00175	0	0	0	0
合計		0.0035	0	0.0061	0	0.0026	0	0.0026

表 4-24 一般等級非檢測產品(N-NT)在不同製程規格下於各瓶頸機台之到達率

產品別	製程規格	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7
A	1	0.0154	0	0	0.0469	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0.0468	0
	3	0	0	0	0	0	0	0.0312
B	1	0.0251	0.0126	0.0018	0	0	0.0073	0
	2	0	0.0312	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0.0156	0	0
	4	0	0	0.0311	0	0	0	0
C	1	0	0	0.0050	0	0.0114	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0.0164
	3	0	0	0	0	0.0138	0	0.0026
合計		0.0405	0.0438	0.0379	0.0469	0.0408	0.0541	0.0502

表 4-25 一般等級檢測產品(N-T)在不同製程規格下於各瓶頸機台之到達率

產品別	製程規格	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7
A	1	0	0.0032	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0.0025
	3	0	0	0	0	0.0016	0	0
B	1	0	0	0	0	0.0025	0	0
	2	0	0.0016	0	0	0	0	0
	3	0.0008	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0.0016	0	0	0	0
C	1	0.0009	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0.0008	0	0
	3	0	0	0	0	0.0008	0	0
合計		0.0017	0.0048	0.0016	0.0000	0.0057	0.0000	0.0025

吾人觀察各產品途程(附表 A- 1~附表 A- 6)於黃光區之來源工作區(附表 B- 1)，將之與其製程規格(表 4- 3)對照後，彙整表 4- 26 至表 4- 28。吾人對每一產品整理出其每一製程規格之來源工作區比例(表 4- 29)。如 A 產品在製程規格 1 共有四個層級，其來源工作區為測試區為一個層級，蝕刻區亦同，而薄膜區則為二個層級。故當 A 產品於製程規格能力為 1 時，來源工作區為蝕刻區之機率為 1/4、測試區為 1/4，薄膜區為 2/4。

表 4- 26 A 產品於各層級之製程規格與來源工作區之對照表

層級	製程規格	上一工作區/工作站	製程步驟
第一層	3	薄膜區/W19	2
第二層	1	薄膜區/W19	5
第三層	3	薄膜區/W05	8
第四層	2	薄膜區/W01	11
第五層	1	薄膜區/W04	15
第六層	1	測試區/W22	18
第七層	2	薄膜區/W05	22
第八層	2	蝕刻區/W14	24
第九層	1	蝕刻區/W14	26

表 4- 27 B 產品於各層級之製程規格與來源工作區之對照表

層級	製程規格	上一工作區/工作站	製程步驟
第一層	4	薄膜區/W19	2
第二層	1	薄膜區/W10	5
第三層	4	蝕刻區/W16	7
第四層	2	薄膜區/W05	10
第五層	3	薄膜區/W06	13
第六層	1	薄膜區/W04	16
第七層	2	測試區/W23	19
第八層	1	薄膜區/W06	22

表 4- 28 C 產品於各層級之製程規格與來源工作區之對照表

層級	製程規格	上一工作區/工作站	製程步驟
第一層	3	薄膜區/W19	2
第二層	1	薄膜區/W05	5
第三層	3	薄膜區/W15	8
第四層	2	薄膜區/W04	12
第五層	2	蝕刻區/W12	14
第六層	1	薄膜區/W06	17

表 4- 29 各產品在不同製程規格下黃光區之來源工作區比例

製程規格	1			2			3			4		
工作區	薄膜	蝕刻	測試	薄膜	蝕刻	測試	薄膜	蝕刻	測試	薄膜	蝕刻	測試
A 產品	2/4	1/4	1/4	2/3	1/3		1					
B 產品	1			1/2		1/2	1			1/2	1/2	
C 產品	1			1/2	1/2		1					

確認各產品在不同製程規格下黃光區之來源工作區比例後，代入式 3- 45，將各產品各製程規格於各瓶頸機台之到達率(表 4- 23~表 4- 25)乘於其來源工作區之比例值(表 4- 29)，即為各產品在黃光區之來源工作區的到達率。如 AH-T 製程規格 1 在機台 1 之來源工作區為蝕刻區到達率為 $0.0035 \times (1/4) = 0.0009$

表 4- 30 高等級檢測產品(H-T)由特定來源工作區到臨各瓶頸機台之到達率

產品別	來源區	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7	合計
A	薄膜區	0.0017				0.0017		0.0017	0.0051
	蝕刻區	0.0009				0.0009			0.0018
	測試區	0.0009							0.0009
B	薄膜區			0.0043				0.0009	0.0052
	蝕刻區			0.0009					0.0009
	測試區			0.0009					0.0009
合計		0.0035		0.0061		0.0026		0.0026	0.0148

表 4- 31 一般等級非檢測產品(N-NT)由特定來源工作區到臨各瓶頸機台之到達率

產品別	來源區	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7	合計
A	薄膜區	0.0077			0.0234		0.0312	0.0312	0.0935
	蝕刻區	0.0039			0.0117		0.0156		0.0312
	測試區	0.0039			0.0117				0.0156
B	薄膜區	0.0250	0.0282	0.0174		0.0156	0.0073		0.0935
	蝕刻區			0.0156					0.0156
	測試區		0.0156						0.0156
C	薄膜區			0.0050		0.0252		0.0108	0.0410
	蝕刻區							0.0082	0.0082
	測試區								0.0000
合計		0.0405	0.0438	0.0379	0.0469	0.0408	0.0541	0.0502	0.3142

表 4- 32 一般等級非檢測產品(N-T)由特定來源工作區到臨各瓶頸機台之到達率

產品別	來源區	機台 1	機台 2	機台 3	機台 4	機台 5	機台 6	機台 7	合計
A	薄膜區		0.0016			0.0016		0.0017	0.0049
	蝕刻區		0.0008					0.0008	0.0016
	測試區		0.0008						0.0008
B	薄膜區	0.0008	0.0008	0.0008		0.0025			0.0049
	蝕刻區			0.0008					0.0008
	測試區		0.0008						0.0008
C	薄膜區	0.0009				0.0012			0.0021
	蝕刻區					0.0004			0.0004
	測試區								0.0000
合計		0.0017	0.0048	0.0016		0.0057		0.0025	0.0163

得知每一屬性產品在各瓶頸機台由特定來源工作區到臨之到達率後，代入式 3- 46，依照產品別、等級別與來源區之分類，加總各機台之到達率，即為各類型產品於黃光區之到達率組告(表 4- 33)，並將其值代入式 3- 31，利用 Excel 運算得各產品於每一工作區之到達率(表 4- 34)。

表 4- 33 各產品於黃光區之到達率組合

產品	等級別	薄膜區	蝕刻區	測試區
A	H-T	0.0051	0.0018	0.0009
	N-NT	0.0935	0.0312	0.0156
	N-T	0.0049	0.0016	0.0008
B	H-T	0.0052	0.0009	0.0009
	N-NT	0.0935	0.0156	0.0156
	N-T	0.0049	0.0008	0.0008
C	N-NT	0.0410	0.0082	0.0000
	N-T	0.0021	0.0004	0.0000

表 4- 34 各產品於每一工作區到達率

	$j = 1 (A)$		$j = 2 (B)$		$j = 3 (C)$	
	$pri = 1$	$pri = 2$	$pri = 1$	$pri = 2$	$pri = 1$	$pri = 2$
產品投入 $\alpha_{1,j}^{pri}$	0.0009	0.0164	0.0009	0.0164	0.0000	0.0108
薄膜區 $\lambda_{1,j}^{pri}$	0.0052	0.0984	0.0052	0.0984	0.0000	0.0432
黃光區 $\lambda_{2,j}^{pri}$	0.0078	0.1475	0.0069	0.1312	0.0000	0.0518
蝕刻區 $\lambda_{3,j}^{pri}$	0.0078	0.1475	0.0069	0.1312	0.0000	0.0518
測試區 $\lambda_{4,j}^{pri}$	0.0035	0.0656	0.0017	0.0328	0.0000	0.0129

Step2.估算每一工作站到達率

依照製程資料(附表 A- 1 至附表 A- 6)得知產品到達每一工作站之機率(如表 4- 35)，與各產品於每一工作區到達率(表 4- 34)，代入式 3- 47 即得各工作站平均到達率。(以 w01-H 為例)

$$laar_{1,1}^1 = \sum_j p_{1,1,j}^1 \times \lambda_{1,j}^1 = \frac{2}{6} \times 0.0052 + \frac{1}{6} \times 0.0052 = 0.0026$$

表 4-35 各產品經過每一工作站之機率值

	檢測			非檢測		
	A 產品	B 產品	C 產品	A 產品	B 產品	C 產品
w01	2/6	1/6	1/5	2/6	1/6	1/5
w02	1/6	1/6	1/5	1/6	1/6	1/5
w03	1/6	1/6	1/5	1/6	1/6	1/5
w04	1/6	1/6	1/5	1/6	1/6	1/5
w05	2/6	2/6	2/5	2/6	2/6	2/5
w06	2/6	2/6	3/5	2/6	2/6	3/5
w08	1/9	1/8	1/6	1/9	1/8	1/6
w09	4/9	3/8	0	4/9	3/8	0
w10	0	1/6	0	0	1/6	0
w11	3/9	4/8	5/6	3/9	4/8	5/6
w12	8/9	7/8	5/6	8/9	7/8	5/6
w13	3/9	2/8	2/6	3/9	2/8	2/6
w14	4/9	2/8	2/6	4/9	2/8	2/6
w15	4/6	1/6	1/5	4/6	1/6	1/5
w16	3/9	3/8	2/6	3/9	3/8	2/6
w17	5/9	8/8	6/6	0	0	0
w18	0	0	1/2	0	0	1/2
w19	2/6	2/6	2/5	2/6	2/6	2/5
w20	3/9	3/8	3/6	3/9	3/8	3/6
w21	6/9	1/8	6/6	6/9	1/8	6/6
w22	1	1	1/2	4/4	1	1/2
w23	2/4	1	1/2	2/4	1	1/2

表 4-36 各工作站到達率

工作站	w01	w02	w03	w04	w05
N	0.0026	0.0017	0.0017	0.0017	0.0035
H	0.0578	0.0414	0.0414	0.0414	0.0828
工作站	w06	w07	w08	w09	w10
N	0.0035	0.0156	0.0017	0.0061	0.0009
H	0.0915	0.3305	0.0414	0.1148	0.0164
工作站	w11	w12	w13	w14	w15
N	0.0061	0.0130	0.0043	0.0052	0.0017
H	0.1579	0.2891	0.0992	0.1156	0.0414
工作站	w16	w17	w18	w19	w20
N	0.0052	0.0113	0.0000	0.0035	0.0052
H	0.1156	0.0131	0.0065	0.0828	0.1243
工作站	w21	w22	w23		
N	0.0017	0.0052	0.0035		
H	0.0414	0.1048	0.0720		

Step3.估算每一工作站之服務率

依照產品於每一工作站所需加工時間與加工層級數，以及各工作站之當機與保養兩項因素，代入式 3- 48 與式 3- 49 求得各工作站之期望服務時間與服務率。(計算過程以 w01 為例)

$$E(NBST_{1,1}) = \frac{\sum_j \sum_{pri} \sum_r nbpt_{1,1,j}^{pri,r} \times nl_j^{pri,r} \times (1 + nbdt_{1,1} + nbpm_{1,1})}{\sum_j \sum_{pri} \sum_r nl_j^{pri,r}}$$

$$= \frac{(12.3 \times 3 + 11.1 \times 3 + 11.7 \times 3 + 11.7 \times 2) \times (1 + 0.0039 + 0.0018)}{11} = 11.7674$$

$$\mu_{1,1} = \frac{1}{E(NBST_{1,1})} = \frac{1}{11.7674} = 0.0850$$

表 4- 37 每一工作站之服務率

工作站編號	w01	w02	w03	w04	w05	w06	w07	w08	w09
$E(NBST_{x,w})$	11.7674	9.3536	14.8966	14.8486	13.0409	12.2966	18.4153	22.5024	8.1010
$\mu_{x,w}$	0.0850	0.1069	0.0671	0.0673	0.0767	0.0813	0.0543	0.0444	0.1234
工作站編號	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17	w18
$E(NBST_{x,w})$	12.0691	14.6820	13.0050	12.6758	13.0749	13.4912	7.2240	13.1627	7.7444
$\mu_{x,w}$	0.0829	0.0681	0.0769	0.0789	0.0765	0.0741	0.1384	0.0760	0.1291
工作站編號	w19	w20	w21	w22	w23				
$E(NBST_{x,w})$	12.7841	9.3301	14.8024	11.2062	11.1438				
$\mu_{x,w}$	0.0782	0.1072	0.0676	0.0892	0.0897				

Step4.估算等級產品於工作站之等候時間

分別由 Step1.與 Step2.得知各工作區不同等級之均到達率與每一工作站之平均服務率後，採用非逐位性等候模式，以式 3- 50 計算曝光工作站內各機台在不同等級產品下之系統穩態等候時間 $W_{x,w}^{pri}$ 與等候線上期望等候時間 $W_{x,w}^{pri,q}$ 。並將求得結果如表 4- 38 所示。(計算過程以 w01 之高等級工單 H 為例)。

$$W_{1,1}^1 = \frac{1}{A_{1,1} B_{1,1}^0 B_{1,1}^1} + \frac{1}{\mu_{1,1}} = \frac{1}{373.4083 \times 1 \times 0.9847} + \frac{1}{0.085} = 11.7701$$

$$W_{1,1}^{1q} = W_{1,1}^1 - \frac{1}{\mu_{1,1}} = 11.7701 - \frac{1}{0.085} = 0.0027$$

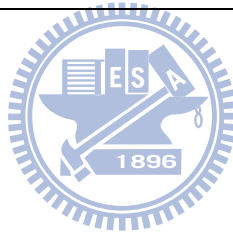
$$A_{1,1} = 2! \frac{2 \times 0.085}{0.0306^2} \sum_{j=0}^{2-1} \frac{0.0306^j}{j!} + 2 \times 0.085 = 373.4083$$

$$B_{1,1}^0 = 1, B_{1,1}^1 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^1 \lambda_x^i}{M_1 \mu_{1,1}} = 1 - \frac{0.0026}{2 \times 0.085} = 0.9847$$

$$z = \frac{\sum_{i=1}^1 \lambda_x^i}{\mu_{1,1}} = \frac{0.0026}{0.085} = 0.0306$$

表 4- 38 不同等級工單在各工作站之穩態等候時間

工作站編號	w01	w02	w03	w04	w05	w06	w08	w09
$W_{x,w}^1$	11.7701	9.5031	14.8966	14.8511	13.0474	12.3021	22.5024	8.1011
$W_{x,w}^{1,q}$	0.0027	0.1495	0.0000	0.0024	0.0065	0.0055	0.0001	0.0001
$W_{x,w}^2$	12.8245	12.7609	15.0456	15.9563	15.8900	15.2098	23.1632	8.3447
$W_{x,w}^{2,q}$	1.0571	3.4073	0.1490	1.1076	2.8491	2.9132	0.6608	0.2437
工作站編號	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17
$W_{x,w}^1$	12.1943	14.6825	13.0050	12.6760	13.0751	13.8002	7.2265	13.1627
$W_{x,w}^{1,q}$	0.1252	0.0005	0.0000	0.0001	0.0002	0.3090	0.0025	0.0001
$W_{x,w}^2$	14.3007	21.5661	17.7974	13.4885	14.4554	21.7397	8.1685	13.1639
$W_{x,w}^{2,q}$	2.2315	6.8841	4.7924	0.8127	1.3805	8.2485	0.9445	0.0012
工作站編號	w18	w19	w20	w21	w22	w23		
$W_{x,w}^1$	0.0000	12.7842	9.3302	14.8024	11.2155	11.1479		
$W_{x,w}^{1,q}$	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0093	0.0041		
$W_{x,w}^2$	8.1154	13.3059	9.8112	14.8191	14.2553	12.5063		
$W_{x,w}^{2,q}$	0.3711	0.5217	0.4811	0.0166	3.0491	1.3624		



4.2.2.2. 估算產品之生產週期時間

綜合上述工作站等候時間之估算結果，以 3.3.1.2.1.2 節之產品生產週期時間估算模式，依照產品製程順序，累加產品每一步驟之週期時間，即為各產品於系統內之生產週期時間。本文將以高等級產品 A進行演算，其步驟如下：

執行步驟

Step1.初始化，產品 $j=1$ 等級 $pri=1$ 屬性別 $r=1$ 製程步驟 $i=1$ 。

Step2.當製程步驟 $i=1$ 時所使用之工作站為 w02，確認 $pri=1$ ，故該站之等候時間為 0.1495 分鐘。

Step3.計算將製程時間與等候時間相加，求得週期時間為 $9.3+0.1495=9.4495$ 分鐘。

Step4.步驟 $i=1$ 至 $i=2$ 時，無需經過 Interbay 系統協助搬運至下一工作站，因此搬運時間為 0；若需搬運時間，則套用郭氏【61】之搬運模組，詳細計算步驟，解說於 4.2.2.2.1 節。

Step5.將 Step3.週期時間與 Step4.搬運時間加總。週期時間為 $9.4495+0=9.4495$ 分鐘。

Step6.當 $i=2$ 時，製程步驟尚未結束，重回 Step2.計算該步驟之週期時間，如此循環求算所有步驟之週期時間，其結果如表 4-39 所示。

Step7.由於在此環境下 $j=1$ 、 $pri=1$ 並無檢測產品，故 $r=2$ 可直接跳過，不用重新運算，並跳至 Step8。

Step8. $pri=2$ 之生產週期時間並未估算，將設定 $i=1$ 與 $r=1$ 並回到 Step2 繼續進行估算動作。

Step9.當所有產品之生產週期時間皆估算完畢時，則結束執行步驟；否，則 $j=2$ 、 $r=1$ 、 $i=1$ 且 $pri=1$ 回到 Step2.進行估算動作。而各產品之不同等級屬性別之生產週期時間詳列於表 4-40 中。

表 4- 39 高等級檢測產品 A 之製程步驟週期時間(單位：分鐘)

編號	工作站	工作站週期時間	搬運時間	製程步驟週期時間	編號	工作站	工作站週期時間	搬運時間	製程步驟週期時間
1	W02	9.4495	0.0000	9.4495	32	W13	12.3001	0.0000	12.3001
2	W19	12.8001	6.5347	19.3348	33	W12	13.2500	0.0000	13.2500
3	W07	30.1342	0.0000	30.1342	34	W20	9.0001	5.9904	14.9905
4	W17	8.3001	6.7404	15.0405	35	W22	11.2093	7.0387	18.2480
5	W09	7.3601	0.0000	7.3601	36	W04	14.4324	6.5347	20.9671
6	W12	10.8500	0.0000	10.8500	37	W07	36.9047	0.0000	36.9047
7	W16	7.1325	10.4904	17.6229	38	W17	8.6001	6.7404	15.3405
8	W01	12.3027	0.0000	12.3027	39	W09	7.3601	0.0000	7.3601
9	W19	12.5001	6.5347	19.0348	40	W12	13.6000	0.0000	13.6000
10	W07	36.9047	0.0000	36.9047	41	W20	9.0701	5.9904	15.0605
11	W17	7.8001	6.7404	14.5405	42	W22	10.8093	10.7887	21.5980
12	W14	12.7002	0.0000	12.7002	43	W07	36.9047	6.7404	43.6451
13	W16	8.0025	0.0000	8.0025	44	W11	12.3005	0.0000	12.3005
14	W11	14.2305	0.0000	14.2305	45	W12	12.8000	5.9904	18.7904
15	W12	12.3000	10.4904	22.7904	46	W22	11.6093	0.0000	11.6093
16	W06	10.2355	0.0000	10.2355	47	W23	11.3041	7.0387	18.3428
17	W05	13.6565	6.5347	20.1912	48	W05	11.6565	6.5347	18.1912
18	W07	30.1342	0.0000	30.1342	49	W07	32.3907	6.7404	39.1311
19	W17	8.5001	6.7404	15.2405	50	W13	12.7001	0.0000	12.7001
20	W09	7.3601	0.0000	7.3601	51	W12	11.5000	0.0000	11.5000
21	W14	11.6002	0.0000	11.6002	52	W14	13.5002	12.7404	26.2406
22	W12	13.0000	0.0000	13.0000	53	W08	32.3907	6.7404	39.1311
23	W20	9.3001	0.0000	9.3001	54	W21	14.1600	0.0000	14.1600
24	W16	6.2625	10.4904	16.7529	55	W11	16.1005	0.0000	16.1005
25	W06	13.1755	0.0000	13.1755	56	W12	13.5000	0.0000	13.5000
26	W03	14.8300	0.0000	14.8300	57	W14	14.2002	12.7404	26.9406
27	W15	13.4690	0.0000	13.4690	58	W07	36.9047	6.7404	43.6451
28	W01	11.1027	6.5347	17.6374	59	W13	12.5001	5.9904	18.4905
29	W07	32.3907	0.0000	32.3907	60	W22	11.0493	0.0000	11.0493
30	W17	8.0001	6.7404	14.7405	61	W23	11.2041	0.0000	11.2041
31	W09	7.3601	0.0000	7.3601					

*搬運時間為零表示該步驟無須經由 Interbay 搬運

表 4- 40 所有產品之生產週期時間

等級別	屬性別	產品別	生產週期時間(分鐘)	生產週期時間(小時)
高等級工單	檢測	A 產品	1094.0077	18.2335
		B 產品	1019.0294	16.9838
一般等級	檢測	A 產品	2838.9583	47.3160
		B 產品	2611.1388	43.5190
		C 產品	2066.3155	34.4386
	非檢測	A 產品	2797.9363	46.6323
		B 產品	2555.1478	42.5858
		C 產品	1938.6433	32.3107

4.2.2.2.1.搬運時間估算之執行步驟

在估算搬運時間製程步驟前，先套用梁氏【58】之搬運車數估算模組，推得系統所需之搬運車數。

Step1.確認系統規劃幅度內之各產品產出目標，如表 4- 2 所示。

Step2.將每一產品從投入到產出所需搬運次數(表 4- 41 至表 4- 43)，乘上每一工作區間所需繞行圈數(表 4- 1)。得每一產品從投入到產出所需繞行 Interbay 之圈數(表 4- 44 至表 4- 46)。

表 4- 41 A 產品搬運流程從至表

	薄膜	黃光	蝕刻	測試
薄膜	-	6	0	0
黃光	0	-	9	0
蝕刻	3	2	-	4
測試	2	1	0	-

表 4- 42 B 產品搬運流程從至表

	薄膜	黃光	蝕刻	測試
薄膜		6	0	0
黃光	0		8	0
蝕刻	5	1		2
測試	0	1	0	

表 4- 43 C 產品搬運流程從至表

	薄膜	黃光	蝕刻	測試
薄膜		5	0	0
黃光	0		6	0
蝕刻	3	1		2
測試	1	0	0	

表 4- 44 A 產品所需繞行圈數

	薄膜	黃光	蝕刻	測試
薄膜	-	1.5	0	0
黃光	0	-	2.7	0
蝕刻	1.35	1.4	-	1
測試	0.4	0.45	0	-

表 4- 45 B 產品所需繞行圈數

	薄膜	黃光	蝕刻	測試
薄膜	-	1.5	0	0
黃光	0	-	2.4	0
蝕刻	2.25	0.7	-	0.5
測試	0	0.45	0	-

表 4- 46 C 產品所需繞行圈數

	薄膜	黃光	蝕刻	測試
薄膜	-	1.25	0	0
黃光	0	-	1.8	0
蝕刻	1.35	0.7	-	0.5
測試	0.2	0	0	-

Step3.估算將每一產品於規劃幅度內之產出目標(表 4- 2)乘上所對應需繞行之圈數(表 4- 44 至表 4- 46)，並將所有產品圈數加總，得規劃幅度內所需搬運總數。

$$\begin{aligned}
 DQ &= (1.5 + 2.7 + 1.35 + 1.4 + 1.1 + 0.4 + 0.45) \times (35 + 33 + 628) \\
 &\quad + (1.5 + 2.4 + 2.25 + 0.7 + 0.5 + 0.45) \times (35 + 33 + 628) \\
 &\quad + (1.25 + 1.8 + 1.35 + 0.7 + 0.5 + 0.2) \times (17 + 331) \\
 &= 13572
 \end{aligned}$$

Step4.估算單一搬運車在規劃幅度內，平均每月理想可提供之運圈數 SQ 。

$$SQ = \frac{T}{vt} = \frac{28 \times 24 \times 60}{15} = 2688$$

Step5.估算系統所需最適搬運車數 Veh 。

$$Veh = \left\lceil \frac{DQ}{SQ} \right\rceil = \left\lceil \frac{13572}{2688} \right\rceil = \lceil 5.049 \rceil = 6$$

套用郭氏【61】估算搬運時間之製程步驟，計算產品於每一工作區之等候時間，其步驟如下：

Step1.確認系統規劃幅度內之各產品產出目標，如表 4- 2 所示。

Step2.由製程資訊估算各產品於在規劃幅度內所需總搬運次數(表 4- 47)，並乘上各產品之產出目標，以求得各產品於每一工作區之總搬運次數(表 4- 48)。如 AH-T 產品於薄膜區總搬運次數為 $6 \times 35 = 210$ (次)。

表 4- 47 各產品於工作區之搬運次數

搬運次數	A 產品	B 產品	C 產品
薄膜區	6	6	5
黃光區	9	8	6
蝕刻區	9	8	6
測試區	4	2	2

表 4- 48 各產品於各工作區之總搬運次數

	A 產品			B 產品			C 產品	
	H-T	N-T	N-NT	H-T	N-T	N-NT	N-T	N-NT
薄膜區	210	198	3768	210	198	3768	85	1655
黃光區	315	297	5652	280	264	5024	102	1986
蝕刻區	315	297	5652	280	264	5024	102	1986
測試區	140	132	2512	70	66	1256	34	662

Step3.得知各產品於各工作區之總搬運次數後，依照等級別將工作區之搬運次數相加，即為不同等級工件在各工作區下所需總搬運次數(表 4- 49)。如薄膜區高等級工件之總搬運次數為 $210+210=420$ (次)。

表 4- 49 不同等級工件在各工作區之總搬運次數

工作區	高等級	一般等級
薄膜區	420	9672
黃光區	595	13325
蝕刻區	595	13325
測試區	210	4662

Step4.估算不同等級工單在各工作區的平均到達率，將 Step3.所求的各區總搬運次數除以規劃時間長度，即為所得(表 4- 50)。如高等級工件於薄膜區之平均到達率為 $420 \div (28 \times 24 \times 60) = 0.0104$ (次/分)。

表 4- 50 不同等級工件於各工作區之平均到達率

工作區	高等級	一般等級
薄膜區	0.0104	0.2399
黃光區	0.0148	0.3305
蝕刻區	0.0148	0.3305
測試區	0.0052	0.1156

Step5.計算規劃幅度內，搬運車平均經過各區的次數 R ，以及不能接受服務的次數 R'_x ；其中搬運車平均經過各區之次數為規劃時間長度除以搬運車繞行一圈之速度再乘上車輛數；而不能接受服務之意義為若搬運車需將工件從黃光區送至測試區，途中經過蝕刻區，此時蝕刻區若有工件需被運送時，則無法服務。故每一產品不能被運送之服務乃由製程資訊得知，再乘上各產品之產出目標，即為不能接受服務的次數。 R'_x 運算公式以薄膜區為例，如下所示。

$$R = \frac{T}{vt} \times Veh = \frac{28 \times 24 \times 60}{15} \times 6 = 16128 (\text{次/分})$$

$$R'_x = \sum_i R'_{i,x} \times IT_i = 3 \times 35 + 3 \times 661 + 2 \times 35 + 2 \times 661 + 1 \times 348 = 3828$$

Step6.計算規劃幅度內，搬運車可接受服務之次數(Y_x)，即為平均經過各區之次數(R)扣除不能接受服務之次數(R'_x)。

表 4- 51 搬運車於各工作區可接受服務之次數

工作區	R'_x	Y_x
薄膜區	3828	12300
黃光區	0	16128
蝕刻區	0	16128
測試區	9048	7080

Step7.計算搬運車於各工作區之平均服務率。即為搬運車於各工作區可接受服務之次數除以規劃長度時間。如薄膜區之服務率為 $12300 \div (28 \times 24 \times 60) = 0.3051$ (次/分)。

表 4- 52 搬運車於各工作區之平均服務率

	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
服務率	0.3051	0.4	0.4	0.1756

Step8.依據 M/M/1 多等級等候模式【28】，估算各等級工件於每一工作區等候搬運所需時間。以高等級工件在薄膜區之等候時間為例，套用公式如下：

$$TM_x^h = \frac{\mu_x}{A'(\mu_x - \lambda_x^h)} = \frac{0.3051}{0.3718 \times (0.3051 - 0.0104)} = 2.7847 (\text{分})$$

$$A' = \frac{0.3051^2}{(0.0104 + 0.2399)} = 0.3718$$

表 4- 53 各等級工件於各工作區之等候時間

工作區	高等級	一般等級
薄膜區	2.7847	15.5125
黃光區	2.2403	16.3646
蝕刻區	2.2404	16.3646
測試區	4.0387	12.9501

Step9.計算純搬運時間，若產品於 i 製程步驟至 $i+1$ 製程步驟，其工作站所屬工作區相異，則需搬運車運送，其純搬運時間為搬運車繞行一圈所需時間乘上兩工作區之間所需搬運圈數；反之，無需搬運車運送，純搬運時間為 0。以高等級產品 A 為例。在第 2 步驟 w19 至第 3 步驟 w07 進行加工時，需由薄膜區運送至黃光區，純搬運時間為 $15 \times 0.25 = 3.75$ (分)。

表 4- 54 各工作區間所需搬運時間表

From \ To	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
薄膜區	-	3.75	8.25	12
黃光區	11.25	-	4.5	8.25
蝕刻區	6.75	10.5	-	3.75
測試區	3	6.75	11.25	-

Step10.加總純搬運時間與等候時間，即為各等級工件於每一步驟之所需搬運時間。若純搬運時間為 0 時，則無需搬運，運輸時間為 0。

4.2.3. 瓶頸工作站每日作業數估算之執行步驟

依 TOC 觀點可知，系統產出受制於瓶頸工作站，本小節將依照 3.3.1.2.2 節估算步驟，求算瓶頸工作站每日作業數，可藉此推算以供各產品之投料規劃依據，以確保系統產出能達到預期產出目標。其步驟如下：

Step1.瓶頸工作站每日產出屬性 r 等級 pri 製程規格 d 產品 j 之層級數

由機群產能負荷分配模式可知非關鍵層與關鍵層之分配層級數(表 4- 8)，透過式 3- 51 計算出瓶頸工作站每日產出各產品之層級數。(以一般等級非檢測製程規格 1 之 A 產品為例)

$$mo_{1,1}^{2,1} = \frac{\sum_k NCL_{1,1,k}^{1,1} + CL_{1,1,k}^{1,1} \times CLN_{1,1}^{1,1}}{T} = \frac{2512 + 0 \times 2}{28} = 89.7143(lot)$$

表 4- 55 各產品於瓶頸工作站每日產出之層級數

單位：片	高等級(H)			一般等級(N)						合計
	檢測(T)			非檢測(NT)			檢測(T)			
製程規格	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
1	5	3.75	0	89.7143	67.2857	23.6429	4.7143	3.5357	1.2143	198.8571
2	3.75	2.5	0	67.2857	44.8571	23.6429	3.5357	2.3571	1.2143	149.1429
3	2.5	1.25	0	44.8571	22.4286	23.6429	2.3571	1.1786	1.2143	99.4286
4	0	2.5	0	0	44.8571	0	0	2.3571	0	49.7143
合計	11.2500	10.0000	0.0000	201.8571	179.4286	70.9286	10.6071	9.4286	3.6429	497.1429

Step2.瓶頸工作站每日產出之層級總數(系統每日作業數)

透過式 3- 52 將上步驟之所有層級數加總，即為瓶頸工作站每日作業數。

$$bmo = \sum_j \sum_{pri} \sum_r \sum_d mo_{j,d}^{pri,r} = 5 + 3.75 + 2.5 + \dots + 1.2143 + 1.2143 + 1.2143 = 497.1429(lot)$$

Step3.瓶頸工作站每日產出之產品總數

考量每一產品之加工層級數之差異，透過式 3- 53，將瓶頸工作站每日產出之層級數，依照產品別之差異，分別除以該產品之層級數。即為瓶頸工作站之每日產出產品總數。

$$mop_{1,1}^{2,1} = \frac{mo_{1,1}^{2,1}}{bnl_{1,1}} = \frac{89.7149}{4} = 22.4286$$



表 4- 56 一般等級非檢測產品 A 於瓶頸工作站之每日產出數

	製程規格 1	製程規格 2	製程規格 3	製程規格 4
需加工之層級數	4	3	2	0
總加工層級數(月)	2512	1884	1256	0
每日加工層級數	89.7149	67.2857	44.8571	-
每日產出數	22.4286	22.4286	22.4286	-

表 4- 57 各產品於瓶頸工作站之每日產出量

	高等級(H)			一般等級(N)					
	檢測(T)			非檢測(NT)			檢測(T)		
產品別	A	B	C	A	B	C	A	B	C
產出數	1.25	1.25	-	22.4286	22.4286	11.8214	1.1786	1.1786	0.6071

4.2.4. 系統在製品估算之執行步驟

由 Little's Law 觀點可知，當系統產能達到一定上限時，在製品增加易導致產品生產週期時間無限延長，因此，套用 Little's Formula，透過式 3- 54~式 3- 56 推算各產品與系統之最適在製品數量，以作為系統投料規劃之考量，控制生產週期時間不致延長。計算過程如下所示：

Step1.系統之平均產出率

將各產品之產出目標除以規劃幅度時間，即可得每時平均產出率，以高等級檢測產品 A 為例。

$$par_1^{1,2} = \frac{35}{28 \times 24} = 0.0521$$

表 4- 58 各產品之每日平均產出率

等級別	高等級		一般等級					
屬性別	檢測		非檢測			檢測		
產品別	A 產品	B 產品	A 產品	B 產品	C 產品	A 產品	B 產品	C 產品
產出率	0.0521	0.0521	0.9345	0.9345	0.4926	0.0491	0.0491	0.0253

Step2.各產品之系統最適在製品數量

將 Step2.產出率乘於生產週期時間，即為各產品於系統最適在製品數量。以高等級檢測產品 A 為例。

$$wip_1^{1,2} = 0.0521 \times 18.2335 = 0.9497$$

表 4- 59 各產品於系統最適在製品數量

等級別	高等級		一般等級						總合
屬性別	檢測		非檢測			檢測			
產品別	A 產品	B 產品	A 產品	B 產品	C 產品	A 產品	B 產品	C 產品	
產出率	0.9497	0.8846	44.2179	39.3302	15.9149	2.29	2.1371	0.8712	106.5956

Step3.系統最適在製品

將所有產品加總，即為系統最適在製品數量(表 4- 59)，加總可得本系統在產出目標為 1740 lots 時，系統最適在製品數量為 106 lots。

4.2.5. 投料規劃之執行步驟

系統每日產出量取決於瓶頸工作站之每日產出，得瓶頸工作站之每日產出量後，即可依此規劃系統每日投料種類與數量。由於高等級產品，因等級優勢加速系統生產速度，縮短等候時間，故設定投料規劃時，高等級產品之投料順序較一般等級產品晚。

吾人依照 3.3.1.3 節所設計之投料法則決定各產品之投料順序表。各產品於瓶頸工作站之每日產出量為(AH-T :BH-T :AN-NT :BN-NT :CN-NT :AN-T :BN-T :CN-T) = (1.25 :1.25 :22.43 :22.43 :11.82 :1.18 :1.18 :0.61)。照此比例乘上各自所需加工層級數，得各產品每日加工總層級數為(11.25: 10: 201.87: 179.44: 70.92: 10.62: 9.44: 3.66)，從中選出最大數值之產品別作為第一順位，即為 AN-NT，選出後，扣減該產品一單位所對應之加工層級數，則所有產品每日總加工層級數變更為(11.25: 10: 192.87: 179.44: 70.92: 10.62: 9.44: 3.66)，並再次挑選最大數值之產品別作為第二順位，亦為 AN-NT，依此類推，計算結果如表 4- 60。如表所示，在投料 67 次後，即重複投料，因此投料表以 67 個投料序形成一投料循環。

表 4- 60 各產品之投料順序表

順序	等級別	屬性別	產品別	順序	等級別	屬性別	產品別
1	一般	非檢測	A	18	一般	非檢測	A
2	一般	非檢測	A	19	一般	非檢測	B
3	一般	非檢測	A	20	一般	非檢測	A
4	一般	非檢測	B	21	一般	非檢測	B
5	一般	非檢測	A	22	一般	非檢測	A
6	一般	非檢測	B	23	一般	非檢測	B
7	一般	非檢測	A	24	一般	非檢測	A
8	一般	非檢測	B	25	一般	非檢測	B
9	一般	非檢測	A	26	一般	非檢測	A
10	一般	非檢測	B	27	一般	非檢測	B
11	一般	非檢測	A	28	一般	非檢測	A
12	一般	非檢測	B	29	一般	非檢測	B
13	一般	非檢測	B	30	一般	非檢測	C
14	一般	非檢測	A	31	一般	非檢測	B
15	一般	非檢測	B	32	一般	非檢測	A
16	一般	非檢測	A	33	一般	非檢測	C
17	一般	非檢測	B	34	一般	非檢測	B

表 4- 61 各產品之投料順序表(續)

順序	等級別	屬性別	產品別	順序	等級別	屬性別	產品別
35	一般	非檢測	C	52	一般	非檢測	C
36	一般	非檢測	A	53	一般	非檢測	A
37	一般	非檢測	C	54	一般	非檢測	B
38	一般	非檢測	B	55	一般	非檢測	C
39	一般	非檢測	A	56	一般	檢測	A
40	一般	非檢測	C	57	一般	檢測	B
41	一般	非檢測	B	58	一般	非檢測	C
42	一般	非檢測	C	59	一般	非檢測	A
43	一般	非檢測	A	60	一般	檢測	C
44	一般	非檢測	B	61	一般	非檢測	B
45	一般	非檢測	C	62	一般	檢測	A
46	一般	非檢測	A	63	一般	檢測	B
47	一般	非檢測	C	64	高	檢測	A
48	一般	非檢測	B	65	高	檢測	B
49	一般	非檢測	C	66	高	檢測	A
50	一般	非檢測	A	67	高	檢測	B
51	一般	非檢測	B				

4.3. 結果比較與分析

4.3.1. 模擬驗證

吾人蒐集模擬所得之生產績效資訊，作為本文之生產週期時間估算與瓶頸機台利用率進行驗證比較。驗證過程於下以各小節詳述，而模擬環境於 4.1.3 節進行說明。

4.3.2. 生產週期時間估算分析

為驗證生產週期時間估算之準確性，吾人藉由蒐集模擬系統資訊，以作為本文生產週期時間估算準備性之驗證。

本案例月產出目標 1740 lots，產品比例如表 4- 62。各產品生產週期時間估算結果與模擬結果之比較如表 4- 63。規劃產出量與模擬產出量之比較如表 4- 64。

表 4- 62 各產品之生產比例

(單位：lots)		A產品	B產品	C產品	合計
高等級	檢測	35(2%)	35(2%)	0	70(4%)
一般等級	檢測	33(2%)	33(2%)	17(1%)	83(5%)
	非檢測	628(36%)	628(36%)	331(19%)	1587(91%)
總數		696(40%)	696(40%)	348(20%)	1740(100%)

表 4- 63 各產品生產週期時間估算值與模擬值之比較

	高等級(H)		一般(N)					
	檢測(T)		檢測(T)			非檢測(NT)		
	A	B	A	B	C	A	B	C
估算值(分)	1094.0077	1019.0294	2838.9583	2611.1388	2066.3155	2797.9363	2555.1478	1938.6433
估算值(時)	18.2335	16.9838	47.3160	43.5190	34.4386	46.6323	42.5858	32.3107
模擬結果 平均值(時)	18.0352	16.8925	47.8641	44.3316	34.1456	46.7664	43.4760	32.7534
模擬結果 標準差	0.1003	0.1177	0.2569	0.1877	0.2164	0.2317	0.2120	0.2553
差值	-0.1983	-0.0913	0.5481	0.8126	-0.293	0.1341	0.8902	0.4427
誤差	-1.09%	-0.54%	1.16%	1.87%	-0.85%	0.29%	2.09%	1.37%

檢視各產品估算值與模擬值發現，A 產品與 B 產品雖僅差一個加工層級，但 AN-T 與 BN-T 模擬值相差 3.5325 小時(211.95 分鐘)，AN-NT 與 BN-NT 模擬值相差 3.2904 小時(197.424 分鐘)，原因在於 A 產品為 LTPS 製程，B 產品為 CMOS 製程，兩者製程不同，以致於行經之工作區與工作站亦有所差異，故兩產品生產週期時間具有差異。

表 4- 64 各產品規劃產出與模擬產出之比較

產品	AT-H			BT-H			AT-N			BT-N			CT-N			ANT-N			BNT-N			CNT-N			Total		
模擬次數	規劃產出	實際產出	達成率(%)	規劃產出	實際產出	達成率(%)	規劃產出	實際產出	達成率(%)	規劃產出	實際產出	達成率(%)	規劃產出	實際產出	達成率(%)	規劃產出	實際產出	達成率(%)	規劃產出	實際產出	達成率(%)	規劃產出	實際產出	達成率(%)	規劃產出	實際產出	達成率(%)
1	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	17	100	628	629	100.2	628	629	100.2	331	331	100	1740	1742	100.1
2	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	628	100	628	628	100	331	331	100	1740	1739	99.94
3	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	629	100.2	628	628	100	331	331	100	1740	1740	100
4	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	628	100	628	628	100	331	330	99.70	1740	1738	99.89
5	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	624	99.36	628	626	99.68	331	328	99.09	1740	1730	99.43
6	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	628	100	628	628	100	331	330	99.70	1740	1738	99.89
7	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	628	100	628	628	100	331	331	100	1740	1739	99.94
8	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	627	99.84	628	628	100	331	331	100	1740	1738	99.89
9	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	627	99.84	628	627	99.84	331	330	99.70	1740	1736	99.77
10	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	17	100	628	627	99.84	628	628	100	331	331	100	1740	1739	99.94
11	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	627	99.84	628	628	100	331	330	99.70	1740	1737	99.83
12	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	628	100	628	627	99.84	331	331	100	1740	1738	99.89
13	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	628	100	628	628	100	331	331	100	1740	1739	99.94
14	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	628	100	628	628	100	331	331	100	1740	1739	99.94
15	35	35	100	35	35	100	33	33	100	33	33	100	17	16	94.12	628	628	100	628	628	100	331	330	99.70	1740	1738	99.89
平均		35	100		35	100		33	100		33	100		16.13	94.90		627.6	99.94		627.7	99.97		330.5	99.84		1,738	99.89

如表 4- 64 所示，模擬十五次中，本文於數學模式所規劃之結果與模擬的實際驗證，幾乎皆可順利產出。

另外，為確認在相同機台數與產品別種類下，在不同產品組合之模擬結果是否與數學規劃相符，設計另一種產品組合情境如下：

表 4- 65 方案二之產品組合

(單位：lots)		A 產品	B 產品	C 產品	合計
高等級	檢測	17(1%)	34(2%)	0	51(3%)
一般等級	檢測	16(1%)	33(2%)	33(2%)	82(5%)
	非檢測	315(18%)	629(36%)	663(38%)	1607(92%)
總數		348(20%)	696(40%)	696(40%)	1740(100%)

表 4- 66 方案二之產品估算值與模擬值之比較

	高等級(H)		一般(N)					
	檢測(T)		檢測(T)			非檢測(NT)		
	A	B	A	B	C	A	B	C
估算值(分)	1112.4258	1064.2608	2250.0804	1633.6488	1623.0024	1600.9584	1614.0523	1512.3036
估算值(時)	18.5404	17.7377	37.5013	27.2275	27.0500	26.6826	26.9009	25.2051
模擬結果 平均值(時)	18.6554	17.9204	36.8901	26.6557	26.5496	26.3438	26.3844	24.7690
模擬結果 標準差	0.6232	0.9845	0.9589	0.3447	0.2132	0.3135	0.6435	0.7835
差值	-0.1150	-0.1827	0.6113	0.5718	0.5004	0.3389	0.5165	0.4360
誤差	-0.62%	-1.03%	1.63%	2.10%	1.85%	1.27%	1.92%	1.73%

由上述二案例之模擬結果可確認，本文數學模式所估算之生產週期時間與模擬情形誤差於±3%以下，差異甚小。

4.3.3. 曝光工作站利用率差異分析

在曝光工作站內各機台利用率估算方面，本規劃模式結果與模擬情形相當相近，表 4- 67 中列出數學規劃與模擬方法對曝光工作站內各機台利用率之比較與相異程度，差異均小於 1%。可見吾人在曝光工作站產能負荷分配模式之各機台利用率估算結果尚算準確。

表 4- 67 曝光工作站內各機台利用率規劃值與模擬值比例

	W07_01	W07_02	W07_03	W07_04	W07_05	W07_06	W07_07
數學規劃	90.0002%	90.0012%	90.0002%	90.0141%	90.0078%	90.004%	90.0001%
模擬結果	90.0011%	90.0831%	89.9467%	90.0731%	90.0075%	90.0016%	89.9797%
標準差	0.00696	0.00561	0.00954	0.00675	0.00814	0.00444	0.00798
差值	0.0009%	0.0819%	-0.0535%	0.0590%	-0.0003%	-0.0024%	-0.0204%

4.4. 最適產品組合/等級比例規劃執行過程與結果

為評估產品組合/等級比例對整體生產績效之影響，且因應需求變動而遴選具競爭優勢之產品組合/等級比例方案，本章節將利用 3.4 節所述之 OW(Ordering Weight Restriction)模式，針對績效指標的重要程度排序，不僅可提高 DMU 間績效值差異情況，亦可協助決策者找出適合之比例方案。

4.4.1. 產品組合/等級比例之設計

由於本文針對生產小面板產品執行主生產排程。故以 LTPS 製程、PMOS 製程與 COMS 製程之產品，作為本文產品組合之產品別。

在進入資料包絡分析法前，須篩選出可行之產品組合/等級比例方案，詳細步驟如下所述：

1. 產量配置

因產品種類之屬性分為等級別及檢測與否等屬性，吾人依此訂定比例限制。首先，各產品別之最低需求量為總量 10%，每次變動量為 20%，三種產品別需求量比例相加為 100%，經由計算後得 30 組產品別組合比例(表 4- 68)。確定比例後，對每一產品別分別設定高等級別產品與一般等級別產品之比例，高等級產品最高比例為該產品別 20%，最低比例為 0%，每次變動量為 5%。一般等級產品比例隨高等級產品比例而變動，兩者比例相加為 100%，但所有高等級產品總量不可超過總投料量 5%。

為維持良品率以達到生產效益，高等級產品採 100%檢測，一般等級產品之檢測最高比例為 10%，最低比例為 0%，每次以 5%變動，所有檢測產品之投料量(含高等級產品)不可超過總量 10%。並剔除其他極端值比例(如無高等級產品或無一般等級檢測性產

品)，得 6645 組初步可行方案。

表 4- 68 產品別組合比例

編號	產品組合	編號	產品組合
1	(0.1,0.1,0.8)	16	(0.7,0.1,0.2)
2	(0.1,0.8,0.1)	17	(0.1,0.7,0.2)
3	(0.8,0.1,0.1)	18	(0.1,0.2,0.7)
4	(0.3,0.1,0.6)	19	(0.7,0.2,0.1)
5	(0.1,0.3,0.6)	20	(0.2,0.1,0.7)
6	(0.3,0.6,0.1)	21	(0.2,0.7,0.1)
7	(0.1,0.6,0.3)	22	(0.3,0.3,0.4)
8	(0.6,0.3,0.1)	23	(0.3,0.4,0.3)
9	(0.6,0.1,0.3)	24	(0.4,0.3,0.3)
10	(0.5,0.1,0.4)	25	(0.5,0.3,0.2)
11	(0.4,0.5,0.1)	26	(0.3,0.5,0.2)
12	(0.5,0.4,0.1)	27	(0.2,0.3,0.5)
13	(0.4,0.1,0.5)	28	(0.2,0.5,0.3)
14	(0.1,0.5,0.4)	29	(0.3,0.2,0.5)
15	(0.1,0.4,0.5)	30	(0.5,0.2,0.3)

表 4- 69 產品屬性比例設定

等級比例設定		檢測比例設定	
高等級	一般等級	檢測	非檢測
1	0.00	0.00	1.00
0.95	0.05	0.05	0.95
0.9	0.10	0.10	0.90
0.85	0.15		
0.8	0.20		

2. 執行產能負荷篩選條件

為避免瓶頸工作站產能閒置，造成浪費。將 6645 組方案代入第一階段主生產排程設計之「機台產能負荷評估模組」，逐一檢視各方案瓶頸工作站之平均利用率是否高於 $90\% \pm 0.5\%$ ，並予以剔除，剩餘 204 組(附表 C- 1)。

又因機台製程規格與產品垂直鎖定機台之特性，造成工作站內各機台利用率差異拉大。為維持機台間利用率平準化，刪除機台利用率超出工作站平均利用率 $\pm 2\%$ 之方案。經由上述兩條件篩選後，剩餘 35 組方案(如表 4- 70)。

表 4- 70 產品組合/等級比例

DMU	(AN-T,AN-NT,AH-T,BN-T,BN-NT,BH-T,CN-T,CN-NT,CH-T)
1	(0.01,0.19,0,0.03,0.57,0,0.0095,0.1805,0.01)
2	(0.01,0.19,0,0.03,0.57,0,0.009,0.171,0.02)
3	(0.01,0.19,0,0.03,0.57,0,0.0085,0.1615,0.03)
4	(0.01,0.19,0,0.0285,0.5415,0.03,0.01,0.19,0)
5	(0.0095,0.1805,0.01,0.03,0.57,0,0.01,0.19,0)
6	(0.0095,0.1805,0.01,0.03,0.57,0,0.0095,0.1805,0.01)
7	(0.0095,0.1805,0.01,0.03,0.57,0,0.009,0.171,0.02)
8	(0.009,0.171,0.02,0.03,0.57,0,0.01,0.19,0)
9	(0.009,0.171,0.02,0.03,0.57,0,0.0095,0.1805,0.01)
10	(0.0085,0.1615,0.03,0.03,0.57,0,0.01,0.19,0)
11	(0.015,0.285,0,0.02,0.38,0,0.01425,0.27075,0.015)
12	(0.015,0.285,0,0.02,0.38,0,0.0135,0.2565,0.03)
13	(0.015,0.285,0,0.019,0.361,0.02,0.015,0.285,0)
14	(0.015,0.285,0,0.019,0.361,0.02,0.01425,0.27075,0.015)
15	(0.015,0.285,0,0.018,0.342,0.04,0.015,0.285,0)
16	(0.01425,0.27075,0.015,0.02,0.38,0,0.015,0.285,0)
17	(0.01425,0.27075,0.015,0.02,0.38,0,0.01425,0.27075,0.015)
18	(0.01425,0.27075,0.015,0.019,0.361,0.02,0.015,0.285,0)
19	(0.0135,0.2565,0.03,0.02,0.38,0,0.015,0.285,0)
20	(0.015,0.285,0,0.015,0.285,0,0.019,0.361,0.02)
21	(0.04,0.36,0,0.0095,0.0855,0.005,0.0475,0.4275,0.025)
22	(0.005,0.095,0,0.01425,0.27075,0.015,0.03,0.57,0)
23	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.00475,0.09025,0.005)
24	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.0045,0.0855,0.01)
25	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.00425,0.08075,0.015)
26	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.004,0.076,0.02)
27	(0.0095,0.1805,0.01,0.035,0.665,0,0.005,0.095,0)
28	(0.0095,0.1805,0.01,0.035,0.665,0,0.00475,0.09025,0.005)
29	(0.0095,0.1805,0.01,0.035,0.665,0,0.0045,0.0855,0.01)

DMU	(AN-T,AN-NT,AH-T,BN-T,BN-NT,BH-T,CN-T,CN-NT,CH-T)
30	(0.009,0.171,0.02,0.035,0.665,0,0.005,0.095,0)
31	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.00475,0.09025,0.005)
32	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.0045,0.0855,0.01)
33	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.00425,0.08075,0.015)
34	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.004,0.076,0.02)
35	(0.0095,0.1805,0.01,0.035,0.665,0,0.005,0.095,0)

4.4.2. 資料包絡分析法之評估

在本文中，遴選最具競爭力之產品組合/等級比例同時，亦希望增加決策者參與之彈性。因此本章節將利用 3.4.2 節所介紹之 OW(Ordering Weight Restriction)模式進行權重排序，並衡量每一 DMU 具有多項投入與多項產出之生產效率，以決定最適之產品組合/等級比例，其執行步驟如下：

1. 選擇受評單位(DMU)

吾人所選擇之受評單位即為透過 4.4.1 節篩選之可行方案，整理如表 4- 70 所示，其績效指標可由模擬執行後獲得，彙整如下。

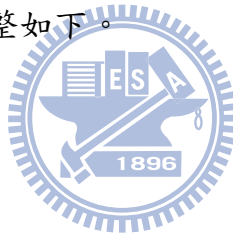


表 4- 71 各方案之績效指標值

DMU	平均生產週期時間(時)	在製品數	達交率	利潤(美元)	產出量
1	28.99375	76	99.58%	4072200	1740
2	28.00271	75	99.70%	4115400	1742
3	27.74043	74	99.96%	4156200	1747
4	28.72046	75	99.44%	4154400	1737
5	29.73254	82	99.59%	4081800	1740
6	29.09694	76	99.74%	4122600	1743
7	27.34138	72	99.99%	4165800	1747
8	27.75066	79	99.86%	4135200	1745
9	30.10613	82	98.44%	4176000	1720
10	27.44044	78	99.57%	4185600	1740
11	29.87193	84	99.05%	4098600	1780
12	32.78754	92	98.56%	4163400	1771
13	30.58798	89	98.89%	4119000	1777
14	27.67537	75	99.48%	4183800	1788
15	27.94878	78	99.87%	4204200	1795
16	30.99621	88	98.80%	4113600	1776
17	32.4258	91	98.39%	4178400	1768
18	32.78345	74	98.78%	4198800	1775
19	30.86141	88	99.44%	4194000	1787
20	30.1703	89	99.06%	4080200	1830
21	39.8495	113	98.36%	4142800	1858
22	27.78344	78	98.78%	3974800	1973
23	28.74372	73	99.49%	4076800	1689
24	27.9706	72	99.89%	4098400	1695
25	28.53686	73	99.93%	4117600	1697
26	27.66225	71	99.78%	4139200	1694
27	28.22873	72	99.86%	4108000	1695
28	26.8334	63	99.91%	4127200	1696
29	27.51415	70	99.49%	4148800	1689
30	28.32012	73	99.58%	4158400	1690
31	28.74231	73	99.28%	4076800	1685
32	28.48986	73	99.62%	4098400	1691
33	28.53686	73	99.52%	4117600	1689
34	27.66225	71	99.91%	4139200	1696
35	28.22873	72	99.94%	4108000	1696

由表 4- 71 可知投入產出項指標單位差異極大，因此在輸入 DEA 模式前須經標準化程序。為避免標準化後，DMU 間差異減少，因此，標準化手法為績效值減平均數後，

再除以標準差。並因輸入 DEA 模式之績效值不得為負數，故再將所有標準化後之績效值平移，如表 4- 72。

表 4- 72 各方案標準化後之績效指標

DMU	平均生產週期時間(時)	在製品數	達交率	利潤(美元)	產出量
1	1.896694	2.420507	4.041253	3.105131	1.924837
2	1.485346	2.311237	4.266531	4.038823	1.958467
3	1.376481	2.201967	4.754633	4.920644	2.042543
4	1.783261	2.311237	3.778429	4.881740	1.874391
5	2.203344	3.076125	4.060026	3.312618	1.924837
6	1.939526	2.420507	4.341624	4.194439	1.975282
7	1.210848	1.983428	4.810953	5.128131	2.042543
8	1.380728	2.748316	4.566902	4.466766	2.008913
9	2.358409	3.076125	1.901112	5.348586	1.588532
10	1.251964	2.639046	4.022480	5.556074	1.924837
11	2.261200	3.294665	3.046275	3.675721	2.597445
12	3.471380	4.168823	2.126390	5.076259	2.446108
13	2.558411	3.841014	2.745904	4.116631	2.547000
14	1.349476	2.311237	3.853521	5.517170	2.731967
15	1.462959	2.639046	4.585675	5.958080	2.849673
16	2.727855	3.731744	2.576946	3.999919	2.530184
17	3.321234	4.059553	1.807246	5.400458	2.395663
18	3.469683	2.201967	2.539400	5.841368	2.513369
19	2.671905	3.731744	3.778429	5.737625	2.715152
20	2.385045	3.841014	3.065048	3.278037	3.438206
21	6.402582	6.463488	1.000000	4.631026	3.909032
22	1.394332	2.639046	2.539400	1.000000	5.842781
23	1.792917	2.092698	3.872294	3.204552	1.067261
24	1.472017	1.983428	4.623221	3.671398	1.168152
25	1.707054	2.092698	4.829726	4.086372	1.201783
26	1.344029	1.874158	4.416716	4.553219	1.151337
27	1.579157	1.983428	4.566902	3.878885	1.168152
28	1.000000	1.000000	4.660767	4.293860	1.184967
29	1.282559	1.764888	3.872294	4.760706	1.067261
30	1.617093	2.092698	4.041253	4.968193	1.084076
31	1.792331	2.092698	3.478058	3.204552	1.000000
32	1.687547	2.092698	4.116346	3.671398	1.100891
33	1.707054	2.092698	3.928614	4.086372	1.067261
34	1.344029	1.874158	4.660767	4.553219	1.184967
35	1.579157	1.983428	4.717087	3.878885	1.184967

2. 投入項與產出項之選取

吾人透過業界訪談，得知 TFT-LCD 產業所選用之績效指標主要分為：(1)財務方面：主要以利潤為指標；(2)生產製造方面：主要以生產週期時間、達交率、在製品數與產出量等，各績效指標之屬性與說明請參閱表 3-1。

3. 選擇 DEA 模式

經過投入項與產出項篩選後，吾人選擇先以 CCR 之產出導向模式衡量各方案之整體相對效率。再以 OW 模式衡量各方案之整體相對效率。在 OW 模式中，投入產出之權重排序方面，吾人參考業界給予之意見，產業淡季時，以利潤最大化為首要目標，生產邊際利益最大之產品；旺季時，視達交率為第一考量，以期快速將產品交由客戶手中。因此，吾人給予利潤及達交率兩項績效指標之權重大於其他指標，但兩者孰輕孰重不予置評，以力求需求波動亦或淡旺季衝擊下，多項績效指標皆能維持穩定且具效率之方案。故此，生產週期時間之權重低於達交率與利潤之權重。績效權重排序如下：

表 4-73 績效指標之排序

項目	績效指標	排序
投入項	平均生產週期時間	(1)利潤 $\geq 2 \times$ 平均生產週期時間
	在製品數	(2)達交率 $\geq 2 \times$ 平均生產週期時間 (3)產出量 $\geq 2 \times$ 平均生產週期時間
產出項	利潤	(4)利潤 $\geq 2 \times$ 在製品數
	達交率	(5)達交率 $\geq 2 \times$ 在製品數 (6)產出量 $\geq 2 \times$ 在製品數
	產出量	(7)利潤 $\geq 2 \times$ 產出量 (8)達交率 $\geq 2 \times$ 產出量

將重要度設為 2 倍之緣由為，各績效值代入資料包絡分析法之軟體求解時，軟體設定須於大於等於(\geq)之情形下等式才能成立。若將重要度設定為 1，則有可能所得結果是利潤與達交率之權重等同生產週期時間之權重，此結果不符 OW 模式設定，故將重要度設為 2，以強迫達成權重之排序。結果如表 4-75。

表 4- 74 CCR 模式之效率值

DMU	Score
1	0.5344863
2	0.7235025
3	0.8671534
4	0.6638046
5	0.4615734
6	0.5782752
7	1.0000000
8	0.8270879
9	0.5236092
10	1.0000000
11	0.5045337
12	0.399847
13	0.4605779
14	1.0000000
15	0.9955457
16	0.4385095
17	0.4263715
18	0.7947385
19	0.5544726
20	0.5200122
21	0.3428077
22	1.0000000
23	0.470939
24	0.6738675
25	0.6070408
26	0.7807962
27	0.6212257
28	1.0000000
29	0.8547311
30	0.7091949
31	0.4277344
32	0.5286208
33	0.5537104
34	0.784593
35	0.6409014

表 4- 75 OW 模式之效率值 I

DMU	Score
1	0.358221
2	0.424787
3	0.520431
4	0.491906
5	0.285962
6	0.414310
7	0.602135
8	0.387668
9	0.404936
10	0.490311
11	0.259949
12	0.283583
13	0.249602
14	0.555934
15	0.525789
16	0.249627
17	0.309815
18	0.617810
19	0.358073
20	0.222107
21	0.166863
22	0.259744
23	0.397012
24	0.500115
25	0.495175
26	0.565802
27	0.494023
28	1.000000
29	0.628211
30	0.552896
31	0.360871
32	0.422034
33	0.454761
34	0.565801
35	0.510269

表 4- 76 OW 模式之效率值 II

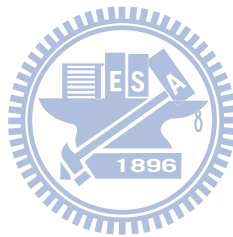
DMU	Score
1	0.534459
2	0.723419
3	0.867157
4	0.632978
5	0.461548
6	0.564376
7	1.000000
8	0.826943
9	0.515418
10	0.999826
11	0.475729
12	0.355157
13	0.436298
14	1.000000
15	0.995439
16	0.401938
17	0.386840
18	0.397634
19	0.519105
20	0.502566
21	0.231164
22	0.999847
23	0.470888
24	0.674594
25	0.607030
26	0.780796
27	0.621129
28	0.999837
29	0.843318
30	0.698388
31	0.427716
32	0.528572
33	0.551276
34	0.784591
35	0.641195

4. 績效結果分析

將各 DMU 績效值套用 CCR 模式，得每一 DMU 之效率值，如表 4- 74 所示。在無權重排序限制下，DMU7、DMU10、DMU14、DMU22 與 DMU28 為最具競爭力之產品組合/等級比例。

在達交率與利潤之權重提高至兩倍下，套用 OW 模式，得表 4- 75 每一 DMU 之效率值，其中 DMU28 在此權重調整下為具競爭力之產品組合/等級比例。雖將達交率與利潤兩項指標之權重提高，但生產週期時間與在製品績效值之影響性仍在。假設決策者極度重視達交率與利潤，而將權重提高至 20 倍，其結果如表 4- 76，此時最具競爭力之產品組合/等級比例則改為 DMU7。

決策者要權衡所有績效指標時，則可選取 DMU7、DMU10、DMU14、DMU22 與 DMU28 之產品組合/等級比例，若希望較看重達交率與利潤，但生產週期時間、在製品與產出量仍需兼顧時，則可考慮 DMU28 之產品組合/等級比例；當允許生產週期時間、在製品數較高且極重視達交率與利潤之績效時，則以 DMU7 作為最適產品組合/等級比例。



第五章 結論與未來研究方向

5.1. 結論

面板製程之三階段中，第一階段薄膜電晶體陣列段(Array)占全部製程約 2/3 時間，其製程快慢將影響後續所有製程及產品出貨行程。在面板製程精密度越發嚴格下，曝光作業設製程規格能力與垂直鎖定機台限制，導致同一工作站內之各機台，因具備不同製程能力造成機台間功能強弱不同。若未妥善規劃，易造成各機台間之負荷不一，導致機台間利用率差異加大。當產品依製程規格之需求必須於高利用率之機台前等候加工，產品等候時間也隨之拉長，也連帶影響產品生產週期時間。

當系統存在雙等級工單時，高等級工單具有生產優序，會改變機台前等候加工之順序。在縮短高等級工單生產週期時間之餘，另一方面，拉長一般等級工單於機台前之等候時間，導致一般等級工單之生產週期時間延長許多。

為避免瓶頸工作站內各機台之產能負荷差異，與雙等級工單之雙重影響，導致產品生產週期時間拉長，吾人在力求瓶頸機台間產能利用率差異最小化下，發展一套主生產排程系統，及快速估算產品之生產週期時間，並規劃投料與派工法則，務使一般產品之生產週期時間不致於過長，並使系統能依照所設計之生產排程產出規劃目標。

吾人以「機台產能負荷評估模組」、「生產績效估算模組」與「投料規劃與派工法則」完成整個系統之規劃，得投料循環表，並代入模擬系統驗證該排程之可行性。

各模組功能如下：

1. 機台產能負荷評估模組：

考量各產品之製程規格與曝光工作站之機台製程規格組態，以及高等級工單占每一機台待加工層級數之最高生產比例限制，設計線性規劃模式，求得工作站內機台利用率差異最小化下之機台產能負荷分配。並於依據此結果估算生產績效。

2. 生產績效估算模組

依據上層給定之產出目標、各產品之製程規格與曝光工作站之機台規格組態、產品加工時間與瓶頸工作站之機台產能負荷分配結果，吾人考量產品於工作區間之物流關連性，套用 Jackson Network 理論估算生產週期時間，並計算在製品數量以及每日作業數等具代表性生產績效指標，作為投料規劃之參考依據。

3. 投料規劃與派工法則

吾人使用 CONWIP 投料法則控制系統在製品數，確保物流順暢，以維持系統穩定性。並以每一產品之加工層級數作為權重，採具最大待加工總層級數之產品優先投料之方式，制定投料循環表，以確保系統於規劃幅度內產出所預期之產品數量。

為維持系統生產平順，以及確保瓶頸工作站內各機台之負荷與「機台產能負荷評估模組」之結果一致，吾人所設計之瓶頸工作站派工法則，是以瓶頸工作站之機台產能負荷分配結果為基礎，以機台具「最大待加工比例」者，優先派工，使現場生產運作得以達到預定產出目標，且瓶頸工作站內各機台亦維持所規劃之產能利用率。

生產系統可依據任一給定之產品組合/等級比例來規劃投料與派工，但何種比例對系統而言擁有最佳績效指標亦值得探究。因此，吾人進行「最適產品組合/等級比例」之規劃，透過資料包絡分析法評估各種產品組合/等級比例，找出具競爭優勢之組合，供決策者參考，幫助提昇整體生產效率。

4. 最適產品組合/等級比例規劃機制

在每一產品別之生產比例須高於最低需求比例的條件下，吾人列示所有產品組合/等級比例之方案。為從方案中找出可行方案，吾人利用「機台產能負荷評估模組」，求算各方案中，瓶頸工作站平均利用率與該站內每一機台之利用率，之後將篩選條件訂為瓶頸工作站平均利用率介於 $90\% \pm 0.5\%$ 之方案，以充份運用瓶頸資源。在考量瓶頸工作站產能充分運用後，為維持瓶頸機台間之產能負荷平準化，吾人再篩選機台利用率不介於工作站平均利用率 $\pm 2\%$ 之方案。

接者，將通過篩選後之每一方案代入模擬系統，求得產品生產週期時間、系統在製品數、達交率、產出量與利潤等生產績效指標，並將每一方案視為一個 DMU，運用資料包絡法之 OW 模式評估所有 DMU 之生產績效，得高效之 DMU。

經由第四章之實例驗證，吾人將本文所設計之主生產排程系統成效整理如下：

1. 本文之「機台產能負荷評估模組」，可快速求解瓶頸機台間利用率差異最小化之產能配置，亦可藉由「生產績效估算模組」，快速求解產品生產週期時間，無需費時計算，且本文所設計之投料規劃及派工法則，讓產出結果能符合「機台產能負荷評估模組」所得之產能配置。模擬結果顯示產品生產週期時間估算誤差低於 3%，產出結果皆能達到 98% 以上之產出率。
2. 本文於第一階段所發展之生產排程系統，可快速估算出任一給定之產品組合/等級比例之瓶頸機台利用率。因此，在第二階段尋找最具優勢之方案時，先利用瓶頸工作站利用率之限制條件，由 6645 組方案中篩選出 204 組初步可行方案；再用瓶頸機台利用率之限制條件，從 204 組方案中篩選出 35 組可行方案。並於資料包絡法評估後，得出最適產品組合/等級比例，以供決策者作為參考。

5.2. 未來研究方向

在本文研究之過程中獲得上述成果。吾人認為尚有值得後續研究之處，分述如下：

1. 實驗工程批之加工等級較一般工程批之雙等級工單高，且實驗工程批途程不一定行經每一工作站，為調整產品製程方法(recipe)，可能僅執行某一段落之途程，再者重加工率(rework)與不良率高，若考量製造廠存在實驗工程批，與雙等級工單之產品，將更貼近實務。
2. 本文並未考量機台換線時，所耗費之順序相依整備時間(sequence dependent setup time)，以及產品之重加工率，若瓶頸工作站能在考量製程規格與垂直鎖定機台限制下，多加考量上述之產品製程特性，亦更貼近實務。



參考文獻

- 【1】 <http://www.iek.itri.org.tw/> 工研院產業經濟與趨勢研究中心
- 【2】 <http://www.auo.com> 友達光電。
- 【3】 Akcalt, E., K. Nemotom and R. Uzsoy, “Cycle-Time Improvement for Photolithography Process in Semiconductor Manufacturing,” *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 14, No. 1, pp.48-56, 2001.
- 【4】 Andersen, P. and N. C. Petersen, “A Procedure for Ranking Efficiency Units in Data Envelopment Analysis,” *Management Science*, Vol. 39, pp. 1261-1264, 1993.
- 【5】 Atherton, L. F. and R. W. Atherton, *Wafer Fabrication: Factory Performance and Analysis*, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- 【6】 Arthur, M. D., A. Liu and P. P. Chen, “A Heuristic Load Balancing Scheduling Method for Dedicated Machine Constraint,” *Advances in Applied Artificial Intelligence*, Vol. 4031, pp. 750-759, 2006.
- 【7】 Backus, P., et al., “Factory Cycle-Time Prediction With a Data-Mining Approach,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 19, No. 2, 2006.
- 【8】 Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper, “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis,” *Management Science*, Vol. 30, No. 9, pp. 1078-1092, 1984.
- 【9】 Blackstone, J. H., *Capacity Management*, South-Western Publishing CO., 1989.
- 【10】 Baykasoglu, A., M. Gocken, Z. D. Unutmaz, “New approaches to due date assignment in job shops,” *European Journal of Operation Research*, No. 187, pp. 31-45, 2008.
- 【11】 Chang, P. C., J. C. Hsieh and T. W. Liao, “A Cased-Based Reasoning Approach for Due-Date Assignment in a Wafer Fabrication Factory,” *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2080, pp. 648-659, 2001.
- 【12】 Carbone, T. A., “Measuring efficiency of semiconductor manufacturing operations using Data Envelopment Analysis (DEA),” *IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 56-62, 2000.
- 【13】 Charnes, A. and W. W. Cooper, “Programming with linear fractional,” *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 9, 1962.
- 【14】 Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes, “Measuring the efficiency of decision making units,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, pp. 429-444, 1978.
- 【15】 Charnes, A., W. W. Cooper, A. Lewin and L. Seiford, “Data Envelopment Analysis: theory, methodology and applications,” *Massachusetts: Kluwer Academic Publishers*, 1997.
- 【16】 Chung, S. H. and H. W. Huang, “The Block-Based Cycle Time Estimation Algorithm for

- Wafer Fabrication Factories,” *International Journal of Industrial Engineering*, Vol. 6, No. 4, pp. 307-316, 1999.
- 【17】 Chung, S. H. and H. W. Huang, “Loading Allocation Algorithm with Machine Capability Restriction for Wafer Fabrication Factories,” *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineering*, Vol. 18, No. 4, pp. 82-96, 2001
- 【18】 Chung, S. H., C. Y. Huang and A. H. I. Lee, “Capacity allocation model for photolithography workstation with the constraints of process window and machine dedication,” *Production Planning & Control*, Vol. 17, No. 7, pp. 678-688, 2006.
- 【19】 Chung, S. H., A. H. I. Lee, H. Y. Kang and C. W. Lai, “A DEA window analysis on the product family mix selection for a semiconductor fabricator,” *Expert Systems With Applications*, Available online, 2007.
- 【20】 Connors, D. P., G. E. Feigin and D. D. Yao, “A Queueing Network Model for Semiconductor Manufacturing,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 9, No. 3, pp. 412-427, 1996.
- 【21】 Conway, R., W. Maxwell and L. W. Miller, *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1967.
- 【22】 Enns, S. T., “A dynamic forecasting model for job shop flowing prediction and tardiness control,” *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 5, pp. 1295-1312, 1995.
- 【23】 Etheshami, B., R. G. Petrakian and P. M. Shabe, “Trade-Offs in Cycle Time Management: Hot Lots,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 5, No. 2, pp. 101-106, 1992.
- 【24】 Farrell, M. J., “The Measurement of Productive Efficiency,” *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, Vol. 120, No. 3, pp. 253-281, 1957.
- 【25】 Fronckowiak, D., A. Peilert and K. Nishinohara, “Using Discrete Event Simulation to Analyze the Impact of Job Priorities on Cycle Time in Semiconductor Manufacturing,” *1996 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 151-155, 1996.
- 【26】 Glassey, C. R. and S. Adiga, “Conceptual design of a software object library for simulation of semiconductor manufacturing systems,” *Journal of Object-Oriented Programming*, Vol. 2, No. 4, pp. 39-43, 1989.
- 【27】 Glynn, P. M. and Mary O’Dea, “How to get predictable throughput times in a multiple product environment,” *Semiconductor Manufacturing Conference Proceedings, 1997 IEEE International Symposium*, pp. 27-30, 1997.
- 【28】 Hiller, F. S., and Lieberman, G. J., *Introduction to Operations Research*, Eighth Edition, McGraw-Hill Publishing Company, 2005.

- 【29】 Kleinrock, L., *Queueing System*, John Willey & Sons, 1975.
- 【30】 Kramer, Scott S., “Total Cycle Time Management by Operational Elements,” *International Semiconductor Manufacturing Science Symposium*, pp. 17-20, 1989.
- 【31】 Lawrence, S. R., “Estimating flowtimes and setting due-dates in complex production systems,” *IIE Transactions*, pp. 657-668, 1995.
- 【32】 Li, S., T. Tang and D. W. Collins, “Minimum inventory variability schedule with applications in semiconductor fabrication,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 9, No. 1, pp.145-149, 1996.
- 【33】 Little, J. D. C., “A proof for the queueing formula $L = \lambda W$,” *Operations Research*, Vol. 9, pp. 383-387, 1961.
- 【34】 Lu, Steve. C. H., D. Ramaswamy and P. R. Kumar, “Efficient Scheduling Policies to Reduce Mean and Variance of Cycle-Time in Semiconductor Manufacturing Plants,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 7, No. 3, pp. 374-388, 1994.
- 【35】 Martin, D. P., “How the Law of Unanticipated Consequences can Nullify the Theory of Constraint: The Case for Balanced Capacity in a Semiconductor Manufacturing Line,” *Semiconductor FABTECH*, Seventh Edition, pp. 29-34, ICG publishing LTD, 1998.
- 【36】 Matsuyama, A. and R. W. Atherton, “Experience in Simulation Wafer Fabs in The USA and Japan,” *1990 Intel Semiconductor Manufacturing Science Symposium*, 1990.
- 【37】 Miller, D. J., “Simulation of a Semiconductor Manufacturing Line,” *Communication of the ACM*, Vol. 33, No. 10, pp. 98-108, 1990.
- 【38】 Narahari, Y. and L. M. Khan, “Modeling the Effect of Hot Lots in Semiconductor Manufacturing Systems,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 10, No. 1, pp. 185-188, 1997.
- 【39】 Raddon, A. and B. Grigsby, “Throughput Time Forecasting Model,” *1997 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 430-433, 1997.
- 【40】 Schragenheim, E. and H. W. Dettmer, “Manufacturing at Wrap Speed: optimizing supply chain financial performance,” *Goal Systems International Inc.*, 2000.
- 【41】 Sexton, T., R. Silkman and A. Hogan, “Data Envelopment Analysis: Critique and extensions,” *New Directions for Program Evaluation*, Vol. 1986, Issue 32, pp. 73-105, 1986..
- 【42】 Sule, D. R., “Industrial scheduling,” *PWS publishing company*, pp124-126, 1997.
- 【43】 Srikanth, M. L. and M. M. Umble, “Synchronous management: profit-based manufacturing for the 21st Century,” *The Spectrum Publishing Company*, 1997.
- 【44】 Toktay, L. B. and R. Uzsoy, “A Capacity Allocation Problem with Integer Side

Constraints,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 109, pp. 170-182, 1998.

- 【45】 Tone, K., “A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 130, pp 498–509, 2001.
- 【46】 Uzsoy, R., C. Y. Lee and Louis A. Martin-Vega, “A Review of Production Planning and Scheduling Models in the Semiconductor Industry Part I : System Characteristics, Performance Evaluation and Production Planning,” *IIE Transactions*, Vol. 24, No. 4, pp. 47-60, September, 1992.
- 【47】 Vig, M. M. and K. J. Dooley, “Dynamic Rules for Due-Date Assignment,” *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 7, pp. 1361-1377, 1991.
- 【48】 Wang, T. H., K. C. Lin and S. R. Huang, “Method of Dynamically Determining Cycle Time of a Working Stage,” *1997 IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium*, pp. 403-407, 1997.
- 【49】 Wang, Z., F. Q., and Q. Wu, “Scheduling Semiconductor Wafer Fabrication with Optimization of Multiple objectives,” *International Conference on Automation Science and Engineering*, Shanghai, China, October 7-10, 2006.
- 【50】 Wein, L. M., “Scheduling semiconductor wafer fabrication,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 1, No. 3, pp. 115-130, 1988.
- 【51】 Yu, C. Y., S. W. Chen and H. P. Huang, “Estimating of Waiting Time for Products in an IC Fab,” *Proceeding of Joint Conference of the Fifth Int’l Conference on Automation Technology and 1998 Int’l Conference of Production Research*, A1-3, 1998.
- 【52】 范國基,「晶圓製造廠多等級工單最適比率決策模式之構建」,碩士論文,國立交通大學工業工程與管理研究所,2005。
- 【53】 黎翠綾,「黃光區機台群組限制下的投料派工研究」,碩士論文,國立交通大學工業工程與管理所,2000。
- 【54】 李幸娥,「晶圓製造廠非穩態環境下之生產排程規劃」,碩士論文,國立交通大學工業工程與管理所,2002。
- 【55】 李孟儒,「晶圓製造廠考量製程規格能力與垂直鎖定機台限制下主生產排程修正機制」,碩士論文,國立交通大學工業工程與管理研究所,2007。
- 【56】 劉得彥,「以 eM-Plant 軟體建構晶圓廠生產排程系統與模擬平台」,碩士論文,國立交通大學工業工程與管理研究所,2001。
- 【57】 林則孟,「系統模擬理論與應用」,滄海書局,民國 95 年 1 月。
- 【58】 梁宇帆,「薄膜電晶體陣列廠機台配置機制之構建」,碩士論文,國立交通大學工業工程與管理研究所,2006。
- 【59】 賴志偉,「運用資料包絡分析法建構具非穩態需求情境下之產品組合訂定機制—以晶圓廠為例」,碩士論文,國立交通大學工業工程與管理研究所,2006。

- 【60】 顧鴻壽，「光電液晶平面顯示器技術基礎及應用」，新文京開發出版有限公司，民國 93 年 3 月。
- 【61】 郭志榮，「晶圓製造廠考量製程步驟間搬運問題下之生產週期時間估算模式」，碩士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所，2002。
- 【62】 高強，黃旭男，Toshiyoki Sueyoshi，「管理績效評估—資料包絡分析法」，華泰文化事業公司，民國 92 年 7 月。
- 【63】 柯文清，「晶圓製造廠多工單等級下生產規劃模式之構建」，碩士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所，2000。
- 【64】 黃宏文，「晶圓製造廠區段基礎式週期時間估算法」，博士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所，2003。
- 【65】 黃友錄，「考量綁機特性之派工法」，碩士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所，2003。
- 【66】 黃慧雲，「具垂直鎖定機台特性下之產能需求規劃—以晶圓廠黃光區為例」，碩士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所，2005。
- 【67】 張盛鴻，王志偉，嚴本立，李榮貴，「晶圓代工廠之派工模式—動態更新週期時間」，生產排程理論與應用研討會論文集，pp. C65-C69，1999。
- 【68】 張百棧，朱震家，「晶圓廠之交期指定模式—應用類神經網路」，生產排程理論與應用研討會論文集，pp. C47-C52，1999。
- 【69】 鄭照明，「晶圓製造廠交期指定模式之構建」，碩士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所，2006。
- 【70】 陳志強，「多工單等級下晶圓廠生產週期時間估算模式」，碩士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所，2000。
- 【71】 陳亞妮，「薄膜電晶體陣列廠生產規劃系統之構建」，碩士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所，2004。
- 【72】 陳連春，「什麼是液晶」，建興出版社，民國 89 年 6 月。
- 【73】 曾文萱，「整合 TFT-LCD 多階多世代多廠之生產策略」，碩士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所，2007。
- 【74】 蘇昱彰，「新興晶圓代工廠生產規劃與排程系統之構建」，碩士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所，1998。
- 【75】 游淑晴，「黃光區關鍵層機台限制機台指派投料與派工法則探討」，碩士論文，國立清華大學工業工程研究所，2002。
- 【76】 楊桂峰，「流量平衡為導向的黃光區綁機派工法」，碩士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所，2002。

附錄

附表 A-1 產品 A 之加工步驟與作業時間(有檢測)

(單位：分)

步驟	工作站	平均加工時間	步驟	工作站	平均加工時間
1	W02	09.30	32	W13	12.30
2	W19	12.80	33	W12	13.25
3	W07	15.00	34	W20	09.00
4	W17	08.30	35	W22	11.20
5	W09	07.36	36	W04	14.43
6	W12	10.85	37	W07	18.00
7	W16	07.13	38	W17	08.60
8	W01	12.30	39	W09	07.36
9	W19	12.50	40	W12	13.60
10	W07	18.00	41	W20	09.07
11	W17	07.80	42	W22	10.80
12	W14	12.70	43	W07	18.00
13	W16	08.00	44	W11	12.30
14	W11	14.23	45	W12	12.80
15	W12	12.30	46	W22	11.60
16	W06	10.23	47	W23	11.30
17	W05	13.65	48	W05	11.65
18	W07	15.00	49	W07	15.00
19	W17	08.50	50	W13	12.70
20	W09	07.36	51	W12	11.50
21	W14	11.60	52	W14	13.50
22	W12	13.00	53	W08	15.00
23	W20	09.30	54	W21	14.16
24	W16	06.26	55	W11	16.10
25	W06	13.17	56	W12	13.50
26	W03	14.83	57	W14	14.20
27	W15	13.16	58	W07	18.00
28	W01	11.10	59	W13	12.50
29	W07	15.00	60	W22	11.04
30	W17	08.00	61	W23	11.20
31	W09	07.36			

附表 A-2 產品 A 之加工步驟與作業時間(未檢測)

(單位：分)

步驟	工作站	平均加工時間	步驟	工作站	平均加工時間
1	W02	09.30	29	W12	13.25
2	W19	12.80	30	W20	09.00
3	W07	15.00	31	W22	11.20
4	W09	07.36	32	W04	14.43
5	W12	10.85	33	W07	18.00
6	W16	07.13	34	W09	07.36
7	W01	12.30	35	W12	13.60
8	W19	12.50	36	W20	09.07
9	W07	18.00	37	W22	10.80
10	W14	12.70	38	W07	18.00
11	W16	08.00	39	W11	12.30
12	W11	14.23	40	W12	12.80
13	W12	12.30	41	W22	11.60
14	W06	10.23	42	W23	11.30
15	W05	13.65	43	W05	11.65
16	W07	15.00	44	W07	15.00
17	W09	07.36	45	W13	12.70
18	W14	11.60	46	W12	11.50
19	W12	13.00	47	W14	13.50
20	W20	09.30	48	W08	15.00
21	W16	06.26	49	W21	14.16
22	W06	13.17	50	W11	16.10
23	W03	14.83	51	W12	13.50
24	W15	13.16	52	W14	14.20
25	W01	11.10	53	W07	18.00
26	W07	15.00	54	W13	12.50
27	W09	07.36	55	W22	11.04
28	W13	12.30	56	W23	11.20

附表 A-3 產品 B 之加工步驟與作業時間(有檢測)

(單位：分)

步驟	工作站	平均加工時間	步驟	工作站	平均加工時間
1	W02	09.30	30	W06	11.70
2	W19	12.73	31	W07	17.23
3	W07	18.00	32	W17	08.00
4	W17	08.30	33	W09	07.00
5	W09	07.30	34	W13	12.50
6	W12	10.85	35	W12	12.75
7	W16	07.00	36	W04	14.40
8	W01	11.70	37	W07	18.37
9	W19	12.55	38	W17	09.20
10	W10	12.00	39	W09	07.25
11	W07	18.37	40	W12	13.50
12	W17	07.60	41	W20	12.00
13	W11	14.30	42	W22	11.20
14	W12	12.30	43	W23	12.54
15	W16	07.22	44	W08	16.50
16	W07	18.00	45	W17	08.30
17	W17	09.00	46	W21	14.16
18	W14	13.00	47	W11	14.00
19	W16	07.10	48	W12	13.80
20	W11	14.00	49	W20	09.03
21	W12	13.00	50	W05	12.00
22	W05	13.30	51	W06	11.70
23	W07	16.50	52	W07	18.37
24	W17	07.80	53	W17	07.72
25	W11	14.50	54	W13	12.50
26	W14	13.00	55	W20	09.03
27	W12	12.00	56	W22	11.00
28	W03	14.80	57	W23	10.00
29	W15	13.16			

附表 A-4 產品 B 之加工步驟與作業時間(未檢測)

(單位：分)

步驟	工作站	平均加工時間	步驟	工作站	平均加工時間
1	W02	09.30	26	W06	11.70
2	W19	12.73	27	W07	17.23
3	W07	18.00	28	W09	07.00
4	W09	07.30	29	W13	12.50
5	W12	10.85	30	W12	12.75
6	W16	07.00	31	W04	14.40
7	W01	11.70	32	W07	18.37
8	W19	12.55	33	W09	07.25
9	W10	12.00	34	W12	13.50
10	W07	18.37	35	W20	12.00
11	W11	14.30	36	W22	11.20
12	W12	12.30	37	W23	12.54
13	W16	07.22	38	W08	16.50
14	W07	18.00	39	W21	14.16
15	W14	13.00	40	W11	14.00
16	W16	07.10	41	W12	13.80
17	W11	14.00	42	W20	09.03
18	W12	13.00	43	W05	12.00
19	W05	13.30	44	W06	11.70
20	W07	16.50	45	W07	18.37
21	W11	14.50	46	W13	07.72
22	W14	13.00	47	W20	12.50
23	W12	12.00	48	W22	09.03
24	W03	14.80	49	W23	11.00
25	W15	13.16			

附表 A-5 產品 C 之加工步驟與作業時間(有檢測)

(單位：分)

步驟	工作站	平均加工時間	步驟	工作站	平均加工時間
1	W02	09.30	25	W13	12.50
2	W19	13.30	26	W12	12.00
3	W07	15.00	27	W20	08.76
4	W17	08.45	28	W18	07.70
5	W11	14.20	29	W04	14.30
6	W12	13.00	30	W07	15.00
7	W16	07.13	31	W17	08.30
8	W01	11.70	32	W11	14.00
9	W19	12.00	33	W12	13.20
10	W06	13.00	34	W08	15.00
11	W05	12.30	35	W17	08.70
12	W07	20.00	36	W21	13.00
13	W17	08.10	37	W11	14.75
14	W11	13.50	38	W12	12.30
15	W14	13.00	39	W05	13.00
16	W12	12.50	40	W06	10.40
17	W20	07.50	41	W07	20.00
18	W16	07.13	42	W17	08.53
19	W06	11.70	43	W13	12.50
20	W03	14.80	44	W20	09.30
21	W15	13.16	45	W14	13.00
22	W07	15.00	46	W22	11.16
23	W17	07.36	47	W23	10.00
24	W11	14.60			

附表 A-6 產品 C 之加工步驟與作業時間(未檢測)

(單位：分)

步驟	工作站	平均加工時間	步驟	工作站	平均加工時間
1	W02	09.30	22	W13	12.50
2	W19	13.30	23	W12	12.00
3	W07	15.00	24	W20	08.76
4	W11	14.20	25	W18	07.70
5	W12	13.00	26	W04	14.30
6	W16	07.13	27	W07	15.00
7	W01	11.70	28	W11	14.00
8	W19	12.00	29	W12	13.20
9	W06	13.00	30	W08	15.00
10	W05	12.30	31	W21	13.00
11	W07	20.00	32	W11	14.75
12	W11	13.50	33	W12	12.30
13	W14	13.00	34	W05	13.00
14	W12	12.50	35	W06	10.40
15	W20	07.50	36	W07	20.00
16	W16	07.13	37	W13	12.50
17	W06	11.70	38	W20	09.30
18	W03	14.80	39	W14	13.00
19	W15	13.16	40	W22	11.16
20	W07	15.00	41	W23	10.00
21	W11	14.60			

附表 B-1 各工作站相關資訊

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05	W06	W07	W08
機台數	2	1	3	2	2	2	7	3
MTBF (hr)	1400	1400	1400	500	250	300	24	25
MTTR (hr)	5.5	5.5	5.5	8	4	1.67	1.5	1.67
MTBPM(hr)	2160	2160	2160	4320	130	168	163	168
MTPM(hr)	4	4	4	72	2	8	3	8
區域	TF	TF	TF	TF	TF	TF	Photo	Photo
工作站編號	W09	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16
機台數	3	1	3	5	3	3	1	2
MTBF (hr)	70	1400	400	500	300	1400	200	450
MTTR (hr)	5	5.5	8	8	3	5.5	4	6
MTBPM(hr)	168	2160	710	4320	717	2160	716	2160
MTPM(hr)	8	4	10	72	3	4	4	3
區域	Etch	TF	Etch	Etch	Etch	Etch	TF	Etch
工作站編號	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	
機台數	4	1	3	3	4	2	2	
MTBF (hr)	1000	1400	500	1000	200	1400	1400	
MTTR (hr)	2	5.5	4	2	4	5.5	5.5	
MTBPM(hr)	1000	2160	168	1000	120	2160	2160	
MTPM(hr)	0.3	4	0.5	0.3	6	4	4	
區域	Photo	Test	TF	Etch	Etch	Test	Test	

附表 C-1 符合工作站利用率介於 0.895-0.905 之產品組合/等級比例

編號	(AN-T,AN-NT,AH-T,BN-T,BN-NT,BH-T,CN-T,CN-NT,CH-T)
1	(0.04,0.76,0,0.005,0.095,0,0.00475,0.09025,0.005)
2	(0.08,0.72,0,0.01,0.09,0,0.0095,0.0855,0.005)
3	(0.04,0.76,0,0.005,0.095,0,0.0045,0.0855,0.01)
4	(0.04,0.76,0,0.005,0.095,0,0.00425,0.08075,0.015)
5	(0.04,0.76,0,0.005,0.095,0,0.004,0.076,0.02)
6	(0.04,0.76,0,0.00475,0.09025,0.005,0.005,0.095,0)
7	(0.08,0.72,0,0.0095,0.0855,0.005,0.01,0.09,0)
8	(0.04,0.76,0,0.00475,0.09025,0.005,0.00475,0.09025,0.005)
9	(0.04,0.76,0,0.00475,0.09025,0.005,0.0045,0.0855,0.01)
10	(0.04,0.76,0,0.00475,0.09025,0.005,0.00425,0.08075,0.015)
11	(0.04,0.76,0,0.00475,0.09025,0.005,0.004,0.076,0.02)
12	(0.04,0.76,0,0.0045,0.0855,0.01,0.005,0.095,0)
13	(0.04,0.76,0,0.0045,0.0855,0.01,0.00475,0.09025,0.005)
14	(0.04,0.76,0,0.0045,0.0855,0.01,0.0045,0.0855,0.01)
15	(0.04,0.76,0,0.0045,0.0855,0.01,0.00425,0.08075,0.015)
16	(0.04,0.76,0,0.0045,0.0855,0.01,0.004,0.076,0.02)
17	(0.04,0.76,0,0.00425,0.08075,0.015,0.005,0.095,0)
18	(0.04,0.76,0,0.00425,0.08075,0.015,0.00475,0.09025,0.005)
19	(0.04,0.76,0,0.00425,0.08075,0.015,0.0045,0.0855,0.01)
20	(0.04,0.76,0,0.00425,0.08075,0.015,0.00425,0.08075,0.015)
21	(0.04,0.76,0,0.00425,0.08075,0.015,0.004,0.076,0.02)
22	(0.04,0.76,0,0.004,0.076,0.02,0.005,0.095,0)
23	(0.04,0.76,0,0.004,0.076,0.02,0.00475,0.09025,0.005)
24	(0.04,0.76,0,0.004,0.076,0.02,0.0045,0.0855,0.01)
25	(0.04,0.76,0,0.004,0.076,0.02,0.00425,0.08075,0.015)
26	(0.04,0.76,0,0.004,0.076,0.02,0.004,0.076,0.02)
27	(0.038,0.722,0.04,0.005,0.095,0,0.005,0.095,0)
28	(0.038,0.722,0.04,0.005,0.095,0,0.00475,0.09025,0.005)
29	(0.038,0.722,0.04,0.005,0.095,0,0.0045,0.0855,0.01)
30	(0.038,0.722,0.04,0.00475,0.09025,0.005,0.005,0.095,0)
31	(0.038,0.722,0.04,0.00475,0.09025,0.005,0.00475,0.09025,0.005)
32	(0.038,0.722,0.04,0.0045,0.0855,0.01,0.005,0.095,0)
33	(0.005,0.095,0,0.04,0.76,0,0.00475,0.09025,0.005)
34	(0.005,0.095,0,0.04,0.76,0,0.0045,0.0855,0.89)
35	(0.005,0.095,0,0.04,0.76,0,0.00425,0.08075,0.015)
36	(0.00475,0.09025,0.005,0.04,0.76,0,0.005,0.095,0)
37	(0.00475,0.09025,0.005,0.04,0.76,0,0.00475,0.09025,0.005)
38	(0.00475,0.09025,0.005,0.04,0.76,0,0.0045,0.0855,0.01)
39	(0.0045,0.0855,0.01,0.04,0.76,0,0.005,0.095,0)
40	(0.0045,0.0855,0.01,0.04,0.76,0,0.00475,0.09025,0.005)
41	(0.00425,0.08075,0.015,0.04,0.76,0,0.005,0.095,0)

編號	(AN-T,AN-NT,AH-T,BN-T,BN-NT,BH-T,CN-T,CN-NT,CH-T)
42	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.00475,0.09025,0.005)
43	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.0045,0.0855,0.01)
44	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.00425,0.08075,0.015)
45	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.004,0.076,0.02)
46	(0.0095,0.1805,0.01,0.035,0.665,0,0.005,0.095,0)
47	(0.0095,0.1805,0.01,0.035,0.665,0,0.00475,0.09025,0.005)
48	(0.0095,0.1805,0.01,0.035,0.665,0,0.0045,0.0855,0.01)
49	(0.009,0.171,0.02,0.035,0.665,0,0.005,0.095,0)
50	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.00475,0.09025,0.005)
51	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.0045,0.0855,0.01)
52	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.00425,0.08075,0.015)
53	(0.01,0.19,0,0.035,0.665,0,0.004,0.076,0.02)
54	(0.0095,0.1805,0.01,0.035,0.665,0,0.005,0.095,0)
55	(0.0095,0.1805,0.01,0.035,0.665,0,0.00475,0.09025,0.005)
56	(0.0095,0.1805,0.01,0.035,0.665,0,0.0045,0.0855,0.01)
57	(0.009,0.171,0.02,0.035,0.665,0,0.005,0.095,0)
58	(0.005,0.095,0,0.04,0.76,0,0.00475,0.09025,0.005)
59	(0.005,0.095,0,0.04,0.76,0,0.0045,0.0855,0.01)
60	(0.005,0.095,0,0.04,0.76,0,0.00425,0.08075,0.015)
61	(0.00475,0.09025,0.005,0.04,0.76,0,0.005,0.095,0)
62	(0.00475,0.09025,0.005,0.04,0.76,0,0.00475,0.09025,0.005)
63	(0.00475,0.09025,0.005,0.04,0.76,0,0.0045,0.0855,0.01)
64	(0.0045,0.0855,0.01,0.04,0.76,0,0.005,0.095,0)
65	(0.0045,0.0855,0.01,0.04,0.76,0,0.00475,0.09025,0.005)
66	(0.00425,0.08075,0.015,0.04,0.76,0,0.005,0.095,0)
67	(0.01,0.19,0,0.03,0.57,0,0.0095,0.1805,0.01)
68	(0.01,0.19,0,0.03,0.57,0,0.009,0.171,0.02)
69	(0.01,0.19,0,0.03,0.57,0,0.0085,0.1615,0.03)
70	(0.01,0.19,0,0.0285,0.5415,0.03,0.01,0.19,0)
71	(0.0095,0.1805,0.01,0.03,0.57,0,0.01,0.19,0)
72	(0.0095,0.1805,0.01,0.03,0.57,0,0.0095,0.1805,0.01)
73	(0.0095,0.1805,0.01,0.03,0.57,0,0.009,0.171,0.02)
74	(0.009,0.171,0.02,0.03,0.57,0,0.01,0.19,0)
75	(0.009,0.171,0.02,0.03,0.57,0,0.0095,0.1805,0.01)
76	(0.0085,0.1615,0.03,0.03,0.57,0,0.01,0.19,0)
77	(0.015,0.285,0,0.02,0.38,0,0.01425,0.27075,0.015)
78	(0.015,0.285,0,0.02,0.38,0,0.0135,0.2565,0.03)
79	(0.015,0.285,0,0.019,0.361,0.02,0.015,0.285,0)
80	(0.015,0.285,0,0.019,0.361,0.02,0.01425,0.27075,0.015)
81	(0.015,0.285,0,0.018,0.342,0.04,0.015,0.285,0)
82	(0.01425,0.27075,0.015,0.02,0.38,0,0.015,0.285,0)

編號	(AN-T,AN-NT,AH-T,BN-T,BN-NT,BH-T,CN-T,CN-NT,CH-T)
83	(0.01425,0.27075,0.015,0.02,0.38,0,0.01425,0.27075,0.015)
84	(0.01425,0.27075,0.015,0.019,0.361,0.02,0.015,0.285,0)
85	(0.0135,0.2565,0.03,0.02,0.38,0,0.015,0.285,0)
86	(0.01,0.19,0,0.025,0.475,0,0.01425,0.27075,0.015)
87	(0.01,0.19,0,0.025,0.475,0,0.0135,0.2565,0.03)
88	(0.01,0.19,0,0.02375,0.45125,0.025,0.015,0.285,0)
89	(0.0095,0.1805,0.01,0.025,0.475,0,0.015,0.285,0)
90	(0.0095,0.1805,0.01,0.025,0.475,0,0.01425,0.27075,0.015)
91	(0.0095,0.1805,0.01,0.02375,0.45125,0.025,0.015,0.285,0)
92	(0.009,0.171,0.02,0.025,0.475,0,0.015,0.285,0)
93	(0.009,0.171,0.02,0.025,0.475,0,0.01425,0.27075,0.015)
94	(0.0085,0.1615,0.03,0.025,0.475,0,0.015,0.285,0)
95	(0.015,0.285,0,0.015,0.285,0,0.019,0.361,0.02)
96	(0.015,0.285,0,0.015,0.285,0,0.018,0.342,0.04)
97	(0.015,0.285,0,0.01425,0.27075,0.015,0.02,0.38,0)
98	(0.015,0.285,0,0.01425,0.27075,0.015,0.019,0.361,0.02)
99	(0.015,0.285,0,0.0135,0.2565,0.03,0.02,0.38,0)
100	(0.015,0.285,0,0.01275,0.24225,0.045,0.02,0.38,0)
101	(0.01425,0.27075,0.015,0.015,0.285,0,0.02,0.38,0)
102	(0.01425,0.27075,0.015,0.015,0.285,0,0.019,0.361,0.02)
103	(0.01425,0.27075,0.015,0.01425,0.27075,0.015,0.02,0.38,0)
104	(0.01425,0.27075,0.015,0.0135,0.2565,0.03,0.02,0.38,0)
105	(0.0135,0.2565,0.03,0.015,0.285,0,0.02,0.38,0)
106	(0.0135,0.2565,0.03,0.01425,0.27075,0.015,0.02,0.38,0)
107	(0.01275,0.24225,0.045,0.015,0.285,0,0.02,0.38,0)
108	(0.02,0.38,0,0.005,0.095,0,0.02375,0.45125,0.025)
109	(0.04,0.36,0,0.01,0.09,0,0.0475,0.4275,0.025)
110	(0.02,0.38,0,0.00475,0.09025,0.005,0.025,0.475,0)
111	(0.04,0.36,0,0.0095,0.0855,0.005,0.05,0.45,0)
112	(0.02,0.38,0,0.00475,0.09025,0.005,0.02375,0.45125,0.025)
113	(0.04,0.36,0,0.0095,0.0855,0.005,0.0475,0.4275,0.025)
114	(0.02,0.38,0,0.0045,0.0855,0.01,0.025,0.475,0)
115	(0.04,0.36,0,0.009,0.081,0.01,0.05,0.45,0)
116	(0.02,0.38,0,0.0045,0.0855,0.01,0.02375,0.45125,0.025)
117	(0.02,0.38,0,0.00425,0.08075,0.015,0.025,0.475,0)
118	(0.04,0.36,0,0.0085,0.0765,0.015,0.05,0.45,0)
119	(0.02,0.38,0,0.00425,0.08075,0.015,0.02375,0.45125,0.025)
120	(0.02,0.38,0,0.004,0.076,0.02,0.025,0.475,0)
121	(0.04,0.36,0,0.008,0.072,0.02,0.05,0.45,0)
122	(0.02,0.38,0,0.004,0.076,0.02,0.02375,0.45125,0.025)
123	(0.019,0.361,0.02,0.005,0.095,0,0.025,0.475,0)

編號	(AN-T,AN-NT,AH-T,BN-T,BN-NT,BH-T,CN-T,CN-NT,CH-T)
124	(0.038,0.342,0.02,0.01,0.09,0,0.05,0.45,0)
125	(0.019,0.361,0.02,0.005,0.095,0,0.02375,0.45125,0.025)
126	(0.019,0.361,0.02,0.00475,0.09025,0.005,0.025,0.475,0)
127	(0.038,0.342,0.02,0.0095,0.0855,0.005,0.05,0.45,0)
128	(0.019,0.361,0.02,0.0045,0.0855,0.01,0.025,0.475,0)
129	(0.038,0.342,0.02,0.009,0.081,0.01,0.05,0.45,0)
130	(0.019,0.361,0.02,0.00425,0.08075,0.015,0.025,0.475,0)
131	(0.038,0.342,0.02,0.0085,0.0765,0.015,0.05,0.45,0)
132	(0.019,0.361,0.02,0.004,0.076,0.02,0.025,0.475,0)
133	(0.018,0.342,0.04,0.005,0.095,0,0.025,0.475,0)
134	(0.018,0.342,0.04,0.00475,0.09025,0.005,0.025,0.475,0)
135	(0.005,0.095,0,0.015,0.285,0,0.0285,0.5415,0.03)
136	(0.005,0.095,0,0.01425,0.27075,0.015,0.03,0.57,0)
137	(0.01,0.09,0,0.0285,0.2565,0.015,0.06,0.54,0)
138	(0.005,0.095,0,0.0135,0.2565,0.03,0.03,0.57,0)
139	(0.00475,0.09025,0.005,0.015,0.285,0,0.03,0.57,0)
140	(0.0095,0.0855,0.005,0.03,0.27,0,0.06,0.54,0)
141	(0.00475,0.09025,0.005,0.015,0.285,0,0.0285,0.5415,0.03)
142	(0.00475,0.09025,0.005,0.01425,0.27075,0.015,0.03,0.57,0)
143	(0.0095,0.0855,0.005,0.0285,0.2565,0.015,0.06,0.54,0)
144	(0.00475,0.09025,0.005,0.0135,0.2565,0.03,0.03,0.57,0)
145	(0.0045,0.0855,0.01,0.015,0.285,0,0.03,0.57,0)
146	(0.009,0.081,0.01,0.03,0.27,0,0.06,0.54,0)
147	(0.0045,0.0855,0.01,0.015,0.285,0,0.0285,0.5415,0.03)
148	(0.0045,0.0855,0.01,0.01425,0.27075,0.015,0.03,0.57,0)
149	(0.0045,0.0855,0.01,0.0135,0.2565,0.03,0.03,0.57,0)
150	(0.00425,0.08075,0.015,0.015,0.285,0,0.03,0.57,0)
151	(0.0085,0.0765,0.015,0.03,0.27,0,0.06,0.54,0)
152	(0.00425,0.08075,0.015,0.01425,0.27075,0.015,0.03,0.57,0)
153	(0.004,0.076,0.02,0.015,0.285,0,0.03,0.57,0)
154	(0.004,0.076,0.02,0.01425,0.27075,0.015,0.03,0.57,0)
155	(0.005,0.095,0,0.005,0.095,0,0.038,0.722,0.04)
156	(0.01,0.09,0,0.01,0.09,0,0.076,0.684,0.04)
157	(0.005,0.095,0,0.00475,0.09025,0.005,0.04,0.76,0)
158	(0.01,0.09,0,0.0095,0.0855,0.005,0.08,0.72,0)
159	(0.005,0.095,0,0.0045,0.0855,0.01,0.04,0.76,0)
160	(0.01,0.09,0,0.009,0.081,0.01,0.08,0.72,0)
161	(0.005,0.095,0,0.00425,0.08075,0.015,0.04,0.76,0)
162	(0.01,0.09,0,0.0085,0.0765,0.015,0.08,0.72,0)
163	(0.005,0.095,0,0.004,0.076,0.02,0.04,0.76,0)
164	(0.01,0.09,0,0.008,0.072,0.02,0.08,0.72,0)

編號	(AN-T,AN-NT,AH-T,BN-T,BN-NT,BH-T,CN-T,CN-NT,CH-T)
165	(0.00475,0.09025,0.005,0.005,0.095,0,0.04,0.76,0)
166	(0.0095,0.0855,0.005,0.01,0.09,0,0.08,0.72,0)
167	(0.00475,0.09025,0.005,0.00475,0.09025,0.005,0.04,0.76,0)
168	(0.0095,0.0855,0.005,0.0095,0.0855,0.005,0.08,0.72,0)
169	(0.00475,0.09025,0.005,0.0045,0.0855,0.01,0.04,0.76,0)
170	(0.0095,0.0855,0.005,0.009,0.081,0.01,0.08,0.72,0)
171	(0.00475,0.09025,0.005,0.00425,0.08075,0.015,0.04,0.76,0)
172	(0.0095,0.0855,0.005,0.0085,0.0765,0.015,0.08,0.72,0)
173	(0.00475,0.09025,0.005,0.004,0.076,0.02,0.04,0.76,0)
174	(0.0095,0.0855,0.005,0.008,0.072,0.02,0.08,0.72,0)
175	(0.0045,0.0855,0.01,0.005,0.095,0,0.04,0.76,0)
176	(0.009,0.081,0.01,0.01,0.09,0,0.08,0.72,0)
177	(0.0045,0.0855,0.01,0.00475,0.09025,0.005,0.04,0.76,0)
178	(0.009,0.081,0.01,0.0095,0.0855,0.005,0.08,0.72,0)
179	(0.0045,0.0855,0.01,0.0045,0.0855,0.01,0.04,0.76,0)
180	(0.009,0.081,0.01,0.009,0.081,0.01,0.08,0.72,0)
181	(0.0045,0.0855,0.01,0.00425,0.08075,0.015,0.04,0.76,0)
182	(0.009,0.081,0.01,0.0085,0.0765,0.015,0.08,0.72,0)
183	(0.0045,0.0855,0.01,0.004,0.076,0.02,0.04,0.76,0)
184	(0.009,0.081,0.01,0.008,0.072,0.02,0.08,0.72,0)
185	(0.00425,0.08075,0.015,0.005,0.095,0,0.04,0.76,0)
186	(0.0085,0.0765,0.015,0.01,0.09,0,0.08,0.72,0)
187	(0.00425,0.08075,0.015,0.00475,0.09025,0.005,0.04,0.76,0)
188	(0.0085,0.0765,0.015,0.0095,0.0855,0.005,0.08,0.72,0)
189	(0.00425,0.08075,0.015,0.0045,0.0855,0.01,0.04,0.76,0)
190	(0.0085,0.0765,0.015,0.009,0.081,0.01,0.08,0.72,0)
191	(0.00425,0.08075,0.015,0.00425,0.08075,0.015,0.04,0.76,0)
192	(0.0085,0.0765,0.015,0.0085,0.0765,0.015,0.08,0.72,0)
193	(0.00425,0.08075,0.015,0.004,0.076,0.02,0.04,0.76,0)
194	(0.0085,0.0765,0.015,0.008,0.072,0.02,0.08,0.72,0)
195	(0.004,0.076,0.02,0.005,0.095,0,0.04,0.76,0)
196	(0.008,0.072,0.02,0.01,0.09,0,0.08,0.72,0)
197	(0.004,0.076,0.02,0.00475,0.09025,0.005,0.04,0.76,0)
198	(0.008,0.072,0.02,0.0095,0.0855,0.005,0.08,0.72,0)
199	(0.004,0.076,0.02,0.0045,0.0855,0.01,0.04,0.76,0)
200	(0.008,0.072,0.02,0.009,0.081,0.01,0.08,0.72,0)
201	(0.004,0.076,0.02,0.00425,0.08075,0.015,0.04,0.76,0)
202	(0.008,0.072,0.02,0.0085,0.0765,0.015,0.08,0.72,0)
203	(0.004,0.076,0.02,0.004,0.076,0.02,0.04,0.76,0)
204	(0.008,0.072,0.02,0.008,0.072,0.02,0.08,0.72,0)