


國立交通大學
工業工程與管理學系碩士班

碩士論文

薄膜液晶顯示器組立廠
主生產排程規劃系統之設計
The Design of Master Production Scheduling System for
TFT-LCD Cell Assembly Factory

The logo of National Tsing Hua University is a circular seal with a blue border. Inside the seal, there is a stylized representation of a building or a traditional Chinese architectural element. The year '1896' is inscribed at the bottom of the seal.

研究生：莊書銘

指導教授：鍾淑馨 博士

中華民國九十六年七月

薄膜液晶顯示器組立廠主生產排程規劃系統之設計

研究生：莊書銘

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

薄膜液晶顯示器(Thin Film Transistor-Crystal Displayer) 製程依序包含陣列、組立、模組三個階段，其中良率最低且機台特性最複雜之階段為組立段製程。在過去液晶顯示器產業正蓬勃發展的幾年內皆處於供不應求之狀態，於是大部份組立廠排程規劃文獻皆偏向存貨式生產環境，但液晶顯示之應用於近年來愈趨廣泛，訂單式生產之排程環境漸漸普遍。因此本文針對薄膜液晶顯示器組立廠，求解眾多種類且訂單式與存貨式產品並存環境下之排程問題，以因應現今產業趨勢。

基於上述原因，本文首先以訂單需求量初估所需設置次數加上總加工時間於各個工作站之產能負荷；其次考量系統內連續數個批量工作站需與瓶頸工作站之序列加工特性相互配合之情境，分析連續批量工作站之瓶頸落點，決定連續批量工作站排程方式。再以混合整數規劃模式求解系統瓶頸與連續批量工作站之產能配置，在訂單皆能滿足之前提下最大化系統瓶頸產出。最後利用吾人設計之動態派工法則執行序列與批量間工作站之排程，提高批量工作站集批效率，使得序列工作站完成之工件順利轉化為批量工作站之產出。此外本文提出一因應與回饋機制，針對批量工作站無法如期產出系統瓶頸決定之產出量時，求解可供上層選擇之因應排程結果。

實驗結果顯示，運用本文所提出之主生產排程規劃系統所規劃之排程，能夠如期完成訂單需求量，並且充份利用機台產能以最大化存貨式產品之產出；而且序列與批量之間各工作站所採用之派工法則，亦能有效縮短批量工作站集批等候時間。此外，本文發展之規劃模式能在極短時間內求得排程最佳解，並兼具因應上層管理者之需求而修正排程之功能，在現今競爭激照之環境相當具有效率與實用性。

關鍵字：薄膜液晶顯示器、訂單式生產環境、批量工作站、混合整數規劃

An Design of Analytic Master Production Planning Scheduling System of TFT-LCD Cell Assembly Process

Student : Leon Chuang

Advisor : Dr. Shu-Hsing Chung

Department of Industrial Engineering and Management

Abstract

The manufacturing of Thin Film Transistor-Crystal Displayer (TFT-LCD) includes array, cell, and module process. The assembly process has lowest yield rate and most complexity. In the TFT-LCD industrial, supply used to be unable to meet the demand in the past few years which lead to make to stock(MTS) production environment. Nowadays, the extensive implementation of TFT-LCD lead to the generality of make to order(MTO) production environment. This paper focused on the TFT-LCD assembly process scheduling problem under the environment of coexist of MTO and MTS product to meet the trend.

Due to the factors premised, this paper first evaluate the capacity loading of work stations according to promised orders, then analyse the bottleneck of contiguous batching operations considering the cooperation between batching and serial workstations. The mixed integer programming is applied to solve the capacity allocation of system bottleneck and batching workstations to maximize system throughput while the orders are fulfilled. At last, a dynamic dispatching rule is designed to improve the efficiency of job accumulation and enhance the brilliant transforming from finished jobs of serial operations to throughput of batching operations. Besides, this paper contrived a reply and feedback mechanism to find an optional solution when batching workstation can not meet the need of scheduled output.

The result of experimentation shows that this production planning system can meet the order quantity before due date and utilize capacity well to maximized the output of MTS products, and the dynamic dispatching rule could efficiently shorten the job accumulating time of batching machines. This

Master Production Planning Scheduling System provide effectiveness and practicability , which can find the optimal solution in very short time and also reply the need of managers to fix schedule.

Key words : TTT-LCD, Make To Order, Batching Machine, Mixed Integer Programming



誌謝

終於，在風城的兩千多個日子即將劃下句點。回想六年前那個隻身背著行囊來自花蓮的傻小子，在風城的許多角落留下回憶，慢慢學會了解自己，決定自己的人生方向，

在此，要感謝我這一生中的貴人，李華璋老師，在我追求了解自己的路上，像親人一般的陪伴，像鏡子一般讓我認知到自己的缺點，讓我不斷成長，得以在未來的人生旅途上展翅高飛翱翔天際。感謝父母在我的求學生涯提供一切所需，才得以無後顧之憂的向前求取學歷，還有最愛我的阿公阿媽，有他們的僻祐讓我備感溫馨，提醒自己要更精進。謝謝這兩年之中，曾陪伴我許多歡笑日子的芝非，我們在苗栗、台中也都留下許多美好回憶。感謝諮商中心的韶鈴老師、鶯珠老師、翠芬老師、守謙老師、景同老師、燦如老師、靜宜寶貝、文昭姊，還有社團的朋友依文、佩穎、郁理、庭瑋、pany、昱丞、信源、柏佑、小翊、信豪、書平、寶貝萱聖、小賊、辛豪、冠賢、志瑋、建瑋、翔鳴、琪昱、書涵、輔國，在諮商中心志工團的這些日子，是我在新竹最快樂的時光。還要感謝松濤居畫室政霖老師、畫室阿姨雅惠、小白，還有九年的同學小鈞、大頭、小強、翊仲、耀彬。。

在研究室的兩年生活，也受到許多貴人相助，由衷感謝今年七月趕著準備口試的這段時間，在我拚命到無力、絕望時，是一平學長、威良學長大力相挺才得以渡過難關，以及于婷學姊、俊穎學長的提攜照顧。這兩年中開心的獲得就這群一起同甘共苦的同學孟儒、耀陞、bobo、東錡了，還有同屆的魔獸三國好友偉仁、康康、郭嘉、龜玲膏，人因組的戴狗、益青，以及學弟妹小潔、柏毅、小毛、苗人、笛喬，以及鴻昌的大姊頭洪姊。

最後，感謝鍾淑馨老師三年來的提攜，引領我進入學術殿堂，讓我學習到看待事情的不同切入角度，還有楊明賢老師的提拔才得此機會進入交大工業工程與管理研究所。

人生就像一條蜿蜒的路，此刻我們在這個交叉點相遇，下一刻又有各自的方向要前進，真的由衷感謝這一切在風城的因緣際會，我才能在此和來自台灣各個角落的朋友們齊聚一堂，期許這一切的善緣好運能夠持續，當下一次因緣聚足的時刻，在下一個人生轉角路口相遇時，都能更加圓融歡喜，一切圓滿。

2007 0907 書銘 于風城

目錄

| | |
|---------------------------------------|------|
| 摘要..... | II |
| 圖目錄..... | VIII |
| 表目錄..... | IX |
| 符號一覽表..... | X |
| 第一章、緒論..... | 1 |
| 1.1 研究背景與動機..... | 1 |
| 1.2 研究目的..... | 2 |
| 1.3 研究範圍與限制..... | 3 |
| 1.4 研究方法與步驟..... | 4 |
| 第二章、文獻回顧..... | 6 |
| 2.1 依排程問題分類..... | 6 |
| 2.2 薄膜液晶面板組立段(Cell Assembly)製程介紹..... | 7 |
| 2.2.1 薄膜液晶顯示器製造程序簡介..... | 7 |
| 2.2.2 薄膜液晶顯示器組立段製程簡介..... | 8 |
| 2.3 批量加工機台排程問題相關文獻..... | 15 |
| 2.3.1 批量加工機台排程問題之分類..... | 15 |
| 2.3.2 產品族排程模式相關文獻..... | 16 |
| 2.3.3 批量機台模式相關文獻..... | 17 |
| 第三章、模式構建..... | 21 |
| 3.1 問題定義與分析..... | 21 |
| 3.2 整體邏輯與架構..... | 23 |
| 3.3 產能估算模組..... | 30 |
| 3.3.1 計算理想換線次數..... | 32 |
| 3.3.2 系統利用率平準化分析..... | 33 |
| 3.4 重點工作站產能分析模組..... | 34 |
| 3.4.1 分析區段內工作站平均產出週期..... | 36 |
| 3.4.2 計算批量工作站理想載入批量..... | 37 |
| 3.4.3 連續批量工作站瓶頸辨識機制..... | 37 |
| 3.5 主生產排程模組..... | 38 |
| 3.5.1 配向膜塗佈工作站排程..... | 39 |
| 3.5.2 連續批量機台工作站排程..... | 46 |
| 3.5.2.1 批量工作站無法滿足之產量因應與回饋機制..... | 54 |
| 3.5.3 配向膜塗佈與連續批量機台間工作站排程..... | 56 |
| 3.5.4 重點工作站前之排程..... | 64 |
| 3.5.5 重點工作站後之排程..... | 64 |
| 第四章、模擬驗證..... | 65 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 4.1 系統環境說明 | 65 |
| 4.1.1 生產環境說明 | 65 |
| 4.1.2 主生產排程規劃假設 | 68 |
| 4.2 產能估算模組之執行過程與規劃結果 | 69 |
| 4.2.1 計算理想換線次數 | 70 |
| 4.2.2 系統利用率平準化分析 | 71 |
| 4.3 重點工作站產能分析模組之執行過程與規劃結果 | 73 |
| 4.3.1 分析區段內工作站平均產出週期 | 73 |
| 4.3.2 計算批量工作站理想載入批量 | 74 |
| 4.3.3 連續批量工作站瓶頸辨識機制 | 74 |
| 4.4 主生產排程模組之執行過程與規劃結果 | 75 |
| 4.4.1 配向膜塗佈工作站排程 | 76 |
| 4.4.2 連續批量工作站排程 | 80 |
| 4.4.3 配向膜塗佈與連續批量機台間工作站排程 | 83 |
| 4.4.4 重點工作站前之排程 | 87 |
| 4.4.5 重點工作站後之排程 | 87 |
| 4.5 結果分析與比較 | 87 |
| 4.5.1 模擬環境說明 | 88 |
| 4.5.2 模擬驗證之成效分析 | 88 |
| 4.5.3 派工法則之成效分析 | 89 |
| 第五章、結論與未來研究方向 | 92 |
| 5.1 結論 | 92 |
| 5.2 未來研究方向 | 93 |
| 附錄 | 96 |

圖目錄

| | |
|------------------------------------|----|
| 圖 1-1 本文研究範圍 | 4 |
| 圖 1-2 研究流程圖 | 5 |
| 圖 2-1 液晶面板組裝前後段製程簡圖..... | 9 |
| 圖 2-2 液晶灌入式意圖[16] | 13 |
| 圖 2-3 液晶面板封口[13]..... | 13 |
| 圖 2-4 偏光片貼附[17]..... | 14 |
| 圖 3-1 TFT-LCD 面板組立段主要製程工作站 | 22 |
| 圖 3-2 重點區段工作站示意圖 | 25 |
| 圖 3-3 產能估算模組-剩餘產能計算示意圖..... | 27 |
| 圖 3-4 TFT-LCD 面板組立段製程規劃系統架構圖 | 29 |
| 圖 3-5 產能估算模組架構圖 | 31 |
| 圖 3-6 理想換線次數示意圖 | 32 |
| 圖 3-7 重點工作站產能分析模組架構圖 | 36 |
| 圖 3-8 主生產排程模組架構圖 | 39 |
| 圖 3-9 連續批量工作站排程流程圖 | 47 |
| 圖 3-10 批量工作站無法滿足之產量因應與回饋機流程圖 | 56 |
| 圖 3-11 期望平均在製品量示意圖..... | 61 |
| 圖 3-12 配向與批量間之序列工作站機台派工法則示意圖 | 63 |

表目錄

| | |
|-----------------------------------------|----|
| 表 2-1 批量機台排程問題相關文獻比較..... | 19 |
| 表 4- 1 各產品種類於各工作站加工時間..... | 66 |
| 表 4- 2 本規劃幅度(二期)內各產品種類之訂單需求與預測需求量..... | 66 |
| 表 4- 3 各工作站可用機台數與加工批量及換線時間..... | 68 |
| 表 4- 4 各產品種類於瓶頸工作站之機台需求數..... | 70 |
| 表 4- 5 各產品種類於瓶頸工作站之機台需求數(無條件進位)..... | 71 |
| 表 4- 6 各工作站所需最少換線次數..... | 71 |
| 表 4- 7 批量工作站可耗用於閒置時集批、不滿批加工之產能..... | 73 |
| 表 4- 8 批量工作站之理想載入批量..... | 74 |
| 表 4- 9 批量工作站可耗用於閒置時集批、不滿批加工之工件數..... | 75 |
| 表 4- 10 瓶頸工作站之 iLog 數學模式統計資訊..... | 76 |
| 表 4- 11 瓶頸工作站產能配置各產品於各機台產量之數學規劃最佳解..... | 78 |
| 表 4- 12 瓶頸工作站機台產能配置機制之規劃解示意表..... | 79 |
| 表 4- 13 瓶頸工作站混線機台之產能配置結果與排序結果..... | 80 |
| 表 4- 14 非瓶頸工作站預計產出需求表..... | 81 |
| 表 4- 15 連續批量工作站之 iLog 數學模式統計資訊..... | 81 |
| 表 4- 20 第一個規劃週期預定有效總產出需求..... | 84 |
| 表 4- 21 各產品種類於系統第四工作站之機台需求數..... | 84 |
| 表 4- 22 各產品種類於連續批量工作站第一站機台需求數..... | 85 |
| 表 4- 23 模擬累積產出量與需求規劃量與達成率分析表..... | 88 |
| 表 4- 24 各工作站相關資料..... | 89 |
| 表 4- 25 各工作站加工時間..... | 89 |
| 表 4- 26 產品於配向膜塗佈工作站之加工完成時點..... | 89 |
| 表 4- 27 各機台生產之產品種類..... | 90 |
| 表 4- 28 各工作站內機台設置次數..... | 90 |
| 表 4- 29 平均產出週期時間(分鐘)..... | 90 |

符號一覽表

符號下標：

bn ：表示瓶頸工作站

i ：表示第 i 種產品種類， $i=1, \dots, o, o+1, \dots, s$ 。

其中 $1, \dots, o$ 代表該產品屬於訂單式生產(Make to Order)之產品種類；
 $o+1, \dots, s$ 代表該產品屬於存貨式生產(Make to Stock)之產品種類。

i' ：表示所有產品種類中除了第 i 種產品本身之外的所有種類 $i'=1 \dots I, i' \neq i$

k ：表示第 k 個工作站

m ：表示第 m 台機台

n ：表示以目前時點開始，機台依產能配置加工後續第 n 個順位之產品

t ：表示第 t 個規劃週期

tt ：代表動態更新之事件時點

變數符號：

$MDP_{i,k}$ ：產品種類 i 所需機台數 (Machine Demand of Product)

CAP_k ：規劃幅度內工作站 k 可用之產能

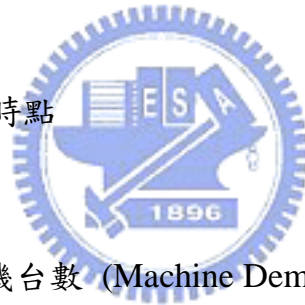
$BCAP_k$ ：批量工作站可浪費於因集批等候而閒置及不滿批加工之產能浪費

$BSize_k$ ：批量工作站 k 之加工批量數

D_i ：規劃幅度內產品 i 之目標產出量

U_k ：工作站 k 之利用率

M_k ：工作站 k 之機台數



$PT_{i,k}$: 產品 i 於工作站 k 加工所需時間

\overline{PT}_k : 工作站 k 之各種產品平均加工時間

ST_k : 工作站 k 每次設置所需產能

AOP_k : 工作站 k 之平均產出週期(Average Output Period)

$NANF_b$: 批量工作站 b 扣除加工與設置以及保護性產能後，剩餘產能所能耗用於不滿批加工之工件數(Number of Allowable jobs for Not Full-batch)

$NCAP_k$: 工作站 k 所需之必要加工與設置產能(Necessary Capacity)，為產品加工產能與最小換線次數 $NLST_k$ 之加總

$NLST_k$: 工作站 k 之最小換線次數(Number of Least Setup Time)

$NSST_k$: 工作站扣除加工與設置產能後，所剩餘可接受之額外設置次數，等於可用產能減去必要產能後，再除以每次設置所需產能(Number of Surplus Setup Times)

$d_{i,m,tt}$: 二元變數， $d_{i,m,tt} = 1$ 代表在動態時點 tt ，機台 m 加工之產品種類為 i

第一章、緒論

1.1 研究背景與動機

台灣企業自 2005 年開始，在全球範圍的 LCD 總體出貨量方面已超過了南韓[1]，並在銷量上也逐漸縮小了兩國的差距，呈現後來居上之勢，全力追趕南韓企業。雖然南韓三星電子和 LG 飛利浦 LCD 的發展，在世界上分別占據前兩位，但台灣企業從 2005 年開始，在總體出貨量方面超過南韓，並且在銷量上也逐漸縮小差距，緊緊的在追趕南韓企業。市場調查機構「Display Search」，2006 年第 3 季在 10 英寸以上大型 LCD 市場上，台灣企業以 3,810 萬張的總銷售量在市場占有率方面達到 49.2%，比南韓的 41.4% 多出 7.8%。去年，台灣 LCD 出貨量占有率 44.4%，超過南韓 44.2%，首次躍升領先地位。今年前兩季，占有率又分別上升到 47.5% 和 48%，拉近了與南韓企業（第一季 41.1%、第二季 41.3%）的差距。根據光電科技工業協進會統計，2005 年台灣薄膜液晶平面顯示器 (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display, 簡稱 TFT-LCD) 產值 6371.3 億元，預估今年(2006)產值 7841.3 億元，成長率 23%，2008 年則可望突破兆元大關，達到 1 兆 104 億元，實現經濟部在 2002 年提出之「兩兆雙星產業發展計畫」，工業局表示，未來三年 TFT-LCD 面板業者，包括友達、奇美及華映等七點五代以上面板廠總計投資達七千億元，更顯示台灣 TFT-LCD 產業已成為重要經濟發展指標之一。

TFT-LCD 製程包含三個部份，依序是薄膜電晶體陣列(TFT Array)段，在玻璃基板表面進行鍍膜、顯影及蝕刻等製程，第二階段之液晶面板組立(LC Cell Assembly)段將玻璃基板與彩色濾光片進行配向與貼合，以及第三階段之電路模組組立(Module Assembly)段包含後續的組裝製程。其中組立段製程有非常特別之生產特性，設置時間很長，在一連串的加工過程，以印刷工程加工步驟之最，容易成為生產瓶頸，且後續加工步驟中包含了四個連續批量加工機台，若不能有效減少集批等候時間，導致產能浪費，很有可能因此形成瓶頸漂移，降低系統產出，而且特定加工步驟之間有等候時間限制。再者，今日台灣 TFT-LCD 產業的趨勢已走向尺寸多樣化的訂

單式生產(Make To Order, MTO)，使得組立段製程的生產管理顯得更趨困難。

當今面臨產品種類多樣化的趨勢，同時需要生產多種尺寸產品，以因應各式各樣的需求如手機、數位相機等...各式各樣的產品需求也使得一片玻璃基板就要切割出大量的產品，勢必增加膠框塗佈、真空組裝、切割等加工步驟的時間，如此一來，可用於設置之產能變少，且加工時間的增加，也會使後段批量加工機台的集批等候時間拉長，因此設置時間的節省與批量機台於閒置狀態之集批等候時間之節省成為非常重要的課題。上述情境實顯出 TFT-LCD 組立段製程要如何在產品種類多樣化、機台換線之設置時間長、後段批量機台容易因集批等候而浪費產能的特性之下，規劃出一可行之生產排程的困難與重要性。

1.2 研究目的

本文研究目的為滿足上述限制式的情況下，使 TFT-LCD 組立段製程面對小尺寸產品需求且趨於訂單式生產的環境，發展一「薄膜液晶顯示器面板組立廠主生產排程規劃系統」，求得合理之 TFT-LCD 組立段製程每個加工步驟的有效產出最大化排程解。其中包含「產能估算模組」、「重點工作站產能分析模組」、「主生產排程規劃模組」等三個模組，各模組功能分述如下：

首先由「產能估算模組」依目前預定生產目標計算最少所需換線次數，經計算轉換為換線所需產能後，加上加工所需產能，可先計算系統中序列機台之基本產能需求，檢驗產出目標是否可行，而批量機台則以配向機台之利用率為標準，在維持低於配向機台利用率之前提，檢驗能否滿足排程所需產能。

再依「重點工作站產能分析模組」分析計算排程所需參數，包含機台產能、批量大小、平均工件產出週期等。將批量工作站之中，可浪費於集批等候之閒置產能或不滿批加工之產能換算成可加工工件數，決定連續批量機台之瓶頸，再取瓶頸(包含)之前所有批量工作站加工參數，分析出前段之序列機台應如何配合後段批量機台之排程生產方法。

最後在「主生產排程規劃模組」中，輸入前「重點工作站產能分析模

組」求得之所以參數，利用吾人設計之數學規劃模式依序配置配向膜塗佈工作站(前重點工作站)、後段連續批量工作站(後重點工作站)，再以動態派工法則規劃兩重點工作站之間所有工作站，逐步完成 TFT-LCD 組立段製程之規劃。

1.3 研究範圍與限制

本研究所提出之規劃模式，在已知本期訂單的前提下為各工作站作產能配置，基於現場環境之複雜與許多不可控制因素，致使機台排程被其他變數干擾影響本研究方法達成規劃目標，本文訂定以下假設與限制：

1. 每期在開始進行規劃前，已接收之訂單為已知之確定資訊
2. 不考慮機台之間的搬運時間
3. 同一工作站內機台之數量、可用時間及可加工批量皆為等效且已知
4. 各產品之加工途程、各工作站機台之加工時間已知
5. 批量機台內的加工工件必需一起進入機台加工，並一起完成加工後離開，每一批共同加工之產品，其產品別必需相同。
6. 配向膜塗佈為本系統可用產能最少、設置時間最長之瓶頸工作站。

本研究範圍如下頁圖所示：

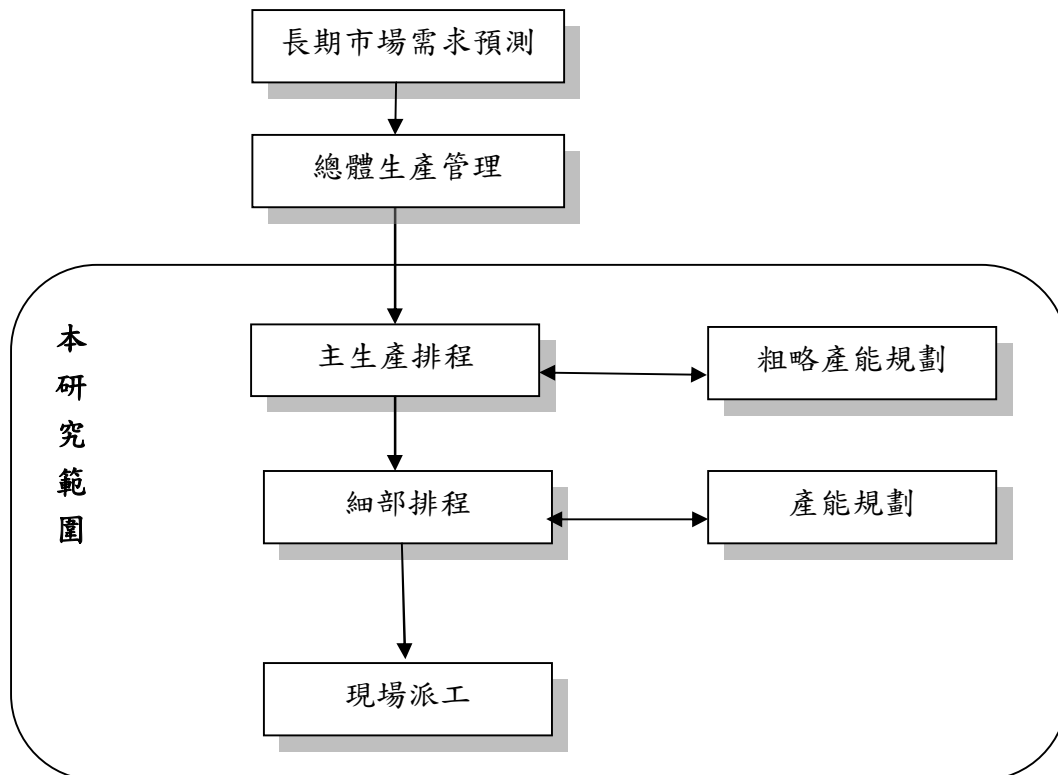


圖 1-1 本文研究範圍

1.4 研究方法與步驟

為完成以上之研究目的，本文將以下列步驟進行研究，其流程圖如

1. 文獻回顧
2. 問題定義與分析
3. 模式之構建
4. 實例模擬驗證
5. 結論與未來研究方向

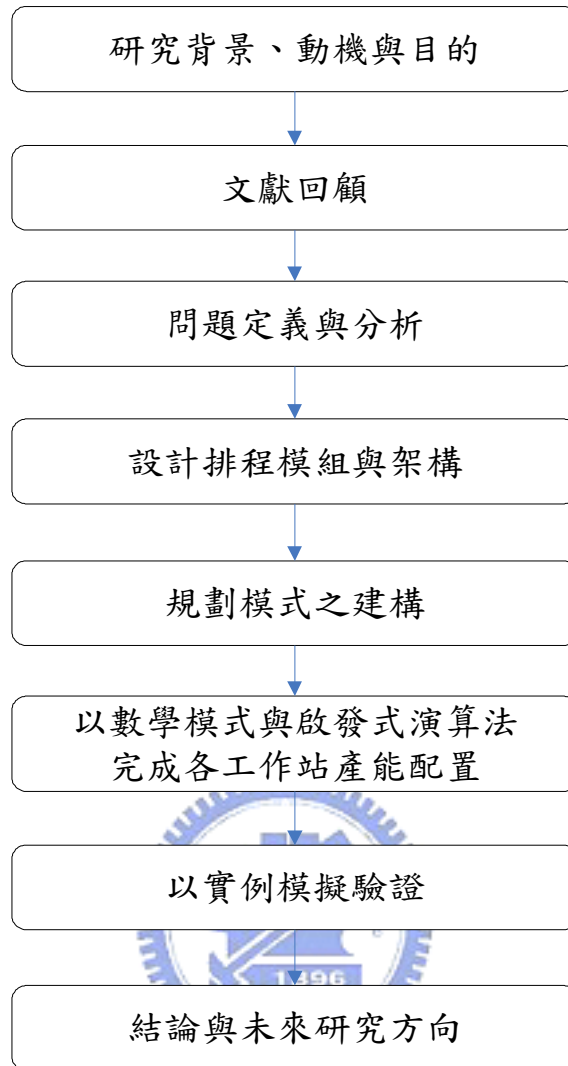


圖 1-2 研究流程圖

第二章、文獻回顧

TFT-LCD 產業之組立段製程位居整個產業的生產流程中間，承接前段陣列加工製程之後，位於後段模組加工製程之前，扮演整體生產流程具承先啟後作用、良率最低、最難規劃生產排程之關鍵角色，本文所欲求 TFT-LCD 組立段製程之獲利最大化，使其迎接前段陣列加工完成之產品，轉化為有效產出，讓後段屬於訂單式生產的模組段製程能順利組裝出貨，更顯出存貨式生產的組立段製程之重要。因此吾人將針對以下幾個主題之文獻進行探討，以作為本論文研究之理論背景基礎。

2.1 排程問題之分類

2.2 薄膜液晶面板組立段製程介紹

2.3 批量加工機台排程問題相關文獻

2.1 依排程問題分類

批量製程排程問題可說是一般排程問題的一種特例，故批量製程排程問題也可依照一般排程問題做分類。

對於批量製程排程問題之描述可用 $\alpha|\beta|\gamma$ 來表示[10]。 α 表示機台的型態； β 表示特有的生產製造特性以及限制，而 γ 則代表問題所要追求的目標函數。

在此一描述架構中，可填入 α 的機台型態可以分為：

- Ø 單機(Single machine)批量機台，代表符號為 $(\tilde{1})$ 。
- Ø 等效平行批量機台(Identically Batching Parallel Machine)，代表符號為 (\tilde{P}_m)
- Ø 非等效平行批量機台(Non-identically Batching Parallel Machine)，代表符號為 (\tilde{Q}_m)
- Ø 無相關平行批量機台(Unrelated Batching Parallel Machine)，代表符號

為(\tilde{R}_m)

Ø 流程型批量工廠(Flow Shop with Batching Machine)，代表符號為(\tilde{F}_m)

Ø 零工型批量工廠(Job Shop with Batching Machine)，代表符號為(\tilde{J}_m)

Ø 彈性流程型批量工廠(Flexible Flow Shop with Batching Machine)，代表符號為(\tilde{FF}_m)

β 表示特有的生產製造特性以及限制，以下為其代表符號以及其涵義：

Ø r_j ：代表工件 j 的來到時間為 r_j ，工件 j 不可在來到時間前開始加工。

Ø d_i ：代表工件 i 有其最後之期限 d_i ，而 $d_i = d$ 代表所有的工件之最後期限皆為 d 。

Ø S_{ij} ：代表問題考慮序列相依之設置時間，當機台在處理完工件 i 後要處理工件 j 時，必須花費 S_{ij} 的設置時間。

Ø $prmp$ ：代表機台上之工件不需要等到加工完畢才能被取出，若有一緊急程度較高之工件來到時，則可以先將正在服務之工件取出，優先加工緊急程度較高之工件，而被取出之工件須再重新加工一次。

γ 代表之涵義為問題所欲追求的目標值，以下列舉數個目標值：

Ø 總完工時間(Make span)最小化，代表符號為 C_{max}

Ø 最大延遲數(Maximum lateness)最小化，代表符號為 L_{max}

Ø 總加權延誤數(Total weighted tardiness)最小化，代表符號為 $\sum w_j U_j$

依上述分類，本文所探討之 TFT-LCD 組立段製造環境之機台型態屬於等效平行批量機台，生產製造特性包含批量機台之加工，目標則是在生產目標可達成的前提將產出最大化，進而使企業利益最大化。

2.2 薄膜液晶面板組立段(Cell Assembly)製程介紹

2.2.1 薄膜液晶顯示器製造程序簡介

首先介紹薄膜液晶顯示器產業的整體製程，作為一巨觀環境簡介。

薄膜型液晶顯示器(TFT-LCD)之製造程序，可分為三大製程，分別為前段陣列(TFT Array)製程、後段面板組立(Cell Assembly)製程及模組組裝(LC Module Assembly)製程，其製造流程是將玻璃基板上製作之薄膜電晶體的 TFT Array 工程基板和彩色濾光片基板貼合起來，並進行液晶注入而組成液晶胞，再與驅動電路和背光板等組合成模組的整個工程[17]，以下簡述此三大製程階段[15]：

U 薄膜電晶體陣列 (TFT Array) 製程：

製作薄膜電晶體製程。此製程主要是將玻璃基板透過類似半導體的鍍膜、曝光、顯影、蝕刻等過程，但不同的是將薄膜電晶體製作於玻璃上，而非矽晶圓上，在玻璃基板上形成電晶體，這方面國內技術成熟，良率一般都有 90% 以上。

U 液晶面板組立 (LC Cell Assembly) 製程：

玻璃基板封入液晶製程。此製程是將玻璃基板與彩色濾光片作配向處理，進行壓合並切割成預定尺寸的面板，注入液晶，及貼上偏光板等，此製程難度甚高，現今採用 ODF(One Drop Fill)製程之後，良率比傳統的熱壓合製程更低，是目前 TFT-LCD 製造良率最低的部分。

U 液晶模組組裝 (LC Module Assembly) 製程：

將 LCD 驅動 IC、電路板、背光電源模組與液晶面板進行組裝製程，再作最後的檢查，屬於訂單式生產環境(MTO)，難度不高，良率接近 100%。

2.2.2 薄膜液晶顯示器組立段製程簡介

TFT-LCD 之組立流程可簡單分成液晶面板前段配向製程與後段基板組立製程，前段製程是將玻璃基板上製作之薄膜電晶體元件陣列基板和彩色濾光片基板經個別加工後，進行貼合處理；後段製程則在完成液晶注入、封口、偏光板貼附與完成品的檢查。圖 2-1 為液晶面板組裝之前後段製程簡圖。

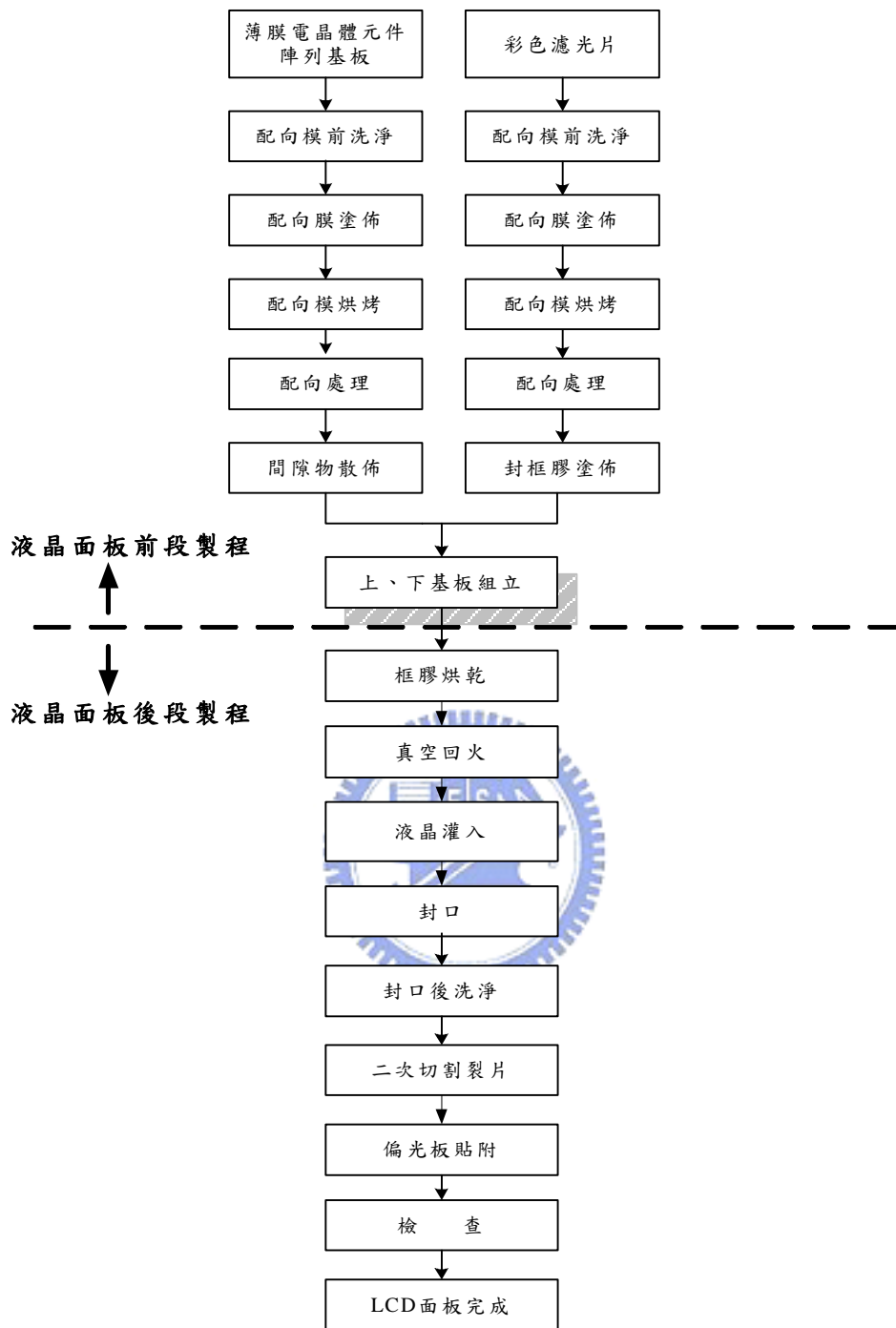


圖 2-1 液晶面板組裝前後段製程簡圖

前段製程首先將薄膜電晶體元件陣列基板進行液晶顯示器的尺寸切割工作，然後和彩色濾光片基板分別經過洗淨（Cleaning）、配向膜塗佈（Polyimide Print, PI Print）、烘烤(PI Baking)、配向處理（Rubbing）、上、下基板組立（Cell Forming）等製程，即完成與彩色濾光片基板的組合製程。

後段製程在液晶注入 (LC Injection) 工程有兩種製作方式，可先將前段製程組裝好空的 Cell 基板裁切斷裂片，取最終顯示器產品所需尺寸大小，經檢查工作後，再將液晶材料以真空方式注入，並加以封合；或者先灌入液晶，進行裁切斷片工程後再封口。最後再進行偏光板貼附 (Polarizer Attachment)、檢查等過程後，即可成為薄膜液晶顯示器的面板，完成液晶面板組裝的工作。

以下便針對液晶面板組裝的主要製程，依其製程順序說明其細部流程：

1. 配向膜前洗淨 (Pre-PI Cleaning)

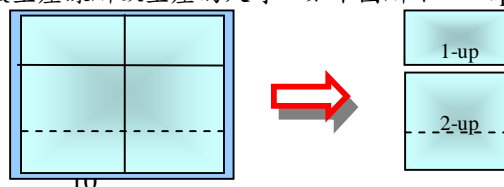
在薄膜電晶體元件陣列基板切割成欲生產的尺寸¹後，需將其切割後的玻璃截面平坦化，避免截面缺陷應力集中，在之後的製造途中發生龜裂之情形。在切完割玻璃基板與彩色濾光片後，必須經過沖刷洗淨、流水洗淨、有機溶劑之超音波洗淨、純水洗淨、清除液滴和加熱乾燥等步驟，以去除殘留在表面上之污染物，方能使膜均勻完整地附在玻璃基板上。清洗步驟首先須針對油脂類與有機物質污染物，進行 UV 洗淨與有機洗淨過程，以去除附著在玻璃基板與彩色濾光片上之有機物。之後，再經過沖刷洗淨超音波洗淨、流水洗淨等步驟，以去除基板上之塵埃粒子。最後，再進行清除液滴和加熱乾燥等步驟，即完成洗淨作業。

2. 配向膜塗佈 (Polyimide Print, PI Print)

配向膜(PI)是用來將液晶未加電場前分子做定位的工作，其前後兩片基板上的配向膜需互成九十度方能將液晶分子依序旋轉，其配向方式是以轉輪 (roller) 轉印法依一定方向刷過，也有利用蒸鍍的方式配向，不過成本較高。

3. 配向膜烘烤 (PI Baking)

¹此為玻璃基板地的第一次切割動作，其目的是為了將上層 Array 製程加工完畢、尚未切割的大型薄膜電晶體元件陣列基板切割成組立廠生產線所欲生產的尺寸，如下圖所示，2-up 基板表未來二次切割裂片時，須再切割一次。



將已經上完 PI 膜且檢查完成之玻璃基板進行溫度 180~250°C 左右的烘烤製程，使得基板上之 PI 膜進行硬化反應，以便於進行配向工程的進行。

4. 配向處理 (Rubbing)

先於基板表面的某一特定方向塗著一整齊排列物或設以溝槽，使液晶分子的長軸方向作物理性的限制，整齊排列於上、下配向膜間，以增強 PI 膜表面的配向導向力。主要可分為傾斜蒸著法與摩擦法，本文在此簡單介紹摩擦法。

摩擦法配向方法：於基板上塗上一層無機物或有機物的皮膜再行摩擦，或使用織布、羊毛布、橡膠、毛刷等工具，將配向膜表面以一定之方向進行摩擦，此種摩擦方式因欠缺耐熱與耐水性，因而較不具實用性。摩擦次數則須依配向膜材料之種類個別設定，一般均在十多次左右。

5. 間隙物散佈 (Spacer Spray)

在 TFT 陣列基板上塗佈間隙物 (Spacers)²的用意是為了使兩片基板貼合後中間有足夠的空間灌入液晶。而有些彩色濾光片在購入時本身即有間隙物，故薄膜電晶體元件陣列基板不需再有間隙物塗佈這道製程。間隙物可分為玻璃材質者與塑膠材質者，其中塑膠材質間隙物常易帶靜電而導致結塊，故散佈時需十分小心。

6. 封框膠印刷 (Patterning)

在 TFT 陣列基板和彩色濾光片基板貼合之前，應先在彩色濾光片上印刷封合劑 (Sealant)³。而在封合劑方面可分為使用環氧樹脂 (Epoxy) 的網版印刷 (Screen) 法或者使用分散劑 (Dispenser) 的直接畫 (微影) 法。其目的為將 LCD Cell 上下兩片玻璃基板區隔開，保護液晶不和外界水汽及雜質接觸，並防止液晶外流。

²使液晶分子之間距保持一定距離而在 TFT 陣列基板上置入球狀材料，一般使用硬質塑膠。

³彩色濾光片和 TFT 基板接著用之接著劑。一般配合硬化助劑使用。

7. 上下基板貼合 (Cell Forming)

在基板內側周邊部分印刷封裝劑，乾燥，將溶劑充分揮發後，將粒狀間隙物散布於以封裝材所圍住做為顯示部分之全部區域，將電極基板相互貼合。一般來說，基板貼合時，均依預先做的記號，將上下兩片基板位置對齊，適度的加壓，使封裝劑硬化而形成液晶槽，再經過加熱步驟使基板間之框膠硬化，讓兩片基板連接黏合，並產生基板間距，防止日後異物侵入液晶之界面。

8. 烘乾 (Seal Bake)

在基板組立壓合後，予以加熱基板間之指膠受熱硬化，以控制加熱過程中之程式與加熱之均勻性來得到最佳性之框膠硬化物。

9. 真空回火 (Vacuum Anneal)

利用高溫真空下，將組立完成後仍存在於空 Panel 內的水氣去除，縮短液晶注入時間，並將其中的氣體換成氮氣。



10. 液晶灌入 (LC Injection)

液晶槽及液晶材料須先充分的脫氣，以獲較高之信賴度，再將液晶材料注入真空回火處理過後的空 Cell。首先會將密封箱抽成真空，將液晶片放入此真空的密封箱中，藉著基座的固定將小切割後空的 LCD Cell 固定住，再由下方的海綿提供液晶，藉著彈簧活動機構將海綿往上頂，然後再釋放空氣進入箱中，此時 LCD 板便會藉著毛細現象將液晶完全吸入 LCD 板中間，完成灌液晶的動作。

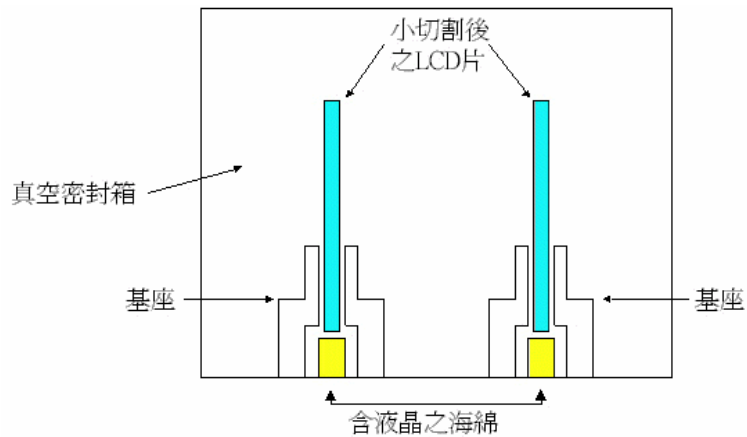


圖 2-2 液晶灌入式意圖[16]

11. 封口 (End Seal)

灌入液晶後在其開口處進行封口，以防止液晶外漏，如圖 23 所示。封口方法大致可分為銲接封閉法與接著劑封閉法，最近，則大多使用矽膠系接著劑進行封口。

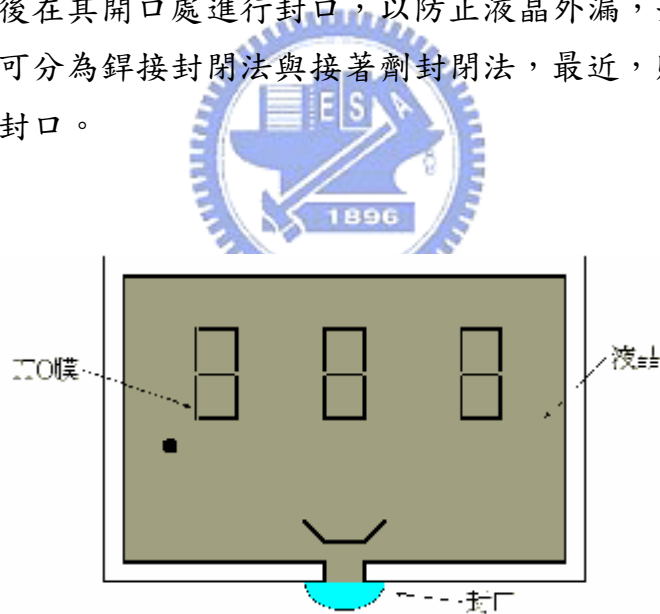


圖 2-3 液晶面板封口[13]

12. 封口後洗淨 (After End-Seal Cleaning)

灌入液晶後，須將 LCD 板置於洗淨槽內進行沖水洗淨、超音波洗淨與純水洗淨步驟，以去除附著於外側之液晶材料。

13. 二次切割裂片 (2nd Scribe & Break)

- (1).切割已灌液晶之 TFT-LCD 至所需的尺寸，並將要貼附驅動 IC⁴的電極外露。
- (2).將 2-UP 玻璃尺寸切成單個 Cell。

14. 偏光板貼附 (Polarizer Attachment)

將相差九十度的偏光片貼在 LCD 面板的上下兩面，如此完成了液晶顯示器面板 (Panel) 的成品，如圖 2-4 所示。



圖 2-4 偏光片貼附[17]

15. 檢查 (Cell Test)

例如面板厚度檢測 (Cell Gap Measurement)，此站為 off line 機台，目的在於能快速測量液晶注入後，基板玻璃間的厚度，以便作為 OK/NG 的檢驗及品管。

⁴液晶顯示器之基礎零件之一，為佔 LCD 成本比重中第三高者。驅動 IC 的主要功能是輸出需

2.3 批量加工機台排程問題相關文獻

2.3.1 批量加工機台排程問題之分類

批量加工機台乃是加工方式特殊之加造製造方式，其不同於序列機台，具有一次加工多個工件之能力，但也同時有許多加工限制，雖然可以一次加工整個批量數的工件，該種機台可能為了考量產能利用，希望累積足夠工件數達到滿批條件，在排程之時需要更多顧慮。依批量特性加工之機台在各個產業都很常見，但批量加工之限制卻有所不同，目前批量機台依批量形成方式分為以下二種[4]：

2 產品族排程模式(Family scheduling model)

2 批量機台模式(Batch machine model)

所謂產品族排程模式之批量機台加工方式，是指欲加工之產品可依照其製程特性分為多個產品族，只有相同的產品族才能同時放入批量機台進行加工，並因此節省設置時間，而此種產品族排程模式又可進一步分為批次完工(Batch availability)和序列完工(Job availability 或 Item availability)兩種。批次完工代表批量機台加工中產品，只能在全部工件一起加工完成才可以自機台中取出，例如 TFT-LCD Cell 製程中的液晶灌注製程，只能同時加工相同尺寸的面板。序列完成則代表機台中工件有先後完成之別，因此部份工件已先完工就可先自機台取出。綜合上述，此種產品族排程模式之共通加工特性如下[4]：

- Ø 每種產品佔用批量機台的體積相同。
- Ø 批量機台有其固定的最大加工批量數。
- Ø 批量機台的處理時間視所加工的工件族而定。
- Ø 同一批量內之工件必需同一時間送入機台加工，並於同一時間完成加工。

而批量機台模式是代表機台有其固定的體積以容納產品進行加工，因

此同一批量加工之產品所佔用之機台可用空間不同；如烤箱或烘爐，其加工特性如下[4]：

- Ø 批量機台有其固定的體積，例如烤箱具有固定的體積。
- Ø 每種產品佔批量機台的產能或體積不相同
- Ø 批量機台之加工時間為待加工工件中處理時間的最大值，例如有三種產品欲放入批量機台加工，其加工時間分別為 1、2 及 3 小時，則該批的加工時間為 3 小時

2.3.2 產品族排程模式相關文獻

TFT-LCD 製程 Cell 階段包含連續序列機台與後段連續批量機台排程問題，依照其製程特性，如工時間取決於工件的種類、每種產品所佔體積皆相同，故本問題之分類屬於產品族排程模式。近年來針對此一問題特性所發表之論文期刊整理如下：

Glassey 與 Weng[3]針對批量機台於閒置狀態時，應該等候工件批陸續到來以累積更大批量加工，抑或是在不滿批之情況下開始加工，提出一動態集批法則啟發式演算法(Dynamic Batching Heuristic, DBH)，在能前瞻未來某一段時間將到臨工件之前提下，計算批量機台最佳載入時點。

Cigolini[11]等人在平行批量機台之環境，研究批量機台於閒置狀態時，應該持續集批等候或者馬上開始加工之策略，發展出前瞻式演算法，並將環境應用在半導體之產品回流環境，結果證明該演算法能在不影響系統利用率之前提下改善產品流程時間。

Jeong[1]等人為解決 TFT-LCD 製程之組立段環境排程問題，在每日生產目標已知前提下，以數學規劃模式為每一個加工步驟作日生產排程規劃，以求得系統流程時間最小化以及有效產出最大化，由於該生產環境屬於平行機台排程問題，且包含順序相關設置時間之特性，使得該數學規劃方式之應用範圍受到相當限制，因此再提出二種啟發式演算法求解排程問題，應用於實務之 TFT-LCD 製程組立段環境，並證實所得排程結果相當

良好。

近年來，李氏[13]為解決 TFT-LCD 製程之組立段環境批量機台現場派工問題，提出一最佳載入時點評估機制，將系統之加工步驟分為瓶頸與非瓶頸工作站，分別計算出決策所需參數，以完成工件載入評估流程，計算最要載入時點。

林氏[12]提出一 TFT-LCD 之組立段製程主生產排程快速規劃系統，將系統中可允許機台設置次數最少之加工步驟定為瓶頸，利用數學規劃模式求解瓶頸工作站之產出最大化，應用此產能配置之概念完全 TFT-LCD 之組立段製程主生產排程。

陳氏[14]為 TFT-LCD 製程組立廠後段之連續批量機台環境設計一連續批量機台排程機制，在以知系統瓶頸工作站完成各工單時點之前提，建構整數規劃模式，求得最適排程，並提出啟發式演算法求解大規模問題。

2.3.3 批量機台模式相關文獻

Sung 與 Choung [5]分別在所有工件都已到臨與到臨時間無法預知的兩種情況下，分析多種動態規劃與分枝界限演算法對單一半導體產業的烘烤機台排程追求總完工時間最小化，並計算各方法之績效。

Sung [6]等人針對半導體業之烘烤機台提出單一批量機台排程研究，在工件動態到臨的環境下，追求總完工時間最小化，藉由其提出之動態規劃演算法，可在固定數量之產品種類情境之下利用有限時間將規劃完成，實驗數據顯示其方式在大部份情況皆優於過去使用之批量動態規劃法。

Chen[2]等人面對二階段機台流程式加工環境排程方法，求解最小化總完工時間，提出二種啟發式演算法，其一先讓總設置時間最小化排序，再將各工件以批量方式排程，證明其排程結果小於最佳解之 $3/2$ 倍；另一啟發式演算法則是將每一批量工件分成兩個子批量單位，並證實其排程結果小於最佳解之 $4/3$ 倍。

Neale 與 Duenyas [9]研究工件隨機到臨之單一批量機台排程策略，在各種不同的情境所對應之最佳解策略下，分析其策略特性，並提出啟發式

排程策略來控制批量機台，佐以模擬結果證明該研究所適用之廣範性。

Van Der Zee [7]提出新的排程方法來解決半導體業的烘烤機台，稱之為前瞻策略，將所有產品經過批量機台的平均流程時間最小化，並以模擬方式證明此種新策略的排程能力。

Bramanian [8]等人利用基因演算法之概念，提出兩種啟發式演算法；其一先將工件組成批量，再藉由基因演算法將各批量分派到機台上，最後再為各機台上之批量單位作排序，其二則是先將工件分派至機台上，再將機台上之工件分成批量單位，最後將之排程。該方法求解平行批量機台排程之總加權誤期最小化皆優於過去所用之派工方法。

上述期刊為批量排程問題之相關文獻，吾人將其整理並與本文比較如下表 2-1。



表 2-1 批量機台排程問題相關文獻比較

| 作者與參考文獻編號 | 批量特性 | 機台特性 | 排程目標 | 求解方法 | 應用環境 | 特殊限制 |
|---------------------|-------------------|--------|--------------------|----------------|-------------|---------------|
| Cigolini[11] | Family Scheduling | 等效平行機台 | 產品流程時間 | 啟發式演算法 | 半導體 | |
| Jeong 0 | Family Scheduling | 等效平行機台 | 系統流程時間最小化以及有效產出最大化 | 數學規劃、二種啟發式演算法 | TFT-LCD 組立段 | 順序相關設置時間 |
| Sung 與 Choung [5] | Batching Machine | 單一機台 | 總完工時間最小化 | 多種動態規劃與分枝界限演算法 | 半導體 | 工件靜態與動態到來 |
| Sung [6] | Batching Machine | 單一機台 | 總完工時間最小化 | 動態規劃演算法 | 半導體 | |
| Neale 與 Duenyas [9] | Batching Machine | 單一機台 | 平均流程時間最小化 | 啟發式演算法 | 不特定環境 | 工件到臨時間、工加時間不定 |
| Van Der Zee [7] | Batching Machine | 單一機台 | 平均流程時間 | 啟發式演算法 | 半導體 | |

| | | | | | | |
|---------------|-------------------|-----------|-----------------|-------------|-------------|--|
| | | | 最小化 | | | |
| Bramanian [8] | Batching Machine | 等效平行機台 | 總加權誤期最小化 | 基因演算法 | | |
| 李氏[13] | Family Scheduling | 單一機台 | 有效產出最大化、週期時間最小化 | 派工法則 | TFT-LCD 組立段 | |
| 林氏[12] | Family Scheduling | 等效平行機台 | 有效產出最大化 | 數學規劃 | TFT-LCD 組立段 | |
| 陳氏[14] | Family Scheduling | 多階段等效平行機台 | 設置次數最小化 | 數學規劃、啟發式演算法 | TFT-LCD 組立段 | |
| 本文 | Family Scheduling | 等效平行機台 | 有效產出最大化 | 數學規劃、動態派工 | TFT-LCD 組立段 | |

第三章、模式構建

3.1 問題定義與分析

薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)產業在台灣發展十餘年，與日本、韓國等皆為世界薄膜液晶顯示器大量產出國家，儼然成為台灣經濟發展重要指標，今日已有許多企業加入此產業，隨著數位化產品普及，各式各樣尺寸的薄膜液晶顯示器需求訂單都有，以今日人手一隻的手機來說，其液晶顯示器的尺寸都已是客制化生產，所以尺寸多樣化並趨向訂單式生產(Make To Order, MTO)已成為今日台灣 TFT-LCD 產業的趨勢。

TFT-LCD 製程由上而下可分為：薄膜電晶體陣列段、液晶面板組立段、模組組裝段等三段主要製程，本文著眼於其中第二段 TFT-LCD 面板組立製程的生產規劃問題，雖然至今已有許多文獻試圖解決此問題，其仍有生產管理困難之處，譬如該製程利用在生產小尺寸產品時，其產品種類多樣化將使得設置次數更多，手機所需要之液晶顯示器即為一例。因此接單式生產的 TFT-LCD 液晶面板組立段生產規劃已成為一個非常重要課題。

TFT-LCD 液晶面板組立段製程的生產環境特殊，其主要製程工作站如下圖 3.1 所示，由一連串序列機台與連續批量機台組成，其設置時間最長的製程步驟落於序列機台的前段，即配向膜塗佈工作站，容易成為整個生產系統的瓶頸。然而面臨產品種類多樣化的趨勢，因為批量機台限制同一批工件中只能加工一種產品，為了累積足夠的同種產品到來以減少產能浪費，集批等候所浪費的產能將不容小覷，其造成後段的烘乾等批量機台工作站可能成為次瓶頸，而有瓶頸漂移的隱憂。基於上述原因，TFT-LCD 面板組立廠若依照實務上的產能估算方法：依加工所需產能再加上一個寬放值作為評估達成產出期望目標的依據，勢必無法因應多樣化的訂單需求造

成的設置時間與集批時間變動。本文為解決此問題乃發展一「薄膜液晶顯示器面板組立廠主生產排程規劃系統」，以系統中設置時間最長之工作站與批量機台工作站及其之間所包含的所有工作站為設計主軸，透過階層式分析，逐步完成產能之規劃。

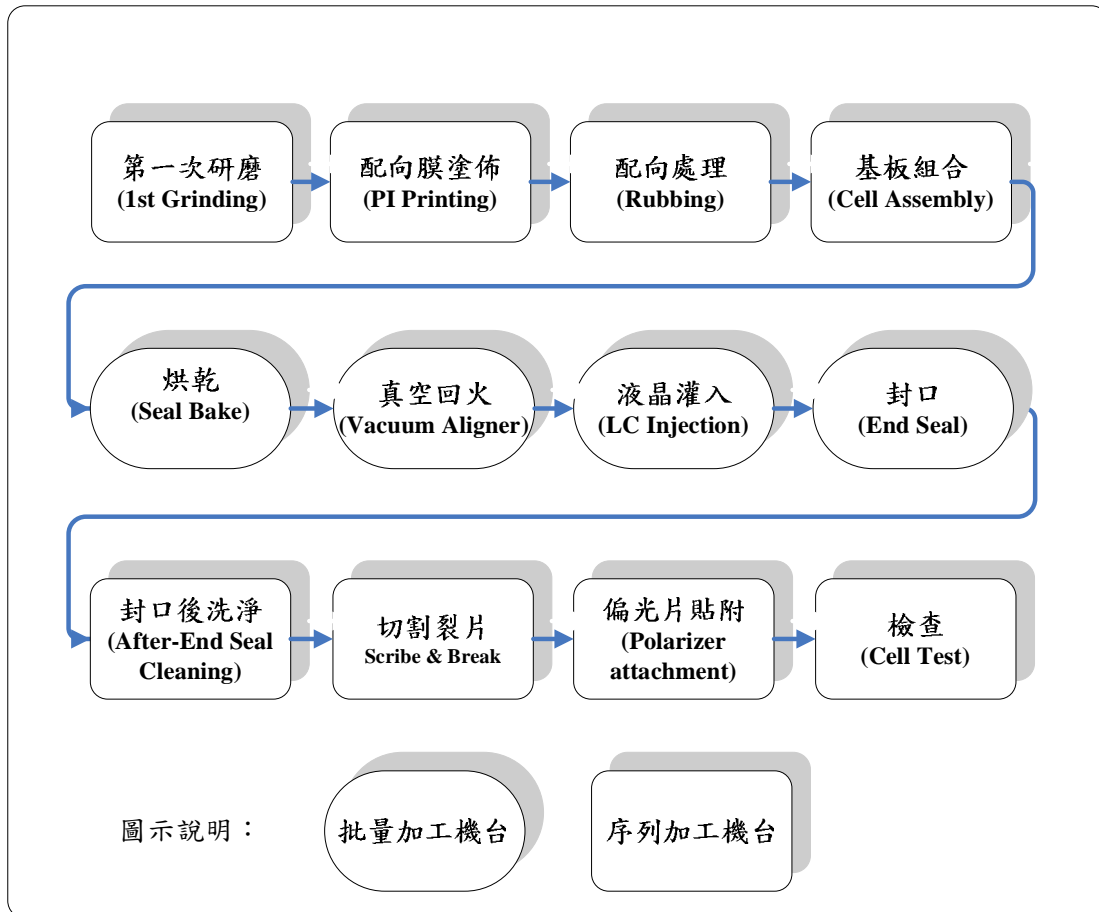


圖 3-1 TFT-LCD 面板組立段主要製程工作站

本文將 TFT-LCD 面板組立段製程的生產規劃之製造環境、機台特性列示如下：

製造環境：

1. 面板在 Cell Assembly 製程中的基本單位為批(Lot)，一單位 Lot 內

含 25 片未加工基板，而批量機台可以同時加工數批工件。

2. 同一工作站中的所有機台，處理相同的產品時，其處理時間相同。
3. 工作站加工不同產品時須進行整備(setup)，小尺寸產品間之設置時間相同，因此每個工作站在加工不同產品之換線時間假設為一致。
4. 雖然本文研究屬於訂單式生產環境(MTO)，但仍有部份常見尺寸產品廣受市場接受，故設定某些特定尺寸產品製造之後，一定能售出成為有效產出。
5. 本文不考慮存貨成本，因此產出規劃時除了滿足訂單式產品之產量，存貨式產品之產出會受到市場接受，以此前提下最大化產出目標。

機台特性：



1. 批量機台加工限同一種產品才能放在同一批量中加工。
2. 各批量工作站內的批量機台有其最大的可容納批量數，與產品的體積無關，批量機台於滿載或非滿載時皆可進行加工。
3. 機台在加工時，必須將批量內所有產品加工完成才能取出，每一個產品都同時開始加工，並且同時完成加工，不可中途取出。

3.2 整體邏輯與架構

本文為 TFT-LCD 面板組立製程設計「薄膜液晶顯示器面板組立廠主生產排程規劃系統」，規劃週期為 2 天，規劃幅度為一個月(28 天)，以因應今日產品種類多樣化的趨勢。為了避免該製程後段的批量機台集批等候同種產品到臨而浪費該

站產能造成次瓶頸，吾人將以下二工作站視為重點工作站：1、設置時間最長的配向膜塗佈工作站；2、容易在閒置狀態因為集批等候而浪費產能的批量機台工作站。並將包含前述二工作站及其間的所有序列機台工作站視為一個區段。以階層式分析流程，分析系統中重點工作站之產能與加工批量等參數，利用這此參數規劃配向膜塗佈機台之瓶頸工作站(為前段重點工作站)、後段連續批量工作站之批量瓶頸工作站(含)以前之所有批量機台(為後段重點工作站)、以及兩重點工作站之間的序列機台工作站之產能，完成該重點區段工作站產能配置後，再為剩下的區段前與區段後之工作站完成規劃，重點區段工作站示意圖如下圖 3-2。



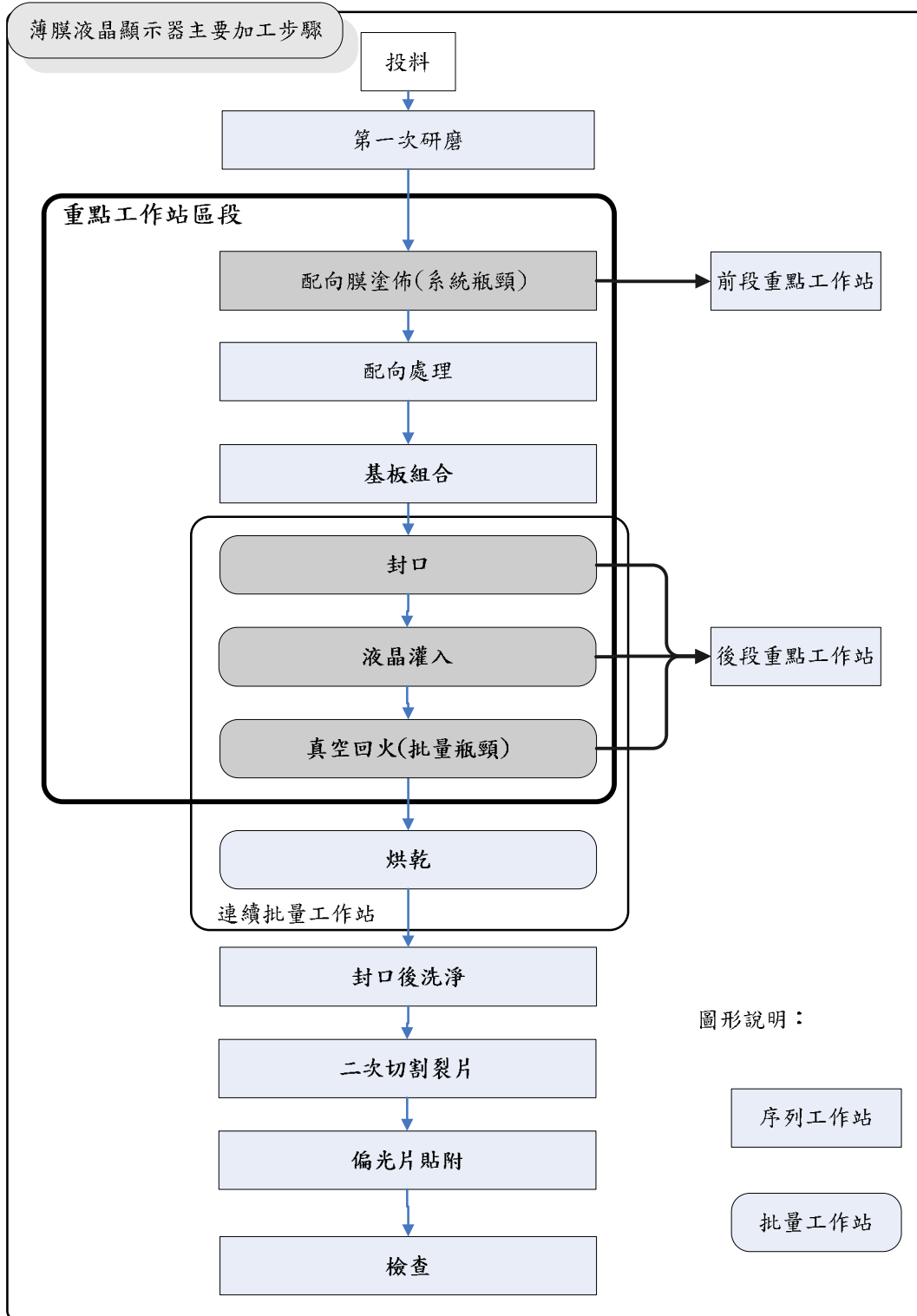
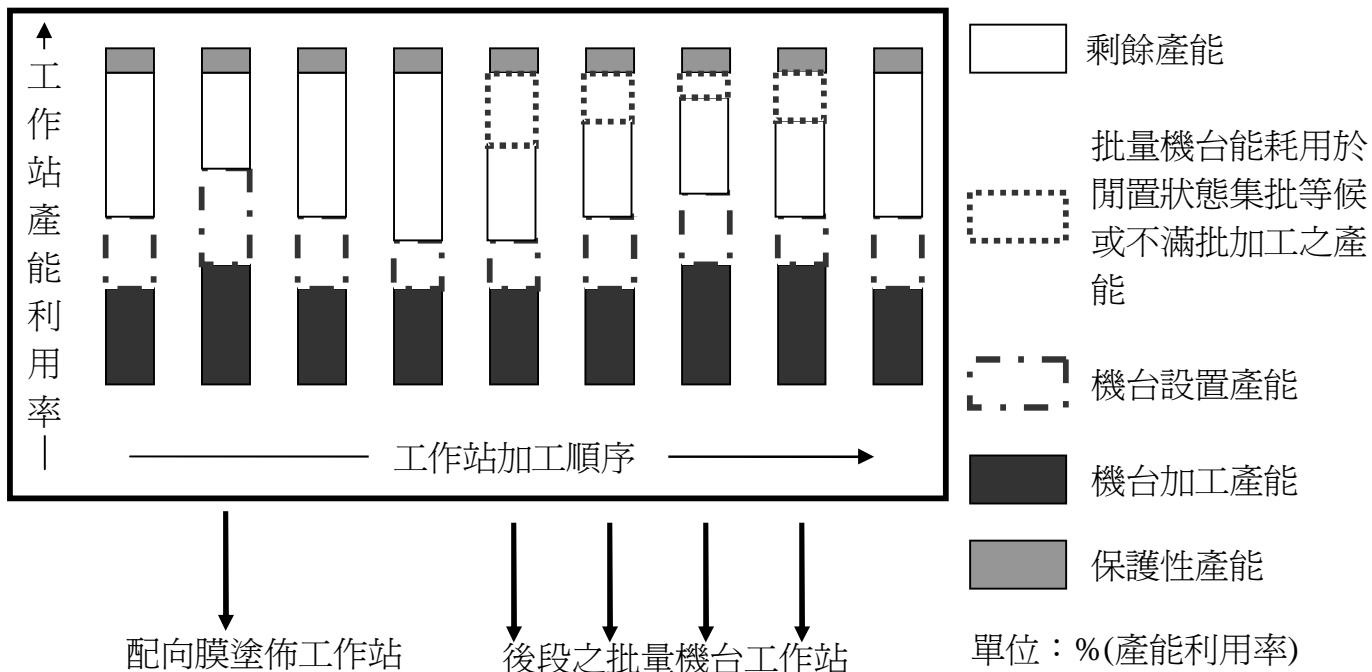


圖 3-2 重點區段工作站示意圖

本規劃系統架構包含「產能估算模組」、「重點工作站產能分析模組」、「主生產排程規劃模組」。首先在「產能估算模組」之中，依目前預定生產目標計算最少所需換線次數，求算出換線所需產能後，加上加工所需產

能，即得系統中序列機台之基本產能需求。接下來，批量機台以配向機台之利用率為上限，訂定批量機台在閒置狀態因為集批等候而浪費之產能。即總產能扣除加工與換線之產能後，維持與配向機台相同利用率之前提下所剩餘之可用產能，其概念如圖 3-3 所示。經上述計算後即可得知，各工作站依其現有資源所能提供產能是否可能達成產出目標，若皆可能則進入「重點工作站產能分析模組」。

本系統之「重點工作站產能分析模組」目的在於分析後段連續批量之機台產能、批量大小等。雖然以設置時間而言，配向膜塗佈工作站之設置時間較後段之批量機台工作站長，但批量機台工作站除了需要部份產能作為設置時間，仍有其他因素需考量，分述如下。因產品種類多樣化造成集批不易，故前段之序列機台應將產品適度排序加工以配合批量機台之集批需求。吾人將以動態流工之方式，減少批量機台因集批等候而閒置之產能或不滿批加工之產能損失，且讓後段連續批量機台得以平順而諧調地產出。本文之「重點工作站產能分析模組」因此先分析各批量工作站可浪費於集批等候之閒置產能或不滿批加工之產能所能加工之工件數，以決定連續批量工作站之瓶頸，(稱之為**批量瓶頸**工作站，與**系統瓶頸**-配向膜塗佈工作站作為區別)再取**批量瓶頸**工作(包含)之前的所有批量工作站加工順序，分析出前段之序列機台應如何配合後段批量機台之派工方法。



扣除加工與設置產能


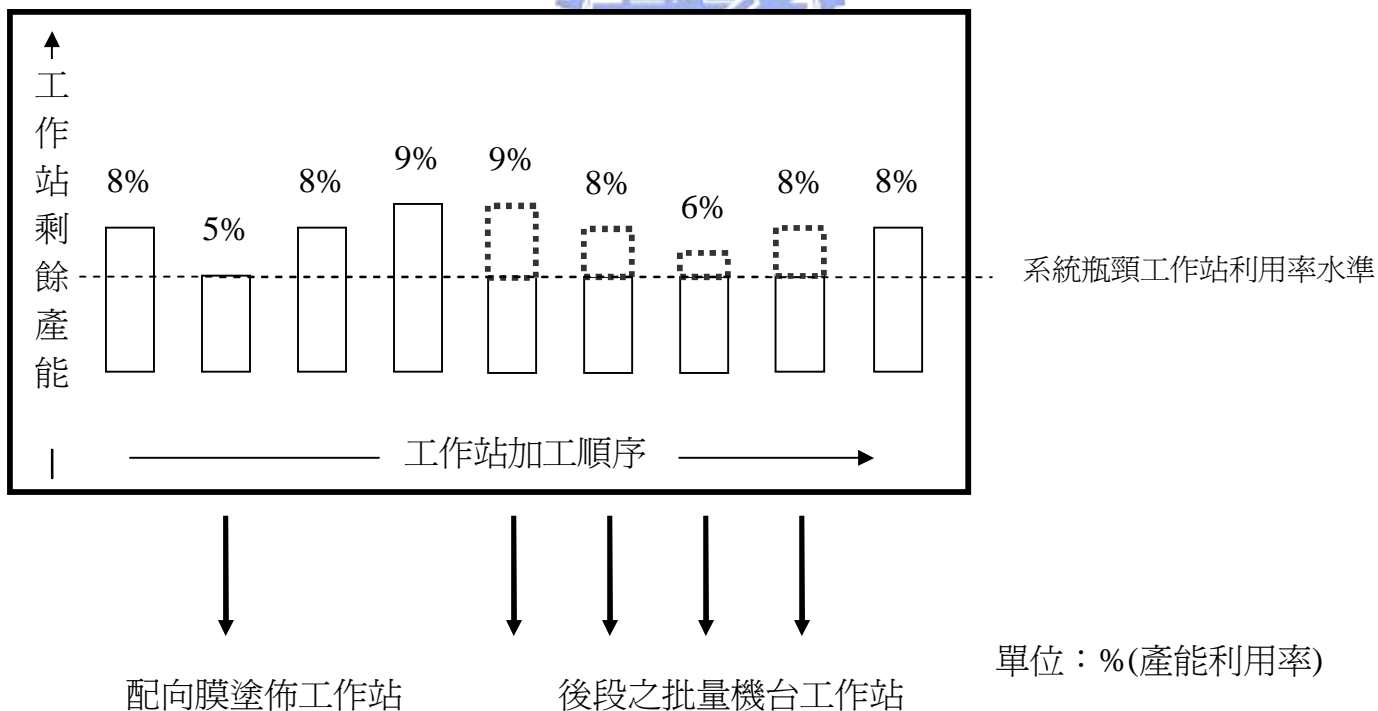



圖 3-3 產能估算模組-剩餘產能計算示意圖

完成前述二模組分析後進入「主生產排程規劃模組」，依前述階層式分析流程計算得知前段之序列工作站之中應配合後段批量工作站，以及這些序列機台工作站將些產品種類依”配合後段批量工作站”之加工模式完成規劃。本研究之架構圖如下圖3-4所示：



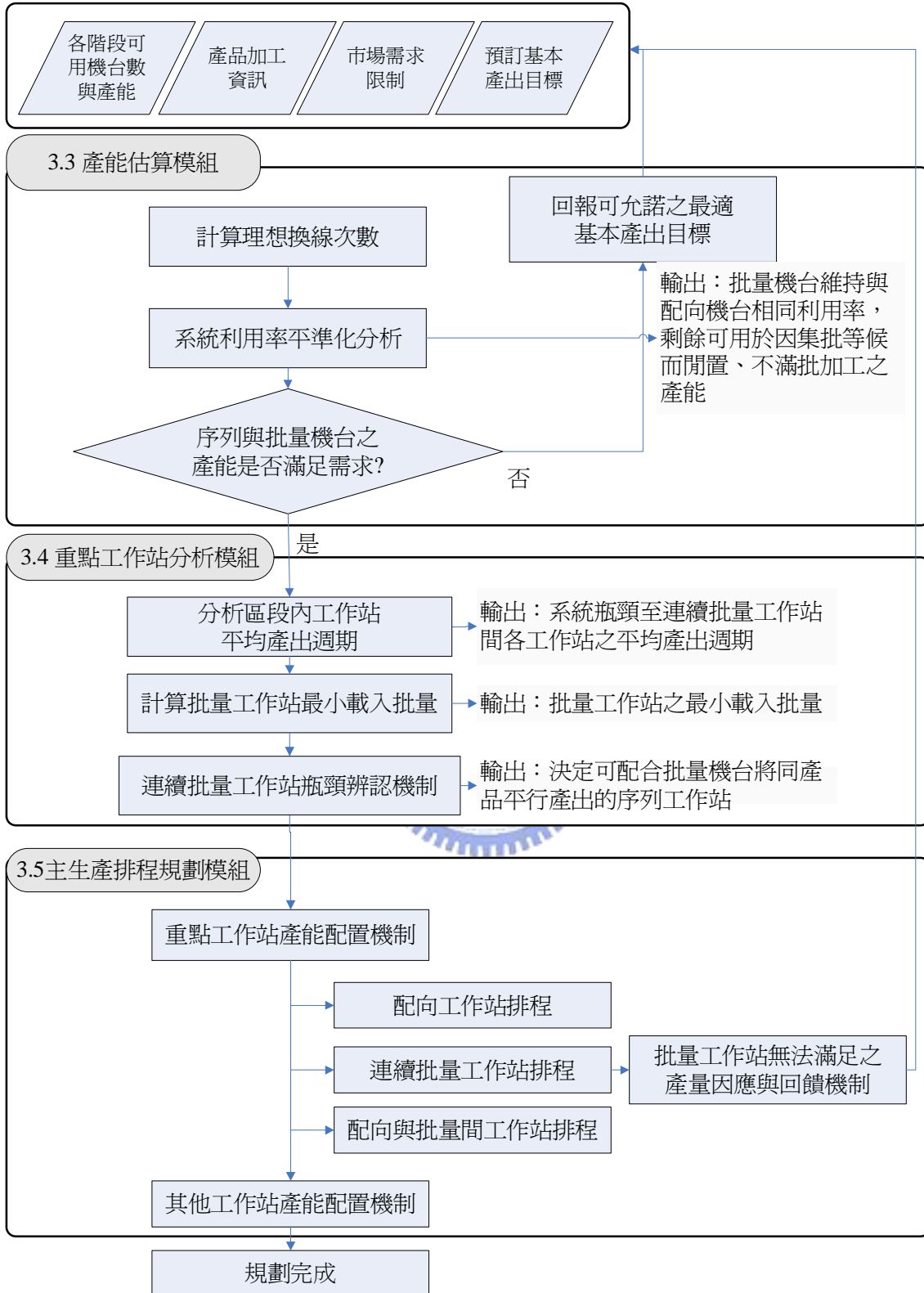


圖 3-4 TFT-LCD 面板組立段製程規劃系統架構圖

3.3 產能估算模組

在已知目前產出目標、可用機台數與可用時間之情況下，須先估計本情境的產能供給是否能夠滿足需求。因此本模組依據產出目標及其所需之最少所需要之設置次數，轉換為基本產能需求，用以檢視每一序列工作站之產能是否足以完成規劃，達到產出目標。

除此之外，系統中還有批量機台加工步驟，若是用前述序列機台之產能估算方式，勢必因為忽略批量機台因集批等候而閒置或採不滿批加工而未能充份利用之產能，導致產能需求低估，使批量機台落入系統瓶頸之危機。本模組因此必須計算批量機台可用於因上述特性所引發之產能浪費。在扣除設置所需之產能後，批量機台之利用率往往低於配向機台，但批量機台的產能一旦浪費太多於前述批量機台特性引發之產能耗用或浪費時，其可用產能驟減，甚至致使批量機台成為系統的真正瓶頸。為求系統中產能利用率的平準化，本文指定批量機台可用於集批或不滿批加工之產能，等於其扣掉設置時間之產能、和維持低於配向機台利用率之條件下，所剩下之產能。

經過上述計算之後，可得到序列與批量機台分別之最低設置需求產能，以及批量機台可耗用於因集批等候而閒置或採不滿批加工之產能，詳細流程圖如下

圖3-5所示。

3.3 產能估算模組

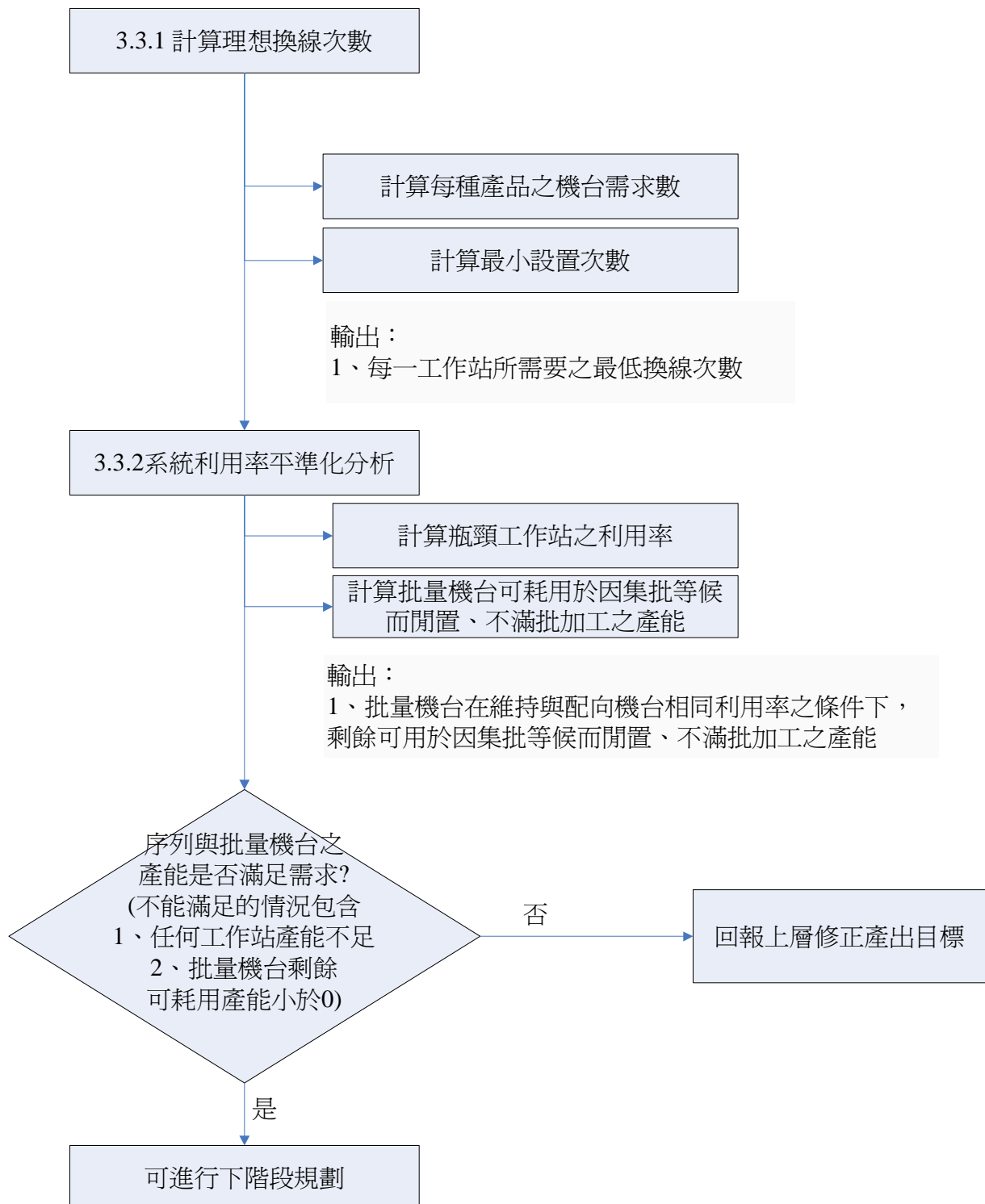


圖 3-5 產能估算模組架構圖

3.3.1 計算理想換線次數

吾人在此依已允諾之訂單需求量之產品種類及數量，及每一工作站的機台產能，計算出最少需要之換線次數，作為系統中序列機台產能需求之初估依據。估算之理念，係將各種產品所需之機台數取無條件進位，相加之後作為最小換線次數之估算值。此方法之理論基礎在於，每當任何一種產品放上任何一台機台加工，都必需設置一次(如圖3-6所示，產品A需要設置兩次，B與C產品各需一次)，因此任何一種產品所需之機台數，必大於等於其所需機台數。詳細之求算步驟如下：

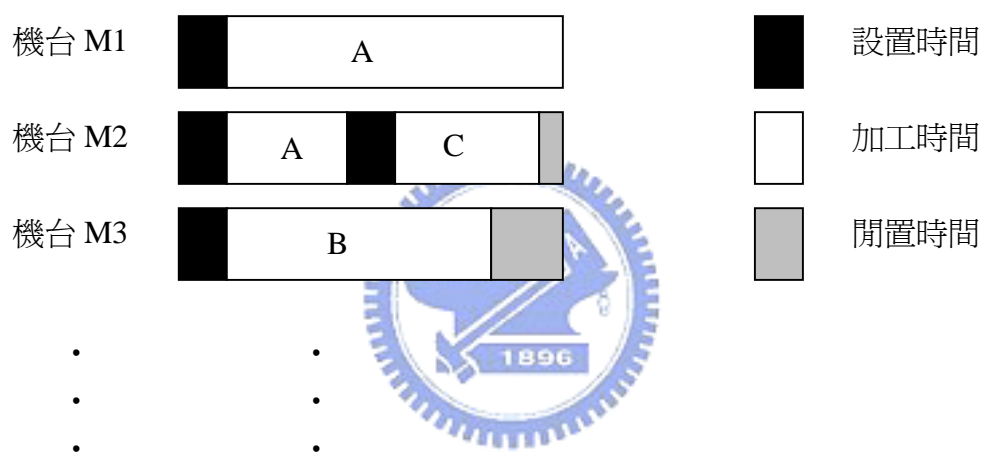


圖 3-6 理想換線次數示意圖

步驟一：計算每種產品之機台需求數

將各種類產品所需產能除以單一機台所能提供之產能，換算成每種產品之機台需求數。換算成機台需求數之目的，在於下一步驟計算理想換線次數時，方便將需求機台數大於一之產品種類，增加其所需設置次數。換言之，若某產品將會需要在兩台以上之機台加工，該種產品所需設置次數必大於一。

$$MDP_{i,k} = \frac{D_A}{BSize_k} \times PT_{i,k} \quad \text{for all } \begin{matrix} i=1,\dots,s \\ k=1,\dots,K \end{matrix} \quad \text{式 3-1}$$

步驟二：計算最少換線次數

經過前述計算，再將各種產品所需機台數以無條件進位，累加之後可得最少所需換線次數。

$$NLST_k = \sum_{i=1}^s [MDP_{i,k}] \quad \text{for all } k=1,\dots,K \quad \text{式 3-2}$$

3.3.2 系統利用率平準化分析

對於序列機台來說，在求得各工作站之理想換線次數後，已可進一步估算該站之產能利用率。然而對於批量機台來說卻非如此，因為批量機台在累積等候產品來到而閒置時所耗用之產能，以及批量機台採不滿批加工時所浪費之產能，都是生產現場非常難以控制的變數，也無法在產能初估階段就將其確定。為此，吾人採用控制批量機台之產能利用必不能超過系統瓶頸-配向膜塗佈工作站之方法，以避免瓶頸漂移。本階段之分析步驟如下：

步驟一：計算瓶頸工作站之利用率

已知各工作站之理想換線次數後，便可將加工所需產能與理想換線次數後相加，再除以可供給產能，計算瓶頸工作站之利用率。

$$U_k = \frac{\sum_{i=1}^s (D_i \times PT_{i,k}) + NLST_k \times ST_k}{M_k \times CAP \times (T \times 2)} \quad \text{for } k=2 \quad \text{式 3-3}$$

步驟二：計算批量機台可浪費於閒置時集批、不滿批加工之產能

如前所述，批量機台以瓶頸工作站相同利用率為產能耗用之上限，其可浪費於集批等候時間閒置、不滿批加工之產能，等於可用總產能扣除產品

加工所需產能、理想換線所需產能後，所剩餘之產能。

$$BCAP_k = CAP \times M_k \times T \times 2 - \sum_{i=1}^s \left(\frac{D_i}{Bsize_k} \times PT_{i,k} \right) - NLST_k \times ST_k \quad \text{式 3-4}$$

for $k = 5, \dots, 8$

完成上述計算之後，對於達成現階段產出目標下各工作站之利用率，以及批量機台可用於集批等候時間置、不滿批加工之產能都有一初步估計值，因此可在本階段初步檢測產能滿足與否。若本階段之任一工作站(包含序列工作站與批量工作站)所需產能超過上限，必須回饋上層將產出目標調整，換句話說，若序列工作站加工與設置所需產能超過可供產能，或批量工作站可用於閒置時集批、不滿批加工之產能小於零，都代表產能不足。

3.4 重點工作站產能分析模組

在「產能估算模組」確認各種機台之產能足以負荷產出需求後，本「重點工作站產能分析模組」將以序列機台與後段批量機台相互配合之觀念，求得批量工作站最小載入批量、各工作站平均每一工件產出週期。

本文探討訂單式生產與存貨式生產產品並存之環境，在已知本期訂單需求之情況下規劃薄膜液晶顯示器面板組立段製程，因此排程規劃之目的是要在產能足以負荷的前提下，讓產品在生產線上每個加工步驟順利通過以期順利達交。為了讓序列機台與連續批量機台之銜接諧調，吾人針對批量工作站前之序列機台提出一派工法則，利用「提高同種產品單位時間產出」之概念，期能使序列機台之產出能順利轉換為批量機台之產出。由於批量機台的加工特性是必須累積足夠多同種產品一起加工才能充份運用其產能，若批量機台處於閒置狀態且沒有足夠多同種產品等候加工，勢必陷入持續等候而維持閒置狀態，或者不滿批即開始加工之兩難。上述情況之任何一種皆造成批量機台產能之浪費，而解決上述情況之根本方法就是避免批量機台於集批時缺料。於是，本文試將前段序列機台之所有產能扣

除產品加工所必要產能後所餘裕之產能，來作產品指派之調整。將某一產品別原來規劃於某單一機台持續加工之生產批量，分派到兩台以上之機台同時加工，則該種產品每單位時間所產出之速率可因此提升。此舉將造成更多次設置時間，因此該縮小生產批量之方式端視機台之產能餘裕程度及那些產品種類應提升單位時間產出速率。

為求整體生產流程順暢，本文於進行排程之初，先追求配向膜塗佈工作站與後段批量工作站之生產平順，因此規劃理念是讓系統中設置時間最長的序列機台和最容易因為閒置時等候工件集批而浪費產能的連續批量機台相互配合。接下來的規劃方法包含兩個階段，第一階段於「重點工作站產能分析模組」先作初步分析，第二階段建構「主生產排程模組」運用數學模式完成規劃。

接下來詳述本「重點工作站產能分析模組」之理念。配向膜塗佈工作站是所有工作站之中設置時間最長之加工步驟，故排程規劃時應戮力於節省該工作站之設置時間，宜採用專線生產方式來追求總產出最大化。然而在產出目標已確認且產品種類多樣化之情況下，系統後段之批量機台工作站為了累積同種產品於同一批次加工，專線生產方式反而造成批量機台閒置時等候集批之窘境。因此，對於批量工作站前的序列工作站生產排程，在產能可允許的前提下應用一動態派工法則，適度的配合後段批量機台之排程。

本文所提出之重點工作站配合之觀念是先安排後段批量工作站之產能配置、加工批量，再決定序列機台之配合方式。「重點工作站產能分析模組」先計算系統瓶頸工作站、連續批量工作站、以及系統瓶頸與批量間之各工作站平均產出一個工件所需時間，用以判斷瓶頸與批量間之工作站是否有足夠快速之產出速率來配合批量工作站集批加工之需求，以便在完成本模組之分析後，於「主生產排程模組」安排重點工作站與其他工作站之

排程。本「重點工作站產能分析模組」流程如下圖3-7所示。

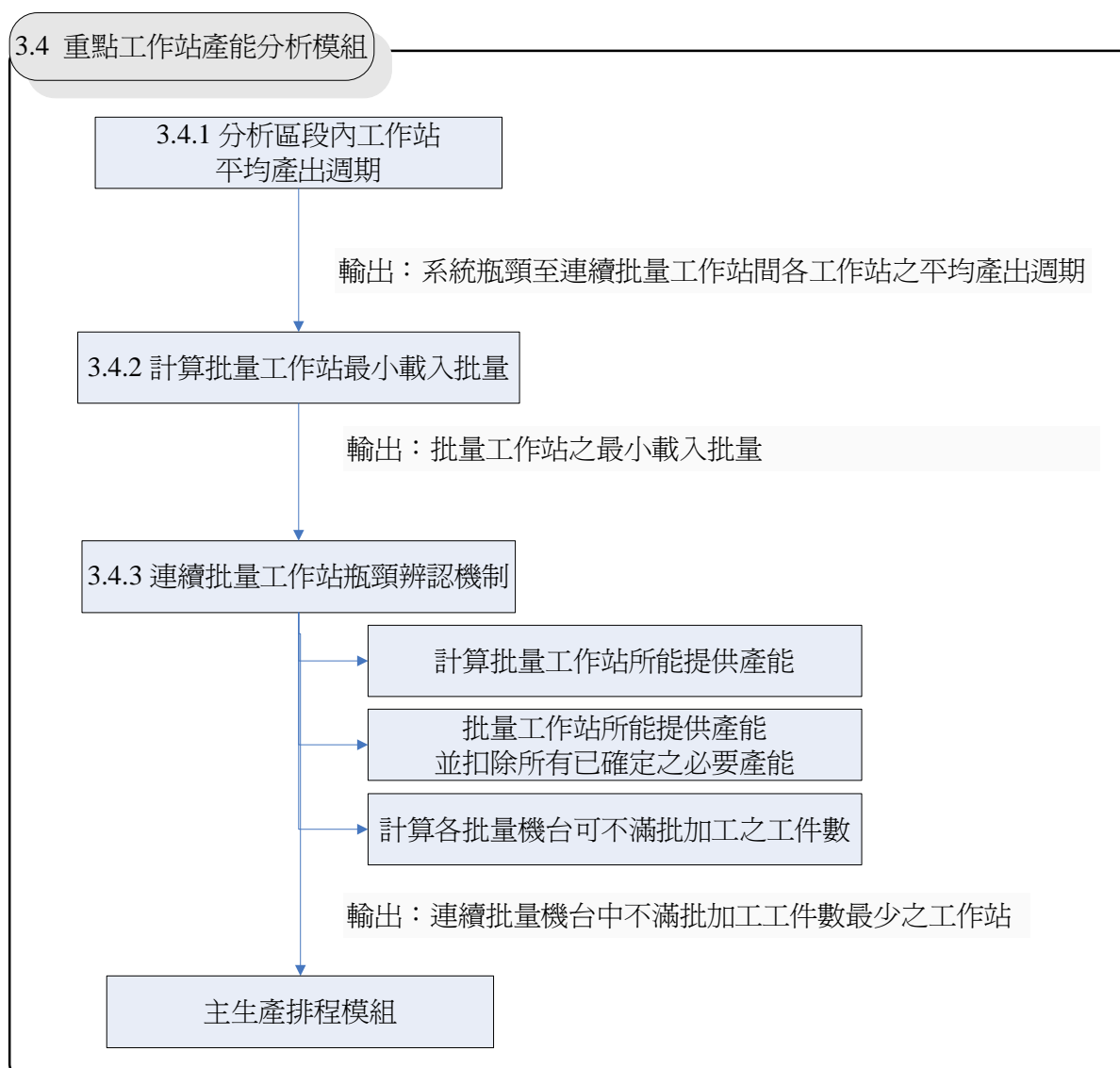


圖 3-7 重點工作站產能分析模組架構圖

3.4.1 分析區段內工作站平均產出週期

本模組之工作為求算系統瓶頸至連續批量工作站間之各工作站，平均產出一個產品之間隔時間，稱之為「平均產出週期」(Average output period)。吾人定義「平均產出週期」為工作站平均加工產出一個產品所需

時間，即平均加工時間除以加工批量數再除以機台數。若序列工作站中有「平均產出週期」比批量瓶頸工作站低，代表該站平均產出速率比批量機台快。計算方法如下：

$$AOP_k = \frac{\overline{PT}_k}{Bsize_k \times M_k} \quad \text{for } k=1,\dots,8 \quad \text{式 3-5}$$

3.4.2 計算批量工作站理想載入批量

薄膜液晶顯示器組立廠包含連續四站批量工作站，因其最大可載入批量的差異，若不控制其集批策略，將使產出速率高的工作站製造過多在製品，而產出速率低的工作站卻無法如期產出。因此本文計算最小載入批量之原理即為產出速率平準化，讓物流可以平順地通過中段批量工作站。依據限制理論，系統的產出受限於瓶頸資源的產出速率，因此本文將依據瓶頸工作站的平均產出速率，設計各批量工作站之理想載入批量，使產品在批量工作站的平均產出速率能與瓶頸工作站的平均產出速率同步化，如此系統方能依據瓶頸工作站同步且穩定的產出。計算方法如下：

$$Bsize_k^{ideal} = \frac{\overline{PT}_k}{AOP_{bn} \times M_k} \quad \text{for } k=5,\dots,8 \quad \text{式 3-6}$$

3.4.3 連續批量工作站瓶頸辨識機制

本文將後段的連續批量加工機台視為重點工作站，然而這些連續的批量工作站仍有排程重要度之優先順序。以系統之生產流程順利之觀點來看，此等連續批量工作站勢必會因為利用率高與扣除必要加工、設置產能後所剩餘產能之餘裕程度多寡而有排程重要度之差別。因此吾人將批量工作站之瓶頸定為：扣除必要加工、設置產能後，剩餘之產能用於不滿批

加工之次數最小者，定義為連續批量工作站之瓶頸工作站(即批量瓶頸工作站)。計算步驟如下：

步驟一：計算批量機台可浪費於閒置時集批、不滿批加工之產能

本步驟所求即扣除產品加工所需產能、理想換線所需產能、以及利用率上限之保護性產能後，所剩餘之產能 $BCAP_k$ ，用以辨識出各批量工作站若採不滿批加工之產能緊迫度，也可作為現場排程人員於機台閒置時之集批參考依據。其已於式 3-4 計算，在此不加贅述。

步驟二：計算各批量工作站可採用不滿批加工之工件數

由於批量工作站包含加工批量數不同之特性，為考量加工批量之不同，因此選擇分析批量瓶頸之計算方式為工件數為單位，以上一步驟求得之剩餘產能 $BCAP_k$ 除以該批量工作站之平均每個工件加工時間 \overline{PT}_k 。

$$\overline{PT}_k = \frac{\sum_{i=1}^s PT_{i,k}}{I} \quad \text{for } k = 5, \dots, 8 \quad \text{式 3-7}$$

$$NANF_k = \frac{BCAP_k}{\frac{PT_k}{BSize_k}} \quad \text{for } k = 5, \dots, 8 \quad \text{式 3-8}$$

經過計算後，各批量工作站中可運用不滿批加工之工件數最少者即為連續批量工作站之瓶頸。

3.5 主生產排程模組

本模組將所有待規劃之工作站分為重點工作站與其他工作站。順序為先規劃系統瓶頸工作站，決定系統有效產出總量(見 3.5.1 配向膜塗佈工作站排程)，以及系統之投料方式，再依此產出目標進行連續批量機台之產能規

劃(3.5.2 連續批量機台排程)，接下來給定區段內之其他序列工作站一派工
法則(3.5.3 配向膜塗佈與批量間工作站排程)，最後完成其他工作站之規劃
(3.5.4、3.5.5 其他非重點工作站排程)，本模組架構如下圖 3-8 所示：

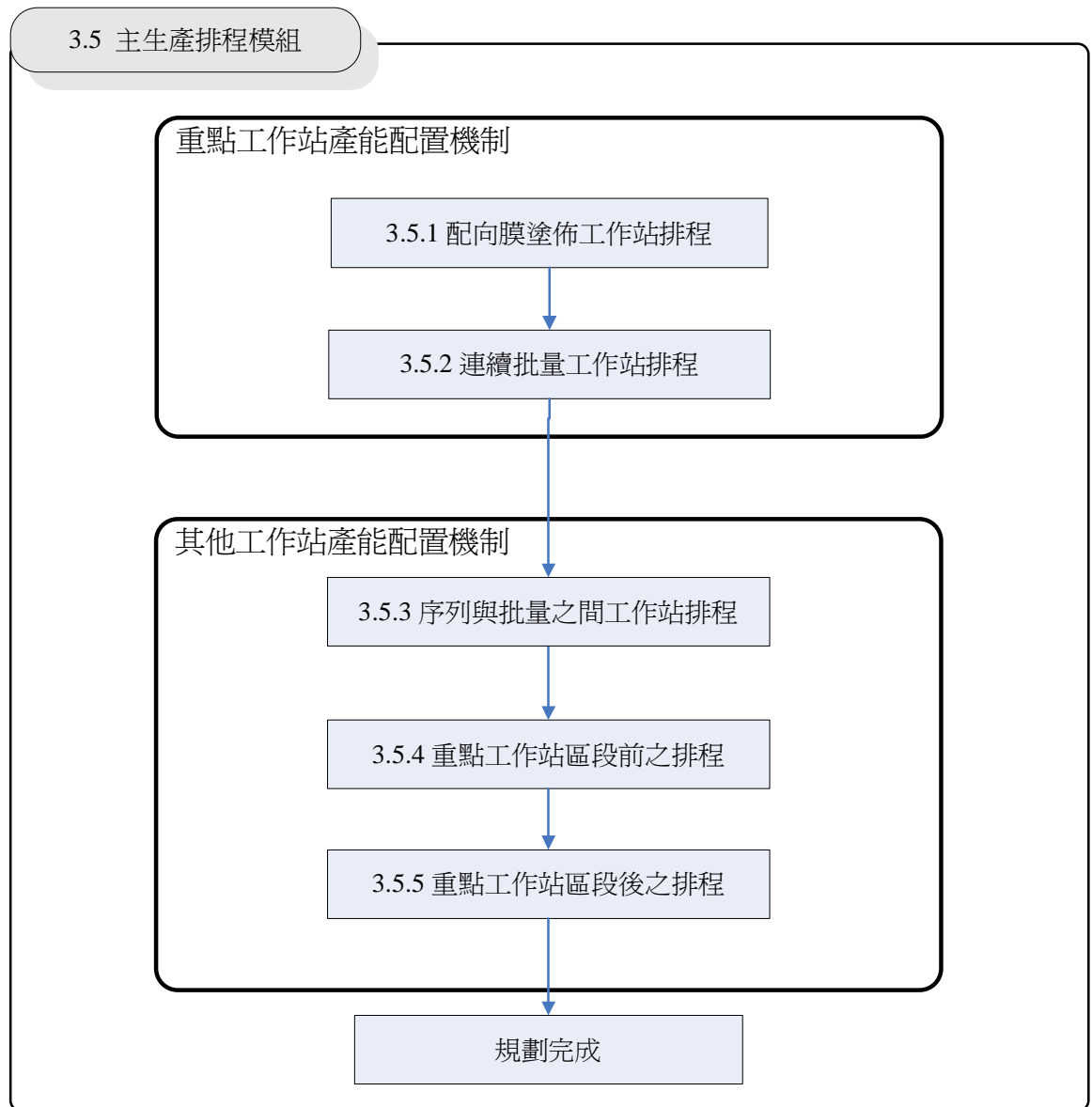


圖 3-8 主生產排程模組架構圖

3.5.1 配向膜塗佈工作站排程

TFT-LCD 組立段製程中機台數量最少、設置時間最長之工作站即為配
向膜塗佈工作站，該站也是系統中產能最吃緊、可用於設置之產能彈性最

小之工作站。根據限制理論原理，系統總產出決定於瓶頸資源，將此應用於本文環境，包含訂單式與存貨式生產之產品，其中存貨式產品之產量將無上限地受到市場接受。以本站之規劃目的除了滿足訂單式生產之產出需求外，亦期望充份利用剩餘之產能，使存貨式產品之產出量最大化。規劃之方式係利用數學規劃求解，規劃模式如下：

符號一覽表

符號下標：

bn ：表示瓶頸工作站

i ：表示第 i 種產品種類， $i=1, \dots, o, o+1, \dots, s$ 。

其中 $1, \dots, o$ 代表該產品屬於訂單式生產(Make to Order)之產品種類；
 $o+1, \dots, s$ 代表該產品屬於存貨式生產(Make to Stock)之產品種類。

k ：表示第 k 個工作站， $k=1, \dots, K$

m ：表示第 m 台機台， $m=1, \dots, M_k$

t ：表示第 t 個規劃週期， $t=1, \dots, T$

變數符號：

CAP_m ：規劃幅度內工作站 k 可用之產能

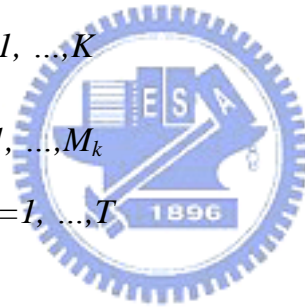
$BCAP_k$ ：批量工作站可浪費於因集批等候而閒置及不滿批加工之產能浪費

$BSize_k$ ：批量工作站 k 之加工批量數

D_i ：規劃幅度內產品 i 之目標產出量

U_k ：工作站 k 之利用率

M_k ：工作站 k 之機台數



$PT_{i,k}$: 產品 i 於工作站 k 加工所需時間

\overline{PT}_k : 工作站 k 之各種產品平均加工時間

ST : 工作站 k 每次設置所需產能

$NLST_b$: 工作站 k 之最小換線次數(Number of Least Setup Times)

決策變數：

$X_{i,m,t}$: 表示在規劃週期 t 內，產品 i 在 m 機台開工的生產數量

$S_{m,t}$: 表示在規劃週期 t 內，機台 m 的設置次數

$a_{i,m,t}$: 表示規劃週期 t 內機台 m 有生產產品 i 則為 1，否則為 0

$b_{m,t}$: 表示在規劃週期 t 內，機台 m 屬於專線加工機台則為 0，否則為 1

$g_{i,m,t}$: 表示在規劃週期 t 內，機台 m 是否因為期初生產 i 產品而節省一次設置時間(機台在該期初與上期末生產同產品)，若是為 1，否則為 0

目標函式：

$$\text{Max} \sum_{i=0+1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T X_{i,m,t} \quad \text{式 3- 9}$$

產能限制式：

$$\sum_{i=1}^S (X_{i,m,t} \times PT_{i,k}) + (\sum_{i=1}^S a_{i,m,t} - \sum_{i=1}^S g_{i,m,t}) \times ST_k \leq CAP$$

$k = 2$ 式 3- 10
for $m = 1, \dots, M_k$
 $t = 1, \dots, T$

產量限制式：

$$\sum_{m=1}^M X_{i,m,t} \geq D_{i,t} \quad \text{for } \begin{array}{l} i = 1, \dots, s \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 11}$$

$$X_{i,m,t} \leq M a_{i,m,t} \quad \text{for } \begin{array}{l} i = 1, \dots, s \\ m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 12}$$

排程限制式：

$$2g_{i,m,t} \leq a_{i,m,t} + a_{i,m,t-1} \quad \text{for } \begin{array}{l} i = 1, \dots, s \\ m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 13}$$

$$g_{i,m,t} \leq M[1 - g_{i,m,t-1} + (1 - b_{m,t-1})] \quad \text{for } \begin{array}{l} i = 1, \dots, s \\ m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 14}$$

$$b_{m,t} \geq \frac{(\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} - 1)}{M} \quad \text{for } \begin{array}{l} m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 15}$$

$$\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} - 1 \geq 0 \quad \text{for } \begin{array}{l} m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 16}$$

$$\sum_{i=1}^s g_{i,m,t} \leq 1 \quad \text{for } \begin{array}{l} m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 17}$$

$$X_{i,m,t} \geq 0 \quad \text{for } \begin{array}{l} i = 1, \dots, s \\ m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 18}$$



$$a_{i,m,t}, b_{i,m,t}, g_{i,m,t} \in (0,1) \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, s \\ \text{for } m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3-19}$$

模式說明：

目標函式說明：

$$\text{Max} \sum_{i=0+1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T X_{i,m,t} \quad \text{式 3-9}$$

在已知訂單需求，且部份產品之市場需求無上限之情況下，吾人為求產能充份利用使企業利益最大化，因此設定訂單需求必定滿足之前提下，求取存貨式生產之產品有效產出最大化。

產能限制式說明：

$$\sum_{i=1}^s (X_{i,m,t} \times PT_{i,k}) + \left(\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} - \sum_{i=1}^s g_{i,m,t} \right) \times ST_k \leq CAP_m \quad \begin{array}{l} k = 2 \\ \text{for } m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3-10}$$

式 3-10 限制加工所需產能與設置產能不可超過機台所提供之產能，變數 $X_{i,t,m}$ 決定了該 t 期在機台 m 上所需生產 i 產品種類的數量，將其乘上加工時間即為加工所需產能，再加上總設置產能，等於總產能需求，該需求必小於等於安全產能提供量。

產量限制式說明：

$$\sum_{m=1}^M X_{i,m,t} \geq D_{i,t} \quad \begin{array}{l} \text{for } i = 1, \dots, s \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3-11}$$

式 3-11 代表該期產品 i 之總產出 $X_{i,MTO,m,t}$ 、 $X_{i,MTS,m,t}$ 須滿足訂單需求 D_i 。

$$X_{i,m,t} \leq M a_{i,m,t} \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, s \\ \text{for } m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 12}$$

式 3- 12 代表產量 $X_{i,m,t}$ 與決策變數 $a_{i,m,t}$ 之間合理的關係式，亦即當該期之機台確定有生產該種產品，才有該種產品之產出量 ($X_{i,m,t} \geq 0$)。

排程限制式說明：

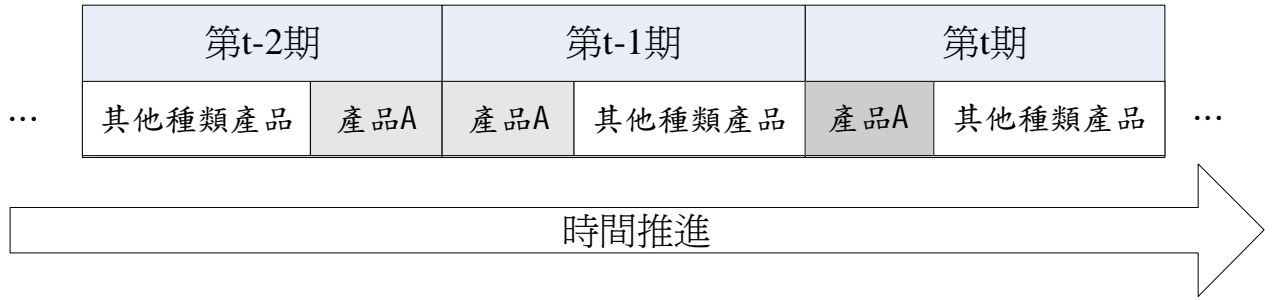
$$2g_{i,m,t} \leq a_{i,m,t} + a_{i,m,t-1} \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, s \\ \text{for } m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 13}$$

式 3- 13 代表只有連兩期都有生產 i 產品，才有可能節省一次設置時間，如下圖所示。



$$g_{i,m,t} \leq M[1 - g_{i,m,t-1} + (1 - b_{m,t-1})] \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, s \\ \text{for } m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 14}$$

式 3- 14 在前一期是混線生產的前提下，只要前一期已經為了產品 i 節省一次設置時間，則本期不可再以期初生產 i 產品節省設置時間，如下圖所示。



$$b_{m,t} \geq \frac{(\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} - 1)}{M} \quad \text{for } \begin{matrix} m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3-15}$$

式 3-15 代表只有當機台屬於專線時($\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} = 1$)， $b_{i,m,t} = 0$ 才有可能成立，雖然 $\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} = 0$ 的情況會讓本式發生不存在的現象，可在下一個限制式限定 $\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} \geq 1$ 一定要成立，況且為了滿足產出最大化的目標式，一定不會讓任何機台空間不利用其產能($\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} = 0$)，如下圖所示。



$$\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} - 1 \geq 0 \quad \text{for } \begin{matrix} m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3-16}$$

式 3-16 限定所有機台至少要生產一種產品，本式乃為了補足上式之不足，避免不合理情況發生。

$$\sum_{i=1}^s g_{i,m,t} \leq 1 \quad \text{for } \begin{matrix} m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3-17}$$

式 3-17 限制每機台的開工，只有一次節省設置時間的機會。

$$X_{i,m,t} \geq 0 \quad \text{for } \begin{matrix} i = 1, \dots, s \\ m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3-18}$$

式 3- 18 代表產量變數之合理性，任何情況下之機台產量階不可能小於零。

$$a_{i,m,t}, b_{i,m,t}, g_{i,m,t} \in (0,1) \quad \begin{matrix} i = 1, \dots, s \\ \text{for } m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3- 19}$$

式 3- 19 限制上述變數皆為二元變數。

混線機台之加工順序：

前述之數學規劃模式係為系統之產能瓶頸，即配向膜塗佈工作站，執行產能規劃。模式所規劃之結果，包含每一機台在各期所應加工之產品種類與有效產出數量，但尚未決定產品加工順序。在此，吾人將混線加工之產品依三個準則給定排序：依該機台前後期加工產品以最能節省設置次數為首要考量，再以訂單式生產之產品種類優先排序，剩下不限交期、可被市場完全吸收之產品種類，則以工件數較多者優先。

透過本數學規劃模式，除了完成工作站之排程，同時達到另一目的——決定本系統總產出目標。若求解結果皆能滿足各期產出目標，則可將所得之每規劃時期瓶頸機台應生產之產品與數量作為當期瓶頸工作站之投料，以達到滿足所預訂之需求與產出最大化之目標。

3.5.2 連續批量機台工作站排程

由於系統之產能瓶頸落於配向膜塗佈工作站，系統之最大有效產出將受限於該站之產能，因此完成配向膜塗佈工作站之排程後，即可確定系統之有效產出

$X_{i,m,t}$ ，並以此作為批量工作站之產出目標 $D_{i,t}$ ($D_{i,t} = \sum_{m=1}^{M_{hm}} X_{i,m,t}$)。連續批量工作

站之排程方式為利用數學模式執行產能配置，包含批量瓶頸及其前行的每一個批量工作站皆需執行。亦即若有連續三站批量工作站，則需規劃三次。連續批量工作站排程之流程如下圖，步驟如下：

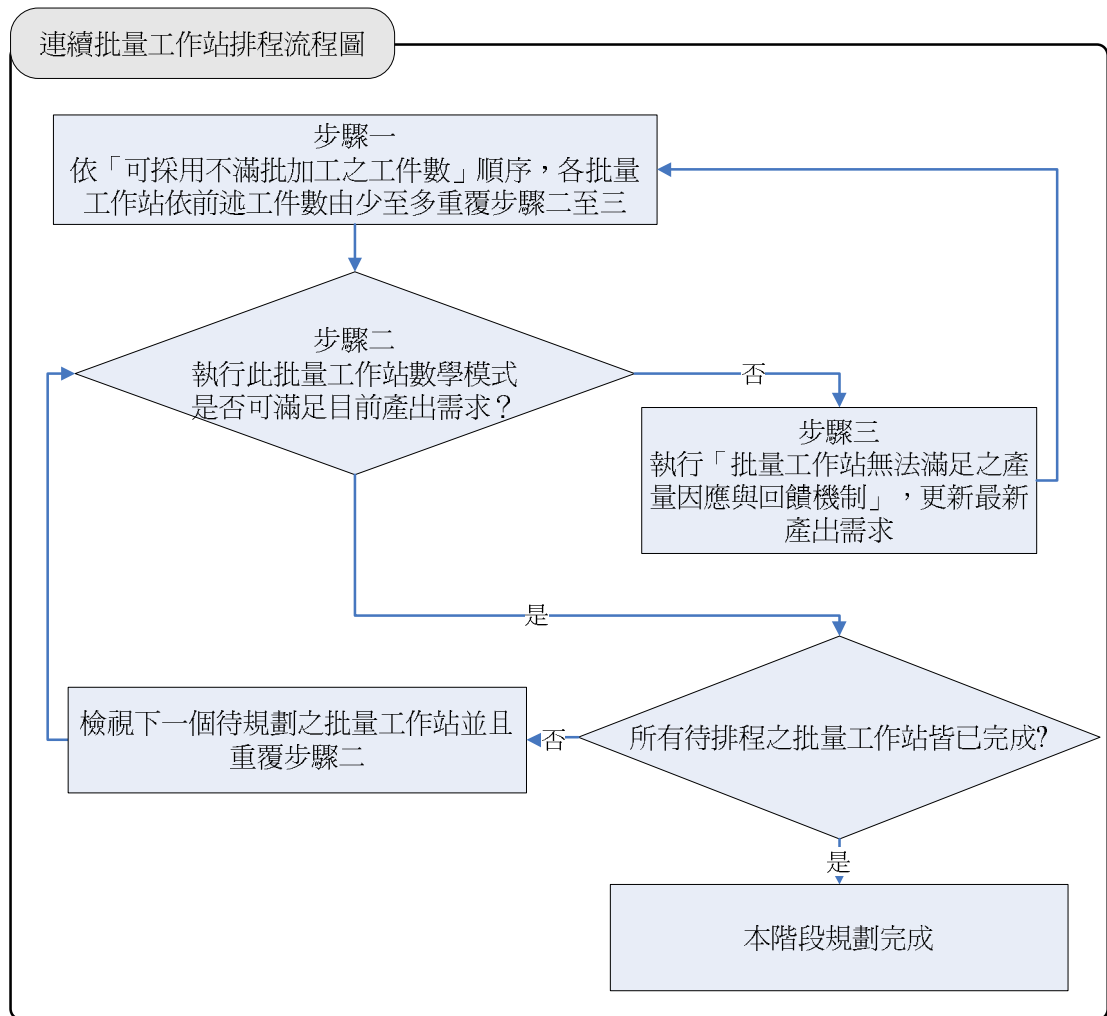


圖 3-9 連續批量工作站排程流程圖

步驟一，依 3.4.3 節連續批量工作站瓶頸辨識機制之「可採用不滿批加工之工件數」大小，由小至大來排定各批量工作站之排程順位，依序執行步驟二至三：

步驟二，執行此批量工作站之數學模式其排程結果是否可滿足目前產出需求？

由於連續批量工作站各站加工時間、批量，以及規劃所需設置次數不同，需要檢視目前規劃之批量工作站是否可完成產出需求，若能滿足需求

則檢視下一個待規劃之批量工作站並且重覆步驟二，否則進入步驟三。

步驟三，執行「批量工作站無法滿足之產量因應與回饋機制」，更新最新產出需求

當批量工作站無法滿足產出需求，則利用 3.5.2.1 節之批量工作站「無法滿足之產量因應與回饋機制」求得管理者可接受之有效產出量，並回到步驟一，檢視下一個待規劃之批量工作站是否可滿足調降過後的新產出需求。

本階段利用數學規劃求解，以最小化無法滿足之產出需求量 $BackUp_i$ 之總合為目標式，此目標式將詳細說明於後，規劃模式如下：

符號一覽表

符號下標

b ：表示批量機台工作站

b_{bn} ：表示連續批量機台工作站中之瓶頸工作站

i ：表示第 i 種產品， $i=1..o, o+1, ...s$

k ：表示第 k 個工作站

m ：表示第 m 台機台

t ：表示第 t 個規劃週期

t' ：表示第 t' 個規劃週期，在產量限制式中使用，與下標 t 作為區分

變數符號

$BackUp_i$ ：批量工作站於規劃幅度內，存貨式產品 i 所無法滿足之產量

CAP_k ：規劃幅度內之可用之產能



$BSize_k$: 批量工作站 k 之加工批量數

$PT_{i,k}$: 產品 i 於工作站 k 加工所需時間

ST_k : 工作站 k 每次設置所需產能

決策變數：

$D_{i,t}$: 表示在規劃週期 t 內，產品 i 透過配向工作站規劃模式計算而決定之系統產出量

$X_{i,m,t}^b$: 表示在規劃週期 t 內，產品 i 在 m 機台(限批量機台)加工的工件數

$a_{i,m,t}$: 表示在規劃週期 t 內，機台 m 有生產產品 i 則為 1，否則為 0

$b_{m,t}$: 表示在規劃週期 t 內，機台 m 屬於專線加工機台則為 0，否則為 1

$g_{i,m,t}$: 表示在規劃週期 t 內，機台 m 是否因為期初生產 i 產品而節省一次設置時間(機台在該期初與上期末生產同產品)，若是為 1，否則為 0

目標函式：

$$\text{Min } \sum_{i=1}^s \sum_{t=1}^T \text{BackUp}_i \quad \text{式 3- 20}$$

產能限制式：

$$\sum_{i=1}^s \left(\frac{X_{i,m,t}^b}{BSize_k} \times PT_{i,k} \right) + \left(\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} - \sum_{i=1}^s g_{i,m,t} \right) \times ST_k \leq CAP_k$$

for $m = 1, \dots, M_k$
 $t = 1, \dots, T$ 式 3- 21

產量限制式：

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t'=1}^t X_{i,m,t'}^b = \sum_{t'=1}^t D_{i,t'} \quad \text{for } \begin{matrix} i = 1, \dots, o \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3- 22}$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t'=1}^t X_{i,m,t'}^b \leq \sum_{t'=1}^t D_{i,t'} \quad \text{for } \begin{matrix} i = o + 1, \dots, s \\ t = 1, \dots, T - 1 \end{matrix} \quad \text{式 3- 23}$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t'=1}^T X_{i,m,t'}^b + \text{BackUp}_i = \sum_{t'=1}^T D_{i,t'} \quad \text{for } i = o + 1, \dots, s \quad \text{式 3- 24}$$

$$X_{i,m,t}^b \leq M a_{i,t,m} \quad \text{for } \begin{matrix} i = 1, \dots, s \\ m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3- 25}$$

排程限制式：

$$2g_{i,m,t} \leq a_{i,m,t} + a_{i,m,t-1}$$



$$\text{for } \begin{matrix} i = 1, \dots, s \\ m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3- 26}$$

$$g_{i,m,t} \leq M[1 - g_{i,m,t-1} + (1 - b_{m,t-1})]$$

$$\text{for } \begin{matrix} i = 1, \dots, s \\ m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3- 27}$$

$$b_{m,t} \geq \frac{(\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} - 1)}{M}$$

$$\text{for } \begin{matrix} m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3- 28}$$

$$\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} - 1 \geq 0$$

$$\text{for } \begin{matrix} m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3- 29}$$

$$\sum_{i=1}^s g_{i,m,t} \leq 1$$

$$\text{for } \begin{matrix} m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3- 30}$$

$$X_{i,m,t} \geq 0$$

$$\text{for } \begin{matrix} i = 1, \dots, s \\ m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3- 31}$$

$$a_{i,m,t}, b_{i,m,t}, g_{i,m,t} \in (0,1) \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, s \\ \text{for } m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 32}$$

模式說明：

目標函式：

$$\text{Min } \sum_{i=1}^s \text{BackUp}_i \quad \text{式 3- 20}$$

本產能配置模式可應用於連續批量工作站內每一個工作站排程，式 3- 20 代表各個批量工作站以最小化無法滿足之產出量總合 ($\sum_{i=1}^s \text{BackUp}_i$) 為目標。雖然批量工作站之產能較系統瓶頸工作站產能寬裕，但一次加工數個工件與較長之加工時間將使排程產生變異，且每台機台所能加工之產品數量與種類將不同於系統瓶頸工作站，進一步導致設置次數的變異，可能無法滿足配向膜塗佈工作站決定之產出需求，因此批量工作站之數學模式將以最小化無法滿足之產出量為前提求算最佳產能配置。

產能限制式：

$$\sum_{i=1}^s \left(\frac{X_{i,m,t}^b}{\text{BSize}_k} \times PT_{i,k} \right) + \left(\sum_{i=1}^s a_{i,m,t} - \sum_{i=1}^s g_{i,m,t} \right) \times ST_k \leq \text{CAP}_k \quad \text{式 3- 21}$$

$$\text{for } \begin{array}{l} m = 1, \dots, M_k \\ t = 1, \dots, T \end{array}$$

式 3- 21 限定機台產能利用不得超過預定之機台可供產能上限，本式與式 3- 10 有異曲同工之用，唯本式以批量為單位計算產能(而非以工件為單位計算產能)。

產量限制式：

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T X_{i,m,t}^b = \sum_{t=1}^T D_{i,t} \quad \text{for } \begin{array}{l} i = 1, \dots, o \\ t = 1, \dots, T \end{array} \quad \text{式 3- 22}$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^t X_{i,m,t}^b \leq \sum_{t=1}^t D_{i,t}' \quad \text{for } \begin{matrix} i = o+1, \dots, s \\ t = 1, \dots, T-1 \end{matrix} \quad \text{式 3-23}$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T X_{i,m,t}^b + BackUp_i = \sum_{t=1}^T D_{i,t}' \quad \text{for } i = o+1, \dots, s \quad \text{式 3-24}$$

式 3-22 至式 3-24 限制各批量工作站之有效產出須滿足需求量。本式以批量為單位計算產量，且考量批量工作站因生產特性之變異可能無法滿足系統瓶頸所規劃之產出量，而新增無法滿足之產出變數 $BackUp_i$ ，並將產量限制分成三種方式表示所有情況。分述各個情況如下，在此以三種產品種類、規劃幅度兩期為例，其中前兩種產品種類屬於訂單式產品，第三種產品種類屬於存貨式產品：

式 3-22 限制**訂單式**生產之產品種類，累積至當期之產出量必等於累積至當期之需求量 $\sum_{t=1}^t D_{i,t}'$ 。

$$\sum_{m=1}^M X_{1,m,1}^b = D_{1,1}' \quad \text{式 3-22}$$

$$\sum_{m=1}^M X_{1,m,1}^b + \sum_{m=1}^M X_{1,m,2}^b = D_{1,1}' + D_{1,2}' \quad \text{式 3-22}$$

$$\sum_{m=1}^M X_{2,m,1}^b = D_{2,1}' \quad \text{式 3-22}$$

$$\sum_{m=1}^M X_{2,m,1}^b + \sum_{m=1}^M X_{2,m,2}^b = D_{2,1}' + D_{2,2}' \quad \text{式 3-22}$$

式 3-23 限制**存貨式**生產之產品種類，在本規劃幅度內最後一期以前之各期所累積產出小於等於各期累積需求 $\sum_{t=1}^t D_{i,t}'$ 。

$$\sum_{m=1}^M X_{3,m,1}^b \leq D_{3,1}' \quad \text{式 3-23}$$

式 3-24 限制**存貨式**生產之產品種類，在本規劃幅度內累積至最後一期之總產出加上此規劃幅度內未滿足之產量 $BackUp_i$ 等於各期累積總需求 $\sum_{t=1}^t D_{i,t}'$

$$\sum_{m=1}^M X_{3,m,1}^b + \sum_{m=1}^M X_{3,m,2}^b + BackUp_i \leq D_{3,1}' + D_{3,2}' \quad \text{式 3-24}$$

排程限制式：

式 3-25 到式 3-30 與配向膜塗佈工作站數學模式之式 3-12 到式 3-17 之作用皆相同，在此不加贅述。

混線機台之產品加工順序：

至此，連續批量機台之產能分配已經完成，但仍未決定混線機台之產品加工順序。由於批量機台與序列機台加工的基本方式不同，有集批時等候、不滿批加工而浪費產能之不平穩因子，因此仍然需要為連續批量機台排定加工順序，確保生產現場情況的控制。連續批量工作站的產品加工順序將會以系統瓶頸既定之排程為依歸，如此才能確保瓶頸與非瓶頸工作站之間的主從順序，意即連續批量工作站在排定產品加工順序之過程，必需要考量到已排定之系統瓶頸加工順序。排程方式以下列方式之優先順序決定：

方法一：針對每一期第 k 個批量工作站混線機台之產能配置結果，尋找同期內系統瓶頸是否也有同種混線機台配置方式，若有，依照系統瓶頸之配置順序排程。

方法二：若依方法一無法決定加工順序，則以系統瓶頸生產排程中，開始加工時間較早之產品種類優先。事實上，本階段之排程乃立基於系統瓶頸之排程，而系統瓶頸排程已考量有交期限制之產品與產量較大之產品優先排入加工順序，因此連續批量工作站排程須考量此排程順序之特性。

方法三：若依然無法決定加工順序，則採同種產品於前後期跟期接續方式生產。決定是否能夠節省一次設置次數。

方法四：最後才以訂單式生產之產品優先排序，而訂單式生產之產品之中又以產出量較大者優先。

舉例如下，假設批量機台第一期之其中一台混線機台產能配置包含產品 A 與產品 B 兩種，則尋找第一期之系統瓶頸產能配置是否也有機台之混線產能配置包含產品 A 與產品 B 兩種，若無，則依照瓶頸工作站最早開工時間訂定該期批量機台混線產品之順序排序，若依然無法決定加工順序，可採用與系統瓶頸相同之混線加工順序決定方法(即上述方法三、方法四)。

3.5.2.1 批量工作站無法滿足之產量因應與回饋機制

因為批量工作站之加工時間、加工批量與設置時間等皆與系統瓶頸工作站不同，因此批量工作站可能無法完成系統瓶頸所決定之產出需求。當系統瓶頸所決定之各期產出需求無法被批量工作站滿足時，需要一機制提供上層決策者可選擇之因應策略，具有因應無法滿足產量之功能，並回饋無法滿足之產量。本機制之流程如圖 3-10 所示，執行步驟如下：

步驟一，批量瓶頸工作站之數學規劃結果是否能夠如期完成所有產品種類

預定產出需求 $\sum_{i=1}^I BackUp_i = 0$?

若批量工作站無法完成系統瓶頸工作站預訂之產出需求，則進入步驟二。若批量工作站之數學規劃結果能夠滿足產出需求($\sum_{i=1}^I BackUp_i = 0$)，則可直接進行下階段規劃。

步驟二，判斷無法滿足之產品是否全部屬於特定一種存貨式產品種類？

由於本系統包含多種存貨式產品並存之環境，此回應機制將依此特性而有不同的因應動作。當未能滿足之產品種類包含兩種以上之存貨式產品，將此資訊回饋至上層，並請上層回應可接受不滿足之特定存貨式產品

種類，依此資訊進行步驟三。若未能滿足之產品種類恰好屬於某一種存貨式產品種類，則可直接進行步驟四。

步驟三，更改批量工作站數學模式之產量限制式後重新規劃(因應)

若在本規劃幅度內未能滿足需求之產品種類過多，此步驟將使未滿足之產量集中於特定之存貨式產品種類。在步驟二之中得到上層可接受不滿足產出需求之存貨式產品種類後，可將批量工作站之數學規劃模式稍作修改，讓其他產品種類之產量皆必需滿足(將該產品種類所包含之式 3- 23 與式 3- 24 代換成下式 3- 33)，此舉將會集中未滿足之產量於該特定產品種類。此步驟執行之結果則為步驟四之輸入項目。

更改後之產量限制式：

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T X_{i,m,t}^b = \sum_{t=1}^T D_{i,t} \quad \text{for } i = o+1 \text{ or } o+2 \text{ or...or } s \quad \text{式 3- 33}$$

步驟四，回報無法滿足之產品種類與數量，以及延後產出之期數(回饋)

於步驟三求得本期無法完成之產品種類與數量之後，將其加入下一規劃幅度預訂產出需求量，再以配向工作站之數學規劃模式求解下一規劃幅度各期之產能配置結果，可得知本規劃幅度未完成之產品數量，於下個規劃幅度的每一期可補足之數量，並依此回報延後之期數與對應之產量。

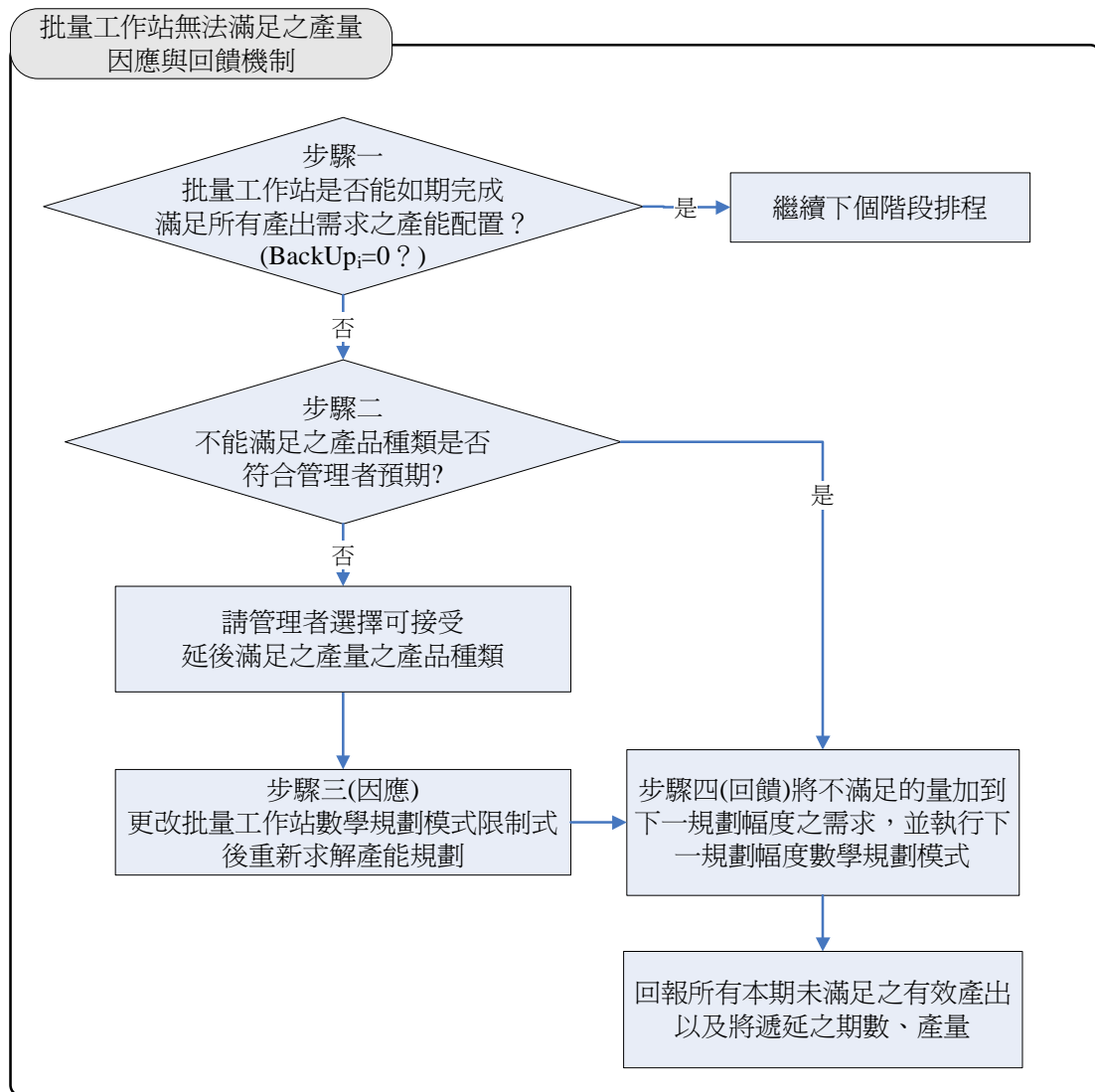


圖 3-10 批量工作站無法滿足之產量因應與回饋機流程圖

3.5.3 配向膜塗佈與連續批量機台間工作站排程

完成前述之配向工作站、連續批量工作站之產能配置，並排定混線機台加工順序後，系統之前段與後段重點工作站產能規劃皆已完成。接下來需要針對中間尚未規劃之序列工作站，即配向膜塗佈與批量機台間之各工作站完成排程動作。

3.5.3.1 配向膜塗佈與連續批量機台間之各工作站的排程目的

本階段之排程任務即在於：扮演瓶頸排程與連續批量工作站排程之間

居中協調的角色。雖然系統瓶頸與連續批量工作站之排程都已決定產品加工順序與各期產出目標，然而卻無法保證連續批量工作站所需物料都能在批量工作站排定之加工時點前到來。此時若以連續批量工作站前的序列機台作為緩衝，並妥善安排其排程，使系統瓶頸之產出順利流向批量機台，則可避免批量機台產能配置足夠，卻因等候同種產品之累積而閒置產能之狀況。

3.5.3.2 配向膜塗佈與連續批量機台間之各工作站之排程原理

本階段排程位居承先啟後之位置，故以滿足後段批量工作站之所需物料為中心原則進行排程，期使系統瓶頸之產出能如期到達批量工作站。

吾人希望依據前述排程設計原理，以“餘裕設置次數”與“批量工作站集批缺料緊迫度”來驅動現場派工動向，並以滿足後段批量工作站所需料件為中心原則，達成本階段排程任務。根據上述資訊，本文訂定現場派工之法則：在仍有餘裕設置次數之前提下，視批量工作站集批缺料之狀況，動態調整產品加工順序，以提升特定產品產出速率供給批量工作站，避免集批時發生缺料之情況。

3.5.3.3 配向膜塗佈與連續批量機台間工作站排程方法

本站之排程目的與設計原理都已確定之後，接下來介紹實際之排程方法。吾人選擇現場動態派工之方法，藉由彈性調整加工順序並隨時更新現場排程狀況，以達到前後重點工作站排程協調之目的。動態派工所需之輸入資訊求算過程如下：

資訊(A)，本週期內各站預定有效總產出需求量 $D_{i,t}$

此項資訊可由本文第 3.5.2 節連續批量工作站所得更新排程結果得來。

資訊(B)，本週期內本站所需之必要加工與設置產能 $NCAP_{k,t}$ '

依據 $D_{i,t}$ ' 計算總加工時間與最少設置次數 $NCAP_{k,t}$ '，而最少設置次數 $NLST_{k,t}$ ' 可換算為最少所需設置產能，本項資訊即為總加工時間與最少設置產能之總合。

$$MDP_{i,k,t}' = \frac{\frac{D_{i,t}'}{BSize_k} \times PT_{i,k}}{2 \times CAP} \quad \text{for all } \begin{matrix} i = 1, \dots, s \\ k = 1, \dots, K \end{matrix} \quad \text{式 3- 1}$$

$$NLST_{k,t}' = \sum_{i=1}^s [MDP_{i,k,t}'] \quad \text{for } k = 4 \quad \text{式 3- 2}$$

$$NCAP_{k,t} = \sum_{i=1}^s \frac{D_{i,t}'}{BSize_k^{Ideal}} \times PT_{i,k} + NLST_{k,t}' \times ST_k \quad \text{for } k = 4 \quad \text{式 3- 34}$$

資訊(C)，本週期內餘裕之設置次數 $NSST_{k,t}$

將本站可用總產能扣除必要加工產能 $NCAP_{k,t}$ 所剩餘之產能，除以每設置一次所需產能即為本週期內餘裕之設置次數。

$$NSST_{k,t} = \frac{CAP \times M_k - NCAP_{k,t}}{ST_k} \quad \text{for } k = 4 \quad \text{式 3- 35}$$

資訊(D)，本週期內批量工作站所需之必要加工產能 $NCAP_{k,t}$

此項資訊計算方法與資訊(B)相同，唯序列工作站之理想載入批量為 1，批量工作站之理想載入批量已於 3.4.2 節式 3- 6 計算。

資訊(E)，批量工作站之預期利用率 $r_{k,t}$

利用 $D_{i,t}$ 計算總加工時間後除以可用產能所得，可用產能之計算方式為機台數乘以週期內可用時間。

$$r_{k,t} = \frac{NCAP_{k,t}}{M_k \times CAP} \quad \text{for } k=5 \quad \text{式 3-36}$$

資訊(F)，批量工作站每機台所需平均在製品量 \overline{WIP}_k

由於薄膜液晶顯示器組立廠內各工作站前均有其獨立之在製品量，吾人假設系統內所有工作站皆為獨立之工作站，並且符合等候理論中 M/M/c 等候模式情境。等候理論中在製品量 L_k 與機台利用率 r_k 有密不可分之關係，因此批量工作站之機台利用率可換算工作站之在製品水準如下式式 3-37；其中 P_k^0 代表機群 k 的在製品水準為 0 的機率，可由式 3-39 計算得到；而 M_k 為工作站 k 之可用機台數； m_k 代表工作站 k 之機台服務率，為平均產品加工時間之倒數，以式 3-40 表示； I_k 代表工作站 k 之工件到臨率，即每週期內所應投物料數除以週期時間，以式 3-41 表示。

$$\overline{WIP}_k = \left\lfloor \frac{L_k}{M_k} \right\rfloor \quad \text{for } k=5 \quad \text{式 3-37}$$

$$L_k = M_k \times r_k + \frac{(M_k \times r_k)^{M_k+1} P_k^0}{M_k \times c_k! \times (1 - I_k)^2} \quad \text{for } k=5 \quad \text{式 3-38}$$

$$P_k^0 = \left\{ \left[\sum_{n=0}^{M_k-1} \frac{(I_k / m_k)^n}{n!} \right] + \left[\left(\frac{I_k}{m_k} \right)^{c_k} \left(\frac{1}{M_k!} \right) \left(\frac{M_k \times m_k}{M_k \times m_k - I_k} \right) \right] \right\}^{-1} \quad \text{for } k=5 \quad \text{式 3-39}$$

$$m_k = \frac{1}{PT_{i,k}} \quad \text{for } k=5 \quad \text{式 3-40}$$

$$I_k = m_{bn} \quad \text{for } \begin{matrix} k=5 \\ t=1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3-41}$$

資訊(G)，批量工作站各種產品所需在製品量 $EWIP_{i,tt}$ (Expected WIP)

由資訊 (F)得知批量工作站所需在製品總量，且批量工作站採用產能規劃之排程方式，因此每機台在排程現場皆有指定加工之產品種類，各產品種類之現場在製品量應符合預定排程之中該產品應有之數量比例。 $d_{i,k,m,n,tt}$ 為二元變數， $d_{i,k,m,n,tt} = 1$ 代表在動態時點 tt ，工作站 k 內第 m 機台後續第 n 順位待加工之產品種類為 i 。每種產品 i 所需在製品量即為各機台 m 於 tt 時點起，由第一順位至平均期望總在製品量 \overline{WIP}_k 順位所對應待加工量，如式 3-42 計算，其中平均所需在製品量 $\overline{WIP}_k = \lfloor L_k / M_k \rfloor$ 可由式 3-37 之計算結果得到，示意圖如下圖 3-11 所示。

$$EWIP_{i,tt} = \sum_{m=1}^{M_k} \sum_{n=1}^{\overline{WIP}_k} d_{i,k,m,n,tt}$$



for $k = 5$ 式 3-42

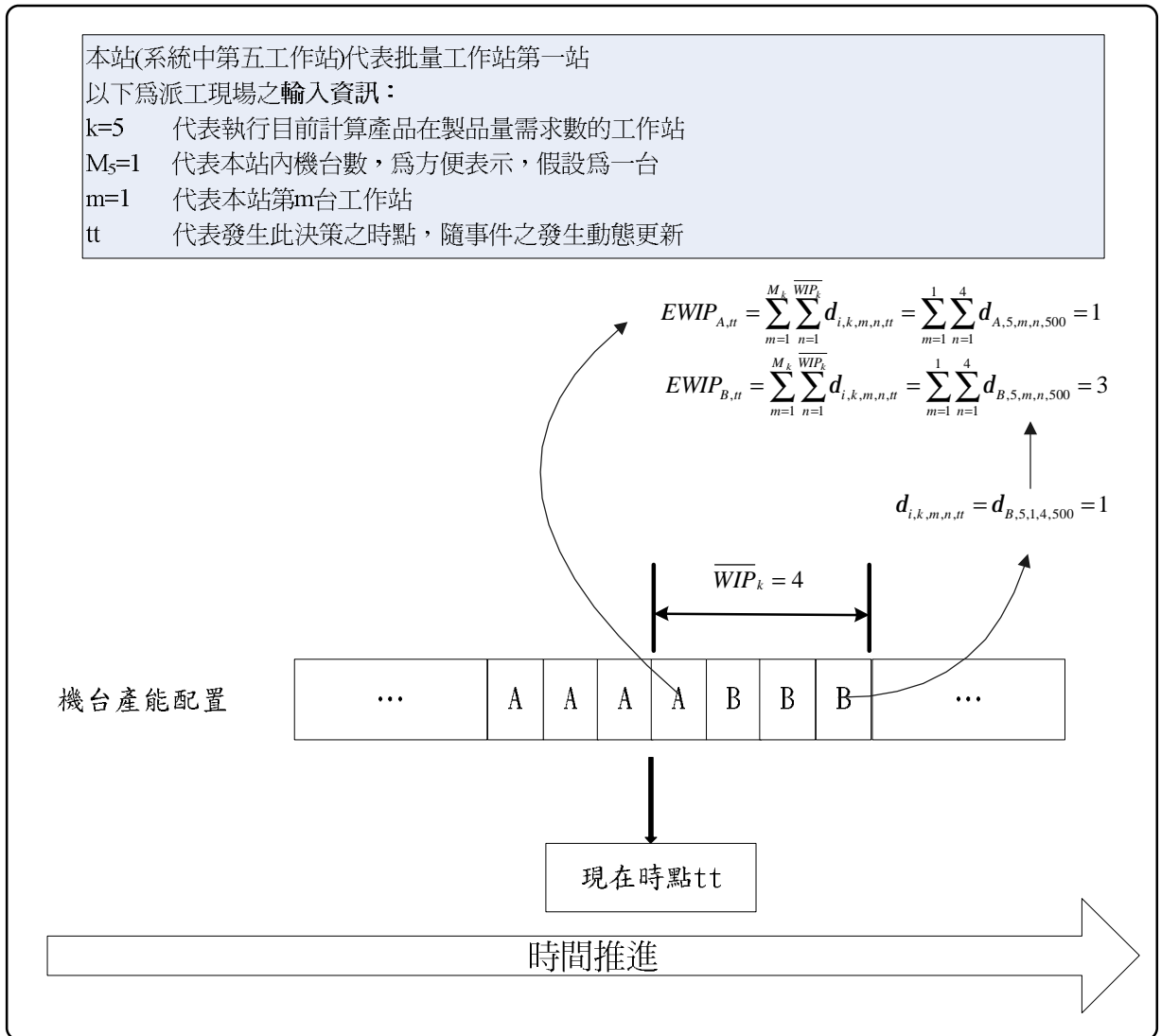


圖 3-11 期望平均在製品量示意圖

資訊(H)，批量工作站各種產品之實際在製品量 $AWIP_{i,tt}$

此項資訊在每批量工作站之完工時點更新，並且在執行以下動態派工法則時可以在現場取得。

以上資訊(A)至資訊(H)為動態派工之輸入資訊項目。假設目前執行此

動態派工法則之機台所加工之產品種類為 i ，而產品種類 i 以外之產品種類為 i' ，其決策步驟如下：

步驟一，本站是否仍有餘裕之設置次數 $NSST_k > 0$?

由於本站之機台能夠動態調整加工順序之前提在於其仍有餘裕產能，因此要在餘裕設置次數大於零之情況才可進行至下一步驟，否則只能選擇同種產品加工。

步驟二，產品種類 i 於批量工作站之在製品量是否足夠 $EWIP_{i,u} \geq AWIP_{i,u}$?

確定目前有餘裕之產能可供額外設置後，權衡是否換線的前提為目前加工之產品種類 i 在批量工作站之在製品量是否足夠。換線加工別種產品之目的在於配合後續批量工作站之需求；若產品 i 並非批量工作站所急需，才可能選擇別種產品加工，進行下一步驟，否則繼續加工同種產品。

步驟三，產品種類 i' 於批量工作站在製品量是否足夠 $EWIP_{i',u} < AWIP_{i',u}$?

由步驟二可知機台目前加工的產品 i 並非批量工作站所急需，因此檢測批量工作站是否有其他產品種類 i' 低於所需在製品量 $EWIP_{i',u}$ ，此為換線加工別種產品之最後一個條件。若以上條件皆已滿足，可進行步驟四。若批量工作站目前沒有低於所需在製品量水準之產品種類，為了不輕易浪費設置之產能，本機台仍優先加工同種產品。

步驟四，選擇換線加工之產品種類。

進行至步驟四，代表本站仍有餘裕之換線次數(步驟一)、目前加工之產品種類 i 於批量工作站在製品量高於水準(步驟二)、且批量工作站至少有一產品種類在製品量低於預期水準(步驟三)。所有換線加工他種產品種

類以提升該產品產出速率之前提皆已完備，則此決策機台將設置並選擇批量工作站低於在製品水準量最大之產品種類 i^* 加工，並將餘裕之設置次數 $NSST_k$ 減 1。下圖為此派工法則示意圖：

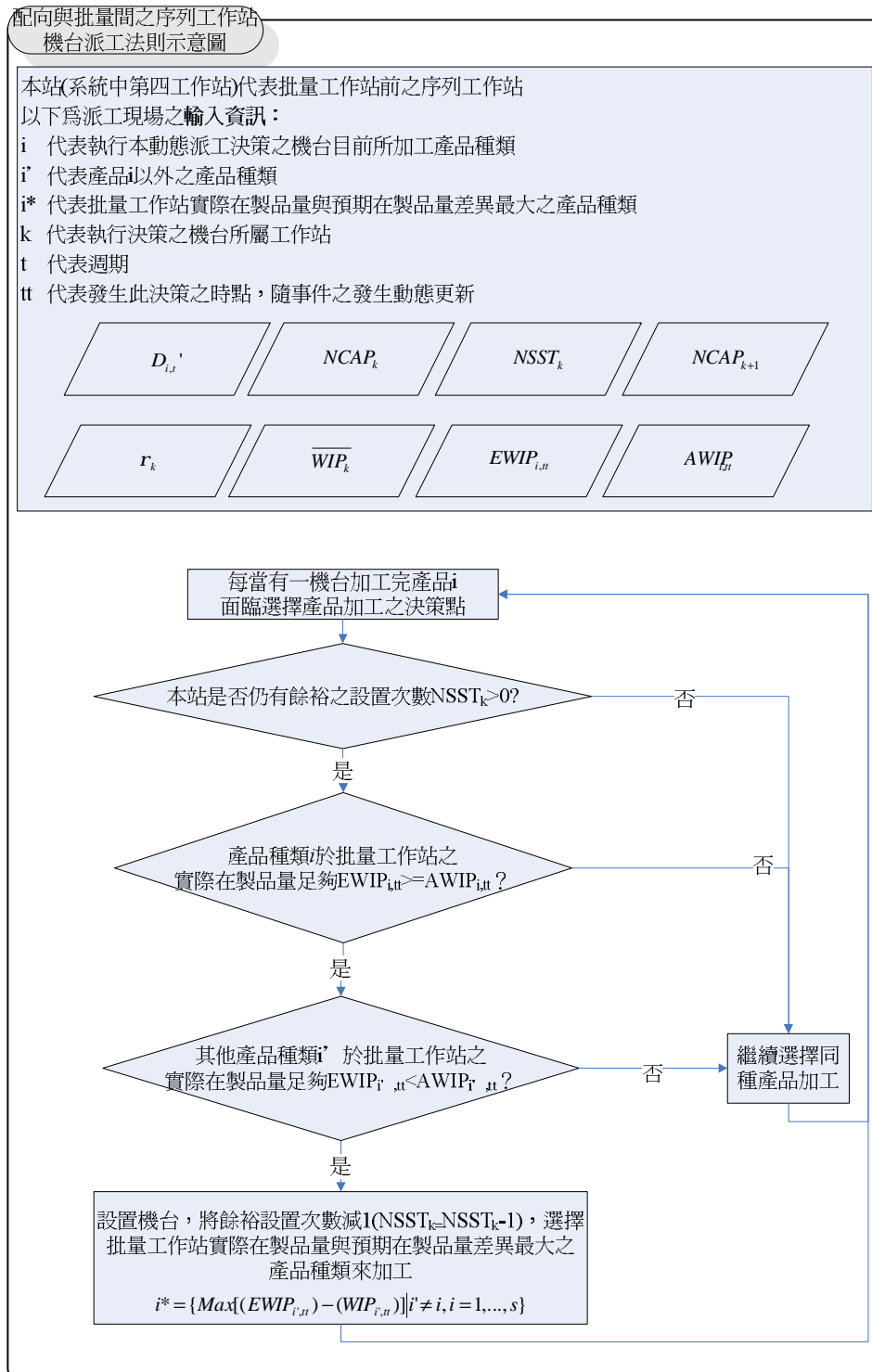


圖 3-12 配向與批量間之序列工作站機台派工法則示意圖

3.5.4 重點工作站前之排程

到目前為止，薄液液晶顯示器組立段之中的十二個加工步驟，已完成第二站(配向膜塗佈工作站)至連續批量之瓶頸工作站，剩下的工作站包含系統瓶頸工作站之前的第一個工作站，以及批量瓶頸工作站之後的少數批量工作站、後段剩下之序列工作站。

重點工作站前之排程為系統內第一站，位於配向膜塗佈工作站之前，該站之供料將直接影響系統瓶頸之產出，為了使系統瓶頸工作站供料無虞，本系統第一站之排程方式將採用與批量前之序列工作站所應用之派工法則，所需計算式與式 3-37 至式 3-40 皆相同，唯一不同處為本工作站位於瓶頸工作站之前，故瓶頸工作站之來料率計算如下式 3-43，詳細流程見 3.5.3 節，在此不加贅述。

$$I_k = \frac{\sum_{i=1}^s D_{i,t}}{CAP \times 2}$$



$$\text{for } \begin{matrix} k = 2 \\ t = 1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3-43}$$

3.5.5 重點工作站後之排程

最後為剩下之工作站給定加工順序，若工作站無設置時間(系統第九至第十二站)則以先進先出法(FIFO)派給工件加工，若有設置時間，依以下優先順序派給產品加工：

步驟一：訂單式生產之產品優先於存貨式生產之產品，若有多種訂單式生產之產品，進行步驟二。

步驟二：依進入系統先後順序指定產品加工，較先進入系統加工之訂單式產品擁有較高之優先權。

第四章、模擬驗證

針對第三章所提出之薄膜液晶顯示器組立廠主生產排程規劃系統，本章將以國內液晶面板製造商之實務數據進行規劃，並就規劃結果進行模擬，以對本文提出之排程規劃系統之成效進行驗證，本章所建構之模擬模式之生產特性皆與實務一致。

本章之模擬驗證可分為下列三部份：

- 1、系統環境描述：目的在於說明執行驗證所使用之資源配備與各項規劃假設。
- 2、驗證執行過程：以液晶面板製造商生產數據為輸入項目，依本文第三章之方法論進行排程規劃，依其結果執行模擬驗證。
- 3、成效分析：將前一步驟執行之結果作一分析與比較，作為結論。



4.1 系統環境說明

4.1.1 生產環境說明

本小節主要說明產品與機台之基本資料，所有資料皆透過訪談業界具有實務經驗之專業人員得來，以此數據作為本論文方法論之實例驗證用，所有環境特性詳述如下：

1.產品基本資料：

本生產系統可生產九種產品種類，其中七種屬於訂單式生產，皆為產品尺寸低於 10 吋之產品，另外兩種屬於存貨式生產，為筆記型電腦專用之 14 吋產品。所有的產品種類之製程流程所經步驟皆相同，各工作站與加工步驟皆為確定已知之參數。所有相關數據皆採自新竹科學園區某液晶

面板廠，本文將各工作站加工數據列示如下表 4-1。

表 4-1 各產品種類於各工作站加工時間

| 站名 | 加工時間 (單位：秒) | | | | | | | | |
|---------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| GRIND | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 |
| PI Print | 1008 | 1008 | 1008 | 1008 | 1008 | 1008 | 1008 | 1008 | 1008 |
| RUB | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| ASM | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 |
| OVEN | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 |
| VA | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 |
| LC | 13500 | 13500 | 13500 | 13500 | 13500 | 13500 | 13500 | 13500 | 13500 |
| End Seal | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| End Seal Clean | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 700 | 700 | 700 | 700 |
| 2 nd Cut | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| Polarize Line | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 |
| Cell Test | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 | 550 |

2. 訂單需求量

每均每週期(2 天)總產品需求量為 1900 卡匣(cassette)，各種訂單式產品之需求量與存貨式產品之預測需求量如下表 4-2 所示。

表 4-2 本規劃幅度(二期)內各產品種類之訂單需求與預測需求量

| 第一期 | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|
| 產品種類 | A | B | C | D | E |
| | | | | | |

| | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|
| 產品比例(%) | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.04 | 0.11 |
| 訂單需求(卡匣) | 10 | 10 | 40 | 40 | 100 |
| 產品種類 | F | G | H | I | |
| 產品比例(%) | 0.16 | 0.17 | 0.42 | 0.09 | |
| 訂單需求(卡匣) | 140 | 160 | 400 | 75 | |
| 第二期 | | | | | |
| 產品種類 | A | B | C | D | E |
| 產品比例(%) | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.04 | 0.11 |
| 訂單需求(卡匣) | 10 | 10 | 40 | 40 | 100 |
| 產品種類 | F | G | H | I | |
| 產品比例(%) | 0.17 | 0.16 | 0.42 | 0.09 | |
| 訂單需求(卡匣) | 140 | 160 | 300 | 175 | |

3. 工作站基本資料：

本範例生產系統，設定有 12 種工作站（由 Grinding 至 Cell Test），分別以 WS01~WS12 表示各個工作站之編號。相同工作站內各個機台均為等效平行機台，且各工作站有其機台數與最大可加工批量，各工作站之資料彙整於表 4-3。

4. 機台設置時間

本文定位於小尺寸多產品種類之環境，實務上機台換線所需之設置時間並無顯著差異，因此假設各工作站內換線時間一致，資訊列示於下表 4-3。

表 4-3 各工作站可用機台數與加工批量及換線時間

| 工作站 | WS01 | WS02 | WS03 | WS04 | WS05 | WS06 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| 機台數 (台) | 8 | 7 | 7 | 8 | 13 | 10 |
| 批量數 (lot) | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 12 |
| 換線時間(秒) | 600 | 9000 | 600 | 1800 | 600 | 1800 |
| 工作站 | WS07 | WS08 | WS09 | WS10 | WS11 | WS12 |
| 機台數 (台) | 13 | 10 | 2 | 15 | 3 | 26 |
| 批量數 (lot) | 15 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 換線時間(秒) | 600 | 600 | - | - | - | - |

5. 工作站利用率限制：

本文將瓶頸工作站之利用率上限設定為 95% 以預留保護性產能吸收系統變異。且透過已知資訊計算求得系統瓶頸之利用率之後，批量工作站為了預防集批或不滿批加工所耗用之產能浪費，批量機台的利用率必低於系統瓶頸之實際利用率。

4.1.2 主生產排程規劃假設

1. 規劃幅度與規劃週期：

規劃幅度必須能涵蓋產品的生產週期時間，以充分反映排定之規劃與生產系統實際運作之連動性。因此，本實例驗證規劃週期為 2 天。

2.投料法則與投料批量：

本文以瓶頸工作站各機台每期產品之加工數量來進行規劃，並以「均勻負荷投料法」來進行投料時點的控制。

3.派工法則：

系統之重點工作站將以整數規劃模求解出各工作站產能規劃，部份工作站啟發式演算法來排程，剩下重點工作站後之工作站皆以派工法則排程，派工法則考量訂單式較存貨式產品優先，而相同優先等級之工件以最早到進入系統之工件給予最先加工的機會。

4.產品良率：

對於液晶面板因製程或生產週期時間所造成的產品不良狀況，本文不加以考慮，亦即假設各加工步驟良率均為 1。

5.產出目標與產品組合：

由於產品種類包含訂單式生產與存貨式生產，各種產品需求量已列示於表 4-2。根據實務環境，扣除已下訂單之產品所需產能後，剩餘之產能皆用於生產存貨式產品，因此每種產品依該期訂單皆有最低產出需求，在訂單需求能滿足之前提下，吾人擬藉由整數規劃求解，使存貨式產品之產出最大化。

4.2 產能估算模組之執行過程與規劃結果

本模組依目前預定生產目標計算最少所需換線次數，加上訂單加工產能需求即為序列機台之基本產能需求。但批量工作站產能分析較為複雜，尚需考量因集批、不滿批加工所浪費之產能。吾人擬以批量工作站總產能扣除加工與換線之產能後，在維持與系統瓶頸相同利用率之前提下，所剩餘之可用產能，作為集批、不滿批加工所浪費之產能。從此指標評估各工

作站依其現有資源所能提供產能是否可能達成產出目標。

4.2.1 計算理想換線次數

步驟一：計算每種產品之機台需求數

計算產品種類的機台需求數，方法是將規劃幅度內產品需求量(片數)除以每台機台可加工的片數(機台/片數)，所得即為機台數。以產品 A 於瓶頸工作站為例，於規劃週期內之需求量为 20(卡匣)，乘以加工時間即為產品 A 所需產能，再除以規劃幅度內可用產能，計算式 3-1 如下：

$$MDP_{A,2} = \frac{\frac{D_A}{BSize_k} \times PT_{A,2}}{T \times 2 \times CAP} = \frac{20 \times 1008}{1 \times 2 \times 86400} = \frac{20160}{172800} = 0.12(\text{台}) \quad \text{式 3-1}$$

因此，已知訂單需求(見表 4-2)，以及機台可提供之產能，可計算各種產品於瓶頸工作站所需機台數，將九種產品代入式 3-1 可得下表 4-4

表 4-4 各產品種類於瓶頸工作站之機台需求數

| 產品種類 | A | E | B | D | C | F | G | H | I |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 機台需求數 (台) | 0.12 | 0.12 | 0.47 | 0.47 | 0.58 | 1.75 | 1.75 | 4.67 | 1.02 |

步驟二：計算最少換線次數

經過前述計算，再將各種產品所需機台數(即表 4-5 內容)以無條件進位，累加之後可得最少所需換線次數，無條件進位之結果彙整於下表 4-5：

表 4-5 各產品種類於瓶頸工作站之機台需求數(無條件進位)

| 產品種類 | A | E | B | D | C | F | G | H | I |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 機台需求數 (台) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 2 |

利用上述結果，規劃週期內所需最少換線次數即機台需求數取無條件進位之和，計算如下：

$$NLST_2 = \sum_{i=1}^I [MDP_{i,2}] = 1+1+1+1+1+2+2+5+2 = 16 \quad \text{式 3-2}$$

重覆上述計算可得目前訂單於各工作站所需最少換線次數如下表4-6：

表 4-6 各工作站所需最少換線次數

| | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| 工作站 | WS01 | WS02 | WS03 | WS04 | WS05 | WS06 |
| $NLST_k$ | 14 | 16 | 16 | 10 | 10 | 10 |
| 工作站 | WS07 | WS08 | WS09 | WS10 | WS11 | WS12 |
| $NLST_k$ | 16 | 9 | 9 | 16 | 11 | 11 |

4.2.2 系統利用率平準化分析

透過前述理想換線次數之計算，加上已知訂單資訊，則可計算所有序列工作站之利用率；但批量機台之利用率仍需考量集批或不滿批加工所耗用之產能，所以吾人考量此難以控制之變數，定義批量機台之利用率更為嚴苛，即批量機台扣除加工與設置產能後之利用率必需小於系統瓶頸工作站產能，訂定此產能耗用限制之精神在於工作站利用率平準化，作為後續排程時之參考，並保留更多產能面對集批或不滿批加工等變數，分析步驟如下：

步驟一：計算系統瓶頸工作站之利用率

在此以配向膜塗佈工作站為準，計算利用率是否在可接受範圍內，計算方法為加工所需產能與預估設置產能之總和，除以所能提供之產能：

$$U_2 = \frac{\sum_{i=1}^s (D_i \times PT_{i,2}) + NLST_2 \times ST_2}{M_2 \times CAP \times (T \times 2)} = \frac{1864800 + 16 \times 9000}{7 \times 86400 \times (2 \times 2)} = 0.83 \quad \text{式 3-3}$$

其中機台數 M_5 共7台；期數T共14期；所有訂單加工總產能 $\sum_{i=1}^s (D_i \times PT_{i,2})$

計算過程如下：

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^I (D_i \times PT_{i,2}) &= 20 \times 1008 + 20 \times 1008 + 80 \times 1008 + 80 \times 100 + 100 \times 1008 + 300 \times 1008 + \\ &300 \times 1008 + 800 \times 1008 + 150 \times 1008 \\ &= 1864800(\text{秒}) \end{aligned}$$

上述瓶頸工作站利用率之計算結果低於利用率上限(0.95)，可滿足目前訂單需求，繼續下一步驟。

步驟二：計算批量機台可耗用於閒置時集批、不滿批加工之產能

如前所述，為保持各工作站利用率之平穩，批量機台扣除閒置時集批、不滿批加工之產能，需維持低於系統瓶頸之利用率。換句話說，批量工作站必需在(1)扣除加工與設置等必要產能；並且(2)維持低於系統瓶頸之利用率，此二前提之下，剩餘之產能即為可耗用於閒置時集批、不滿批加工之產能。所以在此批量工作站之利用率上限，即以系統瓶頸利用率 U_{bn} 為準，計算可耗用於閒置時集批、不滿批加工之產能，以連續批量工作站第一站為例計算如下：

$$\begin{aligned} BCAP_5 &= M_5 \times CAP \times (T \times 2) \times U_{bn} - \sum_{i=1}^I \left(\frac{D_i}{BSize_5} \times PT_{i,5} \right) - NLST_5 \times ST_5 \\ &= 13 \times 86400 \times (2 \times 2) \times 0.83 - 1688889 - 10 \times 600 \\ &= 2044224 - 1644444 - 6000 = 349335(\text{秒}) \end{aligned} \quad \text{式 3-4}$$

其中機台數 M_5 共12台；期數T共14期； $U_{bn} = 0.83$ 由式3-3得知；所有

產品總加工時間 $\sum_{i=1}^s \left(\frac{D_i}{BSize_5} \times PT_{i,5} \right)$ 計算過程如下：

$$\sum_{i=1}^I \left(\frac{D_i}{BSize_5} \times PT_{i,5} \right) =$$

$$\frac{20}{9} \times 8000 + \frac{20}{9} \times 8000 + \frac{80}{9} \times 8000 + \frac{80}{9} \times 8000 + \frac{100}{9} \times 8000 + \frac{300}{9} \times 8000$$

$$+ \frac{300}{9} \times 8000 + \frac{700}{9} \times 8000 + \frac{250}{9} \times 8000$$

$$= 164444 \text{ (秒)}$$

同理可得

$$BCAP_6 = 368780 \text{ (秒)}$$

$$BCAP_7 = 318024 \text{ (秒)}$$

式 3-4

$$BCAP_8 = 2068320 \text{ (秒)}$$

透過式 3-4 推導與計算，系統內第五至第八工作站可耗用於閒置時集批、不滿批加工之產能彙整如下表 4-7：

表 4-7 批量工作站可耗用於閒置時集批、不滿批加工之產能

| 工作站 | WS05 | WS06 | WS07 | WS08 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|---------|
| 可耗用於閒置時集批、不滿批加工之產能 $BCAP_k$ (秒) | 349335 | 368780 | 318024 | 2068320 |

確定序列工作站之產能足夠，且批量工作站仍有可耗用於集批時等候、不滿批加工之產能後，可進行下一模組。

4.3 重點工作站產能分析模組之執行過程與規劃結果

本模組以序列機台與後段批量機台相互配合之觀念，求得各工作站平均工件產出週期、理想載入批量、以及連續批量工作站之瓶頸，作為正式開始執行產能規劃之前的輸入參數。

4.3.1 分析區段內工作站平均產出週期

為求系統內各個工作站之產出步調平穩，在此分析工作站平均產出一

個工件所需時間，稱為平均產出週期，即各種產品之平均加工時間除以加工批量數再除以機台數。並作為後續批量工作站之最小載入批量依據，以系統瓶頸工作站為例計算如下：

$$AOP_2 = \frac{\overline{PT}_2}{Bsize_2 \times M_2} = \frac{1008}{1 \times 7} = 144(\text{秒}) \quad \text{式 3-5}$$

4.3.2 計算批量工作站理想載入批量

為求系統加工之步調一致，批量工作站之理想載入批量將以系統瓶頸為準，在此以批量工作站第一站為例計算如下式 3-6，所有批量工作站之理想載入批量如下表 4-8：

$$Bsize_5^{ideal} = \frac{\overline{PT}_5}{AOP_2 \times M_5} = \left\lceil \frac{8000}{114 \times 8} \right\rceil = 9 \quad \text{式 3-6}$$

表 4-8 批量工作站之理想載入批量

| 工作站 | WS05 | WS06 | WS07 | WS08 |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| 可耗用於閒置時集批、不滿批加工之產能 $BCAP_k$ (秒) | 9 | 10 | 13 | 2 |

4.3.3 連續批量工作站瓶頸辨識機制

批量工作站之瓶頸定義為：扣除必要加工、設置產能後，剩餘之產能用於不滿批加工之次數最小者，定義為連續批量工作站之瓶頸工作站(即批量瓶頸工作站)。計算步驟如下：

步驟一：計算批量機台可浪費於閒置時集批、不滿批加工之產能

本步驟所求即扣除產品加工所需產能、理想換線所需產能、以及利用率上限之保護性產能後，所剩餘之產能 $BCAP_k$ ，其已於式 3-4 計算，結果也已列示於表 4-7。

步驟二：計算各批量工作站可耗用於不滿批加工之工件數

考量各工作站加工批量與加工時間不同，連續批量工作站之瓶頸將以工件數為單位來分析，以上一步驟求得之剩餘產能 $BCAP_k$ 除以該批量工作站之平均每個工件加工時間 \overline{PT}_k ，即為可不滿批加工之工件數，以連續批量工作站第一站為例，計算結果列示如下表 4-9。

$$\overline{PT}_5 = \frac{\sum_{i=1}^s PT_{i,5}}{I} = \frac{7200}{9} = 8000 \quad \text{式 3-7}$$

$$NANF_5 = \frac{BCAP_5}{\frac{\overline{PT}_5}{BSize_5}} = \frac{349935}{\frac{8000}{9}} = 394(\text{工件}) \quad \text{式 3-8}$$

表 4-9 批量工作站可耗用於閒置時集批、不滿批加工之工件數

| 工作站 | WS05 | WS06 | WS07 | WS08 |
|---------------------|------|------|------|------|
| 可耗用於閒置時集批、不滿批加工之工件數 | 394 | 590 | 353 | 7676 |

由表 4-9 可知連續批量工作站之第三站為批量瓶頸工作站。

4.4 主生產排程模組之執行過程與規劃結果

本模組將所有待規劃之工作站分為重點工作站與其他工作站，順序如下：先規劃序列機台之瓶頸工作站，決定系統有效產出總量；接著將完成

產能配置的混線機台排定產品加工順序；再以瓶頸工作站目標進行連續批量機台之產能規劃；接下來以動態派工法則決定系統瓶頸工作站與批量瓶頸工作站之間的序列工作站排程；決定前述重點區段內之生產排程之後，最後完成其他工作站之規劃。

4.4.1 配向膜塗佈工作站排程

配向工作站為本系統瓶頸，將以數學規劃方法求得產能配值最佳解。以下為執行數學規劃求解之前所需參數：

- 1、規劃期數 t ：以 2 天為一單位。
- 2、各產品於各期之訂單需求量 $D_{i,t}$ ：詳見表 4-2。
- 3、各機台於各期可用產能 $CAP = 2\text{天} \times 24\text{hr} \times 60 \times 60 = 172800$ (秒)。
- 4、各種產品於機台上加工時間：如附錄 A 所示。
- 5、各種產品於機台上設置時間：9000 秒。
- 6、所有產品種類中其中兩種規格尺寸之產品，產量可完全被市場接受：
見表 4-5 中產品 H、產品 I。
- 7、規劃之目標為滿足產品 A~G 之訂單需求之前提下，最大化產品 H、產品 I 之產出量。

吾人使用之運算工具為中央處理器(CPU) Intel Pentium IV D 3.00GHz 個人電腦，隨機存取記憶體(RAM) 1.00 GB，作業系統為 Window XP Professional，應用程式為 iLog OPL 3.5.1。表 4-11 為此環境下之數學模式運算之統計資訊。

表 4-10 瓶頸工作站之 iLog 數學模式統計資訊

| | | | |
|----------------------------------|------|--------|--------|
| 最佳解：存貨式生產之產品種類，總產出量 1238 (單位：卡匣) | | | |
| 求解時間：1.56 秒 | | | |
| 限制數總數 | 變數個數 | 二元變數個數 | 決策變數個數 |
| 1590 | 806 | 399 | 407 |

數學模式輸入值包含訂單需求(詳見表 4- 2)，每期機台可用產能共 172800 秒(2 天)，規劃之機台利用率上限為 0.95，各產品之加工時間、設置時間、可用機台數詳見表 4- 1 與表 4- 3，將以上參數值輸入至規劃求解環境之後，運算結果列示於下表 4- 11，即各期各機台生產各種產品之數量。表 4- 12 為產能配置機制之規劃解示意表，該表彙整了各機台於各期之產出，以及最後所有產品總產出，其中屬於訂單式生產之七種產品種類規劃解皆達到滿足訂單需求，剩下屬於存貨式生產之兩種產品，其產量超過安全庫存量預訂需求，透過總產出之統計，合計總產出卡匣數為 2068，將所有產品之總產出卡匣數乘以加工時間，換算所需產能等於 $2068 \times 1008 = 2084544$ (秒)，經由規劃結果之各機台分配產品數扣除期數之間所節省之設置次數，可得規劃總設置次數為 21 次，因此總設置產能為 $21 \times ST_2 = 21 \times 9000 = 189000$ (秒)，將加工所需產能與最少設置產能相加再除以規劃幅度內可用之產能 172800 (秒) $\times 2$ (期) $\times 7$ (台) = 2419200 (秒) 即代表瓶頸工作站產能利用率 $\frac{2084544 + 189000}{2419200} = 0.94$ ，充份利用機台之產能。

表 4- 11 瓶頸工作站產能配置各產品於各機台產量之數學規劃最佳解

| | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| xMTO[PA,M1,0] = 0 | xMTO[PB,M1,0] = 0 | xMTO[PC,M1,0] = 0 | xMTO[PD,M1,0] = 0 | xMTO[PE,M1,0] = 0 | xMTO[PF,M1,0] = 0 | xMTO[PG,M1,0] = 0 | xMTS[Ph,M1,0] = 0 | xMTS[Pi,M1,0] = 0 |
| xMTO[PA,M1,1] = 0 | xMTO[PB,M1,1] = 0 | xMTO[PC,M1,1] = 0 | xMTO[PD,M1,1] = 40 | xMTO[PE,M1,1] = 0 | xMTO[PF,M1,1] = 0 | xMTO[PG,M1,1] = 0 | xMTS[Ph,M1,1] = 114 | xMTS[Pi,M1,1] = 0 |
| xMTO[PA,M1,2] = 0 | xMTO[PB,M1,2] = 0 | xMTO[PC,M1,2] = 0 | xMTO[PD,M1,2] = 40 | xMTO[PE,M1,2] = 0 | xMTO[PF,M1,2] = 0 | xMTO[PG,M1,2] = 0 | xMTS[Ph,M1,2] = 0 | xMTS[Pi,M1,2] = 114 |
| xMTO[PA,M2,0] = 0 | xMTO[PB,M2,0] = 0 | xMTO[PC,M2,0] = 0 | xMTO[PD,M2,0] = 0 | xMTO[PE,M2,0] = 0 | xMTO[PF,M2,0] = 0 | xMTO[PG,M2,0] = 0 | xMTS[Ph,M2,0] = 0 | xMTS[Pi,M2,0] = 0 |
| xMTO[PA,M2,1] = 0 | xMTO[PB,M2,1] = 10 | xMTO[PC,M2,1] = 0 | xMTO[PD,M2,1] = 0 | xMTO[PE,M2,1] = 0 | xMTO[PF,M2,1] = 0 | xMTO[PG,M2,1] = 0 | xMTS[Ph,M2,1] = 144 | xMTS[Pi,M2,1] = 0 |
| xMTO[PA,M2,2] = 0 | xMTO[PB,M2,2] = 10 | xMTO[PC,M2,2] = 0 | xMTO[PD,M2,2] = 0 | xMTO[PE,M2,2] = 0 | xMTO[PF,M2,2] = 0 | xMTO[PG,M2,2] = 0 | xMTS[Ph,M2,2] = 0 | xMTS[Pi,M2,2] = 144 |
| xMTO[PA,M3,0] = 0 | xMTO[PB,M3,0] = 0 | xMTO[PC,M3,0] = 0 | xMTO[PD,M3,0] = 0 | xMTO[PE,M3,0] = 0 | xMTO[PF,M3,0] = 0 | xMTO[PG,M3,0] = 0 | xMTS[Ph,M3,0] = 0 | xMTS[Pi,M3,0] = 0 |
| xMTO[PA,M3,1] = 0 | xMTO[PB,M3,1] = 0 | xMTO[PC,M3,1] = 40 | xMTO[PD,M3,1] = 0 | xMTO[PE,M3,1] = 0 | xMTO[PF,M3,1] = 0 | xMTO[PG,M3,1] = 0 | xMTS[Ph,M3,1] = 114 | xMTS[Pi,M3,1] = 0 |
| xMTO[PA,M3,2] = 0 | xMTO[PB,M3,2] = 0 | xMTO[PC,M3,2] = 40 | xMTO[PD,M3,2] = 0 | xMTO[PE,M3,2] = 0 | xMTO[PF,M3,2] = 0 | xMTO[PG,M3,2] = 0 | xMTS[Ph,M3,2] = 114 | xMTS[Pi,M3,2] = 0 |
| xMTO[PA,M4,0] = 0 | xMTO[PB,M4,0] = 0 | xMTO[PC,M4,0] = 0 | xMTO[PD,M4,0] = 0 | xMTO[PE,M4,0] = 0 | xMTO[PF,M4,0] = 0 | xMTO[PG,M4,0] = 0 | xMTS[Ph,M4,0] = 0 | xMTS[Pi,M4,0] = 0 |
| xMTO[PA,M4,1] = 0 | xMTO[PB,M4,1] = 0 | xMTO[PC,M4,1] = 0 | xMTO[PD,M4,1] = 0 | xMTO[PE,M4,1] = 0 | xMTO[PF,M4,1] = 140 | xMTO[PG,M4,1] = 0 | xMTS[Ph,M4,1] = 14 | xMTS[Pi,M4,1] = 0 |
| xMTO[PA,M4,2] = 0 | xMTO[PB,M4,2] = 0 | xMTO[PC,M4,2] = 0 | xMTO[PD,M4,2] = 0 | xMTO[PE,M4,2] = 0 | xMTO[PF,M4,2] = 140 | xMTO[PG,M4,2] = 0 | xMTS[Ph,M4,2] = 0 | xMTS[Pi,M4,2] = 14 |
| xMTO[PA,M5,0] = 0 | xMTO[PB,M5,0] = 0 | xMTO[PC,M5,0] = 0 | xMTO[PD,M5,0] = 0 | xMTO[PE,M5,0] = 0 | xMTO[PF,M5,0] = 0 | xMTO[PG,M5,0] = 0 | xMTS[Ph,M5,0] = 0 | xMTS[Pi,M5,0] = 0 |
| xMTO[PA,M5,1] = 10 | xMTO[PB,M5,1] = 0 | xMTO[PC,M5,1] = 0 | xMTO[PD,M5,1] = 0 | xMTO[PE,M5,1] = 50 | xMTO[PF,M5,1] = 0 | xMTO[PG,M5,1] = 0 | xMTS[Ph,M5,1] = 0 | xMTS[Pi,M5,1] = 85 |
| xMTO[PA,M5,2] = 0 | xMTO[PB,M5,2] = 0 | xMTO[PC,M5,2] = 0 | xMTO[PD,M5,2] = 0 | xMTO[PE,M5,2] = 0 | xMTO[PF,M5,2] = 0 | xMTO[PG,M5,2] = 97 | xMTS[Ph,M5,2] = 38 | xMTS[Pi,M5,2] = 0 |
| xMTO[PA,M6,0] = 0 | xMTO[PB,M6,0] = 0 | xMTO[PC,M6,0] = 0 | xMTO[PD,M6,0] = 0 | xMTO[PE,M6,0] = 0 | xMTO[PF,M6,0] = 0 | xMTO[PG,M6,0] = 0 | xMTS[Ph,M6,0] = 0 | xMTS[Pi,M6,0] = 0 |
| xMTO[PA,M6,1] = 0 | xMTO[PB,M6,1] = 0 | xMTO[PC,M6,1] = 0 | xMTO[PD,M6,1] = 0 | xMTO[PE,M6,1] = 0 | xMTO[PF,M6,1] = 0 | xMTO[PG,M6,1] = 154 | xMTS[Ph,M6,1] = 0 | xMTS[Pi,M6,1] = 0 |
| xMTO[PA,M6,2] = 0 | xMTO[PB,M6,2] = 0 | xMTO[PC,M6,2] = 0 | xMTO[PD,M6,2] = 0 | xMTO[PE,M6,2] = 0 | xMTO[PF,M6,2] = 0 | xMTO[PG,M6,2] = 63 | xMTS[Ph,M6,2] = 91 | xMTS[Pi,M6,2] = 0 |
| xMTO[PA,M7,0] = 0 | xMTO[PB,M7,0] = 0 | xMTO[PC,M7,0] = 0 | xMTO[PD,M7,0] = 0 | xMTO[PE,M7,0] = 0 | xMTO[PF,M7,0] = 0 | xMTO[PG,M7,0] = 0 | xMTS[Ph,M7,0] = 0 | xMTS[Pi,M7,0] = 0 |
| xMTO[PA,M7,1] = 0 | xMTO[PB,M7,1] = 0 | xMTO[PC,M7,1] = 0 | xMTO[PD,M7,1] = 0 | xMTO[PE,M7,1] = 0 | xMTO[PF,M7,1] = 0 | xMTO[PG,M7,1] = 6 | xMTS[Ph,M7,1] = 148 | xMTS[Pi,M7,1] = 0 |
| xMTO[PA,M7,2] = 0 | xMTO[PB,M7,2] = 0 | xMTO[PC,M7,2] = 0 | xMTO[PD,M7,2] = 0 | xMTO[PE,M7,2] = 50 | xMTO[PF,M7,2] = 0 | xMTO[PG,M7,2] = 0 | xMTS[Ph,M7,2] = 104 | xMTS[Pi,M7,2] = 0 |

表 4- 12 瓶頸工作站機台產能配置機制之規劃解示意表

| | | | | | 第一期 | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 機台 | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| M1 | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 | 114 | 0 |
| M2 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 144 | 0 |
| M3 | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 114 | 0 |
| M4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 140 | 0 | 14 | 0 |
| M5 | 10 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 85 |
| M6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 154 | 0 | 0 |
| M7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 148 | 0 |
| 產出(卡匣) | 10 | 10 | 40 | 40 | 50 | 140 | 160 | 534 | 85 |
| | | | | | 第二期 | | | | |
| 機台 | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| M1 | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 114 |
| M2 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 144 |
| M3 | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 114 | 0 |
| M4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 140 | 0 | 0 | 14 |
| M5 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 97 | 38 | 0 |
| M6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 63 | 91 | 0 |
| M7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 104 | 0 |
| 產出(卡匣) | 10 | 10 | 40 | 40 | 50 | 140 | 160 | 347 | 272 |
| 總產出(卡匣) | 20 | 20 | 80 | 80 | 100 | 280 | 320 | 881 | 357 |

混線機台之產品加工順序：

由於前述數學規劃模式完成產能規劃之後，仍需要為混線配置產能之機台排定加工順序，由表 4- 11 擷取混線配置產能之變數值後，彙整如下表 4- 13，並依該期之前一期與後一期之產能配置，決定當期之混線加工產品順序，結果如下表。

表 4- 13 瓶頸工作站混線機台之產能配置結果與排序結果

| 機台 | 前一期產品種類 | 混線產品種類 (期數) | 後一期產品種類 | 混線生產之 排序結果 |
|----|---------|----------------|---------|---------------|
| M1 | - | DH(1) | DI | HD |
| M2 | - | BH(1) | BI | HB |
| M3 | - | CH(1) | CH | CH |
| M4 | - | FH(1) | FI | HF |
| M5 | - | AEI(1) | AGH | EIA |
| M7 | - | GH(1) | EH | GH |
| M1 | HD | DI(2) | - | DI |
| M2 | HB | BI(2) | - | BI |
| M3 | CH | CH(2) | - | HC |
| M4 | HF | FI(2) | - | FI |
| M5 | EIA | AGH(2) | - | AGH |
| M6 | G | GH(2) | - | GH |
| M7 | GH | EH(2) | - | HE |

4.4.2 連續批量工作站排程

完成系統瓶頸工作站排程後，連續批量工作站將以瓶頸工作站數學規劃之產量作為產出限制式，以求最小化各機台無法滿足之產出量，見表 4-

14 非瓶頸工作站預計產出需求表。除此之外，輸入項目還包含批量工作站之機台可用產能、機台設置時間、與機台利用率上限等。表 4-13 為此環境下之數學模式運算之統計資訊，其中大部份資訊來自數學規劃模式，而工作站利用率乃透過式 3-3 計算，以連續批量工作站第一站為例，利用率計算如下：

$$U_5 = \frac{\sum_{i=1}^s (D_i \times PT_{i,5}) + NST_5 \times ST_5}{M_5 \times CAP \times (T \times 2)} = \frac{1838222 + 182 \times 600}{8 \times 86400 \times (2 \times 2)} = 0.70 \quad \text{式 3-3}$$

上式 3-3 所代入之 NST_5 (Number of Setup Time) 代表各機台所加工之產品種類數之總和 (見表 4-15 連續批量工作站之 iLog 數學模式統計資訊，WS07 之最佳解)，而所有訂單加工總產能 $\sum_{i=1}^s (D_i \times PT_{i,5})$ 計算過程如下：

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^I \left(\frac{D_i'}{Bsize_k^{Ideal}} \times PT_{i,2} \right) &= \frac{20}{9} \times 8000 + \frac{20}{9} \times 8000 + \frac{80}{9} \times 8000 + \frac{80}{9} \times 8000 + \frac{100}{9} \times 8000 + \\ &\frac{280}{9} \times 8000 + \frac{320}{9} \times 8000 + \frac{800}{9} \times 8000 + \frac{150}{9} \times 8000 \\ &= 1838222(\text{秒}) \end{aligned}$$

另外，各非瓶頸工作站於各期預計產出量應依系統瓶頸工作站之數學模式所求得之數值，成為本連續批量工作站之數學模式之產出目標輸入值，彙整如下表：

表 4-14 非瓶頸工作站預計產出需求表

| 產品 | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 期數 1 | 10 | 10 | 40 | 40 | 50 | 140 | 160 | 534 | 85 |
| 期數 2 | 10 | 10 | 40 | 40 | 50 | 140 | 160 | 347 | 272 |

表 4-15 連續批量工作站之 iLog 數學模式統計資訊

| | | | | |
|------------------------|---------------------------------|------|--------|---------|
| 連續批量工 作站第一站 WS05 | 最佳解(BackUp _{i,t}) : 0 | | | |
| | 限制數總數 | 變數個數 | 二元變數個數 | 求解時間(秒) |
| | 678 | 1064 | 216 | 1.33 |
| 連續批量工 | 最佳解(BackUp _{i,t}) : 0 | | | |

| | | | | |
|--------|-----------------------------------|------|--------|---------|
| 工作站第二站 | 限制數總數 | 變數個數 | 二元變數個數 | 求解時間(秒) |
| WS06 | 429 | 659 | 351 | 0.03 |
| 連續批量工 | 最佳解(BackUp _{i,t}) : 102 | | | |
| 工作站第三站 | 限制數總數 | 變數個數 | 二元變數個數 | 求解時間(秒) |
| WS07 | 678 | 1064 | 216 | 1.41 |

將以上參數值輸入至規劃求解環境之後，因篇幅過長，三台連續批量機台之產能配置示意表列示於附錄 A。

4.4.2.1 批量工作站無法滿足之產量因應與回饋機制

觀察連續批量工作站數學模式規劃結果，可知其中第三站之產能配置仍有 102 個工件無法滿足，無法滿足之產品種類與產量分配如下表 4-16，接下來依本機制步驟一一完成因應與回饋：

表 4-16 批量工作站無法滿足之產品種類與數量

| 產品 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | 總合 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|
| 需求量(卡匣) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 99 | 102 |

步驟一，批量工作站之數學規劃結果是否能夠如期完成預定產出需求？

目前已確定批量工作站第三站之產能配置無法滿足所有產品之產出需求，因此進入步驟二。

步驟二，判斷無法滿足之產品是否全部屬於特定存貨式生產之產品種類？

由上表可知無法滿足之產品種類分佈於產品 H 與產品 I 之間，因此需要請上層回應可接受不滿足之特定存貨式產品種類，依此資訊進行步驟三。

步驟三，更改批量工作站數學模式之產量限制式後重新規劃(因應)

假設上層指示將無法滿足之產量集中在產品種類 I，則需更改產品種類 H 之產量限制式如下，並且重新執行數學規劃模式，重新執行後之無法滿足之產品種類與數量列示於下表 4-17：

更改後之產量限制式：

$$\sum_{m=1}^M X_{H,m,1}^b + \sum_{m=1}^M X_{H,m,2}^b = D_{i,1}' + D_{i,2}' \quad \text{式 3-33}$$

表 4-17 更新後批量工作站無法滿足之產品種類與數量

| 產品 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | 總合 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|-----|
| 需求量(卡匣) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 | 102 |

步驟四，回報無法滿足之產品種類與數量，以及延後產出之期數(回饋)

於步驟三確定上層可接受無法滿足之產品種類以及其產量後，需要再將這些未滿足產量之延後滿足時間回報，假設將此未滿足之產量加到下一期之預期產出，結果如下表 4- 18，再執行配向膜塗佈以及批量工作站之數學規劃模式，可得到排程結果如下表 4- 19。

表 4- 18 下一規劃幅度(二期)內各產品種類之訂單需求與預測需求量

| 產品 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | |
|----|---|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 期數 | 1 | 10 | 10 | 40 | 40 | 50 | 150 | 150 | 300 | 175 |
| | 2 | 10 | 10 | 40 | 40 | 50 | 100 | 100 | 100 | 200 |

表 4- 19 下一規劃幅度(二期)內各產品種類之規劃結果

| 產品 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | |
|----|---|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 期數 | 1 | 10 | 10 | 40 | 40 | 50 | 150 | 150 | 367 | 263 |
| | 2 | 10 | 10 | 40 | 40 | 50 | 100 | 100 | 200 | 312 |

從以上排程結果可知，本規劃幅度內要無滿足之產品 I，其未滿足之產量 102 單位卡匣小於下一期之產出量 263 卡匣，代表未滿足之產量可在下一期補足，並以此作為回報上層之資訊。

4.4.3 配向膜塗佈與連續批量機台間工作站排程

完成前述之配向工作站、連續批量工作站之產能配置，並排定混線機台加工順序後，系統之前段與後段重點工作站產能規劃皆已完成。接下來以派工法則作為配向膜塗佈與連續批量機台間工作站之排程方法。本站以系統第四工作站——貼合加工製程為例，因此派工法則所需之資訊以批量工作站第一站(系統內第五站)為例，派工決策之時點發生於週期一($t=1$)，產品種類為 A，計算如下：

資訊(A)，本週期內各站預定有效總產出需求量 $D_{i,1}$

此項資訊可由表 4- 14 扣除無法滿足之產出量後，更新產出需求如下：

表 4- 20 第一個規劃週期預定有效總產出需求

| 產品 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | 總合 |
|---------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|------|
| 需求量(卡匣) | 10 | 10 | 40 | 40 | 50 | 140 | 160 | 534 | 85 | 1118 |

資訊(B)，本週期內本站所需之必要加工與設置產能 $NCAP_{4,1}$

欲計算必要加工產能，需要目前有效產出需求量 $D_{A,1}'$ ，與總設置產能，設置產能之計算可利用式 3- 2 求得，重覆計算各種產品之結果匯整於表 4-15，代入式 3- 34 可得到週期內必要加工與設置產能。

$$\begin{aligned}
 NCAP_{4,1} &= \sum_{i=1}^s \frac{D_{i,1}'}{BSize_4^{Ideal}} \times PT_{i,4} + NLST_{4,1} \times ST_4 \\
 &= \frac{10}{1} \times 420 + \frac{10}{1} \times 420 + \frac{40}{1} \times 420 + \frac{40}{1} \times 420 + \frac{50}{1} \times 420 + \frac{140}{1} \times 420 + \frac{160}{1} \times 420 \\
 &\quad + \frac{534}{1} \times 420 + \frac{85}{1} \times 420 + 10 \times 600 \\
 &= 449820 + 6000 = 475560(\text{秒})
 \end{aligned}
 \tag{式 3- 34}$$

以上總加工所需產能計算之過程如下， $NLST_{4,1}'$ 可由式 3- 2 求得，計算 $NLST_4$ 所需之參數 $MDP_{i,k}'$ 可由式 3-1 求得。

$$NLST_{4,1}' = \sum_{i=1}^s [MDP_{i,4,1}'] = 1+1+1+1+1+1+1+1+2 = 10
 \tag{式 3- 2}$$

$$MDP_{A,4,1}' = \frac{\frac{D_A'}{BSize_4} \times PT_{i,4}}{T \times 2 \times CAP} = \frac{\frac{10}{1} \times 420}{2 \times 86400} = 0.02
 \tag{式 3- 1}$$

表 4- 21 各產品種類於系統第四工作站之機台需求數

| 產品種類 | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 機台需求數 $MDP_{i,k}'$ (台) | 0.02 | 0.02 | 0.10 | 0.10 | 0.12 | 0.34 | 0.39 | 0.35 | 1.16 |
| 機台需求數 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |

| | | | | | | | | | |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| (無條件進位) | | | | | | | | | |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

資訊(C)，本週期內餘裕之設置次數 $NSST_{4,1}$

將本週期內可用產能扣除必要產能後，再換算為設置次數如下式 3-35：

$$NSST_{4,1} = \frac{CAP \times M_4 - NCAP_{4,1}}{ST_4} = \frac{86400 \times 7 - 475560}{600} = 216 \text{次} \quad \text{式 3-35}$$

資訊(D)，本週期內批量工作站所需之必要加工產能 $NCAP_{k+1}$

目前所計算之批量工作站為系統第五站，透過式 3-34 計算必要加工之產能，其中設置次數 $NLST_{5,1}'$ 可利用式 3-2 計算，計算最少設置次數所需參數可由式 3-1 求得，計算過程如下：

$$\begin{aligned}
 NCAP_{4,1} &= \sum_{i=1}^s \frac{D_{i,1}'}{BSize_4^{Ideal}} \times PT_{i,4} + NLST_{4,1}' \times ST_4 \\
 &= \frac{10}{9} \times 8000 + \frac{10}{9} \times 8000 + \frac{40}{9} \times 8000 + \frac{40}{9} \times 8000 + \\
 &\quad \frac{50}{9} \times 8000 + \frac{140}{9} \times 8000 + \frac{160}{9} \times 8000 \\
 &\quad + \frac{534}{9} \times 8000 + \frac{85}{9} \times 8000 + 9 \times 600 \\
 &= 993777 + 5400 = 999177(\text{秒})
 \end{aligned} \quad \text{式 3-34}$$

$$NLST_{5,1}' = \sum_{i=1}^s [MDP_{i,5}'] = 1+1+1+1+1+1+1+1+1 = 9 \quad \text{式 3-2}$$

$$MDP_{A,5,1}' = \frac{\frac{D_{A,1}'}{BSize_5} \times PT_{i,4}}{2 \times CAP} = \frac{\frac{10}{9} \times 8000}{2 \times 86400} = 0.002 \quad \text{式 3-1}$$

表 4-22 各產品種類於連續批量工作站第一站機台需求數

| 產品種類 | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|--------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 機台需求數 $MDP_{i,k}$ (台) | 0.002 | 0.002 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.13 |
| 機台需求數 (無條件進位) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

資訊(E)，批量工作站之預期利用率 $r_{k,t}$

計算完前述資訊後，代入式 3-36 可得利用率如下：

$$r_{5,1} = \frac{NCAP_{5,1}}{M_5 \times CAP \times 2 \times T} = \frac{999177}{13 \times 86400 \times 2} = 0.42 \quad \text{式 3-36}$$

資訊(F)，批量工作站每機台所需平均在製品量 \overline{WIP}_5

在此利用等候理論中 M/M/c 等候模式計算批量工作站所需平均在製品量，再除以工作站內機台數可得平均要機台所需在製品量如下：

$$\overline{WIP}_5 = \left\lfloor \frac{L_5}{M_5} \right\rfloor = \frac{38}{13} = 2 \quad \text{式 3-37}$$

$$L_5 = M_5 \times r_5 + \frac{(M_5 \times r_5)^{M_5+1} P_5^0}{M_5 \times c_5! \times (1 - I_5)^2} = 38 \quad \text{式 3-38}$$

$$P_5^0 = \left\{ \left[\sum_{n=0}^{M_5-1} \frac{(I_5 / m_5)^n}{n!} \right] + \left[\left(\frac{I_5}{m_5} \right)^{c_k} \left(\frac{1}{M_5!} \left(\frac{M_5 \times m_5}{M_5 \times m_5 - I_5} \right) \right) \right] \right\}^{-1} = 0.55 \quad \text{式 3-39}$$

$$m_5 = \frac{1}{PT_{1,5} / Bsize_5} = \frac{1}{8000/9} = 0.0011 \quad \text{式 3-40}$$

$$I_5 = m_{bn} = \frac{1}{1008} = 0.0009 \quad \text{式 3-41}$$

資訊(G)，批量工作站各種產品所需在製品量 $EWIP_{i,t}$ (Expected WIP)

資訊(H)，批量工作站各種產品之實際在製品量 $AWIP_{i,t}$

以上二項資訊 $EWIP_{i,t}$ 與 $AWIP_{i,t}$ 在每批量工作站之加工時點更新，並且在執行以下動態派工法則時可以在現場取得。

4.4.4 重點工作站前之排程

重點工作站前之排程即為系統第一站工作站，其排程將以配合系統瓶頸為目標，與 4.4.3 節配向與批量工作站間之排程相同之派工法則，唯一不同之輸入項目為系統瓶頸之來料率計算方式不同，如下式 3-43，計算步驟如下。

$$I_2 = \frac{\sum_{i=1}^s D_{i,1}}{CAP \times 2} = \frac{1071}{172800} = 0.006 \quad \text{for } \begin{matrix} k=2 \\ t=1, \dots, T \end{matrix} \quad \text{式 3-43}$$

4.4.5 重點工作站後之排程

最後為剩下之工作站給定加工順序，若工作站無設置時間(系統第九至第十二站)則以先進先出法(FIFO)派給工件加工，若有設置時間，依以訂單式生產之產品優先順序派給機台加工，且較先進入系統之工件優先加工。

4.5 結果分析與比較

為了在競爭激烈之 TFT-LCD 產業生存，需要準確的供料量以及快進的生產週期時間以滿足顧客需求；因此 TFT-LCD 組立段小尺吋廠若要同時兼顧產出量與準確的生產週期時間的考量，必須透過一個好的規劃機制，方能維持企業之競爭力；因此，本文蒐集模擬所得之生產績效指標，來對

本文所規劃之 TFT-LCD 組立廠生產排程做驗證。

4.5.1 模擬環境說明

本模擬驗證之環境設定如 4.1 節所述。為了評估分析本文所規劃之各期產出目標是否準確達到，系統之瓶頸工作站與連續批量工作站之前三站皆依 4.4.1 節與 4.4.2 節之數學規劃結果進行產能配置，而系統瓶頸與連續批量間之序列工作站與系統瓶頸前之第一站工作站則以動態派工法則進行排程，重點區段以後之其他工作站排程則以產品種類給定加工順序，並蒐集模擬所得之產出資訊進行績效驗證。由於規劃幅度 28 天內每期(2 天)所排定之產出目標皆不同，系統在此非穩態情境下規劃目標與模擬結果將產生較大變異，因此本實例驗證每次模擬 32 天，前 28 天視為模擬系統 Warm-up 之時間，所蒐集之資料樣本為 Warm-up 之後一個規劃幅度，即第 29 天至第 32 天作為本文實例驗證所蒐集之模擬資料。

4.5.2 模擬驗證之成效分析

為了驗證本文數學模式所規劃之產出目標與產能配置是否可行，將各期所規劃之預期產出以固定在製品量投料法則進行投料，進行實際模擬，再將各期模擬累出量與需求規劃量做分析比較如下表：

表 4-23 模擬累積產出量與需求規劃量與達成率分析表

| 產品 | 第一期 需求量 | 第一期 產出量 | 第一期 達成率 | 第二期 需求量 | 第二期 產出量 | 第二期 達成率 |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| A | 10 | 10 | 100.0% | 10 | 10 | 100.0% |
| B | 10 | 10 | 100.0% | 10 | 10 | 100.0% |
| C | 40 | 40 | 100.0% | 40 | 40 | 100.0% |
| D | 40 | 40 | 100.0% | 40 | 40 | 100.0% |
| E | 50 | 50 | 100.0% | 50 | 50 | 100.0% |
| F | 140 | 141 | 100.7% | 140 | 140 | 100.0% |
| G | 160 | 158 | 98.8% | 160 | 159 | 99.4% |
| H | 534 | 537 | 100.6% | 347 | 343 | 98.8% |
| I | 85 | 85 | 100.0% | 169 | 169 | 100.0% |

由模擬產出與需求規劃量比較可知，各期之產出皆可達到 98% 以上之

達成率，顯示本文所提出之排程方法功效顯著。

4.5.3 派工法則之成效分析

本文所設計之動態派工法則適用於序列與批量工作站共存之排程環境，並與陳式[14]所提出之連續批量工作站數學規劃模式相比較，於完全相同之加工環境與假設前提完成排程，所需之輸入資訊如下：

1.系統環境：週劃週期為 720 分鐘(半天)，排程之環境包含系統瓶頸工作站後之序列工作站與連續三站批量工作站，產品種類共三種，所有訂單於系統瓶頸完工時間已知。

2.機台資訊：序列工作站之加工時間為 44 分鐘，各工作站整備時間皆為 20 分鐘，機台加工之產品良率為 1。連續批量工作站可用之機台數與最大加工批量數如下表 4- 24，為各種產品於各工作站加工時間見表 4- 25：

表 4- 24 各工作站相關資料

| 工作站編號 | WS05 | WS06 | WS07 |
|----------|------|------|------|
| 最大加工批量數 | 12 | 15 | 6 |
| 機台數 | 2 | 2 | 2 |
| 整備時間(分鐘) | 20 | 20 | 60 |

表 4- 25 各工作站加工時間

| 單位：分鐘 | WS05 | WS06 | WS07 |
|-------|------|------|------|
| 產品 A | 240 | 180 | 260 |
| 產品 B | 260 | 200 | 280 |
| 產品 C | 280 | 220 | 300 |

3.訂單資訊：已知各訂單於到臨連續批量工作站時點如下表 4- 26

表 4- 26 產品於配向膜塗佈工作站之加工完成時點

| 順序 | 產品 | 批次 | 時點 | 順序 | 產品 | 批次 | 時點 |
|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | A | 1 | 1 | 11 | B | 5 | 261 |
| 2 | B | 1 | 42 | 12 | C | 4 | 304 |

| | | | | | | | |
|----|---|---|-----|----|---|----|-----|
| 3 | C | 1 | 88 | 13 | B | 6 | 321 |
| 4 | B | 2 | 102 | 14 | A | 4 | 345 |
| 5 | A | 2 | 123 | 15 | B | 7 | 383 |
| 6 | B | 3 | 162 | 16 | C | 5 | 425 |
| 7 | C | 2 | 184 | 17 | A | 5 | 463 |
| 8 | B | 4 | 201 | 18 | B | 8 | 488 |
| 9 | A | 3 | 223 | 19 | C | 6 | 540 |
| 10 | C | 3 | 244 | 20 | B | 10 | 620 |

將上述資訊作為輸入值，以本文之派工法則執行此生產排程，所得之結果分析如下：

1.各工作站機台生產之產品種類

表 4- 27 各機台生產之產品種類

| 產能配置之結果 | | | | | | |
|---------|------|---|------|---|------|---|
| 工作站 | WS05 | | WS06 | | WS07 | |
| 機台 1 | A | C | A | C | A | C |
| 產量 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 |
| 機台 2 | B | | B | | B | |
| 產量 | 9 | | 9 | | 9 | |

2.各機台設置次數：

表 4- 28 各工作站內機台設置次數

| 數學規劃 | | | |
|-----------|------|------|------|
| 工作站 | WS05 | WS06 | WS07 |
| 機台 1 | 2 | 3 | 2 |
| 機台 2 | 2 | 1 | 2 |
| 總設置次數：12 | | | |
| 派工法則與產能配置 | | | |
| 工作站 | WS05 | WS06 | WS07 |
| 機台 1 | 3 | 3 | 3 |
| 機台 2 | 2 | 2 | 2 |
| 總設置次數：15 | | | |

3.平均產出週期時間

表 4- 29 平均產出週期時間(分鐘)

| | |
|------|-----------|
| 數學規劃 | 派工法則與產能配置 |
| 2380 | 1940 |

透過以上分析結果，吾人可得到以下結論：

1. 由表 4- 27 可知，應用本文所設計之數學模式來為連續批量工作站完成產能配置，使得連續批量工作站確實完成配向膜塗佈工作站所規劃之產出目標，達成產品種類無法滿足產量最小化之目標式，此結果與式 3- 20 之目的相符。
2. 吾人所發展之批量工作站產能配置模式將產能儘可能充份利用產能，以期最小化不滿足各產品產量，這與陳氏[14]所發展之數學規劃結果相比雖然總設置次數仍比較多，但結果已相當接近。
3. 本文所發展之動態派工法則能夠有效縮短批量工作站集批等候之時間，且以較大之載入批量加工，讓產品的平均生產週期時間縮短。



第五章、結論與未來研究方向

5.1 結論

由於液晶面板顯示器產業隨時間發展成熟，產品種類已呈現多樣化。業者需同時生產多種尺寸產品，以因應各式各樣的需求。當產品種類增加之特性不但使加工時間增加，可用於設置之產能變少，更使後段批量加工機台的集批等候時間拉長，因此設置時間的節省與批量機台集批等候時間之節省成為非常重要的課題。上述情境實顯出 TFT-LCD 組立段製程要如何在產品種類多樣化、加工時間增加、可用於設置時間減少、系統瓶頸工作站內機台換線之設置時間長等重重限制下，規劃出一可行之生產排程的重要性。

吾人針對中小尺寸之液晶面板顯示器工廠，考量工作站產出速率平準化之概念，提出以序列工作站配合批量工作站來降低批量工作站集批等候情況之方法，在滿足訂單式生產品之前提下，以極大化存貨式產品之有效產出之目標建構主生產排程系統，包含以下三個模組：

產能估算模組：首先以訂單需求量換算最少所需設置次數，及經計算轉換為換線所需產能後，加上加工所需產能，即可針對系統中序列機台檢驗產出目標是否可行。而批量機台則以配向機台之利用率為標準，在維持低於配向機台利用率之前提，檢驗能否滿足排程所需產能。

重點工作站產能分析模組：此模組求算排程所需參數，包含機台產能、平均工件產出週期、批量工作站理想載入批量、連續批量工作站之瓶頸等。進而以各批量工作站可浪費於集批等候之閒置產能或可採不滿批加工之工件數，決定批量機台之瓶頸。最後分析前段之序列機台應如何配合批量機台之排程方法。

主生產排程規劃模組：以「重點工作站產能分析模組」計算所得之理想載入批量、連續批量機台之瓶頸所在等參數作為輸入項目，利用吾人設計之數學規劃模式依序配置配向膜塗佈工作站(前重點工作站)各機台於各

期之產出量，再執行後段連續批量工作站(後重點工作站)之產能配置與排程，再以動態派工法則規劃兩重點工作站之間所有工作站，最後再為剩下的非重點工作站排程，逐步完成 TFT-LCD 組立段製程之規劃。

本文所提出之主生產排程規劃系統適用於多種產品種類之訂單式生產環境，同時兼顧存貨式產品之產出最大化，充份利用系統產能，並且設計一動態派工法則，使系統內批量與序列機台之生產排程相互配合，順利將瓶頸工作站產出轉化為系統有效產出。成效分析之結果證明，本文所設計之液晶薄顯示器組立廠主生產排程規劃系統能在充份利用產能以達有效產出最大化之前提下，使系統內序列與批量工作站相互配合，有效縮短產出週期時間。

5.2 未來研究方向

本文所發展之主生產排程規劃系統，於研究過程中之有許多心得並獲得成果，認為未來仍可進行之後續研究如下：

1. 本文設計之派工法則戮力於協調系統之產出步調，使序列與批量工作站動態配合，若批量機台理想載入批量之計算能與此動態派工理念互動，使批量機台於現場載入批量亦有動態之概念，將能使本派工方法更具前瞻性。
2. 本文以批量工作站之需求驅動序列工作站配合，減少批量工作站集批等候時間，但連續批量工作站間之排程亦有批量數配合之特性，若能為連續批量機台設計一排程方法，將能使系統內之重點工作站排程更臻完善。

- [1] B. Jeong, S.W. Kim, Y.J. Lee, "A assembly scheduler for TFT LCD manufacturing", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 41, p.37-58, 2001
- [2] B. Chen, C. N. Potts, and V. A. Strusevich, "Approximation algorithms for two-machine flow shop scheduling with batch setup times", *Mathematical Programming*, Vol. 82, p.255-271, 1998
- [3] C. R. Glassey, and W. W. Weng, "Dynamic Batching Heuristic for Simultaneous Processing", *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 4, No. 2, p.77-82, May 1991
- [4] C.N. Potts and M.Y. Kovalyov, "Scheduling with batch: A review", *European Journal of Operational Research*, Vol. 120, p.228-249,2000.
- [5] C. S. Sung, and Y. I. Choung, "Minimizing makespan on a single burn-in oven in semiconductor manufacturing", *European Journal of Operational Research*, Vol. 120, p.559-574, 2000
- [6] C. S. Sung, Y. I. Choung, J. M. Hong, and Y. H. Kim, "Minimizing makespan on a single burn-in oven with job families and dynamic job arrivals", *Computers & Operational Research*, Vol.29, p.995-1007, 2002
- [7] D. J. Van Der Zee, "Dynamic scheduling of batch servers with compatible product families", *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 22, p.4803-4826, 2004
- [8] H. B. Bramanian, L. Monch, J. Fowler, and M. Pfund, "Genetic algorithm based scheduling of parallel batch machines with incompatible job families to minimize total weighted tardiness", *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 8, p.1621-1638, 2004
- [9] J. J. Neale, and I. Duenyas, "Control of a batch processing machine serving compatible job families", *IIE Transactions*, Vol. 35, p699-710, 2003
- [10] M. Pinedo, "Scheduling: Theory, Algorithm, and Systems", *Prentice Hall*, New Jersey, 2nd Edition, 2002.
- [11] R. Cigolini, M. Perona, A. Portioli, and T. Zambelli, "A new dynamic look-ahead

scheduling procedure for batching machines”, *Journal of Scheduling* 5 (2):
185-204 MAR-APR 2002

- [12] 林毓淳，「薄膜液晶顯示器組立廠主生產排程快速規劃系統之設計」，國立交通大學工業工程研究所，碩士論文，民國 93 年。
- [13] 李俊昇，「TFT-LCD 批量製程派工法則之設計」，國立交通大學工業工程研究所，碩士論文，民國 91 年。
- [14] 陳頌翔，「連續批量排程機制之構建—以薄膜液晶顯示器組立製程為例」，國立交通大學工業工程研究所，碩士論文，民國 94 年。
- [15] 黃東茂，「LCD 構裝製程設備技術發展簡介」，*機械工程*，頁 62-64，2001 年 2 月。
- [16] 蔡秉宏，「液晶面板組裝廠產能配置模組之構建」，國立交通大學工業工程研究所，碩士論文，民國 91 年。
- [17] 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，2001 年 9 月。
- [18] <http://news.epochtimes.com.tw/6/11/14/40922.htm>
- [19] <http://www.pida.org.tw/welcome.asp>

附錄

附錄 A 連續批量工作站產能配置之數學規劃解

| | | | | | | | | |
|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| X[PA,M1,0]=0 | X[PB,M1,0]=0 | X[PC,M1,0]=0 | X[PD,M1,0]=0 | X[PE,M1,0]=0 | X[PF,M1,0]=0 | X[PG,M1,0]=0 | X[PH,M1,0]=0 | X[PI,M1,0]=0 |
| X[PA,M1,1]=0 | X[PB,M1,1]=0 | X[PC,M1,1]=0 | X[PD,M1,1]=0 | X[PE,M1,1]=0 | X[PF,M1,1]=24 | X[PG,M1,1]=0 | X[PH,M1,1]=0 | X[PI,M1,1]=94 |
| X[PA,M1,2]=0 | X[PB,M1,2]=9 | X[PC,M1,2]=0 | X[PD,M1,2]=0 | X[PE,M1,2]=0 | X[PF,M1,2]=0 | X[PG,M1,2]=0 | X[PH,M1,2]=0 | X[PI,M1,2]=0 |
| X[PA,M2,0]=0 | X[PB,M2,0]=0 | X[PC,M2,0]=0 | X[PD,M2,0]=0 | X[PE,M2,0]=0 | X[PF,M2,0]=0 | X[PG,M2,0]=0 | X[PH,M2,0]=0 | X[PI,M2,0]=0 |
| X[PA,M2,1]=9 | X[PB,M2,1]=0 | X[PC,M2,1]=0 | X[PD,M2,1]=0 | X[PE,M2,1]=0 | X[PF,M2,1]=0 | X[PG,M2,1]=0 | X[PH,M2,1]=0 | X[PI,M2,1]=108 |
| X[PA,M2,2]=0 | X[PB,M2,2]=0 | X[PC,M2,2]=0 | X[PD,M2,2]=40 | X[PE,M2,2]=0 | X[PF,M2,2]=0 | X[PG,M2,2]=0 | X[PH,M2,2]=0 | X[PI,M2,2]=0 |
| X[PA,M3,0]=0 | X[PB,M3,0]=0 | X[PC,M3,0]=0 | X[PD,M3,0]=0 | X[PE,M3,0]=0 | X[PF,M3,0]=0 | X[PG,M3,0]=0 | X[PH,M3,0]=0 | X[PI,M3,0]=0 |
| X[PA,M3,1]=0 | X[PB,M3,1]=1 | X[PC,M3,1]=0 | X[PD,M3,1]=0 | X[PE,M3,1]=0 | X[PF,M3,1]=0 | X[PG,M3,1]=0 | X[PH,M3,1]=116 | X[PI,M3,1]=0 |
| X[PA,M3,2]=0 | X[PB,M3,2]=0 | X[PC,M3,2]=0 | X[PD,M3,2]=0 | X[PE,M3,2]=0 | X[PF,M3,2]=0 | X[PG,M3,2]=0 | X[PH,M3,2]=0 | X[PI,M3,2]=0 |
| X[PA,M4,0]=0 | X[PB,M4,0]=0 | X[PC,M4,0]=0 | X[PD,M4,0]=0 | X[PE,M4,0]=0 | X[PF,M4,0]=0 | X[PG,M4,0]=0 | X[PH,M4,0]=0 | X[PI,M4,0]=0 |
| X[PA,M4,1]=0 | X[PB,M4,1]=0 | X[PC,M4,1]=0 | X[PD,M4,1]=1 | X[PE,M4,1]=0 | X[PF,M4,1]=0 | X[PG,M4,1]=0 | X[PH,M4,1]=116 | X[PI,M4,1]=0 |
| X[PA,M4,2]=0 | X[PB,M4,2]=0 | X[PC,M4,2]=0 | X[PD,M4,2]=0 | X[PE,M4,2]=0 | X[PF,M4,2]=117 | X[PG,M4,2]=0 | X[PH,M4,2]=0 | X[PI,M4,2]=0 |
| X[PA,M5,0]=0 | X[PB,M5,0]=0 | X[PC,M5,0]=0 | X[PD,M5,0]=0 | X[PE,M5,0]=0 | X[PF,M5,0]=0 | X[PG,M5,0]=0 | X[PH,M5,0]=0 | X[PI,M5,0]=0 |
| X[PA,M5,1]=1 | X[PB,M5,1]=0 | X[PC,M5,1]=0 | X[PD,M5,1]=0 | X[PE,M5,1]=0 | X[PF,M5,1]=0 | X[PG,M5,1]=116 | X[PH,M5,1]=0 | X[PI,M5,1]=0 |
| X[PA,M5,2]=0 | X[PB,M5,2]=0 | X[PC,M5,2]=0 | X[PD,M5,2]=0 | X[PE,M5,2]=0 | X[PF,M5,2]=44 | X[PG,M5,2]=74 | X[PH,M5,2]=0 | X[PI,M5,2]=0 |
| X[PA,M6,0]=0 | X[PB,M6,0]=0 | X[PC,M6,0]=0 | X[PD,M6,0]=0 | X[PE,M6,0]=0 | X[PF,M6,0]=0 | X[PG,M6,0]=0 | X[PH,M6,0]=0 | X[PI,M6,0]=0 |
| X[PA,M6,1]=0 | X[PB,M6,1]=0 | X[PC,M6,1]=39 | X[PD,M6,1]=0 | X[PE,M6,1]=0 | X[PF,M6,1]=0 | X[PG,M6,1]=0 | X[PH,M6,1]=0 | X[PI,M6,1]=79 |
| X[PA,M6,2]=0 | X[PB,M6,2]=0 | X[PC,M6,2]=0 | X[PD,M6,2]=0 | X[PE,M6,2]=0 | X[PF,M6,2]=0 | X[PG,M6,2]=1 | X[PH,M6,2]=0 | X[PI,M6,2]=0 |
| X[PA,M7,0]=0 | X[PB,M7,0]=0 | X[PC,M7,0]=0 | X[PD,M7,0]=0 | X[PE,M7,0]=0 | X[PF,M7,0]=0 | X[PG,M7,0]=0 | X[PH,M7,0]=0 | X[PI,M7,0]=0 |
| X[PA,M7,1]=0 | X[PB,M7,1]=0 | X[PC,M7,1]=0 | X[PD,M7,1]=0 | X[PE,M7,1]=0 | X[PF,M7,1]=0 | X[PG,M7,1]=45 | X[PH,M7,1]=73 | X[PI,M7,1]=0 |
| X[PA,M7,2]=0 | X[PB,M7,2]=0 | X[PC,M7,2]=40 | X[PD,M7,2]=0 | X[PE,M7,2]=50 | X[PF,M7,2]=0 | X[PG,M7,2]=0 | X[PH,M7,2]=0 | X[PI,M7,2]=0 |

| | | | | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| X[PA,M8,0]=0 | X[PB,M8,0]=0 | X[PC,M8,0]=0 | X[PD,M8,0]=0 | X[PE,M8,0]=0 | X[PF,M8,0]=0 | X[PG,M8,0]=0 | X[PH,M8,0]=0 | X[PI,M8,0]=0 |
| X[PA,M8,1]=0 | X[PB,M8,1]=0 | X[PC,M8,1]=1 | X[PD,M8,1]=0 | X[PE,M8,1]=0 | X[PF,M8,1]=117 | X[PG,M8,1]=0 | X[PH,M8,1]=0 | X[PI,M8,1]=0 |
| X[PA,M8,2]=0 | X[PB,M8,2]=0 | X[PC,M8,2]=0 | X[PD,M8,2]=0 | X[PE,M8,2]=0 | X[PF,M8,2]=0 | X[PG,M8,2]=0 | X[PH,M8,2]=32 | X[PI,M8,2]=85 |
| X[PA,M9,0]=0 | X[PB,M9,0]=0 | X[PC,M9,0]=0 | X[PD,M9,0]=0 | X[PE,M9,0]=0 | X[PF,M9,0]=0 | X[PG,M9,0]=0 | X[PH,M9,0]=0 | X[PI,M9,0]=0 |
| X[PA,M9,1]=0 | X[PB,M9,1]=0 | X[PC,M9,1]=0 | X[PD,M9,1]=0 | X[PE,M9,1]=3 | X[PF,M9,1]=0 | X[PG,M9,1]=0 | X[PH,M9,1]=115 | X[PI,M9,1]=0 |
| X[PA,M9,2]=0 | X[PB,M9,2]=0 | X[PC,M9,2]=0 | X[PD,M9,2]=0 | X[PE,M9,2]=0 | X[PF,M9,2]=0 | X[PG,M9,2]=0 | X[PH,M9,2]=53 | X[PI,M9,2]=0 |
| X[PA,M10,0]=0 | X[PB,M10,0]=0 | X[PC,M10,0]=0 | X[PD,M10,0]=0 | X[PE,M10,0]=1 | X[PF,M10,0]=0 | X[PG,M10,0]=0 | X[PH,M10,0]=0 | X[PI,M10,0]=0 |
| X[PA,M10,1]=0 | X[PB,M10,1]=0 | X[PC,M10,1]=0 | X[PD,M10,1]=1 | X[PE,M10,1]=0 | X[PF,M10,1]=0 | X[PG,M10,1]=0 | X[PH,M10,1]=116 | X[PI,M10,1]=0 |
| X[PA,M10,2]=0 | X[PB,M10,2]=1 | X[PC,M10,2]=0 | X[PD,M10,2]=0 | X[PE,M10,2]=0 | X[PF,M10,2]=0 | X[PG,M10,2]=0 | X[PH,M10,2]=0 | X[PI,M10,2]=0 |
| X[PA,M11,0]=0 | X[PB,M11,0]=0 | X[PC,M11,0]=0 | X[PD,M11,0]=0 | X[PE,M11,0]=0 | X[PF,M11,0]=0 | X[PG,M11,0]=0 | X[PH,M11,0]=0 | X[PI,M11,0]=0 |
| X[PA,M11,1]=0 | X[PB,M11,1]=0 | X[PC,M11,1]=0 | X[PD,M11,1]=0 | X[PE,M11,1]=48 | X[PF,M11,1]=0 | X[PG,M11,1]=0 | X[PH,M11,1]=0 | X[PI,M11,1]=69 |
| X[PA,M11,2]=9 | X[PB,M11,2]=0 | X[PC,M11,2]=0 | X[PD,M11,2]=0 | X[PE,M11,2]=0 | X[PF,M11,2]=0 | X[PG,M11,2]=0 | X[PH,M11,2]=0 | X[PI,M11,2]=0 |
| X[PA,M12,0]=0 | X[PB,M12,0]=0 | X[PC,M12,0]=0 | X[PD,M12,0]=0 | X[PE,M12,0]=0 | X[PF,M12,0]=0 | X[PG,M12,0]=0 | X[PH,M12,0]=0 | X[PI,M12,0]=2 |
| X[PA,M12,1]=0 | X[PB,M12,1]=0 | X[PC,M12,1]=0 | X[PD,M12,1]=38 | X[PE,M12,1]=0 | X[PF,M12,1]=0 | X[PG,M12,1]=0 | X[PH,M12,1]=0 | X[PI,M12,1]=79 |
| X[PA,M12,2]=0 | X[PB,M12,2]=0 | X[PC,M12,2]=0 | X[PD,M12,2]=0 | X[PE,M12,2]=0 | X[PF,M12,2]=0 | X[PG,M12,2]=0 | X[PH,M12,2]=1 | X[PI,M12,2]=0 |
| X[PA,M13,0]=0 | X[PB,M13,0]=0 | X[PC,M13,0]=0 | X[PD,M13,0]=0 | X[PE,M13,0]=0 | X[PF,M13,0]=0 | X[PG,M13,0]=0 | X[PH,M13,0]=0 | X[PI,M13,0]=0 |
| X[PA,M13,1]=0 | X[PB,M13,1]=9 | X[PC,M13,1]=0 | X[PD,M13,1]=0 | X[PE,M13,1]=0 | X[PF,M13,1]=0 | X[PG,M13,1]=0 | X[PH,M13,1]=0 | X[PI,M13,1]=108 |
| X[PA,M13,2]=0 | X[PB,M13,2]=0 | X[PC,M13,2]=0 | X[PD,M13,2]=0 | X[PE,M13,2]=0 | X[PF,M13,2]=0 | X[PG,M13,2]=66 | X[PH,M13,2]=0 | X[PI,M13,2]=0 |
| X[PA,M1,0]=0 | X[PB,M1,0]=0 | X[PC,M1,0]=0 | X[PD,M1,0]=0 | X[PE,M1,0]=0 | X[PF,M1,0]=0 | X[PG,M1,0]=0 | X[PH,M1,0]=0 | X[PI,M1,0]=0 |
| X[PA,M1,1]=0 | X[PB,M1,1]=0 | X[PC,M1,1]=0 | X[PD,M1,1]=0 | X[PE,M1,1]=0 | X[PF,M1,1]=0 | X[PG,M1,1]=0 | X[PH,M1,1]=0 | X[PI,M1,1]=218 |
| X[PA,M1,2]=0 | X[PB,M1,2]=0 | X[PC,M1,2]=0 | X[PD,M1,2]=0 | X[PE,M1,2]=50 | X[PF,M1,2]=82 | X[PG,M1,2]=0 | X[PH,M1,2]=0 | X[PI,M1,2]=0 |
| X[PA,M2,0]=0 | X[PB,M2,0]=0 | X[PC,M2,0]=0 | X[PD,M2,0]=0 | X[PE,M2,0]=0 | X[PF,M2,0]=0 | X[PG,M2,0]=0 | X[PH,M2,0]=0 | X[PI,M2,0]=0 |
| X[PA,M2,1]=10 | X[PB,M2,1]=0 | X[PC,M2,1]=0 | X[PD,M2,1]=0 | X[PE,M2,1]=0 | X[PF,M2,1]=0 | X[PG,M2,1]=0 | X[PH,M2,1]=209 | X[PI,M2,1]=0 |
| X[PA,M2,2]=0 | X[PB,M2,2]=0 | X[PC,M2,2]=0 | X[PD,M2,2]=40 | X[PE,M2,2]=0 | X[PF,M2,2]=0 | X[PG,M2,2]=0 | X[PH,M2,2]=0 | X[PI,M2,2]=0 |
| X[PA,M3,0]=0 | X[PB,M3,0]=0 | X[PC,M3,0]=0 | X[PD,M3,0]=0 | X[PE,M3,0]=0 | X[PF,M3,0]=0 | X[PG,M3,0]=0 | X[PH,M3,0]=0 | X[PI,M3,0]=0 |

| | | | | | | | | |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| X[PA,M3,1]=0 | X[PB,M3,1]=0 | X[PC,M3,1]=0 | X[PD,M3,1]=0 | X[PE,M3,1]=0 | X[PF,M3,1]=0 | X[PG,M3,1]=0 | X[PH,M3,1]=187 | X[PI,M3,1]=0 |
| X[PA,M3,2]=1 | X[PB,M3,2]=0 | X[PC,M3,2]=0 | X[PD,M3,2]=0 | X[PE,M3,2]=0 | X[PF,M3,2]=0 | X[PG,M3,2]=0 | X[PH,M3,2]=0 | X[PI,M3,2]=0 |
| X[PA,M4,0]=0 | X[PB,M4,0]=0 | X[PC,M4,0]=0 | X[PD,M4,0]=0 | X[PE,M4,0]=0 | X[PF,M4,0]=0 | X[PG,M4,0]=0 | X[PH,M4,0]=0 | X[PI,M4,0]=0 |
| X[PA,M4,1]=0 | X[PB,M4,1]=0 | X[PC,M4,1]=0 | X[PD,M4,1]=0 | X[PE,M4,1]=0 | X[PF,M4,1]=0 | X[PG,M4,1]=82 | X[PH,M4,1]=138 | X[PI,M4,1]=0 |
| X[PA,M4,2]=0 | X[PB,M4,2]=10 | X[PC,M4,2]=0 | X[PD,M4,2]=0 | X[PE,M4,2]=0 | X[PF,M4,2]=0 | X[PG,M4,2]=0 | X[PH,M4,2]=0 | X[PI,M4,2]=0 |
| X[PA,M5,0]=0 | X[PB,M5,0]=0 | X[PC,M5,0]=0 | X[PD,M5,0]=0 | X[PE,M5,0]=0 | X[PF,M5,0]=0 | X[PG,M5,0]=0 | X[PH,M5,0]=0 | X[PI,M5,0]=0 |
| X[PA,M5,1]=0 | X[PB,M5,1]=0 | X[PC,M5,1]=0 | X[PD,M5,1]=0 | X[PE,M5,1]=0 | X[PF,M5,1]=140 | X[PG,M5,1]=79 | X[PH,M5,1]=0 | X[PI,M5,1]=0 |
| X[PA,M5,2]=0 | X[PB,M5,2]=0 | X[PC,M5,2]=0 | X[PD,M5,2]=0 | X[PE,M5,2]=0 | X[PF,M5,2]=79 | X[PG,M5,2]=140 | X[PH,M5,2]=0 | X[PI,M5,2]=0 |
| X[PA,M6,0]=0 | X[PB,M6,0]=0 | X[PC,M6,0]=0 | X[PD,M6,0]=0 | X[PE,M6,0]=0 | X[PF,M6,0]=0 | X[PG,M6,0]=0 | X[PH,M6,0]=0 | X[PI,M6,0]=0 |
| X[PA,M6,1]=0 | X[PB,M6,1]=0 | X[PC,M6,1]=40 | X[PD,M6,1]=0 | X[PE,M6,1]=50 | X[PF,M6,1]=0 | X[PG,M6,1]=0 | X[PH,M6,1]=0 | X[PI,M6,1]=0 |
| X[PA,M6,2]=0 | X[PB,M6,2]=0 | X[PC,M6,2]=0 | X[PD,M6,2]=0 | X[PE,M6,2]=0 | X[PF,M6,2]=0 | X[PG,M6,2]=0 | X[PH,M6,2]=0 | X[PI,M6,2]=0 |
| X[PA,M7,0]=0 | X[PB,M7,0]=0 | X[PC,M7,0]=0 | X[PD,M7,0]=0 | X[PE,M7,0]=0 | X[PF,M7,0]=0 | X[PG,M7,0]=0 | X[PH,M7,0]=0 | X[PI,M7,0]=0 |
| X[PA,M7,1]=0 | X[PB,M7,1]=0 | X[PC,M7,1]=0 | X[PD,M7,1]=40 | X[PE,M7,1]=0 | X[PF,M7,1]=0 | X[PG,M7,1]=0 | X[PH,M7,1]=0 | X[PI,M7,1]=179 |
| X[PA,M7,2]=9 | X[PB,M7,2]=0 | X[PC,M7,2]=0 | X[PD,M7,2]=0 | X[PE,M7,2]=0 | X[PF,M7,2]=0 | X[PG,M7,2]=0 | X[PH,M7,2]=85 | X[PI,M7,2]=0 |
| X[PA,M8,0]=0 | X[PB,M8,0]=0 | X[PC,M8,0]=0 | X[PD,M8,0]=0 | X[PE,M8,0]=0 | X[PF,M8,0]=0 | X[PG,M8,0]=0 | X[PH,M8,0]=0 | X[PI,M8,0]=0 |
| X[PA,M8,1]=0 | X[PB,M8,1]=10 | X[PC,M8,1]=0 | X[PD,M8,1]=0 | X[PE,M8,1]=0 | X[PF,M8,1]=0 | X[PG,M8,1]=0 | X[PH,M8,1]=0 | X[PI,M8,1]=137 |
| X[PA,M8,2]=0 | X[PB,M8,2]=0 | X[PC,M8,2]=40 | X[PD,M8,2]=0 | X[PE,M8,2]=0 | X[PF,M8,2]=0 | X[PG,M8,2]=0 | X[PH,M8,2]=0 | X[PI,M8,2]=84 |
| X[PA,M1,0]=0 | X[PB,M1,0]=0 | X[PC,M1,0]=0 | X[PD,M1,0]=0 | X[PE,M1,0]=0 | X[PF,M1,0]=0 | X[PG,M1,0]=0 | X[PH,M1,0]=0 | X[PI,M1,0]=0 |
| X[PA,M1,1]=0 | X[PB,M1,1]=0 | X[PC,M1,1]=0 | X[PD,M1,1]=0 | X[PE,M1,1]=0 | X[PF,M1,1]=0 | X[PG,M1,1]=0 | X[PH,M1,1]=94 | X[PI,M1,1]=0 |
| X[PA,M1,2]=0 | X[PB,M1,2]=0 | X[PC,M1,2]=0 | X[PD,M1,2]=0 | X[PE,M1,2]=0 | X[PF,M1,2]=26 | X[PG,M1,2]=29 | X[PH,M1,2]=0 | X[PI,M1,2]=0 |
| X[PA,M2,0]=0 | X[PB,M2,0]=0 | X[PC,M2,0]=0 | X[PD,M2,0]=0 | X[PE,M2,0]=0 | X[PF,M2,0]=0 | X[PG,M2,0]=0 | X[PH,M2,0]=0 | X[PI,M2,0]=2 |
| X[PA,M2,1]=0 | X[PB,M2,1]=0 | X[PC,M2,1]=0 | X[PD,M2,1]=0 | X[PE,M2,1]=0 | X[PF,M2,1]=0 | X[PG,M2,1]=1 | X[PH,M2,1]=94 | X[PI,M2,1]=0 |
| X[PA,M2,2]=1 | X[PB,M2,2]=0 | X[PC,M2,2]=0 | X[PD,M2,2]=0 | X[PE,M2,2]=0 | X[PF,M2,2]=0 | X[PG,M2,2]=0 | X[PH,M2,2]=0 | X[PI,M2,2]=0 |
| X[PA,M3,0]=0 | X[PB,M3,0]=0 | X[PC,M3,0]=0 | X[PD,M3,0]=0 | X[PE,M3,0]=0 | X[PF,M3,0]=0 | X[PG,M3,0]=0 | X[PH,M3,0]=0 | X[PI,M3,0]=0 |
| X[PA,M3,1]=0 | X[PB,M3,1]=0 | X[PC,M3,1]=0 | X[PD,M3,1]=0 | X[PE,M3,1]=0 | X[PF,M3,1]=133 | X[PG,M3,1]=2 | X[PH,M3,1]=0 | X[PI,M3,1]=0 |

| | | | | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|
| X[PA,M3,2]=0 | X[PB,M3,2]=0 | X[PC,M3,2]=0 | X[PD,M3,2]=0 | X[PE,M3,2]=0 | X[PF,M3,2]=0 | X[PG,M3,2]=0 | X[PH,M3,2]=7 | X[PI,M3,2]=0 |
| X[PA,M4,0]=0 | X[PB,M4,0]=0 | X[PC,M4,0]=0 | X[PD,M4,0]=0 | X[PE,M4,0]=0 | X[PF,M4,0]=0 | X[PG,M4,0]=0 | X[PH,M4,0]=0 | X[PI,M4,0]=0 |
| X[PA,M4,1]=0 | X[PB,M4,1]=0 | X[PC,M4,1]=0 | X[PD,M4,1]=0 | X[PE,M4,1]=50 | X[PF,M4,1]=0 | X[PG,M4,1]=0 | X[PH,M4,1]=0 | X[PI,M4,1]=79 |
| X[PA,M4,2]=0 | X[PB,M4,2]=0 | X[PC,M4,2]=0 | X[PD,M4,2]=0 | X[PE,M4,2]=1 | X[PF,M4,2]=0 | X[PG,M4,2]=0 | X[PH,M4,2]=0 | X[PI,M4,2]=0 |
| X[PA,M5,0]=0 | X[PB,M5,0]=0 | X[PC,M5,0]=0 | X[PD,M5,0]=0 | X[PE,M5,0]=0 | X[PF,M5,0]=0 | X[PG,M5,0]=0 | X[PH,M5,0]=0 | X[PI,M5,0]=0 |
| X[PA,M5,1]=0 | X[PB,M5,1]=0 | X[PC,M5,1]=40 | X[PD,M5,1]=0 | X[PE,M5,1]=0 | X[PF,M5,1]=0 | X[PG,M5,1]=0 | X[PH,M5,1]=83 | X[PI,M5,1]=0 |
| X[PA,M5,2]=0 | X[PB,M5,2]=0 | X[PC,M5,2]=40 | X[PD,M5,2]=0 | X[PE,M5,2]=0 | X[PF,M5,2]=0 | X[PG,M5,2]=112 | X[PH,M5,2]=0 | X[PI,M5,2]=0 |
| X[PA,M6,0]=0 | X[PB,M6,0]=0 | X[PC,M6,0]=0 | X[PD,M6,0]=0 | X[PE,M6,0]=0 | X[PF,M6,0]=0 | X[PG,M6,0]=0 | X[PH,M6,0]=0 | X[PI,M6,0]=0 |
| X[PA,M6,1]=0 | X[PB,M6,1]=0 | X[PC,M6,1]=0 | X[PD,M6,1]=0 | X[PE,M6,1]=0 | X[PF,M6,1]=0 | X[PG,M6,1]=27 | X[PH,M6,1]=76 | X[PI,M6,1]=0 |
| X[PA,M6,2]=0 | X[PB,M6,2]=10 | X[PC,M6,2]=0 | X[PD,M6,2]=0 | X[PE,M6,2]=48 | X[PF,M6,2]=0 | X[PG,M6,2]=0 | X[PH,M6,2]=0 | X[PI,M6,2]=0 |
| X[PA,M7,0]=0 | X[PB,M7,0]=0 | X[PC,M7,0]=0 | X[PD,M7,0]=0 | X[PE,M7,0]=0 | X[PF,M7,0]=0 | X[PG,M7,0]=0 | X[PH,M7,0]=0 | X[PI,M7,0]=0 |
| X[PA,M7,1]=0 | X[PB,M7,1]=0 | X[PC,M7,1]=0 | X[PD,M7,1]=0 | X[PE,M7,1]=0 | X[PF,M7,1]=1 | X[PG,M7,1]=0 | X[PH,M7,1]=94 | X[PI,M7,1]=0 |
| X[PA,M7,2]=9 | X[PB,M7,2]=0 | X[PC,M7,2]=0 | X[PD,M7,2]=0 | X[PE,M7,2]=0 | X[PF,M7,2]=0 | X[PG,M7,2]=0 | X[PH,M7,2]=0 | X[PI,M7,2]=0 |
| X[PA,M8,0]=0 | X[PB,M8,0]=0 | X[PC,M8,0]=0 | X[PD,M8,0]=0 | X[PE,M8,0]=0 | X[PF,M8,0]=0 | X[PG,M8,0]=0 | X[PH,M8,0]=0 | X[PI,M8,0]=0 |
| X[PA,M8,1]=0 | X[PB,M8,1]=10 | X[PC,M8,1]=0 | X[PD,M8,1]=0 | X[PE,M8,1]=0 | X[PF,M8,1]=0 | X[PG,M8,1]=0 | X[PH,M8,1]=0 | X[PI,M8,1]=91 |
| X[PA,M8,2]=0 | X[PB,M8,2]=0 | X[PC,M8,2]=0 | X[PD,M8,2]=0 | X[PE,M8,2]=0 | X[PF,M8,2]=1 | X[PG,M8,2]=0 | X[PH,M8,2]=0 | X[PI,M8,2]=85 |
| X[PA,M9,0]=0 | X[PB,M9,0]=0 | X[PC,M9,0]=0 | X[PD,M9,0]=0 | X[PE,M9,0]=0 | X[PF,M9,0]=0 | X[PG,M9,0]=0 | X[PH,M9,0]=0 | X[PI,M9,0]=0 |
| X[PA,M9,1]=0 | X[PB,M9,1]=0 | X[PC,M9,1]=0 | X[PD,M9,1]=0 | X[PE,M9,1]=0 | X[PF,M9,1]=0 | X[PG,M9,1]=0 | X[PH,M9,1]=0 | X[PI,M9,1]=94 |
| X[PA,M9,2]=0 | X[PB,M9,2]=0 | X[PC,M9,2]=0 | X[PD,M9,2]=39 | X[PE,M9,2]=0 | X[PF,M9,2]=0 | X[PG,M9,2]=0 | X[PH,M9,2]=79 | X[PI,M9,2]=0 |
| X[PA,M10,0]=0 | X[PB,M10,0]=0 | X[PC,M10,0]=0 | X[PD,M10,0]=0 | X[PE,M10,0]=0 | X[PF,M10,0]=0 | X[PG,M10,0]=0 | X[PH,M10,0]=0 | X[PI,M10,0]=0 |
| X[PA,M10,1]=0 | X[PB,M10,1]=0 | X[PC,M10,1]=0 | X[PD,M10,1]=0 | X[PE,M10,1]=0 | X[PF,M10,1]=7 | X[PG,M10,1]=0 | X[PH,M10,1]=0 | X[PI,M10,1]=89 |
| X[PA,M10,2]=0 | X[PB,M10,2]=0 | X[PC,M10,2]=0 | X[PD,M10,2]=0 | X[PE,M10,2]=1 | X[PF,M10,2]=1 | X[PG,M10,2]=0 | X[PH,M10,2]=0 | X[PI,M10,2]=0 |
| X[PA,M11,0]=0 | X[PB,M11,0]=0 | X[PC,M11,0]=0 | X[PD,M11,0]=0 | X[PE,M11,0]=0 | X[PF,M11,0]=0 | X[PG,M11,0]=0 | X[PH,M11,0]=0 | X[PI,M11,0]=0 |
| X[PA,M11,1]=9 | X[PB,M11,1]=0 | X[PC,M11,1]=0 | X[PD,M11,1]=0 | X[PE,M11,1]=0 | X[PF,M11,1]=0 | X[PG,M11,1]=131 | X[PH,M11,1]=0 | X[PI,M11,1]=0 |
| X[PA,M11,2]=0 | X[PB,M11,2]=0 | X[PC,M11,2]=0 | X[PD,M11,2]=0 | X[PE,M11,2]=0 | X[PF,M11,2]=132 | X[PG,M11,2]=0 | X[PH,M11,2]=0 | X[PI,M11,2]=0 |

| | | | | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| X[PA,M12,0]=0 | X[PB,M12,0]=0 | X[PC,M12,0]=0 | X[PD,M12,0]=0 | X[PE,M12,0]=0 | X[PF,M12,0]=0 | X[PG,M12,0]=0 | X[PH,M12,0]=0 | X[PI,M12,0]=0 |
| X[PA,M12,1]=0 | X[PB,M12,1]=0 | X[PC,M12,1]=0 | X[PD,M12,1]=40 | X[PE,M12,1]=0 | X[PF,M12,1]=0 | X[PG,M12,1]=0 | X[PH,M12,1]=0 | X[PI,M12,1]=83 |
| X[PA,M12,2]=0 | X[PB,M12,2]=0 | X[PC,M12,2]=0 | X[PD,M12,2]=0 | X[PE,M12,2]=0 | X[PF,M12,2]=1 | X[PG,M12,2]=0 | X[PH,M12,2]=0 | X[PI,M12,2]=0 |
| X[PA,M13,0]=0 | X[PB,M13,0]=0 | X[PC,M13,0]=0 | X[PD,M13,0]=0 | X[PE,M13,0]=0 | X[PF,M13,0]=0 | X[PG,M13,0]=2 | X[PH,M13,0]=0 | X[PI,M13,0]=0 |
| X[PA,M13,1]=1 | X[PB,M13,1]=0 | X[PC,M13,1]=0 | X[PD,M13,1]=0 | X[PE,M13,1]=0 | X[PF,M13,1]=0 | X[PG,M13,1]=0 | X[PH,M13,1]=94 | X[PI,M13,1]=0 |
| X[PA,M13,2]=0 | X[PB,M13,2]=0 | X[PC,M13,2]=0 | X[PD,M13,2]=1 | X[PE,M13,2]=0 | X[PF,M13,2]=0 | X[PG,M13,2]=0 | X[PH,M13,2]=0 | X[PI,M13,2]=0 |

