

國立交通大學
工業工程與管理學系碩士班

碩士論文

彩色濾光片內製廠之主生產排程建構機制
之設計

The Design of Master Production Scheduling Mechanism
for In-house Color Filter Plant



研究生：李偉誠

指導教授：鍾淑馨 博士

中華民國九十七年七月

彩色濾光片內製廠之主生產排程建構機制之設計
The Design of Master Production Scheduling Mechanism
for In-house Color Filter Plant

研究生：李偉誠

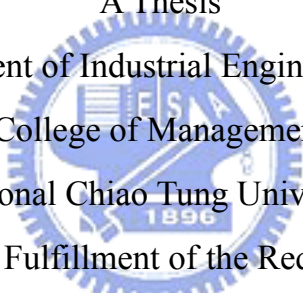
Student：Wei-Cheng Li

指導教授：鍾淑馨 博士

Advisor：Dr. Shu-Hsing Chung

國立交通大學
工業工程與管理學系
碩士論文

A Thesis
Submitted to Department of Industrial Engineering and Management
College of Management
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in
Industrial Engineering

The logo of National Chiao Tung University is a circular emblem with a gear-like border. Inside the circle, there is a stylized figure holding a torch, and the text 'NCTU' and '1896' are visible.

July 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

彩色濾光片內製廠之主生產排程建構機制之設計

研究生：李偉誠

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

彩色濾光片為薄膜電晶體液晶顯示器之關鍵零組件，近年因面板需求增加，使得 TFT-LCD 公司在成本考量之下亦開始自行設置彩色光片內製廠；彩色濾光片內製廠與協力廠間設有外包產品之種類及數量限制。為解決內製廠之排程問題，及內製與外包產品之決策問題，本文探討彩色濾光片之主生產排程規劃問題。於流程式生產特性下，考量訂單交期、順序相依之設置時間、機台產能與製程規格能力限制、光罩之數量限制、以及與協力商制定之外包條件下，提出「主生產排程建構機制」，提供管理者作為規劃之參考。

本機制應用滾動排程之概念，依各筆訂單交期為界設定規劃區間，以進行分段求解。首先考量機台產能、可用外包數量、以及光罩之數量是否足以負荷總體訂單之需求，並根據初估結果判別需求屬於淡、旺季之情境。接續針對各情境建構對應之整數規劃模式搭配產出規劃流程，以極小化自製及外包成本為目標，規劃出各產品別於各機台之生產順序、開始加工時點與生產數量、光罩配置方式、及交予外包商生產之各期產品種類與數量。

驗證結果顯示，於淡、旺季之情境下，各機台皆以最小設置時間進行排程，以充分利用機台與光罩產能，並且挑選出最適之委外加工之產品種類及數量，以符合各需求情境之限制。整體而言，本文所發展之模式可提供實務資訊予以管理者制定委外產品決策、各種物料確切備料時點之依據，並給予下層生產控制單位明確之生產排程及光罩配置方式。

關鍵詞：彩色濾光片內製廠、薄膜電晶體液晶顯示器、流程式生產、順序相依之設置時間、整數規劃、滾動排程、光罩資源

The Design of Master Production Scheduling Mechanism for In-house Color Filter Plant

Student : Wei-Cheng Li

Advisor : Dr. Shu-Hsing Chung

Department of Industrial Engineering and Management

National Chiao Tung University

Abstract

Color Filter (CF) is a critical component of TFT-LCD (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) panel. The increasing demand of panel leads to the economic scale for building an in-house CF plant in these days. For an in-house CF plant, its outsourcing firms set the constraints about product types and amount for outsourcing. To solve the in-house CF plant scheduling problem, and to determine in-house manufacturing and outsourcing amount problem, this thesis focuses on the in-house CF plant, and proposed a mechanism regarding to master production schedule (MPS). It is a flow shop scheduling problem with considerations order's due date, sequence dependent setup time, machine capacity, machine dedication, reticle resources, and outsourcing constraints contracted with suppliers.

This mechanism applies the concept of rolling horizon planning, setting the length of a planning interval by the first due day among orders so as to solve the problem part by part. We first consider the capacity of machines, outsourcing amount, and reticle resources to see if their supply can bear the aggregate demand of orders. According to the estimation, we can recognize current demanding belongs to the environment of slack season or rush season, then using the corresponding integer programming model that matched with a output planning procedure for achieving minimum manufacturing and outsourcing cost. This procedure thus generates the production sequence on each machine, releasing time and the production amount for each product type, the schedule of each reticle, and the the product types and amount for outsourcing.

Experimental studies reveal that each machine was scheduled with minimum setup time to make full use of capacity and reticles in both rush and slack seasons. Besides, this mechanism considers the demand season to select the most suitable product type and amount for outsourcing. Consequently, the mechanism proposed in this thesis can provide practical information for manager to make outsourcing decision, for determining exact arrival time of each kind of material, and for detail production and reticle scheduling to shop floor control.

Keywords: In-house Color Filter plant, TFT-LCD, Flow shop, Sequence dependent setup time, Integer programming, Rolling horizon planning, Reticle resource



誌謝

「恭喜畢業！」，口試委員帶著笑容對我說著，握住的手為這一切增添些真實感；回到 MB519 坐了下來，在混亂的思緒沉澱後，才意識到...我真的完成口試了！意謂著一年的辛苦終於到此告一段落，也為求學生涯劃下休止符。

730 天的碩士生活，17520 小時的青春日誌，曾幾何時...我在南寮的沙灘奔跑嬉鬧、在阿里山看著微弱的日出、在壘球場做個揮灑汗水的陽光男孩、在電腦前為中華隊吶喊、在管二某間教室參加無厘頭的型男比賽、在貢寮海邊伴隨著音樂細數天上的星星、在蘭嶼海裡讚嘆大自然的奧妙、也曾在 Word 文字海中思索著字串的排列組合，陪伴我渡過這些時光的，是研究室的學長姐、同學及學弟妹、同年級的同儕、同屋簷下的好室友們、以及我的家人及鍾老師。因為你們...讓我的碩士生活充滿了歡笑與汗水。

你們都是我的貴人、損友、戰友，在各方面都影響我甚多，在此不免俗套的感謝大家。謝謝(有省道極速傳說的)威良學長提供這題目，並不厭其煩地指導我，適時地指引正確的方向，希望學長能適時放鬆身心，過度工作及研究可是會累壞身體的；至於大師兄平哥(不能幫學長抓電影了，真可惜啊!)，從升碩一的暑假就在友達接受您的照顧，您說的字字句句我可都銘記在心，也帶給我們清新、健康、專業的工工壘球隊，希望平哥能早日發紅色炸彈給我們，再忙都會搭高鐵過去參加；感謝東錡學長(他特別交代一定要把他放入誌謝)講解滾動、凍結排程、以及數學模式之設計，沒有你本論文難以如期完成，希望東哥能在愛情及事業兩得意；感謝于婷學姐、俊穎學長於研究及日常上的照顧與幫助、元銘學長及愉翔學長(別再染指無辜女性了)適時的挖苦我、以及蕙純學姐、孟儒學長、Bo 姐、好人耀陞學長平日的關心，還有與碩一學弟妹—阿派、凱欣、耗子、金佩佩的相處，有了你們的陪伴...是我來交大的福氣。

至於研究室同袍們。給朱阿苗：雖然你是平日最愛挖苦我的人，但我一點都不會放在心上，絕對不會到處跟別人說你工數三修、以及做系統安全助教只負責關門(當老師點名點到他時，還說不要把助教吵醒，他可能昨天晚上很累)等事蹟，希望你桃花運能持續長長久久，別在研究所前就用光了！給蝦公子 Poe：要留意電視上播放越南情緣的資訊，有尬意耶就快打

電話過去吧！如果我們倆喜歡上同一個，我會讓給你這好哥們的。希望下次聽到你的消息，就是你交了人生中第二個女朋友(別再說跟第一任女友牽手及互踩腳的事蹟了)！給高額頭迪喬：雖然你人生已經了無遺憾，但髮事問題還是要注意一下，改天跟 Poe 還有我一起去史雲遜吧(看三人有沒有團報價)！希望你日後變成大老闆時，記得給小弟我一個機會。給愛跳肚皮舞的小潔：在邊跳舞邊想論文之際，別忘了管好你們家的待線課長，不然待線小妹個個年輕貌美，只要是男人都難以招架！希望你近期發紅色炸彈時，別忘了我們這些同窗損友！給流星 Boy 盧宅昇：自從你留下「流星的定義：也許是...想要“留住你的心”吧？」的經典名言，你在我們心目中的地位，已經不可同日而語！感謝你從寫論文(1%)、看八卦版(49%)、說秉爺壞話(50%)中抽空出來，適時的陪我打電動擔誤我研究進度，沒有你的陪伴，我想我能早六個月畢業吧！

感謝金城二路的好室友們—最愛客家人的黃金單身漢阿暉、腳骨很軟 Q 的大頭阿舍、身材苗條？的賢妻良母 Ming、以及科技新貴宅男學長，一起醉過、一起買菜煮飯、一起衝浪、一起看星光大道，每當我在拖著疲憊身心從 Lab 回家，看到你們開心的模樣、聽到你們逗趣的垃圾話，總是讓我一掃疲勞及憂慮，開心的出門面對每天的挑戰。並謝謝我在台南的家人—嘮叨的老爸、體貼的老媽、快樂夫妻檔姐夫與老姐、以及可愛的型男外甥銓銓，每當我回到台南，總是能吃到滿桌的飯菜、感受到滿滿的溫暖，讓我無後顧之憂在新竹打拼！最後感謝我的指導老師—鍾老師，逐字逐句的修正文句與邏輯、反覆挑戰方法論及核心概念、不厭其煩地指導論文方向，讓我從第一章的跌跌撞撞到口試時的滿滿信心，一切背後的推手都是出自於老師。所謂一本好論文的產生，背後總有嚴格的指導老師，少了老師您的指導，這本論文就少了專業、堅持、以及完整性，感謝老師兩年在日常生活及學術上的照顧與歷練，讓大家渡過了愜意且充實的碩士生活。希望老師在繁忙的學術研究中多抽空運動，健康的身體才是最重要的。

轉眼瞬間...兩年的時光過去了！新竹的強風依舊，但前往下一站的我們已不再是剛進碩一的小毛頭。不管未來的我以什麼姿態生活著，都不會忘記在交大的每一刻、每個人；帶著兩年的回憶與收穫，展開新的旅程！

偉誠 於交大 2008/8/31

目錄

| | |
|-------------------------|------|
| 摘要..... | I |
| ABSTRACT..... | II |
| 誌謝..... | IV |
| 目錄..... | VI |
| 圖目錄..... | VII |
| 表目錄..... | VIII |
| 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..... | 6 |
| 1.3、研究範圍與限制..... | 6 |
| 1.4、研究方法與流程..... | 8 |
| 第二章、文獻回顧..... | 10 |
| 2.1、彩色濾光片製程介紹..... | 10 |
| 2.2、彩色濾光片生產規劃問題..... | 12 |
| 2.3、順序相依的整備時間相關文獻..... | 15 |
| 2.4、考量附屬資源之相關研究..... | 18 |
| 2.5、滾動排程之相關文獻..... | 24 |
| 第三章、模式建構..... | 26 |
| 3.1、問題描述與假設..... | 26 |
| 3.2、系統分析與架構..... | 30 |
| 3.2.1、整體系統架構..... | 30 |
| 3.2.2、解題之設計理念..... | 33 |
| 3.3、產能初估模組..... | 48 |
| 3.3.1、瓶頸工作站產能推估機制..... | 49 |
| 3.3.2、光罩個數推估機制..... | 54 |
| 3.4、主生產排程規劃模組..... | 56 |
| 第四章、實例驗證..... | 80 |
| 4.1、系統環境說明..... | 80 |
| 4.1.1、生產環境資料..... | 80 |
| 4.1.2、生產規劃假設..... | 84 |
| 4.2、產能初估模組之執行過程..... | 84 |
| 4.2.1、瓶頸工作站產能推估機制..... | 84 |
| 4.2.2、光罩個數推估機制..... | 88 |
| 4.3、主生產排程規劃模組之執行過程..... | 91 |
| 4.4、成效分析..... | 122 |
| 第五章、結論與未來研究方向..... | 127 |
| 5.1、結論..... | 127 |
| 5.2、未來研究方向..... | 128 |
| 附錄..... | 133 |

圖目錄

| | |
|---|-----|
| 圖 1-1 TFT-LCD Y 型上下游生產模式[36] | 1 |
| 圖 1-2 2004-2009 年全球彩色濾光片產值[34] | 3 |
| 圖 1-3 面板廠之彩色濾光片內製、外包比例(修改自[12]) | 4 |
| 圖 1-4 本文研究範圍 | 7 |
| 圖 1-5 研究步驟及流程 | 9 |
| 圖 2-1 彩色濾光片製造流程圖[21] | 10 |
| 圖 2-2 TFT-LCD I 型及 Y 型上下游生產模式[29] | 12 |
| 圖 3-1 彩色濾光片之淡、旺季產能規劃 | 27 |
| 圖 3-2 多規格 CF 換線種類說明[22] | 28 |
| 圖 3-3 整體架構流程圖 | 32 |
| 圖 3-4 外包數量限制式說明圖(依交期間的時間差距分配) | 37 |
| 圖 3-5 外包數量限制式說明圖(依各期之需求數量分配) | 38 |
| 圖 3-6 自製、外包及未排入產品之規劃順序-1 | 39 |
| 圖 3-7 自製、外包及未排入產品之規劃順序-2 | 39 |
| 圖 3-8 機台產能與交期關係圖 | 40 |
| 圖 3-9 「變動規劃週期」與「滾動排程」概念說明 | 41 |
| 圖 3-10 外包縮減範圍說明圖 | 44 |
| 圖 3-11 規劃範圍示意圖 | 45 |
| 圖 3-12 備料完成時間相同，訂單交期不同之情境-1 | 46 |
| 圖 3-13 備料完成時間相同，訂單交期不同之情境-2 | 46 |
| 圖 3-14 備料完成時間不同，訂單交期相同之情境 | 47 |
| 圖 3-15 備料完成時間不同，訂單交期不同之情境 | 47 |
| 圖 3-16 產能初估模組流程圖 | 48 |
| 圖 3-17 瓶頸工作站產能推估機制流程圖 | 49 |
| 圖 3-18 光罩個數推估機制流程圖 | 54 |
| 圖 3-19 主生產排程規劃模組流程圖 | 57 |
| 圖 3-20 規劃範圍訂定機制流程圖 | 60 |
| 圖 3-21 暫存條件二示意圖 | 72 |
| 圖 3-22 暫存條件三示意圖 | 73 |
| 圖 3-23 暫存條件四示意圖 | 73 |
| 圖 4-1 求解範圍($T_{MIN}=1, T_{MAX}=1$)結果之甘特圖 | 95 |
| 圖 4-2 求解範圍($T_{MIN}=2, T_{MAX}=2$)結果之甘特圖 | 98 |
| 圖 4-3 求解範圍($t_{MIN}=3, t_{MAX}=3$)結果之甘特圖 | 100 |
| 圖 4-4 求解範圍($t_{MIN}=3, t_{MAX}=3$)結果之甘特圖(加入外包種類縮減) | 103 |
| 圖 4-5 求解範圍($T_{MIN}=4, T_{MAX}=4$)結果之甘特圖 | 106 |
| 圖 4-6 規劃幅度 28 天之規劃結果(Case1~5) | 108 |
| 圖 4-7 規劃幅度 28 天之規劃結果(Case6) | 111 |
| 圖 4-8 淡季情境：對 $L=1$ 求解範圍($T_{MIN}=1, T_{MAX}=1$)結果之甘特圖 | 115 |
| 圖 4-9 淡季情境：對 $L=2$ 求解範圍($t_{MIN}=1, t_{MAX}=1$)結果之甘特圖 | 118 |
| 圖 4-10 淡季情境：規劃幅度 28 天之規劃結果 | 121 |

表目錄

| | |
|--|-----|
| 表 1-1 TFT-LCD 製程四大類別比較[本文整理] | 2 |
| 表 1-2 內製與外售型彩色濾光片廠商[本文整理] | 3 |
| 表 1-3 小尺寸及中大尺寸產品說明[本文整理] | 5 |
| 表 2-1 CF 相關文獻整理表[22] | 14 |
| 表 2-2 整備時間文獻整理[22] | 17 |
| 表 2-3 考量副資源限制之排程文獻[22] | 23 |
| 表 3-1 換線種類對應產品種類表 | 35 |
| 表 3-2 換線時間示意表 | 35 |
| 表 3-3 光罩、機台及可加工產品種類關係表 | 67 |
| 表 3-4 四暫存條件之 F_{NEW} 期數更新方法 | 74 |
| 表 4-1 各產品別之規格、加工時間及成本對應表 | 81 |
| 表 4-2 換線時間說明 | 81 |
| 表 4-3 產品別換線時間表(單位：分鐘) | 82 |
| 表 4-4 光罩與可搭載機台之關係表 | 83 |
| 表 4-5 各機台相關資訊 | 83 |
| 表 4-6 訂單資訊 | 83 |
| 表 4-7 求算閒置產能天數及各期換線估算值 | 85 |
| 表 4-8 瓶頸產能初估模式執行結果 | 87 |
| 表 4-9 產品別規劃幅度內之自製總數量及加工時間總和 | 88 |
| 表 4-10 各種類光罩 A 最少需求數量估算結果 | 90 |
| 表 4-11 相關參數之求算結果 | 92 |
| 表 4-12 STEP1-8 判別結果 | 93 |
| 表 4-13 規劃範圍相關資訊 | 93 |
| 表 4-14 求解範圍($T_{MIN}=1, T_{MAX}=1$)之訂單資訊 | 94 |
| 表 4-15 求解範圍($T_{MIN}=1, T_{MAX}=1$)之規劃結果(附錄 A-1) | 94 |
| 表 4-16 計算暫存期數 $F_{NEW}=1$ 之過程 | 96 |
| 表 4-17 求解範圍($T_{MIN}=2, T_{MAX}=2$)之訂單資訊 | 97 |
| 表 4-18 求解範圍($T_{MIN}=2, T_{MAX}=2$)之規劃結果(附錄 A-2) | 97 |
| 表 4-19 求解範圍($T_{MIN}=3, T_{MAX}=3$)之訂單資訊 | 99 |
| 表 4-20 求解範圍($T_{MIN}=3, T_{MAX}=3$)之規劃結果(附錄 A-3) | 99 |
| 表 4-21 求解範圍($T_{MIN}=3, T_{MAX}=3$)之外包種類縮減規劃結果(附錄 A-4) | 102 |
| 表 4-22 求解範圍($T_{MIN}=4, T_{MAX}=4$)之訂單資訊 | 104 |
| 表 4-23 求解範圍($T_{MIN}=4, T_{MAX}=4$)之規劃結果(附錄 A-5) | 104 |
| 表 4-24 求解範圍($T_{MIN}=4, T_{MAX}=4$)之訂單資訊(扣除未滿足數量) | 105 |
| 表 4-25 求解範圍($T_{MIN}=4, T_{MAX}=4$)之規劃結果(附錄 A-6) | 105 |
| 表 4-26 求解範圍($T_{MIN}=5, T_{MAX}=5$)之訂單資訊 | 106 |
| 表 4-27 求解範圍($T_{MIN}=5, T_{MAX}=5$)之規劃結果(附錄 A-7) | 107 |
| 表 4-28 CASE4 訂單資訊(各筆訂單皆於期初備料完成) | 109 |
| 表 4-29 CASE4 相關參數之求算結果 | 109 |
| 表 4-30 備料時點為 0，求解範圍($T_{MIN}=1, T_{MAX}=5$)之規劃結果(附錄 A-8 及 A-9) | 110 |
| 表 4-31 淡季情境之訂單資訊 | 112 |
| 表 4-32 求算各期換線估算值 | 112 |
| 表 4-33 相關參數之求算結果 | 113 |
| 表 4-34 規劃範圍相關資訊 | 114 |

| | |
|--|-----|
| 表 4-35 淡季情境：對 $L=1$ 求解範圍($T_{MIN}=1, T_{MAX}=1$)之訂單資訊 | 114 |
| 表 4-36 淡季情境：對 $L=1$ 求解範圍($T_{MIN}=1, T_{MAX}=1$)之規劃結果(附錄 A-10) | 115 |
| 表 4-37 淡季情境：對 $L=2$ 求解範圍($T_{MIN}=1, T_{MAX}=1$)之訂單資訊 | 117 |
| 表 4-38 淡季情境：對 $L=2$ 求解範圍($T_{MIN}=1, T_{MAX}=1$)之規劃結果(附錄 A-11)..... | 117 |
| 表 4-39 淡季情境：對 $L=3$ 及 4 求解範圍($T_{MIN}=2, T_{MAX}=3$)之訂單資訊 | 120 |
| 表 4-40 淡季情境：對 $L=3$ 及 4 求解範圍($T_{MIN}=2, T_{MAX}=3$)之規劃結果(附錄 A-12) | 120 |
| 表 4-41 規劃範圍(3,3)之求解過程指標 | 123 |
| 表 4-42 各機台於各規劃週期之光罩配置表 | 124 |
| 表 4-43 各機台於各規劃週期之總換線時間(秒)..... | 124 |
| 表 4-44 產品 A 之備料完成時間..... | 125 |
| 表 4-45 各筆訂單外包成本佔總成本之百分比..... | 126 |



符號一覽表

解題設計理念符號說明：

◆ 符號下標

- a : 產品之光罩種類， $a=1,2,\dots,A$ 。
- i : 產品種類編號， $i=0,1,2,\dots,I$ 。
 $i=0$ 表該機台目前並無任何產品裝載於上。
- l : 訂單編號， $l=1,2,\dots,L$
- m : 瓶頸工作站 RGB 之機台別， $m=1, 2, \dots, M$ 。
- p : 規劃範圍之序號， $p=1,2,\dots,P$ 。
- t : 變動規期週期之期數， $t=0, 1, 2, \dots, T$ 。

◆ 集合

- D_t : 交期隸屬 due_t 之訂單編號集合。

◆ 參數

- c_t : 「第 t 期之交期」與「極大化 $ready_t$ 及第 $t-1$ 期之交期」之時間差距(天)。
- $cap_{m,t}$: 機台 m 在第 t 個規劃週期內之可用產能(扣除當機、維護、實驗比例之後)(秒)。
- co_i : 委外製造產品種類 i 所需之單位成本(元)。
- $com_{m,t}$: 機台 m 於規劃週期 t 的完工時間(天)。
- cx_i : 自製產品種類 i 所需之單位成本(元)。
- cz_i : 未排入產品種類 i 所懲罰之單位成本(元)。
- $d_{i,l}$: 產品種類 i 在訂單編號 l 內之目標需求量(片)。
- dt_m : 機台 m 的當機比率。
- due_t : 第 t 個規劃週期截止之時間(天)。
- eg_m : 機台 m 執行工程實驗耗用產能的比率。
- f_{OLD} : 前次求解範圍中滿足暫存條件之最大期數(期)。
- f_{NEW} : 本次求解範圍中滿足暫存條件之最大期數(期)。
- $idle_t$: 第 $t-1$ 期與第 t 期之間之產能閒置時間(天)
- o_{diff}^{lower} : 各期至少須配置外包數量之總和與整個規劃幅度所訂定外包合約下限之差距(片)。

- O_{diff}^{upper} : 各期至多可配置外包數量之總和與整個規劃幅度所訂定外包合約上限之差距(片)。
 O_{lower} : 外包商依合約承包的產品數量下限(片)。
 $O_{lower(l)}$: 訂單編號 l 至少須提供外包商之外包數量下限(片)。
 O_{upper} : 外包商依合約承包的產品數量上限(片)。
 $O_{upper(t)}$: 外包商在規劃週期 t 內至多能提供之外包數量上限(片)。
 pm_m : 機台 m 之維修保養時間比率。
 pt_i : 產品別 i 於各機台的單位加工時間(秒)。
 r_l : 訂單編號 l 之備料完成時間(天)。
 $ready_t$: 所有交期為 due 之訂單中，最早備料完成時間(天)
 $reticle_a$: 第 a 種光罩之需求個數(個)。
 s_t : 交期 due_t 與 due_{t-1} 間之時間差距(天)。
 t_{MIN} : 求解範圍內之最小期數(期)。
 t_{MIN}^p : 第 p 個規劃範圍內之最小期數(期)。
 t_{MAX} : 求解範圍內之最大期數($t_{MAX} \geq t_{MIN}$) (期)。
 t_{MAX}^p : 第 p 個規劃範圍之最大期數(期)。

◆ 決策變數

- $O_{i,t}$: 產品種類 i 於第 t 期外包之數量(片)。
 $X_{i,m,t}$: 於第 t 期內，產品別 i 在機台 m 上的加工數量(片)。
 $Z_{i,t}$: 於第 t 期內，產品種類 i 未能滿足需求之數量(片)。
 $\beta_{i,i',m,t}$: 0-1 變數，表示跨期時是否由生產產品 i 轉為生產產品 i' ，第 $t-1$ 期期末及第 t 期期初於機台 m 上產品間的加工順序關係。若產品 i' 接續於產品 i 之後加工則為 1，若無此順序關係為 0。
 $\gamma_{i,i',m,t}$: 0-1 變數，表示第 t 期內之換線情況，於機台 m 上產品間的加工順序關係，若為產品 i' 接續於產品 i 之後加工則為 1，若無此順序關係為 0。

瓶頸工作站產能推估機制之符號說明：

◆ 集合

- I_t : 訂單交期為 due_t 之所有產品別集合。
 I_t^{begin} : 包含產品別 0 並隸屬於規劃週期 t 之所有產品別集合。

◆ 參數

- c_{EST} : 表執行瓶頸產能初估模式後，外包累積數量之狀態，若大於外包合約下限則為 1，反之則為 2。
- $cab_{i,m}$: 二元參數。表製程規格能力，當產品種類 i 可在機台 m 進行加工時為 1，反之為 0。
- cap_m : 機台 m 在規劃幅度內之可用產能(扣除當機、維護、實驗之後)(秒)。
- d_i : 產品種類 i 在規劃幅度內之目標需求量(片)。
- h : 排程之規劃幅度(天)。
- $mtbf_m$: 機台 m 之平均失效間隔時間(mean time between failure) (hr.)。
- $mttr_m$: 機台 m 之平均修復時間(mean time to repair) (hr.)。
- $mtbpm_m$: 機台 m 之平均維修間隔時間(mean time between PM) (hr.)。
- $mttprm_m$: 機台 m 之平均維修時間(mean time to PM) (hr.)。
- pt_i : 產品別 i 於各機台的單位加工時間(秒)。
- $setup_t$: 規劃週期 t 之換線時間總和初估。
- \overline{st}_{begin} : 期初($t=1$)之單次換線所需的平均時間(秒)。
- \overline{st}_t : 各期之單次換線所需的平均時間(秒)。($t=2,3,\dots, T$)
- u : 機台的利用率上限。

◆ 決策變數

- O_i : 規劃幅度內，產品種類 i 委外加工之數量(片)。
- $X_{i,m}$: 規劃幅度內，產品別 i 在機台 m 上的加工數量(片)。
- Z_i : 規劃幅度內，產品種類 i 未能滿足需求之數量(片)。

光罩個數推估機制符號說明：

◆ 集合

- M_a : 可搭載光罩 a 之機台集合。

◆ 參數

- cap_i^{demand} : 於「瓶頸工作站產能推估機制」求解後，規劃幅度下產品 i 之產能需求加工時間總和(秒)。
- $rcap_a^{demand}$: 於「瓶頸工作站產能推估機制」求解後，在規劃幅度下，隸屬光罩種類 a 之所有產品 i 之產能需求加工時間加總(秒)。

est_i : 於「瓶頸工作站產能推估機制」求解後，於所有機台加工之產品 i 數量總合(片)。

rt_i : 產品 i 所用之光罩種類。

主生產排程規劃模組符號說明：

◆ 集合

L_i : R_i 與 O_i 交集之補集合，即為未規劃之訂單編號集合。

O_i : 訂單交期於 due_i (含)以後之所有待規劃訂單集合。

R_i : 備料完成時間於 $ready_i$ (含)以前之所有待規劃訂單集合。

T_p : 第 p 個規劃範圍中，所包含之規劃週期之集合。。

◆ 參數

c_{MPS} : 暫存解中的外包數量總和大於外包合約下限， c_{MPS} 即為 1；然而，當求解至最後一期 T ，暫存解中的外包數量總和小於等於外包合約下限， c_{MPS} 即為 2。

$com_{m,t}$: 機台 m 於第 1 期至第 t 期累積之完工時間(天)。

$com_{m,t}^{result}$: 機台 m 於第 t 期之規劃結果完工時間(秒)，已扣除當機、維護及實驗之比例。

$demand_t$: 第 t 期之訂單需求加工時間(含蓋加工及換線時間)(秒)。

$ltemp_{m,l}$: 訂單編號 l 於機台 m 之列入暫存解產能。

n : 作為檢視他期與第 t_{MIN} 期備料完成時間之用， $n=1$ 表 $t_{MIN}+1$ 之期數，以此類推。

$O_{i,t}^{temp}$: 於第 t 期中，已列入暫存解之產品別 i 委外生產數量(片)。

Q : 極大之數值(Positive number)。

$ready_t^{MIN}$: 交期大於 due_i 的所有訂單之備料完成時間最小值(天)。

s : 0-1 參數，若求解過程中已執行過「外包種類縮減機制」，即為 1；反之則為 0。

$temp_{m,t}$: 機台 m 於規劃週期 t 已列入暫存解之產能(秒)。

$X_{i,m,t}^{temp}$: 於第 t 期之機台 m 中，已列入暫存解之產品別 i 生產數量(片)。

◆ 決策變數

$BG_{i,m,t}$: 0-1 變數，於第 t 期的期初，機台 m 上是否排定加工產品別 i ，若是為 1，反之為 0。

$FG_{i,m,t}$: 0-1 變數，於第 t 期的期末，機台 m 上是否排定加工產品別 i ，若是為 1，反之為 0。

$\alpha_{i,m,t}$: 0-1 變數，在第 t 期內，若光罩配置於機台 m 使得產品種類 i 可進行加工時為 1，反之為 0。

$\delta_{a,m,t}$: 0-1 變數，在第 t 期內，若光罩 a 配置於機台 m 時為 1，反之為 0。

$\omega_{i,m,t}$: 0-1 變數，在第 t 期內，若產品 i 於機台 m 上生產時為 1，反之為 0。

外包種類及數量限制符號說明：

◆ 參數

O_{number} : 當累計之外包數量超出外包下限時，爾後若須外包，每種產品之外包數量不得小於此數值。

O_{type} : 當累計之外包數量超出外包下限時，爾後各期之外包種類總和不得超出此數值。

◆ 決策變數

$OY_{i,t}$: 0-1 變數，若產品 i 於第 t_{MIN} 期至第 t_{MAX} 之間具備外包數量 ($\sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} Y_{i,t} > 0$) 為 1，反之為 0。

$Y_{i,t}$: 0-1 變數，若產品 i 於第 t 期具備外包數量 ($O_{i,t} > 0$) 時為 1，反之為 0。

第一章、緒論

1.1、研究背景與動機

薄膜電晶體液晶顯示器(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display, TFT-LCD)的產業製程可分成四大類別(陣列、彩色濾光片、組立及模組組立)，前段生產薄膜電晶(TFT)的陣列(Array)製程以及彩色濾光片(Color Filter；CF)製程，再以中段的組立(Cell)製程完成液晶顯示器面板，最後由模組組立(Module)將 LCD 面板與其它零組件(偏光板、驅動 IC、背光模組等)組合成成品(圖 1-1)。

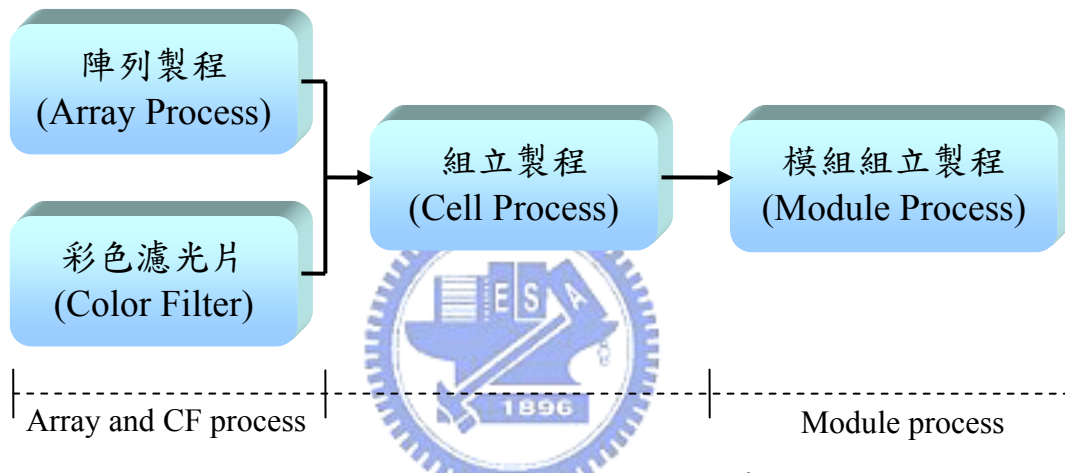


圖 1-1 TFT-LCD Y 型上下游生產模式[36]

在 TFT-LCD 進行生產規劃時，以陣列及組立為主要規劃對象，而 CF 被視為組立製程的關鍵來料。由於陣列、組立、彩色濾光片以及模組組立製程四者的生產形態、製程特性及規劃目標不同(如表 1-1)，因此產生了相當複雜的生產排程規劃問題。其中，CF 排程問題之相關文獻([30][31][32][35])相對少於陣列及組立製程，因此本文將針對 CF 製程的生產規劃問題進行探討。

表 1-1 TFT-LCD 製程四大類別比較[本文整理]

| | Array (陣列製程) | CF (彩色濾光片) | Cell (組立製程) | Module (模組組立製程) |
|------|---|--|--|---|
| 生產型態 | <ul style="list-style-type: none"> ● 產能導向 ● 存貨型生產 | <ul style="list-style-type: none"> ● 產能導向 ● 存貨型生產(中、大尺寸) ● 訂單型生產(小尺寸) | <ul style="list-style-type: none"> ● 產能導向(需兼顧物料) ● 存貨型生產 | <ul style="list-style-type: none"> ● 物料導向 ● 訂單型生產 |
| 製程特性 | <ul style="list-style-type: none"> ● 回流生產(5~7次) ● 具有共用機台特性 | <ul style="list-style-type: none"> ● 更換不同光罩、光阻液及玻璃尺寸會產生設置時間 ● 流程式生產(皆為序列機台) | <ul style="list-style-type: none"> ● 不同工作站批量大小不一 ● TFT及CF需同步進行貼合 | <ul style="list-style-type: none"> ● 滿足顧客不同原物料需求 |
| 目標 | <ul style="list-style-type: none"> ● 最大化機台利用率 ● WIP Balance | <ul style="list-style-type: none"> ● 減少換線次數(集批生產) | <ul style="list-style-type: none"> ● 最大化機台利用率 | <ul style="list-style-type: none"> ● 滿足出貨計量 |

由上述的 TFT-LCD 製程說明中，得知彩色濾光片和薄膜電晶呈現一比一的搭配關連。換言之，CF 產線設置與產能規劃都和陣列製程之生產有著高度的連動性，為了達到同步之目的，一個好的主生產排程規劃結果是必要的。此外，CF 為 TFT-LCD 五大關鍵零組件(玻璃基板、彩色濾光片、偏光板、驅動 IC、背光模組)之一，其材料成本約佔整塊面板的兩成左右(僅次於背光模組之成本)，再加上產線投資成本高昂，故 CF 在 TFT-LCD 供應鏈中扮演舉足輕重角色，如何規劃其排程將成為不斷料的重點。

彩色濾光片可藉由液晶旋轉的透光轉換特性，讓背光模組的光線能由特定的 R、G、B(紅、綠、藍，簡稱 RGB)三原色區域透出，使得最終產品的顯示器面板能呈現我們希望的顏色。由 ITIS 產業觀察報導[34]中指出，2005 年全球彩色濾光片市場規模為 7,297 百萬美元(圖 1-2)較 2004 年的 5,700 百萬美元成長了 28%，主要成長力道來自於大型 TFT-LCD 面板的需求。2005 年第三季 TV 專用 TFT-LCD 面板的產量逐漸擴大，因而直接帶動 TV 專用彩色濾光片的需求，預計未來全球彩色濾光片產值將以年複合成長率 12.37%(2005~2009 年)持續成長。

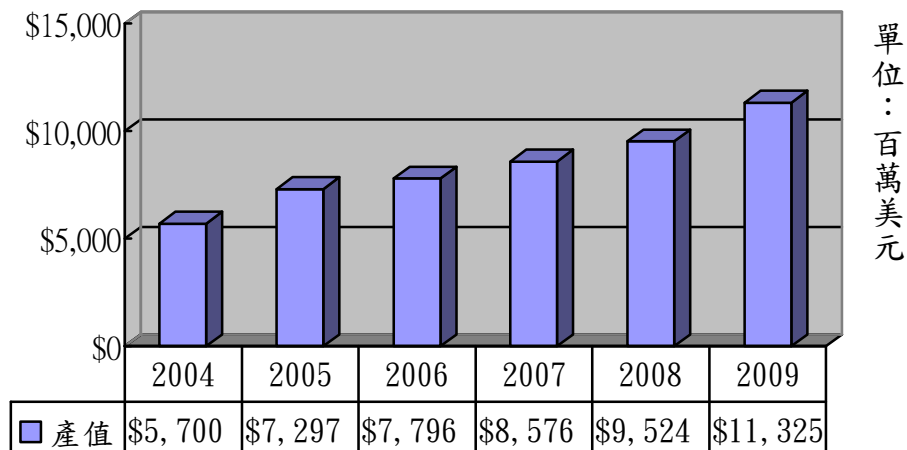


圖 1-2 2004-2009 年全球彩色濾光片產值[34]

彩色濾光片廠依銷售模式，可分為垂直整合內製廠(簡稱 CF 內製廠)與專業外售廠(簡稱 CF 專業廠)兩大類(如表 1-2)。早期 TFT-LCD 與 CF 由於專業分工而分屬不同產業，近年因為 TFT-LCD 需求增加，使得自製 CF 開始具經濟規模，因此 TFT-LCD 公司在成本考量之下亦開始自行設置 CF 生產線，以供應公司內部的需求。現今全世界前七大主要 TFT-LCD 廠商的 CF 自製率約在七成左右，不足部分再向 CF 專業廠購買；因此在自製率高比例成長趨勢之下，本文選定 CF 內製廠做為研究的探討對象。

表 1-2 內製與外售型彩色濾光片廠商[本文整理]

| 型態 | 內容 | 廠商 |
|-------|-------|---|
| 彩色濾光片 | 內製型 | 自給自足型，生產之產品提供給自家使用，不對外銷售，僅在產能不足部分再向外售型 CF 廠訂製。 國內：統寶、群創、瀚宇彩晶、華映、奇美電子、友達 國外：Sharp、Toshiba、Hitachi、Torisan、LG Philips、Samsung |
| | 專業外售型 | 獨立的 CF 製造廠，生產之產品主要外售給面板廠使用。 國內：和鑫光電、展茂光電、達虹科技、台灣凸版(已於 2006 年被友達併購) 國外：凸版印刷(Toppan)、大日本印刷(DNP)、東麗、STI(住友轉投資)、ACTI(三菱及旭硝子合資) |

目前在 5 代線¹以上的彩色濾光片，多數廠商的內製比例幾乎都超過六成。從圖 1-3 中得知，內製比例最高者分屬台灣、韓國之面板廠，而奇美電子(CMO)及 LG Philips(LPL)都有 90%以上的 CF 自製率。此外，為了因應淡、旺季的需求變動，除了部份數量自行生產之外，其餘需求則以外包彈性滿足，因此自製及外包具有一定的數量關係。由圖中可看出依據各家公司自身的產能水準，不足產能再以外購做彈性的調整。在部份內製、部份外包之策略下，彩色濾光片內製廠會產生自製及外包數量、種類的決策問題。

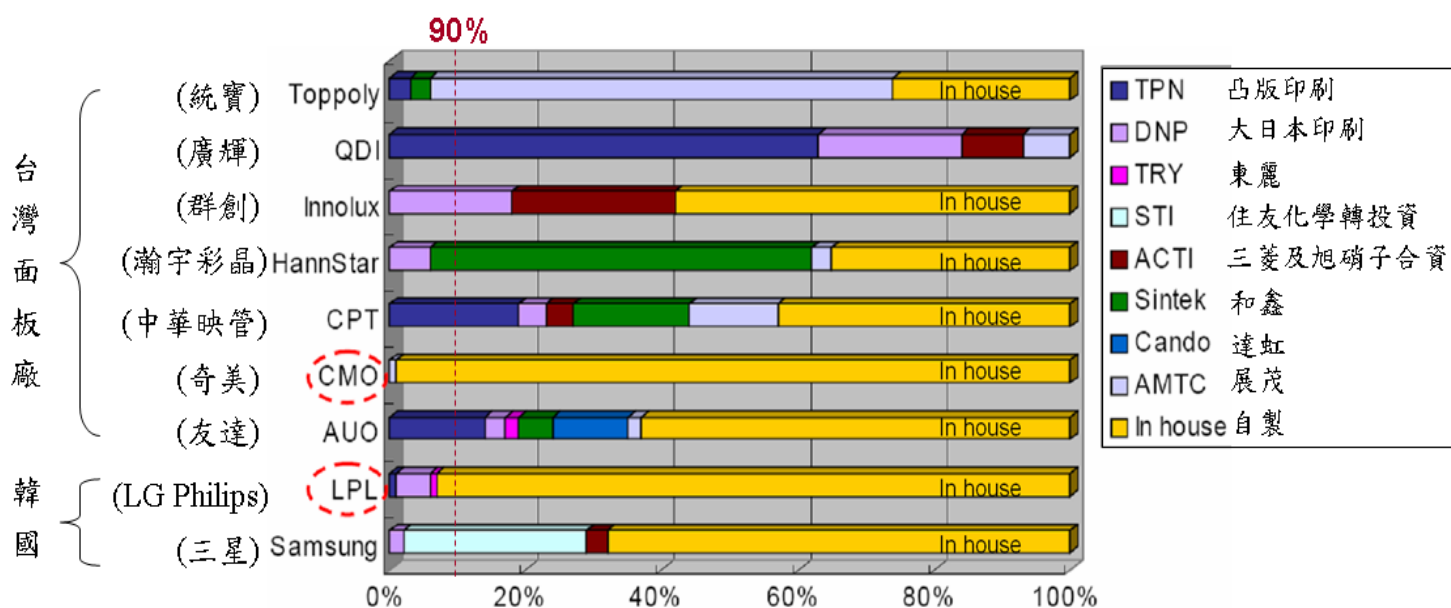


圖 1-3 面板廠之彩色濾光片內製、外包比例(修改自[12])

面板尺寸的大小反應出不同的產品特性，生產所需的世代技術也不同(表 1-3)。由於早期 TFT-LCD 小尺寸面板之需求量不具經濟規模量，因此對應之彩色濾光片之需求以跟 CF 專業廠購買為主。近年來隨著消費市場的需求增加，TFT-LCD 各世代廠的產能亦不斷進行擴充，因此在降低成本的考量之下，開始自行設置 CF 生產線或透過併購的方式，以取得小尺寸廠所需要的產能。由於今日 CF 廠須同時供應不同小尺寸世代廠之需求，因此內製廠生產線亦設計成具備可生產數個玻璃尺寸規格的能力。反觀中大尺寸之產品種類(尺寸及規格)較少，單一種產品之需求量也較多，使得中大尺寸 CF 廠的生產規劃難度也較小尺寸 CF 廠來的簡單，因此本文選定小尺寸為研究對象。

¹ 不同世代廠以玻璃尺寸大小作區分，5 代廠的玻璃尺寸為 1100mmx1300mm。

表 1-3 小尺寸及中大尺寸產品說明[本文整理]

| 尺寸 | 主要生產世代 | 產品用途 | 生產型態 | 產品特性 |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|-------|----------------------|
| 小尺寸 (指對角線尺寸10吋以下) | G 4.5 以下 (玻璃規格：730mm*920mm) | 手持式消費性電子 產品 | 訂單型生產 | ● 生命週期短 ● 需求少量多樣 |
| 中大尺寸 (10 吋以上) | G 5 以上 (玻璃規格：1100mm*1300mm) | ● 中尺寸：PC、NB ● 大尺寸：TV | 存貨型生產 | ● 生命週期較長 ● 需求多量少樣 |

CF 本身製程雖為流程式生產方式，但其中小尺寸面板少量多樣的產品特性，卻引發 CF 廠複雜的換線問題。於製程中，玻璃尺寸、光罩、光阻液的不同皆會造成額外的換線時間，構成一複雜的多規格換線順序相依問題；再者，小尺寸面板為訂單型生產，多樣的產品種類造成對應之需求數量較小，細小的需求遍佈於各個交期之中。面對複雜且多規格的訂單如果規劃不佳，將會造成大量的換線損失。除此之外，若機台設備足夠，卻無相對應之光罩可供加工，則浪費了瓶頸機台產能，因此光罩與機台的配置亦為重要之排程課題。而 CF 本身製程特性為流程式生產，如何安排其排程來減少換線時間，視為本研究的目標。

依上述背景說明中得知，在小尺寸面板的彩色濾光片內製廠會有下列之問題：(1)自製、外包的數量及種類決策問題、(2)多規格的換線順序相依問題、(3)附屬資源(光罩)與機台配置問題，以上這些課題皆為實務上排程之困難點，並且在 CF 相關文獻中尚未有研究探討過；有鑑於此，誘發吾人做此研究主題之動機。

1.2、研究目的

基於上述背景與動機，本文目的為協助彩色濾光片廠，在面對少量多樣的產品訂單時，如何在多規格的換線時間下，建構出一完善之主生產排程。以極小化各種產品之生產成本，決定自製及外包之產品種類及數量，有效解決 CF 廠生產規劃與排程問題。若排程結果無法滿足產出需求，須回饋上層接單規劃人員，以回覆顧客無法滿足之需求。為達上述之目的，本研究將分成下列兩模組：

(1) 產能估算模組

此模組首先檢視規劃幅度內組立製程預定需求量，在不考慮設置時間下，初步估算瓶頸工作站、外包產能上限及光罩個數是否足夠，以此檢驗預訂的產出目標是否合理可行。

(2) 主生產排程規劃模組

在經過「產能估算模組」針對產出需求初步估算後，本模組對此產出需求，考量廠內現有的瓶頸機台產能、產品製程資訊，依據各訂單交期及搭配附屬資源光罩的限制下，設計一整數線性規劃模式，建構出瓶頸機台的投料計劃。

1.3、研究範圍與限制

本文考慮多規格換線，以極小化各種產品之生產成本為目標，發展一「彩色濾光片內製廠之主生產排程建構機制」，並且依據組立製程階段彙整之訂單，針對瓶頸機台產能及外包的產能上限及下限，建構出一完善的主生產排程，以利後續細部生產排程運作之進行。因此本文研究範圍在主生產排程及細部生產規劃階段，如圖 1-4 所示。

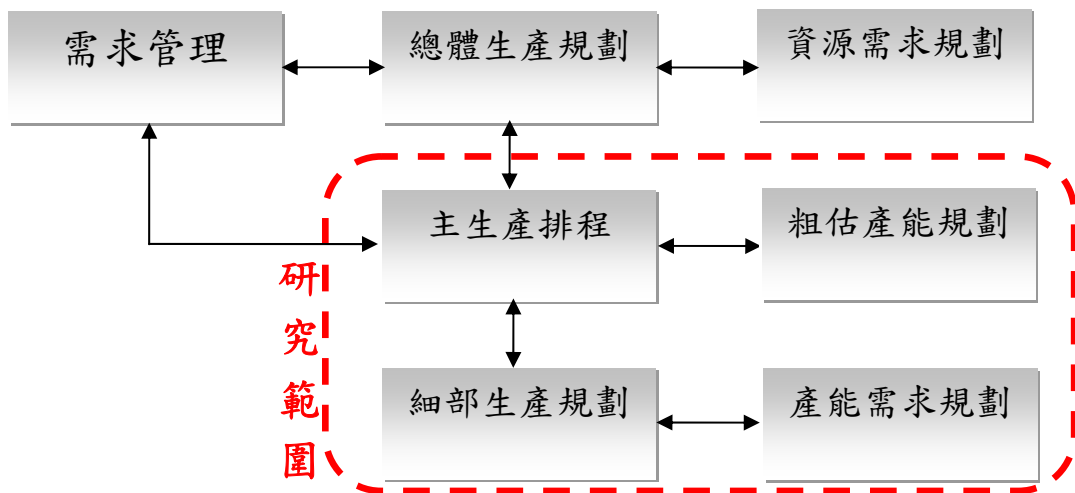


圖 1-4 本文研究範圍

為了有效詮釋研究主題與降低研究環境之複雜度，本文做了以下之假設與限制：

- (1) 本文研究之 CF 內製廠為訂單式生產(Make To Order, MTO)之生產型態。
- (2) 廠內只俱備生產小尺寸彩色濾光片之能力(G4.5 廠以下)。
- (3) 產品的製程資訊已知。
- (4) 已知組立製程之訂單需求、交期時間。
- (5) 各批訂單中各產品於瓶頸工作站之備料完成時點已知。
- (6) 各機台擁有不同製程規格能力(可搭載光罩種類相異)。
- (7) 多規格的換線時間為已知。
- (8) 各機台別之維修保養比例、當機比例與加工時間皆為已知。
- (9) 製程相當穩定，不考慮重工或報廢之情形。
- (10) 所有的機台(序列機台)同一時間內只處理一個產品。
- (11) 不允許所生產之產品交期延誤。
- (12) 現有光罩個數為已知。
- (13) 旺季時，外包商不接受少量之外包訂單(每種委外加工產品具有最少數量之限制)；反觀淡季則無此限制。

1.4、研究方法與流程

為了達成前述之研究目的，本文之研究方法擬採用下列執行步驟，如圖 1-5。其執行方法如下說明之：

(1) 文獻探討

以前述的研究動機與目的為依據，蒐集並整理國內外相關文獻，以構建本文之研究架構。

(2) 問題定義與分析

就本文所欲探討之主題進行深入的剖析，針對小尺寸彩色濾光片內製廠之生產特性及面臨的問題，進行適當的定義及分析。

(3) 模式建構

根據彩色濾光片廠之特性，分別以「產能估算模組」及「主生產排程規劃模組」兩階段進行 CF 廠之主生產排程規劃，並完成本文所欲達到之目標。

(4) 實例驗證

收集相關資料並輸入至本文建構之模式中，以驗證本文所提出之產出規劃模式之可行性與成效，並以甘特圖來評估結果是否達到預期的目標。

(5) 結論與未來研究方向

依據本文之研究結果提出適當的結論，檢討缺失之處並提供未來可繼續深入研究之議題與建議。



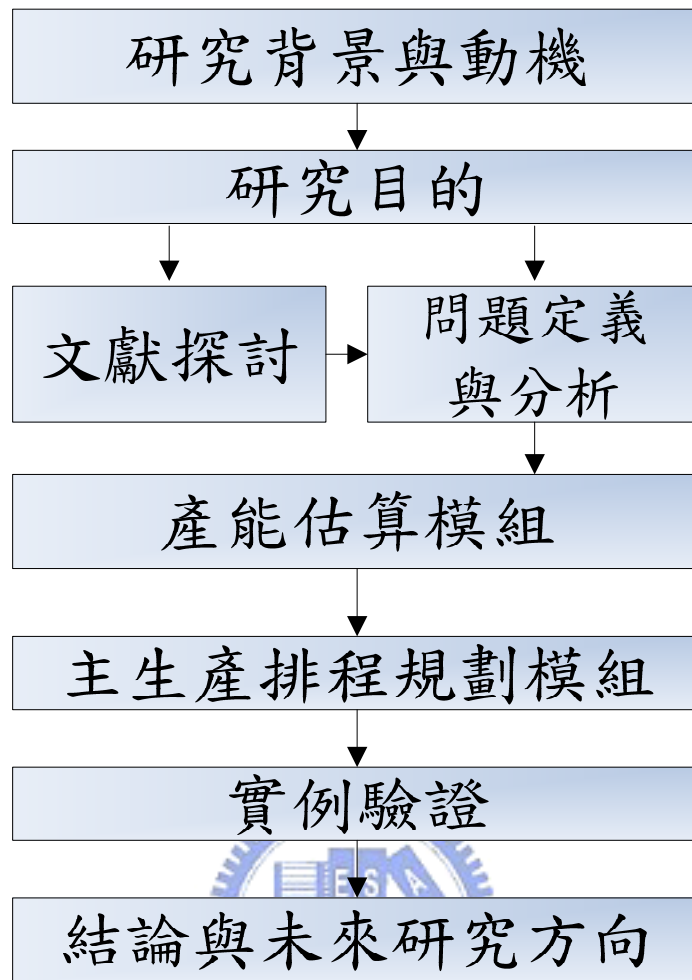


圖 1-5 研究步驟及流程

第二章、文獻回顧

本文針對彩色濾光片內製廠之生產特性，在已知組立段需求資訊(數量、種類、交期)，考量外包合約上限及下限、附屬資源(光罩)加工限制、以及多規格的設置時間，並結合滾動排程之概念，提出一套完善的主生產程規劃系統。針對本文之特性，文獻探討將分成以下部份進行：

- (1) 彩色濾光片製程介紹
- (2) 彩色濾光片生產規劃問題
- (3) 順序相依的整備時間相關文獻
- (4) 考量附屬資源之相關研究
- (5) 滾動排程之相關文獻

2.1、彩色濾光片製程介紹

彩色濾光片的製程為流程式生產，主要可以分為幾個大項：鉻(Cr)製程、黑色矩陣(Black Matrix, BM)製程、三原色(RGB)製程、氧化銦錫導電玻璃(Indium Tin Oxide, ITO)製程、間隔物(spacer)製程及最終檢查；示意如圖 2-1。

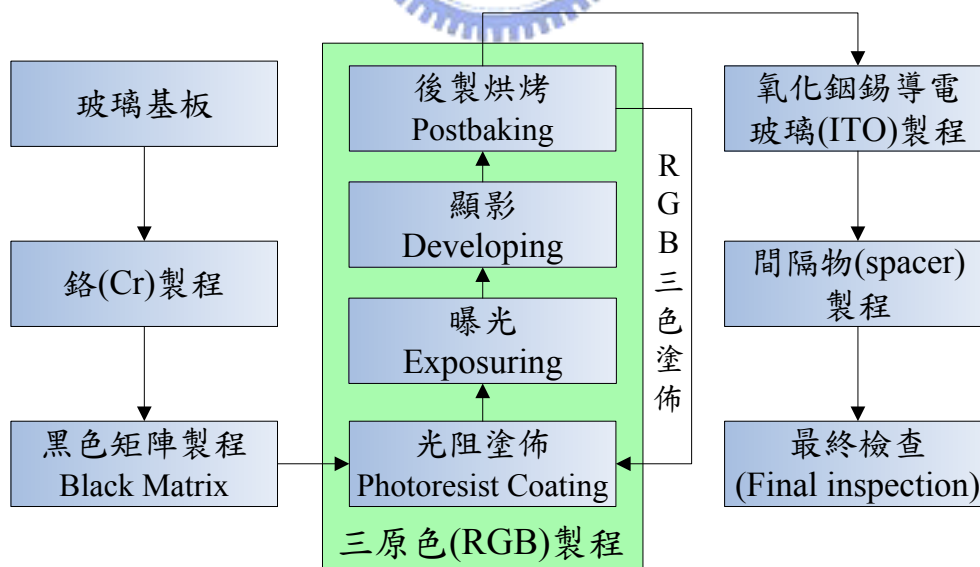


圖 2-1 彩色濾光片製造流程圖[28]

以下分別對 6 道主要製程進一步說明[28]：

(1) 鉻製程

將鉻以真空濺鍍的方式渡在玻璃基板上成為鉻玻璃。

(2) 黑色矩陣製程

以鉻玻璃為起始物，利用光微影(photolithography)製程以得到保護膜，再經過蝕刻製程以得到圖樣，最後將保護膜去除(resist stripping)即可得到鉻圖案，以完成黑色矩陣製程。黑色矩陣在彩色濾光片內的主要功能有二種，一為提供對比防止漏光，另一為產生光電流。其要求的特性有遮光性、無缺陷、低反射性及均一性等，目前一般使用的還是以金屬材料為主，其中鉻及其氧化物為目前最常用的材料。

(3) 三原色製程

首先以著色材料分散在感光性樹脂中，在紫外線照射下經過光反應而硬化，做反覆的塗佈、曝光、顯影及烘烤等步驟，將分別形成紅、綠、藍三色的長條形陣列；而某些彩色濾光片會在此製程後另外進行保護膜的塗佈(over coat)。

(4) 氧化銦錫導電玻璃製程

在真空環境下施加電場，使特殊氣體衝擊 ITO 靶材的表面，使之濺鍍到彩色層上而堆積成膜。

(5) 間隔物製程

加入間隔物於上下兩基板中間減少漏光或顏色不均等缺陷的發生。

(6) 最終檢查

最後在經過均勻、外觀及厚度等品管檢驗後加以包裝出貨。

由流程圖及說明中可得知，RGB 製程為彩色濾光片生產流程中之瓶頸，製程中須對同一片玻璃重覆進行三次之加工(RGB 三色)，因此導致(相較於其它製程)最長之加工時間，加工前之換線時間還受不同產品規格(光阻液、玻璃規格、光罩)所影響，如何有效減少換線時間即為生產排程之重點。

2.2、彩色濾光片生產規劃問題

◆ TFT-LCD I 型與 Y 型生產模式

謝氏[36]提出一可適用於商用先進生產規劃與排程(Advanced Planning and Scheduling, APS)系統架構之 TFT-LCD 產業特性之生產規劃流程；於文中探討 I 型(不包含彩色濾光片製程)與 Y 型(包含彩色濾光片製程)兩種生產模式的規劃，如圖 2-2 所示：

I 型生產模式將彩色濾光片視為採購件，其設定為軟性限制(soft constraint)，意即當彩色濾光片的庫存量不足以提供組立製程使用時，系統依舊安排組立製程之生產，同時產生彩色濾光片淨需求之進料報表。規劃時由模組組立段之需求、考量規劃期間之良率與製造週期時間，以倒推方式求得陣列與組立的淨需求，並建議原物料投料時點。並且根據原物料之投料時間，以前推(push)方式規劃陣列與組立之生產時程，其中組立製程開工時間即為彩色濾光片需購入的進料時程。

而 Y 型生產模式則是將彩色濾光片製程納入考量之中，其製程規劃是以淨投入量等於組立製程對彩色濾光片的淨需求量除以彩色濾光片的良率、分級率和一個玻璃基板所能切成的面板片數。

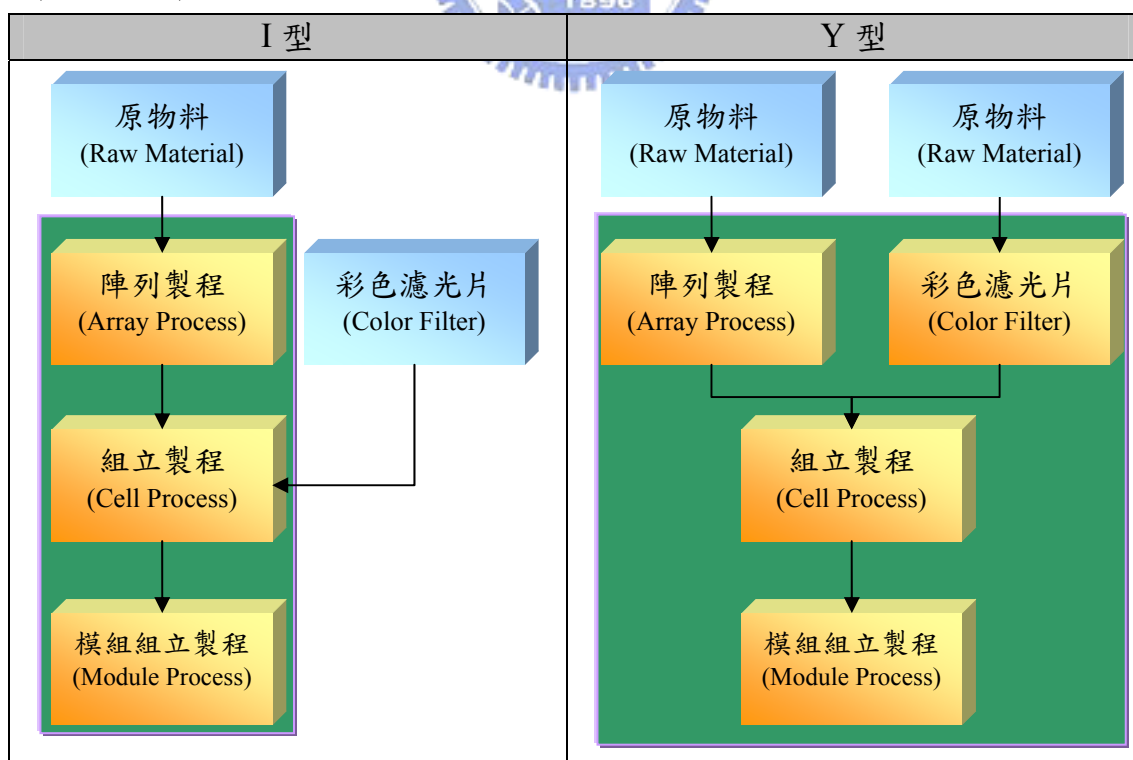


圖 2-2 TFT-LCD I 型及 Y 型上下游生產模式[36]

◆ 彩色濾光片生產排程相關文獻

胡氏[30]針對彩色濾光片批量排程問題，考量多階平行機台環境、多產品、需求隨時間改變之因素，將多階產能受限問題分解成為數個單階的批量排程問題。先決定最終產品的交貨時間和數量後，利用前置時間轉換成為前一製程作業的需求數量和時間，以此類推，直到求出起始原物料的需求。胡氏[30]發展出一套此種情境下可使用的演算法，先算出起始解，再逐步調整既有解，運用「交換」和「併入」的機制調整生產順序，同時修正解的合理性，在總存貨成本及缺貨成本最小化前提之下，逐步減少總整備時間與裝備成本。

賴氏[35]針對彩色濾光片三原色製程的生產排程提出一個二階段解法，其解法考慮到多種產品在單期確定需求率下的生產排程。第一階段使用經濟訂購數量(Economic Order Quantity; EOQ)決定各產品的批量大小，其實驗數據證明利用 EOQ 所決定的固定批量大小能有效的降低規劃時間內的總延遲時間；第二階段導入 ATCS(Apparent Tardiness Cost with Setups)派工法則找出可行解之排程。詹氏[32]以賴氏[35]為基礎，加以考量隨著時期而變動的產品需求率，第一階段先利用 EOQ 求出合適批量大小，決定規劃時間內所有待加工批量，在第二階段中，再利用 ATCS 派工法則排出工件在平行機台上的加工順序，以此作為起始解，最後利用搜尋演算法尋找較佳解。

溫氏[31]提出一量化的解決方案，解決彩色濾光片製造業生產企劃部門及採購部門間的協同規劃問題。其以生產企劃部門之角度，在接到業務部門的客戶需求計畫後，考量上游供應商的供應產能及工廠生產限制，在不斷線之條件下建構出一個 LP 決策模型，目標在於使材料及成本平均總庫存值最小化，以提供管理人員在處理生產排程與採購計畫時的規劃工具。

謝氏[36]提出一可適用於商用 APS 系統架構之 TFT-LCD 產業特性之生產規劃流程，並針對 I 型與 Y 型上下游生產模式，利用 APS 系統進行不同產能規劃的流程模式，並以推式和拉式推估各廠各時點的淨需求及淨投入量，其目的在於同步協調各廠的排程計畫，將以上文獻彙整如表 2-1 所示。

表 2-1 CF 相關文獻整理表[29]

| 作者 | 問題焦點 | 目標 | TFT-LCD 製程 | 求解方式 | 順序相關設置時間 | 考量機台數目 |
|---------|--|----------------|-------------------------|---|----------|--------|
| 謝氏 [36] | 提出一可適用商用 APS 系統架構之 TFT-LCD 產業特性之生產規劃流程 | 同步協調各廠的排程計劃 | Array, CF, Cell, Module | Pull & push | × | 單一 |
| 胡氏 [30] | 彩色濾光片生產隨時間改變需求之產能批量排程問題 | 最小化總存貨及缺貨成本 | CF | 起始解：啟發 (存貨耗盡時間) 解調整：交換、併入 | ○ | 多台 |
| 賴氏 [35] | 決定批量大小及各機台分派作業順序 | 避免欠貨 | CF (RGB 製程) | 第一階段：決定產品批量大小(EOQ) 第二階段：ATCS | ○ | 多台 |
| 溫氏 [31] | 考量供應商的供應量及生產限制，提出生產及物料需求計劃 | 最小化材料及成品平均總庫存值 | 原料供應商 (玻璃基板、彩色光阻)、CF | LP(LINGO) | × | 單一 |
| 詹氏 [32] | 決定批量大小及各機台分派作業順序 | 最小化總延遲時間 | CF (RGB 製程) | 第一階段：決定 EOQ 第二階段：起始解：ATCS→搜尋較佳解：SA、TABU、MA | ○ | 多台 |

2.3、順序相依的整備時間相關文獻

◆ 順序相依的整備時間定義

整備時間(Setup Time)是指更換模具、機器設定等機台準備時間。在許多排程文獻中，為簡化其問題複雜性，均假設整備時間含於加工時間中，而未特別考量。但在紡織業、電子業等產業中，生產排程其整備時間與工作次序具有相依性；亦即機器 k 在操作工作 j 之前所需的整備時間，和剛在機器 k 完成操作的工作 i 有關；且機器 k 在操作工作 i 之後所需的拆卸時間，和緊接著工作 j 後操作的工作別有關，並非一個固定的時間值。為降低整備時間與成本，必須探究如何在生產排程上作適當的安排。

◆ 求解方法

求解具備順序相依整備時間(SDST：Sequence-dependent setup time)特性之排程問題，解法大致可分為三種[1]：

- (1) 最佳解解法：此做法是以作業研究(Operation Research)模式之方法求取最佳解，由於在求解過程中需要嚴謹之條件和繁瑣之計算，故求解時間也較長，並且假設條件大多與實際情況無法吻合。因此就數理規劃方法而言，可用於問題之描述或作為推導近似解之啟發式解法之基礎，但不易運用於及時性的決策系統。常見之最佳解解法有分支界限法(Branch & Bound, B&B)、分支切面法(Branch & Cut, B&C)、動態規劃(Dynamic Program, DP)和混合整數規劃(Mixed Integer Programming, MIP)。
- (2) 啟發式解法：這類方法是透過反覆進行的演算過程，逐步找出最佳或近似最佳解。啟發式解法的優點在於容易建構且適用於動態規劃問題，至於其缺點則於無法擔保在各種環境下都能找到最佳解，亦即每一種啟發式法皆有其適用的環境，並非適用於所有環境。常見之啟發式解法如下：基因演算法(Genetic Algorithms, GA)、模擬退火法(Simulated annealing, SA)、塔布搜尋法(Tabu Search, TS)以及GRASP(Greedy Randomized adaptive search procedure)。
- (3) 混合式解法：藉由運用演算法在相關問題中，驗證這些法則是否具有求解效率；但不同之演算法則，具有其適用問題之型態與演算之

優缺點存在。因此透過組合型之啟發式演算法來彌補單一演算法則不足之處，亦即結合兩種啟發式演算法則來求解問題，以達截長補短之功效。

◆ 具備整備時間特性之流程型工廠排程問題

在流程式生產環境下，Yoshida and Hitomi[25]擴展Johnson[14]的傳統雙機排程問題模式，將整備時間與處理時間分離，並且修正其演算法以求得問題之最佳解。Sule[19]接續將上述問題擴展，將每一項工件在每一部機器上的處理時間分為整備時間、處理時間和拆卸時間三個階段，其中整備時間為獨立但拆卸時間為相依。對此類型問題，作者運用工作前後關係之將問題簡化為單純的雙機流程式問題，進而使用Johnson's Rule求解。Sule and Haung[21]則深入探討三機流程式之問題。作者發展三階段之演算法，第一階段和第二階段分別結合三機中之前兩機與末兩機使問題簡化為雙機問題，第三階段使用Johnson's Rule求得近似最佳排程。Proust[18]探討總完工時間最小化以及整備時間及拆卸時間均為獨立之多機台流程式問題，作者對小型問題發展一分支界限法，另外對大型問題提出四個啟發式演算法。

Yang *et al.*[24]考慮目標式為最小化總完工時間，機台有固定的維護時間之雙機流程式生產問題。作者以Johnson's Rule基礎，提出完全群組政策(full group policy)，以交換工件(Permutation schedule)之方式求解，並與下界值進行比較，最後驗證其所提出之演算法在此問題下有極小之誤差(0.0063%)，且工件數越多時誤差越小。

Low *et al.*[17]探討兩階段混合流程式生產之問題，加入機台具有功能限制以及不相關替代機台，以最小化總完工時間為目標，提出16種啟發式演算法，由結果中得知以修正後的Johnson's Rule搭配First-Fit派工法則的結果為最佳，並且當機台數越多時效果越好。

以下針對上述之文獻，整理如表2-2所示：

表 2-2 整備時間文獻整理[29]

| 研究者 | 問題類型 | 演算法 | 結論 |
|-------------------------------|--------------------------|---|---|
| Yoshida <i>et al.</i> [25] | $F_m / s_{ij} / C_{max}$ | 修正 Johnson's rule | 將整備時間與處理時間分離，運用修正演算法可得最佳解。 |
| Sule[19] | $F_m / s_{ij} / C_{max}$ | Johnson's rule | 將時間分成整備時間、加工時間和拆卸時間，可簡化問題難度。 |
| Sule and Huang[21] | $F_m / s_{ij} / C_{max}$ | 三階段演算法 | 將問題簡化為單純的雙機流程問題，可得近似最佳解。 |
| Proust <i>et al.</i> [18] | $F_m / s_{ij} / C_{max}$ | 分支界限法 | 大型問題仍須以啟發式演算法求解。 |
| Yang <i>et al.</i> [24] | $F_m / s_{ij} / C_{max}$ | Johnson's rule、full group policy、Permutation schedule | 與 lower bound 僅 0.0063%的誤差，且工件數越多時誤差越小。 |
| Low <i>et al.</i> [17] | $F_m / s_{ij} / C_{max}$ | 順序法則：Random、SPT、LPT、 修正之 Johnson's rule 派工法則：Type-Fix、First-Fit、Best-Fit、Random | 修正後 Johnson's rule 加上 First-Fit 派工法則的結果為最佳。 |



2.4、考量附屬資源之相關研究

在特定產業中，機台要完成某些產品的製程步驟，需搭配附屬資源才能順利加工完畢；例如在半導體產業內的黃光製程，機台需搭配光罩才能進行加工。在排程相關文獻中，大多學者在研究中皆忽略附屬資源，惟有同時考慮附屬資源與機台的產能，方能真實反應出現場排程的實際情況。

本節首先簡介附屬資源排程問題之分類，接續提出近年國內、外學者對附屬資源運用於不同的生產環境中之研究加以說明。

◆ 附屬資源之排程問題分類

Gargeya *et al.*[13]提及，所謂附屬資源乃生產活動控制系統(Production Activity Control, PAC)所使用到的設備或配件等裝置，這些設備通常在生產時需要整備、保養之作業或組裝等活動下使用。除了在生產時用到之相關設備，其它非線上生產作業(Off-line Operations)所使用之設施如叉架起貨機(Forklifts)、自動搬運車(Automated Guided Vehicles, AGV)、棧板(Pallets)等設備，亦屬附屬資源之範疇。

Gargeya *et al.*針對不同的附屬資源限制形式，將附屬資源之排程問題分成下列四種類型[13]：

(1) 多重資源限制零工型工廠(Multiple resource-constrained job shop)：

當系統產出量受兩個或兩個以上之系統限制影響產出量稱之。這些系統中的限制包括機器、人力、和其他附屬資源(工具、其他設備)。其中雙重資源限制零工型工廠(Dual-constrained job shop)，專指生產系統中有兩個產出限制，乃多重資源限制之一特殊類型。

(2) 機器資源限制零工型工廠(Machine-only-constrained job shop)：

在零工型工廠中，生產系統限制只有機器，沒有其他附屬資源和人力之限制。

(3) 人力資源限制零工型工廠(Labor-constrained job shop)：

屬於雙重系統資源限制之類型，系統限制包括了機器限制和人力資源限制。

(4) 附屬資源限制零工型工廠(Auxiliary Resource-constrained job shop)：

屬於雙重系統資源限制之類型，系統限制包括了機器限制和附屬資源限制。

在介紹完附屬資源排程問題的各種類型之後，接著將針對「附屬資源限制零工型工廠」問題來進行更深入的探討。

◆ 附屬資源於零工型工廠排程規劃之探討

Zhang *et al.*[26]認為在擁有附屬資源的彈性製造系統(Flexible Manufacturing System, FMS)環境中，若是同時具有產品高度的客製化及不確定的市場需求等特性，探討工件的排程問題是非常具有挑戰性的。因此作者以工件中心策略(part-centric strategy)及附屬資源中心策略(tool-centric strategy)這兩種想法來針對上述的環境進行工件的排程，此兩種策略之理念概述如下：

(1) 工件中心策略(part-centric strategy)：

工件在生產過程中，可在不同的加工機台進行加工，亦即代表工件必須在機台間移動來完成加工作業。運用此策略時，盡可能在機器可以容納的載具量之下，將工具指派到機器上。

(2) 附屬資源中心策略(tool-centric strategy)：

工件在生產過程中，在同一加工機台進行加工，附屬資源必須在機台間移動來對工件進行加工，此策略又被稱為單一階段多機系統(Single Stage Multi-machine System, SSMS)。此方法最大特色在於，工件不用在機器間移動，工具可以存放在工具倉庫中，而這樣的方法在目前工廠中附屬資源自動運送系統技術之革新後，變得具有可行性。

Buyurgan *et al.*[7]同樣亦針對FMS製造環境裡，探討選取附屬資源的問題。在此篇論文中，作者利用了工具的生命週期以及工具大小的比值(tool life / tool size ; L/S)此項理念，進行附屬資源與機台的配置。考量工具的可用數量以及一個產品需使用多種工具才可完成加工作業的限制下，作者發展了一個啟發式演算法，並以最大化機台利用率為目標，進行選取及配置附屬資源在機台上加工。

此外作者在進行驗證時，提出了 Highest life(HL)此項理念與 L/S 方法進行比較。在機台利用率方面，以 L/S 理念進行附屬資源配置會使機台的利用率較低。作者並提出往後之研究方向可考慮附屬資源在機台間的搬運時間，使問題更趨近於實務。

在製造業裡，電腦數值控制機(Computer Numerical Control, CNC)在彈性製造系統環境中應用的非常廣泛，產品在 CNC 機台上加工時需要有附屬資源—各種不同的刀具協助，才可完成加工，因此如何配置刀具與機台為非常重要的一項工作。Avci *et al.*[3]針對在短期規劃中 CNC 機台刀具管理的課題，考量機台上放置刀具的刀具盒容量限制特性、每一刀具需擺放在刀具盒的專屬位置及刀具具有生命週期等限制下，提出以最小化製造產品之總成本為目標績效，安排刀具擺放之最佳位置及工件加工之最佳順序。作者發展了兩階段式求解方法來解決以上問題。由於加工某些產品所用之刀具相同，因此在求解過程中，本篇文獻利用了此項性質，配置出能得到最低成本之結果。

同樣針對彈性製造系統，Akturk[2]考量機台加工時具有刀具與機台搭配的限制(非所有刀具皆能擺在某一部機台)及機台只能放置一定數量刀具等限制，作者首先發展一個 MIP 模式，以最小化加工之總成本為目標進行求解。面臨大型的問題時，無法利用數學模式直接求出最佳解，因此本文以不考慮 MIP 模式中的刀具與機台搭配的限制來求出最佳解的下限值，並據此發展一啟發式演算法，以考量刀具與機台搭配的限制來求得近似最佳解的可行解。

Kayaligil *et al.*[15]考量在彈性製造系統中，產品需求為多樣少量之情形，針對 CNC 機器在加工產品時，需要將機台上的棧板(pallets)進行裝載及卸載的行為進行研究。作者利用循環式排程之理念，考慮機台上棧板之個數等限制，以完工時間最小化當作目標，使用混合整數規劃模式進行求解，以得到最佳的裝載及卸載棧板的順序。

為了降低模式在求解大型問題時求解時間過長的問題，此數學模式作了一些假設來簡化問題的複雜度，如忽略所有的搬運時間、裝置附屬資源的工具盒內的容量假設為無限、不考慮附屬資源的生命週期、每個工件在機台的具有相同之加工時間等限制。並以模擬結果來證明此模式求得的解

與模擬無顯著差異。

顏氏[37]考量薄膜電晶體陣列廠中產品具有再回流(reentry)特性，以及黃光製程中加工需要附屬資源—光罩。作者針對這些特性提出一個考量光罩限制的兩階段排程法則，在第一個階段以光罩換線次數最少與延誤的產品數量最少的情況下，利用 MIP 模式求解光罩與瓶頸機台的配置問題，並作為第二階段瓶頸作業排程時的輸入資訊；第二個階段同樣以延誤之產品數量最少的情況下，採用 DBR(Drum-Buffer-Rope)排程方法為基礎之瓶頸作業排程，求得適宜的投料計畫。

Chen *et al.*[11]以半導體晶圓針測與最終測試為例，針對此類環境具有多項資源同時使用的情況，如測試機台(tester)、針測機台(prober)與分類機台(handler)，以整數規劃模式建構數學模型，並將工單總延遲個數與提早完工之個數最小化為目標式，期望能在要求之交期限限制、設置序列相依、工單的優先順序的條件下，最佳化其資源使用率，並規劃出各項工單之排程。此外，作者針對該模式另以 Lagrangian Relaxation Approach 修正其數學模式，以提高求解效率。

Wang and Hou[22]以半導體最終測試為例，研究在預算及附屬資源限制下，測試機台產能擴充與配置問題。在已知需求、預算與針測機台 (prober) 之數量限制下發展整數規劃模式，並以最大利潤為目標，求出測試機台的最佳配置量。此外，為簡化計算複雜度，作者另外發展基因演算法求解問題。並假設規劃環境在規劃幅度下之訂單需求為固定，不會有所更動或新增。

Chen and Hsia[9]針對零工式生產環境，考量設置時間、加工次序限制、不同的作業員有不同的工作能力，以及產品批量可分割等特性，建構整數規劃模式，期望以最小化工件延遲與提早完工之次數，減少延遲交貨與庫存，並最小化設置時間充分利用產能。作者針對該模式另以 Lagrangian Relaxation Approach 修正其數學模式，以提高求解效率。此外為了鬆綁資源產能與工件加工次序等限制，作者另將問題拆解成小問題，並以 Novel Dynamic Programming Procedure 增加求解效益。而為使求解時間降低，作者另外發展一啟發式解法，讓求解過程能快速收斂。

Zhang *et al.*[27]提出過去在 IC 測試環境進行產能規劃時，通常單就瓶頸資源進行規劃，而將其他成本甚高之附屬資源視為產能無限；此規劃方法的實務性將受到質疑。因此，作者在進行產能規劃時，不僅針對測試機台的產能進行評估，亦針對高成本之關鍵資源進行數量推估，以節省企業在進行產能配置與擴充時所耗費的資金成本。作者建構混合整數規劃模式，以最小化高等級工單未能滿足的成本與未能滿足的機台工程時間為目標，另行建構 High Buffer Formulation 與 Tight Workload Formulation 以改進原數學規劃模式的缺點，讓測試機台與附屬資源數量的規劃數量更為精確。

綜合上述文獻之內容，針對副資源限制排程問題的相關文獻所做的整理與比較(表 2-3)：



表 2-3 考量副資源限制之排程文獻[29]

| 文獻 | 考量之 附屬資源 | 使用之求解方法 | 加工工件使用之 副屬資源個數 | 目標式 |
|------------------------------|----------------------|---|-------------------|-------------------------------------|
| Zhang <i>et al.</i> [26] | FMS 之 工具 | part-centric strategy 與 tool-centric strategy | 單一 | 最小化完成時間、前 置時間、延遲時間、 延遲工件數 |
| Buyurgan <i>et al.</i> [7] | FMS 之 工具 | tool life / tool size 之比值 | 多個 | 最大化機台利用率 |
| Avci <i>et al.</i> [3] | CNC 刀具 | 兩階段式求解方法 | 多個 | 最小化總生產成本 |
| Akturk[2] | CNC 刀具 | MIP 模式與 啟發式解法 | 多個 | 最小化加工總成本 |
| Kayaligil <i>et al.</i> [15] | CNC 棧板 | MIP 模式 | 多個 | 最小化完成時間 |
| Chen and Hsia[9] | 針測卡 、其它測試 所需硬體 | 整數規劃與 Lagrangian Relaxation Approach | 單一 | 最小化延遲工件數、 提早完工之次數 |
| Wang and Hou[22] | 針測卡 | 整數規劃模式與基因 演算法 | 單一 | 最大化利潤 |
| Chen <i>et al.</i> [11] | 針測卡 | 整數規劃模式與 Lagrangian Relaxation Approach | 單一 | 最小化工單總延遲個 數、提早完工之個數 |
| Zhang <i>et al.</i> [27] | 針測卡 | MIP 模式、 High Buffer Formulation 與 Tight Workload Formulation | 單一 | 最小化高等級工單未 能滿足的成本、未能 滿足的機台工程時間 |
| 顏氏[37] | 光罩 | 兩階段排程法 | 單一 | 最小化產品延誤數 量、整備時間 |
| 本文 | 光罩 | 整數規劃模式 與啟發示解法 | 單一 | 最小化自製、外包以及 未排入產品之加工成本 |

以往大多數之研究僅針對瓶頸資源做排程規劃，而忽略了附屬資源之必要性及影響(如 TFT-LCD 陣列製程的光罩、晶圓針測製程的針測卡等資源)。即便考慮附屬資源，多半以產能規劃之觀點提出附屬資源的配置量，針對實際之排程問題鮮少著墨。再者，附屬資源成本高昂，生產所花費之前置時間長，難以在需求產生時即時添補。

有鑑於此，本研究在進行生產排程時將附屬資源(光罩)納入考量；光罩於本環境具有下列特性：(1)當特定種類之光罩裝配於機台上，才可對其對應之產品別進行加工。(2)各機台別具備不同製程規格能力，亦即可搭載之光罩有種類上之限制。(3)各種光罩之數量為有限個數。上述特性將以限制式呈現，再以最佳化求解得機台與光罩配置關係。如此一來，排程所規劃出之結果才更具實務性。

2.5、滾動排程之相關文獻

本文所考量之研究問題為一靜態環境(deterministic case)，雖然對整個規劃幅可求得最佳解，但由於本研究問題考量之限制多，導致最佳解難以在有效時間內求得；而 Chand et al.[9]指出，滾動幅度排程(rolling horizon planning)可同時考量求解之品質與時間。其做法將原先之問題分成無數之子問題(子問題之大小事先已定義)，對各個子問題進行最佳解之求解，不斷重覆此步驟直到完成整個規劃幅度。有鑑於此，本文將採用滾動幅度排程之解題理念，以下對其相關文獻進一步說明。

Baker[4]將求解最接近當下時點之規劃範圍內的模式，並配合資訊更新及重新求解的程序，稱之為滾動排程。而預測窗格(forecast window，如固定規劃幅度之長度)為影響批量排程問題績效的重要因素。

Bing and d Jie[5]指出，滾動排程之解題方法是把全局(global)排程問題分解為滾動進行的多個子問題；每個子問題只利用當前預知的局部訊息。在每一決策時刻，需要確定從該時點起的每一個滾動窗格(滾動排程所考慮之規劃幅度)長度，窗格內為所需進行排程的各工作。各工作的到達時間和加工時間均為已知。此外，工件加工環境中充滿了隨機和不確定性，當有緊急工件和工件到期時間改變時，一次性全局最優的靜態調度雖可得到最佳解，卻無法適應動態環境的變化。透過最佳化滾動排程，不僅可克服不確定因素，且由於只對當前滾動窗格之工作進行排程求解，減少問題的求

解規模。

Baker[4]指出滾動排程的求解穩定度與規劃幅度之長度相關，其將規劃幅度更新時對生產排程造成之改變(如生產及庫存成本的增加)，以「不穩定性(instability)」稱之。Sridharan *et al.*[19]提出其值之計算方式為規劃幅度長度中凍結所佔比例。許多研究方法提出降低排程結果之不安定性，其方法包括：凍結部份排程結果[5]、預測規劃幅度外之範圍[8]、透過修正批量大小觀察主生產排程之成本變化[16]等。

楊氏[33]於求解模型中考量滾動排程之概念，有效運用前期之規劃期數餘裕產能，支援後段需求進行提早投料之動作。並且依訂單來到時間及交期的時間序，對多筆訂單同時規劃，此舉可決定多期訂單之最適生產順序。再者，針對數學模式求解結果，凍結滿載之期數排程結果，以利後續訂單進行求解。

由於凍結排程可適時減少求解結果的不安定性及問題規模，因此本文將承襲楊氏[33]於滾動排程及凍結排程之作法，搭配研究問題及假設予以部份修正，作為本文之解題概念。



第三章、模式建構

3.1、問題描述與假設

於 2006 年 9 月，友達²宣佈併購台灣國際彩光凸版公司³，此一指標性之專業彩色濾光片廠後，將擴大面板上游材料彩色濾光片的供貨能量，並提升長期的成本競爭力，也意謂著台灣的 TFT 產業逐漸走向上下游垂直整合之模式。並且隨著面板價格下跌，零組件降價壓力趨大，為了降低成本及避免關鍵零組件缺貨，對彩色濾光片內製化的需求及比例均逐步增高。內製及專業兩型態的製程能力皆相同，生產型態也皆為接單式生產，論文係以 TFT-LCD 旗下的彩色濾光片內製廠為探討對象。

內製廠生產規劃之目標為滿足組立製程的彙整需求。在建廠設計時，內製廠將其最大可用產能訂於「淡季需求」的數量，此舉乃因若將產能設計成跟「旺季需求」相同，則淡季時 CF 將有大量的產能閒置，將造成許多閒置機台折舊攤提成本。由於 TFT-LCD 公司與外包廠進行策略聯盟，以確保在產能吃緊的旺季能從外包廠獲得固定的產能支援，因此不論在淡、旺季皆需將部份數量(外包合約下限)委外給外包廠。再加上外包廠自身也有產能限制(外包合約上限)，僅能提供一定比例之產能予以內製廠。因此在淡季情況下，需求數量不能全數用來填滿自身的產能，必須將部份數量外包給供應商。對於內製廠而言，規劃者所知的資訊為自身之產能(單位：秒)，以及依合約訂定之外包數量限制(單位：片數)，於求解時並不需考慮外包廠之生產參數及資源(亦無從得知)，如何有效地運用外包數量的上、下限及內製廠產能，即產生了產能的分配問題。

外包商在淡、旺季擁有不同的談判能力，於淡季時對於下游所開出之需求照單全收(接受複雜的產品種類訂單)；反觀旺季時，外包商產能吃緊，同交期之訂單中每一種類產品之數量不可過小(會造成大量之換線時間)。因而在旺、淡季時，外包產品會有或無最大種類數限制之差異。綜合上述之情況即為「自製、外包產品種類及數量決策問題」。

²友達光電為台灣第一大、全球前三大的薄膜電晶體液晶顯示器(TFT-LCD)製造商。友達於各尺寸的面板市場皆達到均衡佈局發展，並反應在健全的企业體質與優秀的財務表現。

³台灣凸版國際彩光股份有限公司(Toppan CFI)2001年由日本凸版印刷株式會社(Toppan Printing Co., Ltd)投資創立，主要商品及服務項目為彩色濾光片產銷。2006年8月友達光電股份有限公司取得49%股權投資台灣凸版國際彩光股份有限公司，以凸版印刷優異的技術發展能力佐以友達穩健的執行及營運能力，共同發揮台日兩大企業集團跨國合作的綜效意義。

以圖 3-1 做說明，圖中淡季及旺季需求分別為 320K 及 400K(K 表 1,000 片彩色濾光片)，為了避免將產能制定於旺季需求(400K)時，於淡季引發之大量產能閒置(80K)，因此 TFT-LCD 公司在規劃內製廠所需產能時，制定於淡季需求量左右(320K)。在淡季情況下，雖然自身產能足夠提供淡季需求，但為了配合策略聯盟之合約，將會委外最少外包數量(20K)予其外包商(閒置自身產能 20K)。對應此最少外包量之外包產品將不設定種類之限制，以確保彩色濾光片內製廠能充分利用產能，安排對自身最有利的排程；反觀旺季所外包之產品，由於外包商也處於產能滿載之情況，在外包數量(80K)中，當決定外包產品之累積數量已超出外包合約下限(判定為旺季之情境)，爾後所外包之產品，必須針對產品別之種類數予以限制(每一種類之委外產品數量不得過小)，避免外包商產生過多之設置時間。

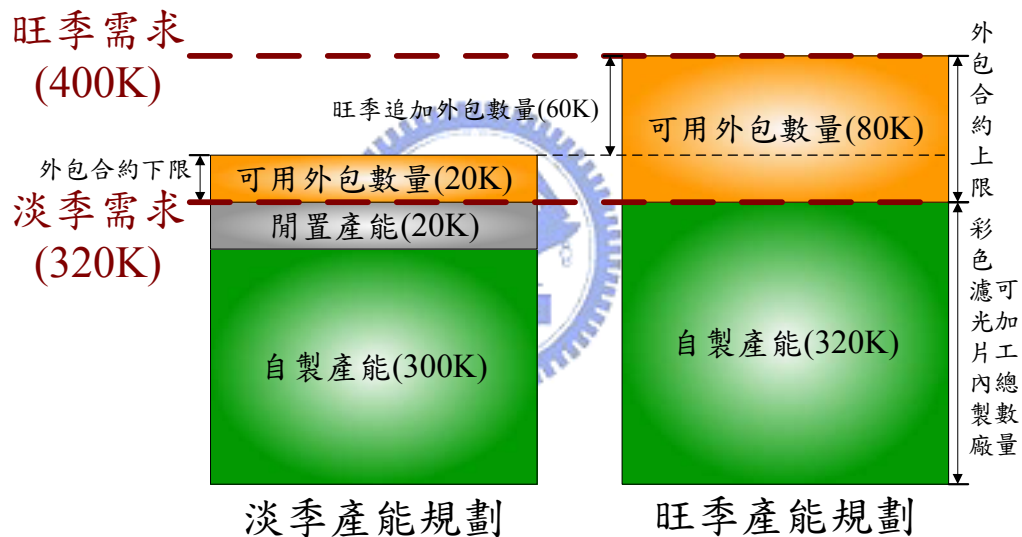


圖 3-1 彩色濾光片之淡、旺季產能規劃

此外，本文之研究對象為訂單型生產之環境，組立製程所開立之各筆需求具備交期、產品種類、數量之資訊。身為小尺寸之彩色濾光片內製廠，加工所需之原物料可能因下游或新產品規格之要求，而使用特定種類之光阻液及玻璃進行生產；再者，特定原物料之採購及運送需一定之前置時間。有鑑於此，為了使研究問題更符合實務特性，各筆需求於加工時需考慮「備料完成時間」，於此時間點之後該筆需求才可進行生產。上述所描述之對象為 CF 內製廠，並不須考慮外包廠之備料完成時間；對於內製廠而言，外包廠僅提供滿足合約之外包數量，其餘備料及生產參數(加工及換線時間)內製廠皆不予考慮。

彩色濾光片廠生產線為一流程式生產(Flow shop)，為了極大化產能，會針對瓶頸機台 RGB 製程，藉由降低換線損失的方式以提昇工廠的產出量。在 CF 廠中主要因三種規格差異造成換線損失，換線種類可分為產品(光罩)換線、光阻液換線與玻璃尺寸換線三種(圖 3-2)，說明如下：

- (1) 產品(光罩)換線：產品設計的差異主要反映在產品的光罩設計上，不同產品在更換時均需進行曝光機台的光罩更換，並要求通過首批產品的品質驗證。
- (2) 光阻液特性差異：平面顯示器產品種類與製程技術繁多，不同產品間使用的光阻特性也有不同的要求。而不同光阻轉換時須進行曝光機台光阻管線的排空與清洗，換線後的首批產品需進行品質驗證。
- (3) 玻璃尺寸差異：於產業背景中提到小尺寸面板呈現少量多樣的產品特性，其面板尺寸規格大小不一，CF 廠由於需配合組立廠的排程規劃，因此在產品生產過程中，須時常進行不同玻璃尺寸的玻璃換線，換線後的首批產品亦需進行品質驗證。

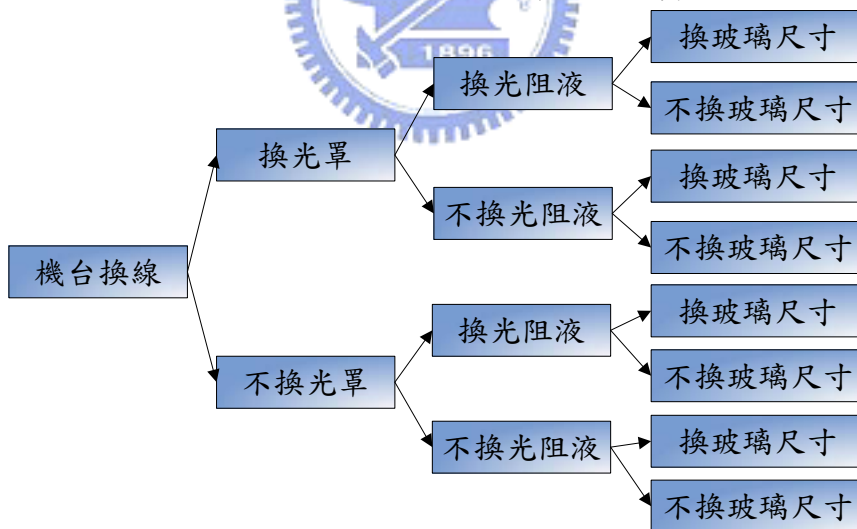


圖 3-2 多規格 CF 換線種類說明[29]

在面對多規格的訂單轉換時，產品換線的整備時間會因生產順序的不同而有不一樣的結果，此為整備時間順序相依排程問題(Sequence dependent setup scheduling ; SDST)。鑒於各 TFT-LCD 產品的訂單具備不同之交期、數量、種類限制，使得彩色濾光片的排程問題極為複雜。

在上述之換線種類中，「光罩」維度除了影響換線時間之外，於生產時亦產生機台與光罩間搭配的問題。如欲生產該種類光罩之產品，需將光罩裝配於對應之機台。倘若機台設備足夠，卻無對應之光罩可供加工，則浪費了瓶頸機台產能。因此如何在瓶頸機台所搭載之有限光罩數下，有效地分派各機台進行生產之動作，為重要之排程課題。

基於以上所述，在收到組立製程之需求後，彩色濾光片內製廠必須依據廠內瓶頸機台與外包上限之產能限制，針對自製及外包產品建立出一完善的之生產排程。

因此，為建構彩色濾光片的生產規劃模式，本文對生產系統之假設如下：

- (1) 本文研究之 CF 內製廠為訂單式生產(Make To Order, MTO)之生產型態。
- (2) 廠內只俱備生產小尺寸彩色濾光片之能力(G4.5 廠以下)。
- (3) 產品的製程資訊已知。
- (4) 已知組立製程之訂單需求、交期時間。
- (5) 各批訂單中各產品於瓶頸工作站之備料完成時點已知。
- (6) 各機台擁有不同製程規格能力(可搭載光罩種類相異)。
- (7) 多規格的換線時間為已知。
- (8) 各機台別之維修保養比例、當機比例與加工時間皆為已知。
- (9) 製程相當穩定，不考慮重工或報廢之情形。
- (10) 所有的機台(序列機台)同一時間內只處理一個產品。
- (11) 不允許所生產之產品交期延誤。
- (12) 現有光罩個數為已知。
- (13) 旺季時，外包商不接受少量之外包訂單(每種委外加工產品具有最少數量之限制)；反觀淡季則無此限制。

3.2、系統分析與架構

為了有效解決本研究之問題，在「3.2.1、整體系統架構」提出研究方法所含蓋之模組以及整體之規劃流程，並且於「3.2.2、解題之設計理念」說明研究方法主要之設計理念，見說明如下：

3.2.1、整體系統架構

本文所扮演角色為彩色濾光片小尺寸面板(4.5代以下)內製廠，其生產型態為訂單型生產，所生產之彩色濾光片只提供給自身之組立製程使用，一旦交期有所延誤即影響整體的生產計劃。因此，在面對不同交期、少量多樣之產品需求時，以期在不延誤產品交期及減少多規格之換線時間下，建構出一完善之主生產排程。

再者，由於彩色濾光片生產流程中所有製程之機台皆為序列機台，並且其加工流程為流程式生產；有鑑於此，本研究惟獨針對「RGB作業」進行生產排程之規劃，而其它作業之排程，可依據瓶頸工作站之規劃結果前後推算而得，在本文不多著墨。

為了達到上述之目的，本研究之整體架構如圖 3- 3 所示，分成「3.3 產能估算模組」及「3.4 主生產排程規劃模組」兩部份來說明：

(1) 產能估算模組

此模組用以初步估計在規劃幅度之內，內製廠及外包商之產能是否能滿足組立製程提出之預定需求量，作為排除及修正不合理需求之依據。首先建立數學模式—「瓶頸產能初估模式」，在製程規格能力下，只考慮產品之加工時間(不考慮設置時間)，評估內製廠之瓶頸工作站產能及外包商之外包上限可否負荷預定需求。此模式將以最小化自製、外包、未排入產品之成本為目標式，一旦出現未能滿足數量，即表示內製及外包商之產能無法滿足此需求，需回報組立製程對此需求進行修正之動作。此外，瓶頸機台上重要的附屬資源—光罩，亦有產能負荷上之限制，因此推估組立製程預定之需求數量所需之最少光罩數量，藉此評斷現有的光罩數量是否足夠。經由兩階段的初步評估後，篩選出合理需求以利下一模組進行排程求解。

(2) 主生產排程規劃模組

經過「產能估算模組」估算過後之產出需求，本模組對此產出需求，考量廠內現有的瓶頸機台產能、產品製程資訊、有限的光罩數目、機台之製程規格能力等，設計出求解三種決策變數—自製、外包及未排入產品之整數線性規劃模式，並將產能估算模組求解得外包數量總和與外包合約下限進行比較，依其結果分成「產能充足排程模式」及「產能不足排程模式」兩種，視需求之情況套用不同數學模式求解最小化「自製、外包及未排入產品之加工總成本」，最後搭配啟發式解法求得主生產排程結果。

於求解過程中，當委外產品之數量超出既定的合約下限值時，求解步驟轉為「外包種類縮減機制」，加入外包種類及數量之限制後，對本次規劃範圍重新求解；反之未超過時，則不需限制。由此可知，「外包種類縮減機制」係根據「累積之外包產品數量」作為執行上之分界，以符合本研究問題之環境。

因此本模組之解題程序以階段性執行，首先針對各個訂單交期進行規劃求解，求解過程中若出現未排入產品數量，則回報給組立製程進行修正之動作。

當規劃幅度內之所有需求皆規劃完成，然而在規劃結果中，累積外包數量與對應之排程模式不符時(對應關係為，累積外包數量等於外包合約下限：產能充足排程模式、累積外包數量大於外包合約下限：產能不足排程模式)，需套用對應之排程模式重新求解第 1 期至最後一期。反之，當兩者相符時，即完成主生產排程規劃。

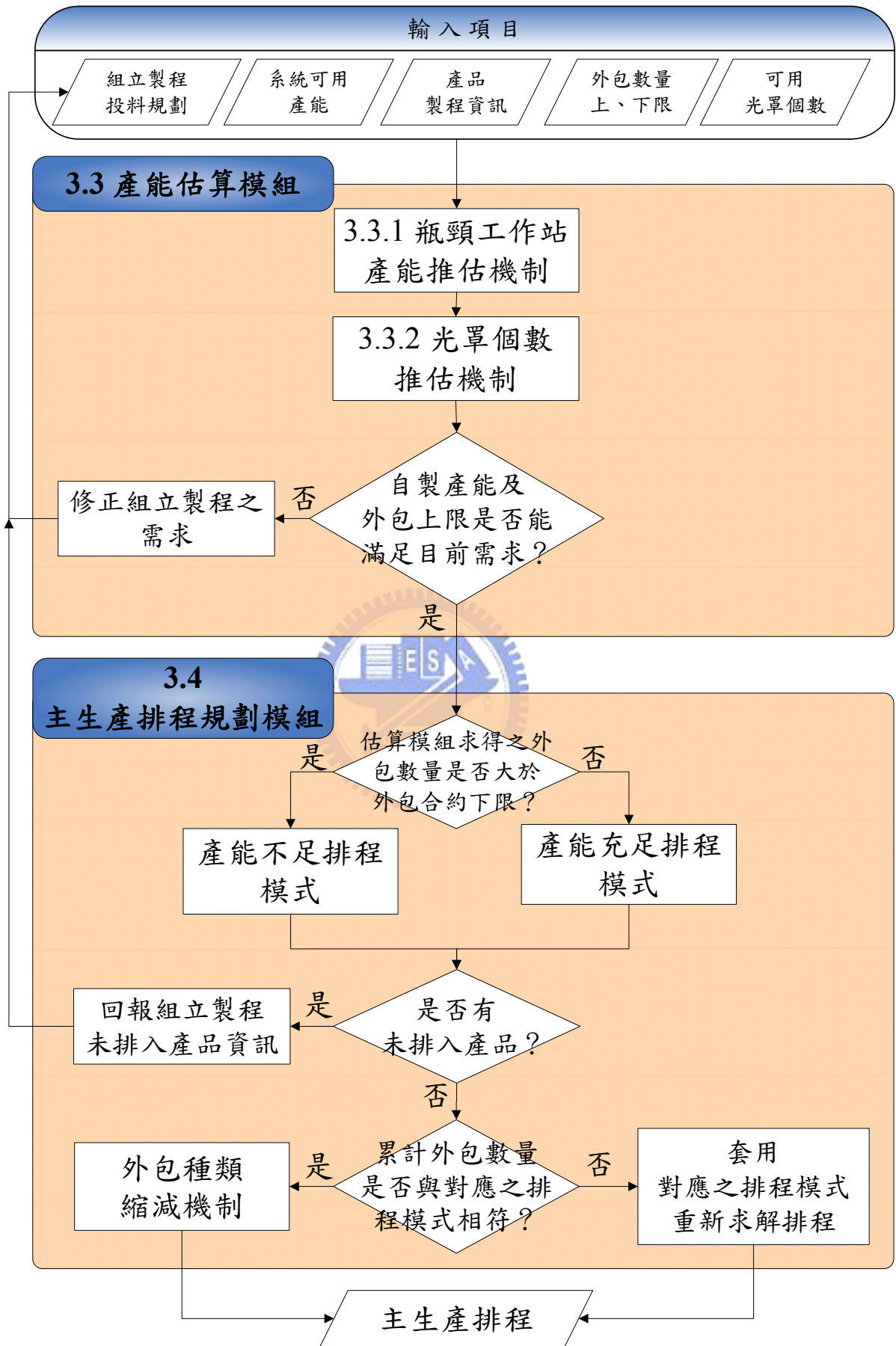


圖 3-3 整體架構流程圖

3.2.2、解題之設計理念

為了解決本文之研究問題，在此發展出設計理念作為解題之幫助，其內容將運用於符號設計、模型建構、啟發示解法等…，以下分成 9 點做詳細之介紹：

解題設計理念符號說明：

◆ 符號下標

- a : 產品之光罩種類， $a=1,2,\dots,A$ 。
- i : 產品種類編號， $i=0,1,2,\dots,I$ 。
 $i=0$ 表該機台目前並無任何產品裝載於上。
- l : 訂單編號， $l=1,2,\dots,L$
- m : 瓶頸工作站 RGB 之機台別， $m=1, 2, \dots, M$ 。
- p : 規劃範圍之序號， $p=1,2,\dots,P$ 。
- t : 變動規期週期之期數， $t=0, 1, 2, \dots, T$ 。

◆ 集合

- D_t : 交期隸屬 due_t 之訂單編號集合。

◆ 參數

- c_t : 「第 t 期之交期」與「極大化 $ready_t$ 及第 $t-1$ 期之交期」之時間差距(天)。
- $cap_{m,t}$: 機台 m 在第 t 個規劃週期內之可用產能(扣除當機、維護、實驗比例之後)(秒)。
- co_i : 委外製造產品種類 i 所需之單位成本(元)。
- $com_{m,t}$: 機台 m 於規劃週期 t 的完工時間(天)。
- cx_i : 自製產品種類 i 所需之單位成本(元)。
- cz_i : 未排入產品種類 i 所懲罰之單位成本(元)。
- $d_{i,l}$: 產品種類 i 在訂單編號 l 內之目標需求量(片)。
- dt_m : 機台 m 的當機比率。
- due_t : 第 t 個規劃週期截止之時間(天)。
- eg_m : 機台 m 執行工程實驗耗用產能的比率。
- f_{OLD} : 前次求解範圍中滿足暫存條件之最大期數(期)。
- f_{NEW} : 本次求解範圍中滿足暫存條件之最大期數(期)。

- $idle_t$: 第 $t-1$ 期與第 t 期之間之產能閒置時間(天)
 O_{diff}^{lower} : 「各期至少須配置外包數量之總和」與「整個規劃幅度所訂定外包合約下限」之差距(片)。
 O_{diff}^{upper} : 「各期至多可配置外包數量之總和」與「整個規劃幅度所訂定外包合約上限」之差距(片)。
 O_{lower} : 外包商依合約承包的產品數量下限(片)。
 $O_{lower}(l)$: 訂單編號 l 至少須提供外包商之外包數量下限(片)。
 O_{upper} : 外包商依合約承包的產品數量上限(片)。
 $O_{upper}(t)$: 外包商在規劃週期 t 內至多能提供之外包數量上限(片)。
 pm_m : 機台 m 之維修保養時間比率。
 pt_i : 產品別 i 於各機台的單位加工時間(秒)。
 r_l : 訂單編號 l 之備料完成時間(天)。
 $ready_t$: 所有交期為 due 之訂單中，最早備料完成時間(天)
 $reticle_a$: 第 a 種光罩之需求個數(個)。
 s_t : 交期 due_t 與 due_{t-1} 間之時間差距(天)。
 t_{MIN} : 求解範圍內之最小期數(期)。
 t_{MIN}^p : 第 p 個規劃範圍內之最小期數(期)。
 t_{MAX} : 求解範圍內之最大期數($t_{MAX} \geq t_{MIN}$) (期)。
 t_{MAX}^p : 第 p 個規劃範圍之最大期數(期)。

◆ 決策變數

- $O_{i,t}$: 產品種類 i 於第 t 期外包之數量(片)。
 $X_{i,m,t}$: 於第 t 期內，產品別 i 在機台 m 上的加工數量(片)。
 $Z_{i,t}$: 於第 t 期內，產品種類 i 未能滿足需求之數量(片)。
 $\beta_{i,i',m,t}$: 0-1 變數，表示跨期時是否由生產產品 i 轉為生產產品 i' ，第 $t-1$ 期期末及第 t 期期初於機台 m 上產品間的加工順序關係。若產品 i' 接續於產品 i 之後加工則為 1，若無此順序關係為 0。
 $\gamma_{i,i',m,t}$: 0-1 變數，表示第 t 期內之換線情況，於機台 m 上產品間的加工順序關係，若為產品 i' 接續於產品 i 之後加工則為 1，若無此順序關係為 0。

(1) 多規格換線之產品別符號設計

彩色濾光片及薄膜電晶於組立製程中為一對一搭配(具有相同的產品規格—光罩、光阻液及玻璃規格)，規格相同之物料才能於組立製程進行貼

合、切割等後續加工。因此，彩色濾光片接收的組立製程產品需求亦包含上述之三維度，生產時前後產品別不同將會影響「設置時間」之長短。為了簡化多規格換線之變數，本研究將三維度之換線組合以一個變數「產品種類 i 」表示。以表 3-1 說明，目前有 3 種光罩、2 種光阻液及 2 種大小之玻璃尺寸，對應至產品種類則有 12 種($3 \times 2 \times 2$)產品。

表 3-1 換線種類對應產品種類表

| 產品種類 i | 光罩種類 a | 光阻液 | 玻璃規格 |
|----------|----------|-----|------|
| A | 1 | 1 | 1 |
| B | 1 | 1 | 2 |
| C | 1 | 2 | 1 |
| D | 1 | 2 | 2 |
| E | 2 | 1 | 1 |
| F | 2 | 1 | 2 |
| G | 2 | 2 | 1 |
| H | 2 | 2 | 2 |
| I | 3 | 1 | 1 |
| J | 3 | 1 | 2 |
| K | 3 | 2 | 1 |
| L | 3 | 2 | 2 |

根據上述之產品種類，再搭配上表 3-2 之呈現方式，即可得知切換產品別所花的換線時間。表中 i 表換線前最後加工之產品別，而 i' 則為待加工之產品別，當 $i=i'$ 時換線時間為 0，反之當 $i \neq i'$ 時則對應表中所需之換線時間。此外，該種類之產品「加工時間」可運用 i' 搭配機台別來表示。

表 3-2 換線時間示意表

| $i \backslash i'$ | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|-------------------|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| A | 0 | 15 | 55 | 70 | 50 | 65 | 105 | 120 | 50 | 65 | 105 | 120 |
| B | 10 | 0 | 65 | 55 | 60 | 50 | 115 | 105 | 60 | 50 | 115 | 105 |
| C | 35 | 50 | 0 | 15 | 65 | 100 | 50 | 65 | 65 | 100 | 50 | 65 |
| D | 45 | 35 | 10 | 0 | 95 | 85 | 60 | 50 | 95 | 85 | 60 | 50 |
| E | 50 | 65 | 105 | 120 | 0 | 15 | 55 | 70 | 50 | 65 | 105 | 120 |
| F | 60 | 50 | 115 | 105 | 10 | 0 | 65 | 55 | 60 | 50 | 115 | 105 |
| G | 85 | 100 | 50 | 65 | 35 | 50 | 0 | 15 | 85 | 100 | 50 | 65 |
| H | 95 | 85 | 60 | 50 | 45 | 35 | 10 | 0 | 95 | 85 | 60 | 50 |
| I | 50 | 65 | 105 | 120 | 50 | 65 | 105 | 120 | 0 | 15 | 55 | 70 |
| J | 60 | 50 | 115 | 105 | 60 | 50 | 115 | 105 | 10 | 0 | 65 | 55 |
| K | 85 | 100 | 60 | 65 | 85 | 100 | 60 | 65 | 35 | 50 | 0 | 15 |
| L | 95 | 85 | 60 | 50 | 95 | 85 | 60 | 50 | 45 | 35 | 10 | 0 |

然而，機台對產品別 i 加工時需搭配所屬之光罩，並且光罩具有數量上之限制；有基於此，將光罩種類別自成一參數，以參數 a 表示，並且設計另一參數「第 a 種光罩之需求數量($reticle_a$)」以反應上述情況。

(2) 外包數量之分配

在內製廠及外包商合作關係下，內製廠視需求與自身產能委外一定範圍(外包合約下限 o_{lower} 至合約上限 o_{upper})之產品數量。委外之產品不需考慮該產品別於外包廠之加工時間(合約內容以數量訂定)。因此「可用外包上、下限」為規劃求解中之限制，在此說明如何將外包數量限制分配於規劃幅度中。以下分別針對各期可使用之外包數量上限及下限兩項進行說明：

- ◆ 各期可用外包數量上限(使用於「產能充足排程模式」及「產能不足排程模式」)

以承包商之觀點，外包合約上限為對 CF 廠所能提供之總產量，但此總產量無法在短時間產出，因此以訂單交期之時間間隔作為承包商之可用產能，以此時間間隔換算出外包商能生產之數量多寡(可提供 CF 廠之產品數量)，才符合實務之情境。

$$o_{upper(t)} = \left\lfloor \frac{s_t}{due_T} \times o_{upper} \right\rfloor \quad (\text{片}) \quad \forall t \quad \text{式 3-1}$$

於式 3-1 中，首先計算「各交期間之時間差距($s_t = due_t - due_{t-1}$)」，除上「總規劃幅度之時間(due_T)」，將外包合約上限依各交期之時間間隔比例做分配，以此比例作為求算各期可用外包上限之基準。以圖 3-4 來說明上述作法，圖中「外包數量限制」意指外包商可提供之產品數量範圍，外包合約上限為外包商最多能接受之數量，超過此數量則不允許外包；「各期產出需求」為組立製程要求彩色濾光片廠之各期產出需求，將相同訂單交期依時間序排列，需求之交期依序為 due_1 至 due_T 。當 $t=1$ 時與前一期相隔了 s_1 天，因此第 1 期內所分配之外包數量上限(外包商至多能生產之數量)為 $\frac{s_1}{due_T} \times o_{upper}$ ，並運用取整函數(Floor function)計算出下界作為該期分配所得之整數上限，其餘期數亦以此類推。

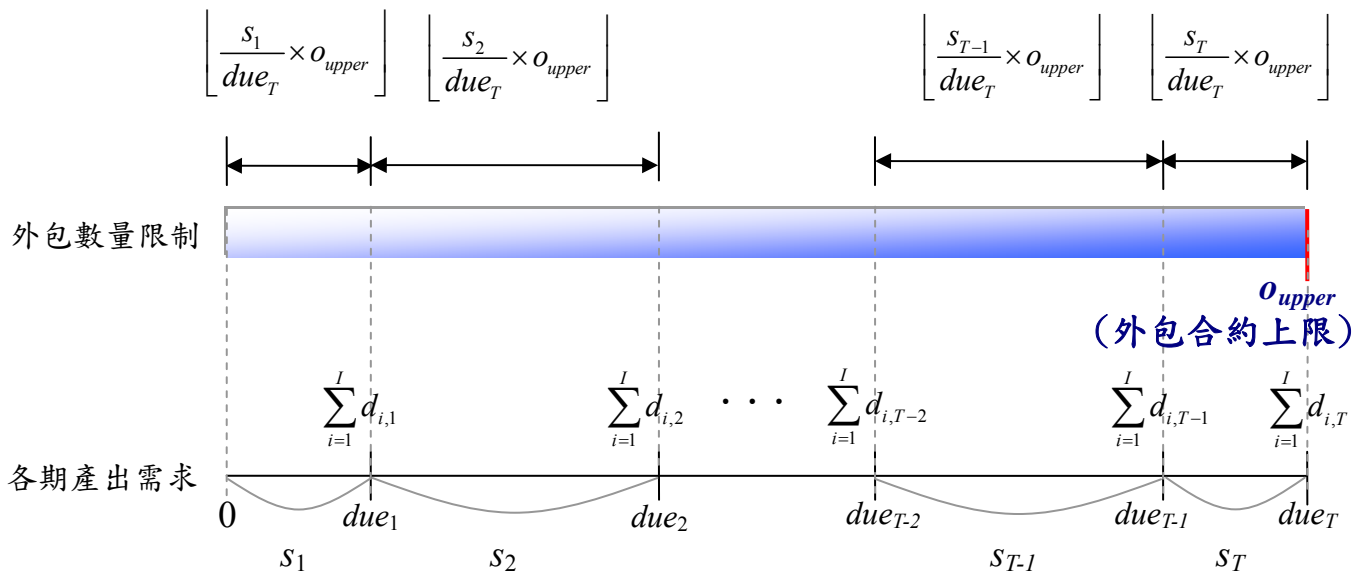


圖 3-4 外包數量限制式說明圖(依交期間的時間差距分配)

$$o_{diff}^{upper} = o_{upper} - \sum_{t=1}^T o_{upper(t)} \quad (\text{片}) \quad \text{式 3-2}$$

依交期間之時間差距作外包數量之分割後，取整函數之加總可能與外包上限值有所出入，因此式 3-2 則計算「外包合約上限 o_{upper} 」及「取整函數後的各規劃週期上限值總和 $\sum_{t=1}^T o_{upper(t)}$ 」間之差異，以此差值 o_{diff}^{upper} 補足數量至外包上限。

當各規劃週期之外包數量未達其上限，該期剩餘之數量則給予下期使用。因此本期的可用外包數量為「該期之前的剩餘外包數量」及「本期之外包上限」總和，運用上述概念建構 3.4 節「產能充足排程模式」及「產能不足排程模式」之外包數量限制式(式 3-40)。

◆ 各期可用外包數量下限(使用於「產能充足排程模式」)

當需求情境為淡季時(累積外包數量不及合約下限)，當月(28 天)規劃結果須予以外包商合約下限之數量(o_{lower})；儘管自製產能處於充足之情況，但為達其合約內容，強迫各筆訂單至少須外包一定數量，以符號「 $o_{lower(l)}$ 」表示。

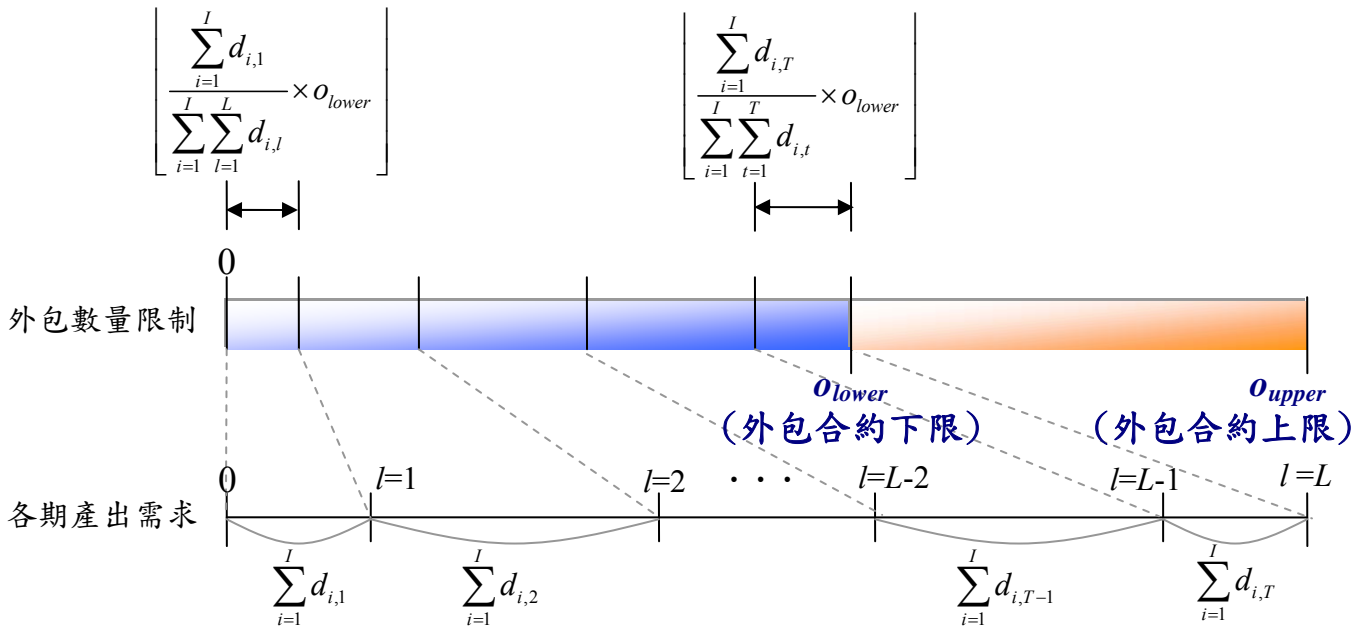


圖 3-5 外包數量限制式說明圖(依各期之需求數量分配)

$$o_{lower(l)} = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^l d_{i,l}}{\sum_{i=1}^l \sum_{l=1}^L d_{i,l}} \times o_{lower} \right\rceil \quad (\text{片}) \quad \forall l \quad \text{式 3-3}$$

$$o_{diff}^{lower} = o_{lower} - \sum_{l=1}^L o_{lower(l)} \quad (\text{片}) \quad \text{式 3-4}$$

圖 3-5 顯示， $o_{lower(l)}$ 之值依各訂單的需求數量為分配依據，若依訂單交期之間的時間差距做為分配外包數量之依據，則不適用需求具上下波動之情況(只適用於穩定需求)，無法將最適當之外包數量分配給適當之需求。因此式 3-3 表示，各訂單至少須委外之數量為，該筆訂單之需求量與所有訂單之總需求量之比值乘上外包合約下限，再透過取整函數運算即為其值。

而式 3-4 計算，「外包合約下限(o_{lower})」及「外包合約下限和($\sum_{l=1}^L o_{lower(l)}$)」間之差值，以其值作為補足至外包合約下限之用。

(3) 求解時自製、外包、未排入產品之分派順序

為了因應 3.1 節「自製、外包產品種類及數量決策問題」，因此設計三決策變數：自製($X_{i,m,t}$)、外包($O_{i,t}$)以及未排入產品($Z_{i,t}$)，以此滿足預定需求。由 3.1 節問題描述中得知，無論在淡季及旺季需求下，外包數量皆需達其下限，因此在求解時優先滿足外包下限，其餘之需求再依序由自製產能、額外委外數量(外包上、下限間之差額)所提供，最終無法排入之需求則歸類於未排入產品(如圖 3- 6)。但此種分派方式所遭遇之問題為：外包下限 o_{lower} 之數量該如何分配才合理。為了優先滿足其下限值，即表示訂單需求必須先以外包下限滿足，其餘不足量再以自製廠進行生產；此種分派方式會導致先到臨訂單之產能需求皆由外包下限所提供，無法達成最佳規劃，並且與本節第 2 點所說明之外包數量分配不同，因此不採用圖 3- 6 之分派順序。

有鑑於此，本研究採用圖 3- 7 之規劃順序，優先以當期之自製產能滿足需求，其餘不足數量再交予外包廠生產，最後無法排入排程之產品則予以很高的懲罰成本。倘若規劃幅度內之需求可由自製產能所滿足(不需外包廠支援生產)或外包產品數量未達下限值；在此情況下，從自製廠已排定之規劃結果中，挑選出外包產品使其達下限數量。

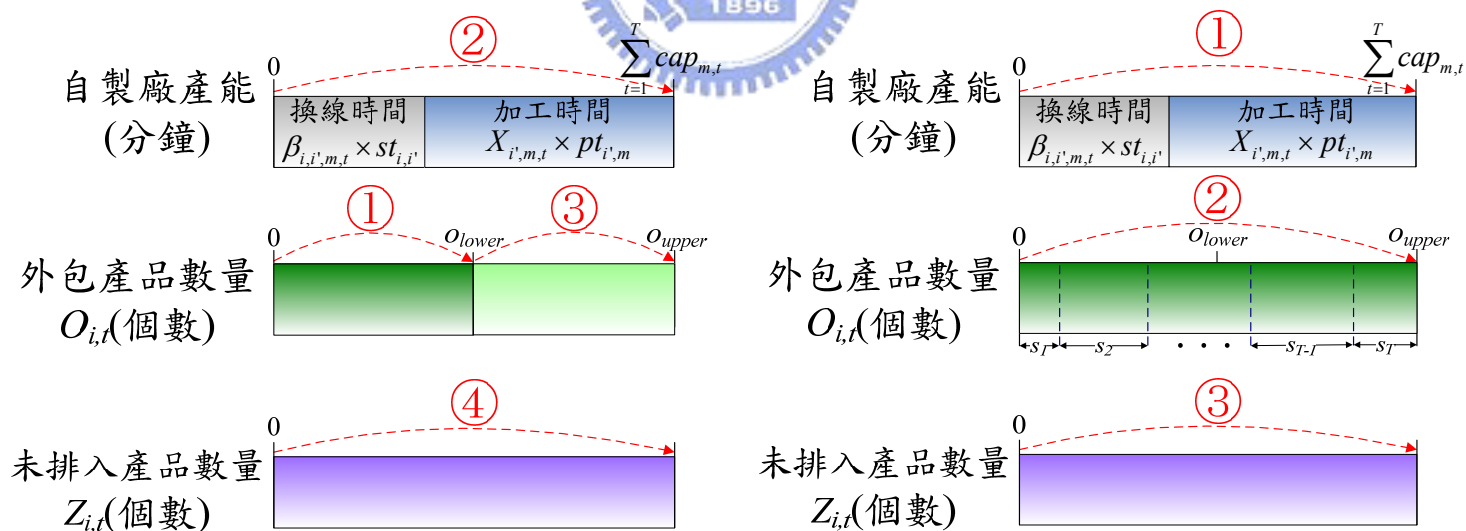


圖 3- 6 自製、外包及未排入產品之規劃順序-1

圖 3- 7 自製、外包及未排入產品之規劃順序-2

為了實現上述規劃順序之作法，本研究以「目標式(式 3- 33)：最小化自製、外包、未排入產品加工成本($\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} (cx_i \times X_{i,m,t} + co_i \times O_{i,t} + cz_i \times Z_{i,t})$)」並搭配「生產成本參數之設定($cx_i < co_i < cz_i$)」來達成；但不同玻璃尺寸之產

品具有相異之加工時間，在目標值最小化之趨使下會使得加工時間長之產品(較大尺寸面板)皆交予外包商製造。而實務上會依加工時間之長短設定其成本參數，因此在自製產品中設定「小尺寸產品(加工時間短)之製造成本」小於「大尺寸產品(加工時間長)」；同理，在外包產品之生產成本亦是同樣情況。因此生產成本由小至大依序為小尺寸自製<大尺寸自製<小尺寸外包<大尺寸外包，在滿足需求時即以此順序分派；在此做法下，各種尺寸產品會優先以自製產能滿足，產能滿載後再予以外包生產。

(4) 訂單交期與機台可用產能間之關係

由於各機台別之產能具有一定比例的當機(dt_m)、機台維護(pm_m)及實驗(eg_m)時間，扣除此比例後才可作為該機台之可用產能；因此先將訂單交期為 due_t 之訂單歸於集合 D_t 中，藉此求算屬於 D_t 集合之所有訂單最早備料完成時間 $ready_t$ (式 3-5)。並於式 3-6 求算第 $t-1$ 期與第 t 期間之產能閒置時間，於式中計算 $ready_t$ 與 due_{t-1} 間之差距天數，若該值為負則視為 0。

進而得知實際可用產能為交期 due_t 與 $\max(ready_t, due_{t-1})$ 之差距天數 (c_t)(式 3-7)，再扣除上述比例後才可運用，即為式 3-8 所表達之第 t 期機台 m 產能。以圖 3-8 呈現各訂單交期與機台可用產能之關係，其中，本研究環境假設各機台別具有不同之當機、機台維護及實驗比例。

$$ready_t = \min_{l \in D_t}(r_l) \quad (\text{天}) \quad \forall t \quad \text{式 3-5}$$

$$idle_t = \max(0, ready_t - due_{t-1}) \quad (\text{天}) \quad \forall t \quad \text{式 3-6}$$

$$c_t = due_t - \max(ready_t, due_{t-1}) \quad (\text{天}) \quad \forall t \quad \text{式 3-7}$$

$$cap_{m,t} = (1 - dt_m - pm_m - eg_m) \times c_t \quad (\text{秒}) \quad \forall m, t \quad \text{式 3-8}$$

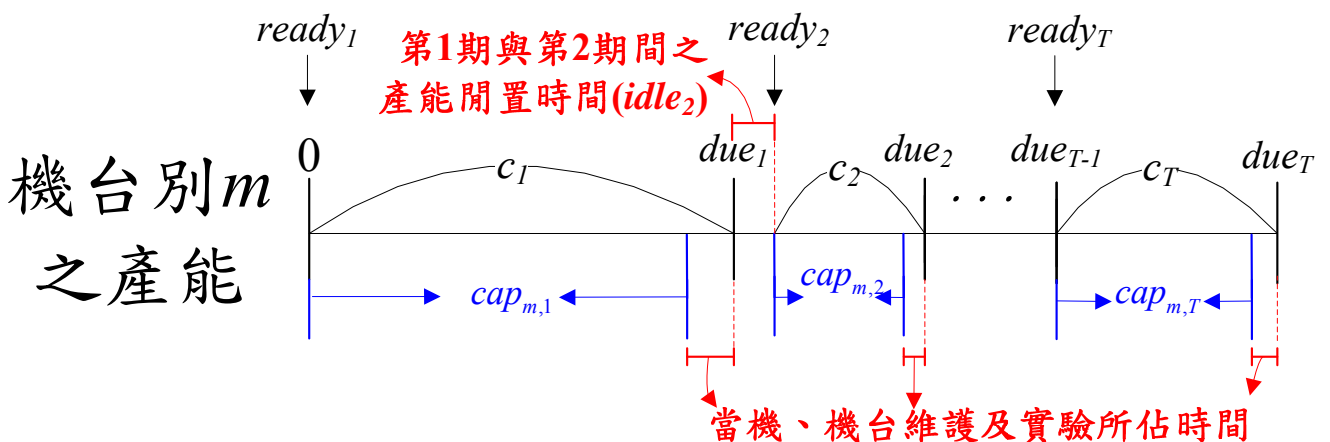


圖 3-8 機台產能與交期關係圖

(5) 變動規劃週期及滾動排程

本文採用楊氏[33]之「變動規劃週期」及「滾動排程(Rolling schedule)」解題方式。不同於固定規劃週期於「一定時間間隔」進行求解，變動規劃週期則以「需求之交期」作為求解之時間間隔。此種解題方法適用於訂單式生產之環境，由近至遠依序對不同交期之需求求解，交期之總期數為求解的執行次數。而滾動排程之概念為：「前期之規劃期數若有餘裕產能(含自製或外包)，即可支援後段需求進行提早投料之動作」，為達此目的，產能限制式需採用累積之方式表示。

綜合上述說明，以產品 A、B 為例說明，圖 3-9 中顯示目前有四筆訂單，需求量依交期劃分為：第 2 天的 150 個產品 B($d_{2,1}=150$)，第 3 天的 250 個產品 A($d_{1,2}=250$)和 200 個產品 B($d_{2,2}=200$)，以及第 5 天的 100 個產品 A($d_{1,3}=100$)，並其四筆訂單皆可於期初開工。依訂單之交期依序求解(分別為 2、3、5 天)共執行 3 次求解，以 t 表示各個規劃週期($t=1,2,3$)，為了將「本次求解所含蓋之範圍」與「規劃週期 t 」做區分，因此以代號「 t_{MIN} 」表示本次求解範圍內最小期數，及「 t_{MAX} 」表示本次求解範圍內最大期數，「 (t_{MIN}, t_{MAX}) 」則為本次求解範圍所考慮之期數。(1,1)表針對交期為第 2 天前之需求(產品 B:150)進行求解、(1,2)為針對交期為第 3 天前之需求(產品 B:150、產品 A:250、產品 B:200 個)進行求解，(1,3)則對交期第 5 天前之所有需求求解。以上所述為滾動排程之概念，並運用其概念建構出式 3-9 至式 3-14 之限制式(請參閱 3.4.1 之需求滿足限制式—式 3-34)。

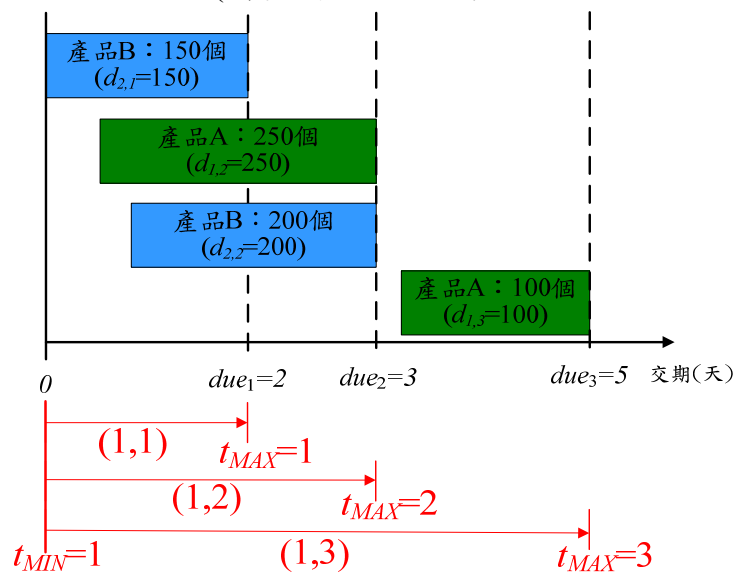


圖 3-9 「變動規劃週期」與「滾動排程」概念說明

產品種類 A：

$$\sum_{m=1}^M X_{1,m,1} + O_{1,1} + Z_{1,1} \geq d_{1,1} = 0 \quad \text{式 3-9}$$

$$\sum_{m=1}^M X_{1,m,1} + O_{1,1} + Z_{1,1} + \sum_{m=1}^M X_{1,m,2} + O_{1,2} + Z_{1,2} \geq d_{1,1} + d_{1,2} = 0 + 250 \quad \text{式 3-10}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^M X_{1,m,1} + O_{1,1} + Z_{1,1} + \sum_{m=1}^M X_{1,m,2} + O_{1,2} + Z_{1,2} + \sum_{m=1}^M X_{1,m,3} + O_{1,3} + Z_{1,3} \\ & \geq d_{1,1} + d_{1,2} + d_{1,3} = 0 + 250 + 100 \end{aligned} \quad \text{式 3-11}$$

產品種類 B：

$$\sum_{m=1}^M X_{2,m,1} + O_{2,1} + Z_{2,1} \geq d_{2,1} = 150 \quad \text{式 3-12}$$

$$\sum_{m=1}^M X_{2,m,1} + O_{2,1} + Z_{2,1} + \sum_{m=1}^M X_{2,m,2} + O_{2,2} + Z_{2,2} \geq d_{2,1} + d_{2,2} = 150 + 200 \quad \text{式 3-13}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^M X_{2,m,1} + O_{2,1} + Z_{2,1} + \sum_{m=1}^M X_{2,m,2} + O_{2,2} + Z_{2,2} + \sum_{m=1}^M X_{2,m,3} + O_{2,3} + Z_{2,3} \\ & \geq d_{2,1} + d_{2,2} + d_{2,3} = 150 + 200 + 0 \end{aligned} \quad \text{式 3-14}$$

式 3-9 至式 3-11 針對產品別 A，並隨著規劃週期的推進，累加各期的自製、外包、未排入產品數量以及需求數量。由此構念，若前期之規劃週期有剩餘自製或外包產能時，即可支援後段需求進行提早投料之動作，達到充分運用自製及外包產能之成效。同理，式 3-12 至式 3-14 則針對產品別 B 建構出需求限制式。

(6) 將排程列入暫存解之概念

由於凍結排程可適時減少求解結果的不安定性及問題規模；但於本文解題設計之中，存在「重新求解」規劃幅度內之訂單需求，因此以「列入暫存解」表示凍結排程之概念，待主生產排程規劃完成後，即凍結規劃幅度之排程結果。

在應用滾動排程及彈性規劃週期時，求解時規劃週期將往後推進，也意謂越到後期規劃模型內之變數、限制式及求解時間亦跟著增加。為了避免此情況，須適時地對已排程結果列入暫存，以此作法節省求解時間。再者，直到求解至最後一期 T 判斷排程之結果，於暫存解之排程

暫存排程之作法分成兩部份，先針對「規劃結果是否符合暫存條件」進行判斷，符合其條件後再執行「決定列入暫存解之工作」，細項如下所示：

◆ 判斷規劃結果是否符合暫存條件

暫存條件設定之周全程度將影響排程結果之好壞，因此在此列出四種暫存之條件，如下所示：

- 暫存條件一：該期所有機台之可用產能皆已滿載
- 暫存條件二：於完工時點內，待規劃之訂單已備料完成
- 暫存條件三：於完工及訂單交期範圍內，待規劃之訂單已備料完成
- 暫存條件四：已規劃訂單之交期內，待規劃之訂單尚未備料完成

倘若排程結果滿足暫存條件一，由於該段產能已滿載，不受後序需求之備料時間影響，於此情況下不須考慮其餘暫存條件。反之，排程結果尚有餘裕產能，進而判斷排程結果是否滿足暫存條件二、三、四。

◆ 決定列入暫存解之工作

- 暫存時點 f_{NEW} 之更新
- 暫存排程結果(含自製及外包)，並計算暫存產能

(7) 外包種類縮減之概念

於 3.1 節問題描述中提及，當外包產品之累積數量已超出外包合約下限，則判定此情況為旺季之情境，爾後須針對委外產品加諸種類及數量之限制(種類總數不得過多、每一種類之委外產品數量不得過小)；因此提出本節之概念作為解決問題之用。

由於規劃排程時採用「變動規劃週期及滾動排程」結合「暫存排程」之方法，導致求解過程中逐漸累積已暫存之外包數量，當其數量超出外包合約下限(O_{lower})，即執行外包種類縮減之動作；此條件以判別式「期初累積至第 f_{NEW} 期的外包數量總和是否大於外包合約下限」表示；雖然此判別式已可釐清淡、旺季之情境，但實行此縮減機制之期數應於滿足此條件之後的每一規劃週期(即判定大於 O_{lower} ，爾後所有期數皆須加諸此限制)。

有鑑於此，檢視期初至第 f_{NEW} 期之外包累積數量，倘若該值大於外包合約下限，後續惟獨對 t_{MIN} 至 T 之期數範圍，實行外包種類縮減及數量限制之動作(圖 3-10)。此部份將於 3.4 主生產排程規劃模組—Step7 外包種類縮減機制說明)。

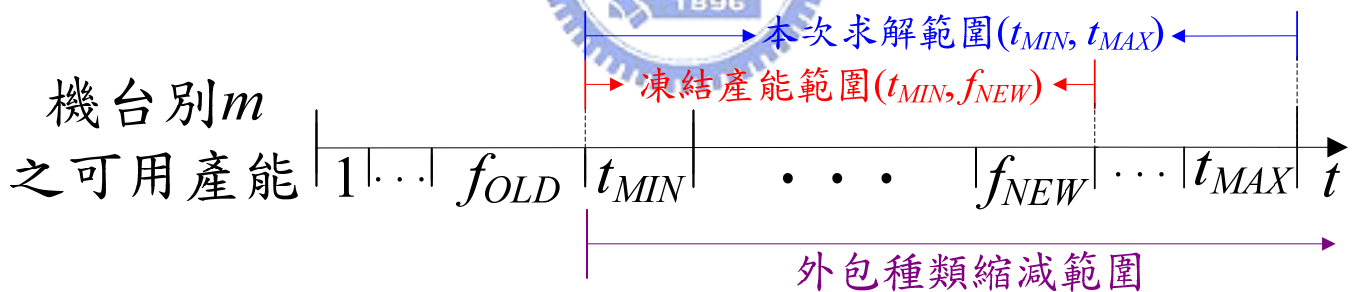


圖 3-10 外包縮減範圍說明圖

(8) 求解時考慮之期數範圍

倘若一次對整個規劃幅度進行求解，可能因產品種類、機台數、多期規劃等維度而產生複雜變數及參數，造成求解時間過久或無法收斂之結果；有鑑於此，本文運用滾動排程之概念(本節第 5 點)，依序對各個規劃週期進行求解。

以下分別針對「規劃範圍之分類概念」及「各情境須考慮之求解期數範圍」，對其概念進行說明。

◆ 規劃範圍之分類概念

然而，當排程結果之自製產能為滿載狀態(剩餘產能不足以進行生產或換線之動作)，或結果存在外包數量之規劃時，爾後來到之訂單需求無論其備料完成時點，皆不影響該段排程之結果(由於自製產能已滿載)。再者，當前段排程為未滿載，後續銜接滿載排程時，由於滿載排程之結果會受前期之影響，因此兩者須視為同一規劃範圍。

因此在分段求解主生產排程之前，先行判別各規劃週期之產能滿載與否(判別方式為，當「各期訂單需求所需加工時間」超出「各期所有機台可用產能」，則視該期為滿載，反之則未滿載)，進而以「滿載之期數」為分界，將整個規劃幅度分成數個規劃範圍，以符號「 p 」表示規劃範圍序號，並以「 t_{MIN}^p 」及「 t_{MAX}^p 」分別表示第 p 個規劃範圍之最小及最大期數。

規劃範圍之分類方式具備下述要點：

1. 除了最後一規劃範圍 P 之最後一期 T ，產能狀態不限之外(滿載或未滿載皆可)，其餘規劃範圍(1,2,...,P-1)之 t_{MAX}^p 期數須為滿載狀態。
2. 以數個「未滿載」搭配一個「滿載」狀態作為一規劃範圍。
3. 滿載期數之前無未滿載期數存在時，此滿載期數視為一規劃範圍。

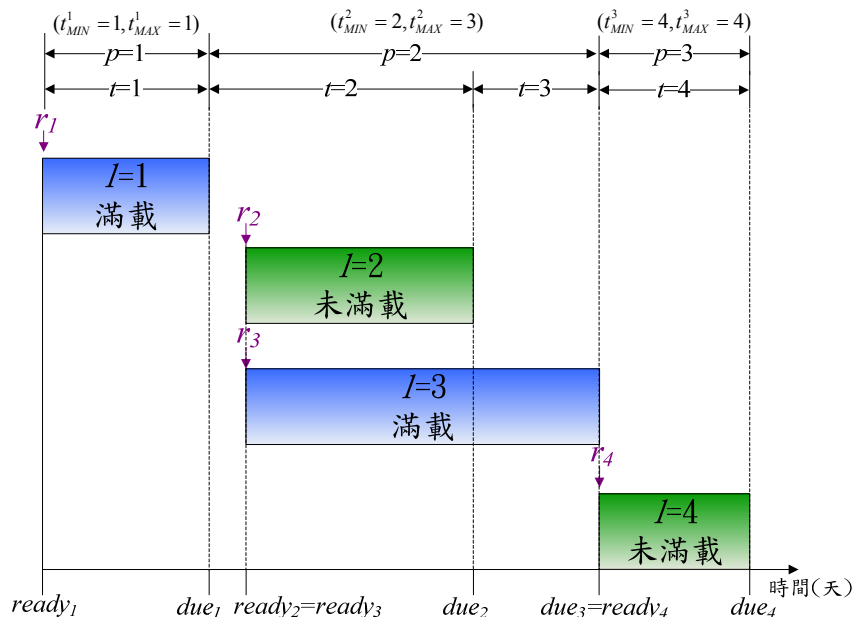


圖 3-11 規劃範圍示意圖

以圖 3-11 說明規劃範圍分類之結果，以滿載期數及最後一期作為範圍之分界，可分成三個規劃範圍；其中，第 1 期為滿載，該期之前無未滿載存在，因此獨自視為一規劃範圍($p=1: t_{MIN}^1=1、t_{MAX}^1=1$)， $t=2$ 及 $t=3$ 分別為未滿載及滿載之期數，兩者納為一範圍($p=2: t_{MIN}^2=2、t_{MAX}^2=3$)，最後一期 $t=4$ 獨自視為一範圍($p=3: t_{MIN}^3=4、t_{MAX}^3=4$)。

◆ 各情境須考慮之求解期數範圍

在「備料完成時間」及「訂單交期」時點之變化下，產生下述三種情境，於各情境求解時，須考慮之期數範圍分別說明如下：

1. 備料完成時間相同，訂單交期不同

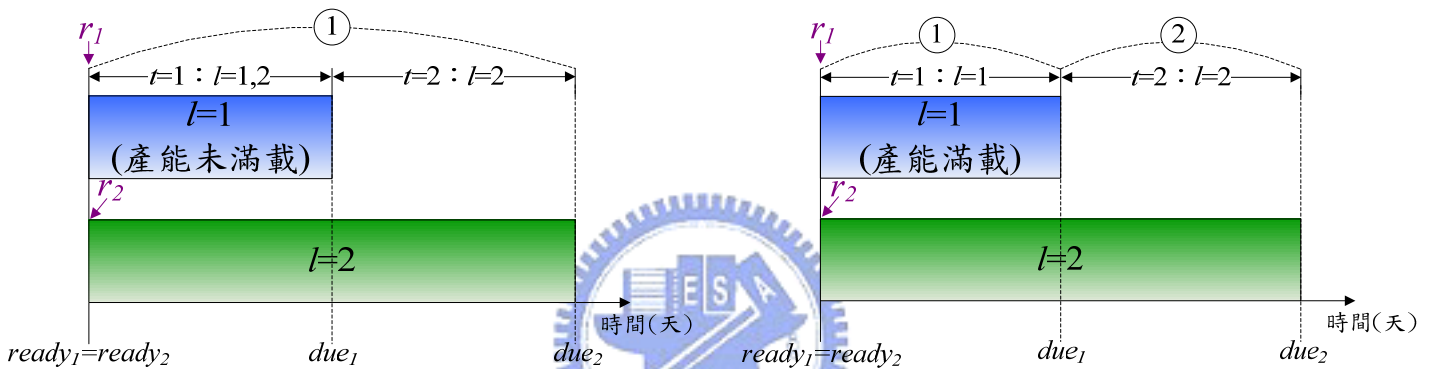


圖 3-12 備料完成時間相同，訂單交期不同之情境-1 圖 3-13 備料完成時間相同，訂單交期不同之情境-2

當兩筆需求之備料完成時間相同($r_1=r_2$)，但其交期時間不同($due_1 < due_2$)時，由於兩訂單皆可使用 $t=1$ 階段之自製產能，因此求解時須同時考慮兩筆訂單，但此作法只適用於 $l=1$ 之產能未滿載(圖 3-12)時；其中，「 $t=1:l=1,2$ 」表該段規劃週期 1 之自製產能，可供訂單編 1 及 2 使用。然而，當 $l=1$ 之產能滿載時， $t=1$ 之產能惟獨提供 $l=1$ 排程使用，接續運用 $t=2$ 之產能對訂單編號 2 求解排程(圖 3-13)。

2. 備料完成時間不同，訂單交期相同

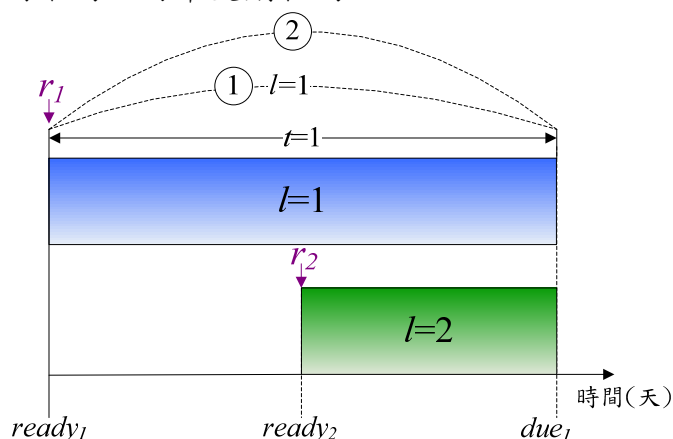


圖 3-14 備料完成時間不同，訂單交期相同之情境

當兩筆需求之交期時間相同(皆為 due_1)，但其備料完成時間不同($r_1 \neq r_2$)之時(圖 3-14)，此時優先規劃訂單編號 1，視其結果滿足之暫存條件，將部份規劃結果列入暫存解，再納入訂單編號 2 進行規劃週期 1 之求解。

3. 備料完成時間不同，訂單交期不同

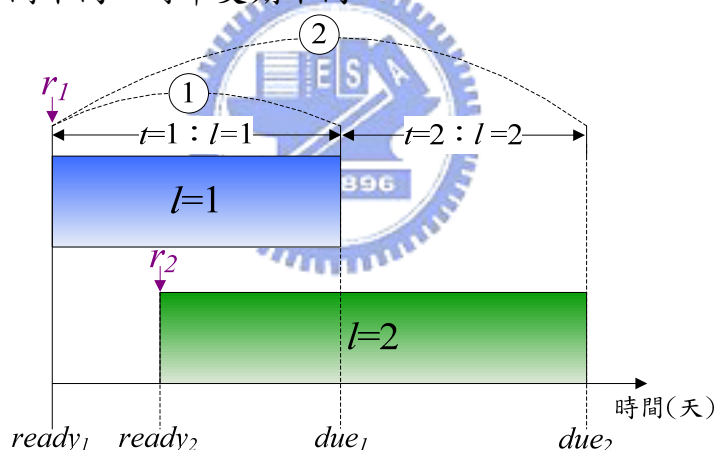


圖 3-15 備料完成時間不同，訂單交期不同之情境

當訂單之情境為，備料完成時間($r_1 \neq r_2$)及訂單交期($due_1 \neq due_2$)皆不同時(圖 3-15)，先於規劃週期 1 對 $l=1$ 進行規劃，依其滿足之暫存條件，將部份規劃結果列入暫存解，納入 $l=2$ 後求解規劃週期 1、2。

(9) 本文之解題設計說明

當需求中各筆訂單具備不同交期時間時(數學模型依訂單交期為期數分界)，惟有同時對規劃幅度內所有需求進行規劃，方可得整體最佳解；但此舉因之變數及限制式多寡，造成求解時間長短之差異。因此於求解過程中，搭配「滾動排程」及「暫存排程」對訂單進行分段規劃，即可在本文考慮的假設及限制式範疇下，快速求得研究問題之可行解。

3.3、產能初估模組

當彩色濾光片內製廠接收組立製程所開出之投料規劃後，針對此預定之需求進行排程規劃。在進行細部之主生產排程規劃前，先以初步的產能估計，檢視現有之「內製廠產能和可委外加工數量上限」及「光罩個數」是否能滿足此需求，上述兩者分別透過「3.3.1 瓶頸工作站產能推估機制」及「3.3.2 光罩個數推估機制」分段檢視。若不能滿足則回報組立製程，對其需求進行修正之動作；倘若產能可負荷，則進入下一模組建構主生產排程(圖 3-16)。以下分別說明兩機制之細部內容：

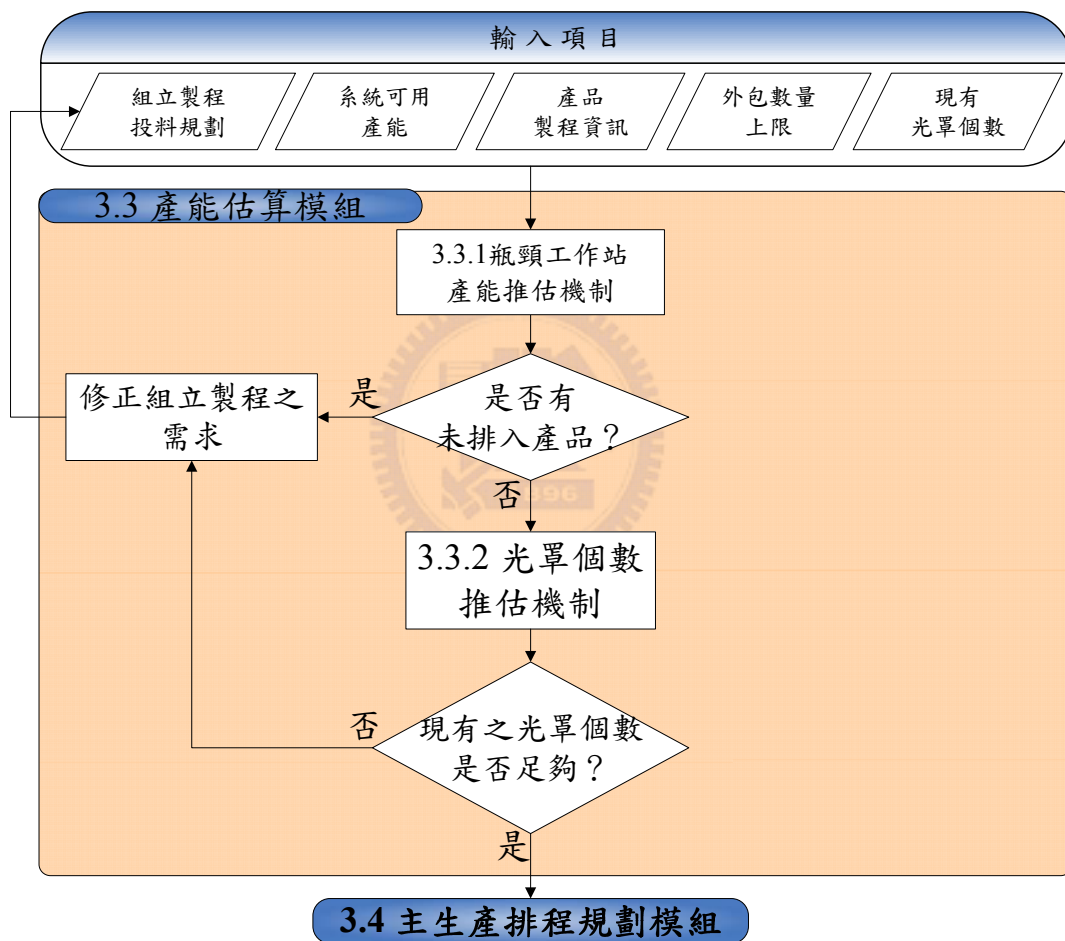


圖 3-16 產能初估模組流程圖

3.3.1、瓶頸工作站產能推估機制

此機制之目的為：檢視整個規劃幅度中之組立製程需求，能否被現有之瓶頸機台產能及委外加工產品數量所滿足。此問題將以線性規劃模式求解，輸入項目為：組立製程投料規劃、系統可用產能、產品製程資訊、及外包數量上限；分成四步驟說明本機制之實行(圖 3-17)：

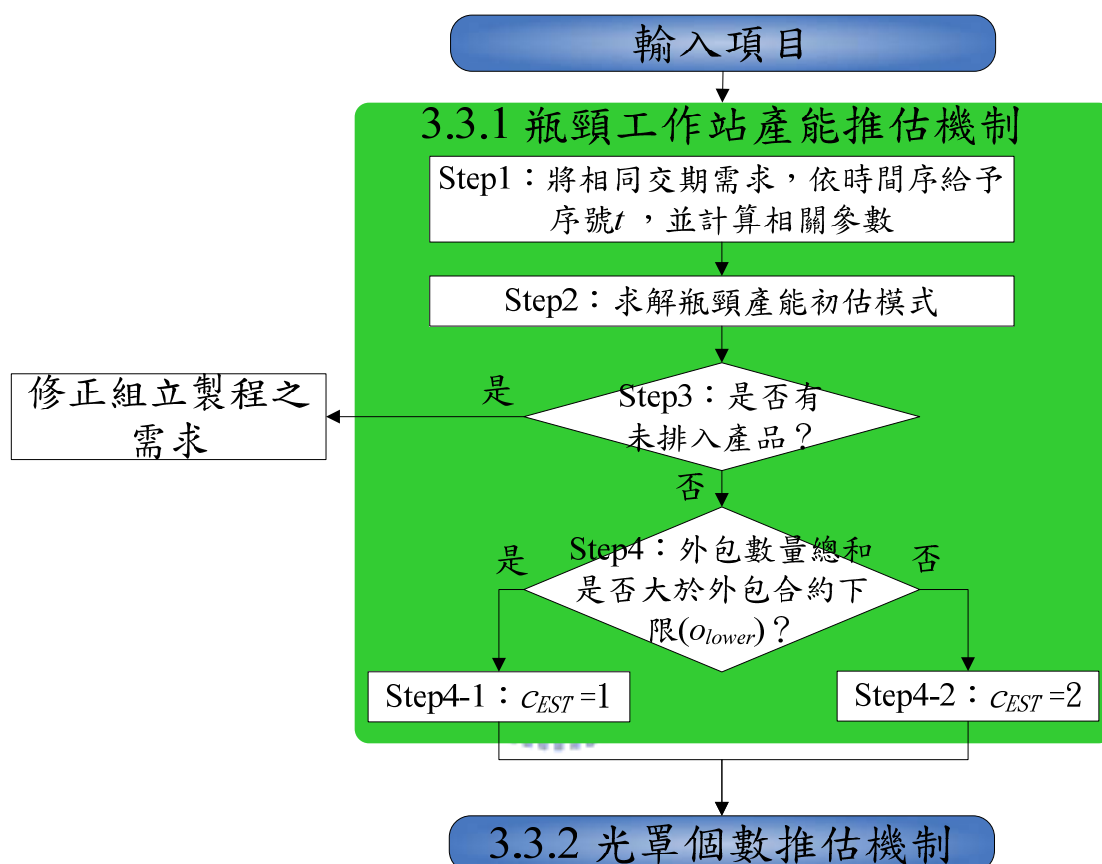


圖 3-17 瓶頸工作站產能推估機制流程圖

瓶頸工作站產能推估機制之符號說明：

◆ 集合

I_t : 訂單交期為 due_t 之所有產品別集合。

I_t^{begin} : 包含產品別 0 並隸屬於規劃週期 t 之所有產品別集合。

◆ 參數

c_{EST} : 表執行瓶頸產能初估模式後，外包累積數量之狀態，若大於外包合約下限則為 1，反之則為 2。

$cab_{i,m}$: 二元參數。表製程規格能力，當產品種類 i 可在機台 m 進行加工時為 1，反之為 0。

cap_m : 機台 m 在規劃幅度內之可用產能(扣除當機、維護、實驗之後)(秒)。

d_i : 產品種類 i 在規劃幅度內之目標需求量(片)。

h : 排程之規劃幅度(天)。

$mtbf_m$: 機台 m 之平均失效間隔時間(mean time between failure) (hr.)。

$mttr_m$: 機台 m 之平均修復時間(mean time to repair) (hr.)。

$mtbpm_m$: 機台 m 之平均維修間隔時間(mean time between PM) (hr.)。

$mttpm_m$: 機台 m 之平均維修時間(mean time to PM) (hr.)。

pt_i : 產品別 i 於各機台的單位加工時間(秒)。

$setup_t$: 規劃週期 t 之換線時間總和初估。

\overline{st}_{begin} : 期初($t=1$)之單次換線所需的平均時間(秒)。

\overline{st}_t : 各期之單次換線所需的平均時間(秒)。($t=2,3,\dots,T$)

u : 機台的利用率上限。

◆ 決策變數

O_i : 規劃幅度內，產品種類 i 委外加工之數量(片)。

$X_{i,m}$: 規劃幅度內，產品別 i 在機台 m 上的加工數量(片)。

Z_i : 規劃幅度內，產品種類 i 未能滿足需求之數量(片)。

Step1：將相同交期需求，依時間序給予序號 t ，並計算相關參數

$$dt_m = \frac{mttr_m}{mtbf_m + mttr_m} \quad \forall m \quad \text{式 3-15}$$

$$pm_m = \frac{mttpm_m}{mtbpm_m + mttpm_m} \quad \forall m \quad \text{式 3-16}$$

$$cap_m = (1 - dt_m - pm_m - eg_m) \times (h - \sum_{t=1}^T idle_t) \times 24 \times 60 \times 60 \quad (\text{秒}) \quad \forall m \quad \text{式 3-17}$$

$$I_t^{begin} = \{0\} \cup I_t \quad \text{式 3-18}$$

$$\overline{st}_{begin} = \frac{\sum_{i \in I_t^{begin}} \sum_{i' \in I_t} st_{i,i'}}{\sum_{i \in I_t^{begin}} \sum_{i' \in I_t} i \times i'} \quad (\text{秒}) \quad \text{for } t=1 \quad \text{式 3-19}$$

$$\overline{st}_t = \frac{\sum_{i \in I_t} \sum_{i' \in I_t} st_{i,i'}}{\sum_{i \in I_t} i^2} \quad (\text{秒}) \quad \text{for } t=2, \dots, T \quad \text{式 3-20}$$

$$setup_t = \begin{cases} \overline{st}_{begin} \times \sum_{i \in I_t} i \\ \overline{st}_t \times \sum_{i \in I_t} i \end{cases} \quad (\text{秒}) \quad \begin{matrix} \text{for } t=1, \\ \text{elsewhere} \end{matrix} \quad \text{式 3-21}$$

$$u = \frac{\sum_{m=1}^M cap_m - \sum_{t=1}^T setup_t}{\sum_{m=1}^M cap_m} \quad \text{式 3-22}$$



在運用瓶頸產能初估模式求解前，必須先求得各參數之數值才得以執行。因此針對各筆需求之交期，依其時間序給予規劃週期序號 t ；依其交期將隸屬 due_t 之訂單歸於集合 D_t ，再透過式 3-5 及式 3-6 分別求算「屬於 D_t 集合之所有訂單最早備料完成時間」及「第 $t-1$ 與第 t 期間之產能閒置時間」。

式 3-15 及式 3-16 依序為當機及機台維護之比例計算方式，而式 3-17 表示，瓶頸機台產能包含加工、換線、當機、機台維護、及實驗批執行時間，因此扣除當機(dt_m)、機台維護(pm_m)及實驗(eg_m)之比例後，再乘上規劃幅度天數扣除產能閒置天數($h - \sum_{t=1}^T idle_t$)並換算成秒鐘，即成為機台 m 所具備的可用產能。

在此計算產能所佔用之換線時間，首先將隸屬規劃週期 t 之所有訂單歸於集合 I_t ，將該集合納入元素 0(表該機台無任何產品別裝載其上)即為 I_t^{begin} (式 3-18)，並於式 3-19 及式 3-20 分別求算 $t=1$ 及其餘期數中，各週

期內單次換線之平均時間；進而將單次換線時間乘上該期需求之產品別數量，藉此初估各期之換線時間總和(式 3- 21)；最後將「規劃幅度之可用產能扣去換線時間」除以「規劃幅度之可用產能」，即求得機台之利用率水準(式 3- 22)。

Step2：求解瓶頸產能初估模式

此模式目的為：在製程規格能力下，依據機台初估之加工時間(不考慮設置時間，將可用產能乘上產能利用率水準)，評估瓶頸工作站產能及協力廠外包上限之數量可否負荷預定需求。此模式將以最小化自製、外包、未排入產品之成本為目標式，以此優先滿足自製產能及外包數量。

瓶頸產能初估模型說明：

➤ 目標式

$$\min \sum_{i=1}^I \left(cx_i \times \sum_{m=1}^M X_{i,m} + co_i \times O_i + cz_i \times Z_i \right) \quad \text{式 3- 23}$$

➤ 限制式

◆ 需求滿足限制式

$$\sum_{m=1}^M X_{i,m} \times cab_{i,m} + O_i + Z_i = d_i \quad \forall i \quad \text{式 3- 24}$$

◆ 機台之產能負荷限制式

$$\sum_{i=1}^I X_{i,m} \times pt_i \leq cap_m \times u \quad \forall m \quad \text{式 3- 25}$$

◆ 外包產品之數量限制

$$\sum_{i=1}^I O_i \leq o_{upper} \quad \text{式 3- 26}$$

$$O_i, X_{i,m}, Z_i \in \text{integer} \quad \text{式 3- 27}$$

式 3- 23 以最小化自製、未包、及未排入成本作為本機制的目標式，並且以此數值衡量是否能滿足預計需求之判斷依據。

式 3- 24 表示第 i 種產品之需求數量(d_i)，由自行生產($\sum_{m=1}^M X_{i,m} \times cab_{i,m}$)、委外加工(O_i)及未排入產品(Z_i)所組成；由於目標式為最小化自製、外包、未排入產品之成本，優先由自製及外包滿足需求，兩者皆滿載後才選擇未排入產品。

式 3- 25 表示於機台 m 之產品加工時間總和，不可大於其產能利用率上限($cap_m \times u$)。

式 3- 26 說明所有委外加工之產品數量($\sum_{i=1}^I O_i$)不可大於外包上限(O_{upper})。

Step3：是否有未排入產品

在此得知 Step2 執行之結果，倘若出現未能滿足數量($Z_i > 0$)，即表示內製及外包廠之產能無法滿足此需求，需回報組立製程對此需求進行修正之動作；反之，不存在未能滿足數量($Z_i = 0$)，即表示現有之產能可負荷其需求，進入 Step4。

Step4：外包數量總和是否大於外包合約下限？

Step3 顯示求解結果無未排入產品，進而於本步驟判別外包數量總和($\sum_{i=1}^I O_i$)與外包合約下限(O_{lower})間之關係，若結果為大於則進入 Step4-1，反之則進入 Step4-2。

Step4-1： $c_{EST} = 1$

倘若 Step4 判斷結果為是(外包數量總和大於外包合約下限)， c_{EST} 之值則為 1。

Step4-2： $c_{EST} = 2$

倘若 Step4 判斷結果為否(外包數量總和小於等於外包合約下限)， c_{EST} 之值則為 2。

3.3.2、光罩個數推估機制

光罩個數推估機制符號說明：

◆ 集合

M_a : 可搭載光罩 a 之機台集合。

◆ 參數

cap_i^{demand} : 於「瓶頸工作站產能推估機制」求解後，規劃幅度下產品 i 之產能需求加工時間總和(秒)。

$rcap_a^{demand}$: 於「瓶頸工作站產能推估機制」求解後，在規劃幅度下，隸屬光罩種類 a 之所有產品 i 之產能需求加工時間加總(秒)。

est_i : 於「瓶頸工作站產能推估機制」求解後，於所有機台加工之產品 i 數量總合(片)。

rt_i : 產品 i 所用之光罩種類。

一般之排程問題鮮少考慮附屬資源，而 RGB 之附屬資源—光罩，將會影響產能負荷之限制；因此本機制計算在需求下所需的最少光罩數量，判斷現有之光罩數量是否足夠；以下分成兩步驟說明(圖 3-18)：

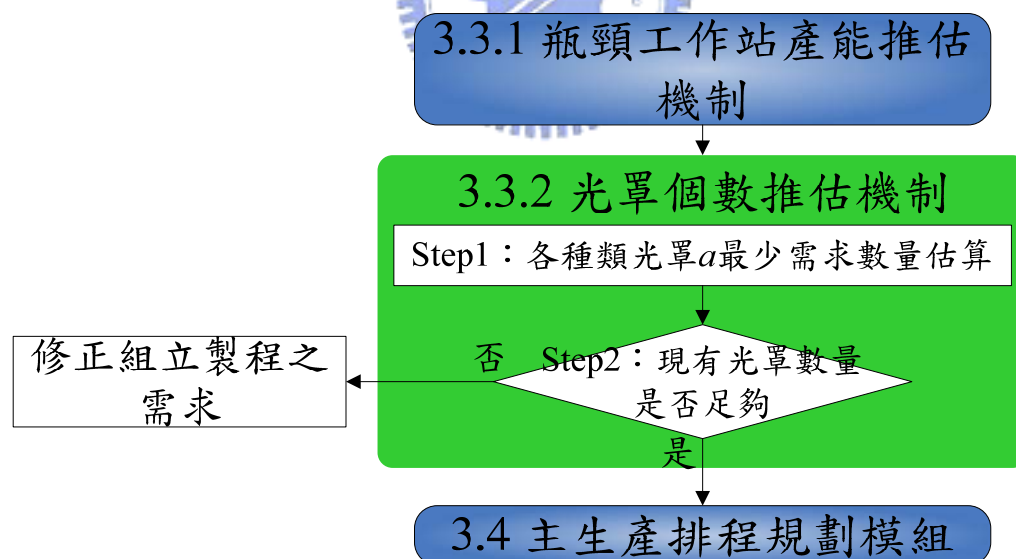


圖 3-18 光罩個數推估機制流程圖

Step1：各種類光罩 a 最少需求數量估算

$$est_i = \sum_{m=1}^M X_{i,m} \quad (\text{片}) \quad \forall i \quad \text{式 3-28}$$

$$cap_i^{demand} = est_i \times pt_i \quad (\text{秒}) \quad \forall i \quad \text{式 3-29}$$

$$rcap_a^{demand} = \sum_{r_i=a} cap_i^{demand} \quad (\text{秒}) \quad \forall i \quad \text{式 3-30}$$

$$\max_{m \in M_a} \left[\frac{rcap_a^{demand}}{cap_m} \right] = reticle_a \quad (\text{個}) \quad \forall a \quad \text{式 3-31}$$

首先將可搭載光罩種類 a 之機台 m 歸納於集合 M_a 之中，再利用瓶頸工作站產能推估機制求解之結果，於式 3-28 求得產品 i 於規劃幅度內所有機台之加工數量，並藉由式 3-29 計算出「產品 i 之產能需求」。

由於多種產品別皆使用光罩 a 進行生產，因此在式 3-30 先針對隸屬光罩 a 之所有產品別求算「光罩 a 之產能需求加總」，最後於式 3-31 取各機台(針對隸屬於光罩種類 a 之所有機台 m)所需光罩數量之最大值，此數值即為光罩種類所需之最少數量。

Step2：現有光罩數量是否足夠

將「現有光罩數量」與 Step1 所求得之「最少光罩需求數」進行比對，若數量足夠即表示此需求合理，可進入「3.4 主生產排程規劃模組」進行排程求解；反之，現有光罩數量不足時，需回報組立製程對此需求進行修正之動作。



3.4、主生產排程規劃模組

本模組承接「產能估算模組」檢視後之合理需求，進行細部之主生產排程規劃。考量廠內現有的瓶頸機台產能、產品製程資訊、有限的光罩數目、外包數量限制、機台之製程規格能力等，搭配需求資訊將此問題建構成整數規劃模型，進而透過此模型及啟發式解法求得主生產排程結果，期望能藉此提高瓶頸機台之利用率及光罩之使用率，並決定各筆需求於各規劃週期之最佳生產順序，以及光罩之最佳使用情況；其中，數學模型依 3.3 產能估算模組之外包結果與外包下限之比較，分成「產能充足排程模式」及「產能不足排程模式」兩種。

將數學模式規劃之結果，進一步檢視「是否存在未排入產品」、「是否有部份排程應暫存」以及「外包產品之累積數量與外包合約下限之關係」，依判斷式之結果執行後續動作。其中，外包產品數量之多寡會影響外包商可接受的外包產品種類，為了解決此問題，本規劃模組於求解過程中判別「外包產品數量」是否已超過外包合約下限，若委外產品數量已大於外包合約下限，則進一步限制每種產品之外包數量並重新求解；反之，規劃幅度內所有需求皆完成規劃後，委外產品數量尚未超過其外包合約下限。在此情況下，轉由產能充足排程模式重新求解，即完成此情況下之主生產排程。

上述內容為瓶頸工作站生產排程機制主要之規劃流程(如圖 3- 19 所示)；此外，本節所使用之解題概念已於「3.2.2 解題之設計理念」說明，在此不再重覆敘述。以下將對此機制中各步驟進行說明：

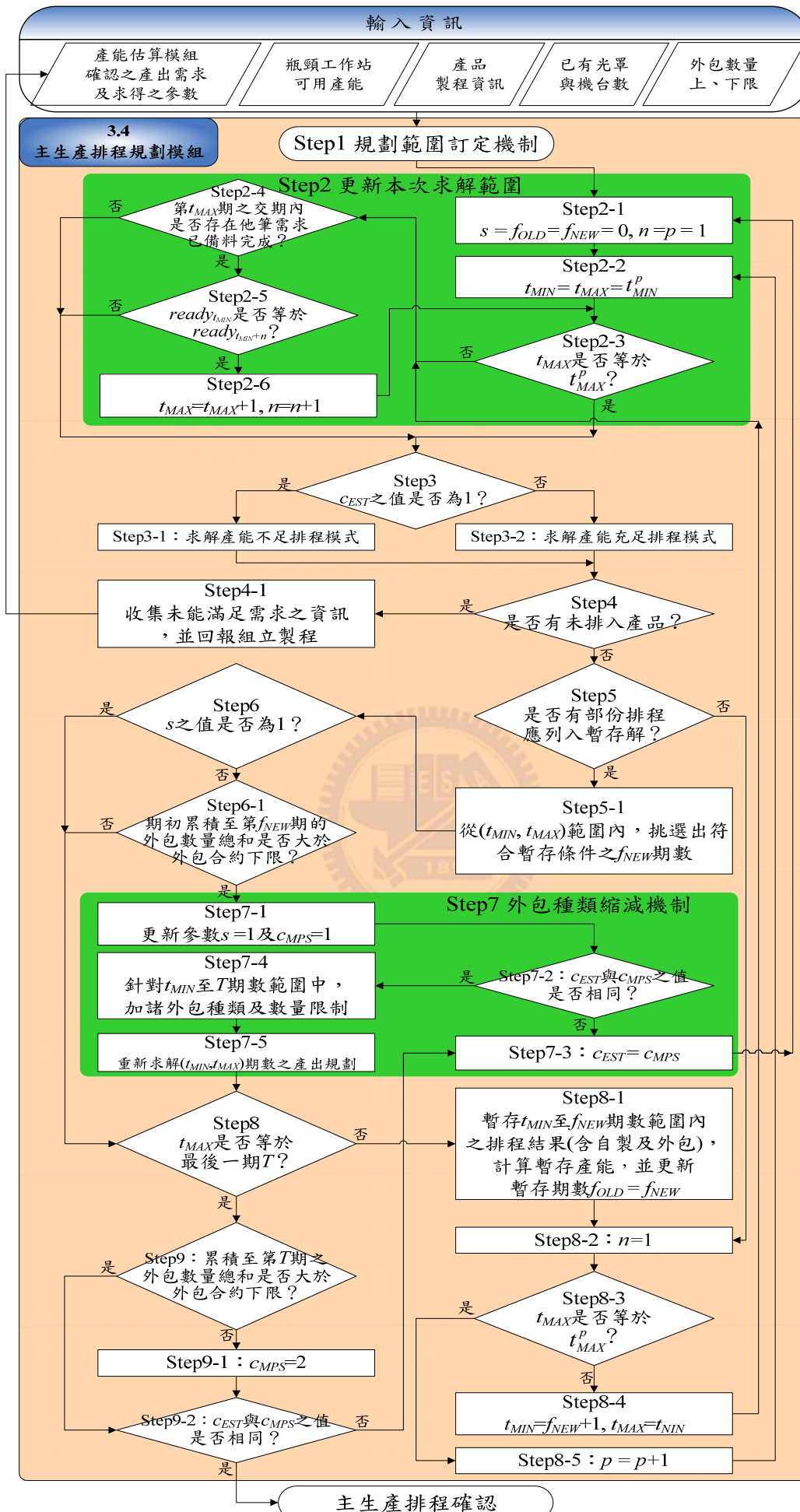


圖 3-19 主生產排程規劃模組流程圖

主生產排程規劃模組符號說明：

◆ 集合

- L_t : R_t 與 O_t 交集之補集合，即為未規劃之訂單編號集合。
- O_t : 訂單交期於 due_t (含)以後之所有待規劃訂單集合。
- R_t : 備料完成時間於 $ready_t$ (含)以前之所有待規劃訂單集合。
- T_p : 第 p 個規劃範圍中，所包含之規劃週期之集合。

◆ 參數

- c_{MPS} : 暫存解中的外包數量總和大於外包合約下限， c_{MPS} 即為 1；然而，當求解至最後一期 T ，暫存解中的外包數量總和小於等於外包合約下限， c_{MPS} 即為 2。
- $com_{m,t}$: 機台 m 於第 1 期至第 t 期累積之完工時間(天)。
- $com_{m,t}^{result}$: 機台 m 於第 t 期之規劃結果完工時間(秒)，已扣除當機、維護及實驗之比例。
- $demand_t$: 第 t 期之訂單完工所需時間(包含加工及換線時間)(秒)。
- $ltemp_{m,l}$: 訂單編號 l 於機台 m 之列入暫存解產能。
- n : 作為檢視他期與第 t_{MIN} 期備料完成時間之用， $n=1$ 表 $t_{MIN}+1$ 之期數，以此類推。
- $O_{i,t}^{temp}$: 於第 t 期中，已列入暫存解之產品別 i 委外生產數量(片)。
- Q : 極大之數值(Positive number)。
- $ready_t^{MIN}$: 交期大於 due_t 的所有訂單之備料完成時間最小值(天)。
- s : 0-1 參數，若求解過程中已執行過「外包種類縮減機制」，即為 1；反之則為 0。
- $temp_{m,t}$: 機台 m 於規劃週期 t 已列入暫存解之產能(秒)。
- $X_{i,m,t}^{temp}$: 於第 t 期之機台 m 中，已列入暫存解之產品別 i 生產數量(片)。

◆ 決策變數

- $BG_{i,m,t}$: 0-1 變數，於第 t 期的期初，機台 m 上是否排定加工產品別 i ，若是為 1，反之為 0。

- $FG_{i,m,t}$: 0-1 變數，於第 t 期的期末，機台 m 上是否排定加工產品別 i ，若是為 1，反之為 0。
- $\alpha_{i,m,t}$: 0-1 變數，在第 t 期內，若光罩配置於機台 m 使得產品種類 i 可進行加工時為 1，反之為 0。
- $\delta_{a,m,t}$: 0-1 變數，在第 t 期內，若光罩 a 配置於機台 m 時為 1，反之為 0。
- $\omega_{i,m,t}$: 0-1 變數，在第 t 期內，若產品 i 於機台 m 上生產時為 1，反之為 0。

Step1：規劃範圍訂定機制

承接上述兩機制之推估結果，確認此需求之情境可由自製廠產能及可委外數量所滿足，以及現有之光罩個數足夠後。接續於本步驟，依各期之需求所需加工時間及自製產能可用時間比較結果，制定規劃範圍以利「3.4 主生產排程規劃模組」之進行。以下分成四步驟說明(圖 3-20)：



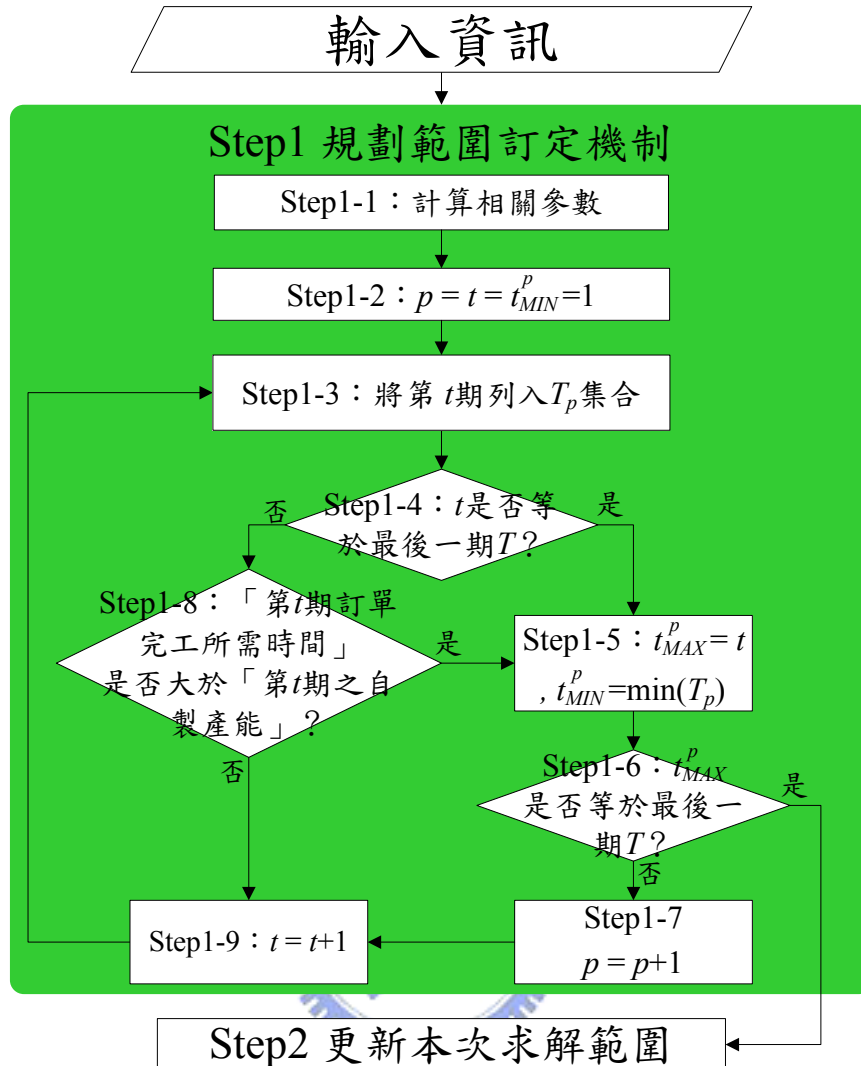


圖 3-20 規劃範圍訂定機制流程圖

Step1-1：計算相關參數

依據式 3-1、式 3-2 之公式分別計算「外包商於規劃週期 t 內可提供外包數量上限($o_{upper}(t)$)」及「外包合約上限之補足值(o_{diff}^{upper})」；若 c_{EST} 之值為 2(將使用產能充足排程模式)，則運用式 3-3 及式 3-4 分別求得「訂單編號 l 至少須提供外包商之外包數量下限($o_{lower}(l)$)」及「外包合約下限之補足值(o_{diff}^{lower})」。將交期為 due_t 之訂單編號集合 D_t 分類後，再運用式 3-7 及式 3-8 求算「交期 due_t 與 $\max(ready_t, due_{t-1})$ 之差距天數(c_t)」、「機台 m 於第 t 個規劃週期之可用產能($cap_{m,t}$)」。

Step1-2： $p = t = t_{MIN}^p = 1$

將 p 、 t 、以及 t_{MIN}^p 之值設定為 1，並進入 Step1-3。

Step1-3：將第 t 期列入 T_p 集合

將目前之規劃週期 t ，列入 T_p 集合之內，並進入 Step1-4。

Step1-4： t 是否等於最後一期 T ？

完成 Step1-3 後，於本步驟對規劃週期 t 進行判斷，若其值為 T 則進入 Step1-5，反之則進入 Step1-8。

Step1-5： $t_{MAX}^p = t$ ， $t_{MIN}^p = \min(T_p)$

當 Step1-4 判別為最後一期 T ，或 Step1-8 判斷結果為大於時，轉由進入本步驟進行 t_{MAX}^p 及 t_{MIN}^p 期數之更新，將 t_{MAX}^p 指定為目前之規劃週期 t ，並由集合 T_p 中取最小值即為 t_{MIN}^p 。

Step1-6： t_{MAX}^p 是否等於最後一期 T ？

執行完 Step1-5 後，於本步驟判別 t_{MAX}^p 之期數值，若其值為 T 則進入 Step2，反之則進入 Step1-7。

Step1-7： $p = p+1$

於 Step1-6 得知 t_{MAX}^p 不為最後一期 T ，於本步驟進行 p 值之累進 ($p=p+1$)，並進入 Step1-9。



Step1-8：「第 t 期訂單完工所需時間」是否大於「第 t 期之自製產能」？

Step1-4 執行結果顯示 t 不等於最後一期 T ，於本步驟判別「第 t 期訂單完工所需時間(第 t 期之訂單所需加工時間加上換線時間，即為 $demand_t$ ，參式 3-32)」及「第 t 期之自製產能($\sum_{m=1}^M cap_{m,t}$)」間之關係，若判別結果為大於(表自製產能滿載，部份產品須予外包廠生產)則進入 Step1-5，反之(表自製產能未滿載)則進入 Step1-9。

$$demand_t = \sum_{i=1}^I d_{i,t} \times pt_i + setup_t \quad \forall t \quad \text{式 3-32}$$

Step1-9： $t = t+1$

當執行完 Step1-7 或於 Step1-8 判別結果為小於等於時，於本步驟更新規劃週期 ($t=t+1$)，更新完畢後進入 Step1-3。

Step2：更新本次求解範圍

Step2-1：初始狀態： $s=f_{OLD}=f_{NEW}=0, n=p=1$

應用滾動排程之概念，由初始狀態開始進行規劃， $f_{OLD}=f_{NEW}=0$ 表上一次及本次求解範圍皆無任何期數滿足暫存條件， $s=0$ 意指尚未執行外包縮減之動作，而 n 之值用於 t_{MIN} 與 $t_{MIN}+n$ 期數之備料完成時間比對，初始設定 $n=1$ ，而求解時由第一個規劃範圍($p=1$)開始。

Step2-2： $t_{MIN}=t_{MAX}=t_{MIN}^p$

此處更新本次求解之最小及最大期數，令其值等同於第 p 個規劃範圍之最小期數($t_{MIN}=t_{MAX}=t_{MIN}^p$)，接續進入 Step2-3。

Step2-3： t_{MAX} 是否等於 t_{MAX}^p ？

承接 Step2-2 或 Step2-6 之步驟，於本步驟判斷 t_{MAX} 與 t_{MAX}^p 期數是否相同，倘若結果為相同(已達第 p 個規劃範圍最大期數)則進入 Step3，反之結果相異時，則轉由 Step2-4。

Step2-4：第 t_{MAX} 期之交期內，是否存在他筆需求已備料完成？

於 Step2-3 判別或 Step2-6 更新規劃期數後，於本步驟判斷第 t_{MAX} 期之交期內，是否存在他筆需求已備料完成($r_l \leq due_{t_{MAX}}, for l \in L_{t_{MAX}}$)，若有則進入 Step2-5，反之則進入 Step2-6。

Step2-5： $ready_{t_{MIN}}$ 是否等於 $ready_{t_{MIN}+n}$ ？

承接 Step2-4 之判斷結果($due_{t_{MAX}}$ 內存在他筆需求已備料完成)，於本步驟判斷 t_{MIN} 與 $t_{MAX}+n$ 兩期數之備料完成時間是否相同，倘若結果為相同則進入 Step2-6，反之結果相異時，則轉由 Step3。

Step2-6： $t_{MAX}=t_{MAX}+1, n=n+1$

於 Step2-4 及 Step2-5 分別判斷出「 $due_{t_{MAX}}$ 內存在他筆需求已備料完成」及「 $ready_{t_{MIN}}=ready_{t_{MIN}+n}$ 」，在此情況下後一期($t_{MAX}+1$)之訂單將影響前期之排程，因此將現有之 t_{MAX} 往後一期($t_{MAX}=t_{MAX}+1$)，才可規劃出多期訂單之產品別生產順序，完成此動作後進入 Step2-3。

Step3： c_{EST} 之值是否為 1 ？

執行完 Step2 之後，於本步驟檢視 c_{EST} 之值是否為 1，若為 1 則進入 Step3-1 進行產能不足排程模式之求解，反之則進入 Step3-2 求解產能充足排程模式。

Step3-1：求解產能不足排程模式

將本研究環境建構成數學模式，以下分別針對本模型所使用之符號及模式做說明：

產能不足排程模式：

➤ 目標式

$$\min \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} (cx_i \times X_{i,m,t} + co_i \times O_{i,t} + cz_i \times Z_{i,t}) \quad \text{式 3- 33}$$

➤ 限制式

A. 需求滿足限制式

$$\sum_{t'=t_{MIN}}^t \left(\sum_{m=1}^M X_{i,m,t'} + O_{i,t'} + Z_{i,t'} \right) \geq \sum_{t'=t_{MIN}}^t \sum_{l \in (R_i \cap O_i)} d_{i,l} - \sum_{t=0}^{f_{OLD}} \left(\sum_{m=1}^M X_{i,m,t}^{temp} + O_{i,t}^{temp} \right) \quad \forall i$$

for $t=t_{MIN}, \dots, t_{MAX}$ 式 3- 34

B. 機台之產能負荷限制式

$$\sum_{t=1}^t cap_{m,t} - \sum_{t=0}^{f_{OLD}} temp_{m,t} \geq \sum_{i=0}^I \sum_{i'=1}^I \sum_{t'=t_{MIN}}^t (\beta_{i,i',m,t'} + \gamma_{i,i',m,t'}) \times st_{i,i'} + \sum_{i=1}^I \sum_{t'=t_{MIN}}^t X_{i,m,t'} \times pt_i \quad \forall m$$

for $t=t_{MIN}, \dots, t_{MAX}$ 式 3- 35

C. 光罩種類之數量限制

$$\sum_{r_i=a} \sum_{m=1}^M \alpha_{i,m,t} \leq reticle_a \quad \forall a, t \quad \text{式 3- 36}$$

$$\sum_{i \in I_a} \alpha_{i,m,t} \leq \delta_{a,m,t} \quad \forall m, t \quad \text{式 3- 37}$$

D. 光罩對應產品之限制式

$$X_{i,m,t} \leq \alpha_{i,m,t} \times Q \quad \forall i, m, t \quad \text{式 3- 38}$$

E. 製程規格能力限制式

$$X_{i,m,t} \leq cab_{i,m} \times Q \quad \forall i, m, t \quad \text{式 3- 39}$$

F. 外包數量限制式

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t'=t_{MIN}}^t O_{i,t'} \leq \sum_{t'=1}^t o_{upper(t')} + o_{diff}^{upper} - \sum_{i=1}^I \sum_{t=0}^{f_{OLD}} O_{i,t}^{temp} \quad \text{for } t=t_{MIN}, \dots, t_{MAX} \quad \text{式 3-40}$$

G. 各規劃週期期初、期末加工限制

$$\sum_{i=1}^I BG_{i,m,t} = 1, \quad \sum_{i=1}^I FG_{i,m,t} = 1 \quad \forall m, t \quad \text{式 3-41}$$

$$BG_{i,m,t} \leq \alpha_{i,m,t}, \quad FG_{i,m,t} \leq \alpha_{i,m,t} \quad \forall i, m, t \quad \text{式 3-42}$$

H. 設置時間順序相依之跨期限限制式

$$2 \times \beta_{i,i',m,t} \leq FG_{i,m,t-1} + BG_{i',m,t} \quad \forall i, i', m, t \quad \text{式 3-43}$$

$$FG_{i,m,t-1} + BG_{i',m,t} \leq \beta_{i,i',m,t} + 1 \quad \forall i, i', m, t \quad \text{式 3-44}$$

$$\sum_{i=0}^I \beta_{i,i',m,t} = BG_{i',m,t} \quad \forall i', m, t \quad \text{式 3-45}$$

I. 設置時間順序相依之同規劃週期限限制式

$$X_{i,m,t} \leq \omega_{i,m,t} \times Q \quad \forall i, m, t \quad \text{式 3-46}$$

$$\omega_{i,m,t} \leq X_{i,m,t} \quad \forall i, m, t \quad \text{式 3-47}$$

$$BG_{i',m,t} + \sum_{i=1}^I \gamma_{i,i',m,t} = 1 \quad \forall i', m, t \quad \text{式 3-48}$$

$$\sum_{i'=1}^I \gamma_{i,i',m,t} + FG_{i,m,t} = 1 \quad \forall i, m, t \quad \text{式 3-49}$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{i'=1}^I \gamma_{i,i',m,t} = \sum_{i=1}^I \omega_{i,m,t} - 1 \quad \begin{matrix} i \neq i' \\ \forall m, t \end{matrix} \quad \text{式 3-50}$$

$$\sum_{i'=1}^I \gamma_{i,i',m,t} \leq (1 - BG_{i,m,t}) \times Q + 1 \quad \forall i, m, t \quad \text{式 3-51}$$

$$1 - \sum_{i'=1}^I \gamma_{i,i',m,t} \leq (1 - FG_{i,m,t}) \times Q \quad \forall i, m, t \quad \text{式 3-52}$$

$$\sum_{i=1}^I \gamma_{i,i',m,t} \leq (1 - FG_{i',m,t}) \times Q + 1 \quad \forall i', m, t \quad \text{式 3-53}$$



$$1 - \sum_{i=1}^I \gamma_{i,i',m,t} \leq (1 - FG_{i',m,t}) \times Q \quad \forall i', m, t \quad \text{式 3-54}$$

$$2 \times (\gamma_{i,i',m,t} + \gamma_{i',i,m,t}) - (\omega_{i,m,t} + \omega_{i',m,t}) \leq y_{i,m,t} \times Q \quad \begin{matrix} \forall i, i', m, t \\ i \neq i' \end{matrix} \quad \text{式 3-55}$$

J. 變數之值域限制

$$\delta_{a,m,t}, \alpha_{i,m,t}, \beta_{i,i',m,t}, \gamma_{i,i',m,t}, BG_{i,m,t}, FG_{i,m,t} \in \{0,1\} \quad \text{式 3-56}$$

$$O_{i,t}, X_{i,m,t}, Z_{i,t} \in \text{integer}$$

產能不足排程模式說明：

➤ 目標式

$$\min \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} (cx_i \times X_{i,m,t} + co_i \times O_{i,t} + cz_i \times Z_{i,t}) \quad \text{式 3-33}$$

式 3-33 計算所有機台、產品種類及本次求解週期範圍(t_{MIN} 至 t_{MAX})內，自製($cx_i \times X_{i,m,t}$)、外包($co_i \times O_{i,t}$)及未排入產品($cz_i \times Z_{i,t}$)之總加工成本，最小化此數值作為本模式之目標。

➤ 限制式

A. 需求滿足限制式

$$\sum_{t=t_{MIN}}^t \left(\sum_{m=1}^M X_{i,m,t'} + O_{i,t'} + Z_{i,t'} \right) \geq \sum_{t'=t_{MIN}}^t \sum_{l \in (R_t \cap O_{t'})} d_{i,l} - \sum_{t'=0}^{f_{OLD}} \left(\sum_{m=1}^M X_{i,m,t'}^{temp} + O_{i,t'}^{temp} \right) \quad \text{for } \forall i \quad \text{式 3-34}$$

$t = t_{MIN}, \dots, t_{MAX}$

式 3-34 中表示，「累積本次求解範圍(t_{MIN} 期至 t 期)內之所有機台的自製數量($X_{i,m,t}$)、外包數量($O_{i,t}$)、未排入產品數量($Z_{i,t}$)之總和」須大於等於「期初累積至第 t 期之需求數量($d_{i,l}$)」扣除「累積至前次規劃範圍已暫存期數(f_{OLD})之自製及外包結果」；其中自製及外包數量各別受限於自製產能及外包上、下限之限制，不足之產品數量則視為未排入產品。

此處「 $\sum_{l \in (R_t \cap O_{t'})} d_{i,l}$ 」為「備料完成時間於 $ready_t$ (含)以前之所有待規劃訂單集合(R_t)」及「交期隸屬 due_t (含)之後的訂單編號集合(D_t)」兩集合交集之訂單需求，即可對應 3.2.2 節第 8 點的三種訂單情境。

B. 機台產能限制式

$$\sum_{t'=1}^t cap_{m,t} - \sum_{t'=0}^{f_{OLD}} temp_{m,t} \geq \sum_{i=0}^I \sum_{i'=1}^I \sum_{t'=t_{MIN}}^t (\beta_{i,i',m,t'} + \gamma_{i,i',m,t'}) \times st_{i,i'} + \sum_{i=1}^I \sum_{t'=t_{MIN}}^t X_{i,m,t'} \times pt_i \quad \forall m \quad \text{式 3-35}$$

for t=t_{MIN},...,t_{MAX}

在式 3-35 中得知，機台 m 於規劃範圍 t_{MIN} 至 t_{MAX} 期的各期可供加工之產能為「 $\sum_{t'=1}^t cap_{m,t}$, for $t= t_{MIN}, \dots, t_{MAX}$ 」，扣除已確定(暫存)排程之第 f_{OLD} 期前機台產能($\sum_{t'=0}^{f_{OLD}} temp_{m,t}$)後，即為規劃範圍(t_{MIN}, t)實際可使用之機台產能，提供「生產自製產品所花費之加工時間 $X_{i,m,t} \times pt_i$ 」及「兩產品間之換線時間 $(\beta_{i,i',m,t} + \gamma_{i,i',m,t}) \times st_{i,i'}$ 」之用。

因「設置時間順序相依限制式」之設計將換線時間分為兩種，以 $\beta_{i,i',m,t}$ 表示跨期間之換線、 $\gamma_{i,i',m,t}$ 表示同期內之換線。此外，在目標式之驅使下，將最大化自製產品之數量($X_{i,m,t}$)，於產能滿載時亦最小化產品間之換線時間，以此規劃一完善排程，因此排程結果將以換線時間較小之產品加工順序為優先安排。

C. 光罩種類之數量限制

$$\sum_{m \in M_a} \delta_{a,m,t} \leq reticle_a \quad \forall a, t \quad \text{式 3-36}$$



$$\alpha_{i,m,t} \leq \delta_{a,m,t} \quad \begin{matrix} i \in I_a \\ \forall m, t \end{matrix} \quad \text{式 3-37}$$

式 3-36 說明在第 a 種光罩之數量($reticle_a$)限制下，第 a 種光罩的分派，其中 $\delta_{a,m,t}$ 之加總值(對可安置光罩 a 之機台 m 進行加總)必須小於等於第 a 種光罩總個數($reticle_a$)。若光罩 a 於第 t 期安置於機台 m ($\delta_{a,m,t}=1$)，使得對應光罩 a 之產品別 i 可進行加工($\alpha_{i,m,t}=0$ or 1)；反之 $\delta_{a,m,t}=0$ 時， $\alpha_{i,m,t}$ 則為 0(式 3-37)。

D. 光罩對應產品之限制式

$$X_{i,m,t} \leq \alpha_{i,m,t} \times Q \quad \forall i,m,t \quad \text{式 3-38}$$

式 3-38 表示，於第 t 期時，若產品種類 i 之光罩安置於該機台上 ($\alpha_{i,m,t}=1$)，此時 $X_{i,m,t}$ 值小於等於一極大值 Q ，亦即機台 m 可進行產品 i 之生產；反之，當 $\alpha_{i,m,t}=0$ 時(無對應光罩安置於 m 機台)， $X_{i,m,t}$ 則為 0(不能加工生產)。

綜合上述之「光罩種類數量限制」及「光罩對應產品之限制」，可建構出光罩、機台以及產品三者間之對應關係。假設機台搭載光罩結果如表 3-3 所示，三種光罩之數量分別為 $reticle_1=1$ 、 $reticle_2=2$ 、 $reticle_3=1$ ，並裝配於各機台上，使得機台 1 可加工產品種類 A~D(光罩種類 1)，而機台 2 可加工 E~H(光罩種類 2)，機台 3 則可加工產品種類 E~L(光罩種類 3)。

表 3-3 光罩、機台及可加工產品種類關係表

| 光罩個數 | 光罩別 a | 機台別 m | | | 光罩 a 對應之產品種類 i (I_a) |
|---------------|---------|---------|---|---|---------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| $reticle_1=1$ | 1 | ✓ | | | A、B、C、D |
| $reticle_2=2$ | 2 | | ✓ | ✓ | E、F、G、H |
| $reticle_3=1$ | 3 | | | ✓ | I、J、K、L |

E. 製程規格能力限制式

$$X_{i,m,t} \leq cab_{i,m} \times Q \quad \forall i,m,t \quad \text{式 3-39}$$

若產品種類 i 可在機台 m 進行加工時 $cab_{i,m}$ 為 1，反之為 0。此式表達當機台 m 具備產品種類 i 之製程規格能力時，產品 i 可在此機台上進行加工。

搭配上極大值 Q 後，迫使各機台 m 只能依照其製程規格能力對產品種類 i 進行加工。

F. 外包數量限制式

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t'=t_{MIN}}^t O_{i,t'} \leq \sum_{t'=1}^t o_{upper(t')} + o_{diff}^{upper} - \sum_{i=1}^I \sum_{t=0}^{f_{OLD}} O_{i,t}^{temp} \quad \text{for } t=t_{MIN}, \dots, t_{MAX} \quad \text{式 3-40}$$

由於前期之可用外包上限未用完之部份，可供後續期間共同使用；因此在求算規劃範圍(t_{MIN} , t_{MAX})中第 t 期之外包數量上限時，式 3- 40 計算過程為，「外包商從第 1 期至第 t 期可提供之總數量上限 $\sum_{t'=1}^t o_{upper(t')}$ 」加上「補足上限數量差值 o_{diff}^{upper} 」，最後減掉「累積至前期暫存期數 f_{OLD} 實際外包之總數量 $\sum_{i=1}^I \sum_{t=0}^{f_{OLD}} O_{i,t}$ 」，經由上述計算得知 t_{MIN} 至第 t 期能運用之外包數量。

G. 各規劃週期期初、期末加工限制

$$\sum_{i=1}^I BG_{i,m,t} = 1, \quad \sum_{i=1}^I FG_{i,m,t} = 1 \quad \forall m, t \quad \text{式 3- 41}$$

$$BG_{i,m,t} \leq \alpha_{i,m,t}, \quad FG_{i,m,t} \leq \alpha_{i,m,t} \quad \forall i, m, t \quad \text{式 3- 42}$$

式 3- 41 中 $\sum_{i=1}^I BG_{i,m,t} = 1$ 表示在所有規劃週期 t 期初，必定有一產品 i 於機台 m 上進行加工，而 $\sum_{i=1}^I FG_{i,m,t} = 1$ 為期末時必定有一產品進行加工。而式 3- 42 則表示，在期初、期末時於機台 m 進行加工需具備產品 i 相對應之光單 ($\alpha_{i,m,t} = 1$)，才可加工此產品 i ($BG_{i,m,t} = 0$ or 1 , $FG_{i,m,t} = 0$ or 1)，如此一來式 3- 41 及式 3- 42 才可同時滿足。

H. 設置時間順序相依之跨期限制式

$$2 \times \beta_{i',m,t} \leq FG_{i',m,t-1} + BG_{i',m,t} \quad \forall i', m, t \quad \text{式 3- 43}$$

$$FG_{i',m,t-1} + BG_{i',m,t} \leq \beta_{i',m,t} + 1 \quad \forall i', m, t \quad \text{式 3- 44}$$

$$\sum_{i=0}^I \beta_{i',m,t} = BG_{i',m,t} \quad \forall i', m, t \quad \text{式 3- 45}$$

以式 3- 43 及式 3- 44 表示跨期間之換線情況。由式 3- 41 可知，每期之期初、期末時必定有一產品別在機台 m 進行生產。因此於規劃週期 $t-1$ 至 t 期時，在機台 m 將產生跨期換線，換線之順序 ($\beta_{i',m,t}$) 由前一期期末生產產品 ($FG_{i',m,t-1}$) 與本期期初產品 ($BG_{i',m,t}$) 所決定。須同時使用兩條限制式之用意為，無論在 $i=i'$ 或 $i \neq i'$ 之情況下，當「本期期初產品」或「前一期期末產品」惟有一者存在時 ($BG_{i',m,t} = 1$, $FG_{i',m,t-1} = 0$ or $BG_{i',m,t} = 0$, $FG_{i',m,t-1} = 1$)， i 至 i' 之跨期換線將不存在 ($\beta_{i',m,t} = 0$)。

式 3- 45 為說明跨期換線與本期期初產品之關係，當本期期初產品 i' 存在時($BG_{i',m,t}=1$)，勢必從眾多產品別中挑選出一種($\sum_{i=0}^I \beta_{i,i',m,t}=1$)，構成其換線之關係。在最小化總成本(極大化產能，亦即極小化換線時間)之目標式驅使下，會以換線時間為 0($st_{i,i}$)之同產品別換線關係($\beta_{i,i,m,t}$)作為選擇之依據。

I. 設置時間順序相依之同規劃週期限制式

$$X_{i,m,t} \leq \omega_{i,m,t} \times Q \quad \forall i,m,t \quad \text{式 3- 46}$$

$$\omega_{i,m,t} \leq X_{i,m,t} \quad \forall i,m,t \quad \text{式 3- 47}$$

$$BG_{i,m,t} + \sum_{i'=1}^I \gamma_{i',i,m,t} = 1 \quad \forall i',m,t \quad \text{式 3- 48}$$

$$\sum_{i'=1}^I \gamma_{i,i',m,t} + FG_{i,m,t} = 1 \quad \forall i,m,t \quad \text{式 3- 49}$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{i'=1}^I \gamma_{i,i',m,t} = \sum_{i=1}^I \omega_{i,m,t} - 1 \quad \begin{matrix} i \neq i' \\ \forall m,t \end{matrix} \quad \text{式 3- 50}$$

$$\sum_{i'=1}^I \gamma_{i,i',m,t} \leq (1 - BG_{i,m,t}) \times Q + 1 \quad \forall i,m,t \quad \text{式 3- 51}$$

$$1 - \sum_{i'=1}^I \gamma_{i,i',m,t} \leq (1 - BG_{i,m,t}) \times Q \quad \forall i,m,t \quad \text{式 3- 52}$$

$$\sum_{i=1}^I \gamma_{i,i',m,t} \leq (1 - FG_{i',m,t}) \times Q + 1 \quad \forall i',m,t \quad \text{式 3- 53}$$

$$1 - \sum_{i=1}^I \gamma_{i,i',m,t} \leq (1 - FG_{i',m,t}) \times Q \quad \forall i',m,t \quad \text{式 3- 54}$$

$$2 \times (\gamma_{i,i',m,t} + \gamma_{i',i,m,t}) - (\omega_{i,m,t} + \omega_{i',m,t}) \leq y_{1,m,t} \times Q \quad \begin{matrix} \forall i,i',m,t \\ i \neq i' \end{matrix} \quad \text{式 3- 55}$$

式 3- 46 及式 3- 47 用以說明產品 i 於規劃週期 t 之機台 m 進行加工時($X_{i,m,t} > 0$)，此時以 $\omega_{i,m,t}$ 為 1 表示；反之產品 i 不於機台 m 加工($X_{i,m,t} = 0$)時， $\omega_{i,m,t}$ 則為 0。

式 3- 48 表示，若排定產品 i 於 t 期期初生產($BG_{i,m,t} = 1$)，則不會有任

何產品 i' 安排於產品 i 之前 ($\sum_{i=1}^I \gamma_{i',i,m,t} = 0$)；式 3-49 意指，若排定產品 i 於 t 期期末生產 ($FG_{i,m,t} = 1$)，則不會有任何產品 i' 安排於產品 i 之後 ($\sum_{i'=1}^I \gamma_{i,i',m,t} = 0$)。

以式 3-50 指出機台 m 於期數 t 之「加工產品別總數 ($\sum_{i=1}^I \omega_{i,m,t}$)」與「總換線次數 ($\sum_{i=1}^I \sum_{i'=1}^I \gamma_{i,i',m,t}$)」之關係，如果該機台欲生產 5 個產品，則對應出 $4(=5-1)$ 次的換線次數。

而式 3-51 與式 3-52 則呈現出「期初加工之產品 ($BG_{i,m,t}$)」與「換線順序變數 ($\gamma_{i,i',m,t}$)」間之關係 (若 $BG_{i,m,t} = 1$ 時，從所有的 i' 中挑選出下一加工產品 — $\sum_{i'=1}^I \gamma_{i,i',m,t} = 1$)；同理，式 3-53 及式 3-54 述說期末加工之產品與換線順序變數間之關係。

最後藉由式 3-55 表示，若於規劃週期 t 內，同時生產 i 及 i' 產品時 ($\omega_{i,m,t} = \omega_{i',m,t} = 1$)，由 $2 \times (\gamma_{i,i',m,t} + \gamma_{i',i,m,t}) \leq 2$ 表示兩種換線順序中，若兩種產品緊鄰加工，惟有一順序關係成立 ($\gamma_{i,i',m,t} = 1$ or $\gamma_{i',i,m,t} = 1$)，或並非緊鄰加工，此時兩者皆不成立 ($\gamma_{i,i',m,t} = \gamma_{i',i,m,t} = 0$)。

當三種產品以上皆需於機台 m 生產時，此限制式亦可適用；以例子說明，目前有產品 1、2、3 於機台 m 期數 t 待加工 ($\omega_{1,m,t} = \omega_{2,m,t} = \omega_{3,m,t} = 1$)，由式 3-55 產生 $2 \times (\gamma_{1,2,m,t} + \gamma_{2,1,m,t}) \leq 2$ 、 $2 \times (\gamma_{2,3,m,t} + \gamma_{3,2,m,t}) \leq 2$ 、 $2 \times (\gamma_{1,3,m,t} + \gamma_{3,1,m,t}) \leq 2$ 三條限制式，假設經由目標式選定最佳之生產順序為 $3 \rightarrow 1 \rightarrow 2$ ，則導致 $\gamma_{3,1,m,t} = \gamma_{1,2,m,t} = 1$ ，其餘順序變數皆為 0，排程結果皆符合其限制式。

Step3-2：求解產能充足排程模式

本模式之限制式除了式 3-57 之外，其餘限制式及目標式皆與 Step3-1 相同，因此求解此模式時，需加諸此限制式於原先之「產能不足排程模式」。

◆ 各期可用之外包數量下限之限制式

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t'=t_{MIN}}^t O_{i,t'} \geq \sum_{l \in (R_t \cap O_t)} o_{lower(l)} + o_{diff}^{lower} - \sum_{i=1}^I \sum_{t'=0}^{t_{OLD}} O_{i,t'}^{temp} \quad \text{for } t=t_{MIN}, \dots, t_{MAX} \quad \text{式 3-57}$$

式 3-57 表該次規劃範圍(t_{MIN}, t_{MAX})內,「委外加工之數量」需大於等於,「期初至第 t 期可用之外包數量下限」加上「補足數量至外包合約下限」,再減去「期初至 f_{OLD} 期數之外包數量暫存解」。

Step4：是否有未排入產品？

經 Step 3 求解後,檢視本次求解範圍(t_{MIN}, t_{MAX})內之結果中,是否有未能滿足需求之數量($Z_{i,t}$)存在。若有則進入 Step4-1；反之則進入 Step5 進行暫存條件之判斷。

Step4-1：收集未能滿足需求之資訊,並回報組立製程。

Step4 由 $Z_{i,t} > 0$ 判斷 i 產品無法透過自製及外包產能產出,因此彩色濾光片內製廠須回報給組立製程未能滿足需求之資訊依據。

Step5：是否有部份排程應列入暫存解？

由 Step4 判斷後得知此段規劃結果並未存在任何未排入產品,接續判斷該段排程結果是否滿足暫存之條件；如同「3.3.2 設計理念第 6 點」之說明,當排程結果滿足暫存條件一,即不需考慮其餘暫存條件。反之,排程結果尚有餘裕產能,進而判斷排程結果是否滿足暫存條件二、三、四,倘若判斷結果滿足上述任一條件,即進入 Step5-1,反之進入 Step8-2。

以下分成四種暫存條件進行說明,其中,圖 3-21 至圖 3-23 中「列入暫存解」將於 Step8-1 提及,於本節暫不說明。

■ 暫存條件一：該期所有機台之可用產能皆已滿載

在當次求解結果中,倘若所有機台之剩餘產能無法進行換線或加工等動作,即滿足暫存條件一。

■ 暫存條件二：於完工時點內,待規劃之訂單已備料完成

於規劃結果中,得知待規劃之訂單於完工時點前備料完成 ($ready_{i_{MAX}}^{MIN} < com_{m,t_{MAX}}$),即滿足此暫存條件。

$$com_{m,t}^{result} = \sum_{i=0}^I \sum_{i'=1}^I (\beta_{i,i',m,t} + \gamma_{i,i',m,t}) \times st_{i,i'} + \sum_{i=1}^I X_{i,m,t} \times pt_i \quad \forall m,t \quad \text{式 3-58}$$

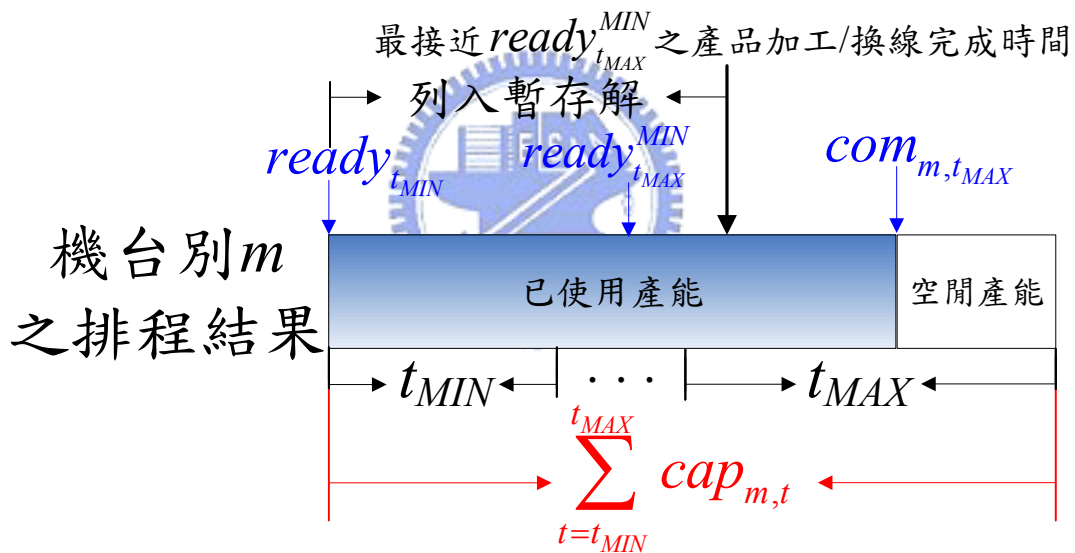
$$com_{m,t} = \frac{\sum_{t'=1}^t com_{m,t'}^{result}}{(1-dt_m - pm_m - eg_m) \times 24 \times 60 \times 60} \quad \forall m,t \quad \text{式 3-59}$$

$$ready_{t_{MAX}}^{MIN} = \min_{l \in L_{t_{MAX}}} r_l$$

式 3- 60

圖 3- 21 為此暫存條件之示意，圖中顯示機台別 m 之排程結果，該機台於本次求解範圍為 t_{MIN} 期至 t_{MAX} 期，並且該範圍可用產能為 $\sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} cap_{m,t}$ ， $ready_{t_{MIN}}$ 為規劃週期 t_{MIN} 的備料完成時間；然而 $com_{m,t_{MAX}}^{result}$ 為機台 m 排程結果之完工時間(式 3- 58，計算方式為各期所用之換線及加工時間加總)，接續於式 3- 59 累加第 1 期至第 t 期之 $com_{m,t_{MAX}}^{result}$ ，再除以扣除當機、維護、及實驗之比例並轉換為天數。

而 $ready_{t_{MAX}}^{MIN}$ 為待規劃訂單之最早備料完成時間(式 3- 60)，先將待規劃之訂單(R_t 與 D_t 交集之補集合)歸於集合 $L_{t_{MAX}}$ ，再取其集合內各訂單之備料完工時間最小值。



■ 暫存條件三：於完工及訂單交期範圍內，待規劃之訂單已備料完成

倘若規劃結果顯示，待規劃訂單之備料完成時間介於完工時點及訂單交期之間($com_{m,t_{MAX}} \leq ready_{t_{MAX}}^{MIN} < due_{t_{MAX}}$)，即滿足本暫存條件(圖 3-22)。

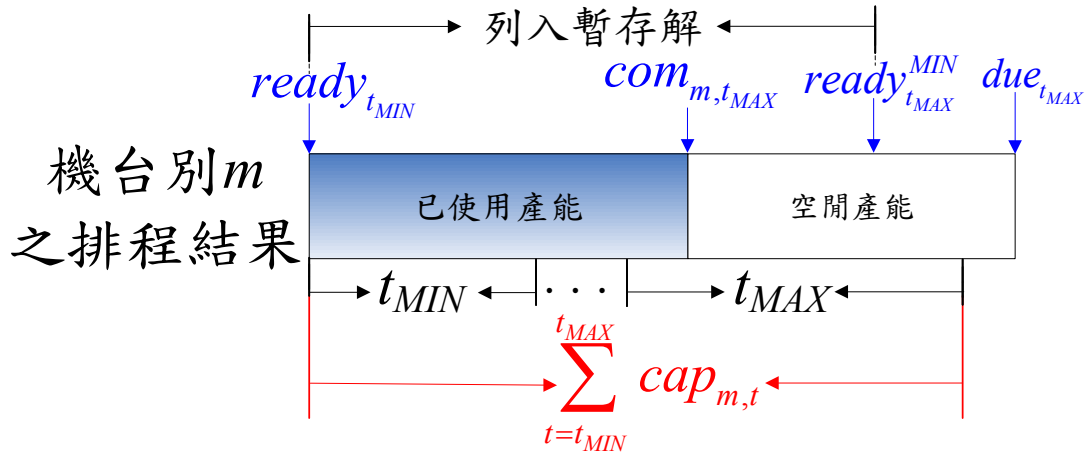


圖 3-22 暫存條件三示意圖

■ 暫存條件四：於已規劃訂單之交期內，待規劃之訂單尚未備料完成

由排程結果中得知，於已規劃訂單之交期內，待規劃之訂單尚未備料完成($com_{m,t_{MAX}} \leq due_{t_{MAX}} \leq ready_{t_{MAX}}^{MIN}$)，即滿足本暫存條件(圖 3-23)。

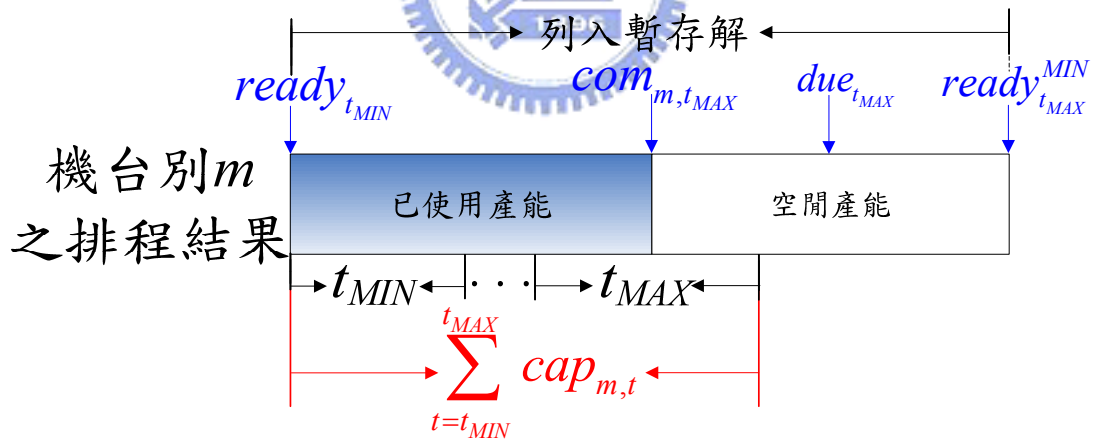


圖 3-23 暫存條件四示意圖

Step5-1：從(t_{MIN}, t_{MAX})範圍內，挑選出符合暫存條件之 f_{NEW} 期數

由 Step5 得知排程結果滿足暫存條件之一，因此從本次求解範圍(t_{MIN}, t_{MAX})中，依滿足的各個暫存條件中，進行 f_{NEW} 期數之更新(表 3- 4)，並進入 Step6。

表 3- 4 四暫存條件之 f_{NEW} 期數更新方法

| 期數符號 | 期數之更新方法 | |
|-----------|------------------------------|-----------------------|
| f_{NEW} | 條件 1：該期所有機台之可用產能皆已滿載 | $f_{NEW} = t_{MAX}$ |
| | 條件 2：於完工時點內，待規劃之訂單已備料完成 | $f_{NEW} = t_{MAX}-1$ |
| | 條件 3：於完工及訂單交期範圍內，待規劃之訂單已備料完成 | $f_{NEW} = t_{MAX}-1$ |
| | 條件 4：於已規劃訂單之交期內，待規劃之訂單尚未備料完成 | $f_{NEW} = t_{MAX}$ |

Step6：s 之值是否為 1？

經由 Step5-1 更新 f_{NEW} 期數後，於本步驟判別是否已執行 Step7 外包種類縮減機制，若已執行則進入 Step8；反之，則轉由 Step6-1。

Step6-1：期初累積至第 f_{NEW} 期的外包數量總和是否大於外包合約下限？

透過 Step5-1 更新 f_{NEW} 之期數後，接續檢視期初($t=1$)累積至 f_{NEW} 期數的外包數量總和是否大於外包合約下限(O_{lower})，以判別式「 $\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^{f_{NEW}} O_{i,t} > O_{lower}$ 」檢視外包結果；此處之 f_{NEW} 若為 0，則以規劃週期 1 為檢視外包數量對象。倘若結果為大於外包合約下限則進入 Step7；反之則進入 Step8。

Step7：外包種類縮減機制

若經 Step6 判別後，得知累計之外包數量大於外包合約下限，則須執行外包種類縮減之工作。其設計理念為在自製及外包廠產能皆吃緊之情況下，本次求解範圍外包產品之數量及種類和須予以限制。因此在本機制中加上外包種類及數量之限制(避免委外過多的外包種類及過少之外包數量)，重新求解本次求解範圍，使得排程結果符合協定之合約，以此作法避免外包廠產生大量換線時間。

本文之範例針對符合 Step6-1 判別式之情境者，限制每一委外產品之數量必須大於等於 6(= O_{number})，以及該期外包產品之種類和不得超過 6 種

(= o_{type})。 o_{number} 及 o_{type} 之數值可依各公司實際情況改變。

Step7-1：更新參數 $s=1$ 及 $c_{MPS}=1$

於 Step6-1 得知，委外產品累積數量大於外包合約下限，此時將 s 及 c_{MPS} 之參數值更新為 1， $s=1$ 表已執行外包種類縮減機制，而 $c_{MPS}=1$ 表暫存解中的外包數量總和大於外包合約下限，完成更新後進入 Step7-2。

Step7-2： c_{EST} 與 c_{MPS} 之值是否相同

此處判斷「 c_{EST} (執行瓶頸產能初估模式之外包累積狀況)」及「 c_{MPS} (主生產排程規劃模組求解過程的外包累積狀況)」是否相同，倘若為相同則進入 Step7-4，反之則進入 Step7-3。

Step7-3： $c_{EST} \neq c_{MPS}$

由 Step7-2 判斷結果顯示「 $c_{EST} \neq c_{MPS}$ 」，於本步驟將 c_{EST} 之值指定為 c_{MPS} ，並進入 Step2-1。

Step7-4：針對 t_{MIN} 至 T 期數範圍中，加諸外包種類及數量限制

通過 Step7-2 判別條件得知「 $c_{EST} = c_{MPS}$ 」，此時進入本步驟。吾人將原先之「產能不足排程模式」加上式 3-61 至式 3-66 等限制式，各條限制式之適用範圍為本次求解之最小期別(t_{MIN})起至最後一期(T)之範圍皆須考量外包種類及數量之限制。加入外包種類及數量限制式後，進入 Step7-5 重新求解排程。爾後執行「Step3-1 求解產能不足排程模式」亦須考量下述限制式。

外包種類及數量限制符號說明：

◆ 參數

- o_{number} : 當累計之外包數量超出外包下限時，爾後若須外包，每種產品之外包數量不得小於此數值。
- o_{type} : 當累計之外包數量超出外包下限時，爾後各期之外包種類總和不得超出此數值。

◆ 決策變數

- $OY_{i,t}$: 0-1 變數，若產品 i 於第 t_{MIN} 期至第 t_{MAX} 之間具備外包數量 ($\sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} Y_{i,t} > 0$) 為 1，反之為 0。

$Y_{i,t}$: 0-1 變數，若產品 i 於第 t 期具備外包數量($O_{i,t} > 0$)時為 1，反之為 0。

◆ 外包種類及數量限制

$$O_{i,t} \leq Y_{i,t} \times Q \quad \forall i \quad \text{式 3- 61}$$

for $t=t_{MIN}, \dots, T$

$$Y_{i,t} \leq O_{i,t} \quad \forall i \quad \text{式 3- 62}$$

for $t=t_{MIN}, \dots, T$

$$\sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} Y_{i,t} \leq OY_i \times Q \quad \forall i \quad \text{式 3- 63}$$

$$OY_i \leq \sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} Y_{i,t} \quad \forall i \quad \text{式 3- 64}$$

$$\sum_{i=1}^I OY_i \leq o_{type} \quad \text{式 3- 65}$$

$$\sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} O_{i,t} \geq o_{number} + (OY_i - 1) \times Q \quad \forall i \quad \text{式 3- 66}$$



式 3- 61 及式 3- 62 表示各規劃週期之外包產品狀態，倘若第 t 期須委外產品 i ($O_{i,t} > 0$)，此時 $Y_{i,t}$ 為 1；反之無委外產品時($O_{i,t} = 0$)， $Y_{i,t}$ 為 0。

而式 3- 63 及式 3- 64 為本次求解範圍 t_{MIN} 至 t_{MAX} 之外包產品狀態，倘若此範圍內須委外產品 i ($\sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} Y_{i,t} > 0$)，則 OY_i 為 1；反之產品 i 不具委外數量時， OY_i 為 0。

式 3- 65 為外包種類之限制，該式限制規劃範圍(t_{MIN}, t_{MAX})中，最多只容許委外 o_{type} 種產品種類。

式 3- 66 說明每一種類之外包數量限制。若規劃範圍(t_{MIN}, t_{MAX})須委外第 i 種產品 ($OY_i = 1$)，則該種產品之外包數量須大於等於 o_{number} ($\sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} O_{i,t} \geq o_{number}$)；反之 OY_i 為 0 時，不存在外包數量 ($\sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} O_{i,t} = 0$)，參式 3- 61 至式 3- 64)，導致式 3- 66 結果為 $0 \geq o_{number} - Q$ ，該式成立。

Step7-5：以產出排程模式重新求解(t_{MIN}, t_{MAX})期數範圍

將 Step7-4 列舉之限制式(式 3- 61 至式 3- 66)加入「產能不足排程模式」，以其模式針對規劃範圍(t_{MIN}, t_{MAX})重新求解，完成規劃後進入 Step8。

Step8： t_{MAX} 是否等於最後一期 T ？

本步驟判斷規劃範圍內之最大規劃週期 t_{MAX} 是否為最後一期 T (是否已規劃至最後一期)。若是則進入 Step9；反之則轉由 Step8-1 進行暫存之後續動作。

Step8-1：暫存 t_{MIN} 至 f_{NEW} 期數範圍內之排程結果(含自製及外包)，計算暫存產能，並更新暫存期數 $f_{OLD}=f_{NEW}$

於 Step8 得知本次求解之最大期數(t_{MAX})不為 T ，得以進入本步驟執行暫存自製產能及外包產量，並更新暫存後所變更之產能。倘若此處之 f_{NEW} 之值為 0，則暫存第 1 期之排程結果。依 Step5 判斷之結果執行本步驟，以下分為對四種暫存條件進行說明：

■ 符合暫存條件一

暫存「第 f_{NEW} 期之自製產能及外包數量規劃結果」，並將規劃結果中自製量列入暫存解之中($X_{i,m,t}^{temp} = X_{i,m,t}$, where $t=f_{NEW}$)。進而於式 3- 67 計算該期之暫存產能。

$$temp_{m,t} = com_{m,t}^{result} \quad \text{for } \forall m, t = f_{NEW} \quad \text{式 3- 67}$$

■ 符合暫存條件二

於本條件中，由於備料時點($ready_{t_{MAX}}^{MIN}$)前之結果不受後序訂單影響，因此將「最接近 $ready_{t_{MAX}}^{MIN}$ 之產品加工/換線完成時間」前之排程結果列入暫存解(圖 3- 21)；此暫存範圍需由排程之結果尋求最接近備料時點之完工時間，該完工時間為「剛完成加工或換線之排程規劃」。因此 $X_{i,m,t}^{temp}$ 及 $temp_{m,t}$ 數值，須依據「最接近 $ready_{t_{MAX}}^{MIN}$ 之產品加工/換線完成時間尋求之結果進行更新。該時點可依數學式「 $ready_{t_{MAX}}^{MIN} \times (1 - dt_m - pm_m - eg_m) \times 24 \times 60 \times 60$ 」，將真實時間轉換為機台時間，再檢視產品加工/換線之完成時間。

■ 符合暫存條件三

圖 3-22 中暫存「 $ready_{t_{MIN}}$ 及 $ready_{t_{MAX}}^{MIN}$ 間之可用自製產能」，將規劃結果之自製量列入暫存解($X_{i,m,t}^{temp} = X_{i,m,t}$)，並計算暫存產能，計算方式如式 3-68 所示，先計算 $ready_{t_{MIN}}$ 與 $ready_{t_{MAX}}^{MIN}$ 間之差距天數，再扣除當機、維護及實驗比例後，轉換為天數即為暫存之產能。

$$temp_{m,t} = (ready_{t_{MAX}}^{MIN} - ready_{t_{MIN}}) \times (1 - dt_m - pm_m - eg_m) \times 24 \times 60 \times 60 \quad \begin{array}{l} \text{for } \forall m \\ , t = t_{MIN}, \dots, f_{NEW} \end{array} \quad \text{式 3-68}$$

■ 符合暫存條件四

圖 3-23 則將「 $ready_{t_{MIN}}$ 及 $ready_{t_{MAX}}^{MIN}$ 間之可用自製產能」列入暫存解，將規劃結果之自製量列入暫存解($X_{i,m,t}^{temp} = X_{i,m,t}$)，計算暫存產能方式與式 3-68 相同。

再者，上述四條件之規劃結果存在外包產品時，將外包量列入暫存解之中($O_{i,t}^{temp} = O_{i,t}$, where $t = f_{NEW}$)；此外，當「備料完成時間不同，訂單交期相同」之情境出現時，計算暫存產能時以訂單編號為區分($ltemp_{m,l}$)，再針對交期為 due_l 之所有訂單($l \in D_l$)進行 $ltemp_{m,l}$ 之加總，即為該期之暫存產能(式 3-69)。

$$temp_{m,t} = \sum_{l \in D_l} ltemp_{m,l} \quad \begin{array}{l} \text{for } \forall m \\ , t = t_{MIN}, \dots, f_{NEW} \end{array} \quad \text{式 3-69}$$

完成上述動作後，更新暫存期數 $f_{OLD} = f_{NEW}$ ，並進入 Step8-2。

Step8-2 : $n=1$

將 n 之值更新為 1，並進入 Step8-3。

Step8-3 : t_{MAX} 是否等於 t_{MAX}^p

於本步驟判斷 t_{MAX} 與 t_{MAX}^p 間之關係，若為相等則進入 Step8-5，反之則進入 Step8-4。

Step8-4 : $t_{MIN} = f_{NEW} + 1$, $t_{MAX} = t_{MIN}$

更新本次求解範圍的最小及最大規劃期數($t_{MIN} = f_{NEW} + 1$, $t_{MAX} = t_{MIN}$)，並

進入 Step2-4。

Step8-5 : $p = p+1$

更新規劃範圍之序號($p=p+1$)，並進入 Step2-4。

Step9 : 累積至第 T 期之外包數量總和是否大於外包合約下限？

經由 Step8 判斷後得知，本次之規劃期數為最後一期，此時須判定第 1 期累積至第 T 期之外包數量總和($\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T O_{i,t}$)是否大於外包合約下限 (O_{lower})。若結果為是則進入 Step9-2；反之則進入 Step9-1。

Step9-1 : $c_{MPS}=2$

將 c_{MPS} 更新為 2，表暫存解中的外包數量總和小於等於外包合約下限，並進入 Step9-2。

Step9-2 : c_{EST} 與 c_{MPS} 之值是否相同

於本步驟判斷 c_{EST} 與 c_{MPS} 間之關係，若為相同則完成主生產排程之規劃，反之則進入 Step7-3。



第四章、實例驗證

為驗證本文第三章所提出「主生產排程建構機制」之可行性，於本章節中，將針對本文所提出之兩規劃模組進行實例驗證。

驗證之過程主要分為三個部份，分別為：

- (1) 系統環境說明：描述系統環境之基本資料及相關假設。
- (2) 執行過程：輸入相關資料與參數，依序說明兩模組(產能估算模組、主生產排程規劃模組)之執行過程。
- (3) 成效分析：執行第三章之主生產排程規劃模組，將所得結果進行分析與比較。

4.1、系統環境說明

本章採用之生產環境、機台設備等相關資料皆由廠商訪談中獲得，再根據本文之環境假設作適當修正，以利實例驗證之執行。

4.1.1、生產環境資料

生產環境區分為產品基本資料、機台設置時間、瓶頸機台資訊、以及訂單資訊等，如下所示：

(1) 產品基本資料

本文之生產系統共加工 A、B、...、L 十二種產品別，在十二種產品別中分別由三種光罩、二種光阻液及二種大小之玻璃尺寸所組成，其對應之單位加工時間因玻璃尺寸之大小而異(同產品別於各機台之加工時間皆相同)。而各產品別之加工成本分成自製、外包、未排入之狀態而列舉於表 4-1。

表 4-1 各產品別之規格、加工時間及成本對應表

| 產品別 (=i) | 光罩別 a | 光阻液 種類 | 玻璃尺寸 大小 | 加工時間 pt_i (秒/片) | 加工成本(元/片) | | |
|-------------|-------|-----------|------------|----------------------|-----------|-----------|------------|
| | | | | | 自製 cx_i | 外包 co_i | 未排入 cz_i |
| A(=1) | 1 | 1 | 1 | 24 | 4 | 16 | 28 |
| B(=2) | 1 | 1 | 2 | 28 | 6 | 18 | 30 |
| C(=3) | 1 | 2 | 1 | 24 | 4 | 16 | 28 |
| D(=4) | 1 | 2 | 2 | 28 | 6 | 18 | 30 |
| E(=5) | 2 | 1 | 1 | 24 | 4 | 16 | 28 |
| F(=6) | 2 | 1 | 2 | 28 | 6 | 18 | 30 |
| G(=7) | 2 | 2 | 1 | 24 | 4 | 16 | 28 |
| H(=8) | 2 | 2 | 2 | 28 | 6 | 18 | 30 |
| I(=9) | 3 | 1 | 1 | 24 | 4 | 16 | 28 |
| J(=10) | 3 | 1 | 2 | 28 | 6 | 18 | 30 |
| K(=11) | 3 | 2 | 1 | 24 | 4 | 16 | 28 |
| L(=12) | 3 | 2 | 2 | 28 | 6 | 18 | 30 |

(2)機台設置時間

於「3.1 問題描述與假設」中提及，設置時間因產品規格之相異可分為光罩、光阻液及玻璃尺寸三種，細部之時間差異說明如下：

光罩：各種光罩(種類 1 至 3)本身在裝置上所花的時間皆相近(皆為 50 分鐘)；此外，於光罩上發現微粒之機率不確定，因此不考量裝配光罩時清理微粒之時間(清理之時間亦不固定)。

光阻液：不同類型的光阻液在清管(Piping)時有規定的時間，該時間因光阻液特性(黏稠度)而有不同。此處光阻液種類 2 較為黏稠(清洗時間較久—55 分)，種類 1 較不黏稠(所花時間較少—35 分)。

玻璃尺寸：玻璃尺寸之切割法分成 4 切(種類 1)及 6 切(種類 2)兩種，在裝配大玻璃時，加工前需針對各點進行定位，因此 6 切(15 分)所花之定位時間相對 4 切(10 分)來的久。綜合上述三者之內容，整理出表 4-2。

表 4-2 換線時間說明

| 換線種類 | 種類別 | 說明 | 設置時間(分) |
|------|-----|---------|---------|
| 光罩 | 1 | 不同電路圖設計 | 50 |
| | 2 | | 50 |
| | 3 | | 50 |
| 光阻液 | 1 | 不黏稠 | 35 |
| | 2 | 黏稠 | 55 |
| 玻璃尺寸 | 1 | 4 切 | 10 |
| | 2 | 6 切 | 15 |

由上述三種換線說明得知，更換不同光罩所花費之時間皆相同(順序獨立)，例如光阻液及玻璃尺寸皆相同之 A、E、I 產品(惟獨搭配之光罩種類不同)，三種產品互換之設置所需時間皆為 50 分。而光阻液及玻璃尺寸因其種類之不同產生相異之設置時間(順序相依)，如玻璃尺寸不同之 A、B 兩產品(使用之光罩及光阻液皆相同)，A→B(15 分)及 B→A(10 分)所花之時間相異。

另考量初始狀態(無任何產品別於該機台上到第一順位產品)所需換線時間，以初始狀態至 A 產品為例，換線時間(95 分)之計算方式為第 1 種光罩(50 分)、第 1 種光阻液(35 分)、及第 1 種玻璃尺寸(10 分)之加總。綜合上述說明，整理出各產品別換線時所對應之時間表(表 4-3)。

表 4-3 產品別換線時間表(單位：分鐘)

| From \ To | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|-----------|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| 初始狀態 | 95 | 100 | 115 | 120 | 95 | 100 | 115 | 120 | 95 | 100 | 115 | 120 |
| A | 0 | 15 | 55 | 70 | 50 | 65 | 105 | 120 | 50 | 65 | 105 | 120 |
| B | 10 | 0 | 65 | 55 | 60 | 50 | 115 | 105 | 60 | 50 | 115 | 105 |
| C | 35 | 50 | 0 | 15 | 65 | 100 | 50 | 65 | 65 | 100 | 50 | 65 |
| D | 45 | 35 | 10 | 0 | 95 | 85 | 60 | 50 | 95 | 85 | 60 | 50 |
| E | 50 | 65 | 105 | 120 | 0 | 15 | 55 | 70 | 50 | 65 | 105 | 120 |
| F | 60 | 50 | 115 | 105 | 10 | 0 | 65 | 55 | 60 | 50 | 115 | 105 |
| G | 85 | 100 | 50 | 65 | 35 | 50 | 0 | 15 | 85 | 100 | 50 | 65 |
| H | 95 | 85 | 60 | 50 | 45 | 35 | 10 | 0 | 95 | 85 | 60 | 50 |
| I | 50 | 65 | 105 | 120 | 50 | 65 | 105 | 120 | 0 | 15 | 55 | 70 |
| J | 60 | 50 | 115 | 105 | 60 | 50 | 115 | 105 | 10 | 0 | 65 | 55 |
| K | 85 | 100 | 60 | 65 | 85 | 100 | 60 | 65 | 35 | 50 | 0 | 15 |
| L | 95 | 85 | 60 | 50 | 95 | 85 | 60 | 50 | 45 | 35 | 10 | 0 |

(3)瓶頸機台資訊

本個案中具備三台 RGB 機台，各機台可搭載之光罩種類皆不相同，進而影響各機台可加工之產品別(具備不同製程規格能力)，詳見表 4-4：

表 4-4 光罩與可搭載機台之關係表
 (「✓」表該機台可裝配該光罩；反之，「×」表該機台不可裝配該光罩)

| 光罩種類 a | 現有光罩個數 $reaticle_a$ | 該光罩可搭載之機台位置 | | |
|------------|------------------------|-------------|------|------|
| | | 機台 1 | 機台 2 | 機台 3 |
| 1 | 1 | ✓ | ✓ | × |
| 2 | 2 | × | ✓ | ✓ |
| 3 | 1 | ✓ | × | ✓ |
| 該機台可加工之產品別 | | A~D、I~L | A~H | E~L |

再者，各個機台之加工批量皆為 1，而各機台之平均失效間隔及修復時間($mtbf$ 及 mtr)、機台之維護間隔及執行時間($mtbpm$ 及 $mttpm$)、以及實驗耗用產能比率(eg)等資訊，如表 4-5 所示：

表 4-5 各機台相關資訊

| 機台編號 | 機台 1 | 機台 2 | 機台 3 |
|---------------|------|------|------|
| 加工批量 | 1 | 1 | 1 |
| $mtbf$ (hr.) | 360 | 360 | 360 |
| mtr (hr.) | 6 | 6.5 | 7 |
| $mtbpm$ (hr.) | 1440 | 1400 | 1460 |
| $mttpm$ (hr.) | 24 | 24.5 | 25 |
| eg | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

(5) 訂單資訊

本案例中具備五筆訂單，分別顯示各自的備料完成時間、訂單交期、產品別需求數量，規劃幅度之總需求數量為各產品別於 28 天內之數量加總，以表 4-6 表示。

表 4-6 訂單資訊

| 訂單編號 l | 備料完成時間 r (天) | 訂單交期(天) | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|---------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 1 | 0 | 3 | 5,000 | 0 | 4,070 | 0 | 5,100 | 0 | 3,600 | 3,500 | 2,300 | 3,000 | 2,700 | 0 |
| 2 | 1 | 4 | 0 | 3,000 | 2,300 | 0 | 2,900 | 3,100 | 0 | 200 | 0 | 400 | 400 | 500 |
| 3 | 3 | 16 | 12,900 | 2,000 | 0 | 10,500 | 14,900 | 17,100 | 18,500 | 9,800 | 8,200 | 12,040 | 6,500 | 12,800 |
| 4 | 17 | 20 | 1,000 | 4,000 | 4,650 | 1,700 | 7,300 | 7,500 | 4,900 | 0 | 4,960 | 1,000 | 2,900 | 1,300 |
| 5 | 17 | 28 | 3,300 | 11,550 | 6,600 | 1,100 | 9,760 | 9,520 | 5,800 | 4,700 | 3,770 | 2,750 | 0 | 5,200 |
| 規劃幅度之總需求數量(d_i) | | | 22,200 | 20,550 | 17,620 | 13,300 | 39,960 | 37,220 | 32,800 | 18,200 | 19,230 | 21,190 | 12,500 | 19,800 |

(6) 可委外數量資訊

本月份(28 天)可使用之外包合約數量為 $o_{lower}=18,000$ 及 $o_{upper}=40,000$ ，而 o_{number} (旺季之外包數量限制)及 o_{type} (旺季之外包總種類限制)皆為 6。

4.1.2、生產規劃假設

以下分成四點說明本研究之生產假設：

(1) 規劃幅度與規劃週期

本研究之規劃幅度為 28 天(最後一筆訂單之交期)，各規劃週期依各筆訂單交期依序編號。

(2) 對於各筆訂單規劃結果中，未能滿足的數量將作為回覆上層之資訊。

(3) 本文假設該生產系統之良率為 1。

(4) 規劃之各產品之數量以整片玻璃為單位。

4.2、產能初估模組之執行過程

本節以 4.1 所述之系統環境作為實例驗證之對象，輸入項目分別為組立製程投料規劃(訂單資訊：各產品別於規劃幅度下之總需求量)、系統可用產能、產品製程資訊、外包合約上限以及現有光罩個數，依序以「3.3.1、瓶頸工作站產能推估機制」及「3.3.2、光罩個數推估機制」檢視此情境之可行性，執行之過程分別說明於以下兩小節：

4.2.1、瓶頸工作站產能推估機制

本小節將以整數規劃模式求解，在求解前先計算相關之輸入值(Step1)，將求得之數值代入瓶頸產能初估模式求解(Step2)，進而判別求解結果是否有未排入產品之存在(Step3)，以及規劃結果之外包數量與外包合約下限間之關係(Step4)；以下分成此四步驟說明該機制之執行過程：

Step1：將相同交期需求，依時間序給予序號 t ，並計算相關參數

先依其時間序給予規劃週期序號 t ，依各規劃週期之交期將隸屬 due_t 之訂單歸於集合 D_t ，再運用式 3-5 及式 3-6 求算 $ready_t$ 及 $idle_t$ 之數值，以 $t=1$ 為例說明於式 4-1 及式 4-2，並將各週期之計算結果整理於表 4-7。

$$ready_1 = \min_{l \in D_1}(r_l) = \min(0) = 0 \quad (\text{天}) \quad \text{式 4-1}$$

$$idle_1 = \max(0, ready_1 - due_0) = \max(0, 0 - 0) = 0 \quad (\text{天}) \quad \text{式 4-2}$$

表 4-7 求算閒置產能天數及各期換線估算值

| 規劃週期 t | 訂單編號 l | I_t | D_t | r_t (天) | $ready_t$ (天) | due_t (天) | $idle_t$ (天) | $setup_t$ (秒) |
|-------------|-------------|----------------------------|-------|--------------|------------------|----------------|-----------------|------------------|
| 1 | 1 | {1,3,5,7,8,9,10,11} | {1} | 0 | 0 | 3 | 0 | 31,133 |
| 2 | 2 | {2,3,5,6,8,10,11,12} | {2} | 1 | 1 | 4 | 0 | 29,288 |
| 3 | 3 | {1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,12} | {3} | 3 | 3 | 16 | 1 | 40,691 |
| 4 | 4 | {1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12} | {4} | 17 | 17 | 20 | 0 | 40,527 |
| 5 | 5 | {1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12} | {5} | 17 | 17 | 28 | 0 | 40,418 |

依據表 4-5 所提供之資訊，透過式 3-18 計算機台 m 在規劃幅度內之可用產能(依序扣除當機 dt_m 、機台維護 pm_m 、實驗耗用產能比率 eg_m)，計算過程如式 4-3~式 4-5 所示：

$$cap_1 = (1 - \frac{6}{6+360} - \frac{24}{24+1440} - 0.05) \times (28-1) \times 24 \times 60 \times 60 = 2139674.75 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-3}$$

$$cap_2 = (1 - \frac{6.5}{6.5+360} - \frac{24.5}{24.5+1400} - 0.05) \times (28-1) \times 24 \times 60 \times 60 = 2134665.14 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-4}$$

$$cap_3 = (1 - \frac{7}{7+360} - \frac{25}{25+1460} - 0.05) \times (28-1) \times 24 \times 60 \times 60 = 2132392.45 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-5}$$

最後計算產能佔用之換線時間，首先將隸屬規劃週期 t 之所有產品別歸於集合 I_t (表 4-7)，透過式 3-18 將集合納入元素 0 即為 I_t^{begin} (式 4-6)，並藉由式 3-19 及式 3-20 分別求算 $t=1$ 及其餘期數各週期內單次換線之平均時間(式 4-7 至式 4-11)；並由式 3-21 初估各期之換線時間總和(表 4-7)；最後以式 3-22 將「規劃幅度之可用產能扣去換線時間」除以「規劃幅度之可用產能」，即求得機台之利用率水準(式 4-12)。

$$I_1^{begin} = \{0\} \cup I_1 = \{0,1,3,5,7,8,9,10,11\} \quad \text{式 4-6}$$

$$\bar{st}_{begin} = \frac{\sum_{i \in I_1^{begin}} \sum_{i' \in I_1} st_{i,i'}}{\sum_{i \in I_1^{begin}} \sum_{i' \in I_1} i \times i'} = \frac{280200}{72} \cong 3891.6667 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-7}$$

$$\bar{st}_2 = \frac{\sum_{i \in I_2} \sum_{i' \in I_2} st_{i,i'}}{\sum_{i \in I_2} i^2} = \frac{234300}{64} \cong 3660.9375 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-8}$$

$$\bar{st}_3 = \frac{\sum_{i \in I_3} \sum_{i' \in I_3} st_{i,i'}}{\sum_{i \in I_3} i^2} = \frac{447600}{121} \cong 3699.1736 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-9}$$

$$\bar{st}_4 = \frac{\sum_{i \in I_4} \sum_{i' \in I_4} st_{i,i'}}{\sum_{i \in I_4} i^2} = \frac{445800}{121} \cong 3684.2975 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-10}$$

$$\bar{st}_5 = \frac{\sum_{i \in I_5} \sum_{i' \in I_5} st_{i,i'}}{\sum_{i \in I_5} i^2} = \frac{444600}{121} \cong 3674.3802 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-11}$$

$$u = \frac{\sum_{m=1}^3 cap_m - \sum_{t=1}^5 setup_t}{\sum_{m=1}^M cap_m} = \frac{6406732.34 - 182057.2}{6406732.34} \times 100\% = 97.16\% \quad \text{式 4-12}$$

Step2：求解瓶頸產能初估模式

求得各機台之可用產能後，將此結果代入「機台之產能負荷限制式(式 3-25)」，檢視預定需求(d_i)能否由自製廠($X_{i,m}$)及外包商(O_i)之產能所滿足(式 3-24)，以及外包數量上限 40,000 個之限制(式 3-26)，透過上述限制式建構出線性規劃模式。

本研究所使用之運算環境為中央處理器(CPU) Intel Pentium IV 3.00GHZ、隨機存取記憶體(RAM)1.00GB、作業系統為 Windows XP。以此環境執行 iLOG OPL 運算，求得表 4-8 之規劃結果(其中目標值為 1,697,200—自製成本 1,127,662，外包成本 569,538、限制式總數為 16 條、決策變數共有 60 個、求解時間為 0.01 秒)。該表中決策變數與數學符號之對應為 $X[i,m]=X_{i,m}$ 、 $O[i]=O_i$ 、 $Z[i]=Z_i$ 。

表 4-8 瓶頸產能初估模式執行結果

| 產品別 | 規劃幅度內 | | | |
|-----|--------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------|
| | 總需求個數 (片) | 產品別 i 在機台 m 之加工數量(片) | 產品別 i 委外加工 之數量(片) | 產品別 i 未能滿足 需求之數量(片) |
| A | 22,200 | $X[1,1] = 22,200$ | $O[1] = 0$ | $Z[1] = 0$ |
| B | 20,550 | $X[2,2] = 11,708$ | $O[2] = 8,842$ | $Z[2] = 0$ |
| C | 17,620 | $X[3,1] = 17,620$ | $O[3] = 0$ | $Z[3] = 0$ |
| D | 13,300 | -- | $O[4] = 13,300$ | $Z[4] = 0$ |
| E | 39,960 | $X[5,2] = 39,959$ | $O[5] = 0$ | $Z[5] = 0$ |
| | | $X[5,3] = 1$ | | |
| F | 37,220 | $X[6,3] = 27,721$ | $O[6] = 9,499$ | $Z[6] = 0$ |
| G | 32,800 | $X[7,2] = 32,800$ | $O[7] = 0$ | $Z[7] = 0$ |
| H | 18,200 | $X[8,3] = 18,200$ | $O[8] = 0$ | $Z[8] = 0$ |
| I | 19,230 | $X[9,1] = 19,230$ | $O[9] = 0$ | $Z[9] = 0$ |
| J | 21,190 | $X[10,3] = 21,190$ | $O[10] = 0$ | $Z[10] = 0$ |
| K | 12,500 | $X[11,1] = 12,500$ | $O[11] = 0$ | $Z[11] = 0$ |
| L | 19,800 | $X[12,1] = 12,918$ | $O[12] = 0$ | $Z[12] = 0$ |
| | | $X[12,3] = 6,882$ | | |

Step3：是否有未排入產品

由表 4-8 中得知，於規劃幅度內，在考量機台製程規格能力及可用產能下，現有之內製及外包產能可滿足此需求情況。得知未能滿足之數量皆為 0 後，繼續進行 Step4。

Step4：外包數量總和是否大於外包合約下限

於本步驟判別外包數量總和($\sum_{i=1}^I O_i$)與外包合約下限(O_{lower})間之關係，判別結果顯示 $\sum_{i=1}^I O_i = 8,842 + 13,300 + 9,499 = 31,641 > 18,000$ ，因此進入 Step4-1。

Step4-1： $c_{EST} = 1$

於 Step4 判斷結果後進入本步驟，將 c_{EST} 之值更新為 1，並進入「3.2.2、光罩個數推估機制」。

4.2.2、光罩個數推估機制

得知「3.3.1 瓶頸工作站產能推估機制」並未有未排入產品(Z_i)之存在後，於本小節進行光罩個數推估之動作，承接前一階段之規劃結果，分成兩步驟說明該機制之執行過程：

Step1：各種類光罩 a 最少需求數量估算

首先將可搭載光罩種類 a 之機台 m 歸於集合 M_a 之中： $M_1=\{1,3\}$ 、 $M_2=\{1,2\}$ 、 $M_3=\{2,3\}$ 。並加總各個產品別於規劃幅度內之自製總數量(式 3-29)，規劃結果顯示產品 A 於機台 1 生產 22,000 片，因此 est_1 之計算過程如式 4-13 所示，以此類推其餘產品別。

$$est_1 = \sum_{m=1}^3 X_{i,m} = 22,000 + 0 + 0 = 22,200 (\text{片}) \quad \text{式 4-13}$$

接續將式 3-29 求得之「各產品別規劃幅度內自製總量」，乘上各自所需加工時間即為「各產品之加工時間總和」(式 3-30)；以產品 A 為例，計算過程如式 4-14 所示，其餘產品之計算方式亦同。將上述兩式之結果整理如表 4-9：

$$cap_1^{demand} = est_1 \times pt_1 = 22,200 \times 24 = 532,800 (\text{秒}) \quad \text{式 4-14}$$

表 4-9 產品別規劃幅度內之自製總數量及加工時間總和

| 產品別 i | $X_{i,1}$ (片) | $X_{i,2}$ (片) | $X_{i,3}$ (片) | $est_i = \sum_{m=1}^3 X_{i,m}$ (片) | 加工時間 (秒) | cap_i^{demand} (秒) |
|------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|-------------|-------------------------|
| A | 22,200 | 0 | 0 | 22,200 | 24 | 532,800 |
| B | 0 | 11,708 | 0 | 11,708 | 28 | 327,824 |
| C | 17,620 | 0 | 0 | 17,620 | 24 | 422,880 |
| D | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 |
| E | | 39,959 | 1 | 39,960 | 24 | 959,040 |
| F | 0 | 0 | 27,721 | 27,721 | 28 | 776,188 |
| G | 0 | 32,800 | 0 | 32,800 | 24 | 787,200 |
| H | 0 | 0 | 18,200 | 18,200 | 28 | 509,600 |
| I | 19,230 | 0 | 0 | 19,230 | 24 | 461,520 |
| J | 0 | 0 | 21,190 | 21,190 | 28 | 593,320 |
| K | 12,500 | 0 | 0 | 12,500 | 24 | 300,000 |
| L | 12,918 | 0 | 6,882 | 19,800 | 28 | 554,400 |

由式 3- 30 求得之「規劃幅度內各產品之加工時間總和」，進而加總隸屬同光罩種類之 cap_i^{demand} 值 (式 3- 31)；以光罩種類 1 為例，對應之產品別分別為 A、B、C、D，因此 $rcap_1^{demand}$ 之值為此四種產品之加工時間和(式 4- 15)，式 4- 16 及式 4- 17 分別為 $rcap_2^{demand}$ 及 $rcap_3^{demand}$ 之計算過程。

$$rcap_1^{demand} = \sum_{r_i=1} cap_i^{demand} = 532,800+327,824+422,880+0=1,283,504 \text{ (秒)} \quad \text{式 4- 15}$$

$$rcap_2^{demand} = \sum_{r_i=2} cap_i^{demand} = 959,040+776,188+787,200+509,600=3,032,028 \text{ (秒)} \quad \text{式 4- 16}$$

$$rcap_3^{demand} = \sum_{r_i=3} cap_i^{demand} = 461520 + 593320 + 300000 + 532800 = 1909240 \text{ (秒)} \quad \text{式 4- 17}$$

將式 3- 31 求得之結果分別除以可裝配光罩種類 a 之機台 m 可用產能，透過取整函數再取其最大值即得在此需求條件下之最少光罩需求數量(式 3- 33)。以光罩種類 1 為例，其可搭載機台為機台 1、2，將 $rcap_1^{demand}$ 分別除上機台 1、2 之可用產能，經由取整函數並取其最大值即得光罩種類 1 之需求個數為 1(式 4- 18)，而式 4- 19 及式 4- 20 分別計算光罩種類 2、3 之需求個數。將上述兩式之結果整理如表 4- 10：

$$\max \left(\left\lceil \frac{rcap_1^{demand}}{cap_1} \right\rceil, \left\lceil \frac{rcap_1^{demand}}{cap_2} \right\rceil \right) = \max \left(\left\lceil \frac{1283504}{2139675} \right\rceil, \left\lceil \frac{1283504}{2134665} \right\rceil \right) = \max(1,1) = 1 = reticle_1 \quad \text{式 4- 18}$$

$$\max \left(\left\lceil \frac{rcap_2^{demand}}{cap_2} \right\rceil, \left\lceil \frac{rcap_2^{demand}}{cap_3} \right\rceil \right) = \max \left(\left\lceil \frac{3032028}{2134665} \right\rceil, \left\lceil \frac{3032028}{2132392} \right\rceil \right) = \max(2,2) = 2 = reticle_2 \quad \text{式 4- 19}$$

$$\max \left(\left\lceil \frac{rcap_3^{demand}}{cap_1} \right\rceil, \left\lceil \frac{rcap_3^{demand}}{cap_3} \right\rceil \right) = \max \left(\left\lceil \frac{1909240}{2139675} \right\rceil, \left\lceil \frac{1909240}{2132392} \right\rceil \right) = \max(1,1) = 1 = reticle_3 \quad \text{式 4- 20}$$

表 4-10 各種類光罩 a 最少需求數量估算結果

| 產品別 i | cap_i^{demand} (秒) | a | $rcap_a^{demand} = \sum_{i=a} cap_i^{demand}$ (秒) | 光罩 a 可搭載之 機台 m | $\frac{rcap_a^{demand}}{cap_m}$ | $\left\lceil \frac{rcap_a^{demand}}{cap_m} \right\rceil$ (個) | $reticle_a$ (個) |
|---------|-------------------------|-----|--|--------------------------|---------------------------------|---|--------------------|
| A | 532,800 | 1 | 1,283,504 | 1 | 0.5999 | 1 | 1 |
| B | 327,824 | | | 2 | 0.6013 | 1 | |
| C | 422,880 | | | | | | |
| D | 0 | | | | | | |
| E | 959,040 | 2 | 3,032,028 | 2 | 1.4204 | 2 | 2 |
| F | 776,188 | | | 3 | 1.4219 | 2 | |
| G | 787,200 | | | | | | |
| H | 509,600 | | | | | | |
| I | 461,520 | 3 | 1,909,240 | 1 | 0.8923 | 1 | 1 |
| J | 593,320 | | | 3 | 0.8954 | 1 | |
| K | 300,000 | | | | | | |
| L | 554,400 | | | | | | |

Step2：現有光罩數量是否足夠

將前一步驟求得之「各種類光罩需求個數」與「現有之光罩數量」進行比對，現有之三種類光罩數量分別為 1、2、1 個，可知光罩數量足夠，可進入下一模組進行排程求解。



4.3、主生產排程規劃模組之執行過程

下述之執行過程以規劃 1 個月(28 天)之訂單需求為例，分成旺季及淡季兩種情境，以求解過程作為本模組各機制之說明，說明如下：

◆ 旺季情境：以產能不足排程模式求解

Case1：不需縮減外包種類之單期規劃(滿足暫存條件一)

Case2：備料完成時間不同，訂單交期不同之訂單情境

Case3：執行外包種類縮減機制

Case4：出現訂單未能滿足之情況

Case5：備料完成時間相同，訂單交期不同之訂單情境(滿足暫存條件四)

Case6：當各筆訂單皆於時間點 0 備料完成，直接求解整段排程

◆ 淡季情境：以產能充足排程模式求解

Case7：排程結果滿足暫存條件二及三

Case8：備料完成時間不同，訂單交期相同之訂單情境

Case9：備料完成時間相同，訂單交期不同之多期規劃

其中旺季情境係執行表 4- 6 案例，解說在規劃流程中，為滿足訂單需求而遇到之狀況。Case6 則根據表 4- 6 之訂單資訊，假設所有訂單之備料完成時間皆於期初完成(表 4- 28)，嘗試針對整段排程進行求解。而淡季情境則另舉一筆需求表 4- 31)，說明當規劃結果之外包產品未達其下限時，所採取之求解過程。

◆ 旺季情境：以產能不足排程模式求解

Step1：規劃範圍訂定機制

Step1-1：規劃範圍訂定機制

根據表 4- 6 之訂單交期資訊，依據式 3- 1 及式 3- 2 求得各期外包數量上限之分配(以第 1 期為例之外包數量上限—式 4- 21 及 o_{diff} 之值—式 4- 22)，再藉由式 3- 7 至式 3- 8 計算交期 due_t 與 $\max(ready_t, due_{t-1})$ 之差距天數(c_t)、求算各機台於不同規劃週期之可用產能。以機台 1 於第 1 期為例，計算過程如式 4- 23 至式 4- 24 所示；將上述計算結果及規劃週期整理如表 4- 11，完成計算後即進入 Step1-2。

$$o_{upper(1)} = \left\lfloor \frac{s_1}{due_5} \times o_{upper} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{3}{28} \times 40,000 \right\rfloor = 4,285 (\text{片})$$

式 4- 21

$$o_{diff}^{upper} = o_{upper} - \sum_{t=1}^5 o_{upper(t)} = 40,000 - 39,997 = 3 \text{ (片)} \quad \text{式 4-22}$$

$$c_1 = due_1 - \max(ready_1, due_0) = 3 - \max(0, 0) = 3 \text{ (天)} \quad \text{式 4-23}$$

$$cap_{1,1} = (1 - dt_1 - pm_1 - eg_1) \times c_1 \times 24 \times 3600$$

$$= \left(1 - \frac{6}{366} - \frac{24}{1464} - 0.05\right) \times 3 \times 24 \times 3600 = 237,742 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-24}$$

表 4-11 相關參數之求算結果

| 規劃週期 t | 訂單編號 l | r_l (天) | $ready_t$ (天) | due_t (天) | c_t (天) | s_t (天) | 自製產能 | | | $O_{upper(t)}$ (片) |
|-------------|-------------|--------------|------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| | | | | | | | $cap_{1,t}$ (秒) | $cap_{2,t}$ (秒) | $cap_{3,t}$ (秒) | |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 237,742 | 237,185 | 236,932 | 4,285 |
| 2 | 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 79,247 | 79,062 | 78,977 | 1,428 |
| 3 | 3 | 4 | 4 | 16 | 12 | 12 | 950,967 | 948,740 | 947,730 | 17,142 |
| 4 | 4 | 17 | 17 | 20 | 3 | 4 | 237,742 | 237,185 | 236,932 | 5,714 |
| 5 | 5 | 17 | 17 | 28 | 8 | 8 | 633,978 | 632,493 | 631,820 | 11,428 |

Step1-2 : $p = t = t_{MIN}^p = 1$

將 p 、 t 、以及 t_{MIN}^p 之值設定為 1，進入 Step1-3。

Step1-3 : 將第 t 期列入 T_p 集合

將目前之規劃週期 1，列入 T_1 集合之內，進入 Step1-4。

Step1-4 : t 是否等於最後一期 T ?

於本步驟對規劃週期 t 進行判斷， $t(=1)$ 之值不為 $T(=5)$ ，因此進入 Step1-8。

Step1-8 : 「第 t 期訂單完工所需時間」是否大於「第 t 期之自製產能」?

藉由式 3-32 計算第 t 期之訂單完工所需時間($demand_t = \sum_{i=1}^{12} d_{i,1} \times pt_i + setup_1 = 728,480 + 31,133 = 759,613$)，與第 t 期之自製產能($= \sum_{m=1}^3 cap_{m,1} = 237,742 + 237,185 + 236,932 = 711,859$)比較後得知前者較大；此情況表示自製產能滿載，需將部份訂單委外生產。接續進入 Step1-5。

Step1-5 : $t_{MAX}^p = t$, $t_{MIN}^p = \min(T_p)$

本步驟進行 t_{MAX}^p 及 t_{MIN}^p 期數之更新，將 t_{MAX}^1 指定為目前之規劃週期 1，並由集合 $T_1 = \{1\}$ 中取最小值即為 t_{MIN}^1 。

Step1-6 : t_{MAX}^p 是否等於最後一期 T ?

於本步驟判別 $t_{MAX}^1 (=1)$ 之期數不等於最後一期 $T(=5)$ ，因此進入 Step1-7。

Step1-7 : $p = p+1$

於 Step1-6 得知 t_{MAX}^1 不為最後一期 T 後，於本步驟進行 p 值之累進 ($p=p+1=1+1=2$)，並進入 Step1-9。

重覆上述步驟，直到 Step1-6 中 t_{MAX}^p 等於最後一期 $T(=5)$ ，才進入 Step2。執行完 Step1 後得到 Step1-8 之比較結果(表 4- 12)及各個規劃範圍之資訊(表 4- 13)。

表 4- 12 Step1-8 判別結果

| 規劃週期 t | $demand_t$ (秒) | $\sum_{m=1}^3 cap_{m,t}$ (秒) | 自製產能狀態 |
|----------|----------------|------------------------------|--------|
| 1 | 759,613 | 711,859 | 滿載 |
| 2 | 365,288 | 237,286 | 滿載 |
| 3 | 3,303,411 | 2,847,437 | 滿載 |
| 4 | 1,091,567 | 711,859 | 滿載 |
| 5 | 1,716,898 | 1,898,291 | 未滿載 |

表 4- 13 規劃範圍相關資訊

| 規劃範圍 p | t_{MIN}^p (期) | t_{MAX}^p (期) | T_p |
|----------|-----------------|-----------------|-------|
| 1 | 1 | 1 | {1} |
| 2 | 2 | 2 | {2} |
| 3 | 3 | 3 | {3} |
| 4 | 4 | 4 | {4} |
| 5 | 5 | 5 | {5} |

Step2 : 更新本次求解範圍

進入 Step2 後，由 Step2-1 開始執行。

Step2-1 : 初始狀態： $s = f_{OLD} = f_{NEW} = 0, n = p = 1$

將各參數設定為初始之狀態： $s = f_{OLD} = f_{NEW} = 0, n = p = 1$ ，之後進入 Step2-2。

Step2-2 : $t_{MIN} = t_{MAX} = t_{MIN}^p$

將本次求解範圍最小期數(t_{MIN})及最大期數(t_{MAX})之值，更新為 $t_{MIN}^1 (=1)$ ，並進入 Step2-3。

Step2-3 : t_{MAX} 是否等於 t_{MAX}^p ?

由判斷結果得知， $t_{MAX}(=1)$ 等於 $t_{MAX}^1 (=1)$ ，因此進入 Step3。

Step3 : c_{EST} 之值是否為 1 ?

由「3.3.1 瓶頸工作站產能推估機制」更新之 c_{EST} 值為 1，因此進入 Step3-1。

Step3-1 : 求解產能不足排程模式

表 4-14 求解範圍($t_{MIN}=1, t_{MAX}=1$)之訂單資訊

| 規劃週期 t | R_t | O_t | $R_t \cap O_t$ | $ready_t$ (天) | due_t (天) | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------------|----------------|------------------|----------------|------------|---|------|---|------|---|------|------|------|------|------|---|
| | | | | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 1 | {1} | {1,2,3,4,5} | {1} | 0 | 3 | 5000 | 0 | 4070 | 0 | 5100 | 0 | 3600 | 3500 | 2300 | 3000 | 2700 | 0 |

將 Step2 中更新之求解範圍代入產能不足排程模式之中，於此範圍中針對「 $R_t \cap O_t$ 」之訂單編號以 iLOG 進行求解(「 $R_t \cap O_t$ 」為「備料完成時間於 $ready_t$ 以前之所有待規劃訂單集合 $R_t = \{1\}$ 」與「交期隸屬 due_t 之後的訂單編號集合 $O_t = \{1,2,3,4,5\}$ 」之交集，即為訂單編號 1，參表 4-14)，將部份決策變數及結果整理成表 4-15(分成規劃週期、光罩配置、三機台之加工內容、以及外包產品數量)。由於決策變數所佔篇幅過多，在此只選出可表示排程結果之變數($\delta[a,m,t] = \delta_{a,m,t}$ 、 $\beta[i,i',m,t] = \beta_{i,i',m,t}$ 、 $X[i,m,t] = X_{i,m,t}$ 、 $\gamma[i,i',m,t] = \gamma_{i,i',m,t}$ 、 $O[i,t] = O_{i,t}$ 、 $Z[i,t] = Z_{i,t}$)，爾後各規劃週期之規劃結果亦只顯示部份變數(完整之規劃結果整理於附錄 A)。

表 4-15 求解範圍($t_{MIN}=1, t_{MAX}=1$)之規劃結果(附錄 A-1)

| 規劃週期 | 光罩配置 | | | | | 自製 | | | | | 外包 | |
|-------|--|------------|------------|------------|------------|--------------------|------------|--------------------|-----------------|---------------------|----------------|-------------|
| | | | | | | 機台 1 | | 機台 2 | | 機台 3 | | |
| 1 | delta[1,1,1] = 1 | | | | | beta[0,1,1,1] = 1 | | beta[0,8,2,1] = 1 | | beta[0,7,3,1] = 1 | O[8,1] = 1 | |
| | delta[2,2,1] = 1 | | | | | X[1,1,1] = 5000 | | X[8,2,1] = 3499 | | X[7,3,1] = 3312 | O[10,1] = 2120 | |
| | delta[2,3,1] = 1 | | | | | gamma[1,3,1,1] = 1 | | gamma[8,7,2,1] = 1 | | gamma[7,11,3,1] = 1 | O[11,1] = 4 | |
| | delta[3,3,1] = 1 | | | | | X[3,1,1] = 4070 | | X[7,2,1] = 288 | | X[11,3,1] = 2696 | -- | |
| | -- | | | | | -- | | gamma[7,5,2,1] = 1 | | gamma[11,9,3,1] = 1 | -- | |
| | -- | | | | | -- | | X[5,2,1] = 5100 | | X[9,3,1] = 2300 | -- | |
| | -- | | | | | -- | | -- | | gamma[9,10,3,1] = 1 | -- | |
| -- | | | | | -- | | -- | | X[10,3,1] = 880 | -- | | |
| 未排入產品 | Z[1,1] = 0 | Z[2,1] = 0 | Z[3,1] = 0 | Z[4,1] = 0 | Z[5,1] = 0 | Z[6,1] = 0 | Z[7,1] = 0 | Z[8,1] = 0 | Z[9,1] = 0 | Z[10,1] = 0 | Z[11,1] = 0 | Z[12,1] = 0 |
| 求解結果 | 目標值 = 155,580 (自製成本：117,338、外包成本 38,242) ；決策變數 = 1,120；限制式 = 17,405；求解時間 = 4.11 秒 | | | | | | | | | | | |

透過撰寫 Excel VBA (Visual Basic for Applications)，將表 4- 15 之規劃結果自動繪製成甘特圖，如圖 4- 1 所示。

圖中「 $t=1 : (0 \rightarrow 3)$ 」表示訂單編號 1 之可生產時段為「備料完成時間第 0 天」至「訂單交期第 3 天」，時間軸單位為秒，並且各機台(外包)之第 i 種產品於第 t 個規劃週期加工之個數以「 $[i, t]=$ 生產個數」表示，而「(236932, 0)」為機台 3 於規劃範圍內之實際加工時間及剩餘可用產能，機台 1、2 之表達方式亦同；「 $t=1 : (2125, 2163)$ 」則表示第 1 規劃週期內委外加工產品數量及剩餘可用外包量。

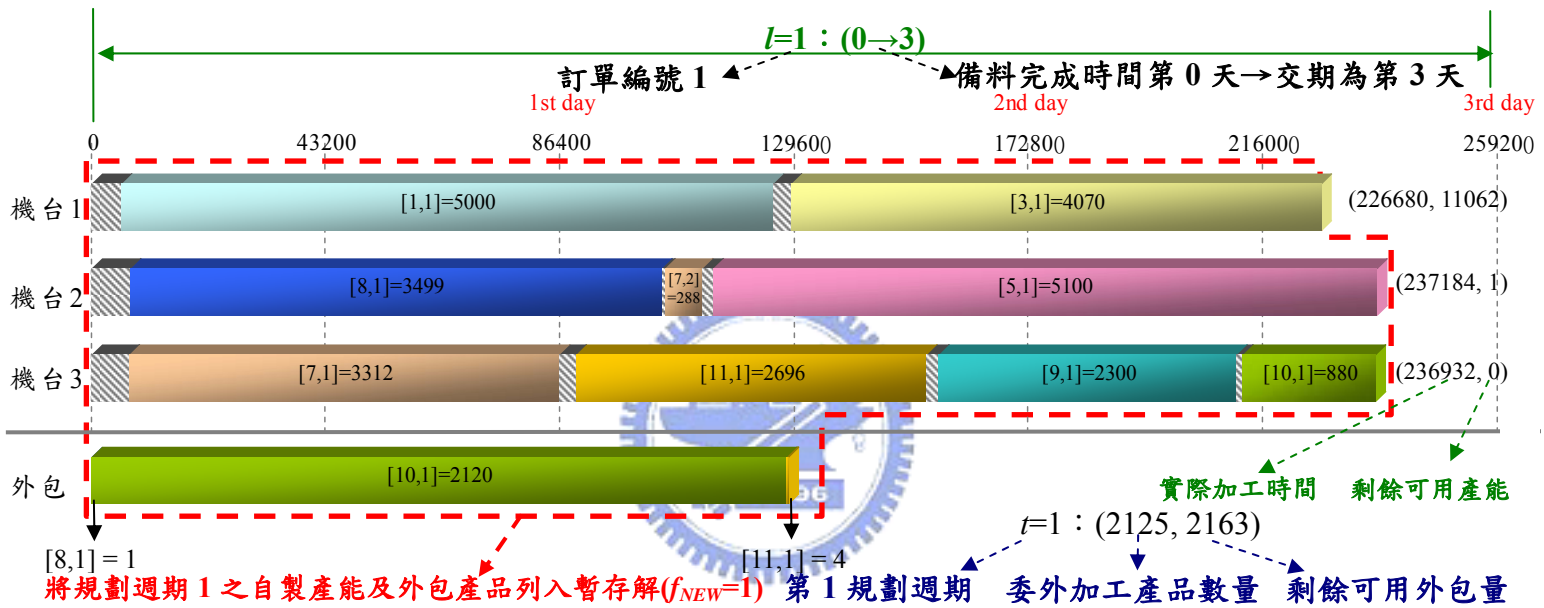


圖 4- 1 求解範圍($t_{MIN}=1, t_{MAX}=1$)結果之甘特圖

Step4：是否有未排入產品

由 Step3-1 求解結果中(表 4- 15)，顯示並無未排入產品(各產品別 $Z_{i,1}$ 皆為 0)，因此進入 Step5。

Step5：是否有部份排程應列入暫存解？

此處檢視目前之排程結果，是否滿足暫存條件。優先判別「暫存條件一：該期所有機台之可用產能皆已滿載」，三機台之剩餘產能(秒)分別為 11062、1、0，由表 4- 15 可知機台 1 搭配光單種類 1($\Delta[1,1,1] = 1$)，因此機台 1 只能加工產品別 A、B、C、D，但上述四類產品別之需求皆已滿足，導致機台 1 無法進行加工之動作；機台 2、3 由於剩餘產能過少(1 及 0 秒)，無法自行生產之產品則委外加工($O_{8,1}=1$ 、 $O_{10,1}=2120$ 、 $O_{11,1}=4$)。

因此，「所有機台之剩餘產能無法進行換線或加工等動作」，即滿足暫存條件一；條件一滿足後其餘條件則不需判斷，進入 Step5-1。

Step5-1：從($t_{MIN}=1, t_{MAX}=1$)範圍內，挑選出符合暫存條件之 f_{NEW} 期數

經由 Step5-1 之檢驗動作後，從(1, 1)之規劃範圍內選定 $f_{NEW}=t_{MAX}=1$ (暫存條件一： $f_{NEW}=t_{MAX}$)，進入 Step6。

Step6：s 之值是否為 1？

於本步驟判別外包種類縮減機制是否已實行，由於尚未實施縮減機制 ($s=0$)，因此進入 Step6-1。

Step6-1：期初累積至第 f_{NEW} 期的外包數量總和是否大於外包合約下限？

於 Step6 判斷尚未執行縮減機制，接續於本步驟判別累積外包數量 ($\sum_{i=1}^{12} \sum_{t=1}^1 O_{i,t} = 1+2,120+4 = 2,125$)與外包合約下限(18,000)間之關係，判斷結果為小於 O_{lower} 則進入 Step8。

Step8： t_{MAX} 是否等於最後一期 T ？

目前之 $t_{MAX}(=1)$ 不等於 $T(=5)$ ，因此進入 Step8-1 進行暫存產能之動作。

Step8-1：暫存 t_{MIN} 至 f_{NEW} 期數範圍內之排程結果(含自製及外包)，計算暫存產能，並更新暫存期數 $f_{OLD}=f_{NEW}$

本排程結果符合暫存條件一，將期數 1 之自製及外包量列入暫存解之中 ($X_{i,m,t}^{temp} = X_{i,m,t}, O_{i,t}^{temp} = O_{i,t}$, where $t=f_{NEW}=1$ ，參圖 4- 1)，透過式 3- 67 計算三機台暫存之產能為 $temp_{m,1} = com_{m,1}^{result} = \sum_{i=0}^{12} \sum_{i'=1}^{12} (\beta_{i,i',m,1} + \gamma_{i,i',m,1}) \times st_{i,i'} + \sum_{i=1}^{12} X_{i,m,1} \times pt_i$ (如表 4- 16 所示)，並更新暫存期數 $f_{OLD}=f_{NEW}=1$ ，完成上述動作後進入 Step8-2。

表 4- 16 計算暫存期數 $f_{NEW}=1$ 之過程

| 機台 m | 加工內容 | | | | | | | | $temp_{m,1}$ |
|--------|--|-------------------------------------|---|---|---|-------------------------------------|--|--|--------------|
| 機台 1 | $\beta_{0,1,1,1} \times st_{0,1}$ =1×5700 | $X_{1,1,1} \times pt_1$ =5000×24 | $\gamma_{1,3,1,1} \times st_{1,3}$ =1×3300 | $X_{3,1,1} \times pt_3$ =4070×24 | -- | -- | -- | -- | 226680 |
| 機台 2 | $\beta_{0,8,2,1} \times st_{2,1}$ =1×7200 | $X_{8,2,1} \times pt_8$ =3499×28 | $\gamma_{8,7,2,1} \times st_{8,7}$ =1×600 | $X_{7,2,1} \times pt_7$ =288×24 | $\gamma_{7,5,2,1} \times st_{7,5}$ =1×2100 | $X_{5,2,1} \times pt_5$ =5100×24 | -- | -- | 237184 |
| 機台 3 | $\beta_{0,7,3,1} \times st_{0,7}$ =1×6900 | $X_{7,3,1} \times pt_7$ =3312×24 | $\gamma_{7,11,3,1} \times st_{7,11}$ =1×3000 | $X_{11,3,1} \times pt_{11}$ =2696×24 | $\gamma_{11,9,3,1} \times st_{11,9}$ =1×2100 | $X_{9,3,1} \times pt_9$ =2300×24 | $\gamma_{9,10,3,1} \times st_{9,10}$ =1×900 | $X_{10,3,1} \times pt_{10}$ =880×28 | 236932 |

Step8-2 : $n=1$

將 n 之值更新為 1，並進入 Step8-3。

Step8-3 : t_{MAX} 是否等於 t_{MAX}^1

由於 $t_{MAX}=t_{MAX}^1=1$ ，因此進入 Step8-5。

Step8-5 : $p=p+1$

更新規劃範圍之序號($p=p+1=1+1=2$)，並進入 Step2-2。

上述之訂單情境即為「**Case1：不需縮減外包種類之單期規劃(滿足暫存條件一)**」之求解過程。

由 Step2 更新本次求解之最小及最大期數($t_{MIN}=t_{MAX}=t_{MIN}^2=2$)，並且於 Step2-3 得知 t_{MAX} 與 t_{MAX}^2 兩者相等(皆為 2)，接續進入 Step3($c_{EST}=1$)套用 Step3-1 產能不足排程模式進行求解。

表 4- 17 求解範圍($t_{MIN}=2, t_{MAX}=2$)之訂單資訊

| 規劃週期 t | R_t | O_t | $R_t \cap O_t$ | $ready_t$ (天) | due_t (天) | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-----------|----------------|------------------|----------------|------------|------|------|---|------|------|---|-----|---|-----|-----|-----|
| | | | | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 2 | {2} | {2,3,4,5} | {2} | 1 | 4 | 0 | 3000 | 2300 | 0 | 2900 | 3100 | 0 | 200 | 0 | 400 | 400 | 500 |

本次求解對象為訂單編號 2($R_2 \cap D_2$ ，參表 4- 17)，求解後將結果整理如表 4- 18，並將其結果繪製成甘特圖(圖 4- 2)。

表 4- 18 求解範圍($t_{MIN}=2, t_{MAX}=2$)之規劃結果(附錄 A-2)

| 規劃週期 | 光罩配置 | | | | 自製 | | | | | | 外包 | |
|-------|---|----------|----------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|------------------------|-----------|---------------|-----------|
| | | | | | 機台 1 | | 機台 2 | | 機台 3 | | | |
| 2 | $\delta[1,1,2] = 1$ | | | | $\beta[3,3,1,2] = 1$ | | $\beta[5,5,2,2] = 1$ | | $\beta[10,10,3,2] = 1$ | | O[2,2] = 1849 | |
| | $\delta[2,2,2] = 1$ | | | | X[3,1,2] = 2295 | | X[5,2,2] = 2895 | | X[10,3,2] = 400 | | O[3,2] = 5 | |
| | $\delta[2,3,2] = 1$ | | | | $\gamma[3,2,1,2] = 1$ | | $\gamma[5,6,2,2] = 1$ | | $\gamma[10,6,3,2] = 1$ | | O[5,2] = 5 | |
| | $\delta[3,3,2] = 1$ | | | | X[2,1,2] = 1151 | | X[6,2,2] = 310 | | X[6,3,2] = 2313 | | O[6,2] = 477 | |
| | -- | | | | -- | | -- | | -- | | O[8,2] = 200 | |
| | -- | | | | -- | | -- | | -- | | O[11,2] = 400 | |
| | -- | | | | -- | | -- | | -- | | O[12,2] = 500 | |
| 未排入產品 | Z[1,2]=0 | Z[2,2]=0 | Z[3,2]=0 | Z[4,2]=0 | Z[5,2]=0 | Z[6,2]=0 | Z[7,2]=0 | Z[8,2]=0 | Z[9,2]=0 | Z[10,2]=0 | Z[11,2]=0 | Z[12,2]=0 |
| 求解結果 | 目標值 =106,832 (自製成本：45,804、外包成本 61,028) ；決策變數 = 1,120；限制式 = 17,369； 求解時間 = 3.83 秒 | | | | | | | | | | | |

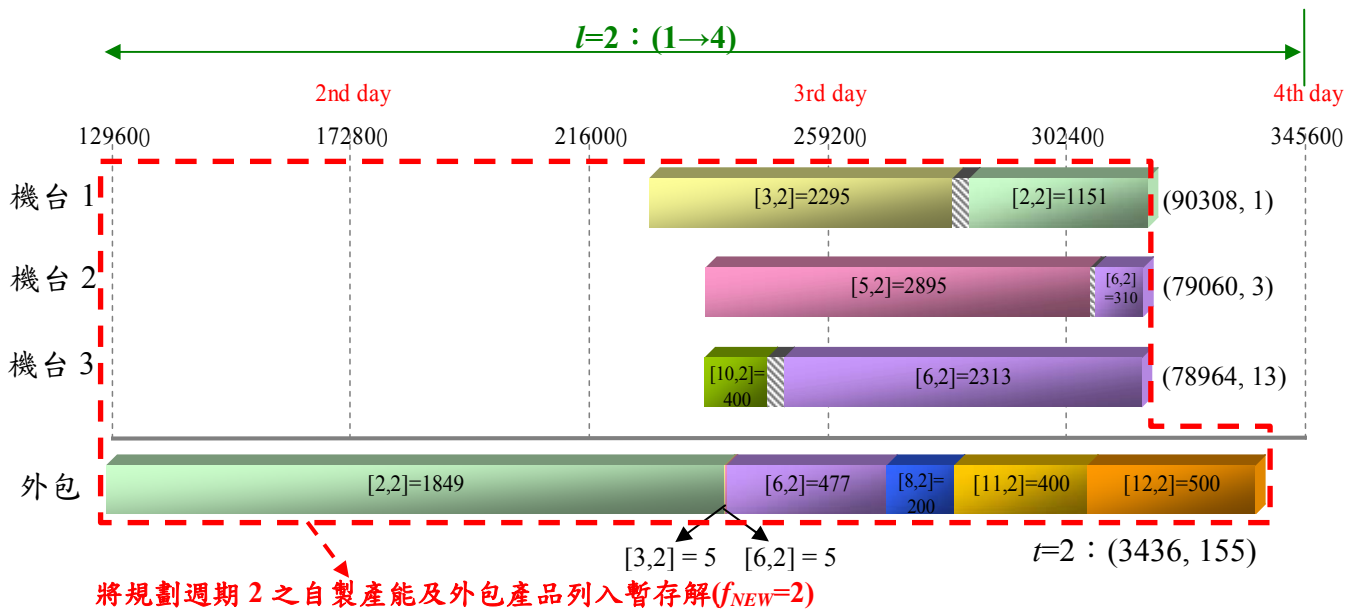


圖 4-2 求解範圍($t_{MIN}=2, t_{MAX}=2$)結果之甘特圖

排程結果(表 4- 18)中無未排入產品存在(Step4)，於 Step5 顯示剩餘產能不足以進行加工之動作(滿足暫存條件一)，因此 $f_{NEW}=t_{MAX}=2$ (Step5-1)。s 之值為 0 進入 Step6-1，累積之外包數量為 2,125+3,436=5,561 小於 $O_{lower}(=1,800)$ ， t_{MAX} 不為最後一期($2 \neq 5$)，因此進入 Step8-1。

於步驟 8-1 中，暫存自製與外包之結果($X_{i,m,t}^{temp} = X_{i,m,t}, O_{i,t}^{temp} = O_{i,t}$ ，where $t = f_{NEW}=2$ ，參圖 4-2)，並分別計算三機台之暫存產能(秒)為 90,308、79,060、78,964(計算方法於規劃週期 1 已說明，在此不再重述)。接續進入 Step8-2、Step8-3、Step8-5，分別更新 n 之數值($n=1$)、判斷 t_{MAX} 與 t_{MAX}^2 間之關係(兩者皆為 2)、及累進 p 之數值($p=p+1=2+1=3$)，最後進入 Step2-2。

上述訂單編號 1 及 2 即為「Case2：備料完成時間不同，訂單交期不同之訂單情境」，先行求解訂單編號 1，依其結果再納入訂單 2 之求解過程。

此處重覆前述步驟，於 Step2-2 更新本次求解範圍之最小、最大期數 ($t_{MIN}=t_{MAX}=t_{MIN}^3=3$)，於 Step2-3 得知 t_{MAX} 等於 t_{MAX}^3 (皆為 3) 後進入 Step3。

表 4-19 求解範圍($t_{MIN}=3, t_{MAX}=3$)之訂單資訊

| 規劃週期 t | R_t | O_t | $R_t \cap O_t$ | $ready_t$ (天) | due_t (天) | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|---------|----------------|------------------|----------------|------------|------|---|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|
| | | | | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 3 | {3} | {3,4,5} | {3} | 3 | 16 | 12900 | 2000 | 0 | 10500 | 14900 | 17100 | 18500 | 9800 | 8200 | 12040 | 6500 | 12800 |

由於 c_{EST} 之值為 1，因此套用 Step3-1 產能不足排程模式對訂單編號 3(表 4-19)進行求解，將規劃結果整理為表 4-20，並以甘特圖呈現其結果(圖 4-3)。

表 4-20 求解範圍($t_{MIN}=3, t_{MAX}=3$)之規劃結果(附錄 A-3)

| 規劃週期 | 光罩配置 | | | | 自製 | | | | | | | | | 外包 | |
|-------|---|------------|------------|------------------|----------------------|------------|-----------------|--------------------|------------|-------------|--------------------|-------------|----|----------------|--|
| | | | | | 機台 1 | | | 機台 2 | | | 機台 3 | | | | |
| 3 | delta[1,2,3] = 1 | | | | beta[1,9,1,3] = 1 | | | beta[6,6,2,3] = 1 | | | beta[6,6,3,3] = 1 | | | O[4,3] = 10500 | |
| | delta[2,2,3] = 1 | | | | X[9,1,3] = 8200 | | | X[6,2,3] = 7895 | | | X[6,3,3] = 9205 | | | O[5,3] = 1 | |
| | delta[2,3,3] = 1 | | | | gamma[9,10,1,3] = 1 | | | gamma[6,5,2,3] = 1 | | | gamma[6,8,3,3] = 1 | | | O[7,3] = 1 | |
| | delta[3,1,3] = 1 | | | | X[10,1,3] = 8285 | | | X[5,2,3] = 14899 | | | X[8,3,3] = 8647 | | | O[8,3] = 1153 | |
| | -- | | | | gamma[10,12,1,3] = 1 | | | gamma[5,1,2,3] = 1 | | | gamma[8,7,3,3] = 1 | | | O[10,3] = 3755 | |
| | -- | | | | X[12,1,3] = 12799 | | | X[1,2,3] = 12900 | | | X[7,3,3] = 18499 | | | O[12,3] = 1 | |
| | -- | | | | gamma[12,11,1,3] = 1 | | | gamma[1,2,2,3] = 1 | | | -- | | | -- | |
| -- | | | | X[11,1,3] = 6500 | | | X[2,2,3] = 2000 | | | -- | | | -- | | |
| 未排入產品 | Z[1,3] = 0 | Z[2,3] = 0 | Z[3,3] = 0 | Z[4,3] = 0 | Z[5,3] = 0 | Z[6,3] = 0 | Z[7,3] = 0 | Z[8,3] = 0 | Z[9,3] = 0 | Z[10,3] = 0 | Z[11,3] = 0 | Z[12,3] = 0 | | | |
| 求解結果 | 目標值 = 814,372 (自製成本：536,978、外包成本 277,394) ；決策變數 = 1,120；限制式 = 17,369；求解時間 = 4.78 秒 | | | | | | | | | | | | | | |



圖 4-3 求解範圍($t_{MIN}=3, t_{MAX}=3$)結果之甘特圖

於 Step5 檢視表 4-20 中無未排入產品之存在，並且剩餘產能不得以進行加工(滿足暫存條件一)，因而進入 Step5-1 更新 f_{NEW} 之值為 $t_{MAX}(=3)$ ；在 s 之參數值為 0(Step6)，以及期初累積至第 f_{NEW} 期之外包數量大於外包合約下限的情況下($\sum_{i=1}^{12} \sum_{t=1}^3 O_{i,t} = 2,125 + 3,436 + 15,411 = 20,972 > o_{lower} = 18,000$ ，

Step6-1)，進入 Step7 外包縮減機制。

Step7：外包種類縮減機制

Step7-1：更新參數 $s=1$ 及 $c_{MPS}=1$

將 s 及 c_{MPS} 之參數值更新為 1，完成後進入 Step7-2。

Step7-2： c_{EST} 與 c_{MPS} 之值是否相同？

c_{EST} 及 c_{MPS} 之參數值皆為 1，因此進入 Step7-4。

Step7-4：針對 t_{MIN} 至 T 期數範圍中，加諸外包種類及數量限制

將原先之「產能不足排程模式」加上式 3-61 至式 3-66 等限制式，爾後求解第 3 期至第 5 期時，皆需考量下述限制式(式 4-25 至式 4-30)。

◆ 外包種類及數量限制

$$O_{i,t} \leq Y_{i,t} \times Q \quad \forall i \quad \text{式 4-25}$$

for t=3, ..., 5

$$Y_{i,t} \leq O_{i,t} \quad \forall i \quad \text{式 4-26}$$

for t=3, ..., 5

$$\sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} Y_{i,t} \leq OY_i \times Q \quad \forall i \quad \text{式 4-27}$$

$$OY_i \leq \sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} Y_{i,t} \quad \forall i \quad \text{式 4-28}$$

$$\sum_{i=1}^{12} OY_i \leq o_{type} = 6 \quad \text{式 4-29}$$

$$\sum_{t=t_{MIN}}^{t_{MAX}} O_{i,t} \geq o_{number} + (OY_i - 1) \times Q = 6 + (OY_i - 1) \times Q \quad \forall i \quad \text{式 4-30}$$

Step7-5：重新求解(t_{MIN}, t_{MAX})期數之產出規劃

藉由「產能不足排程模式」重新求解本次規劃範圍($t_{MIN}=3, t_{MAX}=3$)。

表 4- 21 求解範圍($t_{MIN}=3, t_{MAX}=3$)之外包種類縮減規劃結果(附錄 A-4)

| 規劃週期 | 光罩配置 | | | | | 自製 | | | | | 外包 | |
|-------|---|------------|------------|------------|------------|----------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|----------------|-------------|
| | | | | | | 機台 1 | | 機台 2 | | 機台 3 | | |
| 3 | delta[1,2,3] = 1 | | | | | beta[1,9,1,3] = 1 | | beta[6,6,2,3] = 1 | | beta[6,6,3,3] = 1 | O[2,3] = 7 | |
| | delta[2,2,3] = 1 | | | | | X[9,1,3] = 8200 | | X[6,2,3] = 7901 | | X[6,3,3] = 9199 | O[4,3] = 10500 | |
| | delta[2,3,3] = 1 | | | | | gamma[9,10,1,3] = 1 | | gamma[6,5,2,3] = 1 | | gamma[6,8,3,3] = 1 | O[7,3] = 10 | |
| | delta[3,1,3] = 1 | | | | | X[10,1,3] = 12034 | | X[5,2,3] = 14900 | | X[8,3,3] = 8661 | O[8,3] = 1139 | |
| | -- | | | | | gamma[10,12,1,3] = 1 | | gamma[5,1,2,3] = 1 | | gamma[8,7,3,3] = 1 | O[10,3] = 6 | |
| | -- | | | | | X[12,1,3] = 9050 | | X[1,2,3] = 12900 | | X[7,3,3] = 18490 | O[12,3] = 3750 | |
| | -- | | | | | gamma[12,11,1,3] = 1 | | gamma[1,2,2,3] = 1 | | -- | -- | |
| | -- | | | | | X[11,1,3] = 6500 | | X[2,2,3] = 1993 | | -- | -- | |
| 未排入產品 | Z[1,3] = 0 | Z[2,3] = 0 | Z[3,3] = 0 | Z[4,3] = 0 | Z[5,3] = 0 | Z[6,3] = 0 | Z[7,3] = 0 | Z[8,3] = 0 | Z[9,3] = 0 | Z[10,3] = 0 | Z[11,3] = 0 | Z[12,3] = 0 |
| 求解結果 | 目標值 = 814,384 (自製成本：536,988、外包成本 277,396) ；決策變數 = 1,144；限制式 = 17,431；求解時間 = 4.66 秒 | | | | | | | | | | | |





圖 4-4 求解範圍($t_{MIN}=3, t_{MAX}=3$)結果之甘特圖(加入外包種類縮減)

於 Step8 得知 t_{MAX} 不為最後一期 ($3 \neq 5$)，接續在 Step8-1 暫存自製與外包之結果 ($X_{i,m,t}^{temp} = X_{i,m,t}, O_{i,t}^{temp} = O_{i,t}$, where $t = f_{NEW} = 3$)，並分別計算三機台之暫存產能 (秒) 為 950,952、948,732、947,740，並且更新暫存解期數 $f_{OLD} (= f_{NEW} = 3)$ 。

分別於 Step8-2、Step8-3、Step8-5，更新 n 之值為 1、判別 t_{MAX} 與 t_{MIN}^3 兩者相等 (皆為 3)、以及更新 p 之數值 ($p = p + 1 = 3 + 1 = 4$)。

以上情境為「Case3：執行外包種類縮減機制」，上述求解過程即為此情境之應對方法。

於 Step8-4 更新期數之後，在 Step2-2 更新本次求解範圍之最小、最大期數 ($t_{MIN} = t_{MAX} = t_{MIN}^4 = 4$)，於 Step2-3 得知 t_{MAX} 等於 t_{MAX}^4 (皆為 4) 後進入 Step3。

表 4-22 求解範圍 ($t_{MIN} = 4, t_{MAX} = 4$) 之訂單資訊

| 規劃週期 t | R_t | O_t | $R_t \cap O_t$ | $ready_t$ (天) | due_t (天) | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|----------------|---------------|-------------|------------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|
| | | | | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 4 | {4} | {4,5} | {4} | 17 | 20 | 1000 | 4000 | 4650 | 1700 | 7300 | 7500 | 4900 | 0 | 4960 | 1000 | 2900 | 1300 |

C_{EST} 之值為 1，運用 Step3-1 產能不足排程模式對訂單編號 4 (表 4-22) 進行求解，將規劃結果整理如表 4-23，並以甘特圖呈現其結果 (圖 4-3)。

表 4-23 求解範圍 ($t_{MIN} = 4, t_{MAX} = 4$) 之規劃結果 (附錄 A-5)

| 規劃週期 | 光罩配置 | | 自製 | | | | | | | | 外包 | |
|-------|---|-----------------|----------------------|-----------------|--------------------|---------------|--------------------|------------|---------------|-------------|-------------|---------------|
| | | | 機台 1 | | 機台 2 | | 機台 3 | | | | | |
| 4 | delta[1,2,4] = 1 | | beta[11,11,1,4] = 1 | | beta[2,2,2,4] = 1 | | beta[7,7,3,4] = 1 | | O[2,4] = 2687 | | | |
| | delta[2,2,4] = 1 | | X[11,1,4] = 2900 | | X[2,2,4] = 1313 | | X[7,3,4] = 2486 | | O[4,4] = 1700 | | | |
| | delta[2,3,4] = 1 | | gamma[11,12,1,4] = 1 | | gamma[2,1,2,4] = 1 | | gamma[7,5,3,4] = 1 | | O[6,4] = 3206 | | | |
| | delta[3,1,4] = 1 | | X[12,1,4] = 631 | | X[1,2,4] = 1000 | | X[5,3,4] = 7298 | | O[10,4] = 6 | | | |
| | -- | | gamma[12,10,1,4] = 1 | | gamma[1,3,2,4] = 1 | | -- | | -- | | | |
| | -- | | X[10,1,4] = 994 | | X[3,2,4] = 4649 | | -- | | -- | | | |
| | -- | | gamma[10,9,1,4] = 1 | | gamma[3,7,2,4] = 1 | | -- | | -- | | | |
| -- | | X[9,1,4] = 4960 | | X[7,2,4] = 2414 | | -- | | -- | | | | |
| 未排入產品 | Z[1,4] = 0 | Z[2,4] = 0 | Z[3,4] = 1 | Z[4,4] = 0 | Z[5,4] = 2 | Z[6,4] = 4294 | Z[7,4] = 0 | Z[8,4] = 0 | Z[9,4] = 0 | Z[10,4] = 0 | Z[11,4] = 0 | Z[12,4] = 669 |
| 求解結果 | 目標值 = 406,212 (自製成本：120,456、外包成本 136,782、未排入成本 148,974) ；決策變數 = 1,144；限制式 = 17,431；求解時間 = 4.73 秒 | | | | | | | | | | | |

Step4：是否有未排入產品

由表 4-23 中得知，第 4 期中 C、E、F、及 L 皆存在未滿足之產品 ($Z_{3,4} = 1, Z_{5,4} = 2, Z_{6,4} = 4294, Z_{12,4} = 669$)，因此進入 Step4-1。

Step4-1：收集未能滿足需求之資訊，並回報組立製程

針對上表中未能滿足之數量回報給組立製程，待其調整需求數量後重新規劃；以利實例驗證之進行，在此直接從需求中扣除未能滿足之數量，因此規劃範圍之訂單資訊更新如表 4- 24，表中以粗框線註明之對象即為此次求解的需求數量。

表 4- 24 求解範圍($t_{MIN}=4, t_{MAX}=4$)之訂單資訊(扣除未滿足數量)

| 規劃週期 t | | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|------------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|
| | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 4 | 原需求數量 | 1000 | 4000 | 4650 | 1700 | 7300 | 7500 | 4900 | 0 | 4960 | 1000 | 2900 | 1300 |
| | 未能滿足數量 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 4294 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 669 |
| | 更新後之需求 | 1000 | 4000 | 4649 | 1700 | 7298 | 3206 | 4900 | 0 | 4960 | 1000 | 2900 | 631 |

將修正過後之訂單需求(表 4- 24)重新於 Step3-1 求解，結果整理成表 4- 23，並繪製成甘特圖(圖 4- 5)：

表 4- 25 求解範圍($t_{MIN}=4, t_{MAX}=4$)之規劃結果(附錄 A-6)

| 規劃週期 | 光罩配置 | | 自製 | | | | | | | | 外包 | |
|-------|---|-----------------|----------------------|-----------------|--------------------|------------|--------------------|------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 機台 1 | | 機台 2 | | 機台 3 | | | | | |
| 4 | delta[1,2,4] = 1 | | beta[11,11,1,4] = 1 | | beta[2,2,2,4] = 1 | | beta[7,7,3,4] = 1 | | O[2,4] = 2687 | | | |
| | delta[2,2,4] = 1 | | X[11,1,4] = 2900 | | X[2,2,4] = 1313 | | X[7,3,4] = 2486 | | O[4,4] = 1700 | | | |
| | delta[2,3,4] = 1 | | gamma[11,12,1,4] = 1 | | gamma[2,1,2,4] = 1 | | gamma[7,5,3,4] = 1 | | O[6,4] = 3206 | | | |
| | delta[3,1,4] = 1 | | X[12,1,4] = 631 | | X[1,2,4] = 1000 | | X[5,3,4] = 7298 | | O[10,4] = 6 | | | |
| | -- | | gamma[12,10,1,4] = 1 | | gamma[1,3,2,4] = 1 | | -- | | -- | | | |
| | -- | | X[10,1,4] = 994 | | X[3,2,4] = 4649 | | -- | | -- | | | |
| | -- | | gamma[10,9,1,4] = 1 | | gamma[3,7,2,4] = 1 | | -- | | -- | | | |
| -- | | X[9,1,4] = 4960 | | X[7,2,4] = 2414 | | -- | | -- | | | | |
| 未排入產品 | Z[1,4] = 0 | Z[2,4] = 0 | Z[3,4] = 0 | Z[4,4] = 0 | Z[5,4] = 0 | Z[6,4] = 0 | Z[7,4] = 0 | Z[8,4] = 0 | Z[9,4] = 0 | Z[10,4] = 0 | Z[11,4] = 0 | Z[12,4] = 0 |
| 求解結果 | 目標值 = 257,238 (自製成本：120,456、外包成本 136,782) ；決策變數 = 1,144；限制式 = 17,431；求解時間 = 4.25 秒 | | | | | | | | | | | |

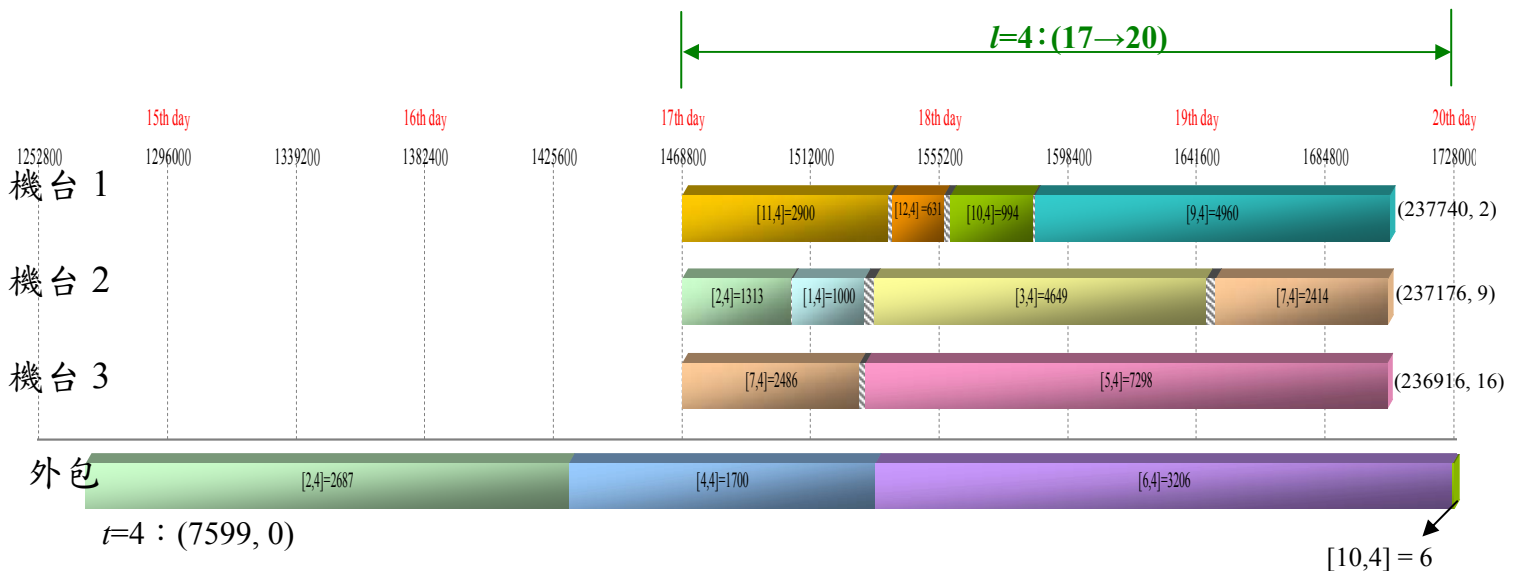


圖 4-5 求解範圍($t_{MIN}=4, t_{MAX}=4$)結果之甘特圖

表 4-24 中不具未排入產品(Step4)，由於產能滿載(滿足暫存條件一)須將部份排程列入暫存解之中(Step5)，於 Step5-1 更新 f_{NEW} 為 $t_{MAX}(=4)$ 。然而， s 之值為 1，因此進入 Step8 判別 t_{MAX} 是否為最後一期 T ，結果為否($4 \neq 5$)，因而進入 Step8-1；於 Step8-1 暫存自製與外包之結果($X_{i,m,t}^{temp} = X_{i,m,t}, O_{i,t}^{temp} = O_{i,t}$ ，where $t=f_{NEW}=4$)，並分別計算三機台之暫存產能(秒)為 237,740、237,176、236,916，並且更新暫存解期數 $f_{OLD}(=f_{NEW}=4)$ 。

t_{MAX} 與 t_{MAX}^4 相等(皆為 4)。因而更新 p 值後求解下個規劃範圍($p=p+1=4+1=5$)。

上述情境為「Case4：出現訂單未能滿足之情況」。

於 Step8-4 更新期數之後，在 Step2-2 更新本次求解範圍之最小、最大期數($t_{MIN}=t_{MAX}=t_{MIN}^5=5$)，於 Step2-3 得知 t_{MAX} 等於 t_{MAX}^5 (皆為 5)後進入 Step3。

表 4-26 求解範圍($t_{MIN}=5, t_{MAX}=5$)之訂單資訊

| 規劃週期 t | R_t | O_t | $R_t \cap O_t$ | $ready_t$ (天) | due_t (天) | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|----------------|------------------|----------------|------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|
| | | | | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 5 | {5} | {5} | {5} | 17 | 28 | 3300 | 11550 | 6600 | 1100 | 9760 | 9520 | 5800 | 4700 | 3770 | 2750 | 0 | 5200 |

運用 Step3-1 產能不足排程模式對訂單編號 5(表 4-26)進行求解(因 c_{EST} 之值為 1)，將規劃結果整理如表 4-27。

表 4-27 求解範圍($t_{MIN}=5, t_{MAX}=5$)之規劃結果(附錄 A-7)

| 規劃週期 | 光罩配置 | | | 自製 | | | | | | 外包 | | |
|-------|--|----------|----------|--------------------|----------|--------------------|----------|----------------------|----------|------------------|-----------|-----------|
| | | | | 機台 1 | | 機台 2 | | 機台 3 | | | | |
| 5 | delta[1,1,5] = 1 | | | beta[9,1,1,5] = 1 | | beta[7,7,2,5] = 1 | | beta[5,5,3,5] = 1 | | delta[1,1,5] = 1 | | |
| | delta[2,2,5] = 1 | | | X[1,1,5] = 3300 | | X[7,2,5] = 5800 | | X[5,3,5] = 9760 | | delta[2,2,5] = 1 | | |
| | delta[2,3,5] = 1 | | | gamma[1,2,1,5] = 1 | | gamma[7,8,2,5] = 1 | | gamma[5,9,3,5] = 1 | | delta[2,3,5] = 1 | | |
| | delta[3,3,5] = 1 | | | X[2,1,5] = 11550 | | X[8,2,5] = 4700 | | X[9,3,5] = 3770 | | delta[3,3,5] = 1 | | |
| | -- | | | gamma[2,4,1,5] = 1 | | gamma[8,6,2,5] = 1 | | gamma[9,10,3,5] = 1 | | -- | | |
| | -- | | | X[4,1,5] = 1100 | | X[6,2,5] = 9520 | | X[10,3,5] = 2750 | | -- | | |
| | -- | | | gamma[4,3,1,5] = 1 | | -- | | gamma[10,12,3,5] = 1 | | -- | | |
| | -- | | | X[3,1,5] = 6600 | | -- | | X[12,3,5] = 5200 | | -- | | |
| 未排入產品 | Z[1,5]=0 | Z[2,5]=0 | Z[3,5]=0 | Z[4,5]=0 | Z[5,5]=0 | Z[6,5]=0 | Z[7,5]=0 | Z[8,5]=0 | Z[9,5]=0 | Z[10,5]=0 | Z[11,5]=0 | Z[12,5]=0 |
| 求解結果 | 目標值 = 325,840 (自製成本：325,840) ；決策變數 = 1,144；限制式 = 17,431；求解時間 = 4.80 秒 | | | | | | | | | | | |

表 4-27 中無未排入產品之存在(Step4)，由於無他筆訂單須規劃，符合「暫存條件四：於已規劃訂單之交期內，待規劃之訂單尚未備料完成」之條件(Step5)，於 Step5-1 更新 f_{NEW} 之值($=t_{MAX}=5$)。

由於 $s=1$ 而轉由進入 Step8，此時 t_{MAX} 之值為最後一期 $T(=5)$ ，進入 Step9。

Step9：累積至第 T 期之外包數量總和是否大於外包合約下限？

於本步驟計算累積至第 T 期之外包數量總和：

$$\sum_{i=1}^{12} \sum_{t=1}^5 O_{i,t} = 2,125 + 3,436 + 15,412 + 7,599 = 28,572$$
 ，求算結果大於外包合約下限 (28,572 > 18,000)，因此進入 Step9-2。

Step9-2： c_{EST} 與 c_{MPS} 之值是否相同

由於 c_{EST} 與 c_{MPS} 之值相同(皆為 1)，因此確認此規劃結果為主生產排程。最後將 28 天之規劃結果以圖 4-6 表示：

訂單編號 4、5 之情境即為「Case5：備料完成時間相同，訂單交期不同之訂單情境(滿足暫存條件四)」。

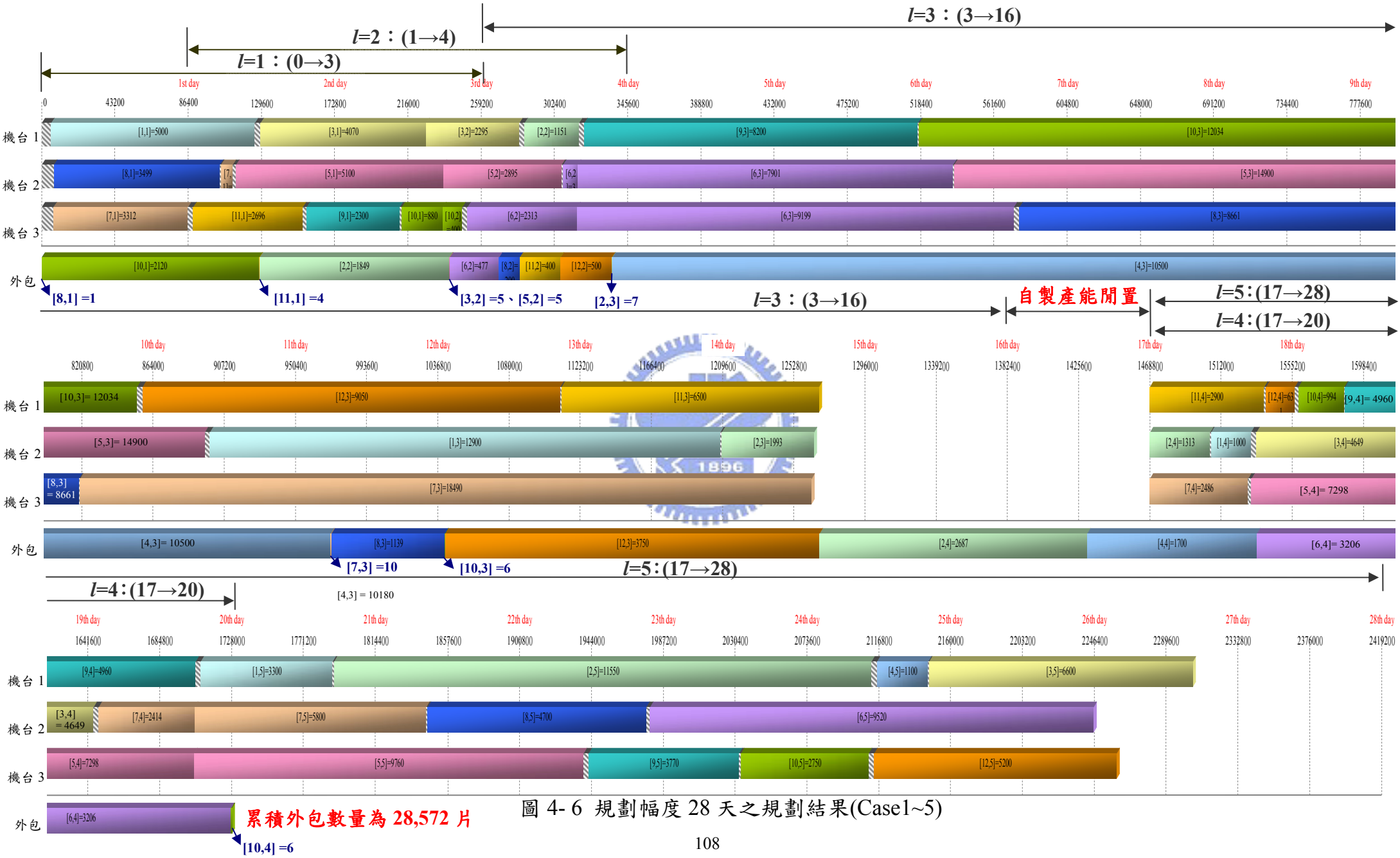


圖 4-6 規劃幅度 28 天之規劃結果(Case1~5)

累積外包數量為 28,572 片
[10,4]=6

■ Case6：當各筆訂單皆於時間點 0 備料完成，直接求解整段排程

為了得知各筆訂單之最適備料完成時間，將原有之訂單資訊(表 4- 6)視為期初時點 0 備料完成(表 4- 28)，直接對此規劃幅度(28 天)之需求進行求解。

表 4- 28 Case6 訂單資訊(各筆訂單皆於期初備料完成)

| 訂單編號 l | 備料完成時間 r_l (天) | 訂單交期(天) | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|----------|------------------|---------|------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 1 | 0 | 3 | 5000 | 0 | 4070 | 0 | 5100 | 0 | 3600 | 3500 | 2300 | 3000 | 2700 | 0 |
| 2 | 0 | 4 | 0 | 3000 | 2300 | 0 | 2900 | 3100 | 0 | 200 | 0 | 400 | 400 | 500 |
| 3 | 0 | 16 | 12900 | 2000 | 0 | 10500 | 14900 | 17100 | 18500 | 9800 | 8200 | 12040 | 6500 | 12800 |
| 4 | 0 | 20 | 1000 | 4000 | 4650 | 1700 | 7300 | 7500 | 4900 | 0 | 4960 | 1000 | 2900 | 1300 |
| 5 | 0 | 28 | 3300 | 11550 | 6600 | 1100 | 9760 | 9520 | 5800 | 4700 | 3770 | 2750 | 0 | 5200 |

於求解之前，先行估算相關參數以供產能不足排程模式之用(表 4- 29)；其中，由於第 4 筆訂單於時間點 0 備料完成(與原先表 4- 6 第 4 筆訂單於第 17 天備料完成不同)，導致無第 16 天至 17 天之閒置產能。

表 4- 29 Case6 相關參數之求算結果

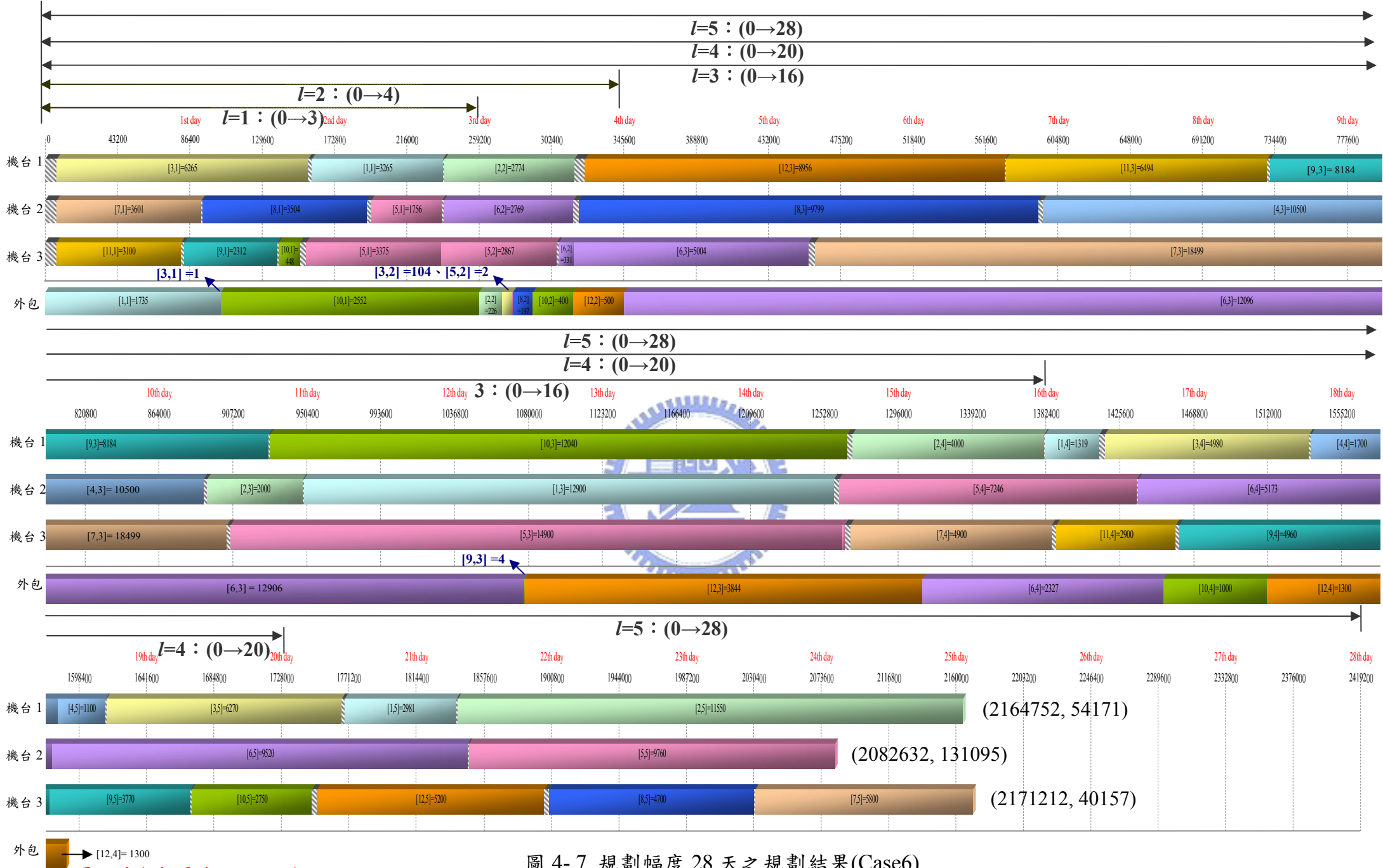
| 規劃週期 t | 訂單編號 l | D_t | r_l (天) | $ready_t$ (天) | due_t (天) | c_t (天) | s_t (天) | 自製產能 | | | $O_{upper}(t)$ (片) |
|----------|----------|-------|-----------|---------------|-------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| | | | | | | | | $cap_{1,t}$ (秒) | $cap_{2,t}$ (秒) | $cap_{3,t}$ (秒) | |
| 1 | 1 | {1} | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 237742 | 237185 | 236932 | 4285 |
| 2 | 2 | {2} | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 | 79247 | 79062 | 78977 | 1428 |
| 3 | 3 | {3} | 0 | 0 | 16 | 12 | 12 | 950967 | 948740 | 947730 | 17142 |
| 4 | 4 | {4} | 0 | 0 | 20 | 4 | 4 | 316989 | 316247 | 315910 | 5714 |
| 5 | 5 | {5} | 0 | 0 | 28 | 8 | 8 | 633978 | 632493 | 631820 | 11428 |

將表 4- 29 之參數及規劃週期($t_{MIN}=1$ 、 $t_{MAX}=5$ 、 $f_{OLD}=0$)代入式 3- 34、式 3- 40、及式 3- 35，接續於產出規劃模型中求解。然而，由於同時考慮五期之變數及限制式過多(決策變數 5600 個、限制式 88657)，導致軟體執行時無法求得鄰近解。

有鑒於此，為了快速求解($t_{MIN}=1$ 、 $t_{MAX}=5$)之規劃範圍，分成($t_{MIN}=1$ 、 $t_{MAX}=3$)及($t_{MIN}=4$ 、 $t_{MAX}=5$)兩部份，將前半部($t_{MIN}=1$ 、 $t_{MAX}=3$)規劃結果(最後加工產品、剩餘可用產能及外包數量等)作為後者($t_{MIN}=4$ 、 $t_{MAX}=5$)銜接之用，規劃過程中不採用暫存及縮減外包種類等動作，求解之結果如表 4- 30 所示，並且以甘特圖(圖 4- 7)表示。

表 4-30 備料時點為 0，求解範圍($t_{MIN}=1, t_{MAX}=5$)之規劃結果(附錄 A-8 及 A-9)

| 規劃週期 | 光罩配置 | | 自製 | | | | | | | | 外包 | |
|-------|------------------|--|----------------------|------------------|--------------------|-----------------|----------------------|---------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | 機台 1 | | 機台 2 | | 機台 3 | | | | | |
| 1 | delta[1,1,1] = 1 | | beta[0,3,1,1] = 1 | | beta[0,7,2,1] = 1 | | beta[0,11,3,1] = 1 | | O[1,1] = 1735 | | | |
| | delta[2,2,1] = 1 | | X[3,1,1] = 6265 | | X[7,2,1] = 3601 | | X[11,3,1] = 3100 | | O[3,1] = 1 | | | |
| | delta[2,3,1] = 1 | | gamma[3,1,1,1] = 1 | | gamma[7,8,2,1] = 1 | | gamma[11,9,3,1] = 1 | | O[10,1] = 2552 | | | |
| | delta[3,3,1] = 1 | | X[1,1,1] = 3265 | | X[8,2,1] = 3504 | | X[9,3,1] = 2312 | | -- | | | |
| | -- | | -- | | gamma[8,5,2,1] = 1 | | gamma[9,10,3,1] = 1 | | -- | | | |
| | -- | | -- | | X[5,2,1] = 1756 | | X[10,3,1] = 448 | | -- | | | |
| | -- | | -- | | -- | | gamma[10,5,3,1] = 1 | | -- | | | |
| -- | | -- | | -- | | X[5,3,1] = 3375 | | -- | | | | |
| 2 | delta[1,1,2] = 1 | | beta[1,2,1,2] = 1 | | beta[5,6,2,2] = 1 | | beta[5,5,3,2] = 1 | | O[2,2] = 226 | | | |
| | delta[2,2,2] = 1 | | X[2,1,2] = 2774 | | X[6,2,2] = 2769 | | X[5,3,2] = 2867 | | O[3,2] = 104 | | | |
| | delta[2,3,2] = 1 | | -- | | -- | | gamma[5,6,3,2] = 1 | | O[5,2] = 2 | | | |
| | delta[3,1,2] = 1 | | -- | | -- | | X[6,3,2] = 331 | | O[8,2] = 197 | | | |
| | -- | | -- | | -- | | -- | | O[10,2] = 400 | | | |
| -- | | -- | | -- | | -- | | O[12,2] = 500 | | | | |
| 3 | delta[1,2,3] = 1 | | beta[2,12,1,3] = 1 | | beta[6,8,2,3] = 1 | | beta[6,6,3,3] = 1 | | O[6,3] = 12096 | | | |
| | delta[2,2,3] = 1 | | X[12,1,3] = 8956 | | X[8,2,3] = 9799 | | X[6,3,3] = 5004 | | O[9,3] = 4 | | | |
| | delta[2,3,3] = 1 | | gamma[12,11,1,3] = 1 | | gamma[8,4,2,3] = 1 | | gamma[6,7,3,3] = 1 | | O[11,3] = 6 | | | |
| | delta[3,1,3] = 1 | | X[11,1,3] = 6494 | | X[4,2,3] = 10500 | | X[7,3,3] = 18499 | | O[12,3] = 3844 | | | |
| | -- | | gamma[11,9,1,3] = 1 | | gamma[4,2,2,3] = 1 | | gamma[7,5,3,3] = 1 | | -- | | | |
| | -- | | X[9,1,3] = 8184 | | X[2,2,3] = 2000 | | X[5,3,3] = 14900 | | -- | | | |
| | -- | | gamma[9,10,1,3] = 1 | | gamma[2,1,2,3] = 1 | | -- | | -- | | | |
| -- | | X[10,1,3] = 12040 | | X[1,2,3] = 12900 | | -- | | -- | | | | |
| 4 | delta[1,1,4] = 1 | | beta[10,2,1,4] = 1 | | beta[1,5,2,4] = 1 | | beta[5,5,3,4] = 1 | | O[6,4] = 2327 | | | |
| | delta[2,2,4] = 1 | | X[2,1,4] = 4000 | | X[5,2,4] = 7246 | | X[5,3,4] = 54 | | O[10,4] = 1000 | | | |
| | delta[2,3,4] = 1 | | gamma[2,1,1,4] = 1 | | gamma[5,6,2,4] = 1 | | gamma[5,7,3,4] = 1 | | O[12,4] = 1300 | | | |
| | delta[3,3,4] = 1 | | X[1,1,4] = 1319 | | X[6,2,4] = 5173 | | X[7,3,4] = 4900 | | -- | | | |
| | -- | | gamma[1,3,1,4] = 1 | | -- | | gamma[7,11,3,4] = 1 | | -- | | | |
| | -- | | X[3,1,4] = 4980 | | -- | | X[11,3,4] = 2900 | | -- | | | |
| | -- | | gamma[3,4,1,4] = 1 | | -- | | gamma[11,9,3,4] = 1 | | -- | | | |
| -- | | X[4,1,4] = 1700 | | -- | | X[9,3,4] = 4960 | | -- | | | | |
| 5 | delta[1,1,5] = 1 | | beta[4,4,1,5] = 1 | | beta[6,6,2,5] = 1 | | beta[9,9,3,5] = 1 | | -- | | | |
| | delta[2,2,5] = 1 | | X[4,1,5] = 1100 | | X[6,2,5] = 9520 | | X[9,3,5] = 3770 | | -- | | | |
| | delta[2,3,5] = 1 | | gamma[4,3,1,5] = 1 | | gamma[6,5,2,5] = 1 | | gamma[9,10,3,5] = 1 | | -- | | | |
| | delta[3,3,5] = 1 | | X[3,1,5] = 6270 | | X[5,2,5] = 9760 | | X[10,3,5] = 2750 | | -- | | | |
| | -- | | gamma[3,1,1,5] = 1 | | -- | | gamma[10,12,3,5] = 1 | | -- | | | |
| | -- | | X[1,1,5] = 2981 | | -- | | X[12,3,5] = 5200 | | -- | | | |
| | -- | | gamma[1,2,1,5] = 1 | | -- | | gamma[12,8,3,5] = 1 | | -- | | | |
| | -- | | X[2,1,5] = 11550 | | -- | | X[8,3,5] = 4700 | | -- | | | |
| | -- | | -- | | -- | | gamma[8,7,3,5] = 1 | | -- | | | |
| -- | | -- | | -- | | X[7,3,5] = 5800 | | -- | | | | |
| 未排入產品 | Z[1,1]=0 | Z[2,1]=0 | Z[3,1]=0 | Z[4,1]=0 | Z[5,1]=0 | Z[6,1]=0 | Z[7,1]=0 | Z[8,1]=0 | Z[9,1]=0 | Z[10,1]=0 | Z[11,1]=0 | Z[12,1]=0 |
| | Z[1,2]=0 | Z[2,2]=0 | Z[3,2]=0 | Z[4,2]=0 | Z[5,2]=0 | Z[6,2]=0 | Z[7,2]=0 | Z[8,2]=0 | Z[9,2]=0 | Z[10,2]=0 | Z[11,2]=0 | Z[12,2]=0 |
| | Z[1,3]=0 | Z[2,3]=0 | Z[3,3]=0 | Z[4,3]=0 | Z[5,3]=0 | Z[6,3]=0 | Z[7,3]=0 | Z[8,3]=0 | Z[9,3]=0 | Z[10,3]=0 | Z[11,3]=0 | Z[12,3]=0 |
| | Z[1,4]=0 | Z[2,4]=0 | Z[3,4]=0 | Z[4,4]=0 | Z[5,4]=0 | Z[6,4]=0 | Z[7,4]=0 | Z[8,4]=0 | Z[9,4]=0 | Z[10,4]=0 | Z[11,4]=0 | Z[12,4]=0 |
| | Z[1,5]=0 | Z[2,5]=0 | Z[3,5]=0 | Z[4,5]=0 | Z[5,5]=0 | Z[6,5]=0 | Z[7,5]=0 | Z[8,5]=0 | Z[9,5]=0 | Z[10,5]=0 | Z[11,5]=0 | Z[12,5]=0 |
| 求解結果 | 1 st | 近似值 = 1,059,114 (自製成本：672,828、外包成本 386,286)；決策變數 = 3,396；限制式 = 53,118；求解時間 = 2083.81 秒 | | | | | | | | | | |
| | 2 nd | 目標值 = 577,204 (自製成本：493,918、外包成本 83,286)；決策變數 = 2,264；限制式 = 35,255；求解時間 = 352.67 秒 | | | | | | | | | | |



累積外包數量為 26,294 片

圖 4-7 規劃幅度 28 天之規劃結果(Case6)

◆ 淡季情境：以產能充足模式求解之訂單情境

為說明「產能充足模式求解」之訂單情境，列舉表 4-31 之訂單需求作為規劃對象。由於 3.3 產能估算模組已於前述篇幅說明，在此不再對此需求進行產能初估，假設產能估算模組估算結果為 $c_{EST}=2$ (初估累積外包數量 $< o_{lower}$)，接續進行 3.4 主生產排程規劃模組。

表 4-31 淡季情境之訂單資訊

| 訂單編號 | 備料完成時間(天) | 訂單交期(天) | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|------|-----------|---------|------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 1 | 0 | 14 | 5300 | 0 | 5000 | 1000 | 18000 | 10500 | 0 | 0 | 6000 | 7500 | 4500 | 0 |
| 2 | 5 | 14 | 4500 | 4500 | 0 | 2000 | 6000 | 7500 | 9400 | 9300 | 0 | 5500 | 4000 | 5800 |
| 3 | 14 | 20 | 0 | 2770 | 3500 | 1000 | 0 | 7000 | 9000 | 5000 | 5500 | 0 | 5700 | 3500 |
| 4 | 14 | 28 | 5000 | 1500 | 5000 | 0 | 12000 | 0 | 9500 | 9000 | 5000 | 8000 | 0 | 7000 |

下述參數於「3.3 產能估算模組」計算完成，由於執行 3.4 主生產排程規劃模組時將再次使用，在此概略說明：式 4-31 為計算規劃週期 t 之最早備料完成時間(針對 D_t 集合內之所有訂單備料完成時間，取其最小值)；換線估算值則依據式 3-19 至式 3-21 運算完成(以 $t=1$ 為例，計算過程如式 4-32 及式 4-33 所示)，將上述參數整理於表 4-32。

$$ready_1 = \min_{l \in D_1}(r_l) = \min(0, 5) = 0 \text{ (天)} \quad \text{式 4-31}$$

$$\overline{st}_{begin} = \frac{\sum_{i \in I_1^{begin}} \sum_{i' \in I_1} st_{i,i'}}{\sum_{i \in I_1^{begin}} \sum_{i' \in I_1} i \times i'} = \frac{612600}{156} \cong 3926.9231 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-32}$$

$$setup_1 = \overline{st}_{begin} \times \sum_{i \in I_1} i = 3926.9231 \times 12 = 47123.0772 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-33}$$

表 4-32 求算各期換線估算值

| 規劃週期 t | 訂單編號 l | I_t | D_t | r_l (天) | $ready_t$ (天) | due_t (天) | $setup_t$ (秒) |
|----------|----------|------------------------------|-------|-----------|---------------|-------------|---------------|
| 1 | 1 | {1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12} | {1,2} | 0 | 0 | 14 | 47,123 |
| | 2 | {1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12} | | 5 | | | |
| 2 | 3 | {2,3,4,6,7,8,9,11,12} | {3} | 14 | 14 | 20 | 32,130 |
| 3 | 4 | {1,2,3,5,7,8,9,10,12} | {4} | 14 | 14 | 28 | 33,067 |

具備上述參數後開始執行主生產排程規劃模組，由 Step1 規劃範圍訂定機制開始，於 Step1-1 計算相關之參數，依據式 3-1、式 3-2 之公式分別計算 $o_{upper(t)}$ 及 o_{diff}^{upper} (式 4-34 及式 4-35)；由於 $c_{EST}=2$ (將使用產能充足排

程模式進行求解)，因此須依據式 3-3 計算各筆訂單至少須外包之數量，以
 訂單編號 1 為例說明(式 4-36)，以「該筆訂單總量與所有訂單總量之比值」
 乘上外包合約下限後取其整數，即為 $o_{lower(l)}$ 之值；再運用式 3-4 計算四筆
 訂單 $o_{lower(l)}$ 值之加總與外包合約下限之差值，即可得 o_{diff}^{lower} (式 4-37)。接續
 根據式 3-7 及式 3-8 求算 c_t 、 $cap_{m,t}$ ，以機台 1 於規劃週期 1 為例說明於式
 4-38、式 4-39。最後將上述參數整理於表 4-33。

$$o_{upper(1)} = \left\lfloor \frac{s_1}{due_5} \times o_{upper} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{3}{28} \times 40,000 \right\rfloor = 4,285 \text{ (片)} \quad \text{式 4-34}$$

$$o_{diff}^{upper} = o_{upper} - \sum_{t=1}^5 o_{upper(t)} = 40,000 - 39,997 = 3 \text{ (片)} \quad \text{式 4-35}$$

$$o_{lower(1)} = \left\lfloor \frac{\sum_{i=1}^{12} d_{i,1}}{\sum_{i=1}^{12} \sum_{l=1}^4 d_{i,l}} \times o_{lower} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{57800}{221270} \times 18000 \right\rfloor = 4,701 \text{ (片)} \quad \text{式 4-36}$$

$$o_{diff}^{lower} = o_{lower} - \sum_{l=1}^4 o_{lower(l)} = 18,000 - 17,997 = 3 \text{ (片)} \quad \text{式 4-37}$$

$$c_1 = due_1 - \max(ready_1, due_0) = 14 - \max(0, 0) = 14 \text{ (天)} \quad \text{式 4-38}$$

$$cap_{1,1} = (1 - dt_1 - pm_1 - eg_1) \times c_1 \times 24 \times 3600$$

$$= \left(1 - \frac{6}{366} - \frac{24}{1464} - 0.05\right) \times 14 \times 24 \times 3600 = 237,742 \text{ (秒)} \quad \text{式 4-39}$$

表 4-33 相關參數之求算結果

| 規劃週期 t | 訂單編號 l | c_t (天) | s_t (天) | 自製產能 | | | $O_{upper(t)}$ (片) | $O_{lower(l)}$ (片) | $demand_t$ (秒) | $\sum_{m=1}^3 cap_{m,t}$ (秒) | 自製產能 狀態 |
|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------|------------|
| | | | | $cap_{1,t}$ (秒) | $cap_{2,t}$ (秒) | $cap_{3,t}$ (秒) | | | | | |
| 1 | 1 | 14 | 14 | 1,109,461 | 1,106,863 | 1,105,685 | 20,000 | 3,052,723 | 3,322,009 | 未滿載 | |
| | 2 | | | | | | | | | | 4,701 |
| 2 | 3 | 6 | 6 | 475,483 | 474,370 | 473,865 | 8,571 | 1,140,490 | 1,423,718 | 未滿載 | |
| | | | | | | | | | | | 4 |
| 3 | 4 | 8 | 8 | 633,978 | 632,493 | 631,820 | 11,428 | 1,623,067 | 3,322,009 | 未滿載 | |

於 Step1-2 將 p 、 t 、以及 t_{MIN}^p 之值設定為 1，將 $t=1$ 列入 T_l 集合之內
 (Step1-2)，由於 t 不為最後一期($1 \neq 3$)，因此進入 Step1-8，比較 $demand_t$ (式
 4-40)與 $\sum_{m=1}^3 cap_{m,1}$ 間之關係後($3,052,723 < 3,322,009$ ，未滿載)，即進入 Step1-9
 進行 t 值之累加($t=t+1=1+1=2$)，回到 Step1-3 將 $t=2$ 列入 T_l 集合之內。機

制執行過程所需之參數皆整理於表 4- 33 及表 4- 34; 重覆上述步驟直到 $t=3$ 時, 於 Step1-4 判定為最後一期 T 進入 Step1-5, 更新第 1 個規劃範圍最小、最大值($t_{MIN}^1 = \min(T_1) = \min\{1, 2, 3\} = 1$ 、 $t_{MAX}^1 = t = 3$), 最後於 Step1-6 得知 t_{MAX}^1 為最後一期 T (皆為 3), 即完成 Step1 規劃範圍訂定機制, 進入 Step2。

$$demand_1 = \sum_{i=1}^{12} d_{i,1} \times pt_i + setup_1 = 3,005,600 + 47,123 = 3,052,723 \quad \text{式 4- 40}$$

表 4- 34 規劃範圍相關資訊

| 規劃範圍 p | t_{MIN}^p (期) | t_{MAX}^p (期) | T_p |
|----------|-----------------|-----------------|---------|
| 1 | 1 | 3 | {1,2,3} |

進入 Step2 開始更新本次求解之範圍, 於 Step2-1 設定初始狀態($s=f_{OLD} = f_{NEW} = 0, n=p=1$), Step2-2 將 t_{MIN} 及 t_{MAX} 之值更新為 $t_{MIN}^1 (=1)$, 於 Step2-3 判斷出 t_{MAX} 不等於 $t_{MAX}^1 (1 \neq 3)$, 則進入 Step2-4。

Step2-4: 第 t_{MAX} 期之交期內, 是否存在他筆需求已備料完成?

於本步驟判斷第 1 期之交期內(第 14 天), 是否存在他筆需求已備料完成($r_l \leq due_{t_{MAX}} = 14, \text{ for } l \in L_1 = \{2, 3, 4\}$), 其中 $l=2$ 之備料完成時間為第 5 天, 並且 $l=3$ 及 $l=4$ 之備料完成時間皆為第 14 天, 三筆訂單之備料完成時間皆小於等於 14 天, 因此進入 Step2-5。

Step2-5: $ready_{t_{MIN}}$ 是否等於 $ready_{t_{MIN}+n}$?

判斷 $t_{MIN}(=1)$ 與 $t_{MAX}+l(=2)$ 兩期數之備料完成時間是否相同, 而 $ready_1$ 為 0, $ready_2$ 為第 14 天, 因兩者不相同轉由 Step3。由於 c_{EST} 之值為 2, 進入 Step3-2 以產能充足排程模式進行求解。

Step3-2: 求解產能充足排程模式

$$\sum_{i=1}^l \sum_{t'=t_{MIN}}^t O_{i,t'} \geq \sum_{l \in (R_i \cap D_i)} o_{lower(t)} + o_{diff}^{lower} - \sum_{i=1}^l \sum_{t=0}^{f_{OLD}} O_{i,t}^{temp} \quad \text{for } t=t_{MIN}, \dots, t_{MAX} \quad \text{式 3- 57}$$

表 4- 35 淡季情境: 對 $l=1$ 求解範圍($t_{MIN}=1, t_{MAX}=1$)之訂單資訊

| 規劃週期 t | R_t | O_t | $R_t \cap O_t$ | $ready_t$ (天) | due_t (天) | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-----------|----------------|---------------|-------------|------------|---|------|------|-------|-------|---|---|------|------|------|---|
| | | | | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 1 | {1} | {1,2,3,4} | {1} | 0 | 14 | 5300 | 0 | 5000 | 1000 | 18000 | 10500 | 0 | 0 | 6000 | 7500 | 4500 | 0 |

由於 c_{EST} 之值為 2, 進入 Step3-2 以產能充足排程模式進行求解。將各筆訂單至少須委外加工之限制式(式 3- 57)加入「產能不足排程模式」, 即

為產能充足排程模式。以此模式針對第 1 期之訂單(表 4- 35)開始求解。

將求解結果整理於表 4- 36，並將結果繪製成甘特圖。

表 4- 36 淡季情境：對 $l=1$ 求解範圍($t_{MIN}=1, t_{MAX}=1$)之規劃結果(附錄 A-10)

| 規劃週期 | 光罩配置 | | | | | 自製 | | | | | 外包 | |
|-------|---|----------|----------|----------|----------|---------------------|----------|--------------------|----------|--------------------|----------------|-----------|
| | | | | | | 機台 1 | | 機台 2 | | 機台 3 | | |
| 1 | delta[1,2,1] = 1 | | | | | beta[0,9,1,1] = 1 | | beta[0,4,2,1] = 1 | | beta[0,6,3,1] = 1 | O[3,1] = 204 | |
| | delta[2,2,1] = 1 | | | | | X[9,1,1] = 6000 | | X[4,2,1] = 1000 | | X[6,3,1] = 10500 | O[11,1] = 4500 | |
| | delta[2,3,1] = 1 | | | | | gamma[9,10,1,1] = 1 | | gamma[4,3,2,1] = 1 | | gamma[6,5,3,1] = 1 | -- | |
| | delta[3,1,1] = 1 | | | | | X[10,1,1] = 7500 | | X[3,2,1] = 4796 | | X[5,3,1] = 18000 | -- | |
| | -- | | | | | -- | | gamma[3,1,2,1] = 1 | | -- | -- | |
| | -- | | | | | -- | | X[1,2,1] = 5300 | | -- | -- | |
| 未排入產品 | Z[1,1]=0 | Z[2,1]=0 | Z[3,1]=0 | Z[4,1]=0 | Z[5,1]=0 | Z[6,1]=0 | Z[7,1]=0 | Z[8,1]=0 | Z[9,1]=0 | Z[10,1]=0 | Z[11,1]=0 | Z[12,1]=0 |
| 求解結果 | 目標值 = 325,648 (自製成本：250,384、外包成本 75,264) ；決策變數 = 1,120；限制式 = 17,406；求解時間 = 3.5 秒 | | | | | | | | | | | |



圖 4- 8 淡季情境：對 $l=1$ 求解範圍($t_{MIN}=1, t_{MAX}=1$)結果之甘特圖

表 4-36 無未排入產品存在(Step4)，進入 Step5，藉由式 3-58、式 3-59 求得各機台之完工時點($com_{m,t}$)，計算過程如式 4-41 及式 4-43，判斷得知機台 1、2 滿足暫存條件三 ($com_{1,1} \leq ready_1^{MIN} < due_1 \Rightarrow 4.55 \leq 5 < 14$ 、 $com_{2,1} \leq ready_1^{MIN} < due_1 \Rightarrow 3.54 \leq 5 < 14$)，機台 3 滿足暫存條件二 ($ready_1^{MIN} < com_{3,1} \Rightarrow 5 < 9.27$)，因此進入 Step5-1 更新 f_{NEW} 之值(暫存條件二、三之更新方法皆為 $f_{NEW} = t_{MAX} - 1 = 1 - 1 = 0$)，進入 Step6。

$$com_{1,1} = \frac{\sum_{t'=1}^1 com_{1,t'}^{result}}{(1-dt_1 - pm_1 - eg_1) \times 24 \times 60 \times 60} = \frac{360600}{79247} \cong 4.55 \text{ (天)} \quad \text{式 4-41}$$

$$com_{2,1} = \frac{\sum_{t'=1}^1 com_{2,t'}^{result}}{(1-dt_2 - pm_2 - eg_2) \times 24 \times 60 \times 60} = \frac{280204}{79061} \cong 3.54 \text{ (天)} \quad \text{式 4-42}$$

$$com_{3,1} = \frac{\sum_{t'=1}^1 com_{3,t'}^{result}}{(1-dt_3 - pm_3 - eg_3) \times 24 \times 60 \times 60} = \frac{732600}{78977} \cong 9.27 \text{ (天)} \quad \text{式 4-43}$$

由於 s 之值為 0(Step6)，於 Step6-1 得知外包累積數量小於外包合約數量($4,704 < 18,000$)，於 Step8 判別 t_{MAX} 之值不等於最後一期($1 \neq 3$)，進入 Step8-1。

於 Step8-1 暫存第 1 期之排程結果，由於機台 1、2 滿足暫存條件三，藉由式 3-68 求算兩機台之暫存產能(如式 4-44 及式 4-45 所示)，並將規劃結果中自製列入暫存解之中 ($X_{i,m,t}^{temp} = X_{i,m,t}, O_{i,t}^{temp} = O_{i,t}, for t=1, m=1,2$)；再者，機台 3 滿足暫存條件二，由 $ready_1^{MIN} \times (1-dt_3 - pm_3 - eg_3) \times 24 \times 60 \times 60 \cong 394887$ (秒)時點附近找尋「最接近 $ready_{t_{MAX}}^{MIN}$ 之產品加工/換線完成時間」，求得 394,904(秒)為產品別 5 於機台 3 生產第 3368 片之完工時間，因此 $temp_{3,1}$ 之值即為 394,904，機台 3 之暫存自製產量為 $X_{11,3,1}^{temp} = 10,500$ 及 $X_{5,3,1}^{temp} = 3,368$ ，暫存三機台之產能後進入 Step8-2，將 n 之數值指定為 1，並進入 Step8-3。

$$temp_{1,1} = \sum_{l \in D_1} ltemp_{1,l} = (ready_1^{MIN} - ready_1) \times (1-dt_1 - pm_1 - eg_1) \times 24 \times 60 \times 60 \cong 396236 \quad \text{式 4-44}$$

$$temp_{2,1} = \sum_{l \in D_1} ltemp_{2,l} \times (1-dt_2 - pm_2 - eg_2) \times 24 \times 60 \times 60 \cong 395308 \quad \text{式 4-45}$$

上述求解過程中，處理之情境為「Case7：排程結果滿足暫存條件二及三」。

於 Step8-3 得知 t_{MAX} 之值不等於 t_{MAX}^1 ($1 \neq 3$)，進入 Step8-4 進行本次規劃範圍最小期數之更新($t_{MIN}=f_{NEW}+1=0+1=1$, $t_{MAX}=t_{MIN}=1$)，進到 Step2-4 後，在第 1 期交期(14 天)內訂單編號 2、3、4 皆備料完成，Step2-5 顯示 $ready_1$ 與 $ready_2$ 不相等($0 \neq 9$)進入 Step3。

表 4-37 淡季情境：對 $l=2$ 求解範圍($t_{MIN}=1, t_{MAX}=1$)之訂單資訊

| 規劃週期 t | R_t | O_t | $R_t \cap O_t$ | $ready_t$ (天) | due_t (天) | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|---------|----------------|------------------|----------------|------------|------|---|------|----------------|------|------|------|---|------|------|------|
| | | | | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 1 | {2} | {2,3,4} | {2} | 5 | 14 | 4500 | 4500 | 0 | 2000 | 6000 +14632 | 7500 | 9400 | 9300 | 0 | 5500 | 4000 | 5800 |

c_{EST} 之值為 2，採用產能充足排程模式對表 4-37 之訂單需求進行求解，將結果整理於表 4-38，並以甘特圖表示於圖 4-9。

對兩筆訂單($l=1$ 及 2)之規劃流程即為「Case8：備料完成時間不同，訂單交期相同之訂單情境」。

表 4-38 淡季情境：對 $l=2$ 求解範圍($t_{MIN}=1, t_{MAX}=1$)之規劃結果(附錄 A-11)

| 規劃週期 | 光罩配置 | | 自製 | | | | | | | | | 外包 | |
|-------|--|----------|----------------------|----------|-----------------|--------------------|----------|----------|--------------------|-----------|-----------|---------------|--|
| | | | 機台 1 | | | 機台 2 | | | 機台 3 | | | | |
| 1 | delta[1,2,1] = 1 | | beta[10,10,1,1] = 1 | | | beta[1,1,2,1] = 1 | | | beta[5,5,3,1] = 1 | | | O[5,1] = 1747 | |
| | delta[2,2,1] = 1 | | X[10,1,1] = 5500 | | | X[1,2,1] = 4500 | | | X[5,3,1] = 18885 | | | O[7,1] = 3011 | |
| | delta[2,3,1] = 1 | | gamma[10,12,1,1] = 1 | | | gamma[1,2,2,1] = 1 | | | gamma[5,6,3,1] = 1 | | | -- | |
| | delta[3,1,1] = 1 | | X[12,1,1] = 5800 | | | X[2,2,1] = 4500 | | | X[6,3,1] = 7500 | | | -- | |
| | -- | | gamma[12,11,1,1] = 1 | | | gamma[2,4,2,1] = 1 | | | -- | | | -- | |
| | -- | | X[11,1,1] = 4000 | | | X[4,2,1] = 2000 | | | -- | | | -- | |
| | -- | | -- | | | gamma[4,8,2,1] = 1 | | | -- | | | -- | |
| | -- | | -- | | | X[8,2,1] = 9300 | | | -- | | | -- | |
| | -- | | -- | | | gamma[8,7,2,1] = 1 | | | -- | | | -- | |
| -- | | -- | | | X[7,2,1] = 6389 | | | -- | | | -- | | |
| 未排入產品 | Z[1,1]=0 | Z[2,1]=0 | Z[3,1]=0 | Z[4,1]=0 | Z[5,1]=0 | Z[6,1]=0 | Z[7,1]=0 | Z[8,1]=0 | Z[9,1]=0 | Z[10,1]=0 | Z[11,1]=0 | Z[12,1]=0 | |
| 求解結果 | 目標值 =418,824 (自製成本：342,696、外包成本 76,128) ；決策變數 = 1,120；限制式 = 17,406；求解時間 =3.47 秒 | | | | | | | | | | | | |

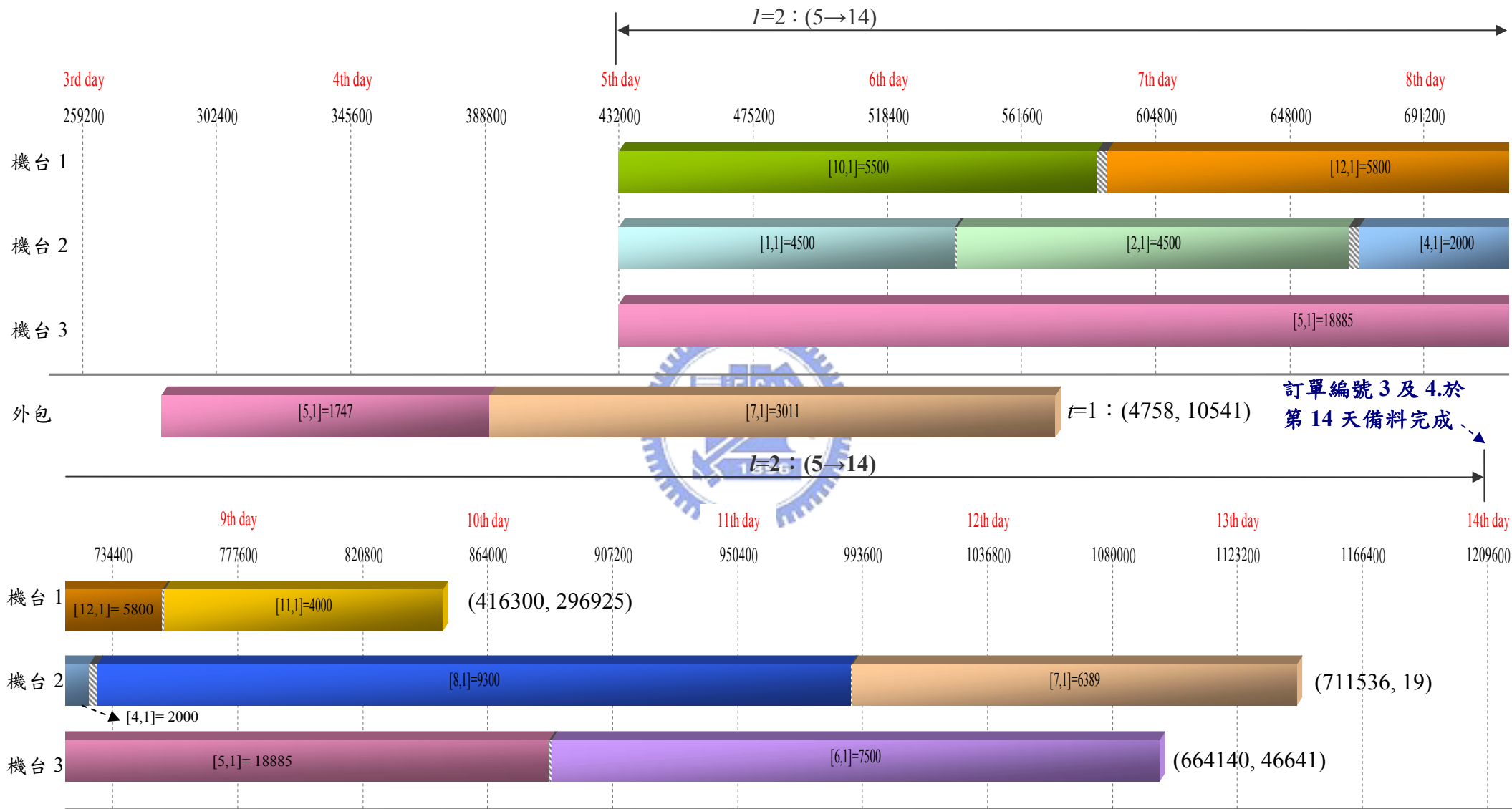


圖 4-9 淡季情境：對 $l=2$ 求解範圍 ($t_{MIN}=1, t_{MAX}=1$) 結果之甘特圖

由表 4- 38 得知無未排入產品之存在(Step4)，於 Step5 中檢視是否有部份排程應列入暫存解，由於訂單編號 3 及 4 之備料完成時間於第 14 天完成，滿足暫存條件四之條件($due_{t_{MAX}} \leq ready_{t_{MAX}}^{MIN} \Rightarrow 14 \leq 14$)。因此進入 Step5-1 將 f_{NEW} 期數更新為 $t_{MAX}(= 1)$ ，而 s 之值為 1(Step6)進入 Step6-1，期初累積至第 1 期之外包數量為 9,462 片(=4,704+4,758)，其結果小於外包合約下限後進入 Step8。

Step8 判斷得 $t_{MAX}(=1)$ 不等於最後一期 $T(=3)$ ，進入 Step8-1，在滿足暫存條件四情境下，以式 3- 68 及式 3- 69 計算三機台之暫存產能(式 4- 46 至式 4- 51)，並將規劃結果中自製及外包數量列入暫存解之中 ($X_{i,m,t}^{temp} = X_{i,m,t}, O_{i,t}^{temp} = O_{i,t}, for t=1, m=1,2,3$)，最後進入 Step8-2。

$$ltemp_{1,2} = (ready_1^{MIN} - ready_1) \times (1 - dt_1 - pm_1 - eg_1) \times 24 \times 60 \times 60 \cong 633977 \quad \text{式 4- 46}$$

$$ltemp_{2,2} = (ready_1^{MIN} - ready_1) \times (1 - dt_2 - pm_2 - eg_2) \times 24 \times 60 \times 60 \cong 632493 \quad \text{式 4- 47}$$

$$ltemp_{3,2} = (ready_1^{MIN} - ready_1) \times (1 - dt_3 - pm_3 - eg_3) \times 24 \times 60 \times 60 \cong 631819 \quad \text{式 4- 48}$$

$$temp_{1,1} = \sum_{l \in D_1} ltemp_{1,l} = 396236 + 633977 = 1030213 \quad \text{式 4- 49}$$

$$temp_{2,1} = \sum_{l \in D_1} ltemp_{2,l} = 396236 + 632493 = 1028729 \quad \text{式 4- 50}$$

$$temp_{3,1} = \sum_{l \in D_1} ltemp_{3,l} = 396236 + 631819 = 1028055 \quad \text{式 4- 51}$$

於 Step8-2 中將 n 之數值指定為 1，由於 $t_{MAX}(=1)$ 不等於 $t_{MAX}^1(=3)$ ，因而轉由 Step8-3 更新 $t_{MIN}(=f_{NEW}+1=1+1=2)$ 及 $t_{MAX}(=t_{MIN}=2)$ ，進入 Step2-4。第 2 期之交期內存在他筆需求已備料完成($r_4=14 \leq due_2=20$)，並於 Step2-5 得知 $ready_2$ 與 $ready_3$ 皆為第 14 備料完成，轉由 Step2-6 累加 t_{MAX} 與 n 之數值 ($t_{MAX}=t_{MAX}+1=2+1=3, n=n+1=2$)。

回到 Step2-3，得知 t_{MAX} 之值與 t_{MAX}^1 相等(皆為 3)，由於 c_{EST} 為 2，針對表 4- 39 之訂單需求，以產能充足排程模式求解。

表 4-39 淡季情境：對 $l=3$ 及 4 求解範圍($t_{MIN}=2, t_{MAX}=3$)之訂單資訊

| 規劃週期 t | R_t | O_t | $R_t \cap O_t$ | $ready_t$ (天) | due_t (天) | 產品別需求數量(片) | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|----------------|------------------|----------------|------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 2 | {3,4} | {3,4} | {3,4} | 14 | 20 | 0 | 2770 | 3500 | 1000 | 0 | 7000 | 9000 | 5000 | 5500 | 0 | 5700 | 3500 |
| 3 | {3,4} | {4} | {4} | 14 | 28 | 5000 | 1500 | 5000 | 0 | 12000 | 0 | 9500 | 9000 | 5000 | 8000 | 0 | 7000 |

將求解結果整理於表 4-40，表中無未排入產品之存在(Step4)，並且符合暫存條件四(無他筆訂單於 due_3 之前備料完成)，於 Step5-1 更新 $f_{NEW}(=t_{MAX}=3)$ 之值後，進入 Step6。

表 4-40 淡季情境：對 $l=3$ 及 4 求解範圍($t_{MIN}=2, t_{MAX}=3$)之規劃結果(附錄 A-12)

| 規劃週期 | 光罩配置 | 自製 | | | | | | | | | 外包 | |
|-------|---|-----------------------|------------|------------|---------------------|------------|------------------|---------------------|------------|-------------|---------------|-------------|
| | | 機台 1 | | | 機台 2 | | | 機台 3 | | | | |
| 2 | $\delta[1,2,2]=1$ | $\beta[11,11,1,2]=1$ | | | $\beta[7,7,2,2]=1$ | | | $\beta[6,6,3,2]=1$ | | | $O[7,2]=3495$ | |
| | $\delta[2,2,2]=1$ | $X[11,1,2]=5700$ | | | $X[7,2,2]=5684$ | | | $X[6,3,2]=7000$ | | | -- | |
| | $\delta[2,3,2]=1$ | $\gamma[11,12,1,2]=1$ | | | $\gamma[7,3,2,2]=1$ | | | $\gamma[6,8,3,2]=1$ | | | -- | |
| | $\delta[3,1,2]=1$ | $X[12,1,2]=3500$ | | | $X[3,2,2]=4080$ | | | $X[8,3,2]=9805$ | | | -- | |
| | -- | $\gamma[12,9,1,2]=1$ | | | $\gamma[3,4,2,2]=1$ | | | -- | | | -- | |
| | -- | $X[9,1,2]=9878$ | | | $X[4,2,2]=1000$ | | | -- | | | -- | |
| | -- | -- | | | $\gamma[4,2,2,2]=1$ | | | -- | | | -- | |
| 3 | $\delta[1,2,3]=1$ | $\beta[9,10,1,3]=1$ | | | $\beta[2,2,2,3]=1$ | | | $\beta[8,8,3,3]=1$ | | | $O[3,3]=4420$ | |
| | $\delta[2,2,3]=1$ | $X[10,1,3]=8000$ | | | $X[2,2,3]=1196$ | | | $X[8,3,3]=4194$ | | | $O[8,3]=1$ | |
| | $\delta[2,3,3]=1$ | $\gamma[10,12,1,3]=1$ | | | $\gamma[2,1,2,3]=1$ | | | $\gamma[8,7,3,3]=1$ | | | $O[9,3]=622$ | |
| | $\delta[3,1,3]=1$ | $X[12,1,3]=7000$ | | | $X[1,2,3]=5000$ | | | $X[7,3,3]=9321$ | | | -- | |
| | -- | -- | | | -- | | | $\gamma[7,5,3,3]=1$ | | | -- | |
| -- | -- | | | -- | | | $X[5,3,3]=12000$ | | | -- | | |
| 未排入產品 | $Z[1,2]=0$ | $Z[2,2]=0$ | $Z[3,2]=0$ | $Z[4,2]=0$ | $Z[5,2]=0$ | $Z[6,2]=0$ | $Z[7,2]=0$ | $Z[8,2]=0$ | $Z[9,2]=0$ | $Z[10,2]=0$ | $Z[11,2]=0$ | $Z[12,2]=0$ |
| | $Z[1,3]=0$ | $Z[2,3]=0$ | $Z[3,3]=0$ | $Z[4,3]=0$ | $Z[5,3]=0$ | $Z[6,3]=0$ | $Z[7,3]=0$ | $Z[8,3]=0$ | $Z[9,3]=0$ | $Z[10,3]=0$ | $Z[11,3]=0$ | $Z[12,3]=0$ |
| 求解結果 | 目標值 = 611,876 (自製成本：475,266、外包成本 136,610) ；決策變數 = 2,240；限制式 = 35,148；求解時間 = 134.41 秒 | | | | | | | | | | | |

然而， s 之值為 1，因此進入 Step6-1 判別外包累計量(=4,704+4,758+3,495+5,043=18,000)與外包合約下限之關係，其結果並不大於 o_{lower} 後轉由 Step8， t_{MAX} 之值即為 $T(=3)$ ；接續於 Step9 再次判別外包累積量，得知結果並不大於 18,000 進入 Step9-1，將 c_{MPS} 之值指定為 2，然而 c_{EST} 之值亦為 2(Step9-2)，最終完成此主生產排程之規劃。

最後， $l=3$ 及 4 之訂單情境為「Case9：備料完成時間相同，訂單交期不同之多期規劃」。將整個規劃幅度(28 天)之規劃以甘特圖表示(圖 4-10)。

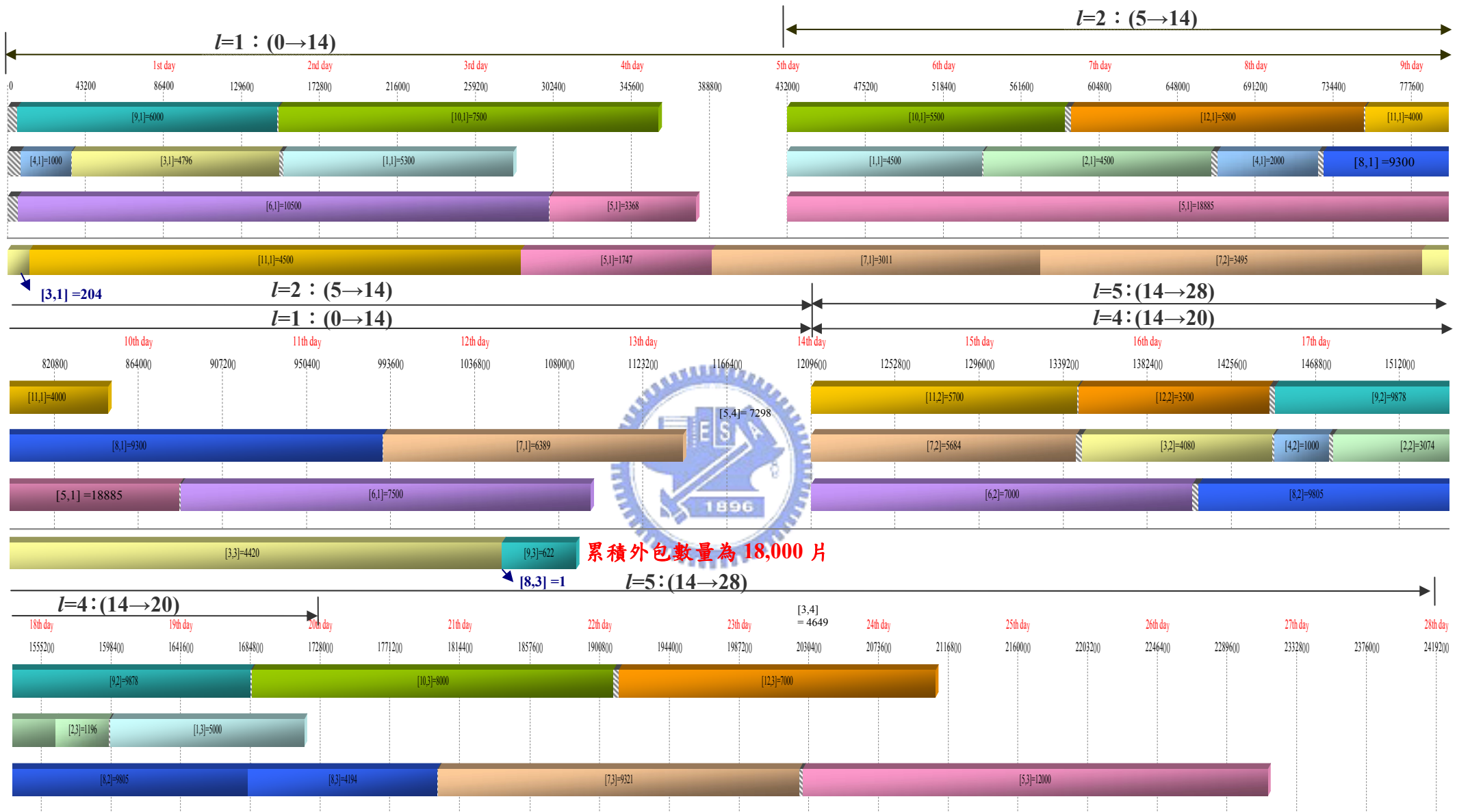


圖 4-10 淡季情境：規劃幅度 28 天之規劃結果

4.4、成效分析

此節針對 4.3 節主生產排程規劃模組執行之結果，分別對九個案例進行分析與說明：

◆ Case1：不需縮減外包種類之單期規劃(滿足暫存條件一)； $l=1$

此處針對單期之需求(訂單編號 1)進行規劃，由圖 4-1 可知，排程時優先選定加工時間較少(24 秒)之小尺寸產品別(A, C, E, G, I, K)自行生產，剩餘產能再予以加工時間為 28 秒之大尺寸產品別(B, D, F, H, J, L)生產，無法於自製產能滿足之需求，則依小尺寸、大尺寸之產品別順序分派給外包商，排程結果與「3.2.2.解題之設計理念第 3 點」中，說明之分派順序(小尺寸自製→大尺寸自製→小尺寸外包→大尺寸外包)相符合。

此外，圖 4-1 中三機台在第 1 期之剩餘產能分別為 11062、1、0 秒，機台 2、3 無法進行換線或生產之動作，因此自製產能處於滿載之情況。然而機台 1 搭載光罩種類 1，只能針對產品別 A、B、C、D 進行加工，但此四類產品之需求皆已滿足，因此餘下之產能予以後序訂單使用。

◆ Case2：備料完成時間不同，訂單交期不同之訂單情境； $l=1,2$

雖然訂單編號 2 於第 1 天即備料完成，但由於 $l=1$ 之交期較早且產能為滿載而優先規劃，因此 $l=2$ 須待 $l=1$ 規劃完後再行求解。

於圖 4-2 可知，第 2 期期初換線時將選定設置時間較小或前期最終加工之產品別(三機台於期初換線時選定同樣之產品別： $\beta[3,3,1,2]=\beta[5,5,2,2]=\beta[10,10,3,2]=1$ ，表 4-18)，讓自製產能達到最大程度的利用。

◆ Case3：執行外包種類縮減機制； $l=3$

於規劃結果圖 4-3 得知，三機台於期初換線時分別選定產品別 J、G、G($\beta[1,9,1,3] = 1, \beta[6,6,2,3] = 1, \beta[6,6,3,3] = 1$)以節省換線時間；然而，累積至第 3 期($=f_{NEW}$)之外包數量超出外包合約下限($20,972 > 18,000$)，此時圖 4-3 單種產品別之外包量為 1($O_{5,3}=1, O_{7,3}=1, O_{12,3}=1$)，但此情況下委外加工之數量須大於 5；因此須加上「外包種類及數量限制」對($t_{MIN}=3, t_{MAX}=3$)重新求解排程。

重新求解後得圖 4-4 之規劃結果($O_{2,3}=5, O_{4,3}=10,500, O_{7,3}=10$ 、

$O_{8,3}=1,139$ 、 $O_{10,3}=6$ 、 $O_{12,3}=3,750$)，各種產品別之外包量須大於 5，該規劃範圍之外包種類須小於等於 6，皆符合外包種類及數量限制之規範。並且將加諸外包種類限制之前後指標整理如表 4-41。

表 4-41 規劃範圍(3,3)之求解過程指標

| 指標 | 狀態 | 無加諸 外包種類限制 | 外包種類限制 |
|------------------------|---------|---------------|--------------|
| | 加工成本(元) | 自製 | 536,978 |
| 外包 | | 277,394 | 277,396 |
| 總成本 | | 814,372 | 814,384 |
| 換線時間總和(秒) | | 16,200 | 16,200 |
| 各機台剩餘自製產能(秒)/剩餘外包數量(片) | | 16;7;11/1886 | 16;11;3/1885 |

由上表中得知，「無種類限制之自製及外包成本」相對「加諸種類限制」較低($536,978 < 536,988$ 、 $277,394 < 277,396$)；此外，加諸限制前後之換線時間總和皆相同，並且加上限制後之剩餘外包數量較少。因為加上種類限制後，改變了原先的最佳外包配置量，導致少量之外包數量轉移至其它產品(最後將集中於特定產品)；因此在種類及數量的限制下，為滿足與外包商之合約，使得委外之產品不為自製廠最有利之選擇。

◆ Case4：出現訂單未能滿足之情況； $t=4$

訂單編號 4 規劃之結果如表 4-23 所示，表中存在未排入產品(產品別 C、E、F、L)，由需求中扣除未排入數量再次求解(表 4-24)，目標值由原先之 406,212 變成 257,238 (免除未排入產品之成本 148,974)；此外，圖 4-5 顯示前期之外包剩餘數量(1,885 片)，將其予以第 4 期使用(當期可用 5,714 片，表 4-11)，總計第 4 期可委外 7,599(=1,885+5,714)片產品數量；反觀自製產能，由於在第 17 天備料完成，可加工之時間範圍為 17 至 20 天，導致 16 至 17 天間之產能閒置(前一筆訂單可用時點為 3 至 16 天)。

◆ Case5：備料完成時間相同，訂單交期不同之訂單情境(滿足暫存條件四)； $t=4,5$

由於此情境為「備料完成時間相同($ready_4=ready_5$)，訂單交期不同($due_4 \neq due_5$)」，因而優先對 $t=4$ 進行規劃，再依其規劃結果納入 $t=5$ 求解。

完成訂單編號 5 之規劃後，由於後序無他筆訂單待規劃($t=5$ 為最後一

期)，因此滿足暫存條件 5；最後檢視其外包規劃結果(=28,572)大於外包合約下限(=18,000)，由於「使用之排程模式($C_{EST}=1$ ，產能不足排程模式)」與「累積至第 T 期之外包數量情境($C_{MPS}=1$ ，外包累積數量大於合約下限)」相符，因此完成主生產排程之規劃。

綜觀 Case1 至 Case5 五次規劃週期，將各期之各機台光罩配置整理如表 4- 42，從表中獲悉期數 1、2 以及 3、4 之光罩配置皆相同，期數 4、5 尚有光罩種類 2 於機台 3 上($\text{delta}[2,3,4]=1$ 、 $\text{delta}[2,3,5]=1$)，上述皆為「節省換線時間」而產生之排程結果。

表 4- 42 各機台於各規劃週期之光罩配置表

| 期數 機台 | $t=1$ | $t=2$ | $t=3$ | $t=4$ | $t=5$ |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $m=1$ | $\text{delta}[1,1,1]=1$ | $\text{delta}[1,1,2]=1$ | $\text{delta}[3,1,3]=1$ | $\text{delta}[3,1,4]=1$ | $\text{delta}[1,1,5]=1$ |
| | -- | -- | -- | -- | -- |
| $m=2$ | $\text{delta}[2,2,1]=1$ | $\text{delta}[2,2,2]=1$ | $\text{delta}[1,2,3]=1$ | $\text{delta}[1,2,4]=1$ | $\text{delta}[2,2,5]=1$ |
| | -- | -- | $\text{delta}[2,2,3]=1$ | $\text{delta}[2,2,4]=1$ | -- |
| $m=3$ | $\text{delta}[2,3,1]=1$ | $\text{delta}[2,3,2]=1$ | $\text{delta}[2,3,3]=1$ | $\text{delta}[2,3,4]=1$ | $\text{delta}[2,3,5]=1$ |
| | $\text{delta}[3,3,1]=1$ | $\text{delta}[3,3,2]=1$ | -- | -- | $\text{delta}[3,3,5]=1$ |

此外，Case1~5 求解之累積外包數量為 28,572 片，與「瓶頸工作站產能推估機制」估算之 31,641 片有 3,069 片之差距；推估機制初估之換線時間為 182,057 秒($=\sum_{t=1}^5 \text{setup}_t$)，與「主生產排程規劃模組」求得之 85,500 秒(加總表 4- 43 各數值)差了 96,557 秒，此差距之時間可供自製產能多生產 3714 片($\cong 96557 \div \frac{24+28}{2}$)，產生此現象之原因為，於「主生產排程規劃模組」求解過程中，選定換線時間少或同產品別之產品作為跨期換線之依據。

表 4- 43 各機台於各規劃週期之總換線時間(秒)

| 期數 機台 | $t=1$ | $t=2$ | $t=3$ | $t=4$ | $t=5$ |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| $m=1$ | 9,000 | 3,000 | 7,800 | 3,600 | 7,800 |
| $m=2$ | 9,900 | 900 | 4,500 | 6,900 | 3,000 |
| $m=3$ | 12,900 | 3,000 | 3,900 | 2,100 | 7,200 |

◆ Case6：當各筆訂單皆於時間點 0 備料完成，直接求解整段排程

本案例基於 Case1 至 Case3 之訂單具備不同之備料完成時間，希望藉由針對整個規劃幅度(28 天)直接求解，反推得各訂單內產品別之最佳備料完成時間點。

於求解前假設各筆訂單之備料完成時間(時間點 0)皆相同，然而，由於一次求解 5 期無法求得鄰近解，改由分階段求解方式 (第 1 階段：1 至 3 期、第 2 階段：4 至 5 期)進行，求得之結果如表 4- 30，並以圖 4- 7 表示。由表 4- 30 中得知，與 Case1~Case5 之求解結果不同，本案例無未排入產品存在(由於備料時點皆為 0，16 天至 17 天之產能無閒置)。而與「Case1~Case5」之規劃結果圖 4- 6 比較，累積外包數量由 28,572 片減少至 26,294 片(差距 2,278 片)，由於第 4 筆訂單之備料時點為 0，該筆訂單之需求得以運用 16 天至 17 天之自製產能(減少外包之負荷)。

為了推算各產品別之最適備料完成時間，由規劃結果之各產品開始加工時間，分別除以「1 扣除當機 dt_m 、機台維護 pm_m 、及實驗耗用產能比率 eg_m 」之值，即由可用產能(秒)轉換為實際之時間。以產品 A 為例，由表 4- 30 中得知 A 產品規劃結果為 $X[1,1,1] = 3265$ 、 $X[1,2,3] = 12900$ 、 $X[1,1,4] = 1319$ 、 $X[1,1,5] = 2981$ ，並依圖 4- 7 推算各自的開始加工時間(秒)為 159,360、948,984、1,381,952、及 1,768,908，依加工機台除上扣除之比率後，即得產品 A 規劃結果之備料完成時間(再除以「 $24 \times 60 \times 60$ 」，單位由「秒」轉換為「天」)，將結果整理於表 4- 44，同理可得知其餘產品別之備料時間。

表 4- 44 產品 A 之備料完成時間

| 產品 A 規劃結果 | 開始加工時間 (秒) | $1 - dt_m - pm_m - eg_m$ | 備料完成 時間(天) | $ready_i$ (天) |
|---------------------|---------------|---|---------------|------------------|
| $X[1,1,1] = 3,265$ | 159,360 | $1 - \frac{6}{6+360} - \frac{24}{24+1440} - 0.05$ | 2.0109 | 0 |
| $X[1,2,3] = 12,900$ | 948,984 | $1 - \frac{6.5}{6.5+360} - \frac{24.5}{24.5+1400} - 0.05$ | 12.0031 | 3 |
| $X[1,1,4] = 1,319$ | 1,381,952 | $1 - \frac{6}{6+360} - \frac{24}{24+1440} - 0.05$ | 17.4385 | 17 |
| $X[1,1,5] = 2,981$ | 1,768,908 | $1 - \frac{6}{6+360} - \frac{24}{24+1440} - 0.05$ | 22.3214 | 17 |

由表 4- 44 可得知各筆訂單之產品 A 確切之備料完成時間，求得之天數皆比「原先之備料完成時間($ready_i$)」較晚，此數值可有效降低庫存成本，以及達到即時生產(Just In Time)之成效。

◆ Case7：排程結果滿足暫存條件二及三； $l=1$

由於本訂單情境為淡季之需求，因此每筆訂單皆具備至少委外一定數量之產品；並且由規劃結果(圖 4- 8)得知，三機台之產能皆未滿載(分別剩餘 748861 秒、826659 秒、以及 373085 秒)，儘管在產能未滿載之情況下，亦需分配一定數量產品予以外包商生產($l=1$ 委外 4,704 片)。

再者於排程結果中，訂單編號 2 於第 5 天即備料完成，而三機台之完工時點(4.55 天、3.54 天、以及 9.27 天)，因此第 5 天前的機台滿足暫存條件三(機台一、二)、第 5 天後之機台三則滿足暫存條件二。

◆ Case8：備料完成時間不同，訂單交期相同之訂單情境； $l=1,2$

於此情境中，先針對較早備料完成之訂單進行規劃，依其規劃之結果再納入 $l=2$ 求解排程。然而第 1 筆訂單尚有需求待生產，將其數量併入 $l=2$ 訂單之需求中(即從第 5 天開始規劃)，即為表 4- 37 中產品 E 之作法。

◆ Case9：備料完成時間相同，訂單交期不同之多期規劃； $l=3,4$

由於兩筆訂單之備料時間相同，規劃時需同時求解才可求得最佳之排程結果；因此同時考慮($t_{MIN}=2, t_{MAX}=3$)兩期進行求解，期數 2 之產能可供 $l=3$ 及 $l=4$ 使用，而第 3 期之產能只可供 $l=4$ 使用；並且於表 4- 40 得知多期規劃時，求解時間大幅增加(由單期的 3~4 秒提升至 134.41 秒)。

此外淡境情境(Case7 至 Case9)之外包成本佔總成本一定之比例，由表 4- 45 可得知，外包成本佔總成本 22.21%至 23.11%之範圍，若外包合約下限之數值調高，此比例亦會相對的成長；因此，此百分比即為內製廠為維持合作關係所需付出之成本比例。

表 4- 45 各筆訂單外包成本佔總成本之百分比

| 項目 \ 訂單編號 | $l=1$ | $l=2$ | $l=3$ 及 $l=4$ |
|--------------------|---------|---------|---------------|
| 外包成本(元) | 75,264 | 76,128 | 136,610 |
| 總成本(元) | 325,648 | 342,696 | 611,876 |
| 外包成本 佔總成本之比例(%) | 23.11 | 22.21 | 22.33 |

第五章、結論與未來研究方向

5.1、結論

隨著 TFT-LCD 產業走向上下游垂直整合之趨勢，附帶提高彩色濾光片內製化之需求及比例。然而在內製廠環境中，須針對下游組立製程所開立之需求數量及交期，完善地考量瓶頸資源、附屬資源—光罩、以及外包之數量及種類限制下，制定出自製及外包之訂單最適配置種類及數量，及自製產能之最佳生產順序，用以回覆上層管理單位交貨時點及下層生產單位確切之生產目標。

有鑒於此，本文針對彩色濾光片內製廠之生產特性，建構一主生產排程機制。該機制包含兩個模組：

一、產能估算模組

本模組針對規劃幅度內之總需求數量，進行初步之產能估算；於估算過程中，依序判斷瓶頸機台產能與外包數量限制是否能滿足總需求量，以及「現有光罩數」及「總需求所推估出的預計光罩數」間之比對。藉由此模組過濾出不合理之需求，以利後續模組之進行。

二、主生產排程規劃模組

承接產能估算模組評估後之合理需求，依續對各筆訂單依交期時間序進行規劃。針對產能估算模組評估後的需求情境，分別以「產能充足排程模式」、「產能不足排程模式」執行最佳解之計算，並考量機台製程規格能力、光罩數量、機台產能、外包合約數量等限制，求解出該期之主生產排程結果。接續運用滾動排程及暫存排程之概念，以及外包縮減機制之執行，完成一個月之主生產排程。規劃結果囊括各期別採自製生產時，各機台之最佳生產順序、產品種類及數量、光罩調度結果、以及交予外包商生產之各期產品種類與數量。

藉由第四章之實例驗證結果分析，將本文之成效彙整如下：

1. 考量淡、旺季之情境，設計規劃機制提供管理者制定自製及外包種類與數量之決策依據。
2. 同時考量各機台製程規格能力及光罩數量限制，可明確得知各光罩於不同機台間之調度結果。再者，針對順序相依之排程問題求解出最適之生產順序；以利生產活動之進行。
3. 採用變動規劃週期之設計進行分段規劃，可大幅減少變數個數及瓶頸機台之排程複雜度。
4. 可假設所有訂單之備料完成時點皆為 0，對整個規劃幅度進行排程之求解，以推導出各訂單之產品別的最適備料完成時間，有助於成本最小化之追求。
5. 將求解結果經由撰寫 Excel VBA 自動產出甘特圖，提供管理者圖示化結果以供參考。

5.2、未來研究方向

綜觀本文所發展之主生產排程機制，在其過程中查覺仍有不足之處，值得後續研究繼續深入探討，彙整如下：

1. 在彩色濾光片產業中，除了本文提及之換線規格外(光罩、光阻液、玻璃規格)，為節省換線時間，於實務環境中存在「不同玻璃規格間之替代」，即採用同一尺寸之玻璃用以生產不同尺寸之面板，但此舉動將會造成額外之成本花費。如何在「減少換線時間」與「增加成本」兩者中取捨為可探討議題。
2. 以往組立製程相關之研究，將薄膜電晶及彩色濾光片視為來料直接進行後續規劃。但陣列及彩色濾光片製程本身之生產型態、製程特性及目標皆不相同；再者，不同世代之陣列及彩色濾光片製程可互相支援，因此協同兩製程進行生產規劃為當務之急。有鑑於此，若能考量「陣列及彩色濾光片」兩者進行生產規劃，將有助於 TFT-LCD 產業制定出完善之生產排程結果。

參考文獻

- [1] Adenso-Diaz, B. and Laguna, M., “Modelling the load levelling problem in master production scheduling for MRP systems,” *International Journal of Production Research*, Vol.34, pp.483–493, 1996.
- [2] Akturk, M.S., “An exact tool allocation approach for CNC machines,” *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol.12, No.2, pp.129-140, 1999.
- [3] Avic, S. and Akturk, M.S., “Tool magazine arrangement and operations sequencing on CNC machines,” *Computers Operation Research*, Vol.23, No.11, pp.1069-1081, 1996.
- [4] Baker, K. R., “An experimental study of the effectiveness of rolling schedules in production planning,” *Decision Sciences*, 8(1), 19-27, 1977.
- [5] Bing, W., Jie S., “Two-level rolling strategy for single-machine scheduling problem with release times,” In *Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation*, June 15-19, 2004, Hangzhou, P.R. China.
- [6] Blackburn, J.D., Kropp, D. H., and Millen, R.A., “Comparisons of strategies to dampen nervousness in MRP systems,” *Management Science*, 32, 413-429, 1986.
- [7] Buyurgan, N., Saygin, S., and Kilic, S.E., “Tool allocation in flexible manufacturing systems with tool alternatives,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol.20, pp.341-349, 2004.
- [8] Carlson, R. C., Beckman, S. L., and Kropp, D. H., “The effectiveness of extending the horizon in rolling production scheduling,” *Decision Sciences*, 13, 129-146, 1982.
- [9] Chand, S., Traub, R. and Uzsoy, R., “Rolling horizon procedures for the single machine deterministic total completion time scheduling problem with release dates,” *Annals of Operations Research*, 70, 115-125, 1997.
- [10] Chen, T. R. and Hsia, T. C., “Job shop scheduling with multiple resources

and an application to a Testing Facility,” In *Proceedings of the 33rd conference on Decision and Control*, Lake Buena Vista, pp. 1564-1570, 1994.

[11] Chen, D.,Luh, P. B., Thakur, L. S., and Moreno, J. J., “Optimization-based manufacturing scheduling with multiple resources, setup requirements, and transfer lots,” *IIE Transactions*, Vol. 35, pp. 973-985, 2003.

[12] DisplaySearch Quarterly Color Filter Report, 2006.

[13] Gargeya, V.B. and Deane R.H., “Scheduling in the dynamic job shop under auxiliary resource constraints: a simulation study,” *International Journal of Production Research*, Vol.37, No.12, pp.2817-2834, 1999.

[14] Johnson, S.M., “Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included.” *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol 1, pp. 61–68., 1954.

[15] Kayaligil, S. and Ozlu, M., “Loading of pallets on identical CNC machines with cyclic schedules,” *Computers & Industrial Engineering*, pp.221-230, 2002.

[16] Kropp, D. H .and Carlson, R. C., “A lot-sizing algorithm for reducing nervousness in MRP systems,” “*Management Science*,” 30, 240-244, 1984.

[17] Low, C.Y, Hsu C.J. and Su C.T., “A two-stage hybrid flowshop scheduling problem with a function constraint and unrelated alternative machines,” *Computers & Operations Research*, Vol.35, No.3, pp.845-853, MAR, 2008.

[18] Proust, C., Gupta, J.N.D. and Deschamps, V., “Flowshop scheduling with set-up, processing and removal times separated,” *International Journal of Production Research*, Vol.29, pp.479-493, 1991.

[19] Sridharan, V., Berry W.L., Udayabhanu V., “Measure master production schedule stability under rolling planning horizons”, *Decision Sciences*, Vol. 19, pp. 147-166, 1988.

- [20] Sule, D.R., “Sequencing n jobs on two machines with setup, processing and removal times separated,” *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.29, pp.517-519, 1982.
- [21] Sule, D.R., and Huang, K.Y., “Sequency on two and three machines with setup, processing and removal times separated,” *International Journal of Production Research*, Vol.21, pp.723-732, 1983.
- [22] Wang, K. J. and Hou, T.C., “Modeling and resolving the joint problem of capacity expansion and allocation with multiple resources and a limited budget in the semiconductor testing industry,” *International Journal of Production Research*, Vol.41, pp.3217-3235, 2003.
- [23] Yamada, Y., Matui, T. and Sugiyama, M., “New analysis of efficiency based on DEA,” *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.37, No.2, pp.158-167. 1993.
- [24] Yang, D.L., Hsu, C.J. and Kuo, W.H., “A two-machine flowshop scheduling problem with a separated maintenance constraint,” *Computers & Operations Research* Vol.35, No.3, pp.845-853 MAR 2008.
- [25] Yoshida, T. and Hitomi, K., “Optimal two-stage production scheduling with setup times separated,” *AIIE Transactions*, Vol.11, pp.261-263, 1979.
- [26] Zhang, X., Fujii, S. and Kaihara, T., “Evaluation of tool allocation strategies in flexible manufacturing system,” *JSME International Journal, Series C*, Vol.48, No. 1, 2005.
- [27] Zhang, Z., Zhang, M.T., Niu, S. and Zheng L., “Capacity planning with reconfigurable kits in semiconductor test manufacturing” *International Journal of Production Research*, Vol.44, No.13, pp.2625-2644, 1 July, 2006.
- [28] 李俊昇，「液晶面板組裝廠批量製程派工法則之設計」，國立交通大學工業工程與管理研究所，碩士論文，民國 92 年。
- [29] 周威良，「彩色濾光片專業廠主生產排程機制之構建」，2008 年國科會計畫書。

- [30] 胡雅傑，「彩色濾光片生產之批量排程」，清華大學工業工程研究所，碩士論文，民國 92 年。
- [31] 溫大君，「TFT-LCD 產業中彩色濾光片製造業的運籌管理解決方案」，國立清華大學工業工程與工程管理研究所，碩士論文，民國 94 年。
- [32] 詹宗憲，「搜尋法應用於彩色濾光片之生產排程」，清華大學工業工程研究所，碩士論文，民國 95 年。
- [33] 楊東琦，「晶圓針測廠考量針測卡資源限制下主生產排程系統之設計」，國立交通大學工業工程與管理學系，碩士論文，民國 96 年。
- [34] 劉美君，「2005 年全球彩色濾光片產業發展回顧與未來動向」，工研院 IEK-ITIS 計畫。
- [35] 賴建良，「彩色濾光片三原色製程之批量與排程問題」，清華大學工業工程研究所，碩士論文，民國 94 年。
- [36] 謝仲為，「先進規劃與排程系統應用於 TFT-LCD 產業之研究」，東海大學工業工程與經營資訊研究所，碩士論文，民國 91 年。
- [37] 顏如敏，「TFT Array 廠在光罩限制下之現場排程問題」，國立清華大學工業工程與管理學系，碩士論文，民國 95 年。

附錄

附錄 A iLOG 求解結果

輸出結果與變數之對應為： $w[i,m,t]=\omega_{i,m,t}$ 、 $BG[i,m,t]=BG_{i,m,t}$ 、 $FG[i,m,t]=FG_{i,m,t}$ 、 $\alpha[i,m,t]=\alpha_{i,m,t}$ 、 $\beta[i,m,t]=\beta_{i,m,t}$ 、 $\gamma[i,i',m,t]=\gamma_{i,i',m,t}$ 、 $O[i,t]=O_{i,t}$ 、 $X[i,m,t]=X_{i,m,t}$ 、 $\delta[a,m,t]=\delta_{a,m,t}$ 、 $Y[i,t]=Y_{i,t}$ 、 $OY[i]=OY_i$ ，此外下列表格皆併除數值為 0 之變數。

A-1. 求解範圍(1,1)之完整規劃結果

| $t=1$ | | | |
|--|---------------------|-----------------|------------------|
| alpha[1,1,1] = 1 | beta[0,8,2,1] = 1 | FG[5,2,1] = 1 | X[7,3,1] = 3312 |
| alpha[3,1,1] = 1 | gamma[1,3,1,1] = 1 | FG[10,3,1] = 1 | X[8,2,1] = 3499 |
| alpha[5,2,1] = 1 | gamma[7,5,2,1] = 1 | w[1,1,1] = 1 | X[9,3,1] = 2300 |
| alpha[5,3,1] = 1 | gamma[7,11,3,1] = 1 | w[3,1,1] = 1 | X[10,3,1] = 880 |
| alpha[6,2,1] = 1 | gamma[8,7,2,1] = 1 | w[5,2,1] = 1 | X[11,3,1] = 2696 |
| alpha[6,3,1] = 1 | gamma[9,10,3,1] = 1 | w[7,2,1] = 1 | O[8,1] = 1 |
| alpha[7,2,1] = 1 | gamma[11,9,3,1] = 1 | w[7,3,1] = 1 | O[10,1] = 2120 |
| alpha[7,3,1] = 1 | delta[1,1,1] = 1 | w[8,2,1] = 1 | O[11,1] = 4 |
| alpha[8,2,1] = 1 | delta[2,2,1] = 1 | w[9,3,1] = 1 | -- |
| alpha[8,3,1] = 1 | delta[2,3,1] = 1 | w[10,3,1] = 1 | -- |
| alpha[9,3,1] = 1 | delta[3,3,1] = 1 | w[11,3,1] = 1 | -- |
| alpha[10,3,1] = 1 | BG[1,1,1] = 1 | X[1,1,1] = 5000 | -- |
| alpha[11,3,1] = 1 | BG[7,3,1] = 1 | X[3,1,1] = 4070 | -- |
| beta[0,1,1,1] = 1 | BG[8,2,1] = 1 | X[5,2,1] = 5100 | -- |
| beta[0,7,3,1] = 1 | FG[3,1,1] = 1 | X[7,2,1] = 288 | -- |
| 求解結果 | | | |
| 目標值 = 155,580 (自製成本：117,338、外包成本 38,242) | | | |
| ；決策變數 = 1,120；限制式 = 17,405；求解時間 = 4.11 秒 | | | |

A-2. 求解範圍(2,2)之完整規劃結果

| t=2 | | | |
|--|---------------------|-----------------|-----------------|
| alpha[2,1,2] = 1 | beta[3,3,1,2] = 1 | BG[10,3,2] = 1 | X[5,2,2] = 2895 |
| alpha[3,1,2] = 1 | beta[5,5,2,2] = 1 | FG[2,1,2] = 1 | X[6,2,2] = 310 |
| alpha[5,2,2] = 1 | beta[10,10,3,2] = 1 | FG[6,2,2] = 1 | X[6,3,2] = 2313 |
| alpha[5,3,2] = 1 | gamma[3,2,1,2] = 1 | FG[6,3,2] = 1 | X[10,3,2] = 400 |
| alpha[6,2,2] = 1 | gamma[5,6,2,2] = 1 | w[2,1,2] = 1 | O[2,2] = 1849 |
| alpha[6,3,2] = 1 | gamma[10,6,3,2] = 1 | w[3,1,2] = 1 | O[3,2] = 5 |
| alpha[7,2,2] = 1 | delta[1,1,2] = 1 | w[5,2,2] = 1 | O[5,2] = 5 |
| alpha[7,3,2] = 1 | delta[2,2,2] = 1 | w[6,2,2] = 1 | O[6,2] = 477 |
| alpha[8,2,2] = 1 | delta[2,3,2] = 1 | w[6,3,2] = 1 | O[8,2] = 200 |
| alpha[8,3,2] = 1 | delta[3,3,2] = 1 | w[10,3,2] = 1 | O[11,2] = 400 |
| alpha[10,3,2] = 1 | BG[3,1,2] = 1 | X[2,1,2] = 1151 | O[12,2] = 500 |
| alpha[11,3,2] = 1 | BG[5,2,2] = 1 | X[3,1,2] = 2295 | -- |
| 求解結果 | | | |
| 目標值 = 106,832 (自製成本：45,804、外包成本 61,028) | | | |
| ；決策變數 = 1,120；限制式 = 17,369；求解時間 = 3.83 秒 | | | |

A-3. 求解範圍(3,3)之完整規劃結果

| t=3 | | | |
|---|----------------------|------------------|-------------------|
| alpha[1,2,3] = 1 | beta[6,6,3,3] = 1 | FG[2,2,3] = 1 | X[5,2,3] = 14899 |
| alpha[2,2,3] = 1 | gamma[1,2,2,3] = 1 | FG[7,3,3] = 1 | X[6,2,3] = 7895 |
| alpha[5,2,3] = 1 | gamma[5,1,2,3] = 1 | FG[11,1,3] = 1 | X[6,3,3] = 9205 |
| alpha[5,3,3] = 1 | gamma[6,5,2,3] = 1 | w[1,2,3] = 1 | X[7,3,3] = 18499 |
| alpha[6,2,3] = 1 | gamma[6,8,3,3] = 1 | w[2,2,3] = 1 | X[8,3,3] = 8647 |
| alpha[6,3,3] = 1 | gamma[8,7,3,3] = 1 | w[5,2,3] = 1 | X[9,1,3] = 8200 |
| alpha[7,2,3] = 1 | gamma[9,10,1,3] = 1 | w[6,2,3] = 1 | X[10,1,3] = 8285 |
| alpha[7,3,3] = 1 | gamma[10,12,1,3] = 1 | w[6,3,3] = 1 | X[11,1,3] = 6500 |
| alpha[8,2,3] = 1 | gamma[12,11,1,3] = 1 | w[7,3,3] = 1 | X[12,1,3] = 12799 |
| alpha[8,3,3] = 1 | delta[1,2,3] = 1 | w[8,3,3] = 1 | O[4,3] = 10500 |
| alpha[9,1,3] = 1 | delta[2,2,3] = 1 | w[9,1,3] = 1 | O[5,3] = 1 |
| alpha[10,1,3] = 1 | delta[2,3,3] = 1 | w[10,1,3] = 1 | O[7,3] = 1 |
| alpha[11,1,3] = 1 | delta[3,1,3] = 1 | w[11,1,3] = 1 | O[8,3] = 1153 |
| alpha[12,1,3] = 1 | BG[6,2,3] = 1 | w[12,1,3] = 1 | O[10,3] = 3755 |
| beta[1,9,1,3] = 1 | BG[6,3,3] = 1 | X[1,2,3] = 12900 | O[12,3] = 1 |
| beta[6,6,2,3] = 1 | BG[9,1,3] = 1 | X[2,2,3] = 2000 | -- |
| 求解結果 | | | |
| 目標值 = 814,372 (自製成本：536,978、外包成本 277,394) | | | |
| ；決策變數 = 1,120；限制式 = 17,369；求解時間 = 4.78 秒 | | | |

A-4. 求解範圍(3,3)之縮減外包種類規劃結果

| t=3 | | | |
|---|----------------------|---------------|-------------------|
| alpha[1,2,3] = 1 | gamma[6,5,2,3] = 1 | w[6,2,3] = 1 | OY[12] = 1 |
| alpha[2,2,3] = 1 | gamma[6,8,3,3] = 1 | w[6,3,3] = 1 | X[1,2,3] = 12900 |
| alpha[5,2,3] = 1 | gamma[8,7,3,3] = 1 | w[7,3,3] = 1 | X[2,2,3] = 1993 |
| alpha[5,3,3] = 1 | gamma[9,10,1,3] = 1 | w[8,3,3] = 1 | X[5,2,3] = 14900 |
| alpha[6,2,3] = 1 | gamma[10,12,1,3] = 1 | w[9,1,3] = 1 | X[6,2,3] = 7901 |
| alpha[6,3,3] = 1 | gamma[12,11,1,3] = 1 | w[10,1,3] = 1 | X[6,3,3] = 9199 |
| alpha[7,2,3] = 1 | delta[1,2,3] = 1 | w[11,1,3] = 1 | X[7,3,3] = 18490 |
| alpha[7,3,3] = 1 | delta[2,2,3] = 1 | w[12,1,3] = 1 | X[8,3,3] = 8661 |
| alpha[8,2,3] = 1 | delta[2,3,3] = 1 | Y[2,3] = 1 | X[9,1,3] = 8200 |
| alpha[8,3,3] = 1 | delta[3,1,3] = 1 | Y[4,3] = 1 | X[10,1,3] = 12034 |
| alpha[9,1,3] = 1 | BG[6,2,3] = 1 | Y[7,3] = 1 | X[11,1,3] = 6500 |
| alpha[10,1,3] = 1 | BG[6,3,3] = 1 | Y[8,3] = 1 | X[12,1,3] = 9050 |
| alpha[11,1,3] = 1 | BG[9,1,3] = 1 | Y[10,3] = 1 | O[2,3] = 7 |
| alpha[12,1,3] = 1 | FG[2,2,3] = 1 | Y[12,3] = 1 | O[4,3] = 10500 |
| beta[1,9,1,3] = 1 | FG[7,3,3] = 1 | OY[2] = 1 | O[7,3] = 10 |
| beta[6,6,2,3] = 1 | FG[11,1,3] = 1 | OY[4] = 1 | O[8,3] = 1139 |
| beta[6,6,3,3] = 1 | w[1,2,3] = 1 | OY[7] = 1 | O[10,3] = 6 |
| gamma[1,2,2,3] = 1 | w[2,2,3] = 1 | OY[8] = 1 | O[12,3] = 3750 |
| gamma[5,1,2,3] = 1 | w[5,2,3] = 1 | OY[10] = 1 | -- |
| 求解結果 | | | |
| 目標值 = 814,384 (自製成本: 536,988、外包成本 277,396) ; 決策變數 = 1,144; 限制式 = 17,431; 求解時間 = 4.66 秒 | | | |

A-5. 求解範圍(4,4)之完整規劃結果

| t=4 | | | |
|---|----------------------|---------------|------------------|
| alpha[1,2,4] = 1 | beta[11,11,1,4] = 1 | w[1,2,4] = 1 | X[1,2,4] = 1000 |
| alpha[2,2,4] = 1 | gamma[1,3,2,4] = 1 | w[2,2,4] = 1 | X[2,2,4] = 1313 |
| alpha[3,2,4] = 1 | gamma[2,1,2,4] = 1 | w[3,2,4] = 1 | X[3,2,4] = 4649 |
| alpha[4,2,4] = 1 | gamma[3,7,2,4] = 1 | w[5,3,4] = 1 | X[5,3,4] = 7298 |
| alpha[5,2,4] = 1 | gamma[7,5,3,4] = 1 | w[7,2,4] = 1 | X[7,2,4] = 2414 |
| alpha[5,3,4] = 1 | gamma[10,9,1,4] = 1 | w[7,3,4] = 1 | X[7,3,4] = 2486 |
| alpha[6,2,4] = 1 | gamma[11,12,1,4] = 1 | w[9,1,4] = 1 | X[9,1,4] = 4960 |
| alpha[6,3,4] = 1 | gamma[12,10,1,4] = 1 | w[10,1,4] = 1 | X[10,1,4] = 994 |
| alpha[7,2,4] = 1 | delta[1,2,4] = 1 | w[11,1,4] = 1 | X[11,1,4] = 2900 |
| alpha[7,3,4] = 1 | delta[2,2,4] = 1 | w[12,1,4] = 1 | X[12,1,4] = 631 |
| alpha[8,2,4] = 1 | delta[2,3,4] = 1 | Y[2,4] = 1 | O[2,4] = 2687 |
| alpha[8,3,4] = 1 | delta[3,1,4] = 1 | Y[4,4] = 1 | O[4,4] = 1700 |
| alpha[9,1,4] = 1 | BG[2,2,4] = 1 | Y[6,4] = 1 | O[6,4] = 3206 |
| alpha[10,1,4] = 1 | BG[7,3,4] = 1 | Y[10,4] = 1 | O[10,4] = 6 |
| alpha[11,1,4] = 1 | BG[11,1,4] = 1 | OY[2] = 1 | Z[3,4] = 1 |
| alpha[12,1,4] = 1 | FG[5,3,4] = 1 | OY[4] = 1 | Z[5,4] = 2 |
| beta[2,2,2,4] = 1 | FG[7,2,4] = 1 | OY[6] = 1 | Z[6,4] = 4294 |
| beta[7,7,3,4] = 1 | FG[9,1,4] = 1 | OY[10] = 1 | Z[12,4] = 669 |
| 求解結果 | | | |
| 目標值 = 406,212 (自製成本: 120,456、外包成本 136,782、未排入成本 148,974) ; 決策變數 = 1,144; 限制式 = 17,431; 求解時間 = 4.73 秒 | | | |

A-6. 求解範圍(4,4)之扣除未排入產品規劃結果

| t=4 | | | |
|---|----------------------|---------------|------------------|
| alpha[1,2,4] = 1 | beta[7,7,3,4] = 1 | FG[7,2,4] = 1 | OY[4] = 1 |
| alpha[2,2,4] = 1 | beta[11,11,1,4] = 1 | FG[9,1,4] = 1 | OY[6] = 1 |
| alpha[3,2,4] = 1 | gamma[1,3,2,4] = 1 | w[1,2,4] = 1 | OY[10] = 1 |
| alpha[4,2,4] = 1 | gamma[2,1,2,4] = 1 | w[2,2,4] = 1 | X[1,2,4] = 1000 |
| alpha[5,2,4] = 1 | gamma[3,7,2,4] = 1 | w[3,2,4] = 1 | X[2,2,4] = 1313 |
| alpha[5,3,4] = 1 | gamma[7,5,3,4] = 1 | w[5,3,4] = 1 | X[3,2,4] = 4649 |
| alpha[6,2,4] = 1 | gamma[10,9,1,4] = 1 | w[7,2,4] = 1 | X[5,3,4] = 7298 |
| alpha[6,3,4] = 1 | gamma[11,12,1,4] = 1 | w[7,3,4] = 1 | X[7,2,4] = 2414 |
| alpha[7,2,4] = 1 | gamma[12,10,1,4] = 1 | w[9,1,4] = 1 | X[7,3,4] = 2486 |
| alpha[7,3,4] = 1 | delta[1,2,4] = 1 | w[10,1,4] = 1 | X[9,1,4] = 4960 |
| alpha[8,2,4] = 1 | delta[2,2,4] = 1 | w[11,1,4] = 1 | X[10,1,4] = 994 |
| alpha[8,3,4] = 1 | delta[2,3,4] = 1 | w[12,1,4] = 1 | X[11,1,4] = 2900 |
| alpha[9,1,4] = 1 | delta[3,1,4] = 1 | Y[2,4] = 1 | X[12,1,4] = 631 |
| alpha[10,1,4] = 1 | BG[2,2,4] = 1 | Y[4,4] = 1 | O[2,4] = 2687 |
| alpha[11,1,4] = 1 | BG[7,3,4] = 1 | Y[6,4] = 1 | O[4,4] = 1700 |
| alpha[12,1,4] = 1 | BG[11,1,4] = 1 | Y[10,4] = 1 | O[6,4] = 3206 |
| beta[2,2,2,4] = 1 | FG[5,3,4] = 1 | OY[2] = 1 | O[10,4] = 6 |
| 求解結果 | | | |
| 目標值 = 257,238 (自製成本：120,456、外包成本 136,782) | | | |
| ；決策變數 = 1,144；限制式 = 17,431；求解時間 = 4.25 秒 | | | |

A-7. 求解範圍(5,5)之完整規劃結果

| t=5 | | | |
|--|----------------------|----------------|------------------|
| alpha[1,1,5] = 1 | beta[5,5,3,5] = 1 | BG[1,1,5] = 1 | w[10,3,5] = 1 |
| alpha[2,1,5] = 1 | beta[7,7,2,5] = 1 | BG[5,3,5] = 1 | w[12,3,5] = 1 |
| alpha[3,1,5] = 1 | beta[9,1,1,5] = 1 | BG[7,2,5] = 1 | X[1,1,5] = 3300 |
| alpha[4,1,5] = 1 | gamma[1,2,1,5] = 1 | FG[3,1,5] = 1 | X[2,1,5] = 11550 |
| alpha[5,2,5] = 1 | gamma[2,4,1,5] = 1 | FG[6,2,5] = 1 | X[3,1,5] = 6600 |
| alpha[5,3,5] = 1 | gamma[4,3,1,5] = 1 | FG[12,3,5] = 1 | X[4,1,5] = 1100 |
| alpha[6,2,5] = 1 | gamma[5,9,3,5] = 1 | w[1,1,5] = 1 | X[5,3,5] = 9760 |
| alpha[6,3,5] = 1 | gamma[7,8,2,5] = 1 | w[2,1,5] = 1 | X[6,2,5] = 9520 |
| alpha[7,2,5] = 1 | gamma[8,6,2,5] = 1 | w[3,1,5] = 1 | X[7,2,5] = 5800 |
| alpha[7,3,5] = 1 | gamma[9,10,3,5] = 1 | w[4,1,5] = 1 | X[8,2,5] = 4700 |
| alpha[8,2,5] = 1 | gamma[10,12,3,5] = 1 | w[5,3,5] = 1 | X[9,3,5] = 3770 |
| alpha[8,3,5] = 1 | delta[1,1,5] = 1 | w[6,2,5] = 1 | X[10,3,5] = 2750 |
| alpha[9,3,5] = 1 | delta[2,2,5] = 1 | w[7,2,5] = 1 | X[12,3,5] = 5200 |
| alpha[10,3,5] = 1 | delta[2,3,5] = 1 | w[8,2,5] = 1 | -- |
| alpha[12,3,5] = 1 | delta[3,3,5] = 1 | w[9,3,5] = 1 | -- |
| 求解結果 | | | |
| 目標值 = 325,840 (自製成本：325,840) | | | |
| ；決策變數 = 1,144；限制式 = 17,431；求解時間 = 4.80 秒 | | | |

A-8.Case6 求解範圍(1,3)之完整規劃結果

| t=1 | | | | |
|--|----------------------|---------------------|------------------|-------------------|
| alpha[1,1,1] = 1 | alpha[9,3,1] = 1 | gamma[10,5,3,1] = 1 | w[1,1,1] = 1 | X[5,3,1] = 3375 |
| alpha[2,1,1] = 1 | alpha[10,3,1] = 1 | gamma[11,9,3,1] = 1 | w[3,1,1] = 1 | X[7,2,1] = 3601 |
| alpha[3,1,1] = 1 | alpha[11,3,1] = 1 | delta[1,1,1] = 1 | w[5,2,1] = 1 | X[8,2,1] = 3504 |
| alpha[4,1,1] = 1 | alpha[12,3,1] = 1 | delta[2,2,1] = 1 | w[5,3,1] = 1 | X[9,3,1] = 2312 |
| alpha[5,2,1] = 1 | beta[0,3,1,1] = 1 | delta[2,3,1] = 1 | w[7,2,1] = 1 | X[10,3,1] = 448 |
| alpha[5,3,1] = 1 | beta[0,7,2,1] = 1 | delta[3,3,1] = 1 | w[8,2,1] = 1 | X[11,3,1] = 3100 |
| alpha[6,2,1] = 1 | beta[0,11,3,1] = 1 | BG[3,1,1] = 1 | w[9,3,1] = 1 | O[1,1] = 1735 |
| alpha[6,3,1] = 1 | beta[1,2,1,2] = 1 | BG[7,2,1] = 1 | w[10,3,1] = 1 | O[3,1] = 1 |
| alpha[7,2,1] = 1 | gamma[3,1,1,1] = 1 | BG[11,3,1] = 1 | w[11,3,1] = 1 | O[10,1] = 2552 |
| alpha[7,3,1] = 1 | gamma[7,8,2,1] = 1 | FG[1,1,1] = 1 | X[1,1,1] = 3265 | -- |
| alpha[8,2,1] = 1 | gamma[8,5,2,1] = 1 | FG[5,2,1] = 1 | X[3,1,1] = 6265 | -- |
| alpha[8,3,1] = 1 | gamma[9,10,3,1] = 1 | FG[5,3,1] = 1 | X[5,2,1] = 1756 | -- |
| t=2 | | | | |
| alpha[1,1,2] = 1 | alpha[8,2,2] = 1 | delta[1,1,2] = 1 | w[2,1,2] = 1 | O[5,2] = 1 |
| alpha[2,1,2] = 1 | alpha[8,3,2] = 1 | delta[2,2,2] = 1 | w[5,3,2] = 1 | O[8,2] = 197 |
| alpha[3,1,2] = 1 | alpha[9,1,2] = 1 | delta[2,3,2] = 1 | w[6,2,2] = 1 | O[10,2] = 400 |
| alpha[4,1,2] = 1 | alpha[10,1,2] = 1 | delta[3,1,2] = 1 | w[6,3,2] = 1 | O[12,2] = 500 |
| alpha[5,2,2] = 1 | alpha[11,1,2] = 1 | BG[2,1,2] = 1 | X[2,1,2] = 2774 | -- |
| alpha[5,3,2] = 1 | alpha[12,1,2] = 1 | BG[5,3,2] = 1 | X[5,3,2] = 2867 | -- |
| alpha[6,2,2] = 1 | beta[1,2,1,2] = 1 | BG[6,2,2] = 1 | X[6,2,2] = 2769 | -- |
| alpha[6,3,2] = 1 | beta[5,5,3,2] = 1 | FG[1,1,2] = 1 | X[6,3,2] = 331 | -- |
| alpha[7,2,2] = 1 | beta[5,6,2,2] = 1 | FG[5,2,2] = 1 | O[2,2] = 226 | -- |
| alpha[7,3,2] = 1 | gamma[5,6,3,2] = 1 | FG[6,3,2] = 1 | O[3,2] = 104 | -- |
| t=3 | | | | |
| alpha[1,2,3] = 1 | alpha[11,1,3] = 1 | delta[2,2,3] = 1 | w[6,3,3] = 1 | X[8,2,3] = 9798 |
| alpha[2,2,3] = 1 | alpha[12,1,3] = 1 | delta[2,3,3] = 1 | w[7,3,3] = 1 | X[9,1,3] = 8184 |
| alpha[4,2,3] = 1 | beta[2,12,1,3] = 1 | delta[3,1,3] = 1 | w[8,2,3] = 1 | X[10,1,3] = 12040 |
| alpha[5,2,3] = 1 | beta[5,8,2,3] = 1 | BG[6,3,3] = 1 | w[9,1,3] = 1 | X[12,1,3] = 8956 |
| alpha[5,3,3] = 1 | beta[6,6,3,3] = 1 | BG[8,2,3] = 1 | w[10,1,3] = 1 | O[6,3] = 12096 |
| alpha[6,2,3] = 1 | gamma[2,1,2,3] = 1 | BG[12,1,3] = 1 | w[11,1,3] = 1 | O[9,3] = 4 |
| alpha[6,3,3] = 1 | gamma[4,2,2,3] = 1 | FG[1,2,3] = 1 | w[12,1,3] = 1 | O[11,3] = 6 |
| alpha[7,2,3] = 1 | gamma[7,5,3,3] = 1 | FG[5,3,3] = 1 | X[1,2,3] = 12897 | O[12,3] = 3844 |
| alpha[7,3,3] = 1 | gamma[8,4,2,3] = 1 | FG[10,1,3] = 1 | X[2,2,3] = 2000 | -- |
| alpha[8,2,3] = 1 | gamma[9,10,1,3] = 1 | w[1,2,3] = 1 | X[4,2,3] = 10500 | -- |
| alpha[8,3,3] = 1 | gamma[11,9,1,3] = 1 | w[2,2,3] = 1 | X[5,3,3] = 14900 | -- |
| alpha[9,1,3] = 1 | gamma[12,11,1,3] = 1 | w[4,2,3] = 1 | X[6,3,3] = 5004 | -- |
| alpha[10,1,3] = 1 | delta[1,2,3] = 1 | w[5,3,3] = 1 | X[7,3,3] = 18499 | -- |
| 求解結果 | | | | |
| 近似值 = 1,059,114 (自製成本：672,828、外包成本 386,286) ；決策變數 = 3,396；限制式 = 53,118；求解時間 = 2083.81 秒 | | | | |

A-9.Case6 求解範圍(4,5)之完整規劃結果

| t=4 | | | |
|--|----------------------|------------------|------------------|
| alpha[1,1,4] = 1 | beta[1,5,2,4] = 1 | BG[5,2,4] = 1 | X[1,1,4] = 1319 |
| alpha[2,1,4] = 1 | beta[5,5,3,4] = 1 | BG[5,3,4] = 1 | X[2,1,4] = 4000 |
| alpha[3,1,4] = 1 | beta[10,2,1,4] = 1 | FG[4,1,4] = 1 | X[3,1,4] = 4980 |
| alpha[4,1,4] = 1 | gamma[1,3,1,4] = 1 | FG[6,2,4] = 1 | X[4,1,4] = 1700 |
| alpha[5,2,4] = 1 | gamma[2,1,1,4] = 1 | FG[9,3,4] = 1 | X[5,2,4] = 7246 |
| alpha[5,3,4] = 1 | gamma[3,4,1,4] = 1 | w[1,1,4] = 1 | X[5,3,4] = 54 |
| alpha[6,2,4] = 1 | gamma[5,6,2,4] = 1 | w[2,1,4] = 1 | X[6,2,4] = 5173 |
| alpha[6,3,4] = 1 | gamma[5,7,3,4] = 1 | w[3,1,4] = 1 | X[7,3,4] = 4900 |
| alpha[7,2,4] = 1 | gamma[7,11,3,4] = 1 | w[4,1,4] = 1 | X[9,3,4] = 4960 |
| alpha[7,3,4] = 1 | gamma[11,9,3,4] = 1 | w[5,2,4] = 1 | X[11,3,4] = 2900 |
| alpha[8,2,4] = 1 | delta[1,1,4] = 1 | w[5,3,4] = 1 | O[6,4] = 2327 |
| alpha[8,3,4] = 1 | delta[2,2,4] = 1 | w[6,2,4] = 1 | O[10,4] = 1000 |
| alpha[9,3,4] = 1 | delta[2,3,4] = 1 | w[7,3,4] = 1 | O[12,4] = 1300 |
| alpha[10,3,4] = 1 | delta[3,3,4] = 1 | w[9,3,4] = 1 | -- |
| alpha[11,3,4] = 1 | BG[2,1,4] = 1 | w[11,3,4] = 1 | -- |
| t=5 | | | |
| alpha[1,1,5] = 1 | alpha[12,3,5] = 1 | delta[3,3,5] = 1 | w[9,3,5] = 1 |
| alpha[2,1,5] = 1 | beta[4,4,1,5] = 1 | BG[4,1,5] = 1 | w[10,3,5] = 1 |
| alpha[3,1,5] = 1 | beta[6,6,2,5] = 1 | BG[6,2,5] = 1 | w[12,3,5] = 1 |
| alpha[4,1,5] = 1 | beta[9,9,3,5] = 1 | BG[9,3,5] = 1 | X[1,1,5] = 2981 |
| alpha[5,2,5] = 1 | gamma[1,2,1,5] = 1 | FG[2,1,5] = 1 | X[2,1,5] = 11550 |
| alpha[5,3,5] = 1 | gamma[3,1,1,5] = 1 | FG[5,2,5] = 1 | X[3,1,5] = 6270 |
| alpha[6,2,5] = 1 | gamma[4,3,1,5] = 1 | FG[7,3,5] = 1 | X[4,1,5] = 1100 |
| alpha[6,3,5] = 1 | gamma[6,5,2,5] = 1 | w[1,1,5] = 1 | X[5,2,5] = 9760 |
| alpha[7,2,5] = 1 | gamma[8,7,3,5] = 1 | w[2,1,5] = 1 | X[6,2,5] = 9520 |
| alpha[7,3,5] = 1 | gamma[9,10,3,5] = 1 | w[3,1,5] = 1 | X[7,3,5] = 5800 |
| alpha[8,2,5] = 1 | gamma[10,12,3,5] = 1 | w[4,1,5] = 1 | X[8,3,5] = 4700 |
| alpha[8,3,5] = 1 | gamma[12,8,3,5] = 1 | w[5,2,5] = 1 | X[9,3,5] = 3770 |
| alpha[9,3,5] = 1 | delta[1,1,5] = 1 | w[6,2,5] = 1 | X[10,3,5] = 2750 |
| alpha[10,3,5] = 1 | delta[2,2,5] = 1 | w[7,3,5] = 1 | X[12,3,5] = 5200 |
| alpha[11,3,5] = 1 | delta[2,3,5] = 1 | w[8,3,5] = 1 | -- |
| 求解結果 | | | |
| 目標值 = 577,204 (自製成本：493,918、外包成本 83,286) | | | |
| ；決策變數 = 2,264；限制式 = 35,255；求解時間 = 352.67 秒 | | | |

A-10. 淡季情境：對 $t=1$ 求解範圍(1,1)之完整規劃結果

| $t=1$ | | | |
|---|---------------------|----------------|------------------|
| alpha[1,2,1] = 1 | alpha[10,1,1] = 1 | BG[4,2,1] = 1 | w[10,1,1] = 1 |
| alpha[3,2,1] = 1 | beta[0,4,2,1] = 1 | BG[6,3,1] = 1 | X[1,2,1] = 5300 |
| alpha[4,2,1] = 1 | beta[0,6,3,1] = 1 | BG[9,1,1] = 1 | X[3,2,1] = 4796 |
| alpha[5,2,1] = 1 | beta[0,9,1,1] = 1 | FG[1,2,1] = 1 | X[4,2,1] = 1000 |
| alpha[5,3,1] = 1 | gamma[3,1,2,1] = 1 | FG[5,3,1] = 1 | X[5,3,1] = 18000 |
| alpha[6,2,1] = 1 | gamma[4,3,2,1] = 1 | FG[10,1,1] = 1 | X[6,3,1] = 10500 |
| alpha[6,3,1] = 1 | gamma[6,5,3,1] = 1 | w[1,2,1] = 1 | X[9,1,1] = 6000 |
| alpha[7,2,1] = 1 | gamma[9,10,1,1] = 1 | w[3,2,1] = 1 | X[10,1,1] = 7500 |
| alpha[7,3,1] = 1 | delta[1,2,1] = 1 | w[4,2,1] = 1 | O[3,1] = 204 |
| alpha[8,2,1] = 1 | delta[2,2,1] = 1 | w[5,3,1] = 1 | O[11,1] = 4500 |
| alpha[8,3,1] = 1 | delta[2,3,1] = 1 | w[6,3,1] = 1 | -- |
| alpha[9,1,1] = 1 | delta[3,1,1] = 1 | w[9,1,1] = 1 | -- |
| 求解結果 | | | |
| 目標值 = 325,648 (自製成本：250,384、外包成本 75,264) ；決策變數 = 1,120；限制式 = 17,406；求解時間 = 3.5 秒 | | | |

A-11. 淡季情境：對 $t=2$ 求解範圍(1,1)之完整規劃結果

| $t=1$ | | | |
|--|----------------------|----------------|------------------|
| alpha[1,2,1] = 1 | beta[1,1,2,1] = 1 | BG[1,2,1] = 1 | w[11,1,1] = 1 |
| alpha[2,2,1] = 1 | beta[5,5,3,1] = 1 | BG[5,3,1] = 1 | w[12,1,1] = 1 |
| alpha[4,2,1] = 1 | beta[10,10,1,1] = 1 | BG[10,1,1] = 1 | X[1,2,1] = 4500 |
| alpha[5,2,1] = 1 | gamma[1,2,2,1] = 1 | FG[6,3,1] = 1 | X[2,2,1] = 4500 |
| alpha[5,3,1] = 1 | gamma[2,4,2,1] = 1 | FG[7,2,1] = 1 | X[4,2,1] = 2000 |
| alpha[6,2,1] = 1 | gamma[4,8,2,1] = 1 | FG[11,1,1] = 1 | X[5,3,1] = 18885 |
| alpha[6,3,1] = 1 | gamma[5,6,3,1] = 1 | w[1,2,1] = 1 | X[6,3,1] = 7500 |
| alpha[7,2,1] = 1 | gamma[8,7,2,1] = 1 | w[2,2,1] = 1 | X[7,2,1] = 6389 |
| alpha[7,3,1] = 1 | gamma[10,12,1,1] = 1 | w[4,2,1] = 1 | X[8,2,1] = 9300 |
| alpha[8,2,1] = 1 | gamma[12,11,1,1] = 1 | w[5,3,1] = 1 | X[10,1,1] = 5500 |
| alpha[8,3,1] = 1 | delta[1,2,1] = 1 | w[6,3,1] = 1 | X[11,1,1] = 4000 |
| alpha[10,1,1] = 1 | delta[2,2,1] = 1 | w[7,2,1] = 1 | X[12,1,1] = 5800 |
| alpha[11,1,1] = 1 | delta[2,3,1] = 1 | w[8,2,1] = 1 | O[5,1] = 1747 |
| alpha[12,1,1] = 1 | delta[3,1,1] = 1 | w[10,1,1] = 1 | O[7,1] = 3011 |
| 求解結果 | | | |
| 目標值 = 418,824 (自製成本：342,696、外包成本 76,128) ；決策變數 = 1,120；限制式 = 17,406；求解時間 = 3.47 秒 | | | |

A-12. 淡季情境：對 $t=3$ 及 4 求解範圍(2,3)之完整規劃結果

| $t=2$ | | | |
|--|----------------------|------------------|------------------|
| alpha[1,2,2] = 1 | alpha[11,1,2] = 1 | delta[3,1,2] = 1 | w[11,1,2] = 1 |
| alpha[2,2,2] = 1 | alpha[12,1,2] = 1 | BG[6,3,2] = 1 | w[12,1,2] = 1 |
| alpha[3,2,2] = 1 | beta[6,6,3,2] = 1 | BG[7,2,2] = 1 | X[2,2,2] = 3074 |
| alpha[4,2,2] = 1 | beta[7,7,2,2] = 1 | BG[11,1,2] = 1 | X[3,2,2] = 4080 |
| alpha[5,2,2] = 1 | beta[11,11,1,2] = 1 | FG[2,2,2] = 1 | X[4,2,2] = 1000 |
| alpha[5,3,2] = 1 | gamma[3,4,2,2] = 1 | FG[8,3,2] = 1 | X[6,3,2] = 7000 |
| alpha[6,2,2] = 1 | gamma[4,2,2,2] = 1 | FG[9,1,2] = 1 | X[7,2,2] = 5684 |
| alpha[6,3,2] = 1 | gamma[6,8,3,2] = 1 | w[2,2,2] = 1 | X[8,3,2] = 9805 |
| alpha[7,2,2] = 1 | gamma[7,3,2,2] = 1 | w[3,2,2] = 1 | X[9,1,2] = 9878 |
| alpha[7,3,2] = 1 | gamma[11,12,1,2] = 1 | w[4,2,2] = 1 | X[11,1,2] = 5700 |
| alpha[8,2,2] = 1 | gamma[12,9,1,2] = 1 | w[6,3,2] = 1 | X[12,1,2] = 3500 |
| alpha[8,3,2] = 1 | delta[1,2,2] = 1 | w[7,2,2] = 1 | O[7,2] = 3495 |
| alpha[9,1,2] = 1 | delta[2,2,2] = 1 | w[8,3,2] = 1 | -- |
| alpha[10,1,2] = 1 | delta[2,3,2] = 1 | w[9,1,2] = 1 | -- |
| $t=3$ | | | |
| alpha[1,2,3] = 1 | alpha[10,1,3] = 1 | delta[3,1,3] = 1 | w[10,1,3] = 1 |
| alpha[2,2,3] = 1 | alpha[12,1,3] = 1 | BG[2,2,3] = 1 | w[12,1,3] = 1 |
| alpha[3,2,3] = 1 | beta[2,2,2,3] = 1 | BG[8,3,3] = 1 | X[1,2,3] = 5000 |
| alpha[4,2,3] = 1 | beta[8,8,3,3] = 1 | BG[10,1,3] = 1 | X[2,2,3] = 1196 |
| alpha[5,2,3] = 1 | beta[9,10,1,3] = 1 | FG[1,2,3] = 1 | X[5,3,3] = 12000 |
| alpha[5,3,3] = 1 | gamma[2,1,2,3] = 1 | FG[5,3,3] = 1 | X[7,3,3] = 9321 |
| alpha[6,2,3] = 1 | gamma[7,5,3,3] = 1 | FG[12,1,3] = 1 | X[8,3,3] = 4194 |
| alpha[6,3,3] = 1 | gamma[8,7,3,3] = 1 | w[1,2,3] = 1 | X[10,1,3] = 8000 |
| alpha[7,2,3] = 1 | gamma[10,12,1,3] = 1 | w[2,2,3] = 1 | X[12,1,3] = 7000 |
| alpha[7,3,3] = 1 | delta[1,2,3] = 1 | w[5,3,3] = 1 | O[3,3] = 4420 |
| alpha[8,2,3] = 1 | delta[2,2,3] = 1 | w[7,3,3] = 1 | O[8,3] = 1 |
| alpha[8,3,3] = 1 | delta[2,3,3] = 1 | w[8,3,3] = 1 | O[9,3] = 622 |
| 求解結果 | | | |
| 目標值 = 611,876 (自製成本：475,266、外包成本 136,610) | | | |
| ；決策變數 = 2,240；限制式 = 35,148；求解時間 = 134.41 秒 | | | |