

國立交通大學
工業工程與管理學系碩士班

碩士論文

彩色濾光片專業廠主生產排程之規劃

The Scheduling of Master Production Plan for
Specialized Color Filter Contractors



研究生：徐仁浩

指導教授：鍾淑馨 博士

中華民國九十九年七月

彩色濾光片專業廠主生產排程之規劃

The Scheduling of Master Production Plan for Specialized Color
Filter Contractors

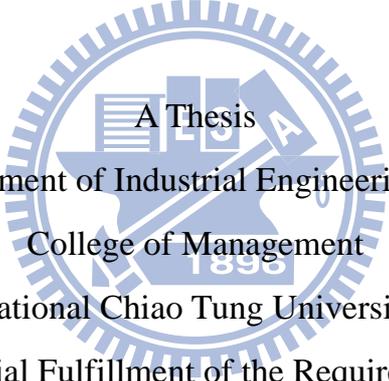
研究生：徐仁浩

Student：Jen-Hao Hsu

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班
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

July 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年七月

彩色濾光片專業廠主生產排程之規劃

研究生：徐仁浩

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 TFT-LCD 五大關鍵零組件之一，彩色濾光片專業廠在排程規劃上除須面對種類繁雜之訂單以外，需考量順序相依換線時間、光罩與機台之搭配問題。此外，尚須及玻璃、光阻液等材料成本之節省。針對流程式生產之特性下，本文考量上述之限制，發整出一套「主生產排程建構機制」，讓決策者作為排程規劃之參考依據。

本機制先將訂單依交期分類，以採變動式規劃週期方式，求解整個規劃幅度之排程。本機制分為兩個模組，首先，「產能估算」模組考量機台產能與光罩可用數量，初步檢視生產系統能否滿足訂單需求，進而轉入「主生產排程規劃模組」。此模組以滿足達交率為目標，考量系統環境限制，包含順序相依換線問題、光罩配置問題等，建構混整數規劃模式執行求解，並且針對淡、旺季時，分別對光阻液節省及採用玻璃規格替代所需耗損之玻璃，提出不同模式進行求解，以達到降低成本之目標，規劃出各產品別於各規劃週期內之最佳生產順序及光罩配置結果。

實例驗證的結果表示，本文考量瓶頸機台產能、光罩資源限制及順序相依換線問題，求解出最佳生產排程以及光罩與機台最適配置結果。此外，在專業廠面臨產能吃緊之情況下，進行「玻璃規格替代」，藉此減少延遲之發生；反之，產能有剩餘之情況下，在滿足所有訂單交期之前提下，有效的降低光阻液之耗費。最後，本文在設定之產品種類限制下，求解最適之產品組合，以作為專業廠承接訂單之承包策略。整體而言，本文所提出之模式，應用於實務之環境限制下，其能有效地降低生產成本，讓專業廠更具競爭力。

關鍵詞：彩色濾光片專業廠、流程式生產、順序相依換線、混整數規劃、光罩資源、玻璃規格替代、光阻液

The Scheduling of Master Production Plan for Specialized Color Filter Contractors

Student : Jen-Hao Hsu

Advisor : Dr. Shu-Hsing Chung

Department of Industrial Engineering and Management

National Chiao Tung University

Abstract

Color filter (CF) is one of the five critical components for the thin-film-transistor liquid-crystal-display (TFT-LCD). The CF-specialized factory adopts flow shop manufacturing and takes various orders from customers. It thus must consider the characteristics of sequence dependent setup time in mask allocation and machine scheduling problems. Besides, material saving, including glasses and photoresists, can also be considered in scheduling. This thesis considers above characteristics and proposes a mechanism regarding to master production schedule (MPS) for deciding schedules.

This mechanism classifies orders by due dates so as to solve schedules for each planning period. The mechanism consists of two modules. First, "capacity estimation module" checks the available capacity of machines and the quantity of masks to see if the capacity and masks can satisfy the demand of orders. Then, for maximizing delivery rate, "master production schedule module" constructs a mixed integer programming model to solve the scheduling problem with consideration of sequence dependence setup time and the available units of masks. For cost reduction, this module further proposes two models for photoresists savings and for minimizing tardy jobs by glasses substitution respectively.

Experimental studies reveal that suitable production schedules can be found with the proposed mechanism. When the CF-specialized factory lacks of capacity, it will apply the glasses substitution model to reduce tardiness of orders. On the contrary, when it has enough capacity, the saving of material cost can be derived on the premise of satisfying due dates of all orders by

running photoresists saving model. Moreover, this mechanism proposed can be used to determine the optimal product mix under the restriction that the total number of product types are fixed so as to make the suggestion in order taking for the specialized factories. Thus, this thesis proposes a mechanism that is practical in effectively cost reduction and in raising the competitiveness for the CF factories.

Keywords: Color Filter Specialized factory, Flow shop, Sequence dependent setup time, Mixed integer programming, Mask resource, glasses substitution, photoresist



誌謝

終於來到這一刻了，心中百感交集、無限感慨，常有朋友或長輩道學生之幸福美好時光，要格外珍惜，我也把這些話放在心上，休閒時用力玩、拼命玩，所以做研究時要常常熬夜作、拼命作，然後惡性循環，痛苦的時候很痛苦，但快樂時總能把痛苦一掃而空，大概是 IE 人的職業病，總想在有限時間內做很多事，或總希望做一件事情花最少時間，無奈生也有涯，知也無涯，小弟僅能站在巨人肩膀完成了這項曠世鉅作(誤)。

接下來要開始一一答謝我這些年的貴人們，首先是咱們的大家長鍾媽，二十年來秉持著有教無類、因材施教的精神，培育無數莘莘學子，您真的在學生在學習生涯中見過好的教育家，雖然對學生要求嚴格，但總在學生最徬徨最無助時，反而釋出善意的援手，嚴師慈母不外如是，也讓學生知道自己的缺點，以後更要時時放在心上，永遠警惕自己。也希望老師要多保養身體，別太勞累。

接著研究所同學們，先是同窗朋友兼室友阿派，你那過人的理解力跟創造力常令我嘖嘖稱奇，幽默又爽朗與樂觀又積極的態度也感染身邊每一個人，恭喜你雖人很好，最終也交到女朋友，證明了好人不是只能孤單一人的宅宅。

凱欣，我不會跟別人說我在 PTT 的 O2 板幫妳徵友徵到 150 幾個你都看不上眼的，我也不會爆料你喜歡過阿派，以及兩年中作業都給他看不給我看問題都給他問不給我問等偏心舉止，雖然你是我見過最宅的女生，最終也找到自己的春天了。你那過人的 EXCEL、WORD 及程式能力，OFFICE 小魔女稱號當之無愧。

接著，酒友兼死黨，照認識的順序來：率瑋，重情重義的好朋友，生死之交不二人選，很會替對方著想，很會唱歌、運動細胞很好，雖然你喝酒很盧，但我知道你酒量很好，你也開啟了我酒國人生的道路，讓我體會什麼叫作研究生(誤:菸酒生)，也祝你早日找到對象。11B，滿腹經綸、當今濟世多才之人，若得此人輔佐，猶如周武王得姜子牙興漢五百年，本人畢生未曾見過如此博學多問、聰明之人，結交這個朋友真的值回票價，也替你老板慶幸，你那不同凡人的思考邏輯，真的有稍微幫助我提升智商，把我拉回正常人，所以我絕對不會出賣你曾經捐精賺錢，喝酒醉露鳥證明

自己割過包皮的英勇事蹟。老柯，新好男人，跟你總有聊不完的話，你那滄桑的嗓音，總讓我聽得如痴如醉，加上豁達又謙卑的個性，我相信不管你走到哪都可以過的很好的。跳肥，超級無敵健談的一位，讓我見識到研究生怎麼玩社團，舉凡政治、禪學社、任何活動都可以很積極熱情的參與，你那豪邁爽朗的個性，能在你的朋友圈佔有一席之地是小弟的榮幸。

其他室友小心肝、豪君，感謝你們的包容，因小弟的生活作息不正常而常常打擾你們的睡眠，每當拖著疲累的身心回到寢室，與你們談談總能紓緩些壓力。實驗室學長姐們，小毛，對我論文的指導，不吝傾囊相授，雖然我還是沒有完全看懂你的論文==，另外天真活潑的小潔、很白爛的苗人、很含蓄的迪僑、很有女人緣的柏毅、垃圾話很多瑜翔、很精實的平哥、帶我的威良、很客氣的清貴、什麼都強尤其是電腦的俊穎、IE顧問專家元銘等學長姐，實驗室學弟妹們，認真負責的總管小可、愛吃美食網拍的大雅、很有男人味的饅頭、任勞任怨的管理員小吳、臉很油但還是把到學姊是上面某位春天的鴨子，以及碩一薛武、謝霆鋒、小胖、阿饒、等學弟，你們都是實驗室不可或缺的一員，相信未來 519 的生活裡頭有你們會增添幾份快樂的色彩。還有其他所有在我碩士生涯認識的人，族繁不及備載，你們都是小弟的貴人，能夠相識即是有緣。

最後，感謝我的家人，感謝爸爸、媽媽，打從我呱呱墜地至今，使我豐衣足食，永遠支持我做任何決定，以後就由我來好好孝順你們，讓你們可以安心退休吧。我的弟弟，跟你算是上輩子仇人，這輩子才做兄弟，我是真的很想盡做哥哥的責任，希望每件事情都能幫助你，別在沉迷於電動了，外面的世界很大很廣，還有很多比它更棒的東西，值得你挖掘。芳銘，感謝妳包容我所有的壞脾氣以及忙碌時不耐煩，沒有妳我也不可能完成這個學位。也期許自己的未來邁向下一個里程碑，過更充實的人生。

目錄

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.....	3
1.3、研究範圍與限制.....	4
1.4、研究方法與流程.....	5
第二章、文獻探討.....	8
2.1、彩色濾光片製造流程介紹.....	8
2.2、考量整備時間之流程式工廠排程研究.....	10
2.3、考量附屬資源相關排程研究.....	14
2.3.1、附屬資源限制排程問題的分類.....	14
2.3.2、附屬資源於各生產環境排程規劃之探討.....	15
第三章、模式建構.....	21
3.1、問題描述.....	21
3.2、主生產排程機制之架構.....	23
3.3、產能估算模組.....	25
3.3.1、規劃範圍制定與求解概念說明.....	26
3.3.2、瓶頸機台產能推估機制.....	29
3.4、主生產排程模組.....	32
3.4.1、瓶頸工作站排程模式.....	33
3.4.2、玻璃規格替代模式.....	41
3.4.3、最小化光阻換線模式.....	44
第四章、實例驗證.....	48
4.1、系統環境說明.....	48
4.1.1、生產環境資料.....	48
4.1.2、生產規劃假設.....	52
4.2、產能估算模組之執行過程.....	52
4.2.1、估算可用產能.....	52
4.2.2、產能粗估模式.....	52
4.2.3、光罩產能推估機制.....	53
4.3、主生產排程模組之執行過程.....	54
4.3.1、Case1：訂單延遲情況發生.....	54
4.3.2、Case2：無訂單延遲情況發生.....	61
第五章、結論.....	72
5.1、結論.....	72
5.2、未來方向.....	73
參考文獻.....	74

圖目錄

圖 1-1 TFT-LCD 製程與 CF 之關聯圖[32].....	1
圖 1-2 面板廠之彩色濾光片內製、外包比例[21].....	2
圖 1-3 研究範圍.....	5
圖 1-4 研究步驟及流程.....	7
圖 2-1 彩色濾光片製造流程圖[26].....	10
圖 3-1 彩色濾光片材料成本結構[22].....	21
圖 3-2 玻璃規格替代示意圖.....	23
圖 3-3 專業廠整體架構流程圖.....	24
圖 3-4 產能估算模組架構圖.....	26
圖 3-5 變動規劃週期概念說明[30].....	28
圖 3-6 主生產排程模組架構圖.....	33
圖 3-7 虛擬產品別示意圖(一).....	35
圖 3-8 虛擬產品別示意圖(二).....	36
圖 3-9 可替代玻璃規格尺寸示意圖.....	41
圖 3-10 最小化光阻換線流程圖.....	45



表目錄

表 1-1 小尺寸 CELL 廠的訂單需求資訊[24]	2
表 2-1 考量工件之拆卸時間雙機排程問題[2]	11
表 2-2 FLOW SHOP 相關排程研究整理表	13
表 2-3 考量附屬資源限制之排程文獻[本文整理]	19
表 3-1 規劃週期分類說明表 (分類前)	27
表 3-2 規劃週期分類說明表 (分類後)	27
表 3-3 產品種類別	34
表 3-4 各換線種類別之時間表	34
表 3-5 所有產品別與換線時間之對應表	35
表 3-6 最小化光阻換線模式執行過程	47
表 4-1 各產品加工時間、生產成本、售價利潤對照表	49
表 4-2 各種換線所耗時間	50
表 4-3 所有產品別與換線時間之對應表(單位：分)	50
表 4-4 光罩與機台搭配關係	51
表 4-5 機台產品資訊	51
表 4-6 訂單資訊	51
表 4-7 硬體配備	53
表 4-8 產能粗估之機台產出量	53
表 4-9 產品別於各機台生產數量及所需產能	54
表 4-10 CASE1: 「瓶頸工作站排程模式」統計資訊	55
表 4-11 CASE1: 「瓶頸工作站排程模式」各產品別之產出量及訂單需求	55
表 4-12 CASE1: 「瓶頸工作站排程模式」各機台產出量	56
表 4-13 CASE1: 「瓶頸工作站排程模式」之排程結果	57
表 4-14 CASE1: 「玻璃規格替代模式」統計資訊	58
表 4-15 CASE1: 「玻璃規格替代模式」各機台產出量	58
表 4-16 CASE1: 「玻璃規格替代模式」各產品被替代數量	59
表 4-17 CASE1: 「玻璃規格替代模式」各產品別之產出及訂單需求	59
表 4-18 CASE1: 「玻璃規格替代模式」排程結果	60
表 4-19 CASE2: 訂單資訊	61
表 4-20 CASE2: 「瓶頸工作站排程模式」統計資訊	61
表 4-21 CASE2: 「瓶頸工作站排程模式」各機台產出量	62
表 4-22 CASE2: 「瓶頸工作站排程模式」各產品別之產出量及訂單需求	62
表 4-23 CASE2: 「瓶頸工作站模式」之排程結果	63
表 4-24 CASE2: 「最小化光阻換線模式」執行過程	64
表 4-25 CASE2: 「最小化光阻換線模式」統計資訊	64
表 4-26 CASE2: 「最小化光阻換線模式」各機台產出量	65
表 4-27 CASE2: 「最小化光阻換線模式」各產品別之產出及訂單需求	65
表 4-28 CASE2: 「最小化光阻換線模式」排程結果	66
表 4-29 最適產品種類數下之最佳組合及利潤	69

表 4-30 各種產品種類之排程結果 71



符號一覽表

➤ 集合

$G(i)$: 產品別 i 對應之玻璃規格。

$MA(i)$: 產品別 i 對應之光罩。

➤ 符號下標

i : 產品別編號, $i=1,2,\dots,I,I+1$ 。 $i=0$ 僅用於第一規劃週期, 表示初始時, 機台並無任何產品裝載於上。 $i=I+1$ 為一虛擬產品別, 係為建構模式所設計之產品種類。

m : 瓶頸工作站 RGB 之機台別, $m=1, 2, \dots, M$ 。

r : 光罩別, $r=1,2,\dots,R$ 。

s : 變動規劃週期之期數, $s=0, 1, 2, \dots, S$ 。 S 表此次求解範圍內之最大規劃週期期數。

➤ 參數

$agl_{i,i'}$: 0-1 參數, 代表於同一機台上, 生產前後順序之產品別為 i 及 i' , 是否滿足 $G(i) > G(i')$ 之條件, 是則 $agl_{i,i'}=1$, 反之則為 0。

$cap_{m,s}$: 機台 m 在第 s 個規劃週期內之可用產能(扣除當機、維護、實驗比例之後)(秒)。

$d_{i,s}$: 第 s 個規劃週期產品別 i 之目標需求量(片)。

dt_m : 機台 m 之當機比例。

eg_m : 機台 m 之實驗批所耗用產能之比例(equipment group)。

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別 i 數量總合。

$gc_{i,i'}$: 表示運用玻璃規格替換時, 即 $G(i) > G(i')$, 所花費玻璃之損失成本。

h : 規劃週期之長度(天)。

K : 所設定之光阻換線成本上限。

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

mtr_m : 機台 m 之平均修復時間(mean time to repair) (小時)。

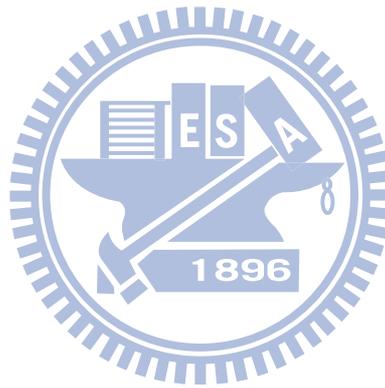
- $mtpm_m$: 機台 m 之平均維修間隔時間(mean time between PM) (小時)。
- $mbpm_m$: 機台 m 之平均維修時間(mean time to PM) (小時)。
- MA_r : 光罩 r 現有之套數。
- n_i : 產品別 i 所用之光罩別。
- pm_m : 機台 m 之保養比例。
- pt_i : 產品別 i 在任一機台加工的單位加工時間(秒)。
- Q : 正極大值。
- $rc_{i,i'}$: 表示運用光阻替換時, 即 $R(i) = R(i')$, 所節省之物料成本。
- $rcap_r$: 在「瓶頸工作站產能推估機制」求解後, 屬光罩 r 之總產能需求。
- $reticle_r$: 各光罩別 r 所需之最少個數。
- $st_{i,i'}$: 產品別 i 轉換至 i' 所需三類換線(光罩、光阻液、玻璃尺寸)時間之總和。
- $total$: 排程規劃後, 光阻換線所耗費之成本。

➤ 決策變數

- $B_{i,s}$: 規劃週期內, 產品別 i 之延遲數量(片)。
- $BG_{i,m,s}$: 0-1 變數, 於第 s 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。 $1 \leq i \leq I+1$ 。
- $FG_{i,m,s}$: 0-1 變數, 於第 s 期之期末, 機台 m 上是否排定加工產品別 i , 若是為 1, 反之為 0。 $1 \leq i \leq I+1$ 。
- $GL_{i,i',m,s}$: 0-1 變數, 代表於規劃週期 s 內, 在機台 m 上, 是否發生大玻璃替換小玻璃之情況, 是則 $GL_{i,i',m,s} = 1$ 。反之, $GL_{i,i',m,s} = 0$ 。
- $X_{i,m,s}$: 規劃週期內, 產品別 i 在機台 m 上的加工數量(片)。
- $\alpha_{i,m,s}$: 0-1 變數, 於第 s 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。
- $\beta_{i,i',m,s}$: 0-1 變數, 表示跨期間之換線情況, $s-1$ 期期末及 s 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; $0 \leq i \leq I+1$, $1 \leq i' \leq I+1$ 。
- $\gamma_{i,i',m,s}$: 0-1 變數, 表示第 s 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,

若無此順序關係則為 0； $0 \leq i \leq I+1$ ， $1 \leq i' \leq I+1$ 。

- $\delta_{r,m,s}$: 0-1 變數，於第 s 期內，光罩 r 是否配置於機台 m 上，若是則為 1，反之為 0。
- $y_{i,i',m,s}$: 0-1 變數，表示第 s 期內之換線情況，於機台 m 上產品間的加工順序之相對關係。與 $\gamma_{i,i',m,s}$ 相異點在於， $\gamma_{i,i',m,s}$ 表示前後緊鄰之兩產品，而 $y_{i,i',m,s}$ 僅表示同規劃週期內之兩產品別之相對加工順序。舉例來說：若有產品別 1、2、3，其加工順序為 2、3、1，則 $\gamma_{2,3,m,s} = \gamma_{3,1,m,s} = 1$ ，而 $y_{2,3,m,s} = y_{2,1,m,s} = y_{3,1,m,s} = 1$ 。



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）的生產製造技術結合半導體產業、化學材料產業及光電產業之製造技術其製造程序，可分為三大製程，分別為薄膜電晶體陣列(TFT Array)製程、液晶面板組立(Cell Assembly)製程及液晶模組組立(Module Assembly)製程，如圖 1-1 所示：

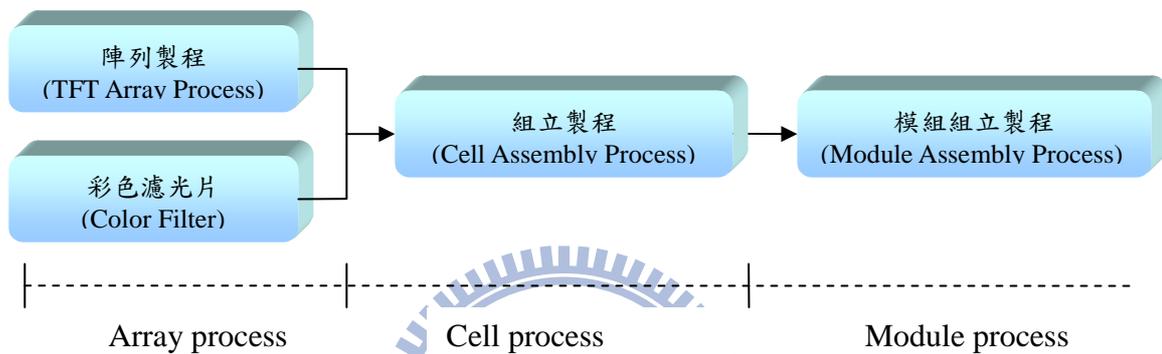


圖 1-1 TFT-LCD 製程與 CF 之關聯圖[32]

其中，陣列(Array)製程主要的處理對象是玻璃基板，在其表面進行鍍膜、曝光、顯影及蝕刻等製程，且具有再迴流之特性。組立（Cell）製程則是對玻璃基板與彩色濾光片進行配向、組立與液晶灌注等步驟。模組 (Module)製程與電子產品的組裝類似，是將上一階段完成的 TFT-LCD 面板與驅動 IC(Driver IC)、印刷電路板(PCB)及背光模組(Backlight Module)等零件進行組裝，再經過最後的檢驗使其成為一個 TFT-LCD 成品。

彩色濾光片(Color Filter；CF)為組成 TFT-LCD 關鍵物料之一，並且在數量上和陣列之產品呈一比一的搭配關係。以 15 吋 TFT-LCD 面板為例，彩色濾光片之成本即在所有材料成本中佔第一，足見其重要性。

彩色濾光片廠依據銷售模式可以分為垂直整合內製廠(簡稱 CF 內製廠)與專業外製廠(簡稱 CF 專業廠)兩大類。兩者之差異在於，前者所生產之產品提供自家 TFT-LCD 廠商使用，不足再向 CF 專業廠購買，而後者之客戶為各家 TFT-LCD 大廠。近年來 TFT-LCD 的需求劇增，各 TFT-LCD 大廠紛紛為求長遠成本考量紛紛自行設置內製廠，但仍有部分比例之訂單仍須

仰賴外包，如圖 1-2 所示，此現象對於全數產品供應給各家 TFT-LCD 公司的 CF 專業廠而言，訂單種類因而大幅提升，若訂單過於密集時，往往無法允諾客戶準時出貨而流失訂單。專業廠在此嚴苛環境中，排程規劃更為困難，故本文選定 CF 專業廠為研究探討的對象。

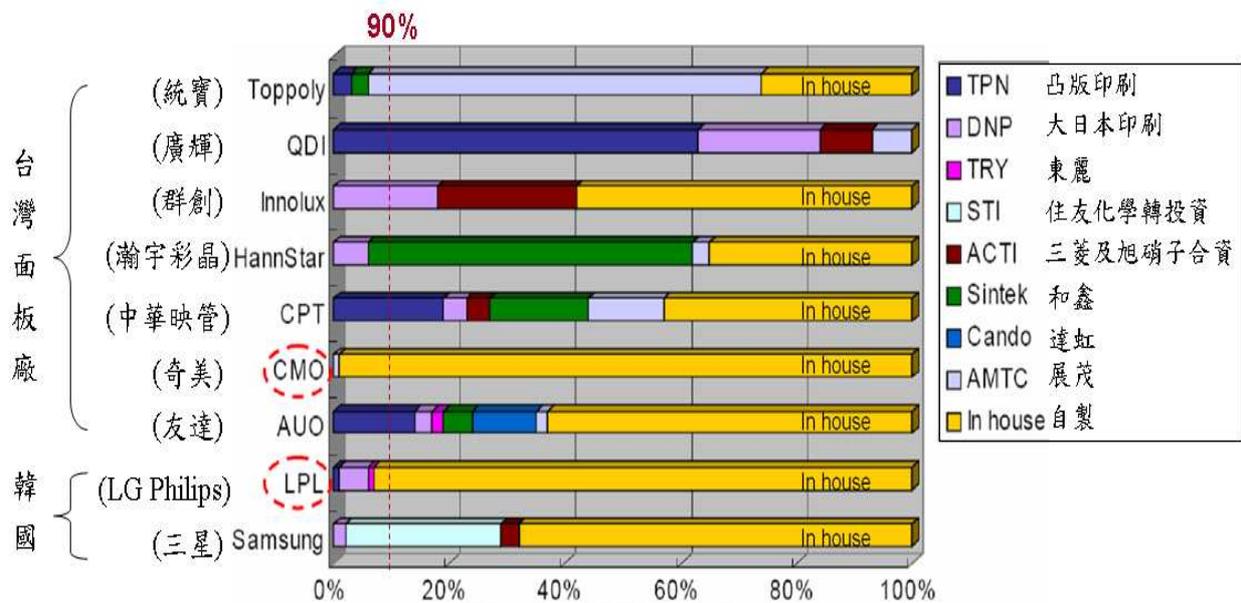


圖 1-2 面板廠之彩色濾光片內製、外包比例[21]

在產品訂單之特性上，小尺寸(對角線 10 吋以下)之消費性電子產品種類數繁雜且生命週期短，客戶(下游 Cell 廠)通常下訂單會要求分批分期出貨，如表 1-1 所示，客戶之下單並不會要求一次出貨，通常會分成數批的方式，故訂單交期更為發散，如此一來大大增加了 CF 廠在生產規劃上之難度，而中大型尺寸(10 吋以上)之產品，通常需求較為穩定且種類數少，故本文選擇小尺寸之 CF 專業廠來進行探討。

表 1-1 小尺寸 Cell 廠的訂單需求資訊[24]

TFT Company	Cell Fab	Size	Demand(K)	Due date	Quantity(K)
X	A3.5	620*750	45	5,15,25	20,10,15
			42	16,30	17,25
	B4.0	680*880	30	8,18	15,15
			40	1,16	25,15
	C4.5	730*920	28	10,25	9,19
			26	2,26	14,12

CF 廠主要須考量的問題是各種繁雜的換線，換線之整備時間高達數小時不等，過於頻繁的換線使得機台閒置，造成產能的浪費，故如何妥善規劃生產換線的時機是一個值得研究的議題。而 CF 廠在生產的過程中，換線的種類主要可以分為產品換線、光阻換線與玻璃尺寸換線三種，說明如下：

- (1) 產品(光罩)換線：由於產品間的差異主要反映在產品的光罩，在更換不同產品之生產時須進行曝光機台的光罩更換，並須通過首批產品的品質驗證後才能進行大量生產。
- (2) 光阻液特性差異：平面顯示器之產品種類繁多，有些產品所使用的光阻與其它種產品不同。而光阻轉換時，須進行曝光機台光阻管線的排空與清洗，換線後的首批產品亦需進行品質驗證。
- (3) 玻璃尺寸差異：專業 CF 廠在生產各種產品種類之過程中，常因玻璃尺寸之不同而須進行換線。因玻璃尺寸之不同而換線時，需將生產線的所有機台停機。換線後的首批產品亦需進行品質驗證。

如上所述，機台會因為產品、光阻及玻璃尺寸的差異進行換線，而換線時間會因為兩兩前後順序之不同而相異，此為順序相依(Sequence dependence)之特性。未經規劃的隨意換線容易造成產能的損失。在實務的環境中，為了減少換線時間，不同玻璃規格間的替代為常見之作法，即以大的玻璃尺寸來代替小的玻璃尺寸，事後方裁切成符合規格的小尺寸。但此法會造成額外玻璃成本之花費，為減少換線後以「增加產出」與裁切玻璃造成之「增加成本」間要如何取捨，則成為一個值得探討的議題。

綜合上述，本文欲針對一 CF 專業廠考量多規格換線之條件下，以混整數規劃求解模式 (Mixed Integer Linear Programming；MILP) 為主要解題工具，建構出一之主生產排程機制。

1.2、研究目的

基於前述的研究背景與動機，本文之主要目的是在有限的資源限制下(光罩、光阻、玻璃規格等)，建構一套考量順序相依換線時間及物料成本(玻

璃裁切成本、光阻液耗費)之主生產排程機制，以解決 CF 專業廠面對多樣少量之訂單如何達交之問題。為了達到上述之目的，本文分為以下兩個模組來進行求解：

一、 產能規劃模組

此模組採產能粗估之概念，不考量整備時間，將組立製程需求之產能及光罩與生產系統現有之機台產能及光罩作比較，以檢視系統之產能及光罩是否能夠滿足需求，若能滿足，則代表需求之合理性，方能進行下一模組之規劃。

二、 主生產排程模組

本模組以滿足訂單達交率為目標，考量玻璃替代之經濟效益來規劃生產之產品種類與數量及排程，本文設計三個模式來求解：

1. 「瓶頸工作站模式」：初始規劃訂單之排程時，未知各訂單是否能如期達交，為了使訂單達交率極大化，目標式採用「最小化延遲成本」，建構一瓶頸工作站模式來安排訂單排程及確認系統之產能滿載與否。
2. 「玻璃規格替代模式」：承接上一個模式，得知瓶頸工作站排定訂單排程後有延遲成本產生，則考量玻璃規格、玻璃成本等限制，在追求最小化延遲成本之目標下，減少玻璃換線時間來增加產出，以避免訂單延遲之發生，倘若仍然無法滿足訂單需求，只好修正組立製程需求。
3. 「最小化光阻換線模式」：若經過瓶頸工作站模式後，得知產能能夠滿足訂單且在期限內如期完工，此時目標式改為考量光阻液成本，採最小化光阻換線模式進行求解，以降低光阻液之消耗。

1.3、研究範圍與限制

本文考量了 CF 專業廠的多規格換線限制，以極小化各種生產成本為目標，針對規劃幅度內之需求建構出一線性規劃模式，發產出一套「主生產排程機制」以利後續細部之排程，故本文之研究範圍在主生產排程與細部排程規劃階段。

以利達到規劃目標，故本文之研究範圍如圖 1-3 所示：

為了有效完成本文之規劃目標與降低環境的複雜度，本文做了以下的限制：

- (1) 本文之研究對象為 CF 專業廠，具多規格換線之情境，適用於生產小尺寸(4.5 代廠以下)彩色濾光片廠。
- (2) 僅針對 CF 廠中瓶頸機台(R、G、B 三原色曝光製程)進行排程規劃
- (3) CF 專業廠之生產型態為訂單式生產 (Make to Order ; MTO)。
- (4) 組立製程之訂單需求、交期時間為已知。
- (5) 各產品之光罩個數為已知。
- (6) 機台數量為已知。
- (7) 各機台與光罩之搭配為已知。
- (8) 多規格的換線整備時間為已知。

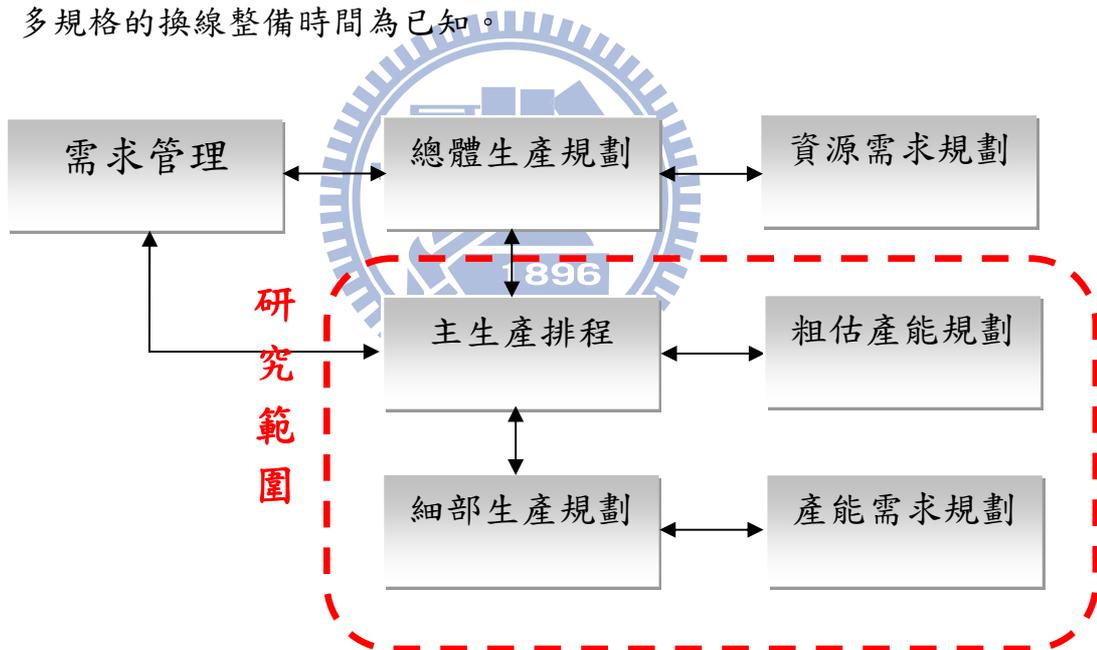


圖 1-3 研究範圍

1.4、研究方法與流程

為達上述目的，本文之研究方法採下列方式進行，其流程圖如圖 1-5 所示。

(1) 文獻探討

根據研究動機、背景及目的，搜尋相關之文獻並整理。

(2) 問題定義與分析

在此階段將欲研究之環境問題清楚的描述，讓問題更具有實務性。

(3) 模式建構

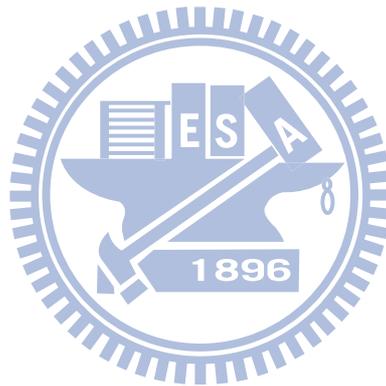
按照問題，建構出一具「玻璃替代機制」及「光阻節省」之主生產排程，以供管理人員作為決策依據。

(4) 實例驗證

藉由實例來驗證模式的求解效果，並加以推廣及應用。

(5) 結論與未來研究方向

最後，簡單扼要的說明本文研究之特色及結論，從頭至尾貫穿全文，並列舉本文未來研究可繼續發展之處。



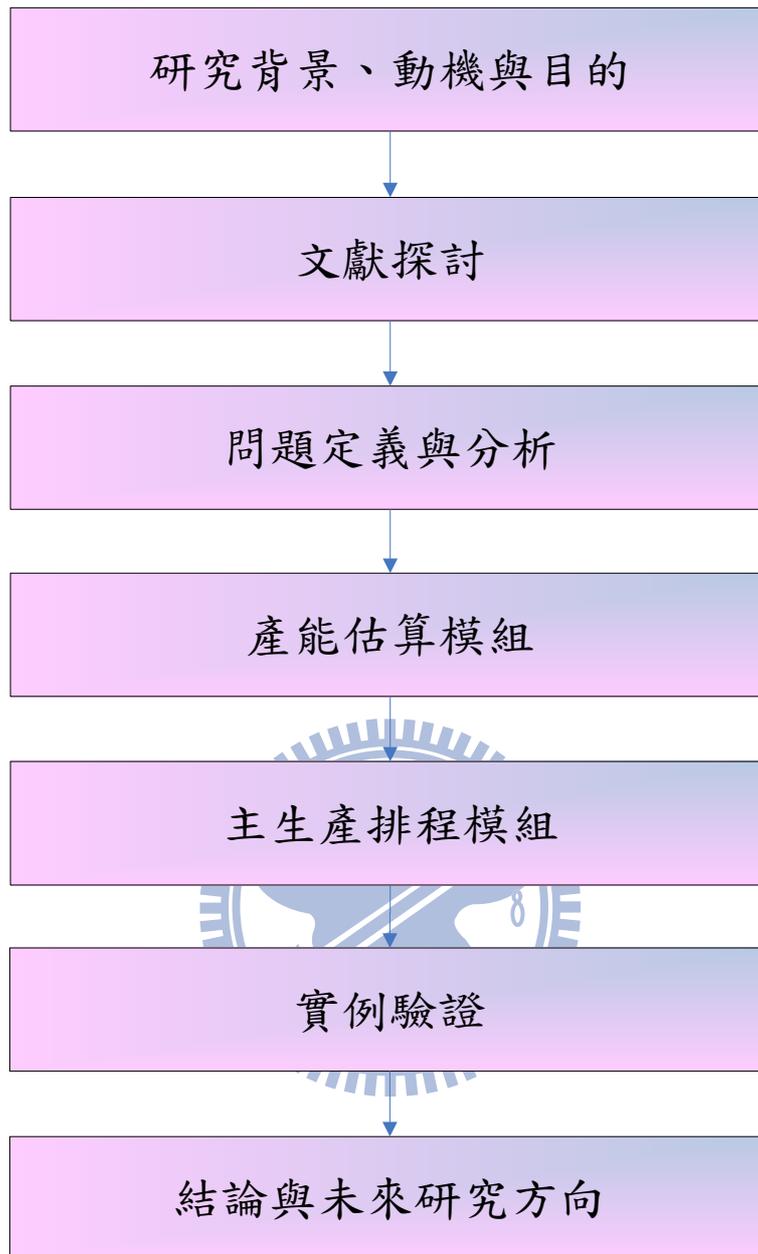


圖 1-4 研究步驟及流程

第二章、文獻探討

由於 TFT-LCD 產業為近幾年快速發展之產業，學術界對於彩色濾光片廠排程規劃之相關論文極少。故本節將針對彩色濾光片廠之製造流程、生產型態及多規格換線之排程相關文獻，按照以下順序一一介紹：

- (1)彩色濾光片製造流程介紹
- (2)流程式生產相關排程研究
- (3)考量附屬資源相關排程研究

2.1、彩色濾光片製造流程介紹

TFT-LCD 面板中顯示色彩之原理為透過驅動 IC 與液晶控制，由內部的背光模組提供光源，形成灰階顯示(只有黑、白兩色)，再利用彩色濾光片(Color Filter；CF)上的紅、綠、藍之彩色濾光層來提供色彩，藉由這三原色組合出所希望呈現的色彩種類。彩色濾光片之製程為流程式生產，主要由鉻(Cr)製程、黑色矩陣(BM)製程、三原色(RGB)製程、氧化銦錫電玻璃(ITO)製程、間隔物(Spacer)製程及最終檢查所構成。由圖 2-1 所示，以下對各個製程作說明[23][24][27]：

1. 鉻(Cr)製程：

投入玻璃基板，並以真空濺鍍的方式將鉻鍍在其上，成為鉻玻璃。

2. 黑色矩陣(BM)製程：

以前階段產生的鉻玻璃投入，利用光微影(photolithography)製程以得到保護膜，再經過蝕刻製程得到圖案，最後再將保護膜去除，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兩種，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(RGB)製程：

分別使用紅、綠、藍三種不同之著色染料，重複下列作業三次。塗佈

含著色染料的感光性樹脂，利用光罩將其曝光在紫外線下，接著再進行顯影及烘烤等動作，如此反覆進行三次，分別形成紅、綠、藍三色之長條形陣列。

4. 氧化銦錫電玻璃(ITO)製程：

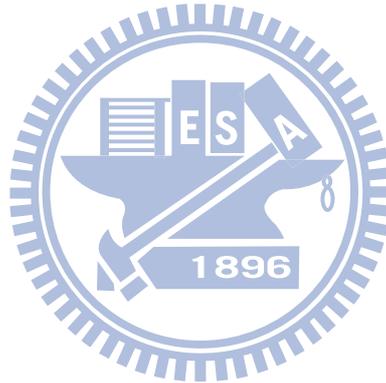
又稱成膜製程。利用電場真空濺鍍氧化銦錫到上個製程所形成之彩色層上，堆積成膜。

5. 間隔物(Spacer)製程：

在最上層再以光微影製程置上間隔物，來減少以後發生漏光或顏色不均的情形。

6. 最終檢查：

進行均勻、外觀及厚度等品質檢查流程。



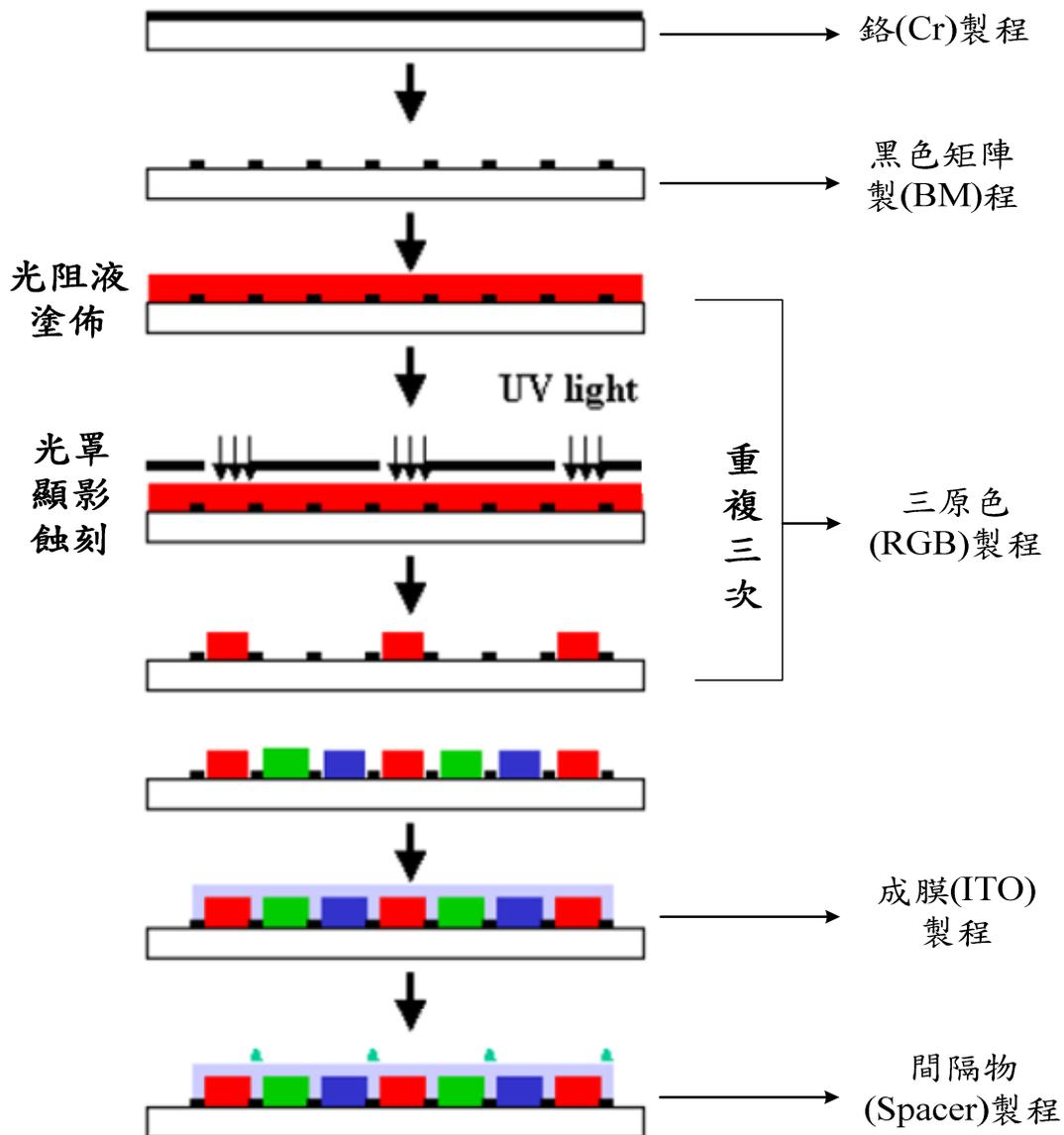


圖 2-1 彩色濾光片製造流程圖[26]

2.2、考量整備時間之流程式工廠排程研究

基於上述之介紹，可以得知彩色濾光片廠之生產線佈置型態為流程式生產(Flow shop)，且因其三原色 RGB 之製程特性，環境中存在著順序相依換線時間，因此本節將整理具有此生產環境與製程特性之相關研究。

流程式生產之問題最早是由 Johnson[8]所提出，主要針對一條生產線上僅有兩個機台之環境，規劃雙機排程問題，目標為最小完工時間，藉由發展出來的一套方法(Johnson's rule)，將環境中所有訂單求得最佳順序，使得所花費之完工時間最少。隨後有關流程式生產之排程研究皆從此衍生而

來。

在 Flow shop 生產環境中，考量之整備時間分為順序獨立 (Sequence-independent) 與順序相依 (Sequence-dependent) 兩種，若整備時間是屬於順序相依換線時間 (Sequence-dependent) 則無法使用 Johnson's rule 求得最佳解，故 Corwin 及 Yoshida[6][19] 等人，發展動態規劃 (Dynamic programming)、兩階段 (Two phase) 等解法來求得最佳解。

然而，總完工時間內必須包含在機台上已加工完成工件卸下來之拆卸時間 (Removal time)，方能更具實務性，亦即是否考量拆卸時間會影響求解方法之適用程度。Gupta[8] 對流程型環境中之雙機排程問題，不考量拆卸時間，並定義以工件為基礎 (job-based) 之完工時間，設計一套多項式最佳化解法 (A polynomial optimization algorithm) 來求解。而 Sule[15] 及 Sule & Huang[16] 亦對流程型環境之雙機排程問題，考量拆卸時間，稱之為以機台為基礎 (machine-based) 之完工時間。其針對前後機台是否考量拆卸時間來設計數套啟發式解法規劃排程，藉以找出較佳解，與其它現有之方法比較，證明其自創之解法是否較具優勢，結果如表 2-1 所示：

表 2-1 考量工件之拆卸時間雙機排程問題[2]

問題種類	是否具有 整備時間	拆卸時間		Permutation schedule	
		機台一	機台二	dominant	non-dominant
1	是			✓	
2	是				✓
3	否	<i>j</i> -based	<i>j</i> -based		✓
4	否	<i>j</i> -based	<i>m</i> -based		N/A
5	否	<i>m</i> -based	<i>m</i> -based	✓	
6	是	<i>j</i> -based	<i>m</i> -based		✓
7	是	<i>m</i> -based	<i>m</i> -based	✓	
8	是	<i>m</i> -based	<i>j</i> -based	✓	

在 Flow shop 環境中，考量順序相依換線時間之排程問題，又可分成

「批量整備」與「非批量整備」兩類。楊氏[29]對兩者之定義分別如下：「批量整備」意即把產品相同且生產過程相近的加工工件組成同一個生產的批量來進行加工，即以整批單位來進行加工，故也稱批量生產。若是依加工工件到廠的順序一個接著一個來加工，為非批量整備。針對非批量整備換線之情境，Corwin 及 Esogbue[6]假設整備成本與整備時間長短成比例之雙機排程問題。創造一套動態規劃法求解前機台具順序相依換線時間(或順序獨立)及後機台具順序獨立整備時間(或順序相依)，在總完工時間為最小之目標下，求得最佳解。Uskup 及 Smith[17]提出了一套分支界限法(Branch-and-bound)在與上述相同之環境中，並且在最小化延遲成本為目標下，可求得最佳解。

Gupta 及 Darrow[2]在 1985 年彙整 Corwin 及 Esogbue 在過去所有研究過之所有問題，並對其問題提出兩套啟發式解法(Heuristics)求解，並證明其求解速度較原始問題之解法更有效率。並隨後在 1986 年，證明了 Flow shop 之雙機排程問題中，前後機台中僅有一台機台有 Sequence-dependence 整備時間之特性時，說問題之難度即為 Strongly NP-Hard。其另外提出四個啟發式解法以求解環境中各種實務上的限制。

Gupta[2]針對 Flow shop 之多機排程問題，提出網路模式(TSP)來求解，並證明其問題之複雜度同為 Strongly NP-Hard。Strikar 及 Ghosh[2]於同年提出一 MILP(Mixed integer linear programming)求解方法求解相同問題，目標式為最小化完工時間。而 Stafford 及 Tseng[2]將 Strikar 及 Ghosh 提出之數學模式作修正，並另外提出三個模式，使其更具求解效率，解決環境中各種實務上的限制。

Rios-Mercado 及 Bard[8]針對 Flow shop 之多機排程問題，且環境具順序相依換線時間之條件下，目標為最小化完工時間($F_2|ST_{sd}|C_{max}$)，發展兩套 MIP 模式，各自以限制式表達實務上之不同環境限制。Gupta[2]針對上述相同問題，提出一套分支界限法解決具 20 種產品別之問題。隨後，Gupta[2]提出一套啟發式解法，並証實整備時間大於產品之加工時間時，其求解速率與品質皆有不錯之效果。Rios-Mercado 及 Bard[8]也提出一套啟發式解法，對整備時間遠小於加工時間之情境，可求得較佳之解。Sinons[13]提出之啟發式解法，則適用於訂單在機台上之整備時間與加工時間差不多

之情況。而 Parthasarathy 及 Rajendran[8]針對同個環境，提出模擬退火法(simulated annealing algorithm)求解最小化平均加權延遲及最小化最大加權延遲之目標，皆有不錯的成效。

Szearc & Gupta[14]針對流程式生產環境中，具有順序相依換線時間特性之雙機排程問題 $F_2|ST_{sd}|C_{max}$ ，以最小完工時間為目標，定義了一特殊情境(special case)。他們將整備時間分成兩個部份，一部分取決於目前正在機台上加工之工件，另一部分則取決於下個待加工之工作，但此模式僅通用在學術上以數學公式表達，不具實務性。

在過去的研究中，探討 Flow shop 環境中具批量整備換線特性之文獻極少，僅有 Vakharia 及 Schaller[2]曾針對 $F_2|ST_{sd,b}|C_{max}$ 問題，提出分支界限法及數個啟發式之求解方法。

針對有關於 Flow shop 排程文獻，整理於表 2-2 所示：

表 2-2 Flow shop 相關排程研究整理表

作者	問題類型	解題方法	批量換線與否	機台數
Corwin & Esogbue[6]	$F_2 ST_{sd} C_{max}$	動態規劃	No	2
Uskup & Smith[17]	$F_2 ST_{sd} L_{max}$	分支界限法	No	2
Gupta & Darrow[2]	$F_2 ST_{sd} C_{max}$	啟發式解法	No	2
Gupta [2]	$F_m ST_{sd} C_{max}$	TSP	No	m
Strilar & Ghosh[2]	$F_m ST_{sd} C_{max}$	MILP	No	m
Strafford & Tseng[2]	$F_m ST_{sd} C_{max}$	MILP	No	m
Rios-Mercado & Bard[8]	$F_m ST_{sd} C_{max}$	MIP	No	m
Gupta[2]	$F_m ST_{sd} C_{max}$	分支界限法	No	m
Simons[13]	$F_m ST_{sd} C_{max}$	啟發式解法	No	m
Rios-Mercado & Bard[8]	$F_m ST_{sd} C_{max}$	啟發式解法	No	m
Parthasarathy &	$F_m ST_{sd} C_{max}$	模擬退火法	No	m

Rajenfran				
Szwarc & Gupta[14]	$F_2 ST_{sd} C_{\max}$	MILP	No	2,m
Vakharia et al. & Schaller et al. [2]	$F_2 ST_{sd,b} C_{\max}$	分支界限法	Yes	m

由上述之整理，得知過去針對此環境之研究方法種類眾多，而本研究考量現實競爭激烈之環境，複雜之換線限制，為的達到生產系統之總成本最小化之目標，因此採用線性規劃法之混整數規劃(Mixed Integer Linear programming；MILP)為主要之解題工具。

2.3、考量附屬資源相關排程研究

在過去有關排程研究之相關議題，多數僅針對瓶頸資源做規劃，而忽略在瓶頸資源生產時，需搭配之附屬資源(如晶圓廠黃光製程之光罩、TFT-LCD 陣列製程之光罩等)，實務上，工廠內之機台必須搭配附屬資源才能進行加工，唯有同時考量附屬資源與機台的產能，方能符合現場的實際生產情況。

故本節首先介紹附屬資源排程問題之種類，接著提出國內、外學者對附屬資源運用在各種環境之研究，加以說明。

2.3.1、附屬資源限制排程問題的分類

Gargeya et al.[6]提及，所謂附屬資源乃生產活動控制系統(Production Activity Control, PAC)會使用到的設備或配件等裝置，而這些設備通常在生產需要整備、保養、機台之作業或組裝等活動下使用。除了在生產時間所會用到的相關設備，其它非線上生產作業(Off-line Operations)所用到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，將附屬資源排程問題分成下列四種類型[6]：

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

在工廠中，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)

為在零工型工廠中，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，接著將針對考量「附屬資源之排程問題」來進行更深入的探討。

2.3.2、附屬資源於各生產環境排程規劃之探討

Zhang et al.[21]認為在擁有附屬資源的彈性製造系統(Flexible Manufacturing System, FMS)製造環境裡，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，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：

◆ 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，易言之，即工件必須在機台間移動來完成加工作業。運用此策略時，最好在機器可容納的載具量之下，盡可能將工具指派到機器上。

◆ 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，而這樣的方法在革新工廠中附屬資源自動運送系統技術之後，變得具有可行性。

其後作者針對這兩種策略，設計了七種情境，在不同的附屬資源個數、工件個數與機台數的情況下，以 makespan、lead time、工單之 tardiness 及 tardy job 等績效指標來評比。實驗結果發現在工件數較少時（小於 200 個），附屬資源中心策略在績效指標的表現優於工件中心策略。然而在工單數愈多時，工件中心策略在績效指標的表現，相反的優於附屬資源中心策略。

Buyurgan et al.[3]同樣也針對 FMS 製造環境，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產品。

此外作者在進行驗證時，提出了 Highest life (HL) 此項理念與本篇論文之 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。作者並提出了之後的研究方向可多考慮附屬資源在機台間的搬運時間來使本問題更趨近於實務。

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.[1]針對在短期規劃中 CNC 機台刀具管理的課題，考量了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（不只一個）及刀具具有生命週期等限制下，提出以最小化製造產品的總成本為目標績效，來安排刀具擺放的最佳位置及工件加工的最佳順序。作者發展了兩階段式求解方法來解決以上問題。由於加工某些產品別使用的刀具為相同的，因此在求解過程中，本篇文獻利用了此項性質使配置出的結果能得到總成本最低的成效。

在驗證此兩階段式方法之成效時，作者設計了 12 種情境與其他學者

發展之演算法進行比較，結果不管是在總生產成本或是工件在系統中的流程時間等績效上，本文提出的方法均優於其餘演算法。

同樣針對彈性製造系統，Akturk[1]考量機台加工產品時需要有刀具與機台搭配的限制（非所有刀具皆可擺在某一部機台上）及機台只能放置一定數量刀具等限制。作者首先發展一個混整數規劃模式（Mixed Integer Programming, IP），以最小化加工總成本為目標進行求解。由於面臨大型問題時，無法利用數學模式直接求出最佳解，因此本文先以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。

由於實驗結果可得知，作者提出之方法在面臨大型問題時，只需極短的時間（10 秒鐘內）即可求解出一個可行解值，且可行解的品質與最佳解的差異僅在 2% 之內，在求解效率或是求解品質上皆表現得相當優異。

Kayaligil *et al*[6]考量在彈性製造系統中，產品需求為多樣少量的情形，針對 CNC 機器在加工產品時，需將機台上的棧板（pallets）進行裝載及卸載的行為進行研究。作者利用 cyclic scheduling 理念，考慮機台上 pallets 的個數等限制，以 makespan 最小化當作目標績效，使用混整數規劃模式進行求解，以得到最佳的裝載及卸載 pallets 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、每個工件在機台的加工時間相同等限制。作者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[30]考量薄膜電晶體陣列廠中產品具有再回流的特性，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，利用混整數規劃模式優先處理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；第二個階段則是同樣以延誤的產品數量最少的情況下，採用 DBR 排程方法為基礎的瓶頸作業排程，以求得適宜的投料計畫。

Chen & Hsia[3]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。此文獻的貢獻在於考慮了多項資源同時使用下的最佳化排程，然而在實例驗證時僅以小型問題驗證其模式的合理性。

Wang & Hou[6]以半導體最終測試為例，研究在預算限制與附屬資源限制下，測試機台產能擴充與配置問題。作者在已知需求、預算與針測機台 (Prober) 的數量限制下，發展整數規劃模式並以最大利潤為目標，求算出測試機台的最佳配置量。此外為簡化計算過程地複雜度，作者另外發展基因演算法以有效率的求解問題。然而作者對於其規劃之環境，假設在規劃幅度下的訂單需求為固定，不會有所更動或新增。

Chen *et al.*[3]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，並最小化設置時間以充分利用產能。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.*[19]提出過去在 IC 測試的環境進行產能規劃時，通常單就瓶頸資源進行規劃，而將其他成本甚高的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，並另行建構 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佳

準確。表 2-3 為針對附屬資源限制排程問題的相關文獻所做的整理與比較。

表 2-3 考量附屬資源限制之排程文獻[本文整理]

文獻	系統環境	使用之求解方法	工件搭配之副資源個數	目標式
Zhang et al.[6]	FMS	part-centric strategy 與 tool-centric strategy	單一	最小化完工時間、前置時間、延後時間、延後個數
Buyurgan et al.[3]	FMS	tool life / tool size 之比值	多個	最大化機台利用率
Avci et al.[1]	FMS	兩階段式求解方法	多個	最小化總生產成本
Akturk[1]	FMS	MIP 模式與啟發式解法	多個	最小化加工總成本
Kayaligil et al.[6]	FMS	MIP 模式	多個	最小化完工時間
Chen & Hsia[3]	FMS	整數規劃與 Lagrangian Relaxation Approach	單一	最小化延後個數、提早完工個數
Wang & Hou[6]	FMS	整數規劃模式與基因演算法	單一	最大化利潤
Chen et al.[3]	FMS	整數規劃模式與 Lagrangian Relaxation Approach	單一	最小化延後個數、整備時間、提早完工個數、
Zhang et al.[19]	FMS	MIP 模式、High Buffer Formulation 與 Tight Workload Formulation	單一	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[30]	FMS	兩階段排程法	單一	最小化產品延誤數量、 整備時間
--------	-----	--------	----	--------------------

以往，大多數的研究往往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，即使有相關考慮附屬資源之研究，多以產能規劃之觀點提出附屬資源的配置量，針對實際的排程問題卻較少著墨。然而，就實務而言，這些關鍵資源成本高昂，且製作的前置時間長，難以在需求產生時即時增加，因此進行生產排程時必須將關鍵附屬資源納入限制，排程規劃才具實務性。

李氏[21]曾以混整數規劃與啟發式解法，在考量多規格順序相依換線時間之條件下，以最小化生產成本為目標，解決彩色濾光片內製廠分別在淡旺季時，如何分配自身產能及外包數量種類問題。而本研究考量專業廠面對旺季產能滿載情況下，實務上常用之玻璃替代方法，設計一「玻璃規格替代模式」，以犧牲不同玻璃規格間之換線時間來生產產品，以減少訂單延遲數量之產生。反之，一般產能有剩餘情況下，另設計一「最小化光阻換線模式」以節省光阻液之耗費。



第三章、模式建構

3.1、問題描述

本文探討之生產環境為彩色濾光片專業廠(簡稱 CF 專業廠)，其生產型態為流程式生產，本文假設在產能、可加工之產品製程規格等條件皆為已知的情況下，進行排程規劃。一般而言，專業廠在旺季時，因產能趨近滿載，訂單之交期較為集中而導致無法全數順利達交，此刻可採用「玻璃規格替代」方式，來減少換線次數以增加產出，倘若仍不足以滿足訂單需求，只好與客戶溝通，修正訂單交期；而在淡季時，機台利用率極低的情況下，為了有效降低生產成本，則以降低光阻物料之耗費為目標。故本文所探討之環境中，除了自身產能限制、光罩配置及順序相依換線時間之問題以外，還考量了玻璃替代與光阻材料成本，使其更符合實務性。

在生產彩色濾光片的過程中，玻璃基板、彩色光阻兩者即分別佔材料成本結構約 40%、27% 左右[27]，如圖 3-1 所示，此兩項材料皆為進行生產時不可或缺之原物料，且其生產技術相當高，須向專門製造的廠商採購。CF 之製造廠商分成 CF 專業廠及附屬於 TFT-LCD 大廠之 CF 內製廠；通常 CF 內製廠訂單種類較少，數量較多且穩定，議價能力也較強。而專業廠因處於產品種類多且數量少，議價能力弱之情境，因此降低原物料成本變成極為重要之工作，為降低生產成本，需著眼於減少物料之浪費。因此本文站在 CF 專業廠的角度，開發一套主生產排程機制，在滿足訂單交期之前提下，考量多規格換線、玻璃規格替代及光阻液成本，決定最佳排程，以提升 CF 專業廠之競爭力。

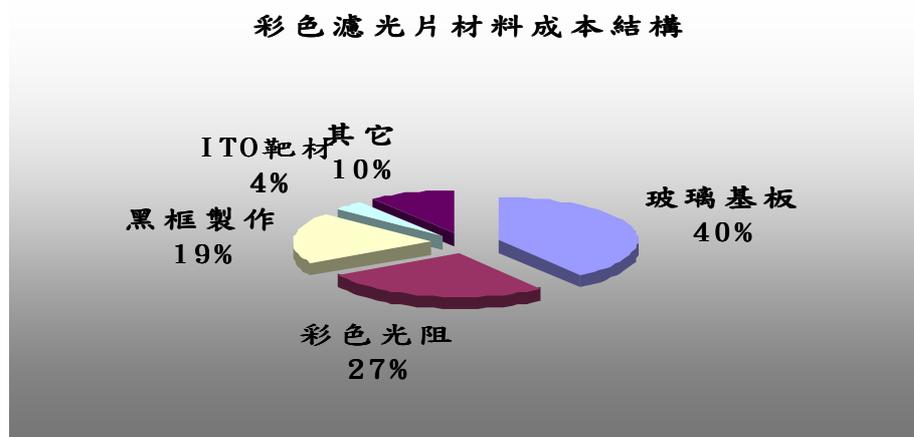


圖 3- 1 彩色濾光片材料成本結構[22]

綜合上述，為簡化 CF 專業廠主生產排程之複雜度，本文對生產系統做下列假設與限制：

- (1) 僅針對 CF 廠中瓶頸機台(R、G、B 三原色曝光製程)進行排程規劃，且機台數量為已知。
- (2) CF 專業廠之生產型態為訂單式生產 (Make to Order ; MTO)，不考慮存貨政策。
- (3) 組立製程之訂單需求、交期時間及延期成本為已知。
- (4) 訂單需求無到臨備料時間之考量。
- (5) 已知光罩別種類及數量。
- (6) 已知多規格換線時間。
- (7) 產品良率為 100%，不考慮報廢或重工問題。
- (8) 已知各機台之維修保養比例、當機比例與產品加工時間。
- (9) 製程中之所有機台一次只能處理一種產品。
- (10) 不考慮裁切不同尺寸玻璃所須之作業時間。

為說明「玻璃規格替代方式」，以圖 3-2 為例，圖中分別有產品 A、B、C，且玻璃尺寸依序為 730*920mm、680*880mm、620*750mm 需依序生產，所需之生產數量各為 5K。一般而言，若產品依序由 A 至 C 生產，則必須經過 A 至 B 及 B 至 C 兩次換線。倘若使用玻璃規格替代方案，則產品 B、C 可先生產產品 A 之玻璃尺寸，之後再使用裁切之方式取得原玻璃尺寸大小，藉此可節省兩次停機換線時間，用來生產更多產品，這種使用相同玻璃尺寸大小，來減少換線時間之方式便稱為「玻璃規格替代」。實務上，專業廠在旺季產能滿載時，便會玻璃規格替代，以節省換線時間之方式來增加產出。

然而，「玻璃規格替代」是在旺季為滿足訂單交期之前提下，不得以採用之方法，故在滿足訂單交期之前提下應將目標轉為減少光阻液之使用成本。

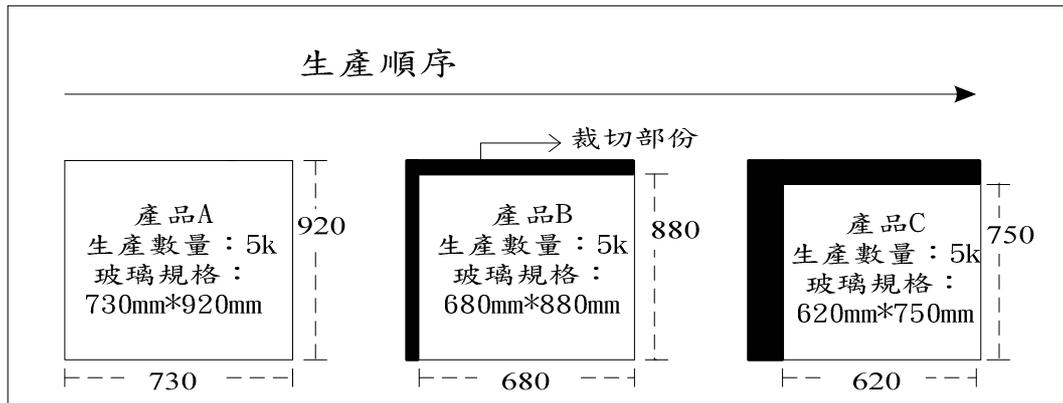


圖 3-2 玻璃規格替代示意圖

3.2、主生產排程機制之架構

本文針對訂單式生產之 CF 專業廠，考量其多規格換線之條件、玻璃規格替代之限制、光阻液成本等，建立一套主生產排程機制進行求解。本節將介紹本機制之整體邏輯與架構，如圖 3-3 所示，主要分成兩個部份，「產能估算模組」及「主生產排程模組」，說明如下：

一、產能估算模組

首先，此模組依據組立製程之訂單需求種類與數量，在不考量換線時間之限制下執行「產能估算模組」，比較規劃幅度內瓶頸工作站(RGB 三原色製程)之產能與訂單需求換算求得之產能，檢視是否超出負荷。若未超過則進行下個步驟，反之則回報客戶來修正需求。若未超過則進行下個步驟，反之則回報客戶，以修正訂單需求。接著考量生產系統之附屬資源—光罩，其數量是否足夠，每個產品在生產過程中必須搭配不同之光罩別方能進行生產，故機台產能生產之產品別亦受限於光罩之數量。因此，吾人在考量各產品別需搭配不同光罩別之限制下，不考慮安裝光罩之整備時間，以衡量滿足各產品別數量所需之光罩數，並將之與現有光罩數量相比較，若現有光罩數量足夠，方能達到產出目標，否則即應調整訂單需求。

二、主生產排程規劃模組

經產能估算模組確認產能足夠後，本階段考量光罩及機台產能之限制，規劃排程，以滿足訂單需求。為降低訂單延遲數量，並使總延遲成本最小化，吾人以「最小化延遲成本」為目標，考量多規格換線整備時間與延遲成本等限制，建構出一產能推估模式，經模式求解後，檢視所有訂單

於交期內是否皆能如期達交；若能如期達交，則表示系統可能仍有空餘產能，此刻隨即進入「最小化光阻換線模式」，該模式在訂單皆能如期達交之前提下，以最小化光阻換線成本為目標，減少光阻液之消耗，使系統之生產成本能夠達到最低。反之，則採用「玻璃規格替代模式」，所減少之換線時間來增加產品產出，若經模式求解後，仍然不能滿足交期，只好與客戶協商，修正組立製程需求。

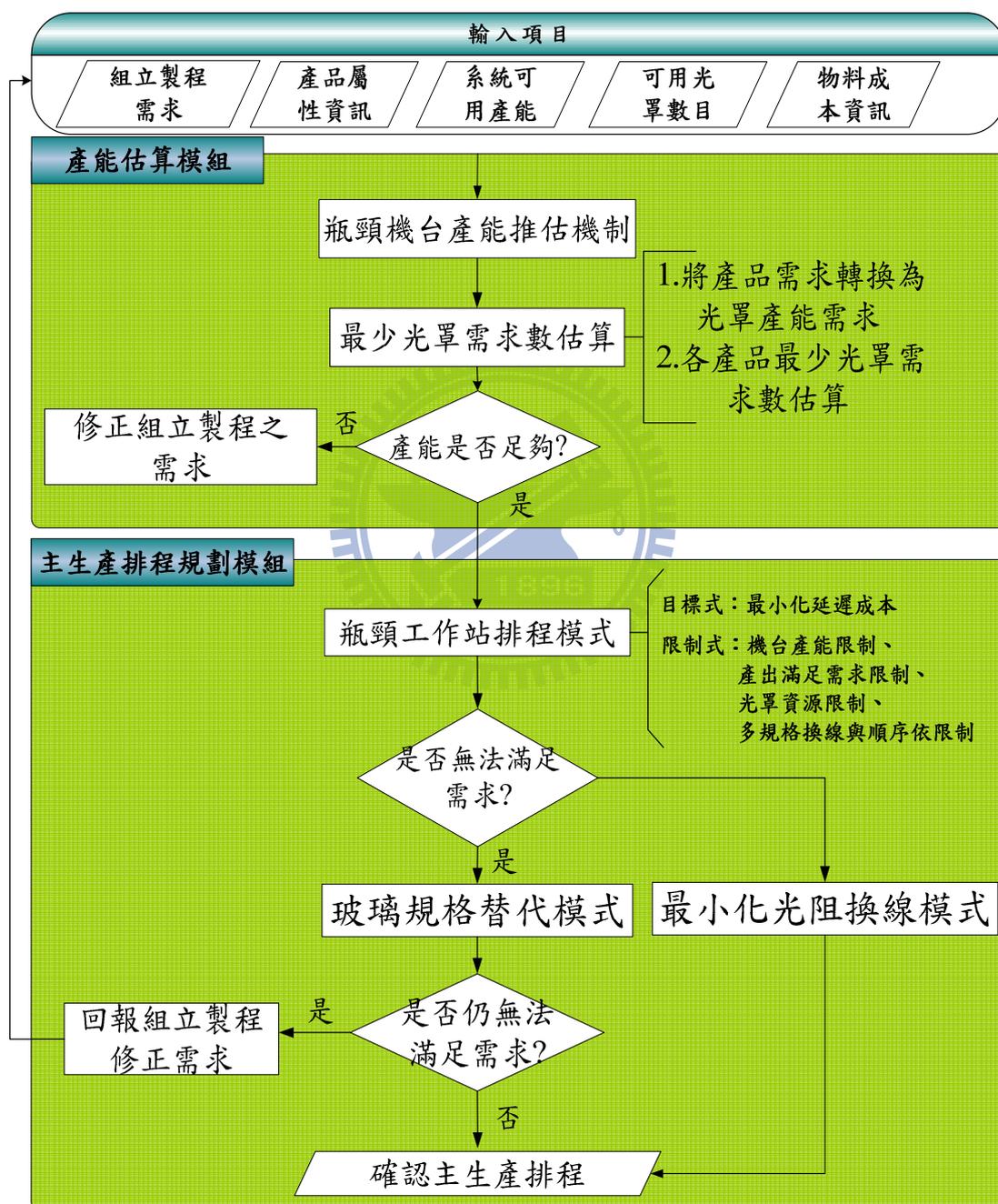
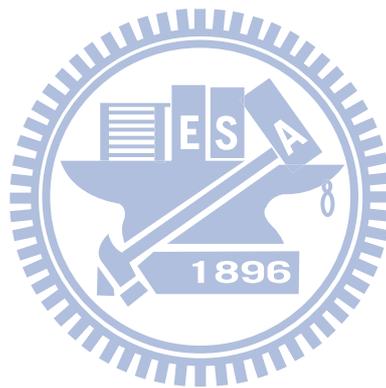


圖 3-3 專業廠整體架構流程圖

3.3、產能估算模組

由於 CF 專業廠之生產環境中，生產型態為流程式生產，決定投料順序即為決定產品之產出順序，根據限制理論之原則，瓶頸工作站之有效產出即可代表生產系統之有效產出，故本文在此僅針對瓶頸工作站(RGB 三原色製程)之產能作投料規劃。此外，瓶頸工作站之產能受限於附屬資源—光罩，故除規劃瓶頸工作站之產能外，還必須估算光罩數量是否能負荷訂單需求，方符合實務性。

本文將分成三個階段來說明產能估算模組架構圖，如圖 3-4 所示。即「3.3.1、規劃範圍制定與求解概念說明」、「3.3.2、瓶頸機台產能推估機制」及「3.3.3、最少光罩需求數估算」，以下將分別對此三階段說明：



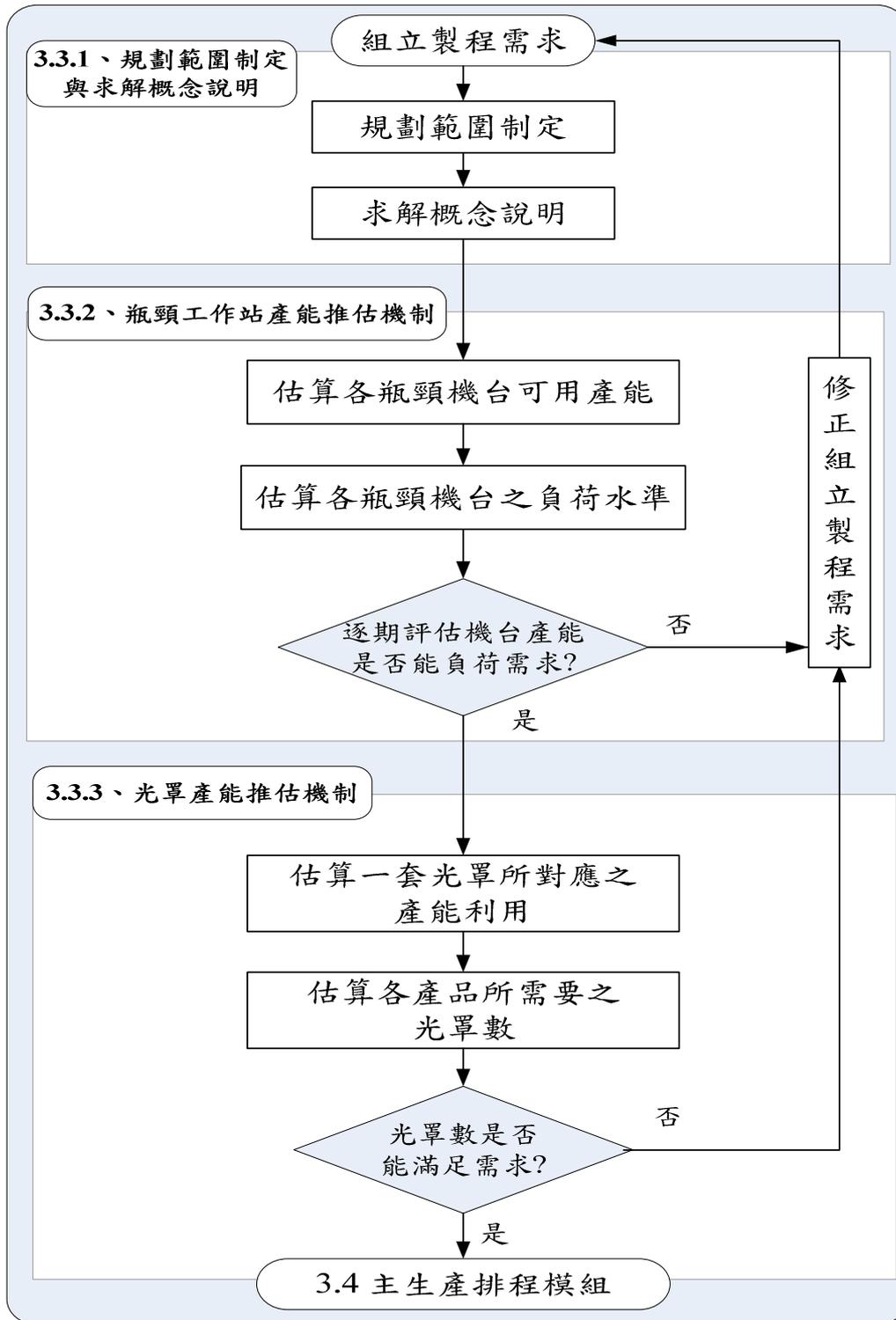


圖 3-4 產能估算模組架構圖

3.3.1、規劃範圍制定與求解概念說明

由於 CF 專業廠與自製廠相比，其訂單種類較多且訂購量較少，在排程規劃上相當複雜，本文採楊氏[30]所提之「變動規劃週期」與「滾動式

「排程」概念，將規劃幅度內之訂單按照交期分成若干個規劃週期，對每一規劃週期內之訂單規劃排程，以利簡化數學模式規劃求解之複雜度。由於專業廠之間競爭相當激烈，如無法順利達交隨即流失客戶訂單，故以滿足顧客交期為目標，使延遲數量降至最低。變動式規劃週期是以各訂單之交期來劃分規劃週期，優點是較傳統之固定式規畫週期容易處理訂單達交之問題。滾動式排程的主要概念是將規劃幅度內之各規劃週期由前往後，逐期求解，然而各規劃週期之產能與需求皆可與下一規劃週期之產能與需求合併考量來安排後續之排程。以下說明規劃範圍制定之方法。

Step1：規劃範圍制定

此部份之目的是利用變動式規劃週期之概念，彙整規劃幅度內之所有訂單，按照交期之緊迫度由近至遠排序，並予以規劃週期 s 之序號，以利後續之排程規劃。以表3-1及3-2為例，匯整各訂單對應之交期，按照交期排序後，由前往後依序予以規劃週期編號(s)，再將各訂單依所屬交期(D_s)歸類至各規劃週期(s)，以方便後續求解工作。

表 3-1 規劃週期分類說明表 (分類前)

訂單編號(O)	到期日(D_s)	產品別		
		A	B	C
1	5	20K	10K	0
2	2	0	10K	20K
3	3	30K	0	10K

表 3-2 規劃週期分類說明表 (分類後)

規劃週期(s)	訂單編號(O)	到期日(D_s)	產品別		
			A	B	C
1	2	2	0	10K	20K
2	3	3	30K	0	10K
3	1	5	20K	10K	0

Step2 求解概念說明

本文採變動規劃週期之概念逐期規劃。在上一步驟完成規劃週期分類之後，即可以數學模式執行求解之工作。若其一規劃週期有剩餘產能，即可留至下個規劃週期提早使用。以圖 3-5 來說明，假設目前有四張訂單，按照到期日分為三個規劃週期，第一個規劃週期內有訂單 B，數量為 150($d_{1,1}=150$)，所對應之交期為第二天，第二階段規劃週期內有 A、B 兩張訂單，數量分別為 250 及 200($d_{1,2}=250$ 、 $d_{2,2}=200$)，第三個規劃週期內有訂單 A，數量為 150($d_{1,3}=150$)，而各規劃週期之長度則為交期之間的差值，限制式可由式 3-1 至式 3-6 所表示：(符號說明： $X_{i,m,s}$ 表第 s 個規劃週期，產品 i 在機台 m 上之生產數量。 $B_{i,s}$ 表第 s 個規劃週期，產品 i 之延遲數量。 $d_{i,s}$ 表第 s 個規劃週期產品 i 之需求數量。

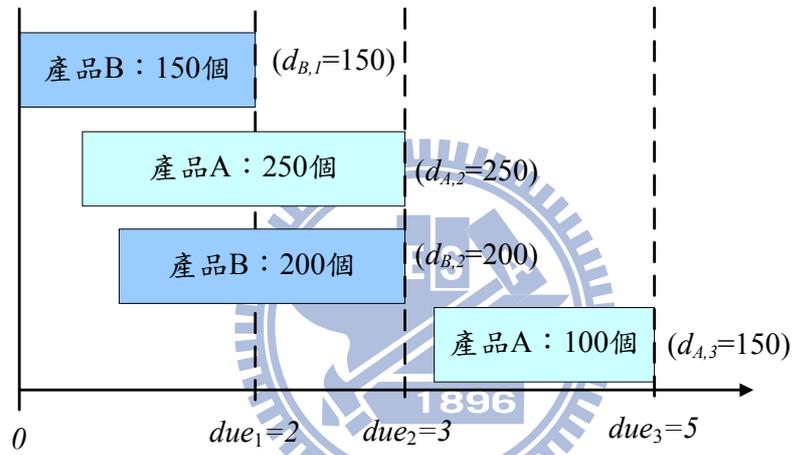


圖 3-5 變動規劃週期概念說明[30]

產品種類 A：

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

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

$$\sum_{m=1}^M X_{A,m,1} + B_{A,1} + \sum_{m=1}^M X_{A,m,2} + B_{A,2} + \sum_{m=1}^M X_{A,m,3} + B_{A,3} \geq d_{1,1} + d_{1,2} + d_{1,3} = 0 + 250 + 100 \quad \text{式 3-3}$$

產品種類 B：

$$\sum_{m=1}^M X_{B,m,1} + B_{B,1} \geq d_{B,1} = 150 \quad \text{式 3-4}$$

$$\sum_{m=1}^M X_{B,m,1} + B_{B,1} + \sum_{m=1}^M X_{B,m,2} + B_{B,2} \geq d_{B,1} + d_{B,2} = 150 + 200 \quad \text{式 3-5}$$

$$\sum_{m=1}^M X_{B,m,1} + B_{B,1} + \sum_{m=1}^M X_{B,m,2} + B_{B,2} + \sum_{m=1}^M X_{B,m,3} + B_{B,3} \geq d_{B,1} + d_{B,2} + d_{B,3} = 150 + 200 + 0 \quad \text{式 3-6}$$

式 3-1 至 3-3 表示產品 A 之求解過程。說明如下：主要概念為各期之「可用產能」需大於「需求產能」，故產品 A 之產量($X_{A,m,s}$)必須滿足其訂單需求($d_{A,s}$)。式 3-1 表第一個規劃週期內，產品 A 必須滿足其需求，由於第一期需求為 0，故式 3-2 表累加至第二期之「可用產能」($\sum_{m=1}^M X_{A,m,1} + B_{A,1} + \sum_{m=1}^M X_{A,m,2} + B_{A,2}$)需大於累加至第二期之「需求產能」($d_{A,1} + d_{A,2}$)，如此一來，第一期所閒置之產能即可供第二期使用。式 3-3 即表累加至第三期之「可用產能」須滿足「需求產能」。同理，式 3-4 至 3-6 表示產品 B 隨規劃週期逐期累加之限制式。

3.3.2、瓶頸機台產能推估機制

此機制主要目的是在不考量整備時間的情況下，考量組立製程投料、產品屬性、系統可用產能等資訊，初步估算規劃幅度內瓶頸工作站之產能，是否能夠負荷訂單需求。在此使用之產能以秒作為單位。

瓶頸工作站產能推估機制符號說明：

➤ 符號下標

- i : 產品別編號， $i=0,1,2,\dots,I$ 。 $i=0$ 表於規劃週期開始之時，機台上並無任何產品裝載於上。
- m : 屬瓶頸工作站 RGB 之機台別， $m=1, 2, \dots, M$ 。
- r : 產品之可用光罩種類， $r=1,2,\dots,R$ 。
- s : 變動規劃週期之期數， $s=0, 1, 2, \dots, S$ 。

➤ 參數

- $cap_{m,s}$: 機台 m 在第 s 個規劃週期內之可用產能(扣除當機、維護、實

驗比例之後)(秒)。

- $d_{i,s}$: 第 s 個規劃週期產品別 i 之目標需求量(片)。
- dt_m : 機台 m 之當機比例。
- eg_m : 機台 m 之實驗批所耗用產能之比例(equipment group)。
- 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別 i 數量總合。
- h : 規劃週期之長度(天)。
- $mtbf_m$: 機台 m 之平均失效間隔時間(mean time between failure) (hr.小時)。
- $mttr_m$: 機台 m 之平均修復時間(mean time to repair) (hr.)。
- $mtpm_m$: 機台 m 之平均維修間隔時間(mean time between PM) (hr.)。
- $mbpm_m$: 機台 m 之平均維修時間(mean time to PM) (hr.)。
- n_i : 產品別 i 所用之光罩別。
- pm_m : 機台 m 之保養比例。
- pt_i : 產品別 i 在任一機台加工的單位加工時間(秒)。
- $rcap_r$: 在「瓶頸工作站產能推估機制」求解後，屬光罩 r 之總產能需求。
- $reticle_r$: 各光罩別 r 所需之最少個數。

➤ 決策變數

- B_i : 規劃幅度內，產品別 i 之延遲數量(片)。
- $X_{i,m,s}$: 規劃幅度內，規劃週期 s 產品別 i 在機台 m 上的加工數量(片)。

以下將分成三個步驟作介紹：

Step1：估算各瓶頸機台可用產能

$$dt_m = \frac{mttr_m}{mtbf_m + mttr_m} \quad \forall m \quad \text{式 3-7}$$

$$pm_m = \frac{mtpm_m}{mbpm_m + mtpm_m} \quad \forall m \quad \text{式 3-8}$$

$$cap_{m,s} = (1 - dt_m - pm_m - eg_m) \times h \times 24 \times 60 \times 60 \text{ (秒)} \quad \forall m \quad \text{式 3-9}$$

式 3-7 表機台當機比例。式 3-8 表維修比例。式 3-9 表示規劃週期 s 內機台 m 之可用產能($cap_{m,s}$)為扣除當機比例(dt_m)、維修比例(pm_m)及實驗批

比例(eg_m)後之剩餘產能。

Step2：產能粗估模式說明

目標函數：

$$Min \sum_{i=1}^I B_i \quad \text{式 3-10}$$

產出滿足需求限制式：

$$\sum_{m=1}^M X_{i,m} + B_i = d_i \quad \forall s,i \quad \text{式 3-11}$$

瓶頸機台產能限制式：

$$\sum_{i=1}^I X_{i,m,s} \times pt_i \leq cap_{m,s} \quad \forall s,m \quad \text{式 3-12}$$

$X_{i,m,s}, B_i \in \text{integer}$

式3-10表規劃幅度內，目標式為最小化訂單延遲數量。式3-11表各產品別*i*之生產量以及延遲生產數量總和須滿足需求量。式3-12表各產品加工時間之總和不能超過系統內各機台所提供產能之總和。

若目標式中發生延遲產品數量，表示現階段之產能無法負荷產品之需求數量，此時須立即修正組立需求，反之則到下一階段，推估需求生產所需之光罩產能。

Step3:光罩產能推估機制

此機制之將各產品別需求產能轉換算成最少光罩數，並與系統原有的光罩數比較，確認是否有足夠之光罩讓系統能夠進行生產。若光罩數不夠則修正需求。推估方法如下：

$$est_i = \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S X_{i,m,s} \quad (\text{片}) \quad \forall i \quad \text{式 3-13}$$

$$rcap_r = \sum_{n_i \in r} est_i \times pt_i \quad (\text{秒}) \quad \forall i \quad \text{式 3-14}$$

$$reticle_r = \max_{m=1, \dots, M} \left[\frac{rcap_r}{\sum_{s=1}^s cap_{m,s}} \right] \quad (\text{個}) \quad \forall i \quad \text{式 3-15}$$

式 3- 13 計算各產品別 i 期之總加工數量。式 3- 14 則計算隸屬光罩種類別 r 生產產品別 i 之總需求產能。式 3-15 則利用隸屬各光罩別 r 之總需求產能，與各機台 m 之可用產能，再取其最大值，求出各光罩所需之最少數量。

在產能估算模組中，針對上層給定之訂單需求，若系統粗估之產能及光罩數都足夠，則將此訂單需求資訊連同瓶頸工作站的可用產能、各訂單需求及交期，以及生產系統可用之光罩數量匯入「主生產排程規劃模組」，考量更多實務環境之限制，針對各訂單需求確認產能及光罩數皆足夠後，安排最適當的排程。

3.4、主生產排程模組

經產能估算模組初步之規劃結果，已初步確認系統有足夠之產能與光罩數量能夠滿足生產訂單需求，本階段接著進一步考量「多規格換線時間」、「物料成本」等資訊，決定排定投入產品加工之先後順序。

如圖 3-6 所示，此模組主要包含三個數學模式來進行求解：第一個模式為瓶頸工作站排程模式，將目標式設為「最小化延遲成本」，來檢視系統產能，能否滿足每張訂單，使其皆能如期達交。若能，則轉換為「最小化光阻換線模式」，進而降低其光阻液換線次數，以節省生產成本。反之，則採用「玻璃規格替代模式」利用減少玻璃換線時間之方式來增加產出，進而可能滿足訂單需求，若仍無法滿足，只好回報客戶，修正訂單需求，以完成此階段之主生產排程。

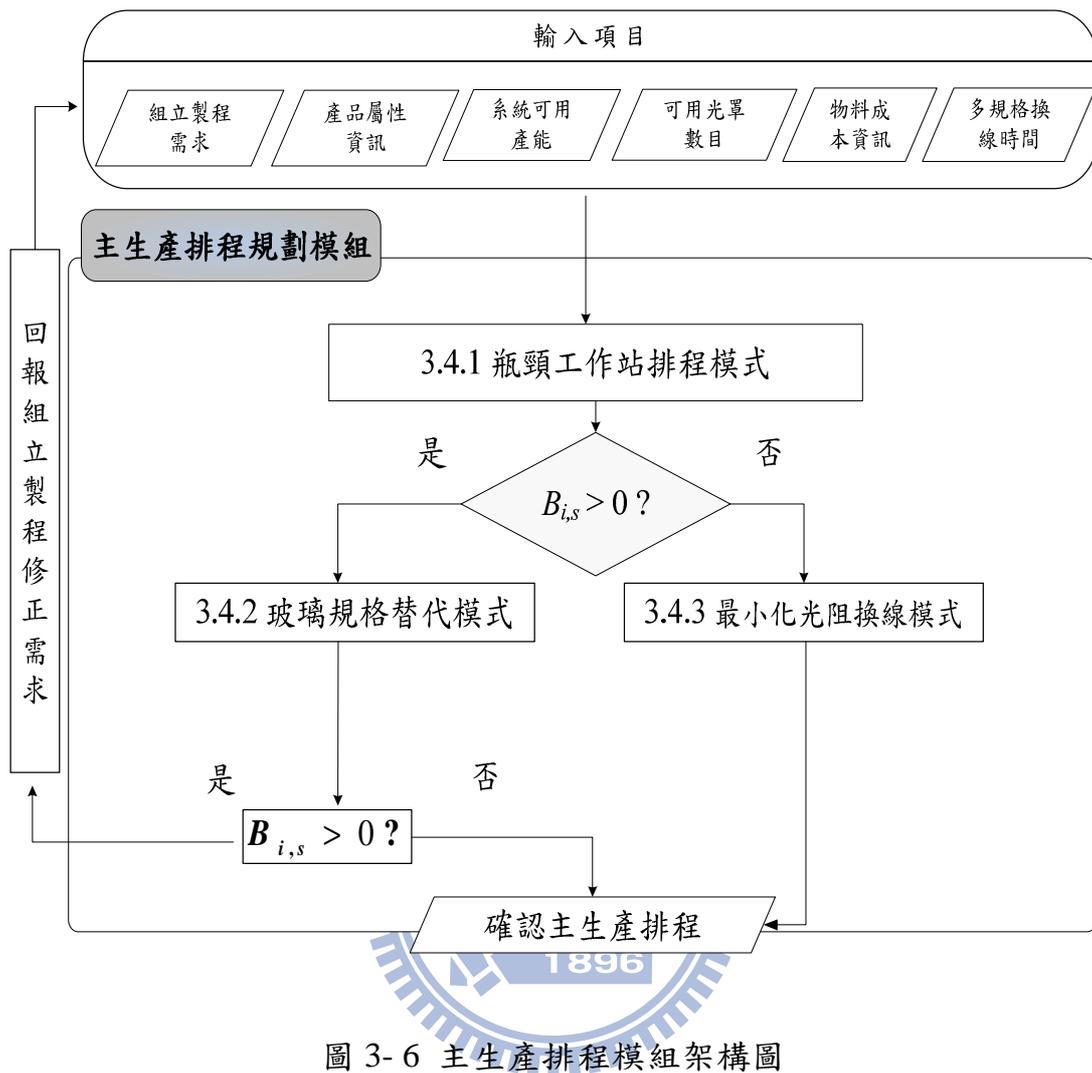


圖 3-6 主生產排程模組架構圖

3.4.1、瓶頸工作站排程模式

以瓶頸工作站排程模式來求解規劃範圍內之所有訂單排程。

本模式之目標式為「最小化延遲成本」，限制式中考量光罩與機台對應關係及各種換線時間。因換線時間為順序相依之關係，故兩兩產品別之換線時間會因前後之順序而不同，本文將換線類型分為三種，包括光罩、玻璃規格及光阻換線。本文會先整理由產品 i 換線至 i' 需要進行哪些類型之換線，進而從對應表中找出對應之各項換線時間並累加起來。例如，若表3-3中之產品別1換線為產品別3，以符號表示 $(i, r, f, g) = (1, a, I, lg) \rightarrow (3, b, I, lg)$ ，由於僅有光罩別 (b) 之換線，故可從表3-4中查到，換線時間 $(st_{i,i'})$ 僅需花費由光罩 a 換至 b 光罩之50分鐘；同理，若產品別3換線為產品別8表 $(i, r, f, g) = (3, b, I, lg) \rightarrow (8, b, II, sm)$ ，則產品別因光阻液 (I) 換至光阻液 (II) 、玻璃

規格(*lg*)換至玻璃規格(*sm*)等換線時間加總，故需要花55+15=70分鐘；整理兩兩產品別之換線時間對應關係，如由表3-5所示。

表 3-3 產品種類別

產品種類 <i>i</i>	光罩種類 <i>r</i>	光阻液 <i>f</i>	玻璃規格 <i>g</i>
1	<i>a</i>	<i>I</i>	<i>lg</i>
2	<i>a</i>	<i>II</i>	<i>lg</i>
3	<i>b</i>	<i>I</i>	<i>lg</i>
4	<i>b</i>	<i>II</i>	<i>lg</i>
5	<i>a</i>	<i>I</i>	<i>sm</i>
6	<i>a</i>	<i>II</i>	<i>sm</i>
7	<i>b</i>	<i>I</i>	<i>sm</i>
8	<i>b</i>	<i>II</i>	<i>sm</i>

表 3-4 各換線種類別之時間表

換線種類	種類別	設置時間(分)
光罩	<i>a</i>	50
	<i>b</i>	50
光阻液	<i>I</i>	35
	<i>II</i>	55
玻璃規格尺寸	<i>lg</i>	20
	<i>sm</i>	15

表 3-5 所有產品別與換線時間之對應表

$i \backslash i'$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	55	50	105	15	70	65	120
2	35	0	85	50	50	15	100	65
3	50	105	0	55	65	120	15	70
4	85	50	35	0	100	65	50	15
5	20	75	70	125	0	55	50	105
6	55	20	105	70	35	0	85	50
7	70	125	20	75	50	105	0	55
8	105	70	55	20	85	50	35	0

為便於模式之建構，本模式新增一虛擬產品別($i=I+1$)，用以設計限制式，表達在期內加工之任一實際產品，其前後必有相鄰之產品別(包括「虛擬產品」)接續加工。舉例來說，若產品 i 為本期第一個加工之產品別，表示規劃週期內該產品之前應未加工任一產品，此時以「虛擬產品」填補於該產品之前。同理，若產品 i 為該期最末順位加工之產品別，則表示本規劃週期內該產品之後應選任一產品接續加工，此時以「虛擬產品」填補於該產品之後，如圖3-7所示。

此外，因跨期排程需得知各規劃週期所排定之初始與最末加工之產品別，故在設計限制式表達該期期初與期末必須排定其一產品(包括「虛擬產品」)的情況下，「虛擬產品」即可用於規劃週期內不加工任一產品之情境，亦即當規劃週期內未曾加工任一產品，則期初與期末加工之產品別以「虛擬產品」表達即可，如圖3-8所示。

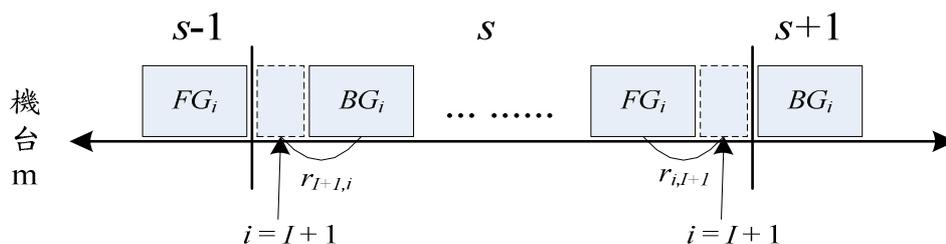


圖 3-7 虛擬產品別示意圖(一)

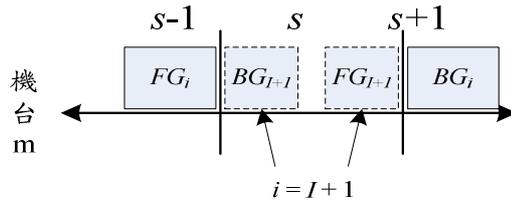


圖 3-8 虛擬產品別示意圖(二)

瓶頸工作站排程模式符號說明：

➤ 集合

$MA(i)$: 產品別 i 對應之光罩。

➤ 符號下標

i : 產品別編號， $i=1,2,\dots,I,I+1$ 。 $i=0$ 僅用於第一規劃週期，表示初始時，機台並無任何產品裝載於上。 $i=I+1$ 為一虛擬產品別，係為建構模式所設計之產品種類。

m : 瓶頸工作站 RGB 之機台別， $m=1, 2, \dots, M$ 。

r : 光罩別 $r=1,2, \dots, R$ 。

s : 規劃週期之期別， $s=1, 2, \dots, S$ 。 S 表此次求解範圍內之最大規劃週期期數。

➤ 參數

bc_i : 為每單位延遲數量所產生之成本。

$cap_{m,s}$: 機台 m 在第 s 個規劃週期內之可用產能(扣除當機、維護、實驗比例之後(秒))。

$d_{i,s}$: 第 s 個規劃週期產品別 i 之目標需求量(片)。

MA_r : 系統現有各光罩別 r 之數量。

pt_i : 產品別 i 在任一機台加工的單位加工時間(秒)。

Q : 正極大值。

$st_{i,i'}$: 產品別 i 轉換至 i' 所需三類換線之時間總和。 $0 \leq i \leq I+1$ ， $1 \leq i' \leq I+1$ 。

➤ 決策變數

$B_{i,s}$: 規劃週期 s 內，產品別 i 之延遲數量(片)。

$BG_{i,m,s}$: 0-1 變數，於第 s 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。 $1 \leq i \leq I+1$ 。

- $FG_{i,m,s}$: 0-1 變數，於第 s 期之期末，機台 m 上是否排定加工產品別 i ，若是為 1，反之為 0； $0 \leq i \leq I+1$ ， $0 \leq s \leq S$ 。
- $X_{i,m,s}$: 規劃週期 s 內，產品別 i 在機台 m 上的加工數量(片)。
- $\delta_{r,m,s}$: 0-1 變數，於第 s 期內，光罩 r 是否配置於機台 m 上，若是則為 1，反之為 0。
- $\alpha_{i,m,s}$: 0-1 變數，於第 s 期內，若光罩配置於機台 m 使得產品別 i 可進行加工時為 1，反之為 0。
- $\beta_{i,i',m,s}$: 0-1 變數，表示跨期間之換線情況， $s-1$ 期期末及 s 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； $0 \leq i \leq I+1$ ， $1 \leq i' \leq I+1$ 。
- $\gamma_{i,i',m,s}$: 0-1 變數，表示第 s 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，若無此順序關係則為 0； $1 \leq i \leq I+1$ ， $1 \leq i' \leq I+1$ 。
- $y_{i,i',m,s}$: 0-1 變數，表示第 s 期內之換線情況，於機台 m 上產品間的加工順序之相對關係。與 $\gamma_{i,i',m,s}$ 相異點在於， $\gamma_{i,i',m,s}$ 表示前後緊鄰之兩產品，而 $y_{i,i',m,s}$ 僅表示同規劃週期內之兩產品別之相對加工順序。舉例來說：若有產品別 1、2、3，其加工順序為 2、3、1，則 $\gamma_{2,3,m,s} = \gamma_{3,1,m,s} = 1$ ，而 $y_{2,3,m,s} = y_{2,1,m,s} = y_{3,1,m,s} = 1$ 。

瓶頸工作站排程模式建構如下：

目標函數：

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S B_{i,s} \times bc_i \quad \text{式 3-16}$$

式3-16表目標式為最小化延遲成本。

➤ 限制式

產出滿足需求限制式：

$$\sum_{s'=1}^s \left(\sum_{m=1}^M X_{i,m,s'} + B_{i,s'} \right) \geq \sum_{s'=1}^s d_{i,s'} \quad \forall i, 1 \leq s \leq S \quad \text{式 3-17}$$

式3-17表於規劃範圍內，系統之生產數量必須能夠滿足訂單需求之數量(片)，不足之數量再以延遲數量補足。

瓶頸機台產能限制式：

$$cap_{m,s} \geq \sum_{i=1}^{I+1} \sum_{i'=1}^{I+1} \gamma_{i,i',m,s} \times st_{i,i'} + \sum_{i=0}^{I+1} \sum_{i'=1}^{I+1} \beta_{i,i',m,s} \times st_{i,i'} + \sum_{i=1}^I X_{i,m,s} \times pt_i \quad \forall m,s \quad \text{式 3-18}$$

式3-18表於規劃範圍內之「機台可用產能」(秒)，須滿足此期規劃範圍內訂單需求所需加工時間及各種產品別換線時間之總和。

光罩資源限制：

$$\sum_{i \in MA(r)} X_{i,m,s} \leq \delta_{r,m,s} \times Q \quad \forall r,m,s \quad \text{式 3-19}$$

$$\sum_{m=1}^M \delta_{r,m,s} \leq MA_r \quad \forall r,s \quad \text{式 3-20}$$

式3-19表示在規劃週期 s 內，若產品 i 在機台 m 開工，則其所對應之光罩別即須放置於該機台 m 上，即 $\delta_{r,m,s} = 1$ 。

式3-20表各光罩別 r 之數量能夠供應規劃週期 s 內各產品別 i 於各機台之生產使用。

各規劃週期期初、期末加工限制：

$$\sum_{i=1}^{I+1} BG_{i,m,s} = 1, \quad \sum_{i=1}^{I+1} FG_{i,m,s} = 1 \quad \forall m,s \quad \text{式 3-21}$$

$$X_{i,m,s} \geq BG_{i,m,s} \quad \forall i,m,s \quad \text{式 3-22}$$

$$X_{i,m,s} \geq FG_{i,m,s} \quad \forall i,m,s \quad \text{式 3-23}$$

式3-21表於每規劃週期 s 之期初、期末皆會有某一產品別 i 在機台 m 上加工，若該期無加工任一產品，則以虛擬產品表示之($i=I+1$)。

式3-22表若規劃週期 s 之期初在機台 m 上排定產品 i ($BG_{i,m,s} = 1$)，則該期必然生產 i 產品 ($X_{i,m,s} \geq 1$)。同理，式3-23表該規劃週期 s 之期末，若排定產品 i ，則此期必然生產產品 i ($X_{i,m,s} \geq 1$)。

跨期排程限制式：

$$\sum_{i=1}^I X_{i,m,s} \leq (1 - BG_{i=I+1,m,s}) \times Q \quad \forall m,s \quad \text{式 3-24}$$

$$\sum_{i=1}^I X_{i,m,s} \leq (1 - FG_{i=I+1,m,s}) \times Q \quad \forall m,s \quad \text{式 3-25}$$

式3-24表其規劃週期之期初為虛擬產品*i*=*I*+1，則該期即不會加工任一產品。同理，式3-25表若規劃週期期末為虛擬產品*i*=*I*+1，則該期不會加工任一產品。

同規劃週期排程限制式：

$$\sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^{I+1} \gamma_{i,i',m,s} \leq 1 \quad \forall i, m, s \quad \text{式 3-26}$$

$$\sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^{I+1} \gamma_{i',i,m,s} \leq 1 \quad \forall i, m, s \quad \text{式 3-27}$$

式 3-26 及式 3-27 表產品 *i* 在生產加工時，於該產品之前後換線至多僅能有一次，即換線情況只會發生從產品 *i'* 換至 *i* 或產品 *i* 換至 *i'* 其中一種。

$$\gamma_{i'=I+1,i,m,s} = BG_{i,m,s} \quad \forall 1 \leq i \leq I+1, m, s \quad \text{式 3-28}$$

$$\gamma_{i,i'=I+1,m,s} = FG_{i,m,s} \quad \forall 1 \leq i \leq I+1, m, s \quad \text{式 3-29}$$

$$\sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^{I+1} \gamma_{i,i',m,s} + \sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^{I+1} \gamma_{i',i,m,s} = \alpha_{i,m,s} \times 2 \quad \forall i, m, s \quad \text{式 3-30}$$

$$\sum_{i=1}^{I+1} \beta_{i,i',m,s} = FG_{i,m,s-1} \quad \forall 0 \leq i \leq I+1, m, s \quad \text{式 3-31}$$

$$\sum_{i=0}^{I+1} \beta_{i,i',m,s} = BG_{i',m,s} \quad \forall 1 \leq i' \leq I+1, m, s \quad \text{式 3-32}$$

$$\alpha_{i,m,s} + \alpha_{i',m,s} \geq 2 \times \gamma_{i,i',m,s} \quad \forall i, i', m, s \quad \text{式 3-33}$$

$$X_{i,m,s} \leq \alpha_{i,m,s} \times Q \quad \forall i, m, s \quad \text{式 3-34}$$

$$X_{i,m,s} \geq 100 \times \alpha_{i,m,s} \quad \forall i, m, s \quad \text{式 3-35}$$

式 3-28 表若期初有產品 *i* 加工($BG_{i,m,s}=1$)，則期內換線是由虛擬產品 $i=I+1$ 換至 *i*。同理，式 3-29 表期末有產品 *i* 加工($FG_{i,m,s}=1$)，則由產品 *i* 換至 $i=I+1$ 。

式 3-30 表若此期有產品 *i* 在機台上加工($\alpha_{i,m,s}=1$)，則必會有另一產品別 *i'*(包括虛擬產品)緊鄰在其前後($\sum_{i'=1}^{I+1} \gamma_{i,i',m,s}=1$ or $\sum_{i'=1}^{I+1} \gamma_{i',i,m,s}=1$)。

式3-31及式3-32表跨期換線之限制式。式3-31表示，若前一期(*s*-1)期末機台*m*上有加工產品*i*，則跨期至*s*期該機台*m*必從產品*i*轉移至任一產品(包

括虛擬產品*i*=*I*+1)。式3-32表示，若此期期初機台*m*上有加工產品*i'*，則在其之前必有任何一產品(包括虛擬產品*i*=*I*+1)跨期轉換至該產品*i'*。

式 3-33 表示若產品 *i* 與產品 *i'* 發生期內換線($\gamma_{i,i',m,s}=1$)，則產品別 *i* 與 *i'* 皆於該機台上加工($\alpha_{i,m,s}=1$ and $\alpha_{i',m,s}=1$)。

式 3-34 表產品可否於機台加工之限制式。 $\alpha_{i,m,s}$ 為 0-1 變數，若產品 *i* 於規劃週期 *s* 機台 *m* 上加工即為 1；否則為 0。

式3-35表若於規劃週期 *s* 機台 *m* 加工產品 *i* 時，則加工數量必大於100。

$$y_{i,i',m,s} + y_{i',i,m,s} - \alpha_{i,m,s} \leq 0 \quad \forall i,i',m,s,i \neq i' \quad \text{式 3-36}$$

$$y_{i,i',m,s} + y_{i',i,m,s} - (\alpha_{i,m,s} + \alpha_{i',m,s} - 1) \geq 0 \quad \forall i,i',m,s,i \neq i' \quad \text{式 3-37}$$

$$y_{i,i^*,m,s} - Q \times (y_{i,i',m,s} + y_{i',i^*,m,s} - 2) \geq 1 \quad \forall i,i',i^*,m,s,i \neq i' \neq i^* \quad \text{式 3-38}$$

$$y_{i,i',m,s} \geq \gamma_{i,i',m,s} \quad \forall i,i',m,s,i \neq i' \quad \text{式 3-39}$$

式 3-36 表若產品別 *i* 與產品別 *i'* 有相對加工順序發生時($y_{i,i',m,s}=1$ and $y_{i',i,m,s}=1$)，則該期必須加工產品別 *i* ($\alpha_{i,i',m,s}=1$)。

式 3-37 表若該期有加工產品別 *i* 與產品別 *i'* 時($\alpha_{i,i',m,s}=1$ and $\alpha_{i',i,m,s}=1$)，則產品別 *i* 與產品別 *i'* 有相對加工順序發生，且其關係為 $y_{i,i',m,s}=1$ 或 $y_{i',i,m,s}=1$ 。

式 3-38 表在同規劃週期內，若同時加工三個產品別 *i*、產品別 *i'*、產品別 *i**，必存在 $y_{i,i',m,s}=1$ 和 $y_{i',i^*,m,s}=1$ 之關係。

式 3-39 表若產品別 *i* 與產品別 *i'* 發生換線情況($\gamma_{i,i',m,s}=1$)，則必存在相對加工順序 ($y_{i,i',m,s}=1$)。

變數值域限制式：

$$X_{i,m,s}, B_{i,s} \in \text{integer} \quad \text{式 3-40}$$

$$BG_{i,m,s}, FG_{i,m,s}, \delta_{r,m,s}, \alpha_{i,m,s}, \beta_{i,m,s}, \gamma_{i,i',m,s}, y_{i,i',m,s} \in \{0, 1\} \quad \text{式 3-41}$$

經過3.4.1節之「瓶頸工作站排程模式」後，求解完整個規劃範圍之排程後，檢視是否 $B_{i,s} > 0$ ，若 $B_{i,s} > 0$ ，表示系統中之產能無法滿足訂單需求，產生延遲數量，則進入「3.4.2、玻璃規格替代模式」。反之 $B_{i,s} = 0$ ，表系

統仍有空餘產能，則進入「3.4.3、最小化光阻換線模式」，以減少光阻液換線成本之方式來降低總生產成本。

3.4.2、玻璃規格替代模式

此模式之主要概念是當客戶需求無法滿足時，造成延遲成本及流失客戶之無形成本難以估計，故以犧牲玻璃成本之方式，利用生產較大玻璃規格產品取代較小產品，藉節省機台生產不同玻璃規格產品別所須之換線時間，以增加額外的產出，爾後方進行裁切，達到客戶要求的產品尺寸與數量。

在此模式中，玻璃規格替換之發生時機，必須於同一機台上，產品之生產先後順序為尺寸大者更換至尺寸小者。以圖3-6說明玻璃替換之過程，圖中之玻璃規格由大至小依序為"lg"、"md"、"sm"，故採取規格替換之時機，須於一規劃週期內，在相同機台上，生產前後順序依序為"lg"至"md"、"lg"至"sm"或"md"至"sm"時才可使用(粗黑實線表示)。

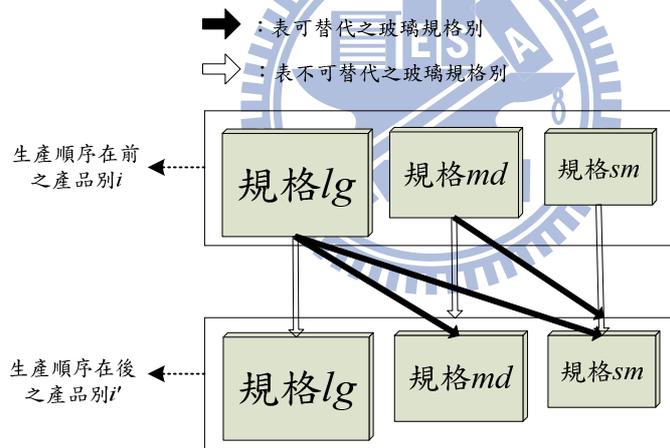


圖 3-9 可替代玻璃規格尺寸示意圖

因此，在本階段「玻璃規格替代模式」中，需針對同一規劃週期內於同一機台上緊鄰前後加工之兩產品別 i 與 i' ，其先後順序為規格大者換至小者，始可採用玻璃規格替代方式來節省換線時間 $sg_{i,i'}$ 。

然而，此模式為承接「瓶頸工作站排程模式」之輸出資訊，為消除延遲數量，採用減少玻璃換線時間方式來增加產出，雖可節省玻璃換線時間，但替換之玻璃成本會隨之增加，故為了降低生產成本，本模式將替換之玻璃成本與延遲成本同時納入目標式中。因延遲成本為流失客戶訂單、損害商譽等無形成本所構成，不如玻璃替代般，可實質掌握每片大尺寸玻

璃替代小尺寸玻璃額外負擔之成本，故在此假設延遲成本遠大於每片玻璃替代所增加之成本。期望在滿足訂單達交之前提下，使得玻璃耗費之成本盡可能達到最低。若此模式客戶訂單仍然無法達交，則回報客戶，修正需求。反之，即可得知需耗費多少玻璃替代之成本，始可達到滿足訂單需求之目的。

玻璃規格替代模式符號說明（僅列與「瓶頸工作站排程模式」不同之處）

➤ 集合

$G(i)$: 產品別 i 對應之玻璃規格。

➤ 符號下標

i : 產品別編號， $i=0,1,2,\dots,I,I+1$ 。

m : 瓶頸工作站 RGB 之機台別， $m=1, 2, \dots, M$ 。

s : 變動規劃週期之期數， $s=0, 1, 2, \dots, S$ 。 S 表此次求解範圍內之最大規劃週期期數。

➤ 參數

$agl_{i,i'}$: 0-1 參數，代表於同一機台上，生產前後順序之產品別為 i 及 i' ，若滿足 $G(i) > G(i')$ 之條件，則 $agl_{i,i'}=1$ ，反之則為 0。

bc_i : 為產品 i 每單位延遲數量所產生之成本。

$d_{i,s}$: 第 s 個規劃週期產品別 i 之目標需求量(片)。

$gc_{i,i'}$: 表示運用玻璃規格替換時，即 $G(i) > G(i')$ ，所花費玻璃之損失成本。

pt_i : 產品別 i 在任一機台加工的單位加工時間(秒)。

Q : 正極大值。

$st_{i,i'}$: 產品別 i 轉換至加工屬性別 i' 之設置時間。

$sg_{i,i'}$: $G(i) > G(i')$ ，即從產品別 i 換至 i' ，僅更換玻璃尺寸所產生之設置時間。

➤ 決策變數

$B_{i,s}$: 規劃週期內，產品別 i 之延遲數量(片)。

$GL_{i,i',m,s}$: 0-1 變數，代表於規劃週期 s 內，在機台 m 上，是否發生大玻璃替換小玻璃之情況，是則 $GL_{i,i',m,s}=1$ 時所替代之玻璃數

量。反之， $GL_{i,i',m,s}=0$ 。

- $X_{i,m,s}$: 規劃週期內，產品別 i 在機台 m 上的加工數量(片)。
- $Y_{i,i',m,s}$: 玻璃替代發生($GL_{i,i',m,s}=1$)時所替代之玻璃數量。
- $\beta_{i,i',m,s}$: 0-1 變數，表示跨期之換線情況，在第 $s-1$ 期之期末，於機台 m 上加工之產品別 i 與第 s 期之期初產品別 i' 是否接續加工，若是則為 1，反之則為 0。
- $\gamma_{i,i',m,s}$: 0-1 變數，表示第 s 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，若無此順序關係則為 0。

玻璃規格替代模式建構如下(僅列與「瓶頸工作站排程模式」不同之處):

將「瓶頸工作站排程模式」中式3-16改為下式:

➤ 目標式

$$\text{Min} \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I (B_{i,s} \times bc_i) + \sum_{i=1}^I \sum_{i'=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S Y_{i,i',m,s} \times gc_{i,i'} \quad \text{式 3-42}$$

目標式為「最小化延遲成本」及「最小化玻璃規格替代成本」之和，由於數學模式僅能以成本多寡來取決，因此，需設定每單位延遲成本(bc_i)須遠大於玻璃替代所耗費之成本($gc_{i,i'}$)，才會發生替代之情境。

➤ 限制式

將「瓶頸工作站排程模式」中式3-17改為下式:

$$\begin{aligned} cap_{m,s} \geq & \sum_{i=1}^{I+1} \sum_{i'=1}^{I+1} \gamma_{i,i',m,s} \times st_{i,i'} + \sum_{i=0}^{I+1} \sum_{i'=1}^{I+1} \beta_{i,i',m,s} \times st_{i,i'} + \sum_{i=1}^I X_{i,m,s} \times pt_i \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{i'=1}^I Y_{i,i',m,s} \times (pt_i - pt_{i'}) - \sum_{i=1}^I \sum_{i'=1}^I GL_{i,i',m,s} \times sg_{i,i'} \end{aligned} \quad \forall m,s \quad \text{式 3-43}$$

式3-43表於規劃範圍內之「機台可用產能」(秒)，須大於此規劃週期內，各產品所需的加工時間及跨期和期內的換線時間之和，再加上因玻璃替代所增加之加工時間，再減去因玻璃規格替代所減少之整備時間。

將「瓶頸工作站排程模式」中增加下列式3-44至式3-49限制式:

玻璃規格替代限制式:

$$GL_{i,i',m,s} \leq agl_{i,i'} \quad \forall i, i' \quad \text{式 3-44}$$

式 3-44 表只有當產品*i*之玻璃規格滿足產品*i'*之替代條件時，產品*i*之玻璃規格才可替代產品*i'*。

$$GL_{i,i',m,s} \leq r_{i,i',m,s} + \beta_{i,i',m,s} \quad \forall i, i', m, s \quad \text{式 3-45}$$

式 3-45 表只有當產品*i*與產品*i'*之間有換線的情況發生時，產品*i*之玻璃規格才可替代產品*i'*。

$$X_{i',m,s} - Y_{i,i',m,s} \leq (1 - GL_{i,i',m,s}) \times Q \quad \forall i, i', m, s \quad \text{式 3-46}$$

式 3-46 當產品*i*之玻璃規格替代產品*i'*時，所替代的玻璃數量為產品*i'*之規劃生產數量。

$$Y_{i,i',m,s} \leq GL_{i,i',m,s} \times Q \quad \forall i, i', m, s \quad \text{式 3-47}$$

式 3-47 表示當產品*i*之玻璃規格替代產品*i'*發生時，才有替代的玻璃數量產生。

$$X_{i,m,s}, B_{i,s}, Y_{i,i',m,s} \in \mathbb{R} \quad \text{式 3-48}$$

$$BG_{i,m,s}, FG_{i,m,s}, GL_{i,i',m,s}, \gamma_{i,i',m,s}, \delta_{r,m,s}, \alpha_{i,m,s}, \beta_{i,m,s}, \gamma_{i,i',m,s} \in \{0, 1\} \quad \text{式 3-49}$$

本模式除了上述更改之「目標函數」與「產出滿足需求限制式」兩式以外，其它限制式包含「光罩資源限制」、「各規劃週期期初、期末限制」、「跨期排程限制式」、「同規劃週期排程限制式」皆與原3.4.1節之「瓶頸工作站排程模式」之式3-18至式3-41完全相同，此外，尚增加了式3-42至3-49之「玻璃規格替代限制式」，求解本模式尚須加諸這些限制式。若此步驟執行完畢，結果仍然有延遲數量發生，則回報客戶，修正訂單需求；反之，求得為消除延遲訂單，專業廠須所耗費之玻璃替代成本，供決策者作為參考依據。

3.4.3、最小化光阻換線模式

經過 3.4.1 節之「瓶頸工作站排程模式」之規劃後，若發現無任何產品之延遲數量產生，則表示系統仍有餘裕之產能，對於供給訂單需求綽綽有餘，故本模式在訂單皆滿足達交之前提下，以降低光阻換線成本為目標。因此，本模式在無延遲數量之情況下，會優先選擇使用相同光阻液之產品別來接續加工，以節省光阻液之替換成本。

然而，由於本模式求解時間過長，執行模式求得一組解所耗費之時間

動輒數天至一週不等，不符合時間效益，故本階段分成兩個步驟來執行，求解過程由圖 3-10 所示。首先，在步驟一中，先執行「最小化光阻換線模式」，模式執行數小時後手動停止，看是否有可行解存在，若無可行解產生，則表示模式無法在合理時間內求得可行解。反之，則進入步驟二，以上一步驟求得之可行解為成本上界，加入原模式中重新執行，如此反覆操作，直到求得最低成本為止。

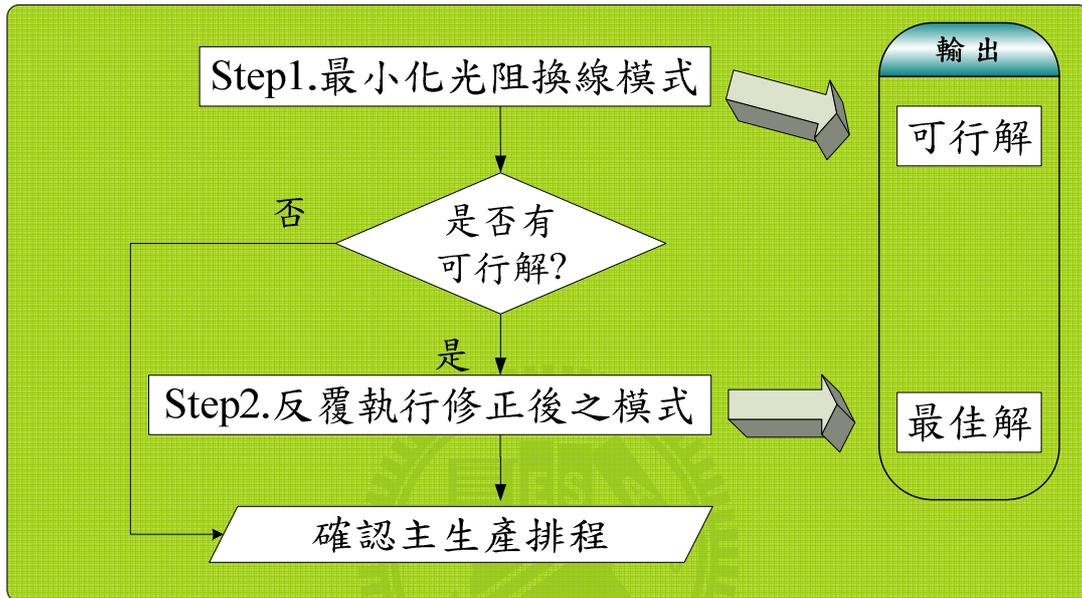


圖 3-10 最小化光阻換線流程圖

最小化光阻換線模式符號說明（僅列與「瓶頸工作站排程模式」不同之處）

➤ 符號下標

- i : 產品別編號， $i=0,1,2,\dots,I$ 。
- m : 瓶頸工作站 RGB 之機台別， $m=1, 2, \dots, M$ 。
- s : 變動規劃週期之期數， $s=0, 1, 2, \dots, S$ 。S 表此次求解範圍內之最大規劃週期期數。

➤ 參數

- $d_{i,s}$: 第 s 個規劃週期產品別 i 之目標需求量(片)。
- K : 所設定之光阻換線成本上限。
- pt_i : 產品別 i 在任一機台加工的單位加工時間(秒)。
- Q : 正極大值。
- $rc_{i,i'}$: 加工順序由產品 i 換至產品 i' 時，所需耗費之光阻換線成本。

- $st_{i,i'}$: 產品別 i 轉換至加工屬性別 i' 之設置時間。
 $total$: 排程規劃後，光阻換線所耗費之成本。

➤ 決策變數

- $X_{i,m,s}$: 規劃週期內，產品別 i 在機台 m 上的加工數量(片)。
 $\beta_{i,i',m,s}$: 0-1 變數，表示跨期之換線情況，在第 $s-1$ 期之期末，於機台 m 上加工之產品別 i 與第 s 期之期初產品別 i' 是否接續加工，若是則為 1，反之則為 0。
 $\gamma_{i,i',m,s}$: 0-1 變數，表示第 s 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，若無此順序關係則為 0。

最小化光阻換線模式建構如下 (僅列與「瓶頸工作站排程模式」不同之處):

步驟一:

將「瓶頸工作站排程模式」中式3-16改為下式：

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{i'=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S (r_{i,i',m,s} + \beta_{i,i',m,s}) \times rc_{i,i'} \quad \text{式 3-50}$$

式3-50表最小化光阻換線成本。

將「瓶頸工作站排程模式」中3-17改為下式：

$$\sum_{s'=1}^s \sum_{m=1}^M X_{i,m,s'} \geq \sum_{s'=1}^s d_{i,s'} \quad \forall i, 1 \leq s \leq S \quad \text{式 3-51}$$

式3-51表於各規劃週期內，系統之生產數量須能滿足訂單需求量。

除了以上兩式更改以外，其餘限制式與原3.4.1節之「瓶頸工作站排程模式」之式3-18至式3-41完全相同。由於此模式有執行時間過長，存在無法在合理時間內求得最佳解之問題，故本模式設定在執行約3小時之後，將手動暫停，看是否有可行解存在，若無可行解，則代表模式無法在合理的時間內求得一組可行解，能讓光阻換線次數減少。反之，則將求得之可行解設定為 K 值，作為光阻液換線成本之上限，帶入下一步驟求解。

步驟二:

將「最小化光阻換線模式」中增加式 3-52：

$$\sum_{i=0}^I \sum_{i'=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \beta_{i,i',m,s} \times rc_i + \sum_{i=1}^I \sum_{i'=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \gamma_{i,i',m,s} \times rc_i = K \quad \text{式 3-52}$$

式 3-52 表限制光阻液換線之成本不可超過上一步驟所求得之可行解 K 值。

此步驟執行之模式，係將步驟一所執行之模式，加入式 3-52 後，重新執行。

將上一步驟求得之可行解設定為參數 K 值，作為本階段光阻液成本之上限，加此限制條件於上一階段之「最小化光阻換線模式」並重新執行，接著採二分法向下修正 K 值，如此反覆執行模式，其目的為在合理的時間之內求得最佳值。以表 3-6 說明本步驟執行過程，在 Step1 中，假設起始 K 值為 1000，在合理的時間內可求出最佳解為 900，此時則進入 Step2，將 K 值下修 1/2，設定成 500，重新執行模式，此時執行時間已超過八小時，仍無法求出最佳解，則停止模式，進入 Step3，將 K 值設定為上限與下限和之半 $750((1000+500)/2=750)$ ，重新執行模式，可求得最佳解為 680，則進入 Step4-1，下修 K 值，取 500 及 750 之均值 625，重新執行模式。反之，若 Step3 無法在有限的時間內求出最佳解，則進入 Step4-2，取 680 及 625 之均值約 650 設為 K 值，重新執行模式，如此反覆之執行，藉此以壓低所允許的光阻液成本上限值 K 值，直到此值無法遞減為止，此值即為最低之光阻液成本。

表 3-6 最小化光阻換線模式執行過程

執行步驟	K 值	求解時間(sec)	光阻成本	執行狀態
Step1	1000	2340	900	-
Step2	500	30156.58	-	stop
Step3	750	3800	680	-
Step4-1	625	-	-	-
Step4-2	650	-	-	-

第四章、實例驗證

為了驗證本文第三章所提出之主生產排程機制之可行性，本章將對本文所提出之兩個模組進行實例驗證。驗證之過程分為三個部份：

1. 系統環境說明：描述本文之基本資料與相關假設。
2. 執行過程：輸入相關資料與參數，依序說明產能估算模組及主生產排程規劃模組之執行過程。
3. 模式之推廣與應用：應用第三章之「瓶頸工作站排程模式」，在限定產品種類數下，求解出最適產品組合。

4.1、系統環境說明

本文之環境資料是經由實際訪談工廠及搜尋文獻所得，為配合生產規劃之假設，作局部修正，以利驗證之進行。

4.1.1、生產環境資料

此部份主要介紹環境之基本資料，分為產品基本資料、機台設置時間、瓶頸機台資訊及訂單資訊等，以下將依序介紹。

(1) 產品基本資料

本生產系統之產品基本資料，由表 4-1 所示，產品別由光罩、光阻液及玻璃規格等三個維度所組成(2×2×2)，共加工產品 1、產品 2、...、產品 8，八種產品。產品之加工時間長短取決於玻璃尺寸大小。而生產成本分別為玻璃成本、延遲成本及光阻液成本，舉凡缺貨造成無法達交之客戶訂單及損失商譽等無形成本皆屬延遲成本，因避免訂單延遲為模式最重要之目標，故假設每片玻璃之延遲成本須遠大於進貨之單位成本，又因較大面積之玻璃經濟切割數較多，故延遲成本設定高於小面積之玻璃。本文主要研究對象為彩色濾光片 4.5 代廠，故平均玻璃單位進貨成本，約 2000 元。更換光阻屬極耗成本之動作，每次更換之成本約 10000 元。

表 4-1 各產品加工時間、生產成本、售價利潤對照表

產 品 別	光罩 種類	光阻 種類	玻璃 規格	加工時間 (秒/片)	生產成本			售價	利潤
					延遲成本 (元/片)	玻璃成本 (元/片)	光阻成本 (元/次)		
1	<i>a</i>	<i>I</i>	<i>lg</i>	30	10,000	2,000	12,000	3,000	1,000
2	<i>a</i>	<i>II</i>	<i>lg</i>				10,000	3,000	1,000
3	<i>b</i>	<i>I</i>	<i>lg</i>				12,000	2,920	920
4	<i>b</i>	<i>II</i>	<i>lg</i>				10,000	2,920	920
5	<i>a</i>	<i>I</i>	<i>sm</i>	26	9,500	1,900	12,000	2,500	600
6	<i>a</i>	<i>II</i>	<i>sm</i>				10,000	2,500	600
7	<i>b</i>	<i>I</i>	<i>sm</i>				12,000	2,400	540
8	<i>b</i>	<i>II</i>	<i>sm</i>				10,000	2,400	540

(2) 機台設置時間

本文所探究之環境中各換線種類所耗費之設置時間，如表 4-2 所示：

光罩：由於不同光罩在裝置時，皆須調整機台參數，耗費時間皆差不多，如需從光罩 *a* 更換為光罩 *b*，則需裝置光罩 *b* 之設置時間 50 分鐘。

光阻液：更換光阻液所耗費時間會因其黏稠度而不同，黏稠度高者灌入需花費較久時間，如光阻液別 *I* 換為 *II*，則需耗費時間 55 分鐘。

玻璃尺寸：不同玻璃規格尺寸，在加工前須對其各點位進行定位，定位時間則隨欲生產之產品別大小而有所不同，尺寸較大者，所耗時間較長，如尺寸 *lg* 換為 *sm*，需耗費 15 分鐘。

由於本文共考量了光罩、光阻液及玻璃規格尺寸等三種換線別，故組成了各種換線情況(表 4-3)。當機台於起始狀態時，無任何產品別在機台上，故首批產品來到加工前，需搭配其對應之光罩別、光阻液及所生產玻璃尺寸之設置時間。如產品別 1 即表示搭配光罩 *a*(50)、光阻 *I*(35)及玻璃尺寸 *lg*(20)，故所需設置時間為 50+35+20=105 分鐘，而不同產品別彼此相互之換線時間，亦整理於表 4-3 中。

表 4-2 各種換線所耗時間

換線種類	種類別	說明	設置時間(分)
光罩	<i>a</i>	不同設計電路圖	50
	<i>b</i>		50
光阻液	<i>I</i>	不黏稠	35
	<i>II</i>	黏稠	55
玻璃規格尺寸	<i>lg</i>	8 切	20
	<i>sm</i>	6 切	15

表 4-3 所有產品別與換線時間之對應表(單位：分)

$i \backslash i'$	1	2	3	4	5	6	7	8
起始值	105	125	105	125	100	120	100	120
1	0	55	50	105	15	70	65	120
2	35	0	85	50	50	15	100	65
3	50	105	0	55	65	120	15	70
4	85	50	35	0	100	65	50	15
5	20	75	70	125	0	55	50	105
6	55	20	105	70	35	0	85	50
7	70	125	20	75	50	105	0	55
8	105	70	55	20	85	50	35	0

(3) 瓶頸機台資訊

本文中假設有三條生產線，在此以三台瓶頸機台(RGB 機台)代表，由於各機台能夠生產之產品別依照所搭配之光罩別而異，換而言之，各機台所具有之製程規格能力取決於所搭配之光罩所致，故光罩數資訊由表 4-4 所示：

表 4-4 光罩與機台搭配關係

光罩別	套數	搭配之產品別
a	2	1、2、5、6
b	2	3、4、7、8

而機台每次加工批量皆為 1，各機台間之平均失效間隔(*mtbf*)及修復時間(*mttr*)、機台之維護間隔(*mtpm*)及執行時間(*mbpm*)、以及實驗批比率(*eg*)等資訊，如表 4-5 所示：

表 4-5 機台產品資訊

機台別	1	2	3
平均失效間隔時間(時)	360	360	360
平均修復時間(時)	6	6.5	7
平均維修間隔時間(時)	1440	1440	1440
平均維修時間(時)	24	24.5	25
實驗批比率	0.05	0.05	0.05

(4) 訂單資訊

本文案例具備四筆訂單，由表 4-6 所示，包含每筆訂單交期、產品別種類及各產品別所需之數量等資訊。

表 4-6 訂單資訊

訂單編號	訂單交期(天)	產品別								總數量(片)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	7	7,700	7,400	0	0	0	0	8,300	6,800	30,200
2	10	0	8,700	0	10,400	10,500	0	9,200	10,000	48,800
3	24	18,100	0	17,900	12,000	0	10,000	7,800	0	65,800
4	28	0	13,300	14,800	0	14,400	12,700	0	18,000	73,200
需求數量		25,800	29,400	32,700	22,400	24,900	22,700	25,300	34,800	218,000

4.1.2、生產規劃假設

本研究之生產假設分為以下幾點：

1. 本研究以各筆訂單之交期作為規劃週期，而規劃幅度為最後一筆訂單之交期。
2. 假設產品良率為 100%，且無重工或報廢之產品。
3. 生產之數量為每次加工一片。
4. 於每個規劃週期內之延遲數量須作為回報上層之資訊。

4.2、產能估算模組之執行過程

4.2.1、估算可用產能

首先將訂單編號做為求解之規劃期數，每期規劃週期為交期之間隔時間，共有四筆訂單，故有四期規劃週期，求解範圍為最後一筆訂單之交期，為 28 天。由第三章中式 3-7 至 3-9 可計算個別機台之可用產能，故各機台之可用產能為 28 天(最後一筆訂單之交期)扣除當機、保養及實驗批之時間，由式 4-1 到式 4-3 表示：

$$\begin{aligned} cap_1 &= (1 - dt - pm - eg) \times 28 \times 24 \times 60 \times 60 \\ &= \left(1 - \frac{mtr}{mtr + mtbf} - \frac{mbpm}{mbpm + mtpm} - eg\right) \times 2419200 \end{aligned} \quad \text{式 4-1}$$

$$= \left(1 - \frac{6}{360+6} - \frac{24}{1440+24} - 0.05\right) \times 2419200 = 2,218,922(\text{秒，四捨五入後})$$

$$cap_2 = \left(1 - \frac{6.5}{360+6.5} - \frac{24.5}{1440+24.5} - 0.05\right) \times 2419200 = 2,214,863(\text{秒}) \quad \text{式 4-2}$$

$$cap_3 = \left(1 - \frac{7}{360+7} - \frac{25}{1440+25} - 0.05\right) \times 2419200 = 2,210,814(\text{秒}) \quad \text{式 4-3}$$

4.2.2、產能粗估模式

上一個步驟已將各機台之可用產能求出。接著，此階段在不考量整備時間之情況下，以產能粗估模式確認各期之訂單需求，能否被全數滿足。

執行本文案例所使用之硬體配備及作業系統環境由表 4-7 所示。首先，執行式 3-10 至 3-12 之模式，求得結果由表 4-8 表示。本模式總變數為 128 個，限制式為 20 條，求解時間為 0.01 秒，目標值為 0，表示各機台於各

規劃週期之產能皆能夠滿足訂單之需求。

表 4-7 硬體配備

項目	規格
處理器	Intel core i7
記憶體	2G×6
作業系統	vista business 64 bit

表 4-8 產能粗估之機台產出量

機台別	產品別							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	31,917	22,400	22,669	0	0	0
2	25,800	29,400	783	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	2,231	22,700	25,300	34,800
總和	25,800	29,400	32,700	22,400	24,900	22,700	25,300	34,800
延遲數量	0	0	0	0	0	0	0	0

4.2.3、光罩產能推估機制

於「4.2.2 產能粗估模式」之求解結果，顯示無延遲數量產生，初步確認產能可滿足訂單需求。此階段接著進行「光罩產能推估機制」，計算訂單需求所需之最少光罩個數，檢視系統現有之光罩數量是否可滿足需求以順利生產。計算方式如下：

首先，依式 3-13 求出所有產品別於各機台生產數量($X_{i,m,s}$)，式 4-4 為產品別 1 之總數量，其餘依此類推，由表 4-9 所示。接著按照式 3-14 計算分別隸屬光罩 1、2 之各產能，由式 4-5 及式 4-6 所示。最後，將式 4-5 及式 4-6 之結果代入式 3-15 中，即得到式 4-7 及式 4-8 之結果，得知光罩 1 與光罩 2 之最少需求數量皆為兩套，故系統現有光罩數量足以滿足需求。

$$EST_1 = \sum_{m=1}^3 \sum_{s=1}^4 X_{1,m,s} = 0 + 0 + 31,917 + 22,400 + 22,669 + \dots + 34,800 = 21,800(\text{片}) \quad \text{式 4-4}$$

$$rcap_1 = (25,800 + 29,400) \times 30 + (24,900 + 22,700) \times 26 = 3,090,280 \quad \text{式 4-5}$$

$$rcap_2 = (32,700 + 22,400) \times 30 + (25,300 + 34,800) \times 26 = 2,990,600 \quad \text{式 4-6}$$

$$reticle_1 = \max \left(\left\lceil \frac{3,090,280}{2,218,921.97} \right\rceil, \left\lceil \frac{3,090,280}{2,214,863.25} \right\rceil, \left\lceil \frac{3,090,280}{2,210,813.95} \right\rceil \right) \\ = \max(\lceil 1.4 \rceil, \lceil 1.4 \rceil, \lceil 1.4 \rceil) = 2 \quad \text{式 4-7}$$

$$reticle_1 = \max \left(\left\lceil \frac{2,990,600}{2,218,921.97} \right\rceil, \left\lceil \frac{2,990,600}{2,214,863.25} \right\rceil, \left\lceil \frac{2,990,600}{2,210,813.95} \right\rceil \right) \\ = \max(\lceil 1.3 \rceil, \lceil 1.4 \rceil, \lceil 1.4 \rceil) = 2 \quad \text{式 4-8}$$

表 4-9 產品別於各機台生產數量及所需產能

產品別	1	2	3	4	5	6	7	8
總產出量	25,800	29,400	32,700	22,400	24,900	22,700	25,300	34,800

4.3、主生產排程模組之執行過程

執行「4.2 產能估算模組」後，得知系統之機台產能、光罩數量均足以滿足訂單需求。接著將執行「主生產排程模組」，在考量多規格順序相依換線時間之條件下，安排最妥善之排程。

首先，在此模組中執行 3.4.1 節之「瓶頸工作站排程模式」，若有延遲數量發生，則執行 3.4.2 節之「玻璃規格替代模式」，以降低延遲數量。反之，則執行 3.4.3 節之「最小化光阻換線模式」，以降低光阻液消耗。故本節以兩個案例分別驗證本文所設計之模式。

Case1：訂單延遲情況發生

Case2：無訂單延遲情況發生

4.3.1、Case1：訂單延遲情況發生

本節以「瓶頸工作站排程模式」之排程結果有延遲數量產生為例，進而執行「玻璃規格換線模式」，以降低延遲成本。

「瓶頸工作站排程模式」案例說明

以 ILOG OPL Studio 軟體執行「瓶頸工作站排程模式」後，所得之統計資訊列於表 4-10，各產品別之產出量及延遲數量列於表 4-11，各機台產出量列於表 4-12，排程結果於表 4-13。由表 4-11 可知於規劃週期 1 產品 7

有 446.8 片延遲數量，以及規劃週期 2 產品 2 與產品 5 分別產品 434.3 片及 16.6 片延遲數量，故將資料輸入至「玻璃規格替代模式」以降低延遲成本。

表 4- 10 Case1: 「瓶頸工作站排程模式」統計資訊

目標值(元)	限制式總數	變數個數	求解時間 (秒)
8,744,650	8,059	3,327	267.46

表 4- 11 Case1 : 「瓶頸工作站排程模式」各產品別之產出量及訂單需求

產品別	規劃週期 1			規劃週期 2			規劃週期 3			規劃週期 4		
	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量
1	7,700	7,700	0	0	0	0	18,100	18,100	0	0	0	0
2	7,741	7,400	0	7,924.7	8,700	434.3	2882.3	0	0	10,417.7	13,300	0
3	0	0	0	0	0	0	22173.7	17,900	0	10,526.3	14,800	0
4	10,400	0	0	0	10,400	0	12,000	11,000	0	0	0	0
5	10,483.4	0	0	0	10,500	16.6	14,400	0	0	0	14,400	0
6	0	0	0	0	0	0	12,363	10,000	0	10,337	12,700	0
7	9,257.4	8,300	446.8	7,795.8	9,200	0	7,800	7,800	0	0	0	0
8	8,889.8	6,800	0	7,910.2	11,000	0	18,000	0	0	0	18,000	0
總計	54,471.6	30,200	446.8	23,630.7	49,800	450.9	107,719	64,800	0	31,281	73,200	0

表 4- 12 Case1：「瓶頸工作站排程模式」各機台產出量

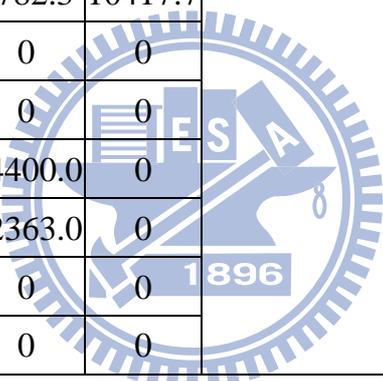
機台	產品	規劃週期				機台	產品	規劃週期			
		1	2	3	4			1	2	3	4
m=1	1	0	0	0	0	m=2	1	0	0	13282.7	0
	2	7741.0	7924.7	0	0		2	0	0	100.0	0
	3	0	0	0	10526.3		3	0	0	22173.7	0
	4	10400.0	0	12000.0	0		4	0	0	0	0
	5	0	0	0.0	0		5	0	0	0	0
	6	0	0	0	0		6	0	0	0	10337.0
	7	0	0	6782.0	0		7	9257.4	0	1018.0	0
	8	0	0	18000.0	0		8	8889.8	7910.2	0	0
m=3	1	7700.0	0	4817.3	0						
	2	0.0	0	2782.3	10417.7						
	3	0	0	0	0						
	4	0	0	0	0						
	5	10483.4	0	14400.0	0						
	6	0	0	12363.0	0						
	7	0	7795.8	0	0						
	8	0	0	0	0						

表 4-13 Case1：「瓶頸工作站排程模式」之排程結果

規劃週期	機台 1				機台 2				機台 3						
	產出量		跨期/期內換線		光罩	產出量		跨期/期內換線		光罩	產出量		跨期/期內換線		光罩
	期初/期末產品別					期初/期末產品別					期初/期末產品別				
1	X[4,1,1]=10400.0	$\beta[0,4,1,1]=1$	$y[4,2,1,1]=1$	$\delta[1,1,1]=1$	X[7,2,1]=9257.4	$\beta[0,7,2,1]=1$	$y[7,8,2,1]=1$	$\delta[2,2,1]=1$	X[1,3,1]=7700.0	$\beta[0,1,3,1]=1$	$y[1,5,3,1]=1$	$\delta[1,3,1]=1$			
	X[2,1,1]=7741.0	$\gamma[9,4,1,1]=1$		$\delta[2,1,1]=1$	X[8,2,1]=8889.8	$\gamma[9,7,2,1]=1$		$\alpha[7,2,1]=1$	X[5,3,1]=10483.4	$\gamma[9,1,3,1]=1$		$\alpha[1,3,1]=1$			
	BG[4,1,1]=1	$\gamma[4,2,1,1]=1$		$\alpha[2,1,1]=1$	BG[7,2,1]=1	$\gamma[7,8,2,1]=1$		$\alpha[8,2,1]=1$	BG[1,3,1]=1	$\gamma[1,5,3,1]=1$		$\alpha[5,3,1]=1$			
	FG[2,1,1]=1	$\gamma[2,9,1,1]=1$		$\alpha[4,1,1]=1$	FG[8,2,1]=1	$\gamma[8,9,2,1]=1$			FG[5,3,1]=1	$\gamma[5,9,3,1]=1$					
2	X[2,1,2]=7924.7	$\beta[2,2,1,2]=1$		$\delta[1,1,2]=1$	X[8,2,2]=7910.2	$\beta[8,8,2,2]=1$		$\delta[2,2,2]=1$	X[7,3,2]=7795.8	$\beta[5,7,3,2]=1$		$\delta[1,3,2]=1$			
	BG[2,1,2]=1	$\gamma[9,2,1,2]=1$			BG[8,2,2]=1	$\gamma[9,8,2,2]=1$		$\alpha[8,2,2]=1$	BG[7,3,2]=1	$\gamma[7,9,3,2]=1$		$\delta[2,3,2]=1$			
	FG[2,1,2]=1	$\gamma[2,9,1,2]=1$			FG[8,2,2]=1	$\gamma[8,9,2,2]=1$			FG[7,3,2]=1	$\gamma[9,7,3,2]=1$		$\alpha[7,3,2]=1$			
3	X[4,1,3]=12000.0	$\beta[2,4,1,3]=1$	$y[4,7,1,3]=1$	$\delta[2,1,3]=1$	X[2,2,3]=100.0	$\beta[8,2,2,3]=1$	$y[1,3,2,3]=1$	$\delta[1,2,3]=1$	X[5,3,3]=14400.0	$\beta[7,5,3,3]=1$	$y[2,1,3,3]=1$	$\delta[1,3,3]=1$			
	X[8,1,3]=18000.0	$\gamma[9,4,1,3]=1$	$y[4,8,1,3]=1$	$\alpha[2,1,2]=1$	X[1,2,3]=13282.7	$\gamma[9,2,2,3]=1$	$y[1,7,2,3]=1$	$\delta[2,2,3]=1$	X[6,3,3]=12363.0	$\gamma[9,5,3,3]=1$	$y[5,1,3,3]=1$	$\alpha[1,3,3]=1$			
	X[7,1,3]=6782.0	$\gamma[4,8,1,3]=1$	$y[8,7,1,3]=1$	$\alpha[4,1,3]=1$	X[3,2,3]=22173.7	$\gamma[2,1,2,3]=1$	$y[2,1,2,3]=1$	$\alpha[1,2,3]=1$	X[2,3,3]=2782.3	$\gamma[5,6,3,3]=1$	$y[5,2,3,3]=1$	$\alpha[2,3,3]=1$			
	BG[4,1,3]=1	$\gamma[8,7,1,3]=1$		$\alpha[7,1,3]=1$	X[7,2,3]=1018.0	$\gamma[1,3,2,3]=1$	$y[2,3,2,3]=1$	$\alpha[2,2,3]=1$	X[1,3,3]=4817.3	$\gamma[6,2,3,3]=1$	$y[5,6,3,3]=1$	$\alpha[5,3,3]=1$			
	FG[7,1,3]=1	$\gamma[7,9,1,3]=1$		$\alpha[8,1,3]=1$	BG[2,2,3]=1	$\gamma[3,7,2,3]=1$	$y[2,7,2,3]=1$	$\alpha[3,2,3]=1$	BG[5,3,3]=1	$\gamma[2,1,3,3]=1$	$y[6,1,3,3]=1$	$\alpha[6,3,3]=1$			
4	X[3,1,4]=10526.3	$\beta[7,3,1,4]=1$		$\delta[2,1,4]=1$	X[6,2,4]=10337.0	$\beta[7,6,2,4]=1$		$\delta[1,2,4]=1$	X[2,3,4]=10417.7	$\beta[1,2,3,4]=1$		$\delta[1,3,4]=1$			
	BG[3,1,4]=1	$\gamma[9,3,1,4]=1$		$\alpha[3,1,4]=1$	BG[6,2,4]=1	$\gamma[9,6,2,4]=1$		$\delta[2,2,4]=1$	BG[2,3,4]=1	$\gamma[9,2,3,4]=1$		$\alpha[2,3,4]=1$			
	FG[3,1,4]=1	$\gamma[3,9,1,4]=1$			FG[6,2,4]=1	$\gamma[6,9,2,4]=1$		$\alpha[6,2,4]=1$	FG[2,3,4]=1	$\gamma[2,9,3,4]=1$					

註： $X[i,m,s] = X_{i,m,s}$, $BG[i,m,s] = BG_{i,m,s}$, $FG[i,m,s] = FG_{i,m,s}$, $\beta[i,i',m,s] = \beta_{i,i',m,s}$, $\gamma[i,i',m,s] = \gamma_{i,i',m,s}$, $y[i,i',m,s] = y_{i,i',m,s}$

$\delta[r,m,s] = \delta_{r,m,s}$, $\alpha[i,m,s] = \alpha_{i,m,s}$, $Y[i,i',m,s] = Y_{i,i',m,s}$, $GL[i,i',m,s] = GL_{i,i',m,s}$

「玻璃規格替代模式」案例說明

表 4-14 為經 ILOG OPL Studio 求解後所得之統計資訊，表 4-15 為各機台產出量，表 4-15 為各產品別之產出量、需求量及延遲數量，表 4-16 為各產品被替代數量，表 4-17 為排程結果。由表 4-16 可知，在規劃週期 1 發生替代，機台 2 上，產品 1 替代產品 5，替代數量為 1910.6 片，而在機台 3，上產品 4 替代產品 8，替代數量為 100 片，因此讓總生產成本由 8,744,650 元降至 8,538,580 元，但也付出了替代成本 2,010,633.3 元。

表 4- 14 Case1：「玻璃規格替代模式」統計資訊

目標值(元)	延遲成本(元)	替代成本(元)	限制式總數	變數個數	求解時間 (秒)
8,538,580	6,527,946.7	2,010,633.3	11,131	4,863	708.1

表 4- 15 Case1：「玻璃規格替代模式」各機台產出量

機台	產品	規劃週期				機台	產品	規劃週期			
		1	2	3	4			1	2	3	4
m=1	1	0	0	0	0	m=2	1	7700.0	0	18100.0	0
	2	0	0	0	10216.3		2	8526.6	0	2380.1	0
	3	0	0	0	0		3	0	0	0	0
	4	0	0	12000.0	0		4	0	0	0	0
	5	0	0	0	100.0		5	1910.6	7910.2	14300.0	0
	6	0	0	13155.9	0		6	0	0	0	0
	7	9575.3	7924.7	3793.1	0		7	0	0	0	0
	8	8605.7	0	7583.0	0		8	0	0	0	10417.0
m=3	1	0	0	0	0						
	2	7573.4	0	0	703.6						
	3	0	0	32700.0	0						
	4	10400.0	0	0	0						
	5	0	0	0	0						
	6	0	0	0	9544.1						
	7	0	0	4006.9	0						
	8	100.0	7895.8	0	0						

表 4- 16 Case1 :「玻璃規格替代模式」各產品被替代數量

產品別	規劃週期 1	規劃週期 2	規劃週期 3	規劃週期 4
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	1910.6	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	100	0	0	0

表 4- 17 Case1 :「玻璃規格替代模式」各產品別之產出及訂單需求

產品別	規劃週期 1			規劃週期 2			規劃週期 3			規劃週期 4		
	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量
1	7,700	7,700	0	0	0	0	18,100	18,100	0	0	0	0
2	16,100	7,400	0	0	8,700	0	2,380.1	0	0	10,919.9	13,300	0
3	0	0	0	0	0	0	32,700	17,900	0	0	14,800	0
4	10,400	0	0	0	10,400	0	12,000	12,000	0	0	0	0
5	1,910.6	0	0	7,910.2	10,500	679.2	14,300	0	0	100	14,400	0
6	0	0	0	0	0	0	13,155.9	10,000	0	9,544.1	12,700	0
7	9,575.3	8,300	0	7,924.7	9,200	0	7,800	7,800	0	0	0	0
8	8,705.7	6,800	0	7,895.8	10,000	198.5	7,583	0	0	10,417	18,000	0
總計	54,391.6	30,200	0	23,730.7	48,800	877.7	108,019	65,800	0	30,981	73,200	0

表 4- 18 Case1 : 「玻璃規格替代模式」排程結果

規畫週期	機台 1				機台 2				機台 3			
	產出量		跨期/期內換線	光罩	產出量		跨期/期內換線	光罩	產出量		跨期/期內換線	光罩
	期初/期末產品別				期初/期末產品別				期初/期末產品別			
1	X[8,1,1]=8605.7	β[0,8,1,1]=1	y[8,7,1,1] = 1	δ[2,1,1]=1	X[2,2,1]=8526.6	β[0,2,2,1]=1	y[1,5,2,1] = 1	δ[1,2,1]=1	X[2,3,1]=7573.4	β[0,2,3,1]=1	δ[1,3,1]=1	
	X[7,1,1]=9575.3	γ[9,8,1,1]=1		α[7,1,1]=1	X[1,2,1]=7700.0	γ[9,2,2,1]=1	y[2,1,2,1] = 1	α[1,2,1]=1	X[4,3,1]=10400.0	γ[9,2,3,1]=1	δ[2,3,1]=1	
	BG[8,1,1]=1	γ[8,7,1,1]=1		α[8,1,1]=1	X[5,2,1]=1910.6	γ[2,1,2,1]=1	y[2,5,2,1] = 1	α[2,2,1]=1	X[8,3,1]=100.0	γ[2,4,3,1]=1	α[2,3,1]=1	
	FG[7,1,1]=1	γ[7,9,1,1]=1			GL[1,5,2,1] = 1	γ[1,5,2,1]=1		α[5,2,1]=1	GL[4,8,3,1] = 1	γ[4,8,3,1]=1	α[4,3,1]=1	
					BG[2,2,1]=1	γ[5,9,2,1]=1			BG[2,3,1]=1	γ[8,9,3,1]=1	α[8,3,1]=1	
				FG[5,2,1]=1				FG[8,3,1]=1	y[2,4,3,1] = 1			
									y[2,8,3,1] = 1			
									y[4,8,3,1] = 1			
2	X[7,1,2]=7924.7	β[7,7,1,2]=1		δ[2,1,2]=1	X[5,2,2]=7910.2	β[5,5,2,2]=1		δ[1,2,2]=1	X[8,3,2]=7895.8	β[8,8,3,2]=1	δ[1,3,2]=1	
	BG[7,1,2]=1	γ[9,7,1,2]=1		α[7,1,2]=1	BG[5,2,2]=1	γ[5,9,2,2]=1		α[5,2,2]=1	BG[8,3,2]=1	γ[9,8,3,2]=1	δ[2,3,2]=1	
	FG[7,1,2]=1	γ[7,9,1,2]=1			FG[5,2,2]=1	γ[9,5,2,2]=1			FG[8,3,2]=1	γ[8,9,3,2]=1	α[8,3,2]=1	
3	X[4,1,3]=12000.0	β[7,4,1,3]=1	y[4,6,1,3] = 1	δ[1,1,3]=1	X[1,2,3]=18100.0	β[5,1,2,3]=1	y[1,2,2,3] = 1	δ[1,2,3]=1	X[3,3,3]=32700.0	β[8,3,3,3]=1	δ[2,3,3]=1	
	X[6,1,3]=13155.9	γ[9,4,1,3]=1	y[4,7,1,3] = 1	δ[2,1,3]=1	X[5,2,3]=14300.0	γ[9,1,2,3]=1	y[1,5,2,3] = 1	α[1,2,3]=1	X[7,3,3]=4006.9	γ[9,3,3,3]=1	α[3,3,3]=1	
	X[8,1,3]=7583.0	γ[4,6,1,3]=1	y[4,8,1,3] = 1	α[4,1,3]=1	X[2,2,3]=2380.1	γ[1,5,2,3]=1	y[5,2,2,3] = 1	α[2,2,3]=1	BG[3,3,3]=1	γ[3,7,3,3]=1	α[7,3,3]=1	
	X[7,1,3]=3793.1	γ[6,8,1,3]=1	y[6,7,1,3] = 1	α[6,1,3]=1	BG[1,2,3]=1	γ[5,2,2,3]=1		α[5,2,3]=1	FG[7,3,3]=1	γ[7,9,3,3]=1		
	BG[4,1,3]=1	γ[8,7,1,3]=1	y[6,8,1,3] = 1	α[7,1,3]=1	FG[2,2,3]=1	γ[2,9,2,3]=1				y[3,7,3,3] = 1		
	FG[7,1,3]=1	γ[7,9,1,3]=1	y[8,7,1,3] = 1	α[8,1,3]=1								
4	X[5,1,4]=100.0	β[7,5,1,4]=1	y[5,2,1,4] = 1	δ[1,1,4]=1	X[8,2,4]=10417.0	β[2,8,2,4]=1		δ[2,2,4]=1	X[2,3,4]=703.6	β[7,2,3,4]=1	δ[1,3,4]=1	
	X[2,1,4]=10216.3	γ[9,5,1,4]=1		α[2,1,4]=1	BG[8,2,4]=1	γ[9,8,2,4]=1		α[8,2,4]=1	X[6,3,4]=9544.1	γ[9,2,3,4]=1	α[2,3,4]=1	
	BG[5,1,4]=1	γ[5,2,1,4]=1		α[5,1,4]=1	FG[8,2,4]=1	γ[8,9,2,4]=1			BG[2,3,4]=1	γ[2,6,3,4]=1	α[6,3,4]=1	
	FG[2,1,4]=1	γ[2,9,1,4]=1							FG[6,3,4]=1	γ[6,9,3,4]=1		
									y[2,6,3,4] = 1			

註：X[i,m,s] = X_{i,m,s}, BG[i,m,s] = BG_{i,m,s}, FG[i,m,s] = FG_{i,m,s}, β[i,i',m,s] = β_{i,i',m,s}, γ[i,i',m,s] = γ_{i,i',m,s}, y[i,i',m,s] = y_{i,i',m,s}, δ[r, m,s] = δ_{r,m,s},

α[i, m,s]=α_{i,m,s}, Y[i,i',m,s]=Y_{i,i',m,s}, GL[i,i',m,s] = GL_{i,i',m,s}, ：代表玻璃替代

替代數量：Y[1,5,2,1] = 1910.6, Y[4,8,3,1] = 100.0。

4.3.2、Case2：無訂單延遲情況發生

「瓶頸工作站排程模式」案例說明

本案例為說明「瓶頸工作站排程模式」之執行結果後，無訂單延遲情況發生，進而執行「最小化光阻換線模式」，以降低光阻液耗費成本。本案例之訂單資訊如表 4-19 所示。

以 ILOG OPL Studio 軟體求解後之統計資訊列於表 4-20，各機台之產出量列於表 4-21，各產品別之產出量及延遲數量列於表 4-22，排程結果列於表 4-23。由表 4-23 可發現，共發生光阻換線 12 次，光阻換線成本為 134,000 元，無延遲數量發生，故執行「最小化光阻換線模式」。

表 4- 19 Case2：訂單資訊

訂單編號	訂單交期(天)	產品別								總需求量(片)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	4	0	0	6600	7600	0	3700	4800	0	22700
2	10	12000	10900	0	15600	0	8200	0	11400	58100
3	22	0	15200	13900	0	21700	18300	0	28600	97700
4	28	12600	0	14500	0	0	0	17200	0	44300
需求數量		24600	26100	35000	23200	21700	30200	22000	40000	222800

表 4- 20 Case2：「瓶頸工作站排程模式」統計資訊

目標值 (元)	限制式總數	變數個數	求解時間 (秒)
0	8,059	3326	1.14

表 4- 21 Case2：「瓶頸工作站排程模式」各機台產出量

機台	產品	規劃週期				機台	產品	規劃週期			
		1	2	3	4			1	2	3	4
m=1	1	0	0	0	12600.0	m=2	1	0	3433.2	0	0
	2	0	0	2575.8	0		2	0	10900.0	12624.2	0
	3	2646.3	0	0	0		3	3953.7	0	0	0
	4	7600.0	0	0	0		4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0		5	0	0	21700.0	0
	6	0	6610.9	18300.0	0		6	2253.8	1589.1	0	0
	7	0	0	0	0		7	4800.0	0	0	17200.0
	8	0	11400.0	15026.7	0		8	0	0	0	0
m=3	1	8566.8	0	0	0						
	2	0	0	0	0						
	3	0	0	13900.0	14500.0						
	4	0	15600.0	0	0						
	5	0	0	0	0						
	6	1446.2	0	0	0						
	7	0	0	0	0						
	8	0	0	13573.3	0						

表 4- 22 Case2：「瓶頸工作站排程模式」各產品別之產出量及訂單需求

產品別	規劃週期(s)											
	1			2			3			4		
	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量
1	8,566.8	0	0	3,433.2	12,000	0	0	0	0	12,600	12,600	0
2	0	0	0	10,900	10,900	0	15,200	15,200	0	0	0	0
3	6,600	6,600	0	0	0	0	13,900	13,900	0	14,500	14,500	0
4	7,600	7,600	0	15,600	15,600	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	21,700	21,700	0	0	0	0
6	3,700	3,700	0	8,200	8,200	0	18,300	18,300	0	0	0	0
7	4,800	4,800	0	0	0	0	0	0	0	17,200	17,200	0
8	0	0	0	11,400	11,400	0	28,600	28,600	0	0	0	0
總計	31,266.8	22,700	0	49,533.2	58,100	0	97,700	97,700	0	44,300	44,300	0

表 4- 23 Case2 : 「瓶頸工作站模式」之排程結果

規劃週期	機台 1				機台 2				機台 3		
	產出量	跨期/期內換線		光罩	產出量	跨期/期內換線		光罩	產出量	跨期/期內換線	光罩
	期初/期末產品別				期初/期末產品別				期初/期末產品別	換線	
1	X[4,1,1]=7600.0	β[0,4,1,1]=1	y[4,3,1,1]=1	δ[2,1,1]=1	X[7,2,1]=4800.0	β[0,7,2,1]=1	y[3,6,2,1]=1	δ[1,2,1]=1	X[1,3,1]=8566.8	β[0,1,3,1]=1	δ[1,3,1]=1
	X[3,1,1]=2646.3	γ[9,4,1,1]=1		α[3,1,1]=1	X[3,2,1]=3953.7	γ[9,7,2,1]=1	y[7,3,2,1]=1	δ[2,2,1]=1	X[6,3,1]=1446.2	γ[9,1,3,1]=1	α[1,3,1]=1
	BG[4,1,1]=1	γ[4,3,1,1]=1		α[4,1,1]=1	X[6,2,1]=2253.8	γ[7,3,2,1]=1	y[7,6,2,1]=1	α[3,2,1]=1	BG[1,3,1]=1	γ[1,6,3,1]=1	α[6,3,1]=1
	FG[3,1,1]=1	γ[3,9,1,1]=1			BG[7,2,1]=1	γ[3,6,2,1]=1		α[6,2,1]=1	FG[6,3,1]=1	γ[6,9,3,1]=1	
				FG[6,2,1]=1	γ[6,9,2,1]=1		α[7,2,1]=1			y[1,6,3,1]=1	
2	X[8,1,2]=11400.0	β[3,8,1,2]=1	y[8,6,1,2]=1	δ[1,1,2]=1	X[6,2,2]=1589.1	β[6,6,2,2]=1	y[2,1,2,2]=1	δ[1,2,2]=1	X[4,3,2]=15600.0	β[6,4,3,2]=1	δ[2,3,2]=1
	X[6,1,2]=6610.9	γ[9,8,1,2]=1		δ[1,1,2]=1	X[2,2,2]=10900.0	γ[9,6,2,2]=1	y[6,1,2,2]=1	α[1,2,2]=1	BG[4,3,2]=1	γ[9,4,3,2]=1	α[4,3,2]=1
	BG[8,1,2]=1	γ[8,6,1,2]=1		α[6,1,2]=1	X[1,2,2]=3433.2	γ[6,2,2,2]=1	y[6,2,2,2]=1	α[2,2,2]=1	FG[4,3,2]=1	γ[4,9,3,2]=1	
	FG[6,1,2]=1	γ[6,9,1,2]=1		α[8,1,2]=1	BG[6,2,2]=1	γ[2,1,2,2]=1		α[6,2,2]=1			
				FG[1,2,2]=1	γ[1,9,2,2]=1						
3	X[8,1,3]=15026.7	β[6,8,1,3]=1	y[6,2,1,3]=1	δ[1,1,3]=1	X[2,2,3]=12624.2	β[1,2,2,3]=1	y[2,5,2,3]=1	δ[1,2,3]=1	X[3,3,3]=13900.0	β[4,3,3,3]=1	δ[2,3,3]=1
	X[6,1,3]=18300.0	γ[9,8,1,3]=1	y[8,2,1,3]=1	δ[2,1,3]=1	X[5,2,3]=21700.0	γ[9,2,2,3]=1		α[2,2,3]=1	X[8,3,3]=13573.3	γ[9,3,3,3]=1	α[3,3,3]=1
	X[2,1,3]=2575.8	γ[8,6,1,3]=1	y[8,6,1,3]=1	α[2,1,3]=1	BG[2,2,3]=1	γ[2,5,2,3]=1		α[5,2,3]=1	BG[3,3,3]=1	γ[3,8,3,3]=1	α[8,3,3]=1
	BG[8,1,3]=1	γ[6,2,1,3]=1		α[6,1,3]=1	FG[5,2,3]=1	γ[5,9,2,3]=1			FG[8,3,3]=1	γ[8,9,3,3]=1	
	FG[2,1,3]=1	γ[2,9,1,3]=1	α[8,1,3]=1							y[3,8,3,3]=1	
4	X[1,1,4]=12600.0	β[2,1,1,4]=1		δ[1,1,4]=1	X[7,2,4]=17200.0	β[5,7,2,4]=1		δ[2,2,4]=1	X[3,3,4]=14500.0	β[8,3,3,4]=1	δ[1,3,4]=1
	BG[1,1,4]=1	γ[9,1,1,4]=1		α[1,1,4]=1	BG[7,2,4]=1	γ[9,7,2,4]=1		α[7,2,4]=1	BG[3,3,4]=1	γ[3,9,3,4]=1	δ[2,3,4]=1
	FG[1,1,4]=1	γ[1,9,1,4]=1			FG[7,2,4]=1	γ[7,9,2,4]=1			FG[3,3,4]=1	γ[9,3,3,4]=1	α[3,3,4]=1

註：X[i,m,s] = X_{i,m,s}, BG[i,m,s] = BG_{i,m,s}, FG[i,m,s] = FG_{i,m,s}, β[i,i',m,s] = β_{i,i',m,s}, γ[i,i',m,s] = γ_{i,i',m,s}, y[i,i',m,s] = y_{i,i',m,s}

δ[r, m,s] = δ_{r,m,s}, α[i, m,s] = α_{i,m,s}, Y[i,i',m,s] = Y_{i,i',m,s}, GL[i,i',m,s] = GL_{i,i',m,s}, : 發生光阻換線

「最小化光阻換線模式」案例說明

步驟一：

以 ILOG OPL Studio 求解步驟一之模式，在執行約三小時之後，手動停止程式，此時所得之可行解之目標值為 156,000，並將此值作為步驟二參數 K 之起始值。

步驟二：

將步驟一求得之可行解作為參數 K ，採二分法依序向下修正 K 值，反覆執行此步驟之模式，表 4-24 為本步驟模式之執行過程。此時之 ILog OPL Studio 統計資訊如表 4-25 所示。各機台產出量列於表 4-26，各產品別之產出及訂單需求列於表 4-27。排程結果於表 4-28。由結果可發現，光阻液之換線次數由 14 次減少至 8 次，共節省了 6 次光阻液之換線，節省成本由 156,000 元降至 90,000 元。

表 4- 24 Case2：「最小化光阻換線模式」執行過程

執行步驟	K 值	求解時間	光阻成本	執行狀態
1	156,000	63.42	134,000	-
2	78,000	37,723.98	-	stop
3	117,000	349	112,000	-
4	97,500	416.07	90,000	-
5	84,000	34225.4	-	stop
6	87,750	36425.6	-	stop
7	88,875	31040.2	-	stop
8	89,438	30,070	-	stop
9	90,000	10,034.70	90,000	-

表 4- 25 Case2：「最小化光阻換線模式」統計資訊

目標值（元）	限制式總數	變數個數	求解時間（秒）
90,000	8,059	3,327	10034.7

表 4- 26 Case2 :「最小化光阻換線模式」各機台產出量

機台	產品	規劃週期				機台	產品	規劃週期			
		1	2	3	4			1	2	3	4
m=1	1	100.0	0	0	100.0	m=2	1	0	11900.0	0	12500.0
	2	0	0	0	0		2	0	3302.9	15200.0	0
	3	453.0	0	1069.4	0		3	6147.0	0	0	0
	4	7600.0	0	0	0		4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0		5	0	0	18754.9	0
	6	641.6	8200.0	0	0		6	0	0	100.0	0
	7	0	0	0	17200.0		7	4800.0	0	0	0
	8	1427.6	9972.4	28500.0	0		8	0	0	0	0
m=3	1	0	0	0	0						
	2	7597.1	0	0	0						
	3	0	0	12830.6	14500.0						
	4	0	15600.0	0	0						
	5	0	0	2945.1	0						
	6	3058.4	0	18200.0	0						
	7	0	0	0	0						
	8	0	0	100.0	0						

表 4- 27 Case2 :「最小化光阻換線模式」各產品別之產出及訂單需求

產品別	規劃週期(s)											
	1			2			3			4		
	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量	產出量	需求量	延遲數量
1	100	0	0	11,900	12,000	0	0	0	0	12,600	12,600	0
2	7,597.1	0	0	3,302.9	10,900	0	15,200	15,200	0	0	0	0
3	6,600	6,600	0	0	0	0	13,900	13,900	0	14,500	14,500	0
4	7,600	7,600	0	15,600	15,600	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	21,700	21,700	0	0	0	0
6	3,700	3,700	0	8,200	8,200	0	18,300	18,300	0	0	0	0
7	4,800	4,800	0	0	0	0	0	0	0	17,200	17,200	0
8	1,427.6	0	0	9,972.4	11,400	0	28,600	28,600	0	0	0	0
總計	31,824.7	22,700	0	48,975.3	58,100	0	97,700	97,700	0	44,300	44,300	0

表 4- 28 Case2：「最小化光阻換線模式」排程結果

規劃週期	機台 1				機台 2				機台 3			
	產出量	跨期/期內換線		光罩	產出量	跨期/期內換線		光罩	產出量	跨期/期內換線		光罩
	期初/期末產品別				期初/期末產品別				期初/期末產品別			
1	X[1,1,1]=100.0	$\beta[0,1,1]=1$	y[1,6,1,1]=1	$\delta[1,1,1]=1$	X[3,2,1]=6147.0	$\beta[0,3,2,1]=1$	y[3,7,2,1]=1	$\delta[2,2,1]=1$	X[6,3,1]=3058.4	$\beta[0,6,3,1]=1$	y[6,2,3,1]=1	$\delta[1,3,1]=1$
	X[3,1,1]=453.0	$\gamma[9,1,1,1]=1$	y[1,8,1,1]=1	$\delta[2,1,1]=1$	X[7,2,1]=4800.0	$\gamma[9,3,2,1]=1$		$\alpha[3,2,1]=1$	X[2,3,1]=7597.1	$\gamma[9,6,3,1]=1$		$\alpha[2,3,1]=1$
	X[8,1,1]=1427.6	$\gamma[1,3,1,1]=1$	y[3,4,1,1]=1	$\alpha[1,1,1]=1$	BG[3,2,1]=1	$\gamma[3,7,2,1]=1$		$\alpha[7,2,1]=1$	BG[6,3,1]=1	$\gamma[6,2,3,1]=1$		$\alpha[6,3,1]=1$
	X[4,1,1]=7600.0	$\gamma[3,8,1,1]=1$	y[3,6,1,1]=1	$\alpha[3,1,1]=1$	FG[7,2,1]=1	$\gamma[7,9,2,1]=1$			FG[2,3,1]=1	$\gamma[2,9,3,1]=1$		
	X[6,1,1]=641.6	$\gamma[8,4,1,1]=1$	y[3,8,1,1]=1	$\alpha[4,1,1]=1$								
	BG[1,1,1]=1	$\gamma[4,6,1,1]=1$	y[4,6,1,1]=1	$\alpha[6,1,1]=1$								
FG[6,1,1]=1	$\gamma[6,9,1,1]=1$	y[8,4,1,1]=1	$\alpha[8,1,1]=1$									
	$y[1,3,1,1]=1$	y[8,6,1,1]=1										
	$y[1,4,1,1]=1$											
2	X[6,1,2]=8200.0	$\beta[6,6,1,2]=1$	y[6,8,1,2]=1	$\delta[1,1,2]=1$	X[1,2,2]=11900.0	$\beta[7,1,2,2]=1$	y[1,2,2,2]=1	$\delta[1,2,2]=1$	X[4,3,2]=15600.0	$\beta[2,4,3,2]=1$		$\delta[2,3,2]=1$
	X[8,1,2]=9972.4	$\gamma[9,6,1,2]=1$		$\delta[2,1,2]=1$	X[2,2,2]=3302.9	$\gamma[9,1,2,2]=1$	y[2,5,2,3]=1	$\alpha[1,2,2]=1$	BG[4,3,2]=1	$\gamma[9,4,3,2]=1$		$\alpha[4,3,2]=1$
	BG[6,1,2]=1	$\gamma[6,8,1,2]=1$		$\alpha[6,1,2]=1$	BG[1,2,2]=1	$\gamma[1,2,2,2]=1$	y[2,6,2,3]=1	$\alpha[2,2,2]=1$	FG[4,3,2]=1	$\gamma[4,9,3,2]=1$		
	FG[8,1,2]=1	$\gamma[8,9,1,2]=1$		$\alpha[8,1,2]=1$	FG[2,2,2]=1	$\gamma[2,9,2,2]=1$	y[6,5,2,3]=1					
3	X[8,1,3]=28500.0	$\beta[8,8,1,3]=1$	y[8,3,1,3]=1	$\delta[2,1,3]=1$	X[2,2,3]=15200.0	$\beta[2,2,2,3]=1$	y[2,5,2,3]=1	$\delta[1,2,3]=1$	X[8,3,3]=100.0	$\beta[4,8,3,3]=1$	y[5,3,3,3]=1	$\delta[1,3,3]=1$
	X[3,1,3]=1069.4	$\gamma[9,8,1,3]=1$		$\alpha[3,1,3]=1$	X[6,2,3]=100.0	$\gamma[9,2,2,3]=1$		$\alpha[2,2,3]=1$	X[6,3,3]=18200.0	$\gamma[9,8,3,3]=1$	y[6,3,3,3]=1	$\delta[2,3,3]=1$
	BG[8,1,3]=1	$\gamma[8,3,1,3]=1$		$\alpha[8,1,3]=1$	X[5,2,3]=18754.9	$\gamma[2,6,2,3]=1$		$\alpha[5,2,3]=1$	X[5,3,3]=2945.1	$\gamma[8,6,3,3]=1$	y[6,5,3,3]=1	$\alpha[3,3,3]=1$
	FG[3,1,3]=1	$\gamma[3,9,1,3]=1$			BG[2,2,3]=1	$\gamma[6,5,2,3]=1$		$\alpha[6,2,3]=1$	X[3,3,3]=12830.6	$\gamma[6,5,3,3]=1$	y[8,3,3,3]=1	$\alpha[5,3,3]=1$
					FG[5,2,3]=1	$\gamma[5,9,2,3]=1$			BG[8,3,3]=1	$\gamma[5,3,3,3]=1$	y[8,5,3,3]=1	$\alpha[6,3,3]=1$
								FG[3,3,3]=1	$\gamma[3,9,3,3]=1$	y[8,6,3,3]=1	$\alpha[8,3,3]=1$	
4	X[1,1,4]=100.0	$\beta[3,1,1,4]=1$		$\delta[1,1,4]=1$	X[1,2,4]=12500.0	$\beta[5,1,2,4]=1$		$\delta[1,2,4]=1$	X[3,3,4]=14500.0	$\beta[3,3,3,4]=1$		$\delta[2,3,4]=1$
	X[7,1,4]=17200.0	$\gamma[9,1,1,4]=1$		$\delta[2,1,4]=1$	BG[1,2,4]=1	$\gamma[9,1,2,4]=1$		$\alpha[1,2,4]=1$	BG[3,3,4]=1	$\gamma[9,3,3,4]=1$		$\alpha[3,3,4]=1$
	BG[1,1,4]=1	$\gamma[1,7,1,4]=1$		$\alpha[1,1,4]=1$	FG[1,2,4]=1	$\gamma[1,9,2,4]=1$			FG[3,3,4]=1	$\gamma[3,9,3,4]=1$		
	FG[7,1,4]=1	$\gamma[7,9,1,4]=1$		$\alpha[7,1,4]=1$								

註：X[i,m,s] = $X_{i,m,s}$, BG[i,m,s] = $BG_{i,m,s}$, FG[i,m,s] = $FG_{i,m,s}$, $\beta[i,i',m,s] = \beta_{i,i',m,s}$, $\gamma[i,i',m,s] = \gamma_{i,i',m,s}$, $y[i,i',m,s] = y_{i,i',m,s}$

$\delta[r, m,s] = \delta_{r,m,s}$, $\alpha[i, m,s] = \alpha_{i,m,s}$, $Y[i,i',m,s] = Y_{i,i',m,s}$, $GL[i,i',m,s] = GL_{i,i',m,s}$, ：發生光阻換線

4.3、模式之推廣與應用

彩色濾光片專業廠之生產型態大多為訂單式生產，故本文之 4.2 節即為在此環境假設下執行主生產排程模組。然而，專業廠為追求其利潤最大化之目標，可轉型為存貨式生產。本節因而探究在給定對每一產品別之需求預測下，檢驗各項屬性，如光罩種類數、光阻種類數、玻璃規格種類數等，尋求最適產品組合。因此，吾人修改 3.4.1 節「瓶頸工作站排程模式」之目標式為最大獲利額，先求解各個產品種類總數設定值下之最適解，再執行評選，即可獲得最適之光罩別、光阻別及玻璃規格別之組合。

本節所執行模式之系統環境與基本假設皆與 4.1 節相同，包含系統中設定 8 種產品別及各類產品別所對應之加工時間及各種成本及利潤值，以及設置時間、機台資訊等資訊，見表 4-1 至表 4-5，唯一不同處是本模式規劃求解範圍僅設定一週(七天)。以下將分三個步驟說明執行過程：

步驟一：求算各產品產出均量

本例所設定之產出量上下限，須套用於每一種產品組合，才能公平地比較各產品種類數下之獲利值。為設定合理之產出量區間，吾人先將產品種類數設定為最大值之情境，求算各產品別為均量產出時之產出量，並將規劃範圍設為一週。求解產出均量所用模式如下(僅列出與「瓶頸工作站排程模式」不同處)：

將 3.4.1 節之「瓶頸工作站排程模式」中式 3-16 改為下式：

$$Max \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M X_{i,m,1} \quad \text{式 4-9}$$

式 4-9 為目標式最大化產品產出量。

將式 3-17 省略，增加下列各式：

$$\sum_{m=1}^M X_{1,m,1} = \sum_{m=1}^M X_{i,m,1} \quad \forall i \quad \text{式 4-10}$$

式 4-10 表限制每一產品的產出量皆相同。

除了上兩式以外，其餘限制式皆與式 3-18 至 3-41 相同，以 ILOG OPL Studio 執行模式，求得目標值為 58,180.3214，表一週內三機台共可生產約 58,180 片之產品，故各產品別之產出均量約 7,273 片 (58,180.3214/8=7,272.5402)。

步驟二：設定各組合中，每一產品別之產出量上、下限

由於各產品別對應之單位利潤不同，若無產出量上限之設計，則排程模式將僅生產具最大獲利能力之產品別，而彩色濾光片專業廠在追求利潤最大化之餘，應避免產品種類數過少而受外界質疑其生產能力，故設定每產品之產出量上限有其必要性，由步驟一之結果可知，若以單機生產單一產品時，其產量至少為 19393 片 ($58,180.3214/3=19393.4405$)。考量生產單一產品可節省之設置時間，吾人在此設定每一產品別之產出量上限為 24000 片。

考量換線所需之整備時間相當長，整備之後宜生產足夠之數量，方有助於獲利之提升，因此，設定約當均量之 80%，即 5818 片 ($7,273 \times 0.8=5818$)，作為生產每一產品別時之產出量下限。

此設定此上下限之值，須套用於每一種產品組合，用以比較各種產品種類數下之獲利值。

步驟三：在所設定之產品種類數下，求最大化利潤下之產品組合

由於機台有製程規格能力及可用光罩別之限制，若限制生產產品數為一種，則將有部分機台閒置，不符利潤最大化之前提。因此本步驟設定可行之產品種類數為 2 到 8 種，分別由排程模式考量各產品之獲利能力、加工及換線時間、機台能力、可用光罩數、玻璃與光阻成本等項目，分別決定最適之產品別組合及對應產量。執行此步驟，亦修改自 3.4.1 節之「瓶頸工作站排程模式」，修正方式如下：

符號說明（僅列與「瓶頸工作站排程模式」不同之處）：

➤ 決策變數

UB : 24000，產品產出量上限值。

LB : 5818，產品產出量下限值。

Z_i : 0-1變數。產品*i*是否有生產，若有，則為1；否則為0。

k : 所允許之產品種類數， $k=2、3、4、5、6、7、8$ 。

將「瓶頸工作站排程模式」中式 3-16 改為下式：

$$Max \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M X_{i,m,1} \times pf_i - \sum_{i=1}^I \sum_{i'=1}^I \sum_{m=1}^M (r_{i',m,1} + \beta_{i',m,1}) \times rc_{i,i'} \quad \text{式 4-11}$$

式 4-11 為目標式最大化產品產出利潤，為所有產品之售出利潤，再扣除光阻液換線成本。

將「瓶頸工作站排程模式」中式 3-17 省略，增加下列各式：

$$\sum_{m=1}^M X_{i,m,1} \leq UB \quad \forall i \quad \text{式 4-12}$$

$$\sum_{m=1}^M X_{i,m,1} \geq LB \quad \forall i \quad \text{式 4-13}$$

$$\sum_{m=1}^M X_{i,m,1} \leq Q \times Z_i \quad \forall i \quad \text{式 4-14}$$

$$\sum_{m=1}^M X_{i,m,1} \geq Z_i \quad \forall i \quad \text{式 4-15}$$

$$\sum_{i=2}^8 Z_i = k \quad k = 2,3,4,5,6,7,8 \quad \text{式 4-16}$$

其餘限制式皆與原「瓶頸工作站排程模式」中之式 3-18 至 3-41 相同，以 ILOG OPL Studio 執行模式後，可得各產品種類數下，最佳產品組合及利潤，如表 4-29 所示。

表 4-29 最適產品種類數下之最佳組合及利潤

產品 種類數 K	最佳產品組合 Z _i	利潤(元)	
		設定產出量上下限之前	設定產出量上下限之後
1	略	略	略
2	Z ₁ 、Z ₃	53,248,558.7	46,044,000.0
3	Z ₁ 、Z ₃ 、Z ₅	53,218,292.0	50,621,284.6
4	Z ₁ 、Z ₃ 、Z ₅ 、Z ₇	53,190,434.7	50,114,937.3
5	Z ₁ 、Z ₂ 、Z ₃ 、Z ₅ 、Z ₇	53,152,434.7	50,866,222.7
6	Z ₁ 、Z ₂ 、Z ₃ 、Z ₅ 、Z ₆ 、Z ₇	53,122,168.0	49,672,489.3
7	Z ₁ 、Z ₂ 、Z ₃ 、Z ₄ 、Z ₅ 、Z ₆ 、Z ₇	53,022,088.0	49,561,289.3
8	Z ₁ 至 Z ₈	52,991,761.3	48,410,686.7

由上表可得知，在未設各產品所對應之產量上下限之前，由於目標式為最大化利潤，模式自行挑選利潤最大之 2 種產品進行生產(Z_1 、 Z_3)；而在設定產出量之上下限後，獲得最大利潤之產品組合為 5 種產品別(Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_5 、 Z_7)。各產品種類之排程結果如表 4-30 所示。

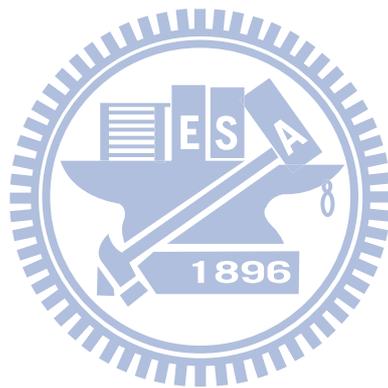


表 4-30 各種產品種類之排程結果

產品數	機台 1		機台 2		機台 3	
	產出量	跨期/期內換線	產出量	跨期/期內換線	產出量	跨期/期內換線
2	X[1,1,1] = 18281.0	$\beta[0,1,1,1] = 1$ $\gamma[9,1,1,1] = 1$ $\gamma[1,9,1,1] = 1$	X[1,2,1] = 5719.0 X[3,2,1] = 5786.6	$\beta[0,1,2,1] = 1$ $\gamma[9,1,2,1] = 1$ $\gamma[1,3,2,1] = 1$ $\gamma[3,9,3,1] = 1$	X[3,3,1] = 18213.4	$\beta[0,3,3,1] = 1$ $\gamma[9,3,3,1] = 1$ $\gamma[3,9,2,1] = 1$
3	X[3,1,1] = 18281.0	$\beta[0,3,1,1] = 1$ $\gamma[9,3,1,1] = 1$ $\gamma[3,9,1,1] = 1$	X[1,2,1] = 5786.6 X[5,2,1] = 7628.8	$\beta[0,5,2,1] = 1$ $\gamma[9,5,2,1] = 1$ $\gamma[5,1,2,1] = 1$ $\gamma[1,3,2,1] = 1$ $\gamma[3,9,2,1] = 1$	X[1,3,1] = 18213.4	$\beta[0,1,3,1] = 1$ $\gamma[9,1,3,1] = 1$ $\gamma[1,9,3,1] = 1$
4	X[1,1,1] = 5786.6 X[3,1,1] = 8582.3 X[5,1,1] = 4364.0	$\beta[0,5,1,1] = 1$ $\gamma[9,5,1,1] = 1$ $\gamma[5,1,1,1] = 1$ $\gamma[1,3,1,1] = 1$ $\gamma[3,9,1,1] = 1$	X[3,2,1] = 14435.1 X[7,2,1] = 4364.0	$\beta[0,3,2,1] = 1$ $\gamma[9,3,2,1] = 1$ $\gamma[3,7,2,1] = 1$ $\gamma[7,9,2,1] = 1$	X[1,3,1] = 18213.4	$\beta[0,1,3,1] = 1$ $\gamma[9,1,3,1] = 1$ $\gamma[1,9,3,1] = 1$
5	X[2,1,1] = 18241.0	$\beta[0,2,1,1] = 1$ $\gamma[9,2,1,1] = 1$ $\gamma[2,9,1,1] = 1$	X[1,2,1] = 14435.1 X[5,2,1] = 4364.0	$\beta[0,1,2,1] = 1$ $\gamma[9,1,2,1] = 1$ $\gamma[1,5,2,1] = 1$ $\gamma[5,9,2,1] = 1$	X[3,3,1] = 14401.3 X[7,3,1] = 4364.0	$\beta[0,3,3,1] = 1$ $\gamma[9,3,3,1] = 1$ $\gamma[3,7,3,1] = 1$ $\gamma[7,9,3,1] = 1$
6	X[2,1,1] = 14428.9 X[6,1,1] = 4364.0	$\beta[0,2,1,1] = 1$ $\gamma[9,2,1,1] = 1$ $\gamma[2,6,1,1] = 1$ $\gamma[6,9,1,1] = 1$	X[1,2,1] = 14435.1 X[5,2,1] = 4364.0	$\beta[0,5,2,1] = 1$ $\gamma[9,5,2,1] = 1$ $\gamma[5,1,2,1] = 1$ $\gamma[2,6,1,1] = 1$	X[3,3,1] = 14401.3 X[7,3,1] = 4364.0	$\beta[0,7,3,1] = 1$ $\gamma[9,7,3,1] = 1$ $\gamma[7,3,3,1] = 1$ $\gamma[3,9,3,1] = 1$
7	X[2,1,1] = 14428.9 X[6,1,1] = 4364.0	$\beta[0,6,1,1] = 1$ $\gamma[9,6,1,1] = 1$ $\gamma[6,2,1,1] = 1$ $\gamma[2,9,1,1] = 1$	X[1,2,1] = 14435.1 X[5,2,1] = 4364.0	$\beta[0,1,2,1] = 1$ $\gamma[9,1,2,1] = 1$ $\gamma[1,5,2,1] = 1$ $\gamma[5,9,2,1] = 1$	X[3,3,1] = 9927.3 X[4,3,1] = 4364.0 X[7,3,1] = 4364.0	$\beta[0,4,3,1] = 1$ $\gamma[9,4,3,1] = 1$ $\gamma[4,3,3,1] = 1$ $\gamma[3,7,3,1] = 1$ $\gamma[7,9,3,1] = 1$
8	X[1,1,1] = 14468.9 X[5,1,1] = 4364.0	$\beta[0,5,1,1] = 1$ $\gamma[9,5,1,1] = 1$ $\gamma[5,1,1,1] = 1$ $\gamma[1,9,1,1] = 1$	X[2,2,1] = 14395.1 X[6,2,1] = 4364.0	$\beta[0,2,2,1] = 1$ $\gamma[9,2,2,1] = 1$ $\gamma[2,6,2,1] = 1$ $\gamma[6,9,2,1] = 1$	X[3,3,1] = 6115.2 X[4,3,1] = 4364.0 X[7,3,1] = 4364.0 X[8,3,1] = 4364.0	$\beta[0,8,3,1] = 1$ $\gamma[9,8,3,1] = 1$ $\gamma[8,4,3,1] = 1$ $\gamma[4,3,3,1] = 1$ $\gamma[3,7,3,1] = 1$ $\gamma[7,9,3,1] = 1$

註：X[i,m,s] = $X_{i,m,s}$, $\beta[i,i',m,s] = \beta_{i,i',m,s}$, $\gamma[i,i',m,s] = \gamma_{i,i',m,s}$

第五章、結論

5.1、結論

近年來 TFT-LCD 產業之發展已趨近於飽和之現象，而彩色濾光片專業廠之競爭激烈程度更勝以往。彩色濾光片專業廠在製程上存在著光罩、光阻及玻璃尺寸等三種換線所組成之多規格順序相依換線問題，並須考量自身瓶頸機台產能限制以及機台如何與附屬資源-光罩進行搭配之問題。再者，彩色濾光片專業廠在面對種類繁雜訂單時，為達滿足客戶訂單需求，在產能吃緊時，採生產單一尺寸面板之方式取代較小尺寸者，此舉乃犧牲玻璃成本之方式來減少換線時間，以增加產出；反之，則致力於減少光阻液換線，以降低物料成本之耗費。為協助彩色濾光片專業廠解決以上諸多問題，本文建構一套主生產排程機制，包含兩個模組：

1. 產能估算模組

此模組主要是將規劃幅度內訂單所需之「機台產能」與「光罩數量」，與系統現有之產能及光罩數量作比較，藉以檢視訂單需求之合理性，方能進入下個模組，進一步規劃排程。

2. 主生產排程模組

此模組承接產能估算模組之結果，考量了機台產能限制、光罩數量、多規格順序相依換線及物料成本等條件下，依序對各筆訂單按交期作逐期之排程規劃。分別以三個 MILP 模式來進行，先以「瓶頸工作站排程模式」進行排程規劃，以最小化延遲成本為目標，藉由求解結果得知系統產能是否能滿足客戶需求，若無法滿足，則採用「玻璃規格替代模式」，讓原須生產不同尺寸之玻璃，以大片取代小片之方式，來節省換線時間，以犧牲玻璃成本之作法來滿足客戶之訂單需求。反之，若初步排程結果能滿足訂單需求，改採「最小化光阻換線模式」，以最小化光阻液換線成本為目標，減少光阻液耗費。

由第四章之實例驗證，本文之成效彙整如下：

1. 本文同時考量了瓶頸機台之產能與製程規格能力，求出最適光罩配置結果。此外，解決了多規格順序相依換線問題，求解出最佳生產排程。
2. 在產能吃緊之情況下，彩色濾光片專業廠可運用本文之模式，判斷是

否應採玻璃規格替代方式，節省在進行不同玻璃尺寸生產時所需之換線時間，耗費不同玻璃尺寸之成本差額，來換取產出，確保客戶訂單需求之達成。

3. 在產能有餘裕之情況下，彩色濾光片專業廠可運用本文之「最小化光阻換線模式」，在滿足所有訂單交期之前提下，使得光阻液之換線次數降至最低，達到降低生產成本之效益。
4. 可運用「瓶頸工作站排程模式」，在設定之產品種類數下，求解最適產品組合，以作為專業廠在承接各 TFT-LCD 廠商訂單時之承包策略，使其更具競爭力。

5.2、未來方向

本文之主生產排程機制，考量自身產能、光罩、多規格順序相依換線、玻璃及光阻成本等限制，制定出最佳生產產品種類與數量，幫助專業廠降低其生產成本。雖有成效，但研究仍有未臻完善之處，值得後續研究探討，說明如下：

1. 近年來由於觸控式面板需求遽增，產量供不應求的情況下，許多彩色濾光片廠紛紛將自身之部分產線改裝成為生產觸控式面板用，然而，此一舉動即減少彩色濾光片之產量，可能造成此部分訂單之損失。故如何配置產能於觸控式面板或彩色濾光片之間值得再深入探究。
2. 本文之研究環境是假設單一廠區，執行玻璃規格替代方式來滿足訂單需求。然而，不同世代之彩色濾光片專業廠，其經濟切割數量皆不相同，倘若未來能在擴大範圍，考量不同世代間互相支援，並考量運輸成本，更能發揮其規模之效益。

參考文獻

- [1] 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.
- [2] Allahverdi, A., Gupta, J.N.D., and Aldowaisan, T., “A review of scheduling research involving setup Considerations,” *Omega, The International Journal of Management Science*, Vol.27, pp.219-239., 1999.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Chen, T. R. and Hsia, T. C., “Job Shop Scheduling with Multiple resources and an Application to a Testing Facility,” *IEEE*, Vol.2, pp.1564-1570., 1994.
- [6] Corwin, B.D., and Esogbue, A.O., “Two-machine flow shop scheduling problems with sequence dependent setup times: a dynamic programming approach.” *Naval Res. Logist. Quart*, 1, pp. 515-524., 1974.
- [7] 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.
- [8] Gupta, J.N.D., and Tunc, E.A., “Scheduling a two-stage hybrid flow shop with separable setup and removal times.” *European Journal of Operation Research*, vol.77, pp.415-428., 1994.
- [9] Johnson, S.M., “Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included.” *Naval Res. Logist. Quart*, Vol.1, pp.61–68., 1954.
- [10] Parthasarathy, S., and Rajendran, C., “A simulated annealing heuristic for

scheduling to minimize weighted tardiness in a flow shop with sequence dependent setup times of jobs-case study”, *Production Of Planning Control*, Vol.8, pp475-483., 1997.

- [11] Rios-Mercado, R.Z., and Bard, F.B., “Heuristics for the flow line problem with setup costs.” *European Journal of Operation Research*, Vol.110, pp.76-98., 1998.
- [12] Kayaligil, S., and Ozlu, M., “Loading of pallets on identical CNC machines with cyclic schedules,” *Computers & Industrial Engineering*, pp.221-230., 2002.
- [13] Simons, J.V., “Heuristics in flow shop scheduling with sequence dependent setup times.” *Omega*, Vol.20 pp.215-25.,1992.
- [14] Szwarc, W., and Gupta, J.N.D., “A flow-shop problem with sequence-dependent additive setup times.” *Naval Res. Logist. Quart*, Vol.34, pp.619-27., 1987.
- [15] Sule, D.R., “Sequencing n jobs on two machines with setup, processing and removal times separated.” *Naval-Res. Logist. Quart*, Vol.29, pp.517-519., 1982.
- [16] 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.721-732, 1983.
- [17] Uskup, G., and Smith, S.B., “A branch and bound for two-stage production sequencing.” *Operation Resarch*, Vol.23, pp.118-136., 1975.
- [18] 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.
- [19] Yoshida, T., and Hitomi, K., “Optimal two-stage production scheduling with setup times separated,” *AIIE Transactions*, Vol.11, pp.261-263, 1979.
- [20] 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.

- [21] 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.
- [22] 工研院 2003 年 IEK 計畫。
- [23] 李偉誠，「彩色濾光片廠多規格換線之主生產排程建構機制」，國立交通大學工業工程與管理學系，碩士論文，民國 97 年。
- [24] 鍾淑馨，「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。
- [25] 鍾淑馨，「彩色濾光片專業廠主生產排程機制之構建」，2008 年國科會結案報告。
- [26] 展茂光電，<http://www.amtc.com.tw/>
- [27] 達虹科技股份有限公司，<http://www.candocom.com/080818.htm>
- [28] 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。
- [29] 楊文華，「考量整備時間下之相關排程問題研究」，國立台灣工業技術學院管理技術研究所，博士論文，民國 85 年。
- [30] 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。
- [31] 顏如敏，「TFT-Array 廠在光罩限制下之現場排程問題」，碩士論文，國立清華大學工業工程與管理學系，民國 95 年。
- [32] 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。