

東 海 大 學

工業工程與經營資訊研究所

碩士論文

運用於紡織廠中具平行機台染整製程之  
啟發式排程演算法



研 究 生：黃俊豪  
指 導 教 授：姚銘忠 博士  
曾宗瑤 博士  
褚文明 博士

中 華 民 國 九 十 八 年 七 月

# **A Heuristic for the Lot Scheduling on Parallel Machines at the Dyeing Process in Textile Firms**

By  
Chun-Hao Huang

Advisor: Prof. Ming-Jong Yao  
Prof. Tsueng-Yao Tseng  
Prof. Wen-Ming Chu

A Thesis  
Submitted to the Institute of Industrial Engineering and  
Enterprise Information at Tunghai University  
In Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of Master of Science  
In  
Industrial Engineering and Enterprise Information

July 2009  
Taichung , Taiwan , Republic of Chin

# 運用於紡織廠中具平行機台染整製程之啟發式 排程演算法

學生：黃俊豪

指導教授：姚銘忠 博士

曾宗瑤 博士

褚文明 博士

東海大學工業工程與經營資訊研究所

## 摘要

本研究主要是以紡織廠為研究對象，探討廠內染整工段的生產排程的問題。在排程作業中，是將製令分派到各個染整機台，排定其生產的時間，以完成一個可行的生產排程。染整工段的作業環境相當複雜，本研究之決策情境假設如下：(1)每項成品是由胚布等級與色水號組合而成，因此染整製令可能有許多種產品組合；(2)染整工段的製令染色之先後順序會影響機台清洗的準備時間，是屬於準備時間順序相依的排程問題；(3)每張製令在不同的機台加工，將使用不同的加工時間。本研究考慮上述排程之情境，並允許製令採取批量分割(Lot Splitting)的彈性，以總成本最小化為目標，發展一套適用於紡織業染整工段最佳排程的啟發式演算法。

本研究並藉由隨機產生之例題進行驗證，比較本研究所提出之排程演算法與傳統最早交期派工法則(Earliest Due Date ; EDD)。本研究數據實驗顯示：(1)本研究所提出之排程演算法相較於 EDD 法則，可得 20% 以上之改善；(2)當訂單批量數與碼長間之標準差越大時，可得到更佳的改善成果。

**關鍵字：**染整工段、生產排程、順序相依、批量分割、啟發式演算法

# **A Heuristic for the Lot Scheduling on Parallel Machines at the Dyeing Process in Textile Firms**

Student: Chun-Hao Huang

Advisor: Prof. Ming-Jong Yao

Prof. Tsueng-Yao Tseng

Prof. Wen-Ming Chu

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information  
Tunghai University

## **ABSTRACT**

This study focuses on the production scheduling problem for the parallel machines at the dyeing process in a textile firm. In order to come up with a feasible production schedule, one should assign each manufacturing order to one of the parallel machines and indicate the starting time of the corresponding production lot. The characteristics of the concerned problem are stated as follows. First, each manufacturing order contains the required product specifications, e.g., the grade of gray cloth, its color and the dyeing length. Second, the setup time for a particular lot is sequence-dependent since the cleaning and preparation time depends on the color of the previous lot on the same dyeing machine. Third, since the dyeing machines are non-identical, the processing time of a manufacturing order may vary with the assigned dyeing machine. On top of the above characteristics, this study allows lot splitting for a manufacturing order, i.e., a production lot for a manufacturing order can be arbitrarily divided into two sub-production lots. The objective of the proposed heuristic is to minimize the total cost incurred for finishing all the manufacturing orders in a production schedule.

Using randomly generated instances, this study verifies the performance of the proposed scheduling heuristic by comparing its solutions with those obtained by the Earliest Due Date (EDD) rule, which is the most popular scheduling heuristic in textile firms. The results of the numerical experiments show that the proposed heuristic gains improvement by at least 20% from the EDD's solutions. Also, the larger the number of manufacturing orders or the larger the value of standard deviation of the dyeing length of manufacturing orders, the more significant the proposed heuristic may gain the improvement.

**Keywords: Dyeing process, Production scheduling, Sequence-dependent Setup time, Lot Splitting, Heuristic**

## 誌謝

研究所兩年求學生涯，承蒙指導老師姚銘忠博士、曾宗瑤博士與褚文明博士，於課業上不吝指教與分享，以及生活上的悉心照顧，啟發學生不同的思維與想法，並激勵學生探索學習上諸多的樂趣。在學生論文尋找至撰寫完成期間，有勞老師們您細心地給予指導與協助，致使論文能如期地完成，心存感激之意無以言喻，期銘記於心終循師訓。同時，論文審查期間，誠心感念胡坤德博士和張育仁博士多所賜教與引導，使得本論文能更臻於完善，謹此銘致謝忱。感謝欣儀、奕茵學姐與正偉學長對我的關心及論文的指正，並提供我相當多寶貴的專業知識與意見，這些都是幫助我完成論文的重要力量與支柱。

研究室諸位同學們與學弟們對我的鼓勵與支持也深深讓我感到懷念，謝謝珮甄、雅婷與政祐，在這些日子裡相互扶持與成長茁壯，讓我在這短暫的兩年多的時間裡，充滿了許多的回憶與歡樂，期望這份情誼能延續與長存。此外感謝系上的助教玉玲、素卿與雅惠，對我的照顧與協助也讓我永遠銘記在心，使我能夠順利的完成我的論文。

最後，衷心感謝家人、手足無限的付出與鼓勵，讓我在求學生涯中得到莫大支持，成為心中最大的支柱，能夠順利地完成學業，在此謹將這份小小的成果與所有關心我的人一同分享。

黃俊豪 謹誌於

東海大學工業工程與經營資訊研究所

中華民國九十八年七月

# 目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
目錄.....	IV
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 紡織業生產流程簡介.....	2
1.3 研究的範圍與假設.....	5
1.4 論文架構.....	5
第二章 文獻探討.....	6
2.1 排程問題之概述.....	6
2.1.1 排程問題之分類.....	6
2.1.2 排程問題求解方法.....	8
2.2 平行機器排程問題探討.....	10
2.2.1 平行機器的類型.....	10
2.2.2 平行機器的排程問題.....	11
2.2.3 比例式非等效平行機器排程問題.....	12
2.2.4 批量分割之平行機器排程問題.....	12
2.3 紡織業相關排程文獻之探討.....	13
2.4 本研究與過去研究不同之處.....	14
第三章 研究方法.....	16
3.1 決策情境說明.....	16
3.1.1 問題定義.....	17
3.1.2 製令採取批量分割的彈性.....	19
3.1.3 成本結構.....	23
3.2 研究方法.....	26
3.2.1 CG 分類與批量分割.....	26
3.2.2 排程方法.....	28
第四章 範例與數據分析.....	36
4.1 範例操作.....	36
4.2 隨機實驗.....	42
第五章 結論與未來研究方向.....	45

5.1 結論.....	45
5.2 未來研究方向.....	45

## 表目錄

表 2.1 常見的績效衡量指標.....	7
表 2.2 比例式非等效平行機器排程問題文獻彙整表.....	12
表 2.3 批量分割之平行機器排程問題文獻彙整表.....	13
表 3.1 計畫時程內之 4 張訂單.....	16
表 3.2 換線時間表.....	18
表 3.3 各機台作業時間表.....	18
表 3.4 計畫時程內之 8 張訂單.....	28
表 4.1 訂單資料表.....	37
表 4.2 MO 分類表.....	40
表 4.3 四種演算法之優劣比較.....	42
表 4.4 不同數量的訂單運算結果比較表.....	43
表 4.5 200 張訂單下各訂單在不同碼長標準差的結果.....	44



## 圖目錄

圖 1.1 紡織廠製程示意圖 .....	3
圖 1.2 染整段操作流程圖 .....	4
圖 3.1 本研究之問題定義 .....	19
圖 3.2 拆單程序流程圖(CG 不分群且拆單).....	32
圖 3.3 拆單程序流程圖(CG 分群且拆單).....	35
圖 4.1 使用 EDD 排程法則之結果.....	38
圖 4.2 使用 CG 不分群且拆單排程法則之結果 .....	39
圖 4.3 使用 CG 分群、不拆單排程法則之結果 .....	41
圖 4.4 使用 CG 分群且拆單排程法則之結果 .....	42

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

台灣紡織產業早期運用相對低廉的工資及勤奮的勞工，當時進口各種天然及人造纖維，以製造布品及成衣為主，由內銷而後外銷。歷經三十幾年的發展，台灣亦成為世界上有數的紡織大國。根據經濟部工業局資料指出，台灣紡織工業去年（2008年）產值高達近四千三百億元。但由於隨著次級房貸金融風暴的影響，造成大環境經濟不景氣，微利時代的來臨，以及來自中國大陸與東南亞等低工資國家的價格競爭，造成國內紡織業者面對國內投資環境轉趨艱困。如何改善此困境，則是紡織業目前最大之課題。

紡織業因應方法有很多，諸如：改善作業流程、購買新設備以增加產能、改善工廠設施規劃等等。其中以購買新機台以增加產能是最直接的方法，然而，如果機台的利用率不高時，徒增紡織業者的生產成本，降低其競爭力。因此，在產能固定的前提下，如何規劃適當機台生產排程，將相關費用總成本最小化，是目前紡織生產決策者最關心的議題之一。

本研究主要是以紡織廠為研究對象，探討廠內染整段的生產排程的問題。其作業方式為將訂單裡的資訊轉為製令（Manufacturing Order；MO）派到各個染整機台後，進行生產排程。染整工段因為染布等級和色水顏色的不同，以及下列的特性造成染整工段派工上的困難：

1. 染整工段的製令染色之先後順序會影響染槽清洗的準備時間，是屬於準備時間順序相依(Sequence Dependent Setup Time; SDST)的派工問題。
2. 製令加工時間由染槽機器而定：每張製令在不同的機器加工，會有不同的加工時間，所以染槽為多部非等效的平行機台。

賴奕茵[10]發展一套適用於紡織廠染整工段的演算法，以總成本最小化為目標，決定各張製令在染整段投料時間與預定產出時間。然而，其研究中採用業界的習慣作法，會先將各製令相同色水等級作排序，進行排程規劃。本研究承襲上述的決策情境，在各製令的色水、等級、碼長和交期已知的情況下，更加入製令拆單與不作色水等級分類的排程彈性，以總成本最小化為目標，發展出適用於紡織業染整工段的派工法則，供決策者作參考。

## 1.2 紡織業生產流程簡介

一般而言，紡織業可分為「纖維生產」(Fiber Production)、「紡紗」(Yarn Spinning)、「織布」(Weaving)、「染整」(Dyeing)及「成衣生產」(Clothing)五個階段。由於將纖維轉變為紡織品的過程相當複雜，因此大部分的紡織廠都會依生產流程進行專業分工與製造，一般業界會分成紡紗、織布及染整三個階段，本研究將其分成三個部門，如圖 1.1 所示(引用賴奕茵[10])。

「纖維生產」為紡織業最上游的部分，可分為天然纖維與人造纖維兩類。天然纖維又稱短纖，主要包括棉、羊毛與蠶絲，其中以棉的產量為最多。人造纖維又稱長纖，主要包括聚酯、尼龍、亞克力以及再生纖維。整體而言，由於台灣的氣候不適合種植棉、羊毛或蠶絲等原物料，所以天然纖維多需仰賴國外進口，而人造纖維則為自行生產。(引用紡拓會電子報 2009/2/20)

「紡紗」是指將人造纖維及天然纖維按特定比例，紡造出一條條織線或棉紗的過程。紡紗廠基本上有假撚、追撚兩道製程，前者為基本製程，若針對某些較高級的加工紗，則需多經過追撚製程。之後的「織布」則是指透過自動化織布機將兩條紗(經紗和緯紗)以正確的角度交錯編織、編結，將紗製成胚布的過程。「染整」的工作則是利用化學或天然的染料，依下游所要求的顏色、圖案或等級來對織布進行加工與處理，本研究主要是在探討染整段的排程，如圖 1.2 所示。

本研究聚焦於染整段的生產排程；而在染整段中，本論文的研究對象紡織廠基本上採訂單式生產(Make-to-Order; MTO)的方式作業。就是當紡織廠接獲顧客的實際訂單後，運用物料需求規劃(Material Requirements Planning; MRP)之計算，在根據訂單規格之需求取用胚布。開立染整製令，進行染整作業，以產出成品布。

一般業務人員會在接到品牌客戶的真實訂單後，將依據訂單規格與交貨條件開立染整製令，染整廠的生管人員再據此規劃生產排程，生產現場則依生產排程將已預先完成的胚布進行染整，再將成品布運送至客戶指定的下游成衣製造廠。

製程流程圖

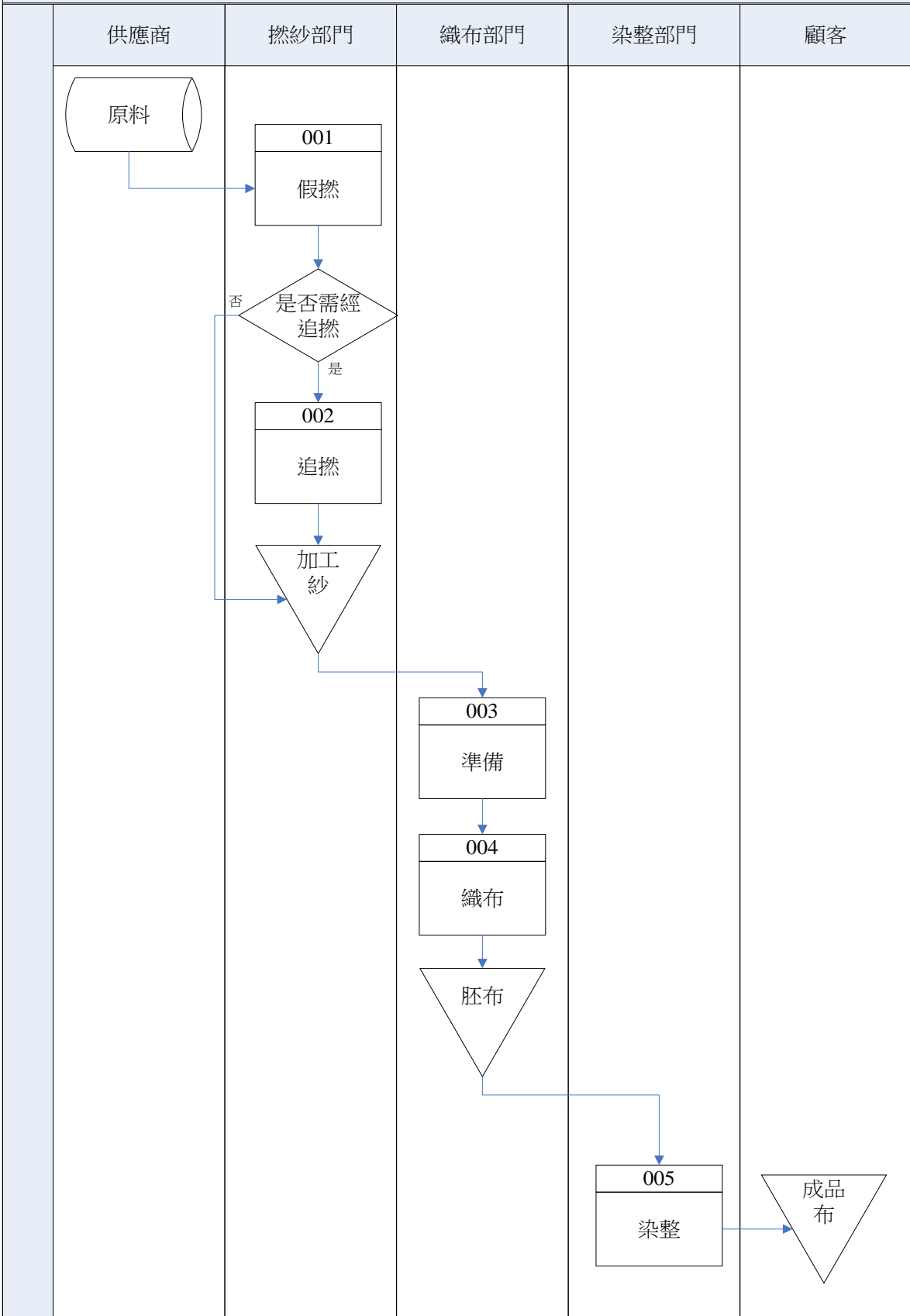


圖 1.1 紡織廠製程示意圖

資料來源: 賴奕茵(2008)

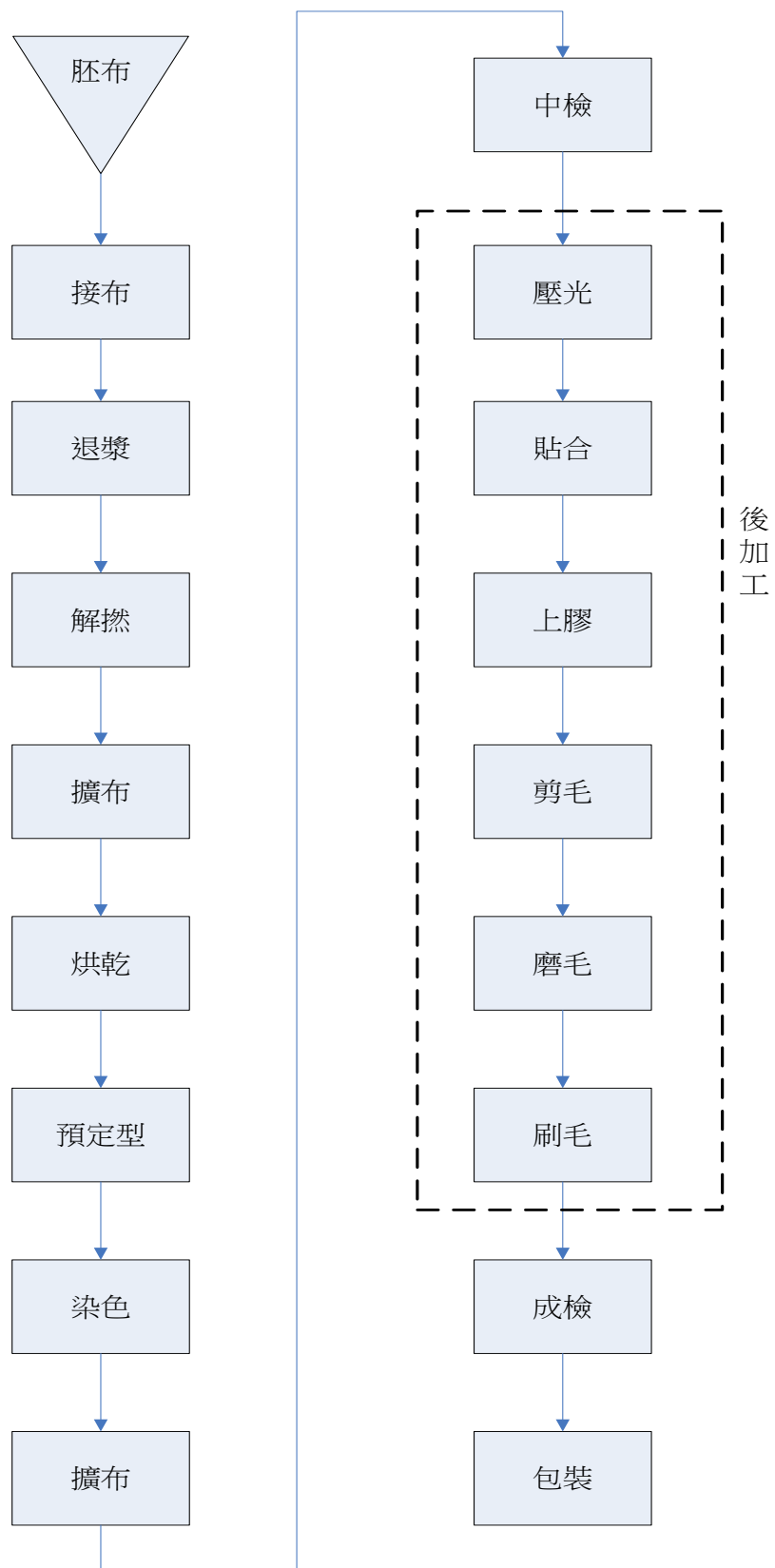


圖 1.2 染整段操作流程圖

資料來源: 賴奕茵(2008)

### 1.3 研究的範圍與假設

本研究以某一特定紡織廠中染整工段生產製造的實際情境為研究對象，藉以設計最佳的排程演算法。本研究目的是考慮染整作業順序相依的特性，並允許製令採取批量分割(Lot Splitting)的彈性，以總成本最小化為目標，發展一套適用於紡織業染整工段最佳排程的演算法。

在設計本研究之最佳排程演算法時，運用下列之假設：

1. 整備時間屬於準備時間順序相依的派工問題。
2. 每台機台在開始進行染整作業前，因清潔機台及校正作業等，會產生一固定之整備成本。
3. 染整段採訂單式生產，即只有在有訂單發生時才會進行生產，而且生產即為訂單需求，故不會有完成品之存貨。
4. 機台不考慮當機及維修情形。
5. 相鄰兩製令生產作業為連續性作業，機台沒有閒置的狀況發生。
6. 新舊機器的性能不同，作業速率也會各不相同。
7. 胚布不會短缺。

### 1.4 論文架構

本論文共分為五章，其內容略述如下：第一章緒論，說明研究背景、動機及目的；第二章文獻探討為過去與紡織產業相關文獻之探討；第三章研究方法，則說明本研究之決策情境、研究架構及提出的多種排程方法；第四章實例驗證，第一小節將以一個完整的例子來說明本研究之排程演算法；於第二小節透過不同製令數與碼長間標準差的問題進行探討，並與傳統排程法則進行比較；第五章則歸納本研究之結論提出及未來發展方向。

## 第二章 文獻探討

本章文獻探討共分四個小節進行探討；第一節，針對目前排程問題做分類，且對於一般常見的排程解法加以說明；第二節，探討目前平行機台排程規劃問題之相關文獻；第三節，對於應用於紡織業排程問題相關文獻，進行探討與分析；第四節為本章作一結論。

### 2.1 排程問題之概述

排程問題是指在有限資源的限制下，配置可用的資源來處理一群工作，以達所設立的目標。而一個好的排程不但能夠提昇生產力與作業效率，且降低在製品的數量。

#### 2.1.1 排程問題之分類

一般而言，排程問題可依據工作到達與作業特性、加工時間特性、機台數目與製程型態以及績效衡量指標四種資訊加以分類，分別說明如下：

##### 一、依工作到達與作業特性分類

1. 靜態(Static)模式:若其工作數目或作業內容均為固定且已知。
2. 動態(Dynamic)模式:工作數目或作業內容隨時間變動而改變，及工作可隨著不同時間點被釋放到工作場所及現行的排程中。

##### 二、加工時間特性

1. 確定性(Deterministic)模式:工作在各機台之加工時間固定。
2. 隨機性(Stochastic)模式:工作在各機台上之加工時間不固定，且可能依循某種機率分配。

##### 三、機台數目與製程型態

###### 1. 單階製程 (Single Operation)

- (1) 單階單機 (Single-machine): 只有一台機台的排程問題，所有工件經由此機台加工處理。
- (2) 平行機台 (Parallel-machine): 多台機器的排程問題，機器間彼此獨立運作，且每一工件可在任選一機台加工。依據機器的加工效率將平行機台分類為，等效平行機台 (Identical Parallel

Machines)、等率平行機台 (Uniform Parallel Machines) 以及非相關平行機台 (Unrelated Parallel Machines) 三類。

## 2. 多階製程 (Multiple Operation)

- (1) 流程型生產 (Flow-shop): 為多階的生產系統，工件須經由多階段的加工處理程式，且每一工件都須經由相同的加工程序，排程問題可視其產品種類分為單產品與多產品混線生產。
- (2) 零工式生產 (Job-shop): 也屬於多階的生產排程問題，和流程型生產不同點在於，每個工件有自己的加工路徑。
- (3) 開放型生產 (Open-shop): 是零工式生產的特例，每個工件有各自的加工路徑，但相較於零工式生產來說，於加工路徑上的工件，其加工的先後順序是不可更改的。

## 四、績效衡量指標

績效指標的設立，直接影響到排程問題的求解模式，也決定了一個生產系統的表現結果。因此在決定績效評估標準之前，必須要先瞭解系統的目標，再選擇適用之法則及相應之評估標準。根據陳致遠[4]彙整一般常見的績效衡量指標，其大致可分為與完工時間相關、交期相關、機器相關、在製品相關以及成本面相關之共五大類型指標，其相關說明如表 2.1 所示。

表 2.1 常見的績效衡量指標

類別	分類
完工時間相關 (Completion time)	平均加權完工時間 (average weighted completion time) 總加權完工時間 (total weighted completion time) 平均流程時間 (mean flow time) 總加權流程時間 (total weighted flow time) 總完工時間 (makespan) 生產週期 (cycle time)
交期相關 (Due Date)	平均差異時間 (mean lateness) 平均早交時間 (mean earliness)



類別	分類
	平均延遲時間(mean tardiness) 總延遲時間(total tardiness) 總加權延遲時間(total weighted tardiness) 寬放時間(allowances time) 最大的延遲時間(maximum tardiness)
機器相關 (machine measures)	平均機台使用率(average machine utilization) 平均整備時間(average setup time) 平均等候時間(average time in queue)
在製品相關 (WIP)	平均在製品數量(average WIP) 平均等待工作數(average number of jobs in queue)
成本相關 (Cost)	總成本(total cost) 平均等候成本(average cost in queue) 機台設置成本(facility setup cost) 缺貨成本(backorder cost)

資料來源: 陳致遠(2003)與本研究彙整

### 2.1.2 排程問題求解方法

因實務上排程問題大部份為 NP-hard 問題，所以求取最佳解所需的時間，會隨著問題規模的增加而呈指數的增加而無法處理。大多數只能求得小規模問題的最佳解，對於較大而複雜的排程問題往往只能以近似解來解決。過去的數十年間，為了解決製造系統的排程問題，有關排程的技術不斷的相繼提出與應用，將這些排程技術理論與系統構架加以彙整後，大致可分以下三種模式：最佳解法（Optimization Methods）、近似解法（Approximation Methods）以及限制理論（Theory of Constraints）三種方法（陳皇銓，2006），其說明如下：

#### 1. 最佳解法

(1) 效率法（Efficient Methods）：此類方法是利用特殊的演算法，來簡化

最佳解求解的過程。雖然效率上較其他最佳化求解法高，但缺點是考慮的狀況過於簡單，因此對於實務上的應用有困難性。

- (2) 數學規劃法 (Mathematical Formulations)：此類方法是根據系統的目標式與限制條件，並利用數理的技術，如常見作業研究的方法。包含有：線性規劃法 (Linear Programming)、整數規劃法 (Integer Programming)、混整數規劃法 (Mixed Integer Programming)、動態規劃法 (Dynamic Programming) 等，與其它相關延伸的方法來求得最佳解。但欲建構與實務上的排程問題相符的限制式並不容易，欲求得最佳解的時間過長，在實務面也有應用上的困難。
- (3) 分枝界限法 (Branch and Bound)：是利用分割與解決的基本觀念，將原問題區分成許多為小問題，並以樹狀之分枝結構逐步找出各分枝之下界限值，減少搜尋最佳解之動作。其優點能求得問題的最佳解，但缺點為只適合用於規模小的排程問題上。

## 2. 近似解法

- (1) 優先派工法則 (Priority Dispatching Rule)：此類方法適合使用於簡單派工問題，如單階作業中的單機或平行機台的排程狀況。吳鴻輝[2]提到通常使用簡單的準則進行排序，因此無法同時考量較多因素，當面對較複雜的排程問題時，所得解將可能不會是最佳解。常見的簡單派工法則有：最短加工時間法 (Shortest Process Time, SPT)、先進先出法 (First In First Out, FIFO)、最早交期法 (Earliest Due Date, EDD)。派工法則最大的優點是容易瞭解且計算方便，排程品質還不算太差，故常為一般生管人員做現場管理之應用。
- (2) 啟發式方法 (Heuristic Methods)：基本上是利用一些簡單的邏輯法則，以簡化問題的求解過程。透過反覆的運算過程比較可行解，逐步搜尋到近似解的答案。由於求解速度較最佳解快，也常被運用於排程問題的求解。常見的啟發式方法有：遺傳基因演算法 (Genetic Algorithms GA)、模擬退火法 (Simulated Annealing; SA)、塔布搜尋法 (Tabu Search; TS) 等。

(3) 模擬法 (Simulation)：模擬法是藉用電腦，模擬出系統中運作方式與行為，用於評估系統功能及結果的工具。利用模擬法可以放寬一般作業研究或啟發式方法所設定的各種假設，更能完整地表現系統架構。許多啟發式方法也利用模擬來評估其績效，選擇較佳排程法則。常見的模擬軟體有 EM-Plant、WITNESS、Promodel。

### 3.限制理論

限制理論 (Theory of Constraint ; TOC)：限制理論是 Goldratt 博士於 1986 年所提出的，其觀點為在任何組織或系統中都會有限制存在，而足以妨礙系統達到較高的績效目標。廣泛應用於排程問題的限制驅導 (Drum-Buffer-Rope ; DBR)，係依據限制理論 TOC 突破系統限制三大步驟所發展出來的管理技術，藉由確認 (Identify)，充分利用 (Exploit) 與全力配合 (Subordinate) 等步驟來處理排程方面的問題。

## 2.2 平行機器排程問題探討

平行機器的生產系統在各產業中運用得相當廣泛，因此平行機器的生產排程問題一直受到相當的重視，以下便針對平行機器的排程問題將有關的文獻予以探討。

文獻探討中尚未發現有關文獻同時探討非相關平行機器容許批量或訂單分割，且考慮不同工作會因處理先後順序會而有不同的設置時間，工作有不同的抵達時間且在不同的機器有不同的處理時間，機器有不同的開始可用時間等相關假設。

### 2.2.1 平行機器的類型

平行機器可解釋為「生產的工件，僅需經過單一加工步驟即能完成，而同時有多部機器可供利用，此即為平行機器的生產型態」。對於平行機器，又可依其機器間之相異程度分為：

#### 一、等效平行機器 (Identical or Equal machines)

所有的機器都相同，相同工作在各個機器上所需的加工時間皆相等。此類型的問題是屬於較典型的平行機器排程問題，考量生產現場中的機器都一樣，這也是過去較多學者探討的問題形式。

#### 二、比例式非等效平行機器 (Uniform or Proportional Machines)

考量相同工作在各機器上所需的加工時間，會因機器速度不同而有差異。此類型的問題考量到機器加工速度的差異，例如在工廠採購新型的機器後，使新舊機器共存於一個生產系統中。由於新舊機器的性能不同，往往造成效率上的差異，就會衍生出此類形式的問題。本研究在假設中有提到染整機台因新舊的不一，作業速率上會各不相同。

### 三、非相關平行機器(Unrelated Machines)

考量到機器和工作搭配的效率，機器對不同的工作的加工速率互有差異，工作在不同機器上所需的加工時間也不相等。此類的問題包括：  
(1) 某些工作只限於在某些機器上加工；(2) 某些工作在某些機器上的加工速率會優於其他機器，也就是機器會有專長的工作，工作的加工時間會因所搭配的機器而有所差異，甚至出現無法加工的情況，一般而言，處理此類問題時，通常難度會比較高。

#### 2.2.2 平行機器的排程問題

平行機器的排程問題是在探討有  $n$  個工件，每個工件需要經過一道加工作業程序，而有  $m$  部機器可以執行此加工作業，排程的目的是在決定工作的加工機器與工作的加工順序，以達所希望績效指標(Performance Measure)的最佳化。

過去幾年來曾有許多學者針對平行機器的排程問題來做探討，常見以下基本假設：

- 一、每個工作的加工時間是已知且固定的。
- 二、每個工作皆為相同之到期日。
- 三、工作的到達時間皆為固定的，即考慮靜態排程。
- 四、所有工作均能選擇任何一部機器從事加工作業。
- 五、每一工作在同一時間內只能選擇一部機器加工，工作之加工是無法分割在多部機器上同時進行加工。
- 六、工作開始加工後便無法中斷，即不允許其他工作中途插入。
- 七、機器無保養及故障之問題。
- 八、各工作之間彼此獨立，沒有先後順序的關係。
- 九、各工作之設置時間已包含在加工時間中，也就是不考慮設置時間的存

在。

因此若對這些基本假設的其中之一去除，則將會衍生出新的排程問題。以下便對一些平行機器的排程問題作有關的文獻探討。

### 2.2.3 比例式非等效平行機器排程問題

1994 年，Emmons[12]曾考量工作有不同的延遲與提早完成單位成本，發展出啟發式解法來指定工作的共同交期，以使加權的工作延遲及提早完成時間之和最小化。1999 年，Guinet[13]先發展啟發式解法，然後再利用模擬退火法對找出的解進行改善求解平均延遲時間最小化或加權延遲時間總和之問題。2004 年，Mireault 等人[16]則針對兩部機器總完工時間最小化問題，計算 LPT 法則所造成的最大相對誤差。文獻彙整如表 2.2。

表 2.2 比例式非等效平行機器排程問題文獻彙整表

年份	姓名	內容
1994	Emmons[12]	考量工作有不同的延遲與提早完成單位成本，發展出啟發式解法來指定工作的共同交期，使加權的工作延遲及提早完成時間之和最小化。
1999	Guinet[13]	先發展啟發式解法，然後再利用模擬退火法找出的解進行改善求解平均延遲時間最小化之問題。
2004	Mireault 等人 [16]	針對兩部機器總完工時間最小化問題，計算 LPT 法則所造成的最大相對誤差。

資料來源：本研究整理

### 2.2.4 批量分割之平行機器排程問題

1999 年，Monma 和 Potts[17]考慮工作的設置時間是有先後順序關係並允許工作是可以做批量分割。2000 年，Chen 等人[11]在等效平行機器上針對工作的抵達時間並可以分割之情況，以啟發式演算法求解總時程最小化之問題。2003 年，Serafini[20]在比例式非等效平行機器上針對工作可以分割之情況，求解最大加權延遲時間最小化之問題。2005 年，Gursel 等人[14]則在等效平行機器上針對工作可以分割之情況且考慮工作之設置時間，求解延遲工作數最小化之目標。文獻彙整如表 2.3。

表 2.3 批量分割之平行機器排程問題文獻彙整表

年份	姓名	內容
1999	Monma 和 Potts[17]	等效平行機器排程問題，考慮工作的設置時間並允許工作是可以做批量分割，以最大工作完成時間最小化為績效指標，以啟發式演算法求解。
2000	Chen 等人[11]	等效平行機器排程問題，考慮工作的抵達時間並可分割之情況，以啟發式演算法求解總時程最小化之問題。
2002	Serafini[20]	比例式非等效平行機器排程問題，針對工作可分割之情況，求解最大加權延遲時間最小化之問題。
2004	Gursel[14]	等效平行機器排程問題，針對工作可分割之情況且考慮工作之設置時間，以最佳化方法，求解延遲工作數最小化之問題。

資料來源：本研究整理

由以上的文獻探討可知，表 2.2 並無考慮到以最小總成本為績效指標；表 2.3 中則有考慮批量分割及機台間的非等效性，但尚未發現有相關文獻同時探討非相關平行機器容許批量或訂單分割，應用於紡織業的排程問題。

## 2.3 紡織業相關排程文獻之探討

紡織產業雖屬成熟產業，又為我國高創匯產業，但長久以來有關於紡織廠業的生產排程之探討，卻遠不如探討電子產業般熱烈[4]。其中多數文獻均在探討紡織製程上的改良與突破，如：織布織法、染料配方...等。Khan[15]在 1990 年建構一個使用者介面之梭織布廠的電腦模擬軟體 TEXSIM，透過 TEXSIM 可利用模擬技術的好處及分析現存的複雜織布生產系統，並使他們能更有效率規劃、設計和操作系統，安排排程與輔助管理。1995 年 Saydam[19]針對染整廠，建構一個 LP Model，找出最佳設備負荷分配。並針對不同染單批中的不同胚布需求量，在設備的操作限制與染料顏色的限制下，配給適當數量胚布於適當的設備，以提昇染缸下的設

備使用率。王崇洋[1]在 1997 年運用知識庫與 ProModel 模擬模型之整合方法，進行假撚廠的訂單排程。楊啟瑞[9]與陳瑩芝[3]在 1999 年針對短纖織布廠之生產製程，以總訂單延遲天數最小為目標，以基因演算法為基礎，提出一套求解多工段的派工法則之紡織生產系統。Mario[18]亦在同年利用 Tabu-Search 的方式協助織布廠進行中/短期的生產規劃。其考量到非線性的延遲成本與加工順序相關的前置作業成本，將運算的演算結果與現行 EDD 法相互比較，有顯著的改善。葉麗芬[7]在 2001 年考量到現行配缸染色的生產型態，往往造成染色機台之負荷分配不均，而導致整體產能低落。因此以交期為考量進行換缸染色，應用基因演算法求取整備成本及延遲成本之最小化以解決平行機台排程問題。2004 年徐偉誌[6]與蔡仁耀[8]在已知各待染工單的指定缸型下，運用三種啟發式演算法，基因演算法(GA)、模擬退火法(SA)、禁忌搜尋法(TS)，以訂單總延遲時間最小化為目標，進行探討。賴奕茵[10]在 2008 年提出一個二階段啟發式演算法，以總成本最小化為目標，以解決染整廠連續型製程的排程問題。

由上述文獻可知，大都著重於紡織業其他工段進行探討，其中包括假撚廠、梭織布廠、針織布廠、成衣廠等。而少數探討到染整工段的排程問題，其作業方式卻屬於染缸式生產的。首先作個說明，因為目前紡織業中，存在兩種染色的方式，如[3][6][7][8][9]所探討染整工段是採染缸式生產，將胚布放置於染缸中進行染色。另一種則是賴奕茵[10]所探討的連續型製程，將胚布置於染槽機台中進行染整作業，並沒有前者染缸容量限制的問題。

## 2.4 本研究與過去研究不同之處

綜合上述之研究文獻，在探討平行機台的排程問題上，其大多以總完工時間(makespan)、總延遲時間(total tardiness)、平均等待工作數(average number of jobs in queue)為績效指標，較少文獻才以總成本最小化為目標進行探討。在紡織排程文獻上，大都著重於紡織業製程技術之探討，或是後端成衣配銷供應鏈與企業電子化等其他主題相關之研究，較少文獻針對生產排程相關主題進行研究。而少數探討到染整工段的排程問題，其作業方式卻屬於染缸式生產，只有賴奕茵[10]是探討連續型製程作業。所以本研究考慮到染整作業中順序相依的特性，允許批量分割之彈性，以總成本最小

化為目標，探討連續型製程中非等效平行機台的排程問題，是過去文獻中比較欠缺的。



### 第三章 研究方法

本研究探討的問題主要分成兩部分：第一，染整製令排程前是否須先將色水與等級 CG (Color x Grade) 作分類。第二部份則是否加入批量分割 (Lot Splitting) 之彈性，將染整製令排程後，以期延遲天數或數量以及換線的次數都降到最低，使總成本達到最小化。在本章會先以一個小例子來說明本研究的決策情境，於第二節中介紹本研究所提出的數種排程方法。

#### 3.1 決策情境說明

本研究是以紡織廠中染整工段生產製造的實際情境為研究對象，藉以求得適用於紡織業染整工段的排程演算法，以供生產決策者作參考依據。當訂單來臨時，一張訂單通常可拆成多筆染整製令 (MO)。本研究假設計劃時程內共有 4 張訂單，則可展開成 10 張之染整製令。每張染整製令具有以下資訊：交期、色水、等級以及碼長。如表 3.1 所示。

表 3.1 計畫時程內之 4 張訂單

訂單編號	MO	交期	CG	色水	等級	碼長
訂單 1	MO1	2009/1/30	RB	Red	B	1700
	MO2	2009/1/30	BA	Blue	A	1300
訂單 2	MO3	2009/1/23	RA	Red	A	1900
	MO4	2009/1/23	YC	Yellow	C	1000
	MO5	2009/1/23	GC	Green	C	2000
訂單 3	MO6	2009/1/27	BA	Blue	A	750
	MO7	2009/1/27	YB	Yellow	B	1400
	MO8	2009/1/27	GA	Green	A	2000
訂單 4	MO9	2009/1/25	YC	Yellow	C	700
	MO10	2009/1/25	RA	Red	A	1300

另外通常會將色水與等級作組合，即 CG (Color x Grade) 來表示。因為在染整工段中，不同的製令在排程順序上，會有不一樣的整備時間，主要因為顏色等級的關係。當排在前面顏色較淺時，如果排在其後的製令顏

色較深，其深色可以覆蓋淺色染料。故在整備過程中，機台及管路清潔及清洗的工作無需太多的時間即可完成。反之，如果前批胚布所使用深色染劑沒有完全清潔，則會影響下批淺色製令染布色澤的品質，造成顏色暗黑或者是部份產生污漬的現象。所以必須非常徹底地清洗染整機台與管路，此時就需要整備時間及成本。因此，染色作業的順序會影響染色的生產時間，同時也影響機台的生產效率。

### 3.1.1 問題定義

故本研究的假設條件如下：

1. 整備時間屬於準備時間順序相依的派工問題，前後批次因 CG 的不同換線時間如表 3.2 所示。
2. 胚布不會短缺。
3. 染整段採訂單式生產；即只有在有訂單發生時才會進行生產，而且生產即為訂單需求，故不會有完成品之存貨。
4. 機台不考慮當機及維修情形。
5. 相鄰兩製令生產作業為連續性作業，機台沒有閒置的狀況發生。
6. 每台機台在開始進行染整作業前，因清潔機台及校正作業等，會產生一固定之整備成本。

本研究已知條件如下：

1. 規劃期間可用染整機台的數量。
2. 計畫時程內的訂單數目、待染色度、等級、交期、碼長。
3. 不同色水等級(CG)的胚布在各機台加工的時間，如表 3.3 所示。例如：某一製令碼長為 1000，CG 分類  $k=5$ ，於機台 2 進行染整，其加工時間如下： $2.5 \times 1000 / 200 = 12.5$ (小時)。

本研究欲建構一規劃時程內待染製令派工之模式，以總成本化最小為目標，在產能的限制下，決定最佳的生產排程。本研究問題設定如圖 3.1 所示。

表 3.2 換線時間表

Setup Time Table													
ST(p,q)	q												
CG(k)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$\phi$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	
2	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	
3	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	
4	2	2	2	0	0	0	3	3	3	1	1	1	
5	2	2	2	0	0	0	3	3	3	1	1	1	
6	2	2	2	0	0	0	3	3	3	1	1	1	
7	2	2	2	2	2	2	0	0	0	2	2	2	
8	2	2	2	2	2	2	0	0	0	2	2	2	
9	2	2	2	2	2	2	0	0	0	2	2	2	
10	3	3	3	1	1	1	2	2	2	0	0	0	
11	3	3	3	1	1	1	2	2	2	0	0	0	
12	3	3	3	1	1	1	2	2	2	0	0	0	

表 3.3 各機台作業時間表

Processing Time Table					
單位:小時/200碼					
機台 M(S)	S=1	S=2	S=3	S=4	S=5
CG(k)					
k=1	3.5	3.5	3.5	7	7
k=2	2	2	2	4	4
k=3	1	1	1	2	2
k=4	4.5	4.5	4.5	9	9
k=5	2.5	2.5	2.5	5	5
k=6	3	3	3	6	6
k=7	4	4	4	8	8
k=8	3	3	3	6	6
k=9	1.5	1.5	1.5	3	3
k=10	3	3	3	6	6
k=11	2.5	2.5	2.5	5	5
k=12	1	1	1	2	2

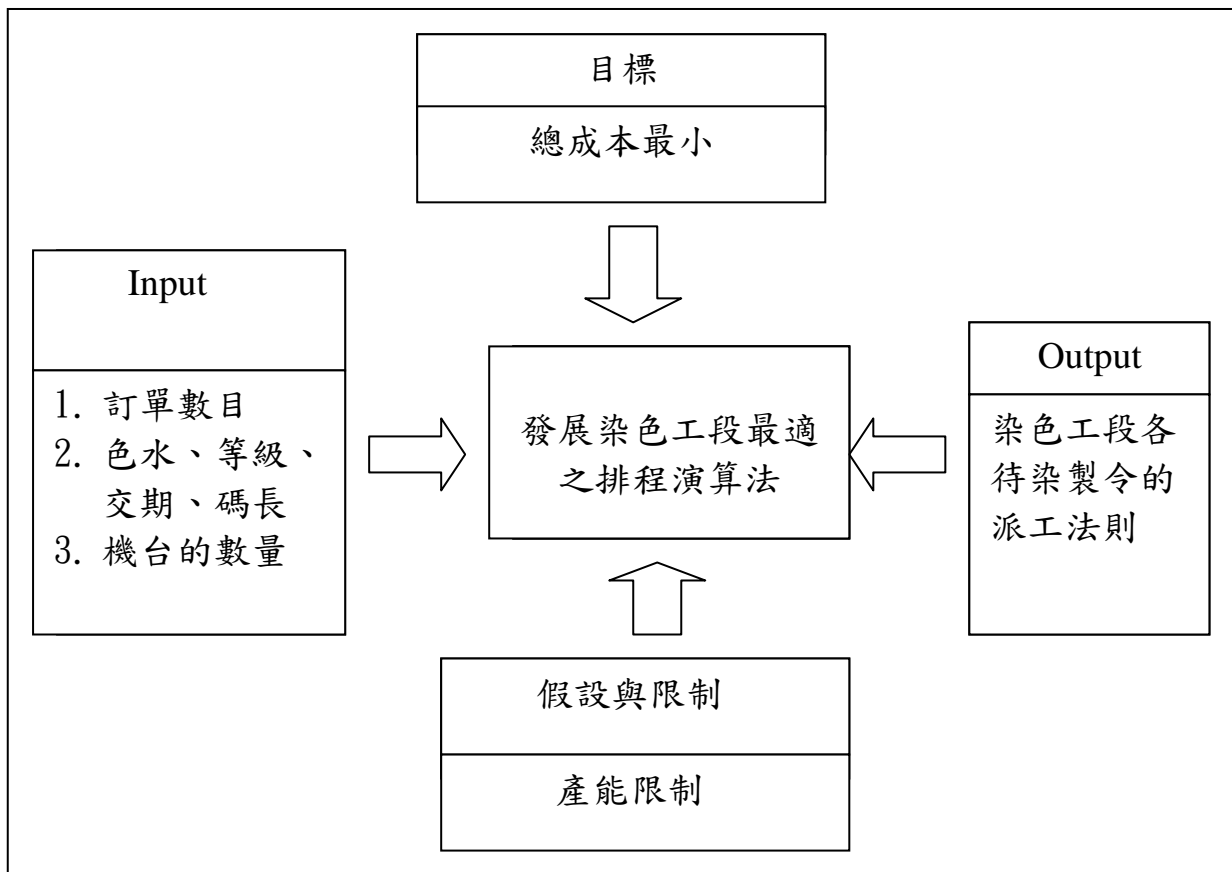


圖 3.1 本研究之問題定義

### 3.1.2 製令採取批量分割的彈性

本研究假設拆單動作為將一張製令拆成不同大小(unequal size)的兩張製令，一張留在原排程位置上，另一個張製令必須安排到其他機台上作排程。藉由所有拆單後的情況分析，尋找出可使成本降低的簡單邏輯法則，讓決策者快速了解拆解哪些製令，對於成本改善有幫助，可短時間內產生較佳的可行排程。

藉由上述拆單的過程，將會發生以下的四種可能情況：

1. 首先要了解，本研究因為是整備時間順序相依的問題，任何形式的拆單，必會造成整備成本的增加。假設拆單前懲罰成本(Penalty Cost ; PC)設為  $PC_{前}$ ；拆單前整備成本(Setup cost ; SC)設為  $SC_{前}$ 。若拆單前沒有懲罰成本，不論拆單後是否產生懲罰成本  $PC_{後}$ ，當拆單後的總成本大於拆單前的總成本時，此情況下不建議進行拆單動作。

$$PC_{前} + SC_{前} < PC_{後} + SC_{後} \rightarrow \text{不建議拆單} \quad (3.1)$$

上述條件成立時有兩種可能狀況，即「 $PC_{前}=0, PC_{後}=0$ 」及「 $PC_{前}=0,$

$PC_{後} > 0$ 」。

2. 若拆單前有懲罰成本，不論拆單後是否產生懲罰成本  $PC_{後}$ ，當拆單後的總成本大於拆單前的總成本時，此情況下也不建議進行拆單動作。

$$PC_{前} + SC_{前} < PC_{後} + SC_{後} \rightarrow \text{不建議拆單} \quad (3.2)$$

上述條件成立時有兩種可能狀況，即「 $PC_{前} = 0, PC_{後} = 0$ 」及「 $PC_{前} = 0, PC_{後} > 0$ 」。

3. 若拆單前沒有懲罰成本，不論拆單後是否產生懲罰成本  $PC_{後}$ ，當拆單後的總成本小於拆單前的總成本時，此情況下建議進行拆單動作。

$$PC_{前} + SC_{前} > PC_{後} + SC_{後} \rightarrow \text{建議拆單} \quad (3.3)$$

上述條件成立時有兩種可能狀況，即「 $PC_{前} = 0, PC_{後} = 0$ 」及「 $PC_{前} = 0, PC_{後} > 0$ 」。

4. 原先排程就產生懲罰成本，不論拆單後是否產生懲罰成本  $PC_{後}$ ，當拆單後的總成本大於拆單前的總成本時，此情況下也不建議進行拆單動作。

$$PC_{前} + SC_{前} > PC_{後} + SC_{後} \rightarrow \text{建議拆單} \quad (3.4)$$

上述條件成立時有兩種可能狀況，即「 $PC_{前} = 0, PC_{後} = 0$ 」及「 $PC_{前} = 0, PC_{後} > 0$ 」。

總結上述之論述所得到之邏輯法則(3.3)及(3.4)，可作為評判該製令是否有需要拆解之先決條件。藉此法則，將不需要每張製令都作拆單動作，可減少排程之運算時間，以提升排程之效率。

以下舉一個的小例子來說明，以便完整說明染整段之決策情境。假設在本研究所設定之計劃時程內共有 4 張訂單，並且可展開成 10 張之染整製令，如表 3.1 所示。

下列討論的排程先作以下之假設：

1. 設定工作排程的起始日為一月十八日，將一月份內之訂單排入各機台中。
2. 每個製令的作業時間，包括換線時間，彼此間隔的時間都是連續不間

斷的。

3. 假設任一機台一開始都須先作整備清洗的動作，其成本固定為\$70 元。
4. 假設機台數有 5 台。

將最後所得的排程轉換成下列簡單的序列表示，符號定義如下：

$\sigma_m$ ：排程於機台  $m$  中 MO 的序列(sequence)

$c_m(\sigma_m)$ ：計畫時程中，機台  $m$  所發生之成本，

$\Gamma$ ：表示完整的  $M$  台之 MO 排程，故  $\Gamma = \bigcup_{m=1}^M \sigma_m$

則  $\Gamma_0 = \sigma_1 \cup \sigma_2 \cup \sigma_3 \cup \dots \cup \sigma_M$

TC( $\Gamma$ )：計畫時程內，所發生之總成本

其排程如下：

$$\sigma_1 = \langle 3, 10 \rangle$$

$$\sigma_2 = \langle 4, 9, 7 \rangle$$

$$\sigma_3 = \langle 5, 2, 6 \rangle$$

$$\sigma_4 = \langle 8 \rangle$$

$$\sigma_5 = \langle 1 \rangle$$

$$c_1(\sigma_1) = 70 + 3200 \cdot 50 = \$160,070$$

$$c_2(\sigma_2) = 70 + 3100 \cdot 50 = \$155,070$$

$$c_3(\sigma_3) = 70 + 95 + 4050 \cdot 50 = \$202,665$$

$$c_4(\sigma_4) = 70 + 2000 \cdot 50 = \$100,070$$

$$c_5(\sigma_5) = 70 + 1700 \cdot 50 = \$85,070$$

$$TC(\Gamma) = \sum_{m=1}^M c_m(\sigma_m) = \$702,945$$

現將製令  $MO(9)=700$  碼長假設拆成等份的  $MO(9_a)=350$  碼長、 $MO(9_b)=350$  碼長的子製令，一個留在原排程位置上，另一個則必須安排到其他機台上作排程，所以總共會有 11 個排列方式，其排法如下。

(1)

$$\sigma_1' = \langle 9_a, 3, 10 \rangle$$

$$\sigma_2' = \langle 4, 9_b, 7 \rangle$$

$$\sigma_3' = \langle 5, 2, 6 \rangle$$

$$\sigma_4' = \langle 8 \rangle$$

$$\sigma_5' = \langle 1 \rangle$$

$$c_1(\sigma_1') = 70 + 95 \cdot 2 + (3200 + 350) \cdot 50 = \$177,760$$

$$c_2(\sigma_2') = 70 + (3100 - 350) \cdot 50 = \$137,570$$

令  $TC(\Gamma_1)$  表示計畫時程內，新排程所發生之總成本

$$\text{新排程 } TC(\Gamma_1) = c_1(\sigma_1') + c_2(\sigma_2')$$

$$= 70 \cdot 2 + 95 \cdot 2 + (3200 + 350 + 3100 - 350) \cdot 50 = \$315,330$$

$$\text{舊排程 } TC(\Gamma_0) = c_1(\sigma_1) + c_2(\sigma_2) = 70 \cdot 2 + (3200 + 3100) \cdot 50 = \$315,140$$

令 Cost saving function:

$$\Delta TC = TC(\Gamma_0) - TC(\Gamma_1) > 0 \quad (3.5)$$

表示成本有降低。

$$\Delta TC_1 = TC(\Gamma_0) - TC(\Gamma_1)$$

$$= (c_1(\sigma_1) + c_2(\sigma_2)) - (c_1(\sigma_1') + c_2(\sigma_2')) = -\$190$$

$\Delta TC_1 < 0 \rightarrow$  成本未降低  $\rightarrow$  換其他位置插單

$$(2) \quad \sigma_1' = \langle 3, 9_a, 10 \rangle$$

$$\sigma_2' = \langle 4, 9_b, 7 \rangle$$

$$\sigma_3' = \langle 5, 2, 6 \rangle$$

$$\sigma_4' = \langle 8 \rangle$$

$$\sigma_5' = \langle 1 \rangle$$

$$c_1(\sigma_1') = 70 + 95 \cdot 4 + (3200 + 350) \cdot 50 = \$177,950$$

$$c_2(\sigma_2') = 70 + (3100 - 350) \cdot 50 = \$137,570$$

$$TC(\Gamma_2) = c_1(\sigma_1') + c_2(\sigma_2')$$

$$= 70 \cdot 2 + 95 \cdot 4 + (3200 + 350 + 3100 - 350) \cdot 50 = \$315,520$$

$$TC(\Gamma_0) = c_1(\sigma_1) + c_2(\sigma_2) = 70 \cdot 2 + (3200 - 3100) \cdot 50 = \$315,140$$

$$\Delta TC_2 = TC(\Gamma_0) - TC(\Gamma_2) = -\$380 < 0$$

$\rightarrow$  成本未降低

→換其他位置插單

依此類推，可得下列其餘的結果  $\Delta TC_i < 0 \rightarrow$  舊排程較佳

$$\Delta TC_3 = -\$190$$

$$\Delta TC_4 = -\$190$$

$$\Delta TC_5 = -\$380$$

$$\Delta TC_6 = -\$475$$

$$\Delta TC_7 = -\$285$$

$$\Delta TC_8 = -\$190$$

$$\Delta TC_9 = -\$190$$

$$\Delta TC_{10} = -\$190$$

$$\Delta TC_{11} = -\$190$$

所以本小題經運算得出最低總成本為\$315,140 元

此外也可對訂單應拆多少數目量  $x$ ，對於總成本改善狀況進行討論。

$\Delta TC(x)$  cost saving function 中  $x$ ：

已知  $\Delta TC(x) = TC(\Gamma_0) - TC(\Gamma_1)$

$$= c_1(\sigma_1) + c_2(\sigma_2) - (c_1(\sigma'_1) + c_2(\sigma'_2))$$

$$= 70 \cdot 2 + (3200 - 3100) \cdot 50 -$$

$$[95 \cdot 2 + 70 + (3200 + x_1) \cdot 50 + 70 + (3100 - (700 - x_1)) \cdot 50]$$

$$= 700 \cdot 50 - 180 - 100x_1 < 0$$

$$\Rightarrow x_1 > 348.2$$

$$\Rightarrow 348.2 \leq x_1 \leq 700$$

同理可得  $348.2 \leq x_2 \leq 700$

依此類推，可得各訂單可拆單數量的最佳範圍值，藉由目標式：

$$Z = \min \Delta TC \tag{3.6}$$

可以產生最多的成本節省，而得到訂單所應拆的量之最佳值。

### 3.1.3 成本結構

本研究的目的是在於將染整段的總成本降到最低，故必須完整明確的探討在染整段發生之結構。本研究認為染整段的作業將會產生三種成本：



### 1. 整備成本 (Setup Cost)

整備成本包含換線的成本。由於染整作業的顏色先後順序會影響換線的次數和時間，所以顏色的順序的安排是一個很重要的考量。

### 2. 生產成本 (Production Cost)

在本研究中，考慮對於染整製令進行拆單的可能性。生產成本可能會因為染整製令的批量大小而改變。因此，會影響到拆單的抉擇。

### 3. 懲罰成本 (Penalty Cost)

要計算懲罰成本，主要是看延遲的天數或數量，所以我們希望可以透過排程使延遲天數或數量達到最小化。

評估每條染整線所有染整製令發生之總成本，加總後求得總成本。每條染整線上之成本為整備成本、生產成本以及懲罰成本之加總。換線的動作主要會耗費掉生產線上人員的作業時間，此動作對產品並沒有加值性。整備成本可由換線工人每小時薪資乘上工人數量乘上換線時間來計算。將 *unit labor cost* 設為每小時單位人工薪資，而機台  $S$  的總換線時間為  $M(S) \cdot Setup\ Time$  則整備成本之可表示為：

$Setup\ Cost = unit\ labor\ cost \times M(S) \cdot Setup\ Time$ 。生產成本與生產的量有關，在本研究中設定其為一線性關係，使得此項成本對於最佳化結果並不會造成影響，但是會仍先將它保留。假使將來有其他廠有不同之情況，使得生產的量與生產成本呈一函數關係，便可根據廠內情況修改此項成本之計算方式。

假設本研究將每單位製造成本以 *unit production cost* 表示，則製造成本可表示為： $MO(i) \cdot Quantity \times unit\ production\ cost$ 。根據徐偉誌[6]之研究，當訂單出現延誤的情況時，通常廠商會將布料由海運改成空運送達給客戶。因此，可將因空運而增加之成本視為懲罰成本。由於運送往不同地區將會導致運費有所差異，在本研究中，假設所有的成品布皆由台灣運送往某一地點（如美國）。此部份未來也可以針對各廠內需求來做修正。最後，假設製令之完成日期已超過交期，則會有懲罰成本之產生。懲罰成本為空運成本與水陸運送成本之差額，而運送成本又與其成品重量有關，可以  $penalty\ cost = air\ delivery\ cost - delivery\ cost$  來表示。當這些成本都求出來後，將其加總，則可得每條染整線之成本。在求出每條染整線之成本後，

將所有染整線成本加總，求得總成本。

為明確表示總成本之成本結構，定義符號如下：

$\sigma_m$ ：排程於機台  $m$  中 MO 的序列(sequence)

$\sigma_m[i]$ ：在  $\sigma_m$  序列中  $MO_i$  的排序順位

$\beta(i)$ ：在  $MO_i$  的前一排序順位的 MO 序號(index)

$\delta_i$ ： $MO_i$  製令的碼長

$CG(i)$ ： $MO_i$  製令的 CG

$\chi_i$ ： $MO_i$  製令的重量

$TC(\Gamma)$ ：在排程  $\Gamma$  中所發生之總成本

$\Gamma$ ：表示完整的  $M$  台之 MO 排程，故  $\Gamma = \bigcup_{m=1}^M \sigma_m$

在排程  $\Gamma$  中任一  $MO_i$  製令所發生的成本共有三個部份，分別說明如下：

(1) 整備成本  $\equiv y_i^1(\sigma_m[i])$

$$y_i^1(\sigma_m[i]) = \gamma \cdot S_i(\beta[i], \sigma_m[i]) \quad (3.7)$$

其中  $\gamma$  為每小時人工薪資成本；本研究中的  $\gamma$  設為 \$95/ hour

$S_i(\beta[i], \sigma_m[i])$  表示  $\sigma_m$  序列中的  $MO_i$  及其前一個 MO [即  $MO(\beta(i))$ ]，批次轉換時所造成的設置成本，其中  $S_i$  須參照表 3.2 換線時間表。

此外  $\sigma_m[0]$  表示任一排程  $\Gamma$  機台開始都須先作整備清洗的動作，本研究設定其固定成本為 \$70 元。

(2) 生產成本  $\equiv y_i^2(\sigma_m)$

$$y_i^2(\sigma_m) = P \cdot \left(\frac{\delta_i}{b}\right) \times \omega(CG(i), m) \quad (3.8)$$

$P$  為每小時的生產成本；本研究中的  $P$  設為 \$50/ hour

$b$  表示機台運轉基本速率；本研究設定  $b_i^m = 200$  碼/小時 (for all  $i \in m$ )

$\omega(CG(i), m)$  為  $MO_i$  製令被排定在機台  $m$  生產時，其生產速度的加權權重數，其中  $\omega$  須參照表 3.3 各機台作業時間表。

(3) 懲罰成本  $\equiv y_i^3(\chi_i)$

$$y_i^3(\chi_i) = a(\chi_i) - v(\chi_i) \quad (3.9)$$

$$a(\chi_i) \text{ 表示空運成本, } a(\chi_i) = \begin{cases} 160 & , 0 < \chi_i \leq 0.5 \\ 160 + \left\lceil \frac{\chi_i - 0.5}{0.5} \right\rceil \cdot 22 & , \chi_i > 0.5 \end{cases} \quad (3.10)$$

$$v(\chi_i) \text{ 表示水運成本, } v(\chi_i) = \begin{cases} 110 & , 0 < \chi_i \leq 1 \\ 110 + \lceil \chi_i - 1 \rceil \cdot 22 & , \chi_i > 1 \end{cases} \quad (3.11)$$

故排程  $\Gamma$  中所發生之總成本  $TC(\Gamma)$  可表示如下：

$$TC(\Gamma) = \sum_{m=1}^M \left\{ \sum_{i \in \sigma_m} y_i^1(\sigma_m[i]) + y_i^2(\sigma_m) + y_i^3(\chi_i) \right\} \quad (3.12)$$

## 3.2 研究方法

本研究主要分成兩部分探討：第一，染整製令排程前是否須先將色水與等級 CG (Color x Grade) 作分類。第二部份則是否加入批量分割 (Lot Splitting) 之彈性，使總成本達到最小化。在本節會以一個小例子來說明本研究提出的數種排程方法。

### 3.2.1 CG 分類與批量分割

在賴奕茵 [10] 的研究中指出，因為染整工段的整備時間屬於準備時間順序相依的派工問題。為避免當相鄰兩待染製令色度差異太大，影響染布色澤的品質，所以常必須非常徹底地清洗染整機台與管路，此時就造成大量的整備時間及成本。因此該研究提出先將製令中色水與等級作組合，其方法步驟如下。

在以下程序中，符號之定義如下：

$T_{ks}$ ：在機台  $S$ ，CG 大類為第  $k$  項時的作業時間

$MO_i$ ：第  $i$  張染整製令（包含交期、需求量、顏色、等級等資訊）

$N$ ：MO 之數量

$DD$ ：現在距離交期之天數

$Q$ ：總需求量

$CG$ ：顏色與胚布等級之組合。C 代表顏色 (Color)，G 代表胚布等級 (Grade)

$CG(k)$ ：第  $k$  項 CG 大類。(k=1, RA; k=2, RB; k=3, RC; k=4, BA; k=5, BB;

$k=6, BC; k=7, YA; k=8, YB; k=9, YC; k=10, GA; k=11, GB; k=12, GC$ )

$Q_{CG(k)}$  : 當 CG 大類為第  $k$  類的總需求量

$MO(i).Quantity$  : 第  $i$  張 MO 的總需求量

$E$  : 最早交期  $CG(k)$  的  $k$  值

$DD_E$  : 最早之交期

$m$  : 機台數量

$S$  : 機台別

$D$  : 現在距離工作完成之時間

$MT_s$  : 機台  $S$  目前總工作時間

$t_s$  : 某項工作在機台  $S$  所耗用之工作時間

$M(S).Setup\ Time$  : 機台  $S$  的總整備時間

#### 1. MO 作 CG 分類程序 (MO Categorizing Procedure ; MOCP)

由於本研究認為將同樣 CG 大類的 MO 集合起來一起生產，可以最小化換線之次數，進而使整備成本降低，所以必須統計各 CG 大類之總需求量。並且將各 CG 大類的交期設定為最早訂單之交期，以避免延遲的狀況發生。在此程序中，目的在於求得各 CG 大類的總需求量及其交期。首先，將所有 MO 分類到其對應之 CG 大類中，並統計各 CG 大類中所有 MO 的需求量，設為 CG 大類之總需求量。選出各 CG 大類交期最早之 MO，將其交期設定為此 CG 大類之交期。其演算程序如下：

步驟 1: 輸入各 MO 之資訊 (包含顏色、等級、交期及需求量)，並將各 CG 大類之交期及總需求量歸零。

步驟 2: 從未分類之 MO 依其顏色及等級分類至其對應的 CG 大類中，直到所有 MO 都被分配完成。

步驟 3: 將各 CG 大類中之 MO，按照交期做排序。將交期愈早的排在愈前面，並儲存其交期為此 CG 大類的交期。最後將各 CG 大類的總需求量與交期輸出，做為下一階段之起始值。

上述此 CG 分類方法是依照染整產業特性所提的派工法則，但在在一般紡織廠內，傳統的排程方法仍以最早交期(Earliest Due Date ; EDD) 排程

法則為主。也就是當染整廠在規劃時程內接獲訂單時，並不將將訂單作上述 CG 之分類，直接依交期最早的工作優先加工，而得一初始排程。為衡量本研究所提出的演算法之效能，採相對於與 EDD 排程法則所得之結果為基準，進行成本改善之比較。

探討批量分割的文獻以討論多年[9]。在染整業中，主要是希望藉由將逾期的訂單或大的訂單拆解成若干小訂單，於其他閒置機台上進行作業。但因為任何形式的拆單，安排到其他作業時，必會造成整備成本的增加。所以如何藉由拆解逾期訂單而減少懲罰的成本，成本改善幅度能夠大於因整備動作所造成的成本增加，是本研究主要探討的議題。

### 3.2.2 排程方法

在前小節已討論到，透過探討是否將製令作 CG 分類與拆單動作，可以得到四種排程演算法，包括：

- 一、CG 不分群且不拆單方法(Non-groupin and No-Splitting)
- 二、CG 不分群且拆單方法(Non-grouping and Lot-Splitting)
- 三、CG 分群且拆單方法(CG-grouping and No-Splitting)
- 四、CG 分群且拆單方法(CG-grouping and Lot-Splitting)

簡單的範例來說明數種演算法的過程。以下有 10 張訂單，每張訂單內又含有多個品項，根據每項品項開立製令，可分成 28 張製令，分別為 MO 1, MO 2, . . . , MO 28，如表 3.4 所示。每張 MO 中含有交期、色水、等級、碼長及重量的資訊。

- 一、CG 不分群且不拆單方法(Non-grouping and No-Splitting)：

一開始不作 CG 分類，將全部 10 張訂單依最早到期日 EDD 方法下去做排程，其程序如下：

表 3.4 計畫時程內之 8 張訂單

訂單編號	MO	交期	CG	色水	等級	碼長	重量
訂單 1	MO(1)	2009/1/30	RB	Red	B	1700	20.4
	MO(2)	2009/1/30	BA	Blue	A	1300	20.8
訂單 2	MO(3)	2009/1/23	RA	Red	A	1900	30.4
	MO(4)	2009/1/23	YC	Yellow	C	1000	8

訂單編號	MO	交期	CG	色水	等級	碼長	重量
	MO(5)	2009/1/23	GC	Green	C	2000	16
訂單 3	MO(6)	2009/1/27	BA	Blue	A	750	12
	MO(7)	2009/1/27	YB	Yellow	B	1400	16.8
	MO(8)	2009/1/27	GA	Green	A	2000	32
訂單 4	MO(9)	2009/1/25	YC	Yellow	C	700	5.6
	MO(10)	2009/1/25	RA	Red	A	1300	20.8
	MO(11)	2009/1/25	GA	Green	A	2800	44.8
訂單 5	MO(12)	2009/1/29	YA	Yellow	A	1500	24
	MO(13)	2009/1/29	BB	Blue	B	2100	25.2
訂單 6	MO(14)	2009/1/31	RB	Red	B	1500	18
	MO(15)	2009/1/31	GA	Green	A	1500	24
	MO(16)	2009/1/31	BA	Blue	A	1500	24
訂單 7	MO(17)	2009/1/20	RC	Red	C	2100	16.8
	MO(18)	2009/1/20	BA	Blue	A	2000	32
訂單 8	MO(19)	2009/1/24	YA	Yellow	A	1400	22.4
	MO(20)	2009/1/24	BB	Blue	B	1200	14.4
	MO(21)	2009/1/24	BC	Blue	C	1700	13.6

CG 不分群且不拆單方法程序

- 1 E=0 /最早交期第 s 張訂單
- 2 Order(s).Q /最早交期的訂單總需求量
- 3 Order(E).DD /最早的 CG 大類交期
- 4 Begin
- 5 for s= 1 to 10 /從第一張訂單開始到最後一張訂單為止
- 6 if Order(s) < Order(E) /此第 s 張訂單交期比最早的訂單交期早
- 7 Order(s)=Order(E)/更新最早之訂單交期

```

8   Order(s).Q = Order(E).Q /更新最早交期之訂單需求量
9   E=s /更新最早交期訂單 s 值
10  else if  Order(s).DD=Order(E).DD /當兩張訂單之交期相同時
11      if Order(s).Q < Order(E).Q /此訂單的需求量比最早交期需求量少
12          Order(s).Q = Order(E).Q /更新最早交期之訂單需求量
13          E=s /最早交期訂單 s 值
14      end
15  else
16      Order(s).Q = Order(E).Q /不需更新原來之需求量
17      E = E /不需更新 E 值
18  end
19 End

```

## 二、CG 不分群且拆單方法(Non-grouping and Lot-Splitting)

一開始不作 CG 分類，將會將全部 10 張訂單進行拆單動作。其方式為將一張製令拆成不同大小(unequal size)的兩張製令，一張留在原排程位置上，另一個張製令必須安排到其他機台上作排程。藉由所有拆單後的情況分析，排出可行排程，計算出總成本值。其程序如下，流程如圖 3.2 所示：

拆單程序流程 Pseudo code:

```

1   t /拆的訂單所在機台別
2   NMQ=1 /拆出的單子要安插到的機台別
3   Best_Total_Cost = ∞ /目前的總成本值
4   S=1 / 訂單別
5   d=1 / 兩訂單間可插單位子別
6   Begin
7   for t= 1 to m /從第一台機台至最後一台機台為止
8       t=1  S=s /從第一機台開始挑第一張訂單作拆單動作
9       Oredor Quantity=s+1 /拆出的單子訂為全部訂單數加一
10      NMQ~=t /表示拆出的單子要安排到其他機台上
11          NMQ=t +1, d=1 /每個機台每個位置都插單

```

- 12      $NMQ > \text{Machine Quantity}$  /可插單的機台不會大於全部機台數
- 13      $\text{Best\_Total\_Cos} = \text{Temp\_Total\_Cos}$  /計算每次的成本之最小值
- 14     end



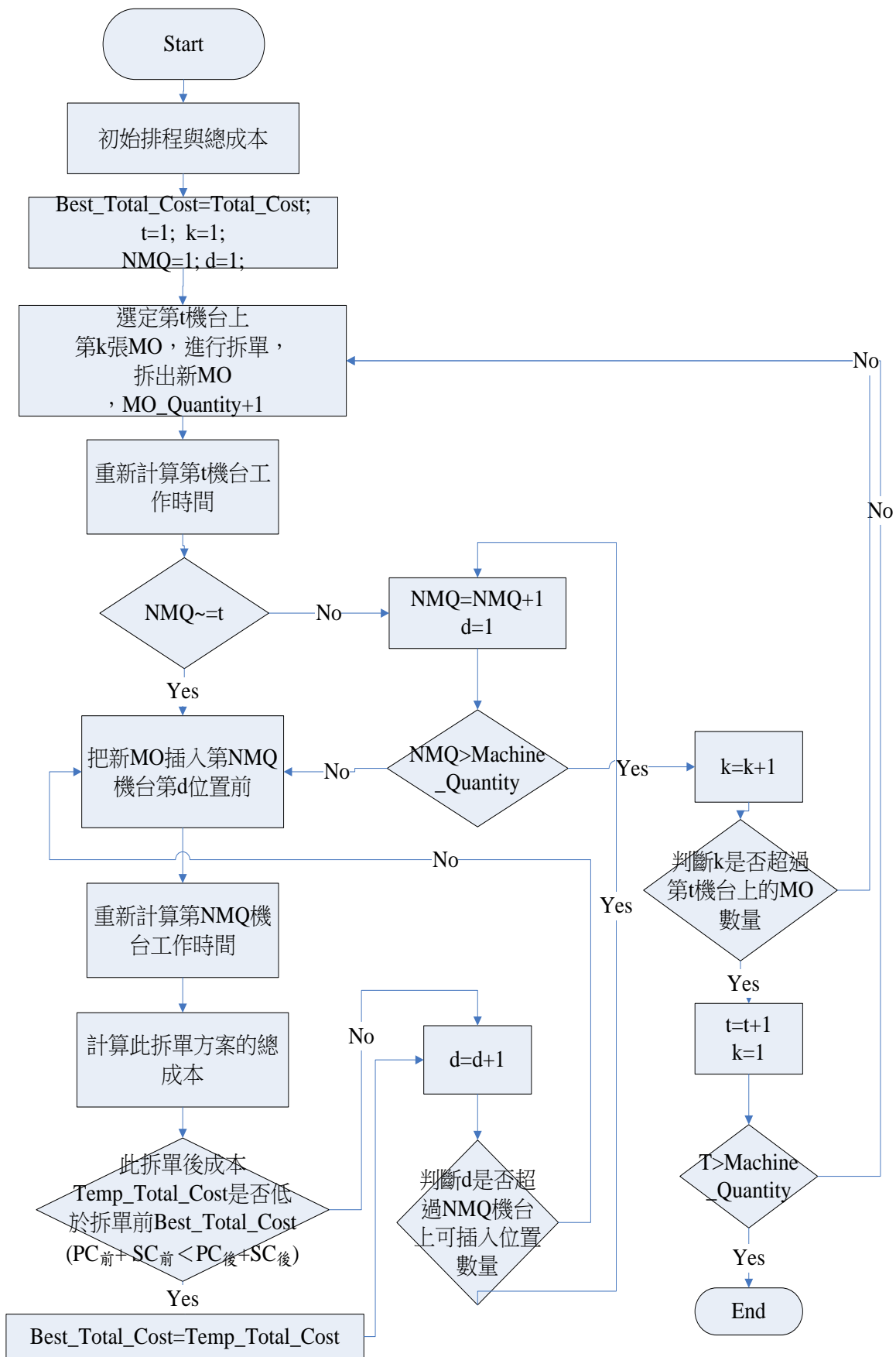


圖 3.2 拆單程序流程圖(CG 不分群且拆單)

### 三、CG 分群且不拆單方法(CG-grouping and No-Splitting)

一開始就作 CG 分類，將全部 10 張訂單，依色水和等級來分類。之後在依交期最先的先排，可得本方法之排程。不同於演算法 1、2，是在於考量到可藉由

CG 分群且不拆單流程 Pseudo code:

- 1  $DD = [DD_{CG(1)} \quad DD_{CG(2)} \quad \cdots \quad DD_{CG(12)}]$  /從規劃開始日至交期之天數
- 2  $DD_{CG(k)} = \infty$ , for  $k = 1, 2, \dots, 12$  /將各 CG 大類交期之起始值設為無限大
- 3  $Q = [Q_{CG(1)} \quad Q_{CG(2)} \quad \cdots \quad Q_{CG(12)}]$  /需求量 (碼長)
- 4  $Q_{CG(k)} = 0$ , for  $k = 1, 2, \dots, 12$  /將各 CG 大類總需求量起始值設為零
- 5  $CG(k) = \phi$  /各項 CG 大類集合中尚未含有 MO
- 6 Begin
- 7 for  $i=1$  to length(MO) /從第一張 MO 開始至最後一張 MO 為止
- 8  $k = MO(i).C$  / $MO(i)$  之 CG 大類為第  $k$  項
- 9  $CG(k) = CG(k) \cup \{MO(i)\}$  /將  $MO(i)$  納入 CG 大類集合中
- 10 end
- 11 end

### 四、CG 分群且拆單方法(CG-grouping and Lot-Splitting)

一開始不作 CG 分類，將會將全部 10 張訂單進行拆單動作。其方式為將一張製令拆成不同大小(unequal size)的兩張製令，一張留在原排程位置上，另一個張製令必須安排到其他機台上作排程。藉由所有拆單後的情況分析，排出可行排程，計算出總成本值。其程序如下，流程如圖 3.2 所示:

拆單程序流程 Pseudo code:

- 1  $t$  /拆的訂單所在機台別
- 2  $NMQ=1$  /拆出的單子要安插到的機台別
- 3  $Best\_Total\_Cost = \infty$  /目前的總成本值
- 4  $k=1$  /CG 大類  $k$  別
- 5  $d=1$  / 兩訂單間可插單位子別

```

6  Begin
7  for t= 1 to m /從第一台機台至最後一台機台為止
8    t=1  S=s /從第一機台開始挑第一張訂單作拆單動作
9    Oreder Quantity=s+1 /拆出的單子別訂為全部訂單數加一
10   NMQ~=t /表示拆出的單子要安排到其他機台上
11     NMQ=t +1, d=1 /每個機台每個位置都插單
12     NMQ > Machine Quantity /可插單的機台不會大於全部機台數
13     Best_Total_Cos=Temp_Total_Cos /計算每次的成本之最小值
14   end

```

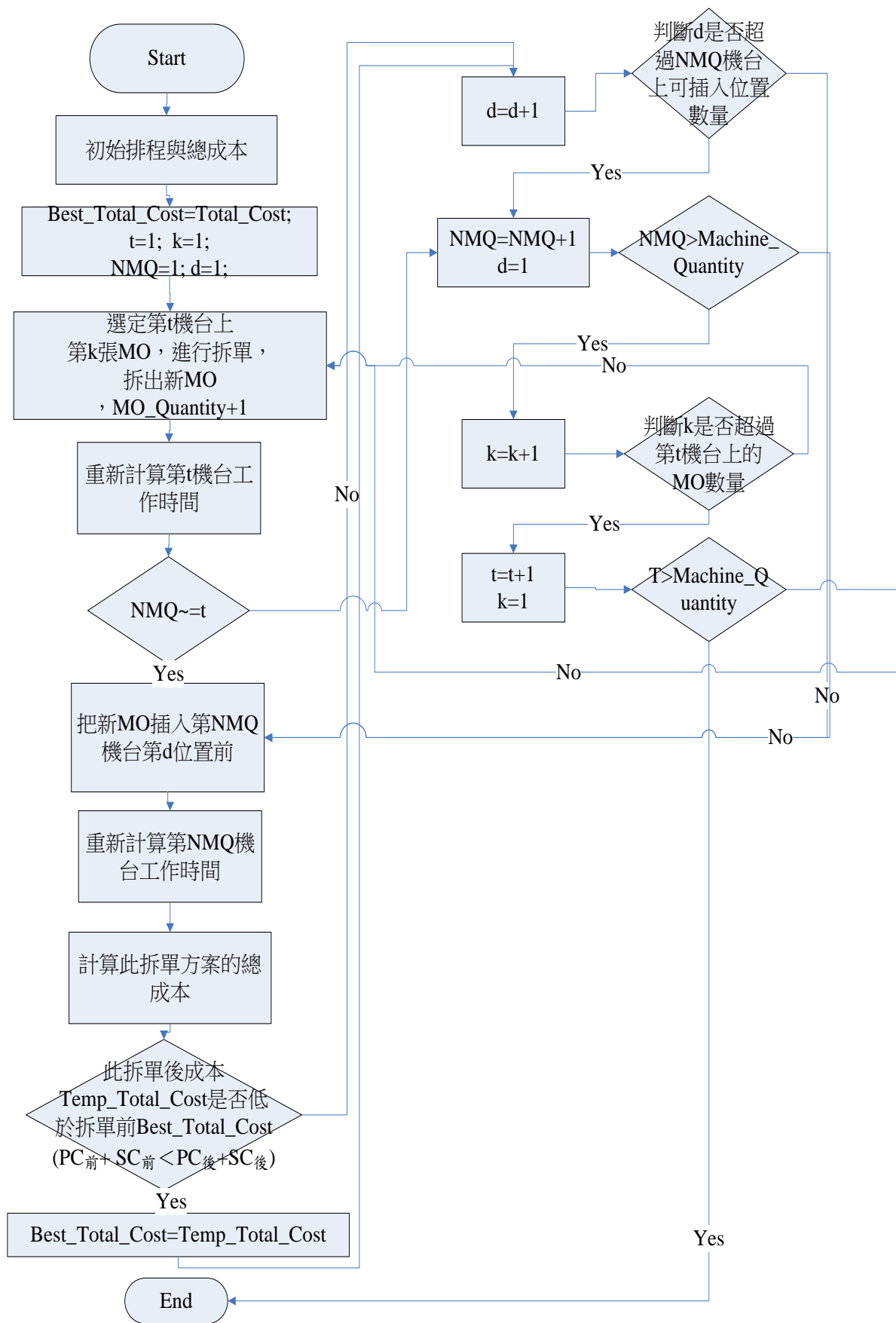


圖 3.3 拆單程序流程圖(CG 分群且拆單)

## 第四章 範例與數據分析

本章主要的目的是將第三章所提出的研究方法，作一個完整的呈現，並驗證其解的品質是否比紡織廠中傳統的排程法則 EDD 較佳。在 4.1 節中，以一個範例來詳細說明演算法的求解過程。在 4.2 節，藉由隨機產生製令的資訊參數，並針對製令數目之問題進行數據實驗，比較本研究所提出之數種排程的演算法，並以傳統排程法則 EDD 為基準進行比較，以顯示本研究所提出演算法效率之優勢。

### 4.1 範例操作

本小節中，將透過簡單的範例來說明數種演算法的過程。以下有 10 張訂單，每張訂單內又含有多個品項，根據每項品項開立製令，可分成 28 張製令，分別為 MO 1, MO 2, . . . , MO 28，如表 4.1 所示。每張 MO 中含有交期、色水、等級、碼長及重量的資訊。在本研究中，設定工作排程之起始日為一月十八日，將一月份內之訂單排入各機台排程中。

一、不分群且不拆單方法(Non-grouping and No-Splitting)：

一開始不作 CG 分類，將全部 10 張訂單，以最早到期日先排，最後可得一初始排程。另外排程過程可發現，本方法其實是 EDD 法則之特例，因此其他三種演算法可依排程法則所得之結果為基準，進行成本改善之比較。

1. 判斷最早交期之流程，從訂單 1 開始搜尋，從規劃日 1 月 18 日至交期共有 12 個工作天，依此類推可得各訂單之交期如下：

訂單 1=12，訂單 2=5，訂單 3=9，訂單 4=7，訂單 5=11，

訂單 6=13，訂單 7=2，訂單 8=6，訂單 9=9，訂單 10=12。

2. 機台工作指派流程

假設機台數為 5，機台 S 與各 CG 大類的作業時間可參考表 3.2。

例如目前交期最早的為訂單 7，共需 4,100 碼。計算在機台 1 加工時間  $=2100/200+2000/200 \cdot 4.5=55.5$  小時。每天機器以運作 12 小時計算，所以訂單 7 需要 4.625 個工作天。將訂單 7 排入機台 1，重複此步驟，最後可得其排程，如圖 4.1 所示。

表 4.1 訂單資料表

訂單編號	MO	交期	CG	色水	等級	碼長	重量
訂單 1	MO(1)	2009/1/30	RB	Red	B	1700	20.4
	MO(2)	2009/1/30	BA	Blue	A	1300	20.8
訂單 2	MO(3)	2009/1/23	RA	Red	A	1900	30.4
	MO(4)	2009/1/23	YC	Yellow	C	1000	8
	MO(5)	2009/1/23	GC	Green	C	2000	16
訂單 3	MO(6)	2009/1/27	BA	Blue	A	750	12
	MO(7)	2009/1/27	YB	Yellow	B	1400	16.8
	MO(8)	2009/1/27	GA	Green	A	2000	32
訂單 4	MO(9)	2009/1/25	YC	Yellow	C	700	5.6
	MO(10)	2009/1/25	RA	Red	A	1300	20.8
	MO(11)	2009/1/25	GA	Green	A	2800	44.8
訂單 5	MO(12)	2009/1/29	YA	Yellow	A	1500	24
	MO(13)	2009/1/29	BB	Blue	B	2100	25.2
訂單 6	MO(14)	2009/1/31	RB	Red	B	1500	18
	MO(15)	2009/1/31	GA	Green	A	1500	24
	MO(16)	2009/1/31	BA	Blue	A	1500	24
訂單 7	MO(17)	2009/1/20	RC	Red	C	2100	16.8
	MO(18)	2009/1/20	BA	Blue	A	2000	32
訂單 8	MO(19)	2009/1/24	YA	Yellow	A	1400	22.4
	MO(20)	2009/1/24	BB	Blue	B	1200	14.4
	MO(21)	2009/1/24	BC	Blue	C	1700	13.6
訂單 9	MO(22)	2009/1/27	GB	Green	B	1000	12
	MO(23)	2009/1/27	GC	Green	C	1900	15.2
訂單 10	MO(24)	2009/1/30	RC	Red	C	1500	12

訂單編號	MO	交期	CG	色水	等級	碼長	重量
	MO(25)	2009/1/30	YB	Yellow	B	1700	20.4
	MO(26)	2009/1/30	BC	Blue	C	1000	8
	MO(27)	2009/1/30	GB	Green	B	900	10.8
	MO(28)	2009/1/30	GA	Green	A	900	14.4

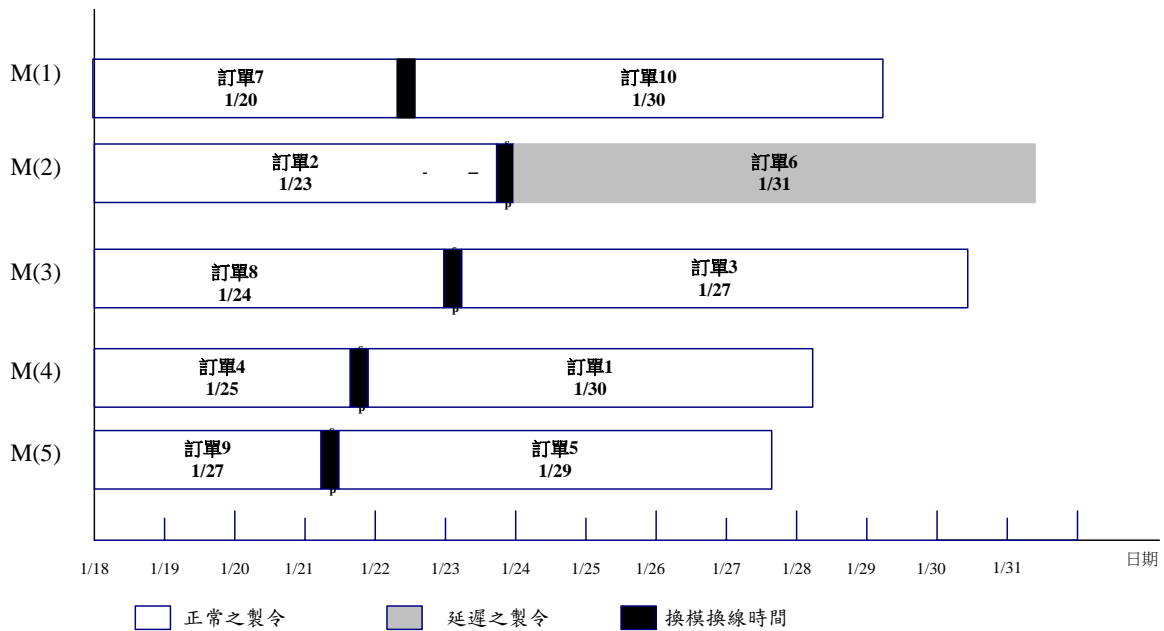


圖 4.1 使用 EDD 排程法則之結果

成本計算：

每台機台中包含三種成本：整備成本、生產成本以及懲罰成本。本研究將所有的換線時間加總後乘上每小時單位人工薪資，則可得換線之成本。假如以第一台機台來做計算，換線時間總共是 4 單位時間（小時）。假設每小時單位人工薪資為 95 元，則整備成本為  $4 \times 95 = 380$  元。計算此機台中的每個訂單的需求量（碼長）乘上每單位製造成本，則可得生產此 MO 的生產成本。假設我們以第一台機台的第一個訂單—訂單 7 來說明。訂單 7 之需求為 4100 碼，我們假設每單位生產成本為 50 元，則 MO 訂單的生產成本為  $4100 \times 50 = 20500$  元。另外由於訂單 6 的製造完成時間已超過交期，會產生懲罰成本。其懲罰成本為水陸運送成本與空運成本之差額。

$$\text{水陸運送成本} = [66 - 1] \cdot 110 + 250 = 7400 \text{ 元} \quad (4.1)$$

$$\text{空運成本} = \text{元} [(66 - 0.5) / 0.5] \cdot 160 + 220 = 21180 \text{ 元} \quad (4.2)$$

$$\text{懲罰成本} = 21180 - 7400 = 13780 \text{ 元} \quad (4.3)$$

當此機台中每張訂單的製造成本與懲罰成本都計算出來後，與此機台所發生之換線成本，則可得在此機台中發生的成本。經由運算後，可得機台一的成本為 760665 元，機台二的成本為 384140 元，機台三的成本為 605475 元，機台四的成本為 145000 元，機台五的成本為 325190 元。最後，再將此五台機器的成本加總，便可得到總成本= \$2,200,470 元。

## 二、CG 不分群且拆單方法(Non-grouping and Lot-Splitting)

本研究方法可分成兩部分來討論，首先一開始不作 CG 分類，將全部 10 張訂單，以最早到期日先排，最後可得圖 4.1 中的 EDD 排程。第二步則是將全部 10 張訂單進行拆單動作。其拆單方式是將一張製令拆成不同大小 (unequal size) 的兩張製令，一張留在原排程位置上，另一個張製令必須安排到其他機台上作排程。藉由所有拆單後的情況分析，排出可行排程，如圖 4.2 所示，並利用前述成本計算出總成本值= \$1,857,197 元。

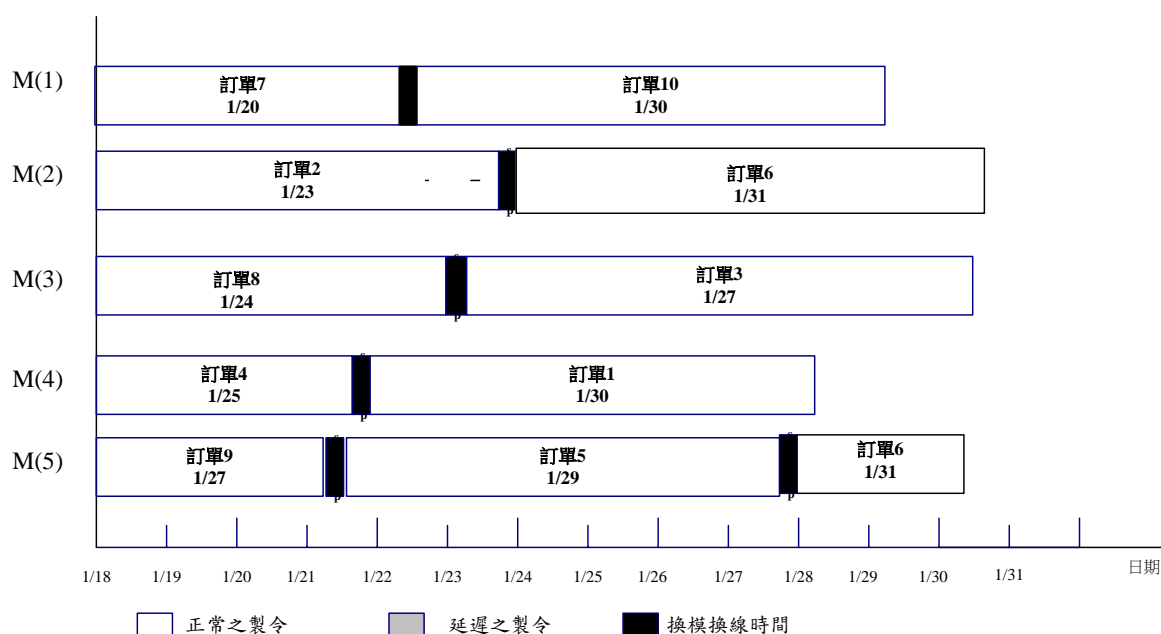


圖 4.2 使用 CG 不分群且拆單排程法則之結果

透過本研究拆單之結果可得以下之分析:

1. 允許使用批量分割的彈性，對於成本改善是有幫助的。如改善前的 EDD 排程總成本= \$2,200,470 元，拆單後改善後總成本=\$1,857,197 元，成本改善比率可達 15.6%。
2. 此外在本研究方法中，利用所撰寫之程式，對每張訂單都作拆單的情況可發現，本方法成本之能夠有所改善，主要是利用對逾期訂單作拆解，安排到其他閒置之機台上，尤其是當拆單後所產生的整備成本及懲



罰成本，遠小於拆單前的懲罰成本與懲罰成本之合的情況更為明顯。此發現也呼應到公式(3.3)、(3.4)中，所討論到的，當  $PC_{前} + SC_{前} > PC_{後} + SC$ ，建議拆單的邏輯法則。

### 三、CG 分群且不拆單方法(CG-grouping and No-Splitting)

本研究方法中，所謂 CG 分群，就是一開始會把色水 (Color) 與等級 (Grade) 合併，以 CG (Color x Grade) 表示，共可區分為十二種 CG 大類。如表 4.2 所示。在本研究中，設定工作排程之起始日為一月十八日，將一月份內之訂單排入各機台排程中，如圖 4.3 所示。

表 4.2 MO 分類表

CG	各 CG 所屬之 MO
CG(1)	MO 3, MO 10
CG(2)	MO 1, MO 14
CG(3)	MO17, MO 24
CG(4)	MO 2, MO 6, MO 16, MO 18
CG(5)	MO 13, MO 20
CG(6)	MO 21, MO 26
CG(7)	MO 12, MO 19
CG(8)	MO 7, MO 25
CG(9)	MO 4, MO9
CG(10)	MO 8, MO 11, MO 15, MO 28
CG(11)	MO 22, MO 27
CG(12)	MO 5, MO 23

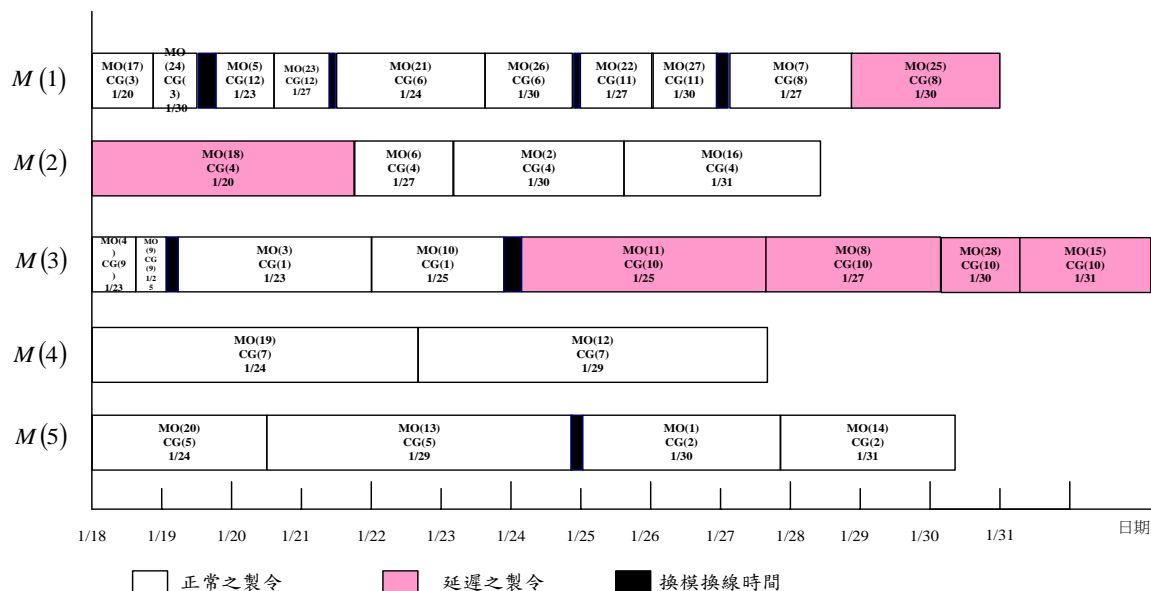


圖 4.3 使用 CG 分群、不拆單排程法則之結果

經成本公式計算可得總成本值= \$2,134,456 元。與 EDD 排程總成本= \$2,200,470 相比較，成本改善比率可達 3.07 %。其改善原因在於適當的 CG 分群可以使整備成本降低，但也造成因為同樣 CG 先作業，染色完須等同訂單內的其他製令作業完才可一起出貨，造成懲罰成本的增加。

#### 四、CG 分群方法且拆單(CG-grouping and Splitting)

本研究先將 CG 分群，就是把色水 (Color) 與等級 (Grade) 做合併。第二步再將全部 10 張訂單進行拆單動作。其拆單方法前面已論述過。藉由所有拆單後的情況分析，排出可行排程，可得圖 4.4 所示，並利用前述成本計算出總成本值= \$1,900,106 元。與 EDD 排程總成本= \$2,200,470 相比較，成本改善比率為 13.65 %。其改善原因在於將逾期訂單作拆解，安排到其他閒置之機台上，但改善比率上沒有 CG 不分群、但拆單方法好。可能原因還是在於在 CG 分群使的排程上受到限制，造成懲罰訂單的增加。

總結上述四種演算法的結果，以 EDD 排程法則為基解，比較其成本改善之結果如表 4.3 所示。從表中可知，方法 II 和方法 IV 中有作拆單成本改善之效果，會明顯比未作拆單的方法 III 和方法 I 改善的多，因此在後面的小節也會針對此兩種方法進行不同問題之分析。

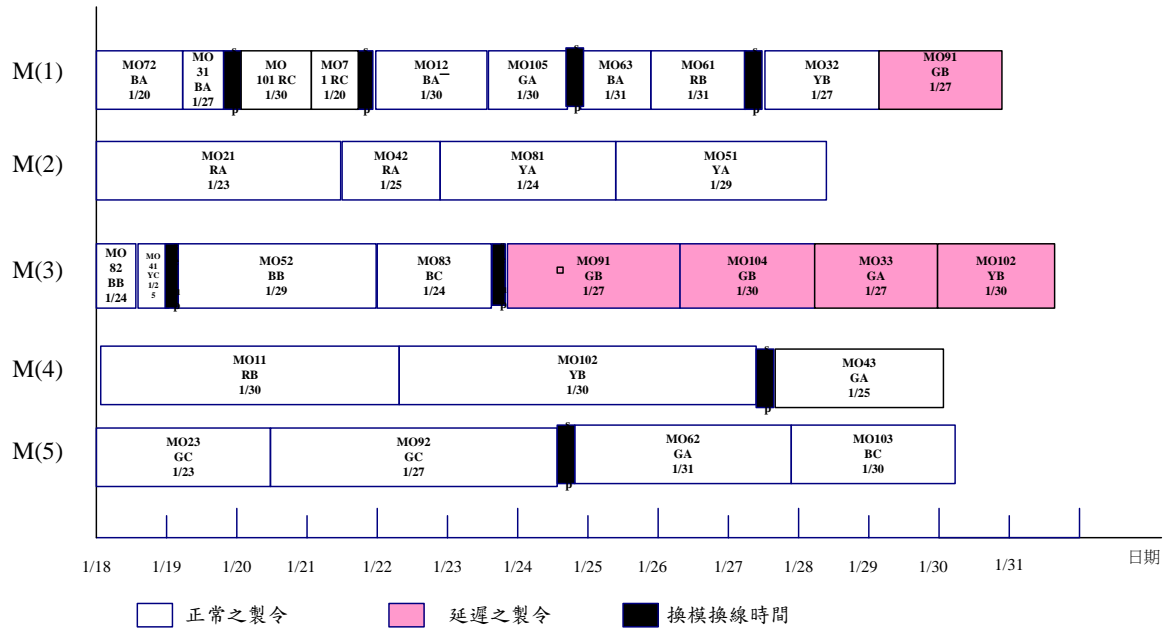


圖 4.4 使用 CG 分群且拆單排程法則之結果

表 4.3 四種演算法之優劣比較

排程方法	成本改善比率
CG 不分群且拆單(方法 II)	15.6 %
CG 分群且拆單(方法 IV)	13.65 %
CG 分群且不拆單 (方法 III)	3.07 %
CG 不分群且不拆單(方法 I)	—

## 4.2 隨機實驗

為了確保本研究所提出的演算法能夠正確的反應問題；在本節中，會將每張製令所包含的四個重要資訊:交期(D)、等級(CG)、碼長(Y)及重量(W)等參數，隨機的方式產生，以完成數據之分析。但由於這四種參數之間往往會互相影響，例如:當碼長越長時，客戶所要求的交期也會相對的寬鬆，以及胚布的碼長與等級會影響到它的重量等，故在設定上需依循一合理之假設。本研究參數設定先決定碼長，將碼長(Y)取樣自  $N(1000, S^2)$ ， $Y \sim N(1000, S^2)$ ，其中標準差 S 可依實際需要而訂定。而交期的設定和碼長有關，故將交期  $D=(Y/100 \pm \text{Random})$ ，其中 Random 設定為 1~5 的隨機亂數。

例如某一製令碼長 1200(碼)，則它的交期會  $D=(1200/100\pm 5)=[7,17]$ ，所以碼長 1200(碼)會有 7 至 17 天為交期的可能性。另外重量(W)參數設定上，因為會與色水等級(CG)和重量(W)有關。而本研究共有 4 種色水 3 種等級，所以共有 12 種組合。嚴格來說，等級因為是織布上密度的不同，所以和顏色相較來說會影響重量的可能居多，故依等級可分成三種情況。當等級 A 時，重量  $W=Y/62.5$ ；等級 B 時，重量  $W=Y/83.33$ ；等級 C 時，重量  $W=Y/125$ 。例如某一製令色水等級為 8，碼長 760 碼，其重量  $W=760/83.33=9.12$ (公斤)。

在決定如何隨機產生製令資訊的方式後，本研究設定八種製令數量之實驗問題，分別為 50, 100, 150, 200, 250,300,350,400 張，對於每種製令數量各隨機產生 25 個例題，進行數據分析。因為在一般紡織廠內，傳統的排程方法為 EDD 排程法則。為衡量本研究所提出的演算法之效能，故採相對於與 EDD 排程法則所得之結果為基準，進行成本改善之比較。其計算方式如公式(4.4)所示。

$$\text{成本改善比率} = \frac{(UB_{EDD} - Sol)}{UB_{EDD}} \times 100\% \quad (4.4)$$

於本小節中，將同一問題先透過 EDD 排程法則求出基準解，記錄其運算時間及總成本；再以本研究之演算法進行求解，並紀錄運算時間及總成本。表 4.4 彙整出各種製令數量下之五種數值:(1) EDD 排程法則之運算時間，(2)方法 IV 之運算時間，(3) 方法 II 之運算時間，(4)方法 IV 成本改善之平均值，及(5) 方法 II 成本改善之平均值。表中顯示本研究所發展的演算法在不同訂單數量下，對於 EDD 排程法則之總成本皆有改善，顯示本研究提出之方法優於 EDD 排程法則。另外，本研究所提之方法會隨著製令數目的增加，改善比率也會相對地提高，而所需之運算時間並不會顯著地增加。

表 4.4 不同數量的訂單運算結果比較表

No. Order	EDD 法則 運算時間 (秒)	方法 IV 運 算時間 (秒)	方法 II 運 算時間 (秒)	方法 IV 成本改善 比率	方法 II 成本改善 比率
50	0.0170	0.3863	0.3400	5.30%	5.42%
100	0.0180	0.5020	0.4260	6.91%	7.76%
150	0.0170	0.7115	0.6310	8.77%	11.82%
200	0.0180	1.4902	0.9807	12.65%	15.08%

No. Order	EDD 法則 運算時間 (秒)	方法IV運 算時間 (秒)	方法 II 運 算時間 (秒)	方法IV 成本改善 比率	方法 II 成本改善 比率
250	0.0180	1.9280	1.4500	16.02%	17.72%
300	0.0170	2.5821	1.5802	17.50%	20.94%
350	0.0180	2.8590	1.7464	21.84%	24.68%
400	0.0180	3.0165	1.9231	24.33%	26.91%

另外本研究探討在同批(200張)訂單下，固定碼長的平均數，藉由調整各訂單間碼長之標準差，且各隨機產生 25 個數據，以觀察碼長標準差對於求解品質之影響，其結果彙整如表 4.5。表中顯示當同一批訂單中，相互碼長變異越大時，總成本改善比率越顯著，可提升至 25% 左右。

表 4.5 200 張訂單下各訂單在不同碼長標準差的結果

碼長 標準差	EDD 法則 運算時間 (秒)	方法IV運 算時間 (秒)	方法 II 運 算時間 (秒)	方法IV 成本改善 比率	方法 II 成本改善 比率
50	0.0170	0.9542	0.9408	22.23%	22.34%
100	0.0180	0.9950	0.9713	22.31%	22.47%
150	0.0180	1.1258	1.0226	23.76%	24.85%
200	0.0170	1.1400	1.0785	24.05%	25.94%
250	0.0180	1.1761	1.104	25.18%	26.22%
300	0.0180	1.2410	1.2077	27.33%	28.71%

綜合上述兩個實驗分析可得證，本研究之演算法不僅可以在短時間內求得可行之生產排程，此生產排程之解也有一定的品質。因此，本研究提出之演算法求得的最佳解，可作為決策者生產排程的參考依據。

## 第五章 結論與未來研究方向

### 5.1 結論

在過去，紡織業的生產排程主要仰賴有經驗的生產排程者。對於過去大量少樣化的生產方式，利用人工排程(Manual Schedule)尚足以應付。但現今面對客戶需求的多變性下，加上新舊生產設備不一和訂單資訊繁雜的情況，導致生產製造現場充滿了各種不確定性。如何讓管理者短時間內得到較佳的生產排程，準確即時回應顧客訂單的交期，進而降低生產之總成本，以滿足顧客需求及面對競爭激烈的市場。

本研究結合賴奕茵[10]論文中之決策情境，允許批量分割之彈性，針對紡織業中染整工段進行排程方法之探討。在決策情境中，考慮實際生產環境之特性，即整備時間具有順序相依性的情況下，以總成本最小化為目標，發展出一套有效率的生產排程之演算法。之後依此規劃結果快速進行生產的安排，也提供決策者一個是否接單的參考依據。

本研究提出的演算法，在以隨機實驗的方式驗證出以下之結果：

1. 與傳統排程法則 EDD 作比較，本研究所提出之演算法，可以有效降低總成本達 20% 以上。即使當問題越大，訂單數目越多時，所需運算的時間影響也不顯著。
2. 在同批訂單中，若每張訂單的碼長變異越大時，總成本改善比率越顯著，可提升至 25% 左右。

### 5.2 未來研究方向

在完成本研究後，針對本研究的未盡之處，提出以下的建議：

1. 紡織業屬於多階加工流程，在未來研究中，可以考慮在紡織業相關的製造流程中，允許更具有彈性之考量，例如將整個紡織的上下游的作業合併，其結果將更為實用。
2. 可考慮使用其他巨集啟發式演算法，如：遺傳基因演算法 (GA)、模擬退火法 (SA)、塔布搜尋法 ) 等，對染整工段排程問題進行研究。
3. 在未來研究中，可以設定一個計畫時程，只針對計畫時程中的訂單進行排程。因為計畫時程訂的長短，常會影響到排程的複雜度與所需時間。

計畫時程訂得短，會使得排程調度的彈性變小。而當計畫時程訂得愈長，訂單數量也會愈多，使得演算的複雜度變高，排定時程的時間會變長，所以可考慮將其設定成變數納入研究進行探討。

4. 本研究在批量分割上僅探討將一張訂單作拆解，在未來的研究可以考慮拆解多張訂單，使發生的總成本最小化，於實務上將更為實用。

## 參考文獻

### 中文文獻:

1. 王崇洋，1997。以系統模擬解決半連續性工廠的生產排程問題-以紡織業為例，國立交通大學資訊管理研究所碩士論文。
2. 吳鴻輝、李榮貴，1997。生產排程之重排程決策問題的文獻探討與分析，工業工程學刊，第十四卷第二期，頁 147-158。
3. 陳瑩芝，1999。多工段基因導向派工法則之研究，國立交通大學工業工程與管理研究所碩士論文。
4. 陳致遠，2003。非相關平行機台排程及派工之研究，國立屏東科技大學工業管理研究所碩士論文。
5. 陳皇銓，2006。規劃符合多目標與多人同時進行單一作業限制之人員派遣模式—以資訊業外派服務為例，國立屏東科技大學工業管理研究所碩士論文。
6. 徐偉誌，2004。紡織廠染色工段產能分配決策模式之建構，國立交通大學工業工程與管理研究所碩士論文。
7. 葉麗芬，2001。雙目標非等效平行機台排程問題之探討，私立元智大學工業工程與管理學系所碩士論文。
8. 蔡仁耀，2004。格子布染色工段派工方法之探討，國立交通大學工業工程與管理研究所碩士論文。
9. 楊啟瑞，1999。紡織業多階層製造系統之派工法則的研究，國立交通大學工業工程與管理研究所碩士論文。
10. 賴奕茵，2008。紡織廠染整段生產排程問題之研究，私立東海大學工業工程與經營資訊所碩士論文。

### 英文文獻:

11. Chen, B., Vliet, A. van and Woeginger G. J., "An optimal algorithm for preemptive on-line scheduling," *Algorithms -ESA '94. Second Annual European Symposium Proceedings*, pp. 300-306, 2000.
12. Emmons, H., "Scheduling to a common due date on parallel uniform processors," *Naval Research Logistics*, Vol.34, pp.803-810, 1994.
13. Guinet, A., "Scheduling independent jobs on uniform parallel machines to minimize tardiness criteria," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 6, No. 2, pp. 95-103, 1999.
14. Gursel, A. S., Pico, F. and Santiago, A., "Identical machine scheduling to minimize the number of tardy jobs when lot-splitting is allowed," *Computer and Industrial*



*Engineering*, Vol. 33, No. 1-2, pp. 277-280, 2004.

15. Khan, M. R. R., "Computer Simulation of Production Systems for Woven Fabric Manufacture." Department of Textile Industries, The University of Leeds, England, U. K., 1990.
16. Mireault, P., Orlin, J. B. and Vohra, R. V., "A parametric worst case analysis of the LPT heuristic for two uniform machines," *Operations Research*, Vol. 45, No 1, pp. 116-125, 2004.
17. Monma, C. L. and Potts, C. N., "Analysis of heuristics for preemptive parallel machine scheduling with batch setup times," *Operations Research*, Vol. 41, No. 5, pp. 981-993, 1999.
18. Mario, Tucci, and Rinaldo Rinaldi, "From theory to application: tabu search in textile production scheduling," *Production Planning and Control*, Vol.10, pp.365-374, 1999.
19. Saydam, Cem, and W. Douglas Cooper, "A decision support system for scheduling jobs on multi-port dyeing machines," *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.22, No.9, pp.1054-1065, 2002.
20. Serafini P., "Scheduling jobs on several machines with the job splitting property," *Operations Research*, Vol. 44, No. 4, pp. 617-628, 2002.
22. Tamimi, S. A. and Rajan, V. N., "Reduction of total weighted tardiness on uniform machines with sequence dependent setups," *6th Industrial Engineering Research Conference Proceedings*, pp. 181-185, 1997.

#### 參考網站

1. 台灣紡拓會全球資訊網: <http://ttf.textiles.org.tw>