

國立交通大學

工業工程與管理學系

碩士論文

格子布染色工段多目標派工方法之探討

Multi-objective Dispatching Algorithms for Yarn Dyeing
Process

研究生：張貽朝

指導教授：許錫美 博士

中華民國九十四年六月

格子布染色工段多目標派工方法之探討

Multi-objective Dispatching Algorithms for Yarn Dyeing
Process

研究生：張貽朝

Student : Yi-Chao Chang

指導教授：許錫美 博士

Advisor : Dr. Hsi-Mei Hsu

國立交通大學

工業工程與管理學系



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 of Science

In

Industrial Engineering

June 2005

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

格子布染色工段多目標派工方法之探討

研究生：張貽朝

指導教授：許錫美 博士

國立交通大學工業工程與管理研究所

中文摘要

染色工段的生產環境相當複雜，其特性如下：(1) 不同缸型上的工單排程非獨立，會相互影響；(2) 每張工單在不同的缸型加工，有不同的加工時間；(3) 染缸的設置時間是順序相依；(4) 每種缸型有多部相同染缸，不同缸型上的工單排程會相互影響。以最小化訂單加權延遲時間總和與訂單達交率最大化為目標，考慮上述排程特性，本研究銜接徐氏的工單缸型指派的整數規劃模式，以禁忌搜尋法發展一套多目標派工方法。

本研究以一實際工廠資料說明該多目標派工方法，將其績效與 EDD 派工法則及典型禁忌搜尋法比較，在訂單加權延遲時間總和與達交率上都有很好的績效。

關鍵字：染色工段、順序相依、整數規劃、禁忌搜尋法、多目標

Multi-objective Dispatching Algorithms for Yarn Dyeing Process

Student : Yi-Chao Chang

Advisor : Dr. Hsi-Mei Hsu

Department of Industrial Engineering and Management
National Chiao Tung University

Abstract

This research presents a multi-objective dispatching algorithm for dyeing process in yarn-dyed textile. Special characteristics of the dyeing process are considered in the proposed algorithm as follows : (1) The setup times depend on item sequences; (2) The relationship among items must be considered in scheduling multiple unrelated parallel machines.

The objectives of the multi-objective dispatching algorithm are to minimizing total weighted tardiness and to maximizing hit-rate. The sum of normalized total weighted tardiness and normalized hit-rate is defined as the fitness value in the Tabu search designed by this research to find a near optimal dispatching sequence for each machine type. The proposed algorithm is verified by a real case. The performances of the proposed algorithm has been compared with traditional dispatching method (EDD) and classic Tabu search. The results have shown that the performances of the proposed multi-objective dispatching algorithm are better than EDD and classic Tabu search.

Keywords: Multi-objective; Dyeing process; Yarn-Dyed textile factory; Sequence Dependent Setup Time; Tabu search;

誌謝

本論文得以順利完成，首先要感謝恩師許錫美教授兩年來的細心指導，除了在論文內容與寫作給予指引外，於為人處事與學習態度上都給予我深刻的教誨，讓我在待人接物方面有更深一層的領悟與學習，在此僅致上最誠摯的謝意。同時也要感謝口試老師巫木誠教授、彭德保教授、陳文智教授在論文口試時，給予的許多寶貴意見與指導，使本論文更臻完備。

接著要感謝同門的宜穆、宜娟、建閔、瑋婷這兩年來的鼓勵與陪伴，在我遭遇挫折的時刻，你們給予我的支持與建議，是我克服許多困難的動力。而高中好友明翰、室友揚智、大學好友建良在程式的學習與撰寫時給予的建議與幫助，也讓我十分感激；MB002 的聲宇、挺耀、君豪、正航、尚宏、岳霖、雅娟、泰盛學長、昌甫學長，謝謝你們這兩年研究所生涯的陪伴。還有交大六年以來的學弟妹與其他好友們，謝謝你們陪伴我度過這兩年來緊張、忙碌的研究生活。

最後要深深感謝我的母親，有妳一直以來無私的奉獻、支持與關懷，才能讓我無後顧之憂並完成學業。我的父親，雖然你已不在我的身旁，你對我的親情與關懷始終常駐我心，僅以此論文獻給我最親愛的家人以及關心我的師長、朋友們。

貽朝

于 風城交大

中華民國 94 年 6 月

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
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 問題定義.....	2
1.3 研究假設.....	3
1.4 論文架構.....	4
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 SDST排程問題相關文獻回顧.....	5
2.2 啟發式演算法相關文獻回顧.....	6
2.3 染色工段實際情境相關研究回顧.....	8
2.4 文獻總結及研究方向.....	11
2.5 本研究與過去研究不同之處.....	12
第三章 問題定義與研究方法.....	13
3.1 問題定義.....	13
3.2 研究方法.....	16
3.3 派工模式說明.....	17
3.4 禁忌搜尋法.....	19
3.4.1 解的編碼方式.....	19
3.4.2 起始解的產生.....	21
3.4.3 相鄰解的產生方式.....	22
3.4.4 禁忌列表.....	23
3.4.5 凌駕規則.....	23
3.4.6 終止條件.....	24
第四章 實例驗證.....	26
4.1 實例資料來源.....	26
4.2 與傳統派工方法 EDD(Earliest Due Date)與典型禁忌搜尋法的結果比較.....	26

4.3 三種目標之禁忌搜尋法結果分析比較.....	29
第五章 結論與未來研究方向	34
5.1 結論.....	34
5.2 未來研究方向.....	34
參考文獻	35



表目錄

表 2.1 文獻整理	12
表 3.1 染色加工時間表	14
表 3.2 設置時間表	14
表 3.3 工單編號、 x 、順序值與指派缸型的關係表	20
表 4.1 各缸型染缸數	26
表 4.2 TWT(權重*延遲天數)十八週總和	27
表 4.3 五種派工方法結果	28
表 4.4 TS_NEW_以加權延遲時間最小化為目標執行十次結果整理	29
表 4.5 TS_NEW_以達交率最大化為目標執行十次結果整理	30
表 4.6 TS_NEW_以多目標適應值最大化為目標執行十次結果整理	30
表 4.7 ANOVA TABLE FOR TWT	31
表 4.8 DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST FOR TWT	31
表 4.9 ANOVA TABLE FOR 達交率	32
表 4.10 DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST FOR 達交率	32



圖目錄

圖 1.1 訂單內容與工單包含資訊	3
圖 3.1 問題定義	15
圖 3.2 每週派工流程圖	18
圖 3.3 工單依初始解的順序值排入染缸示意圖	22
圖 3.4 相鄰解產生方式示意圖	23
圖 3.5 TS 流程圖	25
圖 4.1 執行十次 TWT 分佈圖	31
圖 4.2 執行十次訂單延遲總數分圖	32



第一章 緒論

1.1. 研究背景與動機

台灣是格子布主要的生產國，先染後織是格子布的主要生產特性，前製程染色工段的生產排程規劃績效對訂單的達交率有很大的影響。

在過去相關研究中，陳氏[13]發展出一套適用於格子布紡織廠染色工段與織布工段之排程規劃的演算法，在訂單總延遲天數最小化的目標下，決定了各工單在染色工段與織布工段的最晚應上機時間及染色工段交期。

然而，陳氏之研究在染色工段各工單之染色缸型是由設計師指定的前提下，進行排程規劃。因各缸型的負荷不均，造成工單延誤及機台利用率低的不良情形。實際上當染色工段遇到生產線上壅塞時，工人會依自己的經驗判斷，將工單指派到其他的缸型加工。為避免工人依個人主觀判斷的指派，欠缺全盤考量，徐氏[14]以各缸形負荷平衡的概念，提出工單之染色缸型指派模式。

蔡氏[15]延承徐氏的研究成果，在規劃期內已知各待染工單之加工缸型的前提下，考慮作業順序相依設置時間(SDST)以及訂單包含多個待染工單的特性，以最小化訂單總延遲時間為目標，進行派工方法的研究。蔡氏應用了基因演算法(GA)、模擬退火法(SA)與禁忌搜尋法(TS)三種啟發式演算法進行派工，實例驗證結果顯示啟發式演算法與傳統派工方法相比有明顯改善的效果。

然而每張訂單的總重量並不一致，訂單若延誤，紡織廠一般會將布料由海運改為空運送達給客戶，因此，每張訂單的延誤成本與該訂單的總重量有關。根據每張訂單的總重量給予訂單權重，將目標式訂為最小化訂單加權延遲時間總和，才能夠更符合問題的實際特性。另外，訂單的達交率也是一個值得考慮的重要課題，由於訂單加權延遲時間總和最小化後，雖可以減少訂單延誤成本，但是，若因而降低了訂單的總達交率，造成許多客戶的不滿，影響自身信譽，並不是紡織廠所樂見的，因此訂單達交率也是排程的重要目標。因此，本研究以上述目標，進行染色工段多目標派工方法之研究。

1.2. 問題定義

每張訂單（或稱案）在染色工段包含幾張不同的待染工單。各待染的工單包含以下之資訊：工單編號、最晚應上機日、染色工段交期（以下以『交期』表示）、色度、染色方式、案號、指定的缸型及其循環數。如圖 1.1 所示。

本研究以格子布紡織廠的染色工段作為研究對象，染色工段的排程有以下幾點特性：(1) 工單有相依性：每張訂單包含多張工單，訂單的完工時間是以訂單中最晚完工工單的完工時間而定。(2) 工單加工時間由缸型而定：每張工單有其可加工的缸型集合，每張工單若在不同的缸型加工，會有不同的加工時間。(3) 作業順序相依設置時間(Sequence Dependent Set-Up Time SDST)：染缸的設置時間（清洗染缸的時間）依前後作業工單的色度而定。(4) 不同缸型上的工單排程非獨立：由於一張訂單的工單可能分散於不同缸型進行加工，訂單的完工時間是以訂單中最晚完工工單的完工時間而定，因此，不同缸型上的工單排程非獨立，會相互影響。(5) 每種缸型有多部等效染缸。

本研究承襲陳氏[13]與徐氏[14]的研究成果，在各工單的最晚應上機日、指派缸型及染色工段的交期已知的情況下，以提高訂單達交率及最小化訂單加權延遲時間總和為目標，發展出適合該生產環境特性的派工演算法。

本研究假設染色工段各工單經過工單指派缸型的步驟後，工單就不能改變加工缸型。每種缸型有多部等效染缸，因此每個缸型的工單派工優序問題可視為一組等效平行機台的排程問題，因此，本研究環境即可視為多組等效平行機台作業順序相依設置時間的排程問題。

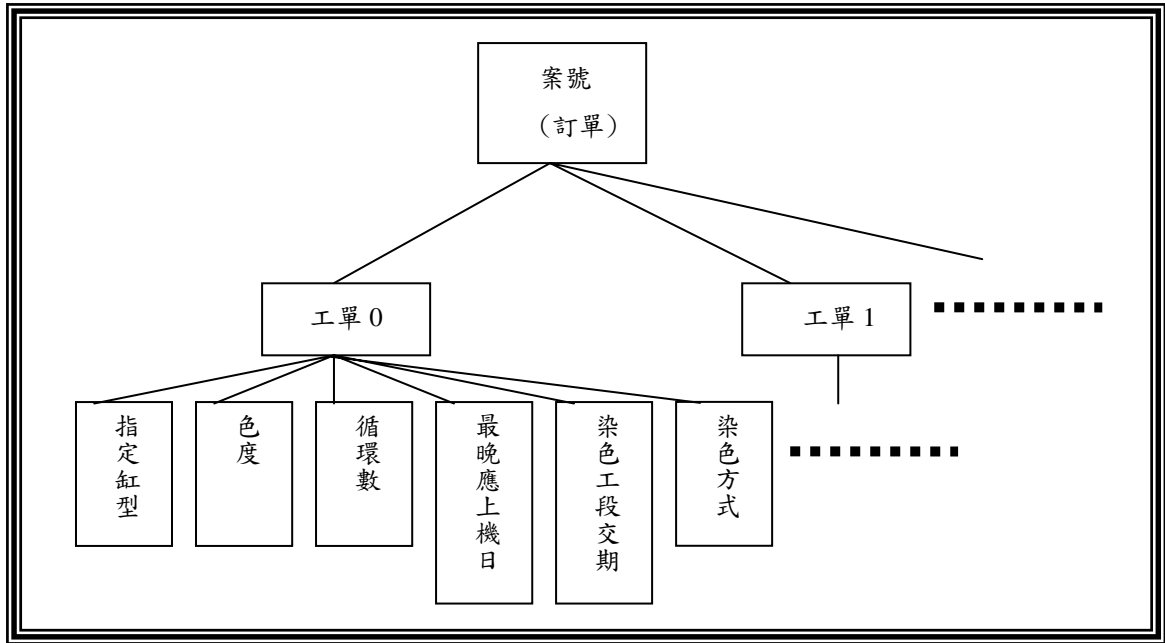


圖 1.1 訂單內容與工單包含資訊

來源資料：徐偉誌[14]

1.3. 研究假設[15]

- (1) 每個染缸染一缸的作業時間只與色度及染色方式有關。
- (2) 機台為每天 24 小時操作，不考慮當機情形。
- (3) 不考慮重工。
- (4) 檢驗時機台不需閒置，先進行下一個排定工單的第一個循環，完成後，再將檢驗工單剩餘的循環數完成。
- (5) 設置時間只和兩個相連作業的色度有關。
- (6) 每張工單都有指定的缸型，不得換缸。
- (7) 染缸 load 與 unload 所需時間為一定值，不包含於設置時間內。

1.4. 論文架構

第一章 緒論

第二章 文獻回顧

回顧有關 SDST 的排程研究以及啟發式演算法相關的文獻。並簡述陳瑩芝 [13]、徐偉誌 [14] 與蔡仁耀 [15] 針對本實際情境進行研究的內容與貢獻。

第三章 問題定義與研究方法

描述生產環境、問題定義、問題假設、研究方法、派工模式與禁忌搜尋法之應用說明。

第四章 實例驗證

第五章 結論與未來研究方向



第二章 文獻回顧

本研究以一紡織廠中染色工段生產製造的實際情境作為研究對象，染色工段的排程特性如前章所述是多組等效平行機台作業順序相依設置時間（SDST）的排程問題。Lawler et al.[7]的研究中證明，單一機台之最小化加權延遲時間的工單排程問題是屬於指數型困難問題(NP-Hard)，求解該問題若用數學分析模式，例如整數規劃(integer programming)、動態規劃(dynamic programming)、分支界限法(branch and bound)等，隨著問題增大，所耗費的時間將呈指數式的快速增加，因此上述求解方法適用於小問題，面對高度複雜的現實生產環境，一般是利用啟發式演算法進行派工求解。

以下各節將針對 SDST 的派工問題的相關文獻，進行回顧。

2.1. SDST 排程問題相關文獻回顧

Tan et al.[12]利用隨機產生的單一機台排程具有SDST特性問題，對以下四種方法的績效進行比較，包含了分枝界限法(Branch-and-bound)、GA、SA與RSPI(Random-Start Pairwise Interchange)，目標為最小化總延遲時間。結果顯示分枝界限法在小型問題上可以找到最佳解(Global optimal)，缺點是只能處理小型的SDST排程問題，一般來說不適用於實際情境；對於大型的SDST排程問題，SA與RSPI能夠得到較好的解，求解時間較短且穩定，GA與前兩者相比，解的品質就比較差，穩定性也較低。

Bilge et al.[2]利用禁忌搜尋法(TS)，求解等效平行機台具有SDST特性的排程問題，問題中給定各工件的到達時間，以最小化總延遲時間為目標，求解各工件的派工順序。為了獲得較穩定的搜尋機制，本研究詳細探討了candidate list strategies、tabu classifications、tabu tenure and intensification/diversification strategies對解品質的影響，其中candidate list strategies是最關鍵要素，特別是作者所提出的“Low” candidate list strategy，此方法找出造成延遲時間最多的『機台』，

將該機台的工作分攤到其他機台上，除了能有效改善演算法的執行速度，也具有跳脫局部最佳解的能力，將解逐漸導向更好的區域。最後利用隨機產生的問題範例，與GA產生的結果作比較，TS明顯優於GA，平均改善延遲時間達75%~95%。

2.2. 啟發式演算法相關文獻回顧

Tan et al.[11]與Parthasarathy et al.[10]利用了模擬退火法(SA)求解SDST的排程問題。在單一機台的生產環境下，Tan et al.[11]的實驗結果顯示SA的求解時間短，並能因應不同的工作需求，快速進行反應，產生新的排程。

Parthasarathy et al.[10]使用SA處理一鑽頭製造的流程式生產環境排程問題，隨著製造鑽頭的直徑大小差異，需要不同的設置時間；排程目標為最小化加權延遲時間的總和(Minimize total weighted tardiness)，由於考慮了工作權重的特性，作者以EWDD(earliest weighted due date)的派工法則，產生初始解，之後再利用SA進行改善。與Kim[5]及Gelders[4]提出的啟發式演算法作比較，本方法產生的結果是較佳的。

Bilge et al.[2]與Logendran et al.[9]則使用了TS處理平行機台具有SDST特性的排程問題。

Logendran et al.[9]的問題目標是最小化所有工作的延遲權重總和(Total Weighted Tardiness：TWT)。環境為不等效平行機台的排程問題，考慮了順序相依設置時間，並具有工作可分割的特性。作者將每一工作視為顧客的訂單，不同的訂單會有不同的優先權及權重，所使用的TS包含了三個部分，為初始解的尋找機制、相鄰解的產生與演算法的架構。

初始解的部分，作者提出了四種方式：

1. EDD / IS1
2. EDD_{SP} / IS2：

在這個方法中，若分割工作的一部份被排定後，剩餘的另一部分就要被排到能最早完成的機台上，確保滿足 JIT 的限制與初始解合理，避免拉長整體求解時間。

3. Least flexible job and least flexible machine(LFJ and LFM) / IS3 :

LFJ：可加工機台數量最少的工作

LFM：可加工的工作數量最少的機台

並且利用與 IS2 同樣的機制來滿足 JIT 限制。

4. Modified apparent tardiness cost (MATC) / IS4 :

此方法考慮工作數量(J)、機台數量(M)、tardiness factor 與交期範圍因素(R)，以及給定的工作加工時間、到達時間點、工作權重與機台可用時間點，建立出一排定工作優先順序的函數

$$PI_j(t_i) = \frac{w_j}{p_{ij}} \exp\left[-\frac{\max[d_j - p_{ij} - t_i, 0]}{k_1 p_i}\right] \times \exp\left[-\frac{\max[r_j - t_i, 0]}{k_2 r}\right]$$

相鄰解產生包含兩種方式 swap move 與 insert move。

演算法架構方面，作者根據 TS 的 memory function(short-term or long-term)、禁忌列表大小(固定或可變動)與跳脫能力{(LTM-max/intensification)較差或(LTM-min/diversification)較強}，組合為六種 TS-based heuristics。

加入四種初始解產生方法的組合後，就有總共 24 種組合的啟發式演算法。

利用隨機產生的問題範例，與混和整數線性規劃模型(Mixed(binary)integer linear programming model)進行解品質與求解時間的比較。說明該方法是可行且有效的。

最後作者進行不同 TS 的設定進行分析，在大型的排程問題中，若欲考慮使用 TS 來求解，IS4(MATC)+TS3{Lone-term memory based on minimal(LTM-min) frequency and fixed tabu list size}的組合可以得到最好的效果。

Kim et al.[6]利用 SA，並提出六種相鄰解產生方法來處理此作業階段的排程問題，目標為最小化工作總延遲時間。生產環境特性為不等效平行機台，具有順

序相依設置時間，共有 L 個 job 排入 M 個機台中，每個 job 視同一個 lot，由 N 個 item 組成，同一 lot 內的所有 item 在同一機台的加工時間都相同，並且有共同的交期。設置時間只發生在不同 lot 之間，與前後 lot 的特性有關，而與機台無關。

作者將自己提出的方法(SA_S)與傳統的 SA_C(只使用 Item interchange 與 Item insert)還有 neighborhood search(NS)作驗證比較。結果說明 SA_S 的總延遲時間不論在大問題或是小問題的表現上都較另外兩種方法好。證實了考慮問題特性的相鄰解產生方式，能有效的改善演算法績效。

2.3. 染色工段實際情境相關研究回顧

陳瑩芝[13]在訂單交期及各工段生產週期時間分佈資訊已知，並根據設計者已指派工單之加工缸型的前提下，發展出一套適用於格子布紡織廠染色工段與織布工段之排程規劃的演算法，在訂單總延遲天數最小化的目標下，決定所有工單的最晚應上機時間及染色工段交期。

然而，陳氏之研究在染色工段各工單之染色缸型是由設計師指定的前提下，進行排程規劃。因各缸型的負荷不均，造成工單延誤及機台利用率低的不良情形。實際上當染色工段遇到生產線上壅塞時，工人會依自己的經驗判斷，將工單指派到其他的缸型加工。為避免工人無效率的指派，徐偉誌[14]在對應每一工單可加工的缸型集合中，以最早染完所有待染工單為目標，建構整數規劃模式指派各工單的缸型，模式說明如下。

符號：

$i = 1, 2, \dots, s$: 染缸缸型編號

$j = 1, 2, \dots, n$: 待染工單編號

I : 染缸缸型的集合 $I = \{1, \dots, s\}$

S_j : 可染工單 j 的缸型集合

s : 缸型總數

- n : 待染工單總數
- C_{ij} : 工單 j 在缸型 i 上染色所需要的循環數
- P_j : 工單 j 一循環的染色時間
- $C_{ij} \times P_j$: 工單 j 在缸型 i 上的染色總時間
- m_i : 缸型 i 的機台數
- $cost_{ij}$: 工單 j 在缸型 i 所需要的染色成本
- t : 目前規劃時點
- q : 染色重工率
- M : 表一個很大的數

變數說明如下：

r_{ij} : 表工單 j 是否分配到缸型 i 之決策變數， $r_{ij}=1$ 或 0 ， $r_{ij}=1$ 表示工單 j 之指派缸型為 i 。 $r_{ij}=0$ 若 $i \notin S_j$

L_i : 染完所有指派到缸型 i 工單所需的時間

wip_i : t 時點，缸型 i 還需要多少時間，才能完成該缸型上正在加工的在製品

$Lmax = \text{Max}(L_i)$: 完成全部待染工單所需的時間

模式 A

目標式:

$$\text{Min} \quad M \times Lmax + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^n r_{ij} \times cost_{ij} \quad (1)$$

s,t

$$\frac{\sum_{j=1}^n (r_{ij} \times C_{ij} \times P_j) + \sum_{j=1}^n (r_{ij} \times q \times P_j) + wip_i}{m_i} = L_i, \quad i=1,2,\dots,s \quad (2)$$

$$\sum_{i \in S_j} r_{ij} = 1 \quad , \quad i \in S_j \quad j=1,2..n \quad (3)$$

$$L_i - L_{\max} \leq 0 \quad , \quad i=1,2,..s \quad (4)$$

$$r_{ij} = 0, \text{ or } 1 \quad , \quad i \in S_j$$

$$r_{ij} = 0 \quad , \quad i \in I - S_j$$

目標式 (1) 的第一項 L_{\max} 代表最早染完全部待染工單所需的時間，此目標優序大於染色成本，因此乘上 M ，目標式 (1) 的第二項 $\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^n r_{ij} \times \text{cost}_{ij}$ 代表染色成本。限制式 (2) 的左式中分子代表缸型 i 染完所有待染工單的染色加工總時間，第一項 $\sum_{j=1}^n (r_{ij} \times C_{ij} \times P_j)$ 代表指派到缸型 i 所有待染工單的加工時間，第二項 $\sum_{j=1}^n (r_{ij} \times q \times P_j)$ 代表重工的加工時間平均分攤到每一工單的加工時間，第三項 $w_i p_i$ 代表上一期缸型 i 之在製品剩餘的加工時間；分母 m_i 代表缸型 i 的機台總數。(3) 式是限制每一個工單只能分配給一種缸型。(4) 式是限制最早染完全部待染工單的時間需大於或等於各缸型完成待染工單的時間。

然而，當規劃期間的待染工單有 n 張，而每一張工單有 k 種缸型可供選擇，可行解的空間共有 k^n 種組合。徐氏以 CPLEX7.5 線性規劃軟體求解模式 A，隨著待染工單數與工單之可染缸型選擇的增加，求解時間會大幅增加，甚至無法求解。因此徐氏以各缸型的待染工單數為限制條件，加入模式 A，稱為模式 A'，如下例所示。

$$\sum_{j=1}^5 r_{1j} = 1, \quad \sum_{j=1}^5 r_{2j} = 1, \quad \sum_{j=1}^5 r_{3j} = 1, \quad \sum_{j=1}^5 r_{4j} = 2, \quad \sum_{j=1}^5 r_{5j} = 0, \quad \sum_{j=1}^5 r_{6j} = 0$$

表示缸型 1 分配到的待染工單總數為 1，缸型 2 為 1，缸型 3 為 1，及缸型 4 為 2，依此類推。增加整數規劃模式的限制式，減少可行解數目，加快求解時間。接著使用基因演算法(GA)，輔助搜尋整數規劃模式之最適解，指派各待染工單最適的加工機型，改善了染缸產能負荷不均的現象。

蔡仁耀[15]延承徐氏的研究成果，在規劃期內已知各待染工單之加工缸型的前提下，考慮作業順序相依設置時間(SDST)以及訂單包含多個待染工單的特性，以最小化訂單總延遲時間為目標，進行派工方法的研究。蔡氏應用了基因演算法(GA)、模擬退火法(SA)與禁忌搜尋法(TS)三種啟發式演算法進行派工，實例驗證結果顯示蔡氏所提出之 SA 在訂單總延遲時間的績效評估上有較理想的表現。

然而蔡氏的研究中並未考量到每張訂單總重量不同，導致訂單延遲所造成的延誤成本也會不一，而將每張訂單的權重視為一致，採用最小化訂單總延遲時間為目標，並不符合實際問題特性。

2.4. 文獻總結及研究方向

綜合過去研究文獻，我們知道 SDST 排程派工問題屬於 NP-hard，在大型問題，也就是實際生產環境中，利用數學分析方法求解並不容易，使用適當的啟發式演算法求解，能在相當短的時間內就得到好的解，是比較理想的方式。

本研究考慮格子布紡織廠染色工段派工問題，除了具有 SDST 特性外，尚有訂單包含多個待染工單的特性，經由徐偉誌的研究成果將所有工單指派到特定缸型後，本問題生產環境即屬於多組等效平行機台的問題，但不同缸型間同一訂單之工單的完工時間具有相關性，會影響到最終該訂單的總完工時間，是其他等效平行機台研究所沒有的特性。因此本研究將目標訂為最小化訂單加權延遲時間總和與最大化訂單達交率，結合徐氏產能分配模式[14]，以每週派工一次的方式，發展適合該問題環境的多目標派工演算法。

對於 SDST 排程問題中不同生產環境以及啟發式演算法的整理，如表 2.1 所示：

表 2.1 文獻整理

生產環境	機台特性	問題目標	問題環境與假設	派工演算法	研究者與文獻
單一機台		Min(Total Tardiness)	SDST	SA	Tan et al.[11]
		Min(Total Tardiness)	SDST	Branch-and-bound、GA、SA & RSPI	Tan et al.[12]
		Min(Total Weighted Tardiness)	SDST，利用隨機產生的問題範例進行驗證	ATCS	Lee et al.[8]
多機台	等效平行機台	Min(Total Tardiness)	SDST，各工件到達時間已知	TS	Bilge et al.[2]
	不等效平行機台	Min(Total Weighted Tardiness)	SDST，工作可分割，工作視為顧客的訂單，各有不同的優先權及權重	SA	Logendran et al.[9]
		Min(Total Tardiness)	SDST，一個 job(lot)由多個 item 組成，設置時間只產生於不同 job(lot)之間	SA	Kim et al.[6]
	流程式生產機台	Min(Total Weighted Tardiness)	SDST，依工作重要性高低給予權重	TS	Parthasarathy et al.[10]

2.5. 本研究與過去研究不同之處

- (1) 與蔡氏的研究環境相同：為多組等效平行機台排程問題，不同缸型上的工單具有相依性，此特點與其他研究不同。
- (2) 與蔡氏的研究不同：本研究以加權延遲時間最小化及訂單達交率最大化為目標，屬多目標的排程問題。

第三章 問題定義與研究方法

本研究承接陳瑩芝[13]與徐偉誌[14]的研究結果，在規劃期內工單最晚應上機時間、工單加工缸型與工單交期已知的情形下，進行染色工段待染工單的派工優序訂定，以下將定義研究之問題，並說明本研究方法。

3.1. 問題定義

在染色工段中，一張訂單包含有多筆不同的待染工單。各待染的工單具有以下資訊：工單編號、最晚應上機日、染色工段交期（以下以『交期』表示）、色度、染色方式、案號、指定的缸型及其循環數。

本研究的假設條件如下：

1. 假設在給定染色方式及色度時，所需的染色時間為一固定值，如表 3.1 所示。
2. 不考慮重工。
3. 染缸為每日 24 小時進行作業，不考慮當機與修復的情形。
4. 因品質的要求，每一工單染完第一缸後，需對色檢驗。本研究假設檢驗時間為 6 小時，為提升機台利用率，檢驗時染缸不需閒置，直接進行下一個排定工單作業的第一個循環，直到此一循環完成後，再將檢驗工單的剩餘循環數完成。
5. 檢驗和染色作業對於不同工單為兩個獨立的作業，可以同時進行；對於同一個工單，則不可以同時進行。
6. 染缸設置時間只與兩個相連作業之色度有關，如表 3.2 所示。
7. 假設染缸 load 與 unload 所需時間為一定值，不包含於設置時間內。

表 3.1 染色加工時間表

染色方式 \ 色度	深 (D)	中 (M)	淺 (L)	米白 (P)
	軸染 (B)	10.5 小時	9.5 小時	8.5 小時
筒染 (C)	11 小時	10 小時	9 小時	4 小時

來源資料：蔡仁耀[15]

表 3.2 設置時間表

設置時間 (小時)		下一個工作的色度			
		深 (D)	中 (M)	淺 (L)	米白 (P)
上一個 工作的 色度	深 (D)	0	2	4	4
	中 (M)	0	0	2	2
	淺 (L)	0	0	0	0
	米白 (P)	0	0	0	0

來源資料：蔡仁耀[15]

本研究已知條件如下：

1. 已知每一工單待染的色度、染色方式、最晚應上機時間、指定缸型及其對應的循環數、交期與所屬的案號。
2. 規劃期內可用缸型種類及其染缸數量。
3. 加工時間 = 染一缸的時間 × 循環數，例如：假設一工單的循環數為 5，色度為 D，染色方式為軸染，則加工時間如下： $10.5 \times 5 = 52.5(\text{hr})$ 。
4. 本研究考慮到所有訂單總重量並不一致，若發生訂單延誤，紡織廠一般會將布料由海運改為空運送達給客戶，因而總重量大的訂單，就會耗費更多的延誤成本，因此根據訂單總重量給予訂單權重。

染色工段排程特性：

本研究是最小化訂單加權延遲時間總和，及最大化訂單達交率的多目標排程問題，決定所有工單於指定缸型的派工順序。訂單加權延遲時間總和為每張訂單延遲之天數乘以該張訂單之權重的累加。訂單達交率為規劃期內達交之訂單數除以總訂單數。

本研究問題定義如下圖 3.1 所示：

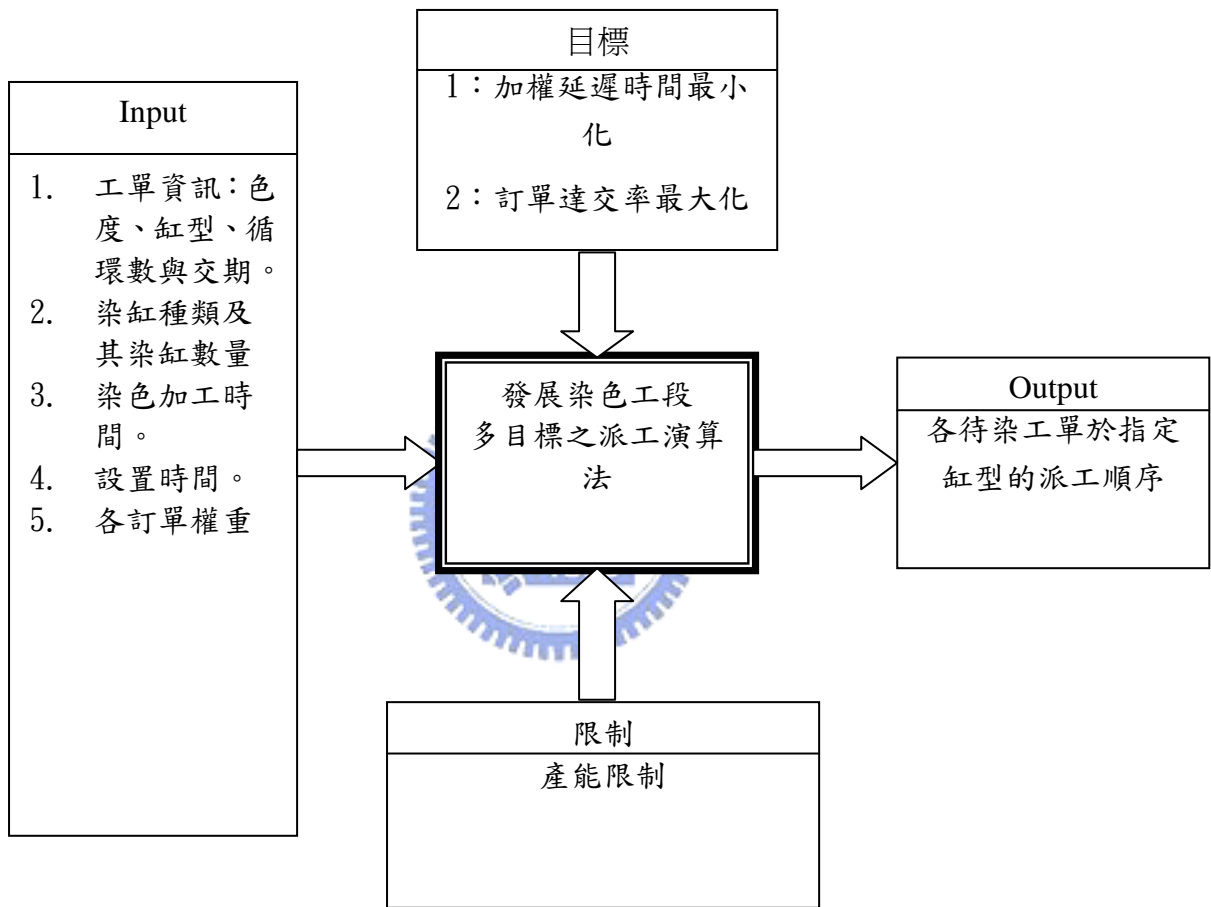


圖 3.1 問題定義

3.2. 研究方法

本研究以一紡織廠中染色工段生產製造的實際情境作為研究對象，主要考慮了作業順序相依設置時間(SDST)、訂單包含多個待染工單與各訂單重要性不一的特性，進行派工方法的研究。由於此類問題太過複雜，屬於 NP-hard，傳統追求全域最佳解(Global optimal)的數學方法處理不易。因此本研究利用啟發式演算法進行求解，參考過去相關文獻後，禁忌搜尋法不論在求解品質與求解時間上都有良好的績效表現，因此本研究擬應用禁忌搜尋法進行解的搜尋。

本研究是考慮最小化訂單加權延遲時間總和，及最大化訂單達交率的目標下，決定所有工單於指定缸型的派工順序。因此本研究是屬多目標的禁忌搜尋法之設計。

本研究首先針對單目標利用禁忌搜尋法找尋單目標下的最佳解。假設以最小化訂單加權延遲時間總和為目標進行求解，求得解中具有最小訂單加權延遲時間總和的目標值設定為 Z_{11}^* ，其工單派工順序結果會產生一個對應的訂單達交率，以 Z_{12} 表示。以訂單達交率最大化為目標進行求解，求得解中具有最大訂單達交率之解其目標值設定為 Z_{22}^* ，該解之派工優序可產生對應的訂單加權延遲時間總和，為 Z_{21} 。

以公式 (1) 表達各解在多目標下的適應值

$$Z_i = \frac{Z_{11}^*}{Z_{i1}} + \frac{Z_{i2}}{Z_{22}^*}, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n \quad (1)$$

其中 $\frac{Z_{11}^*}{Z_{i1}}$ 為訂單加權延遲時間總和標準化(normalize)，該值越高，表示第 i

個解在訂單加權延遲時間總和的表現上越好。 $\frac{Z_{i2}}{Z_{22}^*}$ 則是訂單達交率的標準化，

同樣地該值越高，也表示第 i 個解在訂單達交率的表現上越理想。因此 Z_i 值最高的解，即為多目標評估準則下，最適當的工單派工順序。

3.3. 派工模式說明

本研究承接徐氏研究[14]，規劃週期為一星期派工一次，排程分為兩階段。階段一為徐氏產能分配模式[14]，已知該週所有待染的工單，各工單之色度、可染缸型集合及其在各缸型加工的循環數，各機台可開始加工本週待染工單的開始時間，以最快完成所有待染工單為目標，決定各工單之指定缸型及其循環數。為求得每週各機台可開工時間，將徐氏整數規劃模式 A[14]修改如下：

修改模式 A

目標式:

$$\text{Min} \quad M \times L \max + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^n r_{ij} \times \text{cost}_{ij} \quad (1)$$

s,t

$$\frac{\sum_{j=1}^n (r_{ij} \times C_{ij} \times P_j) + \sum_{j=1}^n (r_{ij} \times q \times P_j)}{m_i} + N_i = L_i, \quad i=1,2,\dots,s \quad (2)$$

$$\sum_{i \in S_j} r_{ij} = 1, \quad i \in S_j, \quad j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

$$L_i - L \max \leq 0, \quad i=1,2,\dots,s \quad (4)$$

$$r_{ij} = 0, \text{ or } 1, \quad i \in S_j$$

$$r_{ij} = 0, \quad i \in I - S_j$$

上述模式修改了徐氏模式 A 中的限制式(2)，以 N_i 表示該規劃當週缸型 i 延後開工之時間。確保每週工作優先於下週工作完成，以求得每週機台可開工時間。

階段二在已知每張工單加工之缸型及其循環數的情況下，考慮不同色度作業間所需之洗缸時間與工單交期，利用多目標禁忌搜尋法決定工單於指定缸型之派工順序。由階段二可得知所有機台加工完本週待染工單的完工時間，將機台完工時間回饋至階段一，作為階段一下一週機台可加工下一週待染工單的開始時間。達到總規劃週數後，派工模式終止。圖 3.2 為本研究結合徐氏產能分配模式，每週派工一次的流程圖。

本研究找出符合問題特性的起始解及相鄰解產生方式後，應用於禁忌搜尋法。下節將詳細說明禁忌搜尋法應用於本問題的設定。

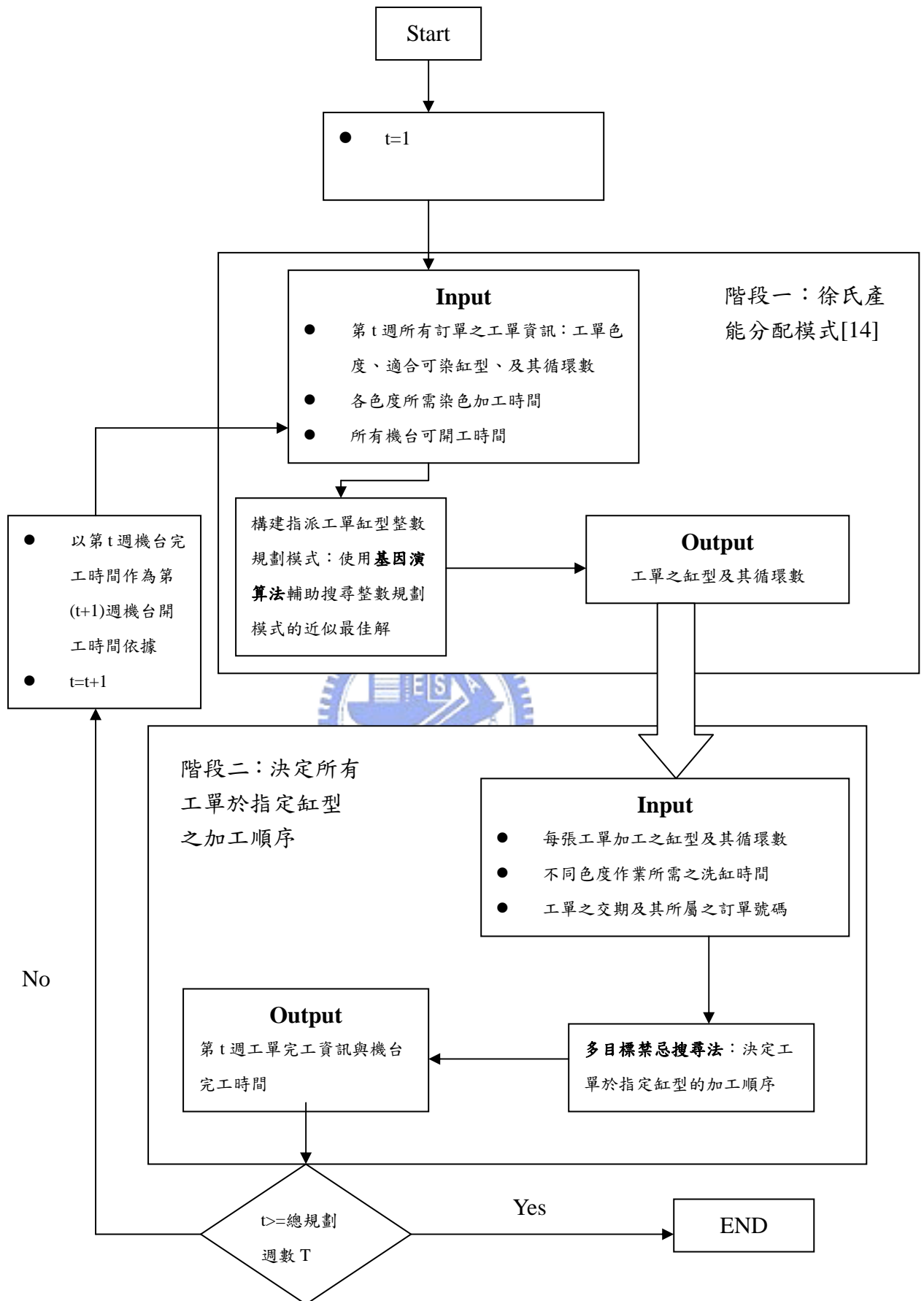


圖 3.2 每週派工流程圖

3.4. 禁忌搜尋法

以下將介紹本研究如何將禁忌搜尋法(Tabu Search，以 TS 表示)應用於本問題中，TS 的建構，主要可以分六個部分，(1)解的編碼方式、(2)起始解的產生、(3)相鄰解的取得方法、(4)禁忌列表、(5)凌駕規則、(6)終止條件。

3.4.1 解的編碼方式

解表示方式如下：

$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ ， X ：代表一個解， x ：代表一個工單，

x_i ：第 i 個工單的順序值， $i=1\sim n$ 。

解上每個 x 代表一個工單，各缸型順序值依欲排入該缸型工單數訂定，順序值由 1 至欲排入各缸型工單數訂定，同一缸型 x 的順序值不得重複，而順序值的大小則代表排入該缸型所有機台的順序。

在本研究實例中，以 2003/7/27 至 2003/8/2 這週為例，該週有 49 張訂單，總計 225 筆待染工單。這 225 筆待染的工單由第一階段徐氏的產能分配模式，可得知各工單指定的缸型。例如有 11 張工單指派到 A 缸型， x_1, x_2, \dots, x_{11} 的值就代表這 11 張工單在 A 缸型的排序。將所有工單依缸型 A,B,C,C1,D,E,E1,GL,L1,M,O,S,Y1 的順序排序，再將排序後的 225 筆工單編號，為 1~225。 X 中每一個 x 代表一個工單， $X = [x_1, x_2, \dots, x_{225}]$ 。各缸型順序值的則代表排入該缸型所有染缸的順序，待染工單、 x 、順序值與指派缸型的關係如表 3.3 所示。

例如:A 缸型共有 11 個工單欲排入，分別為工單編號 1 號至 11 號， X 上 $[x_1, \dots, x_{11}]$ 即代表這 11 個工單，其順序值則由 1~11 訂定，不得重複，第 6 個工單欲排入 A 缸型，且 $x_6 = 8$ 則表示工單 6 號排入 A 缸型所有機台的順序為 8，如表 3.3 所示。

表 3.3 工單編號、 x 、順序值與指派缸型的關係表

工單編號	1~11	12~28	29~39	40~53	54~79	80~103	104~111	112~121	122~157
x	$x_1 \sim x_{11}$	$x_{12} \sim x_{28}$	$x_{29} \sim x_{39}$	$x_{40} \sim x_{53}$	$x_{54} \sim x_{79}$	$x_{80} \sim x_{103}$	$x_{104} \sim x_{111}$	$x_{112} \sim x_{121}$	$x_{122} \sim x_{157}$
順序值	1~11	1~17	1~11	1~14	1~26	1~24	1~8	1~10	1~36
缸型	A	B	C	C1	D	E	E1	G	L

工單編號	158~163	164~190	191~200	201~220	221~225
x	$x_{158} \sim x_{163}$	$x_{164} \sim x_{190}$	$x_{191} \sim x_{200}$	$x_{201} \sim x_{220}$	$x_{221} \sim x_{225}$
順序值	1~6	1~27	1~10	1~20	1~5
缸型	L1	M	O	S	Y1

3.4.2 起始解的產生

根據徐氏研究[14]，可得知所有工單加工的缸型。本階段將指定到每種缸型前的工單排定上機的優序。起始解的優序是以色度較淺的工單先排，若有相同色度，則依工單交期先後決定優序，工單交期早的先排。由於設置時間只與兩個相連作業的色度有關，色度較深的作業到色度較淺的作業才需要設置時間，因此考慮將同色度的工單集合在一起，依色度將淺色系的工單先排，由於米白色系(P)與淺色系(L)之間不需要設置時間，在此可將兩色系視為同一種色系。若一缸型中有多部染缸，首先依照染缸編號順序排入工單，當有多部染缸內待染工單數相同時，就要進行判斷，找出加工循環數最少的染缸，將下一工單優先排入該染缸，依此類推，一直排到最深色的工單，以產生設置時間最少的初始解。

圖 3.2 對初始解產生方式舉例說明，假設 1~11 號工單為要排入缸型 A 加工的待染工單，共有 11 筆工單。色度為淺色(L)及米白色(P)的工單編號有 2、5、6、7、10，色度為中(M)的有 3、4、11，色度為深色(D)的有 1、8、9，依照色度與交期排序後，得到 A 缸型所有工單的起始解加工順序即為(10, 5, 6, 7, 2, 11, 3, 4, 8, 1, 9)

A 缸型的染缸數為 2，因此工單排入機台的順序如下圖 3.3 所示：

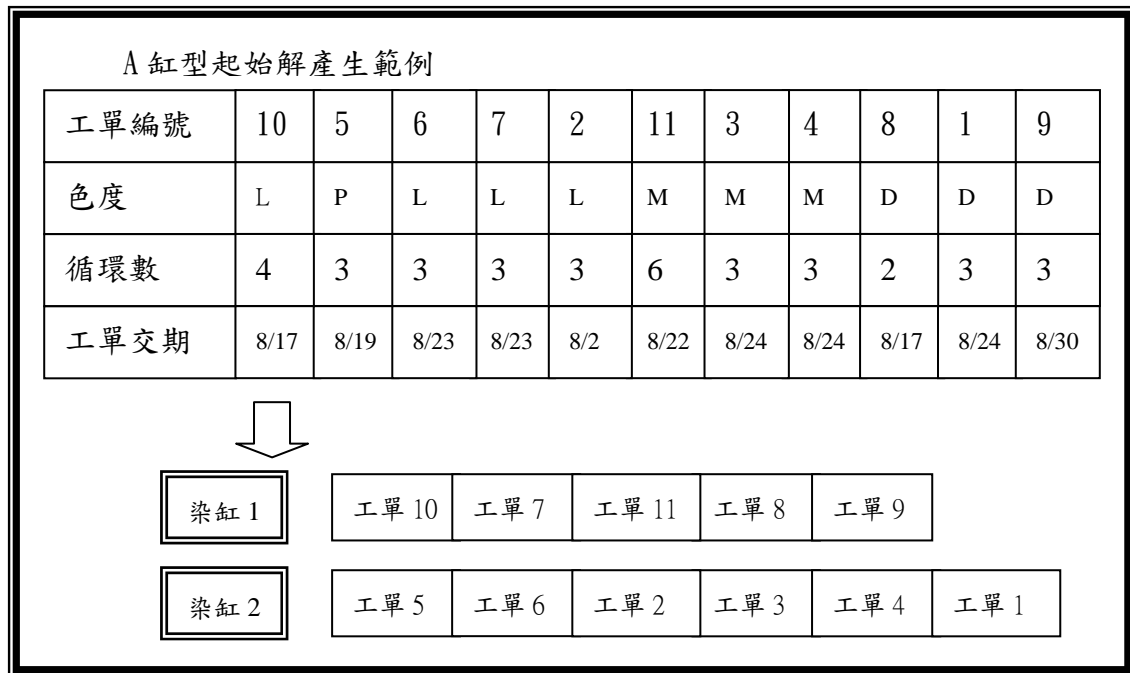


圖 3.3 工單依初始解的順序值排入染缸示意圖

3.4.3 相鄰解的產生方式

將現行解每個缸型中產生最大加權延遲時間的工單挑選出來，與所在缸型剩餘工單的工作順序進行交換。以圖 3.4 產生的 A 缸型初始解為例，假設 A 缸型中工單 9 產生的加權延遲時間是最大的，那麼工單 9 就會被挑選出來與工單 1 到 11 分別交換位置，總共產生 10 個相鄰解，圖 3.4 為工單 9 與工單 10 交換工作順序的示意圖。

為了避免求解過程中可能陷入局部最佳解，無法跳脫的情況，本研究在每一迭代中增加隨機產生的一百組相鄰解，這一百組相鄰解的產生方式是隨機挑選出一筆工單，再隨機挑選出與該工單同缸型的一筆工單，將兩筆工單工作順序交換，以產生一組相鄰解。

以 2003/7/27 至 2003/8/2 劃期舉例，有 225 筆待染的工單，要指派到 14 種缸型內的染缸。因此每個迭代會產生 311 組相鄰解(總工單數－總缸型數＋一百組隨機相鄰解：225-14+100=311)，之後根據禁忌列表與凌駕規則比較出此迭代的最佳解。

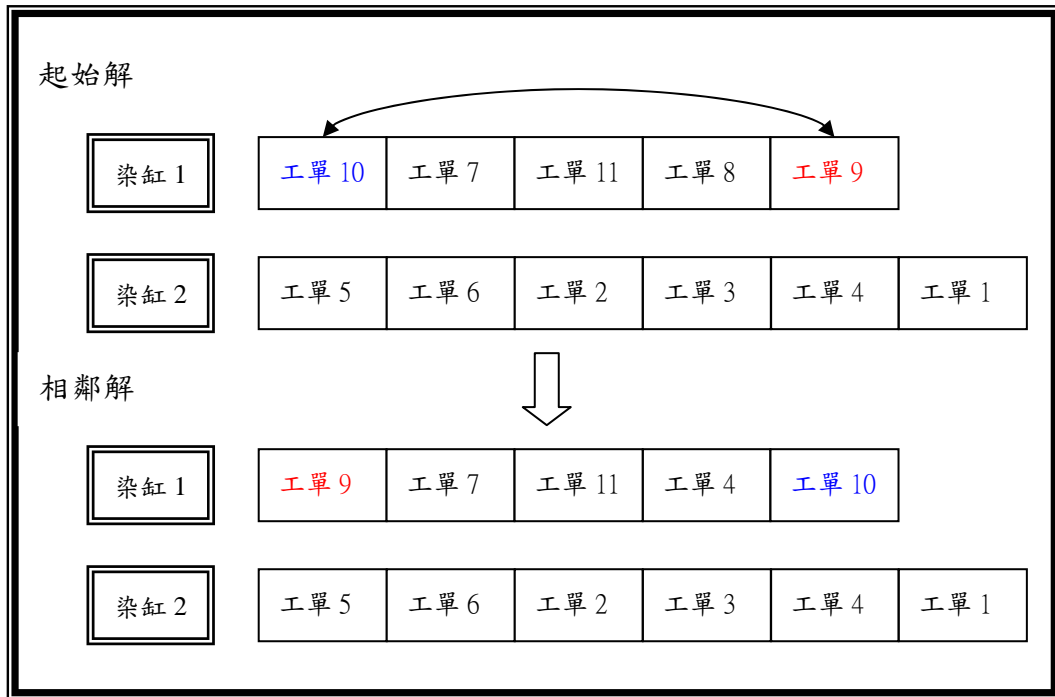


圖 3.4 相鄰解產生方式示意圖

3.4.4 禁忌列表 (tabu list)

禁忌搜尋法的記憶型式有短期記憶結構(short-term memory)與長期記憶結構(long-term memory)。短期記憶結構記錄了最近幾次的移動路徑，避免重複之前路徑的現象產生，以加速獲得區域最佳解的過程。長期記錄則是記錄了從開始運作以來的所有決策紀錄。一般來說，短期記憶結構因為較為簡單，故常被採用，而長期記憶結構因為較複雜，且所需的記憶體相當龐大，在近年來才開始被研究探討。大體而言，利用短期記憶結構來進行求解已能得到不錯的結果。

在此使用的禁忌列表就是利用短期記憶結構的型式，禁忌列表大小設定為 20，在每一個迭代中，當最佳相鄰解被選出取代現行最佳解時，就記錄進行交換的兩個工單，並判斷是否已超過禁忌列表的大小限制，若超過限制則必須將禁忌列表中最早的紀錄消除，也就是先進先出(FIFO)的紀錄方式。

3.4.5 凌駕規則 (aspiration criterion)

在每一個迭代中，當最佳的相鄰解被選出取代原有的現行最佳解前，必須先判斷此一相鄰解所要交換的兩個工單是否在禁忌列表內，如果在列表內，則需先

判斷此相鄰解是否優於目前的現行最佳解，若此相鄰解優於目前的現行最佳解，則仍可取代現行最佳解成為下一個迭代的現行最佳解，並更新禁忌列表；若此相鄰解並不優於目前的現行最佳解，則需以次佳的相鄰解取代，並做相同的判斷步驟。

本研究屬多目標派工問題，首先找尋單目標下的最佳解，分別為加權延遲時間最小化與訂單達交率最大化。最後以多目標適應值最大化進行求解。以下說明三種目標之最佳解的定義

(1)加權延遲時間最小化：在此最佳相鄰解即為加權延遲時間最小的解

(2)訂單達交率最大化：訂單達交率最大的解為最佳相鄰解，若有多組相鄰解產生一樣大的達交率，則進一步比較多組相鄰解之間的加權延遲時間總和，加權延遲時間總和最小的相鄰解為最佳解。

(3)多目標適應值最大化：每個迭代中多目標適應值最大的解為最佳相鄰解。



3.4.6 終止條件

(1)迭代的次數達到 10000 次就終止。

(2)新的排程解無法取代舊的排程解的持續次數，也就是現行解無法改變的持續次數達到 30 次就終止。

(3)目標值最佳化即終止：訂單加權延遲時間總和到達 0 或是訂單達交率為 100% 時，演算法終止。

本研究所使用的 TS 流程如下圖 3.5 所示

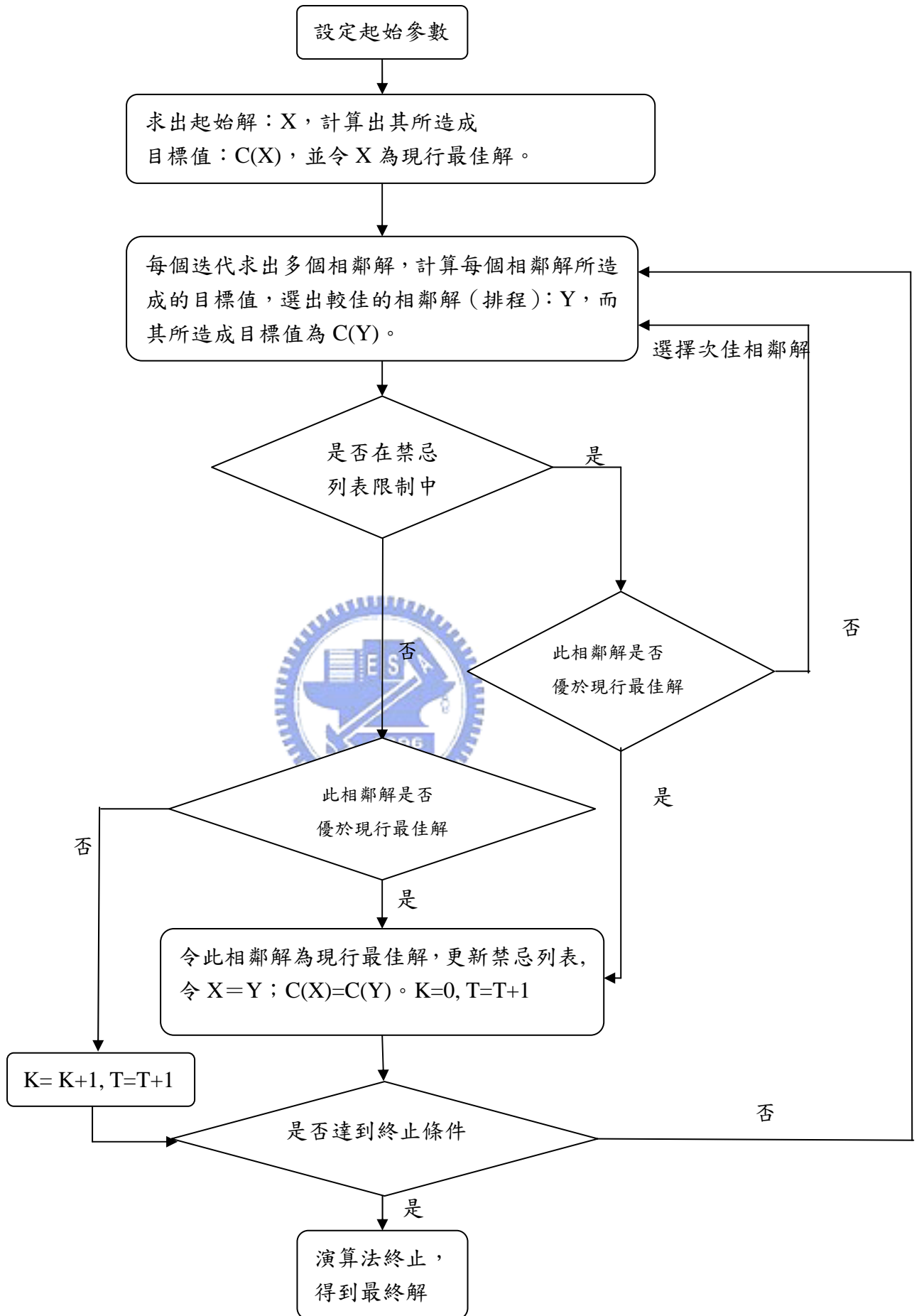


圖 3.5 TS 流程圖

第四章 實例驗證

4.1. 實例資料來源

本研究以一實際紡織廠作為測試對象，已知工單之指派缸型及其對應加工循環數、最晚應上機日、交期、色度、染色方式與所屬案號的情況下，考慮訂單加權延遲時間總和最小化與訂單達交率最大化之多目標評估準則，決定染色工段所有待染工單的派工順序。

本研究採 2003/7/27 至 2003/11/29 的資料作為測試對象，總共有 985 張訂單，3465 筆工單，18 週規劃期。可用缸型有 18 種，共 30 部染缸，如表 4.1 所示。訂單權重的定義方式是以一百公斤為單位，若一訂單所含工單總重量為 100 公斤以內，權重定義為 1，若大於 100 公斤，小於 200 公斤，權重則為 2，依此類推，決定每張訂單的權重。目標為改善訂單加權延遲時間總和與訂單達交率的績效。

為評估本研究方法對於實例問題的績效，本研究使用 C++ 撰寫程式，以 Microsoft Visual C++6.0 作為編譯軟體。於 K7 XP2000+(1.28G RAM) 的電腦上進行測試與執行。

表 4.1 各缸型染缸數

缸型	A	B	C	C1	D	E	E1	G	L	L1	M	O	S	V	W	Y	Y1	Z
染缸數	2	2	1	1	2	3	1	1	5	1	3	1	2	1	1	1	1	1

4.2. 與傳統派工方法 EDD(Earliest Due Date)與典型禁忌搜尋法的結果比較

此階段首先比較本研究方法與傳統派工方法 EDD 及典型禁忌搜尋法的績效，所謂典型禁忌搜尋法是以隨機的方式產生起始解，並於每迭代隨機產生 100 組相鄰解，以 TS_old 表示，本研究方法則以 TS_new 表示。所有方法都是經徐氏產能分配模式[14]之後，一週進行派工一次。

在加權延遲時間總和方面，表 4.2 為 TS_old 與 TS_new 各執行十次，18 週 TWT(Total Weighted Tardiness)的總和，可以看出 TS_new 於 TWT 的績效表現都

大幅優於 TS_old

表 4.3 為 EDD 執行一次，TS_old 與 TS_new 分別執行十次的結果整理。結果顯示 TS_new 相對於 EDD 與 TS_old 都有顯著的改善，在 TWT(Total Weighted Tardiness)的表現上，TS_new 相對於 EDD 的改善績效高達 90%以上，達交率也都在 96.85%以上，高於 EDD 的 71.17%與 TS_old 執行十次的平均值 88.678%。TS_old 相對於 EDD 雖然也有顯著的改善效果，但由於未考慮生產環境特性，容易陷入局部最佳解中，仍有大幅可改善的空間。

表 4.2 TWT(權重*延遲天數)十八週總和

演算法 實驗次數	TS_old_ 起始解	TS_old_ 最終解	TS_new_TWT 最小化_起始 解	TS_new_TWT 最小化_最終 解	TS_new_達 交率最大化_ 起始解	TS_new_達 交率最大化_ 最終解	TS_new_多目 標適應值最大 化_起始解	TS_new_多目 標適應值最大 化_最終解
no.1	5548.28	3759.19	1318.693	642.945	1479.392	814.646	1327.691	645.863
no.2	4798.8	3271.59	1351.342	718.275	1506.642	827.266	1357.753	669.54
no.3	4722.84	3206.47	1334.673	639.697	1548.656	727.799	1277.391	631.125
no.4	4859.46	3245.78	1331.141	697.395	1576.992	840.684	1431.319	750.029
no.5	4952.53	3265.46	1259.013	658.303	1395.986	670.009	1284.941	715.794
no.6	5041.65	3234.46	1322.953	659.292	1497.715	854.465	1404.362	679.624
no.7	4797.57	3252.9	1386.871	704.155	1472.531	717.827	1396.962	652.874
no.8	4953.42	3276.09	1364.446	630.721	1418.123	729.323	1411.624	715.972
no.9	5078.56	3191.06	1366.204	721.456	1361.376	683.621	1266.387	661.851
no.10	4709.56	3106.98	1293.801	683.325	1475.659	695.027	1497.2	775.09
平均值	4946.27	3759.19	1332.914*	675.556*	1473.307	756.067	1365.563	689.776
最大值	5548.28	3106.98	1386.871	721.456	1576.992	854.465	1497.2	775.09
最小值	4709.56	3281	1259.013*	630.721*	1361.376	670.009	1266.387	631.125
標準差	246.407	175.482	37.4942*	33.6793*	66.4417	70.4745	75.9169	47.4862

表 4.3 五種派工方法結果

	TWT(權重*天數)	改善績效	總達交率(%)
EDD	8914.892	...	71.17
TS_old(執行十次最佳解)	3106.98	65.15%	89.54
TS_new_以加權延遲時間最小化為目標(執行十次之最佳解)	630.721*	92.93%	96.85
TS_new_以達交率最大化為目標(執行十次之最佳解)	814.646	90.86%	98.07*
TS_new_以多目標適應值最大化為目標(執行十次之最佳解)	661.851	92.56%	97.66
TS_old(執行十次平均值)	3280.998	63.20%	88.678
TS_new_以加權延遲時間最小化為目標(執行十次平均值)	675.556	92.42%	97.045
TS_new_以達交率最大化為目標(執行十次平均值)	756.067	91.52%	97.89
TS_new_以多目標適應值最大化為目標(執行十次平均值)	689.776	92.26%	97.3

註：改善績效的計算方式如下：以 92.93% 之灰色區塊為例

$$\begin{aligned}
 92.93\% &= (\text{EDD 之 TWT} - \text{TS_new_以加權延遲時間最小化為目標之 TWT}) / \\
 &\text{EDD 之 TWT} \\
 &= (8914.892 - 630.721) / 8914.892
 \end{aligned}$$

4.3 三種目標之禁忌搜尋法結果分析比較

本階段將針對三種目標之禁忌搜尋法各重複執行 10 次的結果進行分析，顯示本研究方法於 TWT 與達交率上的績效表現，如表 4.4，表 4.5 及表 4.6 所示。

首先在 TWT 方面，TS_new_以加權延遲時間最小化為目標所得之結果最佳，平均為 675.556。在標準差的部分，TS_new_以加權延遲時間最小化為目標所求得之解變異也最小，標準差僅有 33.6793。

接著於達交率的表現上，TS_new_以達交率最大化為目標所得的結果最理想，平均達交率為 97.89%，其解之變異程度也最小，標準差為 0.1135。

TS_new_以多目標適應值最大化為目標的解表現均介於 TS_new_以加權延遲時間最小化為目標及 TS_new_以達交率最大化的兩者之間。

表 4.4 TS_new_以加權延遲時間最小化為目標執行十次結果整理

TS_new_以延遲時間最小化為目標	TWT	總延遲訂單數	總達交率(%)
1	642.945	27	97.26
2	718.275	30	96.95
3	639.697	29	97.06
4	697.395	31	96.85
5	658.303	30	96.95
6	659.292	27	97.26
7	704.155	29	97.06
8	630.721	31	96.85
9	721.456	31	96.85
10	683.325	26	97.36
最大值	721.456	31	97.36
最小值	630.721	26	96.85
平均	<u>675.556</u>	<u>29.1</u>	<u>97.045</u>
標準差	<u>33.6793</u>	<u>1.8529</u>	<u>0.1898</u>

表 4.5 TS_new_以達交率最大化為目標執行十次結果整理

TS_new_以達交率最大化為目標	TWT	總延遲訂單數	總達交率(%)
1	814.646	19	98.07
2	827.266	19	98.07
3	727.799	22	97.77
4	840.684	21	97.87
5	670.009	20	97.97
6	854.465	22	97.77
7	717.827	21	97.87
8	729.323	21	97.87
9	683.621	21	97.87
10	695.027	22	97.77
最大值	854.465	22	98.07
最小值	670.009	19	97.77
平均	<u>756.067</u>	<u>20.8</u>	<u>97.89</u>
標準差	<u>70.4745</u>	<u>1.1353</u>	<u>0.1135</u>

表 4.6 TS_new_以多目標適應值最大化為目標執行十次結果整理

TS_new_以多目標適應值最大化為目標	TWT	總延遲訂單數	總達交率(%)
1	645.863	25	97.46
2	669.54	25	97.46
3	631.125	25	97.46
4	750.029	27	97.26
5	715.794	27	97.26
6	679.624	27	97.26
7	652.874	28	97.16
8	715.972	28	97.16
9	661.851	23	97.66
10	775.09	31	96.85
最大值	775.09	31	97.66
最小值	631.125	23	96.85
平均	<u>689.776</u>	<u>26.6</u>	<u>97.3</u>
標準差	<u>47.4862</u>	<u>2.2211</u>	<u>0.2243</u>

本研究繼續針對三種目標之禁忌搜尋法各執行十次的求解結果，於 TWT 與 訂單達交率兩個指標分別進行多變量分析，使用的統計軟體為 SAS 8.0。

首先是 TWT 的部分(如表 4.7 所示)，在 95%信心水準下， $p\text{-value}<0.05$ ，說明三種不同目標的禁忌搜尋法的求解結果是有顯著差異。接著進行 Duncan 事後檢定(如表 4.8 所示)，顯示 TS_new_以加權延遲時間最小化為目標與 TS_new_以多目標適應值最大化為目標在 TWT 此項績效指標的表現較佳。三種不同目標禁忌搜尋法各執行十次的 TWT 分佈情況如圖 4.1 所示。

表 4.7 ANOVA table for TWT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	36928.47	18464.24	6.63	0.0045
Error	27	75203.02	2785.297		
Corrected Total	29	112131.5			

表 4.8 Duncan's Multiple Range Test for TWT

Duncan Grouping	平均值	次數	OBJECTIVE
A	756.07	10	達交率最大化
B	689.78	10	多目標適應值最大化
B	675.56	10	TWT 最小化

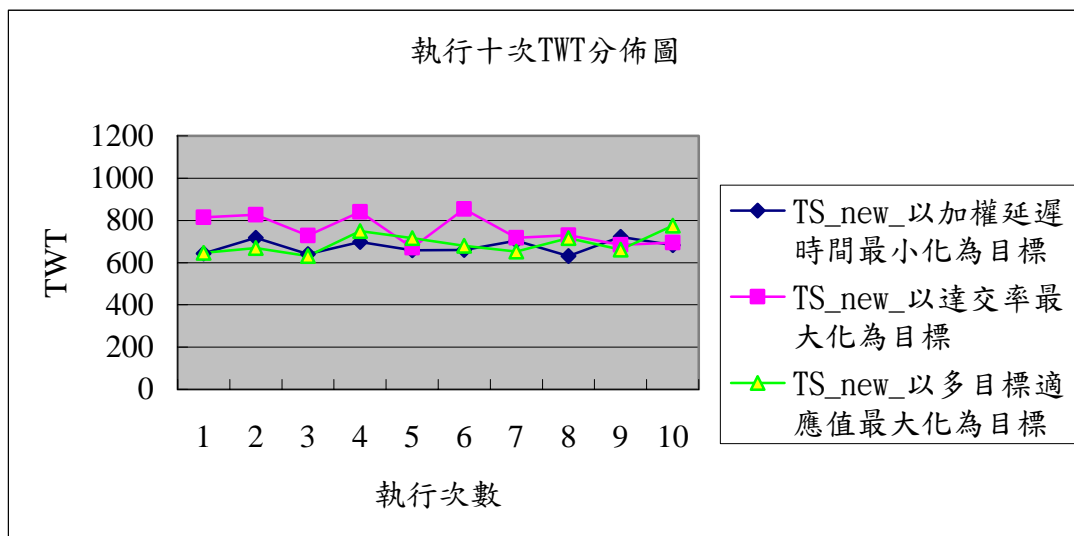


圖 4.1 執行十次 TWT 分佈圖

接著是達交率的部分(如表 4.9 所示)，在 95%信心水準下，同樣地， $p\text{-value}<0.05$ ，說明三種不同目標的禁忌搜尋法的求解結果在達交率的表現也有顯著差異。接著進行 Duncan 事後檢定(如表 4.10 所示)，結果說明 TS_new_以達交率最大化為目標此方法於達交率上的表現最理想。執行十次的訂單延遲總數分佈圖如圖 4.2 所示。

表 4.9 ANOVA table for 達交率

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	3.759407	1.879703	56.82	<.0001
Error	27	0.89314	0.033079		
Corrected Total	29	4.652547			

表 4.10 Duncan's Multiple Range Test for 達交率

Duncan Grouping	平均值	次數	OBJECTIVE
A	97.89	10	達交率最大化
B	97.299	10	多目標適應值最大化
C	97.045	10	TWT 最小化

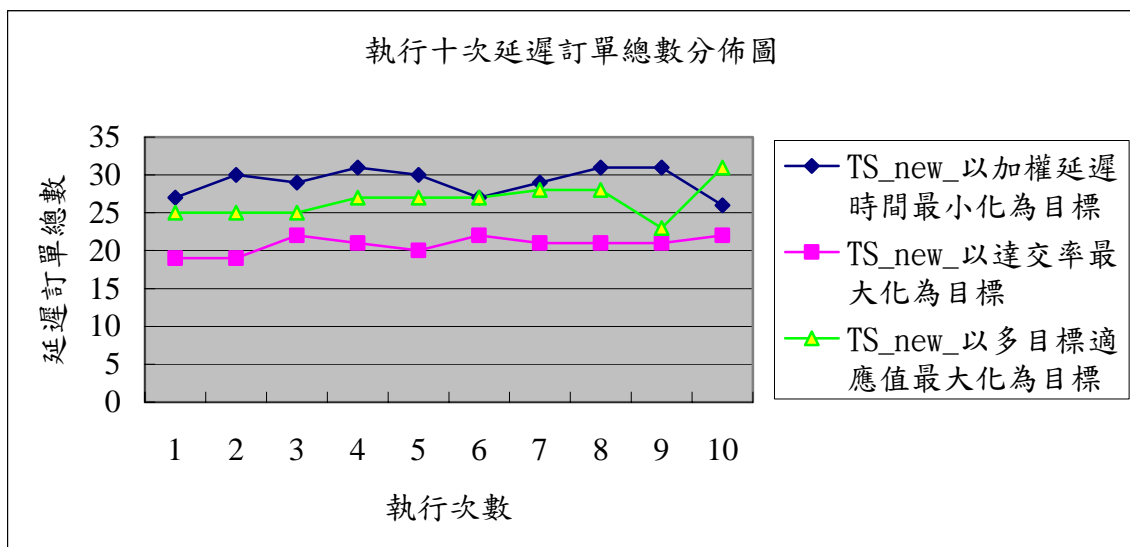


圖 4.2 執行十次延遲訂單總數分佈圖

在求解所需時間方面，由於本研究為一週派工一次，可大幅減少搜尋解所需的時間，基因演算法指派缸型每週執行一次的時間約需 1 分鐘，禁忌搜尋法每週派工一次執行時間約需 20 秒，總規劃期 18 週共需約 24 分鐘。



第五章 結論與未來研究方向

5.1. 結論

本研究結合徐氏產能分配模式[14]，針對紡織業染色工段進行派工方法的探討，考慮了實際生產環境之SDST特性與交期後，以訂單加權延遲時間總和(TWT)最小化及訂單達交率最大化為目標，發展出一套多目標禁忌搜尋法。評估不同方法在不同目標下的績效表現，以供生產管理者參考，進而應用於實際生產環境中。

根據實例驗證結果，本研究做出以下數點結論：

1. 與傳統派工方法 EDD 作比較，本研究所提出之多目標禁忌搜尋法，可有效改善訂單加權延遲時間總和達 90% 以上，訂單達交率也可提升 26%。
2. 與典型禁忌搜尋法作比較，本研究所提出之多目標禁忌搜尋法，可改善訂單加權延遲時間總和達 75% 以上，訂單達交率可提升 8%。
3. 在 TWT 方面，TS_new_以加權延遲時間最小化為目標所得之結果最佳，解變異也最小。於達交率方面，TS_new_以達交率最大化為目標所得的結果最理想，其解之變異程度也最小。TS_new_以多目標適應值最大化為目標的解品質則是介於兩者之間。不同目標的派工結果可提供管理決策者做為參考，在不同案例下，使用最符合公司利益的派工方法。
4. 本研究結合徐氏產能分配模式，每週進行派工一次，可有效提升求解速度，每週產能分配與派工執行一次僅需約 80 秒。

5.2. 未來研究方向

1. 結合徐氏產能分配模式[14]與染工段多目標派工方法，發展出一套適用於紡織廠生產規劃之排程軟體。

參考文獻

- [1]. Allahverdi, A., J.N.D. Guptab, T. Aldowaisan, “A review of scheduling research involving setup considerations.” *Omega, Int. J. Mgmt Sci.* 27, 219~239, (1999)
- [2]. Bilge, U., F. Kirac, M. Kurtulan, P. Pekgun, “A tabu search algorithm for parallel machine total tardiness problem.” *Computers & Operations Research* 31, 397–414, (2004)
- [3]. Cheng, T. C. E.; J. N. D. Gupta; G. Wang, “A review of flowshop scheduling research with setup times.” *Production and Operations Management; ABI/INFORM Global* pg.262, (2000)
- [4]. Gelders, L.F. and N. Sambandam, “Four simple heuristics for scheduling a flowshop.” *Int. J. Prod. Res.*,16: 221-231, (1978)
- [5]. Kim, Y.D., “Heuristics for flowshop scheduling problems minimizing mean tardiness.” *J. Oper. Res. Soc.*, 44: 19-29, (1993)
- [6]. Kim, D.W., K.H. Kim, W. Jang, F.F. Chen, “Unrelated parallel machine scheduling with setup times using simulated annealing.” *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 18, 223–231, (2002)
- [7]. Lawler, E.L., J. K. Lenstra, H.G. Alexander, R. Kan , D. Shmoys ,
“Sequencing and scheduling: algorithms and complexity.”
Handbooks in OR & M.S, vol. 4, Logistics of Production and Inventory, pages 445-522 Elsevier, Amsterdam, (1993)
- [8]. LEE Y.H., K. BHASKARAN, M. PINEDO, “A heuristic to minimize the total weighted tardiness with sequence-dependent setups.” *IIE Transactions*, 29, 45-52, (1997)
- [9]. Logendran, R. and F. Subur, “Unrelated parallel machine scheduling with job splitting.” *IIE Transactions. Norcross*: Vol.36, Iss. 4; pg. 359-372, (2004)

- [10]. Parthasarathy, S. and C. Rajendran , “An experimental evaluation of heuristics for scheduling in a real-life flowshop with sequence-dependent setup times of jobs.” *Int. J. Production Economics* 49, 255-263, (1997)
- [11]. Tan, K.C. and R. Narasimhan, “Minimizing Tardiness on a Single Processor with sequence-dependent Setup Times a Simulated Annealing Approach.” *Omega, Int. J. Mgmt Sci.* Vol. 25, No. 6, pp.619-637, (1997)
- [12]. Tan, K.C., R. Narasimhan, P. A. Rubin, G. L. Ragatz, “A comparison of four methods for minimizing total tardiness on a single processor with sequence dependent setup times.” *Omega* 28, 313~326, (2000)
- [13]. 陳瑩芝，『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,(1999)。
- [14]. 徐偉誌，『紡織廠染色工段產能分配決策模式之構建』，國立交通大學工業工程與管理研究所碩士論文,(2004)。
- [15]. 蔡仁耀，『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,(2004)。
- 