

國立交通大學
工業工程與管理學系

碩士論文

具等候時間限制之雙流線型工廠排程

Dual Flow Shops Scheduling with Queue Time Constraint



研究生：林昭宏

指導教授：巫木誠 博士

中華民國九十八年六月

具等候時間限制之雙流線型工廠排程

Dual Flow Shops Scheduling with Queue Time Constraint

研究生：林昭宏

Student：Chao-Hung Lin

指導教授：巫木誠 博士

Advisor：Dr. Muh-Cherng Wu

國立交通大學

工業工程與管理學系

碩士論文



A Thesis

Submitted to Department of Industrial Engineering and Management

College of Management

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science

In

Industrial Engineering

June 2009

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

具等候時間限制之雙流線型工廠排程

研究生：林昭宏

指導教授：巫木誠 博士

國立交通大學工業工程與管理研究所

中文摘要

本研究針對雙流線型工廠排程，加入等候時間限制之考量。等候時間限制發生於加工過程，限制工件在工作站中等候加工之時間。當等候時間超出此限制，工件將產生良率問題。故具有等候時間限制之生產模式，於實際生產前，將根據客戶提供之預期訂單預排排程。為避免工件於工作站中等候過久，超出等候時間限制，控制工件投料與到站加工時間是不可避免的。然而此作法可能導致產能無充分利用，增加總完工時間並降低產出，延長可允諾給顧客之交期，降低競爭力。因此本研究提出一個基因演算法，針對雙流線型工廠之排程，同時決策加工途程、加工順序，考量等候時間限制，績效指標為兩廠總完工時間之最小化，使排程結果能滿足良率與維持產出。本研究提出之基因演算法，可解讀出跨廠與不跨廠兩種加工途程。在加工順序的解讀，採用三種單一派工法、組合派工法，以及基因演算法自然演化等不同方式進行解讀。在不同生產情境的實驗中，結果顯示，本研究之基因演算法可根據情境之不同，建議適合之加工途程決策；在加工順序的解讀上，沒有一種派工法在所有情境中，皆能有最佳之排程績效。然而，組合派工法結合多種各具優勢之單一派工法。在不同生產情境下，其排程績效相對於其它方法，能具有較佳之排程穩健性。

關鍵詞：排程、跨廠、流線型生產、等候時間限制、基因演算法、組合派工法

Dual Flow Shops Scheduling with Queue Time Constraint

Student : Chao-Hung Lin

Advisor : Dr. Muh-Cherng Wu

Department of Industrial Engineering and Management
National Chiao Tung University

Abstract

This research examines a dual flow-shop scheduling problem, which allows cross-shop production and is with queue time constraint (also called *Q-time* window). *Q-time* window denotes the *longest waiting time* that a job is allowed to have between its two consecutive operations. If the waiting time of a job is longer than its *Q-time* window, the yield would be adversely affected. The scheduling objective is to minimize the makespan, the completion time of the last completed job. The scheduling problem involves two decisions: route assignment (assigning jobs to shops) and job sequencing. A genetic algorithm (GA) is proposed for making the route assignment decision, which is further varied by including different dispatching algorithms. These dispatching algorithms include single heuristic rules, combined dispatching rules, and evolutionary approach. Numeric experiments for comparing these scheduling algorithms are carried out. Experiment results indicate that none of the GAs could outperform the others in all scenarios. Yet, the GA equipped with the combined dispatching rules is relatively more robust.

Keywords : scheduling; cross-plant; flow shop; queue time constraint; genetic algorithm (GA);
combined dispatching criteria

誌謝

本論文能夠順利完成，首先要感謝的是巫木誠老師。在學術研究上，巫老師給予很多的指導與幫助。在我研究過程遭遇困難與挫折時，巫老師都會耐心與學生討論，克服研究遭遇的難題。在做人處事上，巫老師也不斷教導我們要有正向、積極的態度，建立誠信、有紀律、有效率的處事方式，這些教導將使學生終身受益無窮。同時也感謝許錫美老師、彭德保老師和陳文智老師在論文口試時，給予學生重要寶貴的建議，使我的論文研究能更加完善。

在念碩士的兩年中，非常感謝邱志文學長在論文與程式上的幫忙，以及劉謹銘學長提供實際業界的相關知識。其次要感謝博士班的蘇泰盛學長、施昌甫學長與陳振富學長，在我剛進研究室對環境都不太熟悉時，能給予最多的幫助。同時，也要感謝同研究室的黃亮銓、呂佳玟、陳文旻與林慈盈等四位同學，彼此互相鼓勵與打氣。在碰到研究上的難題時，我們也都會互相幫助與討論，使我這兩年的碩士生活能夠在愉快的氣氛下，非常充實的渡過。

最後要感謝我的家人，在我撰寫論文的期間給予無限支持與關懷，讓我可以專心於研究上，而不必煩惱太多。特別是我的父母，感謝你們多年來的辛勞與關愛，造就今天的我，使我能夠順利完成這篇論文。對於你們的感謝，實在無法用文字來描述，謹以此篇論文獻給我最敬愛的家人、師長與朋友。

林昭宏 于 新竹交通大學

2009/6/22

目錄

中文摘要	ii
Abstract.....	iii
誌謝	iv
目錄	v
表目錄	vii
圖目錄	ix
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究議題	4
1.4 研究範圍與限制	6
1.5 論文架構	7
第二章 文獻探討	9
2.1 流線型生產排程(Flow shop scheduling)	9
2.1.1 彈性流線型排程之相關文獻	11
2.1.2 彈性流線型生產排程與雙流線型工廠排程之差異分析	12
2.2 多廠區排程之相關文獻	13
2.2.1 不考慮跨廠之多廠區排程文獻	13
2.2.2 考量跨廠之多廠區排程文獻	14
2.3 等候時間限制相關文獻	16
2.4 基因演算法	17
2.4.1 染色體編碼	18
2.4.2 適合度函數	18
2.4.3 交配與突變	19
2.4.4 選擇策略	19
2.5 文獻探討結語	20
第三章 研究方法	21
3.1 問題描述	21
3.2 模型建構	21
3.2.1 符號定義	22
3.2.2 研究假設	23
3.2.3 控制投料、到站加工時間	24
3.3 決策方法	29
3.4 基因演算法之運作	30
3.4.1 染色體設計	30
3.4.2 加工途程解讀	30

3.4.3 加工順序解讀	34
3.4.4 染色體交配與突變	44
3.4.5 適合度函數(Fitness Function).....	46
3.4.6 基因演算法求解流程	47
第四章 實驗分析	48
4.1 實驗目的	48
4.2 實驗情境與相關參數	48
4.3 組合派工法於不同生產情境之排程績效	49
4.3.1 實驗生產情境一	50
4.3.2 實驗生產情境二	52
4.3.3 實驗生產情境三	54
4.3.4 實驗生產情境四	56
4.3.5 求解時間	58
4.3.6 小結	60
4.4 等候時間限制對加工途程決策之影響	60
第五章 結論與未來研究	65
5.1 結論	65
5.2 未來研究	66
參考文獻(英文部分)	67
參考文獻(中文部分)	70



表目錄

表 1.1 工件於各工作站之加工時間	2
表 3.1 個例之預排排程	25
表 3.2 個例之檢查等候時間限制	26
表 3.3 個例之排程調整	28
表 3.4 工件之加工時間(QCF 個例).....	35
表 3.5 工件之加工時間(SPT 個例).....	37
表 3.6 工件之加工時間(TPT 個例)	39
表 3.7 工件之加工資訊	41
表 3.8 工件之加工資訊(標準化數據)	42
表 3.9 工件之加工順序(組合派工法)	42
表 3.10 混合實驗之實驗點	43
表 4.1 情境一之實驗數據(20 個工件)	51
表 4.2 情境一之實驗數據(40 個工件)	51
表 4.3 情境一之實驗數據(60 個工件)	51
表 4.4 情境一之實驗數據(80 個工件)	51
表 4.5 情境一之實驗數據(100 個工件)	52
表 4.6 情境二之實驗數據(20 個工件)	53
表 4.7 情境二之實驗數據(40 個工件)	53
表 4.8 情境二之實驗數據(60 個工件)	53
表 4.9 情境二之實驗數據(80 個工件)	53
表 4.10 情境二之實驗數據(100 個工件)	54
表 4.11 情境三之實驗數據(20 個工件)	55
表 4.12 情境三之實驗數據(40 個工件)	55
表 4.13 情境三之實驗數據(60 個工件)	55
表 4.14 情境三之實驗數據(80 個工件)	55
表 4.15 情境三之實驗數據(100 個工件)	56
表 4.16 情境四之實驗數據(20 個工件)	57
表 4.17 情境四之實驗數據(40 個工件)	57
表 4.18 情境四之實驗數據(60 個工件)	57
表 4.19 情境四之實驗數據(80 個工件)	57
表 4.20 情境四之實驗數據(100 個工件)	58
表 4.21 求解時間(20 個工件)	58
表 4.22 求解時間(40 個工件)	58
表 4.23 求解時間(60 個工件)	59
表 4.24 求解時間(80 個工件)	59
表 4.25 求解時間(100 個工件)	59

表 4.26 兩廠效率相同之排程績效(20 個工件)	61
表 4.27 兩廠效率相同之排程績效(40 個工件)	61
表 4.28 兩廠效率相同之排程績效(60 個工件)	61
表 4.29 兩廠效率相同之排程績效(80 個工件)	62
表 4.30 兩廠效率相同之排程績效(100 個工件)	62
表 4.31 兩廠效率不協調之排程績效(20 個工件)	62
表 4.32 兩廠效率不協調之排程績效(40 個工件)	62
表 4.33 兩廠效率不協調之排程績效(60 個工件)	63
表 4.34 兩廠效率不協調之排程績效(80 個工件)	63
表 4.35 兩廠效率不協調之排程績效(100 個工件)	63



圖目錄

圖 1.1 等候時間限制示意圖	1
圖 1.2 加工時間示意圖(Job 2 超出等候時間限制).....	3
圖 1.3 加工時間示意圖(Job 2 滿足等候時間限制).....	3
圖 1.4 加工時間示意圖(Job 2 無產生等候時間).....	4
圖 1.5 雙流線型工廠示意圖	4
圖 1.6 雙流線型工廠跨廠途程示意圖	5
圖 1.7 論文架構圖	8
圖 2.1 Flow Shop 示意圖.....	9
圖 2.2 Flexible Flow Shop 示意圖.....	10
圖 2.3 Assembly Flow Shop 示意圖	11
圖 2.4 Dual Flow Shop 示意圖	12
圖 2.5 Wu et al. (2008) 途程切割示意圖	15
圖 2.6 基因演算法求解流程	18
圖 3.1 雙流線型工廠之加工途程	21
圖 3.2 符合研究假設之個例	22
圖 3.3 五個工件之染色體設計圖	30
圖 3.4 染色體解讀跨廠加工途程	32
圖 3.5 染色體解讀不跨廠加工途程	33
圖 3.6 原染色體排序解讀加工順序	34
圖 3.7 QCF 解讀加工順序	35
圖 3.8 加工時間示意圖(QCF 個例-任意排序)	36
圖 3.9 加工時間示意圖(QCF 個例-QCF 排序).....	36
圖 3.10 SPT 解讀加工順序	37
圖 3.11 加工時間示意圖(SPT 個例-任意排序)	37
圖 3.12 加工時間示意圖(SPT 個例-SPT 排序)	38
圖 3.13 TPT 解讀加工順序	38
圖 3.14 加工時間示意圖(TPT 個例-任意排序).....	39
圖 3.15 加工時間示意圖(TPT 個例-TPT 排序).....	39
圖 3.16 組合派工法作業流程圖	40
圖 3.17 反應曲面	44
圖 3.18 染色體交配法則：LOX	45
圖 3.19 染色體突變方式：SWAP	46
圖 3.20 適合度函數計算流程	47
圖 4.1 本研究實驗情境示意圖	49

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

近年來，企業擴充產能以滿足客戶訂單需求，形成多廠區型態之生產模式。當工廠數量增加且廠間地域拉遠，多廠區的排程規劃將變得非常重要。目前業界處理多廠區之生產模式，多採統一對外接受客戶訂單。接著，根據各廠產能使用現況進行訂單分配，最後各廠再進行排程與生產。這種作法，廠與廠之間是各自獨立進行排程，容易發生產能負荷不一致，進而無法充分運用產能，提高生產成本，降低競爭力。

因此，考量跨廠加工之多廠區排程規劃將顯得更為重要。跨廠加工可避免各廠產能不平衡之情況，充分運用多廠區之機台，整合各廠產能。如此，將可追求公司整體最大利益，而不是各廠單獨利益。滿足客戶多變的需求，提升企業競爭優勢。

多廠區型態之生產模式須考慮另一重要因素，等候時間限制(Queue Time Constraint)。所謂等候時間限制(見圖 1.1)，即工件在前段製程(S_{A1})完成加工後，需在不超過特定時間限制內，進入後段製程(S_{A2})進行加工。



圖 1.1 等候時間限制示意圖

在等候時間限制下，若沒有控制工件之投料與進站加工之時間，工件可能因超過等候時間限制而有良率問題。在半導體產業中，超過等候時間限制進而發生良率問題的情況很多。例如，光阻塗佈製程。若超過時間限制而未進入下一道製程，光阻將產生硬化、進而不易被洗去。曝光、顯影、蝕刻等製程，如中間等候加工之時間過久，工件可能被

污染或發生蝕刻不完全的情況。又例如烘烤製程，若前面放置時間過長，工件內部可能產生水氣，影響產品電性品質。

等候時間限制之考量，對多廠區允許跨廠之排程規劃影響甚大。不考慮等候時間限制，將產生良率問題。但要滿足等候時間限制，需要控制工件之投料、加工時間點，進而降低產能利用，增加總完工時間並減少產出。故在滿足等候時間限制的情況下，如何進行多廠區之排程規劃，整合各廠產能維持一定產出，為本研究之研究動機

1.2 研究目的

本研究之目的在於，考量等候時間限制以滿足良率的前提下，進行多廠區考量跨廠之排程規劃，同時維持一定之產能利用及產出。具等候時間限制之生產流程，為避免工件於加工過程中，超出等候時間限制進而產生良率問題。在實際生產前，會與客戶進行溝通取得預期之訂單，並根據此預期訂單進行排程預排。目的是確保實際生產時，所有工件皆能滿足等候時間之限制，避免產出不良品。完成排程預排後，針對所有工件預期之完工時間，預留部分交期寬裕以應付當機、緊急插單等突發事件，便可回覆客戶一個允諾之交期。

產能利用及產出越高時，答覆給客戶之交期越短，可提升企業之競爭力。但在具等候時間限制之生產情境下，為避免工件超出等候時間限制，控制投料、到站加工之時間為常見之作法。此作法將造成產能利用及產出大幅下降，所能答覆客戶之交期也將延長，降低企業之競爭力。以表 1.1 之三個工件之加工時間資料，說明具等候時間限制之情境，產能利用及產出為何會下降。

表 1.1 工件於各工作站之加工時間

工件編號	工作站 1	工作站 2	等候時間限制
Job 1	1 小時	5 小時	無
Job 2	1 小時	1 小時	1 小時
Job 3	5 小時	1 小時	無

編號為 Job 1、Job 2、Job 3 之三個工件，需依序經過工作站 1 及工作站 2 進行加工，各工件於各工作站之加工時間已知且固定。其中 Job 2 之工件於工作站 1 完工後，產生等候時間之限制為一小時。代表此工件於工作站 1 完工後，需於一小時內進入第二站加工，否則將成為不良品而報廢。此時三個工件之加工順序為 Job 1、Job 2、Job 3，工件於各站之加工時間流程，如圖 1.2 所示。Job 2 於第一站完成加工後，需於第二站前等候 4 小時，待 Job 1 於第二站完工後才能進入加工。由於 Job 2 超出等候時間限制，在預排排程時，會調整讓 Job 2 延後四小時投料(見圖 1.3)。Job 2 於第一站完工後，僅需等候一小時便可進入第二站加工，滿足等候時間限制。

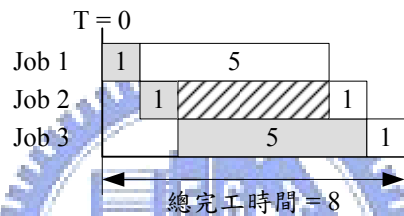


圖 1.2 加工時間示意圖(Job 2 超出等候時間限制)

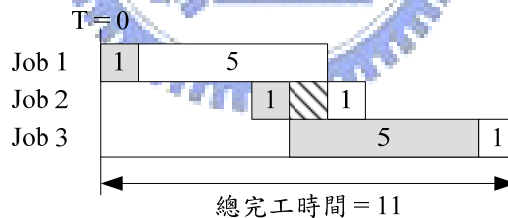


圖 1.3 加工時間示意圖(Job 2 滿足等候時間限制)

滿足等候時間限制的同時，機台利用與產出將會有所影響。若 Job 2 無等候時間限制，排程方式便可如圖 1.2。總完工時間僅需 8 小時，單位時間產出為每小時 0.375 個 ($0.375=3/8$)。為了滿 Job 2 之等候時間限制，從圖 1.3 可知總完工時間為 11 小時，單位時間產出為每小時 0.273 個 ($0.273=3/11$)，降低 27.2%。產出能力降低，所能允諾給顧客的交期便會增加，降低企業之競爭力。

面對產能利用及產出降低之情況，好的排程可滿足等候時間限制，同時維持一定的產出能力。三個工件之加工順序，調整為 Job 2、Job 1、Job 3。此時，工件於各站之加工時間流程，如圖 1.4 所示。結果發現，Job 2 優先加工可避免產生等候時間，整體總完工時間減少為 8 小時，增加單位時間產出。

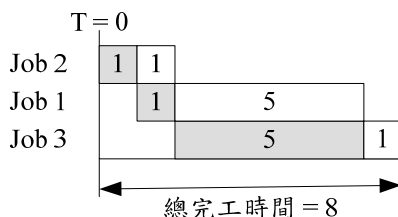


圖 1.4 加工時間示意圖(Job 2 無產生等候時間)

總完工時間為衡量排程績效之重要指標。從上述的說明可知，為滿足工件之等候時間限制，總完工時間將有所增加，影響預排排程得到的結果。總完工時間之增加，不僅影響到單位時間之產出，回覆給客戶之交期亦需增加。故本研究之目的，針對多廠區排程規劃問題，在考量等候時間限制的影響下，最小化所有工件之總完工時間，維持一定之產能利用與產出。

1.3 研究議題

多廠區排程規劃問題，本研究以企業內部有兩座工廠，其生產型態皆為流線型(Flow Shop)，加工製程共有三道作為研究對象(見圖 1.5)。於本研究中，此類生產模式定義為雙流線型工廠(Dual Flow Shop)，後續文章中將以此名詞代表。

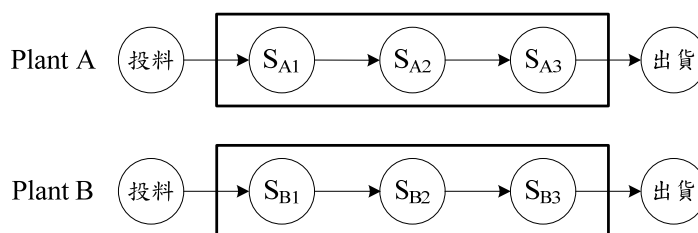


圖 1.5 雙流線型工廠示意圖

工件於雙流線型工廠之加工途程(Route)如圖 1.6 所示。各工件可依循水平箭頭之途程進行生產，亦可經由斜向箭頭，選擇跨廠加工途程進行加工。在雙流線型工廠之排程規劃中，透過此種考量跨廠途程，可充分運用並整合兩廠產能。

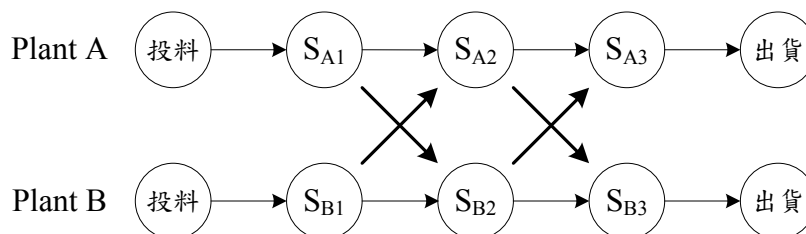


圖 1.6 雙流線型工廠跨廠途程示意圖

雙流線型工廠排程，需決策之議題有兩點，加工途程決策(Route Assignment)與加工順序決策(Job Sequencing)。加工途程決策是決定各工件所要經過之加工途程。在雙流線型工廠生產排程中，若不考量跨廠加工，其加工途程數有 2 種(以圖 1.6 為例)。在 A 廠加工，加工途程為 $S_{A1} \rightarrow S_{A2} \rightarrow S_{A3}$ 。在 B 廠加工，加工途程則為 $S_{B1} \rightarrow S_{B2} \rightarrow S_{B3}$ 。若考量跨廠生產，各工件可選擇的加工途程，增加到 $2^3 = 8$ 種 ($S_{A1} \rightarrow S_{A2} \rightarrow S_{A3}$ 、 $S_{A1} \rightarrow S_{A2} \rightarrow S_{B3}$ 、 $S_{A1} \rightarrow S_{B2} \rightarrow S_{A3}$ 、 $S_{A1} \rightarrow S_{B2} \rightarrow S_{B3}$ 、 $S_{B1} \rightarrow S_{B2} \rightarrow S_{B3}$ 、 $S_{B1} \rightarrow S_{B2} \rightarrow S_{A3}$ 、 $S_{B1} \rightarrow S_{A2} \rightarrow S_{B3}$ 、 $S_{B1} \rightarrow S_{A2} \rightarrow S_{A3}$)，大幅提升整體問題之複雜度。

加工順序之決策，決定各工件在各廠各機台上之加工順序。要得知一個排程是否具有有良好的生產績效。除了需要知道各工件的加工途程，各廠各站的加工順序亦需得知，如此方能分析是否有工件超出等候時間限制，以及評估排程之總完工時間。因此，同時求解各工件之加工途程、加工順序為本研究之重要議題。

等候時間限制之考量，亦為本研究之重點。雙流線型工廠排程，除了分析加工途程、加工順序之決策，還需考量等候時間限制對排程的影響。工件若於製程中發生超過等候時間限制的情況，將產生良率問題。在滿足良率前提下，預排排程將控制各工件之投料與進站時間點，有效避免工件於製程中超過等候時間限制。然而，此作法將影響雙流線型工廠之加工途程與加工順序決策。同時，兩廠之產能利用與產出亦將大幅降低。

在本文之研究目的中提到，總完工時間之減少，有助於提升產能利用及產出。針對雙流線型工廠排程，在考量等候時間限制的情境下，以兩廠從第一個工件，到完成最後一個工件之總完工時間，評估雙流線型工廠之排程績效，將同時滿足等候時間限制及產出能力。後續之實驗分析，將以兩廠最長之總完工時間(Makespan)，作為評估指標。在維持兩廠產出的同時，可將兩廠之產能進行整合規劃。

現實環境具等候時間限制之生產情境眾多，單一派工法則未必通用於各種情境。雙流線型工廠排程於實際業界，為常見之排程規劃議題。然而實際生產情境中，工件加工時間長短、各站加工時間變異，兩廠機台加工效率不同、工件有無等候時間限制等等之因素，都將影響排程之績效結果。各單一派工法則在各自適合之情境條件下，會有最佳排程績效。但生產者可能無法得知，對其生產環境適合之派工法為何。部分生產情境，單一派工法可能無發徹底發揮。本研究針對此問題，在績效指標為總完工時間，考量等候時間限制之雙流線型工廠排程。嘗試結合多種單一派工法則，提出適用較多情境之組合派工法，供生產者進行排程規劃。



1.4 研究範圍與限制

考量跨廠之雙流線型工廠排程問題，具有一定之複雜度。本研究針對雙流線型工廠排程，欲同時求解工件之加工途程與加工順序。在滿足等候時間限制的條件下，維持產能利用及產出，使兩廠最長之總完工時間最小化，縮短答覆客戶之交期，提升競爭優勢。為簡化研究問題之複雜度，使其可進行求解，本研究提出相關之研究假設及限制。

工廠之生產方式為流線型工廠，各工件之製造流程相同，並假設無回流製程。排程規劃為預排之排程，故不考慮機台發生當機之情況。生產模式為接單生產(Make To Order)，生產需求為少量多樣。從客戶端得到的預期訂單，為利於進行排程，不允許拆單(生產批量不可切割)。並將訂單視為不同之工件(Job)進行規劃，且加工時間假設已知。各廠起始階段沒有在製品存貨，且不考慮生產、存貨等成本問題。製造過程僅考量加工時間，不考慮機台設置時間。工件於工作站需完成加工後，才能加工下一個工件，中間

無法臨時更換工件進行加工。兩廠於相同之加工道次可進行跨廠支援加工，但需額外增加跨廠運輸時間。有工件要進行跨廠加工，即進行運輸(不考慮集批)。兩廠之加工效率可能不同，代表同一工件在不同廠所需之加工時間不同(兩廠設備新舊不同造成)。

部分工件具等候時間限制，部分則無。具等候時間限制之工件，除第一站前(投料前)無限制等候時間外，於整段加工過程均有等候時間限制，且假設各站中所能等候之時間限制相同。以半導體產業之鍍模製程為例，當工件經過鍍模製程即產生等候時間限制。故有經過鍍模製程之工件，於後段製程中亦需在時間限制內進站加工，否則鍍模產生氧化，後續加工製程將產生良率問題。因此，具等候時間限制之工件，將控制其投料、到站加工之時間點，避免在工作站前等候超過時間限制。

本研究之雙流線型工廠排程問題屬 NP hard 問題。根據 Cheng et al.(2000)的文獻整理，流線型生產之排程問題，當工作站或機台數大於或等於三站(台)時，其問題複雜性屬 NP hard 問題。本研究之雙流線型工廠，其加工站數為三站，並允許跨廠加工。排程需同時決策工件於各站之加工順序，並在滿足等候時間限制的條件下，目標為最小化兩廠最長之總完工時間，使產能及產出維持一定水準。由此可知，本研究之雙流線型工廠排程問題亦屬 NP hard 問題。

基因演算法可用於求解 NP hard 問題，得到近似最佳解。NP hard 問題在小規模時，可利用線性代數的方法求出最佳解。然而當問題規模擴大時，便無法於短時間內求得最佳解。因此本研究將利用基因演算法(GA)進行排程問題之求解。針對整個研究問題的描述，基因演算法如何求解多廠區跨廠排程問題，將於本文後續章節作更詳細之說明。

1.5 論文架構

本論文之內容架構分為五個章節。第一章緒論，說明研究背景、動機，以及多廠區排程規劃與等候時間限制之重要性，指出等候時間限制對排程績效與決策之影響。第二章文獻探討，針對流線型生產(Flow shop)、多廠區生產規劃及等候時間限制之相關文獻，加以整理、歸納，作為與本研究問題特色之參考及比較。第三章研究方法，詳述雙

流線型工廠之生產情境、相關假設，以及如何透過控制投料及到站加工時間，使工件滿足等候時間限制，並說明基因演算法如何求解雙流線型工廠之排程問題。第四章實驗分析，此章節將針對不同之實驗情境，驗證基因演算法求解雙流線型工廠排程之有效性。第五章為結論與未來研究，說明研究結論與未來可繼續研究之方向。

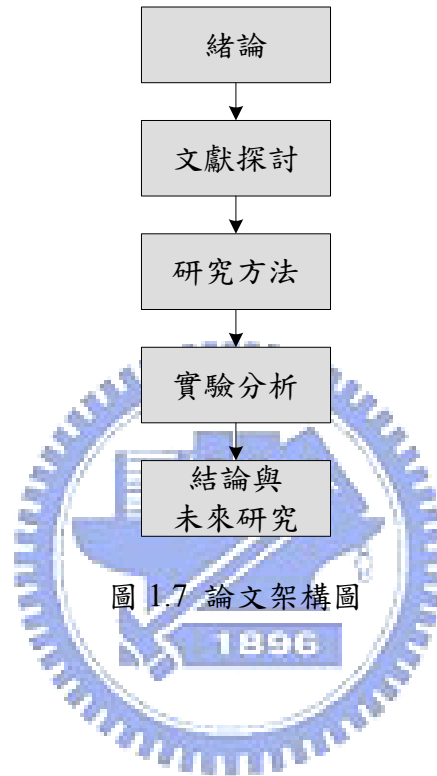


圖 1.7 論文架構圖

第二章 文獻探討

此章節將介紹與本研究相關之文獻。本研究主要內容為考量等候時間限制下，求解雙流線型工廠之排程問題。因此，首先將針對流線型生產排程(Flow Shop)之文獻作探討。隨後，針對過去多廠區排程與本研究所探討之要素—等候時間限制，回顧相關之研究文獻，並與本研究進行比較，確立本研究之問題獨特性。最後，本研究使用基因演算法進行問題求解。故於本章節亦會進行基因演算法之相關文獻回顧。

2.1 流線型生產排程(Flow shop scheduling)

流線式生產排程之相關研究，過去已廣泛探討。因此針對流線式生產排程之特性，有許多學者陸續發表了回顧性質的文獻。本研究將引用這些文獻，對流線式生產模式進行分析，並與本研究之重點—雙流線型工廠排程(Dual Flow Shop)作一比較。

Allahverdi et al. (1999) 對流線型生產排程進行定義。具有 m 部機台之流線型生產排程問題，工件將於此 m 部機台進行相同製造流程之加工動作。也就是說，各工件都需經過 m 個加工作業，第 i 道加工作業需於第 i 部機台上進行，即各工件需依序經過 m 部機台方可完工。此外，各工件在不同機台上之加工時間可能不相同。Allahverdi et al. (2008) 將流線型生產排程問題作更詳細之分類，分為傳統流線型生產(Flow shop)、不允許等候之流線型生產(No-wait flow shop)、彈性流線型生產(Flexible flow shop)及組裝線式流線型生產(Assembly flow sho)。下面將逐一進行介紹。

傳統流線型生產排程問題，各站具有一機台，每一個工件都需經過相同的製造流程順序，依序經過每一站進行加工(如圖 2.1)。詳細之說明已於前面描述過，故不在此重覆敘述之。



圖 2.1 Flow Shop 示意圖

不允許等候之流線型生產排程問題與傳統 Flow shop 問題相似，但工件在加工過程中，不允許發生等候。工件於前站完成加工，到達下一站後需立即進行加工。此問題之關鍵在於如何控制投料，使之滿足工件於製程中不發生等候的情況，並充分運用產能，維持機台利用率。典型的例子為鋼鐵產業之熱處理加工。原料鋼錠會於一開始便加熱，使之易於加工、變形。若整個加工過程中發生等候的情況，鋼錠溫度便會下降，使後續之加工流程產生問題。

彈性流線型排程問題不同於傳統流線型之問題，傳統流線型排程各站只有一部機台可進行加工。彈性流線型排程增加問題複雜度，將平行機台概念加入傳統流線型排程。各站可加工之機台數可能是兩台或更多(如圖 2.2)。此外，未必所有的工件都需要經過每一個工作站，但仍須依循相同之加工流程。工件如不需經過某站進行加工，可將加工時間設為零，代表工件不須經過該工作站，簡化問題之求解。

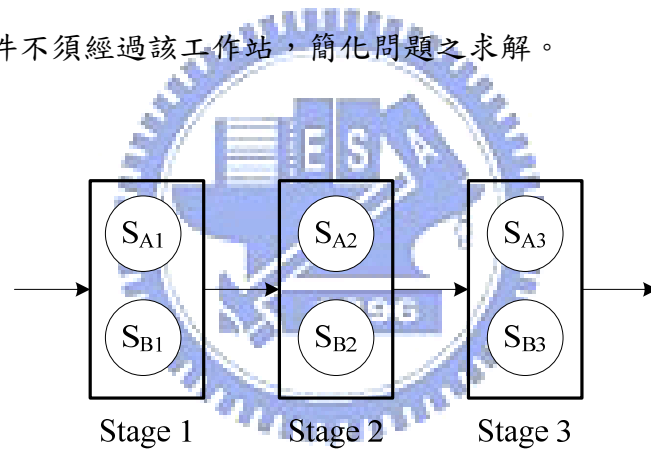


圖 2.2 Flexible Flow Shop 示意圖

組裝線式流線型排程問題，將組裝製程概念加進傳統流線型排程問題中。在組裝線式流線型排程問題中，工件是由多個子工件組合而成。各子工件於一開始之加工站不同，但在後續工作站進行組裝之動作，使多個子工件形成一個主工件，並繼續後續之加工(見圖 2.3)。此類生產流程方式類似於液晶顯示器(TFT-LCD)之加工流程。

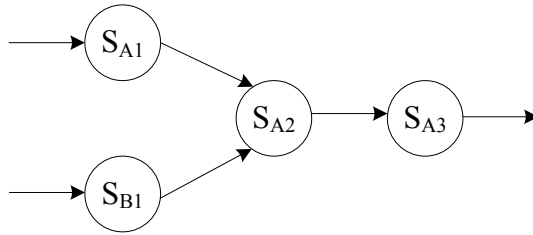


圖 2.3 Assembly Flow Shop 示意圖

本研究之雙流線型工廠排程問題(Dual Flow Shop)，與上述流線型排程問題分類中之彈性流線型排程問題相似。故下面章節將針對彈性流線型生產排程，回顧過去學者進行之相關研究，並嘗試分析比較出兩者之不同。

2.1.1 彈性流線型排程之相關文獻

Allaoui & Artiba (2004) 針對彈性流線型生產排程問題，考量機台設置時間，工件卸載與搬運到下一站之時間，並加入機台維修之限制。此限制是為避免機台發生當機而進行之假設，當機台進行預防當機之定期維修時，工件將無法進入機台進行加工。在這樣的研究議題下，Allaoui & Artiba (2004) 運用模擬退火法與啟發示演算法進行問題求解，目標為最小化流程時間(flow time)與滿足交期。

Low (2005) 針對彈性流線型生產排程問題，考量機台設置時間與工件卸載時間，以模擬退火法為基礎之啟發式演算法進行求解，目標為最小化流程時間。Low (2005) 提出一項重要看法，彈性流線型之生產排程問題，主要是由加工途程之選擇(routing problem)、加工順序之決定(sequencing operations)等兩個子問題所構成，與本研究相似。

Janiak et al. (2007) 考量原物料、在製品、成品等存貨成本，運用禁忌搜尋法與模擬退火法等為基礎之啟發式演算法，求解彈性流線型之生產排程問題。

Jungwattanakit et al. (2008) 針對彈性流線型生產排程問題，考量機台設置時間，以整數規劃與啟發示演算法進行求解。目標為總完工時間之最小化與最少工件遲交數。

回顧過去彈性流線型生產排程問題之相關研究，可知彈性流線型排程與本研究提出

之雙流線型工廠排程問題相似。兩類問題皆需考量到加工途程之決策，以及加工順序之決策。因此，下面將針對彈性流線型生產排程問題與雙流線型工廠排程問題，進行更仔細的比較，進而分析出本研究之問題獨特性。

2.1.2 彈性流線型生產排程與雙流線型工廠排程之差異分析

本研究之雙流線型工廠排程問題如下圖 2.4 所示。工件於第一站(Stage1)可選擇在 S_{A1} 或 S_{B1} 進行加工，於第二站(Stage2)可選擇在 S_{A2} 或 S_{B2} 加工，最後在第三站(Stage3)亦可選擇在 S_{A3} 或 S_{B3} 加工。如此，雙流線型工廠排程問題似乎與彈性流線型生產排程(見圖 2.2)十分相似。

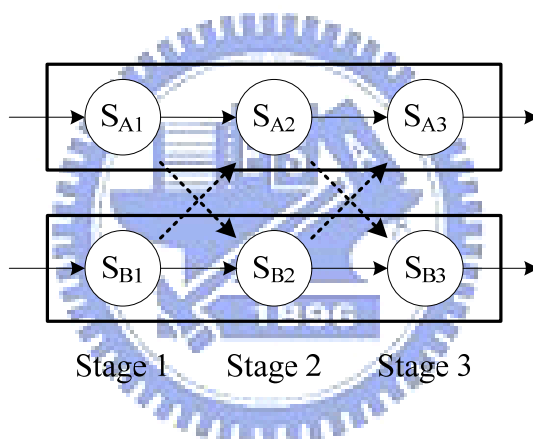


圖 2.4 Dual Flow Shop 示意圖

實際上，雙流線型工廠排程與彈性流線型生產排程屬於不同的問題。彈性流線型生產排程，工件於前站之加工途程不影響下一站之途程選擇。舉例來說，工件於第一站選擇在 S_{A1} 進行加工，之後在第二站無論是選擇 S_{A2} 或 S_{B2} 進行加工，只有加工時間上的不同。而雙流線型工廠排程，工件於前一站的加工途程將影響下一站之加工途程選擇。因為在雙流線型工廠排程問題中，加工途程增加跨廠運輸時間之因素考量。同樣的例子來說明，工件於第一站選擇在 S_{A1} 進行加工，之後在第二站選擇在 S_{A2} 或 S_{B2} 進行加工，除了加工時間不同外，若加工途程沒有進行跨廠($S_{A1} \rightarrow S_{A2}$)，則此加工途程便無跨廠運輸之時間。但若是進行跨廠加工($S_{A1} \rightarrow S_{B2}$)，則此加工途程便需要額外之跨廠運輸時間。

如此，各加工途程之跨廠運輸時間將產生不同，使工件於前一站之加工途程影響到下一站的途程選擇。

整合上述之說法，彈性流線型生產之排程問題，其加工途程只受各站機台產能影響。而雙流線型工廠排程問題，各站機台產能、跨廠運輸時間都將影響加工途程之決策。當跨廠運輸時間之限制越小或沒有時，雙流線型工廠排程問題會趨向於變成彈性流線型生產排程問題。當跨廠運輸時間限制越大，雙流線型工廠排程即可視為兩條獨立之流線型生產排程。此外，彈性流線型生產排程問題無預期訂單之分配問題，但雙流線型工廠排程需考量各廠之產能進行預期訂單之分配。有鑑於此，本研究提出之雙流線型工廠排程問題，與彈性流線型生產排程問題並不相同，且過去流線型生產排程之相關文獻亦無相似研究，故可確認本研究問題之獨特性。

2.2 多廠區排程之相關文獻

在上一節的文獻回顧中，確立了雙流線型工廠排程之問題獨特性。因此在此節中，將針對過去多廠區排程之相關文獻，進行回顧並分析、比較。過去多廠區排程之相關研究，可依據是否考慮跨廠加工，分成“不考慮跨廠途程”與“考量跨廠途程”兩類。故下面本文將針對這兩類研究，逐一進行說明。

2.2.1 不考慮跨廠之多廠區排程文獻

針對多廠區排程規劃問題(不考慮跨廠)，Guinet (2001) 認為可建構成受限於變動和固定成本的流動問題 (flow problem)，或視為非相關平行機台之排程問題。其研究在考量產能限制、機台設置特性，以及生產、設置和運輸等成本最小化的情況下，提出「主要-對偶線性規劃法」來進行多廠區排程規劃之求解。

Sambasivan & Yahya (2005) 針對多廠區排程規劃問題，在不考慮跨廠加工之前提下，運用以Lagrangean為基礎所建構之啟發示演算法，求解訂單配置與批量大小問題，並驗證出此啟發示演算法可使排程規劃得到不錯之生產績效。

黃氏 (2005) 在多廠區全面訂單管理的情境下，針對訂單配置進行研究。依據產品市場銷售特性、訂單交期、各廠之生產排程、訂單利潤及各廠產能負荷等複雜因素，建立多廠整合型生產指派與排程系統的決策模式。並以混合式遺傳演算法 (Hybrid-GA,HGA)決定訂單的最佳配置，使各廠產能平衡與最大化訂單交期滿足率

針對多廠區訂單配置問題，陳氏 (2006) 利用層級分析法(AHP)將製造成本、配送前置時間與平均產能利用率等目標結合，以達多目標規劃。透過基因演算法結合層級分析法進行求解，並利用禁忌搜尋法(Tabu Search)處理演化過程產生的不可行解。

古氏 (2006) 考量各廠區各製程不同之生產限制、成本，進行多廠區多階製程之訂單配置。此研究以晶圓針測、IC封裝與IC最終測試為例，利用二元整數規劃進行問題求解。將訂單分配至最合適廠區，使製造成本、外包成本、延遲成本及閒置成本最小化。

綜合上述幾篇不考慮跨廠加工之多廠區排程規劃相關文獻。大部分研究主要考量各廠產能進行訂單分配，之後再對各廠進行排程。此方法可稱為兩階段排程。另外，亦有部分研究整合多廠產能及各站機台排程，進行一階段求解，但各廠間不考慮跨廠加工途程，簡化問題之複雜度。



2.2.2 考量跨廠之多廠區排程文獻

本研究探討具等候時間限制之雙流線型工廠排程問題，考量多廠區跨廠途程之規劃。針對此領域之相關研究文獻，將於此章節進行回顧、分析與比較。

張氏 (2002) 在多廠區規劃考量跨廠途程的研究問題中，主要決策問題為各工件之加工途程選擇。在不考慮當機的前提下，以三階段的方式進行求解。首先，依據各廠可用產能，進行訂單配置，目標總生產成本最低。當訂單完成配置後，各廠獨立進行排程，得知各廠各站使用產能之情況，找出各廠之瓶頸站。透過跨廠加工方式，平衡各廠各站之產能，使各廠產能達到平衡。其廠區生產形式為流線型工廠，以滿足交期為目標。

Toba et al. (2005) 針對半導體多廠區生產之研究，以動態、即時方式進行跨廠途程規劃，使多個晶圓廠負荷達平衡。作法是將作業(operation)分成多個作業集合，當每個

作業集合完工後，即時決定下一個作業集合的生產廠，目標為最小化流程時間。工廠生產模式為具回流製程之零工式生產(Job shop)。不考慮交期、當機，假設運輸時間為常數。此研究之主要決策問題為加工途程選擇，但其跨廠途程隨動態規劃求解而有所變動。

Wu & Chang (2007) 針對晶圓廠短期產能交易之決策模式，透過單項與多項決策準則，決定是否進行短期產能交易。其作法是每週按原訂生產計畫與目前機台狀況，預估各廠各工作站下週的產能利用率。針對低利用率之工作站，將其產能轉賣給他廠，進而決定每週最佳的產能交易組合。目標為產出最大化，並且最大化兩廠之長期利潤總和。此研究中，工廠的生產模式為具回流製程之零工式生產，以過去資料預估當機情形。主要決策問題為加工途程選擇。跨廠途程是當兩廠發生產能交易時發生，為變動產生。

Wu et al. (2008) 在半導體雙廠區產能相互支援的途程規劃研究中，透過途程的可切割性進行跨廠生產決策，充份利用機台產能。目標為流程時間，追求整體產出最大化。加工途程切割為單切點但切點未定，故其途程數有四種(見圖 2.5)。工廠生產模式為具回流製程之零工式生產，當機情形以平均當機率估計。主要決策問題為加工途程選擇。在加工順序的決策上，以先進先出的作法(FIFO)決定。

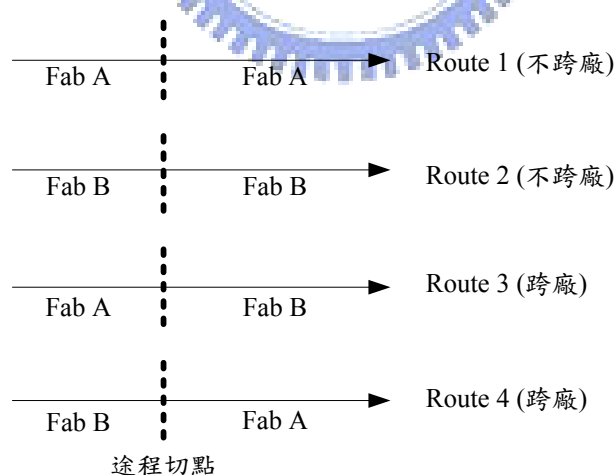


圖 2.5 Wu et al. (2008) 途程切割示意圖

劉氏 (2009) 在多廠區排程規劃考量跨廠之問題中，同樣針對雙流線型工廠排程，在不考慮當機，各工件具八種加工途程情境下，以基因演算法進行求解。同時，也與不

考量跨廠之排程進行比較。此研究針對多廠區排程之規劃，主要決策問題為同時決定工件之加工途程與加工順序，以滿足交期為目標。

本研究與劉氏 (2009) 提出之研究問題有相當大之差異。本研究除了針對雙流線型工廠排程問題，同時求解加工途程與加工順序外，加入等候時間限制之考量。為滿足等候時間限制，確保產品良率，根據客戶提供之預期訂單進行排程預排。預排過程中，無交期限制，但重點在控制工件之投料與到站加工時間，使工件滿足等候時間限制。同時，維持一定之產能利用及產出，目標兩廠最長之總完工時間最小化，使答覆客戶之交期縮短，增加競爭優勢。因此，等候時間限制之考量，將大幅影響雙流線型工廠之加工途程與加工順序決策，與劉氏 (2009) 之研究方向大不相同，顯示出本研究之獨特與重要性。

2.3 等候時間限制相關文獻

Yang & Chern (1995) 在兩部機台之流線型生產排程問題中，加入等候時間限制之因素。工件在第一部機台完工後，第二部機台必須完成前一個工件之加工，方可進行下一個工件之加工，故工件可能在進入第二部機台之前進行等待。此文獻中，對於工件之等待時間給予限制，亦即工件等候加工之時間不允許超過設定之等候時間限制，需延後工件於第一部機台之開始加工時間(延後投料)。在這樣的研究情境下，總完工時間之最小化為此文獻所追求之目標。

Scholl 與 Domaschke (2000) 針對兩工作站皆為批次機台，各站有多部機台進行加工，但前站與後站之生產批量與機台數皆不同的情境，考量等候時間限制因素。此情境發生於現實半導體產業中，濕蝕刻與爐管製程。各工件具不同之等候時間限制且不允許超出，以避免工件產生良率問題。此時將造成流程時間之變異增加。因此，在滿足等候時間限制前提下，降低流程時間與提升產能利用率為主要目標。

França et al. (2006) 主要探討不允許等候之流線型生產排程問題，考量機台設置時間。不允許等候之流線型生產排程，其工件在整個加工過程中，將不允許等候，亦即具有等候時間為零之限制，可視為考量等候時間限制之研究問題。在工件不允許等候之條

件下，投料控制將是解決的方法。因此，此篇文獻目標總完工時間之最小化，並以混合式遺傳演算法進行問題求解。

Tu & Liou (2006) 針對晶圓廠批次、回流的製程特性，將等候理論 GI/G/m(到達時間間隔、服務時間為一般分配， m 部機台可進行加工)，套用於批次加工機台。評估超出等候時間限制之機率，並滿足流程時間與最大化產能利用。

Tajan et al. (2007) 考量等候時間限制下，探討前後共有兩工作站之排程問題。前站製程為一般機台，加工時間固定。後站製程為批次加工機台，加工時間不固定。針對等候時間限制之考量，此文獻將超出等候時間限制之工件，視為將增加重工、報廢等成本。故在追求最小化總生產成本的目標下，決定前站之最佳生產控制策略，為此文獻之研究重點。

回顧過去考量等候時間限制之相關研究，大都針對單廠或批次機台作為問題的研究對象。尚未有相關研究文獻，將等候時間限制之因素，加入多廠區允許跨廠之排程規劃問題中。因此，確立了本研究之獨特與重要性。



2.4 基因演算法

Holland (1975) 提出之基因演算法，搜尋求解方式是透過基因編碼(Gene encoding)，以特定演算法或隨機方式，產生初始解族群(Population)。在此族群中，所有基因個體(或稱染色體)都將計算並評估其適合度函數值(Fitness function)。染色體(Chromosome)透過交配(Crossover)、突變(Mutation)等方式，可形成新一代的染色體。將上一代與新一代染色體放入交配池(Pool)中，適合度函數值較高者，能有較高之機率被選取(Selection)並存活到下一代。如此不停的演化，便如進化論中所提“適者生存，不適者淘汰”的概念，保存較佳之染色體。為能更詳細說明基因演算法之求解方式，本研究將整個演算法之求解流程以圖 2.6 表示。並且，針對未說明之處，本文將於後續以文字的方式敘述之。

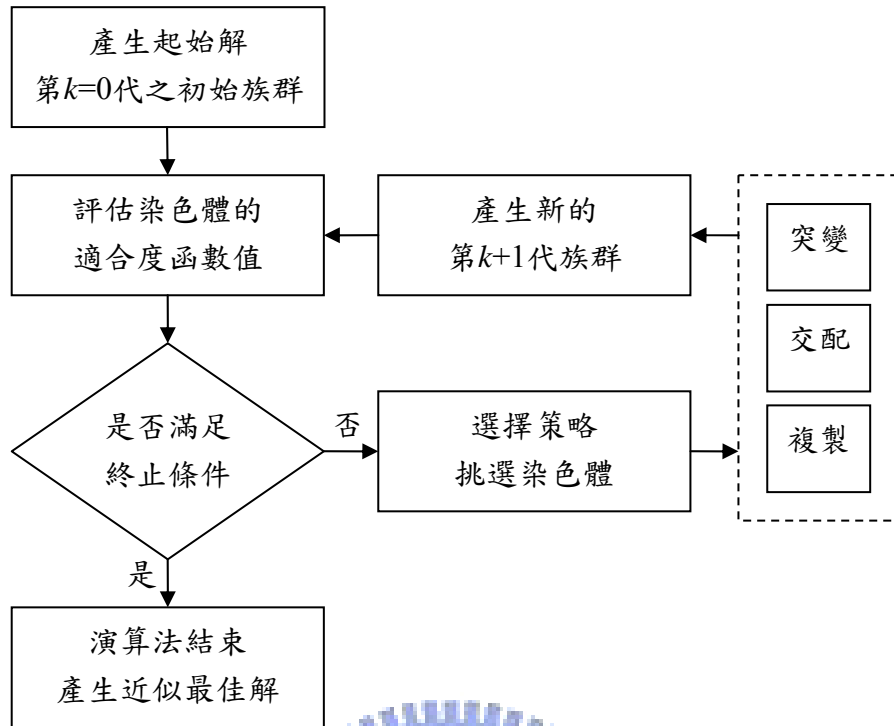


圖 2.6 基因演算法求解流程

2.4.1 染色體編碼

使用基因演算法進行問題求解前，須先將研究問題之決策變數，透過染色體編碼及染色體設計，將決策變數轉換成字串。此字串稱之為染色體，染色體字串中的每個字元稱為基因。如此，染色體便可代表所要探討問題的可行解。本研究中，染色體代表考量等候時間限制下之雙流線型工廠排程方式，其設計概念將於本文第三章加以說明。

2.4.2 適合度函數

在基因演算法求解過程中，可同時存在多條染色體。這些染色體所形成之群體，便稱作為族群。不同染色體代表不同解，在本研究中即為不同之排程方式。適合度函數是根據研究問題的定義，評估各條染色體之好壞，也就是評估各種解之優劣。較佳解，其代表之染色體，適應力較強，存活機率也較高。反之，染色體適應力差，存活機率低。因此，基因演算法進行問題求解的過程中，需透過適合度函數值之計算，得知各染色體

之適應力高低，亦即評定各種解的好壞。本研究計算適合度函數值的方式為，分析雙流線型工廠排程之績效表現。相關計算方式，將於後續章節說明之。

研究問題之解是望大為佳時，可直接將染色體計算出之目標值，作為適合度函數值。但在望小為佳的情況下，目標值越小，解越佳，其代表染色體之適應力也越高。在此情況下，適合度函數值之計算，可將染色體計算出的目標值取倒數，形成望大為佳。或是以該染色體族群中，最大目標值(最差解之目標值)，減去欲求算之染色體目標值，亦可形成望大之情境。若問題為望目情境，染色體的目標值越接近設定目標值，其適合度函數值將越高。作法可先計算該染色體目標值與設定值之差距後，以望小問題之計算方式，求出適合度函數值。

2.4.3 交配與突變

交配(Crossover)是將兩條被選取之染色體，藉由交換其內部之基因，以求找出適應力更佳之染色體。一般交配的方法有單點交配(one-point crossover)、線性順序交配(LOX: Linear Order Crossover Operator)、部分相應交配(PMX: Partially Matched Crossover Operator)與 NABEL Operator 等方式。

突變(Mutation)主要是避免在求解過程時，陷入局部最佳化(Local optimum)，進而無法找出全域最佳解(Global optimum)。在基因演算法中，突變常與交配一併使用。一般常用的突變方式有交換(Swap)、反轉(Inverse)及插入(Insert)等方法(Wang & Zheng, 2003)。決定染色體是否突變，通常是以亂數產生介於 0 到 1 之間的機率值。若此隨機產生的機率值，小於使用者設定之突變率，則此染色體將進行突變，反之則不進行。

2.4.4 選擇策略

染色體進行交配與突變後。在交配池中，有原本母代之染色體，以及交配、突變後產生之子代染色體。按照基因演算法物競天擇的概念，這些染色體將依據自身之適合度函數值，來決定那些可存活至下一代。常用的選擇策略有 Goldberg (1989) 提出之俄羅

斯輪盤法(Roulette wheel selection 與競賽法(Tournament selection)。俄羅斯輪盤法的概念，是將交配池中各條染色體，依其適合度之優劣，分割輪盤上之所屬區域。染色體適合度越佳，在輪盤上佔的面積比例越大。若隨機選取輪盤上之一點，面積越大之染色體區域越易被選取，亦即越可能存活至下一代。競賽法的作法，是從同一族群中隨機挑選兩條或兩條以上的染色體，比較其適合度函數值。適合度較佳者，可存活至下一代。此方法能避免過早陷入局部最佳解，但也可能較難收斂產生近似最佳解。

2.5 文獻探討結語

本研究在考量等候時間限制下，進行雙流線型工廠之排程規劃。回顧過去相關領域的文獻，並無相似之研究，突顯本研究之獨特與重要性。綜合前述章節之分析，本研究之特色在於，考量等候時間限制對雙流線型工廠之排程影響，同時決策加工途程與加工順序，滿足等候時間限制，維持兩廠之產出能力。在確立本研究之問題獨特與重要性後，下面章節，將針對研究問題作更詳細之描述，並說明如何進行問題之求解。



第三章 研究方法

3.1 問題描述

本研究針對雙流線型工廠排程問題，將兩相似功能廠之製造流程，透過考量跨廠加工之方式(見圖 3.1)，進行整合兩廠產能之排程規劃。雙流線型工廠排程之問題，加入等候時間限制之考量，為避免工件在加工過程中，等候加工之時間超過等候時間限制，產生良率問題。在預排排程的過程，將限制各工件需在滿足等候時間限制的前提下進行排程。在本文前面的章節有提到，滿足等候時間限制的同時，將影響產能之利用及產出，延長總完工時間，增加答覆給顧客之交期，降低競爭力。有鑑於此，本研究在考量等候時間限制的情境下，以兩廠最長之總完工時間，作為預排排程之績效衡量。

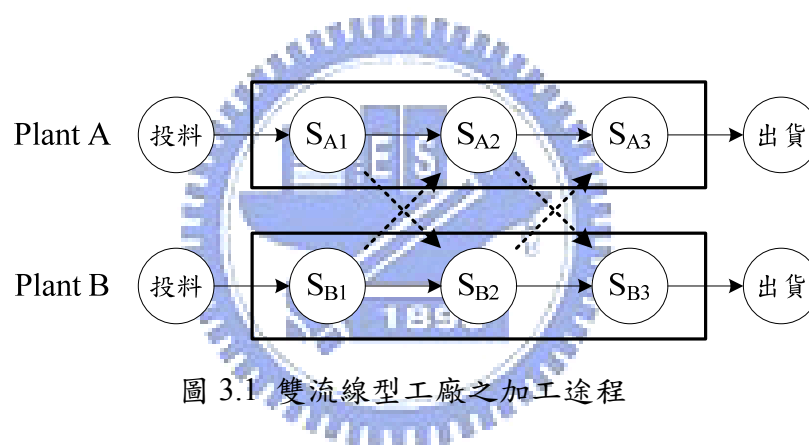


圖 3.1 雙流線型工廠之加工途程

追求總完工時間最小化，可在滿足等候時間限制，確保產品品質的前提下，維持預排排程之產出能力，提供顧客滿意之交期。透過控制投料、到站加工之時間，可滿足等候時間限制，避免不良品產出，但總完工時間將大幅增加。追求兩廠最長之總完工時間最小化，一方面可整合兩廠之產能，一方面可降低總完工時間，提高單位時間產出，維持產出能力。綜合上述說明，本研究在滿足等候時間限制的情境下，分析如何同時決策加工途程、加工順序，使雙流線型工廠之排程結果具不錯之績效。

3.2 模型建構

此章節將建構本研究之問題模型，並針對雙流線型工廠考量跨廠之排程，介紹如何

控制投料、到站加工時間滿足等候時間限制。為更清楚瞭解本研究之問題模型，舉一個符合本研究假設之個例進行說明。如圖 3.2 所示，有 A、B 兩廠，各廠有三道加工流程 (Stage1、Stage2、Stage3)。加工途程如圖 3.2 中之箭頭所示，可進行跨廠加工。各廠各加工流程各有一機台，且兩廠之加工效率可能不同。若兩廠之加工效率不同，同一工件在不同廠所需之加工時間將不相同。部分工件於加工過程中具有等候時間限制，部分則無。工件如具等候時間限制，除了在投料前(S_{A1} 、 S_{B1} 之前)、完工後(S_{A3} 、 S_{B3} 之後)無等候時間限制外，在各加工流程間，皆有等候時間的限制，且能等候之時間限制相同。

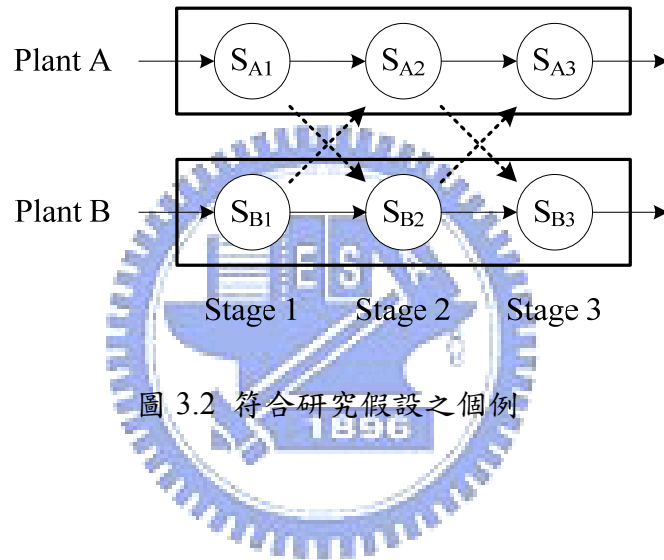


圖 3.2 符合研究假設之個例

3.2.1 符號定義

i ：工件編號，最多有 n 個預期之工件等待加工， $i = 1, 2, \dots, n-1, n$ 。

j ：工廠編號，本文針對雙流線型工廠排程進行研究，故編號 $j = 1, 2$ 。

k ：工作站編號，兩廠皆具 m 個加工站， $k = 1, 2, \dots, m-1, m$ 。

$R_{i,j,k}$ ：工件 i 是否於工廠 j ，加工站 k 加工。 $R_{i,j,k} = 1$ 代表有在該站進行加工，0 則無。

$L(i,j,k)$ ：工件 i 於工廠 j ，加工站 k 之加工順序， $L(i,j,k) = 1, 2, \dots, \sum_{i=1}^n R_{i,j,k}$ 。

$A_{L(i,j,k)}$ ：工件 i 於工廠 j ，第 k 個加工站之到站時間。

$S_{L(i,j,k)}$ ：工件 i 於工廠 j ，第 k 個加工站之開始加工時間。

$C_{L(i,j,k)}$ ：工件 i 於工廠 j ，第 k 個加工站之完工時間。

$T_{L(i,j,k)}$ ：工件 i 到工廠 j ，第 k 個加工站之運輸時間。

$P_{i,j,k}$ ：工件 i 於工廠 j ，第 k 個加工站之加工時間。

Q_i ：工件 i 具有之等候時間限制。

T_C ：兩廠進行跨廠加工所需之運輸時間。

C_{max} ：兩廠最長之總完工時間。

根據上述符號定義，本研究針對雙流線型工廠排程之績效指標，兩廠最長之總完工時間可定義為公式(1)。總完工時間越短，代表產出能力越高，所能答覆給顧客之交期可越短，越具競爭優勢。

$$C_{max} = \text{Max} (C_{L(i,1,k)}, C_{L(i,2,k)}), \quad L(i,1,k) = \sum_{i=1}^n R_{i,1,k}, \quad L(i,2,k) = \sum_{i=1}^n R_{i,2,k} \quad (1)$$

3.2.2 研究假設

考量等候時間限制，同時決策雙流線型工廠之加工途程與加工順序，為本文之主要研究議題。針對此雙流線型工廠之排程問題，為使問題可進行求解，本研究設定下列之研究假設，簡化整個研究問題之複雜性。

兩廠皆為流線型工廠，各工件之製造流程相同。從客戶得到之預期訂單預排排程，不考慮機台發生當機，且不允許拆單(生產批量不可切割)，將訂單視為不同之工件進行規劃。各工件之加工時間假設已知，並僅考量加工時間，不考慮機台設置時間。各廠起始階段沒有在製品存貨，且不考慮生產、存貨等成本問題。工件允許跨廠加工，但需考量跨廠運輸時間。若有工件需進行跨廠加工，即進行運輸，不考慮集批運送。部分工件具等候時間限制，部分則無。具等候時間限制之工件，除投料前無限制等候時間外，於整段加工過程均有等候時間限制，且假設各站中所能等候之時間限制相同。

具等候時間限制之工件，需控制其投料、到站加工之時間點，避免在工作站前等候超過時間限制。上述關於等候時間限制之研究假設，使工件在排程規劃中，不會超出等候時間之限制產生良率問題。因此，排程規劃需進行投料與加工時間之調整、控制。其詳細作法於下面章節進行說明。

3.2.3 控制投料、到站加工時間

控制工件在預排排程之投料時間及調整到達各工作站之時間點，可滿足等候時間之限制，使工件於加工製程不會發生良率問題。調整投料加工之作法分成三個步驟。為能更清楚說明各步驟之作法，下面將以雙廠、兩站、五個工件的排程例子進行說明。

步驟一：排程進行預排

進行排程之預排，可得知各工件之到站時間、開始加工時間及完工時間。由於在研究假設中， n 個工件假設為同時到達並可進行加工。因此，各工件於第一個工作站之到站時間與運輸時間皆為 0，見公式(2)、(3)。針對跨廠運輸時間之設定，如果沒有進行跨廠加工，則其跨廠運輸時間為 0，如公式(4)所示。若工件選擇跨廠加工途程時，則需要加上額外之跨廠運輸時間，如公式(5)所示。

$$T_{L(i,j,1)} = 0, i = 1, \dots, n, j = 1, 2, L(i,j,1) = 1, \dots, \sum_{i=1}^n R_{i,j,k} \quad (2)$$

$$A_{L(i,j,1)} = 0, i = 1, \dots, n, j = 1, 2, L(i,j,1) = 1, \dots, \sum_{i=1}^n R_{i,j,k} \quad (3)$$

$$T_{L(i,j,k)} = 0, i = 1, \dots, n, j = 1, 2, k = 2, \dots, m, L(i,j,1) = 1, \dots, \sum_{i=1}^n R_{i,j,k} \quad (4)$$

$$T_{L(i,j,k)} = T_C, i = 1, \dots, n, j = 1, 2, k = 2, \dots, m, L(i,j,1) = 1, \dots, \sum_{i=1}^n R_{i,j,k} \quad (5)$$

工件到達各站之時間，可由工件於前站之完工時間，與工件送到此工作站所需之運輸時間得知，如公式(6)所示。但工件並不是一到工作站便可直接進行加工，工作站中可能尚有前一個工件在處理。所以，各工件於各站真正可開始加工之時間，除了考量工件本身之到站時間外，亦需考慮前一個工件於此站之完工時間。如公式(7)所示，工件可進站加工之時間，應針對該工件之到站時間與前工件之完工時間，兩者取最大值即為是。一旦得知工件之進站加工時間，其完工時間將由公式(8)計算得知。下面提出一個雙廠、兩站、五個工件之排程個例，根據本步驟進行預排排程，可得下表 3.1 之排程結果

$$A_{L(i,j,k)} = C_{L(i,j,k-1)} + T_{L(i,j,k)}, k = 2, \dots, m \quad (6)$$

$$S_{L(i,j,k)} = \text{Max} (A_{L(i,j,k)}, C_{L(i,j,k-1)}) \quad (7)$$

$$C_{L(i,j,k)} = S_{L(i,j,k)} + P_{i,j,k} \quad (8)$$

表 3.1 個例之預排排程

工作站 1									
A廠					B廠				
加工 順序	到站 時間	開始加工 時間	完工 時間	運輸 時間	加工 順序	到站 時間	開始加工 時間	完工 時間	運輸 時間
工件1	0	0	0.72	0	工件4	0	0	1.108	0
工件2	0	0.72	1.44	0	工件5	0	1.108	1.97	0
工件3	0	1.44	3.1	0	-	-	-	-	-

工作站 2									
A廠					B廠				
加工 順序	到站 時間	開始加工 時間	完工 時間	運輸 時間	加工 順序	到站 時間	開始加工 時間	完工 時間	運輸 時間
工件1	0.72	0.72	1.64	0	工件4	1.108	1.108	1.85	0
工件2	1.44	1.64	4.1	0	工件5	1.97	1.97	3.08	0
-	-	-	-	-	工件3	3.15	3.15	6.26	0.05

步驟二：檢查等候時間限制

完成前一步驟之預排排程後，下一步檢查是否有工件之等候時間超出限制。工件於工作站之等候時間，可由到站時間與開始加工時間得知。當工件離開前一工作站到進入下個工作站，之間的時間間隔(包含等候時間與運輸時間)，若超過規定之等候時間限制如公式(9)，該工件將產生良率問題。此時，需要延後該工件之到站時間，使之能滿足等候時間限制，調整方式如公式(10)所示。

$$S_{L(i,j,k)} - A_{L(i,j,k)} + T_{L(i,j,k)} > Q_i \quad (9)$$

$$A_{L(i,j,k)} = S_{L(i,j,k)} - Q_i + T_{L(i,j,k)} \quad (10)$$

$$C_{L(i,j,k-1)} = A_{L(i,j,k)} - T_{L(i,j,k)} \quad (11)$$

$$S_{L(i,j,k-1)} = C_{L(i,j,k-1)} - P_{i,j,k-1} \quad (12)$$

當工件延後到站時間，於前站之完工時間與開始加工時間也需進行調整，調整方式為公式(11)、(12)。公式(11)是將延後之到站時間減去運輸時間，藉此回推前站之完工時間。公式(12)則是由公式(11)得知完工時間，與工件於前站之加工時間，進一步回推前站正確之開始加工時間。為了更詳細說明上述之步驟與公式，此章節提出之個例預排排程(表 3.1)，將進行步驟二之等候時間限制檢查，並將結果呈現於表 3.2。

表 3.2 個例之檢查等候時間限制

工作站 1									
A廠					B廠				
加工順序	到站時間	開始加工時間	完工時間	運輸時間	加工順序	到站時間	開始加工時間	完工時間	運輸時間
工件1	0	0	0.72	0	工件4	0	0	1.108	0
工件2	0	0.82	1.54	0	工件5	0	1.108	1.97	0
工件3	0	1.44	3.1	0	-	-	-	-	-

工作站 2									
A廠					B廠				
加工順序	到站時間	開始加工時間	完工時間	運輸時間	加工順序	到站時間	開始加工時間	完工時間	運輸時間
工件1	0.72	0.72	1.64	0	工件4	1.108	1.108	1.85	0
工件2	1.54	1.64	4.1	0	工件5	1.97	1.97	3.08	0
-	-	-	-	-	工件3	3.15	3.15	6.26	0.05

針對檢查等候時間限制之步驟，在此個例中，假設工件 2(Job 2)具等候時間限制由 ($Q_2 = 0.1$)。工件在工作站 1 完成加工後，須於 0.1 單位時間內，進入工作站 2 進行加工。從表 3.1 得知，工件 2 於工作站 2 等候超出時間限制。因此，需延後工件 2 到達工作站 2 之時間，並調整工件 2 於工作站 1 之完工時間與開始加工時間。

$$S_{L(2,1,2)} - A_{L(2,1,2)} + T_{L(2,1,2)} = 1.64 - 1.44 + 0 > Q_2 = 0.1。$$

$$A_{L(2,1,2)} = S_{L(2,1,2)} - Q_2 + T_{L(2,1,2)} = 1.64 - 0.1 + 0 = 1.54。$$

$$C_{L(2,1,1)} = A_{L(2,1,2)} - T_{L(2,1,2)} = 1.54 - 0 = 1.54$$

$$S_{L(2,1,1)} = C_{L(2,1,1)} - P_{L(2,1,1)} = 1.54 - 0.72 (\text{加工時間已知}) = 0.82。$$

步驟三：修正排程

完成上一步驟之調整後，雖然各工件都可滿足等候時間之限制。但排程結果仍會存在問題。以表 3.2 來說明，工件 2 在經過調整之後，雖可滿足等候時間之限制。但在工作站 1 中，工件 2 之完工時間為 1.54，工件 3 之開始加工時間卻仍為 1.44，為不合理現象。工件 3 必須等工件 2 完成加工離開工作站 1 後，方能進入工作站 1 加工。因此，需進行排程之修正，調整其他被影響工件之到站時間、開始加工時間與完工時間。

排程之修正分成兩部分。首先，從第一站的排程進行修正。當工件之開始加工時間小於前個工件之完工時間時，需將該工件之開始加工時間、完工時間透過公式(13)進行修正。而完工時間，只需得知正確之進站時間，與工件在該站之加工時間，便可從公式(14)進行推算。



$$\text{If } [S_{L(i,j,k)} < C_{L(i,j,k-1)}] \text{ Then } [S_{L(i,j,k)} = C_{L(i,j,k-1)}] \quad (13)$$

$$C_{L(3,1,1)} = S_{L(3,1,1)} + P_{3,1,1} \quad (14)$$

第二部分是將第二站之後，各站排程進行調整。針對工件之到站時間。如到站時間同公式(15)所述，不等於前站之完工時間加上運輸時間，則該工件之到站時間需進行調整。調整完到站時間後，需檢查工件之開始加工時間與完工時間是否需要進行調整。如目前工件之開始加工時間滿足公式(16)，超過該工件本身之到站時間或前個工件之完工時間。則此工件之開始加工時間與完工時間，便需進行調整。工件之完工時間，同樣只需得知正確進站時間，與工件在該站之加工時間，便可從公式(17)進行推算。

$$\text{If } [A_{L(i,j,k)} \neq C_{L(i,j,k-1)} + T_{L(i,j,k)}] \text{ Then } [A_{L(i,j,k)} = C_{L(i,j,k-1)} + T_{L(i,j,k)}] \quad (15)$$

$$\text{If } [S_{L(i,j,k)} < \text{Max}(A_{L(i,j,k)}, C_{L(i,j,k-1)})] \text{ Then } [S_{L(i,j,k)} = \text{Max}(A_{L(i,j,k)}, C_{L(i,j,k-1)})] \quad (16)$$

$$C_{L(i,j,k)} = S_{L(i,j,k)} + P_{i,j,k} \quad (17)$$

針對上述表 3.2 之個例，套用此排程修正步驟，可得調整後之排程結果(表 3.3)。在表 3.2 中，由於工件 3 於工作站 1 之開始加工時間超過工件 2 之完工時間，故需調整工件 3 於工作站 1 與工作站 2 之排程。首先，工件 3 於工作站 1 之開始加工時間，等於工件 2 在工作站 1 之完工時間。工件 3 於工作站 1 之加工時間已知且固定，其完工時間可由工作站 1 之開始加工時間計算得知。調整完工件 3 於工作站 1 之排程後，接著修正工件 3 於工作站 2 之正確到站時間、開始加工時間與完工時間。

表 3.3 個例之排程調整

工作站 1									
A 廠					B 廠				
加工 順序	到站 時間	開始加工 時間	完工 時間	運輸 時間	加工 順序	到站 時間	開始加工 時間	完工 時間	運輸 時間
工件 1	0	0	0.72	0	工件 4	0	0	1.108	0
工件 2	0	0.82	1.54	0	工件 5	0	1.108	1.97	0
工件 3	0	1.54	3.2	0	-	-	-	-	-

工作站 2									
A 廠					B 廠				
加工 順序	到站 時間	開始加工 時間	完工 時間	運輸 時間	加工 順序	到站 時間	開始加工 時間	完工 時間	運輸 時間
工件 1	0.72	0.72	1.64	0	工件 4	1.108	1.108	1.85	0
工件 2	1.54	1.64	4.1	0	工件 5	1.97	1.97	3.08	0
-	-	-	-	-	工件 3	3.25	3.25	6.36	0.05

$$S_{L(3,1,1)} = C_{L(2,1,1)} = 1.54。$$

$$C_{L(3,1,1)} = S_{L(3,1,1)} + P_{3,1,1} = 1.54 + 1.66 = 3.2。$$

$$A_{L(3,2,2)} = C_{L(3,1,1)} + T_{L(3,2,2)} = 3.25。$$

$$S_{L(3,2,2)} = \text{Max} (A_{L(3,2,2)}, C_{L(5,2,2)}) = 3.25。$$

$$C_{L(3,2,2)} = S_{L(3,2,2)} + P_{3,2,2} = 6.36。$$

透過預排排程、檢查等候時間限制、修正排程此三步驟，控制投料與加工時間點，直到所有工件在排程中之等候時間，皆滿足等候時間限制，便可得到滿足等候時間限制之預排排程。在考量等候時間限制情況下，進行兩廠之生產排程規劃，並允許跨廠生產加工。所需決策之變數多，問題規模龐大，難以進行求解，故後續章節將說明此問題模型將如何進行決策與求解。

3.3 決策方法

評估雙流線型工廠考量等候時間限制下之排程規劃績效，需得知各工件選擇之加工途程，以及各工件於各廠各站之加工順序。加工途程與加工順序同時決策，方可求得整體排程規劃之最佳解，但其問題複雜度將會變得非常高。以圖 3.2 之個例說明，當有 n 個工件要決定加工途程時，各工件於各站皆有兩個途程(A 廠與 B 廠)可供選擇，產生途程組合數如公式(18)。若是在同時考量各工件之加工順序，整個排程問題之複雜度將非常高。

$$2^n \times 2^n \times 2^n = 2^{3n} \quad (18)$$

各站之加工順序組合如公式(19)所示。舉例來說，有 18 個工件於 A 廠工作站 1 進行加工，另外有 22 個工件在 B 廠工作站 1 加工，其加工順序組合有 $18! \times 22!$ 種可能。此一龐大規模之決策問題，屬於 NP-hard 問題。求解問題最佳解所需之時間，將隨問題規模之增加呈指數遞增。因此，針對此研究問題，本研究將使用基因演算法來進行求解。

$$[(\sum_{i=1}^n R_{i,1,k})!] \times [(n - \sum_{i=1}^n R_{i,1,k})!], k = 1 \sim 3 \quad (19)$$

3.4 基因演算法之運作

此節將說明如何應用基因演算法，求解考量等候時間限制情境下，雙流線型工廠之排程問題。基因演算法之求解流程，已於本文第二章文獻回顧有詳細之描述，故不在此重覆說明。基因演算法之重點，在於如何透過染色體之編碼、解碼，表達所要研究問題之決策變數，並透過染色體計算適合度函數，評估排程績效。下面將針對這些重點，配合適當之例子，逐一進行說明。

3.4.1 染色體設計

本研究使用一條染色體，其基因(gene)格數等同於工件個數。每格基因格存放各工件之編號，且不重覆。舉例來說，若有五個工件要進行排程，其編號依序為 J_1 、 J_2 、 J_3 、 J_4 、 J_5 。每格基因格中，便存放這五個工件之編號(如圖 3.3)。



圖 3.3 五個工件之染色體設計圖

染色體設計越簡單、基因格數越少，基因演算法求解的速度越有效率。但本研究針對雙流線型工廠排程問題，考量等候時間限制，目標最小化兩廠最長之總完工時間。要如何解讀此一染色體，使其能表示各工件之加工途程與加工順序，將是十分重要的議題。本研究將透過特定之解讀方式，將染色體中之基因格內容與排序等資訊，解讀成可描述工件於雙流線型工廠排程之加工途程與加工順序之決策。下面將針對染色體解讀加工途程、加工順序之方法進行介紹。在解讀染色體時，原染色體之基因格內容、排序皆不會變動之。

3.4.2 加工途程解讀

在考量等候時間限制下，使兩廠之總加工時間相近，可避免某廠加工時間過長，拖延整體總完工時間，降低產出能力。因此，染色體解讀加工途程的過程，應使加工途程之規劃能平均兩廠之總加工時間，避免某廠負荷過重。一方面將增加工件在該廠加工之等候加工時間，使其有超出等候時間限制的可能，進而延長整體完工時間，降低產出。另一方面，兩廠負荷不平衡也將直接導致某廠之總完工時間，遠大於另一廠。造成的結果，某廠產能未能充分利用降低整體產出，使回覆顧客之交期延長，降低競爭優勢。

此外，加工途程之規劃，應根據兩廠之加工效率、運輸時間、等候時間限制等因素，考量是否進行跨廠。兩廠加工效率不協調之情況下，工件可透過跨廠加工途程，選擇加工效率快的廠進行加工，降低整體之總完工時間。但等候時間限制之考量，也是不可忽視。若工件之等候時間限制嚴苛，在跨廠加工後所能等候之時間更短，工件將增加超出等候時間限制之可能，如此反而導致整體完工時間之延長。但若只為避免工件超出等候時間限制而不考慮跨廠途程，在兩廠加工效率極不協調之情況，排程之績效亦不好。因此，本研究在染色體解讀加工途程的作法上，將以平衡兩廠之總加工時間，同時考慮允許跨廠與不跨廠之兩種途程方式。

染色體解讀跨廠加工途程之作法，將一段染色體(圖 3.3)複製成三段，第一段代表工作站 1，第二段代表工作站 2，第三段代表工作站 3。在各段染色體找一切點，切點之尋找方式需滿足公式(20)。在各段染色體中，如工件編號位於切點左邊，代表在 A 廠進行加工。切點右邊，則表示於 B 廠加工。公式(20)的主要目的，是讓各廠於各站累積之總加工時間差距最小化，進而達到平均兩廠總加工時間之目的。

$$\text{Min} \left\{ \left| \sum_{k=1}^s \left[\sum_{i=1}^n (P_{i,1,k} \times R_{i,1,k}) \right] - \sum_{k=1}^s \left[\sum_{i=1}^n (P_{i,2,k} \times R_{i,2,k}) \right] \right| \right\}, \quad s = 1, 2, \dots, m \quad (20)$$

以圖 3.3 之染色體為例，第一段染色體之切點位置在滿足公式(20)後可找出。圖 3.4 中，第一段染色體之切點位於 J1 與 J3 之間代表 A 廠加工 J₁、J₂，B 廠加工 J₃、J₄、J₅。故兩廠於工作站 1 累積之加工時間差距最小。

$$\left| \sum_{k=1}^1 \left[\sum_{i=1}^n (P_{i,1,k} \times R_{i,1,k}) \right] - \sum_{k=1}^1 \left[\sum_{i=1}^n (P_{i,2,k} \times R_{i,2,k}) \right] \right| = |(3+4) - (2+2+3)| = 0$$

第二段染色體之切點位置，位於 J3 與 J4 之間，使兩廠累積至工作站 2 之加工時間差距最小。同理，第三段染色體之切點位置亦滿足公式(20)，

$$\left| \sum_{k=1}^2 \left[\sum_{i=1}^n (P_{i,1,k} \times R_{i,1,k}) \right] - \sum_{k=1}^2 \left[\sum_{i=1}^n (P_{i,2,k} \times R_{i,2,k}) \right] \right| = | [7 + (2+3+2)] - [7 + (4+5)] | = 1$$

$$\left| \sum_{k=1}^3 \left[\sum_{i=1}^n (P_{i,1,k} \times R_{i,1,k}) \right] - \sum_{k=1}^3 \left[\sum_{i=1}^n (P_{i,2,k} \times R_{i,2,k}) \right] \right| = | [15 + (4+5)] - [16 + (2+4+3)] | = 1$$

此種考量跨廠加工途程之解讀方式，適用於兩廠加工效率不協調、運輸時間短之生產情境。經由上述染色體之解讀，可得知各工件跨廠之加工途程。以圖 3.4 為例，在解讀染色體之後，可得知 J₃ 在工作站 1 是在 B 廠進行加工，在工作站 2 則跨廠到 A 廠。最後，在工作站 3 又回到 B 廠進行加工。其它工件之加工途程解釋也是如此，針對各段染色體，如工件編號位於切點左邊，則表示在 A 廠加工。位於切點右邊，則表示在 B 廠加工。

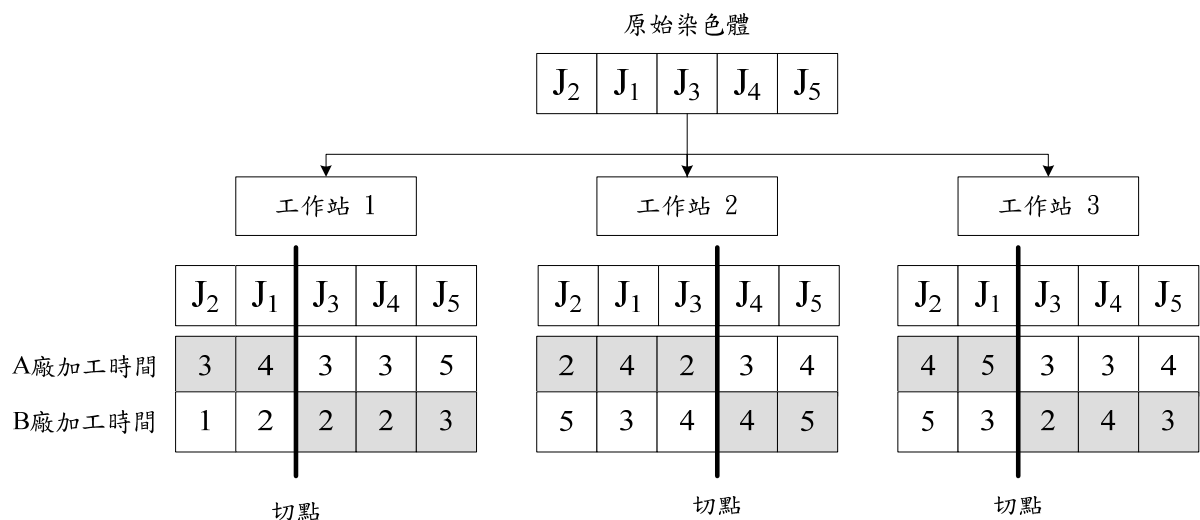


圖 3.4 染色體解讀跨廠加工途程

染色體解讀不跨廠加工途程之作法，與解讀跨廠加工途程類似，不同處在於切點尋找之方法。不跨廠加工途程之解讀，切點尋找之方式如公式(21)，讓兩廠於工作站 1 之總加工時間，差距最小化。之後，工作站 2、3 之切點位置與工作站 1 相同。此種解讀方式，適用於兩廠加工效率相近且運輸時間長之生產情境，亦即不適合跨廠之生產情境。

$$\text{Min} \left\{ \left| \sum_{i=1}^n (P_{i,1,1} \times R_{i,1,1}) - \sum_{i=1}^n (P_{i,2,1} \times R_{i,2,1}) \right| \right\} \quad (21)$$

同樣以圖 3.3 的染色體為例，解讀不跨廠之加工途程。圖 3.5 中，第一段染色體切點位置在滿足公式(21)後，得知切點位於 J1 與 J3 之間。第二與第三段染色體(工作站 2、3)，其切點與第一段染色體切點位置相同。故可得知 J1 與 J3 在 A 廠加工，J₃、J₄、J₅ 在 B 廠加工，且不進行跨廠。

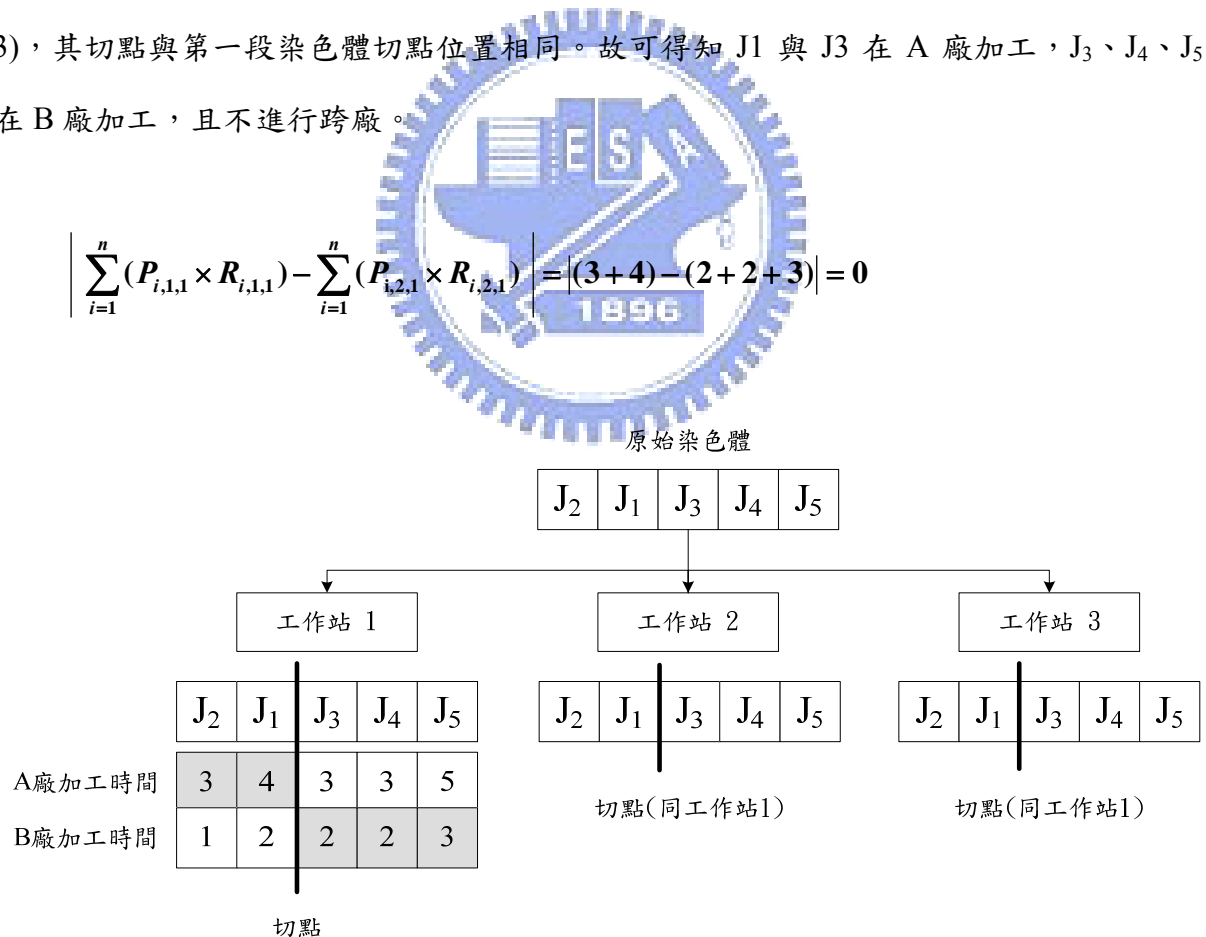


圖 3.5 染色體解讀不跨廠加工途程

3.4.3 加工順序解讀

在前一節中，已說明如何透過染色體解讀，得知各工件之加工途程。但各廠各站之加工順序未知，仍無法評估預排排程之績效，亦即滿足等候時間限制下，兩廠最長之總完工時間。因此，染色體需透過不同之派工法，解讀工件於各廠各站之加工順序。本研究一共提出五種解讀加工順序之方法，下面將一一進行說明。

1. 原染色體排序

此方法的特色，是直接以染色體各基因格之工件編號排序，決定各廠各站之工件加工順序。原染色體排序之優點在於，決定各站之加工順序時，將只透過基因演算法中，自然演化之過程產生適合之解。相較於其它單一派工法則，原染色體排序之限制較少。下面以圖 3.6 進行說明。染色體進行加工途程解讀時，將一段染色體複製成三段，並找出各段之切點。此時，各段染色體亦同時複製原染色體之排序特性。根據此排序，可直接用以解釋各廠各站之工件加工順序。以圖 3.6 之個例來說，工作站 1，A 廠工件之加工順序為 J_2 、 J_1 。B 廠則為 J_3 、 J_4 、 J_5 。在工作站 2，工件在 A 廠之加工順序為 J_2 、 J_1 、 J_3 ，B 廠為 J_4 、 J_5 。工作站 3，A 廠之加工順序為 J_2 、 J_1 ，B 廠為 J_3 、 J_4 、 J_5 。

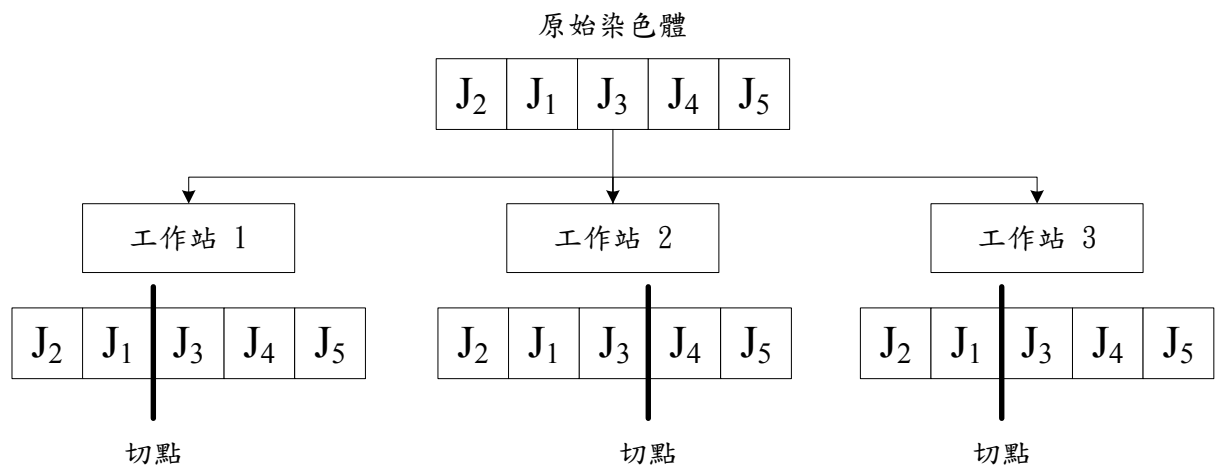


圖 3.6 原染色體排序解讀加工順序

2. QCF (Queue Time Constraint First)

此排序演算法，主要根據各工件有無等候時間限制，決定工件之加工順序。具等候時間限制之工件將優先排序加工，避免太晚加工而超出時間限制，延後整體排程並增加總完工時間。以圖 3.7 進行說明，各段染色體依切點分成 A、B 兩廠後，工件於各廠各站之加工順序，以 QCF 派工法進行排序。在 A 廠工作站 1， J_2 具有等候時間限制(0.5 小時)， J_1 無等候時間限制(以符號 N 表示)，故加工順序為 J_2 、 J_1 。B 廠工作站 1 之加工順序則為 J_3 、 J_4 、 J_5 。以此類推工作站 2 與工作站 3，可得知各廠各站工件之加工順序。

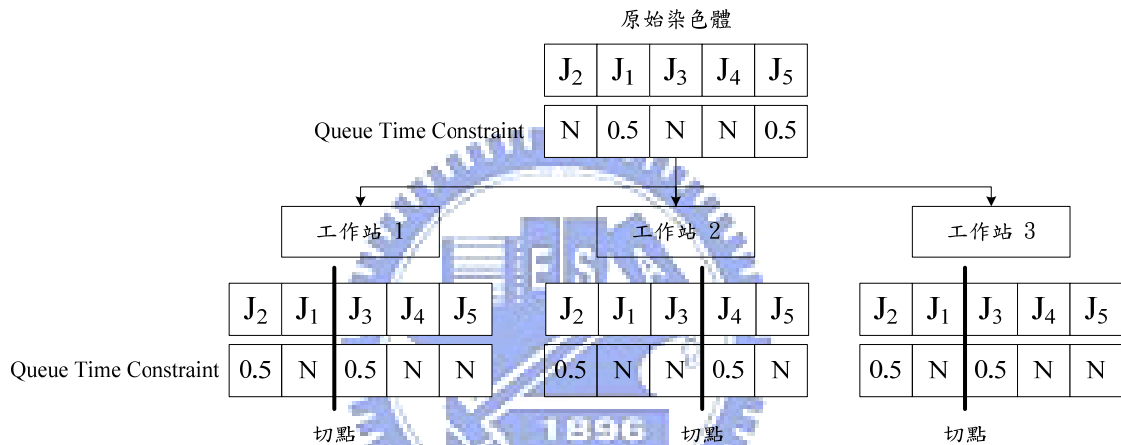


圖 3.7 QCF 解讀加工順序

在這裡，舉兩個工作站，三個工件之個例，說明 QCF 派工法之優點。三個工件需依序經過工作站 1、2 才可完工，加工時間如表 3.4 所示。此時，工件之加工順序若為 J_1 、 J_2 、 J_3 ，總完工時間因為要滿足 J_2 之等候時間限制，故拖延到 11 小時(圖 3.8)。若以 QCF 派工法決定加工順序，總完工時間便僅需 8 小時(圖 3.9)，大幅降低總完工時間。

表 3.4 工件之加工時間(QCF 個例)

工件編號	工作站 1	工作站 2	等候時間限制
J ₁	1 小時	5 小時	無
J ₂	1 小時	1 小時	1 小時
J ₃	5 小時	1 小時	無

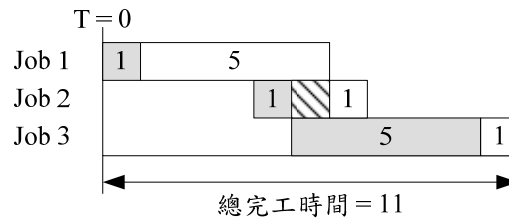


圖 3.8 加工時間示意圖(QCF 個例-任意排序)

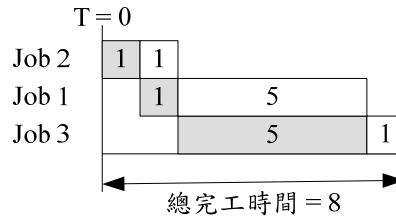


圖 3.9 加工時間示意圖(QCF 個例-QCF 排序)

3. SPT (Shortest Processing Time)

SPT 派工法是根據各工件於第一站之加工時間，決定加工順序。第一站加工時間越短，該工件越優先加工。此派工法之優點在於考量前段製程之加工時間，避免大量工件堵在前段製程，增加工件之等候時間及整體總完工時間。在加工途程解讀後，各工件之加工途程皆可得知。因此，各工件於第一站之加工時間便可透過公式(22)得知。

$$\sum_{j=1}^2 (P_{ij,1} \times R_{ij,1}) \quad (22)$$

在圖 3.10 之個例中，各工件之加工途程已知。因此可確定各工件於第一站加工時間之長短。根據各工件於第一站之加工時間，決定各站之加工順序。圖 3.7 以 QCF 解讀加工順序之結果，與圖 3.10 SPT 解讀加工順序之結果，兩者並不相同。因此，可確定為不同之解讀方式。

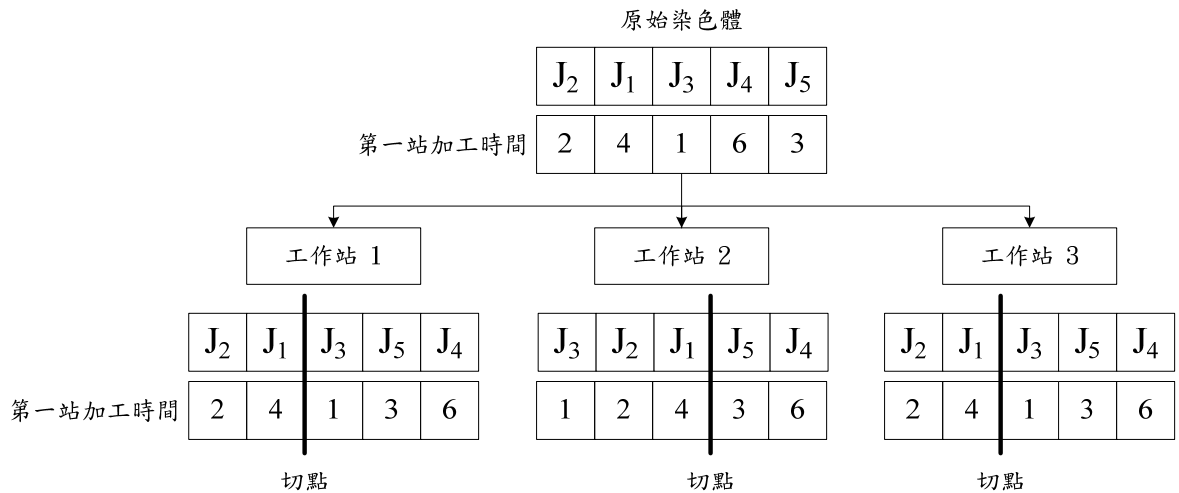


圖 3.10 SPT 解讀加工順序

在這裡，舉兩個工作站，兩個工件之個例，說明 SPT 派工法之優點。兩個工件需依序經過工作站 1、2 才可完工，加工時間如表 3.5 所示。此時，工件之加工順序若為 J₁、J₂，由於 J₁ 在第一站加工時間長，使 J₂ 進工作站 1 之加工時間較晚，拖延總完工時間(圖 3.11)。若以 SPT 派工法決定加工順序，J₂ 在工作站 1 加工時間短，工件不會堵塞在第一站，使總完工時間僅需 8 小時(圖 3.12)，降低總完工時間。

表 3.5 工件之加工時間(SPT 個例)

工件編號	工作站 1	工作站 2	等候時間限制
J ₁	5 小時	1 小時	無
J ₂	2 小時	2 小時	無

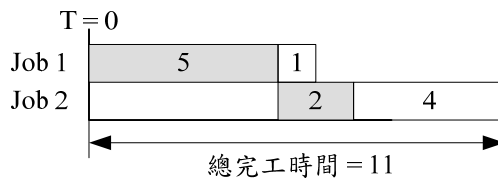


圖 3.11 加工時間示意圖(SPT 個例-任意排序)

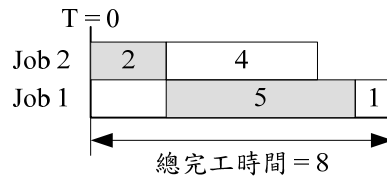


圖 3.12 加工時間示意圖(SPT 個例-SPT 排序)

4. TPT (Total Processing Time)

TPT 派工法是將總加工時間越短之工件，於工作站中越優先加工。此方法可有效降低各工件於工作站之等候時間，避免工件超出等候時間限制，進而調整整體排程，增加總完工時間。在加工途程完成解讀，確定各工件之加工途程後，透過公式(23)可計算出各工件之總加工時間。

$$\sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n (P_{i,j,k} \times R_{i,j,k}) \quad (23)$$



圖 3.13 的個例中，在已知各工件加工途程，可計算出各工件完工所需之總加工時間。此時，根據總加工時間之長短，可決定工件於各廠各站之加工順序。

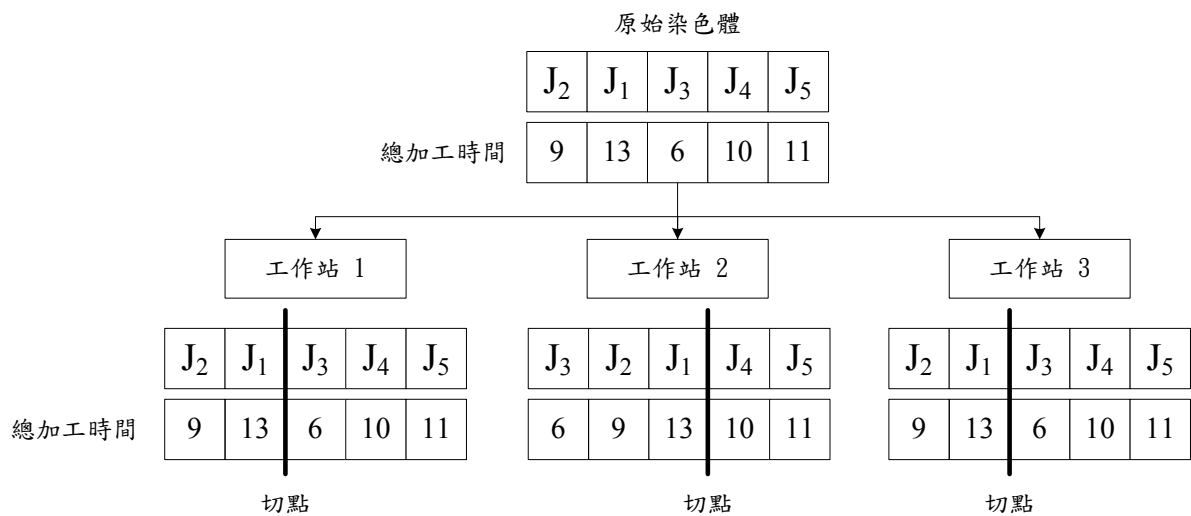


圖 3.13 TPT 解讀加工順序

同樣舉兩個工作站，兩個工件之個例，說明 TPT 派工法之優點。兩個工件都需依序經過工作站 1、2 才可完工，加工時間如表 3.6 所示。工件之加工順序若為 J_1 、 J_2 ，總完工時間為 13 小時(圖 3.14)。以 TPT 派工法決定加工順序，總完工時間同樣為 13 小時(圖 3.15)。雖然兩種排序方式，總完工時間都為 13 小時。但以 TPT 排序，工件在加工過程中無等候時間發生。在具等候時間限制之情境下，將可避免工件超出等候時間限制，進而拖延整體排程之總完工時間。

表 3.6 工件之加工時間(TPT 個例)

工件編號	工作站 1	工作站 2	等候時間限制
J_1	5 小時	5 小時	無
J_2	3 小時	3 小時	無



圖 3.14 加工時間示意圖(TPT 個例-任意排序)

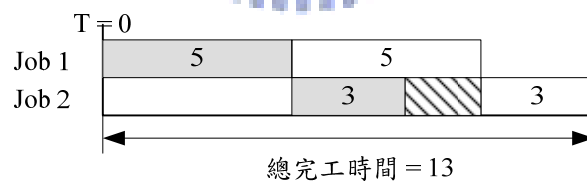


圖 3.15 加工時間示意圖(TPT 個例-TPT 排序)

5. 組合派工法

在上面章節中，描述了四種可決定加工順序之派工法則。除了原染色體排序之方法外，其他三種派工法則(QCF、SPT、TPT)皆有根據工件之加工資訊，決定各站的加工順序。QCF 根據工件是否具等候時間限制進行排序，SPT 根據各工件於第一站加工時間之長短決定順序，TPT 則是以工件之總加工時間進行加工順序之決策。三種派工法考慮層

面各有不同。因此，有所適用之生產情境，但換句話說，亦有其不適合之情境。

本研究嘗試結合上述三種單一派工法則，建構一組合派工法進行染色體加工順序之解讀。由於現實環境之生產情境多，各種單一派工法則，可能在某些情境有極佳績效，但在某些情境則極差。排程人員可能無法明確得知目前的生產情境，適用何種派工法。針對雙流線型工廠考量等候時間限制情境下，目標為兩廠總完工時間之最小化。本研究將結合上述三種單一派工法則：QCF、SPT、TPT，建構一組合派工法，提供排程人員一種在大部分生產情境都能有不錯績效之穩健排程方式。

組合派工法能將不同排序準則之單一派工法，透過權重將其結合成一種新的排序法則。然而原染色體排序解讀加工順序之方法，無法透過權重之方式進行結合。原染色體排序之方法，僅依據基因演算法之自然演化過程找出較佳之排序方式，故不適用於組合派工法。

組合派工法由 Dabbas et al.(1999)提出，並於後續有相關文獻(Dabbas et al., 2001; Dabbas and Fowler, 2003; Dabbas et al., 2003) 使用此方法求解不同研究問題。組合派工法主要的作法，是將多種派工法進行權重結合，之後使用混合實驗和反應曲面最佳化，尋求多種派工法之最佳組合權重。本研究將透過此組合派工法，將 QCF、SPT、TPT 三種單一派工法則進行權重結合，其作法流程可見圖 3.16。

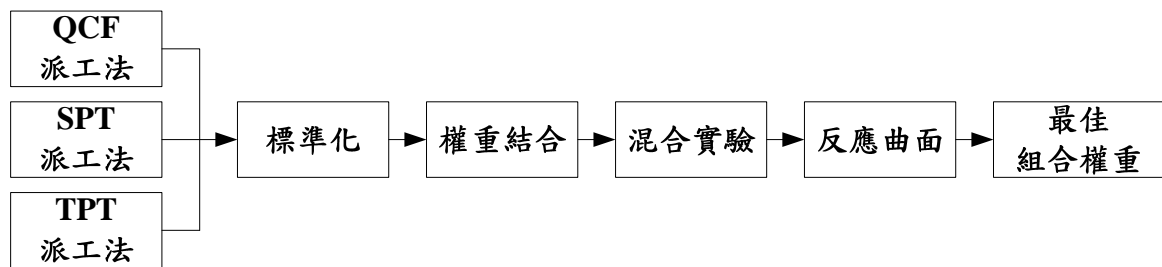


圖 3.16 組合派工法作業流程圖

組合派工法在將三種單一派工法則進行權重結合前，需先進行標準化的動作。由於各單一派工法，依據不同之加工資訊決定加工順序。不同派工法排序之依據，其單位、比例都不相同，無法進行權重結合。例如 QCF 依據工件是否具等候時間限制決定加工

順序，SPT 則根據各工件第一站加工時間進行排序，兩者之單位、比例不同，無法進行
 權重結合。標準化最主要目的，便是使各派工法之排序指標其單位、比例化為相同，使
 之能進行權重結合。

表 3.7 工件之加工資訊

工件編號	QCF	SPT	TPT
1	0.5	4	9
2	N(5000)	2	13
3	N(5000)	1	6
4	N(5000)	6	10
5	0.5	3	11
平均	3000.2	3.2	9.8
標準差	2738.34	1.92	2.59

表 3.7 列舉五個工件之加工資訊，第二行 QCF 列出各工件是否具有等候時間限制，
 0.5 代表該工件於各加工製程中之等候時間限制，N 代表該工件無等候時間限制。但由
 於進行標準化動作使之能進行排序，故將 N 給予一極大值(本研究中設定為 5000)，表示
 該工件之等候時間限制極大，相當於無等候時間限制，加工順序較後面。當加工途程確
 定後，各工件於三站之加工時間便可得知，SPT 列出各工件第一站之加工時間，TPT 則
 為各工件於三站之總加工時間。

$$\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x} \quad (24)$$

透過公式(24)進行標準化後，可得表 3.8 之結果。不同派工法參考之數據化作標準
 常態，亦即平均為 0，標準差為 1。由於三種單一派工法則均是望小為佳，故標準化後
 的數據結果，值越小代表工件之加工順序越優先。

表 3.8 工件之加工資訊(標準化數據)

標準化數據			
工件編號	QCF	SPT	TPT
1	-1.10	0.42	-0.31
2	0.73	-0.62	1.24
3	0.73	-1.14	-1.47
4	0.73	1.46	0.08
5	-1.10	-0.10	0.46

完成標準化動作後，便可將三種單一派工法作權重結合。結合的方式如公式(25)，可得知組合派工法之排序值(Priority)，並依此決定各工件之加工順序。 α 、 β 、 γ 依序代表 QCF、SPT、TPT 於組合派工法中發揮的比重，比重越大，代表該單一派工法之排程影響較大。

$$\text{Priority} = \alpha \times \text{QCF} + \beta \times \text{SPT} + \gamma \times \text{TPT}, \alpha + \beta + \gamma = 1, 0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1 \quad (25)$$

以某一權重組合進行說明， $(\alpha, \beta, \gamma) = (0.3, 0.5, 0.2)$ ，表 3.8 透過公式(25)計算後，可得知在此組合權重下，各工件進行加工之優先順序(表 3.9)。若某派工法之權重特別高，且排程績效較佳時，代表該情境適用此派工法。

$$\text{工件 1 之排序值} = 0.2 \times (-1.1) + 0.5 \times (0.42) + 0.3 \times (-0.31) = -0.18$$

表 3.9 工件之加工順序(組合派工法)

工件編號	Priority	加工順序
1	-0.18	3
2	0.15	4
3	-0.65	1
4	0.96	5
5	-0.29	2

組合派工法之權重組合有無限多種，此時便要使用實驗設計中的混合實驗(Mixture Design)。混合實驗由 Scheffe (1958)所提出，透過少量具代表性之實驗點進行實驗分析。本研究根據 Montgomery (2001)提出之擴充單體晶格設計(Augmented Simplex-Lattice Design)，採用表 3.10 列出之 10 個實驗點。這 10 個實驗點，將產生 10 種不同之組合派工方式，並可得到 10 種派工方式之排程績效。

表 3.10 混合實驗之實驗點

實驗點	α (QCF)	β (SPT)	γ (TPT)
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1/2	1/2	0
5	1/2	0	1/2
6	0	1/2	1/2
7	1/3	1/3	1/3
8	2/3	1/6	1/6
9	1/6	2/3	1/6
10	1/6	1/6	2/3

將上述由混合實驗得到之 10 個排程績效值，透過統計軟體 Minitab 建構反應曲面(如圖 3.17)，可得知組合派工法之最佳權重，亦即可分析出適合此生產情境之排程方式。若權重傾向於(1,0,0)，代表此生產情境適用 QCF 派工法。若權重傾向為(0,1,0)，代表此生產情境適用 SPT 派工法。若權重傾向(0,0,1)，代表此生產情境適用 TPT 派工法。若三種派工法皆有一定之權重，且排程績效顯著較佳，代表此情境僅適用於組合派工法，單一派工法於此情境中，無法產生較佳之排程。

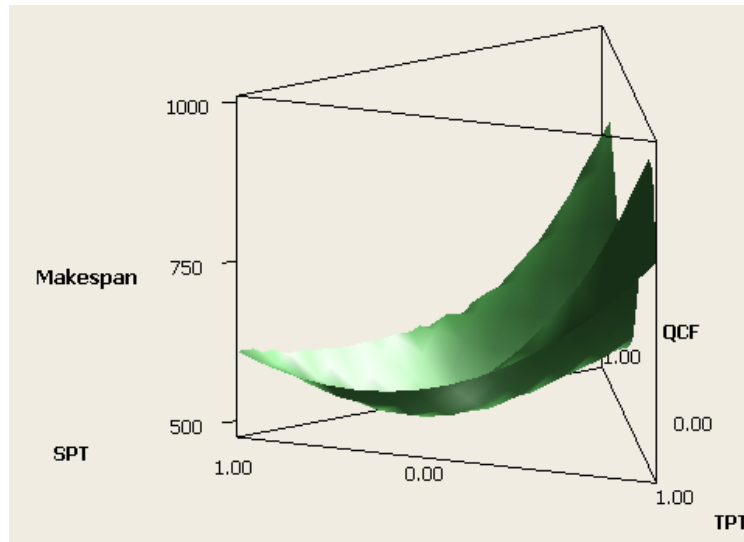


圖 3.17 反應曲面

總結本研究提出之解讀染色體方式，分成加工途程解讀與加工順序之解讀。加工途程可透過基因演算法(GA)之自然演化過程，解讀出各工件之加工途程。加工順序的部分，提出五種方法解讀，分別為原染色體排序、QCF、SPT、TPT 及組合派工法。將加工途程與加工順序之解讀方式組合，共有五種可同時決策加工途程與加工順序之方法。下面針對此五種方法以特定代號表示，並將於第四章分析各方法於各情境之排程績效。

GA-GA：GA 解讀加工途程，GA(原染色體排序)解讀加工順序。

GA-QCF：GA 解讀加工途程，QCF 派工法解讀加工順序。

GA-SPT：GA 解讀加工途程，SPT 派工法解讀加工順序。

GA-TPT：GA 解讀加工途程，TPT 派工法解讀加工順序。

GA-Combine：GA 解讀加工途程，組合派工法解讀加工順序。

3.4.4 染色體交配與突變

本研究於基因演算法中，使用 LOX(Linear Order Crossover)法則，進行染色體交配。此法由 Reeves (1995)提出。染色體交配是由一對母代染色體，產生另一對染色體稱為子代。LOX 之染色體交配方式，以圖 3.18 進行說明。首先，挑選兩條母代染色體，並於

兩條母代染色體中，隨機選取兩個切點。子代 1 繼承母代 1 兩切點內之基因格，子代 2 繼承母代 2 兩切點內之基因格。之後，子代 1 將母代 2 中所沒有之基因，由左往右依序填入，同樣子代 2 亦從母代 1 中依序填入沒有的基因。最後，產生兩條新的子代染色體。

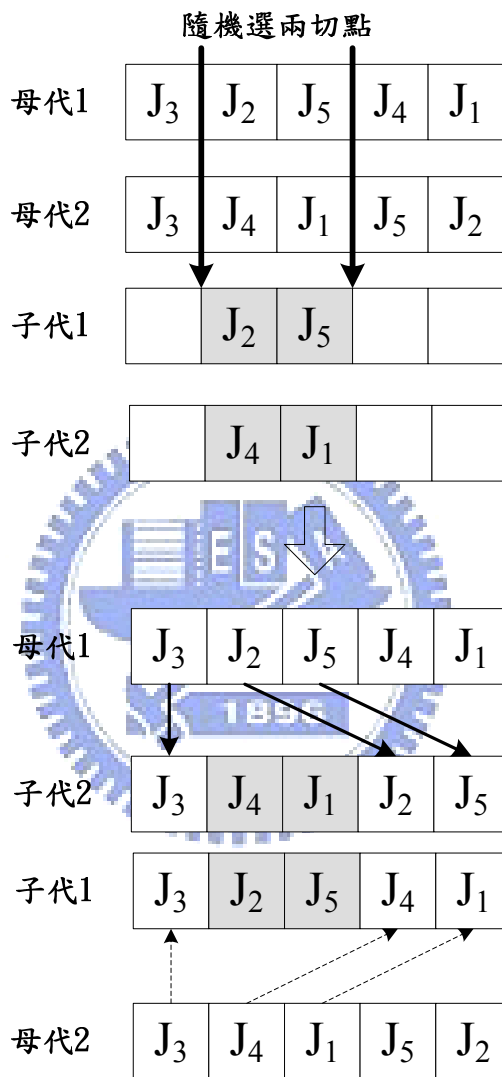


圖 3.18 染色體交配法則：LOX

突變是基因演算法避免陷入局部最佳解的方式。於本研究中使用之染色體突變方式為交換(SWAP)，作法如圖 3.19 所示。在染色體中隨機挑選兩個不同之基因格，將其對調後可產生新的染色體。

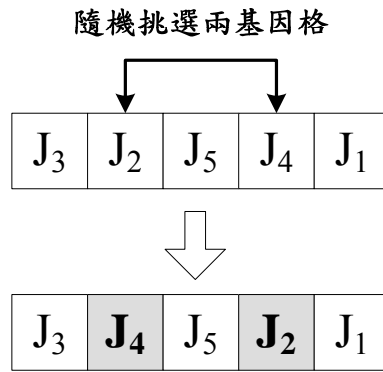


圖 3.19 染色體突變方式：SWAP

3.4.5 適合度函數(Fitness Function)

基因演算法之適合度函數計算，可由圖 3.20 得知。首先，透過前面章節介紹的染色體解讀方法，將染色體解讀成考量跨廠與不進行跨廠兩種解。跨廠解在解讀加工途程時，會考慮跨廠加工途程。不跨廠解，其加工途程則不考量跨廠。跨廠解的加工途程，可能與不跨廠解相同，代表目前染色體較適用不跨廠加工途程之解讀。

完成染色體解讀後，可得知跨廠解與不跨廠解，各工件之加工途程與各廠各站之加工順序。接著，考量等候時間限制，將工作站中等候時間超過限制之工件，進行投料、到站加工時間之調整、修正，使排程中各工件皆可滿足等候時間的限制。最後，得知各工件確切之完工時間。

各工件之完工時間確定後，透過公式(1)找出兩廠最長之總完工時間，即可得知跨廠解與不跨廠解之預排排程績效，亦即本研究基因演算法之適合度函數值。適合度函數值越小，代表該染色體適應力越佳越易存活至下一代(本研究之適合度函數為望小特性)。故比較跨廠解與不跨廠解，將適合度函數值較佳之解輸出，並用以代表此染色體之適合度函數值。

計算跨廠解之適合度函數值，若工件具等候時間限制，且其限制時間低於跨廠運輸時間。該工件將不允許進行跨廠，否則會於運輸過程中超出等候時間限制，產生良率問題。因此，染色體解讀出之跨廠解，如將等候時間限制低於跨廠運輸時間之工件，進行

跨廠加工時，此排程之績效將設定為極差，適合度函數值(C_{max})為一極大值。故在最後比較跨廠解與不跨廠解時，會挑選不跨廠解代表此條染色體。

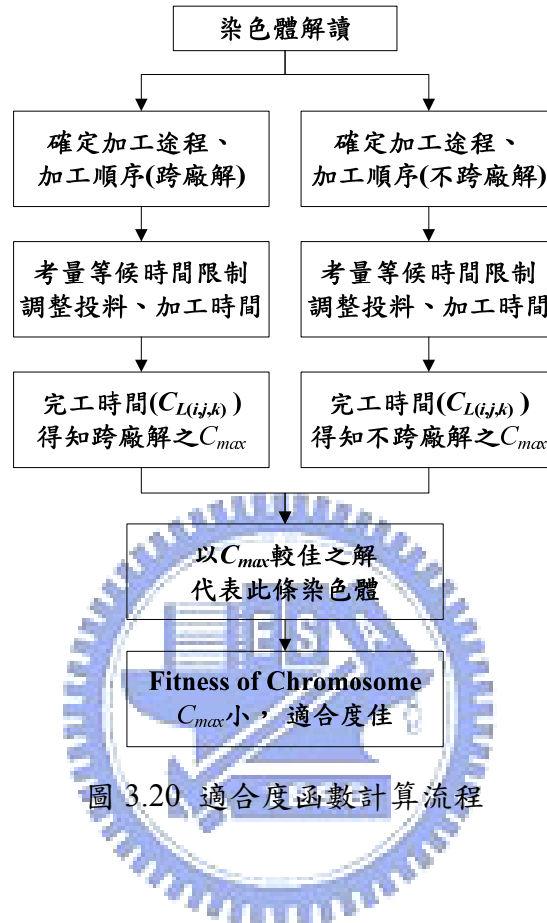


圖 3.20 適合度函數計算流程

3.4.6 基因演算法求解流程

上述章節，說明染色體之設計編碼方式，以及染色體如何透過解讀，得知工件之加工途程與加工順序，並計算出適合度函數值。在完成染色體之設計與解讀後，便可使用圖 2.6 之基因演算法求解流程，進行本研究問題之求解。首先，產生初始母代族群之。本研究中，初始母代之染色體族群，是以隨機排序基因格的方式產生。接著便可透過基因演化，產生不同之子代染色體。基因演化的方式有交配與突變，本研究使用 LOX 交配法則與，SWAP 突變法則進行染色體演化。挑選染色體進入下一代母代，本研究使用的選擇策略為競賽法。作法是從同一代族群中隨機挑選兩條染色體，比較其適合度函數，適合度較佳者複製進下一代作為母代。整個基因算法停止的條件，設定為當最佳解維持 1,000 世代都沒有被替換。或是演化世代達到 100,000 世代時即停止。

第四章 實驗分析

4.1 實驗目的

本研究之實驗目的有兩點。第一，驗證本研究提出之組合派工法，是否於不同生產情境皆能有穩健之排程績效。現實環境具等候時間限制之生產情境眾多，工件加工時間長短、各站加工時間變異，兩廠機台加工效率不同、工件有無等候時間限制等等之因素，都可能影響雙流線型工廠排程之績效結果。各單一派工法在適合情境下，會有較佳排程績效，但未必通用於各種生產情境。實際情況，生產者可能無法得知，其生產環境適用何種派工法則。針對此問題，本研究結合多種單一派工法則，提出適用較多情境之組合派工法，供生產者進行排程規劃。後面章節針對四種不同之生產情境進行實驗，驗證組合派工法在不同情境下，皆能有穩健之排程績效，而單一派工法卻無法如此。

第二項實驗目的，分析等候時間限制是否影響加工途程之決策。在沒有等候時間限制之情境，兩廠之加工效率差異越大，加工途程之決策會傾向於跨廠，排程績效明顯較不跨廠佳。但在具等候時間限制之生產情境下，加工途程之決策可能會有所不同。工件之等候時間限制，將限制工件進行跨廠。具等候時間限制之工件如進行跨廠加工，其在工作站前所能等候之時間便更短(增加運輸時間之等待)，可能使工件超出等候時間限制，進而導致整體完工時間之延長，降低排程績效。故後面的章節，在考量等候時間限制下，將針對兩廠加工效率相同與不協調之情境，比較跨廠與不跨廠加工途程之排程績效，藉以分析出等候時間限制對加工途程決策之影響。

4.2 實驗情境與相關參數

本研究在考量等候時間限制下，進行雙流線型工廠之排程規劃。實驗情境滿足本研究之假設與限制，為兩流線型生產工廠(工廠 A、B)，各工件可於工廠 A 進行加工，或於工廠 B 進行加工。各廠皆有三個工作站，各站具有一機台可進行加工，但各廠各站之加工效率可能不同，加工時間之單位為小時。跨廠運輸時間設定為 0.16 小時。工件依據是否具等候時間限制分為兩種，無等候時間限制與具等候時間限制。工件如具等候時間

限制，在各加工站間所能等候之時間產生 0.5 小時之限制，超過即產生良率問題。如圖 4.1 所示，如工件具等候時間限制，在工作站 1、工作站 2 與工作站 3 之間，都將產生 0.5 小時之等候時間限制。

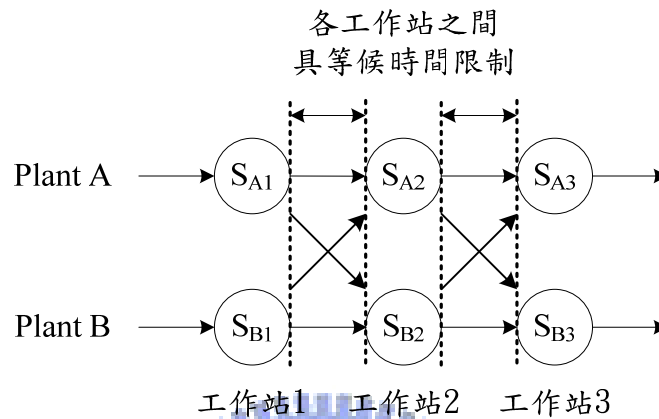


圖 4.1 本研究實驗情境示意圖

本研究使用基因演算法進行問題之求解，初始母代族群之染色體數設定為 100 條。交配率為 0.8，突變率為 0.2。每次演化所產生之子代染色體數，由公式(26)計算得知為 100 條。演化停止條件是當演化代數達 100,000 代，或最佳解維持代數達 1,000 代。

$$\text{每代演化產生之子代染色體數} = \text{交配率} \times \text{母代數量} + \text{突變率} \times \text{母代數量} \quad (26)$$

4.3 組合派工法於不同生產情境之排程績效

為驗證組合派工法於不同生產情境下，皆能有穩健之排程績效。本研究列舉四種生產情境，各別適用於三種單一派工法及組合派工法。各生產情境皆實驗五種工件數，分別是 20、40、60、80 與 100 個工件，每種情境皆執行 15 次並取平均進行分析。下面將針對這四種生產情境作介紹，並分析各派工法於各情境中之排程績效。

4.3.1 實驗生產情境一

此生產情境，工件分兩種。第一種工件，工作站 1 之加工時間為均勻分配 $U(4,5)$ ，工作站 2 之加工時間為均勻分配 $U(1,5)$ ，工作站 3 之加工時間為均勻分配 $U(50,80)$ 。第二種工件，工作站 1 之加工時間為均勻分配 $U(3,4)$ ，工作站 2 之加工時間為均勻分配 $U(50,80)$ ，工作站 3 之加工時間為均勻分配 $U(1,5)$ 。兩種工件於三站之加工時間變異大，第二種工件在第一站之加工時間較第一種工件小，且兩種工件之瓶頸位置不同。工件有無等候時間限制以隨機方式決定。

此情境適合以 QCF 派工，原因在於兩種工件皆可能有等候時間限制。此時 QCF 派工法會優先加工有等候時間限制之工件，避免超出限制而延長整體完工時間。並且不限制先做那一種工件，使兩種工件能夠交錯排序，避免等候時間之產生。SPT 與 TPT 較不適用之原因在於，兩種派工法都會先排第二種工件進行加工。因為第二種工件於第一站之加工時間較小，且總加工時間平均來說亦較小，故會被優先加工。此時，第二種工件都會被先排序，導致工件在第二站產生嚴重堵塞(第二種工件之瓶頸位於工作站 2)。之後再排第一種工件進行加工，又會使工件在工作站 3 嚴重堵塞(第一種工件之瓶頸位於工作站 3)。整體而言，大量的工件發生等候，使工件超出等候時間限制之可能大幅增加，嚴重拖延整體之總完工時間，使排程績效變差。

五種派工法於生產情境一之排程績效，可從表 4.1、表 4.2、表 4.3、表 4.4、表 4.5 之實驗結果得知。結果顯示，排程績效最好的是 GA-GA，接著是 GA-QCF 與 GA-Combine，最差的則是 GA-SPT。由於組合派工法求出之最佳權重組合為(1,0,0)，代表此情境以 QCF 進行派工會會有不錯之排程績效。故組合派工法之排程績效以星號表示，代表其排程績效與 GA-QCF 相同。

表 4.1 情境一之實驗數據(20 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	338.555	0.98%
GA-QCF	341.893	0.00%
GA-SPT	456.164	-33.42%
GA-TPT	432.063	-26.37%
(1,0,0)	341.893	0.00%

表 4.2 情境一之實驗數據(40 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	686.951	0.61%
GA-QCF	691.167	0.00%
GA-SPT	1038.054	-50.19%
GA-TPT	859.893	-24.41%
(1,0,0)	691.167	0.00%

表 4.3 情境一之實驗數據(60 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	1084.265	7.65%
GA-QCF	1174.019	0.00%
GA-SPT	1624.897	-38.40%
GA-TPT	1496.547	-27.47%
(1,0,0)	1174.019	0.00%

表 4.4 情境一之實驗數據(80 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	1435.887	6.69%
GA-QCF	1538.773	0.00%
GA-SPT	2207.189	-43.44%
GA-TPT	1745.177	-13.41%
(1,0,0)	1538.773	0.00%

表 4.5 情境一之實驗數據(100 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	1719.165	8.74%
GA-QCF	1883.785	0.00%
GA-SPT	2671.126	-41.80%
GA-TPT	2174.952	-15.46%
(1,0,0)	1883.785	0.00%

4.3.2 實驗生產情境二

情境二之生產情境，工件只有一種，且三站之加工時間都為均勻分配 $U(28,32)$ ，但兩廠之加工效率不協調。在第一站，工件在 A 廠的加工時間為 B 廠之 1.5 倍。第二、三站，工件在 B 廠之加工時間則為 A 廠之 1.5 倍。工件有無等候時間限制同樣以隨機方式決定。此情境較適合以 SPT 進行派工。第一站兩廠之加工效率不同，使工件於第一站的加工時間有快慢之分，且三站之加工時間變異較小，使 SPT 派工法能發揮功用。SPT 派工法會讓前段加工快之工件先加工，讓部分工件很快到後段。使工件不致於擠在前段，造成等候時間增加。

五種派工法於此生產情境之排程績效，可從表 4.6、表 4.7、表 4.8、表 4.9、表 4.10 之實驗結果得知。結果顯示，排程績效最好的是 GA-SPT，接著是 GA-Combine，最差的則是 GA-GA。組合派工法求出之最佳權重組合，其中 SPT 之權重顯著較高 (> 0.7)，但 QCF 亦有部分之權重。此種權重組合，除了能發揮 SPT 派工法之優點外，亦考量工件有無等候時間限制，避免有等候時間限制之工件進效率差的廠加工，進而產生較多之等候時間。

表 4.6 情境二之實驗數據(20 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	366.008	-14.89%
GA-QCF	355.884	-11.71%
GA-SPT	312.252	1.98%
GA-TPT	366.012	-14.89%
(0.1985,0.8015,0)	318.566	0.00%

表 4.7 情境二之實驗數據(40 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	720.203	-25.18%
GA-QCF	684.343	-18.95%
GA-SPT	560.017	2.66%
GA-TPT	672.207	-16.84%
(0.261,0.739,0)	575.313	0.00%

表 4.8 情境二之實驗數據(60 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	1001.479	-22.20%
GA-QCF	988.425	-20.60%
GA-SPT	803.004	2.02%
GA-TPT	992.240	-21.07%
(0.2686,0.7314,0)	819.558	0.00%

表 4.9 情境二之實驗數據(80 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	1419.654	-29.89%
GA-QCF	1435.990	-31.39%
GA-SPT	1077.559	1.41%
GA-TPT	1309.141	-19.78%
(0.2642,0.7358,0)	1092.941	0.00%

表 4.10 情境二之實驗數據(100 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	1791.720	-34.37%
GA-QCF	1793.147	-34.47%
GA-SPT	1319.882	1.02%
GA-TPT	1622.997	-21.71%
(0.2159,0.7841,0)	1333.466	0.00%

4.3.3 實驗生產情境三

此生產情境，工件分兩種。第一種工件無等候時間限制，在工作站 1 與工作站 2 之加工時間固定為 2 小時，工作站 3 之加工時間為均勻分配 $U(50,80)$ 。第二種工件都有等候時間之限制，在工作站 1 之加工時間固定為 1 小時，工作站 2 之加工時間為均勻分配 $U(50,80)$ ，工作站 3 之加工時間固定為 2 小時。兩種工件於三站之加工時間變異大，第二種工件在第一站之加工時間較第一種工件小，且兩種工件之瓶頸位置不同。

此生產情境適合 TPT 派工法。由於工件之總加工時間變異較大，故 TPT 派工法會將兩種工件交錯排序，如此可避免等候時間發生。而 QCF 與 SPT 派工法，兩者皆會優先加工第二種工件，等第二種工件完工後再加工第一種工件。如此，將造成第二種工件在第二站堵塞，第一種工件則在第三站堵塞，大幅增加等候時間，使工件超出等候時間限制，拖長整體之總完工時間，使排程績效變差。

五種派工法於此生產情境之排程績效，可從表 4.11、表 4.12、表 4.13、表 4.14、表 4.15 之實驗結果得知。結果顯示，排程績效最好的是 GA-GA，接著是 GA-TPT，其次才為 GA-Combine，但與 GA-TPT 之排程績效相近。最差的則是 GA-QCF。組合派工法求出之最佳權重組合中，TPT 之權重顯著較高 (> 0.7)，但 QCF 仍亦有部分之權重。

表 4.11 情境三之實驗數據(20 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	336.911	9.89%
GA-QCF	638.811	-70.85%
GA-SPT	507.728	-35.79%
GA-TPT	373.899	0.00%
(0,0,1)	373.899	0.00%

表 4.12 情境三之實驗數據(40 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	690.394	25.82%
GA-QCF	1317.231	-41.53%
GA-SPT	1138.687	-22.35%
GA-TPT	892.125	4.14%
(0.0691,0,0.9309)	930.686	0.00%

表 4.13 情境三之實驗數據(60 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	1041.030	27.54%
GA-QCF	1979.890	-37.80%
GA-SPT	1773.108	-23.41%
GA-TPT	1330.972	7.36%
(0.1445,0,0.8555)	1436.777	0.00%

表 4.14 情境三之實驗數據(80 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	1343.931	26.73%
GA-QCF	2555.248	-39.31%
GA-SPT	2345.123	-27.85%
GA-TPT	1798.085	1.97%
(0.1663,0,0.8337)	1834.217	0.00%

表 4.15 情境三之實驗數據(100 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	1697.008	26.84%
GA-QCF	3214.297	-38.57%
GA-SPT	2987.894	-28.81%
GA-TPT	2187.581	5.69%
0.1404,0,0.8596	2319.565	0.00%

4.3.4 實驗生產情境四

此生產情境，工件分兩種。第一種工件無等候時間限制，在工作站 1 之加工時間為均勻分配 $U(50,80)$ 。工作站 2、3 之加工時間皆為均勻分配 $U(1,5)$ 。第二種工件具有等候時間之限制，工作站 1 之加工時間固定為 4 小時，工作站 2 之加工時間為均勻分配 $U(90,100)$ ，工作站 3 之加工時間為均勻分配 $U(1,5)$ 。兩種工件於三站之加工時間變異大，且兩種工件之瓶頸位置不同。

在此生產情境下，QCF、SPT、TPT 三種單一派工法皆會優先加工第二種工件，之後再加工第一種工件。此時便會發生第二種工件大量堵塞在第二站，第一種工件則在第三站大量堵塞，拖長整體之總完工時間，使排程績效不佳。因此，組合派工法在結合 QCF、SPT、TPT 三種單一派工法後，能同時考量各工件第一站加工時間、總加工時間與是否具等候時間限制等因素，將兩種工件交錯進行排程，使工件無過多之等候時間，應可使排程績效較佳。

五種派工法於此生產情境之排程績效，從表 4.16、表 4.17、表 4.18、表 4.19、表 4.20 之實驗結果可得知。結果顯示，排程績效最好的是 GA-GA，接著便是 GA-Combine，表現最差的則是 GA-TPT。組合派工法之最佳權重組合中，三種單一派工法 QCF、SPT 與 TPT，皆有一定程度，且排程績效明顯優於三種單一派工法，證明此情境確實適合組合派工法進行派工。

表 4.16 情境四之實驗數據(20 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	492.553	3.94%
GA-QCF	722.220	-40.85%
GA-SPT	609.339	-18.84%
GA-TPT	818.725	-59.68%
(0.302,0.3986,0.2994)	512.740	0.00%

表 4.17 情境四之實驗數據(40 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	992.214	6.51%
GA-QCF	1504.527	-41.76%
GA-SPT	1235.505	-16.41%
GA-TPT	1602.941	-51.03%
(0.2076,0.5231,0.2693)	1061.347	0.00%

表 4.18 情境四之實驗數據(60 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	1485.628	6.90%
GA-QCF	2341.995	-46.77%
GA-SPT	1883.835	-18.06%
GA-TPT	2441.304	-52.99%
(0.2216,0.4788,0.2996)	1595.680	0.00%

表 4.19 情境四之實驗數據(80 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	1955.382	13.13%
GA-QCF	3092.115	-37.38%
GA-SPT	2508.510	-11.45%
GA-TPT	3192.777	-41.85%
(0.2354,0.5016,0.2629)	2250.813	0.00%

表 4.20 情境四之實驗數據(100 個工件)

派工法	C_{max}	改善率
GA-GA	2458.555	13.00%
GA-QCF	3861.396	-36.64%
GA-SPT	3093.429	-9.47%
GA-TPT	3962.677	-40.23%
0.2165,0.5109,0.2726	2825.902	0.00%

4.3.5 求解時間

分析完四種生產情境之排程績效後，下面將分析五種派工法之求解時間。即使派工法能有不錯之排程績效，但若求解時間過長，便不適用於真實環境，提供生產人員進行排程之預排。五種方法之求解時間見表 4.21、表 4.22、表 4.23、表 4.24、表 4.25。

表 4.21 求解時間(20 個工件)

派工法	求解時間	增加率
GA-GA	102.175	12.48%
GA-QCF	81.982	-9.75%
GA-SPT	99.169	9.17%
GA-TPT	92.796	2.16%
GA-Combine	90.835	0.00%

表 4.22 求解時間(40 個工件)

派工法	求解時間	增加率
GA-GA	434.537	4.81%
GA-QCF	309.937	-25.24%
GA-SPT	371.245	-10.45%
GA-TPT	322.647	-22.17%
GA-Combine	414.576	0.00%

表 4.23 求解時間(60 個工件)

派工法	求解時間	增加率
GA-GA	891.237	-20.56%
GA-QCF	865.203	-22.88%
GA-SPT	850.927	-24.15%
GA-TPT	839.438	-25.18%
GA-Combine	1121.902	0.00%

表 4.24 求解時間(80 個工件)

派工法	求解時間	增加率
GA-GA	2675.512	-4.53%
GA-QCF	1933.723	-31.00%
GA-SPT	1943.894	-30.63%
GA-TPT	1605.400	-42.71%
GA-Combine	2802.332	0.00%

表 4.25 求解時間(100 個工件)

派工法	求解時間	增加率
GA-GA	5429.652	-2.02%
GA-QCF	2997.042	-45.92%
GA-SPT	4430.739	-20.05%
GA-TPT	3554.085	-35.87%
GA-Combine	5541.681	0.00%

根據表 4.21 到表 4.25 之數據，可得知 GA-Combine 之求解時間較其它四種方法長。組合派工法之求解時間，包含三部分，不同權重(10 個實驗點)進行求解、分析最佳權重與最佳權重進行求解。表 4.21 到表 4.25 中，GA-Combine 顯示的求解時間，只呈現最佳權重進行求解所花之時間。最長求解時間發生在 100 個工件，每次求解平均需 5000 多秒(約 1.5 小時)。

若以多台電腦進行運算，可同時分析不同權重(10 個實驗點)，其求解時間以最長求解時間(GA-Combine)代表。分析最佳權重之時間相對較短，忽略不計。面對 100 個工件之排程，GA-Combine 真正需要的求解時間亦只有 3 小時(1.5 + 1.5)，在現實環境進行排

程預排時，為可接受時間。其它四種方法之求解時間不會比 GA-Combine 長，故本研究提出的五種派工法，其求解時間皆為可接受程度。

4.3.6 小結

針對本研究設計之實驗資料，各工件可能於第一站加工時間短，但第二站加工時間很長。此生產情境以實際紡織業為例，第一類產品要做白色布但有繡花邊，第二類產品要做純黑布。工作站第一站為染色，第二站為繡花。故第一類產品於第一站加工時間極短，只需進行顏色確認，但第二站加工時間會較長。第二類產品在第一站加工時間極長，進行染色與烘乾等程序，並需於一定時間內到下一站加工，否則空氣中之濕度可能造成問題，但第二站不用繡花，故檢查後即可完工。因此，於本研究實驗之生產情境資料，都能於實際情境中找出相似之個例，故讓實驗結果具可信度。

整合前面四種生產情境之實驗結果可以發現，沒有一種派工法在所有情境下皆能有最佳排程績效。並且，除了 GA-Combine 之外，其餘四種方法皆有績效極差之情境。GA-GA 在情境二表現極差，GA-QCF 在情境三表現極差，GA-SPT 在情境一表現最差，GA-TPT 則在情境四。GA-Combine 雖然在四種生產情境中，排程績效都不是最好的，但都可維持不錯之排程績效，為較穩健之排程方式。上述之實驗結果，驗證本研究之第一點實驗目的。本研究提出之組合派工法在不同生產情境中，確實能有穩健之排程績效。此外，在大部分情境中，組合派工法之最佳權重，或多或少都有 QCF 之權重。代表在具等候時間限制之生產情境下，工件是否具等候時間限制之考量是必要的。

4.4 等候時間限制對加工途程決策之影響

本研究第二項實驗目的，是分析等候時間限制對加工途程決策之影響。沒有等候時間限制之生產情境，兩廠加工效率差異越大，解讀加工途程時，考量跨廠之加工途程方式，其排程績效會明顯較不跨廠排程佳。因為，工件透過跨廠加工，可使加工時間縮短，降低整體之總完工時間。

但是在具有等候時間限制之情境下，即便兩廠加工效率不協調，工件也無法隨意進行跨廠加工。若雙流線型工廠排程只考量兩廠加工效率之不同，任意讓工件進行跨廠，額外增加的跨廠運輸時間，可能會導致工件超出等候時間限制，進而拖延整體排程，使排程績效變差。但若不進行跨廠，兩廠之加工效率不協調，部分工件只能在效率差的廠加工，反而也會使整體完工時間拖長，降低排程績效。因此，針對雙流線型工廠排程問題，本研究將分析等候時間限制對加工途程決策產生的影響，以提供生產人員正確之排程考量。

本研究將上一章節情境四(適合組合派工)之資料，以組合派工法進行求解，比較跨廠與不跨廠解之排程績效，分析其加工途程之決策。從表 4.26 到表 4.30 之實驗結果可知，跨廠加工途程之排程績效明顯比不跨廠解佳，且改善率大多有 40%到 50%。說明此生產情境，較適合進行跨廠加工。

表 4.26 兩廠效率相同之排程績效(20 個工件)

加工途程	C_{max}	改善率
跨廠	512.740	50.60%
不跨廠	1037.908	0.00%

表 4.27 兩廠效率相同之排程績效(40 個工件)

加工途程	C_{max}	改善率
跨廠	1061.347	47.56%
不跨廠	2023.918	0.00%

表 4.28 兩廠效率相同之排程績效(60 個工件)

加工途程	C_{max}	改善率
跨廠	1595.680	49.19%
不跨廠	3140.265	0.00%

表 4.29 兩廠效率相同之排程績效(80 個工件)

加工途程	C_{max}	改善率
跨廠	2250.813	43.43%
不跨廠	3978.912	0.00%

表 4.30 兩廠效率相同之排程績效(100 個工件)

加工途程	C_{max}	改善率
跨廠	2825.902	43.18%
不跨廠	4973.660	0.00%

接著，本研究將情境四之實驗資料，調整成兩廠加工效率不協調，也就是工件於 A 廠第二站之加工時間增加為 B 廠之 3 倍。如此，兩廠之加工效率便產生差異。工件在第二站會傾向到 B 廠加工，因加工時間較短。但有一半的工件卻可能因為具有等候時間限制，進而限制進行跨廠加工。為了分析此生產情境之加工途程決策，本研究將實驗數據透過 GA-Combine 進行求解，可得到表 4.31 到表 4.35 之結果。結果顯示，20 個工件之情境會變成傾向不跨廠，且排程績效較跨廠佳。40 個工件到 100 個工件之情境，加工途程決策雖仍傾向於跨廠加工，但跨廠加工途程較不跨廠績效之改善降低到 20%到 30%。

表 4.31 兩廠效率不協調之排程績效(20 個工件)

加工途程	C_{max}	改善率
跨廠	1223.230	-25.52%
不跨廠	911.023	0.00%

表 4.32 兩廠效率不協調之排程績效(40 個工件)

加工途程	C_{max}	改善率
跨廠	1551.060	26.70%
不跨廠	2116.074	0.00%

表 4.33 兩廠效率不協調之排程績效(60 個工件)

加工途程	C_{max}	改善率
跨廠	2358.900	28.24%
不跨廠	3287.134	0.00%

表 4.34 兩廠效率不協調之排程績效(80 個工件)

加工途程	C_{max}	改善率
跨廠	3249.074	23.64%
不跨廠	4254.955	0.00%

表 4.35 兩廠效率不協調之排程績效(100 個工件)

加工途程	C_{max}	改善率
跨廠	3889.908	28.11%
不跨廠	5410.579	0.00%

針對上述實驗結果，當兩廠加工效率相同時，排程績效已傾向跨廠。原因在於，實驗情境四中，各工件之間的加工時間變異大，加工時間在第一站變異大，但第二站變異極小。此情況可能造成染色體切點位置不同，產生跨廠加工途程。但在工件加工時間變異都很大的情況下，本研究主要針對兩廠加工效率的不同去分析跨廠決策，故實驗結果不因各工件之加工時間變異而有所影響。實驗目的主要驗證在具等候時間限制之情境下，加工途程決策並非兩廠加工效率越大，跨廠越好

當兩廠加工效率不協調且工件數少時，排程傾向於不進行跨廠。原因在於工件數越少，兩廠產能負荷越低，工件發生等候的情況也越少。但此時若強迫工件進行跨廠加工，將造成工件可等候之時間越短，反會導致超出等候時間限制，增加整體總完工時間，降低排程績效，故不跨廠解較佳。當工件數越多時，兩廠產能負荷加重，工件等候的情況越嚴重。如此，工件需透過跨廠到效率高的廠，加快生產進度以減少等候時間。因此，即便工件具有等候時間限制，但工件數過多時，效率低的廠加工進度過慢，大量等候時間將導致總完工時間嚴重拖延。故當工件數越多，跨廠加工途程會有較佳之排程績效。

在無等候時間限制之情境下，兩廠加工效率越不協調，跨廠加工途程之排程績效會明顯較不跨廠佳。但根據本研究之實驗結果，在等候時間限制之情境下，兩廠加工效率不協調，跨廠加工途程之績效反而沒有更顯著贏過不跨廠排程，其績效之改善程度反而下降。甚至在 20 個工件的情境下，傾向不跨廠之加工途程。由此可知，等候時間限制確實會影響加工途程之決策。

具等候時間限制之情境下，加工途程決策除了考量兩廠加工效率是否不同，工件之等候時間限制也是需要被考慮。若加工途程之決策僅考量兩廠加工效率，即便兩廠加工效率差異極大，但強迫工件進行跨廠，可能將導致工件超出等候時間限制，拖延整體之完工時間，使排程績效變差。但不進行跨廠，兩廠之加工效率不協調，工件在加工效率差的廠進行加工，也會使整體總完工時間增長。這點可從表 4.31 到表 4.35 之實驗數據得知，即便半數工件具等候時間限制，但當工件數超過 40 時，排程仍是以跨廠加工途程為佳，且改善績效可達 20%。因此，正確之加工途程決策是相當重要的。



第五章 結論與未來研究

5.1 結論

本研究針對雙流線型工廠排程，加入等候時間限制之考量，同時進行加工途程與加工順序之決策。在進行排程預排時，考量等候時間限制可確保工件之良率，但卻會降低機台之產能利用，增加總完工時間並降低產出。因此，本研究建構一基因演算法，考量各工件之等候時間限制，以兩廠最長總完工時間之最小化為目標，同時決策工件之加工途程與加工順序。

針對雙流線型工廠排程之加工途程決策，本研究之基因演算法可同時分析跨廠與不跨廠兩種加工途程。並且，根據生產情境之不同，提供滿足等候時間限制及維持產出能力之加工途程建議。

對於加工順序之決策，本研究結合三種單一派工法，產生組合派工法則。透過四種不同生產情境之實驗得知，除了本研究提出之組合派工法，其餘方法皆有績效極差之情境，驗證了組合派工法之排程穩健性。在不知現實生產情境適用何種派工法時，可建議使用本研究之組合派工法。雖未必可得到最佳之排程，但能產生不錯之可行解，避免最差之排程結果。此外，組合派工法之求解時間，在工件數多時，亦為預排排程之可接受時間。

本研究提出之組合派工法包含三種單一派工法，除了具有較為穩健之排程績效外，選擇那些派工法進行結合，亦是本研究之貢獻。如果目標式為總完工時間，但卻選考量交期之派工法來進行權重組合，對排程績效之改善將無幫助。因此，找出三種派工法使總完工時間能有效降低，為本研究之另一貢獻。

本研究對雙流線型工廠排程之貢獻，在於加工途程與加工順序之決策上，除了滿足等候時間限制確保良率，並同時維持產能利用及產出，最小化兩廠之總完工時間，使能答覆客戶之訂單交期縮短，提升企業競爭力。並且，透過跨廠加工途程之考量，整合兩廠產能，進行生產排程規劃。

5.2 未來研究

在本研究中，工件如具等候時間限制，其限制之時間皆假設相同。但現實生產環境中，各工件之等候時間限制，可能因批量大小，產品特性等因素，有長短之分。若等工件之等候時間限制低於跨廠運輸之時間，則此工件便不適合跨廠加工，否則便會於運輸過程產生良率問題。因此，可針對等候時間限制與跨廠運輸時間長短之不同，擴充本研究之問題模型，分析這些因素對加工途程與加工順序決策之影響。

除了等候時間限制與兩廠加工效率之外，影響跨廠決策之因素相當多，例如各工件之加工時間變異、各工作站之加工時間變異、等候時間限制長短、運輸時間長短等等。這些因素可能單一項即對加工途程決策產生影響，亦有可能多項因素結合起來產生不同的影響。因此，可建議為未來研究延伸之方向，分析跨廠決策與各項加工資訊的相關性與適合情境。

另一個延伸方向，是將本研究維持產出之單一目標，加入交期之考量。在完成排程預排後，可得知各工件之確定交期。根據此交期，在實際現場進行排程，考量機台當機、插單、等候時間限制等因素。修正本研究基因演算法之加工途程與加工順序之解讀，使之能滿足交期、良率及產出能力，並且在不同情境下亦能具備排程穩健性。

參考文獻(英文部分)

- Allahverdi A., Gupta J.N.D. and Aldowaisan T. (1999). A review of scheduling research involving setup considerations. *Omega-International Journal of Management Science* **27**: 219-239.
- Allaoui H. and Artiba A. (2004). Integrating simulation and optimization to schedule a hybrid flow shop with maintenance constraints. *Computers & Industrial Engineering* **47**: 431-450.
- Allahverdi A., Ng C.T. and Cheng T.C.E. (2008). A survey of scheduling problems with setup times or costs. *European Journal of Operational Research* **187**: 985-1032.
- Cheng T.C.E., Gupta J.N.D. and Wang G.Q. (2000). A review of flowshop scheduling research with setup times. *Production and Operations Management* **9**: 262-282.
- Dabbas R.M., Chen H.N., Arora G. and McCarville D.R. (1999). An approach for combining multiple dispatching criteria at motorola MEMSI semiconductor fabrication facility. *Sumer Computer Simulation Conference*.
- Dabbas R.M., Chen H.N., Fowler J.W. and Shunk D. (2001). A combined dispatching criteria approach to scheduling semiconductor manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering* **39**: 307-324.
- Dabbas R.M. and Fowler J.W. (2003). A new scheduling approach using combined dispatching criteria in wafer fabs. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* **16**: 501-510.
- Dabbas R.M., Fowler J.W., Rollier D.A. and McCarville D. (2003). Multiple response optimization using mixture-designed experiments and desirability functions in semiconductor scheduling. *International Journal of Production Research* **41**: 939-961.
- França P.M., Tin G. and Buriol L.S. (2006). Genetic algorithms for the no-wait flowshop sequencing problem with time restrictions. *International Journal of Production Research* **44**: 939-957.

- Goldberg D.E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Addison-Wesley, Boston.
- Guinet A. (2001). Multi-site planning: A transshipment problem. *International Journal of Production Economics* **74**: 21-32.
- Holland J.H. (1975). *Adaptation in Neural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Janiak A., Kozan E., Lichtenstein M. and Oguz C. (2007). Metaheuristic approaches to the hybrid flow shop scheduling problem with a cost-related criterion. *International Journal of Production Economics* **105**: 407-424.
- Jungwattanakit J., Reodecha M., Chaovalitwongse P. and Werner F. (2008). Algorithms for flexible flow shop problems with unrelated parallel machines, setup times, and dual criteria. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* **37**: 354-370.
- Low C. (2005). Simulated annealing heuristic for flow shop scheduling problems with unrelated parallel machines. *Computers & Operations Research* **32**: 2013-2025.
- Montgomery D.C. (2001). *Design and Analysis of Experiments*, fifth ed., John Wiley & Sons, Inc., NJ, 427-510.
- Reeves C.R. (1995). A genetic algorithm for flowshop sequencing. *Computer Operation Research* **22**: 5-13.
- Scheffe H. (1958). Experiments with mixtures. *J. Roy. Statist. Soc. Ser. B.* **20**: 344-360
- Scholl W. and Domaschke J. (2000). Implementation of Modeling and Simulation in Semiconductor Wafer Fabrication with Time Constraints between Wet Etch and Furnace Operations. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* **13**: 273-277.
- Sambasivan M. and Yahya S. (2005). A Lagrangean-based heuristic for multi-plant, multi-item, multi-period capacitated lot-sizing problems with inter-plant transfers. *Computers & Operations Research* **32**: 537-555.
- Toba H., Izumi H., Hatada H. and Chikushima T. (2005). Dynamic load balancing among

- multiple fabrication lines through estimation of minimum inter-operation time. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* **18**: 202-213.
- Tu Y.M. and Liou C.S. (2006). Capacity Determination Model with Time Constraints and Batch Processing in Semiconductor Wafer Fabrication. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers* **23**: 192-199.
- Tajan J.B.C., Sivakumar A.I. and Gershwin,S.B. (2007). Control of Job Arrivals with Processing Time Windows into Batch Processor Buffer. *Manufacturing Systems and Technology*.
- Wang L. and Zheng D.Z. (2003). An effective hybrid heuristic for flowshop scheduling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* **21**: 38-44.
- Wu M.C. and Chang W.J. (2007). A short-term capacity trading method for semiconductor fabs with partnership. *Expert Systems with Applications* **33**: 476-483.
- Wu M.C., Chen C.F. and Shih C.F. (2008). Route Planning for Two Wafer Fabs with Capacity-Sharing Mechanisms. *International Journal of Production Research* DOI: 10.1080/00207540802172029.
- Yang D.L. and Chern M.S. (1995). A two-machine flowshop sequencing problem with limited waiting time constraints. *Computers and Industrial Engineering* **28**: 63-70.

參考文獻(中文部分)

古庭諭 (2006),「多廠區多階製程之訂單分配—以半導體晶圓針測與 IC 封測產業為例」, 碩士論文, 元智大學。

張美滿 (2002),「多廠區跨廠產能規劃之探討」, 碩士論文, 元智大學。

陳建宇 (2006),「以基因演算法結合層級分析法求解多廠區訂單分配問題」, 碩士論文, 國立政治大學。

黃俊嘉 (2005),「多廠整合型生產指派與排程系統之最佳化」, 碩士論文, 東海大學。

劉謹銘 (2009),「以基因演算法求解雙流線型工廠排程」, 碩士論文, 國立交通大學。

