

國立交通大學
工業工程與管理學系

碩士論文

考慮需求不確定和等候時間限制之機台
組態決策



A Tool Portfolio Planning with Waiting Time Constraints
under Demand Uncertainty

研究生：林雨欣

指導教授：許錫美 博士

中華民國九十八年六月

考慮需求不確定和等候時間限制之機台 組態決策

A Tool Portfolio Planning with Waiting Time Constraints
under Demand Uncertainty

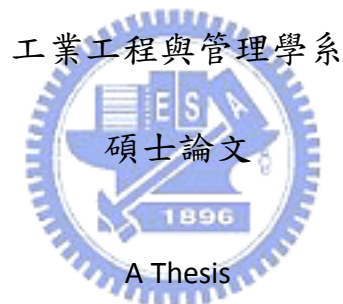
研究生：林雨欣

Student：Yu-Hsin Lin

指導教授：許錫美 博士

Advisor：Dr. Hsi-Mei Hsu

國立交通大學



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

June 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

考慮需求不確定和等候時間限制之機台組態決策

研究生：林雨欣

指導教授：許錫美 博士

國立交通大學工業工程與管理學系

摘要

本研究探討晶圓製造的擴散區之機台組態規劃問題。擴散區之生產情境如下：(1)需求不確定，含需求總量和產品組合的不確定；(2)生產系統是三階段的流程式生產線，在第一及第二階段，各機台的加工單位為單批加工，第三階段為批次加工，相同產品的工件才可並批；(3)各工件在各階段有等候時間限制，若工件在等候區中的等候時間超過上限時，則須重回第一階段重新加工。本研究提出系統化的方法，考慮缺貨與機台折舊成本，以期望總成本最小化為目標，求解擴散區各階段最適的機台數量。

首先建立一等候網路模型(MSTCB 模型)，在給定的機台組合、需求總量情境與產品組合情境下，考慮各階段的重工率限制(等候時間限制)，以最大產出率為目標，估算產出量與機台利用率。並設計電腦模擬程式驗證 MSTCB 模型的精確度。

隨之構建機台組態規劃模型(TP-MDMX 模型)，由 MSTCB 模型輸入各機台組合下，各種需求情境下的產出量及機台利用率，由此構建各需求情境的需求量、產出量及缺貨量的關係式，缺貨懲罰成本的風險程度限制關係式及機台利用率限制關係式。以期望總成本最小化為目標，求解各階段最適的機台數量。

關鍵字：機台組態規劃、需求總量不確定、產品組合不確定、等候時間限制

A Tool Portfolio Planning with Waiting Time Constraints under Demand Uncertainty

Student :Yu-Shin Lin

Advisor : Dr. Hsi-Mei Hsu

Department of Industrial Engineering and Management
National Chiao Tung University

Abstract

This study addresses the tool portfolio planning of the diffusion zone in wafer fabrication. The production environment of the diffusion zone is as following : (1) There are uncertainties in aggregate demand and product mix.(2) it is a three-stage flowshop problem. Each stage has several parallel machines. Machines in the third stage are batching machines, which can handle up to b jobs of the same product type simultaneously.(3) There are queue time limits before the second stage and the third stage. Jobs which waited for more than the queue time limits should be reworked.

At first, we constructed a queuing network model, called MSTCB model, which considers the waiting-time constraint and set the objective as maximizing the output rate to estimate the yield and the utilization of machines under certain tool portfolio, aggregate demand scenario and product-mix scenario. Then, we address a simulation program to test and verify the accuracy of the MSTCB model.

After that, we proposed a tool portfolio planning model, called TP-MDMX model, which consider the relationship between demand, yield and shortage, the risks of shortage cost and the utilization of machines, to determine number of parallel machines in each stage with the objective of maximizing the expected total cost.

Keywords : Tool portfolio planning, Demand uncertainty, Product-mix uncertainty, Waiting Time constraints

目錄

摘要	I
ABSTRACT	II
圖目錄	V
表目錄	VI
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 機台組態規劃的定義	1
1.3 研究目的	2
1.4 研究基本假設	3
1.5 論文研究架構	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 確定需求下之機台組態規劃問題	5
2.2 不確定需求下之機台組態規劃	7
2.2.1 不確定需求環境	7
2.2.2 不確定需求下之機台組態規劃的目標	8
2.2.3 不確定需求下之機台組態規劃的限制式	9
2.2.4 不確定需求下之機台組態規劃的求解方法	9
2.3 等候理論	12
2.3.1 單批作業/單一服務機台之等候模型	12
2.3.2 單批作業/單一服務站具多部平行機台之等候模型	12
2.3.3 批次作業/單一批量加工服務站具多部平行機台之等候模型	12
2.4 本研究與過去不同的地方	12
第三章 問題描述與研究方法	14
3.1 需求情境描述	14
3.2 生產流程描述	15
3.3 問題定義與假設	15
3.4 符號定義	16
3.5 解題流程	17
3.5.1 已知資料	17
3.5.2 建立機台組態規劃評估模型	18
3.5.3 目標式分析	19
3.5.4 解題概念	20

3.5.5 MSTCB 模型-等候網路模型	21
3.5.5.1 MSTCB 模型相關符號	22
3.5.5.2 MSTCB 模型	23
3.5.6 解題演算法	25
3.5.6.1 可行起始解搜尋	25
3.5.6.2 最佳解搜尋	27
圖 3.5 最佳解搜尋流程圖第四章 個案案例說明	29
第四章 個案案例說明	30
4.1 個案資料	30
4.2 個案一-建立機台組態規劃評估模型	31
4.3 個案一-可行起始解搜尋	32
4.4 個案一-最佳解搜尋	33
4.5 案例績效探討	34
第五章 模式驗證	38
第六章 結論和未來研究工作	43
參考文獻	44



圖目錄

圖 3.1 解題概念流程圖.....	21
圖 3.2 MSTCB 模型.....	22
圖 3.3 等候網路模型.....	24
圖 3.4 可行起始解搜尋流程圖.....	27
圖 3.5 最佳解搜尋流程圖.....	29
圖 5.1 Em-plant 模型.....	29



表目錄

表 2.1 確定需求下之機台組態規劃問題相關文獻彙總	6
表 2.2 兩組解的期望值與變異量	8
表 2.3 不確定需求下之機台組態規劃問題相關文獻彙總	10
表 4.1 個案一各產品所屬的溫群	30
表 4.2 個案一加工時間表(小時).....	30
表 4.3 個案一的可行起始解搜尋流程.....	33
表 4.4 個案一的最佳解搜尋流	34
表 4.5 各情境的設定值及其發生機率.....	35
表 4.6 TP-MDMX 規劃法與單一情境的機台規劃之比較-1	36
表 4.7 TP-MDMX 規劃法與單一情境的機台規劃之比較-2	37
表 5.1 電腦模擬設定	38
表 5.2 電腦模擬與 MSTCB 模型的結果	39
表 5.3 統計檢定結果-產量	41
表 5.4 統計檢定結果-第二階段未重工比例 OQ_2	41
表 5.5 統計檢定結果-第三階段未重工比例 OQ_3	41



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

台灣晶圓代工居全球第一，IC 設計占世界第二。半導體產業的產能規劃的良莠關係著我國半導體產業的競爭力。晶圓的製程若以工作區來劃分，可分成擴散區(Diffusion)、蝕刻區(Etching)、黃光區(Photolithography)以及薄膜區(Thinfilm)等。其中，擴散區中主要的加工機台為爐管(Furnace)，其進行氧化及薄膜沈積等作業。

半導體製程中的擴散區為三階段的加工程序，每一階段皆有數台平行(parallel)機台。加工單位為一晶圓批(Lot)，以工件稱之。各工件在第一及第二階段的加工時間為已知固定值，且為單一工件加工。第三階段為爐管機台，爐管機台的加工作業為批次加工，將相同產品的數個工件集結成批(Batch)後，再同時進入機台加工；不同的產品，在爐管機台上會有不同的加工時間，且加工時所需要的溫群也會有所不同，當轉換溫群時，爐管機台需要有升降溫時間，即為整備時間(Setup Times)。

以台灣某一知名的晶圓代工廠 A 為例，其爐管區製程分為三個階段，工件需要連續經過三個階段，第一階段為清洗機台 B-cleaner，第二階段為清洗機台 STD cleaner，第三階段為爐管機台 Gate OX，每一階段皆有數部功能相同的機台。工件在第一階段及第二階段加工速率皆相同。第三階段是批次(Batch)作業。

工件在各階段間有等候時間限制，若工件在等候區等待超過等候時間限制，則此工件必須重回到第一階段重新加工(Rework)。不同產品的工件在第三階段的加工時間不同，且加工溫度也不同，分屬兩種溫群。當前後加工的工件所屬的溫群不同時，需要升降溫時間(即整備時間)。工件在第三階段的加工時間顯著大於其他兩階段，而此區具有加工時間長、整備時間長、等候時間限制與批量加工等特性。

在規劃製擴散區各階段的機台數目時，需考慮客戶需求環境的不確定性，不確定性包含需求總量與產品組合的不確定。因該區段機台設備昂貴，為滿足客戶需求及減少重工率下，該如何決定適當的機台數量是相當重要的議題。

1.2 機台組態規劃的定義

機台組態規劃(tool portfolio planning)是決定一個工廠需採購的機器種類與數量，以達成企業預定的目標。機台組態規劃問題在其他文獻也稱為機台組態問

題(tool configuration)。機台組態規劃是屬於產能規劃中的中期產能規劃。機台組態規劃一般每半年至一年便會執行一次，主要的目的是使工廠的產能能配合市場的需求，其規劃的結果是許多短期計畫的基礎，如MRPII流程中的「主生產排程」，「物料需求規劃」等短期計畫，它影響的層面既深且廣。晶圓製造屬於資本密集的產業，興建一座12吋晶圓廠需要斥資二、三十億美元，而其中60%的資金會用來購買機台設備。而擴散區在晶圓製造的製程中也是相當重要的一環，因此擴散區的機台採購計畫亦需格外的謹慎評估。

機台組態規劃的流程步驟，主要包括兩部分：(1)訂定需求情境、(2)機台組態規劃，訂定需求情境的目的是將其作為機台組態規劃決策模型的投入資料；因此在機台組態規劃之前，本研究假設已知可能發生的幾種需求情境，及其發生的機率。

機台組態規劃對生產績效的影響甚鉅，好的機台組合會有較高的產出量、較短的生產週期及較高機台利用率；在需求總量不確定的狀況下，不良的機台組合，若面對需求總量較高的情境時，產量無法供給需求，導致缺貨懲罰成本增加；若面對需求總量較低的情境時，則會造成產能的閒置與浪費，徒增機台購置成本。若使用單一確定的產品組合來決定機台組態，當實際與規劃的產品組合有差異時，將可能造成產量低、週期時間長或機台利用率低等不良的生產績效。單一產品組合的機台組態規劃模型不適用於需求情境不確定的機台組態規劃問題。需求情境不確定的機台組態規劃問題一個相當複雜的決策問題。

1.3 研究目的

本研究希望提出系統化的方法，求解需求情境不確定的機台組態規劃問題。本研究主要的工作項目如下：

(1)首先建立一等候網路模型(MSTCB 模型)，在給定的機台組合、需求總量和產品組合情境下，考慮各階段的重工率上限(等候時間限制)，以最大產出率為目標，估算產出量與機台利用率；

(2)設計電腦模擬程式驗證 MSTCB 模型所估計的生產績效的實用性；

(3)構建機台組態規劃模型(TP-MDMX 模型)。利用 MSTCB 模型，估算在給定的機台組合、需求總量和產品組合情境下的產出量與機台利用率。由此建立各種需求情境的需求量、產出量及缺貨量的關係式，缺貨懲罰成本的風險程度限制關係式及機台利用率限制關係式。以期望總成本最小化為目標(包含期望缺貨懲罰

成本和機台每期攤提成本)，求解各階段最適的機台數量。

(4) 提出演算法求解 TP-MDMX 模型。

1.4 研究基本假設

本研究主要探討爐管區機台組態規劃問題，各個步驟的基本假設與限制如下所示：

- (1) 所有產品之間彼此獨立，不具有任何優先順序的限制。
- (2) 所有產品投料之後(進入系統之後)即可進行加工。
- (3) 不考慮機器故障的問題。
- (4) 各階段前的等候區無上限限制。
- (5) 產品在同一時間也只能在一部機台上加工，各機台加工中的產品加工完後才可下機。
- (6) 同一階段的機台加工區內的機台群為完全一致性的機台，不同種類間的機台屬於流程式生產的型態。
- (7) 產品未來需求不確定，已知可能需求總量和產品組合。
- (8) 產能的規劃以增購機台為主，不考慮外包的可能性。
- (9) 機台採購不涉及數量折扣。
- (10) 不考慮產品良率的問題。
- (11) 不考慮物料搬運所產生的影響。

1.5 論文研究架構

本研究各章內容如下：

第一章 緒論

討論研究背景與動機、研究目的與假設。

第二章 文獻探討

探討過去有關機台組態規劃、等候模型等相關研究。

第三章 問題描述與研究方法

首先描述本研究所探討的不確定需求情境和本研究欲探討的生產流程。建立 MSTCB 等候網路模型及 TP-MDMX 模型，提出演算法求解 TP-MDMX 模型。

第四章 個案案例說明

以一個案案例，利用 MSTCB 等候網路模型及 TP-MDMX 模型求出最適機台組態。並進行績效探討。

第五章 模式驗證

驗證 MSTCB 等候網路模型的精確度。首先建立一個電腦模擬模型，將等候網路模型與電腦模擬所得到的績效值做比較，並利用統計檢定方法，檢驗兩者是否無顯著差異。

第六章

總結研究結果，以及未來之相關研究。



第二章 文獻回顧

本研究探討不確定需求下的機台組態規劃問題，且利用等候模型估計生產績效指標，因此本章針對確定需求下之機台組態規劃問題、不確定需求下之機台組態規劃問題和等候模型三大方向來做回顧。

2.1 確定需求下之機台組態規劃問題

在實務界常使用靜態法(static models)做粗略產能規劃機台。此方法主要輸入項為產品需求、生產途程及機台資訊，計算所有工件在各種機型的總加工時間，除於該機型各機台的可用時間，粗估需要的各種機型的機台數量。靜態產能法的較簡單且演算時間短。但正確性較低且重要生產績效指標無法求得，例如：產品的生產週期時間、系統的平均在製品量及在製品等候時間等動態資訊。因此可利用電腦模擬(simulation)與等候模型(queueing models)兩大方法來衡量機台的績效指標。

電腦模擬是使用電腦來模擬真實生產系統，並收集結果數據，整理成所需要的生產績效指標。電腦模擬的精確度較高，但在製程複雜與產品種類繁多的環境下，建立一模擬模型及運算模擬結果需耗費相當冗長的時間。Neacy [12]等人探討機台組態規劃問題，考慮在製品存量、產出、週期時間等多項績效指標，並利用電腦模擬搭配一個啟發式演算法，來決定最適機台組合。

Grewal等人[4]建立最大週期時間限制並以機台成本最低為目標的機台組態規劃模型，使用邊際貢獻法最大來搜尋候選機台解，候選機台中，比率(每一種機台群每單位金錢投入相對於其降低的週期時間)最大者的機台優先加入最佳解。Mollaghasemi和Evans [14]探討具多目標(產品週期時間和機台使用率)的機台組態規劃問題，考慮目標偏好，運用STEM方法決定最佳機台數量。Chen和Chen[15]探討零工式生產排程環境下的機台組態規劃問題，以各機台群的數量為控制因子，以產品的產品重工率、產品組合、產量等因素為噪音因子，利用實驗設計概念與模擬方法，得到各控制因子在不同噪音因子組合下的績效值。

等候網路模型為另一種績效衡量方法。等候網路模型使用數學推導出系統績效的數學推估值，如週期時間、等候時間等績效值。等候模型較為電腦模擬簡單且計算迅速；但計算結果的精確性卻不如電腦模擬方法。

Connors等人[5]、Whitt[16]、Suri和Hildebrant[17]和Buzacott和Yao[18]建立不

同的等候模型來評估機台的績效。Yoneda等人[19]以總成本最小化為目標，使用模擬退火法來尋找最適機台組態。Bretthauer[20]以機台成本最小化為目標，提出一個分支界定演算法，求解在製品存量限制環境下的機台組態規劃問題。

Donohue[21]等人探討以每年的總成本最小化為目標，且有週期時間限制的晶圓廠機台組合問題，並提出一個啟發式方法求解。Bard等人[6]採用等候模型來計算等候時間，探討在預算限制下，以平均週期時間最小化為目標的機台組態規劃問題。Connors等人[5]建立一個等候模型，來解決有週期時間限制的機台組態規劃問題。該文提出最大邊際貢獻法來搜尋候選機台，求得一起始解後，以增加機台的方式更新最佳解，直到滿足週期時間上線為止。而機台的篩選方式是邊際貢獻率(各類機台每單位金錢投入造成其降低的週期時間多寡的比率)較大者優先加入最佳解。

Chou[3]以等候模型為基礎，使用定性法(qualitative reasoning)找出符合決策者要求的機台組合。Chou和You[2]延續之前的機台問題研究，考慮週期時間與機台成本，使用靜態法得到一起始解，再利用鄰近搜尋法搜尋找較佳的機台組合。Hopp等人[45]針對批次加工的網路生產系統建立一等候網路模型，以其為基礎，探討在產量和平均週期時間限制下，以總成本最小化為目標的機台組態規劃問題，並以最大邊際貢獻法來增加機台。

Chou和Wu[13]更深入的探討機台組態規劃問題，該文先使用靜態法和瓶頸資源的觀念產生一些較佳的候選機台解，接著分析這些機台解的週期時間與產量的作業曲線，隨之建立決策者對週期時間與產量效用的無異曲線，二者的切點即為這些機台解的最大效用值。最後再加入機台成本的考量，從這些候選解之中找出每單位投資成本的效用最大者即為最佳解。彙整上述文獻如表2.1。

表 2.1 確定需求下之機台組態規劃問題相關文獻彙總

作者	目標	方法
Grewal 等人	機台成本最低	先求得一起始解，再以選擇邊際利益最大的機台的方式更新其最佳解，直到滿足週期時間上限為止
Mollaghasemi 和 Evans	產品週期時間最小 機台使用率最大	考慮決策者的對目標偏好，運用 STEM 方法決定最佳機台數量

Chen 和 Chen	平均流程時間最小化	實驗設計法與模擬法
Yoneda 等人	機台成本最低	等候模型與模擬退火法
Bretthauer	機台成本最低	以分支界定為基礎的演算法
Donohue	每年的總成本最低	等候模型與啟發式方法
Bard 等人	平均週期時間最低	採用等候模型來計算等候時間，並利用啟發式方法不斷的產生候選機台解，直到搜尋程序結束得到近似最佳解
Connors 等人	機台成本最低	求得一起始解，以最大邊際貢獻法來搜尋候選機台
Chou	產出量最大 機台利用率最大 運輸次數最小 等候時間最小 運輸等候時間最小	定性法(qualitative reasoning)來評估機台的多種屬性，以找出符合決策者要求的機台組合
Chou 和 Wu	產出量最大 生產週期時間最小	以經濟學觀點的效用理論來分析問題。
Hopp 等人	總成本最小化	採用批次加工的等候網路模型來計算等候時間，以最大邊際貢獻法來增加機台。

2.2 不確定需求下之機台組態規劃

過去許多研究是假設需求環境為確定。但在現實情況中，市場的需求環境是多變且難以準確估計，因此有許多研究開始探討不確定需求環境的機台組態規劃問題。本小節探討不確定需求下之機台組態規劃問題的相關文獻。

2.2.1 不確定需求環境

文獻中關於不確定需求環境中的不確定因子，大部分皆僅探討需求量不確定的環境，如Ahmed[1]、Swaminathan[7]、Barahona[8]、Swaminathan[9]、Hood[10]、Catay[22]、Kang 等人[24]、熊雅意[30]、Aghezzaf[26]、Wang 等人[27]和Wang 等人

[28]。僅有少數的文獻探討其他的不確定因子，如Leung[25]考慮多組可能的生產情境，包含需求量、生產成本、人力成本、存貨成本和初始存貨量；Geng等人[29]則考慮需求總量和機台產能皆不確定的需求環境。

2.2.2 不確定需求下之機台組態規劃的目標

過去文獻中，目標式所考慮的項目有所不同，大約可分為四個項目：(1)缺貨成本：Swaminathan[7][9]、熊雅意[30]和 Geng 等人[29]皆考量缺貨懲罰成本，Barahona[8]和 Hood[10]考量缺貨懲罰數量；(2)生產成本，如 Ahmed[1]、Catay[22]、Leung[25]、Aghezzaf[26]和 Geng 等人[29]；(3)機台採購成本，如 Catay[22]和熊雅意[30]；(4)存貨成本，如 Catay[22]、Leung 等人[25]和 Geng 等人[29]。其他考慮項目因各文獻探討的研究對象而有些微的不同。

處理不確定需求環境的方法，過去文獻大部分採用期望值來當作目標值，如 Swaminathan[7][9]和 Hood 等人[10]以期望缺貨懲罰成本最小化為目標；Barahona 等人[8]以期望缺貨量極小化為目標；Ahmed[1]、Catay 等人[22]、Kang 等人[24]、Aghezzaf[26]和 Leung 等人[25]以期望總成本最小化為目標，而熊雅意[30]和 Geng 等人[29]則以最大化期望利潤為目標。

但是若採用期望值來當作目標值，則需考量目標值變異，以一小案例來探討問題的期望值與變異程度，如表2.1所示，解B的期望成本稍高於解A，但是在衡量變異程度的指標上，解B的變異量及最大偏差值皆遠低於解A。這表示解B雖然在期望成本上略高於解A，但是風險度上卻遠低於解A，這時決策者便需要在最小化期望值和最小化變異風險中作權衡，找出一個平衡點。

處理衡量問題的變異程度的指標可分為兩種：變異量(variance)和最大偏差值(maximum deviation)。Ahmed[5]提到，以期望缺貨懲罰成本最小為目標，當計算變異量時，僅考慮正偏差值(當某一情境下的缺貨成本高於期望值)。處理變異風險的方法可分為兩種：(1)將衡量變異程度的指標給予一權重值，並將指標納入目標式當中；(2)訂定變異程度指標的上限來限制問題的變異風險。Barahona[8]、熊雅意[30]和Leung等人[25]則給予各情境下的缺貨數量上限值，避免過大的缺貨量發生。

表2.2 兩組解的期望值與變異量

解	期望成本	成本變異量	最大偏差值

A	255.45	10747.60	107.54
B	271.54	833.54	15.23

2.2.3 不確定需求下之機台組態規劃的限制式

文獻中在建立不確定需求環境的機台組態規劃模型時，將某些項目納入限制式當中，限制式大約可分為三個項目：(1)需求量限制，如 Swaminathan[7][9]、Barahona[8]、Catay[22]、Wang 等人[27][28]；(2)產能限制，如 Hood[10]、Catay[22]、Wang 等人[27][28]和 Geng 等人[29]；(3)預算限制，如 Ahmed[1]、Swaminathan[7][9]、Barahona[8]、熊雅意[30]；(4)產能利用率限制：Hood[10]將超出需求量的產量當作閒置的產能，訂定一個超出產量的上限來限制產能利用率；Swaminathan[9]設定一變數代表機台閒置時間，將閒置成本給予一權重值並納入目標式當中；將機台購置成本當作產能利用率另一替換成本，因為若需求量較低時，採買過多機台的購置成本便可反映產能的浪費。

2.2.4 不確定需求下之機台組態規劃的求解方法

文獻中關於不確定需求下之機台組態規劃的求解方法大多為建立一數學規畫模型，再針對模型的特性提出一套演算法求解。Ahmed[1]建立兩階段求解機台組態規劃模型，之後採用一啟發式演算法去求解。Swaminathan[7][9]先建立一整數線性規劃模型，並提出一個演算法去求解此問題。Barahona[8]提出一整數規劃模型，使用分支界定法搭配啟發式方法加以求解。Hood[10]等人提出了一個機率性模型，利用一啟發式方法求解。Catay[22]等人建立一整數規劃模型，採用以拉格蘭氏鬆弛法為基礎的啟發式解法求解。Kang 等人[24]提出兩個數學模型：1. robust partial mean model：目標式為期望成本與偏態平均成本最小化；2. robust worst-case model：目標式為期望成本最小化與最大成本最小化。之後利用經濟學的概念與參數分析找出適當的目標值。Aghezzaf[26]先針對需求確定的情況提出一數學規劃模型，之後再針對需求的不確定性修正其數學模型，建立原始問題的對偶問題來降低解題時間，並以拉格蘭氏鬆弛法為基礎的啟發式解法求解。熊雅意[30]、Wang 等人[27]建立一個數學規劃模型，利用基因演算法求解。Wang 建立一個整數規劃模型，利用兩階段隨機規劃的基因演算法去求解。Geng 等人[29]提出SPMC和SPM兩個規劃模型，SPMC模型考量需求總量不確定性以及產能的不確定性，SPM模型僅考量需求不確定。利用逼近最佳解的演算法進行求解。彙整不確定需求下之機台組態規劃問題相關文獻如表2.3

表 2.3 不確定需求下之機台組態規劃問題相關文獻彙總

作者	情境	目標	限制式	方法
Ahmed	單期 需求量不確定	機台總成本最小 (投資成本+期望外包成本)	預算上限 滿足需求下限	建立數學模型，採用啟發式演算法求解。
Swaminathan	單期 需求量不確定	期望缺貨懲罰成本最小	需求量上限 預算限制	建立整數線性規劃模型，以演算法求解。
Swaminathan	多期 需求量不確定	期望缺貨懲罰成本最小	需求量上限 預算限制	修正 Swaminathan[7]的模型，建立整數線性規劃模型，以演算法求解。
Barahona	多期 需求量不確定	期望缺貨量最小	需求量上限 預算限制 缺貨數量上限	建立整數規劃模型，以分支界定法搭配啟發式方法求解。
Hood	多期 需求量不確定	期望缺貨數量最小	預算上限 產能限制	建立一個機率性模型，利用啟發式方法求解
Catay	多期 需求量不確定	期望總成本最小 (生產成本、存貨成本，機台購置成本)	產能限制 需求量限制	考慮剩餘產品的存貨問題，建立整數規劃模型，採用以格蘭氏鬆弛法為基礎的啟發式解法求解。
熊雅意	(1)單廠、不確定 需求總量 (2)單廠、多產品 組合	增加的利潤最大 (收入減掉缺貨成本與機台 折舊費用)	週期時間限制 缺貨數量上限 機台採購預算上限	針對兩種情境建立數學規劃模型，利用基因演算法求解。
Kang 等人	多期 需求量不確定	期望成本最小 偏態平均成本最小		建立兩個多目標數學模型，利用經濟學的概念求解。
Leung 等人	多期、跨國跨廠 區	期望總成本最小(生產成 本、存貨成本、人力成本和	庫存數量限制 缺貨限制	建立數學規劃模型，採用以格蘭氏鬆弛法為基礎的啟發式解法求解，並建立原始問題的對偶問題

	多組可能生產情境(需求量、生產成本、人力成本、存貨成本和初始存貨量)	人力變動成本)	出口量上限 人力變動上下限 普通工時人力上限 超時工時上限	來降低解題時間。
Aghezzaf	需求量不確定 倉庫配置問題	期望總成本最小(生產成本、運送成本和缺貨成本)	產能限制 需求量限制	提出一需求確定的數學規劃模型，之後再針對需求的不確定性修正其數學模型，建立原始問題的對偶問題來降低解題時間，並以格蘭氏鬆弛法為基礎的啟發式解法求解
Wang 等人	多期 需求量不確定	長期淨利潤最小 (各期機台剩餘價值總和、各期資源剩餘價值總和與期末總剩餘價值)	產能限制 需求量限制	建立整數規劃模型，採用基因演算法求解。
Wang 等人	多期 需求量不確定	長期淨利潤最小	產能限制 需求量限制	修正先前提出的整數規劃模型，利用兩階段隨機規劃的基因演算法求解。
Geng 等人	多期 需求量不確定 產能不確定	期望總利潤最大 (-機台整備成本-機台採購成本+收入+生產成本+產能閒置成本+存貨成本+缺貨成本)	各總類機台採購數量限制 機台利用率下限 產能限制	建立 SPMC 和 SPM 兩個規劃模型，利用逼近最佳解的演算法進行求解。

2.3 等候理論

等候理論(queueing theory)是研究服務系統中排隊現象。廣泛應用於計算機網路、生產、運輸等。等候模型的表示方法，大多採用 1953 年大衛·坎達(David G. Kendall)提出的 A/B/X/Y/Z 坎達等候表示法：A 代表客戶到達的間隔時間所服從的機率分配；B 代表代表服務時間所服從機率分配；X 代表服務人員的數目；Y 代表等候系統容量限制；Z 代表服務優序，如先到先服務等。以下簡介三類等候系統：

- (1) 單批作業/單一服務機台
- (2) 單批作業/單一服務站有多部平行機台
- (3) 批次作業/單一服務站具多部平行機台

2.3.1 單批作業/單一服務機台之等候模型

Pollaczek 和 Khinchin 提出 M/G/1 中生產週期時間的估計方法；Buzacott 和 Shanthikumar[32]列出三種 G/G/1 中生產週期時間的估計方法；Kingman[36]亦提出 G/G/1 中生產週期時間的估計方法；Wu[33]則應用 Little's law 於 G/G/1 中，推估出生產週期時間的變異數。V.B.Iverse 和 L.Staalhagen [34]提出一個演算法，求出 M/D/1 模型中的等候時間的分布。

2.3.2 單批作業/單一服務站具多部平行機台之等候模型

Buzacott 和 Shanthikumar[32]以及 Connors 等人[35]針對 G/G/m 問題，提出一準確的近似值推估方法，但是其求算方法較複雜；以 Kingman[36]的 G/G/1 模型及 Whitt[37]所提出的 G/G/m 近似值為基礎，Hopp 和 Spearman[38]提出 G/G/m 模型中週期時間(cycle time)的估計方法。

2.3.3 批次作業/單一批量加工服務站具多部平行機台之等候模型

K. L. Arora[39]探討兩部平行機台批量加工的等候模型，並假設其顧客到來速率为卜瓦松分配(Poisson)，即服務時間亦為卜瓦松分配。P. M. Ghare[40]則將 Arora 探討之問題擴大至多部平行機台之批量加工問題。P. M. Ghare 也延伸其多部平行機台之批量加工模型，分析出模型中各類績效值的估計方法。Huang 等人[41]探討在多種產品下多部平行機台批量加工等候模型，但其估計之績效值為高估值，他們宣稱在兩到三種產品下，其估計值誤差會在 12%之下。

2.4 本研究與過去不同的地方

本研究欲探討需求總量和產品組合不確定環境下之機台組態規劃問題，過去

文獻中，僅有熊雅意[30]考慮多產品組合的機台組態規劃問題，並假設需求總量為確定，因此本研究希望探討兩者皆不確定的需求情境，考慮等候時間限制，並且將風險管理的概念納入問題考量中。

且本研究發現面對需求總量的不確定性，文獻中大多使用靜態法來估計生產績效指標，此方法正確性不高且無法求得機台生產的績效指標，因此本研究建立一等候網路模型進行較精細的產能規劃，並推估機台生產的績效指標，如重工率、產量及產能利用率等動態資訊。



第三章 問題描述與研究方法

本章描述研究的問題情境和研究方法：(1)需求情境：不確定需求的表達方法；(2)生產流程：以台灣某一知名的晶圓代工廠 A 為例，描述擴散區的生產流程。(3)研究問題定義；(4)解題方法：(a)構建等候網路模型(MSTCB 模型)，在給定的機台組合、需求總量和產品組合下，考慮各階段的重工率上限(等候時間限制)，以最大產出率為目標，估算各產品組合情境下的產出量與機台利用率；(b)構建機台組態規劃決策模型(TP-MDMX 模型)，考慮各種需求情境下的需求量、產出量、及缺貨量的關係式，缺貨懲罰成本的風險程度上限限制關係式及機台利用率限制關係式。以期望總成本最小化為目標，求解各階段最適的機台數量。(c)求解 TP-MDMX 模型，包含可行起始解演算法和最佳解搜尋演算法。

3.1 需求情境描述

本小節將描述本研究的需求環境，介紹不確定需求環境下之表示。市場的需求是多變且難以預測的，需求環境的不確定因素可能來自兩種情況：

1. 需求總量：需求總量會受到全球半導體市場的景氣影響，以致訂單的需求總量存在一個不確定性。
2. 產品組合：由於規劃一新生產線時，客源尚未穩定，因此可能要生產不同的產品組合，以致訂單的產品組合存在一個不確定性。

由上面的分析，需求環境的資料可以整理成下列結果：需求總量情境(a set of scenarios for aggregate demand volume) 和產品組合情境(a set of scenarios for product mix)，其中產品組合指各產品的需求比率。本研究的需求環境使用情境的方式(scenario based)來表達不確定性。未來可能出現的需求總量情境為 $D = \{D_1, \dots, D_l, \dots, D_L\}$ ，其中 D_l 表示第 l 種情境的需求總量，其出現的機率為 Rd_l ；未來可能出現的產品組合情境為 $PX = \{PX_1, \dots, PX_k, \dots, PX_K\}$ ，其中 PX_k 表示第 k 種情境的產品組合，其出現的機率為 R_k 。

本研究以下列的例子說明上述問題：

有一現存晶圓廠目前計畫設置一生產線，公司預測未來半年的產品需求主要包含三種產品。因受到全球的景氣影響，導致業者訂單的需求總量無法確定。假設未來的可能的需求總量有為四種情境 $D = \{D_1, D_2, D_3, D_4\} = \{24, 21, 18, 16\}$ 萬片，而這四種情境會發生的機率分別為 $\{Rd_1, Rd_2, Rd_3, Rd_4\} = \{0.4, 0.3, 0.2, 0.1\}$ 。又由於客源尚未穩定，因此業者訂單的三產品的需求比例無法確定。假設未來可能的產品組合為三種情境 $PX = \{PX_1, PX_2,$

$PX_3\}$ ，其中 $PX_1 = (PX_1^{(1)}, PX_1^{(2)}, PX_1^{(3)}) = (0.4: 0.3: 0.3)$ ，表示在產品組合 PX_1 下，第1種產品佔需求總量的40%，第2種產品佔需求總量的30%，第3種產品佔需求總量的30%； $PX_2 = (PX_2^{(1)}, PX_2^{(2)}, PX_2^{(3)}) = (0.35: 0.3: 0.35)$ ； $PX_3 = (PX_3^{(1)}, PX_3^{(2)}, PX_3^{(3)}) = (0.45: 0.2: 0.35)$ 。而這三種情境會發生的機率分別為 $(R_1, R_2, R_3) = (0.4, 0.3, 0.3)$ 。

3.2 生產流程描述

本研究探討的生產流程如下：三階段的流程式生產，共有 N 種產品需要加工。各加工階段前皆有一個工件暫存區 B_j , $j = 1, 2, 3$ ，此暫存區無等候空間限制，當工件已完成上一階段加工，便進入此階段暫存區等候加工。

各階段皆有數部功能相同的等效機台，工件在經過各階段時，可任選任何一個可加工的機台。第一階段和第二階段的加工單位為單一批量加工機台。第三階段為批次加工機台，每部機台的加工批量為 b ($b > 1$)，相同產品的工件才可並批；若無法 b 個工件並批時，則允許少於 b 個工件並批或單批加工；各產品在第一及第二階段的加工時間分別為 PT_1 與 PT_2 ，然而，各產品在第三階段的加工時間不相同，產品 i 在第三階段的加工時間為 $PT_3^{(i)}$ 產品，且因加工條件不同，產品分為兩種溫群，溫群的集合為 $G = \{g_1, g_2\}$ ，

$G(i)$ 表示工件 i 所屬的溫群。工件 i' 在工件 i 後加工，其整備時間

$$ST_3^{(i,i')} = \begin{cases} 0 & \text{if } G(i') = G(i) \\ 2\text{hours} & \text{if } G(i') \neq G(i) \end{cases}.$$

產品在各階段間具有等候時間限制，分別為 T_{12} 及 T_{23} ，當產品在暫存區 B_2 等待時間超過 T_{12} 或在暫存區 B_3 等待時間超過 T_{23} ，則產品必須重回到等待區 B_1 ，重新加工。

3.3 問題定義與假設

本研究探討在需求總量和產品組合不確定環境下的一生產線機台組態決策問題，規劃期間為單期(半年)，生產線的生產流程如3.2節所述，決策時考量的成本項目包括缺貨懲罰成本與每期機台攤提成本，並考慮缺貨懲罰成本的風險程度限制和機台利用利用率限制，以期望總成本最小化(期望懲罰成本與每期機台攤提成本)為目標，求解生產線的各階段機台的數量。

本研究以缺貨懲罰成本的期望值作為的目標式之一，但真正會發生的需求情境是各種可能需求情境中的某一需求情境，因此還必須考量各情境發生時的缺貨懲罰成本，本研究將此稱為缺貨懲罰成本的風險程度，也就是缺貨懲罰成本的變異程度，本研究以期望偏差值作為缺貨懲罰成本的風險程度指標，在計算期望偏差值時，因為本研究希望能

避免各情境下的缺貨懲罰成本高於期望值的情況發生，故僅考慮各情境的正偏差值(當某一情境下的缺貨懲罰成本高於期望值)。

3.4 符號定義

符號	i	產品種類， $i = 1, 2, \dots, N$ 。
	j	生產階段， $j = 1, 2, 3$ 。
	k	產品組合情境， $k = 1, 2, \dots, K$ 。
	l	需求總量情境， $l = 1, 2, \dots, L$ 。
集合	G	溫群的集合， $G = \{g_1, g_2\}$ 。
	D	需求總量情境的集合 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_L\}$
	PX	產品組合情境的集合。 $PX = \{PX_1, PX_2, \dots, PX_K\}$
參數	$G(i)$	第 i 種產品所屬之溫群， $G(i) \in G$ 。
	D_l	第 l 個需求總量情境下的需求總量。
	$D_{k,l}^{(i)}$	在需求情境 D_l 與產品組合 PX_k 下，第 i 種產品之需求量。 $D_{k,l}^{(i)} = D_l \times PX_k^{(i)}$
	Rd_l	第 l 個需求總量情境的發生機率。
	PX_k	第 k 個產品組合下，各產品的需求比例。 $PX_k = (PX_k^{(1)}, PX_k^{(2)}, \dots, PX_k^{(N)})$, $\sum_{i=1}^N PX_k^{(i)} = 1$ 。
	$PX_k^{(i)}$	在產品組合 PX_k 下，第 i 種產品之需求比例。
	R_k	第 k 個產品組合情境的發生機率。
	w_j	第 j 階段的機台單位採購成本。
	$\rho^{(i)}$	第 i 種產品的單位缺貨懲罰成本，其為售價減掉生產成本，代表未賺到的利潤。
	T_{12}	在第一階段與第二階段間的等候時間上限值。
	T_{23}	在第二階段與第三階段間的等候時間上限值
	b	第三階段批次加工機台的批次上限值。
	$ST_3^{(i,i')}$	工件 i' 在工件 i 後加工，第三階段的整備時間(小時) $ST_3^{i,i'} = \begin{cases} 0 & \text{if } G(i') = G(i) \\ 2 \text{ hours} & \text{if } G(i') \neq G(i) \end{cases}$ 。

	PT_1	第一階段的加工時間(小時)。
	PT_2	第二階段的加工時間(小時)。
	$PT_3^{(i)}$	第 i 種產品在第三階段的加工時間(小時)。
	T	機台折舊攤提的期數。
決策變數	X	各階段配置之機台數目。 $X=(X_1, X_2, X_3)$
	X_j	第 j 階段所配置之機台數目。
相依變數	$R_{k,l}^{(i)}(X)$	當機台組合為 X 時： 在需求情境 D_l 與產品組合 PX_k 下，第 i 種產品之產 出量。
	$Lost_{k,l}^{(i)}$	在需求情境 D_l 與產品組合 PX_k 下，第 i 種產品之缺 貨量。 $Lost_{k,l}^{(i)} = R_{k,l}^{(i)}(X) - D_{k,l}^i$
	$U_{j,k,l}(X)$	當機台組合為 X 時： 在需求情境 D_l 與產品組合 PX_k 下，第 j 階段的機台 利用率。
	$\Delta_{k,l}$	在需求情境 D_l 與產品組合 PX_k 下，缺貨懲罰成本與 期望缺貨懲罰成本的正差異量。

3.5 解題流程

本小節將介紹本研究的解題流程，首先需蒐集所需的相關資料，針對需求總量和產品組合不確定的機台組態決策問題，建立一個機台組態規劃模型(TP-MDMX 模型)，利用一個候網路模型(MSTCB 模型)來估計產出量及機台利用率，並觀察 TP-MDMX 模型的目標式和限制式，提出演算流程求解 TP-MDMX 模型。

3.5.1 已知資料

首先必須蒐集下列的基本資料：

- (1) 產品總類 N 。
- (2) 各產品所屬的溫群 $G(i), i=1,2,\dots,N$ 。
- (3) 各產品在各機台上的加工時間(PT_1 ， PT_2 和 $PT_3^{(i)}$), $i=1,2,\dots,N$ 。
- (4) 不同溫群的整備時間。
- (5) 需求總量可能發生的情境 D 及各情境發生之機率 Rd_l 。
- (6) 產品組合可能發生的情境 PX 及各情境發生之機率 R_k 。

- (7) 各階段間的等候時間限制(T_{12} 和 T_{23})。
- (8) 各階段機台單位採購成本 w_j 。
- (9) 機台折舊攤提的期數 T (一般業界機台攤提年數為 5 年, $T = 10$)。
- (10) 第 i 種產品的單位缺貨懲罰成本 $\rho^{(i)}$ 。
- (11) 訂定可容忍的缺貨懲罰成本風險上限 ϵ
- (12) 訂定可容忍的機台利用率下限 δ 。

3.5.2 建立機台組態規劃評估模型

本研究將需求和產品組合不確定環境下的機台組態規劃問題(tool planning problem for multiple demand and product-mix scenarios)規劃成下列數學模型，簡稱TP-MDMX模型：

$$\begin{aligned} \min \text{cost} &= \sum_{l=1}^L R d_l \sum_{k=1}^K R_k \sum_{i=1}^N \rho^{(i)} \cdot \text{Lost}_{k,l}^{(i)} + \sum_{j=1}^3 \frac{x_j w_j}{T} \\ \text{s.t. } R_D_{k,l}^{(i)}(X) &= f(X; D_l, P X_k) && \forall i, \forall k, \forall l \quad (1) \\ U_{j,k,l}(X) &= f(X; D_l, P X_k) && \forall j, \forall k, \forall l \quad (2) \\ R_D_{k,l}^{(i)}(X) + \text{Lost}_{k,l}^{(i)} &= D_{k,l}^{(i)} && \forall i, \forall k, \forall l \quad (3) \\ \Delta_{k,l} &= \max \left(\sum_{i=1}^N \rho^{(i)} \cdot \text{Lost}_{k,l}^i - \sum_{l=1}^L R d_l \sum_{k=1}^K R_k \sum_{i=1}^N \rho^i \cdot \text{Lost}_{k,l}^i, 0 \right) && \forall k, \forall l \quad (4) \\ \sum_{l=1}^L R d_l \sum_{k=1}^K R_k \Delta_{k,l} &\leq \epsilon && (5) \\ U_{j,k,l}(X) &\geq \delta && \forall j, \forall k, \forall l \quad (6) \\ R_D_{k,l}^{(i)}(X), \text{Lost}_{k,l}^{(i)}, \Delta_{k,l}, U_{j,k,l}(X), \epsilon, \delta &\geq 0 && \forall i, \forall j, \forall k, \forall l \quad (7) \end{aligned}$$

TP-MDMX模型的投入參數為需求總量情境 D 和產品組合情境 PX ，決策變數為各階段所需配置之機台數目 $X=(X_1, X_2, X_3)$ 。目標式是最小化期望總成本，其中 $\sum_{i=1}^N \rho^{(i)} \cdot \text{Lost}_{k,l}^{(i)}$ 為需求情境 D_l 與產品組合 PX_k 下的總缺貨懲罰成本； $\sum_{l=1}^L R d_l \sum_{k=1}^K R_k \sum_{i=1}^N \rho^{(i)} \cdot \text{Lost}_{k,l}^{(i)}$ 是期望的總缺貨懲罰成本(以下簡稱 $TL(X)$)；而 $\sum_{j=1}^3 \frac{x_j w_j}{T}$ 為每期機台的折舊費用(以下簡稱 $TM(X)$)。

限制式(1)中， $R_D_{k,l}^{(i)}(X)$ 代表一特定機台組合 X ，在需求總量為 D_l 和產品組合 PX_k 下的產量。限制式(2)中， $U_{j,k,l}(X)$ 代表一特定機台組合 X ，在需求總量為 D_l 和產品組合 PX_k 下的第 j 階段的機台利用率。因為 $R_D_{k,l}^{(i)}(X)$ 和 $U_{j,k,l}(X)$ 的數學推導相當複雜且困難，所以

我們使用等候網路模型並配合規劃求解來計算 $R_D_{k,l}^{(i)}(X)$ 和 $U_{j,k,l}(X)$ 。我們以數學函數 f 來表達此計算過程， f 的輸入有三項，包括任一機台組合 X 、需求總量為 D_l 和產品組合 PX_k ；而 f 的輸出則是機台組合 X 在此相關條件下的產量和各階段機台利用率。

限制式(3)代表需求情境 D_l 與產品組合 PX_k 下，第 i 種產品的需求量 $D_{k,l}^{(i)}$ 、產出量 $R_D_{k,l}^{(i)}(X)$ 和缺貨量 $Lost_{k,l}^{(i)}$ 的關係式。限制式(4)和限制式(5)是為了控制此缺貨懲罰成本的風險程度，限制式(4)計算在需求情境 D_l 與產品組合 PX_k 下，缺貨懲罰成本與期望缺貨懲罰成本的正偏差值。 $\sum_{l=1}^L R d_l \sum_{k=1}^K R_k \Delta_{k,l}$ 為缺貨懲罰成本期望正偏差值，本研究將其作為缺貨懲罰成本的風險程度指標，限制式(5)利用某一可容忍值 ϵ 限制缺貨懲罰成本的的風險程度指標。而限制式(6)限制在各種需求情境下，各階段的機台利用率不能低於某一可容忍值 δ 。限制式(7)為非負限制式。

3.5.3 目標式分析

TP-MDMX 模型的目標式為最小化期望總成本，期望總成本又分成兩個成本項目的加總：(1) $TL(X) = \sum_{l=1}^L R d_l \sum_{k=1}^K R_k \sum_{i=1}^N \rho^{(i)} \cdot Lost_{k,l}^{(i)}$ 為期望的總缺貨懲罰成本；(2) $TM(X) = \sum_{j=1}^3 \frac{X_j W_j}{T}$ 為每期機台的折舊費用。

假設某一可行解為 $X = (X_1, X_2, X_3)$ ，共有六種鄰境解： $X_1^+ = (X_1 + 1, X_2, X_3)$ 、 $X_2^+ = (X_1, X_2 + 1, X_3)$ 、 $X_3^+ = (X_1, X_2, X_3 + 1)$ 、 $X_1^- = (X_1 - 1, X_2, X_3)$ 、 $X_2^- = (X_1, X_2 - 1, X_3)$ 和 $X_3^- = (X_1, X_2, X_3 - 1)$ 。將目標式分為兩部分探討，第一部分為期望的總缺貨懲罰成本，第二部份為機台的折舊費用。

(1) 期望的總缺貨懲罰成本

當第 j 階段的機台數目增加時 (X_1^+ 、 X_2^+ 和 X_3^+)，會使得第 j 階段的產能增加，增加各產品的產出量，而缺貨懲罰成本為需求總量減去產出量，因此當各階段機台數目遞增時，期望的總缺貨懲罰成本便會隨之遞減。反之，當第 j 階段的機台數目減少時 (X_1^- 、 X_2^- 和 X_3^-)，期望的總缺貨懲罰成本便會隨之遞減。由此可知，期望的總缺貨懲罰成本為單調遞減函數。本研究由實驗數據觀察，期望缺貨懲罰成本與機台數目成凸函數(convex function)的關係，因此本研究假設期望缺貨懲罰成本為凸函數。

(2) 機台的折舊費用

當第 j 階段的機台數目增加時 (X_1^+ 、 X_2^+ 和 X_3^+)，會使機台的折舊費用增加 $\frac{X_j w_j}{T}$ 元，因此當各階段機台數目遞增時，機台的折舊費用便會隨之遞增。當第 j 階段的機台數目減少時 (X_1^- 、 X_2^- 和 X_3^-)，機台的折舊費用便會隨之遞減。由此可知，機台的折舊費用為與機台數目相依的單調遞增線型函數，而一個線性函數同時隸屬於凸函數。

由此可知，在本研究的假設下，目標式 $\mathit{cost}(\mathbf{X})$ 為期望的總缺貨懲罰成本加上機台的折舊費用，這兩項皆為凸函數，根據凸函數的性質，兩凸函數相加之函數亦為凸函數，因此得知目標式 $\mathit{cost}(\mathbf{X})$ 亦為凸函數。而一個凸函數只有一個最低點，因此當某一可行解 $\mathbf{X} = (X_1, X_2, X_3)$ 的目標值 $\mathit{cost}(\mathbf{X})$ 小於所有鄰境解之目標值時，此可行解即為最佳解。

3.5.4 解題概念

TP-MDMX模型中的產量 $R_{k,l}^{(i)}(\mathbf{X})$ 和機台利用率 $U_{j,k,l}(\mathbf{X})$ 是指在給定的機台組合、需求總量及產品組合下的產出量及機台利用率。這些數據無法由TP-MDMX模型直接求得，因此本研究建立一個等候網路模型(MSTCB模型)來估計各情境下的產量 $R_{k,l}^{(i)}(\mathbf{X})$ 和機台利用率 $U_{j,k,l}(\mathbf{X})$ 。之後，本研究利用TP-MDMX模型和MSTCB模型建立TFOV演算法，演算法的目的為已知一組機台組合 \mathbf{X} 、需求總量情境和產品組合情境，可得到(1)此機台組合 \mathbf{X} 在TP-MDMX模型的目標值 $\mathit{cost}(\mathbf{X})$ ；(2)此機台組合 \mathbf{X} 是否為TP-MDMX模型的可行解。

TFOV演算法求算計算概念如下：已知一組機台組合 $\mathbf{X} = (X_1, X_2, X_3)$ 、需求總量情境和產品組合情境，分別將 $K \times L$ 組需求情境 (K 種需求總量情境和 L 種產品組合情境) 和機台組合 \mathbf{X} ，投入MSTCB模型，算出此機台組合 \mathbf{X} 在各需求情境下的產出量 $R_{k,l}^{(i)}(\mathbf{X})$ 和機台利用率 $U_{j,k,l}(\mathbf{X})$ ， $k=1,2,\dots,K$ ， $l=1,2,\dots,L$ 。將這些數據投入TP-MDMX模型中，便可得到：(1)此機台組合 \mathbf{X} 在TP-MDMX模型的目標值；(2)判斷此機台組態是否為TP-MDMX模型的可行解。

且由於TP-MDMX模型中的產量和機台利用率，需給定機台組合 \mathbf{X} 後，才可利用MSTCB模型求得。因此本研究無法直接求解TP-MDMX模型，故本研究提出一個演算法來解決TP-MDMX模型，演算法包含以下兩個程序：(1)可行起始解搜尋，(2)最佳解搜尋。解題概念的計算流程整理如圖3.1。

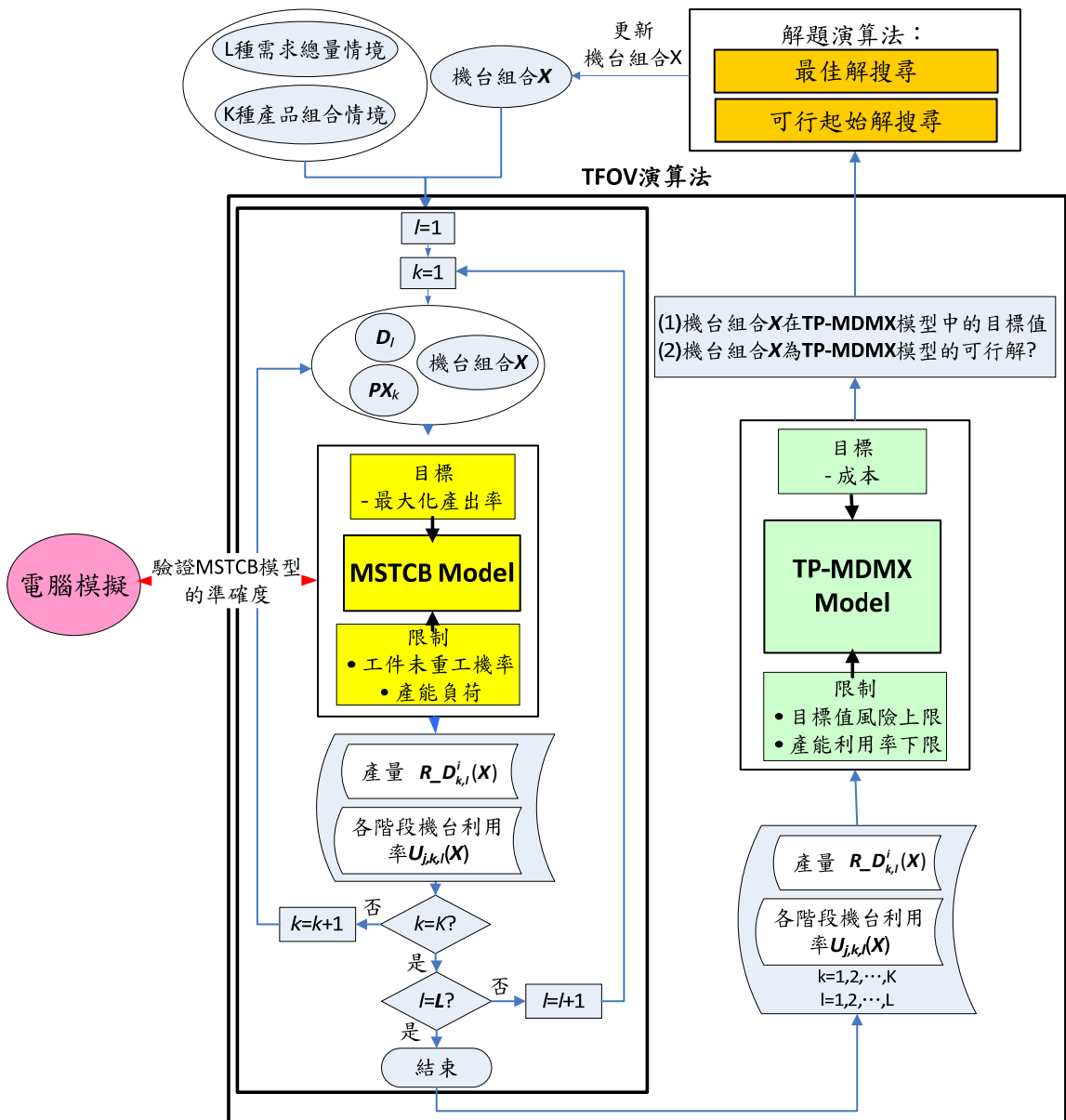


圖3.1 解題概念流程圖

3.5.5 MSTCB 模型-等候網路模型

針對本研究探討的生產流程，建立MSTCB模型，在給定的機台組合、需求總量情境與產品組合情境下，考慮各階段的重工率限制(等候時間限制)，以最大產出率為目標，估算產出量與機台利用率。如圖3.2所示，MSTCB模型的投入參數為一個需求總量 D_l 、一個產品組合 PX_k 和機台組合 X ，透過MSTCB模型，可以估算最大產出率、產量和機台利用率。

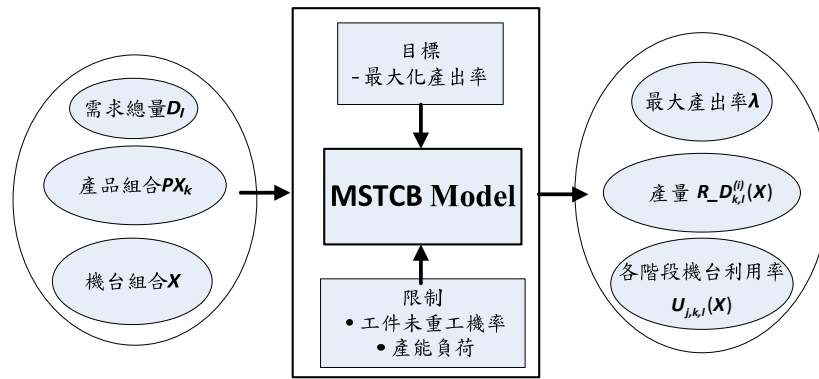


圖 3.2 MSTCB 模型

3.5.5.1 MSTCB 模型相關符號

符號	i	產品總類， $i = 1, 2, \dots, N$ 。
	j	生產階段， $j = 1, 2, 3$ 。
集合	G	溫群的集合。
	$G(i)$	第 i 種產品所屬之溫群， $G(i) \in G$ 。
參數	X	所需配置之機台數目。 $X = (X_1, X_2, X_3)$
	X_j	第 j 階段所需配置之機台數目。
	λ^R	實際投料率(unit/hour)。
	D_i	第 i 個情境下的需求總量。
	$PX_k^{(i)}$	在產品組合 PX_k 下，第 i 種產品之需求比例。
	μ_j	第 j 階段的產品加工速率(unit/hour)。
	T_{12}	在第一階段與第二階段間的等候時間限制。
	T_{23}	在第二階段與第三階段間的等候時間限制
	b	第三階段批次加工機台容納的限制數量(一批最多可以加工的數量)。
	$ST_3^{(i,i')}$	第三階段之整備時間(小時)。
	PT_1	第一階段的加工時間(hour)。
	PT_2	第二階段的加工時間(hour)。
	$PT_3^{(i)}$	第 i 種產品在第三階段的加工時間(hour)。
決策變數	λ	投料率 (unit/hour)。
相依變數	ρ_j	第 j 階段的流量負載。

$OQ_2(X)$	產品在第一階段與第二階段間的等候時間未超過限制之比例。
$OQ_3(X)$	產品在第二階段與第三階段間的等候時間未超過限制之比例。
$R_{k,i}^{(i)}(X)$	第 i 種產品之產出量。
$U_{j,k,i}(X)$	第 j 階段的機台利用率

3.5.5.2 MSTCB 模型

首先本研究建立一個等候網路模型，如圖 3.3，第三階段根據 Fowler 等人[44]所提出的修正 G/G/m 為批次加工機台的等候模型，建立 G/G^b/X₃ 的等候模型。

G/G^b/X₃ 等候模型中，產品 i 平均投料率為 $PX_k^{(i)}\lambda$ ，投料率的 SCV(squared coefficient of variation)值為 $1/PX_k^{(i)}\lambda$ ；平均加工時間用期望總加工時間來估算，期望總加工時間(以下簡稱E[M3])，為期望加工時間(以下簡稱E[PT₃])與期望整備時間(以下簡稱E[ST])的加總，

期望加工時間為各產品需求比例乘以其加工時間的加總，即 $E[PT_3] = \sum_{i=1}^N PX_k^{(i)} PT_3^{(i)}$ ；期望

整備時間為 $E[ST] = \sum_{i=1}^N PX_k^{(i)} (PX_k^{(1)} ST_3^{(i,1)} + PX_k^{(2)} ST_3^{(i,2)} + \dots + PX_k^{(N)} ST_3^{(i,N)})$ 。加工速率 μ_3

=1/E[M3]。產品 i 加工時間的 SCV(squared coefficient of variation)值為產品 i 加工時間變異數除以產品 i 的平均加工時間變異數的平方，產品 i 的平均加工時間為

$E[PT_3^i] = \sum_{n=1}^N (PT_k^{(i)} + ST_3^{(i,n)}) PX_k^{(n)}$ ；產品 i 加工時間變異數為 $\sum_{n=1}^N ((PT_k^{(i)} + ST_3^{(i,n)}) - E[PT_3^i])^2 PX_k^{(n)}$ 。

第三階段的流量負載 $\rho_3 = \lambda / X_3 \mu_3$ ，並建立等候時間累積分布函數，第三階段未重工比例即為等候時間小於等於 T_{23} 的累積分布 $OQ_3(X_3) = P(WT_3 \leq T_{23})$ 。

第二階段為M/D/X₂的等候模型，加工速率 $\mu_2 = 1/PT_2$ ；根據Franx等人[43]所提出的方程式求出此階段等候時間累積分布函數。第二階段未重工比例即為等候時間小於等於 T_{12} 的累積分布 $OQ_2(X_2) = P(WT_2 \leq T_{12})$ ；第一階段為M/D/X₁的等候模型，其加工速率 $\mu_1 = 1/PT_1$ 。利用以上資訊，便可建立一網路等候模型。

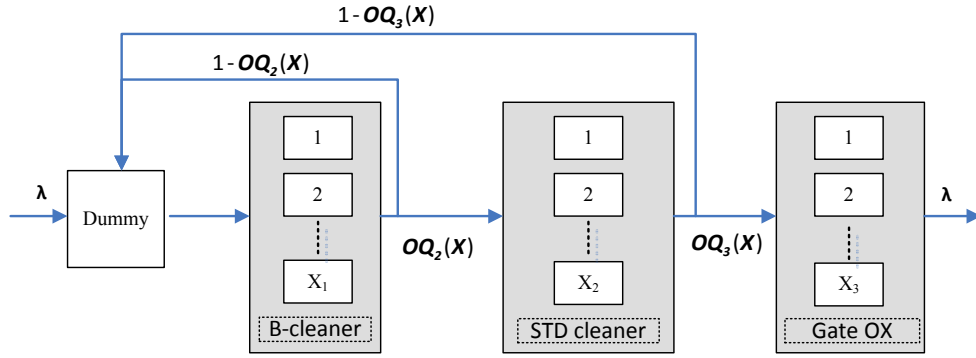


圖 3.3 等候網路模型

等候網路模型中，第三階段的流量負載為 $\rho_3 = \lambda / bX_3\mu_3$ ，第二階段的流量負載為 $\rho_2 = \lambda / OQ_3(X_3)X_2\mu_2$ ，第一階段的流量負載為 $\rho_1 = \lambda / OQ_3(X_3)OQ_2(X_2)X_1\mu_1$ ，利用此等候網路模型，本研究建立一個MSTCB模型：

$$\begin{aligned} \max \quad & \lambda \\ \text{s.t.} \quad & OQ_2(X_2) \geq 0.8 & (8) \\ & OQ_3(X_3) \geq 0.8 & (9) \\ & \rho_j \leq 1 & \forall j \quad (10) \\ & \lambda, OQ_2(X), OQ_3(X), \rho_j \geq 0 & (11) \end{aligned}$$

MSTCB模型的決策變數為投料率 λ (unit/hour)，當此等候系統到達穩態時，產出率即為投料率 λ (unit/hour)。目標式為最大化產出率 λ 。限制式(8)和限制式(9)限制各階段間的未重工機率需大於等於0.8，在限制未重工機率的同時，也限制了產品的生產週期時間，使業者保有競爭優勢。限制式(10)限制各階段的流量負載必須小於等於1，以確保投入量不超過機台的產能。限制式(11)為非負限制式。

利用 MSTCB 模型，可得到下列各數值：(1)最大產出率 λ 、(2)各產品的產出量：第 i 種產品的最大產出量等於最大產出率 λ 乘上時間(半年=365/2 天=365×24/2 小時)再乘上第 i 種產品的到來比例 $PX_k^{(i)}$ ，而第 i 種產品的產出量即為第 i 種產品的最大產出量與第 i

種產品的需求量 $D_iPX_k^{(i)}$ 取較小者，即 $R_{-D_{k,i}^{(i)}}(X) = \min\left(\frac{365}{2} \times 24 \times PX_k^{(i)} \times \lambda, D_iPX_k^{(i)}\right)$ 和(3)各階

段機台利用率：第 j 階段的機台利用率為實際投料率除以平均加工速率，實際投料率使

用產出量去回推，得到實際投料率 $\lambda^R = \frac{\sum_{i=1}^N R_{-D_{k,i}^{(i)}}(X)}{24} \times \frac{2}{365} = \frac{\sum_{i=1}^N R_{-D_{k,i}^{(i)}}(X)}{4380}$ ，並計算出第一

階段的機台利用率為 $U_{1,k,i}(X) = \lambda^R / OQ_3(X_3)OQ_2(X_2)X_1\mu_1$ ，第二階段的機台利用率為

$U_{2,k,l}(X) = \lambda^R / OQ_3(X_3)X_2\mu_2$ ，第三階段的機台利用率為 $U_{3,k,l}(X) = \lambda^R / X_3\mu_3$ 。

3.5.6 解題演算法

由於TP-MDMX模型中的生產變數是機台組合 X 的相依變數，無法直接求解，因此本研究提出一個演算法來解決TP-MDMX模型，演算法包含以下兩個程序：(1)可行起始解搜尋，(2)最佳解搜尋。

3.5.6.1 可行起始解搜尋

演算法的第一個程序為尋找滿足TP-MDMX模型限制式的可行起始解，TP-MDMX模型中要考慮的包含缺貨懲罰成本的風險程度限制(限制式(3))和機台利用率限制(限制式(4))。當購買較少的機台時，當面對較高的需求總量時，可能會過多的缺貨懲罰成本，導致缺貨懲罰成本的風險程度過大，無法滿足限制式(3)；當購買較多的機台時，當面對較低的需求總量時，可能會造成機台產能的閒置與浪費，導致機台利用率過低，無法滿足限制式(4)。

因此若某一解 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ 無法滿足限制式(3)但滿足限制式(4)，某一解 $\beta = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ 無法滿足限制式(4)但滿足限制式(3)，則可行起始解 $X_{ini} = (X_{1ini}, X_{2ini}, X_{3ini})$ 的第 j 階段機台數會介於 α 與 β 的第 j 階段機台數之間，即 $\alpha_1 \leq X_{1ini} \leq \beta_1$ ， $\alpha_2 \leq X_{2ini} \leq \beta_2$ ， $\alpha_3 \leq X_{3ini} \leq \beta_3$ 。若發現某一解 $X = (X_1, X_2, X_3)$ 無法滿足限制式(3)和限制式(4)，則代表所建立的TP-MDMX模型無可行解，因此必須重新設定參數 ϵ 和 δ 。根據TP-MDMX模型的限制式特性，本研究提出一個可行起始解的搜尋演算法。

可行起始解的搜尋步驟如下：

初始化.

1. 尋找最大需求組合和最小需求組合

D_{max} 和 D_{min} 分別為 L 組需求總量中最高和最低者， PX_{max} 和 PX_{min} 分別為 K 組產品組合中，在第三階段之期望總加工時間最長和最短者。當需求情境是需求總量為 D_{max} ，產品組合為 PX_{max} 時稱為最大需求組合，當需求情境是需求總量為 D_{min} ，產品組合為 PX_{min} 時稱為最小需求組合。

2. 針對最大和最小需求組合進行粗略產能分析，決定初始機台組合上下界 (X_{min} 和 X_{max})。

(1) 粗略產能分析(需求總量 D_l 和產品組合 PX_k 已知)

- 每日生產數量為需求總量除以加工天數，即 $D_l / (365 / 2)$

■ 決定各階段機台數量：

- ◆ 每日生產數量乘上加工時間為此階段每日需加工的時間：
 - 第一階段和第二階段每日一部機台可供給之加工時間原本為 24 小時，但因工件重工而使機台可供給時間減少，假設機台的重工率上限是 0.2，可得到每日一部機台可供給的加工時間為 24 乘上 (1-0.2)，即為 19.2 小時
 - 第三階段每日一部機台可供給之加工時間為 24 小時，又第三階段為兩批次的加工機台，但是不可能每次加工皆滿批，因此本研究假設平均批次大小為 1.75 個產品，可得到每日一部機台可供給的加工時間為 24 乘上平均批次大小 1.75，即為 42 小時。
- ◆ 各階段所需之機台數目為各階段每日需加工的時間除以每日此階段一部機台可供給的加工時間。

$$X_1 = D_1 \times PT_1 / 19.2$$

$$X_2 = D_1 \times PT_2 / 19.2$$

$$X_3 = D_1 \times E[M3_k] / 42$$

步驟1. 令可能機台組合之下界(α)和上界(β)分別為 X_{min} 和 X_{max} ：

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = X_{min}; \quad \beta = (\beta_1, \beta_2, \beta_3) = X_{max}$$

步驟2. 將 α 和 β 分別投入TFOV演算法，判斷 α 或 β 是否為可行解，若否，則到步驟3；若 α 或 β 至少一個為可行解：(i)若 α 為可行解但 β 非可行解，則起始解為 $X_{ini} = \alpha$ ，搜尋結束；(ii)若 β 為可行解但 α 非可行解，則起始解為 $X_{ini} = \beta$ ，搜尋結束；(iii)若 α 和 β 皆為可行解，則起始解為兩者當中目標值較小者，搜尋結束。

步驟3. 定義一新解 $X' = (\lfloor (\alpha_1 + \beta_1) / 2 \rfloor, \lfloor (\alpha_2 + \beta_2) / 2 \rfloor, \lfloor (\alpha_3 + \beta_3) / 2 \rfloor)$

步驟4. 將 X' 投入TFOV演算法，判斷 X' 是否為可行解，若否：(i)若 X' 滿足限制式(4)但未滿足限制式(3)，則 X' 取代下界($\alpha = X'$)，回到步驟3；(ii)若 X' 滿足限制式(3)但未滿足限制式(4)，則解 X' 取代上界($\beta = X'$)，回到步驟3；(iii)若 X' 未滿足限制式(4)和限制式(3)，則需重新設定參數 ε 和 δ ，結束搜尋。若是，則可行起始解 $X_{ini} = X'$ ，結束搜尋。

上述可行起始解搜尋流程匯整如圖3.4。

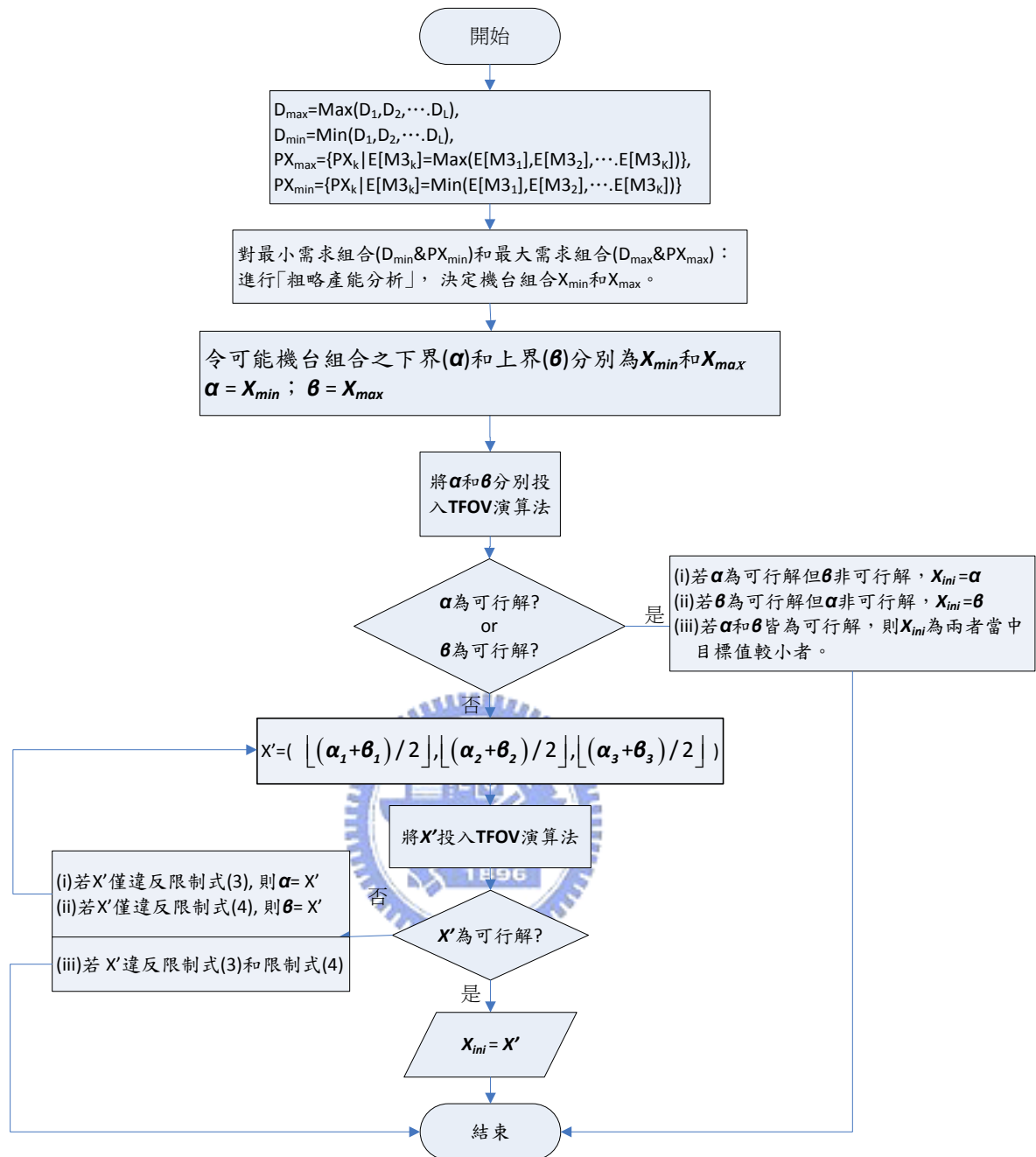


圖 3.4 可行起始解搜尋流程圖

3.5.6.2 最佳解搜尋

若已由可行起始解搜尋演算法的找到一個TP-MDMX模型可行起始解，本研究由3.5.3節的目標式分析和假設下，得知若某一可行解 X 其目標值 $cost(X)$ 皆小於其相鄰解，此可行解即為最佳解，目標式 $cost(X) = TL(X) + TM(X)$ ，本研究定義增減一部機台的機會效益如下：

$$\text{下：} IR^+(X, e_j) = \frac{TL(X) - TL(X + e_j)}{TM(X + e_j) - TM(X)} \text{ 和 } IR^-(X, e_j) = \frac{TM(X) - TM(X - e_j)}{TL(X - e_j) - TL(X)}$$

$j=1,2,3$ ， $(X, +e_j)$ 代表現有的機台組態為 X ，增加第 j 階段的機台一部的機台組態。 $IR^+(X, e_j)$

代表現有的機台組態為 \mathbf{X} ，若增加第 j 階段的機台一部時的機會效益，當 $IR^+(\mathbf{X}, \mathbf{e}_j) > 1$ 時，表示減少的期望缺貨懲罰成本，大於增加一部機台的成本； $IR^+(\mathbf{X}, \mathbf{e}_j)$ 代表現有的機台組態為 \mathbf{X} ，若減少第 j 階段的機台一部時的機會效益，當 $IR^-(\mathbf{X}, \mathbf{e}_j) > 1$ 時，表示減少一部機台的成本，大於增加的期望缺貨懲罰成本。根據目標式分析與數值 $IR^+(\mathbf{X}, \mathbf{e}_j)$ 和 $IR^-(\mathbf{X}, \mathbf{e}_j)$ ，本研究發展出一個最佳解搜尋演算法，以 $\alpha^{(t)}$ 和 $\beta^{(t)}$ 代表第 t 次疊代的兩機台組態，解題步驟如下：

步驟1. 輸入一可行起始解 \mathbf{X}_{ini}

步驟2. 令 $\alpha^{(0)} = \beta^{(0)} = \mathbf{X}_{ini}$ 。

步驟3. 令 $t=1$ 。

步驟4. 將機台組態 $\beta^{(t-1)} + \mathbf{e}_j$ 和 $\alpha^{(t-1)} - \mathbf{e}_j$ 投入TFOV演算法中， $j=1,2,3$ ，判斷機台組態 $\beta^{(t-1)} + \mathbf{e}_j$ 和 $\alpha^{(t-1)} - \mathbf{e}_j$ 是否為TP-MDMX模型的可行解，詳細步驟如下：

步驟4.1：令 $j=0$ ， $J_\beta = J_\alpha = \phi$ 。

步驟4.2：判斷機台組態 $\beta^{(t-1)} + \mathbf{e}_j$ 和 $\alpha^{(t-1)} - \mathbf{e}_j$ 是否為TP-MDMX模型的可行解。

(1) 將機台組態 $\beta^{(t-1)} + \mathbf{e}_j$ 投入TFOV演算法中，判斷機台組態 $\beta^{(t-1)} + \mathbf{e}_j$ 是否為TP-MDMX模型的可行解，若是，將 j 納入集合 J_β 中。

(2) 將機台組態 $\alpha^{(t-1)} - \mathbf{e}_j$ 投入TFOV演算法中，判斷機台組態 $\alpha^{(t-1)} - \mathbf{e}_j$ 是否為TP-MDMX模型的可行解，若是，將 j 納入集合 J_α 中。

步驟4.3：若 $j \geq 3$ ，則停止演算；若 $j < 3$ ，則 $j=j+1$ ，回到步驟3.2。

步驟5. (1) 計算 $IR^+(\beta^{(t-1)}, \mathbf{e}_j)$ ，for all $j \in J_\beta$ ：

若 $\max_j IR^+(\beta^{(t-1)}, \mathbf{e}_j) = IR^+(\beta^{(t-1)}, \mathbf{e}_k) \geq 1$ ，則 $\beta^{(t)} = \beta^{(t-1)} + \mathbf{e}_k$ ($\beta^{(t)}$ 為增加 $\beta^{(t-1)}$ 第 k 階段的機台一部)；若 $\max_j IR^+(\beta^{(t-1)}, \mathbf{e}_j) < 1$ ，則 $\beta^{(t)} = \beta^{(t-1)}$ ($\beta^{(t)}$ 為不增減 $\beta^{(t-1)}$)

(2) 計算 $IR^-(\alpha^{(t-1)}, \mathbf{e}_j)$ ，for all $j \in J_\alpha$ ：

若 $\max_j IR^-(\alpha^{(t-1)}, \mathbf{e}_j) = IR^-(\alpha^{(t-1)}, \mathbf{e}_k) \geq 1$ ，則 $\alpha^{(t)} = \alpha^{(t-1)} - \mathbf{e}_k$ ($\alpha^{(t)}$ 為減少 $\alpha^{(t-1)}$ 第 k 階段的機台一部)；若 $\max_j IR^-(\alpha^{(t-1)}, \mathbf{e}_j) < 1$ ，則 $\alpha^{(t)} = \alpha^{(t-1)}$ ($\alpha^{(t)}$ 為不增減 $\alpha^{(t-1)}$)

步驟6. 若 $\beta^{(t)} = \beta^{(t-1)}$ 且 $\alpha^{(t)} = \alpha^{(t-1)}$ ，則將 β^t 和 α^t 投入TFOV演算法中，求得TP-MDMX模型的目標值 $\text{cost}(\beta^{(t)})$ 和 $\text{cost}(\alpha^{(t)})$ ，最佳解 \mathbf{X}_{best} 為 $\beta^{(t)}$ 和 $\alpha^{(t)}$ 兩者中TP-MDMX模型的目標值較小者，結束搜尋；若否，則令 $t=t+1$ ，回到步驟3。

上述可行最佳解搜尋流程匯整其流程如圖3.5。

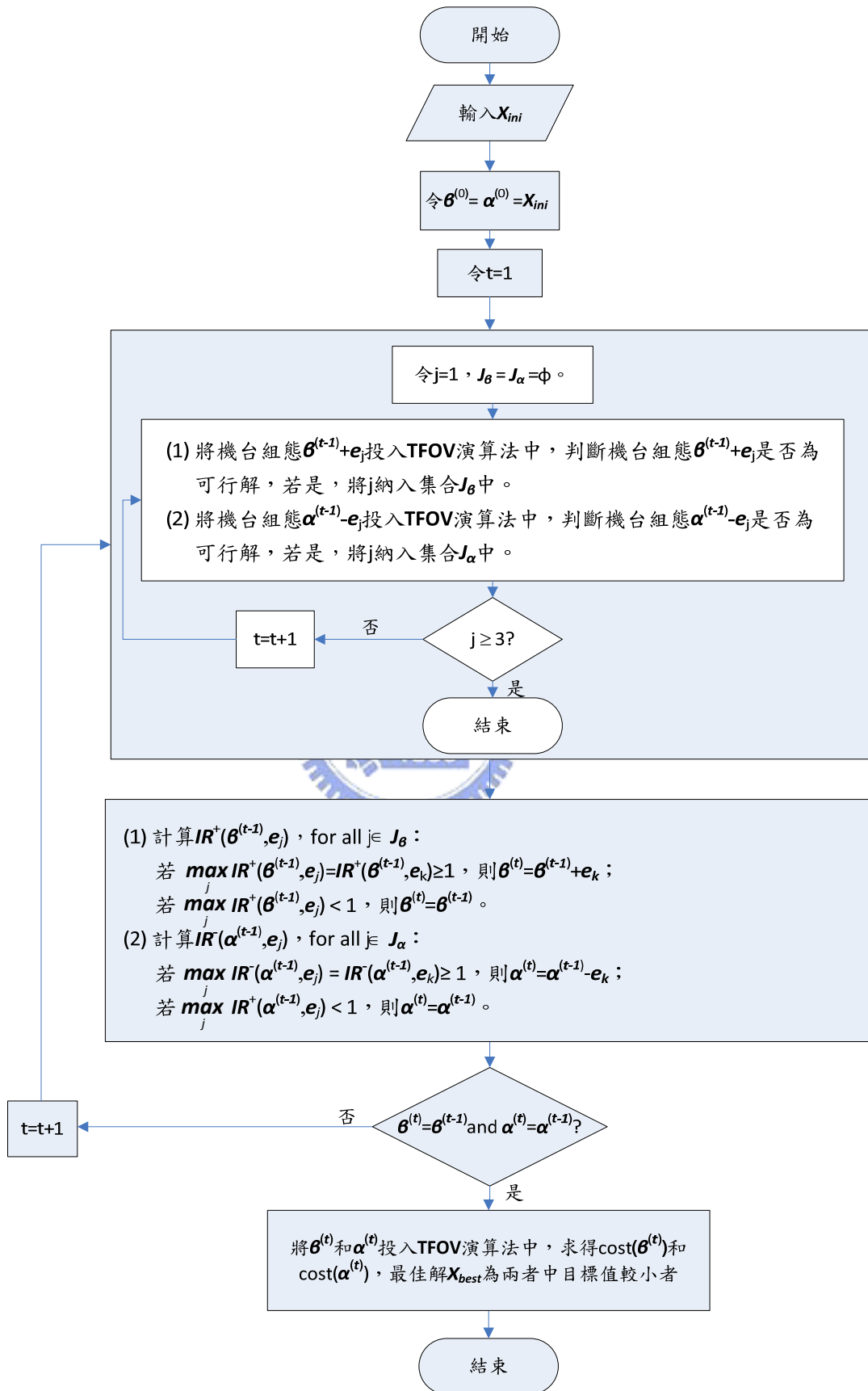


圖 3.5 最佳解搜尋流程圖

第四章 個案案例說明

本章節將以一個個案案例-個案一為例，利用本研究提出的解題方法求解個案一，並探討 TP-MDMX 模型求得的最適機台組態之績效。

4.1 個案資料

個案一的需求環境為四種需求情境與兩種產品組合情境，所需生產的產品共三種，各產品所屬的溫群如表 4.1，各工件種類在各機台上的加工時間如表 4.2。

未來可能的需求總量 $D=(D_1, D_2, D_3, D_4) = (2.3, 2.5, 3, 4)$ 萬片，各需求總量情境發生的機率為 $(Rd_1, Rd_2, Rd_3, Rd_4) = (0.1, 0.3, 0.5, 0.1)$ ，未來可能的產品組合為 $PX=(PX_1, PX_2)$ ， PX_1 和 PX_2 的三產品的產品組合分別為 $(0.1: 0.5: 0.4)$ 和 $(0.4, 0.2, 0.4)$ 。各產品組合情境發生的機率為 $(R_1, R_2) = (0.4, 0.6)$ 。各階段機台單位採購成本 $w_j = (15 \text{ 百萬}, 10 \text{ 百萬}, 20 \text{ 百萬})$ ，機台折舊攤提的期數 $N=10$ 。產品 1、產品 2 和產品 3 的單位缺貨懲罰成本分別為 21235 元、18801 元和 24926 元。設定可容忍的缺貨懲罰成本期望正變異上限 $\epsilon = 5000$ 萬元，可容忍的機台利用率下限 $\delta = 0.55$ 。

表 4.1 個案一各產品所屬的溫群

產品	溫群
p^1	1
p^2	1
p^3	2

表 4.2 個案一加工時間表(小時)

Processing Time Product	Machine		
	M1	M2	M3
p^1	1.5	2	4.5
p^2			6
p^3			4

4.2 個案一-建立機台組態規劃評估模型

首先，建立案例一的TP-MDMX模型：

$$\min \text{cost} = TL(X) + \frac{150000000X_1 + 100000000X_2 + 25000000X_3}{10}$$

$$TL(X) = 0.1 \times 0.4 (21235Lost_{1,1}^{(1)} + 18801Lost_{1,1}^{(2)} + 24926Lost_{1,1}^{(3)})$$

$$+ 0.1 \times 0.6 (21235Lost_{2,1}^{(1)} + 18801Lost_{2,1}^{(2)} + 24926Lost_{2,1}^{(3)})$$

$$+ 0.3 \times 0.4 (21235Lost_{1,2}^{(1)} + 18801Lost_{1,2}^{(2)} + 24926Lost_{1,2}^{(3)})$$

$$+ 0.3 \times 0.6 (21235Lost_{2,2}^{(1)} + 18801Lost_{2,2}^{(2)} + 24926Lost_{2,2}^{(3)})$$

$$+ 0.5 \times 0.4 (21235Lost_{1,3}^{(1)} + 18801Lost_{1,3}^{(2)} + 24926Lost_{1,3}^{(3)})$$

$$+ 0.5 \times 0.6 (21235Lost_{2,3}^{(1)} + 18801Lost_{2,3}^{(2)} + 24926Lost_{2,3}^{(3)})$$

$$+ 0.1 \times 0.4 (21235Lost_{1,4}^{(1)} + 18801Lost_{1,4}^{(2)} + 24926Lost_{1,4}^{(3)})$$

$$+ 0.1 \times 0.6 (21235Lost_{2,4}^{(1)} + 18801Lost_{2,4}^{(2)} + 24926Lost_{2,4}^{(3)})$$

s.t. $R_{D_{1,1}}^{(1)}(X) + Lost_{1,1}^{(1)} = D_{1,1}^{(1)}$; $R_{D_{1,1}}^{(2)}(X) + Lost_{1,1}^{(2)} = D_{1,1}^{(2)}$; $R_{D_{1,1}}^{(3)}(X) + Lost_{1,1}^{(3)} = D_{1,1}^{(3)}$

$R_{D_{2,1}}^{(1)}(X) + Lost_{2,1}^{(1)} = D_{2,1}^{(1)}$; $R_{D_{2,1}}^{(2)}(X) + Lost_{2,1}^{(2)} = D_{2,1}^{(2)}$; $R_{D_{2,1}}^{(3)}(X) + Lost_{2,1}^{(3)} = D_{2,1}^{(3)}$

$R_{D_{1,2}}^{(1)}(X) + Lost_{1,2}^{(1)} = D_{1,2}^{(1)}$; $R_{D_{1,2}}^{(2)}(X) + Lost_{1,2}^{(2)} = D_{1,2}^{(2)}$; $R_{D_{1,2}}^{(3)}(X) + Lost_{1,2}^{(3)} = D_{1,2}^{(3)}$

$R_{D_{2,2}}^{(1)}(X) + Lost_{2,2}^{(1)} = D_{2,2}^{(1)}$; $R_{D_{2,2}}^{(2)}(X) + Lost_{2,2}^{(2)} = D_{2,2}^{(2)}$; $R_{D_{2,2}}^{(3)}(X) + Lost_{2,2}^{(3)} = D_{2,2}^{(3)}$

$R_{D_{1,3}}^{(1)}(X) + Lost_{1,3}^{(1)} = D_{1,3}^{(1)}$; $R_{D_{1,3}}^{(2)}(X) + Lost_{1,3}^{(2)} = D_{1,3}^{(2)}$; $R_{D_{1,3}}^{(3)}(X) + Lost_{1,3}^{(3)} = D_{1,3}^{(3)}$

$R_{D_{2,3}}^{(1)}(X) + Lost_{2,3}^{(1)} = D_{2,3}^{(1)}$; $R_{D_{2,3}}^{(2)}(X) + Lost_{2,3}^{(2)} = D_{2,3}^{(2)}$; $R_{D_{2,3}}^{(3)}(X) + Lost_{2,3}^{(3)} = D_{2,3}^{(3)}$

$R_{D_{1,4}}^{(1)}(X) + Lost_{1,4}^{(1)} = D_{1,4}^{(1)}$; $R_{D_{1,4}}^{(2)}(X) + Lost_{1,4}^{(2)} = D_{1,4}^{(2)}$; $R_{D_{1,4}}^{(3)}(X) + Lost_{1,4}^{(3)} = D_{1,4}^{(3)}$

$R_{D_{2,4}}^{(1)}(X) + Lost_{2,4}^{(1)} = D_{2,4}^{(1)}$; $R_{D_{2,4}}^{(2)}(X) + Lost_{2,4}^{(2)} = D_{2,4}^{(2)}$; $R_{D_{2,4}}^{(3)}(X) + Lost_{2,4}^{(3)} = D_{2,4}^{(3)}$

$\Delta_{1,1} = \max((21235Lost_{1,1}^{(1)} + 18801Lost_{1,1}^{(2)} + 24926Lost_{1,1}^{(3)} - TL(X), 0)$

$\Delta_{2,1} = \max((21235Lost_{2,1}^{(1)} + 18801Lost_{2,1}^{(2)} + 24926Lost_{2,1}^{(3)} - TL(X), 0)$

$\Delta_{1,2} = \max((21235Lost_{1,2}^{(1)} + 18801Lost_{1,2}^{(2)} + 24926Lost_{1,2}^{(3)} - TL(X), 0)$

$\Delta_{2,2} = \max((21235Lost_{2,2}^{(1)} + 18801Lost_{2,2}^{(2)} + 24926Lost_{2,2}^{(3)} - TL(X), 0)$

$\Delta_{1,3} = \max((21235Lost_{1,3}^{(1)} + 18801Lost_{1,3}^{(2)} + 24926Lost_{1,3}^{(3)} - TL(X), 0)$

$\Delta_{2,3} = \max((21235Lost_{2,3}^{(1)} + 18801Lost_{2,3}^{(2)} + 24926Lost_{2,3}^{(3)} - TL(X), 0)$

$\Delta_{1,4} = \max((21235Lost_{1,4}^{(1)} + 18801Lost_{1,4}^{(2)} + 24926Lost_{1,4}^{(3)} - TL(X), 0)$

$\Delta_{2,4} = \max((21235Lost_{2,4}^{(1)} + 18801Lost_{2,4}^{(2)} + 24926Lost_{2,4}^{(3)} - TL(X), 0)$

$$0.1 \times (0.4 \times \Delta_{1,1} + 0.6 \times \Delta_{2,1}) + 0.3 \times (0.4 \times \Delta_{1,2} + 0.6 \times \Delta_{2,2})$$

$$+ 0.5 \times (0.4 \times \Delta_{1,3} + 0.6 \times \Delta_{2,3}) + 0.1 \times (0.4 \times \Delta_{1,4} + 0.6 \times \Delta_{2,4}) \leq 6000000$$

$$U_{1,1,1}(X) \geq 0.5; U_{2,1,1}(X) \geq 0.5; U_{3,1,1}(X) \geq 0.5$$

$$U_{1,1,2}(X) \geq 0.5; U_{2,1,2}(X) \geq 0.5; U_{3,1,2}(X) \geq 0.5$$

$$U_{1,1,3}(X) \geq 0.5; U_{2,1,3}(X) \geq 0.5; U_{3,1,3}(X) \geq 0.5$$

$$U_{1,1,4}(X) \geq 0.5; U_{2,1,4}(X) \geq 0.5; U_{3,1,4}(X) \geq 0.5$$

$$U_{1,2,1}(X) \geq 0.5; U_{2,2,1}(X) \geq 0.5; U_{3,2,1}(X) \geq 0.5$$

$$U_{1,2,2}(X) \geq 0.5; U_{2,2,2}(X) \geq 0.5; U_{3,2,2}(X) \geq 0.5$$

$$U_{1,2,3}(X) \geq 0.5; U_{2,2,3}(X) \geq 0.5; U_{3,2,3}(X) \geq 0.5$$

$$U_{1,2,4}(X) \geq 0.5; U_{2,2,4}(X) \geq 0.5; U_{3,2,4}(X) \geq 0.5$$

$$R_D_{k,l}^{(i)}(X), Lost_{k,l}^{(i)}, \Delta_{k,l}, U_{j,k,l}(X) \geq 0 \quad \text{for } i = 1,2,3; j = 1,2,3; k = 1,2; l = 1,2,3,4$$

4.3 個案一-可行起始解搜尋

初始化.

1. 尋找最大需求組合和最小需求組合：

D_{max} 和 D_{min} 分別為兩組需求總量中需求量最高與最低者：

$$D_{max} = \max(2.3, 2.5, 3, 4) = 4 \text{ 萬片}, D_{min} = \min(2.3, 2.5, 3, 4) = 2.3 \text{ 萬片}。$$

$$E[M3_1] = 0.1 \times 4.5 + 0.5 \times 6 + 0.4 \times 4 + 0.1 \times 0.4 \times 2 + 0.5 \times 0.4 \times 2 + 0.4 \times 0.6 \times 2 = 6.01。$$

$$E[M3_2] = 0.4 \times 4.5 + 0.2 \times 6 + 0.4 \times 4 + 0.4 \times 0.4 \times 2 + 0.2 \times 0.4 \times 2 + 0.4 \times 0.6 \times 2 = 5.56。$$

PX_{max} 和 PX_{min} 分別為兩組產品組合中，第三階段之期望加工時間最長者與最短者：

$$PX_{max} = PX_1, PX_{min} = PX_2。$$

最大需求組合為當需求總量為 40000，產品組合為(0.1, 0.5, 0.4)的情境。

最小需求組合為當需求總量為 23000，產品組合為(0.4, 0.2, 0.4)的情境。

2. 針對最大和最小需求組合進行粗略產能分析，決定機台組合 X_{min} 和 X_{max} 。

○ 最大需求組合

■ 每日生產數量為需求總量除以加工天數，即

$$40000 / (365 / 2) \doteq 219.178$$

■ 各階段機台數量機台數量

$$\theta_1 = 219.178 \times 1.5 / 19.2 = 17.12 \doteq 17 \text{ 台}$$

$$\theta_2 = 219.178 \times 2 / 19.2 = 22.83 \doteq 23 \text{ 台}$$

$$\theta_3 = 219.178 \times 6.01 / 42 = 31.36 \doteq 31 \text{ 台}$$

○ 最小需求組合

■ 每日生產數量為需求總量除以加工天數，即

$$23000 / (365 / 2) \doteq 126.027$$

■ 各階段機台數量機台數量

$$\alpha_1 = 126.027 \times 1.5 / 19.2 = 9.85 \doteq 10 \text{ 台}$$

$$\alpha_2 = 126.027 \times 2 / 19.2 = 13.13 \doteq 13 \text{ 台}$$

$$\alpha_3 = 126.027 \times 5.56 / 42 = 16.68 \doteq 17 \text{ 台}$$

步驟1. 令可能機台組合之下界(α)和上界(β)分別為 X_{min} 和 X_{max} ：

$$\alpha = X_{min} = (10, 13, 17)$$

$$\beta = X_{max} = (17, 23, 31)$$

步驟2. 將 α 和 β 分別投入TFOV演算法，得知 α 和 β 皆非可行解，到步驟3。

步驟3. 定義一新解 $X' = (\lfloor (17+10)/2 \rfloor, \lfloor (23+13)/2 \rfloor, \lfloor (31+17)/2 \rfloor) = (14, 18, 24)$

步驟4. 將 X' 投入TFOV演算法，得知 X' 為可行解，則可行起始解 $X_{ini} = X' = (14, 18, 24)$ ，演算法結束。

個案一的可行起始解搜尋流程整理如表4.3

表 4.3 案例一的可行起始解搜尋流程

$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$	違反 限制式	$\beta = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)$	違反 限制式	$X' = (X_1', X_2', X_3')$	違反 限制式
(10, 13, 17)	(3)	(17, 23, 31)	(4)	(14, 18, 24)	—

4.4 個案一-最佳解搜尋

由可行起始解演算法得到一可行起始解為 $X_{ini} = (14, 18, 24)$ ，開始最佳解搜尋：

步驟1. 輸入一可行起始解 $X_{ini} = (14, 18, 24)$ 。

步驟2. 令 $\alpha^{(0)} = \beta^{(0)} = X_{ini} = (14, 18, 24)$ 。

步驟3. 令 $t=1$ 。

步驟4. 將機台組態 $\beta^{(0)} + e_j$ 和 $\alpha^{(0)} - e_j$ 投入TFOV演算法中， $j=1, 2, 3$ ，判斷機台組態 $\beta^{(0)} + e_j$ 和 $\alpha^{(0)} - e_j$ 是否為TP-MDMX模型的可行解，得到 $J_\beta = \{1, 2, 3\}$ ， $J_\alpha = \{1, 2, 3\}$ 。

步驟5. (1) 計算 $IR^+(\beta^{(0)}, e_j)$ ，for all $j \in J_\beta$ ：

$$IR^+(\beta^{(0)}, e_1) = 0.03, IR^+(\beta^{(0)}, e_2) = 0.011, IR^+(\beta^{(0)}, e_3) = 1.236。$$

$$\max_j IR^+(\beta^{(0)}, e_j) = IR^+(\beta^{(0)}, e_3) = 1.236 \geq 1，則 \beta^{(1)} = \beta^{(0)} + e_3 = (14, 18, 25)。$$

(2) 計算 $IR^-(\alpha^{(0)}, e_j)$ ，for all $j \in J_\alpha$ ：

$$IR^-(\alpha^{(0)}, e_1) = 2.283, IR^-(\alpha^{(0)}, e_2) = 0.616, IR^-(\alpha^{(0)}, e_3) = 0.629$$

$$\max_j IR^-(\alpha^{(0)}, e_j) = IR^-(\alpha^{(0)}, e_1) = 2.283 \geq 1, \text{ 則 } \alpha^{(1)} = \alpha^{(0)} - e_1 = (13, 18, 24)。$$

步驟6. 因為 $\beta^{(1)} \neq \beta^{(0)}$ 和 $\alpha^{(1)} \neq \alpha^{(0)}$ ，令 $t=1+1=2$ ，回到步驟4。

步驟4. 將機台組態 $\beta^{(1)} + e_j$ 和 $\alpha^{(1)} - e_j$ 投入TFOV演算法中， $j=1,2,3$ ，判斷機台組態 $\beta^{(1)} + e_j$ 和 $\beta^{(1)} - e_j$ 是否為TP-MDMX模型的可行解，得到 $J_\beta = \{1,2,3\}$ ， $J_\alpha = \{1,2,3\}$ 。

步驟5. (1) 計算 $IR^+(\beta^{(1)}, e_j)$ ，for all $j \in J_\beta$ ：

$$IR^+(\beta^{(1)}, e_1) = 0.071, IR^+(\beta^{(1)}, e_2) = 0.267, IR^+(\beta^{(1)}, e_3) = 0.499。$$

$$\max_j IR^+(\beta^{(1)}, e_j) = IR^+(\beta^{(1)}, e_3) = 0.499 < 1, \text{ 則 } \beta^{(2)} = \beta^{(1)} = (14, 18, 25)。$$

(2) 計算 $IR^-(\alpha^{(1)}, e_j)$ ，for all $j \in J_\alpha$ ：

$$IR^-(\alpha^{(1)}, e_1) = 0.383, IR^-(\alpha^{(1)}, e_2) = 0.743, IR^-(\alpha^{(1)}, e_3) = 0.703$$

$$\max_j IR^-(\alpha^{(1)}, e_j) = IR^-(\alpha^{(1)}, e_2) = 0.743 < 1, \text{ 則 } \alpha^{(2)} = \alpha^{(1)} = (13, 18, 24)。$$

步驟6. 因為 $\beta^{(2)} = \beta^{(1)}$ 和 $\alpha^{(2)} = \alpha^{(1)}$ ，將 β^t 和 α^t 投入TFOV演算法中，求得兩者的目標值 $\text{cost}(\beta^{(2)}) = 105733567$ 和 $\text{cost}(\alpha^{(2)}) = 104846537$ ，最佳解 $X_{best} = \alpha^{(2)} = (13, 18, 24)$ 。

個案一的最佳解搜尋流程整理如表4.4

表 4.4 個案一的最佳解搜尋流

Iteration	機台數	$IR^+(\beta^{(t-1)}, e_j)$, for $j \in J_\alpha$			機台數	$IR^-(\alpha^{(t-1)}, e_j)$, for $j \in J_\alpha$		
	$(\beta_1^{(t)}, \beta_2^{(t)}, \beta_3^{(t)})$	j=1	j=2	j=3	$(\alpha_1^{(t)}, \alpha_2^{(t)}, \alpha_3^{(t)})$	j=1	j=2	j=3
0	(14,18,24)	-	-	-	(14,18,24)	-	-	-
1	(14,18,25)	0.03	0.011	1.236	(13,18,24)	2.283	0.616	0.629
2	(14,18,25)	0.071	0.267	0.499	(13,18,24)	0.383	0.743	0.703

4.5 案例績效探討

本節比較 TP-MDMX 模型與僅考慮單一情境的機台規劃的績效。假設未來可能的需求情境如表 4.5。共有 8 種情境(4 種需求總量情境×2 種產品組合情境)，比較項目包括期望總成本與各情境發生時的總成本，單一情境的機台規劃-情境 1 表示專為需求情境 1 所做的規劃，其他以此類推。

表 4.6 為 TP-MDMX 模型與單一情境的機台規劃之期望總成本與各情境發生時的成本比較。單一情境的機台規劃-情境 1 到單一情境的機台規劃-情境 5 所求得的最適機台組態，當情境 7 和情境 8 發生時，會有過大的缺貨懲罰成本，造成無法滿足缺貨懲罰成

本的風險程度限制，皆為非可行解。單一情境的機台規劃-情境 6 到單一情境的機台規劃-情境 8 所求得的最適機台組態分別為(11,14,20)、(14,19,28)和(14,19,26)。TP-MDMX 模型法所得到的期望成本(104846537)，皆低確定性法-情境 6 到確定性法-情境 8 所得到的期望成本(106474229、110000000 和 106842519)，這表示 TP-MDMX 模型較能顧及所有的需求情境。

由表 4.6 中可發現，當情境 1 發生時，單一情境的機台規劃-情境 1 的成本最低，因為它是針對需求情境 1 所做的規劃方式，所求得的機台組態即為情境 1 得最適機台組態，其他以此類推。單一情境的機台規劃雖然在此情境出現時會有最低的成本，但是卻面臨相當高的風險，因為若出現的情境若非當初所規劃的情境時，會導致錯誤的機台採購決策，進而產生相當大的成本。

表 4.7 為 TP-MDMX 模型與單一情境的機台規劃所求得的最適機台組態，在各情境下與最低成本的差異百分比，從表中可發現，單一情境的機台規劃-情境 1 是專為情境 1 所做的機台規劃，當未來真正的需求為情境 8 時，與最低成本的差異高達 312.74%，遠較其他規劃方式來的高。此乃單一情境的機台規劃-情境 1 所購買的機台數量較少，以致於當面對高需求情境時，會導致大量的缺貨，而造成高額的缺貨懲罰成本。再如單一情境的機台規劃-情境 7 是專為情境 7 所做的機台規劃，但當未來的需求為情境 2 時，便會因為購買過多的機台，造成過高的機台成本，同時也會使機台設備閒置。

本研究所提出的 TP-MDMX 模型將各種情境納入考慮，雖然在每一種情境下並非最低成本者，但其在各情境下與各情境的最低成本差異百分比，最低為 12.72%，最高僅 87.41%，遠低於各情境出現時的最高差異百分比(最低為 67.94%，最高為 185.98%)，這表示 TP-MDMX 模型在每一種需求情境下不會導致過高的成本。由數據觀察可得知，若未來的需求充滿不確定性，TP-MDMX 模型可以因應各情境出現的情況，降低業者機台投資的風險。

表 4.5 各情境的設定值及其發生機率

情境	需求總量	產品組合	發生 機率	情境	需求總量	產品組合	發生 機率
1	2.3 萬片	(0.1,0.5,0.4)	0.04	5	3 萬片	(0.1,0.5,0.4)	0.2
2	2.3 萬片	(0.4,0.2,0.4)	0.06	6	3 萬片	(0.4,0.2,0.4)	0.3
3	2.5 萬片	(0.1,0.5,0.4)	0.12	7	4 萬片	(0.1,0.5,0.4)	0.04
4	2.5 萬片	(0.4,0.2,0.4)	0.18	8	4 萬片	(0.4,0.2,0.4)	0.06

表 4.6 TP-MDMX 規劃法與單一情境的機台規劃之比較-1

	TP-MDMX	單一情境的機台規劃			
		情境 1	情境 2	情境 3	情境 4
最適機台組態 情境	(14,18,25)	(8,11,16)	(8,11,15)	(9,12,18)	(9,12,16)
情境 1	97,500,000	63,000,000	85,757,137	85,757,137	85,757,137
情境 2	97,500,000	63,000,000	60,500,000	70,500,000	65,500,000
情境 3	97,500,000	100,400,256	128,745,937	70,500,000	102,320,386
情境 4	97,500,000	100,003,959	97,503,959	70,500,000	65,500,000
情境 5	97,500,000	207,872,256	(缺貨成本過大)	158,197,152	209,792,386
情境 6	97,500,000	(缺貨成本過大)	(缺貨成本過大)	161,176,368	173,020,903
情境 7	206,155,409	(缺貨成本過大)	(缺貨成本過大)	(缺貨成本過大)	(缺貨成本過大)
情境 8	147,505,350	(缺貨成本過大)	(缺貨成本過大)	(缺貨成本過大)	(缺貨成本過大)
期望成本	104,846,537				

	單一情境的機台規劃			
	情境 5	情境 6	情境 7	情境 8
最適機台組態 情境	(11,15,22)	(11,14,20)	(14,19,28)	(14,19,26)
情境 1	86,500,000	80,500,000	110,000,000	105,000,000
情境 2	86,500,000	80,500,000	110,000,000	105,000,000
情境 3	86,500,000	80,500,000	110,000,000	105,000,000
情境 4	86,500,000	80,500,000	110,000,000	105,000,000
情境 5	86,500,000	99,630,016	110,000,000	105,000,000
情境 6	86,500,000	80,500,000	110,000,000	105,000,000
情境 7	(缺貨成本過大)	314,574,016	110,000,000	151,062,978
情境 8	(缺貨成本過大)	293,587,753	110,000,000	105,000,000
期望成本		106,474,229	110,000,000	106,842,519

表 4.7 TP-MDMX 規劃法與單一情境的機台規劃之比較-2

	TP-MDMX	單一情境的機台規劃							
		情境 1	情境 2	情境 3	情境 4	情境 5	情境 6	情境 7	情境 8
最適機台組態 情境	(14,18,25)	(8,11,16)	(8,11,15)	(9,12,18)	(9,12,16)	(11,15,22)	(11,14,20)	(14,19,28)	(14,19,26)
情境 1	54.76%	0%	36.12%	36.12%	36.12%	37.30%	27.78%	74.60%	66.67%
情境 2	61.16%	4.13%	0%	16.53%	8.26%	42.98%	33.06%	81.82%	73.55%
情境 3	38.30%	42.41%	82.62%	0%	45.14%	22.70%	14.18%	56.03%	48.94%
情境 4	48.85%	52.68%	48.86%	7.63%	0%	32.06%	22.90%	67.94%	60.31%
情境 5	12.72%	140.31%	—	82.89%	142.53%	0%	15.18%	27.17%	21.39%
情境 6	21.12%	—	—	100.22%	114.93%	7.45%	0%	36.65%	30.43%
情境 7	87.41%	—	—	—	—	134.90%	185.98%	0%	37.33%
情境 8	40.48%	—	—	—	—	149.87%	179.61%	4.76%	0%



第五章 模式驗證

本研究設計了數個多階段具等候時間限制的批次加工的生產問題，來測試本研究所建立的 MSTCB 模型的精確度。在模擬實驗中，產品種類為 3，各階段的機台數目 (X_1, X_2, X_3) 分別為 (6,8,8)、(8,10,14) 和 (15,18,20)，產品組合分別為 (0.1,0.3,0.6)、(0.3,0.5,0.2) 和 (0.5,0.2,0.3)，產品在第一階段和第二階段的加工時間分別為 1.5 小時和 2 小時，各產品在第三階段的加工時間(小時)，由實際產品資料挑出 4 組，分別為 (4.92,5.69,4.83)、(4.99,5.2,3.13)、(5.3,4.07,4.75) 和 (6.13,4.33,6.02)，所有的測試皆在 AMD Athlon 3500 2.21GHz，記憶體 960RAM 以及 Windows XP 作業系統的平台執行。

本研究使用 Em-plant7.0 建立電腦模擬的模型，如圖 5.1，各項設定如表 5.1。投料方法設定為實務中較常使用的 UNIF 投料法(固定間隔時間投入固定之數量)，模擬時間為一年半，取達到穩定態之半年到一年的資料作為模擬結果。除了投料方法與模擬時間之外的各項設定皆與 MSTCB 模型的假設相同。

表 5.1 電腦模擬設定

Model	多階段具等候時間限制的批次加工系統		
EventController	一年半，每天24小時連續運作		
Recipe	UNIF	固定時間($1/\lambda$)內投入固定之數量	投入量按產品需求比例分配
B-cleaner	第一階段加工機台，機台數目為 X_1 加工時間皆為1.5小時		
STD-cleaner	第二階段加工機台，機台數目為 X_2 加工時間皆為2小時		
Gate-OX	第三階段加工機台，機台數目為 X_3 各產品加工時間為分別固定時間 PT_3^i 小時		

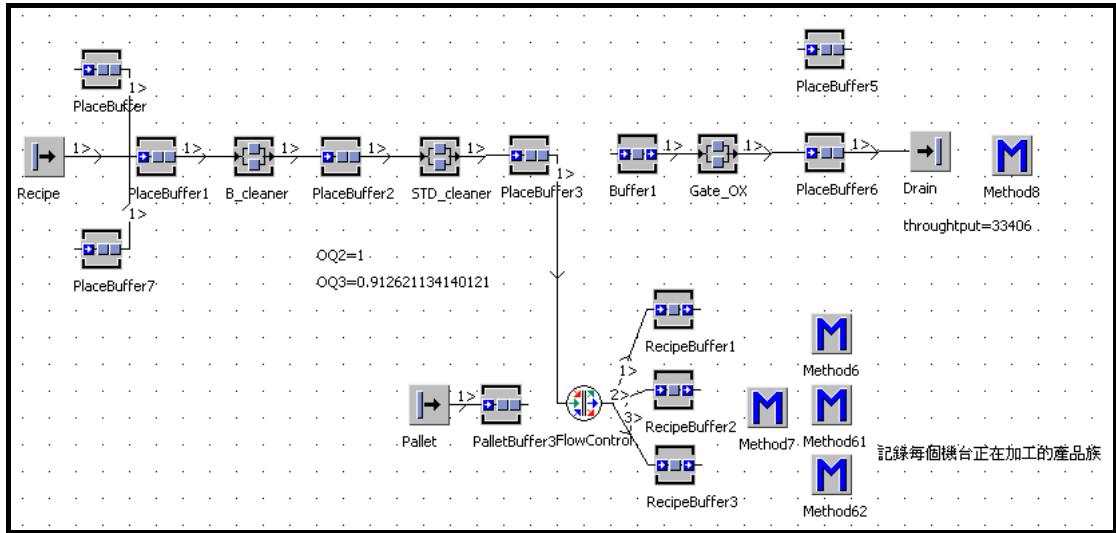


圖 5.1Em-plant 模型

在每組機台組合、產品組合和各產品在第三階段的加工時間之下，利用 MSTCB 模型計算出最大投料率 λ ，再以此投料率 λ 作為電腦模擬的投料率，分別利用 MSTCB 模型和電腦模擬求得產量、第二階段未重工比例 OQ_2 與第三階段未重工比例 OQ_3 的數值，結果整理在表 5.2。

表 5.2 電腦模擬與 MSTCB 模型的結果

機台數	加工時間	產品組合	產量		OQ2		OQ3	
			模擬	MSTCB	模擬	MSTCB	模擬	MSTCB
(6,8,8)	(4.92,5.69,4.83)	(0.1,0.3,0.6)	10702	10704	1	1	0.96968	0.88111
		(0.3,0.5,0.2)	10980	10977	1	1	0.98299	0.87807
		(0.5,0.2,0.3)	11054	11055	1	1	0.98171	0.87841
	(4.99,5.2,3.13)	(0.1,0.3,0.6)	13458	13464	1	1	0.92543	0.86675
		(0.3,0.5,0.2)	12266	12255	1	1	0.98703	0.86942
		(0.5,0.2,0.3)	12364	11406	1	1	0.98605	0.99713
	(5.3,4.07,4.75)	(0.1,0.3,0.6)	11872	11876	1	1	0.97154	0.79895
		(0.3,0.5,0.2)	12724	12718	1	1	0.98323	0.79933
		(0.5,0.2,0.3)	11498	11499	1	1	0.98265	0.80101
(6.13,4.33,6.02)	(0.1,0.3,0.6)	10048	10050	1	1	0.96802	0.8007	
	(0.3,0.5,0.2)	11230	11231	1	1	0.97483	0.80106	
	(0.5,0.2,0.3)	9888	9894	1	1	0.97295	0.80073	
(8,10,14)	(4.92,5.69,4.83)	(0.1,0.3,0.6)	19684	19694	1	1	0.98915	0.95483

		(0.3,0.5,0.2)	20112	20119	1	1	0.98952	0.94137
		(0.5,0.2,0.3)	20248	20240	1	1	0.99729	0.94829
		(0.1,0.3,0.6)	21748	21748	1	1	0.99351	1
	(4.99,5.2,3.13)	(0.3,0.5,0.2)	21726	21726	1	1	0.99848	0.99923
		(0.5,0.2,0.3)	21738	21737	1	1	0.99825	0.99977
		(0.1,0.3,0.6)	21366	21366	1	1	0.99192	0.97515
	(5.3,4.07,4.75)	(0.3,0.5,0.2)	21910	21900	1	1	0.99863	0.99996
		(0.5,0.2,0.3)	20800	20808	1	1	0.99001	0.95
		(0.1,0.3,0.6)	18486	18481	1	1	0.98676	0.80244
	(6.13,4.33,6.02)	(0.3,0.5,0.2)	20562	20534	1	1	0.9472	0.79878
		(0.5,0.2,0.3)	18220	18212	1	1	0.96213	0.79815
		(0.1,0.3,0.6)	28610	28609	1	0.99998	0.73509	0.8279
	(4.92,5.69,4.83)	(0.3,0.5,0.2)	29254	29259	1	0.99998	0.74405	0.81484
		(0.5,0.2,0.3)	29418	29455	1	1	0.79434	0.81777
		(0.1,0.3,0.6)	35310	35380	1	1	0.90939	0.91563
	(4.99,5.2,3.13)	(0.3,0.5,0.2)	32316	32349	1	1	0.90473	0.85829
		(0.5,0.2,0.3)	32568	32638	1	1	0.84486	0.8625
		(0.1,0.3,0.6)	31250	31219	1	1	0.79365	0.80542
	(5.3,4.07,4.75)	(0.3,0.5,0.2)	33290	33283	1	1	0.84713	0.82456
		(0.5,0.2,0.3)	30250	30290	1	1	0.82264	0.78073
		(0.1,0.3,0.6)	26712	26707	1	1	0.95465	0.81463
	(6.13,4.33,6.02)	(0.3,0.5,0.2)	29532	29635	1	1	0.76468	0.81675
		(0.5,0.2,0.3)	26316	26322	1	1	0.72555	0.81345

本實驗的控制因子為 X 、 PX 、 PT_3 ，本研究分別在各因子下，利用統計檢定，判斷 MSTCB 模型與電腦模擬所求得的“產量”、“第二階段未重工比例 OQ_2 ”與“第三階段未重工比例 OQ_3 ”是否有顯著差異。由於不瞭解資料所屬母群的分配且樣本數較少(小於 30)，且 MSTCB 模型與電腦模擬的數值具相依性，因此本研究使用統計檢定方法為「兩相依樣本無母數檢驗(nonparametric test)」，其虛無假設為 MSTCB 模型所得到數值與電腦模擬所得到的數值無顯著差異，對立假設為 MSTCB 模型所得到數值與電腦模擬所得到的數值有顯著差異，設定檢定的信心水準為 95%，利用統計軟體 STATISTIC 6.0 得到檢定結果如表 5.3、表 5.4 和表 5.4。

表 5.3 統計檢定結果-產量

機台組合 X	p-value	產品組合 PX	p-value	產品在第三階段的加工時間(小時)。	p-value
(6,8,8)	0.1489	(0.1,0.3,0.6)	0.3428	(4.92,5.69,4.83)	0.1336
(8,10,14)	0.5050	(0.3,0.5,0.2)	1.0000	(4.99,5.2,3.13)	1.0000
(15,18,20)	0.1489	(0.5,0.2,0.3)	0.3865	(5.3,4.07,4.75)	0.7237
				(4.99,5.2,3.13)	1.0000

表 5.4 統計檢定結果-第二階段未重工比例 OQ_2

機台組合 X	p-value	產品組合 PX	p-value	產品在第三階段的加工時間(小時)。	p-value
(6,8,8)	0.4795	(0.1,0.3,0.6)	0.4795	(4.92,5.69,4.83)	0.5050
(8,10,14)	-	(0.3,0.5,0.2)	-	(4.99,5.2,3.13)	-
(15,18,20)	0.2482	(0.5,0.2,0.3)	0.4795	(5.3,4.07,4.75)	-
				(4.99,5.2,3.13)	-

表 5.5 統計檢定結果-第三階段未重工比例 OQ_3

機台組合 X	p-value	產品組合 PX	p-value	產品在第三階段的加工時間(小時)。	p-value
(6,8,8)	0.0094	(0.1,0.3,0.6)	0.3865	(4.92,5.69,4.83)	0.5050
(8,10,14)	0.3865	(0.3,0.5,0.2)	0.3865	(4.99,5.2,3.13)	0.5050
(15,18,20)	0.7728	(0.5,0.2,0.3)	0.7728	(5.3,4.07,4.75)	0.1824
				(4.99,5.2,3.13)	0.1824

由表 5.3 和表 5.4，本研究發現在 95%信心水準下，在“產量”與“第二階段未重工比例 OQ_2 ”的估計上，各因子下的統計檢定之 p 值皆大於 0.05，不推翻需無假設，表示 MSTCB 模型與電腦模擬所得到的“產量”和“第二階段未重工比例 OQ_2 ”無顯著差異。由表 5.5，本研究發現在 95%信心水準下，在“第三階段未重工比例 OQ_3 ”的估計上，除機台數較少(6,8,8)時，各因子下的無母數檢定之 p 值皆大於 0.05，此原因是由於在機台數較少時，由於電腦模擬採用的 UNIF 投料法，其投料間隔時間無不確定性，因此會使重工比例大幅減少而導致 MSTCB 模型低估未重工比例；但實務中，擴散區的機台數目較多，因此產生較大誤差的情況是幾乎不會發生的。

根據統計分析的結果，得到以下結論：在 95%信心水準下，樣本資料提供足夠證據指出 MSTCB 模型所得到的數值與電腦模擬所得到的數值無顯著差距，這代表本研究所建立的 MSTCB 模型具有足夠的精確度，可以用來推估實際的績效值。



第六章 結論和未來研究工作

本研究首先建立一等候網路模型(MSTCB 模型)，在給定的機台組合、需求總量情境與產品組合情境下，考慮各階段的重工率限制(等候時間限制)，以最大產出率為目標，估算產出量與機台利用率。並設計電腦模擬程式驗證 MSTCB 模型的精確度。

隨之，構建機台組態規劃模型(TP-MDMX 模型)，由 MSTCB 模型輸入各機台組合下，各種需求情境下的產出量及機台利用率，由此構建各需求情境的需求量、產出量及缺貨量的關係式，缺貨懲罰成本的風險程度限制關係式及機台利用率限制關係式。以期望總成本最小化為目標，求解各階段最適的機台數量。並提出求解 TP-MDMX 模型的演算流程，包含可行起始解演算法與最佳解搜尋演算法；之後針對個案一，利用本研究的求解方法求得 TP-MDMX 模型的最適機台組態，並探討此最適機台組態在個案一中的績效。

本研究在未來研究方面將整合等候網路模型(MSTCB 模型)、機台組態規劃模型(TP-MDMX 模型)和求解演算流程為一套完整的程式，使用者將可能的需求總量情境和可能的產品組合情境輸入程式，並設定相關參數後，便可得到最適機台組態。

參考文獻

- 【1】S. Ahmed and N. V. Sahinidis, "Robust capacity planning under uncertainty", *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 37 (5), pp. 1883-1892, 1998.
- 【2】Y.-C. Chou and R. C. You, "Resource Portfolio Planning Methodology for Semiconductor Wafer Manufacturing", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.18, pp. 12-19, 2001.
- 【3】Y.-C. Chou, "Configuration Design of Complex Integrated Manufacturing Systems", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 15, pp. 907-913, 1999.
- 【4】N. S. Grewal, A. C. Bruska, T. M. Wulf, and J. K. Robinson, "Integrating Targeted Cycle-Time Reduction into the Capital Planning Process", *Proceeding of the 1998 Winter Simulation Conference*, pp. 1005-1010, 1998.
- 【5】D. P. Connors, G. E. Feigin, and D. Yao, "A Queueing Network Model for Semiconductor Manufacturing", *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 9, No. 3, pp. 412-427, 1996.
- 【6】J. F. Bard, K. Srinivasan, and D. Tirupati, "An Optimization Approach to Capacity Expansion in Semiconductor Manufacturing Facilities", *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No. 15, pp. 3359-3382, 1999.
- 【7】J. M. Swaminathan, "Tool Capacity planning for Semiconductor Fabrication Facilities under Demand Uncertainty", *European of Operational Research*, Vol. 120, pp. 545-558, 2000.
- 【8】F. Barahona, S. Bermon, O. Gunluk, and S. Hood, "Robust Capacity Planning in Semiconductor Manufacturing", *Mathematics*, RC22196 (W0110-017), 2001.
- 【9】J. M. Swaminathan, "Tool Procurement planning for wafer Fabrication Facilities: A Scenario-Based Approach", *IIE Transactions*, Vol. 34, pp. 145-155, 2002.
- 【10】S. J. Hood, S. Bermon, and F. Barahona, "Capacity planning under demand uncertainty for semiconductor manufacturing", *IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING*, VOL. 16, NO. 2, MAY 2003.
- 【11】D. P. Martin, "Total Operational Efficiency (TOE): The Determination of 2 Capacity and Cycle Time Components and Their Relationship to Productivity

Improvements in a Semiconductor Manufacturing Line”, IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, pp. 37-41, 1999.

【12】 E. Neacy, N. Abt, S. Brown, M. McDavid, J. Robinson, S. Srodes, and T. Stanley, “Cost Analysis for a Multiple Product / Multiple Process Factory: Application of SEMATECH’s Future Factory Design Methodology”, IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, pp. 212-219, 1993.

【13】 Y. C. Chou and C. S. Wu, “Economic Analysis and Optimization of Tool Portfolio in Semiconductor Manufacturing”, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 15, No.4, pp.447-453, 2002.

【14】 Mollaghsemi and G. W. Evans, “Multicriteria design of manufacturing systems through simulation optimization”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 24, No. 9, pp. 1407-1411, 1994.

【15】 L. H. Chen and Y. H. Chen, “A design procedure for a robust job shop manufacturing system under a constraint using computer simulation experiments”, Computers & Industrial Engineering, Vol. 30, No. 1, pp. 1-12, 1996.

【16】 W. Whitt, “The Queueing Network Analyzer,” The Bell System Technical Journal, Vol. 62, No. 9, pp. 2779-2815, 1983.

【17】 R. Suri, and Richard R. Hildebrant, “Modeling Flexible Manufacturing Systems Using Mean-Value Analysis,” Journal of Manufacturing Systems, Vol. 3, No. 1, pp. 27-37, 1984.

【18】 J.A. Buzacott and D. Yao, “Modeling the performance of flexible manufacturing system,” International Journal of Production and Research, Vol. 23, No. 5, pp. 945-959, 1985.

【19】 K. Yoneda, I. Wada, and K. Haruki, “Job Shop Configuration with Queueing Networks and Simulated Annealing,” IEEE International Conference on Systems Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 945-959, 1985.

【20】 K. M. Bretthauer, “Capacity planning in manufacturing and computer networks”, European Journal of Operations Research, Vol. 19, pp. 386-394, 1996.

【21】 K. L. Donohue, W. J. Hopp and M. L. Spearman, “Optimal Design of Stochastic Production Lines: A Dynamic Programming Approach”, IIE Transactions, Vol. 34, pp. 891-903, 2002.

【22】 B. Catay, S. S. Erenguc, A. J. Vakharia, “Tool capacity planning in semiconductor manufacturing”, *Computers & Operations Research*, Vol. 30, pp.1349–1366, 2003.

【23】 M. C. Wu, Y. Hsiung, and H. M. Hsu, “A tool planning approach considering cycle time constraints and demand uncertainty”, *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 26, pp. 565–571, 2005.

【24】 J.-S. Kang, M.-H. Suh, and T.-Y. Lee, “Robust economic optimization of process design under uncertainty”, *Engineering Optimization*, Vol. 36, No. 1, pp. 51–75, 2004.

【25】 Stephen C.H. Leung, Sally O.S. Tsang, W.L. Ng, and Yue Wu, “A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain environment”, *European Journal of Operational Research*, Vol.181, pp. 224–238, 2007.

【26】 E Aghezzaf, “Capacity planning and warehouse location in supply chains with uncertain demands”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 56, pp. 453–462, 2005.

【27】 K.-J. Wang, S.-M. Wang, and S.-J. Yang, “A resource portfolio model for equipment investment and allocation of semiconductor testing industry”, *European Journal of Operational Research*, Vol.179, pp.390–403, 2007.

【28】 K.-J. Wang, S.-M. Wang, and J.-C. Chen, “A resource portfolio planning model using sampling-based stochastic programming and genetic algorithm”, *European Journal of Operational Research*, Vol.184, pp.327–340, 2008.

【29】 N. Geng, Z. Jiang, and F. Chen, “Stochastic programming based capacity planning for semiconductor wafer fab with uncertain demand and capacity”, *European Journal of Operational Research*, 2008.

【30】 熊雅意, “晶圓代工廠考慮周期時間限制知機台規劃研究”, 2004

【31】 J. A. Buzacott and J. G. Shanthikumar, “Stochastic Models of Manufacturing Systems. ”, Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1993.

【33】 K. Wu, “An examination of variability and its basic properties for a factory,” *IEEE Trans. Semiconduct. Manufact.*, Vol. 18, pp.214–221, 2005.

【34】 V.B. Iversen and L. Staalhagen, “Waiting time distribution in M/D/1 queueing systems”, *Electronics Letters*, Vol. 35, Iss. 25, pp.2184–2185, 1999.

【35】 D. Connors, G. Feigin, and D. Yao, “A queueing network model for

semiconductor manufacturing,” IEEE Trans. Semiconduct. Manufact., Vol.9, 1996.

【36】 J. F. C. Kingman, “The single server queue in heavy traffic,” Proc. Cambridge Philos. Soc., Vol.57, pp.902–904, 1961.

【37】 W. Whitt, “The queueing network analyzer,” Bell Syst. Tech. J., vol.62, pp.2779–2815, 1983.

【38】 W. J. Hopp and M. L. Spearman, Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management. New York: McGraw-Hill, 2001.

【39】 K. L. Arora “Two-server Bulk-Service Queueing Process” Operations Research, Vol.12, No.2, pp.286-294, 1964.

【40】 P.M. Ghare, “Multichannel queueing system with bulk service”, Operations Research, Vol.16, pp.189-192, 1967

【41】 M. G. Huang, P. L. Chang, and Y. C. Chou, “Analytical approximations for multiserver batch-service workstations with multiple process recipes in semiconductor wafer fabrication,” IEEE Trans. Semiconduct.Manufact., vol. 14, 2001.

【42】 J. MEDHI, “Waiting Time Distribution in A Poisson Queue With A General Bulk Service.”, Management Science, Vol.21, No.7; pp. 777, 1975.

【43】 G.J.Franx, “A Simple Solution for the M_D_c Waiting Time Distribution” Operations research, Vol.29, iss.5, pp.221, 2001.

【44】 J. W. Fowler, N. Phojanammongkolkij, J. K. Cochran and D. C. Montgomery . “Optimal batching in a wafer fabrication facility using a multiproduct G/G/c model with batch processing.”, International Journal of Production Research, Vol.40, No.2, pp.275-292, 2002.

【45】 Wallace J. Hopp, Mark L. Spearman, Sergio Chayet, Karen L. Donohue, Esma S. Gel. “Using an optimized queueing network model to support wafer fab design.” IIE Transactions, Vol.34, pp.119-130, 2002.