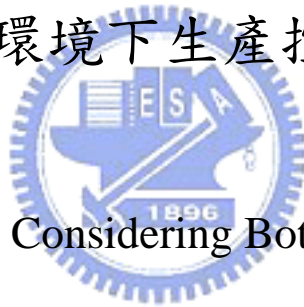


國立交通大學

工業工程與管理學系

碩士論文

考慮瓶頸漂移及多瓶頸情境之 MTO 與 MTS  
混線生產環境下生產控制之研究



Production Control Considering Bottleneck Shifting and  
Multi-bottleneck for Production System with Hybrid  
Make-to-order and Make-to-stock

研究生：廖建閔

指導教授：許錫美 博士

中華民國九十四年六月

考慮瓶頸漂移及多瓶頸情境之 MTO 與 MTS  
混線生產環境下生產控制之研究

Production Control Considering Bottleneck Shifting and  
Multi-bottleneck for Production System with Hybrid  
Make-to-order and Make-to-stock

研究生：廖建閔

Student: Chien-Hung Liao

指導教授：許錫美 博士

Advisor: Dr. Hsi-Mei Hsu



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 Engineering  
In  
Industrial Engineering  
June 2005  
Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

# 考慮瓶頸漂移及多瓶頸情境之 MTO 與 MTS

## 混線生產環境下生產控制之研究

研究生：廖建閔

指導教授：許錫美 教授

國立交通大學工業工程與管理學系

### 摘要

在 MTO (make-to-order) 與 MTS (make-to-stock) 混線生產環境下，已知短期 MTO 的需求，且需求隨時改變，導致瓶頸資源可能發生瓶頸漂移及多瓶頸的情況下，本研究提出生產控制法則（MTS 產品的投料與在製品在各工作站的派工優序）。該生產控制法則以 MTO 產品的達交率、MTS 產品的產出率，及 MTS 產品的產出率與投料率的差異為主要生產績效考量。

該生產控制法則以避免瓶頸工作站饑餓的動態投料法則(TW-SA)控制 MTS 的投料。在派工部份，MTO 加工批在各工作站的派工優序皆高於 MTS 加工批。然而，當瓶頸工作站的缺料程度高時，瓶頸工作站內的 MTS 加工批派工優序會高於 MTO 加工批以避免產能閒置。當瓶頸工作站的缺料程度不高時，一般工作站以 SRPT 派工法則決定 MTS 加工批間的派工優序，當瓶頸工作站有缺料之虞時，以 SABT 派工法則決定 MTS 加工批間的派工優序。

最後經由一案例驗證，本研究所提出的生產控制法則，在 MTO 產品的達交率、MTS 產品的產出率，及 MTS 產品的產出率與投料率的差異都有很好的績效。

關鍵字：MTO、MTS、混線生產、生產控制

# Production Control Considering Bottleneck Shifting and Multi-bottleneck for Production System with Hybrid Make-to-order and Make-to-stock

Student : Chien-Hung Liao

Advisor : Dr. Hsi-Mei Hsu

Department of Industrial Engineering and Management  
National Chiao Tung University

## Abstract

In this study, we consider a production system with hybrid MTO (make-to-order) and MTS (make-to-stock). Corresponding to customers' demand, bottleneck machine of this production system may be shifting. To deal with the environments mentioned-above, we present an algorithm to make the decision rule about releasing and dispatching to enhance the delivery-rate of MTO and the outputs of MTS. To avoid the bottleneck idling, we develop a time window- starvation avoidance (TW-SA) rule to release the MTS lots timely. The MTO lots have the higher priority than the MTS lots in every work shop, besides that the bottleneck is going to idle. When the WIP level before the bottleneck machine is lower than the threshold, the dispatching priorities among MTS lots are determined by SABB dispatch rule. Otherwise, the dispatching priorities are determined by the SRPT dispatch rule. Simulation results show that the delivery-rate for MTO products, a high output-rate for MTS products, and a small difference between input-rate and output-rate for MTS products of the proposed algorithm are better than other representative algorithm in literature.

Keywords : MTO 、 MTS 、 hybrid production 、 production control

## 誌謝

本論文得以完成，首先要感謝恩師 許錫美教授，感謝許老師在學生研究所兩年的生涯裡對學生論文的指導，使學生在學術研究領域上獲益良多，並且老師在生活上的關心與照顧使學生心存感激，在此致上最崇高的敬意。同時，學生也十分感謝論文的口試委員巫木誠教授、彭德保教授、陳文智教授在學生最後的論文口試時，給予諸多寶貴的建議與指導，使學生的論文得以更臻完善。另外，感謝亞太優勢微系統股份有限公司何桂銓先生所提供的資料，使本論文得以完成。

研究所兩年裡，感謝同門的吳宜穆、蘇瑋婷、蔡宜娟、張貽朝在學術上與生活中的相互陪伴，使艱難的研究生生活帶來許多歡樂。同時感謝同研究室的蘇泰盛學長、陳尚宏、謝岳霖、王君豪、蔡正航、洪挺耀、林聲宇、林雅娟，及生管實驗室的范國基、許運達、戴益昌、劉庚鑫，因為你們的出現讓我的研究生生活更加美滿，並充滿無限的回憶。

最後感謝一直默默支持我的家人，感謝爸媽在生活上的照顧，讓我的求學生涯無後顧之憂，感謝姐姐、弟弟，當我面臨困難時給我寶貴的建議，支持我度過難關，讓我得以順利取得學位，願將此刻的喜悅與榮耀和你們一起分享，最後謹以此論文獻給我最親愛的家人及這段時間支持我的朋友們。

建閱 于風城交大

2005.6.13

# 目錄

|   |     |
|---|-----|
| 中文摘要.....   | i   |
| 英文摘要.....   | ii  |
| 誌謝.....   | iii |
| 目錄.....   | iv  |
| 表目錄.....  | vi  |
| 圖目錄.....  | vii |
| 第一章 緒論.....   | 1   |
| 1.1 研究動機與背景.....  | 1   |
| 1.2 研究目的.....   | 2   |
| 1.3 研究範圍與限制.....  | 2   |
| 1.4 研究架構.....   | 2   |
| 第二章 文獻探討.....   | 3   |
| 2.1 MTO 與 MTS 混線生產.....                                   | 3   |
| 第三章 研究方法.....   | 10  |
| 3.1 問題描述與分析.....  | 10  |
| 3.2 確認瓶頸資源.....   | 13  |
| 3.3 生產控制法則.....   | 14  |
| 3.3.1 步驟一：MTO 產品的投料與派工.....                               | 14  |
| 3.3.2 步驟二：判斷 MTS 產品是否投料.....                              | 16  |
| 3.3.2.1 計算瓶頸工作站的安全庫存.....                                 | 16  |
| 3.3.2.2 計算目前能保護瓶頸工作站的負荷.....                              | 17  |
| 3.3.2.3 判斷是否投料與是否提昇瓶頸工作站 $BM_1$ 內 MTS 加工批<br>的優先加工順序..... | 18  |
| 3.3.3 步驟三：一般工作站的派工法則.....                                 | 19  |
| 3.3.3.1 計算瓶頸工作站缺料的程度.....                                 | 20  |
| 3.3.3.2 各工作站決定選取 SRPT 法則或 SABT 法則.....                    | 20  |
| 第四章 案例驗證.....   | 22  |
| 4.1 案例描述.....   | 22  |
| 4.2 模擬步驟.....   | 22  |
| 4.3 模擬結果.....   | 24  |
| 4.3.1 MTS 產品產出績效.....                                     | 24  |

|       |                                |    |
|-------|--------------------------------|----|
| 4.3.2 | MTO 產品交期績效.....                | 25 |
| 4.3.3 | 瓶頸工作站機台利用率.....                | 26 |
| 4.4   | 本研究之生產控制法則與其他生產控制法則績效之比較.....  | 27 |
| 4.4.1 | 固定 MTO 產品組合環境之生產控制法則比較.....    | 28 |
| 4.4.2 | MTO 產品組合持續變動環境之生產控制法則比較.....   | 28 |
| 4.4.3 | 瓶頸資源產生瓶頸漂移及多瓶頸環境之生產控制法則比較..... | 29 |
| 第五章   | 結論與未來研究方向.....                 | 31 |
| 5.1   | 結論.....                        | 31 |
| 5.2   | 未來研究方向與建議.....                 | 31 |
|       | 參考文獻.....                      | 32 |



# 表目錄

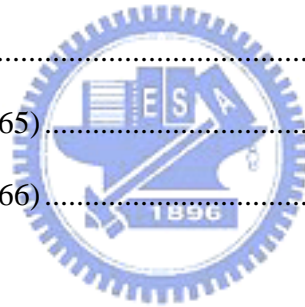
|        |   |    |
|--------|---|----|
| 表 1.1  | MTO 與 MTS 生產環境之比較 .....                   | 1  |
| 表 2.1  | MTO 與 MTS 混線生產文獻之比較 .....                 | 9  |
| 表 4.1  | 不同時間窗下 MTO(B)產品生產週期之 Duncan 檢定 .....      | 25 |
| 表 4.2  | 不同時間窗下 MTO(C)產品生產週期之 Duncan 檢定 .....      | 25 |
| 表 4.5  | MTS 產品投料產出率(固定 MTO 產品組合).....             | 28 |
| 表 4.6  | MTS 產品產出績效之 Duncan 檢定(固定 MTO 產品組合) .....  | 28 |
| 表 4.7  | MTS 產品投料產出率(MTO 產品組合持續變動).....            | 28 |
| 表 4.8  | MTS 產品產出績效之 Duncan 檢定(MTO 產品組合持續變動) ..... | 29 |
| 表 4.9  | MTS 產品產出績效之 Duncan 檢定(瓶頸漂移及多瓶頸).....      | 29 |
| 表 4.10 | 瓶頸工作站產能利用率之 Duncan 檢定(瓶頸漂移及多瓶頸) .....     | 29 |





# 圖目錄

|       |                                  |    |
|-------|----------------------------------|----|
| 圖 1.1 | 研究架構流程圖.....                     | 2  |
| 圖 2.1 | MTS、MTO 與 ATO 三種生產方式之差異.....     | 3  |
| 圖 2.2 | MTO 與 MTS 生產系統.....              | 4  |
| 圖 3.1 | 問題定義.....                        | 10 |
| 圖 3.2 | 研究方法流程圖.....                     | 12 |
| 圖 3.3 | 時間窗.....                         | 15 |
| 圖 3.4 | $L_{BM_1}$ 與 $L_{BM_2}$ 之計算..... | 16 |
| 圖 4.1 | MTS 產品投入產出差異率與平均每週產出率.....       | 24 |
| 圖 4.2 | 指數函數圖形.....                      | 24 |
| 圖 4.3 | 瓶頸機台利用率(G_65).....               | 26 |
| 圖 4.4 | 瓶頸機台利用率(G_66).....               | 27 |



# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與背景

以代工為主的製造廠主要的業務為接單式生產。然而，因為需求變幻莫測，當代工業務不佳時，若 MTS(make-to-stock)產品的售價高於變動成本時，為避免高價機台的產能閒置，造成高額的損失，製造廠會加入 MTS 產品的生產，以增加機台的利用率。因此，形成了 MTS 與 MTO(make-to-order)兩種產品的混線生產環境。然而，在生產管理上，MTO 與 MTS 所注重的生產績效各有不同，如表 1.1 所示。

表 1.1 MTO 與 MTS 生產環境之比較

| 特徵       | MTO       | MTS       |
|----------|-----------|-----------|
| 生產模式     | 少量多樣      | 多量少樣      |
| 製程       | 製程變化大且需調整 | 製程較固定     |
| 產品規格     | 變化較多      | 大部份相同     |
| 產品生命週期   | 較短        | 較長        |
| 顧客需求     | 重視交期      | 重視現貨      |
| 缺貨(延遲)損失 | 嚴重        | 相對較低      |
| 管理重點     | 產能分配與交期控制 | 存貨管理與產出控制 |

MTO 與 MTS 混線生產模式的製造廠在生產控制上，往往比單純生產 MTO 或 MTS 產品的生產系統複雜許多，如何決定 MTS 的投料及各機台的派工優序常困擾管理人員。因為混線生產管理者面臨兩大問題：

- (一) 各期 MTO 產品組合的變化，導致瓶頸資源可能發生瓶頸漂移及多瓶頸的情況。
- (二) 為了避免瓶頸資源閒置，管理者必需適時地投入 MTS 產品，以期使瓶頸資源可以達到高產能利用率，但必需避免投入過多的 MTS 產品以致於造成過多的在製品而拉長 MTS 產品的生產週期時間。

## 1.2 研究目的

本研究的目的是在已知短期 MTO 的需求，MTO 與 MTS 混線生產，且有瓶頸漂移、多瓶頸的環境下，發展一套良好的生產控制機制，此機制包含投料法則與派工法則的決策，期使 MTO 產品能如期產出，且 MTS 產品有良好的產出績效。

## 1.3 研究範圍與限制

本研究基於下列假設與限制進行相關研究

1. 原料及人力供應充足，不影響生產之績效。
2. 產品的良率為 100%，即無重工的情況發生。
3. 不考慮製造廠內的設施佈置，搬運設備等特性所造成的影響。

## 1.4 研究架構

本研究首先針對 MTO 與 MTS 混線生產進行文獻回顧；其次，以 MTO 產品的交期績效為首要考量並且考慮瓶頸資源發生瓶頸漂移及多瓶頸的可能性，再以 MTS 生產填充剩餘產能以避免瓶頸資源產能閒置，並且透過投料法則與派工法則的控制使 MTS 產品有良好的產出績效。流程如圖 1.1 所示。

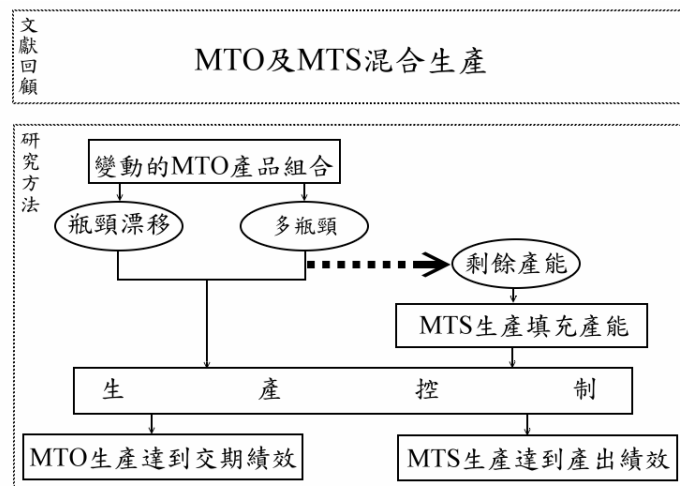


圖 1.1 研究架構流程圖

## 第二章 文獻探討

在混線生產 MTO 與 MTS 環境下，若 MTO 產品需求不足而導致產能過剩，為了避免瓶頸資源產能閒置則利用生產 MTS 產品以填充剩餘產能。本研究的目的是希望藉由生產控制使 MTO 產品符合交期績效，並且 MTS 產品也有良好的產出績效。因此，本研究將針對 MTO 與 MTS 混線生產相關的文獻進行探討。

### 2.1 MTO 與 MTS 混線生產

Sipper et al. 【8】認為在發展主生產排程時，應該同時考慮產品與市場這兩個特質，並且分類成三種生產環境：MTS、MTO 與 ATO (assemble-to-order)。這三種類型的生產管理方式各有不同，採用 MTS 生產的企業事先製造大量同類型產品，再以存貨滿足顧客需求，最大的優點是利用存貨銷售可以把顧客的購買前置時間縮短。此外，MTS 生產大都利用多種樣式的原物料，製造少樣多量的標準型態產品。MTO 生產則是接單後生產，接單時與顧客協調交期後排入主生產排程。MTO 生產所需要的機台組合多樣化，產品的差異大，難於在接單前製造。此外，MTO 生產所需要的原物料種類少但可以生產的產品較多樣化。ATO 生產則介於 MTO 生產與 MTS 生產之間，在製造成模組前為 MTS 生產，在接單後屬於 MTO 生產，汽車製造業為典型例子。三者的差異可以由圖 2.1 看出。

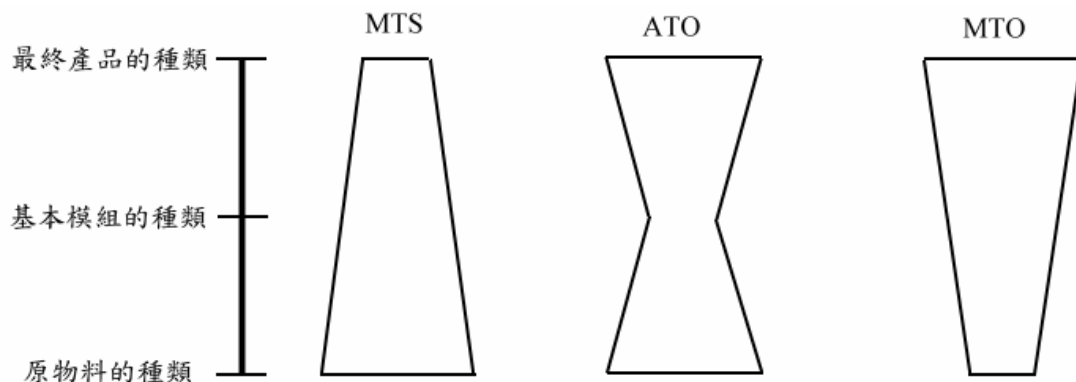


圖 2.1 MTS、MTO 與 ATO 三種生產方式之差異

Papadopoulos et al. 【7】討論到製造系統的分類時，歸類出四種不同的生產系統，分別為 MTS、ATO、MTO 與 ETO (engineer-to-order) 生產系統。

- (1) MTS 生產系統，如圖 2.2 的(A)所示。當顧客的需求穩定時，可以藉由倉庫的存貨來滿足顧客需求。上游的製造商再依據預估的顧客需求適時地填充倉庫的存貨水準，因此 MTS 產品大都屬於少樣多量的庫存品。
- (2) ATO 生產系統，利用相同的零組件模組並且依照顧客的需求來組裝出不同的最終產品。因此，組裝前的零組件模組屬於存貨管理，接單後再依照顧客需求組裝出不同樣式的產品。
- (3) MTO 生產系統，如圖 2.2 的(B)所示。顧客的需求直接反應給製造商，製造商必需生產出完全符合顧客需求的最終產品，此類產品大多有標準規格，此生產系統屬於接單式生產。
- (4) ETO 生產系統則是 MTO 生產系統的延伸，此類產品大多沒有標準規格，從零組件的設計到最終產品都必需完全符合顧客的需求。

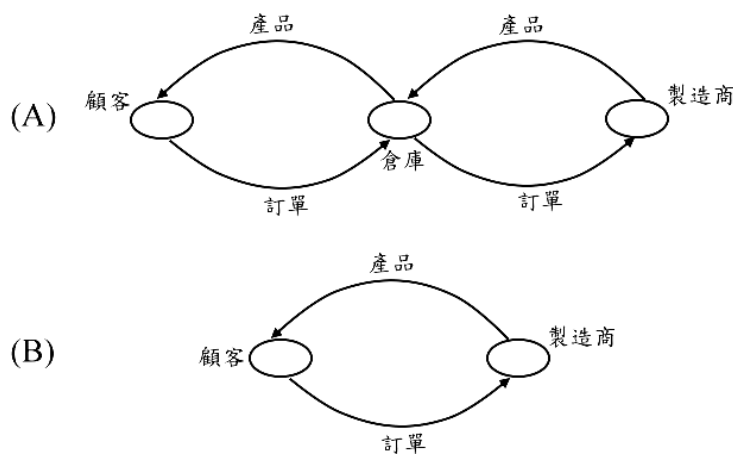


圖 2.2 MTO 與 MTS 生產系統

針對 MTO 與 MTS 所著重的管理方式，我們可以發現如果市場需求穩定時，MTS 生產在生產計劃與產能規劃上較容易執行。相對地，執行 MTO 生產時，所有的生產計劃與排程都必需配合顧客需求，所以當需求組合變化大時，在執行 MTO 生產上往往產生困難。Kingsman et al. 【6】提到 MTO 生產有兩大特點：

- (1) 每一個訂單所要求的生產設備、規格、技術與途程有所不同並且生產量有限，所以很難作事前的規劃與預測。
- (2) 顧客在確定下單前，會先參考數家廠商，然後再選擇對自己最有利的廠商下單。在如此競爭的環境下廠商必需考量產能負荷與其它因素以提出最恰當的交期與價格。

MTO 生產在滿足顧客需求方面應該最注重交期，如果不能在交期前交貨，不僅公司的名聲會受損而且顧客的訂單也會逐漸流失。相對地，MTS 生產主要是存貨式管理，製造商如何維持庫存水準是最主要的關鍵。因此，不同的生產環境會有不同的決策與不同的管理重點，並且顧客的需求也會有所不同，所以應該針對個別的目標與需求發展出最適當的決策。

由於需求型態的轉變，市場上愈來愈多客製化商品出現，因此許多產業已經逐漸由單純的 MTS 生產轉向 MTS 與 MTO 混線生產的型態，如 Soman et al. 【9】所談論到食品加工系統與 Huang et al. 【4】所討論的鋼鐵業混線生產模式。

Huang et al. 【4】針對鋼鐵業的 MTS 與 MTO 混線生產的型態。發展出一套數學模型來分析訂單、存貨與產能之間的關係。當顧客訂單不足時，製造商可以利用剩餘的產能並且預測未來市場的需求來生產 MTS 產品當作庫存品。當訂單超過產能時，先察看是否有庫存品可以符合訂單的要求，若有則以此庫存品取代此訂單，其餘的訂單再排入生產排程或直接取消訂單，數學模型描述如下；

minimize

$$f = \sum_{i=1}^N \left\{ \alpha_i [u_i - t_i]^+ + \beta_i [t_i - v_i]^+ \right\} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \gamma_{ik} y_{ik} + \sum_{i=1}^N p_i \left( 1 - \sum_{j=1}^T x_{ij} - \sum_{k=1}^M y_{ik} \right) \quad (2.1)$$

Subject to

$$\sum_i x_{ij} w_i \leq E_j, \text{ 其中 } j = 1, 2, \dots, T \quad (2.2)$$

$$\sum_i y_{ik} w_i \leq S_k, \text{ 其中 } k = 1, 2, \dots, M \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=1}^T x_{ij} + \sum_{k=1}^M y_{ik} \leq 1, \text{ 其中 } i=1,2,\dots,N \quad (2.4)$$

$$t_i = \sum_{j=1}^T x_{ij} j + \left(1 - \sum_{j=1}^T x_{ij}\right) d_i, \text{ 其中 } i=1,2,\dots,N \quad (2.5)$$

$[1, T]$  : 生產週期

$w_i$  : 第  $i$  個訂單的需求量, 其中  $i=1,2,\dots,N$

$c_i$  : 第  $i$  個訂單的生產成本

$[u_i, v_i]$  : 第  $i$  個訂單希望產出的時間間隔

$t_i$  : 第  $i$  個訂單的產出時間

$d_i$  :  $[u_i, v_i]$  內的某一時間點

$E_j$  : 第  $j$  個週期的產能, 其中  $j=1,2,\dots,T$

$S_k$  : 第  $k$  個產品的庫存量, 其中  $k=1,2,\dots,M$

$\gamma_{ik}$  : 第  $k$  個產品替代第  $i$  個訂單所損失的成本

$\alpha_i$  : 第  $i$  個訂單的提早產出成本

$\beta_i$  : 第  $i$  個訂單的延遲產出成本

$p_i$  : 第  $i$  個訂單的取消訂單成本

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{如果訂單 } i \text{ 排入生產排程時為 } 1, \text{ 否則為 } 0 \\ 0 & \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{如果第 } k \text{ 個產品替代第 } i \text{ 個訂單時為 } 1, \text{ 否則為 } 0 \\ 0 & \end{cases}$$

目標式(2.1)的第一項為提早或延遲產出的成本, 第二項為生產成本, 第三項為替代成本, 第四項為取消成本。其中  $[x]^+ = \max\{0, x\}$ 。

限制式(2.2)使每個週期的生產量不超過產能限制, 限制式(2.3)使取代訂單的庫存品不能超過庫存品的上限量, 限制式(2.4)表示每個訂單的處理方式為庫存品替代、排入生產排程或取消訂單, 限制式(2.5)決定各訂單的產出時間, 如果訂單排入生產排程則產出可能提早、延遲或在預期期間內產出。

對於鋼鐵業而言，MTS 產品與 MTO 產品之間的規格差異不會太大，所以 MTS 庫存品有時也能滿足 MTO 產品的規格。因此，鋼鐵業可以在產能利用率低時先製造庫存品以滿足未來產能不足時的需求。然而，對於本研究所針對的代工製造廠而言，MTS 產品與 MTO 產品之間的規格需求差異甚大，所以無法利用此數學模型來規劃產能配置。此外，鋼鐵產品的生產週期短，在本篇文獻中假設每一筆排入生產排程的訂單都可在當期產出，此與本研究產品製程需要較長的生產週期有所不同。

有關晶圓製造廠 MTO 與 MTS 混線生產環境的文獻當中，Chang et al.【2】發展一套生產控制模式，期望透過投料法則與派工法則的建立，可以讓生產系統之產能分配與生產績效得到良好的控制。生產控制模式主要包括三個子模組，分別為瓶頸資源辨識模組、投料決策模組與派工決策模組。

#### (1) 瓶頸資源辨識模組

根據限制理論，瓶頸資源控制整個系統之產出，因此必需先找出瓶頸資源，可以利用下列數學式求出：

$$U_w = \frac{\sum_i \sum_j X_{ij} R_{ij}}{24PN(MTBF_w / (MTBF_w + MTTR_w))B_w} \quad (2.6)$$

$U_w$ ：工作站  $w$  之預估使用率

$P$ ：規劃週期天數

$N$ ：該工作站的機台數

$B_w$ ：工作站  $w$  每台機台每次最大可加工批量

$MTBF_w$ ：工作站  $w$  之平均當機間隔時間

$MTTR_w$ ：工作站  $w$  之平均當機修復時間

$X_{ij}$ ：在規劃週期內，產品  $i$  第  $j$  次在工作站加工的數量

$R_{ij}$ ：產品  $i$  第  $j$  次在此工作站加工之平均加工時間

$i$ ：產品種類



$j$ ：加工次數

$w$ ：工作站編號

數學式(2.6)的分母代表規劃期間內預期可用的產能，分子代表規劃期間內預期的產能需求。

## (2)投料決策模組

在得知規劃週期內各產品的投料量後，採用交期緊迫值(Critical Ratio；CR)來設定 MTO 產品的投料順序，並且將 MTO 產品對瓶頸資源所形成負荷平均分配在規劃週期內以排出每個晶圓批的投料日程。接著以動態方式即時決定 MTS 訂單之投料順序，MTS 產品投料與否之判斷係依據各產品從投料到第一次到達瓶頸資源之實際在製品量( $b_{it}$ )與計劃在製品量( $hb_{it}$ )之差距，以及各產品之實際產出( $R_i$ )與計劃累積產出( $hR_i$ )之差距。可以以數學式(2.7)表示，如下。

$$\begin{aligned}\Delta b_{it} &= hb_{it} - b_{it} > 0 \\ \Delta R_i &= hR_i - R_i > 0\end{aligned}\quad (2.7)$$

若產品  $i$  符合上述兩條件時則進行投料，其投料順序依據各 MTS 產品之權重( $wp_i$ )與  $\Delta R_i$  之乘積，乘積值愈大者具有愈高投料優先權。

最後採用避免饑餓法(Starvation Avoidance；SA)作為投料時機控制法則來設定 MTO 與 MTS 產品的投料時機。

## (3)派工決策模組

首先針對 MTO 產品分別計算出餘裕值(SLACK)與作業餘裕值(Operation SLACK)，接著再以交期急迫程度安排在不同等候線，等候線等級愈高則優先作業權愈高。對於 MTS 產品，因為是為了最大化瓶頸資源的產出，所以當 MTS 產品在不同類型的工作站(瓶頸工作站、資源受限工作站或非瓶頸工作站)時會有不同的派工方式。

此生產控制模式以模擬驗證得知，此模式對於提升 MTO 產品之交期有相當大的幫助，但是對於 MTS 產品的產出績效卻不理想，因為 MTO 交期績效與 MTS 產出績效往往是互相衝突的，所以如何訂定出權衡取捨的標準以使 MTO 與 MTS

分別達到交期與產出績效，對整個生產系統才最有利。另外，江氏【12】也針對晶圓製造廠 MTO 與 MTS 混線生產環境，進一步考慮黃光區步進機(stepper)具有綁機(machine-dedication)特性進行派工之研究，經由江氏之模擬證實，在 MTO 產品比例相等時，江氏所提出的法則優於 Chang et al.所提出的法則。然而，此兩篇文獻並無考慮產品組合持續變動時所造成的瓶頸漂移及多瓶頸的現象。因此，本研究針對製程具有迴流特流(reentry)及瓶頸資源會產生瓶頸漂移及多瓶頸情境的 MTO 與 MTS 混線生產系統，提出一套良好的生產控制法則使 MTO 產品能維持良好的交期績效，同時再以 MTS 生產填充剩餘產能以避免瓶頸資源產能閒置，並且使 MTS 產品有良好的產出績效。

表 2.1 MTO 與 MTS 混線生產文獻之比較

| 文獻 \ 情境          | 固定產品組合 | 變動產品組合 | 製程迴流 | 投料控制 | 派工控制 | 考慮綁機特性 | 考慮瓶頸漂移 | 考慮多瓶頸 |
|------------------|--------|--------|------|------|------|--------|--------|-------|
| Chang et al. 【2】 | ●      |        | ●    | ●    | ●    |        |        |       |
| 江氏 【12】          | ●      |        | ●    | ●    | ●    | ●      |        |       |
| 本研究              |        | ●      | ●    | ●    | ●    |        | ●      | ●     |

本研究與過去研究不同之處：

1. 過去的研究只考慮固定的產品組合，並未考慮產品組合持續變動時所造成的瓶頸漂移及多瓶頸的現象。
2. 過去有關混線生產之研究，往往只在 MTO 生產的部份得到良好的交期績效，然而 MTS 生產的產出績效卻不甚理想。本研究希望在維持 MTO 產品的交期績效下，透過投料與派工法則的生產控制使 MTS 產品在 MTO 與 MTS 混線生產的環境下有良好的產出績效。

### 第三章 研究方法

#### 3.1 問題描述與分析

MTO 產品需求隨時改變，導致製造廠所需投入的 MTO 產品投料量持續變動，使生產情境也隨之改變。假設 MTO 產品中第  $i$  種產品的投料量為  $o_i (i \in \text{MTO})$ ，則 MTO 產品組合即為  $P_{x,\text{MTO}} = o_1 : o_2 : o_3 \cdots o_m$ ，此時若加入 MTS 產品，則產品組合即為  $P_{x,\text{MTO,MTS}} = o_1 : o_2 : o_3 \cdots o_m : o_{\text{MTS}_1} : o_{\text{MTS}_2} : \cdots$ 。由於產品組合隨時改變，根據黃氏【11】的研究，產品組合的不穩定性會提高瓶頸漂移的可能性。然而，過去有關 MTO 與 MTS 混線生產環境的生產控制法則文獻，如 Chang et al. 【2】與江氏【12】的研究，他們的生產環境是固定產品組合。

在景氣不佳的環境下，只知道短期內 MTO 產品的需求，當 MTO 產品訂單需求低於產能時，代工廠會投入 MTS 產品，以避免瓶頸資源產能閒置。由於產品組合隨時改變，可能發生瓶頸漂移及多瓶頸的情境下。本研究在上述生產環境下提出一套生產控制法則，期使 MTS 產品的投入不影響 MTO 產品交期，且 MTS 產品可以平順產出以達到良好的產出績效。

問題定義如圖 3.1 所示。

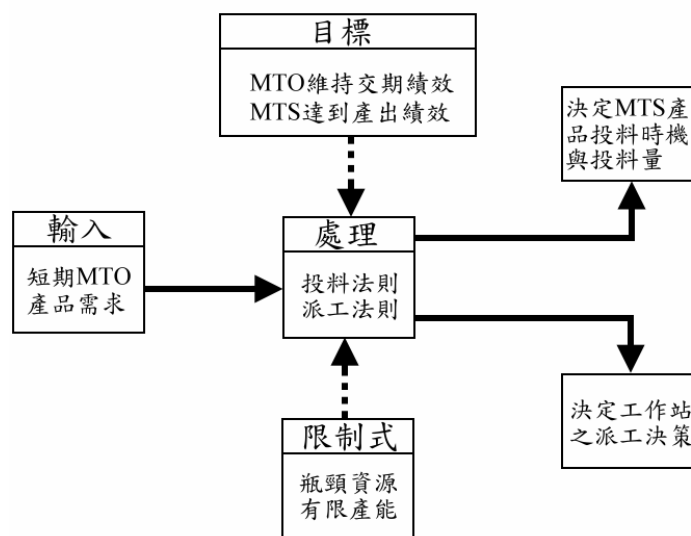


圖 3.1 問題定義

以下為本研究的假設：

1. 工廠只生產 1 種 MTS 產品
2. MTO 產品與 MTS 產品之間的產品規格差異甚大
3. 各產品製程具有迴流特性
4. 利用 MTS 生產將系統剩餘產能填滿
5. 不考慮製造廠之瓶頸機台具有綁機之特性
6. 機台組合為固定，不考慮產能擴充
7. 機台的換線時間與預防保護時間都納入機台維修時間

本論文的研究方法流程圖，如圖 3.2 所示。



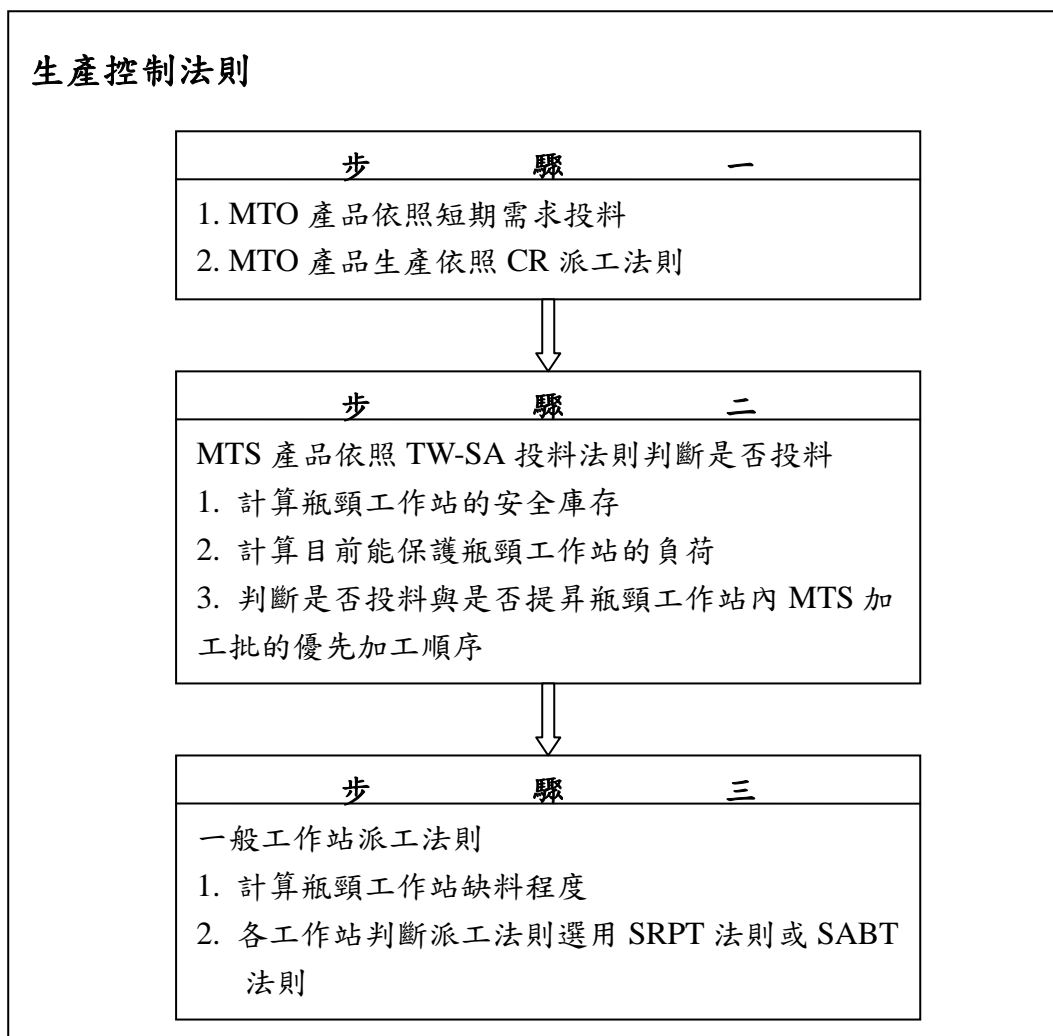
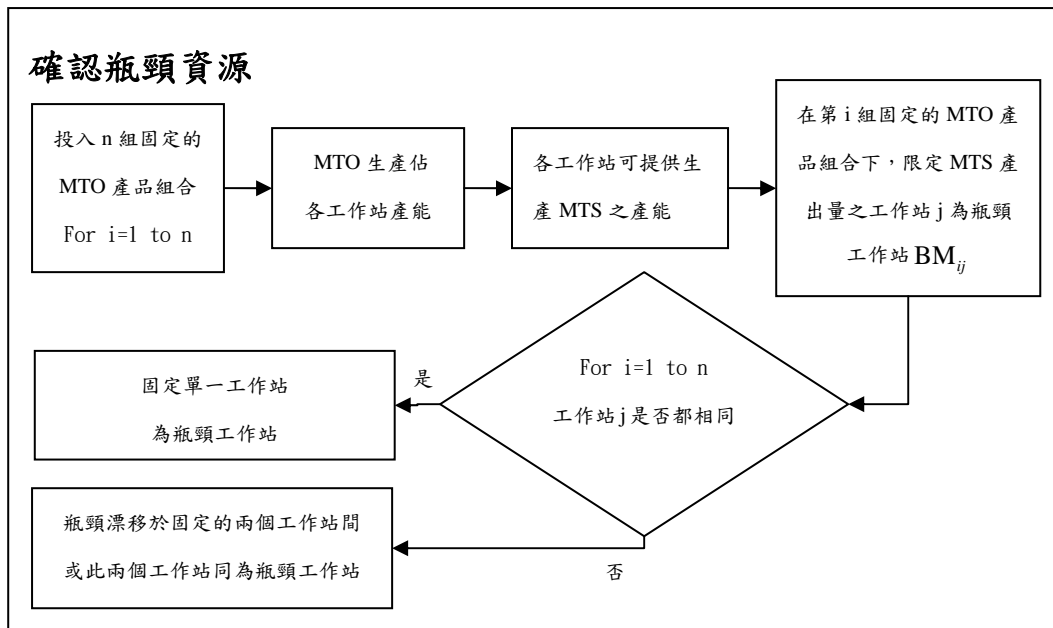


圖 3.2 研究方法流程圖

### 3.2 確認瓶頸資源

本研究的研究範圍為 MTO 產品需求不足且變化性大時，如何以 MTS 生產填充剩餘產能，所以本研究首先進行事前工作，利用靜態計算的方法，在固定的機台組合下，求算不同的固定 MTO 產品組合是否會造成瓶頸資源產生瓶頸漂移及多瓶頸的現象。

若生產規劃時間內某一固定 MTO 產品組合各類產品的總投料量  $x_i$ 。計算該 MTO 產品組合佔各個工作站的產能利用率。

$$U_{j,MTO} = \frac{\sum_{i \in MTO} \sum_k PT_{i,j,k} \times x_i}{T \times N_j \times ATR_j} \quad \forall j \quad (3.1)$$

$j$ ：工作站編號

$T$ ：生產規劃時間

$PT_{i,j,k}$ ：第  $i$  種產品在第  $j$  個工作站第  $k$  次的加工時間，產品的加工時間以加工整  
個加工批(lot)的時間計

$U_{j,MTO}$ ：MTO 生產在第  $j$  個工作站的產能利用率

$U_{j,MTS}$ ：第  $j$  個工作站可提供生產 MTS 產品的產能利用率

$b_j$ ：第  $j$  個工作站的機台數

$B_{j,q}$ ：第  $j$  個工作站中第  $q$  台機台的加工批量，其中  $q \leq b_j$

$N_j$ ：第  $j$  個工作站單位時間加工的總批量， $N_j = \sum_q B_{j,q}$

$MTBF_j$ ：第  $j$  個工作站之平均當機間隔時間

$MTTR_j$ ：第  $j$  個工作站之平均當機修復時間

$ATR_j$ ：第  $j$  個工作站平均可工作時間比率， $ATR_j = \frac{MTBF_j}{MTBF_j + MTTR_j}$

若每一個工作站的產能利用率  $U_{j,MTO}$  皆小於 1 時，表示此 MTO 產品組合沒有超過系統產能，而各個工作站中 MTS 可利用的產能即為  $U_{j,MTS} = 1 - U_{j,MTO}$ ，也就是各個工作站的 MTS 產能限制 ( $U_{j,MTS}$ )。隨著 MTS 投料量的增加，與 MTS 生產有關的工作站之產能利用率也會隨之上升，經由數學式(3.2)的計算，可以得知此 MTO 產品組合所對應的瓶頸工作站。

Maximize  $x_i$

Subject to

$$\frac{\sum_{i \in MTS} \sum_k PT_{i,j,k} \times x_i}{T \times N_j \times ATR_j} \leq U_{j,MTS} \quad \forall j \quad (3.2)$$

$$x_i \geq 0, i \in MTS$$

產能利用率最先達到 MTS 產能限制 ( $U_{j,MTS}$ ) 的工作站，也就是限定 MTS 產出量之工作站  $j$  即為瓶頸工作站，以  $BM_j$  表示。

重覆將  $n$  組不同的固定的 MTO 產品組合代入上述的步驟，即可得知第  $i$  組產品組合的瓶頸工作站為  $BM_{i,j}$ ，若這  $n$  組 MTO 產品組合所對應的工作站  $j$  不完全相同時，表示不同的固定的 MTO 產品組合會使瓶頸資源產生瓶頸漂移或多瓶頸的情況。若在規劃生產時間內，當 MTO 產品組合持續變動時，瓶頸資源有可能不斷地漂移或產生多瓶頸的情況。為了簡化研究的過程，本研究假設固定機台組合中只有兩個固定的工作站會是瓶頸工作站，並且可能發生瓶頸漂移與多瓶頸的情況，也就是當 MTO 產品組合持續變動時，瓶頸持續在這兩個固定的工作站間漂移或是這兩個工作站同為瓶頸工作站

### 3.3 生產控制法則

#### 3.3.1 步驟一：MTO 產品的投料與派工

當 MTO 產品的訂單需求小於系統產能時，將形成顧客隨時提出訂單，製造廠立即接受訂單的情況。因此，製造廠只能根據 MTO 產品短期內的需求進行投料，假設製造廠只知道目前時點與目前時點後  $n-1$  個週期的 MTO 產品投料量，本研究設定這  $n$  個週期為一固定週期個數的時間窗，如圖 3.3 所示。

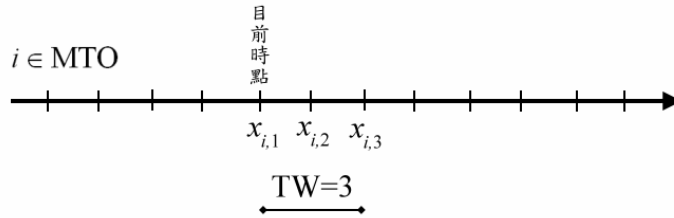


圖 3.3 時間窗

MTO 產品投料後，因為製造過程中常會出現無法避免的因素，有可能造成某些 MTO 加工批無法在交期前完成，則必需進一步採取派工的方法將可能延遲的 MTO 加工批優先作業。

為了降低 MTS 生產對 MTO 產品交期績效的影響，當等候線內同時有 MTO 加工批與 MTS 加工批時，會優先選擇 MTO 加工批進行加工，並且加工批開始進入機台作業時必需作完才可以離開。

MTO 加工批間的派工法則，採用交期緊迫值(Critical Ratio ; CR)派工法則，因為根據 Kayton et al. 【5】的研究，在相同的產出水準下有較佳的生產週期時間績效，數學式如 3.3 所示。

$$CR_{j,i,n} = (T_{due,j,i,n} - T_{now}) / RPT_{j,i,n} \quad i \in MTO \quad (3.3)$$

$CR_{j,i,n}$ ：第  $j$  個工作站中第  $i$  種產品第  $n$  個加工批的交期緊迫值

$T_{due,j,i,n}$ ：第  $j$  個工作站中第  $i$  種產品第  $n$  個加工批的交期

$T_{now}$ ：目前時間

$RPT_{j,i,n}$ ：第  $j$  個工作站中第  $i$  種產品第  $n$  個加工批的剩餘作業時間

CR 值愈小者，作業優先權愈高。



### 3.3.2 步驟二：判斷 MTS 產品是否投料

根據限制理論，瓶頸資源產出控制系統產出，所以對瓶頸資源進行良好的生產控制才能有良好的 MTS 產出績效。經由確認瓶頸資源的事前工作可以得知在那些工作站可能會發生瓶頸漂移與多瓶頸的情況，必需針對這些工作站加以控制。

MTS 生產為了避免瓶頸資源閒置，必需在瓶頸工作站前維持一定的在製品量，但是在製品量的多寡會影響 MTS 產品的生產週期與瓶頸工作站的產能利用率，如果在製品量過多將導致 MTS 產品的生產週期過長而降低產出績效，如果在製品量過少則使得瓶頸工作站可能過度閒置而降低產能利用率。所以適時地投入 MTS 產品並且投入適當的量是 MTS 生產最大的問題。

根據 Glassey 與 Resende 【3】所提出的避免饑餓投料法則(Starvation Avoidance ; SA)，此法則是針對製造廠中機台易當機與維修的特性所設計的投料控制法則，並且考量製程再迴流的特性，衡量現場在製品對瓶頸資源所形成的負荷來控制投料，避免瓶頸資源過度閒置或者因在製品過多使生產週期拉長的現象。然而，避免饑餓投料法則只考慮目前製造廠內在製品負荷，未考慮未來投料狀況，並且只允許在單一瓶頸資源下進行，因此本研究將避免饑餓投料法則作適當的修改而提出因應瓶頸漂移及多瓶頸環境下的時間窗避免饑餓投料法則(Time Window- Starvation Avoidance ; TW-SA)。時間窗避免饑餓投料法則步驟如下。

#### 3.3.2.1 計算瓶頸工作站的安全庫存

已知  $BM_1$  與  $BM_2$  為可能瓶頸工作站，MTS 產品的流程圖。如圖 3.4 所示。

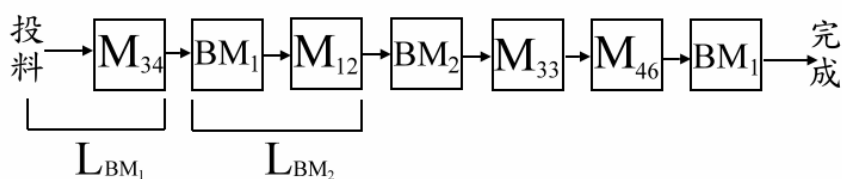



圖 3.4  $L_{BM_1}$  與  $L_{BM_2}$  之計算

1. 如圖 3.4 所示，分別計算 MTS 產品由投料到第一次到達瓶頸工作站  $BM_1$  之間所有製程之作業時間和 ( $L_{BM_1}$ ) 與第一次到達瓶頸工作站  $BM_2$  回推到上一次離開瓶頸工作站  $BM_1$  之間所有製程之作業時間和 ( $L_{BM_2}$ )，則瓶頸工作站  $BM_1$  與  $BM_2$  的安全庫存 ( $S$ ) 分別為  $S_{BM_1} = \alpha_{BM_1} \times L_{BM_1}$  與  $S_{BM_2} = \alpha_{BM_2} \times L_{BM_2}$ ，其中  $\alpha_{BM_1}$  與  $\alpha_{BM_2}$  分別為瓶頸工作站  $BM_1$  與  $BM_2$  的調整參數。 $\alpha$  愈高則愈能避免瓶頸工作站閒置但可能造成在製品過多而拉長 MTS 產品生產週期時間； $\alpha$  太低則可能造成瓶頸工作站缺料而降低產能利用率。所以  $\alpha$  值的設定必需考慮到未來 MTO 產品組合的投料量。
2. 將時間窗內 MTO 產品的總投料量代入數學式 3.4 計算，則可以得到時間窗內 MTO 產品投料量佔瓶頸工作站  $BM_1$  與  $BM_2$  的產能利用率。



$$U_{j,MTO} = \frac{\sum_{i \in MTO-k} \sum PT_{i,j,k} \times x_i}{T \times N_j \times ATR_j} \quad j = BM_1, BM_2 \quad (3.4)$$

$T \in \text{Time Window}$

所以瓶頸工作站  $BM_1$  與  $BM_2$  可提供生產 MTS 產品的產能利用率即為

$U_{BM_1,MTS} = 1 - U_{BM_1,MTO}$  與  $U_{BM_2,MTS} = 1 - U_{BM_2,MTO}$ 。因此，分別設定調整參數  $\alpha_{BM_1}$  與  $\alpha_{BM_2}$  為  $U_{BM_1,MTS}$  與  $U_{BM_2,MTS}$ 。由於時間窗內短期 MTO 產品的需求持續變動，所以參數  $\alpha_{BM_1}$  與  $\alpha_{BM_2}$  會隨著未來 MTO 產品需求而持續改變，導致瓶頸工作站的安全庫存值也持續修正。

### 3.3.2.2 計算目前能保護瓶頸工作站的負荷

根據 MTS 產品之現場在製品資訊與各個步驟的標準製程時間(Standard Processing Time)來估計目前能保護瓶頸工作站免於閒置的總負荷( $W$ )。如數學式 3.5~3.7 所示。

$$T_{Q_{BM_j}} = \sum_{i \in MTS} \sum_{n \in Q_{BM_j}} PT_{i, BM_j, n} \quad (3.5)$$

$$T_{R, BM_j} = MTTR_{BM_j} \times N(BM_j) \quad (3.6)$$

$$W_{BM_j} = (T_{Q_{BM_j}} + T_{R, BM_j}) / b_{BM_j} \quad (3.7)$$

$$j=1,2$$

$Q_{BM_j}$ ：預估在  $L_{BM_j}$  時間內可到達瓶頸工作站  $BM_j$  的所有 MTS 產品加工批集合，

$T_{Q_{BM_j}}$ ： $Q_{BM_j}$  集合中所有加工批對瓶頸工作站  $BM_j$  所形成的負荷

$PT_{i, BM_j, n}$ ：在  $L_{BM_j}$  時間內可到達瓶頸工作站  $BM_j$  的第  $i$  種產品第  $n$  個加工批在瓶

頸工作站  $BM_j$  上的加工時間

$T_{R, BM_j}$ ：瓶頸工作站  $BM_j$  中所有當機機台的總維修時間

$MTTR_{BM_j}$ ：瓶頸工作站  $BM_j$  平均當機修復時間

$b_{BM_j}$ ：瓶頸工作站  $BM_j$  的機台數。

$N(BM_j)$ ：目前瓶頸工作站  $BM_j$  中正在維修的機台數， $N(BM_j) \leq b_{BM_j}$

目前能保護瓶頸工作站  $BM_1$  與  $BM_2$  免於閒置的總負荷為  $W_{BM_1}$  與  $W_{BM_2}$ 。

### 3.3.2.3 判斷是否投料與是否提昇瓶頸工作站 $BM_1$ 內 MTS 加工批的優先加工順序

(1) 若  $W_{BM_1} < S_{BM_1}$ ，表示保護瓶頸工作站  $BM_1$  免於閒置的總負荷小於安全庫存，

瓶頸工作站  $BM_1$  有缺料的可能，必需進行投料。

(2) 若  $W_{BM_1} \geq S_{BM_1}$ ，表示目前的負荷可以保護瓶頸工作站  $BM_1$  免於缺料，不需進

行投料。

(3) 若  $W_{BM_2} < S_{BM_2}$ ，表示保護瓶頸工作站  $BM_2$  免於閒置的總負荷小於安全庫

存，瓶頸工作站  $BM_2$  有缺料的可能，必需將瓶頸工作站  $BM_1$  等候線內的 MTS 加工批提早作業以避免瓶頸工作站  $BM_2$  發生缺料的可能。為了使 MTO 的交期不受影響，先計算瓶頸工作站  $BM_1$  等候線上所有 MTO 加工批的 CR 值，若所有 MTO 加工批的 CR 值皆大於所設定的  $CR_i$  值時，才可以將瓶頸工作站  $BM_1$  等候線內最接近瓶頸工作站  $BM_2$  的 MTS 加工批提早生產，否則仍需先作業交期緊迫程度較高的 MTO 加工批。

- (4) 若  $W_{BM_2} \geq S_{BM_2}$ ，表示目前的負荷可以保護瓶頸工作站  $BM_2$  免於缺料，不需提昇瓶頸工作站  $BM_1$  內 MTS 加工批的優先加工順序。

本研究所提出之時間窗避免饑餓投料法則，考慮未來 MTO 產品需求，使瓶頸工作站的安全存庫值隨時間窗內短期 MTO 產品需求而持續修正，同時考慮現場 MTS 在製品對瓶頸工作站所形成的負荷以控制 MTS 產品的投料作業。

### 3.3.3 步驟三：一般工作站的派工法則

各工作站必需採取適當的派工法則處理 MTS 加工批間的派工問題，以進一步提升 MTS 生產的產出績效。各工作站必需依據現場在製品資訊以衡量瓶頸工作站可能缺料的程度，適時地選取 SRPT 派工法則或 SABT 派工法則。

根據 Blackstone et al.【1】的研究，SRPT(Shortest Remaining Processing Time)法則能減少生產週期時間以提高單位時間產出，SRPT 法則是計算每一加工批從目前步驟到完工步驟之間所有剩餘作業時間的加總，選擇 SRPT 值最小的加工批優先加工。然而，SRPT 法則並無法適時地補充瓶頸工作前 MTS 產品的在製品水準。

另外，本研究定義 SABT(Shortest Arriving Bottleneck Time)法則，將每一加工批目前步驟到下一個瓶頸工作站前的步驟,之間所有製程作業時間加總，選擇 SABT 值最小的加工批優先加工。SABT 法則可以把最接近瓶頸工作站的 MTS 加工批先送到瓶頸工作站等候線以增加 MTS 產品在製品水準。

各工作站選取 SRPT 派工法則或 SABL 派工法則的步驟如下。

### 3.3.3.1 計算瓶頸工作站缺料的程度

以  $\gamma_{BM_j}$  來表示瓶頸工作站  $BM_j$  缺料的程度，以下列數學式表示。

$$\tau_{BM_j} = S_{BM_j} / W_{BM_j} \quad (3.8)$$

$$\gamma_{BM_j} = 1 - e^{-\tau_{BM_j}} \quad (3.9)$$

$$j=1,2$$

數學式(3.8)的  $S_{BM_j}$  與  $W_{BM_j}$  為時間窗避免饑餓投料法則中瓶頸工作站  $BM_j$  的安全庫存與保護瓶頸工作站  $BM_j$  免於閒置的總負荷。數學式(3.9)則是將  $\tau_{BM_j}$  值轉換成  $\gamma_{BM_j}$  值，使數值介於 0 到 1 之間。

當  $W_{BM_j} \gg S_{BM_j}$  時， $\gamma_{BM_j} \rightarrow 0$  表示瓶頸工作站  $BM_j$  缺料的程度不高。

當  $W_{BM_j} \ll S_{BM_j}$  時， $\gamma_{BM_j} \rightarrow 1$  表示瓶頸工作站  $BM_j$  很有可能會缺料。

### 3.3.3.2 各工作站決定選取 SRPT 法則或 SABL 法則

首先必需設定瓶頸工作站缺料程度的臨界值( $\gamma_i$ )。各工作站判斷是否有瓶頸工作站的缺料程度大於缺料程度的臨界值( $\gamma_i$ )，若瓶頸工作站  $BM_j$  的缺料程度大於臨界值( $\gamma_i$ )，則工作站會選取 SABL 派工法則將最接近瓶頸工作站  $BM_j$  的 MTS 加工批優先進行加工；若沒有瓶頸工作站的缺料程度大於臨界值( $\gamma_i$ )時，工作站則選取 SRPT 派工方法。步驟如下。

1. 設定瓶頸工作站缺料程度的臨界值( $\gamma_i$ )
2. 各工作站判斷是否有瓶頸工作站的缺料程度大於缺料程度的臨界值( $\gamma_i$ )，情形有以下三種。
  - (1)  $\gamma_{BM_j} > \gamma_i$  ( $j=1$  或  $2$ )時，工作站選取 SABL 法則，將最接近瓶頸工作站  $BM_j$  的 MTS 加工批優先進行加工。

(2)  $\gamma_{BM_j} > \gamma_i$  ( $j=1$  且  $2$ )時，在此工作站等候線內的 MTS 加工批，若在此工作站加工完畢後會有兩種加工流程，其一會迴流到瓶頸工作站  $BM_1$ ，另一為迴流到瓶頸工作站  $BM_2$ ，工作站會計算迴流到瓶頸工作站  $BM_1$  的總作業時間為  $PT_1$ ，迴流到瓶頸工作站  $BM_2$  的總作業時間為  $PT_2$ ，若  $PT_1 \leq PT_2$  時，工作站選取 SABB 法則，將最接近瓶頸工作站  $BM_1$  的 MTS 加工批優先進行加工；反之，工作站將最接近瓶頸工作站  $BM_2$  的 MTS 加工批優先進行加工。

(3)  $\gamma_{BM_j} \leq \gamma_i$  ( $j=1$  且  $2$ )時，工作站選取 SRPT 派工法則決定 MTS 加工批的優先作業順序。

如果工作站為瓶頸工作站或 MTS 加工批在此站工作站作業完畢後將不會再迴流到瓶頸工作站之工作站一律選取 SRPT 派工法則。



## 第四章 案例驗證

本章將針對第三章所提出之生產控制法則，以 eM-Plant 模擬軟體建構一 MTO 與 MTS 混線生產製造廠以同時驗證 MTO 產品的交期績效及 MTS 產品的產出績效。

### 4.1 案例描述

本研究根據國內某微系統製造廠所提供之前段製程的生產環境、產品製程、機台資訊等相關資料進行模擬。詳細資料如下：

1. 機台資料：模擬工廠中，共有 91 部機台，其中 19 部為批量加工機台，其餘為序列加工機台。本研究將 91 部機台分為 68 種工作站，編號為 G\_1~G\_68，並且考慮不預期之當機情況發生，平均當機間隔時間為指數分配，平均值為 20 小時 24 分鐘；平均當機修復時間為指數分配，平均值為 3 小時 36 分鐘。
2. 產品資料：模擬工廠中，生產 A、B、C 三種產品，其中 A 產品為 MTS 產品，B 產品及 C 產品為 MTO 產品。各產品之製程步驟、加工時間及所使用的機台群皆已知，產品的加工時間以作業整個加工批(lot)的時間計。
3. 產品投料量：MTO 產品投料週期為每週投料，並且時間窗內各投料週期的 MTO 產品投料量已知，若每週 MTO 產品的產品組合持續變動，瓶頸資源可能發生瓶頸漂移及多瓶頸的情況。
4. MTO 產品交期：各 MTO 產品的交期時點為投料時點加上 X 倍的純加工時間。B 產品與 C 產品的 X 分別為 2.7 與 2.9。
5. 模擬時間：設定模擬執行時間為 120 週，蒐集中間 100 週的模擬資料。

### 4.2 模擬步驟

步驟一：確認瓶頸資源

首先利用靜態計算的方法，在固定的機台組合下，求算不同的固定的 MTO 產品組合是否會造成瓶頸資源產生瓶頸漂移及多瓶頸的現象。當 MTO 產品每週的投料量皆設定為 B:C=2:15 時，經由數學式 3.1 及 3.2 的計算可以得知瓶頸工作站為 G\_65；當每週的投料量皆設定為 B:C=8:9 時，瓶頸工作站為 G\_66。因此，當 MTO 產品每週的投料量不同時，瓶頸資源可能會在 G\_65 與 G\_66 之間漂移或者同時為瓶頸工作站。本研究選取會造成瓶頸資源產生瓶頸漂移及多瓶頸的 MTO 投料表進行模擬。

### 步驟二：MTO 產品的投料與派工

MTO 產品的投料由 MTO 投料表所控制，已知 MTO 產品投料量的週期數由時間窗決定，案例給定時間窗的週期數分別有 4、5、6 等三種不同週期數；派工以交期緊迫值(CR)派工法則決定 MTO 加工批的作業優先順序。

### 步驟三：MTS 產品的投料

MTS 產品的投料由時間窗避免饑餓投料法則控制。經由法則的判斷，決定 MTS 產品是否投料或是否提昇瓶頸工作站  $BM_1$  內 MTS 加工批的優先加工順序。

### 步驟四：MTS 加工批的派工

各工作站依據現場在製品資訊以衡量瓶頸工作站可能缺料的程度，適時地選取 SRPT 派工法則或 SABB 派工法則以決定 MTS 加工批間的優先加工順序

### 步驟五：蒐集模擬結果數據

每一次模擬作業進行十次不同的亂數種子(seeds)模擬，並且取十次的平均值為模擬數據。

MTO 產品的部份，分別蒐集平均每週的投料量、產出量與生產週期時間的平均值與標準差並且計算 MTO 產品的達交率，生產週期時間以 x-factor 表示，計算式為各產品在生產系統內的總生產時間與純加工時間的比值。

MTS 產品的部份，分別蒐集平均每週的投料量、產出量，然後計算出投入產出差異率，如式 4.1 所示。

$$\text{投入產出差異率} = |(\text{平均每週投料量} - \text{平均每週產出量}) / \text{平均每週投料量}| \quad (4.1)$$



最後蒐集瓶頸工作站規劃生產時間內的產能利用率。

### 4.3 模擬結果

#### 4.3.1 MTS 產品產出績效

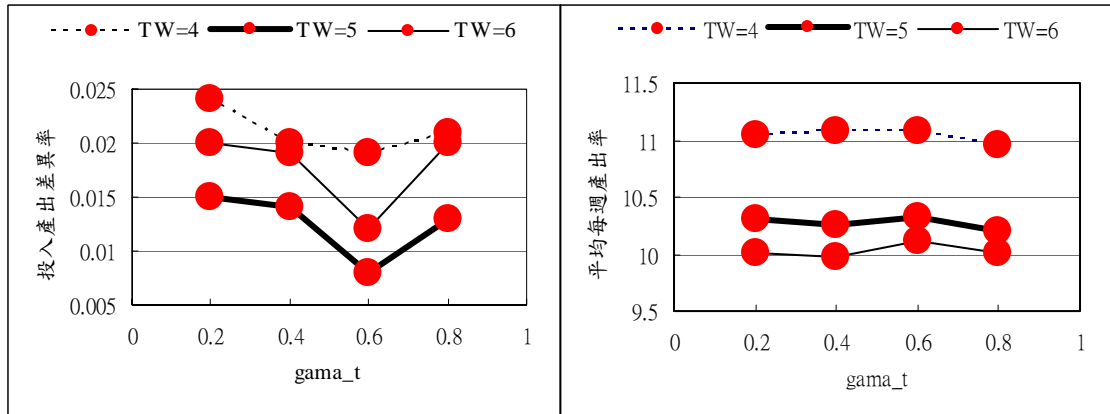


圖 4.1 MTS 產品投入產出差異率與平均每週產出率

由圖 4.1 得知，在 TW 分別為 4、5、6 個週期數等三種情境下，當瓶頸工作站缺料程度的臨界值  $\gamma_i=0.6$  時，平均每週的 MTS 產品產出率最多，並且會有最低的投入產出差異率。因為計算瓶頸工作站  $BM_j$  缺料程度的  $\gamma_{BM_j}$  值為一指數函數，如式 4.2 及 4.3 所示。

$$\tau_{BM_j} = S_{BM_j} / W_{BM_j} \quad (4.2)$$

$$\gamma_{BM_j} = 1 - e^{-\tau_{BM_j}} \quad (4.3)$$

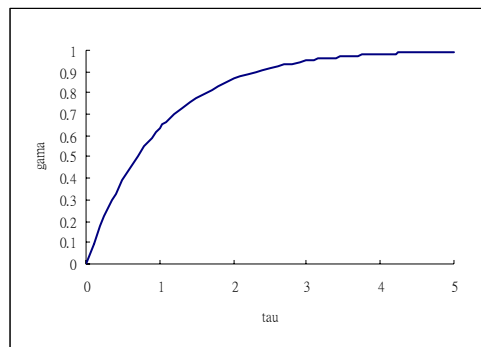


圖 4.2 指數函數圖形

當瓶頸工作站  $BM_j$  的安全庫存 ( $S_{BM_j}$ ) 與保護瓶頸工作站  $BM_j$  免於閒置的總

負荷( $W_{BM_j}$ )相等時， $\tau_{BM_j}$  值為 1， $\gamma_{BM_j}$  值為 0.632，所以當參數  $\gamma_i$  設定為 0.6 時投入產出差異率會較小。如在 TW=5 的情境下，當參數  $\gamma_i$  設定為 0.6 時，MTS 產品平均每週投入 10.404 個，平均每週產出 10.321 個，投入產出差異率可以達到 1% 以下。

### 4.3.2 MTO 產品交期績效

表 4.1 不同時間窗下 MTO(B)產品生產週期之 Duncan 檢定

| $\gamma_i$ | MTO(B)產品生產週期(x-factor) |           |       |           |       |           |
|------------|------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|            | TW=4                   | Duncan 檢定 | TW=5  | Duncan 檢定 | TW=6  | Duncan 檢定 |
| 0.2        | 2.488                  | A         | 2.497 | A         | 2.488 | A         |
| 0.4        | 2.483                  | A         | 2.507 | A         | 2.487 | A         |
| 0.6        | 2.486                  | A         | 2.519 | A         | 2.487 | A         |
| 0.8        | 2.477                  | A         | 2.507 | A         | 2.475 | A         |

表 4.2 不同時間窗下 MTO(C)產品生產週期之 Duncan 檢定

| $\gamma_i$ | MTO(C)產品生產週期(x-factor) |           |       |           |       |           |
|------------|------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|            | TW=4                   | Duncan 檢定 | TW=5  | Duncan 檢定 | TW=6  | Duncan 檢定 |
| 0.2        | 2.678                  | A         | 2.691 | A         | 2.683 | A         |
| 0.4        | 2.680                  | A         | 2.694 | A         | 2.674 | A         |
| 0.6        | 2.695                  | A         | 2.691 | A         | 2.685 | A         |
| 0.8        | 2.681                  | A         | 2.688 | A         | 2.668 | A         |

由表 4.1 與表 4.2 得知，在各組時間窗情境下， $\gamma_i$  的改變對 MTO 產品生產週期時間的 x-factor 沒有影響。另外，當模擬系統依照相同的 MTO 投料表進行投料生產但不生產 MTS 產品時，MTO(B)與 MTO(C)的 x-factor 分別為 2.42 及 2.61。在 TW 給定為 5 個週期， $\gamma_i$  設定為 0.6 的情境下，系統同時生產 MTO 及 MTS 產品使瓶頸資源機台利用率達到滿載，由表 4.1 與表 4.2 得知 MTO(B)與 MTO(C)的平均 x-factor 分別為 2.52 及 2.69，因此在加入生產 MTS 產品後，MTO 產品的 x-factor 只分別增加 4.13% 及 3.07%，並且 x-factor 的標準差分別為 0.422 及 0.374，表示各 MTO 產品的生產週期時間並沒有太大的差異，並且由表 4.3 及表 4.4 得知，MTO 產品的達交率都高達 90% 以上，因此本研究所提出之生產控

制法則可以使生產系統在加入生產 MTS 產品後依然維持 MTO 產品的交期績效。

表 4.3 不同時間窗下 MTO(B)產品達交率

| $\gamma_t$ | MTO(B)產品達交率 |      |      |
|------------|-------------|------|------|
|            | TW=4        | TW=5 | TW=6 |
| 0.2        | 0.95        | 0.96 | 0.94 |
| 0.4        | 0.96        | 0.95 | 0.95 |
| 0.6        | 0.93        | 0.94 | 0.96 |
| 0.8        | 0.94        | 0.93 | 0.94 |

表 4.4 不同時間窗下 MTO(C)產品達交率

| $\gamma_t$ | MTO(C)產品達交率 |      |      |
|------------|-------------|------|------|
|            | TW=4        | TW=5 | TW=6 |
| 0.2        | 0.95        | 0.95 | 0.95 |
| 0.4        | 0.94        | 0.94 | 0.93 |
| 0.6        | 0.95        | 0.95 | 0.94 |
| 0.8        | 0.93        | 0.94 | 0.95 |

### 4.3.3 瓶頸工作站機台利用率

當模擬系統依照相同的 MTO 投料表進行投料生產但不生產 MTS 產品時，瓶頸工作站 G\_65 與 G\_66 的機台利用率分別為 0.81 及 0.65。加入生產 MTS 產品後，瓶頸工作站的機台利用率皆達到 94% 以上的高機台利用率，如圖 4.3 與圖 4.4 所示。因此，本研究所提出之生產控制法則確實可以利用 MTS 生產填充剩餘產能以達到避免瓶頸資源產能閒置的目的。

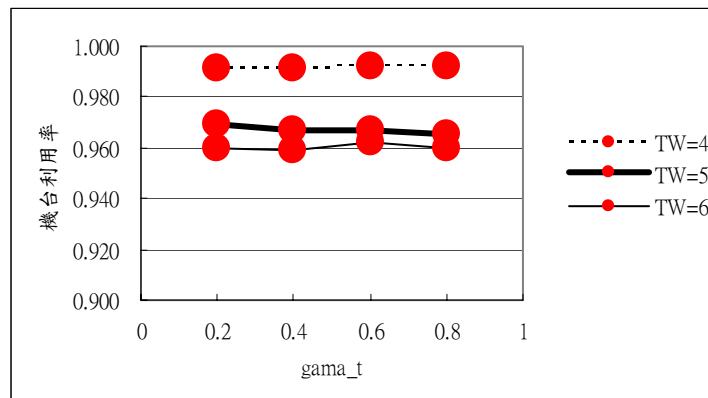


圖 4.3 瓶頸機台利用率(G\_65)

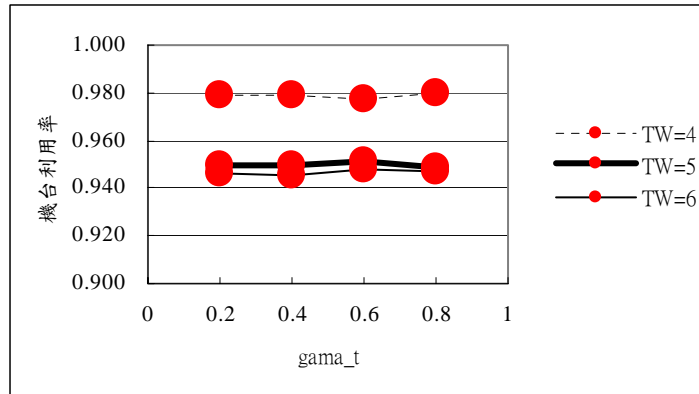


圖 4.4 瓶頸機台利用率(G\_66)

因此，由模擬結果可以證明本研究所提出的生產控制法則可以達到以下所述三種目的：

- (1) MTO 產品的生產週期時間在加入生產 MTS 產品後並沒有明顯的改變，使得生產系統在加入生產 MTS 產品後依然可以維持 MTO 產品的交期績效。
- (2) 在 TW 給定 5 個週期的情境下，當參數  $\gamma_i$  設定為 0.6 時，投入產出差異率可以達到 1% 以下，以達到良好的產出績效。
- (3) 加入生產 MTS 產品後，瓶頸工作站皆達到接近滿載的機台利用率，以達到利用 MTS 生產填充剩餘產能來避免瓶頸資源產能閒置的目的。

#### 4.4 本研究之生產控制法則與其他生產控制法則績效之比較

本研究所提之生產控制法則與 Chang et al.【2】及 SA-SRPT 生產控制法則在固定 MTO 產品組合、MTO 產品組合持續變動及瓶頸資源產生瓶頸漂移及多瓶頸等三種情境下，進行績效比較。績效是指 MTO 產品交期績效與 MTS 產品產出績效。

本研究所提之生產控法則給定以下之參數：MTO 投料量的時間窗週期數為 5 個週期，控制派工的參數  $\gamma_i$  設定為 0.6。

SA-SRPT 生產控制法則是設定 MTO 加工批之派工法則為 CR 派工法則；MTS 產品之投料與派工法則分別為避免饑餓投料法則(SA)與 SRPT 派工法則。

#### 4.4.1 固定 MTO 產品組合環境之生產控制法則比較

在 MTS 產品產出績效方面，不同法則的應用會影響產出績效，如表 4.5 所示。不同的生產控法則對於 MTO 產品達交率有相同的績效。

表 4.5 MTS 產品投料產出率(固定 MTO 產品組合)

| 法則         | 投料表一   |        |       | 投料表二   |        |       | 投料表三   |        |       |
|------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
|            | 投料率    | 產出率    | 差異率   | 投料率    | 產出率    | 差異率   | 投料率    | 產出率    | 差異率   |
| 本法則        | 10.836 | 10.749 | 0.008 | 16.392 | 16.228 | 0.010 | 14.655 | 14.508 | 0.010 |
| Chang 法則   | 11.629 | 10.489 | 0.098 | 18.265 | 16.201 | 0.113 | 16.857 | 14.548 | 0.137 |
| SA-SRPT 法則 | 11.714 | 10.520 | 0.102 | 18.416 | 16.188 | 0.121 | 16.873 | 14.528 | 0.139 |

表 4.6 MTS 產品產出績效之 Duncan 檢定(固定 MTO 產品組合)

| 法則         | Duncan 檢定 |      |      |
|------------|-----------|------|------|
|            | 投料表一      | 投料表二 | 投料表三 |
| 本法則        | A         | A    | A    |
| Chang 法則   | B         | B    | B    |
| SA-SRPT 法則 | B         | B    | B    |

但是，在 MTS 產品產出績效方面，由表 4.5 與表 4.6 得知，本研究所提出之生產控制法則能夠有效地控制 MTS 產品的投料率，因此本生產控制法則優於 Chang 及 SA-SRPT 生產控制法則。

#### 4.4.2 MTO 產品組合持續變動環境之生產控制法則比較

在 MTS 產品產出績效方面，不同法則的應用也會影響 MTS 產品產出績效，如表 4.7 所示。不同的生產控法則對於 MTO 產品達交率有相同的績效。

表 4.7 MTS 產品投料產出率(MTO 產品組合持續變動)

| 法則         | 投料表一   |        |       | 投料表二   |        |       | 投料表三   |        |       |
|------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
|            | 投料率    | 產出率    | 差異率   | 投料率    | 產出率    | 差異率   | 投料率    | 產出率    | 差異率   |
| 本法則        | 18.888 | 18.642 | 0.013 | 19.492 | 19.219 | 0.014 | 19.505 | 19.251 | 0.013 |
| Chang 法則   | 23.118 | 18.633 | 0.194 | 24.040 | 19.208 | 0.201 | 24.395 | 19.272 | 0.210 |
| SA-SRPT 法則 | 23.418 | 18.641 | 0.204 | 24.113 | 19.218 | 0.203 | 24.348 | 19.259 | 0.209 |

表 4.8 MTS 產品產出績效之 Duncan 檢定(MTO 產品組合持續變動)

| 法則         | Duncan 檢定 |      |      |
|------------|-----------|------|------|
|            | 投料表一      | 投料表二 | 投料表三 |
| 本法則        | A         | A    | A    |
| Chang 法則   | B         | B    | B    |
| SA-SRPT 法則 | B         | B    | B    |

在 MTS 產品產出績效方面，由表 4.7 與表 4.8 得知，在變動的 MTO 產品組合環境下，本研究所提出之生產控制法則仍優於 Chang 及 SA-SRPT 生產控制法則。

另外，由於 MTO 產品組合持續變動，Chang 及 SA-SRPT 生產控制法則會投入更多的 MTS 產品，使投入產出差異率更加擴大，然而本生產控制法則的 MTS 產品投入產出差異率只有些許的增加。

#### 4.4.3 瓶頸資源產生瓶頸漂移及多瓶頸環境之生產控制法則比較

在瓶頸漂移及多瓶頸環境下，由表 4.9 得知，本研究所提出的生產控制法則在 MTS 產出績效方面仍優於 Chang 法則及 SA-SRPT 法則，使生產系統可以避免 MTS 產品投料過多所形成多餘的在製品而造成資金成本的浪費。在 MTO 產品交期績效方面，不同的生產控法則對於 MTO 產品達交率有相同的績效。

表 4.9 MTS 產品產出績效之 Duncan 檢定(瓶頸漂移及多瓶頸)

| 法則         | 投料率    | 產出率    | 差異率   | Duncan 檢定 |
|------------|--------|--------|-------|-----------|
| 本法則        | 10.404 | 10.321 | 0.008 | A         |
| Chang 法則   | 12.445 | 10.242 | 0.177 | B         |
| SA-SRPT 法則 | 12.484 | 10.212 | 0.182 | B         |

表 4.10 瓶頸工作站產能利用率之 Duncan 檢定(瓶頸漂移及多瓶頸)

| 法則         | G_65  |           | G_65  |           |
|------------|-------|-----------|-------|-----------|
|            | 平均值   | Duncan 檢定 | 平均值   | Duncan 檢定 |
| 本法則        | 0.951 | B         | 0.967 | A         |
| Chang 法則   | 1.000 | A         | 0.747 | B         |
| SA-SRPT 法則 | 1.000 | A         | 0.747 | B         |

在瓶頸工作站產能利用率的部份，本研究所提出的生產控制法則與 Chang 及 SA-SRPT 生產控制法則都有顯著差異，由表 4.10 得知，在工作站 G\_65 產能利用率的部份，本生產控制法則低於其它兩種生產控制法則，在工作站 G\_66 的部份，本生產控制法則皆高於其它兩種生產控制法則，因為 MTS 產品的途程當中，G\_65 為第一次到達的瓶頸工作站，所以 Chang 及 SA-SRPT 生產控制法則都只針對 G\_65 控制投料，並且因為過度投料而導致 G\_65 呈現產能利用率為 1 的情況，然而，G\_66 卻沒有適當的在製品存貨而造成產能閒置。相對地，本生產控制法則同時考慮兩個瓶頸工作站而進行投料與派工控制，所以可以適時地補充瓶頸工作站前的在製品水準並且沒有過度投料的情形發生，因此本生產控制法則的瓶頸工作站產能利用率都能維持在 95% 以上，以避免瓶頸資源過度閒置。

因此，模擬結果驗證本研究所提出之生產控制法則在固定 MTO 產品組合、MTO 產品組合持續變動及瓶頸資源產生瓶頸漂移及多瓶頸等三種情境下，都能夠維持 MTO 產品的交期績效，並且使 MTS 產品的產出績效都優於 Chang 及 SA-SRPT 生產控制法則。



## 第五章 結論與未來研究方向

### 5.1 結論

MTO 與 MTS 混線生產模式的製造廠在生產控制上，必需先以 MTO 產品的交期限制為首要考量，以維持顧客服務水準，並且同時控制 MTS 產品的生產活動以避免瓶頸資源產能閒置。Chang et al. 【2】 考量晶圓代工廠 MTO 與 MTS 混線生產時，雖然 MTO 生產有良好交期績效，但是 MTS 生產的產出績效卻不甚理想，並且該篇文獻並無考慮瓶頸資源產生瓶頸漂移及多瓶頸的可能性。因此，本研究考慮短期且變化的 MTO 產品組合，瓶頸資源可能產生瓶頸漂移及多瓶頸的情況下，透過投料法則與派工法則的生產控制，使 MTO 產品維持良好的交期績效，並且使 MTS 產品也有良好的產出績效。最後，以一個案例說明之。

以下為本研究之結論：

1. 本研究所提出的生產控制法則可以使瓶頸資源產能利用率接近滿載的情況下將 MTS 生產的投入產出差異率降低到 1% 以下，使 MTS 生產的產出績效優於 Chang et al. 【2】 所提出的生產控制法則。
2. MTO 產品在生產系統同時加入 MTS 生產使瓶頸資源產能利用率接近滿載後，MTO 產品的平均生產週期只分別增加 4.13% 及 3.07%，並且生產週期的標準差分別為 0.422 及 0.374，所以 MTO 產品的交期績效並不會因為加入 MTS 生產而大幅下降。

### 5.2 未來研究方向與建議

在未來發展方面，可以從以下幾點進行研究：

1. 製造廠製造多種 MTS 產品
2. 固定機台組合中有兩個以上的工作站會發生瓶頸漂移與多瓶頸的情況



## 參考文獻

- 【1】 Blackstone, J.H., D.T. Phillips, and G.L. Hogg, “A State-of-The-Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations,” *International Journal of Production Research*, vol. 20, no. 1, 1982, pp.27-45.
- 【2】 Chang, S.H., P.F. Pai, K.J. Yuan, B.C. Wang, and R.K. Li, “Heuristic PAC Model for Hybrid MTO and MTS Production Environment,” *International journal of production economics*, vol.85, issue3, September 11, 2003, pp.347-358.
- 【3】 Glassey, C.R., and M.G.C. Resende, “Closed-loop Job Release Control for VLSI Circuit Manufacturing,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 1, no. 1, Feb 1988, pp.36-46.
- 【4】 Huang, X.L., K.Y. Hu, H.Y. Li, and T.Y. Chai, “Mathematical Programming Model and Algorithms for Production Planning with Considering Slab Matchingt,” Proceedings of the second international conference on machine learning and cybernetics, Xi’an, 2-5 November 2003, pp.2055-2060.
- 【5】 Kayton, D., T. Teyner, C. Schwartz, and R. Uzsoy, “Effects of Dispatching and Down Time on the Performance of Wafer Fabs Operating Under Theory of Constraints,” 19<sup>th</sup> IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium, Austin, TX, USA, 1996, pp.49-56.
- 【6】 Kingsman, B., L. Hendry, A. Mercer, and A. Souza, “Responding to Customer Enquiries in Make-to-order Companies : Problems and Solutions,” *International journal of production economics*, vol.46-47, 1996, pp.219-231.
- 【7】 Papadopoulos, H.T., C. Heavey, and J. Browne, *Queueing Theory in Manufacturing Systems Analysis and Design*, Chapman and Hall, 1993.
- 【8】 Sipper, D., and J.R. Bulfin, *Production : Planning, Control, and Integration*, McGraw-Hill, 1997.
- 【9】 Soman, C.A., D.P. Van Donk, and G. Gaalman, “Combined Make-to-order and Make-to-stock in A Food Production System,” *International journal of production economics*, vol. 90, issue 2, July 28, 2004, pp. 223-235.
- 【10】 鍾淑馨，黃宏文，『晶圓製造廠生產作業控制策略之設計』，*Journal of Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 16, no. 1, 1999, pp.93-113.
- 【11】 黃承龍，張盛鴻，李榮貴，『瓶頸漂移分析與對策之研究』，*Journal of Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 18, no. 4, 2001, pp.73-81.
- 【12】 江志雄，『綁機情境之 MTO/MTS 半導體派工』，國立交通大學工業工程研究所碩士論文，民國 93 年。