

行政院國家科學委員會補助  
大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

\* \*\*\*\*\* \*  
\* 計 畫 \*  
\* : 瓶頸站為多機台的限制驅導式排程方法(DBR)研究 \*  
\* 名 稱 \*  
\* \*\*\*\*\* \*

執行計畫學生： 曾子勳  
學生計畫編號： NSC 98-2815-C-216-004-E  
研究期間： 98年07月01日至99年02月28日止，計8個月  
指導教授： 吳鴻輝

處理方式： 本計畫可公開查詢

執行單位： 中華大學工業工程與系統管理學系

中華民國 99年03月31日

# 瓶頸為多機台的限制驅導式排程方法(DBR)研究

學生：曾子勳

指導教授：吳鴻輝 博士

## 摘 要

限制驅導式排程方法(Drum-Buffer-Rope,DBR)，在實務上的應用已獲得良好的成效，例如降低流程時間或是提高產出等，然而現有的 DBR 文獻，所探討的都只是單一瓶頸機台的排程方法居多。在實務上，大多數工廠的瓶頸站卻是多機台的型態，例如半導體的黃光機台，封裝廠的打線或封膠機等，因此如何設計瓶頸多機台的瓶頸排程是本研究的重點。瓶頸站有多機台的排程問題，除了如何決定瓶頸機台的訂單排序外，還多了一張訂單要選擇幾台瓶頸機台加工，及一張訂單要選擇哪幾台瓶頸機台加工等需求。本研究為了確保訂單的流程時間不會拖得太長，提出了一套排程方法，這套方法依據訂單的產能與交期的需求對訂單做切割，有別於一般文獻使用群組化的方法。這些傳統的方法會限制了機台使用上的彈性，當有急單發生時，由於無法跨越群組，而無法依據訂單的需求給予產能上的支援，因此本研究打破群組化的限制，充分運用了瓶頸多機台的環境優勢，當接到急單或大單，可以選擇與分配所有的瓶頸機台，配合訂單交期的需求，提供最適當的瓶頸產能。其次為了具體說明本方法的排程過程及可能性，本文除了以兩個個案說明外，並以 C++ 程式語言開發了一套離型系統來驗證。本研究將有助於實務界的推廣應用與學術界對 DBR 進一步的研究。

關鍵詞：限制理論、限制驅導式排程方法、瓶頸多機台。

# A STUDY OF DRUM-BUFFER-ROPE SCHEDULING FOR A BOTTLENECK STATION WITH MULTIPLE MACHINES

Student : Tzu-Hsun Tseng

Advisor : Dr. Horng-Huei Wu

## **Abstract**

Although the Drum-Buffer-Rope (DBR) Systems have been studied in these years, the DBR design method for the manufacturing environment with multiple machines in its bottleneck station is still lack. The bottleneck stations with multiple machines are generally in the industry, such as semiconductor wafer manufacturing plants, IC substrate manufacturing plants, or multilayer board manufacturing plants. The scheduling in such an environment, three issues will be confronted: (1) the sequence of orders, (2) the number of machines for an order, and (3) the selection of which machine for an order. A drum scheduling method for manufacturing environments with multiple machines in its bottleneck station is then proposed in this papper. Additional, numeric examples are utilized to evaluate the application of the proposed method. Finally, a prototype of DBR scheduling system for bottleneck station with multiple machines is developed to demonstrate the feasibility the proposed method.

Keywords: THEORY OF CONSTRAINTS 、 DBR 、 BOTTLENECK 、  
MULTIPLE MACHINES ◦

# 目 錄

摘 要.....	i
Abstract.....	ii
目 錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	vii
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究動機.....	1
1.3 研究問題.....	2
第二章 文獻探討.....	5
第三章 瓶頸戰有多機台的 DBR 排程.....	9
3.1 符號定義.....	9
3.2 DRUM 排程設計.....	9
3.2.1 排程的流程.....	10
3.2.2 訂單投料時間與入庫時間計算.....	11
3.3 案例 1.....	12
3.4 案例 2.....	14
第四章 實作與驗證.....	17
4.1 環境與規格.....	17
4.2 系統限制.....	17

4.3	製程資料與輸入規格介紹.....	17
4.3.1	緩衝(buffer)資料.....	17
4.3.2	工件在瓶頸機台的製程(ccrproducts)資料.....	18
4.3.3	瓶頸機台的在製品(ccrwip)資料.....	18
4.3.4	訂單(orders)資料.....	19
4.4	製令檔輸出規格說明.....	20
4.5	個案 1.....	20
4.6	個案 2.....	22
第五章	結論.....	26
參考文獻	.....	27

## 圖目錄

圖 1.1	訂單排序前至排序後.....	2
圖 1.2	一張訂單使用不同數量瓶頸機台結果比較.....	3
圖 1.3	一張訂單再不同瓶頸機台加工的完工時間比較.....	3
圖 3.1	瓶頸站訂單排程結果.....	13
圖 3.2	瓶頸站訂單排程結果.....	15
圖 4.1	緩衝資料(excel 檔).....	17
圖 4.2	緩衝資料(txt 檔).....	18
圖 4.3	工件在瓶頸站的製程資料(excel 檔).....	18
圖 4.4	工件在瓶頸站的製程資料(txt 檔).....	18
圖 4.5	瓶頸機台在製品的資料(excel 檔).....	19
圖 4.6	瓶頸機台在製品的資料(txt 檔).....	19
圖 4.7	訂單資料(excel 檔).....	19
圖 4.8	訂單資料(txt 檔).....	20
圖 4.9	製令資料.....	20
圖 4.10	案例 1 的緩衝資料.....	21
圖 4.11	案例 1 工件在瓶頸站的製程資料.....	21
圖 4.12	案例 1 瓶頸機台在製品資料.....	21
圖 4.13	案例 1 訂單資料.....	22
圖 4.14	案例 1 製令.....	22
圖 4.15	案例 2 的緩衝資料.....	22

圖 4.16	案例 2 工件在瓶頸站的製程資料.....	23
圖 4.17	案例 2 瓶頸機台在製品資料.....	23
圖 4.18	案例 2 訂單資料.....	24
圖 4.19	案例 2 製令.....	25

## 表目錄

表 2.1	限制理論的運用與成果.....	6
表 2.2	現有限制驅導式文獻對於瓶頸機台問題的分析與探討.....	6
表 2.3	DBR 運用於半導體封裝廠文獻.....	7
表 2.4	運用 DBR 法進行 N 條流程式生產線重排程之研究.....	7
表 2.5	限制驅導式現場排程於 TFT-LCD 阻力廠瓶頸機台排程之應用.....	8
表 3.1	訂單資料.....	12
表 3.2	瓶頸機台的工件資料.....	12
表 3.3	瓶頸機台資料.....	12
表 3.4	瓶頸機台的工件資料.....	14
表 3.5	瓶頸機台期初在製品資料.....	14
表 3.6	訂單資料.....	14
表 3.7	排程結束的結果.....	16



# 第一章 緒論

## 1.1 前言

DBR 使用在工廠中，已證實能有效改善工廠的績效，如表 2.1 所示。但對於環境較為複雜的工廠，像瓶頸站有多台瓶頸機台，在 DBR 中並沒有加以說明，該如何在此環境下，如何實施 DBR，與如何管理瓶頸站。因此本研究將以瓶頸有多機台的工廠，研究瓶頸站的排程問題。

本研究針對瓶頸為多機台的工廠環境，探討在實施限制理論時所面臨到的問題，本研究發現要對瓶頸為多機台的環境做排程，會面臨的問題除了如何排序瓶頸機台的訂單？在瓶頸為多機台的環境下，多了一張訂單要選擇幾台瓶頸機台加工，及一張訂單要選擇哪幾台瓶頸機台加工等需求。不好的選擇將導致瓶頸機台有不必要的閒置並影響工廠的產出，因而本研究將針對兩大問題，提供一套排程方法，提供瓶頸為多機台的工廠一個排程方法的參考。

## 1.2 研究動機

現今因為大環境下的不景氣，工廠不願意建立太多存貨在廠內，因上述情形供應商的交貨能力，相對十分重要，成為客戶下單很重要的依據。工廠想要讓產品如期出貨，要依靠工廠內部的排程、派工與投料相互配合才能夠實現現今學術界上已有很多的排程方式，針對不同的工廠環境做探討，其中 DBR 與傳統排程方法比較，證明對於工廠現況的改善有良好的效益。

DBR 是一套架構在限制理論基礎上，用來解決生產製造問題的管理系統，DBR 所關注的焦點在瓶頸，因為當瓶頸損失一小時的產能，就是整家工廠的產能損失一小時 Ronen [15]、Umble [19]。所以 DBR 利用緩衝(Buffer)以及投料計劃(Rope)來保護瓶頸，使瓶頸不至於產生缺料的情況發生。DBR 可歸納為四個步驟 Umble [19] (1)確認瓶頸(2)決定瓶頸緩衝和出貨緩衝(3)設計瓶頸的生產節奏(Drum)(4)規劃 Rope，DBR 已在不同的行業運用並獲得良好的成果，這些成果整理如表 2.1 所示。

雖然 DBR 運用 Drum、Buffer 與 Rope 技術，保護著工廠瓶頸的產能，但現有 DBR 只適用於一些簡單的瓶頸環境，例如沒有瓶頸回流、瓶頸機台數量約 1~5 台…等等，當環境較為複雜，像是 TFT-LCD 模組廠黃祥熙[5]瓶頸機台數量很多時，使用時就必須加上人工的管理，因為 DBR 並未對於這些較為複雜的環境加以說明細部的管理方式所導致，需交由現場管理人員依據經

驗法則與實務經驗處理問題吳鴻輝[4]。

因此本研究嘗試以限制驅導式排程方法 DBR 為基礎，對瓶頸為多機台之排程環境做了問題分析，分別提出如何決定瓶頸機台的訂單排序？一張訂單要選擇幾台瓶頸機台同時加工？一張訂單要選擇哪幾台瓶頸機台加工，3 大需求並加以探討。

### 1.3 研究問題

當瓶頸機台數量很多時，在執行 Drum 時，會出現以下的需求：

需求 1. 如何決定瓶頸機台的訂單排序(圖 1.1)？

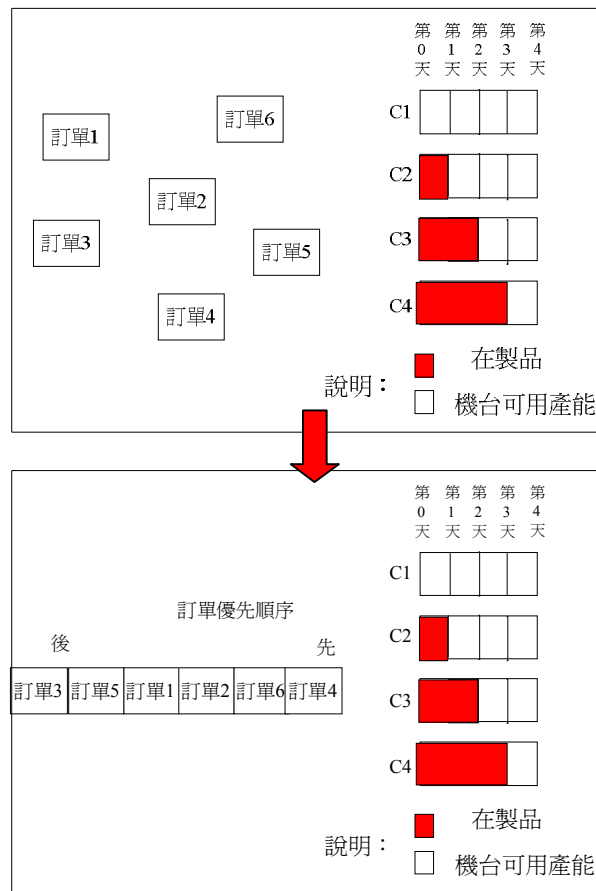


圖 1.1 訂單排序前至排序後

需求 2. 一張訂單要選擇幾台瓶頸機台同時加工？

當一張訂單選擇不同數量瓶頸機台加工，會有不同的產出時間(圖 1.2)，使用較多的機台數會有較快的產出時間，要如何使用的機台數量？產生訂單使用瓶頸機台數量上的選擇問題。

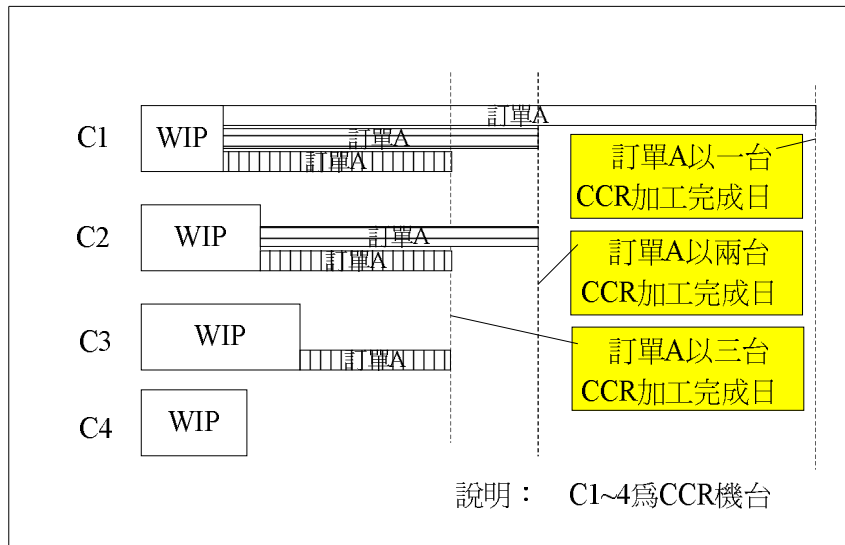


圖 1.2 一張訂單使用不同數量瓶頸機台結果比較

需求 3. 一張訂單要選擇哪幾台瓶頸機台加工？

因為擁有多台瓶頸機台每一台瓶頸機台在製品的數量種類與完工時間都不相同(圖 1.3)，能完成在製品加工並開始加工下一個順序的工件的時間不同，因此一張訂單有了選擇了不同的瓶頸機台加工，會產生不一樣的產出時間結果，因此說明著瓶頸機台的選擇會影響到交期的長短，但如何去做選擇？

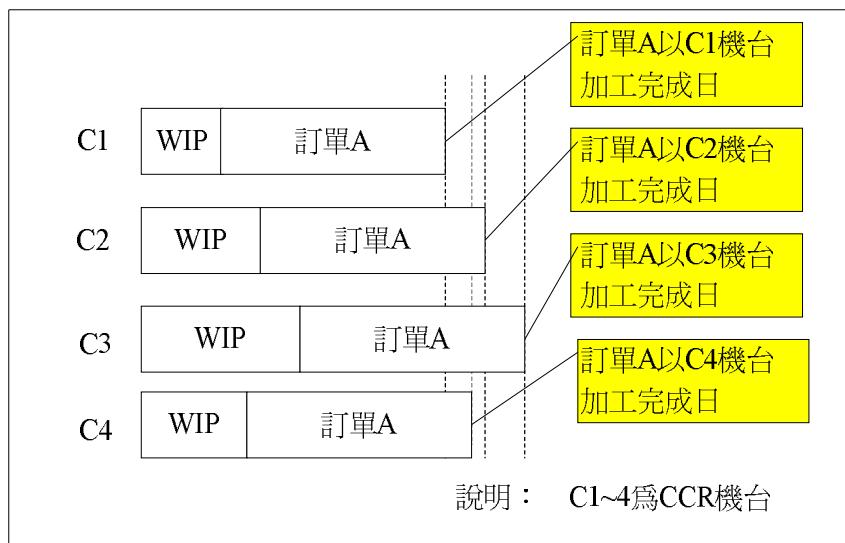


圖 1.3 一張訂單再不同瓶頸機台加工的完工時間比較

綜合以上的需求，發現當 DBR 是在瓶頸機台數較多的情況下，並未對於這些較為複雜的環境加以說明細部的管理方式，但現今的 DBR 文獻多以瓶頸為單一或少量(1~5 台)為研究目標進行探討如表 2.2 所示，因此只探討了需求 1(如何決定瓶頸機台的訂單排序?)。本研究將針對需求 2 和需求 3，在瓶頸機台為多機台的環境下做深入的探討與研究。

## 第二章 文獻探討

對於本研究所提出的需求 1(如何決定瓶頸機台的訂單排序?)，現有的訂單排序方式有學者提出以下幾種方法：

1. 批量總加工時間/瓶頸加工時間較大者先 Neely [8]。
2. 當訂單有交期時分兩階段設計吳鴻輝[3]
  - (a) 計算出各訂單對限制產能的需求程度，若發生產能不足之負荷重疊現象進入 (b)。
  - (b) 將負荷予以推平得合理的排程計畫。
3. 考慮產能限制與市場需求，並依據訂單交期為訂定瓶頸生產程序 Goldratt [10]。

本研究將探討這些排序法則，並在第三章節，提出一套訂單排序的方法。

在現有的文獻中，雖然對於瓶頸為多機台的环境做研究，但都先將瓶頸機台依照產線分群，因而並未對於本研究所提出的需求 2 與需求 3 做探討，因此本研究以限制理論為基礎，對於需求 2 與需求 3，所遇到的問題加以深入研究。

在限制理論的架構下，針對不同的問題衍生出了不同的解決方法，在制造的部份有限制驅導式排程方法，本研究將依據限制驅導式排程方法的觀念，用於解決本研究所面臨到瓶頸有多機台時排程的問題。

限制驅導式排程方法關注的焦點為瓶頸站，因為當瓶頸站損失一小時的產能，就等於整家工廠損失一小時的產能 Goldratt [10]、Guide [11]，因此對於瓶頸站的訂單安排，會影響到整家工廠的產出。而現有的文獻如表 2.2 所示，對於要如何選擇瓶頸機台與選擇哪幾台瓶頸機台，並沒有加以探討，或者是設定的研究環境為單瓶頸機台，對於本研究所提出的瓶頸有多機台時，瓶頸機台的選擇問題，並未加以探討。雖然有文獻對於多瓶頸機台有提出機台選擇的方法，其方法為依據每個工件種類所佔有的百分比，分配機台數量並成為一個群組，生產該種產品的訂單，此方法無法依據訂單交期，調整訂單所使用的瓶頸機台的數量與機台，如表 2.3 至表 2.5 所示。因此本研究在研究方法中提供一套方法，解決瓶頸有多機台時訂單在瓶頸機台的選擇問題。

表 2.1 限制理論的運用與成果。

作者	改善的單位	導入 DBR 後改善的成果
李有正[1]	飛機維修	在不增加資源的情況下，其平均流程時間可有效縮短。
李長興[2]	假撚廠	降低平均閒置時間減少，在製品數量提升總產出量。
張晚菁[6]	晶圓代工廠	生產週期時間縮短 9%，以及產品達交率增加 27%。
Blackstone [9]	Bal Seal 公司	週期由原本的 6 週降為 8 天，貨品達交率由原本的 80~85% 提升到 97%，在製品存貨減少了 50% 以上。
Guide [11,12,13]	翻修廠	無法預知在翻修的程度與零件損耗程度，使得排程法則難以執行，導入 DBR 發揮很大的管理成效。
Moon [15]	儀器製造廠	製造前置時間減少一半，貨品達交率從原本的 50%~70% 提升到 95~98%，在製品存貨降低了 60%。
Shoemaker [19]	Zycon 公司	產出增加一倍，存貨與不良率減半，前置時間從 3 週降為 3 天。
Wu [20]	傢俱廠	透過模擬法比較，DBR 與原有排程法之不同，其結果顯示 DBR 可獲得較早的完成時間。

表 2.2 現有限制驅導式文獻對於瓶頸機台問題的分析與探討。

瓶頸機台數	文獻	一張訂單要選擇幾台瓶頸機台同時加工	一張訂單要選擇哪幾台瓶頸機台加工
單機	A.D.Neely [8]		
	Goldratt [10]		
	Guide [11]	說明:瓶頸為單機台沒有這兩個問題	
	Satya [16]		
	Schragenheim [17]		
多機	吳鴻輝、李榮貴[3]	△	◎
	吳鴻輝、林則孟、吳凱文[4]	△	△
	黃祥熙[5]	△	△
	楊淳正[7]	△	◎

備註：◎為有解 △未探討

表 2.3 吳鴻輝、林則孟、吳凱文[4]將 DBR 運用於半導體封裝廠。

如何決定瓶頸機台的訂單排序	一張訂單要選擇幾台瓶頸機台同時加工	一張訂單要選擇哪幾台瓶頸機台加工
<p>1.機台方面:從負荷對小或可開始時間最早的機台優先排。</p> <p>2.製單方面:製單在瓶頸之完工時間較早者優先,若交期相同則批量較大的投片批優先,而同一投片批內的製單較大者優先。</p>	<p>此文獻依據產品線的不同針對各產品線對瓶頸機台做分群,因而每條產品線所擁有的瓶頸機台數為少量,因此並未對於本研究所提出的需求 2(選擇幾台瓶頸機台同時加工)加以探討。</p>	<p>此文獻依據產品線的不同針對各產品線對瓶頸機台做分群,因而每條產品線所擁有的瓶頸機台數為少量,因此沒有需求 3(選擇哪幾台瓶頸機台加工)選擇機台的探討。</p>

表 2.4 黃祥熙[5] 運用 DBR 法進行 N 條流程式生產線重排程之研究。

如何決定瓶頸機台的訂單排序	一張訂單要選擇幾台瓶頸機台同時加工	一張訂單要選擇哪幾台瓶頸機台加工
<p>分為兩階段：</p> <p>第一階段計算出各訂單對限制產能的需求程度,若發生產能不足之負荷重疊現象進入第二階段。</p> <p>第二階段將負荷予以推平得合理的排程計畫。</p>	<p>此文獻依據產品線的不同針對各產品線對瓶頸機台做分群,並對於每條生產線上有一台與兩台的排程做深入探討,因而每條產品線所擁有的瓶頸機台數為 1~2 台數,因此並未對於本研究所探討的選擇機台的部份加以探討。</p>	<p>此文獻依據產品線的不同針對各產品線於瓶頸機台做分群,並對於每條生產線上有一台與兩台的排程做深入探討,因而每條產品線所擁有的瓶頸機台數為 1~2 台數,因此沒有需求 3(選擇哪幾台瓶頸機台加工)選擇機台的探討。</p>

表 2.5 楊淳正[7] 限制驅導式現場排程於 TFT-LCD 阻力廠瓶頸機台排程之應用。

如何決定瓶頸機台的訂單排序	一張訂單要選擇幾台瓶頸機台同時加工	一張訂單要選擇哪幾台瓶頸機台加工
<p>因工件加工特性需求，TFT 基板與 CF 基板需要成對產出，因此採用交叉生產，優先選擇同尺寸產品上機加工，採用先進先出法為依據。</p>	<p>先判斷機台可排產能機台數量，當大於一時選擇較早的優先排入；等於一時排進排程；小於一時以加工工件相同或可排時間較早的先行排入，但文獻並未對於當機台可排產能不足時，該選擇幾台瓶頸機台同時加工做說明。</p>	<p>先判斷機台可排產能機台數量，當大於一時選擇較早的優先排入；等於一時排進排程；小於一時以加工工件相同或可排時間較早的先行排入。</p>



## 第三章 瓶頸站有多機台的 DBR 排程

### 3.1 符號定義

$G$ : 訂單數。

$i$ : 訂單編號,  $i = 1, 2, 3 \dots G$ 。

$j$ : 瓶頸機台編號,  $j = 1, 2, 3 \dots C$ 。

$L$ : 工件數量。

$D_i$ : 訂單  $i$  的交期, 單位: 小時,  $i = 1, 2, 3 \dots G$ 。

$k$ : 工件種類,  $k = 1, 2, 3 \dots L$ 。

$q_i$ : 訂單  $i$  的工件種類,  $i = 1, 2, 3 \dots G$ 。

$B_i$ : 訂單  $i$  的工件數,  $i = 1, 2, 3 \dots G$ 。

$P_k$ : 訂單中, 工件種類  $k$  每件所需要的瓶頸站標準工時, 時間單位: 小時。

$C$ : 瓶頸機台數。

$S_k$ : 訂單中, 工件種類  $k$  在瓶頸機台的換線時間。

$W_j$ : 瓶頸機台  $j$  的在製品完工時間, 時間單位: 小時,  $j = 1, 2, 3 \dots C$ 。

$FD_i$ : 訂單入庫時間,  $i = 1, 2, 3 \dots G$ 。

$CB$ : 瓶頸緩衝。

$SB$ : 出貨緩衝。

$O_I$ : 所有未排訂單的集合。

$O_{II}$ :  $O_I$  集合中, 擁有最早交期時間的訂單集合。

$U$ :  $O_{II}$  中擁有最為優先加工順序的訂單。

$M_I$ : 所有瓶頸機台的集合, 初始值為  $M_I = \{j \mid j = 1, 2, 3 \dots C\}$ 。

$M_{II}$ : 已排訂單所需的瓶頸機台的集合, 初始值為  $\phi$ 。

$E$ : 擁有最為優先選取順序的瓶頸機台。

$X_j$ : 機台  $j$  排入的訂單工件數量,  $j \in M_{II}$ 。

$i_j$ : 機台  $j$  的在製品訂單編號,  $j \in M_I$ 。

### 3.2 DRUM 排程設計

在排程的過程中當交期相同時, 必須要知道訂單所需要的瓶頸機台產能  $R_i$ , 來判別訂單的優先順序。  $R_i$  的公式如下:

$$R_i = P_{q_i} * B_i, i = 1, 2, 3 \dots G, \text{時間單位: 小時。} \quad (3.2.1)$$

當以選取出最為優先的訂單  $U$ ，需要知道每台瓶頸機台  $j$  可以開始加工的時間  $Y_j$ ，以可開始加工時間選取訂單  $U$  所需要的機台。 $Y_j$  的公式如下：

$$Y_j = W_j + S_{q_U}, U = \{i | \text{Max}\{R_i | i \in O_{II}\}\}, \text{時間單位:小時。} \quad (3.2.2)$$

當求出瓶頸機台可開始加工的時間，可以依據訂單  $U$  的交期，計算出瓶頸機台  $j$  的可用產能  $Z_j$ 。 $Z_j$  的公式如下：

$$Z_j = D_U - SB - Y_j, j = 1, 2, 3 \dots C, \text{時間單位:小時。} \quad (3.2.3)$$

一張訂單在排入多台瓶頸機台同時加工時，每台瓶頸機台會有不同的訂單完工時間，為了讓瓶頸機台擁有較為一致的產出時間，因此在排入訂單工件進入機台時，提供一個理想的平均完工時間  $AT$ ，讓訂單排入機台時會依據  $AT$  決定排入的工件數量。 $AT$  的公式如下：

$$AT = D_U - [(\sum Z_j - R_U) / n(M_{II})], j \in M_{II}, U = \{i | \text{Max}\{R_i | i \in O_{II}\}\},$$

4 捨 5 入到小數第一位。 (3.2.4)

### 3.2.1 排程的流程如下所示：

Step1 在  $O_I$  集合中，

$$O_I = \{i | i = 1, 2, 3 \dots G\} - \{i | i_j, j \in M_I\}, \text{選取最為優先的訂單 } U。$$

Step1.1 求出  $O_{II}$  集合， $O_{II} = \{i | \min D_i | i \in O_I\}$ 。如果  $n(O_{II}) > 1$ ，則使用(公式

1) 計算  $O_{II}$  集合中的訂單  $R_i$ ， $i \in O_{II}$  找出  $R_i$  最大的訂單為  $U$ ，

$U = \{i | \text{Max}\{R_i | i \in O_{II}\}\}$ ，當  $O_{II}$  中同時有多張訂單擁有最大的  $R_i$ ，

將在  $O_{II}$  集合中隨機選取一張為  $U$ ；否則  $U = O_{II}$ 。

Step2 選取訂單  $U$  所需要的瓶頸機台，加入  $M_{II}$  集合中。

Step2.1 找出最為優先的瓶頸機台  $E$ 。

Step2.1.1 使用(公式 3.2.2)計算所有  $M_I$  中的機台的  $Y_j$  值， $j \in M_I$ ，找出最

小的  $Y_j$  值，如果只有一台機台擁有最小的  $Y_j$  值，令此機台為  $E$ ；

否則將從這些擁有最小  $Y_j$  值的機台中，隨機選取一台為  $E$ 。

Step2.2 將機台  $E$  放入  $M_{II}$  集合中，

$$M_{II} = M_{II} + \{E\}, \text{並讓 } E \text{ 離開 } M_I \text{ 集合}, M_I = M_I - \{E\}。$$

Step2.3 使用(公式 3.2.1)計算  $R_U$ ，使用(公式 3.2.3)計算  $M_{II}$  中機台的可用產

能  $Z_j$  ,  $j \in M_{II}$  , 判斷  $M_{II}$  集合中的機台所能提供的總產能  $\sum_{j \in M_{II}} Z_j$  , 是否大於  $R_U$  , 是的話進入 Step3;否則進入 Step2.3.1。

Step2.3.1 判斷  $M_I$  是否為  $\phi$  , 是的話進入 Step3 否則回到 Step2.1.1。

Step3 使用(公式 3.2.4)計算訂單  $U$  使用  $M_{II}$  集合中的機台,加工完成的平均時間  $AT$ 。

Step4 將訂單  $U$  排入  $M_{II}$  機台。

Step4.1 使用(公式 3.2.2)計算所有  $M_{II}$  中的機台的  $Y_j$  值,  $j \in M_{II}$  , 找出最大的  $Y_j$  值, 如果只有一台機台擁有最大的  $Y_j$  值, 令此機台為  $E$ ;否則將從這些擁有最大  $Y_j$  值的機台 中, 隨機選取一台為  $E$ 。

Step4.2 判斷如果此時的  $n(M_{II})=1$  , 則排入機台  $E$  的工件數量  $X_E = B_U$ ;否則  $X_E = [(AT - SB - Y_E) / P_{q_i}]$  ,  $i = U$  採用 4 捨 5 入法到整數位。

Step 5 資料更新。

$$W_E = Y_E + X_E * P_{q_i} , i = U , i_E = U , M_{II} = M_{II} - \{E\} , B_U = B_U - X_E 。$$

如果  $B_U = 0$  時, 訂單  $U$  排程結束, 進入 Step5.1;否則回到 Step4.1。

Step5.1 將訂單  $U$  移出  $O_I$  ,  $O_I = O_I - \{U\}$  , 重新設定  $M_I$  和  $M_{II}$  的初始值,

$$M_I = \{j | j = 1, 2, 3 \dots C\} , M_{II} = \phi 。$$

Step6 判斷是否結束。

Step6.1 判斷  $O_I$  是否為  $\phi$  , 是的話將結束排程;否則回到 Step1.1。

### 3.2.2 訂單投料時間與入庫時間計算

DBR 排程有三大部分, 一為瓶頸緩衝  $CB$  , 二為 DRUM 排程, 三為出貨緩衝  $SB$  , 當完成 DRUM 排程, 依據最早的瓶頸機台開始時間  $Y$  減去瓶頸緩衝, 為訂單投料時間  $IT$  , 如公式 5 所示, 而訂單入庫的時間為最晚的瓶頸機台結束時間  $W$  , 時間加上出貨緩衝為訂單入庫時間  $OT$  , 如公式 6 所示。

$$IT = \min\{Y_j\} - CB , j \in M_{II} 。$$
 (3.2.2.1)

$$OT = \max\{W_j\} + SB , j \in M_{II} 。$$
 (3.2.2.2)

### 3.3 案例 1

當工廠一天工作 8 小時，假定瓶頸緩衝與出貨緩衝為 0，工廠資料如下表 3.1 至 3.3，瓶頸站排程結果如圖 3.1 所示。

表 3.1 訂單資料(時間單位:小時)

訂單 $i$	1	2	3	4
訂單交期( $D_i$ )	5	8	15	24
訂單工件種類( $q_i$ )	2	1	1	2
訂單工件數量( $B_i$ )	120	120	60	180

表 3.2 瓶頸機台的工件資料(時間單位:小時)

工件種類 $k$	1	2
標準工時( $P_k$ )	0.1333	0.1
換線時間( $S_k$ )	1	1

表 3.3 瓶頸機台資料(時間單位:小時)

瓶頸機台 $j$	1	2
在製品訂單( $i_j$ )	1	2
訂單完工時間( $W_j$ )	4	6

$$\text{Step1 } O_I = O_I = \{1,2,3,4\} - \{1,2\} = \{3,4\}$$

$$\text{Step1.1 } O_{II} = \{i \mid \min D_3 = 15, D_4 = 24\} = \{3\} \circ n(O_{II}) = 1, U = 3 \circ$$

Step2.1.1 使用(公式 3.2.2)計算所有  $M_I$  中的機台的

$$Y_1 = W_1 + S_A = 4 + 1 = 5, Y_2 = W_2 = 6, E = 1 \circ$$

$$\text{Step2.2 } M_{II} = \phi + \{1\} = \{1\}, M_I = \{1,2\} - \{1\} = \{2\} \circ$$

$$\text{Step2.3 } R_3 = P_A * B_3 = 8/60 * 60 = 8, Z_1 = D_3 - SB - Y_1 = 15 - 5 = 10,$$

$$\sum Z_j = 10 > R_3, j \in M_{II}, \text{ 進入 Step3} \circ$$

$$\text{Step3 } AT = D_3 - [(\sum Z_j - R_3) / 1] = 15 - [(10 - 8) / 1] = 13, j \in M_{II} \circ$$

$$\text{Step4.1 } Y_1 = W_1 + S_A = 4 + 1 = 5, E = 1 \circ$$

$$\text{Step4.2 } n(M_{II}) = 1, X_1 = 60 \circ$$

$$\text{Step5 } W_1 = Y_1 + X_1 * P_A = 5 + 60 * (8/60) = 13, k \in U, i_1 = 3, M_{II} = \{1\} - \{1\} = \phi,$$

$$B_3 = 60 - 60 = 0 \circ B_3 = 0, \text{ 訂單 3 排程結束, 進入 Step5.1} \circ$$

$$\text{Step5.1 } O_I = \{3,4\} - \{3\} = \{4\}, M_I = \{1,2\}, M_{II} = \phi \circ$$

$$\text{Step6.1 } O_I \neq \phi, \text{ 回到 Step1.1} \circ$$

Step1.1  $O_{II} = \{i | \min D_4 = 24\}$  。  $n(O_{II}) = 1$  ，  $U = 4$  。

Step2.1.1  $Y_1 = W_1 + S_B = 13 + 1 = 14$  ，  $Y_2 = W_2 + S_B = 6 + 1 = 7$  ，  $E = 2$  。

Step2.2  $M_{II} = \phi + \{2\} = \{2\}$  ，  $M_I = \{1,2\} - \{2\} = \{1\}$  。

Step2.3  $R_4 = P_B * B_4 = 6/60 * 180 = 18$  ，  $Z_2 = D_4 - SD - Y_2 = 24 - 7 = 17$  ，  
 $\sum Z_j = 17 < R_4$  ，  $j \in M_{II}$  ， 進入 Step2.3.1 。

Step2.3.1  $M_I \neq \phi$  ， 回到 Step2.1.1 。

Step2.1.1 使用(公式 3.2.2)計算所有  $M_I$  中的機台的  
 $Y_1 = W_1 + S_B = 13 + 1 = 14$  ，  $E = 10$  。

Step2.2 將機台  $E$  放入  $M_{II}$  集合中 ，  
 $M_{II} = \{2\} + \{1\} = \{1,2\}$  ，  $M_I = \{1\} - \{1\} = \phi$  。

Step2.3  $R_4 = P_B * B_4 = 6/60 * 180 = 18$  ，  
 $Z_1 = D_4 - SB - Y_1 = 24 - 14 = 10$  ，  
 $Z_2 = D_4 - SB - Y_2 = 24 - 7 = 17$  ，  $\sum Z_j = 10 + 17 = 27 > R_4$  ，  $j \in M_{II}$  ，  
Step3 。

Step3  $AT = D_4 - [(\sum Z_j - R_4)/2] = 24 - [(27 - 18)/2] = 19.5$  。

Step4.1  $Y_1 = W_1 + SB = 13 + 1 = 14$  ，  $Y_2 = W_2 + SB = 6 + 1 = 7$  ，  $E = 1$  。

Step4.2  $n(M_{II}) = 2$  ，  $X_1 = [(AT - SB - Y_1)/P_B]$   
 $[(19.5 - 0 - 14)/(6/60)] = (5.5/0.1) = 55$  。

Step5  $W_E = Y_E + X_E * P_k = 14 + 55 * (6/60) = 19.5$  ，  $i_1 = 4$  ，  
 $M_{II} = \{1,2\} - \{1\} = \{2\}$  ，  $B_4 = 180 - 55$  。

$B_4 \neq 0$  ， 回到 Step4.1 。

Step4.1  $Y_2 = W_2 + SB = 6 + 1 = 7$  ，  $E = 2$  。

Step4.2  $n(M_{II}) = 1$  ，  $X_2 = 125$  。

Step 5 資料更新 。

$W_2 = Y_2 + X_2 * P_B = 7 + 125 * (6/60) = 19.5$  ，  $i_2 = 4$  ，  $M_{II} = \{2\} - \{2\} = \phi$  ，  
 $B_4 = 135 - 135 = 0$  。  $B_4 = 0$  ， 進入 Step5.1 。

Step5.1  $O_I = \{4\} - \{4\} = \phi$  ，  $M_I = \{1,2\}$  ，  $M_{II} = \phi$  。

Step6.1  $O_I = \phi$  結束排程 。

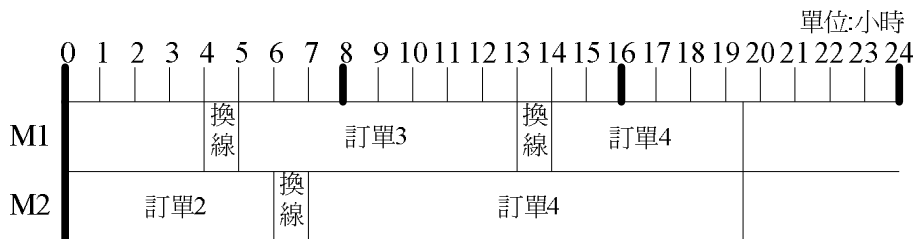


圖 3.1 瓶頸站訂單排程結果

### 3.4 案例 2

當工廠一天工作 8 小時，假設瓶頸緩衝為 40 小時、出貨緩衝為 40 小時，工廠環境如下表 3.4 至 3.6，排程的結果如圖 3.2 與表 3.7 所示。

表 3.4 瓶頸機台的工件資料(時間單位:小時)

工件種類 $k$	1	2	3
標準工時 ( $P_k$ )	0.25	0.2	0.1666
換線時間 ( $S_k$ )	5	3	4

表 3.5 瓶頸機台期初在製品資料(時間單位:小時)

瓶頸機台 $j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
在製品訂單 ( $i_j$ )	18	18	9	18	18	5	9	9	9	5
訂單完工時間 ( $W_j$ )	42	42	44	42	42.2	40	44	43.8	43.8	41

表 3.6 訂單資料(時間單位:小時)

訂單 $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
訂單交期 ( $D_i$ )	128	112	120	144	82	128	200	136	96	224	176	112	208
訂單種類 ( $q_i$ )	3	1	1	1	1	3	1	2	2	1	2	3	3
訂單工件數量 ( $B_i$ )	240	200	240	200	200	300	500	400	300	180	400	180	200
訂單 $i$	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
訂單交期 ( $D_i$ )	128	248	160	160	88	184	200	224	280	312	264	240	264
訂單種類 ( $q_i$ )	2	2	2	1	1	3	3	2	3	3	1	3	2
訂單工件數量 ( $B_i$ )	200	420	300	240	180	360	200	300	240	180	320	400	300
訂單 $i$	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
訂單交期 ( $D_i$ )	328	248	304	272	272	264	264	264	288	312	328	328	312
訂單種類 ( $q_i$ )	2	1	2	1	3	1	2	2	3	1	3	3	1
訂單工件數量 ( $B_i$ )	200	200	360	500	180	240	320	400	400	240	320	240	300

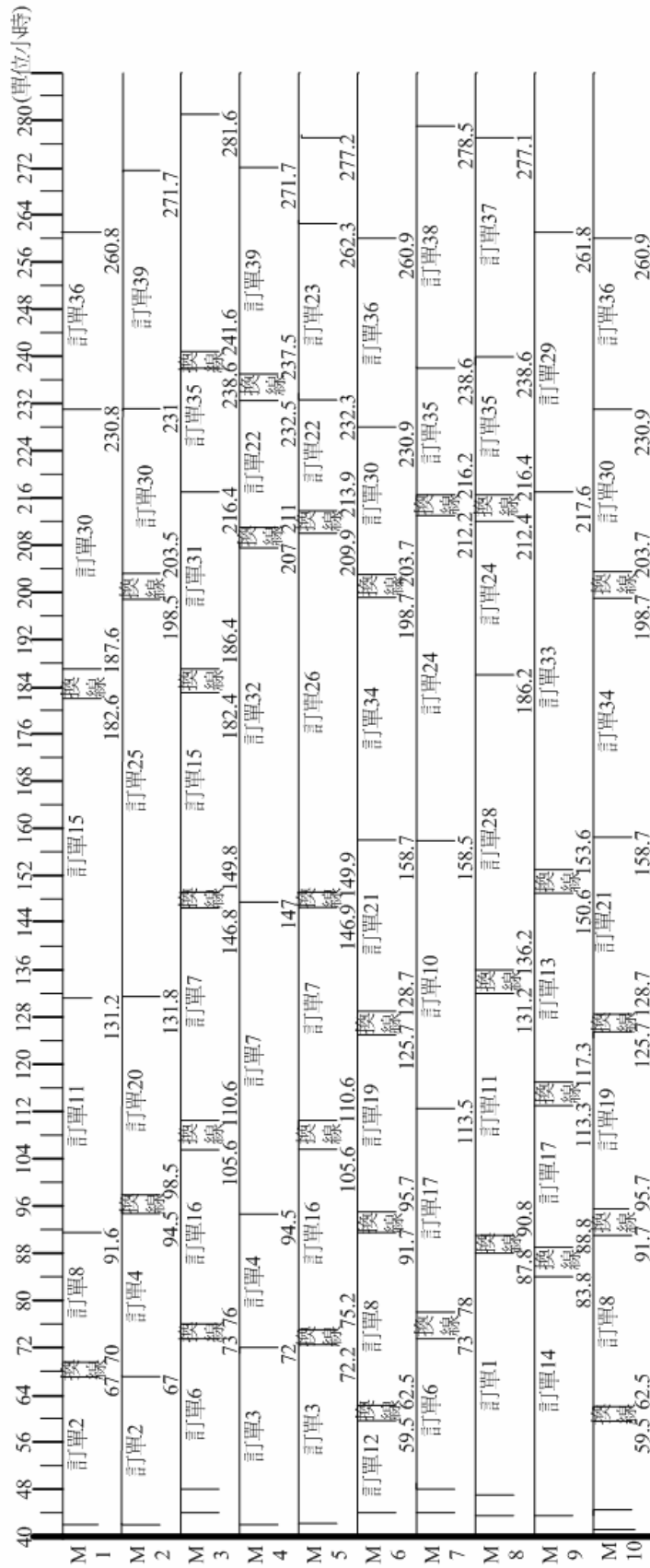


圖 3.2 瓶頸站訂單排程結果

表 3.7 排程結束的結果(時間單位:小時)

訂單 <i>i</i>	投料 時間	瓶頸 機台	瓶頸 機台 開始 時間	瓶頸 機台 結束 時間	入庫 時間	訂單 <i>i</i>	投料 時間	瓶頸 機台	瓶頸 機台 開始 時間	瓶頸 機台 結束 時間	入庫 時間
1	7.8	M8	4708	87.8	127.8	19	55.7	M6	95.7	125.7	165.7
2	2	M1	42	67	107			M10	95.7	125.7	
		M2	42	67		20	58.5	M2	98.5	131.8	171.8
3	2	M4	42	72	112.2	21	88.7	M6	128.7	158.7	198.7
		M5	42.2	72.2				M10	128.7	158.7	
4	27	M2	67	94.5	134.5	22	171	M4	211	232.5	272.5
		M4	72	94.5				M5	213.9	232.3	
5	--	M6	--	40	81	23	192.3	M5	232.3	262.3	302.3
		M10	--	41		24	118.5	M7	158.5	212.2	252.4
6	8	M3	48	73	113			M8	186.2	212.4	
		M7	48	73		25	91.8	M2	131.8	198.5	238.5
7	54.5	M3	110.6	146.8	187	26	109.9	M5	149.9	209.9	249.9
		M4	94.5	147		27	201.6	M3	241.6	281.6	321.6
		M5	110.6	146.9		28	96.2	M8	136.2	186.2	226.2
8	22.5	M1	70	91.6	131.7	29	177.6	M1	233.8	261.6	301.8
		M6	62.5	91.7				M9	217.6	261.8	
		M10	62.5	91.7		30	147.6	M1	187.6	230.8	271
9	--	M3	--	44	84			M2	203.5	231	
		M7	--	44				M6	203.7	230.9	
		M8	--	43.8				M10	203.7	230.9	
		M9	--	43.8		31	146.4	M3	186.4	216.4	256.4
10	73.5	M7	113.5	158.5	198.5	32	107	M4	147	207	247
11	50.8	M1	91.6	131.2	171.2	33	113.6	M9	153.6	217.6	257.6
		M8	90.8	131.2		34	118.7	M6	158.7	198.7	238.7
12	4	M6	44	59.5	99.5			M10	158.7	198.7	
		M10	45	59.5		35	176.2	M3	216.4	238.6	278.6
13	77.3	M9	117.3	150.6	190.6			M7	216.2	238.6	
14	3.8	M9	43.8	83.3	123.8			M8	216.4	238.6	
15	91.2	M1	131.2	182.6	222.6	36	109.9	M6	230.9	260.9	300.9
		M3	149.8	182.4				M10	230.9	260.9	
16	35.2	M3	76	105.6	145.6	37	190.6	M5	262.3	277.2	317.2
		M5	75.2	105.6				M8	230.6	277.1	
17	38	M7	78	113.5	153.5	38	198.6	M7	238.6	278.5	318.5
		M9	88.8	113.3		39	191	M2	231	271.7	311.7
18	--	M1	--	42	82.2			M4	237.5	271.7	
		M2	--	42							
		M4	--	42							
		M5	--	42.2							



## 第四章 實作與驗證

### 4.1 環境與規格

本系統運用 EXCEL 表格做資料的輸入，其次運用轉檔的功能，將 EXCEL 檔轉為 CSV 檔案在轉換成文字檔(.txt)，提供程式讀取資料，儲存相關的製程資料與訂單資料，製程資料有緩衝(buffer)、工件在瓶頸站的製程資料(ccrproducts)、瓶頸機台在製品資料(ccrwip)，訂單資料(orders)(說明：訂單資料不包含成品與半成品的訂單資料)。

本章節依據第三章所提供的 2 個案例為參考數據，在 4.5 與 4.6 節實際操作系統做示範。

### 4.2 系統限制

本系統有以下幾點限制：

- (1) 訂單量的限制為 100 張。
- (2) 瓶頸機台最多 20 台。
- (3) 工件種類最多 50 種。

### 4.3 製程資料的輸入規格說明

#### 4.3.1 緩衝(buffer)資料

運用 EXCEL 表格輸入資料，舉例說明，當瓶頸緩衝為 10 小時，出貨緩衝為 10 小時，如圖 4.1 所示，轉檔成為 CSV 檔案，CSV 檔案能用逗點將資料分開，再將 CSV 檔轉換成 TXT 檔方便程式讀取，TXT 檔的內容如圖 4.2 所示。



	A	B
1	瓶頸緩衝	出貨緩衝
2	10	10

圖 4.1 緩衝資料(excel 檔)。(時間單位:小時)

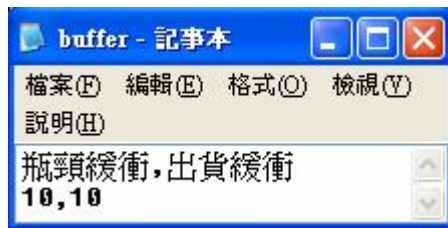


圖 4.2 緩衝資料(txt 檔)。(時間單位:小時)

### 4.3.2 工件在瓶頸站的製程(ccrproducts)資料

運用 EXCEL 表格輸入資料，舉例說明，當有一種工件，標準工時為 1 小時，在瓶頸站的換線時間為 1 小時，如圖 4.3 所示，轉檔成為 CSV 檔案，CSV 檔案能用逗點將資料分開，再將 CSV 檔轉換成 TXT 檔方便程式讀取，TXT 檔的內容如圖 4.4 所示。

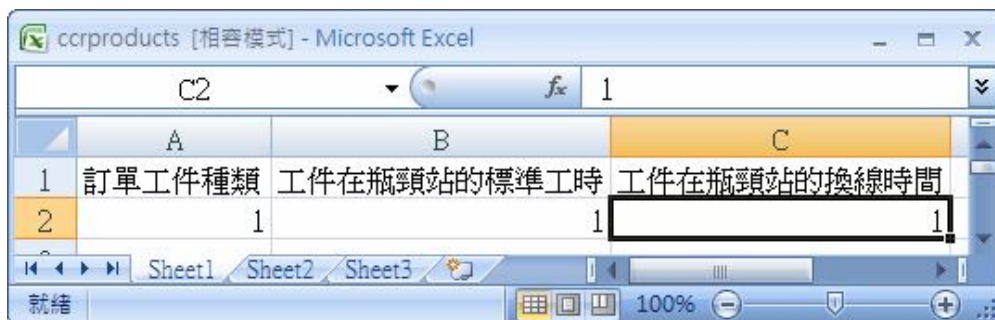


圖 4.3 工件在瓶頸站的製程資料(excel 檔)。(時間單位:小時)

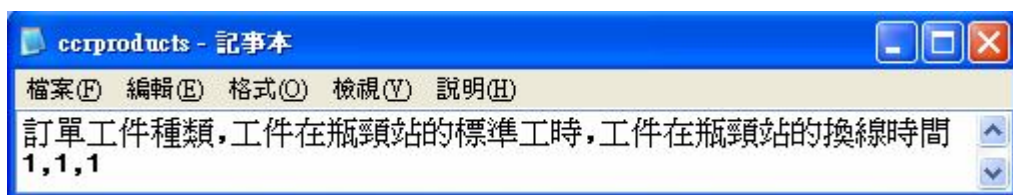


圖 4.4 工件在瓶頸站的製程資料(txt 檔)。(時間單位:小時)

### 4.3.3 瓶頸機台的在製品(ccrwip)資料

運用 EXCEL 表格輸入資料，舉例說明，當有一台瓶頸機台，機台上的在製品訂單編號為 1，工件種類為第 1 種，在製品完工時間預計為 10 小時之後，如圖 4.5 所示，轉檔成為 CSV 檔案，CSV 檔案能用逗點將資料分開，再將 CSV 檔轉換成 TXT 檔方便程式讀取，TXT 檔的內容如圖 4.6 所示。

	A	B	C	D
1	瓶頸機台編號	在製品訂單編號	訂單工件種類	在製品訂單完工時間
2	1	1	1	10

圖 4.5 瓶頸機台在製品的資料(excel 檔)。(時間單位:小時)

瓶頸機台編號,在製品訂單編號,訂單工件種類,在製品訂單完工時間  
1,1,1,10

圖 4.6 瓶頸機台在製品的資料(txt 檔)。(時間單位:小時)

#### 4.3.4 訂單(orders)資料

運用 EXCEL 表格輸入資料，舉例說明，當有一張需要排程的訂單，訂單編號為 2，訂單的工件種類為第 1 種，工件的數量有 20 件，訂單的交期為 40 小時，如圖 4.7 所示，轉檔成為 CSV 檔案，CSV 檔案能用逗點將資料分開，再將 CSV 檔轉換成 TXT 檔方便程式讀取，TXT 檔的內容如圖 4.8 所示。

	A	B	C	D
1	訂單編號	訂單種類	工件數	訂單交期
2	2	1	20	40

圖 4.7 訂單資料(excel 檔)。(時間單位:小時)

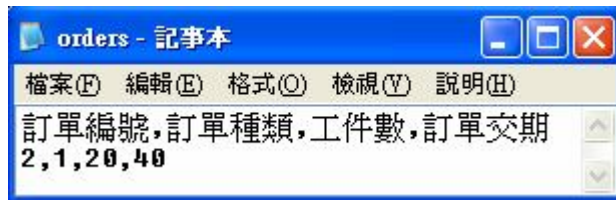


圖 4.8 訂單資料(txt 檔)。(時間單位:小時)

#### 4.4 製令檔輸出規格說明

當完成製程資料的輸入後，點取執行檔，開始排程，當完成排程結束將產生一個製令(wo.txt)的文件檔，舉例說明，使用 4.3 章節中所提供的製程資料，進行排程的動作，排程的結果訂單 2 需要馬上投料，在一小時投入 1 號瓶頸機台，將在 30 小時完成瓶頸機台加工，預計在 40 小時完成訂單 2，wo 檔案輸出的規格如圖 4.9 所示。

當瓶頸機台的數量大於 10 台，為了方便使用者閱讀，將大於 10 台的瓶頸機台製令另外再開檔案，以 10 台為基準，舉例說明:當瓶頸有 1~10 台時，有製令 wo，當有 11~20 台時，有製令 wo 與 wo1。

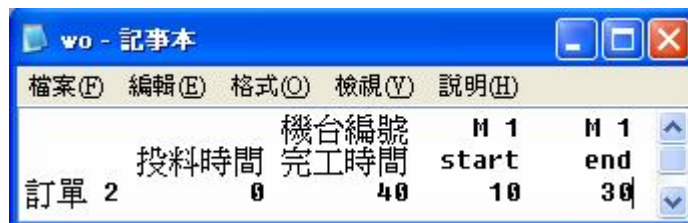


圖 4.9 製令資料。(時間單位:小時)

#### 4.5 個案 1

個案 1 以文章第 3 章個案 1 所提供的個案為環境設定，製程與訂單資料如圖 4.10 至 4.13 所示，執行排程後產生製令，如圖 4.14 所示。

	A	B
1	瓶頸緩衝	出貨緩衝
2	0	0
3		

圖 4.10 案例 1 的緩衝資料。(時間單位:小時)

	A	B	C
1	訂單工件種類	工件在瓶頸站的標準工時	工件在瓶頸站的換線時間
2	1	0.1333	1
3	2	0.1	1
4			

圖 4.11 案例 1 工件在瓶頸站的製程資料。(時間單位:小時)

	A	B	C	D
1	瓶頸機台編號	在製品訂單編號	訂單工件種類	在製品訂單完工時間
2	1	1	2	4
3	2	2	1	6
4				

圖 4.12 案例 1 瓶頸機台在製品資料。(時間單位:小時)

	A	B	C	D	E	F	G
1	訂單編號	訂單種類	工件數	訂單交期			
2	3	1	60	15			
3	4	2	180	24			
4							

圖 4.13 案例 1 訂單資料。(時間單位:小時)

	機台編號	M 1	M 1	M 2	M 2	
	投料時間	完工時間	start	end	start	end
訂單 3	5	13	5	13	--	--
訂單 4	7	19.5	14	19.5	7	19.5

圖 4.14 案例 1 製令。(時間單位:小時)

## 4.6 個案 2

個案 2 以文章第 3 章個案 2 所提供的個案為環境設定，製程與訂單資料如圖 4.15 至 4.18 所示，執行排程後產生製令，如圖 4.19 所示。

	A	B
1	瓶頸緩衝	出貨緩衝
2	40	40

圖 4.15 案例 2 的緩衝資料。(時間單位:小時)

	A	B	C
1	訂單工件種類	工件在瓶頸站的標準工時	工件在瓶頸站的換線時間
2	1	0.25	5
3	2	0.2	3
4	3	0.1666	4
5			

圖 4.16 案例 2 工件在瓶頸站的製程資料。(時間單位:小時)

	A	B	C	D
1	瓶頸機台編號	在製品訂單編號	訂單工件種類	在製品訂單完工時間
2	1	18	1	42
3	2	18	1	42
4	3	9	2	44
5	4	18	1	42
6	5	18	1	42.2
7	6	5	1	40
8	7	9	2	44
9	8	9	2	43.8
10	9	9	2	43.8
11	10	5	1	41
12				

圖 4.17 案例 2 瓶頸機台在製品資料。(時間單位:小時)

	A	B	C	D
1	訂單編號	訂單種類	工件數	訂單交期
2	1	3	240	128
3	2	1	200	112
4	3	1	240	120
5	4	1	200	144
6	6	3	300	128
7	7	1	500	200
8	8	2	400	136
9	10	1	180	224
10	11	2	400	176
11	12	3	180	112
12	13	3	200	208
13	14	2	200	128
14	15	2	420	248
15	16	2	300	160
16	17	1	240	160
17	19	3	360	184
18	20	3	200	200
19	21	2	300	224
20	22	3	240	280
21	23	3	180	312
22	24	1	320	264
23	25	3	400	240
24	26	2	300	264
25	27	2	200	328
26	28	1	200	248
27	29	2	360	304
28	30	1	500	272
29	31	3	180	272
30	32	1	240	264
31	33	2	320	264
32	34	2	400	264
33	35	3	400	288
34	36	1	240	312
35	37	3	320	328
36	38	3	240	328
37	39	1	300	312

圖 4.18 案例 2 訂單資料。(時間單位:小時)





## 第五章 結論

瓶頸多機台的環境下，在排程的過程中存在著許多的問題，如訂單排序與機台選擇。在研究的過程中，本研究希望能夠運用瓶頸為多機台的優勢，當瓶頸為多台瓶頸機台時，本研究希望能夠充分運用所有的瓶頸產能，當接到急單或大單，可以選擇與分配所有的瓶頸機台，瓶頸機台不再需要受到群組化的限制，能夠全力配合訂單交期的需求，提供最適當的瓶頸產能。因此本研究探討可行解決的方法，在最後提供一套排程方法，並以 C++ 程式語言撰寫程式，使用 DEV-C 為編譯的平台，開發出一套離型系統。本研究將有助於實務界的推廣應用與學術界對 DBR 進一步的研究。

## 參考文獻

1. 李有正, "限制驅導式(DBR)應用於飛機維修排程之研究," 義守大學工業工程與管理學碩士論文(2007)。
2. 李長興, "限制理論在專業假然廠生產管理之應用研究," 逢甲大學紡織工程所碩士論文(2006)。
3. 吳鴻輝、李榮貴, 「限制驅導式現場排程與管理技術」, 全華圖書(2007)。
4. 吳鴻輝、林則孟、吳凱文, "限制驅導式管理系統於半導體封裝廠之應用," *Journal of the Chinese institute of Industrial Engineers* , 16 , 1 , 13-37(1999)
5. 黃祥熙, "運用DBR法進行N條流程式生產線重排程之研究," 屏東科技大學碩士論文(2005)。
6. 張皖菁, "晶圓代工廠限制驅導式生產管理系統之應用," 交通大學碩士論文(2003)。
7. 楊淳正, "限制驅導式現場排程於TFT-LCD組立廠瓶頸機台排程之應用" 中華大學碩士論文(2006)。
8. A.D.Neely and M.D.Byrne, "A Simulation Study of Bottleneck Scheduling," *International Journal of Production Economics*, 26, 187-192(1992)。
9. Blackstone, J.H., Gardiner, L.R. and Gardiner, S.C., "A Framework for the Systemic Control of Organizations," *International Journal of Production Research*, 35, 3, 597-609(1997)。
10. Goldratt, E.M, *The Hystack Syndrome*, North River Press(1990)。
11. Guide, V.D.R, "A Simulation Model of Drum-Buffer-Rope for Production and Control at a Naval Aviation Depot," *Simulation*, 65, 3, 157-168(1995)。
12. Guide, V.D.R., "Scheduling Using Drum - Buffer - Rope in a Remanufacturing Environment," *International Journal of Production Research*, 34, 4, 1081-1091 (1996)。
13. Guide, V.D.R. and Ghiselli, G.A., "Implementation of Drum-Bugger-Rope at a Military Rework Depot Engine Works," *Production and Inventory Management Journa* , 3, 79-82(1995)。
14. Moon, S.A., "TOC at Parr Instrument: A View from the Inside," *APICS Constraints Management Symposium and Technical Exhibit*, April 17-19,

Detroit, MI, USA, 50-65(1996) ◦

15. Ronen,B. and Starr,M.K., "Synchronized Manufacturing as in OPT:from Practice to Theory," *Computers and Industrial Engineering*, 18, 4, 585-600 (1990) ◦
16. Satya S.Chakravorty., "An evaluation of the DBR control mechanism in a job shop Environment," *The International Journal of Management Science*, 335-342 (2001) ◦
17. Schragenheim, E., Cox,J., and Ronen,B., " Process Flow Industry Scheduling and Control Using Theory of Constraints," *International Journal of Production Research*, 32, 1867-1877 (1994) ◦
18. Shoemaker, L.J., " It's a Jungle Out There-So Listen to the DRUM Beat!," *APICS Constraints Management Symposium and Technical Exhibit*,April 26-28, Phoenix, AZ, USA, 119-139 (1995) ◦
19. Umble, M.M. and Srikanth, M.L., *Synchronous Manufacturing-Principles for World Class Excellence*, South-Western Publishing Co., Cincinnati, OH(1990) ◦
20. Wu, S.Y., Morris, J.S., and Gordon,T.M., "A Simulation Analysis of the Effectiveness of Drum-Buffer-Rope Scheduling in Furniture Manufacturing," *Computers&Industrial Engineering*, 26, 4, 757-764(1994) ◦