

# 在工具機業關鍵零組件供料限制下 運用限制驅導式排程之研究

學生：陳建柏

指導教授：胡坤德  
姚銘忠

東海大學工業工程與經營資訊研究所

## 摘要

工具機為機械產業的根基，是為各基礎加工與精密加工必備之機具，它本身即是生產的工具亦屬於生產財，隨著產業發展，工具機業也隨著成長。根據本研究訪廠經驗發現，就目前工具機產業所使用的資訊系統，因在現場排程部份多採用經驗法則而且未能考慮物料限制，因此無法確實掌握製造現場實際的產能狀況及物料需求時程與確實可用的數量，而只能採取有訂單就接單政策與運用未考慮產能限制的生產計畫。但對於顧客服務水準及交期允諾的要求日益提高的趨勢之下，常導致現場必須以加班或外包的方式來滿足訂單交期，或必須經常運用緊急採購解決缺料的窘境，因而產生製造成本隨之增加，壓縮工具機產業的獲利空間。

限制驅導式排程法(Drum-Buffer-Rope, DBR)以限制的需求為主軸來驅動整個生產系統運作的節奏。目前國內已經有許多學者將 DBR 排程方法應用於產業界，但是應用的範疇主要在於半導體產業，如：晶圓廠、封裝廠、…等。而且目前探討將 DBR 排程方法應用於工具機產業的文獻，僅著重於受限產能之利用率最大化，卻未能考慮物料限制。

本研究根據工具機產業特性，並在考慮關鍵零組件之進料時程的前提下，提出符合工具機產業特性之 DBR 排程演算法，並且藉由該排程演算法修正後的排程結果，協助採購部門進行備料計畫。希望藉由整合現場排程與物料需求規劃資訊，協助工具機產業建置一套準確的生產排程系統，以作為協助現場、生管及採購人員進行計畫、執行與管控生產進度的決策輔助工具，並且協調業務部門人員作為接單的依據。

**關鍵字：**限制驅導式排程、關鍵零組件、工具機、排程、演算法

# **A DBR-Based Algorithm for the Production Scheduling Problem in Tool Machine Industry with the Constraints from the Supply of Critical Parts**

Student: Chien-Po Chen

Advisor : Prof. Kung-Tei Hu

Prof. Ming-Jong Yao

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information  
Tunghai University

## **ABSTRACT**

In this study, we propose an algorithm for the scheduling problem in machine tool industry with considering the constraints from the supply of critical parts based on Drum-Buffer-Rope (DBR) philosophy. In the literature, most of the DBR-based algorithms solve the scheduling problems in industries other than machine tool industry. The production systems in machine tool industry usually have the following characteristics; namely, long flow time and manufacturing processes with reentrants, ..., etc. These characteristics make the decision-making scenario is very different from others, and one is not able to satisfactorily solve the scheduling problem by directly applying those DBR-based algorithms in the literature. Also, most of the existing DBR-based algorithms assume that the supply of materials will not be the constraints of the production system. In order to make it match with the real-world cases, we take into accounts the constraints from the supply of critical parts in the proposed DBR-based algorithm. By integrating our scheduling algorithms with friendly interfaces, we provide a proto-type information system as an effective decision support system for the managers of the production systems in machine industry.

**Keywords:** Drum-Buffer-Rope, Critical Part, Tool Machine, Scheduling, Algorithms

## 誌謝

本論文能夠順利的完成，想要感謝的人有很多。首先要先感謝指導教授胡坤德老師與姚銘忠老師，除了在專業知識以及研究方法的傳授之外，更以身教的方式導引我建立更開闊的人生觀，使我受益良多。同時也要感謝老師們對論文的詳盡指導與寶貴的意見。

另外，要感謝黃承龍博士於論文口試期間所給予的意見與指正，使本論文更加完善。更感謝福裕事業股份有限公司蔡在湖先生、郭永峰先生於我駐廠研究、實地訪談與資料蒐集期間的協助，並提供相當多寶貴的專業知識與資料。這些都是幫助我完成論文的重要力量與支柱。

另一方面，研究室諸位同學們與學弟們對我的鼓勵與支持也深深讓我感到懷念。謝謝曉玲、晏妃、翰林、岳庭、承達以及學弟兆庭、賢原在這些日子裡帶給我許多美好的回憶。

最後，要感謝我的爺爺、奶奶、父母、叔叔、嬸嬸、大哥、二哥、堂姐及堂弟，在我這幾年的求學生涯中，給予我最多的支持與鼓勵。在此謹將這份小小的成果與所有關心我的人一同分享。

陳建柏 謹誌於  
東海大學工業工程與經營資訊研究所  
中華民國九十三年六月

# 目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	ii
圖目錄.....	iv
表目錄.....	v
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究流程.....	3
1.4 論文結構.....	4
第二章 文獻探討.....	5
2.1 工具機產業.....	5
2.1.1 產業概況.....	5
2.1.2 產業特性.....	8
2.2 排程定義與方法.....	9
2.3 限制驅導式排程概論.....	12
2.3.1 限制理論與限制驅導式排程.....	12
2.3.2 限制驅導式排程之基本觀念.....	14
2.4 限制驅導式排程之架構與組成.....	15
2.4.1 產能限制資源的確認.....	17
2.4.2 緩衝區的設定.....	17
2.4.3 受限產能的排程.....	20
2.4.4 投料繩的設定.....	24
2.5 限制驅導式排程之實務應用.....	24
第三章 排程演算法與系統建立.....	28
3.1 研究假設與變數定義.....	28
3.2 排程演算法架構.....	31
3.3 排程模組.....	34
3.3.1 瓶頸辨識.....	34
3.3.2 緩衝計算.....	37
3.3.3 形成廢墟.....	41
3.3.4 決定限制驅導節奏.....	43
3.4 供料規劃模組.....	48

3.4.1 發料模擬.....	49
3.4.2 關鍵零組件供料查核.....	51
3.4.3 關鍵零組件之緊急採購程序.....	54
第四章 範例說明.....	57
4.1 基本資料說明.....	57
4.1.1 資源基本資料.....	57
4.1.2 產品結構.....	58
4.1.3 關鍵零組件之挑選.....	61
4.2 製程迴流之排程模組範例.....	64
4.2.1 瓶頸辨識範例.....	64
4.2.2 緩衝計算範例.....	65
4.2.3 廢墟建立範例.....	67
4.2.5 決定限制驅導節奏範例.....	68
4.2.6 發料模擬範例.....	70
4.2.7 關鍵零組件查核範例.....	75
4.2.8 緊急採購程序.....	78
4.3 排程系統測試.....	81
4.3.1 製令資料對排程結果的影響.....	82
4.3.2 緩衝乘數對排程結果的影響.....	84
第五章 結論與未來研究方向.....	86
5.1 結論.....	86
5.2 未來研究方向.....	87
參考文獻.....	88

## 圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	4
圖 2.1 生產規劃與排程架構圖(Evans,1997).....	10
圖 2.2 TOC 分支關係圖(Spencer, 1995).....	13
圖 2.3 單一訂單之限制驅導式現場排程方法結構圖(含加工時間).....	18
圖 2.4 單一訂單之限制驅導式現場排程方法結構圖.....	19
圖 2.5 受限產能工序在時間軸上之 Ruin 示意圖.....	21
圖 2.6 受限產能工序在時間軸上之未合理化之限制驅導節奏.....	22
圖 2.7 受限產能工序在時間軸上合理化後之限制驅導節奏.....	22
圖 2.8 瓶頸迴流示意圖.....	23
圖 2.9 間隔緩衝或間隔棍示意圖.....	23
圖 3.1 系統主架構流程圖.....	33
圖 3.2 瓶頸辨識 a.....	35
圖 3.3 瓶頸辨識 b.....	36
圖 3.4 銑床作業流程與其資源對應關係圖.....	37
圖 3.5 緩衝計算.....	40
圖 3.6 排入廢墟.....	42
圖 3.7 限制驅導節奏演算法示意圖.....	44
圖 3.8 限制驅導節奏之決定 a.....	47
圖 3.9 限制驅導節奏之決定 b.....	48
圖 3.10 發料模擬示意圖.....	50
圖 3.11 關鍵零組件備料示意圖.....	52
圖 3.12 關鍵零組件查核.....	53
圖 3.13 緊急採購程序.....	56
圖 4.1 銑床物料清單.....	59
圖 4.2 銑床作業流程圖.....	60
圖 4.3 關鍵零組件前置期.....	62
圖 4.4 關鍵零組件金額佔產品比重.....	62
圖 4.5 模擬製令資料.....	64
圖 4.6 緩衝乘數輸入介面.....	66
圖 4.7 緩衝計算結果.....	67
圖 4.8 廢墟建立結果.....	68
圖 4.9 優先權排序結果.....	69
圖 4.10 限制驅導節奏介面.....	70
圖 4.11 發料模擬介面 a.....	71
圖 4.12 發料模擬介面 b.....	72
圖 4.13 發料模擬介面 c.....	72
圖 4.14 製令優先權排序結果.....	77
圖 4.15 關鍵零組件查核結果.....	78
圖 4.16 緊急採購後關鍵零組件欠料情況.....	80
圖 4.17 重排程結果.....	81

## 表目錄

表 2.1	2001~2003 年全球前十大工具機生產國排名 .....	6
表 2.2	2001~2003 年全球前十大工具機出口國排名 .....	7
表 2.3	七類運作方式不同的排程方法(陳義恒，1994).....	11
表 4.1	工序標準工時.....	61
表 4.2	關鍵零組件散佈情況.....	63
表 4.3	瓶頸辨識結果.....	65
表 4.4	發料模擬結果.....	74
表 4.5	關鍵零組件供料模擬資料.....	76
表 4.6	關鍵零組件前置期(天).....	78
表 4.7	緊急採購後關鍵零組件供料模擬資料.....	79
表 4.8	模擬製令資料測試結果.....	82
表 4.9	模擬製令資料測試結果.....	84

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

一個國家的工業是否能快速發展，常取決於該國機械工業的發展，因此機械工業常被泛稱為工業之母。工具機為機械產業的根基，是為各基礎加工與精密加工必備之機械，它本身即是生產的工具亦屬於生產財，隨著產業發展，工具機業也隨著成長(李育民，1999)。陳介玄(1994)也指出工具機是其他製造業不可或缺的工具之一。因為工具機是決定產品於國際競爭的重要生產要素，世界各主要先進國家莫不將工具機工業定位為主要策略工業(劉仁傑，1993)。

當全球化的時代來臨，台灣的工具機產業為了提升自身之競爭力一方面除了著力於設備及技術的開發外，另一方面也著力於電子化的導入，孟憲敏(2002)指出有近 70%的業者有意在近三年內導入電子化系統，主要導入系統則是在產品資料管理系統(Product Development Management System；PDM)、企業資源規劃系統(Enterprise Resource Planning System；ERP)、工作流程(Work Flow；WF)等方面，由此可見，工具機業者已逐漸體會出資訊整合的重要性，積極企圖利用資訊系統來提升產業競爭力。

根據本研究訪廠經驗發現，就目前工具機產業所使用的資訊系統，因在現場排程部份多採用經驗法則而且未能考慮物料限制，因此無法確實掌握生產製造現場實際的產能狀況及物料進貨時程，而只能採取有訂單就接單政策與運用未考慮產能限制的生產計畫。但對於顧客服務水準及交期允諾的要求日益提高的趨勢之下，常導致現場必須以加班或外包的方式來滿足訂單交期或必須經常運用緊急採購解決缺料的窘境，製造成本也隨之增加，壓縮工具機產業的獲利空間。

我國的工具機產業素以完整的衛星體系著名於世，這樣的特性大量壓縮了物料採購的前置期以及提升生產現場面臨斷料時的反應能力，雖然大部份的物料皆可由鄰近的衛星工廠取得，但仍有部份物料由於國內技術尚未成熟而必須仰賴進口或物料製程複雜而無法壓縮前置期。這類物料(以下稱為關鍵零組件)通常佔產品成本比例較高而且在製程上佔有相當重要的



地位，一但出現斷料就無法完工出貨。

因此工具機業在建置排程系統時，除了考量產能限制之餘，亦需考量關鍵零組件之供料限制。若在關鍵零組件供料上的限制未能納入排程考量，將使生產單位經常因為關鍵零組件的斷料而生產出無法出貨的半成品，而這類半成品也成了存貨主要來源。因此本研究希望能提出一考量關鍵零組件供料限制之排程系統以作為協助現場、生管及採購人員進行計畫、執行與管控生產進度的決策輔助工具，並且協調業務部門人員作為接單的依據。

## 1.2 研究目的

限制驅導式排程法(Drum-Buffer-Rope；DBR)以限制的需求為主軸來驅動整個生產系統運作的節奏；它是根據限制理論(Theory of Constraints；TOC)五大步驟所演變的一種現場排程法則。限制理論的實程序可歸納為下列五個步驟：

1. 確認系統的限制所在(Identify the system's constraints)。
2. 決定如何充分的利用系統限制(Decide how to Exploit the System's Constraints)。
3. 系統其他部分全力配合步驟二所做的決策(Subordinate Everything else to the above Decision)。
4. 突破系統的限制(Elevate the system constraints)。
5. 如果在上個步驟限制已被突破的話，則回到步驟一，不要讓惰性成為系統的限制(If, in the previous steps, a constraint has been broken, go back to step1,but do not let “inertia” become the system constraint)。

目前國內已經有許多學者將 DBR 排程方法應用於產業界，但是應用的範疇主要在於半導體產業，如：晶圓廠、封裝廠、…等，且普遍有不錯的績效。吳鴻輝等(1999b)將 DBR 排程方法應用於半導體封裝廠；在導入 DBR 排程之前，由於半導封裝廠在現場排程仍是以經驗法則作為排程方法，在

導入 DBR 排程之後，有效的解決了交期承諾的問題以及提升了現場程排的彈性與調度性。

目前探討將 DBR 排程方法應用於工具機產業之文獻甚少，而且大都僅著重於受限產能利用率最大化，並假設所有物料都能及時到達現場。然而這樣的假設並不符合工具機業實際所需。雖然大部份物料可依恃著中衛體系壓縮供料物料前置期，就算意外斷料也可憑藉著鄰近協力廠彈性調度而及時將所需物送達現場，但仍有部份關鍵零組件由於國內技術尚未成熟必須仰賴進口或本身製程較為繁複使得前置期無法壓縮，一但缺料就無法挽救。因此，若現場排程若未能在現場排程中考慮這些關鍵零組件之進料時程，由於無法順利出貨，因此除了增加在製品存貨水準，亦影響了現場排程所預定之計劃交期，大幅降低現場排程的有效性。

本研究擬根據工具機產業的特性，如：交期長及製程具迴流特性等，建立限制驅導式排程，並考量關鍵零組件供料限制進行排程之修正，以期得到合理可行之排程結果。利用本研究所提出之限制驅導式排程演算法可提供現場及生產管理人員作為生產計劃與排程的規劃工具。

### 1.3 研究流程

本研究在第一階段主要在於了解 DBR 排程方法之操作方法外，也希望了解其在各個產業應用的情況。第二階段則選定一工具機廠進行深入訪談，以了解其生產排程之特性，在此階段中，亦發現工具機業之物料限制對於其本身在生產排程上之重大意義，因此也在此階段對於物料限制作深入探討。第三階段則藉由文獻探討與實地訪談結果，考慮關鍵零組件供料限制，建構適用於工具機業的 DBR 排程演算法。第四階段則依此演算法架構，進行系統的實作並以個案公司所提供之資料作測試，以驗證排程結果。上述研究流程如下圖 1.1。

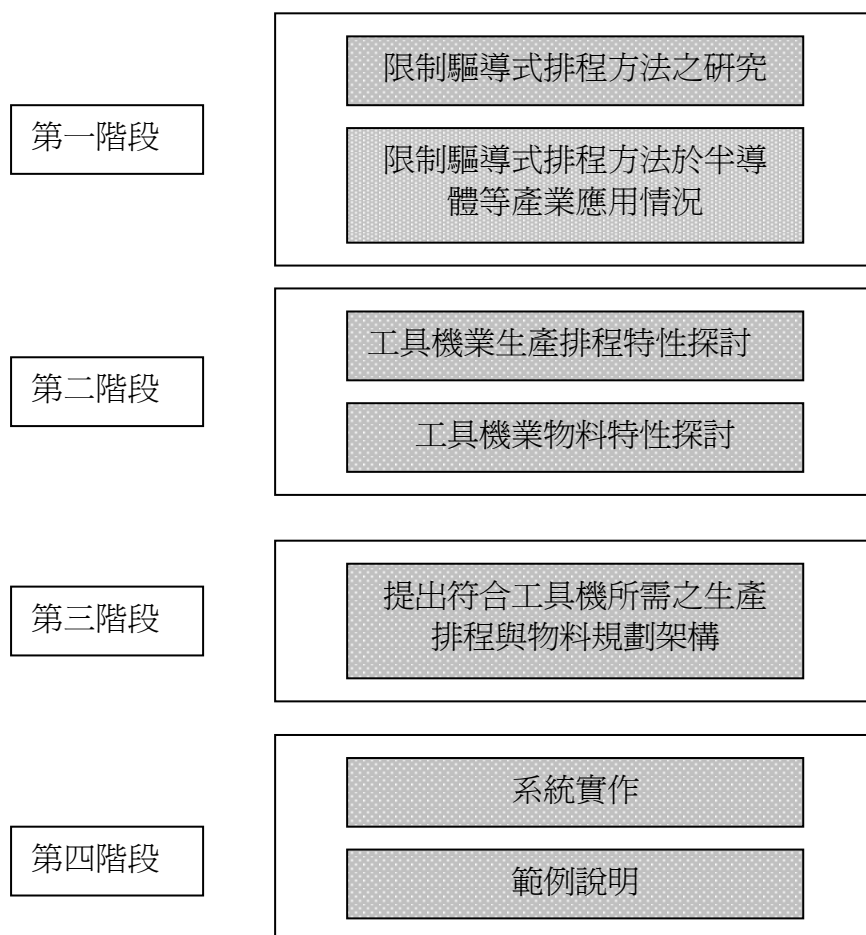


圖 1.1 研究流程圖

## 1.4 論文結構

根據本論文的研究流程，本研究共分為五章，其章節要旨如下：第一章為緒論，敘明研究背景、目的、研究流程與章節安排。第二章為文獻探討，首先回顧國內外學者關於 DBR 排程方法及其於半導體等產業之應用，其次就工具機產業現況及其產業特性加以探討。第三章為排程演算法與系統建立，說明演算法架構之流程，及其各模組功能，藉以闡述如何利用關鍵零組件之供料限制以修正排程結果。第四章為範例說明，藉由個案公司所提供之實際資料，作為輸入資料，驗證系統之可行性。第五章為結論與建議，綜合本研究所提出之生產排程架構，並以實際資料驗證之，將驗證之結果作一具體之結論，期能提供工具機業者作為建置後續生產排程系統之參考。

## 第二章 文獻探討

本研究以工具機業為實證的對象，因此將於第一節先針對工具機業的產業概況及其特性進行調查與整理。第二節則彙整國內外學者對於排程之定義及面臨排程問題時所應用的方法。第三節則說明 DBR 排程方法之發展歷程及其基本觀念。第四節說明限制驅導式排程方法之組成架構及其操作方法。第五節則說明限制驅導式排程方法如何成功的應用在各個不同的產業，並與工具機業進行比較，以歸納工具機業適用於之限制驅導式排程方法。

### 2.1 工具機產業

製造業是一個國家的經濟命脈，而工具機業乃製造業的中心。工具機業是機械工業中影響層面最廣的產業。不僅與工業化息息相關，也攸關整體產業經濟的發展(韓裕歲，1995)。

#### 2.1.1 產業概況

根據經濟部投資事業處(2004)資料顯示，我國工具機產業佔整體機械業的 12%。目前之工具機專業製造廠商家數達 1300 家以上，其中切削工具機廠商約佔三分之二；成型工具機廠商佔三分之一。若包括工具機相關衛星工廠，則家數超過 1400 家，產業內之從業員工員工人數達 26,000 餘人，預估於 2005 年工廠家數將達 1500 家，而從業員工人數將達 30000 人，屬於機械產業中的最大項目。與其它國家相較，目前位居全球第六大生產國(見表 2.1)及第四大出口國(見表 2.2)地位。

工具機一般俗稱「工作母機」，為製造各種機械設備的加工機械，其與機械業、汽機車業、航太工業及電子資訊等產業發展的相關性高，尤其是與機械工業的關係最為密切，故又稱「機械之母」。根據中華民國經濟部工業產品分類，依功能別區分可分為切削工具機及成型工具機等二大類。

切削工具機係以碎屑、灰粉、放電融蝕、雷射等方法將工件要加工部份除去，主要產品包括圓形加工用的車床、鑽孔用的鑽床、平面加工用的銑床、研磨用的磨床、大平面切削用的鉋床、切斷用的鋸床、放電加工機等。成型工具機則以沖壓方式使工件成型的機械，產品包括機械式沖床、油壓式沖床、剪床、鍛造機、成型機等。

另外，工具機又可以是否有數值控制裝置進行分類：無數值控制者，稱為傳統型工具機；利用數位化系統控制，稱為數值控制(Numerical Control；NC)工具機，由於現今數值控制工具機大多利用電腦來控制，又稱為電腦數值控制(Computer Numerical Control；CNC)工具機，目前趨勢是朝向以個人電腦(PC-Based)控制之工具機發展。隨著政府推動產業升級，使得我國傳統工具機製造商紛紛投入 CNC 工具機的生產。而「NC 化比率」，即為工具機總產值中 NC 及 CNC 機種所佔的比重，此比重為衡量一國工具機生產技術先進與否的指標。

表 2.1 2001~2003 年全球前十大工具機生產國排名

單位產值：百萬美元

百分比：%

排序	2001 年			2002 年			2003 年(估)		
	國別	產值	百分比	國別	產值	百分比	國別	產值	百分比
1	日本	7900	22.3%	德國	6990	21.7%	日本	7862	21.7%
2	德國	7438	20.8%	日本	6077	18.9%	德國	7525	20.7%
3	義大利	4114	11.5%	義大利	3771	11.7%	義大利	4181	11.5%
4	美國	2945	8.2%	中國	2350	7.3%	中國	2910	8.0%
5	中國	2623	7.3%	美國	2306	7.2%	美國	2210	6.1%
6	瑞士	1968	5.5%	瑞士	1825	5.7%	台灣	2064	5.7%
7	台灣	1581	4.4%	台灣	1775	5.5%	韓國	2059	5.7%
8	法國	1369	3.8%	韓國	1587	4.9%	瑞士	1736	4.8%
9	韓國	1333	3.7%	西班牙	861	2.7%	西班牙	945	2.6%
10	西班牙	885	2.5%	法國	705	2.2%	法國	762	2.1%
	全球合計	35796	100%	全球合計	32160	100%	全球合計	36274	100%

資料來源：Gardner Publications, Inc. (Ohio, USA)，2004年3月

我國工具機生產以供應國外市場為主，外銷比率多在七成以上。依據台灣區機械工業同業公會統計資料顯示，2003年台灣工具機之總出口值已達到576億台幣，較之上年同期成長115%。如依出口額國家排名，則香港與大陸排名第一，出口額279億台幣，佔總出口48.4%，較上年同期大幅成長114%。美國居第二位，金額42億台幣，佔出口7.4%，與上年同期成長100%。土耳其排名第三，出口金額27億台幣，佔4.8%，並較上年同期成長215%。

表 2.2 2001~2003 年全球前十大工具機出口國排名

單位產值：百萬美元

百分比：%

排序	2001 年		2002 年		2003 年		2003 年與 2002 年比
	國別	產值	國別	產值	國別	產值	百分比
1	日本	5514	德國	4169	德國	4767	14.34%
2	德國	4257	日本	3170	日本	4132	30.35%
3	義大利	1773	義大利	1728	義大利	1927	11.52%
4	瑞士	1717	瑞士	1562	台灣	1651	13.63%
5	美國	1388	台灣	1453	瑞士	1527	-2.24%
6	台灣	1344	美國	959	美國	889	-7.30%
7	英國	714	英國	576	韓國	633	58.25%
8	法國	568	西班牙	513	英國	606	5.21%
9	西班牙	463	比利時	468	西班牙	568	10.72%
10	比利時	354	法國	442	法國	497	12.44%

資料來源：Gardner Publications, Inc. (Ohio, USA)，2004年3月

進口依存度多維持在65%至72%間。依據海關進口統計資料，2003年全年進口值約為295億台幣，但至2004年1~3月台灣工具機之進口值已達

到 140 億台幣，較上年同期成長 203%。進口開始逐漸成長主要原因則是高科技產業與傳統產業，對進口工具機之需求開始增加，主要進口工具機為非傳統加工工具機，綜合加工機、銑床、磨床、齒輪加工機等，高科技與傳統工業用加工工作機械。另有關台灣進口工具機主要來源，2003 年日本仍居第一位進口額達 182 億台幣，佔 61.6%，較上年同期成長 133%。美國仍居第二位進口額為 65 億台幣，佔 22.2%，較上年同期成長 100%。德國排名第三位進口額為 16 億台幣，佔 5.7%，較上年同期成長 117% 等。

### 2.1.2 產業特性

工具機是製造各種機械的加工設備，亦是各種基礎加工與精密加工不可或缺的機器設備，因此素有「機械之母」之稱。由於其關連效果大，在整個機械工業中居關鍵性地位，因此全世界之先進國家或開發中國家，莫不重視工具機之發展。由於工具機所扮演的重要性地位，因此具有以下幾個性質(戴熒美及趙詠雪，1999；薛進成，2001)

#### 1. 地理集中性

我國工具機廠商主要集中在台中縣市，約佔 60%，其次為台北縣市，約佔 17%。由此可見中部地區為我國工具機產業的大本營。

#### 2. 中小企業<sup>1</sup>為主

我國工具機廠商規模普遍不大，其中員工人數在 30 人以下約佔 88%，而介於 30 人至 99 人之間約為 10%，規模在 100 人以上僅佔約 2%。再從員工人數及資本額作交叉分析；員工人數在 100 人以下，而資本額則低於六千萬元約佔 90%，顯見台灣工具機產業中，有九成是中小企業。

#### 3. 高度出口導向

我國工具機業外銷比率始終維持在 60% 以上，近年來更有逐年攀升的趨勢，2000 至 2003 皆在 80% 上下。由此可見我國工具機產業屬於外銷導向型產業。

#### 4. 衛星體系健全

我國工具機產業之所以能在全球工具機產業中有耀眼的表現，主要是依

---

<sup>1</sup> 根據經濟部中小企業處定義，以製造業而言，中小企業認定標準為資本額 8,000 萬以下或經常僱用人數達 200 人以內，擇一條件即可。

賴健全的衛星體系，特別是我國工具機以中小企業為主，尚需依賴衛星體系的專業分工，以生產一定水準的產品；加上地緣性的便利，零組件多半集中於中部地區，使廠商能靈活調配零組件，使交期更具彈性，以滿足顧客的各種需求。

## 5. 產業關聯性大

工具機是各種基礎加工與機密加工必備之機械，尤其與機械工業、國防工業、汽車工業、航太工業等更是息息相關，工具機的發展更可帶動相關產業的發展，故工具機在整個機械工業中實居關鍵性地位，因而有「機械之母」之稱。

## 6. 技術及資本密集

需要投入大量資本與累積高度的技術，持續改良開發產品，回收慢。面對這些特性，我們可以歸納出工具機是一個單價高、技術性高、零件數多而複雜的產品。

## 2.2 排程定義與方法

當一群工件(jobs)之執行順序需要被決定時，就出現了所謂的排程問題(Conway, 1967)，而排程的結果則是建議那一工件在那一資源上被執行。換言之，一個排程決定了何時(when)及何地(when)做什麼事(what)(Parunak , 1991)。

Evans(1997)認為生產排程是指定製造命令以及分派工作至每個加工中心上的優先順序。Dileep(1997)則認為生產排程為一種定義加工順序以及生產活動的安排以滿足某些需求、限制、甚至於是目標，而時間往往是最大的限制。

從以上學者對排程之定義，可得知生產排程為以達到某些目標或滿足某些限制之原則下來進行生產排程，其中應說明在某一時間區段中，要進行加工的工作其時間及順序，以及應完工的數目。

Higgins , Le Roy 及 Tierney(1996)認為，生產排程在產品銷售以及製造系統中扮演著極為重要的介面，其最主要的功能在於能夠將市場及製造現場的資訊作有效的傳遞，因此其所面臨最主要的挑戰在於因應市場產品需求的變動快速，而針對生產現場做有效的生產資源分配。由圖 2.1 可看出



生產排程在整個生產系統中的功能為何。

由於生產排程是驅動生產現場資源分配的重要因素，資源分配的效率也間接影響了整個生產系統的效率，因此在建置生產系統時，必需慎選合乎生產系統特性的排程方法。為了解決製造系統中的排程問題，陳義恒(1994)曾提及七類運作方式不同的排程方法，將其整理如表 2.3 所示。

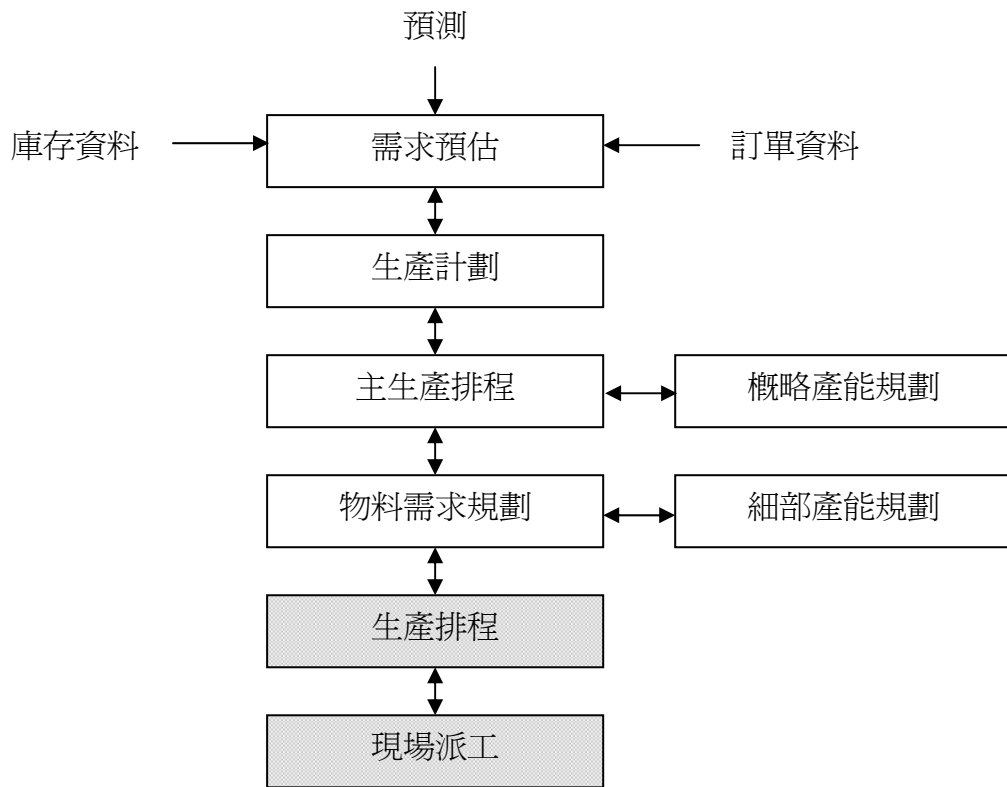


圖 2.1 生產規劃與排程架構圖(Evans,1997)

由表 2.3 中可知，每種方法皆有其優缺點及其適用生產型態，所以如何結合各種排程方法的優點而發展出一可行的排程方法，是一重要課題。從以上可知排程理論(Scheduling theory)、現場控制(Shopfloor Control)和資源限制計劃排程(Resource Constrained Project Scheduling)各有其優點，但亦有其缺點。Goldratt(1986)於 1986 年以限制理論為基礎，提出 DBR 排程方法。DBR 排程法能融合上述三種方法的優點：如設定系統的限制資源來進行排程，以作業研究法找出最佳限制資源的排程，來降低排程複雜度；並且利用控制理論的概念，以產出來決定物料的投入的數量和時點，以減少在製品的存量；再根據啟發式法則或派工法則來決定訂單的生產順序。加

上使用時間緩衝區的概念，來吸收統計波動和異常狀況的影響，最後藉由緩衝區管理(Buffer Management；BM)來監控物料的流程和交期的控制。因此可說 DBR 的基本架構結合了排程理論(Scheduling Theory)、現場控制(Shopfloor Control)和資源限制計劃排程(Resource Constrained Project Scheduling)的原理，另外再配合了限制理論的概念所發展而成。多位學者如：Spencer(1991)、Cook(1994)、Wu et al.(1994)、Matsuura et al.(1995)、Miltenburg(1997)等，為 DBR 做模擬驗證和建構 Markov chain 的模式之後，認為 DBR 比起 JIT 和 MRP 生產方式，可獲得較低的最大完成時間(makespan)、較大的產出及較低的存貨。

表 2.3 七類運作方式不同的排程方法(陳義恒，1994)

排程方法	運作方式	優點	缺點
工業界實用 (Industrial practice)	憑生產現場人員的經驗	1. 實際使用於工業界 2. 可快速地決定排程	1. 容易得到不佳的排程績效 2. 經驗傳承困難
機器排序及排程理論 (Machine sequence and scheduling theory)	以啟發式法則或派工法則來決定排序	1. 容易使用 2. 可快速地決定排程	1. 無法適應於所有生產狀況
資源限制計劃排程 (Resource-constrained project scheduling)	首先設定資源的限制條件，再以作業研究找出最佳的排序	1. 可找到最佳排程	1. 排序時間過長 2. 限制條件的變數決定不易
現場控制 (Shopfloor Control)	以產出量來控制生產的投入	1. 適用於連續時間的生產型態	1. 不適用於離散事件的生產型態
離散事件模擬 (Discrete-event simulation)	使用模擬法來決定排序的方式	1. 可得到真實系統的運作	1. 耗費時間過長
隨機性最佳化 (Stochastic optimization)	使用隨機性最佳化模式找出最佳解	1. 可得到最佳的排程	1. 模式不易建立 2. 難以反應實際生產狀態
人工智慧 (Artificial intelligence)	使用智慧型工具來決定排程	1. 使排程具有彈性 2. 可吸收排程的經驗	1. 知識取得困難 2. 發展時間很久且發展資金較龐大

## 2.3 限制驅導式排程概論

限制驅導式排程乃是以限制理論為基礎之排程方法，其演進過程與限制理論密不可分。在本節中分為二個部份，第一節以限制理論為出發點，與時俱進以了解限制驅導式排程與限制理論之關係。第二節則對於限制驅導式排程排程之基本觀念加以說明。

### 2.3.1 限制理論與限制驅導式排程

限制理論 (Theory of Constraints ; TOC)，美國生產及存貨管理協會 (APICS) 又稱它為限制管理 (Constraint Management)。其前身為 1980 年代所提出之最佳化生產技術 (Optimized Production Technology ; OPT)。OPT 的重點在於確認系統中的受限產能，使得受限產能的利用率能夠達到 100%，同時在不影響產品銷售的情況下，減少在製品數量，提高生產系統的有效產出。因此在 OPT 系統中，明確指出以所有機台的產出來衡量生產系統績效的方式是不正確的，應改由衡量產能受限機台上的產出對於整體生產系統績效影響之方式，也就是說績效衡量的方式應由成本觀改變為產出觀。

Goldratt 於 1986 年出版一本名為 The Goal 的小說體書籍以推銷限制理論的概念，書中敘述一位廠長應用限制理論在短時間內將工廠轉虧為盈的故事，因為所描述的是許多工廠都存在的問題，因此出版之後，反應熱烈，並譯成 13 國語言，成為全球的暢銷書，限制理論因而創立及流傳。

然而在 1986 年 The Goal 一書發行第一版時，其內容並沒有提到 OPT 這個字眼，Goldratt 並指出有一些公司採取了本書中的觀念，但並沒有使用 OPT 軟體，卻仍然獲得相當好的成效，因此其認為該軟體必須要進行修正，事實上在本書中已經大約將 DBR 的排程方法以及緩衝管理的概念大略給勾勒出來，但卻沒有對其做詳盡的介紹。

而在 1985 年時，OPT 軟體的第 56 版問世，Goldratt 並且於隔年發行了 The Race 一書，同時 DBR 一詞也首次在此書中出現，該書藉由小說的方式來說明限制驅導式排程排程方法的運用方式，並強調投料時間與在製品的數量的管制是密不可分的因素，也因此受限產能排程與投料排程必須有效的鍊結，另一方面 Goldratt 也將瓶頸的定義擴充為產能受限資源 (Capacity Constrained Resource ; CCR)，換句話說影響生產系統產出的因素不再僅有瓶頸資源，也有可能為市場需求或是原物料供給等限制資源。

由於 The Race 一書的發行，使得限制驅導式排程方法漸漸受到重視，也因此有相當多的學者陸續投入研究，而 Goldratt 認為此一觀念不僅能運用於生產系統的改進，更能運用於其他方面的改進，因此於 1987 年提出了”限制理論”一詞來描述此一觀念，使得限制理論產生了三個主要的分支，分別為排程系統、作業績效衡量指標以及思考並解決問題的手法 (Spencer, 1995)，如圖 2.2 所示。

排程系統中包括有 VAT 分析(Umble, 1992)、DBR 的排程方法以及緩衝管理(Schrageheim, 1991)。其中 VAT 分析將工廠分為 V 型、A 型及 T 型三種生產型態，透過這樣分類方式，可以了解在不同型態的工廠，其管控的重點為何；限制驅導式排程方法則是以系統瓶頸作驅動現場排程的排程方法；而緩衝管理則是作為現場排程的控制工具以強化已計劃排程之有效性。Patterson(1992)則認為此三者影響了生產數量以及應該生產何種產品的決策，其並對傳統績效衡量方法以及在限制理論中所提出的績效衡量方法進行比較。至於思考並解決問題的手法則包括有現況圖、衝突圖以及撥雲見日圖的手法。

限制驅導式的現場排程方法，為一種新的生產管理概念，同時其被認為一種能有效幫助現場排程的方法(Schrageheim, 1990)，並且能夠輔助物料需求規劃(Material requirement planning; MRP) 以及即時化生產排程(Just in Time; JIT)來進行生產管理及控制(Lambrecht, 1988; Reimer, 1991)，以有效利用生產現場中的實體限制，達到更高的績效要求。

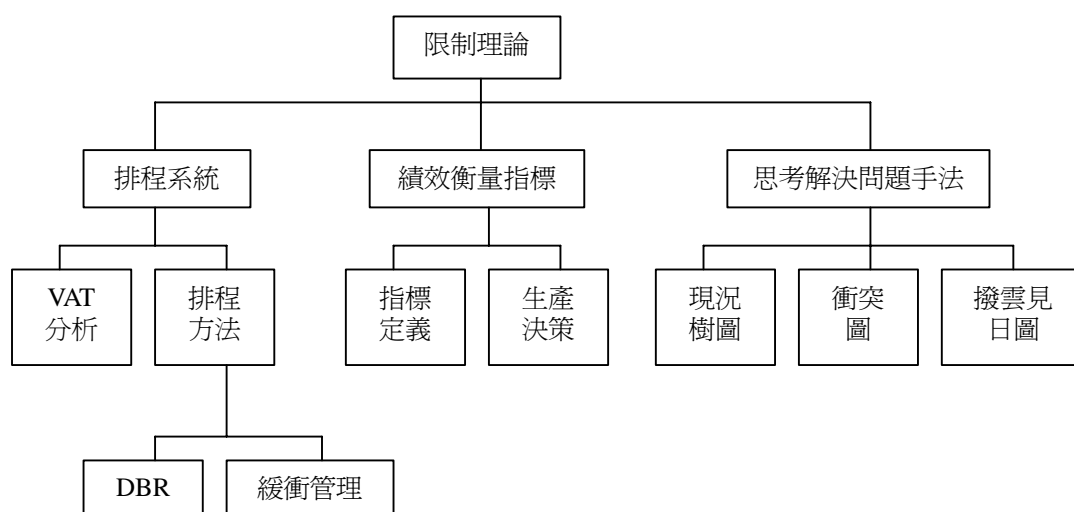


圖 2.2 TOC 分支關係圖(Spencer, 1995)

### 2.3.2 限制驅導式排程之基本觀念

吳鴻輝及李榮貴(1999a)將工廠之生產流程比喻為行軍隊伍以闡述限制驅導式排程之基本觀念。隊伍中每個人即代表生產流程中的資源或工作站，而人與人之間的距離，則相當於在製品的數目。因為隊伍中每個隊員行走速度快慢不一，而且當最後一位隊員走到終點時才代表整隊伍已結束任務，因此應該思考如何最慢的隊員以其最快的速度前進才能有效提升整個隊伍的行進速度，也就是整個生產系統的產出率。

基本此比喻關係，吳鴻輝及李榮貴(1999a)也提出了四種方法可控制整個隊伍的行進速度。

1. 將隊員由小而大排列：由於最慢的隊員在最前面，因此可以自行控制速度，不會受到其它隊員影響，所以能保持最佳的行進速度。由此看來由小到大排列的方式是相當有效的隊伍行進的管理方法。不過，畢竟生產系統之各個工作有其先後順序關係，因此由小到大排列的管理方法並不適用於工廠之管理。
2. 在此將工廠負責發料的物料單位或安排生產進度的生管單位比喻為引導隊伍行進節奏的鼓手，而將負責催貨或趕工的管理者比喻為領隊。透過鼓手的鼓聲，來告知隊員前進的訊息，並且透過領隊的管理，來催促因為前進速度較慢而落隊的隊員，使其加快速度前進，避免使隊伍拖長，影響整體前進之速度。然而影響隊員落隊的因素有相當多，例如：隊員受傷、隊員疲憊、隊員休息等等。要有效的管理其前進速度，可說是相當的困難，換句話說，在生產現場的情形也是相當的複雜。
3. 繩子同步法：將每個隊員以繩子綁起來，因此不管隊員的速度快慢皆必需受制於有限長度的規範。由於速度較快的隊員必需遷就速度較慢的隊員，即可化解前後速度上的差異性，也就可以達到同步前進的效果。然而此方法的最大缺點是，倘若有隊員因為受傷而停止的話，那會導致整體隊伍無法前進。因此此法僅適用於製程穩定程度較高之生產系統。
4. 鼓-緩衝-繩子(DBR)：將隊伍中走最慢的人給找出來，同時有效控制其前進速度，並且將第一位隊員與走最慢的人用繩子給綁起來，第一位隊員的前進速度會受到控制而與最慢的隊員同步；另外在最

慢隊員後的隊員，由於速度受到最慢隊員的控制，因此其前進速度也能夠維持一定，而使得整體隊伍的前進速度維持一定。這就是限制驅導式現場排程方法的觀念。

## 2.4 限制驅導式排程之架構與組成

Goldratt and Cox(1992)認為限制驅導式排程(Drum-Buffer-Rope ; DBR)之基本精神為：針對系統限制資源，一般為瓶頸資源，設定其細部生產排程，並且使系統能充分利用其產能為目的，此細部排程即稱為 Drum，就是所謂受限產能的生產排程。而 Rope 則是指投料排程，藉由 Drum 所傳遞的訊息，來決定投料的時間。Buffer 是指緩衝，其目的是為了預防因系統不穩定，或者是因為上游供料不及，而導致 Drum 的生產步調受到影響，而設置的緩衝時間(Time Buffer)，也可稱為受限產能緩衝( Capacity Constraint Resource Buffer ; CCR Buffer )或瓶頸緩衝。同樣的，為了預防出貨不及，因此在限制資源加工站至出貨加工站中，也需要設置資源暫存區，以避免影響預定的出貨排程，該暫存區可稱為出貨緩衝( Shipping Buffer) ，同時還需要裝配緩衝( Assembly Buffer )的配合，以達到正確的出貨時間。

根據 Schragenheim et al.(1990)所述，一般限制驅導式排程可分為以下執行步驟：

1. 決定限制資源之所在

計算出負荷最重之工作站或是瓶頸最可能發生的地方。

2. 決定緩衝區(Time Buffer)之時間長度

為一經驗值(統計值)，以保護異常狀況發生，而不影響限制資源作業、裝配站與出貨站等作業為考量(要提早多少時間才不會影響交期)。

3. 設計限制資源之生產節奏

在使用限制驅導式排程方法時，最重要的是如何決定限制資源的生產節奏，因為 Drum 節奏決定了系統的績效和產出，並且還需要其他非限制資源配合，因此 Drum 的設計是整個排程方法的核心。吳鴻輝(1999a)指出一般產業上有兩種生產方式：

- (1) 計劃型(Make to Stock)生產方式：計劃型生產型態中最大的特徵

是沒有訂單交期的限制，因此不會有因為訂單交期相同或接近時，限制資源產能不足的情況發生，所以在規劃 Drum 時，只要根據限制資源最大使用率，就可以獲得系統最大的效益。

- (2) 訂單型(make to order)生產方式：訂單型生產方式和計劃型生產方式最大的不同就是多了訂單交期的限制，因此就必須要考慮到產能不足的問題。所以在安排 drum 生產節奏時，不能只考慮到限制資源最大使用率來生產，還必須考慮到訂單交期和產能負荷等來安排等加工順序。故當訂單有交期限制時，限制驅導節奏可分為二個步驟。第一步是先確定個別訂單對限制資源產能需求的程度，若發生產能不足或是產能需求重疊時，再進行第二步驟，即將產能做合理化的分配，獲得合理的 Drum 排程。

#### 4. 找出理想排程

計算各作業在限制資源之完工時間。

#### 5. 決定 Rope

Rope 目的在協助設定各訂單或物件的物料開立時間和出貨時間，因此訂單或工件太早進入生產線，或開始生產的時間過早，並不能增加系統的產出，只會造成系統中在製品過多的狀況。但是訂單或工件太晚進入生產線，或延遲的時間過久才生產卻會影響限制資源的生產節奏，造成系統產出下降。因此各訂單和物料的投料時間與第一個作業開始加工的時間都必須做適當的規劃。

#### 6. 調整 Buffer 的大小

根據緩衝管理所提供的資訊，決定是否調整 Buffer 的大小。

#### 7. 重複執行 1-6

根據上面所述，可以明白限制驅導式排程是一個架構十分完整的排程方式。限制驅導式排程認為只要能控制限制資源機台，即能控制整個生產系統的速度。其中，由於本研究著重於現場排程之探討，而第 6 點屬於現場控制範疇則不包括在本研究範圍內。以下就 1 至 5 點，回顧國外學者研究之成果，並歸納出本研究所採用之模式。

### 2.4.1 產能限制資源的確認

所謂限制驅導式排程法，是以限制的需求來驅動系統運作的節奏。換言，是一切決策要以系統限制或瓶頸的需求為優先考量，而系統其餘的非限制則要配合限制的決策。因此在應用限制驅導式排程法時，第一個問題即是如何確實的定義出限制或瓶頸的所在(吳鴻輝，1999b)。

實務應用上最簡單的方法是根據過去經驗，以現場負荷最重或在製品最多的站別為瓶頸站(Umble, 1994)。而由於考量到各工作站之負荷可能會隨著時間而有所改變，因此游慶宗(1995)及 Wu et al. (1994)採行平均產能負荷最高的資源為系統限制資源。

鐘淑馨及謝志銘(1996)將各訂單依物料需求規劃(Material requirement planning; MRP)之物料清單(Bill of Material; BOM)展開排程，並考慮庫存及現場之在製品以計算各資源之負荷。若有任何資源的總需求大於其最大可用產能時，則此資源為瓶頸。

吳鴻輝(2000)指出產能限制資源可能是負荷大於產能的瓶頸資源(Bottleneck)，但也可能是非瓶頸資源(Non-bottleneck)，因此一個工廠的產能限制資源可能會不只一個，因此他又另外定義在所有的產能限制資源中負荷最嚴重者為受限產能。Lawrence and Buss(1994)則認為瓶頸資源的判別，可依排程規劃時間的長短，而有不同的定義，就中短期規劃時間而言，可依據各個機台資源前的等候線長度，來判斷其是否為瓶頸機台，就長期而言，可就機台的平均利用率高低，來決定何者為瓶頸機台。

然而 Lawrence and Buss(1994)及 Wu et al.(1994)認為在現今的市場環境，市場需求及生產產品組合經常在改變，因此瓶頸漂移(Bottleneck Shiftiness)現象是不可避免的。黃承龍(2001)等人更指出當系統瓶頸漂移時，會影響以瓶頸為依據的排程計劃之效果，甚至造成生產績效的降低。因此，為避免錯誤的瓶頸辨識所造成的系統損失，本研究在瓶頸辨識採取一段排程週期，並計算在該排程週期中產能負荷最重的資源為何，並以其為受限產能來驅動整個限制驅導式排程的運作。

### 2.4.2 緩衝區的設定

吳鴻輝(1999a)指出緩衝設置的目的有二：其一是要確保訂單能及時到達受限產能，進而確保出貨的時間不會延誤；其二是要確保受限產能不會



斷料或沒工作。因為限制產能一分鐘的閒置即是整個系統的閒置，進而導致訂單的延誤，因此在限制驅導式排程方法提出以緩衝時間(time buffer)來達到保護的目的。

Schrageheim(1990)曾指出緩衝是一種保護時間，用以保護某種事物，當與其相關的事物發生一連串的中斷時，並不會影響到該事物的執行計畫。

緩衝並不是以存貨或在製品數量來加以表示，而是將這些存貨或在製品的數量加以轉換成為需要在此資源進行加工或裝配的總時間，因此可將其稱為時間緩衝(Spencer, 1991)，換句話說，時間緩衝即是在製品庫存水準的另一種表示方式。

關於緩衝時間長度的設定，大多數學者皆採取經驗或估計的方式來決定，如 Goldratt and Rebert(1986)、蔡志弘及李榮貴(1996)、Schrageheim and Ronen(1990)、Gardiner et al.(1993)便採取此方式。

Spencer(1991)認為可依系統的波動因素來決定其緩衝長短，若波動因素改善，則可以縮短其長度。Schrageheim and Ronen(1991)則認為緩衝時間長度的大小設為限制資源平均前置時間的三倍，採用三倍是基於經驗與可信賴的前置時間分配，而假設其前置時間服從常態分配的話，則可藉由其平均流程時間加上三倍標準差而得到其緩衝時間。

Demmy(1994)進一步指出應設置三種時間緩衝，並且輔以三種不同的投料繩來幫助 DBR 系統的運作，可表示為圖 2.3 單一訂單之限制驅導式現場排程方法結構圖(含加工時間)表示。

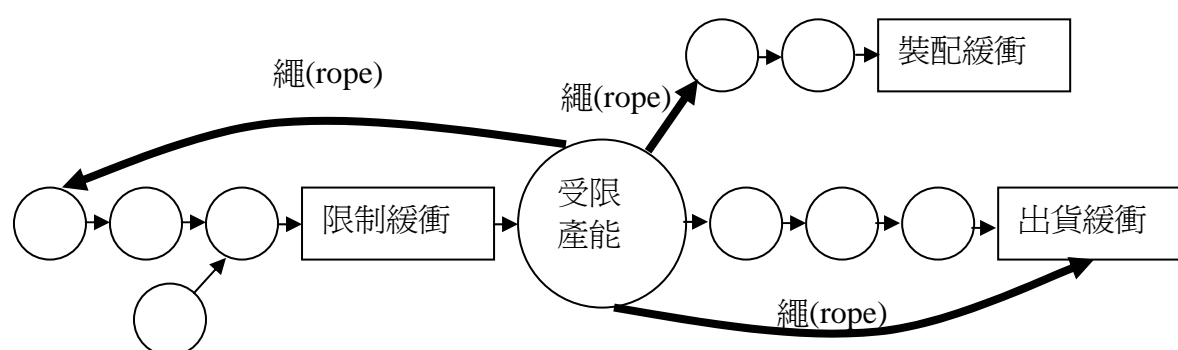


圖 2.3 單一訂單之限制驅導式現場排程方法結構圖(含加工時間)

吳鴻輝(1999a)對緩衝之設定方式則不同於 Demmy(1994)，吳鴻輝其所

設定之緩衝皆已包涵非受限產能工序之加工時間，可以本下圖 2.4 單一訂單之限制驅導式現場排程方法結構圖表示。

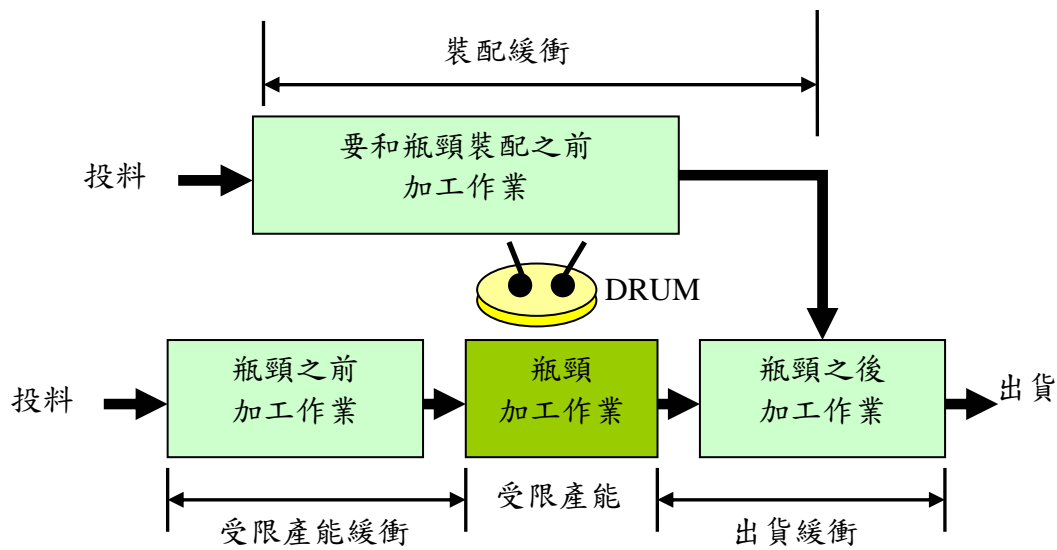


圖 2.4 單一訂單之限制驅導式現場排程方法結構圖

### 1. 受限產能緩衝(Constraint Buffer)：

受限產能緩衝介於投料機台至瓶頸機台之中，其設置目的是為了避免限制資源受到生產系統的不確定因素，而導致生產中斷，進而影響整體產出。在本論文中使用受限產能緩衝(Capacity Constrained Resource Buffer；CCR Buffer)此名詞，其介於投料作業開始時間至受限產能作業開始加工時間之間，已包括作業之加工時間與設置時間。

### 2. 出貨緩衝(Shipping Buffer)：

出貨緩衝介於瓶頸機台至最後裝配機台之中，其設置目的是為了保護訂單能夠如期的交貨，以防止當系統發生中斷時，影響訂單的出貨時間。

### 3. 裝配緩衝(Assembly Buffer)：

裝配緩衝的設置目的是為了確保採購原料、零組件的運送不會影響最終裝配的排程(Final Assembly)的執行，也就是說確保經由瓶頸機台完工的在製品能夠與其他相符零件進行組裝，不至於受到相符零件的延遲所影響。

### 2.4.3 受限產能的排程

當每筆製令所辨識出的受限產能有一個以上時，即發生了製程迴流的現象。然而依本研究所以定義產能瓶頸辨識方法，其所辨認出的受限產能會依每次待排程製令集合之內容而有所不同，可能只有一個受限產能，亦可能會出現一個以上。以工具機產業而言，由於裝配過程中，仍需經由電氣及雷射補正等不同資源的加工程序，因此工具機業所辨識出之受限產能亦有可能產生製程迴流的現象。以下分別就訂單式生產排程環境下製程迴流與非迴流作文獻探討。

#### 2.4.3.1 受限產能製程無迴流相關文獻

以下舉例說明建立限制驅導節奏的流程，分為三大步驟，敘述如下：

步驟一：建立廢墟(ruin)。

確定受限產能之後，根據訂單的交期，先暫不考慮產能限制，安排限制資源的理想排程。根據該訂單在受限產能上的淨需求量，以及訂單生產途程的資料，計算出各訂單在受限產能資源上總加工時間及設定時間，即各時間區塊長度。利用訂單交期減去出貨緩衝時間長度，得到該區塊理想完工時間，理想完工時減去時間區塊長度，則得到該訂單理想開工時間。至於廢墟之排程則根據各區塊的完工時間做後推排程，理想完工時間愈晚者越先排入，排入的方式為由下往上排入甘特圖的時間軸中，若下層有空閒時間，則盡量往下放，由下到上排入時間軸中，若相同時點有產能衝突時，則堆疊至上方。以圖 2.5 說明最後廢墟排程。

步驟二：建立限制驅導節奏(drum)。

在上一步驟建立廢墟時，由於未考慮到產能限制，可能出現在某一時點上所需產能超過負荷的情況，因此必須利用推平廢墟的方式加以解決。一般解決方式分為兩種，一種為後推排程方式，即 Schragenheim (1994) 及 Gardiner (1993) 使用的方式；另一種為前推排程方式，此為鍾淑馨及謝志銘(1996)使用的方式。在此以後推排程方式為例，說明上述選擇機台及選擇訂單的方式如何運用。

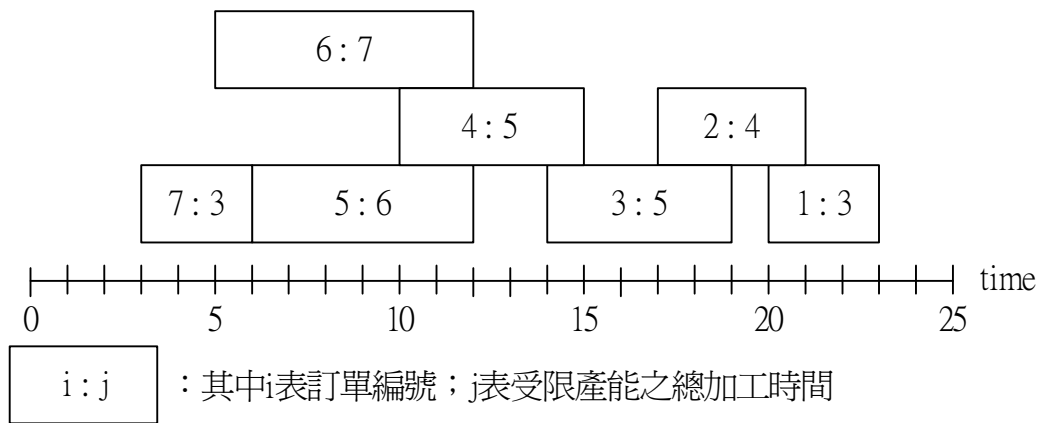


圖 2.5 受限產能工序在時間軸上之 Ruin 示意圖

在 Goldratt (1990)、Schrageheim (1994) 及謝志銘 (1994) 的研究中，一般建議使用以下原則以後推方式安排限制驅導節奏：

1. 訂單之選擇：訂單在限制資源機台完工時間較晚的先排，若是同一時間有二張以上訂單時，加工時間較短的訂單先排。

在圖 2.5 中，由於 1 號訂單理想完工時間較 2 號訂單晚，故 1 號訂單先排入；再者，5 號訂單與 6 號訂單理想完工時間相同，但由於 6 號訂單時間區塊較長，故 6 號訂單先行排入。

2. 機台之選擇：負荷較小或可排程時間離排程原時點較長者先排。限制驅導節奏建立之後如圖 2.6 所示。

### 步驟三：排程合理化

使用後推法將廢墟推平之後，可能造成作業加工時間超出機台或資源可排程時間之外，此時再以前推法將圖 2.6 超出機台可排程時間之外的作業推至可排程時間起點，其後緊密相連的作業也需跟著順延。如圖 2.6 中，假如資源 1 排程時間起點為時間點 5，則 7 號訂單的時間區塊之理想開工時間須前推至時間點 5，其後之區塊亦順延，如圖 2.7 所示。

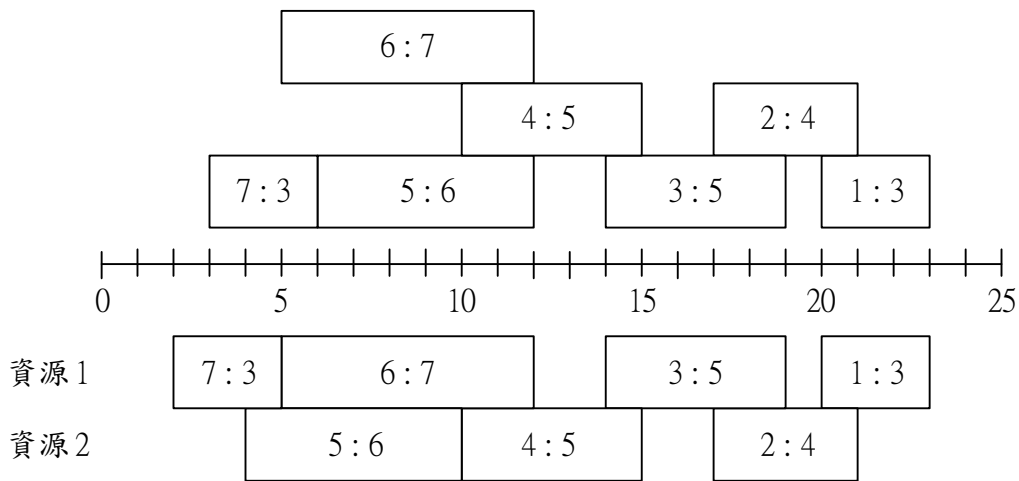


圖 2.6 受限產能工序在時間軸上之未合理化之限制驅導節奏

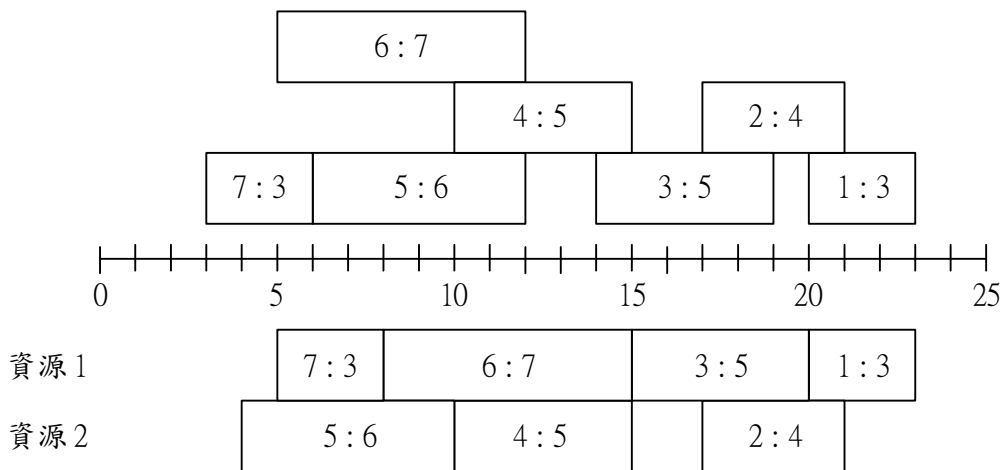


圖 2.7 受限產能工序在時間軸上合理化後之限制驅導節奏

### 2.4.3.2 受限產能製程迴流相關文獻

在某些生產環境中，如半導體的晶圓廠或封裝測試廠，其產品製程具有再迴流的特性，即產品的製程需經過相同的機器多次，如圖 2.8 所示。當中機台 B 為受限產能，若訂單在相鄰產能受限資源上加工安排的距離時間太短，則在生產流程中，訂單在前一次產能受限資源加工後，無法來得及到下一次的產能受限資源加工，造成排程上空洞的產生及產能的浪費；如安排的間隔時間太遠，可能使現場的在製品太多，造成等待時間太長的情形。

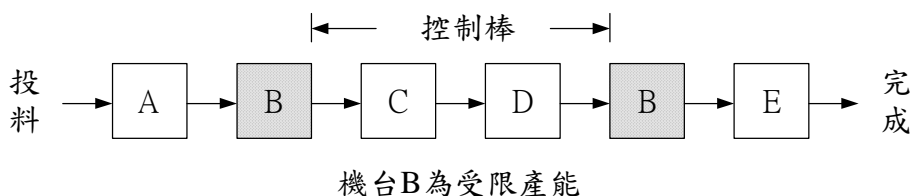


圖 2.8 瓶頸迴流示意圖

Goldratt (1990)曾提出間隔棍(Time Rod)的概念。此指在製程中，同一訂單在產能受限資源須加工兩次以上，即形成所謂的瓶頸迴流，也就是受限產能具製程迴流特性，則在相鄰的兩次加工作業要相同一定的間隔時間，以確保前一次訂單在產能受限資源加工完之後，能趕上下一次在產能受限資源上加工，亦即間隔緩衝(Rod Buffer)，如圖 2.9 所示。

吳鴻輝(1999a)對於瓶頸迴流的 DBR 設計，提出間隔棍靠攏法(Batch Rod Approaching Method)，來處理複雜的迴流問題，其中包括移轉批量與生產批量數目相同，以及移轉批量小於生產批量數兩種間隔模式。由於本論文假設產品機台的生產批量即移轉批量，且皆為一件，故以下只討論生產批量與移轉批量相等的情況，可由圖 2.9 說明。

可由其訂單交期日減去出貨緩衝區的時間長度，得到該後製程時間區塊在產能受限資源(機台)中理想的完工時間。若該時間區塊有前段製程且該製程亦需使用產能受限資源，則該理想開工時間減去間隔緩衝時間長度，可得知前段製程在產能受限資源的理想完工時間。再將該時間區塊理想完工時間減去該區塊時間長度，又可得該區塊理想開工時間。至於其限制驅導節奏合理化的過程同瓶頸無迴流的情況。

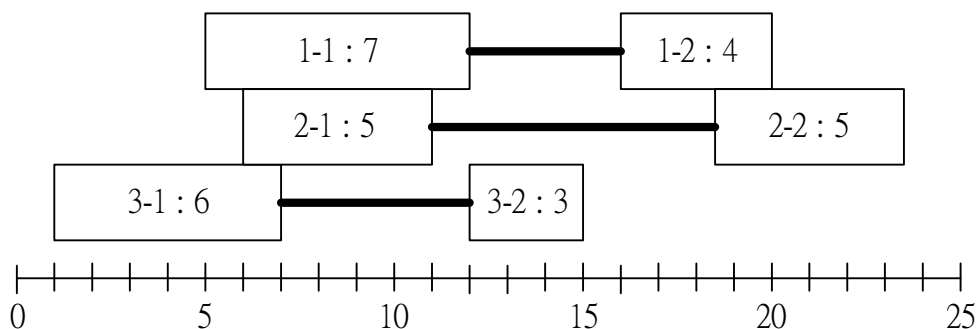


圖 2.9 間隔緩衝或間隔棍示意圖

#### 2.4.4 投料繩的設定

在 DBR 系統中，產能受限資源決定了整個生產系統的產出，為了避免限制資源的生產計畫受到系統不確定因素的影響，而設置了緩衝時間加以保護。然而僅有緩衝的保護，並不足以讓生產系統能夠維持穩定的生產，還需要投料繩(Rope)的配合，才能將 DBR 系統發揮至完善，達到同步生產的目的。

Goldratt and Rebert(1986)、Gardiner et al.(1993)定義從限制資源作業至訂單投入生產現場這段前置時間的偏移(lead Time offset)時間長度為投料繩。Rope 可說是一個控制產能受限資源的機制，可以促使所有工件的生產製造速度能夠依據限制驅導節奏的生產速度來前進，並且配合緩衝來維持限制資源能夠平穩的生產。關於投料繩的決定方式，Goldratt and Rebert(1986)提出以後推的安排方式來決定其長度，並決定訂單投入的時間。Schragenheim and Ronen(1990)認為可藉由限制資源的開工時點減去時間緩衝，而得到訂單投入的時間，而 Gardiner(1993)則藉由經驗來估計其投料時間。

### 2.5 限制驅導式排程之實務應用

自 Goldratt(1986)提出限制驅導式排程方法後，國內外學者不斷地修正，無論是一般性抑或是在修正為特定產業適用的。由於本研究以工具機為例，因此在以下文獻回顧中，將以應用於各個產業之限制驅導式方法為主。

國外對於 DBR 之應用則較為廣泛，並不侷限於特定產業。Guide and Ghiselli(1995)將 DBR 排程法應用在翻修廠，由於工廠在翻修工作執行前，無法預知該翻修件須翻修的程度，因此翻修件上哪些零件需要維修以及需維修的零件需經過哪些工作站與所需的加工時間等是無法事先知道的，甚至於同一種零件由於耗損的程度不同所需的工作站與加工時間亦會不相同。翻修廠由於具有這些隨機性的變數，使得傳統的排程方法難以有效的執行，而透過 DBR 的特性則可發揮很大的管理成效。

Cook(1994)應用 DBR 排程法於流程式與裝配線之生產環境，其結論是可得到比 JIT/Kanban 控制系統較高的產出。

Wu et al.(1994)等人則是將 DBR 排程法應用在傢俱廠。並透過模擬法比較了解與原有的排程的不同，其結果顯示 DBR 排程法，可獲得較早的完工時間(make-span)。

Moon(1996)將限制管理排程法 DBR 應用於儀器製造廠，而得到顯著的成效，如製造前置時間減少一半、交期達成率從 50%~70% 提昇到 95%-98%、以及 WIP 降低了 60% 等。

Shoemaker(1995)在 Zycon 公司應用 DBR 排程法，透過刻意的使該工廠各工作站的產能不平衡(unbalanced)，使得製單能平順的流經工廠。其成效是產出增加一倍、存貨與不良率減半、前置時間從三週降為三天。

以國內而言，大多應用於半導體產業，如晶圓製造廠、封裝廠等，而探討將 DBR 應用於工具機產業的文獻則較為少見。

張盛鴻(1999)等人，以晶圓製造廠為例，以模擬的方式，運用限制理論為基礎所發展的派工法則與其他派工法則作比較，分別為 FIFO(First in first out)、SIP(Shortest imminent processing)、SRP(Shortest remaining process)、LN(Least number of lots at the next queue)、RAN(At random)、EDD(Earliest due date)、CR(Critical ratio)、Slack 等八種。模擬的結果顯示在產品生產週期，也就是晶圓投入到產出的平均時間，僅次於 CR 法。但作者所提的方法額外考慮了產能受限資源(機台)的保護與非產能受限資源(機台)的機動調整供料，則是 CR 所未能考慮的。另外此法在降對製程有影響的關鍵站之平均在製品存貨之能力也較其他方法為佳。

林玉貞(1999)以限制驅導式排程方法應用於半導體黃光區，除了以受限產能驅動現場排程外，更輔以緩衝管理以及績效評估作為現場排程之控制機制。其以個案作實例驗證，產出之平均值及標準差皆較先前為佳。

侯凱中(2000)以限制理論為基礎建置半導體晶圓製造廠之派工法則，在其研究中指出晶圓製造廠有幾點特性，如市場價格變化多、成批加工、製造成本多來自於設備折舊等間接成本、製程長且影響製程的因素多。在其認為傳統之限制理論之物流最大化的作法，較不適合半導體所需，而應以金流為主要考量，獲利能力較大者優先加工才能有效提昇系統之獲利績效。

古昌恭(2001)認為半導體晶圓製造廠之生產設備相當昂貴，動輒數千萬甚至上億元，無塵室之生產環境更是寸土寸金所建構而成，所以如何妥善的規劃生產線生產設備之產能利用率是一大考驗。由以上探討可得知，半



導體晶圓製造廠在建構半導體業之限制驅導式時，仍以產能利用率為主要考量，並未觸及物料供料限制。

吳鴻輝(1999b)等人以半導體封裝廠為例，指出半導體封裝廠有四項特性，包括批量分割、鐳線機台之作業需求高於其他機台甚多、機台設置時間長短差異大且變異性大、與前廠製程具相依性等。根據這四項特性，提出修正的 DBR 排程方法，解決了現場排程、現場排程之彈性與調度性、以及訂單交期的承諾問題；並輔以緩衝區管理，可提供現場進度掌控的有效方法及現場改善之方向。

由於工具機業與半導體業在生產特性上有所差異，並無法直接以 DBR 於半導體業之研究成果，直接套用於工具機業。以工具機業而言，與半導體業最大差異在於其生產過程大多以人力完成，僅前製程部份需以機台加工。因此以產能限制而言，工具機業較有可能發生於人力而非半導體業的機台。而以物料限制而言，半導體業之產品成本多來自於機台之折舊攤銷，而工具機業在產品成本結構上則以物料成本為主，而且集中於部份物料，例如控制器，甚至佔了製造成本的五成。此類物料通常具有金額高、前置期長、供應商強勢等特性。

經由以上歸納分析，發現半導體業之 DBR 排程模式並無法直接應用於工具機業。因此，若要建立工具機業之 DBR 排程除了需考慮人力之產能限制外更需將物料供給對於排程的影響納入排程考量。

李育民(1998)提出限制驅導式排程法在工具機製造廠之運用，並以「訂單交期答覆」為研究的方向，希望發展一個快速可行的排程模式來決定訂單生產順序，運用 DBR 排程法取得快速可行之訂單生產順序，以較為簡化的三個工作流程作為工具機業的生產模型，來說明現場排程因為在工作站上形成回流現象時，以訂單延遲最小及生產流程時間最小做為排程評估的準則，藉由本研究方法取得快速的可行解來凸顯排程的效益。

黃茂洲(2003)則對於李育民(1998)所運用較為簡化的工作流程提出修正，並且以受限產能前推式排程法取代傳統的後推式排程法，大量的節省了排程計算時間，另外也兼顧了非受限產能之產能規劃，使預先排定的排程計劃得以實行。

以上兩位學者對於工具機業之 DBR 排程多強調可快速求得可行解，但仍未能夠對於物料加以考量。林來傳(2003)在其研究中指出，工具業其關鍵零

組件必需仰賴進口，而且交期較長。而根據本研究實地訪廠，發現這類關鍵零組件除了前置期較長外，其金額較其它物料為高。因此本研究希望藉由關鍵零組查核的結果，反饋排程系統，以得出真正合理可行之排程計劃。

## 第三章 排程演算法與系統建立

本章目的在於說明建置工具機業限制驅導式排程系統之組成要素及其功能，因此本章共分為四個章節。第一節說明本研究之基本假設及對於系統中使用的變數加以定義。第二節提出排程演算法之主架構，並說明本排程系統之各個模組及其互動關係。由於本排程系統乃藉由物料資訊的反饋以求出更為合理可行之排程計畫，因此在第三節及第四節則分別說明排程模組及供料規劃模組之演算程序與系統架構。

### 3.1 研究假設與變數定義

本研究之目的在於建置工具機業之限制驅導式排程系統，並在考量關鍵零組件之供料限制下讓既定排程得以順暢的被執行。參考工具機業現場排程之特性，在建置本研究所提出之限制驅導式排程系統時，運用下列假設。

1. 生產與移轉批量均以一件產品(即一部工具機)為原則：本研究進行排程的四種機種其組裝作業時間皆超過一百小時以上，故在排程時所考慮的生產及移轉批量均以一件為原則。
2. 排程安排以正常上班時間為主：排程時暫不考慮加班時間，且假設為8小時。因為當生產進度落後時才需考慮加班，而以標準工時進行排程不至於與實際產能相差太多，故能馬上藉由加班趕上預排進度；另一方面，由於加班工時成本比正常上班工時昂貴，故暫不考慮加班工時。
3. 由於工具機業中衛體系之特性，除關鍵零組件外，大部份物料及零組件皆可由鄰近衛星工廠取得。因此本研究假設除關鍵零組件外，其餘物料皆可及時到達現場進行加工或裝配。
4. 本研究中所提及之標準工時，已包含該工序之加工或裝配工時、搬運工時及設置時間。
5. 排程方式採用後推式排程方法(即計算各產能受限工序之完工時點，依完工時點由晚至早排入，完工時點相同時物料成本較高者優先排

入)。

6. 在產品架構上，採用較為簡單之循序式途程與物料清單，簡化排程之複雜度。
7. 由於工具機業之關鍵零組件規格相當繁雜，若欲納入考慮將涉及共用性問題，而形成另一議題，故本研究在此暫不考慮關鍵零組件規格，視同一名稱之關鍵零組件為相同規格。
8. 除緊急採購之備料行為所造成之庫存水準增加與關鍵零組件查核之扣料動作所造成之庫存水準降低外，庫存水準皆假設為自行維護更動。

為易於後續說明排程演算法與系統建置流程，以下定義將於系統中所運用之變數。其中受限產能工序代表該工序需經由產能受限資源之加工或裝配作業。

$mo$ ：製令編號,  $mo = 1, \dots, n$ 。

$r$ ：資源編號,  $r = 1, \dots, m$ 。

$op$ ：工序編號,  $op = 1, \dots, k$ 。

$d(mo)$ ：第 $mo$ 張製令之交期。

$f(mo)$ ：第 $mo$ 張製令第一個待排程工序編號。

$type(mo)$ ：第 $mo$ 張製令所生產之產品型號。

$ReqHour(r)$ ：第 $r$ 個資源於排程期間之總需求工時。

$ProHour(r)$ ：第 $r$ 個資源於排程期間之總提供工時。

$Load(r)$ ：第 $r$ 個資源之負荷比率。

$Res[type(mo), op]$ ：產品編號為 $type(mo)$ 之第 $op$ 個工序所屬之資源編號。

$Std[type(mo), op]$ ：產品編號為 $type(mo)$ 之第 $op$ 個工序的標準工時。

$quan(r)$ ：第 $r$ 項資源之數量。

$bot\_num$ ：經由瓶頸辨識後所產生之產能受限資源的編號。

$bot\_ats(j)$ ：第 $j$ 個產能受限資源的可排程時點， $j=1,\dots,quan(bot\_num)$ 。

$C(bot\_num)$ ：製程特性辨別因子，等於 0 時為製程迴流，等於 1 時為非迴流。

$i$ ：緩衝編號， $i=1,\dots,c$ ，當 $i=1$ 時，即代表受限產能緩衝； $i=c$ 時，即代表出貨緩衝，若 $i$ 介於 1 和 $c$ 間則為間隔緩衝。

$buffer(mo,i)$ ：表製令 $mo$ 第 $i$ 個緩衝長度。

$buffer\_std(mo,i)$ ：表製令 $mo$ 第 $i$ 個緩衝內之總作業時間。

$buffer\_coe(mo,i)$ ：表製令 $mo$ 第 $i$ 個緩衝乘數，大於等於 1。

$lit\_s$ ：受限產能工序之開工時點。

$lit\_e$ ：受限產能工序之完工時點。

$lit\_cost$ ：受限產能工序之物料成本。

$lit\_btb$ ：經由限制驅導節奏指派後，受限產能工序所屬之產能受限資源之流水號，最小為 1；最大為 $quan(bot\_num)$ 。

$lit\_num$ ：受限產能工序之流水號， $lit\_num=1,\dots,p$ ，表於製令集合中共有 $p$ 個受限產能工序。

$lit\_std$ ：受限產能工序之加工工時。

$cp$ ：關鍵零組件編號， $cp=1,\dots,u$ 。

$C(cp)$ ：關鍵零組件特性辨別因子，等於 0 時無法進行緊急採購；等於 1 時則代表可進行緊急採購。

$cp\_rt$ ：關鍵零組件的需求時點，即該關鍵零組件所屬工序之投料點。

$cp\_st$ ：關鍵零組件的供給時點，即該關鍵零組件之入廠日。

$cp\_rq$ ：關鍵零組件的需求數量。

$cp\_sq$ ：關鍵零組件的供給數量。

$cp\_bln$ ：為布林值(Boolean)，用以辨別該關鍵零組件是否欠料。

$cp\_lk$ ：關鍵零組件欠料的數量。

## 3.2 排程演算法架構

本研究以傳統之 DBR 排程方法建置排程系統外，更考慮了關鍵零組件之供料限制，因此在演算法設計上分為兩大模組，分別為排程模組及用於修正排程之物料規劃模組。排程演算法的架構流程如圖 3.1 所示，上半部為排程模組；下半部為物料規劃模組。圖中為流程圖表示方便，於流程圖中心線右方表示資料的輸入，左方表示資料的輸出；以緩衝計算(步驟 3)為例，在得知瓶頸資源編號後，除了需接收來自使用者輸入的緩衝乘數外，尚需抓取產品資料表之標準工時、工序編號及製令資料表之交期、待排程製令、產品型號等資訊以計算各製令之緩衝(此輸入的動作以 ipt.2 表示之)。在緩衝計算完畢後，傳送至緩衝資料表(此輸出的動作以 opt.1 表示之)，以供後續排廢墟及決定限制驅導節奏之用。

- 步驟1. 確認待排製令：由使用者輸入欲加入排程之製令資料，包括該製令之交期、產品之型號以及該製令之第一個待排程工序。
- 步驟2. 瓶頸辨識：在製令集合之內容確定之後，即開始計算製令集合內之瓶頸，此時必需另外自產品資料表中抓取產品之途程資料及標準工時，並且與各製令將生產之產品作對應。
- 步驟3. 計算緩衝：根據第二章中對於緩衝設定的討論結果，發現大多數學者皆建議採取經驗或估計的方式來決定，本研究亦採用以系統使用者之經驗進行估計的方式以決定緩衝。因此在緩衝計算前，先由使用者自行輸入各個緩衝之乘數，再依其設定的乘數計算緩衝。
- 步驟4. 排廢墟：在產能無限的假設下，將步驟 3 計算所得之出貨緩衝，間隔緩衝及限制產能緩衝求得各受限產能工序開工時點及完工時點放入廢墟中。
- 步驟5. 決定限制驅導節奏：依據各受限產能工序之優先權大小，依序取出，排入限制驅導節奏。
- 步驟6. 發料模擬：模擬在排程期間各工作日之所有工序所需之物料及零組件。
- 步驟7. 關鍵零組件查核：根據發料結果查詢庫存資料及供料時程，以查看各製令關鍵零組件之欠料情況。
- 步驟8. 判斷是否有可緊急採購之關鍵零組件欠料，若有，則統計有緊急採

購之關鍵零組件數量並進行緊急採購程序；若沒有，則到步驟9。

步驟9. 關鍵零組件欠料與否：查看是否有任何製令之關鍵零件有欠料，若有則回到步驟1，進行重排程；若無任何製令之關鍵零件無欠料，則送出最終之排程結果。

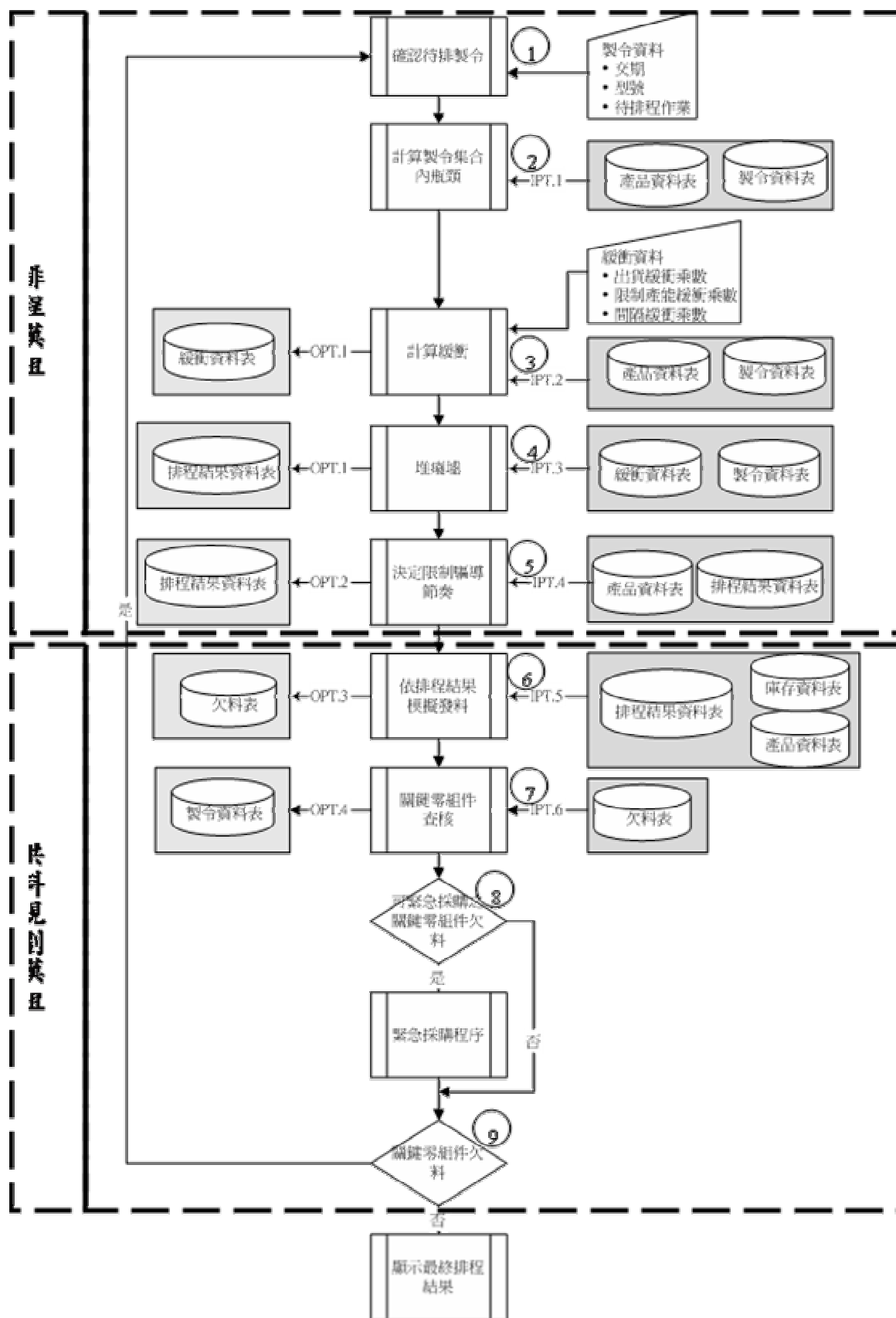


圖 3.1 系統主架構流程圖



### 3.3 排程模組

在本節中主要說明未經修正之限制驅導式排程，而後續經由物料模組修正後，亦會經由本排程模組演算以得出最終排程計畫。本節依前一節圖 3.1 之架構流程之說明，共分為四部份。第 3.3.1 小節說明排程演算法中的第一、二步驟，即瓶頸辨識；第 3.3.2 小節則利用辨識所得之產能受限資源計算各製令之緩衝長度，也就是排程演算法中的第三步驟；第 3.3.3 小節則在無限產能假設下，利用各製令之緩衝長度計算各受限產能工序之理想開工點及完工點。最後將各受限產能工序之理想開工點及完工點交由第 3.3.4 小節，對各受限產能工序之優先權進行排序；排序完成後，則依優先權高低依序排入限制驅導節奏。

#### 3.3.1 瓶頸辨識

根據游慶宗(1995)、Lawrence 及 Buss(1994)的分析比較，本研究確認產能受限資源所採取的方式為選擇一段排程時間長度，並藉由產能需求分析，找出該排程時間長度中，平均產能負荷最高的資源為何，並認定該生產資源就是此一排程週期中之產能受限資源。其步驟如下圖 3.2 瓶頸辨識 a 及圖 3.3 瓶頸辨識 b：

在圖 3.2 中計算待排程製令集合內須使用之現場第  $r$  項資源之總需求產能  $Reqhour(r)$ 。在計算過程分為兩個迴圈，最外圍的迴圈為資源數，而內圍之迴圈為製令數，也就是檢查各製令內所包含之  $r$  項資源佔該製令各多少工時，並加總之，以求得各資源於製令集合內之總需求產能，詳細步驟說明如下。

- 步驟1. 設定資源編號起始值為 1。
- 步驟2. 設定製令編號起始值為 1。
- 步驟3. 設定起始工序為第  $mo$  張製令之待排程製令。
- 步驟4. 判斷第  $mo$  張製令第  $op$  個工序之資源是否為資源  $r$ ，若是，則將第  $r$  項資源之總需求工時加計該項工序之工時；若否，則往下個工序搜尋，直到第  $mo$  張製令所有工序結束為止。
- 步驟5. 判斷是否已達最後一個工序，若是，則製令編號計數加一，往下一製令搜尋；若非，則往下一工序搜尋。

步驟6. 判斷是否已達最後一個製令，若是，則資源編號計數加一，計算下一資源之需求工時；若非，則往下一製令搜尋。

步驟7. 判斷是否已達最後一個資源，若是，代表所有資源之需求工時已計算完畢；若非，則計算下一資源之需求工時。

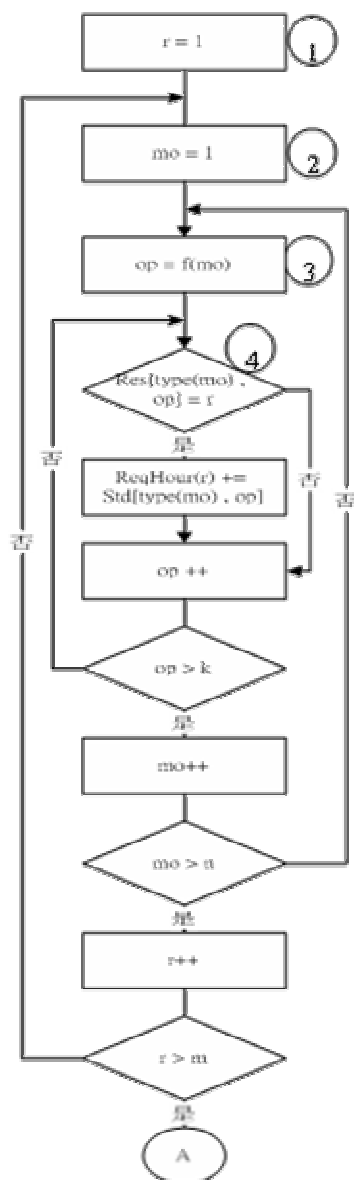


圖 3.2 瓶頸辨識 a

在圖 3.3 則包含  $ProHour(r)$  之計算及求得產能受限資源。排程時程長度 (取得自製令集合內之最晚交期，單位為小時) 再乘以時間長度即為該資源於排程期間所能提供之總產能。根據總需求工時除以總供給工時，所求得之平均產能負荷取其最大者即為產能受限資源。詳細步驟說明如下。

- 步驟1. 設定資源編號起始值為 1，資源負荷比率初值為  $Max = 0$ 。
- 步驟2. 計算第  $r$  項資源於排程期間內總供給工時。其中  $\max[d(mo)]$ 代表製令集合內之最晚交期。
- 步驟3. 計算第  $r$  項資源之負荷比率，即排程期間之總需求工時除以總供給工時。
- 步驟4. 判斷第  $r$  項資源之負荷比率是否大於目前最大的資源負荷比率，即  $Max$ 。若是則至 6；若否則至 7。
- 步驟5. 第  $r$  項資源之負荷比率成為最大的資源負荷比率，並且記錄  $r$  為暫時之產能受限資源，直到比較所有的資源，最終的第  $r$  項資源即為產能受限資源。
- 步驟6. 最大的資源負荷不作變動，持續測試下一個資源。

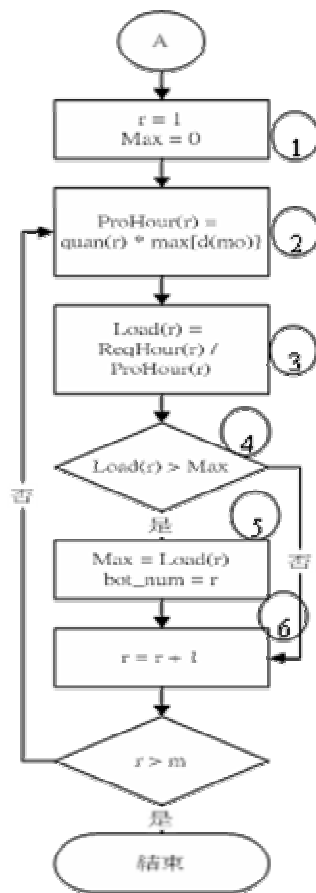


圖 3.3 瓶頸辨識 b

### 3.3.2 緩衝計算

吳鴻輝(1999b)指出時間緩衝的內容包括設置與加工時間以及保護系統可能發生的不穩定狀況與負荷高峰的寬放時間等。然而，會導致現場系統不穩定之來源相當多，無法完全掌握，因此在緩衝乘數設定，多數學者皆採取經驗或估計的方式來決定，如 Goldratt and Rebert(1986)、蔡志弘及李榮貴(1996)、Schrageheim and Ronen(1990)、Gardiner et al.(1993)便採取此方式。

緩衝乘數之設定將影響排程結果之好壞甚鉅。若設定的過高，雖然對於受限產能工序之保護效果較好，但亦會造成堆積於產能受限資源之前的在製品過多；相對而言，若設定的過低，就無法達到保護產能受限資源之效果，可能造成產能受限資源之產能損失。因此可藉由實際排程結果之回饋，反覆進行修正以得到較佳之緩衝乘數設定。

在工具機業產品之製造過程中，必須運用到多種製造資源，如圖 3.4 中以工具機之銑床為例，左側之方框代表銑床之加工途程，而右側之方框則為其所對應之資源。



圖 3.4 銑床作業流程與其資源對應關係圖

一般而言，資源數量以裝配工為最多，在生產過程中也耗用最多工時，而且在裝配工之裝配過程中需經由台面劃花、電氣工之佈線測試及雷射補

正機台之精度校正等動作，因此在工具機業之製程上，裝配工具有製程迴流之特性，如圖 3.4 中所示，裝配工需經二次迴流，因此需輔以二個間隔緩衝以保護同一製令之前後受限產能工序。

不論受限產能緩衝、間隔緩衝或是出貨緩衝，其計算方式皆是由後往前推算，而且以非受限產能工序之工時累計乘以其所屬之乘數，但由於每張製令之待排程工序不一定由該製令所生產產品的第一個工序開始，因此若待排程工序在第一個受限產能工序之後，該製令即無需設定受限產能緩衝。因此在計算緩衝時，若由前面累計工序之工時，則無法辨別所累計之工序工時需乘以受限產能緩衝乘數或是間隔緩衝乘數。

因此在緩衝計算之演算法設計上，由最後一個工序之工時開始累計，直到遇到第一個受限產能工序之前的累計工時乘上出貨緩衝乘數可得到出貨緩衝。若該製令不具製程迴流特性，則不需再搜尋；若該製令具有製程迴流特性，則必需再往前搜尋，直到搜尋到最後一個受限產能工序之前之工序皆是乘上間隔緩衝乘數。因此，若製令不具製程迴流特性，則只需搜尋 1 個受限產能工序，即計算可得出貨緩衝及受限產能緩衝。在一完整製令下，若具製程迴流特性，則搜尋  $(c - 1)$  個受限產能工序，並可得  $c$  個緩衝，其中  $c$  表緩衝的總數量。如下圖 3.4 為緩衝計算之流程圖，詳細步驟說明如下。

- 步驟1. 由第一張製令開始計算，設定初值  $mo = 1$ 。
- 步驟2. 由第  $mo$  張製令最後一個工序開始，往前搜尋受限產能工序，因由後往前搜尋，故設定初值  $op = k$ 。
- 步驟3. 因演算法設計上，由後往前推，因此設定緩衝編號之初值為最後一個緩衝(出貨緩衝)，即  $i = c$ 。
- 步驟4. 每計算一次緩衝即將前段累計之非受限產能工序工時歸零。
- 步驟5. 判斷該製令是否為非製程迴流且已計算完出貨緩衝，若是則代表只剩下受限產能緩衝需計算，因此接下來的緩衝乘數編號設定為受限產能緩衝之編號，即  $c = 1$ 。
- 步驟6. 判斷第  $mo$  張製令所生產之產品其第  $op$  個工序所運用之資源是否為受限產能工序。若是則到步驟 6.1；若否則到步驟 6.2。
  - 6.1. 將製令  $mo$  之第  $i$  個緩衝乘數乘上目前累計之非受限產能工序

工時，計算所得即為第  $i$  緩衝長度。

6.2 . 判斷是否已達第  $mo$  張製令之第一個工序，若是則代表製令  $mo$  僅有  $(c - i)$  個緩衝，到步驟 6.2.1；若非則到步驟 6.2.2。

6.2.1 將製令  $mo$  之第  $i$  個緩衝內之總加工工時乘上緩衝乘數即為緩衝長度。

6.2.2 繼續累計第  $op$  個工序工時，直到找到下個受限產能工序。

步驟7. 判斷第  $mo$  張製令所生產之產品其第  $op$  個工序所搜尋到之受限產能工序是否洽為該製令之待排程工序。若是則到計算下一張製令之緩衝；若否則持續往前一個工序搜尋，因此工序編號  $op$  需減 1。而由於先前已找到  $i$  個緩衝，故緩衝編號需再加 1，以搜尋下一個緩衝。

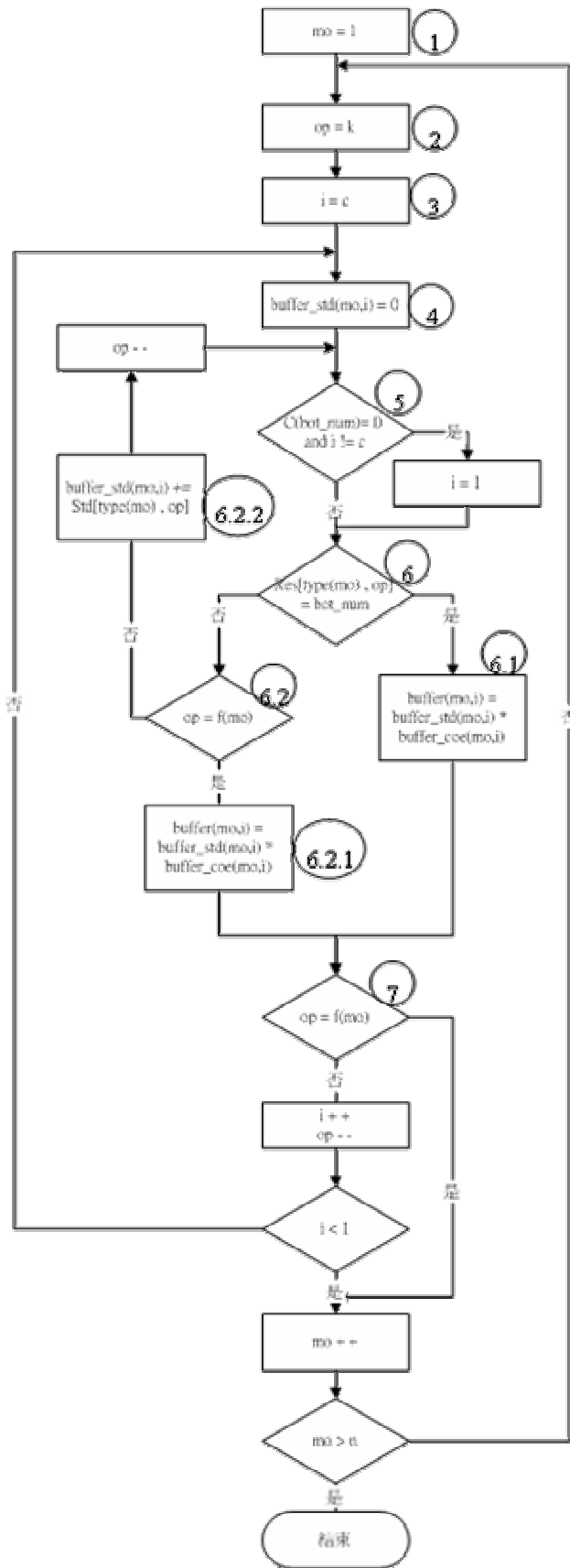


圖 3.5 緩衝計算

### 3.3.3 形成廢墟

廢墟之形成乃是產能受限資源在產能無限之假設下所推演出之受限產能工序理想開工點與完工點。由前一步驟之緩衝計算可得知各製令之出貨緩衝、間隔緩衝及受限產能緩衝。而該製令之交期可依序推算出該製令各個受限產能工序之開工點與完工點。

在演算法設計上，本研究仍採由後往前推之邏輯，以交期依序減去出貨緩衝、間隔緩衝及受限產能緩衝直到該製令之待排程工序。而為簡化計算流程，若製令中任一受限產能工序不存在時，則假設該受限工序之工時為 0，如步驟 5 中若判斷該受限產能工序之工時為 0 時，則代表該製令所有受限產能工序已計算完畢。詳細步驟如下。

- 步驟1. 由第一張製令內之受限產能工序開始放入廢墟，因此設定初值  $mo = 1$ ，此外並設定受限產能工序之流水號為 1，以便記錄各受限產能工序之各項資訊。
- 步驟2. 因為由後往前推算各製令之各受限產能工序之開工時點及完工時點，故必需由該製令之交期開始往前推算，逐次減去各個緩衝，因此設緩衝編號之初值為  $c$ ，而該製令之受限產能工序完工點初值設為該製令之交期。
- 步驟3. 在迴圈開始， $lit\_e$  初值為交期， $i$  初值為  $c$ ，第  $c$  個緩衝即代表出貨緩衝。因此減去交期減去出貨即可得到第  $i$  個受限產能工序之完工時點。而減去第  $(i - 1)$  個受限產能工序之工時，即可得到開工時點。
- 步驟4. 判斷於步驟 3 中計算所得之受限產能工序，其開工點是否等於完工點(即第  $(i - 1)$  個受限產能工序之工時是否為 0)，若是則至 4.1；若否則至 4.2。
  - 4.1 代表第  $mo$  張製令之待排程作業在此受限產能工序之後，不需將此受限產能工序排入廢墟，直接進入下張製令之計算。
  - 4.2 將步驟 3 計算所得之受限產能工序之開工時點、完工時點及其所屬製令記錄到流水號為  $lit\_num$  之受限產能工序，並且令新記錄之受限產能工序之完工點為開工點以便下一受限產能工序之計算。



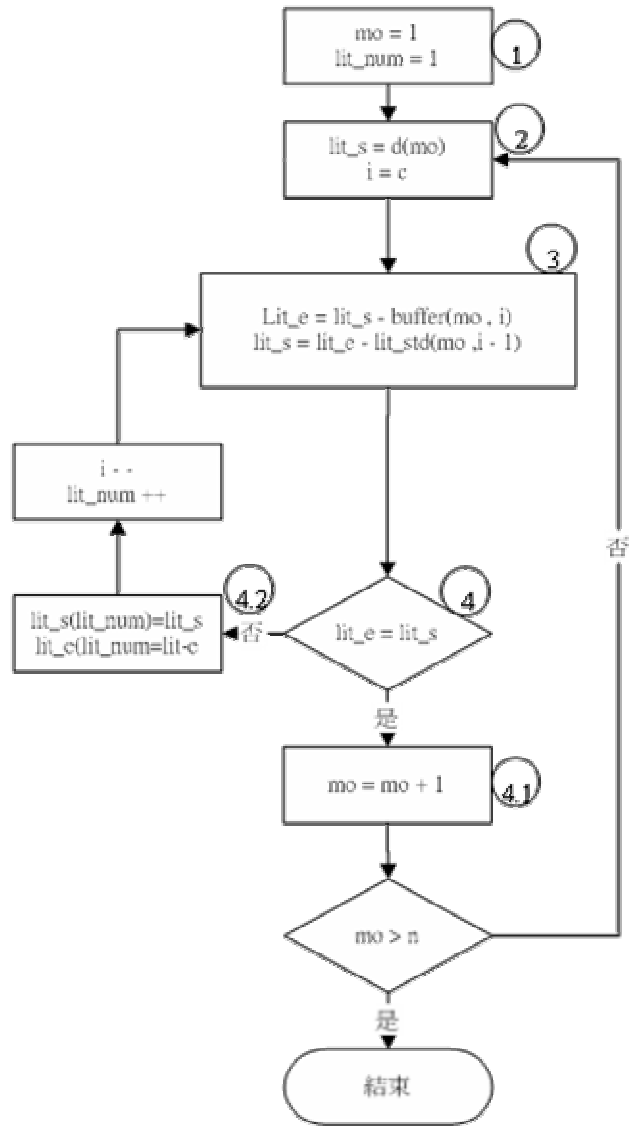


圖 3.6 排入廢墟

### 3.3.4 決定限制驅導節奏

於決定限制驅導節奏前，必須建立各受限產能工序之優先權，以確保優先權較高之受限產能工序作業能儘早地進行，而使受限產能工序作業能依預定的排程順序進行作業。為達上述目的，本研究提出二原則作為優先權排序之依據。

1. 交期較晚，優先權較高：由於採用後推式排程法，因此交期較晚者優先排入。
2. 交期相同時，物料成本較高者，優先權較高：由於工具機業之物料成本佔產品總成本比較高，若能將成本比重相對較高的作業較晚開工，可減低現場發生停工所帶來的損失。

本研究在限制驅導節奏採用後推式排程法，在優先排序完成後，即由最晚交期開始往前依優先權高低置入受限產能工序，若受限產能工序之開工時點在零點之前，則將所有該受限產能工序推至時間點零，而該受限產能工序之後的所有受限產能工序亦順勢向後推移。

本研究在演算法之設計上採用交期延遲最小之原則。為避免受限產能工序之完工時點影響到製令之交期，因此在排入受限產能工序時，需在考慮所有產能受限資源之可排程時點後，若仍未能順利排入，才能考慮調整受限產能工序之完工時點及開工時點。如下圖 3.7 限制驅導節奏演算法示意圖所示，假設經計算得知產能受限資源為 Bot 而其數量有二，圖 3.7(a)代表在產能受限資源下的所有受限產能工序，優先權大小由上而下排列，其中方格長度代表加工時數，而括號左邊數字代表開工時點，右邊代表完工時點。由上而下分別是(60,100)、(60,85)、(50,70)及(10,50)。

在未經修正的前提下，依序取出優先權較高之兩個受限產能工序依序置入 Bot1 及 Bot2，在進行到第三個受限產能工序時，因為與已置入之受限產能工序發生衝突，如圖 3.7(b)及圖 3.7(c)中(50,70)在排入 Bot1 時與(60,100)發生衝突，另外，圖 3.7(c)中(50,70)在排入 Bot2 時與(60,85)亦發生衝突。因此，必須修正第三個受限產能工序之開工時點與完工時點，如圖 3.7(d)，修正後第三個受限產能工序指派到 Bot1，而其開工點及完工點為(40,60)。最後，取出第四個受限產能工序，由於未發生排程時點的衝突，所以不需調整，直接置入 bot2 中，如圖 3.7(e)所示。

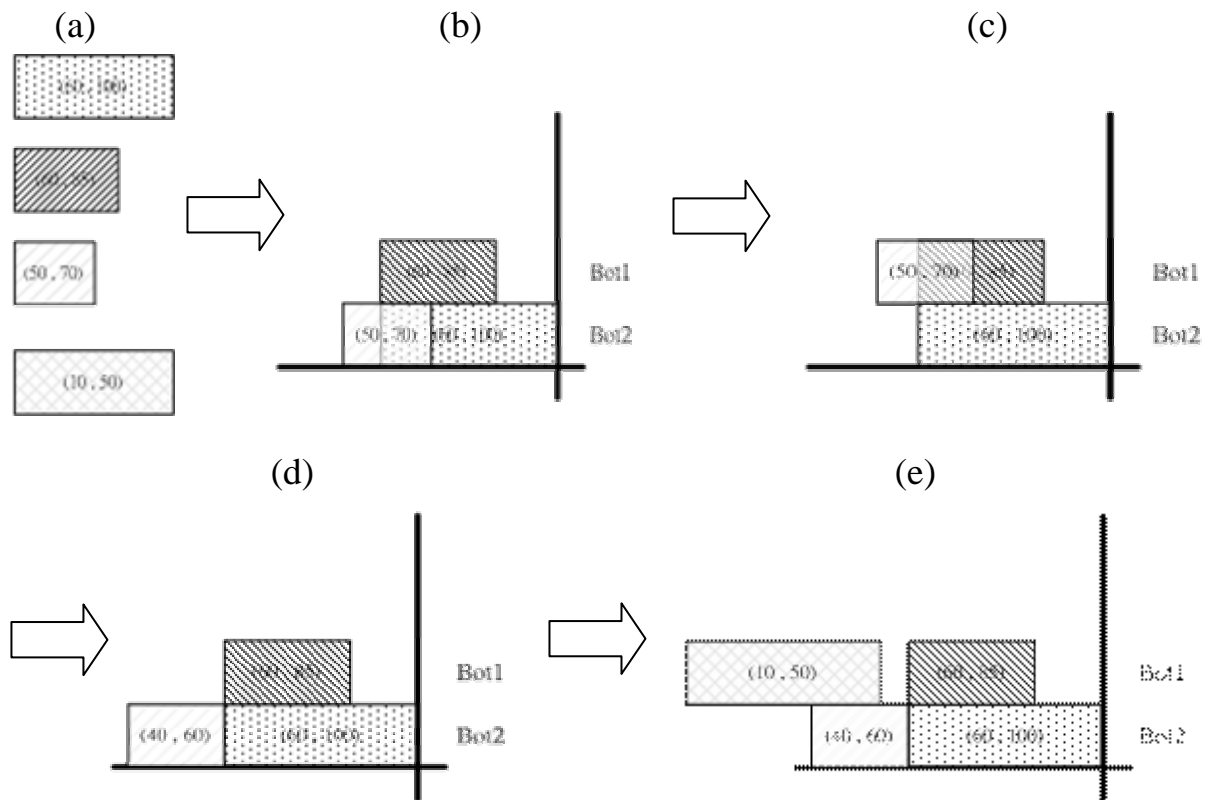


圖 3.7 限制驅導節奏演算法示意圖

由於範例仍未能考慮所有可能狀況，因此以下將以較詳盡之流程圖進行說明，限制驅導節奏之決定之過程，但由於其過程較為繁複，因此將完整之流程拆為圖 3.8 及圖 3.9。在圖 3.9 主要目的在於將開工時點落於零點之前的受限產能工序推移至零點，並作其影響所及之所有受限產能工序之調整。詳細步驟說明如下。

- 步驟1. 由於優先權經過排序後編號越小之受限產能工序其優先權越高，因此設定受限產能工序流水號  $lit\_num = 1$ ，即由優先權最高的受限產能工序開始排入。
- 步驟2. 設定所有產能受限資源可排程時點之初值為受限產能工序集合中最晚完工時點，目的在於讓所有受限產能工序在置入限制驅導節奏時，有一比較的基礎。
- 步驟3. 由第一個產能受限資源開始置入，因此設定  $j = 1$ 。
- 步驟4. 判斷第  $lit\_num$  個受限產能工序之完工時點是否晚於第  $j$  項產能受限資源之可排程時點，若非，至步驟 6；若是，則至步驟 7。
- 步驟5. 因為  $lit\_num$  個受限產能工序之完工時點未晚於第  $j$  項產能受限資源

可排程時點，代表第  $lit\_num$  項受產能可直接置入在第  $j$  項產能受限資源上已被指派之前一項受限產能之前，且需進行下列 5.1 至 5.2 之步驟。

5.1 修正第  $j$  項產能受限資源可排程時點為此受限產能工序之開工時點，代表下個受限產能工序若要置入此產能受限資源，必需在此受限產能工序之開工點之後。記錄此項受限產能工序之開工時點、完工時點、製令編號及其所屬產能受限資源，記錄所屬產能受限資源之目的乃為後續若有受限產能工序需調整時，能找到該受限產能工序影響所及之所有受限產能工序。最後將  $lit\_num$  計數加 1，測試下一項受限產能工序。

5.2 將  $j$  計數加 1，並且測試  $j$  是否已達資源總數，若是，則必須再從第 1 項開始；若非，則下一受限產能工序仍由第  $j$  項產能受限資源開始測試。

步驟6. 因為  $lit\_num$  個受限產能工序之完工時點晚於第  $j$  項產能受限資源可排程時點，後續步驟如下。

6.1 因為第  $lit\_num$  項受限產能工序無法直接置入第  $j$  項產能受限資源，因此  $j$  計數加一，測試第  $j+1$  項產能受限資源，直到所有產能受限資源皆無法置入時，則至步驟 6.2 進行調整。

6.2 為使調整後的結果對整個限制驅導節奏之影響降到最小，必需找出目前產能受限資源集合中可排程時點距離時間點 0 最遠的產能受限資源作為調整之標的，因此在找出距離時間點零最遠的產能受限資源後，記錄其產能受限資源流水號為  $j$ 。其中  $max$  為找出受限資源可排程時點最大值之暫存值，而  $temp$  為搜尋產能受限資源可排程時點最大值過程中之迴圈運算子，最小值為 1；最大值為  $quan(bot\_num)$ 。

6.3 因為所有產能受限資源皆無法直接置入，因此第  $lit\_num$  必需提早開工。修正第  $lit\_num$  個受限產能工序之完工時點為第  $j$  個產能受限資源之可排程時點。因此第  $lit\_num$  個受限產能工序之完工時點減去其加工工時即得到其開工時點。該受限產能工序已獲得調整，因此可置入限制驅導節奏，因此要將第  $j$  項產能受限資源之可排程時點修正為第  $lit\_num$  個受限產能工序之開工

時點，並且記錄此項受限產能工序之開工時點、完工時點、製令編號及其所屬產能受限資源流水號。

6.4 判斷是否已將所有受限產能工序置入限制驅導節奏，若非則再由第  $lit\_num$  開始置入；若是前往下一步驟進行排程之合理化。

由於當受限產能工序之完工時點與前一受限產能工序之開工時點發生衝突時，必須將該受限產能工序向前推移，造成排程結果有可能會落於時間點 0 前之不合理情況。因此，為了合理化排程，必需將落於時間點 0 之受限產能工序向後推移至時間點 0 之後，而該受限產能工序所屬之產能受限資源之所有受限產能工序之開工時點與完工時點亦必需隨之向後推移，合理化之流程如圖 3.9，詳細步驟說明如下。

- 步驟1. 由第一個受限產能工序開始，判斷該受限產能工序之開工點是否落於時間點 0 之前。若是則至步驟 2；若非則繼續測試下個受限產能工序。
- 步驟2. 記錄需合理化調整之受限產能工序所屬之產能受限資源為  $j$ 。而合理化調整之距離則以時間點 0 減去第  $lit\_num$  項受限產能工序之開工時點，並記錄  $temp1$  為所需調整之距離。
- 步驟3. 再由第一個受限產能工序開始，尋找產能受限資源流水號屬於  $j$  之所有受限產能工序，若是，則將受限產能工序之開工時點及完工時點各加上  $temp1$  並且記錄此項受限產能工序最終之開工時點、完工時點及製令編號。其中  $temp2$  為搜尋屬於第  $j$  項產能受限資源之所有受限產能工序之迴圈運算子。
- 步驟4. 判斷是否已測試完所有受限產能工序，若是代表已完成所有限制驅導節奏；若非則繼續測試下一個受限產能工序。其中  $p$  為製令集合內受限產能工序之總數量。

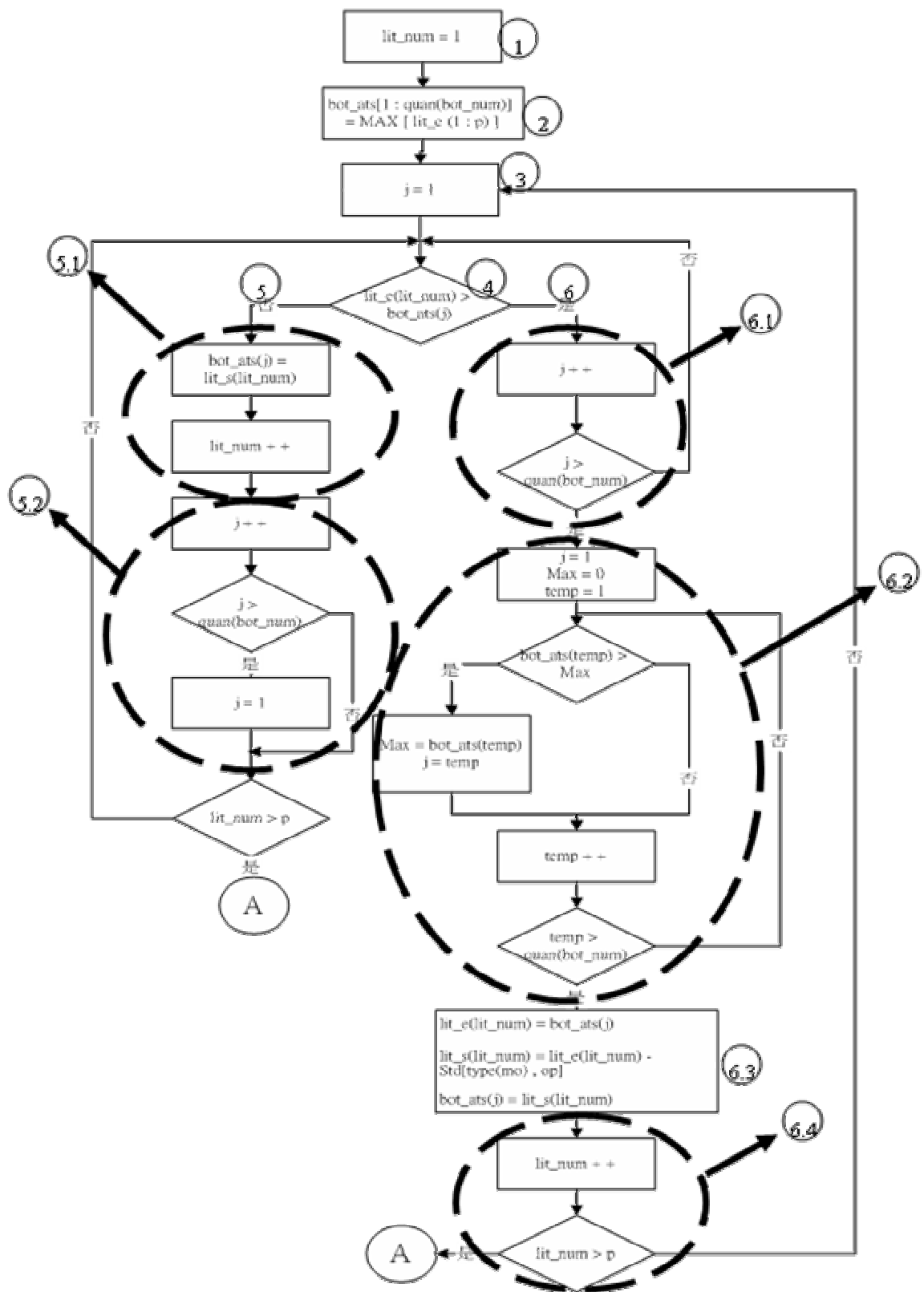


圖 3.8 限制驅導節奏之決定 a

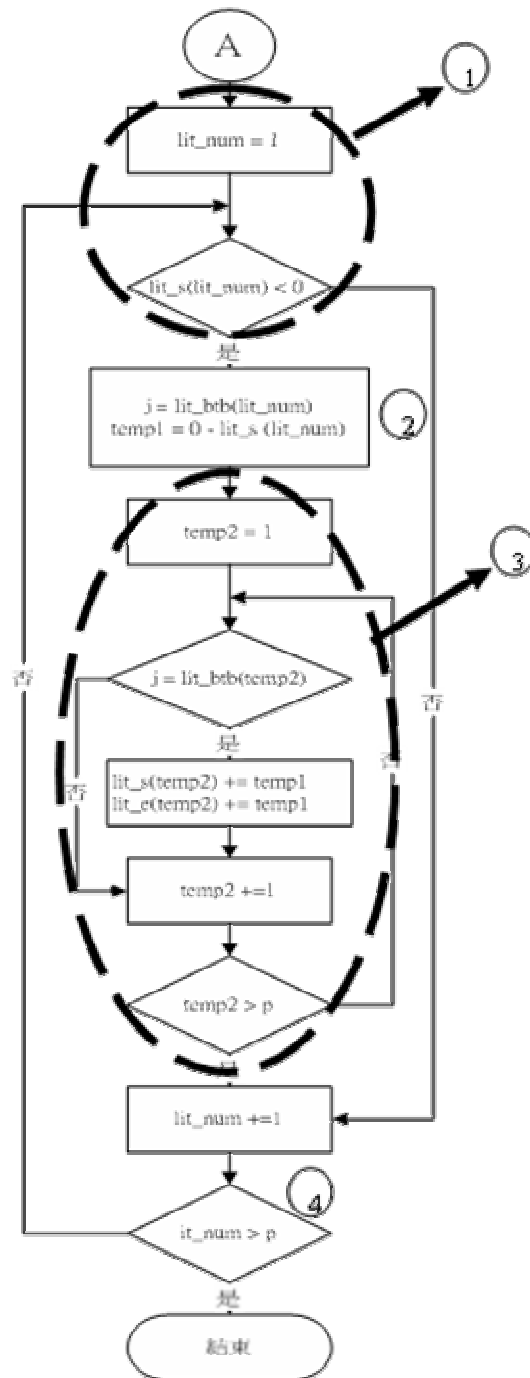


圖 3.9 限制驅導節奏之決定 b

### 3.4 供料規劃模組

本節之目的在於以關鍵零組件供料限制的觀點來修正排程。在第 3.3 節中所提出之排程架構，乃假設所有物料能及時到現場。但以工具機業而言，並非所有的物料皆能適合此假設條件，因此若假設所有之物料皆能及時到達現場，將會造成排程執行後，現場無料可用的情況，而且工具機業之物料成本佔其總產品成本比重約六至七成。因此，為了能讓排程結果可以更

順暢的被執行，以避免不必要的備料，本研究在限驅導式排程中考量關鍵零組件之供料限制。在第 3.4.1 節中說明如何利用發料模擬的結果，以檢視欠料的工序。而欠料的結果，將交由第 3.4.2 節中之關鍵零組件供料限制查核，彙整關鍵零組件欠料之數量，以進行第 3.4.3 節之緊急採購程序，在進行緊急採購後，若仍有製令有關鍵零組件欠料時，則必需將該製令置入待處理製令集合中，或重新與客戶洽商交期等動作，並且將最後無關鍵零組件欠料之所有製令進行重排程。

### 3.4.1 發料模擬

發料模擬之目的在於藉由投料點的設定，事先模擬物料或零組件之供料情況，以求及時為欠料作出反應時採取行動。以工具機業而言，由於其產品之生產時程較長，且生產過程以裝配為主，在投料點之設定上，乃是將訂單交期減去該製令之所有加工時間以求得投料點，而以生產時程一個月而言，該製令的所有物料皆必須堆放於現場一個月。這樣的作法，不但管理不易，而且也會造成現場之在製品存貨相對較高。

相對於目前之作法，Schragenheim and Ronen(1990)認為可藉由產能限制資源的排程時間減去時間緩衝，而得到訂單投入時間。但工具機業乃以裝配為主，會有許多物料及零組件在生產過程中不斷投入。因此結合 Schragenheim and Ronen(1990)及工具機業所需，本研究考慮受限產能緩衝及間隔緩衝，而由於非製程迴流時只有受限產能緩衝及出貨緩衝，因此當非製程迴流時只考慮受限產能緩衝。在投料點之設定上，由受限產能工序之開工時點減去其上游之時間緩衝，例如第一個受限產能工序之上游緩衝即為受限產能緩衝，而第二個受限產能工序之上游時間緩衝即為第一個間隔緩衝。依此類推，若有  $c$  個受限產能工序，則第  $c$  個受限產能工序之上游緩衝即為第  $c-1$  個間隔緩衝，而其下游緩衝即為出貨緩衝。

如下圖 3.10，假設共有二張製令。製令 1 有七個工序；製令 2 有八個工序，兩製令之製程中皆需經過二個瓶頸資源，分別是 2、5 及 3、7 工序，且假設受限產能工序間並無發生衝突。製令 1 之第 2 個工序為第一個受限產能工序，因此其上游之時間緩衝為受限產能緩衝，工序 2 之開工時間減去其受限產能緩衝，可得投料點的時間點 1，需發送第 1、2 工序的物料，且於第一天投料；製令 2 之第 7 個工序為二個受限產能工序，因此其上游



之時間緩衝為第一個間隔緩衝，工序 7 之開工時間減去第一個間隔緩衝，可得投料點時間點 6，需發送第 4、5、6、7 工序的物料，且於第三天投料。

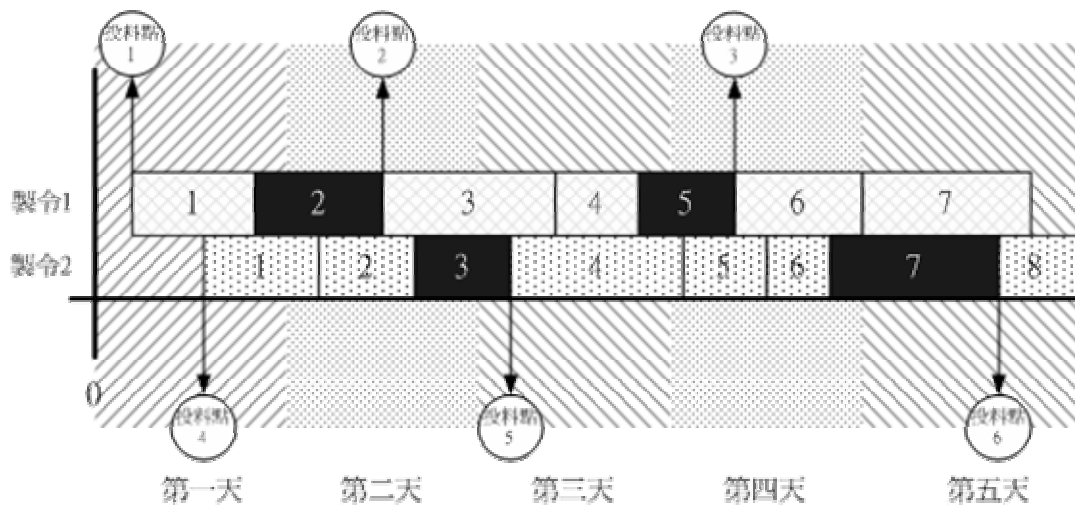


圖 3.10 發料模擬示意圖

上述例子中的發料結果是建立在受限產能工序間未發生衝突的假設下。但一般工具機廠一天所需處理的製令不下上百件，若產能受限資源又具製程迴流特性，則受限產能工序間就很難不發生衝突的情況。當受限產能工序發生衝突時，依據限制驅導式排程方法，優先權較低之受限產能工序必需調整，而其投料點當然亦隨之調整。

製令中之前一個受限產能工序加工完成之在製品相當於其後受限產能工序所需之物料，然而投料點的調整可能會造成前一受限產能工序之完工點與後一受限產能工序之投料點不相等的情况，而其中的差異則可利用兩受限產能工序之間的時間緩衝吸收。

由於工具機業目前並無排程系統輔助發料模擬，因此在實務作法則利用固定召開的產銷協調會議，會議中會決定各製令之排程時點，此時採購部門再藉由物料需求規劃(Material Requirement Planning; MRP)求算庫存及建議採購量。但由於工具機業的物料種類、尺寸及規格較為繁雜，又在要求高精度下，其異常情況相當頻繁，如規格尺寸不符、加工或裝配失當所造成的物料瑕疵等因素。因此必需藉由不斷的模擬以早一步預知物料之需求情況，本研究將發料的模擬單位預設為每日，也就是每日搜集投料點，採購部門可依據投料點所提供物料資訊，作出採購決策。

### 3.4.2 關鍵零組件供料查核

藉由發料模擬可得知各工作日之物料需求，但物料之需求須搭配物料之供給才能確保各受限產能工序可以如期執行而不會閒置。因此本研究在限制驅導節奏完成後，進一步考慮物料及零組件之供料時程，以提升已計劃排程之可行性。

台灣之工具機產業素以衛星體系聞名於世，大部份物料在鄰近的衛星工廠支援下，下單到入廠的前置時間相當有彈性，在發現欠料時仍可藉由向鄰近工廠緊急採購，以避免斷料。亦有部份物料採用供應商存貨代管模式 (Vendor Inventory Management ; VMI)，藉由供應商備料以在欠料時可隨時取用。因此大部份供應商(即衛星工廠)在欠料時皆能有效配合中心廠之排程所需，但仍有部分物料，因為前置期長、金額高或供應商強勢造成供料上的限制，而此類物料通常在製程中佔有重要的地位，故稱之為關鍵零組件。因此若能將物料管理的重點置於關鍵零組件，才能獲得最大效益。

因為關鍵零組件之前置期大多長於產品之生產週期，需以預測方式進行備料，工具機業者對於關鍵零組件的備料方式與其它物料及零組件並不相同。如下圖 3.11 所示，非關鍵零組件之物料或零組件藉由產銷協調會議將決定各個訂單中的產品於何時生產，即主生產排程，而主生產排程亦將各訂單中產品的開工資訊輸入到物料需求規劃系統中將各產品所需之物料展開，然後交由非關鍵零組件的採購人員進行採購。不同於非關鍵零組件的備料方式，關鍵零組件之需求並不需經由主生產排程及物料需求規劃系統展開物料，而是直接在產銷協調會議中決定各關鍵零組件之需求數量及訂購時點。

關鍵零組件在供料上之限制，造成由主生產排程所衍生之現場排程與關鍵零組件之供料時程無法完全吻合，只能在產銷協調會議時作粗略之估計，因此關鍵零組件經常發生欠料，而工具機業者在面臨關鍵零組欠料時會有下列四種可能的情況：

1. 更換為現有之庫存關鍵零組件：經由業務部門與客戶協調是否願意更改關鍵零組件之品牌或規格等其它內容。
2. 同業借調：一般而言，此途徑較不為業者所採用，可行性並不高，且借調時需支付費用相當高昂。但業者在面對重要訂單時，仍會採用此途徑。

3. 緊急採購：需視供應商之配合度，部份供應商無法提供緊急採購之需求，因此非所有關鍵零組件皆能進行緊急採購。
4. 取消訂單：經由業務部門與客戶協調失敗後，客戶直接取消訂單。

以上四種情況中，在第 1 及第 2 種情況由於必須改變關鍵零組件之規格，本研究討論之範圍並未涉及零組件之規格，因此不列入物料規劃考慮。

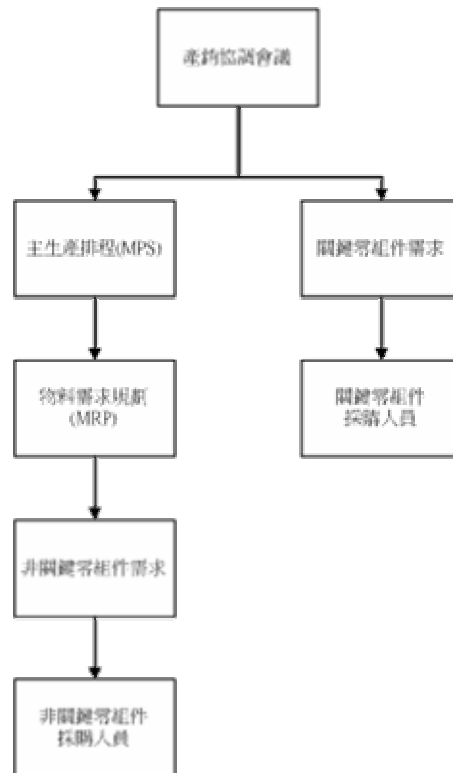


圖 3.11 關鍵零組件備料示意圖

在考慮關鍵零組之供料限制下，由於關鍵零組件是產品能順利出貨的必要條件，因此當關鍵零組件的需求數量大於供給數量時，就面臨了關鍵零組件該如何給分配製令的問題。因此，為了將有限的關鍵零組件作最有效的分配以減少抽單造成的損失，本研究利用兩項指標建立製令之優先權。

1. 製令完工比例：為追求最大產出，製令完工的比例較高者其優先權較高，計算方式為待排程製令除以最後一個工序之工序編號。
2. 產品利潤：若兩製令之完成百分比相同時，則以該製令所生產之機台利潤作為關鍵零組件的分配指標，利潤較高者其製令優先權較高。

在製令優先權排序後，即依照優先權之高低依序查核各製令之關鍵零組件欠料情況。如圖 3.12 所示，主要步驟如下。

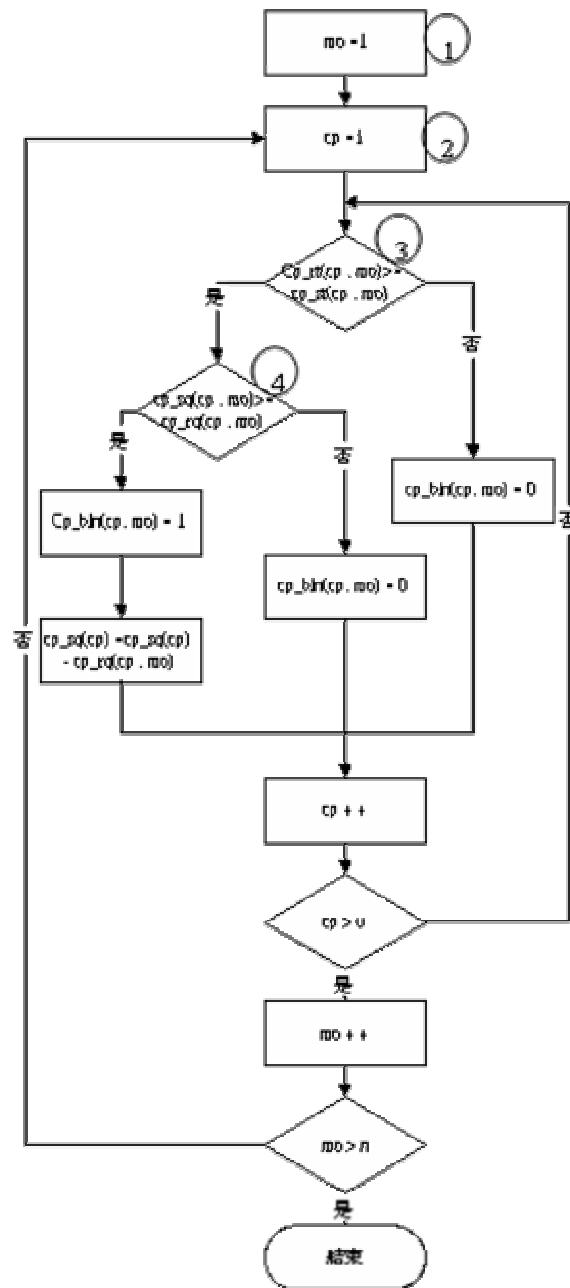


圖 3.12 關鍵零組件查核

- 步驟1. 在經由製令優先排序後，由第一張製令開始進行查核。
- 步驟2. 由第一張製令第一項關鍵零組件開始查核，設定關鍵零組件編號為 1。
- 步驟3. 判斷第  $mo$  張製令之第  $cp$  項關鍵零組之需求時點是否晚於其供給時

點。若是，則記錄該關鍵零組件為欠料；若非，則至步驟 4。

步驟4. 在判斷供料時程可符合後，須再判斷於該時點是否有足夠數量可供給。若是，則記錄第  $mo$  張製令之第  $cp$  項關鍵零組可及時到料，並且記錄該關鍵零組件之庫存數量需扣除已分配於第  $mo$  張製令之需求量。

### 3.4.3 關鍵零組件之緊急採購程序

在經由關鍵零組件查核之後，可以得知有欠料之製令。然而此時若與客戶洽談展延交期或直接取消製令，將會大幅降低客戶之滿意度，因此本研究在確認有關鍵零組欠料的製令後，即採取緊急採購程序，試圖藉由緊急採購時，交期的壓縮，以在已欠料之關鍵零組件所屬工序開工前及時到達現場進行裝配或加工。

經由關鍵零組件查核之後，可以得知各製令中各關鍵零組件欠料的數量，在進行緊急採購時程序時，則先累計各關鍵零組件欠料之數量，並以模擬的方式進行緊急採購。因此，可將所有欠料之關鍵零組件之前置期壓縮為緊急採購時之前置期。最後再依據模擬緊急採購後的關鍵零組件供料時程與數量進行查核，此時若再有任一製令有關鍵零組件之欠料，則將該製令置入待處理製令集合中，而其餘無關鍵零組件欠料之製令則進行重排程。如圖 3.13 所示，主要步驟如下。

步驟1. 在經由製令優先排序後，由第一張製令開始進行查核。

步驟2. 由第 1 張製令第 1 項關鍵零組件開始進行緊急採購程序，設定關鍵零組件編號為 1。

步驟3. 判斷第  $cp$  項關鍵零組件是否可進行緊急採購。若否，則代表第  $mo$  張第  $mo$  張製令將有關鍵零組件欠料，無法順利出貨，因此將該製令置入待處理製令集合；若是，則至步驟 4。

步驟4. 判斷第  $mo$  張製令之第  $cp$  項關鍵零組之需求時點是否晚於其緊急採購之供給時點。若否，則代表第  $mo$  張第  $mo$  張製令將有關鍵零組件欠料，無法順利出貨，因此將該製令置入待處理製令集合；若是，則至步驟 5。

- 步驟5. 在判斷若以緊急採購壓縮前置期後之供料時程符合後，須再判斷於該時點在緊急採購下(即原本之庫存數加計緊急採購之數量)，是否有足夠數量可供給。若否，則代表第  $mo$  張第  $mo$  張製令將有關鍵零組件欠料，無法順利出貨，因此將該製令置入待處理製令集合；若是，則記錄第  $mo$  張製令之第  $cp$  項關鍵零組在經由緊急採購下可及時到料，並且記錄該關鍵零組件之庫存數量需扣除已分配於第  $mo$  張製令之需求量。
- 步驟6. 當第  $mo$  張製令之所有關鍵零組件在經由緊急採購下檢查關鍵零組欠料後，未有關鍵零組件欠料，則將該製令置入重排程製令集合中。
- 步驟7. 當所有製令皆檢查完畢，即產生重排程之製令集合。因此即可利用第 3.3 節中之排程模組將此集合中之所有製令進行重排程。

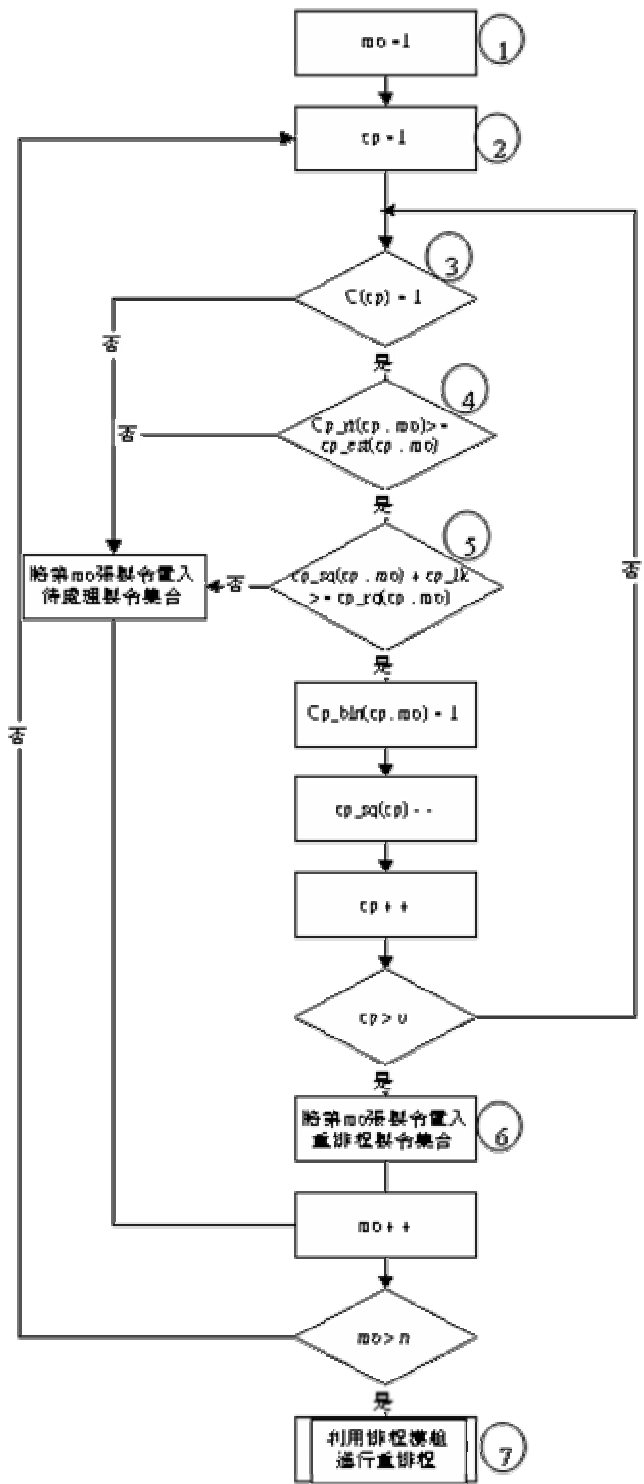


圖 3.13 緊急採購程序

## 第四章 範例說明

本章目的主要以個案公司所提供之實際範例套用於本研究所提出之排程系統，並以使用者觀點說明在關鍵零組件欠料下對於排程結果之影響。本章於第 4.1 節說明套於用排程系統之基本資料，如資源資料、途程資料、物料清單及個案公司之關鍵零組件特性說明。

由於工具機業部份資源具有製程迴流特性，而計算所得之產能受限資源若具製程迴流時，其計算過程皆較不具製程迴流下複雜許多。因此，在範例說明中若以製程迴流為例，將可解釋最多可能之情況。第 4.2 節中討論排程模組於製程迴流情況下之範例。最後，在 4.3 節中針對排程系統中可供使用者自行輸入之參數，分析在不同參數組合下對排程結果的影響。

### 4.1 基本資料說明

個案公司所生產之產品涵蓋車、銑、磨床及 CNC 綜合加工機，由於銑床課佔該公司營業比重最高，因此本研究即以銑床課之四種系列機種作為排程之模擬資料，分別以 type1、type2、type3 及 type4 稱之。

#### 4.1.1 資源基本資料

目前可運用於銑床課之資源有鑄件加工機台 3 台、噴漆工 3 名、裝配工 5 名、電氣工 6 名，雷射補正機台 1 具及出貨工 1 名。其中裝配工在四種系統機種中，皆具有製程迴流特性，以下就各個資源分別說明其所負責的作業。

1. 鑄件加工機台：主要負責鑄件粗胚在入廠後進入粗精銑的工作。
2. 噴漆工：依據客戶訂單內容為鑄件漆上顏色。
3. 裝配工：其主要任務是將採購及外包之零件組裝成完成品。
4. 電氣工：將自動化的零件如繼電器、馬達、油壓與控制器連線。
5. 雷射補正機台：雖然裝配工會於裝配過程中進行簡易的精度校正，但由於無法以人工方式判斷產品整體精度是否合乎標準，因此必須仰賴雷射補正進行精度之校正。
6. 出貨工：主要負責產品出貨之封箱作業，而在封箱過程亦必須依據客戶之訂單內容，於箱內置入客戶所需之附件。



## 4.1.2 產品結構

產品結構又稱物料清單(Bill of Material , BOM)，是排程系統及物料規劃之主要輸入項目。BOM 是由工程部門設計確定，但其功能卻不限於工程部門，也是銷售、工程、品質管制、生產及物料管理及成本會計等必須參考的重要文件(曾渙釗，1995)。

曾渙釗(1995)將 BOM 在使用上，分為六種基本形式及六種其它應用形式。在基本形式中，前三項是以父項為主，由下列出子項；而後三項則是以子項為主由上列出父項。

基本形式：

1. 單階用料清單(Single-level Bill of Material)

以父項為主，由上而下列出下一階子項。

2. 多階用料清單(Multi-level Bill of Material)

以父項為主，由上而下展開，列出所有子項。

3. 彙總用料清單(Summarized Bill of Material)

以父項為主，將組成成品或最終項目的各階零組件，不論其關係是父項或子項，全部都列出來。

4. 單階用處單(Single-level Where Used Bill)

以子項為主，由下而上列出上階父項。

5. 多階用處單(Multi-level Used Bill)

以子項為主，由上而下展開，列出所有父項。

6. 彙總用處單(Summarized Used Bill)

以子項為主，將組成成品或最終項目的各階零組件，不論其關係是父項或子項，全部都列出來。

其它應用形式：

1. 幻象用料清單(Phantom Bill of Material)

在一個 BOM 裡，有時候有些項目彼此之間沒有直接製造的關係，也不是一個半成品，但若將它們在 BOM 裡集合一齊列出，以一個料號來代表幾項物料，較為方便處理；這代表的料號就是幻象的項目。

## 2. 模組化 BOM(Modular bill of Material)

將半成品視為最終項目，其階碼訂為零，而不是一。

## 3. 計劃用清單(Planning Bill)

主要目的在於方便作計劃和控制，經過模組化的動作之後，用料清單就不再根據零階的製成品來做，而代以原來第一階或少數第二階的項目來作用料清單，這樣的清單適合做預測、主生產排程及物料需求計劃。

## 4. 製造用清單(Manufacturing Bill)

簡稱 M-BOM，作為最後裝配使用，它指出有哪些項目為執行最後裝配的計所需要

## 5. 虛擬的用料清單(Pseudo Bill)

主要目的在便利計劃，可改善模組化 BOM 預測項目過多的缺點。其作法就是將每一組的模組給予一個虛擬的父項，然後以此父項作為主生產排程項目。

由於各個部門對於 BOM 的需求不同，因此也依其需求採用不同形式之 BOM，甚至作出修出以更貼近需求。例如，以個案公司而言，在其資訊系統中，並無建置排程系統，因此目前主要使用之 BOM 乃以採購部門之備料為主。其形式類似於上述其它應用形式之幻象用料清單，如圖 4.1 所示。

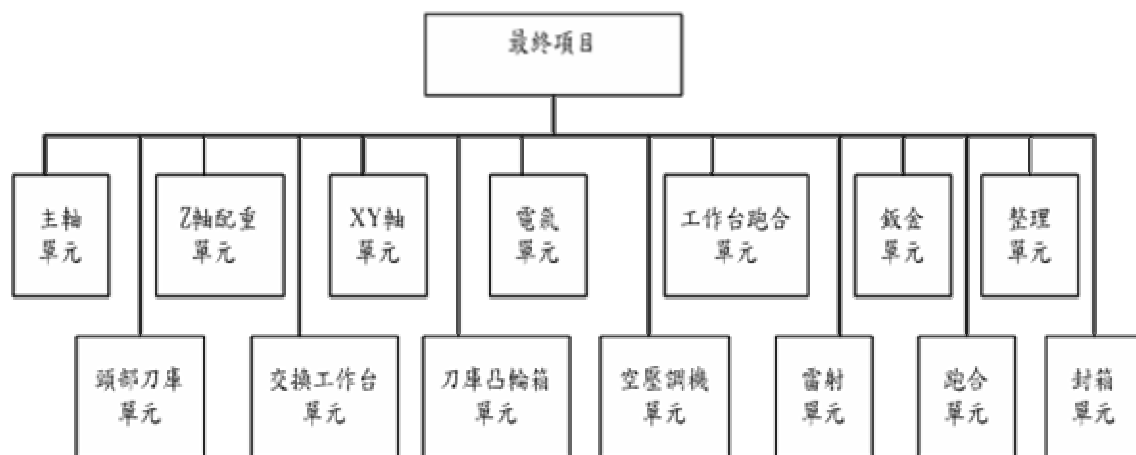


圖 4.1 銑床物料清單

圖 4.1 中所包含之項目，部份為動作，如跑合單元及雷射單元等，不需用到物料。部份為半成品，在其底下仍有子項之物料或零組件。其各個項目間並無絕對之製程先後順序，並不適用於排程系統，因此本研究參考個案公司現有之物料清單以及機台裝配說明說書，設計適用於排程之作業流程圖，如圖 4.2 所示。

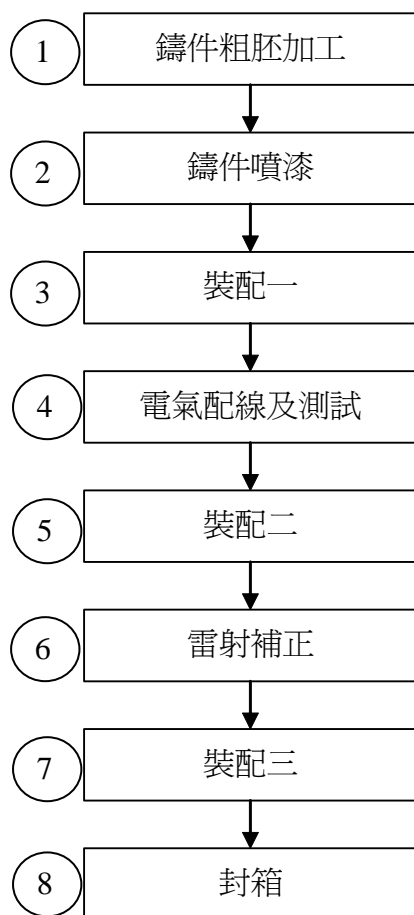


圖 4.2 銑床作業流程圖

若依個案公司原始之裝配說明書之定義，其產品架構為樹枝狀之途程，但為簡化排程之複雜度，本研究將其簡化為循序式之途程，並且與個案公司原設定標準工時作對應，各系列機種對應結果如下表 4.1。

表 4.1 中各系列機種皆需經過八個工序加工或裝配，type4 由於為較大型之產品，總工時最長；而 type1 及 type2 則為較小型之產品。

表 4.1 工序標準工時

	Type1	Type2	Type3	Type4
鑄件粗胚加工	34	34	40	41
鑄件噴漆	17	14	16	20
裝配一	93	77	85	101
電氣配線及測試	12	12	12	12
裝配二	6	8	8	8
雷射補正	6	6	6	6
裝配三	27	20	42	31
封箱	2	2	2	2
總計	195	171	209	219

### 4.1.3 關鍵零組件之挑選

工具機產業由於物料種類繁多，而物料與物料之間的特性亦具有相當程度的差異，例如前置時間、物料成本、技術層次及標準化程度等特性。因此若在排程上未能考慮關鍵零組件的限制，除了造成排程無法順利執行，更會提高現場的在製品存貨。

在本研究架構下，關鍵零組件一但欠料就無法繼續生產，需將欠料的製令置入待處理製令，或直接取消。因此關鍵零組件的挑選影響了排程的好壞，若挑選的關鍵零組件過多會造成訂單的流失；過少，卻又無法達到修正排程之效果。關於關鍵零組件之定義，在不同觀點下會有不同詮釋。因此本研究在挑選個案公司之關鍵零組件時，先採用二項量化的指標作為挑選關鍵零組件之原則。

#### 1. 前置期長：

前置較長之物料主要原因可能來自於必需仰賴進口或是製程時間較長使然。然而這兩個原因造成在發生欠料時，並無法利用緊急採購，或者緊急採購的成本相當高，使得一但欠料就必需停工。一般而言，工具機產品之生產周期約為 30 天，而大部份物料之前置期亦多低於 30 天，若前置長於此生產周期，即代表無法以確定訂單進行生產，必需以預測方式進行備料，也提高欠料的可能性。因此本研究於範例產品的物料中挑選出前置期長於 30 天的物料，共有八項。篩選結果如下圖 4.3。

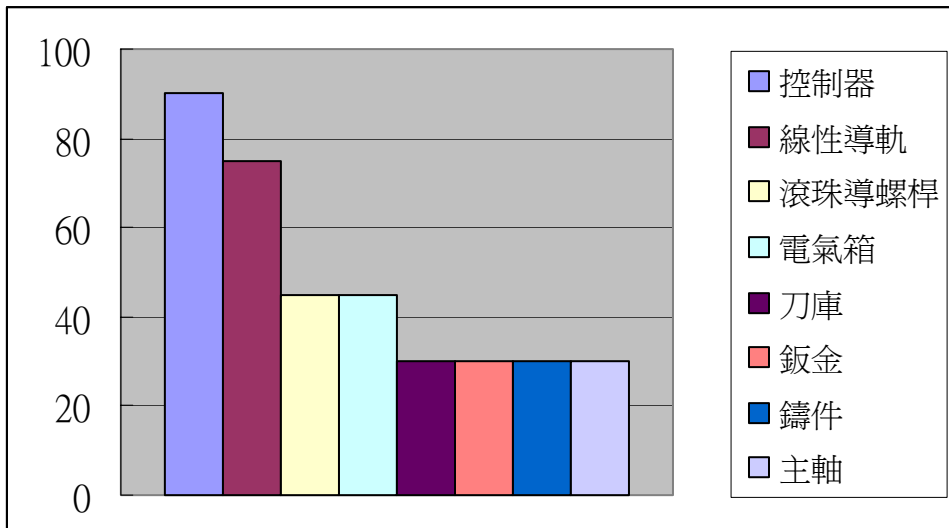


圖 4.3 關鍵零組件前置期

## 2. 金額高：

金額較高的物料會使得工具機業者必需付出較高的成本來備料，因此金額較高的物料，通常無法以提高庫存水準因應欠料風險。下圖 4.4 為此八項關鍵零組件金額佔產品比重。

工具機業之物料成本多集中於部份物料上，如在本研究所挑選的範例機台中，共有 850 項物料，其中金額佔產品比重低於百分之一的物料有 839 項。因此本研究將金額佔產品比重高於百分之一的物料與前置期高於 30 天之物料交叉比對，篩選出八項關鍵零組件，分別為控制器、線性滑軌、滾珠導螺桿、電氣箱、刀庫、鈹金、鑄件以及主軸。

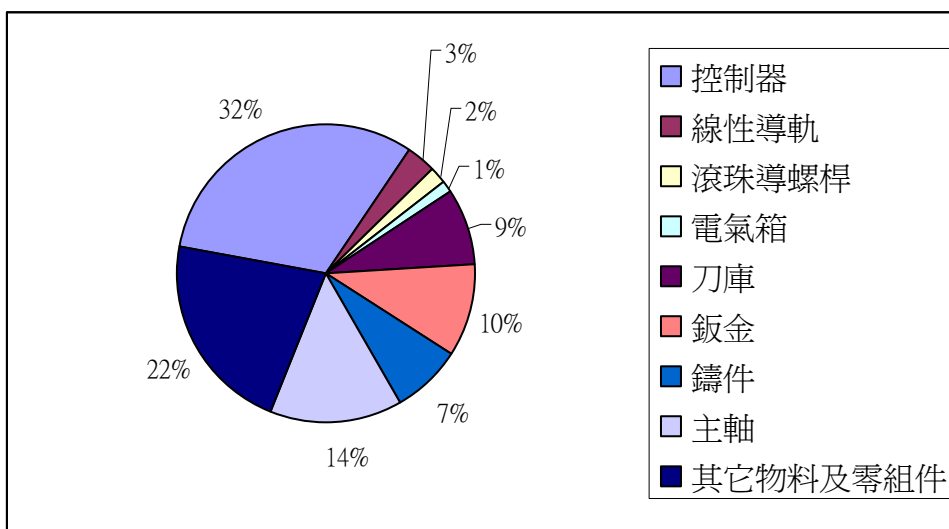


圖 4.4 關鍵零組件金額佔產品比重

依據本研究所定義之指標所篩選出之八項關鍵零組件，針對此八項關鍵

零組件與個案公司訪談，以了解其特性，歸納如下。

1. 控制器：主要功用在於設定工具機台進行加工的動作，包括控制面板、控制器及軸向馬達。其主要特性有前置期長、金額高及供應商強勢等。控制器由於技術層次較高，生產控制器之廠商數量並不多，而形成獨大的形勢，因此其在供貨策略上較不願配合單一工具機廠。因此一般工具機廠並無法要求此類物料之供應商事先備料以因應欠料所需。
2. 線性導軌：為三軸之移動軌道。工具機之產品依客戶之加工需求不同有分為線軌及硬軌。線軌之加工速度較快，但切削力較差，適用於輕加工而硬軌加工速度較慢，但切削力較強適用於重加工。
3. 滾珠導螺桿：當控制器將工件或刀具之移動距離傳遞於軸向馬達時，需藉由滾珠導螺桿推動三軸。工件加工時必須利用三軸的移動以達到加工之目的，因此移動距離的準確就必須仰賴於滾珠導螺桿。因為工具機乃是要要求高精度的產業，而工件加工時必需的加工精度前置期長：
4. 電氣箱：負責工具機的電源供應。
5. 刀庫：工件加工時之刀具以及換刀系統。
6. 鈹金：包括工具機之外殼，控制器之操作箱以及伸縮護罩。
7. 鑄件：包括工作台、底座、鞍座、機身及頭部。
8. 主軸：為馬達驅動工件或刀具之間的媒介。製造過程需經由不斷的精度測試，且必需在低溫的環境下以避免溫升所造成的精度偏差。為驅動工件或刀具

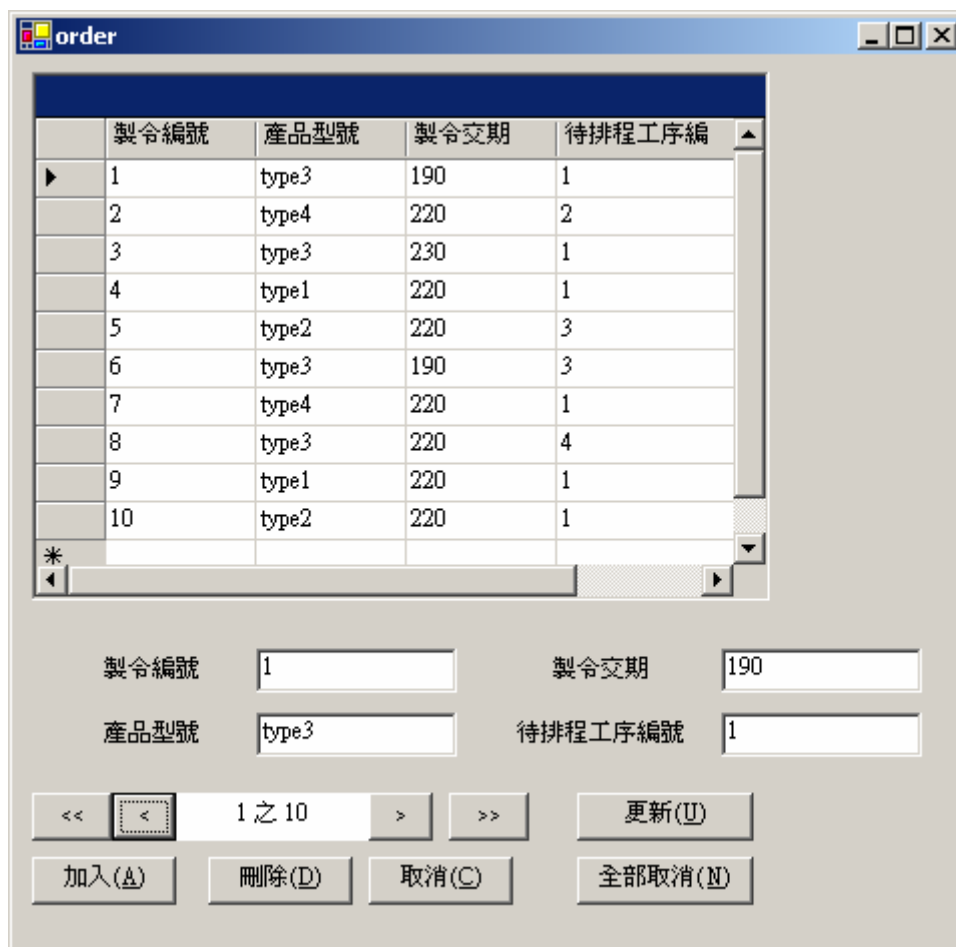
而以上八項關鍵零組件於四系列機種皆相同，分別散佈於第 1 工序、第 3 工序、第 4 工序及第 7 工序，其散佈情形如表 4.2 所示。

表 4.2 關鍵零組件散佈情況

工序編號	關鍵零組件名稱
1	鑄件
3	主軸、控制器、滾珠導螺桿、線性滑軌及刀庫
4	電氣箱
7	鈹金

## 4.2 製程迴流之排程模組範例

以本研究模擬資料中所運用的資源共有六項，其中鑄件加工機台 3 台、噴漆工 3 名、裝配工 5 名、電氣工 6 名，雷射補正機台 1 具及出貨工 1 名，其中僅有裝配工具有製程迴流特性。以下說明過程依照第三章之章節作為範例說明之步驟，首先是排程模組流程討論，依序為瓶頸辨識、緩衝計算、建立廢墟及決定限制驅導節奏；後續為供料規劃模組流程的討論，依序為發料模擬、關鍵零組件查核及緊急採購程序。



The screenshot shows a software window titled 'order' with a table of manufacturing orders. The table has four columns: '製令編號' (Order No.), '產品型號' (Product Type), '製令交期' (Order Due Date), and '待排程工序編' (Queueing Process No.). Below the table are input fields for '製令編號', '產品型號', '製令交期', and '待排程工序編號', along with navigation and control buttons.

製令編號	產品型號	製令交期	待排程工序編
1	type3	190	1
2	type4	220	2
3	type3	230	1
4	type1	220	1
5	type2	220	3
6	type3	190	3
7	type4	220	1
8	type3	220	4
9	type1	220	1
10	type2	220	1

製令編號: 1      製令交期: 190  
產品型號: type3      待排程工序編號: 1

Navigation: << < 1 之 10 > >>      更新(U)  
Buttons: 加入(A)      刪除(D)      取消(C)      全部取消(N)

圖 4.5 模擬製令資料

### 4.2.1 瓶頸辨識範例

經由圖 4.5 可得知最晚交期為 230，即製令 3 之製令交期，因此本製令集合之排程長度為 230。而由 4.1.1 節資源資料說明中可得知各資源之可運用數量，如鑄件加工機台為 3，因此計算可得各資源之總供給工時如表 4.3。

而各資源之總需求工時，由於計算過程繁雜，因此以鑄件加工機台為例。鑄件加工機台在各系列機種中皆處於工序 1，因此在製令集合中，共

有製令 1、3、4、7、9 及製令 10 需經由鑄件加工機台裝配。而製令 1 及製令 3 所生產之產品為 type3，type3 在工序 1 需運用鑄件加工機台 40 小時；製令 4 及製令 9 所生產之產品為 type1，type1 在工序 1 需運用鑄件加工機台 34 小時；製令 7 所生產之產品為 type4，type4 在工序 1 需運用鑄件加工機台 41 小時；製令 10 所生產之產品為 type2，type2 在工序 1 需運用鑄件加工機台 34 小時。因此鑄件加工機台這項資源之總需求工時共 108 小時 ( $40+40+34+34+41+34=223$ )；而其它資源則依此類推，計算結果如表 4.3 所示。

表 4.3 瓶頸辨識結果

資源名稱	總需求工時	總供給工時	負荷比率
裝配工	1197	1150	1.04
電氣工	120	1380	0.08
雷射補正機台	60	230	0.26
出貨工	20	230	0.08
噴漆工	120	690	0.07
鑄件加工機台	223	690	0.32

由表 4.3 可得知裝配工之負荷比率為 1.04 為所有資源中負荷比率最大者，因此可得知裝配工為本製令集合中之瓶頸資源。此外，由於模擬的製令資料較少，因此計算所得之負荷比率會較低。

#### 4.2.2 緩衝計算範例

本研究所定的緩衝乘數包括受限產能緩衝乘數、間隔緩衝乘數及出貨緩衝乘數，其設置的目的皆是為了讓產品可以順利的在指定的期限內出貨，但緩衝乘數的高低除了影響對於製令交期，亦會對於現場之在製品存貨產生影響。較高的緩衝乘數雖可確保產能受限資源不會因為斷料而造成產能的閒置，但過高的緩衝乘數卻會造成產能受限資源前的在製品存貨堆積。

由於緩衝乘數的設定對於排程系統具有相當程度的影響。過去學者於



設定亦有諸多討論，如 Spencer(1991)認為可依系統的波動因素來決定其緩衝長短，若波動因素改善，則可以縮短其長度。Schrageheim and Ronen(1991)則認為緩衝時間長度的大小設為限制資源平均前置時間的三倍，採用三倍是基於經驗與可信賴的前置時間分配，而假設其前置時間服從常態分配的話，則可藉由其平均流程時間加上三倍標準差而得到其緩衝時間。而亦有學者直接採用經驗值，如 Goldratt and Rebert(1986)、蔡志弘及李榮貴(1996)、Schrageheim and Ronen(1990)、Gardiner et al.(1993)便採取此方式。

由過去研究中發現，目前對於緩衝乘數之設定，仍無一較為明確之設定方式，而多採用較為模糊之估計值或經驗值。而在此觀點下，即必需藉由系統之使用者藉由持續使用排程系統的經驗，不斷的修正其緩衝乘數。而經由與個案公司人員深入訪談後，其認為以本研究緩衝時間之設定方式，當緩衝乘為 1.5 時應可完全含蓋所有統計波動，因此設定緩衝乘數 1.5 為最大值。而因為緩衝時間最少為非受限產能工序之總加工工時，即緩衝乘數為 1，因此設定緩衝乘數 1 為最小值。因此即以 1 至 1.5 以隨機方式取得各緩衝時間之緩衝乘數，經由隨機選後，受限產能緩衝乘數為 1.3；間隔緩衝乘數為 1.2；出貨緩衝乘數為 1.1。

緩衝乘數設定	值
受限產能緩衝乘數	1.3
間隔緩衝乘數	1.2
出貨緩衝乘數	1.1

圖 4.6 緩衝乘數輸入介面

以製令 1 為例。經由瓶頸辨識已知瓶頸資源為裝配工，而製令 1 所生產之產品為 type3，生產過程共有 8 個工序。由待排程作業，即工序 1 開始，將會運用到裝配工之工序有 3、5 及 7。受限產能工序緩衝即為 73 ( $(40+16) * 1.3$ )；第一個間隔緩衝為 14 ( $12 * 1.2$ )；第二個間隔緩衝為 7 ( $6 * 1.2$ )；而出貨緩衝為 2 ( $2 * 1.1$ )。依此類推，可得知各製令之緩衝長度如圖 4.7。

緩衝資訊									
	製令編號	受限產能緩衝	第1個受限產能工序	間隔緩衝1	第2個受限產能工序	間隔緩衝2	第3個受限產能工序	出貨緩衝	交期
▶	1	73	85	14	8	7	42	2	190
	2	26	101	14	8	7	31	2	220
	3	73	85	14	8	7	42	2	230
	4	66	93	14	6	7	27	2	220
	5	0	77	14	8	7	20	2	220
	6	0	85	14	8	7	42	2	190
	7	79	101	14	8	7	31	2	220
	8	0	0	14	8	7	42	2	220
	9	66	93	14	6	7	27	2	220
	10	62	77	14	8	7	20	2	220
*									

圖 4.7 緩衝計算結果

圖 4.7 中之製令 8，所生產的產品為 type3；待排程工序為 4，其會運用到裝配工之工序為工序 5 及工序 7。因此，製令 8 並沒有受限產能緩衝。其中受限產能工序 1、受限產能工序 2 及受限產能工序 3 的數字代表該受限產能工序之標準工時，並且將製令中無需經由產能受限資源加工之受限產能工序工時設為 0。

#### 4.2.3 廢墟建立範例

廢墟之建立乃為了優先權排序作準備，因為在此步驟僅根據各製令中緩衝長度計算各受限產能工序之開工點及完工點。以製令 1 為例，其共有三個受限產能工序，因此交期減去出貨緩衝即為最後一個受限產能工序之完工時點，即  $188 (190 - 2)$ ，而其完工時點為  $146 (188 - 42)$ ；而第二個受限產能工序之完工時點即為第三個受限產能工序之開工時點減去第二個間隔緩衝，即  $139 (146 - 7)$ ，而其開工點為  $131 (139 - 8)$ ；第一個受限產能之完工時點即為第二個受限產能工序之開工時點減去第一個間隔緩衝，即  $117 (131 - 14)$ ，而其開工點為  $32 (117 - 85)$ 。依此類推，計算可得各受限產能工序之完工時點及開工時點如圖 4.8 所示。

受限產能廢墟						
	製令編號	受限產能工	開工點	完工點	物料成本	所屬資源
▶	1	7	146	188	193843	(Null)
	1	5	131	139	198384	(Null)
	1	3	32	117	504832	(Null)
	2	7	187	218	204435	(Null)
	2	5	172	180	153254	(Null)
	2	3	57	158	643522	(Null)
	3	7	186	228	193843	(Null)
	3	5	171	179	198384	(Null)
	3	3	72	157	504832	(Null)
	4	7	191	218	104984	(Null)
	4	5	178	184	131839	(Null)
	4	3	71	164	524982	(Null)
	5	7	198	218	148833	(Null)
	5	5	183	191	109494	(Null)
	5	3	92	169	690848	(Null)
	6	7	146	188	193843	(Null)
	6	5	131	139	198384	(Null)
	6	3	32	117	504832	(Null)
	7	7	187	218	204435	(Null)
	7	5	172	180	153254	(Null)
	7	3	57	158	643522	(Null)
	8	7	176	218	193843	(Null)
	8	5	161	169	198384	(Null)
	9	7	191	218	104984	(Null)
	9	5	178	184	131839	(Null)
	9	3	71	164	524982	(Null)
	10	7	198	218	148833	(Null)
	10	5	183	191	109494	(Null)
	10	3	92	169	690848	(Null)

圖 4.8 廢墟建立結果

#### 4.2.5 決定限制驅導節奏範例

利用廢墟所計算出之受限產能工序完工時點，進行優先權之排序。當兩受限產能工序之完工時點相同時則以該工序之物料成本作為排序之指標，物料成本較高者其優先權較高。如圖 4.9 中，兩受限產能工序，製令 2、4、5、7、8、9 及 10 之第 7 個工序其完工點皆為 218，但若再依物料成本排序，則其順序則製令之優先權順序則依序為製令 2、7、8、10、5、9 及 4。

受限產能工序優先權						
	製令編號	受限產能工	開工點	完工點	物料成本	所屬資源
	3	7	186	228	193843	(Null)
▶	2	7	187	218	204435	(Null)
	7	7	187	218	204435	(Null)
	8	7	176	218	193843	(Null)
	10	7	198	218	148833	(Null)
	5	7	198	218	148833	(Null)
	9	7	191	218	104984	(Null)
	4	7	191	218	104984	(Null)
	5	5	183	191	109494	(Null)
	10	5	183	191	109494	(Null)
	1	7	146	188	193843	(Null)
	6	7	146	188	193843	(Null)
	9	5	178	184	131839	(Null)
	4	5	178	184	131839	(Null)
	2	5	172	180	153254	(Null)
	7	5	172	180	153254	(Null)
	3	5	171	179	198384	(Null)
	10	3	92	169	690848	(Null)
	5	3	92	169	690848	(Null)
	8	5	161	169	198384	(Null)
	4	3	71	164	524982	(Null)
	9	3	71	164	524982	(Null)
	7	3	57	158	643522	(Null)
	2	3	57	158	643522	(Null)
	3	3	72	157	504832	(Null)
	6	5	131	139	198384	(Null)
	1	5	131	139	198384	(Null)
	6	3	32	117	504832	(Null)
	1	3	32	117	504832	(Null)

圖 4.9 優先權排序結果

經由優先權排序後，自優先權最高的受限產能工序開始抓取置入限制驅導節奏，由圖 4.9 可得知優先權最高之受限產能工序為製令 3 之第 7 個工序，其開工時點為 230；完工時點為 272。置入的同時尚未有限制驅導節奏中尚未有任何受限產能工序，因此沒有衝突的問題，所以該受限產能工序之開工點與完工點不作修正，並將該受限產能工序分配給流水號為 1 之瓶頸資源。在置入第一個受限產能工序後，抓取優先權第二高的受限產能工序，即製令 2 的第 7 個工序，其完工時點為 244，若要排入流水號為 1 之瓶頸資源將會與製令 6 的第 7 個工序發生衝突，而因為經計算所得之瓶頸資源—裝配工，其數量共有 5 個，因此製令 4 的第 7 個工序可分配給流水號為 2 之瓶頸資源，並且不調整其開工點及完工點。

圖 4.10 中以藍底標示的製令 5 的第 7 個工序，由於在其之前的所有產能受限資源之可排程時點皆早於其完工時點，如瓶頸資源 1 為 230、瓶頸

資源 2 為 213、瓶頸資源 3 為 197、瓶頸資源 4 為 176 及瓶頸資源 5 為 248。因此必須尋找距離其完工點最近的可排程時點，即為瓶頸資源 5，而製令 5 的第 7 個工序原本之完工點為 218，經修正後，完工點緊接在製令 6 的工序 3 之後，即 248，因此其開工點亦必須隨之修正為 228。依此類推，可得如圖 4.10。

限制驅導節奏						
	製令編號	受限產能工	開工點	完工點	物料成本	所屬資源
	3	7	230	272	193843	1
	2	7	213	244	204435	2
	7	7	197	228	204435	3
	8	7	176	218	193843	4
	10	7	248	268	148833	5
▶	5	7	228	248	148833	5
	9	7	186	213	104984	2
	4	7	170	197	104984	3
	5	5	222	230	109494	1
	10	5	214	222	109494	1
	1	7	186	228	193843	5
	6	7	134	176	193843	4
	9	5	178	186	131839	1
	4	5	202	208	131839	1
	2	5	208	214	153254	2
	7	5	186	194	153254	3
	3	5	194	202	198384	1
	10	3	101	178	690848	2
	5	3	85	162	690848	3
	8	5	162	170	198384	1
	4	3	93	186	524982	1
	9	3	33	134	524982	5
	7	3	93	186	643522	4
	2	3	0	101	643522	2
	3	3	0	85	504832	3
	6	5	85	93	198384	1
	1	5	85	93	198384	5
	6	3	0	85	504832	1
	1	3	0	85	504832	5

圖 4.10 限制驅導節奏介面

#### 4.2.6 發料模擬範例

由於瓶頸資源具有製程迴流特性，因此運用限制驅導節奏所決定之受限產能工序開工時點、完工時點及其前後緩衝可求得投料點，以製令 2 為例，其之第 3 個工序為該製令之第一個受限產能工序，因此受限產能工序開工時點減去受限產能緩衝可得投料點 1 為 0，而每日工作時數為 8 小時，因此投料點落於第 0 天，其中備料級數 1 代表關鍵零組件，圖 4.11 中備料級

數 1 物料共有 5 項，可得知製令 2 的第 3 個工序共有 5 項關鍵零組件。而製令 2 之第 5 個工序之開工時點為 208，減去間隔緩衝 1 可得投料點 2 為 194，除以每日工作時數 8 小時，可知投料點落於第 24 天，由圖 4.12 可得知工序 5 中並無關鍵零組件。

工序	編號規格說	用量	備料級數	編號
3	滾珠導螺桿	1	1	32
3	主軸	1	1	73
3	線性滑軌	1	1	76
3	刀庫	1	1	142
3	控制器	1	1	146
3	線軌 Z軸機	1	0	1
3	門上方軸	8	0	2
3	斜楔螺絲	6	0	3
3	增壓缸固定	1	0	4
3	增壓缸支架	2	0	5
3	隔環	1	0	6
3	主軸頭	1	0	7
3	配重塊 硬	1	0	9
3	鏈輪座	2	0	10
3	鏈輪	4	0	11
3	鏈輪軸	4	0	12
3	鏈輪壓環	4	0	13
3	主軸頭壓版(	1	0	14
3	主軸頭壓版(	1	0	15
3	主軸頭調整	2	0	16
3	主軸頭調整	1	0	17

圖 4.11 發料模擬介面 a

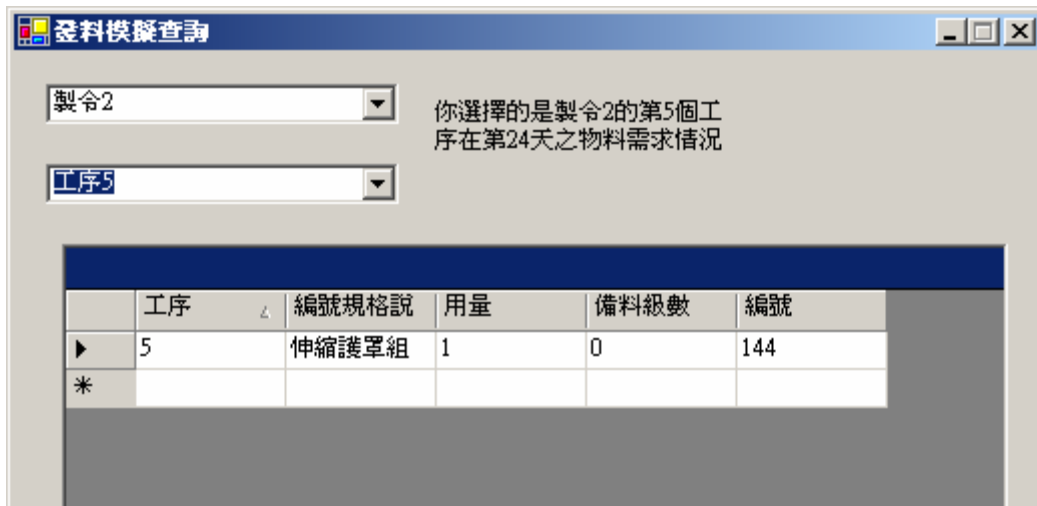


圖 4.12 發料模擬介面 b

最後製令 2 的第 7 個工序亦為受限產能工序，其開工點為 213，因此開工時點減去間隔緩衝可得投料點 3 為 206，除以每日工作時數 8，可知投料點落於第 25 天，由圖 4.13 中可得知有一關鍵零組件。



圖 4.13 發料模擬介面 c

因此彙整所有製令之物料需求，以投料的時間點來看，其整理如表 4.4。下列投料點僅列出含物料之工序，其它如工序 2、工序 6 及工序 8，因其以

加工動作或檢測動作為主，所附帶之物料較難以估算，故忽略之。其中工序 2 為鑄件噴漆，負責將已加工完畢之鑄件上色；工序 6 為雷射補正，負責將加工或裝配過程中所造成的精度誤差以雷射補正機台進行校正動作；工序 8 為裝箱，負責將成品以木箱封裝。

表 4.4 中，前十列代表各製令之工序投料點，最後第二列則彙整前十列之結果，代表於該日需發送到現場的物料。最後一列則將前一列之非關鍵零組件剔除，僅顯示含關鍵零組件之工序，而此結果也將作為關鍵零組件供料規劃之查核基準。



表 4.4 發料模擬結果

製令編號	投料點(天)																
	0-6				7-14		15-20			21-27							28-34
	0	1	3	4	8	10	15	18	20	21	22	23	24	25	26	27	30
1	1,3				4,5						7						
2	3											4,5	7				
3	1,3										4,5					7	
4			1,3									4,5				7	
5						1,3									4,5	7	
6	1,3				4,5		7										
7		1,3								4,5		7					
8								4,5		7							
9	1,3								4,5		7						
10				1,3										4,5			7
彙總一(註)	1,3,3, 1,3,1, 3,1,3	1,3	1,3	1,3	4,5	1,3	7	4,5	4,5	4,5,7	7,4,5, 7	4,5,7	4,5	7,4,5	4,5	7,7,7	7
彙總二(註)	1,3,3, 1,3,1, 3,1,3	1,3	1,3	1,3	5	1,3	7	5	5	5,7	7,5,7	5,7	5	7,5	5	7,7,7	7

註：彙總一包含所有物料；彙總二僅含關鍵零組件

#### 4.2.7 關鍵零組件查核範例

此模組主要目的在於查核各含受限產能工序在內的所有工序所需要的關鍵零組件是否能及時供料，並統計各關鍵零組件欠料之數量以進行緊急採購。因此以下分將為四階段說明查核的過程。第一階段說明關鍵零組之供料時程及其數量；第二階段則依據發料模擬的結果，篩選出關鍵零組件之需求；第三階段因為關鍵零組件數量有限，故必需設定製令之優先權作為分配關鍵零組件之依據；第四階段依據關鍵零組件之需求與供給狀況，依製令優先權高低查核各製令之關鍵零組件欠料情況。

階段一、關鍵零組件供給：

由於進行關鍵零組件查核時，需考慮各關鍵零組件之庫存數量及供料時程，各關鍵零組件之供料時程及庫存數量以亂數方式產生，產生方式說明如下：

- 供料時程：根據本研究訪廠經驗，工具機業之關鍵零組件採購週期並不固定，但大致上，一周內會進行採購一次。因此在關鍵零組件採購時程由 1 至 7 中隨機選取亂數入廠日，而後一週期則加上前一週期選取所得之數作為入廠日，直到排程週期結束。
- 庫存數量：亂數值之取得由排程期間內各關鍵零組之總需求數作為最大值；而 0 為最小值。

由表 4.5 可看出經由亂數產生之模擬結果，各關鍵零組件之採購週期不盡相同，其中採購週期內所含之庫存數量代表當期至後一期之庫存數量，如鑄件之週期 2 為 6-10，則代表週期 2 的第 6 天至第 10 天間共有 2 單位之鑄件庫存。

階段二、關鍵零組件需求：

利用發料模擬所得之各工序投點對應各工序所含之關鍵零組件可得關鍵零組件之投料點及其所需數量，為便於說明，於表 4.5 中將各關鍵零組件之投料點對應於其預估入廠日，並記錄其需求數量。

階段三、製令優先權排序

於表 4.5 中可看出所有關鍵零組件皆有欠料，如鑄件在週期 1、控制器在週期 1、主軸在週期 1、刀庫在週期 1 及電氣箱在週期 3、週期 4 及週期 5 皆發生需求大於供給的情況，造成不同製令之工序必需競爭同一關鍵零

組件，因此必需藉由將製令以優先權方式排列後，再依優先權高低取得關鍵零組件，優先權之高低依照兩項指標，首先以製令之完工比例，當製令之完工比例相同時再以該製令所生產產品之利潤作排序。依此原則，可得製令優先權如圖 4.14。

表 4.5 關鍵零組件供料模擬資料

鑄件											
週期	1	2	3	4	5	6	7	8			
預估入廠日	0-5	6-10	11-12	13-14	15-16	20	21-26	27-30			
庫存數量	6	2	1	2	2	2	1	2			
需求數量	7	1	0	0	0	0	0	0			
控制器											
週期	1	2	3	4	5	6	7	8			
預估入廠日	0-1	2-8	9-13	14-20	21-26	27-28	29	30			
庫存數量	5	2	5	6	1	6	3	6			
需求數量	6	2	1	0	0	0	0	0			
主軸											
週期	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
預估入廠日	0-7	8-9	10	11-13	14-19	20-24	25	26	27-30		
庫存數量	6	2	1	4	2	2	1	4	3		
需求數量	8	0	1	0	0	0	0	0	0		
刀庫											
週期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
預估入廠日	0-6	7-11	12-15	16-18	19-20	21-22	23	24-25	26	27-28	29-30
庫存數量	7	3	3	3	2	0	6	2	3	3	4
需求數量	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
滾珠導螺桿											
週期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
預估入廠日	0	1-4	5-9	10	11	12-13	14	15-18	19-25	26-27	28-30
庫存數量	5	5	5	5	1	1	1	3	3	0	4
需求數量	5	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
線性滑軌											
週期	1	2	3	4	5	6	7	8			
預估入廠日	0-2	3-6	7-9	10-14	15-21	22-25	26-29	30			
庫存數量	6	3	1	1	1	1	2	5			
需求數量	6	2	0	1	0	0	0	0			
電氣箱											
週期	1	2	3	4	5						
預估入廠日	5-11	12-15	16-20	21-24	25-30						
庫存數量	6	3	1	3	1						
需求數量	1	0	2	4	2						
鈹金											
週期	1	2	3	4	5	6	7	8			
預估入廠日	0-3	4-9	10-12	13-19	20-22	23-24	25-28	29-30			
庫存數量	3	3	1	4	4	4	5	5			
需求數量	0	0	0	1	2	1	2	1			

關鍵零組件供料查核												
進行查核		緊急採購		修正完畢								
製令編號	產品型號	完工比例	產品利潤	鑄件	控制器	主軸	刀庫	滾珠導螺桿	線性滑軌	電氣箱	鍍金	
8	type3	0.5	640000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	type3	0.375	640000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	type2	0.375	400000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	type4	0.25	800000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	type4	0.125	800000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	type3	0.125	640000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1	type3	0.125	640000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	type2	0.125	400000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	type1	0.125	300000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	type1	0.125	300000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
*												

圖 4.14 製令優先權排序結果

圖 4.14 中，製令 8 由於其待程作業為 4，也就是第 4 工序開始生產，因此其完工比例最高，當然優先權最高。而製令 6 及製令 5 雖然完工比例相同，但由於製令 6 所生產產品(type3)之利潤較高，故其優先權較高，可較優先分配關鍵零組件。

#### 階段四、進行查核

圖 4.14 中有勾選之關鍵零組件代表已分配，而其中在尚未查核前有部份製令已分配到關鍵零組件，代表該製令之待排程作業較晚，因此需先將已完成部份之工序所含之關鍵零組件預先勾選，以避免重複分配。開始查核之後即由製令優先權最高之製令開始分配關鍵零件，分配結果如圖 4.15

以製令 10 為例，其工序 5 之關鍵零組件—電氣箱，其投料點為第 25 天，但在電氣箱之庫存數量在該週期(即第五週期)僅有 1 個電氣箱庫存，但在同一供料週期仍有製令 5 之第 5 個工序亦有電氣箱需求，而在製令優先權排序下，製令 5 優先取得該週期所供應之唯一 1 個電氣箱庫存。因此造成製令 10 之工序 5 無法獲得電氣箱配給，而顯示欠料。

關鍵零組件供料查核												
進行查核		緊急採購		修正完畢								
製令編號	產品型號	完工比例	產品利潤	鑄件	控制器	主軸	刀庫	滾珠導螺桿	線性滑軌	電氣箱	鈹金	
8	type3	0.5	640000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	type3	0.375	640000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	type2	0.375	400000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	type4	0.25	800000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	type4	0.125	800000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	type3	0.125	640000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
1	type3	0.125	640000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	type2	0.125	400000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	type1	0.125	300000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	type1	0.125	300000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
*												

主軸 供料情況		查詢關鍵零組件庫存...	
預估入廠日	庫存水準		
0	0		
8	2		
10	0		
11	4		

圖 4.15 關鍵零組件查核結果

#### 4.2.8 緊急採購程序

在前一節的關鍵零組件查核結果下，共有三張製令之關鍵零組件不完整，分別是 4、9、10，因此必需進行緊急採購程序。然而並非所有關鍵零組件皆可進行緊急採購，以個案公司而言，本研究所篩選出的八項關鍵零組件可緊急採購之關鍵零組件共有三項關鍵零組件無法進行緊急採購，分別為控制器、線性滑軌及滾珠導螺桿。此三項關鍵零組件皆屬於技術層次較高之零組件，而其中控制器及線性滑軌因國內技術尚未成熟，其主要供應商皆來自國外。而就本研究與個案公司之關鍵零組件採購人員訪談後發現，其中控制器與線性滑軌之供應商較為強勢，因此無法配合該公司之緊急採購需求。而滾珠導螺桿雖是國內的供應商，但由於滾珠導螺桿之製程較為複雜，因此亦無法壓縮前置期。而其餘五項關鍵零組件之正常前置期及緊急採購前置期顯示如表 4.6 所示。

表 4.6 關鍵零組件前置期(天)

	正常採購前置期	緊急採購前置期
鑄件	30	10
主軸	45	30
刀庫	30	15
電氣箱	30	20
鈹金	30	15

因此在排除控制器、線性滑軌及滾珠導螺桿之後，共有 5 項關鍵零組件有欠料，分別是鑄件 1 項、主軸 2 項、刀庫 1 項、電氣箱 3 組。而在確認各關鍵零組件之欠料數量後，模擬此五項關鍵零組之緊急採購動作，以時間點零為採購點往後推移各關鍵零組之緊急採購前置期，即為新投料點，如表 4.7 所示(括號中的數字代表未緊急採購前的庫存數量)。

表 4.7 緊急採購後關鍵零組件供料模擬資料

鑄件											
週期	1	2	3	4	5	6	7	8			
預估入廠日	0-5	6-10	11-12	13-14	15-16	20	21-26	27-30			
庫存數量	6	3(2)	2(1)	3(2)	3(2)	3(2)	2(1)	3(2)			
需求數量	7	1	0	0	0	0	0	0			
主軸											
週期		1	2	3	4	5	6	7	8		
預估入廠日	0-7	8-9	10	11-13	14-19	20-24	25	26	27-30		
庫存數量	6	2	1	4	2	2	1	4	5(3)		
需求數量	8	0	1	0	0	0	0	0	0		
刀庫											
週期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
預估入廠日	0-6	7-11	12-15	16-18	19-20	21-22	23	24-25	26	27-28	29-30
庫存數量	7	3	4(3)	4(3)	3(2)	1(0)	7(6)	3(2)	4(3)	4(3)	5(4)
需求數量	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
電氣箱											
週期	1	2	3	4	5						
預估入廠日	5-11	12-15	16-20	21-24	25-30						
庫存數量	6	3	4(1)	6(3)	4(1)						
需求數量	1	0	2	4	2						
鈹金											
週期	1	2	3	4	5	6	7	8			
預估入廠日	0-3	4-9	10-12	13-19	20-22	23-24	25-28	29-30			
庫存數量	0	3	1	4	4	4	5	5			
需求數量	0	0	0	1	2	1	2	1			

由表 4.7 可發現電氣箱在經由緊急採購後，可及時入廠，而其它三項關鍵零組件，如鑄件、主軸及刀庫則是由於欲使用該關鍵零組件之製令所需之投料點過早，造成就算關鍵零組件以緊急方式，仍無法及時入廠。此外，若以製令觀點來看，如圖 4.16 所示，控制器、滾珠導螺桿及線性滑軌因為無法進行緊急採購，故在緊急採購前有欠此三項物料之製令，依舊欠料，如製令 9；而如製令 4 因為其關鍵零組件所屬工序之投料點過早，造成緊急採購亦無法如期入廠的情況。

關鍵零組件供料查核												
進行查核		緊急採購		修正完畢								
關鍵零組件供料查核												
製令編號	產品型號	完工比例	產品利潤	鑄件	控制器	主軸	刀庫	滾珠導螺桿	線性滑軌	電氣箱	鍍金	
8	type3	0.5	640000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	type3	0.375	640000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	type2	0.375	400000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	type4	0.25	800000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	type4	0.125	800000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	type3	0.125	640000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
1	type3	0.125	640000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	type2	0.125	400000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	type1	0.125	300000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	type1	0.125	300000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
*												

主軸 供料情況		查詢關鍵零組件庫存...	
預估入廠日	庫存水準	主軸	
0	0		
8	2		
10	0		
11	4		

圖 4.16 緊急採購後關鍵零組件欠料情況

而在經由緊急採購後，原本欠料的關鍵零組件可如期入廠的製令有製令 10。因此綜合以上所述，需再與客戶洽商展延交期或置入待處理製令的有製令 4 及製令 9；而需納入重排程之製令有製令 1、製令 2、製令 3、製令 5、製令 6、製令 7、製令 8 及製令 10 共八張製令。因此，最後將此六張製令納入製令集合內進行重排程。最終排程結果如圖 4.17 所示。



限制驅導節奏						
	製令編號	受限產能工	開工點	完工點	物料成本	所屬資源
▶	3	7	186	228	193843	1
	2	7	187	218	204435	2
	7	7	187	218	204435	3
	8	7	176	218	193843	4
	10	7	198	218	148833	5
	5	7	178	198	148833	5
	5	5	179	187	109494	2
	10	5	179	187	109494	3
	1	7	144	186	193843	1
	6	7	137	179	193843	2
	7	5	171	179	153254	3
	2	5	170	178	153254	5
	3	5	168	176	198384	4
	10	3	94	171	690848	3
	5	3	93	170	690848	5
	8	5	160	168	198384	4
	7	3	59	160	643522	4
	2	3	43	144	643522	1
	3	3	52	137	504832	2
	6	5	86	94	198384	3
	1	5	85	93	198384	5
	6	3	1	86	504832	3
	1	3	0	85	504832	5
*						

圖 4.17 重排程結果

### 4.3 排程系統測試

在第 4.2 節中以一數據說明了本研究所提排程系統之操作過程，但由於在排程系統有部份資料為使用者自行輸入之資料，如製令資料及緩衝乘數資料，在不同使用者觀點下，會輸入不同的資料，因此亦會得到不同的排程結果。因此以下，將以不同的輸入資料了解其對於排程結果的影響。首先在第 4.3.1 中說明不同的製令資料所產生的製令集合對排程結果的影響；在第 4.3.2 節中說明不同水準的緩衝乘數對於排程結果的影響。



### 4.3.1 製令資料對排程結果的影響

製令資料是影響排程結果最鉅的輸入資料，不論是待排程工序編號、製令交期或是產品型號等，各項因素皆影響各資源之負荷比率高低也進而決定了產能受限資源。在不同的製令組合下會產生不同的產能受限資源負荷比率高低，因此以下將模擬不同的製令資料所造成的負荷比率高低來探討其對於排程結果的影響，而在測試過程設定緩衝乘數皆固定為 1。

本研究反覆做 50 次的模擬實驗，實驗過程中隨機抽取十筆個案公司所提供之資料作為輸入之製令資料，在實驗過程由於會經由供料規劃模組修正排程而將部份製令抽出，而留下未有關鍵零組欠料之製令，因此每次模擬之製令數會因關鍵零組庫存水準及預估入廠日而有所不同。而在關鍵零組件之庫存仍沿用第四章之設定，在庫存水準及預估入廠日採用隨機亂數。

表 4.8 模擬製令資料測試結果

模擬編號	排程製令數	產能受限資源編號	負荷比率	交期達成率
1	9	3	0.43	0.8
2	7	3	0.46	0.8
3	9	3	0.86	0.1
4	9	3	0.65	0.4
5	8	3	0.40	0.7
6	7	3	0.97	0.1
7	8	3	0.98	0.0
8	7	3	0.81	0.0
9	7	3	0.44	0.8
10	7	3	0.45	0.8
11	10	3	0.84	0.0
12	10	3	0.67	0.5
13	8	3	0.61	0.6
14	8	3	0.79	0.0
15	9	3	0.53	0.3
16	7	3	0.56	0.5
17	9	3	0.55	0.6
18	9	3	0.47	0.9
19	10	3	0.90	0.3
20	9	3	0.65	0.5

模擬編號	排程製令數	產能受限資源編號	負荷比率	交期達成率
21	9	3	0.64	0.6
22	8	3	0.87	0.1
23	7	3	0.87	0.3
24	10	3	0.84	0.1
25	10	3	0.97	0.1
26	10	3	0.84	0.2
27	9	3	0.62	0.6
28	9	3	0.82	0.2
29	8	3	0.89	0.0
30	9	3	0.41	0.9
31	10	3	0.58	0.7
32	9	3	0.66	0.5
33	9	3	0.60	0.4
34	10	3	0.63	0.5
35	10	3	0.89	0.2
36	9	3	0.66	0.5
37	9	3	0.51	0.7
38	9	3	0.87	0.0
39	9	3	0.95	0.0
40	8	3	0.73	0.4
41	9	3	0.46	0.9
42	7	3	0.63	0.4
43	9	3	0.57	0.6
44	10	3	0.71	0.5
45	8	3	0.42	0.8
46	10	3	0.63	0.6
47	9	3	0.88	0.2
48	9	3	0.52	0.7
49	10	3	0.65	0.4
50	8	3	0.89	0.3

經過 50 次的實驗後，由實驗結果發現產能受限資源皆落於當產能受限資源編號為 3 的裝配工，顯見以工具機產業而言，其負荷程度最重的資源為裝配工，且其恰具有製程迴流特性。而以其負荷比率對製令交期之影響程度可得知，當負荷比率為 0.4 至 0.5 時，製令交期的達成率約為 82%，即代表會有 18% 的製令會延誤；當負荷比率為 0.5 至 0.6 時，製令交期的達成率約為 58%，即代表會有 42% 的製令會延誤；當負荷比率為 0.6 至 0.7 時，製令交期的達成率約為 49%，即代表會有 51% 的製令會延誤；當負荷比率為 0.7 至 0.8 時，製令交期的達成率約為 30%，即代表會有 70% 的製令會延誤；當負荷比率為 0.8 至 0.9 時，製令交期的達成率約為 14%，即代表會有 86% 的製令會延誤；當負荷比率為 0.9 至 1 時，製令交期的達成率約為 5%，

即代表會有 95%的製令會延誤。

針對瓶頸迴流的生產型態，過去研究中曾有最佳作業間隔模式可以解決作業間隔的控制問題(吳鴻輝，2000)，但複雜的瓶頸迴流情況仍舊在生產排程上遭遇相當多的困難，主要原因在於排程推平的問題上面仍然沒有有效的方法可以使用。此外，面對高負荷比率之產能受限資源，亦有學者(蔡志弘及李榮貴，1997)以四階段排程法，在設定撫平廢墟時，利用去除相同批次之機台整備時間以壓縮受限產能工序在各產能受限資源之加工時間，以減輕產能受限資源之負荷。但以工具機業而言，根據上述實驗結果，產能受限資源皆落在裝配工，而裝配工並非機台，由於製造過程中所需之工具，皆置放於現場，因此其整備時間可視為零，若採用去除相同批次之重複的整備時間來降低產能受限資源之負荷，其效果將不如預期。

由實驗結果可發現當受限產能資源具有製程迴流特性時，其生產排程在經過廢墟撫平的合理化過程後，便會產生交期延誤的情形，而交期延誤的情形更隨著負荷比率的增加而更形嚴重。

#### 4.3.2 緩衝乘數對排程結果的影響

過去研究中對於緩衝乘數之設定，仍無一較為明確之設定方式，而多採用較為模糊之估計值或經驗值。而在此觀點下，即必需藉由系統之使用者藉由持續使用排程系統的經驗，不斷的修正其緩衝乘數。而經由與個案公司人員深入訪談後，其認為以本研究緩衝時間之設定方式，當緩衝乘為 1.5 時應可完全含蓋所有統計波動，因此設定緩衝乘數 1.5 為高水準值。而因為緩衝時間最少為非受限產能工序之總加工工時，即緩衝乘數為 1，因此設定緩衝乘數 1 為低水準值，而取兩者之平均值 1.25 作為中水準。而製令資料則延用第 4.2 節中之製令資料，分別以高、中及低水準值檢視排程結果。

表 4.9 模擬製令資料測試結果

緩衝乘數水準	排程製令數	交期達成率
1.5	7	0.6
1.25	8	0.7
1	8	0.7

經由上述實驗可發現，在本研究架構下過大的緩衝乘數將造成較低的

交期達率，及較低的排程製令數；而在中低水準之緩衝乘數則對於排程製令數及交期達成率則較無影響。因此，在本架構下後續在設定緩衝乘數時，可採用較低之緩衝乘數，或不同的緩衝乘數採用不同緩衝乘數方式以提高達交率及排程製令數。

## 第五章 結論與未來研究方向

### 5.1 結論

工具機業由於資金不若高科技業般雄厚，故目前在資訊建設的投資較為保守。然而經由電子化的導入，不僅是效率的提升亦是流程的改善。目前工具機業之電子化系統乃以企業資源規劃(Enterprise Resource Planning；ERP)及物料需求規劃(Material Requirement Planning；MRP)為主，因此在排程系統的實務應用上仍相當薄弱。

工具機業在排程系統上，仍以生管人員之經驗法則為依據作為排程的基礎，這樣的方式雖然較為簡單而快速，但卻較無改善的空間，亦較無法將其知識傳承。因此藉由結合物料資訊的排程系統，將使排程相關人員，如生管、採購、生產或物管等單位，有一共通的準則，而且藉由電子化的設備，亦可達到資訊共享的目的。

在過去的研究中，雖然已有部份學者以限制驅導式排程作為排程之演算法，建立起工具機業之排程系統，但仍在其演算法中皆未能考慮物料資訊。然而對於工具機業而言，若以限制驅導式排程作為排程之演算法，在製造過程中經常因為關鍵零組件未能及時到達受限產能工序之開工時點，而造成指派受限產能資源之產能損失。因此若未能考慮此類關鍵零組件之供料限制將對於工具機業之限制驅導式排程之執行成果大打折扣。因此本研究在建置工具機業之限制驅導式排程架構中，得到以下結論：

1. 雖然關鍵零組件欠料下，必須與客戶洽商製令展延交期或是放棄該製令之生產，短期內可能造成訂單的流失，但長期而言，將使管理階層將物料管控的重點放在此類關鍵零組件上，在將物料管控之焦點集中後，將可降低物料管控的失誤與其衍生的成本。
2. 藉由考慮關鍵零組件之供料限制，因為在經由緊急採購後，若關鍵零組件仍無法及時入廠時，即必需置入待處理製令或再與客戶洽商展延交期而暫從製令集合中抽出，因此可事先排除無法出貨之製令，進而提升有效產出。
3. 由於大部份物料之前置期皆小於關鍵零組件，因此若在關鍵零組件無法及時入廠而抽單後，抽單的製令所含之非關鍵零組件之物料將不需備料，進而降低存貨水準。

4. 藉由緊急採購程序，可提供採購人員在關鍵零組件欠料前作出欠料的警訊，並在來得及採購關鍵零組件前預先作出反應以避免因關鍵零組件未能到料時造成的訂單流失。
5. 本研究所建置之排程系統經由個案公司之現場人員評估後，認為在本研究架構下與過去採用經驗法則且未考慮關鍵零組件供料限制之現場排程相較下，可有效掌握現場之產能狀況及供料時程，因此可降低利用加班趕工的機率及降低現場之在製品存貨水準。

## 5.2 未來研究方向

本研究雖力求符合現場實際生產系統的情況，但尚有些生產因素未能加以考慮，將其歸納如下，以供後續研究之參考。

1. 由於工具機產業乃為高技術性之產業，且在生產過程中多以人員裝配及加工。因此以同一工序而言，新進人員與工作多年之在職員工有些許差異。未來在當受限產能工序在分配瓶頸資源時，可依據該資源之技術能力分級，分別設定不同等級之標準工時，以提升系統績效。
2. 由於工具機之製程以人員為主，資源調度彈性較高。本研究採用單一課別作為範例，若未來可考慮一個課別以上，將可納入課與課間之人員調度，在資源可共享下，將可提升生產績效。
3. 由於工具機業之物料及零組件規格繁雜，產品間之共用件如何設定將成為另一議題，因此在本研究未能加以考慮，未來若能利用共用件之關係將可提升關鍵零組件分配之效率，以避免不必要的抽單。
4. 因為本研究關鍵零組件之供料限制上僅考慮關鍵零組件之數量及其供料時程，因此後續研究可以成本觀點考量緊急採購之成本效益作為是否進行緊急採購之參考。

## 參考文獻

- Conway, R. W., Maxwell, W. L. and Miller, L.W., *Theory of Scheduling* , Addison-Wesley, 1967.
- Cook, D. P., “A Simulation Comparison of Traditional JIT and TOC Manufacturing Systems in a Flow Shop with Bottleneck”, *Production and Inventory Management Journal*, First Quarter, pp.73-78, 1994.
- Dileep, R. S., *Industrial Scheduling*, PWS Publishing Company, 1997.
- Evans, J. R., *Production/Operations Management*, 5th ed., West Publishing Company, 1997.
- Graham, R.L., Lawler, E.L., Lenstra, J.K., and Rinnoy Kan, A.H.G., “Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey”. *Annals of Discrete Mathematics*, Vol.5, pp. 287-326. 1979.
- Goldratt, E. M., and E. F. Rebert, *The Race*, North River Press, 1986.
- Goldratt, E. M., and J. Cox, *The Goal*, North River Press, 1986.
- Goldratt, E. M., *The Hystack Syndrome*, North River Press, 1990.
- Goldratt, E. M., and J. Cox, *The Goal*, 2th ed., North River Press, 1992.
- Gardiner, S. C. and H. J. Blackston, and L. R. Gardiner, “Drum Buffer Rope and Buffer Management : Impact on Production Management Study and Practices, ” *International Journal of Operational and Production Management*, Vol.13, No.6, pp.68-78, 1993.
- Guide, V. D. R. and G. A. Ghiselli , “Implementation of Drum-Buffer-Rope at a Military Rework Depot Engineer Works,” *Production & Inventory Management Journal*, Vol.3, pp.79-82, 1995.
- Higgins, P., Le Roy, P., and Tierney, L., *Manufacturing Planning and Control* , Chapman & Hall, New York, 1996.
- Lambrecht, M. R., and Decaluwe, L., “JIT and Constraint Theory: The Issue of Bottleneck Management”, *Production and Inventory Management Journal*, Third Quarter, pp.61-66, 1988.
- Lockamy, A., “How to Compete in Your Industry” , *Production and Inventory Management Journal*, Vol.34, No.1, pp.1-5, 1993.
- Lawrence, S. R. and A. H. Buss. “Shifting Production Bottlenecks : Causes, Cures, and Conundrums”, *Production and Operation Management*, Vol.3

- No.1, pp.21-37, 1994.
- Matsuura, H., S. Kurosu, and A. Lehtimäki, "Concepts, practices and expectations of MRP, JIT and OPT in Finland and Japan," *International Journal of Production Economics*, Vol. pp.267-272, 1995.
- Moon, S. A., "TOC at Parr Instrument: A View from the Inside," *1996 APICS Constraints Management Symposium and Technical Exhibit*, April 17-19, Detroit, MI, USA, pp.50-65, 1996.
- Miltenburg, J., "Comparing JIT, MRP, and TOC, and embedding TOC into MRP" , *International Journal of Production Research*, Vol.33, No.4, pp.1147-1169, 1997.
- Parunak, H. V. D., "Characterizing the Manufacturing Scheduling Problem", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.10, pp.241-259, 1991.
- Patterson, M. C., "The Product-mix decision: A Comparison of Theory of Constraints and Labor-based Management Accounting", *Production and Inventory Management Journal*, Vol.33, No.3, pp.80-85, 1992.
- Pinedo, M., *Scheduling Theory, Algorithms & System*, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1995.
- Reimer, G., "Material Requirements Planning and Theory of Constraints: Can They Coexist? A Case Study" , *Production and Inventory Management Journal*, Fourth Quarter, pp.48-52, 1991.
- Schrageheim, E., and Ronen, B., "Drum-Buffer-Rope Shop Floor Control", *Production and Inventory Management Journal*, Third Quarter, pp.18-23, 1990.
- Schrageheim, E., and Ronen, B., "Buffer Management: A Diagnostic Tool for Production Control", *Production and Inventory Management Journal*, Second Quarter, pp.74-79, 1991.
- Spencer, M. S., "Using The Goal in An MRP System," *Production and Inventory Management Journal*, Fourth Quarter, pp.22-28, 1991.
- Schrageheim, E., J. Cox, and Ronen, B., "Process Flow Industry Scheduling and Control Using Theory of Constraints", *International Journal of Production Research*, Vol.32, No.8, pp.1867-1877, 1994
- Shoemaker, L. J., "It's a Jungle Out There- So Listen to the DRUM Beat!" *1995 APICS Constraints Management Symposium and Technical Exhibit*, April 26-28, Phoenix, AZ, USA, pp.119-139, 1995.



- Spencer, M. S., and Cox, J. F., "Optimum Production Technology (OPT) and the Theory of Constraints (TOC): Analysis and Genealogy", *International Journal of Production Research*, Vol.33, No.6, pp.1495-1504, 1995.
- Stevenson, W. J., *Production/Operations Management*, 6th ed., McGraw Hill Company, 1999.
- Umble, M. M., "Analyzing Manufacturing Problems Using V-A-T Analysis", *Production and Inventory Management Journal*, Vol.33. No.2, pp.55-60, 1992.
- Wu, S.Y., Morris J. S. and, T. M. Gordon, "A Simulation Analysis of the Effectiveness of Drum-Buffer-Rope Scheduling in Furniture Manufacturing," *Computers & Industrial Engineering*, Vol.26, No4, pp.757-764, 1994.
- 古恭昌,「晶圓代工廠整體瓶頸機台與個別產品瓶頸機台關係之研究」,中華大學工業工程與管理研究所,碩士論文,2001。
- 吳鴻輝,限制驅導式現場排程的排程與管理技術,全華科技圖書股份有限公司,1999a。
- 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」,工業工程學刊,第十六卷,第一期,第13-37頁,1999b。
- 吳鴻輝,「瓶頸迴流前後作業之最佳作業間隔模式之研究」,工業工程學刊,第十七卷,第四期,第349-358頁,2000。
- 李漢星,「以限制理論為基礎的訂單管理系統之探討」,東海大學工業工程研究所碩士論文,1997。
- 李育民,「限制驅導式排程法在工具機製造廠之應用」,朝陽科技大學工業工程與管理研究所,碩士論文,1999。
- 林我聰,「現場排程專家系統—應用個體導向技術建立之研究」,財團法人資訊工業策進會—資訊與電腦出版社,1994。
- 林憲宗,「MRP 與限制理論整合模式在流程式生產上之應用」,台灣科技大學工業管理研究所碩士論文,1996。
- 林玉貞,限制驅導式排程與用於半導體黃光區,交通大學工業工程與管理研究所,碩士論文,1999。
- 林來傳,「兩岸三地工具機業生產管理特性及其 ERP 系統規劃要項」,元

- 智大學資訊管理學系，碩士論文，2003。
- 孟憲敏，「台灣機械產業電子化策略與做法」，機械工業雜 2002/07 月號，第 155-165 頁，2002。
- 孟憲敏，「工具機業接單旺出口值可增二成」，經濟日報，2004/03/01。
- 侯凱中，以限制理論為基礎的半導體晶圓製造系統派工法則之研究，台灣大學機械工程研究所，2000。
- 陳義恆，「智慧型前置時間控制系統的發展」，東海大學工業工程研究所，碩士論文，1994。
- 陳介玄，「台灣中小企業技術特質及其社會內涵」，東海大學社會科學研究所博士論文，1994。
- 張盛鴻、馮鈺敏、杜瑩美、黃承龍、李榮貴，「以限制理論為基礎之晶圓製造廠派工法則」，工業工程學刊，第十六卷，第二期，第 209-220 頁，1999。
- 曾渙釗，MRP—電腦化物料需求計劃，財團法人資訊工業策進會，1995。
- 黃瑞仁，「運用限制理論建立新產品開發績效評估模式之研究」，台灣科技大學工業管理研究所碩士論文，1998。
- 黃承龍、張盛鴻、李榮貴，「瓶頸漂移分析與對策之研究」，工業工程學刊，第十八卷，第四期，第 73-81 頁，2001。
- 黃茂洲，「適用於工具機產業中具共用性產能及多能工特性生產系統之限制驅導式排程演算法之研究」，東海大學工業工程與經營資訊研究所，碩士論文，2003。
- 游慶宗，「以 DBR 為基礎之現場排程方法研究」，東海大學工業工程研究所，碩士論文，1995
- 經濟部投資事業處中華民國招商網，優勢產業簡介--精密工具機產業 <http://investintaiwan.nat.gov.tw>，2004。
- 經濟部投資事業處中華民國招商網，優勢產業簡介--精密工具機產業，2004
- 劉仁傑，日本的產業策略，聯經出版社，二版，1993。
- 蔡志弘，「零工型工廠交期設定模式之構建」，交通大學工業工程與管理研究所博士論文，1996。

- 蔡志弘，李榮貴，「最佳化生產技術」，機械工業雜誌，1996。
- 蔡志弘、李榮貴，「以產能限制資源為基磐之四階段排程法」，工業工程學刊，第十四卷，第三期，第 305-317 頁，1997。
- 謝志銘，「晶圓製造廠之細部排程規劃模組建構」，交通大學工業工程與管理研究所，碩士論文，1994。
- 韓裕歲，「工具機業銷售服務電腦管理教育訓練系統」，東海大學工業工程研究所碩士論文，1995。
- 戴瑩美、趙詠雪，1999 年工具機年鑑，工研院機械所，1999。
- 薛進成，工具機業維修服務零件資訊系統之研究，東海大學工業工程研究所碩士論文，2001。
- 戴瑩美，「兩岸工具機產業的互動與比較」，機械工業雜 2002/07 月號，第 175-209 頁，2002。
- 鐘淑馨，謝志銘，「限制資源有限前推排程法之設計」，工業工程學刊，第十三卷，第一期，第 23-32 頁，1996。