

國立交通大學
工業工程與管理學系

碩士論文

瓶頸漂移問題之分析與研究

A Study of Bottleneck Wandering



研究生：林志翰

指導教授：李榮貴 教授

中華民國九十三年七月

瓶頸漂移問題之分析與研究

A Study of Bottleneck Wandering

研究生：林志翰

Student :Chih-han Lin

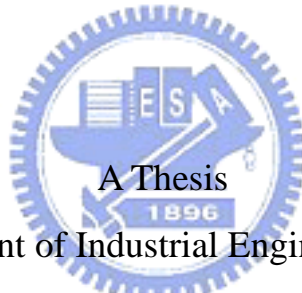
指導教授：李榮貴 博士

Advisor : Dr. Rong-Kwei Lee

國立交通大學

工業工程與管理學系碩士班

碩士論文



Submitted to Department of Industrial Engineering and Management

College of Management

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science

In

Industrial Engineering

July 2004

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年七月

瓶頸漂移問題之分析與研究

研究生：林志翰

指導教授：李榮貴 博士

國立交通大學工業工程與管理研究所

摘要

瓶頸資源決定系統的產出績效，因此管理者莫不追求於瓶頸資源的利用。但根據過去學者研究以及實地的訪查後發現，系統中普遍存在瓶頸漂移(bottleneck wandering)的情況，使得原本以瓶頸所做的排程計畫受到很大的影響。有鑒於瓶頸漂移對於產出績效的負面影響，因此本研究針對幾個造成瓶頸漂移的原因做深入探討並提出以限制理論(TOC)為基礎的解決方法以期能夠：(1)事先預防新瓶頸的形成以及(2)當瓶頸在無法避免形成時降低對系統產出績效的影響。

關鍵詞：瓶頸漂移、限制理論、產出績效

A Study of Bottleneck Wandering

Student : Chih-han Lin

Advisor : Dr. Rong-Kwei Li

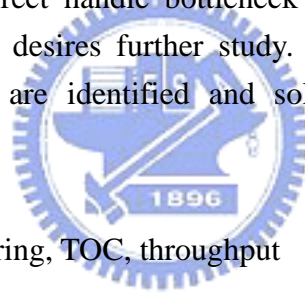
Department of Industrial Engineering and Management

National Chiao Tung University

Abstract

TOC claims that the bottlenecks determine the throughput of the production system. However, in reality, bottleneck wandering do exist, this create bottleneck management problems. Incorrect handle bottleneck wandering will deteriorate the throughput performance, this desires further study. In this thesis, the reasons that cause bottleneck wandering are identified and solutions to overcome them are proposed.

Key words: bottleneck wandering, TOC, throughput



誌謝

時間過的真快，研究生的生活在轉眼間已經快結束了。在這兩年中，經歷了很多事，除了得到許多專業領域上的知識以外，也學到了很多做人處世的道理。感謝我的恩師李榮貴教授，在我人生最低潮的時候給予很大的幫助，讓我能分心於處理家中的事務還能夠兼顧我的學業，在此要對他表達內心無限的敬意與感激。同時也感謝張盛鴻老師、杜瑩美老師在論文口試時所給予的寶貴意見，讓學生的論文更臻完整。

此外，感謝博士班的運金學長、文明學長、同門的立宇、學弟勃顯、琮發、韋安以及同學小歪，在我無助的時候給予我的鼓勵及幫助。還有感謝我那群 10 幾年交情的小馬會成員，感謝你們對我的鼓勵；在此，當然也不能忘記一直在我身邊同甘共苦的女友，姿菁小姐，若沒有她的支持與陪伴想必我的人生將會失去很多快樂的回憶。

最後，我要感謝媽媽、哥哥及姐姐全力的支持我，讓我無後顧之憂的完成學業。雖然父親已不在人世，無法分享我的喜悅，但我相信他在天上也能感受的到並以我為榮。僅將這篇論文獻給我最愛的家人。

志翰 于風城交大

中華民國九十三年七月

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	v
表目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與背景.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍與限制.....	2
1.4 研究架構.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 限制理論TOC(Theory of Constraints)之介紹.....	3
2.1.1 限制理論之源起.....	3
2.1.2 限制理論之基本內涵.....	4
2.2 限制驅導式現場排程方法DBR(Drum-Buffer-Rope).....	6
2.2.1 限制驅導式現場排程與管理的精簡法則.....	7
2.3 瓶頸漂移的相關文獻.....	9
2.3.1 瓶頸漂移掌握方法.....	10
第三章 瓶頸漂移問題分析與解決對策.....	11
3.1 造成瓶頸漂移原因之探討.....	11
3.2 避免瓶頸漂移之管理對策.....	13
3.3 緩衝管理(BM)之生產控管機制.....	19
3.3.1 瓶頸機台之管理.....	20
3.3.2 關鍵機台之管理.....	21
第四章 結論與建議.....	23
4.1 結論.....	23
4.2 建議.....	23
參考文獻.....	24
附錄一 併批投料與平準化投料表.....	26
附錄二 兩種投料下的WIP情況.....	27

圖目錄

圖 2.1 限制驅導式現場排程法示意圖.....	7
圖 2.2 瓶頸漂移檢測.....	10
圖 3.1 瓶頸漂移範例.....	11
圖 3.2 投料時程安排不佳形成新瓶頸.....	12
圖 3.3 兩種投料方式的產出績效.....	17
圖 3.4 加工批量、搬運批量、前置時間與瓶頸形成的關係.....	18



表目錄

表 3.1 產能平衡程度對瓶頸漂移的影響.....	13
表 3.2 產品的加工途程及期初WIP	14
表 3.3 產品組合一.....	14
表 3.4 機台產能負載.....	14
表 3.5 投料時程及Drum	15
表 3.6 產品組合二表.....	15
表 3.7 機台產能負載.....	15
表 3.8 A機台負載情況.....	15
表 3.9 新的投料表及排程.....	16
表 3.10 產品的加工途程及期初WIP	16
表 3.11 產品組合.....	17
表 3.12 機台產能負載.....	17
表 3.13 某時點之受限產能緩衝區查核表.....	21
表 3.14 某時點之出貨緩衝區查核表.....	21



第一章 緒論

1.1 研究動機與背景

一個生產系統的產出績效，取決於該系統的瓶頸資源。所以，幾乎大多數的管理者莫不致力於瓶頸資源的管理，希望儘可能將瓶頸充分利用，以達到較佳的生產績效。因此，目前有許多的生產排程方法便是以系統瓶頸的利用率最大化作為目標，來安排生產與投料計畫，相關的研究如“限制理論”(TOC, Theory of constraint)[3]、“避免飢餓法”(SA, Starvation Avoidance)[7]、以及“工作負荷調整法”(WR, Workload Regulating)[8]等方法皆是。而其中限制理論是利用“限制驅導式現場排程法”(Drum-Buffer-Rope, 簡稱為 DBR)，以瓶頸為中心來安排瓶頸機台的排程與投料計畫，使 WIP(Work In Process)的變動保持在一定水準，並獲得較佳的系統產出(Throughput)。而上述這些以瓶頸為基準的排程方法在規劃之前會先定義出瓶頸所在的位置(可能為一個或數個)，並假設其位置為固定的情況下來安排瓶頸的生產計畫，以此方式所安排的計畫通常能有較佳之系統產出與交期績效。但是，根據許多實務上的經驗以及過去相關的研究發現[9][16]，其實系統中都會有瓶頸漂移的現象存在，而且似乎是一個無法避免的趨勢[9]，當系統中的瓶頸轉移時，則原本以瓶頸為依據的排程將會受到影響，甚至會影響到系統的產出。

在此，我們首先對瓶頸漂移的定義如下：一系統中的非瓶頸資源，在某一段時間出現產能無法負荷需求，此非瓶頸工作站前的在製品(WIP)隨著時間不斷的增加且有堆積的情形，因而成為系統中新的瓶頸或稱為暫時瓶頸，這種現象便稱為瓶頸漂移。

一旦新瓶頸或暫時瓶頸形成，則原定的排程計畫將會受到影響，而且現場的管理人員也將會疲於奔命，重新安排人員或是機器的調度使得現場一團混亂。若是新瓶頸漂移至原來瓶頸之前，將可能使原來瓶頸排程受到延誤；若新瓶頸漂移

至原來瓶頸之後，則將可能影響到系統產出的績效，甚至可能因此延誤了交期、增加在製品水準、拉長生產的週期時間等問題。因此，對於瓶頸漂移的問題以及它將可能對系統績效帶來的損害，使得我們必須要正視這個問題。

1.2 研究目的

本研究之目的主要是經由對造成瓶頸漂移的可能原因做探討，並對各種發生的原因提出以限制理論為基礎的因應法則，期以降低瓶頸漂移發生的機會以及當新瓶頸在不可避免的情況下形成時，降低對系統產出績效的影響。

1.3 研究範圍與限制

本研究主要是針對瓶頸漂移的現象做一全面性的分析與探討，從規劃面的產能平衡程度、產品組合的改變、投料的時程等，以及現場活動控制的執行面如批量大小的決定，統計波動與當機等因素，都是本研究所討論的範圍而本研究所討論的對象並不針對某一特定的製造業。

1.4 研究架構

本研究的章節內容安排如下：第一章介紹緒論，第二章介紹限制理論以及探討過去對瓶頸漂移的相關文獻，第三章介紹瓶頸漂移現象的分析並提出避免之對策，第四章為結論。

第二章 文獻回顧

本章將介紹限制理論、DBR 的基本運作模式以及過去對瓶頸漂移的相關文獻做探討。第一節為限制理論的介紹，第二節說明 DBR 的基本運作模式，第三節是瓶頸漂移以及掌握瓶頸漂移方法的相關文獻探討。

2.1 限制理論 TOC(Theory of Constraints)之介紹

2.1.1 限制理論之源起

限制理論(TOC)的起源可追溯到 70 年代，一位以色列的物理學家 Dr. Goldratt 提出最優生產技術(OPT, Optimized Production Technology)，它最初是被稱做最優生產時間表(Optimized Production Timetable)，到 80 年代才改稱為最優生產技術。在當時，導入這套軟體的公司從中獲得具體的績效改善成果。而在這些導入的公司中，也不乏許多知名國際企業。接著，Dr. Goldratt 嘗試著改變傳統的行銷方式，以小說的手法撰寫出一本關於 TOC 的書「目標(The Goal)」[4]，描述一位廠長應用 TOC 在短時間內將工廠轉虧為盈的故事。因為該書所描述的是許多工廠都普遍存在的問題，因此該書出版之後，讀者甚廣並被譯成 13 國語言，成為全球的暢銷書，TOC 因而流傳。

Dr. Goldratt 認為一個企業經營者或管理者的思想、觀念，會對其企業所採用的管理制度、技術或方法有所影響。而企業所使用的管理制度、技術或方法將會直接影響到企業的績效表現，甚至是企業存亡與否的重要關鍵。因此，追本溯源，經營者的思想及觀念能否隨著環境的變化與時代變遷，接受新的觀念或思維將是真正企業生存的關鍵。然而，觀念的轉變並不如改變生產方式般的容易，除了經營者要能接受新知外，化解企業內部抗拒改變的阻力，才是企業典範移轉的開始 [19]。

2.1.2 限制理論之基本內涵

TOC 認為任何系統至少存在著一個限制，否則它就可能有無限的產出。因此要提高一個系統(任何企業或組織均可視為一個系統)的產出，必須要打破系統的限制。任何系統可以想像成由一連串的環所構成，環與環相扣，這個系統的強度就取決於其最弱的一環，而不是其最強的一環。相同的道理，我們也可以將我們的企業或機構視為一條鏈條，每一個部門是這個鏈條其中的一環。如果我們想達成預期的目標，我們必須要從最弱的一環；也就是從瓶頸(或限制)的一環下手，才可得到顯著的改善。換句話說，如果這個限制決定一個企業或組織達成目標的速率，我們必須從克服限制著手，才可以更快速的步伐在短時間內顯著地提昇系統的產出。

Dr. Goldratt 認為，要讓一個企業持續不斷改善，就必須要打破舊有的典範，以嶄新、科學的態度來看待企業裡的現象，找尋出隱藏在這些現象背後的因果邏輯、法則和情境。限制理論即是遵循這觀念，運用簡單甚至是接近常識的直覺方法來解決組織裡的問題。其基本管理主要涵蓋下列幾個常見原則[3]：

1、 局部最佳化的效益總合不等於整體最佳化效益(The Sum of the Local Optimal is not equal the global optimal)：

因變動、相互依存、政策和衡量指標等因素，系統整體的最佳績效並不等於所有部門最佳績效的總和。各自爭取個別效益的提升，不一定能為企業有效提升整體效益，更有甚者可能造成部門間利益衝突對立，而阻礙公司整體的利益。

2、 平衡的系統並不是好的系統(Balanced System is not a optimal system)：

在競爭越激烈、分工越專精、變化越頻繁的現今環境下，系統是不可能平衡的。傳統上儘可能追求平衡的系統會因為統計波動(Statistical Fluctuations)等因素而導致無法達成平衡。

3、 系統的產出應等於系統中最弱一環的產出(The Weakest Link ultimately

limits the success of the entire system) :

系統之最大有效產出決定於瓶頸資源或產能受限資源。系統的產出應由系統中最弱的一環來決定，而不是最強的部分。

- 4、系統的許多不良效應只根源於少數的核心問題上(Most of the Undesirable Effects within a system are caused by a few Core Problems) :

絕大部分系統出現的不良效應大都只是不受歡迎的指標或現象，而非真正的問題。它們是潛伏於系統下之病因所造成的效應。確認並根除核心問題不僅可減少不良效應的衝擊，更重要的是可防範不良效應的再發生。

- 5、空有想法不能解決問題(Ideals are not Solution) :

坐而思不如起而行。好的想法必須經過系統驗證，否則都無法了解其實質效益；況且常有許多好的想法在執行階段便夭折。

如前所述，限制理論的觀念建立於解決瓶頸制約的問題上，它有一套思考的方法和持續改善的程序，稱之為五個專注的步驟(Five Focusing Steps)，這五個步驟是：



步驟 1：確認(**Identify**)系統的限制

步驟 2：決定如何充份利用(**Exploit**)系統的限制

步驟 3：全力配合(**Subordinate**)步驟二之決策

步驟 4：打破系統的限制

步驟 5：找出下一個限制，回到步驟 1，別讓惰性成為限制，持續不斷地改善

而這個思考的程序可以讓人們有能力以邏輯和系統的方式回答任何想做持續改善時必會問的三個問題：

1. 要改變什麼？(What to change?)
2. 要改變成什麼？(To what to change?)
3. 如何改變？(How to cause the change?)

這三個問題可以應用到各式各樣的題目上，包括生產、配銷、專案管理、訂定公司的方針、溝通、授權、團隊建立等。

2.2 限制驅導式現場排程方法 DBR(Drum-Buffer-Rope)

限制驅導式現場排程法(DBR)是應用限制理論所發展出來的一套生產排程方法。在限制理論中認為：任何系統的最佳績效，受限於系統中的實體限制(如材料、資源、市場等)或無形的政策限制(如績效指標、組織文化)。而就限制驅導式現場排程之技術而言，主要是架構在實體限制的觀念上。

DBR 生產系統的規劃與控制主要是由三個部分所組成，即鼓(Drum)、緩衝(Buffer)、與繩子(Rope)。Dr. Goldratt 以行進中的軍隊來簡單的闡述這個概念，Drum 代表鼓聲，就如同軍隊中的鼓手以鼓聲來引導後續隊員的前進節奏。Buffer 就如同兩士兵的間隔距離，可以利用距離來應付突發的情形。Rope 代表的是軍隊中的紀律，受紀律的規範使隊伍不拉長且不會亂而達到同步前進的效果。而將這概念對應至生產現場中的情況如下：

(1) 限制驅導節奏(Drum)

系統最佳的績效是決定於系統之限制，因此限制能否充分發揮是決定系統真實表現的關鍵。由於在排程上前後製程有相依性，先排者有較大的選擇機會，所以在整個系統的排程決策上，唯有讓限制有優先的決策權才能使其有充份發揮的機會，換句話說，在排程上必須先決定實體限制最佳利用的生產節奏。由於這個節奏是依實體限制的需求而設計，而且要據以驅導整個系統之運作，因此稱之為限制驅導節奏(Drum)。

(2) 緩衝(Buffer)

為了確保限制驅導節奏的可行，必須要給予一些保護與系統的配合等措施。限制驅導式現場排程法是以緩衝時間(time buffer)的觀念來達到保護的目的。保護的目的有二：其一是要確保訂單能及時到達瓶頸資源而確保出貨時間不會延誤；其二是要確保受限產能不會斷料或沒工作。限制驅導式現

場排程法共提出了瓶頸(受限產能)緩衝、裝配緩衝及出貨緩衝等三種緩衝的保護觀念。

(3) 投料節奏(Rope)

為了確保限制驅導節奏的可行，除了緩衝時間的保護措施外，系統還必須要有一些配合的措施。首先最重要的就是投料時機必須配合限制驅導節奏的需要，因此必須由限制驅導節奏來推導出投料節奏(Rope)，其方法是由該訂單於限制驅導節奏上的計畫開始時間減去受限瓶頸緩衝時間，即可得到該訂單的投料時間。限制驅導式現場排程法的基本架構如圖 2.1 所示。

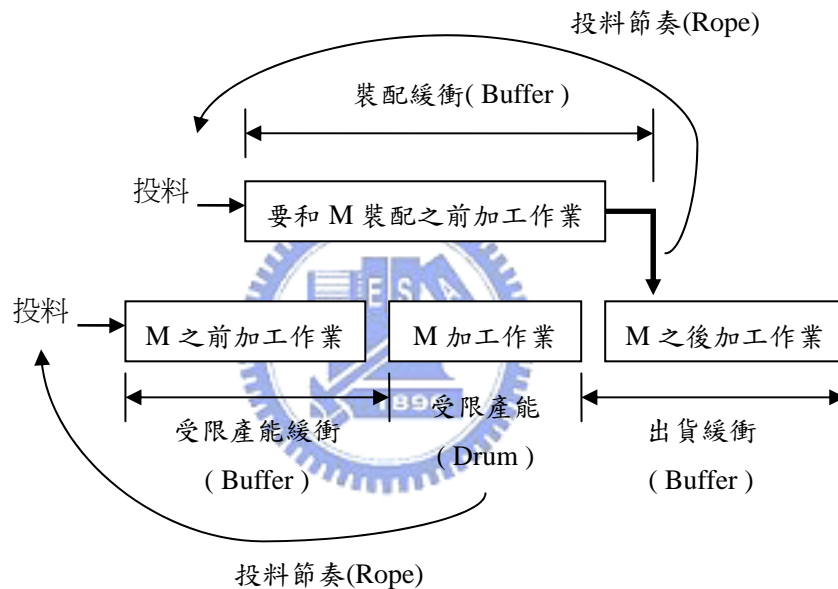


圖 2.1 限制驅導式現場排程法示意圖

2.2.1 限制驅導式現場排程與管理的精簡法則

限制驅導式現場排程與管理技術的理念和現有工廠中的管理制度有相當多不同之處，所以為了使用上的方便，研究限制理論的學者們將之歸納為下列九個基本理念：

(1) 要平衡流量(flow)而非而非平衡產能(capacity)：

所謂產能平衡是指要讓所有設備的產能都接近於市場需求，而不要有多餘的浪費。但實際上，由於有製程的統計波動存在所以要達成產能平衡是有困難的，應將管理的重心放在工廠的流量與市場需求間的平衡，讓

各站間的在製品流量順暢。

- (2) 資源的使用率(Utilization)不等同於可動率(On-Demand Utilization)：

使用率是指資源利用程度。而可動率是指某一資源要被使用時，能夠被運作的機率。使用率是由市場所決定的，所以我們應追求的是高可動率。

- (3) 非瓶頸資源的使用率不能自行決定，而是由系統的瓶頸資源所決定的：

由於系統的產出績效取決於瓶頸資源，因此非瓶頸資源的使用率必須要配合瓶頸資源來決定，對於產出才有幫助。

- (4) 瓶頸一小時的損失就是整個系統一小時的損失：

瓶頸決定系統的產出，因此瓶頸中斷一小時生產就等於整個系統產出損失一小時的產出。

- (5) 非瓶頸資源一小時的節省只是一種假象：

非瓶頸資源節省對於產出並不會有影響，因為是瓶頸決定產出，所以非瓶頸資源一小時的節省只是一種假象。

- (6) 瓶頸資源決定了整個系統的有效產出與存貨：

由於瓶頸資源的限制驅導排程決定了系統的產出及投料節奏，因此瓶頸資源決定了整個系統的有效產出與存貨。

- (7) 移轉批量不必/不應該等於生產批量：

移轉批量是工件每次從一站被搬移到下一站的批量大小。影響生產批量的因素是換線時間與次數，而影響移轉批量的是搬運時間與次數。所以兩種批量大小的考量因素是不相關的。

- (8) 生產批量應該是變動而非固定的：

由於不同產品在各站的換線時間是不相同的，所以生產批量不應一成不變。若為非瓶頸資源，小批量多換線可以縮短工件之待工與等候時間。

- (9) 排程必須同時考慮產能與加工優先順序之限制，前置時間是排程的結果而無法事先得知：

由於各製程間具有相依性，即產能與優先次序間的交互關係是無法評估

到的。因此，若先預設固定的前置時間而到現場將可能發生無法配合的情況。所以前置時間是排程的結果而無法事先得知。

2.3 瓶頸漂移的相關文獻

Umble & Srikanth[15]對瓶頸漂移的定義：在一些工廠裡的某一資源在某一時間點是瓶頸，但隨後卻有多餘的產能，各資源們輪流成為瓶頸，這種的現象便稱為瓶頸漂移。

而瓶頸是否一定會漂移？Lawrence & Buss[9]運用等候理論所建立出一個模型，並導出一個公式用以衡量瓶頸漂移的機率。其理念是由各機台成為瓶頸機率的變異數(coefficient of variance of the bottleneck probabilities)的大小來代表瓶頸漂移的機率，利用此公式可以計算出一工作站發生瓶頸漂移機率。

Ronen & Starr[10], Jones & Roberts[6],以及 Colvenaer et al.[1]等文獻中指出，即使生產排程做到最佳化，但由於市場的需求變動過大的影響，將會造成瓶頸資源轉移的現象。

Lawrence and Buss[9]認為生產系統中會存在有隨機事件(random events)的發生，如訂單的到達時間、機器當機、人員操作失誤的機率因素等，這些因素都可能直接或間接造成新瓶頸的產生。

Wu & Li(1995)[16]提出從各產品在各工作站所需要的時間作業長短來決定穩定產能限制資源(Stable CCR, Capacity Constraint Resource)、非產能限制資源(Non -CCRs)、以及潛在產能限制資源(Potential CCRs)之定理。其基本概念是以產品在各機台加工時間的長短作為依據，若某機台對各產品的加工時間皆比其它機台對各產品的加工時間短，則該機台便是非產能限制資源；反之，若某機台對各產品的加工時間皆比其它機台對各產品的加工時間長，則該機台便是穩定產能限制資源；若非上述兩種情形，則各機台將可能輪流成為產能限制資源。對於可能發生瓶頸漂移的機台而言，若產品組合(Product Mix)改變，就有可能發生瓶頸漂移的現象。由上述相關文獻的研究，我們可以確定生產系統中發生瓶頸漂移的

機會很高而且很普遍。

2.3.1 瓶頸漂移掌握方法

當工廠發生了瓶頸漂移的現象時，即出現了漂移前與漂移後的兩個不同的瓶頸。由於瓶頸漂移的意義是瓶頸出現在其他不同的資源上，因此就產出鍊上的製程而言，相對於舊瓶頸所在的位置，新瓶頸的位置只有兩種可能，即在舊瓶頸之前製程或在舊瓶頸之後製程。

對於生產瓶頸機台的監控管理，限制理論提出以緩衝管理(buffer management)的觀念[12,14]，在瓶頸站之前設置受限產能緩衝區以及出貨站前設置出貨緩衝區。然後根據受限產能緩衝區以及出貨緩衝區上空洞(hole)的變化，來掌握瓶頸漂移的方向，做適當的排程調整計畫。

Roser, Nakano & Tanaka[11]，也提出了瓶頸漂移的檢測方法。首先將機器作業的狀態分兩類：運作狀態(active state)及閒置狀態(inactive state)。所謂機器的運作狀態，意指當某機器正在進行零件的加工，導致後續的機器等待的情形；或是某機器正在進行維修，阻礙了先前的機器運作。而機器的閒置狀態，所指的是機器沒有在運作而是在等其他的作業完成，如等待零件或等待加工的情形。

他們將瓶頸定義為，某一機器持續的保持運作狀態而不中斷，則該機台則為此生產系統之瓶頸。然後在某時點 t ，若無機台處於運作狀態，則此時無瓶頸。若在某時點 t 有一台或一台以上之機器處於運作狀態，則有最長之運作不中斷時間之機台即為暫時之瓶頸。找出該時點之暫時瓶頸後，再找出其之前及之後之瓶頸。此時若發現前後瓶頸機台之最長運作不中斷時間重疊，則表示瓶頸正在兩機台間漂移。如圖 2.2 所示。

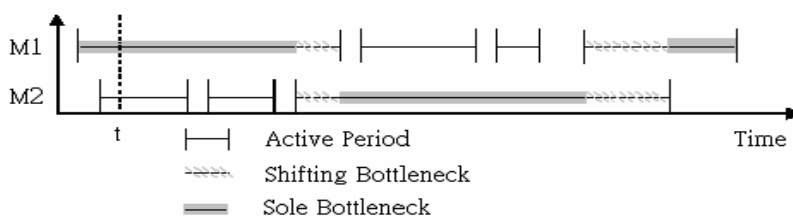


圖 2.2 瓶頸漂移檢測[11]


第三章 瓶頸漂移問題分析與解決對策

3.1 造成瓶頸漂移原因之探討

由前一節關於瓶頸漂移的文獻探討中我們可以了解到，在實際的生產線上有許多因素都可能造成瓶頸的轉移或暫時性的瓶頸，如：產品組合改變、投料時點以及投料模式、產能平衡程度、批量大小、統計波動與當機等問題，都是可能的原因。以下，我們將各別分項來做討論。

1. 產品組合與瓶頸漂移之關係

由於市場需求的變化對工廠而言，是一個無法改變的事實。隨著不同訂單而有不同產品組合變化，因此會造成各資源不同程度的負荷，若是產品組合的結果造成產能趨向高度平衡，則產生瓶頸漂移的機會便會升高。例如，某一工廠有兩種機器，分別為A機台與B機台，生產兩種產品 P1 和 P2，產品在各機台的加工時間以小時為單位（不考慮換線時間），如圖 3.1 所示。



	機 台	
	A	B
產 品 P1	1	2
產 品 P2	2	1

圖 3.1 瓶頸漂移範例

由於市場需求變化，工廠生產的產品組合就會有所不同，所以工廠的受限產能就會隨著生產組合的不同而有下列三種狀況：

- (1) 當 P1 與 P2 的需求量相同時，則此工廠無受限產能或是兩者都是受限產能，因為兩工件在 A 加工 3 小時，同樣需要 B 機器加工 3 小時。
- (2) 當 P1 的需求量大於 P2 的需求量時，則 B 機台將成為瓶頸機台。例如，若 P1 需求為 P2 的兩倍時，則 B 每加工 5 小時，A 所需要加工時間只需 4 小時。
- (3) 當 P2 的需求量大於 P1 需求時，則機台 A 將成為瓶頸機台。例如，

P2 的需求為 P1 的兩倍時，A 每加工 5 小時，B 所需要加工時間只需 4 小時。

由以上的例子，我們便能了解產品組合對於瓶頸所造成的影響及變化。

2. 投料的時程與瓶頸漂移之關係

投料時程的規劃對於生產線上的情況有很大的影響。投料的時間安排的不恰當，有可能造成機台同時擠進很多工作，而造成 WIP 快速升高的情形，使得原本非瓶頸機台成為新瓶頸。在此，我們以一個例子來說明：假設某生產線於 2 月 1 日下料 C 產品 200 片、D 產品 100 片；2 月 2 日下料 C 產品 100 片、D 產品 200 片，且 C、D 兩種產品都會經過機台 M 之製程（非瓶頸機台）。C 產品由投料到機台 M 需要標準製程時間 6 天，D 產品需要 5 天。經由推算後發現在 2 月 7 日時，將有兩百件的 C 產品與 D 產品同時湧入機台 M，造成機台 M 的在製品瞬間升高而成為新的瓶頸（假設 WIP 管制上限為 300）（如圖 3.2 所示）。

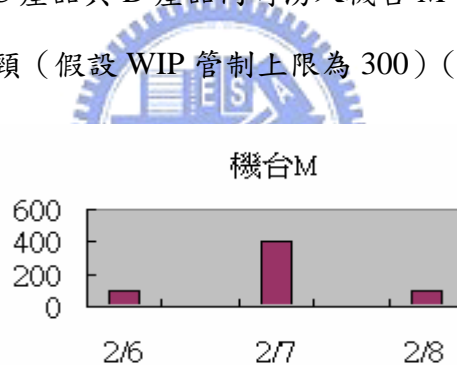


圖 3.2 投料時程安排不佳形成新瓶頸

3. 批量大小與瓶頸漂移之關係

批量的大小通常攸關總整備時間的長短。若生產的批量大則整備次數勢必相對的會減少，因此總整備時間也因此而降低，但 WIP 量會很高，現場的物流狀況可能也會不順暢。若使用小批量生產，雖然可以使 WIP 的量降低，但將勢必要多換線才能達成，有時候整備的次數過多反而浪費了機器的產能，並且將有可能使得原本的非瓶頸工作站變成了瓶頸。

4. 產能平衡程度與瓶頸漂移之關係

在實際的工廠中有許多原因都會造成產能平衡程度產生變化，例如接單時

產品組合的改變、投料計畫的變更或是機器發生當機的情況，都可能使機器原本的負荷狀態改變。

當非瓶頸機台有相當多的產能餘裕時，則表示此時瓶頸與非瓶頸的產能極端不平衡，並不容易有瓶頸漂移的現象發生。若工廠內各工作站的產能平衡度接近，則很有可能因為一些突發的狀況而使瓶頸發生漂移。如表 3.1 中所示，在產能高度平衡的瓶頸機台為 M1，M2 為非瓶頸機台，但是若 M2 因為某些因素如投料不當或當機，即便只使負荷多 5% 也將會使 M2 成為新的瓶頸。然而，若是處於低度產能平衡時便不易發生此情況。

表 3.1 產能平衡程度對瓶頸漂移的影響

機台	M 1	M 2	M 3	M 4
產能平衡程度高	95%	90%	87%	65%
產能平衡程度低	90%	75%	60%	55%

5. 統計波動、當機與瓶頸漂移之關係

即便是在投料與派工上做好萬全的規劃，但是若當機或其他非預期因素發生時，就可能造成 WIP 到處堆積的情形發生而形成新的瓶頸。若工廠對於機台所留的保護(buffer)產能不夠的話，則由於統計波動所造成的瓶頸漂移現象便會持續的發生。

3.2 避免瓶頸漂移之管理對策

1. 產品組合

在目前的生產環境下，顧客的需求變化大且大多是屬於少樣多量的產品組合，但如果每次接單的產品組合變動很大，而且業務人員沒有考慮到產能的負荷情況便會造成瓶頸漂移。這種情形最常見的就是業務員讓顧客插單所造成。對此種情況，我們在不影響原有訂單交期的前提下，對於每次接單的產品組合改變造成無法避免之瓶頸漂移的問題，我們提出以下的解決的步驟：

步驟一：每次接單後，計算各工作站/機台的負荷。

步驟二：找出新瓶頸，並將該工作站/機台的餘裕產能列出。此步驟其實就如同 DBR 排程技術中，在評估非受限產能時的方式，將各機台單位時間的產能視為一個可裝負荷的空籃子(Time Bucket)，通常是指「天」、「週」或「小時」。

步驟三：將該工作站/機台的餘裕產能填滿。此步驟就如同限制理論中充分利用系統的限制的概念。

步驟四：依照新排定的瓶頸排程去倒推投料日期。

對於每次瓶頸的改變，經由上述的四個步驟，我們便可以在有限產能下儘早完成顧客的訂單。以下我們直接以一個產品組合改變的例子來說明。

某一工廠只生產四種產品，而此工廠內共有四個工作站(A、B、C、D)，各站機台都為一台，每一站都有其獨特的加工能力，所以不能互換或互相支援。每張訂單在每一站的生產時間都為一天。表 3.2 為 4 種產品的加工途程及期初 WIP。

表 3.2 產品的加工途程及期初 WIP

產品	製造程序	期初WIP及所在位置
#1	A-->B-->A-->D	機台B前有一件
#2	C-->D-->B-->B	
#3	A-->C-->B-->C	機台A前有一件
#4	A-->B-->B-->D	機台A前有一件

該工廠在 1 月 1 號的時候接到一筆訂單(產品組合一)如表 3.3 所示，交期為 31 號。經由負載的計算(如表 3.4 所示)，得知機台 B 的負載最高，亦即 B 為瓶頸機台。

表 3.3 產品組合一

產品	#1	#2	#3	#4
數量	8	6	7	1

表 3.4 機台產能負載

1-31日各站之負載			
A	B	C	D
74%	94%	65%	48%

此時，我們利用平準化的方式排出瓶頸排程(Drum)，並倒推投料的時間(緩衝為 4 天)，如表 3.5 所示。然後該工廠在 21 日時又接到一筆訂單(產品組合二)如表

3.6 所示。此時，在不想延誤原訂單又想要能儘快完成第二筆訂單的情況下，我們將利用前面所提的步驟來解決這問題。

步驟一：表 3.7 為各機台之負載計算，我們可以看出 21 號以後機台 A 將成為下一個瓶頸。

步驟二：由於機台 A 為新瓶頸，因此我們將機台 A 在 21 日以後的空餘產能列出，如表 3.8 所示。

步驟三：將第二筆訂單插入空餘產能當中，如表 3.9 所示。

步驟四：倒推投料日期，如表 3.9 所示。

表 3.5 投料時程及 Drum

Day	投料	B(Drum)
1	#1	#1
2	#2	#4
3		#4
4	#3	#3
5	#1	#1
6	#2	#2
7		#2
8	#3	#3
9	#1	#1
10	#2	#2
11		#2
12	#3	#3
13	#1	#1
14	#2	#2
15		#2
16	#3	#3
17	#1	#1
18	#2	#2
19		#2
20	#3	#3
21	#1	#1
22	#2	#2
23		#2
24	#3	#3
25	#1	#1
26		#2
27		#2
28		#3
29		#1
30		
31		

表 3.6 產品組合二表

產品	#1	#2	#3	#4
數量	7	0	3	1

表 3.7 機台產能負載

1/21~2/15各站之負載			
A	B	C	D
96%	85%	53%	53%

表 3.8 A 機台負載情況

機台負載		
Day	A	B
1月21	#3	#1
22	#1	#2
23	#1	#2
24		#3
25	#3	#1
26	#1	#2
27	#1	#2
28		#3
29		#1
30	#1	
31		

表3.9 新的投料表及排程

*()代表第二筆訂單

日期	投料	機台負載	
		A	B
1月1	#1, (#1)	#3	#1
22	#2	#1	#2
23		#1	#2
24	#3, (#3)	(#1)	#3
25	#1, (#3)	#3	#1
26		#1	#2
27		#1	#2
28	(#1)	(#3)	#3
29	(#1)	(#3)	#1
30		#1	(#1)
31	(#4)	(#1)	(#3)
2月1		(#1)	
2	(#1)	(#1)	(#1)
3	(#1)	(#1)	(#3)
4		(#4)	(#1)
5		(#1)	(#4)
6	(#3)	(#1)	(#4)
7	(#1)	(#1)	(#1)
8	(#1)	(#1)	(#1)
9		(#1)	
10		(#3)	
11		(#1)	
12		(#1)	(#1)
13		(#1)	(#1)
14		(#1)	(#3)
15			

2. 投料規劃

對於避免瓶頸漂移的投料計畫，我們提出以平準化投料的 DBR 排程方法來解決。所謂平準化投料的 DBR 排程就是，每一個物料投入的時間與瓶頸排程配合呈現週期性的循環。利用此方式的目的是為了使各工作站/機台的產能負荷能保持穩定，可以避免非瓶頸資源在同一時間內擠入太多工作而發生瓶頸暫時漂移的現象。而此投料平準化的週期時間該如何訂定呢？我們的做法如下：

- (1) 決定欲生產的產品組合
- (2) 計算出總生產天數或用交期日減去投料日而得知
- (3) 各產品的投料週期時間= 總生產天數/各產品的生產數目

例：某工廠欲生產的產品組合為：A 產品 4 件, B 產品 6 件, C 產品 3 件生產天數為 12 天，則各產品投料的週期時間為：A 產品 3 天，B 產品 2 天，C 產品 4 天投料一次。

利用上述步驟算出來的只是一個概略的週期，可以在依照生產現場實際的狀況來做些微的調整。而利用此平準化的觀念，除了可以避免瓶頸漂移的發生之外，還可以使 cycle time 以及 WIP 的數量降低等優點。接下來我們以一個例子來說明，運用 DBR 排程但以不同方式投料對於產出績效的影響。

某一工廠只生產四種產品，而此工廠內共有四個工作站(A、B、C、D)，各站機台都為一台，每一站都有其獨特的加工能力，所以不能互換或互相支援。每張訂單在每一站的生產時間都為一天，生產規劃時間為 36 天。表 3.10 為 4 種產品的加工途程及期初 WIP。

表 3.10 產品的加工途程及期初 WIP

產品	製造程序	期初WIP及所在位置
#1	A-->B-->A-->D	機台B前有一件
#2	C-->D-->B-->B	---
#3	A-->C-->B-->C	機台A前有一件
#4	A-->B-->B-->D	機台A前有一件

該工廠所生產的產品組合如表 3.11 所示。並且經由負載的計算(如表 3.12 所示)，

得知機台 B 的負載最高，亦即 B 為瓶頸機台。

表 3.11 產品組合

產品	#1	#2	#3	#4
數量	9	8	8	1

表 3.12 機台產能負載

各站之負載			
A	B	C	D
75%	97%	67%	50%

接下來我們分別以併批以及平準化投料的方式來安排瓶頸排程(Drum)(參照附錄一)。由 WIP 的變化表我們發現併批的投料方式將造成瓶頸漂移的現象發生(參照附錄二)，並且產品無法全部準時完成，生產的週期時間很長；而使用平準化的投料方式下產品皆能在期限內完成，並且生產的週期時間都很短。此兩種投料方式的產出績效比較(圖 3.3)，我們可以看出平準化的投料方式能有較好的產出結果。

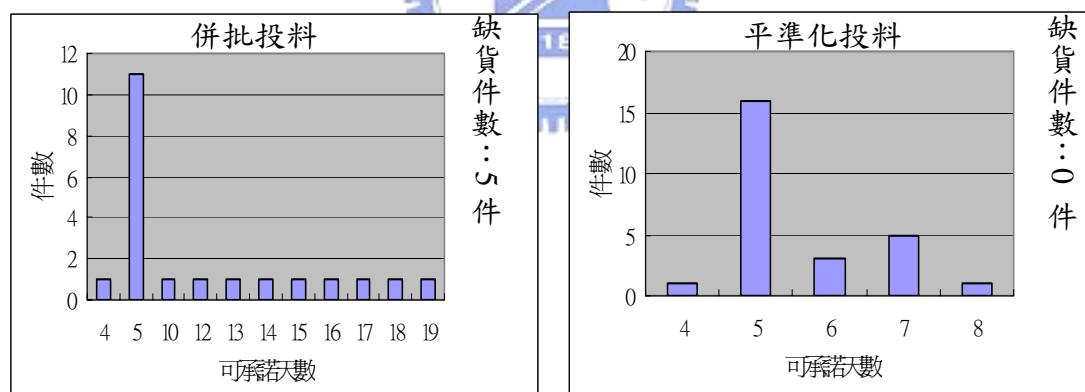


圖 3.3 兩種投料方式的產出績效

3. 批量大小

在限制理論當中，將批量分為製程批量(process batch)與移轉批量(transfer batch)兩類[10]。所謂的移轉批量是工件每次從前一站被搬移到下一站的批量大小。以限制理論的所提出的觀點來看，製程批量與移轉批量的安排將影響生產線上 WIP 的流動情況。而且限制理論更提出製程批量不必等於移轉批量的概念[6]，將製程批量批量分割成較小的移轉批量，如此一來可以大幅縮短訂單的製

造時間。

一般來說，工廠都希望能夠充分利用瓶頸的產能，所以在瓶頸機台上的製程批量通常是越大越好，如此可以減少整備的次數並降低對有效產出的減損。而非瓶頸機台則可以用小批量的方式來生產，雖然如此會造成換線次數的增加，但是由於有多餘的產能，所以不至於影響有效產出。

Goldratt[6]提出應該依據工廠的實際情況(視整備時間佔總加工時間的比例而定)。原則上盡可能加大製造批量以避免非瓶頸工作站成為新的瓶頸，同時應降低移轉批量以縮短製造的前置時間，如此的安排將使生產有效率。然而，增加加工批量與降低搬運批量的兩種作法間並沒有衝突，圖 3.4 顯示如此的概念 (Goldratt 1996)。

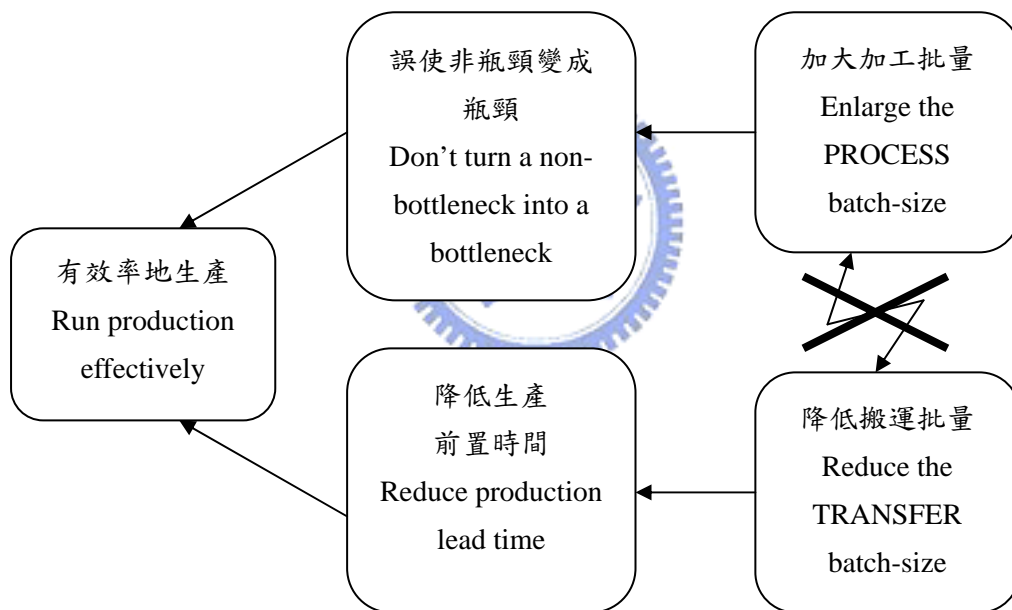


圖 3.4 加工批量、搬運批量、前置時間與瓶頸形成的關係

4. 產能平衡程度

對於產能平衡程度所造成的瓶頸漂移問題，Lawrence et al.[11] 提到增加所有非瓶頸機台的產能，拉大瓶頸站與非瓶頸站之間的產能差距，以減少瓶頸漂移的可能性。依照此觀念，主要的目的就是要將瓶頸固定在同一處以便於管理上的方便。但是，這種增加產能的方式似乎只是治標而不治本，因為若像是如訂單組合改變所造成的暫時性產能平衡程度接近，管理者不可能常常為此而採購新的機

台設備。因此我們認為應該視工廠的情況來做處理：

- (1)若是工廠的需求變動不大的話，我們認為以限制理論中所提出的觀念，只需要增加瓶頸機台前的非瓶頸機台的產能即可。因為在瓶頸機台之前的非瓶頸機台只要有足夠的保護產能，就可以應付突發狀況時可能對瓶頸資源的產出造成損害。
- (2)若是工廠的需求變動較大時，解決的方法應著重在投料與排程計畫的控管，運用投料來控制緩衝的大小來降低瓶頸漂移情況的發生並且保護瓶頸的排程計畫。

5. 統計波動、當機

對於統計波動、當機等非預期因素造成瓶頸漂移的發生，最根本的辦法當然是在平時對於機器運作紀錄與預防保養的工作要落實。但儘管完全做到，莫非(Murphy)仍然有可能會發生。因此，針對此種情況所造成的暫時性瓶頸漂移，我們認為可以限制理論所提出的時間緩衝區(Time buffer)概念來做預防及補救。常見的方法是提早對瓶頸的投料時間，使得有較多的緩衝時間來保護瓶頸避免缺料。但過大的保護會直接影響到現場 WIP 數量的增加；相對的，若是保護不足除了可能影響到系統的有效產出之外，也可能延誤到後續的製程。因此，緩衝暫存區的大小設置有賴於具有經驗的工程師來做決定。

3.3 緩衝管理(BM)之生產控管機制

經由前面的探討中得知，管理者可以事先的施行一些管理對策，例如，投料時程的安排、改變批量大小、拉大瓶頸與其它機台間的產能以及機器的預防保養等，以避免瓶頸發生漂移的可能性。但事實上，系統中存在許多不確定因素，使得瓶頸漂移的現象仍舊可能出現。所以我們試圖去尋找出方法，來降低漂移現象發生時對系統產出績效的影響。在此，本研究認為避免瓶頸漂移造成瓶頸排程以及交期受到延誤的有效方式為：在 DBR 的生產環境下運用緩衝管理(BM)機制 [13]，提前一段時間投料作為緩衝來保護瓶頸排程以及交期。但除了對瓶頸機台

設置緩衝區的方式之外，系統中也可能存在一個或數個會影響系統的績效非瓶頸資源(關鍵資源或關鍵機台)，因此我們也必須對這些關鍵機台做監控管理。而瓶頸機台與關鍵機台在管理的做法上有些不同，我們將在以下各節做說明：

3.3.1 瓶頸機台之管理

對於瓶頸機台的管理採用限制理論中所提出的緩衝管理，以觀察瓶頸的排程計畫是否受到影響。首先，緩衝區可分為受限產能緩衝、裝配緩衝與出貨緩衝三種。而根據 Dr.Goldratt 的說法，將緩衝區的時間切割成 I、II、III 三等分，而管理者只要根據物料計畫時程與實際到達情況(即空洞所在的位置)，來決定生產節奏的進行。若空洞出現在第 I 區，此時便要立即趕工；如果是出現在 II、III 區，則只需要密切的監控後續的變化而尚不需要趕工。在此我們以一個例子來說明緩衝管理的運作機制。

某一工廠施行緩衝管理，由於生產流程的關係因此只有設置受限產能緩衝以及出貨緩衝區，而表 3.13 為該工廠在某一時點做緩衝確認的查核表。a1 及 a2 為受限產能站所要加工的工件，有負號代表該工件在該時點是缺料的狀態。該工廠所設定的緩衝為 9 小時，每一欄代表一小時並且除以 8 個工件，因此每一列又可拆成 7.5 分鐘。由表中我們可以看到，受限產能未來的 4.5 小時內都要加工 a1，但是在這期間有一小時處於缺貨的狀態；不過由於有設置緩衝區的緣故，我們發現其實受限產能仍有 3.5 小時的保護時間，所以此時只要多加留意即可仍不需要做任何的變動。

而在出貨緩衝的部分，緩衝長度也是 9 小時，由於該部分本身並無作業時間，因此在欄內多是以件數來表示而不是以時間表示。由表 3.14 中我們看到，距現在 3 小時內有 4 件 X 產品缺貨，因此必須要加緊趕工完成需要的數目，以免造成缺貨發生。而距現在 6 小時內的 Y 產品皆能允諾，但距現在 9 小時的產品 X 仍無法允諾，不過仍有 8 小時的緩衝所以尚不需要趕工。

表 3.13 某時點之受限產能緩衝區查核表

		Time (hr)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Time (min)	60	a1	a1	a1	-a1	a2	a2	a2	-a1	-a1
		a1	a1	a1	-a1	a2	a2	a2	-a1	-a1
	45	a1	a1	a1	-a1	a2	a2	a2	-a1	-a1
		a1	a1	a1	-a1	a2	a2	a2	-a1	-a1
	30	a1	a1	a1	a1	-a1	a2	a2	-a1	-a1
		a1	a1	a1	a1	-a1	a2	a2	-a1	-a1
	15	a1	a1	a1	a1	-a1	a2	a2	a2	-a1
		a1	a1	a1	a1	-a1	a2	a2	a2	-a1
		第 I 區			第 II 區			第 III 區		

表 3.14 某時點之出貨緩衝區查核表

		Time (hr)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Units	16									
	14									
	12						Y			
	10						Y			
	8			-X			Y		-X	
	6			-X			Y		-X	
	4			X			Y		-X	
	2			X			Y		-X	
		第 I 區			第 II 區			第 III 區		

對於瓶頸及出貨區採用緩衝管理後，管理者可以根據空洞出現在哪個區域，來決定是否要趕工，或是改變生產的優先順序。如此的管理方式確實可以降低對生產績效所造成的傷害。

3.3.2 關鍵機台之管理

雖然對瓶頸機台進行緩衝管理可以得知原物料的流程進度，但在發生缺貨狀況時並無法確實得知究竟是在哪些工作站耽擱到了，因此，除了對瓶頸做好管理

之外，也必須要針對一些可能發生問題的非瓶頸機台(我們稱為關鍵機台)做監控，同時的進行配合才能使緩衝管理發揮最大的效用。對於關鍵機台的管理，我們提出以下的步驟：

步驟一：找出關鍵機台

關鍵機台的選擇方式，以當機最頻繁的機台為首要的監控目標，再來是經常會受到產品組合的改變而使負荷接近瓶頸的機台，通常這也是由於產能平衡程度接近的緣故所造成。

步驟二：設定關鍵機台的管制水準

在選定關鍵機台後，接下來就要對每一個關鍵機台設定管制的水準，若該機台發生狀況並且超出設定的水準時便啟動應變的機制。而管制的依據通常是以WIP的水準、以及堆貨的天數來做設定。而管制水準應依照實際的生產情況來做的設定。

步驟三：決定應變的機制

當關鍵機台達到管制的界限後，此時便要決定該以加班或是改變派工順序等方式來做解決。

經由以上對於瓶頸與關鍵機台提出管理上的做法之後，管理者除了可以對於現有瓶頸監控管理之外，同時也能對於可能形成新瓶頸的機台做到預防的動作，如此一來便可以提高整個生產系統的穩定性。



第四章 結論與建議

4.1 結論

生產系統的產出績效取決於瓶頸資源，但瓶頸資源常會受到一些外在因素的影響而改變，使得管理者難以清楚的掌握。有鑒於瓶頸漂移對產出績效的許多負面影響，因此本論文首先便針對造成瓶頸漂移的可能原因做探討，並進一步對各種造成的原因提出實際可行的預防及補救辦法。在預防的方法上，運用投料計畫的控管以及排程計畫的調整來避免過多在製品同時湧入某一機台的情況發生、拉大瓶頸與非瓶頸機台間的產能平衡程度，以及透過平時的觀察紀錄和預防保養來避免當機情況造成暫時性瓶頸漂移的現象；當瓶頸在無可避免的情況下發生漂移時，我們仍然可以利用緩衝管理以及對關鍵機台所做的紀錄中，找出問題的源頭做出應變措施使得系統績效的影響降到最低。

4.2 建議

瓶頸漂移的現象在不同的生產環境下都會發生，但是在不同的產業間，如半導體廠與面板製造廠造成瓶頸漂移的原因並不太相同。因此，未來可以根據不同的產業之間分別作深入的研究，針對該產業所特有的因素提出實際可行的解決辦法。

參考文獻

- [1] Colvenaer, D. D., J. Maes and L. Gelders (1992), "Application of TOC/OPT rules in a medium sized shop," *Production Planning and Control*, 3, 413-421.
- [2] Glassey, C. R. and M. G. C. Resende (1988), "Closed-Loop job release control for VLSI circuit manufacturing," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1(1), 36-46.
- [3] Goldratt, E. M. (1990), Theory of Constraints, North River Press, N.Y.
- [4] Goldratt, E. M. and J.Cox (1992), The Goal , North River Press, N.Y.
- [5] Goldratt, E. M. (1996), Production The TOC Way , Work Book, North River Press, Croton-on-Hudson, NY.
- [6] Jones, G. and M. Roberts (1990), Optimized Production Technology (OPT), IFS Publication, UK.
- [7] Lozinski, C. and C. R. Glassey (1988), "Bottleneck starvation indicators for shop floor control," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1(4), 147-153.
- [8] Lawton, J. W., A. Drake, R. Henderson, L. M. Wein, R. Whitney and A. Zuanich (1990), "Workload regulation wafer release in a GaAs facility," *International Semiconductor Manufacturing Science Symposium*, pp. 33-38.
- [9] Lawrence, S. R. and A. H. Buss (1994), "Shifting Production Bottlenecks: Cause, Cures, and Conundrums," *Production and Operations Management*,3(1), 21-37.
- [10] Ronen, B. and M. K. Starr (1990), "Synchronized manufacturing as in OPT: from practice to theory," *Computer and Industrial Engineering*, 18, 585-600.
- [11] Roser, C., M. Nakano and M. Tanaka (2002), "Shifting bottleneck detection,"

- Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, 1079-1086.
- [12] Schragenheim, E. and B. Ronen (1990), “Drum-Buffer-Rope shop floor control,”
Production and Inventory Management Journal, third quarter, 18-22.
- [13] Schragenheim, E. and B. Ronen (1991), “Buffer Management: A Diagnostic Tool
for Production Control,” Production and Inventory Management Journal,
32(2),74-79.
- [14] Srikanth, M. L. and M. M. Umble (1997), Synchronous Management: Profit
-Base Management for the 21th Century, Volume One, Spectrum Publishing.
- [15] Umble, M. M. and M. L. Srikanth (1990), Synchronous manufacturing: principle
for world class excellence, Cincinnati, OH: South-Western Publishing.
- [16] Wu H. H. and R. K. Li (1995), “Capacity constraint resource wandering and its
behavior in a production plant,” Journal of Chinese Institute of Industrial
Engineers, 12(1), 63-69.
- [17] 黃承龍，張盛鴻，李榮貴 (2001)，瓶頸漂移分析與對策之研究，Journal of the
Chinese Institute of Industrial Engineers, 18(4) , 73-81.
- [18] 李榮貴與吳鴻輝 (2001)，限制驅導式現場排程與管理技術，第二版，台北：
全華。
- [19] 李榮貴，「製造管理專題上課講義」(2002，國立交通大學工業工程與管理學
系課程)

附錄一 併批投料與平準化投料表

併批投料&DBR排程

*B 為Drum

Day	投料	Day	Drum
1	#1	1	#1
2	#1	2	#4
3	#1	3	#4
4	#1	4	#3
5	#1	5	#1
6	#1	6	#1
7	#1	7	#1
8	#1	8	#1
9	#2	9	#1
10		10	#1
11	#2	11	#1
12		12	#1
13	#2	13	#2
14		14	#2
15	#2	15	#2
16		16	#2
17	#2	17	#2
18		18	#2
19	#2	19	#2
20		20	#2
21	#2	21	#2
22		22	#2
23	#2	23	#2
24		24	#2
25	#3	25	#2
26	#3	26	#2
27	#3	27	#2
28	#3	28	#2
29	#3	29	#3
30	#3	30	#3
31	#3	31	#3
32		32	#3
33		33	#3
34		34	#3
35		35	#3
36		36	#3

平準化投料&DBR排程

*B 為Drum

Day	投料	Day	Drum
1	#1	1	#1
2	#2	2	#4
3		3	#4
4	#3	4	#3
5	#1	5	#1
6	#2	6	#2
7		7	#2
8	#3	8	#3
9	#1	9	#1
10	#2	10	#2
11		11	#2
12	#3	12	#3
13	#1	13	#1
14	#2	14	#2
15		15	#2
16	#3	16	#3
17	#1	17	#1
18	#2	18	#2
19		19	#2
20	#3	20	#3
21	#1	21	#1
22	#2	22	#2
23		23	#2
24	#3	24	#3
25	#1	25	#1
26	#2	26	#2
27		27	#2
28	#3	28	#3
29	#1	29	#1
30	#2	30	#2
31		31	#2
32		32	#3
33		33	#1
34		34	#2
35		35	#2
36		36	#2

附錄二 兩種投料下的WIP情況

併批投料下之WIP情況

Day	WIP			
	A	B	C	D
1	3	1	0	0
2	3	1	1	0
3	3	2	0	1
4	3	1	1	1
5	4	1	1	1
6	5	1	0	0
7	6	1	0	0
8	7	1	0	0
9	7	1	1	0
10	7	1	0	1
11	7	2	1	0
12	7	1	0	2
13	6	1	1	2
14	5	1	0	3
15	4	1	1	3
16	3	1	0	4
17	2	1	1	4
18	1	1	0	6
19	0	1	1	5
20	0	1	0	5
21	0	1	1	4
22	0	1	0	4
23	0	1	1	3
24	0	1	0	3
25	1	1	0	2
26	1	1	1	1
27	1	2	1	0
28	1	2	1	0
29	1	2	2	0
30	1	1	3	0
31	1	1	4	0
32	1	1	5	0
33	0	1	6	0
34	0	1	6	0
35	0	1	6	0
36	0	0	6	0

平準化投料下之WIP情況

Day	WIP			
	A	B	C	D
1	3	1	0	0
2	2	1	2	0
3	1	2	1	1
4	1	1	1	2
5	2	1	1	1
6	1	3	1	0
7	0	2	1	2
8	1	2	1	1
9	2	1	1	0
10	1	3	1	0
11	0	2	0	2
12	1	1	1	1
13	2	1	1	0
14	1	2	1	1
15	0	2	0	1
16	1	2	1	0
17	2	1	1	0
18	1	3	1	0
19	0	2	0	2
20	1	1	1	1
21	2	1	1	0
22	1	3	1	0
23	0	2	0	2
24	1	1	1	1
25	2	1	1	0
26	1	3	1	0
27	0	2	0	2
28	1	1	1	1
29	2	1	1	0
30	1	3	1	0
31	0	2	0	2
32	0	1	1	1
33	1	1	0	0
34	0	1	0	1
35	0	0	0	0
36	0	0	0	0