

# 應用限制理論改善電子業生產排程績效之個案研究

## A Case Study of the Application of the Theory of Constraints to Improve Scheduling Performance for Electronics Industry

陳心儀<sup>1</sup>

國立高雄科技大學 企業管理系碩士在職專班 研究生

J112257126@nkust.edu.tw

余銘忠<sup>2</sup>

國立高雄科技大學 企業管理系 教授

yminchun@nkust.edu.tw

### 摘要

本研究以一家航空電子組裝公司為個案，探討傳統排程方法在面對少量多樣、客製化生產之限制時，如何導入限制理論(TOC)與其應用工具限制驅導式排程(DBR)以改善排程績效。透過辨識生產瓶頸，如烙鐵焊接與目視外觀檢驗工作站、設置緩衝區與規劃投料節奏，建構 DBR 排程系統，並與個案公司原有使用排程方法進行模擬比較。研究探討 DBR 能否有效縮短流程時間、降低平均延遲時間、減少在製品庫存，提升交期達成率與生產效率。研究結果顯示，企業若能聚焦瓶頸管理並結合排程技術與即時預警機制，將有助於在高變異的航空電子製造產業環境中穩定生產與提升競爭力。

**關鍵詞:**航空電子、限制理論、限制驅導式排程、接單式生產

**Keywords:** Aerospace Electronics, Theory of Constraints (TOC), Drum-Buffer-Rope (DBR), Make-to-order

### 1.緒論

#### 1.1 研究背景

從中國古代的風箏、天燈、竹蜻蜓等利用空氣動力原理的飛行器具，或是工業革命後的熱氣球、飛船、滑翔機，到逐漸演變為帶有動力、可操控且能持續航行的飛行器。航空技術經歷迅速的發展，並改變了人們旅行與運輸方式，同時促進全球在經濟、軍事、科學研究、文化交流等多方領域的發展。隨著航空產業朝向整合化發展，航空技術突破日新月異，從早期的機械式控制系統逐漸演變為以電子技術為基礎的航空電子系統。而航空電子系統泛指的飛行器上的各種電子系統，包含通信、導航、顯示、飛行控制、氣象雷達等管理系統(維基百科，2024)，屬於航空產業鏈的中游供應鏈。中華航空(2023)的航空價值鏈將航空產業分類為，上游產業的飛機、引擎、地勤設施製造業與飛機租賃業等，中游產業的航空運輸、航太科技、地勤服務、空運輔助與倉儲物流等，下游產業的休閒觀光、快速運送與顧客服務等行業。

隨著全球連結日益緊密，消費者對旅行的需求更加旺盛，新興市場的航空產業正在加速發展。國際航空運輸協會([IATA], 2024)預估全球航空業營收比去年躍增 9.7%到創新高的 9,960 億美元，同時上修今年淨利預測 18.7%至 305 億美元，較 2023 年成長 11.3%。長期來看，航空產業的成長速度將繼續超過經濟成長速度。航空產業正處於快速變化的環境中，隨著市場需求的恢復和技術創新的推動，產業未來充滿商機。儘管疫情對航空產業帶來的衝擊以及戰爭等地緣政治風險增加了航線運營的難度，同時突顯了航空產業供應鏈的重要性，以確保行業的穩定發展。

如同全球航空產業的復甦，台灣航空產業自疫情過後逐漸復甦與成長，2023 年總產值達新台幣約達 1336 億元，如圖 1。航空產業應用可涵蓋商用航空以及國防應用，在政府相關單位的推動與支持下，台灣航空產業已經構建了相關產品的供應鏈系統，根據經濟部航太產業發展推動小組(2020)對航空產業發展範疇分為機體結構、發動機、飛機內裝、航空電子、航空器具維修等，產業型態屬於中、上游產業之供應鏈。航空電子製造業是技術、資金、勞力密集型的產業，產品或零組件皆須通過各種測試和專業認證，生產類型屬於少量多樣的型態，且重視高可靠性、安

全性、耐用性設計，以及在極端環境下穩定運作的能力。台灣的半導體製造、資訊科技及精密機械產業在全球市場占據重要地位，也是發展航空與國防產業發展的重要基礎。台灣的航空電子產業已形成完整的產業鏈，從設計到各類零組件的製造，產品項目包含全球衛星定系統導航器、電源轉換器、客艙資訊娛樂系統、無線智慧控制系統、微電子電路、連接器、顯示和觸控面板、飛機天線等(經濟部航太產業發展推動小組，2020)。

國內航空產業供應鏈也與波音、空中巴士、奇異、普惠等國際知名企業建立多項合作夥伴關係，並獲得國內外航空品質系統和產品的認證(經濟部產業發展署，2024)。由於航空電子產品生產製造過程需要通過嚴謹的品質認證程序，其中包含針對航空和國防產業設計的國際標準品質管理系統，相較於一般消費性電子產品零組件，航空電子產品零組件的生產週期較長。為了滿足航空產業市場的成長需求與客戶對品質與交期的要求，企業必須在品質管理與生產排程投入資源同時做好成本管控，利用生產技術的改善，提升效率和縮短產品交期，以保持市場競爭力。



圖 1 台灣航空產業歷年產值

## 1.2 研究動機

航空電子產品需求多屬於客製化的少量多樣的接單式生產，因此航空電子產品在每一個生產階段都需要精確的生產安排與計畫。不同於傳統消費性電子產業的大規模生產，接單式生產雖能降低庫存成本與風險，避免生產過剩或資源浪費與精確滿足客戶的客制化需求，但對於市場需求的不確定性則是一大挑戰，同時也增加生產安排的複雜性和延長生產週期。航空或軍規等級嚴格的品質管控意味著生產過程中需要進行多次的測試和檢驗，本研究個案公司生產的航空電子產品為多種類型的直流-直流電源轉換器與濾波器，其生產組裝流程多以手工作業程序和人工目視檢驗為主，並通過美國國防後勤局(Defense Logistics Agency)混合集成電路裝置軍規等級 MIL-PRF-38534 標準品質認證。由於多類型電源轉換器或濾波器的生產流程或產品設計存在差異性，特定組裝工作站可能因生產流程衝突或產品複雜性，導致在製品庫存增加和產品生產週期延長等問題。為了同時追求高品質、符合客戶交期需求並且有效控制成本，航空電子組裝公司需要建立一套生產排程或管理系統，有效管理生產順序與資源分配的決策，以應變市場需求的變動。

## 1.3 研究目的

本研究希望透過限制驅導式現場排程與管理技術為基礎，以航空電子組裝生產的公司為個案研究，依其生產過程造成的生產排程效率、交期延誤等問題，找出流程瓶頸並配合品質管理工具進行改善。本研究目的如下：

- 1.了解個案航空電子公司生產瓶頸與生產排程面臨之問題。
- 2.應用限制驅導式現場排程改善個案航空電子公司生產與排程之問題。
- 3.冀望本研究結果提供個案航空電子公司進行現場排程時之參考。

## 1.3 研究流程

本論文的研究流程如下：

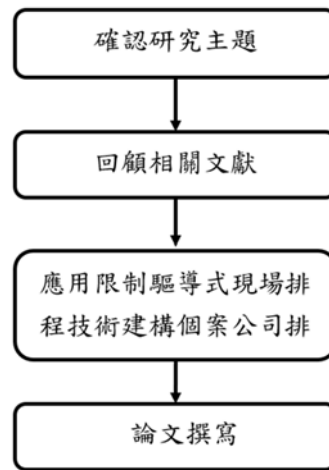


圖 2 研究流程圖

## 2.文獻探討

### 2.1 限制理論應用於生產排程之相關文獻

限制理論(Theory of Constraints, TOC)是由 Dr. Eliyahu M. Goldratt (1980) 所提出的管理方法，其核心觀點在於任何的系統中總會存在最弱勢的一環，即為瓶頸，而此瓶頸限制將決定此系統的最大效能，因此被廣泛運用於解決生產效能問題。而 TOC 運用於解決限制問題或改善有效產出的主要 5 個步驟如下：

1. 找出系統中的限制
2. 充分利用系統限制
3. 配合系統限制調節現有資源
4. 打破原系統限制
5. 找出下一個系統限制

吳明峻(2009)彙整關於半導體晶圓廠的生產排程模式，在晶圓製品成本與獲利程度為考量下，以 TOC 為基礎的生產排程之派工法則(dispatching by theory of constraints, DTC)，在衡量加工週期、庫存成本、資源消耗的績效比較下，以系統模擬的實驗結果指出，TOC 與 DTC 考量下的生產排程能提供企業較佳的獲利結果。陳訂利(2017)的研究認為半導體的產業中，減少非必要庫存和降低交期時間，才能有效掌握市場並提升競爭力。以顧客為導向的生產排程中，TOC 理論可作為主要架構，而較複雜生產規劃與績效衡量可用系統模擬計算出最佳配置組合。基於資源有限的條件下，改善主要與次要瓶頸製程的機台配置能有效節省生產成本、提升生產效率。

賴湘文(2021)認為半導體封測廠生產型態逐漸走向少量多樣化的訂單式生產模式，在生產設備與製程能力的限制下，關鍵製程經常成為瓶頸站點，面對產業的競爭與客戶交期要求，生產排程的改善成為提升生產管理的重要課題。使用績效衡量指標，單位時間產量以及平均在製品數量，配合派工法則，關鍵比值法(Critical Ratio, CR)、最短加工時間法(Shortest Processing Time, SPT)，得出兩項績效指標搭配 CR 法能有效改善產品交期，降低在製品數量，滿足客戶交期需求和提升公司競爭力。林建亨(2024)探討半導體晶圓廠瓶頸製程的改善方法，利用整體設備效率(Overall Equipment Effectiveness)的三個衡量指標，分別為設備稼動率、設備效能效率以及產品良率，搭配 TOC 的步驟找出瓶頸製程改善，從原有的瓶頸點進行突破增加產能，再次檢視整體產能目標並進行次瓶頸製程改善，以較低的資金成本投入改善項目擴展產能，滿足客戶需求。

### 2.2 限制驅導式現場排程之相關文獻

限制驅導式現場排程(Drum-Buffer-Rope, DBR)，屬於 TOC 理論的應用，吳鴻輝、李榮貴(2007)指出限制可分為兩類。政策限制，如績效指標、組織文化、制度或管理者思維等，實體限制則是實際看的見的瓶頸，如產品製程、原物料、設備產能等。DBR 應用是為了解決系統中的實體限制進行改善追求系統最大產出效能，實體限制在生產系統中又稱為產能受限資源(Capacity Constrained Resources, CCR)，當找出生產系統主要限制，該限制則決定系統的

最佳產出效能。在生產排程上需決定此限制的最佳生產節奏稱為限制驅導節奏(Drum)，其次為確保受限產能不會因為物料中斷而損失產能，為此需給予生產系統的保護或配合措施的緩衝(Buffer)，生產系統中除了 Drum 和 Buffer 之外，還需要投料時機的配合，以限制驅導節奏來推導出投料節奏(Rope)，如圖 3 示意。

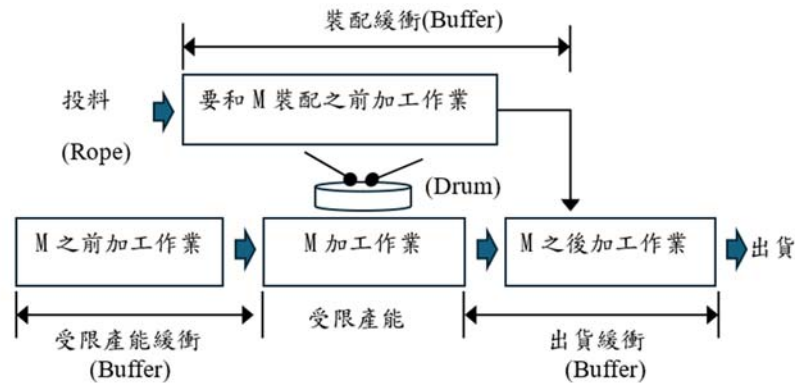


圖 3 限制驅導式現場排程

廖敏雄(2006)提及電腦週邊零組件加工業，生產加工順序前後相依，面對現場生產環境，要達到快速又準確的生產交期，靠改變傳統排程方法無法解決問題核心。為了達成縮短製造週期、降低庫存、以及交期準確性等績效目標，需搭配在製品資訊系統，提供準確生產排程資訊，並導入 TOC 與 DBR 機制相輔相成，妥善調配資源，得以改善生產瓶頸，以利資源與績效最大化利用。楊憲慶(2012)認為太陽能板生產因各製程設備產能分配不均，導致工作站每日產出量差異極大。以生產系統的流程做為比喻，流量最低的工作站視為瓶頸，流量次低工作站視為有限資源產能，強調瓶頸資源運用應最大化，且保護有限資源產能工作站避免影響瓶頸工作站運作，而非受限的工作站全力配合。在有效辨識瓶頸與非瓶頸工作站後，配合 DBR 排程方法推算合理在製品數量，能有效控制投料數量，控制各工作站流量，降低在製品庫存成本。

林佳賢(2013)找出半導體封測廠製程瓶頸，以 DBR 作為基礎，重新規劃排程和定義適合的緩衝時間，搭配線性規劃替生產線量身打造適合的現場派工方式取代以經驗模式進行的派工方式，有效降低派工作業時間的浪費，節省人事管理成本。在考量各別績效指標與排程管理的交互影響之下，則產生相互對應的關係，在不考慮缺料問題下，分別以交期、產出金額、機台最大產出量、重要客戶訂單作為優先考量時，則相互影響其績效指標結果。林仲庭(2015)認為半導體封裝業，堆置大量在製品的傳統生產方法，不僅交期可靠度調低且生產週期較長。藉由運用 DBR 排程控制導入，使整體產線與瓶頸工作站產量同步，實現流量的平衡，進而提升產線的運作效率，有助於降低在製品數量，縮短生產週期時間並改善交期績效。但對於內部個人績效或單位成績則會有衝突問題，須建立合適制度調節。

蘇于凱(2022)的研究結果指出揚聲器零組件廠現行排程方式進行，在總流程時間、最大完工時間、加工異常時間、延遲時間與工件數指標的比較下，以 DBR 方法的排程規劃表現較佳。在考慮系統限制下，對應設備精確的加工時間予以排程，充分利用 CCR 加上合適緩衝的設置，提供高效率的排程規劃確保生產不中斷，進而提升整體訂單達交率。但研究以靜態瓶頸條件進行探討並未考慮瓶頸飄移或缺料等問題。姚金興(2022)發現發光二極體生產流程中瓶頸工作站，影響後續工作站產出，而導致產量無法提升，以 TOC 理論，瓶頸限制決定系統最大效能。利用平衡流量觀點，配合 DBR 進行生產規劃，以瓶頸工作站設備產量為基準，建立 Buffer 管理機制，避免機台待料產生閒置的浪費，並進行設備資源提升進而改善系統限制，在整體產能有顯著提升，也降低單位生產成本。

### 3.研究方法

#### 3.1 研究架構

本研究針對個案航空電子公司生產瓶頸與排程之問題，配合個案公司接單式生產特性進行分析研究，以探討出適合個案公司之方法架構，首先以進行整合個案公司生產排程面臨之問題及重點績效指標，再以限制驅導式現場排程技術，進行排程方法實施改善，並以分析結果給予合適之建議。如上所述，本研究架構如圖 4。

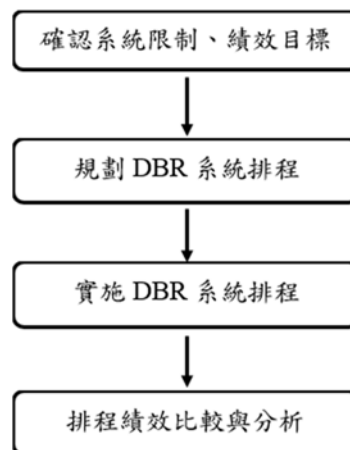


圖 4 研究架構

### 3.2 限制理論

限制理論是由 Eliyahu M. Goldratt (1984)所發展的管理哲學，其核心觀點在於辨別並管理系統中，存在至少一個阻礙達成目標的限制因素，而此限制將決定系統達成目標的效能，因此被廣泛運用於解決多種效能問題，如生產物流規劃、績效評核系統與思考工具三大類別(林仲庭，2015)，其中以生產規劃層面運用 TOC 解決生產瓶頸問題和改善有效產出的主要 5 個步驟如下。

- 1.指出系統中的限制:找出當前生產系統中最薄弱的作業環節。
- 2.充分利用系統限制:集中資源於此作業環節上，以提升整體產出。
- 3.配合系統限制調節現有資源:確保其他部份的產能資源能支持此作業環節的改善。
- 4.打破原系統限制:透過變更或改善此作業環節，進而提升整體生產效能。
- 5.找出下一個系統限制，回到步驟 1 持續不斷改進。

### 3.3 限制驅導式排程方法

限制驅導式排程管理方法由 Eliyahu M. Goldratt (1986)所開發的一種排程方法，是基於限制理論核心工具找出系統瓶頸，以瓶頸之受限產能來驅動整個系統的生產節奏(Drum)，進行緩衝(Buffer)設立、投料(Rope)規劃，提升生產系統產出率，達成整體生產目標，簡稱為 DBR。吳鴻輝、李榮貴(2007)將其所應用基本觀念整理如下。

- 1.實體限制,系統的限制可能為產能不足或資源過度負荷或市場和原物料不足等。而由於生產製程或原物料的差異，不同產品的生產線之間也可能存在不同的限制，因此應用限制驅導式現場排程方法時，首先要找出生產系統的實體限制。生產系統之績效目標受制最弱的生產環節，阻礙整個系統之最大產出，實體限制可分為產能資源限制、市場需求限制、原物料限制。產出受限於產能的因素稱之為產能受限資源(CCR)，非受限產能資源則為 Non-CCR。
- 2.受限產能，生產現場資源可能因產能不足或管理不當而造成浪費，且 CCR 可能是瓶頸資源(Bottleneck)或是非瓶頸資源(Non-bottleneck)。生產系統的 CCR 可能會有一個以上，DBR 方法定義生產系統中負荷比例最重的 CCR 為受限產能，其餘則視為非受限產能，因此就 DBR 的管理重心就要放在受限產能上。受限產能則須發揮最大的產出效能，即不可有絲毫的浪費和發揮更大的附加價值。限制產能的浪費可由下列幾個方向來思考。其一，休息時間的浪費，即使是受限產能一分鐘的浪費也算是整個生產系統一分鐘的浪費，管理者可透過補償或輪休的方式充分利用受限產能可生產的時間。其二為產出不良品，受限產能所做出的不良品，無論是報廢或重工，原先投入生產的時間就是浪費。若不良品是由受限產能的製程不良而產生，則須改善受限產能的品質問題。然而不良品進入受限產能前就存在缺陷，則須評估受限產能前是否需設立檢驗站，避免浪費受限產能寶貴的生產時間。最後，受限產能閒置或待料，受限產能前的工作站，為追求部門產量績效而減少換線，導致受限產能的斷料等待，而產生閒置的浪費。其次為受限產能的換線或維修保養的停機，因相關作業人員未優先處理而增加停工時間。



3. 接單式生產之限制驅導節奏，在確認生產系統限制後，此限制是否充分利用是決定最佳產出的關鍵。接單式生產在產能安排上必須優先考慮訂單交期需求，當訂單有交期需求時可分為兩步驟，首先針對限制產能計算各訂單計畫生產時間與交期需求程度，得出計畫生產排程的訂單起始時間，由於部分訂單排程重疊且超出受限產能負荷，形成廢墟(Ruin)。而推平廢墟是資源分配的決策關係，由於交期不容延誤，因此選擇犧牲存貨的策略由後往前排的後推排程(Backward)法則，當交期相同時，訂單數量小的優先安排以減少存貨。因此決定作業的先後順序，可產生廢墟推平的排程結果如圖 5。例如交期較晚的訂單先排，若交期相同者，加工時間長的訂單優。

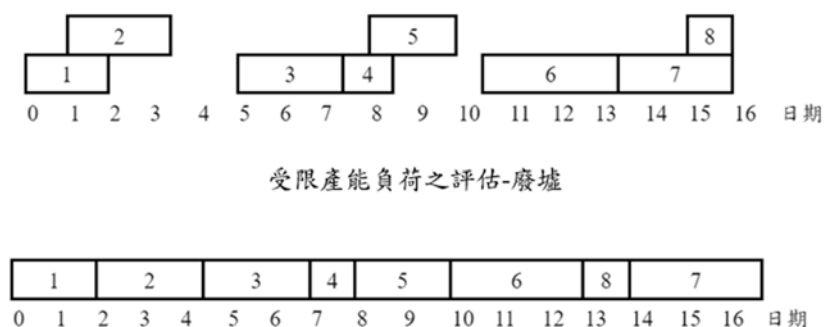


圖 5 廢墟推平之排程

4. 緩衝，由於生產過程存在諸多製程變異、不確定性和依存關係無法事先掌握，為了確保生產系統與製造工單的順利進行，設立緩衝保護範圍如圖 2-3，可分為受限產能緩衝、裝配緩衝、出貨緩衝，以受限產能區域為例，設立緩衝時間三天，表示投料時至受限產能站的時間提早三天，相當於投料至受限產能站之間的在製品存貨量為三天，因此緩衝時間的設定將決定在製品存量的多寡。當製造工單無法順利到達受限產能站時，將會在緩衝區內產生空洞，吳鴻輝和李榮貴(2007)將緩衝區分為三區，忽略區、示警區、趕工區，而超出設立緩衝時間才到達的製造工單定義為穿透區，如圖 3-5。緩衝管理是屬於預警式的訂單進度控制方法，讓生產現場有自主調適的空間，也能讓管理者在訂單可能延誤但尚未延誤之前，透過掌握受限產能緩衝區的內容，能及時察覺並採取行動。

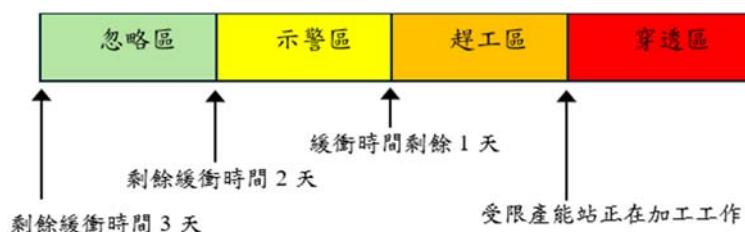


圖 6 受限產能緩衝區

5. 投料節奏，除了使用緩衝管理來確保生產節奏的可行性，還須搭配投料節奏的進行，限制驅導式投料節奏是以製造工單於受限產能工作站的計畫開始時間減去受限產能緩衝時間，可得到受限產能前加工作業或該製造工單的投料時間，如圖 2-3。由於投料節奏由限制驅導節奏而推算得出，絕不可為了滿足非限制產能工作量而投料，進而破壞生產節奏，增加無效的在製品庫存數量。

限制驅導式排程管理方法與現有的制度有不同的管理思維，吳鴻輝、李榮貴(2007)將其歸納為 10 項基本理念：

- (1) 平衡流量而非產能:產能平衡是指接近市場的需求，不要有多餘的閒置或浪費，在當前的買方市場，應追求的是工廠流量與市場需求的平衡、流暢與快速。
- (2) 資源的使用率與稼動率:設備的使用率當然是越高越好，然而在買方的市場中，設備使用率必須由市場需求決定，因此使用率是越接近市場需求越佳。
- (3) 非受限產能使用率由系統限制決定:非受限產能應追求的是可動率而非使用率，非受限產能須追求可動率加快工廠流量的順暢度。

- (4) 受限產能的損失即是系統的損失: 當產能限制為產能時, 受限產能停工一小時等於是整個系統的最大產出損失了一個小時, 這便是受限產能須充分利用的原因。
- (5) 非受限產能的節省是種假象: 由於非受限產能的使用率由系統限制決定, 縱使使用率為 100%也只是多餘的產能, 就有效產出而言只是單純降低生產單位成本的帳面效果, 對整體系統產出無實質效果。
- (6) 受限產決定系統的有效產出與存貨: 由於受限產能決定系統生產節奏, 為保護受限產能不會有多餘閒置浪費, 因此很多等待時間會花在受限產能站之前, 因此能決定整個系統的有效產出與存貨。
- (7) 轉移批量不必等於生產批量: 轉移批量小, 則搬運次數與換線次數也相對增加, 若換線沒有技術障礙或是大量時間浪費, 則可利用轉移批量減少等待時間。
- (8) 生產批量可變動: 與轉移批量想法相同, 批量小則多換線, 可縮短等待時間。從產能方面考量, 只要不是受限產能, 或造成該工作站變為受限產能, 生產批量應盡可能縮小。
- (9) 排程同時考量產能與加工優先順序之限制: 排程是分配資源的決策問題, 在有限產能與訂單優先的決策中, 因前置時間是排程結果, 無法事先得知, 因此兩項限制的決策無法同時兼顧。
- (10) 局部最佳的總和並非整體最佳: 以單位成本、資源使用率、或產量等局部的績效目標, 相對與整體的績效目標, 有效產出、淨利、投報率, 並無直接的總合關係, 對於買方市場而言, 有時了達成局部績效目標反而對整體績效目標是負面影響。

## 4.個案研究分析與結果

### 4.1 個案公司簡介

個案航空電子組裝公司專門從事混成微電子電路產品及航太軍事用途電源轉換器或濾波器的生產, 產品主要類型如圖 2-1, 個案公司大多數產品均採用軍用規格 MIL-STD-883 測試標準進行可靠度和耐用性篩選, 主要應用於國內外的國防設備或航空飛行器上, 因此在設計和製造方面對產品尺寸、電性效能、耐用性與可靠性方面有相當嚴格的要求, 以確保產品在極端環境下的穩定運行, 其生產流程如圖 7。由於電源轉換器與濾波器產品種類繁多, 且生產流程隨產品設計有其差異性, 加之每日投產種類的變動, 導致部分生產工作站工時波動較大, 現場排程需不斷調整人力應對。然而, 生產人員配置受限於生產技能認證要求, 並非所有生產人員都能夠支援波動較大的生產工作站, 經常導致部分生產作業難度較高或生產作業時間較長的工作站, 因人力配置不當形成在製品堆積、生產交期延長等情況發生。

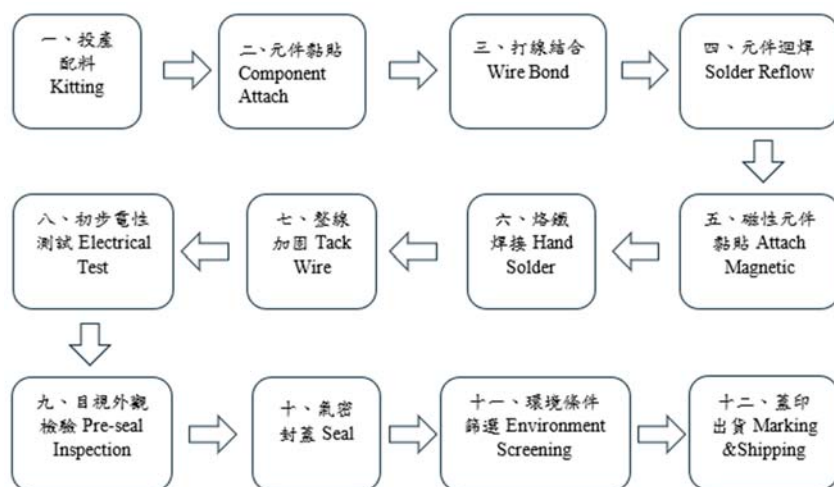


圖 7 生產流程圖

### 4.2 個案公司排程問題

個案公司採用客戶下訂單後進行生產方式(Make To Order), 依照訂單交付的先後順序以及材料供應條件依序投料生產, 以個案公司其中一條主要生產線於的投料數量狀況和各工作站統計資料、產品處理時間、平均在製品堆積

數量 WIP(Work In Process)等資料呈現生產流程之瓶頸工作站以及相關績效指標問題。因個案公司在製品統計資料未包含圖 7 所表示的全部流程，而流程十一至十二的環境條件篩選與蓋印出貨工作站屬批次作業流程，且隨客戶訂單的要求而產生產品標準分級上的差異，故不列入瓶頸分析考量。當前個案公司投料方式採用該條生產線的人力配置估算投料數量，未考量產品處理時間與受限產能的條件下，每日投入固定數量的工單需求。在產品工件處理時間的差異下，每日投入固定的工件數量必定造成處理時間長的工作站形成在製品堆積，而個案公司一向遵循 FCFS(First Come First Served)的生產排程方法，在受限產能工作站的影響下不斷的堆積在製品庫存而產生交期延誤的情況。是以個案公司一條主要生產線的相關數據為例，由圖 8 平均在製品堆積數量判斷，工作站 Hand solder 烙鐵焊接與 Pre-seal inspection 目視外觀檢驗的平均在製堆積數量皆比其他工作站高，再對照表 1 產品項目的各個生產工作站處理時間，呈現主要與次要瓶頸工作站即為 Pre-seal inspection 目視外觀與 Hand solder 烙鐵焊接，此二受限產能工作站即造成在製品堆積進而影響交期延誤和庫存成本上升之主要原因。個案公司於圖 7 生產流程圖之流程一至流程十設定交期標準天數為 10 天，再由圖 9 月平均交期天數資料得知於當年度只有四月、十一月以及十二月達成平均交期天數目標。其餘月份皆未達平均交期天數標準要求屬延誤交貨，延誤月份的比例高達 75%。



圖 8 平均在製品堆積數量

表 1 產品項目處理時間

| 工作站    | Component Attach | Wire Bond | Solder Reflow | Attach Magnetic | Hand Solder | Tack Wire | Electrical Test | Pre-seal Inspection | Seal   |
|--------|------------------|-----------|---------------|-----------------|-------------|-----------|-----------------|---------------------|--------|
| 處理時間   | 分鐘/pcs           | 分鐘/pcs    | 分鐘/pcs        | 分鐘/pcs          | 分鐘/pcs      | 分鐘/pcs    | 分鐘/pcs          | 分鐘/pcs              | 分鐘/pcs |
| 工件A    | 4                | 12        | 14            | 3               | 16          | 10        | 8               | 15                  | 6      |
| 工件B    | 8                | 3         | 6             | 1               | 16          | 7         | 7               | 15                  | 2      |
| 工件C    | 6                | 10        | 17            | 6               | 33          | 17        | 10              | 38                  | 6      |
| 工件D    | 7                | 7         | 27            | 4               | 15          | 9         | 8               | 17                  | 6      |
| 工件E    | 9                | 5         | 10            | 2               | 16          | 11        | 8               | 15                  | 2      |
| 工件F    | 7                | 5         | 14            | 6               | 31          | 15        | 10              | 30                  | 6      |
| 工件G    | 2                | 7         | 11            | 3               | 22          | 20        | 9               | 20                  | 4      |
| 工件H    | 4                | 2         | 7             | 2               | 5           | 1         | 6               | 12                  | 2      |
| 工件I    | 3                | 0         | 5             | 2               | 5           | 3         | 5               | 10                  | 2      |
| 工件J    | 6                | 2         | 0             | 0               | 0           | 0         | 5               | 6                   | 2      |
| 工件K    | 8                | 20        | 6             | 1               | 12          | 6         | 7               | 15                  | 4      |
| 工件L    | 0                | 0         | 0             | 4               | 25          | 5         | 12              | 18                  | 6      |
| 工件M    | 30               | 4         | 11            | 3               | 30          | 20        | 8               | 20                  | 4      |
| 平均處理時間 | 7                | 6         | 10            | 3               | 17          | 10        | 8               | 18                  | 4      |





圖 9 月平均交期天數

#### 4.3 規劃 DBR 系統排程

使用個案公司訂單資料搭配產品處理時間和配置生產線人員的可利用工時計算，在不考慮生產材料短缺、初期在製品數量、產品良率以及設備停機保養的條件下，建立受限產能工作站生產節奏，設立受限產能工作站緩衝區，決定系統投料時間點。首先針對受限產能工作站產能計算各訂單計畫生產時間與交期需求程度，得出計畫生產排程的訂單於受限產能工作站的起始時間，因部分訂單排程重疊且超出瓶頸工作站產能將形成廢墟，而推平廢墟是資源分配的決策關係。由於交期屬於重要績效指標不容延誤，因此選擇犧牲存貨的策略由後往前排的後推排程(Backward)法則，當交期相同時，訂單數量小或作業時間較短的優先安排以減少存貨。以主要受限產能工作站 Pre-seal inspection 目視外觀作業時間與距離交期天數的安排，如表 2 所示。

表 2 後推式排程表

| 訂單順序 | 後推式排程 | 產品系列 | 需求數量 | 目視外觀檢驗作業時間(小時) | 距離交期(天數) |
|------|-------|------|------|----------------|----------|
| 2    | 1     | 工件 E | 32   | 8.0            | 10       |
| 3    | 2     | 工件 E | 33   | 8.3            | 10       |
| 4    | 3     | 工件 B | 35   | 8.8            | 10       |
| 1    | 4     | 工件 C | 20   | 12.7           | 10       |
| 7    | 5     | 工件 H | 45   | 9.0            | 11       |
| 6    | 6     | 工件 B | 45   | 11.3           | 11       |
| 5    | 7     | 工件 C | 30   | 19.0           | 11       |
| 10   | 8     | 工件 I | 20   | 3.3            | 12       |
| 9    | 9     | 工件 B | 20   | 5.0            | 12       |
| 11   | 10    | 工件 I | 40   | 6.7            | 12       |
| 8    | 11    | 工件 C | 40   | 25.3           | 12       |
| 13   | 12    | 工件 I | 70   | 11.7           | 13       |
| 12   | 13    | 工件 C | 50   | 31.7           | 13       |
| 16   | 14    | 工件 I | 45   | 7.5            | 14       |
| 15   | 15    | 工件 H | 40   | 8.0            | 14       |
| 14   | 16    | 工件 C | 35   | 22.2           | 14       |

就 MTO (Make-to-Order) 生產模式，生產工件在限制驅導節奏要開始加工前就需到達緩衝區，否則可能因生產線瞬息萬變的意外而延誤，生產工件越早到達限制產能緩衝區等待加工，管理者可越早放心也能有效控制訂單生產進度。由於緩衝時間設定越長等同於在製品存貨越多，透過緩衝區上空洞的分布進行分析，調整緩衝時間的合理性如圖 10 所示，因此將緩衝時間分別設定為趕工區、警示區以及忽略區。當緩衝天數一天的趕工區出現空洞則表示計畫明日生產工件可能會延遲抵達受限產能工作站進而延誤交期，此時生產管理者須介入和督促非受限產能工作站進行趕工，因主要受限產能工作站(目視外觀檢驗)與次要受限產能工作站(烙鐵焊接)的瓶頸限制與平均工作處理時間相當接近的情況下分別設立緩衝區，使現場管理者能更有效監督及控制訂單生產進度。除此之外，生產工件依照限制驅導式現場排程規劃下訂單的完成時間還須加上出貨緩衝時間，由於其餘工作站皆為非受限產能工作站，因此出貨緩衝時間幾乎等同於生產工件完成受限產能工作站加工後到生產製程最後一站所需的流程時間，已能有效掌握訂單完成日的預估與管理，因此受限產能工作站至出貨前不另設立緩衝區。

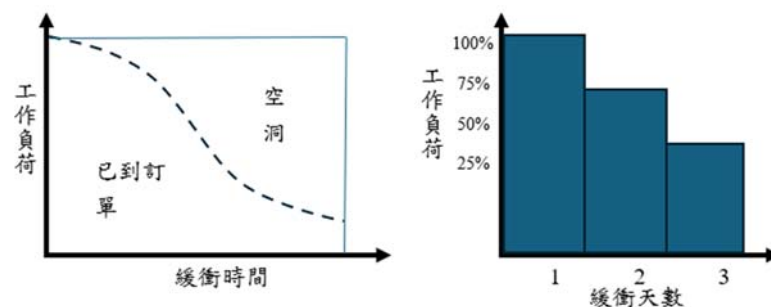


圖 10 合理緩衝之分布

各訂單的投料時間則為限制驅導節奏的開始時間減去受限產能緩衝時間，而受限產能緩衝時間相當於生產工件投料生產流程到受限產能前的流程時間。因此以表 2 排程順序 1 之工件 E、需求量 32 舉例並以寬放時間比例 10% 設定，其生產工件投料時間為受限產能前置工作的處理時間計算為 35.8 小時如圖 11。以訂單需求搭配受限產能工作站加工時間的投料節奏時間計算如表 3 所示。

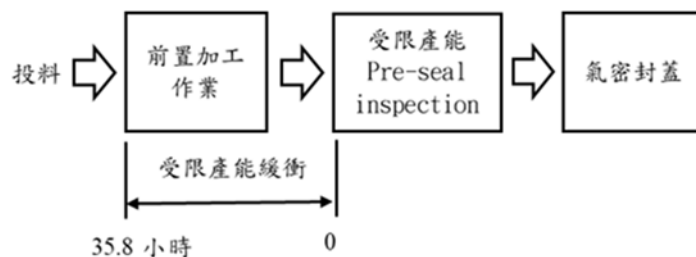


圖 11 投料節奏時間

表 3 後推式排程表

| 訂單順序 | 排程順序 | 產品系列 | 需求數量 | 目視外觀檢驗作業時間(小時) | 受限產能緩衝時間(小時) | 投料時間(小時) |
|------|------|------|------|----------------|--------------|----------|
| 2    | 1    | 工件 E | 32   | 8.0            | 35.8         | 35.8     |
| 3    | 2    | 工件 E | 33   | 8.3            | 36.9         | 43.8     |
| 4    | 3    | 工件 B | 35   | 8.8            | 30.5         | 52.0     |
| 1    | 4    | 工件 C | 20   | 12.7           | 36.3         | 60.8     |
| 7    | 5    | 工件 H | 45   | 9.0            | 22.3         | 73.5     |
| 6    | 6    | 工件 B | 45   | 11.3           | 39.2         | 82.5     |
| 5    | 7    | 工件 C | 30   | 19.0           | 54.5         | 93.7     |
| 10   | 8    | 工件 I | 20   | 3.3            | 8.4          | 112.7    |
| 9    | 9    | 工件 B | 20   | 5.0            | 17.4         | 116.0    |
| 11   | 10   | 工件 I | 40   | 6.7            | 16.9         | 121.0    |
| 8    | 11   | 工件 C | 40   | 25.3           | 72.6         | 127.7    |
| 13   | 12   | 工件 I | 70   | 11.7           | 29.5         | 153.0    |
| 12   | 13   | 工件 C | 50   | 31.7           | 90.8         | 164.7    |
| 16   | 14   | 工件 I | 45   | 7.5            | 19.0         | 196.4    |
| 15   | 15   | 工件 H | 40   | 8.0            | 19.8         | 203.9    |
| 14   | 16   | 工件 C | 35   | 22.2           | 63.5         | 211.9    |

#### 4.4 實施 DBR 系統排程與績效衡量

當前個案公司生產排程採用工件先進先處理方式(FCFS)配合投料順序進行工件處理，本研究資料採用表 2 訂單需求並搭配表 1 產品項目處理時間進行計算，分別使用 FCFS、DBR 排程方法比較分析其績效結果。

##### 一、先進先處理方式 FCFS

模擬接收到訂單的順序之先進先處理方式到達主要受限產能工作站 Pre-seal inspection 目視外觀檢驗與次要受限產能工作站 Hand solder 烙鐵焊接之效率評估計算，如表 4 與表 5 效率評估表所示依工件到達工作站順序優先排序生產作業，其 Pre-seal inspection 目視外觀檢驗效率評估經由式(1.1)得出計算結果平均流程時間為 101.4 小時、平均延遲時間經由式(1.2) 得出計算結果為 20.5 小時、平均工作數經由式(1.3) 得出計算結果為 8.2 件。Hand solder 烙鐵焊接效率評估計算結果平均流程時間為 88.6 小時、平均延遲時間為 3.3 小時、平均工作數為 8.8 件。

$$\text{平均流程時間} = \frac{\text{加總流程時間}}{\text{總工作數}} \quad (1.1)$$

$$\text{平均延遲時間} = \frac{\text{加總延遲時間}}{\text{總工作數}} \quad (1.2)$$

$$\text{平均工作數} = \frac{\text{加總流程時間}}{\text{總處理時間}} \quad (1.3)$$

表 4 FCFS 目視外觀檢驗效率評估表

| Pre-seal inspection |          |          |          |              |              |              |              |
|---------------------|----------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 訂單<br>順序            | 排程<br>順序 | 產品<br>類別 | 需求<br>數量 | 處理時間<br>(小時) | 到期時間<br>(小時) | 流程時間<br>(小時) | 延遲時間<br>(小時) |
| 1                   | 1        | 工件 C     | 20       | 12.7         | 64           | 12.7         | 0            |
| 2                   | 2        | 工件 E     | 32       | 8.0          | 64           | 20.7         | 0            |
| 3                   | 3        | 工件 E     | 33       | 8.3          | 64           | 29.0         | 0            |
| 4                   | 4        | 工件 B     | 35       | 8.8          | 64           | 37.8         | 0            |
| 5                   | 5        | 工件 C     | 30       | 19.0         | 80           | 56.8         | 0            |
| 6                   | 6        | 工件 B     | 45       | 11.3         | 80           | 68.1         | 0            |
| 7                   | 7        | 工件 H     | 45       | 9.0          | 80           | 77.1         | 0            |
| 8                   | 8        | 工件 C     | 40       | 25.3         | 96           | 102.4        | 6.4          |
| 9                   | 9        | 工件 B     | 20       | 5.0          | 96           | 107.4        | 11.4         |
| 10                  | 10       | 工件 I     | 20       | 3.3          | 96           | 110.7        | 14.7         |
| 11                  | 11       | 工件 I     | 40       | 6.7          | 96           | 117.4        | 21.4         |
| 12                  | 12       | 工件 C     | 50       | 31.7         | 112          | 149.1        | 37.1         |
| 13                  | 13       | 工件 I     | 70       | 11.7         | 112          | 160.8        | 48.8         |
| 14                  | 14       | 工件 C     | 35       | 22.2         | 128          | 183.0        | 55           |
| 15                  | 15       | 工件 H     | 40       | 8.0          | 128          | 191.0        | 63           |
| 16                  | 16       | 工件 I     | 45       | 7.5          | 128          | 198.5        | 70.5         |
| 加總                  |          |          |          | 198.5        |              | 1622.5       | 328.3        |

表 5 FCFS 烙鐵焊接效率評估表

| Hand Solder |          |          |          |              |              |              |              |
|-------------|----------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 訂單<br>順序    | 排程<br>順序 | 產品<br>類別 | 需求<br>數量 | 處理時間<br>(小時) | 到期時間<br>(小時) | 流程時間<br>(小時) | 延遲時間<br>(小時) |
| 1           | 1        | 工件 C     | 20       | 11.0         | 80           | 11.0         | 0            |
| 2           | 2        | 工件 E     | 32       | 8.5          | 80           | 19.5         | 0            |
| 3           | 3        | 工件 E     | 33       | 8.8          | 80           | 28.3         | 0            |
| 4           | 4        | 工件 B     | 35       | 9.3          | 80           | 37.7         | 0            |
| 5           | 5        | 工件 C     | 30       | 16.5         | 96           | 54.2         | 0            |
| 6           | 6        | 工件 B     | 45       | 12.0         | 96           | 66.2         | 0            |
| 7           | 7        | 工件 H     | 45       | 3.8          | 96           | 69.9         | 0            |
| 8           | 8        | 工件 C     | 40       | 22.0         | 112          | 91.9         | 0            |
| 9           | 9        | 工件 B     | 20       | 5.3          | 112          | 97.3         | 0            |
| 10          | 10       | 工件 I     | 20       | 1.7          | 112          | 98.9         | 0            |
| 11          | 11       | 工件 I     | 40       | 3.3          | 112          | 102.3        | 0            |
| 12          | 12       | 工件 C     | 50       | 27.5         | 128          | 129.8        | 1.8          |
| 13          | 13       | 工件 I     | 70       | 5.8          | 128          | 135.6        | 7.6          |
| 14          | 14       | 工件 C     | 35       | 19.3         | 144          | 154.8        | 10.8         |
| 15          | 15       | 工件 H     | 40       | 3.3          | 144          | 158.2        | 14.2         |
| 16          | 16       | 工件 I     | 45       | 3.8          | 144          | 161.9        | 17.9         |
| 加總          |          |          |          | 161.9        |              | 1417.4       | 52.3         |

## 二、限制驅導式排程 DBR

使用表 3 DBR 後推式排程方法模擬計算訂單到達主要受限產能工作站 Pre-seal inspection 目視外觀檢驗與次要受限產能工作站 Hand solder 烙鐵焊接之效率評估，如表 6 與表 7 效率評估表所示，依其工件到達工作站排程優先排序生產作業，Pre-seal inspection 目視外觀檢驗效率評估經由式(1.1)得出計算結果平均流程時間為 92.3 小時、平均延遲時間經由式(1.2)得出計算結果為 15.4 小時、平均工作數經由式(1.3)得出計算結果為 7.4 件。Hand solder 烙鐵焊接效率評估計算結果經由式(1.1)得出計算結果平均流程時間為 81.5 小時、平均延遲時間經由式(1.2)得出計算結果為 1.6 小時、平均工作數經由式(1.3)得出計算結果為 8 件。

表 6 DBR 目視外觀檢驗效率評估表

Pre-seal inspection

| 訂單<br>順序 | 排程<br>順序 | 產品<br>類別 | 需求<br>數量 | 處理時間<br>(小時) | 到期時間<br>(小時) | 流程時間<br>(小時) | 延遲時間<br>(小時) |
|----------|----------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2        | 1        | 工件 E     | 32       | 8            | 64           | 8            | 0            |
| 3        | 2        | 工件 E     | 33       | 8.3          | 64           | 16.3         | 0            |
| 4        | 3        | 工件 B     | 35       | 8.8          | 64           | 25.1         | 0            |
| 1        | 4        | 工件 C     | 20       | 12.7         | 64           | 37.8         | 0            |
| 7        | 5        | 工件 H     | 45       | 9            | 80           | 46.8         | 0            |
| 6        | 6        | 工件 B     | 45       | 11.3         | 80           | 58.1         | 0            |
| 5        | 7        | 工件 C     | 30       | 19           | 80           | 77.1         | 0            |
| 10       | 8        | 工件 I     | 20       | 3.3          | 96           | 80.4         | 0            |
| 9        | 9        | 工件 B     | 20       | 5            | 96           | 85.4         | 0            |
| 11       | 10       | 工件 I     | 40       | 6.7          | 96           | 92.1         | 0            |
| 8        | 11       | 工件 C     | 40       | 25.3         | 96           | 117.4        | 21.4         |
| 13       | 12       | 工件 I     | 70       | 11.7         | 112          | 129.1        | 17.1         |
| 12       | 13       | 工件 C     | 50       | 31.7         | 112          | 160.8        | 48.8         |
| 16       | 14       | 工件 I     | 45       | 7.5          | 128          | 168.3        | 40.3         |
| 15       | 15       | 工件 H     | 40       | 8            | 128          | 176.3        | 48.3         |
| 14       | 16       | 工件 C     | 35       | 22.2         | 128          | 198.5        | 70.5         |
|          |          | 加總       |          | 198.5        |              | 1477.5       | 246.4        |

表 7 DBR 烙鐵焊接效率評估表

Hand Solder

| 訂單<br>順序 | 排程<br>順序 | 產品<br>類別 | 需求<br>數量 | 處理時間<br>(小時) | 到期時間<br>(小時) | 流程時間<br>(小時) | 延遲時間<br>(小時) |
|----------|----------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2        | 1        | 工件 E     | 32       | 9.3          | 80           | 9.3          | 0.0          |
| 3        | 2        | 工件 E     | 33       | 11.0         | 80           | 20.3         | 0.0          |
| 4        | 3        | 工件 B     | 35       | 8.5          | 80           | 28.9         | 0.0          |
| 1        | 4        | 工件 C     | 20       | 8.8          | 80           | 37.7         | 0.0          |
| 7        | 5        | 工件 H     | 45       | 3.8          | 96           | 41.4         | 0.0          |
| 6        | 6        | 工件 B     | 45       | 12.0         | 96           | 53.4         | 0.0          |
| 5        | 7        | 工件 C     | 30       | 16.5         | 96           | 69.9         | 0.0          |
| 10       | 8        | 工件 I     | 20       | 3.3          | 112          | 73.3         | 0.0          |
| 9        | 9        | 工件 B     | 20       | 5.3          | 112          | 78.6         | 0.0          |
| 11       | 10       | 工件 I     | 40       | 22.0         | 112          | 100.6        | 0.0          |
| 8        | 11       | 工件 C     | 40       | 1.7          | 112          | 102.3        | 0.0          |
| 13       | 12       | 工件 I     | 70       | 5.8          | 128          | 108.1        | 0.0          |
| 12       | 13       | 工件 C     | 50       | 27.5         | 128          | 135.6        | 7.6          |
| 16       | 14       | 工件 I     | 45       | 3.8          | 144          | 139.3        | 0.0          |
| 15       | 15       | 工件 H     | 40       | 3.3          | 144          | 142.7        | 0.0          |
| 14       | 16       | 工件 C     | 35       | 19.3         | 144          | 161.9        | 17.9         |
|          |          | 加總       |          | 161.9        |              | 1303.2       | 25.5         |

### 三、排程績效比較與分析

基於個案公司所使用的排程方法 FCFS 相較於 DBR 排程如表 8，其中 Pre-seal inspection 目視外觀檢驗使用 DBR 排程之效率評估計算結果，平均流程時間與平均工作數提升約 8.9%、平均延遲時間提升約 24.9%。而 Hand solder 烙鐵焊接效率評估結果平均流程時間與為平均工作數提升約 8.1%、平均延遲時間提升 51.2%。DBR 排程方法相較於 FCFS 排程方法，以主要受限產能 Pre-seal inspection 目視外觀檢驗工作站為參考指標，在訂單延遲批量的交期達成率的計算，以 FCFS 方式 16 筆訂單中有 9 筆訂單交期延遲交貨，交期達成率 43.8%，而使用 DBR 方式 16 筆訂單中只有 6 筆訂單交期延遲交貨，交期達成率 62.5%相較於 FCFS 提升 18.7%。另外，使用延遲交貨的訂單數量來計算增加的在製品庫存數量，FCFS 延遲交貨的 9 筆訂單中在製品庫存數量於延遲時間內增加 360 件，DBR 延遲交貨的 6 筆訂單中在製品庫存數量於延遲時間內增加共 280 件，DBR 相較於 FCFS 減少了 120 件在製品庫存。模擬結果證實 DBR 排程方法能有效改善個案公司面臨之現場排程問題，提升交期達成率以及減少在製品庫存數量。

表 8 排程績效比較表

| 受限產能工作站    | Pre-seal Inspection |      |       | Hand Solder |      |       |
|------------|---------------------|------|-------|-------------|------|-------|
| 排程方法       | FCFS                | DBR  | 改善率   | FCFS        | DBR  | 改善率   |
| 平均流程時間(小時) | 101.4               | 92.3 | 8.9%  | 88.6        | 81.5 | 8.1%  |
| 平均延遲時間(小時) | 20.5                | 15.4 | 24.9% | 3.3         | 1.6  | 51.2% |
| 平均工作數      | 8.2                 | 7.4  | 8.9%  | 8.8         | 8.0  | 8.1%  |

## 5. 結論與建議

### 5.1 結論

航空電子產品生產須面對高客製化、高可靠性與長生產週期的挑戰，導致傳統排程方式在受限產能下造成嚴重的在製品堆積與交期延誤。個案公司過去排程過程並未考量工作站負荷或限制，進而產生資源配置失衡與管理困難。本研究選擇個案航空電子公司，對產業中的少量多樣、接單式生產之特性和生產資料進行模擬分析，透過限制理論與限制驅導式現場排程技術進行應用與實施，目的在於提升生產效率、縮短交期，並降低在製品堆積問題。經由限制理論的五大步驟，建構限制驅導式現場排程架構，先找出瓶頸站 Hand Solder 烙鐵焊接與 Pre-seal Inspection 目視外觀檢驗、設定合理緩衝區、運用後推法規劃限制驅導節奏，並依據瓶頸產能倒推出工單之投料時間。透過設定合理的緩衝時間與動態排程邏輯，使得生產流程更具彈性與預警能力。

研究結果分析顯示，DBR 排程方法明顯優於傳統 FCFS 排程。根據主要瓶頸站的績效指標評估如流程時間、延遲時間、平均工作數，DBR 排程有效降低流程時間與延遲風險，平均流程時間縮短約 8%至 9%，延遲時間更下降逾 25%。此外，DBR 所設置的緩衝區管理機制，使生產現場管理者能有效地進行即時預警掌握生產進度與動態調整，降低了生產中斷與交期延誤的風險，具備高度的實務應用價值與可行性。

整體而言，本研究實證 DBR 排程技術在航空電子製造的接單式生產模式中，具備顯著的優化資源配置與提升現場管理效益，不僅為個案公司提供了一套具實務效益的排程管理工具，協助掌握瓶頸資源，亦有助於穩定交期與優化產線流量管理。未來若能持續整合 DBR 與其他生產管理工具，將更能提升個案公司在面對市場需求波動與生產環境變化的彈性與競爭力。

### 5.2 未來研究之建議

本研究雖已實證 DBR 排程對接單式航空電子產業具實質改善成效，惟仍存有部分限制與後續發展空間，提出以下幾點建議，作為未來研究方向之參考。

一、納入動態瓶頸變動與多工作站限制情境，本研究以固定主要瓶頸為分析基礎，實際生產環境中，瓶頸可能因訂單結構、設備異常或人力變動而產生轉移。未來研究可進一步探討動態瓶頸辨識機制，結合演算法或即時監控資料以動態調整排程邏輯，提升彈性與適應性。

二、整合系統資料進行即時 DBR 排程應用，本研究多以靜態模擬資料為基礎進行排程設計，未來可與企業現有資訊系統如 ERP(Enterprise Resource Planning)、MES(Manufacturing Execution System)進行整合，建立即時資料更新與自動化排程機制，實現 DBR 技術於智慧製造現場的落地應用。

三、結合多目標績效指標進行最佳化分析，未來研究可導入多目標決策分析技術如 MCDM(Multiple Criteria Decision Making)，同時考量生產交期、製造成本、在製品庫存、人力負荷等指標，建立多目標優化的 DBR 排程模型，作為生產管理者排程決策時之全面性依據。

綜合以上建議，未來若能強化系統資料整合與演算法彈性，DBR 排程技術將可進一步深化其在製造業高變異環境中的應用潛力，成為企業面對動態市場環境與複雜製造流程時的重要決策工具。

## 參考文獻

### 中文部分

1.吳明峻(2009)。晶圓廠生產排程方法的探討-派工法則。[未出版之碩士論文]。逢甲大學工業工程與系統管理學研究所碩士班。



- 2.吳鴻輝、李榮貴(2007)。限制趨導式現場排程與管理技術修訂二版。全華科技圖書。
- 3.林仲庭(2015)。DBR 運用於半導體封裝廠生產排程 -以焊線站別為例。〔未出版之碩士論文〕。逢甲大學工業工程與系統管理學系。
- 4.林佳賢(2013)。應用限制理論之生產排程系統導入半導體封裝產業之研究~以 S 公司 Surface Mounted Technology 廠製程為例。〔未出版之碩士論文〕。國立高雄應用科技大學工業工程與管理系碩士班。
- 5.林建亨(2024)。運用限制理論改善瓶頸站之生產效率-以半導體矽晶圓廠為例。〔未出版之碩士論文〕。國立臺北科技大學管理學院 EMBA 大上海專班。
- 6.姚金興(2022)。應用限制理論在產效管理改善 -以發光二極體封裝 A 公司為例。〔未出版之碩士論文〕。國立清華大學工業工程與工程管理學系碩士在職專班。
- 7.陳訂利(2017)。應用限制理論在積體電路生產最終測試前機台之配置。〔未出版之碩士論文〕。國立高雄應用科技大學工業工程與管理系碩士在職專班。
- 8.楊憲慶(2012)。應用 TOC 限制理論於薄膜太陽能板製造業之研究—以 AT 公司為例。〔未出版之碩士論文〕。國立高雄應用科技大學工業工程與管理系碩士班。
- 9.廖敏雄(2006)。TOC 運用於熱導管生產管理之研究。〔未出版之碩士論文〕。國立交通大學高階主管管理學程碩士班。
- 10.賴湘文(2021)。運用派工法則改善半導體封裝廠生產排程。〔未出版之碩士論文〕。國立中央大學工業管理研究所碩士在職專班。
- 11.蘇于凱(2022)。以限制理論為基礎並考慮機台選擇之排程問題-以揚聲器產業為例。〔未出版之碩士論文〕。國立台北科技大學工業工程與管理系碩士班。

#### 英文部分

- 1.Eliyahu M. Goldratt (1990), Theory of Constraints, North River Press.
- 2.Eliyahu M. Goldratt and Jeff Cox (1984), The Goal: A Process of Ongoing Improvement, The North River Press.
- 3.Eliyahu M. Goldratt and Robert E. Fox (1986), The Race, The North River Press.

#### 網路資料

- 1.中華航空(2024 年 10 月 22 日)。華航價值鏈。永續華航。  
[https://calec.china-airlines.com/csr/partners\\_group.html](https://calec.china-airlines.com/csr/partners_group.html)
- 2.經濟部航太產業發展推動小組(2024 年 2 月 16 日)。歷年航空產業產值。發展現況。  
<https://www.casid.org.tw/index.aspx>
- 3.經濟部產業發展署(2024 年 10 月 22 日)。飛到青天的航太產業篇。產經觀測站-亮點企業。  
<https://www.srido.org.tw/News/Detail/1d334fc9-3ab8-4a3f-a9d6-733f97f83290?ModuleID=N7>
- 4.維基百科(2024 年 5 月 12 日)。航空電子。自由的百科全書。  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%88%AA%E7%A9%BA%E7%94%B5%E5%AD%90>  
<https://www.boeing.com/commercial/market/commercial-market-outlook#overview>
- 5.International Air Transport Association. (2024, June). Global outlook for air transport: June 2024 report. International Air Transport Association. <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/global-outlook-for-air-transport-june-2024-report/>