

國立臺灣大學工學院工業工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Industrial Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

服務性零組件之最後訂購時點與數量之研究

- 以汽車產業為例

Optimal Order Timing and Quantity of Final
Replenishment for Auto Service Parts Inventory



方冠迪

Fang, Guan-Di

指導教授：蔣明晃 博士、郭瑞祥 博士

Advisors: Dr. Chiang, Ming-Huang, Dr. Guo, Ruey-Shan

中華民國 九十九 年 六 月

June, 2010

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

論文中文題目：服務性零組件之最後訂購時點與數量之
研究-以汽車產業為例

論文英文題目：Optimal Order Timing and Quantity of
Final Replenishment for Auto Service
Parts Inventory

本論文係方冠迪 (R97546011) 在國立臺灣大學工業工程學研究所完成之碩士學位論文，於民國 99 年 05 月 20 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

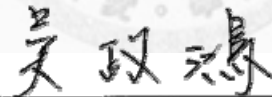
口試委員：

蔣明晃

(指導教授)



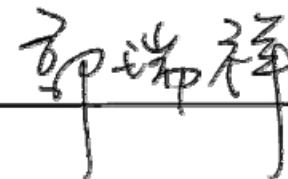
吳政鴻



洪一薰



郭瑞祥



系主任、所長：陳正剛



謝辭

在寫這篇謝辭的同時，離口試結束已經過了一段時間了。但時間彷彿還是中止在論文口試結束的那一瞬間，當下的心情清晰的烙印在心裡，那感覺就像是掛在心中的大石頭突然炸裂且蕩然無存的感覺。突然地，從吳老師口中的一句「恭喜」，讓我一時之間無法反應過來，慌忙的跟在場的所有的口試老師道謝並大力的握手之後，心中只記得要趕快衝回蔣老師辦公室，感動得跟老師說了無數次的「謝謝」。因為在這短短的研究所兩年，受到老師照顧的地方實在不記其數，尤其是口試當天老師提早將近一個小時坐鎮在口試會場，令我既安心又感動。相信那位永遠對學生那麼好的蔣老師，早就成為我研究所生涯的溫暖回憶。

但這美好的碩士班生活也即將結束了，感嘆著這愉快的兩年實在太過短暫。會有這樣的感嘆代表著我已經徹底愛上這樣自由的日子，因為在這段日子裡，有一群活躍開朗的工工所同學、在研究室互相譏笑的養豬達人伊藤、認真上進的學弟妹俊傑和嘉蘭、研究室裡互相打氣的依筠和欣穎，還有三位原本從大學畢業不捨得告別宿舍生活的室友俊賢、伯華和博雄，結果現在卻又歡樂地相聚在台北。但人生真的很奇妙，現在反倒是換成我要離開台北一段日子了，雖然明知道當兵的日子不自由也不好過，可是卻能回到熟悉的故鄉台南，在自己的心理卻感到稍稍的安慰。希望在這段大頭兵的日子結束後，還能夠常常跟這些好朋友聚在一起把酒言歡。當然絕對要常常懷念蔣老師請客的日子，大家一起吃飯感覺真好(其實只是想吃免費的導生宴，哈哈...)

而在這段日子裡，給我最溫暖的陪伴的人就是惠婷，這段日子裡我們一起擁有了許多快樂溫暖的回憶，尤其是每次放寒暑假時的旅遊，整個台灣似乎都已經被我們玩遍了。這些我彼此一起創造的快樂回憶，一定會成為我在煩悶的當兵生活中最溫暖的支持與陪伴，當然也會是我在未來的每一天的早晨，最棒的精神鼓勵。希望在未知的未來裡，可以繼續為彼此加油打氣一起勇敢前進。

最後則是非常感謝爸媽對我如此的放心，放任我一個人台北逍遙自在。在台大的學生生活中，我最喜歡的就是無所事事的到處騎車兜風閒晃，這樣說好像有點對不起爸媽，但還是很開心，因為自己終於獨立完成了這個學業，而沒有依賴著任何人，這使得自己對未來的路充滿著勇氣與自信。

2010.06.29 方冠迪

摘要

對許多提供售後服務的產品公司而言，滿足顧客對於零組件的需求是非常重要的。尤其是汽車產業，在車輛產出後，由於無法直接在世界各地提供製造後服務，因此通常會透過當地代理商利用其原先所建立的通路來提供售後服務。由於用以維修及更換的服務性零組件服務期間往往比車輛生產期間還長，在車輛停止生產後，零組件所需供應服務的期間通常還需持續一段時間。但此時多數零組件的生命週期已步入衰退期，零組件供應商為考量經濟生產批量的成本因素下，並不會持續生產至代理商的服務期間結束。此將造成代理商面臨上游供應商即將停產某些服務性零組件的情況，因而必須針對即將停產的服務性零組件進行最後一次訂購以滿足剩餘服務年限內所有的需求。代理商必須在成本控管與服務水準之間取得平衡，決定最佳的最後訂購時點與數量。

因此，本研究希望能夠提供一個有效的決策模式，協助代理商處理最後訂購問題。本研究首先利用負指數迴歸模型，建立一套有效的衰退期零組件需求預測模式，並以此預測模式的需求預測值建構出一個量化決策模型用以決策最後訂購時點與數量。此模型將正常訂購成本、急單成本、缺貨成本及存貨持有成本納入模型目標函數，以總成本最低為目標，並發展特殊求解模式，以求得該模型之最佳解，進而得到最佳的最後訂購時點與數量。最後，即以實際需求資料比較個案 T 公司和本研究所提出最後訂購方法之優劣，並對個案廠商提供相關建議。以期幫助面臨最後訂購問題的廠商，不僅能以更具成本效益的訂貨方式進行訂貨決策，而且可以有效的滿足顧客在剩餘服務期限的零組件需求。

關鍵字：

服務性零組件、衰退期、服務水準、負指數迴歸模型、最後訂購時點、最後訂購數量

Abstract

For many companies which provide after-sales service, to meet customer demand for service parts is very important. Especially in the automotive industry, international automobile companies usually require local agents to provide after-sales service through their channels, because for the upstream firms, it's difficult to directly provide after-sales service to satisfy individual local market. But the periods for maintenance and replacement of the service parts are usually much longer than vehicle's production periods, the service parts requirement will need to stock for a certain period of time even after the vehicle manufacturer stops producing the car. The period after the vehicle stops production is called the end-of-life service period. In this period, service parts suppliers will not continue to produce until the end of this period, because scale economies of quantity remains mainly concerned. Therefore, the agents need to decide the best final order timing and quantity to satisfy the service levels and cost restrictions.

In light of these concerns, the aim of this research is to provide a useful decision-making model to help the agents to make the right decision about final orders. Firstly, this study will use the negative exponential model to obtain a better demand forecast, and construct a cost model to determine the optimal final order timing and quantity by using the demand forecast. Inside this cost model, the regular order cost, rush order costs, lost sales costs and inventory holding costs are taken into account. Then, A special algorithm is develop for the model to obtain the optimal solution. Finally, the real data form company T were incorporated to compare the decision-making model with current practice of company T. The result shows our model reduces cost efficiently and effectively meets customer needs.

Key Words:

Service parts, Phase out, Service levels, Negative exponential regression, Final replenishment timing, Final replenishment quantity



目錄

| | |
|--------------------------|------|
| 口試委員會審定書..... | I |
| 謝辭..... | II |
| 摘要..... | III |
| Abstract..... | IV |
| 目錄..... | VI |
| 圖目錄..... | VIII |
| 表目錄..... | IX |
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 1.1 研究背景..... | 1 |
| 1.2 研究動機..... | 2 |
| 1.3 研究目的..... | 4 |
| 1.4 研究架構..... | 5 |
| 1.5 論文架構..... | 6 |
| 第二章 文獻探討..... | 8 |
| 2.1 需求預測模型研究相關文獻..... | 8 |
| 2.1.1 需求預測模型..... | 8 |
| 2.1.2 零組件衰退期之需求預測..... | 10 |
| 2.2 最後訂購研究之相關文獻..... | 12 |
| 2.3 文獻探討小結..... | 15 |
| 第三章 模型建構與求解..... | 18 |
| 3.1 汽車產業現行零組件存貨機制簡介..... | 18 |
| 3.1.1 服務性零組件供應流程..... | 19 |
| 3.1.2 服務性零組件供應分類..... | 20 |
| 3.1.3 正常時期之訂貨策略..... | 20 |
| 3.1.4 零組件供應商停產準則..... | 25 |
| 3.1.5 最後訂購時期之最適訂購數量..... | 26 |
| 3.1.6 個案公司存貨機制小節..... | 26 |
| 3.2 模型假設與分析架構..... | 27 |
| 3.2.1 模型假設..... | 27 |
| 3.2.2 模型分析架構..... | 28 |
| 3.3 負指數迴歸需求預測模式..... | 29 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 3.3.1 負指數迴歸模式符號說明..... | 29 |
| 3.3.2 建立負指數迴歸需求預測模式..... | 30 |
| 3.3.3 負指數迴歸模式之檢定..... | 30 |
| 3.4 最後訂購時期之最適訂購時點與數量決策模型..... | 31 |
| 3.4.1 決策模型之基本符號說明..... | 32 |
| 3.4.2 正常訂購時期之成本函數..... | 33 |
| 3.4.3 最後訂購時期之成本函數..... | 34 |
| 3.4.4 總成本函數決策模型..... | 35 |
| 3.5 最後訂購時點與數量決策模型之求解過程..... | 35 |
| 3.5.1 求解流程..... | 36 |
| 3.5.2 模型求解..... | 36 |
| 第四章 個案分析與驗證..... | 40 |
| 4.1 研究品項挑選及零組件需求參數設定..... | 40 |
| 4.1.1 研究品項篩選準則..... | 40 |
| 4.1.2 零組件之迴歸需求預測模式及輸入參數設定..... | 41 |
| 4.2 現行方法與本研究決策方法之成本比較分析..... | 46 |
| 4.2.1 設置改善方案..... | 46 |
| 4.2.2 個案比較分析..... | 47 |
| 4.2.3 個案比較分析小結..... | 53 |
| 4.3 敏感度分析..... | 55 |
| 4.3.1 假設存貨持有成本參數變動下的敏感度分析..... | 56 |
| 4.3.2 假設正常訂貨時期之顧客服務水準變動下的敏感度分析..... | 57 |
| 4.3.3 假設各期需求標準差變動下的敏感度分析..... | 59 |
| 4.3.4 敏感度分析小結..... | 61 |
| 第五章 結論與建議..... | 62 |
| 5.1 研究結論與建議..... | 62 |
| 5.2 研究貢獻..... | 63 |
| 5.3 研究限制..... | 64 |
| 5.4 未來研究方向..... | 64 |
| 參考文獻..... | 66 |
| 中文部分：..... | 66 |
| 英文部分：..... | 66 |

圖目錄

| | |
|-------------------------------------|----|
| 圖 1.1: 產品與服務性零組件之生命週期關係圖..... | 3 |
| 圖 1.2: 研究目的與流程架構圖..... | 6 |
| 圖 1.3: 論文架構圖..... | 7 |
| 圖 2.1: 銷售資料轉換圖 Moore (1971)..... | 11 |
| 圖 2.2: 服務性零組件生命週期(滕哲安, 2009)..... | 13 |
| 圖 3.1: 本研究之研究時間範圍及決策議題..... | 19 |
| 圖 3.2: 個案公司服務性零組件供應流程及探討議題..... | 19 |
| 圖 3.3: 影響存貨管理之因素(林翰輝, 2007)..... | 21 |
| 圖 3.4: 最後訂購之零件篩選準則(陳育珊, 2009)..... | 25 |
| 圖 3.5: 個案公司剩餘年限需求供應圖..... | 26 |
| 圖 3.6: 研究分析流程圖..... | 28 |
| 圖 3.7: 模型最佳解演算法..... | 36 |
| 圖 3.8: CASE1-總成本函數與最後訂購數量變動關係圖..... | 38 |
| 圖 3.9: CASE2-總成本函數與最後訂購數量變動關係圖..... | 39 |
| 圖 4.1: 水箱護罩實際季需求量變動圖..... | 42 |
| 圖 4.2: 引擎蓋實際季需求量變動圖..... | 42 |
| 圖 4.3: 水箱護罩之需求迴歸線配適圖..... | 43 |
| 圖 4.4: 引擎蓋之需求迴歸線配適圖..... | 44 |
| 圖 4.5: 水箱護罩之最後訂購時點(d)決策圖..... | 51 |
| 圖 4.6: 引擎蓋之最後訂購時點(d)決策圖..... | 52 |
| 圖 4.7: 存貨持有成本變動與總成本關係圖..... | 56 |
| 圖 4.8: 顧客服務水準變動與總成本關係圖..... | 59 |
| 圖 4.9: 各期標準差變動與總成本關係圖..... | 60 |

表目錄

| | |
|--|----|
| 表 2.1: 需求預測模型分類與內容..... | 8 |
| 表 2.2: 需求預測模式與其適用之需求特性與預測方法(陳育珊,2009)..... | 10 |
| 表 2.3: 零組件生命週期三階段及需求特性Fortuin (1980)..... | 12 |
| 表 2.4: 生命週期末端之服務性零組件最後訂購策略文獻整理..... | 16 |
| 表 3.1: 個案公司零組件分類及管理差異..... | 20 |
| 表 3.2: 庫存等級分類..... | 23 |
| 表 3.3: 零組件屬性分類表..... | 23 |
| 表 3.4: 屬性優先順序表..... | 24 |
| 表 3.5: ICC 等級與存貨水決定參數表..... | 24 |
| 表 4.1: 零組件需求預測迴歸式之係數與檢定表..... | 43 |
| 表 4.2: 水箱護罩之模型輸入參數設定表..... | 45 |
| 表 4.3: 引擎蓋之模型輸入參數設定表..... | 45 |
| 表 4.4: 最後訂購情境下之改善方案差異表..... | 46 |
| 表 4.5: 水箱護罩採用原始方案所產生的成本相關數據表..... | 47 |
| 表 4.6: 引擎蓋採用原始方案所產生的成本相關數據表..... | 48 |
| 表 4.7: 水箱護罩採用改善方案 1 所產生的成本相關數據表..... | 49 |
| 表 4.8: 引擎蓋採用改善方案 1 所產生的成本相關數據表..... | 50 |
| 表 4.9: 水箱護罩採用改善方案 2 所產生的成本相關數據表..... | 51 |
| 表 4.10: 引擎蓋採用改善方案 2 所產生的成本相關數據表..... | 53 |
| 表 4.11: 水箱護罩於各模擬分析情境之成本相關數據比較表..... | 54 |
| 表 4.12: 引擎蓋於各模擬分析情境之成本相關數據比較表..... | 54 |
| 表 4.13: 引擎蓋之存貨持有成本輸入參數調整表..... | 56 |
| 表 4.14: 存貨持有成本變動下之敏感度分析表..... | 57 |
| 表 4.15: 引擎蓋之服務水準限制輸入參數調整表..... | 58 |
| 表 4.16: 顧客服務水準限制變動下之敏感度分析表..... | 58 |
| 表 4.17: 引擎蓋之各期標準差輸入參數調整表..... | 59 |
| 表 4.18 各期標準差設定變動下之敏感度分析表..... | 60 |

第一章 緒論

1.1 研究背景

隨著現今社會中消費者意識抬頭與產品市場的競爭愈來愈激烈，使得各企業所面臨的銷售情境比以往更為嚴峻。因此企業欲維持旗下品牌的市占率，將不只依靠良好的產品功能設計，對於產品售後的保固服務也開始逐漸受到重視。而所謂的相關售後服務包括：七天免費鑑賞期、快速維修保證，以及免費耗材更換等，此類不同的新式售後服務正逐漸在市場上出現。而最常見的產品售後服務，就是在限定的服務期限內對消費者提供服務保證。這段保證服務期限會隨著產品種類的性質差異而有所不同，而隨著現今產品生命週期的縮短，使得產品零組件的停產時點將會提前，但產品零組件的需求期間卻不因此縮短，起因於企業對顧客所承諾的售後保證服務。這種矛盾情況使得在預測此類服務性零組件的需求數量及維持零組件之存貨量等相關存貨管理實務上，對業者帶來極大的困擾。

此類提供售後服務保證的情境，大多出現於生產高單價且使用年限較長的產品廠商，例如：PC 個人電腦產業、汽車產業...等，或是生產耐久財產品的廠商，也因此造成此類廠商所面臨的存貨決策情境會更為嚴苛。而以本研究所探討的汽車產業為例，綜觀台灣國內汽車產業，國內廠商大多是以代理國外母廠的品牌來銷售，雖然有許多零組件是國內自製，但由於全球化及成本上的考量，許多零組件還是源自於國外進口。而汽車產品亦屬於高單價使用年限長的耐久財產品之一，且一輛汽車所需要維修保養的零組件，更是高達上萬件，因而造成消費者在購買時，往往會優先考慮後續維修便利性。因此為了消除消費者的疑慮，國內各車廠業者常會提供保固期限或里程內免費維修，或固定年限內保證維修等服務。若在消費者之車輛尚在可以行駛的年限內，發生廠商無法提供足夠的相關零組件進行更換保養維修的情形時，屆時所影響將不僅只有失去該次維修的所帶來的利潤損失，顧客抱怨將進而迅速影響往後消費者對於該品牌的消費偏好及商譽。

所以國內汽車廠商必須在適當的年限內，對消費者提供車輛保證維修服務，並且於該期限內提供足夠的零組件供維修更換，這些零組件即是本研究內文所稱的服務性零組件(Service Parts)。若在零組件尚在生產的期間，零組件取得是相當

容易的；但隨著產品即將停產，零組件的生產也將會陸續中止，但零組件的生產中止，不代表產品服務年限也將隨之結束。在實務上來說，服務年限中止時點甚至比零組件生產中止的時點來的更晚。此將造成廠商常面臨到何時進行最後一次生產或購買(Final Production or Order)的情形，以便滿足零組件停產後至服務年限截止期間之服務性零組件的需求量。因此，若能在企業所容許的顧客服務水準的條件下，以總成本最低為目標，在適當時機訂購可滿足未來大多數零組件的剩餘需求，便可以解決在零組件需求量少時，尚需不斷的重複訂貨或生產所帶來的困擾，這樣才是一個較完美的最後訂購策略。而採行此最佳的最後訂購策略除了能夠減少企業在存貨管理上的不便，且將帶來相關成本減少的效益，因此最後訂購的時點及最後訂購數量之決策，將會是目前國內汽車產業的各廠商在面臨嚴峻的銷售環境及售後服務品質的情形下，持續減少零組件存貨管理成本的重要議題。

1.2 研究動機

如圖 1.1，該圖描繪出服務性零組件與其所屬產品本身皆有其固定的生命週期，而零組件的需求期間通常發生在產品生命週期往後遞延的一段固定期間，且其性質也類似產品生命週期可區分成幾個需求階段。而以存貨管理的角度觀察，零組件的生命週期通常可以區分為三個階段，分別為第一階段的導入期(The Initial Phase)，到第二階段的正常期(The Normal Phase)，以及第三階段的衰退期(The Final Phase)。其中當零組件需求處於衰退階段時，因需求波動較為劇烈，常面臨到訂購過多的零組件存貨或訂貨過少無法滿足顧客需求的兩難局面。此兩難的抉擇對於有提供消費者保證維修服務年限的廠商更為困擾，因為此類廠商除了在面對衰退期過多的零組件滯銷存貨所造成的呆料及存貨管理成本之外，尚需在保證服務年限內維持固定的顧客服務水準。所以在此嚴峻的訂購情境下，該類廠商需在滿足整體的顧客服務水準限制的條件下，在衰退階段的最適當時點採購最適當的最後訂購數量，才可使得自身的總成本最低。若最後一次訂購的時間點和數量拿捏準確，不僅能夠消除多餘的呆料成本，也可以解決在零組件衰退期持續訂購無必要性的零組件及庫存種類過多造成的困擾等問題。因此所謂的最佳的最後訂購決策是需要能夠持續滿足顧客對於服務性零組件的需求，並且解決廠商所面臨成本控管與零組件需求抉擇的混合問題。

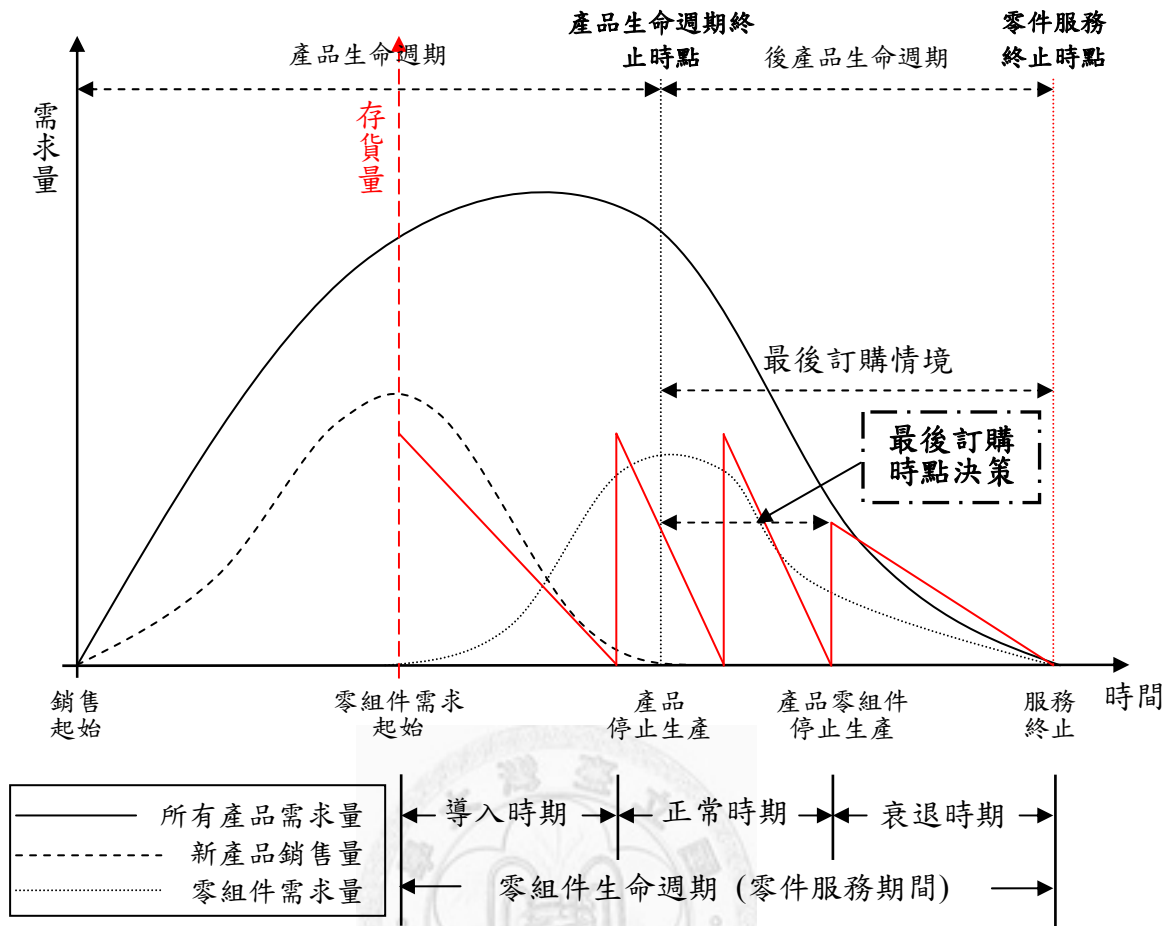


圖 1.1 產品與服務性零組件之生命週期關係圖

而在本篇研究的國內汽車產業所面對的存貨管理實務是更為困難的，因為單款車型的零組件多達上萬件，在面對如此眾多的零組件，管理服務性零組件庫存尤其不易。若零組件已介於生命週期的衰退期時，需求波動將會更加劇烈，且供應商礙於生產批量與經濟規模的考量下，零件供應商在衰退期並不會持續生產至廠商服務年限結束。因此，廠商必須在零組件供應商停止生產前，決定最佳的最後訂購時間點和最後訂購量，以滿足服務期間結束前的剩餘供應年限需求。

若最後訂購量太多將在未來產生多餘的滯銷存貨；訂購太少則會無法持續滿足顧客需求，造成顧客抱怨與銷貨損失。而若過早採行最後訂購，因需求預測期間拉長，不確定性就會增加，使得需求預測上將更顯得困難；相反的，若太晚做最後訂購，將造成對無必要性的零組件，持續性的常態訂購與管理，而造成管理上的成本增加。另外，廠商還必須在零組件供應商不再繼續生產該零組件的時間點前，進行最後一次訂購，遲了將無其他補救方式。以上種種限制將使得介於生

命週期末端的零組件，在最後訂購決策上增加許多困難及複雜度。

然而汽車產業中的多數廠商目前在實務上處理這類問題時，往往全憑經驗及方便起見，通常以歷史資料的各期平均需求做為預測的參考依據。其對於所有的零組件均採行相同的決策方法，皆依據該零件所屬的車型停產(打切)後若干年，並根據自身所設定的訂購法則進行最後一次訂購，之後就不再針對該零組件做常態性訂購與管理。這樣的做法，無法區分零組件的重要性，恐使得一些實無必要性的零組件，經過長時間的常態性訂購及管理，而最終成為堆滿整個倉庫的呆廢料元兇。

因此本研究希望針對汽車業界提出更佳的決策模式，為此本研究為該業界中的範例個案公司建立數量化的成本函數，並進而建構最後訂購時點及最後訂購數量的決策模型。此模型將以總成本最低為目標下，所決定的最後訂購時點與數量做為最佳訂購策略，希冀採用此決策模型可以減少介於生命週期末端之汽車零件的管理複雜度，並且提早對較無重要性及需求較少的零組件進行最後訂購，減少長期的訂購管理成本。而這樣的量化決策模型對於管理件數多且難度高的汽車產業來說，無疑是一項較佳的簡便決策方式。

1.3 研究目的

由上述的研究背景與動機，可以大致描繪出本論文的研究目的，並歸納為以下幾點：

1. 建立衰退期服務性零組件的需求預測模式：在建構決策模型前，需求預測值為模型必要的輸入參數。因此本研究以時間為自變數，各期需求為應變數，且使用指數遞減模式，發展出適合用於衰退期的迴歸需求預測模式。
2. 建構服務性零組件的最後訂購時點與數量決策模型：為能更精確的訂購生命週期末端的零組件，本研究將設計出考量正常訂購、急單、缺貨利潤損失及存貨持有成本的量化成本決策模型。最後以最低成本為目標而發展出該模型的求解方式，求出最佳最後訂購時點與數量。
3. 運用個案公司的實際需求資料，比較相關的成本數據並進行敏感度分析：本研究自個案公司擷取相關的成本及訂貨參數，將其歷史需求資料實際運用於

本研究的決策模型，計算出以此決策模型所決定的訂購時點與數量，進而得到模型成本數據並對所有成本輸入參數進行敏感度分析。

4. 以零組件存貨管理的角度，對該業界提出相關改善建議：根據本研究所建立的決策模型得到數值分析後的成本相關數據，與個案公司現行決策方法所得之數據進行探討比較。最後以改善後的數據與敏感度分析後的成果，總結本研究對於此研究議題的改善成效，並針對汽車產業提出在最後訂購情境下存貨管理操作方面的相關建議。

1.4 研究架構

根據上述的研究背景、動機及研究目的，本研究之流程可以總結如下，並將研究架構流程圖整理成圖 1.3：

1. 探討汽車產業中的一般廠商對於最後訂購時點與數量的現行決策準則：本研究將先了解現行汽車產業中具代表性的廠商對於此類零組件的存貨管理機制與相關的訂購準則，並探討現行方法的優劣點。
2. 建立衰退期零組件需求預測模式：分析生命週期末端之車款零組件資料，發現該類零組件的需求呈現非線性的遞減趨勢。因此本研究擬定建立適當的非線性迴歸模型，並利用此迴歸模型得到零組件剩餘年限的需求預測，而做為規劃期間訂購數量之參考依據。
3. 建構最後訂購時間點及數量決策模型：本研究以停產時點為分界點，將停產時點之後的服務年限期數視為規劃期間，而在此規劃期間又可續分為兩個時期。接著利用前述之需求預測模式所預測的剩餘供應期數需求預測值，建構出規劃期間的成本函數，並以此總成本函數作為本決策模型的目標函數。最後，依此決策模型發展出求解方法，而得到模型最佳解，以作為最佳最後訂購決策。
4. 個案分析與驗證：以本研究所建構的最後訂購時點及數量決策模型作為基礎，進而與個案公司現行方法的總成本及相關數值進行比較，以了解本決策模型之改善成效。並針對模型各參數進行敏感度分析，調整零組件之相關訂貨參數，觀察總成本數值的變動，以了解各訂貨參數對本決策模型之影響。

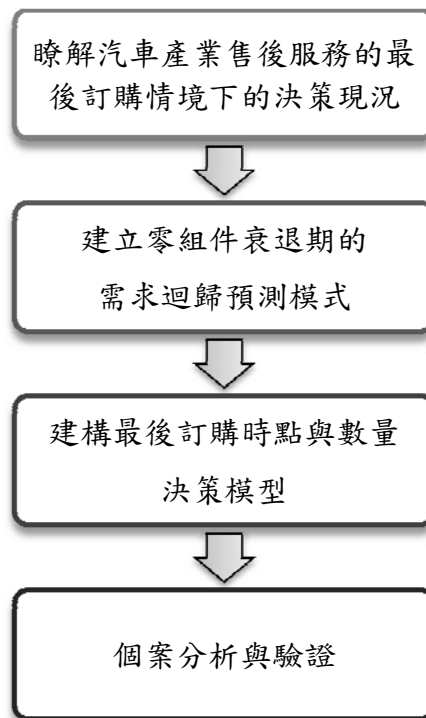


圖 1.2 研究目的與流程架構圖

1.5 論文架構

本研究共分為五章。第一章為緒論，說明本研究之背景與研究動機，並設定本研究之研究目的。另外，本章節也概述本研究之分析架構與論文架構。

第二章為文獻探討，其摘錄之相關文獻概略可區分為兩大部分：第一部分為需求預測模式之相關研究文獻，內容主要以零組件衰退期的需求預測模型為主；第二部分則為最後訂購時點及策略之相關文獻，內容包含近年來較新的最後訂購議題的研究趨勢，並將本研究與以往相關研究進行比較。

第三章為模型建構與模型求解部分，於此章中詳細說明本研究所提出的最後訂購時點與數量決策模型的建構流程，其中包含：需求預測模型、最後訂購決策模型與求解方法的建構。

第四章則以個案公司所提供的零組件參數資料，進行數據驗證與敏感度分析。由個案公司擷取本研究所需之零組件資料，再使用本研究所建立的最後訂購時點與數量決策模型進行驗證比較。最後針對影響決策模型之參數，進行敏感度分析。

最後，第五章為結論與建議，亦列出本研究之相關限制。依照相關分析數據結果，以管理上的角度對個案公司提出相關建議。最後將以上論文流程架構整理如圖 1.4。

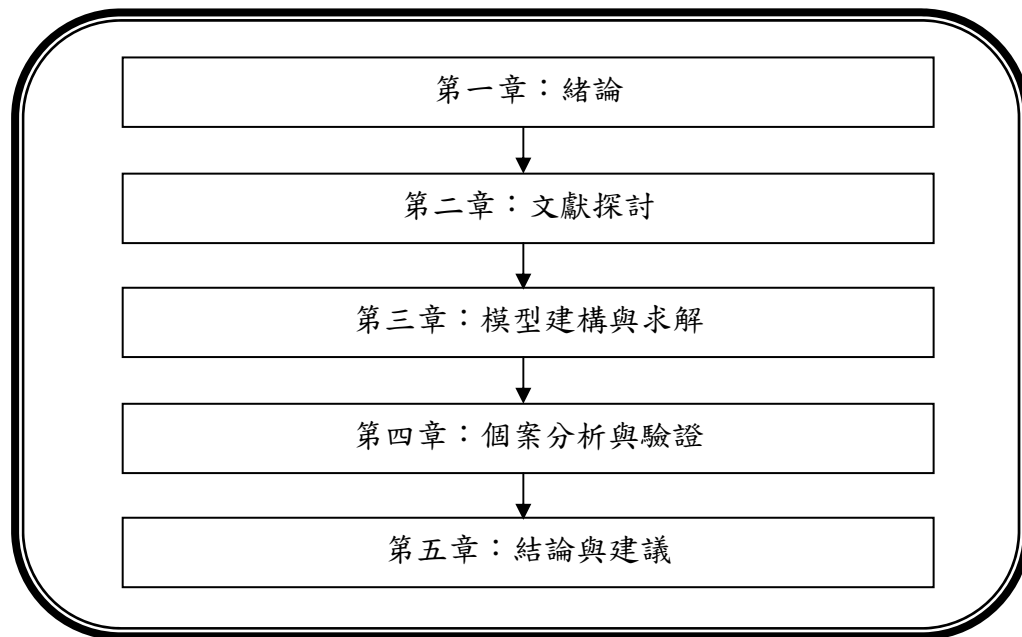


圖 1.3 論文架構圖

第二章 文獻探討

本章依據研究問題的需要，將所探討的文獻主題分為兩部分。第一部分為需求預測模型部分，此部分整理與本研究相關的需求預測模型，並主要探討當需求處於某種趨勢的需求預測方法文獻，尤其是關於零組件衰退期之研究，以利了解可應用於零組件生命週期末端的需求預測模式；第二部分則以探討最後訂購情境下的研究相關文獻為主，目的在了解現今在衰退期的零組件存貨管理策略與數量決策方法的研究趨勢，以利本研究延伸探討衰退期時的最後訂購時間點及最適訂購量等相關問題。

2.1 需求預測模型研究相關文獻

由於需求預測模型的研究文獻繁多，因此本研究於 2.1.1 小節先將需求預測模型概略區分成四大類，並且逐一探討各類預測模型的大致做法內容。最後將引用最適當可用於零組件生命週期末端的需求預測模式，且於 2.1.2 小節深入探討此類零組件衰退期的需求預測模型的研究內容。

2.1.1 需求預測模型

由探討過去的需求預測模型之研究，而歸納整理出可應用於需求預測之相關模型，如表 2.1。本研究將此類研究文獻，大致分為四類，分別為：傳統需求預測模型、時間序列預測模型、迴歸預測模型和其他不同需求型態預測模型，並一併整理於表 2.1 呈現。

表 2.1 需求預測模型分類與內容 (本研究整理製表)

| 類別 | 需求預測方法 | 大致內容 |
|----------|--------|---|
| 傳統需求預測模型 | 定性法 | 定性法屬於主觀的預測方法，依據歷史資料及主觀意見對需求發展做出定性判斷，以預測未來可能需求量。 |
| | 時間序列法 | 時間序列法利用歷史需求量做為預估未來需求的依據，並依此延伸類推預測未來需求發展之趨勢。 |

| | | |
|----------------------|----------------|---|
| | 因果關係法 | 因果關係法利用發現特殊相關因子與需求量之相關性後，透過函數關係轉換得到需求預測值。 |
| | 模擬法 | 利用模擬系統輸入相關殘數模仿試驗真實環境之要素，藉此模擬真實需求的預測值。 |
| 時間 序列 預測 模型 | 指數平滑法 | 利用時間序列發展趨勢具有規則性，藉此依時間序列順勢推延，利用前期資料推演未來趨勢。指數平滑法選取前幾期需求量資料，並設定前幾期之需求權數，通常越近期之需求權數較大，進而求出加權需求平均數。 |
| | 移動平均法 | 利用前 N 期之需求量資料加總之平均數來預測下一期需求量。對於超過前 N 期之資料過舊則不納入作為預測參考。此法也可依照過去資料的權重不同，而分為簡單移動平均法及加權移動平均法。 |
| 迴歸 預測 模型 | 迴歸預測法 | 迴歸預測是建立自變數與應變數之函數關係，獲取迴歸係數，並將自變數代入迴歸方程式中獲得預測值。迴歸預測法又分為：線性迴歸、非線性迴歸、一元迴歸以及多元迴歸，以上各類別皆可以在細分為多種型態的迴歸模型。 |
| 其他 不同 需求 模型 | Moore (1971) | 提出預測下降趨勢之需求時，可擷取最高點之後的資料數據，將時間做為自變數，銷售數量為應變數，在對時間及銷售數量同時取對數，求取迴歸模型，其研究發現 85% 的需求型態可以用橢圓、拋物線及直線去近似，選取配適度高的型態，再將對數轉換成實際數值去預測需求。 |
| | Croston (1972) | 提出可用於間斷性需求的模型，結合需求量及需求頻率，利用指數平滑法做需求預測，矯正正平均絕對誤差後，決定存貨水準。 |

而學者 Sven (2006) 也曾以不同的分類方式，整理相關的需求預測方法。他將需求預測方法分為兩類，分別為以歷史資料推斷和以其他因素做預測。其中使

用歷史資料推斷的預測方法較為常見，且以歷史資料推斷的方法主要有三種預測模式，各模式適用的需求特性與預測方法見表 2.2。

表 2.2 需求預測模式與其適用之需求特性與預測方法 (陳育珊，2009)

| 需求預測模式 | 適用的需求特性 | 預測方法 |
|---------|-----------------------------------|---------------|
| 固定模式 | 當產品處於生命週期的成熟階段且使用量規律。 | 移動平均、指數平滑法 |
| 趨勢模式 | 當產品處於生命週期剛開始的成長階段，或是產品生命週期末段的衰退期。 | 趨勢指數平滑、迴歸分析 |
| 趨勢-季節模式 | 除趨勢模式所提外，此產品具有季節性需求型態。 | Winters 趨勢季節法 |

在整理上述的需求預測模型之後，即能理解傳統經濟批量(EQQ)的存貨模型不適用於零組件衰退期末端的原因。因傳統經濟批量模型建立在需求穩定的條件下，雖然目標同為極小化訂購成本及存貨持有成本，但是當處於需求上升或遞減趨勢時，傳統經濟批量模型就變得不適用，因此衍生出上述各類別的需求預測模型。而本研究之研究目的在於研究零組件衰退期時的最後訂購數量及時間點，因此將更深入探討當需求處於某種趨勢之需求預測模型，其中由學者 Moore (1971) 針對衰退期汽車零組件的研究開始探討，以下 2.1.2 小節即為過去相關學者研究趨勢需求預測模型的相關文獻及成果。

2.1.2 零組件衰退期之需求預測

Moore (1971) 針對衰退時期的汽車零組件需求做相關預測研究，該情境下之零組件年需求趨勢逐漸下降，傳統的經濟批量預估方法無法在不穩定狀態下求出最適預測量。因此在處理需求呈現趨勢下降的零組件類別，需提出新的需求預估方法來處理此類零組件。Moore 在該研究提出，在需求資料擷取上可以從銷售量之最高點往後擷取資料點，接著將資料轉換到對數尺度上並尋找最適合該銷售資料的需求預測曲線，而發現 85% 的零組件需求型態可以三種曲線趨勢逼近：線性遞減、拋物線遞減、橢圓形遞減。根據歷史資料之需求趨勢選擇配適度最好的需求曲線後，再將對數尺度轉換回原始尺度，作為年銷售量預估值，如圖 2.1 所示。最後其以動態規劃的方式，求得各零組件於衰退期的各期最適訂購數量。

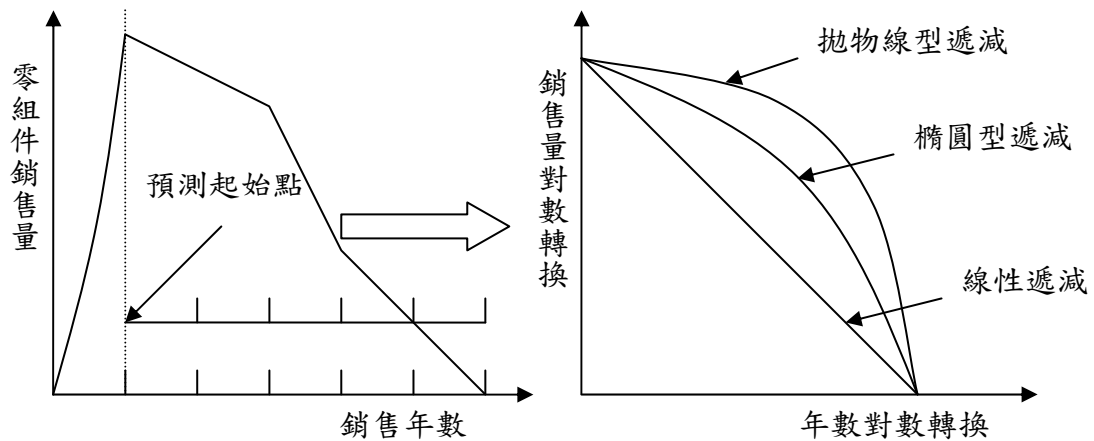


圖 2.1 銷售資料轉換圖 Moore(1971)

另一位學者 Brown (1982)則以舊機台維修零組件的需求預測模式為例，在因機台過於老舊生產終止後，加上營運數量逐漸下降，使得舊機台使用率減低，而造成縱然機台零組件逐漸失效，但由於機台使用率過低使得顧客並無意願更換零組件。因此其假設維修零組件的平均需求隨時間呈指數遞減的卜瓦松分配，因為此預測模式將能提供良好的需求預測模式。Fortuin (1980)則改良學者 Moore 需求預測模型，認為當需求服從常態分配，零組件衰退期的平均年需求會以近似指數函數的形式遞減，因此可用以下公式，將歷史需求資料做對數轉換求得衰退期需求預測的指數迴歸方程式：

$$m_k = C \times f^{k-1}, k = 1, 2, \dots, N$$

N ：剩餘服務期數(年)； C ：常數，需求標準常數 ($C > 1$)

m_k ：第 k 期之平均需求； f ：年遞減比率，迴歸參數 ($0 < f < 1$)

最後，總結 Moore、Fortuin 及 Brown 的需求預測模型之需求趨勢皆呈指數趨勢遞減，而 Hill (1989)即整理上述學者之研究，將各期之銷售量轉換成指數函數，再利用對數轉換成對數函數，並利用迴歸方法求得迴歸參數 α 及 β ，以此作為需求預測模型。再以此預測值為依據，建立存貨維持量預測模型，以下即為其需求預測模型公式：

$$y_t = \exp(\alpha + \beta t + \varepsilon_t)$$

$$E[\ln(y_t)] = \alpha + \beta$$

y_t ：第 t 期之銷售量； t ：時間節點

ε_t ：的 t 期之誤差量

2.2 最後訂購研究之相關文獻

當產品甫進入市場後，相對應的維修零組件也隨之產出並且開始備料，此類對應的維修組件即稱為服務性零組件。此產出時點即為零組件生命週期之開端，而直到零組件生命週期中止的這段期間稱為服務期間(Service Periods)，但另有些個案以廠商所設定的保證服務截止時點作為零組件生命週期終止時點。而學者 Fortuin (1980)則將零組件生命週期劃分成三個時期，每一時期的零組件需求有不同的特性，如下表 2.3 所示。

表 2.3 零組件生命週期三階段及需求特性 Fortuin (1980)

| 階段 | 需求特性 |
|------------------------------------|--|
| <p>導入期 (The initial phase)</p> | <p>產品剛上市初期，意為相對應的維修零組件立即開始產出備料的時期。此時期沒有需求歷史資料可供預測參考，因此訂購數量只能參考其他定位相同的產品，以類似的零組件需求歷史資料來預測，或是直接由管理階層主觀決定初始訂購量。</p> |
| <p>成熟期 (The normal phase)</p> | <p>產品於市場中的銷售量趨於穩定，即產品需求量變動不大，導致服務性零組件的需求也逐漸穩定，而易於預測各期訂購量。</p> |
| <p>衰退期 (The final phase)</p> | <p>產品生產終止並停止於市場中販售，使得市面上產品數量逐漸減少。已購買產品的顧客對於服務性零組件的需求也將逐漸減少，部分服務性零組件開始斷續生產，產出亦逐漸降低。因此在此產品的服務性零組件完全停產之前，必須進行最後一次性訂購(Last Time Buy)，以滿足後續服務時期(Service Time)的剩餘顧客需求。</p> |

將表 2.3 的三階段零組件生命週期，依時間順序描繪於圖表中呈現。首先將三個階段的訂購過程決策與上表所描述的生命週期三階段依照時間做配對，即可在各個時期中區分出三種訂購過程，分別為：導入期的最初訂購(Initial Order)、成熟期的重覆訂購(Reorders)，以及衰退期的最後訂購(Final Order)。以上各時期的訂購過程，繪製呈現於下頁圖 2.2，描繪出零組件生命週期與各時期的訂購策略分布圖。

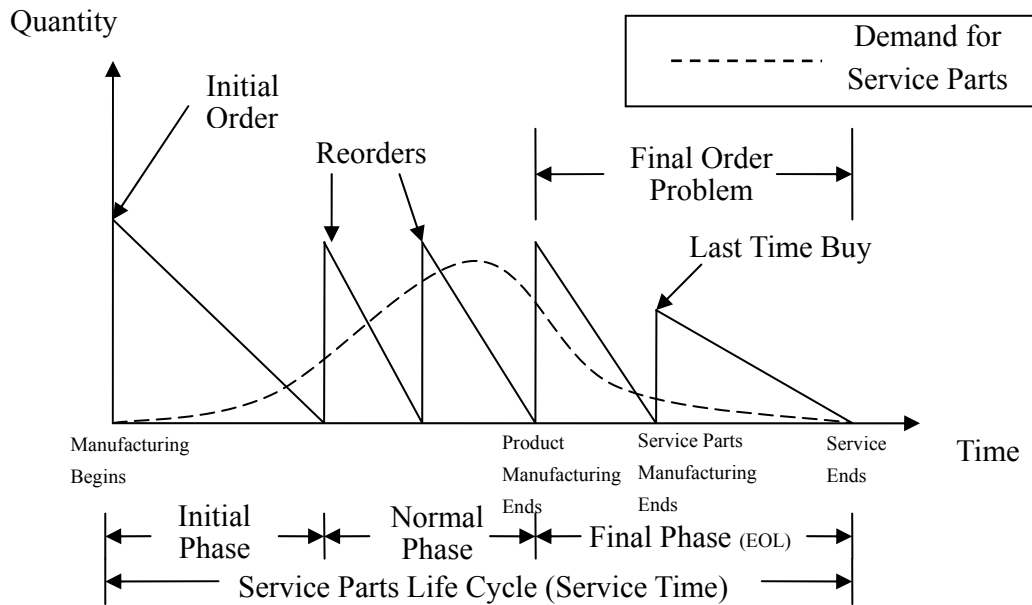


圖 2.2 服務性零組件生命週期圖 (滕哲安, 2009)

回歸到學者 Fortuin (1980) 的研究，其針對服務性零組件在衰退期的最後訂購問題，假設各期需求獨立並服從常態分配，且平均需求會隨時間呈現以指數趨勢遞減，接著探討服務水準、服務期間長度、安全庫存與缺貨呆料風險之間的關係，以給定的服務水準及服務期間長度，決定最後一次訂購量並求出缺貨與呆料風險。Teunter (1998) 則以飛利浦公司的實際需求資料為例，其將飛利浦公司之零組件依照相似的需求型態分成三類：回總部維修的零組件、偶發性大量需求及正常發生需求。該研究主要針對正常發生需求的零組件，以演算法來預測未來各期需求量的機率，求得各期最適訂購量。

而 Hill (1999) 假設需求函數為乘冪函數，先求得最後一期訂購量，並假設衰退期平均需求是隨時間以指數遞減的卜瓦松分配，且最後終止時點的需求為零。再以動態規劃求最後一期在成本最小化下的最適訂購量及訂購期間，順序返推前一期的最適訂購量及訂購期間，而提出以報童模型方法應用在當廠商只有一次的訂購機會時的最佳訂購量決策。Teunter (2002) 則另外加入考量衰退期開始後零組件價格因停產而上漲的變異，即廠商在衰退期可向供應商以比較高的價格購買零組件。在固定前置時間及規劃期間下，得到最後訂購時段必須大於前置時間才有訂購機會，將此情境納入成本極小化模型中並假設需求為卜瓦松分配，再以動態規劃求出最適訂購時間點及各時段的存貨上限，因而求出在衰退期開始時的最適化存貨量。

接著近期文獻除了探討零組件停止生產後最後訂購量之決策外，還額外考量以其他途徑來源在衰退期持續供應零組件，以及探討最後訂購時間點的決策問題。Joglekar (2007)針對零售商面對商品即將停產而導致零售商需在供應商停產前的最後生產批量做最後訂購的情境下，建立一個對零售商的利潤極大化的模型。該研究比較這兩種訂購策略對於零售商利潤之影響，一是採用最後一次性訂購，二是繼續採用正常再訂購策略面對即將停產之產品。James (2009)假設單一產品具有多個服務性零組件的情形下，在固定的剩餘供應期數，假定時間每過一期就有一個零組件供應中止，意即每期均要為一種零組件作最後訂購量決策。其亦利用利潤極大化的模型，採用動態規畫求得每一期停產零組件的最適訂購量。

Kleber (2007)則考量供應商停止供應零組件後，在可以重啟生產線製造的情境下，考量重新製造成本，以啟發式解法(Heuristic)和結合報童模型求得存貨耗盡時點與再製存貨水準，得出最適最後訂購數量。鑒於上述探討之文獻皆未考量零組件可回收再製成良品的情況，van Kooten (2008)以零組件可以回收維修的前提下，考量回收零件有無法再使用的風險存在。作者假設可維修之機率與維修前置時間，並以動態規畫建立馬可夫模式，以此模型決定最後訂購量。而 Inderfurth (2007)在衰退期零組件的存貨供應策略上，考量了較多面向的策略選擇，並利用決策樹(Decision Trees)及動態規劃，而求得最佳的衰退期的零組件供應策略。兩位學者先整理比較衰退期零組件在訂購、生產和存貨管理等各種策略面項的難易度，且稱產品生命週期末端為 Post Product Life Cycle。最後針對這段期間的零組件供應來源，整理出三個重要的供應來源，並且比較三個供應來源的成本與風險。這三個供應來源分別是：

1. 最後訂購量 Final lot size :

當零組件供應商準備要生產最後批量的零組件時，這時候針對未來需求至服務年限截止，做一次性購買。由於提前購買，所以購買零組件價格便宜，但是由於預測未來需求有很大的不確定性，使得若購買太多，未來的淘汰成本將會大增；但若購買太少，未來需求無法被滿足，將會有大量的缺貨成本產生。

2. 額外訂購或再開生產線 Extra production/procurement :

當未來需求無法被滿足時，立刻採取額外購買或者在開啟生產線。優點

是需求準確被滿足，不確定性小，但是在開生產線或有很大的固定成本，臨時的急單購買，購買價格也將會特別昂貴。

3. 回收零件再利用 Remanufacturing of spare parts :

將回收回來的零件，經過整修成良品，待有需要的時候，可以立刻被使用，但是優點是環保且成本可以比再開生產線及額外訂購低，但是由於零件回收的量不確定性非常高，加上需要一段維修時間，所以這個方案並非在所有產業適用。

該研究考慮上述三個零件來源後，在零組件生命週期末端，建立特殊的決策樹(Decision Trees)模型，且使用動態規劃，對此決策模型進行求解，求得零組件生命週期末端中每期最佳零組件供應策略。而學者 Cattani (2003)另舉 IBM 公司的 PC 部門為例，IBM 的 PC 產品在各銷售通路備有多餘存貨，但 PC 產品生命週期過短，導致這些多餘存貨多成為淘汰無價值之商品，其證明訂購存貨備料時間點的重要性。因此利用利潤極大化模型，加上既有的報童模式求得最適訂購量，以此最適訂購量導入下個延遲最後訂購時間點模型，並考慮整體供應鏈、零組件供應商及產品製造商三方因延遲訂購零組件而減少需求不確定所導致的獲利。若延遲採購帶給整體供應鏈的利益為正值，即證明產品製造商及零組件供應商在這樣的作法是有利可圖，可以考量將零組件生產終止時間點延後，使得整體供應鏈的獲利極大化。

2.3 文獻探討小結

由整理 2.2 節的最後訂購情境的研究文獻，可以發現過去的研究多主要探討最佳最後訂購數量的議題，研究差異大多在於以不同業種為例而有不同的規劃情境及使用不同的最佳化求解方式。而近來的研究由於環保意識的抬頭，造成逆物流的興起，使得關於衰退期零組件有不同的供應來源，例如來自回收維修後的良品，也因此研究探討的趨勢多往最佳化多供應源的混合策略為主。最後訂購時點的議題，僅有 Cattani (2003)的研究中以 IBM 公司的 PC 產品為例，考量整體供應鏈的利益極大化的條件下，計算因最後訂購時點的後移而可獲得的總利益，而驗證出最後訂購時點的決策的確對整體供應鏈的利潤有影響。而本研究則依此概念，將最後訂購時點與最後訂購數量設為決策變數，並設置多面向成本的量化決

策模型，希冀可以此決策模型求得最佳訂購時點與數量決策。最後即可以此最佳化決策，改善現行個案公司的最後訂購機制，而使個案公司減低成本得到改善後的效益。

最後，茲將本研究所整理的最後訂購相關文獻並歸納成表 2.5，藉以比較本研究與其他文獻研究之異同。其中多以零組件需求呈現遞減趨勢的研究情境為主，並比較需求預測模式、最佳化決策變數與求解方式的差異為主。

表 2.4 生命週期末端之服務性零組件最後訂購策略文獻整理

| 學者 | 需求預測模式 | 最適訂購決策及求解方式 | 模型設計邏輯 | 貢獻 |
|--------------------------|---|---------------------------------|---|---|
| Fortuin (1980) | 各期需求服從常態分配，且平均值呈現指數下降趨勢 | 以統計方法求得需求平均與變異數，並以圖解方法求解 | 以固定的規劃期間，在假設的需求減緩處，設置服務水準限制 | 1.改良Moore需求預測方法 2.求得缺料風險及呆料風險 |
| Teunter, Fortuin (1998) | 假設需求與供給的分配已知且各期皆獨立；以演算法來預測未來各需求量的機率 | 以動態規劃求解理論模型 | 1.極小化訂貨、持有、移除與缺貨成本，成本需折現 2.根據情境設定不同分為理論及實務兩類最後訂購模型 3.存貨管理策略分為一般策略，也就是最後一期才報廢存貨及每期盤點，超過設定存貨水準的零件立刻移除 | 1.實務模型求出的最適訂購量近似理論模型 2.可從理論模型求得缺貨成本與服務水準間的關係 3.兩類存貨管理策略得出的成本相似，因此採用一般策略即可 |
| Teunter, Fortuin (1999) | | 以隨機動態規劃求解個案實務模型 | | |
| Hill (1999) | 需求函數假定為隨時間下降的乘冪函數，服從常態分配 | 動態規劃 | 極小化生產整備、庫存成本 | 1.描述可多次訂購的情況 2.可以得出最佳訂購時間點，從最後時段開始依序回推。 |
| Hill, Omar, Smith (1999) | 假設需求平均呈現指數下降的卜瓦松分配 | 動態規劃： 多次訂購 報童模式： 一次性訂購 | 1.極小化整備、訂貨、缺貨與呆料成本，成本需折現 2.可重覆訂購 | 3.分析連續及離散時間下的結果 |
| Teunter, Haneveld (2002) | 假設需求為卜瓦松分配 | 多次訂購下的動態規劃 | 1.極小化整備、訂貨、缺貨與呆料成本，成本需折現 2.可重覆訂購 | 1.描述可多次訂購的情況 2.可以得出最佳訂購時間點，從最後時段開始依序回推。 3.分析連續及離散時間下的結果 |
| Cattani (2003) | 探討多樣化情境下的需求分配，包含：價格上漲、需求指數遞減和需求突發性減少的需求模式 | 針對考量總成本的目標函數進行微分求得最佳解 | 1.極大化總利潤函數 2.可考慮價格變動的情境 | 1.描述多種的最後訂購情境 2.可求得各情境下的最佳最後訂購時點 |

| | | | | |
|------------------------------------|----------------------------|-----------------------|--|---|
| Inderfurth, Mukherjee (2008) | 假設需求平均呈現指數遞減 | 決策樹；動態規劃 | 1.多種零組件供應來源策略 2.極小化設置、訂貨及缺貨成本 | 1.描述多零件來源的情境 2.以決策樹及動態規劃求得最佳零件混合供應策略 |
| 本研究 (2010) | 假設需求平均呈現指數趨勢遞減，且各期需求服從常態分配 | 針對考量總成本的目標函數進行微分求得最佳解 | 1.極小化設置、訂貨、急單、持有和缺貨成本 2. 決策時點與訂購數量同時最佳化 | 1.將最後訂購時點一併納入數量決策模型中 2.在最後訂購情境中，可同時決策最後訂購時點與訂購數量的混合策略 3.納入較多面向的成本考量 |



第三章 模型建構與求解

本章依據第一章之研究問題，設定研究情境為一般業界中介於生命週期末端之服務性零組件的最後訂購策略情境。本研究將於此章提出不同於目前相關產業所採行的需求預測法及決策方法，其主要為介於衰退期之零組件，新建立一個數量化的最適最後訂購量及最後訂購時間點的決策模型。

本研究以國內汽車產業為例，於 3.1 小節介紹國內汽車業界普遍採用的現行存貨機制，並以於國內汽車業界最具代表性的 T 公司為例。此存貨操作機制包含：零組件分類、各時期訂貨策略、供應商停產零組件篩選準則及現行最適訂購量計算方法，以瞭解目前國內汽車業大概的決策模式現況。而依據本研究定義之規劃期間及研究情境，於 3.2 小節提出本模型假設，並設計研究分析流程。在確立流程後，從 3.3 小節開始逐一敘述應用於本研究之方法及模型建構過程，首先概述負指數迴歸需求預測模式之相關特性及應用過程，並於 3.4 節應用預測出的需求趨勢建立最後訂購時期之訂購時點與訂購數量的決策模型，並推導求出該模型之最佳解以用為最佳訂購策略。最後於 3.5 節敘述此模型的最佳解推導過程。

3.1 汽車產業現行零組件存貨機制簡介

本研究模型規劃期間設定在車型打切後至該車型服務年限截止期間，車型打切是汽車產業之專用術語，意即車型停產且停止販售。而本研究為方便識別及規劃起見，大致上將此期間區分成兩個階段，圖示如圖 3.1，分別為：正常訂購時期和最後訂購時期。當零組件處於正常訂購時期時，製造商可以向零組件供應商正常下單訂購服務性零組件並滿足其顧客服務水準目標；而當零組件處於最後訂購時期時，零組件供應商因需求過少不符合前述之規模經濟效益而停止供應該款零組件，導致此時點至服務年限截止之需求，須在最後訂購時購足以滿足此期間之需求。由此可知上述兩階段需各自決策「每期訂購批量」及「最後訂購時點與

數量」，使得車型停產後的兩個時期可以滿足固定的顧客服務水準。

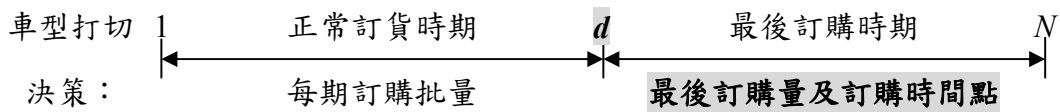


圖 3.1 本研究之研究時間範圍及決策議題

以下將依照本研究擬定的規劃期間與各期決策議題，首先探討該產業中的主要廠商 T 公司在此兩個訂購階段的現行決策情況。

3.1.1 服務性零組件供應流程

圖 3.2 即為本研究的研究個案：國內某家汽車品牌代理商 T 公司的服務性零組件供應流程圖。該品牌的汽車零組件由 T 公司統一向國內外零組件供應商採購，供應給下一層的經銷商，零組件經由經銷商直接對顧客進行維修保固服務。然而本研究僅以 T 公司所屬的生命週期末端之服務性零組件作為研究對象，並以各零組件的最後訂購時點與最後訂購數量議題做為研究問題，因此對於下層經銷商及顧客等需求議題，皆不屬於本研究所探討的範圍。如圖 3.2 虛線標示部分所示，本研究範圍將限定在 T 公司面臨上游供應商的最後訂購問題。

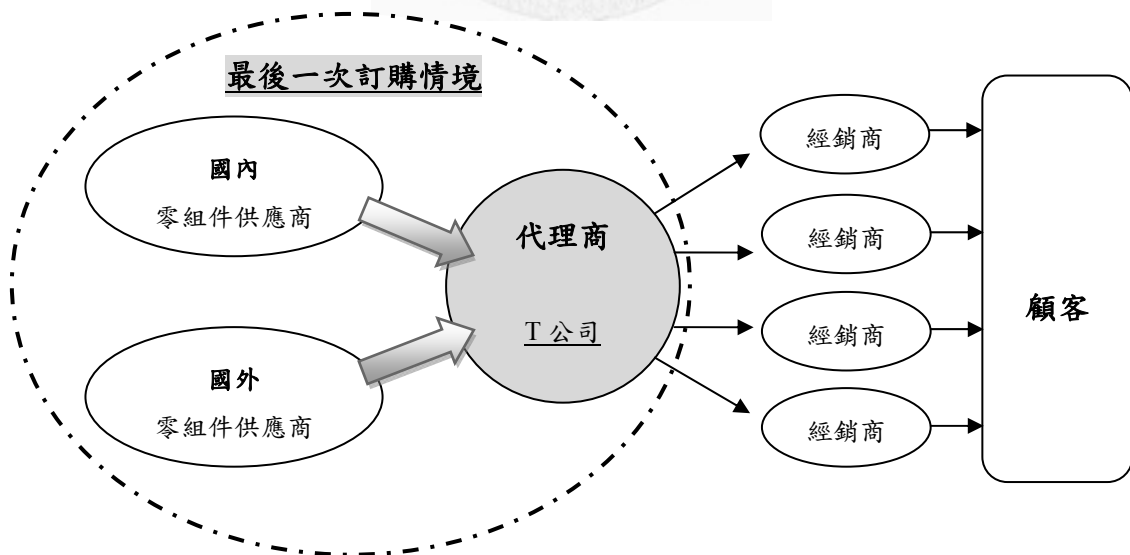


圖 3.2 個案公司服務性零組件供應流程及探討議題

3.1.2 服務性零組件供應分類

個案公司之零組件可依照來源分成兩類，大致上區分成國內件與國外件。國內件是由國內的零組件供應商所供應；至於國外件即表示該零組件是來自於國外之供應商。兩者對於個案公司的存貨管理機制與訂貨模式是有相當大之差異，概述於表 3.1：

表 3.1 個案公司零組件分類及管理差異 (本表整理自個案公司資料)

| 來源 | 存貨及訂貨管理內容 |
|-----|---|
| 國內件 | 國內供應商之零件生產模具會有固定的存續期間，在車輛停止販售之後，將持續供應至固定期限。因此當抵達模具停產時點，個案公司將必須一次購足至服務年限截止之需求量。 |
| 國外件 | 若零組件屬於國外件，因規模經濟之優勢，模具並無立即之停產問題，個案公司可以持續正常訂貨，不須一次購足往後的需求。個案公司之庫存管理方式採用定期盤存制，每隔固定期間檢視存貨，並補貨至某一存貨水準。 |

以上為國內件與國外件類別管理實務上的差異，可以得知本研究探討的問題焦點在屬於國內件類別之零組件停產後的最後訂購決策議題。

3.1.3 正常時期之訂貨策略

如 3.1.2 節所述，個案公司的訂貨政策為定期盤存制，訂貨週期為一個固定期間，訂貨週期因零組件的需求特性不同而有差異。個案公司為因應各零組件庫存數量受供給端及需求端的因素影響，因此個案公司會考量兩端之影響因素來決定各類零件之存貨水準及訂貨策略。至於相關因素種類大致如圖 3.3 所描述：

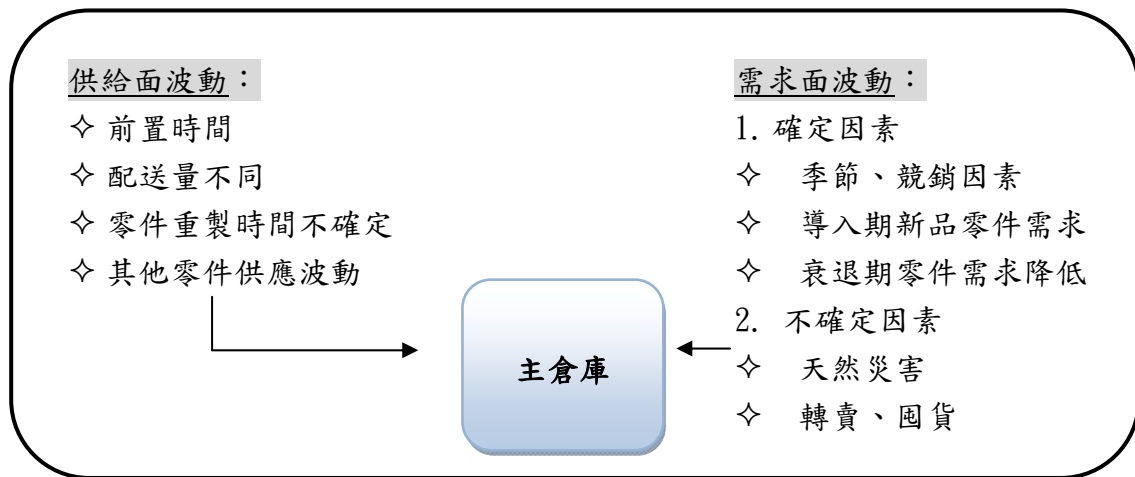


圖 3.3 影響存貨管理之因素 (林翰輝，2007)

當零組件於正常訂貨時期時，決定每期訂購批量之前，個案公司會先決定最大庫存量，其計算方法為加總訂貨前置時間、前置時間之不確定性(給定之安全係數)、訂貨期間及需求面之不確定性(給定之安全係數)，以此數值乘上訂貨期間之平均需求量，即可得最大庫存量之值。計算公式如下所示：

$$MIP = MAD \times (O/C + L/T + ss \text{ for } L/T + ss \text{ for Demand}) \dots\dots\dots (1)$$

各縮寫符號代表意義如下：

MIP：Maximum Inventory Position，最大庫存量

MAD：Monthly Average Demand，月平均需求

O/C：Order Cycle，訂貨週期

L/T：Lead Time，前置時間

ss for L/T：因應前置時間波動設置之安全庫存係數

ss for Demand：因應需求波動設置之安全庫存係數

在獲得最大庫存水準後，個案公司檢視現有存貨量，以最大庫存量減去現有存貨及在途存貨，再加上缺貨數量，即可決定此期之訂貨批量。建議訂貨批量之公式如下所示：

$$SOQ = MIP - (O/H + P/H) + B/O \dots\dots\dots (2)$$

各縮寫符號如下所示：

SOQ ：Suggest Order Quantity，建議訂貨批量

O/H ：On Hand stock，現有庫存數量

P/O ：Purchase Order，已訂貨數量或在途存貨

B/O ：Back Order，缺貨數量

檢視以上計算公式， MAD 、 O/C 、 L/T 、 $ss\ for\ L/T$ 及 $ss\ for\ Demand$ 參數相當重要，為個案公司訂貨決策模式的五大訂貨參數。但因個案公司為定期盤存制，所以 O/C 為定值之外，剩餘之參數可再細分為供應端參數： L/T 與 $ss\ for\ L/T$ ；及需求端參數，包括： MAD 和 $ss\ for\ Demand$ 。以下簡單解釋此兩類訂貨參數的決定方法。

➤ 供應端訂貨參數

個案公司對於前置時間與前置時間波動之安全係數的調整，主要以不同供應商的訂單別做分類依據。不同供應商的訂貨前置時間與變異皆不盡相同，因此個案公司將依據往日訂貨經驗及相關數據記錄，設定前置時間與前置時間波動之安全係數。

➤ 需求端訂貨參數

需求端訂貨參數包含：月平均需求(MAD)及需求波動之安全係數($ss\ for\ Demand$)。首先介紹 MAD 之計算方式， MAD 計算方式依據新車零件的導入期與正常期間有所差異，但導入期的零組件並非本研究討論之範圍，因此以下僅列出正常期間之 MAD 計算方式。

$$MAD = WAD\ of\ previous\ 24\ weeks \times 52 \div 12 \dots\dots\dots (3)$$

WAD ：Weekly Average Demand，週平均需求

另一訂貨參數：需求波動之安全係數的計算方式，主要依據個案公司所使用的庫存等級分類(ICC)，及零組件屬性分類表來決定此安全係數。以下

列出庫存等級分類表(表 3.2)及零組件屬性分類表(表 3.3)。

表 3.2 庫存等級分類 (本表整理自個案公司資料)

| | | | | | |
|-----------------------------|----------|----|----|----|----|
| 高 ↑ 需求 量 ↓ 低 | A5 | A4 | A3 | A2 | A1 |
| | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 |
| | C5 | C4 | C3 | C2 | C1 |
| | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 |
| | E5 | E4 | E3 | E2 | E1 |
| | ← 需求頻率 → | | | | 高 |

表 3.3 零組件屬性分類表 (本表整理自個案公司資料)

| 零組件分類 | 屬性 |
|-------|----------|
| A | 競銷零件 |
| B | 殘置零件 |
| C | 庫存削減零件 |
| D | 低價零件 |
| E | 前置時間較長零件 |
| F | 前置時間較短零件 |
| G | 個別管控零件 |
| H | 新車零件 |
| I | 折扣零件 |
| J | 季節性零件 |
| K | 高價零件 |
| L | 大型零件 |

而若依這兩類的歸納方式，有可能會出現同一零件被歸類置不同的零件等級，因此個案公司另有屬性優先順序表，如表 3.4，以決定零件最後類別歸屬。

表 3.4 屬性優先順序表 (本表整理自個案公司資料)

| 順位 | 零件名稱 |
|----|-------------|
| 1 | 新車需求屬性 |
| 2 | 促銷零件屬性 |
| 3 | 季節性需求屬性 |
| 4 | 價格屬性 |
| 5 | 存貨管理相關之其他屬性 |
| 6 | 特殊需求屬性 |
| 7 | 殘置零件 |
| 8 | 特殊供給端屬性 |
| 9 | 大型零件 |

最後將具有相同庫存等級及屬性之零組件依據屬性優先順序表歸於同一類之後，便可設定此分類所對應之需求波動安全係數。

個案公司在估算出五大訂貨參數後，以此為決策參數來決定正常訂購時期的每期建議訂購批量。至於訂購策略方針，個案公司則依據零組件所屬的庫存等級分類之不同來決定，而各不同庫存等級的存貨管理方針則如表 3.5 所示：

表 3.5 ICC 等級與存貨水決定參數表 (本表整理自個案公司資料)

| 需求 | ICC 等級 | MAD | 存貨水準 |
|------------------|--------|--------|--------------------------|
| 高 ↑ ↓ 低 | A | 30- | 使用零件對應 LT、OC 及 SS 決定存貨水準 |
| | B | 7.5-30 | 使用零件對應 LT、OC 及 SS 決定存貨水準 |
| | C | 3-7.5 | 使用零件對應 LT、OC 及 SS 決定存貨水準 |
| | D | 0.6-3 | OH+OO=MAD |
| | E | 0-0.6 | OH+OO=1 或 不備貨 |

最後，總結上述正常訂購時期的訂貨決策流程。個案公司在此時期時，首先

會將零組件分類並排定該零組件類別的備貨優先順序，再依其訂貨參數決定正常訂貨階段之各期訂購批量。

3.1.4 零組件供應商停產準則

當零組件屬於國內件時，個案廠商在最後訂購時期必須在零組件供應商停產之前，決定最後訂購量與最後訂購時間點。因此將於何時開始最後一次訂購，目前做法是由個案公司與其國內製造商協定一個停產零件篩選機制：若車型打切後十年且過去三年平均年需求量小於四十，或者該零組件連續三年沒有需求，此時供應商將停止製造該零組件，並通知個案公司下最後一次訂單，在此時間點個案公司必須決定最後一次訂購量以滿足未來需求。若訂購量不足發生缺貨即為銷貨損失，意即無法繼續獲得該零組件來服務顧客；但若訂購量過多將會在服務截止後產生滯銷零組件，進而造成呆料成本。但屬於國外件之零組件則無此問題，因生產規模的優勢，零組件無立即打切的限制，且缺貨可以以急單空運的方式補貨，唯有在全球年需求量少於四十時，國外製造商才會考慮停產。

因此當個案公司面臨到國內零組件的最後訂購情境時，根據歸納上述之作業規範，要啟動零組件最後一次訂購的篩選準則有兩種方式：其一為車型打切後十年且過去三年平均年需求量小於四十；另一種則為連續三年該零組件之需求為零。符合以上任一項篩選準則，該國內件零組件即面臨最後一次訂購問題，圖示如圖 3.4。

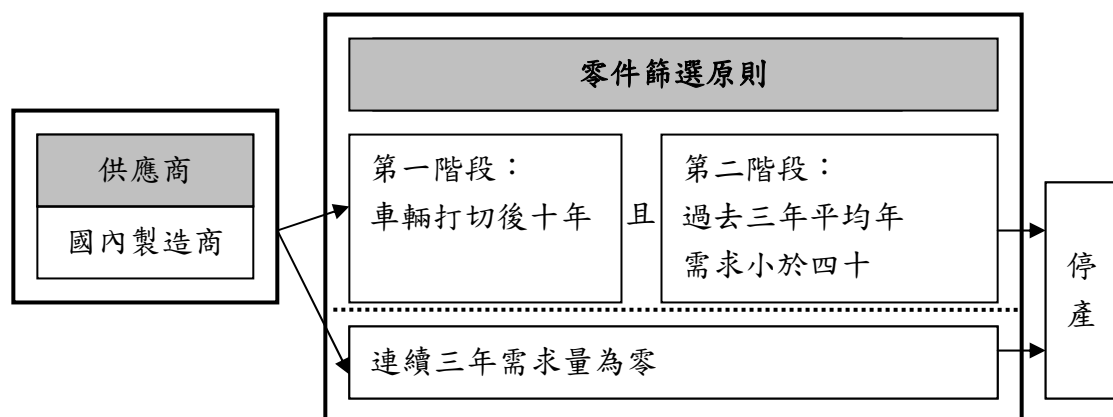


圖 3.4 最後訂購之零件篩選準則 (陳育珊，2009)

3.1.5 最後訂購時期之最適訂購數量

當零組件符合上述之停產準則時，零組件供應商即將停產該零組件，而個案公司則必須進行最後一次訂購，一次購足來滿足未來至服務期限截止之需求量，以便繼續達成其顧客服務水準目標。

至於最後一次訂購數量的計算方式，個案公司的現行計算法是假設未來剩餘需求量依時間呈現線型遞減趨勢。所以由最後訂購時間點往前推算前三年各期之平均需求量並乘以剩餘供應期數，再除以二，即得最後訂購量，如下述公式：

$$\text{最後一次訂購量} = \frac{\text{前三年各期平均需求量} \times \text{剩餘供應期數}}{2} \dots\dots\dots (4)$$

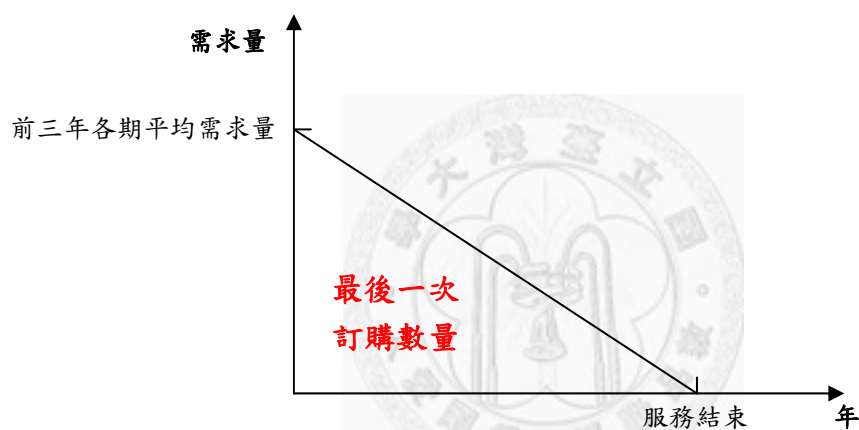


圖 3.5 個案公司剩餘年限需求供應圖

此公式的邏輯可由圖 3.5 理解，個案公司將零組件生命週期末端之需求，假設為一個直線型遞減的函數，需求供應期數則從零組件供應商停產時點開始至服務期限截止。依此需求預測函數，求出需求線下之面積，即可求得最後訂購時期必須滿足之需求量，最後依此預測值作為最後一次訂購數量。

3.1.6 個案公司存貨機制小節

總結上述各小節，個案公司於兩個時期的存貨操作機制有很大的差異。於正常訂購時期大致先將零組件分類，再依照備貨等級之優先順序，決定各零組件的訂貨策略及庫存水準。而最後訂購時期的最後訂購時點與數量，則配合其零組件

供應商協定停產時點與最後訂購機制，依照線型遞減的需求預測決定訂購數量。正常訂購時期的訂購策略只要需求預測接近，大致上決策流程相當合理，但最後訂購時期的決策則過於依賴過去經驗，未考慮最後訂購時點之抉擇也影響總成本的變動，例如正常備貨期數過長而增加總成本，且假設生命週期末端之需求為線型遞減，雖然隨著需求逐漸降低，個案公司縱然逐漸將安全係數移除，改採不再備貨或缺貨再補的存貨策略，但由人工經驗調整之訂貨策略，往往會有時間點抉擇過於草率的疑慮，且線型遞減之假設往往造成需求量高估的情況。這些現行訂貨方法的缺點，可能是造成成本增加的原因之一，使得個案公司蒙受較多損失。

3.2 模型假設與分析架構

為便利本章依據上述研究問題建立量化決策模型，在本節將擬訂本研究所關注議題的規劃期間和研究限制，並且根據國內汽車產業現況及產業操作限制，而整理設定下述之模型假設。最後依據此模型假設的條件下，針對研究問題設計研究分析流程。以下 3.2.1 節列出本研究之模型假設，且將於 3.2.2 小節詳述本研究分析流程。

3.2.1 模型假設

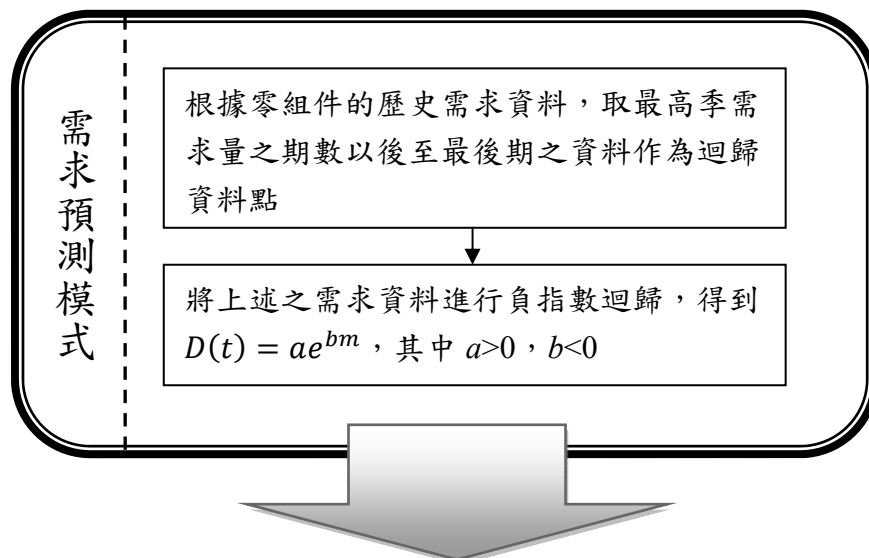
如前述，本研究為解決最後訂購情境下的最後訂購數量與時點問題，導入量化的成本函數，而建立一個量化的決策模型以決策最後訂購時點與數量。因此為使此決策模型可符合汽車產業應用的限制，且便於量化決策模型之建立與進行模型最適化推導，而有下列模型假設：

1. 依據 Hill et al.(1999)等最後訂購相關之參考文獻，衰退期之零組件需求可視為某一段期間內發生之事件為一期之計數資料。根據此觀點本研究假設各期平均需求量服從常態分配且平均值呈現指數遞減趨勢，但各期需求量之標準差維持不變。

2. 該產業於正常訂貨時期以滿足其顧客服務水準之基本要求為優先目標，因此於正常訂貨時期在考量安全庫存的情況下，各期所訂購的數量皆可完全銷售完畢，因此可不考慮正常訂購時期的存貨持有成本。
3. 本研究未考慮模型中各項設定之成本參數隨時間而有數值變動之情形，且若超過服務期間後，剩餘未銷售之零組件存貨之殘值皆為零，不考慮殘存零組件再出售的情況發生。

3.2.2 模型分析架構

本研究之模型分析架構主要分為兩大主題：首先為需求預測模式部分，另一個則為最後訂購時點與最後訂購數量的決策模型部分。首先使用服務性零組件需求資料，並依據 Moore (1971) 的研究成果，建立負指數迴歸模式預測需求量最高點至最終期的需求下降趨勢。接著依此需求遞減趨勢的預測值，在考量正常訂購成本、銷售損失、急單成本和存貨持有成本等相關成本參數的情況下，建立規劃期間(第 1 期至第 N 期)之總成本函數，並且以求得此總成本函數的最低數值為目標，而可求出最佳解使得總成本最低。在此最低成本的決策情境下，可獲得最佳最後訂購時間點(d)與最佳最後訂購數量(Q)。最後，依據上述的分析流程可繪製出本研究之研究分析架構圖，如圖 3.6。



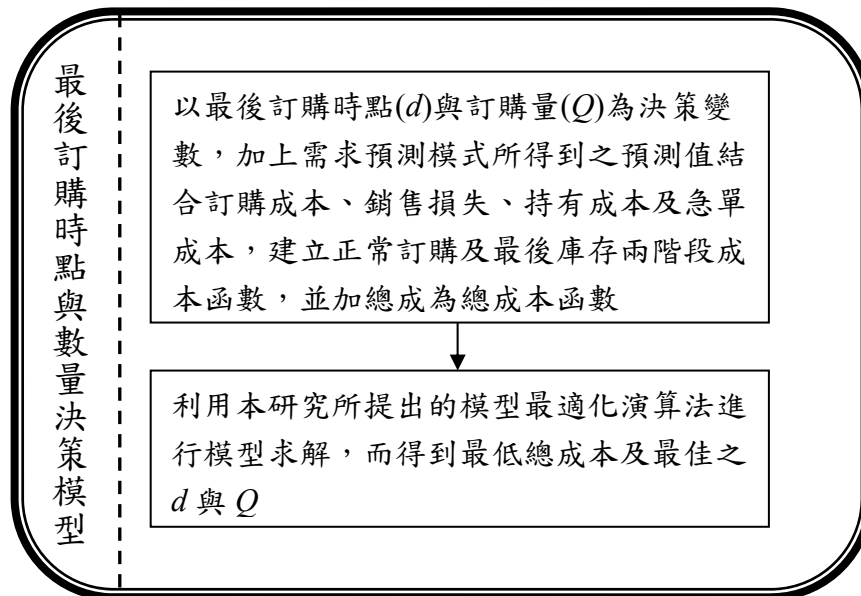


圖 3.6 研究分析流程圖

3.3 負指數迴歸需求預測模式

由於本研究之分析對象為位於生命週期末端之服務性零組件，加上本研究所關注的零件需求期間為車型打切後至服務年限截止。因此為簡化需求變動趨勢且本研究假設各期需求服從常態分配，而採用學者 Moore(1971)的需求預測方法，只截取需求量之最高點以後之各期需求資料並對時間(期數)做迴歸分析，得到可預測各期需求平均值之乘冪迴歸函數。本節除了建立負指數需求預測模式之建立，也提供所使用之統計檢定方法，以檢視此迴歸預測模型之配適度及預估參數的顯著性。以下首先說明此迴歸模式所使用的符號。

3.3.1 負指數迴歸模式符號說明

➤ 基本符號：

n ：介於生命週期末端之服務性零組件總數

i ：生命週期末端之服務性零組件編號， $i = 1, 2, 3, \dots, n$

m ：零件需求量最高點至服務截止期間，以期為單位， $m = 1, 2, \dots, T - 1, T$

➤ 輸入參數：

$Y_{i,m}$ ：編號 i 之服務性零組件在第 m 期之實際需求量

T ：服務型零組件服務截止時間

➤ 輸出參數：

a_i, b_i ：負指數迴歸參數

$D_i(m)$ ：編號 i 之服務性零組件之需求預測趨勢

3.3.2 建立負指數迴歸需求預測模式

依據本章中 3.2.1 小節的假設，令介於生命週期末端之服務性零組件 i 於第 m 期(季)之需求量 $Y_{i,m}$ 服從常態分配，且季需求平均值呈現指數趨勢遞減。參考學者 Moore (1971) 之做法，擷取編號 i 之零組件需求最高點以後至最終期的各期需求資料，引入時間變數做為自變數，各期需求量成為應變數，再依據負指數迴歸模型如下： $E(Y_{i,m}) = a_i e^{b_i m}$ ，並使用統計軟體估計迴歸參數 a_i 和 b_i 。當估計出迴歸參數後，利用統計學中的顯著性檢定 b_i 參數不等於零，並驗證時間與各期需求量的確呈現指數函數關係，而此函數關係即可表示如下：

$$D_i(m) = a_i e^{b_i m} \text{ 且 } b_i < 0 \text{ (5)}$$

最後，便可利用上述之負指數迴歸函數做為本研究的需求預測模式，預測生命週期末端之零組件 i 在第 m 期之需求平均值。

3.3.3 負指數迴歸模式之檢定

自 3.3.2 小節所建構出的負指數迴歸需求預測模式，本節將進行兩類檢定，以檢驗此模型所導出的模型迴歸參數具有顯著性，並且藉此瞭解該迴歸需求預測模式解釋各期需求資料變動量的能力。

➤ 迴歸參數之顯著性檢定：t-test

由於本研究使用時間變數作為自變數來預測需求量，因此只可能得到一個斜率迴歸參數 b_i ，因此為了檢定 b_i 是否有效，而設置一個檢定統計量 t ，且制訂虛無假設。此檢定統計量計算公式及虛無假設如下：

$$t = \frac{b_i - \beta_i}{s_{b_i}}, v = n - 2$$

令虛無假設

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i < 0$$

依此設定，若檢定結果是拒絕虛無假設，則可以接受時間與需求量間有本預測模式所導出之指數函數關係之推論，即 $D_i(m) = a_i e^{b_i m}$ 且 $b_i < 0$ 。

➤ 模式解釋度：R-square

為瞭解本模型估計出的迴歸函數有足夠能力解釋需求量與時間之變動關係，而計算 R^2 統計量，此統計量之計算方是以自變數與應變數的共變異數之平方除上自變數與應變數之變異數之乘積。其計算方法如下：

令 s_x 為自變數標準差， s_y 為應變數標準差

$$R^2 = \frac{s_{xy}^2}{s_x^2 \times s_y^2}$$

得到 R^2 之值，即可了解此預測模式之時間變數(自變數)解釋了多少需求量變數(應變數)之變動量。 R^2 值沒有絕對基準，其主要的用途在於比較多種模型解釋度之優劣，而在本研究中此數值可使用在解釋原直線預測模式與改良後的負指數模式所解釋需求變動程度上的差異。

3.4 最後訂購時期之最適訂購時點與數量決策模型

建構出適當的需求預測模式後，利用兩個訂貨時期的需求預測值，亦即包含正常訂貨時期與最後訂購時期的需求預測值，可做為兩個時期的訂購數量參考依

據。一般而言在正常訂購時期之訂購數量可以直接利用需求預測模式的預測值及顧客服務水準的滿足條件做為決定最適訂購批量的依據；然而最後訂購時間點與訂購數量問題雖有需求預測之參考依據，但目前產業界的決策方法則過於依賴經驗法則。因此接下來將建立最後訂購時期之最後訂購時間點與數量決策模型以解決上述問題。本節中所擬建立的決策模型之流程，將分節討論如下：首先於 3.4.1 小節說明本模型所使用的基本符號意義，而於 3.4.2 及 3.4.3 小節分別建構正常訂購時期與最後訂購時期之成本函數，並在 3.4.4 小節彙整兩時期的成本函數成為本研究之最後訂購時點與數量決策模型之目標成本函數。至於模型最適解之求解過程，則列於 3.5 節再作探討。

3.4.1 決策模型之基本符號說明

➤ 基本符號：

t ：車型停產至服務年限截止期間的時間點，以期為單位，車型停產後為第 1 期起至第 N 期截止， $t = 1, 2, \dots, N$

➤ 輸入參數：

μ_t ：某服務性零組件於第 t 期之需求預測值

σ_t ：某服務性零組件於第 t 期之需求預測標準差

α ：正常訂貨時期需滿足此固定的顧客服務水準

N ：服務性零組件保證服務截止時間點

w ：某服務性零組件之顧客願意等候物料比率

C_N ：某服務性零組件常態訂購成本

C_R ：某服務性零組件急單訂購成本

C_L ：某服務性零組件銷售損失之利潤減損成本

C_H ：某服務性零組件之存貨持有成本

➤ 決策變數：

d ：某服務性零組件之停止生產時間點，且 $1 \leq d \leq N$

O_t ：某服務性零組件於正常訂貨時期之第 t 期訂貨批量，且 $1 \leq t \leq d$

Q ：某服務性零組件之最後一期訂購數量

➤ 延伸決策變數：

EU_t ：服務性零組件於正常訂貨時期之第 t 期之期望缺貨量，且 $1 \leq t \leq d$

$n_{(d,Q)}(Q)$ ：某服務性零組件於第 d 期至第 N 期之期望缺貨量

$NP(d)$ ：某服務性零組件於正常訂貨時期的總成本

$FP(d, Q)$ ：某服務性零組件於最後庫存時期的總成本

➤ 目標成本函數

$TC(d, Q)$ ：某服務性零組件從車型停產至服務截止期間的總成本

3.4.2 正常訂購時期之成本函數

如前述，本研究將車型停產後的訂貨期間分成兩個階段，一個即為本小節所探討的正常訂購時期，另一個則是於 3.4.3 小節再作探討的最後訂購時期。由於本研究假設各期需求量服從常態分配，且從 3.3 節所敘述之需求預測模式可以得到各期需求量之平均值與標準差，並加上假設正常訂購時期在安全庫存的考量下，所訂購的數量皆可銷售完畢，並以滿足固定的顧客服務水準為優先目標，因此利用以上參數可設定各期的建議訂貨批量為 $O_t = \mu_t + z_\alpha \sigma_t$ 。而依照此建議訂貨批量及各需求參數可計算出各期之期望缺貨量，此部分的缺貨量可能產生的情況有兩種：一是顧客願意等候，企業將採用急單方式回補；另一種則是顧客不願意等候變成該企業的銷售損失。基於此則利用過去企業統計所得到的顧客願意等候比率，可將缺貨成本部分區分為急單成本及銷貨損失成本兩部分。因此屬於正常訂購時期之各期所產生的成本，可依序分為正常訂購成本、急單成本和銷售損失之利潤減損成本。最後，加總第 1 期至第 d 期於正常訂貨期間之各期相關成本而可得到正常訂購時期之總成本函數，詳細成本函數計算方式如下：

➤ 正常訂購時期之成本函數：

$$NP(d) = \sum_{t=1}^d [C_N \times (O_t) + w \times C_R \times EU_t + (1-w) \times C_L \times EU_t] \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{而 } O_t = \mu_t + z_\alpha \sigma_t$$

$$\begin{aligned} EU_t &= \int_{x=O_t}^{\infty} (x - O_t) f(x) dx = (\mu_t - O_t) + O_t F_s \left[\frac{(O_t - \mu_t)}{\sigma_t} \right] - \int_{x=-\infty}^{O_t} x f(x) dx \\ &= (\mu_t - O_t) \left\{ 1 - F_s \left[\frac{(O_t - \mu_t)}{\sigma_t} \right] \right\} + \sigma_t f_s \left[\frac{(O_t - \mu_t)}{\sigma_t} \right] \end{aligned}$$

3.4.3 最後訂購時期之成本函數

而在最後訂購時期的成本函數，大致上也可以區分為最後訂購成本、最後訂購時期之期望缺貨利潤損失和存貨持有成本三大部分。以下簡述本時期之三大成本部分的計算方式：最後訂購成本可以依據 3.3 節之需求預測模式所預估的剩餘期數需求總量來計算最後訂購數量，並計算得到此成本；期望缺貨成本則由上述之最後訂購數量及各期需求預測平均值及標準差，計算出剩餘期數的期望缺貨總量，並依此計算剩餘期數之期望缺貨利潤損失；最後假設倉庫內存貨量在第 d 期至第 N 期呈現線型遞減趨勢，而計算出剩餘期數之近似存貨持有成本。依據上述之三大成本而組成最後訂購時期之成本函數，其詳細計算方法如下：

➤ 最後訂購時期之成本函數：

$$FP(d, Q) = C_N \times Q + C_L \times n_{(d,N)}(Q) + \frac{1}{2} \times C_H \times (N - d) \times Q \dots\dots\dots (7)$$

而

$$\begin{aligned} n_{(d,N)}(Q) &= \frac{\sigma_{(d,N)}}{\sqrt{2\pi}} \int_{g(Q)}^{\infty} [u - g(Q)] e^{-\frac{u^2}{2}} du = \sigma_{(d,N)} \int_{g(Q)}^{\infty} [u - g(Q)] \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du \\ &= \sigma_{(d,N)} \{ -g(Q) [1 - F_s(g(Q))] + f_s(g(Q)) \} \end{aligned}$$

$$\text{而 } g(Q) = \frac{Q - \sum_d^N \mu_t}{\sigma_{(d,N)}}$$

3.4.4 總成本函數決策模型

最後結合兩段時期之成本函數，可加總得到總成本函數決策模型，其模型函數如下所示：

$$\begin{aligned} \min_{d,Q} TC(d, Q) &= FP(d, Q) + NP(d) \dots\dots\dots (8) \\ &= \left[C_N \times Q + C_L \times n_{(d,N)}(Q) + \frac{1}{2} C_H \times (N - d) \times Q \right] \\ &\quad + \sum_{t=1}^d [C_N \times O_t + w \times C_R \times EU_t + (1 - w) \times C_L \times EU_t] \end{aligned}$$

此成本函數模型將可有效運用需求預測模式之結果，因其利用需求預測數據預估正常訂購時期之各期期望缺貨量及最後訂購時期之期望總剩餘缺貨量，以此估算缺貨利潤損失部分。除考量缺貨利潤損失成本部分外，本模型也善用零組件需求資料而考量了多面向之成本資料，例如需求資料中的相關成本數據：正常訂購成本、急單成本、存貨持有成本及顧客願意等候物料比率，亦將上述之相關成本數據一併列入此總成本函數。最後可利用此總成本模型得到模型最佳解與最低總成本，因為此總成本函數為 convex 函數，利用此特性則可以在最後訂購時間點(d)與訂購數量(Q)兩變數的調整下，得到總成本最低之最佳情況作為最佳最後訂購策略。而此總成本函數為 convex 函數的驗證與模型的求解過程，則在 3.5 節詳細推導解釋。

3.5 最後訂購時點與數量決策模型之求解過程

依據 3.4.4 小節所建構的最後訂購時點與數量決策模型，本節針對其總成本函數發展模型求解演算法。首先於 3.5.1 節概述求解方式與演算流程，並在 3.5.2 節驗證此總成本函數為 convex 函數，以期該模型函數必定能找出其最佳解。

3.5.1 求解流程

由於最後訂購時點(d)僅存在於最後訂購時期，此時期已屬於零組件的生命週期的最末端。因此在剩餘期數不多的情況下，可給定有限個 d 值以建立 $d=1, 2, \dots, N$ 的決策模型，並對所有模型之成本函數進行一階和二階微分，確定此總成本函數具有 convex 特性，且可求得此 N 個成本模型各別之最佳最後訂購數量 (Q^*)。最後將各 d 值下之 Q^* 代回總成本函數，比較此 N 個成本模型所求得之總成本數值，找出最低總成本的時點模型即可求得最佳訂購時點，並繪製採用最佳最後訂購量(Q^*)的前提下的各時點 d 與總成本關係變化圖。圖 3.7 即為本模型之最佳解演算方法。



圖 3.7 模型最佳解演算法

3.5.2 模型求解

首先給定有限個 d 值，並建立 $\bar{d} = 1, 2, \dots, N$ 的模型，參見 3.4.4 之成本模型。意即在時點 d 值已知的情況下，對 $TC(\bar{d}, Q)$ 進行一階與二階微分，確定該函數必定有最佳解及求得在每個 \bar{d} 值下的最佳訂購數量 (Q^*)。

➤ 總成本函數之一階和二階微分：

$$\begin{aligned} \frac{d}{dQ}TC(\bar{d}, Q) &= \frac{d}{dQ} \left\{ \left[C_N \times Q + C_L \times n_{(\bar{d}, N)}(Q) + \frac{1}{2} C_H \times (N - \bar{d}) \times Q \right] \right. \\ &\quad \left. + \sum_{t=1}^{\bar{d}} [C_N \times O_t + w \times C_R \times EU_t + (1 - w) \times C_L \times EU_t] \right\} \\ &= C_N + C_L n'_{(\bar{d}, N)}(Q) + \frac{C_H(N - \bar{d})}{2} \end{aligned}$$

又

$$\begin{aligned} n'_{(\bar{d}, N)}(Q) &= \frac{\sigma_{(\bar{d}, N)}}{\sqrt{2\pi}} \times \frac{d}{dQ} \int_{g(Q)}^{\infty} [u - g(Q)] e^{-\frac{u^2}{2}} du \\ &= \frac{\sigma_{(\bar{d}, N)}}{\sqrt{2\pi}} \left[\int_{g(Q)}^{\infty} \frac{\partial \left[(u - g(Q)) e^{-\frac{u^2}{2}} \right]}{\partial Q} du + f(\infty, 0) \frac{d\infty}{dQ} \right. \\ &\quad \left. - \frac{f(g(Q), Q)(dg(Q))}{dQ} \right] = -\frac{\sigma_{(\bar{d}, N)}}{\sqrt{2\pi}} \int_{g(Q)}^{\infty} \frac{1}{\sigma_{(\bar{d}, N)}} e^{-\frac{u^2}{2}} du \\ &= -\int_{g(Q)}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du = -\{1 - F[g(Q)]\} \end{aligned}$$

則可得

$$\frac{d}{dQ}TC(\bar{d}, Q) = C_N + \frac{C_H(N - \bar{d})}{2} - C_L\{1 - F[g(Q)]\} \dots\dots\dots (9)$$

繼續對 $TC(\bar{d}, Q)$ 進行二階微分則得

$$\frac{d^2}{d^2Q}TC(\bar{d}, Q) = C_L \times f[g(Q)] \geq 0 \dots\dots\dots (10)$$

由 $TC(\bar{d}, Q)$ 的一階(9)與二階(10)微分式必定大於零的結果，證明各 d 值下之總成本函數必為 convex 函數，在這條件下使得此成本函數必定存在有最佳解，使總成本值最低。

➤ 求最佳最後訂購數量(Q^*):

令 $TC(\bar{d}, Q)$ 的一階微分式(9)等於零，找出在給定 \bar{d} 值的測試模型下的最佳最後訂購數量 Q^* ，如下所示：

$$\frac{d}{dQ}TC(\bar{d}, Q) = C_N + \frac{C_H(N - \bar{d})}{2} - C_L\{1 - F[g(Q)]\} = 0$$

則得

$$F[g(Q)] = 1 - \frac{C_N + \frac{C_H(N - \bar{d})}{2}}{C_L} \dots\dots\dots (11)$$

再依據標準常態分配之假設，令 $g(Q) = z$ 以求出 Q^* ，而計算出兩類 Q^* 的情況，分別描述如下：

1. $F[z] \leq 1$

當計算出之 $F[z] \leq 1$ 時，查標準常態分配表而得該 z 值，而繼續求 Q 得

$$g(Q) = z = \frac{Q - \sum_{t=\bar{d}}^N \mu_t}{\sigma_{(\bar{d}, N)}}$$

而計算出最佳最後訂購數量 Q^* 如下：

$$Q^* = z \times \sigma_{(\bar{d}, N)} + \sum_{t=\bar{d}}^N \mu_t \dots\dots\dots (12)$$

且繪製出總成本與最佳最後訂購數量關係圖如圖 3.8：

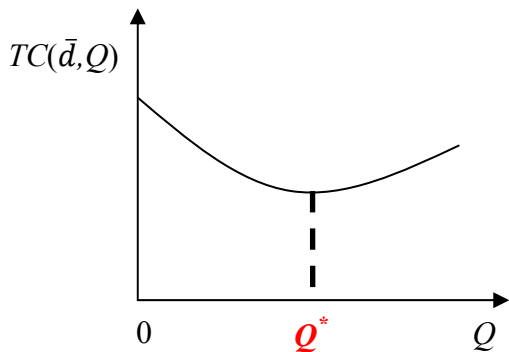


圖 3.8 CASE1-總成本函數與最後訂購數量變動關係圖

2. $F[z] > 1$

反之若 $F[z] > 1$ 則，無法利用標準常態分配之假設求出最佳之 Q^* ，則另以圖形意涵解釋其原因即無法找出水斜率為零之情況，換言之此成本函數的最低點只

能發生於 $Q^* = 0$ ，如圖 3.9 之狀況：

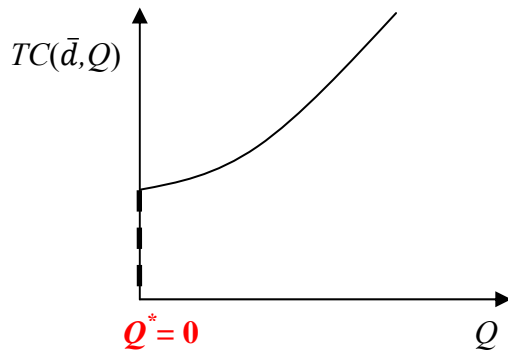


圖 3.9 CASE2-總成本函數與最後訂購數量變動關係圖

因此在此狀況下之最佳最後訂購數量(Q^*)等於零。

➤ 最後訂購時點 d 值決策與總結：

在求得各個 \bar{d} 值下的測試模型之最佳最後訂購數量(Q^*)後，將此 Q^* 值代回各 \bar{d} 值之成本模型並計算出各模型之總成本，比較在各個最後訂購時點 \bar{d} 下之總成本數值，找出最低之總成本模型，即可以此時點 d^* 值作為最佳最後訂購時點。依此 d^* 值之模型所得之 Q^* 作為最後訂購數量，此 (d^*, Q^*) 之數值組合即為本最後訂購時點與數量決策模型之最佳解，可作為最佳最後訂購策略之決策依據。

第四章 個案分析與驗證

本章節將以個案公司的實際成本參數，並以實際的歷史需求資料為例，比較個案公司現行方法與本研究所設計的決策方法之優劣差異。首先，4.1 節將以 T 公司的某 C 車型之零組件需求資料，擷取出數個最具代表性的零組件種類，並於 4.2 節將各決策方案組合用於此歷史資料情境下。在處理相同需求資料的情況下，比較數個使用不同決策方案所求得之總成本差異，以了解使用本研究之決策模型所帶來的改善成效。最後，4.3 節則利用此決策模型的數值結果為基礎，調整最後訂購時點與數量決策模型之輸入參數，進而觀察輸入參數變動對於本決策模型的成本數值影響，並歸納整理各輸入參數變動對於本研究模型的影響差異。

4.1 研究品項挑選及零組件需求參數設定

由於汽車業之服務性零組件種類繁多，價格也因品項不同而有高低，造成各零組件的需求型態的差異更是巨大。因此本研究為挑選具有代表性且利於本研究分析比較的服務性零組件，而在下述之 4.1.1 小節設有研究品項挑選準則。依據此準則篩選過的零組件，再由個案公司取得服務性零組件的需求資料以作為本節範例驗證分析的輸入參數。零組件需求參數設定則於 4.1.2 節於負指數迴歸需求預測模式中取得，且亦於本節設定零組件的其他成本輸入參數。

4.1.1 研究品項篩選準則

本研究篩選研究品項的準則，主要有兩個：一個為零組件的重要性，另一個則為零組件的價格。設置此兩個篩選準則的原因不外乎是重要性及價格較高的零組件，對於一款車型來說較具有代表性，且個案廠商也會對此類零組件設置較長的備貨期間，此特點對於零組件生命週期末端的研究分析較為有利。首先利用價格準則可以簡便的由個案廠商所提供的零組件成本資料挑選出價格較高的零組

件。但零組件的重要性衡量則較為困難，本研究利用零組件生命週期中的最大需求作為衡量依據，因為若一個零組件的需求量較大，代表顧客所購買的產品對於此零組件依賴度很高，且個案廠商將會把此類產品擺在備貨優先順序較高的類別。換言之，由上述的價格及重要性準則篩選出的零組件，對於個案廠商的成本構面有非常巨大的影響。此點對於本研究比較改善前後的成效，將可以簡易看出本決策模型的改善幅度。而本研究以零組件單件價格超過千元且每期最大需求超過 20 件的零組件作為篩選準則，最後挑選出引擎蓋、水箱護罩及壓縮機總成三類零件，而由於水箱護罩相對於其他兩類零組件的價格較低，且驗證作法皆相同未免過度重複，因此本研究最終即以引擎蓋及水箱護罩作為分析範例。此兩類零件的需求及成本等輸入參數設定，將在 4.1.2 節描述。

4.1.2 零組件之迴歸需求預測模式及輸入參數設定

由 4.1.1 節的研究品項篩選準則可挑選出水箱護罩及引擎蓋兩類零組件範例，並從個案公司取得此兩類零件的每月需求量歷史資料。觀察月需求量資料後，發現月需求量較小且各期需求量的變動幅度甚大，因此本研究將需求期數單位由月需求量改為季需求量。因此將個案公司所取得的需求歷史資料，由需求起始點開始加總每三個月的需求量成為一季之需求量，並僅擷取季需求量最高點以後各期之資料，以符合本研究的零組件生命週期末端議題。由上述需求資料可繪製出水箱護罩及引擎蓋零組件的生命週期末端之各期需求量變動圖，如圖 4.1 和圖 4.2。

觀察兩類零件的需求量變動圖，清楚顯示出兩類零組件於衰退期之需求量皆呈現大幅度下降之趨勢，且兩類零件之需求量最高點以後的剩餘生命週期皆恰巧僅剩 63 期。另一方面，由於引擎蓋零件之單價較水箱護罩為高，使得引擎蓋之每期需求量都較水箱護罩零件來得少，因此需求量變動圖裡所呈現的需求下降趨勢也是較為緩和的。

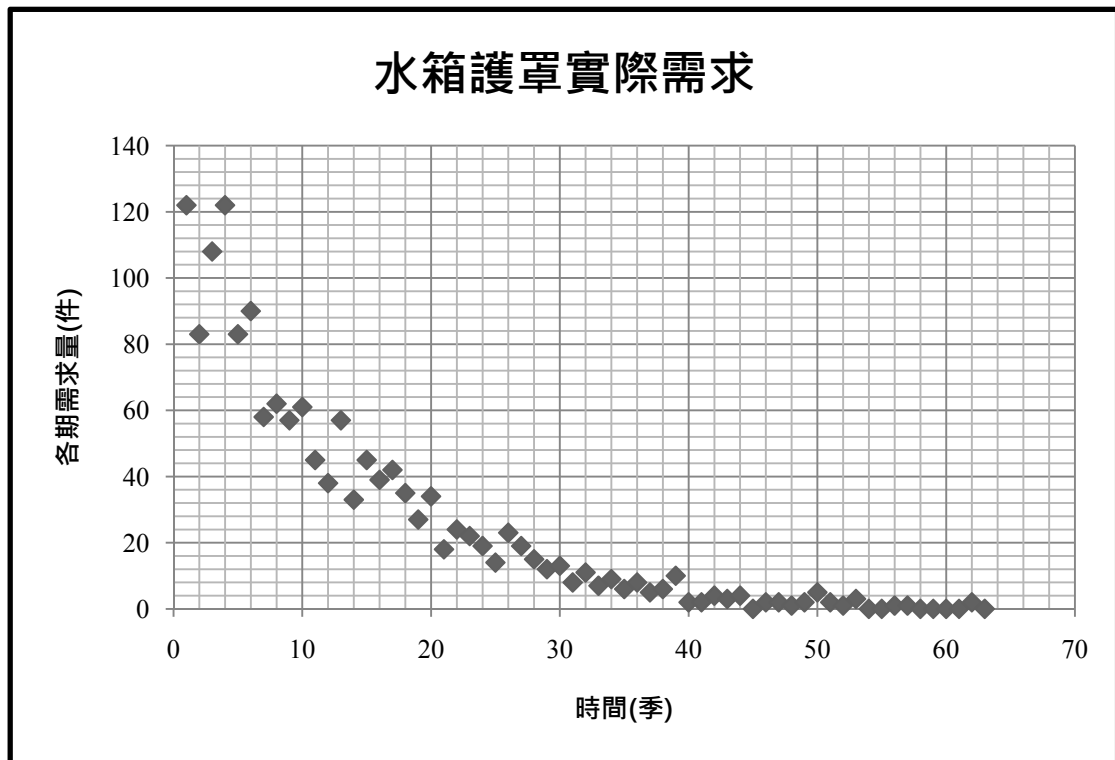


圖 4.1 水箱護罩實際季需求量變動圖

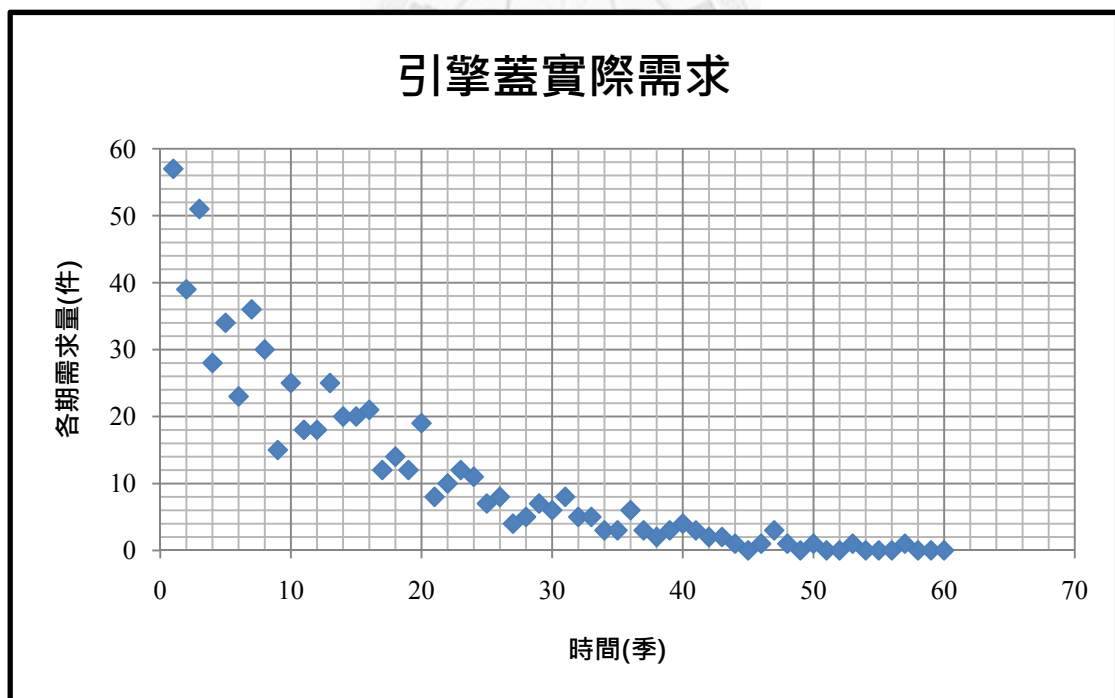


圖 4.2 引擎蓋實際季需求量變動圖

接下來以此各季的實際需求量資料，利用統計軟體計算出在負指數需求預測模式中的迴歸參數，詳見 3.3 節所述，並且繪製負指數及線性迴歸線配適圖，如圖 4.3 及 4.4，而需求預測迴歸式之係數及檢定表則另外列在表 4.1。

表 4.1 零組件需求預測迴歸式之係數與檢定表

| | | | | | |
|------|----------|---------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 水箱護罩 | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Observed |
| | 0.969 | 0.939 | 0.938 | 0.357 | 63 |
| | | Coefficients | Std. Error | t-value | p-value |
| | <i>a</i> | 131.954 | 12.642 | 10.438 | 0.000*** |
| | <i>b</i> | -0.083 | 0.003 | -28.482 | 0.000*** |
| 引擎蓋 | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Observed |
| | 0.970 | 0.942 | 0.941 | 0.296 | 63 |
| | | Coefficients | Std. Error | t-value | p-value |
| | <i>a</i> | 62.234 | 5.047 | 12.331 | 0.000*** |
| | <i>b</i> | -0.074 | 0.003 | -28.734 | 0.000*** |

兩類零組件之需求迴歸線配適圖如下：

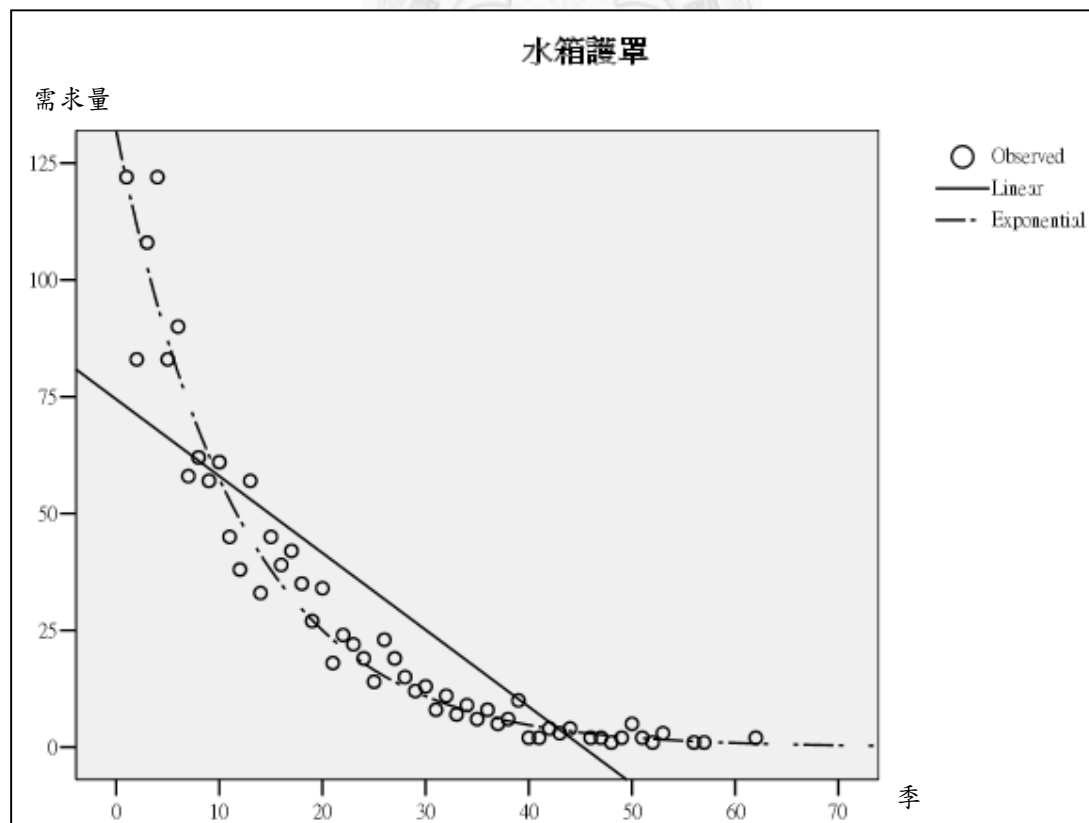


圖 4.3 水箱護罩之需求迴歸線配適圖

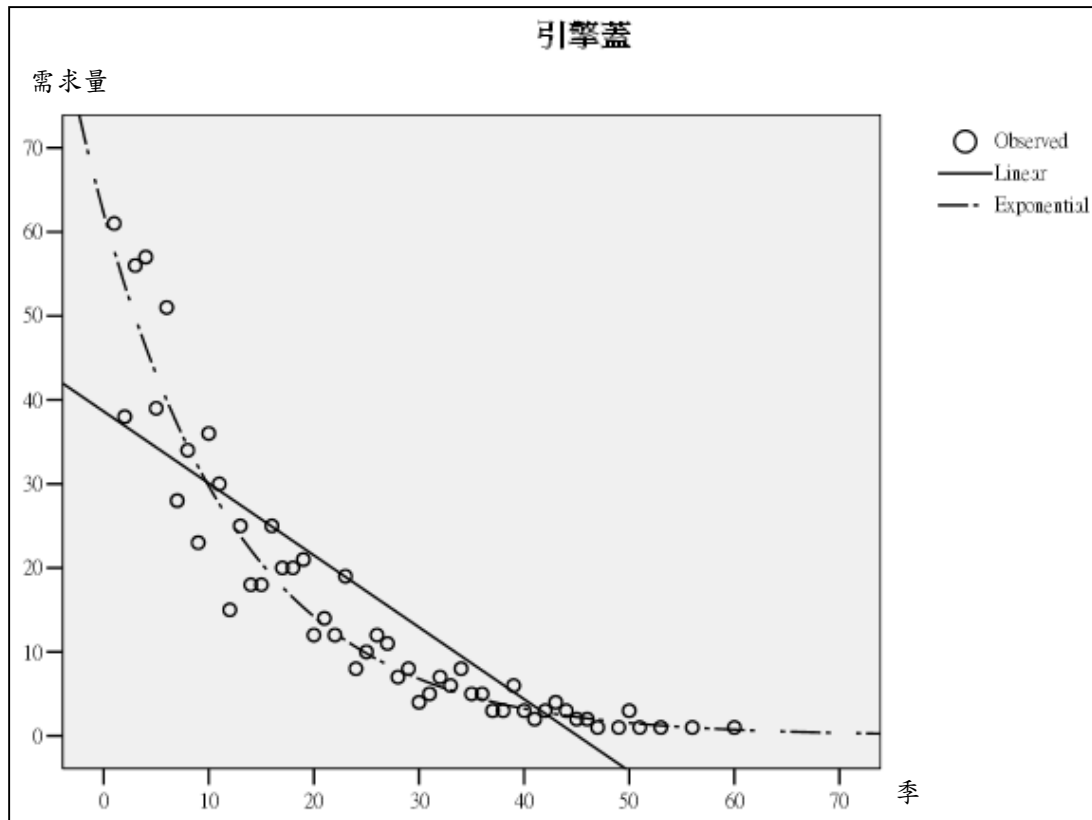


圖 4.4 引擎蓋之需求迴歸線配適圖

由上面的需求迴歸線配適圖，可以很明顯的觀察出，負指數迴歸線對於此兩類零件的需求下降趨勢有較好的配適度。因此使用負指數迴歸需求預測模式，即可設定本研究之最後訂購時點與數量決策模型之需求預測值及標準差參數，至於其他的成本輸入參數則可由個案公司取得相關資料，如表 4.2 與 4.3 分別為水箱護罩及引擎蓋的模型輸入參數。最後，由於本研究參考學者 Moore (1971) 的零組件生命週期末端之需求預測研究，所以將需求量最高點之該期視為需求預測模式的第 1 期，但本研究之決策模型的規劃期間是由車型停產起始，也一樣至服務停止時點結束。因此在此兩個研究品項範例裡，在需求預測模式的第 11 期為車型停產時點，亦為最後訂購時點與數量決策模型的規劃期間起始點，因此在此決策模型裡須更改需求預測模式的期數設置，改訂由車型停產後的第 1 期開始至保修服務截止的第 N 期結束，以此作為本決策模式的研究規劃期間。

表 4.2 水箱護罩之模型輸入參數設定表

| 水箱護罩 | |
|-------------------------|---|
| 需求預測迴歸式 | $131.954 \times e^{-0.083m}$, $11 < m < 63$ $m = 11$ 為車型停產時間點 亦為決策模型之第 1 期 ($t = 1$) |
| 標準常態分配之標準差 | 2.648 |
| 規劃期間(N) | 53 期 , $1 \leq d \leq 53$ |
| 正常訂購成本(C_N) | 354.32 |
| 急單成本(C_R) | 434.62 |
| 利潤減損成本(C_L) | 714.68 |
| 存貨持有成本(C_H) | 17.616 (20%) |
| 正常訂購時期之服務水準(α) | 95% |
| 顧客願意等待物料比率(m) | 90% |

表 4.3 引擎蓋之模型輸入參數設定表

| 引擎蓋 | |
|-------------------------|--|
| 需求預測迴歸式 | $62.234 \times e^{-0.074m}$, $11 < m < 63$ $m = 11$ 為車型停產時間點 亦為決策模型之第 1 期 ($t = 1$) |
| 標準常態分配之標準差 | 2.155 |
| 規劃期間(N) | 53 期 , $1 \leq d \leq 53$ |
| 正常訂購成本(C_N) | 1874.84 |
| 急單成本(C_R) | 1954.84 |
| 利潤減損成本(C_L) | 4032.16 |
| 存貨持有成本(C_H) | 93.642 (20%) |
| 正常訂購時期之服務水準(α) | 95% |
| 顧客願意等待物料比率(m) | 90% |

設置完兩類零件的模型輸入參數之後，即可將此輸入參數應用於本研究所建

構的最後訂購時點與數量決策模型中，並將可利用此決策模型得到兩類零件的最佳最後訂購時間點與最後訂購數量。

4.2 現行方法與本研究決策方法之成本比較分析

本節為了解本研究之決策模型改善成效，但又受困於個案公司僅存有各期需求歷史資料，並未記錄其各類零件的各期實際訂貨量及最後訂購決策。因此為克服這樣的困境，所以本研究依據兩類零組件範例的實際需求歷史資料，使用個案公司的現行決策方法及本研究的決策方法組合出不同的改善方案應用於此歷史資料中，並計算出各決策方案組合所得到的總成本，以便分析本研究的最後訂購時點與數量決策模型的改善幅度。

4.2.1 設置改善方案

如上述，個案公司並未記錄其各類零組件的各期實際訂貨量，且本研究的重點議題聚焦在最後訂購時點與最後訂購數量的決策上，且因為正常訂貨時期的實務操作雖與本研究的需求預測方法略有不同，但兩種訂貨方法皆須滿足其 95% 顧客服務水準，造成此時期使用兩種方法所產生的成本差異應該不多，因此假設正常訂貨時期的實務操作方法與本研究相同，並將主要的作法差異放在最後訂購時期的最後訂購時點與最後訂購數量決策。因而在最後訂購時期的決策上設置三種不同決策方案組合，如表 4.4 所表示，並將於 4.2.2 節計算出這三類方案組合下的總成本數值。

表 4.4 最後訂購情境下之改善方案差異表

| 決策問題 | 最後訂購數量 | 最後訂購時點 |
|--------|----------|----------|
| 原始方案 | 個案公司現行方法 | 個案公司現行方法 |
| 改善方案 1 | 本研究方法 | 個案公司現行方法 |
| 改善方案 2 | 本研究方法 | 本研究方法 |

4.2.2 個案比較分析

本節依據 4.1 節篩選出的研究品項：水箱護罩及引擎蓋零件作為分析範例，相關之輸入參數將參照 4.1 節的表 4.2 與表 4.3，以套入此個用決策情境中。另外，兩類零件於最後訂購時期的決策方式設定如表 4.4，以此三種不同的決策組合，將便於比較本研究所提出的決策模型與個案公司現行的決策方法所產生的總成本數值高低。

➤ 原始方案

如 4.2.1 節所述之個案分析假設，在所有改善方案中的正常訂購時期的訂貨批量決策方法，皆使用本研究於 3.4.2 節所述的建議訂購批量方法，並使用該節的正常訂購時期成本函數(6)計算此時期之成本。而依照表 4.4，在原始方案中的最後訂購時點及數量決策皆使用個案公司現行決策方法。即時點決策假設連續三年需求為零的機率為零，僅以車型停產後十年(40 季)為該公司唯一的時點決策，此方法來源參見 3.1.4 節；最後訂購數量則利用 3.1.5 節所述的該公司現行方法(4)，假設衰退期之零件需求呈現線性遞減，以此時點往前推算三年之各期平均需求量乘上剩餘期數在除以二，作為最後訂購量。最後以實際各期需求資料來驗證，並計算出此原始方案中兩個訂購時期所產生的總成本。

1. 以水箱護罩為例

依照前面所描述的原始方案決策方法，計算出各時期訂購數量及成本，並加總兩時期成本，即可得水箱護罩採用原始方案所產生的總成本，如表 4.5。

表 4.5 水箱護罩採用原始方案所產生的成本相關數據表

| 正常訂購時期 | |
|----------|--|
| 各期訂購批量 | $O_t = \mu_t + z_\alpha \sigma_t, 1 \leq t \leq d$ |
| 設定服務水準 | 95% |
| 正常訂購時期成本 | 289,802 |

| 最後訂購時期 | |
|-----------------|--|
| 最後訂購時點 | 停產後 40 季，令 $d = 40$ |
| 最後訂購數量 | 前三年各期平均需求量 \times 剩餘供應期數 $\div 2 = 20$ |
| 最後訂購時期實際需求 | 15 |
| 實際服務水準 | 100% (超過 33.3%) |
| 最後訂購時期成本 | 9,396 |
| 水箱護罩之總成本 | 299,198 |

2. 以引擎蓋為例

而改以引擎蓋零件為範例，依照原始方案之決策方法，可得引擎蓋在原始方案下所估算出各時期訂購數量及成本相關數據，如表 4.6。

表 4.6 引擎蓋採用原始方案所產生的成本相關數據表

| 正常訂購時期 | |
|----------------|--|
| 各期訂購批量 | $O_t = \mu_t + z_\alpha \sigma_t, 1 \leq t \leq d$ |
| 設定服務水準 | 95% |
| 正常訂購時期成本 | 956,946 |
| 最後訂購時期 | |
| 最後訂購時點 | 停產後 40 季，令 $d = 40$ |
| 最後訂購數量 | 前三年各期平均需求量 \times 剩餘供應期數 $\div 2 = 16$ |
| 最後訂購時期實際需求 | 7 |
| 實際服務水準 | 100% (超過 129%) |
| 最後訂購時期成本 | 40,357 |
| 引擎蓋之總成本 | 997,303 |

➤ 改善方案 1

改將兩類零組件範例及輸入參數使用於改善方案 1 的決策環境，正常訂購時

期皆使用本研究成本估算方法，而最後訂購時點之決策維持採用個案公司的現行方法：車型停產後 40 季；但最後訂購數量決策則改用本研究於 3.5.2 小節所描述的最佳化最後訂購數量決策方法(12)。以下即為兩類零組件於此情境的總成本數據。

1. 以水箱護罩為例

以水箱護罩為分析範例，依照改善方案 1 之決策設定，可得水箱護罩在此改善方案的決策組合設定下之各期訂購數量與成本相關數據，如表 4.7。

表 4.7 水箱護罩採用改善方案 1 所產生的成本相關數據表

| 正常訂購時期 | |
|-------------------|--|
| 各期訂購批量 | $O_t = \mu_t + z_\alpha \sigma_t, 1 \leq t \leq d$ |
| 設定服務水準 | 95% |
| 正常訂購時期成本 | 289,802 |
| 最後訂購時期 | |
| 最後訂購時點 | 停產後 40 季，令 $d = 40$ |
| 最後訂購數量 | $F[z] \leq 1, Q^* = z \times \sigma_{(d,N)} + \sum_{t=d}^N \mu_t = 14$ |
| 最後訂購時期實際需求 | 15 |
| 實際服務水準 | 93.3% |
| 最後訂購時期成本 | 5,811 |
| 方案一水箱護罩總成本 | 295,613 |

2. 以引擎蓋為例

改以引擎蓋為分析範例，依照改善方案 1 之決策設定，可得引擎蓋在此方案之決策組合設定下之各期訂購數量與成本相關數據，如表 4.8。

表 4.8 引擎蓋採用改善方案 1 所產生的成本相關數據表

| 正常訂購時期 | |
|------------------|--|
| 各期訂購批量 | $O_t = \mu_t + z_\alpha \sigma_t, 1 \leq t \leq d$ |
| 設定服務水準 | 95% |
| 正常訂購時期成本 | 956,946 |
| 最後訂購時期 | |
| 最後訂購時點 | 停產後 40 季，令 $d = 40$ |
| 最後訂購數量 | $F[z] \leq 1, Q^* = z \times \sigma_{(d,N)} + \sum_{t=d}^N \mu_t = 12$ |
| 最後訂購時期實際需求 | 7 |
| 實際服務水準 | 100% (超過 71.4%) |
| 最後訂購時期成本 | 28,658 |
| 方案一引擎蓋總成本 | 985,604 |

➤ 改善方案 2

將兩類零組件範例再度使用於改善方案 2 的決策設定下，在此方案中正常訂貨時期使用本研究估算成本方式之外，最後訂購時期之最後訂購時點與數量決策皆使用本研究 3.4 及 3.5 節所建構的最後訂購時點與數量決策模型做決策。以下即為兩類零組件在此改善方案下之成本相關數據。

1. 以水箱護罩為例

由於此改善方案 2 的最後訂購時點須先利用本研究之最後訂購時點與數量決策模型求出，因此利用 3.5 節之求解過程，得到水箱護罩之最佳最後訂購時點與數量決策，並繪製最後訂購時點決策圖，如圖 4.5，可得到最佳最後訂購時點產生於 $d = 30$ 的模型。

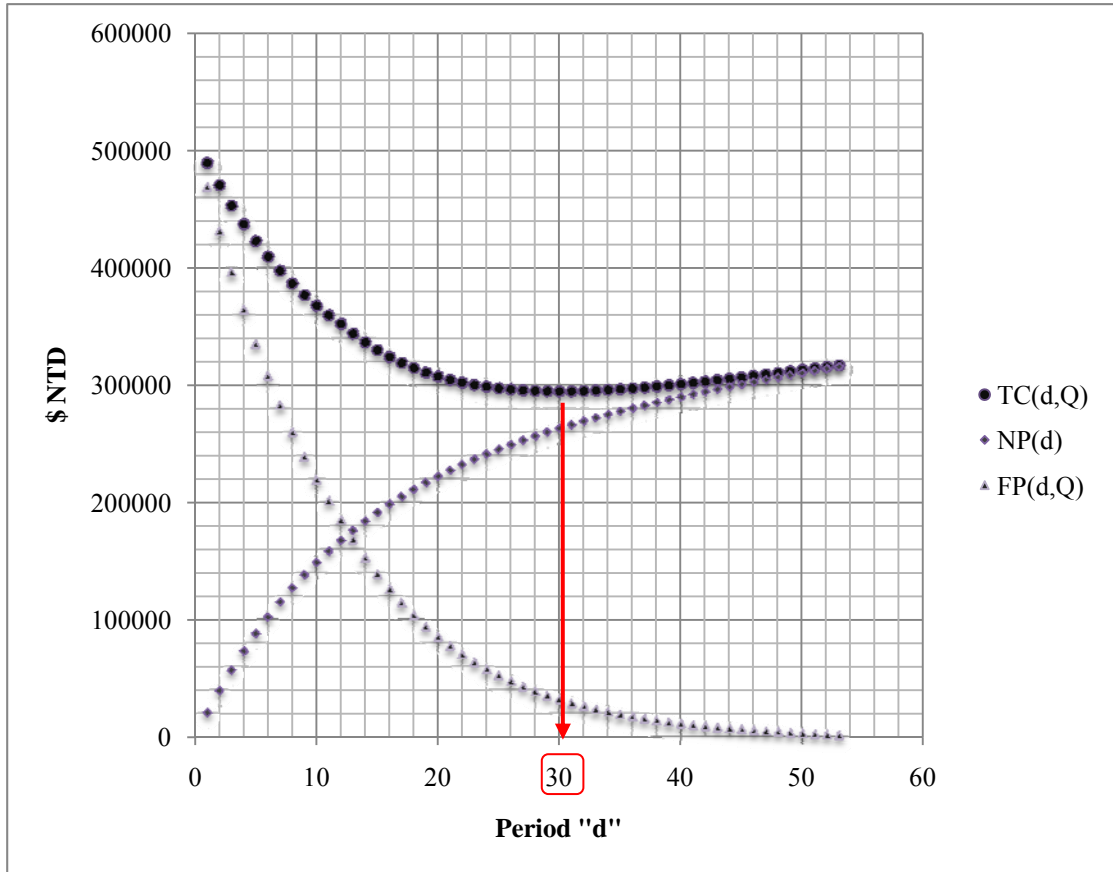


圖 4.5 水箱護罩之最後訂購時點(d)決策圖

最後即以最後訂購時點為車型停產後第 30 季之模型，決定此方案的最後訂購決策並估算此時期成本。最後依照此方案下的決策設定，可得水箱護罩在此決策組合下之各期訂購數量與成本相關數據，如下表 4.9。

表 4.9 水箱護罩採用改善方案 2 所產生的成本相關數據表

| 正常訂購時期 | |
|----------|--|
| 各期訂購批量 | $O_t = \mu_t + z_\alpha \sigma_t, 1 \leq t \leq d$ |
| 設定服務水準 | 95% |
| 正常訂購時期成本 | 263,101 |
| 最後訂購時期 | |
| 最後訂購時點 | 停產後 30 季，令 $d = 30$ |

| | |
|------------|--|
| 最後訂購數量 | $F[z] \leq 1, Q^* = z \times \sigma_{(d,N)} + \sum_{t=d}^N \mu_t = 42$ |
| 最後訂購時期實際需求 | 37 |
| 實際服務水準 | 100% (超過 13.5%) |
| 最後訂購時期成本 | 23,246 |
| 方案二水箱護罩總成本 | 286,347 |

2. 以引擎蓋為例

再來以引擎蓋零件為例，最後訂購時點決策一樣先利用本研究之最後訂購時點與數量決策模型決定最佳最後訂購時點(d)，且依照 3.5 節之求解過程，得到引擎蓋之最佳最後訂購時點與數量決策，並繪製最後訂購時點決策圖，如下圖 4.6，得到最佳最後訂購時點產生於 $d = 28$ 的模型。

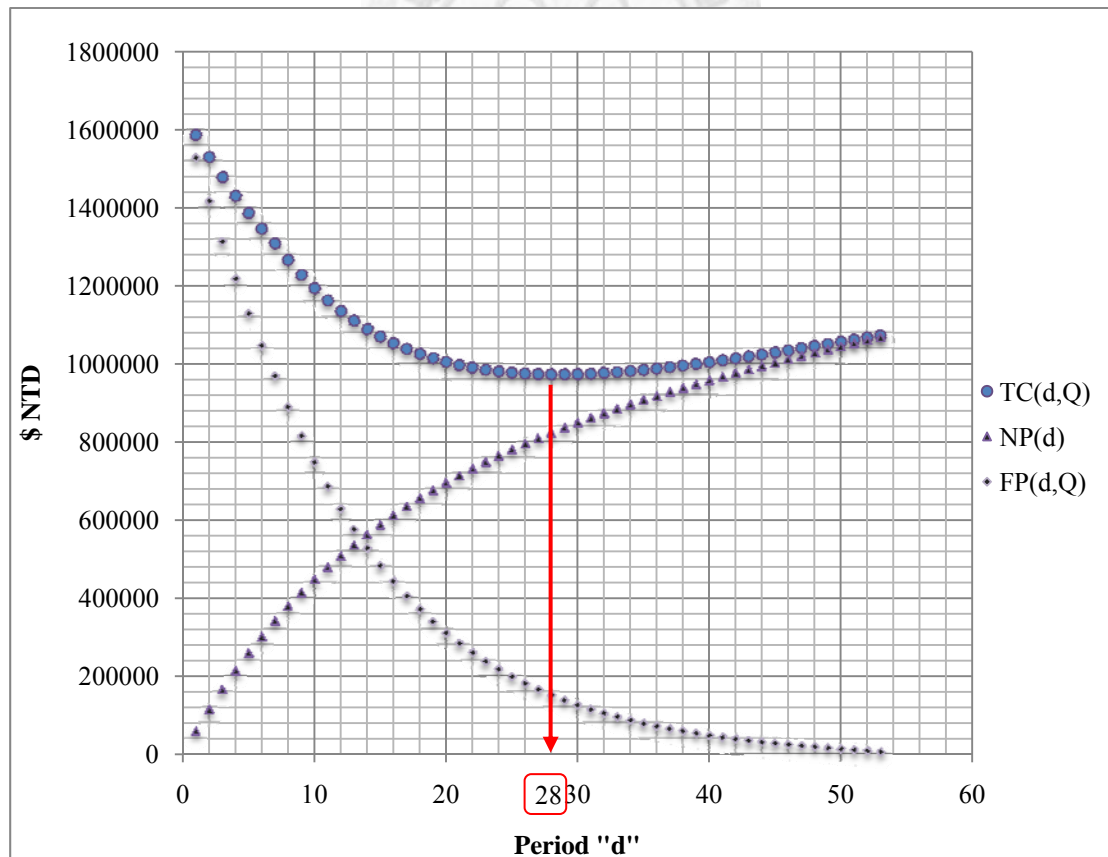


圖 4.6 引擎蓋之最後訂購時點(d)決策圖

最後如同水箱護罩範例，以最後訂購時點為車型停產後第 28 季之模型，決定此方案下的最後訂購策並估算此時期成本。最後依照此方案的決策設定，可得引擎蓋在此決策組合下的各期訂購數量與成本相關數據，如表 4.10。

表 4.10 引擎蓋採用改善方案 2 所產生的成本相關數據表

| 正常訂購時期 | |
|------------------|--|
| 各期訂購批量 | $O_t = \mu_t + z_\alpha \sigma_t, 1 \leq t \leq d$ |
| 設定服務水準 | 95% |
| 正常訂購時期成本 | 822,315 |
| 最後訂購時期 | |
| 最後訂購時點 | 停產後 28 季，令 $d = 28$ |
| 最後訂購數量 | $F[z] \leq 1, Q^* = z \times \sigma_{(d,N)} + \sum_{t=d}^N \mu_t = 37$ |
| 最後訂購時期實際需求 | 37 |
| 實際服務水準 | 100% (準確訂購) |
| 最後訂購時期成本 | 113,210 |
| 方案二引擎蓋總成本 | 935,525 |

4.2.3 個案比較分析小結

依據上述三種方案所計算出的成本相關數據表，擷取出兩類零組件在各改善方案下的兩個時期成本、最後訂購時期的實際服務水準、剩餘存貨量佔最後訂購量之比率及總成本數值，並整理歸納如表 4.11 和 4.12，分別為水箱護罩及引擎蓋零件在各方案下之成本相關數據比較表。最後觀察表中的最後訂購時期服務率、剩餘存貨量佔最後訂購量之比率與總成本數值，即可初步了解各決策方案組合的優缺點。

表 4.11 水箱護罩於各改善方案中之成本相關數據比較表

| 水箱護罩 | 原始方案 | 改善方案 1 | 改善方案 2 |
|-------------|---------|---------|----------------|
| 正常訂購時期成本 | 289,802 | 289,802 | 263,101 |
| 最後訂購時點 | 40 | 40 | 30 |
| 最後訂購時期服務率 | 100% | 93.3% | 100% |
| 過剩存貨比率 | 33.3% | 0% | 13.5% |
| 最後訂購時期成本 | 9,396 | 5,811 | 23,246 |
| 總成本 | 299,198 | 295,613 | 286,347 |
| 改善方案 1 變化幅度 | -1.2% | | |
| 改善方案 2 變化幅度 | -4.3% | | |

表 4.12 引擎蓋於各改善方案中之成本相關數據比較表

| 引擎蓋 | 原始方案 | 改善方案 1 | 改善方案 2 |
|-------------|---------|---------|----------------|
| 正常訂購時期成本 | 956,946 | 956,946 | 822,315 |
| 最後訂購時點 | 40 | 40 | 28 |
| 最後訂購時期服務率 | 100% | 100% | 100% |
| 過剩存貨比率 | 129% | 71.4% | 0% |
| 最後訂購時期成本 | 40,357 | 28,658 | 113,210 |
| 總成本 | 997,303 | 985,604 | 935,525 |
| 改善方案 1 變化幅度 | -1.2% | | |
| 改善方案 2 變化幅度 | -6.2% | | |

觀察上述比較表，明顯可以理解使用本研究之最後訂購時點與數量決策模型所估算之總成本數值，為三個決策方案組合中之最低值。除比較三種方案下之總成本數值外，本研究之焦點議題在於最後訂購時期，因此比較最後訂購時期之實際服務率、過剩存貨量佔最後訂購量之比率和成本變化幅度，可總結以下幾點：

1. 關於總成本：

在最後訂購的時點與數量決策皆使用本研究方法的改善方案 2 之總成本為三種方案下之最低值，次佳者為僅在最後訂購數量決策使用本研究方法的改善方案 1。在兩個研究品項範例中，整體成本改善幅度多達 4~6% 左右，但因本研究無法取得個案公司的呆廢料處理成本並將之加入模型中，否則本研究之決策方法所產生的剩餘存貨量較少，定可產生更佳的成本改善成效。

2. 關於最後訂購時期之實際服務率及剩餘存貨比率：

觀察各情境下之最後訂購時期實際服務率，可以發現無論使用個案公司現行方法，或是本研究方法最後訂購數量決策方法，所產生的最後訂購數量幾乎皆可滿足剩餘期數之總需求量。但觀察剩餘存貨量佔最後訂購量之比率即可發現個案公司現行方法所訂購的數量，超出剩餘需求過多，甚至多達 129% 的剩餘存貨量。但在改善方案 2 中，針對過多的剩餘存貨量情況，則有大幅度的改善，甚至在引擎蓋研究範例中，完美預測剩餘期數之需求量，由此可見本決策模型於零組件衰退期的最後訂購數量決策準確率是較個案公司現行方法來得好。

4.3 敏感度分析

由 4.2 節的改善方案 2 中，使用兩類零件作為分析範例，可瞭解最後訂購時點與數量決策模型的應用情況與改善成效。而為了解各輸入參數變動對於此決策模型之影響，因此本節將使用於 4.2 節中決策組合完全採用本決策模型的改善方案 2 的分析結果作為原始分析數值，並以表 4.3 的引擎蓋輸入參數為基礎，分別調整所有的模型輸入參數。其中以 C_H (單位存貨持有成本)、 α (正常訂購時期之顧客服務水準) 和 σ_t (各期之需求標準差)，此三項輸入參數的敏感度分析結果差異性較強，並進一步總結此三項輸入參數值對於此模型之訂購時點決策與總成本變動影響。至於此模型之其他輸入參數，則因為對於最後訂購時點決策與總成本數值

的影響不大，故不列在本節呈現。最後，因為各零組件之敏感度數值變動影響趨勢幾乎一致，因此在此節僅以引擎蓋零組件作為敏感度分範例。

4.3.1 假設存貨持有成本參數變動下的敏感度分析

引用自 4.1.2 節表 4.3 的引擎蓋之輸入參數，在其它輸入參數維持固定的情況下，僅調整單位存貨持有成本佔零組件單價成本的比率，如表 4.13 所示。原始數值分析情況是以單位存貨持有成本佔零組件成本的 20% (93.642) 作為分析範例，在此分別將此比率向上下調整成 10%、15%、25% 及 30%，得出 46.821、70.232、117.053 和 140.463 四個由低至高的單位存貨持有成本，在維持其他參數固定不變的情況下，獲得各比率數值下之最佳最後訂購時點與總成本相關數值，詳見表 4.14。最後將此比率與總成本之變動關係繪製成圖 4.7，以總結此兩者之變動關係。

表 4.13 引擎蓋之存貨持有成本輸入參數調整表

| 引擎蓋範例 | |
|---------------------------------|--|
| 需求預測迴歸式 | $62.234 \times e^{-0.074m}$, $11 < m < 63$ $m = 11$ 為車型停產時間點 亦為決策模型之第 1 期 ($t = 1$) |
| 標準常態分配之標準差 | 2.155 |
| 規劃期間(N) | 53 期, $1 \leq d \leq 53$ |
| 正常訂購成本(C_N) | 1874.84 |
| 急單成本(C_R) | 1954.84 |
| 利潤減損成本(C_L) | 4032.16 |
| 存貨持有成本(C_H) | 46.821~140.463 (10%~30%) |
| 正常訂購時期之服務水準(α) | 95% |
| 顧客願意等待物料比率(m) | 90% |

表 4.14 存貨持有成本變動下之敏感度分析表

| C_H | d | $NP(d)$ | $FP(d)$ | Total Cost |
|---------------|-----|---------|---------|------------|
| 46.821 (10%) | 23 | 747734 | 193981 | 941715 |
| 70.232 (15%) | 26 | 794270 | 165971 | 960241 |
| 93.642 (20%) | 28 | 822315 | 150257 | 972572 |
| 117.053 (25%) | 30 | 848357 | 132929 | 981286 |
| 140.463 (30%) | 31 | 860715 | 127208 | 987923 |

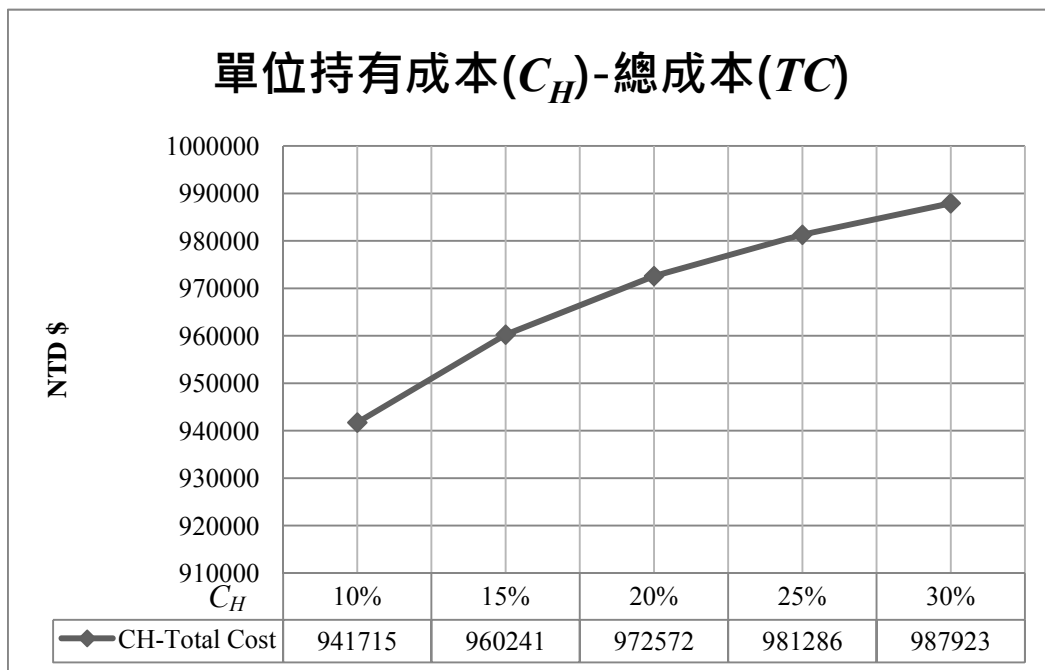


圖 4.7 存貨持有成本變動與總成本關係圖

總結表 4.14 與圖 4.7 的變動關係，存貨持有成本與總成本數值呈現正相關，且當單位存貨持有成本數值越大，最佳最後訂貨時點會往後延遲，使得最後訂購時期的持有成本降低，以壓低整個規劃期間的總成本。

4.3.2 假設正常訂貨時期之顧客服務水準變動下的敏感度分析

如同 4.3.1 節作法，引用 4.1.2 節表 4.3 的引擎蓋之輸入參數，並維持其他參數數值固定的情況下，僅調整正常訂購時期的顧客服務水準數值，如表 4.15 所示。原始數值分析情況是以 95% 作為此時期的目標服務水準，現在將此水準分別

向上下調整成 90%、92.5%和 97.5%，這三個由低至高的顧客服務水準限制，並計算求得在此數值限制下之最佳最後訂購時點與總成本，詳見表 4.16。最後亦將此服務水準與總成本變動關係繪製成圖 4.8，以總結此兩者之變動關係。

表 4.15 引擎蓋之服務水準限制輸入參數調整表

| 引擎蓋範例 | |
|-------------------------|--|
| 需求預測迴歸式 | $62.234 \times e^{-0.074m}$, $11 < m < 63$ $m = 11$ 為車型停產時間點 亦為決策模型之第 1 期 ($t = 1$) |
| 標準常態分配之標準差 | 2.155 |
| 規劃期間(N) | 53 期, $1 \leq d \leq 53$ |
| 正常訂購成本(C_N) | 1874.84 |
| 急單成本(C_R) | 1954.84 |
| 利潤減損成本(C_L) | 4032.16 |
| 存貨持有成本(C_H) | 93.642 (20%) |
| 正常訂購時期之服務水準(α) | 90%~97.5% |
| 顧客願意等待物料比率(m) | 90% |

表 4.16 顧客服務水準限制變動下之敏感度分析表

| α | d | $NP(d)$ | $FP(d)$ | Total Cost |
|----------|-----|---------|---------|------------|
| 90% | 31 | 819035 | 113748 | 932783 |
| 92.5% | 30 | 825247 | 124879 | 950126 |
| 95% | 28 | 822315 | 150257 | 972572 |
| 97.5% | 27 | 841495 | 164697 | 1006192 |

總結表 4.16 與下圖 4.8 的變動關係，顧客服務水準數值與總成本一樣呈現正相關。但最佳最後訂購時點則會隨著服務水準限制變大，而提前採行最後訂購，這是因為顧客服務水準提高，將使得正常訂貨時期的成本提高，而提前採行最後訂購，以縮短正常訂購時期之期數。

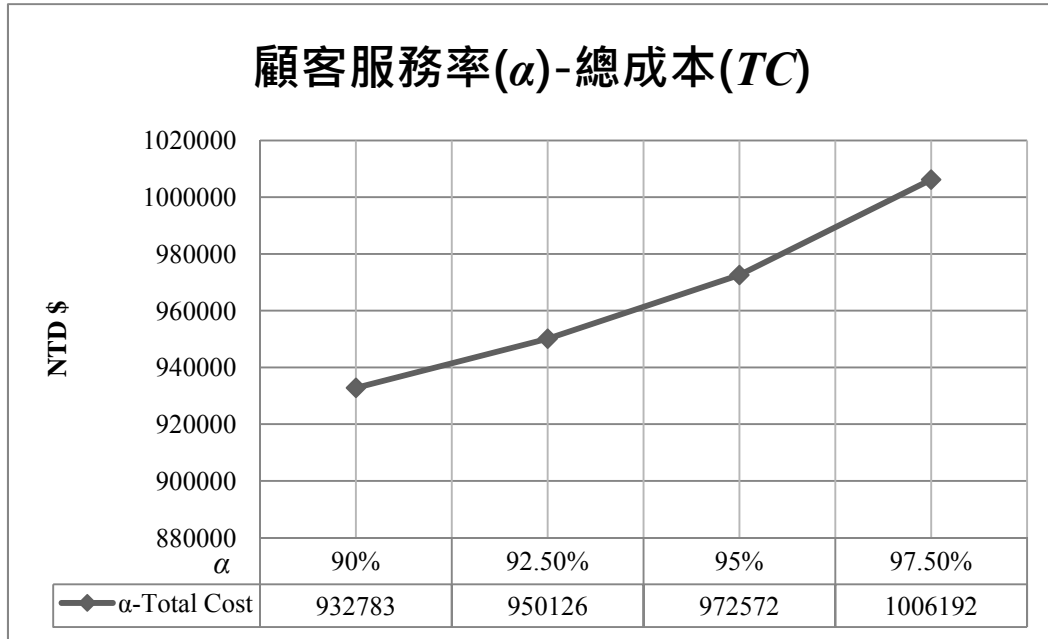


圖 4.8 顧客服務水準變動與總成本關係圖

4.3.3 假設各期需求標準差變動下的敏感度分析

一樣如同上述作法，引用 4.1.2 節表 4.3 的引擎蓋輸入參數，並維持其他參數數值固定下，僅調整各期需求量之標準差，如表 4.17 所示。原始數值分析情況是以原始資料計算得出之 2.155 數值作為此實際之各期需求標準差，現在將此標準差分別向上下變動成 0.5 倍、1.5 倍、2 倍和 2.5 倍，得到四個變動後的標準差，分別為 1.0775、3.2325、4.31 及 5.3875，並計算求得在此數值限制下之最佳最後訂購時點與總成本，詳見表 4.18。最後也將此標準差與總成本變動關係繪製成圖 4.9，以總結此兩者之變動關係。

表 4.17 引擎蓋之各期標準差輸入參數調整表

| 引擎蓋範例 | |
|------------|--|
| 需求預測迴歸式 | $62.234 \times e^{-0.074m}$, $11 < m < 63$ $m = 11$ 為車型停產時間點 亦為決策模型之第 1 期 ($t = 1$) |
| 標準常態分配之標準差 | 0.5 倍~2.5 倍 |

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| 規劃期間(N) | 53 期, $1 \leq d \leq 53$ |
| 正常訂購成本(C_N) | 1874.84 |
| 急單成本(C_R) | 1954.84 |
| 利潤減損成本(C_L) | 4032.16 |
| 存貨持有成本(C_H) | 93.642 (20%) |
| 正常訂購時期之服務水準(α) | 95% |
| 顧客願意等待物料比率(m) | 90% |

表 4.18 各期標準差設定變動下之敏感度分析表

| σ_D | d | $NP(d)$ | $FP(d)$ | Total Cost |
|----------------|-----|---------|---------|------------|
| 1.0775 (0.5 倍) | 35 | 788418 | 70890 | 859309 |
| 2.155 (1 倍) | 28 | 822315 | 150257 | 972572 |
| 3.2325 (1.5 倍) | 24 | 844815 | 222981 | 1067796 |
| 4.31 (2 倍) | 21 | 854768 | 295650 | 1150418 |
| 5.3875 (2.5 倍) | 19 | 867412 | 355844 | 1223256 |

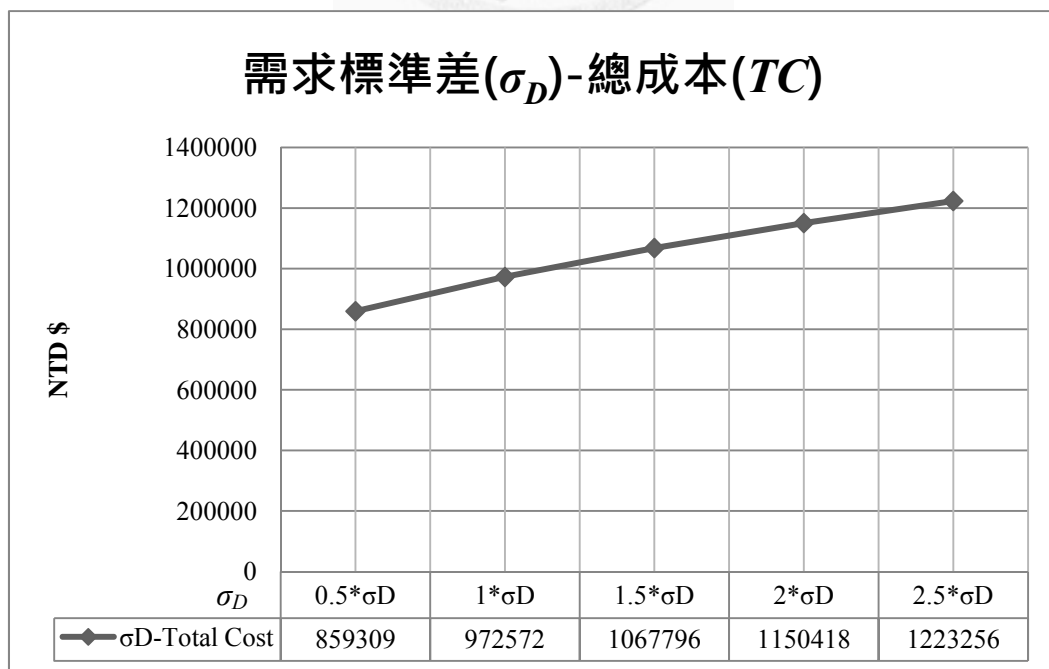


圖 4.9 各期標準差變動與總成本關係圖

總結表 4.18 與圖 4.9，各期需求標準差與總成本呈現正相關。但最佳最後訂購時點則會隨著各期需求標準差數值變大，而一樣提前採行最後訂購，這是因為各期需求標準差變大，將導致正常訂貨時期的訂購及缺貨利潤損失成本急遽升高，所以提前採行最後訂購策略是不得不的選擇，以此縮短正常訂購時期之期數，降低正常訂購時期為維持固定服務水準所造成的高額成本。

4.3.4 敏感度分析小結

綜合上述三種不同參數變動下之分析結果，可歸納出以下幾點結論：

1. 顧客服務水準限制的提高與各期需求標準差數值變大，皆會造成正常訂購時期之成本提高，以至於提前採行最後訂購策略。此歸因於顧客服務水準的提高將使得在正常訂購時期為滿足嚴苛的顧客服務水準，降低缺貨利潤損失，使得各期建議訂購批量增加，導致總成本上升。而各期需求標準差數值若變大，將造成正常訂購時期較不容易滿足其顧客服務水準限制，一樣造成此時期的建議訂購批量增加，並使得總成本提高。所以本決策模型會將最後訂購時點提前，以降低正常訂購時期之期數，求得較低之總成本。
2. 對於單位存貨持有成本佔零組件單價成本之比率變大，將使得最後訂購時期之成本升高，進而影響到總成本數值與最後訂購時點之決策。因為最後訂購時期須一次購足剩餘期數之存貨，使得此時期的存貨備貨期數原本就較多，造成此時期的存貨持有成本佔總成本比重居高不下。因此，本決策模型將會把最後訂購時點推遲，使得最後訂購時期期數減少，減少備貨期數，以降低存貨持有成本，以求得最低之總成本。

第五章 結論與建議

本研究最末章將探討第一章所提到的研究問題，根據個案分析所得到的數量結果作一個總結，並在 5.1 節針對個案公司現行的最後訂購方法提出改善方式及相關建議。接著於 5.2 節解釋本研究對於最後訂購情境下的零組件供應模型的主要貢獻。最後於 5.3 和 5.4 節說明本研究在建立決策模型所遭遇到的研究限制，並列舉未來可再做深入研究的方向與議題。

5.1 研究結論與建議

當產品停產並停止於市場中販售時，此時也意味著該產品所屬的零組件也邁向生命週期的最末端。本研究即以國內汽車產業為例，站在個案公司的角度，描繪其所遭遇的最後訂購情境，而設計出一個可以同時決策最後訂購時點與數量的量化的決策模型。本模型的目標成本函數以停產後的最後訂購時點作為分界點，分別設置正常訂購時期與最後訂購時期，並分別考量兩時期的存貨持有成本、正常訂貨成本、急單成本、銷售損失成本和顧客服務水準，在以極小化總成本的目標下，求得最佳最後訂購時點與數量。最後根據個案公司所提供的實際訂貨參數及需求歷史資料，輸入本模型中進行個案數值分析與驗證，由此數值分析的結果而對個案公司提出以下結論與建議：

1. 個案公司現行的需求預測方法在預估未來需求時，未能確實掌握需求下降的趨勢。其假設剩餘需求呈現線性遞減趨勢，並且以過去三年的各期平均需求預測未來需求可能會使需求預測值產生落後效果。本研究在以個案公司所提供參數而設計出的數值分析結果中，證明衰退期零組件需求不一定呈現線性遞減，反而可能更類似指數遞減趨勢，因此建議個案公司可參考其他種類的需求預測方法對具有相關遞減趨勢的零組件需求做更準確的預測。

2. 對於最後訂購時點的決策，過去該業界做法大多流於經驗法則，以產品停產後若干年，或者年需求連續若干年為零時，即針對所屬之零組件進行最後一次訂購。此做法未考量最後訂購時點的決策將影響該公司的總成本，過去學者 Cattani (2003) 即曾驗證此現象，並計算將訂購時點延後所帶來的利潤。因此在假設零組件供應商可協調的情況下，個案公司應在各成本面向的考量下，可參考本研究之量化決策模型，以決定最佳最後訂購時點。
3. 根據本研究之決策模型所提供的決策方法，並參考過去需求歷史資料所設計的個案數值分析結果，可比現行方法更有效的預測剩餘需求決定最後訂購量，並因較準確的預測值而有效減少呆廢料數量。而達成在個案公司所設定的顧客服務水準條件下，改善該公司過去往往高估的剩餘需求，降低零組件生命週期末端的總存貨維持成本。最後依照敏感度分析結果，可以瞭解顧客服務水準、各期需求標準差和單位存貨持有成本等輸入參數，將會對於最後訂購時點與數量決策，造成重要的影響。

5.2 研究貢獻

1. 將最後訂購時間點納入決策考量

在過去探討最後訂購情境下的研究文獻中，多未考量最後訂購時點決策的重要性。而由過去學者 Cattani (2003) 在考量多個情境後，也僅提出最後訂購時間點的延後對整體供應鏈所帶來利益的論點。因此本研究將最後訂購時點與最後訂購數量皆設為模型決策變數，並對此模型進行求解，解出最佳的時點與數量的混合策略，以反應最後訂購時點對於最後訂購議題的重要性。

2. 在量化的成本決策模型中考慮多面向的成本參數

本研究所建立的決策模型的總成本目標函數，以最後訂購時點為分界點，將

零組件剩餘生命期數分割為正常訂購時期與最後訂購時期，並考慮兩時期的存貨持有成本、訂貨成本、急單成本和缺貨利潤損失成本，而組合出本模型的目標函數。而探討過去的文獻研究中，多以單位時間的固定缺貨比率來估算缺貨利潤損失成本，且未考慮實務中的急單補貨操作。然而本研究確實各別估算各期的缺貨利潤減損成本，並在有急單成本的考量下，建立本決策模型。

3. 探討各訂貨參數對於最後訂購時點與數量的影響

本研究亦於最後的個案分析與驗證部分，透過調整決策模型中的各輸入參數，進行敏感度分析，而可觀察到各訂貨參數對於最後訂購時點、最後訂購數量與各成本數值的變動趨勢。最後即可以此數值結果，作為服務性零組件處於最後訂購情境下的存貨管理決策參考。

5.3 研究限制

1. 由於為便於模型求解的限制下，本研究假設各期需求平均值呈現指數趨勢遞減，且各期需求服從常態分配且各期需求標準差固定不變。這個假設將可能使得本模型無法充分表現出實際需求可能隨著需求減少或價格變動所造成需求變異增大的情況。
2. 本研究的決策模型因零組件供應價格變動資料取得困難且價格變動很難利用數學模型表達，所以並未考慮零組件價格變動的情況。而因個案公司未將存貨殘值利益及呆廢料處理成本估算入公司報表中，若能將上述成本數據繼續導入決策模型中，將更能實際反應出該業界的最後訂購情境。

5.4 未來研究方向

本篇論文在最後訂購情境下，將最後訂購時點與最後訂購數量一併納入量化

成本模型中求解，但衰退期的零組件存貨管理模型種類眾多且相關決策議題繁多，可見此情境需考慮的因素不僅止於本研究所探討的因素，因此在此列舉出其他可再繼續發展的研究方向，包含有以下幾點：

1. 可再繼續探討其他的需求迴歸趨勢或其他的需求預測方法，以改善需求預測的落後效果及預測準確度，並且可將各期的需求變異納入需求預測模型中探討，例如：零組件需求變異可因價格變動而增加，或者需求變異隨著零組件生命週期時間而有變動。
2. 本研究以最後訂購情境的決策為首要解決目標，且為使模型便於求解，導致於正常訂購時期未將各期的存貨數量變動納入決策考量，僅以限制的顧客服務水準作各項成本的預測。因此，若能使正常訂購時期與最後訂購時期的一連串決策一併納入決策模型中，將能使該產業對於生命週期末端的零組件有更好的解決方案。
3. 由於探討的個案公司並未考量廢料殘值與處理成本，因此在本研究模型中並未將此類成本納入考量。若能繼續考量此類成本，則可使得汽車產業的最後訂購決策模型更為完善，甚至可應用於不同產業。
4. 本研究於最後訂購時期的存貨持有數量，僅以存貨呈現線性遞減趨勢近似出一個約略的存貨數量，但不同的零組件的需求趨勢有所不同，此將造成存貨數量不太可能呈現線性遞減趨勢。因此，若能以更精確的預測方法，將能使得模型所計算出的總成本及最佳化決策更為準確。

參考文獻

中文部分：

1. 林翰輝，考慮需求不確定下存貨管理模式-以汽車維修零件為例，國立台灣大學商學研究所碩士論文，2007。
2. 陳育珊，考慮產品生命週期末端之服務性零組件最後訂購模型-以汽車產業為例，國立台灣大學商學研究所碩士論文，2009。
3. 黃珮儀，考慮產品生命週期末端之服務性零組件最佳訂貨時程之研究-以汽車產業為例，國立台灣大學商學研究所碩士論文，2009。
4. 滕哲安，服務性零組件最後訂購情況下最適服務水準之研究-以汽車產業為例，國立台灣大學工業工程學研究所碩士論文，2009。

英文部分：

1. Barbosa, L. C. and Friedman, M., “Inventory Lot Size Models with Vanishing Market”, *The Journal of the Operational Research Society*, 30, 12, (1979), 1129-1132
2. Brown, R. G., “Advanced Service Parts Inventory Control”, 2nd Edition, *Material Management Systems, Inc.*, (1982)
3. Brosseau, L. J., “An Inventory Replenishment Policy for the Case of Linear Decreasing Trend in Demand”, *INFOR*, 20, 2, (1982), 252-257
4. Cattani, K. D. and Souza, G. C., “Good buy? Delaying end-of-life purchases”, *European Journal of Operational Research*, 146, 1, (2003), 216–228
5. Croston, J. D., “Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands”, *Operational Research Quarterly*, 23, 3, (1972), 289-303

6. Cohen, M. A., Deshpande, V. and Donohue, K., "An empirical study of service differentiation for weapon system service parts", *Operation Research*, 51, 4, (2003), 518-530
7. Dave, Upendra, "A Deterministic Lot-Size Inventory Model with Shortages and a Linearly Trend in Demand", *Navel Research Logistics*, 36, 4, (1989), 507-514
8. Dave, Upendra, "On a Heuristic Inventory-Replenishment Rule for Items with a Linearly Increasing Demand Incorporating Shortages", *The Journal of the Operational Research Society*, 40, 9, (1989), 827-830
9. Silver, E. A., Pyke, D. F. and Peterson, R., "Inventory Management and Production Planning and Scheduling", 3rd Edition, *John Wiley & Sons, Inc.*, (1998)
10. Fortuin, L., "The All-Time Requirement of Spare Parts for Service After Sales-Theoretical Analysis and Practical Results", *International Journal of Operations and Production Management*, 1, 1, (1980), 59-69
11. Hariga, Moncer, "Lot-Sizing Heuristics for Continuous Time-Varying Demand and Shortages", *Computers Ops Res*, 23, 12, (1996), 1211-1217
12. Hill, R. M., "Production Planning Towards the End of A Product Life Cycle", *IMA Journal of Management Mathematics*, 10, 2, (1999), 165-176
13. Hill, R. M., Omar, M. and Smith, D. K., "Stock Replenishment Policies for A Stochastic Exponentially-Declining Demand Process", *European Journal of Operational Research*, 116, 2, (1999), 374-388
14. Inderfurth, K. and Mukherjee, K., "Decision Support for Spare Parts Acquisition in Post Product Life Cycle", *Central European Journal of Operations Research*,

- 16, 1, (2008), 17-42
15. Kleber, R. and Inderfurth, K., “A Heuristic Approach for Inventory Control of Spare Parts after End-of-Production”, *Springer, Inc.*, (2007)
 16. Moore, J. R., “Forecasting and Scheduling for Past-Model Replacement Parts”, *Management Science*, 18, 4, (1971), 200-213
 17. Popp, W., “Simple and Combined Inventory Policies, Production to Stock or to Order”, *Management Science*, 11, 9, (1965), 868-873
 18. Smith, P., “Optimal Production Policies with Decreasing Demand”, *European Journal of Operational Research*, 1, 6, (1977), 355-367
 19. Teunter, R. H. and Fortuin, L., “End-of-life service”, *International Journal of Production Economics*, 59, 1-3, (1999), 487-497
 20. Teunter, R. H. and Fortuin, L., “End-of-life service: A case study”, *European Journal of Operational Research*, 107, 1, (1998), 19-34
 21. Teunter, R. H. and Haneveld, W. K. K., “Inventory control of service parts in the final phase”, *European Journal of Operational Research*, 137, 3, (2002), 497-511
 22. van Kooten, J. P. J. and Tan, T., “The Final Order Problem for Repairable Spare Parts under Condemnation”, *Journal of the Operational Research Society*, , 60, 13, (2009), 1449-1461