

國立交通大學  
工業工程與管理學系

碩士論文

IC 設計公司在交期可調情境下的晶圓採購決策  
Wafer Purchasing Decisions of IC Design Houses  
in Adjustable Lead Time Scenarios



研究生：黃敏宜

指導教授：巫木誠 博士

中華民國九十六年七月

IC設計公司在交期可調情境下的晶圓採購決策  
Wafer Purchasing Decisions of IC Design Houses  
in Adjustable Lead Time Scenarios

研究生：黃敏宜

Student : Min-Yi Huang

指導教授：巫木誠 博士

Advisor : Dr. Muh-Cherng Wu

國立交通大學

工業工程與管理學系



Submitted to Department of Industrial Engineering and Management

College of Management

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science

In

Industrial Engineering

June 2007

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年七月

# IC設計公司在交期可調情境下的晶圓採購決策

研究生：黃敏宜

指導教授：巫木誠 博士

國立交通大學工業工程與管理研究所

## 中文摘要

IC設計公司指專注於IC設計而將製造全部外包的公司。整個IC產業的供需變動幅度大，需求預測經常不準確，加上從晶圓製造到IC成品出貨的生產週期很長，因此IC設計公司需備較高的安全存量來因應需求的變動，以避免缺貨造成商機的損失，但同時也容易造成高額的庫存而降低獲利。本研究提出一個可調整晶圓交期的機制，假設下單後可依預測需求的變動，在晶圓製造的凍結期之外要求晶圓廠提前或是延後交貨，期望能降低存貨或是減少缺貨的發生。經過模擬驗證後，本研究可調整交期的機制，在滾動式排程下的利潤會顯著優於固定交期的模式。

關鍵字：可變動交期、滾動式排程、安全存量、訂單數量

# Wafer Purchasing Decisions of IC Design Houses in Adjustable Lead Time Scenarios

Student : Min-Yi Huang

Advisor : Dr. Muh-Cherng Wu

Department of Industrial Engineering and Management  
National Chiao Tung University

## Abstract

IC (integrated circuit) design houses, by definition, concentrate on design while leaving production to wafer foundry companies. They place orders based on a rolling demand forecast, and receive the ordered deliveries after a constant production lead time. Due to volatile demand, IC design houses commonly reserve a high level inventory. This research proposed and examined an idea of adjustable lead time for reducing inventory level. The adjustability means that IC design houses are eligible to change the lead time of a particular order, at some time (say, the next period) after they has placed the order. That is, the quantity placed in the order cannot be changed but part of the order can be delivered one week earlier or later than the originally designated due. Under such a trading scenario, in addition to the decision of determining safety stock level, IC design houses have one more decision to make--how to make the lead time adjustment. This research formulates the two decisions and uses a simulation approach to justify the idea. Simulation experiment results indicate that adopting the idea of adjustable lead time could effectively increase the profit of IC design houses.

Keywords: adjustable lead time, rolling forecast, safety stock, order quantity

## 誌謝

本論文得以順利完成，首先要感謝指導教授巫木誠博士這兩年來的費心，除了課業、管理知識方面的指導之外，無形中也潛移默化了思考方法及對工作該有的認真與不斷努力的態度，對學生影響深遠，在此致上最誠摯的謝意與敬意。同時，也很感謝口試老師許錫美博士及彭德保博士，給予學生許多寶貴的意見，使學生的論文更臻完善。

過去這兩年，除了能進修專業知識外，可以和同學在課業上討論切磋，在工作上也能相互交流，不僅留下了美好的回憶，更是無價的收穫。尤其是感謝同組同學鄭淑慧和彭鴻麟的相互鼓勵和支持，還有學妹陳文旻的協助，使得論文能如期完成，作為難忘的兩年研究生活最實質的代表。

最後要感謝我的父母親黃益雄先生與廖麗珠女士，給予溫暖快樂的家庭、引導而不限制的教育方式，讓我能盡興追求自己想要的目標。還有妹妹聖涵和弟弟盈叡，由於你們不斷的支持與鼓勵，讓我更能有動力面對學業或生活上的挑戰。

僅以此論文獻給最敬愛的家人以及所有關心我的師長、朋友及學弟妹。

敏宜

于 風城交大

2007-07-25

# 目錄

中文摘要 .....	i
Abstract.....	ii
誌謝 .....	iii
目錄 .....	iv
表目錄 .....	vi
圖目錄 .....	vii
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究問題 .....	2
1.3 研究假設 .....	4
1.4 論文組織 .....	4
第二章 文獻探討 .....	5
2.1 訂單交期 .....	5
2.2 滾動式需求預測 .....	6
2.3 結論 .....	7
第三章 可調交期採購決策之數學規劃模型 .....	8
3.1 符號說明 .....	8
3.2 數學規劃模型 .....	10
3.3 變數範例說明 .....	12
3.3.1 下單量： $P_{ij}$ .....	12
3.3.2 計劃交貨數量： $Q_{ij}$ .....	13
3.3.3 調整交貨量： $q_{ij}$ .....	14
3.3.4 交貨確認量： $Q'_{ij}$ .....	15
3.3.5 期末庫存量： $I_{ij}$ .....	16
第四章 各期採購決策的範例說明 .....	17
4.1 參數設定 .....	17
4.2 起始設定 .....	17
4.3 決策展開步驟 .....	18
4.4 範例說明 .....	20
第五章 模擬驗證 .....	23

5.1 參數設定 .....	23
5.2 結果與分析 .....	24
第六章 結論與未來研究方向.....	27
6.1 結論 .....	27
6.2 未來研究方向 .....	27
附件 .....	28
參考文獻 .....	34



## 表目錄

表 1.	低利潤、低變動Run1 的每期需求預測 .....	24
表 2.	低利潤、低變動情境下固定交期模擬結果 .....	24
表 3.	低利潤、低變動情境下可調交期模擬結果 .....	24
表 4.	利潤總和最大下的比例設定 .....	26





## 圖目錄

圖 1.	IC設計公司製造外包流程 .....	1
圖 2.	交期固定的下單模式 .....	2
圖 3.	交期可調的下單模式 .....	3
圖 4.	範例：第 2 期供需模式(說明下單量) .....	12
圖 5.	範例：第 2 期供需模式(說明標準交期量) .....	13
圖 6.	範例：第 2 期供需模式(說明「需求增加」的調整交貨量) .....	14
圖 7.	第 3 期供需模式(說明「需求減少」的調整交貨量) .....	15
圖 8.	範例：第 3 期供需模式(說明交貨確認量) .....	15
圖 9.	範例：第 3 期供需模式(說明期末存量) .....	16
圖 10.	起始(第 0 期)的供需模式 .....	17
圖 11.	第 0 期產生需求預估及安全存量 .....	18
圖 12.	換期時的資料更新 .....	20
圖 13.	範例：第 3 期的下單決策 .....	21
圖 14.	範例：第 3 期的交貨預估量決策 .....	21
圖 15.	範例：第 2、3 期的交貨調整量決策 .....	22



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

IC 設計公司是指專注於 IC 設計而將所有製造工作外包的公司。如圖 1.所示，IC 設計公司的外包流程主要可以分成四部份：晶圓(Wafer)製造、晶圓測試(Circuit Probing Test，簡稱 CP)、IC 封裝(Assembly)及 IC 測試(Final Test，簡稱 FT)。晶圓製造是經過沉積、蝕刻、光阻處理、塗佈、顯影等數百道加工程序，在矽晶圓上形成數百到數仟顆相同的積體電路小晶片，然後經由晶圓測試先剔除不良晶片，再交由封裝廠進行切割、封裝，最後作 IC 測試確認電性及功能上可正常運作。

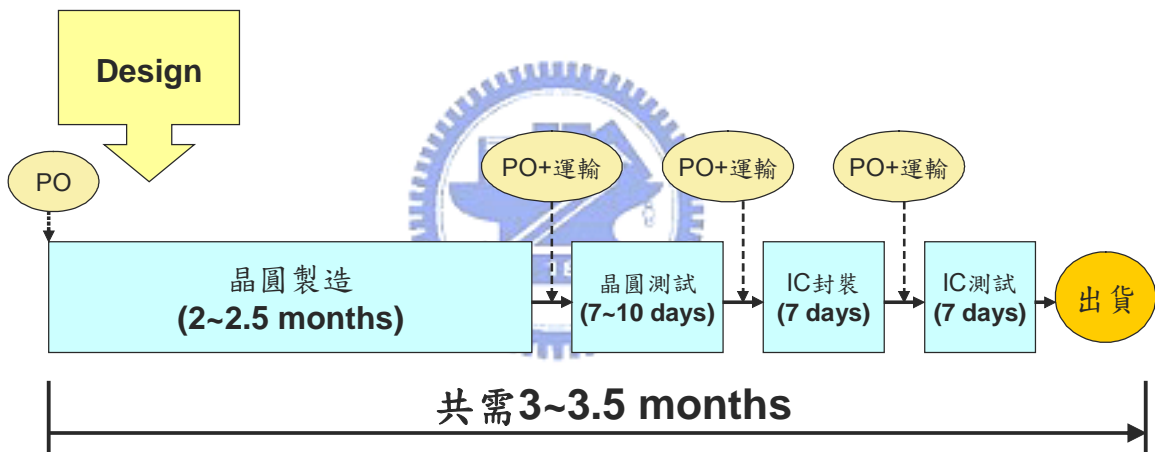


圖 1. IC 設計公司製造外包流程

在整個外包流程中，晶圓製造長達 2~2.5 個月，因此晶圓採購作業需預估三個月以後的需求，然後根據此預測需求下採購單。下單之後，三個月後的交貨數量就已確定。然而 IC 產業的需求變動很大，未來三個月的實際需求，未必會和下單時的預測需求相同。若實際需求量高於預測量，便造成缺貨；反之，若預測量高於實際需求量，便會造成庫存。

在採購與存貨控制的決策上，目前 IC 設計公司大多遵循傳統 MRP (Materials Requirement Planning) 的作法，亦即假設交期固定(constant lead time)，預估未

來需求、考量現有存貨量<sup>1</sup>以及安全存量需求後，決定晶圓下單數量<sup>2</sup>，並發出採購單。如圖 2.所示，假設晶圓交期為 4 期，在T0 期時需預估第T4 期的晶圓需求，並將第T5 期預估需求量的某一百分比設定為安全存量，便在T0 期時下採購單，同時決定於第T4 期時交貨。倘若第T4 期時，實際需求超過下單數量，便發生缺貨情形；相反地，若實際需求少於下單數量，則可能產生多餘庫存。

面對難以準確預測的市場需求，IC 設計公司為了避免錯失商機，通常會預備高額存貨來因應需求的變動。而晶圓價格昂貴，因此存貨金額通常很高，以台灣的 IC 設計公司為例，其存貨金額通常高達資本額的 40%-60%。因此如何降低存貨金額對 IC 設計公司是一個相當重要的議題。

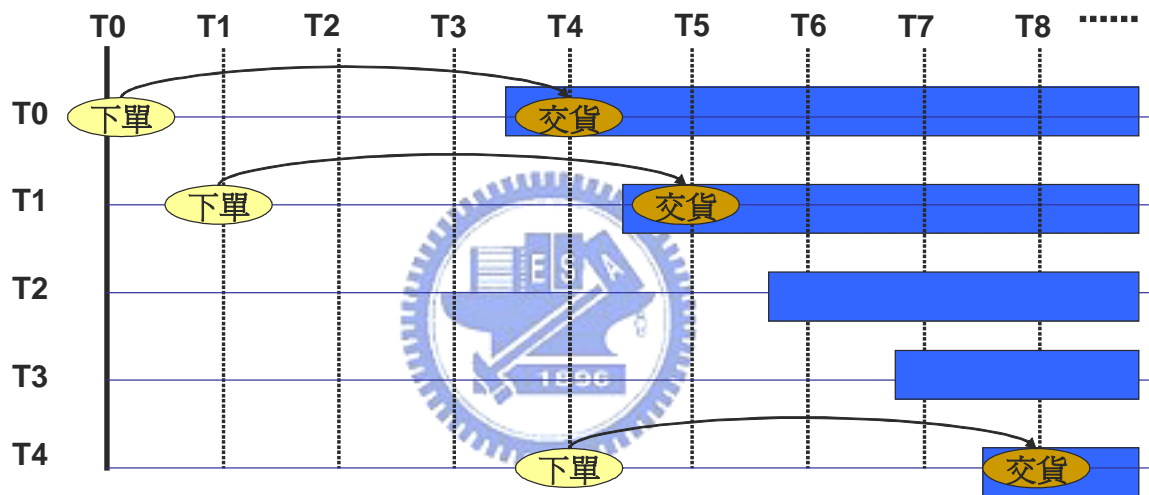


圖 2. 交期固定的下單模式

## 1.2 研究問題

分析目前 IC 設計公司的採購模式，會造成存貨居高的主要原因是：交期太長

<sup>1</sup> IC設計公司的存貨泛指：在途晶圓、庫存晶圓、在途半成品(包含晶圓測試、IC封裝、IC測試中或在庫的所有半成品)、以及在庫的成品。

<sup>2</sup> 所有存貨換算良率後可得約當成品量，與預測成品需求的差異再反推良率及Die數便是晶圓下單需求，通常有批量 25 片的限制。例如產品A，晶圓原始Die數 100 ea，外包總良率(包含CP測試、IC封裝及測試)為 90%：

需求：1500 ea

約當存貨：300 ea

晶圓下單數量 =  $(1500 - 300) / 90\% / 100 = 13.3$  片

→ 每 25 片為單位，故下單量為 25 片

而且是固定值。然而，根據本研究訪查，若 IC 設計公司提早告知（例如下單後一週），其實晶圓廠是可適度調整交期，亦即容許某些數量提前一週交貨或是延後一週交貨。若 IC 設計公司願意付費，其實「交期可調整」的機制是具有可行性的。

有鑑於此，本研究擬探討下列議題：

- (1) 晶圓「交期可調整」的情境，是否可有效降低 IC 設計公司的存貨？
- (2) 若是可以降低存貨，IC 設計公司最佳的採購運作方式為何？
- (3) 若晶圓廠「交期可調」的服務需收費，其價值應如何估算？

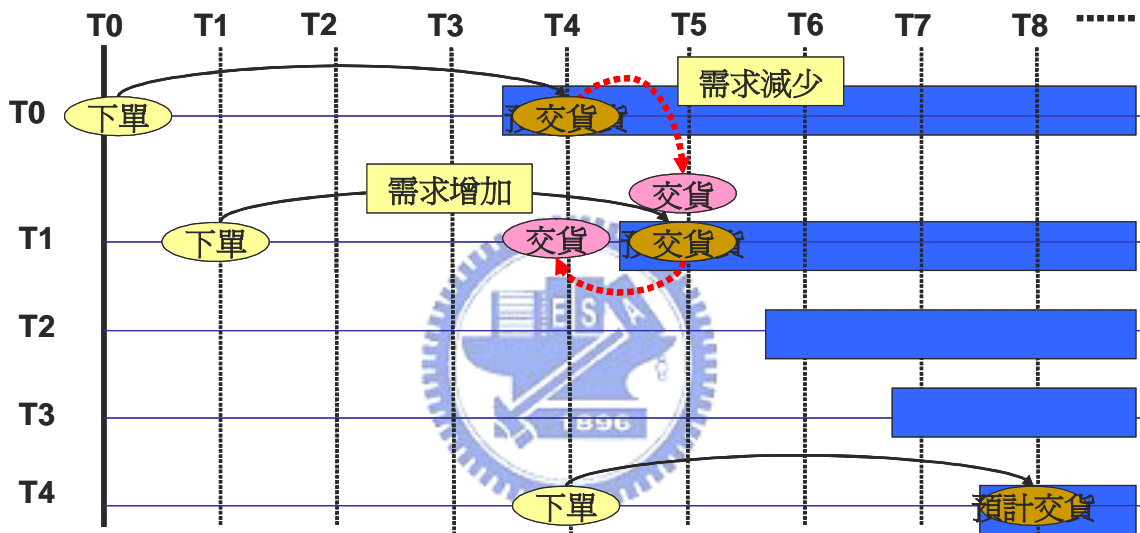


圖 3. 交期可調的下單模式

「交期可調」指的是下採購單之後，在某個時間點之前，即晶圓製造生產週期進入凍結期之前，IC 設計公司可對此訂單調整交期：若需求上揚，要求晶圓廠提前交貨；若需求下滑，則延後交貨。如圖 3.所示，第 T0 期下單並預計於第 T4 期交貨，IC 設計公司可在下單後一週調整交期。假設第 T1 期預估第 T4 期需求下滑，即少於第 T0 期預估第 T4 期的需求，可請晶圓廠將 T0 期所下的部份訂單數量延至第 T5 期交貨；反之，若第 T1 期預估第 T4 期需求上揚，即多於第 T0 期預估第 T4 期的需求，則第 T1 期下單除了預估供給第 T5 期的需求之外，也可加量並提前於第 T4 期交貨，以便補足預計第 T4 期需求增加部份。

### 1.3 研究假設

本研究在特定的假設情境下，以多個模擬供需所產生的利潤結果，來驗證「交期可調」的情境是否能降低存貨，因此整個研究服從以下假設：

- ◇ 需求預測量、下單量及存貨皆已換算成晶圓數量
- ◇ 需求預測模式：服從常態分配，預測期數距離目標期數越近越準確
- ◇ 下單模式：晶圓廠允許先投片後下單，但下單後法取消訂單，且下單量無最小批量的限制
- ◇ 交期決策模式：在可調交期間內，可決定提前或延後訂單，但調整後交貨量(交貨確認量)不可為負值；即預估需求減少量若大於原來計劃交貨量，則不可以延後交貨
- ◇ 交期調整提前或延後的期數為一期
- ◇ 交期調整無成本：即晶圓廠配合交期調整，不額外收取費用
- ◇ 缺貨假設：缺貨即損失商機，不可補貨；即不僅無銷售收入，亦產生無形的缺貨成本

### 1.4 論文組織

本論文後續章節安排如下，第二章文獻探討，第三章說明使用符號及數學模型，第四章介紹可調交期決策展開步驟，包含如何下訂單、決定交貨量以及計算利潤函數，第五章是模擬結果，第六章是結論與未來研究方向，即可調交期模式的擴充與延伸。

## 第二章 文獻探討

本章探討過去研究關於交期以及需求預測的相關文獻，並與本研究作比較。

### 2.1 訂單交期

「Lead Time」指的是從客戶發出訂單到收貨的時間。Tersine (1982)定義其包含發出訂單前的準備時間、訂單傳送時間、供應商的生產時間、運送時間及整備時間等。實際訂單採購運作上，可藉由加班、變更排程、或改變運輸方式等方式縮短 Lead Time；但通常會產生額外的費用，包含有管理成本、運輸成本及生產速度增加的成本，統稱趕工成本(Crashing Cost)。

因此，Lead Time 是可以調整的。Liao & Shyu (1991)首創將 Lead Time 列為可控的變數而非固定的常數或是隨機變數，在預先決定訂單數量、且假設交期服從常態分配條件下，使總成本為最小。Ben-Daya and Raouf (1994)則使訂單數量及交期均為決策變數，但不考慮缺貨發生。

Ouyang et al. (1996)視存貨管理為永續盤存制，假設缺料包含固定比例的補貨訂單及訂單損失，在最小化成本 (包含訂購成本、庫存成本、緊急採購成本)條件下，找出最佳訂單數量及交期。由於缺貨成本較難估算，因此 Ouyang & Wu (1997)用有限的服務水準(service level，即庫存占需求的比例)來取代缺貨成本。Ouyang & Chang (2000)修正 Ouyang et al. (1996)的模型，假設補貨訂單比例為不固定，用大中取小、分配不固定的方法求解。此外，Ouyang & Yao (2002)假設交期需求為模糊，用模糊理論方法找出最佳訂單採購策略。Ouyang、Wu & Ho (2004)則研究交期需求是自由分配下的最佳訂購決策。

之後有相關延伸研究，如 Pan & Hsiao (2004) 研究在缺貨期間，供應商可視缺料的嚴重性提供不等的價格折扣，在交期需求為常態及一般分配的假設下，找出最佳的訂單數量、交期、及再訂購點。Lee et al. (2004)探討多個客戶需求，即交期為混何數個常態分配下的採購決策，並允許交貨數量非整數批次。Mohammad & Goyal (2006)則將安全存量納入考量，研究在單一供應商和購買者之間，相同或不同的批次交貨量的採購決策。



## 2.2 滾動式需求預測

在過去的文獻中，為了讓研究更容易進行，針對需求預測之選擇大多採取固定需求或是需求不確定。前者是設定需求為平均用量，如 Ryu and Lee (2003)研究由 Lead Time 變動來決定訂購量與再訂購點以降低備貨成本，Tang and Grubbstrom (2003)探討在兩階層裝配系統中，如何決定最佳交期使缺貨和存貨成本為最小。後者則假設需求為機率分配，如 Brander and Forsberg (2006)及 Tan and Tang (2006) 研究多種產品在變動需求下如何決定最佳安全存量。

但卻現實生活中的需求是無時無刻都在變動。因此後來發展出滾動式需求預測法，即 Rolling horizon approach，指需求是決定性或是服從某種機率分配下，對未來展開有限的預測期間(forecast window)的需求規劃，且通常只執行當期的下單決策；待期數更新後，再次用相同方法重新計算下單需求量。Dellaert and Jeunet (2003)研究在 Rolling Schedule 的環境下，如何讓多種產品組合的 Setup 和 Holding Cost 最小化，Spitter et al. (2005)則探討在需求不確定下，生產時間的早晚對安全存量的影響，但此兩研究均不考慮預測誤差。

Dellaert and Jeunet (2005) 假設每期需求服從均勻或是常態分配，且在總規劃期間內，以每階層物料發生的最大缺貨量設為該階層物料的安全存量，結果顯示預測期間或是交期的長短會影響下單量(Lot-Sizing)，因此也會影響總成本的表現；而各階層均設定不同安全存量則可確保服務水準達到 100%。但此研究仍假設在完全無預測誤差的情境下，與現實狀況差距甚遠。

Jeunet (2006) 提出需求及預測有其不確定性，因此不論需求為已知或是服從機率分配，估計需求量需加入預測誤差，並假設預測誤差服從常態分配，且預測誤差是隨時間增加而變大，也就是預測未來期數離目前期數越遠，誤差值就越大。因此每次展開對未來每期的需求預測，是某個分配下產生的固定值加上不同期數下的不同變異值；交期則在{1,2}的集合下隨機產生，但是每個物料的交期是固定的。研究結果顯示缺貨會因需求受預測誤差的影響而產生，但假設誤差能降到 10%~0%，成本可大幅降低 50%左右。

## 2.3 結論

過去文獻多半探討在固定需求、或無變異之滾動式需求下的存貨問題，目的是為了找出最佳交期、訂購量或安全存量，或者是降低預測需求變異來減少存貨或追求存貨成本最小化。但在實務運作中發現，需求預測變異難以掌控，而供應商圓廠的實際交期及每次交貨數量可由排程調整而提前或延後，因此本研究主要目的是以調整已下單之訂單交期的機制來因應需求預測的變異，在給定需求預測模式為常態分配、預測期數越近越準確的假設下，以安全存量及可調整交期的比例作為決策組合來驗證「交期可調」的情境是否能降低存貨或減少缺貨。





### 第三章 可調交期採購決策之數學規劃模型

本章說明本研究所發展的可調交期模型所使用的符號、參數、變數，以及數學規劃模型，並且以模擬範例說明每個變數的意義與產生步驟。

#### 3.1 符號說明

##### 標註

$i$ ：目前所在的期數(current period)， $i = 0, 1, 2, \dots, T$ ；

$j$ ：預測的標的期數(projecting period)， $j = 0, 1, 2, \dots, T$ ；

##### 參數

$T$ ：規劃總期數(planning horizon)

$L$ ：標準的交期 (normal lead time)

$f$ ：交期可調期數(adjustable periods for normal lead time)， $f=1$

交期可調區間(range of feasible lead time)： $[L-1, L+1]$

$C_h$ ：單位存貨成本(inventory holding cost)，\$/unit

$C_s$ ：單位缺貨成本(stock-out cost)，\$/unit

$p_j$ ：第  $j$  期產品銷售價格(price of product)，\$/unit

$c_j$ ：第  $j$  期產品外包成本(outsourcing cost of product)，\$/unit

##### 決策變數

$\alpha$ ：安全存量比例(ratio of safety stock over demand forecast)

$\beta$ ：可調交貨比例(percentage of purchasing quantity with adjustable lead time)

##### 變數

$F_{ij}$ ：需求預測量(forecast)

- 表示在第  $i$  期預測第  $j$  期需求量， $j > i$  時為隨機產生之固定值
- 其機率密度函數(pdf)為  $N(\mu, \sigma_{j-i})$

$$\begin{cases} \mu = x_0, & \text{for } i = 0 \\ \mu = F_{i-1,j}, & \text{for } i > 0 \\ \sigma_k = \sigma_L, & \text{for } k \geq L \quad (k^3 = j - i) \\ \sigma_k > \sigma_{k-1}, & \text{for } L \geq k \geq 2 \quad (\text{That is, } \sigma_4 > \sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1 = \sigma_0 \text{ for } L = 4) \end{cases}$$

$D_j$  : 實際需求量

- $D_j = F_{jj}$  : 在第  $j$  期實際的需求量，隨機產生的固定值

$P_{ij}$  : 下單量(PO releasing)

- 在第  $i$  期「決定」、「預估」或「顯示」第  $j$  期下單(投片)量
- 決定：當  $j = i$  時：在**第  $i$  期(本期)決定**的下單量
- 預估：當  $j > i$  時：在**第  $i$  期預估未來**第  $j$  期的下單量
- 顯示：當  $j < i$  時： $P_{ij} = P_{jj}$ ，在**第  $i$  期顯示過去**第  $j$  期下的訂單量

$Q_{ij}$  : 計劃交貨量(planned delivery)

- 在第  $i$  期「決定」、「預估」、或「顯示」第  $j$  期的「計畫交貨量」
- 決定：當  $j - i = L$  表示在**第  $i$  期下單時**，決定第  $j$  期的「計畫交貨量」
- 預估：當  $j - i > L$  表示在**第  $i$  期預估**第  $j$  期(未來)的「計畫交貨量」
- 顯示：當  $j - i < L$  表示在**第  $i$  期顯示**第  $j$  期(過去)的「計畫交貨量」
- $Q_{i,i+L} = Q_{i+1,i+L} = Q_{i+2,i+L} = \dots = Q_{i+L,i+L}$

$q_{ij}$  : 調整交貨量(adjust)

- 在第  $i$  期「決定」及「顯示」第  $j$  期調整交貨量
- 決定：當  $j = i + L - 1$  時，**決定**第  $j$  期的「調整交貨量」
- 顯示：當  $j < i + L - 1$  時，**顯示**第  $j$  期(過去)的「調整交貨量」
- $q_{ij} > 0$ ，表示  $j+1$  期前的累計需求上升，第  $j+1$  期的「計畫交貨量」，  
提前到第  $j$  期交貨的數量
- $q_{ij} < 0$ ，表示  $j+1$  期前的累計需求下滑，第  $j$  期的「計畫交貨量」，延  
後到第  $j+1$  期交貨的數量

$Q'_{ij}$  : 交貨確認量(revised delivery)

- 在第  $i$  期「決定」及「顯示」第  $j$  期的交貨量
- 當  $j - i = L - 1$  時，「決定」：**在**本期(第  $i$  期)決定****第  $j$  期的交貨量
- 當  $j - i < L - 1$  時，「顯示」**過去已決定**第  $j$  期的交貨量

<sup>3</sup> 後續爲了方便說明，以  $k$  代表未來期數( $j$ )與目前期數( $i$ )之差距期數

$I_{ij}$  : 期末庫存量(EOH, ending inventory on hand)

- 若  $j > i$  : 在第  $i$  期預估第  $j$  期期末庫存
- 若  $j \leq i$  : 表示第  $j$  期的實際期末庫存
- $I_j^+$  : 期末存貨量(inventory on the end of period) :  $I_j^+ = \max(I_j, 0)$
- $I_j^-$  : 期末缺貨量(shortage on the end of period) :  $I_j^- = -\min(I_j, 0)$

### 3.2 數學規劃模型

目標式：利潤函數

$$\text{Max. Profit} = \sum_{j=0}^T \{(p_j - c_j) \cdot (D_j - I_j^-) - (C_h \cdot I_j^+ + C_s \cdot I_j^-)\} \quad (1)$$

限制式：

$$P_{i,j} = F_{i,j+L} + \alpha * F_{i,j+L+1} - I_{i,j+L-1} + q_{i,j+L-1} \quad (2)$$

$$q_{i,j} = [(F_{i,j} + \alpha * F_{i,j+1}) - (I_{i,j-1} + Q_{i,j})] * \beta \quad \text{for } j = i + L - 1 \text{ only} \quad (3)$$

$$Q_{i,j} = P_{i,j-L} - q_{i,j-1} \quad (4)$$

$$Q'_{i,j} = Q_{i,j} + q_{i,j-1} \quad (5)$$

$$I_{i,j} = I_{i,j-1} + Q'_{i,j} - F_{i,j} \quad ; i=j \text{ 時, } F_{ij} = D_j \quad (6)$$

目標函數是計算每期累計的總利潤，包含正項收益以及負項成本支出兩個部份。當期末有存貨時，代表當期售出量為實際需求量，實際收益為  $(p_j - c_j) \cdot D_j$ ；若期末有缺貨發生，表示當期售出量少於為實際需求量，實際售出量為需求量減去缺貨量，實際收益為  $(p_j - c_j) \cdot (D_j - I_j^-)$ 。成本支出部分包括外包成本、庫存成本及缺貨成本。

公式(2)是依存貨恆等式計算出每期下單量  $P_{ij}$ ：下單量=預估需求-預估供給。

預估需求為預估交期之後 ( $j=i+L$ ) 之需求，以及該期之安全存量；而安全存量假設以次期需求的百分比做為基準。與傳統MRP不同的是，本研究加上依需求變動所產生的交貨調整量 $q_{i,j}$ ，若 $q_{i,j} > 0$ 代表本期訂單原本預計在第 $j=i+L$ 期交貨的量，需提前在第 $i+L-1$ 期交，因此本期的訂單需增加；反之， $q_{i,j} < 0$ 則代表前一期訂單預計第 $i+L-1$ 期交貨延到下一期( $i+L$ )交貨，因此本期的訂單可以少下。

公式(3)仍是以存貨恆等式的概念計算交貨調整量( $q_{i,j}$ )，此式只有在可調整區間 $[L-1, L+1]$ 有效，需求部份為預測需求( $F_{i,j+1}$ )及以部份次期需求為安全存量，供給則是前期存貨( $I_{i,j-1}$ )加上當期預估交貨( $Q_{i,j}$ )量，而供給與需求之間給定一個適合的比例( $\beta$ )，相乘所得的結果便是交貨調整量。若 $\beta = 0$ ，即與傳統MRP相同，指完全不調整交貨量；若 $0 < \beta < 1$ ，代表調整部份交貨， $\beta = 1$ 則代表兩期預估需求的差異量全部作為調整的依據。

傳統MRP假設下單量即為交貨量，而本研究可依預測需求的變動調整交貨，因此預計交貨量是訂單量扣除前一期的交貨調整量。假設前一期的交貨調整量為負值，代表本期預計交貨量比下單量還多；反之，若前一期的交貨調整量為正數，代表本期預計交貨量已經部份調整至前期交貨，所以本期預計交貨量會比下單量少，以公式(4)表示之。公式(5)則說明交貨確定量為預計交貨量加上調整量，與上述觀念相同，當調整量為正數時，代表當期的交貨確定量比預計交貨量多，差異的部份是次期的訂單提前交貨；反之，若調整量為負值，則代表當期的部份預計交貨量延至次期交貨。

公式(6)是存貨恆等式：本期存貨=前期存貨+本期交貨-本期需求。若本期存貨量為負值代表供給不足而缺貨，缺貨量即意味喪失商機而無法至下一期補貨；若本期存貨為正值，表示有存貨可供下一期需求。

本研究欲以模擬的方式找出在何種決策變數組合下，可最大化利潤函數。下一節以範例詳細說明每一決策變數可能狀況，而決策變數產生步驟則列於第四章。

### 3.3 變數範例說明

#### 3.3.1 下單量： $P_{ij}$

$P_{ij}$  表示第  $i$  期「決定」、「預估」、「顯示」第  $j$  期的下單量，所以此變數代表三種可能含意。茲以某次隨機產生需求、 $L = 4$  的情境，目前期數是第 2 期為例 (圖 4.)，將  $P_{ij}$  說明如下：

本期： $i=2$

Case 1：「顯示」本期前下的訂單 ( $j < i$ )

本期前：第 0 期時已下單量  $P_{20} = P_{10} = P_{00} = 87$ ，

本期前：第 1 期時已下單量  $P_{21} = P_{11} = 145$

Case 2：「決定」本期的下單 ( $j = i$ )

本期：第 2 期 (本期) 決定下單  $P_{22} = 108$

Case 3：「預估」未來的下單 ( $j > i$ )

預估第 3 期的下單量為  $P_{23} = 88$

		未來期數 (→)									
		符號	目前期數 (↓)	0	1	2	3	4	5	6	7
FCST	$F_{ij}$	2	0	0	0	0	90	124	106	82	
S.S		2	0	0	0	0	31	26	20	26	
PO Releasing	$P_{ij}$	2	87	145	108	88	98	68	35		
Planned Delivery	$Q_{ij}$	2	0	0	0	0	87	106	100	88	
Adjust	$q_{ij}$	2	0	0	0	0	39	8			
Revised Delivery	$Q'_{ij}$	2	0	0	0	0	126	114			
EOH	$I_{ij}$	2	0	0	0	0	36	26	20	26	

圖 4. 範例：第 2 期供需模式(說明下單量)

在上述 Case 1 和 Case 2 中， $P_{ij}$  是已經確認的下單量，而已確定的訂單無法取消。以 Case 1 為例， $P_{20}$  的數量是由  $P_{00}$  決定，因為此下單量是在第 0 期決定，下單後即構成買賣雙方的承諾，此承諾未來不能再改變，因此  $P_{00} = P_{10} = P_{20} = P_{k0}$  ( $k > 0$ )。同理，在 Case 2 中， $P_{22} = 108$  是第 2 期確認的承諾，此承諾未來不能再改變，所以  $P_{22} = P_{32} = P_{42} = P_{k2}$  ( $k > 2$ )。

在 Case 3 中， $P_{23} = 88$  是在第 2 期「預估」第 3 期的下單量，此數值只是預估，並未形成買賣雙方的承諾，因此未來第 3 期的下單量可能會改變，亦即  $P_{23}$  未必會等於  $P_{33}$ 。同理， $P_{24}$ 、 $P_{25}$  都是預估的下單量。此預估下單量雖然不是承諾，但仍須計算，以便預估未來各期的期末存貨。

### 3.3.2 計劃交貨數量： $Q_{ij}$

$Q_{ij}$  表示第  $i$  期「決定」、「預估」、或「顯示」第  $j$  期的「計畫交貨量」，所以此變數有三種狀態。茲以上一節相同範例、目前期數是第 2 期為例(圖 5)，將  $Q_{ij}$  說明如下：

本期： $i=2$

Case 1：「顯示」過去決策 ( $j < i+L$ )

第 4 期的「計畫交貨量」 $Q_{24} = 87$ ，於第 0 期（過去）下單時決定

第 5 期的「計畫交貨量」 $Q_{25} = 106$ ，於第 1 期（過去）下單時決定

Case 2：「決定」本期決策 ( $j = i+L$ )

第 6 期的「計畫交貨量」 $Q_{26} = 100$ ：在第 2 期（本期）下單時決定

Case 3：「預估」未來決策 ( $j > i+L$ )

第 7 期的「計畫交貨量」 $Q_{27} = 88$ ，本期預估、但尚未正式下單

- 決策法則：「計畫交貨量」= 下單量-前期調整量

下單時即計畫標準交期的交貨量，標準交期的計畫交貨量需扣除提前交貨量，或是加上延後交貨量：

第 1 期下單 145，第 5 期計畫交 106 = 145 - 39 (提前於第 4 期交貨)

第 2 期下單 108，第 6 期計畫交 100 = 108 - 8 (提前於第 5 期交貨)

- 顯示過去資訊的公式

- $Q_{04} = Q_{14} = Q_{24} = Q_{34} = Q_{44}$

- $Q_{15} = Q_{25} = Q_{35} = Q_{45} = Q_{55}$

- $Q_{i, i+L} = Q_{i+1, i+L} = \dots = Q_{i+L, i+L}$

		未來期數 (→)									
		符號	目前期數 (↓)	0	1	2	3	4	5	6	7
FCST	$F_{ij}$	2	2	0	0	0	0	90	124	106	82
S.S		2	2	0	0	0	0	31	26	20	26
PO Releasing	$P_{ij}$	2	2	87	145	108	88	98	68	35	
Planned Delivery	$Q_{ij}$	2	2	0	0	0	0	87	106	100	88
Adjust	$q_{ij}$	2	2	0	0	0	0	39	8		
Revised Delivery	$Q'_{ij}$	2	2	0	0	0	0	126	114		
EOH	$I_{ij}$	2	2	0	0	0	0	36	26	20	26

圖 5. 範例：第 2 期供需模式(說明標準交期計劃交貨量)



### 3.3.3 調整交貨量： $q_{ij}$

$q_{ij}$  表示在第  $i$  期「決定」或「顯示」第  $j$  期調整交貨量。因交期可調區間為  $[L-1, L+1]$ ，所以容許調整交貨的決策是發生在  $j = i + L - 1$  期。以目前期數是分別第 2 期(圖 6.)及第 3 期(圖 7.)為例，分別就需求增加及減少說明  $q_{ij}$ ：

#### Case 1：需求增加

本期： $i=2$

- 需求預估值增加，因此本期訂單需部分提前至第 5 期交貨： $q_{25} = 8$
- 其餘數量  $Q_{26} = 100$ ，仍依標準交期於第 6 期交貨
- 調整後，第五期交貨量： $Q'_{25} = Q_{25} + q_{25} = 106 + 8 = 114$
- 下單時作的決策：本訂單部份數量提前一期交貨
- 下單量 = 計畫交貨量+ 提前交期數量： $P_{22} = Q_{26} + q_{25}$

		未來期數 (→)									
		符號	目前期數 (↓)	0	1	2	3	4	5	6	7
FCST	$F_{ij}$	2	2	0	0	0	0	90	124	106	82
S.S		2	2	0	0	0	0	31	26	20	26
PO Releasing	$P_{ij}$	2	2	87	145	108	88	98	68	35	
Planned Delivery	$Q_{ij}$	2	2	0	0	0	0	87	106	100	88
Adjust	$q_{ij}$	2	2	0	0	0	0	39	8		
Revised Delivery	$Q'_{ij}$	2	2	0	0	0	0	126	114		
EOH	$I_{ij}$	2	2	0	0	0	0	36	26	20	26

圖 6. 範例：第 2 期供需模式(說明「需求增加」的調整交貨量)

#### Case 2: 需求減少

相同情境下，到了第 3 期：

- 第 3 期預估前 7 期累計需求較第 2 期預估少
- 第 2 期下單( $P_{22} = 108$ )時，決定第 6 期標準交期數量  $Q_{26} = Q_{36} = 100$  個，現在撥出 41 個( $q_{36} = -41$ )，延後至第 7 期再交貨
- 第 6 期調整後的交貨量： $Q'_{36} = Q_{36} + q_{36} = 100 + (-41) = 59$

		未來期數 (→)									
		符號	目前期數 (↓)	0	1	2	3	4	5	6	7
FCST	$F_{ij}$	3	0	0	0	0	94	84	95	105	
S.S		3	0	0	0	0	21	23	26	34	
PO Releasing	$P_{ij}$	3	87	145	108	72	132	109	70		
Planned Delivery	$Q_{ij}$	3	0	0	0	0	87	106	100	113	
Adjust	$q_{ij}$	3	0	0	0	0	39	8	-41		
Confirmed Deliver	$Q'_{ij}$	3	0	0	0	0	126	114	59		
EOH	$I_{ij}$	3	0	0	0	0	32	62	26	34	

圖 7. 第 3 期供需模式(說明「需求減少」的調整交貨量)

### 3.3.4 交貨確認量： $Q'_{ij}$

$Q'_{ij}$ 表示第*i*期「決定」及「顯示」第*j*期的交貨量。因交期可調區間限制為 $[L - 1, L + 1]$ ，所以第*j*期的交貨量是在第*j*-3 期( $i = j - L + 1 = j - 3$ )這個時點確認。以上一節相同情境、目前期數是第 3 期(圖 8.)為例，說明交貨確認量 $Q'_{ij}$ 如下：

本期： $i = 3$

Case 1：「顯示」過去決策 ( $i < j - 3$ )

第 4 期的交貨量 $Q'_{34} = 126$ ，於第 1 期（過去）時決定

第 5 期的交貨量 $Q'_{35} = 114$ ，於第 2 期（過去）時決定

Case 2：「決定」本期決策 ( $i = j - 3$ )

第 6 期的交貨量 $Q'_{36} = 59$ ：在第 3 期（本期）時決定

		未來期數 (→)									
		符號	目前期數 (↓)	0	1	2	3	4	5	6	7
FCST	$F_{ij}$	3	0	0	0	0	94	84	95	105	
S.S		3	0	0	0	0	21	23	26	34	
PO Releasing	$P_{ij}$	3	87	145	108	72	132	109	70		
Planned Delivery	$Q_{ij}$	3	0	0	0	0	87	106	100	113	
Adjust	$q_{ij}$	3	0	0	0	0	39	8	-41		
Confirmed Deliver	$Q'_{ij}$	3	0	0	0	0	126	114	59		
EOH	$I_{ij}$	3	0	0	0	0	32	62	26	34	

圖 8. 範例：第 3 期供需模式(說明交貨確認量)



### 3.3.5 期末庫存量： $I_{ij}$

若  $j > i$ ， $I_{ij}$  表示在第  $i$  期預估第  $j$  期期末庫存；若  $j \leq i$ ，則表示第  $j$  期的實際期末庫存。以上一節相同情境、目前期數是第 3 期(圖 9.)為例，說明期末庫存量  $I_{ij}$  如下：

本期： $i=3$

Case 1：「顯示」過去實際期末存量 ( $i > j$ )

過去第  $j=0、1、2$  期的實際期末庫存為 0

( $I_0=0、I_1=0、I_2=0$ )

Case 2：「決定」本期實際期末存量 ( $i = j$ )

本期第 3 期的實際期末存量為 0 ( $I_{33}=0$ )

Case 3：本期「預估」未來期末存量 ( $i < j$ )

未來第 4 期的預估期末存量為： $I_{34}=32$

未來第 5 期的預估期末存量為： $I_{35}=62$

未來第 6 期的預估期末存量為： $I_{36}=26$

未來第 7 期的預估期末存量為： $I_{37}=34$

	符號	目前期數 (↓)	未來期數 (→)							
			0	1	2	3	4	5	6	7
FCST	$F_{ij}$	3	0	0	0	0	94	84	95	105
S.S		3	0	0	0	0	21	23	26	34
PO Releasing	$P_{ij}$	3	87	145	108	72	132	109	70	
Planned Delivery	$Q_{ij}$	3	0	0	0	0	87	106	100	113
Adjust	$q_{ij}$	3	0	0	0	0	39	8	-41	
Confirmed Deliver	$Q'_{ij}$	3	0	0	0	0	126	114	59	
EOH	$I_{ij}$	3	0	0	0	0	32	62	26	34

圖 9. 範例：第 3 期供需模式(說明期末存量)

## 第四章 各期採購決策的範例說明

本章說明本研究的可調交期決策展開步驟、範例使用參數及起始設定如下。

### 4.1 參數設定

本研究假設需求預測符合常態分配，以下範例的設定參數值如下：

- 常態分配之平均數、標準差分別為： $x_0 = 100$ 、 $\sigma^2 = 36$
- $\sigma_0 = \sigma_1 = \sigma$ 、 $\sigma_2 = 2\sigma$ 、 $\sigma_3 = 3\sigma$ 、 $\sigma_4 = \sigma_5 = \sigma_6 = \dots = 4\sigma$
- 規劃總期數： $T = 10$
- 標準交期為 4 期： $L = 4$
- 可調交期期數為 1 期： $f = 1$ ，即可調交期區間為 $[L - 1, L + 1]$ ，也就是交期可調整為 3 期或 5 期
- 缺貨成本=5，庫存成本=2，售價與外包成本的差值=10
- 決策變數安全存量比  $\alpha$  與交期可調整比  $\beta$  各設定為 0.25 與 1，計算產生的安全存量只取整數，無條件捨去小數點

### 4.2 起始設定

假設起始時( $i = 0$ )無存貨，前 3 期 ( $j \leq 3$ )亦無需求及交貨量，因此起始的供需模式如下(圖 10.)：

	符號	目前期數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FCST	$F_{ij}$	0	0	0	0	0							
S.S		0	0	0	0	0							
PO Releasing	$P_{ij}$	0											
Planned Delivery	$Q_{ij}$	0	0	0	0	0							
Adjust	$q_{ij}$	0	0	0	0	0							
Revised Delivery	$Q'_{ij}$	0	0	0	0	0							
EOH	$I_{ij}$	0	0	0	0	0							

圖 10. 起始(第 0 期)的供需模式

接著依常態分配隨機產生第 0 期預估未來 1~10 期的各期需求，各期安全存量隨之產生如下(圖 11.)：

	符號	未來期數 →											
		目前期數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FCST	$F_{ij}$	0	0	0	0	0	63	99	96	83	101	90	58
S.S		0	0	0	0	0	24	24	20	25	22	14	
PO Releasing	$P_{ij}$	0											
Planned Delivery	$Q_{ij}$	0	0	0	0	0							
Adjust	$q_{ij}$	0	0	0	0	0							
Revised Delivery	$Q'_{ij}$	0	0	0	0	0							
EOH	$I_{ij}$	0	0	0	0	0							

圖 11. 第 0 期產生需求預估及安全存量

### 4.3 決策展開步驟

各期決策展開步驟如下：

#### Step 0：產生【需求預測模型】

- Rolling forecast： $F_{i,j}$ ：a random variable with pdf  $N(\mu, \sigma_{j-i})$ ，
  - $\mu = x_0$ ，for  $i = 0$  第 0 期的預測是平均值為 100 下的常態分配
  - $\mu = F_{i-1,j}$ ，for  $i > 0$  第 1 期以後的預測是以前一期預測值為平均值下的常態分配
- $\begin{cases} \sigma_k = \sigma_L, \text{ for } k \geq L & (k^4 = j - i) \\ \sigma_k > \sigma_{k-1}, \text{ for } L \geq k \geq 2 & (\text{That is, } \sigma_4 > \sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1 = \sigma_0 \text{ for } L = 4) \end{cases}$
- Realized demand： $D_j = F_{j,j}$ ：a random variable with pdf  $N(x_0, \sigma_0)$ ，
- Standard deviation:
  - $\sigma_k = \sigma_L$  for  $k \geq L$
  - $\sigma_k > \sigma_{k-1}$  for  $L \geq k \geq 2$  (That is,  $\sigma_4 > \sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1 = \sigma_0$ )

#### Step 1：【決策 1】【下單量 = ?】

$$P_{i,j} = F_{i,j+L} + \alpha * F_{i,j+L+1} - I_{i,j+L-1} + q_{i,j+L-1}$$

- $F_{i,j+L} + \alpha * F_{i,j+L+1}$ ：需求預估 = 第  $(j+L)$  期需求預測 + 安全存量
- $I_{i,j+L-1}$ ：第  $(j+L-1)$  期期末存量
- $q_{i,j+L-1}$ ：第  $(j+L-1)$  期的交貨調整量
- Case 1：將第  $(j+L-1)$  期的計劃交貨數，部分延到第  $i$  期交貨  
【 $q_{i,j+L-1} < 0$ 】

<sup>4</sup> 後續為了方便說明，以  $k$  代表未來期數  $(j)$  與目前期數  $(i)$  之差距期數

- Case 2：將第 $(j + L)$ 期的計劃交貨量，部分提前第 $(j + L - 1)$ 期交貨  
【 $q_{i,j+L-1} \geq 0$ 】

Step 2：【決策 2】【交期調整量 = ?】

$$q_{i,j} = [(F_{i,j} + \alpha * F_{i,j+1}) - (I_{i,j-1} + Q_{i,j})] * \beta$$

交貨調整量 = 預估需求量 - 預估供給量

Step 3：【結果】【計畫交貨量 = ?】【在第 $i$ 期「規劃」於第 $i+L$ 期交貨的數量】

$$Q_{i,j} = P_{i,j-L} - q_{i,j-1}$$

【Case 1： $q_{i,j-1} \geq 0$ 】

- $Q_{i,j}$ ：在第 $i$ 期下單時，規劃第 $j=i+L$ 期交貨的數量
- $P_{i,j-L}$ ：第 $i$ 期決定下單的數量
- $q_{i,j-1}$ ：訂單 $P_{i,j-L}$ 提前一期交貨的數量（在第 $i+L-1$ 期交貨）

【Case 2:  $q_{i,j-1} < 0$ 】

- $Q_{i,j}$ ：在第 $i$ 期下單時，規劃第 $j=i+L$ 期交貨的數量
- $P_{i,i}$ ：第 $i$ 期決定下單的數量
- $q_{i,j-1}$ ：原規劃在第 $j=i+L$ 期交貨，延後到第 $i+L+1$ 期交貨的數量

Step 4：【結果】【修正後交貨量】：第 $i$ 期「確認」於第 $i+L-1$ 的交貨量

$$Q'_{i,j} = Q_{i,j} + q_{i,j-1}$$

修正後交貨量 = 計畫交貨量 + 交貨調整量

Step 5：【存貨平衡等式】

$$I_{i,j} = I_{i,j-1} + Q'_{i,j} - F_{i,j}$$

本期期末存量 = 前期期末存量 + 本期修正後交貨量 - 本期需求量

Step 6：【換期時的資料更新】

目前期數( $i$ )跳至下一期( $i+1$ )時，所有變數資料更新方式：

目前期數( $i=2$ )：

- 「顯示」性資訊可直接知道，如  $Q_{14} \rightarrow Q_{24}$ 、 $q_{14} \rightarrow q_{24}$
- 「決定」資訊需計算，如  $P_{22}$ 、 $q_{25}$ 、 $Q'_{25}$ 、 $Q_{26}$
- 「預估」性資訊需計算，如  $P_{23}$ 、 $P_{24} \dots$ 、 $Q_{27}$ 、 $Q_{28} \dots$

下一期數( $i=3$ )：

- 「顯示」性資訊可直接知道，如  $P_{22} \rightarrow P_{32}$ 、 $Q_{26} \rightarrow Q_{36}$ 、 $q_{25} \rightarrow q_{35}$

		未來期數												
		符號	目前期數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FCST	$F_{ij}$		2	0	0	0	0	90	124	106	82	105	76	46
S.S			2	0	0	0	0	31	26	20	26	19	11	
PO Releasing	$P_{ij}$		2	87	145	108	88	98	68	35				
Planned Delivery	$Q_{ij}$		2	0	0	0	0	87	106	100	88	98	68	35
Adjust	$q_{ij}$		2	0	0	0	0	39	8					
Revised Delivery	$Q'_{ij}$		2	0	0	0	0	126	114					
EOH	$I_{ij}$		2	0	0	0	0	36	26	20	26	19	11	0
FCST	$F_{ij}$		3	0	0	0	0							
S.S			3	0	0	0	0							
PO Releasing	$P_{ij}$		3	87	145	108								
Planned Delivery	$Q_{ij}$		3	0	0	0	0	87	106	100				
Adjust	$q_{ij}$		3	0	0	0	0	39	8					
Confirmed Delivery	$Q'_{ij}$		3	0	0	0	0	126	114					
EOH	$I_{ij}$		3	0	0	0	0	32	62					

圖 12. 換期時的資料更新

#### Step 7：【展開下一期供需模式】

若  $i < T$ ，則重回 Step 0；若  $i > T$ ，則跳至 Step 8

#### Step 8：【計算利潤函數】

$$\text{Profit} = \sum_{j=0}^T \{(p_j - c_j) \cdot (D_j - I_j^-) - (C_h \cdot I_j^+ + C_s \cdot I_j^-)\}$$

#### 4.4 範例說明

本小節以三個範例分別說明如何決定下單量( $P_{ij}$ )、計劃交貨量( $Q_{ij}$ )，以及調整交貨量( $q_{ij}$ )，範例情境假設 $\alpha=0.25$ 、平均值為 100、變異數為 36。

**Example【1】**：如何決定「下單量」？如圖 13.說明。

$$P_{i,j} = F_{i,j+L} + \alpha * F_{i,j+L+1} - I_{i,j+L-1} + q_{i,j+L-1}$$

- $i = 3$ 、 $j = 7$ 、 $L = 4$
- 目前期數為  $i = 3$  的訂單為預估第 7 期需求所下
- $P_{33} = 72 = F_{37} + 0.25 F_{38} - I_{36} + q_{36} = 105 + 34 - 26 + (-41)$ ，
- 其中扣除 41 為第 2 期所下訂單 108 延遲交貨，所以本期可以少下訂單。

		未來期數 (→)											
符號		目前期數 (↓)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FCST	$F_{ij}$	3	0	0	0	0	94	84	95	105	138	114	93
S.S		3	0	0	0	0	21	23	26	34	28	23	
PO Releasing	$P_{ij}$	3	87	145	108	72	132	109	70				
Planned Delivery	$Q_{ij}$	3	0	0	0	0	87	106	100	113	132	109	70
Adjust	$q_{ij}$	3	0	0	0	0	39	8	-41				
Confirmed Deliver	$Q'_{ij}$	3	0	0	0	0	126	114	59				
EOH	$I_{ij}$	3	0	0	0	0	32	62	26	34	28	23	0

圖 13. 範例：第 3 期的下單決策

**Example 【2】**：如何決定「計畫交貨量」？如圖 14 說明。

$$Q_{i,j} = P_{i,j-L} - q_{i,j-1} \quad (q_{i,i+k} = 0 \text{ for } k \geq L)$$

計畫交貨量有三種可能：以目前期數  $i=3$  為例，

1) 交貨預估量 = 訂單量

【尚未下的訂單，是尚未執行的決策，則調整交貨量  $q_{i,i+k} = 0$ 】

預估第 4 期需下訂單 132，第 8 期交貨

$$Q_{3,8} = P_{3,8-4} - q_{3,8-1} = 132 - (0) = 132$$

$$q_{3,7} = 0 \text{ (that is, } q_{i,i+k} = 0 \text{ for } k \geq L)$$

2) 交貨預估量 > 訂單量

【改變前期已經下的決策，延後交】

目前期數為  $i=3$  的訂單為預估第 7 期需求所下，所以未來第 7 期的預估交貨量為：

$$Q_{3,7} = P_{3,7-4} - q_{3,7-1} = 72 - (-41) = 113$$

→ 當期訂單下 72，但前期訂單延後交貨 41，所以共交貨 113

		未來期數 (→)											
符號		目前期數 (↓)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FCST	$F_{ij}$	3	0	0	0	0	94	84	95	105	138	114	93
S.S		3	0	0	0	0	21	23	26	34	28	23	
PO Releasing	$P_{ij}$	3	87	145	108	72	132	109	70				
Planned Delivery	$Q_{ij}$	3	0	0	0	0	87	106	100	113	132	109	70
Adjust	$q_{ij}$	3	0	0	0	0	39	8	-41				
Confirmed Deliver	$Q'_{ij}$	3	0	0	0	0	126	114	59				
EOH	$I_{ij}$	3	0	0	0	0	32	62	26	34	28	23	0

圖 14. 範例：第 3 期的交貨預估量決策

3) 交貨預估量 < 訂單量

第 2 期所下訂單為 108，預計第 6 期交貨，但其中有 8 個預計第 5 期交貨，

因此第 6 期預計交貨為： $Q_{2,6} = P_{2,6-4} - q_{2,6-1} = 108 - (8) = 100$

**Example 【3】**：如何決定交貨調整量？

$$q_{i,j} = [(F_{i,j} + \alpha * F_{i,j+1}) - (I_{i,j-1} + Q_{i,j})] * \beta \quad \text{【for } j = i + L - 1 \text{ only】}$$

**【Case1】** 以目前期數  $i = 3$  為例，預估未來第  $j = i + L - 1 = 6$  期

- 預估供給：期初存貨 + 交貨量 =  $I_{i,j-1} + Q_{i,j} = 62 + 100 = 162$

- 預估需求： $F_{i,j} + \alpha * F_{i,j+1} = 95 + 26 = 121$

- 交期尚在可調整範圍內，所以可調整：

$$q_{3,6} = [(F_{3,6} + \alpha * F_{3,6+1}) - (I_{3,6-1} + Q_{3,6})] * \beta = (95 + 26) - (62 + 100) = -41 < 0$$

- 前期( $i = 2$ )訂單延後至第 7 期交貨！

**【Case 2】** 以前期期數  $i = 2$  為例，當時預估第 5 期供給不足需求，故調整：

- $q_{2,5} = [(F_{2,5} + \alpha * F_{2,5+1}) - (I_{2,5-1} + Q_{2,5})] * \beta = (124 + 26) - (36 + 106) = 8 > 0$

- 當期( $i = 2$ )訂單延需提前至第 5 期交貨！

		未來期數 (→)												
		符號	目前期數 (↓)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FCST	$F_{ij}$	2	0	0	0	0	0	90	124	106	82	105	76	46
S.S		2	0	0	0	0	0	31	26	20	26	19	11	
PO Releasing	$P_{ij}$	2	87	145	108	88	98	98	68	35				
Planned Delivery	$Q_{ij}$	2	0	0	0	0	87	106	100	88	98	68	35	
Adjust	$q_{ij}$	2	0	0	0	0	39	8						
Revised Delivery	$Q'_{ij}$	2	0	0	0	0	126	114						
EOH	$I_{ij}$	2	0	0	0	0	36	26	20	26	19	11	0	
FCST	$F_{ij}$	3	0	0	0	0	94	84	95	105	138	114	93	
S.S		3	0	0	0	0	21	23	26	34	28	23		
PO Releasing	$P_{ij}$	3	87	145	108	72	132	109	70					
Planned Delivery	$Q_{ij}$	3	0	0	0	0	87	106	100	113	132	109	70	
Adjust	$q_{ij}$	3	0	0	0	0	39	8	-41					
Confirmed Deliver	$Q'_{ij}$	3	0	0	0	0	126	114	59					
EOH	$I_{ij}$	3	0	0	0	0	32	62	26	34	28	23	0	

圖 15. 範例：第 2、3 期的交貨調整量決策

## 第五章 模擬驗證

本章根據第 3 章數學規劃模型及第 4 章的決策步驟展開模擬，以下兩小節說明參數設定以及結果與分析。

### 5.1 參數設定

- 固定參數：
  - 模擬期數： $T = 10$
  - 標準交期： $L = 4$
  - 交期調整期數為 1，交期可為  $\{3, 4, 5\}$  期
  - 預測需求平均值： $x_0 = 100$
  - 預測需求變異數： $\sigma^2 = 30, 40, 50$
  - 單位存貨成本： $C_h = 2, 7$
  - 單位缺貨成本： $C_s = 5$
  - 銷售成本與外包成本差值： $p_j - c_j = 10$
- 決策變數：
  - 安全存量比： $\alpha = 0, 0.1, 0.2, \dots, 1$
  - 可調整交貨比： $\beta = 0, 0.1, 0.2, \dots, 1$

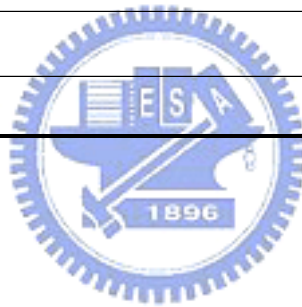
在同一組符合常態分配亂數產生的預測需求下，設定高利潤(較低的庫存成本， $C_h = 2$ )及低利潤(較高的庫存成本， $C_h = 7$ )兩種獲利模式下，模擬三個不同變異數分別代表需求預測變異的大、中、小共六種情境，每種情境模擬 15 次，每次作決策變數  $\alpha$ 、 $\beta$  的全數搜尋，共可得 90 組資料，每組產生 121 筆決策變數組合下的利潤值，故總計產生 10890 筆模擬數據。

而每期需求預測的產生是服從以下規則： $i = 0$  期的常態分佈平均值為參數  $x_0 = 100$ ； $i > 0$  期之後則以前一期的預測值作為平均值，且遵循“預測期數越近越準確”的規則，如表 1. 為低利潤 + 低變動情境下 Run1 的每期需求預測展開，預測數值下方標示每期  $\sigma$  變化。



表 1. 低利潤、低變動 Run1 的每期需求預測

未來期數(→)		目前期數(↓)						
		4	5	6	7	8	9	10
0		68	92	119	96	99	114	109
		4σ	4σ	4σ	4σ	4σ	4σ	4σ
1		64	126	143	76	101	89	89
		3σ	4σ	4σ	4σ	4σ	4σ	4σ
2		55	108	156	44	80	120	107
		2σ	3σ	4σ	4σ	4σ	4σ	4σ
3		59	105	160	83	84	175	85
		σ	2σ	3σ	4σ	4σ	4σ	4σ
4		74	102	172	94	79	154	68
		σ	σ	2σ	3σ	4σ	4σ	4σ
5			103	183	94	109	166	78
			σ	σ	2σ	3σ	4σ	4σ
6				181	91	90	185	102
				σ	σ	2σ	3σ	4σ
7					89	95	183	106
					σ	σ	2σ	3σ
8						89	174	118
						σ	σ	2σ
9							175	112
							σ	σ
10								106
								σ



## 5.2 結果與分析

在相同情境下產生的 15 次模擬結果，可由表 2.說明當在低利潤、低變動 ( $\sigma^2 = 30$ )情境下，固定交期模式將安全存量比設為 0.1 時可獲得最高利潤。表 3 則說明假設交期可調整，安全存量比為 0、且可調整交貨比為 1 時可得最高利潤，此利潤比安全存量為 0、但是交期不可調整的情境高出 11%。其他情境的模擬結果列於附件。

表 2. 低利潤、低變動情境下固定交期模擬結果

安全存量比 (α)	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8	Run9	Run10	Run11	Run12	Run13	Run14	Run15	Sum
	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	
0	6374	6286	4303	4947	6222	7107	6886	4866	6704	4478	6338	4163	4755	4988	5454	83871
0.1	6563	6445	4117	4736	6248	7432	6579	5097	7218	4276	6228	4539	4363	4867	5786	84494
0.2	6581	6136	3925	4372	5791	7362	6258	5174	7506	3943	6112	4696	3950	4482	6141	82429
0.3	6447	5841	3467	4015	5532	7167	5937	5295	7229	3537	5919	4728	3530	4090	6276	79010
0.4	6320	5525	3292	3637	5119	6789	5616	5012	6960	3138	5601	4704	3124	3705	5905	74447
0.5	6157	4775	2858	3273	4699	6187	5113	4700	6500	2732	5188	4434	2704	3313	5527	68160
0.6	5839	4789	2445	2923	4286	5893	4630	4403	6017	2347	4789	4077	2298	2928	5163	62827
0.7	5514	4355	1997	2552	3880	5368	4133	4098	5506	1955	4383	3699	1892	2543	4799	56674
0.8	5204	3914	1570	2188	3460	4836	3636	3787	5009	1542	3970	3335	1472	2151	4421	50495
0.9	4864	3487	1136	1831	3054	4311	3139	3482	4505	1143	3557	2964	1059	1766	4057	44355
1	4423	3032	688	1446	2620	3765	2614	3170	3994	737	3137	2572	625	1360	3665	37848

表 3. 低利潤、低變動情境下可調交期模擬結果



整理六種情境下，各 15 次模擬所得利潤總和為最大的決策變數：安全存量比與交期可調比結果如表 4，顯示不論在利潤、需求預測變動高或低情境下，可調交期的運作模式所獲得的利潤優於傳統 MRP 固定交期的運作方式。

表 4. 利潤總和最大下的比例設定

低利潤	低變動	中變動	高變動
最大利潤下的比例設定	$\sigma^2 = 30$	$\sigma^2 = 40$	$\sigma^2 = 50$
固定交期之安全存量比	0.1	0.1	0.1
可調交期之安全存量比	0	0.1	0.1
可調交期比	1	1	1
增加利潤百分比	11%	9%	12%

高利潤	低變動	中變動	高變動
最大利潤下的比例設定	$\sigma^2 = 30$	$\sigma^2 = 40$	$\sigma^2 = 50$
固定交期之安全存量比	0.3	0.3	0.5
可調交期之安全存量比	0.2	0.1	0.2
可調交期比	1	1	1
增加利潤百分比	4%	7%	13%

以此六組模擬情境資料看來，可歸納出以下幾個結論：

- (1) 在傳統固定交期的運作模式下，高利潤的產品須調高安全存量比以因應需求預測的變動，但在「交期可調整」的機制下仍可保持低安全存量，使存貨週轉率高、有效降低存貨。
- (2) 在「交期可調整」的機制下，交貨量隨需求變動全部調整 ( $\beta=1$ ) 比部份調整更可創造較佳的利潤。
- (3) 若「交期可調整」的運作是需要付費，上限為不超過增加利潤最小百分比 4%，即可增加公司利潤。

## 第六章 結論與未來研究方向

### 6.1 結論

本研究探討 IC 設計公司的晶圓訂單在可調整交期情境下是否可有效降低庫存、創造較高的利潤。本研究假設 IC 設計公司在需求預估符合常態分配的情境下，可以在可調整交期區間內，依未來需求預估量的增加或是減少，來決定前期或是當期訂單要提前、準時、或延後交貨的數量。目的是希望能改善目前 IC 設計公司因預估需求變異大所面臨高庫存帶來的資金積壓、產品跌價的損失，或是缺貨可能造成商機損失的問題。

本研究以利潤函數來衡量不同情境下的獲利結果。模擬結果顯示可調整交期情境下的獲利比傳統的固定交期來得高，確實可以有效降低庫存量。因此建議 IC 設計公司可採用降低安全存量、訂單交期可調整的方法來提高利潤，若晶圓廠提供交期可調整是需收費的，可依產品需求預測特性(平均需求、預測變異)、以及產品毛利(售價與外包成本之差)和庫存或缺貨成本的比例進行模擬，以所得到可調交期和固定交期兩種模式的利潤差異的部份比例作為議價的籌碼。

### 6.2 未來研究方向

本論文未來可以繼續研究的方向有下列幾點：

1. 需求預測考慮淡旺季的差異。
2. 因 IC 價格變動大，可研究每期價格變動下，不論是售價、外包成本或是持貨成本的變動，可調交期的機制是否仍可行？
3. 兩個決策變數(安全存量比與可調交貨比)是否可隨前幾期已發生之實際預測誤差做調整，調整機制又為何？

## 附件

### \* 低利潤、中變動( $\sigma^2 = 40$ )情境下固定交期模擬結果

安全存量比 ( $\alpha$ )	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8	Run9	Run10	Run11	Run12	Run13	Run14	Run15	Sum
	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	
0	4716	6824	5544	6169	3732	7855	6935	5539	5539	4829	6237	6258	4664	6109	6597	87547
0.1	4889	6495	5823	6413	4011	7987	7066	5840	5840	4931	6433	6629	4467	6142	7249	90215
0.2	5040	5935	5655	6365	4306	7452	7140	6013	6013	4821	6146	6502	4103	5832	7516	88839
0.3	5103	5396	5312	6162	4513	6815	6920	5942	5942	4630	5822	6331	3753	5500	7276	85417
0.4	4888	4829	4829	5777	4551	6192	6693	5571	5571	4344	5498	6182	3396	5094	6948	80363
0.5	4482	4262	4332	5420	4421	5555	6393	5200	5200	3889	5182	6004	3032	4674	6628	74674
0.6	4083	3730	3856	5042	4217	4932	5982	4843	4843	3427	4851	5811	2689	4268	6227	68801
0.7	3670	3163	3373	4678	3910	4323	5520	4479	4479	2972	4453	5478	2332	3862	5745	62437
0.8	3271	2624	2876	4300	3560	3672	5051	4115	4115	2510	4005	5139	1982	3442	5227	55889
0.9	2872	2064	2400	3943	3224	3056	4582	3751	3751	2055	3578	4799	1618	3022	4716	49431
1	2445	1490	1889	3551	2867	2412	4099	3366	3366	1579	3116	4453	1247	2602	4184	42666

### \* 低利潤、高變動( $\sigma^2 = 50$ )情境下固定交期模擬結果

安全存量比 ( $\alpha$ )	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8	Run9	Run10	Run11	Run12	Run13	Run14	Run15	Sum
	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	
0	6093	4134	4984	4494	7021	5341	6016	3191	8009	8009	6975	5376	3733	4295	3981	81652
0.1	6126	3742	5352	4674	6490	5651	6348	3687	8142	8142	7114	5627	4330	5030	4043	84498
0.2	5962	3322	5728	4818	5916	5512	5868	3974	7652	7652	7188	5816	4539	5627	3997	83571
0.3	5455	2916	6090	4964	5349	5264	6228	4158	6994	6994	6939	5932	4594	5738	3891	81506
0.4	5114	2496	6070	4754	4782	4760	5850	4284	6343	6343	6661	5627	4489	5911	3764	77248
0.5	5309	2083	5699	4436	4201	4270	5479	4234	5685	5685	6412	5270	4404	5987	3600	72754
0.6	4910	1670	5349	4044	3634	3780	5122	4066	5041	5041	6119	4920	4129	5872	3194	66891
0.7	4504	1264	4999	3631	3074	3276	4751	3862	4390	4390	5723	4556	3869	5537	2795	60621
0.8	4098	844	4635	3232	2500	2786	4394	3562	3732	3732	5240	4199	3587	5210	2389	54140
0.9	3692	438	4285	2826	1933	2296	4037	3233	3088	3088	4778	3842	3319	4875	1983	47713
1	3265	4	3907	2406	1338	1778	3645	2883	2416	2416	4288	3464	3038	4541	1563	40952

### \* 高利潤、低變動( $\sigma^2 = 30$ )情境下固定交期模擬結果

安全存量比 ( $\alpha$ )	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8	Run9	Run10	Run11	Run12	Run13	Run14	Run15	Sum
	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	
0	6048	4519	6027	6791	5360	5710	7373	6755	4275	7163	5577	6446	4539	6564	5008	88155
0.1	6096	5129	6453	7175	5709	6516	7275	7080	4714	7556	5844	6770	4694	6868	5062	92941
0.2	6106	5561	6714	7523	6048	7129	7119	7193	5133	7832	5984	6746	4675	7116	5125	96004
0.3	5976	5691	6690	7699	6155	7353	6967	7134	5345	7891	6011	6726	4590	7217	5112	96557
0.4	5850	5764	6562	7724	6086	7252	6815	7030	5460	7910	5947	6700	4503	7320	5062	95985
0.5	5720	5688	6436	7730	5970	7149	6661	6918	5448	7842	5811	6550	4265	7402	4938	94528
0.6	5596	5614	6310	7670	5856	7035	6507	6812	5332	7716	5687	6554	4325	7354	4820	93188
0.7	5472	5555	6186	7542	5740	6934	6359	6708	5214	7582	5555	6430	4221	7304	4692	91494
0.8	5340	5477	6056	7412	5622	6818	6203	6598	5098	7454	5429	6304	4119	7269	4570	89769
0.9	5216	5403	5930	7284	5506	6579	6049	6490	4984	7322	5297	6182	4015	7204	4446	87907
1	5084	5338	5800	7154	5386	6593	5893	6378	4860	7184	5161	6052	3905	7078	4318	86184

### \* 高利潤、中變動( $\sigma^2 = 40$ )情境下固定交期模擬結果

安全存量比 ( $\alpha$ )	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8	Run9	Run10	Run11	Run12	Run13	Run14	Run15	Sum
	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	
0	6449	6667	6195	4216	5728	5453	5719	5101	7439	6709	5379	6449	7271	6667	6195	91637
0.1	6662	7439	6442	4662	5614	5468	6165	5429	7345	7068	5387	6662	7850	7439	6442	96074
0.2	6627	7876	6474	4998	5496	5360	6607	5740	7185	7215	5283	6627	8051	7876	6474	97889
0.3	6575	7961	6580	5168	5378	5252	7062	5983	7031	7232	5183	6575	8197	7961	6580	98718
0.4	6459	7953	6615	5353	5260	5140	7026	6018	6869	7122	5081	6459	8200	7953	6615	98123
0.5	6339	7958	6501	5455	5138	5030	6918	5902	6707	7020	4977	6339	8165	7958	6501	96908
0.6	6223	7897	6385	5385	5024	4922	6818	5788	6555	6912	4879	6223	8113	7897	6385	95406
0.7	6107	7770	6273	5130	4906	4812	6714	5670	6393	6808	4777	6107	7974	7770	6273	93484
0.8	5987	7622	6155	5196	4788	4702	6608	5556	6239	6700	4677	5987	7820	7622	6155	91814
0.9	5867	7476	6037	5094	4670	4596	6506	5442	6079	6598	4573	5867	7666	7476	6037	89984
1	5747	7324	5915	4986	4546	4480	6396	5320	5915	6486	4467	5747	7504	7324	5915	88072

### \* 高利潤、高變動( $\sigma^2 = 50$ )情境下固定交期模擬結果

安全存量比 ( $\alpha$ )	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8	Run9	Run10	Run11	Run12	Run13	Run14	Run15	Sum
	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	Fixed LT	
0	3932	7679	5972	4955	5030	4773	4717	8510	5147	7705	5459	6664	6927	5163	7929	90562
0.1	4314	7968	6351	5304	5672	4942	5093	9022	4969	7974	5597	6674	7011	5091	8126	94108
0.2	4613	8004	6577	5534	5993	5051	5352	9249	4999	8215	5703	6633	7080	4995	8310	96308
0.3	4874	8021	6522	5604	6246	5154	5458	9353	4905	8331	5739	6577	7147	4893	8301	97125
0.4	4999	8057	6420	5769	6482	5225	5477	9285	4815	8419	5656	6534	7216	4795	8260	97409
0.5	5026	8059	6320	5744	6567	5109	5432	9208	4725	8520	5524	6493	7268	4693	8202	96890
0.6	5032	7978	6216	5734	6482	4995	5387	9125	4635	8557	5392	6439	7288	4599	8148	96007
0.7	4957	7840	6114	5707	6410	4879	5338	9046	4543	8503	5258	6152	7217	4495	8020	94479
0.8	4863	7708	6012	5684	6325	4763	5291	8895	4453	8455	5126	6272	7150	4397	7864	93258
0.9	4763	7568	5904	5668	6251	4643	5255	8725	4359	8401	4988	6140	7079	4293	7698	91735







\* 高利潤、低變動( $\sigma^2 = 30$ )情境下可調交期模擬結果

安全存貨比 (%)	交期可調比 (%)	Run1		Run2		Run3		Run4		Run5		Run6		Run7		Run8		Run9		Run10		Run11		Run12		Run13		Run14		Run15		可調交期 利潤總額		比固定交期 增加利潤 幅度		固定交期利潤			
		Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT	Adjust LT		
0	0	6048	4519	6027	6791	5360	5710	7575	6755	4275	7163	5577	6446	4539	6954	5008	88155	0	0%																			88155	0%







## 參考文獻

- Ben-Daya, M., & Raouf, A., 1994, "Inventory models involving lead time as decision variable". *Journal of the Operational Research Society*, 45, pp. 579-582.
- Brander, Pär and Forsberg, Rolf, 2006, "Determination of safety stocks for cyclic schedules with stochastic demands". *International Journal of Production Economics*, Volume: 104, Issue: 2, pp. 271-295.
- Chang, H. C., Ouyang, L. Y., Wu, K. S. and Ho, C. H., 2006, "Integrated vendor – buyer cooperative inventory models with controllable lead time and ordering cost reduction". *European Journal of Operational Research*, Volume: 170, Issue: 2, pp. 481-495.
- Dellaert, Nico, and Jeunet, July, 2003, "Controlling multi-level production in a rolling-schedule environment". *International Journal of Production Economics*, Volume: 85, Issue: 1, pp. 113-121.
- Dellaert, D., and Jeunet, J., 2005, "An alternative to safety stock policies for multi-level rolling schedule MRP problems". *European Journal of Operational Research*, Volume: 163, Issue: 3, pp. 751-768.
- Enns, S. T., 2002, "MRP performance effects due to forecast bias and demand uncertainty". *European Journal of Operational Research*, Volume: 138, Issue: 1, pp. 87-102.
- Jeunet, July, 2006, "Demand forecast accuracy and performance of inventory policies under multi-level rolling schedule environments". *International Journal of Production Economics*, Volume: 103, Issue: 1, pp. 401-419.
- Lan, S. P., Chu, Peter, Chung, K. J., Wan, W. J., and Lo Ricky, 1999, "A simple method to locate the optimal solution of the inventory model with variable lead time". *Computers & Operations Research*, Volume: 26, Issue: 26, pp.599-605.
- Lee, W. C., Wu, J. W., and Hou, W. B., 2004, "A note on inventory model involving variable lead time with defective units for mixtures of distribution". *International Journal of Operation Economics*, Volume: 89, Issue: 1, pp. 31-44.
- Lee, W. C., 2005, "Inventory model involving controllable backorder rate and variable lead time demand with the mixtures of distribution". *Applied Mathematics and Computation*, Volume: 160, Issue: 3, pp.701-717.
- Lee, W. C., Wu, J. W., and Lei C. H., 2007, "Computational algorithmic procedure for

optimal inventory policy involving ordering cost reduction and back-order discounts when lead time demand is controllable”. *Applied Mathematics and Computation*, In Press, Corrected Proof, Available online.

Liao, C. J., and Shyu, C. H., 1991, “An analytical determination of lead time with normal demand”. *International Journal of Operations Production Management*, 11, pp. 72-78.

Mohammad, A. Hoque and Suresh, K. Goyal, 2006, “A heuristic solution procedure for an integrated inventory system under controllable lead-time with equal or unequal sized batch shipments between a vendor and a buyer”. *International Journal of Operation Economics*, Volume: 102, Issue: 2, pp. 217-225.

Ouyang, L. Y., Yen, N. C., and Wu, K. S., 1996, “Mixture inventory model with backorders and lost sales for variable lead time”. *Journal of the Operational Research Society*, 47, pp. 829-832.

Ouyang, L. Y., and Wu, K. S., 1997, “Mixture inventory model involving variable lead time with a service level constraint”. *Computers & Operations Research*, Volume: 24, Issue: 9, pp. 875-882.

Ouyang, L. Y., and Chang, H. C., 2000, “The variable lead time stochastic inventory model with a fuzzy backorder rate”. *Journal of the Operational Research Society of Japan*, Volume: 44, Issue: 1, pp. 19-33.

Ouyang, L. Y., and Chuang, B. R., 2001, “Mixture inventory model involving variable lead time and controllable backorder rate”. *Computers & Industrial Engineering*, Volume: 40, Issue: 4, pp. 339-348.

Ouyang, L. Y., and Yao, J. S., 2002, “A minimax distribution free procedure for mixed inventory model involving variable lead time with fuzz demand”. *Computers & Operations Research*, Volume: 29, Issue: 5, pp. 471-487.

Ouyang, L. Y., Wu K. S., and Ho, C. H., 2004, “Integrated vendor – buyer cooperative models with stochastic demand in controllable lead time”. *International Journal of Operation Economics*, Volume: 92, Issue: 3, pp. 255-266.

Pan, C. H., Lo, M. C., and Hsiao, Y. C., 2004, “Optimal reorder point inventory models with variable lead time and backorder discount considerations”. *European Journal of Operational Research*, Volume: 158, Issue: 2, pp. 488-505.

Pan, C. H. and Hsiao, Y. C., 2005, “Integrated inventory models with controllable lead time and backorder discount consideration”. *International Journal of Production Economics*, Volume: 93-94, Complete, pp. 387-397.

- Ryu, S. W. and Lee, K. K., 2003, “A stochastic inventory model of dual sourced supply chain with lead-time reduction”. *International Journal of Production Economics*, Volume: 81-82, pp. 513-524.
- Spitter, J. M. and Kok, A. G., and Dellaert , N. P., 2005, “Timing production in LP models in a rolling schedule”. *International Journal of Production Economics*, Volume: 93-94, pp. 319-329.
- Tersine, R. J., 1982, *Principle of inventory and Materials Management*, North Holland, New York.
- Tang, Ou and Robert W. Grubbström , 2003, “The detailed coordination problem in a two-level assembly system with stochastic lead times”. *International Journal of Production Economics*, Volume: 81-82, pp. 415-429.
- Tan, Man-Yi and Tang, Xiao-Wo, 2006, “The Further Study of Safety Stock under Uncertain Environment”. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, Volume: 5, Issue: 2,pp. 193-202.
- Wagner, H.M., and Whitin, T.M., 1958, “Dynamic version of the economic lot size model”. *Management Science* , 5, pp. 89–96.

