

中文摘要

IC 製造業有別於傳統製造業，屬於高技術、高資本的產業，其機器設備價格昂貴，而且汰舊快速。以設備價格而言，可以從蝕刻設備數千萬台幣，到品質最好的微影製程用步進機十幾億不等。因此，設備折舊佔製造成本 30% 以上，使得 IC 產業對於生產規劃就必須講究精確，以減少生產成本浪費，進而提昇產品競爭能力。

雖然 IC 產業的生產技術先進，但仍面臨許多生產問題。在規劃週(或日)產量時，對於所產生的不良品數都是預估固定比例或以存貨來吸收，這種規劃方式常造成產品投入量的多估；在制訂生產線效率上都採用固定標準，不考量人員學習過程，因而無法反映人員實際作業績效。在品質考量上，傳統管制圖對於管制線的設定也是固定值，這樣的結果會使得在觀察小批量品質管制圖時，產生嚴重的誤差。而產品價格的制定，不考量學習現象時，會出現錯誤預估產品成本的情形。

根據上述情況，本研究利用學習曲線來解決 IC 製造業所面臨的生產問題，並建立一預測模式，提供給相關廠商參考並發展廠商的自我學習曲線，以利良率預測、標準成本制訂、生管日程規劃、人員績效評估、品質管制及產品價格制訂等多項用途，使得 IC 製造廠管理人員能夠正確的掌握生產數量、品質、成本及績效標準。

關鍵詞：學習曲線、良率預測、標準成本、日產出量規劃、品質管制

Abstract

IC industry is a high technology and capital intensive industry different from the conventional industry. The facilities of IC industry are very expensive and phasing out rapidly. The cost of facilities are from million(10^6) NTD to billion(10^9) NTD. There are huge amounts of capital investment. The ratio of facility depreciation amount per total manufacturing cost is over 30%. This is the reason why IC industry must focus on production planning to reduce the waste of production cost and improve the competition ability of its products.

Although the production technology of IC industry is very progressive, there are still many problems to overcome. In planning the daily production quantity, many companies use the fixed rate of defect or lot of inventories to eliminate the uncertain variable of defective product. It often brings about the results in over input. Many companies usually ignore the learning process of operator in making the performance index of production line. It is the reason why we cannot reflect the real performance of operator. The setting of control line is fixed in the conventional control chart, and that will make a serious error in observing the quality control chart of small lots. In pricing the product, they would appraise more than real cost if they don't consider the learning curve.

This study uses learning curve to build a forecasting model for solving the production problems in IC industry. This model offers the relative companies reference to develop its own learning curve. And it is used in several aspects, such as yield rate forecasting, standard cost building, master production scheduling, performance measuring, quality control and products pricing, etc. Therefore, the managers can effectively control the production quantity, quality, cost and standard of performance.

Keywords : Learning curve, yield rate forecasting, standard cost, master production scheduling, quality control

目 錄

中文摘要	I
Abstract	II
目 錄	III
圖 目 錄	V
表 目 錄	VI
第一章 緒論	1
1.1 研究背景及動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究範圍與限制	2
1.4 研究方法	3
第二章 文獻探討	5
2.1 學習曲線的意義	5
2.2 學習曲線的特性	5
2.2.1 起伏現象	6
2.2.2 平台現象 (Plateauing)	7
2.3 學習曲線的效應	7
2.3.1 效應來源	7
2.3.2 影響效應因素	8
2.4 學習曲線的模式	9
2.4.1 單一變數模式：	11
Log-linear Model：	11
2.4.2 多變數模式：	12
2.5 參數估計	14
2.6 學習曲線應用範圍	14
第三章 IC 產業發展及生產問題分析	15
3.1 半導體產業簡介	15
3.1.1 半導體的重要性	15
3.1.2 全球半導體工業規模	16
3.1.3 台灣半導體工業規模	17
3.2 積體電路 IC 介紹	18
3.2.1 半導體產品類別	18
3.2.2 IC 產品類別	19
3.2.3 製造流程	19
3.3 生產現況問題分析	22
3.4 考量學習效用之生產現況	25

<u>第四章 個案研究</u>	26
<u>4.1 虛擬公司 — Z 公司簡介</u>	26
<u>4.1.1 Z 公司創始與發展</u>	26
<u>4.1.2 Z 公司經營理念及產品策略</u>	27
<u>4.2 原始資料</u>	28
<u>4.3 學習曲線模式的建立</u>	29
<u>4.4 學習曲線模式在 IC 製造業的應用</u>	32
<u>4.4.1 良率及品質管制圖</u>	32
<u>4.4.2 日程量的規劃</u>	39
<u>4.4.3 作業人員績效</u>	42
<u>4.4.4 標準成本及產品價格</u>	45
<u>第五章 結論與建議</u>	50
<u>參考文獻</u>	54

圖目錄

圖 1-1 研究方法步驟圖	4
圖 2-1 學習曲線平台現象	7
圖 2-2 學習曲線模式一覽	10
圖 3-1 亞洲 IC 製造業在全球產能所佔比率	17
圖 3-2 半導體產業劃分	18
圖 3-3 IC 產業劃分	20
圖 3-4 IC 產業製造流程	21
圖 3.5 一般機台加工時間示意圖	24
圖 4-1 雙變數學習曲線模式建立流程圖	30
圖 4-2 單變數學習曲線模式建立流程圖	31
圖 4-3 各製程機台關連圖	32
圖 4-4 製程 A 機台有無考量學習效應之管制中心線比較圖	37
圖 4-5 製程 A 機台有無考量學習效應之管制上限比較圖	38
圖 4-6 製程 A 機台有無考量學習效應之管制下限比較圖	38
圖 4-7 製程 A 機台修正前及修正後的綜合效率	43
圖 4-8 製程 B 機台修正前及修正後的綜合效率	44
圖 4-9 製程 D 機台修正前及修正後的綜合效率	44
圖 4-10 產品 A 產量與成本差異之估計	47

表 目 錄

表 2-2 影響學習曲線參數因素表	9
表 2-3 各種參數估計法之優缺點比較表	14
表 4-1 製程 A 機台原始數據分析	33
表 4-2 製程 A 機台學習曲線模式	34
表 4-3 製程 B 機台學習曲線模式	34
表 4-4 製程 C 機台不良率與生產數量的學習模式	35
表 4-5 製程 D 機台不良率與生產數量的學習模式	35
表 4-6 製程 A 機台考量學習效應之不良率管制線差異分析	36
表 4-7 不考慮不良率學習效應之各站投入與產出情形及差異分析	40
表 4-8 考慮不良率學習效應之各站投入與產出情形及差異分析	40
表 4-9 產品原始數據分析	45
表 4-10 A.B.C 產品良率學習式之迴歸結果	46
表 4-11 產品 A 產量與成本差異之估計	47
表 4-12 考量學習效應之單位產品成本差異分析	49

第一章 緒論

1.1 研究背景及動機

IC 製造業在 83 年及 84 年各公司的獲利極佳，於是各家公司紛紛做鉅額投資、擴充生產規模。但由於 85 年及 86 年的全球經濟景氣不佳，IC 產能過剩，導致產品價格大幅滑落。而近年來 IC 產業已漸漸復甦，同業間的競爭也越來越大，而且已成為全球性的激烈競爭。

IC 產業是一種資本密集及技術密集的產業，因此生產型態以自動化及機械加工為主。其製造過程所使用的資源大多為機器設備，而人員所涉及的工作僅在少數的物件搬運、機器設定及維修。在工件進行製造時，加工程序常會被認為是固定，且每個機器所設定加工時間也都有固定標準，使得工件的加工時間不會因為製造的熟悉度而改變。故傳統的工時研究在 IC 產業的應用就常被忽視。

在 IC 加工中，雖然工件加工時間屬於固定的製造參數，且機器的執行不會有時間的誤差產生，但在每批產品的製造失誤上卻是會有變動的，而且是有規則性的變動—由壞的變好。用來評估製造失誤的有良率、重製量、廢料量等。製造結果會有變動，其中最明顯的是良率的變化，且其變動的 mode 類似傳統的學習變化。這種變化會有以下的特性：良率會隨著產品製造次數增加而提高。初期的變化量大，後期的變化量會逐漸變小，且會朝一個目標值趨近。

由於良率有這樣的現象發生，使得一些生產模式連帶產生變化。吾人發現隨著生產時間增加，生產線上各工作站所生產的產品不良數有減少趨勢，而線上作業人員的工作效率有提高現象，造成傳統的生產品程規劃

、人員績效評估、品質管制及成本模式都必須作適當的修正，才能夠正確的反應實際生產情形。IC 製造業為高科技產業之一，也是高利潤與高風險的投資，其競爭優勢之建立，除了要有昂貴的設備及產品研發技術外，如何培植高級的技術與管理人才，更是不可忽視的重要因素。但是人才的訓練及學習效果常常在產量上、良率上及成本上可呈現其成果。

基於上述的原因，再加上國內對於學習曲線的研究相當有限，且研究範圍大多集中在工時的探討上，對於良率及應用的研究則是屈指可數。而且 IC 產業在這方面的研究仍屬萌芽階段，於是激起如何應用學習曲線於 IC 產業的動機。

1.2 研究目的

本研究的目的，可歸納成以下二項：

- [1] 建立 IC 製造業學習曲線模式。
- [2] 應用此學習曲線於良率預測模式、標準成本預測模式、週(或日)產出量規劃、人員績效評估、品質管制及產品價格制訂。

1.3 研究範圍與限制

由於學習曲線可以應用的範圍很廣泛，而且要找出整體學習曲線是非常不容易的。因此，本研究對於研究範圍有所限定：

- [3] 作業期間沒有增加新的設備，作業人員受過訓練且流動呈穩定狀態。
- [4] 生產線穩定度高，沒有重大的突發事故發生。
- [5] 不考量產品生產中斷及重製的學習效應。

至於研究限制乃因不同產業會有不同的學習曲線特性，因此本研究所建構出來的學習曲線模式，只適用於本研究所探討的 IC 產品特性，並未找出適合所有產業的學習模式。但本研究可以提供管理人員對於學習曲線知識更多的瞭解及應用方式，並藉由過去歷史資料及經驗的累積與應用，建構出適合自己產品特性的學習曲線模式。

1.4 研究方法

為了能夠順利完成上述之研究目的，本研究之研究方法步驟進行如圖 1-1 所示：

(1) IC 製造廠生產現況之瞭解

實地參與並瞭解製造廠生產線上生產作業流程，並從中發掘原制度中不合理之假設。

[1] 文獻收集與探討

針對國內外相關的學習曲線文獻進行蒐集，以期對所欲探討的領域與相關課題作深刻的瞭解。

[2] 問題分析

根據文獻所分析的相關資訊，找出可用於解決不合理之假設依據，並分析問題資料。

[3] 建立學習曲線模式

加入學習效應，建立合理的生產預測模式，以應用在良率預測模式、標準成本預測模式、日產出量規劃、人員績效評估、品質管制及產品價格制訂之動態生產模式。

[4] 分析比較

將實際資料代入分析，比較兩者之間的差異，並根據差異原因進行分析

探討。

[5] 結論與建議

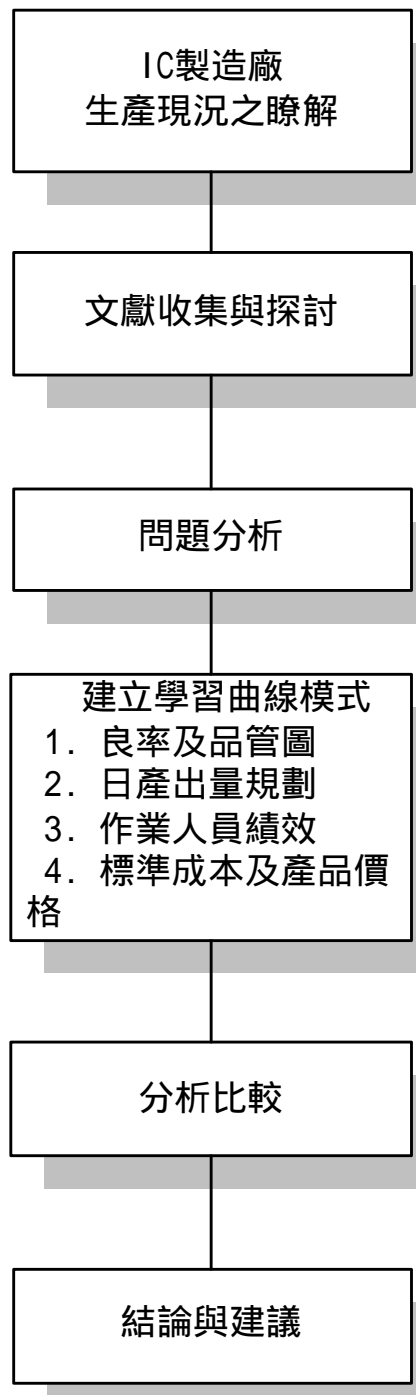


圖 1-1 研究方法步驟圖

第二章 文獻探討

2.1 學習曲線的意義

在作業學習歷程中，作業績效會隨練習次數的增多而變化，這種變化一般視為一種學習的效應。學習效應會因工作複雜程度、作業方法及學習者本身的差異而有變化。若將學習的情形，在座標軸上以橫軸代表練習的次數（期間或累積產量），縱軸代表學習的效果（工時、成本、不良率或效率），所繪出的圖形稱之為『學習曲線』，它除了可以表示學習期間行為變化的累積效果，還可以顯示個人或組織的成就水準（Level of Achievement）。

學習曲線有狹義與廣義上的解釋【40】：狹義上指員工個人的學習進步情形，以 MTM 模式為典型代表。廣義上則指整個組織或企業內生產作業進步的現象，亦即包括了生產方法的改善、設備之改良、管理規劃及技術的革新，融合生產線上及非生產線人員的努力而達成目標。

因此，學習曲線又稱為製造進步函數(manufacturing progress function)、經驗曲線(experience curve)、效率函數(efficiency function)、績效曲線(performance curve)、成本曲線(cost curve)、成本和量的關係(cost-quantity relationship)、產品加速曲線(product acceleration curve)及改善曲線(improvement curve)等，名稱雖然不同，然其本質上則沒有多大的差別。

2.2 學習曲線的特性

在學習期間常會因學習者的心理、生理因素及外在學習情境改變的影響，使得學習的效果無法呈現穩定的狀態，因此學習曲線會呈現幾種現象

【44】：

2.2.1 起伏現象

由於學習曲線受到很多因素的影響，有些是正向因素，有些是負向因素，這樣相互影響所形成的學習曲線會呈現出起伏不定的狀態，然即使是如此，其起伏不定的狀態仍有脈絡可尋，這樣的狀態可以用三種變化來說明：

負加速變化

初時的進步快，之後進步的幅度逐漸減緩，即為負加速變化。其原因可能是學習者在初學階段興趣濃厚，注意力比較集中；學習者在學習之前已經有經驗，故在初始階段進步較快，也就是發生學習遷移效果；有些訓練過程往往由簡而難，所以在初始階段進步較快。

正加速變化

開始時的進步慢，以後則逐漸增快，即為正加速變化，舉凡技能方面的學習或初始無經驗可供利用時，較易有此現象出現。其原因可能學習者在初學階段缺乏學習動機；初學階段所學習的作業比較複雜；初學者受到以往不良作業習慣影響。

正負加速變化

若開始作業時，所學習的內容較難，初時的進步慢，而後增快，呈正加速變化，經繼續練習後，速度又趨於緩慢成負加速，此即正負加速曲線，或稱為 S 型曲線。同理，在學習內容簡易時，開始時呈負加速，後又變成正加速，亦為正負加速曲線。

至於這三種曲線起伏變化，表示如下圖 2-1 所示：

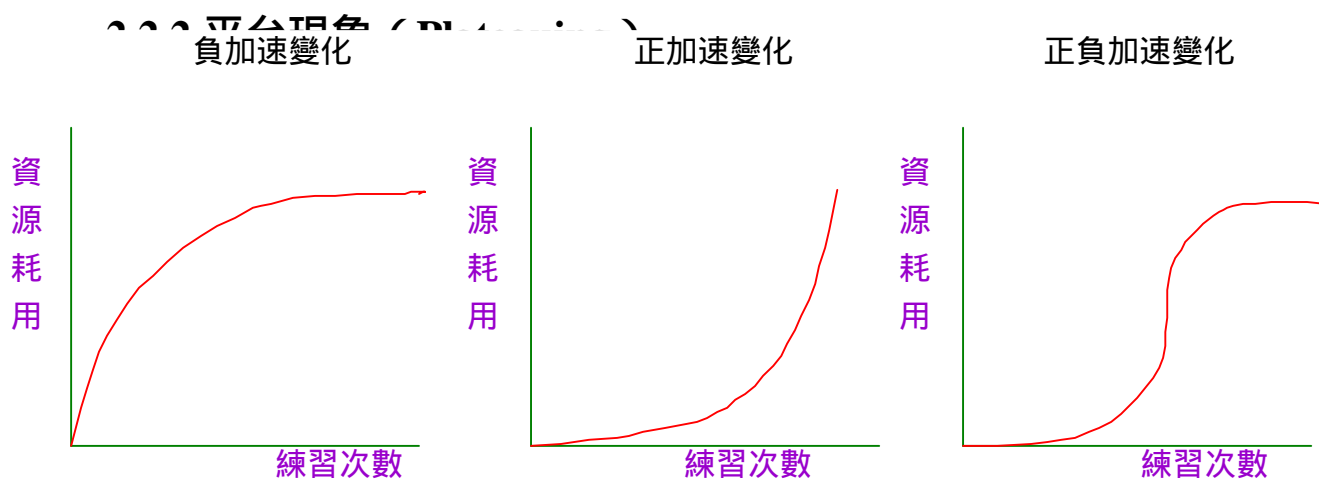


圖 2-1 學習曲線起伏變平台現象

2.3 學習曲線的效應

2.3.1 效應來源

學習曲線效應來源有很多，Pankaj 和 Jean-Paul【31、24】把這些效應來源歸納之後分成三大類：**累積產量**

經驗累積

整個生產過程中，作業人員和非作業人員對於製造過程及操作的熟悉瞭解，使得人員得以因經驗累積而影響學習效應。

技術進步

Hirschmann【20】指出進步率的 87%是來自於技術知識，技術改良對於經驗曲線效應有很大的助益。尤其是在資本密集的工業，如 IC 半導體工業，通常可造成相當大的經濟效益。

規模效應

產量增加所形成的規模效應，因各種固定成本分攤到更多單位，所以平均單位成本會下降。尤其在生產方面的規模效應，則可能造成生產規模更專業化、存貨平均水準降低、檢驗儀器品管設備更有效的應用。適當規模是企業發揮生產力的基礎，而規模效應所帶來的生產力提升是長期的且基本的，因此是一項不可忽略的生產力策略。

2.3.2 影響效應因素

由於傳統的學習曲線模式受限於學習率為固定參數值，所以必須藉由大量生產來達成降低生產效果（工時、成本、不良數）。然而，實際上在許多個案實證研究的結果顯示，學習率受到許多因素的影響而產生波動，並非維持一個固定值。一般來說，對於影響學習曲線效應的因素有工作人員的學習改善、設計的改善、工具的改良、機器設備的改善、工作流程的改進、組織結構的改善、管理或生產技術的改進、物料供給無缺且品質優良、不良品數降低、作業單純化……等。

就學習率及首件學習效果來說，產品設計對於學習率有直接影響，管理計畫的品質反映在學習曲線的斜率上，好的事前生產規劃會有較低的首件學習效果，也就是事前計畫所願投入的努力越大，則在學習曲線初期階段會較平穩。將影響這兩種因素整理如表 2-2 所示：

表 2-2 影響學習曲線參數因素表

學習曲線參數	學習率	首件學習效果
影 響 因 素	[1] 作業人工與機器所佔的比例 [2] 學習過程與過去經驗的連慣性 [3] 作業內容相同操作次數多寡 [4] 生產型態連續化程度 [5] 產品結構標準化程度 [6] 工作之技巧與複雜度 [7] 工具設計的良窳 [8] 組織氣氛與督導關係 [9] 適當的獎工制度 [10] 工作對於錯誤的敏感性 [11] 工作環境的好壞 [12] 員工心理與情緒的影響 [13] 學習過程的回饋程度	[1] 事前的計畫準備程度 [2] 生產前與其他計畫配合程度

2.4 學習曲線的模式

從早期 Wright 發表第一篇學習曲線模式之後，經過數十年來學習曲線不斷發展出很多各種不同的模式。這些後來所發展出來的模式考量更多學習因素，並且根據不同的環境狀況延伸出更適合的模式。這些模式可分成兩大類，依照發展時間簡述如下圖 2-3 所示，並將一些常用的模式簡介於後。

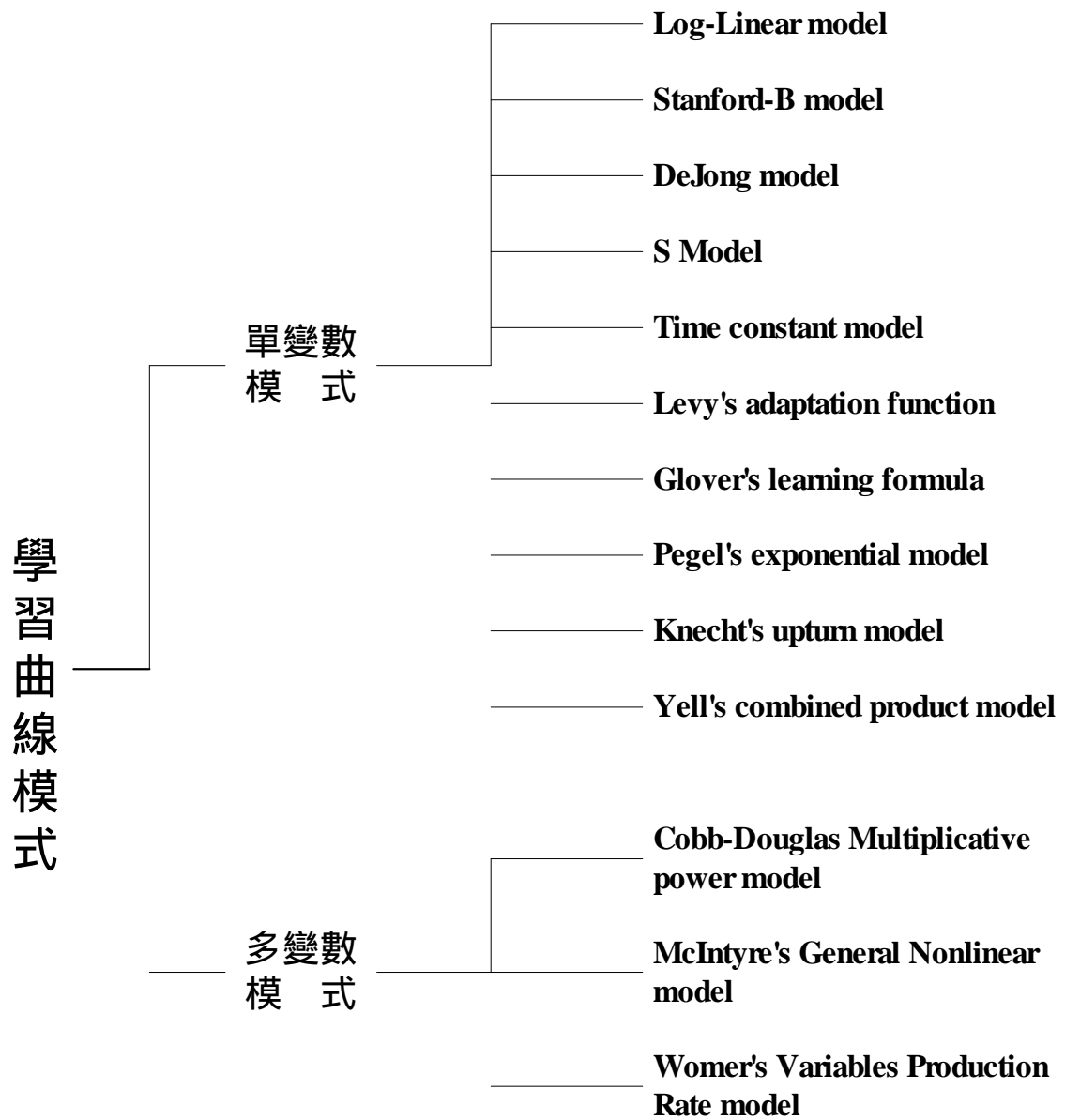


圖 2-3 學習曲線模式一覽

2.4.1 單一變數模式：

Log-linear Model：

T.P. Wright【36】是第一位發表學習曲線論文的人，也是第一個從量?的角度將成本降低理論以公式化表達的人。利用有效的經驗資料來發展其理論，經由資料分析發現，當累積?量加倍時，平均直接工時會下降某一百分比，其數學函數關係為：

$$F(x) = a_1 x^{-b}$$

$F(x)$ ：累積至第 x 件之平均工時

a_1 ：首件工時

x ：累積?量

b ：學習曲線常數

該式表示生產第 x 件產品與生產該件產品所需製造工時之間關係。若將上式兩邊取對數，則

$$\text{Log } f(x) = \text{Log } a_1 - b \text{ Log } x$$

此為一線性方程式，若將其繪於雙對數座標紙(Log-log paper)上，則為一直線，這是該模式又被稱為 log-linear 之由來。這個模式被視?最佳學習曲線代表模式且應用最廣的模式。Wright 認?累積平均工時應?一直線，但 J.R. Crawford 認?單機工時也?一直線，基本假設及公式仍是一樣。由於此模式容易求得，因此就被廣泛的應用在各領域，如 Tommie【39】和 Sheshinski【35】將這個模式應用於投資方案的選擇上，Alderh【4】和 Greenberg【18】則應用於石化工業及礦場意外事件上，Globerson【17】應用於飛機與通訊系統等長時間周期的製造業。國內則將這個模式應用在製衣業的車縫作業上【42】、航空工業飛機結構組裝【43】、少量製造

成本的估算【44】、IC 製造業標準成本制訂【46】等。

2.4.2 多變數模式：

多變數學習模式在實務上很少被應用，原因在於求取模式的方式過於複雜。然而隨著資料分析工具功能越來越強大，且 IC 製造業對於生產的精準度要求較高，使得多變數學習曲線模式在實務上的應用已經有越來越多的趨勢。Conway 和 Schultz【32】是第一個提出多變數學習模式。他們認為影響學習曲線的變數不可能只有一個而已，他們利用成本對生產率和累積生產空間來建立這個模式。其數學函數關係為：

$$y = S_0 X_1^{b_1} X_2^{b_2}$$

y ：累積產量平均工時或成本

S_0 ：模式參數（首件成本或工時）

x_i ：第 i 個變數累積量

b_i ：第 i 個變數學習率

Alchian【1】最初是利用二次大戰的資料來估算飛機機身的累積生產量和直接勞工成本的學習曲線。然而，Alchian 發現曲線所得到的值會隨著不同的機身有不同的結果，其平均預測誤差在 20% 至 25% 之間。Alchian 為了增進曲線的準確性，於是在原本的累積生產量變數之外再加入新的變數：時間。這是使用多變數學習曲線的第一個人，後來陸續有很多人投入相關研究，如 Preston 和 Keachie、Womer 和 Gullledge 等。

然而有時候利用多變數所求得的學習曲線模式，其適合度並沒有比傳統的單一學習模式來的佳。造成這樣的原因在於變數之間其相關性太高，也就是兩個變數間交互作用程度很強烈。因此，Camm【21】就認為要建立多變數的學習模式主要考慮的問題就是變數之間獨立性程度。

Cobb-Douglas Multiplicative Power Model

由於多變數學習曲線模式會有變數之間交互作用的影響，所以 Cobb-Douglas 將此多變數學習模式給予重新的定義：

$$C = b_0 x_1^{b_1} x_2^{b_2} \dots x_n^{b_n} V$$

C ：估計成本

b_0 ：模式的係數

X_i ：獨立變數

b_i ：變數指數

：誤差專案且 $V = e^u$, $u \sim N(0, \sigma^2)$ 。

此模式所定義的變數必須具有獨立性，如此才可以解決變數間交互作用的問題，但在實際資料上卻往往無法有效收集到完全獨立性的資料。因此 Goldberger【3】提出一個多變數函數來估計問題的模式，這個模式需要使用 logarithmic transformations 來轉換資料。此模式在正常的情況之下，曲線資料的走向會從條件平均數趨近於條件中位數。Goldberger 也另外提出一個修正的方法，讓條件平均數及條件中位數的偏差能夠減到最小。然而，這個模式也會有變數間交互作用的問題，所以並無法得到很好的迴歸現象。

Waller 和 Dwyer【33】則根據 Cobb-Douglas 函數提出另一個有力的模式：

$$C = c_1 x_1^{b_1} + c_2 x_2^{b_2} + c_3 x_3^{b_3} + c_4 x_4^{b_4} + \dots + c_n x_n^{b_n}$$

這模式是綜合 logarithmic transformation 和多元迴歸分析的方法所求得，而且這個模式也成功的被應用在預測飛彈整修及測試設備的成本上。

2.5 參數估計

建立學習曲線模式，必須先決定模式的參數值，即第一個單位的製造效用（工時、成本、不良率等）和學習率。對於這兩個參數估計的方法整理出四種方法：經驗估計法、統計分析法、MTM 動素估計法及合成作業估計法，就這四種方法，將其優缺點整理如表 2-3 所示：

表 2-3 各種參數估計法之優缺點比較表

	優點	缺點
經驗估計法	快速簡便，管理者能迅速的對於產品學習狀態有所認知。	由於作業特性的不同，使得所找出的參數會有很大的誤差。
統計分析法	準確且可信度高。	統計手法較複雜，不是一般人所容易理解。
MTM 動素估計法	對於估計個別作業員學習效應準確度很高。	動素分析不易且適用在純手工作業型態上，不適合自動化程度高的產業
合成作業估計法	可以透過簡單作業的學習參數推導出複雜作業型態的學習參數。	權重的選擇不易，使的誤差情況不易掌握。

2.6 學習曲線應用範圍

相較於國內有限的應用文獻，國外在學習曲線的應用文獻發表就顯得較多，在之前模式探討中已經列舉出不少應用的案例。這些案例可以知道學習曲線應用範圍非常的廣泛，諸如工時標準設定、獎工制度的訂定、自製及外購選擇標準、損益平衡分析、人力資源規劃、行銷規劃、意外事件次數評估、售後服務、標準成本制訂、存貨設定、物料日程量規劃、品質管制、作業績效制訂等，而現在學習曲線發展重心已經逐漸把重心轉移至廣義的應用層面上，如市場佔有率預估、組織內部績效衡量、產業發展趨勢等，這些都未來學習曲線可以研究發展的方向。

第三章 IC 產業發展及生產問題分析

3.1 半導體產業簡介

3.1.1 半導體的重要性

半導體元件包括了記憶元件、微處理機、邏輯元件、光電元件以及偵測器等等，雖然種類繁多，讓人眼花撩亂，但是實際上，它們的基本原理都是一樣的，製作的技術也很類似。最常用的半導體材料是矽，矽是地殼中最常見的元素，許多石頭的成分都是二氧化矽。平常的石頭不稀奇，但是製作成矽晶片的矽卻非常值錢。一片八英吋直徑，製作完成的矽晶片上面可以有幾百個積體電路，其價值可以達到上萬美金，這中間的差異大得驚人。當然，從普通的石頭要變成矽晶片，這中間差了起碼幾百道的製作程序，這些製作程序是非常費工費錢的，因此有這些價值差異也就不足為奇。把石頭變成矽晶片的過程是一項點石成金的成就，也是近代科學的奇蹟。

在日本，有人把半導體元件比喻成工業社會的稻米，是近代社會一日不可或缺的產品。在國防上，現代的武器中有大量的電子元件，沒有足夠的電子工業基礎，在近代的戰爭中只有挨打的份，這在一九九一年的波灣戰役和一九九九年的南斯拉夫事件中，已經很明顯地表現出來了。在台灣，半導體工業是新竹科學園區的主要支柱，半導體公司也是最賺錢的公司。最近宣布成立的南部科學園區，預期的營收大部分都是來自半導體。台灣如果要變成明天的科技島，半導體工業將是我國經濟發展的重要策略工業之一。

美國和日本從七十年代以來，在許多貿易項目上都有衝突，美國在許多

項目上最後都妥協了，對於紡織、鋼鐵、家電用品都是如此，但是為了半導體，美國就不肯輕易讓步，兩國政府慎重其事地坐下來談判，並且簽定了半導體協議，足證雙方對於半導體的重視。也可以知道半導體的成敗，關係著國家的命脈，不可不慎。

3.1.2 全球半導體工業規模

一九九四年，全世界電子工業的規模在六千九百億美元左右。電子工業的產品包括資訊產品、消費性電子產品、通訊產品以及國防、太空等。其中，資訊產品是應用的主流，佔了百分之三十一點八，消費性電子產品次之，佔百分之二十一點七，通訊產品佔百分之十七點五。在電子工業中，半導體工業的市場規模達到一一 二點五二億美元，積體電路佔半導體產品中的比例達到百分之八十六點七。

在所有的半導體產品當中，記憶體元件佔百分之三十點四六，微元件佔百分之二十三點四五，類比元件佔百分之十三點九五，邏輯元件佔百分之十七點三二，混合積體電路佔百分之一點五，以上的積體電路合佔了半導體產品的百分之八十六點七。另外，分離式元件佔百分之九點七五，光電元件佔百分之三點五三。到了一九九八年，全世界電子工業的規模已經達到九千三百五十八億美元，其中資訊產品仍然是最大的項目，佔百分之三十三點四，通訊產品次之，佔百分之二十三點四七，消費性電子產品再次之，佔百分之十八點 五。一九九八年全世界的積體電路產值大約有一千零九十一億美元，其中，記憶體器元件佔百分之二十一點 八，邏輯晶片佔百分之十七點 二，微元件佔百分之四十三點四，類比元件佔百分之十七點四八，雙極型積體電路只佔百分之一。

根據美國資料諮詢公司（Dataquest）的估計，一九九五年，全世界的半

導體產值成長快速，達到一五一二點七三億美元，其中積體電路佔百分之八十七點三，較上一年成長百分之四十二。一九九六年，由於記憶體晶片價格的跌落，半導體的產值衰退了百分之七，但全球半導體總產值仍然達到一四六點九四億美元。這是近十年來，全世界半導體業第一次的負成長。成長的循環在半導體業已經是習以為常，最近的長期好景倒是少見的。一九九七年，半導體有百分之三點五小幅的回升。但一九九八年又呈衰退現象，產值僅達一千三百億美元，呈現百分之十一的負成長。而在半導體產能趨勢方面，如圖 3-1 所示，亞洲地區（不包括日本）佔全球產能比率從 1990 年的 4.4% 持續上升，預估 2000 年可達 15.8%，可見亞洲太平洋地區半導體產能佔全球產能很大比例，其影響力已經不容忽視。

Error! Unknown switch argument.

Source: Dataquest, ERSO/ITRI ITIS Project

圖 3-1 亞洲 IC 製造業在全球產能所佔比率

3.1.3 台灣半導體工業規模

一九九五年台灣半導體業的總產值為新台幣兩千一百四十三億元，其中 IC 設計業、製造業、封裝業所佔比例各為 9%、55.7% 及 35.3%【49】。與一九九四年比較，半導體業的這三個部分分別成長百分之五十五點六、七十點四和五十點五。產業比重仍以製造業最重，成長幅度也以製造業為最高，顯示台灣的積體電路業的重心在製造業身上。如果不計封裝業和代工業，只以產品的產值而言，一九九五年，台灣半導體業的產品產值為九百八十七億元台幣，較一九九四年成長百分之七十點二，為近年成長最高的一年。一九九一年到一九九五年的複合成長率亦高達百分之四十八點三，幾乎每兩年就成長一倍。一九九六年，因為記憶體晶片價格的跌落，半導體產品的產值稍稍有一些下降，成為九百一十四億台

幣，衰退了百分之七點四。到一九九七年，又恢復成長為一千零五十三億台幣，比一九九六年成長了百分之十五點二。一九九八年達到一千二百二十五億台幣，比一九九七年又成長了百分之十六點三。

3.2 積體電路 IC 介紹

3.2.1 半導體產品類別

半導體產業可以大致劃分為積體電路（IC）、分離式元件（discrete）與光電半導體，如下圖 3-2 所示。

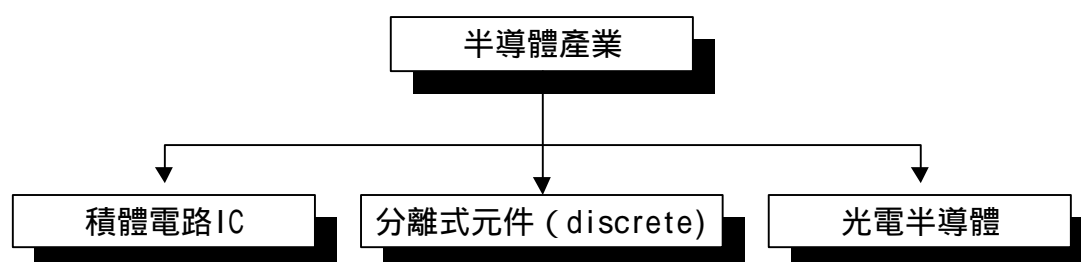


圖 3-2 半導體產業劃分

積體電路 IC 是將一電路設計，包括線路及電子元件做在一片矽晶片上，使其具有處理訊息的功能，而且體積小、處力資訊功能強的特性。依照功能可將 IC 分為四類產品：記憶體 IC、微元件、邏輯 IC、類比 IC。

分離式元件指一般電路設計中與半導體有關的元件。常見的分離式元件有電晶體、二極體及閘流體等。

光電半導體指利用半導體中電子與光子的轉換效應，所設計出來之材料與元件。主要產品包括發光元件、受光元件、複合元件和光伏特元件等。

。

台灣半導體產業主要包括矽的積體電路和砷化鎵的發光二極體。積體電路在電腦、通訊及精密電子產品的使用廣泛，其市場需要量大。本研究的對象 W 公司，是屬於 IC 產業中的一環。

3.2.2 IC 產品類別

就如前面所述，IC 產品可分成四個種類，分述如下：

- [1] 記憶體 IC：用來儲存資料的元件，通常用在電視遊樂器、電子辭典、通訊手機等。依照資料的持久性可再分成揮發性、非揮發性記憶體。揮發性記憶體包括 DRAM、SRAM，非揮發性記憶體則分為 Mask ROM、EPROM、EEPROM、Flash Memory 等四種。
- [2] 微元件 IC：只有特殊的資料運算處理功能的元件。有三種主要產品：微處理器，如電腦 CPU。微控制器是電腦中的主機與介面中的控制系統，如音效卡、網路卡、視訊卡等控制元件。數位訊號處理 IC 可將類比訊號轉為數位訊號，通常用於語音及通訊系統。
- [3] 類比 IC：低複雜性、應用層面積大、整合性低且流通性高是此類產品的特色。通常用來作為語言及音樂的 IC、電源管理與處理的元件。
- [4] 邏輯 IC：為了特殊資訊處理功能而設計的 IC。常用在數位相機、3D 遊戲、Fax-Modem 功能模擬、手寫辨識系統等。

3.2.3 製造流程

IC 產業因為附加價值高，各廠商皆有其專業的領域，依照製程來區分，可以劃分為上游的設計業、矽晶圓材料業，中游的製造業，下游則為封

裝業、測試業，支援工業則為設備業、光罩業、化學品與導線架，如圖 3-3 所示：

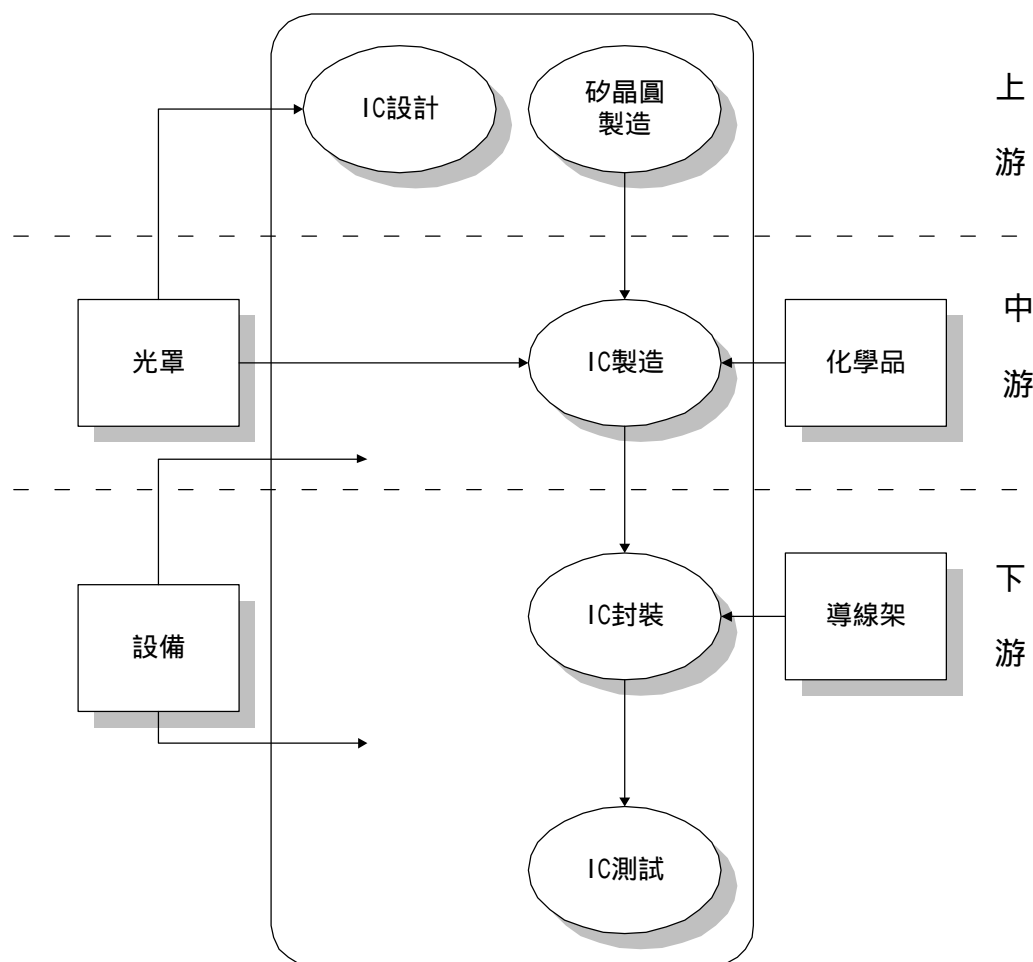


圖 3-3 IC 產業劃分

整個 IC 產業製造流程，由圖 3-4 所示。在 IC 製造廠中的作業，是將晶圓以光罩製作出電路的基本圖樣，再以氧化、擴散、CVD、蝕刻、離子植入...等方法，將電路及電路上的元件在晶圓上做出。由於 IC 上的電路為層狀結構，要以多次的光罩投入，在晶圓上作出一層一層的電路，其製造就以基本的幾個步驟的反覆進行來達成。此外晶片製造、設計、光罩供應、封裝、測試也是 IC 製造相當重要的步驟，但以國內的狀況而言，這些都是屬於 IC 產業中獨立的製造/服務業。就我國而言，這些相關產業的產值及其製造的複雜度、成本投資數量...等，都以 IC 製造業最鉅。

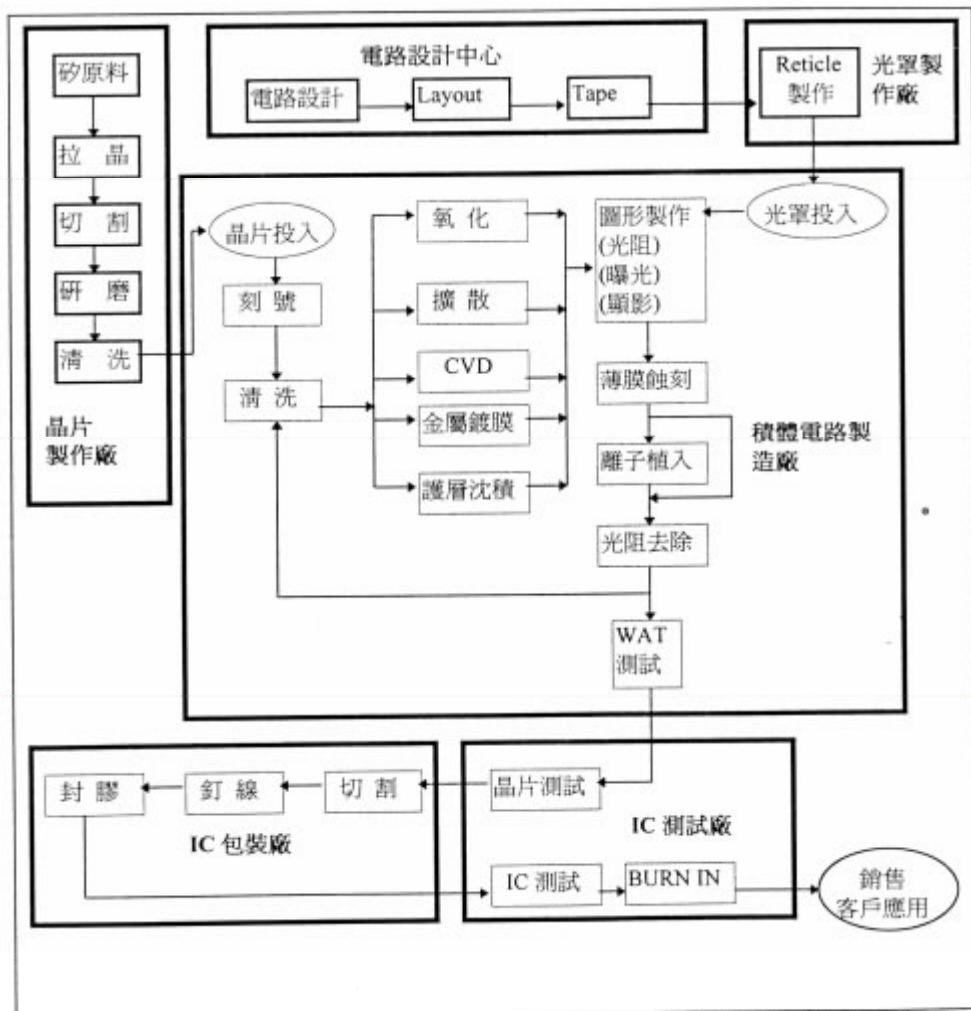


圖 3-4 IC 產業製造流程

3.3 生產現況問題分析

本研究經過實地考察及訪談現場管理人員後，將 IC 製造廠的生產現場現況加以分析，提出下列幾項生產問題，作為本研究的分析與探討。

} 良率(yield rate)難以控制

半導體製程中，牽涉到層層檢驗，包括瓶頸機台前檢驗、晶圓允收測試、針測、最終測試等。其中瓶頸機台的檢驗用以保護可貴的瓶頸產能，避免浪費以及影響產出。晶圓允收測試在於晶圓製造完成之後良率的維護。測試的目的在於功能測試，測定相關作業係數以及功能反應；最終測試則是出廠前最後一道檢測，有把關的任務。然而在生產過程中，這些良率都難以控制，尤其良率變動會牽涉到產品成本及品質管制的問題，此乃製造廠所最關心的課題。

} 良率(yield rate)影響產品單位成本

IC 製造是在一片晶圓上作出許多 Chip，這些 Chip 整齊地排列在晶圓上，擁有其電性功能，在晶圓到達封裝廠之後，這些 Chip 便會從晶圓上切下，包裝成 IC。由於是高精密的產品，只要有製造上的一點小差誤，就會影響整個 Chip 的電性，而成為不良品。因此晶圓上的 Chip 在切割之前都會作檢驗，能通過電性檢驗的 Chip 占全體被檢驗 Chip 的比率就稱為晶圓製造的良率。在每一片晶圓的製造成本相同的前提下，有較高的良率就表示有較多的產品單位來分攤製造成本。當全部產值極大的情況下，有百分之一的良率改善就相對有數百萬元的成本改善。

此外，IC 製造所用的機器設備價格高，而且汰舊快。以設備價格而言，可以從蝕刻設備數千萬台幣，到品質最好的微影製程用步進機十億台幣

不等。而設備的折舊一般是用 4-6 年加速折舊，因此每年折舊成本的數量都很大。一般說來，晶圓製造廠每年的成本中，折舊都占到 30% 以上；而封裝廠則占 45%~55% 之間。

傳統的產業中非連續製造產業的成本大部分為直接原料與直接人工成本，而間接成本和費用的分攤，對產品單位成本的影響不大。在 IC 產業中，自動化製造普遍及高額的機器折舊成本，使得主要成本（包括了直接材料和直接人工）占產品成本比例只有 30-40% 左右，比起傳統產業平均 70-80% 要低的很多。然而其折舊成本卻高達 30% 以上，成本的發生多為不能直接攤銷的成本。因此，就有使用『作業成本制』（Activity Based on Cost, ABC）來制訂標準成本，利用 ABC 成本制度將這些不能直接歸屬到產品上的成本應用作業特性加以分攤，如此可大大的提高製造成本的準確度。

然而本研究發現，雖然以作業為分攤基準的成本制度能提高成本的準確度，但是作業卻在每個時期會發生變動的情況，只能以作業某一平均值來做衡量準則，如此就無法反應不同時期會有不同成本的現象。而且發現影響作業最大因素首當良率，因為些許的良率變動會大大影響到產品單位成本及價格的制訂。

} 在製品(WIP)存貨多

IC 製造廠的設備機台相當昂貴，任何一部機台都有上百萬的身價。瓶頸機台的利用率相當於全廠的產出量，產出多寡等於獲利的多寡，產出越多、獲利越高。但是機台使用率的高低對設備折舊費用的攤提有相當的影響，尤其是瓶頸機台。基於這兩點理由，一般的 IC 製造廠的 WIP 量通常不低。然而，過多的 WIP 存貨將累積過多的持有成本，這對於整體系統而言不是一件好事。因此，一般的製造廠面臨 WIP 存貨時，都希望能

夠維持最大產出量及瓶頸機台高利用率的條件下，將 WIP 存貨降到最低點。

本研究在現場發現，若能夠在生產日程量規劃加以合理化，對於減少 WIP 存貨量有很大的幫助。對於在生產期間所產生的不良品數，一般都是預估某固定百分比或是用存貨來加以吸收。這種固定不良率的預估的方式對於成熟穩定且已大量生產的產品來說，所造成的誤差影響不大，甚至可說是微不足道。然而，現在 IC 製造業每個生產元件價值都很高，而且生產也以小批量生產方式，使得以往不良率預估為固定值或是以存貨方式吸收不良品的生產日程規劃方式就發生問題，如此所規劃出來的日產出量會有高估情況發生，容易造成 WIP 的持有成本的增加。針對此類問題，本研究在生產日程規劃上不僅考量不良率因素，而且也考慮不良率變化的情況。

} 生產週期時間(cycle time)長

一般的生產週期時間，基本上包括五個階段，如圖 3.5 所示。平均生產週期的長短與 WIP 存貨量的多寡有正向的比率關係。前面提到，一般製造廠的 WIP 存貨量通常不低，使得週期時間也就跟著拉長許多。

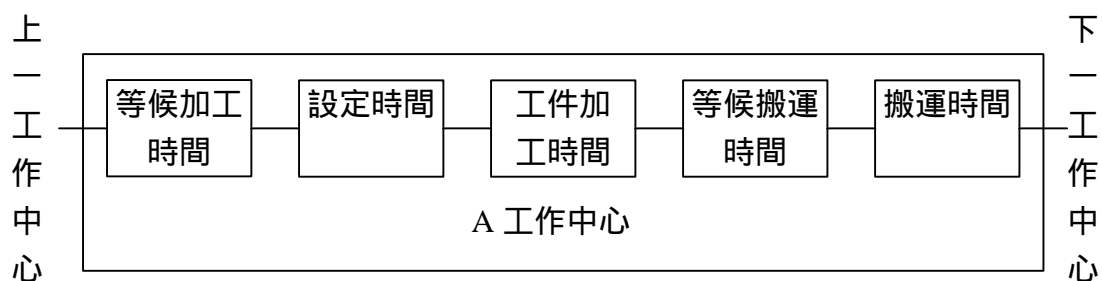


圖 3.5 一般機台加工時間示意圖

} 產出(throughput)績效很難掌握

製造現場常有許多不確定性存在，尤其是作業人員的流動率高、四班二輪的制度，使得產生現場生產人員績效時常在變動。這些不確定性的變動很難完全掌握，因而會影響既定的規劃產出量，往往該有的產出沒有準時出來，不是提前就是落後，造成現場製造的混亂，最後影響到製造績效的表現。

3.4 考量學習效用之生產現況

上面這些生產現況問題，主要是集中在良率及人員的問題。雖然良率及人員績效很難掌握，但經過長期觀察發現，這兩個因素有一種共通的變動趨勢，即由“壞”變成“好”的現象，探究原因可歸於是一種學習效應的發生。因此，本研究導入學習曲線函數來嘗試改善這些問題。

將上面這些問題整理歸類之後，可分為四大類來探討：良率及品質管制圖的修正、週(或日)產出量的規劃、作業人員績效的改善、標準成本及產品價格的修正，這些都是加入學習效應因素，並以合適的動態生產模式，促使這些生產規劃更符合實際生產情形，進而能正確的掌握良率及品管、成本價格、生產數量及作業人員績效。

第四章 個案研究

4.1 虛擬公司 — Z公司簡介

4.1.1 Z公司創始與發展【48】

1989年12月，一群美國矽谷半導體設計精英團隊集體返國，與台灣高科技人才共同創立Z電子公司，不但是台灣第一家以第三類股上市的高科技公司，同時也是第一家在美國NASDAQ店頭市場上市的台灣企業。

根據對半導體產業長期趨勢的觀察，Z公司自創業開始便選擇「系統整合晶片」(System-on-Chip)作為企業發展的長期目標，歷經十多年的辛勤耕耘，Z電子公司成功地與美、日、歐、亞等地的世界級大廠建立了長期而互惠的策略夥伴關係，包括美國惠普科技(HP)、摩托羅拉公司(Motorola)、希捷科技(Seagate)、日本三菱公司(Mitsubishi)、任天堂公司(Nintendo)、德國西門子公司(Infineon)、荷蘭飛利浦電子(Philips)、韓國三星電子(Samsung)以及日本山葉公司(Yamaha)等。

根據權威調查機構Dataquest統計，1998年Z公司的非揮發性記憶體排名世界第七大，是全球少數可以同時提供Mask ROM、EPROM與Flash「一次購足」服務的廠家；此外，Z公司更致力於多媒體應用等邏輯技術的累積，建立影像(Video)、聲音(Audio)、網路(Network)與系統邏輯等技術元件庫，成功地應用在多項影音與電腦週邊設備上。公司建立以來，均以ISP，「系統整合方案供應商」(Integrated Solutions Provider)自居，與客戶之間不論是在技術面、策略面、以及獲利性上均擁有相乘加值的合作關係。

面對3C多媒體應用、網際網路以及資訊家電(IA)的蓬勃發展，Z公司整

體的產品研發方向將朝向數位影像、無線通訊、高速網路等領域大步邁進，並且根據不同客戶的技術以及需求，提出最好的 SOC 系統整合與解決方案，今後 Z 公司仍將秉持這樣的理念積極提升自身技術、品質、與客戶服務的水準更進一步創造 Z 公司獨特性的價值。在二十一世紀「系統整合晶片」的聲光畫影應用領域中，Z 公司已成為關鍵高科技產業的一員。

4.1.2 Z 公司經營理念及產品策略 Z 公司以「實在」為經營理念，「創新、品質、效率」為目標，以全面追求顧客滿意為導向。並明定公司的品質策略為品質的改善是每一位員工的責任，從心態、意識的建設來解決品質問題，並且不斷地、全面性地提昇品質，提供高可靠性的產品進入國際市場。Z 公司擬定了合理而嚴謹的品質可靠性測試管理，於 1994 年、1995 年及 1997 年分別獲得 ISO-9002、ISO-9001 與 ISO-14001 的認證，並推行 TQM 全面品質管理。

產品策略是指公司決策者在公司本身及產業環境的各項條件之下，對於產品的研發方向及製造產品項目的選擇。對於產品決策的選擇，有三項影響因素：

- [1] 決策者本身的經營特質：決策者的個性積極或保守、出身背景...等，都會對事物有不同的看法，而影響其決定。
- [2] 公司本身的條件：公司的財務、技術、人才...等會影響公司本身營運及研發的因素。
- [3] 外部環境條件：市場、競爭對手、經濟狀況...等客觀的條件。

總之，在 Z 公司總經理的經營理念為配合四個核心技術的研究，制訂該公司的產品發展策略。這四個核心技術就是：.DSP(數位訊號處理 IC)

、.Embedded Controller(嵌入式控制 IC)、.Mix Signal(混合訊號)、.Flash Memory (快閃式記憶體)。

4.2 原始資料

[1] 資料收集的對象與方法

由於資料收集適當與否會影響學習曲線模式的正確性，所以對於產品的選擇以及時間點的掌握上特別謹慎。本研究資料是針對 Z 公司特定產品進行蒐集，其時間為從該產品進入生產線正式量產開始，一直到該公司完全不再生產此項產品為止。對於生產期間因不可抗拒的因素而發生製造異常，其所產生變異巨大的數據在收集時給於剔除不計，以避免這些數據影響到學習模式的正確性。

由於學習模式描述的是製造的數量、工時及平均良率的關係，所以計劃搜集 Z 公司實際製造的資料，包括各製程的生產線別、生產日期、生產數量、人工生產工時（分）及生產不良數。

[1] 資料特性：

Z 公司所提供資料，是單期單一產品產出的狀況，包含單期產量、工時及該期平均良率。因此在作迴歸分析時，要將資料轉換為累計資料。

由於廠商提供的是單期資料非累計資料，因此資料必須包含量產後到資料結束中每一期的數據，不能漏掉任何一筆，否則無法得到正確累計資料。

4.3 學習曲線模式的建立

由於以往學習曲線模式都是一個 Y 值對上一個變數 X 值，很少同時考量多個變數值。然而影響 Y 值的變數不可能只有一個，本研究假定影響不良率因素就有兩個變數。為了增加模式的可信度及合理性，本研究選擇多變數學習曲線模式作為基礎，並採用 *Cobb-Douglas* 所提出的多變數模式定義學習曲線模式，其模式如下：

$$P_{.x_1, y_1} = K C_1 X_1^{b_1} C_2 X_2^{b_2} \quad (4-1)$$

)
 P_x ：每單位累積平均不良率 K ：模式固定常數
 X_1 ：第一個變數值 X_2 ：第二個變數值
 C_i ：第 i 個變數係數 b_i ：第 i 個變數學習指數

把 (4-1) 式的參數值對應到本研究的參數，則『累積生產工時』為 X_1 、『累積生產數量』為 X_2 、『每單位累積平均不良率』則為 $P_{.x_1, y_1}$ 。由於以往單一變數學習曲線是一種非線性的現象，因此在求取學習曲線模式時，常用方法是先將數據做適當的轉換成線性關係之後，再利用統計學上迴歸分析的方法找出關係式，之後再還原成原來的模式。同樣地，多變數學習曲線模式也是一種非線性的現象，仍需要做適當的數據轉換。因此本研究也將數據嘗試使用 *log-transformation*。將模式 (4-1) 取 *log* 之後表示如下：

$$\begin{aligned} \log P_{.x_2, y_2} &= [\log K + \log(C_1 C_2)] + b_1 \log X_1 + b_2 \log X_2 \\ &= \log a + b_1 \log X_1 + b_2 \log X_2 \end{aligned} \quad (4-2)$$

其中 a 是將一些常數的乘積，即 $a = K C_1 C_2$ 。至於本研究所建立學習曲線模式的詳細流程，用圖 4-1 及圖 4-2 兩個流程圖來表示。

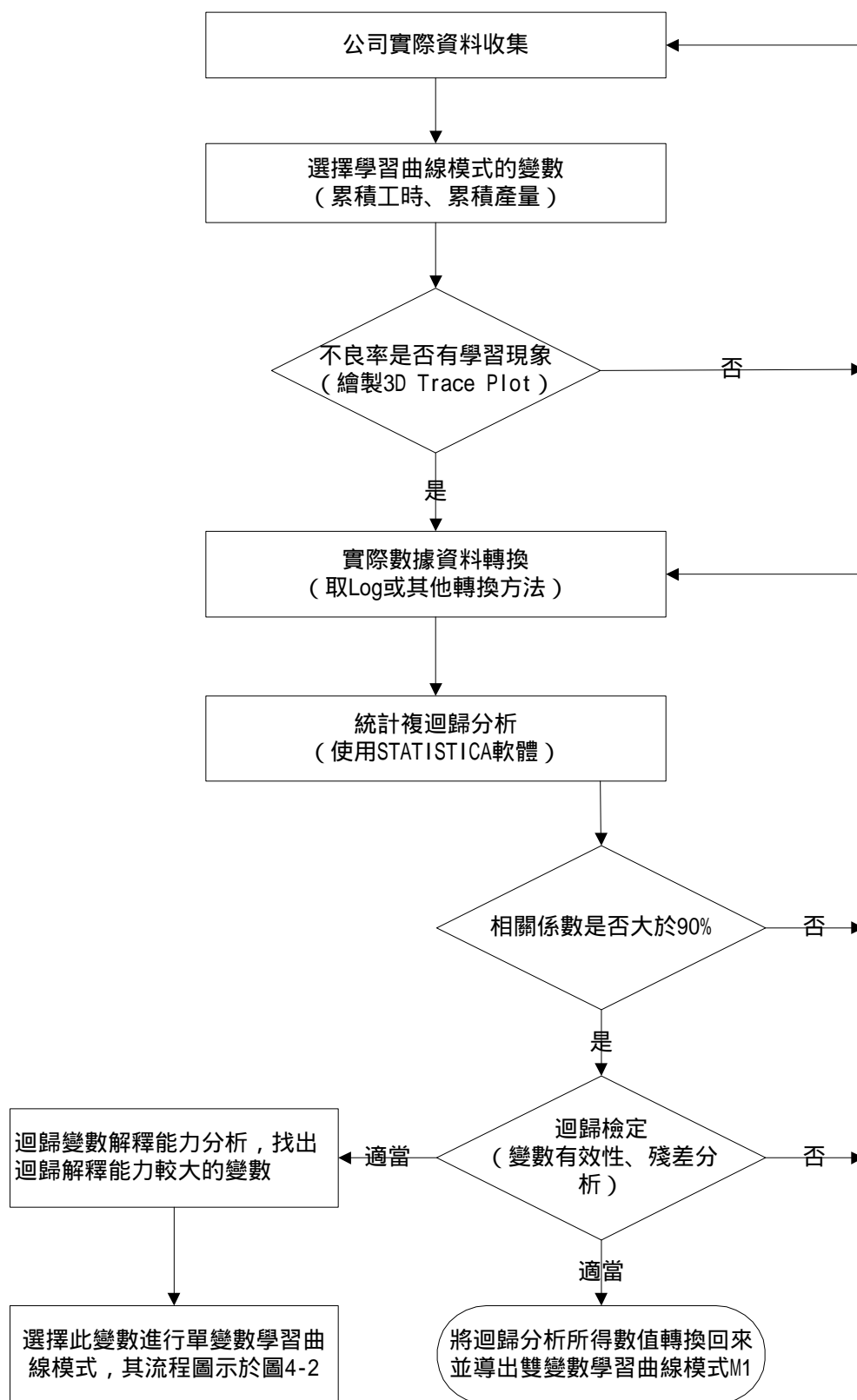


圖 4-1 雙變數學習曲線模式 (M1) 建立流程圖

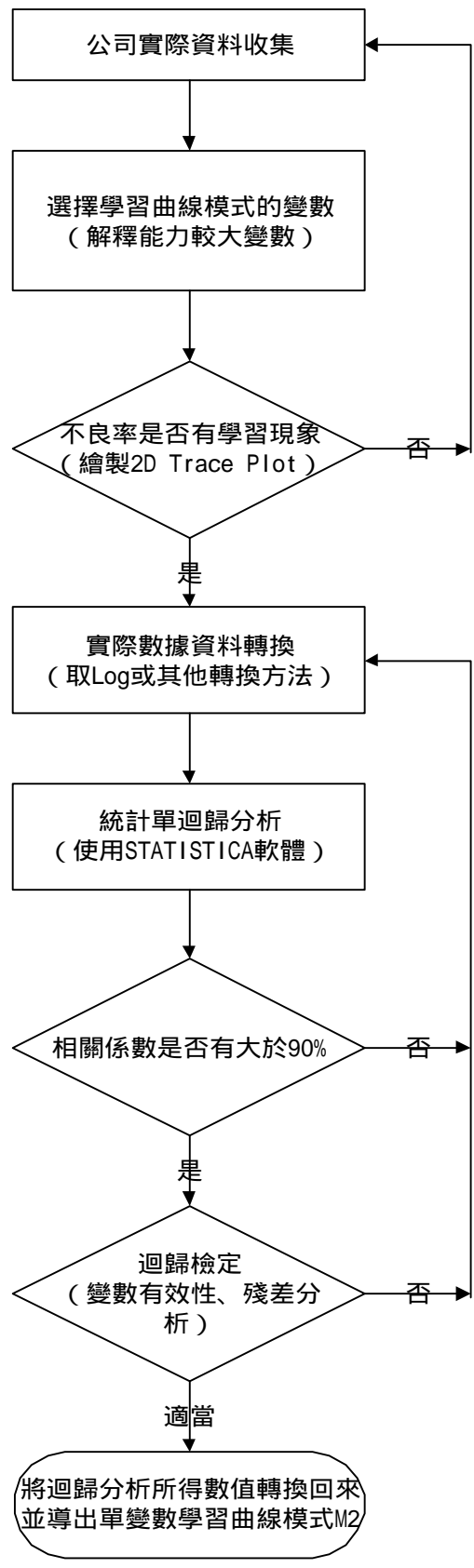


圖 4-2 單變數學習曲線模式 (M2) 建立流程圖

4.4 學習曲線模式在 IC 製造業的應用

4.4.1 良率及品質管制圖

本研究為了驗證良率具有學習現象，將 Z 公司的 IC 製程簡化成晶片製作、積體電路製造、IC 封裝及 IC 測試等四種製程機台組合，分別設為：製程 A 機台、製程 B 機台、製程 C 機台、製程 D 機台，而這四部機台都具有關連性，如圖 4-3 所示：

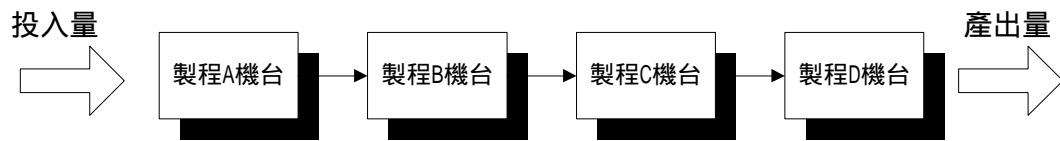


圖 4-3 各製程機台關連圖

由於各機台數據分析過程都是相同的，這裡只就 A 機台進行說明，如表 4-1 所示。

表 4-1 製程 A 機台原始數據分析

生產日期	生產數量	工時 (分)	不良數	累積生產量	累積工時	累積不良數	累積平均不良率	累積生產量 LOG	累積工時 LOG	累積平均不良率 LOG
1998/11/11	350	1500	50	350	1500	50	0.1429	2.54407	3.17609	-0.84510
1998/11/12	150	615	24	500	2115	74	0.1480	2.69897	3.32531	-0.82974
1998/12/2	300	1250	31	800	3365	105	0.1313	2.90309	3.52699	-0.88190
1998/12/2	350	1260	16	1150	4625	121	0.1052	3.06070	3.66511	-0.97791
1998/12/3	100	350	3	1250	4975	124	0.0992	3.09691	3.69679	-1.00349
1998/12/3	300	1140	21	1550	6115	145	0.0935	3.19033	3.78640	-1.02896
1998/12/3	350	1180	26	1900	7295	171	0.0900	3.27875	3.86303	-1.04576
1999/1/12	140	480	9	2040	7775	180	0.0882	3.30963	3.89070	-1.05436
1999/1/13	400	1365	10	2440	9140	190	0.0779	3.38739	3.96095	-1.10864
1999/1/13	200	700	17	2640	9840	207	0.0784	3.42160	3.99300	-1.10563
1999/1/14	450	1523	12	3090	11363	219	0.0709	3.48996	4.05549	-1.14951
1999/1/15	440	1395	25	3530	12758	244	0.0691	3.54777	4.10578	-1.16038
1999/1/15	254	800	20	3784	13558	264	0.0698	3.57795	4.13220	-1.15635
1999/4/7	35	120	3	3819	13678	267	0.0699	3.58195	4.13602	-1.15544
1999/4/8	465	1500	18	4284	15178	285	0.0665	3.63185	4.18121	-1.17700
1999/4/12	185	540	3	4469	15718	288	0.0644	3.65021	4.19640	-1.19082
1999/4/12	315	870	6	4784	16588	294	0.0615	3.67979	4.21979	-1.21144
1999/5/7	225	645	7	5009	17233	301	0.0601	3.69975	4.23636	-1.22118
1999/5/10	325	975	10	5334	18208	311	0.0583	3.72705	4.26026	-1.23429
1999/5/13	418	1185	30	5752	19393	341	0.0593	3.75982	4.28764	-1.22706
1999/5/14	20	58	8	5772	19451	349	0.0605	3.76133	4.28894	-1.21850
1999/5/14	32	89	10	5804	19540	359	0.0619	3.76373	4.29092	-1.20863
1999/6/7	260	735	10	6064	20275	369	0.0609	3.78276	4.30696	-1.21573
1999/6/8	505	1305	24	6569	21580	393	0.0598	3.81750	4.33405	-1.22311
1999/6/8	428	1200	12	6997	22780	405	0.0579	3.84491	4.35755	-1.23746
1999/6/9	307	825	10	7304	23605	415	0.0568	3.86356	4.37300	-1.24551
1999/7/15	50	135	0	7354	23740	415	0.0564	3.86652	4.37548	-1.24848
1999/7/15	300	800	4	7654	24540	419	0.0547	3.88389	4.38987	-1.26167
1999/7/16	200	550	0	7854	25090	419	0.0533	3.89509	4.39950	-1.27288
1999/7/16	295	840	3	8149	25930	422	0.0518	3.91110	4.41380	-1.28579
1999/7/16	205	540	2	8354	26470	424	0.0508	3.92189	4.42275	-1.29453
1999/7/21	270	700	3	8624	27170	427	0.0495	3.93571	4.43409	-1.30528

由於該機台屬於機械化程度高的工作站，所以當進入學習平穩階段時，

機械的參數值都呈現穩定，即使發生生產中斷情形，其遺忘情形可說是非常的輕微。

對於不良率的學習效應模式，在之前已經推演出三種模式，即無考慮產量與工時這兩個變數間學習效應的不良率學習曲線模式(M1) 去除解釋力較小變數後所形成的不良率學習曲線模式(M2) 考慮產量與工時這兩個變數間學習效應的不良率學習曲線模式(M3) 等三種。

將表 4-1 的數據資料利用圖 4-1 及 4-2 所描述的學習曲線建立流程，經過整理分析後可得到該機台的良率以及人員工時的學習曲線模式，如表 4-2 所示：

表 4-2 製程 A 機台學習曲線模式

曲線類型	數據分析之學習模式	學習模式特性
雙變數 M1	$P_{.y_1} = 0.3732 X_1^{-0.8621} X_2^{0.5698}$	無考慮產量與工時的學習效應之不良率模式
單變數 M2	$P_x = 1.2948 X^{-0.3566}$	去除解釋力小的獨立變數之不良率模式
單變數	$T_x = 8.875 X^{-0.1128}$	產量與工時的學習模式
單變數 M3	$P_{.y_1} = 1.2954 X_1^{-0.3543}$	考慮產量與工時的學習效應之不良率模式

至於 B 機台、C 機台、D 機台的良率及工時學習曲線模式的求取方式同 A 機台，其結果如表 4-3、表 4-4、表 4-5 所示：

表 4-3 製程 B 機台學習曲線模式

曲線類型	數據分析之學習模式	學習模式特性
雙變數 M1	$P_{.y_1} = 0.001530 X_1^{-3.1508} X_2^{3.1274}$	無考慮產量與工時的學習效應之不良率模式
單變數 M2	$P_x = 0.2430 X^{-0.1508}$	去除解釋力小的獨立變數之不良率模式
單變數	$T_x = 5.0559 X^{-0.04077}$	產量與工時的學習模式

單變數 M3	$P_{x_1} = 0.2431X_1^{-0.1508}$	考慮產量與工時的學習效應之不良率模式
--------	---------------------------------	--------------------

而 C 機台的作業是將產品放置高溫進行功能試驗的工作站，也就是把產品置入比一般常溫高的環境之下一段時間，在這個期間讓產品進行簡單的功能測試。由於每批量進行試驗的時間是固定，所以無法用學習曲線模式來表示時間跟批量的學習現象。因此在不良率與生產時間、生產數量的多變數學習曲線的探討也就無法求取，只就不良率與生產數量的單變數學習曲線模式來探討。仿照前面兩種機台求取學習模式方法，將數據整理後，於表 4-4 所示。

表 4-4 製程 C 機台不良率與生產數量的學習模式

曲線類型	數據分析之學習模式	學習模式數據
單變數	$P_x = 0.1605X^{-0.4086}$	(一月份之前)
單變數	$P_x = 0.1555X^{-0.5726}$	(四月份之後)

表 4-5 製程 D 機台不良率與生產數量的學習模式

曲線類型	數據分析之學習模式	學習模式特性
雙變數 M1	$P_{x_1, x_2} = 0.1761X_1^{-0.2156} X_2^{-0.1115}$	無考慮產量與工時的學習效應之不良率模式
單變數 M2	$P_x = 0.1530X^{-0.3104}$	去除解釋力小的獨立變數之不良率模式
單變數	$T_x = 3.5134X^{-0.1495}$	產量與工時的學習模式
單變數 M3	$P_{x_1} = 0.1531X_1^{-0.3104}$	考慮產量與工時的學習效應之不良率模式

由此可知，良率的確存在有學習曲線的函數，對於良率變動的掌握就可以很精確。由於良率具有此種函數的變動，因此對於品質管制圖就要有所修正。為了驗證學習曲線能在管制圖發揮功效，本研究利用上面所求得各機台不良率學習曲線模式，帶入不良率管制圖公式來加以修正，

這裡只還是只針對製程 A 機台進行修正。

在不考慮學習效應時，製程 A 機台不良率預估 5%，至於生產數量則是收集 Z 公司某一期間的實際生產數量，其管制線如下所示：

$$\text{中心線 } C = p = 0.05$$

$$\text{管制上限 } U = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = 0.05 + 0.0088 = 0.0588$$

$$\text{管制下限 } L = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = 0.05 - 0.0088 = 0.0412$$

若考慮學習效應的情況。把的不良率學習模式代入，則可得到動態的不良率管制圖模式，其管制線如下所示：

$$\text{中心線 } C = P_x = 1.2948 X^{-0.3566}$$

$$\text{管制上限 } U = 1.2948 X^{-0.3566} + 3\sqrt{\frac{1.2948 X^{-0.3566} (1 - 1.2948 X^{-0.3566})}{n}}$$

$$\text{管制下限 } L = 1.2948 X^{-0.3566} - 3\sqrt{\frac{1.2948 X^{-0.3566} (1 - 1.2948 X^{-0.3566})}{n}}$$

將這兩種不良率學習模式所求得不良率管制線和固定良率模式所求得結果，整理列表如下：

表 4-6 製程 A 機台考量學習效應之不良率管制線差異分析

Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
管制中心線	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500
固定良率	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500
M2	0.1346	0.1054	0.0914	0.0826	0.0764	0.0717	0.0679	0.0648	0.0622	0.0599	0.0579	0.0562
M3	0.1366	0.1072	0.0930	0.0842	0.0779	0.0731	0.0692	0.0661	0.0634	0.0611	0.0591	0.0574
管制上限	0.0763	0.0763	0.0763	0.0763	0.0763	0.0763	0.07639	0.0763	0.0763	0.0763	0.0763	0.0763
固定良率	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
M2	0.1744	0.1422	0.1263	0.1163	0.1090	0.1035	0.0990	0.0953	0.0922	0.0895	0.0871	0.0850
M3	0.1766	0.1442	0.1282	0.1180	0.1107	0.1051	0.1006	0.0969	0.0937	0.0910	0.0886	0.0865
管制下限	0.0236	0.0236	0.0236	0.0236	0.0236	0.0236	0.02361	0.0236	0.0236	0.0236	0.0236	0.0236
固定良率	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M2	0.0947	0.0686	0.0565	0.0490	0.0437	0.0398	0.03677	0.0342	0.0321	0.0303	0.0287	0.0274
	4	6	0	2	9	7		5	4	3	7	0
M3	0.0965	0.0702	0.0578	0.0502	0.0449	0.0409	0.03785	0.0352	0.0331	0.0313	0.0297	0.0283
	7	0	7	8	8	9		8	3	0	1	1

為了便於比較分析，將表 4-6 依照管制線種類進一步的表示成圖 4-4、圖 4-5 及圖 4-6。

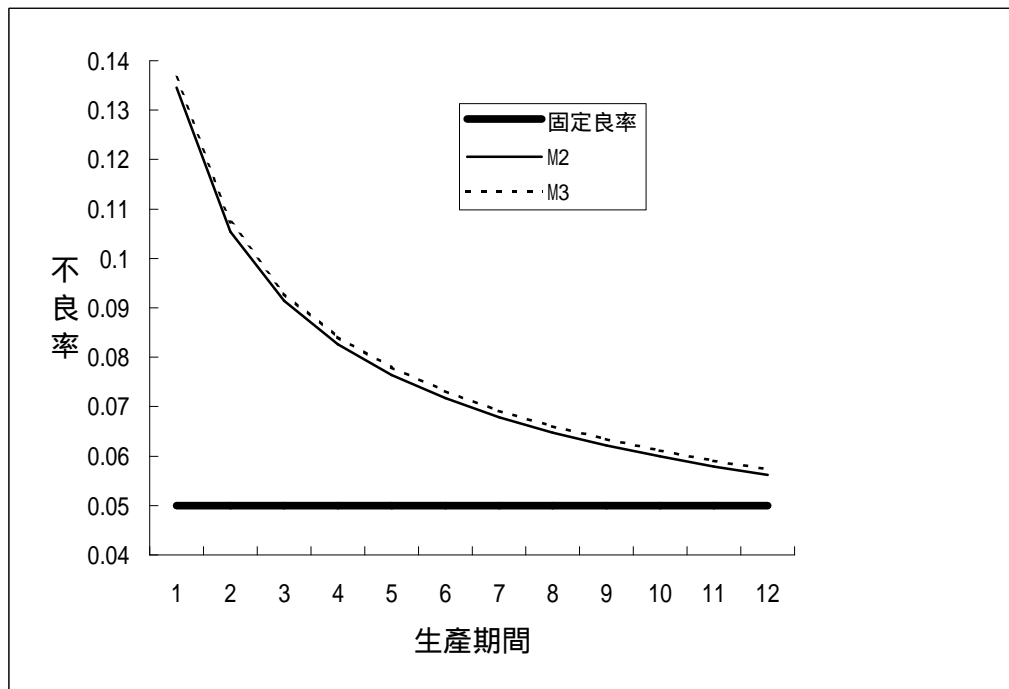


圖 4-4 製程 A 機台有無考量學習效應之管制中心線比較圖

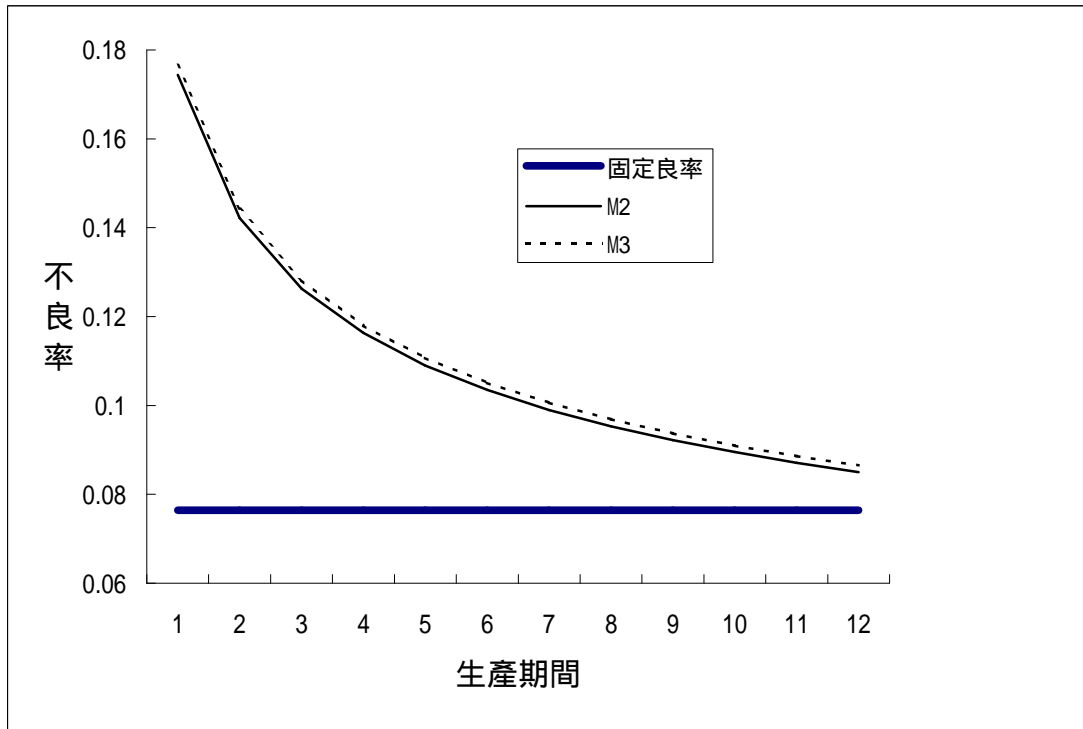


圖 4-5 製程 A 機台有無考量學習效應之管制上限比較圖

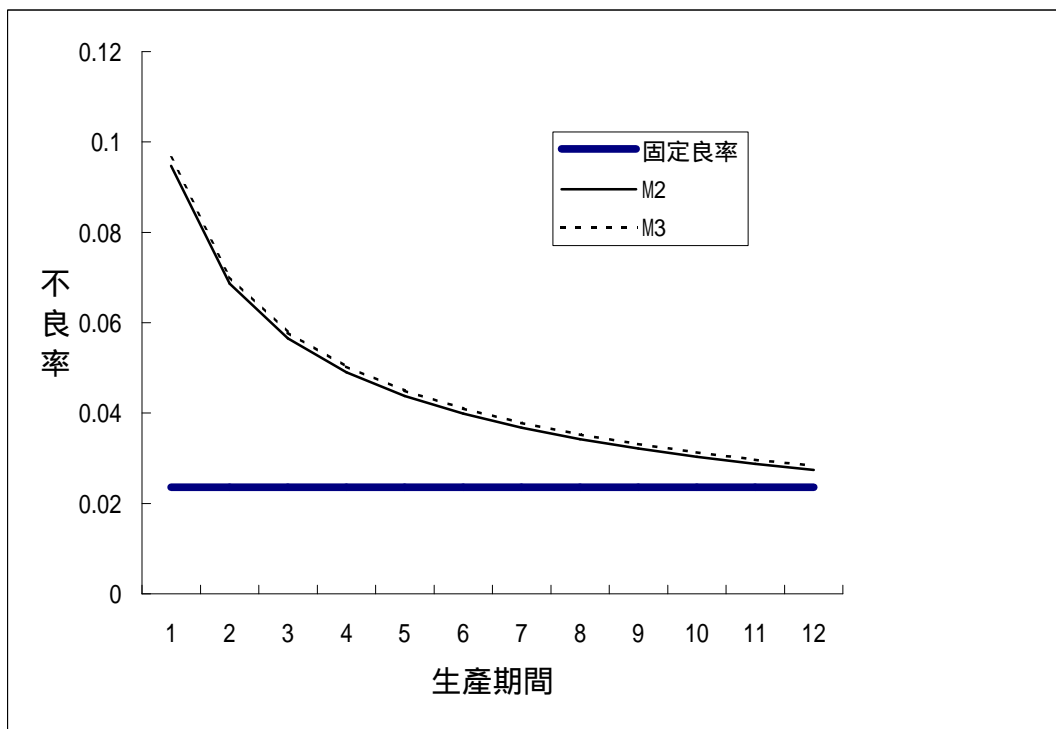


圖 4-6 製程 A 機台有無考量學習效應之管制下限比較圖

4.4.2 週(或日)產出量的規劃

由於 WIP 存量的發生是與週(或日)產出量有很大的關係，所以在規劃每個機台投入量時就要特別謹慎。由於不同機台有不同類型的動態生產模式，為了驗證這些模式之間的差異，本研究假設 Z 公司每週生產該產品 500 單位，亦即最終工作站需要生產實際數量 500 個。而產品經過每個工作站所需要的加工生產時間如下：

站 別	加工時間 (分 / 件)
SMD	3.5
Touch Up	3.2
Final Test	1.0

至於製程 C 機台的作業是不管產品數量的多寡，所需要花費的時間皆是固定。該產品則預計生產十二週，而在生產期間生產線沒有重大異常或是人員變動情況發生，且不考慮生產遺忘的現象。若生管人員在不考慮良率的學習效應時，對於每個製程機台的不良率都預估 5%，亦即在規劃每站投入量時會比產出量多規劃 5%。由於每個製程機台有不同特性的生產模式，為了清楚分析起見，所以就分成兩種情形來考慮：不考慮不良率的學習效應亦即不良率固定、考慮不良率的學習效應，包括無考慮產量與工時學習效應之不良率學習模式 M1、去除解釋力小的獨立變數之不良率學習模式 M2、考慮產量與工時的學習效應之不良率學習模式 M3 等三種。

不考慮不良率的學習效應 (不良率固定)

由於不考慮不良率的學習效應，所以每個製程機台的不良率都維持在 5%。因此，由最終產量開始倒推計算，求出生產線上各工作站的投入量，最後可以得到投入該生產線的初始投入量。各工作站每週詳細的投入及

產出量如表 4-7 所示：

表 4-7 不考慮不良率學習效應之各站投入與產出情形及差異分析

	Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
最終產出量		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	6000
D 機台		526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	6316
C 機台		554	554	554	554	554	554	554	554	554	554	554	554	6648
B 機台		583	583	583	583	583	583	583	583	583	583	583	583	6998
A 機台 初始投入量		614	614	614	614	614	614	614	614	614	614	614	614	7366

總產出量 = 6000

初始總投入量 = 7366

$$\text{差異百分比} = \frac{7366 - 6000}{6000} = 22.77\%$$

由差異百分比可以知道，若每個工作站所預估的不良率都固定在 5%，則每週所規劃的量在累積十二週之後，會比實際產出的數量多出 22.77%。

考慮不良率的學習效應

由於機台 C 有一個變數在影響不良率，所以計算該站的多變數學習曲線模式。所以就假設其不良率為 5%。三種模式計算結果如表 4-8 所示：

表 4-8 考慮不良率學習效應之各站投入與產出情形及差異分析

	Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
最終產出量		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	6000
D 機台	M1	512	509	508	507	507	507	506	506	506	505	505	505	6084
	M2	511	509	508	507	507	506	506	506	506	505	505	505	6083
	M3	511	509	508	507	507	506	506	506	506	506	505	505	6083
C 機台	M1	539	536	535	534	534	533	533	533	532	532	532	532	6404
	M2	518	514	512	511	510	510	509	509	508	508	508	508	6124
	M3	518	514	512	511	510	510	509	509	508	508	508	508	6124

B 機台	<i>M1</i>	567	564	562	561	561	560	560	559	559	559	558	558	6729
	<i>M2</i>	572	562	557	554	551	549	548	547	545	545	544	543	6616
	<i>M3</i>	572	562	557	554	551	549	548	547	545	545	544	543	6616
A 機台														
初始投入量	<i>M1</i>	644	625	616	610	606	603	600	598	597	595	594	593	7280
	<i>M2</i>	661	628	613	603	597	592	588	584	582	579	577	575	7179
	<i>M3</i>	663	629	614	604	598	593	589	585	582	580	578	576	7191
總產出量 = 6000														
固定不良率 5% 初始投入量 = 7366														
M1 差異百分比 = $\frac{7280 - 6000}{6000} = 21.33\%$	M1 初始總投入量 = 7280													
	M2 初始總投入量 = 7179													
	M3 初始總投入量 = 7191													
M2 差異百分比 = $\frac{7176 - 6000}{6000} = 19.65\%$	M1 和固定不良率差異 = $\frac{7366 - 7280}{7366} = 1.168\%$													
	M2 和固定不良率差異 = $\frac{7366 - 7176}{7366} = 2.579\%$													
M3 差異百分比 = $\frac{7191 - 6000}{6000} = 19.85\%$	M3 和固定不良率差異 = $\frac{7366 - 7191}{7366} = 2.539\%$													

由表 4-8 的投入及產出知道,這三種動態生產模式的差異百分比約在 20% 附近。M1 模式的初始投入量比固定不良率模式的投入量少 1.168%, 而 M2 及 M3 模式則是約少 2.5%, 這是導因於良率學習效應所形成的差異。進一步分析發現, M1 的初始投入量比 M2 和 M3 的初始投入量多, 探究原因在於 M1 沒有考慮生產數量與生產工時的學習效應。至於 M2 和 M3 模式的初始投入量差異就很小, 意味著生管人員若要求不很精確的初始投入量, 利用 M2 學習曲線模式即可。至於 M3 模式則是考量生產數量及生產工時的學習效應, 由於這兩者之中有一個變數對於不良率的影響性很小, 使得最後所得到的結果和 M2 模式差異就會越來越小。

由表 4-8 和表 4-9 所到的結果可以知道, 生管人員在規劃生產線的初始投入量時, 若能將不良率的學習因素加入, 則可以節省很多不必要的投入量。若想要再求取更精確的投入量, 就必須多加考量影響不良率的學習變數。考量的變數越是周全, 所得到的投入量越是精準。當然多變數間的相互影響則是必須注意的, 像是 M2 及 M3 差異不大的原因就是在於生產數量及生產工時這兩個變數的交互作用很大, 使得多變數所要表現的效應不很顯著。

4.4.3 作業人員績效

由於人員績效會影響產出水準, 所以工業工程在衡量人員績效有很多指標, 最常用是在工作研究的『綜合效率』。所謂的『綜合效率』是稼動率和效率的乘積, 由於稼動率變異太大且不是本研究的範圍, 所以就假定該公司生產線的稼動率維持在 90%。將稼動率 90% 代入修正後的綜合效率可以得到公式 4-3 :

$$E = k \times e = 0.9 \times \frac{(f(q_i) \times Q_i)}{T_i} \quad (4-3)$$

$f(q_i) = T_r$: 生產數量和生產工時的學習曲線模式

q_i : 累積生產數量
 Q_i : 當期生產數量
 T_i : 當期生產工時

在這裡只對製程 A 機台、製程 B 機台和製程 D 機台的綜合效率進行比較。至於製程 C 機台，由於 Burn In 作業時間固定，所以工時和產量沒有學習效應的發生，故不與討論。將之前已經列於表 4-2、表 4-3 及表 4-4 中的 T_x 代入公式 4-3 中的 $f(q_i)$ ，可以得到修正後綜合效率。利用這三個機台所收集來的生產數量及生產工時，代入修正後的綜合效率模式中，可以得到這兩者的綜合效率。為了容易看出兩者的差異性，這兩者的結果用折線圖來表示，得到圖 4-7、圖 4-8 及圖 4-9。

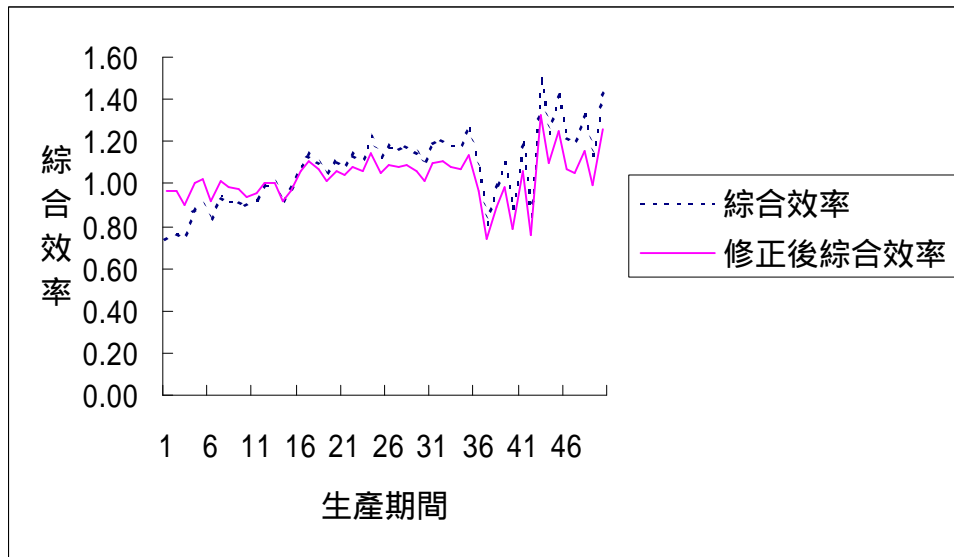


圖 4-7 製程 A 機台修正前及修正後的綜合效率

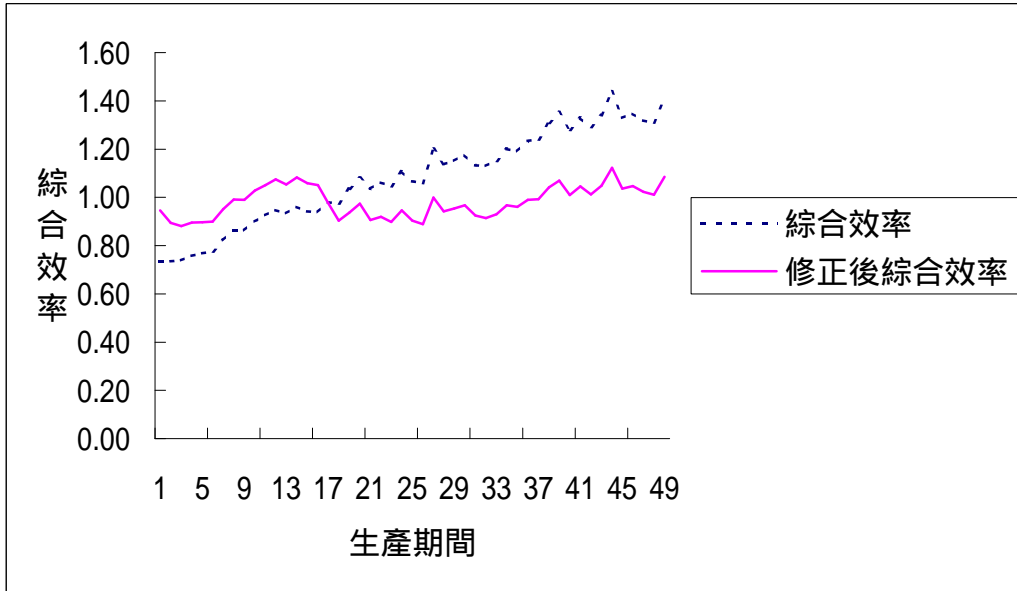


圖 4-8 製程 B 機台修正前及修正後的綜合效率

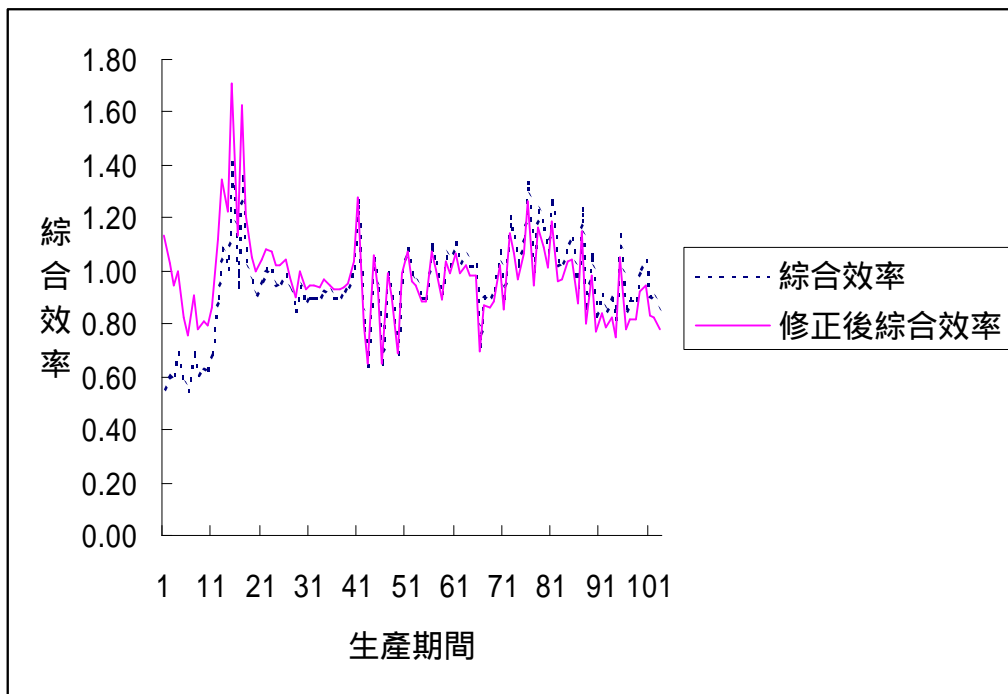


圖 4-9 製程 D 機台修正前及修正後的綜合效率

由這三個圖可以發現兩者效率都會隨著生產作業時間的增加，效率也有跟隨提升的現象，這是由於人員對於工作熟悉度提高的結果。然而若仔細觀察可以發現到一個現象，就是在生產初期修正前的綜合效率比修正後綜合效率還低。在經過一段時間之後，反而是修正後綜合效率比修正

前的綜合效率底。探究這種現象的發生，可用作業人員的學習效應觀點來加以解釋。

由於在生產初期人員對於工作仍處於不熟悉狀態，所以生產人員的加工時間較長。在以往的綜合效率模式中，並沒有考慮人員的學習效應，所以工時都是固定值，而且工時的取得大都取自於歷史資料的平均值或是所謂的標準工時，使得這樣的綜合效率會在初期有會有偏低的現象，容易造成管理人員懷疑是否有異常或是作業人員怠惰，而作業人員也會覺得所設定的標準過高，難以達成而灰心。然而在經過一段時間之後，由於熟練度的增加，作業人員加工時間減少，使得綜合效率輕易的就達成而且都有偏高現象，會讓作業人員容易發生鬆散懈怠，而管理人員也會懷疑所設的指標是否太低。

經過修正後的綜合效率則有考量到作業人員的學習現象，所以能夠反應作業人員在生產時的學習現象。因此，修正後的綜合效率會隨著作業人員的加工時間而做適當的調整，因而才會形成這兩種綜合效率在生產的不同時期顯示高低互換的現象。

4.4.4 標準成本及產品價格

本研究從 Z 公司收集三種產品的產量及良率資料如表 4-9。所得的數筆資料中扣除無法使用的，以三筆數據來求出不良學習曲線模式。

表 4-9 產品原始數據分析

月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	產量(片)	460	1140	1710	1710	2290	5200	5500	8050	10900	8950	11900
	良率%	60	60	77	80	82	85	87	90	90	90	90
B	產量(片)	300	500	1550	4000	8950	11900					
	良率%	65	70	75	80	80	80					
C	產量(片)	208	415	216	467	457	994	1136	1467	1630		
	良率%	65	63	86	80	85	87	90	91	93		

將上表的資料利用圖 4-2 的學習曲線建立流程，可得這三種產品的不良率學習曲線模式，如表 4-10 所示。

表 4-10 A.B.C 產品良率學習式之迴歸結果

產品	學習曲線式	R ²	學習率
A	$f(x)=100-74.948X^{-0.275}$	0.976	82.645%
B	$f(x)=100-40.454X^{-0.127}$	0.980	91.57%
C	$f(x)=100-55.1X^{-0.315}$	0.902	80.385%

由於良率會隨著製造量的增加而改進。在少量製造時，良率對製造量的變動很敏感；製造量大時，良率會逐漸平穩且趨近 100%，因此目前的制度是假設在製造量大的情形下。究竟在學習模式下良率的變化，在總產量多少時會對成本的影響有多大；以產品 A 的學習模式為例，來估算不同產量時的成本修正的正確性：

產品 A 的良率與產量關係式如下：

$$f(x) = 100 - 74.948X^{-0.275}$$

f(x)：累積產出良率

x：累積產出數量

以該數學模式預計其在各累計產量下的累計良率，並計算在該狀況下算出之成本，相對百分之百良率，亦即未經良率調整的成本的差異：

$$\text{成本差異} = (C/Y - C/100) \div (C/100) = (100/Y) - 1$$

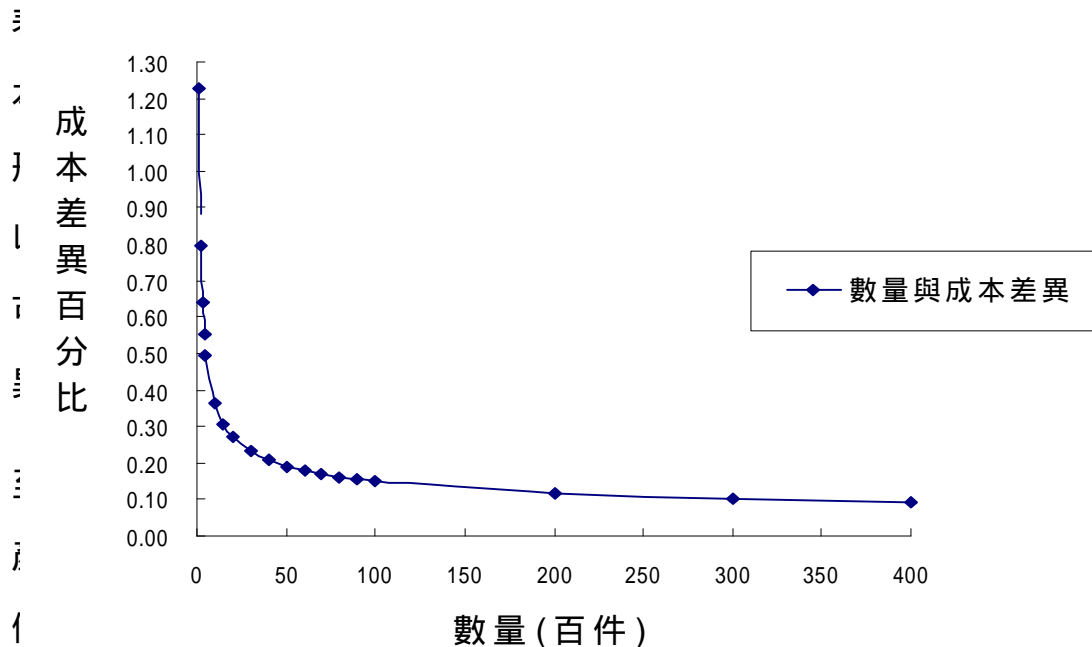
C：未修正單位成本

Y：估計良率 × 100

表 4-11 產品 A 產量與成本差異之估計

數量 (百件)	估計良率 Y	成本差異 (100/Y)-1	數量 (百件)	估計良率 Y	成本差異 (100/Y)-1
1	44.900	1.227	40	82.761	0.208
2	55.708	0.795	50	83.931	0.191
3	61.019	0.639	60	84.828	0.179
4	64.396	0.553	70	85.547	0.169
5	66.812	0.497	80	86.143	0.161
10	73.322	0.364	90	86.647	0.154
15	76.521	0.307	100	87.083	0.148
20	78.555	0.273	200	89.617	0.116
30	81.126	0.233	300	90.862	0.101

數量與成本差異



成本、直接人工成本、製造費用及良率損失成本。產品成本表示如下：

$$\text{產品成本} = \text{直接材料成本} + \text{直接人工成本} + \text{製造費用} + \text{良率損失成本}$$

由這些成本組成要素可以發現，直接人工成本及良率損失費用具有學習效應的現象。至於直接人工成本可以用產量與工時學習模式來修正，而良率損失費用則可使用不良率學習模式來修正。

本研究調查 Z 公司每週生產某一產品為 500 個，由於成本屬於較機密的

部分，所以這裡假設該公司生產此項的直接材料成本 800 元、製造費用 200 元、作業人工成本每分鐘 20 元，每個機台的產品加工時間及各站良率損失費用如下所示：

站 別	加工時間 (分 / 件)
A 機台	3.5
B 機台	3.2
D 機台	2.5

站 別	損失費用 (元 / 件)
A 機台	1000
B 機台	500
C 機台	550
D 機台	800

為了要能夠清楚的表示學習效應對於產品成本的影響，並對其作比較分析，其結果可以整理出表 4-12。

表 4-12 考量學習效應之單位產品成本差異分析

Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Non_LC 模式	1366.86	1366.86	1366.86	1366.86	1366.86	1366.86	1366.86	1366.86	1366.86	1366.86	1366.86	1366.86
M2 學習曲線模式	1481.28	1432.49	1407.22	1390.58	1378.35	1368.78	1360.97	1354.39	1348.74	1343.80	1339.42	1335.49
M3 學習曲線模式	1506.48	1451.80	1423.72	1405.32	1391.85	1381.34	1372.77	1365.58	1359.41	1354.03	1349.26	1344.99
差異分析百分比												
M2-Non_LC	8.37%	4.80%	2.95%	1.74%	0.84%	0.14%	-0.43%	-0.91%	-1.33%	-1.69%	-2.01%	-2.30%
M3-Non_LC	10.21%	6.21%	4.16%	2.81%	1.83%	1.06%	0.43%	-0.09%	-0.54%	-0.94%	-1.29%	-1.60%
M3-M2	1.70%	1.35%	1.17%	1.06%	0.98%	0.92%	0.87%	0.83%	0.79%	0.76%	0.73%	0.71%

由表 4-12 的差異分析可以發現，在初期有考慮學習現象的成本會比沒有考慮學習現象的成本還高，之後會隨著生產時間的增加，產品成本會有逐漸降低的現象。由差異分析百分比更可以發現，M3 模式的成本降低幅度比 M2 模式顯著，但隨著生產時間的增加，生產成本趨於相近，再度驗證學習模式所考慮的因子愈是周全，所得到結果愈為精確的想法。有考慮學習現象的成本模式，能夠很適切的表達學習過程中產品成本變化情形，這對於管理階層在定價的策略上有極大的幫助，能夠知道何時可以降低價格，以提昇產品的競爭能力。

當然每家公司都有各自的產品成本學習曲線，如何能讓曲線降低速度比競爭對手還要快，就有較高的競爭能力。所以學習曲線在成本的應用上是很廣泛且重要的。

第五章 結論與建議

學習曲線在學術界及實務界早已被應用並做出許多研究成果。由於不同的生產環境會有不同的學習曲線，所以如何找出適合該生產環境的學習曲線模式，就成為研究學習曲線者所要努力的課題。本研究應用學習曲線來改善 IC 製造業的生產模式：良率及品質管制圖的修正、日產出量的規劃、作業人員績效的改善、標準成本及產品價格的修正等四種，可利用生產過程的學習曲線適切地反應實際生產狀況。此外，藉由本研究所發展出來的學習曲線，可以提供 IC 製造業在未來生產類似產品時一個預測工具。

整個研究過程可以分成兩大部分：學習曲線模式的建立以及生產模式的應用，分別歸納如下：

學習曲線模式的建立

本研究是從某製造 IC 產品的公司中，收集特定產品在特定期間內的生產工時、累積生產數量以及生產不良率等資料，將這些資料利用統計學上迴歸分析的方法構建學習曲線模式，並利用殘差分析來驗證模式的正確性。研究過程可知產品的生產良率及生產工時都具有學習效應的發生。由於半導體產業屬於自動化程度高的工廠，與傳統產業的學習效應當然有很大的差異。在製造良率上，只有製造熟悉度改變，而其他熟悉生產製程環境沒有變更的情形下，良率會隨之改善。這樣的效應模式化，可以求出兩個學習曲線模式：良率對累積生產數量及生產工時之學習曲線模式、工時對累積生產數量之學習曲線模式。對於多變數學習曲線模式來說，由於考量兩個因子：累積工時及累積產量，所以能夠精確地反應

生產過程實際良率的變化。在第四章的實證研究中，比較了多變數學習曲線模式和單變數學習曲線模式間的差異。可以發現，多變數學習模式所反應出來的良率變化比單變數學習模式所反應出來的結果更接近實際的良率變化。

然而多變數學習模式需要考量因子間的共變性，為了去除因子間的交互作用，可將原本雙變數學習模式（M1）做適當修正，推演出兩個單變數學習曲線模式：去除對模式影響較小的變數之學習曲線模式（M2）、考量兩變數共變關係之學習曲線模式（M3），將這三種學習曲線模式應用在生產模式中，並比較之間的差異情形。經過差異分析比較，（M3）學習曲線模式較能真實反映學習現象，也就是考慮越多變數的學習曲線模式較能反應實際生產情形。

生產模式的應用

『良率及品質管制圖的修正』：本研究證實良率具有學習效應的發生，打破一般人對於自動化程度高產業，尤其是半導體業，沒有學習曲線的觀念。此外，考量學習效應的不良率管制圖，其所得到的管制線呈現類似對數函數的現象，也就是隨著生產數量及生產時間的增加，不良率管制線會隨之降低，進而逐漸達到一個平穩現象，而這個平穩現象時點的發生，對一些生產管理人員來說是很重要的。以品管人員來說，良率的不平穩變化雖可歸咎於初期人員作業的不熟悉，但仍需要仔細去探究是否有其他影響良率的因素。而對於製程人員來說，他們會積極地尋求製程改善，期望能夠讓產品的平穩現象提早發生，加速產品提早達到穩定狀態。

『週(或日)產出量』：生管人員在日產出量規劃時，往往都把各工作站的

生產不良率預估某一固定值，導致 WIP 存貨太多，使得產品的生產週期時間拉長。然而在考慮各機台不良率的學習效應下，所規劃的日程量比原本沒有考慮學習效用的日程量減少許多，因而可降低不必要的生產規劃量及製造成本。

『人員績效評估的改善』：產出績效的訂定在考量人員學習效應時，能夠適當的反應人員從生手到熟練的學習狀況，改進以往在沒有考慮人員學習現象時，初期績效值設定過高、後期過低的現象。對於管理階層在設定獎賞制度及監控生產績效上有所幫助。

『標準成本及產品價格的修正』：單位標準成本計算中，需要由良品來分攤總額，因此標準成本要經由良率來修正，目前多數廠商使用一目標良率來修正。在案例研究中，使用學習曲線來描述良率變化，發現製造量少，良率的變化程度大，而在製造量到達一定程度時，良率趨於穩定且接近目標值。因此該成本制度在大量製造時，使用目標良率及學習式計算出之良率，所得之單位成本差異小；而在小製造量時，差異很大。建議在使用目前的成本計算，要先考慮產量多寡影響到良率的變化。

而在產品價格制訂的應用上，學習曲線也發揮很大的功用。本研究發現初期的人工成本及不良率損失成本高，之後會隨著生產熟悉度的增加而隨之降低，而且趨近一個穩定值。當公司高階人員在考量成本時，若能考量學習曲線的效應，對於編製預算、擬定價格策略及制訂成本績效上就能有較實際及精確的結果，有助於訂單之爭取、預算之編訂及獲利之增加。

本研究比較了多變數學習曲線模式及單一變數學習模式間的差異，發現雖然多變數學習曲線模式較能夠反映出實際生產的學習狀況，但差異情形卻不很大，探究原因乃是變數選擇不易及變數獨立性不高的緣故。因

此，若在一個低成本元件、不講究精確規劃數量的生產環境下，只要用傳統單一變數學習模式就可行，既簡便計算且生產差異不大。但若是在一個高成本元件、講究高精準規劃數量的生產環境下，如 IC 半導體製造業等，由於生產規劃數量的些許變化都會對成本造成極大影響，所以多變數學習曲線模式是必要的考量，雖然在計算及變數的選擇上都比單一變數學習曲線模式要來的繁雜。

建議

以下三項值得做更深入探討：

- [1] 本研究的學習曲線模式牽涉到多變數函數，而多變數就必須考量到變數間的共變性情況。本文在變數的選擇上雖力求獨立性，但礙於公司所提供的資料，只能就工時及產量進行探討。然而這兩個變數相關性高，因此所得到模式精確度仍有加強空間。期望未來研究者，對於多變數學習曲線模式因子的選擇上應可再加以研究。
- [2] 本研究的學習曲線模式仍使用 Log-Linear Model，雖然所求得的模式能夠反應實際生產狀況。但未來研究者可以嘗試使用其他學習曲線模式，如文獻中所列舉的多變數學習模式，來探討實際應用的情形。
- [3] 本研究為了減少模式的複雜度，沒有加入學習遺忘的情況。雖然本文所研究的產品有發生生產中斷情形，但期間都不很長，所以就不考慮遺忘的情形。但對於追求精準的企業來說，這並不很恰當，若能夠把學習遺忘函數加入模式，將可使本文所探討的四種生產模式更趨於精準。

參考文獻

- [1] Alchian, "Reliability of progress curves in airframe production," *Econometrica*, Vol.31, no.4, pp.679-693, 1963.
- [2] A.R. Washburn, "The effects of discounting profits in the presence of learning in the optimization of production rates," *AIIE Trans.*, Vol.4, pp.205-213, 1972.
- [3] A.S. Goldberger, "The interpretation and estimation of Cobb-Douglas functions," *Econometrica*, Vol.35, nos.3-4, pp.464-472, 1968
- [4] Alder, G. L. and R. Nanda, "The effects of learning on optimal lot size determination – single product case," *AIIE Transactions*, Vol.6, No. 1, pp.14-20, 1974
- [5] Bailey, C.D., "Forgetting and the learning curve : a laboratory study," *Management Science*, Vol.35, No.3, pp.340-352, 1989
- [6] Bevis, F.W. and Towill, D.R., "Managerial control systems based on learning curve models," *INT. J.PROD. RES.*, Vol11, No.3, pp.219-238, 1972.
- [7] C.C. Pegels, "On Startup or learning curves : An expanded view," *AIIE Trans.*, Vol.1, no.3, pp.216-222, Sept. 1969.
- [8] Carlson, J.G., "Cubic Learning curves : Precision tool for labor estimating," *Manufacturing Engineering and Management*, Vol.71, No.5, pp22-25, 1973
- [9] Cherrington, J.E., Lippert and D.R. towill, "The effect of prior experience on learning curve parameters," *International Journal of Production Research*, Vol.25, No.3, pp.399-411, 1987
- [10] E.V. McIntyre, "Cost-volume-profit analysis adjusted for learning," *Management Sci.*, Vol.10, pp.149-160, 1977.
- [11] E.W. Waller and T. J. Dwyer, "Alternative techniques for use in parametric cost analysis," *Concepts – Journal of Defense Systems Acquisition Management*, Vol.4, no.2, pp.48-59, Spring 1981
- [12] F.K. Levy, "Adaptation in the production process," *Management*, Vol.4,

no.1, pp.B136-B154, April 1965.

- [13] F.S. Hoffman, "Comments on the modified form of the air craft progress functions," Rep. No.Rn-464, The Rand Corporation, Santa Monica, CA, 1950.
- [14] G.R. Knecht, "Costing, technological growth and generalized learning curves," Oper. Res. Quart., Vol.25, no.3, pp.487-491, Sept. 1974.
- [15] G.W. Carr, "Peacetime cost estimating requires new learning curves," Aviation, Vol.45, April 1946.
- [16] Garg, A. and P. Milliman., "The aircraft progress curve modified for design changes.," Journal of I.E., Vol.12, No.1, pp23-27, 1961
- [17] Globerson, S. and Shtub, A, "The impact of learning curves on the desing on long cycle time lines," Industrial Management, Vol.26, No.3, pp.5-10.
- [18] Greenberg, L., "Measurement of the work-accident experience in the American petroleum industry," American Society Satety Engineers, Vol.15, No.2, pp11-13, 1970
- [19] Hancock, Walton M. "The prediction of learning rate for manual operations" Jou. Of I.E., Vol.18, No.1, pp.42-47, 1967
- [20] Hirschmann, Winfred B. "Profit from the Learning Curve," Harvard Business Review, pp.105-119, Jan. 1964
- [21] J. D. Camm, T. R. Gulledge, Jr., and N.K. Womer, "Production rate and contractor behavior," J. Cost Analysis, vol.5, no.1, pp.27-38, 1987
- [22] J.H. Glover, "Manufacturing progress functions : An alternative model and its comparison with existing functions," Int. J. Production Research, Vol.4, no.4, pp279-300, 1966
- [23] J.R. DeJong, "The effects of increasing skill on cycle time and its consequences for time standards," Ergonomics, pp.51-60, Nov. 1957
- [24] Jean-Paul Sallenave, "The Uses and Abuses of Experience Curves," Long Rang Planning, Vol.18, No.1, p.65, 1985
- [25] L.E. Yelle, "Estimating learning curves for potential products," Industrial Marketing Management, Vol.5, nos.2/3, pp.147-154, June 1976.
- [26] Louis E. Yelle, "The Learning Curve : Historical Review and

- Comprehensive Survey,” *Decision Science*, Vol.10, p309, 1979
- [27] McGehee W. and Thayer P.W, “Training in Business and Industry,” New York : John Wiley, pp.132, 1961
- [28] N. Baloff, “Extension of the learning curve :Some empirical results,” *Oper. Res. Quarterly*, Vol.22, no.4, pp.329-340, 1971
- [29] N.K. Womer, “Learning curves, production rate, and program costs,” *Management Sci.*, vol.25, no.4, pp.312-319, 1979
- [30] Niganad Y. Jaber and Maurice Bonney., ”A comparative study of learning curves with forgetting,” *Appl. Math. Modelling* Vol.21, August 1997
- [31] Pankaj Ghemawat, “Building Strategy on the Experience Curve ,” *Harvard Business Review*, pp.145-146, Mar.-Apr., 1985
- [32] R.W. Conway and A. Schultz, Jr., “The manufacturing progress function,” *J. Ind. Eng.*, Vol., no.1, pp.39-53, 1959
- [33] Relationship for Determining The Optimal Expansibility of The Elements of a Peacetime Aircraft Procurement Program,” *Standford Research Institute*, Dec. 1949
- [34] S.D. Howell, “Learning curves for new products,” *Industrial Marketing Management*, Vol.9, no.2, pp.97-99, 1980.
- [35] Sheshinski, E., ”Test of the learning by doing hypothesis,” *Rev. Economic and Statistics*, Vol.49, pp.568-578, 1967.
- [36] T.P. Wright, ”Factors affecting the cost of airplanes,” *Journal of Aeronautical Sciences*, Vol.3, No.4, pp.122-128, Feb.1936.
- [37] T.R. Gullledge, Jr., N.K. Womer, and M.M. Tarimcilar, “A discrete dynamic optimization model for made-to-order cost analysis,” *Decision Sciences*, Vol.16, pp.73-90, 1985.
- [38] Tanner, J.P., ”The learning curve,” *Production Engineering*, Vol.32, No.5, pp.72-79, 1985.
- [39] Tommie F. Fowlkes, ”Aircraft Cost Curves,” *Deviation Analysis Projection* Re-issued, Aug. 1963.
- [40] Wu Min-da, “A Study of Progress Function : Applied to Taiwan Compressor and Transformer Companies,” *大同事業經營研究所, 碩士論*

文，民國 67 年

- [41] 王克先，『學習心理學』，七版，台北，正中書局，民國 68 年
- [42] 呂中元，陳文哲，『製衣業車縫作業學習曲線之研究』，國立交通大學管理科學研究所碩士論文，1981 年
- [43] 李希豪，袁建中，『學習區現在飛機工業應用之研究 – 以我國航空業飛機結構組裝為例』，國立交通大學科技管理研究所碩士論文，1992 年
- [44] 苗延仁，汪守仁、林聰明，『學習曲線在少量製造成本上的應用』，國立台灣科技大學工程技術研究所工業管理組碩士論文，1986 年
- [45] 張春興、楊國樞，『心理學』，第一版，三民書局，民國 62 年
- [46] 陳冠羽，楊金福，『IC 製造業應用學習曲線於成本模式之研究』，國立交通大學工業工程與管理研究所碩士論文，1998 年
- [47] 戴世鴻，邱煥能，『製造業作業學習曲線在生產排程上之應用研究』，國立台灣科技大學工業管理研究所碩士論文，1986 年
- [48] 取自「旺宏電子股份有限公司」全球資訊網頁「公司簡介」
<http://www.mxix.com.tw/web/CHOME.nsf/AboutMxix>
- [49] 工業技術研究院，『1996 半導體工業年鑑』，
電子工業研究所，1997 年