

先進製造技術的投資評估模式

魏秋建* 田應菑**

*中華工學院工業管理系

**力晶半導體公司

(收稿日期：84 年 4 月 18 日；第一次修正：85 年 6 月 3 日；

接受刊登日期：85 年 6 月 27 日)

摘要

台灣的製造業者受到新台幣升值、勞工成本提高及環保意識抬頭的影響，以至於國際競爭力大幅下降，另外消費者對產品品質及功能的要求越來越高，也造成產品生命週期的縮短，這些因素促使業者不得不引進先進製造技術，來提升其競爭能力。由於先進製造技術具有極高的生產效率及彈性，很適合少量多樣的生產形態，因此世界各國紛紛採行此一策略，以取得長期的競爭優勢。

然而，引進先進製造技術需要投入大量的資金、時間與人力，在引進之前，必須先確定先進製造系統的引進的確可以提升公司的競爭地位，達成公司的策略目標。而由於先進製造技術的複雜性，使得引進評估的工作非常困難，傳統所使用的經濟評估模式並不十分適用，必須發展出考慮因素更完整、更廣泛而且實用的評估模式。

本研究提出一個整合評估模式，同時考慮經濟性及非經濟性因素，作為引進先進製造技術的決策流程。階段一為景氣度淨現值評估模式，比較先進製造技術與傳統設備的經濟性差異。階段二為學習曲線理論，分別比較先進製造技術與傳統設備的人工效率的差異。階段三為模糊度量評估法的應用，可以在公司眾多的製造策略下，決定引進何種先進製造技術，最能增加公司的長期競爭優勢、提升產能以及擴大盈利的目標。

關鍵詞彙：先進製造技術，景氣度淨現值，學習曲線，模糊度量評估法

壹 前言

近年來台灣的製造業者，受到新台幣升值、勞工成本提高及環保問題的強大壓力，使得國際競爭力已不若六、七十年代的強盛表現。而外在環境則受到先進國家高品質、多樣化的產品競爭，這些因素促使國

內製造業者，紛紛尋求先進的製造技術以提升產品的品質與附加價值。然而一項投資計劃所牽涉的範圍不僅僅是財務方面的問題，如果在投資計劃底定，機器設備進入廠房後，才發現不符所需，要再做結構的修正或變更，都會使製造業者付出極大的代價。因此，在決定投資計劃之前，所有可能遇到的問題，都必須在投資規劃時予以考慮解決，以避免作出錯誤的決策。

從 1980 年代起，台灣經濟成長率由過去平均每年百分之八以上，滑落到百分之五至百分之八之間，成長現象逐漸萎縮。1994 年 9 月瑞士國際管理學院所發表的「一九九四年全球競爭力報告」中，以八個評估標準來分析衡量四十二個國家和地區之間的競爭力排名，結果台灣排名第十八，美國躍為第一，日本則由連續八年的冠軍寶座跌落到第三，新加坡與香港分居第二與第五。值得注意的是，在亞洲四小龍之中，只有韓國排名二十四落於我國之後，中國大陸與俄羅斯因在經濟轉型之中，未列入比較。

台灣優勢的基石是建立在國際貿易的比較原則上，只有靠生產力不斷提升，才能維持競爭優勢。要提升產業的生產力，個別廠商應該要：

- (1) 不斷地投資、更新生產設備，以提高廠商的競爭力。
- (2) 引進新的、先進的製造技術、以減少單位成本，增加產品的附加價值。
- (3) 不斷地更新產品，以滿足顧客為企業的最大目標。

在變遷快速，求新求變的經濟環境中，企業要能夠生存發展永續經營，必須不斷的擴充與創新，才能長期保有競爭優勢，而在創新的歷程中，必須隨時掌握顧客需求、了解市場動態、研判競爭對手策略，進而在最適當的時機投資新設備，以生產最符合顧客需求的產品。

為了達到這個目的，投資比較先進的製造技術（Advanced Manufacturing Technology，簡稱為 AMT），是全球企業共同採行的策略，但是什麼是先進製造技術？目前仍舊是眾說紛紜，沒有一個普遍的定義，Youssef(1992)提到美國 ACRD（Advisory Council of Research & Development）將先進製造技術定義為：「任何一種技術，一旦採用後，會影響製造方法、管理系統以及設計生產方式的新技术。」美國經濟發展組織(National Economic Development Office, U.S.A.)則更具體

的將先進製造技術定義為會影響下列作業的技術：

- (1)物料自動搬運和儲存系統。
- (2)彈性製造系統 (Flexible Manufacturing System, FMS)。
- (3)改善裝配與測試的作業效率系統。
- (4)電腦輔助製造 (Computer Aided Manufacturing, CAM)。
- (5)電腦輔助設計 (Computer Aided Design, CAD)。
- (6)電腦數值控制器 (Computer Numerically Controlled Machine, CNC)。
- (7)電腦存貨管制。

Nori(Youssef, "Getting to Know Advanced Manufacturing Technologies", 1992)在 1990 年將先進製造技術定義為：「一種新的技術，可直接運用於企業以改善產品的製造，或是提供顧客更良好的服務。」

由於專家學者對先進製造技術的定義不一，本研究傾向於採用 Nori 的定義，並修正為：「採行之技術設備比目前所使用的為新，而且能改善現存生產技術所不足者，即稱之為先進製造技術。」

一般而言，先進製造技術的特點是除了「經濟利益」之外，還有策略上的效益，不能只以傳統的方法來進行評估，否則會造成投資錯誤或錯失良機。這裡所謂的經濟利益是指可以用金錢表示的效益，包括初始投資、維修費用、人工節省等等。策略效益則是指所有會影響投資決策，但是無法量化成金額的因素，包括技術對企業發展的重要性、技術能否達成企業目標、以及能否增加競爭優勢等等。

先進製造技術的引進，不僅是公司在生產技術上的重大變革，除了牽涉極大的財務投資外，尚包含人力資源的管理與運用、製造資源的整合以及組織結構的調整等；先進製造技術的投資評估與傳統的投資計劃有兩點不同：

- (1)先進製造技術的投資計劃為大規模、全面性的資本財投資，而傳統的投資計劃多屬於小範圍、片面性的投資。
- (2)先進製造技術所帶給企業的利益，大多無法以金錢衡量，如改善生產彈性、縮短前置時間等，而傳統的投資計劃則較重視財務的影響。

Krinsky & Miltenburg 於 1991 年以美國與日本企業為例，美國企業多

半使用折現值法(DCF)評估先進製造技術的投資計劃，而往往投資錯誤，日本則除了傳統的財務評估外，另外加上策略因素的考量，使得在長期的競爭環境下，逐漸超越美國而取得世界的領先地位。本研究的主要目的，是建立一套先進製造技術的整合評估模式，提供決策者作為評估先進製造技術時的決策依據。

貳 文獻回顧

專家學者提出許多不同的先進製造技術評估模式，可以讓決策者依需要技術的規模、大小及策略考量來選擇適合的評估方法，但是這些評估模式大多比較局部而不是全面的，例如有些學者採用計量分析的方法(Banz, 1978;

Boer, 1986)強調以現金流量來評估先進製造技術的效益，常用的方法有折現值法(Discounted Cash Flow, DCF)、淨現值法(Net Present Value, NPV)、內部報酬率法(Internal Rate of Return, IRR)及回收期限法(Payback Period, PB)等。有些則認為光以現金流量的計量分析來評估先進製造技術的投資案，會造成決策錯誤，使企業錯失競爭良機，因為先進製造技術還有其他無法量化的效益，因此強調應該加上策略面的考量，來評估先進製造技術的投資方案(Arbel, 1984; Krawiec, 1990; Roger, 1987; Varney, 1985; Wabalickis, 1987)。

Meredith 與 Hill 於 1985 年將先進製造技術分為三個層級，第一層級為單一工作站(Stand-Alone)，第二層級為互相聯結(Linked)，第三層級為全廠整合(Integrated)，詳見圖一：

淨現值法 現金流量法			
組合分析 線性規劃 成長模式 模擬分析			
解析模式 價值分析 風險分析			
策略分析 技術發展 企業目標 競爭優勢 研究發展			

(資料來源：Meredith & Hill, 1985)

一般而言，傳統經濟評估方法的缺點為，短視、無法掌握未來的不確定性，而且只能計算能夠數量化的利益。於是有許多專家學者或將原有的方法修正、擴充或是提出不同的方法，來改正上述的缺點。如 Banz 與 Miller 於 1978 年提出景氣度(State- Price)的理論，景氣度淨現值法(SP- NPV)為近十年來所提出的新的財務理論。基本上，它也是利用折現率來求淨現值，然而一般我們在求淨現值時，所採用的折現率大多是單一折現率，此法則認為應該考慮經濟狀況的循環波動，不同時期應使用不同的折現利率。因此 Banz 與 Miller 於 1972 年開始以美國的股票及債券市場為研究對象，發現以景氣度淨現值的理論，來驗證證券市場的報酬率，相當準確。

Krinsky & Miltenburg(1991)及 Ramashesh & Jaykumar(1993)認為，景氣度淨現值的理論，相當適合評估先進製造技術，因為一般的經濟評估方法，是以單一的折現率為評估基準，忽略了時間因素對收益的影響，而景氣度淨現值則考慮時間變動造成的效益，而且具有容易應用了解、不須繁複的資料及不須另外決定折現率等優點，因為折現率可以直接查表。

Bore & Metzler(1986)認為傳統的經濟評估模式只考慮三種成本，即設備成本、人工成本及產品成本，至於另一項在生產系統中極為重要的作業成本(Operational Cost)則無法加以估計。設備使用率、物料及成品庫存、系統產出率及員工工作效率等均構成作業成本，而作業成本又

會受到作業策略的影響，例如排程方法，因此建議以模擬方法來估計這些參數。

自 1936 年 Wright 發表有關學習曲線的研究論文後，即引發了相當多的研究和爭論。Wright 的對數線性學習曲線模式到目前為止，雖然仍廣受使用，但因假定學習率為一常數，所以該模式並非任何情況都適用。Levy 於 1965 年修正 Wright 模式的若干缺點，而提出適用函數（Adaptation Function），以作為設備更換及訓練預算編列決策之用。1961 年 Garg & Milliman 對 Boeing 公司進行波音 707 飛機製造的研究時，提出 Standford-B 的模式。它和對數線性模式的主要差異在於多了一個衡量不同工作複雜度的參數 B，隨著工作複雜度的增加，B 值會相對的增加，但其在對數軸上仍然呈直線。通常此一模式於生產設備經過調整改良或是獲得新的關鍵技術(know-how)後才適用。

De Jong(1957)為適應工人執行短製造週期的工作情形，修正對數線性模式，多考慮了一個參數值 M，來表示製造週期的長短，製造週期越長，M 值越接近 1，越短 M 值越接近 0，此一模式對於績效標準之設定相當有助益。Carlson(1973)結合了 Standford-B 與 DeJong 兩種模式，而提出了 S 曲線模式，它是一種冪級曲線模式，當新產品開始生產時，可能會受產品設計、機具設備、員工能力等因素影響，在對數軸上不再呈現直線。

Bevis & Towill(1972)評估個別作業員與群體作業員重複操作同一個作業之學習情況差異，提出了時間常數學習曲線模式(Time Constant Learning Curve Model)，認為相當適用於電子裝配業。由此可知，不同的產業、工作環境與生產技術，必須選用不同的評估模式。

上面所提到的評估方法著重在可以量化的因素，至於無法量化的策略考量則有賴於決策者的經驗。近年來學者嘗試發展比較系統化、科學化的方法，來協助投資者作出正確決策。其中比較常用的有評分法，層級分析法，和模糊度量評估法。

評分法是將一些非量化的策略因素，以數值的方式表達各因素間的相對重要性。Krawiec(1990)將評分法用於研發專案的優劣選擇，Crawford(1991)、Twiss(1992)及 Bozeman & Melkers(1993)等也將評分法用於品質改善、研究開發管理及技術改革等方面。

評分法的施行需先確定評估項目及相對權重，然後指定評估項目的評

分等級，接著再對每個評估項目進行評分，將每一個評估項目的權重乘上評分為該項目之得分。將全部項目得分加總即為該方案之總分。總分高者即為相對較佳方案。

層級分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是由 Saaty 於 1971 年所發展出來的一套多屬性決策方法(MADM)，主要用來評估無法量化的策略因素，近年來被廣泛採用。Roger 於 1987 年運用於企業生產系統的選擇；李慶恩於 1993 年用來評估彈性製造系統。其它如 Varney et al.(1985)、Arbel & Seidmann(1984)、Wablickis(1987)及 Lin & Yen(1991)等利用層級分析法來選擇最佳製造系統。

模糊理論最早是由 Zadeh 於 1965 年所提出，用來處理曖昧不清的不確定事物。模糊數學的產生，提供人們在處理不精確性、模糊性問題時，可以利用精確的運算子(operators)與演算法則(algorithms)將語言所隱含的知識與訊息作適當與一致性的表達。

模糊理論在處理多屬性決策問題(MADM)上，具有極佳的效果，因此近年來有許多學者將模糊方法運用於屬性偏好的模糊問題，張有恆、徐村和(1992)結合模糊理論與層級分析法，評估交通運輸計劃；王鼎旭等(1993)利用模糊數學分析在結構可靠度上的模糊不確定性，並以模糊權重法分析複雜的細部分析，配合模糊關係法作結構的整體評估。

Brown & Yao(1983)針對現存結構的整體可靠度，利用模糊關係來說明主觀訊息的重要性；Chou & Yuan(1992)對模糊關係法進行改良，提出過濾式模糊關係法，在影響矩陣內加入權重因子以凸顯較重要的不確定因素，以獲得更明確的結果。

參 整合評估模式

本研究提出一個評估先進製造技術的整體架構，可以協助企業決策者，科學化、系統化的評估投資利益、風險及其他策略方面的效益，在最適當的時機，作出最佳決策，有效地提升企業的競爭優勢。整個評估模式涵蓋下列三大功能：

- (1)在財務方面：了解在景氣循環的波動下，企業引進先進製造技術的資本財投資對資金調度的影響。將先進製造技術的引

進評估有系統的納入財務規劃、管理決策中。

- (2)在學習曲線方面：採用學習曲線的理論，確認先進製造技術在人員訓練、效率衡量及人力調度間的關係，使得先進製造技術的重要特性得以顯現。
- (3)在企業策略方面：建立一個週延且合理的評估模式，可以將和決策有關的策略因素，系統化的擷取和排定優先順序。

評估模式架構中，第一階段是採用景氣度淨現值法，將先進製造技術所需的設備與傳統的機器設備，以淨現值的方式將實質利益量化，計算差異值 G_1 ，如果 G_1 為正，表示就財務的觀點，先進製造技術值得投資，如果 G_1 為負，表示先進製造技術所產生的金錢效益一時無法彌補投資金額，但是因為先進製造技術可以為企業體帶來其他方面的利益，本研究建議繼續做第二階段學習曲線的評估。

第二階段為學習曲線的量化評估，採用 Stanford-B 的模式，比較先進製造技術的設備與傳統機器設備，在人工學習效率上的成本差異，再將成本節省折算為淨現值，然後和 G_1 的絕對值比較，計算差異值 G_2 ，如果 G_2 為正，表示學習效率所產生的效益可以抵得過第一階段的金錢損失，先進製造技術值得投資，如果 G_2 值為負，則表示學習曲線所產生的效益不足以抵償成本，但是基於先進製造技術對企業的整体形象、生產彈性及交貨能力等都有極高的貢獻，本研究建議繼續做這些策略因素的考量。

第三階段是以模糊度量評估的方式，分析企業的策略目標與產業競爭環境的互動關係，將企業內部高階決策人員的經驗、及專家學識與建議納入考量，以策略方式來考慮先進製造技術在交貨能力、不良率及生產彈性等方面的提升有何實質貢獻，是否足以彌補投資成本。

任何投資計劃絕對必須評估金錢效益，因此本研究將成本利益分析列為第一階段，而且並非每一個投資案都具有其他衍生效益或是策略上的考量。例如購買機械手可能只是單純的取代人工、或是取代現有的老舊設備，並沒有牽涉到公司的策略問題，成本分析已足以作出正確決策，先作策略分析並無意義。

但是即使複雜的投資案成本分析不可行，並不代表引進後不會為企業

帶來效益，因為先進技術還有很多其它附加價值。從人工學習曲線的角度來看，先進製造技術多為數值程式控制，可以一再重復使用，學習成本可以迅速降低。如果學習成本的節省可以涵蓋第一階段的損失，那麼此一先進技術還是值得投資，因此本研究將學習曲線的分析納入第二階段。

如果第二階段的學習成本節省，仍舊無法抵償第一階段的成本損失，則企業可以從策略的角度，來衡量先進技術在提高交貨能力，減少不良率，及增加生產彈性等等方面的貢獻，如果認為這些貢獻可以補足前兩階段的損失，則此一先進技術就值得投資。因此本研究將策略分析列為最後階段。

本研究的三個階段不一定要全部實施，如果牽涉到的先進製造技術是屬於局部性的小型投資，因為所有的利益都可以很輕易的量化，所以只須運用第一階段的分析即可；如果投資計劃是屬於比較大型或是研究發展類型的先進製造技術，由於需要的金額龐大，影響程度深遠，我們建議將第二及第三階段列入決策中，以免企業因一時不慎作出錯誤決策，影響商機。整個評估架構如圖二所示。

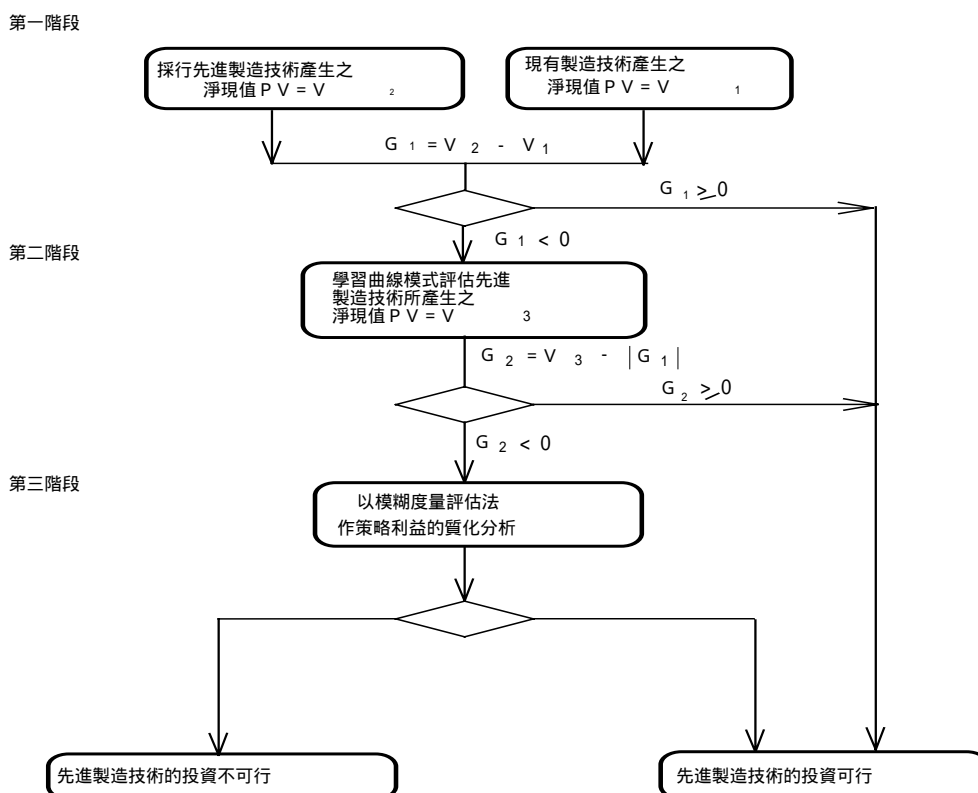


圖 2 企業投資先進製造技術的整合評估模式

圖二 企業投資先進製造技術的整合評估模式
[資料來源：本研究]

一 景氣度淨現值法(SP-NPV)

Banz 與 Miller 於 1978 年提出景氣度淨現值 (State- Price) 的理論，由 Copeland 與 Wetson 在 1983 年介紹給一般大眾，根據他們的研究，發現此法比一般淨現值法，容易了解、使用，而且折現值可查表，不需估算每期折現率，比較符合變動之現況。另外計算所需要的資料也不須太多。因此本研究特地採行此一新的評估淨現值方法，來評估先進

技術的經濟效益。

此法是將製造環境區分為繁榮(Upturn)、正常(Normal)及蕭條(Downturn)，然後求取每一期的稅後現金流量期望值，再加總得稅後淨現值，如果該值為正，表示計劃值得投資，反之則否。

$$SP - NPV = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n V_{ij} E[ATCF_{ij}]$$

(1)

其中 $SP - NPV$ 表示景氣度淨現值

V_{ij} 表示景氣度 (查表)

$E[ATCF_{ij}]$ 示每年每期稅後現金流量期望值

N 表示年數

n 表示期數

在第一階段中，將工廠現有的製造技術及先進製造技術，分別用景氣度淨現值之方式求出所產生的淨現值 V_1 (現有製造技術的淨現值) 與 V_2 (先進製造技術的淨現值)，然後計算 $V_2 - V_1$ ，得出差異值 G_1 ，若 G_1 值大於或等於零，我們認為就財務的觀點而言，先進製造技術的投資計劃是值得執行的策略；若 G_1 值為負數，則表示先進製造技術的投資計劃似乎並不可行，但由於先進製造技術具有很多其他的效益，因此即使 G_1 小於零，為避免作出錯誤決策，本研究建議繼續對第二階段學習曲線模式及第三階段整體策略性作進一步分析。

二 學習曲線模式

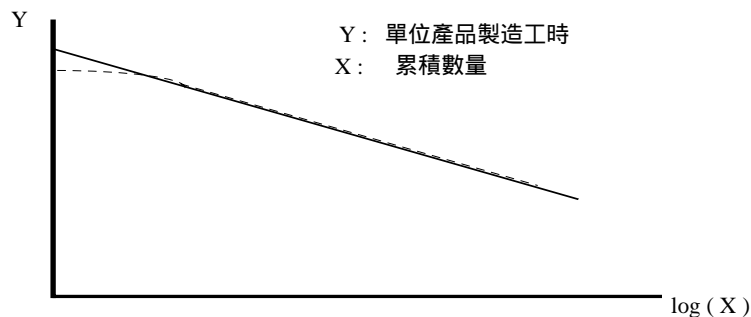
Standford-B 模式是由 Gary & Milliman 於 1961 年所提出，此模式特別適用於設備調整改良或獲得新的生產知識與技術設備後，對人工學習效率的評估，由於極符合先進製造技術的特點，因此我們以 Standfor-B 來評估第二階段的學習效果差異。

Standford-B 的計算模式如下：

$$f(x) = a_1 (x + B)^{-b} \quad (2)$$

- $f(x)$: 生產第 x 單位所需累積工時
 a_1 : 生產第一件所需工時
 b : 學習係數, 即學習率所對應的數值
 B : 常數, 介於 1 與 10 之間

Standford-B 模式比 Wright 所提出的對數線性模式多增加一個參數 B , 用來衡量不同工具設計所產生的複雜程度。根據 Gary & Milliman 研究 29 個案例中, 發現 B 值介於 1 與 10 之間, 且工作複雜度越大, B 值越接近 10, 工作複雜度越小, B 值越接近 1, 其典型代表值為 4。Tanner 於 1985 年對 Standford-的 B 值作進一步的驗證發現, 在 52 個案例中, B 值介於 1 到 10, 且工作複雜程度越大, B 值就越大。學習係數 b 則介於 0.397 與 0.599 之間, 也就是學習率會介於 75.9% 與 66.1% 之間。根據實證上的研究, 美國波音(Boeing)公司認為 Standford-B 模式最適用於飛機的製造上。也就是說當生產設備經調整改良或獲得新的技術設備時, 只要將模式中學習係數加以修正, 即可適用於不同顧客的特殊需求。而這個特性與先進製造技術的特性相符, 因此在第二階段的評估模式中, 本研究採行此一模式來評估各種技術所產生的學習效果, 並予以量化, 然後再加以評估比較。Standford-B 模式在對數軸上可表示成圖三。



圖三 Standford-B 對數模式曲線圖
 [資料來源：Gray & Milliman 1961]

(一) 學習效果的量化

在第二階段的評估模式中，採用時間數列分析的方式，假設在 t_1 與 t_2 時間，預估企業會有 N_{t_1} 、 N_{t_2} 的生產數量，然後帶入 Stanford-B 的模式中，將投資先進製造技術與傳統技術所產生的成本差異，予以折現量化，求出 V3 值。

1、時間數列分析模式

將工廠每單位機器小時(Machine-Hour)產出(Output)的時間數列，分解成下列 5 個子時間數列予以估算：

$$\begin{aligned} \text{產出量 / 機器小時} &= (\text{固定投資}) \times (\text{產出量 / 生產能力}) \\ &\quad \times (\text{投入量 / 機器小時}) \times (\text{生產能力 / 固定投資}) \\ &\quad \times (1 / \text{投入量}) \end{aligned}$$

其中：

$$\begin{aligned} \text{產出量} &= \text{投入量} \times \text{設備稼動率} \times \text{良品率} \\ \text{設備稼動率} &= (\text{機器運轉時數} - \text{停機修理時數}) / \text{機器運轉時數} \\ \text{良品率} &= \text{產出量} / \text{生產能力} \\ \text{生產能力} &= \text{投入量} \times \text{設備稼動率} \end{aligned}$$

為了簡化計算並且統一評估基準，我們假設在採行先進製造技術前後， t_1 與 t_2 期的產出量仍舊分別為 N_{t_1} 、 N_{t_2} ，因此求出不同的機器運轉時數，然後利用 Stanford-B 的學習曲線模式，估計先進製造技術的學習效果所產生的利益並予以量化折現。

2、學習曲線效果的量化計算

假設在採行先進製造技術前後的兩個學習曲線模式如下：

(1)未採行先進製造技術前的模式：

$f_0(x)$ 為未採行先進製造技術前生產第 x 單位所需之累積生產工時， x 表示在 t_1 、 t_2 期的產出量 N_{t_1} 、 N_{t_2} 。

$$f_0(x) = a_{10} (x + B_0)^{-b_0}$$

$$x = \begin{cases} N_{t_1}, & t_1 \text{ 期} \\ N_{t_2}, & t_2 \text{ 期} \end{cases} \quad (3)$$

(2)採行先進製造技術後的模式：

$f_A(x)$ 為採行先進製造技術後生產第 x 單位所需之累積生產工時， x 表示在 t_1 、 t_2 期的產出量 N_{t_1} 、 N_{t_2} 。

$$f_A(x) = a_{1A} \cdot (x + B_A)^{-b_A} \quad (4)$$

$$x = \begin{cases} N_{t_1}, & t_1 \text{ 期} \\ N_{t_2}, & t_2 \text{ 期} \end{cases}$$

將 t_1 及 t_2 時間的產出量 N_{t_1} 與 N_{t_2} 帶入 (3) 式及 (4) 式，求得因採行先進製造技術所產生的學習成本節省，詳見圖四。

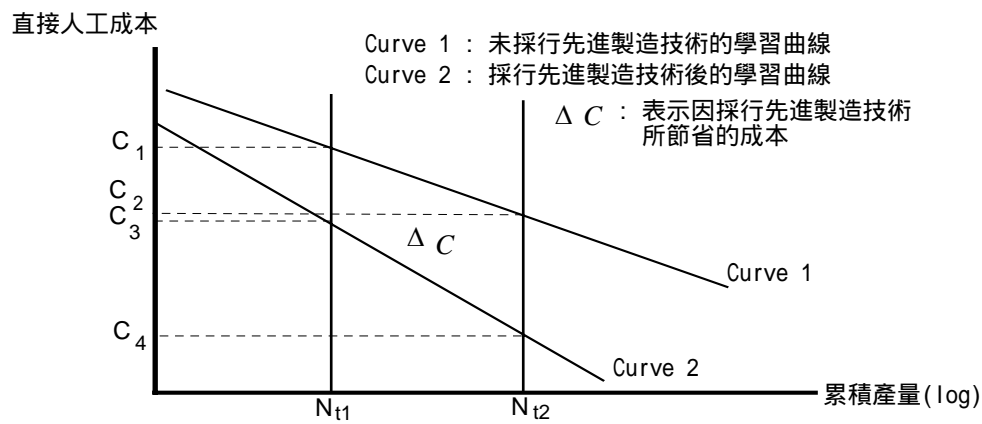


圖 4 採行先進製造技術前後的學習曲線圖

圖四 採行先進製造技術前後的學習曲線圖

(資料來源：本研究)

$$\Delta C = K \int_{N_{t_1}}^{N_{t_2}} \{f_0(x) - f_A(x)\} dx \quad (5)$$

$$\therefore V_3 = \sum_{t=1}^T \frac{\Delta C}{(1+I)^t} \times P_t \times D_t \quad (6)$$

- ΔC : 時間 t_1 採用 AMT 後, 到時間 t_2 所造成的成本節省
 K : 單位工時之人工成本
 I : 折現率
 P_t : t 時間採行先進製造技術的機率
 D_t : t 時間採行先進製造技術後, 可應付市場需求的機率
 T : 期數

由式(5)、(6)我們求出第二階段中採行先進製造技術所節省的成本 V_3 值, 並將 V_3 值與階段一的差值 G_1 相減, 得出差異值 G_2 , 若 G_2 為正, 則表示先進製造技術的投資在學習曲線的驗證中, 是屬於可實行的計劃, 若為負值, 則表示此計劃在量化的分析上, 是較不可行, 但是如果該技術有策略上的效益, 則可作第三階段的評估, 從策略的角度來橫量其貢獻度。

三 模糊評估法

有關策略方面的評估, 我們提出模糊度量(Fuzzy Approach)評估方法供企業界考慮使用, 採用模糊度量法而不是層級分析法的主要原因, 是層級分析法需要明確的尺度(1,3,5,7,9)去衡量各策略間的相對權重, 較難為企業決策者所了解及應用, 而且要計算特徵向量值(eigenvector), 比較耗費決策時間。另外 Saaty 於 1994 年指出如果比較矩陣內的數字相差太大, 會造成決策一致性指標永遠無法滿足, 而找不出相對權重。事實上 Murphy 更明白表示如果矩陣不均質(inhomogeneous), 九等第(9-point scale)無法和特徵向量法一起使用。層級分析法的另一個重大缺點是相對權重的逆轉現象(rank reversal), 也就是某一個權重排序, 會因為額外加入一個候選方案(alternatives)而改變順序。模糊度量評估法, 只要以口語的模糊方式(例: 較差、中等、較好)表達相對權重, 再經過簡易的解模糊(defuzzifying)過程, 就可以評估各方案間的優先順序, 比較容易被決策者接受與採用。模糊度量評估法的實施步驟如下:

- 步驟一: 陳述問題及定義目標。
- 步驟二: 決定衡量方案好壞的評估準則。

步驟三：選定適用的歸屬函數（Membership Function），本研究採用三角形歸屬函數，定義如下：

$$\mu(X) = \begin{cases} 0 & X \leq a \\ \frac{(X-a)}{(b-a)} & a < X \leq b \\ \frac{(c-X)}{(c-b)} & b < X \leq c \\ 0 & X > c \end{cases}$$

其中 a,b,c 為歸屬函數端點對應於橫軸上的值。

比較步驟二中每個準則的相對模糊重要程度，然後以解模糊的方法，求出準則間的相對權重 W_j ，歸屬函數及衡量尺度如圖五相對權重語義判斷則如表二所示。

$$W_j = (W_1 \ W_2 \ \dots \ W_n) \tag{10}$$

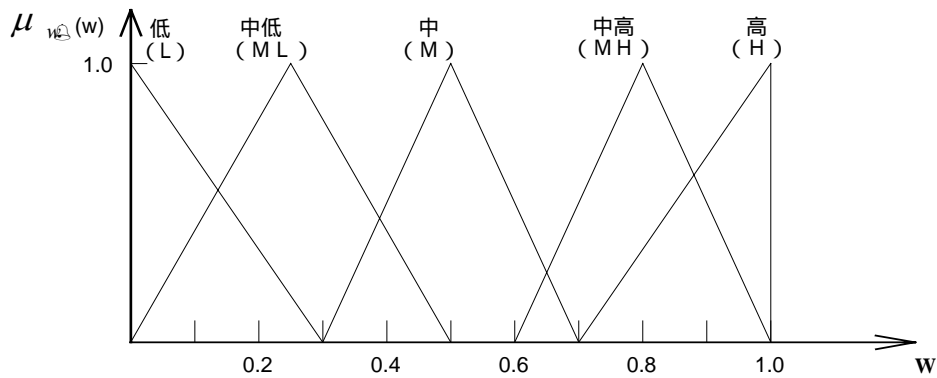


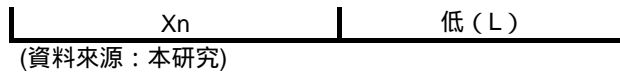
圖 5 五種衡量尺度的模糊數值

圖五 五種衡量尺度的模糊數值

[資料來源：本研究]

表二 各準則相對權重值及語義表

判斷準則	語意
X1	高
X2	中高 (MH)
⋮	⋮
⋮	⋮



步驟四：選定適用的歸屬函數及衡量尺度，比較在某一個準則下每一個方案所能提供的相對模糊優劣程度，再予以解模糊求得在每一個準則下方案間之相對權重 C_{ij} ，詳如圖六和表三。

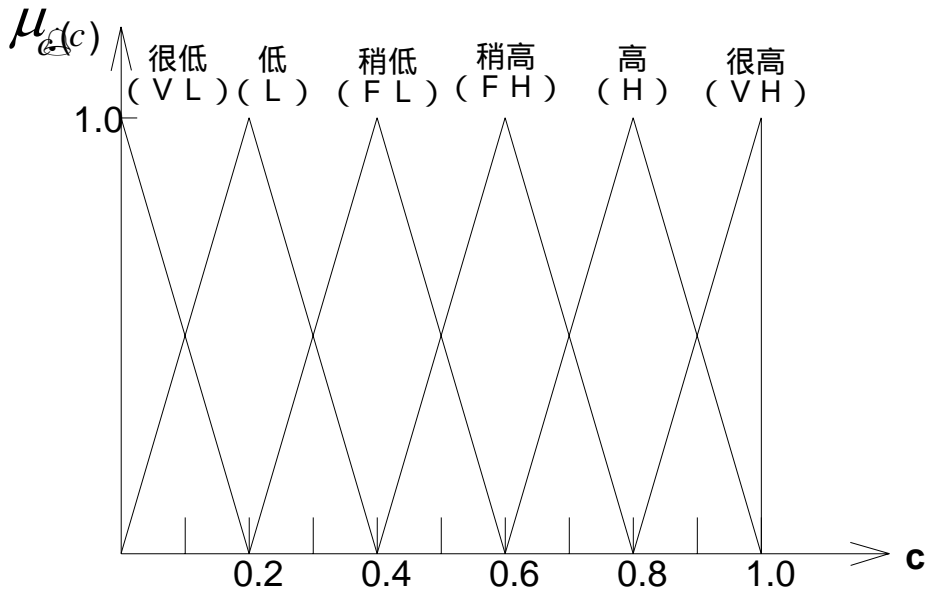


圖 6 六種衡量尺度的模糊數值

圖六 六種衡量尺度的模糊數值
[資料來源：本研究]

表三 各方案相對權重值及語義表

判斷準則	各方案語意值		
	A1	Am
X1	很高 (VH)	稍低 (FL)
:	:	:

Xn	高 (H)	稍高 (FH)
----	-------	-------	---------

(資料來源：本研究)

$$C_{ij} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{21} & \dots & c_{m1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ c_{1n} & c_{2n} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix} \quad (11)$$

步驟五：以簡單加權平均法 (Simple Additive Weighting, SAW) 計算各方案的相對權重。

$$U_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_j C_{ij}}{\sum_{j=1}^n W_j}$$

$$i = 1, 2, 3, 4, \dots, m$$

(12)

其中 U_i 表示 m 個方案之相對權重值

(一)、解模糊方法 (Defuzzification)

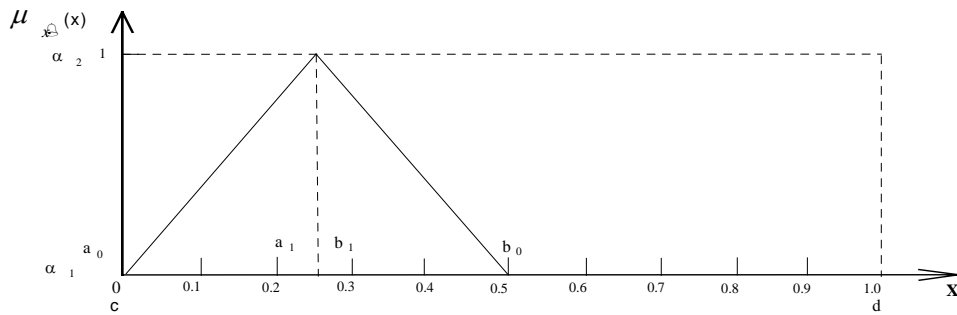
解模糊是將模糊屬性予以確定化，也就是算出一個確定的數字。例如對圖七所示的模糊屬性，可以將其解模糊成一個代表數字。利用 n 個橫切的

- cut ($\alpha_o, \dots, \alpha_n$) 和歸屬函數相交，求得橫軸上的對應點 a_i 和 b_i ，再利用下式予以解模糊。

$$D\left(\tilde{x}\right) = \frac{\sum_{i=0}^n (b_i - c)}{\sum_{i=0}^n (b_i - c) - \sum_{i=0}^n (a_i - d)} \quad (13)$$

$D\left(\tilde{x}\right)$ 就是解模糊後所得的一個數字，圖七中 c 和 d ，是涵蓋所有衡量尺度的外圍左右極限，如果 $c=0, d=1$ ，則公式可進一步簡化為：

$$D\left(\tilde{x}\right) = \frac{\sum_{i=0}^n b_i}{\sum_{i=0}^n b_i - \sum_{i=0}^n (a_i - 1)} \quad (14)$$



$$\begin{aligned} D(\tilde{w}) &= \frac{[b_0 - c] + [b_1 - c]}{[(b_0 - c) + (b_1 - c)] - [(a_0 - d) + (a_1 - d)]} \\ &= \frac{[0.5 - 0] + [0.25 - 0]}{[(0.5 - 0) + (0.25 - 0)] - [(0 - 1) + (0.25 - 1)]} \\ &= 0.3 \end{aligned}$$

圖 7 解模糊數值圖

圖七 解模糊數值圖

[資料來源：本研究]

由於本研究所用的模糊屬性函數為線性，所以採用二次橫切的 α -cut 即足以獲得精確的結果，而且最簡單的二次橫切是一個切在最底部，

另一個切在最上面的部分。

最後，我們依據式(12)計算出各方案之間的權重比，供決策者參考，決策者可以依權重值大小作為決策實行的依據。

肆 結論

傳統的投資評估模式，很少在評估的過程中能同時考慮經濟性、策略性及公司的組織效率。大部分的評估模式都是偏重於經濟性的考量，而且一般都使用淨現值法、回收年限法和內部報酬率法來進行評估，基本上這些方法對一般小型而且投資期限較短的計劃，或許還可以勝任，但是它們並不適合用來評估先進製造技術。

先進製造技術是一種一旦採行後，會影響製造方法、管理系統以及設計生產方式的新技術。所牽涉到的是企業整體的運作，不僅僅是成本效益的問題而已，只分析經濟效益易造成決策錯誤。所以本研究提出一個整合評估模式，同時考慮經濟效益、組織效率與策略因素，使先進製造技術的投資評估能更加完善。

整合評估模式的第一階段為淨現金流量分析，著重時間因素對先進製造技術的影響，所以提出景氣度淨現值的理論，將時間變動因素納入先進製造技術投資評估的範圍內。第二階段為學習曲線模式對人工效率的衡量，將先進製造技術在生產製造上的效率與傳統技術作一個比較，強調先進製造技術對組織的效率影響，這在一般的評估模式中，極為少見。傳統的評估模式將生產效率，列入無法量化的評估項目，是屬於策略性的分析，但我們將學習曲線的模式導入，以量化的方式評估先進製造技術在人工效率上所造成的成本節省，結果顯示先進製造技術與公司組織的關係極為密切，且以時間序列模式預估生產量更符合競爭環境瞬息萬變的特性。

第三階段為策略面的分析，運用模糊度量評估法進行探討，以語意值的方法估計各方案間的相對權重，找出最適方案。

本研究的主要貢獻可歸納如下：

- (1)提出一個整合模式，可以同時評估經濟及非經濟因素。
- (2)引入景氣度的觀念來評估先進技術的經濟因素，簡化決策過

程，提高決策精度。

- (3) 嚐試衡量企業的組織學習效率，並折算為成本的節省，進一步呈現先進製造技術的長期效益。
- (4) 以模糊評估法來探討策略問題，並引入新而簡單的解模糊技巧，來增加模糊評估法的實用性。

本研究發展的評估模式，基本上應十分適用於投資先進製造技術的評估，若能以一個真實的案例作為研究對象，相信更能符合決策者的需求，有助於整個模式的進一步發展。未來的評估模式發展可以朝以下幾個方向進行：

- (1) 依照不同的產業，找出不同的學習曲線。
- (2) 根據不同的組織決策模式，找出適合的模糊函數。
- (3) 結合行銷、生產管理等功能，並且應用於電腦軟體上，使模式的計算更方便，縮短決策時間。

參考文獻

- 王鼎旭、葉根、劉豐瑞、蔣偉寧，「模糊數學在結構可靠度上的應用」，中華民國第二屆模糊理論與應用研討會，(1993)。
- 李慶恩，「引進彈性製造系統的整合評估模式」，國科會計劃，計劃編號：NSC-82-0415-E009-137，(1993)。
- 張有恆、徐村和，「模糊度量 AHP 法-交通運輸計劃評估新模式」，中華民國第一屆 Fuzzy 理論與應用研討會，(1992)。
- 郭明哲，「工業工程全書」，淡江大學管理科學研究所。
- Arbel, A., & A. Seidmann, "Performance evaluation of flexible manufacturing systems," IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, pp.606-617(1984).
- Banz, R. W., & M. H. Miller, "Prices for state-contingent claims: some estimates and applications," Journal of Business, Vol. 51, No. 4, pp.653-672(1978).
- Bevis, F. W., & D. R. Towill, "Managerial control systems based on learning curve models," Int. J. Prod. Res., Vol. 11, No. 3, pp.219-238(1972).
- Boer, C. R., & V. Metzler, "Economic evaluation of advanced manufacturing by means of

- simulation," Material Flow, Vol. 3, pp.215-224(1986).
- Bozeman, Barry & J. Melkers, Evaluating R&D impacts: methods and practice, Kluwer Academic Publishers, pp.127-133(1993).
- .Brown, C. B., & J. T. P. Yao, "Fuzzy sets and structural engineering," J. Structural Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 5, pp.1211-1225(1983).
- Barzilai, J., & B. Golany, "AHP rank reversal, normalization and aggregation rules," INFOR, Vol. 32, No. 2, pp57-63(1994).
- Chen, C. B., "An efficient approach to solving fuzzy MADM problems," Ph.D. dissertation, University of Missouri-Columbia,(1994).
- Carlson, J. G., "Cubic learning curves: precision tool for labor estimating," Manufacturing and Management, Vol. 71, No. 5, pp.22-25(1973).
- Chou, K. C., & J. Yuan, "Safety assessment of existing structures using filtered fuzzy relation," Struct. Safety, Vol. 11, No.3-4, pp.173-189(1992).
- Copeland & Weston, Financial Theory and Corporate Policy, Addison Wesley, 3rd.
- Crawford, C. Merle, New products management, 3rd, pp. 199-208(1991).
- De Jong, J. R., "The effects of increasing skill on cycle time and its consequences for time standards," Ergonomics, Vol. 1, No. 1, pp.51-60(1957).
- Falkner, C. H., Flexibility in manufacturing plants. proceedings of the Second ORSA? TIMES Conference on Flexibility manufacturing Systems: Operations Research Model and Applications, Elsevier Science Publisher B. V., Amsterdam, pp.95-106(1986).
- Fotsh, R.J., "Machine tool justification policies: Their effect on productivity and profitability," Journal of Manufacturing System, Vol. 3, No. 2, pp.169-195(1984).
- Garg, A., & P. Milliman, "The aircraft progress curve modified for design changes," Journal of I. E., Vol. 12, No. 1, pp.23-27(1961).
- Krawiec, Frank, "Evaluating and selecting research projects by scoring," Research Technolohg Management, pp.61-65(1990).
- Krinsky, I., & J. Miltenburg J., "Alternate method for the justification of advanced manufacturing technologies," Int. J. Prod. Vol. 29, No. 5, pp.997-1015(1991).
- Levy, F. K., "Adaptation in the production process," Management Science, Vol. 11, No. 6, pp.136-153(1965).

- Lin, Z. C., & C. P. Yen, "Economic evaluation of FMS by AHP Method," pp.33-43(1991).
- Meredith, J. R., & M. M. Hill, "Justifying advanced manufacturing systems", Working Paper, University of Cincinnati, U.S.A., (1985).
- Meredith, J. R., & M. M. Hill, "Justifying new manufacturing systems : a managerial approach," Solan Management Review, pp.49-61(1987).
- Murphy, C. K., "Limits on the analytic hierarchy process from its consistency index," European Journal of Operational Research, No. 65pp138-139,(1993).
- Ramasesh, R. V., & M. D. Jayakumar, "Economic justification of advanced manufacturing technology," Omega, Vol.21, No. 3, pp.289-306(1993).
- Roger, N., "Justification of FMS with the analytic hierarchy process," Journal of Manufacturing Systems, Vol. 7, No. 3, pp.175-182(1987).
- Satty, T. L., The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill, New York,(1989)
- Satty, T. L., "Homogeneity and clustering in AHP ensures the validity of the scale," European Journal of Operational Research, No. 72,pp.598-601, (1994).
- Tanner, J. P. "The learning curve," Production Engineering, Vol. 32, No.5, pp.195-203(1985).
- Twiss, Brian, Managing Technological Innovation, 4th, Pitman Publishing, pp.154-157(1992).
- Varney, M. S., W. G. Sullivan, & J. K. Cochran, "Justification of flexible manufacturing systems with analytical hierarchy process," International Industrial Engineering Conferences, pp.181-190(1985).
- Wabalickis, R. N., "Justification of FMS with the analytical hierarchy process," Journal of Manufacturing Systems, Vol. 7, No. 3, pp.175-182(1987).
- Wright, T. P., "Factors affecting the cost of airplanes," Journal of Aeronautical Sciences, Vol. 3, No. 4, pp.112-128(1936).
- Youssef, M. A., "Getting to know advanced manufacturing technologies," Industrial Engineering, February, pp.40-42(1992).
- Zadeh, "L. A. fuzzy sets," Inf. Control, Vol. 8,(1965).

The Justification Model of Investment in Advanced Manufacturing Technology

CHIU-CHI WEI* AND YING-CHIEN TIEN**

** Department of Industrial Engineering & Management Chung-Hua Polytechnic Institute.*

***Powerchip Semiconductor Corporation*

ABSTRACT

Due to the appreciation of Taiwan currency, the increase of the labor cost, and the emphasis of the environmental protection, the competitive advantage of domestic manufacturers has dramatically declined. In addition, the continuous demands of products with high quality and superior performance from consumers have substantially shortened the product life cycle. To regain the market share, the industrialists are inevitably forced to invest in advanced manufacturing technologies to strengthen the competitiveness.

Advanced manufacturing technologies are capable of producing products with higher productivity and flexibility, and are most suitable for low volume production with great product variety. Thus, it is strategically adopted by industry-intensive countries around the world. Nevertheless, investment in advanced manufacturing technologies involves significant amount of budget, time, and manpower. The investment decisions must be carefully and thoroughly evaluated to ensure that the competitive position can certainly be enhanced so as to meet the firm's strategic goal. Appraising the advanced manufacturing technologies is a complex and difficult task, the traditional economic evaluation techniques are not sufficient to assure a robust investment decision.

This study proposes an integrated evaluation model which takes into account both quantitative and qualitative factors to assist management in making investment decisions associated with new technologies. The model consists of three stages, the first stage compares the benefits between the existing and the advanced technologies using State-Price net present value, the second stage applies the learning curve theory to evaluate the possible cost saving for a specific new technology. Finally, the last stage employs the Fuzzy approach to subjectively appraise the strategic factors such as long term competitive advantage, production flexibility, and the like.

Keywords: Advanced Manufacturing Technology, State- Price, Learning Curve, Fuzzy approach