

# 多元技術的擴散 ——以 CNC 與 CAD/CAM 為例

陳忠榮

國立中央大學  
產業經濟研究所教授

楊志海

真理大學  
經濟系助理教授

鄭文農

國立中央大學  
產業經濟研究所碩士

本文以 CNC 及 CAD/CAM 二種自動化技術在台灣製造業間的擴散為例，探討相關技術對技術擴散的影響效果。依據可辨明技術採用時間的資料，我們的實證研究結果發現，探討技術擴散時，若忽略相關技術的影響，將可能導致估計結果的偏誤。其次，影響採用 CNC 與 CAD/CAM 危險率的估計結果支持 Karshenas and Stoneman (1993) 提出的存量效果與排序效果，而傳統的傳染病效果亦獲得支持。但代表排序效果的不同因素，對於 CNC 與 CAD/CAM 之採用危險率的影響程度則略有不同。

**關鍵字：**技術擴散、技術採用、自動化技術

## 1. 前言

在技術進步的動態經濟環境中，新的生產技術、新的投入要素，或其他專業領域知識等創新投入的引進，會使得均衡的市場結構發生變化，產生市場結構失衡的現象 (Geroski and Pomroy, 1990)。廠商面對技術創新對市場結構所可能產生的衝擊，將可能考慮是否採用創新技術以做為因應，而使得

---

作者感謝二位匿名評審給予諸多寶貴的建議以及國科會經費的補助 (NSC-86-2415-H-008-006)。

收稿日期：87 年 4 月 30 日；接受刊登日期：89 年 6 月 14 日

市場結構逐漸再趨於均衡。因此，了解技術擴散的過程、影響因素，以及廠商採用率等技術擴散的問題，在產業技術日新月異的動態環境中，顯得特別重要。技術擴散的相關議題，雖然文獻上已有相當多的實證研究（Mansfield, 1963a, 1963b; Romeo, 1975; Globberman, 1975; Hastings, 1976; Oster, 1982, Hannan and McDowell, 1984, 1987; Wozniak, 1984; Levin, Levin, and Meisel, 1987; 陳忠榮與楊浩彥, 1991; Rose and Joskow, 1990; Karshman and Stoneman, 1993; 林惠玲與陳正倉, 2000）。但這些相關的研究大多探討單一技術之擴散，亦即假設在技術採用的同時以及技術擴散的過程中，市場上其他的技術為獨立無關。然而，在實際社會中的產業技術擴散過程中，市場上經常存在彼此相關的技術，使得某種技術的擴散並非獨立，而與另一種技術的擴散有關。

一般而言，若市場上原本已存在與創新技術為替代性的技術，則會對新技術的採用產生競爭的排擠效果，可能使得新技術的廣告成本增加而無法降低價格，再則，採購功能性相似設備的重置成本，也會造成採用廠商的財務負擔。因此，市場上既存的替代性技術，可能降低廠商對新技術的採用機率。反之，若有互補性技術存在於市場，由於技術互補的緣故，可能使得廠商採用新技術的邊際效用上升，增加了對新技術採用的機率。Wozniak (1984) 探討兩種互補性技術的交互作用效果，對彼此採用機率的影響。實證結果支持市場上已被採用的技術與新技術的互補性，會使得新技術被採用的機率上升。Stoneman and Kwon (1994) 擴展單一技術擴散的理論，建立多元技術擴散的理論模型，探討不同技術間的替代或互補關係，對於彼此採用機率的影響。他們研究電腦數值控制系統 (CNC) 和附碳車刀 (CCT) 的聯合擴散情形，深入的探討技術的個別特性對另一技術被採用機率的影響，結果發現技術互補性的交互效果相當重要。但 Wozniak (1984) 和 Stoneman and Kwon (1994) 對於動態的技術擴散過程之分析，採用的卻是靜態模型的 probit 模型，這樣的分析方法並不恰當。<sup>1</sup> Colombo and Mosconi (1995)

1 Stoneman and Kwon (1994) 在採用 probit 模型為分析工具的說明中，強調其因為資料的分類篩選過程，會使得採用靜態的 probit 模型分析的效果等同於動態模型，但仍然不如直接採用動態模型來得恰當。

則改採用存活模型 (survival model) 來探討技術互補性在多元技術擴散中的角色，獲致與 Stoneman and Kwon (1994) 類似的結果。Stoneman and Toivanen (1997) 則採用聯立方程式 (simultaneous equation) 探討三種技術的聯合擴散情形，結果發現個別技術間的技術性與策略性相關，影響技術的擴散途徑。後續之多元技術擴散的相關實證研究，尚相當少見。

本文根據 Stoneman and Kwon (1994) 的模型架構，應用 Karshenas and Stoneman (1993) 單一技術擴散的一般化模型於多元技術擴散的分析，並考慮人力資源的因素，<sup>2</sup> 架構一個分析多元技術擴散決定因素的一般化實證模型。以電腦數值控制系統 (computer numerical control system，以下簡稱 CNC) 和電腦輔助設計與製造系統 (computer aided design/computer aided manufacturing，以下簡稱 CAD/CAM) 二種自動化技術在臺灣製造業的擴散情形為研究對象，應用存活模型的計量方法，實證分析二種具有相關性技術擴散的決定因素，並考慮相關技術間採用順序的影響效果，探討忽略技術關連性的估計所可能產生的偏誤。由於資料與研究重點的不同，本文雖未如 Stoneman and Kwon (1994) 細分相關技術間的個別特性，僅單純探討整體性技術對另一相關技術擴散的影響。這樣的分析方式雖然較為簡要，但較容易顯示出相關性技術對彼此擴散速度所造成的影響。再則，較諸以往多元技術擴散的文獻，由於本文資料可區分不同技術採用順序的先後，具有較充分的訊息，相較於未區分相關技術採用時間的多元技術擴散分析，將可提供更嚴謹的分析結果。<sup>3</sup>

本文共分成五節，除了本節為前言外，第二節為多元技術擴散的理論模型，並簡述 CNC 與 CAD/CAM 二種自動化技術的技術特性，第三節說明資料來源並建立實證模型，第四節為實證結果，最後則為結論。

---

2 Wozniak (1984) 以人力資本分析法來探討創新技術的採用問題，強調經營決策者在經濟誘因下，對技術採用與否之影響的重要性。

3 Wozniak (1984) 分析存在相關性技術之技術擴散時，採用的資料無法區分技術採用時間先後，相對於言，為一種非充分訊息的資料型態。

## 2. 多元技術擴散的理論與技術的相關性

在廠商製造的生產製程中，可能存在著具替代性或互補性的不同技術。假設有 A 與 B 二種技術，定義  $g_A$  為單獨採用 A 技術時，廠商每年可賺取的毛利潤， $g_B$  為單獨採用 B 技術時，廠商每年可賺取的毛利潤。另外， $g_{AB}$  則為同時採用二種技術時，廠商每年可獲得的毛利潤。因此， $g_A$ 、 $g_B$  與  $g_{AB}$  三者之間的關係可以寫成

$$g_{AB} = g_A + g_B + \nu \quad (1)$$

其中，若 A 與 B 二種技術在生產過程上具備互補性，則  $\nu > 0$ 。相反的，若 A 與 B 為替代性的技術，則  $\nu < 0$ 。

Stoneman and Kwon (1994) 假設  $\nu$  的函數為底下形式

$$\nu_i(\tau) = \nu[c_i, \sigma(\tau), N_A(\tau), N_B(\tau)] \quad (2)$$

$\nu_i(\tau)$  表示廠商  $i$  在  $\tau$  時間同時採用 A 與 B 二種互補性技術後，可獲得之高於  $(g_A + g_B)$  的利得。<sup>4</sup>  $c_i$  為廠商特性的向量， $\sigma(\tau)$  為時間為  $\tau$  時，產業的需求水準，二者同時用來反映技術擴散的排序效果 (rank effect)。<sup>5</sup> 廠商採用技術時，產業內其他採用技術 A 與技術 B 的廠商數目， $N_A(\tau)$  與  $N_B(\tau)$ ，用來表示存量效果 (stock effect)。而  $\nu_1 \geq 0$  或  $\leq 0$ ， $\nu_2 \geq 0$ ， $\nu_3 \leq 0$ ， $\nu_4 \leq 0$ ， $\nu_n$  表  $\nu_i(\tau)$  函數對變數的一次微分。在技術採用的預期利潤折現值大於採用成本的套利條件 (arbitrage condition) 限制下，推導出採用機率為  $\nu$  的函數，且隨著  $\nu$  增加，採用單一技術的可能性降低，聯合採用的機率提高。<sup>6</sup>

4 即使 A 與 B 二種技術為替代性， $\nu$  的函數亦可寫成(2)式的形式，此時  $\nu$  表示同時採用 A 與 B 二種技術時，可獲得之低於  $(g_A + g_B)$  的利得。

5 Karshman and Stoneman (1993) 將不同的技術擴散理論分析法歸類成排序 (rank)、存量 (order)、序列 (order) 和傳染病 (epidemic) 效果，提出一個包含此四種效果的技術擴散一般化模型。而 Stoneman and Kwon (1994) 的理論模型則是應用 Karshman and Stoneman (1993) 的單一技術擴散模型於二種技術的擴散。

6 詳細的推演過程，見 Stoneman and Kwon (1994)。

Wozniak (1984) 則強調技術採用的決策形成，與採用決策者的經濟誘因有很大的關係。但不管決策者係經營者或專業經理人，個人的利潤函數與廠商的利潤函數間，都存在著正向的關係。本文根據 Stoneman and Kwon (1994) 的理論模型，並參考 Wozniak (1984) 的觀點，考慮採用決策者的教育程度、風險偏好、經驗或訊息等創新能力的傾向，將廠商對創新技術的採用機率，設定為底下的函數型態：

$$P_A = \nu[\mathbf{c}_i, \sigma(\tau), N_B(\tau), \mathbf{x}_i, e] \quad (3)$$

$$P_B = \nu[\mathbf{c}_i, \sigma(\tau), N_B(\tau), \mathbf{x}_i, e] \quad (4)$$

$$P_{AB} = \nu[\mathbf{c}_i, \sigma(\tau), N_B(\tau), \mathbf{x}_i, e] \quad (5)$$

$$P_{BA} = \nu[\mathbf{c}_i, \sigma(\tau), N_A(\tau), \mathbf{x}_i, e] \quad (6)$$

$$P_S = \nu[\mathbf{c}_i, \sigma(\tau), N_A(\tau), N_B(\tau), \mathbf{x}_i, e] \quad (7)$$

$P_A$  表採用 A 技術的機率， $P_B$  表採用 B 技術的機率， $P_S$  表同時採用 A、B 兩種技術的機率， $P_{AB}$  表先採用 A 技術後再採用 B 技術的機率， $P_{BA}$  表先採用 B 技術後再採用 A 技術的機率。其中  $\mathbf{x}_i$  為決策者的特性向量， $e$  為傳染性效果， $\nu_5 \geq 0$ ， $\nu_6 \geq 0$ 。<sup>7</sup>

本文研究的產業技術，是以自動化技術中的 CNC 和 CAD/CAM 二種技術為對象。自動化技術的採用是廠商提昇競爭力的策略之一，而在自動化技術中，CAD/CAM 可以和 CNC 相互連線，利用 CAD/CAM 自動產生行動路徑，並且由處理程式產生個別 CNC 能接受的數位碼，以驅動電腦數值控制工具機，亦即 CAD/CAM 的採用，可以增加電腦數值控制機器設備製造的速度和彈性。因此，CAD/CAM 的採用，對原本已採用、或同時採用 CNC 的製程而言，存在某種程度的互補性。但是，當 CAD/CAM 不與 CNC 連線使

7 (3)至(6)式中的存量效果因素僅放入本身存量效果的影響，未若(2)式亦置入相關技術之存量效果。其理由在於本文資料提供了不同技術採用時間的充分訊息，故考慮技術的採用時，已使用之技術的存量效果可以忽略。其次，在本文資料中，CNC 與 CAD/CAM 二種技術之存量效果的變數存在相當高的共線性問題，若同時納入分析可能造成估計結果的偏誤。

用時，由於 CAD/CAM 出現的年代較 CNC 為晚，<sup>8</sup> CAD/CAM 亦可以將其產生的設計圖、製造程序圖或加工圖面製造細目，轉換成數位控制用的程式。故 CAD/CAM 的技術本身似乎又涵蓋了部份 CNC 的功能，使得 CNC 與 CAD/CAM 二種自動化技術之間，又可能存在著某種程度的替代關係。因此，當 CNC 或 CAD/CAM 其中一種技術的事先採用，均可能會影響到廠商對另一種技術採用的機率與效用。由上述說明可知，傳統單一技術擴散理論對於技術獨立性的假設將可能不再適用，技術獨立性之假設有待進一步驗證。

### 3. 資料來源與實證模型

為估計上述的模型，最理想的資料情況為所有可能潛在使用者之母體的完整歷史資料，以及與所欲討論之技術具明確特性的相關技術，但這樣的資料並不容易獲得。本文採用的資料，係配合陳忠榮、龔鳴盛與沈國基（1994）之專題研究計畫的問卷需求，輔以本文研究所需之變數的問題，經發放回收後整理而得。問卷之調查母體是由第六次自動化調查的廠商名單中，以電腦隨機抽樣的方法抽取 1600 家廠商而寄出問卷。<sup>9</sup> 問卷回收數為 169 份，回收率為 10.6%。經初步整理，剔除填答不完整的廠商，本研究採用的樣本數為 110 家。此樣本涵蓋了 13 個產業，其中屬於五大產業的廠商佔樣本的 50% 以上，雖然樣本數並不是非常大，但經由統計檢定，對於製造業仍具有相當的代表性。<sup>10</sup>

在實證分析的計量模型方面，本文應用 Cox（1972）的比例危險模型（proportional hazard model）之存活模型為分析的工具。存活分析法可動

---

8 數位控制機器設備（NC）於 1952 年由美國麻省理工學院的伺服機構實驗室成功研製第一台三軸控制機器設備，1962 年才開始商品化。到了 1972 年以小型電腦取代 NC 控制之軟體，電腦數位控制機器設備（CNC）方出現。到了 1980 年代，電腦輔助設計與製造（CAD/CAM）系統逐漸應用於產業間。

9 就本研究的目的而言，第六次自動化調查的資料固然為一良好的資料，但其中除了欠缺本研究所需的人力資本因素等變數之外，由於原始資料取得不易，故改以問卷資料進行研究。

10 將此問卷資料之產業平均數與 1991 年的工商普查資料之產業平均數進行 t-test，藉以檢視此問卷資料的信賴度（reliability），結果並未發現存在顯著的差異。

態分析在時間過程中，廠商採用創新技術是否受過去時間累積的影響，以及在時間過程中，CNC 與 CAD/CAM 的擴散速度的變化，此分析法在近年來已常被使用於分析技術擴散。<sup>11</sup>

為利用存活模型分析廠商採用創新技術的可能性及決定因素，假設隨機變數  $T$  為廠商採用新技術的等待時間， $f(t)$  為其機率密度函數， $F(t)$  為累積機率密度函數，表示在時間  $t$  時採用新技術的比率。 $S(t)$  為存活函數 (survival function)，代表時間  $t$  時尚未採用新技術的廠商比率。 $h(t)$  則表示在  $t$  時點未採用，而在瞬間之後採用的機率，一般稱為危險率 (hazard rate)。<sup>12</sup> 假設  $X$  為相關解釋變數組成的向量，Cox 的模型係建構在  $t$  期的危險率，該危險率表示如下：

$$h(t, X) = h(t, 0) \exp(X' \beta) \quad (8)$$

其中  $h(t, 0)$  係在時間為  $t$ ，變數向量為 0 時的基線危險率 (baseline hazard rate)，且此基線危險率並未限制為何種函數形式。在允許欲衡量之期限 (duration) 資料中存在結 (tie) 與受限資料 (censored data) 的情況下，<sup>13</sup> Cox (1975) 提出個別廠商在  $t$  時間的最適機率密度函數可表示為：

$$\frac{h(t_i | X_i)}{\sum_{j \in R(t_i)} h(t_i | X_j)} = \frac{\exp(X_i' \beta)}{\sum_{j \in R(t_i)} \exp(X_j' \beta)} \quad (9)$$

其中  $h(t_i | X_i)$  為條件危險率 (conditional hazard rate)，表示在經濟個體  $i$  的特性向量  $X_i$  條件下，經濟個體  $i$  在時點  $t_i$  的危險率。 $R(t_i)$  為在時點  $t_i$  時，仍未採用創新技術之經濟個體的集合。由(9)式推導可以得到偏概似函數 (Partial likelihood function) 如下：

11 例如 Hannan and McDowell (1987)、Rose and Joskow (1990)、Karshenas and Stoneman (1993)、Colombo and Mosconi (1995)，以及林惠玲與陳正倉 (2000) 等。

12 危險率  $h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\text{prob}(t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta S(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$   
 $= \frac{f(t)}{S(t)}$ 。

13 結 (tie) 是指有二筆或二筆以上資料，其採用新技術的速度或等待時間相同。

$$\ln L = \sum_{i=1}^n [X_i' \beta - \ln \sum_{j \in R(t_i)} \exp(X_j' \beta)] \quad (10)$$

若資料中存在結 (tie) 的情形，則會影響偏概似函數的精確度，但在應用上面，大多將此差異予以忽略。<sup>14</sup> 對(10)微分求極大化，可以推導得到欲估計的係數  $\beta$ ，此估計值稱為偏極大概似估計量 (Partial maximum likelihood estimator)。<sup>15</sup>

在有效的 110 個樣本中，被解釋變數的多元技術採用，可依技術採用與否和採用的順序，區分為下列四種情形：(I)、兩種技術均未採用的廠商為 55 家。(II)、採用 CNC 的廠商有 44 家。(III)、採用 CAD/CAM 的廠商 39 家。(IV)、同時採用 CNC 與 CAD/CAM 的廠商有 28 家。而同時採用此二種自動化技術的樣本，又可區分成下列情形：(IVa)、先採用 CNC 再採用 CAD/CAM 的廠商有 15 家，(IVb)、先採用 CAD/CAM 再採用 CNC 的廠商僅 3 家，(IVc)、同一時點採用 CNC 與 CAD/CAM 的廠商 10 家。由於樣本數的限制，本文無法分別針對 (IVa)、(IVb) 與 (IVc) 的情形分別估計，而是將先前已採用與同時點採用的情形合併，藉此探討在 (II) 及 (III) 的情況下，相關技術彼此採用時間的影響。對照於理論模型的(3)–(7)式，本文的實證模型並非對其分別估計，而是以(3)式與(4)式為分析的基礎，但藉由納入相關技術採用與否與順序的變數，可加強探討相關技術對某技術採用機率的影響。此外，由於本文資料可區分廠商對於 CNC 與 CAD/CAM 採用時間的先後，具備較充分的訊息，應用在多元技術擴散的分析，對其擴散的動態過程可提供部分的解釋，故應可提供更嚴謹的分析結果。

根據(10)式對廠商採用 CNC 與 CAD/CAM 的危險率估計中，解釋變數的選取主要係依據人力資本分析法，以及 Karshman and Stoneman (1993)

14 若資料結產生，則偏概似函數變成所有個別經濟個體之概似函數的總和。但 Kiefer (1988) 提出在使用偏概似函數時，不用考慮有設限資料或結的出現，對於資料結的出現可用重複計算來解決，如此一來，計算過程才不致過於繁雜。

15 存活模型的計量模型中，尚有無母數估計法，對數線性 (loglinear) 模型，以及區隔母體模型 (spilt population model) 等其他估計的模型，且對於機率函數的機率分配型態亦有不同的假設。但本文強調的重點並非不同存活模型、或對於不同機率分配型態間的比較，故僅採用存活模型中最常用且對於分配之假設最少的比例危險模型。



提出的一般化擴散理論模型。所以，變數主要包括人力資本因素、排序效果因素、傳染病效果以及存量效果因素。<sup>16</sup>

在人力資本因素方面，決策者的個人特性是影響技術採用決策的最重要關鍵。因此，本文採用決策者年齡、教育程度和對風險的偏好程度三項個人特質的因素，為人力資本分析之所需。AGE 代表決策者的年齡，Romeo (1975) 認為決策者的年齡越輕，意味著冒險精神與幹勁越強烈，因此會有較高的意願採用新技術。另一方面，年齡越高累積的技術經驗較豐富，可能有助於判斷新技術對生產及公司利潤的影響，亦可能加速採用新技術的決策以利公司的發展 (Globerman, 1975；曾麗蓉, 1989)。因此，決策者年齡對新技術採用危險率的影響同時具備正反兩方面的力量，影響方向無法確定。<sup>17</sup> EDU 表示決策者的教育程度，教育程度越高，表示決策者學習了更多有關經營或生產的知識或技術，進而可提供決策者藉以改善配置效率，以及應用對技術和知識的瞭解而採用有助於提昇生產效率的技術 (Romeo, 1975; Globerman, 1975; Wozniak, 1984)。故預期教育程度對 CNC 及 CAD/CAM 的採用速度會有正面的影響。除了以人力資本角度來解釋教育程度對技術採用時間的影響外，McWilliams and Zilberman (1996) 將其視為邊用邊學 (learning by using) 的函數，藉此探討學習效果在技術採用中扮演的角色，結果亦支持教育程度高有助於提早採用新技術。此外，決策者是否採用創新製程技術，主要著眼於採用後的預期利潤大小。但由於經濟的不確定，預期利潤亦可能充滿變數，故決策者的風險態度，在解釋技術的採用就相當重要。<sup>18</sup> 本文以決策者的投資態度當做風險偏好的代理變數，納入變數 RISK，藉此探討決策者風險態度對技術採用的影響。一般而言，投資態度保

---

16 Karshenas and Stoneman (1993) 應用其理論模型，對單一技術採用進行實證分析時，存量與序列效果的因素獲致的支持並不強，而傳染病與排序效果較顯著。本文受限於問卷資料的資訊限制，並參酌 Karshenas and Stoneman (1993) 的結果，故並未納入序列效果因素。

17 Cox 比率危險模型使用指數分配當做危險率函數，所以危險率越大表示平均採用時間越短。因此，估計結果的係數若為正，表示越快採用新技術。相反的，若估計的係數為負，則表示採用的速度越慢。

18 見 Wozniak (1984)。

守者通常不願為潛在的利益而承擔太多風險，而投資風險偏好者，則傾向於願意為潛在的利益而承擔較高的風險。因此，預期經營決策者的投資風險偏好程度，對於新技術的採用速度，應有正面而顯著的影響。

關於排序效果之變數的選取，本文參考 Stoneman and Toivanen (1997) 的做法，採用廠商特性與產業需求水準二類變數來表示。<sup>19</sup> SCALE 代表廠商規模，以廠商擁有的員工數來衡量。一般而言，規模較大的廠商有較快採用新技術的傾向 (Mansfield, 1968; Romeo, 1975; Globberman, 1975; Wozniak, 1984; Hannan and McDowell, 1984; 陳忠榮與楊浩彥, 1991; Rose and Joskow, 1990; Karshman and Stoneman, 1993; Colombo and Mosconi, 1995, 以及林惠玲與陳正倉, 2000)。其理由為規模較大的廠商，財務與管理通常較為健全，採用創新技術所承受的風險相對較低。其次，規模較大的廠商，其產品的多樣化程度可能較高，使得採用新技術的機會較多。另外，大廠的技術資訊來源可能較為充分，對於新技術的使用存在較佳的學習效果，故採用新技術的機會較高。<sup>20</sup> Stoneman and Kwon (1994) 研究聯合技術擴散時，僅在同時採用兩種技術時，規模效果才顯著。然而，Oster (1982) 卻認為大型廠商由於龐大的組織系統，導致決策程序的緩慢與管理人員的保守作風，因而有傾向於較慢才採用新技術的現象，Stoneman and Toivanen (1997) 亦發現小型廠商對新技術的採用速度較快的現象。至於產業的需求水準，則以產業利潤率 (PROFIT) 與廠商成長率 (GROWTH) 二個變數來表示。廠商採用新技術與否，取決於採用的預期利潤大小，但預期利潤的量化衡量並不容易，因此，本文採用目前的產業利潤率大小為廠商未來利潤率的參考指標。廠商預期採用的利潤越高，採用的機率自然提昇 (Mansfield, 1963b; Hastings, 1976)。<sup>21</sup> 另外，Karshenas and Stoneman

19 Stoneman and Kwon (1994) 亦是採廠商規模與產業需求水準二個變數，來代表技術擴散的排序效果。但 Colombo and Mosconi (1995) 則採技術的互補性、邊用邊學 (learning by using) 和區域發展特性等變數來代表排序效果。

20 見 McWilliams and Zilberman (1996)。

21 但是，在 Romeo (1975)、Hannan and McDowell (1984)，以及陳忠榮與楊浩彥 (1991) 的研究中，廠商利潤率的影響則不顯著。

(1993) 以技術預期價格的下跌來代表預期利潤時，亦獲致相同的結論。在多元技術的採用時，因為技術間存在替代或互補的關係，同時採用的預期利潤將因技術間的屬性不同而異，但預期利潤高對於是否同時採用仍會有正面的衝擊，尤其是對互補性技術而言。故預期產業的利潤率越高，對於廠商採用創新技術的速度，存在正面顯著的影響。至於廠商成長率對於技術採用的影響為何，誠如 Karshenas and Stoneman (1993) 所言：「一個成長迅速的廠商，會使得廠商向銀行貸款時有較為有利的條件，且由於快速成長，使得產能極度擴張，採用新技術的機會自然較大」。亦即廠商若處於快速成長的階段，會促進廠商對新技術的購買與採用。而以往的實證研究，亦大多支持此論點 (Romeo, 1975; Hannan and McDowell, 1987; 陳忠榮與楊浩彥, 1991; Karshenas and Stoneman, 1993; 林惠玲與陳正倉, 2000)。不過，一個低成長率或呈現衰退的廠商，卻也可能為了改善生產效率，增強市場競爭能力，進而加速採用新的技術。由此可知，GROWTH 對廠商採用新技術之速度的影響，端看正負雙方何者的力量較強。

在技術擴散理論中，傳染病效果表示廠商獲取訊息的一種消極方式。隨著技術引入市場所歷經的時間越久，潛在的使用者將得知更多新技術的訊息，對新技術之特性的瞭解亦會增加，使得採用新技術的廠商數漸漸增加。<sup>22</sup> 為了衡量傳染病效果的影響，本文採用廠商獲取自動化機器設備相關資訊來源之管道的多寡來當做傳染病效果的代理變數，變數名稱以 INFOR 來表示。雖然 Rose and Joskow (1990) 和 Karshenas and Stoneman (1993) 探討單一技術的擴散，以及 Stoneman and Kwon (1994) 探討二種互補技術擴散的研究，均支持傳染病效果的存在，但他們均非採用資訊來源當做傳染病效果的代理變數。而 Feder and Slade (1984) 和 Woznaik (1993) 在探討資訊取得與技術採用的關係時，則證實廠商取得資訊與技術採用之間存在正向的關係。故在本文中，廠商主動蒐集資訊之管道多寡所代理的傳染病效果，預期會有正面顯著的影響。

存量效果的變數設定上，NCNC 與 NCAD 二個變數分別表示廠商在採

22 見 Stoneman and Kwon (1994)。

用技術時，該產業內已採用 CNC 與 CAD/CAM 二種自動化技術廠商佔所有廠商的百分比，此即為存量效果。在技術取得成本固定的假設下，廠商採用新技術可獲得之邊際利潤，會隨著先前已使用新技術的廠商增加而減少。而即使技術取得的成本隨時間遞減，在產量為廠商內生選擇的動態競爭環境中，產業產量與價格亦會隨之改變，繼而影響較晚採用新技術者的利潤。<sup>23</sup> Stoneman and Kwon (1994) 的多元技術擴散實證，支持 Karshenas and Stoneman (1993) 推論的負向存量效果，但 Stoneman and Toivanen (1997) 的研究則同時出現正負方向並存的情形。

除了上述的變數之外，本文依據自動化技術與廠商之研發策略可能的關連，以及考慮出口貿易對於台灣小型開放經濟體系的重要性，納入 R & D 及 EXPORT 二個變數。R & D 為一個虛擬變數，若廠商設有研究發展部門為 1，否則為 0。一般而言，新技術的採用並非單純的模仿行為，而是必須考慮廠商本身的生產體系。Cohen and Levinthal (1989) 指出，研究發展活動若投入於製程創新技術的領域，則對製程創新技術的資訊來源較為充足與熟悉，將有助於新技術的擴散速度。研究發展若沒有投入於製程創新活動中，而僅從事產品的開發，則由於對其產品開發的技術熟悉，亦可能增加廠商的外生學習效果，使得廠商對新技術的採用速度有正向效果。Colombo and Mosconi (1995) 及林惠玲與陳正倉 (2000) 的實證亦支持此種看法。因此，預期 R&D 對於新技術的採用機率具正面的影響。EXPORT 為廠商出口的百分比，其將如何影響 CNC 與 CAD/CAM 的擴散速度？一般而言，廠商採用自動化機器設備的目的在於提高產品品質與增加生產效率。所以，藉由出口比例對高層次自動化機器設備採用的正負向關係，可推估本國廠商的出口產品相對於內銷產品之精密度與多樣性。但出口比率對於技術採用的機率影響為一實證的議題，無法預期其符號的方向。<sup>24</sup>

傳統單一技術擴散的分析係假設不同的技術之間獨立無關，但這樣的假

23 見 Reinganum (1981) 及 Karshenas and Stoneman (1993)。

24 林惠玲與陳正倉 (2000) 探討五種自動化技術在台灣製造業擴散的實證研究中，出口比率對於不同技術之採用時間快慢的影響，即出現正負向不同的影響效果。

設未必正確。市場上既存或同時引進的技術，彼此可能存在替代性或互補性的關係。因此，在探討技術擴散的因素時，必須將這種可能存在的技術交互作用效果納入考量，此亦即多元技術擴散理論所強調的重點。爲了檢視相關技術的影響效果，本文加入是否已採用相關技術的影響項來衡量。由於資料提供了廠商採用二種技術的時間，故影響項除了不管採用時間先後，僅考慮是否有採用相關技術外，尚可進一步細分成是否已先採用或同時採用相關技術的影響效果。一般而言，若技術具互補性，對彼此的採用機率會有正面影響，影響效果爲正。相對的，若技術間爲替代關係，則結果相反。Colombo and Mosconi (1995) 驗證技術互補性在多元技術擴散中具正向顯著的影響。本文探討的 CAD 與 CAD/CAM 二種技術，因爲引進市場的時間不同，較晚開發的 CAD/CAM 技術，雖然可提供 CNC 技術之使用上的多種支援活動，對於已採用 CNC 者而言，本質上具備相當高的互補作用，但 CAD/CAM 亦涵蓋部份 CNC 的功能，而與 CNC 呈現部份替代的關係，這將使得直接採用 CAD/CAM 者，可能傾向於不再採用 CNC。因此，預期交叉效果的影響方向，應視不同技術採用先後的順序而有所不同。本研究所使用的各個變數之衡量，整理如下列表 1。

## 4. 實證結果

以牛頓法 (Newton's method) 對(10)式的偏概似函數求取極大化，分別可估得影響廠商採用 CNC 與 CAD/CAM 危險率的係數，其結果列於表 2 與表 3。

表 2 爲影響採用 CNC 危險率決定因素的估計結果。(i) 式爲未考慮採用相關技術影響的估計結果，而(ii)、(iii) 式均爲考慮相關技術的影響效用而納入相關技術影響項的估計結果。其中(ii) 式係未能區分相關技術的採用順序，僅考慮是否有採用 CAD/CAM 對 CNC 採用速度的影響，爲訊息不充分的情形，(iii) 式則爲考慮了先採用或同時採用 CAD/CAM，在具較充分訊息下估計的結果。相同的，表 3 採用 CAD/CAM 危險率決定因素的估計結果中，(iv) 式並未考慮相關技術的影響，而(v)、(vi) 兩式均爲考慮相關技術影響而

表 1 變數的衡量，單位及預期符號

變數及其統計值	衡量方式與單位	預期符號
AGE (3.518 0.936)	公司決策者的年齡， 30 歲以下=1, 30-40 歲=2, 41-50 歲=3, 51-60 歲=4, 60 歲以上=5	?
EDU (3.500 1.451)	公司決策者的教育程度， 國小(含)以下=1, 國中=2, 高中=3, 專科=4, 大學=5, 研究所=6	+
RISK (0.636 0.483)	虛擬變數， 有潛在的高利潤則願意承擔風險=1， 盡量避免風險或有僅承擔適度報酬的風 險=0	+
SCALE (245.61 415.31)	廠商員工數 (人)	?
PROFIT (6.359 0.852)	產業利潤除以銷售額之百分比 (%)	+
GROWTH (18.573 48.333)	廠商的銷售額成長率 (%)	?
INFOR (4.954 1.535)	傳染病效果，廠商自動化技術資訊來源管道的 數目。問卷中包含 12 種管道，包括雜誌、 同業相傳、展覽會、座談會、顧客提供、 政府單位、學術單位、工研院、國外投資 人、國外技術合作者、進口自動化設備廠 商，以及國內自動化設備製造商	+
NCNC (54.438 14.438)	存量效果，廠商採用 CNC 時，該產業已採用之 廠商所佔百分比 (%)	-
NCAD (52.372 16.680)	存量效果，廠商採用 CAD/CAM 時，該產業已 採用之廠商所佔百分比 (%)	-
R&D (0.682 0.468)	虛擬變數，廠商設有研發部門為 1，否則為 0	+
EXPORT (33.632 37.933)	廠商出口佔總生產值的比例 (%)	?

註：括號內數值分別為變數的平均數與標準差。

進度緩慢，尤以民國七十二年至七十六年間，房地產低迷，由眷村改建而成的國宅，其售價與市價相差無幾，以致嚴重滯銷，深切影響了眷村改建的進度，直至民國七十七年，房地產開始復甦，眷村改建工作才再度全面開展。環顧現實，眷村改建的工作，因各項作業繁複，涉及管轄機關眾多，突顯了以行政命令來推動眷村改建所面臨的許多主客觀條件限制，無法滿足眷村日益強烈的改建需求，再加上執政黨面臨著眷村選票流失的危機，使得執政黨不得不排除萬難，終於在民國 85 年元月中旬，通過了「國軍老舊眷村改建條例」，以合法的途徑來解決過去所面臨的困難，來推動眷村改建的工作。

老舊眷村既然需要進行改建更新，那麼老舊眷村及住戶到底又有多少呢？根據李如南（1988:8）的研究，依據民國 73 年「國軍列管眷村資料名冊」的登記資料，當時台灣地區共有眷村 888 個，眷戶 109,786 戶。由於國防部於民國 69 年以後，不再興建眷村（立法院 84(53):485），因此這個老舊眷村與眷戶的數字，就應該是最後的數字。這 888 個國軍眷村，大約可以區分為下列六大類別：

- (1)一般眷村，即老舊眷村；
- (2)職務官舍；
- (3)以「華夏貸款」興建之住宅；
- (4)與省市政府合作興建之國宅；
- (5)由「軍眷住宅合作社」興建之住宅；
- (6)散戶，約 7,785 戶。

以上 2 至 5 項眷舍多為民國 60 年以後興建，且 3 至 5 項眷舍之產權皆已歸私人所有，並無改建之問題，因此需要改建的老舊眷村主要是屬於第一類。根據同一研究，這第一類的 694 個眷村及其眷戶，遍布於台灣各縣市，只是數目多寡的不同而已。在眷村的規模上，約有 65% 的眷村是在 100 戶以下的較小型眷村，而其中規模在 50 戶以下者，則更占了 41%。但在眷戶的分布方面，則有 65% 以上的眷戶分布於 100 戶以上的大型眷村裏，其餘 25% 弱分布在 100 戶以下的小型眷村裏（見表一和表二）。

眷村的老舊程度與眷村興建的年代有密切的關係。越早期興建的眷村，必然是越老舊。上述的 694 個老舊眷村中，由於民國 69 年以後不再興建眷

表3 採用 CAD/CAM 危險率的決定因素  
Cox Proportional Hazard Model

	(iv)	(v)	(vi)
AGE	-0.280 (0.235)	-0.345 (0.242)	-0.412 (0.245)
EDU	0.513E-01 (0.136)	0.433E-01 (0.140)	0.443E-01 (0.145)
RISK	0.896 <sup>b</sup> (0.354)	0.857 <sup>b</sup> (0.355)	0.780 <sup>b</sup> (0.358)
SCALE	0.719E-03 (0.472E-03)	0.748E-03 (0.473E-03)	0.813E-03 <sup>c</sup> (0.469E-03)
PROFIT	0.362 <sup>b</sup> (0.182)	0.340 <sup>c</sup> (0.181)	0.316 <sup>c</sup> (0.182)
GROWTH	-0.562E-01 (0.365)	-0.105 (0.365)	-0.119 (0.366)
INFOR	0.488 <sup>b</sup> (0.192)	0.441 <sup>b</sup> (0.199)	0.413 <sup>b</sup> (0.202)
NCAD	-0.376E-01 <sup>a</sup> (0.109E-01)	-0.315E-01 <sup>a</sup> (0.117E-01)	-0.280E-01 <sup>b</sup> (0.115E-01)
R&D	1.001 (0.634)	1.108 <sup>c</sup> (0.643)	1.148 <sup>c</sup> (0.645)
EXPORT	0.488 <sup>b</sup> (0.192)	0.574E-02 (0.525E-02)	0.580E-02 (0.525E-02)
相關技術影響項			
CNC1		0.454 (0.387)	
CNC2			0.754 <sup>c</sup> (0.409)
Log likelihood	-141.179	-140.487	-139.417

註：1. 括號內數值為標準差。

2. a、b 及 c 分別代表在 1%、5% 及 10% 顯著水準下為顯著。

3. 相關技術影響效果的虛擬變數 CNC1 係未考慮採用順序，有採用 CNC 為 1，其餘為 0，為訊息不完全的情況。虛擬變數 CNC2 考慮了採用順序，假設已先採用或同時點採用 CNC 為 1，否則為 0。此為訊息較充分的情形。



納入影響項的估計結果，但(v)式未區分兩種技術間的採用順序，僅考慮廠商是否有採用 CNC 對廠商採用 CAD/CAM 之速度的影響，(vi)式的估計則採較充分訊息，辨明出先採用或同時採用 CNC 的情形。對於降低忽略相關技術影響，以及採用非充分訊息之估計所可能產生的估計偏誤，使用較充分訊息來估計，應可提供較嚴謹的估計結果。

由於模型係探討各項因素對於廠商採用新技術的危險率之影響，而危險率係表示廠商在某時點下瞬間採用的機率。因此，表 2 與表 3 的估計結果中，若變數的係數為正，則表示廠商採用新技術的機率較高。相反的，若估計的係數為負，則表示該變數對廠商採用新技術的機率有負面的影響。

綜合(i)-(vi)式的估計結果，各項變數對於廠商採用 CNC 或 CAD/CAM 之危險率影響效果說明如下：在人力資本因素方面，決策者的年齡 AGE 在所有估計式中均不顯著異於零，而 EDU 的符號雖如預期為正，顯示決策者的教育程度越高，傾向於提高採用 CNC 與 CAD/CAM 的機率，惟影響效果並不顯著。RISK 的係數在(i)-(vi)式中均為正號，且在表 2 與表 3 中，分別在 1%與 5%的統計檢定水準下顯著異於零。此結果與預期相符，表示在創新技術的採用決策中，決策者對風險的偏好程度越高，則願意為較早採用新技術所可能產生的高利潤而承擔高風險，故無論是 CNC 或 CAD/CAM，決策者的投資態度偏向於愛好風險，會使得廠商對創新技術的採用機率提高。由上述 AGE、EDU 與 RISK 三個變數的影響效果來看，就人力資本因素的層面而言，決策者投資態度的風險傾向，實為影響廠商對創新技術採用機率的最重要因素。

代表排序效果的影響因素中，SCALE 的係數在(i)-(iii)式雖為正向，但影響效果並不顯著。而在表 3 的(iv)-(vi)式中亦為正，且在考慮相關技術交互作用且使用較充分訊息的(vi)式中，在 10%的統計檢定水準下顯著異於零。對採用 CAD/CAM 的危險率而言，廠商規模的效果與以往多數研究的結果相似，大廠可能因為財務與管理的健全、資訊來源充足，或產品多樣化而使得採用新技術的機會增加等理由，亦可能因為規模較大代表對新技術使用的學習效果較強，使得大廠採用創新技術的機率較高。至於產業需求水準的影響，廠商預期利潤的代理變數 PROFIT，不管是否已考慮相關技術，對於

廠商採用 CNC 或 CAD/CAM 的機率，分別在 10% 或 5% 顯著水準下，具有正面且顯著的衝擊。在廠商經營目標為利潤極大化的原則下，廠商採用新技術的機率較高，這樣的結果是相當合理且合乎經濟直覺的。GROWTH 的影響效果則只有在 CNC 的採用機率上有正面顯著的影響，但對於廠商採用 CAD/CAM 危險率的影響則不顯著。

至於傳染病效果的檢視，由於本文採用的代理變數 INFOR 描述的是一種廠商收集資訊的積極性活動，故其對於廠商採用 CNC 或 CAD/CAM 的機率，均產生了正面顯著的影響效果，且近似  $t$ - 值的統計檢定量分別於 1% 及 5% 顯著水準下顯著。由於廠商對於自動化設備的相關資訊來源管道越多，可能越早得到更詳盡的技術相關訊息，使得廠商對於創新技術的特性與優點得到更深入的瞭解，因而促使廠商採用創新技術的機率提高，加速採用的速度。此種資訊流通所可能造成的加速技術採用之效果，支持擴散理論中所稱的傳染病效果。

NCNC 與 NCAD 所代表的存量效果，在 (i) - (iii) 式與 (iv) - (vi) 式的估計結果中，分別對於廠商採用 CNC 及 CAD/CAM 技術的機率，呈現負向顯著的影響效果，且係數均在 1% 或 5% 的統計檢定水準下具顯著性。此結果支持 Karshenas and Stoneman (1993) 對於存量效果的推論，<sup>25</sup> 廠商採用創新技術可獲致的利潤，會隨著先前已使用新技術的廠商增加而降低，因而降低採用的意願，故採用機率將受到產業中已使用新技術廠商存量數的負面影響。

至於 R&D 及 EXPORT 二個變數對於廠商採用創新技術之危險率的影響效果，由探討 CNC 的表 2 結果可以發現，二者雖然對於廠商採用 CNC 的機率均呈現負向的影響，惟效果並不顯著。相對的，在表 3 的結果中，R&D 的影響效果符合預期，其係數均為正，且在 (v) 式及 (vi) 式的估計結果中，近似的  $t$ - 值在 10% 統計水準下為顯著。CAD/CAM 為一種高層次的自動化設備，主要是提供廠商在製程的安排上可更具效率與彈性，並且具備輔助設計

---

25 儘管 Karshenas and Stoneman (1993) 對其理論的實證應用中，存量效果並未獲致強烈支持，但 Stoneman and Kwon (1994) 及本文的實證結果，均支持有關存量效果的推論。

的功能，廠商研究發展活動無論是投入於製程創新技術的領域或新產品的開發，均會對製程創新技術或產品開發技術的資訊來源較為充足與熟悉，因而傾向於提高採用新技術的機率。此外，EXPORT 的係數符號在 (iv) - (vi) 的估計結果亦為正向，且僅在未考慮相關技術影響效果的 (iv) 式中顯著，故難以據此推論出口的因素對於 CAD/CAM 採用機率的影響。

技術擴散的過程中，相關技術的採用，是否會對於採用該技術的危險率造成影響？亦即探討技術擴散時，技術獨立性的假設是否成立。此問題可藉由表二中 (ii)、(iii) 式的相關技術影響項 CAD1 與 CAD2，以及表 3 中 (v)、(vi) 式的相關技術影響項 CNC1 與 CNC2 的影響效果來加以驗證。在探討 CNC 擴散因素的表 2 中，僅考慮是否採用 CAD/CAM 之影響的 (ii) 式，CAD1 的係數為正向。在採用區分不同技術的採用時間先後順序之較充分訊息資料來估計的 (iii) 式中，影響效果的變數 CAD2 的係數卻出現負向。乍看之下，這樣的結果似乎有所矛盾，但實則不然。在 CNC 與 CAD/CAM 的技術關係中已說明，雖然 CAD/CAM 具備了與 CNC 連線使用的互補性效果，但也具備部份類似功能的替代性，且其引進市場的時間在 CNC 之後。故未區分二者採用時間時，二者呈現互補的傾向，但若區分採用時間的先後，當廠商先採用了較高層次的 CAD/CAM，則會對於 CNC 的採用產生替代效果。正由於採用順序的不同會有不同的效果，可能因而導致影響效果的 CAD1 與 CAD2 均不顯著。此外，我們以 (ii) 式及 (iii) 式對 (i) 式進行的概度比檢定 (likelihood ratio test) 亦不顯著。雖然此結果無法直接證實相關技術的影響效果，但卻不能因此而推論技術間為獨立。

接下來，藉由表 3 的 (v) 式及 (vi) 式的相關技術影響項效果的估計結果來檢視技術相關性的問題。在探討採用 CAD/CAM 危險率的影響因素中，廠商是否有採用或先採用 CNC，對於 CAD/CAM 採用機率的影響效果，CNC1 與 CNC2 均為正向，且 CNC2 的係數在 10% 的統計檢定水準下具顯著性。由於採用順序之不同可能衍生的互補或替代效果，在使用了區分採用順序的較充分訊息後可以發現，若廠商已先行採用 CNC，則因為技術互補性的關係，對於廠商採用 CAD/CAM 的機率將會提高，加速 CAD/CAM 的擴散速度，亦即技術的獨立性假設並不成立。故在探討技術擴散的過程時，必須將相關

技術的影響效果納入考慮。我們進一步對(iv)式與(vi)式進行概度比檢定的結果，在5%的統計檢定水準下為顯著，且較(v)式與(vi)式之概度比檢定的結果為佳。<sup>26</sup> 此結果證實了在探討技術擴散的因素時，若未考慮相關技術的影響，可能會導致估計結果的偏誤。這可由 R&D 及 EXPORT 二個變數在(iv)式和(v)、(vi)式中影響程度之顯著性的不同得到部分佐證。此外，由(ii)式與(iii)式，以及(v)式與(vi)式相關技術影響效果的設定與比較可以發現，在考慮相關技術對於採用新技術危險率的影響時，瞭解不同技術間的技術特性及採用時間先後等訊息，使用較充分訊息來探討多元技術擴散的問題，將可提供較正確且嚴謹的估計結果。

## 5. 結論

傳統的單一技術擴散理論係假設市場上的其他技術為獨立不相關，事實上，技術之間可能存在替代性或互補性的影響效果，這是探討技術擴散時不能忽略的重要因素。

本文應用 Stoneman and Kwan (1994) 的多元技術擴散模型，考慮 Karshenas and Stoneman (1993) 的一般化技術擴散理論模型所歸納的傳染病、排序及存量效果的影響，並加入人力資本的因素，建立一個一般化多元技術擴散的實證模型。以電腦數值控制設備 (CNC) 與電腦輔助設計與製造 (CAD/CAM) 二種具相關性自動化技術在台灣製造業的擴散情形為研究對象，採用可區分不同技術採用時間的較充分訊息資料，以存活分析法的比例危險模型，實證地探討多元技術擴散的因素及相關技術的影響效果。

實證的結果發現，研究多元技術擴散時，若忽略相關技術的影響效果，將可能導致估計結果的偏誤。但在考慮取得此影響效果的實證研究資料上，應該採用訊息充分的資料才可獲致較為嚴謹的估計結果。使用資訊不足的資

---

26 (iv)式對(vi)式之概度比檢定， $LR=3.524$ ，大於10%顯著水準下的臨界值2.71，拒絕虛無假設，顯示交互作用效果的納入，存在不可忽略的必要性。而(v)式對(vi)式進行概度比檢定之結果， $LR=1.384$ ，在10%顯著水準下無法拒絕虛無假設。

料，可能導致相關技術影響效果的估計偏誤。

此外，影響廠商採用 CNC 與 CAD/CAM 危險率的影響因素亦不盡相同。在人力資本因素中，決策者的投資風險態度，扮演了最重要的角色，同時對於廠商採用 CNC 與 CAD/CAM 的機率具有正面顯著的影響。傳染病效果與存量效果的因素則符合理論的預期，分別對於兩種技術的採用，具有正向及負向的顯著影響程度。而就排序效果影響因素而言，對 CNC 的採用危險率，預期利潤率與廠商成長率具有正面的影響效果，但對影響 CAD/CAM 的採用危險率而言，則是廠商規模與預期利潤率二個變數具正向顯著的衝擊。另外，廠商是否有研究發展單位，則僅對 CAD/CAM 的採用機率具正面的影響。

在多元技術擴散的過程中，技術之間若具有相關性，則應考慮此相關技術對廠商採用新技術決策的影響。此外，廠商對相關技術的採用，可能為同時考量而使得不同技術的影響具有內生性效果，必須採用內生變數模型進行估計。基於本文研究的理論模型架構與研究目的，以及受到資料的限制，本文並未採用該模型進行探討，此可做為本文後續的研究方向。

## 參考資料

林惠玲，陳正倉

2000 〈自動化技術之擴散—台灣製造業之實證研究〉，台大經濟系《經濟論文叢刊》28(2): 153-184。

陳忠榮，楊浩彥

1991 〈創新技術的早期採用：光電技術之分析〉，中央研究院《人文及社會科學集刊》4: 457-474。

陳忠榮，龔鳴盛與沈國基

1994 「如何促進國內自動化產業升級及發展以有效支援產業自動化之研究」，專題研究計畫成果報告，行政院科技顧問組。

曾麗蓉

1989 「我國生產自動化技術擴散之實證研究」，國立中央大學產業經濟研究所碩士論文。

Cohen, Wesley M. and D.A. Levinthal

1989 "Innovation and Learning: The Two Face of R&D," *Economic Journal*, 99: 569-596.

Colombo, Massimo G. and Rocco Mosconi

1995 "Complementarity and Cumulative Learning Effects in the Early Diffusion of Multiple Technologies," *Journal of Industrial Economics*, 43(1): 13-48.

Cox, D. R.

1972 "Regression Model and Life Table," *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 34: 187-220.

Cox, D.R.

1975 "Partial Likelihood," *Biometrika*, 62: 269-276.

Feder, Gershon and Roger Slade

1984 "The Acquisition of Information and the Adoption of New Technology," *American Journal of Agricultural Economics*, 66: 312-320.

Geroski, Paul A. and Richard Pomroy

1990 "Innovation and the Evolution of Market Structure," *Journal of Industrial Economics*, 38: 299-314.

Globerman, Steven

1975 "Technological Diffusion in the Canadian Tool and Die Industry," *Review of Economics and Statistics*, 57: 428-434.

Hannan, Timothy H. and John M. McDowell

1984 "The Determinants of Technology Adoption: The Case of Banking Firm," *Rand Journal of Economics*, 15: 328-335.

Hannan, Timothy H. and John M. McDowell

1987 "Rival Precedence and Dynamics of Technology Adoption: An Empirical Analysis," *Economica*, 155-171.

Hastings, Trevor

1976 "The Characteristics of Early Adoption of New Technology: An Australian

- Study," *Economic Record*, 52: 239-247.
- Karshenas, Massoud and Paul L. Stoneman  
1993 "Rank, Stock, Order, and Epidemic Effects in the Diffusion of New Process Technologies: An Empirical Model," *Rand Journal of Economics*, 24: 503-528.
- Kiefer, Nicholas M.  
1988 "Economic Duration Data and Hazard Functions," *Journal of Economic Literature*, 26: 646-679.
- Levin, Sharon G., Stanford L. Levin and John B. Meisel  
1987 "A Dynamic Analysis of the Adoption of a New Technology: The Case of Optical Scanners," *Review of Economics and Statistics*, 69: 12-17.
- Mansfield, Edwin  
1963a "Intrafirm Rate of Diffusion of an Innovation," *Review of Economics and Statistics*, 45: 348-359.
- Mansfield, Edwin  
1963b "The Speed of Response of Firm to New Techniques," *Quarterly Journal of Economics*, 78: 290-309.
- McWilliams, Bruce and David Zilberman  
1996 "Time of Technology Adoption and Learning by Using," *Economics of Innovation and New Technology*, 4: 139-154.
- Oster, Sharon  
1982 "The Diffusion of Innovation among Steel Firms: The Basic Oxygen Furnace," *Bell Journal of Economics*, 13: 45-56.
- Reinganum, Jennifer F.  
1981 "Market Structure and the Diffusion of New Technology," *Bell Journal of Economics*, 12: 618-624.
- Romeo, Anthony  
1975 "Inter-Industry and Inter-Firm Differences in the Rate of Diffusion," *Review of Economics and Statistics*, 57: 311-319.
- Rose, Nancy L. and Paul L. Joskow  
1990 "The Diffusion of New Technology: Evidence from the Electric Utility Industry," *Rand Journal of Economics*, 21: 355-373.
- Stoneman, Paul L.  
1986 "Technological Diffusion: The Viewpoint of Economic Theory," *Ricerche Economiche*, 40: 585-606.
- Stoneman, Paul L. and Myung J. Kwon  
1994 "The Diffusion of Multiple Process Technologies," *Economic Journal*, 104: 420-431.
- Stoneman, Paul L. and Otto Toivanen  
1997 "The Diffusion of Multiple Technologies: An Empirical Study," *Economics of Innovation and New Technology*, 5: 1-17.
- Wozniak, Gregory D.  
1984 "The Adoption of Interrelated Innovation: A Human Capital Approach,"

*Review of Economics and Statistics*, 66: 70-79.

Wozniak, Gregory D.

1993 "Joint Information Acquisition and New Technology Adoption: Late Versus Early Adoption," *Review of Economics and Statistics*, 75: 438-445.



# **The Diffusion of Multiple Technologies —Evidence from CNC and CAD/CAM**

Jong-rong Chen, Chih-hai Yang and Wen-nueng Cheng

## **ABSTRACT**

This paper investigates the effects of related automation technologies (CNC and CAD/CAM) on technology diffusion among Taiwanese manufacturing firms. Based on data that includes different adoption times for each technology, our empirical results indicate that ignoring the effects of related technology could cause biased results. In addition, the stock and order effect of Karshenas and Stoneman (1993) as well as the traditional epidemic effect are supported in this study. However, different factors representing the order effect tend to have a different impact on the hazard rate of CNC and CAD/CAM.