

經濟部科技研究發展專案八十年度計畫
產業科技與經濟發展研究二年計畫

投資理論和技術進步



臺灣經濟研究院

中華民國八十年六月

經濟部科技研究發展專案八十年度計畫
產業科技與經濟發展研究二年計畫

投資理論和技術進步

研究人員：李文智



臺灣經濟研究院

中華民國八十年六月



投資理論和技術進步

目 錄

一、前 言	1
二、技術進步之原因	1
(一)研究發展	3
(二)創新	3
(三)廠商規模和市場結構	5
(四)其他因素	5
三、投資和技術改變之關係	6
(一)新古典投資理論分析	7
(二)式樣模型	9
(三)凱因斯投資理論分析	11
(四)加速折舊方法	12
(五)成長理論分析方法	13
四、結 論	15
參考文獻	17



投資理論和技術進步

一、前言

由經濟理論得知，促進經濟成長之原因約有下列二點，其一為生產要素投入之增加，如資本累積、勞動力成長或其他自然資源之開發；其二為生產技術之提升、如知識水準之提升、研究發展活動增加、資本與勞動品質之提升、外部經濟或規模經濟之發揮和經營管理能力之改善等。因此，為使經濟成長，須加強投資（資本累積）及提高生產技術水準，然而，由於傳統生產因素大量投入，具有報酬遞減之現象，所以，唯有不斷提升生產技術，並進一步投資，才能使經濟持續成長。

事實上，技術改變和資本有密切關係，因為一旦技術發生變動，會對生產要素需求有所影響，其中之一可能是資本，Boskin在哈佛大學所舉辦“技術和資本形成”研討會中，談到資本和技術關係時，他認為技術和資本之相互關係及其交互作用，是促使長期經濟成長的主要原因（見Landan（1989），第492頁），而Hulten在會議中也提到技術改變後，除生產增加外，會誘發更多資本投入，繼續生產（見Landan 1989，第489頁）。因此，技術改變和資本有密切關係。

根據上面所述，本文著眼點，乃想探討投資和技術改變之關係，並進而了解其在經濟成長所扮演的角色。在對投資理論做簡單回顧時，我們常發現當投資理論和技術扯上關係時，通常均假設技術為外生變數。為使本文更完整，本文第二節，將探討造成技術進步之原因，第三節，才是本文重點，先從投資函數著手，再進一步討論和技術改變之關係，第四節為本文之結論。

二、技術進步之原因

研究技術進步的一個重要議題，就是何謂「技術進步（technical progress）」，其定義為何？Rosenberg認為技術進步很難定義，而且它具有不同型式，因為技術進步不是一件事情而已，它具有多方面，也許最常談到技術進步發生時，(1)它能產出更多的產出，(2)在既定資

源下，能生產出品質更好的產品（qualitatively superior output）（見Rosenberg，1982，第3頁），Kennedy和Thirlwall（1972）認為技術進步有二種涵義，其一為技術上有效改變，其二為技術本質上的改變，而此技術乃定義為有關生產方面之有用知識（useful knowledge）。他也認為技術進步通常會有多種型式出現，如新的生產方法、新產品；企業組織新的管理和行銷方法，而在量上，技術進步可使在相同要素投入下，產出更多財貨，或是以較少投入，生產同等產出。從Kennedy和Thirlwall觀點，我們可看出技術進步，乃指技術上有效改變，Coombs、Saviotti和Walsh（1987，第137頁）認為技術改變應視為一連串的創新及其擴散之產生，它將導致生產力的增加；或是使等量曲線更接近原點，促使單位成本降低，亦或在固定資源下，產出更多商品和勞務。Stoneman則認為技術改變；本質上，應包含所生產之產品及所使用生產方法之改變（見Stoneman，1983，第3頁），依上述各學者之看法，我們可知技術改變和技術進步，在型式上，並無太大差異。

從上述說明，我們可以認為技術進步，乃指以較少投入生產等量之產出；或應用等量之投入生產更多的財貨和勞務。那麼究竟那些因素，促使技術進步呢？Domar（1961）提到造成技術進步原因，大致上，有下列幾點：規模經濟、外部經濟、勞動力之改善（如較健康身體，良好教育和較優的技術等），較為完善之管理，產品組成之改善。Kennedy和Thirlwall（1972）則認為研究發展（R & D）活動、創新和專利權、發明、廠商規模和市場結構會影響技術進步。而Johnston（1966）進一步認為技術進步和創新有關，而影響創新因素有下列五點：(1)研究發展活動，(2)購買新知識，(3)本身能力，(4)市場和經濟結構，(5)投資與金融上的支持。此外，當預期創新活動有利潤時，也會促使技術進步（Schmookler，1966）；生產要素相對價格改變，也會導致技術改變（Hicks，1964）。而Kennedy（1964）則認為生產要素在成本上所佔的不同份額，會導致技術進步。

由於影響技術進步的因素很多，非常難以細分，本文僅就與本研究較為相關者，作簡單說明。



(一)研究發展 (Research & Development, 簡稱 R & D)

Kamien & Schwartz指出許多 R & D 之技術進步為一連串的活動，將 R & D 過程分為三個階段，分為基礎研究、應用研究和發展研究。同時，有些研究單位採用這種分類，如美國科學基金會 (National Science Foundation)、我國行政院國家科學委員會 (簡稱國科會)，以下列述國科會在全國科技動態中之定義：

(1)基礎研究：指一項實驗的或理論性的創見工作。

(2)應用研究：指一項基礎研究所發現知識的實際運用。

(3)技術發展 (或謂發展研究)：有系統地將一項從「新發現」或「新發明」所獲得的知識加以運用。(引自梁玲菁，民77年)

理論上或實證上，常把 R & D 視為發明和創新之投入要素，因為透過 R & D，將會導致新產品開發或新生產方法及改善生產過程，進而降低成本，帶給企業利潤。(見Stoneman 1983，第三章)，因此，各國莫不投入大量之 R & D 支出，以便提升技術，加強其產品競爭力，以獲取更大利潤，促進經濟成長。Freeman (1962) 研究英國和美國之研究發展活動，發現研究支出和成長具有密切關係，其相關係數分別為 0.95 及 0.74。而 Goto 及 Suzuki (1989) 研究日本 R & D 支出之報酬率高達 40%，且 R & D 支出對產業生產力成長有正面影響；同樣研究，有關 R & D 和生產力，有 Griliches (1979) 等人。而國內研究 R & D 和生產力關係，有謝志宏 (民77年)，他利用 Wanglian 教授提出之「絕對生產力指標法」，測試 R & D 支出對當期絕對的生產力似乎沒有影響，然而隨著時間經過，發生 R & D 資本累積時，才會對絕對生產力有顯著的影響。從上面所述，顯而易見，R & D 支出和技術進步 (以生產力衡量) 有密切關係。

(二)創新 (Innovation)

熊彼德認為「創新」是一種具體而實際的行動，透過這種行動，使經濟發生變化促成社會進步，具體而言，創新有下列五種型態：(1)新產品的提供，(2)採用新生產方法，(3)開闢新市場，(4)法律改變，(5)新的產業組織形成。(引自Kennedy & Thirlwall, 1972, 第56頁)，同時，熊氏強調「創新」必須是一種具體的實際行動，其性質迥異於「發明」，因為「發明」只是提出解決問題方法或是新的想法、設計，

而「創新」則是新技術運用，將方法或是想法付諸實現。因此，社會才能不斷進步，熊氏並以美國過去50年資本主義社會來做驗證。

Gort和Wall (1986) 利用控制理論，假設廠商追求其創新投資，所導致利潤最大下，導出創新投資和技術之關係，其模型如下：

$$\text{Max}_I \int_0^{\infty} e^{-\rho t} [\pi(T, D) - I] dt \quad (1)$$

s. t

$$\dot{T} = h[T(t)] \cdot g[I(t)] \quad (2)$$

式中： ρ 為折現率， π 為利潤函數， T 為技術水準指標， D 為外生的需要變數， I 為創新投資， h 為技術水準改變之關係， g 為創新之生產函數，而 T 代表隨時間經過，技術水準的改變率。其一階條件，如下：

$$H_I = 0 = -1 + mh(T)g'(I) \quad (3)$$

$$H_{II} = mh(T)g''(I) \leq 0 \quad (4)$$

$$\dot{T} = H_m = h(T)g(I) \quad (5)$$

$$\dot{m} = \rho m - H_T = \rho m - \pi_T(T, D) - mh'(T)g(I) \quad (6)$$

(3)至(6)式中， H 為Hamiltonian函數，從(3)至(6)式，可得

$$\dot{I} = \frac{g'}{g''} (h g' \pi_T - \rho) \quad (7)$$

(7)式說明了，創新投資之最適途徑，若把(2)式及(7)式，聯合列出來，則可看出創新投資和技術水準之最適關係，其聯立動態方程式如下：

$$\dot{T} = h[T(t)]g[I(t)] \quad (2)$$

$$\dot{I} = \frac{g'}{g''} (h g' \pi_T - \rho) \quad (7)$$

聯立解(2)和(7)式，或用相圖分析 (phase diagram)，可分析創新投資和技術水準之關係。

(三)廠商規模和市場結構 (Firm Size and Market Structure)

為何廠商規模和市場結構不同，為影響技術進步之因，主要乃源於熊彼德之創新假設，熊氏認為在獨佔性競爭市場下，因有超額利潤，較易開發新產品，所以在獨佔或寡佔下，大廠商較願意從事R & D，創新產品，而Galbraith和其他學者，也認為大廠商和獨佔性產業，最適合創新活動，主要觀點有：(1)創新成本所費不貲，以致於只有大廠商才能從事，(2)為克服計劃之不可分性（必須是大規模），只有大廠商有能力實行，(3)大廠商較有能力控制市場，因此創新才值得實行（Kennedy & Thirlwall, 1972, 第56頁），此外，大廠商比小廠商較易籌措資金，且其籌措費用較低，較利於創新；Kamien & Schwartz (1982) 實證上，支持這種看法，Stoneman (1983) 在考慮創新成本負擔能力上，也支持上述看法。

然而，有其他學者，如Feller (1951) 等，認為在競爭市場結構下，R & D發展者之報酬大於獨佔者，因此有強烈的誘因促使R & D的活動進行，後來學者如Scherer (1986) 也支持這項看法，在競爭市場結構下，廠商進行創新的誘因較為強烈。

綜合上述，廠商在何種市場結構，會有創新誘因，若考慮成本的風險因素，不完全競爭市場下之廠商較有能力進行，而依市場理論之特性，因產品可能異質，不為價格接受者，因此除了採價格競爭外，亦可透過創新、改進技術，達成非價格競爭策略。至於完全競爭廠商，為價格接受者，較毋須進行創新，因此，就市場結構對創新，進而影響技術進步而言，較支持熊氏之看法。

(四)其他因素

至於其他因素，諸如(1)當預期創新活動有利潤時，會促使廠商進行創新活動，Schmookler (1966) 認為創新活動有結果時，會有專利權保護，因此可保護創新廠商，享有預期利潤收入，因此廠商願意進行投資，由此，引導出技術改變內生化，理由乃技術會發生變動，是透過經濟體系內，利潤因素影響，而不是外部決定（詳見Nadiri, 1970）。(2)Hicks (1964) 認為當要素相對價格改變時，會影響技術偏向（bias），若工資相對高於資本之價格，將導致廠商大量採用資本以替代勞動，這就是誘發性技術爭論所在（見Nadiri 1970, 第1146頁及

Stoneman, 1983, 第4章)。當然，是否要素價格改變，還是要素佔成本之份額不同，而導致偏向，仍有待斟酌。(3)至於外部性經濟因素，因為有外部經濟，如金融性外部經濟，可降低生產成本，間接誘發技術進步。若屬技術性外部經濟，則當某廠商規模之擴張、技術引進，使得這些擴張、改良之全部經濟效果，不為其本身所佔有，同時會帶給其它廠商免費利益，Scitovsky (1954)，曾對此加以闡述。

綜觀上述因素，我們先透過對技術進步因素了解以後，再來探討，技術進步對投資函數之影響，並進而討論技術進步和投資在經濟成長所扮演之角色。

三、投資和技術改變之關係

經濟學家所關心的是技術改變對整個社會福利之影響及其衝擊為何？尤其是技術改變，對產出、就業、投資、所得分配及市場結構有何影響。事實上，技術進步型式有許多種，有所謂體現和非體現型，也有中立型和非中立型技術進步，但不論那種技術進步型式，必然會對某些生產要素需求有所影響，其中之一可能是資本。

整個經濟體系，技術改變對投資支出有重要影響，但我們常忽略它的存在，Helliwell (1976, 第20頁)認為傳統投資函數都忽略技術改變此項變數，而Koizumi (1976)在International Economic Review文章也提到，只有少數人提到技術進步對投資決策之影響。因而本節，乃先從投資函數著手，對投資函數做簡單回顧，再引入技術改變這項變數，進而討論兩者之關係。

文獻上，討論投資函數，大約有下列幾類，第一類為Keyness所提出，所謂資本邊際效率理論，依該理論分析，廠商對資本財的投資決策，決定於該項資本財之邊際效率或內部報酬率和市場利率兩項因素，後來Clark (1971)提出加速原理，說明意願資本存量與產出間，存在某一固定比例關係，經由現存資本存量和意願資本存量，導出廠商投資行為。第二類，乃由Jorgenson所提出，具有個體基礎的新古典投資理論，其理論說明，廠商的資本需求量或最適資本存量，係透過廠商在生產函數和資本存量的時間變化率兩個限制條件下，追求未來淨收入流量之現值最大的過程所決定。後來，有些學者如Lucas (1967)

，Treadway (1969) 等人，對新古典投資理論，做一番修正，因為從新古典理論，只能求出最適資本存量，而不能真正求出投資函數，因而乃在廠商追求未來淨收入流量最大之函數中，加入資本，調整所需之成本函數，就可直接求出投資函數。第三類為Tobin所提出之“市場評價理論”，（即“q”理論），該理論強調的是金融變數對投資行為的影響，說明投資決策的目的在追求資本財之市場價值最大，Hayashi (1982) 更進一步發展邊際 q (Marginal q) 和平均 q (Average q) 兩種觀念。第四類，乃第三類新古典投資理論之延伸，把確定性之經濟環境轉換為不確定性，利用理性預期概念，導出 Euler 方程式，進而推導出投資函數（見Sargent, 1987, 第14章）。第五類，為新古典成長理論，早期由Solow提出，而後經Sidrauski (1967) 加以發揮，主要理論說明在既定資源下，如何追求社會福利最大，使各項資源達到最適境界，並推導出在達到長期穩定 (steady state) 經濟下，各資源如資本、消費等，其最適時間途徑為何。晚近學者，為研究總體之消費、投資（或資本累積）和產出等波動情形，利用新古典成長理論，加上不確定因素，發展出實質景氣循環 (Real Business Cycle) 理論，在Blanchard & Fisher (1989) 和Barro (1989) 書中，有詳細介紹，其中之一，即談到資本之成長途徑。

從上述五類，投資（或資本需求）函數中，就文獻上和技術變動有關，大約有Keyness理論，新古典投資理論和成長理論三大類。本節僅就這三類，細分成五小段，加以分析。

(一)新古典投資理論分析

Jorgenson在一系列文章，提出具有個體基礎的投資理論，依此理論，資本需要或最適資本存量，決定於廠商追求預期未來現值最大之過程，亦即在①生產函數，以及② t 期資本存量的時間變化等於當期毛投資額減折舊，在這兩個限制條件的限制下，使總收入減勞動成本、毛投資額後的淨收入流量的現值為最大，依此，我們假設：廠商生產一種同質產出 Y，並且使用兩種投入要素——勞動和資本，設 N_t 為 t 期勞動收入， K_t 為 t 期期初的資本存量， Y_t 為 t 期產出，則廠商生產函數為

$$Y_t = F(N_t, K_t) \quad (8)$$

令 P_t 、 W_t 及 q_t 分別代表產出之價格、工資率以及 t 期期初資本單價。且令 GI 表示投資於資本的毛投資額，則淨收入 (R) 可定義為

$$R = PY - WN - qGI \quad (9)$$

廠商的價值 V 即在某一 $t = 0$ 時，預期淨數入流量的現值，或

$$V = \int_0^{\infty} e^{-it} (PY_t - W_t N_t - q_t G I_t) dt \quad (10)$$

(10) 式中， i 為折現率，且假設和時間 (t) 無關。因此在追求最適存量時，問題變成在生產函數為

$$F(Y, K, N) = 0 \quad (8a)$$

毛投資的定義式

$$GI = \frac{dk}{dt} + \delta K_t \quad (11)$$

以及

$$I = \frac{dk}{dt} = \dot{K} = GI_t - \delta K_t \quad (11a)$$

等限制條件下，求(10)式之最大，上述(11)式中， δ 為折舊率，則最適條件，其結果如下：

$$\frac{\partial Y_t}{\partial N_t} = \frac{W_t}{P_t} \quad (12)$$

$$\frac{\partial Y_t}{\partial K_t} = \frac{C_t}{P_t} \quad (13)$$

(13) 式中， $C_t = [(\delta + i) - q/q]q$ 為使用者成本或每單位資本的隱藏租賃價值，剛好等於把購置資本用於放款的機會成本 i ，加上每單位的經濟折舊或損耗 δ ，再減掉因資本單位上漲致每期所預期資本利得 q/q 。

依(12)、(13)式，廠商決定其最適資本存量，而滿足(13)式之 K_t ，稱之為最適 K^* ，因此，我們可得廠商投資函數為 dk_t^*/dt ，若排除加總問題，我們可得總合投資函數。

截至目前為止，我們尚未考慮將技術改變變數放至模型內。當然

我們也可以這樣認為：技術改變，就本質而言，就反應在 P_t , q_t 或 W_t 上，因為若資本財發生技術進步，那麼 q_t 將會隨時間經過而下跌，這時候，會影響 C_t ，進而影響 K_t^* 之選擇，自然會影響投資，但上述之推論，並無法真正抓住技術改變和投資之關鍵所在。

Schramm (1972) 用 Jorgenson 模型，考慮了非體現技術進步，引入 Cobb-Douglas 生產函數，其生產函數如下

$$Y_t = Ae^{gt} \cdot K^\alpha \cdot L^\beta \quad (14)$$

援用(12)，(13)，可推導出

$$\log K_t^* = a_0 + a_1 \log \frac{W}{P} + a_2 \log \frac{C}{P} + a_3 t \quad (15)$$

(15)式中，

$$a_0 = \frac{\beta-1}{\gamma} \log \alpha - \frac{\beta}{\gamma} \log \beta - \frac{1}{\gamma} \log A$$

$$a_1 = \frac{\beta}{\gamma}$$

$$a_2 = \frac{1-\beta}{\gamma}$$

$$a_3 = \frac{-g}{\gamma}$$

$$r_4 = \alpha + \beta - 1$$

而 C 仍然為 $q(r+\delta)-q$ ，從(15)式中， t 之係數為 $-g/r = -g/(\alpha + \beta - 1)$ ，技術改變因素進入時間趨勢，而 $-q/r$ 之係數正或負，端賴 $\alpha + \beta \leq 1$ ，Schramm 實證研究發現，大部份研究案例，時間趨勢之係數為正，也就是 $\alpha + \beta < 1$ 。然而，Jorgenson 這種作法，並沒有考慮到技術有時是體現在資本，因此，折舊率(δ)並非獨立，所以以下考慮體現之技術進步。

(二) 式樣模型 (Vintage Model)

Koizumi (1969) 探討 Putty-clay 式樣模型之投資函數，其模型假設如下：(1) 預期未來產出 (X) 為已知。(2) 有兩種要素 K 及 L 可供生產，在設廠之前， K 及 L 可代替，但一旦決定何種型式工廠後， K 及

L即成固定比例投入生產，亦即事前可代替，事後固定。(3)事前生產函數為固定規模報酬。(4)技術進步體現在資本。(5)預期未來要素價格及利率和目前是一樣不變。(6)生產一投資者 (Producer-Investor) 對資本財有預期經濟壽命 (1)，但資本財有無限實體壽命 (physical life)。(7)投資之決定乃在於追求未來淨利之最大。

設某一時間 (v) 之事前生產函數為

$$Y_v = Ae^{sv} K_v^\alpha L_v^{1-\alpha} \quad (16)$$

則，每一單位產出之成本折現值為

$$q_t \cdot \frac{K_v}{Y_v} + \sum_{j=1}^{\ell} \frac{1}{(1+\gamma)^j} W_t \frac{L_v}{Y_v} \quad (17)$$

(17)式中， q_t 為資本財在 t 期之價格， L_v/y_v 為每單位產出所需之勞動投入量， W_t 為 t 期工資，在固定產出 y_v 下，追求利潤最大，我們可求 (17)式之成本最小，可得

$$\frac{K_v}{L_v} = \frac{W_t}{q_t/C_t} \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (18)$$

$$C_t = \sum_{j=1}^{\ell} \frac{1}{(1+\gamma_t)^j}$$

(18)式中， q_t/C_t 相當於 Jorgenson 所稱資本之使用成本，且 (18) 式，只是計算新機器之生產成本，以前舊機器所生產之成本，並沒有考慮在內，事實上，舊機器比新機器較不具有生產力，然其生產成本較低，今若廠商決定一個生產量 Y ，廠商有可能使用舊機器生產，也有可能用新機器生產，若用舊機器所生產 Y_L ，其生產成本低於或等於新機器時，若廠商只決定要產 Y_L ，則不會有投資，若決定生產 $Y - Y_L > 0$ 時，則必須投資新機器，以達到生產之目標 Y ，因此新機器 (v) 之投資函數如下：

$$I_v = \frac{K_v/L_v}{Y_v/L_v} (Y - Y_L) \quad (19)$$

式中

$$I_v = \frac{1}{A} e^{-sv} \cdot \left(\frac{W_t}{q_t/C_t} \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} \quad (20)$$

式樣模型，雖然是修正了非體現模型，但是它仍沒有完全令人滿意，主要在於假設產出（Y）為外生，非內生變數。因此，我們不禁要問像類似此種式樣模型、真能代表技術進步、諸如此類模型引導我們再進一步修正投資行為，King（1972）很成功地把英國資料配適在他的式樣模型，得到的投資函數配適度很良好。

(三) 凱因斯投資理論分析

設某一資本財購買價格為 q ，在未來使用期限內，預期有 R_h 之報酬，我們可以定義一個內部報酬率（ ρ ），經折現後，我們可推得

$$q = \int_0^h \frac{R_h}{(1+\rho)^h} dh \quad (21)$$

只要 $\rho > r$ （市場利率），則廠商會進行投資，令 N 代表現存之機器存量，我們假設， R_h 為 N 之函數，則

$$R_h = R_h(N) \quad R' < 0$$

若廠商投資到 $\rho = r$ 時，我們可從（21）式，求得 N^* ，亦即

$$q = \int_0^\infty \frac{R(N^*)}{(1+r)^h} dh \quad (22)$$

或改寫為一般式

$$N^* = G(r, q) \quad (23)$$

若 N_t^* 代表 t 期最適機器存量，而 N_{t-1} 代表 $t-1$ 期機器存量，我們可定義投資為

$$I = N_t^* - N_{t-1} = G(r, q) - N_{t-1} \quad (24)$$

在知道 r ， N_{t-1} 下，我們需要知道 q 之價格，若允許存在有資本財供給市場曲線為：

$$I = I(q) \quad I' > 0 \quad (25)$$

則，透過（24）、（25）式，我們可求解投資函數，此時投資將會進行 $r = \rho$ ，且資本財價格為 q 。

從（24）、（25）式中，我們要如何引進技術改變進入體系內，主要考慮

二方面：(1)當技術改變時，影響(25)或供給曲線等，進而影響 q 。(2)新產品，新市場或新的資源，影響 R_t 。

直到目前，沒有更明顯之模型顯示技術因素，放入(24)。

(四)加速折舊方法

加速折舊方法，一般來講，可簡單書寫為下列一般型式

$$GI_t = (1 - \lambda)(K_t^* - K_{t-1}) + \delta K_{t-1} \quad (26)$$

(26)式中， $(1 - \lambda)$ 為調整速度， K_t^* 為意願的資本存量， k_{t-1} 為現存資本存量， δ 為折舊率， GI_t 為毛投資、假設最適資本存量和產出呈一固定關係，亦即

$$K_t^* = vY_t \quad (27)$$

假設(27)式，在任何時間點都成立，此時，我們可以假設存在有一固定係數生產函數為

$$Y = \frac{1}{v}K = \frac{1}{u}L \quad (28)$$

現考慮技術進步，則(28)式，可寫為

$$Y_t = \frac{1}{v}B(t)K = \frac{1}{u}A(t)L \quad (29)$$

若我們考慮天真的加速模型 (naive accelerator model) 也就是 $\lambda = 1$ 時，淨投資函數可寫為

$$I_t = K_t^* - K_{t-1}^* = K_t - K_{t-1} = \frac{v}{B(t)} Y_t - \frac{v}{B(t)} Y_{t-1} \quad (30)$$

令

$$B(t) = B(1+g)^t \quad (31)$$

則

$$I_t = \frac{v}{B(1+g)^t} \{Y_t - (1+g)Y_{t-1}\} \quad (32)$$

從(32)式中，我們可知，除非 Y_t 隨時間經過而增加，否則淨投資將會為負。我們可以推導

$$\frac{\partial I_t}{\partial g} = - \frac{v_t}{B(1+g)^{t+1}} \{ Y_t - (1+g)Y_{t-1} \} - \frac{v}{B(1+g)^t} \cdot Y_{t-1} < 0 \quad (33)$$

由(33)式知，當技術進步較快時（ $g \uparrow$ ），淨投資將會減少，至於當 g 增加時，對毛投資是否增加或減少，則視折舊率而定。

加速模型，唯一缺點，即是（ λ ）為外生，因而後來學者如 Eisner & Stortz（1963）研究調整速度為內生化之模型，可惜的是，未再做進一步，技術改變和投資之關係。

(五)成長理論分析方法

Mocallum（1989）提到實質景氣循環的一般模型，可寫為

$$\text{Max } E_t \left[\sum_{i=0}^{\infty} \beta^i U(c_{t+i}, l_{t+i}) \right] \quad (34)$$

s. t

$$C_{t+i} + k_{t+i+1} \leq z_t f(n_t^d, k_t^d) + (1-\delta)k_t - w(n_t^d - n_t) - q_t(k_t^d - k_t) \quad (35)$$

(34)及(35)式中， $E_t[\cdot]$ 表示在 t 期做預期， β 代表折現率， l 代表休閒， n_t 表示勞動供給且 $l_t = 1 - n_t$ ， Z_t 表技術狀態， $f(\cdot)$ 為生產函數，其特性具有一階齊次，及“Well-behaved”。 C_t 為消費，至於 δ ， q_t ， k_t 及 w_t 和前面定義一樣，各變數右上標“d”表示 t 個之需要量。

若整個市場為均衡，則 $\sum n_t = \sum n_t^d$ 和 $\sum k_t = \sum k_t^d$ 則(34)、(35)式之最適化條件，可得

$$c_t + k_{t+1} = z_t f(n_t, k_t) + (1-\delta)k_t \quad (36)$$

$$U_1(c_t, 1-n_t) - \lambda_t = 0 \quad (37)$$

$$U_2(c_t, 1-n_t) = \lambda_t z_t f(n_t, k_t) \quad (38)$$

$$\lambda_t = E_t \beta \cdot \lambda_{t+1} [z_{t+1} f_2(n_{t+1}, k_{t+1}) + (1-\delta)] \quad (39)$$

整理(36)~(39)式，可得最適資本存量函數，為技術水準和期初資本存量之函數。用數學表示為

$$k_{t+1} = k(k_t, z_t) \quad (40)$$

從(40)式可知，為 z_t 改變會影響 k_{t+1} ，進而影而響投資函數，因此，我們若設定消費者效用函數，及生產函數，即可推導 K_{t+1} 之函數關係。

Hulten 1975年在American Economic Review 文章中，採用成長理論方法，提出誘發性資本累積(induced capital accumulation)觀念，他認為傳統上，在衡量技術改變時，並沒有考慮到技術改變和資本間的動態交互關係，因此會產生錯誤衡量，所以他提出一套正確的衡量方式。從圖一可看出，傳統上，在衡量技術進步造成生產力增加部份為 $\overline{AB}$ ，但他認為技術進步使產出增加，會有額外之儲蓄(產出扣掉消費剩餘部份)，這部份儲蓄會轉換為資本，進而再投資，增加產出，移動至C點，因此，要衡量真正的技術改變，應為 $\overline{AD}$ 線段， K_0/L 至 K_1/L 部份為誘發性資本累積。(人名)在其文章，也用嚴謹數學證明其觀點。後來，他在1979年AER文章和1986年在哈佛大學“技術和資本形成”研討會中，一直強調此種觀念。Jorgenson在會中也提到，對技術進步衡量愈了解，將有助於對經濟成長成因之了解、Landau認為Hulten之文章跳出一般衡量之常例，所以他建議，應仔細研究技術進步之原因，並考慮內生化問題(Landau, 1989, 第503頁)。事實上，成長理論模型中，應探討技術內生化問題，Romer (1986)就在Journal of Political Economic上發表，這是未來研究重點所在。

圖一 投資理論和技術進入

