

科技創新的不確定性與經濟成長

科技政策研究與資訊中心 科研資料組

游姮茹

中文摘要

本報告首先在瞭解 OECD 所提出四類型企業公司的科技創新，包括：技術產品創新、技術製程創新、行銷創新，以及組織創新的科技創新過程；再藉由比較線性模型(The Linear Model)與鏈結式模型(The Chain-Linked Model)，分析探討科技創新過程中各階段會面臨的不確定性因素，以及經濟相關風險。

依據鏈結式模型系統的觀點與決策科學，本報告建議企業公司經營者在進行科技創新時，可識別自己的企業公司可能會面臨的不確定性因素和經濟相關風險，以協助增進對科技創新投入的理性決策與研發實務之落實。

Technology Innovation's Uncertainty and Economic Growth

Abstract

By the definition of Oslo Manual 3rd edition (OECD, 2005), innovation included four types that encompassed a wide range of changes in companies' activities: product innovations, process innovations, marketing innovation, and organizational innovations. Based on the OECD's definition of innovation, the current study analyzes the process of technology innovation, and then further investigates the uncertainties and the economic risks during the technology innovation process by comparing the Linear Model to the Chain-Linked Model. Provided by the Chain-Linked Model, the findings suggest company's owners can identify the uncertainty and the economic risks that their company may encounter, in order to improve rational decisions for innovation and practices in research and development.

一、前言

科技創新對經濟成長有長期影響。然而，在科技創新的過程裡，高度不確定性和財務風險是科技創新的特性；因此，當企業經營管理者能夠瞭解科技創新的不確定性和經濟相關風險，會成為影響企業公司對規劃與發展創新科技的要素，以及創新科技將會如何影響企業經濟成長的關鍵。

以企業公司的立場考量，有限的時間、資源與資金是企業公司的實際情況，要如何做出適當的科技創新投入決策，是每一位企業經營管理者必須不斷學習的重要課題。因此，本報告之主要目的在探討科技創新的不確定性和財務風險，以提供我國企業經營管理者在平衡決策思考過程中對科技創新投入利弊分析時的參考。

二、科技創新的定義與模型

(一) 科技創新的定義

提到科技創新，許多人想到的是新設計產品，但是，科技創新不僅只是新產品。至目前提出科技創新定義與分類的主要機構是：歐洲中央銀行(European Central Bank)、世界經論壇(World Economic Forum)，以及經濟合作暨發展組織(OECD)。其中，OECD 組織在第三版奧斯陸手冊(Oslo Manual)所提出的科技創新定義，特別針對企業公司裡的科技創新，為本報告的研究重點。

首先，歐洲中央銀行指出，科技創新是想法的發展與應用，以及能提升商品服務或提高生產效率的技術。再者，世界經論壇主張，科技創新是在研究發展上的充分投資，包含：私人企業公司對新科技的投入；研究機構做基礎研究以發展新科技；產業界和大學在研究與科技發展上的合作，和對智慧財產的保護。

OECD 為測量和評估科技創新，將科技創新分為四類：技術產品創新、技術製程創新、行銷創新與組織創新。並在第三版奧斯陸手冊中定義科技創新為新設計或已明顯改良後的產品，包含商品與服務、製程，或商業性、工作單位和對外關係方面的新組織化方法，且具能被應用(implemented)為科技創新的基礎特徵。因此，當新產品或已改良過的產品在進入市場時，已是具備能被應用的科技創新。

以下為 OECD 針對四類型科技創新所提出之定義。

1. 技術產品創新

是指新設計或明顯被改良的物件或服務，包含科技規格、元件、材料、組合軟體、使用者易用性，或在其他功能特色上有顯著的提升。

2. 技術製程創新

是指新設計或明顯被改良的製程或運送方式，包含在技術、器材設備和軟體方面的顯著改變。

3. 行銷創新

是指新行銷方法的應用，包含在產品設計、包裝、產品廣告、產品推銷或售價做的顯著改變。行銷創新的目的在理解和傳達顧客需求、開發新市場、公司產品在市場上的重新定位，以提升銷售額。

4. 組織創新

是指應用新組織方法在企業公司的商業業務上、業務單位或對外關係。組織創新是藉由減少行政成本或交易成本來提高公司效能，提升工作滿意度，降低供應成本，以及取得非交易性資源。組織創新不同於其他類型的組織改變，是在執行過去未曾在一企業公司中被使用過的組織方法，並且，執行組織創新方法是來自企業管理者的決策結果。

(二) 科技創新的模型

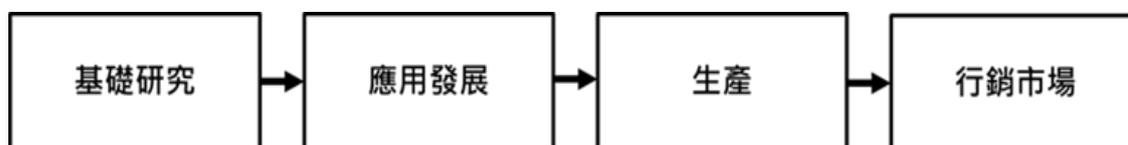
許多企業經營管理者在決定科技創新時會面臨到的困難在於，該如何確認和計算對科技創新的投入；另外，在一個成果與所需時間不確定的過程中，又該如何辨別和評估科技創新的成果。當以投資者的角度來看科技創新的投入，即為成長性，而科技創新的成果，對投資者而言，即為投資報酬率。要衡量科技創新的投入與成果必需考慮影響市場的外在因素，也需考量企業組織能否進行科技創新的能力，因此，評估科技創新確實存在相當的困難度。

在上述 OECD 所提出的科技創新定義中已說明了科技創新包含了

技術與商業行銷上的創新，這讓科技創新呈現是一個高度不確定性的過程；其不確定性不僅是在科技性能上的表現，還有市場的可能反應，以及企業組織適應改變的能力。因此，為有效管理科技創新不確定性，瞭解科技創新過程是重要的方法，以下將介紹兩種在解釋科技創新過程的重要模型，第一種為線性模型(The Linear Model)，第二種是鏈式連結模型(The Chain-Linked Model)，並比較分析兩種模型個別的優缺點。

1. 線性模型(The Linear Model)

在 1950 年代和 1960 年代間，線性模型已在產業發展、經濟發展、和政策領域中被廣泛接受，尤其是國家政策制定者如美國，視此線性模型為規劃科技政策時的可靠理論依據。此線性模型所呈現的科技創新是一個順暢有序的過程，因而時常出現在許多政策討論當中。圖一顯示，線性模型的科技創新過程從基礎研究開始進行，之後，基礎研究會引導至科技應用發展，從科技應用發展走向生產，生產後便進入行銷市場階段，所有創新階段有順序的依著單向過程在進行。



圖一：科技創新線性模型

資料來源：OECD，本研究重新繪製

但問題是線性模型扭曲了科技創新的真實情況，造成線性模型無法合理的解釋科技創新中從投入到成果的數據資料，也很難預測科技創新過程中的不確定性事件。線性模型難以預測不確定性的原因，首先是，線性模型裡所有的階段發展沒有回饋路徑(feedback paths)，不論是從銷售端或使用者而來的回饋，都是評估科技創新的重要資料來源，與決定是否走向下一個階段的重要依據，因此，線性模型無法支持科技創新過程中的決策制定。

再者，在科技創新過程中，科學研究和科技創新間的互動密切，而且科技創新並非僅是應用性科學，因為科技的創新發展經常會推動

科學上的發明，因此，線性模型顯示基礎研究後就會導向應用發展的認知理解，造成了線性模型未能預測科技創新過程中的不確定性。

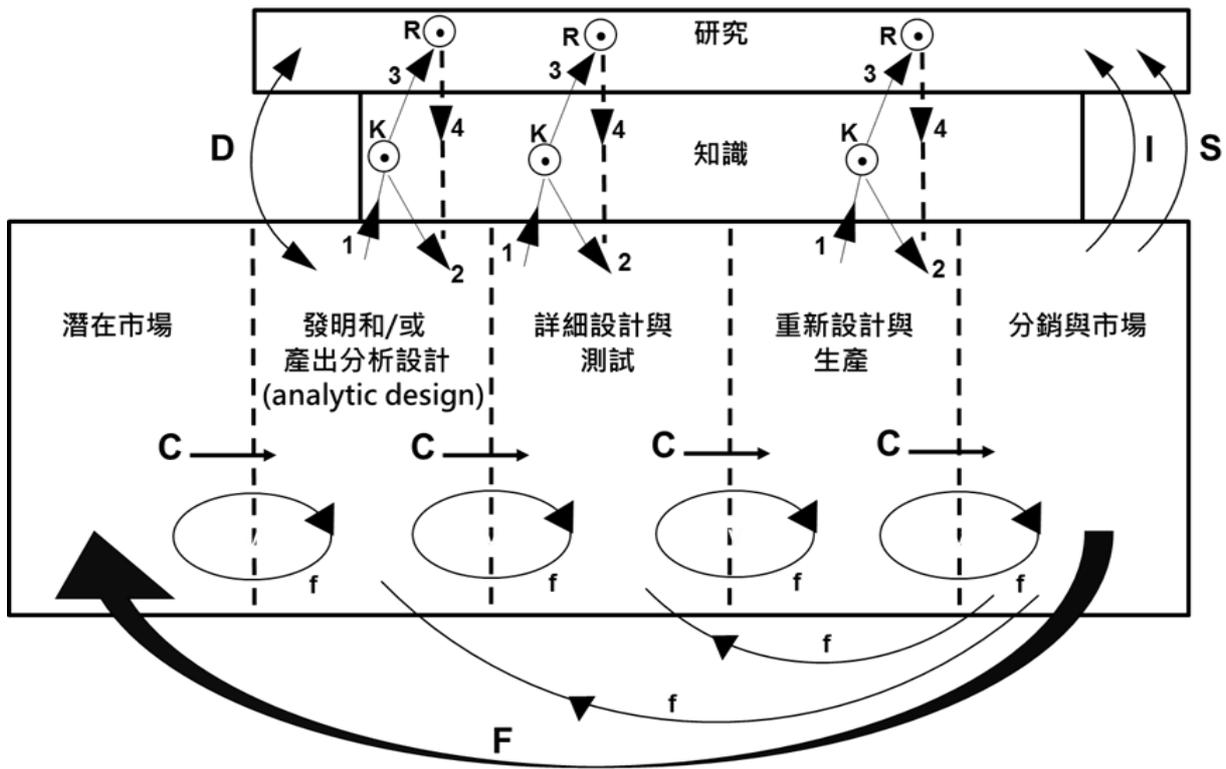
另外，科技創新的真實情況與線性模型所表現的科技創新並不符合。當科學研究不足時，人類仍能創造重要的科學創新，舉例來說，在 1817 年，德國人 Karl Drais 並沒有平衡理論的相關科學知識，僅進行人機系統(human-machine system)上的嘗試，發明了最早期的基本兩輪腳踏車。若堅持相信科學研究是引發科技創新的第一步驟，人類發展史中就不會有腳踏車。

除了以上三點造成線性模型無法預測不確定的缺點之外，線性模型還低估了科技創新過程中學習的重要性，因為過程中的學習能累積加強產品穩定性的經驗。

最後得到的結論是，若企業公司要清楚的思考科技創新過程，明顯的，線性模型並不適用於解釋真實環境，那是否還有其他可行方法？

2. 鏈結式模型(The Chain-Linked Model)

Stephen J. Kline 與 Nathan Rosenberg 在 1986 年所提出鏈結式模型被廣泛應用在相當多的領域包含產業界、科技業和經濟研究領域，例如：OECD 在 1996 年出版的知識型經濟 (The Knowledge-Based Economy)，以及，2010 年出版的經濟合作暨發展組織創新策略 (The OECD Innovation Strategy: Getting a Head Start on Tomorrow)。如圖二所示，鏈結式模型顯示了科技創新過程中的資訊和互動合作。



圖二：科技創新鏈結式模型

資料來源：Kline & Rosenberg (1986)，本研究重新繪製

圖中各符號意義說明如下：

C=主要的創新鏈(central chain of innovation)；

f=回饋循環(feedback loops)；

F=特別重要的回饋。

K-R: 連結知識到研究，在回到創新過程；若問題在交點 K 被解決，連結 3 到交點 R 就不會發生，或是問題在交點 R 解決後，從問題解決中所產生的知識與經驗，經由虛線連結 4 傳遞到創新過程。

D=直接連結研究、發明和/或產出分析設計階段中的問題。

I=產品創新的回饋包含儀器、機械、方法和程序，傳遞到科學研究。

S=支持產品發展的相關科學研究，能夠直接獲得必須的知識資訊，所獲得的知識資訊可應用在整個創新鏈結中。

在模型中，字母 C 代表主要的創新鏈，從對潛在市場的研究開始，到產品組成分析，到詳細設計和測試，到產品生產，最後導入銷售市場。企業公司皆重視科技創新的成果能獲得商業上的成功，因此，系統與過程分析不僅是要素，對降低成本與提升系統效能也扮演了

重要角色；因此，研發工程師慣常在研發過程中進行產品組成分析，對既有的產品元件組合或設計進行修改，讓產品能夠完成不同的新任務或是更有效率的完成原有任務。字母 F 或 f 代表回饋迴路的組成，用以鏈結創新過程的後、前期；以及，數字 1、2、3 代表在研究活動和創新過程中所產生的知識傳遞。因為研究活動中所產生的科學方法或結果有時也會是極具潛力的科學發明，例如：雷射、半導體、原子彈、基因工程，因此，發明和研究活動間的直接聯繫，模型中以字母 D 來代表，也是科技創新中需要考量的環節。最後，產品、銷售市場與研發間的直接聯繫，由字母 I 和 S 代表，因為市場對產品的回應在表達使用者需求，這對於科技創新是非常重要的資訊。

比較鏈結式模型與線性模型在解釋科技創新過程的適用度，鏈結式模型整合了研究活動、研發與市場需求間的互動和回饋循環，因此比線性模型能更準確的描述科技創新的過程。許多有關科技創新的研究在過去 40 年間不斷在挑戰線性模型對科技創新的描述觀點，尤其基礎研究即能被轉化成產品和市場銷售服務是最受到爭議的部分(OECD, 2010)。

綜上所述，鏈結式模型中的回饋循環和每一步驟中提供了可以管理不確定性的可能性，所以經由鏈結式模型檢視科技創新過程，其中有許多時間點上的不確定性是可以被管理和降低不確定性。

三、科技創新過程中的不確定性

許多人容易對已開發國家中的大型企業公司下推論，一般認為這些大型企業公司有足夠資金，所以科技創新過程中的不確定性不會是他們所憂慮的問題，但實際的狀況並非如此，OECD 成員國家中的企業公司表示，研發成本已提高許多，並且，研發成本來自於不同的支出來源(OECD, 2004)。依據上述所介紹的鏈結式模型，研發階段中有下列兩點的不確定因素：

- (一) 投入在科學研究的任何花費支出，最後的結果可能沒發現任何可使用性的新知識。
- (二) 研究發明中是有整合出新知識，但是這些新知識可能無法發展成可行銷的產品。

假設以上二點不確定因素不存在，研發方向也確實往產出有價值性新

產品在前進，企業公司仍必須衡量下列問題：

- (一) 不僅在技術方面，新產品在經濟上的表現情況如何？是否只有在付出高額成本下，新產品才能維持優良的運作效能？例如：協和式客機(Concorde airplane)是英國和法國航太公司合作研發的成功結果，其超音速飛行是航工科技發展史上的重要發明，但卻是商業界的失敗案例—依計算，需售出 300 架客機得以支付科技創新的成本，但最後僅有 16 架客機售出。
- (二) 如何能在短期間內提升產品效能，以及生產成本能如何在短期內被降低？
- (三) 企業公司能從一科技創新中獲利的可能性有多大？企業獲利的可能機會，決定於科技創新是否能申請專利。如果無法專利化，其他競爭公司在多快的時間裡就能複製和創造出相同或類似的產品？
- (四) 政府監管單位的法規要求或是國家的政策決定是否有可能會阻礙原先預計的獲利？舉例來說，在美國製藥產業，食品與藥物管理局要求新藥物產品在進入銷售市場之前，必需經過相當長的測試時間；對某些藥物產品如疫苗，測試時間可能會長達 10 年或以上，估計一全新藥物產品能進入美國藥品市場所需的成本已超出 5 億。
- (五) 另一個科技創新的不確定性影響企業公司經濟成長的例子是，在 2000 年初，瑞士 ABB 集團發生財務危機的原因是因為購買了美國公司—Combustion Engineering，也一併承接了其子公司在石棉法律訴訟案件的責任，為負擔在美國法院審判過程的費用，ABB 集團瀕臨破產。
- (六) 最後，企業公司若要投資在仍是很新的科技上時，相對的會面臨的不確定性會越高。並且，要準確預測市場對新科技產品會有的反應仍是相當困難的工作。

以上問題為識別科技創新過程中的不確定性，能夠幫助企業公司瞭解產品生產週期中不同標準的應用與各類型問題產生的原因。在產品生命週期的初始階段，是不確定最高的時期，而產品間的競爭主要是在改善技術效能，以符合使用者的需求；改善產品技術效能的方法有：(1) 對新產品進行電腦分析，以測試錯誤機率並優化效能。(2) 對新產品的生產製造方法進行預審。(3) 蒐集數據以偵測產品效能上的限制與在特定過程下的結果輸出，

以確認產品的穩定性。(4) 用新產品樣本來做市場樣本調查(market sampling) 內含樣本設計(sample design)；在此階段，企業公司應能負擔一合理範圍的產品改善成本以解決產品問題，並在過程中，累積產品經驗學習來穩定產品的設計。當問題被解決後，能整合成一主要的產品原型，而整個產品生命週期便會轉向低成本製造過程，以大量生產此產品原型。

針對科技創新過程中的技術部分，企業公司應認知到技術部分所產出或應用的科學知識水準能直接對科技創新專案所需的成本花費和時間造成影響；因為使用科學知識在為解決科技創新中的挑戰問題，而當知識水準現況還未達能預測結果，且較成熟的狀態時，企業公司通常僅能使用較昂貴或需花費較長時間的方法在創新過程裡不斷嘗試。然而研發中缺乏具預測性的科學知識會造成的代價十分昂貴，且需要冗長的前置時間。因此，技術與專業研究人員能夠對企業經營管理者做出明確說明，讓經營管理者瞭解目前所應用的科學知識狀況是否能提供好的預測基準去引導特定的科技元件設計，並能控制研發成本不至於提升的過高，是十分重要。另外，當所應用的科學知識水準未達可預測的狀態時，使用引導式經驗(guided empiricism) 通常是可行的辦法，因為引導式經驗運用與新設計有高相關或整體性相關的過往成功設計案例。

四、科技創新中的經濟方面風險

上述分析結果呈現鏈結式模型比線性模型能更準確的描述科技創新過程。運用此分析結果能瞭解科技創新中的經濟成長情況，尤其是對高科技產業界會面臨的經濟方面風險，包含研發成本提高、激進式創新(radical innovation)和財務風險。接著本報告將進一步討論這三項經濟方面風險。

(一) 研發成本提高

新產品的研發過程會包含對該產品效能等各方面的改善，因此研發成本便會提高。為提升研發成果而導致的研發成本提高風險，對許多企業公司而言，是考量在未來能否繼續進行科技創新的重要問題。

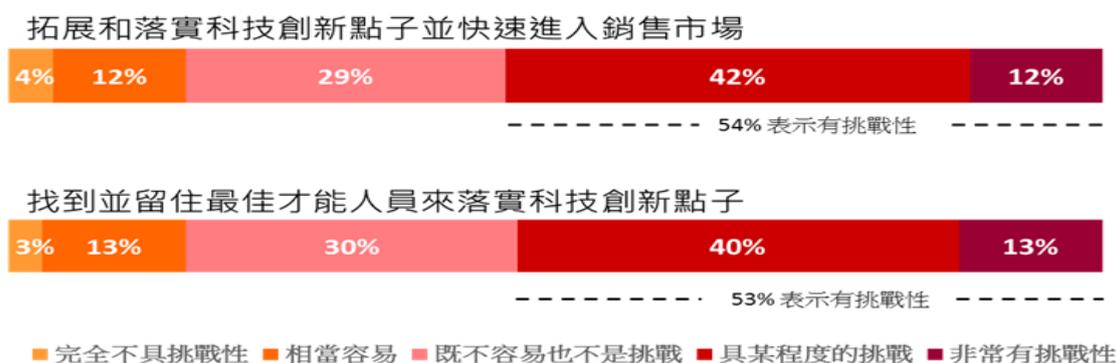
舉例來說，商務客機 Boeing 公司對新型飛機的研發設計是相當積極的投資者，但，在 2009 年曾延遲 787 Dreamliner 型客機的研發專案，因為在成本和產品開發複雜度的估算錯誤，其研發成本在第三季已超出 250 億；此時程的延遲顯示了 Boeing 公司將會花費更長的時間才能從 787 Dreamliner 型客機專案中獲利。到 2015 年，因研發

成本提高的風險，已讓每架 787 Dreamliner 客機銷售上損失約 2500 百萬，這讓 Boeing 公司必須以長期性計畫來補救此財務損失的問題。另一個例子是，核能反應器的研發成本持續大幅度的飛漲，原因是安全性和地域環境方面是研發進行時必須要考慮的問題，另外還有科技研發和效能不確定性等問題，這些因素導致高額的研發成本。在另一方面，全球許多能源企業在研究尋找新能源來源時，僅在實驗階段，處理能源供給來源的汽化和液化等複雜程序，已花費了相當高的研發金額，除了研發金額，再加上能源價格在國際市場上的價格變動，已停滯了不少科技創新專案。

(二) 激進式的創新(radical innovation)

在科技創新過程中，激進式的創新有可能會中斷原先的產品或服務或商業模式，而且企業領導者在面對激進式創新時未有風險管理準備的情況下，科技創新對企業公司便會帶來極大的困難。而許多企業公司當發展的越成功時，就趨於保持或管理現有的狀況，而非嘗試與創新。依據 PwC 在 2013 年的研究，PwC 調查訪問超過 25 個國家裡的 1,757 位企業管理與執行者，結果顯示企業公司的經理或經營者面對激進式的創新是試圖去停止它，因此要改變經營者對激進式創新風險的思考傾向，需要對科技創新有相當投入。

另一方面，科技創新能加速實用性與商品化的商品發展，是許多企業公司的理想，但是此理想與實際狀況兩者間存在著頗大的差距，PwC(2013)研究顯示，超過 1/2 的企業經營管理者表示要拓展並落實科技創新的點子並快速進入銷售市場，找到和留住最佳才能工作人員以落實科技創新點子是在科技創新中最具挑戰的事，詳細數據如圖三所示。



圖三：科技創新中最大的挑戰

資料來源：PwC (2013)，本研究整理

以上說明了企業在維持現有商業運行模式和驅動科技創新之間確實會有衝突產生，尤其是對以低成本大量生產產品的公司而言，因為他們通常將各部門的運作分開，例如：將研發從生產部門獨立分開，便減小了在科技創新鏈結式模型中的研發和生產階段間的回饋循環，當面對激進式的創新風險時，便無法利用從回饋中獲得的科學知識和技術知識來改善生產方面的困難。

Kline & Rosenberg(1986)建議，企業要管理激進式的創新風險，以及平衡現有商業運作和科技創新間衝突的方法是將回饋循環中所獲得的科學知識和技術知識能在早期的科技創新階段中使用擴展到最大化，並且，將科技創新的想法點子從過去已固定的想法或計畫中獨立出來，或做隔離。他們進一步說明，過往固定的想法可能會限制個人或一個團隊解決創新挑戰的興趣和積極度，或是因為超越了過往經驗範圍便一併終止具前景的科技創新工作。

(三) 財務風險

許多高科技企業公司在技術發展歷程中可能會遇到促使研發快速進步的機會，但機會中也包含了明顯提高的財務風險。當企業公司經營管理者在面對財務風險並要做出決策時，常會恐懼不可預知的後果或導致企業或個人經濟收益減少。

為協助企業公司經營管理者學習在財務風險中做較好決策，並管理財務風險，而不是做財務賭博，本報告依據科技創新鏈結式模式與決策科學，建議應先瞭解在特定科技創新環境中可能會發生的財務

風險。

各個企業公司決策者皆處在不同的科技創新環境當中，但主要可能的財務風險如下。首先，過長的研發時間，例如：製藥公司必須對新型避孕藥(contraceptives)進行超過 15 年的藥物測驗，屬於此科技發展形態中的產業公司，除了會面對較高的科技創新的不確定性，以及較高的財務風險，尤其在早期研究發明的階段。另外，快速的科技改變，會讓公司計畫投資在長期使用的工廠與機械設備上，但因為科技改變非常之快速而有可能讓這些設備不久就會過時而被淘汰。因此，企業公司決策者不僅須考慮將投入的財務比例規模，而在某一準確的時間上可投入大規模財務也是相當重要的問題。因為，假若產品生命週期被縮短，財務風險造成的不良後果會加重對企業公司經濟成長的負面影響。

五、結論

本報告之主要目的在探討科技創新過程中影響企業公司經濟成長的不確定性與經濟相關風險。但由於，科技創新的投入及其成果十分不易被評估和計算，因為許多科技創新無法被測量，並未考量在過程中的不確定性與風險因素。因此，本研究首先介紹 OECD 在評估企業公司的科技創新時，對科技創新的定義。為具體瞭解科技創新過程和不確定性可能發生的時間，本報告接著對科技創新線性模型和鏈結式模型進行優缺點的比較分析；分析發現線性模式會扭曲了對實際科技創新過程的瞭解，原因是線性模型過度簡化科技創新的過程，例如：研究(research)在科技創新開始階段是屬於相關領域的基礎研究，在隨後的發展階段，研究是能夠完成一成功產品的創新要素；但是線性模型低估實際科技創新過程中研究的重要性，進而會誤導企業公司決策者的思考和決策。另外，Kline & Rosenberg(1986)提出的科技創新鏈結式模型，提供了一個較完整的系統，不僅連結研發、生產製造和行銷階段的重要回饋循環，並且鏈結了科技創新中各個重要階段，顯示長時期的研究發展是對科技創新的重要支持。

依據科技創新鏈結式模型與決策科學，本報告分析科技創新過程中的不確定性，以及企業公司經營者該如何識別自己的企業公司在進行科技創新時可能會面臨的不確定性。其中強調，科技創新過程中不確定性程度的高低主要是受到所使用的科學知識或相關技術知識水準的影響，當所用的科學知識與技術知識有較好且可信賴的預測水準時，便能對科技創新過程中的問題解決有較準確的引導。最後，再進一步討論經濟方面的風險包含

研發成本提高、激進式創新與財務風險。本報告希望能協助企業公司的經營管理者瞭解和識別科技創新過程中的不確定性與經濟風險，並從中發展出好的決策，益於企業公司的經濟成長。

參考文獻

1. European Central Bank (2017). How does innovation lead to growth? Retrieved June 27, 2017 from <https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me-more/html/growth.en.html>
2. Kline, S. J., & Rosenberg, N. (2010). An overview of innovation. In *Studies On Science And The Innovation Process: Selected Works of Nathan Rosenberg* (pp. 173-203).
3. OECD (2005). Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition. Retrieved November 2005 from https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oslo-manual_9789264013100-en
4. PwC (2013). Breakthrough innovation and growth. Retrieved September, 2013 from <https://press.pwc.com/Multimedia/image/breakthrough-innovation-and-growth/a/b31f8dda-2226-45f1-9007-3fe9997f37dc>
5. Ralph Landau, Nathan Rosenberg, & National Academy of Engineering (Eds.). (1986). *The positive sum strategy: Harnessing technology for economic growth*. National Academies Press.
6. Rosenberg, N. (2004). Innovation and economic growth. *Innovation and Economic Growth*, 52.
7. World Economic Forum (2016). The global competitiveness report 2016-2017. Retrieved September 28, 2016 from <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2016-2017-1>