大型科技系統理論之評析：兼論探索移入台灣之系統的幾個構想

張國暉

多個學術領域均認有必要對大型科技系統給予更多關注，即便目前已有不少相關案例探索、概念建構及理論創造的發展。Thomas P. Hughes (1923-2014) 藉 1970 年代以來科技史新趨勢，並透過若干歐美電力系統案例研究，提出一般性的大型科技系統理論。然而，Hughes 及延伸研究多以歐美國家的科技系統為主，迄今少有非歐美國家經驗，更欠缺由此發展相關概念與之對話。台灣目前已建構不少現代大型科技系統，許多係從國外移入，不只系統的建構歷程與歐美經驗有異，在地脈絡更有相當不同特質。特別因國家脈絡及角色的差異，使台灣的系統與社會之互動關係出現諸多不同現象。本文旨在評析 Hughes 的大型科技系統理論在 STS 相關領域中的發展脈絡、關鍵貢獻及後續啟發，先透過分析其與社會建構論的承繼及聯繫關係、比較彼此異同，再探索其可對研究台灣大型科技系統的新議題啟發，並藉此提供幾個考量本土脈絡後的研究構想。

關鍵字：大型科技系統、科技移轉、科技風格、科技政治、湯馬士 · 休斯

張國暉：國立台灣大學國家發展研究所副教授、國立台灣大學風險社會與政策研究中心研究員（Email: changk@ntu.edu.tw）
《科技、醫療與社會》第 24 期，頁 091-144，2017 年 04 月出版。
投稿日期：2015 年 08 月 06 日；修訂日期：2016 年 07 月 12 日
接受日期：2016 年 08 月 23 日

A Review of the Theory of Large Technological Systems: Some Thoughts about How to Study the Systems Transferred from the West to Taiwan

Kuo-Hui Chang

One important way a variety of disciplines have explored the question of how society, city, the state or globalization is possible has been to investigate how large technical/technological systems (LTS) are built in these arenas. Drawing insights from academic development in the field of history of technology, Thomas P. Hughes (1923-2014) established LTS theory by examining the interaction of technology and society through the case studies of how electric grids were created in Chicago, Berlin and London. His study of the developmental process of LTS construction is a classic work in sociology of technology and STS. Hughes's research has inspired further research about how LTS produces cultural and political impacts. However, Hughes' LTS theory has not been applied to the non-Western world and its local contexts, social institutions, political economy, and so on. New theoretical concepts could be generated with LTS theory grounded in cases from the non-Western world. Based on these interests, this essay attempts to offer some thoughts on how to study the transferred LTS from the West to Taiwan and what this might contribute to current research in LTS studies in general.

Keywords: large technological systems, technology transfer, technological style, technopolitics, Thomas P. Hughes

---

Kuo-Hui Chang: Associate Professor, Graduate Institute of National Development and Risk Society and Policy Research Center, National Taiwan University (Email: changk@ntu.edu.tw)

Taiwanese Journal for Science, Technology and Medicine, Number 24 (April 2017), pp.091-144.
Received: 2015.08.06; Revised: 2016.07.12; Accepted: 2016.08.23

壹、前言

若要回答當今「現代社會、都市、國家或全球化如何可能？」，其中重要一環即需探索這些範疇的大型科技系統 (large technical/technological systems, LTS)[1] 是如何地被發明、設計、建造、營運及轉型等相關問題。同時，也值進一步關注的是，當大型科技系統的陸續出現後，除預期功能外，它們常會對現代社會帶來許多不確定或未知影響，如生活方式改變、治理制度調整或新風險出現等。一般來說，大型科技系統通常意指當代基礎建設，提供能源資源（如電力、水源等的生產及供應）、交通運輸（如捷運、汽車、鐵道、航海、航空等設施）、傳播溝通（如電信、網路等服務）等現今社會難以或缺的功能。不過，它們也可以是特定產業一環，例如大型化工廠、煉油廠及採礦場等，另外也可以是一些傳統或新興國家功能的升級展現，例如規模更為巨大複雜的軍事科技物（如航空母艦）或科學探索設施（如太空梭、強子對撞機）等。[2] 基本上，大型科技系統的功能及目的越來越多元，不易一般性概

[1] Hughes (1994: 102-103) 曾對 technical 及 technological 進行區別，前者主要指系統軟硬體，而後者則包含者更廣泛的社會意涵。有關大型科技系統中的「科技」一字，他建議採用後者。不過，仍有許多研究採前者，例如知名期刊 *Science, Technology & Human Values* 近年仍陸續有論文使用 technical (Geels, 2007; Gökalp, 1992)，並有許多專書或專文亦如此 (Coutard, 1999; Summerton, 1994; MacKenzie, 1992; La Porte, 1991; Mayntz and Hughes, 1988)，似已有其學術傳統。另大型科技系統在某些情形亦有以 (complex) social-technical/techno systems (CST) ((Sussman, 2012; Emery and Trist, 1973)、technological regimes (Van de Poel, 2003) 或 technopolitical regimes (Hecht, 2009; 張國暉，2013) 等指稱，這主要係因許多不同領域皆有對大型科技系統進行學術研究，各自發展出不同概念及語彙，其中有許多部分應有重疊處，並可進行比較。

[2] 請參考 Batteau (2010); Geels (2007); Hommels (2005); Coutard (1999); Bijker (1999); Law (1999); Latour (1996); La porte (1991); Hughes (1983); Callon (1980); Emery and Trist (1973).

括，但核心特徵可簡要歸結在它們多具有全球性影響的範圍 (global in scope) 及可資全球性比較的結構 (global in structure)。前者意指科技系統出現在全球許多地方並對許多人的日常生活帶來時間及空間上的實質影響，而後者則是指科技系統本身的結構（包含組織管理、人員編制、科技軟硬體等）具有相當大的規模，而在全球中少見 (Gökalp, 1992: 58)。

因此，不令人意外的是，對大型科技系統的研究已是許多不同學科的當代學術興趣之一，例如從都市研究 (Hommels, 2005)、商業組織管理 (Coutard, 1999; Emery and Trist, 1973)、政治學及社會學 (La Porte, 1991) 及工程學 (Sussman, 2012) 等角度檢視現代社會中科技系統所扮演的自變及應變角色，而獲致豐富研究成果。近年更出現有關科技系統的研究已可自成一科學研究領域的主張 (*ibid*.)。有關大型科技系統的社會研究，特別是在科技與社會研究 (science, technology and society studies, STS) 及科技史的領域中，自 1970 年代末知名科技史學者 Thomas P. Hughes[3](1983) 比較研究了英國倫敦、美國芝加哥、德國柏林等三城市電力科技系統後，早已是重點研究課題之一，並成為經典 (Geels, 2007; Hård, 1993; Staudenmaier, 1985)。[4] 最近 30 年來，不只是大型科技系統的研究

[3] Thomas P. Hughes (1923-2014) 在美國維吉尼亞大學 (University of Virginia) 取得機械工程學士及近代歐洲史博士學位，曾任美國賓州大學 (University of Pennsylvania) 科學史及科學社會學系 (Department of History and Sociology of Science) 系主任及特聘教授，並在此退休。他是知名科技史學會 (Society for the History of Technology, SHOT) 創會會員，並曾擔任會長及該學會期刊 *Technology and Culture* 編輯顧問。他也擔任過許多知名科技史、科學史、科學哲學及 STS 期刊如 *History and Technology*、*ISIS*、*Science in Context* 等編輯委員。除本文介紹之學術著述外，Hughes 的其他著述、學術榮譽、學術職位等，詳請參考 https://hss.sas.upenn.edu/people/hughes（檢索日期：2015 年 8 月 5 日）。

[4] 除科技史外，有關大型科技系統的人文社會研究還有從科學哲學（如 Winner, 1977, 1986; Feenberg, 1999 等）。

案例增多增廣，[5]相關概念的討論與延伸也越趨深入與豐富。[6]然而，從這些研究可發現利用 Hughes 相關觀點檢視非歐美國家大型科技系統仍屬少見，[7]遑論鎖定在台灣。

若以前述一般認同的大型科技系統種類來看，目前台灣已有不少，諸如電力、交通、電信、資訊及石化產業等。基本上，台灣過去或現有的每一種大型科技系統都值得從不同學術角度探索，但若由 Hughes 相關觀點檢視，或許更能揭露科技系統與在地社會的互動過程。亦即得一方面解釋科技系統的內涵（如規劃、設計、營造及營運等）是如何受到社會的影響，另一方面探索社會（如治理制度及都市設計等）後來又如何因應成熟科技系統而改變，甚至是受到牽引或侷限。本文旨在評述 Hughes 的大型科技系統理論在 STS 領域的發展脈絡、關鍵內涵及後續啟發，分析其與社會建構論的承繼及聯繫關係，並比較其差異，再藉此為基礎而進一步討論其可能對研究台灣大型科技系統的新議題啟發。

Hughes 的經典研究可說是研究當代大型科技系統的重要指引，並啟發若干後續重要研究，但當前利用 Hughes 觀點檢視非歐美國家大型科技系統建構及其與社會相互型塑的研究仍缺乏，應有必要進行深入探索。這是因為一方面非歐美國家大型科技系統發展潛力旺盛，而相對的現象觀察卻顯缺乏；另一方面，非歐美國家的大型科技系統之建構型態，顯與歐美國家不同，應值得進一步進行概念的比較與發展。再者，非歐美國家建構出大型科技系統之後，其對在地社政經及都市制度等之互動方式與影響型態，

[5] 請參考 Geels (2007); Bijker *et al*. (1999); La Porte (1991); Mayntz and Hughes (1988); Callon (1980).

[6] 請參考 Geels (2007); Hommels (2005); Van de Poel (2003); Bijker (1999); Law (1999); Perrow (1999); Latour (1996); Hughes (1994, 1986); Summerton (1994); Staudenmaier (1989, 1985).

[7] 請參考註腳 5 及 6 所列文獻。

有待相當程度觀察。其實，目前已有若干研究從特定角度檢視非歐美國家大型科技系統。例如，航空科技系統的風險分析研究指出，相對於歐美先進國家，亞洲、非洲及拉丁美洲的航空運輸量較低，但這些區域的空難事故機率卻較高。經深入檢視這些空難事故原因，發現某些在地管理文化、利潤價值選擇或產業治理政策等會提高航空科技系統的風險 (Batteau, 2010; Tai, 2013: 589-594; Hänninen and Laurila, 2008)。這些研究提供許多值得探索的議題，但應仍有相當空間還可資拓展，而基礎之一應可是對非歐美國家大型科技系統的建構及反身性影響提供更多的一般性認識。

貳、STS 對「科技與社會間互動」及「大型科技系統」的研究認識

STS 並非最早對大型科技系統產生研究興趣的學術領域，目前也不是唯一，因為已有不同學術領域以不同詞彙指稱。若暫不提其他學科，基本上 STS 對大型科技系統的認識基礎，主要來自科學史及科技史領域的發展背景及趨勢。如同科學史學界約從 1960 年代跳脫內部史觀點 (internalist history) 的侷限時，科技史學界也基此重新檢討自身發展，不再只專注成功科技家及科技物。不過，當科學史迎向脈絡史 (contextual history) 取向時，科技史強調科技與社會之間的互動 (interaction)，而不只是科技對社會脈絡的依賴 (Hughes, 1986: 282-285)。因此，相對於「科學」與社會之間強調的脈絡依存關係，「科技」與社會之間更關注彼此相互型塑的動態及影響 (*ibid*.: 285-287)。

一、「科技與社會的交織」及如何對其研究的交織

科技史著重「科技與社會之間的互動」面向的趨勢可說明確，然而對「如何互動」的內容應包含什麼，除了科技史之外，還有科技哲學及科技社會學加入關懷行列，且彼此之間相互影響。基本上，科技史及科技哲學回顧馬克思傳統帶來的一種啟發，「若石磨帶來封建領主的社會，蒸汽機則帶來工業資本家的社會」。[8] 亦即，當代科技發展已有能力強制 (impose) 或強行 (enforce) 形塑出一些特定且關鍵的社會現象及政治特質；像石磨及蒸汽機即所謂科技，它們不只是生產機具，還會強行帶給社會一個新興權力階級，從而改變原先社會的階級構成。所謂強制及強行意指社會行動者無法阻礙或介入科技對社會所造成的影響力，因為科技可實質地讓社會自我設限而不往若干方向發展，也可能誘使或迫使社會往特定方向。於是，像是封建領主或資本家之階級難以避免地浮現，隨後漸掌統治權力，造成一些前所未有的政治及社會現象。科技或機器已變成歷史的主要驅動力或製造者，而不只是少數人物或其他如自然、地理環境或社經制度等才有這樣的能力。這樣有關科技對社會進行型塑的現象，即被化約所謂科技決定論 (technological determinism) 的概念 (Heilbroner, 1967; Smith and Marx, 1994)。

以上強制或強行的概念，Bimber (1994) 以法則性 (nomological)

[8] 原文“The hand-mill gives you society with the feudal lord; the steam-mill, society with the industrial capitalist.”，出自馬克思的 *Poverty of Philosophy*。Bimber (1994) 分析指出不宜將馬克思認為科技決定論者，馬克思的這句話需要更多脈絡的認識，始可充分理解。本文受限篇幅，如欲探索馬克思對科技的看法，敬請參考 Bimber 的研究。

科技決定論將之類型化。科技決定論有時也意指科技發展的線性觀 (Feenberg, 1999: 77; Heilbroner, 1967)，亦接近法則性概念。亦即，科技發展是歷經基礎科學研究、應用研究、產品發展、生產製造、市場行銷及消費使用等階段，缺一不可且無法跳躍，自始至終均有跡可尋，並得預測。這是一種科技發展的應然及必然，也就是科技有其命運，也依照命運的指示發展。以上兩個法則性科技決定論的內涵是一體兩面，畢竟線性觀即蘊含了強行、單向及機械性等決定性特質。此外，Bimber 指出科技決定論還另有規範性 (normative) 及無法預期性 (uncertain/uncontrollable) 等兩類。前者意指科技帶來的效率或經濟價值，會取代其他價值而成為最高且唯一的價值，例如 Leo Marx、Lewis Mumford 或 Jacques Ellul 等的論著。[9] 後者則是指科技將自動地帶給社會無法預期的結果 (outcomes)，人類無法對此控制，僅能被動接受科技的決定，例如 Winner (1986, 1977)。基本上，Hughes 所談的軟性科技決定論（如下述）與 Bimber 所提的法則性接近，較著重科技在強行或強制的特質。

雖然某種程度來說，科技決定論如同其他馬克思理論的觀點（如歷史唯物論等）多被視為頗為極端，但迄今仍具一定解釋力。例如電腦、網路、手機等科技已對世界各地社會帶來極大影響及改變，無論是在社會行為、組織、產業發展及權力結構等層面。然而，在型構「科技與社會之間的互動」內容上，Pinch and Bijker (1984 [1999]) 另提「科技的社會建構論 (social construction of technology, SCOT)」途徑來理解科技，著重以社會學的角度檢視互動。類似前述科技史受科學史新學術發展趨勢的影響，Pinch 及 Bijker 援引當時新興之科學知識社會學 (sociology of scientific knowledge, SSK)

[9] 請參考 Marx (1964); Ellul (1964); Mumford (1934 [2010]).

所提「科學的社會建構論」論證，主張技術發展也是一種社會建構過程。SCOT 同時挑戰前述法則性科技決定論觀點，不僅拒絕線性模式，也拒斥強行及單向的概念。他們主張科技物的發展過程應是一種歷經不同「變異型」出現及一連串「選擇」過程的交錯結果，也就是一種多方向模式 (有可能是經濟效率或文化傳統等原因，不以理性原因為限），且沒有像是線性觀的科技發展終點。研究者必須同時對稱地關照成功及失敗的技術發展過程，而且揭示其中沒有箭頭符號暗示特定的目的性、因果關係、時間順序或演進方向等（張國暉，2011a：179-180；Feenberg, 1999: 83-84）。

Pinch and Bijker (1984 [1999]) 的 SCOT 精彩論證腳踏車科技的發展，後來並啟發眾多「科技與社會之間的互動」研究，解釋力受到普遍肯定，成為經典的科技社會學理論。然而，SCOT 自 1990 年代起，卻陸續受到被冠以社會決定論 (social determinism) 或社會建構主義 (social constructivism) 的質疑，亦即科技的意義在 SCOT 的解釋下，都由社會或利益團體所充實，科技不過是社會（如衝突、妥協、競爭、合作等）的再現，科技物本身並未被賦予能動性地位。此外，雖然 SCOT 是一種社會學理論，但也還受欠缺考量社會結構的質疑，過於強調相關社會團體的互動，而未見後設環境結構及科技內生政治特質等可能對科技造成之影響 (Klein and Kleinman, 2002)，甚至引致「SCOT 看似打開了技術的黑盒子，但卻發現裡頭是空洞的」之嚴厲批評 (Winner, 1993)。雖然 Pinch 及 Bijker 後來也回應了這些批評，並做出若干調整，但仍被視為不足（張國暉，2011a：183-193）。

雖然遭致許多批評，但科技決定論及 SCOT 仍多被視為有效的理論途徑，因為藉這兩者理解科技與社會之間的互動，仍能揭露豐富現象及獲得深度解釋。然而，這兩者各自過於偏往科技或

社會的決定論傾向，在若干關鍵層面上南轅北轍，不易整合起來以容納彼此，進而難以構成更普遍理論的可能。張國暉（2011a：189-191）分析指出：雖已有若干 STS 研究者嘗試統整這兩方理論的工作，但因涉及層面廣泛，目前仍屬觀點提出（如 Edwards (2003) 以巨觀、中觀及微觀等三層次建立科技研究架構）階段，尚未有特定觀點獲學界普遍肯認，難以形成所謂學派而進入更深的概念及理論型構階段。

此外，這項不容易的工作因學術領域的不同更形困難。科技史學者雖多對科技決定論保持一定距離避免陷入極端，但基本上仍帶有較明顯色彩，例如 Hughes 仍常被認為（或誤解）是科技決定論者。亦即，他們關注焦點集中在：科技應被視為一種具有規約及改變人們及社會制度如何行為的強行力量，而這樣的看法也引起一些科技哲學家如 Winner (1977, 1986) 及 Feenberg (1999) 等的相似共鳴。我們亦可以透過一些探討「科技與社會之間如何互動」的專書看到這樣的趨勢，如 Smith and Marx (1994) 及 Misa *et al*. (2003) 等。另一方面，從社會學的角度檢視，Pinch (1996) 曾表示，當初 SCOT 本就是以一種提供另一個研究方法的選擇，並沒有嘗試取代其他技術研究方法的企圖。Pinch 及 Bijker 著重的是把技術內容及細節作為研究標的，並以社會學的途徑切入，而這是 SCOT 初衷。SCOT 應從方法論的角度理解較為適當。就此，科技史、科技哲學及科技社會學的學者們在探討「科技與社會之間的互動」上有不同的哲學關懷取向。當社會學家偏好尋求科技的社會性解釋時，科技史學家並沒有這樣的自許承諾 (Law, 1999 [1987]: 113)。不過，還值說明的是，不同領域的學者其實也都知悉並肯認其他領域所做的解釋力，否則 Pinch 不會有上述般將 SCOT 保留為一種方法的觀點，而科技史學者如 Hughes (1994) 及科技哲學家如

Feenberg (1999) 也否則不會著墨他們與科技決定論保持相當的距離，並嘗試與社會建構論對話。

二、行動者網絡理論 (actor-network theory, ANT)[10]

基本上，對於應如何探索「科技與社會之間如何互動」及更歸根究底地探索科技的本質為何等問題，長久以來不易脫出上述科技決定及社會建構等兩途徑的分立，進而逐漸變成關鍵學術難題。就此，Latour (1992, 1993) 另闢蹊徑，嘗試利用 SSK 將「人」與「物」給予對稱化的社會建構論點，消解這個分立難題。亦即，他主張無論是「人」或「科技物」應都具有能動力，均可為對方給予設定 (norms) 或附加義務 (obligations)，進而對彼此發生作用、造成變化，並如 John Law 所說的不是彼此「用以解釋的資源」罷了（林文源，2014：39-40；Feenberg 1999: 84）。Latour 爭論科技物應被視為具有權利 (rights)，就像是可組成國會 (parliament of things) 一般，會產生社會行為（規約、限制、要求等）的作用，與「人」形成一連串的網絡互動，以此為 ANT 基礎構想。雖然同源於社會建構論，ANT 與 SCOT 最大的差異在於前者並不認為從「社會性 (the social)」途徑解釋科技發展具有特權 (privilege)(Law, 1999 [1987]: 113)。

Latour 看似僅援引新概念來觀照不同現象的學術創新，但其實更是一種發明。他將人 (humans) 與非人 (nonhumans) 對稱，同樣賦予能動性（人是 actors，非人是 actons），加以等同對待，似乎

[10] 由於篇幅有限，且為靠攏本文科技系統之主題，有關理論的簡介及分析鎖定在 Latour (1992, 1993)。若讀者對該理論內涵及本土應用有進一步興趣，請參考 Latour (2005); 林文源（2014）。

只是簡易單純的想法，但卻變成一個得以撐起重新認識全世界的小支點，因為由此將可挑戰何謂現代性的哲學基礎。Latour (1993) 大膽論證「我們從未現代過」，因為二元「人」與「物」對立分類的本體論及知識論傳統始終沒有改變，從而限制我們挖掘及理解更深刻的現代世界。現代早已因「物」（特別是「科技物」）的大量且快速的出現而來到，但現存本體論卻顯示我們（人）未曾現代。倘若「物」的權利及代表沒被肯認並加以再現，我們何以證明自己脫離傳統及自稱是現代的？

由此，Latour 論證究竟「科技物」如何與人建立關係，從而消解了社會建構論的決定論色彩。Latour (1992) 給予許多例子闡釋 ANT，這些例子中的科技物多是常見，但卻被忽略它們的行動地位，例如自動閉門器。一般來說，貼在門上的提醒紙條通常不若自動閉門器有效率，也就是後者可更受信賴完成使命，讓自動閉門器達成一種社會意欲。社會意指為多數人，而意欲則是指被普遍認同應出現的事，這裡的社會意欲可說是「道德義務 (moral obligation)」。因此，自動閉門器並不能僅被視為是內含彈簧等「物」的集合及相關機械原理之運作，也不應僅被視為一種功能，因為它使社會意欲成為可能，然後承載之，故含有道德。亦即，自動閉門器是文化系統的一部分，有了它之後，即能比紙條或口頭提醒更有效完成功能，而這樣的功能可說是因此才能被人普遍認同，進而使人所（不論樂意或強行）接受，變成義務。其他還有像是不成比例的旅館鑰匙圈、汽車乘員安全帶、道路號誌、道路減速丘等科技物，也物質化 (materialize) 了社會價值。

基本上，Latour (1992) 認為科技物會施壓於人，它的物質性（物理特質及經過設計）限制社會意欲，例如期待有每公升汽油可行駛 300 公里遠的內燃機引擎是不可能的。同時，科技物的物

質性使某些義務成為可能，這並不是說義務先於科技物存在，而科技物只是將原有義務達成；反倒是科技物的物理特質及經過特定設計後，引發、型構或與若干已有社會價值互動，進而出現義務，型塑人的行為。

三、大型科技系統理論

在「科技與社會間互動」基本取向上，ANT 及 Hughes 分別源自圍繞著社會建構論及科技決定論的爭論，一方面強調社會如何地建構出科技（物或系統），另一方面也著重科技（物或系統）具有參與塑造社會的能動性。此外，兩者更相互支援。例如，當 ANT 肯認 Hughes 所啟發的網絡 (networks) 概念時 (Law, 1999 [1987]: 112-113)，Hughes 也指出大型科技系統理論所指的「系統創建者 (system builders)」與 ANT 所提「異質工程師 (heterogeneous engineers)」的內涵接近 (Hughes, 1999a [1987]: 52)。有關這些概念，下節詳述。不過，他們的研究興趣及取向不同，當 Latour 探索關係的哲學本體論基礎時，Hughes 研究長時間演化的互動過程及現象。就 ANT 來說，科技物及行動者在以聯盟 (alliance) 或組合 (assemblage) 為形式的網絡中，透過旨趣連結以滿足不同科技物及行動者各自需求（陳宗文，2016：15）。ANT 的關鍵在指出一種關係性萌生，科技物及行動者共同合作，中介彼此的存在，且不只這兩者沒有先驗性，連社會也無，因此所謂主體、客體或社會，是異質或多元行動體所中介構成（林文源，2014：41-44）。另一方面，Hughes (1994: 105) 雖也使用社會建構論的「社會科技 (sociotechnical)」概念，認為社會及技術無法拆解，並可做為認識「科技與社會間如何互動」之普遍性概念，但除 ANT 的網絡觀有

如上特定的聯盟或組合意涵，而不是連結互動之義外，更還涉及本體論的新見解，不只行動者、社會及技術間是無法拆解地相互影響（亦即仍有彼此區分，但相互影響），更指它們本應是同一（林文源，2014：45-49）。

不過，即便 Hughes 與社會建構論同用社會科技一詞，他同 ANT 卻都不認為「社會性」的解釋具有特權，但必須注意的是他們的理由不同。Hughes 的社會科技所指的是科技系統（含整個及所屬各子系統）在長期發展下會不斷且緊密地鑲嵌著社會（制度、組織、行為、文化等），而後使科技系統漸具能動性（如出現科技動量及軟性科技決定論等現象，見下小節詳述），再反身地對社會及其他科技系統產生影響。對 Hughes 來說，社會建構論的「社會性」因素居科技發展的唯一解釋之觀點，並不能充分說明科技系統的發展。另一方面，ANT 也認為「社會性」解釋途徑的不足，但這主要是因為 ANT 如前述主張科技物與行動者的聯盟或組合網絡及在本體論上的創見，而社會建構論及 Hughes 都沒有發展這樣的觀點。

（一）擷取及創造社會建構論資源

若更仔細觀察，就研究取向來說，相對於 Latour 的另闢蹊徑，發展大型科技系統理論的 Hughes 經與歐洲的科技社會學家（如前述 Bijker、Law、Latour 等）頻繁接觸後，並且開始合作編著專書 (Bijker *et al*., 1999 [1987])，越來越清楚地指出其與社會建構論的相近處及聯繫處，並在共同肯認的範疇內進行概念對話，且將此引入他的科技史著作中 (Staudenmaier, 2001: xiv-xvi)。這與早期科技史學家多以人物為主軸，而較未對發展普遍性概念及理論給予興趣的傾向相當不同。另外，雖然 Hughes (1969) 曾以納粹政權與

化工製造業之關係為題提出科技動量概念，並因此被認為陷入科技決定論，但 Hughes (1999a [1987], 1986, 1989, 1994) 後來多次直接以科技動量及其延伸的概念為寫作主題，藉著與社會建構論的交流，使自己相關概念的定義及辯證更清晰，而主張軟性科技決定論 (soft determinism)（下小節詳述）。

就理論內容方面，相對 SCOT 及 ANT 學者來說，Hughes 的研究興趣偏向專注在「大型」科技系統，所謂的大型如前述具全球性影響的範圍及可資全球性比較的結構等兩特質，我們可從他的實證研究看到這點 (Hughes, 1971, 1983, 1998, 1999b)。其實 Latour (1992) 也強調系統的概念，如在提出汽車安全帶、道路號誌及道路減速丘等科技物時，指出它們背後的政經制度及社會環境如何提供孕育的機會。不過，與 SCOT 或 ANT 相較，Hughes 的研究標的偏在繁複至全球規模的科技物集合。然而，「時間」更是 Hughes 研究的關鍵變項，著重科技物與社會環境及政經制度的長期演化，而演化目的在追求當地前所未有的科技功能。其中，如同 SCOT，演化並非演進，在長時間過程下，最初目的或有改變或更為複雜，不同地方的演化也隨著地方脈絡而有所不同，形成平衡穩定。再者，大型科技系統所指的演化與一般生物學的演化有所不同，就 Hughes 的演化來說有趨於穩定及達致最終的特性。有關這樣的穩定及目的論的演化說法，帶有演進之嫌，引致批評，後文再詳述。

此外，「長期演化」也體現 Hughes (1986: 287-290) 所強調的網絡特質，這點與 ANT 接近，著重在各不同人與物的雙向互動，但更指出網絡係基於長時間的作用。不過，在雙向互動之外，ANT 更強調物在科技發展過程中的關係性，它得如前述般對稱地發起作用。最後，Hughes 所談「科技與社會間互動」之社會

除了同 Latour 都重視科技物當時制度及環境之外，也蘊含文化及歷史等長期脈絡的作用，而這也是基於 Hughes 看重時間因素。此點較清楚地出現在 Hughes 的研究，而非 ANT 或 SCOT。例如，Hughes (2004 [1989]) 主張在種種不同型塑美國這個國家的關鍵因素中，科技比政治或自由市場扮演了更重要的角色。有關這部分科技與文化脈絡互動的看法，後來還成為 Hecht (2009) 研究法國核能科技系統的重要啟發來源之一，後文詳述。

在 Latour 根基社會建構論另闢本體論蹊徑，而 Hughes 科技史研究則擷取社會建構論及其後來發展的 ANT 等資源，兩者雖仍有相當差異，但亦無法排除融合或進一步相互補長的可能，畢竟兩者立基在相當程度的社會建構論資源上。因此，以 Latour 及 ANT 的觀點加入長時間演化之因素探索大型科技系統，或許會是一個探索互動的可能途徑，未來似有發展空間，也許值得另文研究。

（二）軟性科技決定論

基本上，在科技與社會間「互動」基底上，Hughes 本身及後來許多運用大型科技系統觀點之研究，經初步分析其關懷重心應可包含有「大型科技系統的建構」與「已建構的大型科技系統與社會的互動」兩個層面。此兩個分類的用意僅指側重，但非互斥。事實上，這兩類的研究常相互穿插，但仍有重心的差異。首先，「大型科技系統的建構」關注系統如何通過一連串（但不一定連續）的發明 (invention)、發展 (development)、創新 (innovation)、科技移轉 (technology transfer)、科技風格 (technological style)、成長、競爭及鞏固 (growth, competition and consolidation) 等階段 (phases)，最後出現一種難以變換方向及趨緩能量的現象，進而對本身及社會其他系統、團體及個人等，發揮一種所謂軟性科技決

定論的作用 (Hughes, 1999a [1987]: 54-55)。

軟性科技決定論與科技動量 (technological momentum) 的概念極為相關，當科技動量足夠大時會出現軟性科技決定論。Hughes (1983, 1999a [1987]) 利用物理學概念啟發指出，當大型科技系統的建構歷經前述幾個階段，從浮現到穩定而生產「動量」時，將如物體在擁有動能後而繼續原有的軌跡 (trajectory) 往特定方向移動 (MacKenzie, 1992: 32)，而具能動性去塑造社會（但非決定性），發揮所謂軟性科技決定論的作用。至於科技動量的內涵 (Hughes, 1999a [1987], 1994)，可分幾個層次來談。首先，大型科技系統經長時間發展到成熟階段後，已漸具獨立其外在環境影響的能力，也就是對自身接下來的發展更具決定性；反之，越年輕的大型科技系統則越受外在環境影響，甚至是受到介入。其次，科技系統的獨立能力來源主要是經過越長時間經營成熟後，系統本身的層級組織特質越強，甚至出現官僚體制現象。第三，當大型科技系統越趨成熟，越會對系統外的其他系統、團體及個人等發揮作用，亦即具牽引力而得回饋重構個人認同、社會、都市、國家，甚至是全球化的內涵。最後，即便是相當長久的大型科技系統，其科技動量如物理動量一般，並非不可抵抗，而這點也充實何謂軟性的意義。

不過，相對於建構過程中系統與社會的互動，Hughes 並未對軟性決定後「已建構大型科技系統與社會的互動」給予相當程度的著墨，而這部分有許多的發展由其他學者充實。他們或受 Hughes 的理路啟發而進一步創新（如 Hecht），亦或不滿足於 Hughes 而擬修正或填補若干空間（如 Geels、Van de Poel 及 Hommels）。此外，也還有若干社會建構論者經調整自身論點後，也加入探索此一相近主題（如 Bijker 及 ANT 學者），但他們不見得與 Hughes 有實質承繼或對話。這些發展的評述將在後文分析。

參、Hughes 大型科技系統的理論及延伸

Hughes 約從 1980 年代中起，多次以概念發展為主題撰文分析科技與社會間互動，這些概念如科技動量、無縫網絡 (seamless web)、戰線缺口 (reverse salient) 等，發表在科技社會學及科技史專著或期刊中。雖然這些概念在他更早之前的作品已提出 (Hughes, 1969, 1971, 1983)，但系統性的概念分析及釐清，卻是透過與前述歐洲科技社會學家的對話進行 (Hughes, 1986, 1999a [1987], 1989, 1994)。當然，Hughes (1994) 有相當部分的概念分析其實是在質疑科技決定論，並同時修正及援引社會建構論，透過分析 SCOT 及其缺陷，而主張自己的概念更妥適。再者，如同歐洲科技社會學家，Hughes 的田野研究相當豐富扎實，並不遑多讓，成為與他們進行概念比較的基礎，進而點明自己的概念優越處。其中，Hughes (1983) 最負盛名的經典實證研究，即在比較美國、德國及英國的電力科技系統。此外，他後來也還有對其他大型科技系統如美國網路系統及波士頓都會高速公路隧道計畫的實證研究 (Hughes, 1998)。因此，為利清楚 Hughes 的研究，下文以簡介電力系統的經典研究為主，之後再以他 1980 年代中後發表的概念性論文為主體，因為這些論文除包含基於實證研究所建構的概念外，更與科技社會學進行對話，也因此以下有關他的大型科技系統理論之內容評述，將以這些論文為主軸。

一、Hughes 的電力系統研究

從 Hughes (1983) 探索英國、德國、美國電力系統的經典研

究為起點觀察，大型科技系統之所以在長期發展過程中產生動能即因它在經過發明、創新、適應、移轉等階段的同時，越來越與社會緊密相互鑲嵌在一起，彼此的連結產生了進一步的系統與社會共構之穩定，而這樣擴增的穩定則代表了蓄積更強勁的動量。Hughes (1999a [1987]: 51) 認為所謂科技系統包含了繁複、龐雜及種種解決問題的元件 (components)，這些元件除指各種科技硬體外，還有組織管理、法令規則及所需資源等，它們組合起來以達成共同的系統目的 (common system goal)。由於不單指涉硬體，Hughes (1994: 102-3) 建議大型科技系統的「科技」一字應採「technological」，主因在其蘊含前述社會科技 (sociotechnical) 之意，而非「technical」所能含攝。以電力科技系統為例，建構科技系統的工程師們，不只是研發了發電機、變電設施及電力傳輸線…等科技設備，更是建立了組織及管理，還有設計製造流程及擬定商業策略，並付諸執行。基本上，Hughes (1999a [1987]: 52) 認為後者才是科技系統重心，因為這些組織及管理工作在在需要系統建構者的社會能力，才能把基礎設施（或科技系統）與社會脈絡相互協調及結合。因此，大型科技系統可說是社會所建構 (socially constructed)，其之所以得在社會當中打造及生存的關鍵，除了系統設備本身之外，更在於社經脈絡的營造與相互配合，彼此間成為無縫網絡，所以美國、英國及德國的電力科技系統建構，其實更是反應各國所自有的政治、地理及社經制度條件 (Hughes, 1983, 1986)。

較具體來說，大型科技系統充滿著社會鑲嵌，表現在幾個層面上。首先，若干民間製造業者開始聚集起來，它們開始對資源、勞工及廠房投資，以便生產所需要的機器、設備及工具等。再者，教育機構開始教導新科技本身及如何操作的知識，公民營研究機

構也被建立起來協助解決關鍵問題。最後，越來越多科學家、工程師、技術勞工及經營管理者對新技術從事更多投資，包括知識獲得、技術精進、訓練研習、生產設備等 (Hughes, 1983: 140)。大型科技系統起初的發展，需要業者匯集、教研投入及投資配合等。不過，若觀察更仔細些，可發現為何柏林的電力系統較為成功的原因，在於投資配合這方面同時包含業者及市政府彼此間的交互投資，而這樣的投資不只是資金及人才交流，更在於兩者共同型塑了電力系統的管制政策。當政府是一個有效率、理解科技系統且具電力產業政策策略的管制者時，業者則在金融、銀行及政府資助下發展出良好的公司治理及技術研發 (Hughes, 1983: 175-200)。

雖然 Hughes 討論「大型科技系統的建構」時，不斷強調過程中與社會的緊密互動，而排斥系統軟硬體的打造獨立於社會的看法，但是值得注意的是大型科技系統本身仍是故事主角，自有其演變的過程，有異於 SCOT 以社會團體為中心的觀點。大型科技系統建構過程中的科技與社會之要素會分別在不同的階段出現不同程度、方式及內容的互動。這些階段是以一種「型態」(pattern) 的概念串接，而不是「模式」(model)。所謂「型態」強調的是寬鬆並可解開，這些階段並不是按有一定順序，且有可能在過程中同時出現幾個階段，甚且這些階段是可逆的。然而，發明及動量應是大型科技系統建構過程中最先及最後必會出現的階段。例如，在大型科技系統尚未成熟時，可能在創新或發展階段時即產生少量的動量，但待其成熟的特徵即是必然具備相當高的動量，而這樣的高動量有可能伴隨再進一步的創新，但也可能沒有 (Hughes, 1999a: 56-57)。

二、Hughes 對大型科技系統建構過程的概念化

「大型科技系統的建構」之各階段均有若干特質值得注意。首先，發明必須是獨立且專業，所謂獨立指發明者不受既定的限制。例如可挑選其想解決的問題或對問題的定義有新的看法等，且有能力擺脫或轉化當前組織資源（如現有實驗室）的束縛，就是發明者常可主控特定的研究設備或實驗室，得獨立思考及行動。不過，獨立必須搭配專業，要能長期性的追蹤與探索，甚至具發表專業研究論文能力，以文字具體化過去文獻的忽略或錯誤，而指明研究問題的脈絡。否則就會像是業餘發明家，因為業餘者在選擇問題時多未具專業上的理由，常只是靈感乍現，而業餘發明通常不會朝向發展出大型科技系統 (Hughes, 1999a [1987]: 57-62, 1999b)。其次，發展階段則是一種讓發明得以存活下來的活動，將發明轉化為市場或政經等社會條件所能接受的企圖，再進一步帶動專業分工，藉組織擴張以發展新科技發明與社會之間的介面。此外，在發展階段中，通常發明也仍在持續，因為發明必須延伸以因應政治、經濟及社會等的條件，而這個階段也因此讓科學研究者、工程師、發明者、管理者等身份界線逐漸模糊 (Hughes, 1999a [1987]: 62-64)。

第三，大型科技系統建構過程中的創新，則是意指將發明及發展的科技物轉變成一套複雜生產及利潤系統下的產品，建構出製程、銷售及服務提供等的具體設施。這些設施的建構不僅需要繼續仰賴發展階段的各種行動者共同投入，也還需要他們一起合作檢視及找尋其他產業現有的資源，以利建構出生產體系。當然，發明者也會選擇由自己創建生產體系，轉身成為製造業者，因為現存者可能無意願或能力投入新科技。通常進入創新階段後，隨

著製造體系的成長，發明者所扮演的重要性會逐漸降低，轉由專業管理者來面對製造體系的關鍵問題並加以解決 (Hughes, 1999a [1987]: 64-66)。第四，科技移轉通常會出現在創新階段後，但不以此為限。當製造體系有新舊要素共同投入而越趨複雜至相當程度後，其成長幅度轉為平緩，但若新科技發明面臨移轉需求時，則會出現來自新時空環境所帶來的新困難，使得製造體系必須改變，進而讓新科技發明適應新時空環境。較具體來說，新環境通常意指不同的管制規定、市場要素、地理及社會環境等，但通常多以前兩者為主 (Hughes, 1999a [1987]: 66-68)。

第五，也值得一提的建構階段則是科技風格，通常在指新科技適應新環境的最高峰。這樣的最高峰並不是意謂新科技適應了前述幾項新環境挑戰的完美趨近性，而是指適應到了一種國族性、地域性或個人性的特質。科技風格頗帶有藝術或建築設計理念的意味，如同彩虹較不易捉摸而難具體點明。以電力科技系統為例，倫敦、柏林及芝加哥在電力生產量及發電科技水準上，並未有太大差異，然而柏林與倫敦的差異之一在前者僅有約 6 家電力公司，而後者卻有約 50 家，其中緣由需推敲兩城市不同的發展特質 (Hughes, 1983)。基本上科技風格比發展及創新更帶有社會建構的色彩，也就是在諸如管制規則及經濟成本計算的社會要素之外，大型科技系統還帶有來自脈絡所型塑的風格。這些脈絡如了前述幾種特質外，還有可能來自於自然地理環境及文化歷史等的影響 (Hughes, 1999a [1987]: 68-70)。

第六，有關大型科技系統建構過程中的成長、競爭及鞏固等階段。成長並非意指製造體系的複雜性提高，而是新發明科技產量及利潤因規模提升而增加。通常來說，成長是來自於經濟規模的提升，但需注意是這並不一定完全是用在大型科技系統，因

為除了經濟因素外，技術及其他社會要素都會參與型塑科技系統 (Hughes, 1999a [1987]: 71-72)。到了大型科技系統的成長階段中，Hughes (1983) 提出一個軍事比喻的「戰線缺口」概念說明其發展特徵。他指出系統在成長階段時，基本上已經相當成熟，但仍有機會面對新興、重大或意外的挑戰，而此時如同戰爭前線面臨缺口問題。這樣的問題必須以一系列的連串性問題來看待，而解決方法的方向是必須重整整個軍隊／系統的軟硬體及其與環境之關係。戰線缺口指一種高度複雜情形，在這當中，個人、團體、歷史及其他因素都有不同但實質的影響力。戰線缺口不同於瓶頸 (bottleneck) 及失衡 (disequilibrium) 等概念，因這兩者的挑戰僅在於刺激改善內部元件或組合，多指硬體性的改變，以便突破瓶頸或恢復平衡。然若大型科技系統無法解決戰線缺口的挑戰，將會引起新的競爭，不過如果能過挺過，則越能鞏固系統，最後孕生出前述所指的動量 (Hughes, 1999a [1987]: 73-76)。

最後，誠如前述，動量是大型科技系統建構最後一定出現的階段，除了此時系統必須歷經若干戰線缺口挑戰外，一個重要的特徵即是系統的眾多行動者，（如發明者、製造業者、專業經理人、銀行投資者、政治人物、行政管制者、公民營研究機構、專業科學及科技學會、其他產業業者等），除有外在可見的專業及層級節制的分工，也分別各有內在隱含的脈絡結構性之外，更重要的是他們均能從系統當中獲益，且是系統越成長則越多。這樣的現象，明顯地說明了科技並不是應用科學 (applied science)(Hughes, 1999a [1987]: 55, 69, 77)，反更像是政治經濟學等社會科學。同時，這也透露科技系統的組織較一般官僚組織更為龐大及穩定（甚或僵固）(Hughes, 1994: 113)。

此外，可觀察到的是現代大型科技系統通常也暗示資本密集

特質，因為資本分配及累積等多是不同行動者所共同追求，且資本密集不同於勞力密集之處主要在於資本的連鎖效果強，當勞力可解雇時，資本卻顯較難，因為它緊密連動了其他行動者及系統的技術設備 (Hughes, 1999a [1987]: 76-80)。再者，動量與自動 (autonomy) 的概念有所不同，因為動量的意義含攝了發明、發展、移轉、風格、創新及成長等的社會建構特質，也就是這樣動量的起源與增長並非類似科技決定論的看法，科技並不會自動地決定社會變化，且科技動量蘊含還是可逆轉的可能性，而不同於自動隱含的不可逆概念 (Hughes, 1994: 113)。另一方面，動量的概念仍強調大型科技系統發展成熟時具有強的能動性及持續性，此與社會建構論多以強調新科技「早期發展」階段時出現不同社會團體型塑新科技物的現象有所差異，所以 Hughes (1986: 287-290) 以網絡來概念化大型科技系統的社會建構特質。Hughes (1994) 認為科技動量的概念介於科技決定論及社會建構論的中間，除得克服這兩者的缺點外，更有效地解釋大型科技系統的建構。

三、大型科技系統的轉型

若干其他的研究則將 Hughes 的階段重整或重新認識後再予概念化，對 Hughes 的科技動量之概念作進一步研究，特別是挑戰他的系統穩定觀，進而指出動量是可逆的，並探索系統在什麼情形下將會動盪。例如，Geels (2007) 在研究大型科技系統的轉型 (transformation) 時，爭論科技發展應採多層次途徑 (multilevel approaches) 認識，亦即可區分原創利基出現 (niche)、治理制度形成 (regime) 及外生環境刺激 (landscape) 等三層次，而大型科技系統的轉變特別與治理制度形成相關。其中，有關治理制度形成的

內涵，Geels 沿用 Van de Poel (2003) 的主張，側重大型科技系統的社會功能及指導性的規則 (rules)，也就是治理制度不僅限科技物的技術性規則，而更在於掌握社會功能及社會價值或原則的合法性。

我們可以發現本文前言所提全球各種大型科技系統，多在 Gökalp (1992) 當時定義或更早在 Hughes (1983, 1971) 主要個案研究（如電力系統）的年代存續迄今。同時，也值得注意者則是系統種類範疇的內容及個數雖都有成長，但種類本身仍不多。[11] 例如，基礎交通設施的內容新增有高鐵、電力系統新增多種再生能源途徑等，但大型科技系統的種類仍侷限在基礎建設、軍事設備或產業設施等。近年較顯著的種類項目增加，可能有科學知識探索設施等，惟基本上並不多。不過，在前述轉變概念的延伸下，更值得注意者，則是許多早先存在的大型科技系統，其目的已隨時代變遷而出現相當程度改變。例如，民間通信系統在當前全球趨勢下，已發展至以數位匯流為主要目的，除通話服務外，更有提供多媒體及金融服務的功能，甚至融合或侵入其他系統的目的。像是這樣的大型科技系統隨時代脈絡更迭的轉變，未來應是發展 Hughes 相關理論的課題之一。

[11] 審查人提出「大型科技系統現在似乎並不是全球少見，反而是幾乎無所不在的」之意見，本文認同 Gökalp (1992) 見解，定義大型科技系統同時在組織規模及影響範圍都相當巨大，因此少見。這種系統的種類雖不是很少，但也不多，許多國家內通常僅有少種類及少個數的系統運作。例如，本文前言所指的基礎設施系統、特定產業及軍事設施等。不過，因為它們的影響層面巨大，誠如審查人所指般而感到無所不在。因此，「無所不在」與「全球少見」並不會矛盾。

肆、大型科技系統的文化脈絡與其對社會變遷的型塑作用

Hughes 除了強調政經制度及社會環境對大型科技系統的影響，而可將之認識為所謂社會建構物之外，他的理論也關切大型科技系統與文化歷史脈絡的互動，而長時間地形成彼此相互演化的關鍵因素。Hughes 在前述大型科技系統建構過程中的科技風格階段涉及了這點，但限縮在新科技發展至相當程度後，再適應環境而造成改變的作用，卻未指科技風格可能在更早的階段如發明或創新時即具影響力。此外，有關已建構的大型科技系統與社會間之互動，Hughes 的研究在科技風格方面也未多加著墨。不過，Hughes 的這兩個觀點卻進一步啟發新學術研究途徑，特別在科技史方面。其中相當著名者即 Hecht (2009) 透過對法國核能科技系統發展的個案研究，解釋國家的文化思想及政治運作如何與大型科技系統相互影響，除有機會早自 Hughes 所提的創新階段可見，並還提出科技政治 (technopolitics) 概念，意指科技系統建構後得轉化成一種新政治型態，使科技家 (technologists) 有機會取代傳統政治人物而成為實質的政治行動者（以下第二小節詳述）。她曾提及深受 Hughes 的大型科技系統理論所啟發 (Hecht, 2009: 8-9)。基本上，Hecht 指出法國核反應爐設計不僅只是單一的科技物及科技知識，還可連結到國家傳統的政治思想及文化脈絡，且更深刻來說，由科技性 (the technical) 來解釋社會性 (the social) 的能力，其實已經可與從社會解釋科技的研究成果相提並論 (Hecht, 2009: 9)。

一、建構大型科技系統過程中的文化歷史脈絡參與

若較深入檢視 Hecht (2009) 的研究，張國暉（2013：110-111）評述 Hecht 如何追溯法國核能科技系統的建構脈絡，而建議東亞科技發展史應可由此獲得啟發。她指出二戰後的法國亟欲進行戰後重建，恢復以往強盛國力，因此法國領導菁英們重新思考國家在經濟發展上的角色，並特別希望透過工業、科技及科學發展的政策達成此一目標。不過戰後法國科技家已更進一步透過參與中央政府的政治，積極加入如何重現路易十四或拿破崙治下偉大法國 (French greatness) 時代的討論。不同以往，戰後法國科技家不甘只為政治人物服務，更質疑傳統政治人物的貪腐、不實及無效率，所以他們除重新檢視自己的政治角色之外，更主張他們的專業追求才是真正地具備法蘭西本質 (essentially French)，而政治及科技之間的界線則應被抹去，由科技家直接主導政治及經濟。簡言之，科技家的自我政治認同即是建築在批判傳統政治人物的基礎上 (Hecht, 2001: 259-260)。Hecht 進一步分析，如果說政治人物會建構出一個意識型態的法國，科技家的政治願景則是一個科技發達的法國。未來的法國應是透過其尖端的科技，在二戰後取得地緣政治上的影響力。不過，尖端的科技也不能是盲從的，不能普通地追求一般先進國家所追求的科技，而必須是有特色的，否則失去其作為一種文化表現的假設。「從今而後，法國之所以能存在於世界的理由，即是在於法國人能用法國的科技及科學，對人類文明的進展蝕刻下難以抹滅的巨大貢獻印記」(Hecht, 2001: 260)。是以，科技物不再僅是科技物，而是再現政治及文化特質的人為象徵。法國國家認同因此有不同的詮釋，而這詮釋的策略即是科技家的政治性作為，因為如要界定何謂法蘭西認同，就必須透過獨特的法蘭西科學及科技 (Hecht, 2001: 261-262)。

雖然 Hecht (2009) 沒有形式地採用 Hughes 研究中有關大型科技系統如何建構的各概念及過程，但實質上可發現她的研究顯露科技風格的作用可能會橫跨好幾個科技發展階段。例如，基於前述法國戰後脈絡，其中一個核能科技系統的發展者「法國原子能委員會 (Commissariat à l'Énergie Atomique, CEA)」在其開發核反應爐前，慮及法國究應採天然鈾 (natural uranium) 或濃縮鈾 (enriched uranium) 為核燃料。CEA 後來選擇直接用天然鈾做為核反應爐燃料，理由有二：第一，法國及其非洲殖民地即富有天然鈾礦，況且自建新的濃縮鈾礦工廠來提煉天然鈾的成本著實太高，而若從美國購買濃縮鈾又使法國必須仰賴美國的供應；第二，若使用天然鈾進行核分裂，過程中將會產生可充作原子彈原料的鈽 (plutonium)，這正是 CEA 主事者所意圖在發展核電之餘創造的彈性。CEA 希望所設計的反應爐能一方面替法國獲得生產能源的自主權，另一方面又預留未來法國自行製造原子彈的可能。由是，CEA 在 1953 年決定自行設計氣冷石墨反應爐 (gas-graphite reactor)（張國暉，2013：112-113）。

相對於 CEA，作為另一個科技政體的法國國家電力公司 (Électricité de France, EDF) 也自行設計了另外一種核反應爐，其設計目的純粹是為了發電需求。不過，EDF 畢竟只是電力公司，較缺乏 CEA 的專業能力，因此前者反應爐也運用著後者的若干基本設計，例如，EDF 也採天然鈾原料及氣冷石墨反應爐。但是，EDF 的許多關鍵設計都與 CEA 不同。首先，EDF 的熱能交換機制即與反應爐同在一個建築體當中（CEA 是分開的），以便快速有效地擷取核分裂所產生的熱能。其次，燃料棒組的送取設計也沒有 CEA 的複雜，顯示 EDF 希望每一個燃料棒組都能夠被竭盡地使用，所以新燃料棒組只會在舊燃料棒組使用完畢，以及核反應爐

停止運作之後，才會被送進爐中再啟動反應，以便榨取最多的熱能。基本上，EDF 的反應爐設計反映了其政治價值，期待為法國經濟提供最多的能源，藉此促進最大可能的經濟成長。而 EDF 之所以會有經濟成長的政治價值，其主要原因之一即是後來的 EDF 領導階層逐漸由經濟學家取代工程師 (Hecht, 2009 [1998]: 78-90, 2001: 272-286)（張國暉，2013：114）。

以上 Hecht (2009) 有關核能科技系統建構過程的研究，呈現出法國歷史脈絡對科技創新及發展上的影響，並不只是科技系統適應環境的科技風格，而更是背景脈絡經轉化而深入地變成科技系統的設計原則。在此有一點值得注意的是，有關歷史及文化脈絡對於科技發展造成影響的研究，並不起於或限於 Hughes 或 Hecht。例如，新興的工程文化研究 (engineering culture studies) 指出工程知識及工程師的專業認同，廣泛地聯繫著國家的歷史及文化系絡，也就是不同的國家會有不同的工程認同，不論是知識性或身分性的認同，所以當工程師檢視他們的專業認同時，也是一種對他們歷史及文化系絡的檢視，還有一種對他們國家認同再現 (Downey and Lucena, 2004)。因此，舉例來說，當法國工程師自 18 世紀以來發展出以偏好數學知識及實驗操作做為建立工程知識核心時，美國工程師則較強調如何利用廣袤自然環境資源而做出多數人可及的實用設計，而這些專業偏好其實主要分別反應法國啟蒙文化及美國共和政治的脈絡 (ibid.; Picon, 2009; 張國暉，2011b：162-169)。除了以上工程文化研究從工程知識及工程師專業身份認同角度出發而追溯其歷史及文化脈絡之外，亦有從政治及地域脈絡角度找尋其與科技發展之間的互動聯繫，像是後殖民科技研究 (Fu, 2007; Anderson, 2002)，還有前言所提及的科技風險文化研究 (Batteau, 2010; Tai, 2013; Hänninen and Laurila, 2008) 等。不過，若以大型

科技系統作為主要切入點，則仍以 Hughes 為關鍵及像是 Hecht 的研究為累積，而這方面的研究成果就目前來看，仍以歐美為主流，但未來應有機會與工程文化及後殖民科技研究等領域交流，甚至是支援，以發展更廣的應用及更深的比較分析。

二、已建構的大型科技系統對社會的型塑

除了前述歷史文化脈絡具有型塑科技系統之作用外，Hecht (2009) 另一方面也透過這個法國核能科技系統的案例，發現科技系統及科技家如何反身地積極型塑政治，此即前述科技政治的概念。簡單來說，科技政治是「透過科技的權力展現即是科技政治」(Hecht and Allen, 2001: 14)。科技政治所指稱的政治，既不是政治的另一種名稱，也不侷限於一般政治運作；而是特指政治目標的達成，必須實質性地仰賴這些物質性及人造性的產物。科技的設計不只要達成物質上的有效性，更重要的是這些有效性會高度左右現實政治目標的有效性。這意味著科技會發出特定的政治訊息，而科技專家則藉此同時形塑兼具科技性及政治性的權威。這些專家並不像是一般所認知的政治行動者，如政黨成員或社會運動人士等。常恰好相反的是，他們常利用「科技或科學中立特性」的說詞，主張他們的身份及行動是非政治性的。然而，他們基於專業知識參加、組織、甚至是監督等那些看似極為專業的工作，卻政治性地替他們自己或政治人物創造或侷限了特定的現實政治目標 (*ibid*.: 15-16; 張國暉，2013：108-109)。

除了 Hecht 受 Hughes 有關「已建構科技對社會的影響」的啟發，而發展科技政治的概念之外，其實有關這方面的議題也如前所述的列入社會建構論及 ANT 發展的一個重要議題。例如，Latour

及 Callon 即曾強調科技的使用者及消費者是如何地再定義社會關係，像是他們的同事 Madeleine Akrich 發現，工程師在設計一些社會方案的程式或系統時，使用該程式者可透過工程師的系統語言界定何謂公民 (Hecht, 2009: 351)。Pfaffenberger (1990) 更提出科技戲劇 (technological drama) 的概念，描述科技製造者與消費者之間反覆的回歸對話 (recursive dialogue)。這樣戲劇對話的意義，在於科技的形成過程中，同時也會伴隨地創造出一種社會脈絡，進而產生出具科技意涵的社會迷思或儀式，並再回過來合法化及強化由科技所建構出來的政治目的及活動等（張國暉，2016：166）。

然若再深入針對 Hughes 的研究進行比較，在「已建構（大型）科技（系統）對社會之影響」方面，社會建構論及 ANT 還有更接近大型科技系統理論的概念發展。首先，Bijker (1999) 在 SCOT 受嚴厲批評之後，曾再提出科技框架 (technological frame) 的概念，指出有些科技會發展至具有模範性 (exemplary)，接著它們會再進一步地影響其他科技系統的科技與社會建構。與此呼應者，還有許多社會建構論的重要研究強調許多新科技的發展其實往往根基在現行科技的基礎上，而提出所謂（舊）科技塑造（新）科技 (technology shapes technology) 的概念 (MacKenzie and Wajcman, 1999: 7-11)。其次，ANT 學者 Law (1999 [1987]) 曾指出科技系統建構者的任務在於整合科技與社會條件，並也常需解構其他候選系統，由此進一步主張「社會性」不能全然地解釋科技發展，其他「非社會性」的工程知識或科技物本身，其實也應是關鍵要素（張國暉，2013）。例如，Latour (1988) 提及一個 19 世紀巴黎打造地鐵系統的爭議。由於當時巴黎市政府為社會主義者掌握，它擔心當時幾個鐵道公司在未來右派贏得市長選舉，而掌控市內地鐵網絡興建及營運，市政府遂將地鐵隧道大小設計成這些鐵道公司既有

車輛都過不去。「市政府將其聯盟對象從法律及選舉，改為石頭、土壤及水泥」(*ibid*.: 36)。Latour (1988) 及 Law (1999 [1987]: 114) 更由此延伸提出執拗 (obduracy) 的概念，指出無論是社會性或非社會性的因素，都同等地會對科技物或系統的發展形成難以回復、型塑限制及造成衝突。基本上，這些概念均內含科技發明有其脈絡承襲之觀點，並強調科技系統具有型塑社會的發動能力，似頗與前述 Hughes 的科技動量呼應。不過，彼此間仍有相當差異。

Hughes 及 Law 的觀點看似均貼近 Bijker (1999, 1995) 的科技架構概念，基本上強調透過這樣的分析，某一科技（物、系統、知識）型塑社會或後來另一科技（物、系統、知識）都是一種科技社會性作用。這作用不只在科技軟硬體的延續，更重要的是社會關係的新建構或重構，例如在身份認同方式、法令調整、制度改變、行為影響、組織再造等方面。所有的關係應當同時是社會性及科技性的。然而，值得注意的是，Law (1999 [1987]) 特別強調應對稱化科技物的能動性，亦即 ANT 更點出科技物或系統的知識及實作的作用，可擔任非人行動者，進而發動一連串聯盟或組合式的網絡作用。雖然 Hughes (1999a [1987]) 指出他的 technological 除了包含社會外，還有原 technical 所指的科技系統硬體及軟體，但他所指的軟體並不若 ANT 深刻至本體論的批判，且對所謂網絡概念定義有異，而未提出科技物與行動者對稱的層面。

若比較大型科技系統理論及 ANT 在「已建構（大型）科技（系統）對社會的影響」的重疊層面，當前者蘊含且啟發了大型科技系統與社會間互動關係可藉文化及歷史脈絡的長期觀察的知識，後者對於科技本身（知識及實作）的能動性觀點極具啟發，各有擅長及貢獻。當然，兩者如前述更共享了社會建構論一直以來從 SCOT 到科技框架所生產的資源，兩者並也一同創造及發展新概

念，影響至其他領域。例如，Hommels (2005, 2008) 挖掘都市計畫發展過程中科技執拗的現象，同時引用 Hughes 及 ANT 為理論依據，指出大型科技系統如何限制發展可能性。科技系統從建構到開始發揮功能後，也推升自身成為構成社會、都市及國家組成及運作的常數。

伍、以大型科技系統角度探索移入台灣之系統的幾個構想

以上 Hughes 的理論及其他學者的延伸概念及研究，經過比較分析後仍可見其獨特處，基本上應有價值作為研究台灣大型科技系統的一個基礎架構，藉以探索現代台灣社會、都市、國家、全球化及在地打造大型科技系統等如何可能，並嘗試研究這些可能的內涵及過程。其實，目前已有應用相關概念（如科技動量）探索台灣綠色革命科技的精彩研究 (Lo and Chen, 2011)，不過應仍有發展空間，特別是鎖定前言所列各種大型科技系統類型。除得加以應用挖掘相關現象外，更需建構相關概念與現存理論對話及比較。畢竟誠如前述，目前藉由大型科技系統理論之研究目前多集中在歐美國家，其與其他國家相似系統之經驗以進行相關概念的對話及比較應有學術空間。然而，本文還企圖想指出：雖將現有大型科技系統理論應用至非歐美國家（如台灣）具有學術必要性價值，但若有以下若干構想或能填補部分該理論欠缺非歐美國家經驗的充分性。

一、移入的大型科技系統

首先，若綜觀前言所提當代各種同時具全球影響力及全球結構性的大型科技系統類型，欲探索台灣這些類型的大型科技系統之建構，應從 Hughes 所談的移轉階段開始。這主要是因為台灣這些類型的大型科技系統之發明、發展及創新多欠缺本土科技及社會脈絡的醞釀。對此，吳泉源 (2002) 曾對台灣的科技研究議題有類似主張，他指出依台灣特殊的國家發展脈絡觀察，不應像西方一樣以科技創新或科技生產／消費關係為核心，而更應以科技移轉、大型科技系統或是基礎設施科技 (infrastructural technology) 等議題作為研究的重心。不過，若再回顧檢視前述 Hughes 的看法，仍有若干較細緻的啟發。例如，Hughes 所提的階段「不連續」及「同時性」的概念值得注意，亦即雖然有些階段（如創新）看似在移轉之前發生，但也可能會出現在移轉之後，甚或與移轉同時進行。Chang (2015) 及張國暉（2011b）的高鐵系統研究發現雖然對本土工程師來說，移入大型科技系統的基本原則最好是整體輸出以確保系統整合及安全，但他們仍做出若干工程設計項目改變（姑不論效果及正當性），更做出一些創新設計解決若干工程問題。

其次，Hughes 所提的科技移轉、風格、成長等階段主要涉及大型科技系統如何因應時空環境，使其技術性更進一步與社會性相互型塑，致系統的社會建構 (socially constructed) 特質更為顯著，比起 Bijker (1999) 特別強調在創造階段還較深遠，而動量也因此逐漸增強。但若依他的大型科技系統理論來看，相對於歐美（可能包含日本）[12] 大型科技系統的社會建構特質，非歐美國家的社會

[12] 有關日本大型科技系統的社會研究仍有待挖掘，但基於日本系統有其本土性發明、發展及創新的獨特性特質，本研究推測其與歐美的發展較接近。

建構應需以社會構成性 (socially constituted) 加以認識及分析。亦即，相當程度來說，非歐美國家如台灣的當代大型科技系統多移轉自國外，其在發明、發展及創新等階段並不與在地社會共同建構，但在地的科技風格等，可能更適合以社會構成共造 (social and constitutive co-production) 的觀點檢視社會與被移轉之大型科技系統間的互動。

此處有關社會構成共造的概念，延伸自 Jasanoff (2004: 22-28) 的啟發。她以此來指稱從 STS 所進一步開展出來的科學及科技知識的政治社會學研究，使傳統政治學與之共造後出現新火花 / 觀點。若干 STS 學者如 Latour (1987)、Pickering (1995) 及 Kitcher (2001) 等，也都是對當代科學、技術與政治之間的複雜遭遇，提出權力流動及價值分享的政治社會學分析（張國暉，2012）。因此，正如傳統政治社會學早已是學術領域之一，大型科技系統亦是在輸入前已發明、發展及創新等，而輸入國的本土脈絡如同原有學術領域般，在面對新興科學知識社會學領域發展時，提供原有領域（或系統）新的刺激及環境，進而有新的發展。

社會構成共造對研究移入台灣的大型科技系統有兩點啟發。首先，國家研究應將大型科技系統的打造列為一個變項。自二戰後以來，無論將國家做為自變項或應變項或中介變項的研究（黃崇憲，2008），都未將大型科技系統的移入及打造列做國家研究的變項，這應有學術空間。參照黃崇憲的框架，應有幾個受忽略但值得注意的議題：一、系統打造與政權鞏固的關係；二、經濟發展過程中是否值有系統打造的腳色，若有，系統腳色有何內涵；三、當國家轉型時，專業團體如官方或民間工程師如何面對轉型，他們又因此在自身專業領域上有何轉變；四、相較其他地方，台灣的國家如何打造系統及其特質。以上幾點，涉及了威權體制研

究、發展型國家理論、專業社會學、國家研究等傳統政治學及社會學領域，而藉社會構成共造觀察，則科學與科技（如大型科技系統）對這些學術領域的新刺激，應可能會擦出火花。以上這幾個議題在下小節更多說明。

其次，回到以大型科技系統為核心，相對於社會建構來說，社會構成應會帶給大型科技系統較多不確定或未知的共造及其對社會的影響。這主要是因為從 Hughes 的理論上來看社會建構所指涉的系統與社會間之互動較具同時性，且更能長遠地溯自發明、發展及創新的階段。例如，移入大型科技系統的台灣，在預期系統帶來的功能及服務之外，並未參與先前的過程，使得社會建構的共造欠缺移入國社會脈絡，又台灣即便在工程顧問的協助下，仍可能會欠缺對自身需求與系統功能之間的配合性的足夠了解（張國暉，2016）。[13] 再者，在未移入科技系統前，在地工程師所累積實務經驗及歷來政策制度的運作，在台灣特別像是因現實資源框限或過去慣習等在地社會構成特質，常會對科技系統的設計、規

[13] 以台灣政府打造大型科技系統計畫為例，一般來說政府計畫依階段多具有可行性報告、發展計畫、（綜合）規劃報告、環境影響報告、總工程報告書等，並多委託工程顧問公司辦理。首先，可行性報告之目的在提供政府決策是否要興建的參考，內如諸如目的能否達成（如興建某一捷運線能否解決交通壅塞及解決多少等問題）、預算規模評估、政府能否負擔及如何負擔的評估、科技需求等等。若政府內部對此項新建計畫並無足夠且充分幕僚人員（如工程師及財務精算師等），多委託工程顧問公司辦理。若可行性報告經主管機關（如交通部或台北市政府）評估同意，並再加入相關政策考量而製成發展計畫後，即送請核定機關（如行政院）核定，若經同意核定即表示政府決定要進行該計畫。其次，（綜合）規劃報告及環境影響報告等的內容，則主要是指政府將如何實現該建設計畫，因此將包含較為細部的規劃，以捷運為例即包含車站位置、具體路線、施工時週邊環境影響及維護、預算編制年限及年度規模、其他機關配合事項等。至於決定興建後，承辦機關也多會委託顧問公司或自辦製作相關細部工程設計需求報告 (engineering specifications) 等，要求營造廠商依從，而承辦機關另也會製作相關營造監督報告供民意問度機關或外界參考。最後工程結束後，通常承辦機關也多會委託顧問公司或自辦總工程報告書，仔細說明工程的過程、評估、檢討及未來參考方向等。

劃或營造上衍生特定觀點及實作方式。例如，不論個人、組織或制度，戰後常見較願（或受迫或兩者兼具）嘗試多科技子系統整合，像軌道運輸系統（張國暉，2016，2011b； Chang, 2015）。抑且，更還值得注意者，則是台灣雖沒有獨立發明或發展科技系統而常見子系統混合現象時，還逐漸另有發展方向，而成為精於選擇系統移入的專業業主，擁有一種具在地社會構成特質的系統打造實作方式。當然，這種發展脈絡複雜、優缺點各具，在此難論，且可用不同理論觀察之（除本文主旨大型科技系統理論外，前文 ANT 亦可能作為一種途徑）。總之觀察其發展脈絡，這些已成為台灣常見的情形，不論是交由在地民間興建（如高鐵）或政府主辦（如台北捷運）。

第三，Hughes 在大型科技系統的發明階段特別強調工程師扮演關鍵角色，但隨著系統發展則逐漸降低重要性。不過，這樣的觀察在歐美國家之外應有不同現象值得注意。例如，輸入及輸出國的工程師或科學家應都在移轉階段時扮演重要角色，其中輸入國雖未必擁有足夠專業知識及直接實作經驗，但以若干台灣經驗為例 (Chang, 2015; 張國暉，2011b)，他們可能須密集進行吸收、轉化或整合等工作，而輸出國則需在地協力才有可能建構大型科技系統。因此，工程師或科學家的角色內涵及互動關係應不同於 Hughes 所觀察到的特質，且其重要性也可能不一定在系統發展後期淡出，因為他們通常是少數的積極行動者，需持續地擔任中介角色。若再以此延伸，也可能觸及在地專業團體的可能相當不同的專業認同及知識累積等議題，而使系統移轉及後續發展出現不同面貌。當然，這些只是其中一些可能性，本文想指出的是非歐美國家大型科技系統的工程師應具若干不同於歐美工程師的一般特殊性值得探索，而將研究關注鎖定在行動者本身，亦是回應如

前述 Law (1999) 等 ANT 的研究，使相較 Hughes 的理論來說，或許 ANT（特別如林文源（2014）的弱勢行動者概念）也會是研究非歐美國家大型科技系統的重要途徑。[14]

第四，Hughes 提出了科技動量係大型科技系統成熟後達發展終點時的核心特質，但誠如前述 Geels (2007) 及 Van de Poel (2003) 評論 Hughes 並未對大型科技系統本身的轉變多所著墨，相當程度地挑戰他的終結觀及穩定觀。更早之前，Hård (1993) 也曾主張以衝突途徑研究科技，進而挑戰 Hughes（還有 SCOT）的系統論。基本上，Hughes 的大型科技系統雖受這些質疑，但也激發許多突破性的研究與之對話，特別是在探討已建構大型科技系統如何轉型，及其又會如何反身地對社會造成影響及哪些影響等議題上，這些議題除如 Geels 及 Van de Poel 的研究外，還包括前述由「科技性」解釋「社會性」的取徑 (Hecht, 2009)，或是都市研究上有關科技執拗的相關概念 (Latour, 1988; Law, 1999 [1987]; Hommels, 2005, 2008)。此外，若干 ANT 學者主要受科學知識社會學影響及啟發，並與 Hughes 的研究相互支援，但也有以上相似概念呼應，例如前述的異質工程 (Law, 1999) 及社會科技框架 (Bijker, 1999, 1995) 等。基本上，有關大型科技系統取得科技動量而轉身變成一種軟性科技決定論後，再反身對社會進行型塑的研究相當多樣，有些可援引 Hughes（無論是由其延伸或對之挑戰），但有些自有不同路徑探索相似現象。

[14] 林文源（2014）的弱勢行動者概念係從台灣透析病患案例研究中得出，指出病患們雖弱勢但卻具有相當的能動性，例如具備協助、補充、轉化、對抗及創新等能力，使透析醫療問題得在醫療體制下被重新問題化、配置及再穩定等，進而發展出位移理論解釋之。雖然與林文源的研究相較，行動者的身份顯然不同，但台灣大型科技系統的工程師亦仍可藉由弱勢行動者概念出發，利用前述概念以理解工程師們的視野、代言及再現等工作，使看似看不見的本土工程師，仍具有相當決定性的行動力，進行型塑移入台灣之大型科技系統。

二、大型科技系統與國家的互動

前述這些研究概念均應值得借鏡參考以研究台灣在地議題，但卻有紛雜之虞。或許，我們可先換研究視角，改從考量本土脈絡觀察起，再由 Hughes 的理論出發檢視在地的科技風格特質，而找尋究竟哪些概念及途徑在研究台灣大型科技系統時更為適切。前述吳泉源（2002）在建議台灣科技研究的重心可放在哪些議題時，他主張的出發點係基於台灣特殊的「國家」發展脈絡之考量。再者，有關台灣的科技研究認識上，張國暉（2011a）在評述 SCOT 在東亞及台灣社會脈絡下對科技研究議題的啟發時，也建議「國家」也應被作一種相關社會團體，透過探索其與其他國家對某個科技的共識及衝突，還有理解其本身內在的社會結構性特色，也會是一種適當的 SCOT 取徑，特別是在指涉國際科技移轉的脈絡當中。此外，許多在地 STS 研究，雖非以大型科技系統或科技物為主要研究標的，但也不約而同指出國家的重要性及關鍵性。大致來說，這些建議及研究並不例外於許多重要的台灣社會學議題研究途徑及發現，諸如產業及經濟發展、語言及教育、社會福利、公共衛生、勞健保及災難治理等，台灣科技研究的議題中所謂的國家也常扮演了主要、甚至是支配角色，這應是一個基本研究視角。

然而，在科技研究議題上，特別是有關大型科技系統的研究，國家究竟曾扮演什麼角色？ Hughes (1983, 1999b) 的研究曾提出了許多公部門管制、教育、研發、投資、與民間協力等的觀察，多以指向政府為主，少見以國家為名。這也反應了 Hughes 同 ANT 均認為政經制度及社會環境對科技發展的影響力，即便 Hughes 也隱

含了文化及歷史脈絡的因素，但未太多著墨，而由其他科技史學者如Hecht (2009)開拓。當然，政府與國家有相當重疊的指涉範疇，但應仍有相當差異。就此，MacKenzie and Wajcman (1999: 13-16) 在評論科技與社會的互動研究時，指出除了傳統的經濟關係之外，他們也提及國家 (state) 也是一個與科技互動的重要社會制度。例如，國家的許多軍事職能需求常有衍生及型塑特定科技系統的普為人知例子，如核能電廠（武器）、航空運輸及電子網路資訊等系統。此外，他們也提到另一個有趣的文化因素例子：當 18 世紀英國正努力發展如何降低勞力使用的機器設備時，法國重商主義者卻認為越是勞力密集的工作越該採行，因為讓眾多工人留在城裡並將產品外銷出去才是所謂製造的真諦。因此，除了國家「政府職能」（特殊者如軍事，一般者如前言各種大型科技系統的功能）具有型塑大型科技系統的可能性之外，其歷史、社會、文化、甚至是意識型態的「在地脈絡」也發揮作用。前述 Hecht (2009) 研究法國核能科技與國家認同間之相互型塑關係，即是一個實例指出國家與科技系統彼此互動的經典案例。

就此，在反覆觀照Hughes大型科技系統理論的科技風格內涵、Hecht 的科技政治概念及 STS 的國家角色可能性後，台灣脈絡下的大型科技系統研究應可特別關注國家的「政府職能」及「在地脈絡」兩方面，並由此探索國家與科技系統之間的種種互動。亦即，國家同時含攝 nation 及 state 之意，前者主要意指國族，論及歷史與文化脈絡，而後者主指政治機制，如政府（含立法及司法部門）、行政官僚及政策等，但以行政體制為主。[15] 為求分析方便，這些互

[15] 例如本文第五章第一節的第二點，特別如腳註 13 所提，還有同節第三點所提的工程師，都以指涉行政部門為主。不過，還是必須視個案脈絡，才能一一指出行政、立法、司法等部門的作用。

動的可研究議題或可分為政府治理、國家脈絡特質（政府職能除外）、大型科技系統等三範疇的關係，而得較為清楚及系統性的呈現台灣大型科技系統的研究議題，如下所述各點。其中，政府治理主要涉及政策性的規劃、執行及評估等，國家脈絡特質則是有關文化及歷史的在地特殊性質，例如前述 Hecht (2009) 所談的國族認同及 MacKenzie and Wajcman (1999) 所指的文化或意識型態。

（一）政府如何治理大型科技系統的移轉及其後續，包括財務預算規劃、專業團體投入、過去打造經驗、各種營運模式（像是 BOT）[16]、風險治理等議題。部分這些議題已有相關研究，如 Chang (2015) 及張國暉（2011b, 2015) 探索台灣交通技術官僚的高鐵系統設計政策變遷如何從專業依賴、引進競爭、企圖自主及政府施予治理政策的過程，但未來仍有相當空間。

（二）政府職能之外的國家特質如何影響大型科技系統，如在地文化、社會或產業等既存結構剛性。這些研究像是 Tai (2013) 探索工程實作的本土軍事文化脈絡衍生出對飛機維修工作的便宜行事，造成華航澎湖空難；或是互助營造（2012）研究本土營造產業特性，其中有些特性（如戰後形成「公營主導、私營附從」的營造業生態）在打造大型科技系統經驗中，造成技術升級遲緩的影響。

（三）國家的政權特質。這項特質亦屬前項的既存結構之一，且與政府治理體制緊密聯繫，但可能涉入及影響較廣及深，如第四節 Hecht (2009) 的研究，因此獨立說明。基本上，大

[16] 意指從交由民間「興建」到民間「營運」再到「移轉」政府 (build-operate-transfer, BOT) 的建構模式，此外亦有 OT 或 BT 的模式。目前台灣採 BOT 方式打造大型科技系統的案例如台灣高鐵。

型科技系統的功能雖多以經濟性為基礎，但亦因此產生政治合法性的作用，有時這些作用對台灣大型科技系統的打造可能更具決定性。例如，在威權時期得藉啟動大型科技系統的打造以鞏固既有政權，無論是透過資源分配或政治宣傳的手段（張國暉，2011b）；民主轉型時可配合政治策略型塑或重構政治認同 (Chang, 2015)；民主化後，因大型科技系統的規模影響力，更有利在國家的社會及經濟部門當中，成為政權分別汲取選票及資源而藉以作為爭取 / 維持執政權的有效工具。因重疊性高，大型科技系統的經濟性及政治合法性功能難劃分，故國家的政權特質應常與前兩項的政府治理及其他國家特質相互交纏，但誠如前述諸多台灣社會議題，政權特質通常居核心地位而較具顯著影響作用。

（四）大型科技系統如何影響政府治理體制而帶來的變遷，例如它們得重塑或牽引農產業發展 (Lo and Chen, 2011)，或是改變既有預算體制以因應長年期龐大預算支出（像是特別預算制度在過去 30 年常是大型科技系統如捷運的「經常」預算制度）。

（五）大型科技系統如何影響政府職能之外的國家特質。這樣的研究議題諸如新社會秩序及文化的興起或重塑，有關這方面的研究像是李安如（2009）、董建宏（2007）及王志弘（2002）指出捷運塑造出新都市及科技文化等。

基本上，Hughes 大型科技系統理論的「科技風格」及 Hecht 的「科技政治」應可做為研究台灣大型科技系統的關鍵啟發概念，而台灣的國家特質則是佔有相對重要的要素，甚至應作為主要的科技與社會之互動場域。然而，以上這些層面似難周全，例如市

場制度在 1990 年代之後應已浮現為重要因素，不過在朝向直接套用 Hughes 的理論架構前，以目前台灣的科技研究來說，相對於其他社會制度，國家應仍擔任最主要角色或發生場域，無論是在打造大型科技系統上，或是大型科技系統成熟後對在地社會制度影響、型塑或衝擊上。此外，以上層面雖有些已有在地研究，但可能較為間接或鎖定在特定科技系統上，似乎有機會建構以國家為核心的一般性大型科技系統概念、甚至是理論，而與 Hughes 及其相關研究進行對話。

陸、結論

目前有關大型科技系統的研究相當具有跨領域特質，不同專業各有不同角度切入而各可獲得獨到的觀察，但若僅採單一專業或研究角度來對大型科技系統的認識及分析卻嫌侷限。Hughes 的研究強調建構科技系統時與社會的長期緊密互動歷程，由發明以迄科技動量形成軟性科技決定論，發展了以大型科技系統本身為主軸的一般性研究理論，可結合其他專業及研究視角，而理解及探索大型科技系統不同特定面向之間的關係。雖然 Hughes 僅隱約提及成熟大型科技系統會與歷史及文化脈絡彼此共同型塑，但 Hecht 的研究已進一步深化而可做借鏡。依此連同 SCOT 及 ANT 傳統，進一步地啟發由「科技性」探索「社會性」的研究途徑，特別是在本土脈絡與科技系統如何互動，以及它們又互動出什麼新現象的層次上。基本上，Hughes 的研究具有一般性及啟發性，應可為研究台灣大型科技系統提供理論綱本之一，並依此更深入做出一些貢獻在探索台灣社會、都市、國家或全球化如何可能，還有這些可能的內涵為何等重要問題上。

不過，Hughes 及其延伸的相關研究目前卻多以歐美大型科技系統為主，我們應有必要投注較多心力在檢視及挖掘台灣科技研究的在地脈絡內涵。Hughes 及應用大型科技系統理論之相關研究對所謂在地脈絡的概念及方向其實已有著墨，但尚缺更進一步的內容充實，而這方面即有待本土研究的投入。基本上，台灣的科技研究議題與其他社政經議題的研究共享同一在地脈絡，若干關鍵行動者、互動關係及社會制度等在不同議題上多會發揮或觸發核心作用。其中關鍵者應為國家，特別是政權及其轉型更迭的脈絡特質，對於大型科技系統的建構及其建構後與之互動的種種現象，應可為探索台灣大型科技系統的重點。此外，若干特定政府治理及文化脈絡的在地特質，會如何對大型科技系統與台灣本土社會互動的產生作用之相關研究，亦應獲得關注。

最後，雖然 Hughes 的研究具有一般性及啟發性，目前卻少有非歐美國家經驗的應用，也因此可能有理論性的對話空間待開發。若依現有對台灣大型科技系統的研究觀察，可發現有幾個面向或許跟 Hughes 的研究有些較為顯著的差異。這些面向主要係因在地社會與大型科技系統的互動多始於移轉，使得歐美國家科技系統的社會建構性特質需調整以社會構成性來認識。這並非意指台灣打造大型科技系統歷程較不具社會建構性，而是科技系統與社會制度之間的互動，相對來說較欠缺磨合過程，畢竟移轉前的諸多歷程多未有本土脈絡的實質參與。然而，大型科技系統移入之後即需有較長時間與在地社會調適，甚至出現若干前所未有的不確定或未知的互動問題有待解決，當然部分的這些問題解決也包含本土工程所貢獻的創新。再者，工程師的角色在台灣移入大型科技系統以迄成熟的過程中，也可能有較長階段的扮演。他們不僅只在移轉期間被賦予轉化及調和工程知識及實作的工作，更在後

期繼續擔任營運及制度規劃等與社會緊密互動的任務，這樣的發展究竟帶來什麼新現象，以及工程師能動性的範疇與種類究竟有何等，均亦值進一步研究。非歐美國家經驗的大型科技系統研究可採用 Hughes 及其延伸研究的理論（如 Hecht 的科技政治）探索科技與社會的互動關係，但這些經驗也確許多有不同處，並可啟發與現有之歐美研究做進一步的理論對話。

謝辭

感謝三位匿名審查人及編委會給予精闢及仔細的審查意見及建議，也感謝林崇熙及王志弘在研討會中對本文初稿提供寶貴評論。戰後台灣 STM 讀書會對本文的討論及建議，併予致謝。最後，感謝科技部專題計畫支持（編號 NSC 102-2410-H-002-086-MY2）。文責自負。

參考文獻

互助營造（2012），《臺灣營造業百年史》。台北：遠流。

王志弘（2002），〈活動地景與時空操演：臺北捷運系統與新都市經驗〉。《地理學報》31：83-115。

吳泉源（2002），〈技術與技術研究在台灣：艾傑頓（David Edgerton）教授來訪的一些省思〉。《當代》176：64-73。

李安如（2009），〈地鐵作為「文化親密」的空間：以臺北市大眾捷運系統為例〉。《考古人類學刊》70：79-108。

林文源（2014），《看不見的行動能力：從行動者網絡到位移理論》。台北：中央研究院社會學研究所。

張國暉（2011a），〈對技術的社會建構論（SCOT）之挑戰：建構東亞技術研究主體性的一個契機〉。《科技、醫療與社會》13：171-222。

——（2011b），〈追尋主體性的工程設計：轉型的威權政治及開放的台灣高鐵土木工程設計〉。《台灣社會研究季刊》85：157-200。

——（2012），〈科學、技術與自由民主政治秩序的演變：近代美國政治體制的科學意識型態與現實政治〉。《政治與社會哲學評論》42：153-205。

——（2013），〈當核能系統轉變為科技政體：冷戰下的國際政治與核能發展〉。《科技、醫療與社會》16：103-160。

——（2015），〈澎湖空難事故及高鐵道岔異常：大型交通運輸科技系統的風險治理〉，見周桂田編，《台灣風險十堂課：食安、科技與環境》。台北：巨流，頁 114-127。

——（2016），〈捷運木柵線：移入的大型科技系統與在地交通建設網

絡的共造〉。《科技、醫療與社會》22：159-224。

陳宗文（2016），〈導讀：布魯諾．拉圖的巴斯德〉，Latour, Bruno 拉圖著，伍啟鴻、陳榮泰譯（2016），《巴斯德的實驗室：細菌的戰爭與和平》(Pasteur: guerre et paix des microbes)。台北：群學，頁 5-17。

黃崇憲（2008），〈利維坦的生成與傾頹：台灣國家研究範例的批判性回顧，1945-2005〉，見謝國雄主編，《群學爭鳴：台灣社會學發展史，1945-2005》。台北：群學，頁 321-392。

董建宏（2007），〈台灣高鐵通車與台灣社會對現代化之渴望〉。《當代》239：86-99。

Anderson, Warwick (2002). Postcolonial Technoscience. *Social Studies of Science* 32: 643-58.

Batteau, Allen W. (2010). Technological Peripheralization. *Science, Technology, & Human Values* 35(4): 554-574.

Bijker, Wiebe E. (1995). Sociohistorical Technology Studies. In *Handbook of Science and Technology Studies*, edited by Sheila Jasanoff, Gerald E. Markle, James C. Petersen and Trevor Pinch. London: Sage, pp. 229-256.

——(1999). The Social Construction of Bakelite: Toward a Theory of Invention. In *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, edited by Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes and Trevor F. Pinch. MA: The MIT Press, pp.159-187.

Bijker, Wiebe E., Thomas P. Hughes and Trevor F. Pinch eds. (1999 [1987]). *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. MA: The MIT Press.

Bimber, Bruce (1994). Three Faces of Technological Determinism. In *Does*

Technology Drive History? The Dilemma of Technological Determinism, edited by Merritt Roe Smith and Leo Marx. MA: The MIT Press, pp. 79-100.

Bruno Latour (2005), *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory*, NY: Oxford University Press.

Callon, Michel (1980). The State and Technical Innovation: a Case Study of the Electrical Vehicle in France. *Research Policy* 9: 358-376

Chang, Kuo-Hui (2015). Technological Construction as Identity Formation: Building Taiwan's High Speed Rail during State Transformation. *Engineering Studies* 7(1): 1-27.

Coutard, Oliver ed. (1999). *The Governance of Large Technical Systems*. NY: Routledge.

Downey, Gary L. and Juan C. Lucena. (2004). Knowledge and Professional Identity in Engineering: Code-Switching and the Metric of Progress. *History and Technology* 20: 393-420.

Edwards, Paul N. (2003). Infrastructure and Modernity: Force, Time, and Social Organization in the History of Sociotechnical Systems. In *Modernity and Technology*, edited by Thomas J. Misa, Philip Brey and Andrew Feenberg. MA: The MIT Press, pp. 185-226.

Emery, Fred E. and E. L. Trist (1973). The Socio-technical System as a Source Concept. In Toward a Social Ecology: *Contextual Appreciations of the Future in the Past*, edited by F. E. Emery and E. L. Trist. NY: Plenum, pp. 211-223.

Feenberg, Andrew (1999). *Questioning Technology*. NY: Routledge.

Fu, Daiwie (2007). How Far Can East Asian STS Go? A Position Paper. *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal*

1(1): 1-14.

Geels, Frank W. (2007). Transformation of Large Technical Systems: A Multilevel Analysis of the Dutch Highway System (1950-2000). *Science, Technology, & Human Values* 32(2): 123-149.

Gökalp, Iskender (1992). On the Analysis of Large Technical Systems. *Science, Technology, & Human Values* 17(1): 57-78.

Hänninen, Hannu I. and Juha S. Laurila (2008). Risk Regulation in the Baltic Sea Ferry Traffic. *Science, Technology, & Human Values* 33(6): 683-706.

Hård, Mikael (1993). Beyond Harmony and Consensus: A Social Conflict Approach to Technology. *Science, Technology, & Human Values* 18(4): 408-432.

Hecht, Gabrielle (2001). Technology, Politics, and National Identity in France. In *Technology of Power: Essays in Honor of Thomas Parke Hughes and Agatha Chipley Hughes*, edited by Michael Thad Allen and Gabrielle Hecht. MA: The MIT Press, pp. 253-294.

—— (2009). *The Radiance of France: Nuclear Power and National Identity after World War II*. MA: The MIT Press.

Heilbroner, Robert L. (1967). Do Machines Make History? *Technology and Culture* 8 (3): 335-345.

Hommels, Anique (2005). Studying Obduracy in the City: Toward a Productive Fusion between Technology Studies and Urban Studies. *Science, Technology, & Human Values* 30(3): 323-351.

—— (2008). *Unbuilding Cities: Obduracy in Urban Socio-Technical Change*. MA: MIT Press.

Hughes, Thomas P. (1969). Technological Momentum in History:

Hydrogenation in Germany 1898-1933. *Past and Present* 44: 106-132.

—— (1971). *Elmer Sperry: Inventor and Engineer*. MD: Johns Hopkins University Press.

—— (1983). *Networks of Power: Electrification in Western Society*, 1880-1930. MD: Johns Hopkins University Press.

—— (1986). The Seamless Web: Technology, Science, Etcetera, Etcetera. *Social Studies of Science* 16: 281-292.

—— (1989). Machines, Megamechines, and Systems. In *In Context: History and the History of Technology, Essays in Honor of Melvin Kranzberg, Research in Technology Studies, Volume 1*, edited by Stephen H. Cutcliffe and Robert C. Post. PA: Lehigh University Press, pp. 106-119.

—— (1994). Technological Momentum. In *Does Technology Drive History? The Dilemma of Technological Determinism*, edited by Merritt Roe Smith and Leo Marx. MA: The MIT Press, pp. 101-114.

—— (1998). *Rescuing Prometheus: Four Monumental Projects That Changed the Modern World*. NY: Pantheon.

—— (1999a [1987]). The Evolution of Large Technological Systems. In *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, edited by Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes and Trevor F. Pinch. MA: The MIT Press, pp. 51-82.

—— (1999b). Edison and Electric Light. In *The Social Shaping of Technology*, edited by Donald Mackenzie and Judy Wajcman. PA: Open University Press, pp. 50-63.

—— (2004 [1989]). *American Genesis: A Century of Invention and Technological Enthusiasm, 1870-1970*. IL: University of Chicago Press.

Kitcher, Philip (2001). *Science, Truth, and Democracy*. NY: Oxford University Press.

Klein, Hans K., and Daniel Lee Kleinman (2002). The Social Construction of Technology: Structural Considerations. *Science, Technology, & Human Values* 27(1): 28-52.

La Porte, Todd R. (1991). *Social Responses to Large Technical Systems: Control or Anticipation*. MA: Kluwer Academic Publishers.

Latour, Bruno (1987). *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*. MA: Harvard University Press.

—— (1988). The Prince for Machines as Well as for Machinations. In *Technology and Social Process*, edited by B. Elliot. Edinburgh: Edinburgh University Press, pp. 20-43.

—— (1992). Where Are the Missing Masses? The Sociology of a Few Mundane Artifacts. In *Shaping Technology/Building Society: Studies in Sociotechnical Change*, edited by W. Bijker and J. Law. MA: MIT Press, pp. 225-258.

—— (1993). *We Have Never Been Modern*. MA: Harvard University Press.

—— (1996). *Aramis, or the Love of Technology*. MA: Harvard University Press.

Law, John (1999 [1987]). Technology and Heterogeneous Engineering: The Case of Portuguese Expansion. In *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, edited by Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes and Trevor Pinch. MA: The MIT Press, pp. 111-134.

Leo Marx (1964), *The Machine in the Garden: Technology and the Pastoral Ideal America*, NY: Oxford University Press; Jacques Ellul

(1964), *The Technological Society*, NY: Vintage; Lewis Mumford (1934 [2010]), *Technics and Civilization*, IL: University Of Chicago Press.

Lo, Kuei-Mei and Hsing-Hsin Chen (2011). Technological Momentum and the Hegemony of the Green Revolution: A Case Study of an Organic Rice Cooperative in Taiwan. *East Asian Science, Technology and Society : An International Journal* 5: 135-172.

MacKenzie, Donald (1992). Economic and Sociological Explanations of Technical Change. In *Technological Chang and Company Strategies: Economic and Sociological Perspectives*, edited by R. Coombs, P. Saviotti and V. Walsh. London: Academic Press, pp. 25-48.

MacKenzie, Donald and Judy Wajcman (1999). Introductory Essay: the Social Shaping of Technology. In *The Social Shaping of Technology*, edited by Donald Mackenzie and Judy Wajcman eds. PA: Open University Press, pp. 3-27.

Mayntz, R. and Thomas P. Hughes eds. (1988). *The Development of Large Technical Systems*. CO: Westview Press.

Misa, Thomas J., Philip Brey and Andrew Feenberg eds. (2003). *Modernity and Technology*. MA: The MIT Press.

Perrow, Charles (1999). *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*. NJ: Princeton University Press.

Pfaffenberger, Bryan (1992). Technological Dramas. *Science, Technology, & Human Values* 17(3): 282-312.

Pickering, Andrew (1995). *The Mangle of Practice: Time, Agency and Science*. IL: University of Chicago Press.

Picon, Antoine (2009). The Engineer as Judge: Engineering Analysis and Political Economy in Eighteenth Century France. *Engineering Studies*

1(1): 19-34.

Pinch, Trevor (1996). The Social Construction of Technology: A Review. In *Technological Change: Methods and Themes in the History of Technology*, edited by Robert Fox. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, pp. 17-36.

Pinch, Trevor J. and Wiebe E. Bijker (1984 [1999]). The Social Construction of Facts and Artefacts: or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology might Benefit from Each Other. *Social Studies of Science* 14: 399-441. [*In The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, edited by Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes, and Trevor Pinch (1999). MA: The MIT Press].

Smith, Merritt Roe and Leo Marx eds. (1994). *Does Technology Drive History? The Dilemma of Technological Determinism*. MA: The MIT Press.

Staudenmaier, John M. (1985). *Technology's Story-tellers: Reweaving the Human Fabric*. MA: MIT Press.

—— (1989). The Politics of Successful Technologies. In *In Context: History and the History of Technology, Essays in Honor of Melvin Kranzberg, Research in Technology Studies, Volume 1*, edited by Stephen H. Cutcliffe and Robert C. Post. PA: Lehigh University Press, pp. 150-171.

—— (2001). Disciplined Imagination: The Life and Work of Thomas and Agatha Hughes. In *Technology of Power: Essays in Honor of Thomas Parke Hughes and Agatha Chipley Hughes*, edited by Michael Thad Allen and Gabrielle Hecht. MA: The MIT Press, pp. ix-xx.

Summerton, Jane ed. (1994). *Changing Large Technical Systems*. CO: Westview Press.

Sussman, Joseph M. (2012). Complex Sociotechnical Systems: The Case for a New Field of Study. http://video.mit.edu/watch/complex-sociotechnical-systems-the-case-for-a-new-field-of-study-11174/ (Retrieved: Sep. 8, 2016)

Tai, Dong-Yuan (2013). Engineering Ethics, STS, and the China Airline CI-611 Accident. *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal* 7: 579-599.

Van de Poel, Ibo (2003). The Transformation of Technological Regimes. *Research Policy* 32: 49-68.

Winner, Landon (1993). Upon Opening the Black Box and Finding It Empty: Social Constructivism and the Philosophy of Technology. *Science, Technology, & Human Values* 18(3): 362-378.

—— (1986). *The Whale and the Reactor: A Search for Limits in an Age of High Technology*. IL: The University of Chicago Press.

—— (1977). *Autonomous Technology: Technics-out-of Controls as a Theme in Political Thought*. MA: MIT Press.