

# 高鐵的 創新關鍵

■ 張國暉

日本新幹線及法國 TGV 的高鐵系統怎麼出現的？它們有什麼技術創新？只要工程師解決升速的問題後，高鐵就會自然而然地發展嗎？除了工程專業外，工程師能否接受及配合社會變遷，是促成高鐵創新的關鍵因素。

1964 年 10 月東京奧運前夕，東海道新幹線營運通車，從東京到大阪之間 515 公里的最快火車旅行，由 6.5 小時縮減為 4 小時，大幅節省了約 38% 的時間。當時因新幹線省下的時間、合理的價格、大量的運能等因素，使一日往返東京和大阪之間變成一種舒適可行的生活安排。

這樣幅度的進步在今日聽來或許不感驚訝，但若了解約在新幹線開通的一百年前，兩地間需 4 至 6 周的步行往返，搭乘馬車至少需 2 周，而在 1889 年傳統火車開通後也還需約 33 小時等的歷史，可發現兩、三代之間時空概念的變化相當巨大。目前使用最新型新幹線列車，往返東京與大阪之間已不用 5 個鐘頭。



新幹線 0 系列列車  
(圖片來源：Wikipedia，屬公有領域合理使用)



新幹線 700 型列車（圖片來源：Wikipedia，屬公有領域合理使用）

像新幹線這樣快速、方便且普及的運輸科技發展史，似乎可以像是一條直線一般，在列出時間、地點、產品、特色和人物後，把它們穿插進直線的時間軸，故事就可以交代完整了。

然而，若深入一些來看，我們好奇新幹線是怎麼出現的？例如，究竟新幹線創新了什麼技術，讓火車時速提升至 200 公里？新幹線工程師是怎麼解決技術難題的？只要解決速度提升的問題後，新幹線或其他高鐵系統（如法國 TGV）就會自然而然地發展，獲得巨額資金興建，並且順利營運嗎？若要仔細回應這些問題，恐需要一本、甚至數本書的分量，我們暫且先專注在速度的工程問題上。

## 高鐵的浮現

簡單來說，若要運輸工具（包括火車、汽車、機車、飛機等）提升速度，增強引擎

動能僅是必要條件之一，並不充分。現代社會期待公共交通運具除了要盡量快速之外，更要考量的是安全、穩定、舒適等層面。

因此，當 1950 年代末期日本工程師在開發新幹線時，首要的技術瓶頸並不在升速，而是如何解決因高速行駛所造成的擺動問題。因為火車速度越快，列車車體擺動幅度越大，火車出軌的風險就越高。此外，若速度越快而車體沒有氣密設施，乘客的乘坐舒適度會大為降低，因為車內外的氣壓差會造成乘客嚴重耳鳴。

車體擺動和氣壓差是當時新幹線工程師必須突破的核心問題。一般就大型工程計畫來說，通常在給予足夠的時間和經費後，工程師就能依他們的基本倫理「解決問題」來開始工作。不過，這兩個新幹線工程問題的解決則複雜了些，但某種程度來看，其實也沒有和其他大型工程計畫差異太多。例如，包括新幹線在內的許多大型工程計畫都

## 我們常說「尊重專業」，但有時如果專業能尊重多元，則可能會鼓勵創新。

會有許多工程師參與，因此人多口雜和意見分歧的情形難以避免，工程師彼此之間甚至會出現爭執和發生衝突。

當時部分新幹線工程師基於傳統鐵路的經驗，認為車體高速搖擺的現象主要可能是因為軌道過於疲勞，使得列車行駛在過於平滑的軌面上，高速搖擺問題來自軌道設計和維護。然而，有部分的新幹線工程師指出火車的高速搖擺問題並非特例，其他運具如汽車、機車、飛機等都有這個問題，因此問題的關鍵應在火車車體設計上，而不是軌道。就這方面來說，當工程師們都把「解決問題」做為最基本的專業倫理時，其實如何「定義問題」常有更重要的影響力。

我們常說「尊重專業」，但有時如果專業能尊重多元，則可能會鼓勵創新。怎麼說呢？其實前段所談的高速搖擺問題，並不是由傳統鐵路專家解決的，而是由航空工程師從氣體動力學的角度改變火車車體的設計，使車體和軌道之間的抓力更強，避免了高速行駛時可能產生的蛇行，甚至脫軌的情形。此外，航空工程師也把航空器的氣密設計帶到火車車體設計上，減低車內外氣壓差。他們提供了不同於傳統鐵路工程師的問題定義，並且提出不同的創新解法。

為什麼航空工程師有機會參與新幹線計畫呢？這問題須從第二次世界大戰後的歷史和社會發展來解答。因為日本戰敗後，他們的軍事工程師被迫自軍隊解編，而軍隊中的航空和造船工程師們在因緣際會下流動到鐵道研究部門工作，促成日本國內的技術移轉，使新幹線的工程設計加入了航空和造船工程的概念。

我們可能會繼續追問，若說日本和德國同是戰敗國，德國軍事工程師的命運也像日本一樣嗎？德國航空和造船工程師也幫忙德國高速鐵路的發展嗎？顯然德國和日本在這方面有相當不同的歷史軌跡，畢竟德國高鐵在 1991 年才試車，晚了日本將近 20 年。

本文無法一一解釋為什麼德國發展高鐵較日本晚，但想指出二次大戰和國際關係的因素，使這兩國的高鐵發展有了很不同的起始點。基本上，1945 年二戰即將結束前，美國除了已協同英、法等國對德國進行戰後安排之外，也對太平洋戰場上的日本進行戰後秩序的規劃工作。

當時美國對於德國及日本的科學家和工程師，特別是涉及軍事武器（如原子彈及飛彈）等科技，積極地搜尋和安置，期望未來運用他們的知識提升美國的軍事能力，並防止其他國家（包括德國和日本）將來獲得軍事精進的機會。其中，德國的航空工程師，特別是關於設計和製造火箭的工程師們，被美軍所積極蒐羅。日本軍方的航空工程師雖未遭美軍搜尋而帶往美國，卻被留置在日本國境中，且被強制地自軍隊解編。

因此，當若干被捕獲或蒐羅的德國航空工程師們，特別是指標人物 **Wernher von Braun**（1912-1977）在二戰後協助美國發展洲際彈道飛彈和航太載具時，部分解編自日軍的航空和造船工程師們卻轉至本地的鐵道研究機構，著名的像是曾擔任零式戰鬥機主要工程設計師之一的松平精（1910-2000）。基本上，後來新幹線面臨的高速振動、蛇行等問題，主要就是由他的團隊進行理論模擬和實驗測試所解決的。



Aérotrain 型號 180 Haute Vitesse  
(圖片來源：<http://www.aerotrain.net/>)



Aérotrain 實驗型 1 號，可搭載乘客 6 位。(圖片來源：<http://www.aerotrain.net/>，連結至這一網站可觀看 Aérotrain 運行時的影片)

## 高鐵的國家特色

雖然法國到 1981 年才有高鐵 TGV 正式通車營運，但法國發展高鐵的歷史並不比日本晚。早在 1930 年代，法國的傳統火車就能升速至每小時 196 公里，幾乎和東海道新幹線開通時的 200 公里相當，顯然升速並非高鐵最困難的問題。而且在 1955 年，法國國家鐵路公司（國鐵）的傳統火車也曾經跑出時速 331 公里的試驗，但基於成本、普及性、舒適度等考量，戰後法國初期沒有把升速做為鐵路服務的核心。

然而，如同核電和航空（如協和號）等科技，法國很早就把鐵路科技當成國技之一，而且法國的國家認同還相當程度地建立在科技發展上。例如，前法國總統戴高樂曾期許法國：「一個無法對世界的科技進步有所貢獻的國家，其實並不能夠稱為國家。」因此，當戰後法國在經濟發展逐漸穩定提升後，從 1950 年代末開始，便有工程師嘗試開發有別於傳統鐵路的高鐵。

對許多法國工程師來說，「法國之所以能存在於世界的理由，即在法國人能用法國的技術及科學，為人類文明的進展刻下難以抹滅的貢獻印記」。而法國的尖端科技不能是盲從的，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，否則會失去一種法國文化的表現。因此，當法國工程師 Jean Bertin 提出一種有別於傳統鐵路的高鐵時，獲得社會相當大的迴響，更得到政府政策和經費的支持，實際建造出長約 18 公里的實驗性硬體設施、列車等設備。

其實，Bertin 的高鐵設計概念不僅非常有別於傳統鐵路，更相當不同於新幹線和 TGV，幾乎顛覆了鐵路的基本構想，而有與眾不同的設計。

Bertin 的高鐵稱為 Aérotrain，如同這名稱所暗示，它的車體設計像是沒有翅膀的飛機跑在單軌軌道上。Aérotrain 沒有車輪，但用氣壓方式和水泥車軌之間形成剎停及懸浮效果，有點像是氣墊船；推動器

則採用飛機渦輪引擎，只有單節車體，最大車體型號約可搭載 80 位乘客。1969 年時，Aérotrain 曾實際跑出 422 公里的時速，比目前營運中的日本、德國、台灣等高鐵都快上很多。

Aérotrain 的獨特設計和超高速度，贏得法國政治人物相當多的支持，特別是在 1964 年日本新幹線開通後，被認為國技之一的鐵路技術竟處於落後態勢的情形下。此外，由於 Aérotrain 的軌道必須重新打造，預期可為法國陸上交通做出全新的網狀規畫，而不是像輻射狀的傳統鐵路網一般，若要從法國東南部到西南部，仍必須先往北至網絡中心的巴黎，再接著向南旅行。相當部分的法國社會期待藉由 Aérotrain 打破區域和城鄉失衡的現象，因而給予高度支持。

1964 年東海道新幹線的開通，也給傳統鐵路的經營者法國國鐵相當大的刺激。就法國國鐵來說，雖然新幹線採用新的寬軌規格，但基礎仍建立在傳統鐵路上，而這些是他們當時已擁有的技術，甚至還超越新幹線。因此，法國國鐵嘗試在傳統鐵路基礎上，提升行車速度，修改和創新鐵路技術，發展他們的高鐵 TGV，企圖後來居上地和 Aérotrain 競爭。

雖然因 Aérotrain 帶有法國獨特的創新技術和象徵區域平衡的規畫，獲得了相當程度的具體支持，後來卻不敵由法國國鐵所發展的 TGV。最主要的原因之一就是 Aérotrain 帶來了階級衝突的可能，特別是法國在 1960 年代末和 1970 年代時，學運及社會主義逐漸風行，Aérotrain 因全新技術，且在能源危機時期採用非常耗能的動力，使當時所規劃的高額票價引起了高度爭議。

此外，1969 年時，Aérotrain 獲得一個興建由巴黎市中心至國際機場的路線的機

會，也受到法國社會的嚴重挑戰。這是由於當時有能力搭乘飛機的多是富人，而法國社會認為 Aérotrain 未來恐怕只能服務特定階級，因此法國社會轉而對提出親民價格和服務的 TGV 提供更多的支持。

TGV 和 Aérotrain 的競爭在 1970 年代初期延燒許久，後來在其他因素影響下，最後由 TGV 勝出。但基本上，社會平等的因素還是主要原因。因此，當 TGV 在 1981 年開通營運時，許多人認為這和法國戰後第一位社會主義傾向的總統密特朗獲選上任，並非是一個巧合，因為科技和政治的發展都反映了當時法國社會的民意傾向。

## 台灣高鐵的混合式特色

眾所周知，1999 年台灣高鐵動工時，協助建設的工程師除了來自日本外，還有許多來自法、德、美、英，甚至馬來西亞、香港等國家或地區。

在目前全球化的時代下，像高鐵那樣的大型工程建設計畫，同時有多國工程師參與並不令人意外。但有一個重要問題是，工程師常不只在解決問題時，更在定義問題時就出現意見紛歧，甚至產生衝突。我們不難想像長期擁有幾乎比其他所有職業（如醫師和律師）更高社會地位，並把高鐵視為國技的法國工程師，應會在核心問題上，跟發展出世界第一條高鐵的日本工程師產生競爭和意見不合的情形。

其實，新幹線的世界第一紀錄不只在於歷史最悠久而已，更在於迄今仍維持無乘客死亡的最長紀錄，還有獲利能力最強的紀錄等，因此被譽為世界最安全和賺錢的鐵路。然而，另一方面，法國至今仍保持世界最快速的輪軌高鐵測試紀錄（時速達約

解決問題不常是像零和賽局一樣，有 A 就無 B、C 等，  
而是需要調和排出順序，儘量符合多元期待和社會脈動。



台灣高鐵 700T 列車。700T 主要由新幹線 700 型列車修改，兩者外形較顯著不同處在車頭形設計，新幹線 700 型車頭成鴨嘴狀，較長較扁，主要是為了避免高速駛出截面積較小的隧道時所產生的音爆現象。由於台灣高鐵土木規格傾向歐洲系統，因此隧道體較大，台灣高鐵 700T 就無須採鴨嘴形設計，其他土木規格如兩股軌道間距離等，都較新幹線的設計寬。（圖片來源：Wikipedia，屬公有領域合理使用）

574 公里，僅較日本測試中的磁浮高鐵時速 581 公里略慢一些）和定期營運紀錄（時速約 320 公里）。

若您在 1990 年代初期台灣高鐵規劃的當時擔任工程師，面對這兩國的高鐵技術，會採取什麼樣的立場而給政府什麼建議？要以速度、安全性、獲利能力，還是其他做為最優先考量的因素？

當然，這裡給的資訊太少，問題也非常複雜，若真要給具體意見或建議，確實強人所難。基本上，1990 年代初台灣政府在規劃高鐵時，政府內的工程師根據過去的传统鐵路經驗和當時本土化的政治氛圍，一方面既希望台灣的高鐵不再像以往許多的技

術移轉一樣受制他國，另一方面則希望新建的高鐵能為台灣在國際社會帶來新的形象，並藉機凸顯本土工程的專業能力，融合法、德、日的高鐵技術，打造出世界最先進的高鐵系統。

因此，當時出現了兩個有些相互矛盾的價值，因為一邊要自主，另一邊又要仰賴在他國技術基礎上創新，於是沒有高鐵技術根基的台灣工程師，卻要求這些高鐵技術輸出國修改他們的系統。

在此，並不是要批判高鐵規劃初期的台灣工程師，而是要指出工程師在不同經驗、文化和社會政治背景下，常要面臨許多不同且相互競爭和衝突的價值，不論它們是

## 專業知識和實作是實現創新的必要條件， 但專業之間若能得到相互交流的機會，就很可能激發出新的思維。

已存在或新浮現。也就是說，當規劃工程計畫時，效能（如速度）、安全、舒適、普及、維護、國家形象、產業帶動，甚至政治認同等，都是需要考量的價值層面。

因此解決問題不常是像零和賽局一樣，有A就無B、C等，而是需要調和排出順序，儘量符合多元期待和社會脈動。工程師也需要認知到，有時不同價值和團體的參與，其實更有機會出現創新思維。

不只是台鐵，我們也常說，高鐵系統像是聯合國，其中列車系統來自新幹線，土木建設則多採歐洲規格。但即便如此，我們的高鐵還有不少和日本及歐洲高鐵不同的創新設計。若跳脫鐵路建設之外，台灣還是有許多大型工程計畫，如捷運系統，採用了不同國家的系統。這樣的做法當然各有優缺點，但是否需付出相當代價，值得探究。同樣有趣的是，文化和社會的轉變如何影響工程師的設計和創新（無論成功或失敗）？

### 創新成功或失敗

藉由一些高鐵發展的歷史，我們了解到社會本身的變化常是創新的關鍵，也是工程師的挑戰。當然，專業知識和實作更是實現創新的必要條件，但專業之間若能得到相互交流的機會，如東海道新幹線，就很可能激發出新的思維。其實對工程師而言，相當多的工作都是在做協調或混合的事情，不論是在社會價值的排序上，或

是專業知識的整合上，特別是對越為高階的工程師。

混合或整合得合不合理是一回事，能否有效解決問題恐怕才是工程師必須面臨的最重要課題之一。從高鐵的例子來看，問題解決必須有開放及自由的態度和做法。若謹守本位主義，而無不同專業間的交流，新幹線恐需更多的時間和經費解決高速列車擺動的問題；而若沒有更貼近法國社會對階級平等的訴求，代表保守的法國國鐵恐難和 Aérotrain 競爭，使 TGV 獲得青睞。

台灣經過多年政經社會的轉型，大型工程計畫也面臨越來越多價值的參與，工程師已恐難僅用專業知識解決問題。然而這不應被工程師視為障礙，更應當作創新的可能機會。

---

張國暉

臺灣大學國家發展研究所

---