



# 土木工程在人類文明演進中的功能

洪如江／國立臺灣大學土木工程學系名譽教授，中國土木水利工程學會會士

## 引言

人類文明，其演進的軌跡，從「打獵採集」、「定居」、「建立城市」、「發明文字」（書寫歷史，文明誕生）、「城邦林立」（大思想家輩出，第一次文明躍昇）、到「擴張生活領域」與「國際貿易」所衍生的「文化交流與文明接觸」（第二次文明躍昇），幾乎是18世紀以前全世界偉大文明演進的軌跡。「絲綢之路」（圖1）、「香料之路」、「羅馬之路」，代表第一次工業革命前文明發展的三大土木工程。

中華帝國，在鄭和七下西洋（1405-1433）回國之後，明成祖朱棣（1360-1424）決定鎖國，全力擴建紫禁城。

歐洲國家，從13世紀開始，持續累積龐大的社會及科技動能，例如「民主運動」（英國的「大憲章」與「光榮革命」）、「文藝復興」（Renaissance）、「宗教改革」、「科學研究」（Galileo 以望遠鏡觀察天體，發表「地動說」，牛頓力學，Hutton 的「地球學原理」，Lyell 的「地質學原理」）、「產業科技發明」（蒸汽機，波特蘭水泥，精煉鋼）、等等。

18世紀後期，「第一次工業革命」使產業與生活模式發生革命性的演進。城市成為「人口」、「工業」、「經濟」、「科技研發」、與「創新」的樞紐（hub）。大量農民進入城市的機械化工廠就業，火車與輪船取代馬車與帆船，是機械工程為工程領域主角的時代。大



圖1 絲綢之路示意圖（洪如江攝於澳門博物館）

量的城市工程、城間道路、國際道路、等等**基礎建設** (Infrastructure)，就成為土木工程界的重大任務與貢獻之所在。

20世紀初，內燃機與電力，引發「**第二次工業革命**」。汽車與飛機，改變交通運輸模式。火車，輪船與戰艦，也多改用內燃機為動力。但最大的地景變化，是摩天大樓在城市中湧現。土木工程的新任務為：公路、機場、高樓、地下鐵路（1863 倫敦首創）、和衛生工程、等等。其中，1829 之後的自來水工程網絡，使水媒性的傳染病（尤其是霍亂）不再流行，是土木工程對人類文明的重大貢獻之一。

1947 年耶誕夜，美國貝爾實驗室 (Bell Laboratories) 的科學家們展示 (通常被認定為發明) 世界上第一個電晶體 (transistors)，揭開資訊科技時代的序幕。在鐵路工程方面，由於軌道、隧道、橋樑、及資訊科技 (通訊及控制系統可靠度) 的進步，才有城市大眾捷運系統和高速鐵路系統，成為文明國家基礎建設的必需品。資訊科技也成為提昇土木工程功能及美學品質的動力之一。

### 絲綢之路 (Silk Road, 簡稱絲路)

商朝出土文物的一些圖形，可能起源於美索不達米亞 (LI, 1957, **The Beginnings of Chinese Civilization**) (李濟著，萬家寶譯，民國 59 年，**中國文明的開始**)，而且可能早於商朝約千年。

大英博物館中石雕古希臘女性舞者之舞衣，薄而貼身，充分展現人體之美 (圖 2)，判斷為中國絲綢所製。中國絲綢，可能在 500BC 或更早經「絲路」輸往古希臘。

經絲路輸往歐洲的物品，除了絲綢之外，可能還有瓷器、紙、與火藥。經絲路輸入的物品，包括寶石、象牙、瑪瑙、棉花、文藝作品、等等。

漢明帝 (28AD-75AD) 10 年 (67AD)，遣使往西域大月氏求經，遇到來自天竺 (今印度) 且攜帶相當數量佛經的沙門「摩騰」和「竺法蘭」，遂以白馬馱負佛經回洛陽。明帝令建寺 (白馬寺，中國第一座佛寺)，並由二沙門翻譯佛經，加以傳播。圖 3 示白馬寺正面，圖 4 示白馬石雕像。



圖 2 石雕古希臘舞者身上舞衣，判斷為來自中土的絲綢  
(洪如江攝於大英博物館)



圖 3 中國河南洛陽白馬寺正面 (洪如江攝)



圖 4 洛陽白馬寺前的白馬石雕 (洪如江攝)

唐太宗貞觀元年 (627AD)，玄奘赴印度取經，也必須先經過絲路的火焰山 (圖 5)，非常辛苦。唐高宗 (657AD – 755AD) 時代，回教經絲路傳入中國。圖 6 示中國境內段西端重鎮烏魯木齊的回教清真寺及市集。

漢 (202BC~230AD) 唐 (618AD~907AD) 文明，因為佛教與回教 (伊斯蘭教在中國的一支) 的傳入，與儒家思想、道家思想及民間信仰接觸，並相互激盪，而向上躍昇 (ascent)，為中國歷史上最強盛富裕的兩代。

除了佛教與回教之外，還有其他宗教 (例如祆教、摩尼教、猶太教、基督教)、傳入中國。進一步閱讀，參考 Hansen (2012)。

漢化佛教傳至高麗、日本、與越南，提昇「天朝」的影響力；也對這一地區，包括思想、審美觀念、人文關懷、與生活方式，產生很大的影響。

中國境內絲路沿途，佛寺 (圖 7) 與佛教洞窟 (圖 8，圖 9)、清真寺、與孔廟 (圖 10)，相互輝映，只見多元文明的和諧，少見所謂「文明的衝突」。

### 香料之路

香料，一直是歐洲人保存食物的必需品，早在 3,000BC 就由印度輸往歐洲，推測由陸路經波斯轉歐



圖 5 絲路的火焰山，今人立西遊記主角玄奘及門徒之雕像於路旁 (洪如江攝)



圖 6 絲路中國境內段西端重鎮烏魯木齊的清真寺及市集 (洪如江攝)



圖 7 佛教法門寺 (西安) (洪如江攝)



圖 8 古高昌國的千佛洞 (位於火焰山北坡)，佛教文物極豐富 (洪如江攝)



圖 9 敦煌莫高窟正門，中國最偉大的佛教洞窟（洪如江攝）



圖 10 儒家文廟及廟前之甘肅飛馬及馬匹雕像（甘肅武威）

洲。100AD 之後，由印度西南海岸的 Kerala 出發，經紅海、地中海東部、土耳其，再轉陸路輸往歐洲。這條香料的運輸道路稱「香料之路」(Spice Route)。

鄂圖曼土耳其帝國 (Ottoman Empire, 1299 ~ 1922) 在 1453 年攻陷康士丁丁堡 (Constantinople, 今之土耳其伊斯坦堡)，並將領域擴展至東南歐、中東、與北非；其東方為波斯帝國，再東方為印度的蒙兀兒帝國 (Mughal Empire)，都是伊斯蘭教強國，在教、科、文各方面都比歐洲國家先進；絲路與香料之路，皆被切斷。為此，葡萄牙人與西班牙人走向海洋，開創航海時代的新面貌。

## 羅馬之路 (Roman Roads)

羅馬共和國 (509BC~27BC) 與羅馬帝國 (西羅馬帝國 27BC~476BC, 東羅馬帝國 330AD~1453AD)，為對外侵略，廣建道路 372 條，遠達英國、埃及、和小亞細亞等地。羅馬對外侵略，固不可取；但羅馬人在 2000 多年前所建的道路、橋樑，不少到現在還是可用。

Kenneth Clark (1969) 在他的名著「Civilisation – A Personal View」之中，對法國南部的嘉德水道橋 (參見第一章圖 1、圖 2)，讚不絕口，筆者試譯如下：

「看嘉德水道橋的砌石之道，不但看到工程技術的勝利，而且也可以看出古羅馬人對法律與紀律的強烈信念」

## 航海時代的海上之路

### 海上的香料之路

15 世紀起，葡萄牙建立航海學校、天文台、燈塔、及相關圖書館，並沿非洲西海岸向南航行，於 1487 年繞過好望角，在非洲東岸建立據點，於 1498 年 5 月挺進印度，建立「海上的香料之路」。1555，葡萄牙並取得澳門作為與中國通商的根據地。

### 發現新大陸與環繞地球一周

西班牙的哥倫布於 1492 年發現美洲新大陸，1519 年 9 月至 1522 年 9 月，麥哲倫繞行全球一周成功。西班牙在美洲建立殖民地，取得大量白銀及黃金。

## 航海時代 (1500~2000, 或稱海權時代) 與大國崛起

因為經濟、財政與軍事等力量之強弱及耐久的消長，國際舞台的主角，也一再的更替。繼葡萄牙與西班牙而掘起的海上強權 (大國)，有歐洲的荷蘭、法國、英國、俄國、義大利，亞洲的日本，與美洲的美國。至於中華帝國，從鄭和七下西洋之後，就開始鎖國。參考 Paul Kennedy (1987) 與中國大陸中央電視台影集「大國崛起」。

蘇伊士運河 (圖 11)，縮短大西洋及地中海與印度洋及太平洋的海路航程至少一萬公里以上。

關係大西洋與太平洋之間的兵力調動及資源運輸的要道，巴拿馬運河 (圖 12)，由美國建造及掌控。美國東部與美國西部的海路航程縮短約 14,000 公里。



圖 11 埃及蘇伊士運河 Ismailia 段 (洪如江攝)

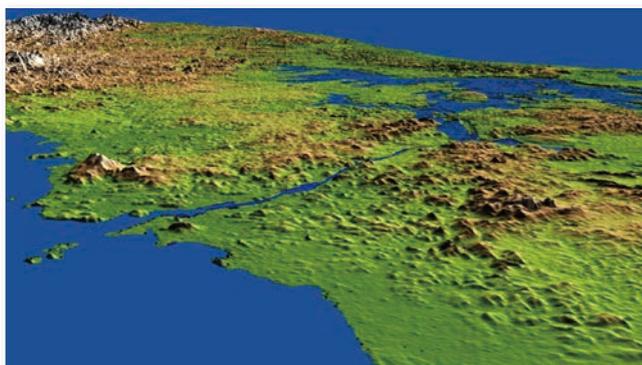


圖 12 巴拿馬運河，使美國東岸與西岸的海路航程縮短約 14,000 公里 (Credit NASA and JPL of USA)

## 傳統鐵路

1829 年，史帝文生 (Stephenson) 父子的蒸汽機火車頭 (俗稱史帝文生蒸汽機火車頭)，公司名為「火箭號」(Rocket)，經過與其他公司火車頭在實驗軌道上公開比賽獲勝，統包利物埠 (Liverpool) 至曼徹斯特 (Manchester) 5.5 英哩的鐵路工程，1830 年 9 月 15 日通車，時速約 50 公里，客貨兩用。

從此之後，由英國開始，許多國家競相大建鐵路 (包括路基、軌道系統、橋樑、隧道、車站、等等)。現代標準軌道的鐵路，時速可達 200 公里。

在一國之內，工廠因為鐵路而不必貼近原料 (包括能源，當時為煤炭) 產地，原料可以由鐵路迅速從產地或進口商港運到工廠；讓工廠貼近勞工與消費者。

## 軌道式捷運系統 (地鐵)

1863 年，倫敦首創軌道式捷運系統，原意為：在市民大量買汽車之前，提供了一個高品質的交通工具，就不必為拓寬街道而拆除房屋。動力電氣化之後，大幅度減少城市的空氣污染，進而大幅度減少城市居民因空氣污染而傷亡的人數。

但更重要的是，提供許多安全、舒適、及對使用者友善的空間，讓善良人性，自動自發地流露出來 (圖 13)。台北捷運系統這個工程網絡，由多種專業與使用者，共創一個城市文明躍昇的傳奇。(洪如江，2014/02)。

## 高速鐵路

1964 年，日本新幹線子彈火車 (最高時速 256 公里) 啟用，為高速鐵路的雛型。

2007 年，台灣高速鐵路 (最高時速 300 公里) 開始營運，使台灣成為「一日生活圈」。參考第一章圖 12。

法國的 TGV，時速從 1981 年的 380 公里開始，2007 年起，最快的高速鐵路，時速可達 574 公里。

未來的真空管火車 (Vacuum Tube Train)，時速可能高達 1,000 公里以上。

## 汽車之路 (公路)

在 1900 年至 2000 年之間，汽車數量的增加，可比人口的爆炸。

在美國，石油業、鋼鐵業、電子業、營造業，與汽車業者互相支持，壓迫聯邦政府撥款補助各邦多建公路、快速道路、與高速公路。這種美國「汽車文明」，也迅速傳染到世界上許多國家，許多人以擁有汽車為榮。

許多城市，已經被汽機車所佔領，台北市也非常嚴重 (圖 14)。汽機車也造成嚴重的空氣污染、土壤污染、與大量的車禍傷亡，圖 15 示台北市公車道被汽車廢氣嚴重污染的痕跡。



圖 13 台北捷運的空間：安全、舒適、對使用者友善；讓善良人性，自動自發地流露出來 (洪如江攝)



圖 14 台北市街頭的汽機車景觀 (洪如江攝)



圖 15 台北市汽車廢氣污染的痕跡 (洪如江攝)

有一些國家，例如荷蘭、丹麥、新加坡，重視環境，控制汽車的總量，或大量建設軌道系統，或鼓勵使用腳踏車。未來的汽車，最可能使用電力或氫氣。

## 空 路

1903 年，萊德兄弟 (Wright brothers) 試飛內燃機動力的飛機成功。

飛機的軍事威力在二次大戰中顯示出來。二次大戰後期，美國製造大量有史以來最重的轟炸機，B-29。其土木工程師，必須在最短期間內建造出大量的新機

場，以承受 B-29 的重量及体型。

因此，二次大戰後的民航運輸，就已經有相當足夠的技術、經驗、及工具 (施工機械)，迅速建設機場，進入航空運輸時代。有人以「地球變小」形容。

## 自來水工程

約 6000 年前，埃及的土木工程師就開鑿新鮮石塊在尼羅河築壩，支持當時埃及首都 Memphis 用水需求。

羅馬帝國的全盛時間，在其本土及征服之地，大量建設自來水工程，包括渠道、隧道、與高架橋樑，從水質潔淨的水源 (尤其是泉水)，將水輸送至許多城鎮與鄉村。313BC，羅馬建水道，自 11 公里至 19 公里之外，將潔淨的水引進羅馬城內。約 18BC，在今之法國南部 Nimes 附近，建嘉德水道橋 (Pont du Gard，高約 49 m，長約 275 m)，然後自 16 公里外的水源地，將潔淨的泉水經人工隧道引到嘉德水道橋，轉送鄰近鄉鎮。嘉德水道橋下的河水，未嘗不能使用；但當時羅馬官員及工程師，考慮鄰近鄉鎮難免排放污水入河，決定這項建設。嘉德水道橋，建成至今，已經兩千多年，依然健在。約 1 世紀之後，羅馬帝國又在今之西班牙建西歌維雅 (Segovia) 水道橋，高約 36 m，長約 823 m，至今安然無恙。

1160 年，英國開始自來水工程建設，多未經水質改良。但自工業革命之後，大量人口湧入城市，尤其是倫敦，河水污染日趨嚴重。土木工程師開始思考改良水質的方法。

1829 年，英國雀兒喜 (Chelsea) 自來水公司的工程師 James Simpson 發明「慢濾法」，原水經淨水廠「慢濾池」細沙層的過濾，幾乎所有的污染物質及水媒細菌皆已被攔阻於細沙層之中。John Snow 醫生，根據他對 1830 年代與 1840 年代倫敦蘇荷 (Soho) 地區霍亂的研究，證明霍亂與水污染有關 (Pannell, 1964)。由於細沙層的過濾，無法攔阻過濾性病毒，因此，清水送出之前，必須投入氯氣或雙氧水消毒。此後，凡普遍建立現代化「自來水工程網絡」的地區，水媒性的傳染病就不再流行。進一步閱讀，參考 Pannell (1964)。

圖 16 示大台北地區自來水的水源：翡翠水庫。圖 17 示台北市公館自來水廠混凝池。圖 18 示自來水的末端：水龍頭。世界上文明國家從水龍頭出來的自來水，可以生飲。從這一觀點而言，台灣還不能算是一個文明國家。



圖 16 大台北地區自來水的水源：翡翠水庫（齊柏林先生攝）



圖 17 台北市公館自來水廠混凝池（洪如江攝）



圖 18 自來水的末端：水龍頭

## 污水處理與下水道工程

城市中的家庭、工商業、公共場所、等等的污水，先進國家多已有完善的污水下水道及處理系統。接污水管至每一污染源（家庭、工商業、公共場所、等等），將污水抽送污水處理廠（圖 19 示美國桔郡工業污水處理廠局部），處理至合乎法規之放流標準，再排放至天然水域。

利用濕地（wetland，圖 20）從事先期污水處理，去污率常可達 80% 以上。



圖 19 美國桔郡工業污水處理廠局部（洪如江攝）



圖 20 美國南加州濕地，先期去污率可達 80% 以上（洪如江攝）

污水下水道系統完善之後，絕大部分家鼠及家庭昆蟲，宣告絕跡。

## 電力工程

電磁相關的科學研究，早在 1600 年就已經略有成就。1831 年，Michael Faraday 以磁鐵進出線圈產生電流的實驗，揭開電氣文明的序幕。

發電的能源，從水力發電開始。1838 開始，小規模的個別電力之使用，在俄國、蘇格蘭、英格蘭、德國與美國等地出現。

1882 年，愛迪生（Edison）在美國威斯康辛州的 Appleton 建成世界上第一個水力發電廠，也是世界上第一個發電廠，並在紐約商業運轉供電。

從此之後，陸續加入化石能源、核能、風力、太陽能、與地熱發電。但是，到目前為止，發電還是以燃燒化石為主；是排放二氧化碳、成為氣候劇烈變遷的主要因素。

電力的普及，對人類文明的貢獻極大，例如：

- 電燈提供「夜間照明」，人類可以在夜間讀書、寫作、工作。
- 工業生產自動化，鐵路電氣化，既提升產業功效，也大幅減少環境污染。
- 進入「資訊科技」時代，大數據分析、資訊的遠端傳遞、等等作業之「速度」與「良率」的進步，日新月異。
- 電冰箱長期保存食品的新鮮。
- 空調提供居家及工作環境的潔淨與舒適。
- 電力推動電梯、將自來水送至高樓，才可能有「摩天大樓」（例如台北 101 大樓）的出現。

圖 21 示台灣清水的一座小型水力發電廠，圖 22 為電廠內部上層的水力發電機。圖 23 為一座大型水力發電廠房的上層。

## 土木工程對二次大戰之後糧食供應的貢獻

美國密西西比河洪積平原，本來就是美國最大的糧倉。二次大戰之後，歐亞兩洲的糧食需求孔急。為增加糧食生產及供應，美國工兵署在密西西比河上游增建許多水閘，使得大型河運船隻，能夠開進河道的上游。整個密西西比河流域所生產的大量糧食，就能夠利用運輸成本遠低於火車（更遠遠低於汽車）的船運，迅速將大量糧食運到河口的碼頭，再交由海輪運送歐、亞兩大洲。

巴拿馬運河，節省由密西西比河口到亞洲的糧食運輸時間及成本；使得美國糧食，在亞洲佔有很大的優勢。



圖 21 一座小型水力發電廠外觀（洪如江攝於清水電廠）



圖 22 清水水力發電廠上層（洪如江攝）



圖 23 一座大型水力發電廠房上層（洪如江攝於中國大陸長江某電廠）

## 結論

當人類告別「打獵與採集」的生活方式而「定居」之後，土木工程以「引水灌溉」(Irrigation) 保障餘裕的糧食，使得分工成為可能；以「築城」保障安全，使得安居樂業成為理所當然。在建立城市、發明文字及書寫歷史、到城邦林立及大思想輩出，土木工程就是文明工程的主角：對內建構「人造環境」，增進「福祉」；對外以「道路」催生「國際貿易」、「文化交流」、與「文明接觸」。中華文明，因「絲綢之路」（簡稱絲路）導入佛教文化（明）、回教文化（明）、與基督教文化（明），而向上躍昇。

當 18 世紀後段開始，人類科技的首次重大突破，以蒸汽機為代表的機械工程，引發「第一次工業革命」。生活方式的巨變，使人類的歷史進入新的一頁。肩負「基礎建設」(Infrastructure) 重責大任的土木工程，也因為機械工程的助益，在城市建設、鐵路、海港、等等工程作業，如虎添翼。

20 世紀一開始，內燃機與電力的發明，引發「第二次工業革命」。塞滿摩天大樓的巨無霸城市 (Mega-City) 如雨後春筍一般，從大地冒出，混凝土叢林替代天然叢林。城市維生管線（自來水、電力、瓦斯、等等），城市各種大型交通運輸網絡，防災工程（疏洪道、滯洪池、堤防、污水處理系統、排水網絡、等等），為主要的新一代土木工程類基礎建設。教育及文化類工程（學校、博物館、音樂廳、劇院、運動場、

等等），為另一範疇的基礎建設，也有土木工程貢獻的空間。

21 世紀開始，資訊科技也成為提昇土木工程功能及美學品質的動力之一。

歐盟 (European Commission) 副主席 Tajani 宣佈 2012 年 5 月 29 日為「第三次工業革命」的第一天。在這一方面，醫學界領先開跑，功效也備受稱讚；土木工程界尚待努力。

## 參考文獻

1. 李濟 (LI, 1957, *The Beginnings of Chinese Civilization*, 美國西雅圖華盛頓大學出版) (李濟著，萬家寶譯，民國 59 年，中國文明的開始，臺灣商務印書館印行)。
2. 洪如江 (2007/10~), 「土木工程就是文明工程」, 台大土木系電子報；杜風。
3. 洪如江 (2006/02), 「土木工程與人類文明」, 中國土木水利工程學會, 土木水利, 33 卷 1 期。
4. 洪如江 (2012/04), 「土木工程與文化」, 中國土木水利工程學會, 土木水利, 39 卷 2 期, 46-64 頁。
5. 洪如江 (2014/02), 「城市文明躍昇的傳奇—臺北捷運系統」, 捷運技術第 48 期, 臺北市政府捷運工程局發行。
6. 虞兆中等編著, (1996), 土木工程概論, 台灣大學土木工程學系主編, 藝軒圖書出版社出版。
7. Hansen, V. (2012), *The Silk Road, A New History*, Oxford University Press. 漢文譯本：吳國聖、李志鴻、黃庭碩譯，麥田出版，台北市。
8. Kennedy, Paul (1987), *The Rise and Fall of the Great Powers*, Vintage Books, New York.
9. Pannell, J.P.M. (1964), *An Illustrated History of Civil Engineering*, Thames and Hudson, London. 