

# 營建科技的變革與展望

林堯川

## 壹、前言

韓非子有云：「上古之世，人民少而禽獸眾，人民不勝禽獸蟲蛇，有聖人作，構木爲巢，以避群害。」又易經繫辭曰：「後世聖人易之以宮室，上棟下宇，以待風雨。」由古書可知，初有人類居無定所，爲避風雨、防獸害，乃利用天然掩蔽物，如山洞和森林作爲居處，並開始出現了原始村落。

當人類學會了播種、收穫、馴養動物等農業活動以後，天然山洞和森林已不敷滿足與需要，於是利用簡易的木、石、骨製工具，伐木、採石、黏土、木材與石頭，模仿天然掩蔽物開始建造居住場所，於焉肇始了人類最早的營建工程活動。

營建活動的出現，可視爲人類把自然的環境改造爲適合居住與活動的人工環境，以促進人類的生活福祉與社會的發展。因此定義營建科技的內容爲：人類在營造其生活空間，或爲生活上的便利，或爲信仰而計畫興建，凡定著於土地上或地面上，供人利用、使用或活動的構造物時，所需的知識及技術（林輝亮，民84）。然由於人類與生俱來具備的追求與探索未來的本能，人類活動與營造的空間已不受到土地的拘限，由陸地

進入海洋甚至於太空、外星球領域。故可進一步的定義爲：人類爲營造生活空間，運用其智慧，所發現或發展出來的工程技術及知識。

營建科技的發展對社會、文化、經濟、科學、技術皆有相當的緊密關係，正如偉大的文學家雨果在他的傑作巴黎的聖母院中所言：「從世界的開始到15世紀，建築學一直是人類的巨著，是人類各種力量的發展或才能的發展的主要表現。」因此人類將以自己的智慧和不斷的探索營建科技的未來，爲這部巨著撰寫嶄新、瑰麗的篇章。

本文擬就營建科技上的一些過去、現在與未來的重要發現與發明，加以闡述其歷史的變革與展望。

## 貳、營建科技的過去

營建科技歷經數千年的時間與無數智慧結晶的累積，在人類的文明中皆留下輝煌偉大的成就，如埃及的金字塔、中國的萬里長城等都是歷史的活見證。以下舉出三項重要的現象與發明：

### 一、磚、瓦的開始使用

人類在遠古時期只能依靠泥土、木料與其它天然材料來從事營建活動。後來出現了磚和瓦這種人工建築材料，其

中所代表的最重要的意義，在於這是人類首次衝破天然建築材料的束縛（戴念慈和齊康，1993）。

磚和瓦具備比土更優越的力學性質，又可就地取材、易於加工製造等的特性，使人們開始廣泛、大量的修建房屋和城防等工程，因此營建工程技術得以有了非常快速的發展。在長達數千年的時間裏，磚和瓦一直扮演著重要的建築材料角色，其為人類文明提供了不朽的貢獻，甚至於今還被廣泛運用。

中國在西周時代已出現陶製房屋版瓦、筒瓦、人字形斷面的脊瓦和瓦釘（李約瑟，1977），成功的解決了屋面防水問題。春秋戰國時期也出現陶製下水管、陶製杆圈等。磚和磚構技術，在秦漢時期得到了蓬勃的發展。於漢墓中可見得到樑式的空心磚演變成拱形結構和穹窿頂，從而開闢了新的建築材料與結構領域，對於營建科技質與量的提昇有著重大的意義（陳立夫等，民72）。明末張問之的造磚圖說，作於16世紀中葉，係一專論磚瓦製造的圖解論文（李約瑟，1977），對後世磚構建築提供經驗與理論的佐證。

兩河流域的巴比倫建築與亞述建築，由於當地缺乏優質的石料但盛產黏土，導致磚的發明與磚結構的發展（威廉斯，1991）。磚的使用又促使拱形與穹窿結構的出現，因此出現了人工燒製的磚和瓦，對於西方的營建工程發展史是一件攸關歷史進展的大事。西元前八世紀建成的亞述國王薩爾貢二世王宮，已使用磚與琉璃來貼面了。

不管中國或西方，在遠古時代石料被廣泛應用於主要的公共建築物，但石

料若用於一般的營建工程那就太昂貴了。因此磚和瓦的出現與使用，除了營建科技可因而突飛猛進外，更可使建築土木易於製造、更普及化與平民化，進而發展出更燦爛的文明。

## 二、拱形建築結構的使用

古代中國運用拱形建築實際的結構包含從周代的拱橋、城門，至秦、漢代墳墓中拱形和桶形穹窿建物的大量出現（李約瑟，1977），其中以拱橋最具代表性。中國橋樑使用最少的材料建造，成爲一種理想的工程產品，符合技術與工程方面的需求。舉世聞名的趙州橋，係李春於西元610年建造，跨度有123呎，至今橋樑依然矗立如昔，只是增添了二千六百年的春秋歲月。

約西元前500年，衣杜魯里亞（Etruria 義大利西部一古國）人發明了拱形建築結構（李約瑟，1977），由於地緣關係，所以古羅馬人運用於土木建築上相當廣泛。

拱形建築結構在建築學上是一大重要發展，其涵義爲最大限度增加了跨距的長度而且又能使這類跨拱由較小、易處理的構件來替代一根單個粗大的樑（威廉斯，1991）。在古羅馬建築中，不論是拱洞還是穹窿或是圓屋頂，都是使用較少的材料來營造成很大的空間（馮振凱，民63）。由於這種拱洞建築技術的運用，中間可以不用一根支柱，就能變成直徑40公尺的龐大空間，古羅馬建築的室內於是就產生了極其雄偉、充實的空間。

## 三、水泥的發明

約公元前200年左右，古代的羅馬人曾經大量使用過混凝土（威廉斯，1991），係以石灰混合火山灰製成，其被

廣泛運用於土木建築，強力的推動古羅馬拱形結構的宏大發展，古羅馬的技術成就對歐洲的土木建築產生深遠的影響。

西元 1824 年，英國一名建築工匠約瑟夫·阿斯珀丁以白堊和黏土鍛燒而成水泥(馮振凱，民 63)，將其命名為波特蘭水泥。剛問世的水泥並不太引人注目，但由於價格低廉、使用方便，很迅速的即被廣為採用。之後出現的混凝土，將水泥和細沙或粗礫按一定的比例混合攪拌後，便很容易的能鑄模成各種所需的形狀了，且骨料皆可就地取材。而後再發展成為鋼筋混凝土、預應力鋼筋混凝土，都對後世土木建築產生歷久不衰的影響力，一直延續至今不變。

## 參、營建科技的現在

營建科技是一種為提高人類生活品質與創造舒適生活空間的科技，因此舉凡食、衣、住、行、育、樂等日常生活有關的各種建設都包括在內，如住屋、學校、醫院、公路、鐵路、橋樑、水庫、渠道、堤防、航站、港埠、隧道、公園等，故其涵蓋範圍非常廣闊(顏清連，民 80)。由此可知，現代營建科技與生活的密切關係，且代表公共建築與生活品質、民眾福祉有著牢不可破的影響。以下就現代的營建科技舉出三項重要的現象與發明：

### 一、鑄鐵、鋼與玻璃材料的大量使用

鑄鐵材料於 18 世紀後期開始，被廣泛運用於營建工程中，由於鑄鐵的生產普及且廉價化，故大量的鑄鐵材料陸續出現於各種建築工程中。1779 年，世界第一座鐵橋架設於英國塞文河，主體結構件總長已達 20 公尺，鑄鐵總重量接

近 400 公噸(威廉斯，1991)。1889 年法國巴黎世界博覽會中，居斯塔夫·艾菲爾設計建造世界馳名的巴黎鐵塔……艾菲爾鐵塔，塔高 300 公尺，為鑄鐵材料運用的極致表現之代表作，同時也是鑄鐵建築時代的結束。

鐵的進一步精煉成鋼，鋼材料的出現使得建築物骨材有了更佳抗壓、抗拉、抗剪強度後，摩天大樓、超大型營建工程於焉發達興盛。鋼結構建築的原理與中世紀木結構原理頗為類似(戴念慈、齊康，1993)，其強度藉著框架形成無比的力量。此類建築物結構的牆壁無需承受重壓，變成只需擋擋風雨的帷幕而已，因此可使用任何的材料，現代則主要以玻璃為表現素材，形成了玻璃帷幕建築。玻璃的使用，增加了採光度、美觀性、現代感等。最有名的鋼結構摩天大樓，首推 1931 年落成的 102 層、高 385 公尺的美國紐約帝國大廈，1951 年再增設電視塔後，更高達 450 公尺。1973 年美國紐約的世界貿易中心，110 樓層、高 412 公尺，是當時世界層數最高的建築物。

### 二、預應力鋼筋混凝土技術的發明

將水泥和水、細沙或粗礫以適當的比例混合攪拌後，即形成三合土，其很容易被澆成各種形狀的鑄模，俟鑄模凝固後，就像天然石頭般的堅固，但最大的缺點係遇外力壓彎時，鑄模易遭斷裂。

1928 年，法國工程師歐仁·弗雷西運用預應力鋼筋的原理，向混凝土施加預應力取得成功(威廉斯，1991)。其原理如修造車輪的工匠欲在木車輪上加上一個鐵圈，將此鐵圈先鍛燒成通紅狀態下，再套入木輪上，即形成永久應力狀

態非常牢固的扣緊。預應力鋼筋係讓抗應力極強的鋼筋先處於繃緊狀態下，再倒入混凝土將鋼筋包覆起來，當混凝土凝固後，鋼筋就被牢牢的固定住，建築物的整體結構於是處於永久應力狀態下，而且非常堅固牢靠。

預應力鋼筋混凝土的使用可大大減少混凝土和鋼筋的數量，且仍可獲得既定的抗壓、抗拉力，同樣的經費原只能建造 23 樓高的建築物，經此結構設計可變成 30 層樓高，使得建築物或超大型營建工程可更價廉，但更雄偉壯觀。

### 三、超大型建築的興盛：摩天大樓、水壩、橋樑、地下鐵、捷運、高速公路、高速鐵路、港口、機場等的陸續出現

隨著營建工程規模的擴大化，施工工具、設備、機械走向自動化、大型化的發展乃時代的主要趨勢。施工日益的機械化、工業化；組織管理開始應用系統理論與方法，即標準化、工業化，可因此降低成本、縮減工期、提高生產效率、且可解決特殊條件下的各項營建工程。

計算機技術的廣泛運用，代表新現代科技的發展，也使營建技術出現了嶄新的面貌。其主要的特徵為工程功能化、城市立體化、交通高速化、材料輕質高強化、施工過程工業化、設計研究精密化等(馮振凱，民 63)。各式各樣的超大型營建工程如雨後春筍般的出現於世界各處，創造人類更豐富的福祉與便利。

### 肆、營建科技的未來展望

人類藉著各種發達的交通運輸工

具，已無限的擴張其生活與活動空間，因此陸地上的營造構造物勢必無法滿足其基本的需求。但人類與生俱來的潛能與追求、探索未來的本能，使得人類活動與營造的空間已不受到土地的拘限，由陸地進入海洋甚至於太空、外星球領域。以下就營建科技的未來趨勢與展現，提出三項未來的預測：

#### 一、科技屋

Rotstein (1993)於 21 世紀大趨勢一書中提出智慧屋或科技屋的先進觀念，Toffler (1980)也在其第三波著作中提出類似的觀點如電子住宅或有機屋。其內涵為營建科技結合電腦、微晶片、遙控等技術，將家庭帶進了全面的自動化。例如來賓車子抵達前，鈴聲即自動響起，主人可以好整以暇的作好準備；小孩子半夜起來喝水，燈火一路自動打開，並一路關閉身後的燈；清晨用電量較低時，自動開啓電熱水器，當一覺醒來時，浴缸中已放滿熱水；冷暖空調系統可使得室內四季如春，又防盜系統、雷射唱盤、立體影像電視、食物處理機等都可使得居住環境更舒適、方便，品質更提昇。

家庭即辦公室、工廠的觀念方興未艾，電子住宅的理念把家庭、辦公室、工廠以線串聯起來，人們不再疲於奔命在上下班上的無謂浪費，將可紓緩都市交通的嚴重塞車、停車問題，減少環境的污染，節約得之不易的寶貴能源。此項預言可能就在不久的未來，約 2010 年即可能得以實現。

#### 二、海底都市

Berry (1996)在下一個五百年一書中，提出人類過去把廣大的水域看成不過是

獵場或交通運輸的主要幹道，但在那浩蕩的波浪底下卻隱藏著一大片無垠的處女地，也是無窮止境的寶藏。Toffler (1970) 的未來的衝擊中亦指出，當人口不斷的增加時，海洋將成為實際的生活空間，稱之為新海底寶藏。

當代科學家們命名的第一生物圈即為人類所賴以生存的地球，而第二生物圈則係人造的封閉性建築物：以鋼鐵和玻璃建構而成，內部由一人造生態系統製造供應所需的空氣和水，完整的仿自然維生裝置。生物圈內有沙漠、沼澤、草原、雨林、海洋等。1991 年在美國亞利桑那州建造了佔地 4 英畝的第二生物圈，花費了 15 億美元，當年九月二十六日四男四女進駐成為第一批「第二生物圈」居民。若將此玻璃屋移植至海底，必可開拓人類更寬廣的生存空間，得到更大的福祉。

海底潛水設備包含潛水艇、潛水面罩、呼吸裝備的進步，例如發明水鰓可呼吸液體，正如同魚類於水中呼吸般，更可使人類的活動空間不拘限於玻璃屋中，無限寬廣的海域任憑遨遊(如圖 1)。海洋將成為陸地的延續，甚至取代陸地成為人類的實際生活空間，有關的遊憩、礦物資源、食物、廢棄物處理、軍事、運輸皆有賴於佔有地表 70.1% 的海洋了。此項海底城的預言，極有可能實現的時間大約在 2030 年。

### 三、太空城

Rotstein 在 21 世紀大趨勢與 Berry 在下一個五百年中，兩作者所描繪出的未來太空世界如下：由於航太科技的蓬勃發展，太空旅遊與殖民外星球(如圖 2)，將不再是紙上談兵的茶餘閒談，也

不再是遙不可及的夢想。如自由太空站的建立，以太陽能為能源供應，可供 15 個家庭使用，在站上區分為居住區、工作區、實驗區等，將成為太空旅遊的加油站或太空殖民的補給站。

1969 年 7 月 20 日格林威治時間 A.M. 2:56，阿姆斯特壯踏上月球的第一步起，月球就成為進軍外太空的第一塊踏板，並以第二生物圈的概念移植至月球，在月球建立永久基地—月球城市。

雖然「火星極地登陸號」在歷經長達 11 個月的漫長太空旅程後，得到的竟是無聲的訊息，但是科學家仍不氣餒。在可期待的 100 年至 150 年間，繼續並完成探測及建設火星的超級任務。



圖 1 漫畫家筆下的海底世界與海底城。海底都市居民有便捷的各種水中交通運輸工具，海底的豐富礦藏與資源，為人類尋找到第二個生物圈。

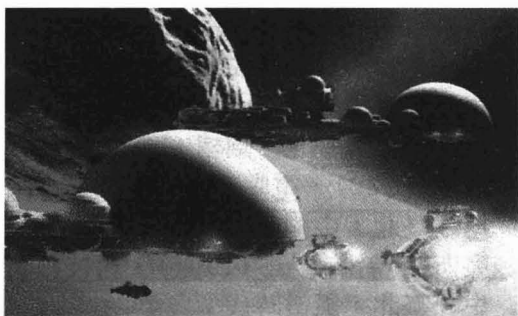


圖2 漫畫家筆下的太空交通運輸工具「長程先鋒艦隊」。太空殖民與星際旅行將變成更方便與頻繁。

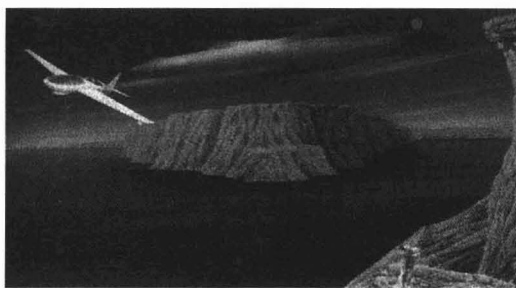


圖3 地球化火星計畫圖中的想像圖。一旦增加二氧化碳，火星將可藉溫室效應來加溫。水自極冠和地下融出，河川和海洋形成。

初步的計畫以火星經營(如圖3)為例：

- 步驟1：火星上開始實施基礎的農業實驗。
- 步驟2：以太陽能鏡照射火星冰帽，再以氟氯化碳所製造出的溫室效應，提高氣溫至攝氏-40度。
- 步驟3：種植耐寒植物，可分解火星上佔有95%大氣層的二氧化碳成為碳和氧，此時天空開始出現雲朵，氣溫升至攝氏-15度。
- 步驟4：湖泊、河流出現，海洋形成、浮游生物開始活躍，氣溫升至攝氏0度。
- 步驟5：長綠植物大量生長，氣溫升至攝氏10度，一般生物可正常呼吸。
- 步驟6：火星地面大興土木，火星城市林立。

以先進的科學、技術、企業的力量和大量的新資源，協助人類在地球以外的星球—從月球到火星等地定居，並尋

找新的世外桃源，將為未來炙手可熱的熱門新興行業。相關的旅遊、娛樂事業、特別合金製造、半導體中之高純度水晶製造等皆可因此得以順利達成且蘊藏著無限的生機與活力。

有關太空城的預言可能較為不明確，因為橫亙於前的阻礙與艱難重重，大約可能於2010年設立實用太空站、2050年殖民月球、2100年殖民火星、2150年殖民其他外太空領域。

## 伍、結語

營建科技的進展結合了新的結構、新的材料、新的設備、新的設計、新的觀念，從而使得人類的的生活更舒適、更便利，創造了更豐富、更寬廣的生活福祉與生活空間。但水能載舟亦能覆舟，任何科技的存在價值與意義，不應該短視於眼前的繁華與富裕，而應放眼於百年後子子孫孫的未來周遭。

因此吾輩應體念前聖先賢的智慧，深自反省、斟酌科技的威力與禍害，擇善固執捨害取利，才是萬代子孫之福。

未來營建科技尚須努力的目標和願景有：

- 一、開創更開闊的生活空間，捨棄都市的水泥叢林。
- 二、提昇更美好的生活品質，化腐朽為神奇。
- 三、開拓無限的潛能與探索，永保活力與生機。
- 四、永續經營自然生態環境，為後世子孫保留人間淨土。

### 參考文獻

- 李約瑟(民66)，中國之科學與文明。臺北：臺灣商務。
- 林輝亮(民84)，技學素養教育中營建內涵之研究。臺北：行政院國科會科資中心。
- 陳立夫等(民72)，中國科學文明史。臺北：木鐸。
- 馮振凱(民63)，西洋建築史。臺北：藝術。
- 戴念慈和齊康(民82)，建築學。中國大百科全書。臺北：錦繡。
- 顏清連(民80)，電腦在水利工程上之應用。臺北：中國土木水利工程學會。
- 威廉斯，特雷弗 I.(1991)，科技發明史。臺北：風雷時代。
- 王介文譯(民85)，下一個五百年(Berry, Adrian原著，1996年出版)。臺北：九儀。
- 張慧倩譯，21世紀大趨勢(Rotstein, Ronald D.原著，1993年出版)。臺北：臺視文化。
- 蔡坤章譯，未來的衝擊(Toffler, Alvin原著，1970年出版)。臺北：時報。  
(作者現為高雄師大工業科技教育系碩士班研究生)