

橋梁創新密碼 533—鄧文中的橋永不日落

蔡俊鏡 林同棧工程顧問股份有限公司 技術總監／博士

橋梁工程藝術家 主持修建世界百餘座橋梁

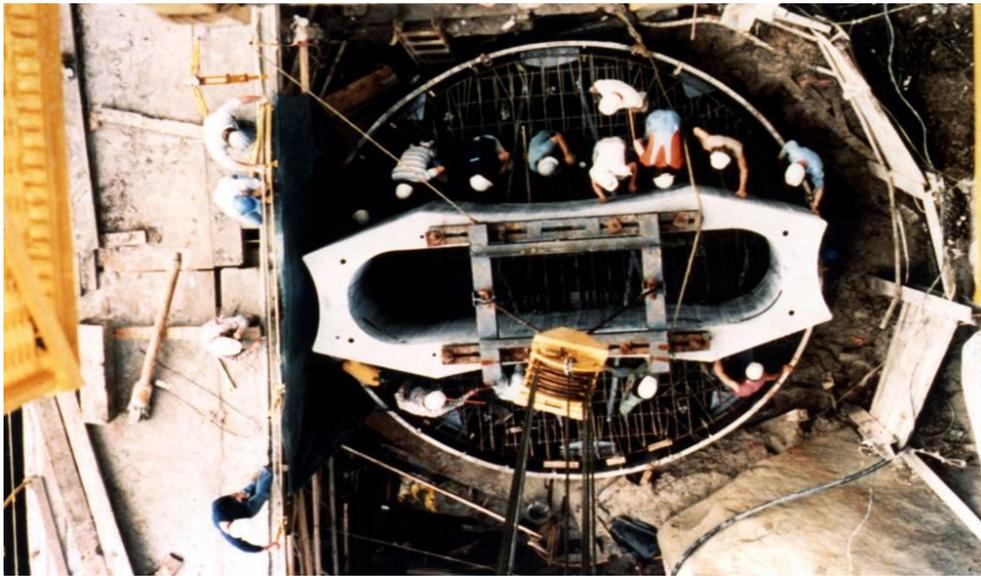
鄧文中博士主持修建了世界 5 大洲 100 餘座大型橋梁，其中有 6 座創建了當時橋梁的世界紀錄，他說每一座設計的橋就像自己的孩子，業界讚譽「鄧文中的橋永不日落」(The sun never sets on a Man-Chung Tang Bridge)。鄧博士現任林同棧國際公司董事長和技術總監，同時也是美國國家工程院院士、英國愛丁堡皇家學會外籍院士及中國工程院外籍院士，於 1999 年被「美國工程新聞記錄雜誌 ENR」評選為過去 125 年來全球最傑出 125 位工程師之一，並獲頒美國土木工程師學會的工程設計傑出終身成就 (OPAL) 獎。

鄧博士是國際著名橋梁大師，一位平易近人、謙虛且謹慎的橋梁工程藝術家，總是耐心傾聽別人的意見和看法。他知識淵博、判斷力敏銳，常從施工的角度思考設計。北卡羅來納林口伏橋 (Lincove Bridge) 考量保護國家風景區環境，不能開施工便道做橋墩基礎，只好從橋台出發，以漸進式工法 (Top down method) 逐段施作，由完成橋面從上往下施作橋墩及基礎 (圖一)。承包商採用他的設計，既可做橋面，又可做橋墩，開發出世界上最複雜的懸臂工法橋，雖然造價昂貴，卻可滿足保護環境的需求。

鄧博士表示從來不覺得自己有什麼大的成就，只是憑自己的興趣多做了些事情。他之所以能比別人造的橋多一些，可說是生逢其時，碰到了歐洲戰後的重建，美國的交通大興土木時期，以及中國大陸改

《橋梁設計》

革開放時期，因此有大展身手的機會。為何選擇當一位橋梁工程師？因為可以看到自己設計的作品，對於一個工程師來說，最值得欣慰的事情，是他曾坐計程車去重慶菜園壩長江大橋的工地現場，當司機知道他是設計者後，堅決不收車費，理由是很喜歡那座橋。



圖一 北卡羅來納林口伏橋墩施工（參考 TYLin 公司檔案資料）

創新密碼 533

鄧博士知名於全球工程界就是靠著創新，他的設計理念化繁為簡，深入淺出，小故事大道理。鄧博士主張自然、簡潔、原創和協調，世界上最著名的橋梁常與當地融為一體，這是創新的一種體現。

創新就是以新的方法或理念去創造新的價值，鄧博士提出創新的密碼是「533」（我想想），創新就這麼簡單，公式「5 個 I+3 個 W+3 個 C=創新」。「5 個 I」即為「invention、improvement、incorporation、increase in value、incentive」，創新的定義就是「發明、改進、融合，創新的標準即為增值，創新的動力就是獎勵。」「3 個 W」則教我們敢於提出「why, why not, what if」來達到創新，以「為什麼」、「為

《橋梁設計》

什麼不」，和「假如…又如何」來進行創新的思維。「為什麼」這個問題會啟發人們對現狀的挑戰；「為什麼不」的問題，是引進新的概念和突破約束的機會；「假如…又如何」是要保證新觀念的可行。最後擁有「3 個 C」是「capability, courage, chance」才能構成創新的先決條件，具備能力、勇氣和機會三個基本條件，一個人的能力可以通過學習或實踐獲得。

創新者在提出「為什麼不」之後，要有勇氣來面對挑戰，不斷反覆思索「假如…又如何」來完善創新過程，不可以做「差不多先生」，要告誡自己「我們無論做什麼，都要做到最好」。創新一定要增加價值，他常舉的最經典例子，就像破洞牛仔褲也是創新美學，售價還比完好的牛仔褲貴，美國電影製片將中國熊貓加功夫，創新變成功夫熊貓，電影熱賣賺大錢，兩者都增加了新價值。

創新設計案例

鄧博士的橋梁作品，每一件都是獨特的，也是用心思考出來的，針對創新拱橋可以將傳統垂直式拱肋，向外斜、向內斜、合併、旋轉等，他的設計作品揚名於國際無數，茲列舉近期代表性的 6 件作品說明創新關鍵如下。

1. 舊金山新東海灣大橋

創新關鍵：橋型呼應西橋，優化橋塔耐震系統

舊金山新東海灣大橋(圖二)建於 2002 年至 2013 年，主橋為單塔非對稱跨徑自錨式吊橋，主跨徑 385 公尺，總橋寬達 79 公尺(兩側各 5 車道)，橋下的航道淨空為 48 公尺。東海灣大橋老橋因為耐震能力不足，全部拆除，另外建造一座新橋。現有西海灣大橋為兩座吊

《橋梁設計》

橋串聯，舊金山灣區居民要求建新東海灣大橋與環境相配，主橋造型經評選有斜張橋及吊橋兩個方案，初步設計提出門型塔及單塔各兩方案，灣區居民鍾情於單柱式橋塔方案，最後以相對應西海灣大橋之吊橋主索弧線造型，捨棄斜張橋，採取造價昂貴的單塔吊橋，整體造型呈現最佳橋梁力學及美學。

新東海灣大橋主橋因地質不好，採自錨式吊橋，兩端無需設置傳統吊橋主索錨座，因位處在美國地震最嚴重的地區，單柱式橋塔屬於非贅餘結構，大地震後造成塔底塑性鉸而不穩定，耐震設計理念是不允許的。為考慮美學及耐震需求，橋塔依舊是中央門型塔四柱系統，車道配置在兩側橋面，兩側主索配置似 A 型懸吊兩側橋面版，對用路人開車視覺感受強烈，兩外側主梁中間以橫梁連接。

主橋將傳統門型塔四柱內移，縮短水平橫梁（剪力桿），外觀看似單柱式橋塔，仍是門型塔系統，大地震後橫梁（剪力桿）吸收能量產生塑性鉸，如同棄車保帥，橋塔仍可穩定，滿足設計要求及耐震能力，既創新又穩妥，且安全耐久，設計壽命達 150 年，2015 年獲國際橋梁與結構工程協會（IABSE）頒贈最優秀結構獎。



圖二 新東海灣大橋主橋（參考 TYLin International 網站）

2.天津大沽橋

創新關鍵：不對稱雙外斜拱，象徵太陽月亮

天津大沽橋(圖三)建於2003年至2004年，採用不對稱雙外斜繫桿式拱橋，主跨徑106公尺，獲2006年國際橋梁大獎「尤金·菲戈獎」(Eugene C. Figg Medal)。設計構思為「日月雙拱」，由兩個不對稱的拱構成，大拱面向東方，向東傾斜18度，象徵著太陽，高39公尺；小拱面向西方，向西傾斜22度，象徵著月亮，高19.2公尺；人行道邊小燈則象徵著星星。

兩個不對稱鋼拱採用梯形斷面拱肋，受限橋下航道淨空，主梁僅厚1.3公尺，為解決超寬橋面拱橋吊索懸吊問題，將兩外拱內移縮短橫梁長度，滿足橫梁剛度要求，並以拱肋區隔，內側為車道，外側為人行道及觀景平台，主梁鋼箱內另增加水平預力鋼鍵，以預力加鋼構提高抗疲勞性能。



圖三 天津大沽橋 (照片提供：橋梁雜誌)

3.重慶菜園壩長江大橋

創新關鍵：提籃造型雙內斜式鋼拱，Y 型橋墩簡潔優美

重慶菜園壩長江大橋(圖四)建於2003年至2007年，為公軌兩用提籃型鋼拱橋，主跨徑420公尺。重慶是一座山城，像個美麗仕女，當初為了設計，鄧博士特地在重慶住了一段時間，是他在中國親自設計的第一座大橋，也是一座充滿創新要素的大橋。菜園壩長江大橋採雙內斜式鋼箱拱肋，較鋼管拱肋簡潔，桁架主梁高近12公尺，上層有6車道及雙側人行道，下層為雙線輕軌車道，以倒梯形穿透式桁架主梁，減輕雙層橋之巨大量體。

大橋考慮長江水位變化大，且橋下已有足夠航道淨空，為避免船舶撞擊拱肋，在高水位也能呈現完整拱橋造型，所以採用中承式鋼拱橋，擺在混凝土Y型橋墩上，並取消Y型橋墩上垂直支撐，造型更簡潔。另為讓大橋在重慶多霧中環境脫穎而出，菜園壩大橋的鋼拱顏色特別選用橘紅色。



圖四 重慶菜園壩長江大橋(照片提供：橋梁雜誌)

4. 瀋陽三好橋

創新關鍵：百合花造型雙外斜式鋼拱，融合斜張橋及梁橋

瀋陽三好橋(圖五)建於2007年至2008年，為單塔雙斜鋼拱斜張橋，主跨徑100公尺，獲2009年國際橋梁大獎「尤金·菲戈獎」(Eugene C. Figg Medal)。三好橋造型像一朵綻開的百合花，又被稱為「渾河上的蝴蝶」，第一座正式採用了「索輔梁橋」(Partially Cable-Supported Girder Bridge)或稱部分斜張梁橋的設計，融合了斜張橋及梁橋的特性，適合中跨徑橋梁，為節省造價採用混凝土主梁。

三好橋側面像篷車型橋塔，為改善力學行為，雙斜鋼拱間增加多條水平吊索平衡外側吊索拉力。拱形橋塔非承受垂直載重有效的結構體系，不像一般的斜張橋塔要承受全部的載重，充份利用橋塔和主梁的承載能力，鋼拱橋塔僅承受永久載重的一半，達到較高的經濟效益。梁底淨空雖滿足防洪需求，為考慮特大洪水淹入主梁，在主梁底板增開排水孔俾利洩水。



圖五 瀋陽三好橋 (照片提供：橋梁雜誌)

5. 福建三明台江大橋

創新關鍵：橢圓拱形橋塔，三度空間斜拉吊索呈現力與美

福建三明台江大橋(圖六)建於2007年至2010年，為單塔鋼拱斜張橋，主跨徑110公尺。台江大橋也是以「索輔梁橋」理念設計的，鋼拱橋塔僅承受永久載重的一半。基於節省造價採用混凝土主梁，拱形橋塔包含上圓拱、下斜柱及水平繫桿，拱非承受垂直載重有效的結構體系，吊索的垂直向分力在拱塔中產生了過大的彎矩，由於拱的下斜柱不能限制水平向外位移，故以繫桿拱概念經由水平繫桿來限制這個拱往外變形，並減小拱肋彎矩。同時也增加了一個垂直向吊索，通過調整吊索的內力，確保水平繫桿的拉力及橋塔的安全。



圖六 福建三明台江大橋(照片提供：橋梁雜誌)

6. 重慶嘉悅大橋

創新關鍵：斜張橋矮橋塔高墩柱比例佳，特色彈弓造型主塔

重慶嘉悅大橋(圖七)建於2006年至2009年，為雙塔斜張橋，主跨徑250公尺。大橋分為上下兩層，車行上層，行人走下層避免日

《橋梁設計》

曬雨淋。嘉悅大橋為避免梁橋量體粗大，也是以「索輔梁橋」設計，採矮橋塔高墩柱比例較佳，外型像脊背橋 (Extradosed Bridge) 或稱矮塔斜張橋，並以外斜橋塔來增加行車視覺開闊效果，主塔造型似彈弓。橋面離水 70 公尺，雙柱式 Y 型橋塔採混凝土構造，並考慮不同水位條件下船舶撞擊的影響。



圖七 重慶嘉悅大橋 (照片提供：橋梁雜誌)

橋梁的創新包含新橋型、新材料、新結構及新工法，鄧博士很重視橋梁的藝術性，他說只有懂得綜合和創造性應用設計理論、新型材料和施工技術，造出最適合的橋，才稱得上造橋藝術家。因此他鼓勵橋梁工程師，不斷地努力提升自己的修養，以期達到一個自成一家的大家境界。他認為橋梁工程的工藝，就是創新穩妥和藝術化，同時也強調造橋務必堅持安全、實用、經濟和美觀的宗旨。