

農業是各種資源供需上依賴大自然真知灼見的產業

你知道中共已放棄開發西北了嗎？中國西北早已是超負荷的地區，開發了幾年之後，沙塵暴愈來愈烈。2002 年春末，筆者有機會在西北走了 6 千多公里，不毛的沙漠裡看到許多破壞鮮草地最嚴重的山羊成群結隊，看到電視裡吹捧的綠化英雄竟然是靠大隊人馬挑著成千上萬桶淡水塑造出來的。雖然渠底均有防滲處理，灌溉渠道依然大量地擴張 (梁，2002a)。植物根部大部分的時間都已處在離地下水位 6 公尺以上的距離 (Shi and Liang, 1993; Wang, 1993; Shi, 2000)。在這樣的水資源條件下，那堪再度蹂躪？

農田水利生態工法的迷失

文圖 | 梁昇* 中興大學水土保持學系 · 楊宏敏 中興大學水土保持學系

同年夏天筆者在美國大平原走了 2 萬 1 千公里，極類似中國西北景觀與條件的美國大中部，對農地的使用卻有完全不同的理念。它標榜的是「自然系統農業 (natural system agriculture)」，儘量地模仿大自然。在極端乾旱的農地上，同一穀物作物要種上不同的生長季長，短期的與多年生，高的、矮的，細葉的或闊葉的等不同類型的品種，混雜種在一起。在美國大平原條件下，雖然不見得每一種品種都達到最高產量，但是多多少少有收成，總比全盤皆輸好得很。牧地除了採輪牧外，也要配合摻雜嗜食不同草類的畜種，才不致改變牧地的草種優勢狀況，才能維持最佳牧草生產力 (Mitchell, 2004)。

反觀我們的農業，廣大的休耕地、海

邊的荒蕪區，雖然沒有中國西北的無奈，但也道出了許多問題。

筆者參加了今年 4 月 21 日的國家永續發展會議，發現包括分區及預備會 (4/14 舉行) 上千位與會專家，竟然十分認真在爭議「假借生態工法」的新名詞 (行政院，2006)。顯然，大多數的專家學者已懷疑「真的生態工法」出現過嗎？大肆宣稱「生態工法的『失』『違』」的台大森林系的陳信雄教授寫著：「…不過是植生工法的延伸而已。只見他們以植生來覆蓋山坡，以砌石來保護河岸及河床，…」 (陳，2005)。大家已十分坦白地互相質疑，你了解生態工法嗎？所以作者不辭筆拙，本文要探討農田水利生態工法到底要帶給我們什麼樣的具體感覺才對。

生態工法多取其正向生態系統功能

我們不仿認為農業是在生態系

(ecosstem) 裡人類主導的一種活動。所謂生態系可釋為非生物的 (abiotic)、生物的 (biotic)、與人為的 (anthropogenic) 等成分 (component) 交互作用結果的功能單位 (functional units)。生態系功能 (ecosystem functioning) 包含系統中任一成分及其生態的 (ecological) 與演育的 (evolutional) 過程 (process)。因此農業行為跳不脫農作物本身與大自然的演育。雖然我們對生態系功能與生態系的交互作用尚不夠清楚。但是多多少少我們已看到 20 世紀下列生態功能負向效應的 3 大問題：不可更新資源的耗竭，可更新資源的更新效率太慢，人類科技尚不足恃。

1. 不可更新資源利用的耗竭：人類開發石化原料之後，不斷地複製這個石化原料為

基礎的成功經驗。然而石化原料被視為不可更新資源 (nonrenewable resources)，其開發過程的殘留物如硫酸性礦址造成廣泛的污染，其提煉過程或衍生製品過程產生毒性更高的附生廢物如汞污泥，產品被使用後而丟棄卻又有不易分解、無再處理價值或占用太多空間體積，廢棄產品處理時產生毒素 [尤其含有世紀之毒戴奧辛 (dioxin)]，與石化原料產品使用時有排放硫化物、二氧化碳或甲烷等問題。如此工業化的結果，在 20 世紀，大氣層的二氧化碳與溫室效應，土壤和水中有毒物質的增加，以及生態系統的改變如河川的缺氧、湖泊水域的氮與磷污染，藻類急速生長而導致優氧化 (eutrophication)，都是重大生態系議題。

以二氧化碳的增加為例，主要來自石化燃料使用的增加，持續性二氧化碳增加是造成氣候改變的主要原因。人類進入 21 世紀國際間透過類似「京都協定 (the Kyoto Treaty)」企圖來限制石化燃料使用。氮污染的問題則由於氮肥的生產和使用，農作物中氮的增加，以及土地排水釋放出長期存在土壤中的氮，20 世紀時生物氮已呈倍數成長。像這樣人類在本質上是想要養育地球，卻成反造成自然生態系統 (如河口) 或重建系統 (如森林與濕地) 生態劇烈地改變。不可更新資源為主力的開發與損耗方式如不改變，污染物依資源耗用量等比例的增加後，將是有生態環境失控的後果的。

2. 可更新資源的更新效率太慢：那些可自我維護或著藉由明智的管理，可以持續補充的資源即是可更新資源 (renewable resources)。我們可以自可更新資源得到幫助嗎？可惜現況卻是，空氣、水、動物、野生動物與植物等，也在人口的增加下大量縮減。林等 (2000) 指出森林吸存二氧化碳多少

依森林淨生產量而定；自然林近於零，人造森林的利用森林不斷維持淨生產量，吸存二氧化碳大有機會高於釋放。然而，高明的人造森林經營者卻是鳳毛麟角，土地面機會也極為渺茫，欲依賴可更新資源恐尚是十分遙遠。

3. 人類科技尚不足恃：傳統的環境工程技術，其實只是轉移污染源的受體而已。如都市區內的廢水內含有毒物質，技術上尚無法以機械 - 生物廢水處理場進行生物分解，雖可藉污泥活性達成分解，但是接下去的污泥的轉移出處則再造成污染。如果施用污泥於農作物區作為土壤的調解劑，則污泥內含有毒物質會污染土壤，這種土壤的農作物產出物因此有毒。如污泥加以火化則會造成空氣污染或毒灰燼 (尤其含戴奧辛)。如污泥加以脫水 (dehydrated) 而成固體塊，仍有永久性儲埋空間的需求。毒物一旦製造出來，科技也難消滅它。傳統的水利工程很難在洪氾與乾旱處理技術上保有生態不被破壞。

由上述 3 大問題造成生物多樣性減少，二氧化碳濃度增高，地球暖化，冰山變小，聖嬰現象加劇，污染 (土壤、水、空氣、物種、基因) 為害。如果有任何補救行動，須要最有影響力的人類行動幫忙。農業原是人、力、資源等投入密集的活動，任何能產生效應的補救行動，同樣要投入密集的活動。效應有正有負，人類再一次選擇捨負就正。

生態工法大多需要創新

本節要回答為什麼要有生態工法？這個生態工法需要那一種藍圖？依這個藍圖設計的專家與傳統工程師有何不同？

人類走到了 20 世紀是一個包括了此 3 個壞後果的生態系：不可更新資源的減少、可更新資源更新效益差與人類科技不足恃。今日、或台灣的環境、台灣農田水利大環

境。它的理想狀況是什麼的輪廓？回答這個問題須要下列問題的答案，不可更新資源可能不再減少嗎？可更新資源更新效率會提高嗎？人類科技有沒有改善的空間？如果我們可以給個肯定的答案，這些答案必然能使現在回到更自然的生態輪廓裡。這就是說，我們經歷了環境如前述由好變壞三後果，我們現在的任務是使環境由壞變好。因此問題的核心是認識變化與充分掌握好的理想輪廓。由好變壞的過程中有了甚麼變化？由壞變好的過程中要回復什麼？因此，這個理想的輪廓就是生態工法需要達成的藍圖。如能依健全的生態系統來整修現在的生態系統，健全的生態系統架溝就是藍圖。現在的生態系統的整修所須，又為什麼非生態工法不可？

在古典的工程案中，工程師嘗試預期所有可能發生的事，所以他規劃設計工程以提供一可預期的系統。這個系統會在壽命內完美地執行任務，如飛機、建築物、微晶片或水壩。根據這個預期結構配合安全因素。但是生態工程卻不是如此。精密且可預測的結構乃依賴大自然自我設計一個自我永續的生態系統能力，大大地超過工程師的智慧。所以自然才是承包商，人

類工程師只提供會全面增強生態系統自我設計的能力的環境一個可能的傳播途徑。生態工程依賴生態系統和自然自我設計能力，在當改變發生時，自然系統跟著轉移或會重組。更適合的環境新系統出現後，自然就接手控制了一切。

因此生態工法要使現有環境產生變化，而且朝向藍圖靠近。過去我們的行為多是累積負效應，而有產生背離藍圖的方向，促成這些負效應變化的手段與方法顯然要丟棄，或者要修正。無論修正或採用全新的方法，就需要創新。一旦新主意提出，新的對策形成後，需要新的質材、新的過程與新的架構，就須要研發與支持研發的動力，並且最後在市場成功，而終而回饋造就新主意的成功，生態工法才算有成。

非生態工法與生態工法對照簡易解說例

台灣水利界在河川整治制式方法上，工程師十分嚴格地遵守流量不減定律，但卻忽視河川形態定律，因而被譏為結構物狂 (structural mania)。如圖 1 是某一類型河川 A 到 B 的一段，假設有 3 公里長；它提供的藍圖之一是 A1、B1 與 C1 三個河道斷面能通過一樣流量，縱使是有不同意義，如圖 2。

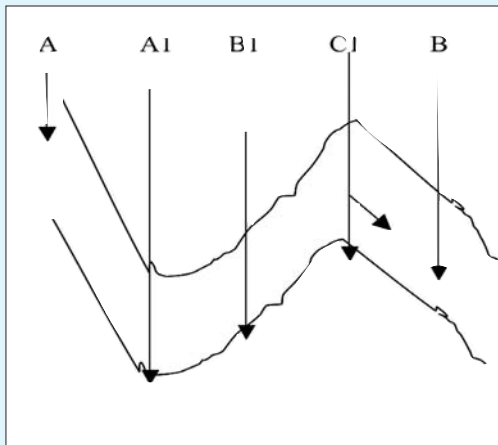


圖 1. 3 公里的河段示意圖

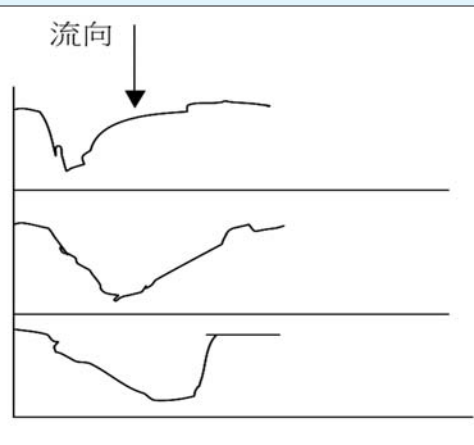


圖 2. 三種河道斷面大不相同 (由上而下依次為 A1、B1、C1)

在整治時，認為 A、A1、B1、C1 與 B 全部的點位斷面均要能通過等量的水量。譬如 50 年 1 次 $Q = 10 \text{ cms}$ ，3 個制式斷面都是 8.0 公尺寬，1.25 公尺深的矩形河道設計。傳統水利工程師這個整治方案合理嗎？如此完工後會遭遇甚麼考驗？河水流過 A1、B1 與 C1 三個整治點各會有不同狀況產生的。如果以 A1 斷面來說明，2 種常用的工程結構方式分別有常見的失敗是在圖 3A 時，順流方向的右邊岸，會發生溢流；圖 3B 時，順流方向的右邊岸，會發生河岸崩塌或岸腳淘刷。工程師常採取的進一步矯正手段常是：前者在圖 3A 的兩岸加高河堤，後者在 3B 圖的右岸加強保護工或加強護岸結構。我們陡然增加許多工程，效果呢？安全卻沒有提高，不是結構物狂，又是什麼？

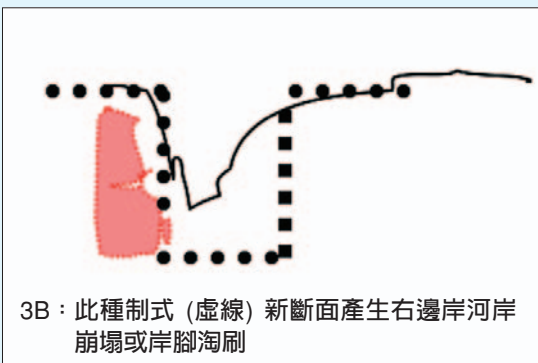
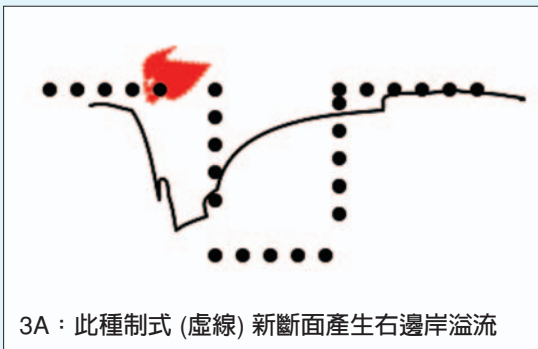


圖 3. A1 整治點在同 Q 條件，依 2 種不同整治法所產生 2 種可能断面產生的災害類型。補救方案常見 3A 的兩岸加高河堤，在 3B 的右岸加強保護工或加強護岸結構

一個生態工法工程師他會有不同的設計邏輯，除非 A 到 B 的蜿蜒不適合此河川，否則他會先充分地認識圖 1 中 A1、B1、C1 的断面形狀係因自然演育的結果，它是設計上的藍圖，它的幾何形態是首先必先維持的。如果這個河道幾何通水量裝不了 10 cms，就不得不採干擾河川形態最小的設計型式來處理或分流甚至取水，以保不溢流。如果會有圖 3B 的側蝕破壞力，有許多方法是不必在這個断面的堤岸位置施加額外補強的工程。生態工法可能設計能配合河道健康時所須的断面形態，順暢安全地排水。

一個成功的生態工法實例

這個案例在整治上稍有修正河段蜿蜒，因此整治断面較圖 3 有較大幅度的變化。筆者（梁，2002c）來到 Colorado 州 San Juan 流域的上游支流 East Fork 河，原如圖 4 為 5 公里河段，1930 年時全 5 公里河段是像現在上游約 2 公里河段（圖 5）一樣，兩岸林地良好，河道在洪水平原上（圖 4 上褐色帶形）原是單線蜿蜒蛇行（圖 4 上白色線形），河寬甚小，但水流順暢，美景宜人而十分穩定；為 C4 型。地主 Mr. Don McCarthy 將河旁的林地闢為牧場，（圖 4）5 公里河段的後 3 公里下游河段開始發展為 D4 型；後來又因都市發展，取用 70% 的河水；水災加劇。透過 Rosgen's river classification 為依據，兩度系統性來掌握自然河川自我設計能力，卻以改建河道形狀與改建河床断面同時進行為手段。配合如柳樹土堤（圖 7）、交叉壩（cross vane）（梁，2002b）（如圖 8）、突堤（wing deflector）等有效的工法組合，終於發揮因勢利導功效。對鱒魚棲地有顯著的效應，鱒魚數目增加與每尾鱒魚生物質量增加。



圖4. 美國 Colorado 州 San Juan 河支流 East Fork 河一處短短河段的 2 種類型。



圖 5. 改變前河段位在上半段，是單線、景色優美的 C4 河段。



圖 6. 演化成 D4 型的河段為一絲辮狀，泥沙到處，美景不在。

其他如沖蝕、污染、減水、土石流等災害也影響河道演育。它可能以水流、泥沙、河岸安定與河床安定為表徵。可知河段的類型斷分有其形整治後增大河道中央的剪應力，且因降低寬/深比(圖 7)，河道岸蝕可不再發生，泥沙不再淤積，河道景觀可以長期維持。本例為不穩定的 D4 型。它最可能演變的穩定型是 C4 類型，故本計劃配合的工法均採配合 C4 類型的工法。1994 年 11 月完工後，此河內的 2 種鱒魚，經 3 次調查的結果，每尾在平均 0.3 - 0.41 磅的

生育期彩虹鱒魚數目，明顯地增加，已經可以反應出對鱒魚棲地顯著的改善效應。至於褐鱒魚，由於生育期不一致，但極有可能同時看到鱒魚數目增加與每尾鱒魚生物質量增加的答案。

圖 9 表示整治後河床監測結果證明在此蜿蜒下河床斷面是穩定的。最近國內亦有這類學者出現(楊與王, 2006)，水資源規劃研究所應延攬來主導生態工法研究，以期早日革新河川整治設計。



圖 7. 整治後降低寬/深比

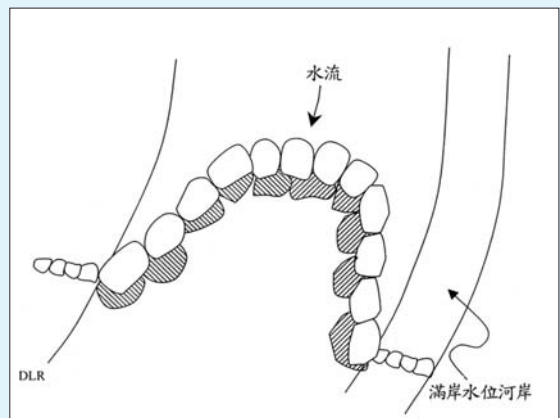


圖 8. 交叉壩

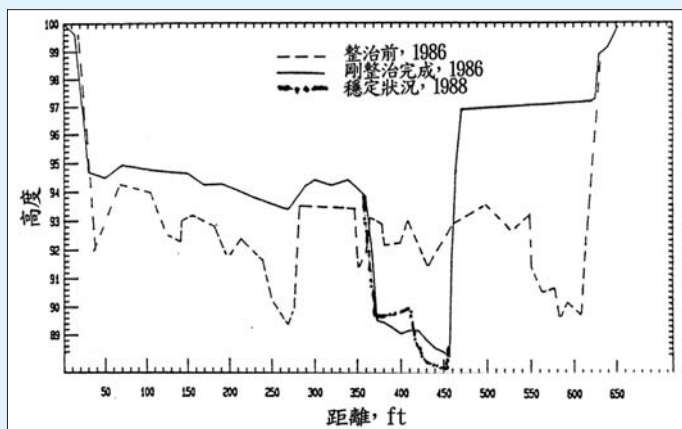


圖 9. East Fork 支流河段整治後河床甚至於完全符合期待

東勢林場四角林的野溪整治惡例

筆者在今年 3 月造訪年訪客高達 30 萬人的東勢林場後，十分地驚訝發現場方深受沖蝕溝之困擾；甚至於四角林的野溪整治根本違背生態工法的精神而全盤皆輸。本例工程師對蜿蜒的意念不足，木樁丁壩 (圖 10A)

是多餘的，因為逕流僅通過河道中心 (圖 11B)，沒有挑流的須求，河床保護工有更好的方法 (梁，2002a)。丁壩本身不符安定條件 (圖 11A)，不知因應地質、裸露與泥沙產生的問題，反而是大問題 (圖 10B 與圖 12)。工程師顯然失於因地制宜。



A. 不符設計頻率年觀念與功能不明的木樁丁壩。



B. 大於 10% 坡降的河床，4 月一場小雨下，獨留泥水與破損的結構。

圖 10. 5 月 2 日一場 2 小時暴雨徹底終結不當設計



A. 5/21 暴雨使所有的丁壩均遭破壞



B. 從側面看逕流僅通過河道中心

圖 11. 逕流僅通過河道中心丁壩根本就是多餘的，且是破壞的元兇



A. 野溪旁上游步道邊坡不安定區弧形頭部是泥沙來源之一



B. 沒有正確依地質條件整修邊坡

圖 12. 泥沙來自設計不當與施工不良

* 梁昇教授為教育部第 1 屆生態工法種子教師

參考資料

行政院，2006，國家永續發展會議手冊。

梁昇，2002a，「騰格里沙漠邊緣一處沙丘調查例」，沙塵暴學術研討會會議論文集，蒙藏委員會，262-279。

梁昇，2002b，「河川自然工法(1)應用J鉤壩」，水資源管理2002研討會論文集，525-538。

梁昇，2002c，「河川自然工法(2)創造社區利基的河川規劃」，水資源管理2000研討會論文集，563-574。

陳信雄，2005，「生態工法的思維」，台灣林業 31(4)39。

楊佳寧、王永珍，2006，「從沖積河川學談生態工法在河道棲地復育之應用」，中華水土保持學報，37(1)77-90。

Malakoff, D., 2004, "The River Doctor," Science 305(5686)937-939.

Mitchell, J. G., 2004, "Change of Heartland - The Great Plains," NGMMay, 2004, National Geographic Magazine.

Mitsch, W. J. and S. E. Jorgensen, 2004, Ecological Engineering and Ecosystem Restoration, John Wiley & Sons, Inc.

Rosgen, D., 1993, "River Restoration Utilizing



C. 毫無根據的邊坡整治法

Natural Stability Concepts," in Conference Proceedings, Watershed '93. A national conference on watershed management, USDA, Alexandria., Va.

Shi, J., and S. Liang(梁昇), 1993, "Oasis Desertification and Water Resources Utilization in Shiyang River Basin," Proceedings of the International Conference on Environmentally Sound Water Resources Utilization, 8-11, Nov. 1993, Bangkok, Thailand. ppIII240-III245.

Shi, J. 2000, "Ecological Aspects of Water Demand Management~A Case of Minqin Oasis in China," International Water Resources Association, Water International 25(3)418-424.

Wang, Ben-Jin, 1993, Drought Analysis in the Shiyang River Basin, PROC," Ms Thesis, AIT, Bangkok, Thailand. 