第15章 河流系統簡介：關鍵主題，目標，缺口及未來方向

關鍵訊息

本章介紹河流環境中的自然與自然為本特徵 (Nature and Nature-Based Features, NNBF)應用 (在第15章到19章中討論)，相關主要訊息總結如下：

1. NNBF 在河流系統中的應用可以通過整合水文、水力、形態和生態原理來降低洪水風險，儘管集水區的規模各不相同，但有適用於所有規模的通用措施。
2. 將 NNBF 納入洪水風險管理，除了降低洪水風險外，還具有經濟、社會和環境等多項共同利益。
3. 使用整體集水區治理方法進行河流洪水風險管理 -- 避免將風險轉移到上游、下游或鄰近地區。
4. 可能的情況下，在集水區內使用嵌套的 NNBF來應對。
5. 盡可能保存集水區內儲存和削減洪水的自然特徵及過程。
6. 採用積極的集水區管理策略，儘量減少砂石流入河流系統，同時降低暴雨逕流。
7. 制定計畫，讓權益相關者、非政府組織、土地所有人和地方當局共同參與加入，並獲得他們全體的支持。
8. 擬定長期計畫用以監控特定流程與參數，包括適性管理。

本《洪水風險管理自然與自然為本特徵的國際指南》(*International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management)* 的河流部分包含以下五個章節：

第15章 河流系統簡介：關鍵主題，目標，缺口及未來方向

第16章 河流系統及洪水風險管理

第17章 NNBF 在河流系統中應用的好處與挑戰

第18章 河流的 NNBF 描述

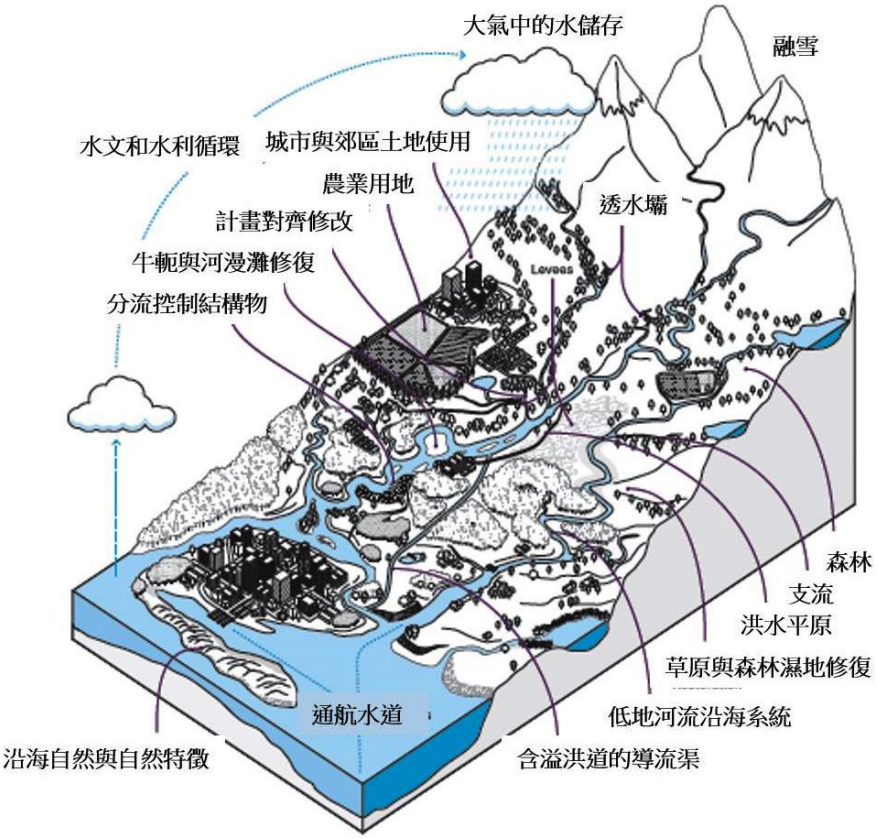
第19章 河流的 NNBF 案例研究

這五章河流章節是相互關聯的，但也可單獨閱覽。它們提供了關於河流系統及其與人類使用地景連結的一般概論。第 15 章介紹河流環境的自然與自然為本特徵 (NNBF) 的應用。第 16 章描述河流系統及其與洪水風險管理 (Flood Risk Management, FRM) 的關係。第 17 章描述河流系統中 NNBF 相關的好處與挑戰。第 18 章概述了可推廣於河流應用的 NNBF 的角色與範圍。第 19 章提供來自世界各地不同類型河流 NNBF 應用的案例研究。

集水區是河流系統中規劃和設計 FRM 基礎設施的適當尺度。它們包含許多自然

特徵和物理過程，共同調節水、砂和養分通過系統的流動 (圖 15.1)。集水區包括森林和草原高地，從高山濕草地到低窪沼澤的溼地、冰川景觀、河道及洪水平原。河流地貌發展過程與植被以及大型樹木、氾濫平原環境相互作用，並且與含水層一起運作，在地下水-地表水交換過程中，隨著時間的推移將水貯存和釋放到地表水體中。河流和相關的洪水平原生態體系自然地貯存洪水、消散流動能量、儲存砂石、淨化水質、循環養分，並為水生、河岸和陸地生物群落提供棲息地和食物來源。集水區通常包括開發的都市地區，在此人造基礎設施和自然環境共同控制著水的流動。

圖 15.1 集水區示意圖



15.1 NNBF 在河流的環境中的目標

在河流的環境中應用 NNBF 的主要目標是通過復舊、強化或模仿自然水力、形態和生態功能與過程來降低洪水風險 (Lane，2017)。儘管集水區的規模和地貌各不相同，但應用 NNBF 的原因很多，例如：

- **攔阻、貯存、減緩或分散整個中、上游集水區的洪水，盡可能利用原生植被來攔阻和貯存水和砂，並減緩侵蝕**。NNBF 有助於消散洪水能量，減輕侵蝕造成的土地流失，並可減少河道切口和聚集。
- **改善河道與洪氾區的聯通性與相互作用 (為水創造空間并為河川創造空間) – 尤**

其是在開放空間也被指定為洩洪所在時。這種方法應減少如疏浚或清除植被等維護輸運時的干擾。

- **保持或恢復砂石平衡** (Wohl et al.，2015)，**通過適當的土砂形成過程，不僅可保持河道地貌，而且可維持洪水平原和三角洲**。此乃藉自然過程以提供彈性和永續的設計。
- **以複製或模仿自然特色或過程的方式來恢復或維持低地與三角洲的功能**。這包括歸化和平衡渠道容量和運輸，以提供渠道穩定、水生動植物恢復及防洪替代方案。

將具有這些功能的NNBF納入集水區規劃及工程，有助於經濟財務上減輕當地與下游之洪峰及影響，同時提供生態系統服務的共同利益，例如：

- 地下水補注與乾旱改善。
- 水質改善與淡水供應量增加。
- 生物多樣性增強與棲息地改善。
- 比傳統基礎設施更美觀。
- 人類健康、福利和休閒娛樂機會。

河流的 NNBF 可能涉及現有工程系統的強化、重新設計或重新調整 – 不一定是結構設施的大規模更換。NNBF 措施應被視為洪水風險管理 (FRM) 組合的部分，它通常可以增強傳統的防洪基礎設施。

15.2 缺口和未來方向

在與河流的 NNBF 相關的下列領域需要增加的作為：

1. 需要更好的科學證據來支持有效的決策。目前缺乏對個人、系統性能及監控的了解阻礙了這一點。
2. 需要加強溝通與現地了解。對當地的狀況和權益相關者的重要性缺乏重視，阻礙了 NNBF 的更廣泛利用。
3. 河流的 NNBF 的商業案例存在不可融資的風險 (那就是資助者不願承諾或參與共同資助)。了解收益流與優化資金安排可減少這些問題。
4. 治理和制度上的差距使得 NNBF 的實現變得複雜。次優 (二等)政府和機構設置或對這些因素關注太少，會阻礙甚至阻止 NNBF。
5. NNBF 在集水區的位置不同，也因國家而異，即已開發國家與開發中國家而異。後者提供了相較於 NNBF 眾多好處的一個機會，並將其與聯合國的永續發展目標 (United Nations' Sustainable Development Goals, SDGs) 相結合，促使各國實現永續發展目標。這可進一步提高公民的福祉。

使用 NNBF 應對氣候變遷影響需要進一步研究。我們預測河流的洪水風險管理中有下列發展領域：

1. 為 NNBF 制定適當的評估框架。與聯合國永續發展目標聯繫起來，展示 NNBF 在為世界創造更美好、更具可持續發展未來的附加價值。改進經驗基礎，以更好理解自然共存工程 (Engineering With Nature, EWN) 措施的性能。
2. 在規劃階段，投資於長期 (10年或更長時間) 監測計畫 (例如：生態、形態、洪水風險、社會支持)，並分析有關自然共存工程措施運作的數據與科學證據。
3. 繪製當地權益相關者、社群網路、非政府組織、社區居民和相關網路的地圖，為NNBF措施提供堅定的支持。制定參與式決策的新方法，讓所有關鍵權益相關者參與其中。
4. 建議根據集水區內可能實施自然共存工程措施的確切位置，進行更詳細地研究NNBF，包括關注在都市發展中使用 NNBF 的潛在優勢。集水區的地理規模各自不同，洪水風險問題可能發生在集水區內任何地方 (源頭、中游、三角洲)。一定程度上，在集水區的位置將決定何種自然共存工程措施在有效性與價值上取得最佳結果 (必須定義最佳，可能需要使用合適的評估架構)。
5. 投資於生態學、形態學和水力學等建模工具。執行基準研究，以從不同模式中學習並實施最佳操演。於此同時也要投資遙感工具及衛星和遙感數據的相關分析，因為它們不僅可以快速建構詳細的數值地形模型 (Detailed Digital Terrain, DTM)，用以建立模型，還可以用於快速監測與評估河流棲息地和洪水。使用此模型可描述自然共存工程措施在集水區尺度以及中等尺度 (500公尺到數公里) 的實用性。
6. 加強政策和法律架構以支持自然共存工程措施的實施。這些可以在地方、國家，甚至陸地 (如歐洲) 或國際範圍進行。儘管在某些國家/地區有將自然工程措施作為替代方案的法律要求，但仍需要支持將自然共存工程措施列入洪水風險評鑑的一個完整部分而實施。

15.3 參考文獻

Lane, S. N. 2017. “Natural Flood Management.” *WIREs Water* 4 (3): e1211. https://doi.org/10.1002/wat2.1211.

Wohl, E., B. P. Bledsoe, R. B. Jacobson, N. L. Poff, S. L., Rathburn, D. M. Walters, and A. C. Wilcox. 2015. “The Natural Sediment Regime in Rivers: Broadening the Foundation for Ecosystem Management.” *BioScience* 65 (4): 358–371.

第 16 章 河流系統及洪水風險管理

關鍵訊息

1. 過去對河流及其流域的改造增加了洪水的風險。由於氣候變遷、人為因素和土地利用改變增加了自然河流系統及其功能的壓力，對洪水風險管理基礎設施更加大壓力。
2. 自然與自然為本設施 (Natural and Nature-Based Features, NNBF) 有助於減輕這些影響，減少洪水風險層級及對防洪工程構造物的依賴，同時可恢復自然環境，提供社會和生態的共同利益。
3. 隨著 NNBF 的好處呈現，更多的百姓可能會看到這些好處並希望在他們的集水區實施 NNBF。需要對 NNBF 進行監測和適應性管理以證明可增加的好處。
4. 堅持河流 NNBF 的 5項通則是保證河流應用良好的關鍵。

16.1 概述

如第 15章所述，本《洪水風險管理自然與自然為本設施的國際指南》(*International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*) 的河流部分包括第 15 章至第 19 章。第 15 章介紹河流環境的自然與自然為本設施 (NNBF) 的應用。第 16 章以第 15 章為基礎，描述河流系統及其與洪水風險管理 (Flood Risk Management, FRM) 的關係。第 17 章描述河流系統中 NNBF 相關的好處與挑戰。第 18 章概述了可推廣於河流應用的 NNBF 的角色與範圍。第 19 章提供來自世界各地不同類型河流 NNBF 應用的案例研究。

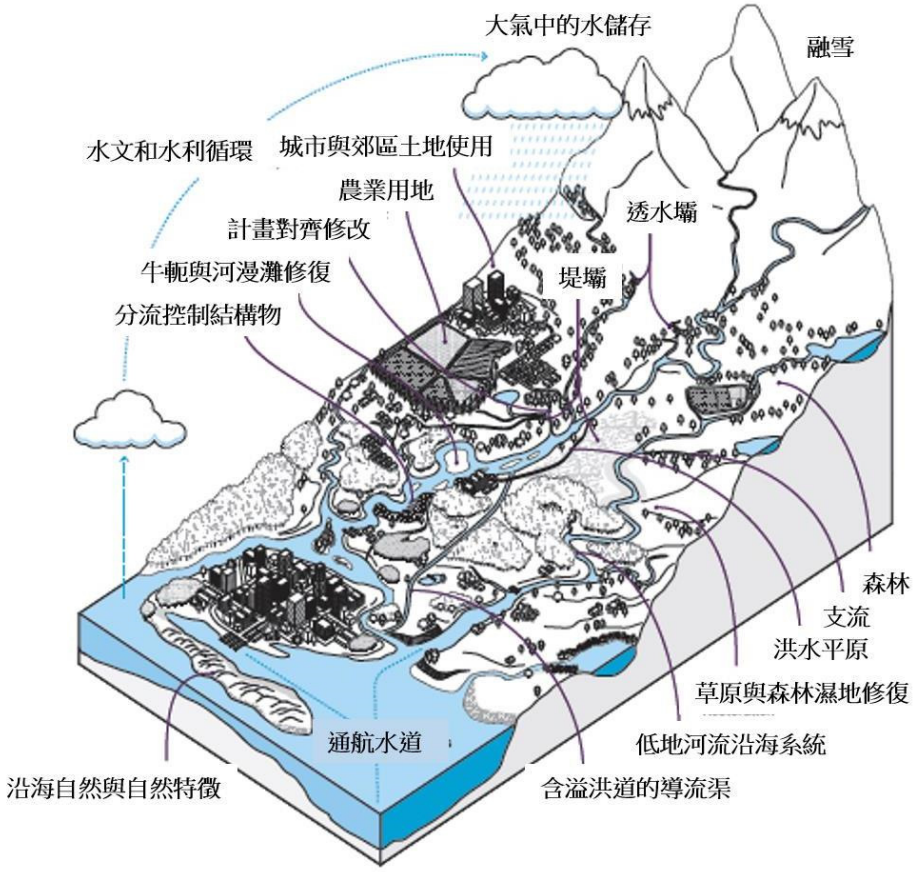
第 16.2節討論人類與集水區互動的例子及其後果。隨著人類最大限度的利用河流及其毗鄰的土地，他們陷入與自然水循環和過程發生衝突。天然河流 (此處定義為不受人類影響或幾乎不受人類影響的河流) 中的大洪水不被視為重大事件甚至是災難。當河流洪水淹沒了人類占有之土地或經濟活動地區，災難就開始了。在此情況下，河流通常 (但非總是)經過工程改造，由堤防等工程圍住的洪水平原。假如有一段時間降雨增加，系統將以同樣方式回應-氾濫平原被淹沒，如果容量不足，堤防、護岸、或圍牆會溢流或破裂。正因為如此，美國著名地理學家吉爾伯特-懷特 (Gilbert White)說：「洪水是天災，但洪水損失大部分是人為所致」(“Floods are ‘acts of God,’ but flood losses are largely acts of man”)(White，1945)。僅在美國，就有超過 23,600公里長由聯邦建造或監管的堤防和防洪牆，早期和非聯邦的堤防也多達 140,000公里長 (ASCE，2013)。

第 16.2.1節描述洪水風險的增長以及降低風險的方法。導致洪水的風暴不一定發生在洪水平原。洪水通常是集水區上游地區連續數日或數週降雨的結果。隨著水流入支流，然後進入主要河道，接著洪水發生在降雨事件的下游地區。許多因素正在加劇洪水風險，包括氣候變遷 (導致排洪量增加)、土地利用改變 (例如，都市化、森林砍伐或將洪水平原轉變為農田)、以及河流工程化 (例如，修建堤防、堰壩或河道截彎取直)。

第 16.2.2節討論使用河流 NNBF可以管理集水區洪水風險的方法。通過解決或減輕洪水風險， NNBF 還提供了重要的共同利益，那就是 NNBF 可用於降低洪水風險以外的其他理由 (例如，居於生態目的修復河流)，正如-第 17章中更詳細討論的那樣，這些情況下也將提供額外的利益；圖 16.1說明了 NNBF 可能解決的集水區特徵。

最後，第 16.3節討論在考慮使用 NNBF 來解決第 16.2節中討論的挑戰時需要考量的限制。

圖 16.1 集水區內各項特徵的配置



16.2 河流系統的壓力和人類影響的故事

河流是人類文明非常依賴的淡水的主要來源，因此它們是生命、能源、收入、娛樂和精神靈感的來源。河流提供飲用水、灌溉用水、肥沃的洪水平原利於農耕，以及人類、農業和工業的交通運輸廊道。它們支撐著漁業-生計、貿易往來和休閒娛樂，並提供瀕危重要魚種和野生動物的棲息地與遷徙廊道。河流氾濫平原也促進地表與地下水交換、地下水補注、補注維持生態系統和儲存淡水資源的含水層。人類文明也跨越時光和文化，表達了與河流深厚心靈與娛樂的交流。越來越多證據顯示，親近和接近自然界對人類健康以及經濟

(比如財產價值) 有共同利益 (CABE，2004)。世界上有超過 50%的人口生活在距離地表淡水體 3 公里範圍內，儘管技術先進足以讓許多都市人口通過水管和運河渠道獲得飲用水，但有許多人仍然依賴地表淡水生存 (Kummu et al.，2011)。

為了提高河流最有價值的利益最大化，人類已經對世界上許多主要河流系統和周邊景觀進行重新改造，以便他們能夠棲息在洪水平原並控制或改變河流流量。許多國家，河流流經高度開發工業化景觀，已經不再處於自然狀態。為了交通、農業、降低洪水風險和都市發展等各種目的，河道已經被重新塑造，河流的自由蜿蜒行為經常受到限制。大多數河流都受到此種影響，導致河流斷面 (寬度與深度)改變，不再處於平衡狀態或土砂平衡 (Grill et al.，2019)。對於某些河流，這種趨勢已開始一段時間了。例如萊茵河 (Rhine)，自 1800 年以來經歷了三個不同的監管時期。其他河流，如緬甸的伊洛瓦底江 (Ayeyarwady or Irrawaddy River)，正處於受到監管的邊緣，而其他河流，如德林河 (Drin River)，流經阿爾巴尼亞 (Albania)、科索沃 (Kosovo)和馬其頓 (Macedonia)，仍然相當原始。

相關的土地利用變化。世界各地的許多集水區，至少有部分自然土地覆蓋和原始本地物種功能受到移除或改變的影響。相對不受干擾的原始河流景觀很少見 -- 考慮到人為氣候變化的深遠影響，實際上可能不存在 (Grill et al.，2019)。一旦人類活動開始展開，土地利用就會發生變化。結果，生態系統的改變和物理、化學及生物過程之間的複雜相互作用驅動了河流的變化。這種改變通常發生在以下三個階段：

1. 變化始於開發前的情況，此際集水區內的人類活動與河流系統本身的動態形成共生關係。
2. 隨著人類活動的增加，集水區逐漸受到森林砍伐和其他植被移除的影響。為了農業和其他用途而清除自然植被的高地和洪水平原會干擾集水區內的物理及生物功能，原本這些集水區可以儲存且緩慢將水釋放出來 (Poff, Bledsoe, and Cuhaciyan，2006)。光禿地表的侵蝕和有機質豐富的表層移除會導致地表吸收降水減少、逕流率增加及進一步的土壤沖蝕。過度侵蝕會破壞河流系統的穩定性，並隨著河道被沖蝕物質淤積而增高洪水位。
3. 在第三階段，加速都市化 (聚落、房屋、工業活動)會增加不透水地表面積，改變集水區水文和地表水逕流特性。由於河流渠道及其與洪水平原的自然相互作用被斷開，結果可能導致整個系統的不穩定。這種改變估計需要幾十年到幾個世紀的時間。都市化還導致人類侵占洪水平原，構築橋梁、堤防和其他結構物，這些會壓迫河道、改變水力條件、阻礙土砂輸送，並進而改變生態體系。

請注意，第三階段並非一直發生。一些國家早已意識到洪水平原的功能被占用地聚落和工業活動受到法律規章的限制甚至禁止。

大部分的洪水平原在近幾十年裡已消失殆盡 (Hayes et al.，2018；Tockner and Stanford ，2002)。洪水平原流失的原因包括農業使用的擴大和洪水平原占地增加 (即都市化和工業化)，其次是修築堤防和其他洪水風險控制以保護資產的結構物。舉例來說，荷蘭有將近 55,000公頃的洪水平原在 1850至 1995年間消失了，原因是堤防向河流內遷，洪水平原被要求做為工業用途，並且高洪水量時使用的分流渠道 (疏洪渠道)被關閉。

隨著植被的清除以及農業和都市的加速發展，不透水的土地面積增加，並且造成更快更多的逕流量而擴大洪水風險。這也對河流系統的長期行為產生影響，而快速通過系統的洪水波迫使下游社區面臨更大的洪水風險 (參閱 16.2.1章節)。在洪水平原、沖積扇或三角洲上進行開發通常會讓住宅區和商業區處於洪水的路徑中。

堤防的影響。堤防和護岸經常被人類大量化的使用在洪水平原。「兩種典型的河流洪水風險狀況」以及圖 16.2和 16.3提供了一個極端改變堤防系統可以在洪水平原由控制洪水以降低社區風險的案例。有時候，在一個地方控制洪水或沖蝕的工程解決方案，只會將洪水風險轉移至上游或下游地區。雖然堤防可以在任何特定時間或地點降低洪水風險，但過分強調某些好處可能會犧牲掉共同利益為代價。不可忽視自然集水區特徵在吸收和貯存洪水所扮演的角色，那可能是災難性洪水、泥石流和土石流的原因。

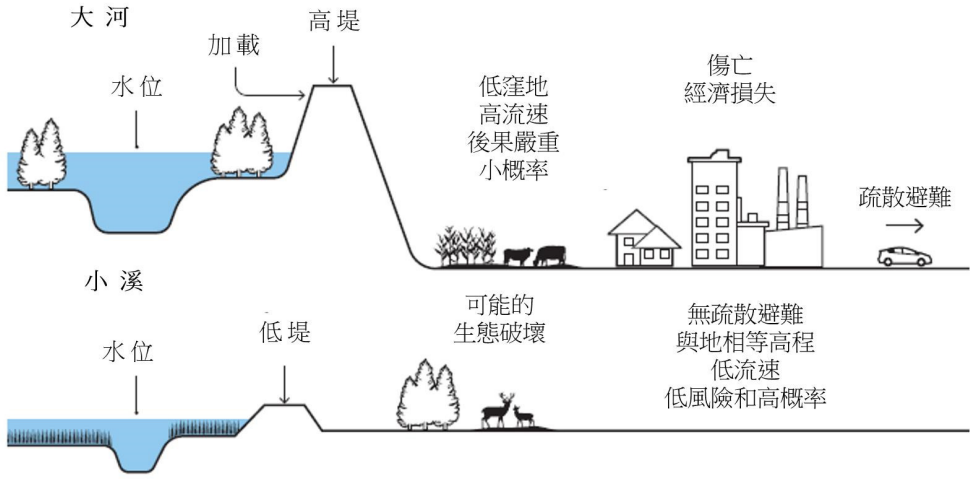
兩種典型的河流洪水風險狀況

圖16.2 FRM堤防系統描述受限的洪水水位無法進入相鄰的洪水平原



備註：此照片是美國愛荷華州迪柯拉市愛荷華河上游的堤防，描述了受限和升高的洪水位無法進入鄰近洪水平原
來源：Christopher Haring，美國陸軍工程兵團

圖16.3 用以評估大河和小溪洪水風險的要素



在自然系統中，氾濫平原定期會被淹沒，為氾濫平原提供了養分和土砂。在工程介入之體系中，主河道經常與洪水平原失去連接，所以洪水平原被淹沒的頻率較低。

一個社區不管是位於較高或低於正常河川水位土地上的洪水平原，並受到堤防的保護，當此堤防潰堤，可能會出現高深度淹水水位，並產生重大相關後果(參考圖 16.3上半部大河的案例)。

雖然堤防通常可以保護洪水平原免受淹沒，但它們也可以防止土砂到達河岸洪水平原進而淤積其表面。結果，土砂反而被輸送到下游，到達堤後活耀的洪水平原，並將洪水平原全區填滿。如果護岸或堤防不存在，洪水將受淹沒深度及流速所控制。

在較大河流的源頭或較小的河流，洪水的潛在後果可能不太嚴重，因為淹沒的深度較小，洪水平原的人類活動較少，或兩者皆是 (參考圖 16.3)。較小堤防系統的溢堤或裂口不太可能造成生命的損失。儘管相關的經濟災損相當可觀，但溢堤或裂口可增加肥沃的沉積物以增強洪水平原的生態系統。此乃一個自然過程，能使洪水平原及附近的土地成為多產的農業和植物用地。

集水區尺度。這些指南專注於 NNBF，即主要通過降低水位或減少水力負荷來減少洪水的可能性。雖然它們可以在集水區上游地區實施，但大多數通常在航道或河流渠道化的洪水平原實施。在較大的河流中，堤防溢流會導致潰堤和嚴重的洪水 (造成巨大的經濟損失和可能的人命傷亡)。NNBF 措施通常試圖減少堤岸的水力負荷，從而降低洪水風險。

一般在源頭和小溪流中較少堤防和護岸系統 (參考「兩種典型的河流洪水風險狀況」)，

當洪水量走高時，這些小系統往往只會溢流而不會潰堤。由於這些洪水平原很少或根本沒有人類活動，大部分可能是生態上的破壞；然而，源頭和小溪流的洪水通常也是有益的，因為它們會將肥沃的沉積物堆積在土地上。

對於較大的河流，可以通過降低洪水機率 (由水位出現的回復時間決定，亦即洪水量決定)或洪水易發地區資產的脆弱度來降低風險。對於較小的溪流，重點卻是減緩水流 (最好使用 NNBF)，它能減弱洪水量波及降低洪峰值。洪峰值降低 (於是洪峰水位降低)意味著風險降低。

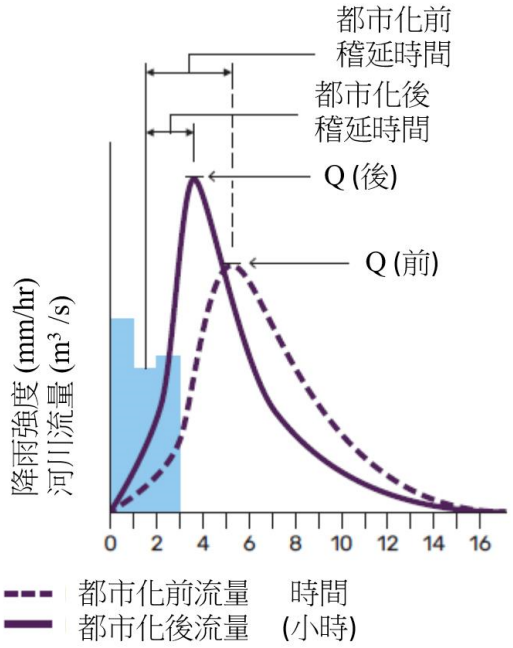
16.2.1 河流系統中的洪水風險增加

洪水風險是指洪水發生機率及其後果的組合。全球而言，由於人類對集水區的改變及氣候變遷影響，河流洪水的風險正逐漸增加。河流洪水將更頻繁、代價高昂、傷亡更重，給社會及其支撐的基礎設施帶來更大壓力。 2005至 2014年間，洪水平均每年造成 6,000人死亡，約占所有自然災害(以及受其影響的人數)的 45%，每年在全球造成 340億美元的損失 (IFRC，2015)。較早從 1980到 2014年，光是美國，洪水死亡人數就超過 3,000人，財產損失超過 2,700億美元 (NTHMP，2016)。隨著居住在低窪洪水平原和沿海地區的人口增加，洪水風險預計會增加 (nasa.gov，2013)。相較於其它自然災害，2018年全球受洪水的影響人數最多 (CRED，2019)。

正如文獻所記載，洪水風險的增加是由廣泛的個人和地方因素所造成。主要原因包含如下：

- **人類對水文的修改。**通常透過堤防、岸堤、水壩及護岸相關設施以減少洪水損失為目的，這些努力經常將洪水平原與河流分隔，導致洪水貯存損失。目前，全球都聚焦在洪水平原之復原計畫，以重建洪水平原之連接與功能，並協助降低 FRM 風險。
- **上游地區土砂的有效利用、容量和組成的變化**。這些變化關係著下游河道的改變。例如，美國密蘇里河上游一系列的水壩侷限土砂的供給而限制了自然河流的過程，從而導致下游河道退化。退化破壞了河流系統的穩定性，影響水庫容量、航運、河流保護工、FRM基礎設施及生態資源。改變河流系統的地貌過程可以透過 Schuum、Harvey 和Watson (1984)等人開發的河道演化模式以及其他後來的河道演化模式來模擬 (Simon and Hupp，1986；Hawley et al.，2012；Cluer and Thorne，2013)。
- **人口和土地利用的變化**。這些變化增加了逕流量和流速的幅度，特別是在都市地區，並會擴大洪水的後果。圖 16.4 顯示一個加速的都市化導致水文歷線變化的案例。水文歷線的變化影響河道網絡，乃藉由建立在平衡流量和坡度相對於土砂流動與輸送之間的自然地貌門檻值的改變所致。隨著這些成分一個或數個發生變化 (Lane，1955)，河道穩定平衡受到干擾，河道系統會相應調整。河道系統的調整會因擾動的大小而定，且會隨著時間的推移而趨向平衡。

圖16.4. 水文歷線隨著都市化的提高而改變



- **氣候變遷。**為集水區的水力和形態學的狀態日益發生巨大變化的驅動因素，氣候變遷及其產生後果仍在研究中，以進一步了解它們對個別區域和集水區的影響。氣候變遷的模式及其隨之而來的後果因地理位置而異 (Blöschl et al.，2019)，有時呈現冬季乾旱、隨之夏季潮濕，導致夏季洪水氾濫 (例如，2007年和2012年英國的洪水事件)。相反的，氣候變遷也可能導致冬季洪水量增加。結果是下列因素導致洪水風險增加：

  - 改變降水模式和增加降水強度，這可能導致陡峭的集水區發生山洪，並造成巨大的破壞和人命的損失 (參考「降水變異性 -- 案例與結果」)。
  - 部分集水區和子集水區的流量增加。
  - 海平面上升和暴潮，這會降低河流向海洋排放的能力，並增加由此導致的河流洪水水位。
  - 乾旱地區的乾旱條件加劇，這可能會增加野火的頻率與嚴重性，造成植被破壞、土壤入滲能力降低及加速沖蝕，並導致下游地區洪水與土石流的潛在災難。

然而，有些集水區全年(尤其冬季和夏季)的河川流量相當少，此意味著洪水風險可能因氣候變遷而降低 (IPCC，2012)。這顯然與其他問題相結合，主要與乾燥、乾旱和生物多樣性喪失有關。

降水變異性 – 案例與結果

氣候變遷以多種方式加劇了世界各地的洪水風險，某些地區強降雨增加，而另一些地區則變得更加乾燥，更容易發生乾旱與野火。

例如，美國東部更長時間的暴雨事件和更具威力的颶風正導致歷史上具破壞性的洪水。相比之下，美國西部部分地區正努力面對乾旱、歷史性野火和改變中的積雪狀態，正因為降雨比降雪更多。野火燒毀地區的地表受到強降雨增加了洪水和山崩的風險，因為土壤透水性和水的入滲降低，直接攔截降水的植被消失，根系也只能吸收較少的水。

英國也可看到類似的模式。例如，更頻繁的強降雨導致洪水淹沒了現有的防洪措施；然而，相較之下，炎熱夏季導致英格蘭峰區的高地荒野正爆發野火。

16.2.2 使用 NNBF 降低河流系統的洪水風險

在這些指南的背景下，降低洪水風險是河流 NNBF 的主要目標。基於 NNBF 的原則，洪水風險可以用工程性與非工程性措施來降低。例如，在非工程性措施的情況下，可以藉由抬高建築物本身到洪水位以上或購置房產以實現消除進一步的洪水風險。而工程性措施，則是以施建堤防或防洪牆等具高度障礙物的形式來實現。應用非工程性和工程性措施的關鍵是要更加關注自然生態功能的恢復，將未來氣候變遷和其他因素納入考量以提供可持續和富彈性的設計。此設計不僅應降地洪水風險，且要提供廣泛的生態、社會、環境和經濟的共同利益 (參考第 6章)。

為減輕洪水風險，從業人員應確定最適合該地區的策略，通常側重在洪水發生的可能性、減少後果或兩者兼而有之。適當的策略 (即準確的措施選擇)取決於地貌環境、河流大小、河流坡度與長度 (例如，相對陡峻和短促)、位置 (例如，靠海和受潮汐影響)，以及任何既有措施如堤防。如第 15章所述，措施的選擇還取決於集水區內洪水的位置(源頭或是中、下游)。策略還必須與特定地區或國家的傳統和作法相平衡。以下一般原則適用：

- 在相對較短河流的陡峻流域，較小的支流或小溪，或較大河流的源頭，必須聚焦在 NNBF，在可能的情況下重新引入與洪水平原連接，以減少逕流量、減緩流速並透過攔阻和貯存以降低洪峰流量。這些措施同時也藉由子集水區的攔阻功能協助土砂管理。例如，功能正常的洪水平原提供細砂淤積和養分循環空間，減少下游地區潛在的地貌與水質問題。
- 在中型集水區和較大的支流，採取的措施應使河流與洪水平原重新連接，從而為河流製造更多空間，形成蓄洪，進而降低洪水水位。根據集水區的地貌環境，較大的支流和中型集水區可能具有與源頭較小支流相當的特徵，因此類似的 NNBF 處理策略是合適的。

- 在大流域較小坡度的地方，通常由工程化的堤防保護，降低洪水風險的策略應該是藉由重新連接洪水平原 (包括堤防退縮)和增加輸送能力來降低洪峰水位，具體作為如下：

  - 重新連接洪水平原，對於養分交換、碳封存、水質以及陸地和水生生態共同利益的自然功能重建也至關重要。低坡降河流系統通常提供一些從 NNBF 獲得最大共同利益的巨大機會。
  - 堤防後退提供了額外的重新連接洪水平原，可能比拆除整個堤防系統更能被當地居民接受的洪水風險管理 (FRM)選項。堤防後退的好處類似洪水平原的重新連接。
  - 增加流量通常是藉由次河道以擴大河灘地容量來達成。其他方法是移除障礙(例如，先前的工業活動)或挖掘河灘地。次河道計畫以增加運輸量在英國變得越來越普遍，那裡的河流相對較短，且有中級渠道坡度。在河流坡降較低的荷蘭，藉由加深或拓寬河道以增加運輸的計畫更為常見。
  - 必須謹慎，因為增加一個位置的流量輸送可能會無意中增加洪水風險和下游渠道的不穩定。這尤其適用於源頭和較小的溪流。大河對洪水平原措施的形態反應可能是導致主河道長期的淤積，以致於影響通航和造成經濟損失。增加運輸以管理洪水風險通常可帶來共同利益，例如更大的娛樂和生態價值，其中可能包括增加生物多樣性 (如魚類產卵場)和側渠道進行休閒育樂的可能性。

  荷蘭、英國及美國在管理和降低洪水風險的方法案例，參見表 16.1。

表16.1 管理和降低洪水風險的方法案例

荷蘭
方法：荷蘭約有 25%的低窪地區低於平均海平面，60%的人口生活在洪水易發區，約占國內生產總值的 70%。因此，防洪對荷蘭社會至關重要。對於較大河流如萊茵河、默茲河等作為運河，堅固的堤壩是抗洪的主要防禦方法。2005年以來，這些傳統方法已與「**還地於河計畫**」 (Room for the River program)中的 NNBF相結合，以貯存和減緩洪水流量，而非加速運輸。荷蘭還為萊茵河、默茲河、湖泊和沿海地區提供每天 24小時、每週 7天的運行預測和洪水預警系統 (Werner et al.，2013)。
英國
方法：1990年以前，英國在減少和管理洪水的方法是注重洪水「防禦」以及「保護」和「保衛」人民和財產，通常是建造堅固的工程防禦以加速排洪及運輸。洪水的演替顯示要完全保護或捍衛居民免遭洪水侵襲是不可能的，這些方法出現變化，因為這些防禦工程總有可能被破壞。因此，重點轉移到用各種方法來管理和降低洪水風險，例如工程性措施、NNBF、洪水預警、土地韌性量測以及臨時防禦措施。措施旨在減緩、貯存和阻止洪水，然後在不增加洪水輸送量的情況下緩慢釋放。這些 NNBF和自然的 FRM方法有助於降低洪水風險，並且經常能夠提供廣泛的生態系統服務。

方法：儘管幾十年來聯邦政府主導的防洪與洪水平原管理計畫大部分強調結構性方法，然而美國每年仍面臨著日益增加的洪水災害。於此之際一種新的 FRM 範例正在出現。此一變化最重要的指標之一是對自然系統的奧妙重構，部分是基礎設施，這些指引著工程界開始意識到洪水平原、森林、濕地和其他 NNBF 應視為洪水基礎設施系統的重要組成部分。這種意識正重新定位，即長期趨勢使用灰色基礎設施取代植被、土壤、洪水平原和濕地具貯存降水和逕流的自然基礎設施。綠色基礎設施目前已廣泛地使用於都市雨水管理，涉及重新連接洪水平原的河流修復系統也在各種規模上廣泛實施。在集水區優先考慮自然基礎設施的介入以及加強與私人土地所有者伙伴關係是 FRM 的新興優先領域。

16.3 河流NNBF的原則

第 2章介紹了一個 NNBF計畫整體成功至關重要的五項原則。從業者應當遵守這些原則，以確保 NNBF的良好河流應用。本節擴展了這些原則應如何在河流環境中應用。

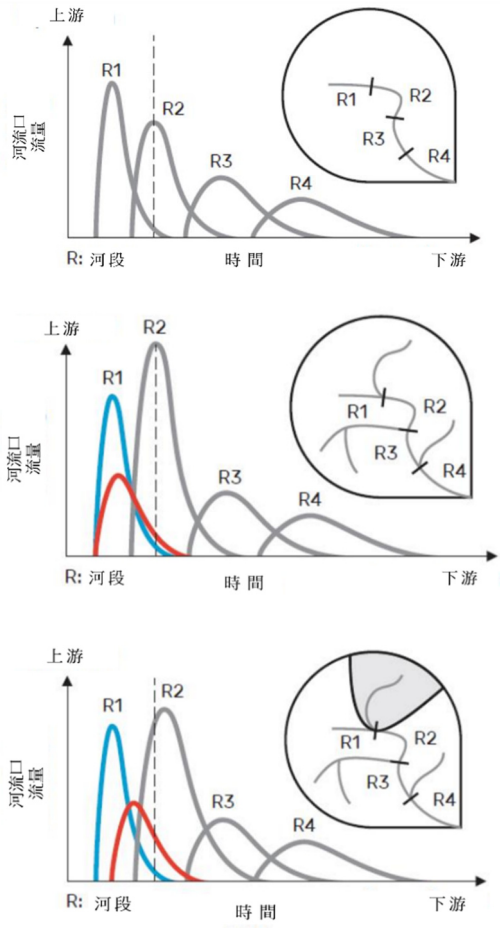
16.3.1 原則 1：使用系統方法來利用既有組件和計畫，以及其互通性

集水區整體治理。集水區的視角對於理解和解決洪水的核心原因至關重要。此意味著在集水區規劃和工程設計中考慮到集水區和過程的自然保水功能，以便土地利用規劃和工程設計在地方尺度和更廣泛的集水區系統範圍內與自然結合，而非與之衝突對抗。干預措施可以策略性的針對集水區的地貌環境 (參考第 4章第 4.3.2節)。例如，一個幾公里長、比河道寬 6或 7倍以上、坡度小於 2%和明顯粗糙的洪水平原的山谷，可能比狹窄、陡峻和平滑的山谷更有效地削減洪峰 (Habersack, Schober, and Hauer，2015)。針對洪水的核心原因和適當規模的 NNBF 措施，將比孤立的、非策略性的措施更有效 (Dixon et al.，2016；Lane，2017)。集水區建模可以成為 NNBF在河流系統中策略布局的重要工具 (Metcalfe et al.，2017)。

避免將風險轉移至下游、上游或鄰近地區。 NNBF 應用程序必須使用合理的工程做法來提供 FRM 和其他利益，而不會增加河流系統中其他地區的風險。在某些情況下，降低一個地區的洪水風險和增加效益可能會對其他地區產生負面影響。該方法，包括對路堤或堤防的需求，或適當的 NNBF，應堅持根據當地對 FRM 偏好進行優化。

應對同步風險。防洪措施，無論是結構性的、NNBF，或是混和的，都可以改變來自不同子流域和河流系統支流的洪水波的時間 (Lane，2017)，從而影響洪峰到達下游位置的時間，目標是降低洪水風險 (圖 16.5)。例如，用於減輕都市化影響的傳統雨水控制基礎設施 (如調整池)，通常會降低洪峰流量大小，但會延長洪峰流量持續時間。結果，來自不同子流域的流量洪峰值在下游同步的可能性會增加，於是洪水危害會不經意間惡化。所以，現有的或新的結構 FRM 措施應與提議的 NNBF措施一起評估，以確定系統層級洪峰到達時間的顯著變化。通常需要基於物理上水文和水力模式來確定是否洪水波會無意中同步，並確認重新定時和去同步洪水歷線的機會，以確保 FRM 措施有效。

圖16.5 河流網路和通過有效的 FRM了解它們的互通性



(A) 衰減過程

逕流到達河道後，如果沒有支流的水輸入，流量洪峰值幅度會減小，水波隨著距離向下游延伸。水不一定會流失；它是一種自然過程(衰減)，與減緩下游水流動的過程有關，例如亂流、次環流或洪水平原的河流流動，此處的流速是降低的。

(B) 河流過程

支流的水輸入抵消了衰減，這增加了流量洪峰的幅度。這裡，一條支流到達河段1 (紅色)的出口，導致河段2的出口更高的洪峰流量(灰色)。一般而言，輸入增加洪峰流量的速度比衰減減少的速度快，那麼下游的洪峰流量會增加。結果，河流變得更寬、更深、更快。

(C) 支流脫鉤

到達河段1(紅色)出口的支流，現在與主流(藍色)分離的更多。這減少了河段2 出口的最大流量(灰色)。因此，河流中最大流量是支流回應的相對時間函數，支流脫鉤是一種可能的洪水風險管理解決方案。但垂直虛線顯示，在分離狀況下，洪峰流量延遲，可能會改變下游相對的其他支流到達時間。

集水區內使用嵌套的 NNBF反應。河流的 NNBF 系統具有類似沿海系統中的多層防禦的嵌套性質。這意味著應該使用一系列 NNBF 措施來解決不確定性，並避免為 FRM 尋求簡單「一次性」解決方案的「銀彈」症候群。集水區有碎形特性，即一個集水區內有與支流相關的更小集水區，這些集水區內還有與支流的支流相關的更小集水區，依此類推。這可能允許在思考哪些 NNBF 的組合可以最佳降低整個河流系統的洪水風險時，考慮集水區的一部分，而非整個集水區。

16.3.2 原則 2：讓社區、權益相關者、合作夥伴和多專業團隊成員參與開發創新解決方案

土地利用規劃。通過與社區和利益相關者 (參閱第 3章)合作的多專業團隊夥伴與隊伍，當空間被釋放去實施NNBF措施並避免限制河流在洪水平原內，想像和潛在的多種土地共同使用是可能的。提供河流氾濫的空間和避免對開發地區洪水壓力而改變路線，其中的方法如下：

- 堤防後退。
- 搬遷易受洪水影響的社區和鄰里。

- 土地使用分區限制。
- 指定洩洪道。
- 恢復非生產性農業和工業用地，並將其回復到洪水平原的功能性。
- 水岸振興，打造休閒綠地。
- 考慮整個河流系統的整體集水區管理 (包括上游集水區的 NNBF運用)。

16.3.3 原則 3：確認產生多重效益的永續與彈性解決方案

盡可能保護集水區內貯存和削減洪水的自然特徵與過程。這些做法包括保存積雪、修復或創建濕地以保留上游洪水，以及建立、保護和擴大河岸緩衝帶的網絡。還包括修復和維護集水區內的洪水平原功能，通過健全的土砂和地下水管理建立三角洲，以及為了洪水削減及棲地恢復河道形狀和粗糙度。只要有可能，使用原生植被來攔阻和減弱洪水並防止河岸侵蝕。在某些情況下，將木材放入河中並與河狸一起提供洪水削減功能也許是可行的。另外建議減少高地和河岸土地利用變化的影響，例如都市化或農業侵占洪水平原。

實現集水區內土砂平衡。允許自然河道變動性和調整，是使用 NNBF的 FRM 的一個重要目標。但是，在都市化地區和其他河流受到基礎設施及鄰近土地利用高度限制的環境下，某些形式的渠道穩定 (即被覆層)可能是唯一可行的選擇。

即使在某些情況下，河道穩定可以提供一些可量化的益處及減少侵蝕，但由此導致土砂輸送下降可能會增加河道不穩定及下游棲息地退化的風險。所以，必須通過了解下游渠道的潛在回應來緩和塑造一個靜態渠道的防洪措施。這強調通過在規劃和計畫後評估期間用評估及監測下游部分來在更廣泛的框架下考慮局部作用的必要性。同樣，系統不穩定可能導致航道營運和維護的重大影響。無論是制定新的或改造舊的航行計畫設計，強烈鼓勵NNBF提供更具彈性和永續性的計畫。

最小限度地減少雨水逕流，最大限度地貯存與利用雨水。這些可以透過下列行動來實現：

- 推廣使用綠色基礎設施以減少雨水逕流的策略。
- 減少或最小化不透水表面覆蓋。
- 保護、修復和創造具有戰略位置的溼地和河岸緩衝區，以減輕洪水並阻止洪水易發地區的開發。

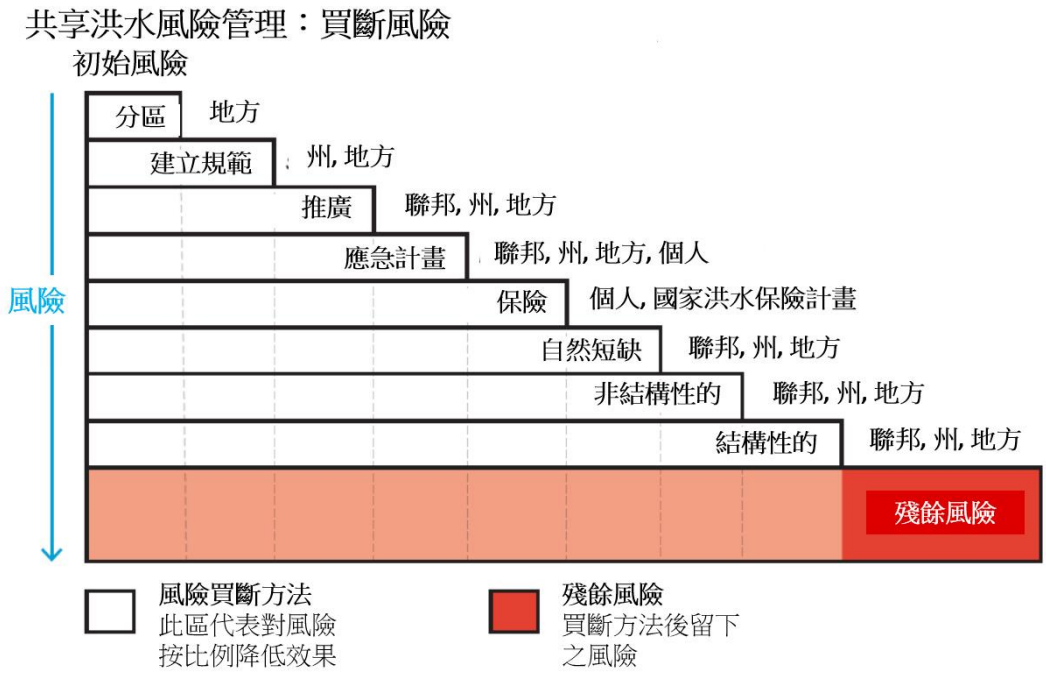
常見的共同利益。這些方法提供如下：

- 保護地下水、地表水和飲用水源避免汙染。
- 將土壤的永續管理視為一項資源，最大限度地利用農業地區的覆蓋作物。
- 透過在整個集水區特定的地表到地下水補注區的協調管理這些資源，以平衡地表水和地下水交換。
- 棲息地的保護。
- 休閒娛樂區。
- 局部降溫優勢。

16.3.4 原則 4：預測和管理計畫或系統績效的風險

了解影響 FRM 和降低風險的基本原則很重要。圖 16.6 描述了透過實施一系列工具來降低整體洪水風險的分層法以降低風險。這些選項包括管理策略、教育以及結構與非結構項目的實施。聯邦、州及地方組織根據其權限執行各種方法。目標是經由預測、評估和管理用於最大程度降低洪水風險的工具的累積效應來降低洪水風險，從而降低殘餘風險。殘餘風險是在考慮了所有風險管理作為之後仍然存在的風險。例如，如果實施了分區和建築規範工具，雖對 FRM 的影響有限，但仍存在很大的殘餘風險。實施所有工具大大減少了相關的殘餘風險，但並不能完全消除它。

圖 16.6 通過地方、區域及國家計畫的執行來降低洪水風險的方法



16.3.5 原則 5：期待改變並進行適應性管理

複合監控和可調適管理計畫對於了解 NNBF 功能如何補充 FRM 計畫至關重要。無論時間或預算限制如何，都應努力確保在計畫接近其規劃及設計過程尾聲時，監測計畫要全面制定。監控計畫對於提供有關 NNBF 效益的信息是重要的，這些資訊可用於確認何種必須應用的 NNBF 措施需要增強。

氣候變遷調適。基於氣候變遷和相關的洪水風險模式的降水預測應併入管理方案。設計和改造具有集水區與洪水平原管理目標的基礎設施，對於開發永續性和有彈性的 NNBF 增強功能非常重要。當全球氣候變遷預測變得越來越複雜時，它變得更加重要 (參考第 7 章和該章第 16.2節)。

土地利用變更管理。對於都市濱水區和所有洪水平原的管理、分區及土地使用條例的額外關注對於長期成功和降低洪水風險至關緊要。

16.4 本章總結

本章介紹了河流系統及其與自然過程和 FRM 的關係。本章的大部分內容被融入為讀者提供有關自然過程的背景訊息及人類居住、氣候變遷和其他因素如何影響 FRM。第 17 章以這些主題為基礎，重點討論了 NNBF 在河流系統中的挑戰與利益。

16.5 參考文獻

ASCE (American Society of Civil Engineers). 2013. *2013 Report Card for America's Infrastructure*. Washington, DC. https://doi.org/10.1061/9780784478837.

Blöschl, G., J. Hall, A. Viglione, R. A. P. Perdigão, J. Parajka, B. Merz, D. Lun, et al. 2019. "Changing Climate Both Increases and Decreases European River Floods." *Nature* 573: 108–111.

Cluer, B., and C. Thorne. 2014. "A Stream Evolution Model Integrating Habitat and Ecosystem Benefits." *River Research and Applications* 30 (2): 135–154. doi:10.1002/rra.2631.

CABE (Commission for Architecture and the Built Environment). 2004. T*he Value of Public Space: How High Quality Parks and Public Spaces Create Economic, Social and Environmental Value*. London: CABE Space. https://www.designcouncil.org.uk/sites/default/files/asset/document/the-value-of-public-space1.pdf.

CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters). 2019. *Natural Disasters: 2018*. Brussels, BE: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. https://www.cred. be/natural-disasters-2018.

Dixon, S. J., D. A. Sear, N. A. Odoni, T. Sykes, and S. N. Lane. 2016. "The Effects of River Restoration on Catchment Scale Flood Risk and Flood Hydrology." *Earth Surface Processes and Landforms* 41 (7): 997–1008.

Grill, G., B. Lehner, M. Thieme, B. Geenen, D. Tickner, F. Antonelli, S. Babu, et al. 2019. "Mapping the World's Free-Flowing Rivers." *Nature* 572 (7768): E9. doi:10.1038/s41586-019-1379- 9.

Habersack, H., B. Schober, and C. Hauer. 2015. "Floodplain Evaluation Matrix (FEM): An Interdisciplinary Method for Evaluating River Floodplains in the Context of Integrated Flood Risk Management." *Natural Hazards* 75 (1): 5–32.

Hawley, R. J., B. P. Bledsoe, E. D. Stein, and B. E. Haines. 2012. "Channel Evolution Model of Semiarid Stream Response to Urban-Induced Hydromodification." *Journal of the American Water Resources Association* 48 (4): 1–23. doi:10.1111/j.1752- 1688.2012.00645.x.

Hayes, D. S., J. M. Brändle, C. Seliger, B. Zeiringer, T. Ferreira, and S. Schmutz. 2018. "Advancing Towards Functional Environmental Flows for Temperate Floodplain Rivers." *Science of The Total Environment* 633: 1089–1104. https://doi.org/10.1016/j. scitotenv.2018.03.221.

IFRC (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies). 2015. *World Disasters Report*. Geneva, CH: IFRC.

IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). 2012. "Summary for Policymakers." In *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Edited by C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, et al., 1–19. A Special Report of Working Groups I and II of the

Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, and New York, NY: Cambridge University Press.

Kummu, M., H. de Moel, P. J. Ward, and O. Varis. 2011. “How Close Do We Live to Water? A Global Analysis of Population Distance to Freshwater Bodies.” *PLOS ONE* 6 (6): e20578.

Lane, E. W., 1955. “Importance of Fluvial Geomorphology in Hydraulic Engineering.” *American Society of Civil Engineers* 81 (745): 745–761.

Lane, S. N., 2017. “Natural Flood Management.” *WIREs Water* 4 (3): e1211. https://doi.org/10.1002/wat2.1211.

nasa.gov. 2013. “Brown Ocean” Can Fuel Inland Tropical Cyclones. *NASA*. https://www.nasa.gov/content/goddard/brown-ocean-can-fuel-inland-tropical-cyclones/.

NTHMP (National Tsunami Hazard Mitigation Program). 2016. *2015 Accomplishments of the National Tsunami Hazard Mitigation Program: An Annual Report*. Washington, DC: NTHMP. https://nws.weather.gov/nthmp/documents/2015AnnualReport.pdf.

Poff, N. L., B. P. Bledsoe, and C. O. Cuhaciyan. 2006. “Hydrologic Alterations due to Differential Land Use across the Contiguous United States: Geomorphic and Ecological Consequences for Stream Ecosystems.” *Geomorphology* 79: 264–285.

Simon, A., and C. R. Hupp. 1986. “Channel Widening Characteristics and Bank Slope Development along a Reach of Cane Creek, West Tennessee.” *Selected Papers in the Hydrologic Sciences*. Edited by S. Subitzsky. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2290. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

Tockner, K., and J. Stanford. 2002. “Riverine Flood Plains: Present State and Future Trends.” *Environmental Conservation*. 29 (3): 308–330. doi:10.1017/S037689290200022X.

Werner, M., J. Schellekens, P. Gijsbers, M. van Dijk, O. van den Akker, and K. Heynert, 2013. ”The Delft-FEWS Flow Forecasting System.” *Environmental Modelling & Software* 40: 65–77. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.07.010.

White, G. F. 1945. “Human Adjustment to Floods: A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States.” PhD diss., University of Chicago.

第 17 章 NNBF 在河流系統中應用的好處與挑戰

關鍵訊息

1. 過去的措施極大的改變了河流系統，並給我們帶來了來自河流系統對這些變化的反應的多重挑戰。這些挑戰與自然和自然為本特徵 (Natural and Nature-Based Features, NNBF) 的徵兆、原因、後果、好處和共同利益相關。
2. 許多挑戰與失衡的河流系統有關。它體現在形貌的變化上，比如從陸地到河流的切割和土壤侵蝕以及生物多樣性退化。大多數挑戰可以藉由 NNBF 來解決。
3. 應用 NNBF (例如，運用系統方法) 時需要考慮多種限制，但運用也會帶來額外的共同利益。
4. NNBF可以分類 -- 除了管理自然侵蝕和土砂動態外，每個類別都有自己的方法來降低洪水風險，方法是保留、儲存或增加運輸能力。
5. 基於個別計畫的特色，有 NNBF需考慮的最佳做法。可以查看該列表，並研究案例範例以確定哪個 NNBF 套件適合該計畫。

17.1 概述

正如本書《洪水風險管理自然與自然為本特徵的國際指南》(*International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*)中所討論的，自然和自然為本特徵 (NNBF)可以藉由保護、修復、和模仿集水區、洪水平原、河流及海岸的自然功能來幫助降低洪水風險 (Environment Agency，2010, 2012, 2017b)。本出版品有關河流部分包括第 15 章至第 19 章。第 15 章介紹 NNBF 在河流環境中的應用。第 16 章描述河流系統及其與洪水風險管理 (FRM) 的關係。第 17 章描述 NNBF 在河流系統中的好處與挑戰。第 18 章概述 NNBF 可用於河流應用的角色與範圍。第 19 章提供來自世界各地不同類型河流 NNBF 應用的案例研究。

在本章中，第 17.2 節描述在管理河流和降低洪水風險方面遭遇到的一些挑戰以及 NNBF 該努力又可發揮的角色，以及它相關的挑戰對於 NNBF 該有的可能權益和共同利益 (與灰色相較，或灰綠色替代品)。第 17.3 節討論當應用 NNBF 時須考慮的幾個概念，與規劃和位置無關。第 17.4 節詳細描述了 NNBF 的好處，並介紹了一種描述這些好處的方法。第 17.5 節描述集水區中可以應用 NNBF 的五種不同類別 (位置)。這些類別在第 18 章中配備了具體措施。第 17.6 節討論應用 NNBF 時應考慮的問題列表。最後，第 17.7 節列出了一些缺口，並建議未來的研究方向。

17.2 河流管理的挑戰與 NNBF 的貢獻

河流管理通常涉及採用措施修改河流河段的平面形貌。對許多河流而言，這種管理方式在幾十年甚至幾百年前就已開始，乃是消除蜿蜒的彎道、改變洪水平原的土地利用、以及興建堤壩等方式。河流本身透過改變坡度、寬度和河床表面紋理(底質)來適應這些變化(Blom et al.，2017)。堤壩的興建往往意味著河寬的適應性有限度。但坡度和河床表面紋理(底質)仍然可能改變，導致下切 (河床侵蝕)和粗糙化。與此同時，還會出現其他問題，例如地下水位降低、生物多樣性減少以及主要河道與洪水平原之連接中斷。

表 17.1 列出了河流可能面臨的挑戰，它來自遠古或近期的工程措施。應對這些挑戰(並解決後果)經常用降低洪水風險方法。在河流系統中使用 NNBF (作為獨立措施或除了綠色或灰綠色解決方案)，除了降低洪水風險外，還可以提供共同效益，使河流恢復到更具彈性和更健全的自然系統。對於每項挑戰，表 17.1 列出了可能出現的徵兆以及可能導致河流出現問題的原因。它列出了可能發生的後果，並指出 NNBF 可以採取哪些措施來減輕或減少挑戰。表 17.1 還介紹 NNBF 在解決原因方面的功能，並列出了 NNBF 可以帶來的減少或減輕後果的共同利益。

例如，表 17.1 中第一個挑戰之河道不穩定，其相關徵狀之一是洪水平原土砂的流失和增加，這可能是拉直河道或興建水壩所引起的。可能的後果是基礎設施的不穩定和河床侵蝕加劇或洪水平原變乾燥。NNBF 的典型作為方式是恢復自然形貌。使用 NNBF 的一個共同利益是減少土壤沖蝕。

表17.1 NNBF的挑戰、徵狀、原因、後果、功能和共同利益

河道不穩定

徵狀：
- 河道、洪水平原的土砂得失過多
- 土砂大小的變化
- 主河道下切與加寬

原因：
- 水壩 (用於飲用水或FRM)
- 由於傳統的FRM措施，流速高
- 渠道化
- 土地利用改變

後果：
- 基礎設施不穩定 (橋梁、水壩、水閘)
- 河道附近的土地流失
- 河床粗糙化和細粒化
- 經濟損失
- 航運困難
- 洪水平原乾燥化
- 土砂淤積在生態系統

NNBF在解決原因中的功能：
- 恢復自然形貌方式：(1) 減少洪水平原逕流；(2) 將河流恢復到更自然的形貌樣貌

NNBF的共同利益：
- 減少土壤沖蝕
- 減少河床的粗糙化和細粒化
- 河床鋪砌
- 重新連接主河道與洪水平原
- 改善自然流動與輸運模式

土地利用變化 (農業或都市擴展)

徵狀：
- 縮小河床寬度
- 陸地到河流的土壤沖蝕
- 河道不穩定

原因：
- 農業或都市活動造成汙染
- 河流水體濁度增加

NNBF在解決原因中的功能：
- 水流緩慢，從而減少土砂輸送
- 修復(透過河流進入)洪水平原

- (政府)不適當整治控制
- 先前植生與森林土壤暴露於降雨

後果：

- 河流氾濫
- 河道淤積
- 土壤流失

- 用植生修復洪水平原

NNBF的共同利益：

- 河床寬度恢復
- 減少土壤沖蝕
- 改善水質
- 自然河道形貌改變

洪水平原和濕地的消失

徵狀：

- 洪水平原和三角洲的人為的利用

原因：

- (政府)不適當整治控制

後果：

- 洪水造成的投資經濟損失
- 碳匯損失導致氣候恢復力下降

NNBF在解決原因中的功能：

- 修復(藉由河流進入)洪水平原
- 藉由加深和拓寬現有洪水平原或增加額外渠道和河道以增加河流輸送能力

NNBF的共同利益：

- 洪水平原功能的恢復
- 恢復碳封存

動植物的消失 (野生動物和生物多樣性)

徵狀：

- 動植物種群和多樣性減少
- 地方種群滅絕

原因：

- 棲息地的喪失和/或破碎化
- 擾亂自然食物鏈或食物網

後果：

- 局部或區域生物群落減少
- 生物量損失

- 食物鏈受損或縮短

NNBF在解決原因中的功能：

- 修復和創造植生棲地
- 直接植生復原

NNBF的共同利益：

- 恢復生物多樣性生態系統
- 恢復生態功能和服務
- 改善棲地和生態恢復力

去除植生

徵狀：

- 其他人為的土地利用而喪失的森林與草原

原因：

- (政府)不適當整治控制
- 氣候變遷引起的野火增加

後果：

- 逕流率增加導致洪峰流量增加
- 加速土壤沖蝕
- 減少滲透
- 增加漫地流

NNBF在解決原因中的功能：

- 修復和創造植生棲地
- 直接植生復原

NNBF的共同利益：

- 減少森林砍伐
- 植樹造林
- 增進土壤健康
- 額外的碳封存

水質惡化

徵狀：

- 升高養分和毒素的級別
- 土壤健康和土地質量下降

原因：

- 過度使用和過量施用化肥及農藥
- 都市污染物逕流

後果：

- 增加水處理需求以提供飲用水
- 減少生物多樣性

- 河流土砂或沿海地帶淤積汙染物引起的生態退化

NNBF在解決原因中的功能：

- 恢復河岸過濾器提供的過濾功能

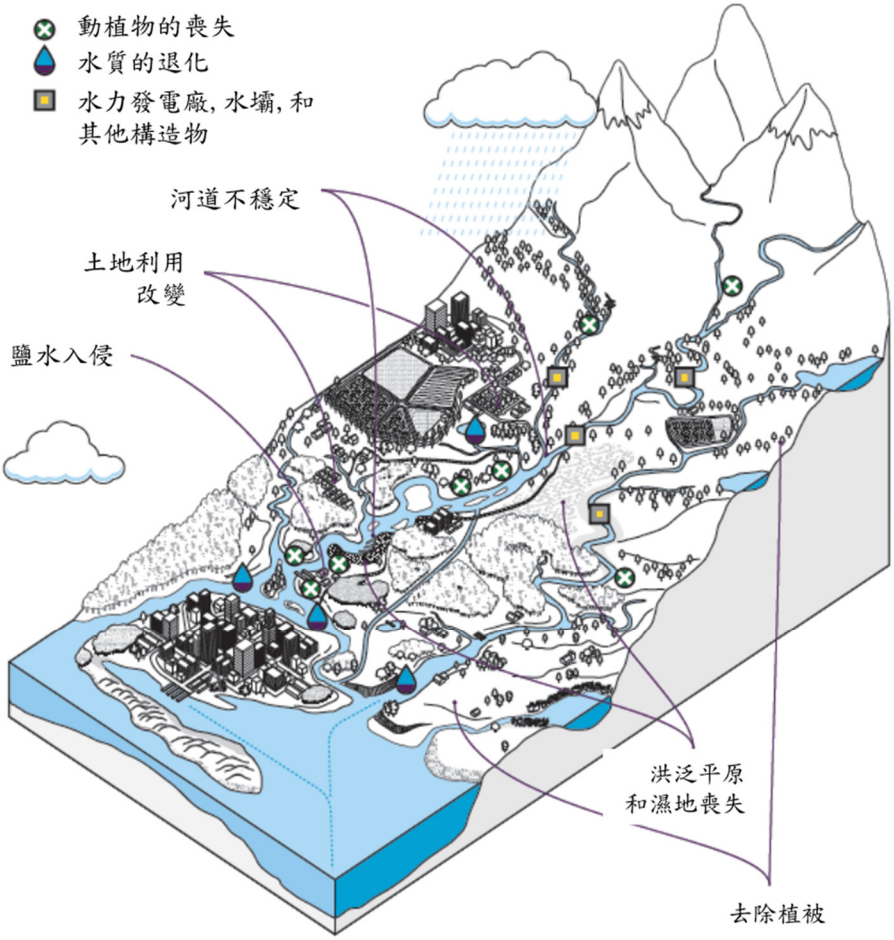
NNBF的共同利益：

- 減少對河流或沿海地帶的養分和農業損失
- 水質改善
- 改善水生生物多樣性

注意表 17.1 中的挑戰之間有時存在因果關係。洪水平原和濕地的消失顯然會導致動植物的消失。但反過來則不然，動植物的消失並不一定會導致洪水平原和濕地的消失。然而，其他關係可能有多個層次的因果關係；洪水平原的消失可能是土地利用的變化所引起，那會導致可貯存高流量的空間減少。此意味著挑戰無法獨立運作，它們需藉由徵狀、原因和後果產生相互關聯。

圖 17.1 將挑戰放在一個集水區；然而，請留意此處存有解釋和討論的空間，因為挑戰本身並不局限於特定位置。該圖有助於大致了解具體挑戰發生在哪裡。整個集水區的不同地方都可能發生動植物的消失。水質退化通常與洪水平原的都市開發或農業活動有關。水力發電和水壩通常位於源頭和可能的中游河段，而鹽水入侵是典型的三角洲問題。

圖 17.1 集水區內需面對挑戰的位置



第 17.2.1 到 17.2.8 節，簡要描述和說明表 17.1 所列的挑戰，並提出實施 NNBF 可能應對這些挑戰的建議方法。圖 17.2 到 17.9，用不同國際視角的照片來說明挑戰。

17.2.1 河道不穩定

大多數河流受到人類干擾的影響，不再處於平衡狀態 (Grill et al.，2019)。對一些河流而言，這種趨勢在幾個世紀前就開始了。例如，自1800年 (Havinga，2020)以來，萊茵河 (Rhine River) 歷經三個不同時期的治理。一些河流，如緬甸的伊洛瓦底江 (Ayeyarwady)，正處於受到治理的邊緣，而其他河流，如德林河 (Drin River)，流經阿爾巴尼亞 (Albania)、科索沃 (Kosovo)和馬其頓 (Macedonia)，仍然相當原始。

都市化導致了大規模瓶頸，譬如橋梁或堤防靠近一些河流的主要河道，而此種堅硬的構造會壓縮主河道。洪水平原通常與鄰近的河流隔開連接，並且通常不再有自然植生或功能正常的生態群落。平面形貌已經改變，彎道已被切斷，洪水平原面積已經縮小，自由蜿蜒的行為 (對於較大河流)經常受到限制。加上河道渠道化、河流整治、築壩和疏浚，造成河道下切；結果，洪水波更快地穿過系統，使得下游社區面臨更大的洪水風險。圖 17.2顯示河岸侵蝕和河床下切的案例。

圖 17.2 河流中河岸侵蝕與河床下切的案例



備註：左邊照片顯示荷蘭默茲河 (Meuse River)的河岸侵蝕；右邊為德國沃姆河 (Wurm River)河床下切。
來源：左：Gonzalo Duro；右：Michael Buchty-Lemke

雖然下切對航運有利 (較大船隻可在河流中航行)，但可能出現其他問題 (洪水平原的地下水位較低)。另一個結果是洪水平原與主河道斷開，向洪水平原供應的土砂減少。養分的供應 (透過沉積物)也減少了。航運的影響是另一個應該仔細查看的話題，因為用疏浚來維護河道會影響土砂的運移和淤積區。同樣的，船隻透過會引起螺旋槳沖刷和船尾流，進而侵蝕濱岸線。

NNBF可被用來減緩主河道中的流速 (抵消下切)，乃藉由恢復蓄洪區和使用生態工法減少洪水平原向主河道的侵蝕。一般而言，河流在一大片範圍內拓寬會導致河床的淤積。整體思考是仰賴自然過程，包括河流的長期形貌發展，以促進水道的商業和休閒娛樂用途。

17.2.2 土地利用變化

在世界的某些地方仍然可以找到不受干擾的原始河流景觀，但它們已經變得極為罕見(Grill et al.，2019)。在所有情況下，沒有人類的活動 (根據定義)保證了這種原始狀態。一旦人類活動開始，土地利用就會改變。結果，物理、化學和生物過程發揮作用的複雜生態系統受到干擾，河流將發生變化。

許多形式的土地利用改變都會影響河流，最重要的土地利用改變形式可能是將洪水平原作農業使用 (如圖 17.3所示)，這通常伴隨著興建小堤壩以將淹水頻率控制在限制範圍內。土壤的物理和化學性質，以及它的結構都會發生變化。去除原始洪水平原植生會改變洪水平原在生態參數 (生物多樣性)和水文參數 (摩擦、淤積過程)方面的狀態。此外，養牛農耕可以增加土壤壓實度，從而減少對含水層的滲透，並助長逕流流入溪流及河川。

土地利用改變的另一種戲劇性形式是都市化，將住宅和工業引入洪水平原。都市化的缺點與將洪水平原變成農業用地相同，但更複雜的是，在洪水平原生活和工作的人們在高流量時會立即遭遇危險。都市化還增加了底土的不透水性，且增加了逕流 (Poff, Bledsoe and Cuhaciyan，2006)。其他國家如英國、美國和法國，生活在洪水平原更為普遍。

圖 17.3 農業使用的荷蘭瓦爾河(Waal)洪水平原



(來源：Joop van Houdt, Beeldbank, Rijkswaterstaat)

土地利用的變化，既有時間性、也有物理性質。它們通常從開發前的情況開始，其中洪水平原的「維護者」與河流系統本身的動態之間存在共生關係。然後，每當活動增加時，洪水平原會受到森林砍伐和其他植生移除更大影響，裸露的土壤越來越容易受到沖蝕。這會破壞系統的穩定性，因為沖蝕的材料會淤積在主河道中。都市化 (聚落、住宅、工業活動)可被視為土地利用變化的第三階段。在此階段，洪水平原的不透水表面積增加，進而導致逕流增加，洪水平原與河流主河道進一步隔開。與此相關的時間尺度通常是相當於幾個世紀。

很多危險化學品，包括合成有機材料，可能會附著於沉積物上。沉積物本身也藉由自然逕流過程排入河流。如果這種沉積物被汙染 (例如，被農業肥料)並被引入河流，它有可

能降低水質。它還會增加水的濁度，這可能會影響魚類的產卵場，降低水生植物的生長能力，並藉由破壞最小的底棲生物的棲息地而影響食物鏈。眾所周知，懸浮沉積物會增高水溫，並以多種方式對魚類族群產生負面影響 (canada.ca.，2016)。

有證據顯示，土地利用改變與洪水風險之間存在關聯性，雖然這種關聯似乎取決於空間背景 (與集水區相關)和時間方面 (與洪水事件有關)。例如，參見 Parrison 和 Lane (2011) 了解更多資訊。

透過與社區和權益相關者接觸的多專業團隊夥伴及團隊，當空間被釋放以實施 NNBF 措施，並避免將河流限制在洪水平原內時，有可能實現富有想像力和潛在的多種土地共同使用。這可以透過多種方法來實現，這些方法給河流提供洪水和改變路線的空間，同時避免對開發地區的壓力。這些措施包括：

- 堤防退縮。
- 遷離容易受洪水影響的社區及鄰里。
- 土地利用分區限制。
- 指定洩洪道。
- 水岸活化為休閒綠地。

NNBF 的一個附加價值是它們通常會將洪水平原恢復到更自然的狀態。在這樣做的過程中，他們還增加了河流的流量，減緩了主要渠道和集水區上游部分的流量，例如植樹造林。

17.2.3 洪水平原和濕地的消失

河川洪水平原和鄰近的溼地處於長年的壓力之下。有充分的證據顯示，在過去的幾十年中，大部分洪水平原和濕地已經消失 (Hayes et al.，2018；Tockner and Stanford，2002)。消失的原因包括對洪水平原和濕地的占用增加 (即都市化和工業化)以及相關的護岸和堤防置入。例如，在荷蘭，自 1850至 1995年間，將近 55,000公頃的洪水平原由於這些原因而消失。後果是蓄洪區的喪失，因此，受影響河流中的洪水波更高、更大。洪水平原的消失也可能導致土砂動態的變化，以及高流量事件期間的蓄洪。例如，洪水平原的夏季沖蝕可以為下游地區提供土砂來源。顯然，恢復洪水平原和濕地將可抵消這些影響。

1995年之後，透過「荷蘭的還地於河計畫」(Netherland's Room for the River Program)，萊茵河近 5,000公頃失去的洪水平原得以恢復。應以提供額外共同利益的方式恢復洪水平原，例如增加自然價值、生物多樣性和休閒娛樂機會。

洪水平原之恢復是否導致主河道淤積取決於河流的大小。大型河流的洪水平原恢復可能會導致主河道中的土砂增加，如果恢復導致流量增加，反而又會導致主河道中的流速降低，從而導致土砂淤積。侵蝕和淤積形式是一個複雜的問題，需要使用數值模式進行詳細研究。它們取決於河流的狀態 (是惡化還是退化)以及形貌變化是否為正面。在較小的溪流中恢復洪水平原 (例如，透過將河流與其洪水平原重新連接)可能對土砂平衡產生積極影響。透過重新連接，洪水平原可以留住土砂，因此可以充當水槽，防止土砂最終進入主河道。

典型的 NNBF 措施是從洪水平原 (住宅、工業活動) 中去除人為因素，並根據自然環境 (森林、灌木、其他植生、側渠道) 恢復該區域。這可能必須與堤壩和防洪堤的搬遷相結合，以進一步增加河流的流量。

圖 17.4 阿根廷聖塔菲 (Santa Fe) 附近的濕地和洪水平原



(來源：Ralph Schielen, Beeldbank, Rijkswaterstaat)

17.2.4 動植物群的消失

土地利用的改變、與主要河道相隔離或完全消失的洪水平原以及森林砍伐將極大地影響動植物的多樣性，包括魚類、鳥類、微生物群和大型生物群，以及植物和野生動物物種的不同組合。這些活動透過棲息地消失、遺傳侵蝕 (**遺傳質的流失**) (其中當個體在繁殖前死亡時，植物或動物種群的基因庫減少)、生態連通性降低以及許多其他生態現象而起作用。有證據顯示，使用NNBF恢復洪水平原會增加生物多樣性 (Straatsma et al.，2017年)，並有助於恢復、增強和保護無數的生態功能。然而，如何對這些要素進行評分、評估和比較各種NNBF措施並不總是很容易 (Calliari, Staccione, and Mysiak，2019)。

多種 NNBF 技術重新引入或增強草類、禾本科植物、闊葉草類 (即開花的單子葉植物和雙子葉植物)、灌木和樹木。這些技術還透過確保改善水在地景中的分佈來恢復或重新連接洪水平原 (參見第 17.2.3節)，從而隨著時間的推移增加調節和滯留。透過土壤改良重新引入有益微生物物種也有助於恢復洪水平原。恢復棲息地的複雜性、動物群和生物多樣性，並重新引入海狸等野生動物，對增加洪水平原的自然價值、生態功能和服務產生有益影響。

圖 17.5 智利濕地中的黑頸鵝



(來源：Ralph Schielen, Rijkswaterstaat)

多種 NNBF 技術重新引入或增強草類、禾本科植物、闊葉草類（即開花的單子葉植物和雙子葉植物）、灌木和樹木。這些技術還透過確保改善水在地景中的分佈來恢復或重新連接洪水平原 (參見第 17.2.3 節)，從而隨著時間的推移增加調節和滯留。

17.2.5 去除植生

森林砍伐對集水區有負面影響。一般來說，森林砍伐會減少野生動物、生物多樣性和生態功能，並增加沉澱作用的傾向。個別灌木和樹木，以及整個森林，可以保持和減緩雨水流速。但由於森林砍伐通常會加速逕流流向較小的支流，因此流向主流的逕流也會加速。流量波動變得更陡峭並具有更高的洪峰。

森林砍伐發生在河流集水區的許多不同位置。圖 17.6 說明，即使在一個單一的延展範圍內，植生會從一個洪水平原被移除，然後在另一個洪水平原進行維護 (或恢復)。河流源頭地區森林砍伐的主要後果 (除了對森林砍伐地點的動植物群和生物多樣性的影響)是支流洪峰流量加速，並最終增加主河道洪峰流量 (在延時和大小上)。最有可能的是，支流和主河道的沉積物也增加了，因為土砂不再被樹根和木質材料減弱。因此，森林砍伐不僅會導致洪水風險增加，還會導致嚴重的土砂管理問題。

如果主要河流本身的洪水平原被砍伐，那麼洪峰流量的後果可能會非常嚴重，因為當洪水平原變得更平滑時，排放流量波會加速。這種情況發生的程度再次取決於森林砍伐發生的地點。荷蘭萊茵河洪水平原的森林砍伐不是問題，因為那裡幾乎沒有森林，而且位在低速地區。但在德國和瑞士萊茵河的部分，情況不太明朗，而美國河流源頭周圍的森林砍伐仍然存在。

森林砍伐與土地利用改變之間存在明顯的關聯性。砍伐森林通常會將森林變成用於農業或都市倡議和擴充的土地。一般來說，森林砍伐會擴大洪水風險 (Bradshaw et al.，2007)。令人驚訝的是，儘管有前面的推理路線，但有證據顯示森林管理 (包括道路建設、挖溝、伐木和土壤壓實) 在擴大洪水風險方面可能比森林砍伐本身扮演更大的角色 (European Commission，2013)。

因此，在這些情況下，最明顯的 NNBF措施是直接植生復原和恢復植生棲息地。

圖 17.6 英格蘭伊甸河有植生和沒植生的洪水平原



(來源：Neil Entwistle)

17.2.6 水質退化

如第 17.2.2節所述，人類的活動以肥料和殺蟲劑的形式將養分和合成有機物質引入河流和集水區。這些投入物質在很大程度上與提高農業生產力的渴望以及都市環境中的害蟲防治和美學原因有關，這些投入物質在使用後會流失到集水區和河流中。

過量施用會導致化肥、殺蟲劑或其分解產物在集水區土壤中堆積。逕流機制可以將這些物質移動並集中在河流中，集水區排水將它們向下游移動，最終進入沿海地區。這些產品的使用和意外釋放的常見影響包括優養化、生物多樣性變化和下游沿海地區的影響。

優養化是過度養分負荷導致生物量增加（藻類或植物）的過程。地下水也會受到透過補給傳輸到含水層的養分或殺蟲劑的影響。化肥使用和集約化畜牧業可導致原水中硝酸鹽含量升高，這需要額外處理以在水可飲用之前去除硝酸鹽。營養素和殺蟲劑的使用也會影響生物多樣性。植物、藻類、無脊椎動物、魚類和動物群落都顯示出營養物質和合成有機材料在向食物鏈上游移動時造成的影響。

雨水和融雪從鋪砌的街道、停車場、裸露的土壤、草坪和農田流向較小的溪溝，最終流向河流。隨著水的流動，它會收集遇到的東西，包括土壤；塑料；農藥；油和油脂；肥料，包括硝酸鹽和磷酸鹽；其他流出物；和垃圾。很明顯，一旦進入河流，這些物質可能會降低水質和相關的野生動物機會。如果它們的濃度太高，某些化學物質和廢水可能會對飲用水攝取量造成健康風險。它們還可能增加藻類繁殖和優養化。有毒元素還可以附著在沉積物顆粒上，並在以後的時間或地點釋放，使沉積物成為另一個污染源。

圖 17.7 荷蘭的廢水排入河流狀況



(來源：Bart van Eyck, Rijkswaterstaat)

NNBF 透過捕捉或減緩營養物質和合成有機物質的釋放，以及減少或停止使用它們，在動態平衡中建立更穩定的河流和集水區系統的能力，此可以大大減少表 17.1 中所列的水質挑戰。一種方法是恢復濱岸過濾的功能。

17.2.7 鹽水(潮汐)入侵和對飲用水原水的影響

河流三角洲 (參見圖 17.8 智利潮汐入口的案例) 的鹽水透過河口的各個分支入侵是一種自然現象。一般來說，土地利用將以適合河口的情況和鹽或微鹽水的存在。系統內條件的變化（即河口或海平面上升的狀態）會增加鹽水向陸地的入侵，給現有的農業活動和飲用水供應帶來問題。很明顯，只要海洋和河流之間有開放的連接，海平面上升就會增加海水入侵。更長和更強烈季節的低河流流量也會增加鹽水入侵，因為低河流流量對鹽水的壓力較小。緩解措施包括透過應用不同的運輸路線來增加河流供水。例如，荷蘭利用抽水系統和較小的運河將可飲用的原水從其他河流、運河和湖泊改道，從而實現了這一點。

圖 17.8 智利康塞普西翁比奧比奧河口和潮汐入口



(來源：Ralph Schielen, Rijkswaterstaat)

並非所有河流都與大海相通連接。例如，在英國，幾乎所有河流在其河口的某個位置都有屏障，可以完全防止鹽水入侵。飲用水進水口位於這些屏障的上游。在這種情況下，河流中的低流量或海平面上升不會立即導致飲用水原水供應出現問題。

除了在概念層面上，沒有專門抵制鹽水入侵的 NNBF策略。任何增加水的入滲以補注含水層，並因而增加河流的基流量水位的 NNBF方法將有助於改善鹽水入侵問題。對於較小規模的集水區尤其如此，這些集水區的主流長度通常小於 100公里。在低流量時增加河流流量的措施 (例如，改變水路從相鄰河流分支進入或打開堰堤) 也有助於抵消鹽水楔的入侵。然而，NNBF是否能夠有所建樹，卻讓人質疑。

17.2.8 水力發電廠、水壩和其他水工結構

幾乎所有河流都有或多或少的水壩或其他蓄水池，例如堰堤。歐洲的萊茵河有 12 座大壩，建造時間超過 83 年。美國密西西比河有 29 座水壩。通常，水壩具有多種功能，例如發電和防洪。大壩的主要缺點之一是流速的自然變化消失了，洪水平原的淹沒變得受限。結果，生物多樣性受到影響 (例如，魚類通道受阻，魚類產卵區被破壞)，洪水平原土壤質量惡化。

圖 17.9 智利基耶科 (Quilleco) 鎮的水力發電設備



(來源：Ralph Schielen, Rijkswaterstaat)

然而，更重要的是，大壩阻礙了河流中的土砂運輸。由於水流緩慢，上游供應的土砂沉澱在湖中。隨著土砂慢慢填滿湖中，大壩的功能受到阻礙。一種常見的緩和措施是放空湖泊，儘管這會加劇與供應下游大量土砂相關的環境問題。

將土砂淤積在湖中也會導致大壩下游的自然沖刷和沈積模式而出現重大問題，土砂輸送平衡被打破。儘管河流在大壩下游具有可預測且穩定的運輸能力，但土砂的供應量接近於零。這意味著下游將發生廣泛的侵蝕，導致河床下切。

克服這個問題的一種方法是用來自流域本身或其他地方的沉積物來滋養河流。然而，這些都是昂貴的措施，只要大壩就位，就需要採取這些措施。另外，沉積物的成分很重要，太粗的土砂滋養可能會增加下游的沖蝕。

沒有典型的 NNBF 措施來解決與這一挑戰相關的問題。拆除結構顯然是第一步，但必須採取其他幾項措施來恢復平衡的水力、形貌和生態狀況。

第 17.3節討論了在規劃或使用 NNBF 時適用的一些更廣泛的考慮因素，無論位置或規模如何。

17.3 NNBF在河流應用中的約束

第 16 章第 16.3 節在相當高的層面介紹了與 NNBF 相關的關鍵概念和考慮因素，因此在應用 NNBF 時需要考慮一些一般原則。上一節更詳細地討論了可以從 NNBF 中受益的河流管理挑戰。本節討論應用 NNBF 時必須考慮的約束，無論規模和位置如何。

17.3.1 應用 NNBF時需要尊重水力和形貌學原理

我們在本《洪水風險管理自然與自然為本特徵的國際指南》中考慮的措施旨在降低洪水風險。它們是 NNBF 的事實意味著存在有共同利益和附加值。NNBF 的具體特徵取決於其在集水區的位置。

在較大河流的源頭，或較小的支流或小溪流中，目標是減緩流量、減低逕流和減少洪峰流量。這些措施也影響土砂管理。大多數情況下，沉積物被保留在子流域中，從而減少了下游形貌問題，例如在高流量時過多的土石流或泥流。從長遠來看，上游貯存土砂可能導致下游下切。

通常由工程堤防或護岸保護的較大河流中，目標是透過增加流量來降低洪峰水位。主河道和洪水平原會有形貌上的回應。主河道一般會淤積，洪水平原會因更頻繁的淹水而淤塞。儘管這些原則大體上是正確的，但是否決定增加排放容量取決於一個國家的傳統和作法。

在荷蘭，這些原則被廣泛使用，並且是大型修復計畫的基礎，例如還地於河。在英國，已經應用了側渠道，例如在朱比利河 (Jubillee River) (又名銀禧河)。朱比利河的緩解方案是從泰晤士河 (Thames River)改道，繞過梅登黑德 (Maidenhead)、溫莎 (Windsor)、伊頓 (Eton)和庫克漢姆 (Cookham)，並再次重新匯入泰晤士河。

此類措施在萊茵河等緩坡河流 (平均每公里落差約11公分) 比泰晤士河等陡峭河流 (每公里落差約32公分) 更有效。靠近河口和海域，增加流量措施的效率大大降低。這並不是說這些措施不能用於陡峭的河流，這一點在朱比利河的例子中得到了證明。

17.3.2 需要確認 NNBF措施的不同時空有效性

措施起作用的洪水流量範圍 (例如，低流量、洪水或兩者兼有，或從低到高的全部洪水流量範圍)也對其短期、中期和長期水力產生影響及形貌效應。並非所有 NNBF 措施在施工後立即生效。涉及自然植生的措施 (例如，植樹或引入其他形式的植生)可能需要數月至數年才能生效。例如，洪水平原恢復計畫可能在完成後立即開始執行--或在植生生長幾個月後開始執行--但重新造林措施可能需要數年甚至數十年才能產生全面影響。

17.3.3 NNBF的運作與維護

NNBF 措施的運作和維護在較大的河流中與在較小的溪流或支流中有所不同。受堤防或護岸保護的河川工程，其恢復措施通常位於洪水平原。例如，可能會挖掘洪水平原以重新將它們與河流的主要渠道連接起來，或者可能會在與水流幾乎沒有相互作用的地方重新引入植生。應仔細監測這些措施的生態和形貌，以確定何時需要維護 (更多訊息請參見第7章)。

當植生發育超過預定門檻 (例如，莖的長度或水力粗糙度) 時，需要進行維護。在這種情況下，由於植生的存在而產生的摩擦會導致洪水水位上升，因此需要進行維護(例如，可能透過循環再生的方式，如砍伐恢復植生；Baptist et al.，2004)。興建側渠道的形貌發展也是如此，隨著時間的推移，側渠道會淤高 (Van Denderen et al.，2018)，幾年後 (取決於洪水歷史)，可能需要進行維護疏浚。同樣，適當的監控對於此決定至關重要。大型和小型系統的監測數據也可用於評估共同利益的增加，例如生物多樣性或休閒娛樂機會。監控經常被低估，監控預算有限，這阻礙了操作和維護。有關性能、指標和適當監控的必要性的更多訊息，請參閱第 5 章。

17.3.4 NNBF措施對通航性的影響

航運是大河流最突出的經濟驅動力之一。荷蘭瓦爾河 (Waal River)是萊茵河最重要的支流，是歐洲使用最密集的航道，每年透過約 11萬艘船舶 (平均每5分鐘一艘)、運輸貨物 1.55億噸 (Bureau Voorlichting Binnenvaart，2015) 在美國，密西西比河 (Mississippi River) 是最重要的河流，每年運送貨物 5.6億至 5.8億噸 (U.S. Army Corps of Engineers，2012)。泰晤士河是英國最重要的內陸水道，處理了英國水道上一半以上的運輸 (2017年為 2,670萬噸；Department for Transport，2018)。

維護河流以保證在低流量和高流量時的經濟活動非常重要。必須調整通道寬度和深度以滿足航運需求，包括以下內容：

- 暢通的航道，直的或與船舶尺寸相關的最大平面半徑。
- 保持突堤群、縱向堤岸或疏浚所需的最小通航深度。

因此，河流的長期形貌發展不應顯著地限制航運。在正常情況下，高流量時期（單波或波的組合）可能會導致局部淤積型態（取決於河流寬度的局部變化），這可能會在低流量時阻礙航行。這種沉積物經常要疏浚。如果疏浚材料從系統中移除，因為河流的運輸能力保持不變，會增加河床下切。所以，在荷蘭和許多國家，疏浚資材被回收並傾倒在上游不再影響航行，並透過系統的自然動力從那裡逐漸返回到河流中。

NNBF 措施--尤其是那些影響河流寬度的措施--也可能導致主河道的額外形貌改變，從而增加疏浚行為，或者，如果不可能減少船舶負載。所以，在提供生態共同效益的 NNBF 的應用與航行的經濟活動之間存有張力。

17.3.5 控制 NNBF 使用的監管框架

世界各地的法律、法規、土地所有權和維護土地以控制洪水風險的義務各不相同。在一些國家(例如荷蘭)，政府在法律上被允許採取行動來保證可以構建洪水風險措施。在其他國家(例如瑞典)，土地所有者負責維護堤防與護岸。由於各國規章不同，因此在規劃NNBF時應考慮這些規章，因為它們可能會明顯影響計畫之提案、規劃、建設和評估的整個週期。

有時，可能需要修改法規以促成引入 NNBF措施。例如，在美國，2016年《國家水基礎設施改進法案》(Water Infrastructure Improvements for the Nation Act, WIIN Act)第 1184節引入了一項要求，要求在所有聯邦 FRM 以及颶風和風暴減災計畫中考慮 NNBF 措施。

17.4 NNBF 的利益

除了提供 FRM利益外，NNBF 還可以提供一系列共同利益。第 6章以一般方式討論了這些好處，而本節更詳細地介紹了河流 NNBF 可以提供的共同利益。共同利益，也稱為「多重利益」、「生態系統服務」或「商品和服務」，是人類從自然環境和健康生態系統中獲得的利益 (參見 Daily，1997 及 Boyd and Banzhaf，2007)。

在向權益相關者和其他提供資源和計畫資金的決策者推廣 NNBF時，記錄 NNBF 的主要 FRM 效益及其共同利益至關重要。儘管過去通常沒有記錄與基於 NNBF 計畫相關的共同利益，但這事是重要的，不僅要評估 FRM，還要評估全套的社會、環境和經濟共同利益。在評估 NNBF 計畫的收益範圍時，需要考慮一些重要因素。其中包括 NNBF 應用的規模、計畫類型、要包含的特徵以及地方或區域對與 FRM 相關的物理地景過程的影響(Habersack、Schober and Hauer，2015；Lane 2017；Wilkinson et al.，2019)。

NNBF種類繁多，規模廣泛，可單獨或組合應用，對 FRM 效益產生不同的影響。表 17.2 顯示了三種常見的 NNBF 類型，並描述了每種類型的優勢、物理過程和典型的性能因素。

表 17.2 不同空間尺度的堤防退縮、自然化的渠道設計及集水區治理案例

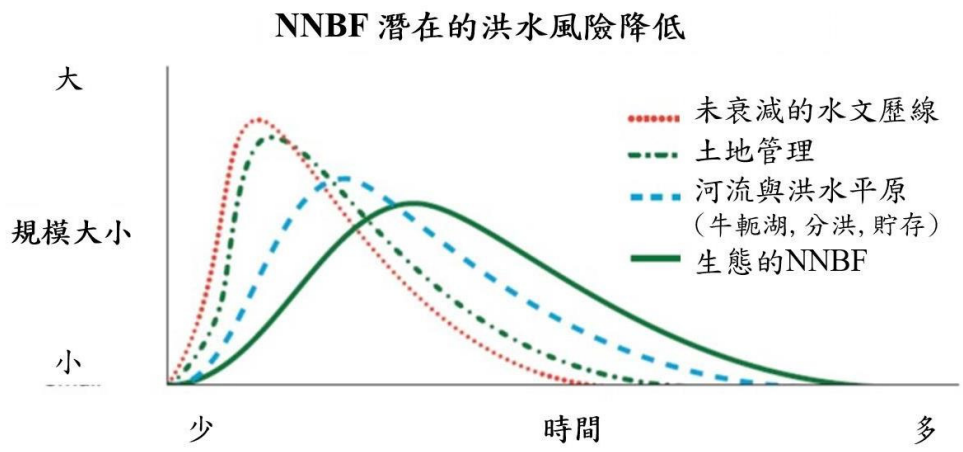
NNBF 的種類	效益 / 過程	性能因素
堤防退縮	● 降低洪水水位與速度 ● 減少對堤防的維護與維修頻率 ● 減少航行的維護 ● 減少侵蝕和沖刷以及營運和維護成本 ● 增加休閒育樂、文化和教育的機會	● 新增洪氾區數量會影響水文負荷 ● 改進減災的調整選項 ● 以增加洪水平原的連接達成計畫的生態目標 ● 與權益相關者及其他聯邦機構的合作
渠道設計自然化	● 減少堤防及修復項目的維護和維修頻率 ● 流動狀態的自然化及洪水平原的再連接	● 推動的類型決定水文負荷 ● 作法決定了改善減災、侵蝕控制以及河床和河岸穩定性的選項

	● 對洪水平原棲息地的生態效益 ● 減少侵蝕和沖刷以及營運和維護成本 ● 增加休閒育樂、文化和教育的機會	● 與權益相關者及其他聯邦機構的合作 ● 土砂管理選項
集水區治理	● 水文集水區制度的自然化 ● 減少航行的維護 ● 減少營運和維護成本 ● 增加休閒育樂、文化和教育的機會 ● 減少堤防及修復項目的維護和維修頻率	● 集水區管理方案決定了水文負荷的影響 ● 作法決定了改善減災、高地沖蝕控制以及地下水補注 ● 土砂管理選項 ● 與權益相關者及其他聯邦機構的合作

為 FRM 帶來好處的 NNBF 發生在廣泛的空間尺度上。為計畫設計提供與生態增強相關的共同利益的一個簡單案例是在鬆散岩石、淺灘級控制結構的上游表面添加天然材料，以為魚類提供產卵棲息地。 FRM 的主要好處是穩定河床並減少下游的淤積 (有效降低水面線) 並重新建立進入洪水平原的通道，以允許洪水流自然消散能量並將循環養分和土砂透過洪水平原。透過增強現有結構物或在新項目設計中實施這種增強，可以獲得擴大產卵棲息地的額外利益。

透過拆除堤防重新引入連接洪水平原，是大型 NNBF 計畫的一個例子。該計畫 FRM 的主要好處是增加輸送量、減少洪峰流量以及洪水的滯留和衰減。其共同利益包括重建地下水補注區、養分循環和沈積物儲存，以及濱岸功能的生態增強，包括陸地和水生物種的棲息地。圖 17.10 呈現 NNBF 應用的規模及其在影響現有水文歷線和洪峰方面的有效性的示例。這些影響將根據最終 NNBF 的規模而有所不同。例如，小支流上的堤防拆除或後退重新引入連接洪水平原，與下游較大堤防後退的洪水減少相比，這些連接對蓄水和減少水位線的影響較小。在比較最終收益時，需要進一步調查集水區背景、山谷、坡度、地質和其他考慮因素。圖 17.10 說明了 NNBF 選項如何影響洪峰減少策略和洪水幅度的一般趨勢。

圖 17.10 NNBF 對降低洪峰的影響作為洪水規模大小的函數



例如，集水區上游部分的 NNBF 措施可能包括集水區治理，例如農用草溝 (圖 17.11) 或洪水平原林地栽植 (圖 17.12)，以重建原生洪水平原環境。這類草溝提供了控制局部沖蝕的好處，而洪水平原林地栽植增加了洪水平原的粗糙度，有效地減少了洪水流量，並提供了養分循環及增加了洪水平原的沉積物淤積。如果這些措施推廣用於足夠大的區域，它們可以有益的影響集水區範圍的水文過程。然而，這些 NNBF 措施需要在集水區層面廣泛實施和協作，其適用性通常因地區而異。

圖 17.11 美國愛荷華州布萊恩特(Bryant)地區的農用草溝



(來源：Christopher Haring, U.S. Army Corps of Engineers)

圖 17.12 美國伊利諾州蓋爾斯堡市(Galesburg)的洪水平原林地復育



(來源：Christopher Haring, U.S. Army Corps of Engineers)

以可重製和客觀的方式使權益看得見的一種方法是使用「利益輪」，第 18 章和第 19 章將對此進行更多的討論。利益輪 (Environment Agency，2017a；圖 17.13)可用於描述 NNBF 可以交付的服務。利益輪由 10 個不同的權益和共同利益指標組成，這些指標可能會受到 NNBF 的影響。根據介入措施或手段可能對其產生的影響，對每一個不同的效益指標進行 1 到 5 的評分。分數越高，權益越大。這種半定量排名指出一項措施或干預措施可以對提

供某些權益做出的相對貢獻。評分的分配假設措施或干預措施計畫良好、設計良好且維護良好。評分由開發 NNBF 計畫的組織、其合作夥伴組織和當地社區團體共同進行。評分是定性的，基於對河流、集水區的現有知識以及不同類型 NNBF 的潛在效益。為本文件開發的利益輪使用環境署(英國)在其自己的 NNBF 指南 (Environment Agency，2017a) 中使用的 10 個利益指標。然而，在為未來計畫開發利益輪時，應審查表 17.3 中列出的生態系統服務共同利益，並應使用與所考慮計畫最相關的共同利益。

圖17.13是河流復原「利益輪」的範例。在這種情況下，河流復原的「棲息地」共同利益得分為 5。「洪水(河流)」利益得分為 4，河流復原的「空氣質量」共同利益得分為 1。

圖 17.13 中的利益輪直觀地描繪了透過河流復原可以實現的多種利益。根據 NNBF 的設計和建造有多好，此利益輪中的扇形可能更大或更小。設計不佳的計畫可能會導致利益減少。

生態系統服務通常分為四類(見表 17.3)。圖 17.13 中生態系統服務的顏色對應於表 17.3 中它們所屬的四個組的顏色。

圖 17.13 利益輪的範例

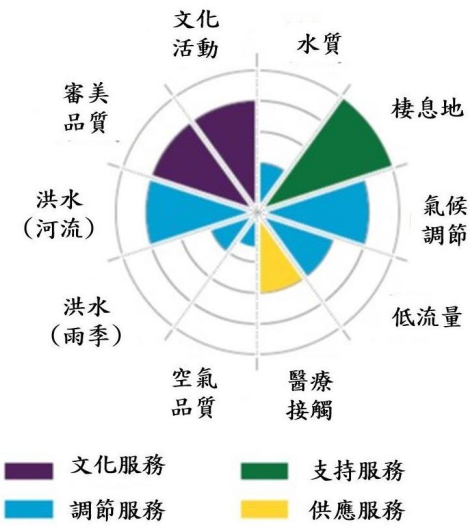


表 17.3 生態系統共同利益分類

供應服務	調節服務	文化服務	支持服務
從生態系統中獲得的產品，例如食物、纖維、燃料、遺傳資源、生化產品、天然藥物、藥品、水和建築材料	從調節生態系統過程中獲得的好處，例如空氣質量維持、氣候調節、水調節和淨化、沖蝕控制、廢物處理、人類疾病的控制、生物控制、授粉以及防止極端天氣和氣候事件	人類透過精神充實、認知發展、反思、娛樂和審美體驗，從生態系統中獲得的非物質共同利益	產生所有其他生態系統服務所必需的服務（它們對人類的影響是間接的或長期發生的）；例如大氣氧氣的初級生產、土壤形成和保持、養分循環、水循環和棲息地提供

備註：共同效益根據其提供的生態系統服務類型分為四類

表 17.4 列出了 NNBF 在河流中最常實現的利益與共同利益，它們在第 18 章和第 19 章中討論。

表 17.4 第 18 章和第 19 章所涵蓋的利益與共同利益

供應服務	調節服務	文化服務	支持服務
● 醫療接觸	● 洪水風險(河流) ● 洪水風險(雨季) ● 水質 ● 氣候調節 ● 低流量 ● 空氣品質	● 文化活動 ● 審美品質	● 提供棲息地

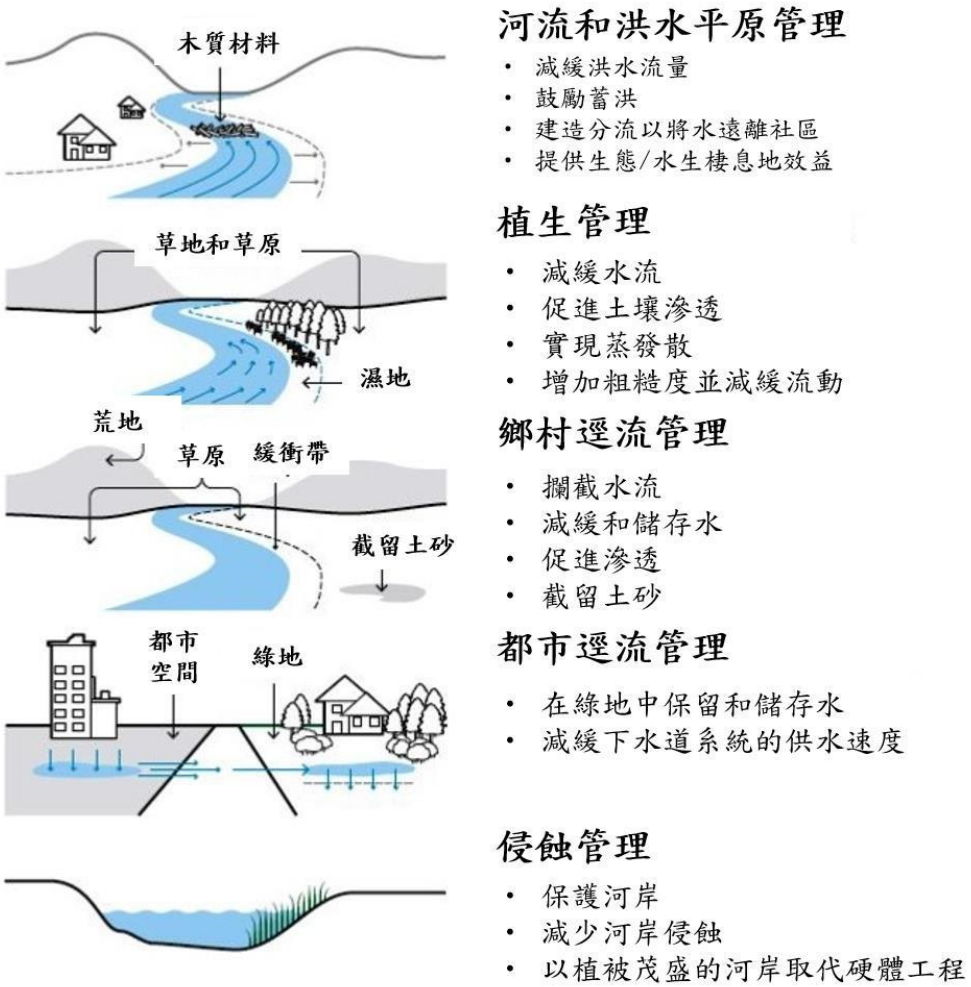
17.5 河流 NNBF類別的概述

實施 NNBF 可以極大地增強現有的 FRM 系統並提供永續的設計。此類增強的目的是提供彈性的工程設計，不僅可以增加生態系統服務，還可以提供附加的 FRM 效益。我們考慮以下 NNBF 類別（另請參見圖 17.14）並指出這些類別可以結合在一個特定的干預措施中，並且該干預措施可以位於集水區的某處。

以下 NNBF 類別在圖 17.14 中加以描述，並分別在第 17.5.1 至 17.5.5 節中進行討論：

- 河流和洪水平原管理。
- 植生管理。
- 鄉村逕流管理。
- 都市逕流管理。
- 侵蝕管理。

圖 17.14 應用於河流系統的 NNBF 類別

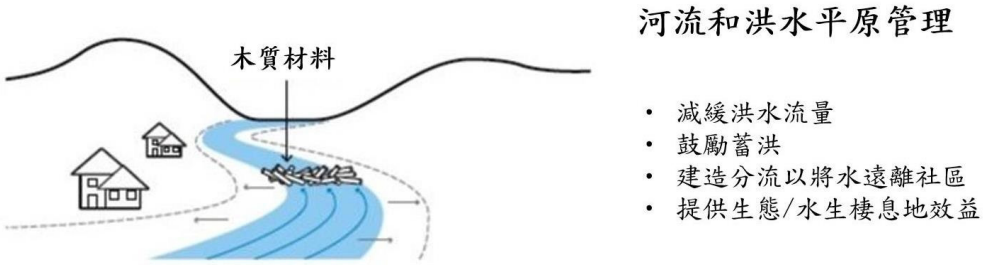


17.5.1 河流和洪水平原管理 NNBF

河流和洪水平原管理 NNBF (如圖 17.15所示)，包括使用濕地和離槽儲水設施進行河流和洪水平原復原。這些特徵提供了廣泛的環境和文化共同效益，並可應用於集水區的任何部分，對 FRM 產生不同程度的影響或減少。河流恢復功能在試圖恢復河道和鄰近洪水平原的自然物理過程和特徵。洪水平原和濕地增強功能恢復了與洪水平原的自然聯繫，提供洪水儲存，並使水生物種能夠進入曾經自然可用的區域。離槽儲存 NNBF調適和恢復自然過程，以管理的方式保留和減弱洪水。策略性放置和設計的安全結構增加了蓄水量，有效地減少了下游排放，並為集水區提供了 FRM 效益。

請注意，在應用河流和洪水平原管理 NNBF 時，重要的是要確認它們在集水區的位置。源頭 (上游集水區)的措施旨在透過保水、植樹或透水屏障來減緩流量。在中游地區流量普遍較高，NNBF打算增加 (恢復)流量以降低洪峰水位，側渠道是這種措施的一個例子。儘管人們也可以透過疏浚主河道 (從而使主河道更深或更寬)來增加河流的流量，但通常不將疏浚視為 NNBF方法。

圖 17.15 河流和洪水平原管理示意圖



下列包括一些提供河流和洪水平原管理NNBF訊息的指南：

- *The NFM Manual* (Wren et al., forthcoming)
- *Building Community Resilience with Nature-Based Solutions: A Guide for Local Communities* (Federal Emergency Management Agency 2020)
- *Building with Nature: Creating, Implementing and Upscaling Nature-Based Solutions* (van Eekelen and Bouw 2020)
- *Natural Flood Management Toolbox: Guidance for Working with Natural Processes in Flood Management Schemes* (Environment Agency 2017a)
- *Working with Natural Processes: Evidence Directory* (Environment Agency 2017b)
- *Implementing Nature-Based Flood Protection: Principles and Implementation Guidance* (van Wesenbeeck et al. 2017)
- *Natural Flood Management Measures: A Practical Guide for Farmers* (Yorkshire Dales National Park Authority 2017)
- *Natural and Nature-Based Flood Management: A Green Guide* (World Wildlife Fund 2016)
- *Natural Flood Management Handbook* (Forbes, Ball, and McLay 2015)
- *Manual of River Restoration Techniques* (The River Restoration Centre 2013)
- *Building with Nature: Thinking, Acting and Interacting Differently* (de Vriend and van Koningsveld 2012)

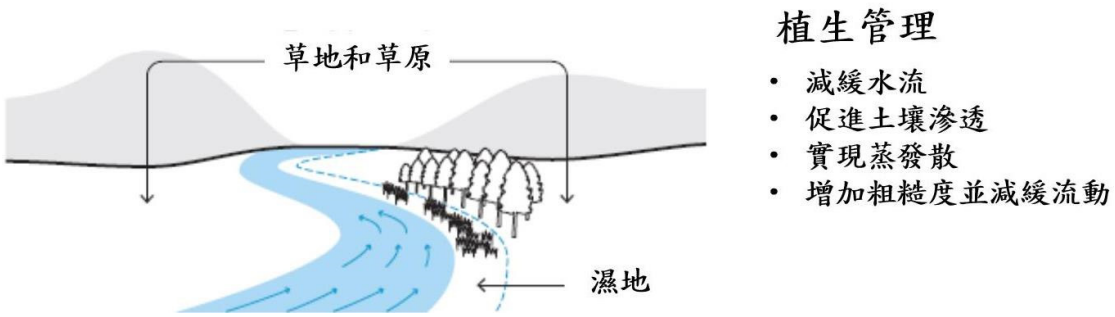
除了這些指南之外，以下是兩個相關網站，其中包含 NNBF地圖集、論文、播客(網路廣播)等的鏈接：

- Engineering With Nature (ewn.el.erdc.dren.mil，2021)
- Eco-Logical Approach (environment.fhwa.dot.gov，2021)

17.5.2 植生管理 NNBF

植生管理 NNBF (如圖 17.16 所示)包括流域範圍內對林地、河岸廊道、草原、草地和其他自然景觀特徵的增強。一些常見的做法是用本地物種重新植生，減少競爭性入侵物種，以及透過植生改變減少流量和自然消散能量的方法。

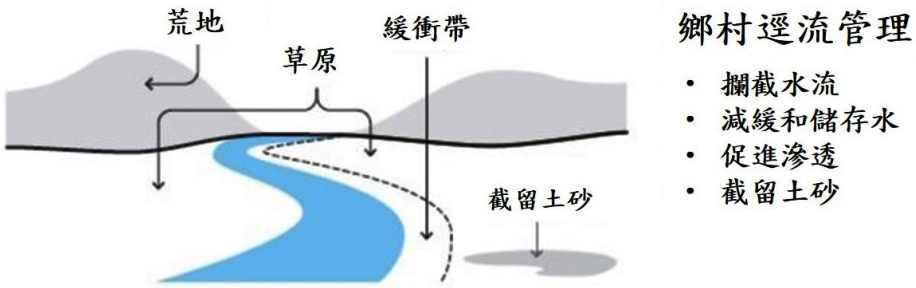
圖 17.16 植生管理示意圖



17.5.3 鄉村逕流管理 NNBF

鄉村逕流管理 NNBF (如圖17.17所示)恢復攔截地表逕流和土砂的功能和過程，恢復土壤以幫助它們儲存水，促進滲透和土砂淤積，並增加河流和洪水平原的水力粗糙度和形貌複雜性。這種類型的 NNBF包括源頭排水管理、農耕方法和截留土砂 (沉砂池)。

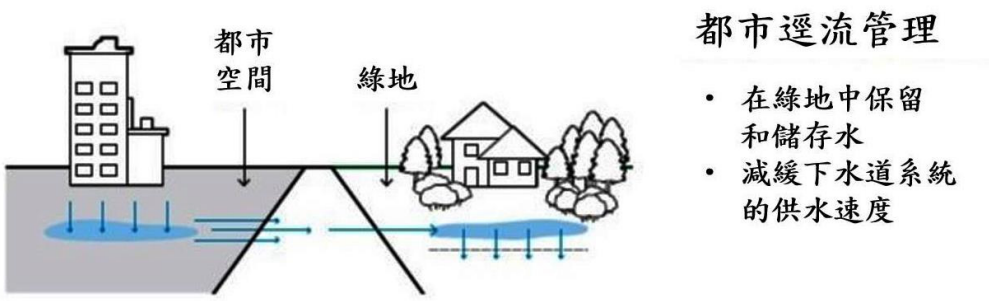
圖 17.17 鄉村逕流管理示意圖



17.5.4 都市逕流管理 NNBF

都市逕流管理 NNBF (如圖 17.18 所示)主要用於管理增加的地表水逕流和相關的河道。 這種類型的典型 NNBF 增加了水的滲透性和保水性。它們包括可滲透表面、雨水花園、調節和滯洪池以及人工濕地綜合體。

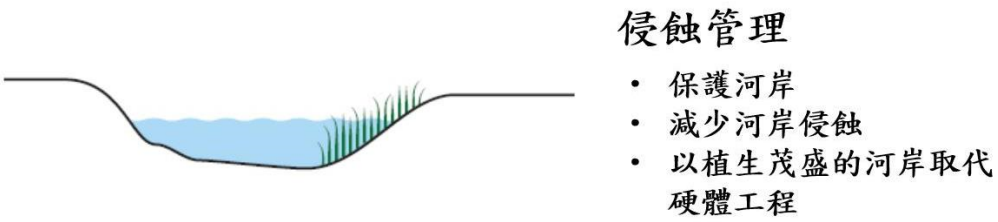
圖 17.18 都市逕流管理示意圖



17.5.5 侵蝕管理NNBF

侵蝕管理 NNBF (如圖 17.19 所示)為河流系統提供穩定選項。該類別中的 NNBF 種類繁多，包括生物工程和低衝擊結構穩定設施，其中包括更多的生物工程方法。

圖 17.19 侵蝕管理示意圖



17.6 選擇 NNBF 的最佳作法

當選擇和興建 NNBF 措施以降低洪水風險時，必須採取幾個步驟以從集水區或子集水區的措施中獲得最大的附加價值。並非每項 NNBF 都能解決特定問題。一些措施更好(或僅有）適合上游集水區。其他可能適用於中游或下游集水區。所有 NNBF 都有特定的共同利益，可能有助於增加環境的自然價值或促進經濟或休閒娛樂功能。以下提議的 11 個步驟方案可能有助於選擇適當的 NNBF 措施：

步驟 1：完成系統分析

- NNBF措施永遠不會單獨存在，而是始終適合更大的系統。因此，建議在考慮 NNBF 之前進行系統分析。系統觀點（見第4章）對於理解和解決洪水的根本原因至關重要。針對其運營規模的 NNBF措施將比以非策略方式定位的單獨存在措施更有效 (Dixon et al.，2016；Lane，2017)。

步驟 2：指定你的特定挑戰

- 設定一個或多個目標 (社會目標) 以解決應用 NNBF時的特定挑戰 (或挑戰) 是至關重要的。作為預定目標的一部分的共同利益應進行盤點，以便評估 NNBF的效率和有效性。表 17.1包含有關 NNBF可能相關的共同利益的訊息。表 17.1也可以作為確定目標的靈感來源 (例如，減少渠道不穩定性、改善水質或恢復洪水平原與濕地)。

步驟 3：找到你在集水區的位置 (上游、中游或下游)

- 上游集水區的目標通常是透過增加蓄水或滲透，或透過部分阻斷水流的措施(透水壩、植樹)來減緩水流。在中游集水區，由於來自支流的額外流量，流量通常較大，系統由(高)堤壩保護，堤壩背後的經濟發展是可觀的。NNBF旨在增加排放流量，從而降低洪水位。由於一些 NNBF旨在減緩水流，而其他 NNBF增加排放流量，計畫在集水區的位置對於 NNBF的選擇很重要。
- 山區高山集水區的源頭溪流可能僅提供有限的應用 NNBF的機會，因為非常陡峭的坡度和有限的可用空間。由於河流的流速很高，通常不可能減緩河流水流，任何結構都可能被沖走，並且在下游地區採取的任何 NNBF 措施其影響幾乎不明顯。

步驟 4：建立挑戰意識

- 覺察有助於獲得解決挑戰的支持。如果一個挑戰還沒有被確認，一個可能的解決方案很可能不會得到公眾的支持，或者會被公眾辯論或爭論。這將導致規劃和興建過程中的阻力，並可能導致阻止實施 NNBF措施的法律行動。

步驟 5：選擇適合你的挑戰和集水區位置的措施

- 如果挑戰的性質和集水區中的位置很清楚，可以選擇阻止流量或有助於增加排放流量的措施。還要考慮該措施的共同利益以及它們是否切題。
- 使用 NNBF，放慢水流通常是集水區源頭最有利的方法。例如，草溝、水與土砂控制池、池塘和蓄水結構可以策略性地放置在上游（非高山）集水區，以減少洪峰流量並降低下游地區的洪水風險。這些措施通常適用於小規模、相對陡峭的集水區，但也可用於都市地區，以提供額外的蓄水量並減少洪水高峰，當不透水區的擴大導致入流量增加時。

步驟 6：制訂一個計畫並讓權益相關者、非政府組織、土地所有者和地方當局參與進來，以獲得他們的支持。

- A權益相關者參與的平衡方法將有助於在計畫設計期間提供必要的支持。

步驟 7：選擇合適的模式來模擬措施的效果。

- 多種水力、形貌、生態模式可供選擇。當地地理的數值地形模型(DTM)通常是水力和形貌計算的起點。使用光達或其他技術進行的詳細地形測量，結合多波段的河流水深測量，是數值地形模型的必要輸入。然後可以使用水工模型來評估由測量產生的流量、速度和水位，並且可以使用形貌模型來模擬形貌演變。水工和形貌模型的輸出可用作生態或其他模式的輸入，以評估措施的共同效益。
- 如果模型的效果不如預期，應該有調整措施設計的意願。
- 由於建模成本高昂，因此需要適當調整建模要求的確定。建模可以涉及水文、水力、形貌、生態、許可相關問題以及可能的其他主題。鄉村地區的小計畫不需要精細模型(因為風險和可能的後果有限)，而都市化地區的小計畫需要更詳細的調查和建模(有時在立法中提出)。

步驟 8：制訂長期計畫以監控特定流程和參數，包括適應性管理。

- 確定適當的監測方案對於判定是否達到步驟 2設定的目標以及評估是否獲得步驟5中考慮的共同效益至關重要。複雜的水力、形貌和生態模型的預期使用也對監測方案（指標、延時和密度）提出了要求。明確描述目標（步驟 2）也可能對要監控的其他指標提出額外要求。
- 應衡量參考境況 (即 NNBF措施實施前的地面狀況)，以與施工後的結果進行比較，長期監測以確認措施實施後的變化。

步驟 9：確保有足夠的資金來構建該措施。

- 一旦展示了 NNBF計畫的成本效益 FRM權益，所有可用於等效灰色措施的資金和融資方法(例如，建造水壩或堰堤或為河流改造目的的V型結構)都可用於 NNBF工作。資金和融資因國家而異，但總體而言，財務資源可以來自傳統債券 (市政、州、省、聯邦)、新債券 (綠色債券、氣候彈性債券)、基礎設施銀行、減災資金、災後復建資金和保險。

步驟 10：施工結束後，實施監測計畫。

- 施工後監測應至少持續數年，以確定實施措施後成效的趨勢，並了解水文歷線的自然變化性。應在低、中、高排放流量期間監測措施的效果。

步驟 11：定期檢查目標是否達到，措施是否按預期工作。

- 評估一個項目的產出，簡單的說，就是確定計畫是否按設計建造。產出可能與結果不同，這與步驟 2 中提出的社會目標有關。一個計畫可能在產出上得分很高，但在結果上得分很差。

- 並非所有的 NNBF都以相同的方式運轉。例如，洪水平原恢復通常意味著，除其他外，增加河流的排放流量，從而降低洪水水位。一旦計畫完成，就會發生這種情況。然而，假如重新造林用於增加生物多樣性和抵消沖蝕，洪水風險可能會增加，因為重新造林會增加洪水平原的水力摩擦。而這些重新造林的影響可能不會在施工後立即顯現，因為樹木需要時間來生長，而且在 NNBF措施完全發揮作用之前可能要經過數年或數十年。

- 與步驟 7 一樣，如果長期監測顯示某項措施沒有按預期發揮作用，並且沒有實現為其設定的目標，則應有意願調整該措施的設計。

在整個設計、實施和評估過程中，可以考慮適應性管理的原則，以考慮風險和不確定性。有關適應性管理的詳細討論，請參見第 7 章。

17.7 缺口與未來方向

越來越多的人支持使用 NNBF 降低洪水風險。這種增加的支持已經確定了知識缺口，這可以塑造和定義未來的研究方向，以進一步將 NNBF 作為 FRM 技術。在本節中，我們指出了進一步應用 NNBF 必須填補的缺口，以及有助於縮小這些缺口的政策、研究和實踐的未來方向。

17.7.1 在 NNBF 的應用中觀察到的缺口

以下是觀察到的缺口，必須填補以進一步應用 NNBF：

- **越來越多的定性證據說明 NNBF具有多種 FRM共同利益，但能夠證明這一點的直接定量科學證據有限**。部分原因在於以物理和性能為本的系統理解學科的發展。更長期和更高頻率的系統範圍監控將提高這種性能為本的系統理解。第 6 章更詳細地介紹了NNBF的權益。

- **當地居民、當局和非政府組織非常了解他們的系統。使用這些知識和經驗有助於接受NNBF**。當地權益相關者非常了解當地環境的重要性；然而，這種背景有時在機構層面上可能不太明顯。主動探索和考慮當地情況的好處的過程最大限度地提高了應用 NNBF 所產生的利益。第 3 章提供了有關社區參與的更多細節。

- **隨著 NNBF 使用的增加，越來越需要為提議使用它們的業務案例開發治理和保證流程**。 越來越多地使用 NNBF作為提供 FRM的方法意味著治理和保證流程需要發展，以針對更傳統的工程計畫或項目選項正確評估 NNBF或混合解決方案。這將涉及積極擴大對 NNBF的熟悉度和知識，並優化資本和資金安排，以確保公平考慮 NNBF。進一步研究以確認和考慮成本和效益，特別是共同利益，為幫助應對這一挑戰提供了理想的機會。

- **需要體認到，採用 NNBF的策略性使用的提案需要得到機構和政府流程的支持並成功地通過**。NNBF作為一種 FRM方法的成熟度正在提高--隨之而來的是政府和機構流程需要在其策略政策和戰術流程中反映這種成熟度。此類組織需要調整其企業和交付策略，以進一步採用 NNBF。如果沒有這種調整，在製定策略政策方向或 FRM計劃的戰術交付時，將無法充分地考慮 NNBF真正的利益。

- **在評估哪種NNBF 措施最能應對挑戰時，需要考慮集水區系統的背景、集水區內的位置（源頭、中游段、三角洲）、一個國家使用的 FRM 方法以及該國在世界上的位置**。NNBF措施總是提供共同利益，由計畫或項目權益相關者決定它們的交付規模。所有NNBF措施都直接支持永續性，以及構成 17項「聯合國永續發展目標 (United Nations' Sustainable Development Goals, SDG)」的 231 項獨特指標。確認 NNBF對 SDGs 的貢獻提供了在業務案例中獲取這些利益的能力。在這個領域存在開發一個客觀的 NNBF評估框架的機會，該框架也反映了對聯合國永續發展目標的貢獻。捕獲這些 NNBF可以而且將被視為有助於一個國家的整體福祉。

- 很明顯地 NNBF可以為緩解氣候變遷影響做出貢獻--是直接透過提供 FRM和共同利益， NNBF措施的固有彈性，因為它們是自然或自然為本的，或者避免洪水災難。NNBF 利用自然過程，因此對減輕氣候變遷影響具有積極作用，這要麼是由於許多NNBF使用的天然材料的固有循環性，要麼是與更傳統的工程計劃或項目解決方案相比避免了材料使用。然而，支持這一點的經驗證據的收集對於 FRM 部門來說相對較新，因此需要更好地量化這些氣候變遷的緩和機會。

17.7.2 促進 NNBF應用的未來方向

下列是有助於推動NNBF應用的政策、研究和實施的未來方向：

- 為了評估NNBF，需要一個客觀、綜合的評估框架。透過將經驗基礎帶到更科學支持的基礎，這激發了對 NNBF 性能的更好理解。下一步是將這個框架與聯合國的永續發展目標結合起來，以證明 NNBF 有助於提供更永續的解決方案，從而提供能夠抵禦氣候變遷的基礎設施。

- 監測和調整NNBF關於水文、水力、形貌、生態、洪水風險、治理、社會支持和總體福祉方面量化NNBF的附加價值。在規劃階段，建議制訂長期監測和適應性管理計畫(10年或更長時間)。對這些數據的分析有助於對 NNBF的功能有一個大致的了解。第 7 章提供了有關適應性管理的更多細節。

- 對NNBF堅實的支持在執行上至關重要。為此，深入了解當地權益相關者、社交網絡和非政府組織之間的互動至關重要。 NNBF方法應該激發新的權益相關者並激發參與性決策。

- 在很大程度上，集水區的規模和位置 (源頭、中游段、三角洲)決定了最適合的 NNBF措施的性質。需要更好地了解個體 NNBF所貢獻的屬性，以支持選擇措施的最佳做法。需要一個適當的評估框架工具來支持選擇。這尤其適用於 NNBF在都市環境中的應用。

- 雖然有模式可以量化 NNBF的水文、水力、生態、形貌和其他方面，但需要改進這些模式以減少不確定性。應用於本地化案例研究的重點基準模型研究可以改進現有模式，為 NNBF應用程序提供清晰度並解決不確定性。

- 遙感探測方法的運用和無人飛行載具（無人機）的應用潛力巨大。它們可用於快速開發數值地形模型，進而可用於確定最合適的 NNBF措施。除了計畫後監測和適應性管理之外，這些數據還可用於改進河流棲息地快速評估的模式，有助於增加我們對 NNBF的科學知識。

- NBF 的實施將進一步得到政府和機構策略的方向以及治理和保證流程發展的支持。從政策到地方法律 (國際、國家、聯邦和地方) 的各個層面的評估和調整將有助於更順利地規劃和交付 NNBF。未來，NNBF應成為 FRM評估的一個組成部分，評估應根據集水區規模和當地情況進行衡量。

17.8 參考文獻

Baptist, M. J., W. E. Penning, H. Duel, A. J. M. Smits, G. W. Geerling, G. E. M. van der Lee, and J. S. L. van Alphen. 2004. "Assessment of the Effects of Cyclic Floodplain Rejuvenation on Flood Levels and Biodiversity along the Rhine River." *River Research and Application* 20 (3). https://doi.org/10.1002/rra.778.

Blom, A., L. Arkesteijn, V. Chavarrias, and E. Viparelli. 2017. "The Equilibrium Alluvial River under Variable Flow and Its Channel Forming Discharge." *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 122 (10): 1924–1948. doi:10.1002/2017JF004213.

Boyd, J., and S. Banzhaf. 2007. "What Are Ecosystem Services? The Need for Standardized Environmental Accounting Units." *Ecological Economics* 63 (2–3): 616–626. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.01.002.

Bradshaw, C. J. A., N. S. Sodhi, K. S. H. Peh, and B. W. Brook. 2007. "Global Evidence That Deforestation Amplifies Flood Risk and Severity in the Developing World." *Global Change Biology* 13 (11): 2379–2395. doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01446.x.

Bureau Voorlichting Binnenvaart. 2015. *Bevaarbaarheid van de Waal, nu en in de toekomst vanuit het perspectief van vaarweggebruikers en hun klanten* [Navigability of the Waal River, Now and in the Future, Considered from the Perspective of Shipping and Their Customers]. The Blue Road duurzaam vervoer over water.

Calliari, E., A. Staccione, and J. Mysiak. 2019. "An Assessment Framework for Climate-Proof Nature-Based Solutions." *Science of the Total Environment* 656: 691–700.

canada.ca. 2016. Water Pollution: Erosion and Sedimentation. *Government of Canada*. https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/water-overview/ pollution-causes-effects/erosion-sedimentation.html.

Daily, G. 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, DC: Island Press. de Vriend, H., and M. van Koningsveld. 2012. *Building with Nature, Thinking, Acting and Interacting Differently*. Dordrecht, NL: EcoShape, Building with Nature.

Department for Transport. 2018. *Domestic Waterborne Freight: UK 2017*. London: Department for Transport.

Dixon, S. J., D. A. Sear, N. A. Odoni, T. Sykes, and S. N. Lane. 2016. "The Effects of River Restoration on Catchment Scale Flood Risk and Flood Hydrology." *Earth Surface Processes and Landforms* 41 (7): 997–1008.

ewn.el.erdc.dren.mil. 2021. *Engineering With Nature*. https://ewn.el.erdc.dren.mil/.

Environment Agency. 2010. *Working with Natural Processes to Manage Flood and Coastal Erosion Risk*. Guidance Document. Bristol, UK: Environment Agency.

Environment Agency. 2012. *Greater Working with Natural Processes in Flood and Coastal Erosion Risk Management: A Response to Pitt Review Recommendation 27*. Bristol, UK: Environment Agency.

Environment Agency. 2017a. *Natural Flood Management Toolbox: Guidance for Working with Natural Processes in Flood Management Schemes*. Bristol, UK: Environment Agency.

Environment Agency. 2017b. *Working with Natural Processes: Evidence Directory*. Bristol, UK: Environment Agency.

environment.fhwa.dot.gov. 2021. FHWA Initiatives to Accelerate Project Delivery. *U.S. Department of Transportation/Federal Highway Administration*. https://www.environment.fhwa.dot.gov/env_initiatives/eco-logical.aspx.

European Commission. 2013. "Land Use Change and Land Management Influence Floods in Small Catchments." *Science for Environment Policy, Thematic Issue: Flooding* 40 (9).

Federal Emergency Management Agency. 2020. "Building Community Resilience with Nature- Based Solutions: A Guide for Local Communities." USA. https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_riskmap_nature-based-solutions-guide_2020.pdf.

Forbes, H., K. Ball, and F. McLay. 2015. *Natural Flood Management Handbook*. Stirling, UK: Scottish Environment Protection Agency.

Grill, G., B. Lehner, M. Thieme, B. Geenen, D. Tickner, F. Antonelli, S. Babu, et al. 2019. "Mapping the World's Free-Flowing Rivers." *Nature* 569: 215–221. doi:10.1038/s41586-019-1379- 9.

Habersack, H., B. Schober, and C. Hauer. 2015. "Floodplain Evaluation Matrix (FEM): An Interdisciplinary Method

for Evaluating River Floodplains in the Context of Integrated Flood Risk Management." *Natural Hazards* 75 (1): 5–32.

Havinga, H. H. 2020. "Towards Sustainable River Management of the Dutch Rhine River." *Water* 12 (6): 1827. https://doi.org/10.3390/w12061827.

Hayes, D. S., J. M. Brändle, C. Seliger, B. Zeiringer, T. Ferreira, and B. Schmutz. 2018. "Advancing Towards Functional Environmental Flows for Temperate Floodplain Rivers." *Science of the Total Environment* 633: 1089–1104. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.221.

Lane, S. N. 2017. "Natural Flood Management." *WIREs Water* 4 (3): e1211. https://doi. org/10.1002/wat2.1211.

Pattison, I., and S. N. Lane. 2011. "The Link between Land-Use Management and Fluvial Flood Risk: A Chaotic Conception?" *Physical Geography* 36 (1). doi:10.1177/0309133311425398.

Poff, N. L., B. P. Bledsoe, and C. O. Cuhaciyan. 2006. "Hydrologic Alterations Due to Differential Land Use across the Contiguous United States: Geomorphic and Ecological Consequences for Stream Ecosystems." *Geomorphology* 79: 264–285.

River Restoration Centre, The. 2013. *Manual of River Restoration Techniques*. Bedfordshire, UK: The River Restoration Centre. http://www.therrc.co.uk/manual-river-restoration-techniques.

Straatsma, M. W., A. M. Bloecker, H. J. R. Lenders, R. S. E. V. Leuven, and M. G. Kleinhans. 2017. "Biodiversity Recovery Following Delta-Wide Measures for Flood Risk Reduction." *Science Advances* 3 (11): e1602762. doi:10.1126/sciadv.1602762.

Tockner, K., and J. Stanford. 2002. "Riverine Floodplains: Present State and Future Trends." *Environmental Conservation* 29: 308–330. doi:10.1017/S037689290200022X.

USACE (U.S. Army Corps of Engineers). 2012. *MR&T 2011 Post Flood Report: Documenting the 2011 Flood, the Corps' Response, and the Performance of the MR&T System*. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers.

Van Denderen, R. P., R. M. J. Schielen, S. G. Westerhof, S. Quartel, and S. J. M. H. Hulscher. 2019. "Explaining Artificial Side Channel Dynamics Using Data Analysis and Model Calculations." *Geomorphology* 327: 93–110. doi:10.1016/j.geomorph.2018.10.016.

van Eekelen, E., and M. Bouw. 2020. *Building with Nature: Creating, Implementing and Upscaling Nature-Based Solutions*. Rotterdam, NL: NAi Publishers.

van Wesenbeeck, B. K., S. IJff, B. Jongman, S. A. B. Balog, S. M. Kaupa, L. V. Bosche, G. Lange, et al. 2017. *Implementing Nature-Based Flood Protection: Principles and Implementation Guidance*. Washington, DC: World Bank Group.

Wilkinson, M. E., S. Addy, P. F. Quinn, and M. Stutter. 2019. "Natural Flood Management: Small- Scale Progress and Larger-Scale Challenges." *Scottish Geographical Journal* 135 (1–2): 23–32.

World Wildlife Fund. 2016. *Natural and Nature Based Flood Management: A Green Guide*. Washington, DC: World Wildlife Fund.

Wren, E., M. Barnes, M. Janes, A. Kitchen, N. Nutt, C. Patterson, M. Piggott, J. Robins, M. Ross, C. Simons, M. Taylor, S. Timbrell, and D. Turner. Forthcoming. *The NFM Manual*. London: CIRIA.

Yorkshire Dales National Park Authority. 2017. *Natural Flood Management Measures: A Practical Guide for Farmers*. North Yorkshire, UK: Yorkshire Dales National Park Authority.

第 18 章 河流的 NNBF 描述

關鍵訊息

1. 有許多不同類型的河流自然和自然為本的特徵 (NNBF)可用於整個集水區，以幫助降低洪水風險。
2. 河流 NNBF措施可以在鄉村和都市環境中實施。
3. NNBF 措施可以單獨使用。然而，在許多情況下，它們與工程洪水風險管理基礎設施結合使用最有效，有助於增強它們在面臨氣候變遷的應變能力。
4. 在選擇 NNBF之前，充分了解洪水的來源、途徑和接受者非常重要，因為這將有助於選擇正確的措施來解決源頭的洪水風險問題。
5. 在大多數情況下，洪水問題沒有「靈丹妙藥」的解決方案；反而，通常需要在有洪水風險的地區上游實施一系列 NNBF。
6. NNBF措施的設計方式不僅可以降低洪水風險，還可以提供一系列共同利益，幫助解決集水區內面臨的特定環境挑戰。

18.1 概述

本章描述了河流自然和自然為本的特徵 (Natural and Nature-Based Features, NNBF)。正如本書《洪水風險管理的自然和自然為本特徵的國際指南》(International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management) 中所討論的，NNBF可以透過保護、恢復和仿效集水區、洪水平原、河流和海岸的自然功能來幫助降低洪水風險 (Environment Agency，2010, 2012 , 2017)。NNBF 還可以透過減緩水流和波浪在地物上的運動來提供波浪衰減。本出版品有關河流部分包括第 15章至第 19章。第 15章介紹了NNBF在河流環境中的應用。第 16章描述河流系統及其與洪水風險管理 (Flood Risk Management, FRM)的關係。第 17章描述NNBF在河流系統中的優勢和挑戰，第 18章概述NNBF可用於河流應用的作用與範圍，第 19章提供了世界各地不同類型河流NNBF應用的案例研究。

NNBF有許多不同的形式 (圖 18.1)，可應用於都市和鄉村地區以及小溪、河流、河口和海岸。本章涵蓋並描述了不同的 NNBF及其對洪水風險的影響，包括以下內容：

- 河流與洪水平原管理
- 植生管理
- 鄉村逕流管理
- 都市逕流管理
- 侵蝕管理

選擇合適的 NNBF需要在集水區範圍內了解水文系統、形貌和生態過程，以及已發生變化的歷史和任何社會限制。NNBF可以對洪水產生以下影響：

- 保住雨水逕流，減少下游流量。

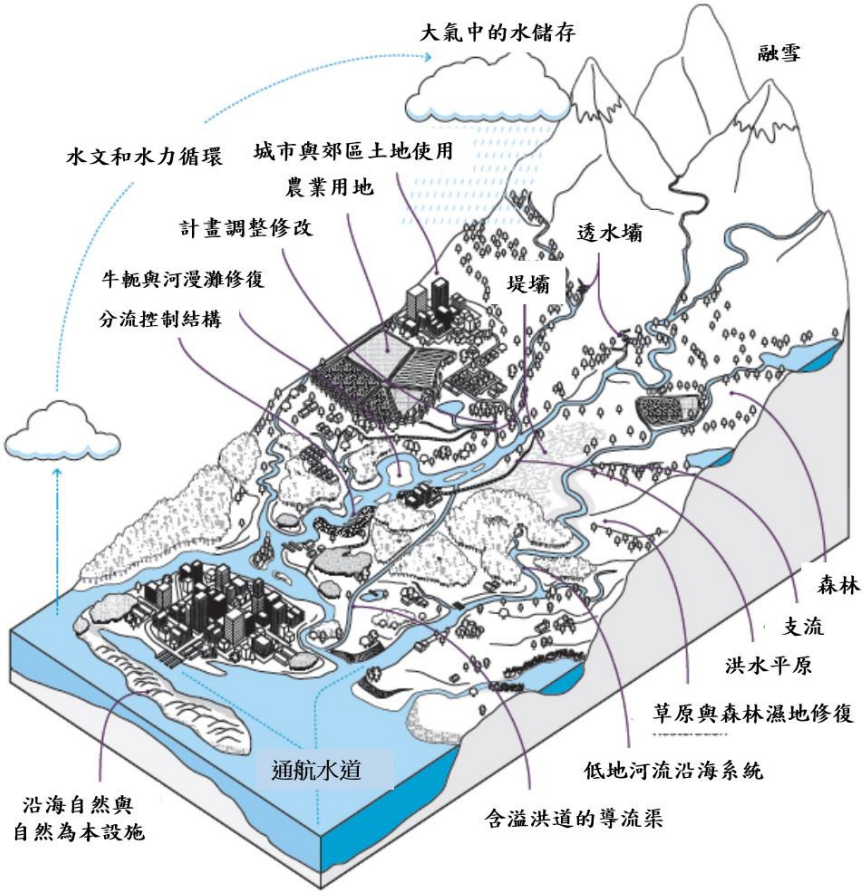
- 增加滲入地下的降雨比例，從而減少降雨逕流，進而減少下游流量。
- 藉由降低流速來延緩水流。
- 保留可能淤積在河道中的土砂，減少其輸送。
- 藉由增加輸送能力，以降低低地洪水位。

NNBF減少上游、局部和下游地區洪水的程度取決於許多因素，包括風暴的強度(年超越機率和延時)；集水區的形貌和生態狀況；NNBF的數量、規模和位置；以及集水區內NNBF的佈置。環保署 (Environment Agency，2017)、牛津馬丁學院 (Oxford Martin School ，2017)和英國議會科學與技術辦公室 (Parliamentary Offices of Science and Technology, POST，2014)詳細描述了 NNBF在降低洪水風險方面的有效性背後的科學證據。要了解 NNBF的影響，需要採用系統方法，這需要了解集水區的功能以及它將如何與水文循環相互作用(有關係統方法的更多訊息，請參見第 4 章)。

在本出版品中先前描述的用於降低沿海地區洪水風險的 NNBF中，濕地是最常見的NNBF，也適用於河流系統。本章涵蓋與河流系統相關的以下三種濕地類型：

- 淡水洪水平原濕地 (第18.2.2節)。
- 在鄉村環境中建造的非氾濫平原濕地，用於蓄集漫地流和逕流 (第18.4.2節)。
- 都市環境中的人工濕地 (第18.5.2節)。

圖 18.1 集水區中的 NNBF 案例



18.2 河流與洪水平原管理

恢復自然過程和 NNBF用於河流和洪水平原可以為環境和人類帶來廣泛的好處。從 FRM 的角度來看，這些類型的 NNBF通常旨在增加河流和洪水平原的水力粗糙度和形貌複雜性，從而減緩洪水速度並將河流重新連接到洪水平原以儲存水並提供共同效益。這些措施通常適用於較小的河流和溪流 (例如在英國)，以及較大河流的支流。

本節還涵蓋了荷蘭通常用於增加較大河流（例如萊茵河、多瑙河和密西西比河）排放流量的措施。增加排放速率會加速流量並降低洪峰水位。這些措施不涉及增加粗糙度，而是旨在拓寬河流。

在這兩種情況下，這些措施還可以改變沉積物模式，減少對渠道輸送的潛在負面影響。

第18.2.1、18.2.2 和 18.2.3節分別描述了以下河流和洪水平原管理 NNBF：

- 河流修復
- 洪水平原與洪水平原濕地恢復
- 離槽蓄水區

圖 18.2 和表 18.1 描述了這些不同類型的河流和洪水平原管理 NNBF 對洪水風險的影響。

圖 18.2 河流和洪水平原管理示意圖

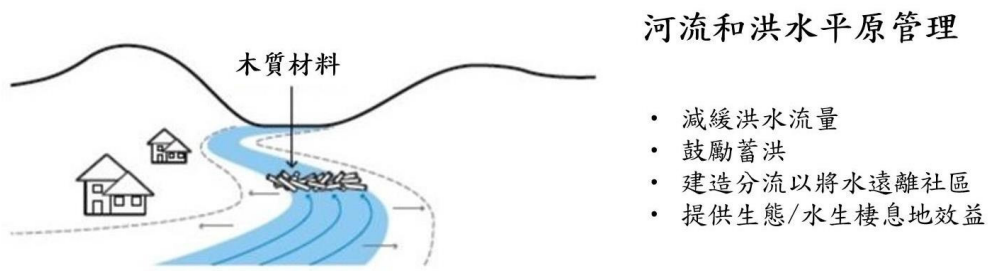


表 18.1 河流和洪水平原管理 NNBF

河岸緩衝廊道

沿河道岸邊上的河岸緩衝帶有助於減緩水從陸地流入河流的速度。這也有助於捕獲土砂和汙染物。河岸緩衝帶也可以作為動植物廊道。



照片來源：
U.S. Army Corps of Engineers (USACE)

離槽蓄水區

離槽蓄水區是適合以管理方式保留和減弱洪水的洪水平原。它們通常包括一個控制堤岸和一個進水口、一個出口，以及可能的溢洪道機制。



照片來源：Environment Agency

洪水平原恢復和重新連接
(破壞和拆除堤防)

洪水平原恢復旨在恢復河流和洪水平原之間的水文聯繫，以便它們在高流量時被淹沒並儲存水。這可能涉及拆除洪水堤防和其他阻礙洪水平原連通性的障礙。



照片來源：Environment Agency

牛軛湖和類似 NNBF的重新連接

河流一直在變化；在許多情況下，地景中仍然可以看到古老的古河道和牛軛湖。當河流和洪水平原得到修復時，有可能沿著舊路線修復河流，將其連接到牛軛湖。



照片來源：USACE

堤防開槽

如果堤壩後面沒有基礎設施，可以添加孔洞，讓水在洪水期間進入洪水平原，並降低洪峰值。



照片來源：USACE

清除洪水平原的障礙物

過去，在洪水平原建造了許多不同的結構來阻礙高流量時的水流。例如，這些可以包括保護農田的小河堤、局部治理工程、牲畜藏身處和橋樑引道。清除這些障礙物可以增加洪水平原的洩洪能力並降低洪水位。



照片來源：Rijkswaterstaat

縱向壩

縱向壩是在河流系統中創造輔助航道的結構牆。雖然這是一個灰色的解決方案，但縱向壩涉及創建具有高生態價值的側渠。條件更適合魚類產卵（因為大壩也限制了船舶引起的波浪的影響）並有助於增加生物多樣性。縱向壩降低洪水水位（比突堤群造成的摩擦更小）並確保在低流量期間有更大的航行深度。



照片來源：Rijkswaterstaat

新生地的重新自然化

新生地是被稱為堤壩的堤防或柵欄圍住的低窪土地。堤壩形成人工水文實體，其中水道與堤壩另一側的土地之間，除了透過手動操作裝置沒有任何連接。重新自然化包括加強新生地以更好地儲存水並提供棲息地共同利益。



照片來源：Rijkswaterstaat

巨石散布，瀨石控制結構

這些措施用於需要控制和穩定河床或河岸的高度緊急系統。



照片來源：USACE

季節性河流的恢復和重新連接

季節性和短暫的溪流是僅在一年中的某些時間流動的水道。因為它們經常是乾的，因為它們的價值有限，所以它們可以被忽略。它們的恢復和保存可以確保它們在高流量時提供 FRM功能。



照片來源：Environment Agency

降低洪水平原

在過去的幾十年中，由於河流整治措施的使用以及土砂被大壩或蓄水庫攔阻，許多工程河流中的航道正在快速侵蝕。這導致洪水平原與河流系統斷開連接。洪水平原降低將洪水平原重新連接到主河道，創造了一種更自然的情況，即增加了洩洪能力並降低了洪水位。洪水平原也更頻繁地氾濫，土砂淤積在上面。



照片來源：Rijkswaterstaat

河流修復 (恢復蜿蜒的河流，河床與河岸再自然化)

為了航行、排水和工業發展的目的，河流已經透過各種方式進行了物理改造。河流修復是復原河流特有的自然物理過程(例如，透過拆除堰堤恢復水流和土砂供給機制)和NNBF(例如，添加木材、改變河流形狀和引入土砂礫石)即河流的特色。



照片來源：Environment Agency

構建側渠道

側渠道是一種流行的措施。它們擴大了河流的流量空間，同時改善了生物多樣性並創造了棲息地(例如，魚類的產卵場)。側渠道通常在上游入口處設置堰堤，以控制流量。它們會有惡化的趨勢，所以經常需要維護(疏浚)。它們在主要河道中也有形貌演變的情形。



照片來源：Rijkswaterstaat

溪流生物過濾帶

這些可以攔阻土砂並滲入逕流水。這同時又改善了水質，因為它們可以減少氨、硝酸鹽、溶解的有機固體、二氧化碳、氮和懸浮固體物。



照片來源：USACE

涵管和溪流採光的修改

過去，都市化導致許多河流和溪流被混凝土涵管圍住。當機會出現時，應拆除混凝土涵管並為溪流採光，以恢復河流並為洪水平原的蓄水創造更多空間。



照片來源：Environment Agency

濕地創造與恢復

濕地是動態且不斷變化的棲息地，包括泥沼、沙丘間濕地、放牧沼澤、沼澤、泥炭沼澤、蘆葦床、鹽沼、濕林地、濕草地及濕荒地。可以創建或恢復它們以幫助儲存洪水。



照片來源：Environment Agency

對水壩和堰堤的修改

許多河道被封閉淤塞。這些結構可以改變，例如，讓魚能夠透過。



照片來源：Environment Agency

野火後復原

可以使用原位材料恢復被野火破壞的河流及其集水區，以穩定河道和河岸。



照片來源：USACE

這些 NNBF中的每一項都進行了詳細描述，總結了與每項 NNBF相關的挑戰和好處。第 19章第 19.1節包括以下案例研究，這些案例研究舉例說明了本節中描述的不同 NNBF：

- 埃德爾頓沃特 (Eddleston Water) 河修復 (INTERREG Building with Nature)，蘇格蘭，英國 (INTERREG =由歐洲區域發展基金資助的旨在促進歐盟內部區域合作的共同體倡議)
- 科羅拉多 (Colorado) 集水區水災復原，科羅拉多州，美國
- 密蘇里河 (Missouri River) 洪水平原經由大規模堤防退縮連接，愛荷華州，美國
- 諾德瓦德 (Noordwaard) 計畫，荷蘭
- 代芬特 (Deventer) 市附近的艾瑟爾河 (Ijssel River)，荷蘭
- 密西西比河 (Mississippi River) 下游堤防開槽，用於棲息地開發，美國
- 梁河 (River Beam) 氾濫地，達格拉姆 (Dagenham)，倫敦，英國
- 泰晤士河 (Thames River) 沿岸的朱比利河 (Jubilee River)(水利渠道)，英國

18.2.1 河流修復

為了航行、灌溉、排水、工業發展和 FRM (見第 17章)，河流已經透過各種方式進行了物理改造。河流修復可以定義為自然物理過程的復原(例如，透過拆除堰堤恢復水流和土砂供應機制)和 NNBF(例如，添加木材、改變河流形狀和引入土砂礫石)是天然河流系統的特徵 (Addy et al.，2016)。

河流修復並不一定意味著將河流形貌和過程恢復到工業化前的狀態，因為由於社會限制和河流不斷變化的性質，這可能很困難或不可能 (Dufour and Piégay，2009)。此外，原始狀態可能不再適合河流在當前或未來的平衡狀態。然而，透過恢復河道的物理形貌直接或間接地使水力、泥砂輸送和生態過程自然化來恢復河道穩定性可能有助於河流向更自然的形式調整。

為便於參考，本章分別討論河流修復和洪水平原恢復。然而，修復河道通常會恢復河流與洪水平原之間的連接，反之亦然。本節介紹濱岸帶的恢復--河流、河道和河岸。第 18.2.2 節重點關注洪水平原--河岸頂部以外的區域，在高流量期間可能會氾濫。

河流修復可以採取多種形式 (見表18.1)；在某些情況下，只需要很少的努力(輔助自然恢復)，而在其他情況下，則需要更廣泛的工程和建設。河流修復可以包括以下技術：

- 恢復蜿蜒的河道。
- 自然河岸的穩定。
- 拆除硬體工程的河岸保護工、堰堤、涵洞、橋梁及壩。
- 溪流、季節河、迴水綜合體及牛軛湖的恢復和重新連接。
- 古河道重新連通。
- 興建縱向壩 (作為降低突堤群的替代方案)。
- 恢復濱岸帶植生。
- 移除影響洪水的入侵物種。
- 安裝減少侵蝕的通道內NNBF措施。

河流修復還可以包括洪水平原的措施(另見第18.2.2節)，例如：

- 構建側渠道 (側溝)。
- 清除障礙物和大型結構 (如洪水平原內建築)。
- 將洪水平原恢復到更自然的狀態 (挖掘和其他措施的配合)。

從 FRM的角度來看，恢復通常會增加水力粗糙度和形貌複雜性，這可以降低水流速度，有助於將河流重新連接到其洪水平原，創建臨時蓄水，並藉保留洪水平原區的土砂以改善土砂輸送方式。河流和洪水平原修復通常同時進行，以提供最大的 FRM 效益。由於洪水效益將在修復區下游產生，應考慮計畫項目所在地水位升高是否可以接受，不涉及額外風險。

對於低地河流(例如在荷蘭)，NNBF 不是用來減緩和儲存水，而是用來增加輸送能力，接著又會導致水位下降，從而減少泛濫的頻率。透過迴水效應降低一個(低地)位置的水位意味著上游的水位也會降低(但程度較低)。因此，這些地點的泛濫頻率也有所降低。支航道也可用於繞過有洪水風險的位置，將水引導到洪水平原或更下游的位置。

理想情況下，維護應保持在最低限度，因為 NNBF的目的是將河流恢復到自然狀態，但可能需要進行一些維護以確保計畫持續提供可永續效益(參見Environment Agency，2015)。如果可能，建議使用當地來源的材料。

該 NNBF 還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同效益。下圖提供了解決河流修復挑戰和共同效益，包括利益輪（第 17 章中討論過）。

河流修復解決挑戰和共同利益

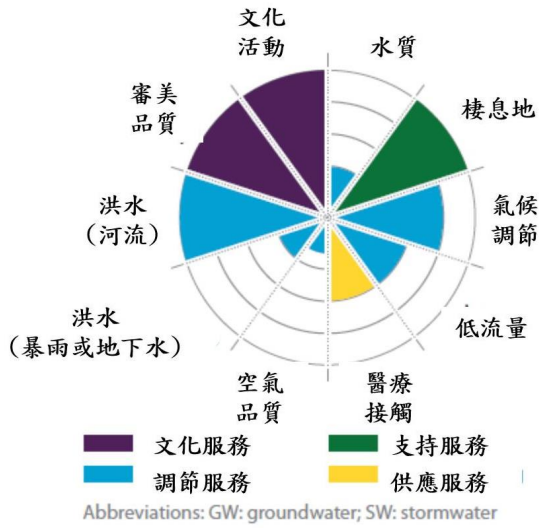
解決挑戰：

這種類型的 NNBF 可以解決各種不同的挑戰。河流修復可以幫助修正棲息地的喪失，也可以恢復河流和洪水平原之間的聯繫，減少侵蝕。

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	否
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

河流修復可以帶來廣泛的共同利益。它特別偏重恢復棲息地並提供美學和文化效益。



18.2.2 洪水平原和洪水平原濕地恢復

可以恢復或創建洪水平原和洪水平原濕地以儲存大量水，以降低洪水風險並提供生態共同效益。濕地是動態和不斷變化的棲息地，包括泥沼、沙丘間濕地、放牧沼澤和沼澤、高地和低地泥炭沼澤、蘆葦床和鹽沼、潮濕的林地、潮濕的草地和潮濕的荒地。

洪水平原恢復旨在恢復河流和洪水平原之間的水文聯繫，以便洪水淹沒特定洪泛區，在淹沒期間幾乎不會造成損害。因此，洪水平原在高流量時蓄水，減少下游洪水。這可能涉及拆除洪水堤防和其他阻礙洪水平原連通性的障礙，例如水閘門和堤壩。

在某些情況下，由於既有開發，不可能完全恢復洪水平原。然而，有許多不同的方法可以恢復洪水平原（見表18.1）以降低洪水風險，例如：

- 降低洪水平原
- 移除洪水平原的水力障礙
- 從洪水平原拆除既有的基礎設施
- 構建次通道或側渠道(側溝)
- 透過將防洪堤移離河流以降低洪水水位，提供當地的 FRM保護
- 在不改變天然低流量河道的情況下，藉由修建堤壩來增加河道的輸送能力，透過複式斷面渠道提供當地的 FRM保護
- 透過拆除防洪堤將圩田重新連接到河流 (這可能覆蓋部分圩田或整個圩田，具體取決於現有土地用途)，使圩田 (圩田是受洪水堤保護的低窪土地區域)重新自然化

該 NNBF 還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同利益。下圖提供了洪水平原和洪水平原濕地恢復面臨的挑戰和共同利益，包括利益輪 (第 17 章中討論過)。

洪水平原和洪水平原濕地恢復的解決挑戰和共同利益

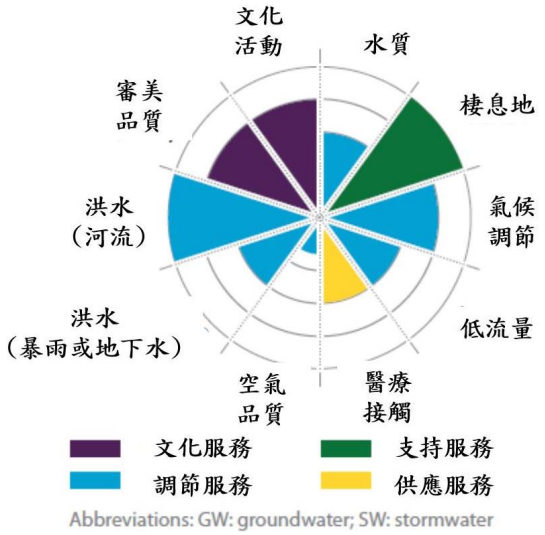
解決挑戰：

這種類型的 NNBF 可以解決各種不同的挑戰。洪水平原和洪水平原濕地恢復可以幫助修正棲息地的喪失，也可以恢復河流和洪水平原之間的聯繫，減少侵蝕。

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

洪水平原和洪水平原濕地恢復除了降低洪水風險，還可以帶來廣泛的共同利益；具體來說，它通常旨在恢復或重建動植物的棲息地。從審美、健康和文化活動的角度來看，它還提供了廣泛的人類利益。



18.2.3 離槽蓄水區

離槽蓄水區是已經適應以管理方式保留和減弱洪水的氾濫平原地區 (表18.1)。它們通常需要建造一個圍堰，這增加了可以儲存在洪水平原的水量，並且可能還需要一個進水口、出水口和潛在的受監管的溢洪道機制。

國際上使用許多不同的術語來描述離槽蓄水區域；這些定義之間的重要區別在於設計中涉及的工程規模和數量。例如，經常使用術語氾濫地 (較大規模)和逕流衰減 NNBF (較小規模)。雖然規模不同，但創建臨時蓄洪的原理是一樣的。

當過量的水被儲存時，下游的水流量會減少，這可能有助於降低洪水風險。蓄洪池透過(調節的)堰與河流相連。它們的功能是存儲洪水波的最高部分。蓄洪區可具有利的功能(例如，在休閒娛樂和自然發展方面)。

蓄洪區域有不同的大小，如下所示：

- 對於較小的溪流和集水區源頭內的河流，蓄水面積一般為幾十上百平方米，蓄水量在1,000立方米左右。
- 對於較大的河流(例如萊茵河或密西西比河)，蓄洪面積可達到 100平方公里左右，蓄水量可達數百萬立方米，如下例所示：
  - ✧ 萊茵河上游 (荷蘭)的預計蓄洪區之蓄水量為 6,000萬立方米。
  - ✧ 美國密西西比河大衛潭 (David Pond)面積 6,000平方公里，可蓄水 7,500萬立方米。

該 NNBF 還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同利益。下圖提供了離槽蓄水區的解決挑戰和共同利益，包括利益輪(第 17 章中討論過)。

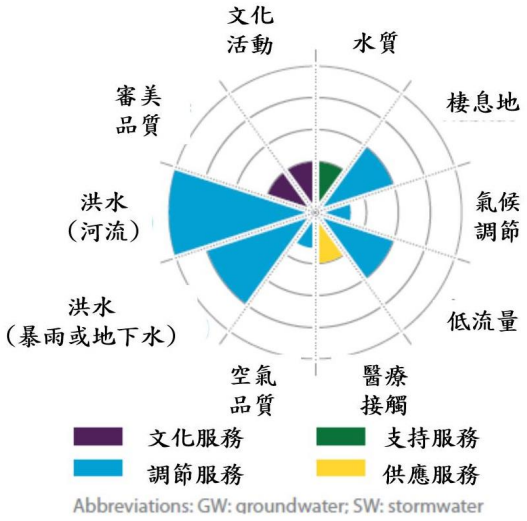
解決挑戰：

這種類型的 NNBF 可以解決各種不同的挑戰。離槽蓄水區可以幫助攔截土砂，解決水質的挑戰。

挑戰	當下
渠道不穩定	否
土地利用改變	否
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

離槽蓄水區主要實現洪水風險收益，但它們也有助於調節低流量。



18.3 植生管理

種植和重建植生可以透過多種方式幫助降低洪水風險，包括下列：

- 透過改善土壤結構、有機質和孔隙率來增加土壤的滲透和吸收。
- 增加河岸穩定性和減少沖刷。
- 改善生態結構複雜性。
- 增加對活在地上和地下生物量的吸收。
- 改善擴散和再吸收到洪水平原(類似於海綿的再潤濕)。
- 隨著時間的推移，透過增加蓄水能力逐漸重新釋放水。
- 重建濕地和湖泊的特徵，減少逕流，增加吸收能力。
- 增加摩擦力，減緩水流，增加擴散和吸收，同時降低水力和流速，從而隨著時間的推移增加彈性和保水力。
- 可能會滯留大型木質物質，從而減少這種材料的下游運輸，否則可能會導致橋樑、涵洞和其他脆弱點的堵塞，造成阻塞和潛在的災難性發生。

環保署 (Environment Agency，2014) 描述了水生植物在降低洪水風險方面可以發揮的作用，並提出了適當的方法來管理渠道和河道岸邊的植生。新的林地種植和現有林地的管理可以透過增加滲透和蒸發散來減少逕流。在洪水平原和河流廊道的林地種植會給洪水平原帶來粗糙度，還可以減緩洪水，從而增加生物多樣性並為魚類提供產卵場。透過在水道內和氾濫平原使用透水木製柵欄來減緩和減弱洪水，可以進一步增強這些好處。

大草原和河漫灘草地提供土砂滯留、侵蝕控制和生態生物多樣性。這些利益是由於地上莖和地下根的大量生物量。這些棲息地的根系網絡促使水滲入土壤，這有助於減少流量和補給含水層。這些棲息地還增加了哺乳動物、鳥類和昆蟲，提供生態多樣性。

第 18.3.1、18.3.2、18.3.3 和 18.3.4節分別描述了以下林地管理 NNBF：

- 集水區範圍的林地。
- 洪水平原與河岸林地。
- 大草原和河漫灘草地。
- 透水的和木質柵欄。

圖 18.3 和表 18.2 描述了這些不同類型的植生管理 NNBF 對洪水風險的影響。

圖 18.3 植生管理示意圖

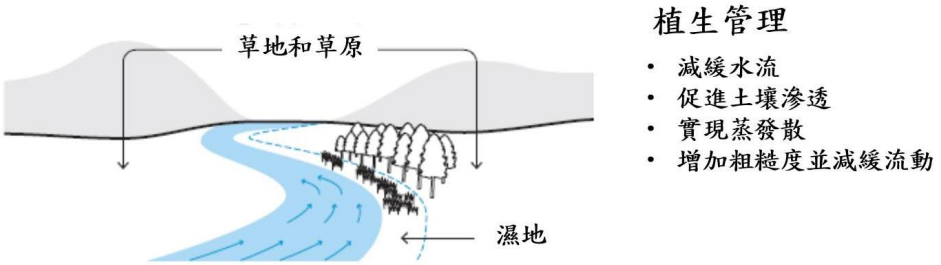


表 18.2 植生管理 NNBF

大草原和河漫灘草地 洪水平原的草原(稱為大草原或河漫灘草地)是高度生物多樣性的棲息地，支撐著許多動植物。恢復這個棲息地以及改變堤防和護岸可以恢復這些棲息地，以幫助降低洪水風險。	 照片來源：US Fish and Wildlife Service
集水區範圍的林地種植 集水區範圍的林地被定義為集水區內所有林地的總面積。它結合了所有類型和物種的一般林地覆蓋，包括農園，以及存在的特定形式，如橫向坡、河岸和洪水平原林地。	 照片來源：Environment Agency

洪水平原與河岸林地種植

洪水平原林地是指位於河流氾濫平原內的所有林地，這些林地受到間歇性、定期計畫或自然洪水流態的影響。它的主要作用是減緩和阻止氾濫平原內的洪水流動，以及增加土砂沉積作用，從而減少下游淤積。



照片來源：Environment Agency

河流與河岸帶的木質壩

木質壩和柵欄通常由木片組成，偶爾還會結合一些活的植生，這些植生會積聚在河道、河岸和洪水平原上。由於樹木局部性的落入水道，它們自然地發生在河流沿岸。人類也可以設計類似的結構來恢復河流和洪水平原以減緩和儲存洪水。



照片來源：Environment Agency

這些 NNBF中的每一項都進行了詳細描述，總結了與每項 NNBF相關的挑戰和好處。第 19章第 19.2節包括以下案例研究，這些案例研究舉例說明了本節中描述的不同 NNBF：

- 減緩水流方案，皮克林 (Pickering)，約克郡 (Yorkshire)，英國。
- 希爾登斯溪 (Hierdense Beek)，荷蘭。

18.3.1 集水區範圍的林地

集水區範圍的林地 (見表 18.2)被定義為集水區內所有林地的總面積。它結合了所有類型和物種的一般林地覆蓋，包括農園，以及存在的特定形式，如橫向坡、河岸和洪水平原林地。生態和水文中心 (Center for Ecology and Hydrology)於 2017年對林地種植對洪水風險的功效進行了全面檢討 (see ceh.ac.uk，2017)。

集水區範圍的林地可能會影響下列事項：

- 洪水流量的產生和輸送。
- 積雪和融化的相關影響。
- 林地下土壤入滲。
- 林地施加的水力粗糙度導致洪水流量減緩。
- 減少土壤侵蝕和土砂輸送(因為林地栽植凝聚土壤，減少土壤沖刷進入河道的量)。

世界上有許多地區成熟的林地被砍伐，從而導致洪水風險的潛在增加。因此，保護和加強現有林地 (和其他現有 NNBF) 是自然流域管理的重要組成部分。

該 NNBF還可以解決第17章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同利益。下圖提供了集水區範圍內的林地挑戰和共同利益，包括利益輪(第17章中討論過)。

集水區範圍的林地解決挑戰和共同利益

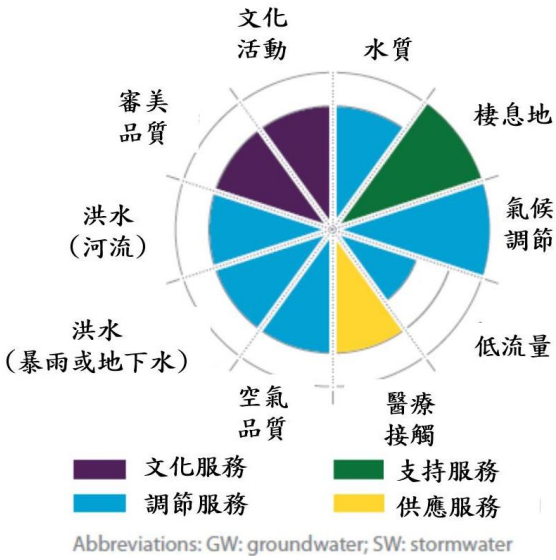
解決挑戰：

這種類型的 NNBF 可以解決廣泛的的挑戰。

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	是
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

集水區範圍的林地可以帶來一系列的共同利益。



18.3.2 洪水平原與河岸林地

洪水平原和河岸林地是河流氾濫平原內的林地，受間歇性、定期計畫或自然洪水制度的影響。洪水平原林地還包括在沿河廊道的河岸地帶種植。

從 FRM的角度來看，洪水平原和河岸林地的主要作用是減緩和阻止洪水平原內的洪水流動，以及促進土砂淤積，從而減少下游淤積。這是因為在洪水平原林地種植會增加水力粗糙度並減慢水流，反過來又會促進水池、迴水和蓄水，並減緩洪水流動的滯水區域的形成。沿河道和洪水平原林地種植也可以減少河道遷移的頻率和嚴重程度(這會破壞基礎設施並加劇洪水)。

該 NNBF還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同利益。下圖提供了洪水平原與河岸林地應對挑戰和共同利益，包括利益輪 (第17章中討論過)。

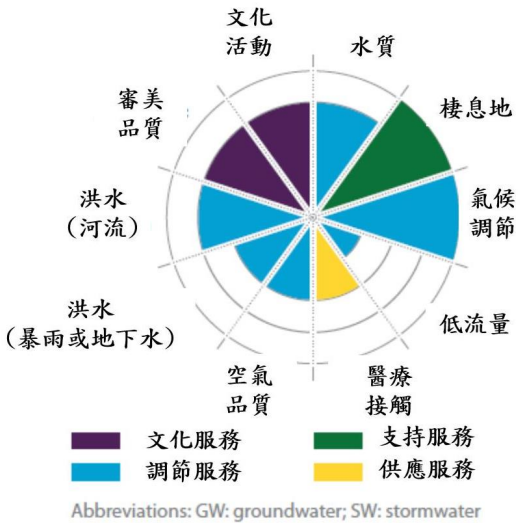
解決挑戰：

這種類型的 NNBF 可以解決範圍廣泛的不同挑戰。特別是，它可以幫助恢復河流及其洪水平原，解決棲息地喪失問題。

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	是
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

除了降低洪水風險外，洪水平原與河岸林地還可以帶來一系列共同利益。它們作為碳匯特別有益，可以幫助恢復棲息地和改善水質。



18.3.3 大草原與河漫灘草地

大草原與河漫灘草地減緩洪水，過濾雨水逕流(減少養分向下游輸送)，隔離碳，並為環境提供更多的生態生物多樣性。

該 NNBF 還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同利益。下圖提供了大草原與河漫灘草地面臨的挑戰和共同利益，包括一個利益輪 (第 17 章中討論過)。

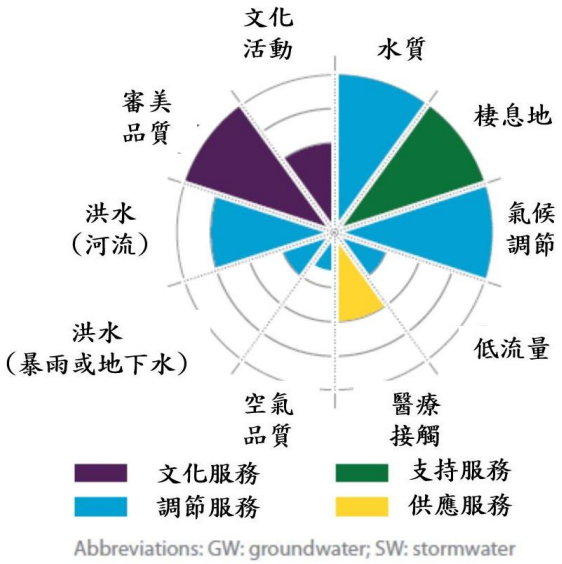
解決挑戰：

這種類型的 NNBF 可以解決各種不同的挑戰。

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	是
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

除了降低洪水風險外，大草原和河漫灘草地還可以帶來一系列共同利益。



18.3.4 透水的與木質柵欄

透水柵欄通常由木片組成 (見表18.2)，偶爾還會結合一些活的植物，這些植物會積聚在河道以及河岸和洪水平原上。透水柵欄還有許多其他名稱，例如：

- 粗木料。
- 大型木質材料。
- 大型木頭。
- 木材堆積。
- 木材堵塞和柵欄。
- 河狸壩。

雖然屏障這個詞喚起了人們對硬體工程的思考，由於樹木透過天然木材鉤住或偶爾由於河狸的活動而局部地掉落入河道，沿河自然會出現透水柵欄。人類也可以設計類似的結構來恢復河流和洪水平原，以減緩和儲存洪水。

在設計時，這種 NNBF 通常被稱為木材放置、工程原木堵塞或流量限制設施。此處使用「透水柵欄」一詞是因為它的負面含義比「大壩」一詞少。

該 NNBF 還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同利益。下圖提供了解決的透水與木質柵欄挑戰和共同利益，包括利益輪 (第 17 章中討論過)。

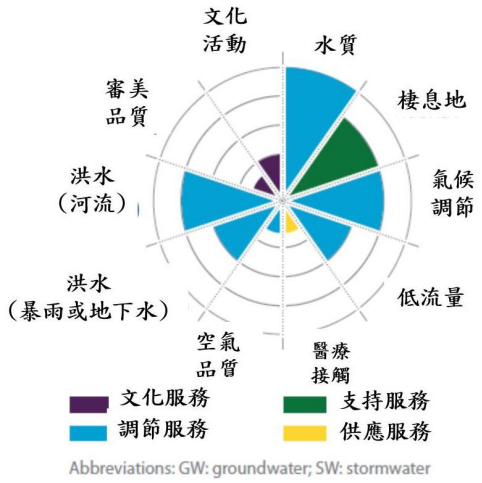
解決挑戰：

這種類型的 NNBF 可以解決各種不同的挑戰，但鹽水入侵、土地利用變化以及水力發電廠、大壩和其他水工構造物除外。

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	否
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	是
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

除了降低洪水風險外，透水與木質柵欄還可以帶來一系列共同利益。它們特別擅長攔截沉積物和改善水質。



18.4 鄉村逕流管理

恢復整個鄉村地景的自然過程可以為環境和人類帶來廣泛的好處。從 FRM 的角度來看，這些類型的 NNBF 可以攔截地表漫地流和沉積物，恢復土壤以幫助蓄水，促進滲透和土砂淤積，並增加河流和洪水平原的水力粗糙度和形貌複雜性，從而減緩洪水和將河流重新連接到洪水平原以儲存水。本節包括的 NNBF 中，一些逕流管理 NNBF 被認為是工程化程度最高的，涉及流量控制結構的建造和其他灰色基礎設施以使其全面運作。

第18.4.1、18.4.2和18.4.3節分別描述了以下鄉村逕流管理 NNBF：

- 土壤和土地管理。
- 源頭排水管理。
- 鄉村逕流管理。

圖 18.4 和表 18.3 描述了這些不同類型的鄉村逕流管理 NNBF 對洪水風險的影響。

圖 18.4 鄉村逕流管理示意圖

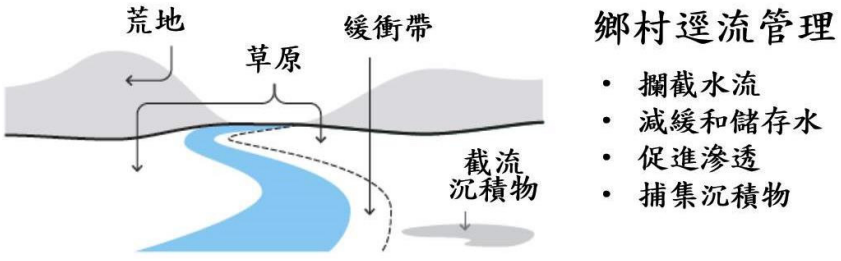


表 18.3 鄉村逕流管理 NNBF

農業地下排水管理

農業暗渠過去安裝在地下，以幫助從田間排水。現在人們有興趣移除或破壞這些排水溝以恢復土壤以提高其儲存和過濾水的能力。

田間角堤

可以在田地的角落建造土堤來截取及臨時儲存漫地流。在某些情況下，可以將堤岸設計為在洪水期間也可用作升高的連接通道。



照片來源：Environment Agency

農業等高栽植以防止坡面沖蝕

沿坡面等高線栽植植生或沿其等高線耕作有助於攔截地表逕流和逕流進入河道，捕捉水流和土砂。



照片來源：USACE

坡度控制構造物

從岬角到河流/排水系統的水有一個穩定的出口。坡度控制構造物可以減少沖蝕，並改善水質。



照片來源：USACE

農用草溝

這些可用於防止因逕流事件而形成溝渠，然後將土砂和汙染物排放到河流中。這些草溝也透過增加摩擦來減緩漫地流。



照片來源：USACE

蝕溝和排水溝攔阻

蝕溝會使水位降低，從而使土地變乾。它們還帶走被沖刷的土砂，並導致高逕流。這些影響可以透過用木材、石南花捆包或石頭製成的壩堵住蝕溝來減少。這用於陡坡上的蝕溝。在荒地環境中，它用於恢復泥炭棲息地。



照片來源：Environment Agency

緩衝帶

緩衝帶是通常在田地和灌木籬牆(樹籬)之間或田地和河流之間的地帶。這些帶狀土地沒有開墾，用於減緩漫地流速度，捕獲汙染物，並充當動植物的廊道。

樹籬

沿田地邊界種植樹籬。它們可以促進滲入土壤並減少地表逕流和漫地流。它們還為動植物創造了廊道。

保護性耕作(保育耕耘) (包括少耕和免耕)

傳統上，在農場，每年都會耕犁土壤，為新季節做好準備。保護性耕作旨在減少或停止對土壤的耕作，以保持土壤水分，減少水土流失和逕流，提高作物產量。

逕流衰減 NNBF(也稱為調節池、池塘及低窪地)

這些 NNBF是建造在農田內的。它們通常藉由斷開漫地流和渠道流來減緩和儲存水。



照片來源：Environment Agency

控制農地小道與路徑的水流

農業機械的密集使用導致土壤壓實。控制農地交通有助於減少和管理土壤壓實。攔截透過壓實田間和農地小道與路徑產生的流路有助於儲存和過濾水。在某些情況下，移動農場大門或橫坡栽植和耕種可以幫助攔截和儲存水。

截砂池與農地沉砂池

截砂池是沿著溝渠網絡放置的水池，以減緩水流並引導土砂淤積在小池內，藉由去除擴散汙染物來改善水質。



照片來源：Environment Agency

控制溝渠中的流量

農地還經常有明渠排水溝，如果栽植或實際上堵塞，可以幫助減少流量。



照片來源：Environment Agency

土砂控制盆地

通常適用於遠離田地、坡度差異很大(高程)及渠道不穩定(例如，源頭侵蝕和切割點) 的陡峭排水通道。這些盆地在 希肯巴頓 (hickenbottom) 進水口立管內提供少量存儲，並在下游出口處提供穩定的管道出口。



照片來源：USACE

輪作

在同一地點重複種植同一種作物會帶走土壤的養分並造成沖蝕，這兩者都會影響作物產量。輪換在任何一個地方種植的作物類型可以幫助土壤恢復並提高生產力。

土壤通氣與深耕底土

土壤通氣和深耕底土是用於恢復表土和底土中壓實土壤（例如拖曳機或放牧方式）的方法。這兩種方法都有助於土壤儲存和排水。

早播和覆蓋作物（綠色覆蓋作物）

早期播種的覆蓋作物是在秋季播種的非經濟作物，以在農地休耕時，提供冬季地面覆蓋。它們還可以減少養分流失和土壤沖蝕，並有助於捕獲和處理汙染物。

放養密度

放牧動物會壓實土壤，影響土壤儲存和滲透水的能力。改變田間的放養密度有助於恢復土壤結構，使其能夠儲存和減緩水分。



照片來源：Environment Agency

以上這些 NNBF中的每一項都進行了詳細描述，總結了與每項 NNBF相關的挑戰和好處。 第19章第19.3節包括以下案例研究，這些案例研究舉例說明了本節中描述的不同NNBF：

- 貝爾福德 (Belford)村莊，諾森伯蘭郡 (Northumberland)，英國。
- 阿瓦里河 (Arvari River)集水區，阿爾瓦爾 (Alwar)區，拉賈斯坦 (Rajasthan)邦，印度。
- 為水騰出空間，峰區 (Peak District)，英國。

18.4.1 土壤和土地管理

土壤和土地管理 NNBF涉及改變農業作法 (見表 18.3)，以使更多的降雨滲入地下或被植物吸收，從而減少逕流和土砂輸送量，進而減少下游洪水風險。此處考慮的 NNBF通常涉及保留水分、促進滲透、作物和輪作的農業方法，以在汛期提供地面覆蓋和保護土壤，以及 NNBF以減少土壤壓實、減少逕流。土地管理做法可以增加地表蓄水量、滲透率和土壤儲水能力 (Leopold and Maddock，1954；Hudson，1995)。

該 NNBF 還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同利益。下圖提供了土壤和土地管理的挑戰解決和共同利益，包括利益輪 (第 17 章中討論過)。

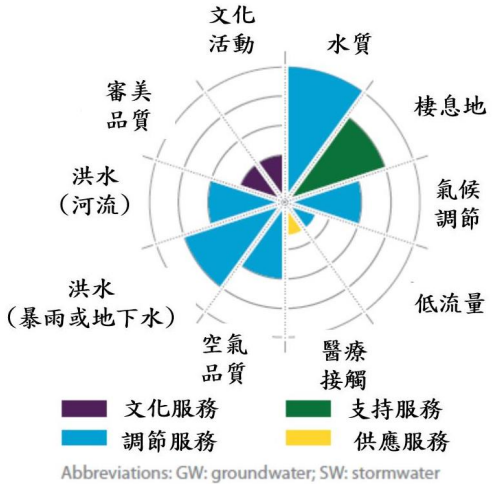
解決挑戰：

這種 NNBF 可以解決範圍廣泛的挑戰。透過減少進入河流的土砂和農業逕流量，它在應對汙染挑戰方面特別有效。

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	是
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

土壤和土地管理可以提供一系列共同利益，特別是水質的好處，之外亦可降低洪水風險。



18.4.2 源頭排水管理

本節介紹適用於主要在鄉村地區發現的源頭集水區 (見表 18.3)的排水管理 NNBF。源頭集水區被粗略地定義為典型的小集水區範圍，最大可達幾平方公里。在這些源頭排水網絡中，有潛在的機會干預地景，藉由水到達排水網絡之前，減慢水流來改變其中水的儲存和水流傳播時間。源頭排水管理措施見表 18.3。通常，此類措施試圖捕獲和儲存漫地流，以降低水進入水道的速度。這可能涉及藉由溝渠阻塞以攔截漫地流路徑。源頭排水管理還可以包括恢復泥炭沼澤和沼澤地棲息地，以減少水並促使其滲入至含水層。

這個 NNBF 還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，除了減少洪水外，好的設計還可以帶來一系列共同利益。下圖中將提供源頭排水管理解決挑戰和共同利益，包括利益輪 (第 17 章中討論過)。

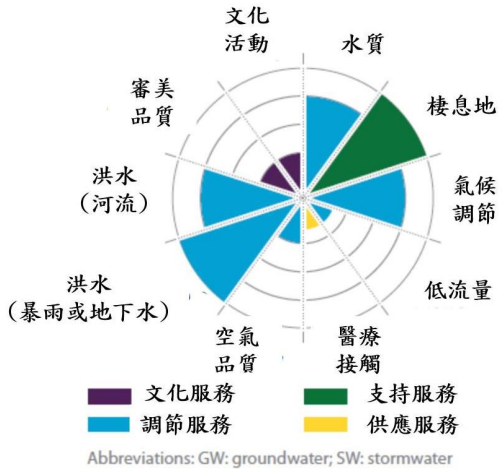
解決挑戰：

這種 NNBF 可以解決範圍廣泛的挑戰。它特別擅長反向土地利用變化影響。

挑戰	當下
渠道不穩定	否
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	是
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

源頭排水管理可以提供一系列共同利益，之外亦可降低洪水風險。



18.4.3 鄉村逕流管理

鄉村逕流管理 NNBF (見表18.3) 旨在模擬自然水文狀況，以盡量減少人類活動對地表水排放流量的影響，減少洪水及水道與地下水的汙染 (Environment Agency，2012)。它們有可能透過臨時儲存洪水、斷開和延長水流路徑、增加水流傳播時間以及在洪水事件期間使洪水平原變得粗糙來調節逕流 (Nicholson et al.，2012)。

本節介紹了一些可以添加到農地地景中的 NNBF，以減緩和儲存整個地景的水。這些 NNBF 統稱為逕流衰減 NNBF--它們也包含在表 18.3中。第 18.5節描述了在都市地區的類似 NNBF 做法。

保水包括在暴風雨事件期間將水貯存在集水區中，從而減少下游地區洪水流量。任何匯集水的區域都可以用來蓄水，包括排水路徑上的蓄水區和不同規模的水道--從田野角落的池塘到利用當地地形提供大量蓄洪量的水道上或附近的區域。

該 NNBF 還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同利益。下圖提供了解決的鄉村逕流管理挑戰和共同利益，包括利益輪 (第 17 章中討論過)。

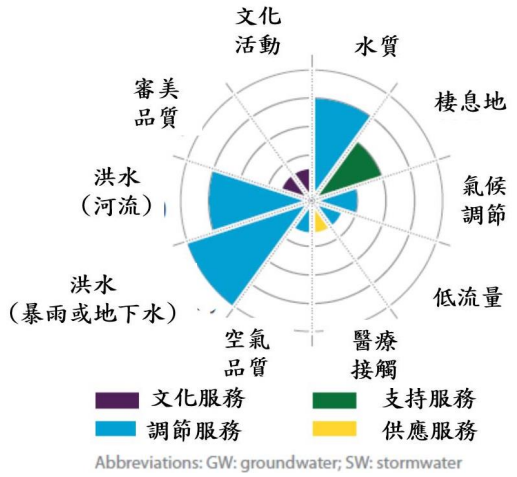
解決挑戰：

這種 NNBF 可以解決少數其他挑戰，例如水質和土地利用變化挑戰。

挑戰	當下
渠道不穩定	否
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	否
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

鄉村逕流管理可以提供一系列共同利益，之外亦可降低洪水風險。



18.5 都市逕流管理

這些 NNBF 主要用於管理都市地區的地表水，並被稱為永續都市排水系統 (Sustainable Urban Drainage Systems, SUDS)、低衝擊開發、最佳管理作業或綠色基礎設施。

這些 NNBF 模擬自然水文過程，管理靠近降雨地方的降雨，並在 FRM 以及水質、生物多樣性和公共便利設施方面提供好處。永續排水系統、低衝擊開發和綠色基盤背後的原則是--地表水是一種寶貴的資源，應進行管理以獲得最大利益。

營建產業研究和資訊協會 (Construction Industry Research and Information Association, CIRIA) SUDS 手冊對這些 NNBF 進行了全面審查和描述 (CIRIA 2015)。

這些 NNBF 藉由減少下列事項對洪水風險產生影響：

- 與之前的綠地狀態相比，因為逕流會更快地從不透水表面排出，都市地區的洪峰流量通常會增加。
- 逕流量在都市地區也會增加，因為較少的水能夠穿透地面、受蒸發散或以其他方式截留。
- 由於都市地區汙染源增加、滲透減少、土砂和汙染物的截留減少，都市地區的汙染物負荷程度增加。

都市 NNBF與第18.4節中描述的鄉村 NNBF非常相似，因為它們可以設計為下列方式來操作：

- 收集雨量，在靠近降雨的地方使用。
- 截斷漫地流並在地表緩慢輸送。
- 儲存水並緩慢放流。
- 促進入滲和土壤蓄存水，以支持河川基本逕流和地下水補給。
- 提供蒸發散機會。

這些 NNBF措施的不同之處在於，它們旨在容納來自道路、建築物和堅硬表面而不是農田的逕流。

第18.5.1節和第18.5.2節分別描述了以下都市逕流管理 NNBF：

- 水入滲管理。
- 保水(儲存)。

圖 18.5 和表 18.4 描述了這些不同類型的都市逕流管理 NNBF 對洪水風險的影響。

圖 18.5 都市逕流管理示意圖

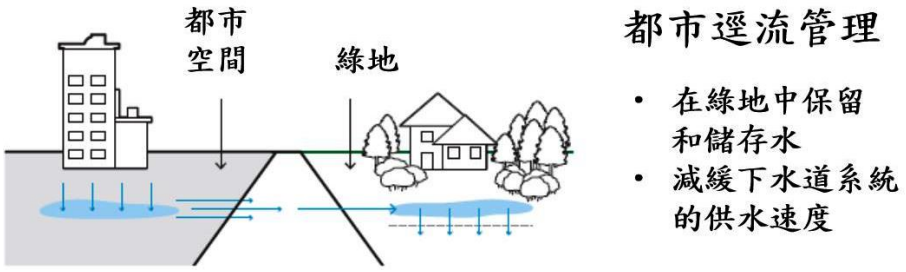


表 18.4 水入滲與保水管理 NNBF

人工濕地 濕地的好處包括蓄洪、過濾逕流水和改善水質。濕地還透過為動植物物種提供棲息地來促進環境共同利益。	 照片來源：HR Wallingford
雨水花園和生物滯留系統 這些是儲存和滲透逕流量的淺薄地景洼地。它們通常有一個簡單的流入，雨水進入花園、植生、過濾介質、排水層和溢流出口。它們提供有吸引力的地景特徵、棲息地和生物多樣性。	 照片來源：Illman Young

滯洪池

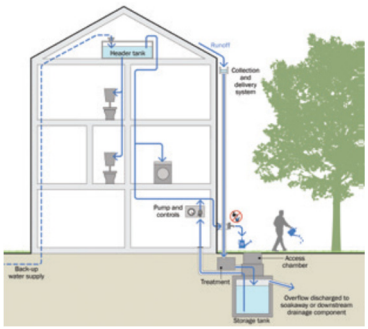
滯洪池是通常位於公園內的土地，這些土地被壓低以形成低窪地區。它們通常是乾燥的，大雨期間會暫時充滿水，以便進行儲存。



照片來源：CIRIA

雨水儲集系統

雨水儲集系統是收集雨水，通常來自屋頂和其他不透水區域，儲存起來，然後用作非飲用水。它需要一個儲存槽，在某些情況下還需要過濾系統、抽水機和管道系統。



照片來源：CIRIA, Report C753

過濾帶

過濾帶是縱向種植的地帶，可捕獲相鄰表面的漫地流、促進滲透、過濾和土砂淤積。它們應該延長它們正在排水區域的長度。它們主要具有水質改善共同利益。



照片來源：CIRIA

蓄洪池

蓄洪池是永久蓄水的池塘，但它們有額外的容量來容納暴雨事件。它們通常旨在降低洪水風險、改善水質和創造棲息地。



照片來源：HR Wallingford

綠色屋頂

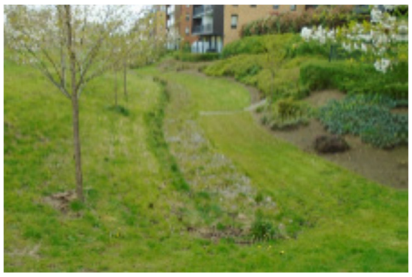
綠色屋頂是安裝在建築物頂部的土壤和活植被區域。它們可以在下雨期間吸收或儲存水分，然後蒸發或排出。它們還有助於為都市降溫、改善建築隔熱、提供都市生物多樣性和清潔空氣。



照片來源：HR Wallingford

窪地排水溝

窪地排水溝是淺的、平底的、綠化的明渠。它們的主要目的是輸送、處理和減弱地表逕流。它們通常具有梯形橫斷面，易於維護。



照片來源：HR Wallingford

透水表面和鋪面

透水形式的鋪面促使地表水透過鋪面的地表排入土壤或底基層或地下儲槽。這個過程攔截、滲透、儲存和處理逕流。預期的交通負載和視覺外觀是關鍵的設計參數。



照片來源：HR Wallingford

都市森林公園

都市森林公園中的樹木增加蒸散作用、截留和入滲。它們管理當地的地表水逕流，需要適當的空間、土壤、排水和供水。樹木還提供美學、生物多樣性和生活品質的共同利益。

這些 NNBF中的每一項都進行了詳細描述，總結了與每項 NNBF相關的挑戰和好處。第19章第19.4節包括以下案例研究，這些案例研究舉例說明了本節中描述的不同 NNBF：

- 安華 (Anwa) 永續地景設計，基貝拉 (Kibera)，奈洛比 (Nairobi)，肯亞。
- 厄普敦 (Upton) 開發計畫，北安普敦郡 (Northampton)，英國。

18.5.1 水入滲管理

水入滲 NNBF 允許逕流在一段時間內滲入地下，從而減少逕流量。對於適合入滲的土壤，它應該是可滲透的、不飽和的和足夠厚度的。土壤特性定義了可能發生入滲的速率，確定土壤的準確入滲係數是設計水入滲 NNBF 的關鍵。

在設計水入滲 NNBF時，評估下滲水可能對附近結構 (例如建築物)、斜坡 (例如擋土牆)和地下水流可能產生的風險也很重要。這需要對現場的地工和水文地質條件進行評估。

該 NNBF 還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同利益。下圖提供水入滲管理解決挑戰和共同利益，包括利益輪(第 17 章中討論過)。

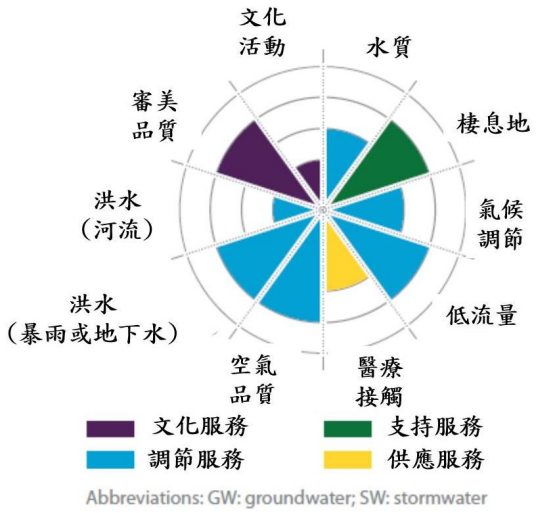
解決挑戰：

這種 NNBF 可以解決供水的挑戰。

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

除了降低洪水風險外，水入滲管理還可以提供一系列共同利益。



18.5.2 保水 (儲水)

保水 NNBF在事件期間臨時儲存水，減緩和儲存洪水量，然後以出口結構控制的速率排出流量。更大規模的儲存措施在第 18.2.3節中敘述。這裡描述的措施規模較小，通常與新的都市發展或重建有關。此處描述的措施是第 18.4節中描述的鄉村 NNBF相等的都市措施。

當來自開發貢獻的所有逕流都流經蓄水池時，保水 NNBF可以在槽實施；當蓄水設施不在主要輸送路徑時，可以離槽實施。在槽蓄水的優點是可以對通常汙染最嚴重的初始逕流進行一些處理，而離槽蓄水的優點是僅在需要時透過分水結構物的運作來儲存水。離槽蓄水通常對於更極端、不太頻繁的事件最有價值，允許該區域在大部分時間執行便利設施功能。人工濕地通常用於蓄水，其中的植物可以幫助分解汙染物，同時提供生物多樣性和舒適性的利益。

表 18.4描述了不同類型的保水 NNBF。

該 NNBF 還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同利益。下圖提供了保水 (儲水) 的解決挑戰和共同利益，包括利益輪 (第 17 章中討論過)。

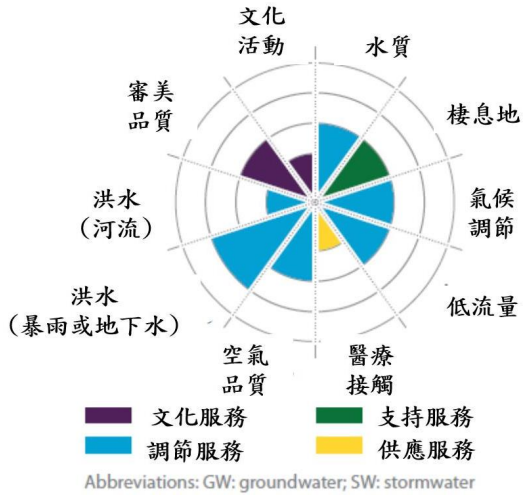
解決挑戰：

這種 NNBF 可以解決範圍廣泛的不同挑戰。

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	是
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

除了降低洪水風險外，保水 NNBF 還可以提供一系列共同利益。



18.6 侵蝕管理

本節介紹 NNBF 用於保護河岸和河床免受侵蝕，這些區域由於防洪、都市發展或其他基礎設施如道路和管道的存在而不應讓河岸自然沖刷。這些 NNBF 通常被稱為河川生物工程或綠色基盤 (Roca et al.，2017)。儘管綠色基盤一詞越來越多地用於描述廣泛的套件，基於自然的雨水控制措施，包括高地管理作法，本章使用術語「綠色基盤」來描述 NNBF 和生物工程技術到渠道侵蝕管理。

從河岸或河床侵蝕的物質會淤積在主河道中，降低其輸送能力，從而增加洪水風險。因此，這些 NNBF有助於降低洪水風險，儘管它們的主要目標是穩定渠道堤岸。在實施涉及修改河流平面形貌或渠道橫斷面的其他 NNBF時，例如河流或洪水平原恢復 NNBF，應考慮本於自然(綠色基盤和生物工程)的侵蝕管理 NNBF，以保護水道免受侵蝕。

本節介紹侵蝕管理 NNBF。圖 18.6 和表 18.5 描述了侵蝕管理 NNBF 對洪水風險的影響。

圖 18.6 侵蝕管理示意圖

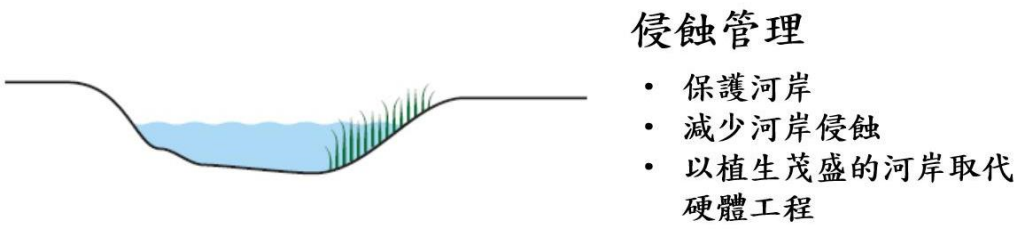
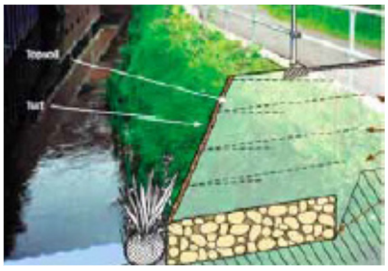


表 18.5 侵蝕管理 NNBF

水生和河岸植生管理 非常適合生活在溪流中的原生植物，可以藉由減緩流速和為河岸與河岸根部加固來保護河岸和河岸基腳。	 照片來源：Environment Agency
綠化石籠與護墊 石籠與護墊是原地用石頭填充金屬網篩籃，在籃子中插入木材植生作為柱子和桿子。它們經常藉由相互堆疊來穩定河岸基腳，或者在岸邊延伸以保持固定它。	 照片來源：Environment Agency
椰殼墊和捆材 椰殼墊和捆材，由可生物分解的材料天然纖維(例如椰子殼)製成，壓製成包括墊子或香腸形元素(捆材)在內的形狕。它們為植生的建立提供了生根基地。捆材可用於穩定坡腳。	 照片來源：Environment Agency
綠化加勁土 草或活切樹枝與土壤混合，包裹在天然織物或地工織布中，以保護岸邊表面。	 照片來源：Environment Agency
縱向尖卵石坡趾保護 縱向尖卵石坡趾保護包括生物工程和抗沖蝕毯 (侵蝕控制覆蓋層)。	 照片來源：USACE

綠化拋石

用桿子、粗枝分層扦插或活木樁配合石塊和大卵石疊層來穩定河岸和坡趾。



照片來源：Environment Agency

立樁

活木樁或枯木樁用於加固堤岸，促進植生再生，並錨定其他植生措施，直到它們完全發育。木樁也用於保護坡趾被沖刷。



照片來源：USACE

柳樹植栽

柳樹植栽可以形成一個柵欄狀結構，回填土壤或設置障礙，以使水流遠離岸邊並促進近岸淤積。



照片來源：Environment Agency

綠化混凝土塊

綠化混凝土塊是鉸接式混凝土塊系統，透過混凝土塊中的開口，將植物插入其下方的土壤中。



照片來源：Environment Agency

木質材料 (包括成捆的木頭、沉梢和灌木叢)

未經處理的木頭、沉梢和灌木叢的組合體，用於減緩近岸水流並攔截土砂。砍伐樹木的木質材料也可以安裝在岸邊，以使水流偏向並促進土砂淤積。



照片來源：Environment Agency

該 NNBF已詳細描述，總結了與之相關的挑戰和好處。第19章第19.5節包括以下案例研究，這些案例研究舉例說明了本節中描述的不同 NNBF：

- 密西西比 (Mississippi) 三角洲源頭計畫，美國。
- 克倫河 (Clun River)河岸保護，英國。

- 曼諾河 (Monnow River) 的河岸和坡趾保護，威爾士，英國。
- 霍河 (Hå River)，挪威。

18.6.1 綠色基盤與生物工程

綠色基盤和生物工程方法可有效降低流速，並在各種流動條件下保護河岸。藉由選擇合適的物種和材料以匹配現地條件，它們可以與現有方案和其他結構 NNBF 相結合。

從技術角度來看，這些 NNBF成功在地貌評估的支持下，除其他因素外，取決於了解水道的條件。設計 NNBF必須考慮河岸坡度、沖刷的發展和材料的轉換。在安裝過程中，還必須注意評估活物種的狀況和一年中的季節，以確保有效安裝 NNBF。這種類型的NNBF可以幫助減少河床下切。

表18.5描述了不同類型的侵蝕管理 NNBF。

該 NNBF 還可以解決第 17 章中討論的許多挑戰，如果設計得當，除了減少洪水外，還可以帶來一系列共同利益。下圖提供了綠色基盤和生物工程的解決挑戰和共同利益，包括利益輪 (第 17 章中討論過)。

綠色基盤與生物工程的解決挑戰和共同利益

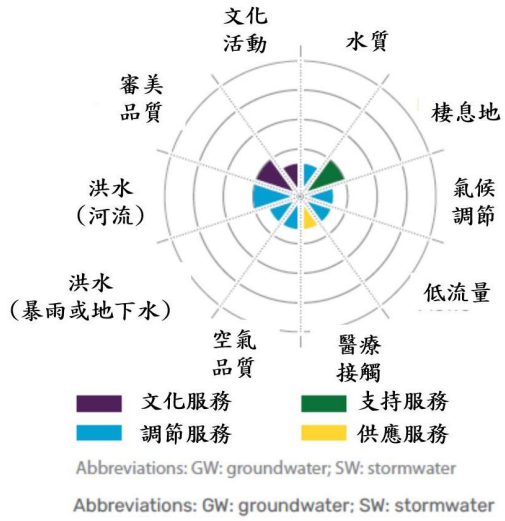
解決挑戰：

這種 NNBF 可以解決廣泛的不同挑戰，尤其是與侵蝕和渠道化有關。

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	是
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

共同利益：

綠色基盤和生物工程 NNBF 可以帶來一系列的共同利益，此外可減少洪水風險，例如審美品質和棲息地。



Abbreviations: GW: groundwater; SW: stormwater

18.7 參考文獻

Addy, S., S. Cooksley, N. Dodd, K. Waylen, J. Stockan, A. Byg, and K. Holstead. 2016. *River Restoration and Biodiversity: Nature-Based Solutions for Restoring the Rivers of the UK and Republic of Ireland*. Aberdeen: Centre for Expertise in Water (CREW).

ceh.ac.uk. 2017. Systematic Review to Examine Evidence on How Trees Influence Flooding. *UK Centre for Ecology and Hydrology*. https://www.ceh.ac.uk/news-and-media/news/ review-launched-examine-how-trees-influence-flooding.

CIRIA (Construction Industry Research and Information Association). 2015. *The SUDS Manual*. CIRIA Report C753. London: CIRIA.

Dufour, S., and H. Piégay. 2009. "From the Myth of a Lost Paradise to Targeted River Restoration: Forget Natural References and Focus on Human Benefits." *River Research and Applications* 25 (5): 568–581.

Environment Agency. 2010. *Working with Natural Processes to Manage Flood and Coastal Erosion Risk*. Guidance document. Bristol, UK: Environment Agency.

Environment Agency. 2012. *Greater Working with Natural Processes in Flood and Coastal Erosion Risk Management: A Response to Pitt Review Recommendation 27*. Bristol, UK: Environment Agency.

Environment Agency. 2014. *Aquatic and Riparian Plant Management: Controls for Vegetation in Watercourses*. Series of reports from Joint Defra and Environment Agency FCERM R&D programme, Project SC120008. Bristol, UK: Environment Agency.

Environment Agency. 2015. *Channel Management Handbook for Flood Risk Management*. Bristol, UK: Environment Agency.

Environment Agency. 2017. *Working with Natural Processes: Evidence Directory*. Bristol, UK: Environment Agency.

Forest Research. 2008. *The Robinwood Robinflood Report: Evaluation of Large Woody Debris in Watercourses*. Report for the Robinwood Project, an INTEREG IIIc Regional Framework Operation project. Farnham, UK: Forest Research.

Hudson, N., 1995. *Soil Conservation*. Third edition. London: B. T. Batsford.

Leopold, L. B., and T. Maddock. 1954. *The Flood Control Controversy*. New York: Ronald Press.

Nicholson, A. R., M. E. Wilkinson, G. M. O'Donnell, and P. F. Quinn. 2012. "Runoff Attenuation Features: A Sustainable Flood Mitigation Strategy in the Belford catchment, UK." *Area* 44 (4): 463–469. 889

Oxford Martin School. 2017. *A Restatement of the Natural Science Evidence Concerning Catchment-Based "Natural" Flood Management in the UK*. Oxford Martin Restatement 4. Oxford: Oxford Martin School, University of Oxford.

POST (Parliamentary Offices of Science and Technology). 2014. *Catchment-Wide Flood Management*. POST-PN-484. London: POST.

Roca, M., M. Escarameia, O. Gimeno, L. de Vilder, J. D. Simm, B. Horton, and C. Thorne. 2017. *Green Approaches in River Engineering – Supporting Implementation of Green Infrastructure*. Wallingford, UK: HR Wallingford.

第19章 河流的 NNBF 案例研究

關鍵訊息

1. 儘管使用自然和自然為本設施 (Natural and Nature-Based Features, NNBF)來幫助緩解洪水是相對較新作法，但在全球範圍內已經有大量應用案例。
2. 案例研究可以啟發全球河流管理者選擇合適的 NNBF以降低洪水風險。
3. 案例研究使河流管理者能夠做到以下幾點：
   a. 學習和分享他們的經驗，以便其他人可以從過去的成功和失敗中學習。
   b. 反思並了解哪些工作做得很好，哪些可以做得不一樣，這使得 NNBF的科學和做法得以發展。

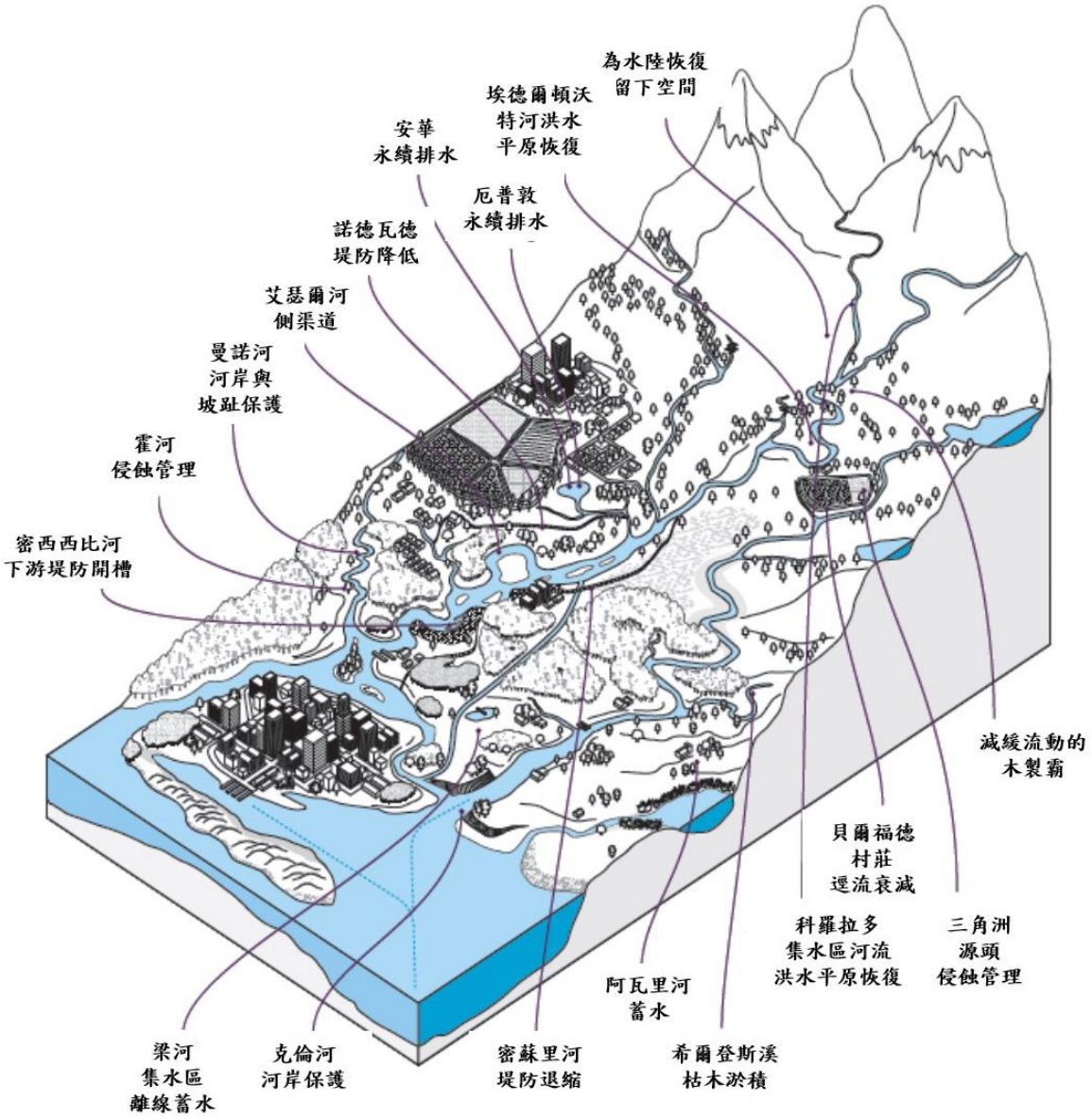
19.1 概述

這是《洪水風險管理自然和自然為本設施的國際指南》(International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management) 河流部分的最後一章。總而言之，河流的部分包括第 15 章到第 19 章。第 15 章介紹河流環境的自然和自然為本設施 (NNBF) 的應用。第 16 章描述河流系統及其與洪水風險管理 (Flood Risk Management, FRM) 的關係。第 17 章描述河流系統中 NNBF 相關的優勢與挑戰。第 18 章概述了可推廣於河流的應用 NNBF 的角色與範圍。第 19 章提供來自世界各地不同類型河流的 NNBF 應用的案例研究。

本章中的案例研究旨在提供一致的訊息，以便於比較。每項案例研究都提供有關計畫日期、成本和權益相關者的訊息，以及聯繫方式和資源以獲取更多資訊。每項案例研究還包括對計畫、洪水風險影響、共同利益和經驗教訓的詳細描述。

圖 19.1 顯示了不同案例研究在代表性集水區中的位置，以提供有關集水區相關區域的背景訊息。然而，每項案例研究都展示了來自世界各地的計畫，圖 19.1 示意用，不是實際的某個集水區。

圖 19.1 與理想化集水區相關案例研究地點示意圖



案例研究：

19.1.1 密蘇里河 (Missouri River)洪水平原經由大規模堤防退縮連接，愛荷華(Iowa)州，美國



來源：David Crane, U.S. Army Corps of Engineers, Omaha District

建造日期：2012~2013

計畫總現金成本：

6,000萬美元(每公里後退約400萬美元)

措施包括：

堤防退縮

計畫資助者：

U.S. Army Corps of Engineers, Omaha District

美國陸軍工程兵團奧馬哈 (Omaha)地區

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水(潮汐)入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	是

19.1.1.1 描述 – 計畫做了什麼?

2011年密蘇里河 (Missouri River)洪水導致沿編號L 575大堤趾部極端的向河面與向陸地沖刷和膨脹的砂湧，這表示堤防基礎因底部滲漏而受損。洪水過後，堤壩贊助商、鄰近土地所有者和美國陸軍工程兵團 (U.S. Army Corps of Engineers, USACE) 奧馬哈 (Omaha)區分部，討論了根據 USACE災害行動公法 (Disaster Operation Public Law, PL) 84-99計畫在三個地點實施堤防後退來建立洪水平原連通性。堤防後退的目標是將堤防的一部分從其當前靠近河岸的路線重新定位到遠離河岸的位置。建造了兩個長約 6公里的防洪堤--一個位於愛荷華州 (Idaho)弗里蒙特 (Fremont)縣的 2號高速公路南北 (2號高速公路後退)，一個位於南面 5公里處 (弗雷澤彎道 [Frazers Bend]後退)，位於內布拉斯加 (Nebraska) 市的內布拉斯加州公共電力區 (Nebraska Public Power District)燃煤電廠的對面。第三處水力重要的堤防是興建在編號 L-594堤防的下游端，從天然峭壁穿過河流。應該注意的是，在災害行動公法 (PL) 84-99計畫下，堤防後退可以作為非工程性替代計畫實施，但在2012年和2013年，它們並未作為編號 L-575或編號 L-594堤防的非工程性替代計畫實施。災害行動公法 (PL) 84-99計畫一般要求美國陸軍工程兵團實施成本最低、技術上可行的堤防修復替代方案。與堤內維修相比，這些堤防後退是成本最低的替代方案。它們在技術上是實用的，因在美國陸軍工程兵團的密蘇里河恢復計畫下，為恢復棲息地提供的土地已經擁有。

19.1.1.2 計畫的洪水風險影響

以下是密蘇里河洪水平原連通性透過大規模堤防退縮對洪水風險的影響：

- 堤防退縮導致洪水位和發生頻率減少，提供了計畫區域內和其上游地區的暴露和風險降低。由於土地是由美國陸軍工程兵團的密蘇里河恢復計畫提供的，新的堤防段可以放置在離密蘇里河更高更合適的土質基礎上，從而降低流速、侵蝕和沖刷，並在計畫區域內提供更好的地下材料。這些改進導致後退區域內的堤防性能提高。
- 堤線退後設計可導致洪水輸送量增加。增加的輸送量降低了水面高度和隨後對堤防的壓力，從而增加了系統提供的保護和彈性。水面高度的降低可能會導致營運、維護與維修、修復和替換活動的減少。
- 2 號公路橋是密蘇里河沿線最狹窄的洪水輸送水力「瓶頸點」，而此因2號公路後退的建設而降低。愛荷華州交通部於2019年開展的一個計畫透過抬高2號高速公路進一步減少了該地點的剩餘水力收縮。
- 弗雷澤彎道後退幫助降低了內布拉斯加州公共電力區發電廠穿過密蘇里河的洪水速度和水位高度。

19.1.1.3 計畫的共同利益

結合聯邦、州和地方機構的資源以及他們的規劃方案，可以透過執行土地上堤防後退以恢復棲息地，來實現自然生態共同利益。這有助於減輕當地堤防贊助商從鄰近的私人土地所有者那裡購買土地的責任。

在加強工程設計的同時增加共同利益是美國陸軍工程兵團的自然工程倡議(Engineering With Nature Initiative) (ewn.el.erdc.dren.mil, n.d.) 的主要目標，但這不是災害行動公法 (PL) 84-99計畫的優先事項或授權目的。由於堤線倒退實踐而實現的一些共同利益是生態系統的永續性、增加休閒娛樂機會、美學以及文化和教育機會。特別是關於編號 L-575堤防的後退，密蘇里河恢復計畫的土地過去曾是土礦區，然後在材料挖掘後將其轉變為濕地。排水溝穿過其中一些取土坑，為從周圍農田帶入的溝渠水在進入密蘇里河渠道之前透過濕地過濾提供了額外的養分處理機會。

美國陸軍工程兵團奧馬哈區負責密蘇里河岸穩定和航行計畫以及主流上水庫的運營和維護。這些責任包括根據美國《瀕危物種法》(Endangered Species Act)採取行動，處理可能受到密蘇里河營運影響的所列物種。一項生物學觀點為美國陸軍工程兵團提供了一個合理和謹慎的替代方案，如果計畫完成，或許會避免危害三種列出的物種（密蘇里鏟鱘[*Scaphirhynchus albus*]、白額燕鷗 [*Sternula antillarum*] 和笛鴴 [*Charadrius melodus*])。為解決生物學意見要求而採取的行動發生在密蘇里河恢復計畫下。

19.1.1.4 經驗傳承

在計畫過程中吸取了以下經驗教訓，特別是與河流系統和 NNBF相關的經驗傳承：

- 社區和政治對堤防後退的期待極大地支持了堤防退縮的優先次序和建設。
- 多個機構的協調與合作對於成功且及時地實施防洪堤後退至關重要。土地用於就地取材、堤防後退足跡和其他關鍵計畫要素可能需要快速的機構間合作，以便根據災害行動公法(PL) 84-99計畫完成堤防退縮。對於編號L 575堤防的後退，以下機構和其他權益相關者合作使該計畫取得成功：美國陸軍工程兵團 (USACE)、自然資源保育署(Natural Resources Conservation Service)、聯邦公路總署(Federal Highway Administration)、美國魚類及野生動物管理局 (U.S. Fish and Wildlife Service)、愛荷華州自然資源廳(Iowa Department of Natural Resources)、愛荷華州交通廳 (Iowa Department of Transportation)、弗里蒙特縣 (Fremont County)、L-575堤防贊助商和排水管區以及當地土地所有者。
- 在災害行動公法 (PL) 84-99計畫下成功實施堤防退縮需要各方具有靈活和創造性解決複雜問題的能力。

19.1.1.5 進一步資訊

ewn.el.erdc.dren.mil, n.d. EWN Initiative. *Engineering With Nature*. https://ewn.el.erdc.dren.mil/about.html.

Krause, T., K. Baxter, D. Crane, and R. Behm. 2015. "Evaluation of Levee Setbacks as a Sustainable Solution along the Missouri River." Paper presented at the Proceedings of the Joint Federal Interagency Conference 2015: Sustainable Water Resources in a Changing Environment. Reno, NV. April 19–23, 2015. https://acwi.gov/sos/pubs/3rdJFIC/Contents/4E-Krause.pdf.

USACE (U.S. Army Corps of Engineers). 2013. *Finding of No Significant Impact & Revision to: December 2011 Tiered Environmental Assessment*. Omaha, NE: USACE Omaha District. https://cdm16021.contentdm.oclc.org/digital/ collection/p16021coll7/id/298.

案例研究：

19.1.2 諾德瓦德 (Noordwaard)，荷蘭



來源：https://beeldbank.rws.nl, Rijkswaterstaat

建造日期：
2009~2014

計畫總現金成本：
3.75 億歐元（4.42 億美元）

措施包括：
降低主堤防以創造額外的排水區，建造圩田，在堤防上應用植生以減少波浪的影響

計畫資助者：
Ministry of Infrastructure and Water Management,
Ministry of Economic Affairs Omaha District

主要聯繫者：
Room for the River Program
還地與河計畫

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	否
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.1.2.1 描述 – 計畫做了什麼?

諾德瓦德 (Noordwaard)是荷蘭萊茵河三角洲 (Dutch Rhine Delta)一個相對較大的區域，被新默韋德河 (New Merwede River)和默茲河 (Meuse River)包圍。諾德瓦德占地約 4,500 公頃，是還地於河計畫 (Room for the River Program)內最大計畫之一。新默韋德河上游地區的堤防被降低，這意味著該地區在較低的洪峰流量時會被淹沒，因此上游地區的洪水風險降低。該地區分為兩個部分--一是每年多次洪水但適合養牛的部分，另一是每100至1,000年一遇洪水且適合農業的部分。在農業部分，農田位於土丘上。

19.1.2.2 計畫的洪水風險影響

這些恢復措施共同導致了以下的洪水風險影響：

- 場地入口處洪水位降低 60公分，入口上游 10公里處洪水位降低 30公分。
- 氾濫平原水災頻率增加。

19.1.2.3 計畫的共同利益

提高該地區的空間品質是該計畫的一個重要點。重新美化環境的靈感來自 1905年的地圖。為了該地區方便性，已經建造了 30多座橋樑 (由於建造了圩田和小溪而需要)。娛樂是有可能，但在某種程度上受到限制，為保證其他居民休息的隱私。保護舊城堡的現有堤防必須加固，因此在堤防上使用柳樹植生以減少波浪的影響，這也降低了堤防的整體高度。諾德瓦德地區與國家公園 (De Biesbosch)相連，並已被用於加強 Natura 2000網絡 (Natura 2000是歐洲一項旨在加強自然保護區和改善生物多樣性的倡議)。該措施還引入了潮差，這種潮差一直持續到 1970年。

19.1.2.4 經驗傳承

在計畫過程中吸取了以下經驗教訓：

- 從該地區的歷史佈局中汲取靈感，並在重新美化地景時考慮到這一點，效果很好，改善了進入諾德瓦德地區的體驗。
- 小路和不規則的田野是新諾德瓦德地區設計的一部分。然而，農民有時會發現使用這些小路很難進入他們的土地。此外，從經濟角度來看，他們田地的形狀(還)不是最佳的。
- 在投入營運這個計畫後立即召開一次良好的啟動會議，可能可以避免重新設計時的溝通不暢。

19.1.2.5 進一步資訊

issuu.com. 2016. Verantwoordingsrapportage ruimtelijke kwaliteit ontpoldering noordwaard [in Dutch] [Accountability Report: Spatial Quality in the Noordwaard]. *ISSUU*. https://issuu.com/ruimtevoorderivier/docs/ verantwoordingsrapportage_ruimtelij.

rijkswaterstaat.nl., n.d. Ruimte voor de rivieren [in Dutch] [Room for the River – Noordwaard]. *Rijkswaterstaat*. https://www.rijkswaterstaat.nl/ water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/maatregelen-om-overstromingen-te-voorkomen/ruimte-voor-de-rivieren/index.aspx.

ruimtevoorderivier. 2015. “Project Noordwaard Ruimte voor de Rivier” [in Dutch]. Uploaded on September 24, 2015. YouTube video, 02:32. https://www.youtube.com/watch?v=Wf8zVOY99IM.

案例研究：

19.1.3 代芬特 (Deventer)附近的艾瑟爾河 (Ijssel River)，荷蘭



來源：gedin.nl 2013

建造日期：

2010 至 2015

計畫總現金成本：

1.05億歐元 (1.24億美元)

措施包括：

興建側渠道

計畫資助者：

Ministry of Infrastructure and Water Management, Ministry of Economic Affairs

主要聯繫者：

Room for the River Program
還地與河計畫

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	否
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.1.3.1 描述 – 計畫做了什麼?

在荷蘭代芬特 (Deventer)市內和附近，沿著艾瑟爾河 (Ijssel River)，在河的兩岸修建了多條側渠道，平均寬度為 100公尺。這創造了額外的排放流量，因此降低了洪水位。洪水平原的一些較小的堤防被拆除，使原來的堤防後面的區域可以在早期被洪水淹沒，從而降低洪水的高度。位於河邊的特色旅館，擁有綠色的濱水區。建造了一個浮動碼頭，將城市前部與洪水平原連接起來。在計畫區的北方部分，為生態水生農地創造了空間，該農地也透過放牧來維持洪水平原。農地本身位於新建的土丘上。

19.1.3.2 計畫的洪水風險影響

側渠道的建設導致上游地區洪水位在高流量時降低了 10到 19公分。

19.1.3.3 計畫的共同利益

側渠道為增加生物多樣性提供了機會，並增加了歐洲自然保護區倡議 Natura 2000的目標。增加了健行、騎自行車和水上運動的娛樂可能性。划船俱樂部獲得了額外的培訓機會。沿河的全景變得更好，分段種植更加連貫性。一個生態農場已經建成，這個農場的牛幫助保持植生低矮，不致發生阻礙水流的情況。

19.1.3.4 經驗傳承

該計畫的成功主要歸功於與私人單位 Stichting IJssellandschap (一個保護代芬特市周圍地景、農地和房屋的當地權益相關者)的良好合作，後者幾乎擁有所有土地，並且對如何將生態農業與用水安全相結合擁有清晰的願景。政府計畫的融合和Stichting IJssellandschap的倡議使這個計畫成為可能。

不同興趣的結合需要對功能進行非常仔細的分區，包括水上安全、農業、自然和休閒娛樂 (旅館、露營、港口、划船、釣魚、健行和騎自行車)。例如，在那些主要以自然為目標所保留的區域中，娛樂活動被廣泛的展開，尤其在都市附近，這可能是一個問題。另一個權益衝突的例子是側渠道的流量。為了防汛安全，側渠道應該合理地相當大，但可能會導致主渠道淤積。同時，在低流量時，大型的側渠道相對於歐盟水框架指令 (Water Framework Directive, WFD) 的目標的附加值有限。(水框架指令要求歐盟成員國為所有水體實現良好的水質狀況。)

19.1.3.5 進一步資訊

gedin.nl. 2013. Rumte voor de Rivier – Deventer [in Dutch]. *Gedin Engineering*. http://gedin.nl/nl/projecten/ruimte-voor-de-rivier-deventer/.

rijkswaterstaat.nl., n.d. Ruimte voor de rivieren [in Dutch] [Room for the River – Deventer]. https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/maatregelen-om-overstromingen-te-voorkomen/ruimte-voor-de-rivieren/index.aspx.

ruimtelijkeplannen.deventer.nl, n.d. 4.6 Ruimtelijke kwaliteit [in Dutch] [Municipality of Deventer – Room for the River]. *Ruimte voor de Rivier*. http://ruimtelijkeplannen.deventer.nl/plans/NL.IMRO.0150.D130-/NL.IMRO.0150. D130-OW01/t_NL.IMRO.0150.D130-OW01_4.6.html.

ruimtevoorderivier. 2011. “Ruimte voor de Rivier, Deventer – NL” [in Dutch] [Room for the River, Deventer – NL]. Uploaded on December 8, 2011. YouTube video, 03:24. https://www.youtube.com/watch?v=o_3rQqNw6PM.

案例研究：

19.1.4 泰晤士河 (Thames River)沿岸的朱比利河 (Jubilee River)，英國



來源：Environment Agency

建造日期：
1996 至 2001

計畫總現金成本：
1.10億歐元 (1.30億美元)

措施包括：
興建側渠道

計畫資助者：
Environment Agency

主要聯繫者：
Environment Agency 環保署

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	否
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.1.4.1 描述 – 計畫做了什麼?

朱比利河 (Jubilee River)(又稱銀禧河)在倫敦以西泰晤士河 (Thames River)以東，全長11.6公里。它離開泰晤士河東岸，緊鄰梅登黑德 (Maidenhead)的博爾特斯 (Boulters)堰上游，向東南方向流動。它繼續沿著斯勞 (Slough)鎮附近的 M4高速公路方向，然後在伊頓公學(Eton College) 的黑波特高架橋 (Black Potts Viaduct)下游重新匯入泰晤士河。與堤防相結合，朱比利河計畫顯著降低了梅登黑德、溫莎 (Windsor)和伊頓 (Eton)的 5,500多戶家庭和企業的洪水風險。此外，它還降低了與倫敦和英國矽谷 (Silicon Valley)的重要交通聯繫 (包括主幹線鐵路和 M4高速公路)因洪水而中斷的風險。它還克服了泰晤士河在該地區不能作為天然河流發揮作用的許多問題。

19.1.4.2 計畫的洪水風險影響

該計畫在泰晤士河和朱比利河的總流量達到每秒 450立方米的情況下，可防止洪水氾濫。因此，它可以為 65年洪水事件提供保護。2002年12月，朱比利河集水區的降雨量是該月平均降雨量的兩倍多，此前處於危險之中的 5,500處房屋均未發生洪水災害。

19.1.4.3 計畫的共同利益

朱比利河道融合了天然河流環境的一些特徵，在某些方面改善了附近的泰晤士河渠道化部分，新的河道和防洪設施目的在與現有的環境和周邊地區的特色相結合。該設計的一個關鍵特徵是創建一個綠色廊道，以鼓勵動物的自然移動和生物多樣性的再生，為比渠道廊道本身更廣泛的區域提供顯著的野生動物權益。選擇最後一條路線是為了盡量減少對現有棲息地特徵和社區的破壞，並避開住宅區，這樣就不需要拆除現有建築物。這些實際和生態考慮導致新河道蜿蜒曲折，類似於天然河流的形狀。

儘管低流量渠道具有基本的梯形設計，每秒可移動 200立方米水，但渠道本身可融入不同的寬度、深度和水生特性，在提供具有成本效益的防洪減災的首要工程目標內，去實現創建可行和多樣化的水生生態系統的生態目標。另外，利用沿河廊道每一個可用的增加土地，並強化地景--增加河階及有機地貌，使棲息地得以融入。優先使用本地植物 (例如，提前收集當地特色植物物種的種子，包括溫莎大公園 (Windsor Great Park)古老橡樹的橡子，允許專業苗圃讓獨特植物發芽，為主要栽植計畫做好準備。) 土地再調整，包括清除130,000立方米受汙染的土壤，使多尼濕地 (Dorney Wetlands) 於舊汙水處理廠的位置重建工作成為可能，並允許恢復蘆葦床和大面積的附加棲地。

該計畫還為當地社區提供了新的與改進的綠色開放空間，提供休閒娛樂機會和設施。修建了 14公里的長距離新道路、自行車道和馬道以及停車設施，方便安全地進入河流及其周邊環境。

19.1.4.4 經驗傳承

1. 工程師、地景設計師和其他關鍵設計專業人士之間的伙伴關係和跨學科合作對於成功至關重要。透過與 60多個政府、行業和專業權益團體的持續磋商，包括為已完成計畫命名的競賽，創造了對該計畫的所有權感。
2. 該計畫的成本效益的一個關鍵點是最大限度地重複利用材料。礫石作為建材出售，抵消了部分計畫成本。同樣重要的是，達成挖填平衡，並藉由一個轉運樞紐中心交換石材，且避免在主要道路上運輸土方。
3. 人口稠密地區交通基礎設施得到維護和加強。在 5年的建設過程中，沒有發生道路或幹線鐵路關閉，總共新建了 11座新橋樑。

案例研究：

19.1.5 梁河 (Beam)泛濫地，達格拉姆 (Dagenham)，倫敦，英國



來源：Environment Agency

建造日期：

2012

計畫總現金成本：

- 總計：820萬英鎊 (1,130萬美元)
- 基本工程計畫：450萬英鎊 (620萬美元)
- NNBF-370萬英鎊 (510萬美元)

措施包括：

泛濫地蓄水區、河流和洪水平原恢復

計畫資助者：

Environment Agency, London Development Agency (European Regional Development Fund), Communities and Local Government Parklands Fund, Landfill Tax Credits Scheme, and London Borough of Barking and Dagenham

主要聯繫者：

Environment Agency 環保署

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	**否**

19.1.5.1 描述 – 計畫做了什麼?

這個屢獲殊榮的合作計畫以 450萬英鎊 (620萬美元)的洪水和沿海風險管理計畫為基礎，旨在提高蓄洪泛濫地的完整性和容量，為 570多個家庭和企業提供更好的保護。

該計畫在倫敦東部最貧困的社區之一，提供了一個大型、棲息地豐富的社區公園。這包括 12.6公頃的棲息地、150公尺的河流修復、600公尺的河岸重新裝修和 300公尺的梁河(Beam River)渠道內特色。該計畫於 2012年完成，維護由合作夥伴組織資助和負責。

19.1.5.2 計畫的洪水風險影響

以下是梁河泛濫地 (Beam Washlands)計畫的洪水風險影響：

- 原泛濫地蓄水容量約 433,000立方米。該計畫的容量增加了 25,660立方米，達到458,660立方米。

- 在泛濫地內控制河流的過程為下游財產提供了一個保護標準，可以保護高達25年一遇的洪水事件。
- 抽水站的提供和運作(如果河流流量超過貯存區的設計容量時運作)提供了一個強化的保護標準，最多可保護150年一遇的事件。
- 該計畫整體降低了 570戶家庭和 90家企業的洪水風險。
- 計畫預計經濟效益顯著。據估計，該計畫每年可提供避免洪水損失收益的總資產價值為591,000英鎊 (813,000美元)，而在計畫建成前每年為193,000英鎊 (265,000美元)。

19.1.5.3 計畫的共同利益

梁河泛濫地計畫是一個很好的例子，展示了如何將離槽蓄水區用作 NNBF干預措施，同時還提供多種社會和環境共同利益。這包括 53公頃的開放空間，其中包括 12.6公頃的各種物種棲息地，其經濟效益估計為 536,000英鎊 (737,000美元)。

在洪水風險計畫之前，當地社區對土地基本上沒有管理和利用不足。在設計階段，當地社區參與了新泛濫地區域的設計，現在許多居民享受綠色休閒育樂空間。

19.1.5.4 經驗傳承

在計畫過程中吸取了以下經驗傳承，特別是與河流系統和 NNBF相關的經驗教訓：

- 早期獲得支持以更好地利用泛濫地，對於讓參與計畫的人相信這是一個可行的工程解決方案至關重要。
- 早期與地方當局和土地信託建立合作夥伴關係，對於探索和創建一個提供共同利益的計畫至關重要。
- 為未來的維護匯集外部資金來源，包括遺產資金，對於確保計畫的長期績效非常重要。

19.1.5.5 進一步資訊

Burgess-Gamble, L., n.d. *Case Study 19: Beam Washlands*. London: Defra and Environment Agency Joint Flood and Coastal Erosion Risk Management Research and Development Programme. https://www.therrc.co.uk/sites/ default/files/ projects/19_beam.pdf.

Environment Agency. 2013. *Dagenham, Beam Washlands: Profiling Partnership Funding*. Bristol, UK: Environment Agency. http://www.eacg.org.uk/Docs/PF/ Dagenham_washland_PF_final.pdf.

EFTEC (Economics for the Environment Consultancy Ltd). 2015. *Beam Parklands Natural Capital Account*. London: EFTEC. https://www.london.gov.uk/sites/default/files/beam_parklands_natural_capital_account_final_report_ eftec_november_2015.pdf.

Natural England. 2013. *Beam Parklands: Green Infrastructure Case Study*. Peterborough, UK: Natural England. http://publications.naturalengland.org.uk/publication/12629856.

案例研究：

19.1.6 埃德爾頓沃特 (Eddleston Water)恢復 (INTERREG 與自然共建)，蘇格蘭，英國



來源：Christopher Spray, University of Dundee

建造日期：

- 2009和2010年--計畫區研究
- 2011和2012年--安裝詳細監控網路
- 2012到2016年--執行自然洪水管理措施與監控
- 2016到2020年--監測、進一步計畫展開、評估與建模

計畫總現金成本：

範圍界定、設置、描繪和基線監測-- 355,000英鎊 (488,000美元)
設計和基本工程-- 982,000英鎊 (140萬美元)
-監測、評估與建模-- 627,000英鎊 (863,000美元)

措施包括：

高地(源頭)地區：

- 林地栽植-- 207公頃、33萬株原生樹種
- 大型木結構-- 116個高流量原木結構
- 上游池塘-- 已建濕地28處 (8,800平方公尺)

山谷和洪水平原(通道)地區：

- 河流再度蜿蜒而流2.8公里，2,900公尺的防洪堤被拆除
- 一個洪水平原池塘
- 栽植1公里等高樹籬

計畫資助者：

Scottish Government, Scottish Environment Protection Agency, Tweed Forum, Scottish Borders Council, Scottish Forestry, Scottish Natural Heritage, Forest Carbon, CEMEX, Woodland Trust, British Geological Survey, and University of Dundee

主要聯繫者：

Tweed Forum

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	**否**

19.1.6.1 描述 – 計畫做了什麼?

埃德爾頓沃特 (Eddleston Water)河，是蘇格蘭邊境特威德河 (Tweed River)的一條支流，集水區面積為70平方公里。這是一個典型的蘇格蘭鄉村集水區，混合了林業、粗放牧和改良的草地。埃德爾頓沃特計畫解決了自然洪水管理 (Natural Flood Management, NFM)措施對降低洪水風險和改善棲息地的潛在貢獻。繼 2009年進行計畫區範圍研究後，埃德爾頓沃特計畫已發展成為一項由蘇格蘭政府資助的長期全國性研究。

該計畫有以下三個主要目標：

- 調查經由 NFM措施降低下游社區洪水風險的潛力。
- 改善動植物棲息地，提高河流生態狀況。
- 與當地社區的土地所有者和農民合作，在維持農業生計和作法的同時，最大限度地提高工作效益。

該計畫目地在生成有關使用自然過程的影響、成本和效益的有力證據。該計畫從一開始就採用經驗法，具有詳細的監測網絡和調查計劃，包括以下特點：

- 河流流量和洪水量尺。
- 地下水調查和鑽孔。
- 雨量和氣象站。
- 河流棲息地、水文形態和河道淤積。
- 河流生物，包括魚類、水生大型無脊椎動物和水生植物。
- 土地所有者和社區之參與。

此外，該計畫還研究了 NFM干預措施的成本和效益，包括洪水成本的避免，以及透過開發一系列綜合水力和水文模式來進一步探索 NFM措施對洪水風險的影響的額外共同利益。

19.1.6.2 計畫的洪水風險影響

這些恢復措施尚未經過大洪水的考驗。然而，早期證據顯示，在不同的集水區尺度上，NFM措施可以藉由暫時儲存地表水和延遲洪峰流量以及透過增加地表粗糙度和地下水連通性來降低洪水風險。早期證據還顯示，只有透過在整個流域廣泛應用多種類型的方法，才能透過 NFM顯著降低洪水風險。

個別 NFM措施的影響如下：

- 植樹的影響。成熟闊葉林入滲量是相鄰放牧草場的五至八倍。
- 模擬植樹影響。對不同氣候變遷情境下的地景尺度植樹進行建模顯示，洪峰流量最多可減少 40% (20年重現期)，洪峰延遲 45分鐘。
- 大型木材流量限制設施的影響。經驗上發現，位於上游集水區的那些設施與洪峰流量延遲30至60分鐘有關。
- 大型木材限制的模擬影響。建模顯示，在 1.5年及以上的流量下，洪水位降低、洪峰流量的預測行程時間延遲，在更高流量下存儲更多，但超出此範圍的額外收益有限。
- 上游集水區池塘的影響。對池塘水位的測量顯示，上游集水區的 27個池塘可以很容易地蓄水，從而獲得快速成效，但模型表明這只會對這個規模的子集水區總逕流產生相對較小的影響。
- 成本效益分析。根據 2009年英國氣候預測 (United Kingdom Climate Projections, UKCP)模擬的大面積集水區造林及河流洪峰流量的影響以及額外的共同效益的分析，顯示出重大潛在的淨現值是正數。

19.1.6.3 計畫的共同利益

該計畫包括對 NFM措施的生態影響的詳細研究，以及對集水區內當前和歷史上(1940年代)分布和臨時共同效益層級的分析。除了降低洪水風險外，自然洪水管理 (NFM)和棲息地增強措施還提供了廣泛的共同效益，如下所示：

- 對先前截彎取直的河道進行重新回溯，導致棲息地面積和整體物理多樣性的增加。
- 河道變為蜿蜒流之後，水生大型無脊椎動物迅速重新定居，發現物種豐富度與棲息地變異性之間存在重要關係。
- 河道的回溯也增加了鮭魚可用產卵棲息地的數量和範圍，並導致魚的重量得到改善。

該研究還藉由解決農民的態度和鼓勵參與 NFM方法，提供了社會共同利益。

最近的一項研究 (Mott MacDonald，2020a)發現埃德爾頓沃特計畫 NNBF方案已經實現了 950,000英鎊 (130萬美元)的淨現值收益，包括避免洪水損失和其他生態系統服務收益的淨現值 420萬英鎊 (580萬美元)。

19.1.6.4 經驗傳承

在計畫過程中吸取了以下經驗傳承，特別是與河流系統和 NNBF相關的經驗教訓：

- 實證研究對於全面了解實地 NFM措施的有效性以及模式的後續參數化至關重要。
- 在可能的情況下，研究設計應包括實施干預之前和之後的測量，包括控制和實驗地點。
- 監測應涵蓋全方位的環境條件(降水和洪水的高低期)，並涵蓋實施前和實施後的多個季節。
- 不同的 NFM措施可以降低洪水風險，但這最好透過在整個集水區廣泛應用多種類型來實現。
- 在考慮 NFM措施時，需要對集水區從源頭(高地)、路徑(渠道)和接受者(洪水平原和下游社區)等方面進行評估。
- 在處理洪水的來源和影響時，需要考慮地表水和地下水之間的聯繫。
- NFM措施的全部成本和效益只能藉由包括它們提供的其他共同效益 (例如，生物多樣性、水質、碳儲存、娛樂和地景)來評估，其收益可能大於僅用於降低洪水風險。
- 經濟和洪水研究評價應考慮 NFM的好處，而不僅僅是降低洪水風險，以使決策者能夠做出反映 NFM投資的真實淨現值的決策。
- 與土地管理者的接觸，尤其是招募他們來主持 NFM措施，最好藉由可信賴的中介機構進行，例如 Tweed Forum，他們了解農業和農地業務並能夠有效溝通。

19.1.6.5 進一步資訊

Black, A., L. Peskett, A. MacDonald, A. Young, C. Spray, T. Ball, H. Thomas, and A. Werritty. Forthcoming. “Natural Flood Management, Lag Time and Catchment Scale: Results from an Empirical Nested Catchment Study.” *Journal of Flood Risk Management*.

Dittrich, R., T. Ball, A. Wreford, D. Moran, and C. J. Spray. 2018. “A Cost-Benefit Analysis of Afforestation as a Climate Change Adaptation Measure to Reduce Flood Risk.” *Journal of Flood Risk Management* 12 (4): e12482.

Mott MacDonald. 2020a. *Integrating Natural Capital into Flood Risk Management Appraisal: Study Report*. Edinburgh, UK: Mott MacDonald and Tweed Forum. https://northsearegion.eu/media/15157/integrating-natural-capital-into-flood-risk-management-appraisal-report-v3.pdf.

Mott MacDonald. 2020b. *Integrating Natural Capital into Flood Risk Management Appraisal: Practical Guide: Study Report*. Edinburgh, UK: Mott MacDonald and Tweed Forum. https://northsearegion.eu/media/15158/integrating-natural-capital-into-frm-appraisal-practical-guide-v3.pdf.

Ncube, S., C. Spray, and A. Geddes. 2018. "Assessment of Changes in Ecosystem Service Delivery: A Historical Perspective on Catchment Landscapes." *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* 14 (1): 145–163.

northsearegion.eu, n.d. Building with Nature. *Interreg North Sea Region*. https://northsearegion.eu/building-with-nature/.

Ó Dochartaigh, B. É., N. A. L. Archer, L. Peskett, A. M. MacDonald, A. R. Black, C. A. Auton, J. E. Merritt, D. C. Gooddy, and M. Bonell. 2018. "Geological Structure as a Control on Floodplain Groundwater Dynamics." *Hydrogeology Journal* 27: 703–716.

Spray, C., A. Baillie, H. Chalmers, L. Comins, A. Black, E. Dewell, S. Ncube, et al. 2017. *Eddleston Water Project Report 2016*. Melrose, UK: Tweed Forum.

tweedforum.org. 2020. The Eddleston Water Project. *Tweed Forum*. http:// tweedforum.org/our-work/projects/the-eddleston-water-project/.

案例研究：

19.1.7 密西西比河 (Mississippi River)下游堤防開口用於棲息地開發，美國



來源：Angie Rodgers, U.S. Fish and Wildlife Service

建造日期：

自1980年代以來的多個地點

計畫總現金成本：

每個開口部位約 8萬美元至10萬美元*

*金額不包括與非建設成本相關的重大實物成本，例如選址、工程與設計以及許可

措施包括：

縱向航行堤防開口，用於建立和重建有利於棲息地發展和可永續性的輔助航道

計畫資助者：

U.S. Army Corps of Engineers and Lower Mississippi River Conservation Committee

主要聯繫者：

U.S. Fish and Wildlife Service, Lower Mississippi River Fish and Wildlife Conservation Office, and Lower Mississippi River Conservation Committee

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	否
土地利用改變	否
水質惡化	否
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.1.7.1 描述 – 計畫做了什麼?

密西西比河沿岸不同地點的航行堤防在河岸附近開口，以引導水流透過先前阻塞的輔助航道。這種做法產生了巨大的環境效益。

19.1.7.2 計畫的洪水風險影響

目前的研究正在進行中，但密西西比河下游堤防開口用於棲息地開發計畫的洪水風險影響可能可以忽略不計，如果不是有利的話。

19.1.7.3 計畫的共同利益

以下是該計畫的共同利益：

- 增加棲息地複雜性或棲息地異質性。

- 增加了輔助河道和主要河道之間的連通性，從而增加了棲息地的可用性。
- 陸地不與島嶼和沙洲相連，這意味著築巢鳥類免受陸地掠食者的侵害。
- 在主航道外為槳手和垂釣者創建休閒育樂區。

19.1.7.4 經驗傳承

在計畫過程中吸取了以下經驗傳承，特別是與河流系統和 NNBF相關的經驗教訓：

- 可能需要幾次高水位事件才能充分沖刷輔助河道內的累積土砂。
- 堤坊開口的長度、寬度和深度可能會有所不同，並且可能應該有所不同，具體取決於開口的位置和其他需要逐案考慮的因素。

19.1.7.5 進一步資訊

flickr.com, n.d. Lower Mississippi River Conservation Committee. *flickr*. https://www.flickr.com/photos/lmrra/albums/with/72157632164691304.

fws.gov, n.d. Fish Passage Projects at Work: On the Ground and in the Water. *U.S. Fish and Wildlife Service Fish and Aquatic Conservation*. https://www.fws.gov/ fisheries/fish-passage/fish-passage-projects-at-work.html.

fws.gov, n.d. National Fish Passage Program. *U.S. Fish and Wildlife Service Fish and Aquatic Conservation*. https://www.fws.gov/fisheries/fish-passage.html.

lmrcc.org. 2020. *Restoring America's Greatest River* Initiative. *LMRCC: Lower Mississippi River Conservation Committee*. http://www.lmrcc.org/programs/ restoring-americas-greatest-river-initiative/.

LMRCC (Lower Mississippi River Conservation Committee). 2015. *Restoring America's Greatest River: A Habitat Restoration Plan for the Lower Mississippi River*. Vicksburg, MS: LMRCC. https://www.lmrcc.org/wp-content/ uploads/2020/12/RARG-plan.pdf.

youtube.com. LMRCC Tube. *YouTube*. https://www.youtube.com/user/LMRCCvideos.

案例研究：

19.1.8 科羅拉多 (Colorado)集水區水災復原，科羅拉多州，美國



來源：State of Colorado Department of Natural Resources, Colorado Water Conservation Board
Post-construction monitoring along Lower Fish Creek

建造日期：
2012至2018

計畫總現金成本：
6,830萬美元

措施包括：
淤積帶、河流棲息地、溢流河道、天然木質材料、植生和穩定化以及洪水平原和河岸棲息地

計畫資助者：
Colorado Department of Natural Resources – Colorado Water Conservation Board, Colorado Department of Local Affairs, U.S. Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service, U.S. Department of Housing and Urban Development – Community Development Block Grant Disaster Recovery Program

主要聯繫者：
Colorado Department of Natural Resources, Colorado Water Conservation Board, and Technical Assistance Team

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.1.8.1 描述 – 計畫做了什麼?

2013年 9月，連續幾天的豪雨在橫跨科羅拉多州的前山脈 (Front Range)造成了大洪水。溪流重新開拓了它們歷史悠久的廊道，並在此過程中摧毀了道路、橋梁和建築物，並從岸邊移除了植物。洪水總共對基礎設施以及公共和私人財產造成了約 40億美元的損失。緊急維修重新開放了高速公路和道路，但在此過程中挖掘並填滿了許多河流廊道，破壞了新興濕地，嚴重影響了水生和河岸生態系統以及渠道化小溪，並使許多河流不穩定並與洪水平原不相連接。

在看到人為對洪水平原的影響並意識到需要在小溪系統中建立恢復力後，科羅拉多州採取了更全面性的災害恢復方法。最獨特的是，科羅拉多州致力於在集水區範圍內實施跨轄區計畫，重點是利用自然地貌過程、河流功能和生態功能作為提供 FRM 和恢復力的基礎。這些計畫旨在取代 2013年大規模失敗的傳統 FRM 策略，也稱為灰色基盤。

該計畫的目的是保護科羅拉多州前山脈社區約 450萬居民的生命和財產。該計畫提高了14個集水區和大約 105公里河流系統的彈性和功能。

主要成就包括完成了 117個洪水復原計畫，改善了 105公里的前山脈河流和洪水平原，吸引了 700多名私人土地所有者，以及廣泛的區域規劃，包括 12個集水區總體規劃(主要計畫)、34個恢復規劃研究和 23個復原規劃研究。位於本案例研究的最後，圖 19.2至 19.7中提供了計畫照片。

19.1.8.2 計畫的洪水風險影響

在個別計畫層面，概念設計經過精心設計，從根本上解決物理和生態問題。小心確保提出的解決方案不會將問題轉移到鄰近的財產或下游社區。這些設計包含以下特點：

- 規劃淤積帶。
- 溢流河道。
- 自然木質材料。
- 廣泛的植生和生物穩定。
- 河流流動的空間。

19.1.8.3 計畫的共同利益

該計畫的共同效益如下：

- 為本地魚類創造河道棲息地。
- 為大型無脊椎動物、兩棲動物和浮游動物創造河道、濕地和洪水平原棲息地。
- 植物群落多樣化 (增加生物多樣性)。
- 設置特定地點的本地雙子葉植物區，透過創造季節性的草料、棲息地和庇護所，直接使傳粉者物種受益。
- 洪水平原和河岸棲息地特定地點的植生，包括敏感物種。

19.1.8.4 經驗傳承

在計畫過程中吸取了以下經驗傳承，特別是與河流系統和 NNBF相關的經驗教訓：

- 全面實施洪災復原，需要眾多合作夥伴的贊助、管理以及給計畫指導。這些合作夥伴包括：
  - 9個集水區聯盟 (當地社區權益相關者團體)。
  - 9個政府機構。
  - 4個非營利組織。
  - 1個特區。

- 一個州政府機構，與科羅拉多州水資源保護委員會和地方事務所合作，直接管理集水區洪災復原計畫並為其提供資金。

- 與集水區聯盟的伙伴關係對於該計畫至關重要，因為它們促進了社區參與和教育。
- 集水區聯盟直接與公民交流洪水風險，並就計畫目標、目的和限制進行公開討論。他們還倡導讓集水區內多個土地所有者受益以及談判解決方案。最後，集水區聯盟成為相關居民的主要聯繫點，因為聯盟工作人員在地理上靠近土地所有者並且可以輕鬆地與土地所有者互動，這使得縣、州和聯邦等機構能夠繼續向前。
- 向受災的土地所有者表達同感心和支持很重要，因為他們的主要關注點是恢復他們的個人財產和建立他們的生活「新常態」。

19.1.8.5 進一步資訊

coloradoewp.com, n.d. *Colorado EWP Program*. https://www.coloradoewp.com/.

19.1.8.6 計畫照片

圖19.2 埃斯特斯(Estes)山谷集水區聯盟實施的埃斯特斯公園魚溪改善志願者恢復植生工作



Source: State of Colorado Department of Natural Resources, Colorado Water Conservation Board

圖19.3 大湯普森(Big Thompson)集水區聯盟對大湯普森河北叉的改進



Source: State of Colorado Department of Natural Resources, Colorado Water Conservation Board

圖19.4 左側 (Left Hand)集水區監督小組實施屬於左側溪溪峰計畫 (Streamcrest Project)的生物穩定技術



Source: State of Colorado Department of Natural Resources, Colorado Water Conservation Board

圖19.5 煤溪 (Coal Creek)集水區聯盟管理的煤溪改善計畫 1年恢復後狀況



Source: State of Colorado Department of Natural Resources, Colorado Water Conservation Board

圖19.6 為大湯普森集水區聯盟實施的大湯普森河計畫的北叉創建了溢流河道，在未來的洪水事件中提供輸送能力



Source: State of Colorado Department of Natural Resources, Colorado Water Conservation Board

圖19.7 中南普拉特河 (Middle South Platte River)聯盟實施位於南普拉特河(South Platte River)沿岸60號州際高速公路計畫的生物穩定技術



Source: State of Colorado Department of Natural Resources, Colorado Water Conservation Board

19.2 植生管理

案例研究：

19.2.1 減緩流量，皮克林(Pickering)，約克郡(Yorkshire)，英國



洪水期間皮克林(Pickering)的透水木質構造
來源：Forest Research

建造日期：
2009至2015

計畫總現金成本：
超過310萬英鎊 (430 萬美元) (270萬英鎊 [370萬美元] 用於建設)

措施包括：
林地種植、透水木質構造、農場和荒地管理措施以及常規蓄洪水庫

計畫資助者：
Defra, Forestry Commission England, Environment Agency, North Yorkshire Moors National Park Authority, Natural England, North Yorkshire County Council, Ryedale District Council, Pickering Town Council, Sinnington Parish Council, and Yorkshire Flood and Coastal Committee

主要聯繫者：
Forestry Commission and Forest Research

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	是
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.2.1.1 描述 – 計畫做了什麼?

減緩水流計畫展示了如何使用土地利用和土地管理技術來降低北約克郡 (North Yorkshire) 皮克林 (Pickering) 鎮的洪水風險，該鎮長期以來經常發生洪水。截至撰寫本章為止，最大的洪水發生在 2007年，對該鎮 85處住宅和商業物業造成 700萬英鎊 (960萬美元) 的損失。成本效益分析顯示，工程防洪計畫不可行，因此採用了減緩流量的方法。該計畫於 2009年獲得資金，其中心目標是採用多種措施來提高整個集水區的自然蓄洪能力。一個關鍵目標是在任何一年將城鎮發生洪水的機率從 25%降低到 4%或更低。

19.2.1.2 計畫的洪水風險影響

以下是減緩流量計畫的洪水風險影響：

- 該計畫已經採取了一系列措施，目的在於將皮克林鎮在任何一年發生洪水的機率降低到 4%以下。
- 蓄洪水庫蓄水 12萬立方米。林地栽植和透水木結構提供了 8,000至 9,000立方米的存儲空間，而荒地和農田措施提供了另外 500立方米的存儲空間。
- 2015年12月26日，36小時內降雨量達 50毫米，在此期間常規蓄洪水庫與 NNBF措施相結合，幫助鎮上的財產免受洪水侵襲。據估計，洪峰已減少 15%至 20%，其中約一半是由於 NNBF措施而減少的。

19.2.1.3 計畫的共同利益

計畫共新建河岸林地 29公頃和農林地 15公頃，恢復河岸林地緩衝帶 5.9公頃，安裝167座透水木質構造和 187座石楠捆包節制壩，藉由補植改善石楠地 3.2公頃，修復 800公尺侵蝕步道。合計該計畫的總淨現值，範圍從 60萬英鎊 (82.5萬美元)到 320萬英鎊 (440萬美元)，中位數估計為 190萬英鎊 (260萬美元)。

19.2.1.4 經驗傳承

在計畫過程中吸取了以下經驗傳承，特別是與河流系統和 NNBF相關的經驗教訓：

- 土地管理措施可以為下游防洪做出重大貢獻。對 FRM 的貢獻越大，需要在集水區層面採取更大和更廣泛的措施才能發揮作用。
- 在集水區層面測量土地管理措施對洪水流量的影響是極其困難的。
- 建模是定位和設計土地管理措施以降低下游地區洪水風險過程中的重要步驟。

19.2.1.5 進一步資訊

Nisbet, T., H. Thomas, and P. Roe, n.d. *Case Study 12: Slowing the Flow at Pickering*. London: Defra and Environment Agency Join Flood and Coastal Erosion Risk Management Research and Development Programme. https://www.therrc.co.uk/sites/default/files/projects/12_pickering.pdf.

案例研究：

19.2.2 希爾登斯溪 (Hierdense Beek)，荷蘭



來源：Maarten Veldhuis, Waterschap Vallei en Veluwe (Water board Vallei en Veluwe)

建造日期：

2011至2019

計畫總現金成本：

200,000 歐元 (236,000 美元)

措施包括：

- 2011年至2013年--枯木淤積(監測)和陰影(未監測)
- 2014年--枯木淤積、遮蔭、割草管理、8,000立方米泥沙淤積(2014-2019)、水位管理、自然友好型河岸，創建70公頃洪水平原林區或河流濕地，並填滿上游人工造的小溪流

計畫資助者：

Water board Vallei en Veluwe and nature conservation agency Natuurmonumenten

主要聯繫者：

Water board Vallei en Veluwe

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.2.2.1 描述 – 計畫做了什麼?

在歐洲西北部的許多低地河流中，由於土地利用變化和氣候變遷，洪峰流量的數值和幅度有所增加。這通常會導致河道下切及河流生態系的退化。其中一個溪流是荷蘭的希爾登斯溪 (Hierdense Beek)。在這裡，Vallei en Veluwe水管理委員會和自然保護機構 Natuurmonumenten 試圖透過人工向溪流提供沙子來恢復溪流，製造了沙蛞蝓，抬高河床並將溪流與原來的河岸區重新連接起來。沙子從沿河 6公里的 15個地點供應，並按照與自然共建 (Building with Nature) 原則由溪流自然分散。大的木質材料也被放置在溪流中以防止新的河道下切。

19.2.2.2 計畫的洪水風險影響

由於前面描述的措施，上游森林蓄存了更多的水。每年平均 60%的流量被儲存，並滲透到林木土壤中。因此，這些措施顯著降低了下游地區的流量和水位。

19.2.2.3 計畫的共同利益

為了評估該恢復措施對河流生態系統的影響，自 2014年開始採取措施監測河床形貌、基材異質性、大型無脊椎動物組成結構和濱岸植物的組成。從最初的干擾復原後，觀察到溪流內小生境(微型棲地)異質性和水流速度的增加，同時也反映記錄在大型無脊椎動物群落中，濱岸帶的再潤濕導致溪流沿岸形成沼澤植物的分布。總結，低地溪流的向下切割會局部供應沙子，導致明顯的短期生態影響，表示這種鮮少使用的恢復措施深具潛力。

19.2.2.4 經驗傳承

採取了相對簡單、規模較小的措施，但其影響卻大。透過提供沙子和使用木質材料，降低了溪流的輸送能力，並創造了一個大的淹水區，以便在尖峰期將水保留在森林中。

影響超出了河流本身。由於頻繁的洪水氾濫，溪流沿岸的樹木枯死，留下一片開闊的地帶，可以發展成沼澤濕地。

這些措施引發了快速的生態系統反應，並在第一年後量測出效果。

19.2.2.5 進一步資訊

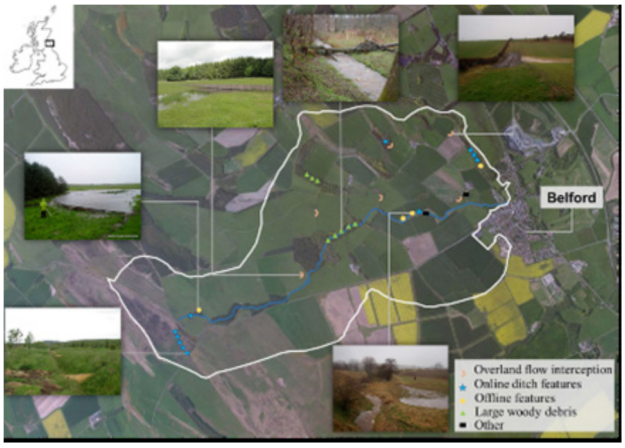
sprengenbeken.nl, n.d. Hierdense Beek en Zilverbeekje. Bekenstichting: Behoud van Veluwse sprengen en beken [in Dutch]. https://www.sprengenbeken.nl/ hierdense-beek/.

vallei-veluwe.nl, n.d. Impuls om Hierdense Beek te verbeteren. Waterschap Vallei en Veluwe [in Dutch]. https://www.vallei-veluwe.nl/toptaken/bij-mij-in-de-buurt/in-uitvoering/impuls-hierdense/.

19.3 鄉村逕流管理

案例研究：

19.3.1 貝爾福德(Belford)村莊，諾森伯蘭(Northumberland)郡，英國



貝爾福德計畫
來源：Newcastle University

建造日期：
2015

計畫總現金成本：
45萬英鎊 (61.9萬美元)

措施包括：
徑流衰減設施、田角池塘、漫地流切斷、導流結構、透水壩、離槽洪水平原蓄水、在槽溝渠管理、木製擋板、木製壩和河岸栽植

計畫資助者：
Local Levee and Engineering and Physical Sciences Research Council through Flood Risk Management Consortium Phase 2 research program

主要聯繫者：
Newcastle University and Arup

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	否
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	**是**
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	**否**

19.3.3.1 描述 – 計畫做了什麼?

貝爾福德 (Belford)村位於貝爾福德伯恩 (Belford Burn) 6平方公里的集水區內。貝爾福德伯恩河經常洪水淹沒村莊；從 1997到 2007年發生了 7次洪水事件。不利的成本效益分析和靠近水道的產業意味著無法實施傳統的防洪措施。在沒有防洪設施的情況下， 54處住宅和一個露營地在 100年洪水事件中面臨河流氾濫的風險，25處住宅在 2年洪水事件中面臨風險。

貝爾福德 NNBF計畫旨在利用鄉村逕流衰減設施降低貝爾福德村的洪水風險。逕流衰減設施是一種人造地景干預，它攔截和衰減水文流動路徑，以提供 FRM效益和共同效益，例如改善水質。貝爾福德的逕流衰減設施包括一個被稱為「威士忌桶」(the whisky barrel)

的木製儲存區、土堤、洪水平原重新連接、透水木製壩及在線溝渠農地沉砂池。2008至 2013年間，在集水區內建造了約 45個逕流衰減設施 (約12,000立方米的上游蓄水)；這些是透過持續的水力監測、流量和雨量計獲得的。對個別逕流衰減設施的監測顯示，它們能夠對中小型事件的洪峰產生重大影響 (最多減少10%)，但它們被較大的事件所吞沒。

19.3.1.2 計畫的洪水風險影響

以下是貝爾福德計畫的洪水風險影響：

- 1997至2007年期間貝爾福德發生了 7次洪水。自建成逕流衰減設施以來，只有一處房產受到洪水的影響。
- 對個別逕流衰減設施的監測顯示，對中小型事件的洪峰有顯著影響 (最多減少10%)。
- 池塘網絡模型展示了一系列假設的離槽蓄水池如何降低一系列重現期事件的洪峰幅度，包括在貝爾福德村的 100年設計風暴淨減少 15%至 30%。
- 研究和建模顯示，需要最低限度的新存儲量來幫助減輕洪水風險(集水區每平方公里約 2,000立方米)。這種存儲在高峰期的可用性至關重要。

19.3.1.3 計畫的共同利益

與該計畫相關的共同利益包括改善水質(透過土砂淤積與降低養分濃度)和創造棲息地。河岸地區的林地栽植取代了梧桐樹，這些梧桐樹被砍伐後與較短小本土物種配合以建成大型木質材料壩。樹木沒有大樹冠，讓更多的光線進入林地，從而使更多的植生在林地地面上生長。除了在洪水期間幫助創造更大的洪水平原粗糙度外，植生還為小型哺乳動物和鳥類提供了更豐富的棲息地。在逕流衰減設施中恢復了大冠蠑螈(又名大鳳頭蠑螈)棲息地。

19.3.1.4 經驗傳承

在計畫過程中吸取了以下經驗傳承，特別是與河流系統和 NNBF相關的經驗教訓：

- 良好的社區和權益相關者參與對於計畫的成功執行至關重要。
- 河網的監測和 NNBF對於衡量設施的影響並將調查結果傳達給社區和洪水風險管理人員是絕對必要的。
- 開發集水區系統工程方法是有用的，該方法基於與權益相關者的接觸，並使用來自現場科學的證據來制定決策和修改措施以提供更廣泛的共同利益。

19.3.1.5 進一步資訊

Nicholson, A. R., G. M. O'Donnell, M. E. Wilkinson, and P. F. Quinn. 2019. "The Potential of Runoff Attenuation Features as a Natural Flood Management Approach." *Journal of Flood Risk Management* 13 (51): e12565. https://doi.org/10.1111/ jfr3.12565.

Nicholson, A. R., M. E. Wilkinson, G. M. O'Donnell, and P. F. Quinn. 2012. "Runoff Attenuation Features: A Sustainable Flood Mitigation Strategy in the Belford Catchment, United Kingdom." *Area* 44: 463–469.

Quinn, P., A. Nicholson, M. Hardwick, P. Welton, and P. Kerr, n.d. Case Study 14: Belford Burn Runoff Attenuation Scheme – Northumberland. London: Defra and Environment Agency Join Flood and Coastal Erosion Risk Management Research and Development Programme. https://www.therrc.co.uk/sites/ default/files/projects/sc120015_case_study_14.pdf.

Quinn, P., G. O'Donnell, A. Nicholson, M. Wilkinson, G. Owen, J. Jonczyk, N. Barber, M. Hardwick, and G. Davies. 2013. *Potential Use of Runoff Attenuation Features in Small Rural Catchments for Flood Mitigation: Evidence from Belford, Powburn and Hepscott*. Newcastle, UK: Newcastle University, Royal Haskoning, and Environment Agency Report.

research.ncl.ac.uk. 2011. Belford. *Newcastle University*. https://research.ncl.ac.uk/ proactive/belford/.

Wilkinson, M. E., P. F. Quinn, and P. Welton. 2010. "Runoff Management during the September 2008 Floods in the Belford Catchment, Northumberland." *Journal of Flood Risk Management* 3: 285–295.

案例研究：

19.3.2 阿瓦里河 (Arvari River)集水區，拉賈斯坦 (Rajasthan)邦，印度



Examples of Johads (an off-line storage feature)
來源：The Flow Partnership

建造日期：
1985年以來持續進行

計畫總現金成本：
無法提供

措施包括：
喬哈德 (Johads) (儲水措施)

計畫資助者：
Local community leaders and community groups

主要聯繫者：
The Flow Partnership

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	是
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.3.2.1 描述 – 計畫做了什麼?

拉賈斯坦 (Rajasthan)邦是印度面積最大的邦，占印度陸地面積的 10.4%，其中 60%乾旱貧瘠，40%半乾旱，年降雨量的 90%發生在 7月至 9月的雨季月份。拉賈斯坦邦的農業嚴重依賴地下水，這種資源的過度開採導致了頻繁的乾旱，以及從該州村莊到都市的人口外流。

由非政府組織塔倫巴拉特桑格 (Tarun Bharat Sangh) 採用傳統的雨水收集方法進行社區驅動的分散式水資源管理，使印度這個非常乾燥和乾旱地區的許多季節性小溪重新煥發活力，成為常年河流。自 1985年以來，該地區已經恢復了 7條河流，而且還有更多河流正在恢復。

90公里長的阿瓦里河 (Arvari River)發源於阿拉瓦利 (Aravalli)嶺，位於地下水流經的褶皺和斷裂礫岩、砂礫和長石石英岩的地質上 (Rathore，2003)。476平方公里的阿瓦里河集水區是半乾旱的，包括 46個微型集水區，下游平坦土地上覆蓋著一層沙層，保護著含水層和肥沃但缺水的土壤 (Rathore，2003；Glendenning，2009)。

1980年代，拉賈斯坦邦遭受了數年的乾旱，使偏遠的村莊幾乎沒有水來滿足居民的需

要。將水管理責任從地方控制中移除，導致人們對水的價值觀念的轉變、脫離接觸以及當地人民對這些自然資產的管理缺乏自我責任感。這導致了廣泛的廢棄，隨之而來的社區水資源管理結構的退化變得廣泛和普遍 (Rathore，2003)。

塔倫巴拉特桑格 (Tarun Bharat Sangh)組織的負責人 Rajendra Singh於 1985年開始在阿瓦里集水區工作。基索里 (Kishori)村的一位長者向負責人Singh 展示了無數的土造節制壩 (當地稱為喬哈德 (Johad))，這些節制壩常年儲存雨季的水。那些傳統的土造節制壩年久失修，造成水庫淤塞。

塔倫巴拉特桑格組織為再生阿瓦里河而使用的參與模式，是確保位於河流集水區沿線遭受乾旱的村莊中的每戶家庭都將根據能力做出貢獻--土地、材料或勞動力。塔倫巴拉特桑格組織將籌募建設工程所需現金的 30%至 70%。根據資金的可用度，這項工作將由專業人士或村民自己完成。最初的幾個喬哈德建在地景中的策略位置，以補給地下含水層以及河流路徑上的多餘溢流。這些是由該地區較富裕的村民自籌資金建的。1985至 1995年間，在與塔倫巴拉特桑格組織合作的各種歐洲發展機構的資金幫助下，在阿瓦里河集水區建造了大約 350個土造節制壩 (Johads)。

19.3.2.2 計畫的洪水風險影響

隨著土造節制壩 (Johads)的建成，河流開始季節性流動，在12年內，阿爾瓦里河變成了常年河。以下是根據負責人Singh (Rajendra Singh, pers. comm.) 的說法：

> 我們從未意識到我們正在為河流充電。我們的努力只是捕捉並讓水滲入地下。[...] 以這種方式完成的工作滿足了當地居民自力更生的需要。[...] 在一個小計畫中，每個人都參與決策。每個人都為整個過程做出了貢獻。在這個過程中，每個人都投入到成功的結果中。社區以一種壓倒性的主人翁感獲得就業，並掌握著他們努力帶來的命運。

在塔倫巴拉特桑格組織介入之前，35%的雨水作為季節性逕流立即流失，50%因蒸發或蒸散流失，只有 15%的雨水自然補注地下水。土造節制壩 (Johads)建造後產生了以下洪水風險效益：

- 雨水的季節性逕流現在已經從直接超過 35%和間接增加 50%下降到只有10%。
- 土壤水分增加。
- 大約 22%的逕流 (不包括雨季期間 10%的季節性逕流)現在得到更好的調節和全年分布，對於這些小河流再生至關重要。如果沒有對逕流進行調節，小溪將不會全年流動 (Dr. R. N. Athavale, National Geophysical Research Institute, Hyderabad, pers. comm.)。

以下是水資源效益：

- 額外補注地下水 20%，提高地下水水位。
- 在非雨季月份額外增加17%的降雨量滲入河流，使阿爾瓦里河恢復活力並使其成為常年河。

19.3.2.3 計畫的共同利益

阿爾瓦里河集水區仍然沒有乾旱，全年都有充足的地下水可用。該集水區的植生急劇增加，從 1985年之前沒有作物生長到 1997年以來每年收穫三次。

當阿爾瓦里河的水復源時，河裡的魚也大量恢復。有一次，政府在未經其沿岸80個村莊許可的情況下，想開始出售再生的河流中捕魚的許可證。人民反對，政府不得不取消捕魚合約。這導致了阿瓦里河議會 (Arvari River Sansad)的形成。阿爾瓦里河議會有來自沿河80個村莊的每個村莊的兩名代表。每年召開兩次阿爾瓦里河議會的主要目標是讓社區參與，並保障沿河集水區社區的努力。它透過為再生的河流制定相關的用水政策，強制規則來管理水、土壤和森林等相互關聯的自然資源的綜合管理，以實現村民和其他生命形式的福祉。它還充當鄉村級衝突的中介功能，透過親切討論和相互許可來解決它們。阿爾瓦里河議會遵循甘地精神 (Gandhian ethos)的參與、公平和分散的水資源管理範式 (Jal Swaraj)，決策由基層而非中央機構做出。

阿爾瓦里河議會制定了 11條流域保護和管理規則，涉及種植哪些作物、何時可以從井中取水、可以取多少水、未經議會許可不允許沿集水區砍伐樹木等問題，並小規模生產糧食和穀物，以免過度使用地下水。儘管阿爾瓦里河議會沒有法律地位，其決定也沒有法律約束力，但它具有一種道德力量，使其決定對沿河村莊具有約束力。

19.3.2.4 經驗傳承

當地民眾的參與是此類當地計畫成功的先決條件。當在科學之外應用當地知識時，振興當地的工作變得永續性和能重現的。透過了解社區與水及土壤資源的關係，並徵求社區對支持這些資源的工作的批准，計畫可以實施並真正取得成功。

在這個案例研究中，阿瓦里河議會的成功確保了鄉村社區的每一位成員永遠參與到這個過程中；他們負責任地承擔河流及其水域的所有權責任。這有助於確保河流及其集水區在可預見的未來的安全和維護。

19.3.2.5 進一步資訊

Glendenning, C. 2009. “Evaluating the Impacts of Rainwater Harvesting (RWH) in a Case Study Catchment: The Arvari River, Rajasthan, India.” PhD diss., The University of Sydney.

Rathore, M. S. 2003. *Community Based Management of Groundwater Resources: A Case Study of Arwari River Basin*. Institute of Development Studies, Jaipur.

tarunbharatsangh.in, n.d. *Tarun Bharat Sangh*. https://tarunbharatsangh.in/.

theflowpartnership.org. 2016. *The Flow Partnership*. https://www.theflowpartnership. org/#introduction

案例研究：

19.3.3 為水留下空間，峰區 (Peak District)，英國



Gully blocking 蝕溝控制
來源：Moors for the Future

建造日期：
2011

計畫總現金成本：
基本工程：55.6萬英鎊 (76.5萬美元)
監測與建模：37.7萬英磅 (51.9萬美元)

措施包括：
涉及穩定的土地覆蓋變化、裸泥炭的重新植生和安裝逕流衰減功能 (蝕溝控制鋪塊石)

計畫資助者：
Defra, Environment Agency, and National Trust

主要聯繫者：
The Flow Partnership
Moors for the Future Partnership and University of Manchester

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	否
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.3.3.1 描述 – 計畫做了什麼?

為水留下(創造)空間計畫是由 Defra資助的洪水示範集水區計畫。該計畫位於南奔寧荒野 (South Pennine Moors) 特別保育區 (Special Area of Conservation) 的高地覆蓋沼澤棲息地，目的在收集有關裸露和侵蝕泥炭對此類棲息地影響的證據。

自 1850年代以來，峰區 (Peak District)高地經歷了嚴重的大氣污染，再加上過度放牧、野火和氣候變遷，導致泥炭蘚消失，並產生了大量裸露的泥炭。隨之而來的植生覆蓋不足與嚴重的侵蝕與溝狀沖刷。從洪水風險的角度來看，藻類泥炭地在水文方面是自然的瞬間系統，以相對較短的水文延遲時間快速反應降雨事件。泥炭地的退化狀況被認為增加了快速沖刷，並導致更高的暴雨洪峰。因此，強調了恢復泥炭地植生的潛在 FRM效益和共同利益。

荒野未來合作夥伴 (Moors for the Future Partnership)與曼徹斯特 (Manchester)大學合作，在肯德高原 (Kinder Plateau)開展工作，以幫助了解生態恢復的價值，包括他的 FRM權益。研究的主要目的如下：

- 建立恢復和未恢復泥炭地的水文和逕流特色。
- 評估恢復後暴雨流量特性的變化。
- 確定任何檢測到的暴雨流量特性變化的原因。

19.3.3.2 計畫的洪水風險影響

以下是為水留下(創造)空間計畫的洪水風險影響：

- 暴雨流量減緩或減弱，導致以下統計顯著變化：
  - 減少暴雨洪峰流量 (37%)。
  - 增加暴雨流量延遲時間 (26%)。
  - 增加地下水位的地下水面 (35 mm)。
  - 增加漫地流產量 (18%)。
- 建模顯示，在更大的集水區範圍 (9平方公里)，暴雨洪峰流量減少了 12%。

19.3.3.3 計畫的共同利益

透過為水留下(創造)空間計畫，84公頃嚴重受損的覆蓋沼澤棲息地得到了穩定。經過四個生長季節，裸泥炭面積減少了 88%，主要被優勢草 (主要是曲芒髮草)和頂*蘋*苔蘚所取代。重新植生後，從土地上沖走的顆粒有機碳水平減少了 90%。

19.3.3.4 經驗傳承

在計畫過程中吸取了以下經驗傳承，特別是與河流系統和 NNBF相關的經驗教訓：

- 地表植生和溝渠鋪塊石增加了地表粗糙度。
- 植生恢復降低了漫地流流速；溝渠鋪塊石和相關的溝底重新植生也可能降低河道內流速。
- 透過植生恢復和溝渠鋪塊石恢復裸露泥炭，減緩泥炭地源頭集水區的水流，降低下游洪水風險。
- 在植生恢復和溝渠鋪塊石後長達 3年的數據顯示，流域變得更加濕潤。
- 暴雨期間集水區蓄水量沒有變化(逕流百分比沒有變化)。

19.3.3.5 進一步資訊

Alderson, D. M., M. G. Evans, E. L. Shuttleworth, M. Pilkington, T. Spencer, J. Walker, and T. E. Allott. 2019. “Trajectories of Ecosystem Change in Restored Blanket Peatlands.” *Science of the Total Environment* 665: 785–796.

moorsforthefuture.org.uk. 2021. Making Space for Water. *Moors for the Future Partnership*. https://www.moorsforthefuture.org.uk/our-work/our-projects/ making-space-for-water.

Shuttleworth, E. L., M. G. Evans, M. Pilkington, T. Spencer, J. Walker, D. Milledge, and T. E. Allott. 2019. “Restoration of Blanket Peat Moorland Delays Stormflow from Hillslopes and Reduces Peak Discharge.” *Journal of Hydrology* X 2: 100006.

Walker, J., M. Pilkington, and A. Baker. *Case Study 35: Making Space for Water*. London: Defra and Environment Agency Join Flood and Coastal Erosion Risk Management Research and Development Programme. https://www.therrc.co.uk/sites/default/files/projects/35_moorsforthefuture.pdf.

19.4 都市逕流管理

案例研究：

19.4.1 安華 (Anwa)永續地景設計，奈洛比 (Nairobi)，肯亞



Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) construction
來源：Kounkuey Design Initiative

建造日期：
2018

計畫總現金成本：
滲透坑：1,000美元
下水道：6,000美元

措施包括：
永續都市排水系統 (SUDS)

計畫資助者：
Kounkuey Design Initiative, Anwa Junior Academy, The Jeffrey Cook Charitable Trust

主要聯繫者：
Kounkuey Design Initiative

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	否
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	否
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.4.1.1 描述 – 計畫做了什麼?

基貝拉 (Kibera)是肯亞首都奈洛比 (Nairobi)的一個非正式聚落。該聚落橫跨三個山谷和包括昂河 (Ngong River)在內的許多河流和溪流。奈洛比特有的強降雨對基貝拉的居民構成重大風險。缺乏吸收、高密度聚落和波紋鐵屋頂幾乎完全不透水的表面加劇了洪水風險。排水系統是該聚落的主要廢物清除系統，充滿各種固體廢物，抑制逕流也造成堵塞。

在上游，奈洛比的快速城市化加劇了洪水風險問題。人口增長和不斷增加的密度正在給現有的過載系統增加累積壓力。雖然洪水氾濫是基貝拉的一個特定災害，但它加劇了一

系列更廣泛的脆弱性問題，包括衛生、公共衛生和安全。對聚落的正式供水有限，加劇了大奈洛比的一系列問題，例如水資源短缺和水質。

安華初級學院 (Anwa Junior Academy)是一所小學，位於距離昂河支流 100公尺的高地上。該計畫響應了作為永續發展基本組成部分的基貝拉改進學習設施的明確需求，但它還結合了永續都市排水系統 (Sustainable Urban Drainage Systems, SUDS)，以盡量減少當地洪水對周邊地區的影響。SUDS是基貝拉當地洪水和供水問題的一種解決方案。

19.4.1.2 計畫的洪水風險影響

安華小學擁有一個由三個水箱組成的儲水系統，總共可容納 21,000公升水。下雨時水箱會被裝滿，並提供此灰水用於清潔和沖洗。提供水箱雨水的屋頂面積為 292平方公尺。該系統主要設計用於雨水收集，並為學校提供清潔且廉價的非飲用水用途的供水替代方案。然而，它也可以作為以前沒有的雨水蓄洪系統。主要特點如下：

- 安華小學多餘的雨水被引到中央庭院的一個入滲池。入滲池設計用於保持 100年洪水事件，其中包括 25% 給氣候變遷允許增加的降雨量。它可以儲存水並降低當地的洪水風險。
- 入滲池是由廢舊塑料蘇打箱構成，在地下形成一個儲存區，玉米麻袋包裹起來，發揮透水地工織布的作用。蘇打箱用鋼筋固定，周圍環繞著 40 毫米的碎石，隨後測試蘇打箱的結構穩定性。它們為無法廣泛使用或負擔得起的傳統構造式儲存系統提供了一種低成本的替代方案。
- 完成後，槽式系統往下水道放水量減少。

19.4.1.3 計畫的共同利益

社區參與和投入該計畫是關鍵。學校的污水透過作為學校計畫的一部分建造的下水道，由該地區的社區代表組成的當地下水道委員會擁有和維護。下水道在校址下游 200公尺處與市政幹線相連。下水道代表了非正式住宅區的一種新興方式，在一個都市的幫助下，社區獲得了所有權並維護了一個與市政基礎設施相連的系統。在絕大多數污水透過明渠流入河流的地區，這種方法的價值是複雜的；然而，它還透過有效減少明渠排水中固體廢物的含量來降低學校內部和周圍發生大雨洪水的風險。其目的是最終下水道可以由自來水公司採用和維護。所有設計都是參考國家和國際最佳作法進行的，以實現這一過程。

19.4.1.4 經驗傳承 (教訓)

在計畫過程中吸取了以下經驗傳承，特別是與河流系統和 NNBF相關的經驗教訓：

- 蘇打箱的重複使用為更多設計或現成的解決方案提供了一種廉價且永續的替代方案，並且可以在其他地方複製。
- 在現有基礎設施(在這種情況下為下水道)不足的情況下，自主社區有可能成功地經營

和維護一個系統以實現集體權益。

- 將 SUDS納入學校為學生提供與廢物、洪水和健康相關問題的實用教育的絕佳機會。

19.4.1.5 進一步資訊

kounkuey.org. 2021. Projects. *Kounkuey Design Initiative*. https://www.kounkuey.org/projects/kibera_public_space_project_08.

案例研究：

19.4.2 厄普敦 (Upton) 的發展，北安普敦 (Northampton)，英國



來源：Ballard and Shaffer 2018

建造日期：
2007

計畫總現金成本：
無法提供

措施包括：
永續都市排水系統 (SUDS)

計畫資助者：
English Partnerships (now Homes and Communities Agency) in partnership with Northampton Borough Council

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	否
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	否
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	否
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.4.2.1 描述 – 計畫做了什麼?

厄普敦 (Upton)的主要發展原則是促進永續成長和持久而獨特的環境。由此產生的設計規範和都市框架計畫將可永續性原則嵌入其核心。從排水的角度來看，這包括以下內容：

- 從早期就讓權益相關者參與進來。
- 使用 SUDS管理地表水逕流，包括輸送水的窪地、暫存水的滯洪池和濕地，以及用於滲透的透水路面系統。
- 管理極端流量，並減輕對下游系統的影響。

19.4.2.2 計畫的洪水風險影響

該地點位於奈恩河 (Nene River)洪水平原以北和北安普頓 (Northampton)以西。北安普頓在 1998年遭受了河水氾濫，居民對大型新開發計畫的潛在影響極為敏感。

30年洪水事件的地表水逕流由潮溝輸送，對於更極端的事件，則分流到當地公路，將流量轉移到下游地區的滯洪池和濕地。這些儲存組件將逕流衰減到 100年洪水的全新速率，以減輕開發對下游洪水風險的影響。

19.4.2.3 計畫的共同利益

這些沼澤地形成了一個穿過現地的綠色廊道網絡，提供了舒適性和生物多樣性的好處。所有 SUDS組件都提供了高價值的休閒娛樂和生態空間。本案例研究的最末，圖 19.8中提供了 SUDS的照片。

19.4.2.4 經驗傳承

在計畫過程中吸取了以下經驗傳承，特別是與河流系統和 NNBF相關的經驗教訓：

- 制定總體規劃的伙伴關係作法有助於獲得當地社區對措施的認可。
- 在開發規劃過程開始時就考慮到排水，產生了一個互補的設計，在高速公路上創造了有吸引力的綠色廊道，兩旁是超越流徑，與整體發展相適應。
- 在修改地表地形 (例如，高速公路側面以減少財物淹水的機會) 時，使用排水系統和超越路徑的電腦建模有所幫助。
- 使用土地和開發的輪廓可以幫助定義超越路徑。
- 重要的是要從一開始就考慮這些結構的檢查和維護，因為窪地可能會被堵塞並導致漫地流。

19.4.2.5 進一步資訊

Ballard, B. W., and P. Shaffer. 2018. *Managing Urban Flooding from Heavy Rainfall – Encouraging the Uptake of Designing for Exceedance (C738)*. Case Study 11. London: Construction Industry Research and Information Association. https://www.ciria.org/Resources/Free_publications/c738.aspx#:~:text=Managing%20urban%20flooding%20from%20heavy%20 rainfall%20-%20encouraging,other%20measures%20to%20reduce%20 the%20impact%20of%20flooding.

19.4.2.5 計畫照片

圖19.8 永續都市排水系統 (SUDS) 的照片



來源：Paul Saffer, Construction Industry Research and Information Association (CIRIA)

備註：從左上到右依次列出了平衡池 (balancing pond)、過濾帶、雨水花園、滯洪池和槽溝的範例。

19.5 侵蝕管理

案例研究：

19.5.1 三角洲 (Delta)源頭計畫，美國



來源：U.S. Army Corps of Engineers
A: 1970年代的霍托帕溪 (Hotopha Creek) 顯示嚴重的向源切割與河岸不穩定
B: 2010年的霍托帕溪呈現土砂淤積、河岸穩定及新洪水平原的開發

建造日期：
1985 至現在

計畫總現金成本：
每年100萬美元以上

措施包括：
坡度控制結構；堤岸穩定（石趾、生物工程、加強點、彎道堰）；用於控制蝕溝、土地處理和減少養分措施的立管； 防洪結構；和渠道改善

計畫資助者：
Mississippi River and Tributaries Project

主要聯繫者：
U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg District

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	是
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	**是**
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.5.1.1 描述 – 計畫做了什麼?

三角洲源頭計畫 (Delta Headwaters Project，DHP)，前身為示範侵蝕控制計畫(Demonstration Erosion Control Project)，企圖開發和展示集水區系統方法，以解決與集水區不穩定相關的問題--侵蝕、淤積、洪水和環境退化。 DHP行動由美國聯邦政府於 1984年發起，針對密西西比河谷 (Mississippi Valley)下游亞祖河 (Yazoo River)流域的 16個集水區，涵蓋 6,800平方公里。用於實現計畫目標的主要特徵包括坡度控制結構、防洪結構、堤岸穩定措施、落水管結構和土地處理措施。 DHP 的一個關鍵組成部分是監測以確定各種特徵對系統的影響，特別是在減少土砂輸送方面。監測還支持可用於 DHP 集水區以外計畫的先進技術開發。

從歷史上看，霍托帕溪 (Hotopha Creek) 一直是 DHP中最嚴重的下切河道之一。自1960年代初以來，發生了大約 6公尺的河床降低。本案例研究頂部方框中的照片 A顯示了1978年的霍托帕溪河段，該區段被深深的下切，造成嚴重的河岸不穩定。在 1980年代末和

1990年代初，在這個範圍內建造了一系列坡度控制結構。這些結構將河床抬高了大約 3公尺，顯著提高了溪流的穩定性。本案例研究頂部方框中的照片 B顯示了 2010年的霍托帕溪河段，河床有大量土砂淤積，有植生和穩定的河岸，還有一個新的洪水平原。

約翰遜溪 (Johnson Creek) (Long Creek集水區內) 的照片 A到 D (在圖 19.9中)顯示了以每呎 1 噸放置最小縱向尖頂石趾結構的成功構造。所有觀點都在尋找上游，彎道上游端的大樹為所有四張照片提供了參照點。

照片 A為計畫前期情況，左側沿岸侵蝕嚴重。照片 B顯示的是施工幾個月後的同一地點。照片 C顯示，在大約 1年的時間裡，石趾後面開始形成天然植生。照片 D顯示，在2年內，河岸非常穩定，整個彎道的植生生長繁茂。

圖19.9 約翰遜溪 (Johnson Creek) 河岸穩定段



Source：USACE

19.5.1.2 計畫的洪水風險影響

洪水風險影響是整個 DHP 集水區的一個嚴重問題。透過 DHP 的努力，透過一項考慮創新集水區作法的計畫，這些影響顯著減少。創新作法包括先導專案以及目前在美國各地廣泛應用的各種河岸和河床穩定措施。各種穩定措施減少的土砂輸送藉由保持渠道橫斷面積和輸送為下游地區提供了 FRM權益。

19.5.1.3 計畫的共同利益

基於 DHP集水區的河岸和河床穩定，減少土砂輸送到幹流渠道為水生和陸地生境提供了直接的生態效益。此外，集水區和較小支流的穩定為保護橋梁和道路免受持續的渠道不穩定而提供了共同利益。

19.5.1.4 經驗傳承

透過 DHP，技術取得了許多進步，從而提高了在集水區基礎上規劃、設計、建造和評估土砂管理特徵的能力。以下是作為 DHP的一部分開發的一些重要技術進步的簡要列表：

- 集水區和渠道研究的系統方法。
- 土砂影響分析法 (SIAM)。
- 改善河岸穩定措施。
- 改善坡度控制方法。

19.5.1.5 進一步資訊

Biedenharn, D. S., C. M. Elliott, and C. C. Watson. 1997. *The WES Stream Investigation and Streambank Stabilization Handbook*. Prepared for USEPA Workshops. Vicksburg, MS: Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers.

Darby, S. E., and A. Simon. 1999. *Incised River Channels: Processes, Forms, Engineering, and Management*. Chichester, UK: John Wiley.

NRCS (Natural Resources Conservation Service). 2007. *Stream Restoration Design Handbook*. Part 654 of National Engineering Handbook. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.

案例研究：

19.5.2 克倫河 (Clun River)河岸保護，英國



成長的植生保護堤岸
來源：環保署 (Environment Agency)

建造日期：
2013

計畫總現金成本：
12,000 美元

措施包括：
活木樁、大型木質材料、枯榛木捆、播種地工織布

計畫資助者：
Natural England, Environment Agency, and the owner of the site

主要聯繫者：
Environment Agency

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	否
水質惡化	是
動植物的喪失	是
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.5.2.1 描述 – 計畫做了什麼?

2013年，英國什羅普郡 (Shropshire) 的珀斯洛 (Purslow) 附近的克倫河 (Clun River)，快速侵蝕的河岸測試了各種河岸保護措施，例如活木樁、大型木質材料、枯榛木捆、播種地工織布和河岸再均夷作用，在植生建立期間對新的河岸帶提供短期至中期的保護。

在牛群踐踏河岸的飲水槽附近發現了水污染問題。負責任的農民可以選擇要麼因他的牛造成的污染而面臨執法，要麼採取更靈敏的耕作方式，而他可以獲得公共資金。航拍照片顯示，由於河流蜿蜒 (侵蝕速度最快的河岸每年高達 1公尺)導致土地大量流失，這促使農民決定改變他的做法。

河岸保護計畫的主要目標是在河流兩岸建立約 2公里長的植生良好的河岸帶。然而，人們擔心這條快速蜿蜒的河流可能會威脅到河岸帶的新植物。環保署決定在關鍵點測試一系列河岸保護措施，以便有時間讓河岸地帶充分生長，並利用該地點向農業社區展示自然為本的保護措施。

河岸帶是透過圍起 6 至 20公尺米寬的緩衝區來建立的。這些地區易受傷害或不穩定的樹木被砍伐(種植或修剪)以促進生長和維持河岸穩定並減少疫病菌 (Phytophthora) 的影

響，疫病菌是集水區中普遍存在的一大群破壞植物的水菌。林地信託基金 (Woodland Trust)是英國最大的林地保護慈善機構，它進行了廣泛的種植，以幫助開發更好的灌木和樹木棲息地，並改善河岸穩定性和河流的溫度調節。創建了兩個淺灘來控制牲畜出入，並安裝了飲水區和太陽能水槽。牛的所有餵食站和礦物舔磚都擺放在遠離河流的地方。

沒有實施水力研究來支持在沿河關鍵點測試的護岸技術的設計。這些技術的目的是降低侵蝕率並提供短中期保護，同時在河岸帶開展植生和棲息地結構。使用的技術包括：

- 在侵蝕河岸前放置木質材料 (活灌木和修剪材料、枯木樁和枯榛木捆)。
- 河岸重建，以降低脆弱河岸的高度。
- 使用播種地工織布保護裸露的土壤。

所有措施都是現場製定的，沒有考慮壽命預期。然而，希望河岸保護工程能持續 3到5年，讓緩衝區有時間充分發育成長。當這些河岸帶發展良好時，這些措施預計將持續數十年。本案例研究最後的圖 19.10和 19.11中提供了計畫照片。

19.5.2.2 計畫的洪水風險影響

克倫河是一條單線蜿蜒的河流，位於寬闊的洪水平原上，滿岸流量估計為每秒 24立方公尺，平均流速為每秒 1.2公尺。現地周圍的區域是農業用地，就像大部分集水區一樣。該計畫位於特別保育區上游 10公里處。

該計畫有助於減少洪水平原的損失和河岸侵蝕的土砂輸送到下游地區的負面影響。

19.5.2.3 計畫的共同利益

英國環保署最初對細小土砂和營養物質進入河道造成污染的擔憂有所減輕。有一條靠近河流的公共人行道和一條靠近保護工程的人行天橋，從那裡可以看到自然保護，有助於提高現地的美學質量和計畫的教育目的。從長遠來看，河岸的恢復也將導致河岸棲息地的再生。

19.5.2.4 經驗傳承

實施三年後，大約一半的初始保護工程已經建立並栽植了植物。其他部分顯示出進一步侵蝕的跡象，但被認為對整個計畫並不緊要。由於大部分的活體保護已經建立，河岸帶有時間發展。

第一個季節 (2013年至2014年)出現高流量，放置在侵蝕速度最快的河岸上的成捆木條被翼側包圍。因為這些捆綁包是在保護靠近道路的河岸，所以它們被恢復了。之後，枯的捆綁包確實攔截了淤泥，並被喜馬拉雅香脂 (Himalayan balsam)植入。雖然這個入侵物種計劃由綿羊來控制，農民可以讓綿羊在河邊吃草，但農民也讓他的牛進來，他們撞倒了一些樹木並輕微損壞了現場。

19.5.2.5 進一步資訊

Roca, M., M. Escarameia, O. Gimeno, L. de Vilder, J. Simm, B. Horton, and C. Thorne. 2017. *Green Approaches in River Engineering: Supporting Implementation of Green Infrastructure*. Wallingford, UK: HR Wallingford. https://eprints. hrwallingford.com/1250/.

19.5.2.6 計畫照片

圖 19.10 柱子被打入河岸以放置捆綁包



Source: Environment Agency

圖19.11 實施1年後良好的植生河岸



Source: Environment Agency

案例研究：

19.5.3 曼諾河 (Monnow River)河岸與坡趾保護，威爾斯 (Wales)，英國



工程完成後的當下河岸
來源：Natural Resources Wales

建造日期：
2013

計畫總現金成本：
18.000 美元

措施包括：
河岸整修、石塊捲、播種椰殼墊和木樁

計畫資助者：
Natural Resources Wales

主要聯繫者：
Natural Resources Wales

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	否
水質惡化	是
動植物的喪失	**否**
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.5.3.1 描述 – 計畫做了什麼?

在作為改善漁業的河流修復計畫的一部分拆除堰堤後，沿曼諾河 (Monnow River)外側河岸 250 公尺的上游發生了侵蝕。威爾斯自然資源部 (Natural Resources Wales) 是負責確保英國威爾斯 (Wales) 自然資源永續性的政府機構，它決定放棄硬體工程，轉而對被侵蝕的河岸使用綠色保護替代。

河岸被重新調整為大約 30度角，並在河岸的頂部和底部挖掘了一個 V 型渠道，以便將播種的椰殼墊子拉伸、木樁釘住並以垂直條狀鋪設在河岸上。堤防頂部的 V 型渠道填充了多餘的物質以固定椰殼墊的頂部，並沿該區域種植柳樹以幫助再生。將石塊捲放在坡腳趾上以壓下墊子，並透過驅動一系列 750毫米長的栗木樁進一步固定。相鄰河岸邊剪下來的柳枝被綁在栗木樁之間，以攔截土砂並促進坡腳的生長。河岸頂部的柵欄也保護該地點免受動物毀損。本研究案例最後部分，提供了圖 19.12至 19.14之計畫照片。

19.5.3.2 計畫的洪水風險影響

曼諾河是一條蜿蜒曲折的河流，集水區一直延伸到受保護的河岸，面積達 354平方公里。估計的滿岸流量為每秒 108立方米。該水體的歐盟水框架指令 (Water Framework Directive, WFD) 狀態為良好。計畫兩側是農田。

該計畫於 2013年完成。完成後不久的高流量無法正確豎立樁。在坡腳趾處檢測到小袋侵蝕，但椰殼墊沒有損壞。在這個滿岸事件期中，流量高達每秒 168立方米，沿河岸外側的速度估計在每秒 2.1到 2.7公尺之間。

19.5.3.3 計畫的共同利益

該計畫阻止了河岸的退化，提高了現地的美學質量，減少了輸送到河流的泥砂量，這有助於減少污染和下游可能出現的淤積問題。從長遠來看，河岸的恢復也將導致河岸棲息地的再生。

19.5.3.4 經驗傳承

拆除堰堤可能會對堰堤所在位置上游河岸的穩定性產生重大影響。在現場建造的自然為本的計畫提供了所需的保護水平。這是一個一次性的計畫，沒有承擔長期維修的運營責任，因此沒有為檢查和維護提供補助。如果在高流量期間發生損壞，則可能需要進行維護操作。

19.5.3.5 進一步資訊

Roca, M., M. Escarameia, O. Gimeno, L. de Vilder, J. Simm, B. Horton, and C. Thorne. 2017. *Green Approaches in River Engineering: Supporting Implementation of Green Infrastructure*. Wallingford, UK: HR Wallingford. https://eprints. hrwallingford.com/1250/.

19.5.2.6 計畫照片

圖19.12. 堰堤拆除後的河岸侵蝕 (2013)



Source: Natural Resources Wales

圖19.13. 高流量時保護工程 (2014)



Source: Natural Resources Wales

圖19.14. 保護工程 (2018)



Source: Natural Resources Wales

案例研究：

19.5.4 霍河 (Hå River)，挪威



來源：Karin Hansen, Hå Municipality

建造日期：
2019 至 2021

計畫總現金成本：
估計1,000萬挪威克朗 (NOK) (120萬美元)

措施包括：
河岸延長、侵蝕控制、棲息地改善；清理礫石並填加岩石以改變流量；鬆散的石層，更好的棲息地

計畫資助者：
Hå Municipality, Time Municipality, Rogaland County, Department of Environment, Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Department of Agriculture (program for farmers)

主要聯繫者：
Karin Hansen, Hå Municipality

解決挑戰：

挑戰	當下
渠道不穩定	是
土地利用改變	否
水質惡化	是
動植物的喪失	否
鹽水（潮汐）入侵	否
去除植生	否
洪水平原和濕地的喪失	是
水力發電廠、水壩和其他水工結構物	否

19.5.4.1 描述 – 計畫做了什麼?

多年來，霍河 (Hå River)沿岸的土地利用不斷加劇，附近的城鎮也有了長足的發展。這導致洪水氾濫以及養分和顆粒物排放量增加。也有一些渠道化，並且石頭已被移除。該計畫的目的是開放河岸，以減少侵蝕、增加蓄積並改善鮭魚和淡水珍珠的棲息地。透過放置鬆散的石頭層，並在河岸底部添加石塊來實施侵蝕控制。將土壤和蘆葦金絲雀草放在河岸上，以促進植生快速生長。透過清潔產卵礫石使其沒有土砂，並根據需要添加新礫石來改善棲息地。此外，在河流中放置了一些石塊以增加水流變化。該計劃的另一部分是減少耕地養分的排放，這是透過立法管理糞便的傳播和為農民可以採取的各種具體措施提供補貼來實現的。

19.5.4.2 計畫的洪水風險影響

在較小的洪水時，更多的水將蓄留在河流中，從而降低洪水風險。

19.5.4.3 計畫的共同利益

該計畫的目的是改善當地種群珍珠貽貝、鮭魚和其他物種的棲息地。正在監測對棲息地的改善，作為該計畫的一部分。

19.5.4.4 經驗傳承

這項工作是與土地所有者合作完成的，與他們進行良好的對話很重要。土地所有者為該計畫提供了大量的石塊。他們從岸邊獲得土壤，並為拖拉機和拖車的工作做出了貢獻。這使計畫成本保持在較低水準。此外，必須在土地所有者方便時進行工作。

地主有在河岸只栽種草的傳統。蘆葦金絲雀草具有良好的穩定土壤的能力，前提是最大坡度為 45度。當局希望有更多的樹木和灌木，但土地所有者似乎對此不感興趣。這個想法是在小範圍內種植更多的樹木和灌木，並向土地所有者展示它會起作用並帶來更多的多樣化。

19.5.4.5 進一步資訊

本研究的計畫方案由挪威研究中心 (Norwegian Research Centre, NORCE)制定，該組織致力於尋找有利於社區，並增加全國和全球範圍內永續價值創造的解決方案。

尾註

i.「《防洪和沿海緊急應變法》(Flood Control and Coastal Emergency Act)設立了一項應急基金，用於應對自然災害的應急準備；用於抗洪和救援行動；用於修復防洪和防颶風構造物。」
來源：U.S. Army Corps of Engineers, n.d. Flood Control and Coastal Emergency Act. USACE Disaster Operations Public Law 84-99. Vicksburg, MS: U.S. Army Corps of Engineers. https://www.nab.usace.army.mil/Portals/63/docs/EMO/PL84-99factsheet.pdf.

ii.「還地於河」是 2006至 2015年實施的政府設計方案，「旨在解決荷蘭河流周邊地區的防洪、地景美化和環境條件改善問題」。
來源：wikipedia.org. 2020. “Room for the River (Netherlands).” Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Room_for_the_River_(Netherlands).

iii.「歐盟自然保護區網路 (Natura 2000)是歐洲稀有和受威脅物種的核心繁殖和棲息地網路，以及一些本身受到保護的稀有自然棲息地類型。」
來源：ec.europa.eu, n.d. “Natura 2000.” *European Commission*. https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm#:~:text=Natura%202000%20is%20a%20network,on%20land%20and%20at%20sea.

第20章 前進的道路

"Everything that depends on the action of nature is by nature as good as it can be."

— Aristotle

「一切憑借自然作為的事物，在本質上都是最好的」

- 亞里士多德

自然為本的解決方案在 21世紀的基礎設施系統中扮演著重要角色，自然和自然為本的特徵 (NNBF) 將成為未來洪水風險管理 (FRM) 策略和系統的重要部分。這份關於洪水風險管理的自然和自然為本特徵的國際指南的目標是通過匯集來自世界各地的知識和經驗，為 NNBF的未來作法提供信息。為應對當前和未來的 FRM 挑戰而有效和及時地實施 NNBF將取決於三個總體活動領域的進展 -- 開發和交付、溝通和合作以及提升和教育，分別在第 20.1、20.2 和 20.3節中討論。

20.1 開發與交付

這些指南旨在支持開發和交付參入NNBF的 FRM計畫。負責基礎設施計畫的組織和團隊將熟悉「更快、更便宜、更好」地交付計畫的呼籲。NNBF有能力、可以做，並且將有助於此口頭禪的所有三個部分。儘管在預算範圍內按時交付基礎設施計畫的努力仍然很重要，但組織也必須小心交付能夠長期提供可持續和有彈性的解決方案的「正確」計畫。

FRM的系統方法為流程、功能、人際關係和工程干預提供了全方位的看法和願景，這些對於實現成功的計畫成果至關重要。最終，干預措施，無論是結構性的還是 NNBF，都將作為包括物理、環境、社會和政治因素在內的系統的一部分發揮作用。理解和處理這些元素之間的無數聯繫對於系統內成就長期成功、永續性和價值至關重要。當計畫發起人、開發人員、規劃人員和工程師明確並有意納入 NNBF和支持流程時， FRM系統將得到強化，基礎設施投資的長期價值將得到擴大。

在 FRM系統中測量和管理工程干預 -- 無論是結構性、非結構性還是 NNBF措施 -- 是一門不斷發展的學科。老化的、已有數十年曆史的 FRM計畫和氣候變遷的結合正在促使人們對績效進行新的思考和做法，特別是在提高整體彈性方面。計畫績效可以從構成系統的物理結構的完整性和功能方面狹隘地看待。績效也可以廣義地視為包括計畫的長期利益和價值，例如避免經濟損失、產生共同利益以及提供更大的系統彈性。無論從狹義還是廣義上講，評估計畫績效的多學科活動都需要取得進一步進展，並且應該受到鼓勵。

過去 100年來出現的現代 FRM工程提供了豐富的數據和經驗，可以為未來的工作提供信息。隨著今天基礎設施投資的激增，我們應該慎重地從 FRM和 NNBF計畫中學習，以便我們能夠推進政策和技術作法。特別重要的是有機會擴大我們對計畫的所有成本和收益的考慮，包括它們的結構性、非結構性和 NNBF組成部分。

需要繼續改進 FRM的數值模式和操練，特別是 NNBF。當今支持 FRM的大部分建

模功能只在支持結構性措施的分析。開發包括 NNBF措施在內的真正綜合的 FRM方法將需要在自然特徵、過程和系統方面精進模式和建模操練。隨著現代環境運動進入第七個十年，有必要繼續推進環境的規章和管理，以保全和保護自然系統。

還需要建立對自然價值和資本在越來越多的認可基礎上，以便社區能夠充分利用自然系統和功能來應對 FRM和氣候變遷帶來的動態挑戰。高效及時的監管決策將支持 NNBF計畫的交付，並為生態系統和信賴自然系統的人們帶來廣泛的利益。

20.2 溝通與合作

在一個充滿相互競爭的利益、觀點和發言權的世界中，溝通與合作對於個人和組織，包括計畫團隊而言是越來越重要的技能。過去許多基礎設施計畫的實施幾乎沒有與「接受」計畫的社區進行實質性接觸。現在正在發生更多的參與是衡量進展的標準；然而，在基礎設施計畫的開發過程中，可以做更多的事來改善溝通和合作。整合技術學科、組織和公眾之間差距的參與、溝通和合作越來越被認為是成功的計畫開發和實施的基調。在開發和實施 FRM計畫時，對溝通和參與進行精心計劃和有明確目標的投資仍然至關重要。

有效的內部和外部溝通對於成功實施 FRM計畫和 NNBF是必要的。在一個組織或機構內，有效的溝通對於協調與 NNBF相關的不同責任和觀點的內部利益相關者是必要的。這種一致性甚至可以被認為是與其他組織就 NNBF進行有效外部溝通的先決條件。

因為它們可以產生不同的利益，NNBF提供了一個重要的機會，讓人們參與並藉由基礎設施投資創造價值的看法。關於包括 NNBF在內的多用途 FRM計畫的經濟、環境和社會共同利益多樣性的實質性對話將來自物理、生物和社會科學領域的專業知識。FRM和NNBF計畫的一些利益很容易貨幣化，但無法將利益貨幣化並不一定會降低利益的「真實性」或重要性。許多可能難以甚至不適合貨幣化的環境和社會共同利益，對於建立計畫的整體價值主張至關重要。受威脅或瀕危物種的棲息地，以及一般的生物多樣性，就是這種重要共同利益的例子。使用基礎設施來支持社區的社會公平是納入 21世紀投資規劃的一個越來越重要的利益。

許多具有挑戰性的主題使有關 FRM和氣候變遷的溝通變得複雜。它們包括關於構成FRM計畫的物理和自然系統動態的不確定性以及氣候變遷的影響和不確定性。這方面的進展將直接支持作為 FRM和 NNBF計畫關鍵組成部分的適應性管理的履行。對於 FRM替代方案 -- 無論是結構性措施還是 NNBF，人們傾向於以「非此即彼」的方式思考和溝通。但大多數未來的 FRM系統將包括結構性和 NNBF措施。從業人員必須謹慎地以包容而非排他的方式思考和溝通 FRM。

公共和私營部門之間的合作對於提供包括 NNBF在內的 FRM解決方案至關重要。這種合作包括贊助 FRM計畫的公共機構和支持其交付的私營公司之間創造性地溝通想法。它還包括聯合資助 NNBF計畫和發展與 NNBF可以提供的各種利益相關的市場 (例如碳封存)的機會。

20.3 提升與教育

NNBF 通常通過抬高部分地景來影響水的運動以提供 FRM利益。這些指南旨在藉由提供與規劃、設計、工程和運營 FRM計畫相關的信息來提高和促進 FRM作法。教育和培訓對於影響 FRM作法的長期軌跡至關重要。

教育是共享資訊。NNBF教育有三個主要目標，首先是擴大公眾對 NNB選項的認識，並分享有關 FRM問題的永續、有彈性的解決方案的資訊。第二是與當今的工程師、環境科學家、律師和其他支持基礎設施發展的專業人士分享新興技術(ET)的資訊和方法。第三是開發新的教育方案和課程，以支持社區和未來的專業人士努力開發基礎設施解決方案。當整個社會理解自然系統能夠並且確實有助於滿足人類需求(如 FRM)時，公共和私人機構將能夠更好地支持自然系統和環境條件，而這些自然系統和環境條件是支撐 NNBF的基礎。

開發和運營 FRM計畫與系統的組織和機構必須有意識地了解其計畫與系統的狀態和未來狀況。及時積極地管理和調整計畫需要持續的財務承諾，以監測和分析以確定當前狀況和未來的計畫需求。

進步是現代性的口號。進步是通過集體承諾利用創新應對未來挑戰而實現的。各級政策應鼓勵 -- 而不是有意或無意地妨礙 -- 適當管理的創新。為 FRM做出貢獻的每一個機構都應根據創新過程以及是否有證據表明其活動中有足夠的創新來考慮其自己的政策、程序和作法。這種自我評估是組織承諾於持續學習和管理其技術能力的一部分。

我們生活在一個日新月異變化和技術進步的時代。儘管這些條件給社會、組織和個人帶來了許多挑戰，但它們也提供了從我們周圍流動的大量數據、資訊和經驗中創造價值的機會。當我們每個人都花時間記錄我們自己的 NNBF計畫中發生的事情，並在國際實踐社區中分享這些經驗時，所產生的利益將對人類和自然都有好處。

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

本文件之翻譯及轉載，均符合美國著作權法相關規定。