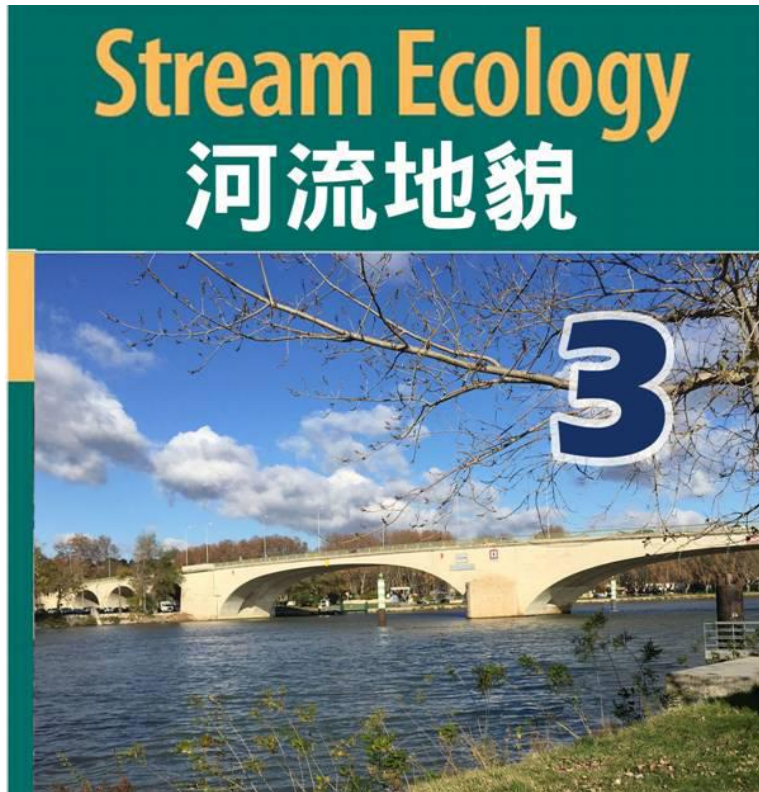




河流生態學 三 林雨莊學習筆記

- 第 1 章 河流生態系統概述
- 第 2 章 河水流動
- 第 3 章 河流地貌
- 第 4 章 河流水的化學
- 第 5 章 非生物環境
- 第 6 章 初級生產者
- 第 7 章 碎屑能源
- 第 8 章 營養關係
- 第 9 章 物種的相互作用
- 第 10 章 溪流生態社區
- 第 11 章 營養動能
- 第 12 章 河流生態的代謝
- 第 13 章 河流的人類影響
- 第 14 章 河流生態學的基礎

Stream Ecology J. David Allan & Maria M.Castillo

第三章 河流地貌

在18世紀末之前，流水的侵蝕能力尚未得到重視。人們認為溪流在山谷中流動，因為山谷已經在那裡，而不是因為溪流切割了山谷。到了 1700 年代後期，地質學家推斷，排水網的樹枝狀模式提供了侵蝕的證據，源頭的山谷比下游的山谷小的觀察也是如此。現代地貌學研究側重於河道、洪泛區、水系網絡和集水區之間的聯繫，並採用地層分析、水槽中水槽輸運的實驗研究、物理過程建模、地貌比較和複雜的統計方法等多種方法，以更好地瞭解河流系統的物理動力學（Kondolf 和 Pie 2003）。河流地貌學領域是一般地貌的研究，特別是河道和排水網絡的研究，強調河道和景觀之間的動態相互作用。本章總結了該領域的一些主要思想。

河流地貌對河流生態學家很重要，原因有幾個。它有助於理解第1章中介紹的種類繁多的河流和溪流，揭示了河道是如何形成的，並提出了對溪流類型進行分類的有用方法。河流特徵隨空間和時間的變化對於生物生活的多種棲地是重新負責的。此外，量化河流特徵之間的關係和對潛在過程的分析有助於更深入地瞭解河流和河流棲地如何回應自然和人為的環境精神影響而變化。這些知識反過來可以用來避免不明智的管理選擇，併為在人為景觀中設計更健康的河流提供資訊。

河流地貌學的一個中心主題是沖積河流通過水文、地質、地形和植被之間的複雜相互作用來確定其河道的位置和形狀（Leopold et al. 1964, Richards 1982）。河道和整個排水網絡的發展，以及河道形狀的各種規則模式的存在，表明河流在侵蝕和沉積之間處於動態平衡狀態，並受共同的水力過程支配。然而，由於通道幾何形狀是三維的，具有長輪廓、橫截面和平面視圖（從空中可以看到的），並且由於它們在幾年到幾個世紀的時間尺度上相互調整，因此很難確定因果關係。Leopold和Maddock（1953）認為，流量、沉積物負荷和河流的海拔範圍是河流無法控制的外在變數，因此必須進行調整。對於特定範圍，坡度對河道特徵施加了顯著的控制，因為它比其他變數（包括河道寬度和深度、速度、沉積物負荷的粒度、床粗糙度以及蜿蜒度和分汊辮狀河道程度）調整得更慢。從概念上講，這些可變變數的相互調整產生了一個梯度的溪流，其形狀在其運輸能力和可用的沉積物負荷之間表現出平衡。實際上，氣候變化和其他因素可能會阻止河段單元在很長一段時間內達到或保持這種理想狀態。這個概念的有用性在於：河流傾向於通過向某種平衡狀態的方向移動來響應擾動。

我們首先描述了河流的形狀和形式-沿著它們的長度，從上面看，以及穿過河道和山谷。河流在關鍵的水文和幾何變數之間表現出許多非常可預測的關係，我們將探索解釋這些河道演變的潛在過程。指導本章的中心思想是河流尋求動態平衡狀態，這是與主河道和洪水易發區相關的流量和沉積物的函數

(Leopold et al. 1964)。河道傾向於發展出穩定的維度，模式和剖面，這些特徵在面對高流量，沉積物轉運和河道移動時保持不變，因此即使特定的渠道特徵可能會發生變化，這種關係也是可預測的。我們首先描述通道形狀的模式，然後考慮負責這些模式的過程。

3.1 排水網絡

地表上的水向下移動，形成小通道或凹槽，隨著時間的推移，這些通道或湍瀨區會成為持久的通道。這些通道與其他河道相連，形成一個樹狀網絡，排水區域面積不斷增加。實際上，每增加一條支流，集水區面積就會逐步增加，而不是平穩增加，但作為近似值，通道長度隨著集水區面積的0.6次方的增加而增加。

河流網絡的長度通常大於寬度，並根據地形和地表的侵蝕性形成特定的形狀。一條流經狹窄山谷的溪流通常會導致一個中央河道，其中有許多短支流幾乎以直角進入，而更平緩的地形可以導致更圓的流域。各種描述性術語（樹枝狀、放射狀、矩形狀、格子狀）用於描述這些類型。

排水密度（河道長度之和除以流域面積，以 km/km^2 為單位）是衡量網絡精細程度的指標，在較乾燥的位置往往較低。地勢比是高程差除以沿主軸的河流長度，因此與坡度和河流所走的路徑有關。

在排水網的上游源頭，靠近排水分水嶺，一個非常大的非常小的河道只在暴風雨期間攜帶水，但在某些時候上游區域足以產生全年的流量。這是常年流動溪水開始的點，並定義了一級序溪流的開始。在一級溪流上方是一條僅在潮濕時期流動的短暫溪流（在地形圖上顯示為藍色虛線）。間歇溪流和一級序長年有水的溪流之間的定義是模糊的，並且根據降水量多寡向上坡處或下坡處遷移。

河流級序是一個有用的度量，因為它描述了河流在支流層次結構中的位置（表1.1）。沒有支流的上游水道稱為一級序溪流或一階流。兩個一級序溪流的合併匯流形成二級序溪流，並定義為只有一級序溪流作為支流。三級序溪流由兩個二級序溪流合併形成，依此類推（圖 1.2）。

這個系統由Horton（1945）發起，後來由Strahler（1952）改進，可能是溪流和河流使用最廣泛的分類系統，但它有局限性（Hughes and Omernik 1983，Richards 1982）。一級序溪流的識別具有挑戰性，如果使用地圖完成，將隨地圖比例而變化（建議使用1：24,000或1：25,000），從而影響所有高級序分離。由於區域間排水密度的差異，河流大小和河流級序可能沒有很好的相關性。此外，這種方法忽略了 n 級序河流進入 $n+1$ 級序河流。河道分類將一級序河流添加到排水網絡的高級序分支中，但也有其他缺點。

儘管如此，河流級序因其簡單性和實用性而一直是一個持久的概念。此外，

河次分類作為其他流域可變數的關聯非常有用。平均長度、總數和較小程度的平均斜率在對數值與流順序繪製時都形成直線。通常有大約三到四倍的 n 級序河流是 n 級序（分岔比）的三到四倍，每個河流的長度大約不到下一個高級序溪流的一半，並且流出的面積略高於五分之一。這些比率可以通過檢查表 1.1 來驗證，表 1.1 匯總了美國 1-10 級河流的數量，長度和排水面積。此表令人信服地顯示，絕大多數流都是低級序（低階）的。通常，一至三級序溪流占集水區多年生河道總長度的 70-80%，強調了源頭的陸水連接是如何緊密耦合的。河流連續體概念（圖 1.7）使用河流級序作為其物理範本，許多河流生態學家發現河流級序是大小和縱向位置的方便指標。

3.2 河道 Channel

溪流橫截面的形狀是排放物和沉積物之間的相互作用、河床和河岸的可侵蝕性、植物的穩定影響以及任何可能影響當地河道條件的大型障礙物（巨石、倒伏木(LW)）的函數。橫斷面測量繪製通道的形狀並測量多個點的深度，有效地創建一系列已知寬度和深度的單元格，其乘積相加以確定面積（圖 2.7）。然後，平均深度可以估計為面積除以寬度。通道內最大深度的位置稱為主深槽（thalweg）。

即使在觸手可及的範圍內，通道形狀和橫截面積也會因河段而異，因為有些位置又寬又淺，而另一些位置則又窄又深。每個河段樣帶的水排放必須接近相同，除非支流輸入和地下水交換，但面積和形狀不需要。通道橫截面在直線拉伸中更規則，通常是梯形的，但在曲線或彎曲處是不對稱的，其中最大的深度和速度通常在外岸（圖 3.1）。沉積物沿內岸形成堆積灘(point bar)，這是由於速度降低和彎道內的螺旋流，其中近床水流從外部流向彎道內側。垂釣者利用這些淺而緩坡的河床區域向遠岸的更深的水投擲。在陡峭狹窄的山谷中，河道受到地形的限制，而平坦寬闊的山谷則允許更多的橫向移動和蜿蜒（圖 3.2）。

如果存在發達的洪泛區，則可以通過直接觀察來確定河岸滿岸階段或發生河岸洪水的水深。通常這個邊界不太明顯，因此以各種方式估計。地形的變化、砂礫灘的海拔、岸邊木本植被的水準以及明顯的沖刷跡象是建立河岸通道的有用線索。濕潤河道的尺寸對水生生物群具有明顯的重要性，並且隨流量的波動而頻繁變化，而河岸尺寸在解釋河流過程方面尤為重要。

3.2.1 水力幾何 Hydraulic Geometry

河流的尺寸通常會隨著下游而增加，因為支流和地下水增加了流量。由於放流 $Q = wdv$ （見公式 2.3），放流的任何增加都必須導致寬度，深度，速度或這些組合的增加。圖 3.3 說明瞭粉河及其在懷俄明州和蒙塔納的支流的這些關係。可以從單個採樣點的河流流量隨時間變化的波動中構建類似的圖表。由 Leopold

和Maddock (1953) 定義的水力幾何描述了水力特性之間的關係，主要是寬度、深度、流速和排放。冪方程為經驗數據提供了很好的擬合。

$$w = aQ^b \quad (3.1)$$

$$d = cQ^f \quad (3.2)$$

$$v = kQ^m \quad (3.3)$$

$$Q = w \times d \times v,$$

$$a \times c \times k = 1 \text{ and } b + f + m = 1$$

早期的工作表明，一組固定的係數與寬度、深度和速度的變化有關，以沿河流的長度排放，而另一組係數則保持“在站點”。事實證明這是一種過度概括，因為係數隨形成通道周長的材料的性質而變化，正如Osterkamp等人（1983）使用來自美國西部河流的數據所顯示的那樣。請記住，等式3.1-3.3描述了總體趨勢，並且這些回歸存在相當大的差異（由於對數刻度，在圖中不太明顯），可以進行一些廣泛的概括。

在一個站點，Q的增加是降雨事件的結果，主要通過d和v的增加來適應，直到河流溢出河岸（如果有洪泛區），然後寬度大大增加。當一個人在給定的流動階段向下游前進時，Q的增加是支流和地下水輸入的結果。寬度、深度和速度都隨年平均排放量線性增加。寬度隨放流的增加大於深度的增加，而速度隨放流的增加最小，並且幾乎可以保持恆定（Leopold 1962）。下游速度的適度增加似乎令人驚訝，因為我們可能會預期由於梯度的普遍下降，下游的速度會降低。然而，由於當人們向下游移動時，通道深度通常更大，基質粒徑更細，因此阻力縱向減小，這抵消了斜率降低的影響。在大多數水流中，最高速度位於河流系統的下端和平坦端。只有在涉及洪水的某些情況下，才意味著速度不會在下游方向上增加。

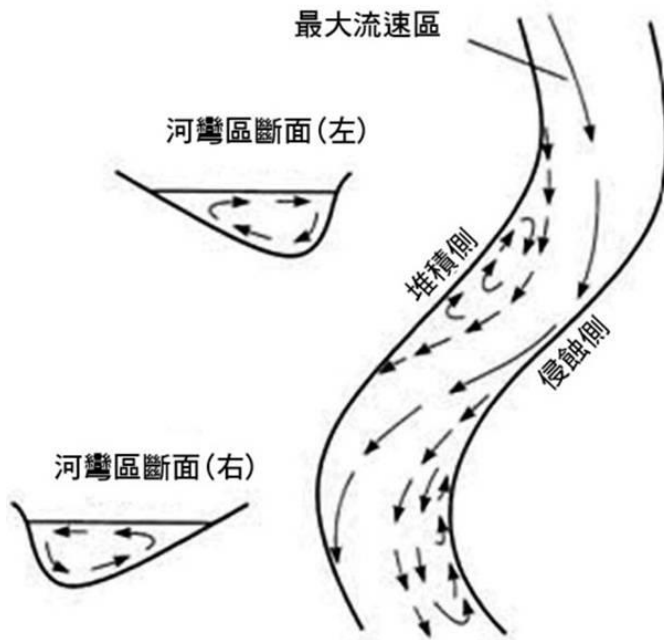


圖3.1 蜿蜒的延伸，顯示了產生沉積和侵蝕區域的最大速度線和流動分離。橫截面顯示了水在彎道處的橫向移動。(Reproduced from Morisawa 1968.)

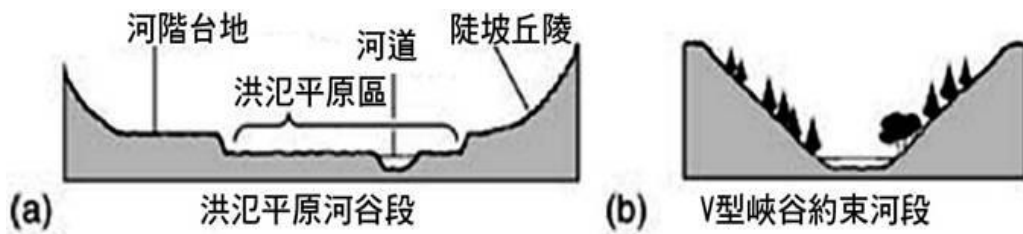


圖3.2 (a) 山谷的截圖，顯示水流河道、現代佔領的洪泛區和代表先前洪泛區的台地。(Reproduced Dunne and Leopold 1978) (b) 河道受限，開發洪泛區的機會很小。(Reproduced from Ward et al. 2002)

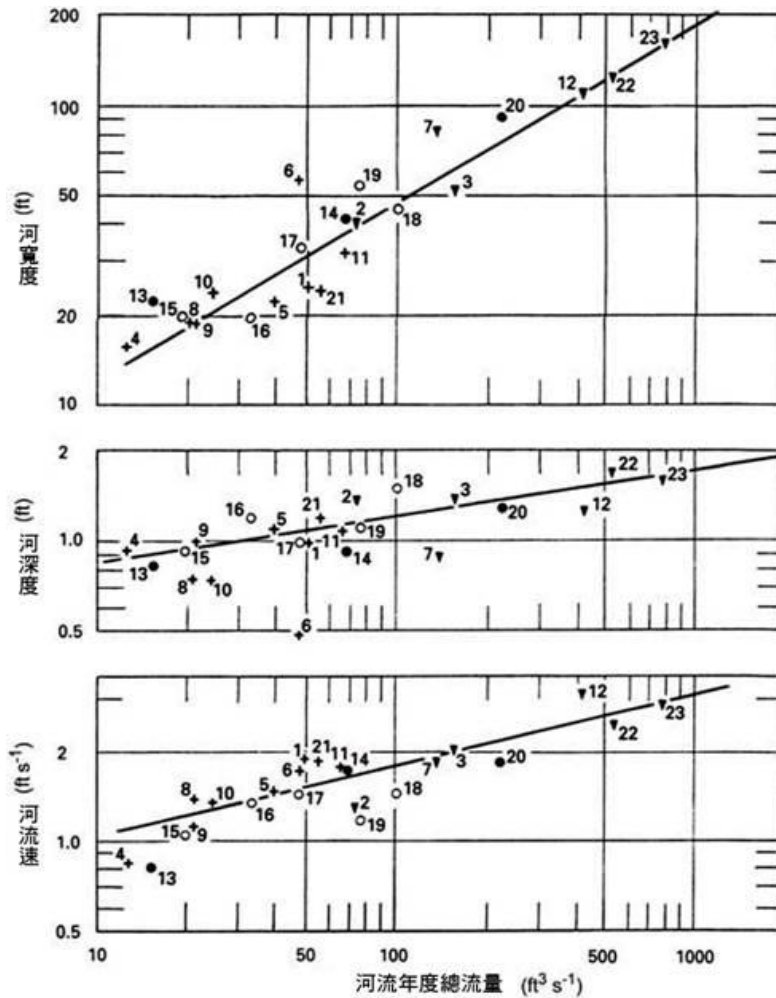


圖3.3 寬度、深度和速度與年平均排放量的關係，因為流量在下游變化。數字是指主河道和支流懷俄明州和蒙大拿州的地點。（Reproduced from Leopold 1994）

3.2.2 蜿蜒度 Sinuosity

流水將遵循蜿蜒的路線，無論是冰川表面的融水，不受河岸約束的墨西哥灣流，還是河道。從上面看，大多數河流都是蜿蜒或蜿蜒的。然而，蜿蜒的變化程度相當大，從具有蜿蜒丘陵的相對筆直的channels到具有明顯和規則曲率的通道（Leopold 1994）。覆蓋面的曲折性很容易量化為：

$$\text{Sinuosity} = \frac{\text{Channel distance}}{\text{Straightline downvalley distance}} \quad (3.4)$$

蜿蜒度 = AB兩點間的河道實際長度/AB兩點間的直線距離

許多變數會影響蜿蜒度，因此值的範圍從簡單、定義明確的通道中的接近 1

到高度蜿蜒河道的 4。蜿蜒度通常被定義為任意極端的曲折水準，通常為 >1.5 （Gordon et al.2004）。

如上所述，流經蜿蜒延伸的流動遵循預先確定的模式，並導致規則的侵蝕和沉積區域（圖3.1）。彎道外側的水超高會導致水流向對岸。此外，表面流動的分離會導致反渦現象。結果是侵蝕和沉積區域，並解釋了為什麼會形成堆積灘（point bar）的特徵在沉積區域中向下游方向發展。

河道彎曲的一致性是这样的，如果一個人將一條小溪和一條大河縮放到同一頁面上，它們的相似性是驚人的。小通道在小曲線中蜿蜒，大通道在大曲線中蜿蜒（Leopold 1994）。無論是測量小型實驗水槽中的溪流，還是觀察實際的大型河流，蜿蜒曲折的波長平均約為河道寬度的10-14倍（圖3.4）。彎彎的曲率半徑平均為通道寬度的 2-3 倍。通道蜿蜒模型具有合理的預測能力，但仍在研究中（Darby and van de Wiel 2003），重要的是要認識到大多數蜿蜒是不對稱的（Carson和LaPointe 1983）。

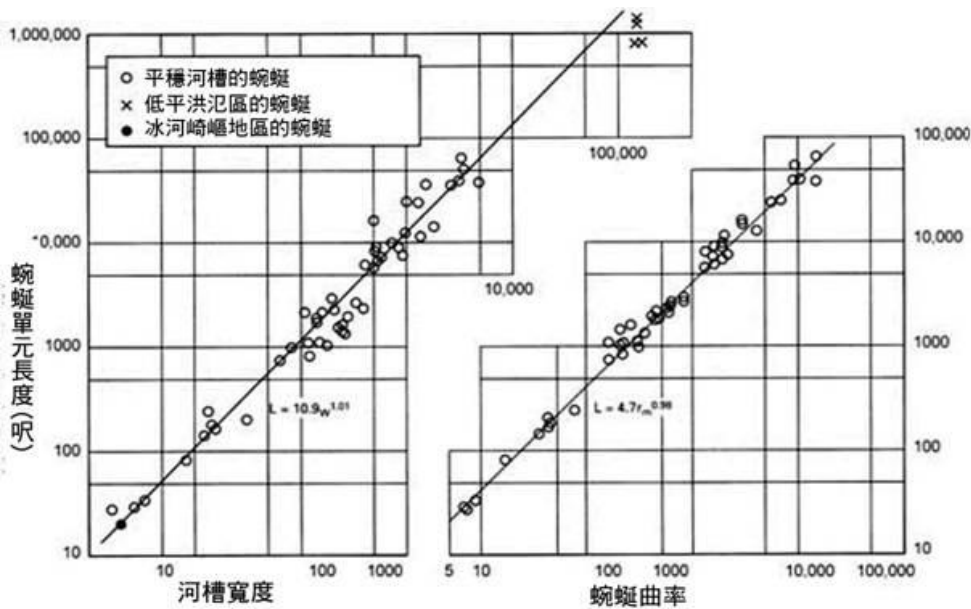


圖3.4 彎曲長度與河道寬度之間的關係，以及彎曲長度與平均曲率半徑之間的關係(摘自Leopold 1994)

3.2.3 潭瀨特徵 Pool-Riffle

潭-瀨河段通常存在於低梯度、無限制的礫石床溪流中。在溪流範圍的規模上，也許有幾百米長，人們可以觀察到速度較高的淺層區域和混合礫石-鵝卵石基質（稱為湍瀨區）與速度較慢、較細基質的較深區域（稱為瀨區）之間或多或少有規律的交替（圖3.5）。瀨區是河道中砂石、樹枝堆積地形小丘，水流變急，有浪花，多溶氧。深潭是河道中的凹谷深水區，水流平緩，魚類停棲、睡

覺不費力氣又安全的地方。在自然形成的潭-瀨河道中，礫石堆是因水流搬運能力交替沉積而形成的，縱向間隔距離約為河道寬度的5-7倍（Leopold et al.1964）。潭區-瀨區序列是顆粒分選的結果，需要一系列沉積物大小的水流搬運篩選才能形成。

在低流量情況下，瀨區具有較陡的坡度，相對於潭區往往水深較淺，並且具有較高的流速。在高流量情況下，瀨區和潭區之間的水面坡度變得更加均勻，儘管潭區仍然水深更深，並且潭區中的速度增加比瀨區中增加更多。這導致河床上力分佈的變化。在洪水階段，當流量高到足以改動河床時，瀨區(淺灘)是輸送能力最低的位置，因此也是礫石沉積的位置。

潭區大多形成在彎道的外側，大型障礙物-大岩塊、倒伏樹幹(LW)或其他障礙物迫使深潭區的發展。在這些情況下，潭-瀨(riffle-pool)序列的規律交替可能並不明顯。在台灣大甲溪、卑南溪等的高坡度礫石床溪流中，礫石床溪流中，水池的存在強烈依賴於大型障礙物(巨石或倒伏木)，木材負荷高的溪流通常具有更近的水池間距（圖3.6）。礫石灘障礙對一級到四級溪流的影响最大，人們發現它可以增加寬度、形成水瀑、穩定礫石砂丘以並形成深潭區（Bilby 和 Bisson 1998）。在木材被移除之後，砂礫質河道的物理多樣性通常會降低，生物多樣性也會降低。

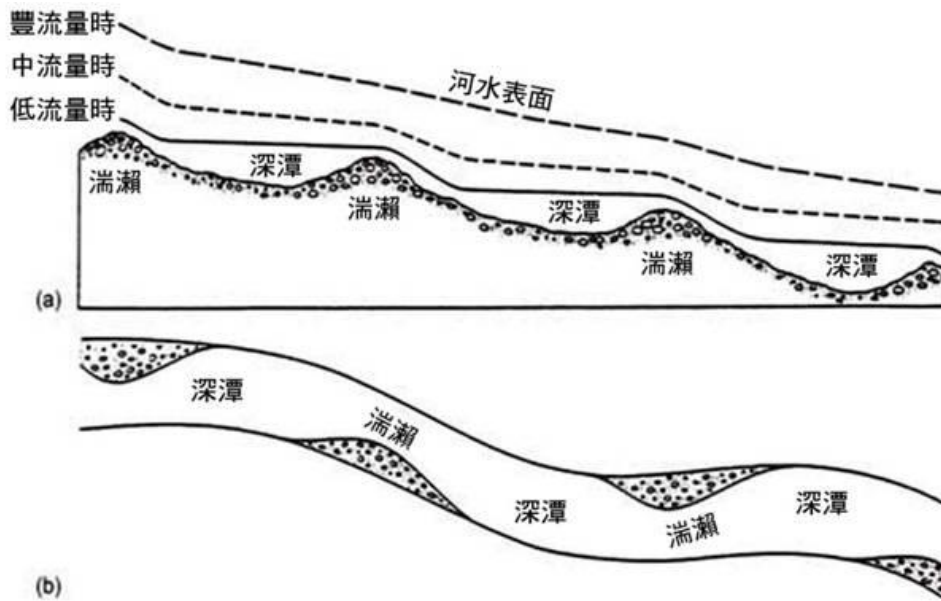


圖3.5 湍瀨-水潭序列的縱剖面(a)和平面圖(b)。(a)中的水面輪廓描述了高流量，中流量和低流量條件。(從Dunne和Leopold 1978年轉載。)

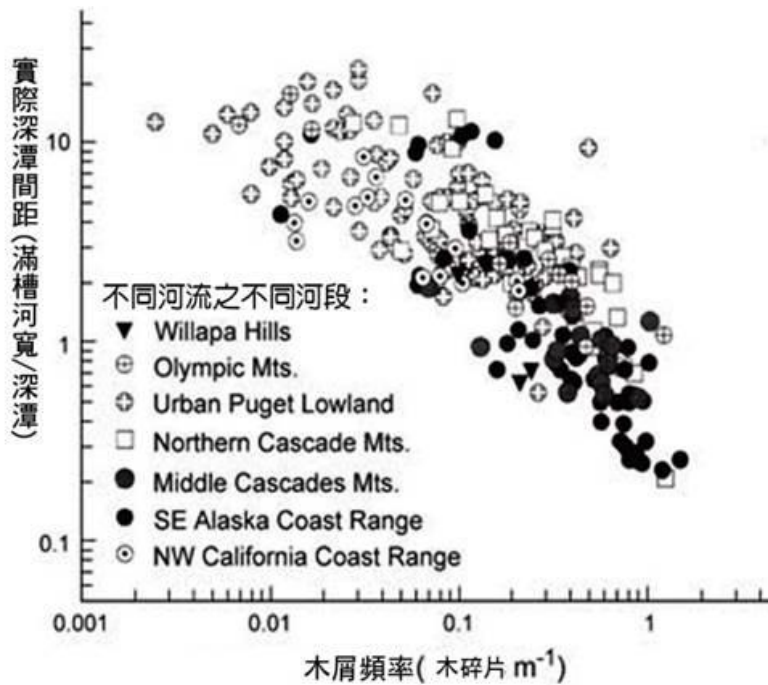


圖3.6 來自美國西部不同地點的平均潭區間隔與潭區-瀨區和平面河道中的倒流木堆積頻率的關係。[摘自Buffington等人2003。]

3.2.4 洪泛區 FloodPlain

洪泛區是緊鄰河道的平坦灘地，洪水時搬運大量砂石在低窪的河道兩側在適度流動期間被淹沒，在目前的氣候條件下，河流通過在河岸洪水期間沉積沉積物而建造（Leopold 1994）。未受限制的平坦山谷最常見於低地河流，允許相當大的蜿蜒和橫向遷移，因此往往具有發展良好的洪泛平原。相比之下，在高度狹窄的河道中，洪泛區的發展也相應受到限制（圖3.2）。

河道移動和河谷洪水是河流的規律和自然行為。河流的河岸全水位可以通過前面描述的野外觀測或通過直接觀察河流剛剛溢出河岸的洪水來識別。然而，在實踐中，這並不總是那麼容易做到。一個廣泛使用的經驗法則是，河岸流量大約每1-2年發生一次（圖2.11中的1.5年復發事件），但實際上，沿給定河流到達的洪泛區可能每年被淹沒多次，或者頻率要低得多。作為這一說法的推論，河流構建了一條足夠大的河道，可以容納它所經歷的大部分排放；只有不那麼頻繁、較大的排放才會從河道溢出到洪泛區。

由於氣候或流域條件的變化，河流可以向上（聚集）或向下（退化）改變其河床水準。經過長期的退化，隨著河流的下降而廢棄的舊洪泛區仍然是一個河階地。

3.3 沉積物及其遷移

沉積物的供應和運輸至關重要，因為它們強烈影響河道動態，影響生物群所經歷的棲地品質，並且管理成本很高。河流尋求的動態平衡是在沉積物和水的双重供應之間，它們共同決定了侵蝕和沉積是否平衡，從而決定了河道如何回應。過多或過少的沉積物可能對生物群有害，並對人類和基礎設施造成代價高昂的後果。許多河流都有人類引起的侵蝕和沉積的悠久歷史，導致棲息地退化並改變其生態，以至於恢復將極具挑戰性（Gore and Shields 1995）。截至1998年，美國約13%的河流和40%的受損河流被認為因過度沉積而受損（美國環保局，2000）。飲用水中過量的沉積物需要昂貴的過濾處理，這就是為什麼紐約市現在專注於供應其水庫的流域的河岸管理。從河流輸送的沉積物會對河口和珊瑚礁造成嚴重破壞，而沉積物供應不足會導致河流三角洲和沿海海岸線退縮，導致棲息地喪失和對暴雨潮的保護不足。

3.3.1 床體材料

河段中床層材料的粒度取決於從上游、當地支流和山坡引入河道的粒度，以及磨損和分選。床身材料是調整通道形式的強加條件之一。方便的尺寸分類（表3.1）基於尺寸的加倍，有助於我們精確地使用專用名詞描述。：

- 淤泥Silt <0.0625 mm
- 砂Sand 2~0.0625 mm
- 礫石Gravel 64~2 mm
- 卵石Cobble、Pebble 64~256 mm
- 巨石Boulder >256 mm

細粒Grain和顆粒particle描述任何大小的顆粒，碎渣clast通常是指較大的顆粒。河床通常包括各種粒徑的混合物。床面的成分決定了可用於運輸的材料，這是這裡的主要焦點。它還影響河床粗糙度，從而影響近床水力環境，以及河床滲透性及其作為生物群棲地的適宜性，這將在後面討論。

由於河床面通常由各種粒徑組成，因此量化平均粒徑以及粒徑範圍很有用。鵝卵石計數（Wolman 1954）是一種簡單且廣泛使用的方法，用於量化表層的晶粒尺寸並預測床移動閾值。通常的方法是通過從河床或合理均勻的溪流範圍的礫石條中隨機選擇石頭來測量大約 100顆直徑 >4 mm的中間值。然而，當河床含有大量直徑小於10-15mm的材料時，床層材料樣品必須通過各種尺寸的鐵絲網篩子檢視。

累積頻率分佈與粒徑幾何級數的關係圖（圖3.7）可以快速估計中值粒徑或D₅₀。D₁₆和D₈₄也經常被報告，因為它們在正態分佈中均值兩側包含一個

標準差。

礫石床溪流的表層通常比地下層具有更粗的顆粒。河床硬甲化是指基材的垂直分層，其中較粗的晶粒覆蓋較細的材料，並可能防止後者被夾帶在水體中。這可以量化為表面層D50的比率：內層面D50的比率。

除了卵石計數外，床沉積物測量還採用了許多方法（Kondolf et al. 2003a）。一些生物學家首選的一種定量較少但仍然有用的方法是 報告主要和次要顆粒大小。如果感興趣的是魚類生物學而不是沉積物運輸，那麼魚類首選產卵的一定大小範圍內的礫石比例可能是最有用的措施。如果細小沉積物限制了孵化魚胚胎或河床較粗糙，有突出石頭能增加湍流，使更多的含氧水在礫石間流動，那麼它們的量化很重要。

表3.1 Wentworth石頭粒徑度定義 以2次冪遞增的分類。

砂石命名	砂石粒徑
Boulder巨岩	大於256 mm
Cobble	
Rubble塊石	128–256 mm
Large大鵝卵石	128–256 mm
Small小鵝卵石	64–128 mm
Pebble細小卵石	64–128 mm
Gravel	
Very coarse特大礫石	32–64 mm
Coarse粗礫石	16–32 mm
Medium中礫石	8–16 mm
Fine小礫石	4–8 mm
Very fine細礫石	2–4 mm
Sand	
Very coarse特粗砂	1–2 mm
Coarse粗砂	0.5–1 mm
Medium中砂	0.25–0.5 mm
Fine細砂	0.125–0.25 mm
Very fine特細砂	0.0625–0.125 mm
Silt 淤泥	小於0.0625 mm

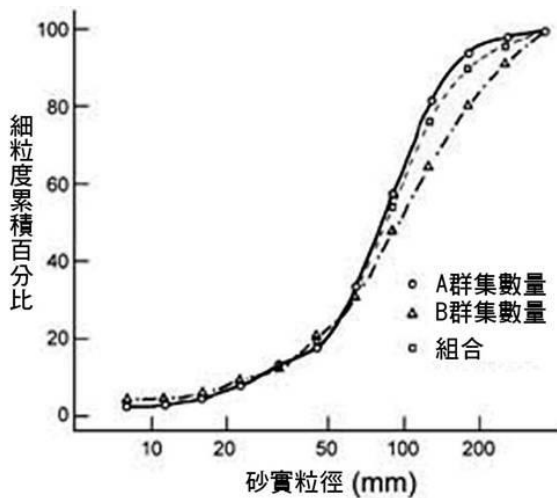


圖3.7 通過卵石計數獲得的河床兩個位置的粒徑尺寸分佈，這些位置被確定為與加州 Rush Creek 的一個地點不同的局部沉積環境。在小卵石的尺寸範圍內，中值粒徑約為80mm，在稱為種群B的位置處略小(Kondolf等人2003a)。

3.3.2 河岸和河床侵蝕

所有沉積物最終都來自集水區斜坡的侵蝕和流經地表的水，但直接供應通常來自河床和河岸 (Richards 1982)。高流量沖刷和運輸過程的發作，最終隨著流量的消退將它們沉積到更遠的河道中。河岸的侵蝕是沉積物和河道不穩定的重要來源。它隨著河道蜿蜒而自然發生，當峰值流量增加時會變得嚴重。因此，不透水表面積和雨水輸送的增加會加劇侵蝕。當溪流通過侵蝕其底部（“岸側基腳”）的材料導致河岸變陡時，該過程就開始了。隨著上部開始形成張力裂紋，水平岸面和水滲透提高孔隙水壓力（並增加品質），剪切開始，導致堤岸崩壞。土壤碎屑沉積在河岸側腳下，溪流清除了崩落的碎屑，增加了溪流的負荷。河岸陡峭再次開始，導致垂直的河岸面和另一個河岸侵蝕週期。

大多數渠道河岸都包含更細的材料，這提供了一定程度的凝聚力。植物的根系有助於將土壤固定到位。與樹木相比，灌木與草在穩定河岸方面特別有效，因為根系更深、更密集 (Lyons et al.2000)。事實上，沿著牧場和林地之間的溪流，已被觀察到該河道在草地上變窄和加深，在森林中變得更淺和更寬 (Sweeney, 1993)。由於一些土地管理者顯然更喜歡木本植被，因此在草地河岸地區種植樹木有可能使溪流變得更寬更淺，因為它們的形狀會隨著河岸穩定性的變化而調整 (Davies-Colley 1997)。

可以通過多種方式提高河岸穩定性。岸面的植被既用根系穩定土壤，又通過吸收和蒸散去除土壤水分。可以安裝排水管以去除滲水，從而減少邊岸高度含水崩塌的可能性。各種設備的岸側基腳的保護可以防止岸壁受侵蝕或崩塌。河岸穩定是一項重要的管理活動，從「硬」的解決方案，如拋石、混凝土板和石

籠等，也有使用植被的更環保的方法做為護岸。然而，如果能切開河床檢視，將會發現很多穩定河岸的措施將是無效的。

城市溪流呈現出與農業環境不同的情景。高峰流量通常會隨著城市基礎設施的增加而增加，而河岸通常會因人為護岸強化、築堤、變得愈來愈堅硬，愈來愈渠道化，因為河道轉移會破壞道路和房屋。河床侵蝕和下切是預期的後果，結果大量的沉積物被搬運到下游或出海口。

當河水流量排放量達到一定的程度可以啟動砂石運動或運輸更大的砂石顆粒時，河床石砂搬運就啟動，可以侵蝕和輸送的顆粒的大小隨水流速度而變化（圖3.8）。河流的搬運能力是指在某種流動下可以沿著河床移動的最大粒子，臨界侵蝕（能力）速度是給定大小的粒子停留在河床上移動的最低速度（Morisawa 1968）。沙粒最容易被侵蝕，其臨界侵蝕速度約為20 立方米/秒。由於品質較大，較大的顆粒需要更高的水流速度才能啟動運動，例如，粗礫石至少為1 米/秒。然而，比沙子小的顆粒，包括淤泥和粘土，由於其凝聚力，具有更大的臨界侵蝕速度。

一旦進入運輸階段，粒子將繼續以比啟動運動所需的速度稍慢的速度運動（圖3.8）。隨著速度的降低，穀物從懸念中沉降，從最大和最重的開始。當洪水過後、坡度較低、彎道內側和障礙物後面的流量下降時，就會發生這種情況。

河床上的水流施加的剪切應力或牽引力（ τ_0 ，每單位面積的力）估計為：

$$\tau_0 = \rho g R S \quad (3.5)$$

其中 ρ 是流體密度， g 是重力加速度，水力半徑 R 等於通道橫截面積除以其接觸水的周長（濕周）， S 是水面坡度。對於寬度遠大於平均流深的自然通道，平均深度是水力半徑的良好近似值。

這個方程很重要，因為它將河床和河岸的阻力與水的下游重力牽引力聯繫起來：當超過前者時，開始傳輸。臨界剪切應力（ τ_0 ）是指移動給定晶粒尺寸所需的剪切應力。對於床層材料直徑大於1 cm的移動礫石床河流，在河岸全流下運動閾值附近的粒徑大約等於中值床材料尺寸（cm）。換句話說， D_{50} 可以很好地指示河床在滿流量時的牽引力。

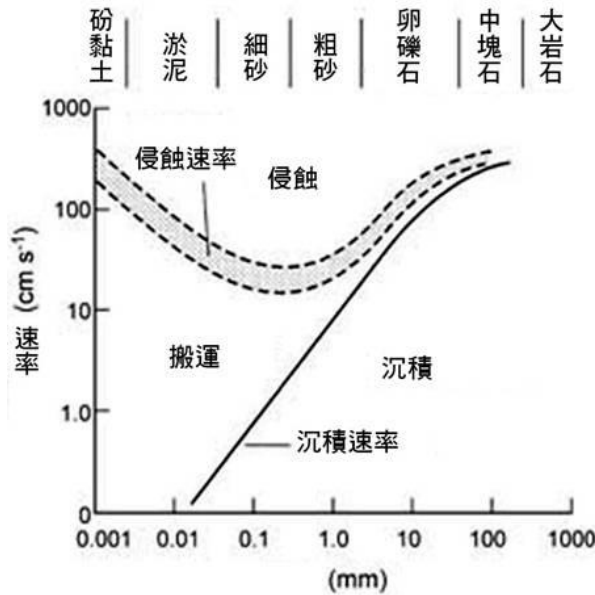


圖3.8 一米深以上的水中的平均流速與可能從具有相似尺寸的材料層中侵蝕的礦粒尺寸之間的關係。低於足以侵蝕給定尺寸(顯示為條帶)的卵石的速度，卵石可以繼續運輸。沉積發生在比腐蝕給定尺寸的顆粒所需的的速度低的速度下。(Reproduced from Morisawa 1968.)



圖3.9以沉積物來源和運輸方式顯示的河流沉積物負荷組成。

3.3.3 泥沙負荷

沉積物負荷是在某個時間間隔內通過一個點的沉積物量。它是通過將沉積物濃度乘以水排放來估計的。河流系統攜帶的物質可以分為三個組成部分 (Knighton 1998)。這些是溶解負荷，它包含溶液中運輸的材料；洗滌載荷，由0.5微米（溶解材料的上限）和0.0625 mm（淤泥和沙子之間的邊界）之間的材料組成；和固體負載，由砂石材料組成大於0.0625 mm。描述總負荷的術語是指物質的來源或運輸方式 (Hicks and Gomez 2003) (圖3.9)。

溶解負荷由基岩和土壤化學風化產生的溶質組成。第4章更全面地討論了河水的溶解成分。它們的貢獻在非flashy浮表層流的水文狀態中最大，其中大多

數流量在地下，以及在石灰岩地質地區（Richards 1982）。作為溶質與固體負荷運輸的物質的相對量取決於集水區特徵、岩性和水文路徑。在乾旱地區，沉積物佔總負荷的90%，而在逕流非常高的地區，溶質的貢獻要大得多（Richards 1982）。據估計，在世界範圍內，河流每年向海洋輸送約150億噸懸浮物質，大約是溶解負荷的五倍（Holeman 1968， Martin and Meybeck 1979）。

按來源劃分，總沉積物負荷分為補間洗滌負荷和床層材料負荷（Hicks和Gomez 2003）。洗滌負荷（之所以如此命名，是因為該負荷從河岸和高地地區“沖刷”到溪流中）由非常細的顆粒組成，包括粘土和淤泥到非常細的沙子。它只需要低速和輕微的湍流即可保持懸浮狀態，因此這種材料可能永遠不會沉澱下來。洗滌負荷的量取決於其從高地和河岸的供應量，而不是由溪流的運輸能力決定，並且在河岸粘土和淤泥含量高的地方可能很高。河床物料負荷來自河床，通常是沙子或礫石，其濃度與河流的運輸能力直接相關。

按運輸方式，泥沙荷載分為懸浮荷載和床荷載。河流中的水流通常是湍流的，並施加剪切力，通過推動、滾動和跳躍使顆粒沿著河床移動，稱為床荷載。同樣的剪切力引起湍流渦流，將部分夾帶到懸浮物中，稱為懸掛載荷。床荷載和懸置荷載的區別是基於取樣方法的，在低排放時作為床荷載運輸的相同材料在高排放時可能成為懸浮荷載。床荷載傳輸很難測量，並且通常涉及陷阱或示蹤顆粒（Gordon et al.2004）。懸掛載荷相當容易採樣，只需要一個簡單的抓取樣品就足夠了，但隨深度變化，並且會隨著水流釋放而快速變化，因此最好使用跨深度積分的採樣，並且經常發生在水文線的上升和下降中。由於細小沉積物往往在降雨事件開始時被沖入溪流並被上升的水帶帶走，因此它們的濃度通常在水文線上升期間更大，而在下降水文線期間由於沉積物供應的枯竭而下降。因此，在上升和下降水文線的相同排放下，沉積物濃度可能不同。這稱為滯後。

懸浮沉積物由於散射和吸收而限制光通過水的傳輸而引起渾濁。通過測量通過水樣的透光率，濁度計提供了懸浮沉積物負荷的簡單近似值。這些通常以濁度濁度單位（NTU）的形式報告，可以根據測量的沉積物濃度（mg/L）進行校準。然而，還有其他濁度來源，包括藻類和膠體物質，因此濁度不僅僅是懸浮沉積物的量度。

大部分沉積物運輸是由於懸浮負荷，通常比床負荷高出5-50倍（Gordon et al.2004）。基岩流中的床荷載比沖積流中的河床荷載低，沖積溪流的河道由易於運輸的材料組成。然而，在洪水期間，河床荷載運輸會大幅增加，並且在確定渠道形狀方面尤為重要。對於處於平衡狀態的河道，河床的運輸需要來自上游河岸和河道的物質代替，伴隨著洪水的上升和下降而形成的沖刷和填充循環；否則，河床將被削減。例如，科羅拉多河在Lees Ferry的洪水使河床深度增加了接近1.5米。隨著洪水的退去，沉積物的重新沉積重新建立了非常接近其先前值的床高程（Leopold 1962），進一步證明瞭補間侵蝕和沉積的動態平衡。

自葛蘭峽谷大壩關閉以來，下游的科羅拉多河已經下切了9米以上，這表明其上游沉積物供應喪失的後果（Postel and Richter 2003）。

3.3.4 影響沉積物濃度和負荷的因素

河流的搬運容量是它可以承載的河床上物質的總負載。這隨著速度和排放而增加，除非沉積物的供應耗盡；流量越大，以一般為單位，搬運的沉積物量就越大（Richards 1982）。在一年中的大部分時間裡，排放量通常太低，無法沖刷，塑造河道或移動大量沉積物，儘管沙床溪流可以更頻繁地變化。雖然人們可能會認為極端事件也佔總運輸的最大比例，但中等頻率的流動事件實際上會搬運移動更多的沉積物。沉積物搬運峰值的流量稱為有效流量或主要流量，從排放頻率曲線和描述沉積物輸送速率作為流量函數的曲線的乘積中可以找到（圖3.10）。由於與其他流量相比，有效流量完成了最多的地貌工作，因此河流地貌是由經常由頻率高經常發生的中度洪水形成的，而不是由罕見的大洪水形成的（Wolman and Miller 1960）。

能搬運砂石沉積物的有效流量的發生頻率通常非常接近從1.5年流量（ $Q_{1.5}$ ）估計的庫存總量，如Andrews和Nakervis（1995）報告美國西部17條礫石床河流， D_{50} 非常接近有效流量時動員的粒度。鑒於直接確定有效排放的困難，河岸滿排放和 D_{50} 的用途是顯而易見的，因為兩者都是現場測量，提供負責輸送大部分年沉積物通量的排放的排放，因此對通道形狀的影響最大。對來自美國各地2900多個地點的懸浮沉積物運輸數據的分析，按生態區分類，支援使用 $Q_{1.5}$ 作為有效排放的衡量標準（Simon et al. 2004）。17個生態區有效排放的復發間隔的中值在1.1至1.7年之間，發現區域之間的差異證明使用區域化曲線。形成河道的排放概念在河流恢復設計中被廣泛使用，因為它提供了相當容易地估計平衡河道尺寸的方法。這些努力既有成功也有失敗。後者的原因包括適用於條件可能不同的領域，對過去歷史的考慮不足，以及將一般關係應用於特定案例所固有的問題（Smith and Prestegard 2005，Doyle et al. 2006）。

懸浮沉積物的濃度變化很大，取決於上述影響沉積物供應的因素，以及流量和速度，這決定了任何時候有多少沉積物在運輸中。根據1970-1983年美國各地約400-600個採樣點的採樣，總懸浮沉積物（TSS）的特定地點測量值為63 mg/L，但變化超過三個數量級（Dodds and Whiles 2004）。沉積物濃度和產量因地區、人類活動導致侵蝕以及河道是處於穩定狀態還是不穩定狀態而有很大差異。Simon等人（2004）利用識別擾動前和擾動適應河道形式的平衡條件的河道演化模型估計，特定生態區內穩定地點的中值（ $Q_{1.5}$ 的懸浮沉積物產量）通常比不穩定地點低一個數量級。

Dodds and Whiles（2004）分析的大型數據集中近90%的總懸浮沉積物（TSS）變化是由濁度解釋的，這表明後者是一個合理的替代措施，至少在一個數量級內。TSS與森林集水區面積呈負相關，森林覆蓋率最高小於20%。與

城市土地的關係不太清楚，可能是因為不透水表面導致可侵蝕土壤較少，因此高總懸浮沉積物值在城市集水區很少見。高總懸浮沉積物值還表現出與生態區相關的明顯差異。東部落葉林的沉積物濃度較低，大平原和北美沙漠生態區的沉積物濃度較高。

個別河流的沉積物產量計算為負荷除以集水區，並提供了河流之間和一段時間內水輸出變化的有用比較。除一個地區外，僅水排放是沉積物負荷的不良預測指標。僅佔世界流域流域10%的河流就佔沉積物排放量的60%以上（Milliman 1990）。中國的黃河被認為是世界所有河流中懸浮負荷最高的（台灣二仁溪更高），在高流量期間，沙子、淤泥和粘土重量高達40%（Cressey 1963）。南美洲的大河對世界沉積物通量的貢獻也很大，但比黃河要小得多。

人類活動可以增加或減少產量。森林砍伐和不良的農業實踐大大增加了侵蝕，在亞洲和大洋洲可能高達五倍。另一方面，河流中的沉積物通量大大減少，沉積在數千個大型水庫和數百萬個小型水庫中。雖然美國以前的工作強調了河道和洪泛區的沉積物儲存年齡（Trimble 1983），但Renwick等人（2005）估計，至少在20世紀後期，美國的大部分沉積實際上發生在水庫中。尼羅河和科羅拉多河都經歷了沉積物輸出的完全停止，據估計，Rhone的輸出量約佔一個世紀前負荷的5%。因此，在一些大河流中，我們有一個明顯的悖論，即流域內侵蝕加劇，同時減少對海洋的輸出。

這些趨勢的全球後果見表3.2，其中總結了各大洲前人類和現代的排放和沉積物通量。結合數據和模型，Syvitski等人（2005）估計人類影響之前的全球總量為每年140億噸（包括床負荷時為155億噸）。亞洲產生的河流沉積物數量最多，而大洋洲和印尼的沉積物產量最高，逕流量也最高（排放量按面積劃分）。按緯度劃分，溫暖地區產生的沉積物產量最高，佔全球輸送量的近三分之二。現代沉積物負荷是一個不斷變化的目標，因為土地使用通常加速了侵蝕（儘管一些地區的重新調整和其他改進帶來了下降），而水庫保留了沉積物。現代沉積物通量估計為126億噸，比人類前值低約10%。根據大型水庫捕獲河流20%的沉積物負荷和另外6%的小型水庫的額外資訊，在沒有大壩的情況下，目前的通量將是162億噸的懸浮沉積物。因此，由於侵蝕而流入全球河流的沉積物流量增加了，而世界海岸的沉積物產量卻下降了。可能影響居住區的沿海退縮、河流三角洲沉降和沿海濕地棲息地喪失是可能的後果。

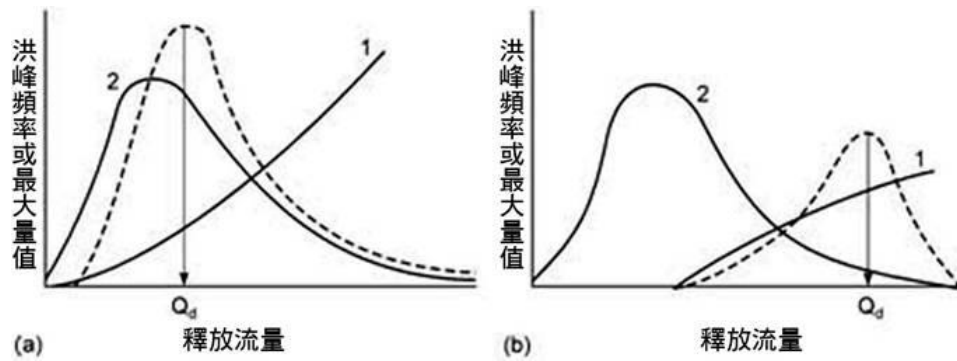


圖3.10 泥沙排放事件的頻率和震級之間的關係。運輸：(a) 懸移質，(b) 推移質。

曲線1描述了泥沙輸移速率隨時間的新增而新增流量大小，曲線2描述了給定流量的放流事件的頻率。他們的產品（虛線）是輸送最多泥沙的流量，稱為 Q_d ，主要或有效輸出。對於懸浮沉積物， Q_d 約為 Q_{bkf} ，對於推移質， Q_d 在 $Q_{1.5}$ 至 Q_{10} 範圍內。

表3.2 人類干擾後的泥沙通量以及保留在水庫中的泥沙負荷百分比。為了簡化起見，省略了對儲層中沉積物通量和沉積物不確定度的估算，但不確定度為標明值的15%至30%。參見Syvitski al.(2005)。

大陸地區	面積 百萬平方公里	河水流量 立方公里/年	自然泥砂搬運量 Q_s (百萬噸/年)	人類干擾泥砂量 Q_s (百萬噸/年)	水庫 截留率
非洲	20	3,800	1,310	800	25%
亞洲	31	9,810	5,450	4,740	31%
澳洲	4	610	420	390	8%
歐洲	10	2,680	920	680	12%
印尼	3	4,260	900	1,630	1%
北美	21	5,820	2,350	1,910	13%
大洋洲島	0.01	20	4	8	0%
南美洲	17	11,540	2,680	2,450	13%
總計	106	38,540	14,030	12,610	20%

3.4 沿河流連續體的河流過程

我們現在熟悉溪流的許多主要特徵，包括其渠道的形狀，與洪泛平原的橫向連接，湍瀨區，水池和齧線的存在，以及河床及其岸邊的沉積物。這些特徵沿河道從源頭到低地各不相同，氣候和地形也存在區域差異。如前所述，溪流在穀坡、流量和沉積物供應等強加條件與河道調整（包括寬度、深度、速度、到

達坡度、粗糙度和靜置尺寸）之間尋求動態平衡狀態。隨著歷史時間的流逝，該河道會根據人類活動，氣候變化和極端事件引起的

排放和沉積物供應的變化進行調整。如今，越來越多的是人類活動破壞了河流的平衡，經常引發一系列變化，給我們的建築環境帶來問題。

萊恩定律Lane's Law（圖3.11）中捕獲的流功率概念以及供水和水源之間的關係很好地表達了工作中的關鍵過程。流功率描述了流動員和運輸材料的能力。它是流量和坡度的乘積，儘管額外的穆萊估計單位面積或到達長度的單位流功率。因此，更陡峭的坡度和較高的流量都會增加溪流功率，但由於下游的坡度往往會減少，而流量增加，洪水中的山間溪流可能比大型低地河流產生更多的水動力，而溢出河岸進入洪泛區的河流的功率將低於留在河岸內的河流（Gordon et al.2004）。河流功率與沉積物負荷大致相關：

$$Q_s D_{50} \sim Q_w S \quad (3.6)$$

其中 Q_s 是沉積物排放量（負荷）， D_{50} 是中值粒徑， Q_w 是水排放量， S 是斜率（Lane 1955）。這種關係是定性的，因此沒有給出單位。這意味著只要任何變數沒有發生重大變化，或者一個變數的變化被另一個變數的變化所平衡，通道就會保持平衡。

等式3.6對於設想溪流如何響應人類行為特別有用。如果沉積物被困在大壩後面，流出的沉積物負荷通常較低，導致河床粗化和河道切口，因為饑餓的河流夾帶了河床材料和下切。如果沉積物是由支流集水區不良的土地利用做法引入的，溪流就缺乏運輸這種額外物質的能力，導致沉積和聚集。如果河流被拉直，其坡度會增加（因為現在在更短的距離內發生相同的海拔下降），並且預計會受到侵蝕。當只有10-20%的集水區被屋頂，人行道或其他不透水表面覆蓋時，峰值流量通常會增加，河道通常會變寬或加深，這在城市地區很常見（Bledsoe and Watson 2001）。

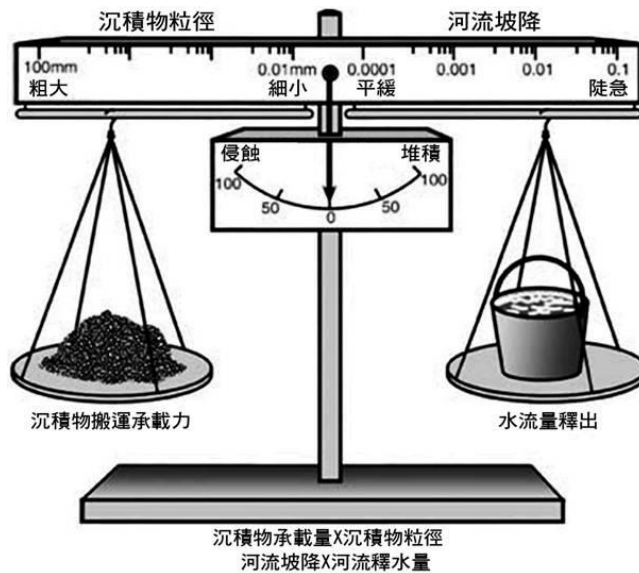


圖3.11-A 河槽定律指出輸沙正比於河流功率(地表逕流斜率)和反比於沉積物的大小。因此，在以下情況下，水流河道處於平衡狀態：沉積物排放量(Q_s)沉積物粒徑(D_{50})流量(Q_w)流量斜率(S)。(摘自Brierley和Fryirs2005。)

3.4.1 河流過程和通道形態

我們現在轉向基於過程的河道分析，將水和沉積物供應的管理條件與我們遇到的河道特徵及其沿河流連續體的變化聯繫起來。這將主要集中在沖積河道上，沖積河道被定義為那些由溪流輸送的床沉積物的河道。重新排列方程3.6，很明顯，沉積物輸送與溪流功率（ $Q_w S$ ）直接相關，與粒度 D_{50} （也稱為沉積物卡利伯）成反比。溪流運輸沉積物的能力與沉積物的輸入及其口徑的相互作用導致了獨特的渠道形態（Church 2002）。河岸強度受沉積物質地和植被（ LW ）以及其他河道約束的影響，對河道形狀產生額外的影響（圖3.12）。

當人們從高地到高地山谷再到大河時，河流從主要的沉積物疏散系統轉變為沉積物積累系統，並從與山坡耦合以提供沉積物供應到基本上不耦合（Church 2002）。高地地區與山坡密切相關，高地溪流從山坡接收沉積物（圖3.13）。這些沉積物中的大部分，但不是最大的碎屑，被輸送到下游。在梯度較低的中部（高地山谷），可能會沉積在山地河道中移動的沉積物，形成沖積通道和洪泛區。這一部分的材料在侵蝕和沉積事件中被轉運，並從上游補充。在靠近排水系統遠端的大型低地河流中，沉積物沉積佔主導地位，導致大型洪泛區、沖積扇和三角洲。

河流和沉積物特徵的一系列相互關聯的變化沿著河流的長度系統地發生。如前所述，河道梯度下降，流量增加。流量坡度產品，即溪流功率，在河流系統的中游中度最大。源頭的沉積物粒度最大，從山坡引入的大碎屑通常直徑等於

或大於岸邊深度，即使在最高流量下也不會移動。較小的材料在侵蝕和沉積的循環中被轉移到下游，這些循環對顆粒進行分類並攜帶最遠的最小尺寸的顆粒。因此，隨著向下游移動，特徵沉積物尺寸會變得更細。對卵礫石進行分類也可以產生可預測的排列，從而提高其穩定性。梯度和相對粗糙度（晶粒直徑除以深度）可以結合起來預測床形態的具體細節（Montgomery和Buffington 1997，Church 2002）。例如，礫石床溪流的池-波夫序列，在彎道處有尖桿，通常發生在0.01-0.03附近的坡度和接近0.3的相對粗糙度處。在下游終端附近，發現了沙床通道；由於它們的粒度小，床材料在很寬的流動範圍內是可移動的。從視覺上看，這可以產生令人愉悅的連漪和沙丘圖像，但對於大多數生物來說，床的不穩定會形成一個惡劣的環境。正如Benke等人（1985）所表明的那樣，沙床河流中的大多數生物生產都與水下木材有關，這是無脊椎動物唯一穩定的棲息地。

這些想法是基於過程對山地河道形態進行分類的基礎（表3.3）。Montgomery和Buffington（1997）認識到三種主要的通道到達基質：基岩，沖積層和崩積層。基岩河道缺乏沖積礦床，相對於沉積物供應具有很高的運輸能力。崩積河道通常是小型溪流上游，接收泥石流和山坡的沉積物，沉積物運輸能力弱。由於上述過程的閾值變化，沖積河道進一步細分為沿河流連續體發生的五類。

在從上山坡到低地河流的理想長剖面中，這些以縱向順序發生（圖1.4）。級聯通道出現在陡峭的斜坡上，被谷壁限制，基質通常由鵝卵石和巨石組成。潭區通常很小，間隔不到一個通道寬度。級聯河道保留較大的碎屑，但迅速將較小的沉積物輸送到梯度較低的河道。在階梯水潭河道中，縱向台階由較大的碎屑形成，從而形成間距為一到四個河道寬度的離散水潭。坡度陡峭，寬深比低，谷壁限制明顯。在中等到高梯度和相對筆直的通道中，稱為平面床的通道類型發展。它通常包括一個有點沒有特色的痞子、奔跑和急流的組合。基質包括礫石，鵝卵石和小巨石，可以是裝甲的，也可以不是。裝甲基質表示運輸能力大於安全供應，而非裝甲基質表示運輸能力和沉積物供應之間的平衡

（Dietrich et al.1989）。因此，平面床流在供應有限的上游和跨港口限制的下流之間過渡（Montgomery and Buffington 1997）。潭區-瀨區河段，潭區間距為5到7個河道寬度，以中等梯度出現。它們代表了向運輸限制更多的系統的轉變，儘管這隨著裝甲程度而變化。沙丘波紋通道通常是低梯度的沙床系統，在大多數流動條件下具有顯著的分離流動性。***裝甲armor指砂石穩固定覆蓋於河床。**

剛才描述的五種沖積河道類型被稱為自由形成的，這意味著它們從沉積物供應和運輸能力的相互作用中重新受到損害。在森林覆蓋的山間溪流中，LW可以迫使河道形態形成，否則它們可能不會發生（圖3.6）。LW可引起局部沖刷和水流分流，並可能導致沉積物在其他基岩溪流中堆積。強制潭區-瀨區系統是大多數池都是 LW 的結果，而強制階梯水潭結構可能由間隔開的跨通道大型

障礙物(巨石或倒伏木)產生。*LW指礫石堆、或木頭堆積於河床。

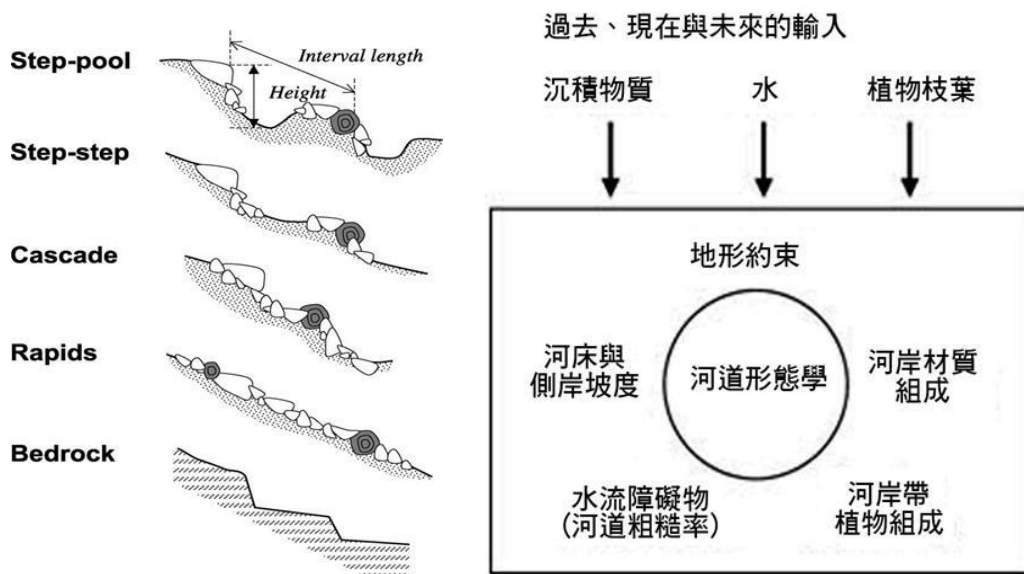


圖3.11-B(左上圖) (1)梯潭step-pool (2)梯瀑step-step (3)級聯cascade (4)急流rapids (5)岩床bedrock

圖3.12(右上圖) 對河道形態的主要控制包括沉積物供應(數量和大小)，運輸能力(排放量和頻率)和河岸植被。河道的形態還受到水流阻塞(基岩露頭，大塊木屑)，地貌背景(約束和谷底坡度)以及擾動歷史的影響。沉積物的供應和運輸關係決定著渠道的類型。(Reproduced from Montgomery and MacDonald 2002.)

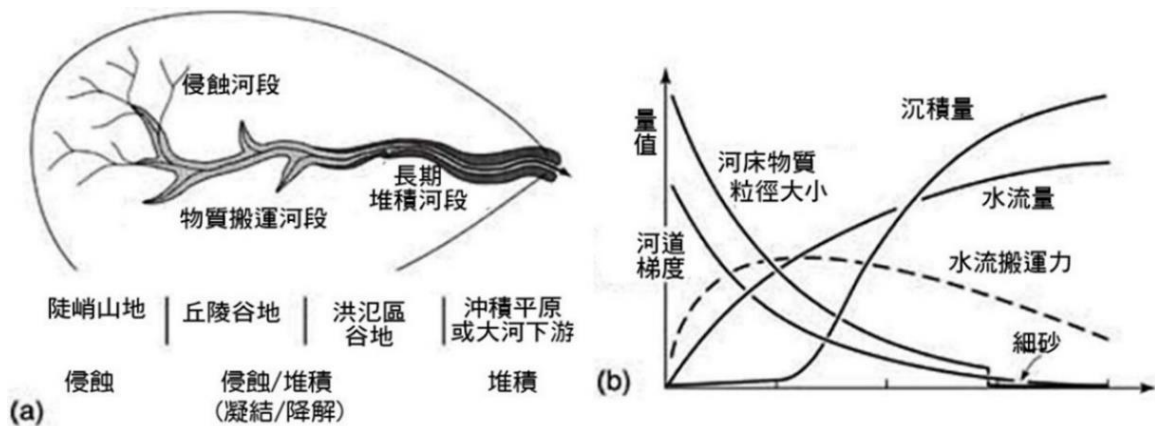


圖3.13 一個流域，說明了河道中的一些主要縱向趨勢。(a)三個主要的縱向區域：形成排水系統並從其輸出沉積物的高地區域；中間過渡帶，沉積物的侵蝕和沉積可能大致平衡；還有一個較低的洪氾區，可能會沉積沉積物。(b)沉積物發生和運輸的一般方式。注意床料粒度的縱向減小。河流功率，坡度和流量的乘積，中部區域的峰值以及河流的能力(移動給定尺寸的沉積物的能力)在下游下降。(Church 2002)。

表3.3 山區流域的河道形態分類可識別七種不同的河道類型。沖積河道通常是小的源頭水流，從山坡上接收沉積物，相對於水流深度而言具有較大的碎屑，沒有足夠的動力來運輸大石塊，但會迅速將較小的顆粒輸送到較低坡度的河道中。與運輸能力相比，基岩流的泥沙供應量低。五個沖積河道類型通常發生在相對於沉積物供應而言，河流運力下降的下游順序。有關更多詳細信息，請參見Montgomery和Buffington(1997)。

河道成因	溪流形態	代表河床料	主要沉積來源	阻滯形態	潭區間距
崩積		多樣的	陡坡.土石流	封閉的	未知
岩床沖蝕		巨岩	陡坡.土石流	封閉的	多樣的
沖積	級聯(階梯瀑)	大塊石	沖積.陡坡.土石流	封閉的	<1倍河寬
	階梯潭	塊石-卵石	沖積.陡坡.土石流	封閉的	1至4倍河寬
	平整河床	卵石-礫石	沖積.陡坡.土石流	多樣的	無法分
	潭-瀨形態	礫石	沖積.崩岸.土石流	不封閉的	5至7倍河寬
	砂丘-波紋	粗細砂	沖積.崩塌岸	不封閉的	5至7倍河寬

a. 涵蓋了漁業文獻中常用的runs直流，glides滑流和rapids急流

b. 潭區間距以河道寬度表示

3.4.2 長時間範圍內的河道動態

前面的討論描述了沿河流長度的地貌過程的變化如何幫助我們瞭解不同河道配置和特徵的發展。它強調了如何不斷進行調整以維持近似平衡，並強調中等量級的事件，關鍵性的水流釋放與地貌的動態回應。從歷史的角度來看，我們還應該強調過去15,000年中氣候變化事件的重要性，以及更古老的構造事件和冰川作用的重要性。科羅拉多河大峽谷被認為有大約500萬年的歷史，它的建立最終取決於構造運動和加州灣的開放。古代和最近的洪水有時都會對河流陸地景觀，雕刻河道和放置大型碎屑產生持久的影響，隨後的洪水無法實質性地改變（Knighton 1998）。美國西部大片地區的河道受到古洪水的影響，估計排水量高達1000萬CMS（Benito 1997），這是大約15,000年前冰川米蘇拉湖上的冰壩失敗時發生的。其他冰河時代的洪水也產生了巨大的影響。不那麼引人注目的是，自1萬年前以來的氣候波動影響了水平衡，植被模式，流量和材料供應，導致河流活動的波動。密西西比河從密蘇里河和俄亥俄河交匯處到田納西州孟菲斯以南的250公里的冰後歷史說明瞭重大洪水影響事件如何導致一系列廢棄的河道和沉積沉積物沉積物（Blum et al.2000）。最近，密西斯-西皮河在向小冰河期過渡期間在西元1300年至西元1500年間經歷了大洪水（Knox 1993）。

這些氣候影響一直持續到現在，如果未來的氣候變化如預測的那樣發生，這些影響將非常重要。然而，將氣候與人類活動的影響隔離開來變得越來越困難，特別是土地清理。據估計，西元前200年至西元600年間，中國黃河（黃河）集水區部分地區的森林砍伐使沉積物負荷增加了一個數量級（Milliman et al.1987）。在19世紀中葉加州州塞拉山脈的淘金熱期間，水力採礦將大量廢礫石轉移到薩克拉門托河的源頭（James 1991）。熊河下游的河水位上升了5米，並在100多年後繼續調整，這表明人類動蕩之後河流恢復的時間框架非常長。在某些情況下，恢復可能是不可能的，例如當河流蓄水消除洪峰時，或者當入侵的植被使新的結構穩定時，就像在澳洲貝加集水區的一些較低部分發生的那樣（Brierley et al.1999）。

3.4.3 河道分類及其用途

關於河流分類的文獻廣泛，導致開發了大量的分類方案，從瞭解景觀演變到河流恢復的工程設計（Kondolf et al.2003）。有些已經討論過了。流順序（表1.1）是衡量流大小和位置的有用指標，並且易於推導。Schumm（1977）的三個縱向區域 - 侵蝕，轉移和沉積 - 確定了沉積物運動的供應限制與運輸限制區域。河道可分為基岩、崩積層和沖積層，後者進一步細分（至少對於山地排水）為由過程域過渡和LW強制決定的類型（表3.3）。其他描述性分類包括通道是直的，蜿蜒的還是編織的（Leopold 1994）。洪泛平原河流是根據河流平面圖來表徵的（Kellerhals and Church 1989）。由Rosgen（1994，1996）設計並廣泛用於河流修復的分類方案根據河道模式，寬深比，曲度和河床材料尺寸識別七種主要河道和42種次要河道類型。

為什麼這麼多分類，它們的價值是什麼，有些比其他分類更好？這種討論可能會持續一段時間，讀者應該諮詢Kondolf等人（2003）以獲得水流的最佳摘要。一個目的是通過提供對導致多種河流類型的過程的見解來增強理解。這反過來又為進一步的調查提供了一個重要的框架，允許人們對一個地區的河流類型進行分類，適當地抽樣，並進行比較。第二個目的是管理和恢復。參考地點對於設定對河道條件和生物成分的期望是必要的，當適當定義樣本範圍時，可以以更高的統計可靠性完成溪流狀態的清點。類別對於在不同領域和地區工作的特定清單之間的交流也很有用。

與這些明顯優勢相平衡的是一些局限性，主要是分類是人為的人類結構（Kondolf et al. 2003）。分類有助於我們的理解，只要我們在應用它們時適當謹慎。雖然科學理解是由通用模型輔助的，而不管它是否有能力準確定義類別之間的閾值，但管理者通常需要對特定的覆蓋範圍進行分類，這可能並不完全屬於一個類別。

特別是當分類被用來建立對以相當大的費用恢復河流範圍的期望時，分類是有用的工具還是障礙是有爭議的。Kondolf等人（2001）描述了加州州Gilroy附

近0.9公里的小溪流復育項目的失敗。雖然根據估計的河岸洪水和Rosgen分類系統重建為單線程蜿蜒的河道，但在專案完成後僅幾個月就發生了6年返回間隔的洪水，將建造的渠道轉變為寬闊的編織河道。Kondolf等人認為，對河程本身、歷史條件的地貌分析，以及考慮到更長的走廊，將支援不同的預期，更類似於洪水的結果。當然，詳細的實地研究是昂貴的，這導致管理人員首先採用分類方法。理想的渠道分類既能促進科學理解，又能對管理有用，這就要求分類是基於流程的（如表3.3所示）。

河道類型的分類是否通常足以制定恢復指南，而不是地貌學家和工程師需要進行更多技術性的場地特定分析，仍然存在爭議。“河流類型”方法說明瞭將相對同質的河段分類為有限數量的類別，這些類別可以與養護和管理的優先次序相結合。Brierley和Fryirs（2000，2005）採用集水區，景觀單元，河流風格和地貌單元的嵌套分層框架，確定了澳洲新南威爾士州1,040平方公里Bega集水區的九種河流特徵和行為風格。我們之前對河流類型和地貌過程的大部分討論都是相關的，儘管Brierley和Fryirs強調了澳洲河流的獨特方面，這是非常古老的，基岩主導的景觀的結果，具有很高的水文邏輯變化。作者還提出了如何在綜合流域框架內優先考慮覆蓋面規模的管理策略：首先，保護應該先於恢復；其次，我們應該努力改善自然恢復潛力高的部分；第三，我們應該考慮在恢復潛力低的範圍內投入努力。

3.4.4 河流景觀多樣性

河流地貌為河流生態學家提供了許多有價值的見解：河道類型的生成和維護，許多河流特徵的動態性質，也許最重要的是，河流陸地景觀的多樣性如何發生和維持。在河流景觀多樣性的廣泛綜合論文中，Ward等人（2002）主張河流景觀生態學，其中空間模式和生態過程在一系列尺度上相互作用。河道特徵、棲息地單元、地表和地下區域、洪泛區和河岸走廊形成了一個複雜的、不斷變化的馬賽克，其中物理範本的多樣性為生物多樣性群落提供了麵粉般的環境。河流景觀的特徵在發生時具有高度可預測性，並且由控制河流行為的河流過程驅動，具有高度動態性。自然干擾通過其對棲地異質性和時間演替的影響，為比在更統一的條件下發現的生物多樣性更大創造了機會。從生物群的角度來看，環境在空間上是異質的，在各種尺度上，資源品質、持久性和連通性斑塊不同，表明空間格局對生態過程的影響（Weins 2002）。這預示了河流流量的調節和棲息地的同質化，例如通過水壩和渠道化，如何導致分類單元豐富度下降，並主張將整個河流流域視為一個整體的管理行動。

3.5 小結

河流地貌強調河流和景觀在河道和排水網絡塑造中的動態相互作用。它包括使用多種方法研究河道，洪泛區，網絡和集水區之間的聯繫，包括地層分析，

水槽中沉積物轉運的實驗研究，物理過程建模，地貌比較以及複雜的靜態方法，以更好地瞭解河流系統的物理動力學。它有助於理解河流系統之間表現出的巨大多樣性，從而理解生物群所經歷的棲息地和環境條件。量化河流特徵之間的關係和對潛在過程的分析有助於更深入地瞭解河流如何應對可能導致河流改變形狀的人為水和沉積物供應變化。

河流地貌學的一個中心主題是，河道和整個排水網絡的發展，以及各種規則模式的存在，表明河流在侵蝕和沉積之間處於動態平衡，並受共同的水力過程控制。河道寬度和深度、速度、沉積物負荷的粒度、河床粗糙度以及蜿蜒度和彎狀程度是河流適應其無法控制的變數（包括流量、沉積物負荷及其海拔範圍）時相互作用的其他變數。

流域包括一個河道網絡，這些河道與下游的其他渠道匯合，隨著流域面積和溪流規模的增加而增加。流序是流大小的方便簡寫，其中最小的常年流是一階，兩個 n 級序溪流的並集形成 $n+1$ 級序的溪流。河流隨著下游的流向而增加，因為支流和地下水增加了流量。水力幾何方程描述了寬度、深度和速度與流量增加的關係，無論是下游還是隨著採樣點流量隨時間變化。在下游情況下，寬度增加的比深度多，而速度增加得最少。

我們大多數人都熟悉河道的許多特徵，包括蜿蜒曲折或蜿蜒曲折，湍瀨區，水潭區和水流區的交替，以及洪泛區的存在，前提是河谷不是V形，以防止洪泛平原形成。這些特徵是由河流通過侵蝕和沉積循環形成的，而侵蝕和沉積又受到水和沉積物雙重供應之間的平衡的強烈影響。河流的沉積物負荷是在某個時間間隔內通過一個點的沉積物量，包括可能總是在運輸的非常細的材料，以及來自河床和河岸的較粗物質，這些物質作為懸浮負載或床負載運輸，具體取決於粒度和流量。輸送的泥沙量隨著速度和排放而增加，但中頻流動事件實際上多年來會移動更多，因為極端事件非常罕見。主要或有效流量是泥沙輸送量最大的流量，通常大約是河岸洪水。人類活動可以增加或減少沉積物產量。由於土地用途變化帶來的侵蝕，流入全球河流的沉積物流量增加，而世界海岸的沉積物產量由於沉積物被困在水潭區中而下降。一些後果包括沿海退縮，河流三角洲沉降以及沿海濕地棲息地的喪失。

河流功率是流量和坡度的乘積，描述了河流動員和運輸材料的能力。沉積物轉運與河流功率直接相關，與中位數粒度成反比，這對於瞭解河流如何回應沿其長度或由於人為干擾的沉積物和供水變化的有用關係。當人們從高地到高地山谷和大河時，河流從輸出到積累沉積物，從與山坡耦合以供應沉積物轉變為基本解耦。沿河流長度系統地發生的一系列河流和沉積物特徵的相互關聯的變化導致河道類型從級聯到階梯水潭再到平面形河道，再到潭區-瀨區和砂礫丘-瀨區類型。但是，這種分類，就像許多其他分類一樣，對現實中仍然不完全理解的連續變化施加了不連續性。河流分類作為一個研究課題繼續引起人們的興趣，因為它無疑對管理和恢復非常有用，並且它是對我們理解導致河流類型多

種多樣的過程的考驗。

最後，對於生態學家來說，地貌學提供了對河道特徵、棲息地單元、地表和地下區域、洪泛區和河岸走廊的洞察，這些特徵形成了一個複雜的、不斷變化的景觀馬賽克，其中物理範本的多樣性提供了生物多樣性群落蓬勃發展的環境。當通過水壩、渠道化和河流流量調節來降低這種複雜性時，隨後棲息地的同質化導致分類單元豐富度的下降，並提醒我們將整個流域視為一個整體的管理行動的重要性。