

第一章 緒論

1.1 前言

在自然河川網路中，係由許多的支流匯聚或主流分離而成，不只河川，合分流也常常應用在灌溉、排水系統上。河川的交匯處，動量交換與能量的型態轉換，流況極為複雜，往往造成水位劇烈變化，故常設有各種水工結構物，如護岸、丁壩、堤防等，而這些構造物之設置位置和流場有密切的關係，因此河川整治、排水系統之規劃設計等，均應考慮匯流問題。河川分流處，主流河道流量減少，根據明渠水力學側溢堰的觀念，若發生亞臨界流況時水位會上升，超臨界流況時水位下降，甚至可能產生水躍，但支流處從主流分得流量，仍需滿足質量守恆與動量守恆。故溪流系統水力演算為流域經營及防洪工程規劃設計之重要依據，若水力演算結果不佳，可能導致工程費偏差或洪災損失過大之不良後果。

主支流交匯於交匯區附近之流況極為複雜，交匯處上游面受主、支流相互之縱流向動量帶動(entrainment)與亂流混合(turbulent mixing)之相互影響，造成流線往支渠對岸偏折；於交匯處下游面，若邊界轉角造成流線分離，則受支渠縱流向之動量帶動及邊岸之限制使水位及壓力下降，更由於壓力較低而使分離流線往邊岸偏折形成一迴流區，此迴流區受到不同流量比、交匯平滑度和匯流角度之影響各

不相同。由於主渠於迴流區外之有效渠寬改變及能量損失則造成水位急速變化，即水位產生洩降現象，主要由於主渠下游因支渠水流流入形成之迴流區以致通水斷面減縮，而造成主、支流匯流處上游水位之壅塞抬升，而匯流處主渠下游水位降低，嚴重者可能發生臨界流況或水躍現象。

分流 (dividing flow) 係指一主渠道於某處連接支渠以分散水流，於分流區之流況因流量改變和能量、動量的傳遞轉移為一複雜的水理現象，對於水中懸浮物、泥沙沈澱或水位變化均有很大的影響。而在支渠分流處則因流線分離導致不穩定的迴流區和束流現象，束縮造成流量宣洩的有效斷面變小導致能量的損失，如果束流區有效斷面過小，亦可能產生臨界流及水躍現象。



1.2 文獻回顧

有關合分流之研究甚多，早期計算機未發達時，多是由實驗著手或是由理論推導得方程式之解析解，近期由於計算機發展快速，求得之解析解也可利用其進行計算，或用各種數值模式求解方程式，大至上可分為實驗部分、理論解析解部分和數值部分。分流之理論解析解部分較少，因此僅收集實驗和數值部分。第三部分為本文所使用之數值方法(特性法)之文獻收集。

1. 合流

(1) 實驗部分：

Wang(1971)、Soliman(1977)等均利用動量守恆原理並配合實驗資料分析，建立匯流段上、下游水深間的關係式。Lin and Soong(1979)進行主、支流 90° 交匯之試驗研究，發現紊流混合損失及邊界摩擦損失的階數(order)大小是相同的，並於研究匯流能量損失時，亦發現支渠對主渠上游之水位抬升量影響很大。Modi et al.(1981)以保角映象(conformal mapping)之方法，假設無黏滯且為非旋性流而推估自由流線造成之分離寬度及長度，其結果較實測值高估。Best and Reid(1984)研究等渠寬且福祿數介於 0.1~0.3 之間之交匯明渠流，他們發現迴流區長度及寬度隨者主、支渠交匯角度以及支渠與主渠下游流量比的增加而增加。王與何(1984)應用模型實驗將交匯渠流損失水頭分為摩擦損失及紊流損失，並將損失表示為各相關水理參數和幾何參數之迴歸關係式。清水與板倉(1986)在實驗中，當支流寬度僅為主流寬度之 1/16，除有分離區外，均無明顯之水面洩降或水躍現象發生。蔡等(1990)亦進行完整之直交匯流實驗，並將主、支渠流場分離類比為彎道流場，進而分析匯流段水位壅高現象和能量、動量修正係數及迴流區長度等參數。吳(1994)以頻譜分析的方法觀察交匯渠流之迴流區附近的流場特性，發現流場於邊界轉角處形成一強勁亂流且具有極大速度梯度的不穩定剪力層(unsteady shear layer zone)及再觸渠岸區(reattachment zone)與迴流區。張(1995)應用質量、能量和動量守衡原理推導亞臨界交匯明渠流匯流區附近之一維流場穩態解析解，並進行不同交匯角度之匯流實驗，發現主、支渠流交匯處上游之流況因交匯而阻滯導致上游水位抬升。Kumar et al.(1997)由實驗室中實驗交匯角度 30° 、 60° 及 90° 所得之亞臨界流在渠道中的影響資料，提出經驗上的動量校正係數、邊牆所受到的壓力和支流與主流上游水深比關係式。Hsu et al.(1998)應用質量守恆、動量

守恆與能量守恆方程式，綜合成一無因次多項式，透過實驗資料所得之主支流各項矯正係數，透過迴歸分析的方法，進行直角匯流實驗無因次水深比的預測。吳(2001)利用水工實驗，對於在不同交匯角、渠寬比和流量比情況下之明渠流加以分析。

(2)理論解析解部分：

Taylor(1944)以動量方程式推導主渠上、下游參數之匯流公式，但在較大交匯角度時，由於渠流匯合後下游速度分佈發生扭曲，與他所作的渠流與渠壁平行的假設不符，造成結果產生偏差。Webber(1965)則假設非旋性與無滯性流體，導出一上下游水深，交匯角與下游福祿數之關係式，並以實驗值修正其關係式。Hager(1984)以能量率和動量法則解析匯流流況；他採用Gardel(1957)之資料認為在匯流角為 90° 時，側流流向角為匯流角之 $8/9$ 倍。伍(1985)、徐(1987)等均利用動量守恆原理並配合實驗資料分析，建立匯流段上、下游水深間的關係式。吳與許(1992)應用質量、能量和動量守恆理論推導匯流處附近亞臨界流流場之一維穩態解析解，並進行可變交匯角匯流實驗加以分析。

(3)數值部分：

合分流之內部邊界條件處理對於模擬之結果影響甚大，故匯流區之處理方法亦為研究之重點，如Preissmann type scheme(Cunge, 1980)假設匯流處無能量損失，利用交匯區三格點能量相等方法，作為內部邊界條件；Abbott-Ionescu type scheme(Cunge, 1980)則假設匯流處水位相同，利用交錯格點的配置方法，於主支流交匯點計算水位。Pavlovic et al.(1984)認為匯流渠道均為一寬度漸變之渠道，下游渠寬為上游之兩倍。Ramamurthy et al.(1988)量測支流邊牆壓力差，顯示支流傳遞至主流向之動量與左、右岸壓力差之比值為流量比之正

切函數，其結果僅適用於主、支渠流量比 0.5 左右。Ramamurthy and Satish(1988)對於 90° 主、支流交匯所產生的分離現象提出理論性的模式解，並把主支流渠道的寬度比納入考量，且提出主支流流量比跟主流下游的福祿數有一定的關係。Hager(1989)考慮壓力修正項而求得上游水深和臨界水深比之函數，並推估因迴流區造成之寬度收縮係數；經由其實驗值之比較，發現於 90° 時之水深比預測值有高估現象。Ramamurthy et al. (1990)則提出主、支流流量比跟主流上、下游福祿數的相關性。McGuirk and Rodi(1978)及許與巫(1990)利用深度平均二維模式計算直交側入射流和主流交匯所造成之迴流長度；其結果和主流與側流平均流速之動量比呈對數上升，然其主流與側流之寬度差異相當大，故並不適用於一般明渠匯流之模擬。吳(1994)以單側法模擬主渠流之側向對流效應，利用消散界面有限差分運算子將時間項類比為前項差分法，視水深為無方向性之擴散，而速度則具方向性之擴散。Shettar and Murthy(1996)利用數值方法求解二維水深平均方程式的方法，採取控制體積的方式，求解直角主、支流交匯問題，對於紊流應力影響採用深度平均 $k-\varepsilon$ 方式設計。Khan and Cadavid(2000)使用 CCHE2D 模式模擬二維合分流，模式中應用到二維水深平均的 turbulent closure scheme，可模擬合分流迴流區的逆流現象。李(2001)將有限解析法模式應用於交匯流，並模擬湧浪於主支流渠道中傳遞，造成流量及水位隨時間起伏的現象。Shabayek and Steffler(2002)將動力模式(dynamic model)應用於合流，利用兩個控制體積的觀念，以質量動量平衡校正內部邊界條件，由於考慮到匯流區的摩擦損失，使得模擬結果更接近真實情況。

2. 分流

(1) 實驗部分：

Grance & Priest(1958)模型試驗在不同角度在不同渠寬比下量測主、支渠均勻斷面之水深與主、支渠之流量。Law(1965)使用理論解析和實驗方法研究分流。Ramamurthy (1988)由其實驗資料指出，分流處束流區福祿數應為0.35，且為避免主渠下游因湧波現象的產生而影響了實驗量測的準確性，主渠下游福祿數應小於0.7。並且利用實驗資料推求主渠下游福祿數與支、主渠流量比之關係式，由此關係式與主渠下游之率定曲線，便可以試誤法來求得各分流渠道之分流量與主渠下游福祿數及主渠下游水深，並推導出分流流況之解析公式。Ingle(1990)利用Ramamurthy(1988)之公式繪出支、主渠流量比與主渠上游福祿數間的關係圖，發現當主渠上游福祿數小於0.306時，支渠流量與主渠上游總流量之比將大於1，此屬不合理。因此Ramamurthy(1990)進一步修正假設，當支渠為非淹沒流況時，臨界斷面將在支渠最大束縮斷面形成，並沿分流流線水深之變化，可得一簡單關係式；再由此關係式更進一步從動量方程式的關係中推得主渠上游福祿數、主渠上下游流量比與水深比之解析公式。Hager(1990)提出能量損失係數近似式，且假設主、支渠間無能量損失及於束流區產生臨界流況而推導出支渠流量係數解析式。Neary(1993)把分流實驗研究著眼於迴水特性和能量損失，進行非等寬分流實驗時作三維性流況探討，發現上游一倍渠寬處近水面之流線平面寬 W_{rs} 與近渠底之流線平面寬 W_{rb} 有以下之關係：

$$\text{光滑渠底：} W_{rs}=0.60W_{rb}$$

$$\text{粗糙渠底：} W_{rs}=0.46 W_{rb}$$

且認為分流與彎曲河流狀況相似，故可應用彎曲河流模式來預測三維

分流的情形。樊氏(1998)以水工模型試驗對亞臨界流直交分流場做研究，而何(2003)則是對亞臨界流 45° 相交之分流場做研究，其皆包含主、支渠流量各斷面水深及流速量測及主渠上下游、支渠下游福祿數、動量、能量修正係數、能量及流向角計算。重點在於主渠分流流線與支渠迴流區之探討，並與學者所提出之理論觀點來做相互印證。

(2) 數值部分：

曾(1998)以二階時間空間顯示MacCormack有限體積算則並應用大渦模擬紊流模型，進行二維時變淺水方程式之離散化，以有限體積法將St. Venant equation進行積分，符合Courant-Friedrich-Levy之穩定標準，模擬中 $C_r \leq 0.5$ ，在亞臨界流中，入流條件必須給定流速及水深，出流條件則給定水深，未知之邊界條件由黎曼恆等式所給予；在邊牆處，速度為無滑移條件，而水深則採無通量條件，至於初始流場給定為均勻流場。李(2002)利用一維有限解析法模式應用於主流渠道之合分流模擬，在內部邊界條件以水位相等來處理，針對不同分流角度進行模擬，並和實驗值驗證，進而模擬非定量流。陳(2003)進而將一維有限解析法應用於模擬天然河川網路變量流演算模式。

3. 特性法

特性法最早由 Massau(1889)提出並將之運用於明渠變量流方程式之圖解積分。Lin(1948)提出時間間隔法，Hartree(1952)將此法利用電腦來求數值解，此被稱為傳統特性法。Chang and Richards(1971)

應用空間延外法計算明渠流問題；Wylie(1980)運用時間延後法改善傳統特性法質量守恆的問題；Schmitz and Edenhofer(1980, 1983)應用隱式法於明渠變量流及洪水演算。Lai (1991, 1994)綜合前人之研究，提出多方式特性法(multimode characteristics method)並結合線性內插，模擬明渠變量流。多方式特性法包括傳統法(classic scheme)、空間外延法(spatial reachout scheme)、空間延後法(spatial reachback scheme)、隱式法(implicit scheme)以及時間延後法(temporal reachback)等。王等(1997)應用第二種多方式特徵法為核心數值解法，以矩陣解法或試誤法解決所有的外界與內部的邊界條件問題，將外部、內部邊界點與渠道節點分開處理，並將其應用於淡水河系網路河川之模擬。

於動床方面，Lai(1991)發展一均勻質輸砂模式 (XSUFMB)，但實際河川多為非均勻沈滓，其適用性受到限制。李氏(1992)、Yeh et al. (1993)、陳氏(1994)、Yeh et al. (1995)、臧氏(1995)及 Yeh et al. (1996)則進一步發展出非均勻質輸砂模式，稱為 NMMOC 模式。翁氏(2002)將之改為可經由個人電腦編譯並執行之模式，捨棄以往採用工作站編譯模擬之不便。李(2003)更進一步以特性法之觀點推求緩衝段，並研究緩衝段對數值演算之影響。

1.3 研究目的與內容

由上節文獻回顧可知，合分流之研究，多利用實驗渠槽模擬之實驗值，此花費之費用與時間遠超過數值模擬，而數值模擬又多為二維模式。一維模式可快速模擬初步之結果，對於應用於防洪工程上有很大的參考價值，特性法又為多種數值方法中最具物理意義之方法，因此本文將多方式特性法應用於合分流之研究，並且為未來應用於動床合分流之研究鋪路。王等(1997)曾以第二種多方式特徵法（包含了顯式法、隱式法、時間延後法、空間延後法、空間延外法及時間延外法）為核心數值解法，應用於淡水河系網路河川之模擬，其內部邊界處理利用三點能量相等法，將河道分為三渠段，假設於匯流區之三點能量相等，但必須忽略能量損失，此方法不易收斂，在模式建立上也較複雜，本研究則應用兩點水位相等法，將河道分為兩段，假設匯流區兩點水位相等，利用主渠求得支渠所需之邊界條件，此方法較易收斂，也可改善質量不守恆之問題。

本研究利用水流之連續方程式及動量方程式，滿足 de Saint Venant 之基本假設下，應用多方式特性法，轉換成全微分型式之特性方程式，同時求解流速及水深；在上下游邊界處理，根據流況給予流量和水深，在內部邊界條件採用水位相等之概念來處理。為驗證數值模式之適用性與準確性，利用在不同匯流、分流角度、不同渠寬比

和不同流量比之實驗資料與模式比較，並引用其他模式之結果，證明模式之可用性，進一步探討變量流於明渠合分流水深、流量與流速之變化情形。由於特性法的數學理論及接近物理現象之優點是其他數值方法所無法比擬，其結果可作為其他數值模式比較之參考。

