

第二章 文獻分析

影響水資源貯蓄的因素有很多，包括雨量、河川流量、土壤水分含量、地形、地質、溫度、植被覆蓋、土地利用狀況等，其中以雨量分佈及河川流量變化為最直接影響水資源供需，而內在條件如土壤性質及母岩性質為貯蓄水源之天然材料，但外在環境如土地利用狀況卻可以影響水資源補注或浪費之調配。以下即針對重要因素之相關文獻整理探討。

第一節 水文特性

由於全球受到溫室效應影響已造成氣候之變遷，相對地對水文循環也產生影響，例如極端水文事件發生頻率增加。田維婷（2003）模擬氣候變遷對台灣地區地表水文量之影響，研究結果顯示未來降雨與逕流有極端化之現象。蕭政宗等人（2002）以無母數 Mann-Kendall 檢測法分析台灣地區降雨特性趨勢，以台灣地區北、中、南、東各區域降雨紀錄較長且資料不間斷之雨量站資料予以檢測，發現年不降雨日數在任何區域均有明顯增加的趨勢，年最大連續不降雨日數亦有上升趨勢。Yu et al.（2002）研究高屏溪流域之水資源受氣候變遷衝擊中指出，未來高屏溪流域降雨量有減少之趨勢，而不降雨日增加，連續降雨機率減少，此現象顯示降雨型態會有所改變，由水文模式模擬結果顯示在濕季時未來的逕流量會增加，乾季時會有減少的趨勢。可歸納出未來豐水期的逕流量會增加 26%；枯水期減少 21%，則河川的乾枯情況會更明顯。余文利(2005)由水文氣象因素所分析的結果得知，造成 2002 與 2003 年翡翠水庫缺水之主要成因是由於枯水期降水量明顯偏低，與歷史乾旱年（1993、1995）相比，豐枯水期的降雨日數雖無明顯的差異，但 2002、2003 年枯水期降雨強度明顯偏低，而偏低的降

雨量導致大部分的降水入滲至土壤或蒸發至大氣中，使得地表逕流不易產生，造成水庫入流量明顯減小。簡傳彬(2003)水稻田入滲及回歸水之試驗及模擬指出水平衡及最佳化模式可提供上游田區回歸水量及利用上游回歸水之最佳灌溉水量及灌溉時程，以減少灌溉水量，增加水資源使用效益。由水文年報統計資料可以得知 1995 年至 2004 年台灣地區水文概況如下：

◎1995 年

台灣地區降雨量較少，平均年雨量為 1,914 公厘，與歷年(民國 38-79 年平均年雨量 2,515 公厘)比較，減少 24%。各河川流量低於歷年平均，台灣地區總逕流量為 490 億立方公尺，比歷年(民國 38-79 年平均值 668 億立方公尺)減少 27%。

◎1996 年

本年之水文條件略高於平水年狀況。其七月底的賀伯颱風並非威力最強，但其所挾帶之豐沛雨量及強大風勢，卻造成極嚴重的災情。平均年雨量為 2,860，與歷年(民國 38-79 年平均年雨量 2,515 公厘)比較，增加 14%。各河川流量高於歷年平均，台灣地區總逕流量為 733 億立方公尺，比歷年(民國 38-79 年平均值 668 億立方公尺)增加 10%。

◎1997 年

台灣地區的雨量較少，平均年雨量為 2,183 公厘，較歷年(民國 38-79 年平均年雨量 2,515 公厘)少 13%。各河川流量低於歷年平均，台灣地區總逕流量為 558 億立方公尺，比歷年(民國 38-79 年平均值 668 億立方公尺)減少 16%。

◎1998 年

台灣地區的雨量較多，平均年雨量為 3,322 公厘，較歷年(民國 38-79 年平均年雨量 2,515 公厘)高 32%。各河川流量高於歷年平均，

台灣地區總逕流量為 834 億立方公尺，比歷年（民國 38-79 年平均值 668 億立方公尺）增加 25%。

◎1999 年

台灣地區的水文條件略低於平水年狀況。本年雨量較少，平均年雨量為 2,081 公厘，與歷年（民國 38-79 年平均年雨量 2,515 公厘）比較，減少 17%。各河川流量低於歷年平均，台灣地區總逕流量為 532 億立方公尺，比歷年（民國 38-79 年平均值 668 億立方公尺）減少 20%。

◎2000 年

台灣地區雨量不多，平均年雨量為 2,332 公厘，與歷年（民國 38-79 年平均年雨量 2,515 公厘）比較，減少 7%（但是北部地區增加 11%）。各河川流量低於歷年平均，台灣地區總逕流量為 599 億立方公尺，比歷年（民國 38-79 年平均值 668 億立方公尺）減少 10%，水文條件略低於平水年狀況。

◎2001 年

台灣地區雨量豐沛，9 月中度颱風納莉來台，台灣各地均有豪大雨，多處地方創下單日降雨量歷史新高，並造成北臺灣嚴重水患。其平均年雨量達 3,077 公厘，與歷年（民國三十八年至八十九年平均年雨量 2,472 公厘）比較，約多 24.5%。各河川總逕流量約為 824.6 億立方公尺，與歷年（民國三十八年至八十九年總逕流量平均值 635.3 億立方公尺）比較，約大 29.8%。

◎2002 年

為台灣「少雨」的年份，其平均年雨量為 1,572 公厘，與歷年（民國三十八年至八十九年平均年雨量 2,472 公厘）比較，約少 36.7%。各河川流量低於歷年平均，總逕流量約為 422.29 億立方公尺，較歷年少

33.90%，尤其南部地區減少達 48.36%，幾乎只有歷年的二分之一。

◎2003 年

亦為台灣「少雨」的年份，其平均年雨量為 1,689 公厘，與歷年（民國三十八年至九十一年平均年雨量 2,466 公厘）比較，約少 31.5%。各河川流量低於歷年平均，總逕流量約為 465.47 億立方公尺，較歷年（民國三十八年至九十一年總逕流量平均值 634.71 億立方公尺）少 26.66%。

◎2004 年

共有 11 個颱風侵襲台灣，較歷年同期侵台平均次數 3.02 次高出許多，但是帶來的雨量卻不如預期豐沛，其年平均雨量為 1,572 公厘，較歷年（民國三十八年至九十二年平均年雨量 2,452 公厘）多 4.9%。各河川流量接近歷年平均，總逕流量約為 668.82 億立方公尺，較歷年（民國三十八年至九十二年總逕流量平均值 632.47 億立方公尺）多 5.86%。由以上資料彙整出台灣四十年來的雨量變化及總逕流量之關係，如圖 3-1。結果顯示 1995 年以前的年平均雨量為 2,515mm，而 1995-2004 近十年的年平均雨量反而減少為 2,260mm；另一方面全省總逕量 1995 年以前平均年逕流量為 668 億 m³，而 1995-2004 近十年的平均年逕流量減少為 613 億 m³。

第二節 土地利用

土地利用的改變也會對逕流產生影響，而逕流係數（逕流深度與降雨深度之比值，其值受到流域特性、土地使用狀況、地質、坡度、土壤滲透性等因素）常用於探討集水區產生逕流的潛勢能力評估，Bosch et al.（1982）統計全球 94 個集水區實驗發現，森林覆蓋的減少會使逕流量增加。不同植被覆蓋亦有不同的影響，如每減少 10% 的針葉林覆蓋面積，會增加約 40mm 的年逕流深度；每減少 10% 的闊葉林覆蓋面積，會增加約 25 mm 的年逕流深度；而每減少 10% 的灌木或綠地覆蓋，年逕

流量深度會增加約10mm。

Savenije(1996)推求逕流係數與水分循環之關係式，說明在低逕流係數的流域中每個水分子都會被重複再利用。集水區因砍伐森林、農業的發展、都市化的形成，導致蒸發散減少或集水區的逕流量增加，將會使降雨量減少，而集水區內的水循環是直接受到土地利用的影響，特別是在半乾燥或是在乾燥的地區，水分循環是降雨的重要來源。

另外降雨強度在時間與空間上的變化會影響集水區逕流量的時空變化，當降雨強度大於土壤的入滲率時，部份的降雨會產生地表逕流；反之若降雨強度小於土壤的入滲率時，降雨大都會入滲到土壤而不會形成地表逕流。Wainwright et al. (2002) 在不同坡長的條件下，降雨強度的時間變化對逕流係數的可能影響。研究結果證明降雨強度的時間變化是控制逕流係數的主要因素。Rose (1998) 利用假設檢定(hypothesis testing)的方法分析不同臨前降雨條件下對逕流的影響，收集美國喬治亞州海岸平原1948 至1994 年的水文資料，探討在暴雨和乾旱事件後逕流比值的變異，發現從乾旱事件後恢復到正常降雨狀態時的逕流比值需要1-2 年的時間；而在暴雨的狀態下則需要2年以上的時間恢復到正常的逕流比值。

第三節 土壤水分之研究

土壤的滲透率高，雨水會很容易滲入其中，如果土壤的滲透率低，雨水往往會積存在土壤表面；而影響土壤滲透的內在因素即為土壤質地。林俐玲等(2004)以中部地區坡地黃壤及紅壤為研究土樣，探討坡地土壤中礫石含量對飽和水力傳導度之影響，結果顯示含礫石之土體，孔隙度隨著礫石含量增加而降低，總體密度提高，飽和水力傳導度隨之降低。陳樹群及游功揚(1996)利用 Philip (1991) 坡地入滲公式進行砂箱試驗，得到平面與坡角 30 度之傾斜砂質界面，二者之入滲

率並無明顯差異。牛振國等(2003)利用 GIS 網格資料模型構建了流域累積土壤水分補給量的分散式模型，結果顯示模型能夠合理地表達累積土壤水分補給量的空間變化。

第四節 統計分類系統建立

為了了解流域集水區之土地條件是否可以建立虛擬水庫，因此將資料建置成資料庫，進行分類統計處理，可讓系統分析的更精確。根據鄭惠丹（1994）空間決策支援系統研究、楊龍士（1994）地理資訊系統整合功能研究、楊寶冠（1994）地籍資料庫系統規劃等相關研究，目前大多以地理資訊系統為主軸，其在查詢應用上亦以圖層屬性套疊為展示目的，但針對土地可利用區域之劃分則少著墨。本研究將利用套繪各土地類別圖層並轉換成數據以劃定適合虛擬水庫位置之區位。

第五節 水資源運用相關機制

一、國內

(一)HEC-5 防洪及水庫系統聯合運轉模式

(1)虛擬水庫(Dummy reservoir)：實際不存在，但因本程式分析模式中每一支流須以一水庫起始而以一控制點結束，如系統中以一引水壩開始且不考慮可供調蓄之容積而將該引水壩以控制點模擬時，則該控制點上游須知設一虛擬水庫（水庫容積為零），本程式才能正常運作。此外，若一實際存在或計畫中水庫具有多座電廠，因本程式一水庫僅可輸入一座電廠資料，則須在具有調蓄容積之水庫下游再輸入多個虛擬水庫及各別電廠資料，並設定水庫水位與上游之水庫水位相同，如此即可以模擬實際情況中一水庫有多座電廠。虛擬水庫之輸入方式與水庫相同僅水庫容積設定為零或水位與上游水庫相同。另有抽蓄電廠之模擬亦須虛擬水庫。

(2)虛擬水庫(Dummy nonreservoir control point)：實際不存在，但因放水策略須增加之節點可以虛擬控制點模擬，其輸入方式與控制點相同，唯實際上無該節點（位址）存在。

(二)六年國發計畫用水政策應採民生及工業分管制

對於 6 年國發計畫強調水源調度、節水措施，淡江大學水資源及環境工程研究所教授虞國興認為，採用節約用水及水資源調配兩手段替代部分水源開發，正符合「虛擬水庫概念」，亦即扣除節水及調配措施，省下應開發未開發水源的虛擬水庫供水量，平衡供需。

二、國外

(一)虛擬水資源(Virtual Water)的定義(Tony Allan, 1997)

The water that is used in the production process of an agricultural or industrial product is called the 'virtual water' contained in the product.

虛擬水資源之定義始由英國學者Allan所提出，係指食物或商品在製造與生產「過程中」所需消耗的水量，但是從產品本身內容並不能直接反映或被定量，因而被稱作是「虛擬的」水資源量(Allan, 1999)。

(二)水區股票交易(water stock)

由於政府或私人興建水庫或配水系統需要大筆資金，水庫與水利公司可依參與者投資金額的多寡分配水權股票，以代表水權人對此供水組織的用水請求權；在同一供水組織的配水範圍內，水權人可自由交易或租賃水權股票，以調整或確保其用水量，此種交易形式以美國北科羅拉多水源保護區為代表。(張雅珮，2000)

(三)水農場(water ranch)

美國亞歷桑那州南部的Phoenix市與Tucson市，農業與都市用水多仰賴地下水源，為避免地下水過度抽取，水權須與地權一起購買，稱

為水農場。(張雅珮，2000)

(四)水銀行(water bank)

1991、1992與1994年加州因嚴重乾旱成立水銀行，由政府擔任仲介，鼓勵水權人以休耕、釋出水庫多餘蓄水、或是以地下水取代等方式將節省的水量釋出，賣入水銀行，而需水者則可至水銀行買水，不必握有水權，因此水銀行的交易形式屬於水量的移轉而非水權的移轉。(張雅珮，2000)

(五)澳洲的水權交易形式

南澳於1983年首度實施永久性的水權交易，新南威爾斯亦於1989年實施，只要經其水資源主管機關核准即可，高度安定水權無法全部用完時，可透過交易制度賣給一般安定水權人。(張雅珮，2000)

(六)拉丁美洲的水權交易形式

智利首先嘗試於1981年賦予給個人永久性的、交易性的用水權，水權亦可經由拍賣方式核發最高得標者；墨西哥則在1992年立法訂定用水許可的可交易性，巴西隨後亦跟進。(張雅珮，2000)