

專題報導

洪水與土石流

水文循環 與洪水

森林被砍伐、地表上覆蓋不透水鋪面、與河川爭地，種種都市化的結果，使得水源涵養能力下降；工業化的結果產生了大量的二氧化碳等溫室氣體，改變了全球的氣候環境，這些因素都使得洪水的規模與頻率與日俱增。

游保杉



水在大氣、海洋與陸地三大系統之間，以不同的形式移動，使得三大系統中的水維持平衡。其中水從大氣以降水形式落至大地後，經由截流、窪蓄、蒸發散、入滲、滲漏，然後產生地表逕流，匯集至河川而流入大海，最後又經由蒸發返回大氣，形成水文循環。

在陸地上，從降雨到產生逕流過程的水文現象，即一般所謂的降雨—逕流關係。水利工程師嘗試利用數學方法建立降雨—逕流模式，以模擬洪水過程。在降雨—逕流關係中，每一個水文現象均與逕流發生的行為有關。簡單地說，水文循環現象即為產生洪水的基本機制，當流域水文循環系統產生超量逕流，使河川無法容納其流量時，即漫淹河川兩岸形成洪水。

水文循環與水平衡方程式

海洋與陸地水體，因接受太陽的熱能而氣化到大氣，此一過程稱為蒸發；另外，陸地上土壤與植物所含的水分也會氣化到大氣，則稱為蒸散。這些經蒸發或蒸散作用（統稱為蒸發

散）的水氣，被大氣環流傳送到大氣上層，凝結成液態（水滴）或固態（冰晶）而形成雲。在適當條件下，大氣中的水氣會冷卻降落成爲降水。在降水過程中，部分水滴或冰晶在降落途中，會再度蒸發成水氣，只有顆粒較大的水滴或冰晶有機會落到地面而形成降水。

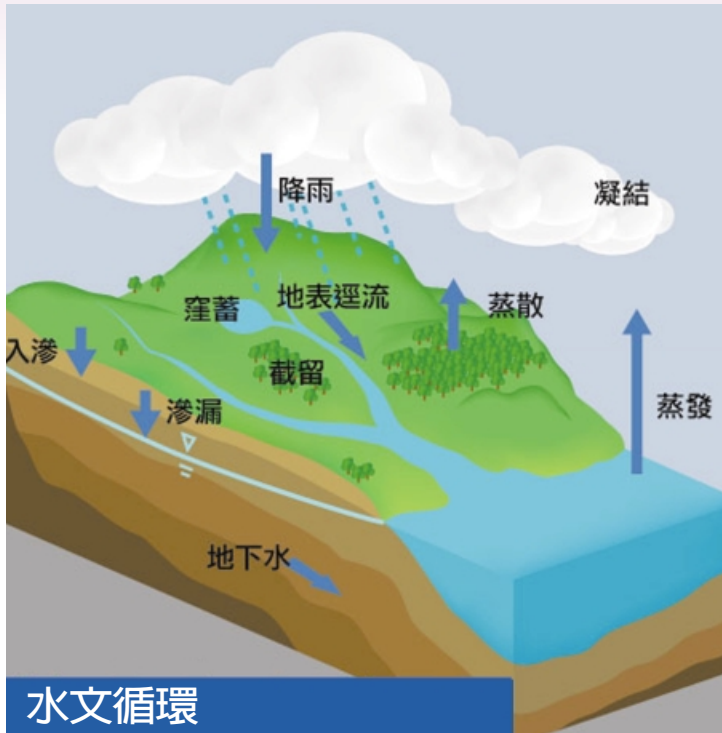
部分降水直接落在植物葉面、樹幹上而未能降落到地面的，稱為截留。降落到地面的降水，部分又爲土壤所吸收而入滲於地下，蓄存在地表下的土壤水，部分繼續滲漏而形成地下水。超過土壤入滲量的雨水形成地表逕流，沿著地表坡度向低處流動，填滿地面低窪處的窪蓄後，繼續向低處匯集形成河川逕流，最後再流入大海中，繼續蒸發爲水氣，重新開始水的循環。



<http://www.epochtimes.com/b5/2/8/14/n208446.htm>

二〇〇二年八月德國東部與南部暴雨持續，引發洪水，至少有一萬七千人撤離薩克森邦，數十人被困在家中，薩克森邦大部分地區的電力與電話線路中斷，德國火車也停止駛入該區德勒斯登大站。

當考慮一流域系統的水文循環時，降水就是此系統的輸入量。截留、窪蓄、入滲與地下水是此系統的儲存量，蒸發散量與流出量是系



降水→截留、窪蓄、入滲、地表逕流→蒸發、蒸散→凝結→降水，形成周而復始的水文循環。

統的輸出量。在一流域內輸入量應等於儲存量與輸出量的和，水平衡方程式可表示為：

$$\text{輸入量} = \text{儲存量} + \text{輸出量}$$

(降雨量) (截留、窪蓄、入滲與地下水) (蒸發散量與流出量)

一般洪水模擬與很多水文模式，均依據此一水平衡方程式來設計。此方程式雖然簡單，水文學家已歷經長久努力，從觀測到建立數學模式，以計算其中每一項目，但仍很難做到精確的估算。主要原因之一是：影響水文現象的降雨、地貌、地文、地表覆蓋或土壤地質等因子，均有顯著的空間變化特性，人類在流域進行有限的點觀測所得資料，無法精確掌握空間變化特性。近年來衛星遙測技術的發展日趨成熟，能夠提供較完整的空間資訊，水文學家未來或有可能較為精確地使用水平衡方程式。

洪水是如何形成的

從水平衡方程式來看，發生洪水有兩種可能。第一種是水平衡方程式中的輸入量（即降雨量）太大所引發，可稱為自然氣候條件造成的洪水。當自然流域地貌與地文特性未受干擾，其截留、窪蓄、入滲、蒸發散與地下水的特性保持不變，即該流域的水平衡方程式中，儲存量大致上維持固定時，如果發生超量降雨，依據水平衡方程式，流域即會有大量的流出量，而形成洪水。

近數十年來，由於工業發達、物質生活提升，使得二氧化碳、甲烷、氟氯碳化物等造成溫室效應的氣體明顯增加，導致現今全球氣溫有上升的趨勢，進而影響降雨的型態。據聯合國跨政府氣候變遷研究小組二〇〇一年二月提出的研究報告指出，未來氣候暖化對亞洲國家的傷害將特別大，土地將更為乾燥，颱風、乾旱、洪水等極端氣候型態發生機率增加且程度增強。

當然，全球氣候變遷與區域之間的關係，仍需進一步研究與確認，但台灣在幾年前，北部納莉風災、南部譚美風災及中部桃芝風災，都在各地形成百年難見的災難性降雨。此外，世界各地同時均有異常洪水災害的發生。



俄羅斯西伯利亞東部城市雅庫茨克，是雅庫特地區的首府，二〇〇一年五月雅庫特地區發生了俄羅斯百年來最嚴重的洪災。

該研究小組在同一期的研究報告中也指出，英國泰晤士河與塞文河到二〇五〇年，因氣候變化因素，二到五十年重現期距洪水量大約增加10 ~ 20 %。其他地區如希臘中部 Ascheloos流域、北歐與孟加拉共和國的氣候變化，未來對這些地區洪水的發生時間、延時或頻率等特性均有所影響。

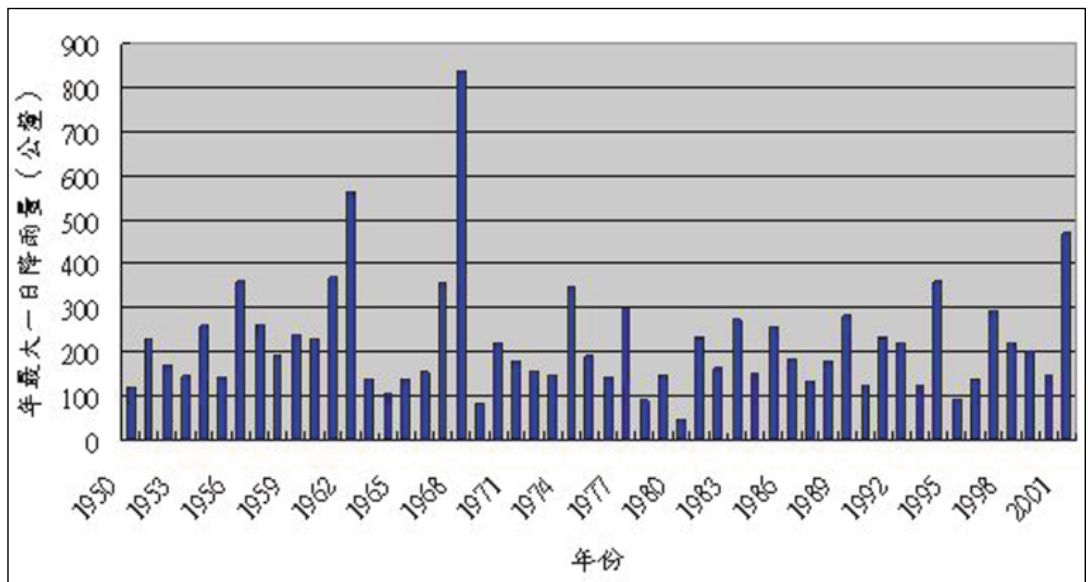
發生洪水的第二種可能原因是水平衡方程式中的儲存量減少（即河川流域的水源涵養能力降低）所導致，在相同輸入量下，因儲存量減少而增加流域流出輸出量，這是人為活動所造成的洪水。

當人類活動干擾自然流域地貌與地文的特性時，比如流域土地利用改變與都市化後，可能改變流域截留、窪蓄、入滲與地下水的特性，使流域水文循環的儲存量（即水源

涵養能力）減少，於是在相同的降雨條件下，因水平衡方程式中儲存量減少，導致流域的流出量增大而形成洪水。台灣近年來不論在流域大量種植茶、檳榔、高山蔬菜等經濟作物，以及都市化後建築物與不透水面積的持續增加，均已明顯影響流域截留、窪蓄與入滲等特性，減少了對降雨的儲存量，致使流出量增加。



<http://www.gec.ntu.edu.tw/20020509/itcm/index-1-STORY.htm>



五十年來高雄年最大一日降雨量（1950~2001），很難從圖中找出規律性來。

二〇〇二年八月捷克首都布拉格遭受多個世紀以來最嚴重的洪災。

降水與洪災

水文循環中降水可能與洪水災害具有最直接的關係，降雨的特性包括降雨總量（或降雨強度）、降雨範圍（面積）、降雨延時與降雨規模（發生頻率）等。不幸的是，降雨的發生是那麼捉摸不定，年與年之間的降雨關係具有明顯隨機變動的特性。就以高雄市50年來年最大一日降雨量為例，我們很難從紀錄圖中找出規則性，以預測明年最大單日降雨量是多少。

目前普遍的處理方法是，利用觀測雨量紀錄，經由統計分析模型，來推論某一出現機率的降雨，做為設計暴雨的參考。比如重現期距為一百年的降雨，又稱為百年一遇降雨，即長期平均而言，每一百年會發生一次的降雨，但它不意味發生一百年降雨之後，不會馬上再發

生同一規模的降雨，在統計上的解釋是，每年大於或等於此一降雨的機率是百分之一。

從統計觀點而言，一百年降雨的估計值本身為一隨機值，同時具有一個描述此隨機值變動特性的變異數，它可能遵循著某一統計分布。工程上我們採用一百年降雨的估計值只是該統計分布在大於或等於1%機率的平均值，它有時候會比平均值大，也有可能比平均值小，假如利用其變異數做進一步的分析，就可以估算出在某一信賴水準區間的結果，以提供工程設計較多的資訊。

用統計方法來分析、設計暴雨的基本假設條件是，未來降雨的統計特性與歷史觀測雨量紀錄的統計特性相似，但假如未來年最大降雨具有明顯的上升或下降的變動趨勢時，傳統工程統計分析方法就必須加以修正。



<http://big5.yunnaning.info/articles/2002/06/8882p.html>

二〇〇二年六月中國西部的陝西省出現豪雨，造成大面積洪水和泥石流災害，很多房屋倒塌道路被衝垮。



窪蓄與洪災

窪蓄是流域儲存逕流的現象。低窪地區、農田、洪水平原、及河岸、陸地與下游的河口濕地等，都是自然界提供水文循環中窪蓄現象的空間，在上游興建水庫則是人工創造的大範圍窪蓄，具有攔蓄洪水的功能。當降雨發生時，低窪地、洪水平原與濕地具有蓄存部分洪水體積的功能，可以減少洪水對下游地區可能造成的災害，由此可見低窪地與洪水平原，本身就是洪水期間容易淹水的區域。

當人口增加，經濟文明發達，對土地需求日益迫切時，人類開始開發原為洪水停留空間的低窪地與洪水平原。與水爭地的結果，使人類面臨更多洪水威脅，投入更多的防洪經費，崗山嘉興里、台南科學園區與基隆河汐止地區都是明顯的例子。從水平衡方程式而言，增加

流域的窪蓄能力應有減少洪水的效果，比如規劃洪水平原低窪地為蓄滯洪區、濕地維護或復育與利用休耕農地作為蓄洪池，都是非工程減洪的措施。其中河岸、陸地與河口溼地除提供生態活動空間外，在滯洪與蓄洪上也有一定的

自然窪地具有攔蓄洪水之能力。

農地在豪雨期間具有攔蓄洪水之能力。



效果。

入滲現象與洪災

入滲是流域中土壤吸收部分的降雨而蓄存在土壤中，具有減少與延遲逕流形成的功能。因此如能設法讓更多的雨量入滲，為地面所吸收，理論上可減少逕流體積。通常經由正確的土地經營，對中、小規模的降雨可以收到一定的成效，包括廣泛造林，改善農藝方法與加強水土保持。然而當特大暴雨發生時，再好的土地經營，也可能無法防止洪水的發生。

森林是水文循環的重要一環，深植於土壤中的植物根部，將深層土壤的水分抽至莖葉，再蒸發散至大氣中；科學家研究發現，砍伐森林之後，蒸散量減少，而逕流量增加，亦即土地涵養水分的功能減少了。

都市化造成新的水文環境，人工鋪面如瀝

青和混凝土取代自然植被，建築物取代了樹木，雨水下水道取代了自然水域的河川，這些土地利用性質的改變，造成不透水面積增加及排水管網密集，改變了降雨－逕流的水文過程，以致產生下述兩種變化。

水文循環過程的變化

天然流域地表具有良好的透水性，雨水降落地面之後，一部分下滲到地下補給地下水，一部分涵養在地下水水位以上的土壤孔隙內，一部分窪蓄和蒸發，其餘部分則產生地表逕流。據北美洲安大略環境部資料顯示，都市化前，天然流域的蒸發量占降水量的40%，地表逕流部分占10%，入滲地下水量占50%。

然而都市化後，由於人類活動的影響，天然流域被開發，植被受破壞，土地利用狀況改變，自然景觀受到大幅度的改造，不透水地面

納莉颱風造成
大面積洪水災
害。



http://www.dsns.csie.nctu.edu.tw/~cdlin/photo/其他/pages/010917_納莉到臨攝圖-2.htm

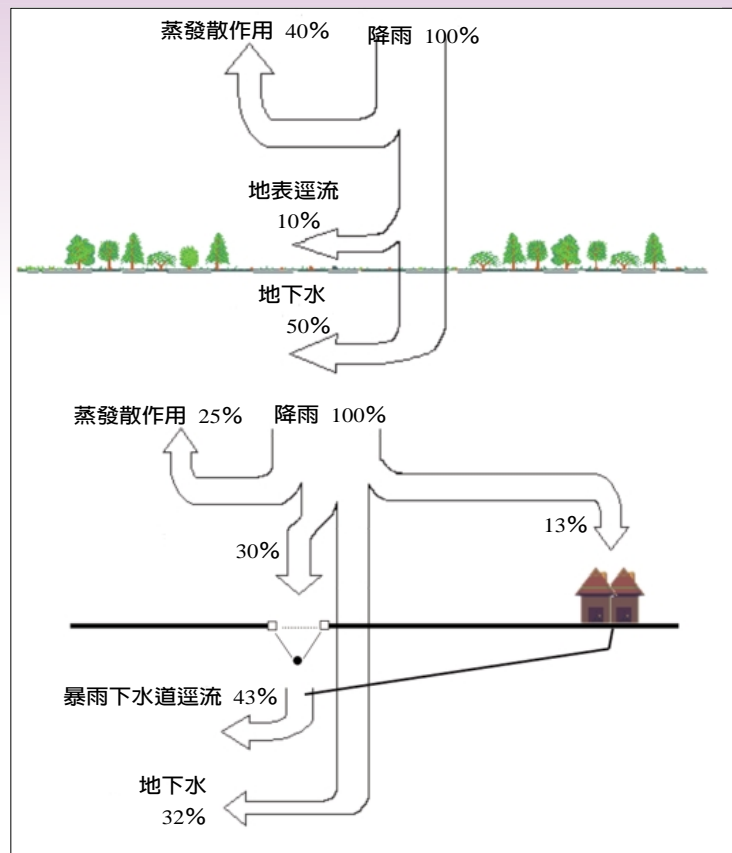
大量增加，使城市的水文循環狀況發生了變化，降水滲入地下的部分減少，產生地面逕流的部分增加。隨著城市化的發展，不透水面積的百分比愈大，其儲存水量愈小，地面逕流則愈大。由統計資料顯示，都市化前後，逕流量可由10%增加到43%。

河流水文性質的變化

都市化的結果造成入滲量、蒸發量減少，增加了有效雨量，使地表逕流增加。同時在都市化的過程中，對天然河道進行整治與疏浚，道路兩側設置邊溝，雨水下水道系統的興建，在在都增加了河道的水力學效應，雨水迅速變為逕流，使河流流量增大，集流時間加快，逕流過程所需的時間縮短。所以當地區都市化後，必然使得該區域洪水逕流增加，洪峰出現時間提前。

維持水文循環的平衡

近年來自然氣候變遷與人為土地開發，對水文循環系統的平衡已造成顯著影響，尤其人類活動行為所造成的衝擊，已長期違反水文循環的自然平衡。例如砍伐森林與都市化的結果，造成水文平衡方程式中的儲存量減少，河川流域的水源涵養能力降低，使水土災害程度



都市化前後水文循環的變化 在都市化前的地區逕流由10%（上圖）提升到都市化後下水道逕流43%（下圖）；由於森林的砍伐，以及不透水面積的增加，使得都市化後蒸發散作用與入滲地下水均顯著減少。

Ministry of the Environment, Evaluation of the Magnitude and Significance of Pollution Loadings from Urban Stormwater Run-off in Ontario, Research Report no. 81, Onta-rio, 1978.

日益嚴重。為減少洪水與相關災害所帶來的損失，人類在發展大地活動過程中，應顧及水文循環的平衡，任一水文過程受到干擾，均可能

影響水文循環系統的平衡，進而改變洪水發生的模式。 □

游保杉

成功大學水利系

二〇〇二年八月
香港七星崗的錦田河上的水泥橋被洪水沖斷。



http://www.epochtimes.com/b5/2/8/16/n208827.htm