

水文監測與利用

◎林業試驗所集水區經營組·陸象豫 (shiang@tfri.gov.tw)

水文監測(hydrological measurement)的目的在於獲得水文過程的相關物理量，以便更能了解水文現象，同時亦可作為水文模式的輸入基本資料。唯有具備充足的雨量、流量與氣象因子等紀錄，再加上地形、水系、道路、土地利用等資料，方能提供集水區經營、研究、設計、分析與制定決策的依據。

水文資料大致可分為抽樣式數據(sample data)與分佈式數據(distributed data)兩大類。抽樣式數據為在一定點持續量測的紀錄，如降雨量因時空而異，但通常雨量站僅設置於集水區內某一固定點，持續於雨量站監測雨量紀錄並構成時間序列資料，乃屬抽樣式數據。分佈式數據為在某特定時間，量測線性或平面的數據，形成空間系列資料，如雪覆蓋面積、水系、道路系統、土壤型態、土地利用型態等；且通常測量所在地距離所量測的線或面有一段距離，因此常被稱為遙感探測。水文資料隨時空而變動，具隨機與或然等特性，由於不確定性，需要長期記錄，以進行水文事件推估或藉由統計方法探討其變異性，俾利於掌握該地區的水文特性。

水文觀測的程序

無論時間或空間序列資料，水文觀測的程序均為感應、紀錄、傳送、資料轉換、檢視校正、儲存與讀取。感應為藉著任何形式的感應器將自然界質量、體積、熱能、速度等物理量轉換為儀器能讀取的信號。感應方式有直接或間接兩種，直接感應為量測某物理量本身的強度、質量或數量，如標準雨

量計即為直接測量降雨的水量；間接感應量測為測量與某物理現象的相關因子，再藉由其相關性求得該物理量，如水銀溫度計藉由水銀的冷縮熱脹的體積變化獲知溫度。能直接量測的水文因子不多，因此諸如流量、溫度、溼度以及日照輻射量等水文因子均以間接感應的方式測量。紀錄是填寫讀取的數據，或是經由記錄器將感應器所傳送的信號予以記錄並儲存。人為觀測僅是將讀取的數據記錄於紀錄紙上，自動記錄則是將感應器傳出的信號機械式的記錄於紀錄圖表或以電子訊號紀錄於電腦可讀取的記憶體內。自動記錄具經濟性且可避免人為的誤差，其中電子式記錄已成為現今水文觀測的主流記錄方式。傳輸為將儀器紀錄的資料自儀器所在位置傳送至資料庫所在地。人為觀測紀錄的傳輸多為例行性的工作，由觀測者將紀錄圖表攜回資料儲存場所；自記觀測可由觀測者攜回或即時傳輸(real-time transmission，是記錄的資料藉由網路、人造衛星或電訊傳送至資料儲存所，由控制者下達傳輸指令後，紀錄器儲存的數據即可經由上述途徑傳回)將資料送達儲存地。資料轉換為將傳送回來的紀錄轉換為電腦能讀取的格式，作為永久儲存，多以相關的電腦軟體進行。檢視校正為檢查上述各步驟中所發生的明顯錯誤，人為觀測資料需藉有經驗的作業人員處理，電子紀錄則在進行格式轉換時即可藉由程式篩檢出錯誤數據(通常以outlier test進行)，或標記儀器故障或人為所造成的誤差。儲存為將檢視校正後的資料儲存於(電腦)資料庫中，資料檔的大小與格式需事先

規劃，並且以能被最通用的資料處理軟體接受為原則。讀取是讓使用者能快速有效地使用資料，必須能夠讓使用或資料管理者順利地完成讀取、製作檔案及列印報表等工作；良好的資料讀取作業，為資料流通與否的關鍵因素。

觀測因子概述

水文因子觀測項目中，最常見者有雨量、流量、溫度、濕度、風速與風向、日照輻射量及大氣壓力等項，其觀測原理各不相同，略述如下。

雨量是由雨量計觀測，雨量計有非自記式(nonrecording gage)與自記式(recording gage)兩種型式。非自記式雨量計通常具有一筒狀的容器，以接收下降的雨水，並以水標尺量測桶內的深度以得知降雨量；又可分為標準雨量計與儲存式雨量計兩種。標準雨量計通常用於每日的雨量觀測；儲存式雨量計容量較大，多用於偏遠地區整季的雨量觀測。自記雨量有稱重式、浮力式以及傾倒式三種型式，稱重式雨量計記錄所收集雨水的重量，再換算成降雨深度，為防止雨量桶內的水分蒸發，通常會加入一薄層浮油，多用於記錄降雨、冰雹或雨雪混合的降水。浮力式雨量計承雨容器內具有一浮漂，隨著水位的上昇，機械式的帶動記錄筆，記錄某段時間內雨量，並設有虹吸裝置可將收集的雨水排出收集桶，因此又稱虹吸式雨量計。傾倒式雨量計具有一對戽斗(bucket)，其容積為承雨口面積的0.05或0.01倍(以公分計)，當戽斗承雨滿溢時，由於重量的關係戽斗即傾倒，同時可機械式記錄傾倒的時間，或以電子方式送出脈衝(pulse)再記錄脈衝的發生時間。計算單

位時間內傾倒的次數，則可獲知降雨強度(單位時間內的降雨量)。電子式傾倒雨量計是目前使用最廣泛的雨量計。

流量量測需藉助水位計或流速儀進行，兩者均為間接式量測。流速儀用以測量溪流的水流速度，再配合斷面積即可獲得溪流的流量，多用於野溪的流量測定。流速儀基本原理為旋轉承軸受水流衝擊而轉動，水流速度大則轉動快，反之則否，由單位時間內的轉動次數，可轉換為流速。由於溪流流速垂直分布不均，測定溪流流速需根據流速分布理論，量測一定深度的流速，以求得河川的平均流速。所採用的方法有：一點法，用於水淺的溪流，自水面下深 $0.6D$ (D 為溪流水深)處測定流速，並以此流速視為平均流速；二點法，取河川 $0.8D$ 及 $0.2D$ 處流速的平均值，視為平均流速；三點法，取河川 $0.2D$ 、 $0.6D$ 及 $0.8D$ 處流速的平均值，作為河川的平均流速，多用於深且流速較緩的溪流。某斷面的流速獲知後，乘以其斷面積，即為該斷面的流量，累加各斷面的流量為整個溪流的流量；惟溪流較寬時，斷面的數量需增加。由於固定斷面的流量與該斷面的水位高有一定的關係，藉水位計量測水位高度，即可獲得溪流的流量；此為水文與水力學常用的流量測量方式。傳統的水位計是以浮筒感應水位的升降，再經過鍊條與滑車帶動紀錄筆桿，將水位的變換紀錄於隨時鐘轉動的紀錄紙上。電子式的水位計則是感應水壓，再將水壓轉換成深度，並記錄之，為目前最通用的量測方式。試驗集水區多以水位計量測量水堰堰口的水位高，再換算成流量。林業試驗所各試驗集水區均採用直角三角形與矩形的複式堰，以利



量水堰是試驗集水區量測流量最常見的設施。(陸象豫 攝)

於臺灣起伏甚大的溪流流量監測。若忽略表面張力及堰口水流收縮的影響，直角三角堰流量(Q，單位 m^3/sec)與水位(H，單位 m)關係為： $Q = 1.38 H^{2.5}$ ，矩形堰水位與流量關係為： $Q = 1.67 LH^{3/2}$ ，其中L為堰口寬(單位 m)。

水文學所觀測的溫度有大氣溫度、土壤溫度及水溫。大氣溫度是以離地表1.25~2.0公尺高處之氣溫為準，並需位於蔽蔭處，不受地面或其他輻射影響，且空氣能自由流通處所測得者。傳統溫度監測是利用物質(水銀或酒精)冷縮熱脹的原理，藉由率定過的刻度顯現其物理量；而現今電子儀器則是利用熱電偶(thermocouple)，直接感應量測物體的溫差，再將熱勢能差轉換為電位差，進而藉電位差而求得溫度。熱電偶溫度計具有精度高、測量範圍廣、構造簡單、使用方便等優點。

溼度為大氣中水分含量的多寡，其表示法有水汽混合比、比濕、水汽壓、絕對溼度及相對溼度等。林試所各氣象站均採用相對溼度來表示，其定義為：在一定壓力與溫度下，單位體積空氣中水汽的分子數與其飽和水汽分子數的百分比。傳統的量測方式有乾溼球溫度計、毛髮溼度計、電阻片測定法等，分別



氣象站是集雨量、溫溼度、日照輻射、風速風向等監測儀器所組成。(陸象豫 攝)

是測定濕球水蒸發吸熱而降低的溫度、毛髮受水氣影響而引起之伸縮、以及電阻受水氣影響的變化。現今電子儀器分電容式及電阻式相對溼度計兩種，電容式相對溼度計是利用空氣中的濕度，使儀器的中介電質產生膨脹擴大或收縮現象，並改變介電係數(dielectric)，進而使電容改變，再由電容值改變量求得相對溼度。電阻式相對溼度計以高分子薄膜之聚合物作為基底，並與電極結合，當相對溼度變化產生離子後，致導電性不同造成電阻改變，再由電阻改變量求得相對溼度。

日照輻射(solar radiation)係指太陽輻射中近紫外線(波長約 $0.3\sim 0.4 \mu\text{m}$)至近紅線(波長約 $3\sim 4 \mu\text{m}$)波段間之輻射能。日照輻射量通常設定為單位時間(時或日)單位面積的輻射量累積值，通常以 MJ/m^2 (百萬焦耳/平方米)或 cal/cm^2 (卡/平方公分， $1 \text{ MJ}/\text{m}^2 = 23.9 \text{ cal}/\text{cm}^2$)為單位。早期量測日照輻射的儀器為銀盤直達日射計，現今多採用熱電偶輻射計量測，分別係由銀盤與熱電偶感應溫度，日照輻射量即由輻射引起之銀盤升溫或熱電偶電位差及儀器常數求得。

風向即為風吹來的方向，通常以16方位



中央氣象局測候站(前方者)為便於預報及防災，採用即時傳輸。本所氣象觀測(後方三角柱鐵塔)則無此必要，採取傳統式傳輸。(陸象豫 攝)



解析度0.5 mm傾倒式雨量計內部構造，當承雨口承接0.5 mm雨量時，戽斗即傾倒並發出脈衝。(傅鶴翹 攝)

表示。但風向並非固定不變，因此常以10分鐘內最多之方位定之。風速則為單位時間內風之行程，通常以每秒公尺表示(m/sec)。但風速亦隨時變更，世界氣象組織乃規定採用10分鐘間之平均風速作為量測的標準。風速風向由風速計量測之，它是由風向標、風速感應裝置(風杯或四葉螺旋槳)與紀錄器等部位組成。風杯與螺旋槳的轉數與風速成正比，記錄單位時間內的轉數，即可得知風速；而當風速計箭尾承受風力時，風向軸即會旋轉，直至與風速計兩側的風壓相同時，此時箭頭就會指向風向。

大氣壓力(簡稱氣壓)為單位平面上至大氣外限之空氣柱重量，此重量在標準情況下，相當於760釐米高之水銀柱重量；表示的單位為每平方公分面積上所承受之達因數(dyne，為力的單位， $1 \text{ dyne} = 1 \text{ g}\cdot\text{cm}/\text{s}^2 = 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2 = 10^{-5} \text{ N}$ (N 為牛頓))；通常以水銀氣壓計、空盒氣壓計或空盒氣壓儀量測之。氣壓計觀測原理均係以水銀柱感應之，再配合儀器差、溫度差及重力差校正而測得。

結語

林試所早在光復初期，即在臺北總所與蓮華池及太麻里等分所觀測降雨與溫度等氣象因子，嗣後陸續增加觀測項目與觀測地點，並於民國54年設置了扇平試驗集水區，開啟臺灣試驗集水區的研究。民國80年代電子儀器問世後，隨即將各項人為觀測汰換為電子儀器監測，並將各氣象監測站達到農業二級氣象站的規模。目前林試所仍進行觀測的氣象站有14座，試驗集水區7座；氣象監測項目計有：溫度(含最高日溫及最低日溫)、相對溼度，降雨量、風速風向及日照輻射量等項目，試驗集水區則為流量及其相對應的降雨量。所收集的紀錄已廣泛應用於森林水文、集水區經營、物候、森林經營、林道設計規劃、育林作業等方面的試驗研究與經營規劃，對試驗林經營研究的貢獻已獲肯定。所收集的資料業已建立便捷的資料庫，每年約提供所內外超過20人次的資料索求，林試所亦樂於免費提供所擁有的紀錄。☼