

建立防洪預報工作芻議 劉鴻喜

The principles of flood forecasting service It's signification and basic techniques

Hung-hsi Liu

Abstract

River Forecasting Service was established in the United States of America in nineteenth century and became a part of services of U. S. Weather Bureau Since 1893. The modern ideas and techniques of river forecasting were Contributed by Messrs: Robet E. Horton, Merrill M. Bernald, LeRoy K. Sherman, C. S. Jarvis, J.F. Miller, C. S. Bennett, G. R. Williams, R. K. Linsley, M. A. Kohler, J. L. H. Paulhus and others during last three decades in the U. S. A.. Now, the flood forecasting is one of the most efficient and successful services throughout the States.

The author was a graduate fellow and took some courses which related to Hydro-meteorology at Saint Louis University, St. Louis, Missouri, U.S.A. and then visited many hydrologic and hydraulic organs from coast to coast. This article is try to explain why we should do and how to establish the river forecasting service in China under the following topics:

- (1) Network of Hydrologic Stations*
- (2) Automatic rainfall Stations*
- (3) The Technique of Surface Runoff Forecasting*
- (4) The Basic Method of Flood Control*
- (5) Evaluation of Flood Forecasting in the Multi-Purpose Reservoirs*
- (6) Outlook and Suggestions*

一、治水的基本工作——水文站網的建立

人類和水自古即有密切關係，但古代主要是築堤防水，消極的防止其氾濫，以求安居樂業；近代由於農工商業的飛躍發展，人類對於水資源的請求，日趨殷切，乃由消極的防止，轉為積極的利用，因之全面的河流控制工作，在科學先進各國，均已列為經濟建設的重要項目。

從事治水及河流控制工作，必須先了解該河流的一切特性，如流域降雨量、水位、含沙量、流速等，因之水文站網 (Network of Hydrologic Stations) 的建立，實居首要，水文站的工作一般包括：

- (一) 降雨量的觀測及報告。
- (二) 河流水位的觀測及報告。
- (三) 河流流速流量的測量及計算。

第一項如單獨設立，稱為雨量站 (Rainfall Station)，其設立地點以分別設立於各副盆地 (Sub-basin) 為適宜，山區雨量分布因地形影響，向不平均，雨量站位置之選擇，尤為重要，以期觀測所得的雨量，可最具地區代表性。各地雨量測得後，即按時傳送至水文分析預報單位，填繪等雨線圖 (Isohyetal chart)，以觀察該區雨量分布的實況，作為校正流量曲線的重要參考。例如若等雨線圖顯示降雨中心偏於盆地下游，則預報盆地出口處流量水位洪峯時，應酌予提前；若偏於上游，則應將洪峯延後，俾與實況相符合。

河流水文站 (River gage Station) 均傍河設立，支流交匯點尤須設立。主要觀測河流水位的高低，一般均設置儀器二種，一為重力水位儀 (Wire-Weight gage)，由人負責按日觀測水位，另一為水位自記儀器

(Continuous recording gage)，多用史蒂芬氏計（按：Stevens Recorder 為 Leupold & Stevens Inc. 出品，該公司為美國重要水利儀器製造廠商，廠設波特蘭，筆者曾至該公司參觀。）該計之重要作用在於自動記出每次洪水水位的高度(Peak Point)，因一河的歷次洪峯高度，向為治河工程師所最感需要者。

此外，就美國言，地質調查所 (Geological Survey) 經常派有水利工程師至各河上觀測河水流速，其法多用普瑞氏流速計 (Price Current-meter)，以測讀河水流速大小，作為研究河水流速及冲刷能力的重要依據。

世界各國對於雨量的觀測，雖已有百年歷史，可是由於地表廣濶，測站仍嫌稀少，故截至目前為止，所觀測的紀錄，仍屬掛一漏萬，未能確言已獲知一地的最大雨量紀錄，因各地雨量紀錄常被新而更大的紀錄所刷新，是以雨量站及水文站的年代愈久，其觀測的紀錄也愈有價值，故水文站網的建立，不但是從事治水工作之基礎，也是百年建國大業所需的重要資料之一，必須及早普遍建立，始克為用於未來。

美國在各流域從事此項水文觀測及維護工作者，主要由地質調查所負責，美國地質調查所下共分六處，而和水資源有關係者，竟佔三處之多，即水資源處 (Water Resources Division)，地下水處 (Ground Water Div.)，地面水及水質處 (Surface Water and quantity Water Div.)，另外三處為礦物處 (Mineral Div.)，石油處 (Petroleum Div.) 及地質處。由此可見美國地質調查所對水資源的重視。除地質調查所外，美國氣象局也擁有八千所雨量站及水文站，和地質調查所彼此密切合作，此外各水電廠，在其各自集水區 (Watershed) 內，均設有自用的雨量站及水文站網，其觀測紀錄除自用外，也按日經由通信設備傳送至各河流預報中心應用。

二、自動雨量測報站和雷達雨量測報網

欲求洪水預報之迅速確實，必須盡速獲得上游降雨報告，目前各國雨量站之觀測報告，多為每日測報一次，（美國多定上午七時或八時為測報時間）但對於短促而陡峻的河流及大量降雨，此項報告常有緩不濟急之感，此外高山人跡罕到之處，由於下游建設有水壩或城市，亦有裝設置量雨器之必要，在此情況下，美國現有兩項方法及儀器以解決之：

(一) 自動雨量測報站 (Precipitation Recording and Transmitting Station)

此自動雨量站又稱電傳計 (Telemark) 亦為 L&S 儀器公司出品，可設置於小屋內，無需人員管理，其設備計有：

1. 大雨量筒一，上接小筒直達屋頂，雨水可由小筒淋入，積存於大筒，大筒內並注油少許，以防蒸發，而免雨量損耗。
2. 儀器鐘一具。
3. 發報機一架。
4. 電瓶一組 (二個)。
5. 充電器一個。
6. 天線。
7. 電碼器一個。
8. 自記記錄器一個。

此項自動雨量測報站每二小時可自動依國際摩斯電碼，拍送雨量電碼一次，洪水預報單位於收到該項雨量紀錄，減去前二小時所報來者，即為新增之雨量，如為零，表示無新增降雨，發報機有效拍發半徑達百哩，如距離更長，則需在中途加裝轉接站 (Relay Station)。

(二) 雷達雨量測報網 (Radar Rainfall Detecting Network)

雷達在軍事上的功用為眾所周知，其在氣象上的應用，也日益有效而廣泛，目前除經常用於觀測颱風、龍捲風、雷雨等外，現在利用雷達對降水 (Precipitable Water) 的特性，已可直接用於作遠距離雨量的觀測。其法，經由雷達可先察知某洪水警戒區域是否已有暴雨發生，該地區須先裝設雷達信標 (Radar Beacon) 三四處，每一信標處各裝設一雨量計，洪水預報中心欲觀測該地區降雨時，即用中心雷達，逐一對定各信標數分鐘，各測站雨量即可經由雷達信標反射之光波，呈現於雷達幕上，雨量多寡由反射波出現於雷達幕距中心點的距離表示之，愈遠示雨量愈多，單位為吋。此項設備在半小時內，即可測出一相當範圍的雨區，從而繪製等雨量圖，計算逕流若干，洪流大小，兩小時內，即可發出洪水警報，實為防洪史上最新的科學供獻，此項設備最適宜安設於快速洪氾區 (Flash flood)，以補正常雨量測報網之不逮，美國氣象局預計在本年度 (1958) 內，可利用該局現有的氣象雷達網，設置測雨雷達信標 595 處，均在最易發生快速洪水氾濫之區，務使洪水警報的發布，格外提早，爭取時間，使人民災害的損失，減至最小限度。

三、地面逕流的預報技術

雨量下降至地面，經過地物的阻攔吸收，草木、土壤的吸取滲透，損耗甚多，故真正可以形成地面逕流

(Surface Runoff) 的雨量，常因地表狀態及燥濕的不同而生很大的差異，如何由降雨量以求知地面逕流量，實為防洪工程師所最感興趣者。根據易測知的因素，以推求逕流的方法頗多如：

- (一) 直接由降雨與逕流作成經驗關係曲線。
- (二) 以土壤乾濕為參變數 (Parameter)，可作成關係曲線。
- (三) 以地下水流量為參變數，也可作成關係曲線。
- (四) 以降雨、滲容量 (Infiltration Capacity) 二參變數，可求出逕流量。並可根據已往的雨量紀錄，算知過去的河水流量。

上述諸法各有優劣，參變數或嫌過少，或嫌決定不易，所得結果，均不十分滿意；目前美國各河流預報中心所採用的逕流預報基本技術，乃由美國氣象局水文處的 R. K. Linsley 及 M. A. Kohler 二氏根據各地水文資料所研究發展成功，於 1949 年在美国地球物理學會卅屆年會中提出宣讀，極受水文學者的重視，此法可稱為複變數求逕流法 (Multi-variable Coaxial Method)，其基本程序分下列諸步驟：

(一) 前雨指數的計算

所謂前雨指數 (Antecedent Precipitation Index)，即指流域盆地內所含的水汽情形，通常以下式表示之。

$$I = b_1 P_1 + b_2 P_2 + \dots + b_i P_i$$

式中 I 為前雨指數， P_i 為此次暴雨 i 日前所降的雨量， b_i 為一常數，通常假定為 i 之函數，如 $b_i = \frac{1}{i}$ 。但在洪水預報中，所需的指數為每日之值，為便於使 b_i 之值隨時間 (i 值) 減小起見，可設 $b_i = K_i$

$$\text{即 } I_i = I_0 K_i$$

$$\text{設 } i = 1$$

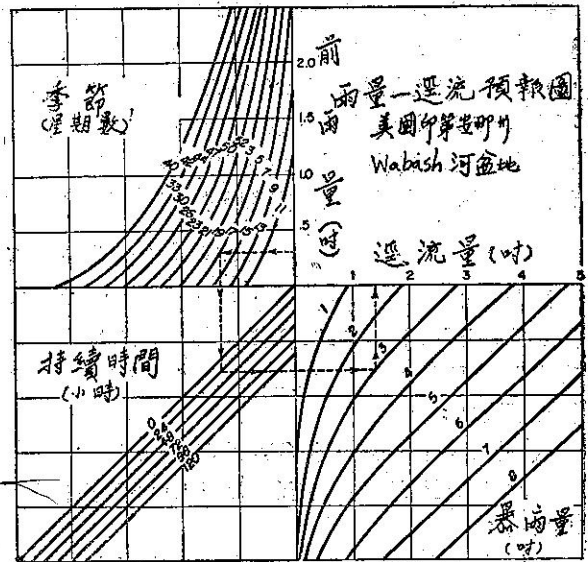
$$\text{則 } I_1 = K I_0$$

上式中 K 為枯竭係數 (Recession Coefficient)，約為 0.85 至 0.9，美國各地多採 0.9 值。

上式表示任何一日的指數，等於常數 K 乘以該日前的指數，任何一日的降雨，其降雨後的指數，等於降雨前的指數加降雨量。例如三日前的前雨指數 (API) = 1.2 吋，三日內無雨，則此值應逐日遞減 0.1，即由 1.2 變為 0.9，若今日復得新雨量達 0.6 吋，則 $0.9 + 0.6 = 1.5$ 吋， $1.5 \times 0.9 = 1.35$ 吋，即為明日的指前指數，如此按日計得 API 值，以備翌晨作洪水預報之用。

(二) 季節週數的校正

流域內所含水汽狀況，除與以往降雨情形有關外，尚須作季節的考慮，如夏季日照強烈，蒸發量大，地面易被蒸乾，反之冬季氣溫低，蒸發量相對減少，若地面有積雪，蒸發更近於零，是以在計算逕流量時，宜按降雨時的週數 (Week number)，(按全年為五十二週，元旦後為第一週，元月八日至十五



附圖一

圖示美國印第安那州瓦貝士河流域 (Wabash River Basin, Indiana) 降雨-逕流關係圖。此圖在應用時，甚為簡明，首先算得前雨指數 (API) 為 0.30 吋，依此值在左上方象限開始，先作週數之訂正，此次暴雨為四月底，為第十七週，因將此線相交於 17，次根據觀測紀錄，知此次暴雨共持續 24 小時，乃由 17 向下相交於左下方象限的持續時間 24 線，再根據觀測紀錄，知此次暴雨量共為 3 吋，乃再將線延伸至右下方象限，以與 3 吋暴雨量線相交，最後平行上延，交於逕流量比例尺處，求出此次春季，24 小時所降三吋的暴雨，共產生 1.4 吋的地面逕流量。

此圖應用雖易，但在確立此數種相關關係曲線時，却非易易，因各河流域有其各自的自然環境，如緯度、氣候、地形、土壤、植物等隨地不同，因河而異，故若想在某河流域從事河流預報工作，必須先根據該河流域已有的水文資料，依每一次暴雨 (Single Storm) 的降雨量及其所生流量，逐一加以試驗，仔細推求出最具代表性的關係曲線，始可得出此圖。換言之，瓦貝士河的雨量-逕流曲線圖，僅適用於該河，不適用於任何其他河流。

日為第三週，以此類推。)予以適當校正，以便和實際季節情況相符合。

(三) 暴雨持續時間的訂正

暴雨持續時間 (Duration of Rainstorm) 參變數之加入，主要是作暴雨強度和逕流關係的校正，因在同一前雨指數、週數及雨量下，若一次暴雨持續 24 小時，另一次持續 48 小時，則二者的降雨強度 (Rainfall Intensity) 自有明顯差異，因而所產生的地面逕流量也自不同。

上述三參變數輔以已測得的雨量，或查表，或根據四者關係圖 (參閱附圖一)，即可查知在該次暴雨中，應有若干吋的地面逕流產生。

以上所述係根據流域盆地中一點的雨量，求出該點的逕流，同法求出該盆地中其他各雨量站所在地的逕流量，分別填入圖中，求出該盆地平均逕流量 (Mean Runoff)，然後根據平均逕流，當可預測該盆地河流中，將有若何高度的洪水發生，以為採取防範措施之依據。

四、防洪的基本方法——河流預報工作的建立

防洪 (Flood Control) 之目的，為防止洪水災害，並進而加以控制利用，使之造福於人類。洪水的發生，不外由於大規模熱帶或溫帶氣旋 (Tropical or extratropical Cyclones)、雷暴雨 (Thunderstorm)、連綿的霪雨、或上游大量融雪所造成，對人類生命財產的威脅甚大，為欲防治洪水，不但應有多年的水文紀錄，知道何時為洪水期，同時還應預知何日將有洪水？何地最高？高達若干呎？這項工作就需要有專人負責，經常的從事河流水位的分析和預報，始可圓滿達成任務。美國負責此項工作者為美國氣象局，有些特殊地區如田納西河流域，則由氣象局推介適當人員，參加 T.V.A. 工作。因洪水的來源由於降雨，而最先獲知將有大規模降雨者，則為氣象局的天氣預報人員，故自 1893 年，美國國會即通過法案，授權美國氣象局負責全國河流的洪水預報工作，氣象局除在總局設有水文處 (Hydrologic Services Div.) 負責策劃一切外，並於二次大戰後，在全國設立九個河流預報中心，專門從事各主要河流的預報工作，每日上午發布管區河流之水位及流量預報，有效時間為 72 小時，以供公私有關機構之參考。

現代的河流預報技術，始自 1932 年薛爾曼氏 (LeRoy K. Sherman) 所提出的單位流量曲線 (Unit Hydrograph) 方法，所謂單位流量曲線即在一已知面積的盆地中，單位時間內降下的有效雨量所產生的地面逕流之分佈曲線。薛氏的上項定義係根據下述兩項基本假定：

(一) 在一定的流域面積上，一切暴雨若其降雨時間相似，則不論其降雨強度若何，所發生的地面逕流持續時間相等。(參閱附圖二)

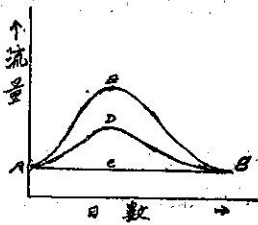
(二) 在一定的流域面積上，若將地面逕流的總時間區分為任何數目的等分時間，則其所有水文流量曲線的百分比近於相等，而和逕流總量無關。

換言之，設有兩次暴雨先後發生於同一流域盆地各達 24 小時之久，第一次雨量為五十公厘，第二次為一百公厘，若第一次暴雨所產生的地面逕流全部通過盆地出口某一點需時八日，則第二次暴雨所產生的逕流過程，也約需八日；另一方面，若第一次暴雨所形成的洪峯 (Crest) 出現在該次總逕流的 30% 處，則第二次或其他任一持續時間相同的暴雨所產生的逕流百分比也將相等，與各該次暴雨的強度並無關係，僅各次的洪峯有高低之別而已。

上述各點在理論上並非絕對真實，但在實用上，已甚正確可用；同時所謂流量，主要由地面逕流所形成，因之第三節所述由降雨以求地面逕流的技術，實為預報河流流量的基本要項。

五、洪水預報工作在多目標水庫上的重要性

多目標水庫 (Multi-Purpose Reservoir) 為近年各國從事經濟建設及區域開發的重要方法，並世各國對多目標水庫群之運用最著成效者，首推美國的 T.V.A. (Tennessee Valley Authority)。T.V.A. 自 1933 年在美故羅斯福總統執政之始成立，為其重要新政 (New Deal) 之一，當其成立之初，尚屬試驗性質，結果功效大著，今年為 T.V.A. 成立廿五週年紀念，T.V.A. 碩大無朋



附圖二：降雨量及地面逕流關係圖

上圖 ACB 示基本流量曲線 (Base flow) 無新雨量，ADB 示有新雨量 50 公厘加入所產生的流量曲線。AEB 示有新雨量 100 公厘加入所產生的流量曲線。雖二者降雨強度不同，但因其降雨持續時間相同，故所產生的地面逕流持續時間也相等。

，成爲每年進出美金廿億元的大企業。當初美國國會授權美總統成立 T.V.A. 所樹立的六項目標，今日已一一見諸實現：

(一) 最大防洪作用— T.V.A. 成立之初，以防洪爲第一要項。去年 (1957) 元月至二月在田納西河中游查塔奴加 (Chattanooga) 的洪水，如不加防止，將達22呎高度，但經 T.V.A. 防洪系統加以調節控制後，該次洪水已消除於無形。僅該次洪水的免除，已使查市免去6,600萬美元的損失。

(二) 最大航運效果— T.V.A. 歷年修建水壩 (Dam)、水閘 (Lock) 以提高水位，促進航運的結果，已使田納西河的主要航道302哩，經常保持九呎的深水航道，每年因內河航運增加所節省的運輸費用，達2,100萬美元。

(三) 最大及最廉的電力供應—截至今年止，T.V.A. 已擁有水電廠33座，火力發電廠7座，共發電力達1,100萬瓩小時，其中 57 % 的電力，供原子能試驗工廠 (AEC) 之需，對國防工業所需電力貢獻極大。

(四) 邊際土地的利用—目前在田納西河流域，已有 36,000 畝以上的邊際土地，種植了五穀或牧草，充分加以利用。

(五) 植林—目前田納西河流域，已有一半以上的土地，重被再生的蒼翠林木所掩覆，使該區的水土保持工作，益收效果，自然環境也更顯優美。

(六) 人民生活的改善—由於田納西河區擁有廉價的電力、肥料，風景美化，工農商業均有長足發展，使住區人民的一切收益均有顯著增加，人民的社會福利及經濟狀況，普遍提高，昔日洪水爲患，土石磷詢的田納西，今日已成富庶無涯的樂土。

由上述諸點，可知廿五年來 T.V.A. 的燦爛成果，確已昭示世界，任何一個正常的河流區域，若能盡心盡力從事建設，必可或早或晚的完成類似 T.V.A. 式的傑作。

T.V.A. 的建設是以防洪肇其端，而以區域開發 (Area development) 爲其終極目標，其中主要工具則爲多目標蓄水庫，此項水庫雖是一舉數得，優點極多，但亦有其衝突矛盾之處，例如水庫爲供應發電、灌溉，均以保持經年滿水爲第一要義，但就防洪言，則以水庫常空，以備洪水降臨爲宜，二者之間的矛盾如何加以妥善安排，即爲洪水預報人員的責任。因洪水預報人員掌理全河流域的降雨及水位情報網，知本區有若干新雨量加入，將有若干逕流注入河中，可使水位升高至若干高度，以此爲根據，作爲啓閉水閘，調節洪水的重要根據，遠較僅靠季節的估計或指引曲線 (Guide Curve) 爲更科學，更可靠。美國如 T.V.A. 等水電防洪機構，均設有此類水文單位 (Hydrologic Branch)，從事管區內氣象紀錄的統計、分析，如年、月等雨量圖，蒸發量、流量紀錄等等，以爲洪水預報之參考。

六、石門水庫建設的展望

從 T.V.A. 的成功，反觀我國於第二次大戰後所擬建的揚子江三峽水壩工程 (Y.V.A.) 以及現在正在興建中的石門水庫，均爲睿智的偉大建設，值得讚揚。在當前臺灣經濟及人口壓力下，此類多目標的水資源開發計劃，尤具有極端重要性，筆者於此願申述二點：

(一) 石門水庫爲一多目標水庫，並以防止臺北市洪水爲重要目標之一，因之水文站網的建立，固不待言，並宜設置相當單位，配備適量人員，包括水文人員 (Hydrologist) 及氣象人員 (Meteorologist)，以統計分析一切水文及氣象資料，按日繪製天氣圖表，試行研究發展臺灣區「雨量」及「雨區」的預報技術 (The Technique of Quantitative Precipitation Forecasting) (關於量的預報技術，美國近年研究也頗有進展，作者擬另寫專文報導。) 俾更可確知行將到來的洪水區域、流量、準時並準確地將洪水預報供應水庫當局，以爲洩洪或蓄洪的依據，如此方能使石門水庫達到多目標利用的最大效能。

(二) 盱衡當前臺灣經濟建設現況，吾人實需要更多的石門水庫式建設，但此類建設非惟費時，抑且耗資可觀，頗非我國財政現況所可負擔，因之如何以較少的物力，獲相似的效果，值得考慮。美國 T.V.A. 目前共有水壩33座，大部爲鋼筋混凝土重力壩 (Concrete gravity Dam)，但在田納西河上游，也有相當數目的土石壩 (Earth Fill or Earth Rock Fill Dam)。按臺灣河流大多短促，復多豪雨，如無理想峽谷，建設混凝土大壩，頗不經濟，不如在各河上中游，選擇適當地點，多建此類土石壩 (此類壩需外鋪防止滲透的物質，以免蓄水外

(下接第32頁)