

最佳經濟用水之研究

Optimum Use of Available Water

臺大農工系教授

臺大農工系教授

臺大農工研究所碩士

王如意

劉佳明

虞國興

Ru-yih Wang

Chia-ming Liu

Gwo-hsing Yu

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish suitable mathematical models in an attempt to calculate with accuracy the expectant water supply within a river basin. Furthermore, it also aims reasonably to derive the best way to estimate available water for utilizing in a certain agricultural area.

This study lays stress on setting up Tank Model and Systems-Analysis Model.

(1) Tank Model: By applying of tank-filtering conceptual model, simulating the runoff discharges of the rivers within a project area so as to estimate its expectant water supply in consideration of the complicated hydrological phenomena of river basin.

(2) Systems-Analysis Model: To examine and investigate the best way of water utilization by applying operations research techniques in consideration of the subsidiary supply from ground water, effective rainfall, the expectant natural water supply of rivers. Thus, optimum available water of the project area can be estimated.

The Tank Model is constructed in accordance with the river runoff of Tatu Bridge hydrologic station, Wu Chi Basin, as the basis of the verification of model. Meanwhile, further quest has been paid to the linear and nonlinear relationship resulting from the discharge and orifice height.

A Systems-Analysis Model is made according to the scheme of the irrigation and water distribution of Pei-tou Canal, Wu Chi Basin, by taking into consideration the water-deficit concept. The model is focusing on constant-area method and constant-discharge method and with 1.11-year and 1.25-year design frequencies respectively, to estimate river diversion supply and then derive the best scheme for water allocation.

The results of the simulation reveal that models adopted in this study are of considerably rational and applicable value. The approach will provide supreme reference for scheming the planning and utilization of water resources.

摘 要

本研究之目的為推衍基本水文資料且建立數學模式，以冀精確求算流域內之可供水量，並應用系統分析方法建立系統模式，合理地推求一區域之最佳用水方式。

本研究內容以建立水筒模式及系統分析模式為重點，其要點如下：

(1)水筒模式：係考慮流域內複雜之水文現象，諸如入滲、滲漏、貯留、蒸發、地表逕流、中間流、基流等現象，以水筒濾層之概念模式予以模型化，模擬流域內河川之逕流量，以推估流域內河川可供水量。

(2)系統分析模式：係考慮地下水補助量、有效雨量、河川可供水量及其用水型態，以推求區域內最佳用水方式。

本研究中之水筒模式以烏溪流域大肚橋水文站河川逕流量為模式驗證之憑據，並以流量與孔口上方高度成線性及非線性兩種關係加以研究。系統分析模式則以烏溪流域北投新圳灌溉配水規劃方式為根據，以缺水模式分別針對定面積法、定流量法及設計頻率為 1.11 年及 1.25 年之河川引水量，以研究其最佳配水方式。

經模擬結果，顯示本研究中之各模式具有相當合理及實用價值，可供流域水資源調配規劃釐定之參考。

一、前 言

近年來本省由於快速之經濟發展，工業用水與公共水因而劇增，農田灌溉用水漸形短缺。在水資源開發已達相當程度之今天，如擬開闢新水源或設法獲得廉價之供水已日形困難，因此如何由目前旱分佈不均勻且水源有限之條件下，從事灌溉管理之研究改進，藉以提高水資源之有效利用，改善用水情形，誠屬極為重要且亟待解決之研究課題。

本研究之目的為：

1.蒐集並推衍基本水文資料，建立數學模式，檢討其解法，驗證其精度，以冀提供流域可用水量之資料，俾作為灌溉管理營運之參考。

2.利用水文模擬推估及延伸基本資料，應用系統分析方法建立數學模式，合理推求一區域最佳用水方式。

3.建立川流式最佳灌溉用水模式，供本省其他地區之應用。

為驗證本研究所建立模式之精確度，經妥慎選擇烏溪流域為研究區域。烏溪位於本省中部，其流域面積約 1,980.65 平方公里，而流域內灌溉面積高達 22,000 公頃左右，灌溉所需水量十分龐大，如遇水源缺乏時期，往往無法正常灌溉，因此研究如何提高烏溪河川引水量之有效運用與發揮地下水補給灌溉功能及增加有效雨量之利用，以期減少枯水時期所造成之損害，實為刻不容緩。

二、水筒模式之原理與理論分析

1. 水筒模式之原理

水筒模式法 (Tank Model) 乃由日本科學技術廳菅原正巳氏於 1971 年所倡議之通用水文模式。其概念乃是將流域之逕流機構，置換為由數個貯留型之模型容器所組成。如圖 1 所示之直列貯留型容器，降雨時地表土壤層 (即最上段水筒) 一部份被雨水濕潤 (即貯留)，一部份以 Q_2 往下方滲透至第一含水層 (即第二水筒)。當雨量漸大，表層所含水份超過某種程度時 (即上段水筒貯留高度超過其右側下方流出孔高度 h_1 時)，水即流經表層 (地表) 而成為地表逕流 Q_1 。此時，假如雨量繼續下降並增大時，表層之含水程度亦增加，因此地表逕流 Q_1 亦隨之激增，此情形即相當於上段水筒之貯留高度超過右側上方之流出孔。當最上段水筒繼續以 Q_2 往第二水筒滲透，而超過某種限度時 (即第二水筒貯留高度超過其右側下方流出孔高度)，此含水層就會產生逕流量 Q_3 ，即如山腰所湧出之泉水。依此類推， Q_3 相當於山腰所湧出之泉水，而 Q_4 相當於儲存含水層之地下水，亦即枯竭時期緩緩流出於河川之基流。故流域之逕流量相當於從各容器右側之孔口所流出之總量。若依對應關係，最上段之流出量相當於地表逕流，第二段相當於中間流，第三、四段之流出量相當於基流量。而最下段底部孔口之滲透之量 Q_5 ，即成為深層之滲

由上可知，若水筒內貯留高度未達下孔高度 h_1 時，祇有滲透量產生而不可能有流出量。故此 h_1 之高度即表示初期損失或土壤濕度不足，所降雨水為土壤所吸收。此種水筒常被使用於第一及第二水筒較多。此即表示，降雨時間短而強度大之降雨容易造成地表逕流，同時，若降雨時間長但其強度小時只可能增加其滲透量及土壤濕度，惟不會產生地表逕流。

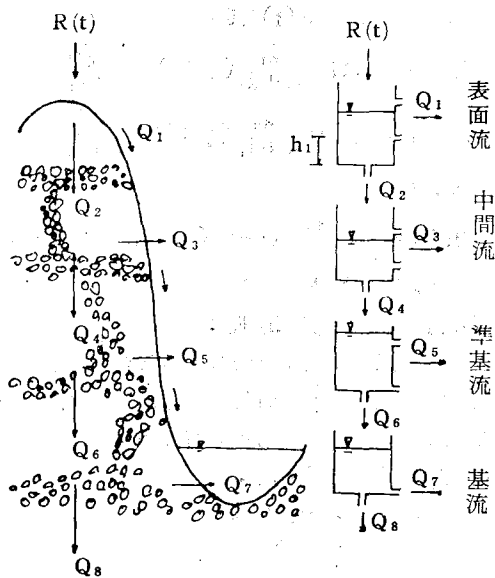


圖1 水筒模式原理示意圖

一般水筒模式均採用三至四個直列式水筒，但亦可隨流域之特性而任意排列，圖2表示並列型水筒模式。

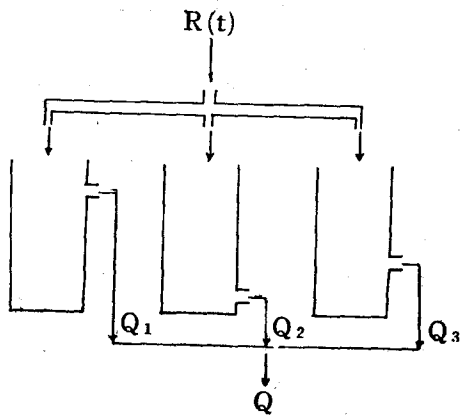


圖2 並列型水筒模式圖

2. 水筒模式逕流機構之理論分析

由圖3所示之模型加以討論，若 y 為殘留高度， $R(t)$ 為降雨量。

當 $y \leq h_1$ ， $R(t) = 0$ 時，其流出量 $i(t)$ 可表示如下：

$$i(t) = ce^{-\lambda_0 t}$$

當 $y > h_1$ ， $R(t) \neq 0$ 時，其流出量 $i(t)$ 可表示如下：

$$i(t) = \int_0^{\infty} R(t-\tau) \lambda_0 e^{-\lambda_0 \tau} d\tau$$

式中，

t ：時間，

τ ：啞因子 (Dummy argument)，

λ_0 、 λ_1 、 λ_2 ，滲透孔、下流出孔，上流出孔之孔乘係數。

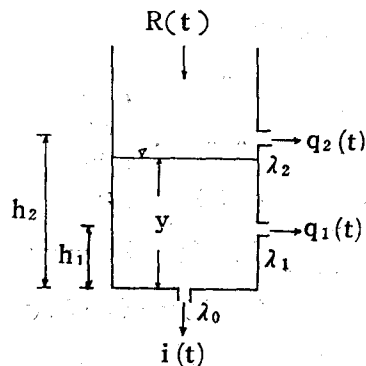


圖3 單只三孔水筒模式圖

當 $h_1 < y \leq h_2$ ， $R(t) = 0$ 時，於 Δt 時間內由下孔之流出量為：

$$q_1 \Delta t = \lambda_1 (y - h_1) \Delta t$$

且其由滲透孔之滲透量為：

$$i \Delta t = \lambda_0 y \Delta t$$

而下孔流出量與滲透孔流出量之和為水筒內殘留高度之減少量。故

$$-\Delta y = \lambda_1 (y - h_1) \Delta t + \lambda_0 y \Delta t$$

$$-\frac{\Delta y}{\Delta t} = (\lambda_0 + \lambda_1) y - \lambda_1 h_1$$

$$-\frac{dy}{dt} = (\lambda_0 + \lambda_1) \left(y - \frac{\lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \right)$$

$$\text{令 } \tilde{y} = y - \frac{\lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{d\tilde{y}}{dt} = \frac{dy}{dt} = -(\lambda_0 + \lambda_1) \tilde{y}$$

解上微分方程式可得其解為：

$$\tilde{y} = ce^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} \dots \dots \dots (2)$$

此式之意義如圖 4 所示，表示具有二孔之水筒其殘留高度為 y 時，可置換成僅具有一孔且其殘留高度為 \tilde{y} 之水筒。

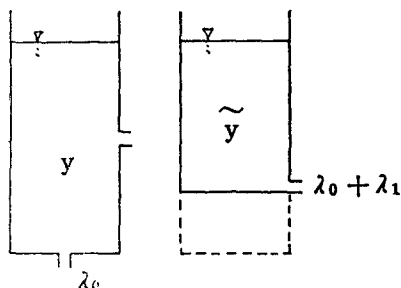


圖 4 雙孔水筒模式與單孔水筒模式之關係圖

又當 $q_1 = \lambda_1(y - h_1)$
 $i = \lambda_0 y$

由(1)、(2)兩式可得：

$$q_1 = c\lambda_1 e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} - \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1}$$

$$i = c\lambda_0 e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} + \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1}$$

當 $h_1 \leq y \leq h_2$, $R(t) \neq 0$ 時：

$$\frac{dy}{dt} = R(t) - (q_1 + i) \dots\dots\dots(3)$$

$$\therefore q_1 + i = (\lambda_0 + \lambda_1) \tilde{y} = (\lambda_0 + \lambda_1) \left(y - \frac{\lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \right)$$

$$\therefore \frac{d}{dt} (q_1 + i) = (\lambda_0 + \lambda_1) \frac{dy}{dt}$$

代入(3)得：

$$\frac{1}{\lambda_0 + \lambda_1} \frac{d}{dt} (q_1 + i) + (q_1 + i) = R(t)$$

解此微分方程式得其解為：

$$q_1 + i = \int_0^{t-t_0} R(t-\tau) (\lambda_0 + \lambda_1) e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)\tau} d\tau + \lambda_0 h e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)(t-t_0)} \dots\dots\dots(4)$$

其中 t_0 為當 $y = h_1$ 之時間。

又： $q_1 = \lambda_1(y - h_1)$
 $i = \lambda_0 y$

故得 $(q_1 + \lambda_1 h_1) : i = \lambda_1 : \lambda_0 \dots\dots\dots(5)$

解(4)、(5)兩式得：

$$q_1(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_0 + \lambda_1} (q_1 + i) - \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \dots\dots\dots(6)$$

$$i(t) = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \lambda_1} (q_1 + i) + \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \dots\dots\dots(7)$$

總結以上討論如下：

(1) 殘留高度 y , $y \leq h_1$ 時：

逕流量： $q(t) = 0$

滲透量：(i) 當降雨量 $R(t) = 0$ 時：

$$i(t) = ce^{-\lambda_0 t}$$

(ii) 當降雨量 $R(t) \neq 0$ 時：

$$i(t) = \int_0^\infty R(t-\tau) \lambda_0 e^{-\lambda_0 \tau} d\tau$$

(2) 殘留高度 y , $h_1 \leq y \leq h_2$ 時：

(t) 當降雨量 $R(t) = 0$ 時：

逕流量： $q(t) = c\lambda_1 e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} - \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1}$

滲透量： $i(t) = c\lambda_0 e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} + \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1}$

(ii) 當降雨量 $R(t) \neq 0$ 時：

逕流量： $q(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_0 + \lambda_1} (q_1 + i) - \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1}$

滲透量： $i(t) = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \lambda_1} (q_1 + i) + \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1}$

其中，

$$q_1 + i = \int_0^{t-t_0} R(t-\tau) (\lambda_0 + \lambda_1) e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)\tau} d\tau + \lambda_0 h e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)(t-t_0)}$$

(3) 殘留高度 y , $y > h_2$ 時：

此時可想像如圖 4 之情形，將殘留高度 y 置換成指數型模式時之 \tilde{y} ，而其孔乘係數 $\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2$ ，因此根據以上之推導，可得其解如下：

(i) 當 $0 < y \leq h_1$ 時：

逕流量： $q(t) = 0$

滲透量： $i(t) \propto e^{-\lambda_0 t}$

(ii) 當 $h_1 < y \leq h_2$ 時：

逕流量： $q(t) \propto e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} + c$

滲透量： $i(t) \propto e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} + c$

(iii) 當 $y > h_2$ 時：

逕流量： $q(t) \propto e^{-(\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2)t} + c$

滲透量： $i(t) \propto e^{-(\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2)t} + c$

因此隨着殘留高度 y 之增加，滲透量與逕流量以 $\lambda_0 : 0$, $\lambda_0 : \lambda_1$, $\lambda_0 : (\lambda_1 + \lambda_2)$, $\lambda_0 : (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \dots\dots\dots$ 之分配率自動地變化，因此殘留高度 y 增加時，其滲透量與逕流量亦隨之增加。

3. 水筒模式逕流量之計算方法

(1) 計算時之單位及單位換算

利用水筒模式法於長期逕流計算時，計算之時間間隔為一日。依水文資料整理格式之規定：

日降雨量——當日上午九時至次日上午九時，其間之降雨量。

日逕流量——當日之平均流量。在洪水期間為每小時流量之平均值。

因此，在水筒模式法中推估長期逕流量時，某特定日之逕流量推估必須採用前一日之降雨量資料來計算。如擬計算歷時一年或數年之逕流量時，即必須利用前年 12 月 31 日之降雨量資料。

本研究中所採用之單位及單位換算如下：
 降雨量、逕流量、滲透量、蒸發散量……mm/day
 貯留量、孔口高度……………mm
 孔乘係數……………1/day

設流域面積為 $A(Km^2)$ ，其逕流量為 $q(mm/day)$ ，換算為 $Q(cms)$ 時

$$Q = \frac{A}{86.4} * q$$

(2)由水筒模式計算逕流量與滲透量

在任意時刻，從水筒上方注入之水量（最上段水筒之輸入為降雨，其餘各水筒則為從上方水筒之滲透量）必須與已存在於該水筒之水量相加，因此由各水筒之流出量等於其各孔上方之容水高度（即貯留高度減去孔口高度）與其孔乘係數乘積之和，而滲透量為水筒內貯留高度與滲透孔孔乘係數之積。

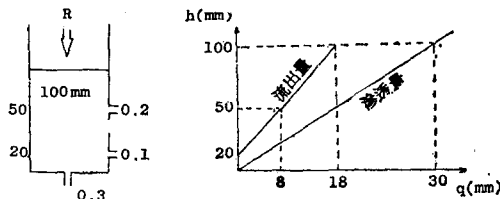


圖 5 殘留高度與滲透量、逕流量之關係圖

設降雨或滲透量由圖 5 之水筒上方注入後，水筒之總貯留量為 100mm，其流出量（二只孔口之合計）為：

逕流量： $(100-50) \times 0.2 + (100-20) \times 0.1 = 18 (mm)$

滲透量： $100 \times 0.3 = 30 (mm)$

殘餘貯留量： $100 - 18 - 30 = 52 (mm)$

若上例之初期貯留量變為 40mm 時：

逕流量： $0 + (40-20) \times 0.1 = 2 (mm)$

滲透量： $40 \times 0.3 = 12 (mm)$

殘餘貯留量： $40 - 2 - 12 = 26 (mm)$

而初期貯留量為 15mm 時

逕流量： $0 + 0 = 0 (mm)$

滲透量： $15 \times 0.3 = 4.5 (mm)$

殘餘貯留量： $15 - 4.5 = 10.5 (mm)$

(3)水平衡之推定

在長期逕流量推估時，一般採用逐日計算，期間為一年或連續數年。對流域之損失量，大部份均假設乃由於流域之蒸散所致。惟至目前為止尚無適當之方法來確定或計算流域內由地面、樹木等之蒸發量及蒸散量。由水平衡之觀點來看，於長期低水逕流推估中，使長期間之總蒸發散量為一致，較每天之蒸發散量更形重要。因此必須依賴過去之降雨量、逕流量，在流域水平衡中作適當之假定。

今設 R：降雨量，
 Q：逕流量，
 E：蒸發散量，
 I：從別流域輸入之流入量，
 O：流往他流域之流出量
 ΔS ：流域內貯留量之變化量，

則流域之水平衡方程式可表示如下：

$$R + I = Q + E + O + \Delta S$$

若當 $I=0, O=0$

且因為長期間其流域內貯留量之變化量可視為零。

即 $\Delta S=0$

故 $E=R-Q$

亦即年損失量可視為由蒸發散情形所致。

本研究中蒸發散量之決定，係以流域內各水文站歷年來各月之月平均蒸發散量除以各月之日數，求得各月每日之日平均蒸發散量。又逐日計算逕流量時，若當降雨量大於 0.5 mm/day 時，一般仍將其蒸發散量減為原來之 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 來扣除，本研究係以 $\frac{1}{3}$ 來扣除，所剩餘之損失量則以第四水筒之滲透孔之深層滲透損失來加以控制。以期能達到水平衡上之要求。

又在水筒模式法中蒸發散量之扣除係根據土壤表層毛細管原理，故蒸發散量乃由最上段之水筒（即第一水筒）中扣除。如最上段水筒無貯留量時，則由第二水筒中加以扣除。同樣地，當第二水筒中無貯留量時，則由第三水筒中扣除，依此類推。

(4)計算實例

在利用試誤法(Trial-and-Error method)反覆計算以決定模式之孔口高度及其孔乘係數之過程中，必須應用水筒模式法之逕流計算方法。在此先利用已固定之模式來計算。

(例)設有如圖 6 之水筒模型，按下列所給之條件及資料（此為計算時必須先知道之初期條件），試算 3 月 3 日至 3 月 6 日之流域逕流量。流域面積為 100Km²。

(A)前日(即3月2日)之殘餘貯留量:

第一水筒	20.0 mm
第二水筒	10.0 mm
第三水筒	50.0 mm
第四水筒	1500.0 mm

(B)日降雨量:

3月2日	20.0 mm
3月3日	24.7 mm
3月4日	71.0 mm
3月5日	23.0 mm

(C)日蒸發散量:

設三月之日平均蒸發散量為 2.98mm, 但降雨量超過 0.5mm/day 時, 以日平均蒸發散量之 $\frac{1}{3}$ 來扣除, 即以 0.99mm 來扣除。

上例解法如下:

(a)前日之殘餘貯留量加上降雨量(對第二、三、四水筒而言, 為由上方水筒來之滲透量), 並扣除蒸發散量, 求得最後之貯留量。

(b)由步驟(a)求得之貯留量, 計算各水筒之逕流量與滲透量。其計算方法如(二-3.(2))節所述。

(c)流域逕流量即等於在步驟(b)中, 所求得之各水筒逕流量之總和。

(d)由步驟(a)所求得之貯留量, 扣除由步驟(b)及步驟(c)所求得之逕流量與滲透量, 求得殘餘貯留量。

(e)重複步驟(a)至步驟(d), 計算另一日之逕流量。

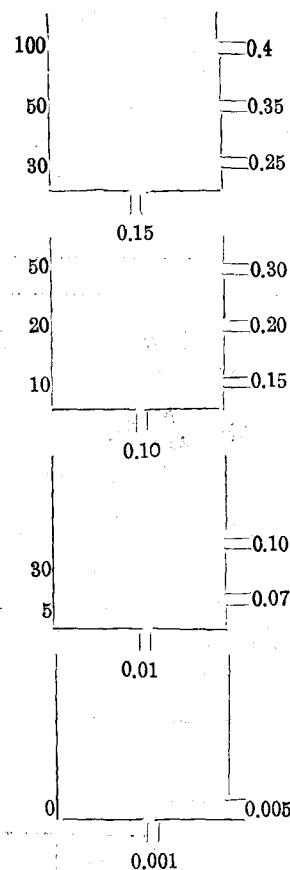


圖6 已知之固定水筒模型圖

(f)計算列於表1及表2。

其計算過程列於表1, 結果如表2。

表1 水筒模式實例演算過程表

月	第一水筒									
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
日	前日之貯留量	前日降雨量	蒸發散量	貯留量	流出量(上孔)	流出量(中孔)	流出量(下孔)	流出量(總計)	滲透量	殘餘貯留量
	前日之⑩	實測資料	推定值	①+②-③	$(\frac{④-100}{100}) \times 0.40$	$(\frac{④-50}{50}) \times 0.35$	$(\frac{④-30}{30}) \times 0.25$	⑤+⑥+⑦	④×0.15	④-⑧-⑨
3.3	20.0*	20.0*	0.99*	39.01	0.0	0.0	2.25	2.25	5.85	30.91
3.4	30.91	24.7*	0.99*	54.62	0.0	1.62	6.16	7.78	8.19	38.65
3.5	38.65	71.0*	0.99*	108.66	3.46	20.53	19.66	43.65	16.30	48.71
3.6	48.71	23.0	0.99*	70.72	0.0	7.25	10.18	17.43	10.61	42.68

* 表已知條件及資料

單位: mm/day

續表1-1 水筒模式實例演算過程表

		第 二 水 筒								
月	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳
日	前日之 殘餘貯 留量	由上方 滲透量	蒸發散量	貯留量	流出量 (上孔)	流出量 (中孔)	流出量 (下孔)	流出量 總計	滲透量	殘餘 貯留量
	前日 之 ㉑	⑩	推定值	⑪+⑫ -⑬	$(⑭-50) \times 0.30$	$(⑭-20) \times 0.20$	$(⑭-10) \times 0.15$	⑮+⑯ +⑰	⑱×0.1	⑭-⑮ -⑰
3.3	10.0*	5.85	0.0	15.85	0.0	0.0	0.88	0.88	1.59	13.38
3.4	13.38	8.19	0.0	21.57	0.0	0.31	1.74	2.05	2.16	17.36
3.5	17.36	16.30	0.0	33.66	0.0	2.73	3.55	6.28	3.37	24.01
3.6	24.01	10.61	0.0	34.62	0.0	2.92	3.69	6.61	3.46	24.55

		第 三 水 筒								
月	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗	㉘	㉙	㉚
日	前日之 殘餘貯 留量	由上方 滲透量	蒸發散量	貯留量		流出量 (上孔)	流出量 (下孔)	流出量 總計	滲透量	殘餘 貯留量
	前日 之 ㉛	㉑	推定值	㉑+㉒ -㉓		$(㉔-30) \times 0.10$	$(㉔-5) \times 0.07$	㉖+㉗	㉙×0.01	㉔-㉕ -㉖
3.3	50.0*	1.59	0.0	51.59		2.16	3.26	5.42	0.52	45.65
3.4	45.65	2.16	0.0	47.81		1.78	2.99	4.77	0.48	42.56
3.5	42.56	3.37	0.0	45.93		1.59	2.87	4.46	0.46	41.01
3.6	41.01	3.46	0.0	44.47		1.45	2.76	4.21	0.44	39.82

		第 四 水 筒								
月	㉜	㉝	㉞	㉟	㊱	㊲	㊳	㊴	㊵	㊶
日	前日之 殘餘貯 留量	由上方 滲透量	蒸發散量	貯留量			流出量 (下孔)	流出量 總計	滲透量	殘餘 貯留量
	前日 之 ㊷	㉜	推定值	㉜+㉝ -㉞			㉟× 0.005	㊱	㊲× 0.001	㉟-㊱ -㊲
3.3	1500.0*	0.52	0.0	1500.52			7.50	7.50	1.50	1491.52
3.4	1491.52	0.48	0.0	1492.00			7.46	7.46	1.49	1483.05
3.5	1483.05	0.46	0.0	1483.51			7.42	7.42	1.48	1474.61
3.6	1474.61	0.44	0.0	1475.05			7.38	7.38	1.48	1466.19

* 表已知條件及資料

單位: mm/day

表2 水筒模式實例逕流量整理表

月 日	流 量	流域逕流量 (mm/day)	流域逕流量 (cms)
3月3日		16.05	18.58
3月4日		22.06	25.53
3月5日		61.81	71.54
3月6日		35.63	41.24

該流域面積為 100 Km² 故
1 mm/day = 1.16 cms

4. 水筒模式之特點

(1)初期之損失及損失量，係隨着降雨歷時變化之現象已自動包含於模型之中。（由最上段之流出孔高度與滲透孔可看出）。

(2)降雨增大時，逕流亦隨着快速增加，其增加率成非直線性，亦包含在模型中。（由於水筒具有多個流出孔）。

(3)水由水筒往下流動時，已自動含有稽延時間之因素。因此從下方水筒之流出成份，自然即包含稽延時間之存在。（模型之串聯配置）。

(4)因降雨強度增大，第一水筒(即最上段水筒)之貯留量亦增加，故河川逕流量亦變大。如降雨強度小，降雨時間雖長，大部份之水量仍往下滲透後緩慢流出，故河川逕流量並無顯着之增加。（由於貯留型之串聯配置）。

(5)由各段水筒之逕流，表示各自固有之遞減曲線，因此逕流量係用持有固有遞減逕流成分之和來表示。（由於有多個水筒串聯組合）。

(6)具有單位歷線法，逕流函數法、貯蓄函數法等共同之特點。

(7)水筒模式法不但能用於長期逕流推估，對於短期洪水、中期月流量之推估均具有高度之精確性。

(8)水筒模式法之逕流計算過程用加、減、乘三種運算程序即可完成。

(9)在決定模型之參數（各水筒之流出孔高度、孔乘係數與各水筒之初期貯留高度）時，必須經過多次之假定及試算與具有豐富之經驗及耐心，方能順利建立合適之模型結構。

(10)水筒模式法不能表示出短暫時間內洪水波之傳播情形。

三、水筒模式之建立

1. 水筒模式各種參數之推估

一般應用水文模式法以推估逕流量乃根據過去之流域降雨量或逕流量等資料，以推求模式中所需之參數值，水筒模式法亦不例外，必須經過多次試誤以決定模式中各水筒各流出孔之高度及孔乘係數。

在計算水筒模式法之初，先將觀測之流量歷線圖繪於半對數坐標上，觀察其各流出成分之遞減係數及其折點位置，就其相對應各水筒之係數及各孔位置，做第一次之推估，再依此暫時推定之模式推估日逕流量。然後將此最先所計算之流量歷線與觀測之流量歷線互相比較，利用試誤法中之參數與歷線之定性關係（將於下節中加以討論），逆推以修正各孔之參數（孔乘係數及其對應高度）。如此反覆試算，直至試算所得之流量歷線與觀測之流量歷線接近為止，最後方能決定該流域合適水筒模式中各水筒之孔乘係數及高度。

(1)各水筒孔乘係數之推估：

由於流量歷線之形狀及大小乃決定於流域及暴雨之特性。上漲肢主要受暴雨型態及流域特性之影響。在轉向點後之退水肢表示貯蓄開始消退，僅受流域特性之影響。因此本研究利用退水肢之特性，以作第一次模式參數之推估。

當降雨停止後，在退水肢之流量大致為隨着時間成指數遞減之退水曲線，即：

$$Q = Q_0 e^{-\lambda t}$$

當 t=0 時， Q=Q₀

故流域之遞減率 r 可得：

$$r = \left(\frac{Q_n}{Q_1} \right)^{\frac{1}{(n-1)t}}$$

$$= \left(\frac{Q_0 e^{-\lambda n t}}{Q_0 e^{-\lambda t}} \right)^{\frac{1}{(n-1)t}}$$

$$= e^{-\lambda}$$

∴ λ = -ln r.....(8)

由 Maclaurin 級數展開式得：

$$\lambda = (1-r) + \frac{(1-r)^2}{2} + \frac{(1-r)^3}{3} + \dots$$

$$\doteq 1-r$$

利用(8)式，分析大肚橋水文站日流量幾個單峯流量歷線來推估水筒一、三之孔乘係數，而水筒

二、四之孔乘係數係以水筒一、三之1/10來推定。

首先取流域中數個獨立暴雨所造成之流量歷線，根據其半減期，於退水肢上大略劃分各水筒之逕流成分，並依各逕流成分 r 與 λ 之關係，以推求各水筒之 λ 值。此 λ 值可視為各水筒之孔乘係數之和，故將 λ 值適當分配於各孔，而得到第一次孔乘係數之推估值。

在洪水歷線退水肢上大致分割成四等分，各成分對應一個水筒，觀察此歷線（圖7）發覺A期間之流出量在兩天之間減少50%，B期間（長期無降雨時）之流量在8天之間減少20%。

$$\text{TANK 1 之遞減率 } r = (0.5)^{1/2} = 0.7071$$

$$\text{TANK 1 之孔乘係數和 } \lambda = -\lambda_n r = 0.3465$$

因為A期間為洪峯過後之山脚部份，此時降雨量大致上停止，對此水筒內較高數孔無影響，故考慮下孔較佳，因此本研究假定A期間依時間之遞減係數 λ 為下流出孔之孔乘係數與滲透孔之孔乘係數和。

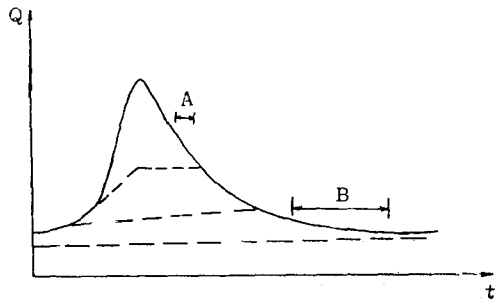


圖7 歷線退水肢特性圖

$$\text{TANK 3 之遞減率 } r = (0.2)^{1/8} = 0.82$$

$$\text{TANK 3 之孔乘係數和 } \lambda = -\lambda_n r = 0.21$$

將所推求之 λ 值合理配置下流出孔及滲透孔。

(2)各水筒初期殘留高度之推估：

本研究之水筒模式逕流計算乃由每年之一月一日開始，此時正處於長期無降雨（枯水期）之情形下，因此對第一及第二兩水筒之初期殘留高度均假設為0mm。而第三、四兩水筒之初期殘留高度不為零，其為隨初期河川基流量而變化，由試算中可知河川基流量絕大部份由第四水筒來加以控制。故本研究假定初期河川基流量之90%，由第四水筒流出，10%由第三水筒流出，本研究根據長期資料之統計顯示大肚橋河川基流量約為1.57mm/day，並由前述推得第三、四兩水筒之流出孔高度及其孔乘係數分別如下：

第三水筒 孔乘係數 0.005 孔口高度 5mm

第四水筒 孔乘係數 0.001 孔口高度 0mm

依此推估第三、四兩水筒之初期殘留高度如下：

$$\therefore (h_3 - 5) \times 0.005 = 1.57 \times 0.1$$

$$h_3 \doteq 40\text{mm}$$

$$(h_4 - 0) \times 0.001 = 1.57 \times 0.9$$

$$h_4 \doteq 1500\text{mm}$$

因此得第一次推定之各水筒初期殘留高度如下：

$$\text{TANK1} = 0.0\text{mm}$$

$$\text{TANK2} = 0.0\text{mm}$$

$$\text{TANK3} = 40.0\text{mm}$$

$$\text{TANK4} = 1500.0\text{mm}$$

(3)孔乘係數與高度對流量歷線之定性關係

在決定水筒模型時，推求各水筒各流出孔之高度及其孔乘係數時，並無一定或快捷之方法，唯能依靠各流出孔高度變化或其孔乘係數改變對流量歷線變化之定性關係，加以逐步修正。因為改變一個水筒之其中任一流出孔之孔乘係數或高度時，其計算所得之流量歷線有其一定之變化傾向，若對此定性關係無深刻之了解與認識而匆促修正其值，將徒勞無功。今就孔乘係數與高度對流量歷線變化之關係敘述如下：

在此所討論者為僅考慮一個水筒之情形。

如圖8所示為原模式之結構、貯留高度與其流出量之關係、原模式之流量歷線。

(A)若將原模式結構下端流出孔之高度變更為5mm時，即將下端流出孔高度降低，由於其相對之孔口上方高度增加，則下孔流出成份亦增加，其貯留高度與流出量之關係、流量歷線之變化情形，如圖9所示，實線部份表原模式，虛線部份為改變後之情形。

(B)若將原模式結構下端流出孔之孔乘係數由0.2增加至0.3時，其下孔流出成份亦增加，圖10所示為其貯留高度與流出量、流量歷線之變化情形。

(C)若將原模式結構上端流出孔之孔乘係數增加至0.6時，其貯留高度與流出量、流量歷線之變化情形如圖11所示。

(D)若將原模式結構上端流出孔之高度降低至20mm時，上孔流出量立即增加，其貯留高度與流出量、流量歷線之變化情形如圖12所示。

(E)若將原模式結構上端流出孔之高度提高至40mm，且其孔乘係數增加至0.5時，其貯留高度與流出量、流量歷線之變化情形如圖13所示。

(F)若將原模式結構下端流出孔之高度提高至20mm，且其孔乘係數增加至0.4時，其貯留高度與流出量、流量歷線之變化情形如圖14所示。

(G)若將原模式結構下端流出孔之高度降低至5mm，且其孔乘係數亦由0.2降至0.1時，其貯留高度與流出量、流量歷線之變化情形如圖15所示。

(H)若將原模式結構上、下端流出孔之孔乘係數，分別增加至0.5與0.3時，其貯留高度與流出量、流量歷線之變化情形如圖16所示。

歸結(A)至(H)可得各參數變化對流量歷線變化之定性關係如下：

(a)逕流量大時，若計算值與觀測值相差頗大時

，則以改變下端流出孔之孔乘係數較佳，因為係數愈大則其貯留高度對流出量之斜率愈大。

(b)逕流量不論大小部份，若計算值與觀測值之差大致上一致時，則以改變下端流出孔之高度較佳，因為此時可使歷線全體上下平移。

(c)若僅在逕流量較大之部份，其計算值與觀測值相差甚大時，則以改變上端流出孔之孔乘係數較佳，因為此時可使歷線尖峰部份作一峰形上下移動。

(d)只有在逕流量較大的部份，其計算值與觀測值相差大致上一致時，則以改變上端流出孔之高度較佳，因為此時可使歷線尖峰部份上下平移。

(e)若欲一次修正二個或二個以上之參數亦可，但若非有相當豐富之經驗，一次改變數個參數，容易使流量歷線變化趨勢更形混亂，徒增加修正工作上之困難，因為改變數個參數，其影響錯綜複雜。

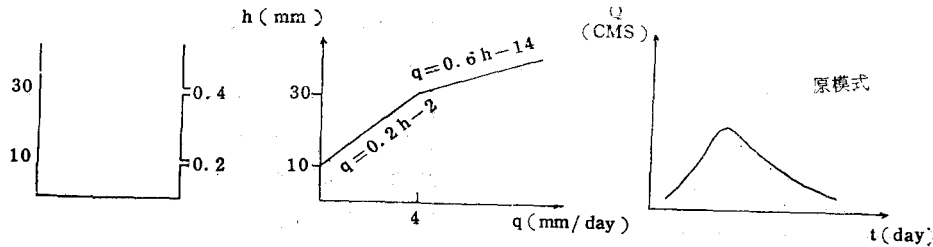


圖8 原模式結構、流量歷線圖

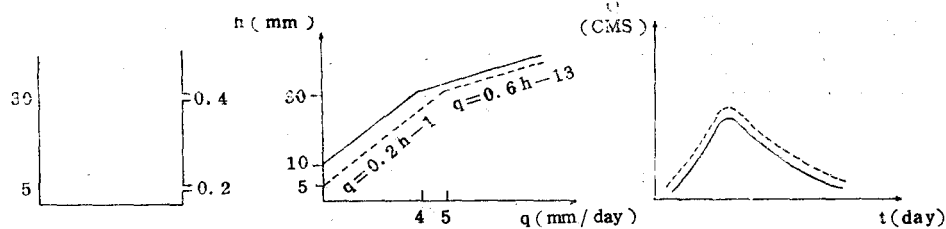


圖9 降低下孔高度時之流量歷線變化圖

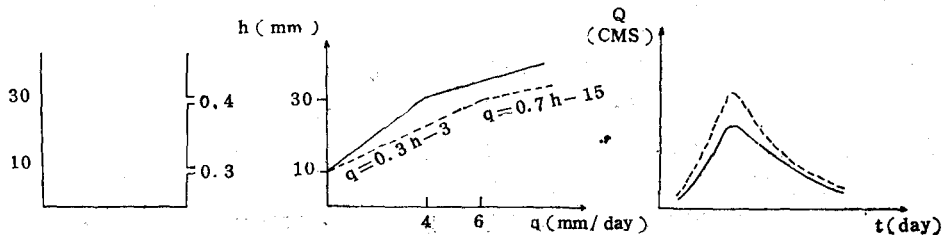


圖10 增加下孔乘係數時之流量歷線變化圖

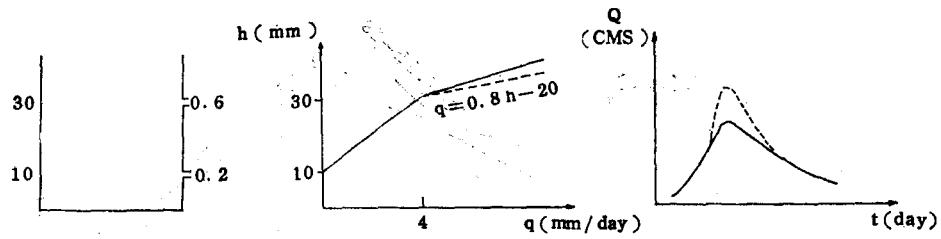


圖 11 增加上孔乘係數時之流量歷線變化圖

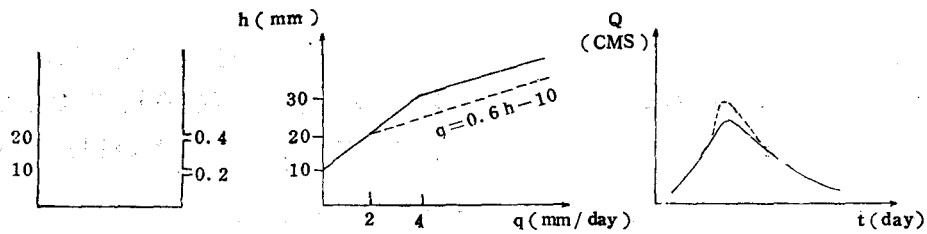


圖 12 降低上孔高度時之流量歷線變化圖

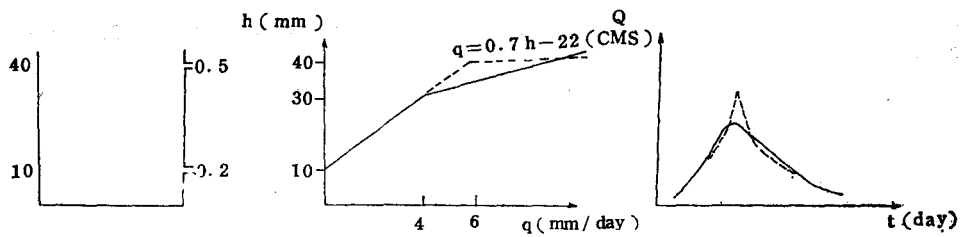


圖 13 提高上孔高度並增加其孔乘係數時之流量歷線變化圖

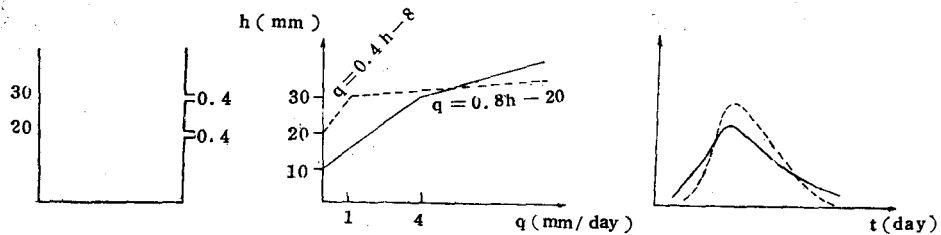


圖 14 提高下孔高度並增加其孔乘係數時之流量歷線變化圖

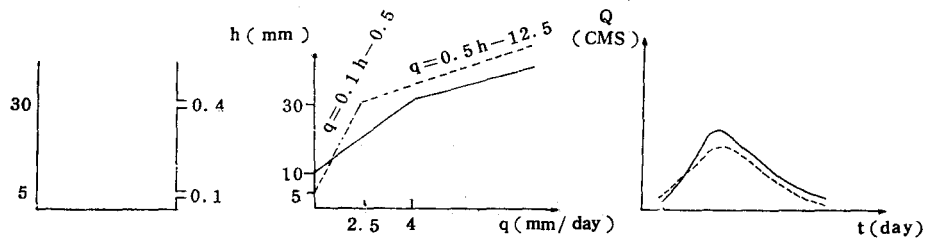


圖 15 降低下孔高度並減低其孔乘係數時之流量歷線變化圖

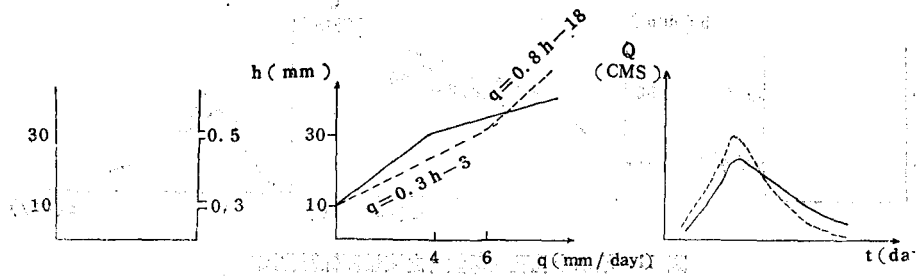


圖 16 分別增加上下孔孔乘係數時之流量歷線變化

2. 資料之分析

(1) 烏溪流域圖，如圖 17 所示。

(2) 蒸發散量之推估：

由烏溪流域內 13 個觀測站之觀測月平均蒸發散量值，經面積權數修正後，再除以每月之日數，得每月每日之平均蒸發散量值，列於表 3。

表 3 烏溪流域蒸發散量統計一覽表

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
蒸 發 散 量 (mm/day)	2.58	2.91	3.50	3.90	4.53	4.32	5.19	4.55	4.52	4.24	3.28	2.70

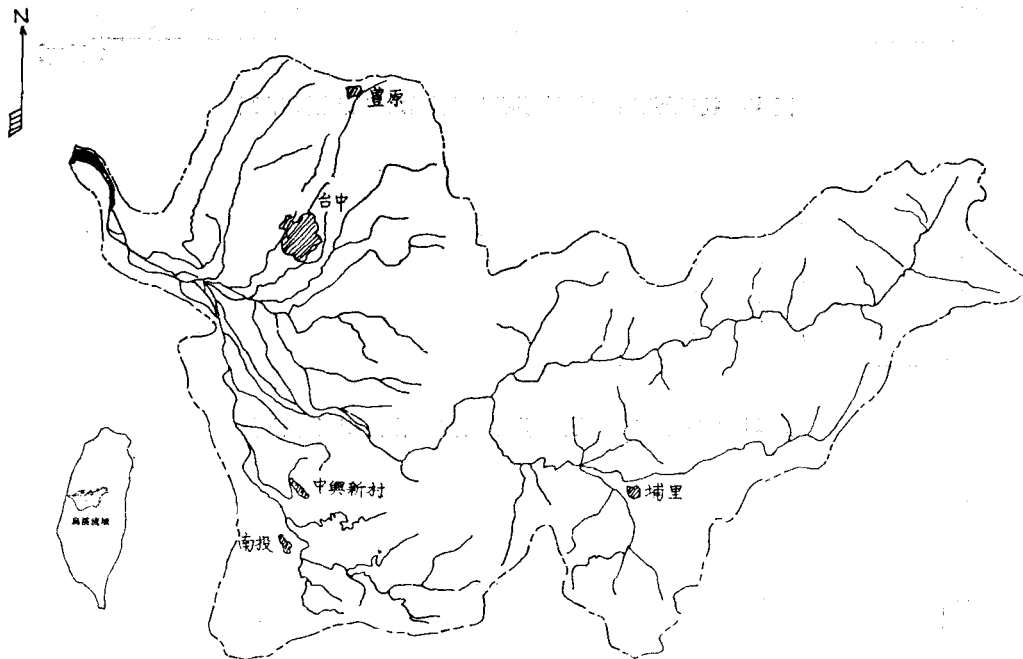


圖 17 烏溪流域圖

(3)年平均降雨量之推估：

在利用水筒模式法推估逕流量時，必須考慮山地降雨量之權數修正。本研究中分析烏溪流域內11個雨量站，由民國49年至民國63年之年雨量記錄，利用迴歸統計法發現烏溪流域內標高與年雨量之關係如下：

$$P = 1620.36 + 1.08H$$

其中，

P：年雨量，mm，

H：標高，m。

其相關係數 r ， $r=0.87$ 。

由上推估得標高每升高100公尺，其平均雨量增加約5.3%，再由此就每雨量站所控制之面積內之地形等高線圖，推估每雨量站之山地降雨量權數，如下表4所示。

表4 烏溪流域雨量站山地降雨量權數統計表

站名	大肚	芬園	霧峯	草屯	六分寮	南投	國姓	魚池	埔里	清流	翠巒
權重(%)	7.5	5.8	13.0	21.4	0.0	31.8	31.8	44.8	29.6	26.5	26.5

經由山地降雨量之權重修正後，再利用徐昇法(Thiessen Polygons method)推估平均雨量，其各雨量站之權重列於表5及圖18。

表5 各雨量站控制面積及權重表

站名	大肚	芬園	霧峯	草屯	六分寮	南投	國姓	魚池	埔里	清流	翠巒	Σ
面積(km ²)	211.53	67.14	334.14	87.54	22.78	188.36	228.37	138.05	177.27	289.77	235.70	1980.65
權重(%)	10.68	3.39	16.87	4.42	1.15	9.51	11.53	6.97	8.95	14.63	11.90	100

(4)農業用水量之推估：

經分析烏溪流域之灌溉面積高達22,180公頃，烏溪之河水大量被引至田間灌溉，因此使用水筒模式法時，農業用水量之推估乃甚為重要。本研究中推估農業用水量係採用減水深法，將水田、其他農耕地之減水深乘以面積而求得農業用水量。本研究係假定：

整田單位需水量：140mm

本田單位需水量：10mm/day

秧田單位需水量：1.04mm/day

一期作灌溉日數：100天

二期作灌溉日數：90天

同時因迴歸水利用之情形十分複雜，無法加以推估，本研究中並未考慮迴歸水之利用。

四、烏溪流域水筒模式模擬之結果

本研究所建立水筒模式電腦模擬程式之流程圖如圖19所示，所模擬之結果分述如下：

1.經多次試算及分析，烏溪流域水筒模式中各孔之孔乘係數及其對應高度如圖20所示。並由電

子計算機加以模擬，民國57年至65年烏溪流域之計算年逕流量再與實測年逕流量比較，如表7所示。九年間之各種平均誤差值如表6所示。

表6 線性水筒模式模擬結果之各種平均誤差統計表

算術平均	中位數	幾何平均	調和平均
7.84%	5.27%	5.29%	3.51%

本研究採用幾何平均誤差5.29%，亦即所建立之水筒模式相當理想。茲因篇幅之限制，僅將民國57及60兩年由電子計算機模擬之歷線圖列出，如圖21及圖22所示。

2.以上所討論之水筒模式，其計算之逕流量均與水筒內孔口上方貯留高度成線性之關係，然而由流體力學之觀點看，孔口之流出量與孔口斷面積及孔口上方之高度平方根成正比。

即

$$Q = A\sqrt{2gh}$$

$$Q \propto h^{1/2}$$

故

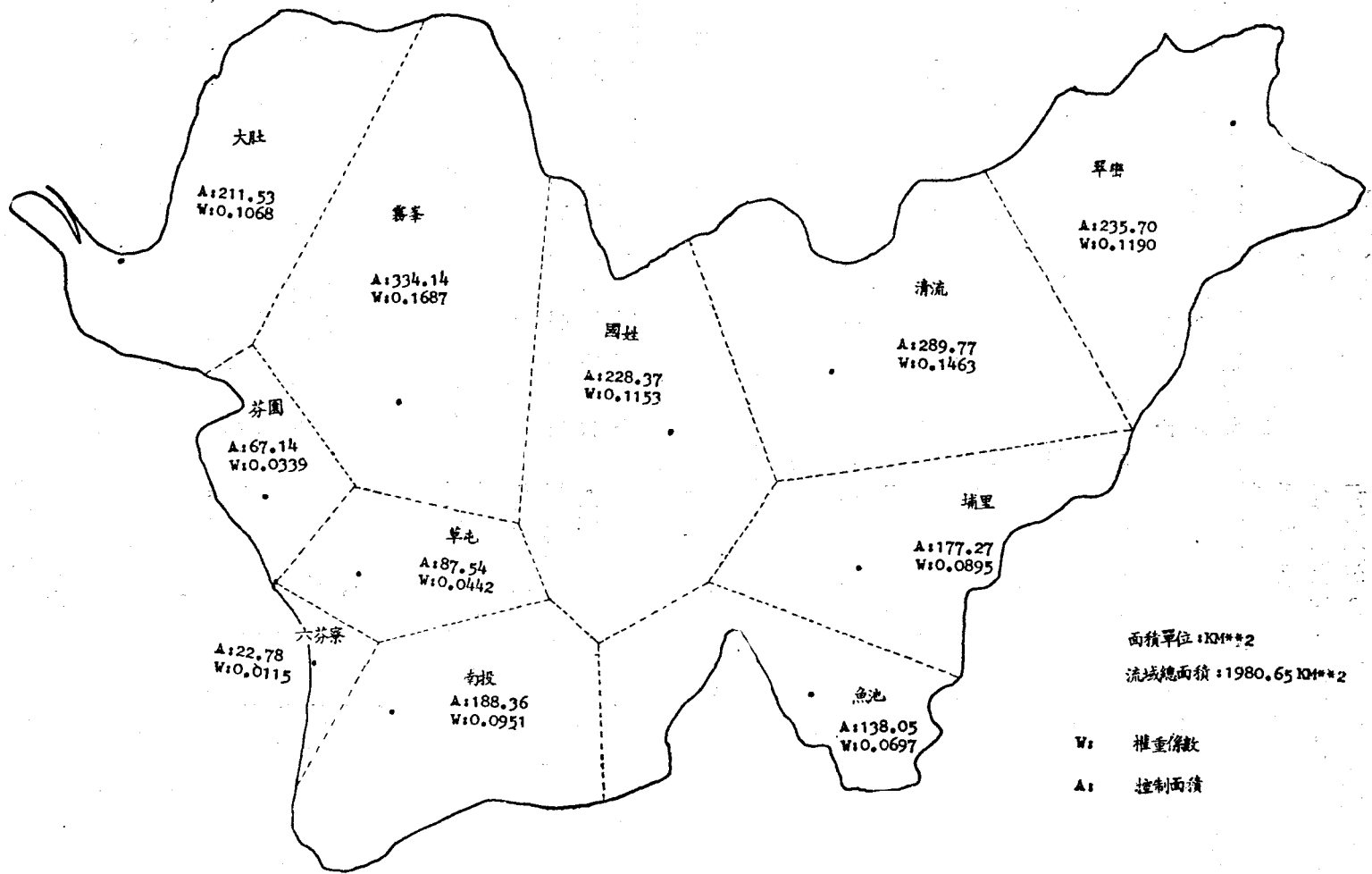
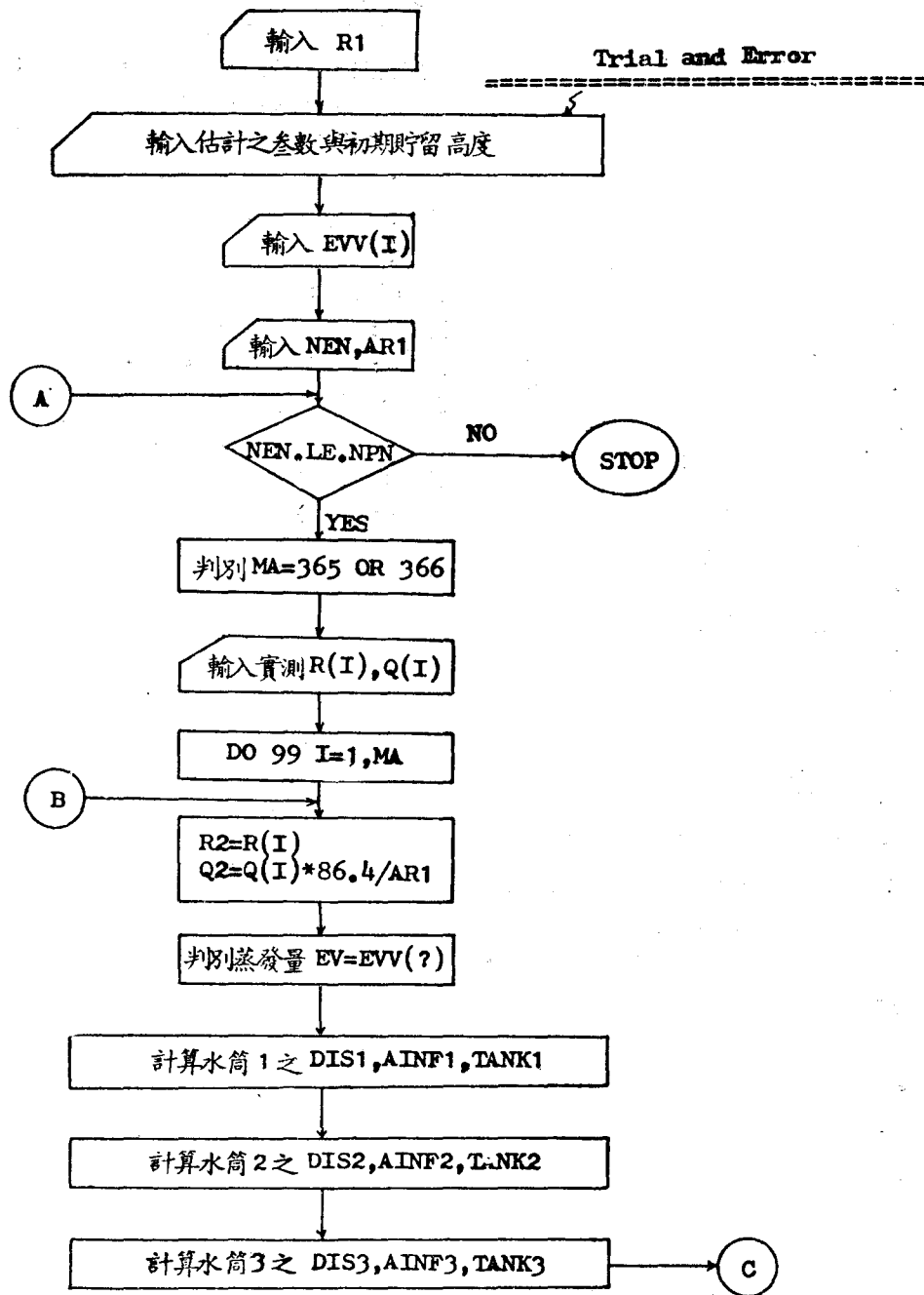


圖 18 烏溪流域各雨量站控制面積圖



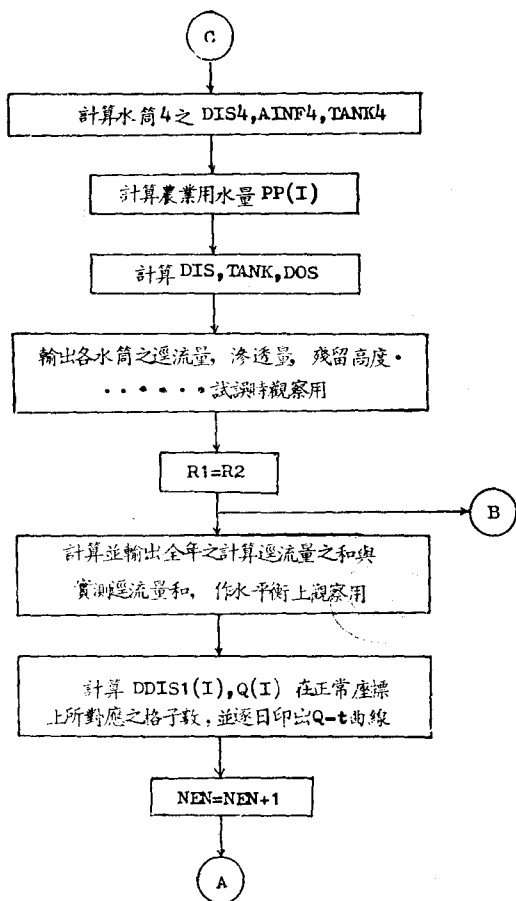


圖19 水筒模式電腦模擬流程图

因此本研究係以此觀點將水筒模式修正為流出量與孔口上方高度平方根成正比之關係加以研究，並由電子計算機模擬民國 57 年至 65 年烏溪流域之計算年逕流量再與實際觀測之年逕流量加以比較，如表 9 所示，九年間之各種平均誤差值如表 8 所示。

表 8 非線性水筒模式模擬結果之各種平均誤差統計表

算術平均	中位數	幾何平均	調和平均
8.18 %	6.89 %	3.84 %	1.79 %

其所模擬烏溪流域水筒模式中各孔之孔乘係數及其對應高度如圖 23 所示。經分析其九年間之幾何平均誤差為 3.84 %。此時亦僅列出民國 59 及 61 兩年由電子計算機模擬之歷線圖，如圖 24、圖 25 所示。

3. 水筒模式電腦模擬流程图變數符號說明：

TANK1, TANK2, TANK3, TANK4 :

第一、二、三、四水筒之殘留高度。

DIS1, DIS2, DIS3, DIS4 : 第一、二、三、

四水筒之流出量。

AINF1, AINF2, AINF3, AINF4 :

第一、二、三、四水筒之滲透量。

Q : 水文站之觀測逕流量。

PP : 農業用水量之推估值。

R1 : 前日降雨量。

Q2 : 當日觀測之逕流量。

EV, EVV : 蒸發散量。

NEN : 計算年之西元年數。

NPN : 程式控制之年數。

AR1 : 流域面積。

MA : 一年之日數, 365 或 366。

DIS : 每日由水筒模式所求得之逕流量。

DOS : 經扣除農業用水量後之河川逕流量。

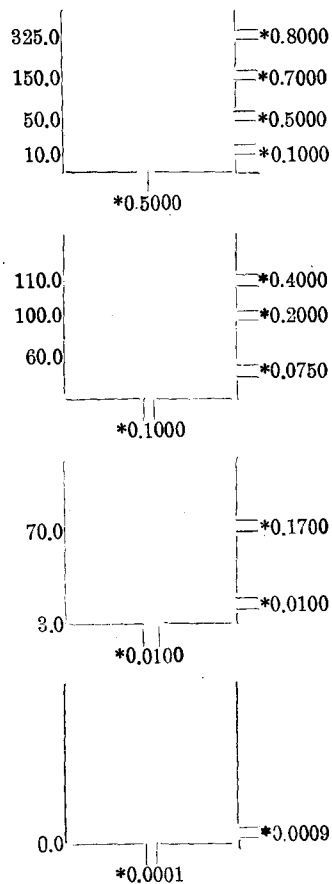


圖 20 烏溪流域之線性流量——孔口高度水筒模型

表 7 線性水筒模式電腦模擬結果整理表

年 類 別	雨 量 (mm)	實測流量 (mm)	計算流量 (mm)	蒸發量 (mm)	誤差值 (mm)	誤差百分率 (%)	平衡差值 (mm)
57	2393.576	1833.373	1911.292	859.069	- 77.919	4.25	376.7851
58	2210.861	1676.713	1723.414	848.646	- 51.701	3.08	366.1991
59	2263.839	1894.106	1756.073	751.492	138.034	7.29	243.7261
60	1325.810	870.880	878.580	868.372	- 7.701	0.88	421.1422
61	3118.859	2712.296	2615.799	822.776	96.497	3.56	319.7155
62	2021.163	1422.750	1629.639	767.812	- 206.889	14.50	376.2881
63	2583.755	2199.580	2083.623	767.266	115.956	5.27	267.1342
64	2829.808	2387.630	2258.900	706.866	128.731	5.39	135.9572
65	2393.248	2640.014	1943.103	860.836	696.912	26.40	410.6905
平 均	2348.991	1959.705	1867.269	805.904	93.706	5.29	308.640

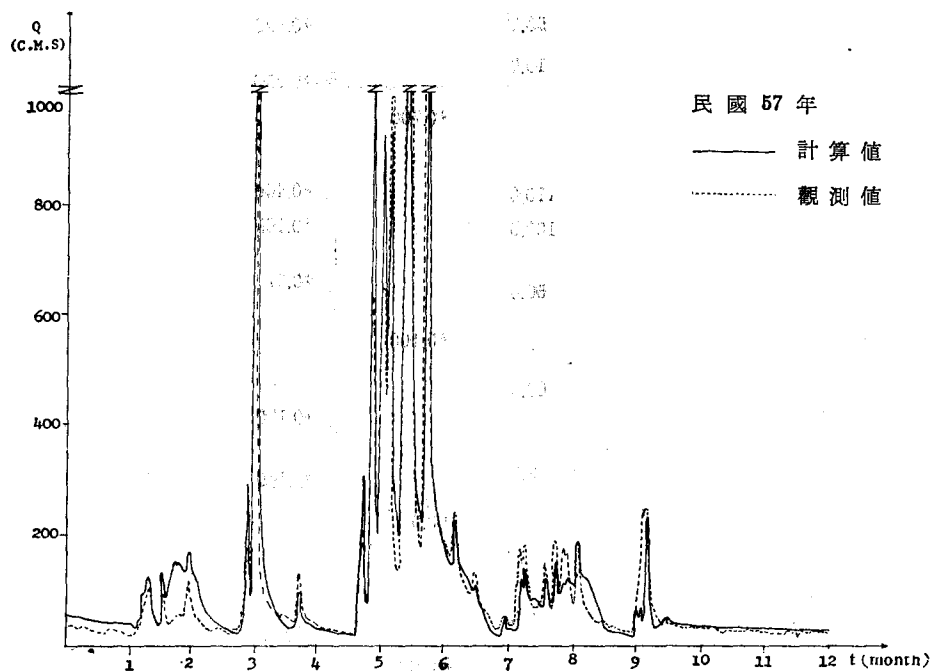


圖 21 線性水筒模式電腦模擬民國 57 年流量歷線圖

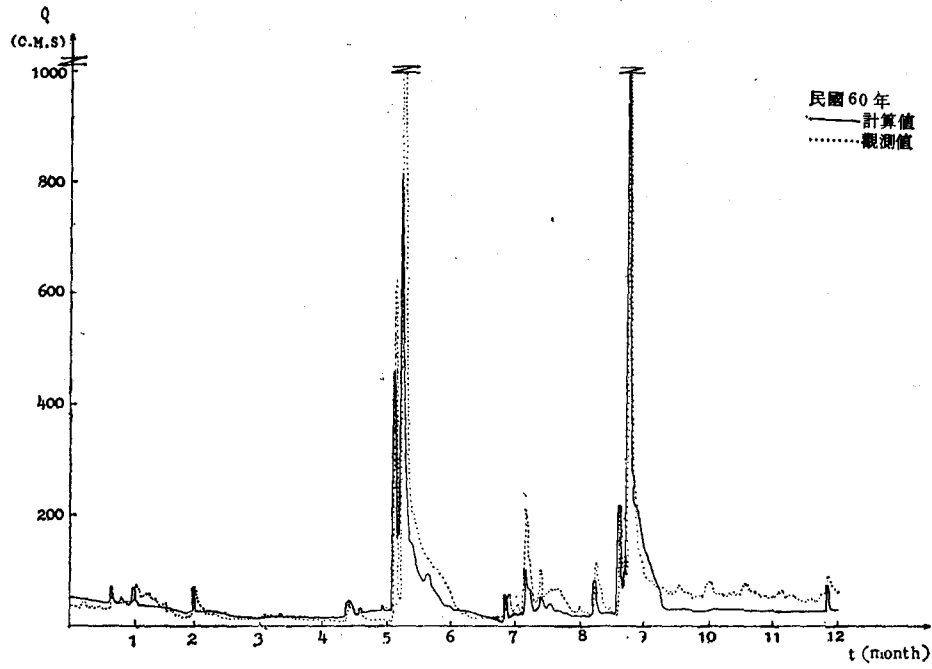


圖 22 線性水筒模式電腦模擬民國 60 年流量歷線圖

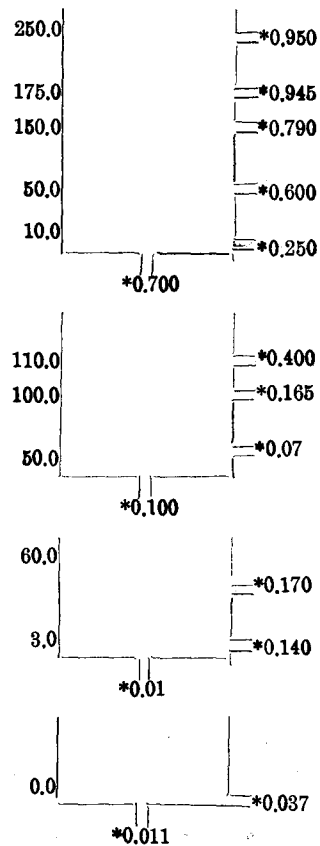


圖 23 烏溪流域之非線性流量——孔口高度水筒模型

表 9 非線性水筒模式電腦模擬結果整理表

年	類別	雨量 (mm)	實測流量 (mm)	計算流量 (mm)	蒸發量 (mm)	誤差值 (mm)	誤差百分率 (%)	平衡差值 (mm)
	57	2393.576	1833.373	2018.086	859.069	-184.713	10.08	483.5796
	58	2210.861	1676.713	1805.330	848.646	-128.617	7.67	443.1147
	59	2263.839	1894.106	1867.955	751.492	26.151	1.38	355.6084
	60	1325.810	870.880	930.883	868.372	- 60.003	6.89	473.4446
	61	3118.859	2712.296	2691.110	822.776	21.185	0.78	395.0268
	62	2021.163	1422.750	1734.325	767.812	-311.575	21.90	480.9739
	63	2583.755	2199.580	2217.255	767.266	- 17.676	0.80	400.7663
	64	2829.808	2387.630	2406.040	706.866	- 18.410	0.77	283.1981
	65	2393.248	2640.014	2022.887	860.836	617.127	23.38	490.4749
平	均	2348.991	1959.705	1965.986	805.904	71.59	3.84	417.037

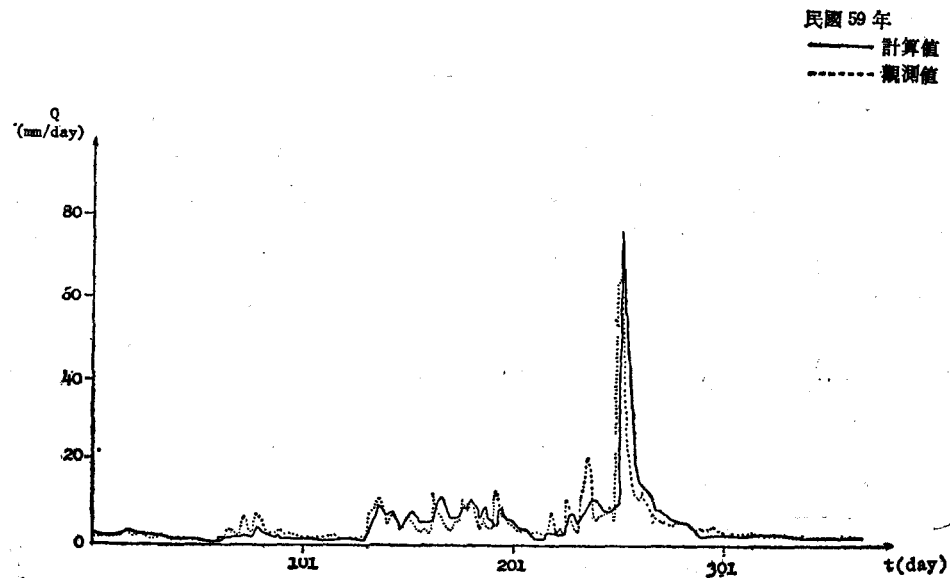


圖 24 非線性水筒模式電腦模擬民國 59 年流量歷線圖

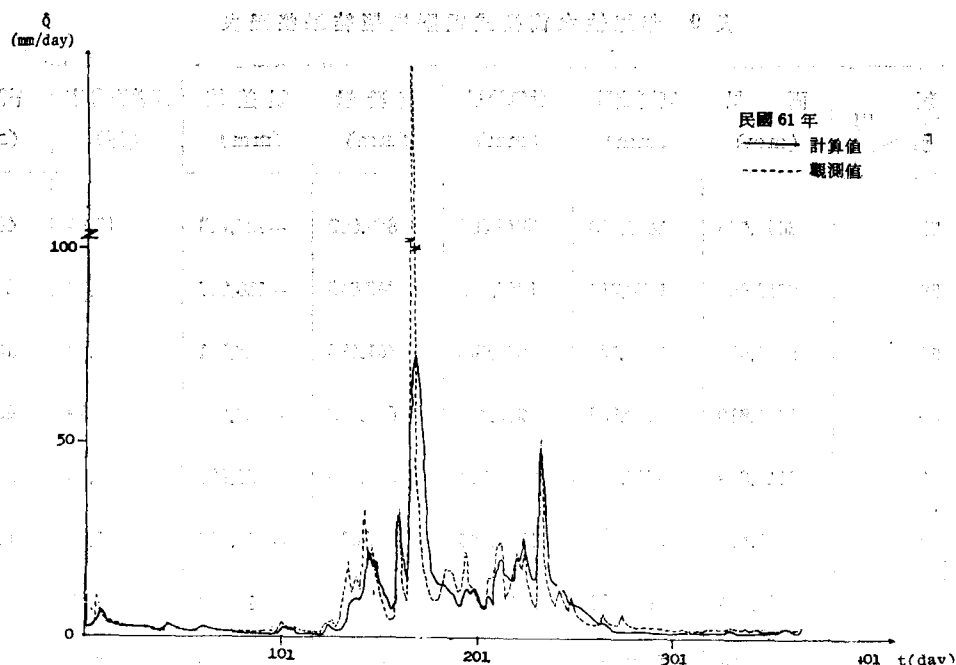


圖 25 非線性水筒模式電腦模擬民國 61 年流量歷線圖

五、水筒模式之討論

1. 由以上結果發現總逕流量與損失量之和大於總降雨量，究其原因為：

(1) 流域降雨量之觀測精度（觀測地點之流域代表性）。

(2) 洪水、低水時之流量觀測精度（水位流量率定曲線之誤差）。

(3) 流域地下水受流域外地下水之影響。

2. 由以上結果可知，烏溪流域有迴歸水或流域外地下水流入之情形，地下水之流入量當可由流域內外地下水位等高線圖概略推估之。

3. 長期逕流推算時，一般其推算之時間單位為一日，因此對有關一日以下，短期之洪峰變動情形無法由計算結果得知。

4. 本研究於初期決定水筒模型時，為節省電子計算機模擬時間，第一、二兩水筒之流出孔數分別定為三、二個，但經過多次試算後，其結果仍然十分不理想，遂將線性水筒模式之第一、二兩水筒之流出孔數增為四、三個，非線性水筒模式之第一、二兩水筒之流出孔數增為五、三個，同時對各流出孔之高度及其孔乘係數分別加以修正，其模擬結果才見改善。故當各水筒之流出孔數愈多時，其在模擬計算上雖較繁雜，但對逕流量之模擬

可得到較佳之結果。

5. 本研究結果顯示，計算之流量歷線與其相對之實測流量歷線在波形上大致頗能符合。

6. 由統計之圖及表可見，由非線性流量——孔口上方高度所模擬之結果較線性流量——孔口上方高度所模擬之結果更佳，惟獨其在試誤修正之工作上較線性法更為困難且其所費電子計算機模擬時間更多。

7. 計算結果之良好與否，除了模式本身是否能表示該流域之逕流特性外，最主要是受到水文觀測資料之精確度以及農業用水之影響。同時該流域迴歸水量之情況複雜，難以精確推估，多少影響模式結果之精度。

8. 由以上總結，水筒模式最適合應用於山區，因其河川水量尚未被大量引用。

9. 水筒模式法於試誤前之初期條件除各流出孔之高度及其孔乘係數外尚須知計算開始前一日各水筒之殘留高度。本研究因顧及，若計算日期從多雨時期開始，各水筒內之殘留高度情形較複雜，而以經長期無降雨後開始內因此，本研究之計算日期均以每年一月一日開始。

10. 由大肚橋水文站之逕流量記錄及其流域之雨量記錄可看出，於某些時候流域經一段無降雨時期，而其逕流量值却偏大，此情形可能為流域外之

地下水流入，致使模式於修正時無法使觀測流量歷線與計算流量歷線完全吻合。

11. 本研究中之線性及非線性兩模式均經過多次之修正，其間部份歷線因各年份之降雨分佈型態不同，而無法完全吻合。

12. 本研究所得之結果，為歷次修正所得結果之最佳者。

六、灌溉配水方式之模擬

烏溪流域之用水調配，因各埤圳歷年來引水量，及其灌溉區域內各灌區之資料不全，諸如各進水口之輸水容量、輸水水路長度、水井抽水量、輸水損失等，遂選定資料較全之北投新圳作為用水調配之研究地區。

本研究擬採用之灌溉配水方式之步驟，如圖 26 所示。茲分述如述如下：

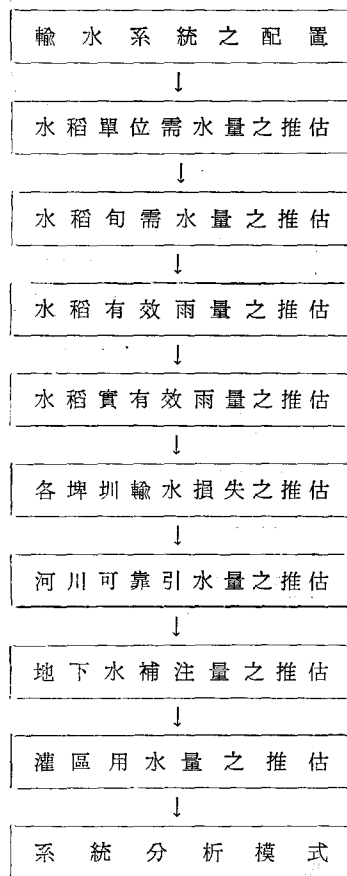


圖 26 灌溉配水方式流程圖

1. 輸水系統之配置

北投新圳灌溉總面積 2,073 公頃，其引水口之輸水容量約 5.371CMS。並依其灌溉系統分為 65 個灌區，其中含 7 口公井，11 口私井分佈於 13 個灌區，抽取地下水補助灌溉。各灌區之面積及其輸水容量限制，如圖 27 所示。

2. 水稻單位需水量之推估

灌溉用水量之推估適當與否，不僅影響到水資源經濟利用之原則，且直接影響工程費用。故水稻之單位需水量須有正確合理之推估。水稻單位需水量分本田、整田、秧田單位需水量，推估方法分述如下：

(1) 本田單位需水量：

本研究之本田單位需水量於本田期間皆視為一定值。各灌區之本田單位需水量係根據灌溉土壤及土地分級圖中之日需水量（已考慮蒸發散量、滲透量）。方法為將灌溉土壤及土地分級圖放大至各灌區相當之地段圖相同比例，求出各灌區不同日需水量之範圍和實際面積，再利用面積加權平均法求得各灌區之平均日需水量，即各灌區之本田單位需水量。

(2) 整田單位需水量

整田單位需水量乃指水稻田在插秧前一、二日需灌溉水耕犁、打碎、攪拌及整理田面等，使之適於插秧及塗抹田埂以防漏水等作業所需之水量。本研究依本田單位需水量將整田單位需水量歸納如下：

(A) 本田單位需水量在 7 至 8mm/day 時，其整田單位需水量為 125mm。

(B) 本田單位需水量在 9 至 10mm/day 時，其整田單位需水量為 140mm。

(C) 本田單位需水量在 11mm/day 以上，其整田單位需水量為 155mm。

(3) 秧田單位需水量：

秧田需水量乃指秧田之整田及育秧用水量。因秧田面積佔本田面積之比例甚小，約為本田之 $\frac{1}{25} \sim \frac{1}{30}$ ，故其需水量遠較整田、本田需水量為小，同時為顧及因水量過小而無法輸送，因此秧田需水量不分等級，一律按本田面積積每 100 公頃供給 0.012CMS，以本田面積來計算，則約為 1.04mm/day。

3. 水稻旬需水量之推估

水稻需水量分為秧田需水量、整田需水量及本田需水量三種，其計算方法分述如下：

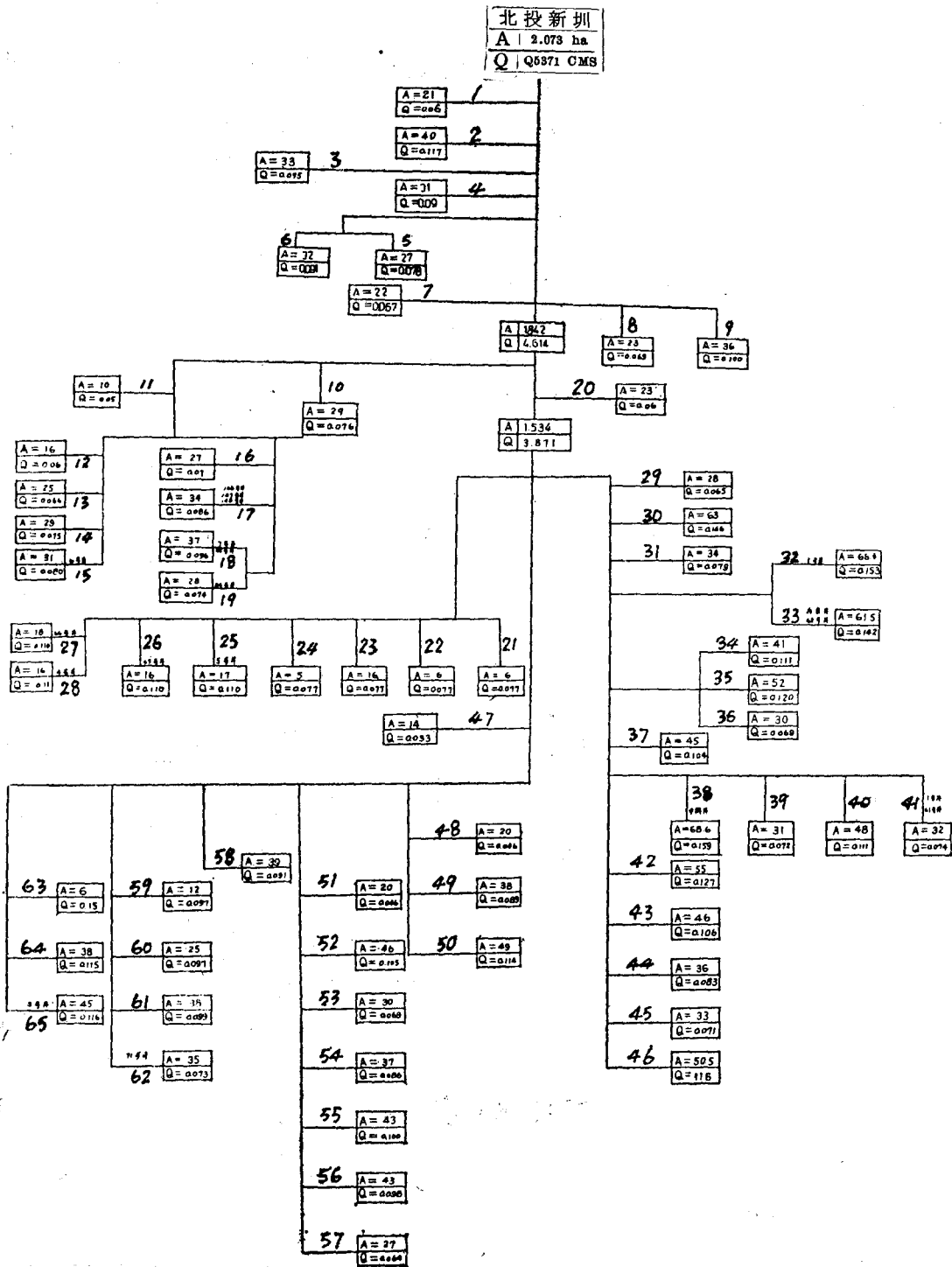


圖 27 輸水系統配置圖

(1)秧田旬需水量：

秧田旬需水量等於1.04乘以灌區內水稻面積再乘以該旬秧田需水日數。

(2)整田旬需水量：

整田旬需水量等於整田單位需水量乘以該旬總整田面積。

(3)本田旬需水量：

本田旬需水量等於本田單位需水量乘以該旬總本田面積。

本研究推估水稻旬需水量係依整田日期之錯開方式，先求各灌區之最短整田日數、生育日數、灌溉日數、再依此變動其需水型態求其用水種類，今分述如下：

(A)最短整田日數：

最短整田日數乃指各灌區在其本田需水量、整田需水量及渠道輸水損失等條件下，依其渠道最大輸水容量所求得之整田日數。其計算方法又因灌溉配水方法可分每天整田面積相同而供水量逐漸增加之「定面積法」與供水量一定而每天整田面積逐漸減少之「定流量法」兩種。其計算公式分別敘述如下：

(a)定面積法

$$N = \frac{AD_s}{Q(1-L) - AD_i} \dots\dots\dots(9)$$

(b)定流量法

$$N = \frac{\text{Log}(1 - \frac{AD_i}{Q(1-L)})}{\text{Log}(\frac{D_s - \frac{1}{2}D_i}{D_s + \frac{1}{2}D_i})} \dots\dots\dots(10)$$

(9)式及(10)式中，

- Q：流量 (m³/day)，
- A：整田插秧灌溉面積 (m²)，
- N：整田插秧日數 (day)，
- D_s：整田需水量 (m)，
- D_i：本田需水量 (m)，
- L：輸水損失 (%)。

由上兩法所求得之最短整田日數為非整數時，進位而取整數。

(B)生育、灌溉日數：

一般水稻生育所需日數，因地域、氣象和品種之不同而有所不同，本研究為電子計算機作業方便，定秧田與本田之生育、灌溉日數統一如表 10 所示：

表 10 各期作之生育、灌溉日數表

期作別	生育日數		灌溉日數	
	秧田	本田	秧田	本田
一期作	35	120	35	100
二期作	15	100	15	90

(C)用水種類：

灌區用水種類之變化，係在不增減水稻全年總需水量之原則下改變整田時間與整田日數，使需水型態不同而產生，即每一種用水種類雖然水稻旬需水量有所不同，但全年之總需水量為一定值。其數學式可以表示如下：

$$\sum_{k=1}^{36} U_{jk} = \text{Constant} \dots\dots\dots(11)$$

(11)式中，

- j：用水種類，j = 1, M₁，
- M₁：該灌區之用水種類數目，
- k：旬別，k = 1, 36，
- U_{jk}：該灌區，第 j 種用水種類第 k 旬之旬需水量。

今就變動用水種類之方法及其限制分述如下：

(a)變動方法

(i)移動整田時期：

本研究一切水量均以旬為單位，故以整田期間每移動十天變動一次。

$$\text{變動次數} = \frac{\text{整田期限之日數} - \text{相當之整田日數}}{10} + 1$$

(ii)增加整田日數：

本研究以該灌區之最短整田日數每增加 L 日變動一次，L 日係依下表 11 而定。

表 11 最短整田日數與相對增加日數表

最短整田日數	1~4	5~9	10~14	15~19	20以上
增加日數 (L)	2	3	4	5	6

$$\text{變動次數} = \frac{\text{整田期限之日數} - \text{相當之整田日數}}{\text{其所相對增加之日數}} + 1$$

(b)變動上之限制條件：

- (i)整田期間不得超出整田期限。
- (ii)整田期間不得少於最短整田日數。
- (iii)二期作最早整田日期不得早於一期作開

始整田日期加相當之整田日數再加 120 天。

(iv) 由於渠道輸水容量之設計，為考慮容納整田插秧期間之大量用水，多採用平常輸水量之 1.5 倍為設計標準，因此為了避免整田期間之輸水量低於平常之輸水量，規定整田日數不得多於最短整田日數之 1.5 倍。

4. 水稻有效雨量之推估

本研究推估之有效雨量，係採用以灌溉管理為出發點，考慮日降雨量、日需水量、田間容納空間、殘留有效雨量與渠道容量等因素而估算之。其基本假設及理論根據分述如下：

(1) 基本假設：

(A) 為配合田間管理之可行性，及水稻生長之適宜深度，田埂高度取一次灌溉水深。

(B) 一次灌溉水深取日平均需水量與灌溉期距之積。

(C) 於同一輪灌溉期距內，田間單位時間之水量消耗速度視為均勻，因此日需水量視為定值。

(D) 降雨量以日雨量為基準，而一日內所降之雨量皆視為均勻。

(E) 需水量與有效雨量以日為計算間隔。

(F) 所謂單區乃指輪區內每日之灌溉面積，即：

$$\text{單區} = \frac{\text{輪區面積}}{\text{期距}}$$

(G) 田間容量之形成以日為單位。

(H) 第一類有效雨量在 5 mm 以下者視為無效，因為管理上無法如此靈活。

(2) 理論根據：

(A) 具有減少人工灌溉之雨量部份，方為有效雨量，即減少人工灌溉之水量多少，有效雨量即有多少。

(B) 本研究係考慮田間之含水量變化為需水量與灌溉期距之函數，故有關需水量之因子均列入考慮，如土壤性質、耕地、蒸發散量。

(C) 本研究係以灌溉管理為出發點來看有效雨量，認為容納在田間之雨水如不能減少人工灌溉，雖在田間繼續消耗，例如滲透量之增加，亦不認為有效雨量。

(D) 一個輪灌區之田間容水量經常保持週期性之循環變化，若降雨容納至相當程度後，即可停止人工灌溉，且可容納有效雨量之空間亦隨斷水日數而變化，而斷水日數之長短又與渠道容量有關，故本研究已考慮渠道容量因素。

(E) 在正常輪灌下，其田間含水量狀態經常保持一定階梯狀態。

(F) 降雨分佈之情形與有效雨量有莫大之關係，如果降雨分佈接近田間需水量之消耗，則其利用率自然提高，因此把降雨分為二類，分述如下：

(a) 單獨降雨：指降雨發生前並無殘留前次有效雨量。

(b) 連續降雨：指一連串之連續或斷續降雨，其所發生之有效雨量前後連接，始終有部份有效雨量遺留田間。

並依不同斷水日數，田間可容納空間之變化，將有效雨量分為三類：

(i) 第一類空間：指標準空間。

(ii) 第二類空間：指斷水一日之空間。

(iii) 第三類空間：指斷水二日之空間。

(G) 輪灌期距依需水量之不同而有所不同，一般而言，需水量大者以較短期距，需水量小者以較長期距為宜。由實驗及經驗顯示，縮短期距而增加灌溉次數，即減少灌溉水深，對作物有利。歸納言之，期距之長短視需水量、土壤性質、一次灌溉水深、田間配水管理之難易與田間乾露時間等因素而定。本研究中由日需水量大小來決定輪灌期距，其關係列於表 12。

表 12 日需水量與灌溉期距對照表

日 需 水 量 (mm/day)	灌 溉 期 距 (day)
10 以下	6
11 ~ 12	5
13 以上	4

5. 水稻實旬有效雨量之推估

前節所述之旬有效雨量係假設全年皆為本田用水之情形下求得，因此為了能配合實際之灌溉配水，須就秧田期間及整田期間加以修正，而求其實旬有效雨量，現就秧田及整田之情形加以討論如下：

(1) 秧田因受當時氣象狀態支配，且其給水、排水頻率不定，在此情形下大多未能發生任何有效雨量，故本研究令於秧田期間一律無有效雨量。

(2) 整田期間因配水集中於部份面積，且於整田前之田間狀態下其蓄留雨水之能力實低於本田期間，因此其發生有效雨量之情形，自然較本田期間

低，故本研究令整田期間之有效雨量最多不超過本田滿區時之情形，即：

$$ARP = \frac{DT \cdot DA + DS \cdot SA}{DT \cdot DTA} \dots\dots\dots(12)$$

(12)式中：

- DT：本田單位需水量。
- DA：日本田面積。
- DS：整田單位需水量。
- SA：日整田面積。
- DTA：本田滿區時之面積。

故 $ARP \leq 1.0$

因此實句有效雨量等於該句每天之有效雨量乘以該句每天之 ARP 之和。

6. 輸水損失之推估

本研究因時間、人力、經費上之困難，無法對各埤圳輸水損失作正確、合理之推求，故僅以所搜集得資料為數據。北投新圳灌區內之輸水損失均為 20 %。

7. 河川可靠引水量之推估

本研究原擬由水筒模式法所推求之河川逕流量，加以推求河川可供水量。但因顧及於豐水時期各埤圳常因攔河埧遭洪水沖毀而無法正常引水灌溉，且於枯水時期各埤圳之取水又訂有一定之分水比率，因此決定由歷年來各埤圳之河川引水量記錄，經對數皮爾遜第三類分佈法 (Log Pearson Type III) 分析，分別求迴歸週期 1.11 年及 1.25 年之河川引水量，以此為河川之可靠引水量。

8. 地下水補助量之推估

一般水井之抽水量均視灌溉區當時之需求而定，如在不缺水時自然無須抽水，但在十分缺水之狀況下亦常每天連續抽水 24 小時，故其抽水量因時而異。本研究因無法搜集各井抽水記錄，僅依其出水量求出年抽水量，再以其需求情形作合理地分配至各句。

本研究根據資料收集，北投新圳灌區內含有 7 口公井，私有井 11 口，共計 18 口井，依各井之出水量計算其年抽水量，計算方式係按每年抽水 90 天，每天抽水 20 小時，加以估計，即

$$\text{年抽水量} = \text{出水量} \times 3600 \times 20 \times 90 (M^3)$$

年抽水量推估之後，再推估句地下水補助量，其推估方法係考慮各句需水程度，將計算年抽水量適當地分配至各句，即：

$$GS(I) = \frac{GS(YY(I) - AP(I))}{YY - AP} \dots\dots\dots(13)$$

(13)式中，

- GS(I)：句地下水補助量，
- GS：年抽水量，
- YY(I)：句需水量，
- YY：年需水量，
- AP(I)：實句有效雨量，
- AP：實年有效雨量。

9. 灌區句用水量之推估

推估方法是由水稻句需水量扣除實句有效雨量及句地下水補助量，再考慮輸水損失，即：

$$Y(I) = \frac{YY(I) - AP(I) - GS(I)}{1 - L} \dots\dots\dots(14)$$

(14)式中，

- Y(I)：句用水量，
- L：輸水損失。

10. 系統分析模式

本研究之灌溉配水改進係考慮在渠道容量之限制下，以整田錯開之方式，調整水稻需水尖峯，俾使供需兩曲線之句差異之最大值為最小。其模式之解析係採用美商系帝系電腦公司之 CDC APEX-III PACKAGE，對缺水情況加以研究，以期得到最佳之調配方式。其所採用之系統分析模式敘述如下：

缺水模式 (以缺水量為出發點)

目標函數：Min $Z = x_k$

限制條件：

$$x_0 \geq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{M_i} U_{ij,k} X_{ij} - S_k \quad (k=1, 2, \dots\dots\dots 36)$$

$$\sum_{j=1}^{M_i} X_{ij} = 1 \quad (i=1, 2, \dots\dots\dots, n)$$

$$X_{ij} = 0 \text{ 或 } 1 \quad (i=1, 2, \dots\dots\dots, n) \\ (j=1, \dots\dots\dots, M_i)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{M_i} U_{ij,k} X_{ij} \leq B_k$$

其中，

- n：全區域之灌區數，
- M_i：第 i 灌區之用水種類，
- X_{ij}：“0”表示第 i 灌區不採用第 j 種用水種類。“1”表示第 i 灌區採用第 j 種用水種類，
- U_{ij,k}：第 i 灌區第 j 種用水種類之第 K 句用水量，
- S_k：第 K 句之河川可供水量，
- B_k：第 K 句之引水口渠道輸水容量。

七、系統分析模式之結果

本研究以缺水模式針對定面積法、定流量法以及設計頻率為 1.11 年及 1.25 年之河川可靠引水量之情形加以求其最佳調配方式，因篇幅之限制，僅列出下列兩種結果，分述如下：

(1)定面積法設計頻率 1.25 年：

本模式所求得各灌區之整田日期及其所採用之

用水種類如表 13 所示，其地下水補助量、實有效雨量、計算用水量、河川可供水量如表 14 所示，其各水量之曲線圖如圖 28 所示。

(2)定流量法設計頻率 1.11 年：

本模式所求得各灌區之整田日期及其所採用之用水種類如表 15 所示，其地下水補助量、實有效雨量、計算用水量、河川可供水量如表 16 所示，其各水量之曲線圖如圖 29 所示。

表 13 缺水模式設計頻率 1.25 年由定面積法所求得各灌區之整田日期表

灌區編號	一期作整田期間	二期作整田期間	採用種類	灌區編號	一期作整田期間	二期作整田期間	採用種類
1	2.12-2.25	7.19-8.6	4	34	2.2 -2.20	7.19-8.6	1
2	2.12-2.24	7.19-8.5	4	35	2.2 -2.20	7.19-8.6	1
3	2.12-2.24	7.19-8.5	4	36	2.2 -2.18	7.19-8.4	1
4	2.12-2.24	7.19-7.31	3	37	2.12-2.25	7.19-8.6	4
5	2.2 -2.17	7.19-8.4	4	38	2.2 -2.16	7.19-8.2	1
6	2.2 -2.17	7.19-8.8	2	39	2.12-2.25	7.19-8.6	4
7	2.2 -2.17	7.19-8.3	1	40	2.22-3.7	7.19-8.1	5
8	2.12-2.25	7.19-8.1	3	41	2.12-3.7	7.19-8.6	4
9	2.12-2.26	7.19-8.2	3	42	2.2 -2.19	7.19-8.5	1
10	2.12-2.26	7.19-8.7	4	43	2.2 -2.22	7.19-8.8	1
11	2.2 -2.10	7.29-8.6	20	44	2.2 -2.20	7.19-8.6	1
12	2.2 -2.13	7.19-7.27	10	45	2.2 -2.22	7.19-8.8	1
13	2.2 -2.22	7.19-8.8	1	46	2.2 -2.28	7.19-8.8	1
14	2.2 -2.19	7.19-8.5	1	47	2.2 -2.19	7.19-8.5	1
15	2.12-3.5	7.19-8.4	4	48	2.12-2.27	7.19-8.3	3
16	2.2 -2.18	7.19-8.4	1	49	2.2 -2.20	7.19-8.6	1
17	2.12-3.9	7.19-8.7	4	50	2.2 -2.22	7.19-8.8	1
18	2.22-3.8	7.19-8.7	6	51	2.12-2.27	7.19-8.3	3
19	2.22-3.7	7.19-8.1	5	52	2.2 -2.21	7.19-8.7	1
20	2.12-2.26	7.19-8.7	4	53	2.12-2.27	7.19-8.3	3
21	2.2 -2.5	7.19-7.20	17	54	2.12-2.26	7.19-8.2	3
22	2.2 -2.5	7.19-7.22	19	55	2.2 -2.18	7.19-8.4	1
23	2.2 -2.10	7.29-8.3	18	56	2.2 -2.17	7.19-8.3	1
24	2.2 -2.5	7.29-7.30	18	57	2.2 -2.20	7.19-8.6	1
25	2.2 -2.9	7.19-7.24	17	58	2.2 -2.23	7.19-8.8	1
26	2.2 -2.5	7.19-7.22	1	59	2.2 -2.6	7.29-8.2	20
27	2.2 -2.6	7.19-7.26	3	60	2.2 -2.12	7.29-8.8	16
28	2.2 -2.5	7.19-7.22	1	61	2.2 -2.17	7.19-8.8	2
29	2.2 -2.19	7.19-8.5	1	62	2.12-3.7	7.19-8.8	2
30	2.2 -2.19	7.19-8.5	1	63	3.4 -3.4	7.19-7.19	12
31	2.2 -2.22	7.19-8.8	1	64	2.12-2.26	7.19-8.7	4
	2.12-3.5	7.19-8.8	2	65	2.22-3.9	7.19-8.8	6
	2.12-3.9	7.19-8.8	2				

表 14 缺水模式設計頻率 1.25 年由定面積法所求得各旬別之水量統計表

單位：mm/day

旬 別	地下水補助量	實有效雨量	計算用水量	河川之可供水量
1	0.00	0.00	0.01	13.09
2	0.00	0.00	0.01	12.98
3	0.00	0.00	0.01	14.02
4	0.22	0.10	6.96	11.87
5	0.29	0.13	14.01	11.58
6	0.39	0.97	10.14	8.73
7	0.45	0.34	11.82	12.22
8	0.39	0.17	10.50	12.82
9	0.41	2.12	9.22	11.95
10	0.45	0.83	9.72	13.64
11	0.45	0.16	10.52	13.57
12	0.45	0.17	10.50	9.59
13	0.41	1.03	9.50	9.94
14	0.21	3.78	4.81	12.27
15	0.14	2.89	2.59	9.17
16	0.06	0.94	0.66	5.87
17	0.00	0.01	0.09	5.58
18	0.00	0.00	0.00	10.58
19	0.00	0.00	0.01	9.82
20	0.08	0.64	1.32	11.24
21	0.33	6.29	7.14	12.41
22	0.14	9.35	3.35	9.04
23	0.20	5.25	4.62	6.78
24	0.31	3.87	7.18	7.18
25	0.22	3.96	6.61	6.53
26	0.35	2.09	8.22	5.81
27	0.38	1.42	9.02	7.22
28	0.41	1.40	9.05	8.16
29	0.41	0.16	9.90	8.99
30	0.20	0.04	5.33	9.31
31	0.02	0.00	0.51	10.79
32	0.00	0.00	0.01	10.33
33	0.00	0.00	0.00	7.54
34	0.00	0.00	0.00	7.70
35	0.00	0.00	0.00	3.65
36	0.00	0.00	0.00	7.13

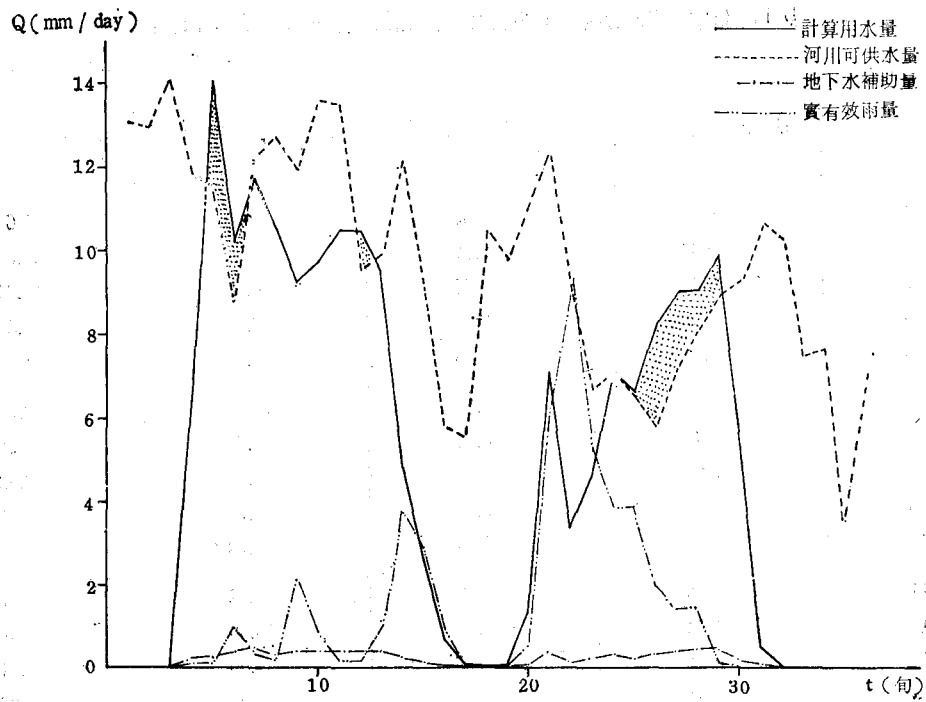


圖 28 缺水模式設計頻率 1.25 年下由定面積法所求得各種水量之曲線圖

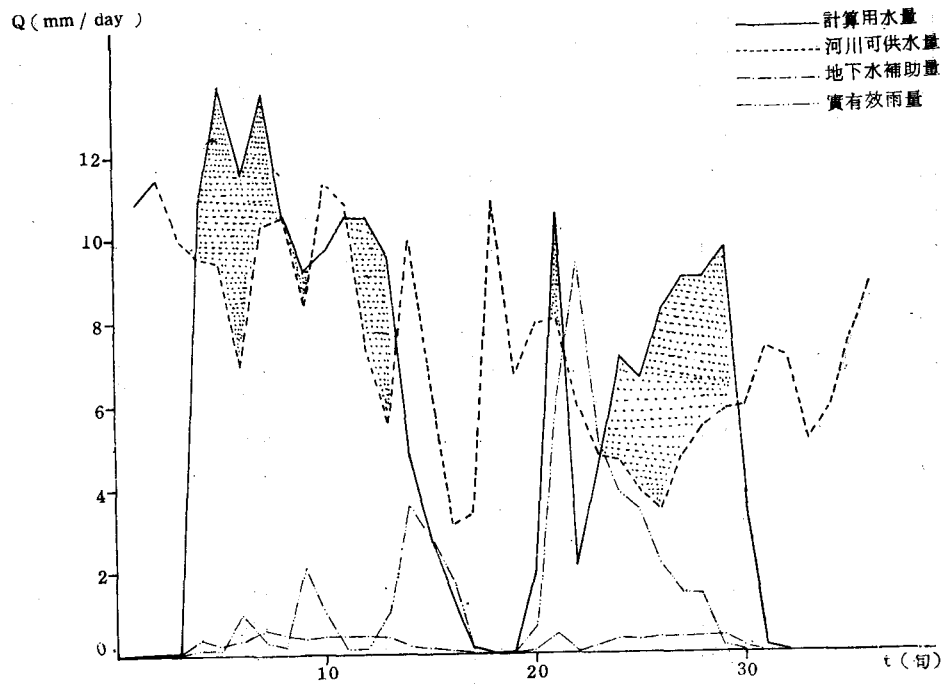


圖 29 缺水模式設計頻率 1.11 年下由定流量法所求得各種水量之曲線圖

表 15 缺水模式設計頻率 1.11 年由定流量法所求得各灌區之整田日期表

灌區編號	一期作整田期間	二期作整田期間	採用種類	灌區編號	一期作整田期間	二期作整田期間	採用種類
1	2.12-2.22	7.29-8.7	5	34	2.2 -2.18	7.19-7.30	7
2	2.2 -2.16	7.19-7.28	10	35	2.22-3.8	7.19-7.31	5
3	2.12-2.21	7.19-7.28	4	36	2.2 -2.18	7.19-8.4	8
4	2.12-2.21	7.29-8.7	5	37	2.2 -2.16	7.19-7.28	10
5	2.2 -2.13	7.19-7.30	12	38	2.2 -2.12	7.19-7.29	1
6	2.2 -2.17	7.19-7.29	10	39	2.12-2.21	7.19-7.28	4
7	2.2 -2.17	7.29-8.8	11	40	2.2 -2.11	7.19-7.28	1
8	2.2 -2.16	7.29-8.7	11	41	2.22-3.5	7.19-7.30	5
9	2.2 -2.11	7.19-7.28	1	42	2.22-3.5	7.19-7.30	5
10	2.2 -2.17	7.19-7.29	10	43	2.22-3.7	7.19-8.6	6
11	2.2 -2.9	7.29-8.2	18	44	2.12-3.1	7.19-7.31	9
12	2.12-2.21	7.19-7.25	17	45	2.22-3.7	7.19-8.1	5
13	2.2 -2.19	7.19-8.5	8	46	2.2 -2.17	7.19-8.3	1
14	2.2 -2.18	7.19-8.4	8	47	8.2 -2.18	7.19-7.30	7
15	2.22-3.5	7.19-8.4	6	48	2.2 -2.17	7.19-8.3	12
16	2.2 -2.18	7.19-8.4	8	49	2.2 -2.18	7.19-7.30	7
17	2.22-3.6	7.19-7.31	5	50	2.22-3.7	7.19-8.6	6
18	2.2 -2.12	7.19-7.29	1	51	2.2 -2.17	7.19-8.3	12
19	2.2 -2.11	7.19-7.28	1	52	2.2 -2.19	7.19-8.5	8
20	2.22-3.4	7.29-8.8	8	53	2.2 -2.17	7.19-7.29	10
21	3.4 -3.5	7.29-7.30	14	54	2.2 -2.12	7.19-8.3	3
22	2.2 -2.5	7.19-7.20	17	55	2.2 -2.18	7.19-7.30	7
23	2.2 -2.9	7.19-7.26	19	56	2.2 -2.17	7.19-7.29	10
24	3.4 -3.5	7.29-8.1	16	57	2.2 -2.19	7.19-8.5	8
25	2.2 -2.7	7.29-8.3	20	58	2.12-2.25	7.19-8.1	3
26	2.2 -2.5	7.19-7.22	1	59	2.2 -2.6	7.19-7.21	17
27	2.2 -2.6	7.19-7.26	3	60	2.12-2.21	7.29-8.7	20
28	2.2 -2.5	7.19-7.22	1	61	2.2 -2.17	7.19-8.3	12
29	2.2 -2.18	7.19-8.4	8	62	2.22-3.7	7.19-8.1	5
30	2.2 -2.13	7.19-7.30	1	63	3.4 -3.4	7.19-7.19	12
31	2.2 -2.19	7.19-8.5	8	64	2.22-3.8	7.19-7.28	16
32	2.22-3.7	7.19-8.6	6	65	2.2 -2.12	7.19-7.29	1
33	2.22-3.8	7.19-8.2	5				

表 16 缺水模式設計頻率 1.11 年由定流量法所求得各旬別之水量統計表

單位：mm/day

旬 別	地下水補助量	實有效雨量	計 算 用 水 量	河川之可供水量
1	0.00	0.00	0.01	10.85
2	0.00	0.00	0.01	11.45
3	0.00	0.00	0.01	9.98
4	0.38	0.14	10.89	9.56
5	0.23	0.11	13.70	9.45
6	0.37	0.95	11.56	6.82
7	0.58	0.34	13.59	10.34
8	0.44	0.17	10.51	10.52
9	0.39	2.15	9.23	8.40
10	0.41	0.99	9.72	11.34
11	0.44	0.16	10.53	10.79
12	0.44	0.17	10.51	7.30
13	0.40	1.01	9.51	5.58
14	0.19	3.60	4.65	10.00
15	0.13	2.81	2.67	6.67
16	0.07	1.80	1.41	3.17
17	0.00	0.14	0.12	3.46
18	0.00	0.00	0.00	10.87
19	0.00	0.00	0.01	6.72
20	0.11	0.67	1.87	7.97
21	0.46	6.14	10.59	8.06
22	0.03	9.40	2.12	5.95
23	0.19	5.17	4.51	4.79
24	0.31	3.87	7.18	4.64
25	0.30	3.45	6.61	3.88
26	0.36	2.09	8.23	3.49
27	0.38	1.42	9.02	4.75
28	0.38	1.40	9.05	5.46
29	0.40	0.16	9.73	5.87
30	0.11	0.03	3.83	5.96
31	0.02	0.00	0.16	7.34
32	0.01	0.00	0.00	7.12
33	0.01	0.00	0.00	5.10
34	0.01	0.00	0.00	5.84
35	0.00	0.00	0.00	7.68
36	0.00	0.00	0.01	8.95

八、系統分析模式之討論

1.定流量法因其所計算得之最短整田日數較定面積法為小，故其經由整田錯開之方式所求得之用水種類較定面積法為多。

2.本研究原擬考慮各灌區之灌溉先後順序，後因所使用 CDC APEX-III PACKAGE 輸入資料之特定限制，若欲加此限制其所須卡片數目數以萬計，且其所費電腦時間亦將增加無數倍，而予以中止。本研究之定面積法其卡片數目達 53,525 張，而定流量法更高達 80,831 張，各法所需電腦時間均十分長久，一般而言，定流量法約為定面積法之 1.2~1.5 倍。

3.於設計頻率 1.11 年之河川可靠引水量下，即烏溪水量較少之情形下，宜採用由定流量法所模擬之結果，因此時由定流量法所求得各旬之盈缺情形較由定面積法為佳。

4.於設計頻率 1.25 年之河川可靠引水量下，即烏溪水量較豐沛時，基於下列三點理由宜採用定面積法所模擬之結果較佳。

(A)各旬盈缺水量情形，由定面積法與定流量法兩法所求得幾乎相同，僅有少數幾旬略為不同，但其差異亦甚小。

(B)定面積法所須使用電腦時間較定流量法為少。

(C)雖然由定面積法所模擬得各灌區整田日期之結果較定流量法稍為不合實際，因其往往下游灌區已經開始整田，而上游之灌區乃未開始，此時因水量較豐沛，無須考慮不必要之輸水損失。

5.由各種水量之曲線圖，吾人知在二期作整田期間，由於實有效雨量值較大，導致二期作整田期間之尖峯用水量降低，誠屬合理。

九、結 論

1.本研究中，水筒模式之參數與歷線變化之定性關係乃經多次研析修正求知，可供爾後任何流域模擬之應用與參考。

2.本研究中，將一般線性水筒模式推廣至非線性水筒模式，所模擬結果更趨於實際情形。

3.本研究所建立之線性及非線性電腦模擬程式係考慮流域內各種水文現象及實際狀況，於模擬河川逕流量時可供利用，並可節省大量之人力與物力。

4.本研究利用 CDC APEX-III PACKAGE 所模擬之灌溉用水量，有效雨量及整田日期等結果與北投新圳實際灌溉情形相近，於現場實施不致增加困難。

5.本研究中所模擬系統分析之解法與一般系統模式之近似解法迥異。因一般近似解法於求解過程中可能將最佳解予以剔除，故所得並非最佳解。本研究中所得灌溉配水方式均為最佳之配水方式。

十、建 議

1.本研究於水筒模式之模擬期間，因有感於修正工作之繁雜，曾試想以電腦模擬時自行加以修正，由於該法所涉及之電腦程式設計及模式解析十分複雜，又因電腦時間花費過多而擱置。今後在此法上之研究誠屬必須，因一般水筒模式之研擬所費在對定性關係之了解與修正工作上之時間繁多，若能發展一套相當完整且可自行修正水筒模式之電腦程式，將來欲對任何流域加以研究分析時，只須輸入初期條件如各水筒初期殘留高度、日平均降雨量、月日平均蒸發散量及各水筒各流出孔之高度與其孔乘係數之第一次推估值，即可得該流域之水筒模式。

2.本研究因限於時間、人力之關係，未對北投新圳作迴歸用水情形之現場實測調查，此將對 CDC APEX-III PACKAGE 所求之解或多或少具有影響，故建議有關水利機構能及早對有迴歸用水之地區從事實際調查施測後將資料存檔，以便未來規劃時參酌應用。

3.本研究求解系統分析模式應用 APEX-III PACKAGE 時，未輸入初期條件，其求解最佳配水方式時全由原點找起，故所須電腦時間龐大，今後研究者當對如何輸入一較佳之初期條件作深入研究，以期符合經濟之原則。

十一、誌 謝

本研究之完成承農發會提供經費，研究期間承蒙農發會農業資源處溫副處長理仁、胡工程師文章關懷指示；臺大農工研究所曹主任以松、甘教授俊二給予提供卓見；水利局陳工程司尙、廖培明、周世杰先生、經濟部水資會洪銘堅先生、南投水利會草屯工作站灌溉管理組簡組長等指正與協助資料收集；美商系帝系電腦公司程式分析師黃逸松先生協助應用 APEX III PACKAGE；臺大農工研究

所朱金元、謝章鑫同學、研究助理顏從照小姐等協助資料整理、分析與繪製圖表，終能完成預期之成果，實所銘感，謹此申致謝忱。

十二、參考文獻

1. 黃立基譯：「水筒模型預測及估算連續之流量記錄」，水利二十期，民國六十二年。
2. 王如意、易任：「應用水文學」上冊，國立編譯館出版，民國六十八年。
3. 易任、王如意：「農業氣象與水文」，中國農業工程學會彙編，民國六十五年。
4. 菅原正巳：「流出解析法」，昭和 47 年。
5. 王如意：「臺灣主要集水區水文系統最佳模式之研擬」，臺灣水利二十三卷第四期，民國六十四年。
6. 「灌溉用水有效調配研究計劃工作檢討會資料」，臺灣省水利局規劃總隊，民國六十八年。
7. 「彰化濁灌區灌溉配水改進調查研究報告」，臺灣省水利局規劃總隊，民國六十七年。
8. 曹以松：「電子計算機計算水田有效雨量之研究」，臺灣水利 19 卷第 2 期，民國六十年。
9. 張建勛、甘俊二：「烏溪中游地區灌溉需水量及水資源重分配研究報告」，臺灣大學農工系，中國農村復興聯合委員會及南投農田水利會合作計劃，民國六十年。
10. 甘俊二：「灌溉系統配水技術之分析與研究」，臺灣大學農工系與臺灣省水利局合作計劃，民國六十八年。

專營土木、水利、建築等工程

順時營造廠

負責人：陳 湘 濱

地址：屏東市民生路341號

電話：3 2 3 4 9 5