

專 論

合理農業用水水庫運用基準線 建立方法之研究

A Study on the Reservoir Rule Curve Derivation for Effective Agricultural Water Use

行政院農業發展委員會工程師

胡 文 章

Wen-jung Hu

臺灣大學農工系教授

易 任

Victor J. Yih

臺灣大學土木系博士班研究生

朱 健 行

Cheng-hsing Chu

摘 要

運用基準線係於水庫蓄水營運過程中，判別水量之豐枯，並規定不同情況下水量使用方式，期使水資源獲最佳利用。良好之運用基準線能使供水量最大，節水量、溢洪量最少。一座多目標水庫，或多目標水庫系統；在本省，農業用水往往佔水庫供水量之重要部份，灌溉配水量是否充份且合理，對水庫運用基準線之建立關係至鉅。

本研究之目的為採用線性規劃建立水庫運用基準線，以冀充份有效利用有限之水資源。本文以明德水庫及其水庫灌區為主要研究目標，驗證應用線性規劃以求取水庫最佳運用基準線，為開源節流之優良方法；結果顯示，本研究之模式具有相當合理及實用價值，可供其他水庫重新釐訂運用基準線之參考。

Abstract

A rule curve of a reservoir is a graph to be used to judge the water surplus or deficiency of a reservoir in the near future, and to guide the water release for the effective water resources utilization. The most powerful rule curve of a reservoir will maximize the quantities of water supply, and minimize the quantities of water shortage and water spillage from the reservoir. A multipurposes reservoir or reservoirs, agricultural water use is always the important and major quantities of water users; therefore, the effectiveness of agricultural water use is the essential factor for obtaining a rule curve.

The purpose of this research is to derive a rule curve based on the theory of linear programming. By applying the computer manipulation, the effective utilization of water resources were made. The Min-Teh Reservoir and its irrigation area will be used as the sample study, to be used to improve the application of linear programming for deriving the rule curve as the best reservoir operation curve. The results of the model developed by this study can be applied effectively and as an example for deriving the general reservoir operation rule curve.

一、前 言

臺灣地區平均年雨量高達 2510 公厘，堪稱豐沛；惟在時間及空間上分佈極為不勻，河川洪枯流量相差懸殊，難以適應各標的用水需求，故水資源開發利用除在河川兩岸直接引水利用外，並在河谷中興建水庫，用為儲存豐水期過多之水以供枯水時之需。在水庫營運過程中，如何將豐水期之流量及供給下游之水量能有效利用，並加強灌溉管理，藉以提高水資源利用率，改善用水情形，誠屬亟待研究解決之課題。

本省水庫功能大抵可分為：

1. 保育水庫——不同標的使用之水庫

例如(1)發電用水庫(2)公共給水用水庫(3)灌溉用水庫(4)工業給水用水庫。

2. 防洪水庫——以防止或減少水患為目的。

3. 多目標水庫——綜合各單目標之組合。

本省最早完成之水庫為虎頭埤，興建於民前，以灌溉為標的；目前已完成水庫24座，其中多目標水庫7座，單目標灌溉8座，公共給水3座，工業給水2座，發電4座（表1）

水庫運用方式：

1. 以水文情況分：(1)多年式運用(2)一年式運用

2. 以功能目標分：(1)多目標運用(2)單目標運用

3. 以水庫排列分：(1)單一水庫運用(2)多座水庫系統運用，可分為A並聯運用，B串聯運用；任一水庫可依其水文、功能、排列情形確定其運用方式，例如明德水庫為一年式多目標之單一運用水庫。

由於水庫未來之進水量為序率變量，目前尚無法正確預估；但為確保水庫各標的用水，水庫放水量需依預先設定之指標放水，使水庫利用率大為提高，以創造最高綜合效益，此指標即為水庫運用基準線（Operation Rule Curve），亦稱規線。

運用基準線係在水庫蓄水營運過程中，判別水量之豐枯，並規定不同情況下水量使用方式，以獲得最高之綜合效益。良好之運用基準線，能使供水量為最大，節水量與溢流量為最少。一般依各水庫之標的及水文狀況，制定不同之運用基準線。通常水庫基準線之制定，有上限與下限二條，亦有高限、下限及嚴重下限三條，亦依句而訂：

高限（或上限）（Upper limit）：代表該時期水庫儲水量處於豐盈狀態的最低水量。

下限（Middle limit）：代表該時期水庫儲水

量處於正常狀態的最低水量。

嚴重下限（Lower limit）：代表該時期水庫儲水量已處於嚴重枯旱之最高水量。

在實際運用上之解釋為：

水庫儲水量高於高限時，表示水庫存水豐盈，經營上可尋求正常計畫用水以外之利用，以創造更高之效益。

水庫儲水量低於高限而高於下限時，表示水庫儲水正常，營運上應按計畫正常供水。

水庫儲水量低於下限而高於嚴重下限時，表示水庫有些微枯旱缺水現象，營運上必需做減水控制。

水庫儲水量低於嚴重下限時，表示水庫有嚴重的缺水現象，營運上即需嚴格控制用水，各標的用水必需減至其所能忍受之最低程度。

本省以往水庫運用基準線在水庫設計時即已建立。其建立步驟為：

1. 根據經濟壩高所決定之水庫容量與有關進水量及流出量等資料製成水庫運用歷線。（圖1）

2. 將水庫運用歷線合繪於同一紙上（圖2），可以約略窺出各月份水庫水位升降情形。本省大致自五月下旬開始，逕流量逐漸增加，至七、八月間水庫可能貯滿，至九、十月間水位開始逐漸下降，

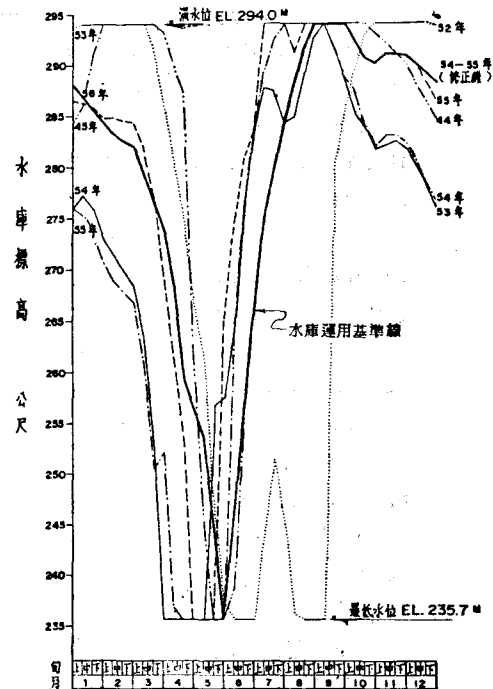


圖2 水庫運用基準線

蓄水量
($10^6 m^3$)

— 39 —

蓄水量
($10^6 m^3$)

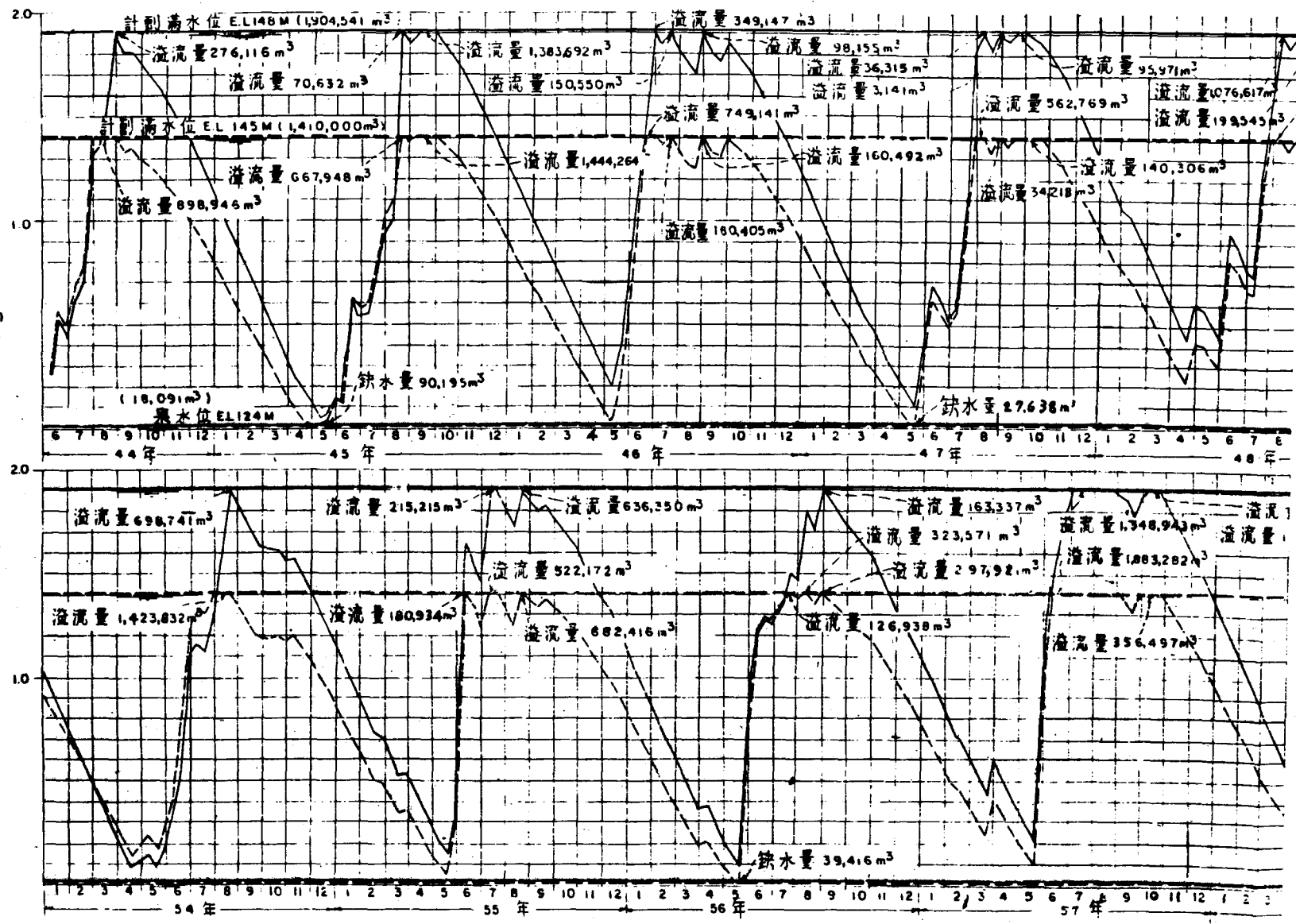


圖 1. 水庫運用歷線圖

其間因有春雨之降落，水庫水位偶有升降，至四、五月間降至最低。

3.根據水文記錄與機率性，選定若干枯水年份，假定五月下旬水庫儲水量為零，由用水量及蒸發損失量可得旬供水，減去該旬之逕流量或引水量，由此逐旬反推，即可得每一枯水年之水庫用水曲線，經比較研究以某一水文年之水庫用水曲線較為理想，加以修正，作為該水庫運用基準線（圖3），若水庫水位低於運用基準線，則需視用水量之需要，依照非常時期放水，若水位高於基準線則放水量可稍寬裕，不受嚴格限制。

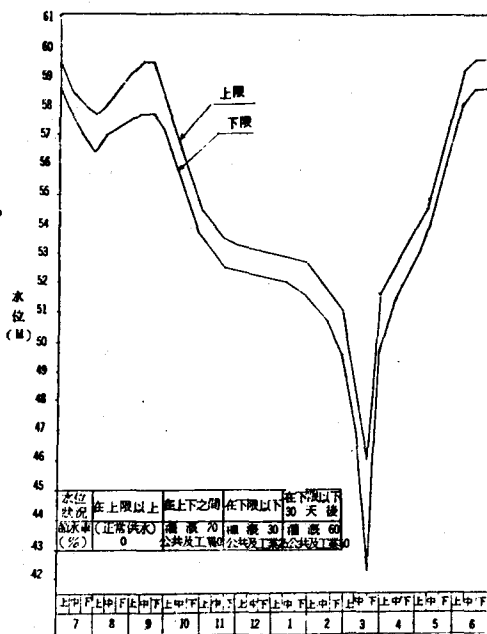


圖3 明德水庫運用基準線

二、數理模式建立水庫運用基準線方法之探討

(一) 水庫營運基本理論

水庫營運之決策因子可歸納為三類：一是輸入，即流入量或引水量、集水量等。二是輸出，即放水量、溢流量、蒸發量、滲漏量等。三是容量限制，即最大儲水量，最小儲水量。此等因素所構成之水文模式即為連續方程式；亦為水庫營運之基本組成。

令 I 為水庫之進流量， O 為水庫之出水量， ΔS 示蓄水量之變化，其通式為：

$$I - O = \Delta S \quad (式1)$$

意即，流入量 - 流出量 = 蓄水量變化

於某時段，上式亦可表示為：

$$S_1 + \int_{t_1}^{t_2} I dt = S_2 + \int_{t_1}^{t_2} O dt \quad (式2)$$

式中 t_1 表水文時段之初期， t_2 表後期。

單一水庫示意圖如下：

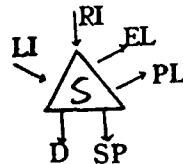


圖4 單一水庫連續方程式示意圖

圖中 RI ：河川或上游水庫流入量 } 進流量 (I)

LI ：水庫本身集水量

EL ：水面蒸發損失量

PL ：水庫滲漏損失量

D ：放水量或下游需水量

SP ：溢流量

S ：水庫貯存水量

ΔS ：蓄水量變化

如以 t 代表時段變化 (time interval) 如旬、月等單位 $t = 1 \dots n$ ，並以 (圖4) 之諸因子代入連續方程式中，則

$$S(t+1) - S(t) = RI(t) + LI(t) - EL(t) - PL(t) - D(t) - SP(t) \quad (式3)$$

式中， $S(t)$ ， $S(t+1)$ 為 t 及 $t+1$ 時段初之水庫蓄水量。上式即為水文學上之水平衡方程式 (Water Balance Equation)，亦為水資源系統分析模式中主要限制式之一般式。

於一般河川系統中，可能一河道上下游有數個水庫連成一系列。一般成串聯或並聯形式聯合，其示意圖如 (圖5)。

未來水資源系統之開發必然是以有限水資源務盡其利用，多水庫聯合操作乃自然之趨勢。河川水庫系統，尚有甚多限制，如按性質予以分類，大致可如下：

(1) 水文條件限制：如蓄水連續方程式。

(2) 重力分水限制：為觀光利益或發電動力，必須保持水庫水位於某高程之上，亦即最低水位限制。

(3) 防洪蓄容保留之限制：按統計結果，設計調節頻率為若干年一次之洪水量，所必須保留其上部空間，以備發揮防洪效果。

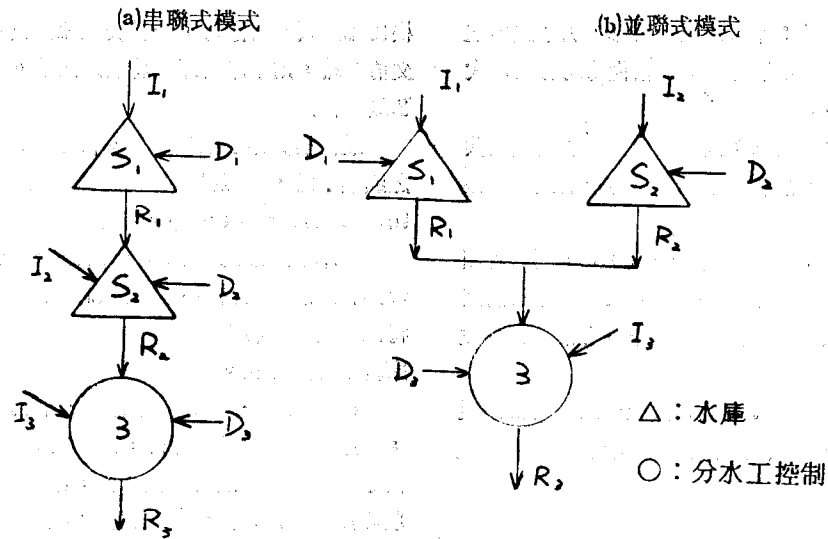


圖 5 河川水庫系統示意圖

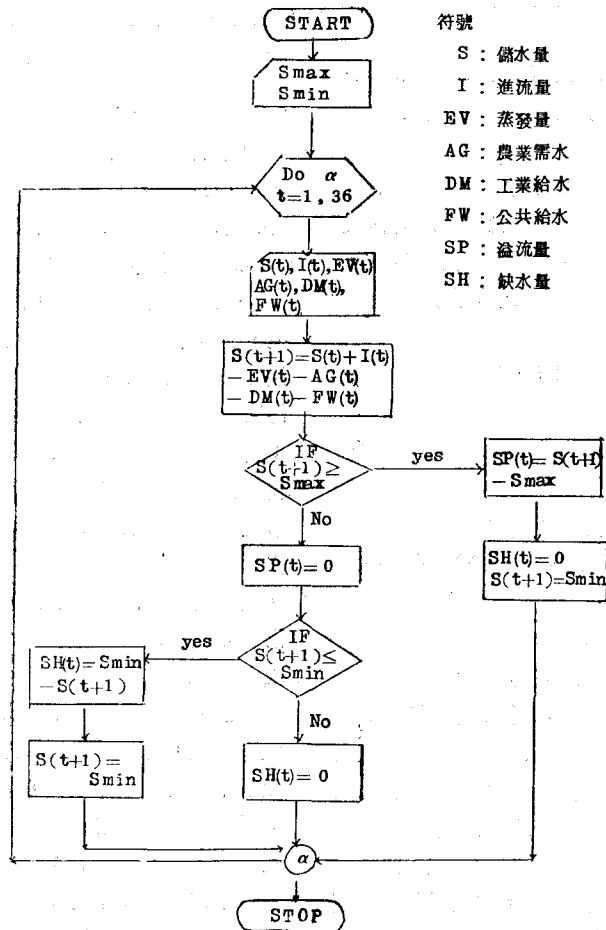


圖 6 模擬模式水庫營運運算流程圖

(4)結構物限制：如堰高以上溢流，引水隧道之最大容量等，蓄水結構物及引水結構物均有其最大容量之限制條件。

(5)下游需水量限制：供水必須儘可能滿足公共給水、工業用水、灌溉農地及污染防治所設定之最少需水量。

(6)非負限制：基於實質之物理意義，所有河川系統之變數及決策均不得為負值，通常此等限制無須另行立式，於最適化過程中已予以附帶此特殊性質。

(7)目標函數限制：可因吾人優先以何者目標操作，其各目標效益或成本之關係，建立最適模式之基本條件。

(二)數理模式

數理模式概分為模擬模式 (Simulation Model) 與最佳模式 (Optimization Model) 兩大類。其相同點為皆由參數、決策變數、限制式所組成。二者個別特性為：

模擬模式——決策變數不同的變化造成系統不同之反應，而無法直接測得應該如何的改進系統操作執行過程；亦稱因果模式。

最佳模式——又稱數理規劃，改變決策變數，促使特定目標函數最佳化之模式。通常有數理方程式敘述目標函數及一套應用求解技術尋求決策變數，使目標函數最佳化(求得最大收益值或最小成本值)。

1. 模擬模式

以模擬模式分析水庫營運時，其限制式修正為：

$$S(t+1) = S(t) + RI(t) + LI(t) - EL(t) - PL(t) - D(t)$$

$S(t+1) > S_{max}$ (水庫最大容量) 時，

$$SP(t) = S(t+1) - S_{max}, S(t+1) = S_{max}$$

$S(t+1) \leq S_{max}$ 且 $S(t+1) \geq S_{min}$ 時

$$SP(t) = 0, SH(t) = 0, (\text{缺水量})$$

$S(t+1) < S_{min}$ (水庫最小容量) 時，

$$SH(t) = S_{min} - S(t+1), S(t+1) = S_{min}$$

其流程圖如(圖6)為確保水庫滿足每年之供水，常以年運用法 (yearly use method) 為原則，儘力收集壩址流量記錄，再假設水庫在有流量記錄前即完成，根據水庫規模及開發計畫，設計數值模式，輸入電算加以模擬演算，求出最佳運用基準線，其優點為在設計過程中考慮因素較為週全，故水量能充分運用，水庫經營績效能增加，缺點為

模擬流量資料若過短，一旦發生流量資料所無之水文情況時，則水庫營運即將遭遇困難。

2. 最佳模式

最佳模式亦名數理規劃。當忽視水文資料出現之或然率時，數理模式被稱之為確定性模式 (Deterministic Model)。

水庫營運確定性數理規劃模式，一般皆以線性規劃和動態規劃為主。本研究將探討此二種規劃之特性及其適用範圍，並以線性規劃探討其運用於水庫基準線之建立。

欲建立單一水庫之最適模式，除了水平衡條件，水庫結構之限制條件外，最重要的是如何明確的決定決策變數及設立目標函數，亦即吾人欲求最大收益或最少成本之代表方程式，其一般形式為：

$$\text{Max } Y = PC_1 X_1 + PC_2 X_2 + \dots + PC_n X_n \quad (\text{式4})$$

式中 X_1, \dots, X_n 表水庫蓄水量或灌溉、發電、給水等，各目標需水量決策變數。 PC_1, \dots, PC_n 即分別表各變數間相對效益比率。

上式亦可改變為： $\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n (-PC_i X_i) \dots$ (式5)

除目標函數外，其他函數皆為限制式。限制式不直接影響收益或成本，目標函數則是量度系統可以變動之範圍，二者組合構成最佳模式。

(1) 動態規劃 (Dynamic Programming 簡稱 DP)

一般最佳決策問題，僅就某一階段考慮最佳決策，但實際環境中，往往最佳決策為由一連串部份最佳決策所組成。一整體系統之最佳決策包括若干個階段 (Stages)，或向度 (Dimensions) 之決策；解答此類問題之方法，稱為動態規劃。動態規劃為一種制定決策之新穎數理規劃。其數學函數包括多變數與多重階段；解答此種多重階段決策問題之步驟，只在每一階段使一變數最佳化，層層前向或後向求解。動態規劃基於最佳原則求解，任何初始階段之狀態與決策都應與其餘階段之狀態，共同構成最佳決策。

根據貝氏最佳原則所演化，作決策的動態規劃數學模式，包括有限制條件之目標方程式，且目標函數不限於線性方程式，且可分成數重階段來求解。動態規劃中經常見到之專有名詞及觀念，在水庫營運中對等關係如后：

I 階段 (Stage)：在營運過程可區分之時間或空間。例如 1 年中 12 月，36 旬可視為階段；水庫、水力發電廠、分水口皆視為作用點，亦為階段。選

擇何者作為階段，決定於系統之特性。

II 狀態 (State)：描述營運系統各階段相關之變數。相當於水庫輸入函數 (進水量) 及輸出函數 (出水量)。

III 函數方程式 (Functional Equation)：系統中階段間變化及狀態變化之關聯數學式，一般皆由遞歸方程式 (Recursive Equation) 組成典型之遞歸方程式如下：

$$f_N(x) = \text{Max}(g_N(y_N) + f_{N-1}(x - y_N)) \quad (式 6)$$

$$0 \leq y_N \leq x$$

f ：目標 (Objective) 函數，為收益 (Return) 或成本 (Cost)。

N ：是剩餘過程之階段數目。

$f_N(x)$ ：表示基於最適原則下從狀態 x 開始，在 N 遞歸過程之累積 f 值。

y_N ：是介於 0 及 x 之間，藉着選取適宜，可得最大值 (收益問題) 或最小值 (成本問題)，因此 y_N 又稱為決策變數。

$g_N(y_N)$ ：表示 N 階段最佳選擇 y_N 值情形下所得之值。如果在 N 階段選取 y_N 是 y_N^* ，則系統在 N 階段中之 X 值變為 $N-1$ 階段之 $(X - y_N^*)$ 狀態。則同理可得：

$$f_{N-1}(x - y_N^*) = \text{MAX} g_N(y_{N-1}) + f_{N-2}((x - y_N^*) - y_{N-1}) \quad (式 7)$$

$$0 \leq y_{N-1} \leq x - y_N^*$$

以上公式是遞推 (Recursive) 關係，表示 N

階段與 $N-1$ 階段之關係，也表示出鄰近階段之狀態變數。函數方程式之解答基於最佳 $\{y_1^*, y_2^*, \dots, y_N^*\}$ ……，原則下產生最佳效益及最低成本。

IV 決策變數 (Decision)

N 階段中分配之數目，相當於各階段之放水量。

V 轉換函數 (Transition Function)

輸入狀態藉着決策變數變為輸出狀態，亦即水平衡方程式。

水庫營運採用動態規劃模式，其基本概念為一水庫進流量 (i_t) 決定每一 (t) 時段之放水量 (r_t)。假設為確定性模式，進水量 (i_t) 值已知情況下，從而決定 (t) 時段之放水量。於水庫容量限制下，尋求一序列放水量 (r_t) 使其總收益為最大，而收益為儲水量與放水之函數。因此其目標函數為：

$$f^n(S_t) = \text{Max} [NB_t(S_t, S_t + i_t - r_t, r_t) + f_{t+1}^n(S_t + i_t - r_t)] \dots \quad (式 8)$$

$$r_t \geq 0$$

$$r_t \leq S_t + i_t$$

$$r_t \geq S_t + i_t - K$$

S_t = t 時段初始儲水量

r_t = t 時段放水量

i_t = t 時段進流量

K = 水庫最大容量

$f^n(S_t)$ = 給定初始容量 S_t 時最大收益函數

$NB_t(S_t, S_t + i_t - r_t, r_t) = i_t, S_t, r_t$ 之收益函數
示意圖：如圖 7

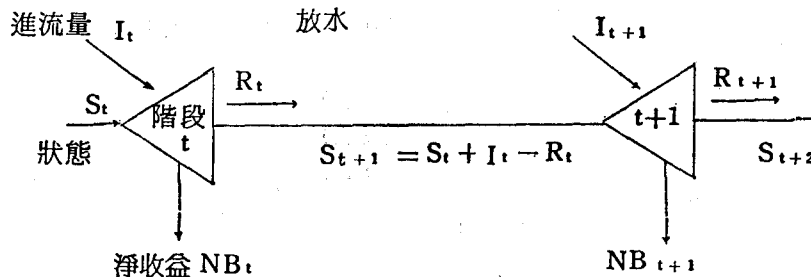


圖 7 動態規劃營運示意圖

水資源系統操作營運中，動態規劃常被用於：每旬因防洪控制、低流量調節、固定農業灌溉需水及工業、公共給水限制下，求取水庫每旬之放水量，使水力發電效益最大，或系統總收益最大；每旬水庫儲量相對之水位連線即為水庫最佳營運之基準線。

動態規劃之一大假設：為每一階段所作決策之收益，假設與其他階段所作之決策是獨立的。如果

互相有依賴性，則動態規劃並不適宜。例如：灌溉計畫包含有生長季節內不同時段之水量分配，其最後之收益完全與各時段之分配量有關。如果作物在生長季節之初期死亡，則無論繼續如何分配水量，亦無收益可言，此為一大缺點。加上傳統式動態規劃所需記憶單位較大，及限制式不可太多，需對各個水庫系統作深入了解，無固定程式，不若線性規劃方便；但若對問題能深入了解，則可以較少時間

求得精確之值。動態規劃發展迅速，近來已增加許多求解技巧，以克服其記憶單位及限制式不可過多之缺點；新穎技巧有：增量動態規劃(Incremental Dynamic Programming) 及分散微分動態規劃(Discrete Differential Dynamic Programming 簡稱 DDDP)等。

(2)線性規劃 (Linear programming 簡稱 LP)

線性規劃係以最佳方式分配運用有限水資源，亦即有限水資源之最佳利用。線性規劃組成必須之條件為：

- (1)目標函數可以數學方式表示；
- (2)須有多種可行方案，以供抉擇；
- (3)能以線性方程式描述目標函數及限制式；
- (4)決策變數具非負式及確定性；
- (5)資源有限，決策變數互相牽制，求取最佳解。

1.線性規劃理論

一般形式為尋求一組向量 $x^T = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 使以下線性函數 $f(x)$ 最小：

$$f(x) = \min C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$$

$$\text{或 } f(x) = \min \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad (\text{式9})$$

受限於 $x_j \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, n$ (式10)
及線性抑制

$$\left. \begin{aligned} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n &\leq b_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n &\leq b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n &\leq b_m \end{aligned} \right\} (\text{式11})$$

其中 a_{ij}, b_i, c_j 為給定之參數

$$j=1, 2, \dots, n$$

$$i=1, 2, \dots, m$$

$f(x)$ 為目標函數

若以矩陣表示，問題轉換為

$$\min \{f(x) = (c^T \cdot X)\} \quad (\text{式12})$$

受限於 $X \geq 0$
 $AX \leq b$

其中 $c^T = (c_1, c_2, \dots, c_n)$

$$X^T = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} \leq \begin{matrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{matrix} \quad (\text{式13})$$

求解以上之法，通常採用 Simplex Method，不等限制式引進額外變數 (Slack Variables) 轉換成等式限制式，成為：

$$\left. \begin{aligned} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + a_{1n} x_n + x_{n+1} &= b_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + a_{2n} x_n + x_{n+2} &= b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + a_{mn} x_n + x_{n+m} &= b_m \end{aligned} \right\} (\text{式14})$$

其中 $x_{n+1} \geq 0, \dots, x_{n+m} \geq 0$

如此之問題變成其標準式可用許多 Package 求解

水庫營運系統中，在水庫旬進水量，各種標的用水旬需水量，以及水庫儲水量限制下，利用線性規劃，求算水庫在各種限制條件下，使全年之多餘放水量 (包括溢流量) 為最小，或各標的用水缺水量為最小；在此情況下即能充分利用水資源。

單一水庫省略 $PL(t)$, $LI(t)$ 之情況只有 $I(t)$ 情形之營運如圖 8：

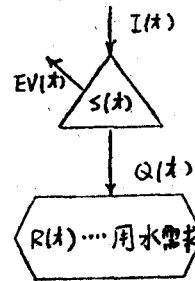


圖 8 單一水庫營運示意圖

設水庫運轉週期為一年，運轉時段 (t) 為 10 日 (旬)，則一年之間， $t=1, 2, \dots, 36$ 旬，數學模式為：

目標函數 $Z = \min \sum_{t=1}^{36} \text{Excess}(t)$ ，或 $Z = \min \sum_{t=1}^{36} \text{Shortage}(t)$ 限制式：

$$\left. \begin{aligned} S(0) &- S_{max} \leq 0 \\ S(1) &- S_{max} \leq 0 \\ S(2) &\vdots \\ S(35) &- S_{max} \leq 0 \\ S(36) &- S_{max} \leq 0 \end{aligned} \right\} \text{水庫實體限制} \quad (\text{式15})$$

$$\left. \begin{aligned} S(0) &- S_{min} \geq 0 \\ S(1) &- S_{min} \geq 0 \\ S(2) &\vdots \\ S(35) &- S_{min} \geq 0 \\ S(36) &- S_{min} \geq 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} S(1) - S(0) + Q(1) &= I(1) \\ S(2) - S(1) + Q(2) &= I(2) \\ S(3) - S(2) + Q(3) &= I(3) \\ &\vdots \\ S(36) - S(35) + Q(36) &= I(36) \end{aligned} \right\} \text{水平衡方程式} \quad (\text{式16})$$

表 1. 本省已完成水庫一覽表

區系別	水庫名稱	位 置	水 源	壩 式	水 庫			標 的 別	完 成 年 月
					集水面積 (平方公里)	總 容 量 (百萬立方公尺)	有效容量 (百萬立方公尺)		
北區	西勢	基隆市暖陽區	基隆河	混凝土壩	6.48	0.58	0.40(60.11)	給水	16.3
	石門	桃園縣龍潭鄉	大漢溪	土石壩	763.40	315.96	241.11(64.11)	給水、灌溉、防洪、發電	53.6
新竹區	明德	苗栗縣頭屋鄉	老山寮溪	土 壩	61.08	17.70	15.49(64.6)	給水、灌溉	59.7
	大埔	新竹縣峨眉鄉	峨眉溪	混凝土壩	100.00	9.00	5.30(61.)	灌溉	49
	青草湖	新竹市南區	客雅溪	土 壩	30.30	1.10	0.40(59.1)	灌溉	45.10
	西河	苗栗縣三灣鄉	鐵眉溪	混凝土壩	12.00	0.60	0.60	灌溉	40
	劍潭	苗栗縣造橋鄉	中港溪	混凝土壩	35.00	0.56	0.56	灌溉	49
中區	德基	台中縣和平鄉	大甲溪	拱壩	592.00	256.00	158.95(63.4)	發電	63.10
	谷關	台中縣和平鄉	大甲溪	拱壩	707.80	17.10	7.12(63.3)	發電	50.12
	霧社	南投縣仁愛鄉	霧社溪	拱壩	219.00	150.00	125.05(68.12)	發電	49
	日月潭	南投縣魚池鄉	濁水溪	土 壩	501.30	171.62	142.28(64.3)	發電	26.9
嘉義區	蘭潭	嘉義市	八掌溪	土 壩	31.00	9.52	8.90(64.9)	給水	32
	鹿寮溪	嘉義縣水上鄉	八掌溪	土 壩	7.50	3.78	1.47(65.6)	工業給水	28.6
南區	曾文	台南縣楠西鄉	曾文溪	土石壩	481.00	708.00	599.00(63.11)	灌溉、防洪、發電、給水	62.10
	白河	台南縣白河鎮	急水溪	土 壩	26.55	25.09	19.40(61.6)	灌溉、防洪、給水	54.6
	尖山埤	台南縣新營鎮	龜重溪	土 壩	10.60	6.98	3.71(63.11)	灌溉、工業給水	27.1
	德元埤	台南縣柳營鄉	急水溪	土 壩	25.00	3.85	2.88(62.2)	灌溉	45.7
	烏山頭	台南縣官田鄉	官田溪	土 壩	60.60	166.67	126.00(62.11)	灌溉、給水	18
	埤水埤	台南縣新化鎮	茄苳溪	土 壩	5.75	0.83	0.39(62.)	灌溉	44.4
	虎頭埤	台南縣新化鎮	埤水溪	土 壩	7.15	1.38	0.50(62.)	灌溉	民前
	阿公店	高雄縣燕巢鄉	岡山溪	土 壩	31.90	25.00	13.50(60.)	灌溉、給水、防洪	42
	澄湖	高雄縣烏松鄉	高屏溪	土 壩	3.02	5.00	2.30(65.6)	工業給水	32
	龍巖潭	高雄縣恒春鎮	保力溪	土 壩	9.23	3.79	3.63(61.6)	灌溉	47.1
	成功	澎湖縣湖西鄉	港底溪	混凝土壩	4.90	1.08	1.04(62.5)	給水	63.5

資料來源：水資會

表 2. LP 模式一年式運用表

THE OPERATION RULE IN 55 WATER YEAR									
THE INITIAL STORAGE = 15493.0									
DECADE	INFLOW	AGRICUL TURE	1000 M ³ INDUSTRY FREEWATER	EVAPORATION	TOTAL USE	TOTAL RELEASE	SHORTAGE	EXCESS	STORAGE
901	2761.0	1859.0	412.0	39.6	2310.6	3353.4	0.0	1042.8	14900.6
2	2221.0	1177.0	412.0	39.6	1628.6	1628.6	0.0	0.0	15493.0
3	681.0	2200.0	412.0	39.6	2651.6	681.0	1970.6	0.0	15493.0
1001	290.0	2435.0	412.0	32.7	2879.7	290.0	2589.7	0.0	15492.9
2	266.0	2931.0	412.0	28.5	3371.5	266.0	3105.5	0.0	15492.9
3	222.0	2195.0	453.0	25.3	2673.5	1401.6	1271.9	0.0	14313.4
1101	188.0	1304.0	412.0	13.3	1729.3	1729.3	0.0	0.0	12772.1
2	223.0	933.0	412.0	10.6	1355.6	1355.6	0.0	0.0	11639.5
3	210.0	0.0	412.0	8.6	420.6	420.6	0.0	0.0	11428.9
1201	172.0	0.0	412.0	6.4	418.1	418.4	0.0	0.0	11182.5
2	169.0	417.0	412.0	6.1	835.1	835.1	0.0	0.0	10516.4
3	200.0	0.0	453.0	5.4	458.6	458.6	0.0	0.0	10257.8
101	219.0	0.0	412.0	3.9	415.9	415.9	0.0	0.0	10060.9
2	269.0	0.0	412.0	3.5	415.5	415.5	0.0	0.0	9914.4
3	257.0	0.0	453.0	3.5	456.7	456.7	0.0	0.0	9714.7
201	854.0	161.0	412.0	2.9	575.9	575.9	0.0	0.0	9992.8
2	301.0	161.0	412.0	3.3	576.3	576.3	0.0	0.0	9717.5
3	357.0	129.0	429.0	2.3	460.9	460.9	0.0	0.0	9613.6
301	738.0	161.0	412.0	3.5	576.5	576.5	0.0	0.0	9775.1
2	1103.0	1103.0	412.0	4.0	1519.0	1519.0	0.0	0.0	9359.1
3	461.0	2059.0	453.0	3.7	2515.9	2515.9	0.0	0.0	7304.2
401	359.0	1100.0	412.0	4.2	1516.2	1516.2	0.0	0.0	6147.0
2	322.0	869.0	412.0	4.2	1285.2	1285.2	0.0	0.0	5183.8
3	540.0	1001.0	412.0	4.2	1417.2	1417.2	0.0	0.0	4306.6
501	99.0	1576.0	412.0	5.6	1993.6	1993.6	0.0	0.0	2412.0
2	58.0	1533.0	412.0	5.6	1950.6	1950.6	0.0	0.0	519.4
3	1634.6	72.0	453.0	6.2	531.4	3851.6	0.0	3320.2	13013.8
601	2450.0	1040.0	412.0	39.6	1491.6	1491.6	0.0	0.0	13972.2
2	3055.0	1223.0	412.0	39.6	1674.6	1674.6	0.0	0.0	15352.6
3	2139.0	2139.0	412.0	39.6	2590.6	2590.6	0.0	0.0	14901.0
701	262.0	1323.0	412.0	46.4	1781.4	1781.4	0.0	0.0	13381.6
2	773.0	591.0	412.0	42.8	1045.8	1045.8	0.0	0.0	13108.8
3	3581.0	1033.0	453.0	46.7	1532.9	1532.9	0.0	0.0	15156.9
801	3190.0	2401.0	412.0	40.9	2853.9	2853.9	0.0	0.0	15493.0
2	682.0	2332.0	412.0	42.4	2786.4	2786.4	0.0	0.0	13388.6
3	576.0	2073.0	453.0	41.0	2567.2	2567.2	0.0	0.0	11397.4
TOTAL	46594.0	39531.0	15038.0	695.3	55264.2	50689.5	8937.7	4363.0	
TOTAL AGRICULTURE TOTAL USE = 71.5 %									
TOTAL USE TOTAL INFLOW = 118.6 %									

$$\left. \begin{aligned} Q(1) + \text{Shortage}(1) - \text{Excess}(1) &= R(1) \\ Q(2) + \text{Shortage}(2) - \text{Excess}(2) &= R(2) \\ &\vdots \\ Q(36) + \text{Shortage}(36) - \text{Excess}(36) &= R(36) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{供需平衡方程} \\ \text{式(17)} \end{array}$$

- S_{max} = 水庫最大蓄水量 (超過則需洩洪)
- S_{min} = 水庫最小蓄水量 (呆水量, 無效容量)
- S = 旬末蓄水量
- Q = 水庫放水量包括各標的用水量及溢流量
- I = 水庫旬進流量 (扣除蒸發滲漏量)
- R = 各種標的用水量之總和 (農業、工業、公共給水等)

Shortage = 水庫旬缺水量

Excess = 水庫旬多餘水量 (包括溢流量)

I 值、 R 值、 S_{max} 、 S_{min} ，可由水文記錄，調查及水庫容量限制中得知，輸入電算機；採用簡捷法 (Simplex Method)，基於多餘放水總和或用水缺水總和為最小情形下，可得各時段(t)之 S 、 Q 、旬缺水量及旬多餘放水量值，及該水文年運用過程線。根據多年之運用過程線，重疊之，採用數理方式處理，可以得到水庫運用基準線。另一種方法為，根據多年水文記錄作頻率分析，選一代表年；作為輸入資料之基準，加上需求之資料，亦可以採用此法求出運用基準線。

以明德水庫之一水文年55年資料為例，將55年9月上旬至56年8月下旬之水文資料及用水資料輸入，採用線性規劃 LP 模式所建立之模式如下：

$$\text{Min } Z = \sum_{t=1}^{36} \text{Excess}(t) \quad \text{(式18)}$$

Subject to: (單位: 10^3 M^3)

$$S(t) \leq 15493.0 \quad t=1, 2, \dots, 36 \quad \text{(式19)}$$

$$S(t) \geq 519.4 \quad t=1, 2, \dots, 36 \quad \text{(式20)}$$

$$\left. \begin{aligned} S(1) - S(0) + Q(1) &= 2761.0 \\ S(2) - S(1) + Q(2) &= 2221.0 \\ S(3) - S(2) + Q(3) &= 681.0 \\ &\vdots \\ S(34) - S(33) + Q(34) &= 3190.0 \\ S(35) - S(34) + Q(35) &= 682.0 \\ S(36) - S(35) + Q(36) &= 576.0 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{36個限制式} \\ \text{式(21)} \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} Q(1) + \text{Short}(1) - \text{Excess}(1) &= 2310.6 \\ Q(2) + \text{Short}(2) - \text{Excess}(2) &= 1628.6 \\ Q(3) + \text{Short}(3) - \text{Excess}(3) &= 2651.6 \\ &\vdots \\ Q(34) + \text{Short}(34) - \text{Excess}(34) &= 2853.9 \\ Q(35) + \text{Short}(35) - \text{Excess}(35) &= 2786.4 \\ Q(36) + \text{Short}(36) - \text{Excess}(36) &= 2567.2 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{36個限制式} \\ \text{式(22)} \end{array}$$

上式中共有未知數144個，限制式144個，以線性規劃求解，其年營運如表2。

根據表2 每旬旬末水庫儲水量可以繪製水庫運用歷線，如圖9

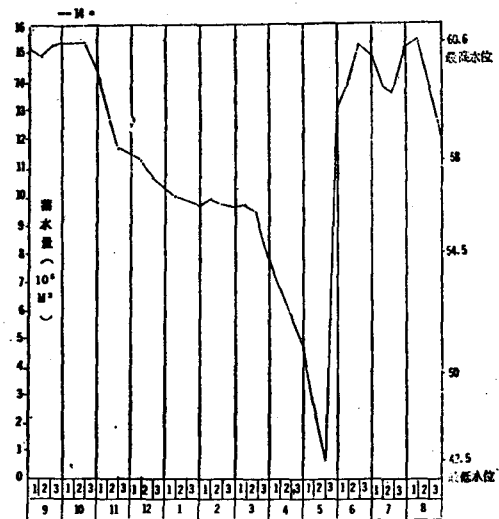


圖9 LP模式水文運用歷線

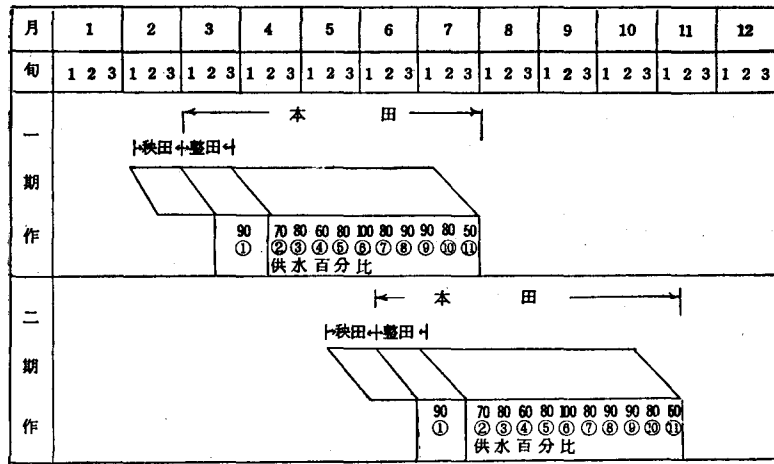
以上計算以IBM 43319 電算機作業，約需9分鐘；若改變容量限制值，令 $SS_{max} = S_{max} - S_{min}$ ，則容量限制式只需 $S(t) \leq SS_{max}$, $t=1, 2, \dots, 36$ 之36個限制式，可以省略 $S(t) \geq S_{min}$, $t=1, 2, \dots, 36$ 之36個限制式；其餘限制式不變；模式如下：

$$\text{Min } Z = \sum_{t=1}^{36} \text{Excess}(t) \quad \text{(式23)}$$

Subject to

$$S(t) \leq 15493.0 - 519.4 = 14973.6 \quad t=1, 2, \dots, 36 \quad \text{(式24)}$$

$$\left. \begin{aligned} S(1) - S(0) + Q(1) &= 2761.0 \\ S(2) - S(1) + Q(2) &= 2221.0 \\ &\vdots \\ S(35) - S(34) + Q(35) &= 682.0 \\ S(36) - S(35) + Q(36) &= 576.0 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{36個限制式} \\ \text{式(25)} \end{array}$$



1. 整田期成活期
2. 分蘖始期
3. 有效分蘖終期
4. 最高分蘖期
5. 幼穗形成始期
6. 幼穗形成終期
7. 孕穗期
8. 抽穗期
9. 乳熟期
10. 糊熟期
11. 黃熟期
12. 完熟期

圖11 明德水庫灌區一、二期作生長日期與缺水權重

(二) 模式建立

一般保育水庫大抵有四大目標即公共給水、農業用水、發電用水、工業用水，本研究以明德水庫為例，只公共給水、農業用水與工業用水三種標的用水。其模式建立如下：

(1) 目標函數

A.A 模式：全年旬溢流量總和為最少（或全年旬缺水量總和為最少）。

$$\text{Min} \sum_{t=1}^{36} \text{Short}(t), \text{ or } \text{Min} \sum_{t=1}^{36} \text{Excess}(t) \quad (\text{式27})$$

B.B 模式：全年各旬缺水權重不同時，缺水量最少之情形（即考慮農業生長期各旬用水情形）。

$$\text{Min} \sum_{t=1}^{36} f(t) \cdot \text{Short}(t) \quad (\text{式28})$$

$f(t)$ ：各旬缺水權重（圖11）

(2) 限制式

A. 容量限制

$$S(t) \leq S_{\text{max}} \quad (\text{式29})$$

$$S(t) \geq S_{\text{min}} \quad (\text{式30})$$

B. 水平衡方程式

$$S(t+1) - S(t) + Q(t+1) = I(t+1) \quad (\text{式31})$$

C. 供需平衡方程式

$$Q(t) + \text{Short}(t) - \text{Excess}(t) = R(t) \quad (\text{式32})$$

$t=1, 2, \dots, 36$

(3) 模式輸入

包括輸入及運算兩部份，求作部份採用簡捷法 (Simplex Method)。其過程是把目標函數和限制式依序排列形成矩陣求解。

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B(1) \\ B(2) \\ \vdots \\ B(N) \end{pmatrix} \quad (\text{式33})$$

$$\Sigma [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0] \begin{pmatrix} X \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \dots \dots \dots (\text{式34})$$

本研究之 LP 模式，經過修正輸入方式，可以簡省許多打卡時間，針對水庫特性以迴路 (LOOP) 方式輸入 A []，X []，B []，Z [] 值。

(二) 過程解析

1. 把明德水庫48年7月上旬至49年6月下旬之旬進流量（扣除蒸發量）②旬農業需水量；③旬工業、自來水需水量輸入 LP(A) 模式求作。

2. 當 A 模式驗證整年無缺水時〔即只有多餘放水，而無缺水〕，可求出此年之水庫營運各旬末水庫儲量，其連線即為水庫運用過程線。（表4，其餘年類推）

3. 當 A 模式驗證水文年年度內有缺水現象發生時（表4），因為其缺水之旬，可能是①農業用水

表4 明德水庫48年度營運運算成果

The Operation Rule in 48 Water Year
The Initial Storage=15493.0 * 1000 Cubmeter

Decade	Inflow	Agriculture	Industry	Domestic	Total Use	Total Release	Shortage	Excess	Storage
7 1	1552.1	1041.0	272.0	140.0	1453.0	16525.7	0.0	15072.7	519.4
2	9055.7	441.0	272.0	140.0	853.0	4405.4	0.0	3652.4	5189.7
3	2046.4	1887.0	299.2	154.0	1840.2	1840.2	0.0	0.0	5375.9
8 1	9251.0	1939.0	272.0	140.0	2351.0	2351.0	0.0	0.0	12275.8
2	2682.0	1643.0	272.0	140.0	2055.0	2055.0	0.0	0.0	12902.8
3	936.6	2308.0	299.2	154.0	2761.2	2761.2	0.0	0.0	11078.3
9 1	2708.0	1299.0	272.0	140.0	1711.0	1711.0	0.0	0.0	12075.3
2	4878.7	1049.0	272.0	140.0	1461.0	1461.0	0.0	0.0	15452.9
3	1351.4	2277.0	272.0	140.0	2689.0	2689.0	0.0	0.0	14155.3
10 8	635.4	2289.0	272.0	140.0	2701.0	2701.0	0.0	0.0	12089.7
2	477.5	2912.0	272.0	140.0	3324.0	3324.0	0.0	0.0	9243.2
1	429.0	2195.0	299.2	154.0	2648.2	2648.2	0.0	0.0	7024.0
11 1	363.5	1304.0	272.0	140.0	1716.0	1362.1	353.9	0.0	6030.5
2	479.1	761.0	272.0	140.0	1173.0	309.0	864.0	0.0	6200.6
3	362.4	0.0	272.0	140.0	412.0	309.0	103.0	0.0	6254.0
12 1	323.2	0.0	272.0	140.0	412.0	309.0	103.0	0.0	6268.2
2	271.3	457.0	272.0	140.0	869.0	309.0	560.0	0.0	6230.5
3	223.2	0.0	299.2	140.0	453.2	339.9	113.3	0.0	6113.8
1 1	162.7	0.0	272.0	140.0	412.0	309.0	103.0	0.0	5967.5
2	152.9	0.0	272.0	154.0	412.0	309.0	103.0	0.0	5811.4
3	226.6	0.0	299.8	140.0	453.2	339.9	113.3	0.0	5698.1
2 1	239.4	161.0	272.0	154.0	573.0	573.0	0.0	0.0	5364.5
2	156.9	161.0	272.0	140.0	573.0	573.0	0.0	0.0	4948.4
3	44.0	129.0	244.8	126.0	499.0	499.8	0.0	0.0	4492.6
3 1	39.5	161.0	272.0	140.0	573.0	573.0	0.0	0.0	3959.1
2	38.6	1037.0	272.0	140.0	1449.0	1449.0	0.0	0.0	2548.1
3	621.1	12529.0	299.2	154.0	1882.2	1882.2	0.0	0.0	1287.6
4 1	1996.3	955.0	272.0	140.0	1367.0	1367.0	0.0	0.0	1917.4
2	301.0	1287.0	272.0	140.0	1699.0	1699.0	0.0	0.0	519.4
3	2954.8	88.0	272.0	140.0	500.0	2954.8	0.0	2454.8	519.4
5 1	1878.5	1303.0	272.0	140.0	1715.0	1878.5	0.0	163.5	519.4
2	1362.0	495.0	272.0	140.0	1107.0	1362.0	0.0	255.0	519.4
3	14749.8	724.0	299.2	154.0	1177.2	14749.8	0.0	13572.6	519.4
6 1	4554.4	1239.0	272.0	140.0	1651.0	2003.2	0.0	352.2	3070.6
2	13853.4	1019.0	272.0	140.0	1431.0	1431.0	0.0	0.0	15492.5
3	1246.4	2139.0	272.0	140.0	2551.0	2551.0	0.0	0.0	14188.4
Total	82610.2	35829.0	9955.1	5124.0	50908.2	83914.8	2416.5	35423.2	

Total Agriculture/Total Use=70.4%

Total Use/Total Inflow=61.4%

Total Agriculture/Total Inflow=43.4%

Total Shortage/Total Use=1.7%

Shortage Times =9

表5 明德水庫56年度營運運算成果

The Operation Rule in 56 Water Year
The Initial Storage=15561.6 * 1000 Cubmeter

Decade	Inflow	Agriculture	Industry	Domestic	Total Use	Total Release	Shortage	Excess	Storage
7 1	215.6	1323.0	272.0	140.0	1735.0	1735.0	0.0	0.0	11777.0
2	720.6	591.0	272.0	140.0	1003.0	1003.0	0.0	0.0	11504.2
3	3534.3	1033.0	299.2	154.0	1486.2	1486.2	0.0	0.0	13552.3
8 1	3149.1	2401.0	272.0	140.0	2813.0	2812.0	0.0	0.0	13888.6
2	640.6	2332.0	272.0	140.0	2744.0	392.2	2351.8	0.0	14136.8
3	535.0	2073.0	299.2	154.0	2526.2	339.9	2186.3	0.0	14331.9
9 1	678.3	1951.0	272.0	140.0	2363.0	2363.0	0.0	0.0	12647.2
2	351.3	2072.0	272.0	140.0	2484.0	2484.0	0.0	0.0	10520.5
3	672.1	1532.0	272.0	140.0	1944.0	1944.0	0.0	0.0	9248.6
10 1	181.5	2435.0	272.0	140.0	2847.0	2847.0	0.0	0.0	6583.5
2	86.5	2723.0	272.0	140.0	3135.0	3135.0	0.0	0.0	3535.4
3	279.3	2100.0	299.2	154.0	2553.2	2553.2	0.0	0.0	1261.5
11 1	181.1	1304.0	272.0	140.0	1716.2	309.0	1407.0	0.0	1133.6
2	202.1	933.0	272.0	140.0	1345.0	305.0	1036.0	0.0	1026.7
3	267.1	0.0	272.0	140.0	412.0	309.0	103.0	0.0	984.8
12 1	209.9	0.0	272.0	140.0	412.0	309.0	103.0	0.0	885.7
2	278.9	419.0	272.0	140.0	831.0	309.0	522.0	0.0	855.6
3	279.6	0.0	299.2	154.0	453.2	339.9	113.3	0.0	795.3
1 1	304.4	0.0	272.0	140.0	412.0	309.0	103.0	0.0	790.7
2	159.4	0.0	272.0	140.0	412.0	309.0	103.0	0.0	681.1
3	173.2	0.0	299.2	154.0	453.2	339.9	113.3	0.0	515.4
2 1	6065.4	161.0	272.0	140.0	573.0	6065.4	0.0	5492.6	519.4
2	2885.1	161.0	272.0	140.0	573.0	2885.1	0.0	2312.1	519.4
3	2283.2	129.0	266.8	126.0	419.8	1623.9	0.0	1124.1	1178.7
3 1	1132.2	161.0	272.0	140.0	573.0	573.0	0.0	0.0	1737.9
2	256.5	1103.0	272.0	140.0	1515.0	1515.0	0.0	0.0	519.4
3	6906.2	1089.0	299.2	154.0	1542.2	5813.7	0.0	4271.5	1571.9
4 1	2575.1	1303.0	272.0	140.0	1715.0	1715.0	0.0	0.0	2432.6
2	831.4	691.0	272.0	140.0	1103.0	1103.0	0.0	0.0	2160.4
3	3008.8	1448.0	272.0	140.0	1860.0	1860.0	0.0	0.0	3309.2
5 1	323.5	1572.0	272.0	140.0	1984.0	1984.0	0.0	0.0	1648.7
2	163.7	881.0	272.0	140.0	1293.0	1293.0	0.0	0.0	519.4
3	10037.2	0.0	299.2	154.0	453.2	10037.2	0.0	9534.0	519.4
6 1	14821.4	773.0	272.0	140.0	1185.0	10776.6	0.0	9591.6	4564.2
2	9330.4	893.0	272.0	140.0	1305.0	1305.0	0.0	0.0	12595.6
3	5185.4	1876.0	272.0	140.0	2288.0	2288.0	0.0	0.0	15493.0
Total	78572.7	37463.0	5955.1	5124.0	52542.2	76776.1	8141.7	32375.7	

Total Agriculture/Total Use=71.3%

Total Use/Total Inflow=66.5%

Total Agriculture/Total Inflow=47.4%

Total Shortage/Total Use=15.5%

Shortage Times =11

表6 线性规划旬末储水量表

年 旬	月	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
		1	519.4	1457.1	3608.6	1414.4	658.0	995.1	1044.4	4017.0	11777.0	15041.4
7	2	5165.7	519.4	4883.2	519.4	3490.9	519.4	631.2	3431.5	11504.2	14322.8	973.4
	3	5375.9	519.4	6498.0	519.4	2990.0	519.4	5230.7	3135.6	13552.3	13158.1	519.4
	1	12275.8	519.4	7698.3	15493.0	519.4	519.4	3159.6	519.4	13888.4	13618.1	5053.3
8	2	12902.8	7346.4	6887.3	14446.0	519.4	4152.0	15493.0	14436.8	14136.8	11864.9	3690.3
	3	11078.3	12248.3	5331.0	13858.5	519.4	10793.6	15493.0	14450.1	14331.8	15261.1	1340.9
	1	12075.2	13803.2	5385.0	15493.0	519.4	11728.2	15492.9	14900.6	12647.2	13390.6	519.4
9	2	15492.9	14747.6	15492.9	13862.7	15493.0	10615.3	13237.6	15492.5	10520.5	11234.3	519.4
	3	14155.3	15493.0	15091.3	13880.9	14076.4	10615.1	11647.5	13522.3	9248.6	8653.3	8502.2
	1	12085.7	13255.3	12709.9	11499.5	11902.0	3199.2	10199.1	10932.6	6533.5	7045.8	15493.0
10	2	9243.2	10293.5	9699.6	3664.4	3799.0	5932.0	7096.1	7827.1	3535.4	4055.5	13113.8
	3	7024.0	8100.3	7379.4	3510.3	6362.5	5852.4	4607.9	5375.7	1261.5	1553.0	11232.4
	1	6030.5	6703.7	5920.6	3720.4	6260.2	5767.5	4464.3	5241.4	1133.6	1378.1	9948.6
11	2	6200.6	6323.7	4860.2	9098.7	6373.9	5643.6	4404.4	5144.8	1026.7	1189.2	8985.5
	3	6254.0	6435.1	4749.5	9144.1	6404.0	5493.7	4314.5	5037.2	984.8	1054.3	9016.7
	1	6268.2	6375.9	4528.3	9144.4	6699.5	5331.6	4180.4	4393.8	885.7	933.2	8914.8
12	2	6230.5	6014.8	3852.0	9140.3	6702.7	5224.5	4029.3	4747.7	855.6	802.1	3325.0
	3	6113.8	5987.9	3716.5	9083.3	6700.9	5062.2	3889.0	4602.4	795.3	653.8	3213.2
	1	5967.5	5998.3	3756.6	9004.3	6645.2	5092.6	3719.4	4508.5	790.7	553.2	3082.3
1	2	5811.4	5824.6	3501.5	8953.2	6980.9	5013.0	3540.8	4465.0	681.1	640.6	3271.5
	3	5698.1	5594.1	3312.8	8802.1	10044.5	4818.3	3354.1	4378.5	519.4	550.9	3763.1
	1	5364.5	5311.5	2389.3	3348.5	10622.1	4350.7	2928.5	4656.6	519.4	827.3	3589.8
2	2	4948.4	5275.2	2504.4	7979.9	10501.1	3378.1	2489.9	4381.3	519.4	519.4	3421.6
	3	4492.6	6991.6	2356.4	7658.2	12572.5	3446.4	2227.2	4277.4	1178.7	690.7	7992.3
	1	3959.1	7067.3	1867.6	7162.3	12780.0	2343.0	1791.8	4438.9	1737.9	2763.8	10049.0
3	2	2548.7	9063.9	594.6	5838.4	11593.2	1500.6	519.4	3138.9	519.4	4942.2	13685.2
	3	1287.6	15375.4	6984.7	3918.5	9317.0	591.6	3277.5	1084.0	1571.9	3372.8	12260.2
	1	1917.4	14327.0	7821.0	3676.3	7600.7	519.4	3841.6	1129.3	2432.0	3854.9	11586.3
4	2	519.4	14325.5	8453.3	3502.1	5845.7	519.4	2599.9	1138.6	2160.4	3423.5	10679.3
	3	519.4	14245.0	3503.6	4707.4	4475.5	1227.2	2076.8	991.6	3309.2	1834.6	9570.5
	1	519.4	13920.2	7767.1	4457.8	4140.4	2370.1	3620.1	776.0	1648.7	1696.0	8623.8
5	2	519.4	13127.9	6066.9	4222.2	2469.8	6609.3	2257.6	519.4	519.4	519.4	12731.1
	3	519.4	15134.1	4797.2	2007.8	519.4	5862.4	519.4	13154.2	519.4	519.4	12136.1
	1	3070.6	14468.0	3361.3	1939.0	2354.6	5224.7	4723.6	14112.6	4564.2	519.4	10282.3
6	2	15493.0	12082.7	7286.9	1454.2	4422.8	7332.0	15493.0	15493.0	12595.6	5170.6	3176.1
	3	14188.4	11456.4	5179.0	519.4	2314.2	7791.8	14023.4	13296.4	15493.0	15493.0	3156.4

表6 线性规划旬末储水量表 (續)

年 月	旬	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
		7	1 2 3	2540.2 2113.1 519.4	3777.7 3906.6 2288.8	519.4 519.4 519.4	13313.6 14115.5 15092.5	4893.0 7927.4 7376.6	519.4 519.4 519.4	519.4 519.4 519.4	519.4 519.4 519.4	10682.5 9982.5 9282.6
8	1 2 3	519.4 519.4 519.4	519.4 1473.0 1215.0	519.4 9768.6 15493.0	14015.1 14383.5 15493.0	5950.5 4486.6 12546.8	519.4 519.4 519.4	8176.8 9724.7 9124.7	519.4 519.4 519.4	10082.7 9582.7 8523.2	519.3 1135.1 15226.5	791.7 1251.4 15492.9
9	1 2 3	15493.0 15266.4 14180.1	519.4 13893.6 30986.0	14728.0 12930.2 10645.4	15493.0 14201.5 11897.0	11702.2 9676.9 8368.9	519.4 519.4 519.4	7324.7 6679.7 6679.7	519.4 519.4 519.4	8543.3 12033.4 10483.5	15492.9 14742.9 14333.1	14512.3 13131.4 11844.4
10	1 2 3	12161.5 9347.0 7177.5	28103.8 25090.7 23290.7	7912.3 4550.9 2396.5	9053.6 6084.8 3778.0	6495.8 4316.3 2286.2	519.4 519.4 519.4	6739.7 5239.7 4339.6	519.4 519.4 519.4	8683.5 7803.5 6672.6	12563.1 13023.2 12803.2	9924.0 8045.4 6687.9
11	1 2 3	7225.9 7206.6 7125.5	21879.4 21009.1 20948.5	2370.6 2748.7 2818.8	3670.1 3509.2 3480.3	990.1 898.3 569.5	519.4 519.4 519.4	3335.5 2539.5 2535.5	519.4 519.4 729.3	5330.3 4660.2 4190.2	11463.3 10633.4 10603.5	5590.7 4698.4 4628.8
12	1 2 3	7329.1 7930.5 7840.7	20784.9 20315.5 20356.6	2884.7 3122.6 3700.2	3294.2 3096.1 2398.8	519.4 573.4 519.4	1468.4 2968.4 4568.4	1515.9 1119.5 619.5	929.3 1129.3 1229.2	3930.2 3830.2 3750.2	10443.6 10050.3 9800.3	4156.7 3773.2 3225.0
1	1 2 3	7740.3 7652.1 8669.5	21379.4 21355.9 21392.2	3542.6 3753.5 4983.9	2823.2 2904.6 2695.9	519.4 519.4 519.4	4568.4 4968.4 4968.5	519.4 519.4 519.4	1499.2 1779.2 1879.2	3512.1 3434.4 3404.4	9413.5 9036.1 8981.7	2996.4 2439.2 2119.2
2	1 2 3	8832.5 8632.4 8449.4	21351.6 21193.1 21258.9	4786.0 4533.2 4519.2	2413.3 1959.7 2875.0	519.4 519.4 519.4	4468.5 3468.5 5082.3	519.4 519.4 936.8	1409.2 1179.3 519.4	3034.4 2834.4 2449.5	10157.8 10493.4 10833.8	1519.3 549.3 1049.3
3	1 2 3	8704.3 7846.9 5765.5	21187.5 19849.3 17388.1	4244.6 2843.3 519.4	2772.4 2281.1 519.4	519.4 519.4 519.4	4382.3 3282.3 2982.3	519.4 519.4 519.4	519.4 519.4 519.4	1099.2 519.4 519.4	12819.9 11903.3 10098.4	519.3 519.3 4589.4
4	1 2 3	5528.9 3946.5 2569.3	17518.3 16409.3 14836.2	5201.6 4883.4 3884.2	1042.0 519.4 519.4	519.4 519.4 519.4	3282.3 4382.3 3772.3	519.4 653.0 853.0	1210.9 1469.4 519.4	989.3 1739.3 1009.4	8547.1 8131.9 12412.9	3389.2 2439.3 1809.3
5	1 2 3	2317.7 2451.1 519.4	13570.6 15689.0 16261.0	2313.5 3799.2 3913.1	2011.1 1088.6 519.4	519.4 519.4 519.4	9872.3 8672.3 11983.9	953.0 1053.0 1123.0	519.4 519.4 13449.3	519.4 519.4 519.4	14035.0 13929.0 12870.9	519.3 519.3 519.3
6	1 2 3	7077.6 6375.9 4379.7	18969.6 23268.7 21497.0	13394.9 15493.0 13835.4	519.4 519.4 15493.0	519.4 13707.5 15493.0	10683.5 15493.0 14593.1	11163.0 11413.0 15493.0	15493.0 14283.0 13439.5	519.4 15493.9 15015.1	11317.5 9136.1 7716.2	519.3 519.3 15993.0

表 7 明德水庫 X%限基準線表

月 旬	限 順位	25 % 6	30 % 7	35 % 8	40 % 9	45 % 10	50 % 11	55 % 12	60 % 13
7	1	4893.0	4782.8	4357.5	4017.0	3608.6	2540.2	1459.1	1414.4
	2	5169.7	4795.4	4387.3	4369.2	3490.9	3431.9	2113.1	973.0
	3	6498.0	5375.9	5238.7	4895.8	3135.6	2990.0	2319.3	2299.9
8	1	10082.7	8176.8	7698.3	5950.5	5811.4	5053.3	3159.6	791.7
	2	12902.8	11864.9	9768.6	9724.7	9582.7	7346.4	6887.3	5539.5
	3	15226.9	14450.1	14381.9	13858.5	12546.8	12248.8	11078.3	10793.6
9	1	14900.6	14728.0	14512.3	13803.2	13396.6	12647.2	12075.3	11728.2
	2	14747.6	14742.9	14201.5	13862.7	13227.6	13131.4	12930.2	12033.4
	3	14155.3	14076.4	13880.9	13522.3	11897.0	11844.4	11647.5	10645.4
10	1	12499.5	12089.7	11902.0	11499.5	10932.6	10199.1	9924.0	9053.6
	2	9677.0	9242.2	8799.0	8664.4	8045.8	7827.1	7803.5	7096.1
	3	7507.5	7370.4	7024.0	6687.9	6672.6	6362.5	5852.4	5375.1
11	1	6060.2	6148.9	6030.5	5920.6	5767.5	5590.7	5330.3	5241.4
	2	6323.7	6200.5	6129.6	5643.6	5144.8	4860.2	4698.4	4660.2
	3	6404.0	6254.0	6048.5	5493.7	5037.2	4749.9	4628.8	4314.5
12	1	6375.9	6268.2	6252.1	5331.6	4893.8	4528.3	4156.7	4180.4
	2	6702.7	6230.5	6014.8	5224.5	4747.4	4029.3	3852.0	3830.2
	3	6700.9	6113.8	5987.9	5062.2	4602.4	4568.4	3889.0	3750.2
1	1	6645.2	5998.3	5957.5	5092.6	4968.4	4508.5	3756.6	3719.4
	2	6575.1	5824.6	5811.4	5013.0	4968.4	4465.0	3753.5	3604.5
	3	7592.5	5698.1	5594.1	4783.9	4368.5	4818.3	4378.5	3404.4
2	1	7874.6	5364.5	5311.9	4786.0	4656.6	4468.5	4350.7	3034.4
	2	7793.6	5275.2	4948.4	4538.2	4381.3	3878.1	3468.5	2634.4
	3	7658.2	6991.6	5082.3	4519.2	4492.6	4277.4	3446.4	2875.0
3	1	7162.8	717.3	4438.9	4382.3	4244.6	3959.1	2943.0	2772.4
	2	7874.6	5838.4	4942.2	3282.3	3138.9	2843.3	2548.7	2281.1
	3	6798.1	4589.4	4336.9	3918.5	3372.8	3277.4	2982.3	1571.9
4	1	5201.6	5094.1	4336.9	3854.9	3841.6	3676.3	3389.3	3282.3
	2	4882.4	3502.1	4467.1	3502.1	3423.5	3358.1	2599.9	2439.3
	3	4475.5	3884.2	3772.3	3309.2	3033.3	2076.8	1834.6	1809.3
5	1	4457.8	4140.4	3620.1	2370.1	3309.2	2011.7	1928.8	1696.0
	2	6066.9	4222.2	3799.2	2637.8	2469.8	2337.8	2257.6	1088.6
	3	6066.9	5862.4	4797.2	3913.1	3209.8	2007.8	1123.0	519.4
6	1	11165.0	10682.9	10282.8	7077.6	4918.9	5224.7	4723.6	4564.2
	2	15493.0	14283.0	13707.5	12595.6	12082.7	11413.0	10217.5	9136.1
	3	15493.0	15015.1	14593.1	14188.4	14023.4	13835.4	13439.5	13296.4

尖峯；②可能一旬中大量缺水；③可能一旬中皆不能供水；④農作物生長階段不能缺水期；⑤工業、自來水各旬至少需供水一定量以上。因此採用B模式。

4. B模式之特性為水庫全年營運發生缺水現象時，考慮每旬至少能供給自來水75%以上之水量及各旬之缺水權重，而決定供水量（即不允許缺水之旬其權重最大，例如水稻生長期之插秧整地期及孕穗期等），本研究採用明德水庫作為示例，因此考慮水稻生長季節起止時間，定出農業用水各旬權重， $f(t)$ 值。（圖11）

當水庫該年度定會發生缺水時，在水庫容量限制、進水量、需水量平衡限制下，調整缺水量，使缺水量移至水稻生長期較不需水之旬，或使該旬缺水量減少。如此亦可求得合乎農業生長之年運用歷線如表5（表5係一樣本，其餘年類推）。

5. 根據該水文年度運用歷線最後一旬末（6月下旬）水庫儲水量，當作下一水文49年度7月上旬之初始儲水量，再根據年度之輸入資料，重覆2至4之步驟。

6. 運作明德水庫22水文年之資料，可以求得水庫多年運用最佳歷線供計22條，如表6。

7. 根據22年運用歷線，繪製在同一張紙上，可得水庫多年運用歷線圖，如圖12。

8. 把水庫旬末蓄水列表如表6，比較其同旬各年儲水量大小順序，此工作可用計算機求解甚速，

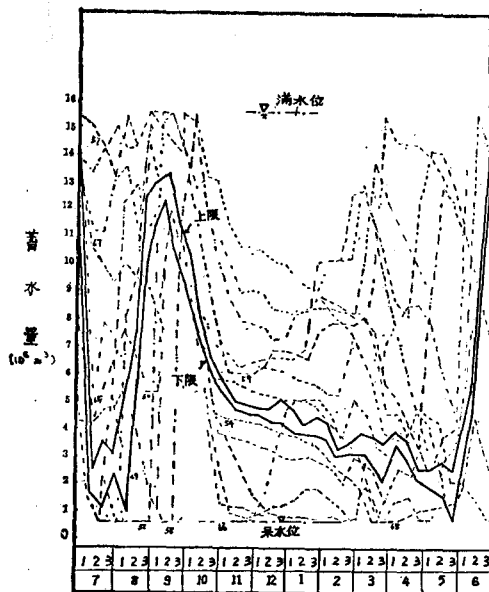


圖12. 明德水庫運用歷線圖

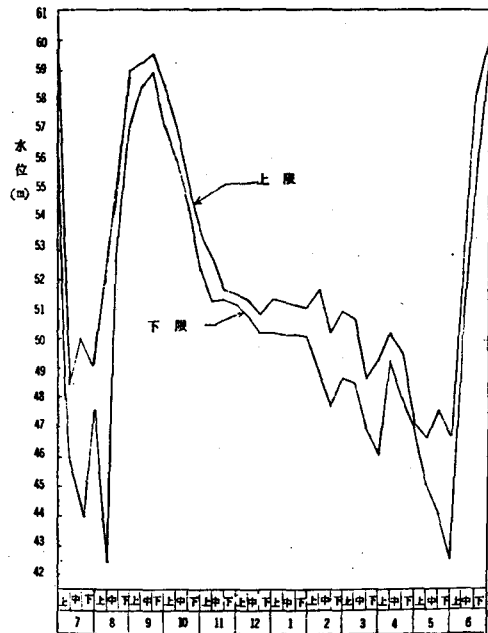


圖13. LP模式建立之上下運用基準線

亦可使用人力比較之，同旬數值從大排到小，1為最大值，22為最小值。摘錄6至13之值，如表7。

9. 由於水庫營運若只有一條運用基準線，當水庫儲水量一直低於運用基準線時，無法決定應放多少水量；因此採用兩條運用基準線〔上限、下限〕之方法，較為合理，所謂「限」是某旬高過水庫某一旬末儲水量出現可能性為X%之點，各旬具有同樣性質之點連線稱之。例如50%之限是指超過此連線各旬儲水量情形有50%之可能；60%之限，即指高過於此一連線各旬儲水量情形有60%之可能。因採用兩條運用基準線，在上之線稱為上限，在下之線稱為下限，兩線形成一包絡帶（ENVELOP）。

10. 根據步驟8之順序決定不同組合情形(表8)

表8 不同組合上下限順位表

上限	25%	30%	35%	40%	45%	50%	30%	40%
	6	7	8	9	10	11	7	9
下限	35%	40%	45%	50%	55%	60%	50%	60%
	8	9	10	11	12	13	11	13

（6指第6順位，同旬比較第6大之水庫儲量）同理7，8，……亦然，

因本研究採用22水文年資料，若第11順位相對應為50%，因 $\frac{11}{22} = 50\%$ ，第13順位相對應為60%，因 $\frac{13}{22} = 60\%$ 配合供水標準如下表9。

表10 依運用基準線年度營運運算成果(模擬模式)

The Operation Rule in 55 Water Year

The Initial Storage of Reservoir=14023.4*1000 CU. M.

Decade	Inflow	Agriculture	Industry	Domestic Use	Release	Shortage	Excess	Storage	Upper Rule	Lower Rule				
7 1	383.0	1323.0	1333.0	272.0	272.0	140.0	140.0	1735.0	1735.0	0.0	0.0	12671.4	2540.2	1414.4
2	470.9	644.0	841.0	272.0	272.0	140.0	140.0	1056.0	1056.0	0.0	0.0	12036.3	3431.9	973.0
3	1172.9	1016.0	1016.0	299.2	299.2	154.0	154.0	1469.2	1469.2	0.0	0.0	11790.0	2990.0	2299.9
8 1	223.8	2433.0	2433.0	272.0	272.0	140.0	140.0	2845.0	2845.0	0.0	0.0	9173.8	5053.3	791.7
2	15370.1	1307.0	1307.0	272.0	179.6	140.0	92.4	1579.0	9510.9	0.0	7931.9	15493.0	7346.4	5539.5
3	2382.6	1916.0	1916.0	293.2	197.5	154.0	101.7	2215.2	2228.6	0.0	13.4	15493.0	12248.8	10753.6
9 1	2721.4	1859.0	1859.0	272.0	179.6	140.0	92.4	2131.0	2581.4	0.0	450.4	15493.0	12647.2	11728.2
2	2181.4	1177.0	1177.0	272.0	179.6	140.0	92.4	1449.0	2041.4	0.0	592.4	15493.0	13131.4	12033.4
3	641.4	2200.0	2200.0	272.0	272.0	140.0	140.0	2612.0	2612.0	0.0	0.0	13522.4	11647.5	10645.4
10 1	257.3	2435.0	2435.0	272.0	272.0	140.0	140.0	2847.0	2347.0	0.0	0.0	10932.7	10199.1	9053.6
2	237.5	2931.0	2931.0	272.0	272.0	140.0	140.0	3343.0	3343.0	0.0	0.0	7827.2	7827.1	7096.1
3	193.7	2195.0	1756.0	299.2	269.3	154.0	138.6	2163.9	2163.9	434.3	0.0	5860.0	6362.5	5357.5
11 1	174.7	1304.0	912.8	272.0	204.0	140.0	105.0	1221.8	1221.8	494.2	0.0	4812.9	5590.7	5241.4
2	212.4	933.0	653.1	272.0	204.0	140.0	105.0	962.1	962.1	382.9	0.0	4063.2	4860.2	4660.2
3	201.4	0.0	0.0	272.0	204.0	140.0	105.0	309.0	309.0	103.0	0.0	3955.6	4749.9	4314.5
12 1	165.6	0.0	0.0	272.0	204.0	140.0	105.0	309.0	309.0	103.0	0.0	3812.2	4528.3	4180.4
2	162.9	417.0	291.9	272.0	204.0	140.0	105.0	600.9	600.9	228.1	0.0	3374.2	4029.3	3830.2
3	194.6	0.0	0.0	299.2	224.4	154.0	115.5	339.3	339.3	113.3	0.0	3228.9	4568.4	3750.2
1 1	215.1	0.0	0.0	272.0	204.0	140.0	105.0	309.0	309.0	103.0	0.0	3135.0	4508.5	3719.4
2	265.5	0.0	0.0	272.0	204.0	140.0	105.0	309.0	309.0	103.0	0.0	3091.5	4465.0	3604.5
3	253.4	0.0	0.0	299.2	224.4	154.0	115.5	339.3	339.3	113.3	0.0	3005.0	4818.3	3404.4
2 1	851.1	161.0	128.8	272.0	244.8	140.0	126.0	499.6	499.6	73.4	0.0	3356.5	4468.5	3034.4
2	297.7	161.0	128.8	272.0	244.8	140.0	126.0	499.6	499.6	73.4	0.0	3154.6	3878.1	2634.4
3	354.7	129.0	103.2	217.6	195.8	112.0	100.8	399.8	399.8	58.8	0.0	3109.5	4277.4	2875.0
3 1	734.5	161.0	128.8	272.0	244.8	140.0	126.0	499.6	499.6	73.4	0.0	3344.4	3959.1	2772.4
2	215.0	1163.0	772.1	272.0	204.0	140.0	105.0	1081.1	1081.1	433.5	0.0	2478.3	2843.3	2281.1
3	457.3	2059.0	1981.3	299.2	287.1	154.0	147.8	2416.2	2416.2	96.0	0.0	519.4	3277.5	1571.9
4 1	354.8	1100.0	274.2	272.0	53.2	140.0	27.4	354.8	354.8	1157.2	0.0	519.4	3676.3	3282.3
2	317.8	869.0	230.3	272.0	57.8	140.0	29.7	317.8	317.8	963.2	0.0	519.4	3353.1	2439.3
3	535.8	1004.0	392.3	272.0	94.8	140.0	48.8	535.8	535.8	877.2	0.0	519.4	2076.8	1809.3
5 1	93.4	1576.0	0.0	272.0	61.7	140.0	31.7	93.4	93.4	1894.6	0.0	515.4	2011.1	1696.0
2	52.4	1533.0	0.0	272.0	34.6	140.0	17.8	52.4	52.4	1892.6	0.0	519.4	2337.8	1088.6
3	16339.8	72.0	72.0	299.2	197.5	154.0	101.7	371.2	1212.2	0.0	841.0	15492.0	2007.0	519.4
6 1	2410.4	1040.0	1040.0	272.0	179.6	140.0	92.4	1312.0	22.0	0.0	958.4	15492.0	5224.7	4564.2
2	3015.4	1223.0	1223.0	272.0	179.6	140.0	92.4	1495.0	2875.4	0.0	1380.4	15492.0	11413.0	9136.1
3	354.4	2139.0	1711.2	272.0	244.8	140.0	126.0	2082.0	2082.0	469.0	0.0	13765.4	13835.4	13296.4
Total	55074.0	38417.0	31040.7	9927.9	7338.3	5110.0	3777.1	42156.1	54323.9	10290.8	12167.9			

Total Agriculture/Total Use=51.1%

Total Use/Total Inflow=76.5%

Total Agriculture/Total Inflow=69.8%

Total Use/Reservoir Effective Storage=231.5%

Total Storage/Total Use=24.4%

Shortage Times=22

表9 水庫供水標準表

儲水量狀況	在 上 限 儲水量以上	在 上 下 限 間		在 下 限 儲水量以下	在下限水位以下 30 天 以 後	
節水率 %	0 (正常供水)	灌溉 公共及工業	20 10	灌溉 公共及工業	30 25	灌溉 公共及工業 60 50

11.根據各種上下限組合及供水標準，如同採用模擬模式法求作，可得任一水文年度之總供水量、節水量、溢洪量。反覆各組合運作各22年。求算如表10(樣本例)。

12.比較各種運用基準線組合，以歷年實際供水量最多，節水量、溢洪量、缺水量最少之上下限組合，定為水庫之運用基準線。(圖13)

結果

上下限，定之過高，可能造成用水不便，需時常節水，經求算以上限50下限60之組合為最佳。(表11)

本研究採用線性規劃模式，應用缺水權重目標函數，以明德水庫為之例，求算之運用基準線如表12及圖13。根據水庫記錄之進水量與供水量，製成表12表13，與明德水庫以往基準線運用(表14)及水利局69年釐訂之上下限型運用基準線運用成果(表15)比較，可知幾乎任一水文年，LP模式所釐訂之運用基準線總供水量皆較大，溢流量皆較少，節水量較少；證明最佳模式之線性規劃求算運用基準線，優於以往限制性基準線及抑制模擬型基準線。

表11 不同組合運算比較表

年	項 目	基準線			基準線		
		上限50%	下限60%	溢水量	上限45%	下限55%	溢水量
48		47203.6	2416.5	35423.2	46524.5	3095.6	36102.3
49		50675.2	744.7	71072.9	50182.6	1237.3	71072.9
50		50971.1	2686.8	3788.2	50024.8	3479.1	10456.9
51		37692.8	18727.1	16111.6	37692.8	18727.1	16472.4
52		45107.2	11116.9	57765.3	45107.2	11116.9	57765.3
53		31716.2	20397.7	0.0	31324.6	20789.3	0.0
54		44502.8	7734.0	37657.0	43776.7	8460.2	38323.1
55		42156.1	10290.8	12167.9	41880.4	10566.5	12619.5
56		44015.4	7672.7	32375.7	44291.1	7397.0	32375.7
57		44953.9	9020.0	18168.2	44953.9	9020.0	18168.2
58		49873.5	2420.4	31172.3	49697.6	2596.3	31348.2
59		47793.6	7334.3	62314.5	47793.6	7334.3	62314.5
60		44327.2	9978.9	18962.0	43991.6	10314.4	18962.0
61		45200.3	6146.6	68239.1	44890.1	6456.8	69810.1
62		42718.4	7499.5	45297.7	42447.1	7770.8	45569.0
63		43332.8	1770.1	122715.8	43063.8	2039.1	122934.8
64		39635.1	0.0	62249.5	39635.1	0.0	62246.5
65		32115.2	326.1	52795.3	31933.2	518.3	52987.5
66		43167.6	351.8	88449.2	42951.0	585.7	88449.2
67		40318.9	1364.8	41813.3	40318.9	1364.8	41813.3
68		49883.8	1268.9	13390.0	49883.8	1268.9	13390.0
69		39251.8	2411.1	58144.7	38725.0	2931.6	58665.3

表 12. 明德水庫運用基準線

月	旬	備水量 10 ³ m ³		月	旬	水位 m	
		上	下			上	下
7	1	2540.2	1414.4	7	1	48.40	46.00
7	2	3431.9	973.0	7	2	50.00	44.00
7	3	2590.0	2299.9	7	3	49.00	47.60
8	1	5053.3	791.7	8	1	52.00	42.50
8	2	7346.4	5539.5	8	2	54.80	52.60
8	3	12248.8	10793.6	8	3	59.00	57.10
9	1	12647.2	11728.2	9	1	59.20	58.40
9	2	13131.4	12033.4	9	2	59.60	58.90
9	3	11844.4	10645.4	9	3	58.40	57.10
10	1	10199.1	9053.6	10	1	57.00	56.00
10	2	7827.1	7096.1	10	2	55.00	54.40
10	3	6362.5	5375.7	10	3	53.40	52.20
11	1	5590.7	5241.4	11	1	52.60	51.20
11	2	4860.2	4660.2	11	2	51.60	51.30
11	3	4749.9	9314.5	11	3	51.50	51.10
12	1	4528.3	4180.4	12	1	51.30	50.70
12	2	4029.3	3830.2	12	2	50.70	50.20
12	3	4568.4	3750.2	12	3	51.30	50.20
1	1	4508.5	3719.4	1	1	51.20	50.10
1	2	4465.0	3664.5	1	2	51.10	50.10
1	3	4818.3	3404.4	1	3	51.00	50.00
2	1	4468.5	3034.4	2	1	51.60	48.80
2	2	3878.1	2634.4	2	2	50.10	47.60
2	3	4277.4	2875.0	2	3	50.80	48.60
3	1	3959.1	2772.4	3	1	50.60	48.40
3	2	2843.3	2281.1	3	2	48.60	46.80
3	3	3277.5	1571.9	3	3	49.20	45.70
4	1	3676.3	3282.3	4	1	50.10	49.20
4	2	3358.1	2439.3	4	2	49.30	47.90
4	3	2076.8	1809.3	4	3	47.00	46.90
5	1	2011.1	1696.0	5	1	46.60	45.00
5	2	2337.8	1088.6	5	2	47.50	44.00
5	3	2007.8	519.4	5	3	46.60	42.50
6	1	5224.7	4564.2	6	1	52.20	51.30
6	2	11413.0	9136.1	6	2	58.20	56.00
6	3	13835.4	13296.4	6	3	60.00	59.70

表 13. 明德水庫運用 (依 LP 模式所作之運用基準線) 成果表

單位: 10³ m³

水文年	逕流量	計畫供水量				實際供水量	溢流量	節水量 (含缺水量)
		灌溉	工業	公共	計			
48.7~49.6	82610.2	35829.0	9955.1	5124.0	50908.1	47203.6	35423.2	2416.5
49.7~50.6	120768.3	37390.0	9927.9	5110.0	52427.9	50875.2	71072.9	744.7
50.7~51.6	56448.8	38900.0	9927.9	5110.0	53937.9	50971.1	8788.2	2686.8
51.7~52.6	46598.0	41522.0	9927.9	5110.0	56559.9	37692.8	16111.6	18727.1
52.7~53.6	106314.9	41285.0	9955.1	5124.0	56364.1	45107.2	57765.3	11116.9
53.7~54.6	36998.5	37076.0	9927.9	5111.0	52113.9	31716.2	0.0	20397.7
54.7~55.6	87498.7	37619.0	9927.9	5110.0	52656.9	44502.8	37657.0	7734.0
55.7~56.6	55074.0	38417.0	9927.9	5110.0	53454.9	42156.1	12167.9	10290.8
56.7~57.6	78972.1	37463.0	9955.1	5124.0	52542.1	44015.4	32375.7	7672.7
57.7~58.6	63402.1	39216.0	9927.9	5110.0	54253.9	44953.9	18168.2	9020.0
58.7~59.6	75366.1	37676.0	9927.9	5110.0	52713.9	49873.5	31172.3	2420.4
59.7~60.6	106830.5	40384.0	9927.9	5110.0	55421.9	47793.6	62314.5	7334.3
60.7~61.6	67117.7	39507.0	9955.1	5124.0	54586.1	44327.2	18962.0	9978.9
61.7~62.6	120165.3	37177.0	9927.9	5110.0	52214.9	45200.3	68039.1	6146.6
62.7~63.6	89918.8	35894.0	9927.9	5110.0	50931.9	42718.4	45297.7	7499.5
63.7~64.6	166655.4	37472.0	5438.5	2799.2	45709.7	43332.8	122715.8	1770.1
64.7~65.6	100981.3	37659.5	1328.3	647.4	39635.2	39635.1	62246.5	0.0
65.7~66.6	85820.6	26721.7	1333.0	4396.9	32451.6	32115.2	52795.3	326.1
66.7~67.6	129932.1	34604.1	3127.2	5805.5	43536.8	43167.6	88449.2	351.8
67.7~68.6	83717.9	30762.9	4704.0	6121.8	41588.7	40318.9	41813.3	1364.8
68.7~69.6	57243.8	36450.8	7970.2	6562.7	50983.7	49883.8	13390.0	1268.9
69.7~70.6	105229.8	27583.6	7564.8	6089.2	41237.6	39251.8	58144.7	2411.1
計								
平均								

表 14. 明德水庫水量運用成果表

單位：10³ m³

水文年	逕流量	計 劃 供 水 量			實際供水量	水庫蒸發損失	溢流量	缺水	節水量
		灌溉	公共及工業	計					
48.7.~49.6.	86,412	36,130	12,810	48,940	46,383	893	39,136	2,557	
49.7.~50.6.	121,857	38,598	12,775	51,373	51,373	1,066	74,638	-	
50.7.~51.6.	57,233	39,306	12,775	52,081	52,181	863	9,410	-	
51.7.~52.6.	46,409	36,379	12,775	49,154	37,163	603	13,347	11,991	
52.7.~53.6.	106,798	40,956	12,810	53,766	45,474	569	58,164	8,292	
53.7.~54.6.	37,322	40,834	12,775	53,609	32,090	280	0	21,519	
54.7.~55.6.	88,084	37,574	12,775	50,349	44,361	594	36,905	5,988	
55.7.~56.6.	55,768	39,726	12,775	52,501	43,849	792	11,117	8,652	
56.7.~57.6.	79,766	36,779	12,810	49,589	47,239	846	30,116	2,350	
57.7.~58.6.	64,020	38,421	12,775	51,196	44,301	676	19,175	6,895	
58.7.~59.6.	76,345	38,643	12,775	51,418	51,418	1,114	32,473	-	
59.7.~60.6.	106,971	40,647	12,775	53,422	46,740	718	61,396	6,682	
60.7.~61.6.	67,620	37,373	12,810	50,183	40,578	556	19,817	9,605	
61.7.~62.6.	120,845	35,942	12,775	48,717	50,966	966	62,564	2,161	
62.7.~63.6.	90,653	38,299	12,775	51,074	46,489	764	42,481	4,585	
63.7.~64.6.	106,583	36,998	12,775	49,773	49,773	1,046	56,267	-	
64.7.~65.6.	74,636	37,802	12,810	50,612	50,612	1,096	29,340	-	
65.7.~66.6.	37,717	37,262	12,775	50,037	31,850	393	-	18,187	
66.7.~67.6.	95,057	37,576	12,775	50,351	50,351	996	43,267	-	
67.7.~68.6.	86,290	31,922	12,775	44,697	44,697	760	40,681	-	
計	1,606,386	757,167	255,675	1,012,842	907,788	15,591	680,294	109,464	
平均	80,319	37,858	12,784	50,642	45,389	780	34,015	4,473	

表 15. 明德水庫水量運用（依運用基準線）成果表

單位：10³ m³

水文年	逕流量	計 劃 供 水 量			實際供水量	水庫蒸發損失	溢流量	缺水	節水量
		灌溉	公共及工業	計					
48.7.~49.6.	86,412	36,130	12,810	48,940	42,826	907	42,679	929	5,185
49.7.~50.6.	121,857	38,598	12,775	51,373	50,391	1,067	74,638	-	982
50.7.~51.6.	57,233	39,306	12,775	52,081	48,172	895	10,589	-	3,909
51.7.~52.6.	46,409	36,379	12,775	49,154	31,345	669	20,649	5,507	12,302
52.7.~53.6.	106,798	40,956	12,810	53,766	37,569	708	64,353	146	16,051
53.7.~54.6.	37,322	40,834	12,775	53,609	30,266	680	-	435	18,908
54.7.~55.6.	88,084	37,574	12,775	50,349	39,328	771	46,731	390	10,631
55.7.~56.6.	55,768	38,726	12,715	52,501	42,405	804	13,199	3,027	7,069
56.7.~57.6.	79,766	36,779	12,870	49,589	43,859	946	33,243	-	5,780
57.7.~58.6.	64,020	38,421	12,775	51,196	42,308	795	20,917	-	8,888
58.7.~59.6.	76,345	38,643	12,715	51,418	48,981	1,028	33,026	-	2,437
59.7.~60.6.	106,971	40,647	12,775	53,422	39,906	788	65,948	558	12,958
60.7.~61.6.	67,620	37,373	12,870	50,183	34,201	792	27,660	-	15,982
61.7.~62.6.	120,845	35,942	12,715	48,717	43,909	866	75,607	-	4,808
62.7.~63.6.	90,653	38,299	12,775	51,074	43,400	856	45,478	-	7,674
63.7.~64.6.	106,583	36,998	12,775	49,773	49,773	1,046	56,307	-	-
64.7.~65.6.	74,636	37,802	12,810	50,612	49,049	1,100	29,734	-	1,563
65.7.~66.6.	37,717	37,262	12,775	50,037	30,227	682	1,018	3,008	16,807
66.7.~67.6.	95,057	37,576	12,775	50,351	49,526	1,013	44,975	-	825
67.7.~68.6.	86,290	31,922	12,715	44,697	42,637	925	42,706	-	2,060
計	1,606,386	757,167	255,675	1,012,842	840,078	17,338	749,456	17,995	154,769
平均	80,319	37,858	12,784	50,642	42,004	867	37,473	900	7,738

六、結 論

(一)建設水庫一座所費不貲，如何使其發揮建設之目的，福祉民生，為水資源經濟利用之努力方向。水庫建設時即釐定運用基準線及營運規則，期使管理最佳化。近年來水庫營運由於：(1)觀測設備進步，(2)數值水文學發展，(3)資料處理系統廣泛運用，(4)系統分析最佳運用四方面之配合；將有助於水庫運用效率之提高；基於「水資源節省即是開發，水資源經濟利用即是節省」之觀念，有效及充分利用水庫，為當今開源政策之一。

(二)本研究探討以數理模式中，模擬模式及最佳模式釐定水庫運用基準線之方法。模擬模式可藉計算機程式迅速求得，結果視模擬精確度而定，但已比以往之限制性基準線求法快捷有效，惜無法於模擬過程中使系統達到綜合最佳效益，此為其缺點。最佳模式基於使目標函數最佳化之原則可以求得營運最佳決策。

(三)動態規劃應用於水庫營運管理為當今世界先進國家研究水庫管理之趨勢，因其針對各水庫系統特性，制定遞歸函數，依循最適化原則，求取系統最佳收益。由於目標函數制定，以經濟因素中收益及成本作為決定放水策略之主要方法，因此各標的需水應能以量計價之方式較適合；例如以電力出量為主之水庫系統（本省以大甲流域德基、谷關、青山，天冷串聯水庫系統；日月潭與霧社水庫屬之）採用動態規劃釐定運用基準線及運用規則較合宜。未來新興水庫規劃，以自來水、公共給水、工業給水為主之水庫或串聯水庫亦可採用動態規劃求得最佳效益。

(四)由於本省灌溉用水並非以量計價，各生長階段之收益無法以金錢衡量，因此運用基準線之釐定尚難以採用動態規劃。本研究探討以各生長階段對水需求度及缺水權因子作為放水之權重因素，求取最佳營運歷線。計算機之快速求解，節省眾多之人力與時間。根據水庫所有記錄年之營運歷線，點繪列表；採用水利局規劃總隊提出之上、下限創新求解觀念，助益吾人求得一組最佳運用基準線。上、下限求解之特性是根據水庫歷年運用歷線，決定一組出現率最適切之運用基準線，使水資源豐水溢流現象及水資源水枯節水情形大為減少；亦即基準線之釐訂不過份保守或高估，深入考慮水文風險之因素，期使水資源於有限水庫容量空間內充分利用

，發揮水庫最佳功能。

(五)農業用水佔本省水資源利用量之70%以上，灌溉配水管理科學化為今後必然趨勢，一套有效、迅速、精確之配水營運模式為水庫灌區農業用水所必需，亦為具有農業用水標的之水庫釐訂正確運用基準線之必備工具。本研究根據水稻生理需水程度，釐定其需水權重分配供水量，並利用線性規劃之理論，決定水庫運用基準線使農業用水合理化，並期使科技進步亦能促使農業增進用水效率，達到以農業安國之目的。

(後註：本研究之計算全部使用電算求作，讀者如須用本文中之任何電算程式，請來函索取，筆者樂意提供。)

誌 謝

本研究承行政院農業發展委員會補助經費，研究期間復承該會農業資源處水利組及資料處理中心諸位先生之支持與協助，以及臺灣大學農業工程研究所有關教授之提供卓見；又農發會資料處理中心准予使用 IBM 電腦及部份使用臺灣大學電子計算機中心之 UNIVAC 電腦，新苗農田水利會提供資料，而使本研究能以順利完成，謹此一併致謝。

參 考 文 獻

1. 朱健行，應用數理規劃建立水庫運用基準線配合合理農業用水之研究，71年6月，臺灣大學農業工程研究所碩士論文。
2. 胡文章，線性規劃在水庫規劃及操作之應用，66年，臺灣水利季刊，第25卷第一期。
3. 水利局，後龍水庫工程計畫報告，52年。
4. Labadies, J. W., 1975. Water Resources Systems Analysis, Lecture Note, Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins, Colorado (未出版)。
5. 劉佳明，桃園地區水源有效利用與管理改善之研究，臺大農工系，67年。
6. 徐國振，河川水庫系統操作線上型決策模式之比較研究，成功大學水利工程研究所，碩士論文，67年。
7. 水利局規劃總隊，明德水庫淤積測量及水量運用研究報告，69年。
8. 汪呈因，稻作學與米，徐氏基金會。
9. Daniel P. Loucks, et al., Water Resources Systems Planning and Analysis, 1981.