

模擬法及遺傳演算法應用於明德水庫操作規線之研究

鄭皆達⁽¹⁾ 陳裕仁⁽²⁾

摘要

由於台灣地區降雨在時間、空間上分佈極為不均，乾溼季及南、北部之降雨差異亦十分顯著，造成水資源調配上之困難，國內用水需求日增，使得水資源之調配、運用越來越依賴水庫的儲存與調節。鑒於優良壩址難尋建造成本越來越高及近年來環保意識高漲等因素因此如何改善現有水庫操作方式以儘可能滿足各服務標的，且有效運用現有水庫資源使水庫永續發展經營，乃當前首要研究課題。本研究運用模擬法與遺傳演算法水庫操作模式，以明德水庫為例找出明德水庫近似最佳操作策略，並將結果比較以期能達到提高水資源之利用效率。由結果可知以遺傳演算法所得操作規線之旬缺水指數(SI)2.51 較小，其總缺水量 380.1 萬立方公尺亦較少，以旬缺水指數為目標函數時，主要在減少缺水情況之發生，此結果可反應於降低總缺水量。因此就充分利用水資源而言，宜採用遺傳演算法所得操作規線進行水庫運轉。可提供水庫管理局決定未來操作之參考策略。

(**關鍵詞**：模擬法、遺傳演算法、水庫操作規線)

Application of Genetic Operation and Simulation on Min-Deh Reservoir for Optimal Water Supply Regulation

Jie-Dar Cheng⁽¹⁾ and Yu-Jun Chen⁽²⁾

Professor and Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402.

ABSTRACT

Generally, due to the rule curve is the accordance of release , setting of rule curve has great influence to the efficiency of water resources management. Resulting from the continuous increase in water demand, water resource management is becoming more significant. Consequently, it's momentous to determine an optimal reservoir operating schedule for effective water distribution among different users. This study uses Simulation method and an intelligent control theorem incorporated with Genetic Algorithm(GA) takes Min-Dar reservoir as an example for searching more appropriate operation rule curves in order to achieve the optimum reservoir operation. The results

(1)國立中興大學水土保持學系教授

(2)國立中興大學水土保持學系碩士班研究生

show that the Genetic Algorithm is better than Simulation method. It is expected that this study was provide the reservoir administration bureau for reference in the future operation.

(**Keywords** : Simulation Method ,Genetic Algorithm Method, Reservoir Operation Rule Curve.)

前言

在地表水利用方面，水庫為一重要蓄水措施，興建水庫正是為了改善上述這種缺水情況，並調節可用水量在時間上分配不均的情況。鑒於優良壩址難尋，與建造成本越來越高，且近年來環保意識高漲等因素，興建水庫極為困難。因此如何改善現有水庫操作方式以儘可能滿足各服務標的，且有效運用現有水庫資源使水庫永續發展經營，乃當前首要研究課題。

多年來為了提高水庫使用效益，學者利用各種方法，尋找較佳的水庫營運方式，並且進一步的訂定操作規則，提供作為水庫操作人員操作的參考依據。水庫操作規線為水庫操作規則之一，其操作的原則是依據水庫各時期蓄水狀態與規線標定水量的高低關係決定。因此各時期規線標定水量的制訂將影響水庫運作的優劣。而水庫操作規線的研究分為模擬法與優選法兩類，模擬法是一種分析物理系統運轉的技巧，它將一個系統基本的特性與行為複製下來，模仿實際系統行為，被廣泛地用在解決問題之上，但是無法一次求得最佳方案，並無法保證所求為適合的規線。雖然優化模式在理論上可以求得最佳規線，但是以往優化操作規線的研究，多以線性規劃或動態規劃的方法求得最佳水位歷線，再利用統計分析得以年為循環單位的機率水位線，選取數組不同機率的水位線為候選規線，配合歷史資料以局部搜尋與試誤法選出結果較佳的做為操作規線。

遺傳演算法即優選模式中之一種，是以達爾文(Darwin)的進化論為基礎，由生物演化機制物競天擇、適者生存為理論架構發展而來的優選方法，透過親代產生子代之繁衍過程，協助於可行環境中搜尋最佳解。由於

目前電腦記憶容量與速度等功能日趨完善，使得優選技術能更有效且便捷地應用於水資源規劃。國內有郭振泰(1985)等將動態規劃優選模式應用於石門及翡翠水庫並聯操作分析；郭振泰等(1986)利用間斷微分動態規劃(DDDP)優選淡水河流域水庫系統之操作；陳莉(1995)將遺傳演算法應用於優選水庫操作規線；張斐章等人(1995,1998,1999)亦分別以模糊序率動態規劃、灰色模糊動態規劃應用於水庫旬流量操作等。

本研究應用模擬法與遺傳演算法分別求出水庫較佳操作規線，期望結合傳統模擬法與遺傳演算法之優點進行水庫操作演算，即結合水庫傳統操作策略與智慧型遺傳演算法水庫操作模式，並以明德水庫為例，找出明德水庫近似最佳操作策略，再將結果加以比較分析，期能提高明德水庫水資源之利用效率，並避免發生乾旱現象時嚴重缺水，以有助於水庫操作。而本研究內容包含：(1)建立明德水庫操作之目標函數與限制條件，再根據水庫歷史資料以遺傳演算法搜尋系統之近似最佳解，即水庫之較佳放流歷程。(2)將模擬法所擬定的規線(SIMULATE)與優選所得的新規線(GA)水庫進行模擬分析，以評核上述二條規線何者較為理想。(3)檢視評核結果並修正得較佳操作規線。

研究地區

本研究選擇苗栗縣頭屋鄉之明德水庫作為研究地區(如圖1)，明德水庫即明德湖，舊稱後龍水庫，壩址位於後龍溪流域北部頭屋鄉老田寮溪下游之明德村附近，即位於苗栗市東北東方約8km、竹南南方12km處，壩址距海最近距離為12km，水庫灌溉區北起中港溪南岸，南至後龍溪下游北岸，東接竹南

丘陵，西面臨海；灌溉區南北長約 9km，東西寬約 7km，距後龍溪出海口直線距離則約 15km，集水區面積 61.08 平方公里，流域平均標高 330m，集水區周邊標高平均 480m。主河道河床坡降約為 1/46，兩岸山坡較陡但蜿蜒河床內灣處均有開闊之階地，故地形尚稱穩定。區中小溪短溝眾多遍佈南岸，河形並無顯著特性。



圖 1 明德水庫位置圖

Fig. 1 Location map of Min-Dah reservoir

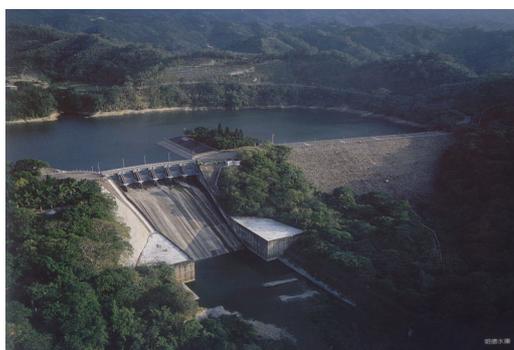


圖 2 明德壩溢洪道

Fig. 2 Spillways of Min-Dah Reservoir

明德水庫目前由苗栗農田水利會管理，主要設施包括滾壓式土壩、溢洪道、導水隧道、出水工等與水庫相關之設施，主壩為滾壓式土壩，壩高 35.5m，壩頂標高 65m，壩頂長 187m，水庫正常水位標高 61m，最高洪水水位標高 63m，滿水面積 1.62 平方公里，總蓄水量為 1,770 萬 m³，計畫有效蓄水量為 1,650 萬 m³，目前之有效蓄水量為 1,325 萬 m³，計畫年運用水量為 4,793 萬 m³，目前之

計畫年運用水量為 4,450 萬 m³。溢洪之道設計流量為 1,200cms，最大尖峰流量為 1,950cms，六座控制水門寬 8 公尺高 6.16m，明德壩溢洪道如圖 2 所示

明德水庫為一兼具調節洪流及供應灌溉、公共、工業、民生用水之多目標水庫。其歷年運用情形說明如下：

1.水庫容量

明德水庫水位-容量-面積曲線如圖 3 (2002 年淤積測量結果)。

2.實際供水量

明德水庫歷年水量運用紀錄如表 1，其中最大供水量為 1980 年之 4,613.94 萬 m³，最小供水量為 1989 年之 2,881.98 萬 m³ 苗栗農田水利會(2003)。

3.進水量

明德水庫之年平均進水量為 8,884.36 萬 m³，其中最大進水量為 2001 年之 16,483.90 萬 m³，最小進水量為 1987 年之 4,652.10 萬 m³。

4.洩洪量

明德水庫之年平均洩洪量為 5,304.56 萬 m³，其中最大洩洪量為 2001 年之 12,410.60 萬 m³，最小洩洪量為 1980 年之 457.50 萬 m³。

5.洩洪率

洩洪率=洩洪量/進水量，歷年平均為 0.56 (即 56%)。

6.進水量利用率

進水量利用率=實際供水量/進水量，歷年平均為 0.46。

7.水庫效率

水庫效率=實際供水量/水庫有效容量，歷年平均為 2.57 次。

由以上資料可知明德水庫歷年水資源利用率(進水量利用率)為 0.46，歷年平均水

庫效率為 2.57，顯示明德水庫進水量利用效率尚可。

研究方法

1.水庫操作規線

制定規線需考量水庫有效容量、進水量的水文過程、用水需求型態及枯旱水源不敷需求時之限水標準等因素。

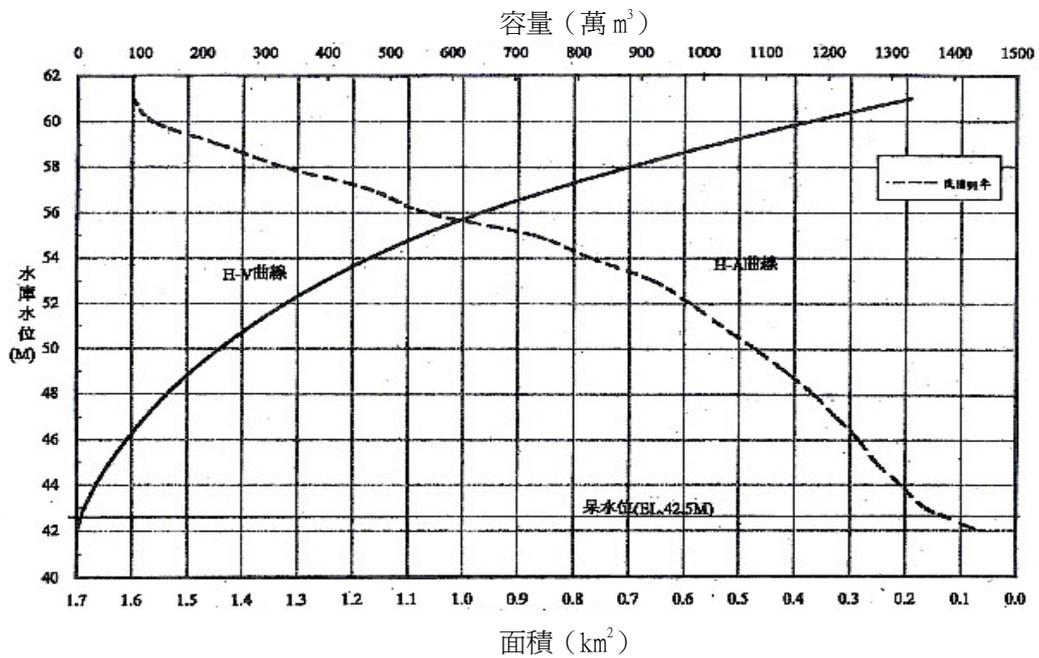


圖 3 明德水庫 H-A-V 曲線圖(2002)
Fig. 3 H-A-V curve graph of Min-Dah reservoir(2002)

表 1 明德水庫年水量運用紀錄表(1972~2002)
 Table 1 Water yield application list of Min-Dar reservoir(1972~2002) 單位：萬 m³

年度別	進水量	計畫供水	灌溉用水	工業用水	公共用水	供水合計	缺水量	洩洪量	損耗水量	有效容量	洩洪率	進水量利用率	水庫效率
1972	11307.40	4453.96	2854.28	132.81	*	2987.09	1466.87	8681.10	112.70	1563.50	0.77	0.26	1.91
1973	4838.10	4449.06	2998.95	132.45	*	3131.40	1317.66	1772.90	111.00	1511.00	0.37	0.65	2.07
1974	10457.20	4449.06	2860.79	132.45	*	2993.24	1455.82	7027.60	108.60	1500.00	0.67	0.29	2.00
1975	12017.70	4449.06	3506.42	132.45	*	3638.87	810.19	8312.70	119.20	1489.00	0.69	0.30	2.44
1976	7584.90	4453.96	3614.83	132.48	246.46	3993.77	460.19	4458.40	106.40	1482.50	0.59	0.53	2.69
1977	7542.80	4449.06	2774.17	132.49	507.86	3414.52	1034.54	4239.90	84.70	1476.00	0.56	0.45	2.31
1978	7246.10	4449.06	3281.70	483.34	618.30	4383.34	65.72	2422.90	103.50	1469.50	0.33	0.60	2.98
1979	9420.70	4449.06	2968.04	165.70	606.81	4040.55	408.51	5546.30	98.90	1463.00	0.59	0.43	2.76
1980	4856.40	4453.96	3442.20	485.59	686.15	4613.94	0.00	457.50	95.90	1456.50	0.09	0.95	3.17
1981	15137.60	4449.06	2356.47	432.39	653.84	3442.70	1006.36	11114.80	93.50	1450.00	0.73	0.23	2.37
1982	8507.20	4449.06	2687.84	475.24	650.82	3813.90	635.16	5310.90	110.00	1443.50	0.62	0.45	2.64
1983	9836.00	4449.06	2202.37	491.20	574.73	3268.30	1180.76	7114.20	83.30	1437.00	0.72	0.33	2.27
1984	11070.20	4453.96	1919.02	538.88	536.96	2994.86	1459.10	8001.30	90.10	1430.50	0.72	0.27	2.09
1985	11036.30	4449.06	2809.28	397.25	615.75	3822.28	626.78	6710.30	111.10	1424.00	0.61	0.35	2.68
1986	8281.90	4449.06	2436.16	486.75	743.96	3666.87	782.19	4771.70	109.90	1417.50	0.58	0.44	2.59
1987	4652.10	4449.06	2361.76	324.04	349.19	3034.99	1414.07	1422.30	104.60	1411.00	0.31	0.65	2.15
1988	5167.70	4453.96	2656.71	421.20	420.01	3497.92	956.04	1832.70	109.20	1404.50	0.35	0.68	2.49
1989	4963.20	4449.06	1990.00	406.70	485.28	2881.98	1567.08	3356.60	*	1398.00	0.68	0.58	2.06
1990	11010.30	4449.06	2501.46	309.59	462.74	3273.79	1175.27	9680.50	*	1395.16	0.88	0.30	2.35
1991	5077.60	4449.06	2758.85	347.49	646.52	3752.86	696.20	1340.90	*	1392.32	0.26	0.74	2.70
1992	8411.00	4453.96	2587.33	339.02	799.48	3725.83	728.13	4398.10	*	1389.48	0.52	0.44	2.68
1993	5008.90	4449.06	1814.91	390.80	785.66	2991.37	1457.69	2667.10	*	1386.40	0.53	0.60	2.16
1994	10467.10	4449.06	2169.29	348.62	852.73	3370.64	1078.42	6000.30	*	1383.80	0.57	0.32	2.44
1995	7245.10	4449.06	2829.25	363.36	1169.61	4362.22	86.84	3212.60	66.00	1383.80	0.44	0.60	3.15
1996	12837.30	4453.96	2132.03	367.86	1189.54	3689.43	764.53	8726.70	56.70	1383.80	0.68	0.29	2.67
1997	12032.20	4449.06	2275.96	385.15	1230.41	3891.52	557.54	7300.90	108.48	1426.70	0.61	0.32	2.73
1998	11253.60	4449.06	2321.70	391.74	1216.90	3930.34	518.72	6788.40	68.39	1405.92	0.60	0.35	2.80
1999	5188.10	4449.06	2689.80	389.14	1435.58	4514.52	-65.46	1306.90	102.48	1390.53	0.25	0.87	3.25
2000	12213.90	4453.96	2874.01	94.73	1347.31	4316.05	137.91	6964.40	100.69	1348.72	0.57	0.35	3.20
2001	16483.90	4449.06	3103.97	79.90	1315.53	4499.40	-50.34	12410.60	98.90	1325.22	0.75	0.27	3.40
2002	4262.60	4449.06	1775.29	130.94	1260.75	3166.98	1282.08	1088.01	136.09	1325.22	0.26	0.74	2.39
平均	8884.36	4450.32	2630.80	327.15	792.92	3770.18	833.82	5304.56	99.61	1472.14	0.56	0.49	2.65

使水庫供水能配合蓄水量做有計劃性的放水，如此一來雖各用水標的因無法自由用水感到不適，但與因無法供水需作全面停水，或使缺水時間提早來臨及延長停水時間相較之下為佳。本次評估將利用模擬法與遺傳演算法推求水庫操作規線，並將所得的結果進行比較分析，評核上述二條規線何者較為理想。

2. 旬缺水指數

建立優選模式的目標時，希望儘量平均的多供水，使嚴重缺水情況改善。水庫缺水程度之評估指標甚多，本研究採用旬缺水指數(Shortage Index; SI)為主要評估指標之一。其公式可表示如下：

$$SI = \frac{100}{\bar{n}} \sum_{i=1}^{\bar{n}} \left(\frac{s_i}{d_i} \right)^2 \quad (1)$$

上式中， s_i 為第 i 旬之缺水量， d_i 第 i 旬之計劃需水量， \bar{n} 為分析總旬數。

3. 模擬法

模擬法是一種分析物理系統運轉的技巧，它將一個系統基本的特性與行為複製下來，模仿實際系統之行為，被廣泛地用在解決問題之上，但是無法一次求得最佳方案，須依賴大量計算以試誤法(trial and error)得到設計方案，是其最大缺點(萬象 1992 年)；其優點是在實務上，能方便提供決策者做為分析、決策之用，且能反應出系統當時的情況與臨時的需要。

運用模擬法制定水庫運用規線的概念在於了解所選擇的開發計畫用水後，模擬各時期水庫水位變化情形及其缺水、溢流情況。以期在實際供水中，當水位降至某種程度時，適時加以節制供水。

利用水庫蓄水模擬之運用過程線，將各旬水庫相同機率的水位連線為運用基準線，根據不同的上限頻率水位配合下限、嚴重下

限頻率水位，配合水庫模擬運用結果選擇水庫運用規線。

4. 遺傳演算法

遺傳演算法(Genetic Algorithms, GA)是由 John Holland 在 1975 年所發展出來的是一種最佳化的搜尋演算法，主要的構想是由達爾文的進化論“物競天擇，適者生存”，經由變數之編碼(Coding)而成染色體(Chromosome)經由族群適應性(Fitness)計算，然後透過配對選擇(Selection)、交配(Crossover)、突變(Mutation)產生後代的過程，逐漸逼近最佳解。以遺傳演算法來優選理想之運轉規線時，希望在整個可行解空間中有效地逼近於近似最佳解(Furuta, H., K. Maeda and E. Watanabe 1995)。演算過程敘述如下：

(1) 編碼(Coding)程序

遺傳演算法乃是針對編碼後的字串(基因)進行演算之工作，將變數經由選定的編碼方法轉換成一定長度之字串。本研究乃是二進位編碼法，初始族群中各個個體的基因值可均勻分布的隨機來生成。

(2) 適合度函數(Fitness Function)

此乃對於可能解之染色體，定義一個衡量的函數，藉一評估族群中每個個體的優劣，並做為擇偶機會的依據。建立優選模式的目標函數時，希望儘量平均的多供水，使嚴重缺水情況改善。本研究採用旬修正缺水指數 MSI 為最小，達到減低旱災損失的效果。

(3) 選擇(Selection)複製

以現有的族群為親代，選出用以複製子代之個體，每一組解即每一個體被選中之機率取決於該組解之適合度。本研究乃是以相互競爭選取法(Tournament Selection)，就是每次隨機選取兩個競爭個體，找出適合度較佳之母代，再重覆一次找出另一個適合較佳之母代，由這二條母代進行交配產生子代。

(4) 交配 (Crossover)

篩選出之親代，以每次兩個染色體為一組，隨機根據預定之交配率 (Crossover Probability)，決定是否進行交配及交配的位置。而每次二條母代之染色體之交配可產生一條或二條子代，而交配之方法有單點交配、雙點交配及均勻交配。

(5) 突變 (Mutation)

突變在演化過程中，扮演著增加差異與避免落入區域最佳解之中，並維持群族之多樣性，防止早熟的情況產生。利用突變可使遺傳演算法在搜尋的過程中，使搜尋的點更為零散，並有保持染色體具有多樣性的優點，因此可有效防止搜尋的過程中遺漏了一些重要的訊息。

(6) 菁英保留

菁英保留之原則乃保存母代中一定比例之適合度較好之染色體，可使最好之染色體不會因每代之演算而消失。

(7) 設定終止條件

世代之演化是無止盡的，但在電腦的處理過程中，須給定一結束條件，否則會造成無窮迴圈，常見的考量點為時間。為避免耗費過多處理時間，可以設定於執行幾代後停止，或執行多少小時後停止，來限制搜尋時間。各項參數值與設定值之選擇如表 2。

5.遺傳演算法的演算架構

遺傳演算法的進化循環可一直重複直到達成滿意終止條件為止，此條件也能藉由設定一固定的迴圈數來完成，本文是以 100 代搜尋連續 30 代都找不到更好的解就收斂為設定條件，程序如圖 4。

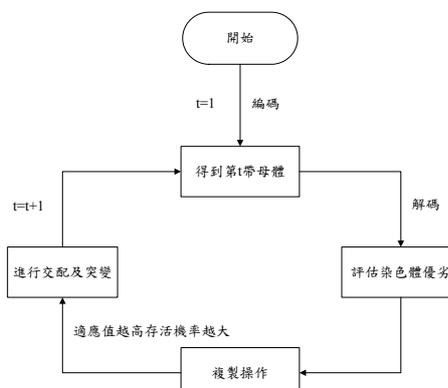


圖 4 遺傳演算法循環圖

Fig. 4 Genetic algorithm circulation scheme

而利用二位元編碼的遺傳演算法演算之步驟如圖 5，在此程序中每一次的疊代 (iteration) 稱為一個世代 (generation)，全部的繁衍集成做一個行程 (run)，在一行程的最後群集中經常出現一個或多個高適合的染色體。

表 2.各項參數值及設定值

Table 2 Parameter value and establishment value

染色體數目	100 條
交換率	0.8
突變率	0.001
每一變數之編碼長度	7 個位元
總字串長度	7×72=504 個位元
每代菁英個數	4 個
收斂條件	至少經過 100 代的搜尋，連續 30 代都找不到更好的解就收斂。

6.決策變數控制

首先應將問題中的自變數編碼成染色體，而在優選規線的問題方面，乃是以運轉規線形狀編碼，將規線轉折點的應先將代表一條規線的36 個變數加以編碼，即為36 句

之規線水位值。由於水庫之運用規線形狀是由片斷直線連接而成的折線，只要決定此條規線上36 個連接點的位置，就可藉由遺傳演算法優選規線的形狀。

7.優選求解之方法

由遺傳演算模式產生一組規線參數值，當模擬模式有了此組規線時，就可以依照其數值來放水，然後可得到一個目標值，即為缺水指數，再將此值傳回遺傳演算模式(GA)中，GA 即會自動找出一組較佳之操作規線，直到達到終止條件為止。

8.明德水庫運轉操作實力分析

(1) 水庫運轉操作規則

明德水庫為有效執行蓄水利用運轉，依水庫蓄水量劃定界線以表示水庫存水豐枯情形，分為上限及下限二種，並依下列規定辦理：

- 一.水位在上限以上時應按各標的常水年旬計值分配水量完全供應各標的用水外，工作站得參酌氣象預報資料，執行調節性放水降低蓄水量，以維壩體安全。
- 二.水位在上限與下限之間時，應減縮灌溉供水 20%、公共及工業用水 10%。
- 三.水位在下限以下時，應減縮灌溉供水 30%、公共及工業用水 25%。
- 四.水位在下限以下 30 天後，應減縮灌溉供水 60%、公共及工業用水量 50%。
- 五.前述枯旱時期減縮供水，若有標的無法滿足實際需求時，可依實際需求，依據水利法及其他相關規定協商辦理移用他標的分配水量，其補償費用亦依協商辦理。
- 六.蓄水量超過正常供水線時，得視各標的需要，超量供應其需或洩放，使降至正常供水線水準為止。
- 七.蓄水量在正常供水線與下限之間時，應按各標的基準供水供應。

八.蓄水量在下限與嚴重下限之間時，家用及公共給水按基準供水供應，農業用水與工業用水水量則按基準供水之 75% 供應。

九.蓄水量在嚴重下限以下時，家用及公共給水基準供水之 80% 供應，農業用水與工業用水水量則按基準供水之 50% 供應。

十.本水庫正常蓄水位標高為操作規線正常供水線標高 61 公尺，取水工設計取水量每秒 4.224 m³，溢洪道設計排洪量為每秒 1,200 m³，最大排洪量為每秒 1,950 m³。

十一.本水庫水量運用目標如下：

(一) 農業用水：包括台灣省苗栗農田水利會灌區，其灌溉面積 1317 公頃。

(二) 家用及公共給水：供水每旬 36 萬 m³，但在不影響前款標的用水時，最大供水每旬 39 萬 m³。

(三) 工業用水：在不影響前二款標的用水時，最大供水每旬 11 萬 m³。

上述水庫運轉原則整理如表 3 所示。

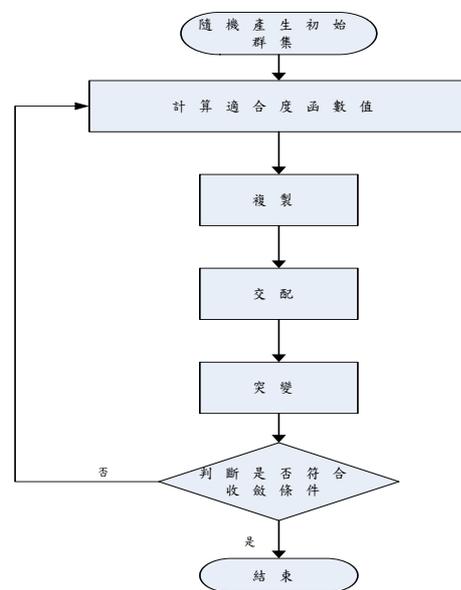


圖 5 遺傳演算法流程圖
Fig. 5 Flowchart of Genetic algorithm

(2) 水庫運轉模擬模式架構

模擬水庫運轉時藉由分析水庫未來可供水量。在模擬水庫運轉時水庫除需供給下游用水外，水庫放水量不得低於下游之保留水量，包括基流量或農業保留水量。茲設 S_t 、 S_{t+1} 為第 t 時期初、期末之水庫蓄水量， S_{min} 、 S_{max} 為水庫呆水位、滿水位容量，當水庫於 t 時期間數據分別以各符號代表， Q_t 為上游入流量， R_t 為下游保留水量， E_t 為蒸發量， O_t 為實際供水量， U_t 為溢洪量， A_{gt} 為農業保留水量， B_t 為基流量， h_t 為皿蒸發量， D_t 為計劃需水量， A_t 、 A_{t+1} 為第 t 時期初、期末之水庫表面積，以及 C 為蒸發皿係數並採 0.7 計之，模擬水庫運轉之平衡方程式可表示如下：

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - E_t - O_t - U_t \quad (1)$$

$$S_{min} \leq S_t \leq S_{max} \quad (2)$$

$$R_t \in \max\{A_{gt}, B_t\} \quad (3)$$

$$E_t = c \times \frac{h_t}{2} \times (A_t + A_{t+1}) \quad (4)$$

$$A_t = f(S_t) \quad (5)$$

$$O_t = \min\{D_t, S_t + Q_t - E_t - R_t - S_{min}\} \quad (6)$$

$$U_t = \max\{0, S_t + Q_t - E_t - O_t - R_t - S_{max}\} \quad (7)$$

其中水庫運用之規則如下：

- 一.採用單一水庫運用。
- 二.時距以旬為單位，模擬運用期距由 1972 年

1 月水庫蓄水量為 800 萬 m^3 開始演算，至 2001 年 12 月。

- 三.水庫蓄水量必須介於水庫滿水位與呆水位容量間 (2 式)，亦即水庫容量最小限度為呆水位容量，不足之出水量為缺水量 (6 式)；水庫容量最大限度為在滿水位容量，多出來之水量則溢流至下游河川 (7 式)。
- 四.水源運用演算時下游保留水量採農業保留水量與基流量之較大值者 (3 式)。
- 五.庫面蒸發損失量依據水庫工作站之平均月蒸發量，乘以皿蒸發係數及庫面面積而得 (4 式、5 式)。

(3) 模式之限制條件

一.蓄水限制式

水庫在興建時皆有設計其最大容量限制，明德水庫最大容量 1650 萬 m^3 ，以水位表示時，呆水位 < 水庫容量 < 最高水位。

二.供水限制式

水庫在運轉操作上，供水必須以水庫蓄水量多寡而定，在水庫操作供水限制必須依照上述規線之運轉規定為原則，來限制水庫於枯水期之供水量。

(4) 結果分析

本研究結果首先以 MATLAB 程式依上述水庫模擬架構撰寫一可重複執行的迴路，應用模擬法多次試誤推求水庫操作規線，後以遺傳演算法配合水庫供水應用搜尋明德水庫之較佳操作規線所得之規線如圖 6 所示。將模擬法所得之規線與遺傳演算法規線分別進行分析比較，其結果可列如表 4。比較結果可知以遺傳演算法所得操作規線之旬缺水指數 (MSI) 2.51 為較小，其總缺水量 380.1 萬 m^3 亦較少，以旬缺水指數為目標函數時，主要在減少缺水情況之發生，此結果可反應於降低總缺水量。因此就充分利用水資源而言，宜採用 GA 運轉規線進行水庫運轉。

爲了解所制定的運用規線之操作成效，茲引用1942年至2002年間明德水庫各年實際灌溉用水、工業用水、公共用水、洩洪量、進水量等統計資料，(如表1)進行分析得知，1987年屬進水量較少之枯水年，因此選定1987年各旬水量來檢視評估其新操作規線是否恰當，並檢討洩洪量是否恰當，以作爲水庫操作研究成果參考。爲方便檢効茲將營運節水準則整理如表3所示，若1987年度按GA所得操作規線供水，則在1月上旬至3月中旬及9月下旬至12月下旬等18個旬別均應

限制用水，其餘旬別可按計畫供水；若與模擬法推求水庫操作規線比較，則可減少7個旬期的缺水現象，發生缺水時之旬缺水量13.24萬m³亦減少，而且不會達到下限以下之水位得知缺水旬，由上述分析得知，在缺水旬別，皆可維持公共用水、工業用水正常計畫供水，只需要灌溉用水減縮供水即可，即GA所得規線較符合實際運用。

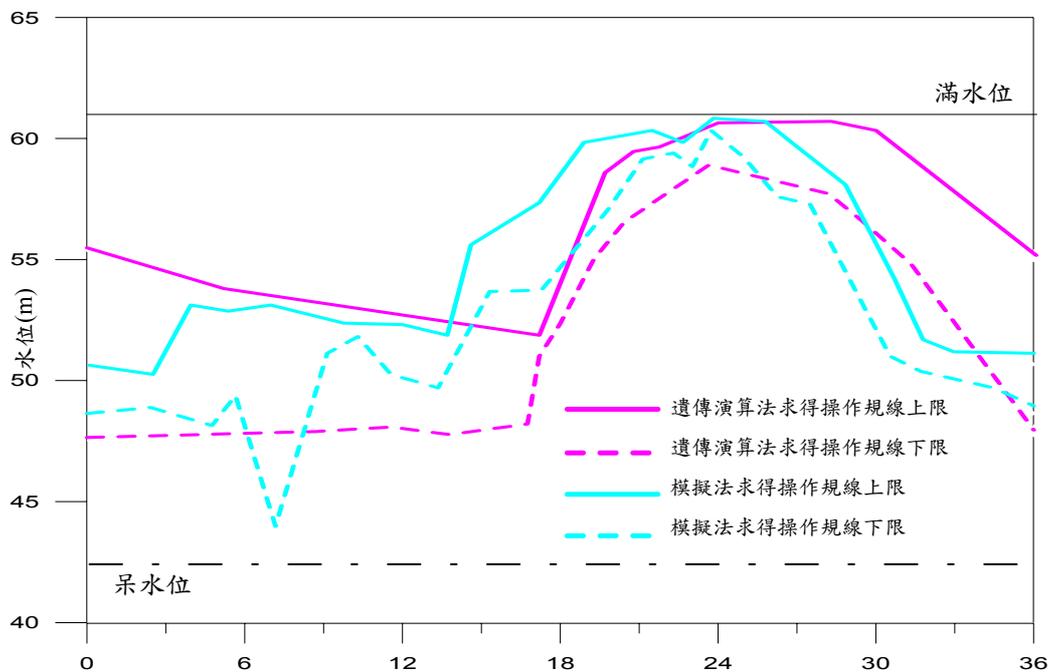


圖 6 明德水庫操作規線比較圖

Fig. 6 Comparison Operating rule curves of Min-Dah reservoir

表 3 營運節水準則表

Table 3 Operation criterion of water save

水位狀況	在上限以上	在上下限之間	在下限以下	在下限以下 30 天後
節水率(%)	正常供水	灌溉 20 公共及工業 10	灌溉 30 公共及工業 25	灌溉 60 公共及工業 50

表 4 模擬法及遺傳演算法操作規線進行分析結果一覽表 (單位: 萬 m³)

Table 4 Operating rule curves simulation analysed result of Min-Dah reservoir

規線型號		模擬法	GA
模擬起始水量		800	800
年平均入流量		9037.44	9037.44
年平均實際供水水量		4068.86	4068.86
年平均洩洪量		4695.94	4695.94
灌溉用水	計畫供水水量	2660.56	2660.56
	實際供水水量	2292.07	2378.20
	缺水水量	368.49	282.36
	缺水率(%)	13.85	10.61
工業用水	計畫供水水量	1241	1241
	實際供水水量	1157.5	1170.6
	缺水水量	83.5	70.4
	缺水率(%)	6.73	5.67
公共用水	計畫供水水量	547.5	547.5
	實際供水水量	508.5	510.3
	缺水水量	39	37.2
	缺水率(%)	7.12	6.80
總缺水水量		490.9	389.9
缺水率(%)		10.96	8.76
旬缺水指數(SI)		4.36	2.51

結論

我國多已運用規線規定水庫運轉蓄水的運用方式，但操作規線的組合數量無限，本研究探討基於規線本質，找出較佳之水庫操作規線。並藉由模擬法與遺傳演算法(GA)之結果比較可以發現：由於規線操作是採用『平均』較好的方式來操作，遺傳演算法除了豐水年有不錯表現外，對於枯水年之操作更可明顯改善模擬法所得之結果，此操作方式重點係將缺水情形平均分配在較多旬中，以避免缺水過於集中在某旬而造成嚴重損失因此遺傳演算法所搜尋之水庫近似最佳操作規

線，的確比模擬法較為適用。雖然遺傳演算法相較模擬法有著較佳成效，且能制定出許多擁有不同成效的規線，提供決策者選擇。並可以在決策者所能容忍的風險下制定出符合現況之水庫運用規線。但遺傳演算法是盲目的搜尋方法，在整個求解空間之過程中搜尋最佳解，在某些效益或限制條件無法明確定義之下，搜尋出來的結果可能會有跳動及不合理的現象產生。建議可嘗試不同的懲罰函數，或在懲罰函數的次方項多做不同的嘗試，使程式收斂至更合理的解。

目前明德水庫有效蓄水量 1,325 萬 m³，

僅占原設計值的 75.14%，對水庫營運操作有不利影響，因此，經濟部水利署即要求水庫管理單位重新檢討水庫操作規線；經由前述的遺傳演算法所獲致之結果，亦可用多目標決策分析的手法來判斷規線方案的良窳，並比較在不同環境條件下，各組規線之表現是否相當。台灣地區現行水庫操作規線之制定多以模擬法試誤而得，經檢視該諸規線之型式與限值大小，可發現其型態多未能配合供需間差異水量的時間分佈特性。傳統的運用規線並不適用於台灣每年豐枯變化明顯的水文過程。建議可嘗試以遺傳演算法重新檢視水庫操作規線來解決模擬法的缺失。

參考文獻

1. 向子菁(1999),「智慧型控制理論於水庫操作決策之研究」,國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。
2. 苗栗農田水利會(2003),「明德大埔水庫淤積測量計畫」。
3. 苗栗農田水利會(2003),「明德水庫第三次安全評估計畫」。
4. 徐義人(1995),「應用水文學」,一版,大中國圖書公司印行,台北。
5. 郭振泰、楊德良、陳鴻霞、林榮璋(1985),「石門及翡翠水庫聯合供水操作之模擬分析」,水資會,臺大土木工程研究所。
6. 郭振泰、楊德良、萬象、黃錦祥(1986),「淡水河流域水庫通用模擬模式及優選操作模式之發展與應用」,台大土木工程研究所,水利工程組研究報告 7505 號。
7. 郭振泰、楊德良、鄭美珍(1985),「動態規劃優選模式應用於石門及翡翠水庫並聯操作分析」,水資會,台大土木工程研究所。
8. 陳莉(1995),「以物件導向之遺傳演算法優選水庫運用規線之研究」,國立臺灣大學農業工程學研究所博士論文。
9. 張麗秋、張斐章(1999),「智慧型水庫即時操作控制系統」,中國農業工程學報, 45(4) : 18-30。
10. 張斐章、許榮哲(1999),「灰色模糊動態規劃於水庫即時操作之應用」,台灣水利, 47(1) : 44-53。
11. 張斐章、惠士奇(1998),「灰色模糊動態規劃於水庫即時操作之應用」,中國農業工程學報, 44(1) : 34-49。
12. 張斐章、黃金鐸、王文清(1995),「運用模糊序率動態規劃於水庫操作之研究」,台灣水利, 43(4) : 37-48。
13. 黃文政、李詩茜(2003),「翡翠水庫規線之探討」水資源管理 2003 研討會論文集 (上) : 3-113~3-122。
14. 萬象、陳昶憲、郭振泰(1992),「水庫優選模式目標函數與限制式之探討」,第六屆水利工程研討會論文集, pp.863-872 頁。
15. Furuta, H., K. Maeda and E. Watanabe (1995), "Application of Genetic Algorithm to Aesthetic," Microcomputers in Civil Engineering, Vol.10, pp.415- 421.
16. Holland, J. H (1975),., *Adaptation in Nature and Artificial Systems*, MITPress, Cambridge,.