

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

結合優化模式與系統模擬對水庫操作之研討(II)

Study On Reservoir Operation

Using Combination of Optimization and Simulation Techniques (II)

計畫編號：NSC 88-2313-B-002 -098

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：蘇明道 國立台灣大學農業工程學系 教授

Email : sumd@ccms.ntu.edu.tw

一、中文摘要

水庫操作方法之優劣會大幅影響水庫使用效率，目前台灣的水庫操作大多依據水庫操作規線，雖然簡單便利但稍嫌保守且缺乏彈性。本研究結合線性規畫之優化模式及系統模擬技術，以過去的操作管理資料為依據，求得較具彈性的操作規則來做為水庫放水的依據。研究中先以線性規劃建立優化模式對歷史性之記錄求其最佳之運轉方式，而後以統計方法由優化之結果推導出實際可用之操作法則，並利用系統模擬的技巧與統計上的序率優勢(Stochastic Dominance)來建立篩選及評估操作法則之模式。計畫中以石門水庫為研討範例，結果顯示所提出之方法確能降低水庫操作時面臨之未確定性，提昇水資源利用之效率。

關鍵詞：水庫操作、序率優勢、水資源

Abstract

Reservoir yield is greatly affected by the operating rule used. Most of the reservoirs in Taiwan are operated according to a set of ruling curves. Ruling curve operation is simple but rigid. It is not flexible to response to the change of input and output of the water system such as incoming stream flow or the downstream water demand. The objective of this study is to derive new operating rules for better operation of the reservoir. An optimization model was built for the target reservoir. Historical records of demand and supply were fed into the model. Operating rules were derived from the optimization results and evaluated with a simulation model based on stochastic dominance criteria. This joint use of simulation and

optimization will derive rules those are flexible and efficient with no future information needed as the optimization model did. The ShiMen Dam was used as study area and the results showed that the proposed algorithm may decrease the uncertainty during reservoir operation and increase the efficiency in water resource management.

Keywords: Reservoir operation, Water supply, Stochastic dominance,

二、緣由與目的

水庫操作在水資源利用上扮演相當重要的角色，近年來用水需求遽增，新水源開發不易，如何有效的操作水庫，充分利用豐水期之水量，並保持適當的蓄水量以應枯水期之所需，實為水資源系統管理之重要課題。以往有關水庫或水資源系統之運轉研討多建立在優化模式或系統模擬之技術上，但系統模擬涉及窮舉，在時間及經濟上並不可行；而優化模式因需要輸入全研究期間之相關資料(如入流量、需水量等)，所得結果雖為理論上之最佳解，但僅可視為對過去運轉之檢討，對未來之運轉決策助益不大。本研究的主要目的在推導較有效率的水庫操作規則，規則之推導需盡可能不利用未知之未來訊息，避免以往優化模式之缺失，僅由過去操作的資料找出明確可用的水庫操作法則。本研究利用過往之流量及需水量資料以線性規畫求得這段期間最佳之操作方式，再將所得的水庫蓄水量，依各旬的特性利用複迴歸推估下一旬蓄水量的迴歸式，最後利用旬蓄水量的推估式，來決定放水量，並利用系統模擬及序率優勢(Stochastic Dominance)

來建立評估操作法則的方法，以尋求簡明有效之操作規則，增加用水效率。

三、研究方法

本研究以線性規畫之方法，並利用電腦軟體 LINGO/PC，建立近似水庫實際操作之優化模式，利用已有流量記錄及水庫之需水量資料與水庫相關之資料(如蓄水量限制等)，輸入優化模式中以求得最佳操作結果，再利用所得之最佳操作結果，以統計方法複迴歸方式推導所需之操作法則，並以本研究之推導法則與其它相關研究推導之規線利用以往之流量記錄資料與 100 年之合成流量資料進行模擬操作，將所得之結果依缺水量、缺水期數、電廠放水量、超額放水量與溢流量五個部份，利用序率優勢來進行評估，比較各操作規線與操作法則在各方面之優劣，藉以提供水庫管理當局在運轉操作時的決策參考。本研究選定石門水庫作為研討對象，石門水庫位於大漢溪上游，為一兼具灌溉、發電、公共給水、防洪、觀光等多目標效益之水庫，且經常出現缺水之情況。研究中採用民國 53~83 年共 31 年之旬入流量作為模式之入流量資料；並以石門大圳、桃園大圳及水庫下游給水區等三個主要供水區域之計劃需水量為模式中之需水量，各給水區之需水量為各標的用水量之總和。

優化模式之建立

優化模式以使各給水區之缺水量最小及電廠放水量最大為目標函數。由於石門水庫同時供給石門大圳、桃園大圳及下游水庫用水區等三個給水區，若水庫發生缺水時，為使三個給水區同時減供相同比例之水量，故加入一缺水比例相同限制式。結果發現發生缺水時，優化結果會將缺水量集中在少數幾旬，形成幾個旬內完全不供水之不合理情形，為改善此情形並同時考慮缺水之比例應與現行水庫當局減供水量之比例相同，增加缺水比例限制式，以儘量符合實際之情形，結果摘要如表 1。

操作法則之推導

從優化模式所得的各旬蓄水量可發現同一旬的蓄水量變動很大，由於優化模式的結果是在已知全期入流量的情況下所求得的，各時期的水庫蓄水量為考慮前後時期入流量之結果，但實際操作水庫時並無法利用未來之資訊，例如在二月份時水庫

處於低水位時，並無法得知當年夏季是否會有颱風帶來大量雨量而做放水之決策，本研究乃嘗試不利用未來入流量資料，僅由已知的資料推求水庫最佳蓄水量，作為操作之依據。因蓄水量可能與許多變量有關，如前一句的蓄水量、前兩旬的蓄水量、或入流量、當旬的需水量等，可採用複迴歸的統計方式，由眾多的相關因子中，找出其決定係數 R^2 較高之推估式來作為水庫之旬操作規則，目前推估出之各種操作規則可歸類為下列四種方式：

1. A 法則：以前一句的蓄水量推求所得本旬之蓄水位。
2. B 法則：以前一句蓄水量及前二旬入流量來推求本旬之蓄水位。
3. C 法則：推估式無固定型式，盡可能加入變數以使所求得之推估式的決定係數 R^2 皆有較高的值，並得通過 F 檢定。
4. D 法則：剔除 C 法則中在水資源管理上較不合理之變數，使推估式具有較合理的解釋，但如此將使某些旬的推估式之決定係數 R^2 比 C 法則低。

序率優勢

水庫運轉操作會隨著操作規則之不同而產生放水量、缺水量等隨機變數，操作規則的優劣很難評比，因為在某種情況下 A 操作規比 B 操作規則好，但在另一些情況下 B 操作規則可能反而會比 A 法則好，本研究乃引入序率優勢 (Stochastic Dominance) 評估操作規則之效率。序率優勢為一種從許多不確定性可能的結果去驗證最好的機率分佈的工具。可分為第一階序率優勢(First Order Stochastic Dominance 簡稱 FSD) 及第二階序率優勢 (Second Order Stochastic Dominance 簡稱 SSD)。設有兩個分佈之機率密度函數 (pdf) g 、 f ，其累積機率分佈 (cdf) 分別為 G 和 F ，若對所有可能之 X_i ， $G(X_i) \leq F(X_i)$ 則依 FSD 可以評定分佈 g 大於分佈 f (如圖 1)。若變數 X 為放水量時，則 g 分佈所代表之操作方式比 f 分佈所代表者之效率高，就長期平均而言 g 的放水量高於 f ；反之，若 X 變數為缺水量時，則由第一階序率優勢可看出 f 法比 g 法好。但在某些情形下以 FSD 無法分別出優劣(如圖 2)，則須藉助 SSD 的方法來判別，其定義如式(2)。

$$\int_{x_i}^x G(x) dx \leq \int_{x_i}^x F(x) dx \quad \forall x_i \quad (2)$$

對水庫多種不同操作規則的比較，使用 FSD 和 SSD 的判斷標準能有效的將較佳的操作規則選出，在不考慮任何關於決策者的效益函數的假設上，此方法可有效的排除眾多不好的操作規則，其所依據的假設為決策者不喜歡有風險，然而此方法仍有其限制，因仍可能有一些不確定性未能依 FSD、SSD 的基準排出優劣之順序，仍有可能使兩種操作方式分不出優劣。

三、操作法則之評估

本研究依據石門水庫運轉操作狀況建立水庫操作之模擬模式，用 31 年之歷史入流量對各種操作規線(M5 規線，陳莉的 GA1、GA2 規線，自來水公司 W 規線與本研究所提之操作法則)進行模擬測試，並利用序率優勢以缺水量、缺水期數及溢流量來評估各種法則與規線之優劣，期能利用序率優勢找出較佳之操作法則。

以缺水量而言，由圖 3 可知，優化模式之結果明顯最好，現行之 M5 規線最差，最接近優化結果的為 C 法則，其次為 GA1、GA2 規線與 D 法則，三者利用序率優勢無法分別出好壞，D 法則在低缺水量方面比 GA1、GA2 規線差，但其餘部份 D 法則較好，而 GA1 規線整體來說比 M5 規線約提昇 30%，GA2 規線雖在缺水發生機率上明顯減少，但發生缺水時之缺水量有較高之趨勢。由圖 4 可知，就缺水期數而言仍以優化結果為最佳，M5 規線仍最差，C 法則最接近優化之結果，其次為 GA1、GA2 規線與 D 法則，其中 GA1 規線比 D 法則好，而 GA2 規線與 GA1 規線、D 法則以序率優勢難分軒輊。

連續 100 年合成資料之模擬結果

除以歷史流量模擬外，研究中並引用以時間數列入工合成流量方法繁衍之 100 年旬流量資料作模擬評估。其結果就缺水量而言以 M5 規線最差，C 法則與 GA1 規線以序率優勢評比難分高下，GA1 規線在低缺水量時比 C 法則好，但在中高缺水量時 C 法則較 GA1 好，兩者雖然無法利用序率優勢分別出好壞，但在水庫實際操作應較樂見多次少量之缺水而非短期而大量之缺水(見圖 5)。就缺水期數而言仍以 M5 規線最差，C 法則與 GA1 規線為最佳，其結果與缺水量結果大致相同(見圖 6)。

四、結論與建議

由模擬實際歷史記錄 31 年資料與合成流量 100 年資料之結果，本研究之推導法則在缺水量與缺水期數上，確實比現行之操作規線好，且與近來利用遺傳演算法所得之操作規線以序率優勢評比亦相差不多互有優劣，可確知利用優化模式以歷年記錄所求得之最佳操作結果，以複迴歸分析推導操作法則之方法確為可行，若繼續尋找更多之相關因子則所推導之法則會有更好之結果。

參考文獻

- 1.石管局，“石門水庫多目標運用統計表，1964~1994”
- 2.胡文章，“線性規劃在水庫規劃及操作之應用”，台灣水利 26(1)：15-29，1977
- 3.胡文章，“應用數理規劃建立水庫運用基準線之研究”，台灣水利 36(4)：1-13，1986
- 4.張斐章、陳莉，“目標函數對水庫即時操作之影響”，台灣水利 39(2)：50-57，1991
5. Bhaskar.N.R. and E.Earl Whitlatch “Comparson of Reservoir Operation Rules Using Linear and Dynamic Programming”，WRR 23(6):1027-1036, 1987
6. Su, Ming-Daw , Rangesan Narayanan, Trevor C. Hughes and A. Bruce Bishop “Evaluation of Municipal Water Supply Operation Rules Using Stochastic Dominance”，WRR27(7):1519-1527, 1991

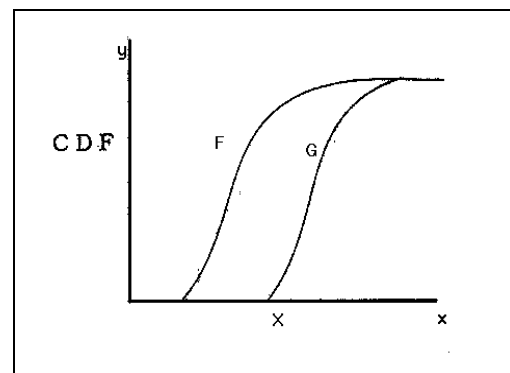


圖 1 第一階序率優勢圖

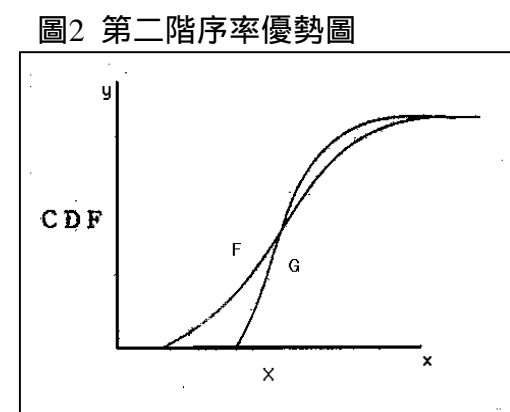


圖2 第二階序率優勢圖

表 1 31 年優化模式之各標的量

年份	放水量	缺水量	缺水期數	電廠放水量	超額放水量	溢流量
1964	73251	0	0	73031	0	0
1965	73251	0	0	92058	18807	0
1966	73251	0	0	122459	50986	0
1967	73251	0	0	114620	41586	0
1968	73251	0	0	153834	82971	0
1969	73251	0	0	158924	135685	42326
1970	73251	0	0	122023	50351	0
1971	73251	0	0	130865	82724	19995
1972	73251	0	0	135209	89573	21837
1973	73251	0	0	84481	11229	0
1974	73251	0	0	163708	94487	0
1975	73251	0	0	156589	86344	0
1976	73251	0	0	91291	18040	0
1977	73251	0	0	130024	58990	0
1978	73251	0	0	108205	35650	0
1979	73251	0	0	144268	74183	0
1980	73251	0	0	85222	12589	0
1981	73251	0	0	155887	86375	0
1982	73251	0	0	118145	46366	0
1983	73251	2829	7	134506	63652	0
1984	73251	4949	9	162953	94111	0
1985	73251	0	0	170572	107395	5829
1986	73251	0	0	177317	107296	0
1987	73251	0	0	144184	74104	0
1988	73251	0	0	99111	25859	0
1989	73251	0	0	142148	83211	9938
1990	73251	0	0	167449	140828	39243
1991	73251	0	0	121888	51075	0
1992	73251	0	0	174907	112865	4920
1993	73251	0	0	77242	3990	0
1994	73251	3374	5	164922	103798	4365
總和	2270793	11152	21	4078023	1941322	148455

單位：萬立方公尺

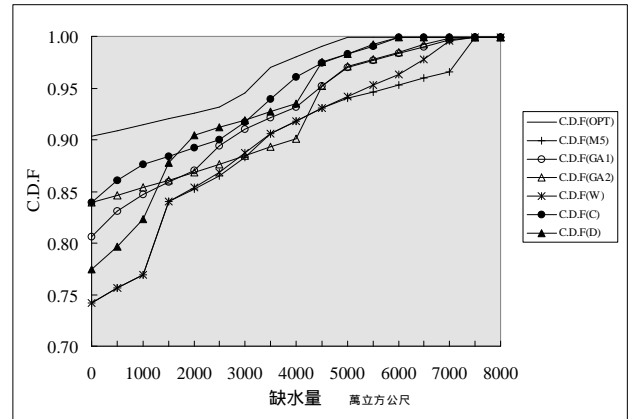


圖 5 100 年缺水量累積機率分佈圖

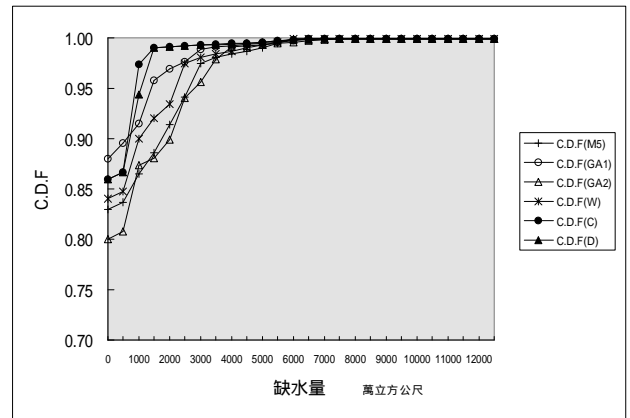


圖 6 100 年缺水期數累積機率分佈圖

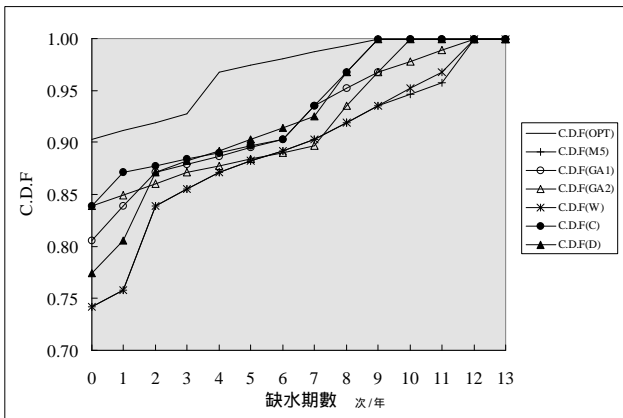


圖 3 31 年缺水量累積機率分佈圖

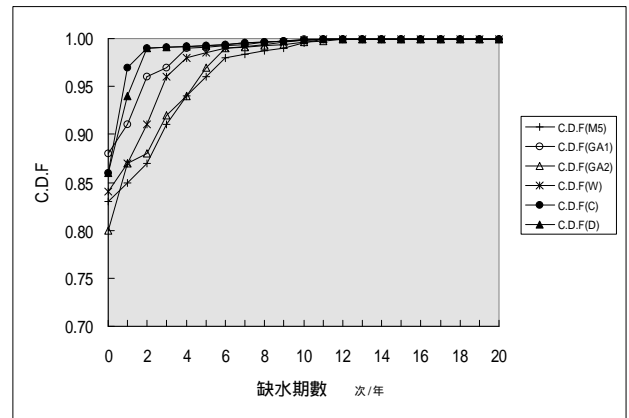


圖 4 31 年缺水期數累積機率分佈圖