

水庫發電效能與運轉規線關聯性之研究

Study on the Relation between Hydropower Efficiency and Rule Curves for Reservoir Operation

國立中央大學土木工程研究所
博士研究生

陳世偉*

Shih-Wei Chen

前崇右技術學院休閒事業經營系
副教授

林松青

Song-Ching Lin

國立中央大學土木工程系
教授

吳瑞賢

Ray-Shyan Wu

摘 要

水庫電力價值可分為容量與能量價值，前者指水庫可提供相當之可靠電力，效益較高，後者係水力電廠發多少電量，可獲得相應報酬，分為尖峰與離峰兩種不同電價，惟其效益較低。因此，水庫發電之最佳運轉除須供應保證電力外，儘量使發電量最大。實務上，考量水源有限，國內水庫運轉大多在不影響公共給水前提下，才兼顧發電之最大效益。再者，水庫運轉以規線為依據，且發電廠效率、出力與有效水頭係呈高度非線性關係，致運轉研究之難度相當高。基於應用觀點，本文旨在探討水庫發電效能與規線之關聯性，俾研訂最適發電規線。本研究結果顯示，適宜的水庫發電規線呈現等效率之帶狀區間，該區間之範圍取決於特殊枯旱年之流量條件，且在滿足公共給水之需求下，兼顧到發電最大效益。

關鍵詞：水庫，發電效能，水庫規線，發電標的。

ABSTRACT

Hydropower with water supply involves two parts, i.e., firm power and secondary power, respectively. Firm power is the amount of power that can be generated and produced with little or no interruption. Firm energy is the corresponding energy, and secondary power is generated in excess of firm power. The maximum power that can be generated by a hydropower plant under the conditions of normal head and full flow is called the plant capacity. Secondary power value is much lower than the plant capacity value. However, the volume of the available water limits the amount of energy generated by a hydropower plant. Furthermore, it is complex to determine the hydropower efficiency based on operating rule curves from the fact that hydroelectric power plant's

*通訊作者，國立中央大學土木工程系研究生，32001 桃園縣中壢市五權里 2 鄰中大路 300 號，S9322020@cc.ncu.edu.tw

efficiency, flow rate, reservoir head and storage relation being highly nonlinear. Therefore, there are practically an infinite number of possible scenarios related to hydropower effectiveness and reservoir rule curves. This result reveals that the optimal reservoir rule curve appearing in an isometric zone can attain the maximum hydropower efficiency and simultaneously satisfy the water supply demand. The zone width depends on the hydrological conditions in critical dry years.

Keywords: Reservoir, Hydropower efficiency, Rule curves, Hydropower purpose.

一、前言

電力是現代生活不可或缺的動力之一，更是經濟發展最重要的投入，不論是一般的傳統產業或是新興的高科技產業，無不以電力為動力，尤其是在能源缺乏的台灣，充裕的電力更是經濟發展的要鍵。但近兩、三年來，天然水文明顯變化，豐枯不均之程度加劇，用水量又持續增加，每逢春季便面臨「抗旱大作戰」，故如何利用有限的水資源是水資源開發重要課題之一。最常見的水資源利用方式是運用水庫，而水庫的功能除了給水與防洪外，發電也是相當重要之標的，因水庫式發電廠之發電效率、出力與水庫有效水頭係呈高度非線性關係，縱使是單一水庫，亦不易探討水庫發電運轉最佳化之問題。再者，目前國內外許多水庫之實際運轉仍以規線為主要依據，運轉標的包括公共給水、灌溉與發電，水庫經由規線之劃分，蓄水容量被分隔成若干個區間，各區間之大小非固定不變，而是隨旬或月變化，每一區間之放水規則依用水標的之不同而異。原則上，當蓄水位高於水庫上限時，儘量滿載發電，並於防洪期保留水庫水位不高於上限，以預留蓄洪空間；當水位介於水庫上、下限之間時，只供應保證電力與合約放水量；若水位低於下限，則減供各標的用水量。惟規線係根據長期歷史性流量資料及採用模擬試誤法所求得之最適者，故若有相當多的新增流量及輸砂量等資料，則須修訂水庫運轉規線。若為提高多座水庫聯合運轉下之水資源利用率，更須修訂各座水庫的運轉規線。

面對水文不確定的自然狀況，實際的水庫運

轉以規線為主要依據。國內水庫之運轉，因考量水源量有限及水資源有效利用，大多以不影響公共給水前題下，才顧及水庫系統最大發電量。在此運轉條件限制下，使得水庫系統聯合運轉更形複雜。因此，本文選擇淡水河流域之翡翠水庫為例，以模擬試誤方式，探討水庫運轉之發電最適規線與發電效率之關聯性，俾克服優化過程之非線性及多參數所衍生的困難。本研究結果可供水庫管理者瞭解之間變化情形，並供研訂最適規線之依據。

二、文獻回顧

近年因生態環境保護的意識覺醒，使興建新水庫日趨困難，故政策轉向充分利用有限的水庫蓄水容量，使盡其所能地滿足各項標的。國內許多對水庫系統最佳化運轉相關之研究大多著重供水標的之探討及採用缺水指標(shortage index)評估水庫整體運轉效能，進而訂出運轉準則或規線，供決策者參考。在有限蓄水容量下，一個多目標水庫之各標的是相互衝突的，如僅以缺水情況作判斷，不免顧此失彼，以致失去水庫多目標之本意。

過去，蓄水庫之水力發電即時最佳化運轉一直被多數專家學者認為是複雜又富有挑戰性之研究，國外之 Ackermann and P.Loucks (2000)結合非線性規劃及有限元素法建立「決策建議系統」(decision support system, DSS)，並將該系統運用在德國 River Mose 上之 Trier 水庫即時水位控制，以即時最佳水位控制演算法，對航運及水力發電提供即時運轉之選項，而 DDS 除用在單一水庫運轉外，亦可用在多座水庫的系統。

Yeh et al. (1992)發展「水火發電系統即時運轉系統之最佳化模式」(optimization model for real-time operation of hydrothermal system)，藉由該模式得到運轉之最佳化日排程，且強調流域的發電廠水力耦合(hydraulic coupling)運轉之重要性。Teegavarapu and Simonovic (2000)對加拿大 Winnipeg River 上之 4 座發電水庫之串聯系統，使用二位元變數(binary variables)結合非線性規劃法。國內對水庫式水力發電探討最熱絡者當屬大甲溪流域，大甲溪由上游至下游有數座水力設施，包括系列水庫、發電廠、發電水路、灌溉與自來水引水設施等。張黎方(2000)建立大甲溪流域水資源運用模擬模式，採用模擬法，找出系統影響因子及評估德基水庫不同運轉策略對公共給水潛能與發電量之影響，以供相關決策者參考，並建議大甲溪水資源運用策略。張育雅(2003)考量了不同的供水標的，以權重大小，來衡量各標的用水的優先順序，且整合遺傳演算法(genetic algorithm)、線性規劃(linear programming)與水庫模擬法，發展出新的水資源最佳調配模式，其成果顯示該模式的彈性及高效率，為相當實用而一般化的水資源調配規劃及評估模式；根據應用於大甲溪及大安溪之水資源最佳聯合調配模式結果，確認複合式規線較傳統的單一規線可進一步降低缺水風險。

通常多標的多座水庫系統應用反覆模擬(iterative simulation)方式可獲致很好的運轉規線，且適用用於分析之最後階段，以修正及測試不同之運轉規線。林松青等採用保持水庫水位指標相同原則之放水策略，藉由數學解析方式，並據以發展系統聯合運轉之模式；朱壽銓等針對水庫實際營運上所遭遇的問題，以模擬法，進行水庫模擬分析與探討，尋求理想之運轉規線。

三、水庫發電運轉概念

水庫運轉原則內的運轉規線區分出數個蓄水空間，每一個蓄水空間代表不同放水意義，按水位座落之區間與已被制訂之放水原則，水庫運轉者可實施放水，譬如，三條規線分別掌管不同放水標的：上限針對防洪標的，使水庫於豐水期

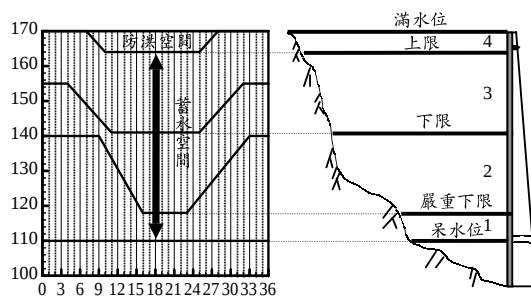


圖 1 水庫蓄水空間示意圖

時預留防洪空間以維護壩體安全；下限針對發電標的，辨別當時水庫蓄水量是否可讓發電廠進行滿載發電而不影響其他標的；嚴重下限則針對公共給水標的，當水庫蓄水量不足時，決定是否減供公共給水之水量，以延續可忍受的低供水日數，如圖 1 所示。

水庫式發電廠包含混合及抽蓄式發電廠及利用蓄豐濟枯之水庫運轉發電，又因發電廠特性可隨時開機運轉或關機，故經由改變水力發電廠計畫放水可與下游其他標的用水計畫配合運用，具有調配水資源功能。目前台灣設有力發電者包括翡翠、石門、德基、霧社、日月潭與曾文等六座大型水庫，其中翡翠、石門及曾文三座水庫及其所設發電廠之所有權均屬於政府，其發電用水量及供應下游之水源得由政府機構作最佳之調度。德基、霧社與日月潭三座水庫為大甲溪及濁水溪上游僅有之大型蓄水庫，所有權屬於台電公司，也成為調配水力發電用水，供應下游其他標的用水運用之主要水庫。

水力發電效益可分為二：其一為容量價值。水庫於起初規劃設計時，即設計出電廠裝機容量，提供 85% 以上可靠電力供台電公司於尖峰用電時刻使用，水庫單位與台電公司簽訂合約，在前述條件下，台電公司付單價極高之裝機費用，以翡翠水庫為例，容量價值計算方式為單價(元/千瓦)×7 萬千瓦，此為水力發電收益之主要來源。另一效益為能量價值，即電廠發多少電量，台電公司就付出多少報酬，該發電價值遠低於容量價值，且發電單價分為尖峰發電與離峰發電兩種不同電價。

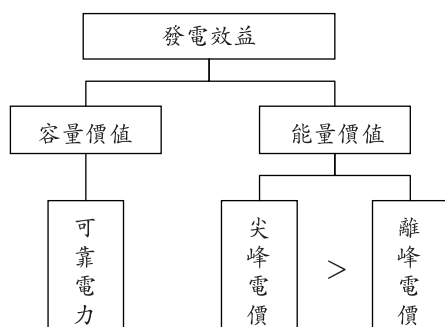


圖 2 發電效益分項圖

四、發電力及電力效益

1. 發電力

本研究之發電力係根據(1)式計算，其中， HP 之單位為馬力，一馬力相當於 $0.7457Kw$ ，式內之 Q 為經發電廠之流量，單位為 cfs ， r 為水之單位重 $62.4lb/ft^3$ ， h_e 為有效水頭， e_t 為發電廠渦輪機的運轉效率。

$$HP = \frac{e_t \gamma Q h_e}{550} \dots\dots\dots(1)$$

換算為公制，(1)式改寫為

$$HP = \frac{e_t \times 1000 \times Q \times h_e}{75} = 13.33e_t Q h_e \dots\dots(2)$$

若將 HP 之單位為馬力換算為 Kw ，(2)式改寫為

$$HP = \frac{e_t \times 1000 \times Q \times h_e}{102} = 9.8e_t Q h_e (KW) \dots(3)$$

至於發電量則為發電力與發電時間之乘積。電廠渦輪機運轉效率可為定值或水庫水位之函數，有效水頭為水庫水位減去尾水位，再減去落差損失 (hydraulic loss)，落差損失可為指定之常數或由下式估算：

$$H_l = \frac{CQ^2}{2g} \dots\dots\dots(4)$$

上式中， H_l 為落差損失，單位為公尺； C 為損失係數； Q 為流量，單位為秒立方公尺。

2. 電力效益

依台灣電力公司之「水力計畫經濟評估準

則」，水力計畫電力效益之釐定如下：

(1) 可靠電力

川流式發電廠及調整池發電廠，採用歷時 85% (大於此)之旬計天然流量，計算出力；水庫式發電廠則取用調節後的歷時 85% (大於此)之出力。

(2) 淨尖峰能力及容量價值

(I) 川流式發電廠：淨尖峰能力採用出力歷時 85%之出力。

(II) 調整池發電廠：淨尖峰能力採用天然流量經調節後集中六小時平均出力歷時 85%之出力。

(III) 水庫式發電廠：淨尖峰能力採用天然流量經調節後集中於六小時平均出力歷時 85%之出力。

(3) 年發電量

依據長期之流量資料或推算之旬計平均流量，計算發電量。計算時考慮電廠之形式、機組之檢修、旬計流量與日流量之差異，視情況酌用 90%至 95%之流量利用率。

五、研究案例

北台灣的淡水河流域為台灣第三大河川，發源於品田山北坡標高約 3100 公尺處，流域範圍涵蓋基隆市、台北市、台北縣、桃園縣及新竹縣等行政區，整個流域由大漢溪、新店溪、基隆河三條主要支流匯集而成，全長 159 公里，流域面積共 2,726 平方公里，整體地勢係由東南向西北，地表高程急遽降低。

淡水河流域的翡翠水庫位於新店溪上游之北勢溪上，最大庫容為 4.06 億立方公尺，建於民國 77 年，壩高 122.5 公尺，滿水位標高為 170 公尺，呆水位標高 110 公尺，主要供應大台北地區至民國 119 年之公共給水，水力發電為輔。於下游的小粗坑發電廠再下游約 800 公尺處之青潭堰，直接引取新店溪水供應長興淨水廠與公館淨水廠。在稍上游的直潭壩係位於南、北勢溪合流處下游約 4 公里處，則引取溪水供應直潭淨水廠，以上所述水利設施之位置如圖 3 所示。

表 1 翡翠發電廠裝機容量特性

水庫 水位 (m)	有效 水頭 (m)	效能			發電 常數	流量 (cms)	發電機 出力 (千瓦)	備 註
		水輪機 (%)	發電機 (%)	合計 (%)				
170	111.35	90.10	98.26	88.53	965.52	72.5	70,000	最大常水頭
165	106.0	91.20	98.26	89.61	930.85	75.2	70,000	
155	96.0	93.0	98.26	91.38	859.74	81.5	70,000	
148.3	89.0	94.20	98.26	92.56	807.38	86.7	70,000	設計水頭
140.8	81.0	94.60	98.26	92.92	737.86	94.9	70,000	額定水頭
133.4	73.8	92.60	98.19	90.92	657.17	91.3	60,000	
130.0	70.55	90.80	98.08	89.06	615.30	90.2	55,500	
125.0	65.47	88.32	98.08	86.62	557.71	87.5	48,800	
120.0	60.85	85.40	98.0	83.69	498.81	84.2	42,000	
117.1	58.0	83.6	97.80	81.76	464.24	82.5	38,000	最小水頭

資料來源：台北翡翠水庫建設委員會，翡翠水庫運轉規則，民國 74 年 3 月

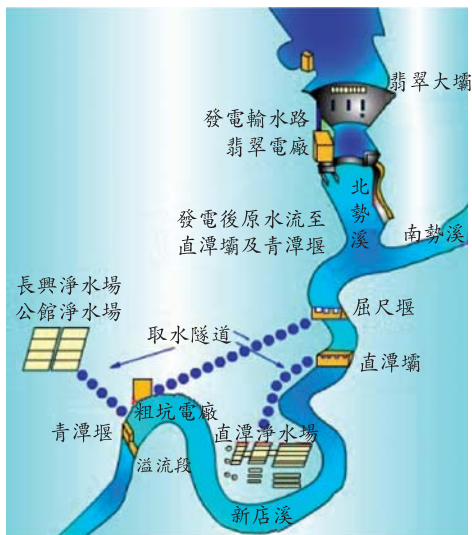


圖 3 翡翠水庫下游之水利設施位置示意圖 (資料來源：台北市翡翠水庫管理局)

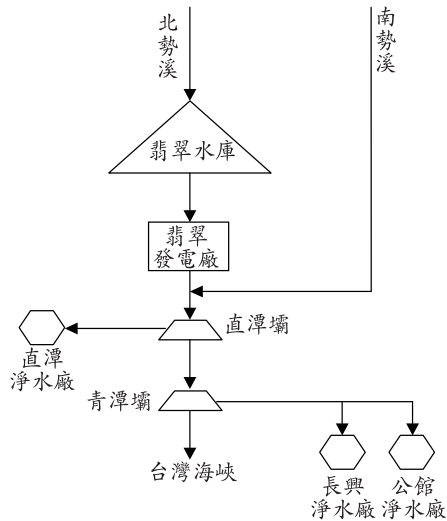


圖 4 翡翠水庫系統圖

於進行水庫運轉模擬之前，首先須瞭解系統之相關性質，再依據水平衡方程式及系統限制式之條件，建立程式之建構。本研究針對的翡翠水庫系統，如圖 4。

(1) 蓄水容量限制式

水庫皆有最大蓄水容量的限制，石門水庫為 309,120,000 立方公尺，翡翠水庫為 406,000,000 立方公尺，以水位表示時，呆水位 $\leq$ 水庫容量之水位範圍 $\leq$ 最高水位。如圖 1 所示。

(2) 發電限制式

翡翠水庫主要標的除公共給水外，以水力發電為附帶標的，發電廠設有一組發電機，裝機容量為 70,000 千瓦，限制式為：

$$0 \leq \text{發電量} \leq 70,000(\text{千瓦}) \dots\dots\dots (5)$$

翡翠水庫發電廠之裝機容量特性分別如表 1 及圖 5 所示。

(3) 公共給水限制式

水庫在運轉上，為公共給水之放水量須以水庫當時之蓄水量而定，在水庫之公共給水限制以

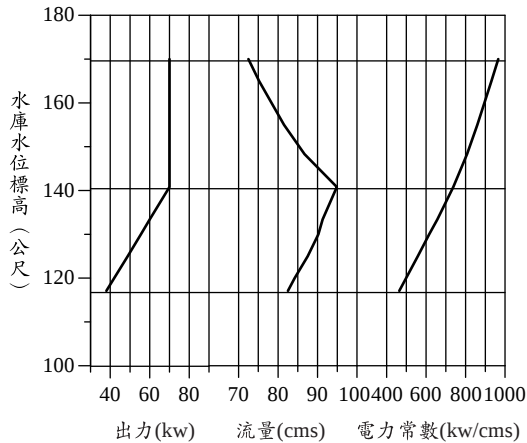


圖 5 翡翠發電廠之裝機容量特性曲線

依照運轉規線之規定為原則，來限制之枯水期水庫放水量。

(4) 翡翠水庫運轉之放水規則

- (I) 水庫水位等於或高於上限時，發電廠可每日滿載發電 24 小時，亦可充分供給公共給水之需水量。先經由發電放水口放水，其次經由河道放水口放水，若再有多餘之水，則經由溢洪道放水。
- (II) 水庫水位在上、下規限之間時，放水滿足公共給水的需水量，而發電廠每日充分發足 6 小時的電量。
- (III) 水庫水位在下限與嚴重下限之間時，放水量滿足公共給水的需水，而發電廠只能利用該放水量發電；
- (IV) 當水庫水位等於或低於嚴重下限時，放水量限制在公共給水的需水量之 70% 為原則，以避免在隨後期間發生嚴重缺水，發電廠亦只利用該放水量發電。

(5) 需水量估計

(I) 公共給水

根據台北市自來水事業處與台灣省自來水公司所推估的石門供水區、翡翠供水區及板新水廠於民國 110 年之需水量，本研究之需水量推估值如表 2 所示。

表 2 翡翠及板新水廠於民國 110 需水量推估統計表

單位：萬噸/日

民國	翡翠區需水量	板新水廠需水量
110 年	325	107

(II) 灌溉用水

根據經濟部前水資會 民國 83 年 1 月「板新石門地區最佳供水調配之研究」，新店溪灌區因面積僅 257 公頃，故其灌溉用水量可予忽略不計。

(6) 流量資料

(I) 北勢溪

翡翠水庫入流量 = $1.29Q_{\text{乾溝}}$ (6)

$Q_{\text{乾溝}}$ 為乾溝站之流量，乾溝站現因位於翡翠水庫淹沒區內而廢站。

(II) 南勢溪

南勢溪流量 = $1.29Q_{\text{乾溝}} + 1.1Q_{\text{桂山}}$ (7)

南勢溪流量包含翡翠水庫至青潭堰之間的側流量，係用青潭堰流量減去翡翠水庫入流量，既有之推估資料係從民國 42 年至 77 年共 36 年，77 年以後者則用桂山電廠的實測流量。

六、運轉規線與電力效益之關聯性

在複雜特性及滿足公共給水標的條件下，含發電標的之水庫實具複雜運轉系統。由發電廠特性曲線可知，發電特性呈現非線性關係，即發電廠出力隨著水位升高而增加，當到達發電機之額定水頭時，即達滿載發電，該時之出力就不再隨水位升高而增加。於所需發電流量高於額定水頭之前，流量與水位呈正比關係，但過了額定水頭後，由於已取得足夠的水位落差，流量隨著水位升高而減低。水庫發電放水的最佳策略係在不影響水庫供水需求下，使發電效益為最高。經用多次試誤，本研究搜尋到嚴重下限，可使缺水量最小，進而探討下限調整所得之發電改善情形。以民國 42 年至 84 年的記錄流量為入流量資料，且以下列之三種情境的水庫運轉方式，如圖 6，進行情境模擬及探討：

表 3 翡翠水庫運轉之模擬成果

項目		情境 I			情境 II			情境 III			最適規線			單位
最枯旱年		44	52	58	44	52	58	44	52	58	44	52	58	年
水源供應狀況之統計	供水量	37.93	37.93	37.93	37.93	37.93	37.93	37.93	37.93	37.93	37.93	37.93	37.93	CMS
	缺水量	0	1330	0	0	1330	0	228	1582	0	0	1330	0	CMS
	缺水旬數	0	12	0	0	12	0	2	13	0	0	12	0	旬
	旬最大缺水量	0	11.38	0	0	11.38	0	11.38	26.3	0	0	11.38	0	CMS
	年總缺水量	1330			1330			1810			1330			CMS
發電情形	發電力	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	kW
	發電量	165.3	111.9	182.8	167.6	125.4	190.4	173.1	129.4	180.4	167.6	125.4	190.4	10 ⁶ 度
	年平均發電量	241.4			242.9			242.5			243			10 ⁶ 度
	滿足六小時滿載發電百分比	77.6			92.4			98.7			94			%

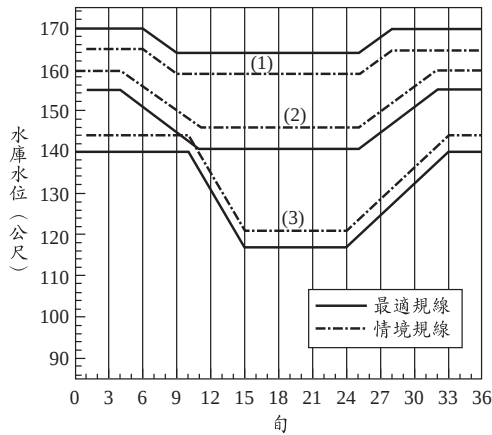


圖 6 情境規線變化示意圖

- 1) 情境 I：固定上限及嚴重下限，而將下限向上提升，使接近上限，讓第 2 分層的區間小於第 3 分層的區間，即上限與下限間之區間小於下限與嚴重下限之區間。
- 2) 情境 II：固定上限及嚴重下限，將下限設定在兩者之間，使第 2 分層的區間等於第 3 分層的區間，即上限與下限間之區間等於下限與嚴重下限之區間。
- 3) 情境 III：固定上限及嚴重下限，而將下限下移，使接近嚴重下限，讓第 2 分層的區間大於第 3 分層的區間，即上限與下限間之區間大於下限與嚴重下限之區間。

經由模式模擬之結果如表 3 及圖 7 至 9，茲探討如下：

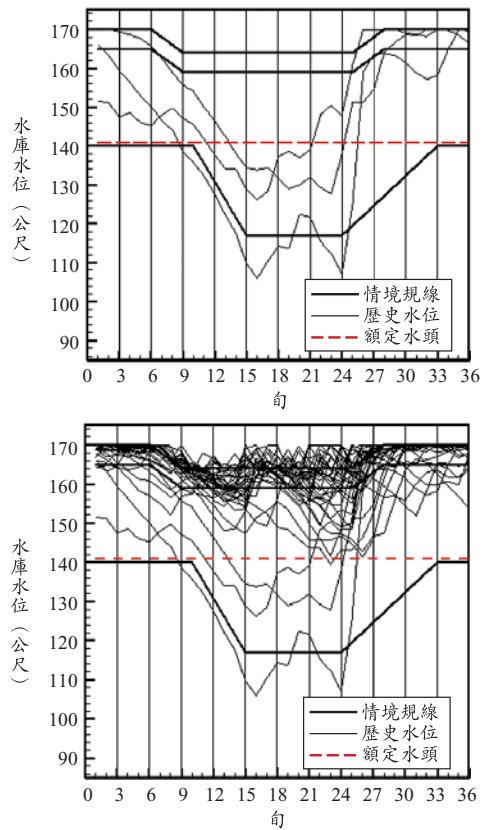


圖 7 情境 I 的 3 年最枯旱與全部 43 年流量情況之水位歷時線

由分析圖可發現，水庫在 43 年之流量情況的分析結果內，僅最枯旱狀況之 3 年(民國 44、52 與 58 年)會影響水庫公共給水之功能，其他

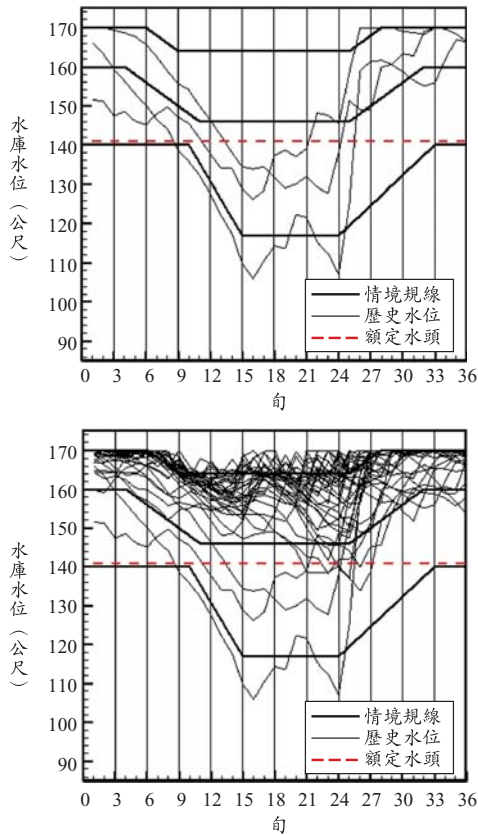


圖 8 情境 II 的 3 年最枯旱與全部 43 年流量情況之水位歷時線

狀況皆有較高水位，無缺水之虞，在情境 I 之情形如圖 7 所示，由於第 2 供水區間縮小，減少許多需滿足 6 小時滿載發電的機會，使大部分發電係藉由下游需水量來決定產生多少電能，從表 3 可發現水庫缺水量雖沒增加，但年平均發電量變小，且滿足 6 小時之滿載發電比率低於 85%，僅達到 77.6%。

情境 II 如圖 8 所示，下限約介於上限與嚴重下限之間，平均分配第 2、3 供水區間，水庫的公共給水不因為下限設定而導致缺水量增加，但平均年發電量較大，由圖中可見，大多數之水位在第 2 蓄水層內，水庫放水原則規定當旬計水位在該蓄水層內時，水庫除了滿足公共給水外，仍提供滿載發電所需水量達 6 小時，且由水位歷時線發現幾乎所有水位皆高於發電廠的發電機組之額定水頭，表示大多數時候達到發電廠

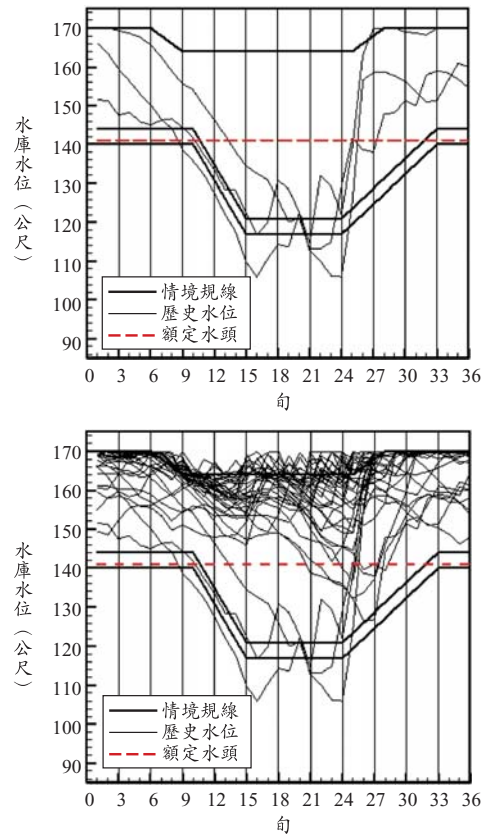


圖 9 情境 III 的 3 年最枯旱與全部 43 年流量情況之水位歷時線

最大發電出力，再加上發電廠特性關係，高於額定水頭之水位可用較小流量達到最大出力，故可產生較大的電量，6 小時滿載發電可靠度可達 92.4%。

情境 III 係將下限接近於嚴重下限，使得水庫蓄水空間大多是在第 2 蓄水層內，如圖 9 所示，原本最枯旱(民國 44、52 與 58 年)水庫已呈現入不敷出的流量情況，經由該下限設置造成該情況有較多時間的水位在第 2 蓄水層內，在流量小仍滿足放水原則，增放 6 小時滿載發電之水量，結果造成缺水量增大(由 11.38 上升至 26.3)，缺水更集中，且由水位歷時線可見大多數之水位在額定水頭附近，甚至更低，使得發電廠需用更大水量才能得到相同之發電出力，且水位越低於額定水頭時，整體的發電效率隨之越低，導致可靠發電率高達 98.7%，但平均年發電量卻

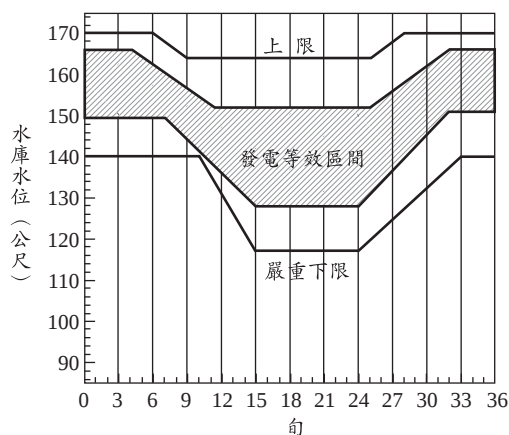


圖 10 下限測試之發電等效益帶狀區間圖

未顯著增大。

改變下限位置就是改變相應水位之放水策略的一種方式。根據上述情境模擬過程發現，翡翠水庫欲在不影響原供水標的下，先尋出嚴重下限，再固定嚴重下限，經調整下限，產生最佳發電量之規線，會影響整體最佳化表現只有在幾個枯早年之流量狀況下，如本研究案例之民國 44、52 及 58 年的狀況。在調整下限時，如不改變該三年狀況下之放水策略，則缺水情況將不變；且於搜尋到近似最適解時，發現該下限不論在該範圍之任意微調，結果相差無幾，呈現出之帶狀區間，如圖 10 所示，而其區間大小取決於特殊枯早年之流量。

經多次模擬試誤後，本研究找尋到一組最適規線，如圖 11 所示，其模擬結果滿足水庫最佳的放水策略，在不影響公共給水情況下達到最大的發電效益，如表 3 所示，缺水量為 1,330 CMSD，平均年發電量為 243 百萬度，可靠發電率達 94%。

七、結論與建議

1. 制訂多目標水庫的規線是相當繁雜之工作，大多數的場合須由規劃師經無數次模擬試誤，才制定出滿足各項水庫標的之運轉規線，雖近年來有許多專家學者結合電腦之強力運算功能，提出相關方法，搜尋最佳規線，但大多限於公共給水，較少論及水力發電，以

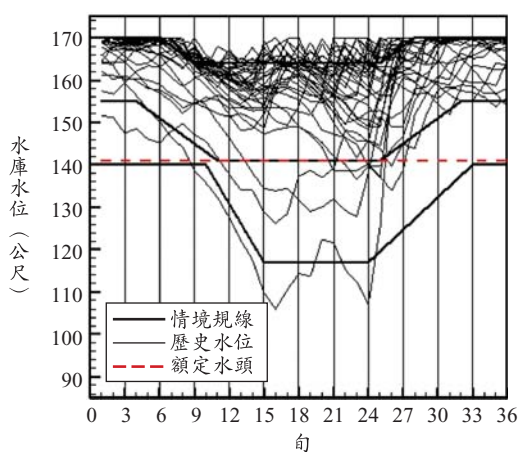
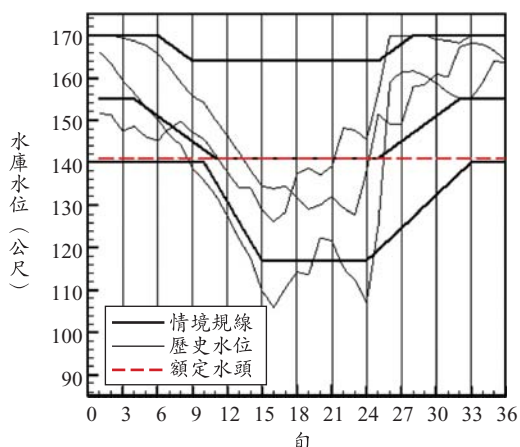


圖 11 最適規線的 3 年最枯旱與全部 43 年流量情況之水位歷時線

致該多目標水庫之規線仍不妥當。

2. 經由對水庫規線的下限之調整及模擬，可瞭解水庫式發電涉及複雜且非線性的發電廠特性，不須一味地增大發電標的需水空間（即第 2 蓄水層）或漫無目標的搜尋；相反的，只要掌握水庫放水原則、河川流量變化與發電廠特性，就可訂出滿足含水力發電之多目標水庫的最適規線。

3. 由於電腦計算功能日益增強，且最佳化驗算法也推陳出新，如結合優化與多標的水庫規線模擬技術，能免除對繁雜過程過度簡化模式而導致不符事實及分析結果不具價值，因此，功能強的工具能準確及快速地計算，使結果更有價值。

參考文獻

1. 台灣電力公司網站
http://www.taipower.com.tw/home_1.htm
2. 朱壽銓、黃文正、黃佩貞，「模擬法在水庫操作規線上之應用」，台灣水利，第 48 卷，第 4 期，第 53-93 頁(2000)。
3. 林松青、吳瑞賢、王茂興、韋家振，「整合型多座水庫與攔河堰系統分析模式之建立」，中國土木水利工程學會學刊，Vol. 15, No. 2, pp. 93-106 (2003)。
4. 財團法人中興工程顧問社，「台電水力發電部門民營化對水資源之影響及水資源主管機關之因應」，經濟部水資會研究報告，台北(2000)。
5. 財團法人中興工程顧問社，「台灣地區北部區域坪林水庫可行性規劃專題報告(九)發電工程研究」，經濟部水資會研究報告，台北(1992)。
6. 陳世偉，「遺傳演算法運用在石門與翡翠水庫並聯系統操作規線之研究」，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，桃園(2002)。
7. 張育雅，「應用遺傳演算法於大甲溪及大安溪水資源最佳聯合調配模式」，碩士論文，國立交通大學土木工程研究所，新竹(2003)。
8. 張黎方，「大甲溪流域水資源運用之研究」，國立台灣大學環境工程研究所，碩士論文，台北(2000)。
9. Ackermann, T., Loucks, D. P., Schwanenberg, D. and Detering, M., "Real-time modeling for navigation and hydropower in the river model", *J. Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 126 Issue 5, 298-303 (2000).
10. Mays, L. W. and Tung, Y. K. (1992), *Hydrosystems Engineering & Management*, McGraw-Hill, Inc., 282-297.
11. Teegavarapu, R.S.V., Simonovic, S.P., Schwanenberg, D. and Detering, M. (2000), "Short-term operation model for couple hydropower reservoirs" *J. Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 126 Issue 2, 98-106.
12. Yeh, W. W.-G., Becker, L., Hau, S.-Q., Wen, D.-P. and Liu, J.-M. (1992), "Optimization of real-time hydrothermal system operation." *J. Water Resources Planning and Management*, ASCE, 118(6), 636-653.

收稿日期：民國 96 年 4 月 2 日

修正日期：民國 96 年 5 月 30 日

接受日期：民國 96 年 6 月 1 日