

規劃桃園人工湖供水以減緩乾旱缺水之模擬研究

The Simulation Study of Drought Mitigation by Using Artificial Lake to Increase Water Capacity in Taoyuan

林永禎¹ 趙珮伶²

1:明新科技大學環境資源管理系副教授 2:明新科技大學土木工程系學生

一、中文摘要

由於經濟景氣逐步復甦，石門水庫供水負荷過重，為因應竹科及中科及桃園等高科技廠商的陸續投產，未來桃竹苗一帶有很迫切的產業用水需求，根本不必等到目標年民國一百年，桃園一帶的供水已嚴重不足，將嚴重影響桃園陸續開發的工業城或科技園區的用水需求。桃竹苗地區有必要規劃人工湖平地水庫，基於工業需求迫切，桃園第四座人工湖將列為第二優先開發的人工湖計畫。目前桃園有埤塘四九〇餘個，面積近二千公頃，將優先擴大利用舊有的埤塘，並徵收附近水利會的埤塘，再尋找水源。人工湖開發計畫除可發揮蓄水、涵養地下水及防止地層下陷等功能，還可增加觀光、遊憩資源，達到營造水與綠環境的政策目標，可有效解決台灣水資源不足的問題，而挖出的土方砂石則可解決目前河砂、碎石不足的問題。本研究提出一套缺水時不同挖深築堤程度蓄水之經濟分析模式，可以有系統的進行分析。本研究模擬方法之步驟為（1）計算原始設計蓄水容量可以供應之水量，（2）計算清除淤積後可以增加供應之水量，（3）計算不同挖深築堤程度蓄水容量可以供應之水量，（4）估計清除淤積所需要之費用，（5）估計不同挖深築堤所需要之費用，（6）最後依照計畫方案經濟分析益本比（ B/C ）、遞增益本比（ $\Delta B/\Delta C$ ）之選擇原則，選擇最適合之情況，提供決策者參考。

關鍵詞：人工湖、埤塘、增加供水、模擬研究、經濟分析、營造水與綠環境

Abstract

Due to the insufficiency of the Shihmen Dam water supply, and the increasing water demand at the Industrial Park, Taoyuan Region has an urgency to search for additional water source. Otherwise, the regional development and economic upgrade will be confined by its limited water resource. An artificial lake fits the need of increasing water source, and has more benefit in recharging groundwater, preventing land subsidence, promoting tourism, improving quality of environment. Currently Taoyuan Region has more than 490 ponds, they could be used as Artificial Lakes by expanding their capacity. The following approach will be considered under the simulation study in Taoyuan Region: 1. Compute the water supply's capacity of original design in Taoyuan, 2. Calculate the total water supply capacity after the removal of residual sediment in ponds, 3. Compute the water supply capacity considering different levels in construct turf and excavate the bottom of pond, 4. Estimate the cost of sediment removal, 5. Estimate the various costs of construct turf and excavate the bottom of pond, 6. Optimize the case from economic analysis. An economic index will be used featuring benefit cost ratio and increasing benefit increasing cost ratio.

Keywords: Artificial Lake, Pond, Increase Water Capacity, Simulation Study, Economic analysis

二、計畫緣由與目的

乾旱是世界性問題，聯合國表示，因為全球水庫迅速枯竭，人口激增，地球汙染，

加上溫度一天天增高，未來廿年內，平均每個人獲得的供水量將減少三分之一。台灣四面環海卻也會鬧旱災，乾旱造成農業用水不足，影響農作物產量，對人民之生計產生重大危害，八十二年旱災造成南部地區重大損失，而九十一年乾旱造成全省工商業不便，九十一年三月初，台灣正式宣佈進入用水警戒狀況，經濟部旱災應變小組會議宣布，從六日凌晨零時起，台北縣市、新竹縣市、桃園縣與澎湖縣，將實施第一階段限水措施，從凌晨零時至清晨六時的離峰時段減壓供水，希望可以達到省水三%到五%的目標。而三月開始石門與翡翠水庫，因降雨情況不樂觀，台北市政府抗旱小組宣佈，台北縣市進入全面抗旱備戰狀態；石門水庫由於積沙淤泥嚴重，因此距離庫底最深的地方，大約只剩下兩層樓高而已，研判旱象相當嚴重，後幸而遇到降雨而紓解旱象。台灣地區因地形特殊，山高流短，地表逕流極易流入海，必須有足夠的蓄水空間以蓄豐濟枯，才能提高穩定供水量。台灣地區傳統水資源開發以興建山區水庫為主，惟因優良壩址已難再尋，且山區水庫對環境衝擊較大，高山水庫開發因民眾環保、生態意識高漲增加不少阻力，開發新興水資源已迫在眉睫，因此最近水資源開發策略已由興建山區水庫改為開發平地水資源。平地水資源除可發揮蓄水功能外，在適宜之區位亦可補注地下水，促成地表地下水之聯合運用，減緩地層下陷危害。面對永續經營的時代，如何將有限的水資源，經過水利建設的規劃，產生最大的使用利益，並且對於社會及環境的衝擊降到最低，才是水資源綜合開發的規劃精神。因此本計劃研究桃園人工湖利用現有的桃園石門埤塘擴大利用之效益以供水資源政策決定之參考。

三、研究方法

1. 蓄水池埤增加容量擴大利用以減緩乾旱缺水

桃園台地石門水庫供水區域，在省道旁現有許多蓄水池埤，可以挖掘加深

與加高，以增加蓄水容量。這些蓄水池埤使用已有一段不短時期，池底淤泥久未清理可能亦會減少部分蓄水容量，考慮挖出池底淤泥並加以挖深，利用所挖掘之土壤與池底淤泥以築蓄水池堤防，如此可以增加數倍蓄水容量，對乾旱缺水現象可以減緩不少。

2. 模擬方法

(1) 計算原始設計蓄水容量可以供應之水量

調查桃園地區省道旁蓄水池埤原始設計之長度 L_0 寬度 W_0 深度 D_0 坡度 S_0 ，如此可以計算原始設計蓄水容量 C_0 ，利用桃園地區雨量流量紀錄進行水文分析模擬，比照水庫運用方式，利用累積曲線法等，以進流量累積曲線及已知池埤蓄水容量，決定池埤出水量，可以求出在此種雨量流量下，可以供應之水量 V_0 。

(2) 計算淤積後蓄水容量

比照水庫淤積方式，利用囚砂率計算淤積後蓄水容量：

- (a) 蒐集水庫初期容量 (C)、入流量 (I)、年泥沙資料。
- (b) 由水庫容量入流量比 (C/I)，借用水庫囚砂率關係，估算得該年之囚砂效率。
- (c) (囚砂效率) × (年泥沙量) = (年淤積泥沙量)
- (d) (初期容量 C) - (年淤積泥沙量) = (該年水庫剩餘容量)
- (e) 重複(a) ~ (d)步驟，直至蓄水池埤使用壽命，可估計目前蓄水容量 C_1 。

(3) 計算淤積後蓄水容量可以供應之水量

如同模擬方法(1)方式，利用水文分析模擬，可以求出淤積後蓄水容能供應之水量 V_1 。

(4) 計算挖深築堤後蓄水容量可以供應之水量

在蓄水池埤土壤邊坡穩定之原則下（必要時可以使用鋼筋混泥土構造），假設最適合挖掘深度為 U 築堤高度為 H ，則原始設計之長度 L_0 寬度 W_0 坡度 S_0 假設不變，深度 D_2 變成 $D_0 + U + H$ ，如此可以計算挖深築堤後蓄水容量 C_2 ，

例如池埤原始設計為正方形，長度 $L_0=1\text{m}$ ，寬度 $W_0=1\text{m}$ ，深度 $D_0=1\text{m}$ ，則 $C_0=1\text{m}^3$ ，挖深 $U=2\text{m}$ ，築堤高 $H=1\text{m}$ ，則 $D_2=4\text{m}$ ， $C_2=4\text{m}^3$ 。利用桃園地區雨量流量紀錄進行水文分析模擬，可以求出在此種雨量流量下，可以供應之水量 V_2 。此外另外設計挖深 $0.5U$ 築堤高 H ，挖深 U 築堤高 $0.5H$ ，挖深 $0.5U$ 築堤高 $0.5H$ ，三種情況，分別求出可以供應之水量 V_3 、 V_4 、 V_5 ，以供比較之用。

(5) 計算清除淤積後可以增加供應之水量

目前池埤為淤積後蓄水容量，目前所能供應之水量為 V_1 ，清除淤積後恢復原始設計蓄水容量 C_0 ，可以供應之水量為 V_0 ，故清除淤積可以增加供應之水量 $V_a=V_0-V_1$ ，增加供應之水量比例 $R_a=V_a/V_1$ 。此為第 1 種情況 Case a。

(6) 計算挖深 U 築堤 H 後可以增加供應之水量

挖深築堤後蓄水容量 C_2 ，可以供應之水量 V_2 ，目前池埤為淤積後蓄水容量能供應之水量為 V_1 ，故挖深築堤後可以增加供應之水量 $V_b=V_2-V_1$ ，增加供應之水量比例 $R_b=V_b/V_1$ 。此為第 2 種情況 Case b。

(7) 計算挖深 $0.5U$ 築堤 H 後可以增加供應之水量

本研究考慮另外三種設計以供比較，此為第 3 種情況 Case c，Case c 為挖深 $0.5U$ 築堤高 H ，求出之可以增加供應之水量 $V_c=V_3-V_1$ ，增加供應之水量比例 $R_c=V_c/V_1$ ，以供比較之用。

(8) 計算挖深 U 築堤 $0.5H$ 後可以增加供應之水量

此為第 4 種情況 Case d，Case d 為挖深 U 築堤高 $0.5H$ ，求出之可以增加供應之水量 $V_d=V_4-V_1$ ，增加供應之水量比例 $R_d=V_d/V_1$ ，以供比較之用。

(9) 計算挖深 $0.5U$ 築堤 $0.5H$ 後可以增加供應之水量

此為第 5 種情況 Case e，Case e 為挖深 $0.5U$ 築堤高 $0.5H$ ，求出之可以增加供應之水量 V_e

$=V_5-V_1$ ，增加供應之水量比例 $R_e=V_e/V_1$ ，以供比較之用。

(10) 估計清除淤積所需要之費用

估計清除淤積所需要之人工、器具、設備、水電等費用，總費用為 M_a 。

(11) 估計挖深築堤所需要之費用

估計挖深 U 築堤高 H ，所需要之人工、器具、設備、水電等費用，總費用為 M_b 。另外三種設計 Case c、Case d、Case e 之總費用分別為 M_c 、 M_d 、 M_e 。

(12) 進行經濟分析

增加供水量之水價為所產生效益 $B=V \times$ (單位體積水價)，例如 Case a 所產生效益為 $B_a=V_a \times$ (單位體積水價)，同理 $B_b=V_b \times$ (單位體積水價)， $B_c=V_c \times$ (單位體積水價)，Case d、Case e 亦同。

遞增費用 ΔC ：假設清除淤積所需之費用 M_a 最低，以 M_a 為比較基準，則 Case b 之遞增費用 ΔM_b 為 $M_b - M_a$ ，同理 $\Delta M_c = M_c - M_a$ ，Case d、Case e 亦同。

遞增效益 ΔB ：假設清除淤積產生之效益最低 B_a 最低，以 B_a 為比較基準，則 Case b 之遞增效益 ΔB_b 為 $B_b - B_a$ ，同理 $\Delta B_c = B_c - B_a$ ，Case d、Case e 亦同。

綜合上述成果

方案	蓄水容量	可供水量	增加供水量	增加供水比例	所需費用 C	產生效益 B	遞增費用 ΔC	遞增效益 ΔB
a	C_0	V_1	V_a	R_a	M_a	B_a	—	—
b	C_2	V_2	V_b	R_b	M_b	B_b	ΔM_b	ΔB_b
c	C_3	V_3	V_c	R_c	M_c	B_c	ΔM_c	ΔB_c
d	C_4	V_4	V_d	R_d	M_d	B_d	ΔM_d	ΔB_d
e	C_5	V_5	V_e	R_e	M_e	B_e	ΔM_e	ΔB_e

依照計畫方案經濟分析之選擇原則，選擇最適合之情況，提供決策者參考。

- (a) 益本比(B/C)大於 1：效益須大於成本。
- (b) 遞增益本比($\Delta B/\Delta C$)大於 1：計畫之可分別獨立之部份，包括於此計

畫內所增加之效益(ΔB)，須大於因包括此部分所增加之成本(ΔC)，才值得將其包含在內，計畫之規模加大，當遞增部份 $\Delta B/\Delta C = 1$ 即 $B - C$ 淨益值最大。

- (c) 開發尺度：資源有限資金充裕之最終開發尺寸，為淨效益最大 ($\text{Max } B - C$)，資金有限之最優先開發尺度為益本比最大 (B/C)。
- (d) 優先順序：按照各計畫益本比或淨效益之大小排定其施行之優先順序。
- (e) 成本最小者：若效益不易估評，應選能滿足目標需要計畫中成本最小者。
- (f) 增加功能評估：若增加一部份功能所增加之效益，大於所增加之成本
- $$\frac{\Delta B}{\Delta C} \geq 1$$
- ，表示一多目標計畫包含此項功能符合經濟評估。

四、結果與討論

本研究以經濟部水利署水利規劃試驗所委託農業工程研究中心之「桃園石門埤塘水源利用檢討」報告資料進行前述研究方法資之運算，桃園水利會埤塘每增加 1m 築堤或浚深可增加 $2.15 \times 10^6 \text{ m}^3$ 儲水量，築堤較為破壞美觀及不可行，浚深費用 150 元/ m^3 ，共支出費用 321.9×10^6 元售水收益 4.5 元/ m^3 ，售土收益 150 元/ m^3 ，合計收益 154.5 元/ m^3 ，共收益 331.6×10^6 元，淨收益 9.7×10^6 元。石門水利會埤塘每增加 1m 築堤或浚深可增加 $1.08 \times 10^6 \text{ m}^3$ 儲水量，浚深費用 150 元/ m^3 ，共支出費用 321.9×10^6 元售水收益 4.5 元/ m^3 ，售土收益 150 元/ m^3 ，合計收益 154.5 元/ m^3 ，共收益 166.8×10^6 元，淨收益 4.9×10^6 元。

桃園地區埤塘統計表

會別	站別	埤塘數(口)	埤塘面積(ha)	有效蓄水量(M^3)	埤塘可灌溉面積(ha)
桃園水利會	桃園	5	41.36	969,889	378.33
	大竹	31	313.99	4,977,233	2,127.19
	大崙	30	173.7	4,535,171	1,541.32
	大園	34	257.87	4,410,511	2,069.32
	大溪	6	35.48	1,409,146	240.68
	草漯	32	270.24	5,505,979	2,275.00
	湖口	60	306.64	8,484,176	3,787.16
	新坡	17	121.19	3,053,265	1,142.87
	新屋	34	251.11	6,196,212	2,990.88
	觀音	36	374.43	6,989,712	3,355.29
	新莊	0	0	0	0
	海山	0	0	0	0
	合計	285	2,146.01	46,531,294	19,908.04
石門水利會	八德	84	201.8	1,035,104	1,033.03
	中壢	70	145.23	1,086,797	859.46
	過嶺	91	244.02	2,372,044	1,477.40
	楊梅	87	155.77	1,487,034	1,189.12
	富岡	89	240.23	3,862,942	2,088.68
	湖口	39	92.64	1,080,418	748.2
	合計	460	1,079.69	10,924,339	7,395.89

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，「桃園石門埤塘水源利用檢討」，2003。

五、結論與建議

(一) 結論

1. 築堤較為不可行。
2. 桃園水利會埤塘每增加 1m 浚深，淨收益 9.7×10^6 元。
3. 石門水利會埤塘每增加 1m 浚深，淨收益 4.9×10^6 元。

(二) 建議

1. 宜增加美感與景觀之考慮。
2. 宜增加對生態之調查，避免造成生態不良影響。

六、參考文獻

1. Linsley, R. K. etc. w, "Water Resource Engineering", 4/E, 1992。
2. 人工湖 水資源開發轉向, 2003/11/24 聯合新聞網, http://www.water.tku.edu.tw/sub91/act_info.asp
3. 水利署：人工湖符合多功能水資源開發政策, 2003/11/24 中央社, <http://tw.finance.yahoo.com/n/2003/11/24/c/1192.html>
4. 中央大學土木系, 「土木工程防災概論」, 藝軒圖書, 1999。
5. 台灣省水利處, 「為水辛苦為水忙」, 1998。
6. 阮國棟, 「水是二十一世紀的金」, 水資源管理季刊第 5 期, 2000。
7. 林永禎, 「海洋溫度變化對氣候之影響：談聖嬰現象」, 航空氣象第 12 期 51-61 頁, 1999a。
8. 林永禎, 「聖嬰現象對氣候與人類之影響」, 明新學報第 23 期 91-100 頁, 1999b。
9. 林永禎, 「水資源工程」第二版, 高立出版社, 2001。
10. 林永禎、馬家驊, 「從九二一地震談缺水」, 水資源工程研討會, 萬能技術學院, 中壢市, P4-1~4-14, 2000。
11. 林淑英, 「人人惜水不脫水」, 節約用水季刊第 17 期, 2000。
12. 林新沛, 學校節約用水措施, 經濟部水資源局, 「水之愛」專輯, 1997。
13. 經濟部水利署水利規劃試驗所, 「桃園石門埤塘水源利用檢討」, 2003。