

南化水庫與高屏溪攔河堰聯合調度之研究

Joint Operation of Nanhua Reservoir and Gaoping River Weir

國立臺灣海洋大學
河海工程學系
教授

黃文政*
Wen-Cheng Huang

國立臺灣海洋大學
河海工程學系
大學部學生

溫品瑄
Pin-Hsuan Wen

國立臺灣海洋大學
河海工程學系
大學部學生

黃政豪
Cheng-Hao Huang

摘要

本研究主要目的在探討南化水庫與高屏溪攔河堰之聯合調度對高雄地區的供水效益。研究中根據日流量 (2001~2020)、自來水需水量、南化水庫庫容及操作規線、高屏溪攔河堰取水及南化高屏聯通管輸水限制等條件進行數值模擬，分別探討高雄地區之現況與未來供水可靠度、滿足率、及缺水指數。另外也模擬評估新近完工之曾文南化聯通管的輸水功效。

結果顯示南化-高屏聯合調度，在現況系統日需水量 170 萬噸條件下，缺水指數 $SI=0.310$ ，平均年缺水量為 3,470 萬噸，而南化缺水占 94%。在 $SI=1$ 時，高屏溪攔河堰每日取水量將可提升至 222 萬噸，但整體之平均年缺水量已高達 16,727 萬噸，相當於每日缺水 45.83 萬噸，故未來應尋求其他的水源開發或外部支援，以利於南化水庫與高屏溪攔河堰之聯合調度供水。另外在考慮旗山溪下游水權及允許甲仙攔河堰充份取水條件下，曾文南化聯通管在 6 ~ 10 月期間，平均每年南化水庫可將 3,271 萬噸餘水引至烏山頭水庫蓄存，效果顯著。

關鍵詞：南化水庫、高屏溪攔河堰、聯通管、模擬。

* 國立臺灣海洋大學河海工程學系教授
20224 基隆市北寧路 2 號 · b0137@mail.ntou.edu.tw

Joint Operation of Nanhua Reservoir and Gaoping River Weir

Wen-Cheng Huang*

National Taiwan Ocean
University
Department of Harbor and River
Engineering

Pin-Hsuan Wen

National Taiwan Ocean
University
Department of Harbor and River
Engineering

Cheng-Hao Huang

National Taiwan Ocean
University
Department of Harbor and River
Engineering

ABSTRACT

The main purpose of this study is to explore the water supply benefits of the joint operation of Nanhua Reservoir and Gaoping River Weir in Kaohsiung area. In the study, simulation was carried out based on conditions such as daily flow (2001 ~ 2020), water demand, reservoir storage and operating rules, water intake from the Gaoping weir, and Nanhua/Gaoping Interconnecting Pipeline water transportation restrictions. In addition, the water transmission efficiency of the newly completed Tsengwen/Nanhua Interconnecting Pipeline was also simulated and evaluated.

The results show that Nanhua-Gaoping joint operation, under the current system daily water demand of 1.7 million tons, the water shortage index $SI = 0.310$, the average annual water shortage is 34.7 million tons, and Nanhua accounts for 94 % of the water shortage. When $SI = 1$, the daily water intake of Gaoping River weir will be increased to 2.22 million tons, but the overall average annual water shortage has reached 167.27 million tons, which is equivalent to a daily water shortage of 458,300 tons. Therefore, in the future other water source development or external support should be sought to facilitate the joint water supply. In addition, the Zengwen/Nanhua Interconnecting Pipeline can divert an average of 32.71 million tons of excess water from Nanhua Reservoir to Wushantou Reservoir from June to October every year. This project has significant benefits.

Keywords: Nanhua reservoir, Gaoping river weir, Interconnecting pipeline, Simulation.

Huang, W.C.*, Wen, P.H., & Huang, C.H. (2024). "Joint Operation of Nanhua Reservoir and Gaoping River Weir." *Journal of Taiwan Agricultural Engineering*, 70(3), 1-10.

[https://doi.org/10.29974/JTAE.202409_70\(3\).0001](https://doi.org/10.29974/JTAE.202409_70(3).0001)

一、前言

高雄與台南地區的自來水需求主要是由曾文水庫、南化水庫及高屏攔河堰來提供用水，如圖 1 所示 (<https://www.wrasb.gov.tw/>)。高雄地區每日自來水需求量約 150 萬噸，其中約 110 萬噸經由高屏攔河堰取水供應。由於南部地區豐水期 (5~10 月) 平均降雨量與枯水期 (11~4 月) 平均降雨量之比例約為 9:1 (<https://www.wrap.gov.tw/>)，豐枯期之差異相當明顯，因此水資源聯合調度對於台灣南部地區相當重要。若高屏攔河堰取水不足，則需仰賴南化水庫提供用水，但南化高屏聯通管最大輸水量為 50 萬噸/日；而台南地區的每日自來水需求量約 100 萬噸，其中約 60% 來自南化水庫，40% 來自曾文及烏山頭水庫。

高屏溪流域面積達 3,257 km²，是台灣最大的集水區，但流域內除了旗山溪越域引水至南化水庫外，並無其他大型水利設施。根據各區域公共用水供需檢討 (行政院，2021)，顯示高雄及台南地區目標年 125 年每日用水需求將分別達 170 萬噸及 120 萬噸，而現況供水能力仍有供需缺口存在。為了穩定高屏攔河堰的供水，及減輕南化水庫供水壓力，曾文-南化聯通管於 2024 年完工，此屬雙向備援工程管路，啟用後將可提供南化水庫或烏山頭水庫最大 80 萬噸/日的輸水量，相互支援高雄或台南地區的用水需求 (行政院，2018；行政院，2022)。

本研究主要目的在探討南化水庫與高屏溪攔河堰之聯合調度對高雄地區的供水效益。研究中根據河川歷史日流量、自來水需水量、水庫庫容及操作規線、攔河堰取水及聯通管輸水限制等條件進行數值模擬，將分別探討高雄地區之現況與未來用水可靠度、滿足率、及缺水指數。另外本研究也將針對高屏溪攔河堰之流量狀況進行水文分析，並評估新近完工之曾文南化聯通管的輸水功效。

二、研究方法概述

2.1 Mann-Kendall 趨勢分析

Mann-Kendall 趨勢檢定廣泛的使用於水文觀測資料分析 (Hamed and Rao, 1998； Yue *et al.*, 2002；葉振峰等，2015)，能用來檢驗時間序列是否具有漸增或漸減的趨勢，透過常態變量 T 值來判定趨勢。本研究採用假設顯著水準 $\alpha = 5\%$ ，若 $|T| > T_{\alpha/2} = 1.96$ ，

表示時間序列具有漸增或漸減之趨勢，若 T 值為正值則序列具有漸增的趨勢，若 T 值為負值則序列具有漸減的趨勢。

2.2 超越機率分析

超越機率分析可了解不同期距的水文的豐枯，提供該期距的潛能水量分布，以為供水情勢分析用，於河川引水中將可了解各旬取水的可靠度。本法先將 n 筆同時段之歷史流量紀錄資料由大至小排列，並採用韋伯法 (Weibull, 1939) 分析將第 m 筆資料 (x) 發生的超越機率百分比 $P(X \geq x) = m/(n+1)$ ，以 $P(X \geq x)$ 為橫軸，流量 X 為縱軸，將不同的超越機率百分比值點繪資料於圖上，即可構成超越機率曲線圖。

2.3 延時曲線分析 (Ponce, 1989; Singh, 2002; Mays, 2011)

河流之天然流量特徵可藉由延時曲線 (Duration curve) 表現出來。延時曲線可表示成流量等於或大於某流量之時間百分比。若要研究一無蓄水能力之引水計劃 (如攔河堰)，時間單位為日，根據引水量大小即可算出其滿足時間百分比。計算上將某流量站歷年日流量按大小排序，再採用韋伯法分析第 m 筆資料 (x) 發生的時間百分比 $P(X \geq x) = m/(n+1)$ ，以 $P(X \geq x)$ 為橫軸，流量 X 為縱軸，點繪資料於圖上即可。

2.4 模擬分析指標

本研究將採模擬法 (Simulation) 進行水資源系統分析。模擬法為根據系統設定之條件，如水庫不同操作策略或運轉規則，以數值方法來模擬系統的反應 (如放水量和蓄水量變化等)，以進行水資源供需分析，此法常應用於水資源長期規劃模擬用。本研究將以供水可靠度、供水滿足率、及公共用水缺水指數 (Shortage Index, SI) 三指標，用來評估相關之供水狀況 (USACE, 1963；Chen and Chen 2019；Huang and Chang, 2022)。各指標定義如下：

$$\text{供水可靠度} = \frac{\text{供水滿足天數}}{\text{供水總日數}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{供水滿足率} = \frac{\text{實際供水量}}{\text{需水量}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

$$SI = \frac{100}{N} \sum \left(\frac{\text{年缺水量}}{\text{年計畫供水量}} \right)^2 \dots\dots\dots(3)$$

目前南化水庫運用要點中指明該水庫得與高屏溪攔河堰相互聯合運用，運用規線分上限及下限 (<https://www.wra.gov.tw/>)。惟水位在下限以下時，要點僅說明必要時應予打折。為模擬計，本研究中以供水量之 70 % 來計算。

三、高屏溪攔河堰之流量分析

3.1 高屏河流域水文資料基本分析

根據圖 1 水資源系統所示，本研究所需資料除了南化水庫操作規則，及相關取水設施限制外 (堰及聯通管)，主要是各取水點的流量資料。日流量資料乃由水利署南區水資源分署所提供，分別有南化水庫、曾文水庫、甲仙攔河堰、高屏溪攔河堰等處之來水量資料。2001 ~ 2020 年資料顯示其基本統計值如表 1 所示，其中甲仙攔河堰日流量於 2008 ~ 2013 年有部分資料缺失，南化水庫進水量包括後堀溪來水及甲仙堰取水。表 1 顯示高屏堰取水處之年來水量相當豐沛，高達 92.15 億噸，遠大於曾文水庫的 12.43 億噸年入流量，及南化水庫的 3.24 億噸年進水量，有關高屏堰之來水將於 3.2 ~ 3.4 節作進一步資料分析。

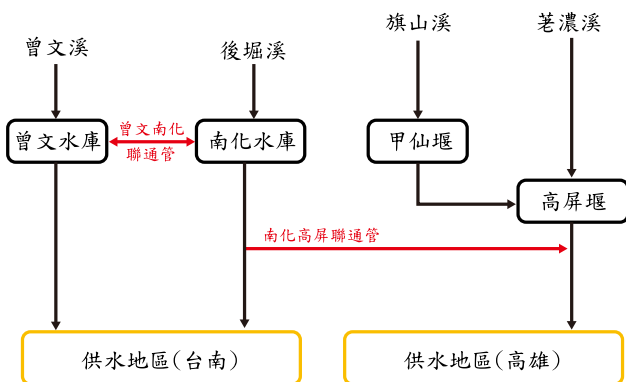


圖 1 高雄與台南地區水資源供水系統示意圖

表 1 流域來水資料基本分析 (單位:億噸)

	曾文水庫 入流量	甲仙堰 來水量	高屏堰 來水量	南化水庫 進水量
年平均	12.43	10.42	99.15	3.24
標準差	4.75	4.66	57.92	0.97

3.2 年流量分析 (M-K test 分析)

高屏溪攔河堰於 2001 ~ 2020 之年流量分布如圖 2 所示。20 年資料中平均年流量為 99.2 億噸，顯然 2002、2014、2015、2020 等四年屬枯水年，年來水量均低於 50 億噸；而 2005 ~ 2008 等四年屬豐水年，尤其 2005 年的 221.2 億噸及 2006 年的 234.9 億噸水量更屬豐沛。今採用 M-K test 分析來判斷有無明顯趨勢變化。樣本數 $n = 20$ ，在 $\alpha = 5\%$ 的顯著水準下， $T_{\alpha/2} = 1.96$ ， $|T| = |-1.04| < T_{\alpha/2}$ ，顯示高屏攔河堰在這 20 年間的年流量並無明顯漸增或漸減的趨勢。

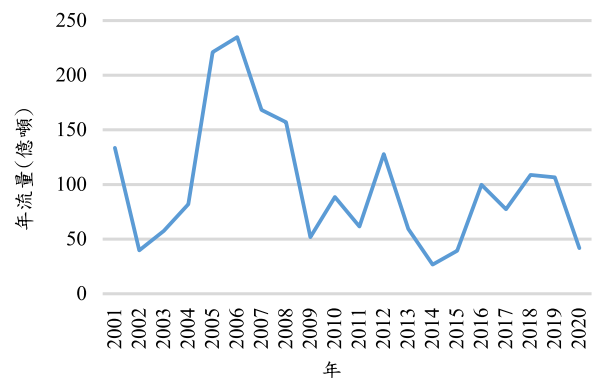


圖 2 高屏溪攔河堰年流量分布圖

3.3 月流量分析 (超越機率分析)

根據 2001 至 2020 年高屏攔河堰各月流量資料，不同超越機率之曲線 (0.1 ~ 0.95) 如圖 3 所示。其中豐水期 (5 ~ 10 月) 平均累積流量為 93 億噸，枯水期 (11 ~ 4 月) 則僅 5 億噸，豐枯比高達 95 % : 5 %，比例相當懸殊。由於高屏河流域目前是有水無庫，在水資源運用上，須與其他流域之聯合調度更形重要與迫切。

另外根據各月之超越機率分布及各月用水需求量，可得知各月之取水可靠度，做為供水調配之依據。圖 3 顯示每日需水量 150 萬噸、170 萬噸、200 萬噸之各月之取水可靠度。其中需水量 150 萬噸/日情境下，5 ~ 12 月期間之取水可靠度皆達 100 %，3 月則最低僅為 61.43 %；在 170 萬噸/日下，6 ~ 10 月取水可靠度為 100 %，3 月取水可靠度則下降至 26.88 %。當需水量達 200 萬噸/日時，3 月取水可靠度更低至 16.48 %，故為避免發生缺水狀況，高雄地區尤需留意枯水期間的供水調度。

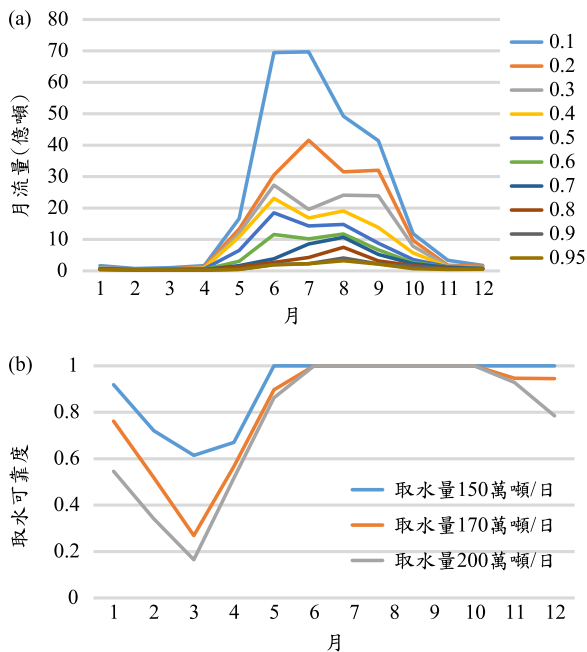


圖 3 (a)高屏溪攔河堰之超越機率；(b) 與各月取水可靠度

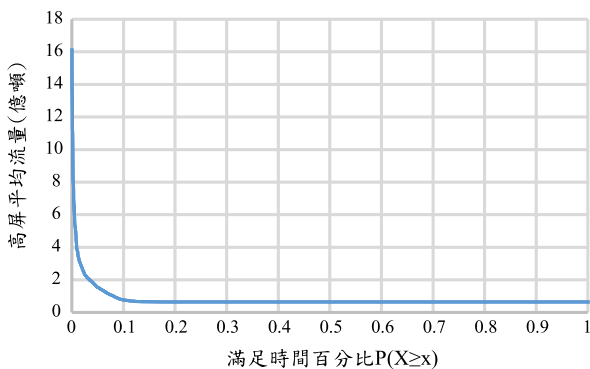


圖 4 高屏溪攔河堰之日流量延時曲線

3.4 日流量延時曲線分析

高屏溪攔河堰之日流量延時曲線如圖 4 所示。當每日取水量分別為 150 萬噸、170 萬噸、200 萬噸，延時曲線顯示其滿足時間百分比分別為 86 %、80 %、73 %，也就是平均每年缺水天數分別為 50 天、74 天、100 天，比對圖 3，缺水之發生應集中於枯水期間。依照目前高屏攔河堰最大取水量 110 萬噸/日，基本上缺水天數不會超過 50 天，再藉由南化水庫的支援，供水狀況應尚穩定，此將於下一章節進行深入討論。

四、模擬結果及探討

探討南化水庫與高屏溪攔河堰之聯合調度所需資料如下：

1. 南化水庫日入流量 (2001 ~ 2020)、高屏溪攔河堰日流量 (2001 ~ 2020)；
2. 南化水庫每日支援台南地區 60 萬噸用水、高屏攔河堰每日需求量 110 萬噸；
3. 南化水庫有效庫容及操作規線；
4. 南化高屏聯通管輸水限制，每日最多 50 萬噸。

4.1 水庫操作規線之功效

根據水利署 2022 年測定 (<https://www.wra.gov.tw/>)，南化水庫目前有效容量為 8,949 萬立方公尺，但操作規線尚未更新，10 月至 12 月之上限仍高達 9,500 萬立方公尺。本研究於系統模擬中，將比較水庫操作規線之節水功效。若依照規限，當有效蓄水量低於下限，應予以減量供水，本研究採 7 折供應；若不考慮規線，南化水庫將無條件滿足需求量，直至空庫為止。結果顯示規線模擬之 SI 為 0.310，而無規線模擬之 SI 為 0.131，另從圖 5 之比較，也可看出在供水可靠度及供水滿足率上，不考慮規線操作似乎優於規線操作。但在缺水量上，規

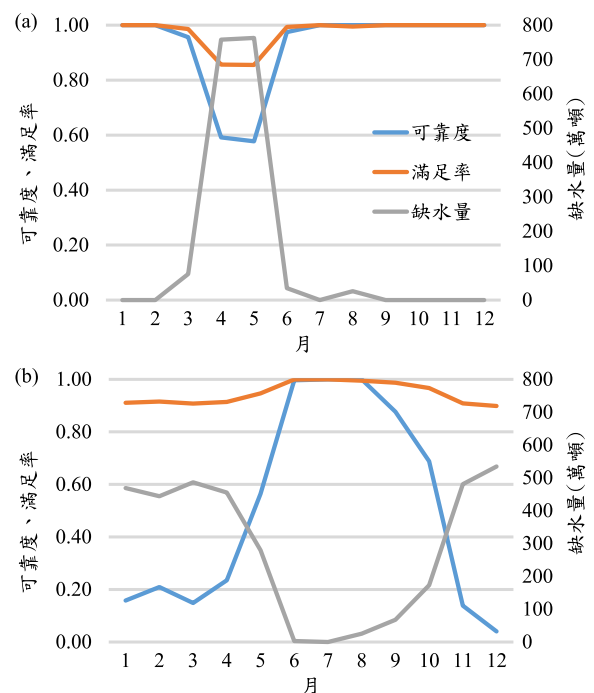


圖 5 聯合調度之可靠度、滿足率及缺水量比較：(a) 無規線、(b) 有規線

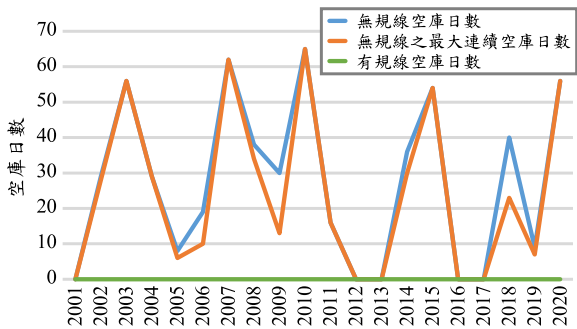


圖 6 規線與否之空庫日數比較圖

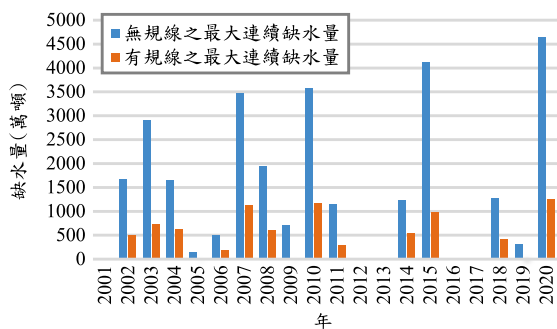


圖 7 規線與否之最大連續缺水量比較圖

線操作因考慮到節水打折，故將缺水問題均攤於各月份，不會造成特定時間嚴重缺水的問題。反之若不考慮規線操作，結果顯示在 4、5 月之缺水總量逼近 800 萬噸/月。另從歷年模擬中也發現依照規線調度，南化水庫均不會發生空庫現象；但無規線模擬顯示於 2003、2007、2010、2015、2020 年的最大連續空庫日數均大於 50 天（如圖 6、圖 7 所示），甚至 2005 及 2006 豐水年也有空庫的發生，也導致整個南化水庫與高屏攔河堰聯合調度系統之最大連續缺水量大幅成長，尤其 2015 及 2020 枯水年之最大連續缺水量更超過 4,000 萬噸，缺水相當嚴重，實屬操作管理的失誤。反觀規線操作之缺水量則大幅降低，此也充分顯示規線之設置於水庫操作之重要性。

4.2 聯合調度之分析

4.2.1 現況需求量

高屏流域年徑流量平均達 99.2 億噸，相當豐沛，但因豐枯比差異鉅大 (0.95:0.05)，且該流域尚無大型水庫蓄洪濟枯，因此高屏溪攔河堰在 2~4 月枯水期間之取水可靠度偏低（如圖 3 所示），故需南化水庫之支援。模擬結果顯示聯合調度大幅提升了高雄地區之用水穩定性。若以高雄地區用水來看，缺水

指數相當低，SI 僅為 0.004，遠低於常用 SI = 1 規劃標準（相當於年缺水率為 10%），從圖 8 也可看出各月之供水可靠度均大於 0.85，供水滿足率亦高於 0.95，其中 6 月至隔年 1 月之可靠度及滿足率均達 100%，而 2~5 月之平均缺水量至多也僅達 40 萬噸/月，聯合調度對高雄地區現況用水之改善相當顯著。另外目前高雄地區自來水水源供需尚有伏流水、地下水、及東港溪的補助 (<https://www.wrasb.gov.tw/>)，整體來說，高雄地區現況之水源供需應屬穩定。

兩者現況需求之聯合調度模擬結果（如圖 5 所示）也顯示整個水資源系統各月供水滿足率可達 0.9 以上，缺水指數 SI 為 0.310，雖仍低於 SI = 1 規劃標準，但也發現系統於枯水期間（11~4 月）之供水可靠度偏低，若可靠度低於 0.2 即相當於平均每月有 24 天水源不足，此也導致枯水期各月之缺水量均高於 450 萬噸。從圖 9 各年的缺水量分布中可發現高屏攔河堰缺水問題雖可獲得舒緩，但因南化水庫除了固定支援台南用水外（60 萬噸/日），亦需支援補足高雄之缺水（最大輸水量 50 萬噸/日），故南化水庫每年均會發生供水不足現象，且其缺水量遠大於高屏溪攔河堰之缺水量，模擬顯示整個水系統之平均

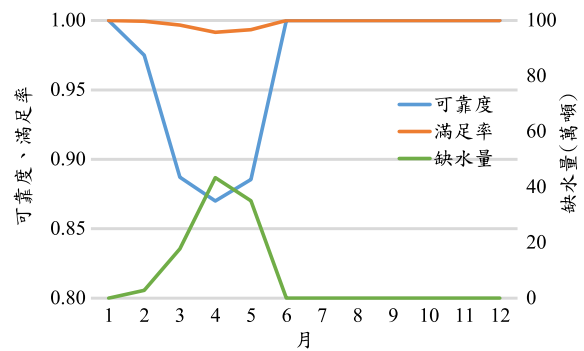


圖 8 聯合調度對高雄地區現況用水之改善

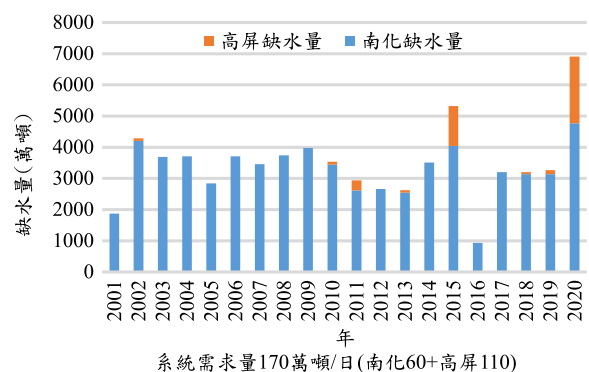


圖 9 聯合調度中現況南化水庫與高屏溪攔河堰之缺水量比較

表 2 高雄地區用水成長分析

高屏溪攔河堰取水量	110 萬噸/日 (現況)	150 萬噸/日	170 萬噸/日	200 萬噸/日	222 萬噸/日
SI (南化-高屏)	0.310	0.339	0.431	0.709	1
SI (高屏)	0.004	0.049	0.110	0.299	0.534
平均年缺水量 (萬噸)	3470	5404	7467	12248	16727
高雄地區平均年缺水量 (萬噸)	210	1341	2566	5200	7534

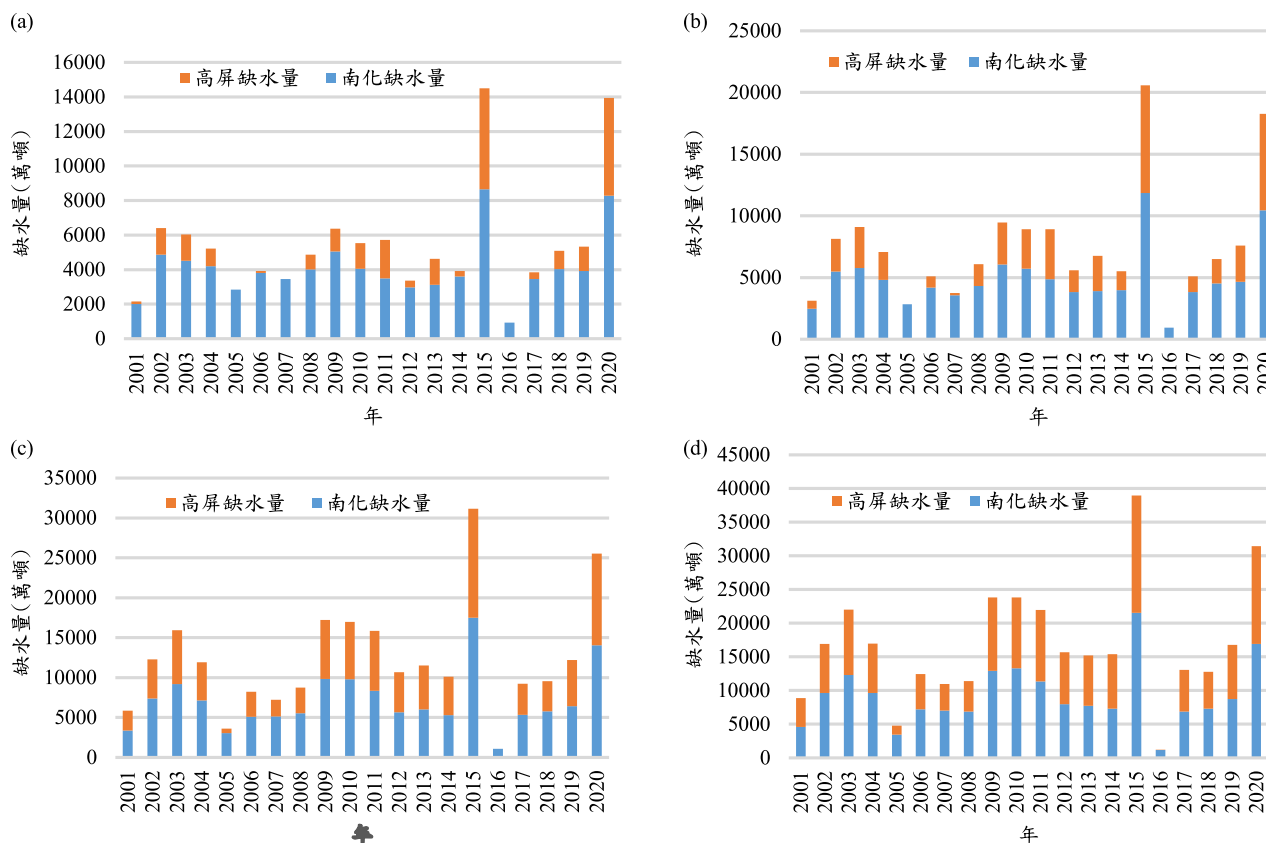


圖 10 聯合調度中高雄地區不同需求下南化水庫與高屏攔河堰之缺水量比較：(a) 需求量 150 萬噸/日、(b) 需求量 170 萬噸/日、(c) 需求量 200 萬噸/日、(d) 需求量 222 萬噸/日

年缺水量為 3,470 萬噸，其中南化缺 3,260 萬噸，而高雄缺水量僅有 210 萬噸 (如表 2 所示)，兩者平均年缺水量分攤比高達 15.52:1。例如 2015 及 2020 之枯水年，系統之年缺水總量分別達 5,000 萬噸及 7,000 萬噸，其中南化水庫分擔量均超過 4,000 萬噸，而 2005~2008 豐水年亦然，顯示南化水庫之供水壓力相當巨大。

4.2.2 未來需求量成長

根據各區域公共用水供需檢討 (行政院, 2021)，顯示高雄地區目標年 125 年每日用水需求將達 170 萬噸。本研究將進一步探討聯高雄未來用水成長對聯合調度的衝擊。今假設高雄地區用水仰賴高屏溪

攔河堰取水，當高屏溪攔河堰取水量分別提升至每日 150 萬噸、170 萬噸、200 萬噸時，如表 2 所示，整個水系統之缺水指數 SI 將分別達 0.339、0.431、0.709，導致平均年缺水量將分別達到 5,404、7,467、12,248 萬噸。若以目標年 125 年高雄地區用水需求 170 萬噸/日計，平均年缺水量仍有 2,566 萬噸，相當於約每日 7 萬噸的缺水量，應可從其它水源如伏流水 (行政院, 2018) 或地下水予以補足。

另外，從圖 10 也可看出在三種需求量情境下，各年缺水量多分別約有 4,000、5,000、10,000 萬噸，顯示聯合調度供水系統之缺水情況將逐漸惡化，而且缺水分攤至南化水庫肩為多，此也造成高雄地區用水之 SI 較低緣故，縱使缺水指數達 SI = 1 規劃

標準時，高屏溪攔河堰每日取水量可再提升至 222 萬噸，但平均年缺水量已高達 16,727 萬噸，其中南化缺水高達 9,193 萬噸，相當於目前整座南化水庫的有效庫容，而高雄地區缺水也達 7,534 萬噸，相當於每日缺 20.64 萬噸用水量，未來若無其他的水源開發或外部支援，將不利於南化水庫與高屏溪攔河堰聯合調度的供水任務。

4.3 曾文南化聯通管之功效

由於南化水庫供應公共用水負擔重，而曾文-烏山頭水庫總有效蓄水量為南化水庫有效蓄水量之 5.7 倍，故 2008 年行政院核定曾文南化聯通管工程計畫，曾文水庫能直接提供原水至南化淨水場，及銜接既有南化高屏聯通管，以強化區域水資源調度及備援能力。該聯通管定位為因應抗旱及緊急備援，但由於曾文水庫年基準分配水量中，農業用水需 9 億噸，占了分配水量之 86%，若遇枯旱時，巧婦難為無米之炊，猶需嘉南農田水利會協助，除了採行加強灌溉管理或休耕，是否仍有足夠水源來支援，仍須探究聯通管之功效為何。另行行政院於 2022 年復修正曾文南化聯通管工程計畫，擬透過新增備援專管，以重力送水方式將南化水庫水量透過聯通管反送至東口堰引至烏山頭水庫蓄存。

4.3.1 聯通管雙向支援之初步估算

根據兩地之水文特性，從圖 11 可發現曾文水庫日來水量及甲仙攔河堰日流量的相關係數達 0.73，也就是說兩地之水文一致性高，流量高低變化頗相似。茲更進一步考量南化水庫入流量及高屏溪攔河堰之來水量，及兩地之需求水量，圖 12 顯示在不考慮水庫調節情況下，考慮南化水庫及高屏攔河堰需水量 170 萬噸（南化每日支援台南 60 萬噸及高屏攔河堰每日需水量 110 萬噸），當不滿足時，若要利用聯

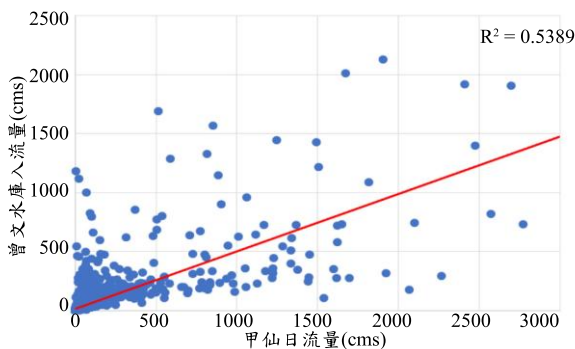


圖 11 曾文水庫入流量與甲仙攔河堰日流量之相關性

通管從曾文水庫支援南化水庫，當考慮農業用水，曾文需水量為 200 萬噸，超出此需水量才能支援南化水庫，支援南化水庫的機率微乎其微，只有 0.041%；當嘉南水利會考慮農業休耕，曾文水庫至少仍需 40 萬噸作為公共用水，超出此量才能支援南化水庫，則支援率增至 2.2%。基本上不管是否進行休耕，曾文支援南化的機率都相當低。另外由於曾文水庫荖濃溪越域引水工程擱置，並無額外水源可茲運用，同時黃文政等人 (2017) 研究顯示氣候變遷將影響曾文水庫集水區未來年 (2046~2065) 平均降雨量，曾文水庫入流量比現況 (1991~2010) 減少 2 億噸。在缺乏開源情境下，將無法顯現曾文南化聯通管往南化輸水之效益。

反之，在不考慮水庫調節下，曾文供水量不足 200 萬噸時，需要從南化水庫支援時，甲仙攔河堰的入流量必須大於 110 萬噸（南化每日支援台南 60 萬噸及南化高屏聯通管 50 萬噸輸水），超過的水量才能利用曾文南化聯通管來支援曾文水庫，在此情況下南化水庫可向曾文水庫的支援機率約為 14%，如圖 13 所示。由於此方案屬旗山溪水開發，明顯看出曾文南化聯通管向北送水遠比向南送水更有效益，因此本研究將根據現況用水量需求，進一步估算曾文南化聯通管之北送量多寡。

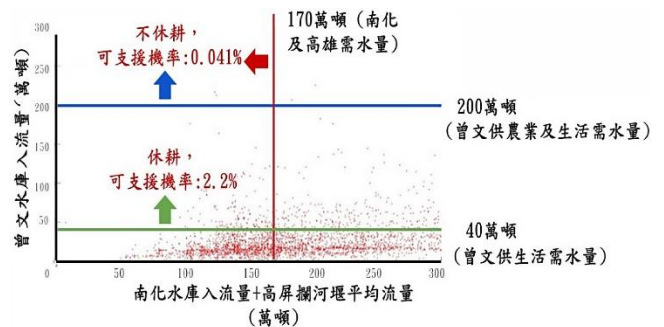


圖 12 曾文水庫支援南化水庫可行性

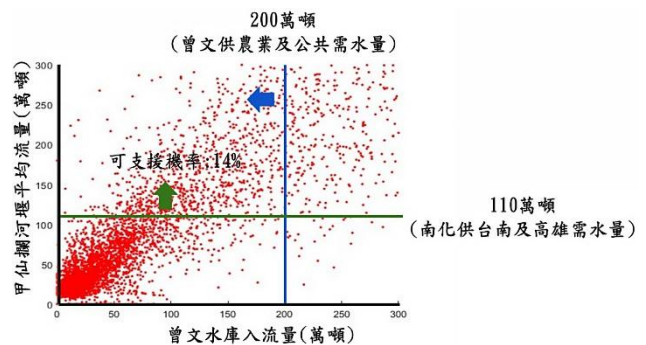


圖 13 南化水庫支援曾文水庫可行性

4.3.2 聯通管北送支援量分析

欲考量將南化水庫水量透過聯通管反送至烏山頭水庫，其限制條件如下：

1. 甲仙攔河堰每日最大可取水量 260 萬噸；
2. 甲仙攔河堰先滿足下游水權保留量，餘水再引至南化水庫；
3. 南化水庫須先滿足目前的南化及高雄需求量，若有滿庫溢流量發生，則透過聯通管北送到烏山頭水庫 (每日最大 80 萬噸)。

因甲仙攔河堰 2008~2013 年的資料不完整，故本研究乃根據 2001~2007 年及 2014~2020 年日資料分別進行模擬，為保守估計，模擬開始之南化水庫以空庫計。模擬結果顯示枯水期間並無多餘水量產出，僅在豐水期的 6~10 月有多餘水量藉南化水庫北送至烏山頭水庫蓄存 (如圖 14 所示)，平均每年有 3,271 萬噸餘水，且集中於 7~10 月颱風季節，其中 9 月的餘水高達 1,002 萬噸，水量相當豐沛。以年份來看，2015 及 2020 屬枯水年，故並未產生多餘水量

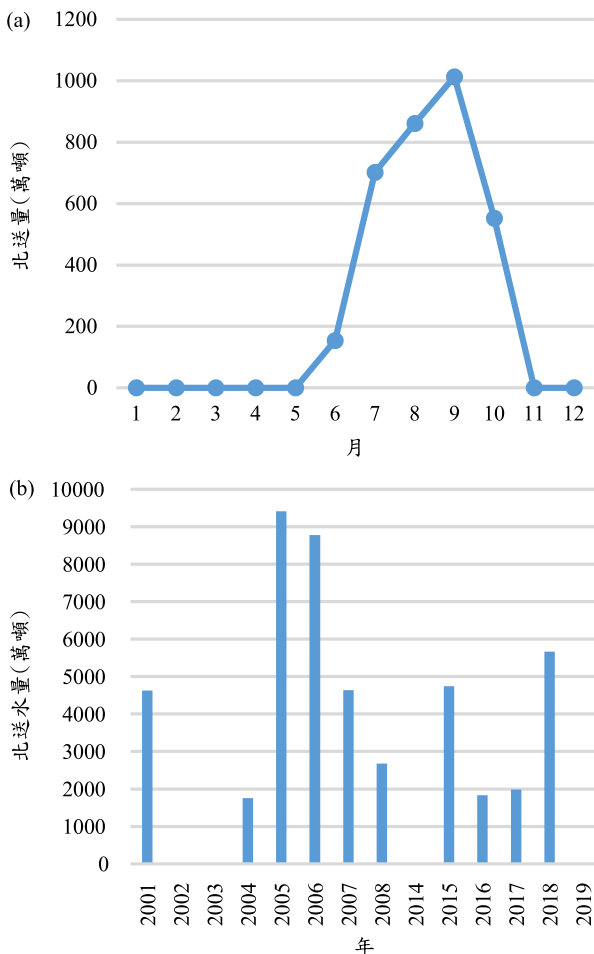


圖 14 曾文南化聯通管可北送水量：(a)月分布及 (b)年分布

可茲利用；反觀 2005~2007 等豐水年水量充沛，分別高達 9,418、8,780、4,716 萬噸餘水可供北送。整體而言，每年平均可從旗山溪的甲仙攔河堰，經由曾文南化聯通管輸送 3,271 萬噸水量至烏山頭水庫先行蓄存，若需要則可再南送支援南化高屏水系統。由於現況南化與高屏溪攔河堰之聯合調度中，平均年缺水量達 3,470 萬噸 (如表 2 所示)，曾文南化聯通管之運作應可發揮類似蓄洪濟枯之效。

五、結論

5.1 水資源狀況

1. 高屏溪年逕流量變化尚無明顯漸增或漸減的趨勢。
2. 高屏溪逕流量豐枯比高達 95%:5%。
3. 高屏溪攔河堰在日取水量 150 萬噸條件下，豐水期間 (5 月~10 月) 取水可靠度達 100%，滿足時間百分比 86%，平均年缺水日數僅 50 天。

5.2 南化水庫-高屏溪攔河堰聯合調度

1. 南化水庫操作宜根據規線調度，以避免空庫，而發生更大缺水狀況。
2. 南化-高屏聯合調度，在現況系統日需水量 170 萬噸條件下 (支援台南用水 60 萬噸及高屏需水量 110 萬噸)，缺水指數 $SI=0.310$ ，平均年缺水量為 3,470 萬噸，而南化缺水占 94%。在 $SI=1$ 時，高屏溪攔河堰每日取水量將可提升至 222 萬噸，但整體之平均年缺水量已高達 16,727 萬噸，其中南化年缺 9,193 萬噸，相當於目前南化水庫的有效庫容，而高雄地區年缺達 7,534 萬噸，相當於每日 20.64 萬噸缺水，故未來應尋求其他的水源開發或外部支援，以利於南化水庫與高屏溪攔河堰之聯合調度供水。

5.3 曾文-南化聯通管功效

1. 因兩地水文一致性高，即使考慮嘉南農業休耕，由曾文支援南化機率粗估僅 2.2%；但由南化支援曾文機率粗估則可達 14%。
2. 在考慮旗山溪下游水權及允許甲仙攔河堰充份取水條件下，模擬結果顯示在 6 月至 10 月期間，現況平均每年南化將可支援曾文 3,271 萬噸，效果顯著。

整體而言，高屏河流域之平均年來水量相當豐沛，達 99.2 億噸，但因豐枯比 (95 %:5 %) 差異明顯，故每年的枯水期間，尤其在 3 月易發生缺水現象，故需進行水資源的調度方可降低缺水風險。由於高屏溪目前並無大型水利設施得以蓄洪濟枯，所以現況還得仰賴南化水庫補充水資源，但由於南化水庫庫容不足一億立方公尺，且仍要負擔台南地區每日近 60 萬噸公共需求量，供水壓力頗為艱鉅。目前尚可運用曾文-南化聯通管將旗山溪 6~10 月豐水期之餘水北送至烏山頭水庫先行蓄存，但平均每年北送量只有 3,271 萬噸，由表 2 可看出此量僅能補足現況之年缺水量而已，長久之計，水利單位仍須考量如何充分利用高屏溪豐饒的來水量，以解除高屏地區未來可能面臨的缺水之苦。

誌謝

本研究承蒙國科會提供研究經費 (計畫編號：MOST 111-2625-M-019-004-MY2)，及感謝經濟部水利署南區水資源分署提供相關流量資料。

參考文獻

1. Chen, B.P.T., and Chen, C.S., "Feasibility Assessment of a Water Supply Reliability Index for Water Resources Project Planning and Evaluation." *Water*, 11(10), 2019, <https://doi.org/10.3390/w11101977>.
2. Hamed, K.H., and Rao, A.R., "A Modified Mann-Kendall Trend Test for Auto-correlated Data." *Journal of Hydrology*, 204(1-4), 182-196, 1998.
3. Huang, W.C., and Chang, C.W., "Water Shortage Risk in Taiwan's Silicon Valley." *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 2022, DOI: 10.1080/02533839.2022.2078420.
4. Mays, L. W., *Water Resources Engineering*. John Wiley & Sons, 2011.
5. Ponce, V. M., *Engineering Hydrology: Principles and Practices*. Prentice Hall, 1989.
6. Singh, V. P., *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Education, 2002.
7. U.S. Army Corps of Engineers, *Estimating Long-Term Storage Requirements and Firm Yield of Rivers*. Technical Bulletin, Number 9, Sacramento District, Sacramento, California, 1963.
8. Weibull, W., "A Statistical Theory of Strength of Materials." *IVB-Handl.*, 151, 1-45, 1939.
9. Yue, S., Pilon, P., and Cavadias, G., "Power of the Mann-Kendall and Spearman's Rank Test for Detecting Monotonic Trends in Hydrological Series." *Journal of Hydrology*, 259(1-4), 254-271, 2002.
10. 行政院，「曾文南化聯通管工程計畫」，2018。
11. 行政院，「伏流水開發工程計畫」(第一次修正)，2018。
12. 行政院，「臺灣各區水資源經理基本計畫」，2021。
13. 行政院，「曾文南化聯通管工程計畫」(第一次修正)，2022。
14. 葉振峰、葉信富、李振誥，「Mann-Kendall 及 Theil-Sen 檢定法評估臺灣地區長期河川流量長期時空趨勢變化」，中華水土保持學會年會及學術研討會，2015。
15. 黃文政、張修明、賈佳芸、朱泰毅，「氣候變遷對曾文-烏山頭供水地區水資源供需之衝擊評估」，農業工程學報，63(4)，2017。