因應莫拉克風災之臺灣南區公共用水緊急調度與改善策略探討

[1]、[2]、***[3]、***[4]、***[5]、***[6]

摘要

2009 年 8 月莫拉克颱風侵台期間，除造成嚴重的土石流及淹水災害，亦帶來缺水危機。曾文水庫啟動水力排砂，烏山頭水庫停止取水四週；南化水庫原水濁度偏高，造成南化給水廠暫停取水，台南用水區缺水三天，台灣自來水公司第六區管理處以調度區域內現有水源、減壓供水等方式因應，缺水情勢較輕微。高屏溪攔河堰原水濁度過高及取水路被泥沙完全淤積無法取水，加上南化水庫-高屏溪攔河堰聯通管於颱風期間被洪水沖斷無法導水，高雄用水區呈現嚴重缺水危機，台灣自來水公司第七區管理處統籌調度澄清湖與鳳山水庫蓄水及地下水、伏流水因應，惟岡山、燕巢、仁武與大社等地區因地理位置及自有水源不足，缺水情勢極為嚴重，不但人民生活不便，企業更蒙受重大損失。由於南區的整體水資源系統龐雜，導致緊急缺水時期之水量調度課題更形複雜，欲擬定系統最適調度策略，需要熟悉系統特性且具有豐富的調度經驗，若佐以有效率的區域水資源調度模式優選分析調度策略，便可在所需的調度時程內，研擬出盡量符合區域內各標的用水意願、穩定提供各標的用水的最佳水量調度策略，提高有限水資源的運用效率。本文廣泛蒐集各系統常態供水現況、颱風期間與之後的現地供水過程、供水缺口及緊急應變作為等，進行整體分析後，提出完整之備援供水系統建置建議。

關鍵字：區域水資源系統、破管、濁度、缺水、調度

[1] 工作單位+職務職稱
[2] 工作單位+職務職稱
[3] 工作單位+職務職稱
[4] 工作單位+職務職稱
[5] 工作單位+職務職稱
[6] 工作單位+職務職稱

壹、前言

莫拉克風災期間，南區三座主要水庫的原水濁度均偏高，亦執行不同性質的排砂作業，導致各用水區產生不同程度的缺水情事。

期間曾文水庫啟動水力排砂，導致烏山頭水庫因濁度偏高而停止取水，時值灌溉用水尖峰時期，水庫水位快速下降直至 El. 48 M，用水情勢一度緊張；南化水庫的庫水濁度過高，南化給水廠無力處理，因而造成台南地區停水 3 天；颱風期間牡丹水庫利用控制閘門放流水庫下層庫水，使得原水濁度超過牡丹給水廠可處理標準，造成停止出水導致缺水。

此外，莫拉克亦造成高屏溪攔河堰(以下簡稱高屏堰)嚴重淤積至完全無法取水，加以南化水庫-高屏溪攔河堰聯通管(以下簡稱南化-高屏聯通管)在颱風期間被高屏溪水沖斷，南化水庫蓄水無法支援高雄用水區下造成嚴重缺水，某些地區缺水甚至長達一個月之久。

由上述各種狀況可知，南區各供水系統在莫拉克風災期間均因濁度、淤積、設施受損或水力排砂導致大小不一的缺水事件，本文綜合考量各系統的常態供水能力、莫拉克風災期間供水缺口及相關單位的緊急應變作為後，建議台灣南區在緊急缺水情事下的穩定供水策略。

貳、現況供水能力

一、曾文溪及高屏溪水源聯合運用系統

台南用水區的自來水供水情勢參見圖 1。平日烏山頭淨水場可出水 24 萬 CMD、潭頂 15 萬 CMD，合計 39 萬 CMD，當嘉南大圳北幹線歲修時，烏山頭淨水場方需要支援水上淨水場。受導水管容量限制，南化給水廠目前最大可出水量為 61 萬 CMD；設計處理水質為 600 NTU，處理標準為 2 NTU 時可出水 70 萬 CMD，4 NTU 時為 80 萬 CMD，實際處理後水質可達 0.5 NTU；當原水水質為 6,000 NTU 時仍可出水 50 萬 CMD。

高雄用水區供水情勢亦參見圖 1，高雄地區因應高屏溪不同濁度之淨水場供水調度水量參見表 1。位於北高雄之坪頂給水廠地面高程 72 M，重力條件幾乎可以供應全高雄區之用水，平時每日南送鳳山、赤山等地區 8 萬 m^3，係穩定大高雄地區供水之樞紐，惟主要水源取自川流水之高屏堰，另由南化－高屏聯通管提供部分水源，遇緊急缺水時並無其他大容量的水庫或蓄水池可補充水源，成為穩定高雄供水之最大隱憂。南高雄之鳳山給水廠及澄清湖給水廠各有水庫蓄水可供調節，淨水場間的導輸水管線連成管網，部份可相互支援；另有深井、九曲堂之地面水及伏流水等水源。

二、牡丹水庫供水系統

供水系統參見圖 2，主要由牡丹水庫以 ϕ800 mm 管線提供原水給牡丹給水廠處理，再以 ϕ900 mm 管線接 ϕ600 mm 管線將清水南送至恆春、滿洲等鄉鎮，另外接 ϕ800 mm 管線將清水北送，除供應沿線各鄉鎮外，最北可送至東港地區。牡丹給水廠一天平均出水 7.1 萬 m^3，其中 4.3 萬 m^3 支援東港地區，2.8 萬 m^3 供應恆春半島六鄉鎮。

叁、莫拉克風災之供水缺口

一、曾文溪及高屏溪水源聯合運用系統

(一)台南用水區

受高濁度影響，南化給水廠有 3 天無法出水，整體系統可出水量僅 45 萬 CMD，相對於需求之 84 萬 CMD，最大供水缺口為 39 萬 CMD。台灣自來水公司(以下簡稱台水)第六區管理處(以下簡稱六區處)增加潭頂與烏山頭淨水場出水量，並停止日常支援北高雄的 3 萬 CMD，各淨水場 8 月 7 日至 9 月 10 日之出水情況請參閱圖 3。

(二)高雄用水區

受到高屏堰淤積、南化-高屏聯通管斷管等影響，坪頂給水廠及拷潭淨水場減量出水，整體系統最小可出水量 87 萬 CMD，相對於需求水量 126 萬 CMD，最大供水缺口為 39 萬 CMD。台水第七區管理處(以下簡稱台水七區處)增加澄清湖與鳳山給水廠出水量，並啟動九曲堂及昭明抽水站，各淨水場啟用地下備援水源因應，出水情況請參閱圖 4。

二、牡丹水庫供水系統

本系統供水缺口如圖 5 所示，牡丹給水廠可處理的原水濁度不超過 3,000 NTU，8 月 7 日至 8 月 12 日期間因水庫排水之原水濁度過高無法處理，導致系統嚴重缺水。

肆、緊急供水之應變作為

一、曾文溪及高屏溪水源聯合運用系統

自 8 月 9 日至 12 日因南化水庫原水濁度升高導致南化給水廠無法處理出水，台水六區處緊急因應，以事先蓄存之南化給水廠 6 萬 m^3 原水池與 10 萬 m^3 清水池、豐德配水池 8 萬 m^3 清水、中崙加壓站 7.5 萬 m^3 清水及台南配水中心的 6 萬 m^3 清水支援南化給水廠的供水缺口，烏山頭淨水場增量出水至 26~28 萬 CMD，同時對北台南子用水區減量供水僅至 14 萬 CMD，以增撥水量至 12~14 萬支援南台南子用水區。

當北高雄的坪頂給水廠出水量不足時，台水七區處會增加澄清湖與鳳山給水廠出水量，啟動九曲堂伏流水 10 萬 CMD 補充，因南化水庫原水濁度升高南化-高屏聯通管減量取水時，再啟動會結伏流水 6 萬 CMD，當南化-高屏聯通管無法供水時，再依情況採分區輪流水。

高屏堰在 8 月 8 日下午 3 時取水口的擋泥攔污閘門業已全部關閉，並改用後方側槽取水，以引取較低濁度原水；南化水庫原水濁度升高至 10,000 NTU，南化-高屏聯通管供水量由 30 萬 CMD 降至 20 萬 CMD。高屏堰自 8 月 11 日下午開始抽砂，沈砂池淤積至 El. 17 m。8 月 11 日下午 18 時高屏堰水位 El. 18.7 m、濁度 49,000 NTU；南化水庫水位 El. 180.29 m、濁度 40,000 NTU，南化-高屏聯通管被沖斷，可供水量為 0 萬頓。8 月 14 日高屏堰水位 El. 16.65 m、濁度 14,000 NTU；南化水庫水位 El. 180.13 m、El. 171 m 位置之濁度 118 NTU，南化-高屏聯通管供水量 0 萬頓。

北高雄地區自 8 月 10 日起有 24 萬 CMD 供水缺口，8 月 11 日全高雄地區不足 39 萬 CMD，此時澄清湖蓄水量為 160 萬 CMD，由昭明抽水站補充 12 萬 CMD 原水，約可再供應 6 天，鳳山水庫蓄水約可再供應 10 天。南化水庫之清水可於 8 月 15 日 6 點以後提供 3~5 萬 CMD，8 月 16 日可提供 10~15 萬 CMD。

台水七區處臨時抽水站於 8 月 17 日 24 時前啟動 2 台抽水機，供水 30 萬 CMD；高屏堰抽水站於 8 月 18 日 24 時啟動 1 部抽水機，供水 12 萬 CMD，共恢復供水 42 萬 CMD。8 月 19 日 24 時抽水站再啟動 1 部抽水機，增加供水 19 萬 CMD 及臨時抽水站啟動第 3 部抽水機供水 25 萬 CMD，共可供水 86 萬 CMD。

8 月 18 日澄清湖有效蓄水量為 28 萬 m^3，原水由昭明抽水站補充 15 萬 CMD、九曲堂 10 萬 CMD、高屏堰 5~10 萬 CMD；鳳山水庫有效蓄水量為 100 萬 m^3，由港西抽取原水 42 萬 CMD 補充。

二、牡丹水庫供水系統

本次颱風水庫總放水量 9,676 萬 m^3，約 3.4 倍的水庫總蓄水量，水庫當局經由控制閘門排放大量泥沙，造成庫水濁度上升，超過牡丹給水廠之原水濁度處理標準 3,000 NTU。期間為使牡丹給水廠可順利供應民生用水，分別於 8 月 8、9、10 日 3 次關閉控制閘門停止排砂作業，依據「牡丹水庫水門操作規定」，下放上下層阻水閘門(8 日 9~11 時、9 日 9 時~22 時、10 日 8

時~11 時)實施上層取水作業(取水孔 El. 128 M)，但皆無法有效降低濁度至牡丹給水廠可處理之標準。經檢討後採取同時開啟控制閘門排砂，俟濁度降低再取水予牡丹給水廠處理供水。

伍、缺水原因檢討

一、原水濁度升高

南化水庫集水區發生超大豪雨，造成大量的沖蝕、崩坍與土石流，使得原水濁度遠超過南化給水廠的處理能力，以致停止出水。

恆春地區降雨集中於 7、8 兩日，牡丹水庫上游最大時雨量 43.5 mm (8 月 7 日 10 時至 11 時)，且自 7 日 0 時至 8 日 24 時共計降下 778 mm 雨量，造成原水濁度迅速上升，超過牡丹給水廠的濁度處理標準 3,000 NTU。

二、設施故障或破壞

高屏堰沉砂池及台水公司抽水站遭洪水淹沒與全面淤積，以致清淤不及無法取水。另方面南化－高屏聯通管被溪水沖斷，無法導水支援。

三、缺乏專用排沙設施

南化水庫僅有一個出水口，必須取水時，便無法掌握時機蓄清排渾；若為避免取水口前庭被泥沙淤埋，或配合異重流到達壩前時排渾，則淨水場無法取水，影響大台南地區之供水。另因現有排放設施進水口設有攔污柵，排沙作業時，漂流木阻塞於攔污柵上，無法更有效排放，必須先予清除。

四、水流時間限制

如果管路中無水，則導水前須先蓄滿水，維持滿管狀態流動，方不受水流時間限制。台南區的潭頂淨水場自嘉南大圳南幹線取水，原水自烏山頭水庫放出，其水流時間需 8 小時；若在灌溉期間，則需由烏山頭水庫增放水量方得取水，否則將影響灌溉。如果自南化至台南之清水管，或南化－高屏聯通管內無水，則需要 3 天以上時間方得以注滿水管及完全排除管內空氣後才可送水。

陸、最佳水量調度分析策略

本文以通用性區域水資源調度優選模式(周乃昉、吳嘉文，2010)分析莫拉克風災後的南區系統最佳水量調度策略，水量調度系統如圖 6 所示。所模擬的災害因素均依照現地記錄，以忠實呈現莫拉克風災之缺水情勢，及探討有否改善空間。現地實際可供調度的水源包括：坪頂給水廠可取用竹仔寮地下水、大崗山給水廠可取用手巾寮地下水、拷潭淨水場可取用翁公園地下水、澄清湖給水廠與拷潭淨水場可取用高屏溪沿岸伏流水、澄清湖水庫蓄水、鳳山水庫蓄水及烏山頭淨水場超量出水等。優選分析時程自 8 月 7 日至 9 月 10 日，各蓄水設施之起始蓄水採用 8 月 6 日結束時的蓄水量，曾文水庫為 14,139 萬 m^3、烏山頭水庫為 5,231 萬 m^3、南化水庫為 8,308 萬 m^3。各淨水場以實際出水量為可調度水量的上限，以反映水庫因蓄水濁度偏高或實施水力排砂等情事，導致相關淨水場出水受限之情況。

南區系統於莫拉克風災期間各設施受損情形如下：1.曾文水庫蓄水濁度過高，當局啟動 PRO 排砂，烏山頭水庫(東口堰)因為濁度過大停止取水，此外兩座曾文電廠輸電鐵塔倒塌，電廠停止發電；2. 9 月 3 日至 9 月 4 日烏山頭水庫水位降至 El. 49 M 以下，庫底蓄水濁度高，烏山頭淨水場停止出水；9 月 3 日至 9 月 4 日烏山頭水庫集水區降下大雨，逕流沖蝕庫底淤泥，導致潭頂淨水場暫停出水；3.甲仙堰 8 月 8 日至 9 月 10 日清理淤積，無法引水進南化水庫；4. 8 月 9 日至 8 月 12 日南化水庫蓄水濁度過高，南化給水廠無法處理出水；5.南化－高屏聯通管於 8 月 8 日遭高屏溪沖毀無法導水；6.高屏堰初期 8 月 7 日受濁度影響取水量遞減，減量抽水至 72.7 萬 CMD，中期 8 月 8 日至 8 月 16 日因取、放水路及沈砂池淤積嚴

重，暫停抽水，後期 8 月 17 日至 8 月 20 日清淤後，逐步恢復供水。

優選模式之調度成果示如圖 7 至圖 14，由圖 8 可知，現地調度之缺水情勢與調度模式優選成果之供水趨勢相近，顯現操作人員已確切掌握系統可用水源；由圖 9 可知模式調度成果較現地調度成果樂觀。圖 10 與圖 11 比較南化給水廠與烏山頭淨水場的模式出水過程及現地出水過程；圖 12、圖 13 與圖 14 比較坪頂、澄清湖與鳳山給水廠的調度模式出水過程及現地出水過程。由於調度模式採用固定需求，現地情況則每天的需求略有差異，故出水過程並未完全相同。

8 月 9 日至 8 月 12 日南化水庫無法出水、高屏堰無法抽取原水及南化－高屏聯通管損毀時，整體調度策略建議烏山頭淨水場減供北台南，支援南台南；澄清湖給水廠全力支援北高雄；南高雄缺水則由鳳山淨水廠支援。8 月 13 日至 9 月 2 日台南地區已可常態供水而不缺水，高雄用水區因高屏堰無法抽取原水及南化－高屏聯通管損毀，故調度模式建議澄清湖給水廠全力支援北高雄，南高雄缺口則由鳳山淨水場承擔，當高屏堰逐步恢復抽水後，澄清湖給水廠減少支援北高雄，改為支援拷潭淨水場缺口。9 月 3 日至 9 月 4 日潭頂淨水場無法出水時，供水缺口由南化增供補足，台南區仍不致缺水。

柒、穩定供水策略

一、曾文溪及高屏溪水源聯合運用系統

(一)已研議與辦理中的改善計畫

由於是水利主管機關及台水公司已辦理中的工作，故僅概要列出而不說明：

1.自來水自有水源區內調度。
2.既有水源跨區調度。
3.增建南化給水廠至豐德配水池管線。
4.增建南化水庫原水導送拷潭淨水場工程。
5.台一線曾文溪橋至 178 線路口段幹管改善。
6.官田至善化間管線改善工程。
7.鳳山厝至岡山聯絡管工程，可解決高雄北送支援台南之供水瓶頸。
8.擴大或改善南化-高屏聯通管改善通水瓶頸，確保可以設計容量導水。
9.改善高屏堰穩定取水機能。
10.南化水庫緊急取水工程。
11.抽水井清淤計畫。
12.南化給水廠新設 20 萬 m^3 初沉池。
13.開發高屏溪沿岸不涉及水權爭議的淺層地下水及伏流水。

(二)本文建議辦理之其他策略

1.移用嘉南農田水利會烏山頭水庫或高雄農田水利會的農業用水。
2.先行增建曾文水庫越域引水工程計畫之曾文-南化原水聯通管工程。
3.擴大或改善南化-高屏聯通管導水容量。
4.維持淨水場在高屏溪沿岸既有取水功能，做為高屏堰無法供水時之備援水源。
5.在高屏堰上游高屏溪右岸河川地設置原水沈砂暨蓄水池。
6.提升淨水場淨水處理能力，包括加快混擬沉澱速率、提高污泥處理能力。
7.恢復啟用曾文備用淨水場。
8.恢復里港深井。
9.阿公店水庫蓄水備用，擴大淨水場處理能力，以於高濁度時期增加短期出水量。
10.持續水庫清淤，增加曾文、烏山頭及南化水庫的有效庫容，以互為備援。
11.高屏大湖初期工程賦予部分備援功能。
12.持續施做曾文越引計畫工程。
13.重啟美濃水庫計畫，或可朝小容量的備援水源，或滯洪水庫做先期開發。

二、牡丹水庫供水系統

本系統目前沒有任何備援水源及備用水量，所以首要在於開發原水備援水源，其次提升淨水場淨水處理能力與加大蓄水池，兼蓄存備用水量。相關策略如下所述：

1.開發士文水庫，預估供水能力為 22 萬 CMD，若與牡丹水庫聯合運用，二者供水能力合計可達 36 萬 CMD，不但可滿足屏東地區的用水，更可支援高雄地區的用水。

2.恢復並維護恆春地區原屬自來水公司的地下水井，以強化備援供水能力，若逢嚴重枯旱年亦可分擔供水壓力。

3.逐步開發或增加租用台糖的深井地下水源。

4.恢復港西淨水場地下水井，用以支援東港地區用水需求。

5.開發高屏大湖，同時配合台水公司相關輸水管線規劃供應北屏東及東港地區。

6.建議於牡丹給水廠改善計畫中加強該水場對原水濁度之處理能力，或增加備用水量等機制，包括興建沉砂池加強沉澱及增建備用清水池，以因應該系統無備用水源支援之窘境。

7.恢復停用中之港西及恆春淨水場，作為屏東地區的備援系統。

三、管理系統與工具

建議建置區域水源調度優選模式，及建置最佳開發規模評估模式。

雖然高雄地區已因應不同濁度設定各淨水場出水量，但是並未考量可用的水源量及應調度天數，實務上各淨水場需分擔的出水量組合方案眾多，改善方案是在區域系統下建置水源調度優選模式，提供最適的水源運用。此外，本文對曾文溪－高屏溪及牡丹供水系統建議諸多改善策略，但與已研議及辦理中的改善計畫，在功能上相互間或有重複投資之虞，必須估算各改善方案的實質有效供水量；又各項改善方案之供水可靠度及開發成本亦不同，有必要以最經濟有效的組合循序推動，因此需要建置最佳開發規模評估模式，以客觀評估最經濟的開發順序。

參考文獻

1.南區水資源局 (2005),「高屏溪攔河堰高濁度缺水分析及改善策略檢討計畫」。

2.南區水資源局 (2005),「南部地區各供水區域間輸配水管網調查分析及緊急應變措施研擬」。

3.台灣省自來水公司 (2006) ,「大高雄地區穩定供水報告_七區處」。

4.南區水資源局 (2006),「南部地區水資源利用整體檢討」。

5.南區水資源局 (2008),「牡丹水庫運用要點檢討」。

6.周乃昉、吳嘉文 (2010),「通用性廣域水資源運用模擬模式」，農業工程學報，第 56 卷，第 1 期，第 1-12 頁。

圖與表

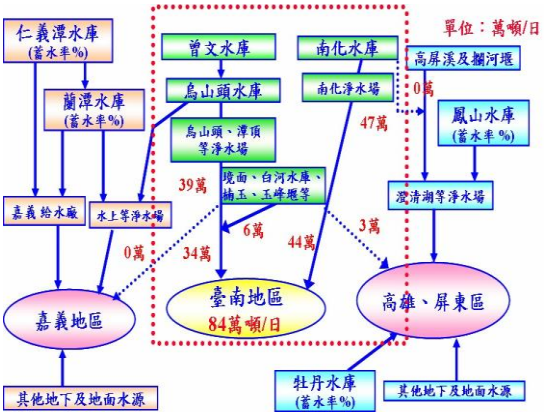

圖 1 台南及高雄用水區 2009 年之供水情勢

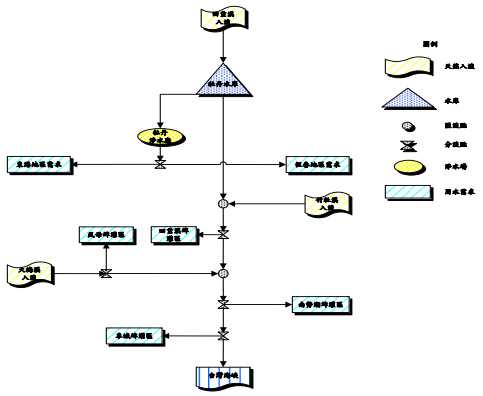

圖 2 牡丹水庫供水系統

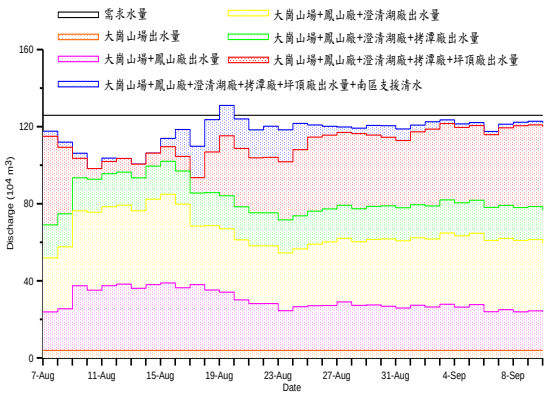

圖 4 高雄地區各淨水場出水量過程

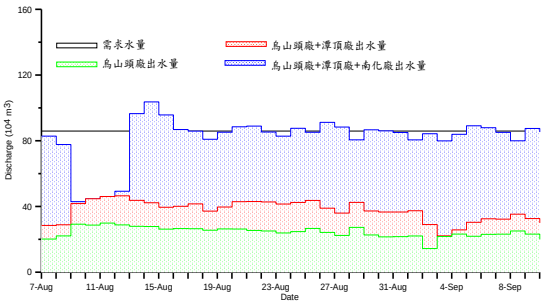

圖 3 台南地區各淨水場 8 月 7 日至 9 月 10 日出水量過程

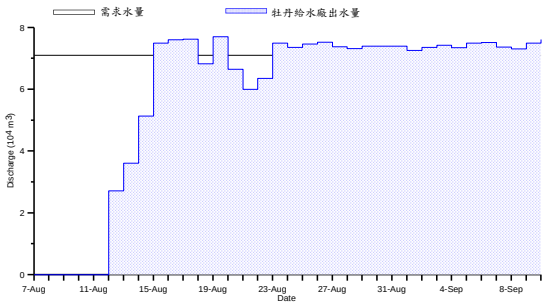

圖 5 牡丹給水廠出水過程

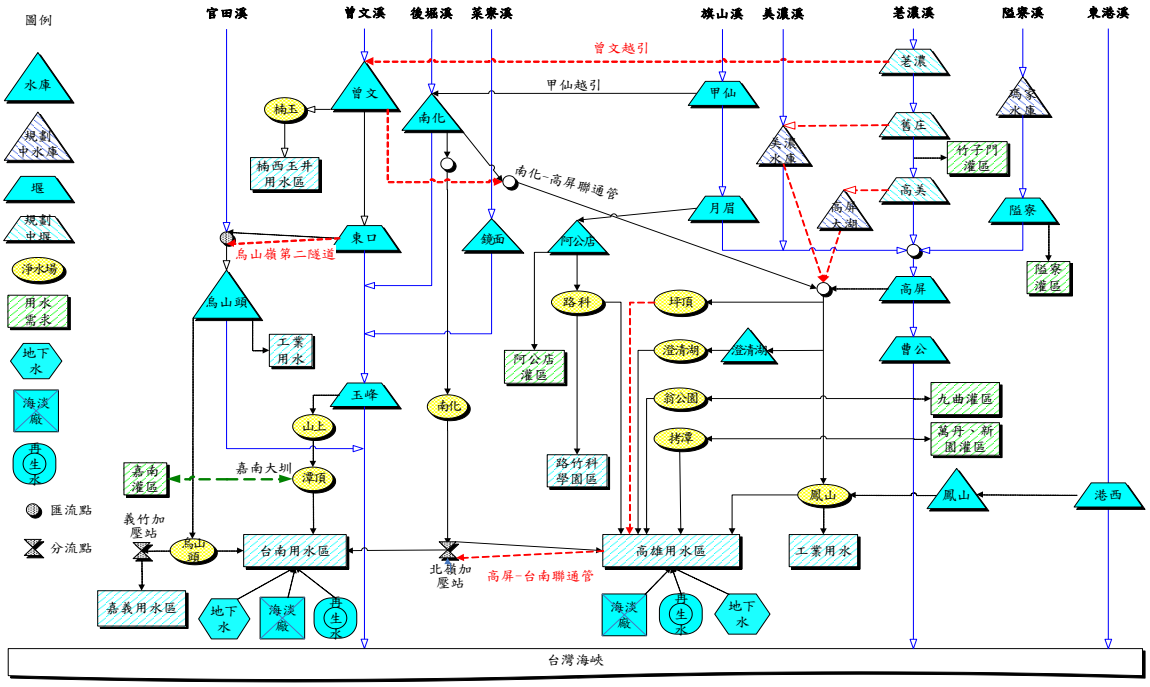

圖 6 曾文溪－高屏溪區域聯合調度系統示意圖

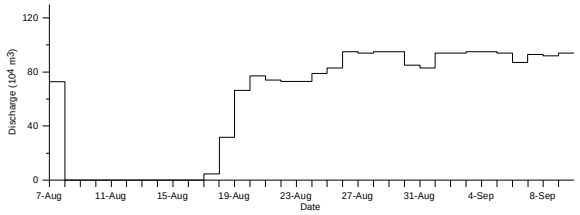

圖 7 高屏堰實際抽水過程

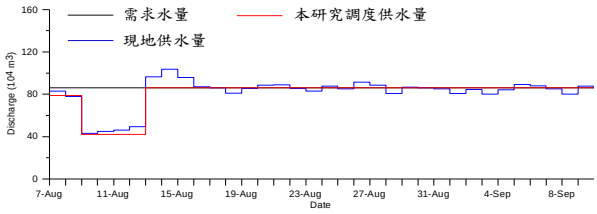

圖 8 台南用水區缺水情勢

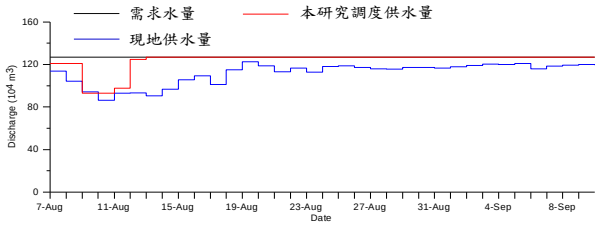

圖 9 高雄用水區缺水情勢

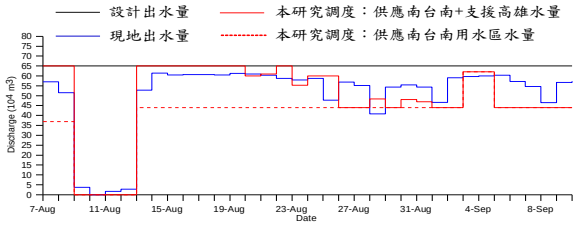

圖 10 南化給水廠出水過程

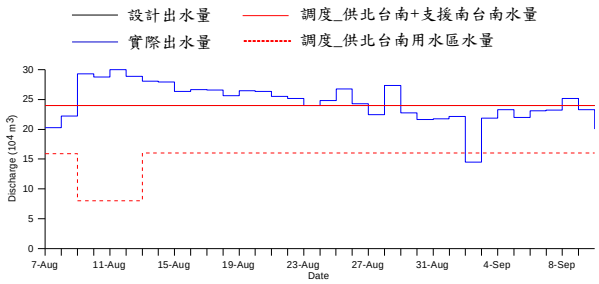

圖 11 烏山頭淨水場出水過程

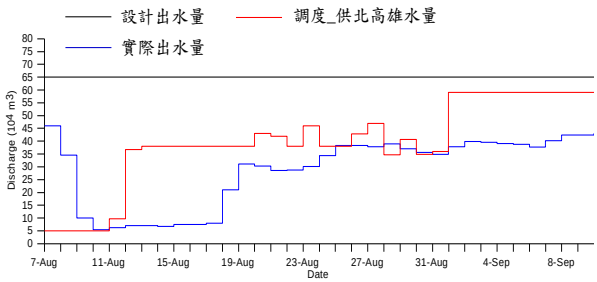

圖 12 坪頂給水廠出水過程

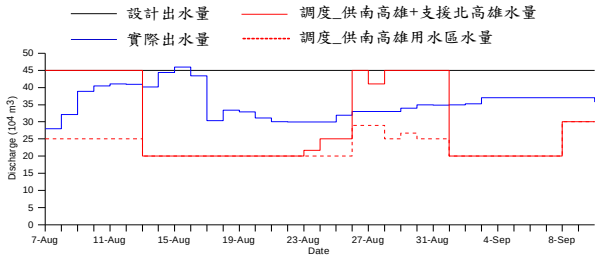

圖 13 澄清湖給水廠出水過程

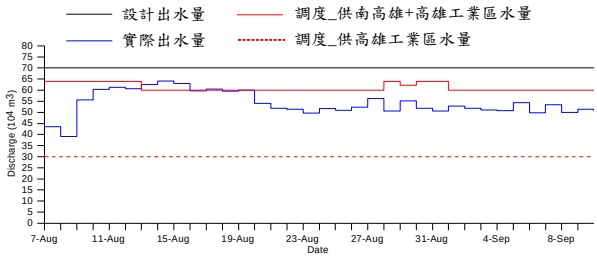

圖 14 鳳山給水廠出水過程

表 1 高雄用水區各相關淨水場在高屏溪不同濁度下之供水調度計畫

淨水場/給水廠	3,000 NTU 以下	3,000-6,000 NTU	6,000-10,000 NTU	10,000-15,000 NTU	15,000 NTU 以上
坪　頂	45	35	20	15	若濁度連續 3 小時高於 15,000 NTU，無水庫水源之坪頂給水廠考慮停止供水。
澄清湖	38	38	36	35	
拷　潭	17	17	12	9	
鳳　山	11	11	23	27	
南　化	10	20	25	25	
大崗山	4	4	4	4	
合　計	125	125	125	120	