



因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)

The Adaptation to Climate Change Impact on
Water Supply and Economy (1/2)



主辦機關：經濟部水利署

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

中華民國 108 年 12 月

因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)

The Adaptation to Climate Change Impact on
Water Supply and Economy (1/2)

主辦機關：經濟部水利署

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

計畫主持人：游保杉

中華民國 108 年 12 月

目錄

表目錄.....	表-1
圖目錄.....	圖-1
摘要.....	摘-1
Abstract.....	A-1
結論與建議.....	結-1
第一章 前言.....	1-1
一、計畫緣起與目的.....	1-1
二、計畫研究區域.....	1-2
三、計畫工作項目.....	1-2
四、關鍵項目說明與定義.....	1-5
五、水資源經濟與政策評估架構.....	1-6
第二章 基本資料蒐集、水文特性分析及現況與未來氣候變遷情勢分析.....	2-1
一、基本資料蒐集.....	2-1
二、水文特性分析.....	2-15
三、現況與未來氣候變遷情勢分析.....	2-23
第三章 盤點現況與未來各標的用水供需情勢與抗旱措施.....	3-1
一、臺南地區供水量.....	3-2
二、臺南地區需水量.....	3-3
三、四大穩定供水策略.....	3-6
四、抗旱措施與歷年枯旱事件.....	3-15
第四章 水源供需模式建置與驗證.....	4-1
一、臺南地區水源供需系統.....	4-1
二、水資源政策評估下水源供需模式建置.....	4-1
三、水資源政策評估下水源供需模式驗證.....	4-3
第五章 可能水文情境下水源枯旱風險評估.....	5-1
一、水文情境研擬.....	5-1

二、水源枯旱風險分析	5-17
第六章 可能水文情境下水源枯旱風險經濟分析	6-1
一、經濟分析理論方法	6-1
二、水源枯旱風險經濟分析	6-3
三、水源枯旱風險經濟分析結果	6-9
參考文獻	參-1
附錄一 氣候變遷情境說明	附 1-1
附錄二 降尺度產品介紹	附 2-1
附錄三 缺水量-延時-頻率年曲線繪製流程	附 3-1
附錄四 可能水文情境雨量資料	附 4-1
附錄五 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)期中報告書審查意見 及處理情形	附 5-1
附錄六 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)期末報告書審查意見 及處理情形	附 6-1

表目錄

表 1-1	水資源經濟與政策評估架構之功能元件說明與工作項目對照	.....1-9
表 2-1	臺南地區主要集水區之流量推估公式	.....2-4
表 2-2	各水源設施採用蒸發量資料統計表	.....2-5
表 2-3	曾文水庫標高-面積-容積表(民國 106 年 10 月測)	.....2-5
表 2-4	烏山頭水庫標高-面積-容積表(民國 100 年測)	.....2-5
表 2-5	南化水庫標高-面積-容積表(民國 101 年 11 月測)	.....2-6
表 2-6	曾文電廠至西口各段輸水損失率歷年調查研究	.....2-6
表 2-7	曾文、烏山頭水庫串聯運用規線	.....2-9
表 2-8	曾文水庫與烏山頭水庫各標的年基準分配水量	.....2-10
表 2-9	曾文、烏山頭水庫平水年各標的年基準分配水量表	.....2-14
表 2-10	曾文水庫之門檻值法分析結果(1/2)	.....2-19
表 2-11	南化水庫之門檻值法分析結果(1/2)	.....2-21
表 2-14	曾文水庫集水區各季節總雨量趨勢檢定結果	.....2-30
表 2-15	曾文水庫集水區各季節總雨量變異點檢定結果	.....2-30
表 2-16	南化水庫集水區各季節總雨量趨勢檢定結果	.....2-31
表 2-17	南化水庫集水區各季節總雨量變異點檢定結果	.....2-32
表 2-18	曾文水庫之年最小流量趨勢檢定結果	.....2-33
表 2-19	曾文水庫之年最小流量變異點檢定結果	.....2-33
表 2-20	南化水庫之年最小流量趨勢檢定結果	.....2-35
表 2-21	南化水庫之年最小流量變異點檢定結果	.....2-35
表 2-22	曾文水庫之超越機率流量趨勢檢定結果	.....2-36
表 2-23	曾文水庫之超越機率流量變異點檢定結果	.....2-36
表 2-24	南化水庫之之超越機率流量趨勢檢定結果	.....2-38
表 2-25	南化水庫之超越機率流量變異點檢定結果	.....2-38
表 2-26	計畫區域內主要集水區於氣候變遷下各季節雨量變化情況	.....2-41
表 2-27	計畫區域內主要集水區於氣候變遷下各月份雨量變化情況	.....2-41
表 3-1	臺南地區趨勢中成長未來用水需求表	.....3-5

表 3-2	臺南地區工業區未來用水需求統計表	3-5
表 3-3	四大穩定供水策略彙整表(1/5).....	3-10
表 4-1	臺南地區主要水源供需系統之供水潛能驗證結果	4-6
表 5-1	現況下各種水文情境組合之發生機率	5-16
表 5-2	A2-CSMK35 下各種水文情境組合之發生機率.....	5-16
表 5-3	氣候變遷對各種水文情境組合發生機率之影響	5-17
表 5-4	臺南地區之水資源調適策略組合	5-17
表 5-5	可能水文情境下臺南地區不同調適策略組合之缺水率	5-20
表 6-1	投入產出表(產業關聯表).....	6-2
表 6-2	區域產業關聯表.....	6-3
表 6-3	民國 100 年臺灣產業關聯表(投入產出表).....	6-5
表 6-4	臺灣五區域區域產業關聯表	6-8
表 6-5	民國 105 年各縣市農業產值	6-10
表 6-6	民國 105 年工業與服務業普查	6-10
表 6-7	民國 105 年工業及服務業普查(1/2).....	6-11
表 6-9	民國 106 年各地區產業產值	6-13
表 6-10	民國 106 年各區域農業用水	6-13
表 6-11	民國 106 年各地區工業用水.....	6-14
表 6-12	民國 106 年各地區生活用水	6-14
表 6-13	民國 106 年各地區用水量	6-14
表 6-14	民國 106 年各地區用水量	6-15
表 6-15	民國 106 年各地區部門單位用水價值	6-16
表 6-16	各情境部門缺水經濟直接衝擊(情境一：臺南地區).....	6-17
表 6-17	各情境部門缺水經濟直接衝擊(情境二：南科地區).....	6-18
表 6-18	各情境缺水產業關聯效果	6-23
表 6-19	各情境區域部門缺水產業關聯效果(情境一).....	6-24
表 6-20	各情境區域部門缺水產業關聯效果(情境一).....	6-25
表 6-21	各情境區域部門缺水產業關聯效果(情境二).....	6-26
表 6-22	各情境區域部門缺水產業關聯效果(情境二).....	6-27

圖目錄

圖 1-1	可能水文情境下水源枯旱風險與經濟影響評估架構圖	1-3
圖 1-2	水資源經濟與政策評估架構介面示意圖	1-8
圖 2-1	臺南地區供水系統圖.....	2-3
圖 2-2	曾文、烏山頭串聯運用規線	2-8
圖 2-3	南化水庫運用規線.....	2-11
圖 2-4	白河水庫運用規線.....	2-12
圖 2-5	計畫區域各季節雨量佔全年雨量百分比	2-16
圖 2-6	低流量事件之定義.....	2-16
圖 2-7	曾文水庫集水區各季節總雨量時間序列資料與趨勢	2-29
圖 2-8	南化水庫集水區各季節總雨量時間序列資料與趨勢	2-31
圖 2-9	曾文水庫之年最小流量.....	2-33
圖 2-10	南化水庫之年最小流量	2-34
圖 2-11	曾文水庫歷年之超越機率流量.....	2-36
圖 2-12	南化水庫歷年之超越機率流量	2-37
圖 2-13	氣候變遷情境下曾文水庫與南化水庫集水區之各季節總雨量	2-40
圖 3-1	臺南地區自來水系統用水供需圖	3-1
圖 3-2	臺南地區水源供需盤點與四大穩定供水策略	3-2
圖 4-1	臺南地區供水系統圖.....	4-1
圖 5-1	可能水文情境研擬流程.....	5-2
圖 5-2	臺南主要集水區之梅雨情境特徵線	5-10
圖 5-3	臺南主要集水區之颱風雨情境特徵線	5-11
圖 5-4	基期與氣候變遷情境下梅雨情境特徵線	5-12
圖 5-5	基期與氣候變遷情境下颱風雨情境特徵線	5-13
圖 5-6	水文情境組合與發生機率計算方式	5-14
圖 6-1	量化枯旱經濟風險評估程序圖	6-3

摘要

本計畫目的係評估惡劣水文條件下臺南地區水源供應情況與枯旱事件對其產業造成之經濟影響，並配合未來可能上場或推動之水資源調適策略進行對應之水資源供應與經濟分析，以瞭解水資源經理基本計畫、四大穩定供水策略以及前瞻計畫內水資源調適策略之效益，提供後續水資源政策推動作為參考。以下針對計畫內容進行摘要說明：

一、前言

本計畫重點為評估可能水文情境下水源枯旱風險與經濟影響，並依據分析結果進行調適策略評估，以提供水資源政策推動參考。為此，本計畫研提水資源經濟與政策評估架構，呈現不同調適策略對應之水資源枯旱風險與經濟影響，以瞭解各個調適策略之重要程度，並進一步提供風險資訊(缺水率或經濟影響之期望值)作為政策評估之依據。其中，水資源經濟與政策評估架構主要元件包含：情境設定、調適策略、水文情境、缺水分析、經濟分析以及決策分析。在此政策評估架構下，關鍵項目包含：(1)氣候變遷情境與可能水文情境與(2)水源枯旱風險，針對各項目說明如下：

(一)氣候變遷情境與可能水文情境

本計畫藉由綜合考慮氣候變遷情境與可能水文情境，進行惡劣水文條件研擬，作為後續水源供需分析與經濟分析之依據，以評估惡劣水文條件下臺南地區可能面臨之水資源枯旱風險，其定義如下：

惡劣水文條件 = 氣候變遷情境 + 可能水文情境 (摘-1)

其中，氣候變遷情境主要係考慮長期水文特性之改變，例如：梅雨降雨總量之平均值減少 10%；而可能水文情境主要則係考慮水文變異所導致之豐枯情況，例如：梅雨偏少、無雨(空梅)、延遲以及正常之情況。

(二)水源枯旱風險

針對水文高度不確定性下之調適策略決策問題，參考決策理論

中期望值準則(expected value criterion)，整合機率概念進行水源枯旱風險之計算，提供決策者合理且客觀之量化風險值，以作為後續水資源政策推動參考。本計畫將水源枯旱風險定義為缺水率或經濟影響之期望值¹：

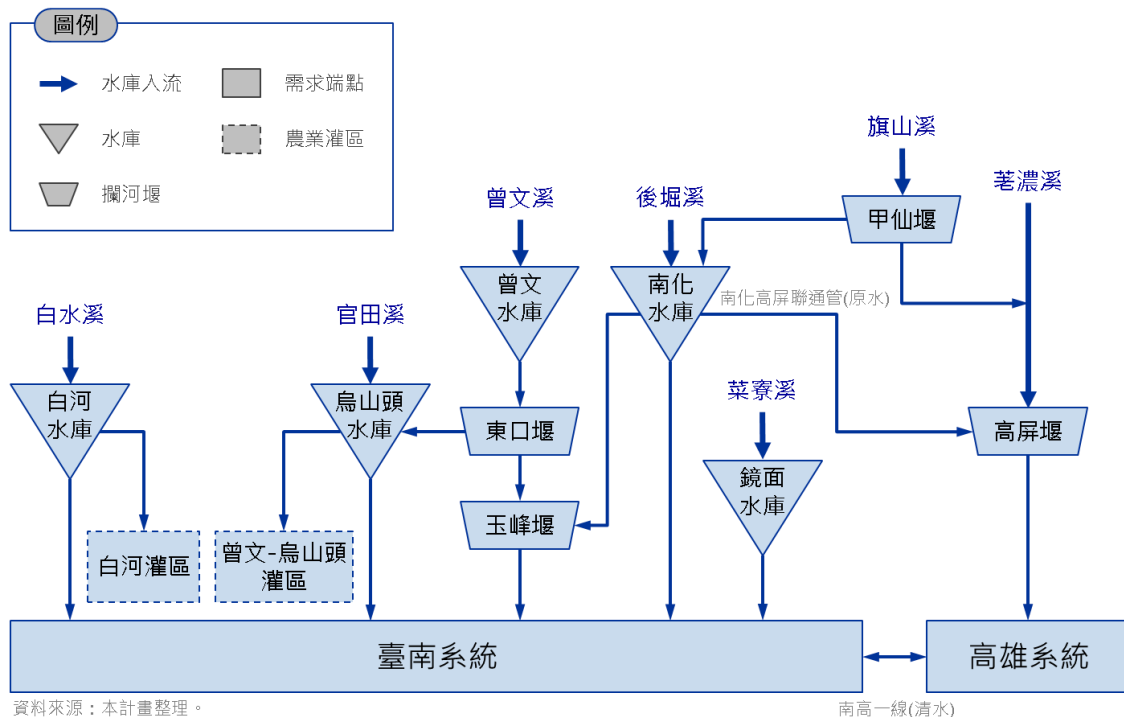
$$\text{水源枯旱風險} = \sum_{i=1}^N \text{缺水率}_i \times \text{水文情境發生機率}_i \quad (\text{摘-2})$$

其中， i 為水文情境之編號，而 N 則為水文情境之總數量。

二、基本資料蒐集、水文特性分析及現況與未來氣候變遷情勢分析

(一)基本資料蒐集

本計畫蒐集臺南地區之水源基本資料作為後續水源枯旱風險分析之依據，其包含：水資源系統架構、水文資料、生態基流量、水庫標高-面積-容積(H-A-V)曲線、輸水與淨水損失、水庫操作規線以及計畫配水量等水源供需相關資料。針對臺南地區供水系統整理如摘圖-1 所示，其主要供水設施包含：曾文水庫、烏山頭水庫、南化水庫、白河水庫、鏡面水庫以及玉峰堰。

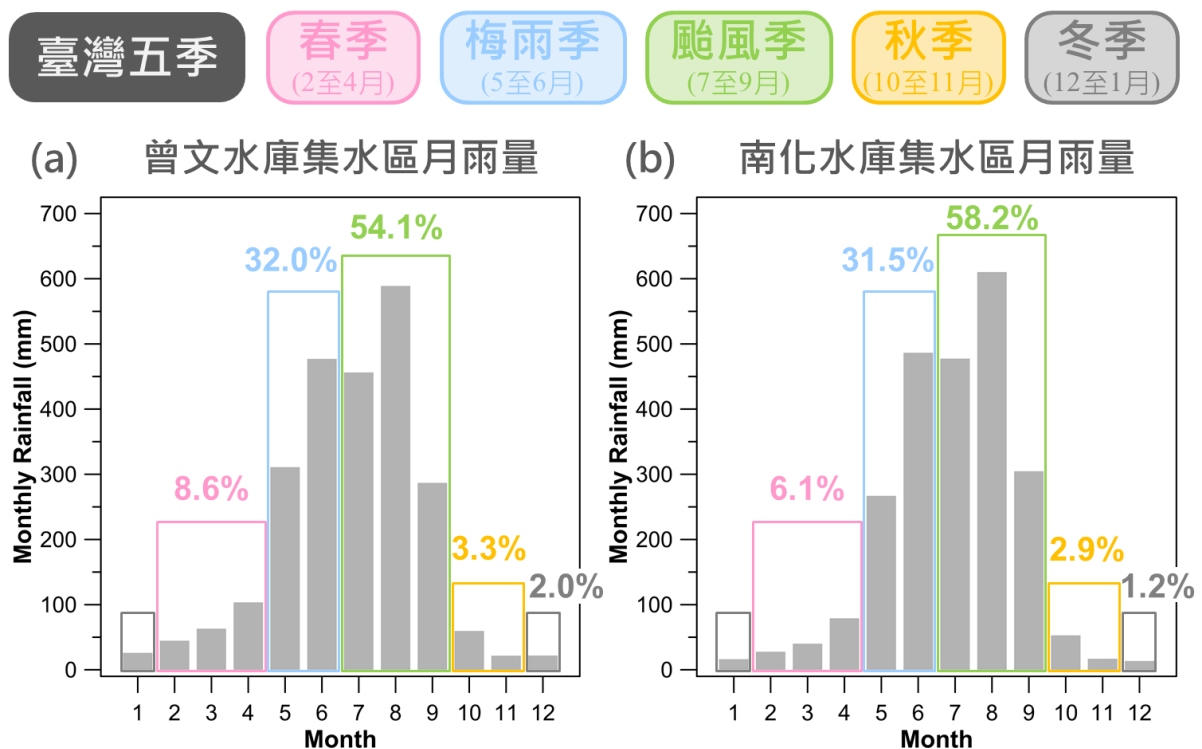


摘圖-1 臺南地區供水系統圖

¹第一年度計畫於水源枯旱風險定義上係先採用缺水率之期望值，待第二年度計畫完成全部之經濟分析成果，則改採用經濟影響之期望值來量化水源枯旱風險。

(二)水文特性分析

本計畫參考陳昭銘(民國 97 年)季節劃分方式，將臺灣季節分為五季，分別為：春季(2 至 4 月)、梅雨季(5 至 6 月)、颱風季(7 至 9 月)、秋季(10 至 11 月)以及冬季(12 月至隔年 1 月)，並針對計畫區域內兩大重要集水區：曾文水庫集水區與南化水庫集水區進行水文量統計分析，以瞭解各季節水文特性，並作為後續可能水文情境研擬之依據。水文特性分析主要係基於「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」產製之歷史觀測網格雨量月資料，挑選計畫區域集水區對應網格並統計其長期(民國 49 至 104 年)平均月雨量，分析結果(摘圖-2)顯示：曾文水庫集水區春季雨量佔全年雨量 8.6%，而梅雨季、颱風季、秋季以及冬季佔比則分別為 32.0%、54.1%、3.3% 以及 2.0%；南化水庫集水區春季雨量佔全年雨量 6.1%，而梅雨季、颱風季、秋季以及冬季佔比則分別為 31.5%、58.2%、2.9% 以及 1.2%。整體而言，曾文水庫集水區與南化水庫集水區雨量主要集中於梅雨季與颱風季，其佔全年雨量分別為 86.1% 與 89.7%。



註：集水區雨量分析成果係基於「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」產製之歷史觀測網格雨量月資料

摘圖-2 計畫區域各季節雨量佔全年雨量百分比

(三)現況與未來氣候變遷情境分析

1、現況氣候情勢

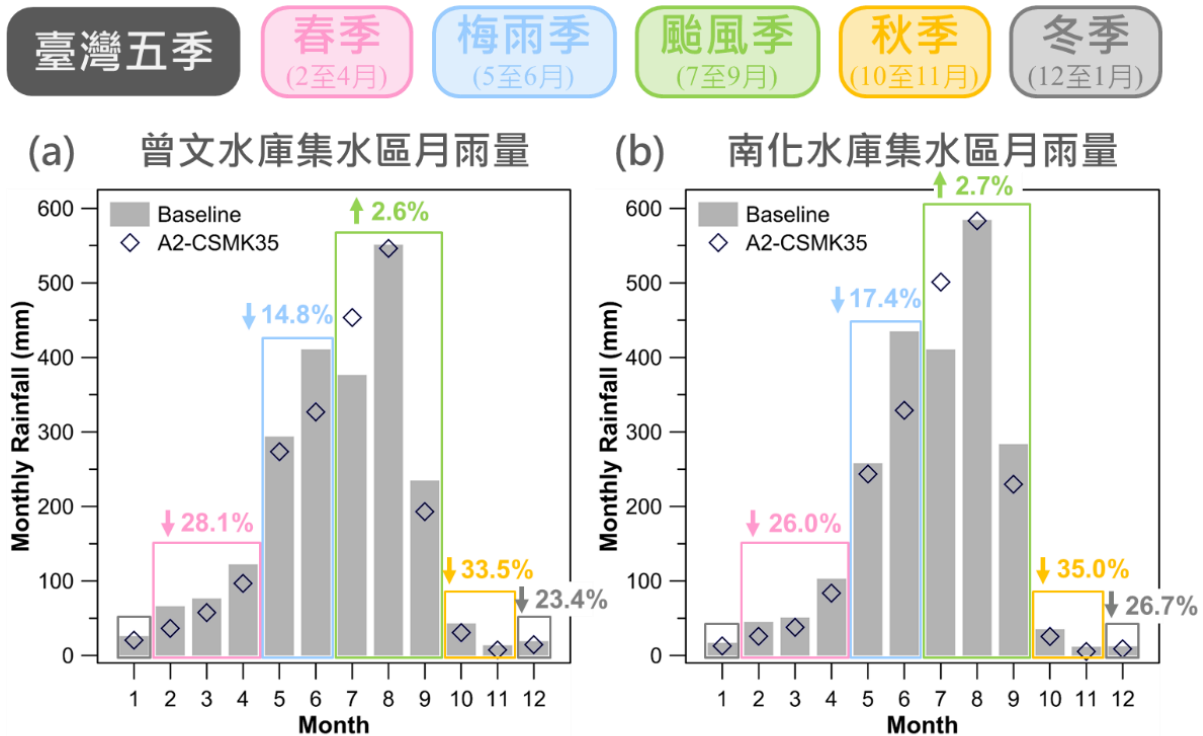
為瞭解曾文水庫季節雨量資料是否具有趨勢及變異點，針對其水文資料挑選各季節總雨量，進行核平滑分析、趨勢檢定以及變異點檢定。核平滑分析可快速檢視資料長期變動情況，其分析結果指出：曾文水庫集水區於颱風季與冬季之雨量有增加趨勢，而其餘季節則無明顯增減趨勢，其資料趨勢大致維持水平。然而，因冬季雨量佔全年雨量比例較低，其增加趨勢對於全年雨量之貢獻有限。在趨勢檢定結果之部分，各季節總雨量為增加情況且颱風季增加最多，僅冬季總雨量在統計上呈現顯著趨勢，其趨勢為 6.51 mm/10 年，而其餘季節之總雨量趨勢在統計上不顯著；而在變異點檢定結果之部分，颱風季總雨量存在顯著變異點於民國 92 年，冬季總雨量存在顯著變異點於民國 58 年，其餘季節之總雨量則無顯著變異點存在。

針對南化水庫各季節總雨量核平滑分析結果指出：颱風季與冬季之雨量有增加趨勢，而其餘季節則無明顯增減趨勢，其資料趨勢大致維持水平。然而，因冬季雨量佔全年雨量比例較低，其增加趨勢對於全年雨量之貢獻有限。在趨勢檢定結果之部分，各季節總雨量為增加情況且颱風季增加最多，僅冬季總雨量在統計上呈現顯著趨勢，其趨勢為 4.58 mm/10 年，而其餘季節之總雨量趨勢在統計上不顯著；而在變異點檢定結果之部分，僅冬季總雨量存在顯著變異點於民國 58 年，其餘季節之總雨量則無顯著變異點存在。

2、未來氣候情勢

為瞭解氣候變遷對於計畫區域內主要集水區雨量之衝擊，本計畫針對曾文水庫與南化水庫集水區之基期與未來情境下各季節總雨量進行比較分析(摘圖-3)。雨量衝擊分析結果顯示：在氣候變遷影響下曾文水庫集水區梅雨季與颱風季總雨量將分別減少 14.8%與增加 2.6%；而南化水庫集水區梅雨季與颱風季總

雨量將分別減少 17.4%與增加 2.7%。整體而言，臺南地區主要集水區未來於春季、梅雨季、秋季以及冬季之總雨量皆有減少情況，僅颱風季之總雨量有略微增加情況，未來颱風季曾文水庫與南化水庫之情境雨量分別增加 2.6%與 2.7%。在氣候變遷影響下，臺南地區豐枯水期雨量將會更加懸殊。



註：集水區雨量分析成果係基於「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」產製之歷史觀測網格雨量月資料

摘圖-3 氣候變遷情境下曾文水庫與南化水庫集水區之各季節總雨量

三、盤點現況與未來各標的用水供需情勢與抗旱措施

臺南地區現況(民國 108 年)需水量約 93.0 萬噸/日，而公共水源供給能力僅 82.8 萬噸/日，供需缺口約 10.2 萬噸/日，目前缺口主要係透過農業用水移用加以因應。然而，需水量於未來將持續成長，臺南地區民國 120 年趨勢中成長用水需求預計為 112.3 萬噸/日，增加水資源在調度管理上之困難與壓力，故水利署提出四大穩定供水策略與抗旱措施，以確保民國 120 年用水無虞，臺南地區水源供需盤點與四大定供水策略彙整如摘圖-4 所示。



摘圖-4 臺南地區水源供需盤點與四大穩定供水策略

四、水源供需模式建置與驗證

本計畫為探討建置水源供需模式之合理性，針對臺南地區主要供水系統彙整前期計畫之供水潛能分析結果，並採用相同分析條件與規則進行水源供需模擬，以作為供水潛能分析結果驗證之依據。針對曾文-烏山頭水庫系統，前期計畫推估供水潛能約 9.04 億噸/年，而本計畫推估結果約為 8.91 億噸/年，兩者差異約 1.4%；而針對南化水庫-甲仙堰、白河水庫以及玉峰堰，前期計畫與本計畫推估供水潛能之差異分別為 3.8%、1.1%以及 3.7%。整體而言，本計畫可合理推估臺南地區主要水源供需系統之供水潛能，與前期計畫推估供水潛能之差異約介於 1.1%至 3.8%之間，其差異主要係採用不同水源供需模式所造成。

五、可能水文情境下水源枯旱風險評估

(一)水文情境研擬

因臺南降雨集中發生於梅雨季與颱風季，故本計畫主要針對兩季研擬偏少、無雨、延遲以及正常之情境，針對水文情境研擬流程

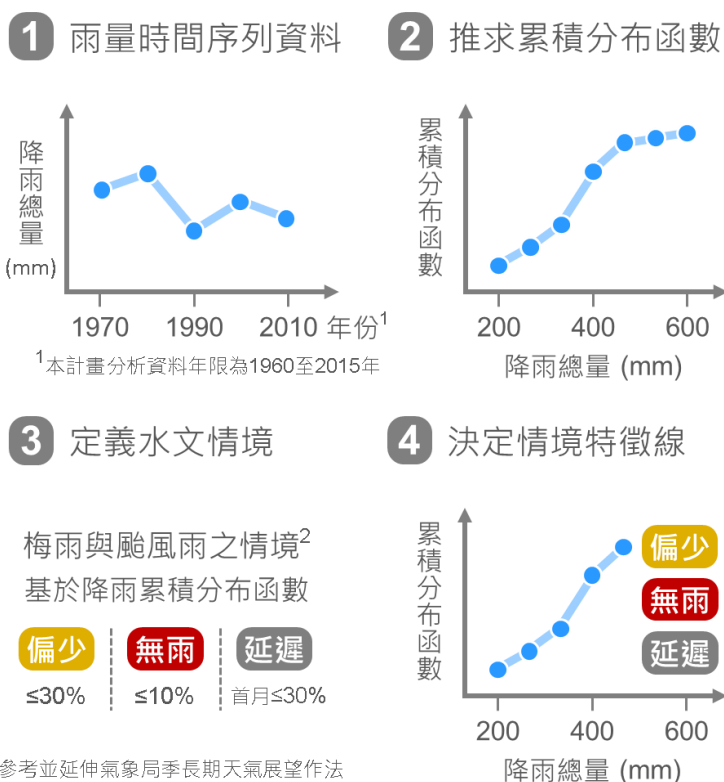
與水文情境之定義介紹如下：

1、水文情境研擬流程

本計畫提出可能水文情境研擬流程(摘圖-5)，其主要包含四大步驟，分別為：(1)雨量時間序列資料整理、(2)推求累積分布函數、(3)定義水文情境以及(4)決定情境特徵線。

2、水文情境之定義

本計畫基於「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」產製之歷史觀測網格雨量月資料，針對臺南主要集水區挑選對應之網格資料，推求梅雨與颱風雨之累積分布函數，再基於累積分布函數定義出梅雨與颱風雨之偏少、無雨、延遲以及正常等情境，以決定梅雨與颱風雨情境特徵線。其中，水文情境定義簡單說明如下：(1)偏少情境：降雨總量累分布函數之值小於 30%、(2)無雨情境：降雨總量累分布函數之值小於 10%、(3)延遲情境：首月降雨總量累分布函數之值小於 30%以及(4)正常情境：排除上述 3 種情境之資料。



摘圖-5 可能水文情境研擬流程

3、氣候變遷對情境特徵線之影響

為評估氣候變遷對水源供需可能帶來之負面影響，本計畫參考「氣候變遷降雨量情境差異對洪旱衝擊評估(2/2)」(經濟部水利署，民國 106 年)選擇臺南地區水源供需之最劣情境 A2-CSMK35 進行衝擊分析，藉由比對基期與未來水文情境特徵線之差異，瞭解氣候變遷對臺南地區主要降雨來源之可能影響。基期與未來之情境特徵線比對結果顯示：在 A2-CSMK35 最劣情境下，梅雨偏少、無雨、延遲以及正常情況之降雨總量平均值皆有減少，其又以延遲情況之減少幅度最大；而颱風雨偏少、無雨、延遲以及正常情況之降雨總量平均值則有增有減，偏少與無雨情況呈現略為減少，而延遲與正常情況則有較顯著增加。整體而言，在氣候變遷影響下臺南地區主要集水區之梅雨有減少情形，而颱風雨降雨總量之變異則有擴大情形(低愈低、高愈高)，導致其豐水期雨量可能更加集中發生。

4、氣候變遷對情境發生機率之影響

為瞭解氣候變遷對於梅雨與颱風雨偏少、無雨、延遲以及正常情況發生機率之影響，本計畫以 A2-CSMK35 情境為例，進行氣候變遷情境下情境發生機率分析並與基期情況進行比較。基期與未來水文情境之發生機率比對結果顯示：在水文情境邊際機率之部分，梅雨偏少與無雨之發生機率皆有增加情形，而梅雨延遲與正常之發生機率則皆有減少情形；颱風雨偏少與無雨之發生機率則皆有減少情形，而颱風雨延遲與正常之發生機率則分別為持平與增加情形。在水文情境聯合機率之部分，梅雨偏少或無雨水文情境組合之聯合機率有增加情形，而梅雨延遲或正常水文情境組合之聯合機率有減少情形，造成臺南主要集水區未來降雨量可能將更常集中發生。

(二)水源枯旱風險分析

本計畫基於上述可能水文情境(梅雨與颱風雨之偏少、無雨、延遲以及正常)進行民國 120 年之水源供需模擬，並探討四大穩定

供水策略無法順利推動或無法上場時對應之公共用水缺水情況，以作為調適策略效益評估之依據。效益評估主要精神係藉由分析不同調適策略無法順利推動或無法上場之缺水率增加情況，以瞭解其效益高低，即調適策略之效益愈高，若其無法上場對應之缺水率增加情況亦愈高。本計畫依據四大穩定供水策略盤點結果，設定 8 種不同調適策略組合(摘表-1)進行對應之水源供需分析，再藉由比較不同調適策略組合之期望缺水率，探討調適策略之效益高低，高效益調適策略若無法上場，其對應之缺水率增加情況亦愈高。以調適策略全部上場之組合(S1)而言，因其水源量相對充沛，對應之期望缺水率僅約為 7.9%。本計畫以 S1 組合為基準，比較其餘調適策略組合之期望缺水率增加情況，分析結果指出：期望缺水率增加最多之組合為 S2 與 S8，其次為 S3 與 S4，而增加最少之組合則為 S5、S6 以及 S7。整體而言，調適策略效益評估結果指出：臺南高雄水源聯合運用(S2)與山上淨水場改善工程(S8)於減緩缺水上有較高之效益，而效益次高之策略則為永康安平再生水(S3)與白河水庫後續更新改善(S4)，以上調適策略若能順利推動，每個策略皆可減緩公共用水缺水率約 2.1%至 3.0%。

摘表-1 臺南地區之水資源調適策略組合

調適策略	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
臺南高雄水源聯合運用		X						
永康安平再生水			X					
白河水庫後續更新改善				X				
降低漏水率計畫					X			
加強農業用水效率						X		
曾文淨水場二期工程							X	
山上淨水場改善工程								X

註：X 表示該項調適策略無法順利推動或無法順利上場。

六、可能水文情境下水源枯旱風險經濟分析

本計畫分析可能水文情境下水源枯旱對各部門造成之經濟影響，並計算其對於臺灣總產出損失與 GDP 影響效果。其中，針對總產出效果

與總 GDP²效果占全國比率，係分別以民國 106 年國民所得統計之全國生產總額 37 兆 5,218.25 億元與生產毛額 17 兆 5,488.14 億元計算。經濟分析結果顯示：在可能水文情境下，水源枯旱對於臺灣總產出減少約 18.51 至 90.08 百億元，GDP 減少 5.19 至 25.58 百億元。在臺南缺水情況下，農業損失為 1.40 至 11.03 百億元，工業部門損失為 6.94 至 32.00 百億元，而服務業部門損失 5.61 至 25.87 百億元。以對於其他地區影響來看，受到臺南缺水影響北部農業產值約減少 0.55 至 2.58 百億元，而中部農業產值約減少 0.93 至 4.36 百億元；以工業部門損失來看，臺南缺水將誘發北部工業損失 0.49 至 2.26 百億元與中部地區工業產值減少 0.58 至 2.69 百億元。

關鍵字：氣候變遷、枯旱風險、經濟分析。

²GDP 效果採廣義定義，包括：勞動報酬、經營盈餘、資本消耗、間接稅淨額。

Abstract

This project aims to build up an economic analysis and policy assessment system for water under various hydrological scenarios. The project evaluated the drought risk from the perspective of both water shortage and economic impact. With taking economic analysis into account, a more valuable information for water policy assessment or decision making can be provided.

First of all, the project investigated hydrological characteristics of the project area and proposed various hydrological scenarios (e.g., below normal, few, delay and normal mei-yu conditions) based on the local hydrological characteristics of mei-yu and typhoon. Then, the project focused on drought risk assessment and economic analysis to quantifying possible water shortage or economic loss caused by drought events under various hydrological scenarios. Moreover, the project also focused on water policy assessment to rank the benefits of adaptation strategies. Various adaptation strategies such as reclaimed water or water saving will be implemented and examined under worse hydrological scenarios.

Since the major rainfall seasons in Tainan are mei-yu (May to June) and typhoon (July to September) seasons, this project designs some hydrological scenarios to study potential drought risk. The designed hydrological scenarios are composed of below normal, few, delay and normal conditions for both mei-yu and typhoon seasons. The definition of proposed hydrological scenarios are given below: (1) the below normal condition: the cumulative probability of total rainfall amount is less than 30%. (2) the few condition: the cumulative probability of total rainfall is less than 10%. (3) the delay condition: the cumulative probability of the first month rainfall is less than 30%. (4) the normal condition: the exclusion of above conditions.

Besides, the project also took climate change scenarios into consideration. The impact assessment shows that: (1) under the A2-CSMK35 scenario (the worst scenario), all the average values of below normal, few, delay and normal mei-yu

conditions decrease, while the delay mei-yu condition decreases most significantly; the average values of below normal and few mei-yu conditions slightly decrease, but the average values of delay and normal mei-yu conditions increase significantly. (2) under the A2-CSMK35 scenario (the worst scenario), the occurrence probabilities of below normal and few mei-yu conditions increase but the occurrence probabilities of delay and normal mei-yu conditions decrease; the occurrence probabilities of below normal and few typhoon conditions decrease but the occurrence probabilities of delay and normal typhoon conditions plateau and increase, respectively.

The expected value theory was used to quantify the drought risk of a water supply system under both hydrological and climate change scenarios. The drought risk is defined as the expected value of water shortage and economic impact, which is calculated as follows:

$$drought\ risk = \sum_{i=1}^N water\ shortage_i \times occurrence\ probability_i \quad (A-1)$$

where i represents i -th hydrological scenario and N represents the total number of hydrological scenarios.

In this project, the benefit of a strategy is evaluated by the increase in drought risk (i.e., expected water shortage or expected economic impact) due to a failure in strategy implementation. A larger increase in expected water shortage indicates the benefit of a strategy is higher. Eight different combinations of adaptation strategies were examined and then ranked. The evaluation results show: (1) the benefits of S2 and S8 strategies are relatively higher than others. (2) S3 and S4 strategies are of medium benefits in reduction of water shortage.

Keywords: climate change, drought risk, economic analysis.

結論與建議

一、結論

- (一)本計畫主要目的為評估可能水文情境下水源枯旱風險與經濟影響，並藉由綜合考慮公共用水缺水率與可能水文情境之發生機率推估期望缺水率，提供決策者不同調適策略下合理且客觀之量化風險值，以作為後續水資源政策推動參考。
- (二)水資源最劣情境 A2-CSMK35 之雨量衝擊分析結果指出：臺南地區主要集水區未來於春季、梅雨季、秋季以及冬季之總雨量皆有減少情況，僅颱風季之總雨量有略微增加情況(曾文水庫與南化水庫之情境雨量分別增加 2.6%與 2.7%)，即臺南地區未來豐枯水期雨量將會更加懸殊。
- (三)臺南地區降雨主要集中發生於梅雨季與颱風季，本計畫針對此兩季節研擬偏少、無雨、延遲以及正常之情境，以評估惡劣水文條件下臺南地區可能面臨之水源枯旱風險。其中，可能水文情境之定義如下：
 - (1)偏少情境：降雨總量累分布函數之值小於 30%、
 - (2)無雨情境：降雨總量累分布函數之值小於 10%、
 - (3)延遲情境：首月降雨總量累分布函數之值小於 30%以及
 - (4)正常情境：排除上述 3 種情境之資料。
- (四)以可能水文情境之降雨總量而言，在 A2-CSMK35 最劣情境下，梅雨偏少、無雨、延遲以及正常情況之平均值皆有減少，其又以延遲情況之減少幅度最大；而颱風雨偏少與無雨情況呈現略為減少，延遲與正常情況則有較顯著增加。
- (五)以可能水文情境之發生機率而言，在 A2-CSMK35 最劣情境下，梅雨偏少與無雨之發生機率有增加情形，而梅雨延遲與正常之發生機率則有減少情形；颱風雨偏少與無雨之發生機率有減少情形，而颱風雨延遲與正常之發生機率則分別為持平與增加情形。
- (六)本計畫藉由分析不同調適策略無法順利推動或無法上場之期望缺水率增加情況，以進行調適策略之效益評估，評估結果指出：臺南高雄

水源聯合運用(S2)與山上淨水場改善工程(S8)於減緩缺水上有較高之效益，而效益次高之策略則為永康安平再生水(S3)與白河水庫後續更新改善(S4)，以上調適策略若能順利推動，每個策略皆可減緩公共用水缺水率約 2.1%至 3.0%。

(七)在可能水文情境下，水源枯旱對於臺灣總產出減少約 18.51 至 90.08 百億元，GDP 減少 5.19 至 25.58 百億元。在臺南缺水情況下，農業損失為 1.40 至 11.03 百億元，工業部門損失為 6.94 至 32.00 百億元，而服務業部門損失 5.61 至 25.87 百億元。

二、建議

(一)基於可能水文情境資料，本計畫得以探討梅雨與颱風雨之偏少、無雨以及延遲等惡劣水文條件下水資源系統供水情況，建議未來於水資源規劃管理或檢討時，亦可以將惡劣水文條件納入考慮，以評估嚴重枯旱對於水資源系統之影響。

(二)因氣候變遷情境資料具有高度不確定性，建議未來於決策分析時應納入不同氣候變遷情境資料，以探討情境不確定性對於決策結果之影響。

(三)本計畫研提 16 種可能之水文情境組合，並針對各種組合進行對應之水源枯旱風險分析，再藉由綜合考慮水文情境組合之發生機率與水源枯旱風險計算缺水率或經濟影響之期望值。惟 16 種可能之水文情境組合內，部分組合屬於極端惡劣之水文情境，其將導致非常嚴重之缺水情況(但發生機率微小)，建議未來於水文情境組合上可以排除過於極端惡劣之水文情境，例如：梅雨無雨且颱風無雨之水文情境。

第一章 前言

一、計畫緣起與目的

(一)計畫緣起

近年世界各地極端氣候頻傳，旱災發生頻率增加，影響層面深遠，經常造成嚴重經濟損失。民國 103 年臺灣各地秋冬期間降雨偏少，導致長達 9 個月之枯旱情況，水情惡劣時期新北市板新、林口地區、桃園市及高雄地區被迫實施第三階段限水，採取供五停二措施以控制水源運用，旱象直至 5 月底梅雨鋒面抵達才逐漸舒緩。

面臨極端天氣，除強化現有之防災體系與因應作為，更需預先執行衝擊評估與風險分析，使災時損失降至最低，並提升抗旱韌性。為強化因應氣候變遷之抗旱手段與面對災變之危機處理能力，故研提本計畫；除分析可能水文情境，以探討惡劣條件下之水源枯旱風險與管理機制，並配合經濟分析，推估水源枯旱可能造成之經濟損失，以作為決策支援之參考資訊。此外，透過盤點計畫區域內相關因應措施，以舒緩枯旱之衝擊與影響，於未來嚴重枯旱發生時，可提供水資源運用之重要參考。其中，因應措施可考量「開源、節流、調度、備援」四大策略。

(二)計畫目的

本計畫採兩年工作期程(民國 108 至 109 年)針對臺灣易受乾旱影響之區域進行極端氣候下水源枯旱因應策略與經濟影響評估，以瞭解計畫區域在各種可能水文情境下面臨之水源枯旱風險與經濟影響。主要計畫目的包含：(1)可能水文情境研擬、(2)水源枯旱風險與經濟分析以及(3)風險調適策略評估。各年度計畫之重要目的說明如下：

1、第一年度(民國 108 年)

藉由水文特性分析瞭解過去曾經發生水文事件之特性，例如：梅雨季與颱風季之平均總雨量與變異，並據以擬訂計畫區域可能發生之水文情境，例如：梅雨或颱風雨之偏少、無雨、延

遲以及正常情況，作為後續水源枯旱風險分析與水源枯旱經濟分析之依據，以瞭解各種水文情境對於計畫區域可能造成之缺水情況與經濟影響。

2、第二年度(民國 109 年)

建置經濟水文系統動力模型，提供直覺之經濟影響因果關係，評估計畫區域在氣候變遷下可能水文情境不確定性造成水源枯旱風險與經濟影響之衝擊，並建立調適策略組合效益評估工具，以供水資源政策決策參考。

二、計畫研究區域

本計畫選擇臺南地區作為計畫區域，其水文豐枯懸殊亟需仰賴水庫蓄存豐水期水量，以穩定全年供水。一旦豐水期雨量不足，臺南地區即易受枯旱影響而造成嚴重供水缺口與經濟衝擊，例如：農業停灌與衝擊南科產值等。臺南地區除枯旱風險較高之外，且其用水標的多元，包含民生、工業以及農業用水，涉及各標的用水之互相調度，適合探討水源枯旱風險對於各產業造成之經濟影響。

三、計畫工作項目

針對臺灣易受乾旱影響的臺南地區進行極端氣候下水源枯旱因應策略與經濟影響評估，以瞭解臺南地區在各種可能水文情境下面臨之水源枯旱風險與經濟影響。本計畫擬以兩年工作期程(民國 108 至 109 年)完成分析工作，計畫架構如圖 1-1 所示。其中，第一年度工作重點主要聚焦可能水文情境下水源枯旱風險評估，研擬各種可能發生之水文情境，例如：梅雨或颱風雨之偏少、無雨、延遲以及正常等情況，並評估可能水文情境下水源枯旱風險與提供水源枯旱經濟分析之初步成果；而第二年度工作重點則聚焦水源枯旱風險調適策略之評估，藉由建置經濟水文系統動力模型，提供直覺之經濟影響因果關係，並配合風險調適策略進行對應之經濟分析，以瞭解調適策略之效益。整體工作項目分年度敘述如下：

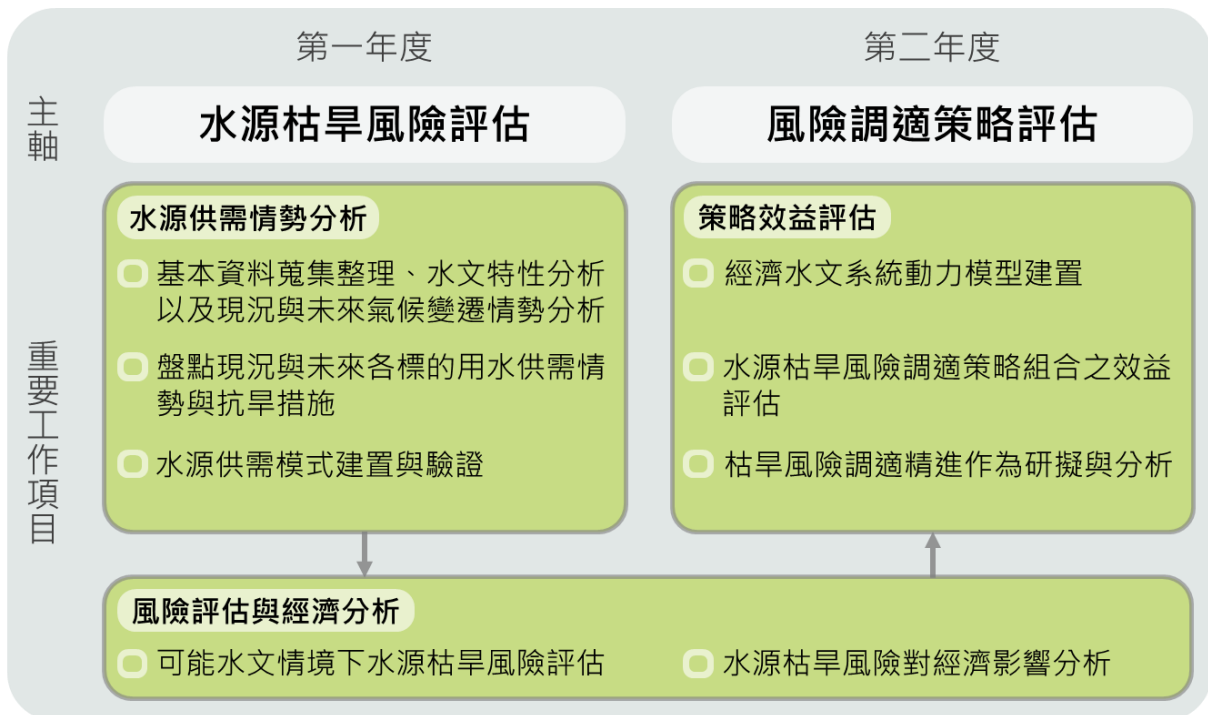


圖 1-1 可能水文情境下水源枯旱風險與經濟影響評估架構圖

(一) 第一年計畫工作項目

1、基本資料蒐集、水文特性分析及現況與未來氣候變遷情勢分析(工作項目 1-1)

(1) 基本資料蒐集

蒐集計畫區域水源基本資料作為水源枯旱風險分析與經濟分析之基礎，包含：水文資料、水資源系統架構、生態基流量、水庫標高-面積-容積(H-A-V)曲線、輸水與淨水損失、水庫操作規線以及計畫配水量等資料。

(2) 水文特性分析

針對計畫區域水文資料(例如：各月份水文統計量與超越機率流量)進行基本統計分析與門檻值分析，探討其水文特性與枯旱流量特性。

(3) 現況與未來氣候變遷情勢分析

採用趨勢與變異點分析方法進行歷史水文資料分析，用以檢測歷史氣候變化。再探討不同氣候變遷情境設定下水文資料特性變化，評析計畫區域水文特性於過去與未來之情勢。

2、盤點現況與未來各標的用水供需情勢與抗旱措施(工作項目 1-2)

針對計畫區域內之水源供需資料進行盤點，包含：水源量、各標的需水量以及供需差額，以探討水源供需情勢與用水組成。此外，彙整歷年枯旱事件、抗旱措施以及未來有可能啟用之水源設施，作為「開源、節流、調度以及備援」四大策略穩定用水之依據。

3、水源供需模式建置與驗證(工作項目 1-3)

建置水源供需模式以探討計畫區域之供水情況，並進行數值模式驗證。此外，更新相關水源供需資料，以探討現況與氣候變遷下之供水情況。

4、可能水文情境下水源枯旱風險評估(工作項目 1-4)

(1)水文情境研擬

依據歷史水文特性研擬不同水文情境，例如：梅雨偏少、梅雨無雨(空梅)、梅雨延遲、梅雨正常、颱風雨偏少、颱風雨無雨、颱風雨延遲以及颱風雨正常等可能水文情境，作為後續水源枯旱風險分析之情境依據。

(2)水源枯旱風險分析

依據上述可能水文情境進行水源枯旱風險分析，以分析可能水文情境對於各標的用水造成之枯旱風險。

(二)第二年計畫工作項目

1、經濟水文系統動力模型建置(工作項目 2-1)

(1)經濟分析理論方法

針對經濟分析理論方法(例如：投入產出)進行說明，作為後續水源枯旱風險對於經濟影響之理論依據。

(2)系統動力模型建置說明

建置經濟水文系統動力模型以提供直覺之因果關係圖，藉由系統動力模型釐清前端影響變量、理論模式以及後端系統反應之關係。

(3)水源枯旱風險對於經濟影響

基於 108 年度產製之可能水文情境資料，評估氣候變遷與可能水文情境下水源枯旱風險對於各種產業(農業、民生以及工業)之經濟影響。

2、水源枯旱風險對經濟影響分析(工作項目 2-2)

基於經濟水文系統動力模型進行敏感度分析，探討與辨識關鍵影響變量對於水源枯旱風險與經濟之影響程度，提供後續調適策略研擬作為參考。

3、水源枯旱風險調適策略組合之效益評估(工作項目 2-3)

(1)風險調適路徑訂定

參考水資源經理基本計畫、四大穩定供水策略以及前瞻計畫之水源調適策略，進行水源枯旱風險調適路徑之訂定。

(2)風險調適策略之效益評估

基於 108 年度產製之可能水文情境資料，評估氣候變遷與可能水文情境之水源枯旱風險與經濟影響，並搭配調適路徑分析對應經濟影響，作為調適策略評估參考。

4、枯旱風險調適精進作為之研擬與分析(工作項目 2-4)

除考慮上述水源枯旱風險調適路徑之外，參考國內外其他枯旱風險調適經驗，進行枯旱風險調適精進作為之研擬與分析，以進一步舒緩乾旱可能造成之缺水風險與經濟影響。

四、關鍵項目說明與定義

本計畫關鍵項目包含：(1)氣候變遷情境與可能水文情境與(2)水源枯旱風險，針對各項目詳細說明如下：

(一)氣候變遷情境與可能水文情境

本計畫藉由綜合考慮氣候變遷情境與可能水文情境，進行惡劣水文條件研擬，作為後續水源供需分析與經濟分析之依據，以評估惡劣水文條件下臺南地區可能面臨之水源枯旱風險，其定義如下：

$$\text{惡劣水文條件} = \text{氣候變遷情境} + \text{可能水文情境} \quad (1-1)$$

其中，氣候變遷情境主要係考慮長期水文特性之改變，例如：梅雨降雨總量之平均值減少 10%；而可能水文情境主要則係考慮水文變異所導致之豐枯情況，例如：梅雨偏少、無雨(空梅)、延遲以及正常之情況。

(二)水源枯旱風險

針對水文高度不確定性下之調適策略決策問題，參考決策理論中期望值準則(expected value criterion)，整合機率概念進行水源枯旱風險之計算，提供決策者合理且客觀之量化風險值，以作為後續水資源政策推動參考。本計畫將水源枯旱風險定義為缺水率或經濟影響之期望值³：

$$\text{水源枯旱風險} = \sum_{i=1}^N \text{缺水率}_i \times \text{水文情境發生機率}_i \quad (1-2)$$

其中， i 為水文情境之編號，而 N 則為水文情境之總數量。

五、水資源經濟與政策評估架構

本計畫重點為評估可能水文情境下水源枯旱風險與經濟影響，並依據分析結果進行調適策略評估，以提供水資源政策推動參考。為此，本計畫研提水資源經濟與政策評估架構(圖 1-2)，呈現不同調適策略對應之水源枯旱風險與經濟影響，以瞭解各個調適策略之重要程度，並進一步提供風險資訊(缺水率或經濟影響之期望值)作為政策評估之依據。其中，水資源經濟與政策評估架構主要元件包含：情境設定、調適策略、水文情境、缺水分析、經濟分析以及決策分析，而系統元件之簡要說明與工作項目對照整理如表 1-1。針對水資源經濟與政策評估架構之主要元件功能說明如下：

(一)情境設定

「情境設定」元件主要係提供枯旱風險分析最上游端之水文情境資料設置，包含氣候變遷情境與可能水文情境兩部分，作為後續水源枯旱風險與經濟影響評估之依據，以瞭解氣候變遷或惡劣水文

³第一年度計畫於水源枯旱風險定義上係先採用缺水率之期望值，待第二年度計畫完成全部之經濟分析成果，則改採用經濟影響之期望值來量化水源枯旱風險。

條件可能造成之潛在影響。在氣候變遷之部分，可選擇情境資料為採用基期資料或未來資料⁴；而在可能水文情境之部分，則可選擇是否採用水文變異導致之可能情況，例如：梅雨偏少、無雨、延遲之情況。針對詳細之可能水文情境資料介紹，說明於第 5-1 節「水文情境研擬」。

(二)調適策略

「調適策略」元件主要係基於水源調適策略盤點成果，條列未來可能上場或推動之水源措施，提供調適策略選擇設置，以確定後續水源供需模擬之系統參數。其中，本計畫參考水資源經理基本計畫、四大穩定供水策略以及前瞻計畫進行水源相關調適策略盤點，並將調適策略分為開源、節流、調度以及備援四大面向。針對詳細之水源調適策略介紹，說明於第 3-3 節「四大穩定供水策略」。

(三)水文情境

「水文情境」元件主要係依據情境設定參數呈現氣候變遷下可能水文情境之資訊，例如：基期或未來下梅雨偏少、無雨、延遲以及正常情況之降雨總量平均值與發生機率，以瞭解氣候變遷與可能水文情境下降雨總量特性之變動。針對詳細之氣候變遷下水文情境資訊介紹，說明於第 5-1-3 節「氣候變遷對情境特徵線之影響」與第 5-1-4 節「氣候變遷對情境發生機率之影響」。

(四)缺水分析

「缺水分析」元件主要係依據「情境設定」與「調適策略」之參數設定，進行惡劣水文條件下不同調適策略之水源供需情況模擬，產出各個產業(民生、工業以及農業)之年平均缺水率、缺水量以及缺水日數，以作為後續經濟影響分析之依據。針對詳細之水源供需模式與缺水分析成果介紹，說明於第 4-2 節「水源供需模式建置」與第 5-2 節「水源枯旱風險分析」。

⁴為探討氣候變遷對水資源可能造成之負面影響，本計畫參考「氣候變遷降雨量情境差異對洪旱衝擊評估(2/2)」(經濟部水利署，民國 106 年)選擇臺南地區水源供需之最劣情境 A2-CSMK35 作為未來情境設定。

(五)經濟分析

「經濟分析」元件係從經濟角度切入，採用投入產出方法分析缺水事件對於各個產業造成之經濟影響，藉由「缺水分析」產出之缺水特性，推估產業損失(停水直接損失)與停水經濟影響，以作為後續「決策分析」之參考資訊。針對詳細之經濟分析方法與成果介紹，說明於第六章「可能水文情境下水源枯旱風險經濟分析」。

(六)決策分析

「決策分析」元件主要係綜合考慮可能水文情境之發生機率與經濟分析成果，計算不同調適策略下惡劣水文條件可能造成之風險值(缺水率或經濟影響之期望值)，藉以瞭解採用不同調適策略組合之效益，提供水資源政策推動參考。針對詳細之決策分析原則介紹，說明於第 5-2-2 節「調適策略組合之缺水分析」。



圖 1-2 水資源經濟與政策評估架構介面示意圖

表 1-1 水資源經濟與政策評估架構之功能元件說明與工作項目對照

功能元件	功能元件說明	工作項目對照
情境設定	枯旱風險分析最上游端之水文情境資料設置，包含氣候變遷情境與可能水文情境兩部分。其中，氣候變遷情境係指基期資料或未來資料，而可能水文情境係指梅雨與颱風雨之偏少/無雨/延遲/正常情況。	工作項目 1-4
調適策略	條列未來可能上場或推動之水源措施，提供調適策略選擇設置，以確定後續水源供需模擬之系統參數。其中，水源相關調適策略盤點主要係參考水資源經理基本計畫、四大穩定供水策略以及前瞻計畫。	工作項目 1-3
水文情境	呈現氣候變遷下可能水文情境之資訊，例如情境雨量之平均值與發生機率，以瞭解氣候變遷與可能水文情境下雨量特性之變動。	工作項目 1-4
缺水分析	係依據「情境設定」與「調適策略」之參數設定，進行惡劣水文條件下不同調適策略之水源供需情況模擬，產出各個產業(民生、工業以及農業)之年平均缺水率、缺水量以及缺水日數，以作為後續經濟影響分析之依據。	工作項目 1-3 工作項目 1-4
經濟分析	採用投入產出方法分析缺水事件對於各個產業造成之經濟影響，藉由「缺水分析」產出之缺水特性，推估產業損失(停水直接損失)與停水經濟影響，以作為後續「決策分析」之參考資訊。	工作項目 2-1
決策分析	綜合考慮可能水文情境之發生機率與經濟分析成果，計算不同調適策略下惡劣水文條件可能造成之風險值(缺水率或經濟影響之期望值)，藉以瞭解採用不同調適策略組合之效益，提供水資源政策推動參考。	工作項目 1-3 工作項目 1-4 工作項目 2-1

註：工作項目編號之對應內容可參考第 1-3 節「計畫工作項目」。

第二章 基本資料蒐集、水文特性分析及現況與未來氣候變遷情勢分析

為分析與探討現況與未來氣候變遷氣候情勢，本計畫首先蒐集臺南地區之基本資料，針對計畫區域水文資料進行分析以瞭解水文特性，進而探討現況與未來氣候變遷情勢。以下分別說明：基本資料蒐集、水文特性分析及現況與未來氣候變遷情勢分析。

一、基本資料蒐集

本計畫蒐集臺南地區之水源基本資料作為後續水源枯旱風險分析之依據，其包含：水資源系統架構、水文資料、生態基流量、水庫標高-面積-容積(H-A-V)曲線、輸水與淨水損失、水庫操作規線以及計畫配水量等水源供需相關資料。

(一)水資源系統架構

臺南地區供水系統如圖 2-1 所示，其主要供水設施包含：曾文水庫、烏山頭水庫、南化水庫、白河水庫、鏡面水庫以及玉峰堰。針對主要供水設施說明如下：

1、曾文水庫

曾文水庫於民國 62 年 10 月竣工，兼具灌溉、給水、發電、防洪以及觀光等功能，管理單位為經濟部水利署南區水資源局。其壩址位於曾文溪上游之柳籐潭，為臺灣第一大水庫，集水區跨越嘉義縣大埔鄉、番路鄉、阿里山鄉及高雄市那瑪夏區，集水面積約 481 平方公里，蓄水範圍之面積約 17 平方公里，原設計總庫容為 7 億 4,840 萬立方公尺(有效庫容 6 億 3,120 萬立方公尺)。

民國 98 年莫拉克颱風侵襲南臺灣，嚴重影響水庫供水穩定，依據「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部供水特別條例」，陸續進行曾文水庫更新改善工作，於民國 102 年完成進水口攔汙柵延長工程與砂力基溪攔木設施工程，並於民國 104 年完成曾文水庫永久河道放水道改建防淤設施工程、民國 105 年完成曾

文溪主流攔木設施工程，民國 106 年 11 月完成曾文水庫防淤隧道工程。此外，為提高曾文水庫蓄水容量，經濟部水利署南區水資源局辦理水庫水位提升計畫，將曾文水庫滿水位由標高 227 公尺提升至 230 公尺，增加蓄水量約 5,500 萬立方公尺

2、烏山頭水庫

烏山頭水庫於民國 19 年 5 月竣工，目前與曾文水庫聯合運用，配合曾文水庫供應家用及公共給水、農業用水、工業用水以及附帶水利發電功能，管理單位為嘉南水利會。其位於曾文溪支流之官田溪上游，係一離槽式水庫，主要攔蓄官田溪與從曾文溪引水蓄存水量，集水面積約 58.24 平方公里，蓄水範圍之面積約 9 平方公里，原設計總庫容為 15,415 萬立方公尺(有效庫容 10,377 萬立方公尺)。

3、南化水庫

南化水庫於民國 83 年 3 月竣工，主要供應臺南地區民生與工業用水，管理單位為台灣自來水公司第六區管理處。其於臺南市曾文溪支流後堀溪，集水面積約 108.3 平方公里，蓄水範圍之面積約 531.7 公頃，原設計總庫容為 15,805 萬立方公尺(有效庫容 14,946 萬立方公尺)。南化水庫水源除本身集水區外，另由高屏溪支流旗山溪甲仙攔河堰越域引水。

4、白河水庫

白河水庫於民國 54 年 6 月竣工，為兼具灌溉、防洪、給水以及觀光等多目標功能之水庫，目前由嘉南水利會營運管理。其位於嘉義丘陵內，主要水源為急水溪幹流白水溪之溪水，集水面積約為 26.55 平方公里，蓄水範圍之面積約 170 公頃，原設計總庫容為 2,509 萬立方公尺(有效庫容為 2,253 萬立方公尺)，但因上游來水參雜泥漿，致使長年淤積問題嚴重。爰此，經濟部水利署南區水資源局於枯水期積極清淤外，亦新建防淤隧道，期望透過雙管齊下之方式恢復其庫容。

5、鏡面水庫

鏡面水庫於民國 69 年 6 月竣工，主要供應家用與公共用水，管理單位為台灣自來水公司第六區管理處。其位於臺南市南化區，主要水源為菜寮溪支流鏡面溪，集水面積約為 2.73 平方公里，蓄水範圍之面積約 12.5 公頃，原設計總庫容為 115 萬立方公尺(有效庫容為 98.7 萬立方公尺)。

6、玉峰堰

鏡面水庫於民國 88 年 3 月竣工，主要供應臺南地區公共用水，管理單位為台灣自來水公司第六區管理處。其位於曾文溪與菜寮溪匯流口下游，集水面積約 378.32 平方公里，主要水源為曾文溪本流、後堀溪以及菜寮溪支流。其中，曾文溪本流水量為曾文烏山頭水庫系統運用後之水量，而後堀溪與菜寮溪支流水量則分別為南化水庫與鏡面水庫運用後之水量。

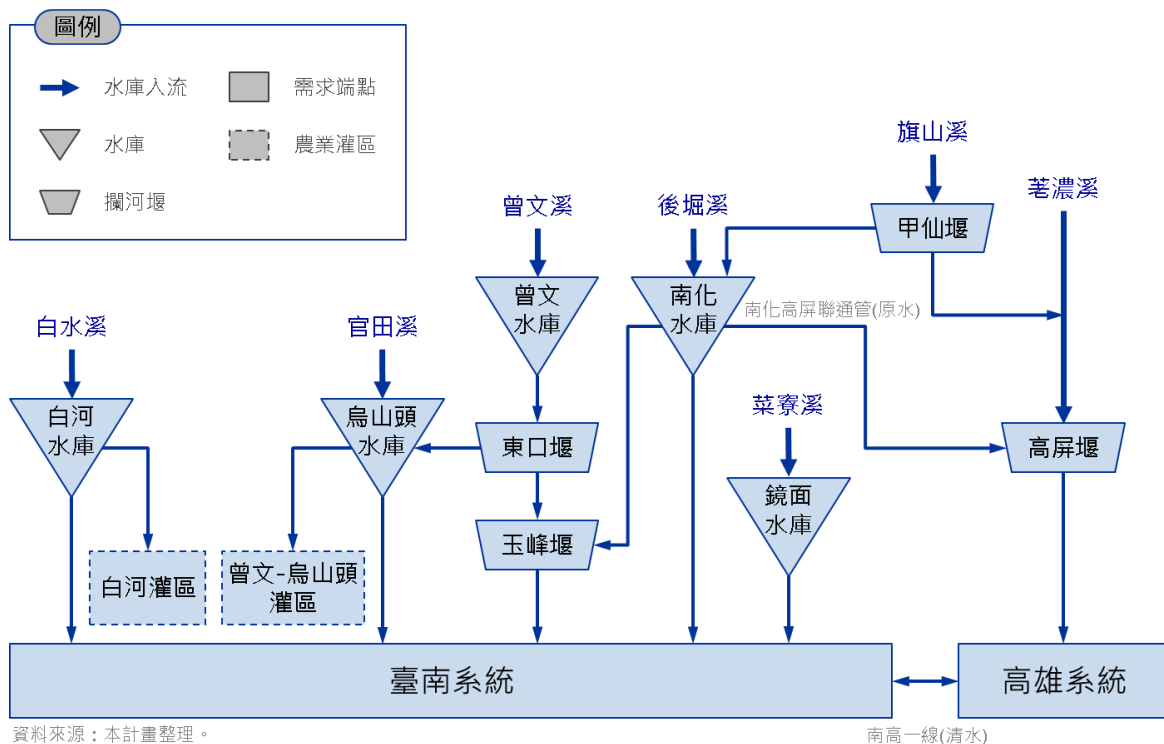


圖 2-1 臺南地區供水系統圖

(二)水文資料

本計畫參考「曾文南化水庫聯通管輸水工程可行性分析」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 102 年)與近年水庫營運報表，針對臺南地區主要集水區流量資料(表 2-1)進行蒐集，整理曾文水庫、烏山頭水庫以及南化水庫流量資料自民國 48 至 107 年，共計 60 年。

表 2-1 臺南地區主要集水區之流量推估公式

流域	堰壩名稱	資料年限 (民國)	流量推估計算式
曾文溪	曾文水庫	48.01~063.06	$Q_{\text{曾文壩}} = 0.980 \times Q_{\text{照興站}}$
		63.07~107.12	營運紀錄
	烏山頭水庫	48.01~107.12	$Q_{\text{烏山頭}} = 0.09668 \times Q_{\text{曾文日流量}}$
	南化水庫	48.01~083.06	$Q_{\text{南化堰}} = 0.6479 \times Q_{\text{玉田站}}$
		83.07~088.12	營運紀錄
		89.01~107.12	營運紀錄扣除甲仙堰越引水量

(三)生態基流量

本計畫參考「電廠至東口堰間輸水專管可行性規劃」(經濟部水利署南區水資源局，民國 104 年)，東口堰生態基流量於新烏山嶺隧道完工前採用 0.04 cms。

(四)水庫蒸發量

參考「莫拉克颱風災後南區因應氣候異常之供水潛能及供水調度檢討與因應對策」(經濟部水利署南區水資源局，民國 99 年)與「臺南大湖初步規劃」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 101 年)，依蒸發深度資料推估各蓄水設施之蒸發損失，各月蒸發深度以鄰近氣象各月蒸發深度估列，其資料統計各蓄水設施蒸發損失如表 2-2 所示。

表 2-2 各水源設施採用蒸發量資料統計表

水源設施	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
曾文水庫	2.250	2.330	3.070	3.610	3.570	3.710	4.240	3.410	3.710	3.360	2.540	2.210
烏山頭水庫	1.350	1.398	1.842	2.166	2.142	2.226	2.544	2.046	2.226	2.016	1.524	1.326
南化水庫	2.880	3.690	4.310	4.930	4.860	4.100	4.570	4.140	4.120	3.780	3.000	2.690

註：¹單位為毫米/日；²資料來源：「臺南大湖水資源規劃檢討」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 101 年)。

(五)標高-面積-容積曲線

本計畫參考過去淤積測量成果報告與規劃報告彙整曾文水庫、烏山頭水庫以及南化水庫之標高-面積-容積表格(表 2-3 至表 2-5)。

表 2-3 曾文水庫標高-面積-容積表(民國 106 年 10 月測)

水位標高 (公尺)	蓄水面積 (公頃)	累積容積 (萬噸)	累積有效容積 (萬噸)
171	6.245	11.555	0.000
180	213.122	479.668	468.113
190	425.142	3,747.962	3,736.406
200	725.279	9,019.670	9,008.115
210	1,275.870	19,086.054	19,074.498
220	1,593.649	33,541.840	33,530.284
227	1,792.258	45,384.602	45,373.047
230	1,893.312	50,908.852	50,897.297

資料來源：「106 年度曾文水庫淤積測量工作」(經濟部水利署南區水資源局，民國 106 年)

表 2-4 烏山頭水庫標高-面積-容積表(民國 100 年測)

水位標高 (公尺)	面積 (公頃)	有效容積 (萬噸)
35.00	0.0	0.01
42.00	99.5	331.2
46.00	211.9	931.5
50.00	418.4	2,175.9
54.00	715.5	4,431.8
58.00	966.1	7,806.7
58.18	978.7	7,981.6

資料來源：「烏山頭水庫第四次安全評估-淤積測量報告」(嘉南農田水利會，民國 100 年)

表 2-5 南化水庫標高-面積-容積表(民國 101 年 11 月測)

水位標高 (公尺)	面積 (公頃)	有效容積 (萬噸)
143	0.00	0.00
145	0.16	0.09
150	107.50	105.10
160	274.80	2,154.10
165	327.90	3,669.90
170	387.00	5,464.30
175	444.40	7,540.40
180	518.00	9,942.90

資料來源：「曾文南化水庫聯通管輸水工程可行性分析」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 102 年)

表 2-6 曾文電廠至西口各段輸水損失率歷年調查研究

計畫名稱	研究方法	輸水路損失率		
		電廠 至 東口	東口 至 西口	合計
曾文至烏山頭水庫 放流量及滲漏研究 (民國 72 年)	—	3.0%	—	—
曾文、烏山頭水庫串 聯運用引水量蒸發 滲漏輸水損失問題 探討改善研究(民國 89 年)	長期系統水平衡水文分析模式及現地 (曾文電廠放水口、距東口取水口上游 1.2 公里及西口豎井上游 200 公尺等三 處)實測流速水位觀測並進行兩次 4 小 時流量歷線比較分析	5.3%	3.4%	8.7%
曾文水庫放水與烏 山頭水庫進出水量 關係分析研究(民國 99 年)	東口取水口及曾文電廠放水口等二處， 以實測流速水位觀測法建立流量率定 曲線進行各日電廠放水量及東口取水 量比較分析	11.0%	—	—
電廠至東口堰間輸 水專管可行性規劃 (民國 104 年)	以曾文及西口電廠連續 24 小時平均發 電流量進行比較分析	9%		9%

資料來源：「電廠至東口堰間輸水專管可行性規劃」(經濟部水利署南區水資源局，民國 104 年)

(六)輸水與淨水損失

參考「電廠至東口堰間輸水專管可行性規劃」(經濟部水利署南區水資源局，民國 104 年)，歷年輸水損失調查研究如表 2-6 所示，該計畫以曾文與西口電廠近年流量資料推估曾文電廠至西口段輸水損失率約 9%，與民國 89 年「曾文、烏山頭水庫串聯運用引水量蒸發滲漏輸水損失問題探討改善研究」之實測分析值 8.7%接近，因此該計畫建議採用曾文電廠至東口段輸水損失率 5.3%、東口至西口豎井段輸水損失率 3.4%。

(七)水庫操作規線

1、曾文水庫與烏山頭水庫

曾文水庫與烏山頭水庫自民國 63 年起串聯運用，其水源包含曾文水庫及烏山頭水庫集水區流量，現行曾文水庫與烏山頭水庫串聯運用係依據「曾文水庫運用要點」(民國 106 年 8 月 11 日經濟部經授水字第 10620209320 號令修正)，烏山頭水庫另訂有「烏山頭水庫運用要點」(民國 100 年 3 月 7 日經濟部經授水字第 10020201580 號令修正)。曾文水庫與烏山頭水庫操作可分為蓄水利用運轉與防洪運轉兩種，其相關之蓄水利用與防洪運轉摘錄說明如後：

- (1)曾文、烏山頭串聯運用規線應依據水庫運用規線執行，如圖 2-2 所示。前項運用規線在各旬初之水量規定如表 2-7 所示。
- (2)曾文水庫蓄水量超過上限時，得視各標的需要，超量供應其需要或洩放，使降至上限為止。
- (3)曾文、烏山頭水庫蓄水量在上限與下限之間時應按各標的基準供水量供應。而現行各標的基準分配水量如表 2-8 所示。
- (4)曾文、烏山頭水庫蓄水量在下限與嚴重下限之間時，家用及公共給水按基準供水量供應，農業用水與工業用水水量則按基準供水量之 75%供應。
- (5)蓄水量在嚴重下限以下時，家用及公共給水按基準供水量之 80%供應，農業用水與工業用水水量則按基準供水量之 50%

供應。

- (6)曾文水庫有效蓄水量在上限以下洩放水量時，不得使東口導水堰溢流。但逾上限且烏山頭水庫水位標高超過 57.5 公尺，東口導水堰水流含砂濃度過高或特殊情況洩放水量無法進入烏山頭水庫時，得在東口導水堰溢流。曾文水庫之放水應維持烏山頭水庫之水位在標高 45.0 公尺以上，並應防止溢流。
- (7)曾文水庫於颱風、豪雨、超大豪雨情況或蓄水量超過運用規限上限時，為增加水庫滯洪容積，得執行調節性放水。
- (8)烏山頭水庫按家用及公共給水、農業用水與工業用水標的使用之計畫需要放供。而烏山頭水庫係自由溢流洩洪，惟即將溢流時，得減少東口取水量及南北幹線進行調節性放水。

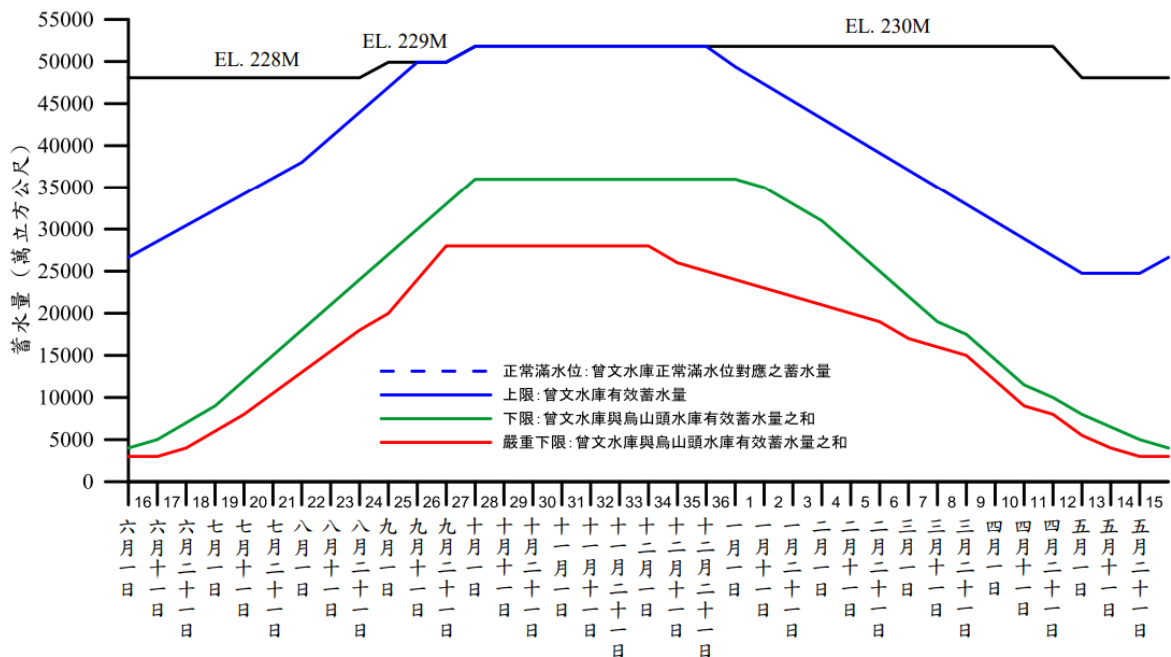


圖 2-2 曾文、烏山頭串聯運用規線

表 2-7 曾文、烏山頭水庫串聯運用規線

月	旬	上限	下限	嚴重下限
1	上	49,382	36,000	24,000
	中	47,330	35,000	23,000
	下	45,277	33,000	22,000
2	上	43,224	31,000	21,000
	中	41,172	28,000	20,000
	下	39,119	25,000	19,000
3	上	37,067	22,000	17,000
	中	35,014	19,000	16,000
	下	32,962	17,500	15,000
4	上	30,909	14,500	12,000
	中	28,856	11,500	9,000
	下	26,804	10,000	8,000
5	上	24,751	8,000	5,500
	中	24,751	6,500	4,000
	下	24,751	5,000	3,000
6	上	26,644	4,000	3,000
	中	28,538	5,000	3,000
	下	30,431	7,000	4,000
7	上	32,324	9,000	6,000
	中	34,217	12,000	8,000
	下	36,111	15,000	10,500
8	上	38,004	18,000	13,000
	中	40,984	21,000	15,500
	下	43,964	24,000	18,000
9	上	46,943	27,000	20,000
	中	49,923	30,000	24,000
	下	49,923	33,000	28,000
10	上	51,803	36,000	28,000
	中	51,803	36,000	28,000
	下	51,803	36,000	28,000
11	上	51,803	36,000	28,000
	中	51,803	36,000	28,000
	下	51,803	36,000	28,000
12	上	51,803	36,000	28,000
	中	51,803	36,000	26,000
	下	51,803	36,000	25,000

註：¹單位為萬噸；²資料來源：「曾文水庫運用要點」(中華民國 106 年 8 月 11 日經濟部經授水字第 10620209320 號令修正)

表 2-8 曾文水庫與烏山頭水庫各標的年基準分配水量

月	旬	灌溉用水量	工業用水量	公共用水量	合計
1	上	—	85.8	354.83	440.63
	中	171	85.8	354.83	611.63
	下	2,560	94.3	390.43	3,044.73
2	上	3,597	85.8	392.85	4,075.65
	中	3,845	85.8	392.85	4,323.65
	下	4,046	68.6	314.30	4,428.90
3	上	3,038	85.8	322.58	3,446.38
	中	2,721	85.8	322.58	3,129.38
	下	2,723	94.3	354.84	3,172.14
4	上	4,137	83.0	333.33	4,553.33
	中	3,990	83.0	333.33	4,406.33
	下	2,457	83.0	333.34	2,873.34
5	上	2,457	78.4	322.58	2,857.98
	中	2,457	78.4	322.58	2,857.98
	下	1,228	86.2	354.75	1,668.95
6	上	2,036	64.3	333.33	2,433.63
	中	2,747	64.3	333.33	3,144.63
	下	3,538	64.3	333.34	3,935.64
7	上	2,923	64.8	290.32	3,278.12
	中	3,434	64.8	290.32	3,789.12
	下	4,220	71.2	319.36	4,610.56
8	上	2,574	65.3	258.06	2,897.36
	中	2,574	65.3	258.06	2,897.36
	下	2,831	71.8	283.88	3,186.68
9	上	3,521	65.2	266.66	3,852.86
	中	2,883	65.2	266.66	3,214.86
	下	2,243	65.3	266.68	2,574.98
10	上	3,311	65.3	354.83	3,731.13
	中	2,825	65.3	354.83	3,245.13
	下	1,813	71.8	390.34	2,275.14
11	上	1,344	64.0	366.66	1,774.66
	中	672	64.0	366.66	1,102.66
	下	1,271	64.0	366.68	1,701.68
12	上	2,542	80.6	354.83	2,977.43
	中	1,271	80.6	354.83	1,706.43
	下	—	88.6	390.34	478.94
合計		90,000	2,700.0	12,000.00	104,700.00

註：¹單位為萬噸；²資料來源：「水文環境變遷情境下嘉南地區水源調度運用方案研究」（經濟部水利署南區水資源局，民國 103 年）

2、南化水庫

南化水庫主要水源來自攔蓄後堀溪與自甲仙攔河堰越域引水引取旗山溪水源，現行運轉原則係依據「南化水庫運用要點」(民國 100 年 5 月 16 日經濟部經授水字第 10020204830 號令修正)，南化水庫運用規線分上限與下限(圖 2-3)，於操作上可分為蓄水利用運轉與防洪運轉兩種，其相關之蓄水利用與防洪運轉摘錄說明如後：

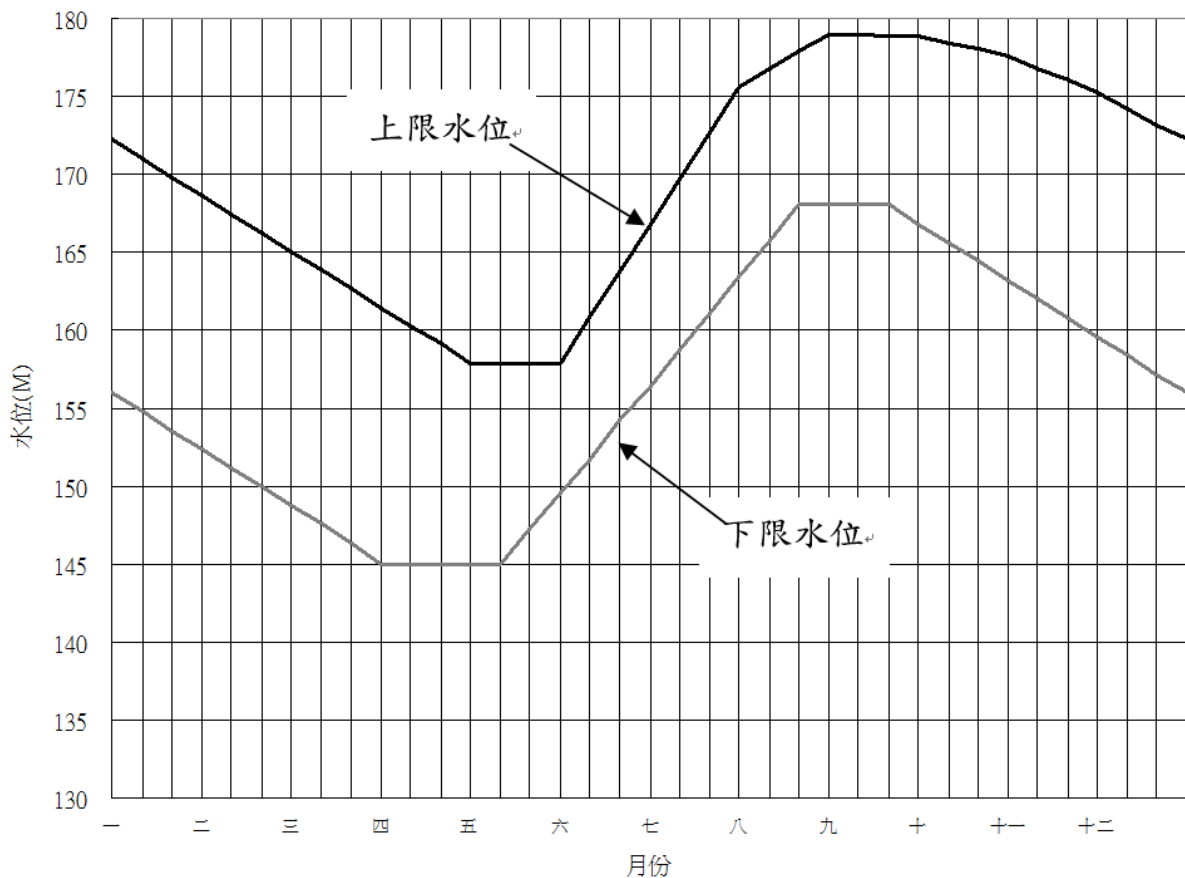


圖 2-3 南化水庫運用規線

- (1)水庫水位在上限以上時，依據計畫配水量供水，並得視各地區用水需求增加調配之。
- (2)水庫水位在上限與下限之間時，依據計畫配水量供水，並得視高屏溪攔河堰取水狀況調整，以調配各地區之供水。
- (3)水庫水位在下限以下時，視各地區用水需求量，與其他水源聯合運用機動調配供水，必要時應予打折供水。

(4)本水庫滿水位標高 180 公尺，最大可能洪水位標高 185.46 公尺。

(5)本水庫溢洪道無閘門控制，水位超過標高 180 公尺時，自由溢流。

3、白河水庫

白水水庫主要水源係攔蓄急水溪支流白水溪上游野溪水量，現行運轉原則係依據「白河水庫運用要點」(民國 105 年 10 月 17 日經濟部經授水字第 10520210630 號令修正)。白河水庫運用規線(圖 2-4)分為上限、下限以及嚴重下限，於操作上可分為蓄水利用運轉與防洪運轉兩種，其相關之蓄水利用與防洪運轉摘錄說明如後：

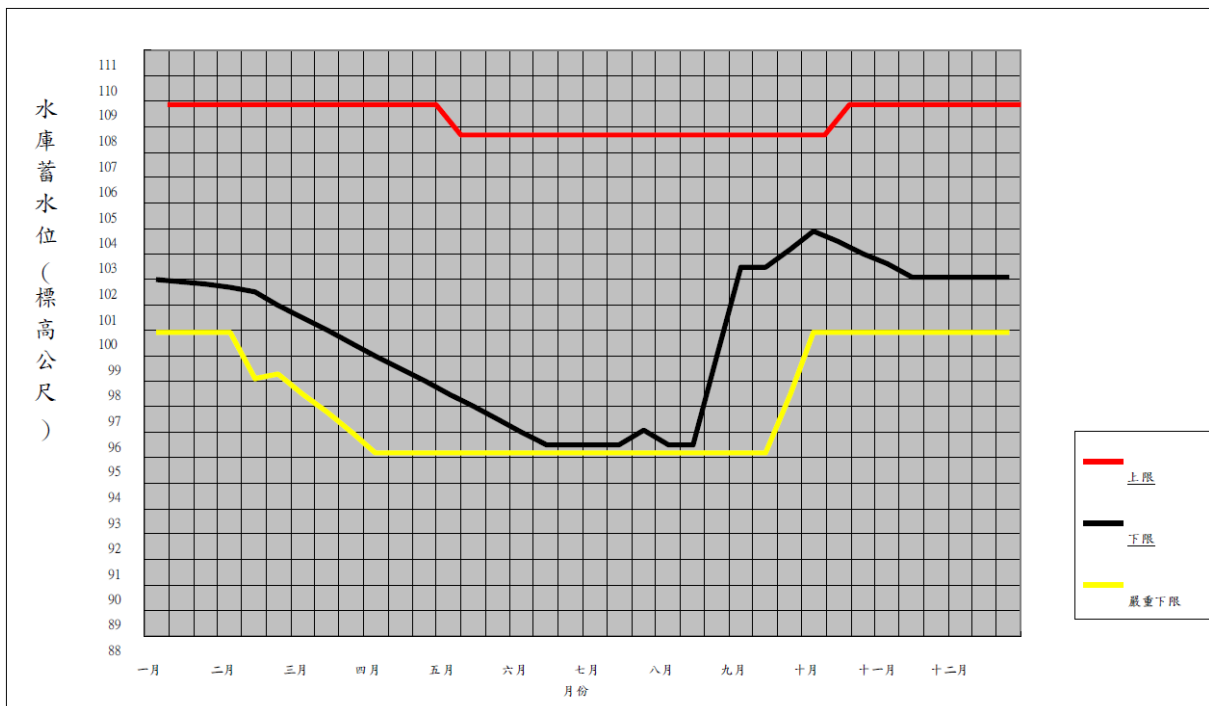


圖 2-4 白河水庫運用規線

- (1)蓄水位在上限以上時，得視各標的需要超量供應。
- (2)蓄水位在上限與下限之間時，應按各標的計畫配水量供應。
- (3)蓄水位在下限以下至嚴重下限之間時，農業用水得降低標準供水，其降低之標準及方式由水利會召開相關水利小組之小組長聯席會議協商辦理。

- (4)蓄水位在嚴重下限以下時，農業用水應再降低標準供水，降低之標準及方式依前款之規定協商辦理。
- (5)水庫設計最高洪水位為標高 110 公尺。
- (6)當水庫水位超過上限時，為增加本水庫滯洪容積，得視颱風、大雨或豪雨情況進行調節性放水。

(八)計畫配水量

民國 75 年「曾文水庫長期多目標經營計畫第三期研究」係為有效利用水資源與合理之調配，重新擬定各營運標的間水資源分配方式與長期用水計畫。農業用水之檢討，依據灌溉作物面積之消長、省府公佈耕作方式、灌溉制度等資料，計算各種作物單位面積用水量，並考慮幹支分渠及中小給水輸水損失率分別為 23.62% 和 18.61%，推估農業總用水量為 97,780 萬噸。公共用水之推估為依據平均普及率、供水人口及每人每日用水量；工業用水則依據工業區面積，按各別工業區開發情況估計需水量，並考慮特種用水需水量，其總需水量扣除當時現有水源及可能補充之仁義潭水庫及計畫開發之南化水庫等供水量，推估由曾文水庫供應之水量於公共及工業分別為 14,433 和 2,937 萬噸。

民國 75 年 12 月 5 日臺灣省政府建設廳召開之「曾文水庫長期多目標經營計畫審議小組第九次會議」，依據「曾文水庫長期多目標經營計畫第三期研究」所提之計畫用水量與各提意見單位之年基準分配水量，如表 2-9 所示，其審議小組參酌各種因素審訂曾文、烏山頭水庫平水年各標的年基準分配水量為灌溉用水 9 億噸、工業用水 0.27 億噸、公共給水 1.2 億噸，合計 10.47 億噸。並根據民國 76 年 8 月 17 日臺灣省政府合署辦公各單位首長第 813 次會議紀錄，再依民國 82 年「合理配水因應方案與應用規線之分析」研究計畫，經省府主管機關協商核定此依分配標準沿用至今，其各標的每月、旬之年基本分配水量如表 2-8 所示。

表 2-9 曾文、烏山頭水庫平水年各標的年基準分配水量表

	中國農工學會	自來水公司	嘉南水利會	曾管局	建設廳第六科	農委會研提經建會(參考案)	審議小組
灌溉	97,780	—	97,780	90,000	90,000	90,000	90,000
公共	14,433	14,433	—	12,000	12,000	12,140	12,000
工業	2,937	4,000	4,000	4,000	4,000		2,700
合計	115,150	—	—	106,000	106,000	102,140	104,700
備註		<p>1.農工學會研擬灌溉用水之作物別單位面積用水量渠道輸水損失，總計畫用水量均比曾文水庫定案計畫及建設誌為高，是否合理宜審慎研討，又灌溉面積應推估將來之消長並據一推估將來之計畫灌溉用水量。</p> <p>2.公共給水包括由曾文水庫減供水量1,063萬噸及烏山頭水庫供水原麻、佳水廠年800萬噸在內。</p>	<p>農工學會研擬公共給水計畫用水量，其所採用抄見率普遍偏低，建議改善提高。</p>	<p>1.灌溉用水農工學會研擬提97,780萬噸說明具有彈性，臺大依據73.灌區面積及38年來水文資料推算平均計畫用水量僅需82,554萬噸，兩者研究所得平均為90,167萬噸，非常接近省府首長會談裁示年90,000萬噸，故本局建議採用省府裁示。</p> <p>2.公共給水農工學會研提14,433萬噸亦具彈性建議採用省府首長會談裁示12,000萬噸。</p> <p>3.工業用水亦建議採用省府首長會談裁示4,000萬噸，作為曾管供應工廠用水戶及權宜用水或水量不足時之應付。</p>	<p>1.按省府首長會談裁示分配之。</p> <p>2.工業用水4,000萬噸係由曾管局直接配供之水量，如有利餘時按灌溉及公共給水配水比率分配運用。</p> <p>3.公共給水包括自來水公司供應之家庭用水及工業用水。</p>	<p>1.工業用水2,700萬噸係由曾管局直接配供之水量。</p> <p>2.公共給水包括自來水公司供應之家庭用水及工業用水。</p> <p>3.本基準分配水量暫以執行至民國80年為目標年，屆時再行檢討，其間如有重大變化時，得由曾管局隨時召集有關單位檢討之。</p>	

資料來源：「曾文水庫長期多目標經營計畫第三期研究」(中國農業工程學學會，民國75年)

二、水文特性分析

針對計畫區域水文資料(例如：各月份水文統計量與歷年超越機率流量)進行基本統計分析與門檻值分析，以瞭解其水文特性與枯旱流量特性。

(一)水文量統計分析

本計畫參考陳昭銘(民國 97 年)季節劃分方式，將臺灣季節分為五季，分別為：春季(2 至 4 月)、梅雨季(5 至 6 月)、颱風季(7 至 9 月)、秋季(10 至 11 月)以及冬季(12 月至隔年 1 月)，並針對計畫區域內兩大重要集水區：曾文水庫集水區與南化水庫集水區進行水文量統計分析，以瞭解各季節水文特性，並作為後續可能水文情境研擬之依據。本計畫基於「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」產製之歷史觀測網格雨量月資料進行分析，挑選計畫區域集水區對應網格並統計其長期(民國 49 至 104 年)平均月雨量，分析結果(圖 2-5)顯示：曾文水庫集水區春季雨量佔全年雨量 8.6%，而梅雨季、颱風季、秋季以及冬季佔比則分別為 32.0%、54.1%、3.3%以及 2.0%；南化水庫集水區春季雨量佔全年雨量 6.1%，而梅雨季、颱風季、秋季以及冬季佔比則分別為 31.5%、58.2%、2.9%以及 1.2%。整體而言，曾文水庫集水區與南化水庫集水區雨量主要集中於梅雨季與颱風季，其佔全年雨量分別為 86.1%與 89.7%。

(二)門檻值分析

將低流量資料進行統計分析，其係針對流量低於某一特定值之低流量事件進行分析，一般常用 Yevjevich (1967)所提出之門檻值法(threshold level method)定義低流量事件，示意圖請參考圖 2-6。其中，本計畫採用曾文水庫與南化水庫集水區歷年流量資料之超越機率流量(例如：Q60、Q70、Q80 以及 Q90)作為門檻值，以瞭解低流量事件之統計特性，分析結果如表 2-10 至表 2-11 所示。

臺灣五季

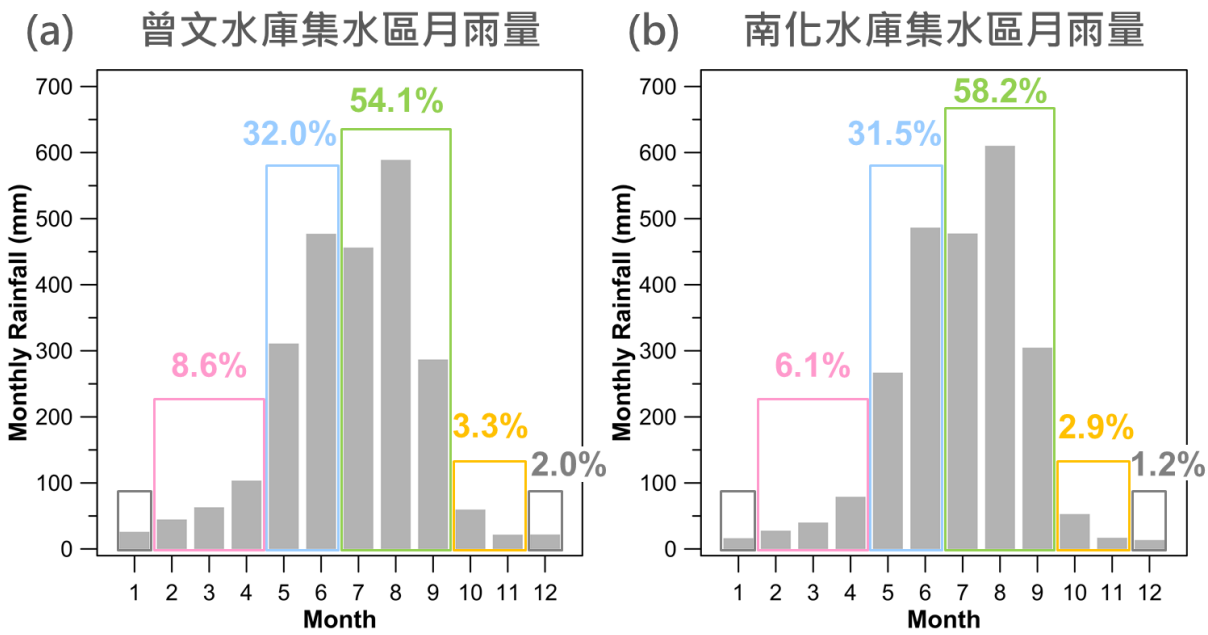
春季
(2至4月)

梅雨季
(5至6月)

颱風季
(7至9月)

秋季
(10至11月)

冬季
(12至1月)



註：集水區雨量分析成果係基於「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」產製之歷史觀測網格雨量月資料

圖 2-5 計畫區域各季節雨量佔全年雨量百分比

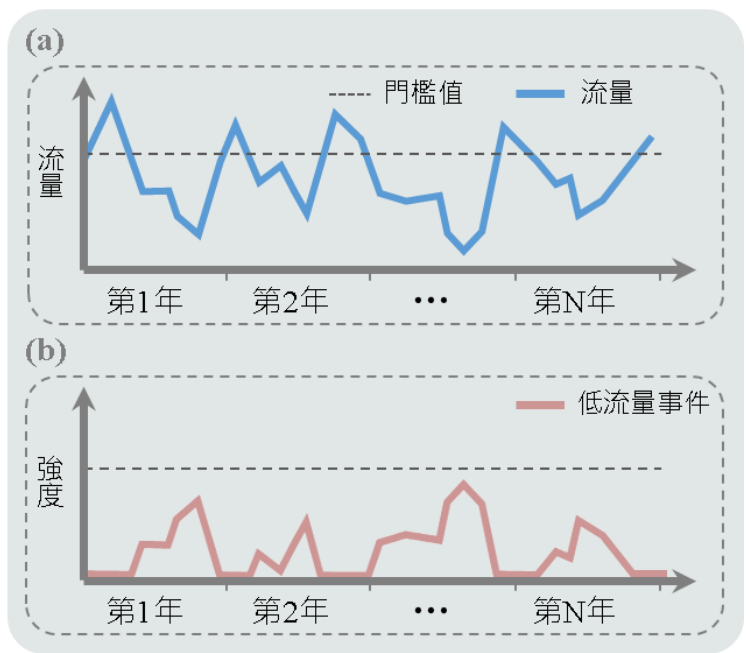


圖 2-6 低流量事件之定義(a)門檻值法示意圖與(b)低流量事件

在曾文水庫流量資料之門檻值法分析結果(表 2-10)，以近年較嚴重之乾旱事件如民國 91 至 93 年為例，選擇 Q90 (13 萬噸)為門檻值時，於民國 91、92 以及 93 年之低流量事件強度分別為 561、

611 以及 370 萬噸，且低流量事件延時分別為 72、91 以及 45 天；選擇 Q80 (19 萬噸)為門檻值時，於民國 91、92 以及 93 年之低流量事件強度分別為 1,193、1,068 以及 1,723 萬噸，且低流量事件延時分別為 110、119 以及 131 天；選擇 Q70 (30 萬噸)為門檻值時，於民國 91、92 以及 93 年之低流量事件強度分別為 2,246、2,296 以及 2,659 萬噸，且低流量事件延時分別為 157、171 以及 171 天；選擇 Q60 (44 萬噸)為門檻值時，於民國 91、92 以及 93 年之低流量事件強度分別為 3,429、3,473 以及 3,880 萬噸，且低流量事件延時分別為 191、204 以及 206 天。

以民國 98 年之乾旱事件為例，選擇 Q90 為門檻值之低流量事件強度與延時分別為 644 萬噸與 84 天；選擇 Q80 為門檻值之低流量事件強度與延時分別為 1,607 萬噸與 145 天；選擇 Q70 為門檻值之低流量事件強度與延時分別為 2,831 萬噸與 196 天；選擇 Q60 為門檻值之低流量事件強度與延時分別為 3,473 萬噸與 215 天。

在南化水庫流量資料之門檻值法分析結果(表 2-11)，以近年較嚴重之乾旱事件如民國 91 至 93 年為例，選擇 Q90 (0.28 萬噸)為門檻值時，於民國 91、92 以及 93 年之低流量事件強度分別為 2.8、1.0 以及 0.8 萬噸，且低流量事件延時分別為 31、30 以及 43 天；選擇 Q80 (0.40 萬噸)為門檻值時，於民國 91、92 以及 93 年之低流量事件強度分別為 29.3、3.2 以及 23.4 萬噸，且低流量事件延時分別為 118、37 以及 118 天；選擇 Q70 (0.90 萬噸)為門檻值時，於民國 91、92 以及 93 年之低流量事件強度分別為 55.6、33.9 以及 34.8 萬噸，且低流量事件延時分別為 160、89 以及 135 天；選擇 Q60 (2.13 萬噸)為門檻值時，於民國 91、92 以及 93 年之低流量事件強度分別為 97.1、130.2 以及 83.4 萬噸，且低流量事件延時分別為 192、156 以及 168 天。

整體而言，曾文水庫與南化水庫流量資料之門檻值分析結果顯示：選用較高門檻值辨識出之低流量事件總量與延時皆會較大，而較低門檻值辨識出之總量與延時則較小。本計畫採用歷年流量資料

之超越機率流量為門檻值並且進行臺南地區之門檻值分析，其結果不僅能分析低流量事件之缺水強度與延時且可以反應歷史乾旱事件，有助於辨識歷史資料中之枯早年。

表 2-10 曾文水庫之門檻值法分析結果(1/2)

年份	Q90 (13)		Q80 (19)		Q70 (30)		Q60 (44)	
	強度	延時	強度	延時	強度	延時	強度	延時
48	881	79	1,399	114	2,549	162	3,302	182
49	535	46	1,744	127	2,763	170	3,490	191
50	520	53	1,247	103	2,063	140	2,969	164
51	356	30	1,022	71	2,697	142	4,487	191
52	834	74	1,529	116	2,973	176	4,354	217
53	0	0	475	27	2,476	112	4,183	161
54	654	62	1,489	118	2,122	143	2,917	165
55	0	0	842	49	3,212	150	4,788	194
56	1,045	97	1,673	139	2,647	179	3,725	209
57	0	0	374	21	1,870	85	3,852	139
58	76	6	1,151	72	2,631	133	4,276	177
59	125	10	1,116	70	2,439	127	3,645	158
60	461	51	824	75	2,000	123	3,829	174
61	0	0	0	0	0	0	2,150	57
62	510	56	1,269	106	2,009	136	2,751	155
63	357	34	816	64	1,049	73	2,124	102
64	149	25	412	42	985	65	2,142	97
65	158	38	419	55	1,068	82	2,012	108
66	126	42	321	55	795	74	2,688	126
67	27	6	113	11	498	27	1,460	52
68	248	52	719	84	1,530	116	2,768	151
69	376	78	598	92	1,336	123	3,163	173
70	233	47	764	81	1,654	117	3,408	165
71	196	54	613	80	1,793	129	3,226	170
72	119	21	334	35	952	61	2,046	91
73	281	62	543	78	1,228	106	2,573	143
74	76	17	282	29	884	54	2,889	108
75	71	18	275	31	755	49	1,941	81
76	50	13	97	16	378	28	1,244	52
77	135	24	341	37	821	56	1,900	84

註：¹括號內數字為流量門檻值(萬噸)；²強度之單位為萬噸，而延時之單位為日。

表 2-10 曾文水庫之門檻值法分析結果(2/2)

年份	Q90 (13)		Q80 (19)		Q70 (30)		Q60 (44)	
	強度	延時	強度	延時	強度	延時	強度	延時
78	140	25	265	33	680	50	1,787	79
79	104	17	358	33	1,107	65	2,484	103
80	140	67	600	96	1,146	119	2,805	165
81	58	10	405	32	1,120	61	2,500	100
82	388	77	1,046	119	2,400	175	4,052	222
83	164	18	713	53	2,350	123	3,580	159
84	249	35	1,008	83	2,320	137	3,715	177
85	580	63	1,620	130	2,150	152	2,903	174
86	209	39	890	82	1,631	113	3,113	155
87	91	10	422	30	663	40	1,545	66
88	391	50	1,132	97	1,904	130	3,113	165
89	142	15	545	41	1,496	79	2,902	118
90	259	32	830	68	1,487	95	2,674	128
91	561	72	1,193	110	2,246	157	3,429	191
92	611	91	1,068	119	2,296	171	3,473	204
93	370	45	1,723	131	2,659	171	3,880	206
94	185	22	854	64	1,424	87	2,622	121
95	402	45	1,414	109	1,805	126	2,581	149
96	453	58	1,323	110	1,764	129	2,736	157
97	236	25	1,313	92	2,048	124	3,339	161
98	644	84	1,607	145	2,831	196	3,473	215
99	50	5	571	37	1,670	82	3,864	143
100	85	11	407	31	1,001	56	2,476	97
101	10	2	61	5	716	31	3,520	109
102	123	13	1,028	73	1,908	109	3,472	153
103	270	34	1,284	101	2,656	156	3,461	178
104	407	50	1,555	124	2,381	159	3,268	184
105	6	1	291	17	431	23	1,617	55
106	373	46	1,492	118	2,502	158	3,333	182
107	250	29	1,407	101	2,892	163	4,564	209

註：¹括號內數字為流量門檻值(萬噸)；²強度之單位為萬噸，而延時之單位為日。

表 2-11 南化水庫之門檻值法分析結果(1/2)

年份	Q90 (0.28)		Q80 (0.40)		Q70 (0.90)		Q60 (2.13)	
	強度	延時	強度	延時	強度	延時	強度	延時
48	2.5	38	3.8	42	28.2	77	145.9	160
49	6.2	45	12.9	65	44.1	117	98.3	163
50	3.5	22	12.3	49	59.0	121	125.0	180
51	6.8	56	8.8	62	57.1	138	117.0	187
52	12.7	119	16.4	129	26.0	145	74.2	181
53	3.5	35	8.1	48	47.3	117	102.0	160
54	3.0	82	5.6	90	19.2	112	69.3	145
55	2.4	14	8.6	32	41.5	84	129.6	150
56	5.9	68	14.5	92	44.7	140	95.2	181
57	3.3	18	8.6	34	30.3	70	111.8	123
58	3.6	46	16.8	84	43.8	130	92.4	170
59	1.2	97	4.9	108	14.4	124	52.0	151
60	0.7	77	3.8	86	29.7	125	65.1	148
61	2.0	27	6.0	39	27.8	71	58.8	92
62	4.1	50	9.8	68	32.5	103	101.1	150
63	5.3	28	14.4	57	38.6	97	68.5	120
64	3.0	16	9.3	35	18.3	51	96.5	111
65	3.2	68	5.9	76	19.9	98	83.8	147
66	2.5	92	12.4	123	24.5	144	56.5	170
67	1.0	5	4.7	17	39.8	70	79.0	97
68	2.0	27	4.0	33	42.0	86	163.5	168
69	1.3	49	10.7	77	71.0	171	146.8	226
70	3.1	94	6.5	104	16.1	118	43.1	139
71	4.6	57	11.3	81	30.0	109	100.4	164
72	0.4	7	3.2	15	23.6	53	60.3	81
73	11.3	93	12.5	96	25.9	122	114.0	183
74	1.8	11	11.2	39	62.4	111	131.2	164
75	3.6	33	8.6	48	41.0	100	131.9	173
76	6.3	68	10.1	81	32.0	116	52.0	137
77	0.3	6	13.9	41	26.0	59	121.4	133

註：¹括號內數字為流量門檻值(萬噸)；²強度之單位為萬噸，而延時之單位為日。

表 2-11 南化水庫之門檻值法分析結果(2/2)

年份	Q90 (0.28)		Q80 (0.40)		Q70 (0.90)		Q60 (2.13)	
	強度	延時	強度	延時	強度	延時	強度	延時
78	1.8	35	5.2	46	40.5	102	93.3	138
79	0.0	0	0.0	0	45.0	83	104.8	123
80	6.9	51	11.7	65	36.0	107	164.9	203
81	0.0	0	0.0	0	35.8	46	88.4	86
82	4.7	67	9.8	82	48.2	148	103.7	187
83	7.3	45	22.4	88	74.6	170	119.8	207
84	0.0	0	2.1	7	71.3	128	147.3	190
85	14.5	78	19.6	95	48.7	153	81.7	178
86	0.0	0	7.9	26	56.5	123	107.6	168
87	0.1	1	8.6	29	13.8	40	49.6	64
88	0.2	1	0.2	1	70.6	143	106.6	174
89	0.1	118	0.1	118	2.0	121	64.4	167
90	0.8	31	27.4	119	32.2	128	72.2	155
91	2.8	31	29.3	118	55.6	160	97.1	192
92	1.0	30	3.2	37	33.9	89	130.2	156
93	0.8	43	23.4	118	34.8	135	83.4	168
94	0.0	9	22.7	84	34.7	109	56.0	123
95	0.5	8	34.7	121	40.3	131	65.8	150
96	0.6	44	40.4	175	45.0	183	59.4	193
97	0.0	1	43.5	145	51.4	160	63.5	168
98	0.0	0	42.3	140	47.2	148	62.2	160
99	0.0	0	19.4	64	23.5	72	41.3	83
100	0.0	0	31.8	105	33.5	108	43.3	114
101	0.0	0	12.7	42	15.6	47	46.9	67
102	0.0	0	26.3	87	32.0	98	53.1	115
103	0.0	0	23.0	76	27.6	84	67.6	110
104	0.0	0	30.5	101	35.8	110	64.1	131
105	0.0	0	10.9	36	13.3	40	21.0	45
106	0.2	1	29.2	97	30.3	99	31.4	100
107	0.0	0	20.3	67	23.1	72	47.2	87

註：¹括號內數字為流量門檻值(萬噸)；²強度之單位為萬噸，而延時之單位為日。

三、現況與未來氣候變遷情勢分析

(一)現況氣候情勢

為分析與探討現況氣候情勢，本計畫首先回顧統計檢定相關研究，瞭解如何採用統計檢定分析水文資料趨勢與變異點。再介紹常用水文統計檢定理論與流程，並應用於後續現況氣候情勢分析。以下分別說明：(1)統計檢定分析文獻、(2)統計檢定理論以及(3)現況氣候情勢分析結果。

1、統計檢定分析文獻

經濟部水利署水利規劃試驗所於民國 99 至 101 年期間推動一系列計畫，針對臺灣北部、中部、南部以及東部採用統計方法檢定水文資料是否具有趨勢，其虛無假設為水文資料於時間上係隨機分布，即水文資料不具趨勢性，而對立假設則為水文資料具有遞增或遞減趨勢。本計畫針對各個分區趨勢檢定結果整理如下：

「強化北部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 101 年)針對臺灣北部降雨資料進行分析，其年雨量變化趨勢分析結果顯示：多數測站年雨量呈現增加趨勢，47 個雨量站中有 9 個雨量站為顯著增加(顯著水準=0.05)，而有 7 個雨量站呈現減少趨勢。

「強化中部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 101 年)針對臺灣中部降雨資料進行分析，該研究針對兩時段內雨量特性進行分析，兩時段分別為(1)時段一：民國 69 至 88 年與(2)時段二：民國 89 至 99 年，其年雨量變化趨勢分析結果顯示：臺灣中部年雨量於時段一，8 個雨量站為增加趨勢，而有 14 個雨量站為減少趨勢；臺灣中部年雨量於時段二，多數雨量站(17 個雨量站)為增加趨勢，而 4 個雨量站為減少趨勢。然而，無論是時段一或時段二，皆無雨量站具有顯著增加趨勢或減少趨勢。

「強化南部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力

研究」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年)針對臺灣南區降雨資料進行分析，其年雨量變化趨勢分析結果顯示：曾文溪以南區域之年雨量明顯高於急水溪以北區域(含急水溪)，且丘陵與山區之年雨量明顯高於平原地區。相較於過去紀錄，近 10 年雨量在時間與空間上有明顯變化，多數測站年雨量呈現增加趨勢，且年雨量增加與降雨強度增加有關，尤其豐水期期間之雨量呈現顯著增加趨勢。

「強化東部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 101 年)針對臺灣東區降雨資料進行分析，該研究針對兩時段內雨量特性進行分析，兩時段分別為(1)時段一：民國 69 至 88 年與(2)時段二：民國 89 至 99 年，其分析結果指出：時段一期間，年雨量呈現增加趨勢的雨量站共有 5 站，其中 2 站為顯著增加趨勢(顯著水準=0.05)，而年雨量呈現減少趨勢的雨量站共有 8 站，其中 4 站為顯著減少趨勢；時段二期間，年雨量呈現增加趨勢的雨量站共有 3 站，其中 1 站為顯著增加趨勢(顯著水準=0.05)，而年雨量呈現減少趨勢的雨量站共有 10 站，其中 3 站為顯著減少趨勢。

許多其他研究亦指出臺灣水文資料具有增減趨勢：錢滄海等人(民國 99 年)蒐集中央氣象局臺北雨量站自民國前 12 年至民國 95 年共 107 年之日雨量紀錄，針對年降雨日數、年降雨量、一日最大降雨量、最大連續不降雨日數以及年平均降雨強度，加以統計分析，並以 Mann-Kendall 趨勢檢定法針對上列之時間序列進行趨勢檢定，其結果指出臺北地區降雨分布隨著時間確實有變化，且短延時暴雨增多，乾旱機率有增加的趨勢。陳憲宗與游保杉(民國 98 年)以近 10 年來之 24 小時暴雨，與過去 40 年來的變異比值比較後，發現臺灣北、中、南、東等地區，分別有 14%、20%、28%以及 2%的增幅，反應未來臺灣地區暴雨強度將持續增加，若以上述預測結果外插，可推估民國 119 年之暴雨規模約增加 20%。

而國外水文趨勢分析結果亦有類似發現：Serrano *et al.* (1999)利用 Mann-Kendall 趨勢檢定方法分析伊伯利亞半島之月降雨量，發現三月份之降雨量有呈現明顯減少之趨勢。Collischonn *et al.* (2001)利用統計方法分析巴拉圭地區因受氣候變遷之影響，發現自 1970 年後之降雨量有增加現象。Mirza *et al.* (1998)以統計方法探討降雨量趨勢變化和持續性，結果發現恆河流域之年降雨量有增加趨勢，但位於雅魯藏布江地區之降雨量自 1960 年則有遞減趨勢。Kiely (1999)利用統計方法分析愛爾蘭地區因受氣候變遷而影響之降雨量與流量特性，其研究結果顯示自 1975 年起，年降雨量與流量有呈現增加現象，尤其在三至十月之降雨量具有明顯增加趨勢。

綜合以上文獻可知，國內外探在探討水文序列之變異點與趨勢分析，大多採用 Mann-Whitney-Pettitt (MWP)檢定與 Kruskal-Wallis (KW)檢定，而趨勢分析之部分則採用 Mann-Kendall (MK)檢定。

2、統計檢定理論

本計畫參考「臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 102 年)節錄 MWP 檢定、KW 檢定以及 MK 檢定詳細說明於下：

(1) Mann-Whitney-Pettitt (MWP)檢定

MWP 檢定(Pettitt, 1979)，係利用無母數統計方法檢測時序資料中是否存在顯著差異的變異點。變異點之定義為：該點前後資料之平均值在統計上有顯著差異。給定一組長度為 T 之時間序列資料，假設 t 為最可能之變化點，以 t 點為界將時間序列資料分為前後兩部分，即 $\{X_1, X_2, \dots, X_t\}$ 與 $\{X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_T\}$ ，計算 Pettitt 定義之 U_t 指標如下：

$$U_t = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (2-1)$$

其中，令 $(X_i - X_j) = x$ ，再依據下式計算 $\text{sgn}(x)$ ：

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > 0 \\ 0, & \text{if } x = 0 \\ -1, & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (2-2)$$

若 $|U_t|$ 持續增加至某一處開始減少，其轉折點即為變異發生位置。然而，時間序列中可能會存在好幾個轉折點，一般僅針對最大轉折點計算其發生機率 P 。呂季蓉(民國95年)提出當 t 時刻之 $|U_t|$ 值為時間序列中最大值且發生機率大於0.9時，則存在有顯著改變點之現象越加明顯。

$$P = 1 - \exp\left[\frac{-6K_T^2}{T^3 + T^2}\right] \quad (2-3)$$

$$K_T = \max|U_t| \quad (2-4)$$

(2) Kruskal-Wallis (KW)檢定

KW檢定又稱為Kruskal - Wallis因子分類變異數分析，由Kruskal與Wallis將Wilcoxon兩樣本檢定法加以推廣所得，此檢定運用於檢測 k 組獨立隨機樣本是否來自同一母體，其虛無假設為各組資料皆來自相同母體；而對立假設為至少有一組資料來自不同母體。其檢定步驟如下(顏月珠，民國75年)：

(a) 將 k 組獨立樣本所有觀測值由小至大排列，並分別給予適當等級。將各組樣本(全部資料)視作一組資料，由小至大進行排序，資料中最小值其等級即為1，而次小者其等級即為2，據此推求各筆資料對應之等級。在本計畫中 $k=2$ ，為變異點前後所組成之兩組樣本。

(b) 求算檢定統計量 H ，如下所示：

若樣本中 N 個觀測值均不相等，則 H 為：

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \quad (2-5)$$

$$N = \sum_{i=1}^k n_i \quad (2-6)$$

其中， n_i 為各組樣本大小，例如： n_1 為變異點(含)前之資料筆數，而 n_2 為變異點後之資料筆數； R_i 為各組樣本的等級和，例如： R_1 為第一組樣本的等級和，其值等於第一組樣本內所有資料對應等級之加總。

若樣本中存有部分觀測值相等，尤其相同觀測值達 25% 以上，則 H 須校正為：

$$H = \frac{\frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)}{1 - \frac{\sum_{j=1}^c (t_j^3 - t_j)}{N^3 - N}} \quad (2-7)$$

其中， c 為相同等級的集合數， t_j 為第 j 個相同等級集合中的觀測值個數。

(c) 當 $n_i > 5$ 時， H 分配近於 χ^2 分配，故自由度 $\nu = k - 1$ ，且於 95% 信賴區間時，若下式成立則拒絕母體相同的虛無假設。

$$H > \chi_{(1-\alpha, k-1)}^2 \quad (2-8)$$

(3) Mann-Kendall (MK) 檢定

MK 檢定可用於檢測資料是否具有趨勢(Mann, 1945; Kendall, 1975; Gilbert, 1987)，其虛無假設視資料在時間上之分布是隨機的，即資料不具趨勢性；而對立假設為資料具有遞增或遞減的趨勢。若有 n 個樣本， $y_i, i=1, \dots, n$ ，並定義 S 指標如下：

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(y_j - y_i) \quad (2-9)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1, & \text{if } \theta > 0 \\ 0, & \text{if } \theta = 0 \\ -1, & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (2-10)$$

Kendall (1975) 推導 S 指標於隨機條件下之期望值與變異數分別為：

$$E(S) = 0 \quad (2-11)$$

$$Var(S) = \frac{1}{18} \{n(n-1)(2n+5)\} \quad (2-12)$$

並定義統計檢定量 Z 為：

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (2-13)$$

如果 $|Z| > Z_{\alpha/2}$ 則拒絕虛無假設，表示資料在時間上有趨勢存在。其中， α 為顯著水準。若 S 指標值為正值，則表示資料具有逐漸增加之趨勢；反之，若 S 指標值為負值，則表示資料具有逐漸減少之趨勢。

3、現況氣候情勢分析結果

為釐清臺南地區主要集水區之整體水文趨勢，本計畫針對季節雨量、年最小平均流量以及超越機率流量進行情勢分析。首先，參考英國國家氣候資訊中心(National Climate Information Centre)廣泛採用之核平滑(kernel smoothing)分析，檢視臺南地區主要集水區之整體水文趨勢。然後，透過上述統計方法檢測水文資料之趨勢與變異點，藉由分析歷史觀測資料以瞭解其現況氣候情勢。

(1) 季節雨量

為瞭解季節雨量資料是否具有趨勢及變異點，針對曾文水庫水文資料挑選各季節總雨量，圖 2-7 為曾文水庫集水區春季、梅雨季、颱風季、秋季以及冬季之總雨量時間序列資料與核平滑分析結果，圖中圓點為觀測雨量資料，而粗線則代表核平滑雨量。藉由核平滑分析結果可快速檢視資料長期變動情況，分析結果指出：曾文水庫集水區於颱風季與冬季之雨量有增加趨勢，而其餘季節則無明顯增減趨勢，其資料

趨勢大致維持水平。然而，因冬季雨量佔全年雨量比例較低，其增加趨勢對於全年雨量之貢獻有限。此外，再採用前述趨勢檢定及變異點檢定方法進行總雨量趨勢研討，分析結果如表 2-12 與表 2-13 所示。在趨勢檢定結果之部分，各季節總雨量為增加情況且颱風季增加最多，僅冬季總雨量在統計上呈現顯著趨勢，其趨勢為 6.51 mm/10 年，而其餘季節之總雨量趨勢在統計上不顯著；而在變異點檢定結果之部分，颱風季總雨量存在顯著變異點於民國 92 年，冬季總雨量存在顯著變異點於民國 58 年，其餘季節之總雨量則無顯著變異點存在。

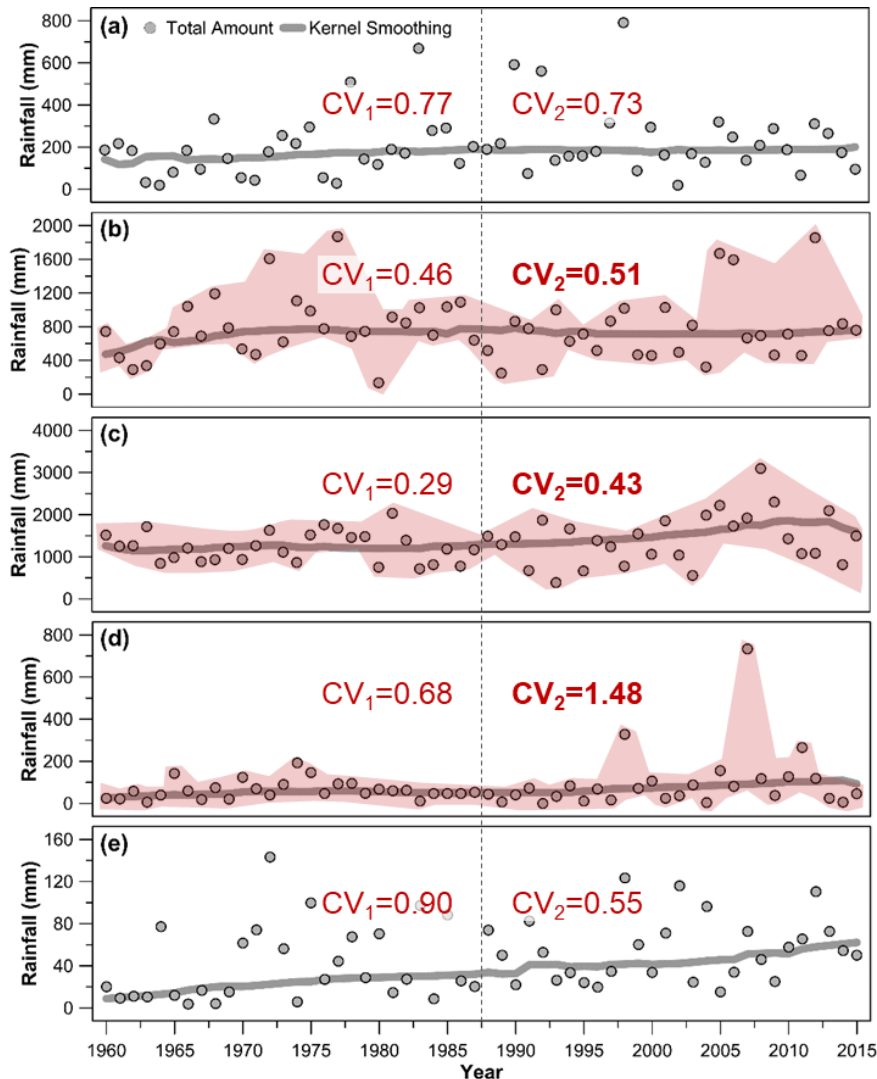


圖 2-7 曾文水庫集水區各季節總雨量時間序列資料與趨勢(a)春季、(b)梅雨季、(c)颱風季、(d)秋季以及(e)冬季

表 2-12 曾文水庫集水區各季節總雨量趨勢檢定結果

季節	增減率 (mm/10 年)	MK 統計量	MK 檢定量	顯著 與否
春季	11.78	1.18	1.64	否
梅雨季	7.40	0.33	1.64	否
颱風季	60.80	1.32	1.64	否
秋季	3.38	0.69	1.64	否
冬季	6.51	2.66	1.64	是

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$

表 2-13 曾文水庫集水區各季節總雨量變異點檢定結果

季節	變異點 (民國)	MWP 統計量	MWP 檢定量	顯著 與否	KW 統計量	KW 檢定量	顯著 與否
春季	69	0.81	0.90	否	—	—	—
梅雨季	54	0.59	0.90	否	—	—	—
颱風季	92	0.93	0.90	是	8.04	2.706	是
秋季	86	0.70	0.90	否	—	—	—
冬季	58	0.98	0.90	是	13.70	2.706	是

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$ ；「—」代表無顯著變異點存在，故不執行 KW 檢定

針對南化水庫水文資料挑選各季節總雨量，圖 2-8 為南化水庫集水區春季、梅雨季、颱風季、秋季以及冬季之總雨量時間序列資料與核平滑分析結果，圖中圓點為觀測雨量資料，而粗線則代表核平滑雨量。藉由核平滑分析結果可快速檢視資料長期變動情況，分析結果指出：南化水庫集水區於颱風季與冬季之雨量有增加趨勢，而其餘季節則無明顯增減趨勢，其資料趨勢大致維持水平。然而，因冬季雨量佔全年雨量比例較低，其增加趨勢對於全年雨量之貢獻有限。此外，再採用前述趨勢檢定及變異點檢定方法進行總雨量趨勢研討，分析結果如表 2-14 與表 2-15 所示。在趨勢檢定結果之部分，各季節總雨量為增加情況且颱風季增加最多，僅冬季總雨量在統計上呈現顯著趨勢，其趨勢為 4.58 mm/10 年，而其餘季節之總雨量趨勢在統計上不顯著；而在變異點檢定結果之部分，僅冬季總雨量存在顯著變異點於民國 58 年，其餘

季節之總雨量則無顯著變異點存在。

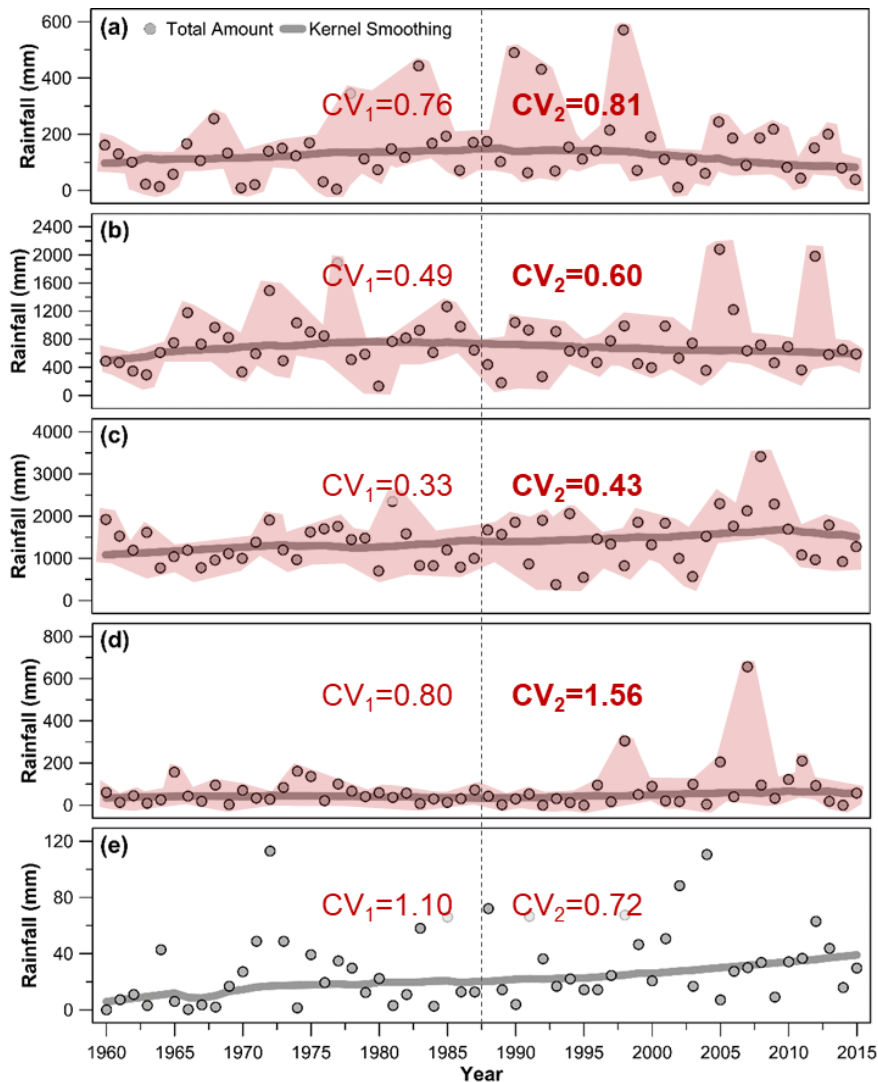


圖 2-8 南化水庫集水區各季節總雨量時間序列資料與趨勢(a)春季、(b)梅雨季、(c)颱風季、(d)秋季以及(e)冬季

表 2-14 南化水庫集水區各季節總雨量趨勢檢定結果

季節	增減率 (mm/10 年)	MK 統計量	MK 檢定量	顯著 與否
春季	6.18	0.90	1.64	否
梅雨季	5.49	0.19	1.64	否
颱風季	49.58	1.15	1.64	否
秋季	1.54	0.46	1.64	否
冬季	4.58	2.87	1.64	是

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$

表 2-15 南化水庫集水區各季節總雨量變異點檢定結果

季節	變異點 (民國)	MWP 統計量	MWP 檢定量	顯著 與否	KW 統計量	KW 檢定量	顯著 與否
春季	66	0.85	0.90	否	—	—	—
梅雨季	53	0.58	0.90	否	—	—	—
颱風季	92	0.77	0.90	否	—	—	—
秋季	84	0.75	0.90	否	—	—	—
冬季	58	0.97	0.90	是	11.79	2.706	是

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$ ；「—」代表無顯著變異點存在，故不執行 KW 檢定

(2)年最小平均流量

為瞭解低流量資料是否具有趨勢及變異點，針對曾文水庫流量資料挑選不同延時之年最小入庫流量，圖 2-9 為曾文水庫延時 30、60、90 以及 180 日之年最小入庫流量與核平滑分析結果，圖中圓點為觀測流量資料，而粗線則代表核平滑流量。藉由核平滑分析結果可快速檢視資料長期變動情況，分析結果指出：延時 30、60、90 以及 180 日之年最小入庫流量皆無明顯增減趨勢，其資料趨勢大致維持水平。此外，再採用前述趨勢檢定及變異點檢定方法進行流量趨勢研討，分析結果如表 2-16 與表 2-17 所示。在趨勢檢定結果之部分，不同延時之年最小入庫流量有略為增加情況，惟其趨勢在統計上不顯著；而在變異點檢定結果之部分，延時 60 日及延時 90 日皆存在顯著變異點於民國 62 年，延時 180 日存在顯著變異點於民國 59 年。

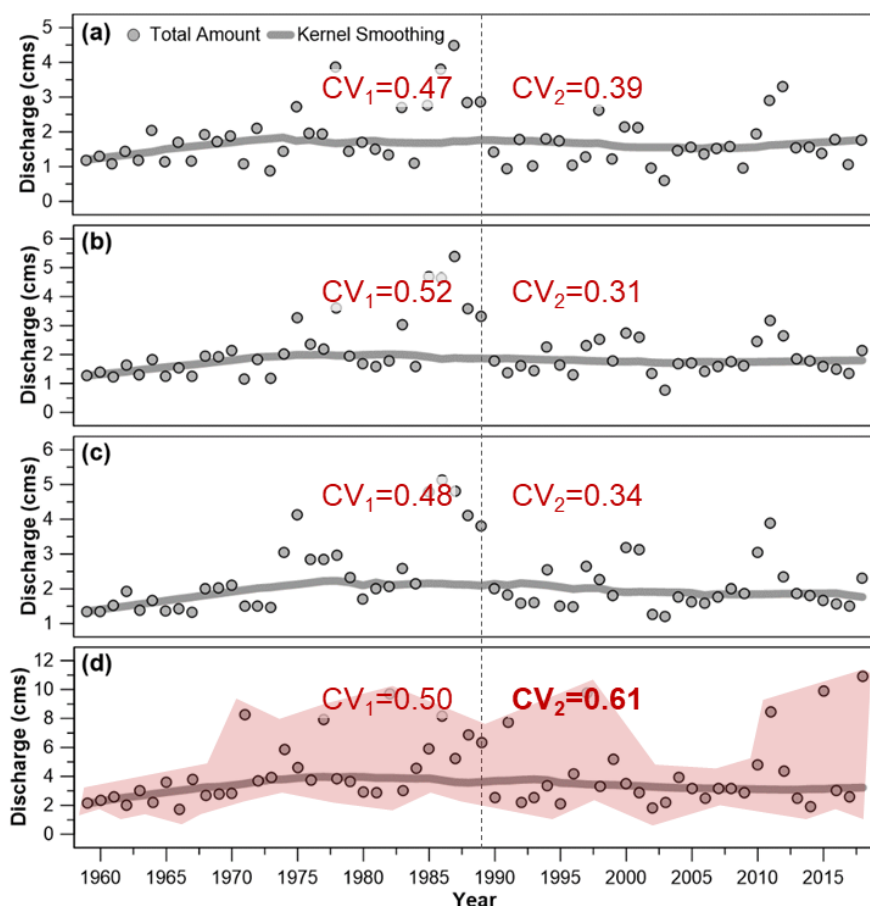


圖 2-9 曾文水庫延時(a)30、(b)60、(c)90 以及(d)180 日之年最小流量

表 2-16 曾文水庫之年最小流量趨勢檢定結果

延時 (日)	增減率 (cms/10 年)	MK 統計量	MK 檢定量	顯著 與否
30	0.019	0.446	1.640	否
60	0.043	0.963	1.640	否
90	0.043	1.052	1.640	否
180	0.111	1.142	1.640	否

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$

表 2-17 曾文水庫之年最小流量變異點檢定結果

延時 (日)	變異點 (民國)	MWP 統計量	MWP 檢定量	顯著 與否	KW 統計量	KW 檢定量	顯著 與否
30	63	0.672	0.900	否	—	—	—
60	62	0.973	0.900	是	9.601	2.706	是
90	62	0.994	0.900	是	13.660	2.706	是
180	59	0.961	0.900	是	10.104	2.706	是

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$ ；「—」代表無顯著變異點存在，故不執行 KW 檢定

針對南化水庫流量資料挑選不同延時之年最小入庫流量，圖 2-10 為南化水庫延時 30、60、90 以及 180 日之年最小入庫流量與核平滑分析結果，圖中圓點為觀測流量資料，而粗線則代表核平滑流量。藉由核平滑分析結果可快速檢視資料長期變動情況，分析結果指出：於各延時之年最小入庫流量皆有增加趨勢。此外，再採用前述趨勢檢定及變異點檢定方法進行流量趨勢研討，分析結果如表 2-18 與表 2-19 所示。在趨勢檢定結果之部分，不同延時之年最小入庫流量有略為增加情況，惟其趨勢在統計上顯著；而在變異點檢定結果之部分，延時 30 日存在顯著變異點於民國 76 年，延時 60 日及延時 90 日皆存在顯著變異點於民國 85 年，延時 180 日存在顯著變異點於民國 84 年。

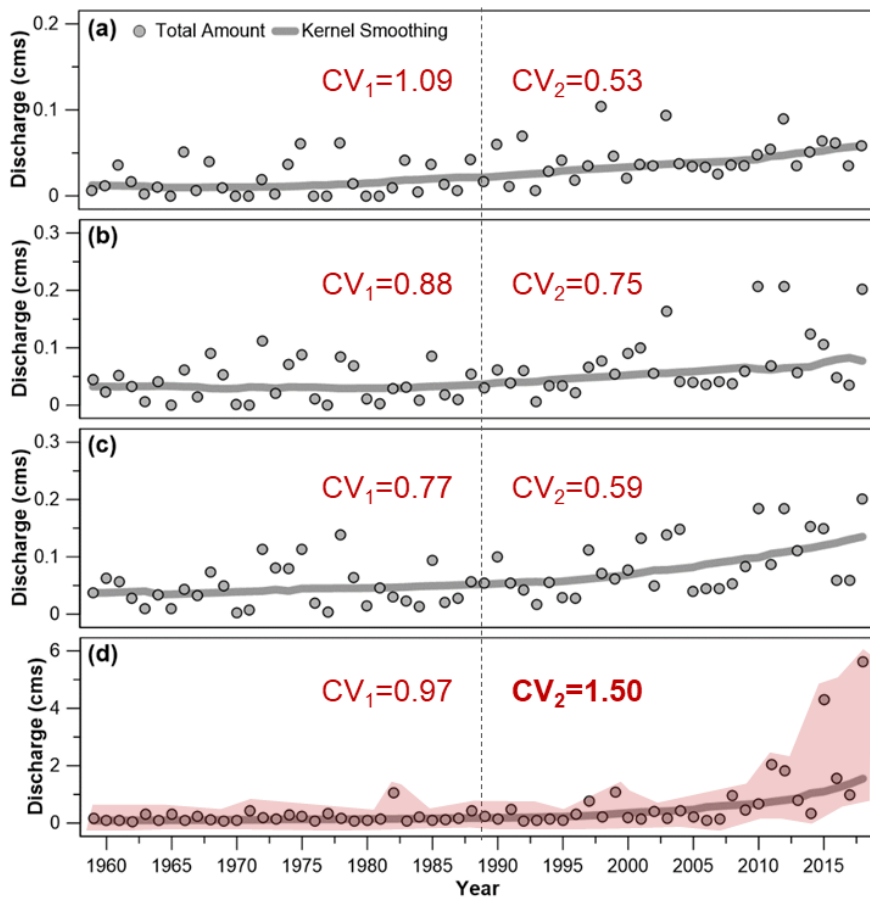


圖 2-10 南化水庫延時(a)30、(b)60、(c)90 以及(d)180 日之年最小流量

表 2-18 南化水庫之年最小流量趨勢檢定結果

延時 (日)	增減率 (cms/10 年)	MK 統計量	MK 檢定量	顯著 與否
30	0.007	4.254	1.640	是
60	0.009	3.278	1.640	是
90	0.012	3.897	1.640	是
180	0.077	4.637	1.640	是

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$

表 2-19 南化水庫之年最小流量變異點檢定結果

延時 (日)	變異點 (民國)	MWP 統計量	MWP 檢定量	顯著 與否	KW 統計量	KW 檢定量	顯著 與否
30	76	1.000	0.900	是	17.156	2.706	是
60	85	0.999	0.900	是	14.648	2.706	是
90	85	1.000	0.900	是	17.409	2.706	是
180	84	1.000	0.900	是	19.374	2.706	是

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$ ；「-」代表無顯著變異點存在，故不執行 KW 檢定

(3) 超越機率流量

為分析不同流量之趨勢與變異點，本次分析選用全部資料之超越流量機率流量 Q60、Q70、Q80、Q90 與核平滑分析結果，針對曾文水庫流量資料進行分析，圖 2-11 為曾文水庫歷年之超越機率流量，圖中圓點為觀測流量資料，而粗線則代表核平滑流量。藉由核平滑分析結果可快速檢視資料長期變動情況，分析結果指出：各超越流量機率流量無明顯增減趨勢，其資料趨勢大致維持水平。此外，再採用前述趨勢檢定與變異點檢定方法進行流量趨勢研討，分析結果如表 2-20 與表 2-21 所示。在趨勢檢定結果之部分，Q60、Q70、Q80、Q90 流量皆有增加之情況，惟其趨勢在統計上並不顯著；而在變異點檢定結果之部分，Q70、Q80、Q90 流量並無顯著變異點存在，僅 Q60 有較顯著變異點存在。

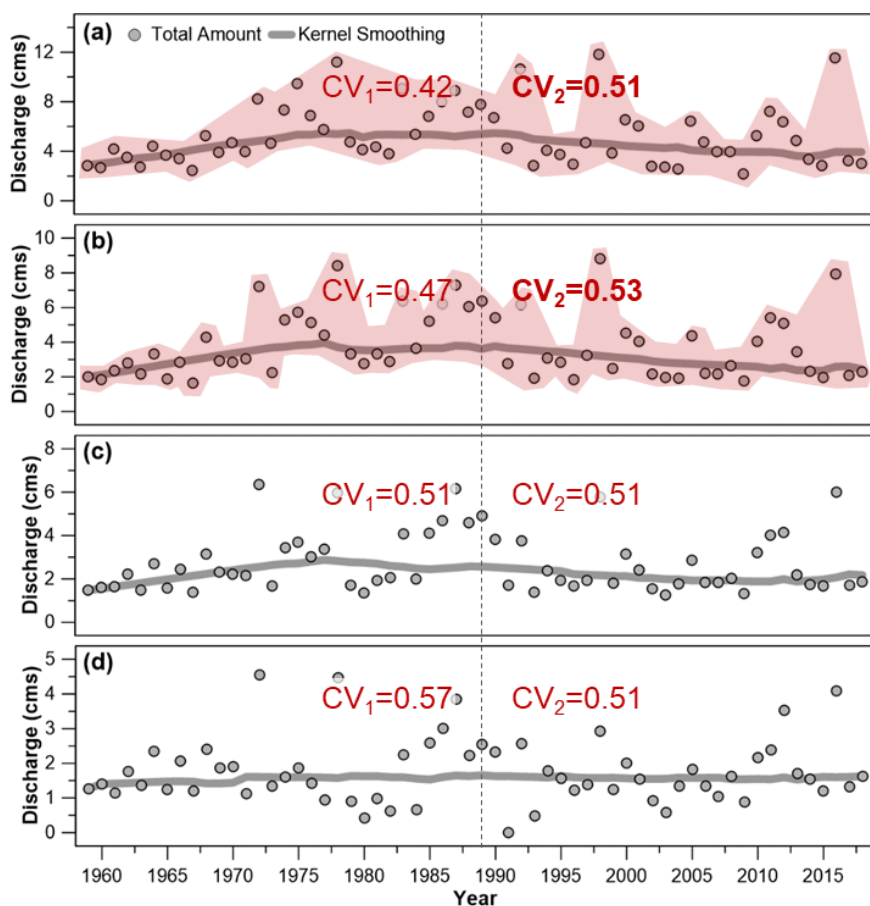


圖 2-11 曾文水庫歷年之超越機率流量(a)Q60、(b)Q70、(c)Q80 以及 (d)Q90

表 2-20 曾文水庫之超越機率流量趨勢檢定結果

超越機率流量	增減率 (cms/10 年)	MK 統計量	MK 檢定量	顯著 與否
Q60	0.015	0.121	1.640	否
Q70	0.007	0.064	1.640	否
Q80	0.019	0.293	1.640	否
Q90	0.007	0.070	1.640	否

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$

表 2-21 曾文水庫之超越機率流量變異點檢定結果

超越機率流量	變異點 (民國)	MWP 統計量	MWP 檢定量	顯著 與否	KW 統計量	KW 檢定量	顯著 與否
Q60	60	0.931	0.900	是	7.886	2.706	是
Q70	56	0.883	0.900	否	—	—	—
Q80	56	0.795	0.900	否	—	—	—
Q90	73	0.450	0.900	否	—	—	—

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$ ；「—」代表無顯著變異點存在，故不執行 KW 檢定。

針對南化水庫流量資料進行分析計算超越機率流量 Q60、Q70、Q80、Q90 與核平滑分析結果，圖 2-12 為南化水庫歷年之超越機率流量，圖中圓點為觀測流量資料，而粗線則代表核平滑流量。藉由核平滑分析結果可快速檢視資料長期變動情況，分析結果指出：於 Q60 與 Q70 之超越機率流量有增加趨勢，而其餘超越機率流量則無明顯增減趨勢，其資料趨勢大致維持水平。此外，再採用前述趨勢檢定與變異點檢定方法進行流量趨勢研討，分析結果如表 2-22 與表 2-23 所示。在趨勢檢定結果之部分，Q60、Q70、Q80、Q90 流量皆有增加之情況，惟其趨勢在統計上並不顯著，僅 Q60 流量具有顯著增加之趨勢，其趨勢為 0.027 cms/10 年；而在變異點檢定結果之部分，Q80、Q90 流量並無顯著變異點存在，僅 Q60 與 Q70 有顯著變異點存在。

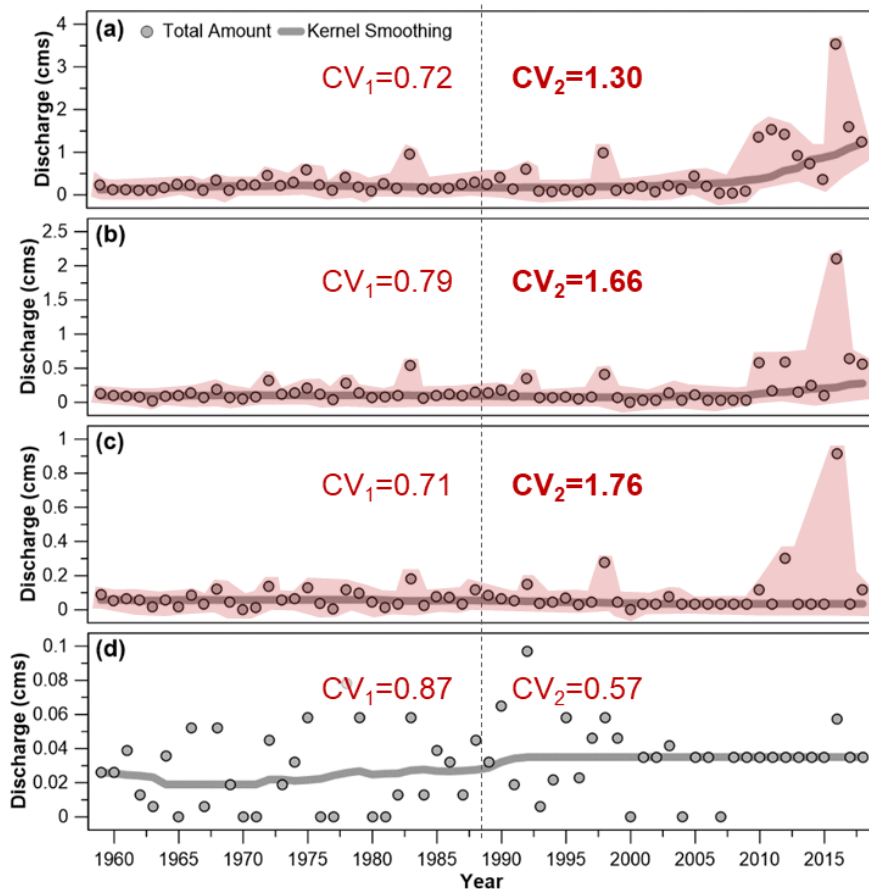


圖 2-12 南化水庫歷年之超越機率流量(a)Q60、(b)Q70、(c)Q80 以及 (d)Q90

表 2-22 南化水庫之之超越機率流量趨勢檢定結果

超越機率流量	增減率 (cms/10 年)	MK 統計量	MK 檢定量	顯著 與否
Q60	0.027	1.684	1.640	是
Q70	0.004	0.740	1.640	否
Q80	0.000	- 0.255	1.640	否
Q90	0.001	1.448	1.640	否

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$

表 2-23 南化水庫之超越機率流量變異點檢定結果

超越機率流量	變異點 (民國)	MWP 統計量	MWP 檢定量	顯著 與否	KW 統計量	KW 檢定量	顯著 與否
Q60	98	0.994	0.900	是	20.275	2.706	是
Q70	98	0.975	0.900	是	14.431	2.706	是
Q80	88	0.415	0.900	否	-	-	-
Q90	71	0.821	0.900	否	-	-	-

註：顯著水準採用 $\alpha = 0.05$ ；「-」代表無顯著變異點存在，故不執行 KW 檢定。

(二)未來氣候變遷情勢

為瞭解未來氣候變遷可能造成之潛在影響，本計畫以聯合國氣候變遷專門委員會(IPCC)第四次評估報告(AR4)之推估結果為主，而 IPCC 第五次評估報告(AR5)之推估結果為輔。針對氣候變遷情境說明如下：

1、IPCC AR4 情境

IPCC 於 2007 年發布 AR4，並評估各種溫室氣體排放情境下氣候變遷對於雨量與溫度等變量之影響。本計畫於 AR4 採用之基期與未來期程(近未來)分別為 1980 至 1999 年與 2020 至 2039 年。其溫室氣體排放情境主要由 IPCC 排放情境特別報告(IPCC Special Report on Emissions Scenarios, SRES)所製定，藉由預測未來可能之經濟、人口、工業以及環境之發展趨勢，提出可能的溫室氣體排放情境，SRES 訂立四個情境來闡述未來不同發展可能導致之溫室氣體排放情境，假設未來可能致力於經濟發展，或是朝永續發展利用目標等可能情形，並考慮全球性或區

域性不同發展對氣候所造成之影響，其主要分成 A1、A2、B1 以及 B2，共計四大項情境。針對各情境之詳細說明請參考附錄一。

2、IPCC AR5 情境

IPCC 於 2014 年公布 AR5，其係以代表濃度途徑 (Representative Concentration Pathways, RCP) 重新定義四組未來變遷情境，其情境分別為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5。本計畫於 AR5 採用之基期與未來期程(近未來)分別為 1986 至 2005 年與 2021 至 2040 年。以輻射強迫力在 2100 年(世紀末)與 1750 年之間的差異量當作指標性數值加以區分。以 RCP2.6 情境為例，2.6 意味著每平方公尺之輻射強迫力在 2100 年相較於 1750 年會增加 2.6 瓦。針對各情境(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 以及 RCP8.5)之詳細說明請參考附錄一。

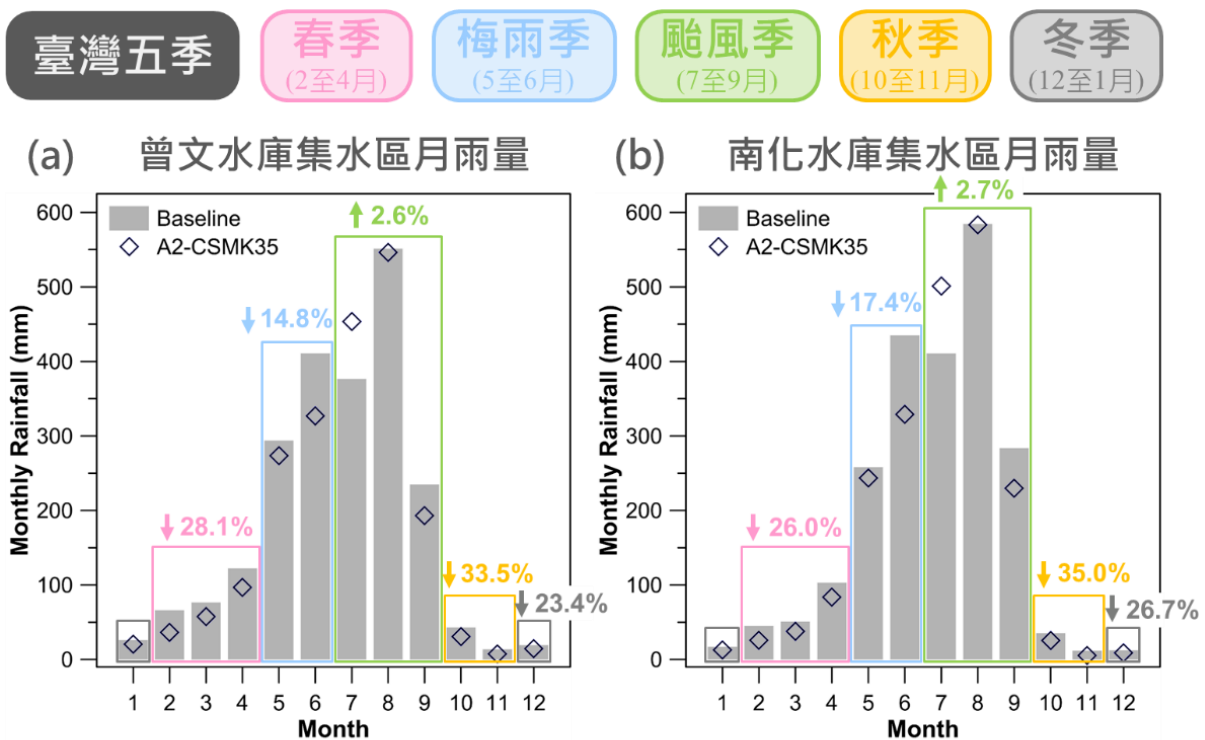
(三)降尺度資料說明

全球環流模式(general circulation model, GCM)是評估氣候變遷對於水文因子衝擊的重要工具，藉由設定不同的溫室氣體排放情況，可模擬出未來情境底下大氣及海洋的狀態。然而，GCM 之空間解析度往往高達數百公里，其網格遠大於一般集水區之空間尺度，推估結果僅能呈現大範圍之平均，而無法捕捉集水區尺度的氣候特性。為評估氣候變遷對於臺灣各地區集水區之水文衝擊，臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(Taiwan Climate Change Projection and Information Platform Project, TCCIP)結合行政法人國家災害防救科技中心、中央氣象局、中央研究院環境變遷研究中心以及國內氣候變遷研究學者，進行臺灣區域氣候變遷分析與未來推估、降尺度技術發展以及極端氣候變異與災害衝擊評估等工作。針對 TCCIP 提供之 IPCC AR4 及 IPCC AR5 降尺度產品說明請參考附錄二「降尺度產品介紹」。

(四)計畫區域於氣候變遷下雨量衝擊分析

為瞭解氣候變遷對於計畫區域內主要集水區雨量之衝擊，本計畫針對曾文水庫與南化水庫集水區之基期與未來情境下各季節總

雨量進行比較分析(圖 2-13 與表 2-24)，而基期與未來情境下各月份總雨量可參考表 2-25。其中，為探討氣候變遷可能帶來之水資源負面影響，本計畫參考「氣候變遷降雨量情境差異對洪旱衝擊評估(2/2)」(經濟部水利署，民國 106 年)選擇臺南地區水源供需之最劣情境 A2-CSMK35 進行衝擊分析。雨量衝擊分析結果顯示：在氣候變遷影響下曾文水庫集水區梅雨季與颱風季總雨量將分別減少 14.8%與增加 2.6%；而南化水庫集水區梅雨季與颱風季總雨量將分別減少 17.4%與增加 2.7%。整體而言，臺南地區主要集水區未來於春季、梅雨季、秋季以及冬季之總雨量皆有減少情況，僅颱風季之總雨量有略微增加情況，未來颱風季曾文水庫與南化水庫之情境雨量分別增加 2.6%與 2.7%。在氣候變遷影響下，臺南地區豐枯水期雨量將會更加懸殊。



註：集水區雨量分析成果係基於「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」產製之歷史觀測網格雨量月資料

圖 2-13 氣候變遷情境下曾文水庫與南化水庫集水區之各季節總雨量

表 2-24 計畫區域內主要集水區於氣候變遷下各季節雨量變化情況

季節	曾文水庫			南化水庫		
	基期	未來	變化(%)	基期	未來	變化(%)
春季	264.7	190.4	-28.1%	199.0	147.2	-26.0%
梅雨季	704.6	600.4	-14.8%	693.1	572.6	-17.4%
颱風季	1,162.7	1,192.9	-2.6%	1,278.9	1,314.0	-2.7%
秋季	56.7	37.7	-33.5%	47.2	30.7	-35.0%
冬季	45.4	34.7	-23.4%	29.4	21.6	-26.7%

註：¹未來係以 AR4A2-CSMK35 情境進行雨量分析；²基期時段為民國 69 至 88 年，而未來時段為民國 109 至 128 年。

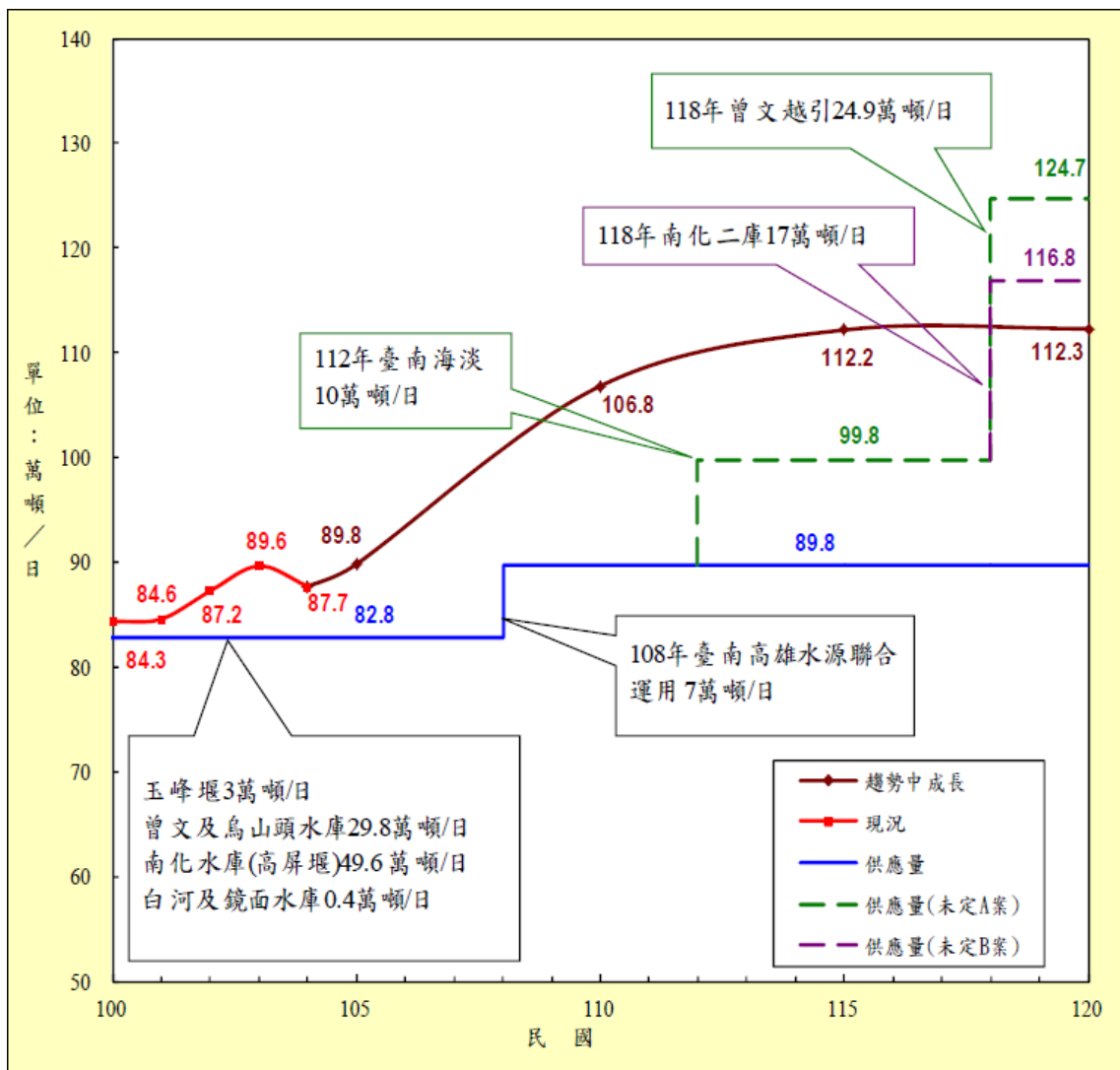
表 2-25 計畫區域內主要集水區於氣候變遷下各月份雨量變化情況

月份	曾文水庫			南化水庫		
	基期	未來	變化(%)	基期	未來	變化(%)
1	26.1	20.4	-21.6%	17.1	12.8	-25.3%
2	66.0	36.4	-44.9%	45.2	25.9	-42.6%
3	76.5	57.5	-24.9%	50.8	37.7	-25.7%
4	122.3	96.5	-21.1%	103.1	83.7	-18.8%
5	293.8	273.6	-6.9%	258.1	243.6	-5.6%
6	410.8	326.8	-20.5%	435.0	329.0	-24.4%
7	376.6	453.4	20.4%	410.7	501.1	22.0%
8	551.4	546.3	-0.9%	584.6	583.2	-0.2%
9	234.8	193.2	-17.7%	283.6	229.7	-19.0%
10	43.1	30.5	-29.2%	35.3	25.5	-27.8%
11	13.6	7.2	-47.0%	11.9	5.2	-56.3%
12	19.3	14.3	-25.8%	12.3	8.8	-28.5%

註：¹未來係以 AR4A2-CSMK35 情境進行雨量分析；²基期時段為民國 69 至 88 年，而未來時段為民國 109 至 128 年。

第三章 盤點現況與未來各標的用水供需情勢與抗旱措施

臺南地區現況(民國 108 年)需水量約 93.0 萬噸/日，而公共水源供給能力僅 82.8 萬噸/日，供需缺口約 10.2 萬噸/日，目前缺口主要係透過農業用水移用加以因應，臺南地區自來水系統用水供需圖如圖 3-1 所示。然而，需水量於未來將持續成長，臺南地區民國 120 年趨勢中成長用水需求預計為 112.3 萬噸/日，增加水資源在調度管理上之困難與壓力，故水利署提出四大穩定供水策略與抗旱措施，以確保民國 120 年用水無虞，臺南地區水源供需盤點與四大定供水策略彙整如圖 3-2 所示。



圖片來源：「臺灣南部區域水資源經理基本計畫」(經濟部水利署，民國 106 年)

圖 3-1 臺南地區自來水系統用水供需圖

臺南

供水量 82.8¹ 萬噸/日

南化 曾烏 玉峰堰 白河鏡面
49.6 29.8 3.0 0.4

需水量 93.0² 萬噸/日

民國120年
112.3¹ (+19.3)

- 1 開源**
 - ▶ 108 南高水源聯合運用¹ 增加 7 萬噸/日
 - 113 仁德再生水³ 增加 1 萬噸/日
 - ★ 116 白河後續更新改善³ 增加 2.8 萬噸/日
 - 109 永康再生水³ 增加 1.55 萬噸/日
 - ◎ 南化第二水庫³ 增加 17 萬噸/日
 - 110 安平再生水³ 增加 3.75 萬噸/日
- 2 節流**
 - ▶ -111 降低漏水率計畫⁴ 六區處漏水率降至 8.90%
 - 120 加強工業節水回收³
 - 120 降低漏水率計畫³ 六區處漏水率降至 6.84%
 - 120 加強農業用水效率³ 加強灌溉管理、智慧灌溉
 - 120 加強用水查核³
- 3 調度**
 - 112 曾文淨水場二期³ 增加處理能力 13 萬噸/日
 - ★ 113 曾文南化聯通管³ 調度輸水 80 萬噸/日
 - ▶ 農業用水調度³ 停灌補償、鼓勵自主休耕
- 4 備援**
 - ▶ 108 新烏山嶺隧道³ 輸水能力 400 萬噸/日
 - ★ 112 山上淨水場改善工程⁵ 增加 5 萬噸/日

資料來源:

- [1] 臺灣南部區域水資源經理基本計畫(經濟部水利署, 民國106年)
- [2] 經濟部水利署南區水資源局網頁-業務推動
- [3] 產業穩定供水策略行動方案(經濟部, 民國107年)
- [4] 降低漏水率計畫(經濟部, 民國102年)
- [5] 臺南山上淨水場供水系統改善工程計畫(經濟部, 民國107年)

計畫圖例 ▶ 執行中 ★ 前瞻 ◎ 規劃中

圖 3-2 臺南地區水源供需盤點與四大穩定供水策略

本計畫參考「臺灣南部區域水資源經理基本計畫」(經濟部水利署, 民國 106 年)、「產業穩定供水策略行動方案」(經濟部, 民國 107 年)以及前瞻基礎建設計畫等相關水資源計畫, 盤點計畫區域內水源供需資料, 包含: 水源量、各標的需水量、供需差額以及未來可能上場或推動之水源措施, 以瞭解水源供需情勢與用水組成並作為「開源、節流、調度以及備援」四大穩定供水策略之依據。此外, 本計畫亦彙整抗旱措施與歷年枯旱事件, 以更加全面瞭解計畫區域內水源供需情況。針對臺南地區(1)供水量、(2)需水量、(3)四大穩定供水策略以及(4)抗旱措施與歷年枯旱事件詳細說明如下:

一、臺南地區供水量

依據「臺灣南部區域水資源經理基本計畫」(經濟部水利署, 民國 106 年)臺南地區目前公共水源供給能力約 82.8 萬噸/日, 主要來源有南化水庫(與高屏堰聯合運用)49.6 萬噸/日、曾文烏山頭水庫 29.8 萬噸/日、

玉峰堰 3.0 萬噸/日以及白河與鏡面水庫共 0.4 萬噸/日。

二、臺南地區需水量

依據「臺灣南部區域水資源經理基本計畫(第 1 次檢討)」(經濟部水利署，民國 106 年)，臺南地區民國 120 年趨勢中成長用水需求為 112.3 萬噸/日(詳表 3-1)，與前述之臺南地區現況供水能力 82.4 萬噸/日相較之下，仍有 29.9 萬噸/日供水缺口。其中，臺南地區未來因人口成長可能趨緩，加以自來水系統漏水率及每人年均用水量將逐漸降低，民國 105 至 120 年生活用水需求由 59.1 萬噸/日降至 58.2 萬噸/日(減少約 0.9 萬噸/日)，然而民國 105 至 120 年工業用水需求則由 30.7 萬噸/日增至 54.1 萬噸/日(增加約 23.4 萬噸/日)，由此可知臺南地區用水需求之成長主要為工業用水。

臺南地區現有及開發中主要工業區包含：七股科技工業區、臺南科技工業區、南部科學工業園區臺南園區、南科液晶電視及產業支援工業區(樹谷園區)，依據水利署於民國 105 年完成之「105 年度用水計畫書查核服務」，各工業區之未來用水需求詳表 3-2。其中，南部科學工業園區臺南園區、南科液晶電視及產業支援工業區(樹谷園區)為玉峰堰工業用水專管之主要供水對象，其用水概況與未來用水需求說明如下：

(一)南部科學工業園區臺南園區

南科園區原用水計畫書(民國 90 年 7 月)核定之終期用水量為 200,000 噸/日，至民國 104 年度核定之終期用水量已上修為 250,000 噸/日(終期年為民國 111 年)，民國 105 年核定用水量為 153,900 噸/日，實際用水量為 113,730 噸/日，用水量差異為 40,170 噸/日。科技部南部科學工業園區管理局因臺南園區產業復甦繁榮，產業實際用水量最大已達 13 萬噸/日以上，且後續將有其他大型投資案及 3 奈米(或更先進)製程之半導體廠商進駐，故於民國 106 年 11 月提出「南科臺南園區用水計畫書(第二次變更)」，預估園區平均日用水量將大幅成長至 32.5 萬噸/日，水源供應由原核定之 25 萬噸/日調整為 32.5 萬噸/日，依臺南市政府水利局及南科管理局盤點可供應

園區廠商使用再生水量約為 8.25 萬噸/日，其餘 24.25 萬噸/日水量則由自來水系統供應，倘再生水未能及時供應(含供應時程未符需求)時，則由區域水源(含節餘農水)調度支應。

(二)南科液晶電視及產業支援工業區(樹谷園區)

樹谷園區原用水計畫書(民國 95 年 11 月)核定之終期用水量為 73,000 噸/日，至民國 104 年度核定之終期用水量已下修為 42,000 噸/日(終期年為民國 111 年)，民國 105 年核定用水量為 24,000 噸/日，實際用水量為 16,423 噸/日(自來水：14,423 噸/日、農業用水：2,000 噸/日)，用水量差異為 7,577 噸/日，經洽訪園區管理單位，目前進駐廠商用需求已趨緩，現況用水需求約 20,000 噸/日左右，終期用水量應無需大幅調整。

(三)曾文烏山頭灌區需水量

曾文烏山頭灌區之灌溉面積廣大，但嘉南地區先天缺水，故嘉南農田水利會採作物輪作與灌溉輪灌之方式營運，如依輪作及輪灌計畫所需正常灌溉用水量計算，則嘉南農田水利會於曾文、烏山頭水庫灌溉系統所需之灌溉量約 12 億 9 千萬噸。惟嘉南地區歷年來頻頻缺水，水庫水量嚴重不足，嘉南農田水利會為節省水量，採間歇性灌溉方式計畫，自民國 74 年後調整至 9 億噸作為計畫農田灌溉水量，扣除一期或二期稻作停灌之農業實際用水量平均約為 6.7 億噸。

表 3-1 臺南地區趨勢中成長未來用水需求表

用水標的	民國 105 年	民國 110 年	民國 115 年	民國 120 年
生活用水	59.1	59.0	58.7	58.2
工業用水	30.7	47.8	53.5	54.1
合計	89.8	106.8	112.2	112.3

生活用水：參考國發會民國 103 年公布「2010 年至 2060 年臺灣人口估計」資料及各區自來水普及率、漏水率及每人每日生活用水量變化情形。120 年供水目標條件為每人每日生活用水量為 256 公升、自來水系統普及率為 99.80% 及漏水率為 10%，生活用水量減少原因包括人口自民國 115 年起呈負成長以及自來水漏水率改善。

工業用水：臺南地區如為中成長，則為既有工業區及開發中電力事業之用水成長加上目前開發中、報編及編定中工業區完成後所需之用水，臺南地區民國 120 年工業用水量約為 54.1 萬噸/日。

註：¹單位為萬噸/日；²用水需求不含自行取水與工業用水專管；³資料來源：「臺灣南部區域水資源經理基本計畫(第 1 次檢討)」(經濟部水利署，民國 106 年)。

表 3-2 臺南地區工業區未來用水需求統計表

工業區(開發單位)	106 年	110 年	111 年	終期年
七股科技工業區 (臺南市政府)	24	6,438	7,218	7,997 (112 年)
臺南科技工業區 (經濟部工業局)	24,000	29,000	29,000	29,000 (111 年)
南部科學工業園區臺南園區 (南科管理局)	161,400	246,000	280,000	325,000 (115 年)
南科液晶電視及 產業支援工業區-樹谷園區 (臺南市政府)	27,000	39,000	42,000	42,000 (111 年)
柳營科技工業區 (臺南市政府)	3,000	10,666	10,666	10,666 (110 年)
永康科技工業區 (臺南市政府)	4,500	8,726	8,726	8,726 (112 年)

註：¹單位為萬噸/日；²年份為民國年；³參考資料：「南科臺南園區用水計畫書(第二次變更)」(科技部南部科學工業園區管理局，民國 106 年)與「107 年度用水計畫書查核服務」(經濟部水利署，民國 107 年)。

三、四大穩定供水策略

本計畫參考「產業穩定供水策略行動方案」(經濟部，民國 107 年)與「曾文溪及高屏溪水系之水資源風險管理計畫」(經濟部水利署南區水資源局，民國 107 年)，針對臺南地區四大穩定供水策略進行彙整(表 3-3)，並依開源、節流、調度以及備援四大面向整理如下：

(一)開源策略

1、短期計畫

臺南高雄水源聯合運用等計畫預定於民國 108 年底前完成，可增加臺南供水能力為 7 萬噸/日。

2、中期計畫

預定完成永康(1.55 萬噸/日)、安平(3.75 萬噸/日)以及仁德(1 萬噸/日)再生水計畫，共計可增加供水能力為 6.3 萬噸/日。預定完成白河水庫後續更新改善工程恢復其庫容至 2,000 萬噸並增加供水量 2.8 萬噸/日。

3、長期計畫

規劃廢污水回收再生利用與海水淡化廠等，以因應產業用水與公共給水需求。此外，南化第二水庫(17 萬噸/日)亦將持續檢討並適時推動。

(二)節流策略

1、短期計畫

(1)降低自來水漏水率：台水公司降低漏水率計畫(民國 102 至 111 年)預定將臺南地區(六區處)漏水率降至 8.9%。

(2)加強農業用水效率：辦理多標的水庫灌溉節水，推動第一期稻作轉作、圳路更新改善、推廣管路灌溉與加強推廣掌水工制度。

(3)加強工業節水回收。

2、中期計畫

(1)降低自來水漏水率：台水公司後續降低漏水率計畫(民國 112 至 120 年)預定進一步將臺南地區(六區處)漏水率降至 6.84%。

- (2)提升農業用水效率：由行政院農業委員會研提實施計畫(或方案)報院核定，落實推動「灌溉圳路更新改善」、「對地綠色環境給付及大糧倉計畫」及「水利會平時加強灌溉管理支援水量」等措施。
- (3)鼓勵工業優先使用再生水及提升回收率：於用水計畫審查階段，要求開發單位加強辦理廠內水循環利用(例如：台積公司每滴水使用 3.5 次以上，回收率約達 90%)，並以用水回收率由民國 105 年約 70%至民國 120 年達 80%為目標。推動污水回收再利用，作為工業用水補充水源。

3、長期計畫

- (1)新建築配合建築技術規則修訂，檢討擴大雨水貯留利用與生活雜排水回收再利用之適用範圍。
- (2)加強灌溉用水管理：配合區域調水、大區輪灌，減少灌溉水深、延長輪距等措施、豐水期蓄滿埤塘調節用水，並儘量利用迴歸水，提高灌溉效率。
- (3)加強用水計畫書審查與查核機制：由於南部區域部分新水源開發計畫（如曾文水庫越域引水）推動受阻，爰以該水源開發計畫為供水基礎所核定之工業用水計畫如按其用水期程成長，將會造成整體供水穩定度降低，故需採行「以供定需」，導正水資源供需失衡問題。爰新增之工業用水需求，須配合各區可供應水量之限制，並非開發單位所提出之用水需求均能獲得供水單位同意供水。至於已核定之用水計畫亦須持續辦理追蹤查核工作，以利現有水源之有效利用。另開發單位興辦開發行為位於水源供應短缺之虞地區，且用水計畫之計畫用水量達每日三千噸以上者，應依中央主管機關核定之用水計畫，使用一定比率之系統再生水。
- (4)耗水費徵收：水利法修正有關耗水費徵收之規定已於民國 105 年 5 月 25 日公布實施，中央主管機關得向用水超過一定水量之用水人徵收耗水費。但已落實執行節約用水措施者，

得於百分之六十範圍內，酌予減徵，以鼓勵節約用水；本項新規定應可於不影響民生原則下，提升用水效率。

- (5)推廣掌水工制度或建置智慧水門控制系統：由行政院農業委員會依據各地區農田水利會灌區特性，推廣掌水工制度或智慧水門控制系統，提升灌溉用水效率。

(三)調度策略

1、短期計畫

- (1)盤點重要大型工業區規劃增加複線：盤點南科臺南重大工業區供水管網與安全。

- (2)強化輸水幹管計畫：依據「自來水設備檢驗辦法」第六條之一，經濟部業以民國 106 年 7 月 18 日經授水字第 10620207680 號公告「與公共安全及供水風險影響重大之自來水設備項目」，經台水公司盤點轄內符合管徑大於 800 mm、送水量 20 萬噸/日以上且管齡超過 20 年者共計 15 條管線，長度約 132 公里，該公司並將於民國 107 年 2 月前研訂安全評估計畫，報國營事業主管機關轉中央水利主管機關備查後實施。

2、中期計畫

- (1)增加調度彈性：強化臺南地區曾文與南化水庫供水調度彈性，已於前瞻基礎建設計畫-水環境建設項下，規劃興建曾文南化聯通管，增加調度輸水能力 80 萬噸/日。
- (2)檢討農業用水調度機制：配合各項農業用水效率提升，檢討調度農業節約水量調度轉供其他標的用水之可行機制(含法規檢討修正)。

3、長期計畫

- (1)淨水場緊急備用電源：自來水淨水場檢討增設緊急備用發電機或規劃第二供電迴路因應。
- (2)因應氣候異常水資源調配：中央災害應變中心統籌各地方政府及各部會災害緊急應變中心(小組)妥善處理。此外，視水情狀況機動邀集相關水源設施管理單位及用水單位，研商最佳

水資源運用調配方案及供水策略。

(四)備源策略

1、短期計畫

為強化供水韌性與輸水能力，預定於民國 108 年底前完成新烏山嶺隧道工程，於原使用超過 85 年之烏山嶺隧道受損或歲修時，可提供備援輸水能力 400 萬噸/日。

2、中期計畫

為提升臺南地區供水調度備援功能，穩定民生與產業供水，預定於民國 112 年完成山上淨水場改善工程，提升淨水場處理能力 5 萬噸/日，可直接提供臺南科學園區達飲用水水質標準之自來水，原山上淨水場處理後之水量無須再經由潭頂淨水場二次處理，可增加臺南地區淨水場整體之處理能力。

表 3-3 四大穩定供水策略彙整表(1/5)

策略	項次	工作項目	期程 (民國)	效益	具體措施	主辦	協(督)辦
開源策略	1	臺南高雄水源聯合運用	102 至 108	增加供水能力 10 萬噸/日 (北送 7 萬噸；南送 3 萬噸)	坪頂淨水場改善 嶺口場至鳳山厝之送水工程 大泉淨水場暨下游輸水工程	台水公司	水利署
	2	再生水工程	107 至 112	增加供水能力 6.3 萬噸/日	永康再生水(1.55 萬噸/日) 安平再生水(3.75 萬噸/日) 仁德再生水(1.00 萬噸/日)	臺南市政府	營建署 科技部 工業局 水利署
	3	白河水庫後續更新改善	111 至 118	公共給水 2.8 萬噸/日	第一階段(民國 108 年至 112 年)： 繞庫防淤設施 第二階段(民國 112 年至 116 年)： 越域引水 第一階段(民國 108 年至 111 年)： 水庫清淤 250 萬立方公尺 第二階段(民國 112 年至 118 年)： 清淤 800 萬立方公尺	南水局 嘉南水利會	水利署
	4	南化第二水庫計畫	-	增加供水能力 17 萬噸/日 (排砂 272 萬立方公尺/年) (水力發電約 6,100 仟瓦)	水庫工程 (大壩、排砂設施及水力電廠) 潛壩及防淤隧道	水規所	水利署

表 3-3 四大穩定供水策略彙整表(2/5)

策略	項次	工作項目	期程 (民國)	效益	具體措施	主辦	協(督)辦
節流策略	1	降低漏水率計畫	102 至 111	臺南地區(六區處) 漏水率降至 8.90%	以「水壓管理」、「修漏之速度及品質」、「主動漏水控制」、「管線及資產管理」等 4 大執行策略，辦理降低供水損失相關作業。	台水公司	國營會
	2	降低漏水率計畫	112 至 120	臺南地區(六區處) 漏水率降至 6.84%	台水公司提報「降低漏水率計畫(民國 112 年至 120 年)」，降低供水損失。	台水公司	國營會
	3	加強用水查核	107 至 120	用水計畫案件 實際用水量查核	用水查核：依據用水計畫審核管理辦法以會議檢討、現地查訪等方式逐年進行年度實際用水量查核，以確保開發單位核配水量符合需求及是否確實執行節水承諾。	水利署	
	4	提升農業用水效率 (包含掌水工)	107 至 120	民國 120 年預期 農業節水 8 億噸/年	對地綠色環境給付及大糧倉計畫節水 2.4 億噸；灌溉圳路更新改善節水 1.7 億噸；大區輪灌措施節水 0.8 億噸；其他智慧水閘門、省水管路及溫網室節水 0.8 億噸；平時加強灌溉管理支援水量 2.3 億噸	農委會	水利會

表 3-3 四大穩定供水策略彙整表(3/5)

策略	項次	工作項目	期程 (民國)	效益	具體措施	主辦	協(督)辦
節 流 策 略	5	鼓勵工業 用水循環利用	107 至 110	每年輔導 125 案 (工業局 50 案) (科技部 15 案) (水利署 60 案) 4 年共計輔導 500 案	針對產業用水大戶，依產業型態不同，提供水回收技術、綠色工廠、清潔生產與水足跡等其所需項目的專業技術輔導，並研擬其水平衡圖及提出相關改善計畫，給予大用水戶專業與務實之協助與建議，促成廠商實質採取節水改善措施。	水利署	
					針對本局所轄區內廠商提供節水輔導，包含製程單元用水、冷卻用水、鍋爐用水等循環回收與再利用及廢水處理回收等之節水可行性計畫，提升產業用水效率。	工業局	
					每年辦理 15 家廠商節水輔導，並提供具體節水措施建議，以提升製程用水回收率。	科技部	
			111 至 120	每年輔導 65 案 (工業局 50 案) (科技部 15 案) 10 年共計輔導 650 案	針對本局所轄區內廠商提供節水輔導，包含製程單元用水、冷卻用水、鍋爐用水等循環回收與再利用及廢水處理回收等之節水可行性計畫，提升產業用水效率。	工業局	
					每年辦理 15 家廠商節水輔導，並提供具體節水措施建議，以提升製程用水回收率。	科技部	

表 3-3 四大穩定供水策略彙整表(4/5)

策略	項次	工作項目	期程 (民國)	效益	具體措施	主辦	協(督)辦
節流策略	6	工業用水 優先使用再生水 提升回收率 (用水計畫補提)	107 至 120	用水計畫審查作業時 要求開發單位提出	於用水計畫審查階段，依產業特性及區域水源狀況要求開發單位承諾整體用水回收率及承諾使用再生水，透過逐年實際用水量查核機制，達到節約用水目的。	水利署	工業局 科技部
調度策略	1	強化 輸水幹管計畫	107	盤點與強化 自來水輸水管線安全	於 107 年 2 月底就轄內符合「與公共安全及供水風險影響重大之自來水設備項目」，共 15 條老舊及重要管線，總長度約為 132 公里，研訂安全評估計畫，報國營事業主管機關轉中央水利主管機關備查後實施。	台水公司	國營會 水利署
	2	曾文南化 聯通管	108 至 113	備援輸水能力 80 萬噸/日	輸水管路約 25 公里	南水局	水利署 台水公司
	3	曾文淨水場 二期	107 至 112	增加淨水能力 13 萬噸/日	淨水場擴建工程	台水公司	南科 管理局
	4	檢討農業用水 調度機制	-	現行農業用水 調度機制之策進	檢討加強灌溉管理、擴大鼓勵自主休耕及停灌補償措施精進作法	農委會、水利署	

表 3-3 四大穩定供水策略彙整表(5/5)

策略	項次	工作項目	期程 (民國)	效益	具體措施	主辦	協(督)辦
備援策略	1	新烏山嶺隧道	108	避免原隧道損壞斷水 輸水能力 56 cms	新東口攔河堰 排砂道、放水道及取水口 輸水隧道及出水口	嘉南 水利會	水利署
	2	山上淨水場 改善工程	112	增加淨水能力 5 萬噸/日	山上淨水場改善工程 送水管線工程(約 13.5 公里)	台水公司	水利署

四、抗旱措施與歷年枯旱事件

農業用水在各用水標的中的比例最高，加上農業相較於生活與工業用水有較高之乾旱承受能力，因此枯旱時期可透過下列措施加以因應：(1)透過加強灌溉、休耕或停灌等手段以減少用水；(2)僱用專業掌水工執行輪流配水與精準掌握田間水門起閉，以有效利用有限水資源；(3)實施間歇灌溉、減少灌溉期距、減少灌溉水深以及推動更新改善與現代化計畫。

而在工業與公共用水之部分，針對水源不足的情況，相關單位將召開供水檢討會議並成立旱災應變小組加以因應，例如加強水源調度與研擬措施，若供水情勢較為嚴峻則會實施不同階段限水，針對各階段限水簡單說明如下：(1)第一階段限水包含離峰時段降低管壓供水；(2)第二階段限水包含停止供應噴水池、沖洗街道以及試放消防用水等與減量供水；(3)第三階段限水包含分區輪流或全區定時停止供水。此外，臺南地區在枯旱情況下採取之其他抗旱措施包含：南化水庫可透過出水量管制與甲仙堰加強引水方式以維持蓄水量，而曾文-烏山頭水庫則可採用農業節水與工業節水方式以降低水庫供水量，亦可藉由高雄北送支援臺南地區用水，盡量讓水庫增加蓄存水量。

第四章 水源供需模式建置與驗證

一、臺南地區水源供需系統

臺南地區供水系統如圖 4-1 所示，其主要供水設施包含：曾文水庫、烏山頭水庫、南化水庫、白河水庫、鏡面水庫以及玉峰堰。其中，曾文水庫與烏山頭水庫係藉由聯合運用方式進行供水；南化水庫則主要係蓄存後堀溪水量並藉由甲仙攔河堰越域引用旗山溪多餘水量；其餘之水庫與堰壩則係以單獨運用方式進行供水。針對臺南地區水源供需模擬方法與模式驗證，分別於第 4-2 節與第 4-3 節進行說明。

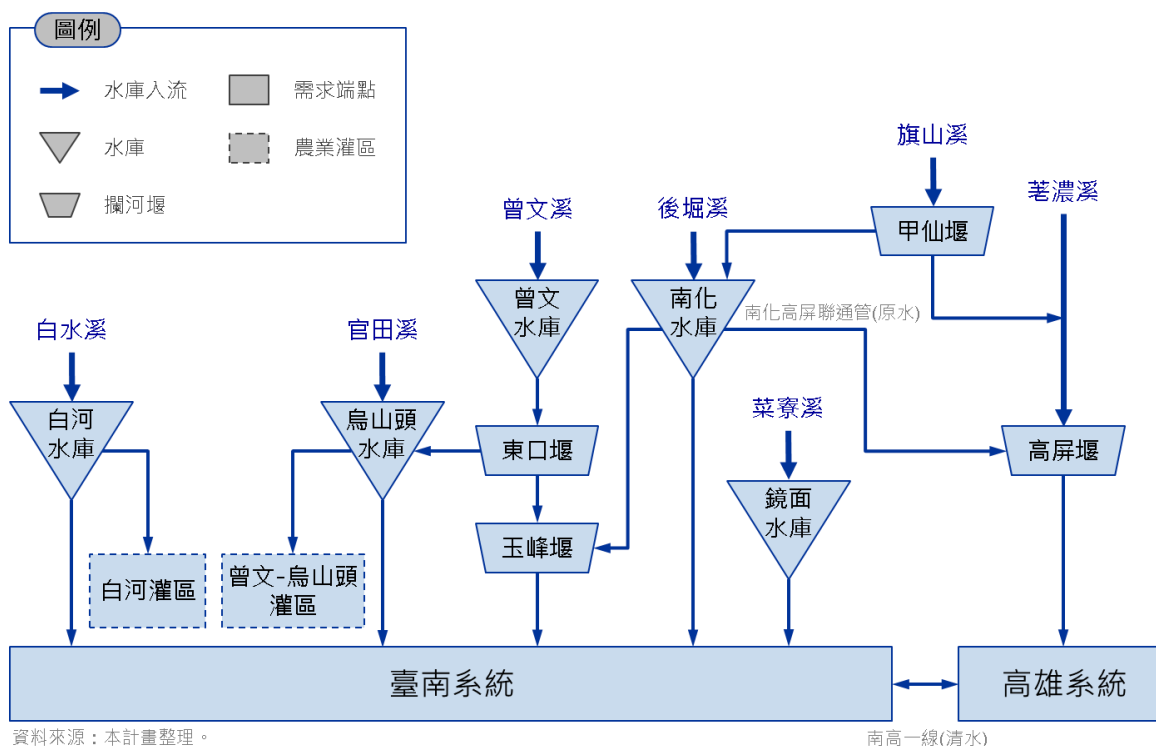


圖 4-1 臺南地區供水系統圖

二、水資源政策評估下水源供需模式建置

本計畫擬採模擬法建置水源供需模式，其主要係基於連續方程式加以描述，以探討水資源系統之可供水量。其主要係根據每個時段的蓄水量、入流量、放水量、溢流量以及蒸發量來決定系統內水量的變化，系統的整個過程必須遵守下述連續方程式：

$$S_{t+1} = S_t + I_t - O_t - O_t^{spill} - E_t \quad (4-1)$$

其中， S_{t+1} 為第 $t+1$ 時期之期初蓄水量； S_t 為第 t 時期之期初蓄水量； I_t 為第 t 時期內水庫的入流量； O_t 為第 t 時期內水庫的放水量； O_t^{spill} 為第 t 時期內水庫的溢流量； E_t 為第 t 時期內水庫的蒸發量。

倘若颱風及豪雨事件發生時，水庫庫容高於操作規線上限或者達到特定水庫標高時，水庫得以啟動防洪運轉，但其運轉方式較為複雜，需取決於洪水特性與仰賴專業人員判斷，難以使用模擬方式處理，因此本計畫將其過程簡化如下：

$$S_{t+1} = \begin{cases} \text{if } S_{t+1} > S_{max} ; Q_t^{spill} = S_{t+1} - S_{max} \\ \text{if } S_{t+1} < S_{max} ; Q_t^{spill} = 0 \end{cases} \quad (4-2)$$

其中， S_{t+1} 為第 $t+1$ 時期之期初蓄水量； O_t^{spill} 為第 t 時期內水庫的溢流量； S_{max} 為水庫正常滿水位。

在一般情況底下，水庫處於蓄水利用運轉狀態，其放水量乃依據水庫操作規線決定，基於當前水庫庫容並配合操作規線可決定水庫放水量多寡，而水庫在 t 時期的放水量 O_t 可再細分為農業用水放水量 AO_t 、工業用水放水量 IO_t 、公共用水放水量 PO_t ，針對詳細放水規則說明如下：當水庫庫容高於水庫操作規線上限或水庫庫容介於水庫操作規線上限與下限之間：

$$\begin{cases} AO_t = AD_t \\ IO_t = ID_t \\ PO_t = PD_t \end{cases} \quad (4-3)$$

當水庫庫容介於水庫操作規線下限與嚴重下限之間：

$$\begin{cases} AO_t = A_1 \times AD_t \\ IO_t = A_2 \times ID_t \\ PO_t = A_3 \times PD_t \end{cases} \quad (4-4)$$

當水庫庫容介於水庫操作規線嚴重下限與水庫呆容量之間：

$$\begin{cases} AO_t = B_1 \times AD_t \\ IO_t = B_2 \times ID_t \\ PO_t = B_3 \times PD_t \end{cases} \quad (4-5)$$

其中， AO_t 為第 t 時期農業用水之放水量； IO_t 為第 t 時期工業用水之放水量； PO_t 為第 t 時期公共用水之放水量； AD_t 為第 t 時期農業用水之需水量； ID_t 為第 t 時期工業用水之需水量； PD_t 為第 t 時期公共用水之需水量； A_1 、 A_2 以及 A_3 是當水庫庫容介於操作規線下限與嚴重下限之間，農業、工業以及公共用水所對應的打折率； B_1 、 B_2 以及 B_3 是當水庫庫容低於操作規線嚴重下限，農業、工業以及公共用水所對應打折率。

三、水資源政策評估下水源供需模式驗證

本計畫為探討建置水源供需模式之合理性，針對臺南地區主要供水系統彙整前期計畫之供水潛能分析結果，並採用相同分析條件與規則進行水源供需模擬，以作為後續計畫區域內水工結構物供水潛能分析結果驗證之依據。其中，臺南地區主要供水系統分別為：(1)曾文-烏山頭水庫系統、(2)南化水庫系統、(3)玉峰堰系統以及(4)白河水庫系統，針對上述主要供水系統驗證之運用原則與結果說明如下：

(一)水源供需模式驗證之運用原則

1、曾文-烏山頭水庫系統

曾文-烏山頭水庫系統主要水源係來自曾文溪與官田溪，其藉由串聯運用方式達成供應家用及公共給水、農業用水、水力用水、工業用水與防洪等多目標功能。曾文水庫水庫洩放之水，除供楠西、玉井地區家用與公共給水以及下游水權人使用外，均由東口導水堰攔截，經東口進水口導至烏山頭水庫調節後，由水利會按家用及公共給水、農業用水與工業用水標的之計畫需要放供。本計畫參考「曾文南化水庫聯通管輸水工程可行性分析」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 102 年)計畫，採用相同分析條件進行曾文、烏山頭水庫系統之供水潛能分析，於驗證案例其串聯運用原則說明如下：

(1)曾文-烏山頭水庫系統串聯運用係依 MT-10 規線之下限與嚴重下限進行蓄水利用運轉：(1)蓄水量在下限以上時，按各標的基準供水量供應、(2)蓄水量在下限與嚴重下限之間時，家

用及公共給水按基準供水量供應，農業用水與工業用水水量則按基準供水量之 75%供應以及(3)蓄水量在嚴重下限以下時，家用及公共給水按基準供水量之 80%供應，農業用水與工業用水水量則按基準供水量之 50%供應。

- (2)防洪運轉採用時間點模式，每年 5 月 1 日至 8 月 31 日正常滿水位標高採 225 公尺，而其他時間正常滿水位標高則採 227 公尺。其中，本計畫因模式驗證需求故採用與「曾文南化水庫聯通管輸水工程可行性分析」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 102 年)相同之防洪運轉設定，而針對現況則依據「曾文水庫運用要點」(民國 106 年 8 月 11 日經濟部經授水字第 10620209320 號令)之相關規定進行防洪運轉設定，其正常滿水位值自 5 月 1 日至 8 月 31 日為標高 228 公尺，9 月 1 日至 9 月 30 日為標高 229 公尺，10 月 1 日至隔年 4 月 30 日為標高 230 公尺。
- (3)曾文水庫與烏山頭水庫供應各標的用水時，兩水庫各別之供水量以水庫蓄水量佔總蓄水量之比例分配。
- (4)東口堰至烏山頭水庫之引水量限制為 56 cms，可引水量包含曾文水庫放流量與溢流量。
- (5)曾文水庫至東口堰之輸水損失採用 5.3%，而東口堰至烏山頭水庫之輸水損失則採用 3.4%。

2、南化水庫系統

南化水庫系統主要水源係來自攔蓄後堀溪與自甲仙攔河堰越域引水引取旗山溪水源，供應家用及公共給水、工業用水等標的用水使用。本計畫參考「曾文南化水庫聯通管輸水工程可行性分析」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 102 年)計畫，採用相同分析條件進行南化水庫系統之供水潛能分析，於驗證案例其運用原則說明如下：

- (1)甲仙攔河堰取水優先保留下游水權與生態基流量，最大引水量為 30 cms。

- (2)依現行「甲仙攔河堰水庫運用要點」(民國 108 年 7 月 22 日經濟部經授水字第 10820210520 號令)規定，全年皆可自甲仙攔河堰引取剩餘水量。
- (3)避免引取高濁度水量，流量高於 300 cms 時暫停自甲仙攔河堰引水。
- (4)防洪運轉採用溢洪道自由溢流方式，當水庫水位高於 180 公尺時，多餘水量將洩放至下游。
- (5)高雄地區分配水量係南化水庫系統與甲仙攔河堰聯合運用較南化水庫單獨運用增加供水能力之一半。

3、玉峰堰系統

玉峰堰系統主要水源係來自曾文水庫(曾文溪)、南化水庫(後堀溪)以及鏡面水庫(菜寮溪)運用後之水量或各水庫下游未控制流量，其藉由攔水抬高水位以供應家用及公共給水。本計畫參考「玉峰堰水源運用檢討及工業用水專管細部規劃(可行性研究評估報告)」(經濟部水利署南區水資源局，民國 106 年)計畫，採用相同分析條件進行玉峰堰系統之供水潛能分析，於驗證案例其運用原則說明如下：

- (1)玉峰堰取水優先保留下游水權與生態基流量。
- (2)玉峰堰依其登記水權量引水，惟在滿足下游水權與生態基流量，依水權量引水後尚有餘水，可超量引水最高至 4.5 萬噸/日。
- (3)避免引取高濁度水量，流量高於 300 cms 時暫停引水。

4、白河水庫系統

白河水庫系統主要水源係來自急水溪幹流白水溪，供應家用及公共給水、農業用水、工業用水以及防洪調節等多目標使用。本計畫參考「白河水庫更新改善規劃檢討(2)」(經濟部水利署南區水資源局，民國 101 年)計畫，採用相同分析條件進行白河水庫系統之供水潛能分析，於驗證案例其運用原則說明如下：

- (1)白河水庫蓄水運用僅考慮農業用水需水量 2,700 萬噸/年與民生用水需水量 69.35 萬噸/年，共計 2,769.35 萬噸/年。
- (2)白河水庫有效庫容採用 1,075 萬噸，而採用水庫水位標高 88 公尺作為呆水位設定。
- (3)防洪運轉採用溢洪道自由溢流方式，當水庫水位高於 109 公尺時，多餘水量將洩放至下游。

(二)水源供需模式驗證之結果

本計畫為探討建置水源供需模式之合理性，針對臺南地區主要供水系統彙整前期計畫之供水潛能分析結果，並採用相同分析條件與規則進行水源供需模擬，以作為供水潛能分析結果驗證之依據。表 4-1 為臺南地區主要水源供需系統之供水潛能驗證結果。針對曾文-烏山頭水庫系統，前期計畫推估供水潛能約 9.04 億噸/年，而本計畫推估結果約為 8.91 億噸/年，兩者差異約 1.4%；而針對南化水庫-甲仙堰、白河水庫以及玉峰堰，前期計畫與本計畫推估供水潛能之差異分別為 3.8%、1.1%以及 3.7%。整體而言，本計畫可合理推估臺南地區主要水源供需系統之供水潛能，與前期計畫推估供水潛能之差異約介於 1.1%至 3.8%之間，其差異主要係採用不同水源供需模式所造成。

表 4-1 臺南地區主要水源供需系統之供水潛能驗證結果

水源系統	供水潛能	
	前期計畫	本計畫
曾文-烏山頭水庫	9.04 億噸/年 ¹	8.91 億噸/年
南化水庫-甲仙堰	52.50 萬噸/日 ²	50.52 萬噸/日
白河水庫	2,694 萬噸/年 ³	2,665 萬噸/年
玉峰堰	3.28 萬噸/日 ⁴	3.16 萬噸/日

[1] 「曾文南化水庫聯通管輸水可行性分析」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 102 年)

[2] 「曾文南化水庫聯通管輸水可行性分析」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 102 年)

[3] 「白河水庫更新改善規劃檢討(2)」(經濟部水利署南區水資源局，民國 101 年)

[4] 「玉峰堰水源運用檢討及工業用水專管細部規劃」(經濟部水利署南區水資源局，民國 106 年)

第五章 可能水文情境下水源枯旱風險評估

為評估惡劣水文條件下臺南地區可能面臨之水源枯旱風險，本計畫先透過水文特性分析瞭解過去臺南地區主要集水區之水文特性，例如：年降雨量組成與各季節雨量平均值等資訊，再依據歷史水文時間序列資料擬訂可能水文情境，作為後續水源枯旱風險分析之情境依據。其中，因臺南雨量集中發生於梅雨季與颱風季，故僅針對此兩季研擬偏少、無雨、延遲以及正常之情況。此外，為將氣候變遷對水源供需可能帶來之負面影響一併納入，本計畫參考「氣候變遷降雨量情境差異對洪旱衝擊評估(2/2)」(經濟部水利署，民國 106 年)選擇臺南地區水源供需之最劣情境 A2-CSMK35 作為未來情境之設定，分析氣候變遷下可能水文情境對於水源供應與經濟造成之潛在影響。針對水文情境研擬與水源枯旱風險分析說明如下：

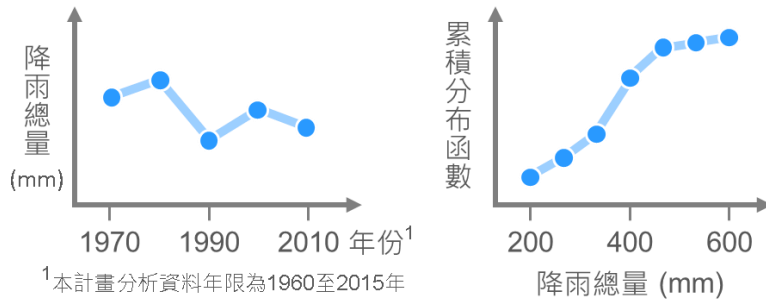
一、水文情境研擬

藉由水文特性分析可瞭解歷史水文事件之特性，例如：梅雨季與颱風季之平均降雨總量與變動情況，並參考歷史水文特性以擬訂可能水文情境，例如：梅雨偏少、梅雨無雨(空梅)、梅雨延遲、梅雨正常、颱風偏少、颱風無雨、颱風延遲以及颱風正常等各種可能發生之水文情境，作為後續水源供需分析之情境依據。因臺南降雨集中發生於梅雨季與颱風季，故本計畫主要針對兩季研擬偏少、無雨、延遲以及正常之情境，針對水文情境研擬流程與水文情境之定義介紹如下：

(一)水文情境研擬流程

本計畫提出可能水文情境研擬流程如圖 5-1 所示，主要包含四大步驟，分別為：(1)雨量時間序列資料整理、(2)推求累積分布函數、(3)定義水文情境以及(4)決定情境特徵線，針對各步驟詳細說明如下：

1 雨量時間序列資料 **2** 推求累積分布函數

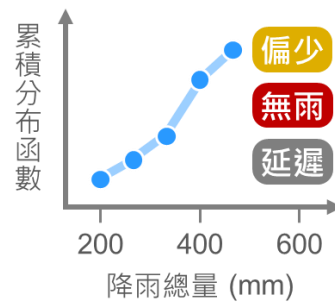


¹本計畫分析資料年限為1960至2015年

3 定義水文情境 **4** 決定情境特徵線

梅雨與颱風雨之情境²
基於降雨累積分布函數

偏少	無雨	延遲
≤30%	≤10%	首月≤30%



²參考並延伸氣象局季長期天氣展望作法

圖 5-1 可能水文情境研擬流程

1、雨量時間序列資料整理

採用「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」產製之歷史觀測網格雨量月資料(民國49至104年)作為上游端水文資料，挑選曾文水庫與南化水庫上游集水區對應之網格資料，整理並統計歷年梅雨季(5至6月)與颱風季(7至9月)之降雨總量。

2、推求累積分布函數

基於集水區歷史梅雨與颱風雨之降雨總量時間序列資料，由小至大排序其降雨總量，以推求梅雨與颱風雨之降雨總量累積分布函數。

3、定義水文情境

中央氣象局於季長期天氣展望中，定義降雨偏少為其降雨總量累積分布函數值小於30%。本計畫參考並延伸其作法，進一步定義梅雨與颱風雨之偏少、無雨、延遲以及正常等可能水文情境。其中，偏少情境為降雨總量累分布函數之值小於30%、

無雨情境為降雨總量累分布函數之值小於 10%、延遲情境為首月降雨總量累分布函數之值小於 30%，而正常情境則為排除上述 3 種情境之資料。

4、決定情境特徵線

重覆上述步驟 1 至 3 決定情境特徵線，用以代表主要集水區梅雨與颱風雨之偏少、無雨以及延遲水文情境，這些情境特徵線則為後續可能水文情境下水源枯旱風險評估之重要依據。

(二)水文情境之定義

本計畫依據上述水文情境研擬流程，決定梅雨季(5 至 6 月)與颱風季(7 至 9 月)可能水文情境之特徵線，以代表兩季降雨偏少、無雨以及延遲之情況。針對臺南主要集水區梅雨與颱風雨情境之特徵線說明如下：

1、梅雨偏少

梅雨(5 至 6 月)為臺灣南部主要雨量來源之一，其偏少情境之定義為 5 至 6 月降雨總量之累積分布函數之值低於 30%。圖 5-2(a)為臺南主要集水區之梅雨偏少情境特徵線，而符合偏少情境之年份資料亦註記於圖上。由情境特徵線可知：臺南主要集水區共計有 17 年資料符合梅雨偏少之情況，其降雨總量於 100 至 600 毫米之間變動，而平均值則約為 410 毫米。

2、梅雨無雨

臺灣南部水文豐枯懸殊，經常仰賴梅雨舒緩水情壓力，梅雨無雨(空梅)情況可能嚴重衝擊南部供水。梅雨無雨情境之設定為梅雨總量極少之情況，並非完全無雨，其定義為 5 至 6 月降雨總量之累積分布函數之值低於 10%。圖 5-2(b)為臺南主要集水區之梅雨無雨情境特徵線，而符合無雨情境之年份資料亦註記於圖上。由情境特徵線可知：臺南主要集水區僅有 6 年資料(發生機率較低)符合梅雨無雨之情況，其降雨總量於 120 至 320 毫米之間變動，而平均值則約為 270 毫米，相較於梅雨偏少情境更加惡劣枯旱。其中，以梅雨無雨情境來看，臺南主要集水區

無雨年份為民國 69、78、81、51、93 年以及民國 52 年。

3、梅雨延遲

梅雨主要發生於 5 至 6 月，梅雨延遲情境之設定為首月(5 月)無明顯雨量，首月降雨總量之累積分布函數之值低於 30%。圖 5-2(c)為臺南主要集水區之梅雨延遲情境特徵線，而符合延遲情境之年份資料亦註記於圖上。由情境特徵線可知：臺南主要集水區共計有 17 年資料符合梅雨延遲之情況，其降雨總量於 100 至 1,100 毫米之間變動，而平均值則約為 575 毫米，其降雨總量高於梅雨偏少情境與梅雨無雨情境。

4、梅雨正常

梅雨正常情境之設定為排除上述梅雨偏少、無雨以及延遲之情況，圖 5-2(d)為臺南主要集水區之梅雨正常情境特徵線，而符合正常情境之年份資料亦註記於圖上。由情境特徵線可知：臺南主要集水區共計有 31 年資料符合梅雨正常之情況，其降雨總量於 600 至 1,900 毫米之間變動，而平均值則約為 978 毫米，其降雨總量高於梅雨偏少、無雨以及延遲之情境。

5、颱風雨偏少

梅雨與颱風雨為臺灣南部主要雨量來源，而影響臺灣之颱風事件主要發生於 7 至 9 月，其偏少情境之定義為颱風雨降雨總量之累積分布函數之值低於 30%。圖 5-3(a)為臺南主要集水區之颱風雨偏少情境特徵線，而符合偏少情境之年份資料亦註記於圖上。由情境特徵線可知：臺南主要集水區共計有 17 年資料符合颱風雨偏少之情況，其降雨總量於 400 至 1,100 毫米之間變動，而平均值則約為 793 毫米。

6、颱風雨無雨

臺南水資源系統需藉由水庫蓄存颱風季降雨總量以確保枯水期用水穩定，一旦發生颱風雨無雨情況可能嚴重衝擊南部供水與經濟。颱風雨無雨情境之設定為颱風雨總量極少之情況，並非完全無雨，其定義為 7 至 9 月降雨總量之累積分布函數之

值低於 10%。圖 5-3(b)為臺南主要集水區之颱風雨無雨情境特徵線，而符合無雨情境之年份資料亦註記於圖上。由情境特徵線可知：臺南主要集水區僅有 6 年資料(發生機率較低)符合颱風雨無雨之情況，其降雨總量於 400 至 750 毫米之間變動，而平均值則約為 629 毫米，相較於颱風雨偏少情境更加惡劣枯旱。其中，以颱風雨無雨情境來看，臺南主要集水區無雨年份為民國 82、92、84、80、72 年以及民國 69 年。

7、颱風雨延遲

颱風雨主要發生於 7 至 9 月，颱風雨延遲情境之設定為首月(7 月)無明顯雨量，首月降雨總量之累積分布函數之值低於 30%。圖 5-3(c)為臺南主要集水區之颱風雨延遲情境特徵線，而符合延遲情境之年份資料亦註記於圖上。由情境特徵線可知：臺南主要集水區共計有 17 年資料符合颱風雨延遲之情況，其降雨總量於 400 至 2,300 毫米之間變動，而平均值則約為 1,111 毫米，其降雨總量高於颱風雨偏少情境與颱風雨無雨情境。

8、颱風雨正常

颱風雨正常情境之設定為排除上述颱風雨偏少、無雨以及延遲之情況，圖 5-3(d)為臺南主要集水區之颱風雨正常情境特徵線，而符合正常情境之年份資料亦註記於圖上。由情境特徵線可知：臺南主要集水區共計有 31 年資料符合颱風雨正常之情況，其降雨總量於 1,000 至 3,200 毫米之間變動，而平均值則約為 1,597 毫米，其降雨總量高於颱風雨偏少、無雨以及延遲之情境。

9、小結

本計畫基於「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」產製之歷史觀測網格雨量月資料，針對臺南主要集水區挑選對應之網格資料，推求梅雨與颱風雨之累積分布函數，再基於累積分布函數定義出梅雨與颱風雨之偏少、無雨、延遲以及正常等情境，以決定梅雨與颱風雨情境特徵線。其中，水文情境定義簡單說明如下：(1)偏少情境：降雨總量累分布函數之值小於 30%、

(2)無雨情境：降雨總量累分布函數之值小於 10%、(3)延遲情境：首月降雨總量累分布函數之值小於 30%以及(4)正常情境：排除上述 3 種情境之資料。

依據水文情境研擬流程，可定義出梅雨與颱風雨之偏少、無雨、延遲以及正常情境特徵線，共計 8 條特徵線。在水文情境設定之部分，因本計畫目的係探討枯旱情況對水源供應與經濟造成之影響，僅聚焦可能造成缺水情況之枯旱情況，故將降雨總量正常與偏高情況合併為正常情況，而不另外細分探討。若以降雨總量平均值來看，梅雨偏少、無雨、延遲以及正常情境之平均值分別為：410、270、575 以及 978 毫米；而颱風雨偏少、無雨、延遲以及正常情境之平均值分別為：793、629、1,111 以及 1,597 毫米。其中，上述梅雨與颱風雨水文情境皆以無雨情況之平均值最低、偏少情況次低、延遲情況次高、正常情況則為最高。

(三)氣候變遷對情境特徵線之影響

為瞭解氣候變遷對於梅雨與颱風雨情境特徵線之影響，本計畫以 A2-CSMK35 情境為例，進行氣候變遷情境下特徵線分析並與基期情況進行比較。針對基期與氣候變遷情境下臺南主要集水區梅雨與颱風雨之特徵線說明如下：

1、梅雨偏少

圖 5-4(a)為基期與氣候變遷情境下梅雨偏少情境特徵線，由情境特徵線可知：在基期情境下臺南主要集水區共計有 17 年資料符合梅雨偏少之情況，其平均降雨總量為 410 毫米；而 A2-CSMK35 情境下則有 25 年資料符合梅雨偏少之情況，其平均降雨總量減少至 389 毫米，其下降幅度為 5.1%。以特徵線型態而言，受氣候變遷影響特徵線整體有左移情況(總量變小)，但並非等距平移，而基期與氣候變遷情境下特徵線組成型態亦有所不同。

2、梅雨無雨

圖 5-4(b)為基期與氣候變遷情境下梅雨無雨情境特徵線，由情境特徵線可知：在基期情境下臺南主要集水區共計有 6 年資料符合梅雨無雨之情況，其平均降雨總量為 270 毫米；而 A2-CSMK35 情境下則有 11 年資料符合梅雨無雨之情況，其平均降雨總量減少至 251 毫米，其下降幅度為 7.0%。以梅雨無雨特徵線型態而言，受氣候變遷影響特徵線整體有左移情況(總量變小)，且其下降幅度相較於梅雨偏少情境略微增加。

3、梅雨延遲

圖 5-4(c)為基期與氣候變遷情境下梅雨延遲情境特徵線，由情境特徵線可知：在基期情境下臺南主要集水區共計有 17 年資料符合梅雨延遲之情況，其平均降雨總量為 575 毫米；而 A2-CSMK35 情境下則有 20 年資料符合梅雨延遲之情況，其平均降雨總量減少至 450 毫米，其下降幅度為 21.7%。以梅雨延遲特徵線型態而言，受氣候變遷影響特徵線整體有左移情況(總量變小)，且其下降幅度皆明顯高於梅雨偏少與梅雨無雨情境。

4、梅雨正常

圖 5-4(d)為基期與氣候變遷情境下梅雨正常情境特徵線，由情境特徵線可知：在基期情境下臺南主要集水區共計有 31 年資料符合梅雨正常之情況，其平均降雨總量為 978 毫米；而 A2-CSMK35 情境下則僅有 24 年資料符合梅雨延遲之情況，其平均降雨總量減少至 961 毫米，其下降幅度為 1.7%。以梅雨正常特徵線型態而言，受氣候變遷影響特徵線有小部分有左移情況(總量變小)，大部分則有右移情況(總量變大)，但梅雨總量高於 1,700 毫米之事件則不再發生，造成整體平均降雨總量略為減少。

5、颱風雨偏少

圖 5-5(a)為基期與氣候變遷情境下颱風雨偏少情境特徵線，由情境特徵線可知：在基期情境下臺南主要集水區共計有 17 年資料符合颱風雨偏少之情況，其平均降雨總量為 793 毫米；而

A2-CSMK35 情境下則僅有 15 年資料符合颱風雨偏少之情況，其平均降雨總量減少至 774 毫米，其下降幅度為 2.4%。以颱風雨偏少特徵線型態而言，受氣候變遷影響特徵線有小部分有左移情況(總量變小)，大部分則有右移情況(總量變大)，但其偏移幅度皆不大。

6、颱風雨無雨

圖 5-5(b)為基期與氣候變遷情境下颱風雨無雨情境特徵線，由情境特徵線可知：在基期情境下臺南主要集水區共計有 6 年資料符合颱風雨無雨之情況，其平均降雨總量為 629 毫米；而 A2-CSMK35 情境下則僅有 5 年資料符合颱風雨無雨之情況，其平均降雨總量減少至 590 毫米，其下降幅度為 6.2%。以特徵線型態而言，受氣候變遷影響特徵線有半數出現左移情況(總量變小)，而另外半數則有右移情況(總量變大)

7、颱風雨延遲

圖 5-5(c)為基期與氣候變遷情境下颱風雨無雨情境特徵線，由情境特徵線可知：在基期情境下臺南主要集水區共計有 17 年資料符合颱風雨延遲之情況，其平均降雨總量為 1,111 毫米；而 A2-CSMK35 情境下則僅有 14 年資料符合颱風雨延遲之情況，其平均降雨總量增加至 1,308 毫米，其增加幅度為 17.7%。以特徵線型態而言，受氣候變遷影響特徵線整體有出現右移情況(總量變大)，僅少部分出現左移或重疊情況，但其平均降雨總量不減反增與上述兩者(颱風雨偏少與颱風雨無雨)相反。

8、颱風雨正常

圖 5-5(d)為基期與氣候變遷情境下颱風雨正常情境特徵線，由情境特徵線可知：在基期情境下臺南主要集水區共計有 31 年資料符合颱風雨正常之情況，其平均降雨總量為 1,597 毫米；而 A2-CSMK35 情境下則有 33 年資料符合颱風雨正常之情況，其平均降雨總量增加至 1,989 毫米，其增加幅度為 24.5%。以特徵線型態而言，受氣候變遷影響特徵線整體有出現右移情況(總量

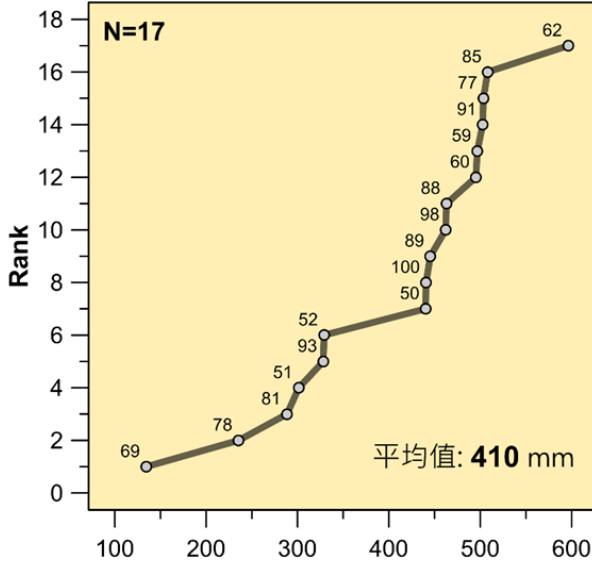
變大)。

9、小結

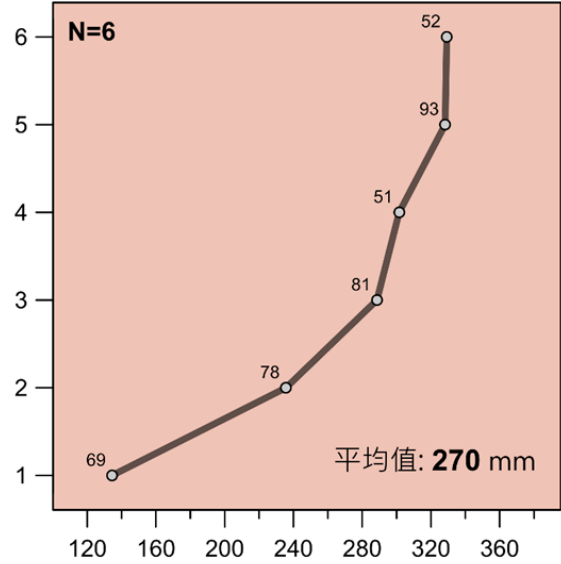
為評估氣候變遷對水源供需可能帶來之負面影響，本計畫參考「氣候變遷降雨量情境差異對洪旱衝擊評估(2/2)」(經濟部水利署，民國 106 年)選擇臺南地區水源供需之最劣情境 A2-CSMK35 進行衝擊分析，藉由比對基期與未來水文情境特徵線之差異，瞭解氣候變遷對臺南地區主要降雨來源之可能影響。基期與未來之情境特徵線比對結果顯示：在 A2-CSMK35 最劣情境下，梅雨偏少、無雨、延遲以及正常情況之降雨總量平均值皆有減少，其又以延遲情況之減少幅度最大；而颱風雨偏少、無雨、延遲以及正常情況之降雨總量平均值則有增有減，偏少與無雨情況呈現略為減少，而延遲與正常情況則有較顯著增加。整體而言，在氣候變遷影響下臺南地區主要集水區之梅雨有減少情形，而颱風雨降雨總量之變異則有擴大情形(低愈低、高愈高)，導致其豐水期雨量可能更加集中發生。

臺南主要集水區之梅雨情境

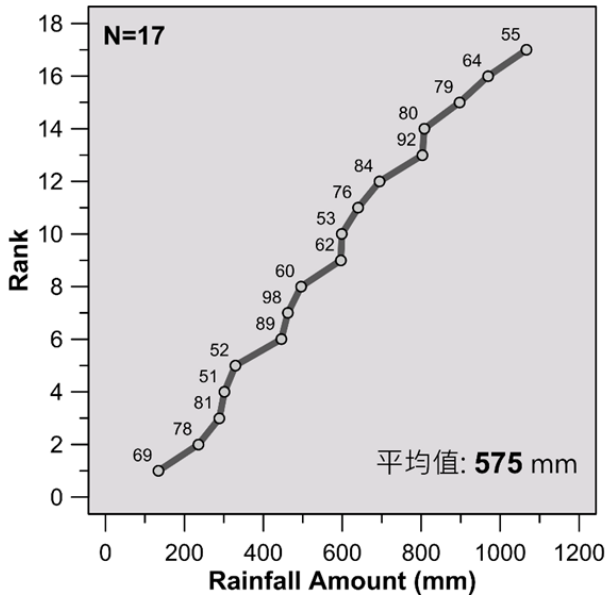
(a) 梅雨偏少特徵線



(b) 梅雨無雨特徵線



(c) 梅雨延遲特徵線



(d) 梅雨正常特徵線

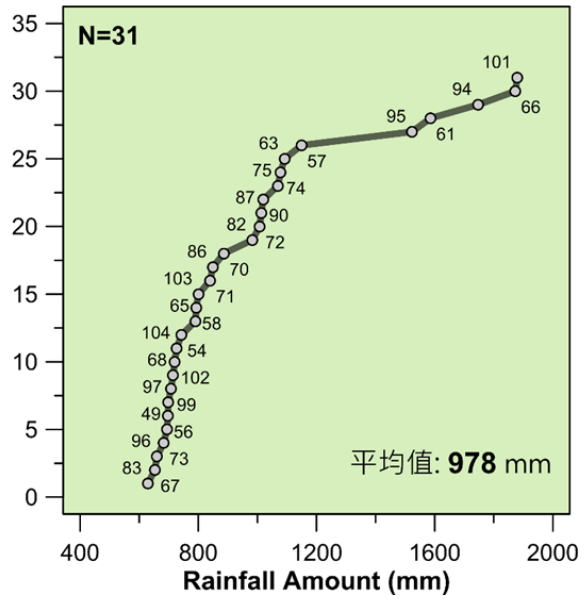
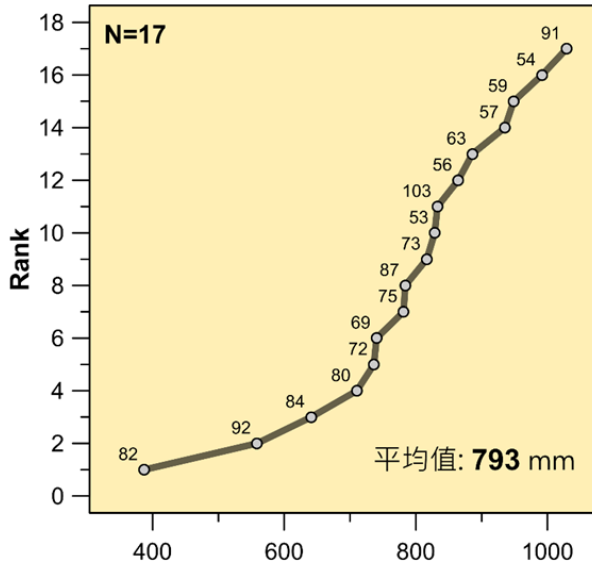


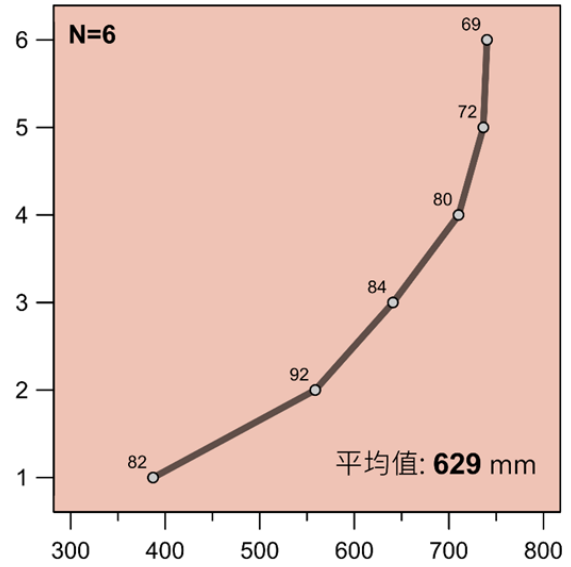
圖 5-2 臺南主要集水區之梅雨情境特徵線

臺南主要集水區之颱風雨情境

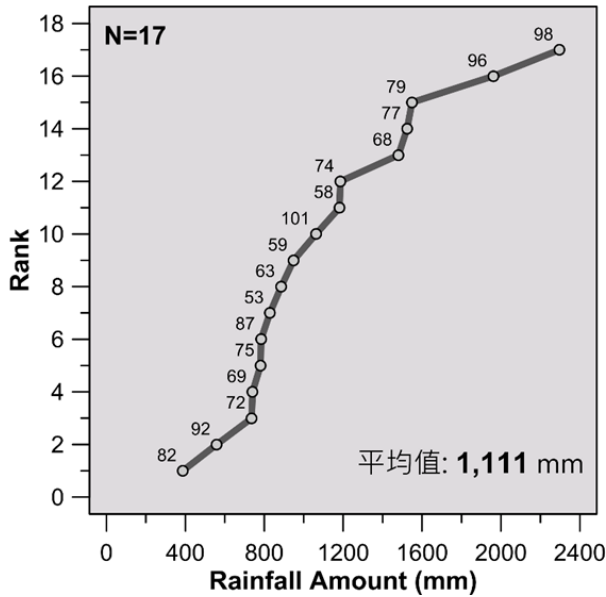
(a) 颱風雨偏少特徵線



(b) 颱風雨無雨特徵線



(c) 颱風雨延遲特徵線



(d) 颱風雨正常特徵線

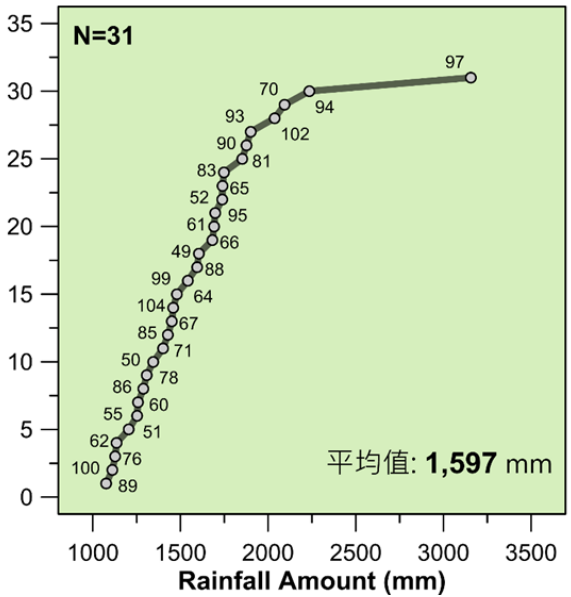
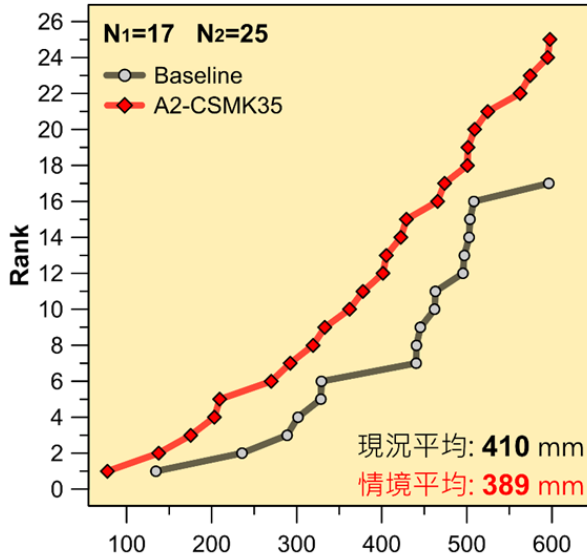


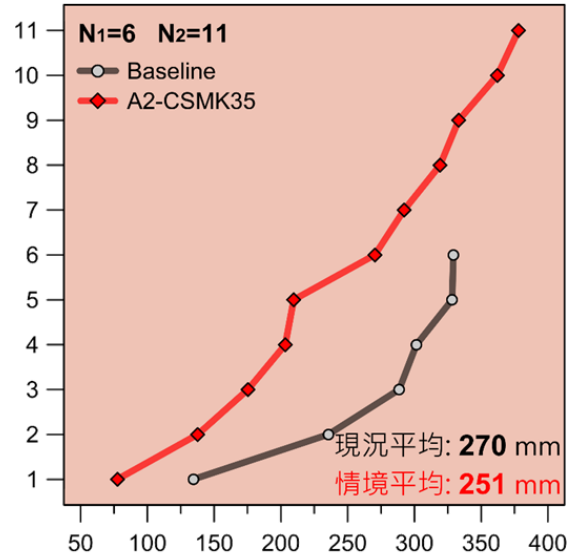
圖 5-3 臺南主要集水區之颱風雨情境特徵線

臺南主要集水區之梅雨情境

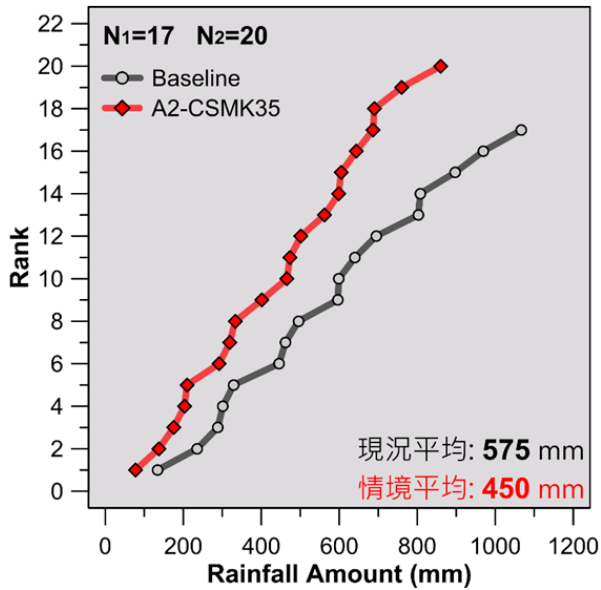
(a) 梅雨偏少特徵線



(b) 梅雨無雨特徵線



(c) 梅雨延遲特徵線



(d) 梅雨正常特徵線

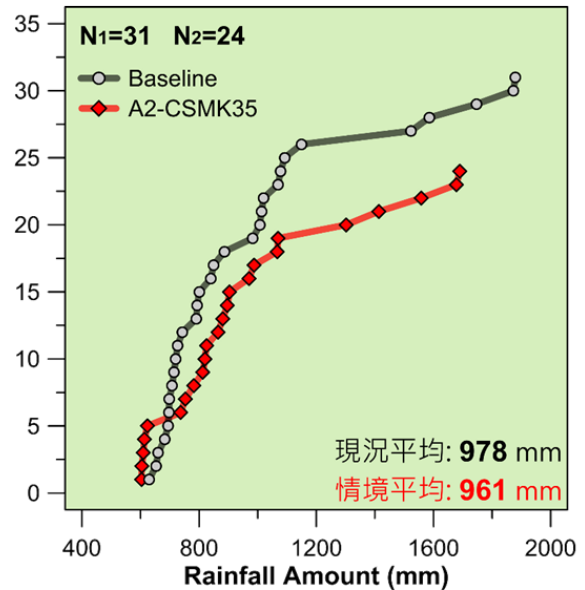
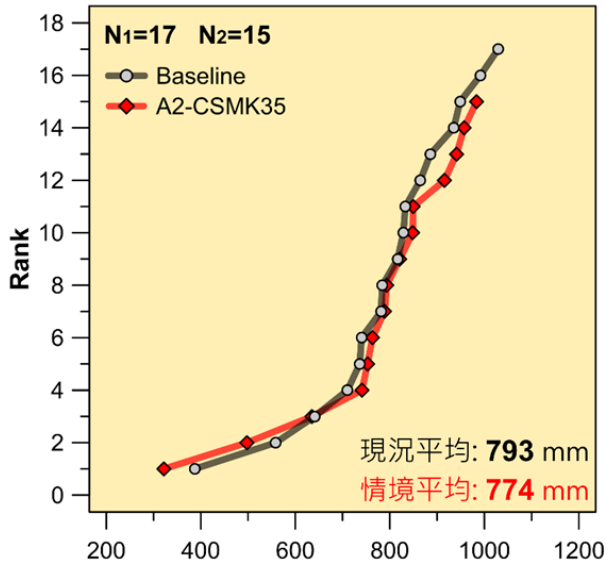


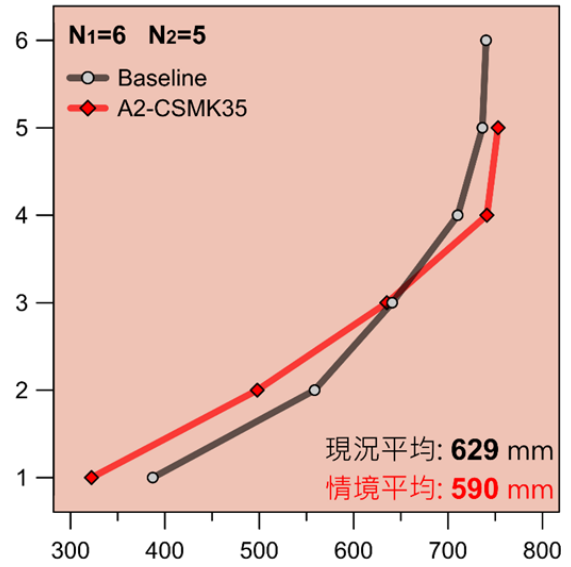
圖 5-4 基期與氣候變遷情境下梅雨情境特徵線

臺南主要集水區之颱風雨情境

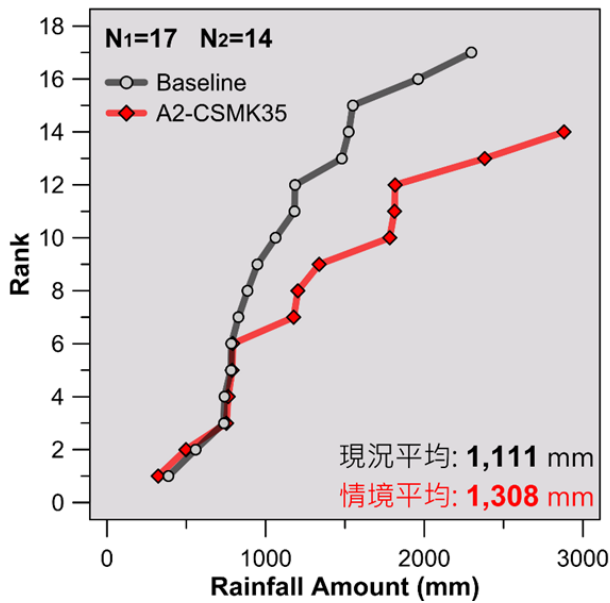
(a) 颱風雨偏少特徵線



(b) 颱風雨無雨特徵線



(c) 颱風雨延遲特徵線



(d) 颱風雨正常特徵線

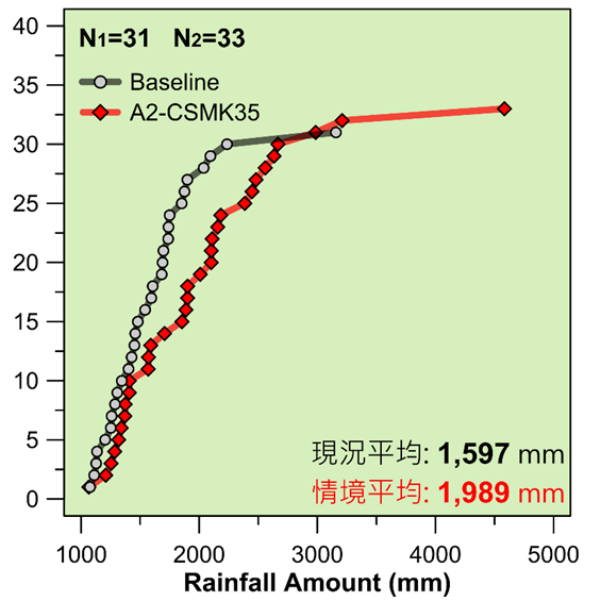


圖 5-5 基期與氣候變遷情境下颱風雨情境特徵線

(四)氣候變遷對情境發生機率之影響

為瞭解氣候變遷對於梅雨與颱風雨偏少、無雨、延遲以及正常情況發生機率之影響，本計畫以 A2-CSMK35 情境為例，進行氣候變遷情境下情境發生機率分析並與基期情況進行比較，圖 5-6 為水文情境組合與發生機率計算方式。其中，因梅雨與颱風雨各包含 4 種可能之水文情境，兩者組合共有 16 種可能之水文情境組合。而各種水文情境組合發生機率之計算，係基於彼此獨立假設上，將兩者發生機率相乘來推求其發生機率。針對基期與氣候變遷情境下臺南主要集水區梅雨與颱風雨之情境發生機率說明如下：

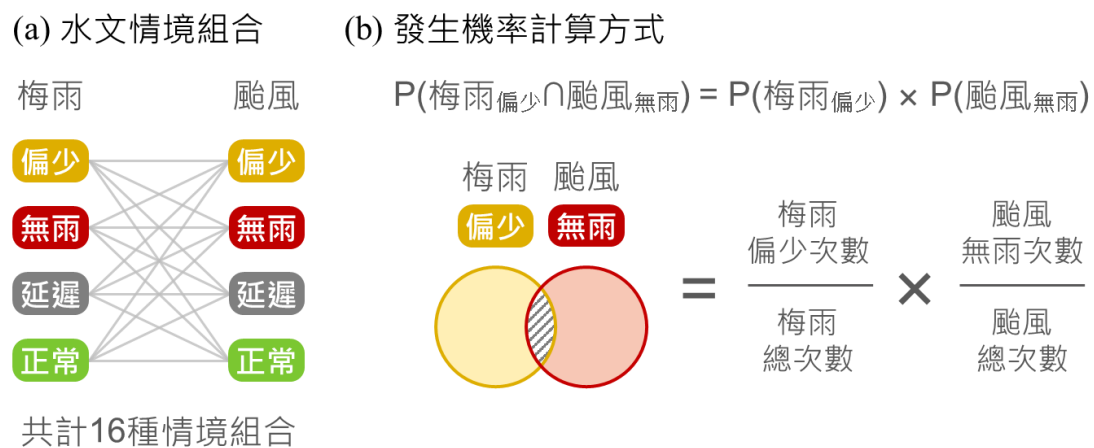


圖 5-6 水文情境組合與發生機率計算方式

表 5-1 與表 5-2 分別為現況與 A2-CSMK35 下各種水文情境組合之發生機率，表中括號內數字代表梅雨與颱風雨偏少、無雨、延遲以及正常情況之發生次數，而底線數字表示水文情境之邊際機率，其餘則為水文情境之聯合機率。藉由現況與 A2-CSMK35 條件下水文情境邊際機率與聯合機率之比較，本計畫得以量化氣候變遷對情境發生機率之影響(表 5-3)。

1、水文情境之邊際機率分析

首先，針對梅雨與颱風雨各別水文情境之邊際機率進行分析，以瞭解氣候變遷對其發生機率之影響。在梅雨偏少、無雨、延遲以及正常情況發生機率之部分，現況條件下分別為 19.6%、

10.7%、14.3%以及 55.4%，而 A2-CSMK35 下則為 25.0%、19.6%、12.5%以及 42.9%。分析結果指出：在氣候變遷影響下，梅雨偏少與無雨之發生機率皆有增加情形(+5.6%與+8.9%)，而梅雨延遲與正常之發生機率則皆有減少情形(-1.8%與-12.5%)；在颱風雨偏少、無雨、延遲以及正常情況發生機率之部分，現況條件下分別為 19.6%、10.7%、14.3%以及 55.4%，而 A2-CSMK35 下則為 17.9%、8.9%、14.3%以及 58.9%。分析結果指出：在氣候變遷影響下，颱風雨偏少與無雨之發生機率皆有減少情形(-1.8%與-1.8%)，而颱風雨延遲與正常之發生機率則分別為持平與增加(+3.6%)情形。

2、水文情境之聯合機率分析

針對氣候變遷下梅雨與颱風雨水文情境組合之聯合機率之部分，受到梅雨與颱風雨水文情境邊際機率之影響，造成梅雨偏少水文情境組合(例如：梅雨偏少與颱風雨正常)與梅雨無雨水文情境組合(例如：梅雨無雨與颱風雨正常)之聯合機率分布皆有增加情形；而梅雨延遲水文情境組合(例如：梅雨延遲與颱風雨正常)與梅雨正常水文情境組合(例如：梅雨正常與颱風雨正常)之聯合機率分布則皆有減少情形。其中，受氣候變遷影響，聯合機率最顯著之增減情形分別發生在梅雨無雨-颱風雨正常組合(+5.6%)與梅雨正常-颱風雨正常組合(-5.4%)。整體而言，分析結果顯示：在 A2-CSMK35 情境下，梅雨偏少或無雨水文情境組合之聯合機率有增加情形，而梅雨延遲或正常水文情境組合之聯合機率有減少情形，造成臺南主要集水區未來降雨量可能將更常集中發生。

3、小結

為評估氣候變遷對水源供需可能帶來之負面影響，本計畫選擇臺南地區水源供需之最劣情境 A2-CSMK35 進行衝擊分析，藉由比對基期與未來水文情境發生機率之差異，瞭解氣候變遷對臺南地區主要降雨來源之可能影響。基期與未來水文情境之

發生機率比對結果顯示：在水文情境邊際機率之部分，梅雨偏少與無雨之發生機率皆有增加情形，而梅雨延遲與正常之發生機率則皆有減少情形；颱風雨偏少與無雨之發生機率則皆有減少情形，而颱風雨延遲與正常之發生機率則分別為持平與增加情形。在水文情境聯合機率之部分，梅雨偏少或無雨水文情境組合之聯合機率有增加情形，而梅雨延遲或正常水文情境組合之聯合機率有減少情形，造成臺南主要集水區未來降雨量可能將更常集中發生。

表 5-1 現況下各種水文情境組合之發生機率

情境組合 (現況)		颱風				加總(56)
		偏少(11)	無雨(6)	延遲(8)	正常(31)	
梅雨	偏少(11)	3.9%	2.1%	2.8%	10.9%	<u>19.6%</u>
	無雨(6)	2.1%	1.1%	1.5%	5.9%	<u>10.7%</u>
	延遲(8)	2.8%	1.5%	2.0%	7.9%	<u>14.3%</u>
	正常(31)	10.9%	5.9%	7.9%	30.6%	<u>55.4%</u>
加總(56)		<u>19.6%</u>	<u>10.7%</u>	<u>14.3%</u>	<u>55.4%</u>	-

註：括號內數字為發生次數，而底線表示水文情境之邊際機率，其餘則為聯合機率。

表 5-2 A2-CSMK35 下各種水文情境組合之發生機率

情境組合 (A2-CSMK35)		颱風				加總(56)
		偏少(10)	無雨(5)	延遲(8)	正常(33)	
梅雨	偏少(14)	4.5%	2.2%	3.6%	14.7%	<u>25.0%</u>
	無雨(11)	3.5%	1.8%	2.8%	11.6%	<u>19.6%</u>
	延遲(7)	2.2%	1.1%	1.8%	7.4%	<u>12.5%</u>
	正常(24)	7.7%	3.8%	6.1%	25.3%	<u>42.9%</u>
加總(56)		<u>17.9%</u>	<u>8.9%</u>	<u>14.3%</u>	<u>58.9%</u>	-

註：括號內數字為發生次數，而底線表示水文情境之邊際機率，其餘則為聯合機率。

表 5-3 氣候變遷對各種水文情境組合發生機率之影響

情境組合 (氣候變遷衝擊)		颱風				加總
		偏少	無雨	延遲	正常	
梅雨	偏少	0.6%	0.1%	0.8%	3.9%	<u>5.4%</u>
	無雨	1.4%	0.6%	1.3%	5.6%	<u>8.9%</u>
	延遲	-0.6%	-0.4%	-0.3%	-0.5%	<u>-1.8%</u>
	正常	-3.2%	-2.1%	-1.8%	-5.4%	<u>-12.5%</u>
加總		<u>-1.8%</u>	<u>-1.8%</u>	<u>0.0%</u>	<u>3.6%</u>	-

註：底線表示水文情境之邊際機率，其餘則為聯合機率。

二、水源枯旱風險分析

本計畫基於上述可能水文情境(梅雨與颱風雨之偏少、無雨、延遲以及正常)進行民國 120 年之水源供需模擬，並探討四大穩定供水策略無法順利推動或無法上場時對應之公共用水缺水情況，以作為調適策略效益評估之依據。效益評估主要精神係藉由分析不同調適策略無法順利推動或無法上場之缺水率增加情況，以瞭解其效益高低，即調適策略之效益愈高，若其無法上場對應之缺水率增加情況亦愈高。以下分別針對調適策略組合與其對應之缺水分析結果進行說明：

(一)調適策略組合說明

依據四大穩定供水策略盤點結果，本計畫設定 8 種不同調適策略組合(表 5-4)進行對應之水源供需分析，針對各個調適策略組合說明如下：

表 5-4 臺南地區之水資源調適策略組合

調適策略	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
臺南高雄水源聯合運用		X						
永康安平再生水			X					
白河水庫後續更新改善				X				
降低漏水率計畫					X			
加強農業用水效率						X		
曾文淨水場二期工程							X	
山上淨水場改善工程								X

註：X 表示該項調適策略無法順利推動或無法順利上場。

1、調適策略組合 S1

臺南地區全部之水資源調適策略均順利上場，包含：開源策略 3 項(臺南高雄水源聯合運用、永康安平再生水、白河水庫後續更新改善)、節流策略 2 項(降低漏水率計畫、加強農業用水效率)、調度策略 1 項(曾文淨水場二期工程)以及備援策略 1 項(山上淨水場改善工程)，全部共計 7 項調適策略。

2、調適策略組合 S2

多數調適策略皆順利上場，惟臺南高雄水源聯合運用無法順利推動或無法上場，造成高雄地區水源無法支援臺南地區，臺南地區整體水源量減少 7 萬噸/日。

3、調適策略組合 S3

多數調適策略皆順利上場，惟永康安平再生水無法順利推動或無法上場，造成臺南地區之穩定水源量減少 5.3 萬噸/日。其中，永康再生水之水源量為 1.55 萬噸/日，而安平再生水之水源量為 3.75 萬噸/日。

4、調適策略組合 S4

多數調適策略皆順利上場，惟白河水庫後續更新改善無法順利推動或無法上場，造成白河水庫淤積嚴重而逐漸喪失其水源供應能力，臺南地區整體水源量減少 2.8 萬噸/日。

5、調適策略組合 S5

多數調適策略皆順利上場，惟降低漏水率計畫無法順利推動或無法上場，造成臺南地區(六區處)漏水率無法達成設定目標 6.84%。

6、調適策略組合 S6

多數調適策略皆順利上場，惟加強農業用水效率無法順利推動或無法上場，嘉南灌區之農業用水效率(需水量)與現況相同，參考曾文-烏山頭水庫系統各標的用水之年基準分配水量，農業用水之需水量仍為 9 億噸/年。

7、調適策略組合 S7

多數調適策略皆順利上場，惟曾文淨水場二期工程無法順利推動或無法上場，造成曾文淨水場處理能力減少 13 萬噸/日。

8、調適策略組合 S8

多數調適策略皆順利上場，惟山上淨水場改善工程無法順利推動或無法上場，因山上淨水場處理能力有限，若無法進行更新改善工程，其初步處理後水源仍需仰賴潭頂淨水場進行二次處理，造成臺南地區淨水場之最大總供水量減少 5 萬噸/日。

(二)調適策略組合之缺水分析

表 5-5 為民國 120 年可能水文情境下臺南地區不同調適策略組合之公共用水缺水率，其分析結果包含 8 種調適策略組合與 16 種可能水文情境，共計 128 筆缺水率資料。此外，依據可能水文情境之發生機率，本計畫額外推算各個調適策略組合下可能水文情境對應公共用水缺水率之加權平均(期望缺水率)，以作為後續政策評估參考。其中，加權平均之推算係給予發生機率較高之可能水文情境較高之權重，而發生機率較低之可能水文情境則給予較低之權重。

以調適策略全部上場之組合(S1)而言，在各種可能水文情境下，最高公共用水缺水率發生在可能水文情境「梅雨無雨+颱風無雨」(編號 06)對應之缺水率 25.1%，其情境發生機率為 1.8%；而次高公共用水缺水率則發生在「梅雨偏少+颱風無雨」(編號 02)對應之缺水率 17.5%，其情境發生機率為 2.2%。由於臺南地區主要水源係仰賴梅雨與颱風，故「梅雨無雨+颱風無雨」(編號 06)與「梅雨偏少+颱風無雨」(編號 02)兩種可能水文情境均造成相當高之公共用水缺水率，其屬於非常惡劣之水文條件，但兩種惡劣水文條件之發生機率僅介於 1.8%至 2.2%。

以可能水文情境之發生機率而言，「梅雨正常+颱風正常」(編號 16)、「梅雨偏少+颱風正常」(編號 04)以及「梅雨無雨+颱風正常」(編號 08)之發生機率較高，其機率分別為 25.3%、14.7%以及 11.6%，但相較於上述惡劣水文條件此三種水文情境之對應缺水率

較低，僅介於 5.5%至 9.1%。

表 5-5 可能水文情境下臺南地區不同調適策略組合之缺水率

情境編號	情境說明	發生機率	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
01	梅雨偏少+颱風偏少	4.5	11.0	14.1	13.4	13.1	11.9	13.1	11.0	13.9
02	梅雨偏少+颱風無雨	2.2	17.5	21.2	20.4	19.6	18.5	19.4	17.5	20.4
03	梅雨偏少+颱風延遲	3.6	6.9	9.9	8.8	9.0	7.7	7.6	6.9	9.8
04	梅雨偏少+颱風正常	14.7	6.8	9.8	8.7	8.9	7.6	7.4	6.8	9.7
05	梅雨無雨+颱風偏少	3.5	14.8	18.5	17.6	16.9	15.9	17.2	14.8	17.7
06	梅雨無雨+颱風無雨	1.8	25.1	30.4	28.9	27.2	26.4	26.9	25.1	28.0
07	梅雨無雨+颱風延遲	2.8	9.1	12.7	11.4	11.2	10.0	10.3	9.1	11.9
08	梅雨無雨+颱風正常	11.6	9.1	12.5	11.3	11.2	10.0	10.1	9.1	11.9
09	梅雨延遲+颱風偏少	2.2	8.9	11.7	11.0	11.0	9.7	11.0	8.9	11.7
10	梅雨延遲+颱風無雨	1.1	13.6	17.0	16.3	15.7	14.6	15.7	13.6	16.5
11	梅雨延遲+颱風延遲	1.8	6.3	9.0	8.1	8.3	7.0	6.8	6.3	9.1
12	梅雨延遲+颱風正常	7.4	6.2	8.9	8.0	8.3	7.0	6.7	6.2	9.1
13	梅雨正常+颱風偏少	7.7	6.5	9.3	8.4	8.6	7.3	8.1	6.5	9.5
14	梅雨正常+颱風無雨	3.8	9.9	13.1	12.2	12.0	10.8	11.8	9.9	12.9
15	梅雨正常+颱風延遲	6.1	5.6	8.2	7.3	7.7	6.3	6.0	5.6	8.6
16	梅雨正常+颱風正常	25.3	5.5	8.2	7.2	7.6	6.2	5.9	5.5	8.5
期望缺水率			7.9 (-)	10.9 (+3.0)	10.0 (+2.1)	10.0 (+2.1)	8.7 (+0.8)	8.9 (+1.0)	7.9 (0.0)	10.9 (+3.0)

註：¹單位為%；²括號內數字為相較於調適策略組合 S1 之增加缺水率。

整體而言，惡劣水文條件雖然可造成相當高之公共用水缺水率(17.5%至 25.1%)，但其之發生機率較低(1.8%至 2.2%)；而發生機率較高之可能水文情境(11.6%至 25.3%)，其對應公共用水缺水率則較低(5.5%至 9.1%)。針對此種高度不確定性下之調適策略決策問題，本計畫參考決策理論中期望值準則(expected value criterion)，整合機率概念進行水源枯旱風險之計算，提供決策者合理且客觀之量化風險值，以作為後續水資源政策推動參考。本計畫藉由綜合考慮公共用水缺水率與可能水文情境之發生機率，將水源枯旱風險定

義為缺水率或經濟影響之期望值⁵：

$$\text{水源枯旱風險} = \sum_{i=1}^N \text{缺水率}_i \times \text{水文情境發生機率}_i \quad (5-1)$$

其中， i 為水文情境之編號，而 N 則為水文情境之總數量。

本計畫藉由比較不同調適策略組合之期望缺水率，探討調適策略之效益高低，高效益調適策略若無法上場，其對應之缺水率增加情況亦愈高。以調適策略全部上場之組合(S1)而言，因其水源量相對充沛，對應之期望缺水率僅約為 7.9%。本計畫以 S1 組合為基準，比較其餘調適策略組合之期望缺水率增加情況，分析結果指出：期望缺水率增加最多之組合為 S2 與 S8，其次為 S3 與 S4，而增加最少之組合則為 S5、S6 以及 S7。整體而言，調適策略效益評估結果指出：臺南高雄水源聯合運用(S2)與山上淨水場改善工程(S8)於減緩缺水上有較高之效益，而效益次高之策略則為永康安平再生水(S3)與白河水庫後續更新改善(S4)，以上調適策略若能順利推動，每個策略皆可減緩公共用水缺水率約 2.1%至 3.0%。

⁵第一年度計畫於水源枯旱風險定義上係先採用缺水率之期望值，待第二年度計畫完成全部之經濟分析成果，則改採用經濟影響之期望值來量化水源枯旱風險。

第六章 可能水文情境下水源枯旱風險經濟分析

前述可能水文情境下水源枯旱風險乃水量的枯旱風險，當水源供應的短缺亦即缺水達到某種程度時，將造成停水，停水將造成產業損失，進而透過產業鏈影響其他未停水的區域與產業，造成總體經濟影響。當前述的可能水文情境具有機率資訊時，配合各種不同機率缺水情境之損失與經濟影響，將可以估算缺水經濟風險。以下先回顧枯旱風險經濟分析的理論方法，再針對經濟風險分析所需要進行的幾個程序步驟分別說明，包括產業停水損失、家戶停水損失、停水經濟影響、量化枯旱經濟風險評估等。本年度本計畫將產出標的間調度與移用成本，及可能水文情境下年平均損失與經濟影響，即枯旱經濟風險。

一、經濟分析理論方法

基於相關法規之規範，臺灣工程經濟效益分析主要係以成本效益分析為主，而經濟分析方法則可兼顧經濟學理與工程務實需求，以作為政策評估、民眾溝通或決策分析參考。為此，「水利工程經濟效益分析方法研究」(經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 107 年)以防洪工程效益分析為例，提出合適之經濟效益分析作業流程與參考手冊。惟其主要著重於防洪工程，故本計畫針對水資源相關工程研提經濟分析方法，以量化缺水事件造成之經濟影響。水資源為重要生產要素，不論農業、工業、服務業皆須水資源方能營運，進而獲利。惟水價在臺灣受到管制偏離市場價值。以自來水為例，水價約每噸十元，停水造成產業損失絕非產業減少水消費。從文獻或理論上來看，水資源之價值可以大略分為兩大類，若自行取水(如地下水與河川引水)，以邊際使用者成本(如抽水邊際成本)衡量，若付費取水(如自來水)，以邊際淨效益(如增加之產值或所得)衡量。在臺灣，除部分農業河川引水，以及部分產業使用地下水屬於自行取水，其他產業均屬於付費取水。停水對產業造成之損失大致可由其邊際效益估計，實際之方法又大致分成兩種，一是多要素生產模型，以 Cobb-Douglas 生產函數為代表，此需要大量個別廠商資料不一定可以取得。另一種較為簡便之方法則是使用投入產出表，其型式如表 6-1 所示。

水資源乃一中間投入，計算某一產業用水佔中間投入之比例可以推估用水減少對其總投入(產出)之影響，再除以營業天數可以得到停水一天造成之產出減少。或者將用水支出除以附加價值(原始投入)，即表示每塊用水支出對附加價值(所得)之影響，亦即水之邊際價值。

表 6-1 投入產出表(產業關聯表)

投入產出表		總需求				總供給		
		購買部門 (中間需求)				最終需求	總產出	進口
		1	2	...	n	F	X	M
銷售部門 (中間投入)	1	Z_{11}	Z_{12}	...	Z_{1n}	F_1	X_1	M_1
	2	Z_{21}	Z_{22}	...	Z_{2n}	F_2	X_2	M_2
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	n	Z_{n1}	Z_{n2}	...	Z_{nn}	F_n	X_n	M_n
附加價值 (原始投入)	V	V_1	V_2	...	V_n			
總投入	X	X_1	X_2	...	X_n			

前述投入產出表可進行的經濟分析具有以下三項假設：(1)每個產業部門僅生產一項產品，若有多項產品則分別歸類到最接近之產業部門，(2)產品之銷售分配具有固定係數的關係，(3)產品之投入之間具有固定之比例關係。以上三項假設導致產業關聯分析還有以下特徵，每一產業部門生產均為固定規模報酬，亦即當投入均增為兩倍，則產量增為兩倍，投入與產出之關係不變，投入之間沒有替代關係(王塗發，民國 75 年)。參考 Miller and Blair (2009)關於供給面投入產出模型中供給面衝擊之設定方式，可以計算供給面外生衝擊(如缺水)之變動對於各產業所產生之產業關聯產出、所得、就業效果影響。此分析可以將前述臺灣投入產出表拆解為縣市投入產出表，在聯合為區域投入產出資料庫，以下說明區域投入產出模型，以及資料庫。假設全國有三區(L, M, R)，每一區域皆有 1 和 2 兩個部門，則區域產業關聯如表 6-2。

表 6-2 區域產業關聯表

		Intermediate demand department						Final demand	Total demand
		L		M		R			
Intermediate input department		1	2	1	2	1	2		
L	1	Z_{11}^{LL}	Z_{12}^{LL}	Z_{11}^{LM}	Z_{12}^{LM}	Z_{11}^{LR}	Z_{12}^{LR}	Y_1^L	X_1^L
	2	Z_{21}^{LL}	Z_{22}^{LL}	Z_{21}^{LM}	Z_{22}^{LM}	Z_{21}^{LR}	Z_{22}^{LR}	Y_2^L	X_2^L
M	1	Z_{11}^{ML}	Z_{12}^{ML}	Z_{11}^{MM}	Z_{12}^{MM}	Z_{11}^{MR}	Z_{12}^{MR}	Y_1^M	X_1^M
	2	Z_{21}^{ML}	Z_{22}^{ML}	Z_{21}^{MM}	Z_{22}^{MM}	Z_{21}^{MR}	Z_{22}^{MR}	Y_2^M	X_2^M
R	1	Z_{11}^{RL}	Z_{12}^{RL}	Z_{11}^{RM}	Z_{12}^{RM}	Z_{11}^{RR}	Z_{12}^{RR}	Y_1^R	X_1^R
	2	Z_{21}^{RL}	Z_{22}^{RL}	Z_{21}^{RM}	Z_{22}^{RM}	Z_{21}^{RR}	Z_{22}^{RR}	Y_2^R	X_2^R
Primary inputs		W_1^L	W_2^L	W_1^M	W_2^M	W_1^R	W_2^R		
Total input		X_1^L	X_2^L	X_1^M	X_2^M	X_1^R	X_2^R		

二、水源枯旱風險經濟分析

藉由水源枯旱風險分析可以推求特定水文情境(例如：梅雨偏少)造成臺南各區農業、工業、生活用水之缺水率、缺水量、缺水日數等。而枯旱經濟風險分析旨在估計前述臺南各區缺水情境之產業損失與經濟影響，程序分為以下幾個步驟(圖 6-1)：

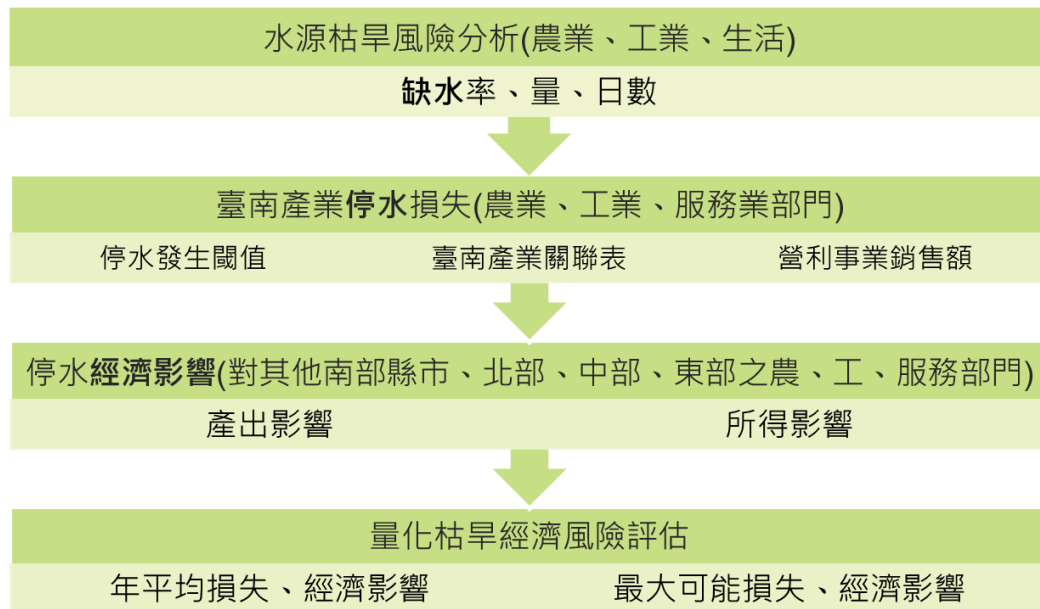


圖 6-1 量化枯旱經濟風險評估程序圖

水源枯旱風險分析僅為特定水文情境之評估結果，實際上，當缺水可能發生時，管理單位將會在用水標的間進行調度與移用，例如調度農業用水。本計畫此部分第一步驟估計產業停水損失，由於目前生活用水包含家庭用水、商業用水、機關用水、公共用水以及都市活動用水(如消防用水)等。由於在經濟方面，一般將產業(行業)粗分為農業、工業、服務業。若是停水，對於服務業與家庭用水的影響也有很大不同。因此，本計畫考量水利與經濟的分類方式，將產業區分為農業、工業、服務業，以下說明這三大產業的停水損失估計方式。第一步驟為缺水率、量、日數，但損失則是實際停水才會產生，因為產業所在建物多有水塔等蓄水設施，缺水不一定導致停水。農業與工業之停水發生閾值須視區域產業之蓄水設施，本計畫將進行調查後設定。服務業與家戶用水屬於公共給水，根據台灣自來水公司的「乾旱時期供水計畫」，當缺水率達 30%時將啟動分區輪流供水，將造成實質大規模之停水，因此可以將停水發生閾值設定於 30%，亦即當缺水率超過停水發生閾值則停水發生，缺少的水量仍舊由缺水量估計。產業停水損失的估計方式將於下節詳細說明。

第二步驟是估計停水經濟影響，當產業停水產業生產活動減損，進而造成產出減少，該產業之下游將因為投入減少也產生產出減少的影響，例如當工業因停水減產，銷售該工業產品之服務業也將減產，此部分的影響稱之為經濟影響，經濟影響的指標一般可分為產出與所得。

(一)產業停水損失

農業、工業、服務業三大產業的停水損失，亦即停水造成該產業的直接損失主要都將採用產業關聯表的方式進行估計。下表為 2011 年臺灣產業關聯表，並且將之加總為農業、工業、服務業四大行業，為計算停水損失，乃將用水供應部門獨立。產業關聯表縱向代表供給，以縱向第三直行的農業為例，代表農業部門向本部門購買 83,895 百萬元，例如種苗等投入，向工業部門購買 165,106 百萬元，例如肥料、農藥等中間生產投入，向用水供應部門購買 167 百萬元，向服務業購買 61,856 百萬元，農業部門原始投入為 248,805 百萬元，如農業部門支付的薪資與本部門利潤等，以上合計則為總

投入。產業關聯表橫向代表需求，以第三列的農業為例，農業部門銷售 83,895 百萬元給農業本部門，農業部門銷售 320,027 百萬元給工業部門，銷售 8 百萬元給用水供業，銷售 24,849 百萬元給服務業，最終需求代表消費、投資或出口者銷售最終產品 305,075 百萬元，其中 559,829 百萬元的農業產來自國內生產，此與農業總投入相等。另外進口為 174,025 百萬元。水為一中間投入，計算某一產業用水占中間投入之比例可以推估用水減少對其總投入(產出)之影響。在上表中，假如農業購買 167 百萬元用水，除以中間投入和所得合計之比例，表示農業水用減少對其投入(產出)之影響。另外，也可將用水支出除以附加價值(原始投入)，即表示每塊用水支出對附加價值(所得/原始投入)的影響，亦即水的邊際價值。由於產業關聯表中的數值皆為全年合計，農業部門全年均有生產及用水，故可以將之除以 365 天得到停水一天造成的產出、所得減少。

表 6-3 民國 100 年臺灣產業關聯表(投入產出表)

		購買部門(中間需求)				最終需求	總需求 =總供給	國內生產	進口
		農業	工業	用水 供應	服務業				
銷售 部門 中間 投入	農業	83,895	320,027	8	24,849	305,075	733,854	559,829	174,025
	工業	165,106	13,475,102	5,996	1,783,641	12,702,306	28,132,151	19,835,119	8,297,032
	用水 供應	167	13,981	10,594	8,203	10,207	43,152	42,374	778
	服務業	61,856	2,022,552	3,441	3,050,189	10,428,640	15,566,678	14,566,488	1,000,190
	原始 投入	248,805	4,003,457	22,335	9,699,606				
	總投入	559,829	19,835,119	42,374	14,566,488				

註：單位為百萬元。

表 6-3 為臺灣產業關聯表，本計畫是針對臺南地區則需要使用臺南地區投入產出表。臺灣主計總處每 5 年公布臺灣產業關聯表，目前可取得最新的產業關聯表為民國 100 年臺灣產業關聯表。將臺灣產業關聯表，配合工商及服務業普查資料，以 RAS 法、區位商數法訂定縣市別產值與投入係數，決定縣市別各產業對每區域使

用比率矩陣，以及縣市別進口與國產品使用比率，建立非競爭型中間交易表，再計算區域間交易流量，由區域間表加以彙編為競爭移入型區域間表與區域內表，可以製作各縣市的區域產業關聯表，在本計畫中即為臺南產業關聯表。

如前述農業停水損失之計算方式也可以適用於工業與服務業，利用產業關聯表(投入產出表)計算工業或服務業用水減少對其投入(產出)之影響。另外，也可將用水支出除以附加價值(原始投入)，即表示每塊用水支出對附加價值(所得)的影響，亦即水的邊際價值。多數工業與服務業並非全年均有生產及用水，故將之除以工作天數可以得到停水一天造成的產出、所得減少。以外，因為工業與服務業也有淡旺季之分，可以利用經濟部發布之各月的「工業生產統計」及「批發、零售及餐飲業營業額統計」將全年的產出分配於各月，如此可以更精準地估計如梅雨、颱風雨減少造成之不同月份停水引發的工業與服務業損失。

(二)家戶停水損失

家戶(家庭)用水的停水損失估計因為家戶沒有產值尤為困難，然而長時間停水對家戶的影響非常嚴重。民國 105 年 2 月 6 日發生震央於高雄市美濃區芮氏規模 6.6 地震，最大震度為臺南市新化和玉井 7 級。美濃地震除造成臺南永康維冠大樓倒塌多人傷亡以外，該大樓倒塌壓毀永大路下方自來水管線外，臺 20 省道新化區忠孝路的南化水庫送水幹管嚴重受損，臺南多處停水。停水受影響戶數從一地震當天 40 萬戶，經台水搶修後，已逐步從 25 萬、5 萬戶減到 5,000 戶，到 2 月 23 日仍有 250 戶供水不穩定。臺南有住戶停水(或僅夜間供水)長達三週以上。由於影響的區域有限，期間水公司及臺南市政府以水車送水及設立臨時供水點的方式因應。根據科技部災害防救應用科技方案「天然災害減災效益分析與災害防救績效評估研究 (II)」針對停水區域內有實際長時間(超過一週)停水經驗居民訪談發現，移居外地親友家及旅館者很少，少於 5%，但因適逢春節假期，停水住戶多要平時未住臺南親友避免回家。飲

用水來源多數是購買瓶裝水，衛生用水有少數到旅館或供洗澡地方使用，多數仍使有水車及臨時供水站提水。以外食取代煮飯，減少家庭清掃次數等。由於水公司或市政府的水車是消防隊水車，無法將水灌入住家水塔，許多老人因為提水上樓而受傷。此外，因消防隊水車於救火時取用河水，許多民眾擔心水車水質不佳，故僅用於居家衛生清潔，有嬰幼兒的家庭更不敢使用。停水對家戶之影響遠比想像中大。

該研究用問卷以趨避行為法及條件評估法兩者進行停水成本衡量。趨避行為法乃透過衡量居民為降低環境影響所採取之因應行為成本，如為了因應空氣污染而增加清掃、購買空氣清淨機、口罩等行為之成本。條件評估法(contingent valuation method)詢問受訪者最少要給予多少錢方能補償停水期間生活不便的損失。結果顯示每個家戶每一個停水日的趨避行為損失為 271.09 元，對於一個停水日產生的生活不便平均最小願受補償為 736.95 元，亦即每家戶一個停水日損失約為 1,000 元。此結果可以作為家戶的所得或支出減少，再透過下述區域投入產出模型進行經濟影響估計。

由於產業關聯表旨在呈現產業間的貿易關係，所以產業關聯表中沒有家戶部門，家戶部門呈現在兩個部分，一是最終需求之一部分為個人消費，二是原始投入之一部分為勞動報酬。由於家戶的勞動報酬將用於個人消費，所以可以將這兩個部分內生化成為一個準產業-家戶部門，則可以使用原有的產業關聯分析(Miller and Blair, 2009)。

前述特定水文情境之評估結果只能估計農業、工業、民生用水的缺水量，但民生用水包含服務業與家戶用水兩部分。前述將家戶勞動報酬與個人消費內生化所產生的產業關聯表雖然可以估計家戶停水的損失，但仍舊必須有家戶用水的缺水量方能計算特定水文情境下家戶停水損失。這個問題可以透過產業關聯表反推。產業關聯表呈現用水投入與產出的關係，以服務業來說，服務業用水產出是服務業生產總額，其比例(由產業關聯表可得)可用來反推用水量。

服務業絕大多數用水來自自來水，給定自來水水價，可以估計服務業用水量，民生用水量扣除服務業用水量，則為家戶用水量。

(三)停水經濟影響

供給面外生衝擊(如缺水)的變動對於各產業所產生之產業關聯產出、所得、就業效果影響。分析的方式在 Lin et al. (2012)有詳細說明，使用相同的分析方法可以在本計畫估計臺南產業停水損失對臺南及其他地區(其他南部縣市、北部、中部、東部)的農業、工業、服務業經濟影響。而本年度採用產業關聯分析方法為靜態模型，而在氣候變遷的水文影響屬於長期的動態問題，後續也會在本計畫基礎下，考慮長期動態的氣候變遷下的缺水影響。另外，在資料上因為配合產業關聯表統計資料屬於年為單位的資料，故將水文情境下的缺水量也統一以年資料來進行計算。

表 6-4 臺灣五區域區域產業關聯表

	台南市			其他南部縣市			中部			北部			東部			國內最終需求	出口	
	農業	工業	服務	農業	工業	服務	農業	工業	服務	農業	工業	服務	農業	工業	服務			
台南市	農業	98	762	25	154			234			181			4			350	26
	工業	268	14,163	1,500	7,258			8,326			8,169			458			4,754	4,515
	服務	18	1,123	1,390	736			711			2,317			22			7,569	655
其他南部縣市	農業	67		262	712	74	211			490			5			892	132	
	工業	1,557		753	31,258	4,922	6,406			9,307			1,678			9,867	22,570	
	服務	188		47	1,496	4,717	671			4,443			60			15,974	3,276	
中部	農業	307		247			433	919	83	885			34			1,022	132	
	工業	3,981		15,454			790	31,169	4,998	25,707			2,668			11,150	22,562	
	服務	430		559			49	2,075	4,834	6,278			90			17,883	3,276	
北部	農業	232		383			651			82	1,013	223	54			2,512	186	
	工業	5,161		24,023			26,502			203	57,547	16,339	5,266			31,463	31,612	
	服務	511		1,849			2,868			14	4,218	21,141	157			59,594	4,586	
東部	農業	12		20			22			79			48	49	7	86	53	
	工業	132		352			966			1,087			80	1,153	431	818	9,030	
	服務	23		86			255			542			6	59	413	1,557	1,310	
原始投入	353	3,657	4,648	812	4,780	13,295	1,088	6,953	15,174	260	17,039	53,628	162	269	1,239			

註：單位為億元。

前面說明如何由臺灣產業關聯表拆分得到臺南產業關聯表，透過同樣的方式可以得到各縣市產業關聯表，再將同一區域如北部區

域的縣市相加可以得到北部區域的產業關聯表，進而組合為全國的區域產業關聯表，由於本計畫將產業分為農業、工業、服務業，因此，區域產業關聯表也會是每個區域各有這三種產業，請參見表 6-4。在經濟影響分析方面，區域產業關聯表的分析方式與全國的產業關聯表分析方式一樣，可以想像成一個區域的一個產業即為全國之一個產業，用同樣的分析方式可以得到臺南的產業停水損失對全國各區域之經濟影響。

三、水源枯旱風險經濟分析結果

根據 16 種可能水文情境之缺水率、缺水量以及缺水日數來計算對於臺南地區缺水的直接經濟影響結果，由於本計畫推估的缺水率都沒達到 30%，故後續推估臺南地區各部門缺水下的平均經濟損失。本文採用的產業關聯表為基期民國 100 年資料庫，為了能讓相關經濟評估更符合現況，故蒐集整理農業統計年報以及普查綜合報告(工商及服務業企業單位經營概況—按縣市別分)進行各地區部門產值更新至民國 106 年數據。其次，整理民國 106 年最新臺南與臺灣各地區農業、工業與生活用水資料，最終計算出各地區部門每噸用水價值。

(一)各地區部門產值

因為目前普查綜合報告最新資料年份為民國 105 年，故農業部門資料庫基期也蒐集民國 105 年農業統計年報數據，後續再採用國民所得及經濟成長的歷年國內各業生產與平減指數資料進行更新至民國 106 年。表 6-5 為整理農業統計年報各地區農業產值。

各地區工業與服務業部門數據，根據主計總處公布民國 105 年普查綜合報告統計表進行整理，其中工業部門包含 1.礦業及土石採取業、2.製造業、3.電力及燃氣供應業、4.用水供應及污染整治業與 5.營建工程業。服務業部門包含 1.批發及零售業、2.運輸及倉儲業、3.住宿及餐飲業、4.出版、影音製作、傳播及資通訊服務業、5.金融及保險業、強制性社會安全、6.不動產業、7.專業、科學及技術服務業、8.支援服務業、9.教育業、10.醫療保健及社會工作服務業、

11.藝術、娛樂及休閒服務業與 12.其他服務業。相關統計如表 6-6 與表 6-7。

表 6-5 民國 105 年各縣市農業產值

地區		產值	地區		產值
北部	新北市	6,922.16	其他南部*	嘉義市	616.71
	臺北市	519.32		高雄市	36,772.90
	桃園市	10,702.87		嘉義縣	43,039.59
	基隆市	2,279.26		屏東縣	70,660.06
	新竹市	698.56		澎湖縣	1,862.23
	新竹縣	6,931.13		金門縣	566.70
	宜蘭縣	13,545.98		連江縣	63.10
	小計	41,599.29		小計	153,581.30
中部	臺中市	33,263.87	東部	臺東縣	9,538.91
	苗栗縣	13,896.98		花蓮縣	9,957.17
	彰化縣	61,256.61		小計	19,496.08
	南投縣	33,648.87	臺南	57,252.60	
	雲林縣	77,626.83	民國 105 年農業產值總計		520,227.29
	小計	219,693.16			

註：¹單位為百萬元；²*表示不包含臺南市，含離島地區；³資料來源：農業統計年報。

表 6-6 民國 105 年工業與服務業普查

部門	北部	中部	臺南	其他南部*	東部
工業	11,171,853	4,263,779	1,134,050	2,041,619	60,555
服務業	9,393,142	1,458,896	357,724	1,013,359	88,028
合計	20,564,996	5,722,675	1,491,774	3,054,978	148,584

註：¹單位為百萬元；²*表示不包含臺南市，含離島地區；³資料來源：民國 105 年普查綜合報告統計表，地區別統計表，工商及服務業企業單位經營概況-按縣市別分，<https://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=37470&ctNode=543>

表 6-7 民國 105 年工業及服務業普查(1/2)

地區	總計	礦業及土石採取業	製造業	電力及燃氣供應業	用水供應及污染整治業	營建工程業	批發及零售業	運輸及倉儲業	住宿及餐飲業	出版、影音製作、傳播及資訊服務業	金融及保險業、強制性社會安全	不動產業	專業、科學及技術服務業	支援服務業	教育業	醫療保健及社會工作服務業	藝術、娛樂及休閒服務業	其他服務業	
北部	臺北市	10923543	424.587	3151435.2	489329.592	22199.148	338603.36	1387445.26	560138.08	277446.72	796631.91	2779150.4	241380.47	364262.266	208386.6	34629.349	176947.7	41209.974	53922.37
	新北市	3562531.28	416.117	2148212.7	8394.521	12006.145	266166.85	491738.674	82961.67	90523.411	82842.083	34521.198	58142.678	86668.277	51016.61	16112.533	86016.37	11896.252	34895.15
	桃園市	2619246.41	690.627	1650617.1	29946.839	16344.883	135454.4	184330.871	335892.49	63811.365	9549.012	9436.938	26096.948	24486.229	25441.49	8974.312	72748.13	7535.139	17889.63
	基隆市	218967.201	0	23723.148	670.394	888.232	14725.979	18623.924	121427.53	8926.889	1348.405	1365.099	2118.821	2607.768	1819.061	1385.841	11241.5	2940.327	5154.289
	新竹市	2096838.75	D	1912438.6	D	2100.238	34727.871	54170.855	5643.972	14234.474	9757.024	4231.778	8298.581	17873.278	6711.252	2956.393	16419.65	1282.942	5672.102
	宜蘭縣	164983.933	1395.627	66193.709	645.26	681.031	25883.272	18341.054	8117.914	13921.42	1300.669	1345.543	2931.991	2476.818	1983.925	1414.037	13192.32	1536.235	3623.108
	新竹縣	978884.986	D	768265.73	D	2549.506	35913.025	46903.337	15277.479	13549.473	8763.015	2399.132	9688.351	36040.784	7778.485	2971.483	9549.819	4333.964	4411.726
中部	臺中市	3210314.38	2492.689	1862070	5190.842	45846.956	224995.03	414387.829	56439.726	137022.29	33681.854	36984.004	79784.952	56386.458	42956.81	26235.004	115616.6	16462.931	53760.48
	苗栗縣	554284.704	9620.427	443866	601.431	1062.812	24413.75	25173.582	6332.298	8307.802	1389.38	1634.142	4267.589	5910.696	2870.375	1504.45	10377.5	1574.216	5378.254
	彰化縣	894760.092	D	664021.49	D	5916.452	37273.752	62515.311	11807.64	17243.302	2680.491	13063.663	6332.216	6494.916	4808.793	3872.022	38046.05	1783.832	8540.978
	南投縣	200717.191	1399.555	122369.97	1492.837	1361.288	14274.467	12948.841	5328.947	12927.987	992.701	1894.06	2342.982	2429.152	1225.329	1588.69	11333.3	2269.869	4537.219
	雲林縣	862598.48	D	729624.4	D	3293.799	27818.803	24585.916	10463.958	8569.628	1247.205	3618.448	2811.879	1818.793	2167.178	1709.407	14639.35	1497.158	4319.647
南部	臺南市	1491773.53	162.526	1033629.3	15006.055	7327.683	77924.457	122547.361	23883.486	41357.819	11557.955	22209.612	21660.439	14439.329	11976.36	7961.926	59545.34	4381.759	16202.17
	高雄市	2471447.64	556.079	1478489.8	12276.341	24337.448	191271.18	236097.88	121010.75	84748.445	33056.01	26880.301	39770.047	29780.719	34705.23	12675.004	103145.6	10659.015	31987.77
	嘉義市	89737.423	D	15331.822	D	421.597	11584.426	16915.612	3957.738	8584.992	1319.173	1123.875	3504.052	1884.625	1763.289	1190.891	17421.16	873.015	3231.191
	嘉義縣	189717.012	D	107387.8	D	2028.496	16678	16048.323	3433.732	7288.393	934.137	2086.718	1645.864	1303.912	3331.244	970.36	14737.46	1057.766	3459.946
	澎湖縣	15158.249	0	1101.957	28.383	47.339	3130.934	3237.971	920.909	2527.807	202.227	313.577	303.498	111.063	767.384	150.301	1719.198	188.549	407.152
	屏東縣	255246.046	1063.297	118677.83	1142.678	2324.359	23905.086	36224.85	5318.24	22223.244	1594.396	1457.817	2673.289	2890.579	2677.603	2191.932	19249.31	3447.967	8183.566

註：¹D 表示該行業廠商數小於三家，所以不揭露統計資料；²資料來源：民國 105 年普查綜合報告統計表，地區別統計表，工商及服務業企業單位經營概況-按縣市別分，<https://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=37470&ctNode=543>

表 6-7 民國 105 年工業及服務業普查(2/2)

地區	總計	礦業及土石採取業	製造業	電力及燃氣供應業	用水供應及污染整治業	營建工程業	批發及零售業	運輸及倉儲業	住宿及餐飲業	出版、影音製作、傳播及資訊服務業	金融及保險業、強制性社會安全	不動產業	專業、科學及技術服務業	支援服務業	教育業	醫療保健及社會工作服務業	藝術、娛樂及休閒服務業	其他服務業	
東部	臺東縣	40977.964	452.245	3464.067	D	85.534	6377.264	9387.053	1912.801	7242.833	413.861	0	798.109	679.35	701.627	346.559	6410.004	473.628	1366.302
	花蓮縣	107605.601	1431.505	16880.324	18548.214	355.364	12093.845	14276.853	6120.624	10577.63	1062.188	1826.178	1851.257	1958.296	1578.294	747.33	15125.33	932.285	2240.086
金馬	連江縣	3575.06	D	552.41	D	133.231	903.968	289.83	918.339	376.016	17.04	0	0	25.813	82.56	17.745	139.774	43.053	62.456
	金門縣	30096.939	D	14454.927	D	515.582	4121.899	2747.453	2165.267	1686.834	186.157	0	0	466.339	614.344	234.044	1201.793	145.966	371.663

註：¹D 表示該行業廠商數小於三家，所以不揭露統計資料；²資料來源：民國 105 年普查綜合報告統計表，地區別統計表，工商及服務業企業單位經營概況-按縣市別分，<https://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=37470&ctNode=543>

最後利用主計總處公佈國民所得及經濟成長的歷年國內各業生產資料更新民國 106 年農業產值 619,912 百萬元、工業產值 20,662,132 百萬元以及服務業產業 16,239,781 百萬元，各部門產業產值更新如表 6-8。

表 6-8 民國 106 年各地區產業產值

部門	北部	中部	臺南	其他南部	東部	產值合計
農業	52,455	277,022	72,193	193,659	24,584	619,912
工業	12,362,686	4,718,265	1,254,931	2,259,240	67,010	20,662,132
服務業	12,390,604	1,924,447	471,877	1,336,734	116,119	16,239,781
合計	24,805,745	6,919,734	1,799,001	3,789,633	207,713	37,521,825

註：¹單位為百萬元；²*表示不包含臺南市，含離島地區；³資料來源：民國 105 年普查綜合報告統計表，地區別統計表，工商及服務業企業單位經營概況-按縣市別分，<https://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=37470&ctNode=543>

(二)民國 106 年各地區部門用水量

後續為了計算推估缺水時的經濟損失，所以需整理民國 106 年臺灣各地區產業目前用水情況，包含農業用水、工業用水與生活用水。

農業用水包含灌溉用水、養殖用水以及畜牧用水。其中因為臺南與嘉義地區用水為同一系統，在統計資料上合併計算，故無法將臺南地區單獨拆解，後續在農業部門計算單位每噸用水價值以嘉南地區計算，民國 106 年農業用水資料如表 6-9。

表 6-9 民國 106 年各區域農業用水

農業用水量	北部	中部	嘉南	其他南部*	東部	用水量合計
灌溉用水	1,770.52	4,733.22	803.74	1,164.78	2,440.13	10,912.39
養殖用水	17.41	191.85	144.45	475.34	35.89	864.94
畜牧用水	3.49	29.53	8.08	23.32	1.55	65.97
合計	1,791.42	4,954.60	956.27	1,663.44	2,477.57	11,843.30

註：¹單位為百萬立方公尺/年；²*表示不包含臺南市，含離島地區；³資料來源：經濟部水利署，各項用水統計資料庫。

工業用水以及生活用水主要可以區分從自來水廠供應以及自行取水，故民國 106 年工業部門與生活用水資料如表 6-10 與表 6-11。最後根據上述資料整理民國 106 年各地區部門用水資料，如表 6-12。

表 6-10 民國 106 年各地區工業用水

工業用水	北部	中部	臺南	其他南部*	東部	用水量合計
自來水	288.96	172.39	110.08	266.28	1.32	839
自行取水	172.97	425.70	78.14	87.43	50.88	815
合計	461.93	598.09	188.22	353.71	52.20	1,654.15

註：¹單位為百萬立方公尺/年；²*表示不包含臺南市，含離島地區；³資料來源：經濟部水利署，各項用水統計資料庫。

表 6-11 民國 106 年各地區生活用水

生活用水	北部	中部	臺南	其他南部*	東部	用水量合計
自來水	1,499.22	724.06	223.52	493.74	67.55	3,008.08
自行取水	35.18	45.77	2.01	46.81	9.28	139.05
合計	1,534.40	769.83	225.53	540.54	76.83	3,147.14

註：¹單位為百萬立方公尺/年；²*表示不包含臺南市，含離島地區；³資料來源：經濟部水利署，各項用水統計資料庫。

表 6-12 民國 106 年各地區用水量

用水量	北部	中部	臺南	其他南部*	東部	合計
農業	1,791.42	4,954.60	956.27**	1,663.44	2,477.57	11,843.30
工業	461.93	598.09	188.22	353.71	52.20	1,654.15
生活用水	1,534.40	769.83	225.53	540.54	76.83	3,147.14
合計	3,787.75	6,322.52	1,370.02	2,557.69	2,606.60	16,644.59

註：¹單位為百萬立方公尺/年；²*表示不包含臺南市，含離島地區；³**表示嘉南灌區用水；⁴資料來源：經濟部水利署，各項用水統計資料庫。

因為生活用水包含服務業用水以及家計部門用水，這兩個部門主要都是採用自來水，故根據民國 100 年產業關聯表結構，服務業自來水年支出費用為 199.54 億元，家計部門自來水支出費用為 101.61 億元，所以服務業與家計部門的自來水比例為 0.66：0.34，作為拆解生活用水之比例，修正民國 106 年各地區各部門用水資料如表 6-13。

表 6-13 民國 106 年各地區用水量

用水量	北部	中部	臺南	其他南部*	東部	合計
農業	1,791.42	4,954.60	956.27**	1,663.44	2,477.57	11,843.30
工業	461.93	598.09	188.22	353.71	52.20	1,654.15
服務業	1012.71	508.09	148.85	356.76	50.70	1012.71
家計部門	521.70	261.74	76.68	183.78	26.12	521.70
合計	3,787.75	6,322.52	1,370.02	2,557.69	2,606.60	16,644.59

註：¹單位為百萬立方公尺/年；²*表示不包含臺南市，含離島地區；³**表示嘉南灌區用水；⁴資料來源：經濟部水利署，各項用水統計資料庫。

(三)可能水文情境下缺水之經濟直接衝擊計算

透過本節整理之各部門產值以及用水量，計算各地區部門單位用水係數(用水價值)=產值/用水量，詳細如表 6-14。再利用臺南各部門每噸用水價值來計算本計畫 16 種水文缺水情境的經濟影響，在臺南地區農業部門用水價值每噸 121.15 元、工業部門每噸用水 6,667.36 元與服務業用水每噸 2,092.27 元⁶。再依據各情境推估最後農工以及服務業之缺水量，推算出最後本計畫臺南地區缺水直接經濟衝擊價值(情境一)，作為後續採用產業關聯模型推估對於間接經濟影響以及臺灣其他地區之連動衝擊，如表 6-15。

根據南科管理局資料，民國 106 年南科年產值為 5,136.11 億元，每日用水 13.45 萬噸(每年用水量 4,909.25 萬噸)，所以南科每噸用水價值為 10,462.11 元，若假設主要缺水造成主要損失在南科地區，修正 16 種情境中工業部門直接經濟衝擊參數改採南科單位用水價值(情境二)。目前 16 個水文情境造成各部門用水減少，故本計畫主要計算部分供水減少下之經濟損失，依據此全年各部門缺水減少以及每公噸各產業價值來推估各部門一整年內用水減少之直接經濟損失，詳細計算如表 6-16。

⁶本文有關生活用水的缺水量，假設主要影響為服務業，不考慮家庭缺水影響。因為根據乾旱時期自來水停止及限制供水執行要點，第四階段之定量定時供水中，其優先順序第一位為居民維生用水，本計畫 16 種水文情境缺水量都未達定量定時供水情況，若假設未來若實施定量定時供水，對於民生之影響也非常低，故本計畫推估的生活用水假設為服務業的缺水量。

表 6-14 民國 106 年各地區部門單位用水價值

用水量	北部	中部	臺南	其他南部*	東部
農業	29.28	55.91	121.15**	90.18	9.92
工業	26,763.12	7,888.89	6,667.36	6,387.27	1,283.71
服務業	12,235.13	3,787.62	3,170.10	3,746.89	2,290.12

註：¹單位為元/噸；²*表示不包含臺南市，含離島地區；³**表示嘉南灌區用水；⁴資料來源：經濟部水利署，各項用水統計資料庫。

表 6-15 各情境部門缺水經濟直接衝擊(情境一：臺南地區)

情境 編號	情境說明	缺水量(萬噸/年)			缺水率(%)			年損失(百億元/年)			
		農業	工業	生活	農業	工業	生活	農業	工業	服務業	合計
01	梅雨偏少+颱風偏少	32,518	1,406	2,999	36.1	13.0	13.0	3.94	9.37	9.51	22.82
02	梅雨偏少+颱風無雨	46,474	2,161	4,609	51.6	19.9	19.9	5.63	14.41	14.61	34.65
03	梅雨偏少+颱風延遲	10,846	845	1,802	12.1	7.8	7.8	1.31	5.63	5.71	12.66
04	梅雨偏少+颱風正常	8,990	824	1,757	10.0	7.6	7.6	1.09	5.49	5.57	12.15
05	梅雨無雨+颱風偏少	38,893	1,867	3,983	43.2	17.2	17.2	4.71	12.45	12.63	29.79
06	梅雨無雨+颱風無雨	52,581	2,982	6,359	58.4	27.5	27.5	6.37	19.88	20.16	46.41
07	梅雨無雨+颱風延遲	16,208	1,195	2,549	18.0	11.0	11.0	1.96	7.97	8.08	18.01
08	梅雨無雨+颱風正常	13,708	1,155	2,463	15.2	10.7	10.7	1.66	7.70	7.81	17.17
09	梅雨延遲+颱風偏少	16,449	979	2,088	18.3	9.0	9.0	1.99	6.53	6.62	15.14
10	梅雨延遲+颱風無雨	29,907	1,406	2,999	33.2	13.0	13.0	3.62	9.37	9.51	22.50
11	梅雨延遲+颱風延遲	5,195	719	1,535	5.8	6.6	6.6	0.63	4.80	4.86	10.29
12	梅雨延遲+颱風正常	4,185	706	1,505	4.7	6.5	6.5	0.51	4.70	4.77	9.98
13	梅雨正常+颱風偏少	13,543	871	1,858	15.0	8.0	8.0	1.64	5.81	5.89	13.34
14	梅雨正常+颱風無雨	26,014	1,262	2,691	28.9	11.6	11.6	3.15	8.41	8.53	20.10
15	梅雨正常+颱風延遲	5,034	666	1,420	5.6	6.1	6.1	0.61	4.44	4.50	9.55
16	梅雨正常+颱風正常	3,713	647	1,381	4.1	6.0	6.0	0.45	4.32	4.38	9.14

註：¹資料來源：本計畫推估；²極端惡劣之無雨情境組合易導致嚴重缺水情況，惟其發生機率皆較小。若以整體期望缺水情況來看，公共用水之期望缺水率約為 8.4%。

表 6-16 各情境部門缺水經濟直接衝擊(情境二：南科地區)

情境 編號	情境說明	缺水量(萬噸/年)			缺水率(%)			年損失(百億元/年)			
		農業	工業	生活	農業	工業	生活	農業	工業	服務業	合計
01	梅雨偏少+颱風偏少	32,518	1,406	2,999	36.1	13.0	13.0	3.94	14.71	9.51	28.15
02	梅雨偏少+颱風無雨	46,474	2,161	4,609	51.6	19.9	19.9	5.63	22.61	14.61	42.85
03	梅雨偏少+颱風延遲	10,846	845	1,802	12.1	7.8	7.8	1.31	8.84	5.71	15.86
04	梅雨偏少+颱風正常	8,990	824	1,757	10.0	7.6	7.6	1.09	8.62	5.57	15.27
05	梅雨無雨+颱風偏少	38,893	1,867	3,983	43.2	17.2	17.2	4.71	19.54	12.63	36.87
06	梅雨無雨+颱風無雨	52,581	2,982	6,359	58.4	27.5	27.5	6.37	31.19	20.16	57.72
07	梅雨無雨+颱風延遲	16,208	1,195	2,549	18.0	11.0	11.0	1.96	12.50	8.08	22.55
08	梅雨無雨+颱風正常	13,708	1,155	2,463	15.2	10.7	10.7	1.66	12.08	7.81	21.55
09	梅雨延遲+颱風偏少	16,449	979	2,088	18.3	9.0	9.0	1.99	10.24	6.62	18.85
10	梅雨延遲+颱風無雨	29,907	1,406	2,999	33.2	13.0	13.0	3.62	14.71	9.51	27.84
11	梅雨延遲+颱風延遲	5,195	719	1,535	5.8	6.6	6.6	0.63	7.53	4.86	13.02
12	梅雨延遲+颱風正常	4,185	706	1,505	4.7	6.5	6.5	0.51	7.38	4.77	12.66
13	梅雨正常+颱風偏少	13,543	871	1,858	15.0	8.0	8.0	1.64	9.12	5.89	16.65
14	梅雨正常+颱風無雨	26,014	1,262	2,691	28.9	11.6	11.6	3.15	13.20	8.53	24.88
15	梅雨正常+颱風延遲	5,034	666	1,420	5.6	6.1	6.1	0.61	6.97	4.50	12.08
16	梅雨正常+颱風正常	3,713	647	1,381	4.1	6.0	6.0	0.45	6.77	4.38	11.60

註：¹資料來源：本計畫推估；²極端惡劣之無雨情境組合易導致嚴重缺水情況，惟其發生機率皆較小。若以整體期望缺水情況來看，公共用水之期望缺水率約為 8.4%。

(四)可能水文情境下缺水之經濟損失

基於本計畫建構之臺灣五區域產業關聯表推估臺南地區 16 個水文情境缺水之下，造成臺南以及其他地區之整體經濟損失推估。主要利用供給面之投入產出模型，評估臺南地區缺水之下直接產值損失透過上下游產業之生產交互關係所創造出對臺南地區產業本身以及國內其他相關產業的直接與間接效益。

1、供給面投入產出模型

供給面投入產出模型係以某一產業部門投入成本(例如：中間投入原物料價格或數量、原始勞動投入成本)變動，透過每單位產出產品銷售分配係數矩陣計算產業關聯程度矩陣，同樣可以考慮直接及間接誘發效果下，計算對其他產業的產出影響效果。這種模型比較適用於探討來自某產業生產面的衝擊，因為此類產業之產出若作為其他產業的中間原料或勞務，可支援其他產業，一旦產出或價格變動，將使其他使用這些支援型產業產出作為投入的產業之投入成本發生變動，進而帶動中下游產業之產出變動。

因未來臺南缺水產業的產值或營收等會透過上下游產業之生產迂迴交互影響關係，造成產業本身以及國內其他相關產業的直接與間接生產效益。據此，本計畫利用 Miller and Blair(2009)的供給面投入產出模型進行這方面經濟效益的評估。惟此評估不考慮市場價格波動之效果，也不考慮任何技術面與進出口部門之調整機能，僅純粹就供給面之改變後之產業關聯波及效果來計算，因此所得之結果應歸屬為「部分均衡效果」。

依據 Miller and Blair(1985)供給面投入產出模型，各產業部門之總收益等於投入成本，總收益為產品之價值，總投入成本包含中間投入與原始投入兩項，總收益與投入成本之關係可以表示如下(總收益即產品之總價值=中間投入+原始投入)：

$$\begin{aligned}
X_1 &= (Z_{11} + Z_{21} + \dots + Z_{n1}) + V_1 \\
X_2 &= (Z_{12} + Z_{22} + \dots + Z_{n2}) + V_2 \\
&\vdots \\
X_j &= (Z_{1j} + Z_{2j} + \dots + Z_{nj}) + V_j \\
&\vdots \\
X_n &= (Z_{1n} + Z_{2n} + \dots + Z_{nn}) + V_n
\end{aligned} \tag{6-1}$$

其中， $i=1\dots n, j=1\dots n$ ， X_j 為第 j 個產業之產出， Z_{ij} 為第 j 產業生產 X_j 必須使用第 i 產業產品作為中間投入之數額， V_j 為第 j 個產業之為原始投入之數額，包含勞動報酬、資本消耗等項目。若以矩陣形式表示其關係：

$$X' = i'Z + V \tag{6-2}$$

其中， X' 為 X 之轉置矩陣， i 為元素為1之 n (產業個數) $\times 1$ 向量， Z 為中間投入矩陣， V 為原始投入矩陣。

在產出分配型態(即每單位產出產品銷售分配係數)固定不變的假設下：

$$Z_{ij}/X_i = \bar{a}_{ij} \tag{6-3}$$

或用矩陣形式表示如下：

$$Z = \hat{X}\bar{A} \tag{6-4}$$

其中， \hat{X} 為產出所形成之對角矩陣， \bar{A} 為每單位產出產品銷售分配係數矩陣。再將公式 6-4 代入公式 6-2 後，並以矩陣形式表示成下列所示：

$$X' = i'\hat{X}\bar{A} + V \tag{6-5}$$

因 $X' = i'\hat{X}$ ，經過移項後可得到：

$$X' = V(I - \bar{A})^{-1} \tag{6-6}$$

因此，當某部門中間或原始投入成本發生變動時，即可根據公式 6-6 解出新的產出向量，如下所示：

$$\Delta X' = \Delta V(I - \bar{A})^{-1} \tag{6-7}$$

其中， $(I - \bar{A})^{-1}$ 為李昂提夫矩陣，而 Δ 則為變動量。

同樣，若以國內里昂提夫矩陣 $(I - \bar{A}^D)^{-1}$ 替代里昂提夫矩陣 $(I - \bar{A})^{-1}$ ，則上式可改為：

$$\Delta X' = \Delta V (I - \bar{A}^D)^{-1} \quad (6-8)$$

其中， $\Delta X'$ 向量內所有元素之和即為某一支援型產業的產量、價格或原始投入成本面發生變動後，對整個經濟體系所產生之總產出效果。

若令各產業的附加價值係數向量(v)、就業係數向量(l)為固定且已知時，則由上式所求出的產出效果($\Delta X'$)即可分別轉變為附加價值(GDP)效果(ΔV)如下：

$$\Delta V = v \Delta X' \quad (6-9)$$

2、經濟效益評估結果

根據本計畫 16 種水文情境的各部門缺水量進行計算對於臺灣的總產出損失以及 GDP 影響效果，其中總產出效果、總 GDP⁷效果占全國比率分別以民國 106 年國民所得統計之全國生產總額 37 兆 5,218.25 億元、生產毛額 17 兆 5,488.14 億元計算。

情境一結果顯示，16 種水文情境缺水之下，對於臺灣總產出減少約 18.51 至 90.08 百億元，GDP 減少 5.19 至 25.58 百億元。情境二假設工業部門缺水主要發生在南科，對於臺灣總產出減少 25.33 至 121.52 百億元，GDP 減少 6.48 至 31.54 百億元。(如表 6-17)

當臺南缺水情況下，對於臺南地區的產業影響確實較嚴重，情境一結果顯示，農業損失為 1.40 至 11.03 百億元，工業部門損失 6.94 至 32.00 百億元，服務業部門損失 5.61 至 25.87 百億元。對於其他地區影響主要為北部的農業，情境一結果顯示北區農業產值約減少 0.55 至 2.58 百億元，中部農業產值約減少 0.93 至 4.36 百億元。臺南以外的工業部門損失主要也是北部第區與中部地區影響較明顯，誘發北部工業損失 0.49 至 2.26 百億

⁷GDP 效果採廣義定義，包括：勞動報酬、經營盈餘、資本消耗、間接稅淨額。

元以及中部地區工業產值減少 0.58 至 2.69 百億元，各情境缺水水文情境的各地區部門影響結果如表 6-18 至表 6-21。

表 6-17 各情境缺水產業關聯效果

情境 編號	情境一				情境二			
	總產出	占全國百分比	總 GDP 效果	占全國百分比	總產出	占全國百分比	總 GDP 效果	占全國百分比
01	43.53	1.16	12.43	0.71	58.35	1.56	15.24	0.87
02	66.43	1.77	18.94	1.08	89.21	2.38	23.26	1.33
03	24.97	0.67	7.06	0.40	33.87	0.90	8.74	0.50
04	24.13	0.64	6.80	0.39	32.81	0.87	8.45	0.48
05	57.23	1.53	16.31	0.93	76.91	2.05	20.04	1.14
06	90.08	2.40	25.58	1.46	121.52	3.24	31.54	1.80
07	35.45	0.94	10.02	0.57	48.05	1.28	12.41	0.71
08	33.99	0.91	9.59	0.55	46.16	1.23	11.90	0.68
09	29.47	0.79	8.36	0.48	39.79	1.06	10.32	0.59
10	43.17	1.15	12.31	0.70	58.00	1.55	15.12	0.86
11	20.72	0.55	5.82	0.33	28.30	0.75	7.25	0.41
12	20.19	0.54	5.66	0.32	27.63	0.74	7.07	0.40
13	26.08	0.69	7.39	0.42	35.26	0.94	9.13	0.52
14	38.63	1.03	11.01	0.63	51.93	1.38	13.53	0.77
15	19.20	0.51	5.39	0.31	26.22	0.70	6.72	0.38
16	18.51	0.49	5.19	0.30	25.33	0.68	6.48	0.37

註：¹單位為百億元與%；²資料來源：本計畫推估

表 6-18 各情境區域部門缺水產業關聯效果(情境一)

情境 編號	臺南			其他南部			中部			北部			東部		
	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業
01	6.20	15.10	12.20	1.02	0.84	0.25	2.07	1.27	0.40	1.22	1.07	0.22	1.08	0.38	0.21
02	9.08	23.20	18.75	1.56	1.29	0.39	3.17	1.96	0.62	1.87	1.64	0.33	1.65	0.59	0.33
03	2.60	9.06	7.33	0.61	0.50	0.15	1.23	0.76	0.24	0.73	0.64	0.13	0.64	0.23	0.13
04	2.33	8.83	7.14	0.59	0.49	0.15	1.19	0.74	0.23	0.71	0.62	0.13	0.62	0.22	0.13
05	7.68	20.05	16.20	1.35	1.11	0.33	2.74	1.69	0.53	1.62	1.42	0.29	1.43	0.51	0.28
06	11.03	32.00	25.87	2.15	1.77	0.53	4.36	2.69	0.85	2.58	2.26	0.46	2.27	0.81	0.45
07	3.79	12.82	10.37	0.86	0.71	0.21	1.74	1.08	0.34	1.03	0.90	0.18	0.91	0.33	0.18
08	3.41	12.39	10.02	0.83	0.69	0.21	1.68	1.04	0.33	0.99	0.87	0.18	0.87	0.31	0.18
09	3.51	10.51	8.49	0.70	0.58	0.17	1.43	0.88	0.28	0.84	0.74	0.15	0.75	0.27	0.15
10	5.86	15.10	12.20	1.02	0.84	0.25	2.06	1.27	0.40	1.22	1.07	0.22	1.08	0.38	0.21
11	1.69	7.71	6.24	0.51	0.43	0.13	1.04	0.65	0.20	0.61	0.54	0.11	0.54	0.20	0.11
12	1.54	7.56	6.12	0.50	0.42	0.13	1.02	0.64	0.20	0.60	0.53	0.11	0.53	0.19	0.11
13	2.99	9.35	7.56	0.63	0.52	0.16	1.27	0.79	0.25	0.75	0.66	0.13	0.66	0.24	0.13
14	5.15	13.55	10.95	0.91	0.75	0.23	1.85	1.14	0.36	1.09	0.96	0.19	0.96	0.34	0.19
15	1.59	7.14	5.77	0.48	0.39	0.12	0.96	0.60	0.19	0.57	0.50	0.10	0.50	0.18	0.10
16	1.40	6.94	5.61	0.46	0.38	0.12	0.93	0.58	0.18	0.55	0.49	0.10	0.49	0.18	0.10

註：¹單位為百億元；²資料來源：本計畫推估

表 6-19 各情境區域部門缺水產業關聯效果(情境一)

情境 編號	臺南			其他南部			中部			北部			東部		
	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業
01	53.52	12.03	25.85	6.79	0.37	0.19	7.47	0.27	0.21	23.29	0.09	0.02	43.83	5.73	1.85
02	78.34	18.49	39.74	10.42	0.57	0.29	11.45	0.41	0.32	35.73	0.13	0.03	67.26	8.81	2.84
03	22.44	7.22	15.53	4.04	0.22	0.11	4.43	0.16	0.12	13.84	0.05	0.01	26.06	3.43	1.11
04	20.10	7.04	15.14	3.93	0.22	0.11	4.31	0.16	0.12	13.46	0.05	0.01	25.35	3.34	1.08
05	66.28	15.98	34.33	8.99	0.49	0.25	9.89	0.36	0.28	30.86	0.11	0.02	58.07	7.61	2.45
06	95.18	25.50	54.82	14.32	0.79	0.40	15.73	0.57	0.44	49.10	0.18	0.04	92.43	12.14	3.91
07	32.71	10.22	21.97	5.72	0.31	0.16	6.28	0.23	0.18	19.60	0.07	0.01	36.89	4.86	1.57
08	29.42	9.87	21.23	5.52	0.30	0.15	6.05	0.22	0.17	18.90	0.07	0.01	35.59	4.69	1.51
09	30.34	8.37	18.00	4.70	0.26	0.13	5.16	0.19	0.14	16.11	0.06	0.01	30.32	3.98	1.28
10	50.60	12.03	25.85	6.78	0.37	0.19	7.45	0.27	0.21	23.24	0.09	0.02	43.75	5.73	1.85
11	14.59	6.15	13.22	3.42	0.19	0.10	3.75	0.14	0.11	11.71	0.04	0.01	22.06	2.92	0.94
12	13.29	6.03	12.97	3.36	0.19	0.09	3.67	0.13	0.10	11.47	0.04	0.01	21.61	2.86	0.92
13	25.78	7.45	16.02	4.18	0.23	0.12	4.59	0.17	0.13	14.32	0.05	0.01	26.95	3.54	1.14
14	44.49	10.79	23.20	6.08	0.33	0.17	6.68	0.24	0.19	20.84	0.08	0.02	39.23	5.14	1.66
15	13.76	5.69	12.24	3.17	0.17	0.09	3.47	0.13	0.10	10.85	0.04	0.01	20.43	2.70	0.87
16	12.05	5.53	11.90	3.08	0.17	0.09	3.37	0.12	0.10	10.52	0.04	0.01	19.82	2.62	0.85

註：¹單位為%；²資料來源：本計畫推估

表 6-20 各情境區域部門缺水產業關聯效果(情境二)

情境 編號	臺南			其他南部			中部			北部			東部		
	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業
01	7.04	23.32	13.04	1.53	1.25	0.35	3.12	1.91	0.56	1.84	1.60	0.30	1.62	0.57	0.30
02	10.36	35.84	20.05	2.35	1.93	0.54	4.79	2.93	0.85	2.83	2.45	0.46	2.49	0.88	0.46
03	3.10	14.00	7.83	0.91	0.75	0.21	1.86	1.14	0.33	1.10	0.96	0.18	0.97	0.34	0.18
04	2.82	13.65	7.64	0.89	0.73	0.21	1.81	1.11	0.32	1.07	0.93	0.18	0.94	0.34	0.17
05	8.79	30.96	17.32	2.03	1.67	0.47	4.14	2.53	0.74	2.44	2.12	0.40	2.15	0.76	0.40
06	12.81	49.43	27.66	3.24	2.66	0.74	6.59	4.04	1.18	3.89	3.38	0.64	3.43	1.22	0.63
07	4.50	19.81	11.09	1.29	1.06	0.30	2.63	1.62	0.47	1.55	1.35	0.26	1.37	0.49	0.25
08	4.10	19.14	10.71	1.25	1.03	0.29	2.54	1.56	0.46	1.50	1.31	0.25	1.32	0.47	0.24
09	4.10	16.23	9.08	1.06	0.87	0.24	2.16	1.33	0.39	1.28	1.11	0.21	1.12	0.40	0.21
10	6.70	23.31	13.04	1.53	1.25	0.35	3.11	1.91	0.56	1.84	1.60	0.30	1.62	0.57	0.30
11	2.12	11.92	6.67	0.78	0.64	0.18	1.58	0.97	0.28	0.93	0.81	0.15	0.82	0.29	0.15
12	1.96	11.69	6.54	0.76	0.63	0.18	1.55	0.95	0.28	0.91	0.80	0.15	0.80	0.29	0.15
13	3.51	14.44	8.08	0.94	0.78	0.22	1.92	1.18	0.34	1.13	0.99	0.19	1.00	0.36	0.18
14	5.91	20.92	11.71	1.37	1.13	0.32	2.79	1.71	0.50	1.65	1.43	0.27	1.45	0.52	0.27
15	1.99	11.03	6.17	0.72	0.59	0.17	1.46	0.90	0.26	0.86	0.75	0.14	0.76	0.27	0.14
16	1.78	10.72	6.00	0.70	0.58	0.16	1.42	0.87	0.25	0.84	0.73	0.14	0.74	0.26	0.14

註：¹單位為百億元；²資料來源：本計畫推估

表 6-21 各情境區域部門缺水產業關聯效果(情境二)

情境 編號	臺南			其他南部			中部			北部			東部		
	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業	農業	工業	服務業
01	60.76	18.58	27.64	10.20	0.56	0.26	11.26	0.40	0.29	35.10	0.13	0.02	66.00	8.57	2.57
02	89.47	28.56	42.49	15.67	0.85	0.40	17.28	0.62	0.44	53.89	0.20	0.04	101.33	13.17	3.95
03	26.79	11.15	16.60	6.09	0.33	0.16	6.71	0.24	0.17	20.94	0.08	0.01	39.38	5.14	1.54
04	24.35	10.87	16.19	5.93	0.32	0.15	6.54	0.24	0.17	20.38	0.08	0.01	38.34	5.01	1.50
05	75.89	24.67	36.71	13.53	0.74	0.35	14.93	0.54	0.38	46.54	0.17	0.03	87.52	11.38	3.41
06	100.00	39.39	58.61	21.57	1.18	0.56	23.78	0.86	0.61	74.15	0.27	0.05	139.45	18.16	5.44
07	38.87	15.78	23.49	8.62	0.47	0.22	9.50	0.34	0.24	29.64	0.11	0.02	55.74	7.27	2.18
08	35.37	15.25	22.70	8.33	0.45	0.22	9.17	0.33	0.24	28.60	0.11	0.02	53.80	7.03	2.10
09	35.38	12.93	19.24	7.08	0.39	0.18	7.80	0.28	0.20	24.33	0.09	0.02	45.76	5.96	1.79
10	57.84	18.58	27.64	10.19	0.55	0.26	11.24	0.40	0.29	35.06	0.13	0.02	65.92	8.57	2.57
11	18.30	9.50	14.14	5.17	0.28	0.13	5.69	0.21	0.15	17.76	0.07	0.01	33.41	4.37	1.31
12	16.93	9.31	13.87	5.07	0.28	0.13	5.58	0.20	0.14	17.40	0.06	0.01	32.74	4.29	1.28
13	30.27	11.51	17.13	6.30	0.34	0.16	6.94	0.25	0.18	21.64	0.08	0.02	40.69	5.30	1.59
14	50.98	16.67	24.81	9.14	0.50	0.24	10.08	0.36	0.26	31.44	0.12	0.02	59.13	7.69	2.30
15	17.19	8.79	13.08	4.79	0.26	0.12	5.27	0.19	0.14	16.44	0.06	0.01	30.93	4.05	1.21
16	15.39	8.54	12.72	4.65	0.25	0.12	5.12	0.19	0.13	15.96	0.06	0.01	30.03	3.93	1.18

註：¹單位為%；²資料來源：本計畫推估

參考文獻

1. Byun, H.R., Wilhite, D.A. (1996) Daily quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 5, 1181-1201.
2. Collischonn, W., Tucci, C.E.M., Clarke, R.T. (2001) Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? *Journal of Hydrology*, 245, 218-238.
3. Fisher, A, D Fullerton, N Hatch, & P Reinelt (1995). Alternatives for Managing Drought: A Comparative Cost Analysis. *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, 304-320.
4. Gilbert, R. O., (1987), *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 320 pp.
5. Gusyev, M.A., Hasegawa, A., Magome, J., Kuribayashi, D., Sawano, H., Lee, S. (2015) Drought Assessment in the Pampanga River Basin, the Philippines. Part 1: A Role of Dam Infrastructure in Historical Droughts. *Proceedings of the 21st International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2015)*, Broadbeach, Queensland, Australia.
6. IPCC (2014). Summary for policymakers. In CB Field, VR Barros, DJ Dokken, KJ Mach, MD Mastrandrea, TE Bilir, et al. (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1-32). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
7. Kendall, M. G., (1975), Rank correlation measures. *Advances in Water Resources*, 23, 141-151.
8. Kiely, G. (1999) Climate change in Ireland from precipitation and streamflow observations. *Advances in Water Resources*, 23, 141-151.
9. Lall, U., Sharma, A. (1996) A nearest neighbor bootstrap for resampling hydrologic time series. *Water Resources Research*, 32(3), 679-693.
10. Lin, H. C., Y. L. Kuo, D. Shaw, M. C. Chang and T. M. Kao (2012). "Regional Economic Impact Analysis of Earthquakes in Northern Taiwan and its Implications for Disaster Reduction Policies." *Natural Hazards*, 61(2), pp.603-620. (SCI)
11. Mann H. B., (1945), Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
12. McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.
13. Miller, RE, & PD Blair (1985). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall Professional.
14. Miller, RE, & PD Blair (2009). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions* (2nd ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

15. Miller, RE, & PD Blair (2009). Input-Output Analysis: Foundations and Extensions (2nd ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
16. Mirza, M.Q., Warrick, R.A., Ericksen, N.J., Kenny, G.J. (1998) Trends and persistence in precipitation in the Ganges, Brahmaputra and Meghna River Basins. *Hydrological Sciences Journal*, 43(6), 845-858.
17. Nowak, K., Prairie, J., Rajagopalan, B., Lall, U. (2010) A nonparametric stochastic approach for multisite disaggregation of annual to daily streamflow, *Water Resources Research*, 46(8), W08529.
18. Palmer, W.C. (1965) Meteorological Drought. Research Paper No. 45, US Weather Bureau, Washington, DC.
19. Pettitt, A. N., (1979), A Non-parametric Approach to the Change-point Problem, *Applied Statistics*, 28(2), 126-135.
20. Rose, A (2004). Defining and Measuring Economic Resilience to Disasters. *Disaster Prevention and Management*, 13(4), 307-314.
21. Rose, A, & S-Y Liao (2005). Modeling Regional Economic Resilience to Disasters: A Computable General Equilibrium Analysis of Water Service Disruptions. *Journal of regional science*, 45(1), 75-112, doi:10.1111/j.0022-4146.2005.00365.x.
22. Serrano, A., Mateos, V.L., Garcia, J.A. (1999) Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24(1-2), 85-90.
23. Shafer, B.A., Dezman, L.E. (1982) Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas. *Proceedings of the Western Snow Conference*, Colorado State University, Fort Collins, CO, 164-175.
24. Shaw, D, CH Yeh, WY Jean, CH Loh, & YL Kuo (2007). A Probabilistic Seismic Risk Analysis of Building Losses in Taipei: An Application of HAZ-Taiwan with its Pre-processor and Post-processor. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 30(2), 289-297.
25. Telesca, L., Lovallo, M., Lopez-Moreno, I., Vicente-Serrano, S. (2012) Investigation of scaling properties in monthly streamflow and Standardized Streamflow Index time series in the Ebro basin (Spain). *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(4):1662-1678.
26. World Meteorological Organization (2012) Standardized Precipitation Index User Guide. WMO-No 1090.
27. Yevjevich, V. (1967) An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology Paper 23*, Colorado State University, Fort Collins, USA.
28. 中國農業工程學學會，1986，曾文水庫長期多目標經營計畫第三期研究。
29. 王塗發，1986，投入產出分析及其應用－臺灣地區實證研究，臺灣銀行

- 季刊，第 37 卷，第 1 期，頁 186-218。
30. 行政院研究發展考核委員會，2009，風險管理及危機處理作業手冊。
 31. 行政院國家科學委員會，2010，臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫。
 32. 呂季蓉，2006，臺灣南部地區長期乾旱趨勢分析之研究，國立成功大學，水利及海洋工程研究所，碩士論文。
 33. 科技部南部科學工業園區管理局，2017，南科臺南園區用水計畫書(第二次變更)。
 34. 陳昭銘，2008，臺灣之自然季節，水利土木科技資訊季刊，42 期。
 35. 陳憲宗、游保杉，2009，氣候變遷與臺灣極端降雨變異趨勢，水資源管理會刊，12 月號。
 36. 楊德良、郭振泰、劉佳明、管秩豐、萬象、張良正、程正興，1993，曾文水庫在緊急情況下運轉之操作探討研究第三部分-合理配水因應方案與應用規線分析，臺大農工研究所研究報告。
 37. 經濟部，2013，降低漏水率計畫。
 38. 經濟部，2018，產業穩定供水策略行動方案。
 39. 經濟部水利署，2011，烏山頭水庫運用要點
 40. 經濟部水利署，2014，曾文水庫運用要點。
 41. 經濟部水利署，2016，105 年度用水計畫書查核服務。
 42. 經濟部水利署，2017，自來水設備檢驗辦法。
 43. 經濟部水利署，2017，曾文水庫運用要點。
 44. 經濟部水利署，2017，臺灣南部區域水資源經理基本計畫(第 1 次檢討)。
 45. 經濟部水利署，2017，臺灣南部區域水資源經理基本計畫。
 46. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2010，強化南部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究。
 47. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012，強化中部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究。
 48. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012，強化北部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究。
 49. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012，強化東部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究。
 50. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012，臺南大湖初步規劃。
 51. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2013，曾文南化水庫聯通管輸水工程可行性分析。
 52. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2013，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究。
 53. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2019，科學化流量預報與旱災決策輔助研發。
 54. 經濟部水利署南區水資源局，2000，曾文、烏山頭水庫串聯運用引水量

- 蒸發滲漏輸水損失問題探討改善研究。
55. 經濟部水利署南區水資源局，2010，莫拉克颱風災後南區因應氣候異常之供水潛能及供水調度檢討與因應對策。
 56. 經濟部水利署南區水資源局，2012，白河水庫更新改善規劃檢討(2)。
 57. 經濟部水利署南區水資源局，2014，水文環境變遷情境下嘉南地區水源調度運用方案研究。
 58. 經濟部水利署南區水資源局，2015，電廠至東口堰間輸水專管可行性規劃。
 59. 經濟部水利署南區水資源局，2017，106 年度曾文水庫淤積測量工作。
 60. 經濟部水利署南區水資源局，2017，玉峰堰水源運用檢討及工業用水專管細部規劃(可行性研究評估報告)。
 61. 經濟部水利署南區水資源局，2018，玉峰堰工業用水專管必要性評估報告。
 62. 經濟部水利署南區水資源局，2018，曾文溪及高屏溪水系之水資源風險管理計畫。
 63. 嘉南農田水利會，2011，烏山頭水庫第四次安全評估-淤積測量成果報告。
 64. 嘉南農田水利會，2012，烏山頭水庫第四次安全評估。
 65. 錢滄海、楊孟叡、曹舜評、李汴軍，2010，臺北測站長時間降雨之趨勢檢定，水土保持學報，第 42 卷，第 3 期，第 285 至 304 頁。
 66. 顏月珠，1986，實用無母數統計方法。

附錄一 氣候變遷情境說明

附錄一 氣候變遷情境說明

一、IPCC AR4 情境

IPCC 於 2007 年發布 AR4，並評估各種溫室氣體排放情境下氣候變遷對於雨量與溫度等變量之影響。本計畫於 AR4 採用之基期與未來期程(近未來)分別為 1980 至 1999 年與 2020 至 2039 年。其溫室氣體排放情境主要由 IPCC 排放情境特別報告(IPCC Special Report on Emissions Scenarios, SRES)所製定，藉由預測未來可能之經濟、人口、工業以及環境之發展趨勢，提出可能的溫室氣體排放情境，SRES 訂立四個情境來闡述未來不同發展可能導致之溫室氣體排放情境，假設未來可能致力於經濟發展，或是朝永續發展利用目標等可能情形，並考慮全球性或區域性不同發展對氣候所造成之影響，其主要分成 A1、A2、B1 以及 B2，共計四大項情境。針對各情境之詳細說明如下：

A1：描述全球經濟大幅成長，市場經濟導向，窮國與富國間之差距消失，人類大幅投資教育與提高生活水準，科技成長與資訊流通順暢，其包含以下幾個情境：

A1FI：人類仍大幅使用石化燃料。

A1T：再生能源進展迅速，人類不再使用石化燃料。

A1B：再生能源與石化燃料平衡使用。

A2：描述全球經濟成長幅度不等，而導致工業國家與開發國家之收入差異仍大，科技與人口流動較不通暢，強調家庭或族群生產力，其人口成長率係四個情境中最高者。

B1：描述全球環境與社會意識高漲，並結合全世界力量追求永續發展，經濟發展程度適中，科技發展扮演重要角色，世界各國貧富差距縮小。

B2：描述世界各國對於環境與社會之永續發展日趨重視，政府政策受到環境意識影響，全球化腳步減緩，而地域性之決策機制顯得更受重視。

二、IPCC AR5 情境

IPCC 於 2014 年公布 AR5，其係以代表濃度途徑(Representative Concentration Pathways, RCP)重新定義四組未來變遷情境，其情境分別為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5。本計畫於 AR5 採用之基期與未來期程(近未來)分別為 1986 至 2005 年與 2021 至 2040 年。以輻射強迫力在 2100 年(世紀末)與 1750 年之間的差異量當作指標性數值加以區分。以 RCP2.6 情境為例，2.6 意味著每平方公尺之輻射強迫力在 2100 年相較於 1750 年會增加 2.6 瓦。針對各情境(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 以及 RCP8.5)之詳細說明如下：

RCP2.6：屬於相對樂觀之情境(輻射強迫力在 2100 年呈減少趨勢)，每平方公尺之輻射強迫力在 2100 年增加 2.6 瓦，二氧化碳濃度相當於 421 ppm，溫室氣體增加情況相對較低之情境。

RCP4.5：屬於穩定之情境(輻射強迫力在 2100 年呈較為穩定之狀態)，每平方公尺之輻射強迫力在 2100 年增加 4.5 瓦，二氧化碳濃度相當於 538 ppm，代表世界各國盡力達成溫室氣體減量之目標。

RCP6.0：屬於穩定之情境(輻射強迫力在 2100 年呈較為穩定之狀態)，每平方公尺之輻射強迫力在 2100 年增加 6.0 瓦，二氧化碳濃度相當於 670 ppm，代表世界各國並未盡力達成溫室氣體減量之目標。

RCP8.5：屬於溫室氣體高度排放之情境(輻射強迫力在 2100 年呈持續增加趨勢)，每平方公尺之輻射強迫力在 2100 年增加 8.5 瓦，二氧化碳濃度相當於 936 ppm，代表世界各國並未執行任何溫室氣體減量之動作。

附錄二 降尺度產品介紹

附錄二 降尺度產品介紹

一、IPCC AR4 降尺度產品

TCCIP 根據聯合國氣候變遷專門委員會(IPCC)第四次評估報告(AR4)所發布的 24 個 GCM 進行空間降尺度分析，並評估各種溫室氣體排放情境下氣候變遷對於月雨量以及月溫度的影響。目前國際上常採用之氣候變遷情境共有 6 種，即 A1FI、A1T、A1B、A2、B1 及 B2。IPCC 出版第三次評估報告(Third Assessment Report, TAR)(IPCC, 2001)時，當時國際間多採用之 A2 與 B2 情境進行分析，而在 IPCC 於 2007 年提出 AR4 氣候變遷情境後，並於 2008 年在其網站上釋出較完整之情境資料供下載分析。雖然在 IPCC 的報告中一再提及上述 6 種氣候變遷情境在推估未來情況具同等重要性，然目前 TCCIP 網站上僅提供 A1B、A2 及 B1 等 3 種情境之月資料供下載，因此本計畫將採用此 3 種情境進行分析，而 A1B、A2 及 B1 等 3 種情境分別代表的是持平、較悲觀及較樂觀的溫室氣體排放情境。

TCCIP 使用之統計降尺度方法，是由高解析度觀測資料與低解析度 GCM 模式資料兩者的累積函數(Cumulative Distribution Function, CDF)關係，透過偏差量的校正(bias correction)降尺度後，以獲得臺灣地區高解析度(5 公里×5 公里)之月平均氣候值之模式結果。觀測資料包含東亞降雨與臺灣降雨資料，分別採用 Aphrodite (Asia Precipitation-Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources)觀測月平均降雨資料與 TCCIP 計畫產製之 5 公里高解析平均降雨，藉由先將歷史資料降尺度後，進而推估未來氣候變遷情境下降尺度之月降雨與溫度資料。

TCCIP 目前提供近未來(2020 至 2039 年)及世紀末(2080 至 2099 年)兩個時段的降尺度結果。針對每一個未來期程皆有三種情境設定，分別為 A1B、A2 及 B1 情境。雨量降尺度結果以變化百分比的形式呈現，其意義為未來期程(近未來或世紀末兩個時段)雨量相對於基期(1980 至 1999 年)雨量的增減百分比；而溫度降尺度結果則是以增減度數的形式

呈現。以雨量為例，若其變化百分比為 10.5%，則表示未來期程的月雨量相對於基期月雨量會增加 10.5%；若變化百分比為-5.5%，表示未來期程的月雨量較於基期的月雨量減少 5.5%，以此類推。

二、IPCC AR5 降尺度產品

TCCIP 於 IPCC AR5 未來降尺度結果提供兩種推估時段，一種為四段推估時段，分別為 2021 至 2040 年、2041 至 2060 年、2061 至 2080 年及 2081 至 2100 年之降尺度結果。另一種為三段推估時段，分別為 2016 至 2035 年、2046 至 2065 年、2081 至 2100 年之降尺度結果，而 TCCIP 建議若未來需與國外研究結果進行比較，可採用三段時間；若需要完整不間斷的未來推估時間，則可採用四段時間。針對每一個未來期程皆有四種情境設定，分別為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5 情境。月雨量與月溫度的降尺度結果其空間解析度為 5 公里x5 公里，而雨量降尺度結果以變化百分比的形式呈現，其意義為未來期程雨量相對於基期(1986 至 2005 年)雨量的增減百分比；而溫度降尺度結果則是以增減度數的形式呈現。

附錄三 缺水量-延時-頻率年曲線繪製流程

附錄三 缺水量-延時-頻率年曲線繪製流程

「因應氣候變遷水源設施乾旱供水風險評估(1/2)」(經濟部水利署水利規劃試驗所, 民國 106 年)為合理反應枯水期實際缺水情況, 導入缺水量-延時-頻率年曲線探討枯水期之缺水特性, 以強化缺水指數(SI)之解釋能力。該計畫以特定水源設施為對象, 進行供水操作模擬並分析其乾旱事件之缺水量-延時-頻率年(severity-duration-frequency)曲線作為「缺水風險圖」, 其繪製流程如圖 1 所示。缺水風險圖相較於缺水指數(SI), 可更貼切的描述水源設施於枯水期間所面臨之缺水風險(不同缺水程度發生之機率), 即不同頻率年之缺水程度(包含缺水量與缺水延時), 故可藉由缺水風險圖強化缺水指數(SI)之解釋能力。針對其缺水量-延時-頻率年曲線繪製流程說明如下:

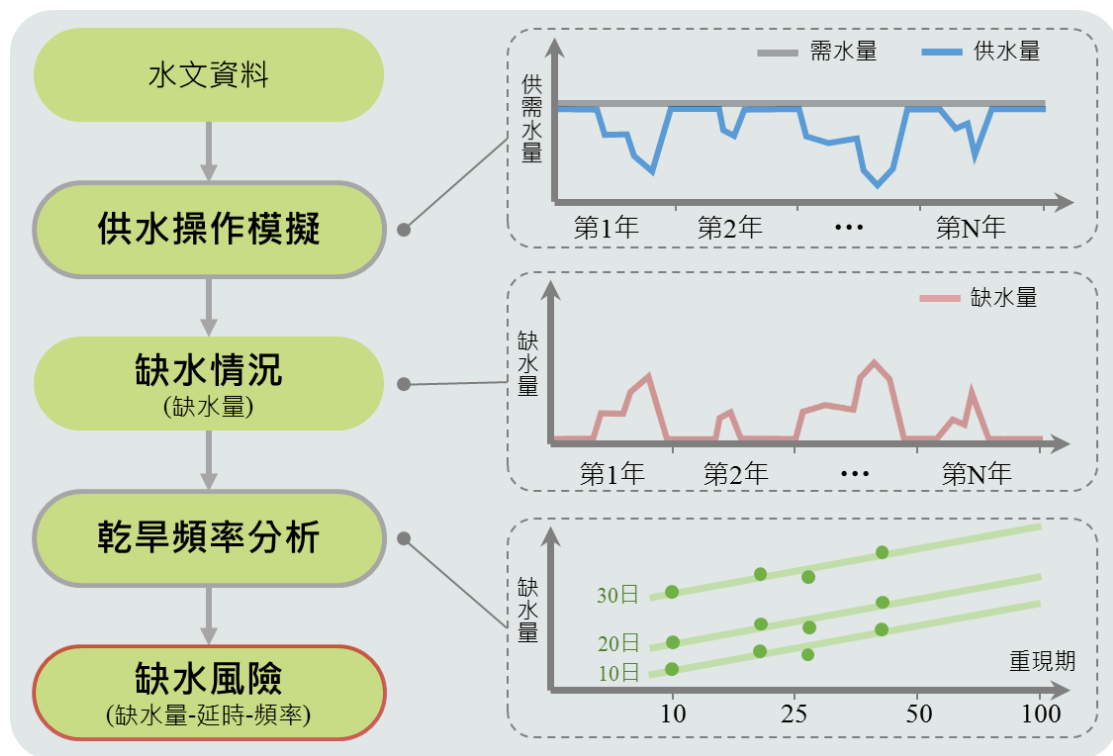


圖 1 缺水量-延時-頻率年曲線繪製流程

- 1、設定水源設施流量與供需區域需求量資料, 以供水操作模式進行水源供需模擬, 產出供水量與需水量之時間序列資料。
- 2、當供需之間出現缺口, 即有乾旱事件發生。為瞭解不同延時下乾旱事件之特性, 從各年水源供需資料中挑選出不同延時乾旱事件之年最大缺水

量，以供後續分析使用。其中，本計畫考慮之乾旱延時分別為 30、60、90、180 日。

- 3、將不同乾旱延時下之年最大缺水量資料作為頻率分析之輸入資料，以計算不同延時下各個頻率年乾旱事件所對應之缺水量。
- 4、基於不同延時下各個頻率年乾旱事件所對應之缺水量，繪製缺水量-延時-頻率年關係圖，此即缺水風險圖。

附錄四 可能水文情境雨量資料

附錄四 可能水文情境雨量資料

表 1 基期梅雨之可能水文情境雨量資料

梅雨偏少		梅雨無雨		梅雨延遲		梅雨正常	
年份	總量	年份	總量	年份	總量	年份	總量
69	134	69	134	69	134	83	629
78	236	78	236	78	236	67	653
81	289	81	289	81	289	96	660
51	302	51	302	51	302	73	683
93	328	93	328	52	329	49	694
52	329	52	329	89	445	56	697
50	440			98	462	97	698
100	441			60	495	99	708
89	445			62	596	68	715
98	462			53	599	102	720
88	463			76	640	104	727
60	495			84	695	54	743
59	497			92	803	65	790
91	503			80	808	58	793
77	504			79	897	103	801
85	508			64	970	71	840
62	596			55	1,067	86	850
						70	886
						82	982
						72	1,008
						87	1,013
						90	1,020
						75	1,070
						74	1,078
						63	1,092
						57	1,149
						95	1,523
						61	1,586
						94	1,747
						66	1,873
						101	1,880

表 2 基期颱風之可能水文情境雨量資料

颱風偏少		颱風無雨		颱風延遲		颱風正常	
年份	總量	年份	總量	年份	總量	年份	總量
82	387	82	387	82	387	100	1,076
92	559	92	559	92	559	89	1,111
84	641	84	641	72	736	62	1,128
80	710	80	710	69	740	76	1,135
72	736	72	736	75	781	55	1,205
69	740	69	740	87	784	51	1,252
75	781			53	829	86	1,258
87	784			63	886	60	1,289
73	817			59	949	50	1,307
53	829			101	1,062	78	1,345
103	833			58	1,181	85	1,401
56	864			74	1,186	71	1,429
63	886			68	1,480	104	1,451
57	935			77	1,524	67	1,459
59	949			79	1,549	99	1,480
54	992			96	1,961	64	1,542
91	1,029			98	2,297	49	1,595
						88	1,605
						61	1,683
						66	1,691
						52	1,698
						95	1,738
						83	1,740
						65	1,749
						90	1,853
						81	1,876
						93	1,901
						102	2,037
						70	2,094
						94	2,235
						97	3,156

表 3 未來梅雨之可能水文情境雨量資料

梅雨偏少		梅雨無雨		梅雨延遲		梅雨正常	
年份	總量	年份	總量	年份	總量	年份	總量
69	78	69	78	69	78	56	603
78	138	78	138	78	138	99	605
81	175	81	175	81	175	54	609
51	203	51	203	51	203	83	613
52	210	52	210	52	210	67	623
93	270	93	270	89	292	71	737
89	292	89	292	98	319	103	753
98	319	98	319	60	333	102	782
60	333	60	333	62	401	70	813
50	362	50	362	53	466	65	820
100	378	100	378	76	474	87	826
62	401			84	501	104	865
88	405			49	562	82	881
91	422			80	598	63	897
59	429			92	605	74	904
53	466			58	644	72	971
76	474			79	687	90	988
77	501			86	690	75	1,067
84	501			64	760	57	1,070
85	509			55	860	95	1,302
96	524					61	1,414
49	562					94	1,558
97	574					66	1,678
68	595					101	1,690
73	598						

註：未來情境資料係採用 A2-CSMK35。

表 4 未來颱風之可能水文情境雨量資料

梅雨偏少		梅雨無雨		梅雨延遲		梅雨正常	
年份	總量	年份	總量	年份	總量	年份	總量
82	322	82	322	82	322	54	1,065
92	498	92	498	92	498	89	1,210
84	635	84	635	72	753	91	1,254
80	741	80	741	69	763	100	1,285
72	753	72	753	87	789	62	1,318
69	763			75	794	55	1,339
87	789			101	1,177	60	1,370
75	794			58	1,204	86	1,374
73	821			74	1,338	50	1,409
53	848			68	1,782	78	1,409
103	849			79	1,812	104	1,569
63	916			77	1,816	76	1,570
59	941			96	2,380	51	1,590
56	958			98	2,881	99	1,706
57	984					64	1,854
						85	1,888
						67	1,902
						49	1,903
						71	2,010
						88	2,102
						52	2,102
						61	2,108
						83	2,157
						90	2,182
						81	2,385
						66	2,448
						65	2,482
						102	2,560
						70	2,633
						95	2,666
						93	2,986
						94	3,210
						97	4,584

註：未來情境資料係採用 A2-CSMK35。

**附錄五 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
期中報告書審查意見及處理情形**

附錄五 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
期中報告書會議審查意見及處理情形(1/8)

壹、會議時間：民國 108 年 07 月 16 日(星期二)上午 10 時

貳、會議地點：本署臺北辦公區第 1 會議室

參、主持人：張副總工程司國強(張副總工程司廣智代)

肆、記錄人：徐浩仁

伍、會議紀錄日期文號：民國 108 年 07 月 25 日經水綜字第 10814047640 號

審查意見	處理情形
一、韓委員寶珠	
1.科學水管理系統針對未來結合 AI 的作法請再說明。	1.本計畫依主辦單位意見聚焦長期枯旱風險評估，並搭配四大穩定供水策略推動進行對應分析，以提供調適策略之決策參考。 2.因科學水管理系統結合 AI 主要係提供短期抗旱因應作為參考，故已移除相關內容。
2.納入氣象資料可參考氣象指數保險，採用較為精細之氣象資訊。	本計畫依主辦單位意見聚焦長期枯旱風險評估，因氣象資料主要係提供短期抗旱因應作為參考，故已移除相關內容。
3.針對經濟分析包括直接損失與間接損失，請注意是否有重複部分應扣除。	本計畫係根據臺南縣市各產業缺水量，透過全國或臺南市各產業單位產值或營業額之用水係數，計算因缺水造成產業之直接損失金額，再將此直接損失視為外在衝擊，透過產業關聯模型之關聯程度效果，計算對相關產業之間接損失，最後將兩者加總成為總損失，故並不會有重複計算。
4.就相關經濟影響，抗旱成本應考量外部影響及外部成本。	短期抗旱成本視影響產業之程度進行估計，例如：休耕則估計農業損失，若洗車限水則估計該產業之損失，而在估計方法上亦有考慮經濟上對其他產業/部門之外部影響。至於其他非經濟上之外部影響非屬本計畫範圍尚難估算。若要考慮長期之抗旱措施，則大多為工程

附錄五 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
期中報告書會議審查意見及處理情形(2/8)

審查意見	處理情形
	設施，在工程規劃報告中均有成本估算。
5.報告第二章基本資料蒐集之整理方式，建議可更為完整明確。	謹遵指示辦理，已重新整理第二章內容。
6.針對圖 2-1 計畫區域供水系統圖，建議本研究再進行整理繪製。	謹遵指示辦理，已整理後重新繪製。
7.報告第三章現況應明確指出年度。	謹遵指示辦理，已明確指出現況為民國 108 年。
8.期中審查簡報 P.57 產業關聯表，農業用水供應呈偏低，應再設算實際值納入。	謝謝委員建議，後續全國或臺南市各產業每月實際用水量(包含自來水與地下水)進行更新，重新計算各產業用水係數。
二、闕委員雅文：	
1.科學水管理系統建置為重要性之課題，然而水資源需求為動態因應產業發展而變動，水資源供給面變動亦受氣候變遷而有旱澇氣候之衝擊；因此科學水管理系統建議保留供需之彈性與參數設定之可能，有助於提供良好決策分析應用。	1.謹遵指示辦理。 2.本計畫依主辦單位意見聚焦長期枯旱風險評估，並搭配四大穩定供水策略推動進行對應分析，以提供調適策略之決策參考。
2.水文情境之枯旱風險，因臺南有曾文、烏山頭等水庫，枯旱風險之分析是否考量跨期儲蓄與跨期調配之可能性，而因應風險之調適。	1.枯旱風險分析已考慮水庫跨期儲蓄與跨期調配之可能性。 2.因臺南雨量集中發生於豐水期間，必需藉由水庫蓄豐濟枯(跨期調配)之方式以穩定全年供水。
3.有關枯旱調配之經濟分析內容部分，是針對所產出之經濟影響，建議未來相關計畫宜探討枯旱期間水資源調配對於環境之影響。	1.本計畫依主辦單位意見聚焦長期枯旱風險評估，而短期操作調度則暫不考慮。 2.本計畫為經濟影響分析，若對水資源調配措施能量化估計對某產業/部門直接損失則能進行經濟影響分析，本計畫評估哪些措施則須與主辦單位討論。

附錄五 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
期中報告書會議審查意見及處理情形(3/8)

審查意見	處理情形
三、張委員靜貞：	
<p>1.本期中報告成果符合預定目標進度也有超前，呈現方式也很清晰具體，符合審查標準。</p>	<p>感謝委員意見。</p>
<p>2.針對報告之說明提出後續可補充之處：</p> <p>(1)經濟影響量化以產業關聯分析為主，但產業關聯表中用水供應部分(跟據主計總處之編製說明中所述)僅包括自來水及水庫出售之原水，但不包含農業用水及工業自行抽水，這部分如何從原始投入中加以設算補充，以避免經濟影響評估時會產生低估之誤差。</p> <p>(2)經濟影響主要分為民生停水損失、產業停水損失及區域外部損失，其中民生停水損失參考環境經濟所常用之 CHV 調查問卷方式及產業關聯家戶內生化兩種方式，這兩種方式如何連結可再說明清楚，其次產業停水損失中農業部分之用水如參照產業關聯表會有低估問題，無法反映出真正的用水價值。建議也可比照家戶部門，參考一些學術研究所評估之乾旱時期移用農業用水合理補償價格(如經建會、闕雅文等)，讓農業停水損失之計算能更為客觀合理。</p> <p>(3)建議將經濟影響計算流程及方式等(如區域外關聯效果推估)，可再列表或補充說明，以利科學化管理系統之建置更為透明化。</p>	<p>1.本計畫未來將以全國或臺南市各產業每月用水量(包含自來水與地下水)以及每月銷售營業額計算月水係數，進而以缺水量推算所造成的直接損失，再透過產業關聯模型計算間接損失，可以避免遺漏地下水使用之部分，而低估經濟損失。</p> <p>2.謹遵指示辦理。</p> <p>3.謹遵指示辦理。</p>

附錄五 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
期中報告書會議審查意見及處理情形(4/8)

審查意見	處理情形
四、蔡委員展銘：	
1.本計畫涉及氣候變遷及其他枯旱情境、供水風險、經濟分析等，三大議題，除各項關鍵因子之訂定、分析計算方式(如缺水、風險、各產業成本及損失)等先予敘明外，應請再加強其各大主題之分析流程，另所使用之模式或軟體，亦應簡單敘述交代。	謹遵指示辦理，已於報告書增加「關鍵項目說明與定義」於第 1.4 節。
2.供水(枯旱)風險分析擬導入 SDF 概念，應先予定義及酌予交代前期相關計畫成果。	謹遵指示辦理，已補充說明 SDF 概念與產製流程於附錄三。
3.藉由經濟分析可推求描述缺水情況與經濟損失之關係曲線，而本署正與美國兵工署(HEC)合作辦理相關工作，亦請簡述其相關成果。另成本分析內產業關聯表(如簡報 p.57)及其最後成果(簡報 p.59)，亦請再詳予敘明。	謹遵指示辦理，已補充說明水利署與 HEC 合作辦理相關工作內容於第 6-1 章。
4.降雨逕流模式擬納入科學化流量預報法加入模擬，惟除應適度介紹該計畫外，宜交待或釐清其不可及性及如何克服等條件或限制。	1.本計畫依主辦單位意見聚焦長期枯旱風險評估，並搭配四大穩定供水策略推動進行對應分析，以提供調適策略之決策參考。 2.因科學化流量預報主要係提供短期抗旱因應作為參考，故已移除相關內容。
5.超前佈置策略除現有穩定供水四大策略外，應請納入各地方水資源局正研擬辦理之供水方案(如山上淨水廠與南科滯洪池水資源利用評估案)，以符合實際需求。	1.感謝委員意見，因「臺南山上淨水場供水系統與南科滯洪池水資源利用可行性評估」尚於執行期間，故未納入本計畫進行分析。 2.本計畫後續探討水源方案將待 108 年經理計畫完成後，彙整並參考其成果報告，並進行相關參數更新與模擬。

附錄五 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
期中報告書會議審查意見及處理情形(5/8)

審查意見	處理情形
6.計畫僅限於臺南或南部，應敘明於報告適當處；另曾文水庫蓄水位上限已提高 EL.230，惟報告 p.4-4 仍為 EL.227 請檢視修正。	1.謹遵指示辦理，已於報告書增加「計畫研究區域」於第 1.2 節。 2.已補充說明現況曾文水庫蓄水位上限為 EL.230。
五、本署阮簡任正工程司香蘭：	
1.計畫從歷史水文資料分析並定義出如偏少、無雨、延遲等水文情境以進行枯旱風險評估，方法有科學依據，原則同意；惟建議可再考量前一年豐水期末如預期、非歷史資料之其他水文情境，將此等情境實際以研究區域進行分析了解其缺水狀況及對枯旱風險之管理及對經濟之影響進行分析，以作為未來實際情況發生時之決策參考。	1.感謝委員意見。 2.本計畫將透過繁衍方式產製非歷史雨量資料，以探討水文不確定性對於枯旱風險之影響，並已將前一年豐水期末如預期等情況納入枯旱風險分析。
2.有關枯旱預警，水規所多元調控計畫有進行分析評估，建議可參採其方法及研究成果。科學化水管理系統之枯旱預警，其預警期多長？因要進行因應需有作為時間，應要考量。另動態更新效率為何？	1.本計畫依主辦單位意見聚焦長期枯旱風險評估，並搭配四大穩定供水策略推動進行對應分析，以提供調適策略之決策參考。 2.因枯旱預警主要係提供短期抗旱因應作為參考，故已移除相關內容。
3.目前在抗旱作為上以提供量之管制為主，不論為加強取水或減少供水，均缺乏不同標的、區域間的水量交換策略。開源、節流、調度、備援等供水策略各有成本及經濟效益，建議應以經濟為驅動力來進行最佳水源供應策略的擬定。	感謝委員意見，本計畫將藉由經濟分析探討四大穩定供水策略之效用，以供策略決策參考。
六、本署水源經營組 杜助理工程司凱立：	
1.本案為兩年工作計畫，惟本署水規所正辦理「108 年南部區域水資源經理計畫滾動檢討」計畫，針對現況及未來南區用水供需進行檢討，建議	謹遵指示辦理，後續將彙整並參考「108 年南部區域水資源經理計畫滾動檢討」成果報告，並進行相關參數更新與模擬。

附錄五 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
期中報告書會議審查意見及處理情形(6/8)

審查意見	處理情形
<p>本計畫資料收集分如第三章各標的用水供需情勢描述及相關數字，後續納入該計畫成果內容論述較為合適。</p>	
<p>2.圖 3-1 臺南地區水源供需盤點與四大穩定供水策略中，開源及備援項目有誤(漏)填部分，例如前瞻計畫之臺南山上淨水場供水系統改善工程計畫，列為備援調度方案。</p>	<p>謹遵指示辦理，已增加臺南山上淨水場供水系統改善工程計畫至四大穩定供水策略。</p>
<p>3.P3-2，內文論述本案參酌「玉峰堰工業用水專管必要性評估報告」彙整臺南地區需水量相關資料，但內容出處皆為 106 年「臺灣南部區域水資源經理計畫基本計畫(第 1 次檢討)」，建議直接採用「玉峰堰工業用水專管必要性評估報告」報告資料即可。</p>	<p>已統一引用「臺灣南部區域水資源經理計畫基本計畫(第 1 次檢討)」(經濟部水利署，民國 106 年)作為參考資料。</p>
<p>4. P3-3，本計畫採用 105 年「用水計畫書查核服務」調查各工業區未來用水需求，建議應向本署水源組更新最新資料，如本署各項用水統計資料庫已有 106 年度報告。</p>	<p>謹遵指示辦理，已採用「107 年度用水計畫查核及行政作業支援」(經濟部水利署，民國 107 年)進行相關資料更新。</p>
<p>5.表 3-2 臺南地區工業區未來用水需求統計表，南科臺南園區終期年已調整為 32.5 萬噸/日，其與文章論述不同，請修正。另表 3-3 曾文烏山頭水庫歷年各實際配水量統計表僅至 103 年，建議更新至最新資料。</p>	<p>1.南科臺南園區終期年已統一修正為 32.5 萬噸。 2.本計畫依主辦單位意見聚焦長期枯旱風險評估，故短期操作調度相關資料已移除。</p>
<p>6.表 3-5 四大穩定供水策略進行彙整表，開源部分臺南高雄水源聯合運用期程有誤及缺漏鹿寮溪水庫說明；節流部分「降低漏水率計畫(102 至 111 年)」漏水率降低至 10.44%有誤植，請修正。</p>	<p>1.已修正，臺南高雄水源聯合運用期程為 108 年。 2.鹿寮溪水庫主要提供嘉義地區之公共用水，故已移除相關內容。 3.已修正，「降低漏水率計畫(102</p>

附錄五 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
期中報告書會議審查意見及處理情形(7/8)

審查意見	處理情形
	至 111 年)」六區處漏水率為 8.9%。
7.本計畫分析水源供應與經濟影響，因臺南地區農業及工業產業甚多，又涉及水源供水調配事宜，故其經濟分析及效益建議詳加說明。	謹遵指示辦理。
七、本署水利規劃試驗所 杜副工程司 怡德：	
1.表 1-7 中列出之六大功能元件中，關於因應作為決策分析等元件皆屬較定性之敘述，如何量化為可用之元件請於報告中多加說明。	謹遵指示辦理，已新增六大功能元件對應之工作項目或章節編號，以提供更加詳細之定量說明。
2.建議於第一章計畫緣起與目的內增加研究區域為臺南地區之說明，並定義研究範圍。	謹遵指示辦理，已於第一章增加研究區域之說明。
3.表 3-3 之烏山頭水庫歷年旬實際配水量統計表僅至 103 年，建議增補。	本計畫依主辦單位意見聚焦長期枯旱風險評估，故短期操作調度相關資料已移除。
4.p3-24 科學化流量預報其準確率如何應有說明。	1.本計畫依主辦單位意見聚焦長期枯旱風險評估，並搭配四大穩定供水策略推動進行對應分析，以提供調適策略之決策參考。 2.因科學化流量預報主要係提供短期抗旱因應作為參考，故已移除相關內容。
5.關於流量預報部分，建議可參考 NCDR 流量預報產品與水規所 108 年「科學化流量預報與旱災決策輔助研發」計畫成果(執行期間：107 年 6 月至 108 年 6 月)。	1.本計畫依主辦單位意見聚焦長期枯旱風險評估，並搭配四大穩定供水策略推動進行對應分析，以提供調適策略之決策參考。 2.因流量預報主要係提供短期抗旱因應作為參考，故已移除相關內容。

附錄五 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
 期中報告書會議審查意見及處理情形(8/8)

審查意見	處理情形
八、主席裁示	
1.本計畫期中報告經出席委員審查原則通過，請依據契約規定辦理後續相關行政事宜。	謹遵指示辦理。
2.請洽未出席委員提供書面審查意見，另請研究團隊依本次會議各委員及與會單位所提意見進行回復與修正，並將回復說明對照表納入期末報告中。	謹遵指示辦理。

附錄六 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
期末報告書審查意見及處理情形

附錄六 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
 期末報告書會議審查意見及處理情形(1/8)

壹、會議時間：民國 108 年 11 月 27 日(星期三)下午 2 時

貳、會議地點：本署臺北辦公區第 4 會議室

參、主持人：張副總工程司廣智

肆、記錄人：徐浩仁

伍、會議紀錄日期文號：民國 108 年 12 月 5 日經水綜字第 10814078270 號

審查意見	處理情形
一、韓委員寶珠	
1.本報告較期中報告已有精進，更為聚焦，符合期末審查標準。	感謝委員意見。
2.就可能水文情境選出 16 種，請強化合理性論述依據。建議可考慮參考農業保險理論的最大可能損失理論。	可能水文情境之定義與相關說明補充於第 5-1 節「水文情境研擬」。
3.對於調適政策的評價效益高低之評估依據請再強化。	1.謹遵指示辦理，調適政策之評價依據已補充說明於第 5-2-2 節「調適策略組合之缺水分析」。 2.本計畫藉由比較不同調適策略組合之期望缺水率，探討調適策略之效益高低，高效益調適策略若無法上場，其對應之缺水率增加情況亦愈高。
4.考量氣候變遷之可能影響，本計畫選擇 106 年水利署報告，建議多加參考如國家災防中心或其他氣候變遷可能情境報告。	本計畫於情境設定上係採用國家災害防救科技中心提供之氣候變遷情境資料，其他氣候變遷相關計畫亦採用相同情境資料進行分析，以提供一致之比較基準。
5.就水源枯旱風險對經濟影響分析，區域部門缺水產業關聯效果計有 $16 \times 5 \times 3 = 240$ ；共計 240 個結果，建議宜釐清分析脈絡。	水源枯旱風險對經濟影響分析相關結果補充說明於第 6-3 節「水源枯旱風險經濟分析結果」。
6.針對創新性的因應策略可考量納入。	本計畫重點為評估可能水文情境下水源枯旱風險並依據分析結果進行調適策略評估，以提供水資源政策推動參考，故於因應策略之部分僅納入確定推動之計畫。

附錄六 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
 期末報告書會議審查意見及處理情形(2/8)

審查意見	處理情形
二、闕委員雅文(書面意見)：	
1.本計畫著重惡劣水文條件研擬，依據計畫定義惡劣水文條件為其後變遷情境與可能水文情境，由雨量推估梅雨與颱風之水文情境。請說明推估梅雨颱風情境相較由雨量直接推估之原因。	本計畫產製之可能水文情境資料係具有相同特性之雨量資料，例如：偏少、無雨、延遲以及正常特性之雨量資料，並將其作為最上游端資料以分析對應之水源枯旱風險。
2.水源枯旱風險由缺水率與水文情境發生機率研議。亦請說明使用水文情境因子推估而非雨量之原因。	本計畫將可能水文情境資料作為最上游端資料以分析對應之缺水情況，再藉由綜合考慮可能水文情境之發生機率與缺水情境，進行水源枯旱風險之量化評估。
3.請說明表 6-15 計算 106 年各地區部門單位用水價值之假設。	<p>產業關聯表中各產業用水資料僅包含有交易之部分，多數為自來水公司之供水資料，但在農業與工業的生產用水，有些係來自於自行取水。為推估水文情境下的缺水狀況，可能的損失(產值減少)為多少，故採用水利署的標的用水量統計，及產業產值來計算產業的缺水的產值損失，作為缺水的直接經濟損失。故中包含幾點假設：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.單位用水價值未考慮缺水造成停工。 2.單位用水價值為一固定值，僅反映現況下管理與節水措施。 3.本計畫計算臺南地區缺水造成之產值損失與經濟影響，其他地區產業單位用水價值僅作為比較參考。
4.請說明產業關聯分析之假設及其在本研究適用衝擊分析之面向。	本計畫參考 Miller and Blair (2009) 關於供給面投入產出模型相關理論，以計算供給面外生衝擊(例如：缺水)之變動對於各產業所產生之

附錄六 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
 期末報告書會議審查意見及處理情形(3/8)

審查意見	處理情形
	<p>產業關聯產出、所得、就業效果影響。此分析可以將臺灣投入產出表拆解為縣市投入產出表，在聯合為區域投入產出資料庫。而本計畫最終拆解五區域三產業之區域產業關聯表。其中，模型相關假設說明於第 6-1 節「經濟分析理論方法」，包含：(1)每個產業部門僅生產一項產品，若有多項產品則分別歸類到最接近之產業部門，(2)產品之銷售分配具有固定係數的關係，(3)產品之投入之間具有固定之比例關係。因本計畫涉及臺南地區不同產業缺水之下，對於其他地區以及各產業之直接與間接經濟影響。整體而言，能在具有評估不同產業之下，考量方法與資料一致性，以及同時可以評估產業間的上中下游相互影響關係的特性之下，本團隊建構之區域產業關聯模型模型適合作為本計畫缺水情境下之經濟評估方法。</p>
<p>三、張委員靜貞：</p>	
<p>1.本研究主要成果包括氣候變遷下可能水文情境枯旱風險之定量評估、經濟影響分析及決策評估。整體而言，第一年成果已符合預期研究目標及進度。</p>	<p>感謝委員意見。</p>
<p>2.本研究在研擬氣候變遷之水文情境時，以最劣情境來設定，所謂之最劣如何定義？選擇此情境是否會影響缺水發生機率之推估？兩者之關係請予補充說明。</p>	<p>1.本計畫係參考「氣候變遷降雨量情境差異對洪旱衝擊評估(2/2)」(經濟部水利署，民國 106 年)進行最劣情境設定，其定義為對水資源可能造成惡劣影響(較嚴重缺水)之氣候情境。</p>

附錄六 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
 期末報告書會議審查意見及處理情形(4/8)

審查意見	處理情形
	2. 水文情境發生機率與缺水發生機率皆會受到氣候變遷情境設定之影響，針對氣候變遷對水文情境發生機率之影響說明於第 5-1-4 節「氣候變遷對情境發生機率之影響」。
3. 經濟分析理論目前以區域產業關聯表為主，計算臺南及南科的缺水對其他地區及全國經濟影響(包含產值與 GDP)，此方法有一些缺點及限制需要加以說明，一為產業關聯模型為靜態，而氣候變遷為長期動態，二為水文大氣情境以月別為主，但產業關聯分析以年度為主，三為產業關聯模型包括供給面及需求面兩種，本研究只計算供給面(向前關聯效果)，未來第二年可加入需求面(向後關聯效果)，將未來因社會、人口、產業之變遷情境也納入評估範圍中。	感謝委員意見，已在第 6-2 節「水源枯旱風險經濟分析」補充說明本計畫採用靜態經濟分析模型進行評估。而未來在氣候變遷影響下的水文情境議題分析，會納入考量動態機制，尤其在需求面的未來人口、社會、產業變遷等影響。另外，主計總處公佈的產業關聯表為年資料，故目前處理方式將水文情境缺水量合併成整年缺水情況來進行推估經濟影響，相關說明亦已補充於第 6-2 節「水源枯旱風險經濟分析」。
4. 臺南與南科產業出口與全球供應鏈密切相關，建議未來可導入世界的投入產出表來進行經濟影響評估。目前 OECD 及 WTO 已分別建置世界的投入產出表及服務與貿易之資料庫，可供各界免費下載使用，可納入第二年之研究範圍。	感謝委員意見，因本計畫範疇係以臺南地區缺水造成之產值損失為主，以及延伸對於臺南以外各地區經濟影響。所以主要係以主計總處公佈之臺灣地區產業關聯表為主要架構，進行拆解為各地區區域表來進行分析。而在世界投入產出表主要以國家為單位，而目前本計畫主要產業分成農業、工業與服務業。故其產業分類屬高度加總，在跨國的貿易上比較無法凸顯其影響，故在上述需求與限制下，目前還是會以臺灣地區產業關聯表來進行相關經濟影響分析。

附錄六 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
 期末報告書會議審查意見及處理情形(5/8)

審查意見	處理情形
四、蔡委員展銘：	
1.首先針對春、梅雨、颱風、秋、冬等季節下曾文及南化兩水庫之月雨量變化(如圖 2-11 及表 2-26)可知曾文及南化水庫於颱風季分別增加 2.6% 及 2.7%，但梅雨季卻分別減少 14.8%及 17.4%。惟建請將該圖表之資料或數據如何求得之運算表格再予增補。	謹遵指示辦理，已增補「計畫區域內主要集水區於氣候變遷下各月份雨量變化情況」於第 2-3-4 節「計畫區域於氣候變遷下對量衝擊分析」。
2.本報告所定義的 4 種水文情境分為偏少、無雨、延遲及正常，而雨量的門檻分為 30%(少雨)及 10%(無雨)與延遲時間為 30%等之依據或來源建請增補。經由前揭 8 種情境分別推求於基期(民國 69 至 88 年)與未來期(民國 109 至 128 年)之特徵值(線)比較(如圖 5-2 至 5-5)，惟請增補其相關的運算表格，以輔助第五章(三)節(P5-6 至 5-9)文敘及驗證圖 5-2 至 5-5 內容。	謹遵指示辦理，已增補可能水文情境雨量資料於附錄四。
3.本報告擬採穩定供水策略內 8 種供水方案來因應現況及未來之 16 種情境，以臺南高雄聯合運用與山上淨水場改善之減緩缺水效益較高，惟請增補臺南地區供需情形圖於第三章並簡述該 8 大供水方案之內容(尤其是開始供水時間)。	針對各個供水方案之具體措施與期程已補充說明於第 3-3 節「四大穩定供水策略」。
4.本年度已推估各供水方案的風險(民國 120 年)，惟後續如何應用供需分析成果，以求得最終之水源枯旱風險(如公式摘-2)，請增補於建議內。	各個供水方案之水源枯旱風險已說明於第 5-2-2 節「調適策略組合之缺水分析」。
5.圖表編號如為相同內容則不宜不同編號(表 2-12、表 2-13、表 3-4 至表 3-7、表 6-8)。	感謝委員意見，已修正圖表編號。

附錄六 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
 期末報告書會議審查意見及處理情形(6/8)

審查意見	處理情形
6.第二章 P2-7 內水庫操作規線之論述尚欠缺南化及白河水庫。	已完成南化水庫與白河水庫操作規線之相關論述增補。
7.P2-37 右上角之附錄一誤植為附錄三。	感謝委員意見，已修正誤植內容。
五、本署張副總工程司廣智：	
1.簡報 P49，臺南缺水量高達 61,922 萬噸是否合理？請補充說明。	缺水量 61,922 萬噸主要係由極端惡劣情境之梅雨無雨颱風無雨情況造成，但其對應之發生機率僅 1.8%，惟後續為避免極端惡劣情境之嚴重缺水造成誤解，將於第二年度計畫移除發生機率較低之極端惡劣情境，並將相關說明納入本年計畫之建議。
2.16 種可能水文情境資料如何提供水庫操作使用，而水文情境與經濟分析關聯性又為何？建議針對情境假設之合理性加以說明(例如：梅雨無雨且颱風雨無之極端惡劣情況)。此外，倘若遭遇極端惡劣情況，水庫管理單位必定有所作為，例如：藉由農業全面休耕等作為來減緩缺水衝擊，而非無所作為而導致嚴重經濟損失。	1.針對 16 種可能水文情境之雨量資料，本計畫係藉由雨量-流量轉換方法，將情境雨量資料轉換為情境流量資料，再提供水庫操作使用。 2.本計畫主要聚焦水資源之長期規劃分析，分析不同調適策略對應之水源枯旱風險，以提供水資源政策決策參考，而農業休耕停灌則屬於短期抗旱作為與因應管理則不列入本計畫分析範圍。
3.決策評估架構所用水文資料是否僅考慮梅雨與颱風？建議補充說明。	本計畫決策評估架構所用水文資料係涵蓋全年雨量資料，惟梅雨(5 至 6 月)與颱風雨(7 至 9 月)資料係採用可能水文情境資料取代之。
4.本計畫重點在於以經濟分析成果支撐水資源政策執行，建議增加相關論述。	本計畫主要重點在於進行枯旱風險分析(缺水率或經濟影響之期望值)以支撐水資源政策執行，相關內容已於前言加強說明。
5.請強化中英文摘要之比重。	謹遵指示辦理。

附錄六 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
 期末報告書會議審查意見及處理情形(7/8)

審查意見	處理情形
六、本署水利規劃試驗所 杜副工程司 怡德：	
1.英摘建議增加報告相關內容並列出關鍵字，第一章建議增補流程圖。	1.謹遵指示辦理，已完成英摘內容強化並增加關鍵字。 2.已於第一章增補整體工作流程圖「可能水文情境下水源枯旱風險與經濟影響評估架構圖」。
2.結論與建議部分，結論(一)建議不列出，結論(二)、(四)、(五)建議加以整合簡化，結論(六)建議增加調適策略相關論述。	謹遵指示辦理。
3.因本報告較接近研究性質，建議以計畫研究區域臺南地區為例，確立研究方法流程之通則，未來可推廣至其他區域。	感謝委員意見，本計畫已於第 1-5 節提出「水資源經濟與政策評估架構」，可作為通用之分析流程，方便後續推廣至其他區域。
4.表 2-2 建議列出蒸發量統計表之統計年限；P3-41 建議增加臺南地區之供需圖供參；P4-3 建議增加系統供需圖。	謹遵指示辦理，已分別增加臺南地區自來水系統用水供需圖與臺南地區供水系統圖於第三章「盤點現況與未來各標的用水供需情勢與抗旱措施」與第 4-1 節「臺南地區水源供需系統」。
5.P5-3 之情境特徵線之定義與用途建議於報告中有所說明；P6-15 設定情境一、二是否有需要建議再酌。	1.情境特徵線之定義說明於第 5-1-2 節「水文情境之定義」。 2.因臺南地區高產值工業區主要集中於南科，為能突顯缺水事件對於南科產業衝擊，故分別針對臺南地區與南科地區制定情境一與情境二，方便釐清比較缺水對南科可能造成之潛在影響。
七、本署綜合企劃組 簡副組長俊傑：	
1.建議加強說明本計畫水源供需模式與前期計畫採用模式之異同。	謹遵指示辦理，本計畫水源供需分析結果與前期計畫差異說明於第 4-3-2 節「水源供需模式驗證之結果」。

附錄六 因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)
 期末報告書會議審查意見及處理情形(8/8)

審查意見	處理情形
2.建議第二年度經濟分析相關工作可請益台經院團隊。	謹遵指示辦理。
八、本署綜合企劃組 徐正工程司浩仁：	
1.臺南地區現況與未來水源方案於本計畫第三章「盤點現況與未來各標的用水供需情勢與抗旱措施」進行盤點，目前撰寫內容主要係依據「臺灣南部區域水資源經理基本計畫」與「產業穩定供水策略行動方案」，供需情勢盤點成果有系統且詳盡，惟未來水源方案推動具有高度不確定性且用水需求亦具有高度變動性，例如：水規所目前正在執行南部經理計畫滾動檢討(民國 108 年)，建議後續於第二年度應進行相關數據更新，以確實掌握臺南水資源供需之最新動態。	謹遵指示辦理，後續待「108 年南部區域水資源經理計畫滾動檢討」結案後，將蒐集並更新相關數據。
2.本計畫主要聚焦策略評估，故研提水資源政策評估系統，探討未來不同水資源方案之效益，其架構流程簡單明瞭，而本計畫亦對照說明評估系統元件與工作項目之關連性。惟評估系統於各年度預計完成之內容尚不明確，請補充敘明水資源政策評估系統於各年度計畫可提供(或完成)之成果說明。例如：詳細經濟分析成果於第二年度呈現。	謹遵指示辦理，本計畫已補充各年度工作項目說明於第 1-3 節「計畫工作項目」。
3.未來氣候變遷情境具有高度不確定性，且其情境資料陸續更新，例如：AR4 與 AR5，而後續 AR6 資料亦即將釋出，請本計畫補充說明情境資料選用原則與依據。	目前水利署氣候變遷相關計畫多採用 AR4 情境資料進行分析，為與前期計畫能有相同比較基準，本計畫亦採用 AR4 情境資料。

國家圖書館出版品預行編目資料 CIP

因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2) /

財團法人成大研究發展基金會編著 -- 初版

-- 臺北市：經濟部水利署, 2019.12

面；公分

ISBN 978-986-5442-95-8 (平裝附光碟片)

1.水資源管理

554.61

108021543

因應氣候變遷水源供應與經濟影響研究(1/2)

出版機關：經濟部水利署

地址：台北市大安區信義路三段 41-3 號 9-12 樓

電話：(02) 37073000

傳真：(02) 37073124

網址：<http://www.wra.gov.tw>

編著者：財團法人成大研究發展基金會

出版年月：2019 年 12 月

版次：初版

定價：新台幣 400 元

展售門市：五南文化廣場

台中市中山路 6 號 (04) 22260330

<http://www.wunanbooks.com.tw>

國家書店松江門市 台北市松江路 209 號 1 樓 (02) 25180207

<http://www.govbooks.com.tw>

GPN：1010802504

ISBN：9789865442958

著作權利管理資訊：經濟部水利署保有所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求經濟部水利署同意或書面授權。

聯絡資訊：經濟部水利署

電話 (02) 37073000



廉潔、效能、便民



經濟部水利署

台北辦公區(出版)

地址：台北市信義路三段 41 之 3 號 9-12 樓

總機：(02)3707-3000

傳真：(02)3707-3166

免費、服務專線：0800-212239

台中辦公區

地址：台中市黎明路二段 501 號

總機：(04)2250-1250

傳真：(04)2250-1628

免費、服務專線：0800-001250

ISBN：9789865442958



GPN：1010802504

定價：新台幣 400 元