

# 環境變遷對永續水資源之挑戰

簡俊彥 / 全國水利技師聯合會理事長

水資源是可再生資源，但再生水量多寡與環境及氣候條件有關；包括集水區狀況、地形地質、森林覆蓋情形、人為產業活動強弱、地面水地下水管理、地層下陷及氣候變遷等因素都有影響。台灣水資源環境的劣化，已是數十年的長期趨勢，加上近年來氣候變遷降雨變異日益明顯，形成永續水資源的極大挑戰。以下由水庫淤積、地層下陷及氣候變遷三個面向切入，闡述環境劣化對水資源的關鍵影響及背後意義的個人淺見。

## 水庫淤積影響及其相關觀察

台灣水庫的淤積情形如表 1 及圖 1 所示。該圖表除顯示水庫淤積外，其背後所代表的意義更值得關注。

### 現有水庫年年淤積，有效庫容漸減難以永續

台灣水庫的淤積是長期普遍現象。表 1 統計主要 20 座水庫累計淤積量約 8 億立方公尺。若水庫運用率每年以滿庫 1.5 次估計，則因淤積減供的水量，每年可達 12 億立方公尺，數量極為驚人。另根據經濟部水利署的統計資料（圖 1），民國 92 年全台水庫實際總有效容量約 21.84 億立方公尺，為原始總有效容量的 91.08%，至民國 102 年實際總有效容量減為 18.95 億立方公尺，有效容量維持率下降至 77.40%，平均每年約減 2,890 萬立方公尺，約每年淤積報銷一座中小水庫規模的庫容，情況令人憂慮。由於水庫入砂量始終遠大於清淤量，未來水庫仍將繼續淤積，對水資源的永續利用是很負面的因素；也就是說，我們這一代能夠留給下一代的水庫水資源資產，正在隨時間增長而年年減損中。

### 離槽水庫是台灣較佳選擇

表 1 顯示建於主河道的在槽水庫淤積率明顯偏

表 1 台灣主要水庫淤積情形

水庫名稱	竣工年份	迄今水庫壽齡 (年)	原始總容量 (萬立方公尺)	現況有效容量 (萬立方公尺)	淤積率 (%)	備註
* 新山	1980	34	1,009	1,002	0.07	
石門	1963	51	30,910	20,123	34.90	
翡翠	1987	27	40,600	33,551	17.36	
* 寶山	1985	29	547	538	1.64	
* 寶山第二	2006	8	3,218	3,134	2.61	
永和山	1984	30	2,958	2,809	5.04	
明德	1970	44	1,770	1,244	29.72	
* 鯉魚潭	1992	22	12,612	11,546	8.45	
德基	1974	40	23,200	15,000	35.34	
石岡壩	1977	37	184	113	38.59	
霧社	1959	55	14,600	4,726	67.63	
* 日月潭	1934	80	17,162	13,124	23.53	
* 仁義潭	1989	25	2,731	2,580	5.53	
* 蘭潭	1942	72	972	923	5.04	
白河	1965	49	2,509	969	61.38	
* 烏山頭	1930	84	15,416	7,980	48.24	
曾文	1973	41	74,840	47,330	36.76	
南化	1993	21	15,800	9,793	38.02	
阿公店	1953	61	4,500	1,646	63.42	
牡丹	1995	19	3,119	2,643	15.26	
合計			268,657	188,774	29.73	

註：1. 資料來源：經濟部水利署網站。

2. \* 為離槽水庫。

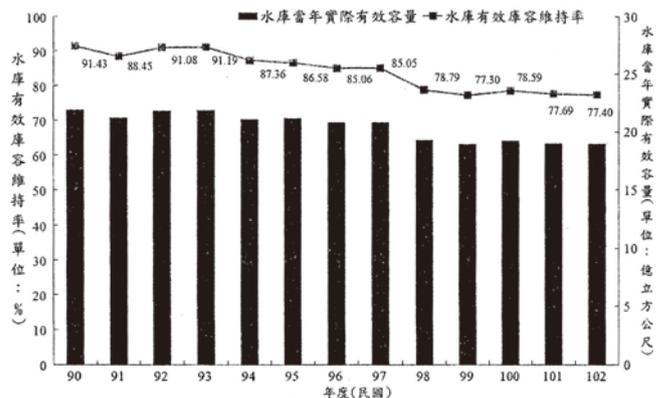


圖 1 台灣水庫有效容量維持率

資料來源：經濟部水利署台灣地區水資源投資分析 102 年度報告

高，例如石門、曾文、德基、南化、霧社、白河及阿公店等水庫。相對的，不在主河道的離槽水庫淤積率則偏低。典型的離槽水庫如日月潭與烏山頭水庫，歷經逾 80 年使用，目前仍保有可觀的有效容量。水庫淤積是必然現象，每座水庫都有其階段性的功能壽命，因應水庫淤積延年益壽最好的辦法就是慎選位置以離槽方式興建水庫。這是台灣地理環境下必須面對的現實，值得決策者深思。

水庫淤積老化過程中，供水能力降低，水庫階段性功能已有改變，用水計畫勢需適時因應調整

一座水庫的經濟效益分析，一般以 50 年為有效功能年期。也就是說，壽齡超過 50 年的水庫，其所殘存的蓄水功能可視為淨賺效益。目前台灣有多座早期水庫已達成或接近此種狀態。80 高齡的日月潭及烏山頭水庫仍然強勁的發揮功能，壽命 40 ~ 50 年的石門、德基、曾文三座大型水庫，現況淤積率約三成，尚有約三分之二容量繼續發揮重要功能。就經濟效益而言，已超越當初計畫預期目標。

但就水資源永續及產業與民生長期需水觀點，則除經濟效益計算之外，尚有其他不同面向課題需要未雨綢繆及早因應。當初伴隨水庫完工新增供水發展出來的各種產業及民生用水型態，在水庫淤積供水能力減退之後，用水計畫是否有調整因應空間，調整因應方法為何，及調整之後的社會經濟衝擊能否承受等等，在在都是巨大的課題與挑戰。台灣過去的水庫建設，比較著重工程規劃、設計、施工及維護操作，對水庫大幅淤積萎縮及功能改變之後的用水結構性調整，及需要重大決心與魄力的措施作為，較少這方面的經驗。但現在問題已在眼前，亟需要審慎考量適時因應調整。

以事關重大的石門及曾文兩水庫為例。當年水庫完成，灌溉水量充沛，種植水稻面積大增，得以增產糧食供應軍民所需。現今水庫供水能力降低，稻米需求也大減，需以休耕減產因應，而都會區生活用水及工商業用水激增，紛紛競向水庫要水，水庫階段性供水功能已有改變。在此情境下，嘉南平原及桃園台地的耕作制度能否適度調整，將水資源分配做結構性的改變，值得政府相關部門好好思考研究。

水庫蓄豐濟枯功能不可或缺，現有水庫為寶貴水資源資產，清淤活化需以視同新建水庫的魄力與投資規模從事，並需以創新性作法產出經濟誘因

台灣降雨的時間分布很不平均，約八成雨量集中在 5 月 ~ 10 月的豐水期，11 月至次年 4 月僅有二成。而集水區涵養水源能力不佳，枯水期河川基流量低落甚至斷流，所以枯水期的用水須賴水庫蓄豐濟枯支應。今年旱災特別嚴重，許多地區限水供應，僅能依賴水庫少量存水苦撐度日，社會大眾應是印象深刻超有感覺。因而，水庫雖有嚴重淤積難以永續的缺點，但仍是台灣不可或缺的水資源重要設施。

受到天然條件限制及社會環保意識影響，今後再新建水庫的機會很小。現有水庫的有效容量如何維持，已淤掉的部分如何清淤活化，實為今後重要而迫切的課題。下面幾個面向值得思考：

1. 水庫的清淤活化並非廉價簡易工作，清淤土石方如何處理，無論是運輸或堆置都有重大的環保課題待克服。必須以視同新建水庫的魄力與投資規模從事較能成功。
2. 清淤土石方如不能產出經濟誘因，國家財力恐難長期負荷，亟待研究規劃創新性作法；填海造陸、土地改良及供做產業用材等均為可能方向。現有法規適用性及開創性均不足，亟待解套。
3. 處理水庫淤積正本清源之道在於減少水庫入砂量，水利主管機關亟應積極介入水庫集水區的管理事宜；包括土地合理使用、防淤緩衝區的劃設、水源涵養林擴充以及水土保持相關事項等，均需積極尋求法規著力點。

## 地層下陷影響及其相關觀察

台灣地層下陷主要緣於地下水超抽引起地層壓密所致。對水資源的影響及相關觀察如下：

台灣的地層下陷由來已久，已歷半世紀，台北市中心及台灣中南部沿海都曾是下陷嚴重區

目前台灣地層下陷情形示如表 2，曾發生地層下陷的面積約 1,700 平方公里。最早發現地層下陷是在台北市，可能是許多人料想不到的。民國 40 年到 50

年代，台北市聚集眾多人口及工商業，在地面水源不足的情況下大量抽取地下水，於台北車站至忠孝東路與新生南路口一帶形成下陷中心，最大下陷量達 2 公尺。當時水利局正在規劃研究淡水河防洪計畫，覺察地層下陷對防洪安全的威脅而將此因素納入考量。幸而民國 76 年翡翠水庫完工，地面供水解決，加上不少製造業工廠遷離台北市，終使地層下陷漸趨和緩下來。

台灣中南部沿海的地層下陷，與魚蝦養殖業大量抽水有關，民國 60 年代至 70 年代最嚴重。迄今最大下陷量，彰化縣 2.5 公尺，雲林縣 2.47 公尺，嘉義縣 1.5 公尺，台南市 1.02 公尺，屏東縣最大達 3.4 公尺；由彰化縣至屏東縣沿海形成帶狀嚴重下陷區。近年養殖業不如從前興旺，部分養殖區取用海水減抽地下水，地層下陷趨於緩和。雲林縣及彰化縣仍有相當程度下陷尚在進行，雲林縣土庫虎尾一帶的地層下陷，甚至已威脅到台灣高鐵的行車安全。內陸地區的地層下陷通常與工廠製造業抽水有關，這是繼沿海養殖業造成地層下陷之後另一種下陷型態。雖然下陷規模較小，但因接近城鎮人口聚集地區，對環境劣化的影響不容忽視。

表 2 台灣地層下陷情形

地區	歷年累計最大下陷量 (公尺)	目前仍在下陷面積 (平方公里)	最近下陷率 (公分/年)
宜蘭	0.47	0	2.8 (101 年)
台北	2.11	0	2.4 (101 年)
桃園	0.12	0	0.2 (99 年)
苗栗	0.02	0	0.4 (101 年)
台中	0.02	0	0.4 (101 年)
彰化	2.50	19.9	5.4 (101 年)
雲林	2.47	261	7.4 (101 年)
嘉義	1.50	5.57	4.2 (101 年)
台南	1.02	0	2.4 (100 年)
高雄	0.25	0	1.8 (100 年)
屏東	3.40	0	1.9 (101 年)

資料來源：經濟部水利署地層下陷防治資訊網

地層下陷的惡果，導因於土地使用與用水型態欠缺國土規劃統合，未以水資源為限制條件，地下水管理不佳無節制的抽取地下水。

台灣地層下陷的形成，幾乎都依循下列軌跡進行：

1. 在地面水源不足但地下水相對豐富的沖積平原地區，民生及各項產業以地下水為常態水源，地下水位長期下降，是地層會下陷的基本要素；但在初期

因抽水量不大，地層下陷尚不明顯。

2. 接著，由於經濟獲利產業規模及用水需求大增，加上地下水管理不佳或根本沒有管理，任由業者無節制抽水，終於形成明顯的地層下陷。
3. 最後，或因地層下陷使生產環境惡化，養殖魚蝦疾病，生產成本增加，外銷市場萎縮無利可圖等因素，企業規模縮小，降低地下水抽水量，使地層下陷漸趨平息。也有比較正面的少數例子，因地面水源改善，土地用水型態改變而減抽地下水使地層下陷停止。但無論如何，上述情形都留下不可逆且難以恢復原狀的地層下陷狀態。

由上述過程可知，地層下陷是土地使用、產業配置與地下水資源應用三個環節不協調的結果。三個環節的產生都因經濟活動需求而起，本應在國土規劃整體架構下做適當的安排，但現在「國土計畫法」尚未立法，國土規劃無法規可循。在此情況下土地地主以謀生為理由自行抽取地下水發展產業，政府很難拒絕或取締。而眾多合法及違規水井數量及抽水量，政府迄無精確掌握，管理技術上也有困難。

就水資源永續觀點，地層下陷現象所暴露的地下水廉價濫用，及未能把地下水定位為備援及救旱的有效水源，是最為可惜之處，亟待適當補正。

地下水（井水）自古即為生活用水所依賴。當枯旱季節河溪流量及地面水庫逐漸乾涸，即需地下水應急。這種可以救旱甚至救命之水，在極端枯旱年分具有無比價值。亦即，地下水庫比地面水庫可貴，可惜台灣社會普遍忽視。地下水應定位為備援及救旱水源，不應做為產業的常態性水源，尤其是產業長期廉價大量抽水耗盡地下水千百年蘊藏量，不但目前造成地層下陷，當極端枯旱來臨時將無地下水可用最為可惜。為謀補正之道，下列面向可供思考：

1. 以主要地下水產區深層含水層為水源，應建立一定能量的備援救旱系統，由中央政府以開發地下水庫的概念投資開發。
2. 管理地下水的重點應由管水井抽水量轉向管制耗用地下水的產業。產業抽取的地下水量可由其產品生產量與單位耗水量反向稽核推估；大量消耗地下水的產業種類及規模，可經由立法管制。

## 氣候變遷影響及其相關觀察

近年來實際天候狀況及相關調查研究，都顯示異常水文事件發生頻率日益頻繁。以下探討氣候變遷異常水文事件對水資源永續可能影響及因應之道。

降雨日數減少，降雨集中在少數日期，及局部地區異常強降雨，是近年來發生較多的異常水文狀況。

根據中央氣象局的資料，1911年至2013年全台灣平均溫度，每10年上升攝氏0.14度，約為全球平均攝氏0.074度的2倍左右。暖化現象相當明顯，助長極端氣候的發生。而近年來的降雨情形，台灣年總雨量平均值尚無明顯變化，但年降雨日數減少約40天，降雨不平均是造成乾旱的主要原因。估計各地將經常面對「不是不下雨就是強降雨」的氣候。

以民國98年莫拉克颱風為例。該颱風具有「高強度、長延時、大面積」的罕見降雨特性，降雨中心附近許多雨量觀測站的單日降雨量都超過1,000毫米，幾天之內幾乎把平時一年的總雨量下完。尤其是高強度長延時的超大豪雨，集水區脆弱地質無法承受，大量山崩及土石流，造成空前的複合型災害。所以「強降雨」是異常水文事件最大特色，無論是長延時或短延時，都可能帶來重大災害，在水資源利用方面也需注意防範。

異常水文事件使可用的水資源更難掌握，水庫加速淤積，各項蓄水堰壩及輸配水設施易遭沖毀，乾旱缺水的風險增加。

異常水文事件短時間內大量集中的流量，就川流取水而言，受限於進水口取水能力固定，無法大量引入，另因洪水濁度大，也不見得是可引取的水量。就在槽水庫而言，大洪水固然可把水庫蓄滿，但通常產生大量的洪水溢流，很快奔流入海，難以掌握變成可用的水資源。台灣年降雨量長期平均約2,500毫米，折合降水量約900億公噸，現有取水設施合計約可掌握其中二成，約180億公噸。異常水文事件將使有效掌握率降低，也就是說，以後每年經常能夠取到的水量預估將低於目前的180億公噸。

異常水文事件對水資源設施最大的威脅在於對水庫的殺傷力。民國98年的莫拉克颱風，大量砂石淤積，曾文水庫有效庫容減損9,108萬立方公尺，佔水庫原始總容量約12.17%；南化水庫有效庫容減損1,706

萬立方公尺，佔水庫原始總容量的10.80%，可謂殺傷力驚人。民國92年至102年台灣水庫有效容量平均每年淤積減少2,890萬立方公尺（圖1），主要即因幾次大颱風加速淤積所致。如果任此高淤積速率持續，不出10年，由於水庫調蓄功能降低，縱使在平常年分台灣即有很大的缺水風險；20年後台灣將有難以解決的缺水危機，屆時農田休耕及工廠停工恐成常態，經濟及民生將大受影響。水庫淤積使潰堤機會增加是另一個風險。淤積嚴重的阿公店、白河、霧社等水庫均面臨此項課題，其原有的供水或發電功能已成次要，如何預防潰堤成災變得更重要，目前已施行一些必要工程對策，類似這樣的水庫將會愈來愈多。

因應異常水文事件的要領在於分階段推行避災減災的調適措施，而非以工程措施對抗。

1. 異常的旱澇常非人類所能應付，過去「人定勝天」觀念今後宜修正為「順天應人」，以避災減災及災害分散分擔為首要，不能一味以工程對抗。
2. 氣候變遷是隨時間進程而逐漸加劇，並非一夕即來。所以我們仍有相當時間採短、中、長程措施分階段應變；在水資源因應措施方面，因為需要較長時間始見成效，所以應盡早開始行動。
3. 氣候變遷下可掌握的有用水資源變少，應變之道亟應提高用水效率建立節水型社會，減少對天然水資源的依賴程度。這種重大變革影響層面深遠，需要大決心、大魄力與長期努力。
4. 水庫淤積活化及建立地下水備援水源，是因應氣候變遷的重要措施，目前台灣雖有些措施進行，規模仍很不足，亟待強化努力。

## 參考文獻

1. 經濟部水利署水利規劃試驗所，民國99年，台灣河川水庫總覽。
2. 行政院國科會，台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫，許晃雄等，台灣氣候變遷科學報告2011。
3. 經濟部水利署，民國102年，各項用水統計資料庫—蓄水設施水量營運統計報告。
4. 經濟部水利署，民國103年，台灣地區水資源投資分析102年度報告。
5. 經濟部水利署，民國103年，中華民國102年水利統計—水庫堰壩。
6. 經濟部水利署，民國104年，台灣水庫蓄水量，水利署全球資訊網。
7. 經濟部水利署，民國104年，台灣地層下陷現況，水利署地層下陷防治資訊網。