



臺灣水資源利用效率初探

周嫦娥／台灣經濟研究院 顧問

面對愈來愈嚴峻的水文條件，臺灣在水利建設和水資源政策上需持續出陳布新因應挑戰。為設定政策目標，監控和評估政策成效，本文參考歐盟國家常用的水資源效率指標，配合國內水資源現有資料，初步選定水資源利用指數、水資源生產力（國家和部門別）和人均生活用水量為水資源效率指標，並以 2000～2019 年台灣水資源資料計算指標值。

由計算結果可知，水資源利用指數 I 顯示台灣水資源利用狀況逐漸改善，但仍處於「水資源具壓力」狀態。水資源利用指數 II 雖逐步下降，但指數居高不下，除顯示地下水長期超抽外，也表示水資源的蓄留能量仍不足以支應水資源需求。

整體用水生產力、工業用水生產力、生活用水效率雖仍有改善空間，但皆有明確的效率提升跡象，此與政府部門推動多年的節約用水、廢水回收再利用等政策有關。農業用水生產力無明顯趨勢，表示其用水效率無明確提升現象，未來加強提升農業用水效率將是降低臺灣水資源壓力的重要環節。

前言

台灣主要水源為地面水和地下水，二者的供水比例約為 2：1，其供給受限於降雨量。台灣之降雨量不論是在時間或空間之分配皆不平均，加上地形因素造成河川短促流急，河川水量保持不易，每年逕流入海和蒸發散量高於總降雨量的 80%，可用水量相對稀少。為蓄豐濟枯，過去多以興建水庫、攔河堰等大型蓄水設施加強蓄水能力。然與台灣面臨之水文條件相較，既有蓄水設施之抗旱能力依然不夠，只要豐水期水庫攔蓄不足，若再加上次年的春雨或梅雨不夠豐沛，則極易發生乾旱現象。2021 年的「百年大旱」即起因於 2020 年梅雨季節短且雨量少，加上無颱風侵台，形成西半部水庫蓄水量偏低，2021 年春雨量又是有紀錄以來最低，且梅雨偏北發展。事實上，2015 年的「67 年來最嚴重乾旱」亦是因 2014 年夏季無颱風接近臺灣，秋冬降雨少，2015 年春雨又不足所造成。

氣候變遷是全球性的問題，水資源受其影響更顯脆弱，因為氣候異常改變了降雨強度、時間和型態，乾旱和洪災發生的頻率將更高。以台灣本身的水資源環境而言，提供充裕穩定的用水本就是一種挑戰，加

上強度愈來愈大的抗旱防洪需求，無不時考驗著政府之水資源經營管理能力與政策。事實上，政府部門早已意識到在氣候變遷的影響下，維持穩定供水將是愈來愈艱難的任務。因此，近年來不斷地推出強化蓄水能力、區域調度、備源能量、科技造水、保育治理等措施，此些措施於此次抗旱亦發揮了極大效益。而在乾旱稍微緩解之際，水資源主管單位即提出相關檢討，規劃如何精進水資源經營管理策略，擬由建設面、管理面和制度面提出精進作法，以達充足穩定供水和促進水資源永續利用之目標。

臺灣的水文條件愈來愈嚴峻，水資源政策目標和內容勢必要因應外在環境改變而隨時機動調整，政策推動成效亦需適度監控和評估，然國內目前尚缺乏合適的工具設定合理之政策目標並評估政策推動成效。大致上，任何水資源相關政策之最終目的不外乎是合理有效且永續的利用水資源。因此，若能由水資源利用效率的角度來審視台灣水資源利用情形並界定相關效率指標，即可初步檢驗台灣水資源經營管理相關政策的成效。

由於資源效率政策執行較徹底的是歐盟國家，本文首先整理水資源效率指標在歐盟國家的建置情形；其

次，由水文循環的角度說明水資源供給和使用關係，並說明計算指標值所需的各種水量之定義和意義；繼而說明台灣水資源供給和使用情形，配合現有資料，初步選定台灣水資源效率指標，包括水資源利用指數及整體用水、農業用水、工業用水和生活用水等使用效率指標，並估算各指標值，初步評估台灣水資源利用情形和使用效率；最後，提出本文之看法與建議。

歐盟水資源效率指標

由於全球人口和經濟持續成長，對水資源之需求日益增長，用水需求結構也因經濟部門間的消長而不斷改變。同時因傳統水源開發困難，水質又不斷惡化，水資源供給面臨極大的壓力。為解決逐漸嚴重的水資源供需失衡問題，各國亟需調整水資源的規劃和管理策略。

早期水資源管理側重於供給面管理，著重於水利工程建設的規劃、興建與管理，特別是蓄水、引水、淨水到輸水等系統的興建和操作。水資源需求多是透過水利工程建設與操作來因應，追求的是供水效率之提升，然對環境生態的關懷較為不足。

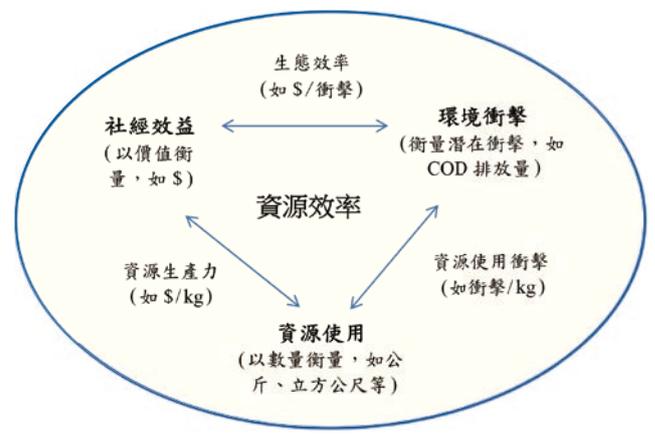
其後，水資源供給面臨傳統水源開發不易，水利建設成本大幅上升，政府財政日漸緊縮等問題。然而在用水需求方面，人口和經濟持續成長，農業用水雖有下降趨勢，工業和生活用水卻大幅提升，加上河川水質惡化，水資源供需失衡的情況愈來愈嚴重。面對此種發展趨勢，水資源供給面管理再也無法單獨解決日趨嚴重的水資源稀少性課題。於是國際上自 1990 年代開始轉而推動水資源需求面管理，期能解決全球性的水資源危機，並確保水資源之永續性。大致上來說，水資源需求面管理著重於提升水資源使用效率和促進水資源合理分配，以降低水資源需求來緩和和供水供給壓力。

當前對水資源影響最深的當屬氣候變遷，全球氣候異常對人類和環境生態所需的水資源系統有著破壞性的衝擊。氣候變遷改變了整體水文條件，水旱災發生的頻率、範圍和強度急遽增加，各地水量因極端氣候而變得極不穩定，氣溫上升使水質更加惡化，對可用水量 (water availability) 產生嚴重衝擊。為確保穩定充足的水資源供給，各國相繼投入龐大資金，加強原有水利建設的更新、擴充和管理，更結合創新科技開發新水源 (例如，廢水回收再利用、海水淡化等)

並改善水質^[1]。然而，極端氣候造成的水資源供給不確定性和風險有增無減，面對愈來愈高的水資源供給成本，國際上形成的共識是，將水資源政策聚焦為提升用水效率、降低水資源使用的需求面管理措施。

與此同時，國際上 (特別是歐盟國家) 的環境政策亦由以污染防治為主的環境保護，轉為提升資源效率 (resource efficiency) 的資源保育。其主要邏輯為改善資源使用效率可減少資源使用量，保存自然資源存量，降低對環境的衝擊，是兼顧經濟發展和健全自然生態的重要手段，也是永續發展的必要措施。近年來，不少國際組織 (如，聯合國、歐盟、OECD) 為確保經濟、環境、社會和制度等層面是朝向永續發展的方向進展，陸續建構可呈現經濟活動和環境體系因果關係之指標系統做為監控與評估工具，此類指標稱為永續發展指標。

根據永續發展指標的主要精神，歐盟定義 3 種衡量資源效率的指標類型^[2]，分別衡量 (1) 資源使用效率 (如資源生產力)；(2) 資源使用對環境之衝擊 (如資源使用之特定衝擊)；(3) 資源使用對降低生態壓力之進展 (如生態效益)，如圖 1 所示。資源使用與生產或消費等經濟活動有關，故可由生產面或消費面建構資源使用指標，生產面指標如資源密集度和資源生產力，消費面指標如人均資源消費量。使用自然資源會改變自然環境的狀態，最終可能對環境和人類健康造成負面影響，環境衝擊指標常以資源投入 (如用水量) 和產出 (如廢水排放量) 表示其對特定環境類型 (如優氧化) 之潛在影響。社經效益為資源使用所創造的價值，也是資源使用之原始目的，傳統上多以市場價格衡量。然因資源使用之最終目的在於增進人類福祉並提升生活品質，以市場價格衡量無法顯現資源使用的真正價值。



資料來源：EC^[2]

圖 1 衡量資源效率之永續指標類型

完整的資源效率指標系統應可同時評估資源使用、環境衝擊和社經效益，以及三者間相互的關連性。然因社經效益和環境衝擊指標涉及資源使用與環境狀態改變的因果關係和外部性，量化方法上尚有諸多困難待克服。在無法完整量化資源效率指標系統的前提下，若假設資源使用效率能持續改善，且能與經濟成長和環境衝擊脫鉤，某種程度上可確保資源使用對社經產生應有之效益，則提升資源使用效率仍可達到資源永續利用目的。因此，在資料有限的情况下，若以資源使用指標（即圖 1 中的資源生產力）來代表資源效率程度，亦可用以評估資源利用是否遵循永續發展原則。

由資源使用效率角度，歐盟提出「資源效率指標框架」將資源使用區分為國內資源使用（domestic resource use）和資源總需求（global resource demand），分別建置指標追蹤歐盟國家資源使用效率的進展^[2]。國內資源使用指的是國內生產和消費直接使用的資源；因生產產品以資源做為投入，當產品交易時，隱含著同時交易了產品中所具涵（embedded）的資源使用量，也就是間接使用的資源量。資源總需求即是考慮資源的直接和間接使用狀況，定義為國內資源使用量與具涵於國際貿易產品的資源使用量之和。此外，歐盟的資源效率指標框架中，另以資源過度使用會造成資源耗損之概念，將資源使用指標延伸為一種環境衝擊指標。

在前述框架原則下，歐盟建議之水資源使用指標，如表 1 所示。其中，國內水資源使用指標因用水量資料不易取得，以取水量代替；水資源總需求量以水足跡為指標，因為水足跡係由生命週期的角度評估產品之直接和間接用水量。國內水資源利用之環境衝擊指標定為水資源利用指數，該指數為用水量和可再生水量之比。可再生水量（詳見下一小節說明）可視為天然水資源供

給之上限。依定義水資源利用指數通常應小於 1，若大於 1 或指數偏大，則表示水資源壓力過大，甚至有超限利用之疑慮。總水資源利用之環境衝擊指標，以水資源總消費指數代表。

歐盟是最早推動資源效率政策的區域，但推動初期各國並未特別界定「資源效率」之意涵，資源效率經常與「減少資源使用」、「資源永續利用」、「脫鉤」等名詞併用或互用。直至 2015 年歐盟才比較明確定義，資源效率為以永續方式使用自然資源，也就是以更少的資源生產更多的產出，或以明智的方式消費，減少對環境的衝擊^[3]。學界部分，Dawkins 等人^[4]由供給面定義資源效率為，使用更少的資源生產相同的產出，並建議以消費者水足跡做為水資源效率指標。

實務上，歐盟環境署（European Environment Agency, EEA）於 2010 年調查包含歐盟國家在內之 31 國發現，由於受限於資料，各國最常用的水資源使用效率指標，包括可再生水資源利用指數、水質和用水量（總量或部門別）^[5]。其後，歐盟又建議以水資源利用指數和水資源生產力做為水資源效率指標^[3]，界定水資源利用指數為淡水資源年取水量與長期平均可取得淡水資源量之比，取水量包括農業用水、工業用水和生活用水。水資源利用指數愈大表示用水壓力愈大，表示水資源稀少程度愈高或水資源過度使用；水資源生產力定義為單位取水量生產的產值。

資源效率政策推動至 2015 年，歐盟^[6]再度將政策重心轉為範圍更廣的循環經濟（circular economy）。循環經濟之基本精神是設法將產品、物質（materials）和資源的價值盡可能保留於經濟體系之內，並盡量減少廢餘物的產生，其政策內容和推動措施因而有些轉變，然而資源效率依舊是循環經濟追求之目標之一。提升水資源使用效率更是部分歐盟國家（如，荷蘭）

表 1 EC 建議之水資源使用指標

資源使用導向（resource use-oriented）		環境衝擊導向（environmental impact-oriented）	
國內水資源使用	水資源總需求	國內水資源使用之環境衝擊	水資源總需求之環境衝擊
水資源消費量 （water consumption）	水資源總需求量 （global water demand）	國內水資源利用 （domestic water exploit）	總水資源利用 （global water exploit）
取水量* （water abstraction）*	水足跡 （water footprint）	水資源利用指數 （water exploitation index）	水資源總消費指數 （global water consumption index）

註：* 為代理「用水量」之指標。

資料來源：EC^[2]

的重要政策目標，其所使用之相關水資源指標並無太大差異。

由以上探討可知，國際上（特別是歐盟國家）大致上將資源效率界定為：資源使用應同時增加社經效益並減少環境衝擊，若由生產角度來看，則資源效率為以最少資源生產最多產出。在不考慮水質的情況下，水資源效率指標可歸納為水資源使用效率指標和環境衝擊指標二類，前者包括水資源生產力、水足跡、取水量（總量或部門別）；後者為水資源利用指數或水資源消費指數。

水資源之供給與使用

水資源是地球上所有生物賴以維生的最重要資源，可供人類使用的淡水資源卻遠不及地球水資源總量的 1%。與其他不可再生自然資源不同，透過無止境的水文循環，地球上水資源總量一直維持於平衡狀態。海洋、湖泊、河川、土壤及動植物透過蒸發散，將水傳送至大氣，大氣中的水汽凝結成小水滴後形成雲，飄浮於上空，再以降雨、冰雹或降雪等方式，於不同時間回歸至地表上。降回陸地的水資源，部分儲存於湖泊、河川、高山、土壤之中；其餘為植物吸收、補注地下水或逕流入海。如此周而復始的循環，全球水資源總量雖保持不變，但因降雨和降雪的區位和時間不同，水資源在地球上的分布在時間和空間上皆不同。

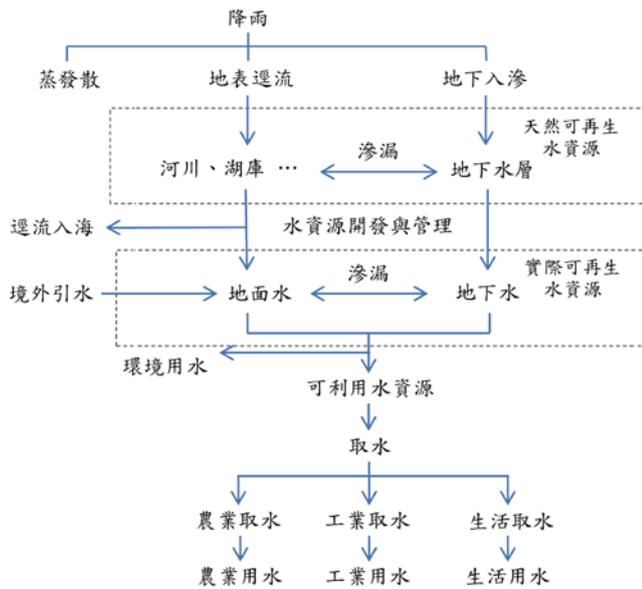
地球表面的水大致上分為海水、半鹹水、地面水和地下水。地面水和地下水統稱為淡水資源，是人類最重要的水源。淡水資源依其與水文循環關係的密切程度進而分為可再生水資源（renewable water resources）和不可再生水資源（non-renewable water resources）。可再生水資源為地面水及可補注之地下水；不可再生水資源為深層地下水（例如，化石水），其補注速度非常緩慢，以人類時間尺度來看，幾無補注可言。可再生水資源透過水文循環不斷再生，與森林、漁類等可再生資源相似，若管理與利用得宜，應生生不息。深層地下水因補注幾近於零，與其他不可再生自然資源類似，若持續汲取使用，終有耗盡之時。

本文所探討之水資源為可再生水資源，亦即排除深層地下水之地面水和地下水，也就是一般所稱之淡

水資源。地球上的水資源透過水文循環，在量的方面可不斷再生達到平衡。然而，水資源被使用後會被污染變為廢污水，無法直接為人類使用，也會對環境生態造成嚴重損害，降低其生態服務功能。水質是水資源利用的關鍵因素，特別是當水資源日益稀少時，廢水的回收再利用成為解決缺水問題的重要措施。然因國內之水質和水量分屬不同部會管轄，相關統計數據的定義和範圍不一定相互吻合，整合不易，故本文僅由水量角度探討水資源效率相關課題。

根據聯合國 FAO（Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003）^[7]，可再生水資源又分為天然可再生水資源（natural renewable water resources）和實際可再生水資源（actual renewable water resources）。天然可再生水資源為由水文循環產生的地面水和地下水，為一個國家自然產生的水資源總量。實際可再生水資源為考慮周邊國家相連水系與水資源共用情況後（如，上游國家的取水、為下游國家保留的河川水量）之水資源總量。內部可再生水資源（internal renewable water resources）為一國內部降雨所產生的地面水和地下水；外部可再生水資源（external renewable water resources）為上游（或鄰近）國家經由河川或地下水層流入境內的水資源。台灣為一島國，無陸地相連之鄰國，因而無天然流量產生之外部水資源，亦即內部可再生水資源等於實際可再生水資源，也等於天然可再生水資源。但需特別說明的是，台灣雖無天然流量產生之外部可再生水資源，但透過協議自 2018 年 8 月起由大陸境外引水至金門地區，因目前境外引水量與國內總取水量相比，比例甚低，且僅有 2 年份數據，故本文於計算水資源效率指標時略而不計其水量。

降於地表的水資源並非皆可供人類利用，因氣候、地形、地理位置、人口聚集型態、經濟發展程度等因素，降雨需經過水利設施之截流、儲存、取水、淨水和送水等過程後方能為人類使用。換言之，天然可再生水資源需經過水資源開發與管理過程才能成為可利用水資源（exploitable water resources）。因此，一個國家之可利用水資源遠少於天然可再生水資源，也較實際可再生水資源少。圖 2 以臺灣為例，呈現水資源之供給與使用狀況，降雨量扣除蒸發散量後為天然可再生水資源量，即等於河川逕流量加上水資源入滲量。台灣因山高地



資料來源：本文繪製

圖 2 台灣水資源之供給與使用狀況

狹，地形陡峭，依賴水庫壩堰等大型蓄水設施蓄集部分地表逕流，其餘大部分的地表水量逕流入海。根據水利署的統計，地下水入滲量為淨入滲量，亦即已扣除河川和地下水的側滲透量（交換量），故河川和水庫等地面水加上地下水入滲量即為可利用水資源量。

水資源使用主要包括農業用水、生活用水、工業用水和環境用水，環境用水指的是為維護健全生態體系所需的留川水量，也就是維持河川正常機能所需之水量，通常以河川基流量表示。確保環境用水是先進國家水資源管理的一項重要工作，水利署將此種環境用水稱為保育用水，曾將每 100 平方公里河川生態基流量定為 0.135 立方公尺 / 秒。然近年水利署的「水資源運用狀況圖」已無保育用水量之統計，因資料受限，本文無法另行估算保育用水。因此，假設保育用水已先保留於河川，則可利用水資源量最後僅提供農業用水、生活用水和工業用水。

可再生水資源可說是天然條件賦予的水資源供給總量，可利用水資源是在特定水資源開發與管理能力下的最大水資源供給量，取水量則是在特定水資源開發與管理能力下的實際水資源供給總量。取水量和可利用水資源占可再生水資源量之比可呈現一國的水資源管理與利用能力，亦可用以判斷水資源是否過度利用而對環境造成衝擊。

經濟體系內的用水大致上可分為農業用水、工業

用水和生活用水，其用水量總和稱為水資源需求量。地面水和地下水汲取後，需經過送水、淨水、輸水等過程方能被用水人使用。因此，取水量與用水量並不相等，但因用水量數據取得不易，本文循國際習慣以取水量替代。

台灣水資源效率指標之擇定與計算

台灣地區降雨多集中於 5 月至 10 月，此期間降雨量約占全年的 3/4，為豐水期；11 月至翌年 4 月降雨量僅占 1/4，為枯水期。豐枯水期的降雨量差距頗大，且愈往南部差異性愈顯著。台灣降雨量不論在時間或空間的分配皆不平均，加上河川短促流急，水量保持不易。為蓄豐濟枯，過去多以興建水庫、攔河堰等大型蓄水設施加強蓄水能力，但既有設施之蓄水量仍無法完全支應用水需求，河川末段也因水質污染不堪使用，地面水供給與用水需求間之缺口以地下水補足。

自 2000 年至 2019 年台灣平均年降雨量為 933.1 億立方公尺（見表 2），最低為 2002 年的 565.9 億立方公尺，最高為 2005 年的 1,284.5 億立方公尺，各年間變動幅度相當大。資料期間之平均年蒸發散量約占平均年降雨量的 22%，入海量約占 60%，可供利用水資源占比不高，約占 18%。取水量依序來自於河川引水量、地下水抽取量和水庫供水量，各占總取水量之 45.7%、29.6% 和 24.7%。各年總取水量皆高於可供利用水量，資料期間之平均年地下水超抽水量約為 5.77 億噸。

根據前述 FAO 對各種水資源量之定義，以及表 2 之台灣水資源供給和取水量數據，台灣之可再生水資源量、可利用水資源量和取水量，可以下列各式計算：

可再生水資源量

$$\begin{aligned} &= \text{天然可再生水資源量} \\ &= \text{內部可再生水資源量} \\ &= \text{河道逕流量} + \text{地下水入滲量} \end{aligned}$$

可利用水資源量

$$\begin{aligned} &= \text{河道逕流量} + \text{地下水入滲量} - \text{入海量取水量} \\ &= \text{水庫供水量} + \text{河川引水量} + \text{地下水抽用量} \end{aligned}$$

表 3 為 2000 年至 2019 年台灣可再生水資源量、可利用水資源量、取水總量和各人均量之計算結果，其中，人均水量係以各類水資源量除以主計總處用以估算

表 2 台灣水資源供給與取水概況

單位：億立方公尺

年度	降雨量	蒸發量	河道逕流量	入海量	水庫供水量	河川引水量	地下水入滲量	地下水超抽量	地下水抽用量	海淡水	境外引水	總取水量
2000	840.00	201.00	599.00	478.00	50.00	71.00	40.00	17.00	57.00			178.00
2001	1,107.70	232.60	824.60	694.70	47.90	82.00	50.50	4.40	54.90			184.80
2002	565.90	93.10	422.30	289.70	39.90	92.70	50.50	3.90	54.40			186.90
2003	608.00	92.07	465.47	343.32	37.47	84.68	50.46	3.34	53.80			175.95
2004	925.92	243.61	631.81	509.38	36.59	85.84	50.50	4.91	55.41			177.84
2005	1,284.48	248.97	985.01	861.76	46.11	77.14	50.50	4.76	55.26			178.51
2006	1,023.84	264.76	708.58	589.67	51.65	67.26	50.50	4.63	55.13			174.04
2007	1,166.76	177.72	938.54	811.16	43.47	83.91	50.50	7.81	58.31			185.69
2008	1,089.00	253.68	784.82	663.33	34.24	87.25	50.50	7.79	58.29			179.78
2009	896.04	232.68	612.86	480.37	48.86	83.63	50.50	7.63	58.13			190.61
2010	852.48	177.11	624.87	511.55	34.57	78.75	50.50	6.82	57.32			170.64
2011	828.00	191.48	586.02	470.96	41.14	73.84	50.50	6.62	57.12			172.18
2012	1,130.04	232.54	846.98	730.56	41.07	75.36	50.50	6.28	56.78			173.20
2013	985.60	225.28	709.88	593.03	42.66	74.19	50.52	5.55	56.07	0.07		172.99
2014	691.56	179.99	461.05	347.65	43.44	69.96	50.52	4.64	55.16	0.07		168.64
2015	794.16	201.43	542.21	437.24	28.76	76.21	50.52	4.67	55.19	0.07		160.25
2016	1,180.08	249.01	880.55	769.69	41.59	69.27	50.52	4.00	54.52	0.07		165.46
2017	936.36	154.35	731.40	619.40	42.34	69.66	50.61	3.76	54.37	0.07		166.45
2018	872.28	207.03	614.73	501.93	42.54	70.26	50.52	3.72	54.23	0.07	0.01	167.13
2019	882.00	182.27	649.21	535.58	41.00	72.63	50.52	3.11	53.63	0.09	0.04	167.39
平均	933.01	202.03	680.99	561.95	41.77	77.28	49.98	5.77	55.75			174.82

資料來源：經濟部水利署，水利統計年報，2001~2014；2014~2019年資料由水利署提供。

表 3 台灣之可再生水資源、可利用水資源和取水量

年度	可再生水資源		可利用水資源		取水量	
	總量 (億 M ³)	人均量 (M ³ /人/年)	總量 (億 M ³)	人均量 (M ³ /人/年)	總量 (億 M ³)	人均量 (M ³ /人/年)
2000	639.0	2,880.39	161.0	725.73	178.0	802.36
2001	875.1	3,916.99	180.4	807.48	184.8	827.17
2002	472.8	2,104.78	183.1	815.11	186.9	832.03
2003	515.95	2,286.65	172.61	765.02	175.95	779.83
2004	682.30	3,012.83	172.93	763.59	177.84	785.28
2005	1,035.51	4,555.75	173.75	764.42	178.51	785.36
2006	759.08	3,325.88	169.41	742.26	174.04	762.55
2007	989.04	4,315.66	177.88	776.18	185.69	810.26
2008	835.32	3,632.19	171.99	747.86	179.78	781.73
2009	663.36	2,874.38	182.99	792.91	190.61	825.92
2010	675.37	2,918.51	163.82	707.92	170.64	737.39
2011	636.52	2,744.39	165.56	713.82	172.18	801.55
2012	897.48	3,856.75	166.92	717.31	173.20	742.36
2013	760.40	3,257.27	167.37	716.95	172.99	744.03
2014	511.57	2,185.86	163.92	700.40	168.64	720.57
2015	592.73	2,526.24	155.49	662.71	160.25	682.99
2016	931.07	3,959.31	161.38	686.26	165.46	703.61
2017	782.01	3,319.86	162.61	690.33	166.45	706.63
2018	665.25	2,821.24	163.32	692.62	167.13	708.78
2019	699.73	2,965.46	164.15	695.67	167.39	709.40
平均	730.98	3,173.02	169.03	734.23	174.82	759.48

資料來源：1. 經濟部水利署，水利統計年報，1998~2014；2014~2019年資料由水利署提供；
2. 主計總處，國民所得統計常用資料，2021；
3. 本文計算。

人均 GDP 的各年「期中人口數」。可再生水資源不論是總量或人均量之變動幅度皆較大，主要原因是可再生水資源深受降雨影響。除 2005 年可再生水資源量超

過 1,000 億立方公尺外，其他年度約介於 473 至 989 億立方公尺之間。可再生水資源量低於 600 億立方公尺的 2002 年、2003 年、2014 年和 2015 年皆是台灣乾旱嚴

重的年份，對蓄水不易的台灣而言，水資源之管理與利用確實面臨愈來愈頻繁且嚴峻的挑戰。台灣之可利用水資源和取水量則相對較為穩定，表示以當前的水利設施和管理策略，每年可由大自然汲取並利用的水量較天然降雨量的變動幅度穩定，同時也顯示水資源需求量（用水量）也相對穩定。資料期間平均約有 24.12% 的可再生水資源成為可利用水資源，但降雨較少年份（如，2002 年、2003 年、2014 年和 2015 年）此比例則較高（2002 年為 38.73%、2003 年為 33.45%、2014 年為 32.05%，2015 年為 26.23%），顯示乾早年需以強度更大的水資源措施或作法才能滿足用水所需水量。

由表 2 可看出，自 2013 年起海淡水成為台灣的水源之一，海淡水和再生水皆是透過科技產生的新水源，與傳統水源不同，稱為非傳統水源。衡量非傳統水源之使用效率需考慮的因素與傳統水源不同，且因目前其水量仍偏小，故本文暫不考慮此類非傳統水源。因而部分水資源供給量和取水量因不納入非傳統水源和境外引水，可能有些許誤差，然比例很小對指標值的影響不大。

理論上，取水量應小於可利用水資源量，但資料期間台灣每年取水量皆高於可利用水資源量，主要因為地下水抽用量超過地下水入滲量，也就是地下水有超限利用的情形。台灣地下水長期處於超抽狀況，是導致西南沿海地區和屏東沿海地區地層持續下陷的主因。表 2 顯示 2000 年之後地下水超抽量大幅下降，然因地下水抽用量並無太大變化，由資料上判斷，應是地下水入滲量估算造成的差異。

本文參考國際上的水資源效率指標，並檢視台灣可供量化此類指標之水資源相關統計資料後，暫選定水資源利用指數（又分指數 I 和指數 II）、水資源生產力（國家和部門別），以及人均生活用水量為水資源效率指標。水資源利用指數可用來評估水資源使用壓力，甚至審視是否超限利用，故可視為一種資源使用對環境衝擊指標；水資源生產力為生產面水資源使用效率指標；人均生活用水量為消費面之水資源使用效率指標。前述各項指數 / 指標計算方式界定如下：

水資源利用指數 I = 年取水量 / 長期平均可再生水資源量

水資源利用指數 II = 年取水量 / 長期平均可利用水資源量

全國用水生產力 = 全國 GDP / 總取水量（元 / 立方公尺）

農業用水生產力

$$= \text{農業 GDP} / \text{農業用水取水量（元 / 立方公尺）}$$

工業用水生產力

$$= \text{工業 GDP} / \text{工業用水取水量（元 / 立方公尺）}$$

人均生活用水量

$$= \text{生活用水取水量} / \text{人口數（立方公尺 / 人 / 年）}$$

需特別說明的是，本文以取水量替代用水量，後續說明此二名詞將互用。另外，生產面水資源使用效率指標亦可以國家或部門別之用水密度表示，用水密度為生產單位 GDP 所需使用的水量，為生產力的倒數。

以 2000 ~ 2019 年 20 年間之平均可再生水資源量和平均可利用水資源量，做為水資源利用指數公式中的長期平均可再生水資源量和長期平均可利用水資源量，即可計算台灣的水資源利用指數 I 和水資源利用指數 II，結果如表 4 所示。依照定義，取水量應小於可利用水資源量，可利用水資源量小於可再生水資源量。因此，若水資源利用合理，原則上水資源利用指數 I 和水資源利用指數 II 通常皆小於 1（100%）。

表 4 歷年台灣水資源利用指數值

年度	水資源利用指數 I	水資源利用指數 II
2000	0.2435 (24.35%)	1.0531 (105.31%)
2001	0.2528 (25.28%)	1.0933 (109.33%)
2002	0.2557 (25.57%)	1.1057 (110.57%)
2003	0.2407 (24.07%)	1.0409 (104.09%)
2004	0.2433 (24.33%)	1.0521 (105.21%)
2005	0.2442 (24.42%)	1.0561 (105.61%)
2006	0.2381 (23.81%)	1.0296 (102.96%)
2007	0.2540 (25.40%)	1.0986 (109.86%)
2008	0.2459 (24.59%)	1.0636 (106.36%)
2009	0.2608 (26.08%)	1.1277 (112.77%)
2010	0.2334 (23.34%)	1.0095 (100.95%)
2011	0.2355 (23.55%)	1.0186 (101.86%)
2012	0.2369 (23.69%)	1.0247 (102.47%)
2013	0.2367 (23.67%)	1.0234 (102.34%)
2014	0.2307 (23.07%)	0.9977 (99.77%)
2015	0.2192 (21.92%)	0.9481 (94.81%)
2016	0.2264 (22.64%)	0.9789 (97.89%)
2017	0.2277 (22.77%)	0.9847 (98.47%)
2018	0.2286 (22.86%)	0.9888 (98.88%)
2019	0.2290 (22.90%)	0.9903 (99.03%)
平均	0.2392 (23.92%)	1.0343 (103.43%)

資料來源：表 3，本文計算。

水資源利用指數可評估水資源壓力和水資源是否超限利用，可視為水資源利用對環境影響之指標。歐盟 [2] 建議取水量占可再生淡水資源之比（即水資源利用指數 I）應小於 20%。同時建議：水資源利用指數 I 在 10% ~ 20% 間為「低度水資源壓力」(low water stress)，20% ~ 40% 為「水資源具壓力」(stress on water resources)，大於 40% 為「嚴重水資源壓力」(severe water stress)。若以此為標準，台灣屬指數介於 20% ~ 40% 的「中度水資源壓力」地區。水資源利用指數 I 於資料期間雖有浮動，但長期來看有漸減之趨勢，表示水資源壓力漸減，此可能與水利署推動新興水源和節約用水措施有關。

台灣水資源利用指數 II 長期來看有下降趨勢，但指數偏高且在 2014 年以前各年甚至大於 1，如前所述，主因為地下水超抽。2014 年之後水資源利用指數 II 雖小於 1，但仍然極度偏高，顯示水資源壓力仍頗高，未來需持續增加水量蓄留能力或由使用端促進用水效率提升。大致上，台灣地下水資源利用仍處於一種不永續狀態，地下水的有效管理和管制仍是政府應當持續著力改善之處。

水資源使用主要包括農業用水、生活用水、工業用水和保育用水。台灣全年的保育用水量估計約 15 億立方公尺^[8]，但水利署歷年之水利統計並未單獨估算保育用水量，判斷其水量應是合併於河川流量。因而台灣之取水量僅供農業、生活和工業使用，以下本文繼續以 3 大用水標的探討並計算相關效率指標值。台灣歷年農業用水、生活用水、工業用水之取水量與取水量占比，如表 5 所示。

整體而言，資料期間台灣總取水量介於 160 ~ 191 億立方公尺之間，各年取水量雖起伏不定，但長期呈現緩步下降的趨勢。若將資料期間進一步切割為前後各 10 年，則 2000 ~ 2009 年之平均總取水量為 181.21 億立方公尺，2010 ~ 2019 年為 168.43 億立方公尺，下降幅度更為明顯；農業取水量呈現與總取水量類似的走勢，亦有下降趨勢，但占總取水量比例穩定偏高，多介於 70% ~ 72% 之間；生活取水量自 2001 年達到高點的 37.3 億立方公尺後，持續穩定下降至近年略低於 32 億立方公尺，占總取水量的比例自 2006 年起皆在 20% 以下；工業取水量呈現微幅浮動而無明顯趨勢，介於 15 ~ 19 億立方公尺之間，取水比例自 2000 年起皆在 10% 以下。

表 5 台灣各用水標的之用水結構

單位：億立方公尺(%)

年度	總取水量	農業取水量	生活取水量	工業取水量
2000	178.00	123.00 (69.10)	36.00(20.22)	19.00 (10.67)
2001	184.80	130.10 (70.40)	37.30 (20.18)	17.40 (9.42)
2002	186.90	134.11 (71.75)	35.18 (18.82)	17.70 (9.47)
2003	175.95	124.34 (70.67)	35.53 (20.19)	16.08 (9.14)
2004	177.84	126.04 (70.87)	35.26 (19.83)	16.54 (9.30)
2005	178.51	127.82 (71.60)	35.25 (19.75)	15.44 (8.65)
2006	174.04	122.38 (70.32)	35.91 (20.63)	15.75 (9.05)
2007	185.69	133.59 (71.94)	35.66 (19.20)	16.44 (8.85)
2008	179.78	129.60 (72.09)	33.50 (18.63)	16.68 (9.28)
2009	190.61	141.48 (74.22)	33.62 (17.64)	15.51 (8.14)
2010	170.64	122.05 (71.52)	32.56 (19.08)	16.03 (9.39)
2011	172.18	124.35 (72.22)	32.31 (18.77)	15.52 (9.01)
2012	173.20	125.25 (72.32)	31.86 (18.39)	16.10 (9.30)
2013	172.99	124.68 (72.07)	31.92 (18.45)	16.39 (9.47)
2014	168.64	120.31 (71.34)	31.97 (18.96)	16.36 (9.70)
2015	160.25	112.82 (70.40)	31.42 (19.61)	16.01 (9.99)
2016	165.46	117.34 (70.92)	31.83 (19.24)	16.29 (9.84)
2017	166.45	118.43 (71.15)	31.47 (18.91)	16.54 (9.94)
2018	167.13	118.90 (71.14)	31.56 (18.88)	16.67 (9.97)
2019	167.39	118.82 (70.99)	31.86 (19.03)	16.71 (9.98)
平均	174.82	124.77 (71.37)	33.60 (19.22)	16.46 (9.42)

資料來源：同表 2。

表 6 台灣各用水標的水資源使用效率

年度	整體用水生產力 (元/立方公尺)	農業用水生產力 (元/立方公尺)	工業用水生產力 (元/立方公尺)	人均年生活用水量 (立方公尺/人/年)
2000	554.1	29.9	1,350.6	162.3
2001	526.2	27.1	1,370.5	167.0
2002	548.9	28.2	1,488.6	156.7
2003	607.6	30.0	1,794.2	157.5
2004	643.0	28.0	1,935.2	155.7
2005	675.0	26.4	2,237.2	155.1
2006	732.3	30.8	2,353.2	157.3
2007	733.4	28.2	2,539.8	155.6
2008	763.6	29.1	2,509.8	145.7
2009	708.6	25.9	2,631.1	145.7
2010	872.6	30.7	3,092.6	140.7
2011	896.6	31.5	3,381.7	139.3
2012	911.1	30.3	3,411.1	136.9
2013	934.8	30.9	3,452.3	136.7
2014	1,004.2	32.7	3,779.4	136.6
2015	1,072.3	32.1	3,896.9	133.9
2016	1,061.0	27.9	3,973.1	135.4
2017	1,089.6	29.9	4,098.9	133.6
2018	1,115.4	31.2	4,170.7	133.8
2019	1,146.7	30.6	4,227.0	135.0
平均	829.9	29.6	2,884.7	146.0

資料來源：1. 經濟部水利署，歷年水利統計年報，1998~2014年；2014~2019年資料由水利署提供；
 2. 行政院主計總處，國民所得統計常用資料，2021；
 3. 行政院主計總處，歷年國內各業生產與平減指數，2021；
 4. 本文計算。

以台灣用水數據、全國實質 GDP、農業實質 GDP、工業實質 GDP 和各年「期中人口數」等資料，可計算生產面效率指標：整體用水生產力、農業用水生產力和工業用水生產力，以及消費面效率指標人均年生活用水量，結果如表 6 所示。

除 2001 年、2002 年和 2009 年短暫下降外，整體用水生產力長期呈現上升趨勢，表示國內整體用水效率逐步提高；農業用水生產力短期波動較為頻繁，長期趨勢較不明顯，大致上農業用水效率並無明確提升趨勢；工業用水生產力於資料期間呈現穩定上升趨勢，顯示用水效率明確提升；人均年生活用水量除 2000 年和 2019 年之外，與工業用水生產力之走向雷同，呈現明確的下降趨勢，表示生活用水效率持續提高。不過由於生活用水包含家庭用水、商業用水、機關用水、公共用水和都市活動用水等，受到人口成長、經濟發展、生活型態、天候氣溫等因素影響。其中，經濟成

長會導致商業用水量增加，與節約用水對用水量之影響有反向關係，解讀上應特別謹慎。綜言之，整體用水效率、在資料期間雖偶有浮動，但長期呈現用水效率提升的現象；工業用水效率和生活用水效率明確提升；農業用水效率則無明確提升狀況。

特別需提醒的是，用水效率不宜跨部門比較，以農業用水和工業用水為例，資料期間工業用水平均生產力約為農業用水平均生產力的 10 倍。此結果不能做為認定農業用水較工業用水不效率的判斷基準，因為農業部門肩負糧食安全、三生功能、生態環境、傳統文化等其他功能，其重要性不能僅以生產力表示。相對地，水資源使用效率較適用於部門內評估，以審視部門用水效率隨時間變化情形。在政策制定時整體或部門用水效率指標值亦可用來設定政策目標，例如，政策目標為於特定時間點，工業用水效率提升 20%，生活用水量減少 10% 等。

結語

本文參考國際上常用的水資源效率指標配合國內水資源現有資料，選定包括水資源利用指數 I、水資源利用指數 II、水資源生產力（國家和部門別），以及人均生活用水量為水資源效率指標，並以 2000 ~ 2019 年資料計算指標值。由水資源利用指數 I 之計算結果來看，長期而言台灣水資源利用狀況有逐漸改善的情形，但仍處於水資源具壓力狀態。台灣的水資源利用指數 II 雖亦逐步下降，但指數值居高不下，其原因除地下水長期超抽外，也表示台灣水資源的蓄留能量仍難以支應水資源需求。

水資源使用效率部分，整體用水生產力、工業用水生產力和生活用水效率雖仍有改善空間，但已有明確效率提升的跡象。工業用水效率逐年提升，應與政府持續推動用水計畫審查制度、節約用水措施，以及廢水回收再利用等措施有關。另自 2000 年之後台灣人均年生活用水量持續下降，但若換算成每人每日平均用水量，接近 400 公升，與世界各國比較仍偏高。主要和台灣水價無法充分反映真正供水成本可能有關，過低的水價容易予人水資源非珍貴資源的錯覺，更遑論提供節水誘因。占比超過 70% 的農業用水長久以來一直是各方關切的焦點，計算結果顯示台灣農業用水效率並無明確提升的狀況。若能加強提升農業用水效率，對降低台灣水資源壓力將有莫大幫助，亦是解決台灣水資源問題不可忽視的重要環節。

水資源效率指標僅能初步提供用水效率狀況和趨勢等資訊，若要真正提高水資源效率，則需繼續探討效率偏低的原因，特別是評估目前台灣水資源使用是否與經濟成長和環境衝擊脫鉤，以確認水資源利用符合永續發展原則。另外，台灣水資源利用之根本課題在於區域性水資源不足和不均，以及氣候變遷帶來的缺水風險。在水資源供給面管理無法單獨解決這些課題時，提升用水效率與水資源合理配置應是確保水資源無缺的重要工作，甚至是提高國家經濟競爭力和綠色競爭力的根本要求。

本文所計算的水資源效率指標值使用的是全國資料，無法反映區域或流域不同水資源壓力狀況，也就是這些指標無法反映水資源在時間和空間上不平均所產生區域性壓力。另外，目前選出的指標雖可做為政策目標設定的工具，但尚無法提供政策監控和細部評

估功能。欲達這些目的，水政單位需建置更完整且解析度更高的水文和用水統計系統。水文資訊應包含降雨量、水庫蓄水量與存量、河川流量、可取水量、河川環境基本流量、地下水存量和安全出水量、滲透量與取水量等之外，尚須有非傳統水源的來源與去處之相關資訊；用水資訊至少應有水權量、取水量、取水地點、取水單位、標的用水量、放流量和放流地點等。聯合國於 2012 年出版的水資源環境與經濟帳系統（SEEA-Water），以國民會計制度（System of National Accounts）的基本架構為基礎建置各類水資源帳，描述傳統和非傳統水資源於經濟體系、環境體系，以及經濟體系與環境體系間的流量和存量。未來若能以水利統計為基礎，配合 SEEA-Water 水資源帳內容，建立完整且高解析度的水文和用水資訊，方能提供落實水資源經營管理和規劃所需之細部資料。

參考文獻

1. EEA (2007), Climate Change and Adaptation Issues, Technical Report No. 2/2007, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
2. EC (2012), Assessment of Resource Efficiency Indicators and Targets, prepared by BIO Intelligence Service, Institute for Social Ecology and Sustainable Europe Research Institute, European Commission, DG Environment.
3. EU (2015), EU Resource Efficiency Scoreboard 2014, European Union.
4. Dawkins, E., K. Roelich, J. Barrett, and G. Baiocchi, (2010), Securing the Future – The Role of Resource Efficiency, WRAP, UK.
5. EEA (2011), Resource Efficiency in Europe: Policies and Approaches in 31EEA Member and Cooperating Countries, EEA Report No.5/2011, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
6. EEA (2020), Resource Efficiency and the Circular Economy in Europe 2019 – Even More for Less, EEA Report No.26/2019, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
7. FAO (2003), Review of World Water Resources by Country, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
8. 水利署（2002），台灣地區水資源開發綱領計畫，http://hysearch.wra.gov.tw/wra_ext/WaterInfo/wrproj/main/main.htm 

歡迎加入學會



www.ciche.org.tw

下載入會申請書



中國土木工程學會
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

e-mail: service@ciche.org.tw

電話：(02) 2392-6325

傳真：(02) 2396-4260