

臺灣綠色產業深度報告

【水資源循環再利用於循環經濟下之機會】

撰稿人： IEK 新能源產業與政策研究部 陳志洋 研究員



經濟部推動綠色貿易專案辦公室
GREEN TRADE PROJECT OFFICE
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS

水資源循環再利用於循環經濟下之機會

IEK 新能源產業與政策研究部

陳志洋 研究員

摘要

「循環經濟」近年來成為國際之間的熱門議題。其以創新思維擺脫過去製造、生產、廢棄的「線性經濟」模式，透過資源妥善循環在滿足社會需求的同時，帶動經濟發展及環境保護，近年來無論是在國家或者企業層級，都可觀察到積極透過循環經濟創造下一波經濟發展的策略。而水資源是全球最具影響力的風險之一，各項研究數據皆表明若人類持續濫用水資源，未來將面臨沒有乾淨水可用的情境。人類各項活動皆高度依賴水，而將污水或難以利用之水源轉化為可使用水源的水處理產業更成為水資源危機下的顯學。本文將以循環經濟與水資源循環再利用為例，首先介紹水資源與水處理發展概況，其次為循環經濟下水資源再利用概念，最後介紹以色列與新加坡兩個國家在水資源循環利用之作法。

一、水資源市場持續提升

(一) 各國政策對水資源日益重視

隨著缺水與水資源循環再利用議題日益受到重視，聯合國積極呼籲各國將污水管理視為優先要務，在世界衛生組織(WHO)、聯合國環境規劃署(UNEP)和人居署(UN-Habitat)共同提出的污水管理資料即警告各國政府須更積極處理污水問題，否則將對民眾健康、經濟活動和水資源安全造成越來越大的威脅。

聯合國環境規劃署(UNEP)與非盈利組織 Waterlex 共同發表的「規範污水處理之良好作法：法規、政策與標準」(Good Practices for Regulating Wastewater Treatment: Legislation, Policies and Standards)則結合環保與經濟

發展，透過阿根廷、澳洲、芬蘭、約旦、新加坡和南非等國家成功將污水處理轉換成獲利的各種範例來引導各國可能的政策方向。

除了國際共同規範外，各國政府近期亦積極透過法令來規範廢水處理之相關做法，簡要說明如下：

1. 美國

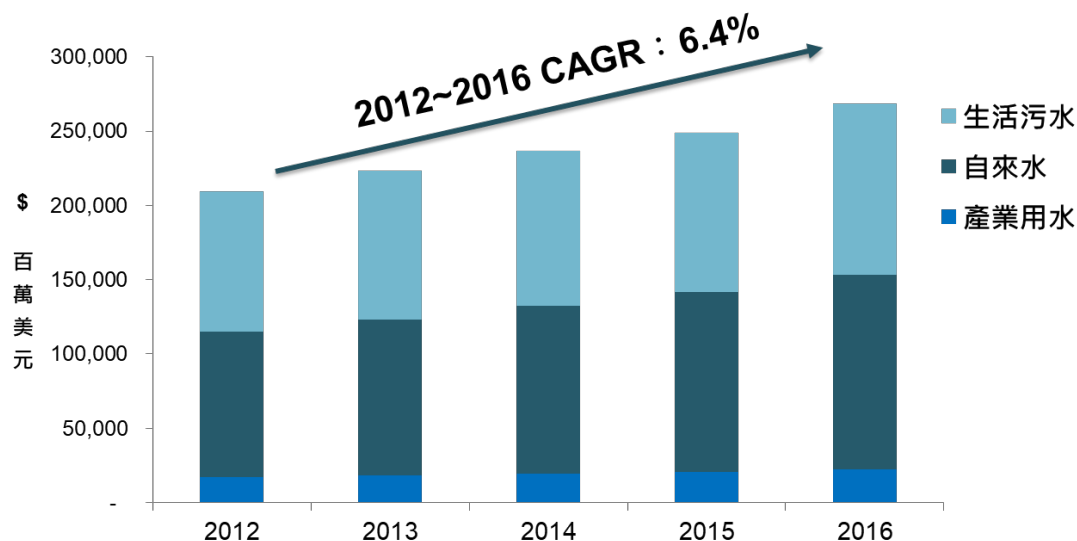
美國環保署(USEPA)制定各項水相關法令以確保水資源不受污染，措施包含定下規範、提供資金誘因等等，例如：完成清淨水法規制定以保護溪流和濕地、撥發清淨水法資金升級加州污水處理廠，使得該處理廠的排放將符合減少氨、硝酸鹽及其他污染物排放的新州級水質要求。此外亦訂定蒸氣發電廠放流水上限制準則(Steam Electric Effluent Limitation Guidelines)，將有毒污染物包括汞、砷、鉛及硒等納入準則規範，以降低有毒污染物排入水體。

2. 歐盟

歐盟執委會發表歐盟成員國水資源法規執行檢討報告，以檢視成員國落實歐盟水資源法規情形，同時也提出一系列鼓勵更完善的水價制定、地下水抽取、工業工廠管控與農業污染行動的建議。針對污染嚴重的化學製程廢水部分，歐盟執委會透過化學產業廢水與廢氣處理及管理系統之最終版最佳可行技術(best available technique, BAT)，針對管末廢水處理技術、粒狀物排放管制及整體放流水評估等主題制定最佳可行技術，並制定包括銅、鎳、鋅及鉻等污染物排放進入水體的相關濃度。此外，歐盟訂定水資源再利用政策計畫，針對極大化水資源再利用(water reuse)的行動完成影響評估，考慮的選項包括改善水價的執行與執法，以及提倡風險導向方法(risk-based approach)之非強制性措施，以管制水資源再利用等。

(二) 全球水處理市場規模持續提升，吸引新創公司加入

全球水處理市場市場規模在 2011 年達到 1,960 億美元，其中以生活污水處理之市場規模最大，達 900 億美元，全球水處理市場 2012~2016 年之年複合成長率約為 6.4%，至 2016 年全球水處理市場規模預計達到 2,680 億美元。



資料來源：GWI、World Bank、Frost & Sullivan；工研院 IEK 整理(2017/11)

圖一 全球水處理市場概況

在水資源與水處理產業中，以往市場由 Veolia、Suez 等大型跨國公司所主導，而隨著產業的興盛以及對相關產品的需求，水產業新創公司逐漸興起並在產業中占有一席之地，其中在美國與歐洲地區最為普及，而亞洲地區的競爭亦相當激烈，特別是在已開發國家如新加坡與澳洲，至於中國大陸的新興公司也開始成長，但中國大陸水產業新創公司主要還是聚焦在國內市場，較少跨足到國外。

較具知名的水處理大國如以色列、新加坡等，關於水資源與水處理的創新產業非常興盛，這些新創公司大多數提供新穎且高級的解決方案，例如過濾膜技術、水資源相關產品與耗材回收再利用等。以以色列而言，其擁有超過 250 家水科技公司，是全世界最主要的水技術輸出國，主要業者包含 Netafim、IDE Technologies、Tahal Group、Plastro、Arad 等等。約有 50% 的水技術公司致力於污水處理的研發活動，擁有多項污水處理創新技

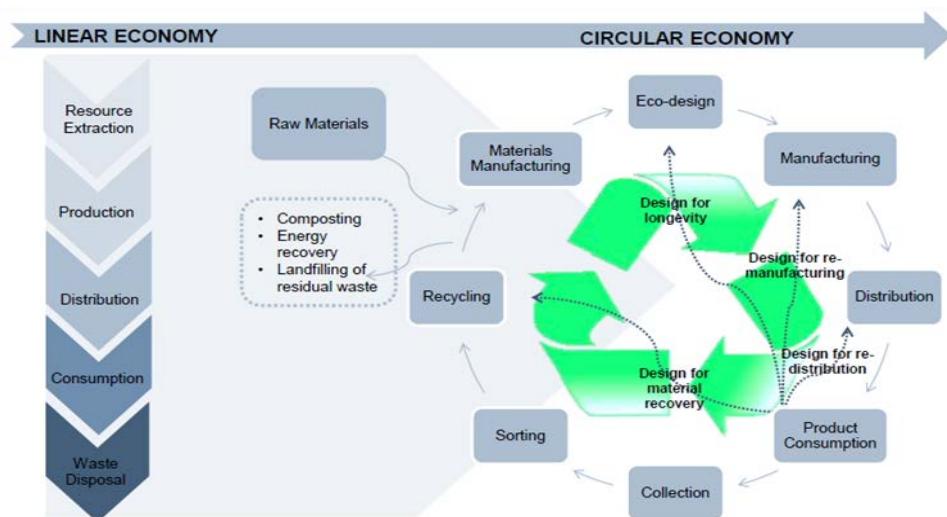
術，例如海水淡化技術、水資源二次利用飲用水處理技術、洩漏偵測與漏水處理、民生與工業污水處理、水、廢棄物與能源的管理與監控解決方案等等。

二、循環經濟下水資源再利用概念

(一) 循環經濟意涵

傳統的經濟體系是一種線性經濟(linear economy)，在資源開採、產品生產、消費者使用後，原料終止循環成為廢棄物，無法再為人類所善加利用，倘若處理不當甚至衍生環境問題。

循環經濟概念講求的是資源與經濟活動再利用的循環，將資源開採、設計、生產產品、消費者使用、回收再利用等等變成回饋式的流程，物質和能源可以在這個不斷進行的經濟循環中得到合理和持久的利用。因此在循環經濟概念下，地球上有限的資源可以不斷重複利用，降低資源開採量並提高現有資源/能源的使用效率，並把污染或廢棄物大幅降低，與傳統工業社會中資源開採後利用完畢即成為無用廢棄物的做法有非常大的差異。



資料來源：Frost & Sullivan

圖二 線性經濟與循環經濟模式之比較

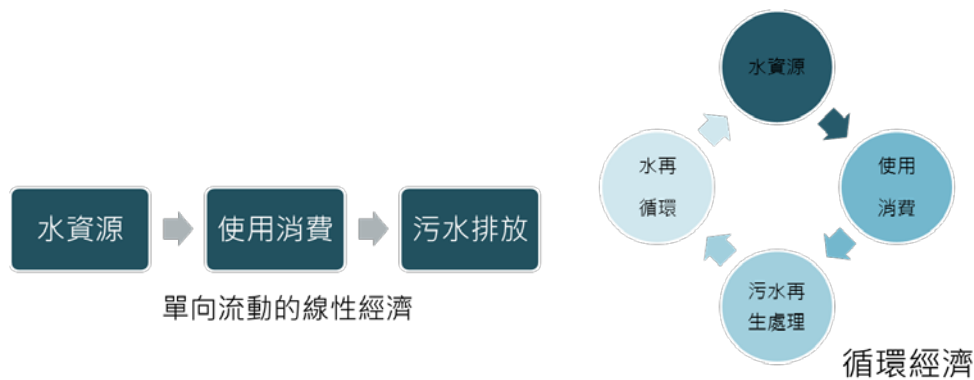
由於資源稀缺，循環經濟的目標是最大限度地利用自然資源、原材料

和產品，並以有價值的方式重新利用。這意味著使用後的原物料仍然可以成為資源對經濟體系增加價值，並且對環境損害降到最低。為了達循環經濟的體系，整個經濟體系的價值活動將與之前不同，創造出新的商機。新的商機包含了：重新設計、循環增值、循環農業、創新商業模式等等。商業模式是當中非常重要的一環，唯有透過產品與商業模式的創新、重新設計，才能跨越門檻，確實地被完整發揮，並與市面上高效率、低成本，線性製造的商品競爭。

(二) 水資源再利用概念

水資源再生使用是循環經濟中非常重要的一環。由於水資源有限，人類無法再如同過往一樣無限制的使用水，而必須更有效率的利用水資源，甚至將使用過的廢水再處理，重新供民眾或產業使用。由於許多國家在發展能源與產業時過度低估水資源的真正價值，造成水污染情況日益嚴重，因此聯合國積極呼籲各國將污水管理視為優先要務。根據 2015 年聯合國世界水資源發展報告指出，若水資源管理再不大幅改善，2030 年時全球可用的淡水資源將減少 40%。為了在有限的水資源下最大化利用，水循環的概念就成了非常重要的課題。

人類傳統上對水資源的利用一向採線性經濟的模式，在取水、使用後，即將污水直接排放進入自然水體當中，透過大自然的淨化能力來重複獲取乾淨的水源，也不在意隨著污水排放佚失在河海中的物質。然而隨著人口與工業化成長，此舉不但使廢水中的有毒物質與重金屬排放到河川或海洋中造成環境污染，另一個問題是包含了有價金屬以及營養鹽大量集中到水體之中，而無法循環回到原本的工廠或土壤被人類再利用，資源的錯置實屬浪費。而在循環經濟體系中，講求的是如何將使用後的污水再生處理，並透過再生循環的體系將每一滴水以及提取的物質做最大的利用。



資料來源：工研院 IEK(2016/09)

圖三 水資源利用線性經濟與循環經濟比較

由於循環經濟是一個整體的系統概念，水資源循環再利用可包含三個面向，除了水本身的循環再利用以外，水處理所產生的污泥資源化以及過程中產生的能源再利用亦為水再生中重要的機會：

● 水循環再利用：

水循環需要遵循減量化、再利用、再循環三大操作原則，以目前來說，水再生為目前發展最為蓬勃的市場。水再生利用的範疇包括生活污水、事業廢水、海水及貯留雨水等四大類別，由於四類水源特性不同，故處理後適合使用之用途亦有所不同，例如生活污水經再生處理後可用於工業用水、農業用水、環境景觀用水等；事業廢水經再生處理後供應工業使用；海水淡化後可作為灌溉用水與飲用水；經處理後之貯留雨水，可提供作為生活用水以外之用途使用等。

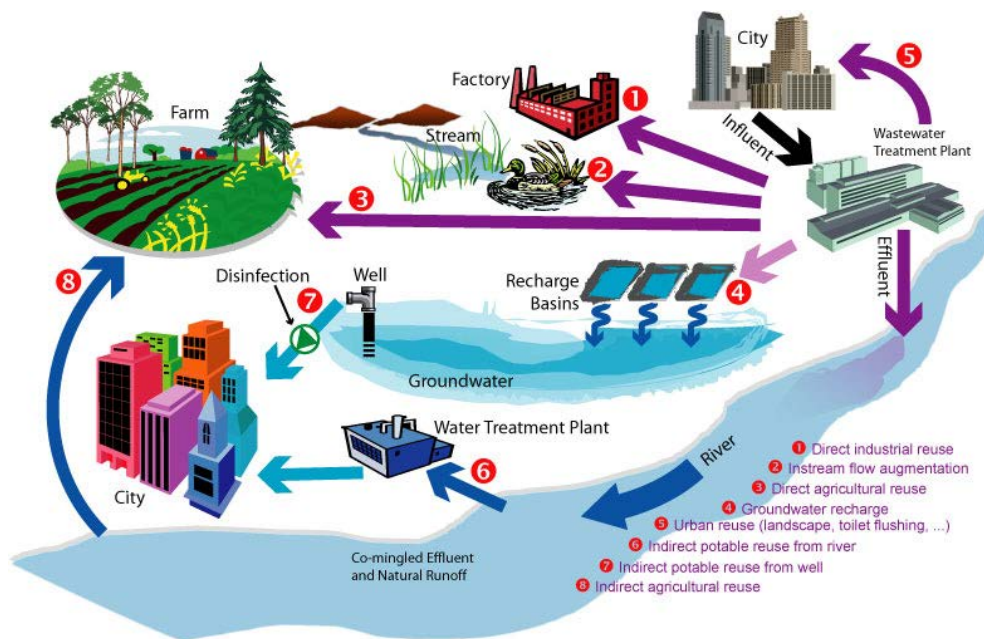
● 污泥資源化：

早期水處理概念對於污水中的污染物多是從去除的角度出發，利用添加化學藥劑或是濃縮的方式來處理，但最後也產生了大量廢棄物，再利用焚燒、掩埋的方式處理，除了必須額外耗費處理成本外，污泥中的物質也難以有效再利用。在循環經濟體系中，必須同時考量污染物的去化，透過事前評估水中污染物之成分與純度，即有可能從水中回收有價資源。現階段對於水中之貴重金屬如金、銀等回收技術已相當成熟，然而廢水中還有

一些物質的存在，例如生活污水中的氮、磷、磷酸鹽等，皆有機會利用回收技術進行回收再利用，一般而言，可利用污泥中豐富的有機物質做為農業中的堆肥，或是做為水泥生料、磚瓦生料、生質塑膠等材料。

● 能源再利用：

無論是生活用水的供給與污水處理均需大量能源，傳統水處理系統能耗相當高，目前歐美等先進國家皆投入低耗能之生活污水處理技術開發，以達到生活污水處理廠能源可自己自足甚至額外供應的目的。因污泥中往往含有大量的有機物，已有廠商將其發展為生質燃料中的一環，例如應用厭氧發酵技術將有機物代謝產出甲烷，可做為發熱、發電、運輸用氣態燃料，或是應用於水處理廠之能源使用。



資料來源：California Department of Water Resources (2013)

圖四 水再生循環之模式

三、水資源循環利用之案例

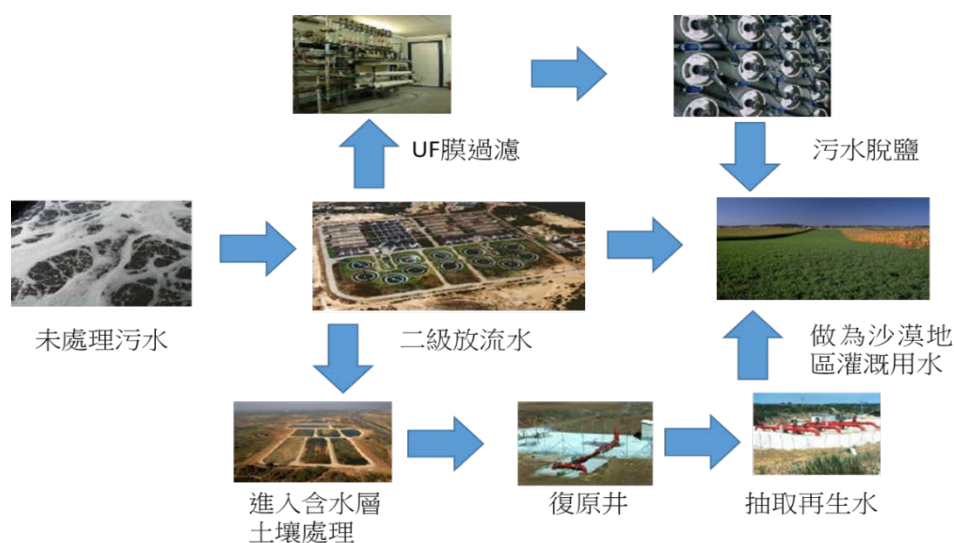
(一) 以色列

以色列國土有 1/2 以上是乾旱的內蓋夫沙漠(Negev)，此外亦有荒蕪的猶太山地，對於水資源極度缺乏，因此以色列極早就投入研究，透過科技

力量解決沙漠化、水與農業所面臨之問題，是全世界最主要的水技術輸出國。約有 50% 的水技術公司致力於污水處理的研發活動，科技研發領域尚含蓋污水回收處理、飲用水監測、水源開拓與水資源高效利用等，也因此以色列污水再利用率達 80% 以上，是世界上最高的國家。

因處沙漠地區，農業用水量大，以色列規劃將生活污水處理後作為農業用水使用。首先其廣泛規劃建設下水道以收集生活污水，污水下水道接管率達 95%，其中 80% 的污水送到污水處理廠處理，透過二級或三級污水處理廠處理後，65~70% 已被作為再生水使用，依不同水質作為不同農作物的灌溉用水。

通常在收集污水後，首先由淨化水池進行處理，處理程序包含前處理、初沉池、生物反應槽、終沉池等，其中產生的污泥透過濃縮處理程序可再做為農業用肥料。處理過的水源再進行土壤處理等程序，將水灌注於土壤利用微生物進行過濾、吸附等作用以改善水質。此過程會以地下水形式停留約 6~12 個月，之後再抽取上來作為再生水進行利用，即可應用在農業灌溉。而由於以色列氣溫乾熱，因此也設計管網系統或地下水道來降低蒸發損失，並搭配用水控制和管理系統，可有效監測農業灌溉之用水。整體而言，以色列已建立一套水資源循環體系，整合生活污水與農業，有效降低用水量並提高資源再利用率。下圖為以色列 Mekorot 公司水處理之程序：



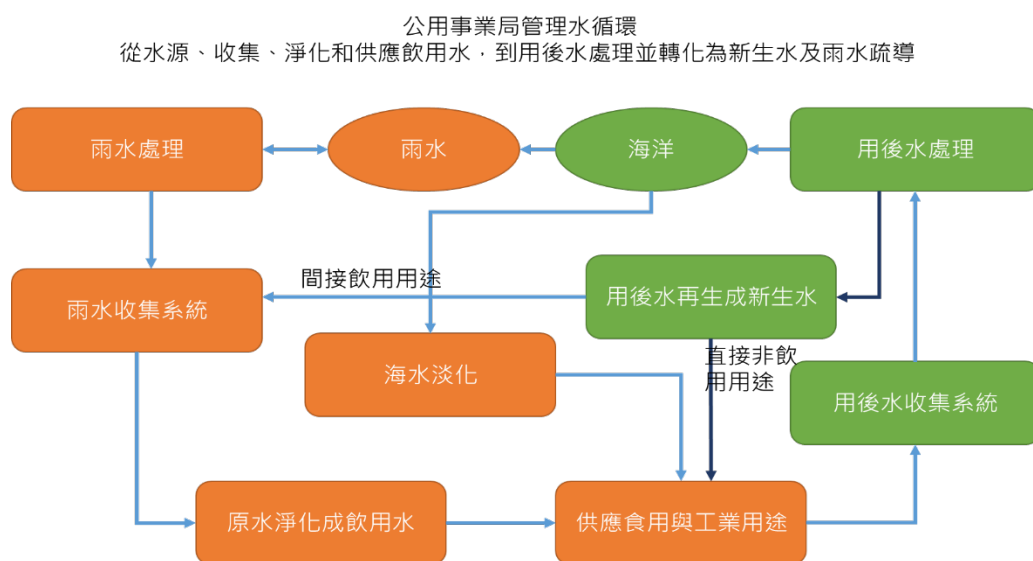
圖五 以色列 Mekorot 公司於 Negev 沙漠灌溉應用之水處理與再利用程序

(二) 新加坡

新加坡在常缺乏水資源的情況下，積極發展水資源相關技術，今日新加坡已經是全球公認的水產業大國，全國約 180 家水公司，創造了水產業整個價值鏈，從上游的濾材(membrane)、水泵，中游的設備 OEM 和系統商，到下游營運商、設備回收商，亦為循環經濟的最佳案例。

新加坡的新生水 Newater 聞名全球，新加坡使用先進的膜過濾技術，將污水中的雜質過濾出來，加以紫外線殺菌進一步純化，使其成為超潔淨、可安全飲用的再生水。目前新加坡的新生水大約可滿足目前用水需求的 30%。到 2060 年，預計新生水將會滿足新加坡的未來用水需求的 55%。

而新加坡之所以能從缺水國家變為可自給自足，主要是新加坡的水循環是以水資源整體循環再利用的概念，從水源的蒐集、淨化、供應、回收、再利用等，形成一個完整的循環，將水資源的循環利用極大化。新加坡污水再生主要作為工業製程和冷卻用水及水庫原水補充。如提供 250,000CMD 再生水作為晶圓工業用水、商業大樓冷卻系統用水及其他工業製程用水。



資料來源：新加坡公用事業局(PUB)

圖六 新加坡再生水循環體系

四、結論與建議

水是人類生活極度仰賴的資源之一，然而現實社會上，多數地區無論是居民的生活用水或是產業用水，大多仍如線性經濟的概念，使用後即當成污水排入水體當中，此舉不但造成環境的破壞，亦為資源利用上的不經濟。在循環經濟概念發酵下，目前水再生已成為發展蓬勃的市場，將污水經過處理後應用到適合的用途，並整合水處理所產生的污泥資源化以及過程中產生的能源再利用，成為一個完整的循環體系。

目前已有些國家在缺乏水資源情況下，建立適合自身條件的水再生/循環體系，例如以色列將生活污水透過土壤處理後做為農業灌溉之用，新加坡以水資源整體循環再利用概念，從水源的蒐集、淨化、供應、回收、再利用等，形成一個完整的循環，將水資源的利用極大化。我國雖然已有部分的產業推行廢水回收、零排放，然而目前在水資源循環的機制仍不夠完整，由於我國同樣為水資源缺乏之國家，未來應強化相關體系建立與技術發展，探討自來水與廢水處理業者的循環經濟發展改革路徑與新的營運模式，並吸引更多新創業者投入布局，提升水資源循環產業生態圈健全發展。