

如何計算產品水足跡

立恩威國際驗證公司(DNV) 技術開發經理 ■ 林俊男

一、水足跡概念

所謂產品水足跡 (product water footprint) 是指生產一項產品，在整個生產供應鏈中使用了多少體積的天然水源。根據國際標準組織 ISO 目前水足跡標準草案 ISO/WD3 14046: 2011 (Life cycle assessment - Water Footprint - Requirements and guidelines) 對水足跡 (water footprint) 的定義是：life cycle impact category indicator result(s) that assess(es) the contribution of the system under study to water impact (以生命週期評估，標的系統對水資源衝擊之類別指標評估結果)。完整的生命週期評估，除了追溯產品生產上游供應鏈外，還應該包含產品使用階段及產品終了廢棄處理階段之水資源衝擊。

由於水資源對生態體系之影響是多面向的，在評估產品對水資源衝擊時也應該是多面向的。考慮的因素包括從生態體系中擷取天然水量，以及排放廢污水至生態體系之衝擊；同時也要考慮時間點、所在地理位置及其環境敏感程度 (是否在水資源匱乏地區及季節)。甚至，考慮土地利用對天然水渠道改變之衝擊影響。ISO/WD3 14046 標準草案中，要求根據評估目的及範疇，決定採用單一指標或多重指標進行生命週期評估，參見圖一：

所以，水足跡代表對水資源衝擊之指標，而不是真正使用了多少水量。

本文將介紹國際非營利組織「水足跡網絡」(Water Footprint Network, WFN)，於 2011 年出版之「水足跡評估手冊」(The Water Footprint Assessment Manual) 之水足跡衝擊計算方法。該方法目前廣為被引用，是同時考慮水資源之使用、耗用及污染之多重指標評估方法。

二、水足跡盤查之範疇

在進行水足跡盤查時應考慮以下因素以決定盤查範疇：

- 考慮藍色水 (blue water)、綠色水 (green water) 及灰色水 (grey water)
- 供應鏈盤查之切斷原則
- 盤查數據之時間與空間範圍

藍色水、綠色水及灰色水

這是一個多重衝擊指標的考量，包括從生態體系中擷取天然水量 (藍色水、綠色水)，以及排放廢污水至生態體系 (灰色水) 之衝擊。其中，「藍色水」是所使用與蒸發之地表或地下水，「綠色水」是所使用與蒸發之

雨水，而「灰色水」為將製程排放之污水稀釋至承受水體環境水質標準以上所需之水量。

切斷原則

產品水足跡除了計算生產產品直接用水外，還要考慮供應鏈之間接用水。供應鏈盤查之切斷原則是進行生命週期盤查的基本問題，就水足跡而言，目前並無明確標準，一般的原則是：具重大 (significant) 貢獻度之所有程序都應納入生命週期盤查。所以重點在於如何判定具重大貢獻度。一般而言，供應鏈愈往上游，其對產品水足跡之貢獻度愈低。

其他特定的議題如，員工、運輸之衝擊是否要納入水足跡盤查？員工之衝擊納入水足跡盤查除了複雜度增加之外，會有重複計算的問題。而運輸因為消耗能源，在碳足跡評估時不可忽略，但在水足跡評估，一般而言，貢獻度低可忽略，除非是用生質燃料或水力。進一步而言，使用能源之衝擊是否要納入水足跡盤查？與運輸的情況一樣，除了用生質燃料或水力以外，應可忽略。

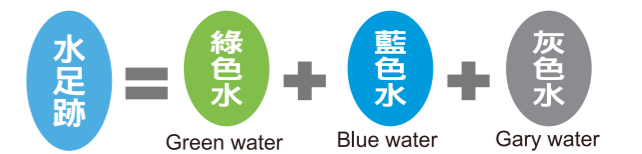
盤查數據之時間空間範圍

水資源的供給與使用都一樣有季節性的變化，甚至因氣候變遷，會有乾早年或豐水年的變異。因此在決定

盤查期間時，除了一般性以年度為範圍外，也可考慮以多年平均值作為盤查期間。

三、製程之水足跡

「水足跡評估手冊」是以多重指標計算水足跡，包含：藍色水、綠色水及灰色水。

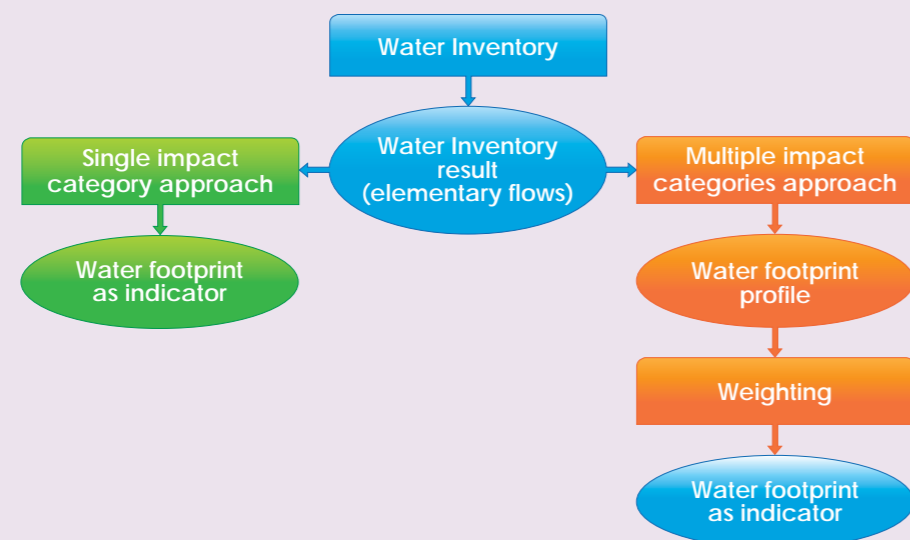


藍色水

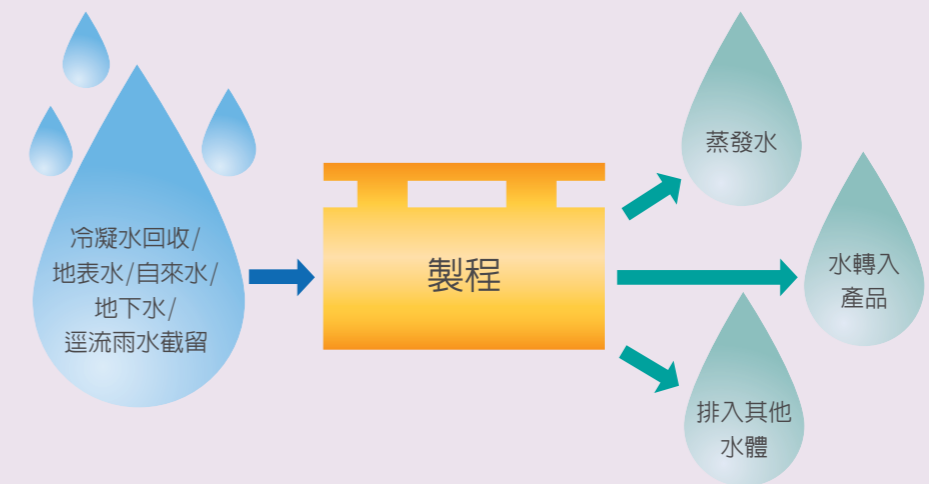
藍色水是水資源耗用指標，包括地表水及地下水。所謂“耗用”包括下列四種情況：

- 水的蒸發
- 水轉化成產品的一部分
- 水排到自然水體，但與其取得來源不是同一地點
- 水排到自然水體，但與其取得時不是同一時間點

要直接盤查上述四種水的耗用，就一般企業而言並不容易，通常要藉助水平衡計算。也就是說，用容易取得的輸入 (input) 數據來換算輸出 (output) 數據。



圖一、水足跡衝擊評估流程



圖二、製程階段水平衡圖

值得爭議的是，製程使用截留雨水，是屬於藍色水還是綠色水？不管是從屋頂、人工水塘截留雨水，或是截留逕流雨水 (run-off)，應歸為藍色水。因為，本來逕流雨水也不是直接下降到土壤，而是流到其他水體形成地表水及地下水。

另外，很多工廠會把空調冷凝水回收使用，這類回收水也應歸為藍色水。

綠色水

綠色水也是水資源耗用指標，是指雨水直接下降到土壤被暫時儲存在土壤或其表層，供植物生長，不包括逕流雨水或補注地下水。綠色水“耗用”包括下列兩種情況：

- 水的蒸發
- 水轉化成植物的一部分

一般而言，綠色水耗用主要發生在農業產品，工業產品應該不會耗用綠色水。

灰色水

灰色水是水資源污染指標，其定義是：為將製程排放之污水稀釋至承受水體原本水質，或該水體之環境水質標準所需之天然乾淨水量。

對於廢水點源排放 (point sources)，其計算公式為：

$$\begin{aligned} WF_{grey} &= L / (C_{max} - C_{nat}) \\ &= E_{ff} * (C_{eff} - C_{nat}) / (C_{max} - C_{nat}) \end{aligned}$$

其中， WF_{grey} ：灰色水量

L ：污染物負荷量

E_{ff} ：廢水排放量

C_{eff} ：廢水排放之污染物濃度

C_{max} ：承受水體最高可接受之污染物濃度 (承受水體之環境水質標準)

C_{nat} ：天然水體水質

因為， $C_{nat} \approx 0$ ，所以

$$WF_{grey} = E_{ff} * [C_{eff} / C_{max}]$$

式中， $[C_{eff} / C_{max}]$ 即是稀釋倍率。稀釋倍率的計算，須以稀釋倍率最高之污染物濃度作為計算基礎。由計算式可以看出，影響灰色水量大小的因素，除了廢水處理及回收再利用可影響排放水濃度及水量以外，承受水體之環境水質標準才是稀釋倍率的關鍵因素。也就是說，生產工廠廠址所在位置不同，所需稀釋倍率會有很大差異。台灣水區、水體分類及水質標準依水體使用目的，區分為甲、乙、丙、丁、戊五類。一般而言，河川愈上游，水質標準愈高。

擴散源 (diffuse sources) 水污染考慮的是固體廢棄物掩埋、農藥或肥料，在土壤中因滲出水帶出一部分污染物流入地下水，或因雨水逕流將污染物流入地表水，造成水污染衝擊。簡單的數學模式為：

$$\begin{aligned} WF_{grey} &= L / (C_{max} - C_{nat}) \\ &= \alpha * Appl / (C_{max} - C_{nat}) \end{aligned}$$

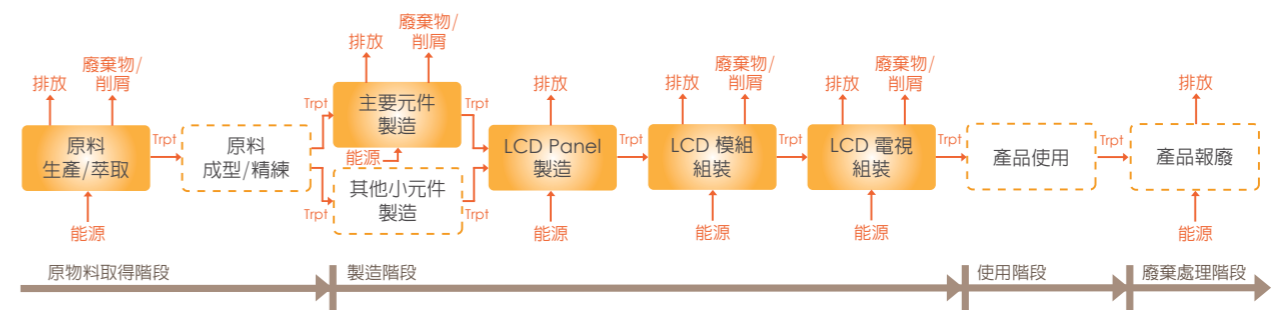
其中， α ：污染物滲出比例

$Appl$ ：污染物在土壤中的量

四、產品水足跡

產品生產系統包含一連串的生產製程，並含括整個供應鏈。所以，將製程地圖 (process map) 中每一段製程之藍色水、綠色水及灰色水累加起來，便可算出產品水足跡。過程中，由於每個生產工廠會同時生產各種不同產品，所以還要按生產條件，將水足跡分配計算到標的產品。

對於完整生命週期產品水足跡之計算，還應該包含產品在消費者使用階段及產品使用後終了廢棄處理階段之水足跡。由於這兩階段無明確數據可供收集計算，都需要作情境假設，以便進一步計算其水足跡。



圖三、產品生命週期製程地圖範例

五、結語

目前已有有一些企業完成產品水足跡之盤查計算，歸納現階段實務上面臨的困難如下：

(1) 供應鏈盤查之切斷原則

目前在產品水足跡生命週期盤查上，最大的困難在於數據的取得。除了實際調查製程上之藍色水、綠色水及灰色水以外，一般生命週期資料庫 (例如 Ecoinvent) 所能提供的數據都是製程生產過程所擷取之水量，無法完整提供水足跡計算所需數據。然而實務上也僅能向一階供應商要求提供相關數據，所以數據完整性在現階段很難克服。

目前產品水足跡之盤查，實務上多僅上溯到主要的一階供應商，產品使用及終了廢棄階段不包含在範疇，員工、運輸及能源使用也予以忽略。

(2) 承受水體之環境水質標準

台灣並不是每一條河流都有公告其環境水質標準，所以計算灰色水時，若無可依循之環境水質標準，只能設定假設條件，例如採中等水質標準 (丙級)，或者引用鄰近水體之環境水質標準。

另外，因為目的不同，所以環境水質標準與放流水標準管制之污染物不同，以致可用以比較計算稀釋率的污染物往往不是該生產製程主要的水污染項目，導致衝擊分析的偏差。有些案例，在可比較的污染物項目中，排放水之濃度還低於環境水質標準。但這並不表示該排放水之水質比較好，其實是真正主要水污染的項目並不在環境水質標準中。在此情況下，宜依保守性原則，至少取一倍的稀釋率計算。

(3) 數據品質

供應商提供的盤查數據，若不能確認其正確性，將嚴重影響產品水足跡盤查計算結果之品質。最好的方式是請供應商提供佐證單據，但實務上供應商不見得願意配合，但至少應該運用水平衡計算，判斷供應商提供的數據之正確性。

參考文獻

1. ISO/WG3 14046: 2011, Life cycle assessment - Water Footprint - Requirements and guidelines.
2. A.Y. HOEKSTRA, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya and Mesfin M. Mekonnen "The Water Footprint Assessment Manual", Water Footprint Network, 2011.