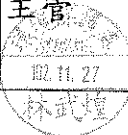


## 出國報告審核表

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                   |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 出國報告名稱：研習國際間水足跡盤查技術發展趨勢  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                   |
| 出國人姓名(2人以上，以1人為代表)       | 職稱                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 服務單位              |
| 蔡以園                      | 主管廢水防治                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 台灣電力公司環境保護處       |
| 出國類別                     | <input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習<br><input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                   |
| 出國期間：102年9月27日至102年10月6日 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 報告繳交日期：102年11月20日 |
| 出國計畫主辦機關審核意見             | <input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告<br><input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」)<br><input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告<br><input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備。<br><input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值<br><input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦<br><input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考<br><input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔<br><input type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：<br><input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。<br><input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告<br><input type="checkbox"/> 其他_____<br><input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式： |                   |

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

|     |                                                                                     |     |                                                                                                                                                                            |                                                                                                    |                                                                                                      |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 報告人 |  | 審核人 | <br> | 主管處<br>主 管<br> | 總經理<br>副總經理<br> |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|



## 出國報告審核表

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                   |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 出國報告名稱：研習國際間水足跡盤查技術發展趨勢  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                   |
| 出國人姓名(2人以上，以1人為代表)       | 職稱                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 服務單位              |
| 蔡以園                      | 主管廢水防治                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 台灣電力公司環境保護處       |
| 出國類別                     | <input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習<br><input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |
| 出國期間：102年9月27日至102年10月6日 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 報告繳交日期：102年11月20日 |
| 出國計畫主辦機關審核意見             | <input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告<br><input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」)<br><input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告<br><input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備。<br><input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值<br><input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦<br><input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考<br><input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔<br><input type="checkbox"/> 9..本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：<br><input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)、與同仁進行知識分享。<br><input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告<br><input type="checkbox"/> 其他_____<br><input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式： |                   |

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

|             |  |             |  |                  |                       |                                     |
|-------------|--|-------------|--|------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 報<br>告<br>人 |  | 審<br>核<br>人 |  | 單<br>位<br>主<br>管 | 主<br>管<br>處<br>主<br>管 | 總<br>經<br>理<br><br>副<br>總<br>經<br>理 |
|-------------|--|-------------|--|------------------|-----------------------|-------------------------------------|



行政院及所屬各機關出國報告  
(出國類別：實 習)

(裝訂線)

## 研習國際間水足跡盤查技術發展趨勢報告

服務機關：台灣電力公司

出 國 人：

職 稱：11 等一般工程監

姓 名：蔡 以 園

出國地區：英國

出國日期：102 年 9 月 27 日至 102 年 10  
月 6 日

報告日期：102 年 11 月 20 日



## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：研習國際間水足跡盤查技術發展趨勢

頁數 29 含附件：☒是 ☐否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台電公司環保處/蔡以園/(02)23667223

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

蔡以園/台電公司/環境保護處污染防治組/主管/(02)23667223

出國類別：☐1 考察 ☐2 進修 ☐3 研究 ☒4 實習 ☐5 其他

出國期間：出國地區：102 年 9 月 27 日至 102 年 10 月 6 日/英國倫敦市

報告日期：102 年 11 月 20 日

分類號/目

關鍵詞：水足跡 (water footprint)、「虛擬水資源」(virtual water)、具涵水資源 (embedded water)、藍水足跡 (blue water footprint)、綠水足跡 (green water footprint)、灰水足跡 (grey water footprint)、用水量 (water use)、取水量 (water withdrawal)、水足跡估算之盤查範圍 (inventory boundaries of water footprint accounting)

內容摘要：(二百至三百字)

繼碳足跡成為全世界先進國家含日本、歐盟、澳州...等地區電力事業列為永續環保主要工作項目，目前國際間亦著手協調合作推動水足跡盤查、建置、水中和等工作。歷經多年努力後，現在國際標準組織 ISO (International Organization for Standardization) 於 2013 年 3 月 18 日公布 ISO/DIS 14046 版本，進入投票階段，可是到今年 9 月都還遲遲沒有結果，直到 10 月中旬，ISO 才公布 ISO/DIS14046 又回到「40:00」階段，意即 ISO/DIS 14046:2013 投票未通過，又重新回到 ISO/DIS 的撰擬階段，預期無法於近期內將完成水足跡的國際標準。

為順應世界環保潮流趨勢，國內經濟部水利署早於 2009 年開始水足跡宣導及先期研究，並擬定農作物、畜牧產品、養殖漁產、工業產品等水足跡之估算原則 (周嫦娥等，2011)，然而因水足跡估算的基本資料常需引用能源(含電力及油料)水足跡數據。爰此台電公司選定燃氣的大潭電廠和燃煤的台中電廠做為水足跡盤查的案例廠，進行水足跡盤查分

析。期在建立盤查方法後，試算部分發電機組之單位發電量水足跡數據，作為發電用水之量化指標，供相關規劃參考。另外，透過此次盤查分析亦將建構水足跡盤查申報平台，供台電各火力發電廠自行登錄基本資料，並估算單位發電量的水足跡。

國際標準組織所發展出之水足跡 ISO/DIS 14046 版本，需藉由邊界條件設定、盤查評估方法之邏輯理念確立、有效原始資料認定等程序，來建置電力事業水足跡數據。惟美國電力事業除引用上述國際標準組織所發展出之水足跡盤查評估作業程序來建置電力事業水足跡數據，另一方面其亦藉由模式運算來推估電力事業水足跡數據，其目前發展仍屬研究階段，惟其具一致基礎點推估比較之優點，值得借鏡。

本次所實習之英國倫敦市 AECOM(Europe)公司，具環保技術與管理之經驗與業務，且具國際聲望，其對電力事業水足跡盤查評估先進理念與作法，或短期內並不能完全直接導入台電應用，但亦能增進所知拓廣水足跡查評估之技術來源，值得日後交流與探討。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網(<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)



# 研習國際間水足跡盤查技術發展趨勢報告

## 目 錄

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 一、緣由 .....                   | 1  |
| 二、目的 .....                   | 2  |
| 三、實習內容及過程 .....              | 3  |
| (一)國內外相關研究之進展現況.....         | 3  |
| (二)WFN 水足跡評估目標、範圍、及計算方式..... | 9  |
| (三)國際組織對水足跡之推動概況.....        | 16 |
| (四)水足跡查證概念與驗證機構之查證流程.....    | 19 |
| (五)電力水足跡之相關研究.....           | 22 |
| (六)台電公司推動水足跡概述.....          | 23 |
| 四、實習心得及建議 .....              | 27 |
| (一)實習心得.....                 | 27 |
| (二)建議.....                   | 28 |
| 五、附件 .....                   | 29 |



## 研習國際間水足跡盤查技術發展趨勢報告

### 一、緣由

全球氣候異常導致天然災害發生的頻率愈來愈高，如 102 年 10 月底英國颶風、澳洲雪梨森林大火，此舉對水資源的衝擊亦益引發注重及關切，故國內外企業相繼推動碳足跡和水足跡的評估工作，做為溫室氣體排放和用水指標。在發電部分，傳統上一般認知水力發電需要大量的水資源，事實上火力、核能發電也需使用大量的水資源。此種水資源和能源間的相互依賴關係即是目前國內外日益受到重視的水資源與能源連結一體（water-energy nexus）議題。目前國際間，火力發電皆是電力的主要來源，火力發電廠使用的各種燃料（煤、天然氣、油等）的開採以及電廠內的冷卻和冷凝系統皆須大量的水資源。在天候條件對水資源的衝擊及影響下，水資源供給具極大的不穩定性，若能掌握不同發電方式與水足跡的評估盤查技術，將有助於發電管理和減少水資源不確定性帶來的高度風險。

水足跡概念係於 2002 年由荷蘭教授 Hoekstra 提出後，國際間組織多倡導以水足跡做為水資源管理工具，國際上之跨國企業亦相繼推動水足跡的評估工作。我國水足跡概念的引進較晚，然而在經濟部水利署、工業局和中小企業處等政府單位的推廣和輔導下，目前已有超過 20 家國內企業完成產品水足跡的估算並取得查證聲明書。

為因應世界潮流，台灣電力公司（簡稱台電公司）已著手估算相關水足跡。然而，目前國際上仍缺乏一致公認的水足跡估算標準。Hoekstra 成立的水足跡網絡（Water Footprint Network, WFN）及於 2009 年和 2011 年提出的水足跡評估手冊（Water Footprint Assessment Manual）是當前國際間和我國廠商估算水足跡最常用的準則。另一方面，ISO（International Organization for Standardization）於 2009 年亦開始著手制訂水足跡國際標準，歷經 3 年 ISO/DIS 14046 於 2013 年 3 月 18 日公布，預計無法於短期間內完成水足跡的國際標準。至於我國，經濟部水利署雖於 2009 年開始水足跡宣導及先期研究，擬定農作物、畜牧產品、養殖漁產、工業產品等水足跡之估算原則（周嫦娥等，2011），然而因水足跡的估算未達成共識，至今尚未研擬出電力事業產品水足跡估算手冊或指引。

為及早因應水足跡評估趨勢，在政府正式建立相關制度規範前，台電公司已規劃展開水足跡先期盤查工作。除可先取得查證增進企業形

象、提供國內廠商水足跡參數外，同時可完整瞭解火力電廠內用水狀況，據以研擬改善方案，增進節水及回收利用成效。

台電公司同時選定大潭燃氣和台中燃煤電廠做為水足跡盤查的案例廠，進行水足跡盤查分析。期在建立盤查方法後，試算部分發電機組之單位發電量水足跡數據，作為發電用水之量化指標，供相關規劃參考。

## 二、目的

本次實習旨在瞭解先進國家水足跡盤查方法，且應用及作為台電公司各種火力電廠盤查規劃及比較之基礎。

借鏡歐美致力於電力事業環保領域之水足跡未來新發展，或可應用於台電公司各相關業務，改良現行工作方法(含節水措施)並實地探討國際先進環境研發機構之研究趨向。

由於出國實習時間短暫，接觸層面可能無法全面既深又廣，惟若能保持聯繫管道，嗣後將有助適時取得必須相關資訊，可持續瞭解歐美先進國家對電力事業水足跡盤查及推動作法及趨勢。

### 三、實習內容及過程

本次國外實習之地點為英國倫敦市 AECOM(Europe) 公司，AECOM(Europe)公司，為一全球性技術及管理公司，水及廢水處理設施運作及 2012 年將環保管理策略亦列為其服務項目，該公司於 2012 年 9 月 30 日止之員工人數為 48,800 人，同年年收入為 82 億美元，亦被 Engineering News-Record's (ENR's) 2012 Design Survey，評為全球最大一般建築及工程設計公司。此次能獲其 AECOM(Europe) 公司同意研習國際間水足跡盤查技術發展趨勢，並由其環保部門主管 Ms.Michele Hackman 及 Mr.Gwreth Collins 共同指導，表示謝忱。

#### (一) 國內外相關研究之進展現況

##### 1. 水足跡定義與發展沿革

水足跡 (water footprint) 的概念雖然與生態足跡和碳足跡的概念相彷彿，是探討人類用水需求對環境的影響，是由 John Anthony Allan 教授在 1990 年代初期所提出的「虛擬水資源」(virtual water) 概念衍生，嗣後經由 Arjen Y. Hoekstra 教授提出此一名詞 (Heskstra, 2003)。

另一個虛擬水資源之概念是由 Fishelson (1994) 的「具涵水資源 (embedded water)」概念衍生而來。Fishelson 所稱之具涵水資源乃指隱存在出口商品中之水資源。Allan 教授衍申其意涵定義虛擬水資源為：用於生產國際貿易間之農糧產品的水資源。Allan 認為因為水資源為食物生產不可或缺的元素，因此，水資源隱含在各種農產品中。當進行農產品交易時，隱含於生產該農產品所需之等量的水資源亦同時被反向交易，隱含於農產品中的水資源即是虛擬水資源 (Allan, 1999)。例如，每 1 公斤的小麥中約具有 1 立方公尺的虛擬水資源，則進口 1 公噸的小麥就相當進口了 1,000 立方公尺的水資源 (Qadir et. al., 2003)。

Hoekstran 教授所提出的水足跡原是指產品水足跡，乃生產該產品

所使用的淡水水量。其後 Hoekstra and Chapagialin (2008) 又加以衍生而包含藍水足跡 (blue water footprint)、綠水足跡 (green water footprint) 與灰水足跡 (grey water footprint)。「藍水足跡」為生產產品所需的地面水和地下水淡水水量；「綠水足跡」為生產時所消耗的雨水水量 (即蘊藏於土壤中的雨水水量)；「灰水足跡」為在水質標準下，吸收或稀釋處理污染物所需的淡水水量。

WFN 的水足跡是由淡水資源使用和污染的角度來加以衡量，水足跡之組成如圖 3.1.1.1 所示。水足跡衡量的是用水量 (water use) 而不是傳統的取水量 (water withdrawal)，不僅包含直接用水也包括間接用水。

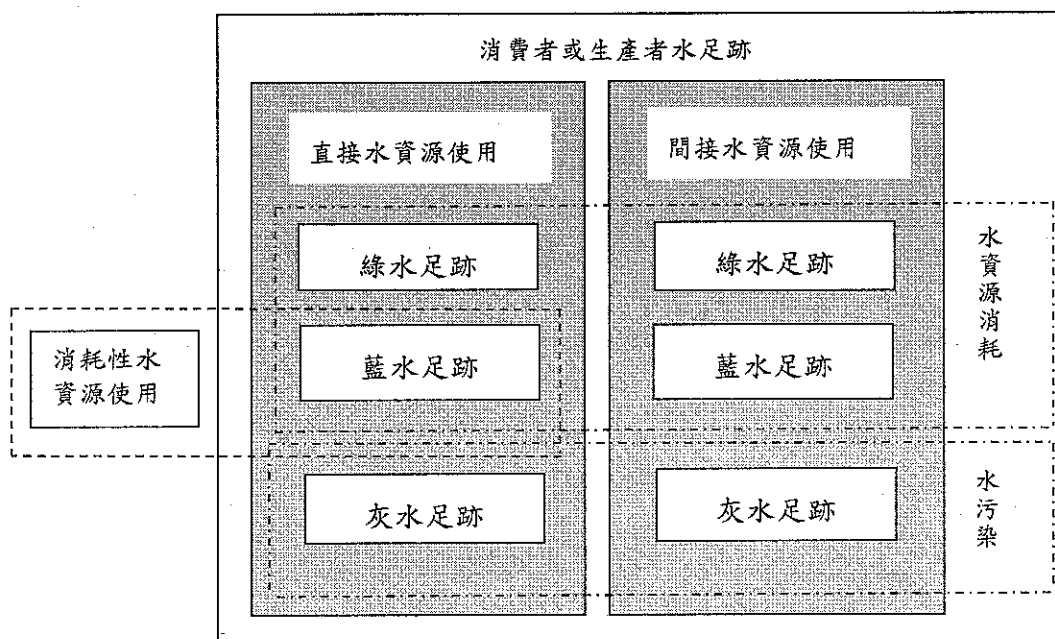


圖 3.1.1.1 水足跡組成概要圖 (資料來源：Water Footprint Assessment Manual, 2011)

根據 WFN 水足跡手冊，水足跡評估有四個不同的階段 (如圖 3.1.1.2 所示)。此四階段的主要工作如下：

(1) 第一階段：設定目標和範圍

水足跡評估首先需設定明確的研究目標和範圍。水足跡研究有不

同之目的，例如，一個政府想瞭解其對國外水資源的依賴程度；或流域管理當局欲瞭解該河川流域內人類活動的總水足跡是否超過環境用水流量的基準；或某企業欲瞭解其供應鏈對稀少性水資源的依賴度。不同研究目的所界定出的分析範圍因而不同，自然進行評估分析時所要處理的細節，亦不盡相同。

(2) 第二階段：水足跡估算 (water footprint accounting)

此階段以蒐集資料和建立計算方法為主，依據前一階段所設定的目標即可決定水足跡估算的範圍和所要涉及的精密細節程度(即資料精細確信的程度)。

(3) 第三階段：水足跡永續性評估

此階段是由環境、社會和經濟面來進行水足跡的綜合評估。

(4) 第四階段：水足跡之政策回應

此階段根據前面水足跡的評估結果來研擬因應策略和政策內容。

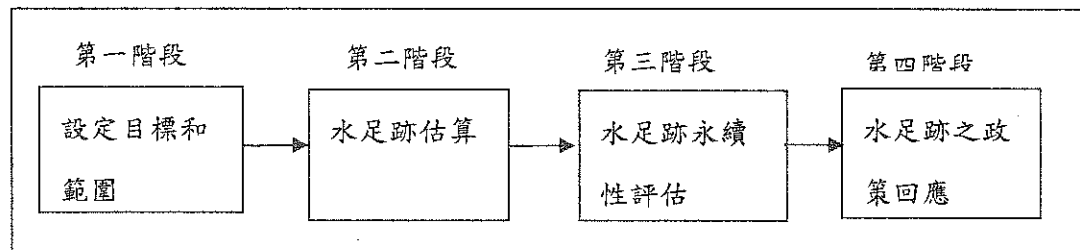


圖 3.1.1.2 水足跡評估步驟(資料來源：Water Footprint Assessment Manual, 2011)

## 2. 美國電力業水足跡推動概述

- (1) 2010 年美國電力研究所更新出版「Water Footprinting Primer for the Electric Power Industry」報告，該報告中對水足跡考慮到不同類型的水，它可以包括藍色的水，綠色的水，灰水和黑水。下面簡要說明這些術語：

- A.藍色水沉澱已經達到地面，並作為商品或服務中所含之液體。藍色的水可以從雨水，積雪，地面或地表水源，或直接使用淡水供應。在電力行業中，藍水係指作為冷卻或其他用途之淡水。使用後之回收水根據該項回收水的特性，可被視為藍色，灰色或黑色的水。
- B.綠色水達到地面的雨水，並蒸發。綠水在電力事業的一個例子，是指在冷卻塔蒸發的淡水損失。
- C.灰水是潛在的可重複使用的廢水，是指若將廢水負載之污染物同化成周遭環境背景水質，所需的淡水量，基於對現有的水環境質量標準。灰水在電力事業的一個例子，是從冷卻塔回收水送到供應生水水源。
- D.黑色水也被稱為褐色的水、污水，係指廢水中含有原污水或有毒化學品。這種水必須經處理後，才可以安全地排放到環境中。

水足跡還與取水口位置有關，以及需注意抽取水和耗用水之間的區別。抽取水定義為從水源抽取多少水量，無論該水量是否返回水源，和耗用水量的定義為水經由蒸發損失，或納入的產品中、或無法再回收使用的水量。取水口的位置，可與當地水資源匱乏信息結合，提供給公司更好理解當地其水資源利用對環境影響情形。因此，水足跡可以作為一個框架，結合用水量，抽取水量和取水口的位置等資料，系統地分析和說明公司未來將面臨的風險，及便於主管對水資源管理作成決策。

- (2)美國水足跡估算程序:首先需選擇合適的水足跡方法。合適的水足跡的工具和方法需經檢視，並以格式化和合宜評選方法，選擇適合公司的需求的工具和方法。水足跡的估算方法通常涉及使用合宜的軟體，藉由使用端輸入的數據，從事編譯和排序，並產生報告。



一旦水足跡計算的方法已被選定，時間應作有效分配。同時，應蒐集相關必要的資訊如場址和工廠管理方式、帳冊、人力資源和相關水設施。一旦原始數據已蒐集完畢，水足跡計算範圍可藉由分析需要獲得什麼類型的資料及該項是否方便取得而予以界定。一旦計算範圍已經界定，接續採取以下步驟：

- A. 確定系統邊界，這可能包括確定需待評估的設施，並決定是否需將某些供應鏈納入評估範圍。
- B. 進一步取得已選定的水足跡範圍更具體的數據。
- C. 將數據輸入水足跡軟體。
- D. 對軟體輸出結果予以解釋分析，俾利了解缺水的風險和節約用水計畫，並被納入公司的水管理計劃。水足跡評估果可以用來影響節水投資、提高了水利用效率、和企業行為的變化。
- E. 添設額外的計量裝置，智能水錶和/或分戶計量必要儀器。
- F. 執行後續水足跡評估，以確定水和成本降低成效。
- G. 確定是否藉由公司出版刊物和/或由水報告組織刊物，對外披露水足跡評估結果。

### (3) 模式推估方式

美國最近已發展出火力電廠水足跡模式推估方式，其模式計算方式如下：

$$IW = AE(HR - BE) + CE$$

IW: 火力電廠水足跡推估量(L/kWh);

HR: 加熱速率(heat rate, kJ/kWh);

BE: 除溫排水帶去能量之總和(kJ/kWh)

HR-B: 溫排水帶去的能量;

AE: 溫排水中每單位能量所需之水量(L/kJ);

CE:除冷凝外，其他製程所需用水量(L/kWh);

表 3.1.2.2 AE 之參數值(I/kJ)

| 電廠型態             | HR<br>(kJ/kWh) | BE(kJ/kWh,<br>含 3,600<br>kJ/kWh 電<br>力輸出) | HR-BE<br>(kJ/kWh) | CE(L/kWh)                                |
|------------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------|
| NGCC             | 7,200          | 5,160-5,230                               | 1,600-1,900       | 0.020-0.030                              |
| NGCC/<br>CCS     | 8,400          | 4,112                                     | 4,300             | -0.100- -0.120                           |
| IGCC             | 9,000-9,500    | 5,500-5,800                               | 3,300-3,700       | 0.100-0.200                              |
| PC               | 8,900-9,800    | 5,100-5,400                               | 3,800-4,500       | No FGD<br>0.020-0.030;<br>FGD0.200-0.300 |
| Nuclear          | 10,000-12,400  | 4,100-4,420                               | 5,900-7,900       | 0.020-0.030                              |
| Solar<br>Thermal | 9,000-14,400   | 3,900-4,300                               | 5,100-10,100      | 0.050-0.300                              |
| IGCC/CCS         | 10,500-11,600  | 6,100-6,300                               | 4,400-5,400       | 0.400-0.450                              |
| PC/CCS           | 12,600-13,700  | 4,300-4,400                               | 8,300-9,300       | -0.900- -0.100                           |

表 3.1.2.1 除 AE 外，其他各項參數值

|                   | AE(最小抽取量) | AE(最大抽<br>取量) | AE(最大用<br>水量) | AE(最小用<br>水量) |
|-------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| Once-thought      | 2.17E-02  | 3.41E-02      | 2.17E-04      | 6.83E-04      |
| Cooling<br>Towers | 3.40E-04  | 7.74E-04      | 3.29E-04      | 5.03E-04      |

## (二)WFN 水足跡評估目標、範圍、及計算方式

### 1. 水足跡評估目的

由於目標的確立會影響水足跡評估的工作內容和細節，WFN 水足跡評估手冊將目標屬性分類為一般、產品水足跡評估、消費者或社區水足跡評估、企業水足跡評估、特定地理區域水足跡評估、國家水足跡評估（又可分國內水足跡和整體國家消費之水足跡）等。

### 2. 水足跡估算之盤查範圍

在進行水足跡估算之前必須明確的界定出盤查系統範圍，範圍乃根據評估目的界定。實務上，界定範圍時可考慮以下問題：

#### (1)是否要同時估算藍水足跡、綠水足跡和灰水足跡？

雖然藍水資源的機會成本較綠水資源來得高，綠水資源通常可以藍水取代。不過綠水資源仍是稀少資源，對農產品的生產來說，綠水是重要的投入且有強烈的區域性，若不估計綠水將有失偏差。水污染會影響水資源的品質和可用水量，故灰水足跡的估算有其特殊意義及需要。

#### (2)考慮產品供應鏈的截點。

估算水足跡（碳足跡和生態足跡亦類似）時，要追溯至多遠的供應鏈是基本重要課題。一般而言，通則是將生產程序（或生產樹）中對水足跡有顯著貢獻的製造過程納入估算範圍。實務上，有顯著水足跡貢獻的供給鏈通常不會太長或過於複雜。

#### (3)水足跡計算之時空尺度與資料精密程度。

WFN 水足跡手冊依所需資料的精密程度界定了三個層級資料型態，即 A、B、C 三級，彙整於表 3.2.3.1。

表 3.2.3.1 水足跡計算的時空尺度(資料來源：Water Footprint Assessment Manual, 2011)

| 層次     | 空間<br>尺度     | 時間<br>尺度 | 用水量資料來源                     | 水足跡的主要用途                             |
|--------|--------------|----------|-----------------------------|--------------------------------------|
| A<br>級 | 全球<br>平均     | 年        | 現有文獻或現有資料庫中產品或製程水資源消耗和污染資料。 | 提高意識、初步確認水足跡的主要來源、全球水消耗計畫規劃。         |
| B<br>級 | 國家、區域、流域     | 年或月      | 同上，但限於特定國家、區域和流域的資料。        | 地域性水資源分布和變化的初步認定。                    |
| C<br>級 | 局部地區、特定廠址和場所 | 月或天      | 特定區域之水資源消耗和污染的實證或最佳估計資料。    | 研擬減少水足跡和局部地區影響的策略；做為執行水足跡永續性評估的知識基礎。 |

(4)評估消費者或生產者水足跡，需考慮是否要同時計算直接和間接水足跡。

在正常的情況下，計算水足跡時應同時計算直接和間接水足跡。以消費者來說，若不計算消費品的間接水足跡，水足跡即是消費者用水量，顯然是低估其真正用(含)水量。另多數生產者所生產產品在供應鏈的用水量通常遠大於其本身生產過程的用(取)水量。

(5)若是評估國家級水足跡，需考慮的問題包括：國內水足跡、國家總消費之水足跡、國家總消費之內部和外部水足跡。

國內水足跡 (water footprint within a nation) 是指在某國國境

之內所消耗和污染的總淡水資源量，包括其所製造供國內消費和出口之產品總量所使用的水資源量。國家總消費之水足跡（water footprint of national consumption）乃指生產某國居民所消費產品之總用水量。國家總消費之水足跡包括國內（境內）和境外用水量，故又分為內部和外部水足跡（internal and external water footprint）。外部水足跡可用來探討國內用水量及國外用水量，亦即可用來評估、分析對進口產品的水資源依賴度和永續性。

### 3.WFN 的水足跡估算

#### (1) 整合不同類型的水足跡

每單一製程步驟（process step）的水足跡為所有水足跡估算的建置基礎（見圖 3.2.3.1）。特別要注意的是，加總最終產品的水足跡不應產生重複計算的問題，但加總中間產品的水足跡則有重複計算的問題。假設某個製程會生產兩種以上的最終產品，則該製程的水足跡必須分配至每項最終產品。同樣地，加總個別消費者水足跡不應有重複計算的情形，但加總不同生產者的水足跡則有重複計算的問題。

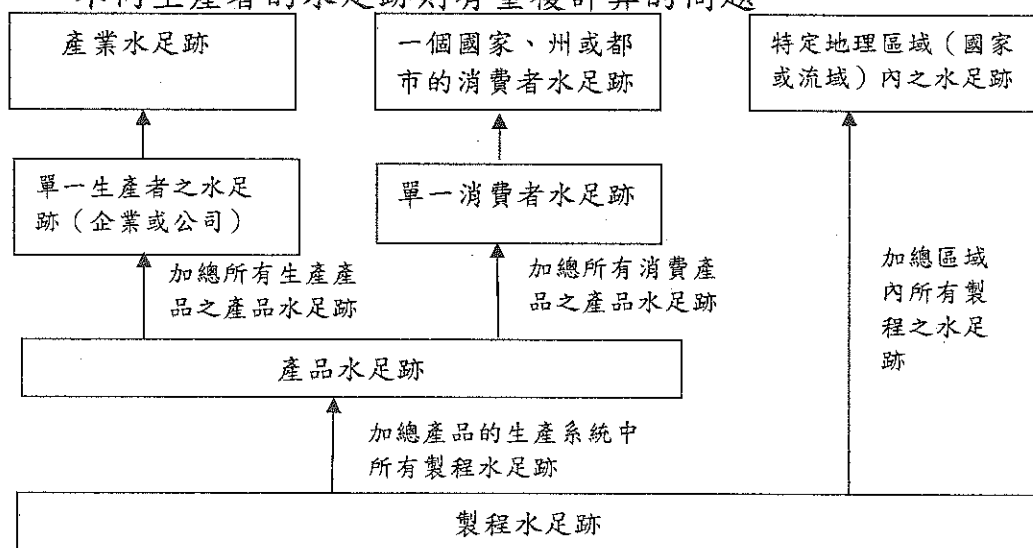


圖 3.2.3.1 由製程水足跡建構其他各類水足跡之關係圖(資料來源：Water Footprint Assessment Manual, 2011)

## (2) 單一製程階段的水足跡

### A. 藍水足跡

藍水足跡是地面水和地下水消耗性使用 (consumptive use) 的指標。水資源消耗性的使用包括水資源蒸發(散)、或成為產品的一部份、或水資源汲取後未回歸相同集水區 (即回到海裡或不同的集水區)、或水資源汲取後未在同一個時間回歸。製程藍水足跡可以下式衡量：

$$WF_{\text{proc,blue}} = \text{BlueWaterEvaporation} + \text{BlueWaterIncorporation} + \text{LostReturnFlow} \quad (1 \text{ 式})$$

其中  $WF_{\text{proc,blue}}$  為製程藍水足跡，BlueWaterEvaporation 為藍水蒸發(散)量，BlueWaterIncorporation 為成為產品之一部分的藍水量，LostReturnFlow 為未在同一時間內回歸到同一集水區之水量。

藍水足跡的衡量單位為單位時間的水量，若再除以該製程所生產產品的產量，則某製程藍水足跡的單位為產品單位水量。以製造業為例，(1 式)  $WF_{\text{proc,blue}}$  各項變數可以從不同型態製造業的特定製程的消耗性用水量資料庫取得資料來加以計算。然而，目前極少有此種資料庫的存在，即使存在也多是製程取水量而不是消耗性用水量。現有資料庫的資料並不夠精密，亦即多是整廠合計資料而非不同的細部製程資料。計算製程藍水足跡最好的資料應該是個別製造廠商資料、區域或全球性子廠的資料。

### B. 綠水足跡

綠水所指的是降到地上的雨水，未成為逕流亦未補注地下水的部分，此部分的雨水藏於土壤中、暫時停留於土壤表面或植被，此部分之雨水最終會自行蒸散或透過植物蒸散。綠水能使農作物成長而具生產性。換言之，綠水是農作物和森林

成長過程中被吸收的雨量。製程綠水足跡可以下式計算：

$$WF_{proc,green} = \frac{GreenWaterEvaporation}{GreenWaterIncorporation} \quad (2 \text{ 式})$$

其中  $WF_{proc,green}$  為製程綠水足跡， $GreenWaterEvaporation$  為藉由農作物蒸散的綠水蒸散量， $GreenWaterIncorporation$  為成為農、林產品之一部分的綠水量。

### C. 灰水足跡

灰水足跡是用來做為和製程有關的淡水資源受到污染程度的指標。前面已述及，灰水足跡為在現有放流水水質標準下，吸收污染物所需的淡水水量。灰水足跡可以下式估算：

$$WF_{proc, grey} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} \quad (3 \text{ 式})$$

其中  $WF_{proc, grey}$  為灰水足跡， $L$  為污染物負荷量， $c_{max}$  為最大可接受濃度（代表污染物排放水質最高濃度）， $c_{nat}$  為承受水體之自然濃度。自然濃度是當承受水體沒有人類活動干擾下的水體濃度，以自然濃度做為計算灰水足跡基準的主要原因是，灰水足跡是用來做為生態體系（水資源環境）吸收能力的指標。

臨界負荷（critical load，以  $L_{crit}$  表示）是指到達到完全為承受水體吸收能力的污染物量。假設排入水體之污染物是放流水的一部分，則污染物排放負荷（ $L$ ）以放流量（ $Effl$ ）乘以放流水污染濃度（ $c_{effl}$ ）和水體自然濃度的差額，故灰水足跡亦可以下式估算：

(4 式)

$$WF_{proc, grey} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} = \frac{Effl \times (c_{effl} - c_{nat})}{c_{max} - c_{nat}}$$

，因此

(5 式)

$$WF_{proc, grey} = \frac{Effl \times (c_{effl})}{c_{max}}$$

當自然濃度未知且相當低時則可用此式計算灰水足跡。計算灰水足跡時需利用到鄰近受水體之水質標準，鄰近水質標準是一種特定的水質標準，其他的水質標準有飲用水水質標準、灌溉水質標準和放流水標準，估算灰水足跡必須說明是那一種水質標準。針對特定物質鄰近水質標準會因受水體之不同而異，自然濃度也會因地而異。因此，不同地點之灰水足跡也會不一樣。

除化學物質的污染外，熱污染（thermal pollution）亦可估算其灰水足跡，即放流水水溫和受水體水溫的差額乘以放流量，再除以最高可接受水溫和自然水溫的差額。

每日灰水足跡值可加總為年水足跡。而當放流水中含有二種以上的污染物時，則灰水足跡是以影響最大的污染物來計算。

### (3) 產品水足跡

WFN 水足跡評估手冊將產品水足跡定義為製造產品過程中所有直接和間接的淡水用水量。產品水足跡乃計算產品生產鏈所有步驟的耗水量和污染量，各種產品計算水足跡的步驟皆類似。產品水足跡亦包括藍水足跡、綠水足跡和灰水足跡。

工業產品的水足跡可以每貨幣單位產值水量（ $\text{m}^3/\$$ ）或每單位產品之水量表示。其他產品水足跡的表示方式，有表示食品水足跡的水量/千卡（water volume/kcal）、或表示電力或燃料水足跡的水量/焦耳（water volume/joule）。

計算產品水足跡必須先解構生產系統（production system）成為生產製程步驟（process steps）。生產系統包含連續的生產製程步驟，以棉質襯衫為例，生產系統由種植棉花（cotton growth）、採收（harvesting）、軋棉（ginning）、梳整（carding）、紡織（knitting）、漂白（bleaching）、染色（dyeing）、印花（printing）、修整（finishing）等生產步驟所構成。

計算產品水足跡時必須先將生產系統解構為連續性的生產製程



步驟，尤其是深入分析時更需以時空細微資料解析各製程步驟，如此才能追溯產品投入的原產地。以前述棉質襯衫而言，棉花可能是在美國生產，製造可能是在印尼，消費可能是在英國。各地生產環境和製程特性皆不相同，故生產地點會影響水足跡的大小和顏色。此外，如能追蹤產地則可對照最終產品水足跡的地理區位。

由於生產系統含有循環性要素，透過生產製程步驟可無止境的追蹤生產投入，因此實務上只要追蹤至無法再取得顯著資訊時即可終止。工業產品部分，可從公開資料可建構生產系統的圖形。

計算產品水足跡有兩種方法，分別說明如下：

#### A. 鏈加總法 (the chain-summation approach)

此種方法較簡單卻僅能用於單一產品的生產系統（見圖 3.2.4.1），圖 3.2.4.1 中的流程步驟皆可連結至最終產品，故水足跡和生產系統中不同流程步驟皆有關，加總各流程的水足跡即可得到產品水足跡。產品  $p$  的水足跡 ( $WF_{\text{prod}}[p]$ ，單位為 volume/mass) 之計算公式如下：

$$WF_{\text{proc,prod}} = \frac{L}{c_{\text{max}} - c_{\text{nat}}} \quad (11 \text{ 式})$$

其中  $WF_{\text{proc}}[s]$  為流程步驟  $s$  的製程水足跡（單位為 volume/time）， $P[p]$  為產品  $p$  的產量（單位為 mass/time）。但實務上單一生產系統，生產單一產品的例子很少，故需有其他方式將生產系統中的用水量分配到不同產品。

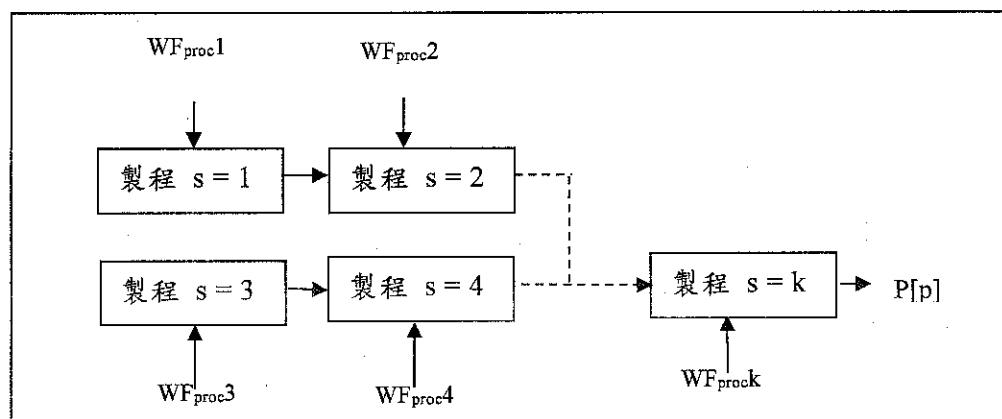


圖 3.2.4.1 生產系統流程步驟解構圖(資料來源: Water Footprint Assessment Manual, 2011)

#### B.階段累積法 (the step-wise accumulative approach)

此法為計算某產品水足跡的一般方法，為生產某產品前一階段所需的投入產品（或稱為中間投入）之水足跡和該產品本身生產階段水足跡之和。應用此法有幾種情況：

- (A) 假設生產一種產品有多個投入產品，則計算產品水足跡可加總所有投入產品的水足跡，再加上該產品本身製程的用水量；
- (B) 假設一種中間投入生產不同產品，則需將中間投入的水足跡分配到不同產品。分配時可以產值比例，或產品重量比例分配，但後者可能較無意義。

#### (三) 國際組織對水足跡之推動概況

由於環境保護的迫切需要，加上綠色競爭力乃企業致勝關鍵，國際組織和國際企業對供應商環境保護的要求愈來愈嚴格。國際上已有大企業同時要求供應商提供產品碳足跡和水足跡相關訊息，在參與的企業日益增加情況下，預計產品水足跡標籤將和碳足跡標籤一樣成為重要的環境資訊揭露項目。

##### 1. 聯合國總裁水資源指令 (The CEO Water Mandate)

聯合國全球協定 (The UN Global Compact) 是由全球 110 個國際

大企業的總裁所認可和背書的領袖平台。聯合國全球協定推動的「總裁水資源指令」之主要目的為增加私部門瞭解其對水資源的影響，進而採行更合適的水資源管理方式。總裁水資源指令是由聯合國秘書長和國際企業領袖於 2007 年 7 月所啟動，參與的國際企業領袖認知到企業必須以更永續方式營運，且有責任和義務將水資源列為管理的第一順位，與政府、非政府組織，以及其他利益關係人共同合作，面對全球性水資源挑戰。

由此可知，產品水足跡已被國際大企業採用，做為水資源管理的分析工具。另外，有些企業如台灣積體電路製造股份有限公司雖未使用水足跡進行分析，卻以生命週期分析其水資源投入。生命週期分析和水足跡分析事實上僅有一線之隔，相信在國際組織推動下，未來水足跡分析和水足跡估算將是企業水資源管理的一項重要工作。

## 2. 水足跡網絡 (WFN)

為推廣水足跡概念並確切落實產品水足跡的估算，WFN 成立於 2008 年 10 月 (WFN, 2008)。WFN 成立之主要目標是建立估算水足跡的全球性標準，藉此使企業以更透明方式減少水資源的使用。WFN 為建構水足跡估算方法與標準的重要單位，提出水足跡的 Hoekstra 教授為 WFN 的主要領導者之一，包括 ISO 等國際組織多與之合作推動水足跡概念，企業與之合作評估水足跡的案例更不在少數。

為提供各界水足跡評估的完整方法，WFN 在 2009 年完成了「水足跡手冊」做為估算指引。該手冊提供整套個別製程和產品水足跡的計算方法，同時也提供消費者、企業和國家等不同層次水足跡之計算方法。由於水足跡衡量不管在學術界或實務界皆是持續發展中的議題，WFN 預計以一種滾動式的方式持續更新該手冊。在 2009「水足跡手冊」發表之後，WFN 即廣邀其成員提供意見，

並成立兩個工作小組，其中一工作小組探討灰水足跡相關議題，另一工作小組則探討水足跡永續性評估相關議題。2011 年時，WFN 進一步出版了更新的手冊「水足跡評估手冊—全球標準之制訂」(The Water Footprint Assessment Manual – Setting the Global Standard) (Hoekstra et al., 2011)。雖然第二版的水足跡手冊才發表不久，WFN 即公開邀請成員和非成員的專家提供相關意見，期未來能更進一步提升水足跡估算的嚴謹度和完整性。

### 3. 世界企業永續發展委員會 (WBCSD)

WBCSD 是長期關注企業用水問題與風險的國際組織之一，對於氣候變遷造成企業用水風險的問題尤其關注。目前 WBCSD 常態性的設置水資源計畫 (Water Project) 探討企業與水資源相關議題，在該計畫下曾推出 Global Water Tool 做為用水管理工具，使企業瞭解旗下工廠、員工與供應商之用水需求狀況與區域供水風險問題 (WBCSD, 2011a)。有鑑於永續水資源管理需要明確的計算準則與工具，WBCSD 積極與各界合作研發更有效的管理工具，除了成為 WFN 的創始會員之外，也積極在網站上推廣水足跡 (WBCSD, 2011b)。

### 4. 國際標準化組織 (ISO)

ISO 是重要的國際標準組織，其發佈的各種標準大多為各國政府與企業所遵行。由於水資源乃是重要卻日漸稀少的自然資源，加上當前缺乏國際一致的用水統計與管理工具，目前 ISO 正探討設置水足跡之計算與報告標準 ISO14046，且 ISO/DIS 14046 已於今年 3 月公布，原訂於 6/18 完成投票，惟最後將投票完成日因故延至 8/18，可是到 102 年 9 月都還遲遲沒有結果，直到 10 月中旬，ISO 才公布 ISO/DIS14046 又回到「40:00」階段，意即 ISO/DIS 14046:2013 投票未通過，又重新回到 ISO/DIS 的撰擬階段。

ISO 工作人員 Raimbault 與 Humbert (Raimbault & Humbert, 2011)

指出，ISO14046 水足跡標準乃是以生命週期評估概念，探討產品、製程與組織（products, processes and organizations）水足跡的衡量原則、需求與指引（principles, requirements and guidelines），界定時須納入水足跡估算的水源（water sources）與排水（water release）類型，以及不同區域環境（例如乾燥與潮濕地區）或不同社經條件下的水足跡處理方式。另外，ISO14046 的水足跡標準也將與 ISO14000 系列配合，例如 ISO14020 的環保標籤與揭露準則也將是 ISO14046 探討的重點。參與 ISO14046 水足跡標準計畫的國家共有 20 國，其中水足跡的倡議組織 WFN 與 WBCSD 亦密切與 ISO 合作提供意見（WBCSD，2010）。

#### 5. 其他國際組織

AWS (Alliance for Water Stewardship) 認為水足跡是推動水資源管理的重要資訊（AWS，2011a），因此，正與 WFN 合作並支持 WFN 對水足跡的研發，未來 WFN 的水足跡估算方法亦將被 AWS 用水資源管理方案中作為衡量方法（AWS，2011b）。

部分國際組織推動的用水指標雖未冠上水足跡名稱，卻被企業用以估算水足跡的方法，例如，Global Reporting Initiative (GRI) 的水資源議定書（Water Protocol）即被 AT&T 認為是最適於該公司估算水足跡的方法（AT&T，2011）。另外，也有用水指標內涵與水足跡相近，例如，SCPP(Sustainable Corporate Performance Project) 強調企業活動對經濟、社會與環境之影響，而 Gerbens-Leenes 等人在 SCPP 的延伸計畫中所擬定的企業用水指標即涵蓋了淡水的直接與間接使用（即供應商的淡水使用）（Gerbens-Leenes et al.，2008），此與水足跡的基本概念是相同的。

#### (四)水足跡查證概念與驗證機構之查證流程

##### 1. 國內水足跡查證流程與查證準則

由於水足跡 ISO 標準尚未通過，因此，目前水足跡評估和盤查沒

有所謂的驗證 (certification)，僅有查證 (verification)。目前國內驗證機構在水足跡查證時多以 WFN 的水足跡評估手冊為主要準則，配合 ISO 生命週期評估 (ISO 14040:2006 和 ISO 14044:2006) 與環保署碳足跡的規範，定義企業/產品水足跡為「企業/產品於生產製造過程中所消耗的直接與間接用水量」。水足跡估算的重點為耗水量 (包括蒸發與未回歸水量) 和單位污染量。以 SGS 而言 (鮑柏宇，2013)，其水足跡查證流程主要有 3 個階段 (見圖 3.4.1.1)：

(1) 第一階段-資料審查：

針對產品水足跡主張、保證等級、實質性及系統邊界設定資訊審查；揭露文件中需包含功能單位、產品流程、供應鏈資訊、LCA 工具選定依據、活動數據來源 (包含初級/次級數據之引用及比例資訊) 及其他佐證資訊；

(2) 第二階段-符合性評估和策略審查及風險評估 (Strategic Review and Risk Assessment, SRRA)：

針對供應鏈 (Supply Chain)、自有控制活動 (Own Operations) 及顧客 (Customers) 之規範符合程度進行確認，如供應鏈層級之決定、初級/次級數據之蒐集及比例、數據蒐集流程、分配 (Allocation) 原則、使用階段之描繪、最終處置之計算等，藉由第二階段之結果建立查證重點及抽樣方法及項目 (必要時此階段須 on-site 確認)；

(3) 第三階段-數據查證：

主要針對揭露資訊之數據準確度進行查證，包含提供資訊實質性、工具及相關參數 (如 GWP 及排放係數等) 之品質等級。

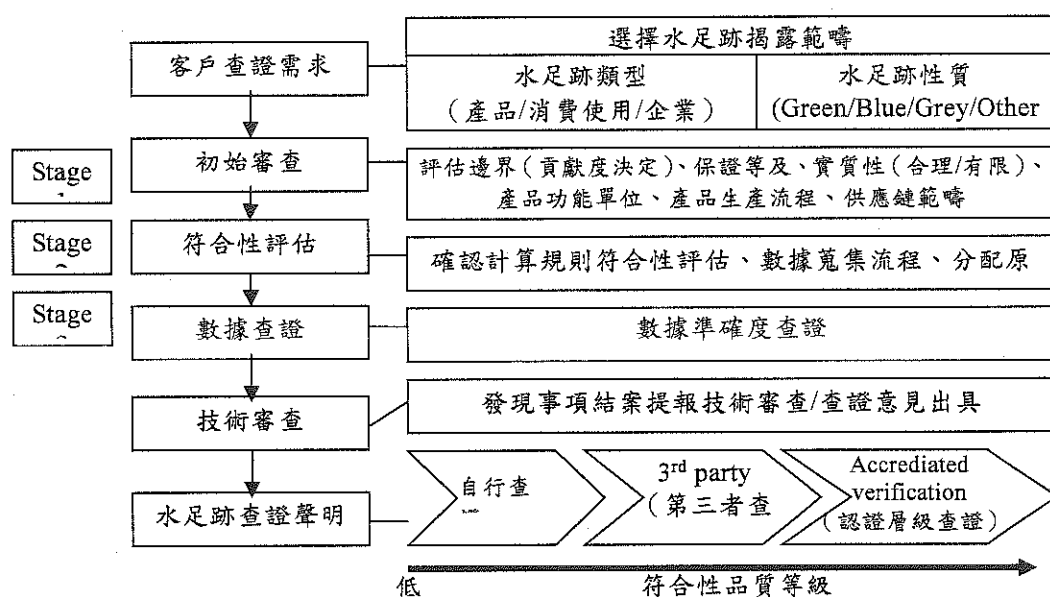


圖 3.4.1.1 水足跡查證流程

由於沒有一致的標準，故國外水足跡的查證的準則依據，包括 WFN 的水足跡評估手冊、ISO/DIS 14046、世界企業永續發展協會，而查證流程皆和前述 SGS 大同小異（Direct Path Strategies, 2013、CICS Global, 2013）。

## 2. 水足跡盤查分析

### (1) 水足跡盤查估算

- A. 所有資料的估算必須遵守 ISO 14044:2006, 4.3.3 之規範，即所有估算的過程皆須紀錄，並詳細說明和解釋相關的假設，研究中相同的估算程序需一致。
- B. 數據的確認（validation）必須和 ISO 14044:2006, 4.3.3.2 一致。
- C. 單位流程、參考流量、功能單位評估等之相關數據皆須遵守 ISO 14044:2006, 4.3.3.3 之規範。
- D. 彙整投入和產出資料需謹慎，彙整的程度需和研究目的一致。
- E. 系統邊界的調整需依照 ISO 14044:2006, 4.3.3.4 的規定。

水足跡盤查分析程序如圖 3.4.2.1 所示。

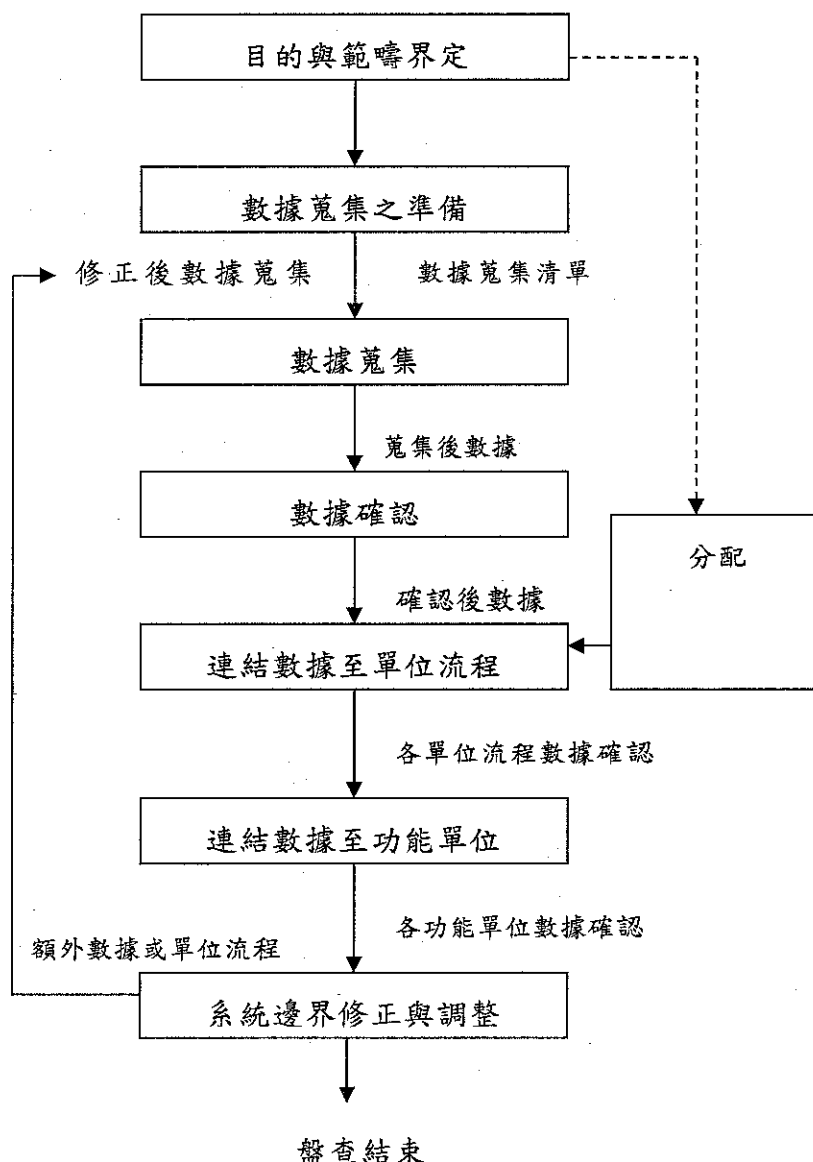


圖 3.4.2.1 水足跡盤查分析程序(資料來源：ISO/DIS 14046:2013)

#### (五)電力水足跡之相關研究

國外電力水足跡相關文獻不多，Wilson et al., (2012)評估美國各種燃料火力發電廠和再生能源發電之水足跡，由於綠水足跡多發生於生質能發電，故該研究僅估算藍水足跡和灰水足跡。其評估的邊界界定為搖籃至大門 (cradle to gate)，亦即包括上游燃料的開採與生產，以及發電過程（主要為冷卻和冷凝）所產生的水足跡。



利用美國能源部 (Department of Energy, DOE) 和內政部的地理調查 (U.S. Department of Interior's Geological Survey, USGS) 等蒐集的美國發電的生命週期用水資料中的取水和耗水量，估算美國發電之水足跡，結果如表 3.5.1 所示。結果顯示，水力發電之水足跡高出其他發電方式甚多，其次依序為燃煤發電、核能發電和天然氣發電，而地熱、太陽能 and 風力發電幾乎沒有水足跡。該文宣稱已估算藍水和灰水足跡，然而由其資料顯示，多著重在用水量和取水量，故無法判斷其灰水足跡是以何污染物估算，且無法得知是否考慮廢熱造成的影響。

單位：加侖/百萬瓦小時

| 燃料     | 發電比例 | 藍水耗水量 | 灰水     | 總水足跡   |
|--------|------|-------|--------|--------|
| 煤      | 44.5 | 308   | 6,835  | 7,143  |
| 核能     | 20.2 | 116   | 2,880  | 2,995  |
| 水力     | 6.8  | 612   | 29,308 | 29,920 |
| 天然氣    | 23.3 | 40    | 1,472  | 1,512  |
| 風力     | 1.9  | 0.02  | 2      | 1      |
| 地熱     | 0.3  | 2     | -      | 2      |
| PV 太陽能 | 0.7  | 0.01  | 2      | 2      |
| 其他     | 2.3  | -     | -      | -      |
| 合計     | 100% | 1,078 | 40,498 | 41,575 |

表 3.5.1 2009 年美國發電水足跡(資料來源：Wilson et al.,2012)

#### (六)台電公司推動水足跡概述

為及早因應水足跡評估趨勢，在政府正式建立相關制度規範前，台電已規劃展開水足跡先期盤查工作。同時選定燃氣的大潭電廠

和燃煤的台中電廠做為水足跡盤查的案例廠，進行水足跡盤查分析。

目前工作進行方法及步驟：

### **1. 蒐集與彙整國內外水足跡盤查及查證標準、規範等資料**

水足跡盤查與查證皆須有水足跡評估的標準做為準則，由國內外驗證機構的查證準則依據來看，WFN 水足跡評估手冊是目前被使用最多的準則，而 ISO/DIS 14046 則有可能成為最後的國際標準。因此，現階段二者應是水足跡盤查與查證應予以考量的依據。

雖 WFN 和 ISO/DIS 14046 對水足跡的相關界定雖有不同，但實際上兩者有相當程度的相容性，若以火力發電的水足跡內容可包含藍水足跡、灰水足跡和海水足跡。研究工作進行期間將以 WFN 水足跡評估手冊和 ISO/DIS 14046 為主要準則，進行火力發電廠盤查前，將先實地了解台中、大潭火力發電廠實際狀況，配合兩項準則的精神和水足跡可能發展趨勢，廣泛且完整蒐集用水和水污染相關資訊。

### **2. 蒐集大潭和台中電廠基本資料及既有水量數據並作合理推估**

大潭電廠為燃氣火力發電廠，台中電廠為燃煤火力發電廠，其投入原料主要為天然氣和煤。研究工作將其水足跡評估範圍界定為搖籃至大門 (cradle to gate)，故推算水足跡時，若以電廠為邊界時，則盤查的範圍包括電廠本身和一階供應商。

為能後續工作推動順利，將辦理大潭及台中兩電廠水足跡人員教育訓練，訓練內容包括水足跡概念和水足跡標準介紹、水足跡盤查準則說明、水足跡盤查工具填寫說明及水足跡盤查報告書製作等項目。

### **3. 分析計算水足跡數據，編寫水足跡盤查報告及節水建議**

#### (1) 用水分配原則討論及用水平衡圖確認

活動數據蒐集確認後，將進行分配原則討論，包括原物料以及廠內用水分配，以量測或討論方式界定各項排放源分配到單位發電量之配比，使分配原則更貼近用水實際情境，最後完成「用水平衡圖」。

#### (2) 用水現況分析及分析結果討論

本項研究工作將運用以下方式取得原物料用水資料：

- A. 由原料供應商提供經過第三方查證的原料水足跡計算數據；
- B. 選自國際或政府公布之產品水足跡排放數據；
- C. 選自國際或政府認可的生命週期軟體資料庫；
- D. 考量向原料供應商取得水足跡盤查計算相關資料。

#### (3) 製作並完成「水足跡盤查報告書」

於完成水足跡盤查評估分析後，將製作並撰寫「水足跡盤查報告書」，做為標的單位發電量水足跡盤查資訊的紀錄及保存。

#### (4) 節水建議

本項研究工作將另就盤查所得提出大潭及台中兩電廠適當可行之節水建議，運用盤查過程中之各項資訊，作出現場節水建議診斷。

排水重複利用與製程單元用水量削減是工業用水回收再利用的兩大原則，二者均為提升水資源利用效率的重要方法。其中水的重複利用，又包括循環利用（Recycle）與回收利用（Reuse）兩類，故在評估某股回收水的最適化利用時，需參考評估要因分析(如下述)作出決策。

#### A.循環利用評估 (RCW)

一般而言，在特定程序/用途單元或系統中所循環的水量，大致可分成二種：

##### (A)受程序影響輕微之高品質水

此類受程序影響輕微之高品質水，以冷卻用水或加熱用水為代表。

##### (B)受程序影響嚴重之低品質水

此類用水係指受各單元程序影響而產生物理化學性質重大改變之水。在運用分類分流技術的情況下，對經篩選的批次水量，綜合回用點之水質需求，考量處理設備之效能與成本。

#### B.回收利用評估 (RUW)

清查全廠所得具回收潛力之排放水點與回用水點的水質資料，進行比對分析，進而找出影響回用的關鍵水質項目，再進一步參考相關的水回用技術/設備，並可朝下列的三個方向著手進行評估。

##### (A)逐級利用

可考量將某一製程的放流水做為另一製程之進流水。

##### (B)次級水供應以取代高品質水

考慮高品質水（如去離子水）可處理及再利用。

##### (C)低成本回收再用

如果某些單元/製程所產出的副產品為水，可檢驗其水質（量），以決定是否符合現地回收再利用。

#### 4、辦理現場水足跡查證作業

於完成單位發電量水足跡報告書後，大潭及台中兩電廠將

進行第三者查證單位執行單位發電量水足跡查證申請。

#### 5. 建置水足跡盤查申報平台

本項研究計畫將水足跡盤查內容建置申報平台，供各發電廠自行登錄基本資料。平台中將有計算水足跡之功能，本計畫將依電廠特性規劃水足跡輪廓（包括藍水足跡、綠水足跡、灰水足跡和其他水足跡相關指標），設計各種水足跡估算公式（類似坊間現有的水足跡計算器），以利各電廠試算其水足跡值。

### 四、實習心得及建議

#### (一)實習心得

本公司近 20 餘年來在環保工作方面實有長足進步，可謂已與先進國家環保設施同步，如目前之 FGD、SCR、ESP 一應俱全，並於綠(美)化、溫室氣體、煙囪彩繪等亦有建樹。若需進一步加強環保工作，首推從管理面做起，繼國際間碳足跡成為全世界先進國家含日本、歐盟、澳州...等地區電力事業列為永續環保主要工作項目，目前國際間亦著手協調合作推動水足跡盤查、建置、水中和等工作。

為順應世界環保潮流趨勢，國內經濟部水利署早於 2009 年開始水足跡宣導及先期研究，並擬定農作物、畜牧產品、養殖漁產、工業產品等水足跡之估算原則（周嫦娥等，2011），然而因水足跡估算的基本資料常需引用能源(含電力及油料)水足跡數據。爰此台電選定燃氣的大潭電廠和燃煤的台中電廠做為水足跡盤查的案例廠，進行水足跡盤查分析。期在建立盤查方法後，試算部分發電機組之單位發電量水足跡數據，作為發電用水之量化指標，供相關規劃參考。另外，透過此次盤查分析亦將建構水足跡盤查申報平台，提供台電各火力發電廠自行登錄基本資料，並估

算單位發電量的水足跡。

國際標準組織所發展出之水足跡 ISO/DIS 14046 版本，需藉由邊界條件設定、盤查評估方法之邏輯理念確立、有效原始資料認定等程序，來建置電力事業水足跡數據。惟美國電力事業除引用上述國際標準組織所發展出之水足跡一般查評估作業程序來建置電力事業水足跡數據，另一方面其亦藉由模式運算來推估電力事業水足跡數據，其目前發展皆具其優點，值得借鏡。

## (二)建議

本次所實習之英國倫敦市 AECOM(Europe)公司，具環保技術與管理之經驗與業務，且具國際聲望，其對電力事業水足跡盤查評估先進理念與作法，或短期內並不能完全直接導入台電應用，但亦能增進所知拓廣水足跡查評估之技術來源，值得日後交流與探討。

水足跡已蔚成世界環保趨勢主流，其盤查評估方式或仍有發展及改善討論空間，惟國內經濟部水利署早於 2009 年開始水足跡宣導及先期研究，並擬定農作物、畜牧產品、養殖漁產、工業產品等水足跡之估算原則（周嫦娥等，2011），然而因水足跡估算的基本資料常需引用能源(含電力及油料)水足跡數據。爰此台電公司經參考國外先進國家電力事業水足跡盤查與評估方法，及早建立全電力事業水足跡資料，一方面可提供外界推估其產品之水足跡資料，以利與國際接軌；另一方面可藉由各電廠水足跡盤查及管理措施，達到節水與企業永續發展之目的。

## 五、附件:重要參考文獻:

### (一)中文部分

- 1.周嫦娥(2011),「水足跡之衡量」,經濟部水利署,氣候變遷國際研討會。
- 2.周嫦娥、李繼宇、朱美琴、楊浩彥(2011),「水足跡概念推廣與先期研究」,經濟部水利署委託研究計畫。
- 3.周嫦娥、李繼宇、林惠芬、阮香蘭(2011),「企業水資源管理新指標-水足跡」,工業污染防治,第117期,175-199頁。
- 4.周嫦娥、朱美琴、李繼宇(2012),「水足跡運用技術之先期研究」,經濟部水利署委託。

### (二)國外部分

- 1.Water Footprinting Primer for the Electric Power Industry,Technical Update,December 2010,Electric Power Research Institute,U.S.A.
- 2.Peter Hanlon,Resizing Electricity's Water Footprint,Tweet,06.03.2013.
- 3.Global Water Tool from WBCSD  
(<http://www.wbcds.org/template/TemplateWBCSD5/layout.asp?type=p&MenuId=ODI&doOpen=1&ClickMenu=Lenu>).
- 4.WaterFootprint.org(<http://www.waterfootprint.org/>).
- 5.Globe Footprint Network  
(<http://www.footprintwork.org/en/index.php/GFN>)

