**一、碳排放估算部分**

**(1)、估算範疇與原則**

水利工程設施之碳排放估算，係以工區即工程設施運作的區域為範圍，考量包括工區範圍內或就近為因應此工區所需的工務所、預拌廠和預鑄廠等，含括設施建造過程中的製程能源供應與使用及營運場所的排碳，且必須考量設施建造之工程材料製造過程排碳及各式物資運輸與儲存排碳。而廢棄物方面，由於水利工程設施多數廢棄物皆現地再利用或回填使用，再者。廢棄物最終處理階段其流向與處理方式難以追蹤與計算，暫不納入本次試辦計算中。因此，估算項目可概略分為人、機、料三大類，其中大部分皆為工程材料與運輸耗能，本單位亦將計算項目分成五大類別，分別包含A直接排碳量、B間接排放量、C材料排碳量、D運輸排碳量與E碳匯變化量，計算工項內容，如圖1所示。



**圖1　工程碳排放估算項目**

**(2)、估算限制與假設**

* **假設一：估算資料來源設定**

由於工程設計與施工之項目繁多，且碳排放估算應計算前述五大項目，故本試辦計畫將依據案例之數量計算書、單價分析表、設計與施工圖說等內容進行估算，惟部分資訊不足以支持碳排放推估計算所需，其中運輸所需之能耗資料最為缺乏，而間接排放所需計算之用水、氣體量亦無法於數量書中得知，計算之項目內容如圖2所示，虛線部分將考量資料取得問題，採用平均運距或不納入計算。而在權衡實際所能取得之資訊與碳排放之關聯下，本試辦計畫將要求所屬單位計算工程直接排碳、間接排碳、材料排碳與碳匯等部分內容，且在既有設計結果限制條件下，將進行部分簡化。



**圖2　估算範疇與限制示意圖**

* **假設二：碳排放係數推估**

由於目前全球產品碳足跡盤查尚在起步，我國目前已取得碳標籤的產品亦偏重於生活用品而無工程材料，預計工程材料排碳參數資料與設計資料中的工程材料項目將有相當程度的差距。此部分將與工程數量計算專業人員進行討論與分析，針對部分就無可對應係數之項目進行組成、材質或成份的假設，進而參考現有參數、就其配比轉換成各工項排碳係數，計算工程材料使用之碳排放量。

**(3)、估算流程**

針對實際案例所使用之材料、機具而產生的二氧化碳進行評估。在進行案例試算時，就所需資訊與參數進行分析與確認，計算流程大致分成四大部分，第一部分，確立計算內容，將針對案例之工程預算書、數量計算書、工程圖說與建置需求等內容進行確認，以分析工程活動強度之資訊；第二部分，選用合適之排放係數，將針對活動強度與內容，分析其可使用之碳排放係數內容與替代方法；第三部分，活動內容計算與加總，針對計算直接排放、間接排放與其他排放之原則與工程五大計算項目計算碳排放源；最後將計算之結果進行彙整，以進行工程碳排主要因子與主要工項之探討與分析。本案例計算流程，如圖3所示。



**圖3　工程碳排放估算流程**

**(4)、碳排放係數選用原則**

由於目前我國已根據環保署產品與服務碳足跡計算指引進行產品碳足跡宣告的品項不多，且皆為食品或家電用品而非本試辦計畫所須之工程營建材料。為能滿足後續排放量評估的需求，本單位將盡可能蒐集目前國內外工程材料、機具與運輸之相關數據，作為建立參數資料庫及後續模式內使用之參數資料表的參考來源。以下即簡要說明未來各類參數選用原則：

* 本土化

將國家政府機關公告數據，作為係數選用的第一原則與優先對象。

* 可信度

排放係數之優先選擇順序為：國家公告係數＞國內專案報告＞國際公告係數＞國外研究之順序，作為碳排放量引用之係數。

* 時間性

考量係數公告或產出的時間，以較接近現況者，如：電力排放係數採我國能源局最新公告之民國101年數據，作為優先選用係數。

根據碳排放係數選用原則，本單位初步將係數來源依據區域、可信度與時間等進行等級分別，初步分成四大級別，如表1所示。而根據目前已收集可參考之碳排放係數資料庫進行級別判定，如表2所示。初步選用之材料碳排放係數如表3所示。

**表1　工程碳排放係數選用等級**

|  |  |
| --- | --- |
| **級別** | **條件說明** |
| A | 國家政府機關公告數據 |
| B | 國內專案或研究報告級論文數據 |
| C | 國際公告數據 |
| D | 他國研究數據 |

**表2　目前蒐集之碳排放係數來源與分級**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **等級** | **國家** | **來源** | **項目** |
| A | 台灣 | 環保署 | 國家溫室氣體登錄平台 |
| A | 台灣 | 環保署 | 環保署產品碳足跡計算公用係數 |
| A | 台灣 | 環保署 | 鋼鐵業溫室氣體公告排放強度(Elr) |
| A | 台灣 | 環保署 | 水泥業溫室氣體公告排放強度(Elr) |
| A | 台灣 | 能源局 | 能源產業溫室氣體減量資訊網 |
| B | 台灣 | 環保署 | 國家通訊及溫室氣體排放清冊建置應用 |
| B | 台灣 | 張又升 | 建築物生命週期二氧化碳減量評估 |
| D | 英國 | ICE | 材料碳排放係數資料庫 |
| D | 英國 | 碳信託 | 英國碳信託 |
| D | 英國 | UK Environmental Agency | Carbon calculator for construction activities |
| D | 瑞典 | 瑞典工務部門 | Project Report of Swedish National Road Administration |

註：將持續蒐集可用資料係數，以供後續單位估算使用。

**表3　目前蒐集之碳排放係數**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **主要材料** | **排放係數** | **來源** | **等級** |
| 鋼筋(不分類) | 0.92/kg | 張又升2001 | B |
| 鋼鐵類(鋼胚) | 1.9/kg | 環保署 2011 | A |
| 鋼鐵類(高爐) | 2.13/kg | 張又升2001 | B |
| 鋼鐵類線材(高爐) | 2.23/kg |
| 爐石粉 | 68.05/T |
| 卜特蘭水泥 | 0.41/kg |
| 骨材(砂礫) | 3.11/m3 |
| 水泥熟料 | 0.821/kg | 環保署 2011 | A |
| 預拌混凝土，175kgf/cm2 | 128.69/m3 | 張又升2001 | B |
| 預拌混凝土，210kgf/cm2 | 148.95/m3 |
| 預拌混凝土，245kgf/cm2 | 159.13/m3 |
| 預拌混凝土，280kgf/cm2 | 169.23/m3 |
| 預拌混凝土，350kgf/cm2 | 199.82/m3 |
| 預拌混凝土，420kgf/cm2 | 230.26/m3 |
| 瀝青混凝土 | 30.62/T |
| 柴油 | 2.650/L | 能源局2012 | A |
| 電力 | 0.536/度 | 能源局2012 | A |

**二、碳盤查/調查部分**

**(1)、盤查範疇與原則**

水利工程設施之碳盤查之範疇，亦將針對工區即工程設施運作的區域為範圍進行調查，盤查範圍亦如圖2所示。本盤查計畫將依照設施全生命週期之活動進行碳排放項目調查，包含工區內直接排碳量、間接排放量、材料排碳量、運輸排碳量與碳匯變化量等，並根據碳排放推估之成果，針對重點排放項目進行蒐集與調查，作為後續分析之依據。而為確保碳排放盤查資料之內容，本單位將參考產品碳盤查之原則，針對活動相關性、完整性、一致性、準確性及透明度內容進行活動量蒐集。以下針對各原則初步說明如下：

* 相關性：將考量設施建造、使用過程之利害關係者影響，並調查與蒐集干擾工程施作與營運等相關活動量。
* 完整性：考量計算範疇內應須涵蓋之所有相關營運單位、製程、活動與設施之排放源，如材料、機具、能源、運輸等活動。
* 一致性：本單位所提出專案，將考量其類型後採行一致之量化方法，此包含活動數據的統計與排放係數的引用來源等。
* 準確性：將考量盤查過程之活動量蒐集方式(含活動數據與排放係數)，以最能反應實際排放狀況為前提，在有限人力與時間內盡可能蒐集真實數據。
* 透明度：盤查過程中，本單位將嘗試取得所有相關之佐證資訊，包含相關假設、計算方法、文件變更及活動數與排放係數等資訊的來源，以作為後續單位或工程使用之參考。

**(2)、盤查限制與假設**

* **假設一：人力與資源限制**

本年度執行時程較短，在人力與資源限制下，本單位將協調工程主辦單位、承辦單位、設計與施工單位配合現場活動量蒐集。而工程碳盤查之作業，應包含上游材料之調查、運輸、現場組裝、使用與拆解等階段，惟蒐集工程使用之產品碳排放活動數據資料時，為進行正確性的分析評估，必要時應採實地訪查或實際盤查，但考量本年度執行時間、成本與現場人力問題，恐難以負荷所有一級數據之蒐集與訪察。再者，目前部分工程已完成設計與施工內容，時程上亦無法針對合約內容進行調整，活動量內容蒐集之正確性與完整性，暫規劃以宣導或教育訓練等方式輔導廠商協助。

* **假設二：次級碳排放數據之使用**

本年度碳盤查作業，將利用初步規畫之活動量蒐集表(如表4~表6所示)針對現場直接排放與間接排放進行活動量蒐集。至於材料或相關設施組成部份，礙於本年度無多餘預算採購相關產品資料庫及計算分析工具，如環保署官網介紹之SimaPro 7 、VHKEcoReport 5、DoitPro、Gabi4等，或其他之市售生命週期評估(Life Cycle Assessment , LCA)工具。因此僅能仰賴次級數據之內容進行計算與成果分析，碳排放係數將優先採取上游廠商提供之資訊，若無相關碳足跡資料則採取次級數據進行計算，而計算成果亦僅作相對性比較。

**(3)、盤查/調查流程**

針對實際案例活動之盤查與調查，為確保資料之完整性，就所需資訊與參數等內容，盤查與調查流程大致分成四大部分，第一部分，為確立盤查內容，將針對工程內容規畫其活動或製程地圖，並檢視推估之成果與邊界，確保資料蒐集之順序與重點；第二部分，則依據活動或製程地圖進行活動量蒐集，蒐集內容包含直接排碳量、間接排放量、材料排碳量、運輸排碳量與碳匯變化量等；第三部分，，選用合適之排放係數，將針對活動強度與內容，分析其可使用之碳排放係數內容與替代方法，進行碳排放計算；最後，分析計算結果，進而辨識不確定因素與內容，確保盤查成果之一致性，並探討同類型之工程內容與盤查成果，進而分析各工程項目之差異。本案例盤查流程，如圖4所示。



**圖4　工程碳盤查流程**

**表4　工區設備調查表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **項次** | **使用設備名稱/型號** | **排放源****(燃料)** | **排放源類別** | **範疇別** | **活動數據** | **單位** | **工作項目** | **說明/附件** |
| **固定燃燒** | **移動燃燒** | **逸散** | **製程** | **1** | **2** | **3** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**表5　運輸調查表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **項次** | **運輸項目** | **使用運具名稱/型號** | **排放源****(燃料)** | **活動量調查** | **運輸量調查** | **說明/附件** |
| **活動數據** | **單位** | **運輸量** | **單位** | **運輸距離** | **運輸耗時** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**表6　材料調查表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **項次** | **工作項目** | **使用材料** | **活動數據** | **單位** | **工作項目** | **說明/附件** |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |