

# 淨零轉型下之水利工程系統性減碳策略及成果研析

因應淨零轉型浪潮所需，經濟部水利署首創水利工程碳預算<sup>1</sup>管理方法，透過數據分析、自動程式輔助及工程碳排量審查流程，推動系統性工程減碳作業。研提減碳策略過程中納入綠色材料、綠色能源、綠色工法、綠色環境等綠色內涵概念，積極導入再生材料、減廢、營建自動化、生態、節能、固碳、耐久等多元措施，以達碳預算管理目標與低碳設計之關鍵指標。本文分析該署 2022 年發包之 170 件工程採用減碳策略及綠色內涵<sup>2</sup>相關經費，皆顯見水利工程對於綠色工法之應用以及綠色材料之導入較具減碳作業潛力。

余佩芬、黃玉珍、陳加榮、郭曜琪（經濟部水利署主計室科長、水利署工程事務組科長、正工程司、正工程司）

## 壹、前言

因應溫室氣體排放逐年攀升導致全球暖化效應，如何有效降低進而達到淨零排放之目標，儼然成爲全球倡議及推動之浪潮。經濟部水利署（以下簡稱水利署）爲推動國內水利工程節能減碳之目標，參考國外減碳做法、指標及國內政策方向，考量每年推動衆多水

利工程無法逐案碳盤查之現況下，首創「水利工程碳預算管理」（以下簡稱碳預算管理）方法，以系統性減碳之策略及管控，自工程預算編列即導入減碳思維並採行總量管制，從工程生命週期之規劃、設計、施工、營運等各階段擬訂相對應策略，編撰「水利工程減碳作業參考指引」作爲水利署減碳方針，並通過英國標準協會

（British Standards Institution, BSI）查證確認。

盤點過去 2019 年至 2021 年水利署推動水利工程之碳排量，以平均每年排放約 58.7 萬噸 CO<sub>2</sub>e 作爲基期碳排量，分別擬訂各年減碳基期碳排量，其中 2022 年爲 20 %、2023 年 30 %、2030 年 40 %，直至 2050 年 50 % 爲目標，並搭配轄管土地植樹固碳等措施，以

落實淨零轉型之長期願景目標（圖1）。

## 貳、水利工程減碳策略與方法

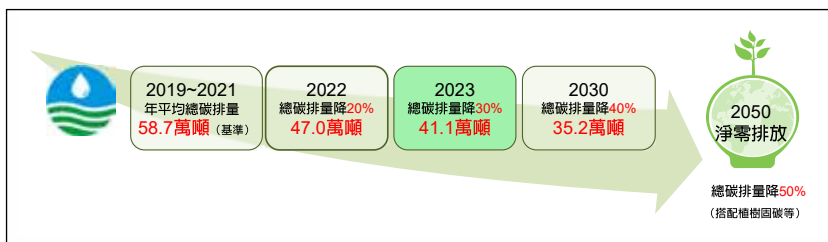
### 一、減碳策略

為貫徹水利工程生命週

期減碳之管理思維，水利署提出「水利工程減碳作業參考指引」，在工程預算編列階段即具體導入碳預算管理做法，納入低碳工法、減碳設計、減碳施工等減碳策略供各所屬機關依循推動。除透過設計階段的碳排量估算與分析外，研提

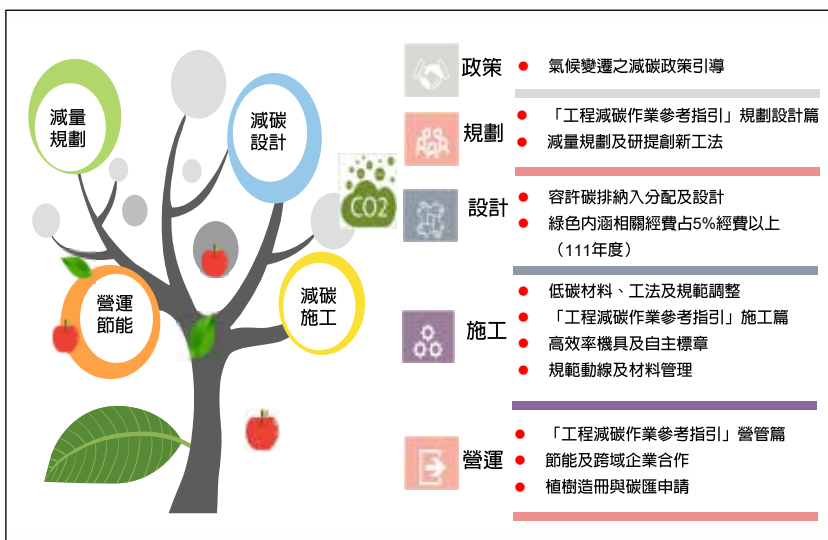
於減碳策略過程中落實綠色材料、綠色能源、綠色工法、綠色環境等綠色內涵概念，積極導入再生材料、減廢、營建自動化、生態、節能、固碳、耐久等多元措施，以達碳預算管理目標與低碳設計之關鍵指標（圖2）。

圖1 水利署水利工程淨零減碳規劃時程



資料來源：作者自行繪製。

圖2 工程生命週期各階段減碳策略



資料來源：作者自行繪製。

### 二、水利署首創碳預算管理方法

為落實減碳策略實質應用於各類水利工程，考量工程屬性及其物調指數等特性，碳排量管理範圍依河海工程（包含河海類工程、集水區保育治理工程及一般疏濬工程）、水資源小型工程、防汛備料工程及水資源大型報院計畫工程等類別，適性制定各類別工程減碳審查流程（下頁圖3），並整合以「碳預算管理」模式辦理系統性減碳。

首先，由各執行單位於工程提報階段以水利署過去推動工程之數據經驗，採標準斷面估算法或工程類別迴歸係數推估法，進行提報工程碳排量盤點，並將成果提報由水利署統

# 專題

籌檢討，水利署再以各所屬機關為單位予以核定個案工程容許碳排放量及管制總量，自工程勘評階段即以目標需求進行個案及總量碳排管控。

工程容許碳排放核定後，工程設計人員依節能減碳構想，進行規劃設計，並根據 BSI 公布之 PAS 2050 準則，將各工作項目之「活動強度」<sup>3</sup> 乘以「碳排係數」<sup>4</sup> 之總和估算碳排放量，並於編列工程預算書時運用經費電腦估價系統編碼編列成果，及利用水利署開發之碳排放量計算工具，實際計算與填報工程碳排放量檢核表，提

送工程減碳推動協調小組（以下簡稱推動協調小組）檢討碳排放量，倘個案工程因特殊原因致無法達標，則可由推動協調小組進行內部工程案碳額度交換（調整）檢討或報署協調管控；最後，於核定工程總碳排放量管控下，即依程序核定工程預算書、發包執行及造冊列管等，上述整體管理架構即為碳預算管理方法。

## 參、減碳策略運用

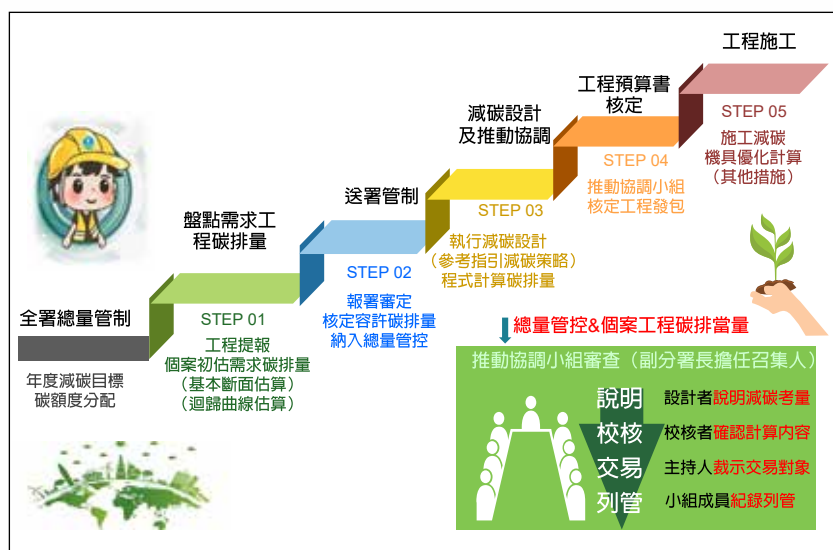
為落實水利工程全生命週期減碳策略應用，以四大綠色內涵（綠色材料、綠色工法、

綠色環境、綠色能源）納入工程考量，其執行方式如下（下頁表 1）：

分析水利署 2022 年發包之 170 件工程採用減碳策略，工程案件有 87.06% 採用綠色材料，使用頻率最高，其次為綠色工法 44.71%，綠色環境 42.35%；而綠色能源因水利工程設計過程較無綠色能源開發之應用，故再生能源系統及節約能源設備尚未有執行單位使用，未來如有新科技或工法開發應用相關綠色能源技術，則可進一步於水利工程中設計導入及推廣。

進一步探討採行之減碳執行方式，以就地取材採行比率 48.82% 最高，其次為植生 40.59%，再其次為再生工程材料 25.88%、生態工法（近自然工法）21.76%，四者占比均在 2 成以上。使用較少的減碳執行方式則為以自然為本的解決方案（以下簡稱 NbS）0.59%、最小營建規模及新型混凝土各為 1.18%、低耗能工法 2.35%，採行比率皆不及 3%。究其原因為 NbS 係利用自然或生態系

圖 3 工程提報與推動協調小組審查機制



資料來源：作者自行繪製。

統服務之設計，生態系統為動態且複雜的系統，存在不確定性，水利工程必須於環境條件可行情況進行，使用上較為侷限；新型混凝土大多應用於高強度的建築結構，堤防工程以礦物摻料取代 50% 膠結料已可達部分減碳效果，故使用新型混凝土比率較少；水利工程屬帶狀結構體，少以低耗能工法設計，惟面臨近年營建產業嚴重的缺工問題，低耗能工法可為水利工程後續努力推廣之方向（下頁表 2）。

按工程類別觀察減碳策略落實執行方式，河海工程主要減碳策略為就地取材及植生，採行比率分別為 50.38 %、43.61 %；水資源小型工程則以採取就地取材比率 55.56 % 最高，其次為生態工法如使用土籠石護岸取代傳統混凝土護岸方式 33.33 %，而植生亦有 29.63 %；另防汛備料工程則以再生工程材料（水庫淤泥活化再利用）70 % 為減碳策略之主要執行方式（下頁圖 4）。

考量各地區因地緣關係皆有其特性及差異，爰對於

表 1 水利工程減碳策略與執行方式

減碳策略	落實執行	具體方式
綠色材料	環保與耐久性材料	使用低污染、省資源、再生利用、可回收之綠建材或再生材料等綠色環保產品、設備及使用耐久性材料如耐久性管材減少未來維護管理成本，以減少碳排放。
	新型混凝土	使用高性能混凝土（HPC）、自充填混凝土（SCC）、超高性能混凝土（UHPC）。
	再生工程材料	再生瀝青混凝土、再生混凝土、高壓混凝土磚再生建材、再生橡膠地磚、再生陶瓷面磚建材、水庫淤泥利用、使用焚化底渣再生粒料或廢棄物再利用。
	就地取材	砌石護岸、鋪塊石、混凝土排塊石、混凝土砌塊石、乾砌塊石、混凝土襯排塊石、混凝土襯砌塊、拋石護坦工、自然河床料便道鋪築、土堤培厚等。
	替代材料	混凝土礦物摻料提升替代水泥用量。
綠色工法	低耗能工法	採用自動化或標準化施工方式、結構體輕量化設計（如系統模板）、於施工方法中導入預鑄品（如預鑄護欄、預鑄溝蓋、預鑄車阻、預鑄鋼筋混凝土管、預鑄樑柱、預鑄外牆、預鑄隧道環片等）。
	減少工程廢棄物	由源頭減少資源的產出並考量營建廢棄物回收與再利用、透過管理手段對營建材料的供應、裝卸動線及倉儲配置等進行妥善規劃。
	土方挖填平衡	規劃應以最小面積開挖或以最短運送距離操作、優先考量用於工區填挖平衡以減少外運；剩餘土方提前培厚。
	生態工法 (近自然工法)	因地制宜使用自然材料之施工方法，如回包式加勁工法、土工沙腸袋工法、石籠工法搭配現地土石或取自工區河床之自然石材的砌石工法。
綠色環境	最小營建規模	減量設計
	植樹固碳、生態營造 (以下簡稱植生)	種植喬、灌木、植披
	以自然為本的解決方案 (Nature-based Solutions, NbS)	NbS 生態設計
綠色能源	再生能源系統	使用水力、風力及太陽能發電
	節約能源設備	使用 LED、節能設備

資料來源：水利工程減碳作業參考指引（規劃設計篇）。

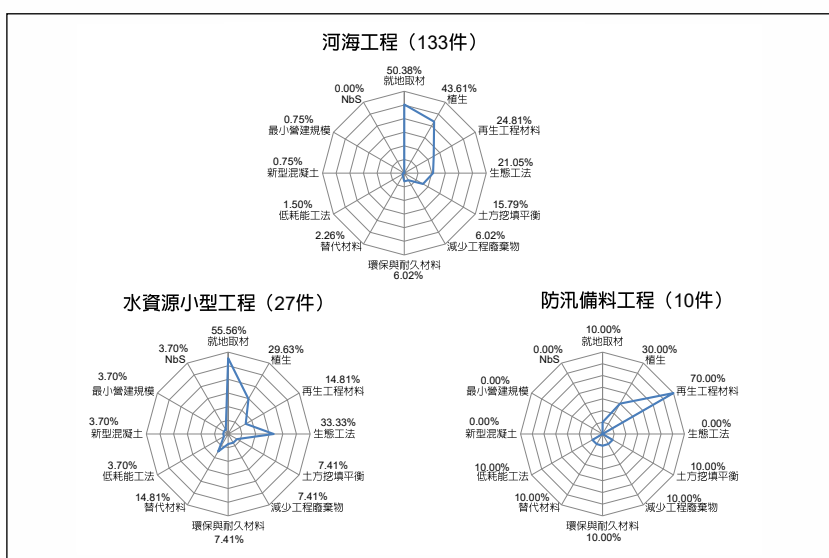
# 專題

表 2 2022 年水利工程減碳策略應用與執行方式統計

類別	使用案件數 (件)	案件使用比率 (%)
發包案件	170	100.00
綠色材料	148	87.06
就地取材	83	48.82
再生工程材料	44	25.88
環保與耐久性材料	11	6.47
替代材料	8	4.71
新型混凝土	2	1.18
綠色工法	76	44.71
生態工法 (近自然工法)	37	21.76
土方挖填平衡	24	14.12
減少工程廢棄物	11	6.47
低耗能工法	4	2.35
綠色環境	72	42.35
植生	69	40.59
最小營建規模	2	1.18
NbS	1	0.59

說明：1. 部分案件採取 1 種以上的減碳策略，故各類別件數加總不等於總案件數 170 件。  
 2. 案件使用比率係以各策略執行件數除以總案件數 170 件。  
 資料來源：水利署 111 年度水利工程減碳暨植樹固碳成效報告。

圖 4 2022 年各類工程減碳落實執行方式



資料來源：水利署 111 年度水利工程減碳暨植樹固碳成效報告。

2022 年度推動水利工程之減碳策略，進一步就北、中、南及東等四區<sup>5</sup>觀察。四區所編列之綠色內涵相關經費以南區最高，其主要採取就地取材 (45.88%)、植生 (43.53%) 等方法，藉以達成水利工程減碳之目標；其次為中區，以再生工程材料 54.29% 於策略使用上較為普遍，其次為就地取材 37.14%；北區之減碳策略多採用就地取材 50%、植生 42.86% 等方法為主；而東區則在就地取材採行比率 77.27%、植生 50%、土方挖填平衡 36.36%、生態工法 31.82% 等策略表現較佳，究其原因係與該區地理環境有關，東區天然塊石數量較多，自然易於發展出石籠、蛇籠、拋石工等生態工法與現地塊石使用之策略，同時因東區腹地廣大，在種植植生、植樹固碳方面易相對有較大之策略擬訂空間 (下頁圖 5)。

## 肆、綠色內涵相關經費 成果及減碳效益

### 一、綠色內涵相關經費成果

綠色內涵相關經費可分為綠色環境、綠色工法、綠色材料及綠色能源等四大類，依水利署 2022 年度推動水利工程減碳作業之成果，其統計分類為「綠色材料」項下之再生工程材料、環保與耐久材料、替代材料、就地取材等，「綠色工法」項下之土方挖填平衡、生態工法、低耗能工法－預鑄化構件等，「綠色環境」項下之植樹固碳以創

造綠化減碳環境，以及「綠色能源」項下之太陽能設備應用等。

2022 年度水利署發包之水利工程總核定經費計 52 億元，綠色內涵相關經費 10.2 億元，占 19.6%（25 頁表 6），已達水利署管制目標之 5% 政策推動指標，顯見水利署推動政策指標落實編列相關經費成效。

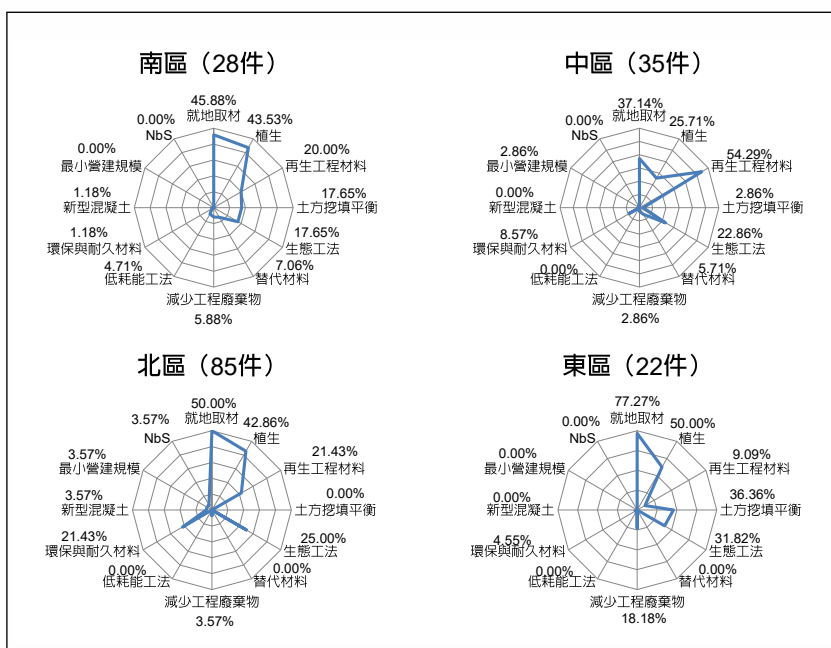
綜覽各項減碳策略之編列經費，雖然綠色材料在工程執行頻次較多，但因經費耗用相對節省，而綠色工法因在水

利工程中屬較為容易執行且為減碳成效良好之項目，因此占整體綠色內涵相關經費 65.8% 最高；而綠色材料及綠色環境分占整體綠色內涵相關經費之 17.6% 及 16.1%（下頁表 3）。

依各區綠色內涵相關經費觀察，除中區外均以綠色工法之經費最高，比重在 69% 至 83% 之間，且綠色環境經費亦皆高於 1 成，而中區以綠色材料經費占 53.9% 居首位，綠色工法經費占 37.4% 次之。由各分署減碳策略及綠色內涵相關經費觀之，顯見水利工程對於綠色工法之應用以及綠色材料之導入較具減碳作業潛力。

綠色工法多採生態工法（如應用石工、土工織物）、工區挖填平衡等方法，以減少土方外運及混凝土所造成之碳排放量上升；綠色材料之應用，多見再生瀝青混凝土、水庫淤泥再利用等再生工程材料；另水利署大力推動種樹專案及輔導所屬單位擴大植樹固碳政策，對於各案水利工程綠色環境經費之編列亦顯具效應（上頁表 4 至表 5）。

圖 5 2022 年各分區工程減碳落實執行方式



資料來源：水利署 111 年度水利工程減碳暨植樹固碳成效報告。

專題

表 3 2022 年各分區綠色內涵相關經費統計

單位：億元：%

地區別	綠色內涵 相關經費	綠色材料		綠色工法		綠色環境		綠色能源	
		經費	占比	經費	占比	經費	占比	經費	占比
總計	10.2	1.8	17.6	6.7	65.8	1.7	16.1	0.1	0.5
北區	1.7	0.2	13.5	1.2	73.4	0.2	13.1	-	-
中區	1.8	1.0	53.9	0.7	37.4	0.2	8.4	0.0	0.3
南區	5.3	0.5	9.7	3.7	69.0	1.1	20.5	0.0	0.8
東區	1.4	0.1	4.3	1.1	82.3	0.2	13.3	0.0	0.1

說明：1. 總數與細項加總不符係四捨五入之故。

2. 「0」表示有數字而不及半單位。

資料來源：水利署 111 年度水利工程減碳暨植樹固碳成效報告。

表 4 2022 年各分區綠色工法經費統計

單位：萬元：%

地區別	綠色工法	生態工法		土方挖填平衡		低耗能工法—預鑄化構件	
		經費	占比	經費	占比	經費	占比
總計	67,396	49,081	72.8	14,232	21.1	4,082	6.1
北區	12,288	2,279	18.6	9,465	77.0	544	4.4
中區	6,913	5,936	85.9	750	10.8	226	3.3
南區	36,745	31,865	86.7	1,566	4.3	3,312	9.0
東區	11,450	9,001	78.6	2,451	21.4	-	-

說明：總數與細項和不符係四捨五入之故。

資料來源：水利署 111 年度水利工程減碳暨植樹固碳成效報告。

表 5 2022 年各分區綠色材料經費統計

單位：萬元

地區別	綠色材料								
	再生工程材料	再生工程材料				環保與 耐久材料	替代 材料	就地 取材	
再生瀝青 混凝土		水庫淤泥 再利用	廢棄物 再利用	其他					
總計	18,009	13,242	6,886	5,110	43	1,203	2,147	2,054	566
北區	2,269	1,659	579	1,080	-	-	474	-	136
中區	9,972	7,710	4,161	2,348	2	1,199	-	2,054	208
南區	5,166	3,285	1,558	1,682	41	4	1,673	-	208
東區	602	588	588	-	-	-	-	-	14

說明：環保與耐久材料資料包含新型混凝土。

資料來源：水利署 111 年度水利工程減碳暨植樹固碳成效報告。

綠色能源如再生能源系統、LED 照明設備或節能標章產品等節約能源設備，較未見於水利工程預算書內容。經檢討，乃因水利工程工址區域常位處偏遠，能源設備轉型及導入較為不易，或依水利工程特性，設計內容有別於一般營建工程，較無機電設備項目所致。

## 二、工程減碳效益

水利署推動系統性減碳工作，經統計 2022 年發包之 170 件工程，其中河海工程 133 件，總核定經費約 44.1 億元，綠色內涵相關經費約 8.8 億元，占 19.8%，共減少 63,689 噸 CO<sub>2</sub>e 碳排量。水資源小型工程 27 件，總核定經費約 5 億元，綠色內涵相關經費約 1 億元，占 20.2%，共減少 4,503 噸 CO<sub>2</sub>e 碳排量。防汛備料類工程 10 件，總核定經費約 2.9 億元，綠色內涵相關經費約 0.4 億元，占 13.9%，減碳量計 197 噸 CO<sub>2</sub>e 碳排量（表 6）。依據美國洲際交易所（Intercontinental Exchange, ICE）2022 年 12 月 30 日碳排放權（EUA）期貨每

公噸二氧化碳當量價格 79.4 歐元計算，2022 年度減碳量約可節省 543 萬歐元（約新臺幣 1.8 億元）。

## 三、植樹固碳效益

2022 年度水利署完成植樹面積 178.49 公頃（含喬木

14.82 萬株，灌木 137.99 萬株），以每株喬木平均固碳量 7.5kgCO<sub>2</sub>e 及每株灌木平均固碳量 1.875kgCO<sub>2</sub>e 估算，總碳排量約 3,699 噸 CO<sub>2</sub>e（表 7），以 EUA 期貨每公噸二氧化碳當量價格 79.4 歐元計算，每年可產生碳權約 29.4 萬歐元（約

表 6 2022 年各類工程減碳量及綠色內涵相關經費統計

工程類別	件數	減碳量 (tCO <sub>2</sub> e)	核定經費 (億元)	綠色內涵 相關經費 (億元)	綠色內涵 相關經費 占比(%)
總計	170	68,389	52.0	10.2	19.6
河海工程	133	63,689	44.1	8.8	19.8
水資源小型工程	27	4,503	5.0	1.0	20.2
防汛備料工程	10	197	2.9	0.4	13.9

資料來源：水利署 111 年度水利工程減碳暨植樹固碳成效報告。

表 7 2022 年度水利署各分區植樹固碳統計

地區別	種植面積 (公頃)	喬木數量 (株)	灌木數量 (株)	固碳量 (tCO <sub>2</sub> e)
總計	178.49	148,176	1,379,938	3,699
北區	38.54	27,030	681,230	1,480
中區	60.84	71,349	371,718	1,232
南區	42.45	32,003	293,339	790
東區	36.66	17,794	33,651	197

資料來源：水利署 111 年度水利工程減碳暨植樹固碳成效報告。



## 專題

新臺幣 976 萬元)。另植樹可結合綠美化環境營造與河川揚塵防制業務，推動於滯洪池或環境營造工程周邊栽植，除能對減碳做出具體貢獻外，更能營造人與自然生態共存的優質環境，使綠色供應鏈之產業帶來效益，加速產業升級及創造就業機會。

### 伍、結語

降低溫室氣體排放是減緩氣候變遷的主要手段，水利署以碳預算管理方法於設計階段即落實工程節能減碳，並以植樹固碳方式，推動產業淨零轉型。面對 2050 淨零排放之挑戰，水利署將投入更多人力、經費全面思考工程減碳創新策略及作為，致力於低碳材料與工法之研究開發及建構完善之智慧節能設計及智能監造系統，將綠色轉型 (Green Transformation, GX) 與數位轉型 (Digital Transformation, DX) 結合同步發展，配合 NbS，落實水利工程淨零轉型之長期願景目標。

### 註釋

1. 「碳預算」非預算法規定之政府預算，係水利署以工程預算項目計算工程碳排放量，據以設定減碳目標。
2. 依據行政院公共工程委員會 101 年 3 月發布之「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實綠色內涵執行成果報告」，綠色內涵指標包含營造綠色環境、廣採綠色工法、選用綠色材料、納入綠色能源等，其經費為綠色內涵相關經費。
3. 「活動強度」泛指一段時間內之生產量 (或能源消耗量或服務量) 大小。
4. 「碳排係數」指每單位原 (物) 料、燃料使用量、產品產量或其他操作量所排放造成之溫室氣體排放量。
5. 北區包含水利署第二河川分署、第十河川分署、北區水資源分署、臺北水源特定區管理分署；中區包含水利署第三河川分署、第四河川分署、中區水資源分署；南區包含水利署第五河川分署、第六河川分署、第七河川分署、南區水資源分署；東區包含水利署第一河川分署、第八河川分署、第九河川分署。

### 參考文獻

1. 水利署 (2023)，111 年度水利工程減碳暨植樹固碳成效報告。
2. 賴建信、許朝欽、林哲震、陳加榮 (2023)，導入碳預算管理提升水利工程減碳新策略，中國工程師學會會刊，第 96 卷第 2 期。
3. 國家發展委員會 (2022)，臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明。
4. 水利署 (2022)，水利工程減碳作業參考指引 (規劃設計篇)。
5. 賴建信、許朝欽、林哲震、陳加榮 (2022)，全國首創水利工程碳預算管理方法，社團法人中國土木水利工程學會，第 16 卷第 6 期。❖