

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程

碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability

College of Science and Technology


Nanhua University

Master Thesis

新北汙水廠碳中和計算方式建立

The Calculation Method Establishment of Carbon Neutrality in

New Taipei Sewage Treatment Plant



張正華

Jeng-Hwa Chang

指導教授：洪耀明 博士

Advisor: Yao-Ming Hong, Ph.D.

中華民國 110 年 12 月

December 2021

南華大學
科技學院永續綠色科技碩士學位學程
碩士學位論文

新北污水廠碳中和計算方式建立

The Calculation Method Establishment of Carbon
Neutrality in New Taipei Sewage Treatment Plant

研究生：張正華

經考試合格特此證明

口試委員：林淑芬
鄭裕仁

洪耀明

指導教授：洪耀明

系主任(所長)：洪耀明

口試日期：中華民國 110 年 12 月 13 日

致謝

本論文能夠順利完成，需感謝諸位師長親友的協助與鼓勵。

首先對於在學期間三位教授：陳柏青院長、洪耀明主任、林文賜教授提供學術研究方向與方法，受益非淺，由衷感謝。

口試期間，林裕益校長、葉裕民教授不吝指正，讓論文更嚴謹完整。令我體會到學者專家對研究的用心與學習精神，值得敬佩。

隨著進度接近完成，期間感受到同學彼此鼓勵與親友加油，才得以完成此階段性任務。如今，一路走來，回憶點滴在心頭。謹以萬分感念，祝福大家在生命旅程上，迎向陽光，邁向幸福成功。

中文摘要

氣候變遷源自於過多溫室氣體排放，因此碳排放、碳減量、固碳，最後達到碳中和為產業界目標。本研究建立由碳排放、植物固碳到碳中和之標準作業程序。首先以新北汙水廠為研究對象，採用 ISO14064 規範盤查廠內全年之直接及間接碳排放，推估廠區的碳排放量，同時針對廠內林木種類、材積、數量做現場調查，以政府間氣候變化專門委員(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)公式，推估全廠林木的固碳量。經本研究結果得知：新北汙水廠全年碳排放量 662 公噸，樹木平均年固碳量 48.61 公噸，未達碳中和目標。

關鍵字：溫室效應、碳排放量、固碳量、碳中和

ABSTRACT

Climate change stems from excessive greenhouse gas emissions. Carbon emissions, carbon reduction, carbon sequestration, and finally achieving carbon neutrality are the goals of the industry. This study establishes standard operating procedures from carbon emissions, carbon sequestration by plants to carbon neutrality. First, the New Taipei Sewage Treatment Plant was used as the research object, and the annual direct and indirect carbon emissions of the plant were investigated using ISO14064 specifications to estimate the carbon emissions of the plant. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) formula estimated the carbon sequestration of the plant's forests. According to the results of this study, the annual carbon emissions of the New Taipei Sewage Treatment Plant were 662 metric tons, and the average annual carbon sequestration of trees was 48.61 metric tons, which did not reached the carbon neutral target.

Keywords: Greenhouse effect, carbon emissions, carbon sequestration, carbon neutrality

目錄

致謝.....	i
中文摘要.....	ii
ABSTRACT.....	iii
目錄.....	vi
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
第一章 前言.....	1
1-1 研究動機.....	1
1-2 研究目的.....	2
1-3 論文架構.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2-1 碳排放與碳足跡.....	3
2-1-1 碳排放.....	3
2-1-2 碳足跡.....	4
2-1-3 國際碳排放量概況.....	6
2-2 碳排放量計算.....	8
2-2-1 國際標準 ISO 14064-1.....	9
2-2-2 環保署版.....	11

2-3 固碳量計算	13
2-4 碳中和	13
2-4-1 碳中和背景	13
2-4-2 國際標準 PAS 2060	15
2-4-3 國內標準	16
2-5 植物固碳調查	16
2-5-1 葉面積指數	17
2-5-2 冠層分析法	18
2-5-3 材積估算法	18
2-5-4 光譜感測法	18
2-5-5 空載光達法(Airborne LiDAR)	19
2-6 台灣調查成果	20
2-6-1 全國性調查研究	21
2-6-2 區域性調查研究	22
2-7 相關議題	23
2-7-1 溫室氣體法	23
2-7-2 碳權交易	27
第三章 研究方法	29
3-1 研究對象及範圍	29

3-2 碳排放量	31
3-3 固碳量計算	33
第四章 結果與討論	38
4-1 碳排放	38
4-1-1 2020 碳排放計算	38
4-1-2 歷年碳排放	39
4-1-3 節能設施	40
4-2 固碳量	41
4-3 碳中和	43
第五章 結論與建議	44
5.1 結論	44
5.2 建議	44
參考文獻	46
附件 1 新北汙水廠近五年碳排放量統計	49
附件 2 碳中和檢核項目	54

表目錄

表 2-1 六種溫室氣體換算值.....	4
表 2-2 各國 2020 年碳排放量排名.....	7
表 2-3 碳排放量基本資料填寫表.....	11
表 2-4 各國 2020 年碳價表.....	14
表 2-5 第二期減碳計畫表.....	25
表 3-1 新北污水廠基本資料表.....	31
表 3-2 新北污水廠溫室氣體排放調查表.....	32
表 3-3 排放係數表.....	33
表 3-4 台灣常見 24 種樹種之絕乾比重碳含量百分比 及轉換係數.....	35
表 3-5 其他常見林木固碳量表.....	36
表 4-1 新北汙水廠 2020 年溫室氣體數據統計表.....	38
表 4-2 新北汙水廠碳排放量分析.....	39
表 4-3 新北汙水廠近五年碳排放量統計.....	39
表 4-4 汙水廠近五年設備更新項目.....	40
表 4-5 新北汙水廠固碳量.....	42

圖目錄

圖 1-1 聯合國 17 項永續發展指標	1
圖 1-2 本研究架構	2
圖 2-1 台灣碳足跡標章	5
圖 2-2 個人碳排放量計算器	6
圖 2-3 碳盤查項目	10
圖 2-4 光譜照片	19
圖 2-5 光達照片	20
圖 2-6 樹木固碳排行榜	22
圖 2-7 溫室氣體減量及管理辦法	24
圖 2-8 六大部門碳排放量佔比	25
圖 3-1 新北產業園區地理位置圖	30
圖 3-2 新北污水廠全景圖	30
圖 3-3 新北污水廠環境組圖	31
圖 4-1 生物旋轉圓盤更新工程	41
圖 5-1 台北市行道樹資訊網	45

第一章 前言

1-1 研究動機

過多溫室氣體排放，產生溫室效應，並引發氣候變遷，帶來極端氣候，導致風災、水旱災及土石流頻仍，這是當代需面對的環境課題。因此聯合國於 2015 年公布了 17 項永續發展指標(Sustainable Development Goals, SDGs)，其中第 13 項目標就是氣候行動，藉由減少碳排放，並吸收大氣中的溫室氣體，達到減緩氣候變遷惡化的功效。若每家公司、工廠或社區，都有共識並肯付出行動，讓碳排放量小於或等於固碳量，就是碳中和的宗旨，更是環境永續發展的目標。



圖 1-1 聯合國 17 項永續發展指標

資料來源:維基百科

1-2 研究目的

本研究選擇新北汙水廠為對象，先依據 ISO14064-1 計算其碳排放量，另一方面再根據廠區內林木種類、數量做實地調查，統計出固碳量，評判是否達成碳中和，進而提出策略做法。

1-3 論文架構

本研究第一章介紹研究動機與目的。第二章文獻回顧。第三章研究方法。第四章研究與討論。第五章結論與建議。

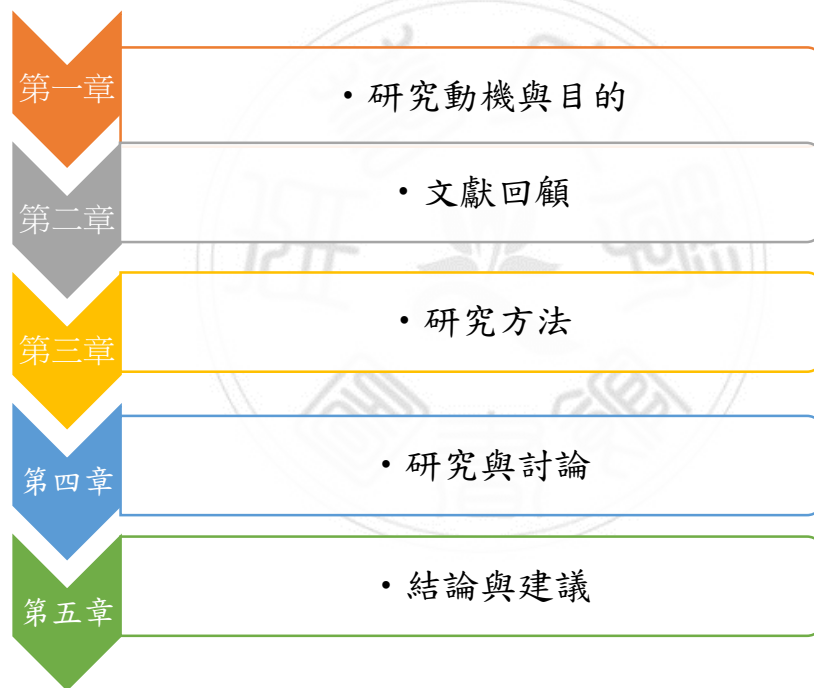


圖 1-2 本研究架構圖

第二章 文獻回顧

2-1 碳排放與碳足跡

要研究碳排放量之前，必須先釐清碳排放與碳足跡的區別。一般而言碳排放是狹義的觀念，碳足跡則是廣義的觀念。

2-1-1 碳排放

碳排放量是指因為人類從事活動，直接或間接產生的溫室氣體重量總和。根據 1997 年京都議定書(UNFCCC)規範，共有六種氣體如表 2-1，包括二氧化碳(carbon dioxide, CO₂, CD)、甲烷(methane, CH₄, ME)、氧化亞氮(nitrous oxide, N₂O, NO)、氟氫碳化物(hydrofluorocarbons, HFCS, HF)、全氟碳化物(perfluorocarbons, PFCS, PF)與六氟化硫(sulfur hexafluoride, SF₆, SF)其中二氧化碳佔最大比重，因此被拿來做評估碳排放量的標準。

例如生產一度電，會產生 0.554 公斤的二氧化碳，就是其碳排放量。個人生活方面的食衣住行育樂，社會工商業生產都會產生碳排放量。

比較明顯的例如電動汽機車，使用中完全不會產生二氧化碳，但是在前期製造階段與後期報廢處理階段，都耗用大量能源，對環境還

有很大改善地方。

表 2-1 六種溫室氣體換算值

溫室氣體		換算 CO ₂ 當量 CO ₂ e
二氧化碳(CO ₂)		1
甲烷 (CH ₄)		21
一氧化二氮(N ₂ O)		310
氟氫碳化物 (HFCS)	HFC-23	11,700
	HFC-125	2,800
	HFC-134a	1,300
	HFC-143a	3,800
	HFC-152a	140
	HFC-227ea	2,900
	HFC-236fa	6,300
	HFC-4310mcc	1,300
全氟碳化物 (PFCS)	CF ₄	65,00
	C ₂ F ₆	9,200
	C ₄ F ₁₀	7,000
	C ₆ F ₁₄	7,400
六氟化硫(SF ₆)		23,900

資料來源 IPCC(1996)

2-1-2 碳足跡

碳足跡(Carbon Footprint)可被定義為與一項活動(Activity)或產品的整個生命週期過程所直接與間接產生的溫室氣體排放量。相較於一

般大家瞭解的溫室氣體排放量，碳足跡的差異之處在於從消費者端出發，破除所謂『有煙囪才有污染』的觀念。

目前國際上碳足跡盤查標準主要有下列幾種

- (a) ISO14067(2018 修正公布)
- (b) 英國 PAS2050 標準(2011)
- (c) 日本 TSQ0010 標準(2009)
- (d) 德國 PCF 盤查標準(2008)

(1) 產品碳足跡

指單一產品從原物料、生產或提供服務、配送、消費者使用、廢棄回收等階段之整體生命週期的溫室氣體排放量。透過碳標籤制度的施行，能使產品各階段的碳排放來源透明化，促使企業調整其產品碳排放量較大的製程，也能促使消費者正確地使用產品，以達到減低產品碳排放量的最大效益。



圖 2-1 台灣碳足跡標章

資料來源：環保署

(2)個人碳足跡

個人方面，可以經由環保署網站約略估算如下
(<https://ccis.epa.gov.tw/media/carbontool>)



圖 2-2 個人碳排放量計算器

資料來源：環保署網頁

2-1-3 國際碳排放量概況

茲統計 2020 年世界各國碳排放量總排名，如表 2-2。

表 2-2 各國 2020 年碳排放量排名

國家別	碳排放量 (百萬公噸)	占 比 %	人口數	每人排放量 (公噸)
中國	9893.5	31.15	1,339,724,000	7.4
美國	4432.2	30.93	312,793,000	14.2
印度	2298.2	13.86	1,210,193,000	1.9
俄羅斯	1431.6	7.19	142,946,800	10.0
日本	1026.8	4.48	128,056,000	8.0
伊朗	649.6	3.21	75,330,000	8.6
德國	604.8	2.03	81,799,000	7.4
南韓	577.8	1.89	48,875,000	11.8
沙烏地阿拉伯	565.1	1.81	27,136,000	20.8
印尼	541.3	1.77	27,136,000	19.9

資料來源: 維基百科

由上表可看出排名前四國就佔了 83%，顯示國際間資源的不平等。

台灣雖然沒有參加聯合國，也不是京都議定書會員國，但是基於地球一份子，仍不能缺席國際環保工作，依據 2018 年「我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析報告」，總排放量為 257 百萬公噸，每人平均

量 10.83 公噸，世界排名 21 名，佔全球排量比為 0.77%。

德國智庫 Germanwatch 於聯合國氣候大會上，依據溫室氣體排放，再生能源發展、能源使用與氣候政策四項指標，發表了「2020 氣候變遷績效指標」(Climate Change Performance Index, CCPI 2020)台灣排名退步 3 名位居 59 名，主要因為溫室氣體沒有降多少，再生能源離岸風電也還沒上軌道運作。

當前幾項實際減少碳排放量的方法為

- (1) 生活上購買當季在地產品，避免過度包裝食品。
- (2) 換新節能電器用品，少開冷氣，降低用電量。
- (3) 改變習慣，多用環保購物袋，多搭公共交通工具。
- (4) 採用再生能源設備，降低汙染。例如風能、太陽能、生質能、地熱能等。
- (5) 研發 CO₂ 捕捉與分離技術，由大企業帶動大幅減碳。
- (6) 政府提供優惠，鼓勵規範碳權交易市場運作。

2-2 碳排放量計算

為使數據品質評估者能夠對輸入與輸出之數據，進行正確而詳實的評估，數據評估時必須提供足夠詳細的數據資訊，並將計算過程予以透明化。國際標準組織於 2002 年所公布之技術文件「ISO/TS 14048: Environmental management-Life cycle assessment-Data documentation format」，將可協助數據提供者所有數據品質評估所需之相關資訊。

2-2-1 國際標準 ISO 14064-1

14064-1 為國際標準化組織 ISO(International Organization for Standardization) , 2018 提出最新版, 乃針對界域內活動所產生的溫室氣體排放量制定規範。在盤查時分為範疇一、二、三, 其中範疇一, 是企業 / 組織直接的溫室氣體排放, 例如製造過程使用甲烷等氣體; 範疇二, 是能源的間接排放源, 主要是用電、熱或蒸汽造成間接排放溫室氣體; 範疇三, 則是組織活動產生的溫室氣體排放, 像是員工的移動過程產生的溫室氣體, 圖 2-3 為 2006 年版盤查項目。



1. 本盤查工具之設計及計算方法乃參考 [2006 IPCC Guidelines](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm) (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>) 及溫室氣體盤查議定書計算工具 (GHG Protocol Calculation Tools) (<http://www.ghgprotocol.org/templates/GHG5/layout.asp?type=p&MenuId=OTAx>) 相關內容已中文化，並收錄於工業局93年度出版品「工業溫室氣體盤查減量宣導手冊」。有意進一步瞭解者，請至產業環保輔導計畫網站 <http://proj.moeaidb.gov.tw/ghg/> 下載該手冊。
2. 請依照工作頁順序填寫相關資料，於最後一個工作表處即可得到 貴廠溫室氣體之排放清冊。
3. 您可直接點選各單元名稱，進入該工作頁進行填寫。於該工作頁完成填寫後，可於該工作頁末端點選「回使用說明」鍵回到本頁面。

目錄		內容說明
1.基本資料		請於此工作頁中填寫 貴工廠基本資料。
2.盤查表單	2-1.排放源鑑別表	請於此工作頁進行 貴廠溫室氣體排放源鑑別。
	2-2.活動數據品質管理表	完成排放源鑑別後，請於此工作頁進行相關活動數據及相關資料之填寫。完成資料彙整後，再於後續相對應之計算工作頁中填入最佳數據。
3.係數管理	3-1.排放係數	1.本工作頁進行整個盤查工具中計算所需之各項溫室氣體排放係數管理。各係數已有預設值，若 貴工廠具有自行研發或已採用不同之相關係數，則請於此工作頁中相關欄位中填寫該係數數值及資料來源。若 貴廠皆欲採用預設值，則此部份可略過。 2.GWP值內建三種版本，可提供使用者自行選擇。
	3-2.全球暖化潛勢(GWP)	
4.能源使用排放源	4-1.燃料使用	此工作頁計算各項能源使用排放源所造成之溫室氣體排放量，請輸入欲盤查年度相關資料。
	4-2.電力與蒸汽使用	
5.非標準燃料燃燒 & 逸散排放源	5-1.廢棄物排放源	此工作頁計算各類非標準燃料燃燒及逸散排放源所造成之溫室氣體排放量，請輸入欲盤查年度相關資料。
	5-2.廢水排放源	
	5-3.廢棄污泥排放源	
	5-4.溶劑、噴霧劑與冷媒等排放源	
	5-5.VOCs排放源	
	5-6.化糞池排放源	
6.製程排放源	6-1.水泥製程	此工作頁計算各類製程排放源所造成之溫室氣體排放量（其中碳酸鈉及碳化物的使用亦會產生溫室氣體），請針對 貴廠所擁有之製程，輸入欲盤查年度相關資料。
	6-2.鋼鐵製程	
	6-3.半導體&光電製程	
	6-4.石灰製程	
	6-5.碳酸鈉製程	
	6-6.碳化物製程	
	6-7.硝酸製程	
	6-8.己二酸製程	
	6-9.二氟一氯甲烷製程	
7.其他排放源		若 貴廠尚有本工具所未含括之排放源或計算方法，請於此工作頁進行填寫，並描述計量方法。
8.排放清冊		前面各工作頁之計算結果將於此工作頁做統計清冊列表（自動計算產生，無須填表）。
9.不確定性分析		於本工作頁填寫各排放源活動數據及排放係數之不確定性，以分析總清冊不確定性。

圖 2-3 碳盤查項目

資料來源:溫室氣體辦公室

2-2-2 環保署版

考量國內使用者(輔導機構或數據盤查、計算機構)以往並未記錄如此詳盡的資訊，可能會因為所需填寫之資訊項目過於繁瑣或相關資訊不易取得等因素，而影響使用者填寫之意願。環保署以 ISO/TS 14048 為基礎，進一步比對五個國際間使用較為廣泛的碳排放計算軟體或資料庫介面欄位(DoITPro、SimaPro、IKE ebalance 5 Evaluation、Gabi、Carbon footprint)，將碳排放數據文件化內容規劃成 25 項必要欄位(必填)與 4 項建議欄位(選填)，如表 2-3 所示

表 2-3 碳排放量基本資料填寫表

	CNS14048 文件化欄位		內容
1.過程	1.1 過程 描述	1.1.1 名稱	
		1.1.2.1 類別編號(選填)	
		1.1.2.2 專門用語參照(選填)	
		1.1.3.3 單位	
		1.1.3.4 數量	
		1.1.4 技術範疇	
		1.1.6.1 簡短技術描述	
		1.1.7.1 起始日期	

		1.1.7.2 結束日期	
		1.1.8.1 區域名稱	
		1.1.8.3 地點	
		1.1.9.2 取樣地點	
		1.1.9.3 地點數目	
		1.1.9.4.1 絕對性	
	1.2 投入 項與產 出項	1.2.3 群組(能源，資源，原物料，輔助項，產品，排放，殘留物)	
		1.2.7 地理位置(選填)	
		1.2.10.1 名稱內容	
		1.2.12.2.1 符號或名稱	
		1.2.12.3.2 數值	
		1.2.14.1 數據蒐集	
		1.2.14.2 蒐集日期	
2.模式	2.2 資訊來源		
化 確 認	2.4 模式	2.4.2 排除中間產品流之準則(選填)	
	化選擇	2.4.4.2 分配說明	
	2.6 確認	2.6.4 確認者	
3.管理	3.4 委託者		

資訊	3.5 數據產生者	
	3.6 數據文件化者	
	3.7 數據完成日期	

資料來源:行政院環保署網頁(2013 版)

2-3 固碳量計算

本文所稱固碳量，即溫室氣體減量及管理法第三條第 8 項所定義的碳匯量，指將二氧化碳或其他溫室氣體自排放源或大氣中持續移除之數量，扣除於吸收或儲存於碳匯過程中產生之排放量及一定期間後再排放至大氣之數量後，所得到吸收或儲存之二氧化碳當量淨值。

2-4 碳中和

2015 年通過的《巴黎協定(Paris Agreement)》，旨在期望能共同遏阻全球暖化趨勢，更具體的目標是要將全球平均氣溫升幅控制在工業革命前水準以上低於 2°C 之內，並努力將氣溫升幅限制在工業化前水準以上 1.5°C 之內，並在 2050 年至 2100 年間實現全球「碳中和」目標。

在 PAS 2060 中定義碳中和為：「標的物於指定期間內相關的溫室氣體排放，使得大氣中的溫室氣體並無淨增加的情況。」

2-4-1 碳中和背景

碳中和的定義為：當一家企業或組織的二氧化碳排放量，在一定

的時間(通常是一年)透過清除手段達到平衡，就代表達成碳中和或是淨零排放。

2019 年 11 月，歐盟首先宣布 2050 年達成碳中和目標，緊接著中國、日本、美國紛紛響應，佔了排放源 78% 的主要工業國，都承諾付出行動。淨零 (Net Zero)、負碳排 (Carbon Negative)、碳中和 (Carbon Neutral) 一夕之間成為不得不做的環保政策。

為什麼會造成這股運動呢？不訪從下面觀點分析：

- (一) 環境面---自從 18 世紀工業革命以來，人類破壞自然製造污染更加嚴重，導致地球溫度升高形成溫室效應，如果不採取行動，恐怕帶來恐怖的後果。
- (二) 法規面---使用者付費。制定碳價制度，已成國際接受的趨勢。目前世界 61 個地區已經透過碳定價手段，管制溫室氣體排放量。

表 2-4 各國 2020 年碳價表

(本研究整理)

國家	碳價 (美元/噸)	碳年收入(億美元)
瑞典	137.2	22.84
法國	52.4	96.32
歐盟	49.8	225.48
加拿大	31.8	34.07
日本	2.6	23.65

(三) 商業面---國際公司蘋果(Apple)、微軟(Microsoft)、臉書(facebook)、宜家(IKEA)等帶頭宣示行動，間接催促供應鏈廠商配合，否則拿不到訂單，更為了公司好形象或向股東交代，企業界加入此波減碳風潮。

2-4-2 國際標準 PAS 2060

英國標準協會(British Standards Institution)於 2010 年 4 月公布碳中和實施標準 PAS 2060 (Specification for the Demonstration of Carbon Neutrality)，藉此推動標準化碳中和，是全球第一個國際性碳中和標準草案，為「碳中和」提供全球統一的定義、認證標準以及宣告碳中和的方法，而後成為國際通用指引。

至於實行的重點，包含下列 7 項目

1. 確定預期宣告碳中和的標的物
2. 使用經認可的方法學來量化此標的物之碳足跡
3. 發展碳足跡管理計畫書(CFM)，依 PAS2060 之要求進行「承諾達成碳中和」之宣告
4. 對選定標的物進行碳足跡減量之行動，並確保行動之有效性
5. 使用 2.之相同方法學再次量化選定標的物之碳足跡，確保標的物未被變更，以決定殘餘溫室氣體排放量
6. 引用或考量前次啟用的抵換方案，以中和殘餘的溫室氣體排

放量

7. 若是選定之標的物已達成碳中和狀態，可依 PAS2060 規範之要求事項進行「達成碳中和」之宣告。

2-4-3 國內標準

推動碳中和主要有三步驟，第一步是進行「溫室氣體/碳足跡盤查」，第二步是落實「溫室氣體減量」，第三步是「抵換剩餘排放量」，使得大氣中的溫室氣體零增量，在這每一步驟裡都必須有詳細的規劃、書面說明及確證，最後以「符合性聲明 QES(Qualifying explanatory statement)」以宣告達到碳中和。

行政院環保署 2014 公布「PAS2060 實施碳中和參考規範」供各界參考。

2-5 植物固碳調查

碳匯依(溫室氣體減量及管理法)第三條第 7 項規範，包括樹木、森林、土壤、海洋、地層、設施或場所。其中樹木森林對增加固碳量是最簡便經濟有效的管道方法。

Sedjo(1989)試算出每立方公尺林木固碳量為 0.26 噸。箕輪光博(1991)研究指出林木材積每增加 1 公噸，需要 1.6 公噸的二氧化碳，同時排放 1.2 公噸的氧氣。Dixon et al(1993)推估熱帶林每公頃固碳量 195 噸，溫帶林每公頃固碳量 56 噸。Nowak(1993)推算美國加州奧克

蘭市林木固碳量每公頃 11 噸，平均一株胸圍 0.4 公尺，樹冠幅 50 平方公尺，單株固碳量每年 19 公斤。顯然氣候、樹種、生長狀態，都會影響固碳量。

根據林務局資料及文獻報告來估算林木固碳量方法，可分為林區採樣測量法，及航空儀器遙測法兩種。林區採樣測量法以實地調查為主。遙測的定義為：不與物體接觸，並以間接方式來獲取目標物的信息，簡單來說就是不用到現場就能有觀測資料，例如生活常見的氣象衛星雲圖、降雨雷達回波圖與 Google 衛星地圖等。

2-5-1 葉面積指數

葉面積指數(Leaf Area Index, LAI)為每單位面積所表現出之最大葉面積。此數值為重要之植被特徵，因為它直接反映出植物冠層中多樣化尺度的能量變化，二氧化碳及物質循環，並與眾多生態過程相關，例如土壤水分平衡(Grier & Running,1977)，蒸散量(McNaughton&Jarvis,1983)，地上部淨出生產力(Myrold,1987)，樹冠層光亮截取(Pierce & Running,1988)，總淨出生產力(Gower, Vogt & Grier,1992)等等。調查葉面積指數方法眾多，一般較常用的是直接收穫法、樹冠透光法及瞬間拍攝法(Gower,Vog&Grier,1992)。

葉面積是利用光合作用速率估算固碳量一種方法，經由測量長寬面積，套用迴歸方程式求出相關性。Tsialtas 與 Maslaris(2005)測量甜

菜結果 R^2 值 0.92。Kandiannan 等人(2009)以薑測量結果 R^2 值 0.99。此種方法優點是數據準確，缺點是測量耗費時間，僅適合實驗的研究或小型灌木估測。

2-5-2 冠層分析法

使用魚眼鏡頭，由樹冠層下方往上拍，或是水平拍正上方冠層，透過光線變化，分析照片推算葉面積指數 LAI。Behera 等人(2010)估測麻瘋樹，發現用 90 度角數據最正確。這種方法優點是方便快捷，缺點是測量要求日光亮度避免枝葉遮蔽，而且要配合公式修正數據。

2-5-3 材積估算法

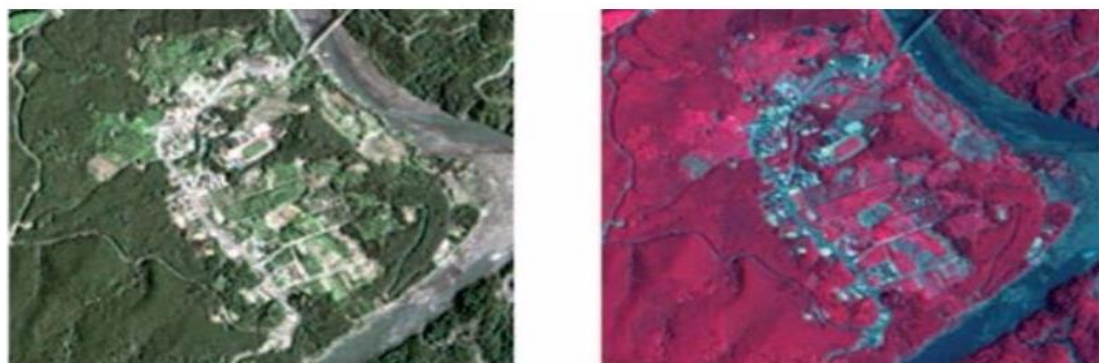
計算樹木材積、絕乾比率、枝條綠、根莖比率導入公式求得，優點是有眾多專家實驗出數據可套用，缺點是資訊會因樹木氣候、生長狀態區域地點有差異。

2-5-4 光譜感測法

由於林木進行光合作用，吸收紅光愈多，反射紅外光也愈強，表示植生狀況愈好。1973 年 Rouse 提出標準化植被指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)以紅光與紅外光反射率差值作分子，兩者相加總合作分母，其數值介於-1.0 與 1.0 之間，愈接近 1.0 顯示綠化程度愈好。

但是光譜感測法容易受地形，坡向，地表粗糙度，坡度影響。

因此學者採用各種判斷條件來彌補，以免資料失真。例如在光譜上加上植被特性(蕭國鑫等，2000)紋理特徵(劉新華等，2006)影像分割分類(孔繁恩等，2014)。



▲植物的光譜反射曲線有獨特的性質，其中對近紅外線的高反射特性常用在森林或植被的分析上。(左圖)真實影像：相對於紅色及藍色光，綠色光反射量較多，因此植物呈現綠色；(右圖)假色影像：植物在近紅外線波段反射量較高，顯示時把它當作RGB組合中的紅色光，植物會呈現紅色。

圖 2-4 光譜照片

資料來源:(科學月刊 416 期)

2-5-5 空載光達法(Airborne LiDAR)

其主要利用雷射測距的原理，當儀器在空中發射雷射光後，雷射光接觸到地表物體會反射光源訊號，訊號被空載光達中的感測器接收到後，計算雷射光發射到反射後的時間差 (ΔT)，再以該時間差推算地表物體的距離 (R)，即可達成雷射測距的目的，公式為 $R=C \times \Delta T / 2$ 。其中 C 為光速； $\Delta T / 2$ 是由於雷射光往返行進兩倍的距離，因此除以 2 即為雷射光發射後到接觸地表物體的距離。

光達 (LiDAR) 屬於主動式感測技術，整合雷射掃描 (Laser

scanning) , 全球定位(GPS)及慣性量測系統(international mathematical union, IMU) , 透過記錄地表不同反射光資料 , 取得相對座標資料之雲點 , 經處理分類能建立數值表面模型(Digital Surface Model , DSM)數值高程模型(Digital Elevation Model , DEM)然後將兩者數值相減得出樹冠高度模型(Canopy Height Model , CHM) 。此呈現種方法沒有光譜法缺點 , 技術也日趨成熟 , 運用廣泛 , 例如地形繪測 , 崩塌災害評估 , 建立林分高度模型 , 呈現城市建物實況等。

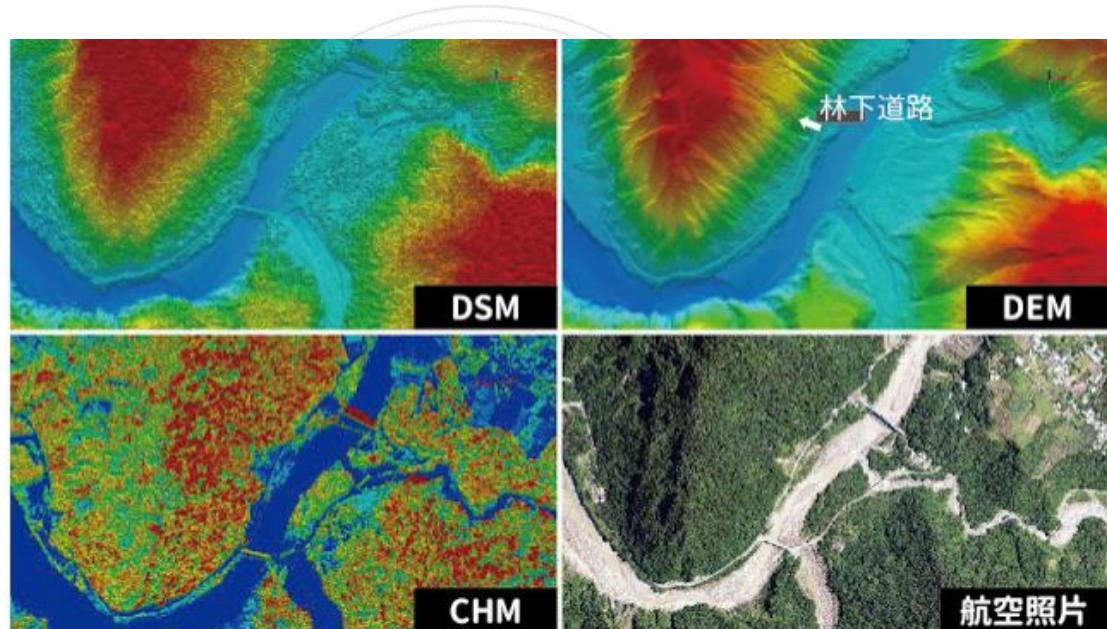


圖 2-5 光達照片

資料來源:(科學月刊 449 期)

2-6 台灣調查成果

影響林木固碳量的因素包括土壤性質、氣候條件、樹種、地形、生長時間、自然或人為的干擾(胡廷恩 , 2006)

2-6-1 全國性調查研究

台灣大學王立志教授(1996)，採用第二次全國森林調查資料，推估出全國森林每年固碳量 4.74 百萬噸，換算成碳吸附 17.38 百萬噸的二氧化碳。台灣大學揚盛行教授(1997)，採用第三次森林資源調查資料，推估出全國森林每年固碳量 9.62 百萬噸，換算成碳吸附 35.3 百萬噸的二氧化碳。台灣大學楊榮啟教授等(1998)，依據 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)委員會制定公式推算，1996 年全國森林每年碳吸附 21.869 百萬噸的二氧化碳。林裕仁等(2002)，採用生物量與材積關係式(biomass-volume relationship)與參數生物量擴展係數 BEF(biomass expansion factors)推估全國森林碳固量為 150.7 百萬噸，換算下來每年碳吸附 553 百萬噸的二氧化碳。造成以上差異，主要因為資料引用來源，以及林木生長量，轉換係數不同所致。

根據農委會林務局的資料顯示，榮登碳吸存能力前五名的樹種分別是相思樹、光蠟樹、台灣櫟、肖楠以及樟樹(如下圖所示)，而經濟部能源局的資料也得出，一般熱帶林樹種每公頃的二氧化碳平均吸收量是 12~30 公噸，由此可見，這些排行榜裡的樹種吸碳能力竟然可以高出平均值的 8 到 18 倍！



圖 2-6 樹木固碳排行榜

資料來源：綠然能源專欄 · 李孟儒 · 2018

2-6-2 區域性調查研究

林國忠等(2000)調查 175 公頃林木，推估結果每公頃固碳量 76.8 公噸。李國忠(2004)以台大實驗林為對象，計算出總固碳量為 43,589 公噸。郭幸榮(2005)以竹東觀霧區林地為對象，計算出每公頃固碳量 117.5 公噸。譚運籌(2007)以苗栗南庄地區為研究對象，計算出天然闊葉林固碳量為 533,398 公噸，人工針葉林固碳量 211,494 公噸，總計每年共 752,765—1089,397 公噸。曾文政(2009)應用航空遙測屏東紅樹林的常態化差異性植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)推估該區海茄苳紅樹林總固碳量為 1491 公噸。張順能(2011)推估烏心石人工林，每公頃固碳量 54.186 公噸，平均單株固碳

量為每年 54.789 公斤陳信宏(2011)利用國土測繪圖和衛星影像覆蓋圖，估算出林地每公頃固碳量 3.71--5.83 公噸，草地每公頃固碳量 0.90—1.83 公噸。

2-7 相關議題

關於溫室氣體排放資料，大體上分為技術報告，準則，法規，合約，公約協定等形式。國際標準組織(ISO)自 2002 年起制定 14064 系列標準，目的在解決各國政府與企業組織在推動排放減量時，能有共同的標準規範與工具。

隨著環保意識的提高，排放碳權也在最近形成。相關規範與市場機制已經國際化。

2-7-1 溫室氣體法

醞釀多年，台灣終於 2015 年通過[溫室氣體減量及管理法]計六章 34 條條文。主架構如下：



圖 2-7 溫室氣體減量及管理辦法

資料來源:全國法規資料庫

依據 2017 年頒訂「國家因應氣候變遷行動綱領」將之區分成三階段，總目標定於 2050 年總碳排放量較 2005 年減少 50%，第一階段 2015—2020 年 減量 2%，第二階段 2021—2025 年 減量 10%，第三階段 2026—2030 年 減量 20%。2018 年行政院環保署再頒布「溫室氣體排放管制方案」，劃分核定能源、製造、運輸、住商、農業及環境等 6 大部門進行，第一階段拜新冠肺炎影響，總排放量降低勉強達標。



圖 2-8 六大部門碳排放量佔比

資料來源:環保署

2020 年底，環保署修正第二階段目標如下:民國 114 年(2025)碳排放量需比民國 94 年(2005)減少 10%

表 2-5 第二期減碳計畫表

部門	基準年排放量 (2005)	當年排放量 (2018)	第二期排放量 (2025)	第二期與基準年比率	第二期與當年比率
能源部門	35.475	38.378	34.000	-4.16%	-11.41%
製造部門	144.318	154.925	144.000	-0.22%	-7.05%
運輸部門	37.988	36.785	35.410	-6.79%	-3.74%
住商部門	57.448	57.900	41.421	-27.90%	-28.46%
農業部門	7.151	5.806	5.006	-30.00%	-13.78%
環境部門	7.327	2.752	2.564	-65.00%	-6.83%
總排放量	289.708	296.546	262.401		
碳匯	-21.918	-21.507	-21.390		
淨排放量	267.790	275.039	241.011	-10.00%	-12.37%

資料來源:環保署

隨著第一期五年階段期滿，環保署預計修正為「氣候變遷因應法」新增碳費及碳交易機制，草案經召開公聽會後，再送行政院討論。學者與環保團體批評現狀的缺失為：

(1)減量態度消極

政府藉由更改電力排放係數，從 2017 年每度 0.554 公斤，下修成 2025 年的每度 0.388 公斤，根本粉飾數字優惠用電大戶，沒有企圖降低實際碳排放總量，明顯偏重總量管制，並無調配高低功能。

(2)層級不夠

目前由「行政院能源及減碳辦公室」統合資料，呈送環保署製成年報公告。然而地方單位多缺乏人力物力運作，中央各單位也欠缺協調。舉凡排放標準、許可標章表單建立、稽查專責人員培訓等都缺乏。

(3)不符公平正義原則

溫管法財源來自空汙費的空汙基金，法令規定可自籌財源，但沒說怎麼收？收多少？誰來收？

即使政府傾向收碳費，就目前 294 家碳排大戶其中石化、鋼鐵、半導體產業就佔四成，若是實施總量管制及排碳交易，結果是 30 家碳排大戶彼此交易，對整體排放量改善有限，更不符合公平正義原則。

(4)忽略經濟轉型配套措施

基礎農工製造業面臨環境挑戰，必須有配套轉型政策。產業空洞

化會產生更多社會問題，一味求取環境數值美化，而犧牲經濟發展，並不是聰明辦法。

2-7-2 碳權交易

碳權源自於 1997 年「京都議定書」為減少溫室氣體排放，所產生的市場機制。以每噸二氧化碳當量 (tCO₂e) 為計量單位，統稱為「碳交易」。其交易市場稱為「碳交易市場」(Carbon Market)。當中明確規定三種減碳機制：共同執行機制(Joint Implement, JI),清潔發展機制(Clean Development Mechanism, CDM),及排放交易(Emission Trading, ET)使得碳權可以交易買賣。

全球碳交易市場被區分為兩種型態：(一) 配額型交易 (Allowance-based transactions)：指在總量管制下產生之排放減量交易，如歐盟排放交易制度(European Union Greenhouse Gas Emission Trading Scheme，EUETS)、澳洲新南威爾斯排放減量制度(New South Wales GGAS)、芝加哥氣候交易所(Chicago Climate Exchange，CCX)、美國東北區域溫室氣體倡議(RGGI)；(二) 計畫型交易(Project-based transactions)：指因進行減量計畫獲得排放權，在京都議定書機制下的清潔發展機制(CDM)計畫、共同執行機制(JI)計畫，以及其他自願性減量計畫皆屬之。

根據國際碳揭露專案計畫(Carbon Disclosure Project, CDP)統計，

全球有 61 個碳定價機制，其中包括 30 個碳稅 (Carbon Tax)、31 個碳排放交易系統 (Emissions Trading System, ETS)。而 2021 年 4 月世界銀行 (World Bank Group) 的最新統計顯示，全球目前施行地區涵蓋 45 個國家、35 個州或省，占全球溫室氣體排放總量的 21.5%。

碳定價(Carbon Pricing)意思指為二氧化碳訂一個價格，其方法包括：碳稅 (Carbon Taxes, CT)、碳排放交易系統 (Emission Trading Schemes, ETS)、抵換 (Offsets)、以減排成果為基礎的融資 (Result-Based Financing, RBF) 等。影響碳交易價格之因素，除經濟活動、氣候變化、技術發展、能源價格之外，主要還是來自於政策面因素，包括在氣候變化綱要公約下未來各國談判出之排放目標、各國訂定之排放制度及其相容性，才是影響全球碳交易市場供需的關鍵因素。

隨著時代演進，碳權 (carbon credit) 更發展出對應的衍生性金融商品，如現貨 (spot)、選擇權 (option)、期貨 (future)、掉期交易 (swaps transaction)、遠期合約 (forwards) 等。一份由世界銀行全球碳價現況與趨勢報告統計 2020 年全球碳價收入高達 530 億美元，相較於 2019 年提高了 80 億美元，市場非常廣大。

第三章 研究方法

3-1 研究對象及範圍

經濟部工業局新北產業園區成立於 1984 年，總開發面積 140.55 公頃(其中工業用地 86.46 公頃，公共設施用地 34.29 公頃，住宅社區用地 18.11 公頃，其他用地 1.69 公頃)，登記工廠 1138 家。

園區坐落於新北市五股區與新莊市間，北瀕臨二重疏洪道與第一高速公路，西隔中港大排，南界台一線省道，位置適中。尤其機場線和環狀線捷運通車後，交通更加方便。新北汙水廠位於園區西北角，占地 2.4 公頃，2014 年通過環境教育場所認證。區內生態完整，林木區有鳥類、松鼠和蜜蜂，水池區有魚類、蛙類和水耕蔬菜。而且完全使用回收水。



圖 3-1 新北產業園區地理位置圖

資料來源: 新北產業園區官網

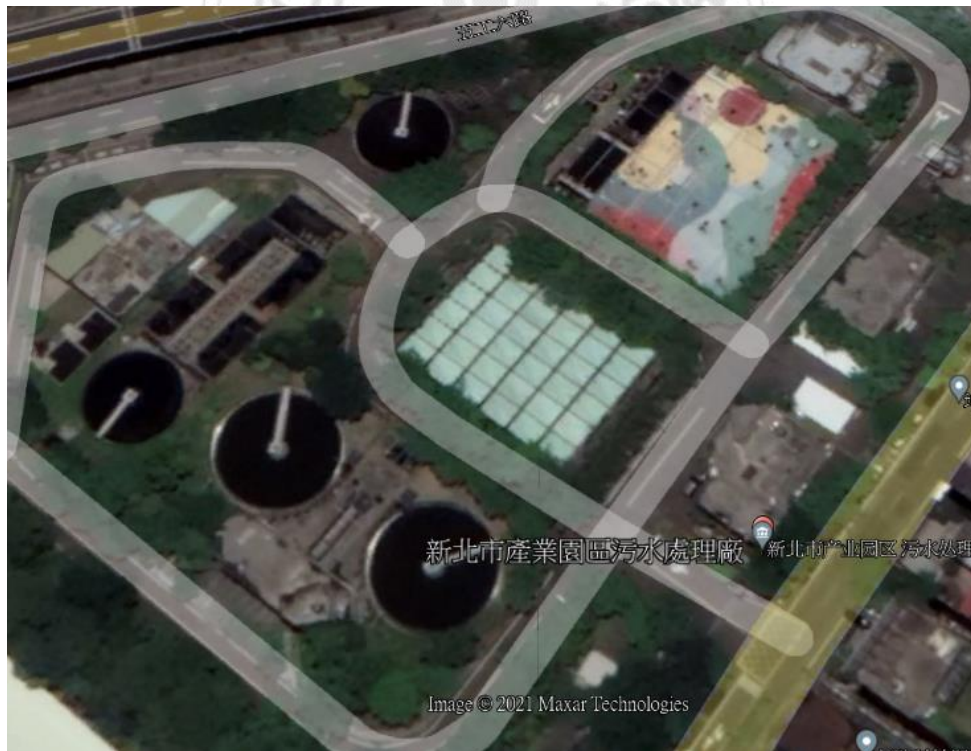


圖 3-2 新北污水廠全景圖

資料來源: google earth



圖 3-3 新北污水廠環境現況圖

3-2 碳排放量

依據 ISO14064-1 規範整理，計算碳排放量，由表 3-2 得知碳排放來源。

表 3-1 新北污水廠基本資料表

項次	說明
場所名稱	經濟部工業局新北產業園區污水廠
成立時間	1984 年
地址	新北市五股區五工六路 77 號
連絡電話	(02)22996661
場所面積	2.4 公頃
員工人數	10 人
行業代碼	3700 廢汙水處理業

表 3-2 新北污水廠溫室氣體排放調查表

地點	設施	排放源	排放源類別			溫室氣體排放種類					
			固 定	移 動	逸 放	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆
受電站	發電機	柴油	v			v	v	v			
車庫	公務車	汽油		v		v	v	v			
脫水房	推土機	柴油		v		v	v	v			
生態館	冷氣機	R410	v		v				v		
宿舍	冷氣機	R22	v		v				v		
辦公室	冰箱	R134A	v		v				v		
辦公室	飲水機	R134A	v		v				v		
廠區	滅火器	CO ₂	v		v	v					
化驗室	藥劑	乙醇	v		v	v					
宿舍	熱水器	R417A	v		v				v		
廠區		外購電力	v			v	v	v			
儲存場		汙泥	v		v		v				

本研究整理

表 3-3 排放係數表

項目	CO2	CH4	N2O	HFCS	CO2e
柴油	2.606	0.000106	0.000021		2.6149
車用汽油	2.263	0.000816	0.000216		2.347
車用柴油	2.606	0.000137	0.000137		2.650
冷媒 R410				2088	2088
冷媒 R22				1018	1018
冷 媒 R134A				1430	1430
冷 媒 R417A				2025	2025
外購電力	0.521				0.521
汙泥		0.292			0.292
乙醇	2.571				2.571

資料來源：溫室氣體盤查減量手冊

3-3 固碳量計算

衡量新北汙水廠固碳量，係採用現場林木統計方式進行。單株林

木固碳量之 計算公式如下(IPCC 2006)

$$C=V \times BD \times BEF \times CF$$

$$CO_2 \text{ 固碳量} = C \times 3.67$$

以下詳細說明各量值算法

$$(1) \text{ 材積 } V = \pi r^2 h = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 h = \frac{\pi D^2}{4} h$$

圓周率乘以半徑平方乘以高度 或圓周平方除以 4 倍圓周率再乘高度 單位:立方公尺

(2)基礎林木密度 BD(Basic Wood Density) 指幹材絕乾重量與原木去皮材積的比值。單位:噸/立方公尺。後面附列常見喬木的比值供參考。

(3)生物量擴展係數 BEF(Biomass Expansion Factor)指林木莖葉與地下根系,與積材的比值,在此根據林裕仁的研究,平均值為 1.65 倍。

(4)固碳率 CF(Carbon Fraction)指固碳效率百分比,會隨林木種類而有不同,後附常見林木固碳率表供參考

(5)CO₂ 與 C 比值為 44/12=3.67

表3-4 台灣常見24 種樹種之絕乾比重、碳含量百分比及轉換係數

商品名 (Common name)	學 名 (Species name)	BD	CF (%)	Conversion factor ³⁾
針葉樹 (Softwoods)				
台灣肖楠 (Taiwan incense-cedar)	<i>Calocedrus formosana</i>	0.54	48.57	0.262
紅檜 (Taiwan red falsecypress)	<i>Chamaecyparis formosensis</i>	0.42	48.64	0.204
台灣扁柏 (Taiwan Hinoki falsecypress)	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	0.42	48.22	0.203
柳杉 (Cryptomeria)	<i>Cryptomeria japonica</i>	0.36	49.03	0.177
福州杉 (Large-leaved China-fir)	<i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.31	48.32	0.150
台灣雲杉 (Morrison spruce)	<i>Picea morrisonicola</i>	0.47	46.91	0.221
台灣二葉松 (Taiwan red pine)	<i>Pinus taiwanensis</i>	0.55	47.04	0.259
台灣杉 (Taiwania)	<i>Tawania cryptomerioides</i>	0.32	48.32	0.155
台灣鐵杉 (Chinese hemlock)	<i>Tsuga chinensis</i>	0.42	48.82	0.205
闊葉樹 (Hardwoods)				
相思樹 (Taiwan acacia)	<i>Acacia confusa</i>	0.77	47.17	0.363
台灣赤楊 (Formosan alder)	<i>Alnus japonica</i>	0.47	46.20	0.217
茄冬 (Autumn maple tree)	<i>Bischofia javanica</i>	0.65	46.78	0.304
木麻黃 (Polyesian iron wood)	<i>Casuarina equisetifolia</i>	0.67	46.61	0.312

樟木 (Camphor tree)	<i>Cinnamomum camphora</i>	0.37	47.00	0.174
牛樟 (Stout camphor tree)	<i>Cinnamomum micranthum</i>	0.39	45.69	0.178
光蠟樹 (Formosan ash)	<i>Fraxinus formosana</i>	0.73	46.83	0.342
大葉楠 (Large-leaved nanmu)	<i>Machilus kusanoi</i>	0.46	47.45	0.218
香楠 (Incense machilus)	<i>Machilus zuihoensis</i>	0.47	46.93	0.221
棟樹 (China berry-tree)	<i>Melia azedarach</i>	0.54	46.63	0.252
烏心石 (Formosan michelia)	<i>Michelia compressa</i>	0.52	47.51	0.247
印度紫檀 (Paudauk)	<i>Pterocarpus indicus</i>	0.58	47.02	0.273
木荷 (Chinese guger-tree)	<i>Schima superba</i>	0.61	46.87	0.286
大葉桃花心木 (Honduras mahogany)	<i>Swietenia macrophylla</i>	0.50	47.26	0.236
台灣欒 (Taiwan zelkova)	<i>Zelkova serrata</i>	0.73	47.66	0.348

1) BD : 絕乾比重 : Oven-dried specific gravity.

2) CF : 碳含量 : Carbon content.

3) Conversion factor : 轉換係數 = $BD \cdot CF / 100$.

資料來源 ; 林裕仁(2008)

表 3-5 其他常見林木固碳量表

林木樹種	單株固碳量(噸/立方公尺)
黑板樹	0.2940

印度紫檀	0.1499
水黃皮	0.1183
風鈴木	0.0160
小葉欖仁	0.2503
台灣欖樹	0.1520
欖仁	0.0378
阿勃勒	0.0568
鳳凰木	0.1099
菩提樹	0.3590
美人樹	0.3108

本研究整理

第四章 結果與討論

4-1 碳排放

針對新北污水廠碳排放量，依據 ISO14064-1 規範項目做統計調查，以求取當年度碳排放量總額。

4-1-1 2020 碳排放計算

表 4-1 新北污水廠 2020 年溫室氣體數據統計表 本研究整理

地點	設施	排放源	活動數據	排放係數	小計 CO2/ 公斤
受電站	發電機	柴油	370 公升	2.615	967
車庫	公務車	汽油	1668 公升	2.347	3915
脫水房	推土機	柴油	720 公升	2.650	1908
生態館	冷氣機	R410	41.2 公斤	2088	86025
宿舍	冷氣機	R22	32.8 公斤	1018	33390
辦公室	冰箱	R134A	0.0195 公斤	1430	27
辦公室	飲水機	R134A	0.009 公斤	1430	12
廠區	滅火器	CO2	52.5 公斤	1	52

化驗室	藥劑	乙醇	257 公升	2.571	660
宿舍	熱水器	R417A	4.6 公斤	2025	9315
廠區		外購電力	1009720 度	0.521	526064
儲存場	汙泥	CH4	210 公噸	0.292	61

總計全年碳排放量 662.39 公噸，其中電力使用佔絕大比重

表 4-2 新北污水廠碳排放量分析

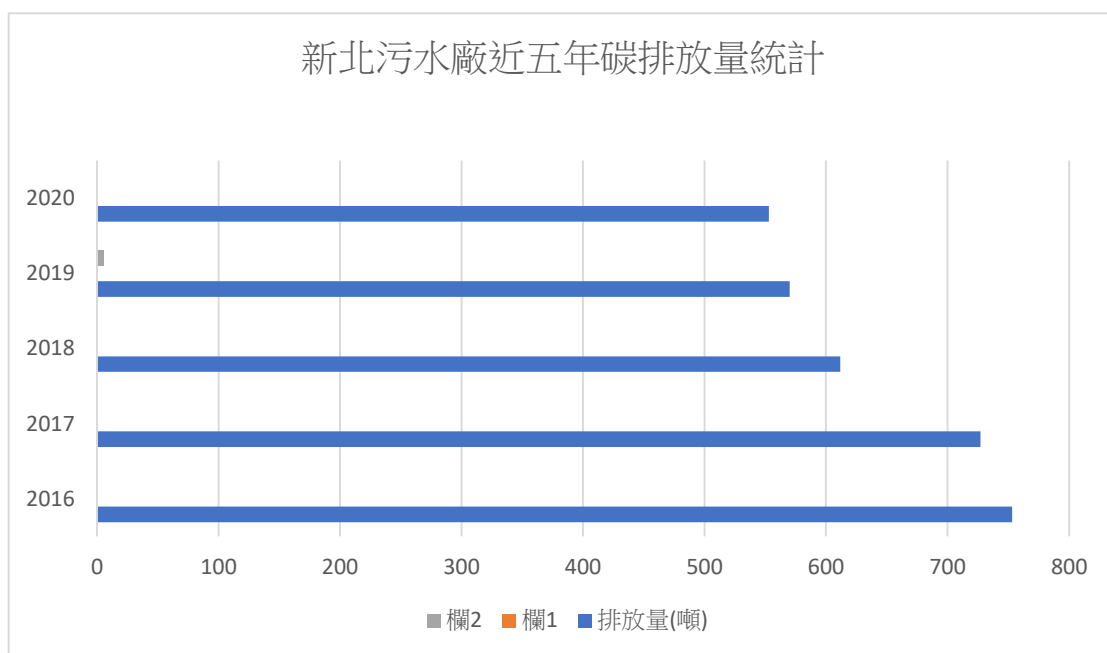
年份	範疇	排放總類	數量(公噸)	占比%
2020	範疇 1	固定式排放源	0.967	0.15
		移動式排放源	5.823	0.88
		逸散排放源	129.54	19.55
	範疇 2	外購電力	526	79.42

4-1-2 歷年碳排放

既然影響新北汙水廠碳排放量是用電與用油量，本計畫進一步透過這兩項因子，統計 2016-2020 年碳排放量(詳見附件 1)，結果如下

表 4-3 新北污水廠近五年碳排放量統計

年度	2020	2019	2018	2017	2016
碳排放量 (公噸)	552.95	570.05	611.78	727.23	753.36



4-1-3 節能設施

影響新北汙水廠碳排放量因素，除了用電量、用油量還有生產設備。透過設備更新汰換，能降低碳排放量。汙水廠自 2016 年起即進行多項工程專案，舉其較重要者如下：

表 4-4 汙水廠近五年設備更新項目

年度 (西元)	項目	案號	金額 (萬元)
2016	監測設備維護	108106002	74
2017	生物旋轉圓盤更新 2 組	108106012	403
2018	自動連續監測專案	108108002	465
2018	生物旋轉圓盤更新 7 組	108107015	1645

2019	進流站變頻器更新	108108009	30
2020	調勻池鼓風機更新	108109005	73
2020	配電盤設備更新	108109009	46
2020	生物旋轉圓盤更新 3 組	108109016	592
2020	脫水機房加料設備更新	108109008	66
2020	管路與馬達設備更換	109110002	60



圖 4-1 生物旋轉圓盤更新工程

4-2 固碳量

以茄苳樹為例，若樹幹半徑 0.8 公尺，高度 10 公尺 樹齡 15 年，則積材為 $3.14 \times 0.8 \times 0.8 \times 10 = 20.09$ ，再代入公式 $C = V \times BD \times BEF \times CF = 20.09 \times 0.65 \times 1.65 \times 0.4678 = 10.082$ (噸)，即可推算出此株總固碳量 10.082 公噸。換算每年二氧化碳排放量為 $10.082 \times 3.67 \div 15 = 2.46$ 公噸，以下依此方法推算新北汙水廠固碳量，結果如下表

表 4-5 新北污水廠固碳量

樹種	數量	單株材積 (立方公尺)	單株固碳量 (噸/立方公尺)	小計
榕樹	16	6.35	0.3014	30.62
樟樹	37	4.86	0.174	31.29
水黃皮	44	2.33	0.1183	12.13
阿勃勒	6	2.35	0.0568	0.80
扁柏	14	1.86	0.203	5.29
桃花心木	8	19.42	0.236	36.67
苦楝	4	38.08	0.252	38.38
菩提樹	15	27.98	0.359	150.67
欖仁	74	3.73	0.19	52.44
木麻黃	5	0.95	0.312	1.48
相思樹	6	29.84	0.363	64.99
小葉欖仁	18	1.65	0.2503	7.43
南洋杉	7	5.59	0.21	8.22
鳳凰木	5	66.31	0.1099	36.44
總計:476.85 公噸				

換算該年二氧化碳，則 476.85 乘以 3.67，再除以樹齡(污水廠成

立歷史)36 年，等於 48.61 公噸。影響新北汙水廠固碳量因素主要為樹木數量與種類。從數量來分析，總共統計 259 株，其中欖仁樹 74 株(佔 28.5%)，水黃皮 44 株(佔 16.9%)，樟樹 37 株(佔 14.2%)。從固碳量成效來看，表現最好的是菩提樹 150.67 公噸(佔 31.6%)，其次是相思樹 64.99 公噸(佔 13.6%)，第三名是欖仁樹 52.44 公噸(佔 10.9%)，顯然樹木種類與數量要再調整，才能提高固碳量。這一方面可參考呂勝由等著「台灣地區內陸型工業區綠化實用圖鑑」一書。

4-3 碳中和

碳中和的主要步驟有三：盤查，減量抵換，宣告。本研究先透過 ISO14064 盤查碳排放量，繼而利用 IPCC 數據計算出林木固碳量，最後參考附件 2 之 PAS2060 標準檢核，自行判定新北汙水廠尚未達成碳中和目標。

第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 新北汙水廠 2020 年碳排放量為 662.39 公噸，固碳量為 48.61 公噸。並未達到碳中和目標。碳排放量大於固碳量表示多排放溫室氣體，破壞生態環境。反之，固碳量大於碳排放量表示降低溫室效應，穩定生態環境。
2. 降低碳排放量之策略：從統計結果顯示，可以看出用電量是最大排放部份，以新北汙水廠每月用電高達 8 萬度而言，可從汰換新設備，改善生產製程著手，但須以不影響處理水質為前提考量。

5.2 建議

1. 提升固碳量之策略：林木的種類與數量宜予再調整。多種些高固碳值喬木提高固碳數值。另外可以考慮定位標示管理，這一方面台北市政府已經有相關做法可供參考，不但有樹木介紹更有經緯度定位，網址如下：<https://geopkl.gov.taipei/>

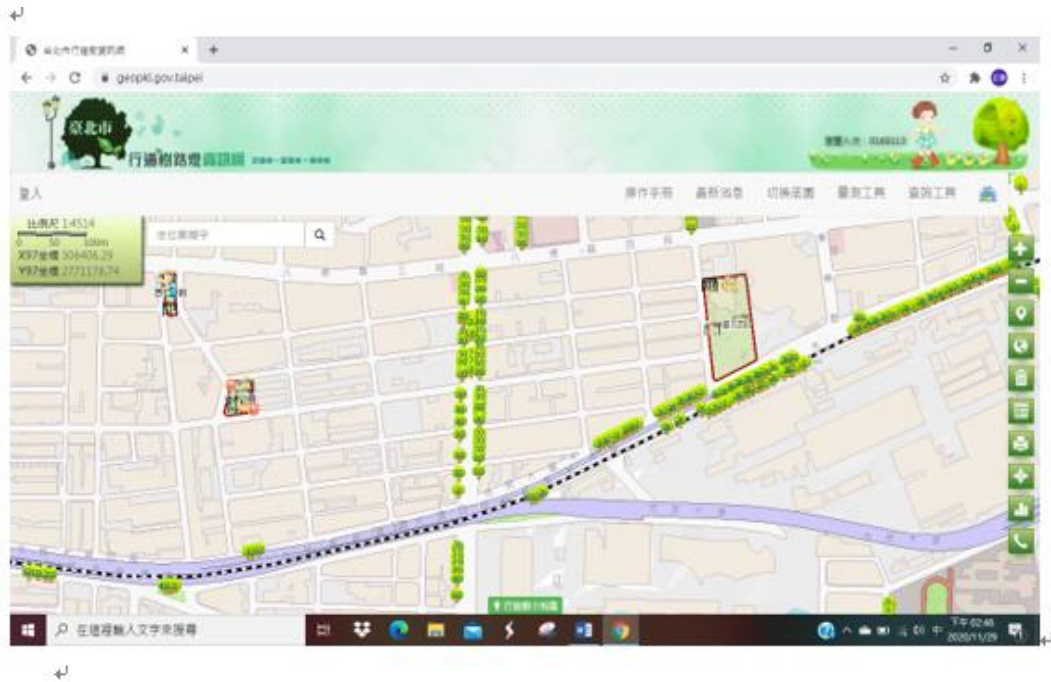


圖 5-1 台北市行道樹資訊網

2. 「溫室氣體減量及管理法」實行五年來，似乎沒有跟上環境快速變化。因此學者專家與環保團體都呼籲政府，參考國際作法，修訂「氣候變遷法」做完整全面政策。唯有政府帶頭規範溫室氣體盤查，提供誘因鼓勵企業社區進行碳中和工作，整體大環境才有改善的機會。

參考文獻

1. 胡思聰，2007，「二氧化碳產生量如何計算」，國政基金會
2. 國家溫室氣體登錄平台，行政院環境保護署
3. 碳足跡數據品質評估手冊，2019，行政院環境保護署
4. 陳映璇，2020，「290 家排碳大戶小心!國內首份碳定價報告出爐，課徵碳費這樣定才有效」，數位時代
5. 數位時代 326 期，2021 七月號
6. 羅綺，2020，「溫管法將更名氣候法，納入追求淨零排放」自由時報
7. 林裕仁，2008，「森林減碳能力之推算方法」農政與農情 193 期
8. 王立志，1996，「氣候變遷對台灣林業的衝擊與適應」氣候變遷衝擊評估與因應策略建議研討會論文集，215-229 頁
9. 揚盛行，1997，「台灣地區森林二氧化碳之涵容量估算」中華生質能源學會會誌
10. 楊榮啟、馮豐隆、黃俊雄，1998，「林業對溫室氣體減量策略規劃及衝擊評估」環保署八十七年度空氣汙染防治研究發展計畫期末報告
11. 林裕仁、李國忠、林俊成，2002，「以生物量與材積關係式推估台

灣地區森林林木碳貯存量之研究”台大實驗林研究報告 16(2)·71-79 頁

12. 郭幸榮，2005，竹林地復育為原生闊葉林示範區之研究
13. 譚運籌，2007，「新竹林區南庄事業區永久樣區之森林碳吸存效應」，屏東科技大學碩士論文
14. 曾文政，2009，「以遙感探測暨地理資訊系統應用於屏東地區紅樹林碳吸存之可行性研究」，屏東科技大學碩士論文
15. 張順能，2011，「宜蘭天送埤烏心石人工林之林分生長與碳吸存」，國立宜蘭大學碩士論文
16. 陳信宏，2011，「遙測技術於台北市都市綠地之碳吸存監測研究」，文化大學碩士論文
17. Roger A.Sedjo，1989，「Forests to Offset the Greenhouse Effect」，*Journal of Forestry*, Volume 87，p12-15
18. 林俊成、李國忠，2005，「都市森林對二氧化碳減量的貢獻」，台灣林業八月號，10-14 頁
19. 江采薇，2006，「融合光達及高解析影像建立三維植生覆蓋模型」

20. 徐百輝，2007，「大地的辨識密碼:高光譜影像」 國科會科學發展月刊 416 期，13-19 頁
21. 劉進金、徐偉成，2012，「我國空載光達的蓬勃發展史」，經濟部中央地質調查所地質力學學報 31(2)，31-35 頁
22. 呂勝由、鍾慧元、何坤益，1999，「台灣地區內陸型工業區綠化實用圖鑑」 經濟部工業局
23. 22..張蕙芬，2015，「都會種樹圖鑑」，天下文化
24. 李孟儒，2018，「原來樹之間也有減碳能力分班」,綠然 domi 專欄

附件 1、新北汙水廠近五年碳排放量統計

(a)2020 年

月份	用電量(度)	汽油用量(公升)	柴油用量(公升)
1 月	88920	146	60
2 月	89600	147	60
3 月	101680	110	60
4 月	92560	207	60
5 月	95640	167	60
6 月	86720	68	60
7 月	87620	112	60
8 月	95720	94	60
9 月	96840	222	60
10 月	86480	66	60
11 月	88240	95	60
12 月	87320	234	60
全年總量	1009720	1668	720
碳排放係數	0.502	18.9	20.2
碳排放量 (kg)	506879	31525	14544
總計(ton)	552.95		

(b)2019

月份	用電量(度)	汽油用量(公升)	柴油用量(公升)
1月	87280	163	60
2月	71040	23	60
3月	83040	150	60
4月	94800	136	60
5月	86280	178	60
6月	88600	221	60
7月	80720	215	60
8月	84640	131	60
9月	83520	204	60
10月	87320	225	60
11月	84880	126	60
12月	88120	144	60
全年總量	1020240	1916	720
碳排放係數	0.509	18.9	20.2
碳排放量(kg)	519302	36212	14544
總計(ton)	570.05		

(c)2018

月份	用電量(度)	汽油用量(公升)	柴油用量(公升)
1月	95760	153	60
2月	77040	88	60
3月	87840	157	60
4月	92400	204	60
5月	95280	283	60
6月	85310	163	60
7月	93300	134	60
8月	94320	176	60
9月	96640	189	60
10月	79200	289	60
11月	79680	114	60
12月	76320	234	60
全年總量	1043090	2184	720
碳排放係數	0.533	18.9	20.2
碳排放量 (kg)	555966	41277	14544
總計(ton)	611.78		

(d)2017

月份	用電量(度)	汽油用量(公升)	柴油用量(公升)
1月	11680	70	60
2月	113280	48	60
3月	124320	112	60
4月	101280	91	60
5月	119740	266	60
6月	94840	96	60
7月	110880	180	60
8月	102960	140	60
9月	81000	150	60
10月	90000	218	60
11月	88320	53	60
12月	87840	191	60
全年總量	1231340	1615	720
碳排放係數	0.554	18.9	20.2
碳排放量 (kg)	682162	30524	14544
總計(ton)	727.23		

(e)2016

月份	用電量(度)	汽油用量(公升)	柴油用量(公升)
1月	117600	77	60
2月	100080	64	60
3月	118800	179	60
4月	111120	147	60
5月	114720	88	60
6月	107180	85	60
7月	106080	57	60
8月	115440	121	60
9月	112560	160	60
10月	122400	54	60
11月	108240	101	60
12月	114000	151	60
全年總量	1348220	1284	720
碳排放係數	0.530	18.9	20.2
碳排放量 (kg)	714556	24267	14544
總計(ton)	753.36		

附件 2 碳中和檢核項目

- 1 確認各項業務的負責人，包括提供各種必要數據者與協調溝通者。
- 2 確認進行碳中和宣告的實體
- 3 確認進行碳中和宣告之標的物
- 4 說明選擇碳中和標的物的理由。
- 5 定義碳中和標的物的邊界
- 6 說明該標的物之特性（宗旨、目標或功能）
- 7 說明納入為滿足、達成或履行標的物之宗旨、目標或功能的實質性活動
- 8 依指引提供實施碳中和三個模式中，預定選用的模式
- 9 確認預計達成碳中和狀態之日期，並具體說明該實體預計維持碳中和狀態之期間
- 10 選取適當標準及方法學以界定與標的物相關的溫室氣體排放及計算碳足跡
- 11 闡述選取該方法學的理由(採用的方法應盡量減少不確定性，以產生準確、一致 及可以複製的結果)
- 12 確認所選方法學之使用，符合該方法學及本規範之各條款
- 13 說明碳中和標的物的溫室氣體排放的種類、分類(範疇 1、 2 或 3)

及碳足跡大小：

- a) 所有溫室氣體都應納入並轉換成二氧化碳當量
- b) 與標的物相關的 100%範疇 1(直接)排放須包括在內
- c) 與標的物相關的 100%範疇 2(間接)排放須包括在內
- d) 避免低估範疇 3 之排放
- e) 範疇 1、2 或 3 的排放源，凡預估超過總碳足跡的 1%者，即須納入考量，除非有證據證實量化在技術上不可行或不符成本效益(基於估計計算結果，排放源碳足跡小於整體之 1%者或可排除)
- f)量化的碳足跡應至少涵括 95%標的物的排放量
- g)若單一排放源高於總排放量的 50%，則 95%門檻適用於其餘排放源
- h) 任何排除及排除之理由應有書面紀錄

14 若標的物是一個組織/公司或其一部份，應保證：

- a) 該組織的溫室氣體排放範圍是真實且誠實的表述(即應包括與該組織擁有及經營的核心業務相關的所有溫室氣體排放)。如果一個實體選擇一個範圍很狹小的標的物，排除其碳密集的活動，或者外包其碳密集的活動，必須以書面說明
- b) 採用股權持分或經營控制法，定義哪些溫室氣體排放量應包括

在內。若用股 權持分法，則依據該實體的持分比例計算標的物的溫室氣體排放量。依經營控 制法，擁有財務或經營控制權之實體負責 100%的溫室氣體排放量。

- 15 如果標的物是組織、或特定地點或一場址之一部分，則應說明，並視為是一個 有自己的宗旨、目標和功能的獨立單位。
- 16 若標的物是一個產品或服務，納入所有範疇 3 的排放(因為必須考量產品或服務 的生命週期)
- 17 說明實際用於量化溫室氣體排放的方法(例如使用一級的或二級的數據資料)、使 用的測量單位、執行期間及計算出的碳足跡大小(碳足跡應儘可能以一級活動數據為基礎計算)。凡量化過程乃根據計算得出(例如，溫室氣體活動數據乘 以排放係數，或使用質量平衡/生命週期模型)，溫室氣體排放量則應採用國家(政 府)公告的係數。若係數無法取得，則應採用國際或行業規範，無論採用何種 係數，皆須指明數據的來源
- 18 提供細節及解釋所有排除範疇 3 排放的理由
- 19 書面記錄量化溫室氣體排放所做的假設及計算和溫室氣體排放係數的選擇。(採用的排放係數應適用該活動，且為現行版本)
- 20 書面記錄界定邊界時的不確定性和變異性，以及誤差的容許範圍(說明可以採取定性的形式描述相關結果的不確定性，或以定量

的形式評估不確定性。例如：以可能的溫室氣體排放量中之 95% 為基礎計算的碳足跡；主要排放源受時間變化的限制；碳足跡是以合理的評估成本為基礎的最佳估計值)。

21 以書面說明碳足跡管理計畫：

- a) 承諾對指定標的物進行碳中和
- b) 達成指定標的物碳中和之期程
- c) 具體說明指定標的物的溫室氣體減量目標，以配合達成碳中和的期程；包括基準日，第一次達成日與第一次執行期間
- d) 計畫用以進行溫室氣體減量的方法，包括採用的技術和措施，以及所提出的假設與理由
- e) 具體說明抵換策略，包括可能使用的抵換額度數量和類型

22 實體應有適當的程序，針對碳足跡管理計畫進行定期績效評估，和實施糾正行動，以確保達成目標。針對計畫的績效評估頻率應該與達成碳中和的期程相稱。

23 凡標的物是一個單次事件如婚禮或音樂會，在事件舉行之前，該計畫應指出該事件中可進行最大限度溫室氣體減排之方法，以使其滿足預期的目標，並包括「事後檢討」，以確定是否達成預期的最低排放量。

24 是否有列入與標的物之溫室氣體減量，其量化方式符合本指引之

規範，並在基準日期前 3 年內發生，且尚未被納入其他減量

- 25 記錄尚未宣告達成碳中和卻更新承諾碳中和宣告的次數
- 26 具體說明合確證的類型：
 - a) 獨立的第三者驗證
 - b) 其他單位的確證
 - c) 自我確證
- 27 包括由第三方驗證機構或第二方機構確證承諾碳中和宣告的確證報告書
- 28 註明檢核表之日期，並經實體的高層代表簽署（例：企業的執行長；若標的物是該實體的一個部門，則為部門主管；地方行政單位首長；或一個家庭的戶長。）
- 29 公開本檢核表（例如公開於可自由取得的網站）
- 30 更新本檢核表以反映可能影響承諾碳中和宣告有效性的變化和行動