

## 附錄 14 溫室氣體排放估算

# 溫室氣體排放

## 一、生命週期溫室氣體排放量計算

參考楊謙柔(2000)、張世典(1998)之台灣地區建築物耗能與 CO<sub>2</sub> 排放基礎資料，台灣建築中心發佈之各類建築單位面積耗電量與耗水量，以及陳介慧(2009)對地下停車場耗電量之調查等資料。從建築生命週期的觀點，建構營建開發後溫室氣體排放增量估算工具，估算出本案營建行為對環境衝擊的水準值。

本案原始規劃開發情境下(法定建蔽率 45%，允建容積率 640.03%，開挖率 72.5%)之溫室氣體排放量計算如表 1，建築物生命週期二氧化碳排放總量約為 166,354,895kg。

### (一) 節能減碳措施及效益分析

以生命週期的觀點分別探討本案規劃設計之節能減碳措施及效益分析。包括：(1)綠建築標章設計效益、(2)施工階段建材選用減碳效益 TCO<sub>2m</sub>、(3)電動汽機車運輸減碳效益 TCO<sub>2t2</sub>、(4)資源回收減碳效益 TCO<sub>2s1</sub>、(5)拆除解體廢鋼回收減碳效益 TCO<sub>2s2</sub> 等 5 項。

#### 1. 綠建築設計之減碳效益

綠建築標章指標分為生態、節能、減廢與健康四大類指標群。本案針對綠化量、基地保水、日常節能、水資源、污水及垃圾改善指標進行規劃設計與評估，以取得銀級綠建築評定為目標。

##### (1) 綠化量指標之 TCO<sub>2</sub> 固定量

藉由綠建築標章評估系統之綠化量指標之評估方法，計算本計畫植栽綠化之二氧化碳固定量(kg)。經由前述綠建築評估部分，本案綠化量指標之 CO<sub>2</sub> 固定量=1,214,148.00 (kg)。計算過程詳附錄 12 綠建築指標評估資料。

##### (2) 日常節能減碳效益 TCO<sub>2e</sub>

參考財團法人台灣建築中心對於通過綠建築標章審查之建築物。節能、省水之節約效益計算方法。通過綠建築標章評估審查之建築物，在節能方面會相較一般建築物可節能 20%，省水 30%。

根據台電網站公布，台電平均發電，每度電排放 0.528 公斤二氧化碳。所以，通過綠建築標章評定之建築物之日常節能減碳效益值 TCO<sub>2e</sub> 計算公式：

$$TCO_{2e} = \Sigma FA \times EUI \times 0.20 \times 0.528 \times 40 \text{ (kg)} \dots\dots\dots(4)$$

式中，

TCO<sub>2e</sub>：日常節能減碳效益值(kg)

ΣFA：總樓地板面積

EUI：財團法人台灣建築中心所發佈之綠建築設計節能數據(KWh/m<sup>2</sup>.yr)

假設建築生命週期於日常營運使用階段為 40 年，則通過綠建築標章建築之生命週期日常節能減碳效益 TCO<sub>2e</sub> 為：

$$TCO_{2e} = 50,387,819 \text{ (kg)}$$

然而，本案除了申請綠建築標章評定為黃金級，日常節能指標合格外，另於空調及照明節能部分，加強節能設計。所以綠建築標章通過之節能效益之概估法，暫不列入此次計算範圍內。另針對本案相關之空調節能設計手法、照明節能設計手法、電器節能設計手法，予以分別檢討計算。並且設置太陽能發電系統，以「碳中和」理念，進行節能減碳。

表 1 原始規劃開發後溫室氣體排放量估算表

國泰人壽保險股份有限公司總部大樓新建工程				基地面積(m <sup>2</sup> )	4144
辦公				建築面積(m <sup>2</sup> )	1781.81
商三特	土方量	53598	立方	總樓地板面積(m <sup>2</sup> )	46561.29
70%	容積率	460%	清運天數	185 天	樓層數
SC 構造 日用水量 368.72 (CMD) 預估引進人數： 1444				地上	20 層
汽車 235 機車 260 電動汽車 79 電動機車 87 腳踏車				地下	4 層
類別	單位基準 CO <sub>2</sub> 排放量值		數量	生命週期年數	小計 (Kg)
	闊葉大喬木	22.50 (kg/m <sup>2</sup> · yr)		40	0
	喬木	15.00 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
	灌木	7.50 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
	草地	0.75 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
	RC	210.94 (kg/m <sup>2</sup> )		40	8,435,509
	SRC	214.19 (kg/m <sup>2</sup> )			
V	SC	181.17 (kg/m <sup>2</sup> )	46561.29		
	5 立方柴油車	14	35.52 (kg/h)	0	590,834
	8 立方柴油車	9	50.22 (kg/h)	0	
V	12 立方柴油車	6	66.14 (kg/h)	8,933	
	7 公尺	1.65 (kg/m <sup>2</sup> )		40	205,335
	7~15	2.12 (kg/m <sup>2</sup> )			
	15~30	2.50 (kg/m <sup>2</sup> )			
	30~45	2.75 (kg/m <sup>2</sup> )			
	45~60	3.03 (kg/m <sup>2</sup> )			
	60~75	3.58 (kg/m <sup>2</sup> )			
V	75~90	4.41 (kg/m <sup>2</sup> )	46,561.29		
	90 公尺以上	5.51 (kg/m <sup>2</sup> )			
	住宿類	17.95 (kg/m <sup>2</sup> · yr)		40	108,990,483
	其他類	98.74 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
	學校類	43.82 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
V	辦公類	63.89 (kg/m <sup>2</sup> · yr)	30,823.38		
	醫院類	124.08 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
V	百貨商場類	182.16 (kg/m <sup>2</sup> · yr)	3,172.21		
	旅館類	89.76 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
	大型空間	78.14 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
V	地下停車場	14.78 (kg/m <sup>2</sup> · yr)	12,017.60		
V	以污水排放量推估日用水量	0.154 (kg/度 · yr)	134,582.80	40	829,030
V	汽車位	0.211 (kg/km · yr)	857,750.00	40	7,235,979
V	機車位	0.066 (kg/km · yr)	949,000.00	40	2,505,360
V	垃圾產出(0.86kg/人天)	646.634 (kg/kg · yr)	933,739.50	40	37,349,580
	7 公尺	1.71 (kg/m <sup>2</sup> · yr)		40	212,785
	7~15	2.20 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
	15~30	2.60 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
	30~45	2.86 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
	45~60	3.14 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
	60~75	3.71 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
V	75~90	4.57 (kg/m <sup>2</sup> · yr)			
V	90 公尺以上	5.71 (kg/m <sup>2</sup> · yr)	46,561.29		
總計排放量					166,354,894

### A. 1 至 2 層部分

低樓層部分擬做為百貨使用，用途分類屬百貨類。本案於空調系統部分採用 VRV 系統，依據綠建築標章評估手冊(2015 年版)空調節能技術簡易評估表所載，其省能效益約 30%。

除此之外，並搭配 CO<sub>2</sub> 濃度外氣量控制系統，以及全熱交換氣系統，省能效益分別為 15% 及 13%。

因此，建築空調節能設計增加 VRV、CO<sub>2</sub> 濃度外氣量控制系統、全熱交換氣系統等手法，約可減少 58% 之空調用電。

一般而言，建築耗能區分為空調、照明、動力用電等三大部分，辦公類建築約分佔 48%、25%、27% 比例。因此，據以推估本案增加之空調節能設計效益：

$$345 \times 48\% \times 3172.21 \times 40 \times 58\% = 12,143,220(\text{kwh})$$

$$\text{減碳量} : 12,143,220 \times 0.528 = 6,411,620 (\text{kg})$$

照明節能控制管理所考量的面向包括高效率的光源與燈具之選擇，及與照明控制技術。控制的關鍵在於不產生超過合理需求的照度(品質節約)，以及在無人需要時能關閉照明(使用節約)，也就是適量、適時、適地。本案除採用高效率燈具以及電子式安定器符合綠建築評估基準外，另外增加了晝光利用、照度調整、時間設定等照明節能控制手法，預期照明總節電量達 66.5%。

因此，據以推估本案增加之照明節能設計效益：

$$345 \times 25\% \times 3172.21 \times 40 \times 66.5\% = 7,256,748 (\text{kwh})$$

$$\text{減碳量} : 7,256,748 \times 0.528 = 3,831,563(\text{kg})$$

$$\text{本區減碳量小計} : 6,411,620 + 3,831,563 = 10,243,183 (\text{kg})$$

### B. 3 至 20 樓層部分

3 至 20 樓層部分擬做為辦公使用，用途分類屬辦公類。本案於空調系統部分採用 VRV 系統，依據綠建築標章評估手冊(2015 年版)空調節能技術簡易評估表所載，其省能效益約 30%。

除此之外，並搭配 CO<sub>2</sub> 濃度外氣量控制系統，以及全熱交換氣系統，省能效益分別為 15% 及 13%。

因此，建築空調節能設計增加 VRV、CO<sub>2</sub> 濃度外氣量控制系統、全熱交換氣系統等手法，約可減少 58% 之空調用電。

一般而言，建築耗能區分為空調、照明、動力用電等三大部分，辦公類建築約分佔 45%、32%、23% 比例。因此，據以推估本案增加之空調節能設計效益：

$$121 \times 45\% \times 30823.38 \times 40 \times 58\% = 38,615,530(\text{kwh})$$

$$\text{減碳量} : 38,615,530 \times 0.528 = 20,389,000 (\text{kg})$$

照明節能控制管理所考量的面向包括高效率的光源與燈具之選擇，及與照明控制技術。控制的關鍵在於不產生超過合理需求的照度(品質節約)，以及在無人需要時能關閉照明(使用節約)，也就是適量、適時、適地。本案除採用高效率燈具以及電子式安定器符合綠建築評估基準外，另外增加了晝光利用、照度調整、時間設定等照明節能控制手法，預期照明總節電量達 66.5%。

因此，據以推估本案增加之照明節能設計效益：

$$121 \times 32\% \times 30823.38 \times 40 \times 66.5\% = 31,976,174(\text{kwh})$$

$$\text{減碳量} : 31,976,174 \times 0.528 = 16,883,420 (\text{kg})$$

$$\text{本區減碳量小計} : 20,389,000 + 16,883,420 = 37,272,420 (\text{kg})$$

### C. 地下停車場部分

地下停車場部分樓地板面積共 12017.6m<sup>2</sup>，EUI 為 28(KWh/m<sup>2</sup>.yr)，其用電設備主要為照明用電設備(86%)。本案擬採用高效率燈具以及電子式安定器，配合時程控制及佔據感知設備，以及初期照度調整控制等手法，預期可節省約 45%耗電量。

據此，推算地下停車場部分之節能設計效益：

$$28 \times 0.86\% \times 12017.6 \times 40 \times 45\% = 5,191,603(\text{kwh})$$

$$\text{減碳量} : 5,191,603 \times 0.528 = 2,741,166 (\text{kg})$$

$$\text{本區減碳量小計} : 2,741,166 (\text{kg})$$

### D. 再生能源設置

本計畫擬設置太陽能光電系統約 17kw。估計建築生命週期發電之減碳量，太陽能約可減少排碳量 131,050 (kg)。(年發電(kwh)\*係數\*年=總減碳量(kg))=17\*365\*0.528\*40=131,050

太陽能光電系統安裝區域置於屋突頂層，安裝方式為支架地面型之非透光太陽能模組，預期可提供部分公共區域之用電。

### E. 日常節能減碳效益 TCO<sub>2e</sub> 小計

本計畫分別探討本案相關之空調節能設計手法、照明節能設計手法、電器節能設計手法，予以檢討計算。並依建築物用途分為(1)1 至 2 樓層部分、(2)3 至 20 樓層部分、(3)地下停車場部分等三個區域。並且設置太陽能發電系統，以「碳中和」理念，進行節能減碳。總減碳量合計：

$$10,243,183 + 37,272,420 + 2,741,166 + 131,050 = 50,387,819 (\text{kg})$$

### (3) 水資源指標節流減碳效益 TCO<sub>2w1</sub>

依據自來水公司公告之自來水排放係數 0.154 kgCO<sub>2</sub>/度，計算本計畫節水措施之溫室氣體排放減量。

$$\text{TCO}_{2w1} = V \times 0.3 \times 0.154 \times 40 (\text{kg}) \dots\dots\dots(5)$$

式中，

TCO<sub>2w1</sub>：水資源指標節流減碳效益值(kg)

V：年用水量(度)

假設建築生命週期於日常營運使用階段為 40 年，則通過綠建築標章建築之生命週期日常節能減碳效益 TCO<sub>2w1</sub> 為：

$$\text{TCO}_{2w1} = 368.72 \times 365 \times 0.154 \times 40 = 248,709 (\text{kg})$$

### (4) 水資源指標開源減碳效益 TCO<sub>2w2</sub>

水資源指標除節流外亦規劃開源措施，例如雨水或中水回收再利用系統。假設建築生命週期於日常營運使用階段為 40 年，建築生命週期水資源指標節開源減碳效益 TCO<sub>2w2</sub> 為：

$$\text{TCO}_{2w2} = Wd \times 365 \times 0.195 \times 40 (\text{kg}) \dots\dots\dots(6)$$

式中，

TCO<sub>2w2</sub>：水資源指標開源減碳效益值(kg)

Wd：雨水利用設計量 CMD (立方公尺/日)

本計畫每日雨水回收量約為 29.50CMD(立方公尺/日，8%×368.72)，則年雨水回收量=29.50×365 天=10,766.62 公噸。根據自來水公司公告之自來水每度水排放 0.154 公斤二氧化碳，換算建築生命週期水資源指標開源減碳效益 TCO<sub>2w2</sub> 為：

$$29.50 \times 365 \times 0.154 \times 40 = 53,979.12 (\text{kg})$$

## 2. 建築構造選用減碳效益(TCO<sub>2s</sub>)

本計畫原採 SRC 構造設計，為達到節能減碳之要求，故改採用 SC 構造，以減少本計畫的鋼筋及混凝土用量，達到減碳效益。

根據楊謙柔(2000)、張世典(1998)之台灣地區建築物耗能與 CO<sub>2</sub> 排放基礎資料，計算本案建築構造變更後之減碳效益評估如表 2 所示，總共可以減少 1,537,454 (kg)之二氧化碳排放量。

表 2 建築構造選用減碳效益評估

構造種類	原始規劃 (m <sup>3</sup> )	改善設計 (m <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> 排放係數 (Kg-CO <sub>2</sub> /單位)	CO <sub>2</sub> 排放量(Ton-CO <sub>2</sub> )	
				原始規劃(kg)	改善設計(kg)
SRC	46,561.29	0	214.19	9,972,963	
SC	0	46,561.29	181.17		8,435,509
合計				9,972,963	8,435,509
施工期間構造選用減碳量(kg)				1,537,454	

### 3. 施工階段建材選用減碳效益(TCO<sub>2</sub>m)

雖然本計畫於綠建築標章評估時，未選擇二氧化碳減量進行評估，即能達到銀級水準，卻仍對於施工階段建材選用進行考量，以達減碳效益。相關規劃策略說明如下：

- (1) 以鋼胚(T)(高爐)取代鋼胚(T)(電弧爐)
- (2) 以高爐水泥取代一般傳統水泥
- (3) 以矽酸鈣板隔間取代 1B 磚牆隔間

根據綠建築解說與評估手冊中，建築建材相關產品生產與運輸排放表，計算本案施工期間建築建材產生之排放量。施工階段建材選用減碳效益評估如表 3 所示，總共可以減少 5,286,022 (kg)二氧化碳排放量。

表 3 施工階段建材選用減碳效益評估

項次	一般規劃	本案設計	CO <sub>2</sub> 排放係數 (Kg-CO <sub>2</sub> /單位)	CO <sub>2</sub> 排放量(Ton-CO <sub>2</sub> )	
				原始規劃	改善設計
鋼胚(T)(高爐)	1,793	0	2,168	3,885,643	0
鋼胚(T)(電弧爐)	0	1,793	442	0	792,620
一般卜特蘭水泥(T)	2,836	0	445	1,262,067	0
高爐水泥(T)	0	2,836	281	0	796,946
1B 磚牆隔間	11,515	0	83	955,747	0
矽酸鈣板隔間	0	11,515	17	0	195,755
合計				2,217,814	992,701
施工期間選用建材減碳量(kg)				1,225,113	

註： CO<sub>2</sub> 排放係數取自綠建築標章解說與評估手冊 2009 年版。

### 4. 電動汽機車運輸減碳效益 TCO<sub>2</sub>t2

參考經濟部能源局「車輛耗油指南」推估：汽油車排碳量 0.2109(kgCO<sub>2</sub>/km)、油電車排碳量 0.0824 kgCO<sub>2</sub>/km)、機車排碳量 0.066(kgCO<sub>2</sub>/km)、電動機車排碳量 0.0256(kgCO<sub>2</sub>/km)。

本案設置汽車位 235 個，機車位 260 個。為達節能減碳效益，規劃 79 席電動汽車位及 87 席電動機車位，假設每車每日平均行駛距離為 10 公里。

電動汽車減碳量=79×(0.2109-0.0824)×10×365×40=1,482,119 (kg)

電動機車減碳量=87×(0.066-0.0256)×10×365×40=513,161(kg)

合計減碳量= 1,995,280 (kg)

#### 5. 資源回收減碳效益(TCO<sub>2s1</sub>)

本計畫未來使用人數預估引進 1444 人，依據環保署環境保護 103 年統計，每人每日產生垃圾量約 0.86 公斤，平均每人每日垃圾清運量為 0.28 公斤，每日資源回收率(含廚餘回收) 59.94%，垃圾妥善處理率維持 100%。

參考環保署台灣碳足跡資訊網(<http://cfp.epa.gov.tw/carbon/defaultPage.aspx>)之計算參數，每減少 1 公斤垃圾產出量(回收 1 公斤資源垃圾)約減少 2.06 公斤二氧化碳產生。

本案預估回收資源垃圾量約 838(kg/日)，40 年生命週期約可減少 25,203,688(kg) 碳排放量。

#### 6. 拆除解體廢鋼回收減碳效益(TCO<sub>2s2</sub>)

參考張世典(1998)提及回收廢鋼每一公斤可以減少二氧化碳排放量 0.62(kg/kg)。以及楊謙柔(2000)針對建築物每平方公尺回收廢鋼所減少之二氧化碳排放量之推估(表 4)。

本案拆除解體後，回收廢鋼所減少之二氧化碳排放量約為 46561.29×0.1395=6,495(kg)。

表 4 建築物每平方公尺回收廢鋼所減少之二氧化碳排放量

構造方式	廢鋼	
	產生量 (kg)	減少二氧化碳排放量 (kg)
RC 構造(m <sup>2</sup> )	0.163	0.1012
SC 構造(m <sup>2</sup> )	0.225	0.1395
SRC 構造(m <sup>2</sup> )	0.210	0.1302

#### (二) 碳中和(減碳量)分析

碳中和(減碳量)計算：

$$CN = TCO_2 + TCO_{2e} + TCO_{2w1} + TCO_{2w2} + TCO_{2s} + TCO_{2m} + TCO_{2t2} + TCO_{2s1} + TCO_{2s2}$$

式中，

CN：碳中和(減碳量)CO<sub>2</sub>固定量值(kg)

TCO<sub>2</sub>：綠化量指標之 CO<sub>2</sub>固定量(kg)

TCO<sub>2e</sub>：日常節能減碳效益(kg)

TCO<sub>2w1</sub>：水資源指標節流減碳效益(kg)

TCO<sub>2w2</sub>：水資源指標開源減碳效益(kg)

TCO<sub>2s</sub>：建築構造選用減碳效益(kg)

TCO<sub>2m</sub>：施工期間選用建材減碳量(kg)

TCO<sub>2t2</sub>：電動汽機車運輸減碳效益(kg)

TCO<sub>2s1</sub>：資源回收減碳效益(kg)

TCO<sub>2s2</sub>：拆除解體廢鋼回收減碳效益(kg)

所以，本案評估計算開發後溫室氣體排放增量(含施工及營運階段)，相關設計措施，合計減碳量累計：

$$CN=1,214,148+50,387,819+248,709+66,322.40+1,537,454+5,286,022+1,995,280+25,203,688+6,495=85,945,937 (kg)$$

$$\text{減碳率} = 85,945,937 / 166,354,895 = 51.66\%$$

故本計畫節能減碳措施預計減碳率為 51.66%。