



第七章

廢棄物部門 (CRF Sector 5)

- 7.1 部門概述
- 7.2 固體廢棄物處理 (5.A)
- 7.3 固體廢棄物之生物處理 (5.B)
- 7.4 廢棄物之焚化與露天燃燒 (5.C)
- 7.5 廢水處理與放流 (5.D)
- 7.6 廢棄物部門溫室氣體排放不確定性分析

2024

第七章 廢棄物部門(CRF Sector 5)

7.1 部門概述

依據 2006 IPCC 國家溫室氣體排放清冊指南(2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 以下簡稱 2006 IPCC 指南), 臺灣廢棄物部門溫室氣體排放源範疇, 包括 5.A 「固體廢棄物處理」、5.B 「固體廢棄物之生物處理」、5.C 「廢棄物之焚化與露天燃燒」、5.D 「廢水處理與放流」及 5.E 「其他」, 由其他廢棄物管理衍生之溫室氣體排放, 如表 7.1.1 所示。主要計算規定如下:

1. 屬生物成因(Biogenic Origin)之單元產生之二氧化碳不納入計算。由於廢棄物在生物界中就會被細菌分解成二氧化碳, 因此不納入計算, 如: 掩埋場廢棄物分解, 及廢水處理廠好氧處理所產生之二氧化碳。
2. 依據 2006 IPCC 指南規範, 凡涉及能源部門之內容, 如掩埋場回收沼氣進行發電及大型焚化爐焚化發電, 此部分屬燃料燃燒能源利用, 其溫室氣體排放應列於能源部門, 避免重複計算。
3. 溫室氣體當量換算將依據 IPCC 第 4 次評估報告溫暖化潛勢值(Global Warming Potential, 以下簡稱 GWP)計算, 如甲烷(CH₄)為 25 倍二氧化碳, 氧化亞氮(N₂O)則為 298 倍二氧化碳。

另依據 IPCC 針對各方法學所提出之方法學使用層級, 可分為 Tier 1、

Tier 2 及 Tier 3 三類, 相關採用原則如表 7.1.2 所示。另根據每年排放量統計結果, 按 IPCC 指南建議, 進行定量與定性之不確定分析, 以精進清冊的正確度。

臺灣 1990 年至 2019 年廢棄物部門溫室氣體排放量與不確定性分析結果, 如表 7.1.3 及圖 7.1.1 所示。

廢棄物部門歷年排放量以 1996 年為最大, 主要以廢棄物掩埋排放為主, 隨著廢棄物處理政策之施行, 對部門減排趨勢有顯著相關。廢棄物處理政策由掩埋為主, 逐漸調整為以資源回收再利用及焚化為主後, 廢棄物掩埋量減少, 而掩埋排放量自 1999 年以後成減排趨勢, 部門整體排放亦自該年後持續減少。2019 年廢棄物部門排放量為 2,703.2 千公噸二氧化碳當量, 較 1990 年與 2005 年分別減少 64.3% 與 63.1%, 總體依舊呈現遞減之趨勢, 但逐漸平穩; 另不確定性相較於 2018 年增加 0.3%, 係因焚化處理為廢棄物部門中不確定性最高的排放源, 加上焚化處理量近年有增加趨勢所致

2019 年廢棄物部門整體溫室氣體排放, 來自掩埋處理排放為 655.8 千公噸二氧化碳當量、生活污水處理排放為 788.3 千公噸二氧化碳當量、事業廢水處理排放為 990.6 千公噸二氧化碳當量、焚化處理排放為 211.8 千公噸二氧化碳當量及堆肥處理排放為 46.7 千公噸二氧化碳當量。在排放之溫室

氣體方面，甲烷(CH₄)為 2,101.8 千公噸二氧化碳當量(77.8%)、氧化亞氮(N₂O)為 387.6 千公噸二氧化碳當量(14.3%)及二氧化碳(CO₂)為 213.8 千公噸二氧化碳當量(7.9%)，有關各類溫室氣體排放量趨勢如圖 7.1.2 所示。

我國廢棄物處理政策，從早期的掩埋處理逐漸調整為焚化及資源回收再利用後，廢棄物部門溫室氣體排放減量趨勢出現顯著變化。早期我國廢棄物係以掩埋處理為主，1990 年至 2008 年間之掩埋處理排放量占比仍高於 50%。而隨廢棄物處理政策改變，自 2014 年起，溫室氣體排放漸以污(廢)水排放占大宗，由 2019 年計算結果顯示，生活污水與事業廢水處理排放分別占 29.2%與 36.6%，總和超過廢棄物部門排放的六成(65.8%)，其次依序為廢棄物掩埋排放量占 24.3%、焚化處理排放占 8.2%及堆肥處理占 1.7%。

利用誤差傳播法(高斯法)，依據計算參數(活動數據、排放係數)數據引用來源，取得計算參數不確定性數值，並依上述排放源不確定性整合方法，計算各來源排放量、及合併部門總排放量之不確定性。各參數不確定數值，參

考 IPCC 指南(引用 IPCC 預設參數值)各參數不確定性範圍，或依參數值引用來源之數據品質，藉由專家判斷，給予合理不確定性。

廢棄物部門清冊係參考 2013 年至 2014 年各排放源計算參數資料、依據實地訪查各類處理廠場(掩埋場、堆肥場、焚化廠、污廢水處理廠)處理量等活動數據量測記錄操作、管理執行過程與紀錄，及 2015 年 11 月 30 日廢棄物部門溫室氣體排放不確定性專家會議各委員意見與會議結論，計算各來源排放量與不確定性依公式 7.2.1.4 計算，可得到廢棄部門整體之溫室氣體排放量不確定性，如表 7.1.4 所示。

綜合評估掩埋處理、生物處理、焚化處理及污廢水處理之各來源溫室氣體排放不確定性，將 2019 年廢棄物部門排放量不確定性為 18.40%，其中，2019 年度焚化與一般掩埋處置量較 2018 年分別增加 81.5 千公噸與 162.3 千公噸，導致排放量增加，其不確定性分別是 89.58%與 39.05%，為廢棄物部門中不確定性高的排放源，以致不確定性從 2018 年 18.1%略微上升至 2019 年的 18.4%。

表 7.1.1 廢棄物部門排放源分類

排放源		範疇定義	排放氣體
5.A	固體廢棄物處理		固體廢棄物掩埋場中之有機物質於厭氧狀態下經微生物分解而產生甲烷。
	5.A.1	妥善管理之廢棄物掩埋場	妥善管理之廢棄物掩埋場必須具備受控制的廢棄物放置地點，且包含以下其中一種：覆蓋材料、機械壓實、或廢棄物整平等措施。
	5.A.2	未妥善管理之廢棄物掩埋場	不屬於以上妥善管理之廢棄物掩埋場之其他形式廢棄物掩埋場。
	5.A.3	其他	其他廢棄物掩埋場。
5.B	固體廢棄物之生物處理		廢棄物堆肥與其他生物處理；沼氣發電設施的排放，應列於能源部門(1.A.4)下。

排放源		範疇定義	排放氣體	
5.C	廢棄物之焚化與露天燃燒		1. 廢棄物焚化，但不包括廢棄物發電設備。 2. 廢棄物燃燒發電所產生之排放應列於能源部門(1.A)。 3. 而農作物、森林與草地等燃燒，所產生的排放應列於農業部門(3.C)。	二氧化碳、 甲烷、氧化 亞氮
	5.C.1	廢棄物焚化	於可控制之焚化設施中燃燒的固體廢棄物。	二氧化碳、 氧化亞氮
	5.C.2	廢棄物露天燃燒	露天或露天垃圾場中的廢棄物燃燒。	無
5.D	廢水處理與放流		1. 污(廢)水處理過程中，有機物及總氮等經細菌厭氧分解而產生甲烷與氧化亞氮。 2. 氧化亞氮亦可能由污水處理與人類的排泄物所釋出。	甲烷、氧化 亞氮
	5.D.1	生活及住商污水	1. 住宅與商業來源之污水與污泥處理(包括人體排泄物)透過污水收集與處理、露天廁所、污水池或逕流釋放。 2. 由人體排泄物排放至環境水之氧化亞氮亦包含於此類別。	甲烷、氧化 亞氮
	5.D.2	事業廢水	1. 來自於工業製程之廢水及污泥處理，如食品製造業、紡織業、紙漿及造紙業。 2. 此類別可能包括廢水收集與處理、廢水池或未處理直接排放出去的廢水。 3. 排放到民用污水系統的事業廢水，應納入 5.D.1 下。	甲烷、氧化 亞氮
5.E	其他		其他廢棄物處理活動所釋放出之溫室氣體；如生物醫療廢棄物、有害事業廢棄物與農業廢棄物等。	無

表 7.1.2 廢棄物部門所使用方法學

溫室氣體排放源分類	二氧化碳		甲烷		氧化亞氮	
	方法學	排放係數	方法學	排放係數	方法學	排放係數
5.A 固體廢棄物處理	NE	NE	T2	T2	NE	NE
5.A.1 妥善管理之廢棄物掩埋場	NE	NE	T2	T2	NE	NE
5.A.2 未妥善管理之廢棄物掩埋場	NE	NE	T2	T2	NE	NE
5.B 固體廢棄物之生物處理	NE	NE	T1	T1	T1	T1
5.C 廢棄物之焚化與露天燃燒	T1	T2	NE	NE	T1	T1
5.C.1 廢棄物焚化	T1	T2	NE	NE	T1	T1
5.C.2 廢棄物露天燃燒	NE	NE	NE	NE	NE	NE
5.D 廢水處理與放流	NE	NE	T3/T2/T1	T3/T2/T1	T3/T1	T3/T1
5.D.1 生活及住商污水	NE	NE	T3/T2	T3/T2/T1	T1	T1
5.D.2 事業廢水	NE	NE	T1	T1	T3	T3

備註：T1(IPCC Tier1), T2(IPCC Tier2), T3(IPCC Tier3), NE(未調查估計該分類項目), 灰底(指南未建議納入統計該氣體)。

表 7.1.3 臺灣 1990 年至 2019 年廢棄物部門溫室氣體排放量

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份	5.A		5.B 固體 廢棄物之 生物處理	5.C	5.D		溫室氣體 排放量 合計	不確定性 (%)
	5.A.1 妥善管理 之廢棄物 掩埋場	5.A.2 未妥善管理 之廢棄物 掩埋場		5.C.1 廢棄物 焚化	5.D.1 生活及 住商污水	5.D.2 事業 廢水		
1990	4,247.5	1,585.8	21.4	21.6	1,285.6	411.0	7,572.9	23.0
1991	4,309.8	1,609.1	1.0	8.7	1,294.9	485.8	7,709.3	23.2
1992	4,318.9	1,610.8	1.5	68.6	1,314.1	504.2	7,818.1	23.0
1993	4,656.0	1,668.5	0.9	66.6	1,336.7	484.9	8,213.6	23.2
1994	5,243.8	1,818.8	0.3	115.9	1,345.2	494.2	9,018.1	23.3
1995	5,815.9	1,905.3	1.2	416.1	1,361.7	509.1	10,009.3	23.3
1996	6,056.2	2,025.9	0.5	405.7	1,370.6	540.5	10,399.5	23.3
1997	6,182.6	2,032.0	2.7	108.7	1,391.0	527.4	10,244.6	23.8
1998	6,387.5	1,988.3	0.1	122.3	1,366.5	505.5	10,370.2	24.0
1999	6,697.8	1,910.4	3.7	68.2	1,324.5	488.0	10,492.6	24.2
2000	6,368.1	1,662.1	0.5	267.0	1,279.7	469.7	10,047.1	23.3
2001	5,806.9	1,503.7	0.0	569.9	1,255.2	470.5	9,606.3	21.7
2002	5,479.7	1,350.3	0.7	638.4	1,250.6	474.8	9,194.6	21.4
2003	5,135.4	1,187.0	4.4	441.2	1,247.1	522.5	8,537.5	21.2
2004	4,754.8	1,022.5	12.7	535.5	1,205.7	494.8	8,025.9	21.6
2005	4,355.2	875.7	18.5	375.2	1,178.4	526.0	7,328.9	21.3
2006	3,921.4	745.0	21.3	500.1	1,115.5	526.6	6,829.9	21.4
2007	3,512.0	631.8	27.4	591.8	1,090.7	589.3	6,443.0	21.3
2008	3,070.8	537.4	31.2	463.8	1,043.6	568.6	5,715.4	20.9
2009	2,617.8	453.9	34.0	162.9	1,024.9	575.0	4,868.5	20.0
2010	2,218.7	382.8	39.6	219.0	1,012.4	550.9	4,423.3	19.4
2011	1,902.8	323.0	49.5	157.9	988.0	564.9	3,986.2	18.8
2012	1,617.5	272.3	46.2	157.2	955.2	606.6	3,654.9	18.3
2013	1,368.1	229.5	42.8	162.2	927.6	594.5	3,324.8	17.9
2014	1,157.7	193.5	38.7	155.0	915.3	664.6	3,124.8	17.6
2015	978.4	163.1	37.3	108.6	906.1	692.8	2,886.3	17.4
2016	832.4	137.7	37.4	138.8	878.5	779.1	2,803.9	17.6
2017	710.1	124.5	38.8	135.7	854.7	870.3	2,734.0	17.5
2018	603.2	119.4	43.9	166.0	837.3	983.9	2,753.6	18.1
2019	524.1	131.7	46.7	221.8	788.3	990.6	2,703.2	18.4

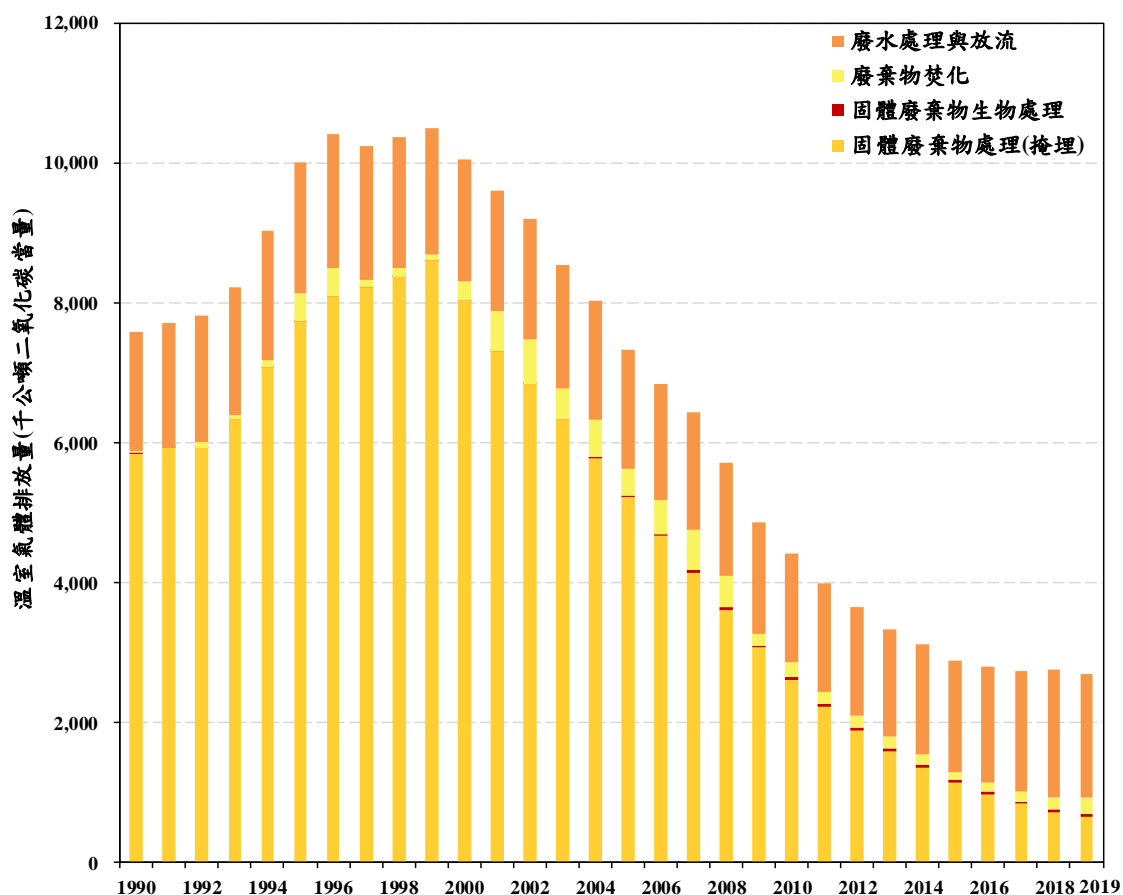


圖 7.1.1 臺灣 1990 年至 2019 年廢棄物部門各類排放源溫室氣體排放量趨勢

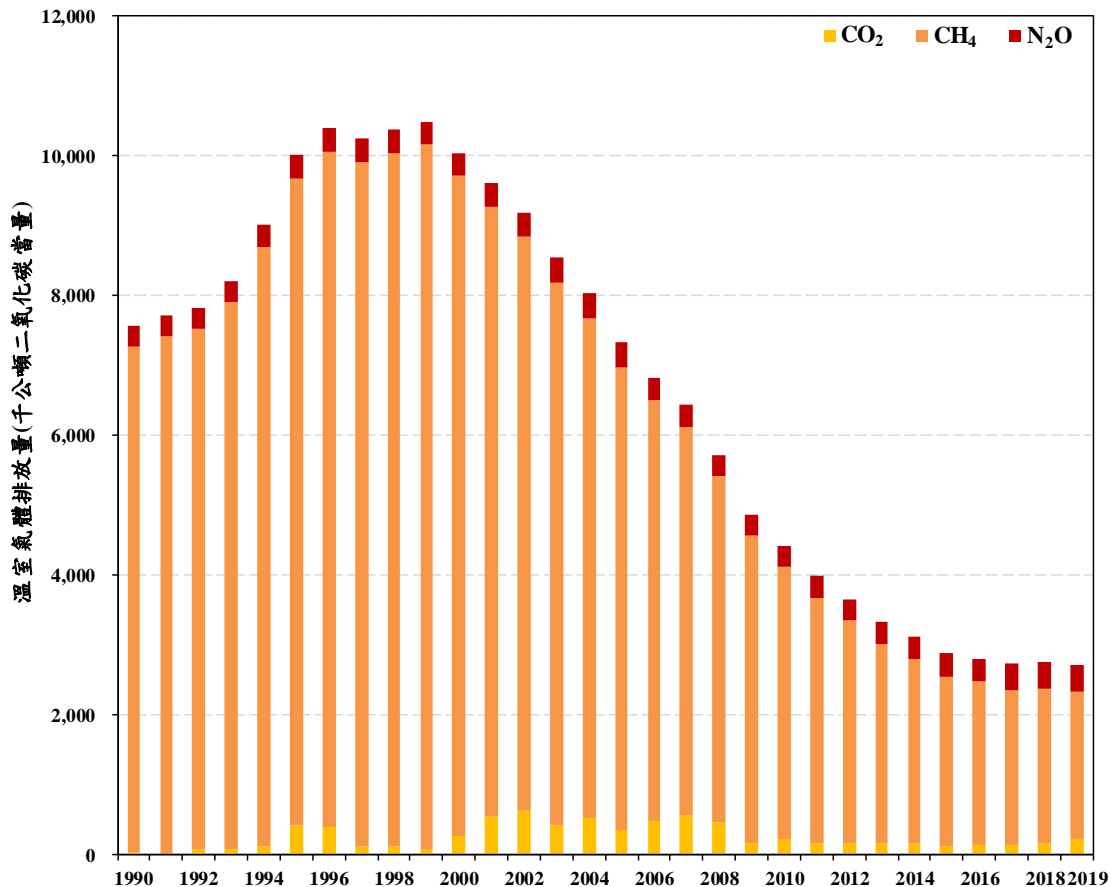


圖 7.1.2 臺灣 1990 年至 2019 年廢棄物部門各類溫室氣體排放量趨勢

表 7.1.4 臺灣 2019 年廢棄物部門溫室氣體排放量不確定性

IPCC 分類		溫室氣體	排放量 (千公噸二氧化碳當量)	不確定性 (%)
5.A.固廢處理	5.A.1 妥善掩埋	甲烷	524.06	31.94
	5.A.2 未妥善掩埋	甲烷	119.39	39.05
5.B.生物處理	5.B.1 堆肥	甲烷	24.64	22.36
		氧化亞氮	22.03	22.36
5.C.焚化	5.C.1 焚化處理	二氧化碳	213.85	89.58
		氧化亞氮	7.99	22.36
5.D.廢水處理	5.D.1 生活污水	甲烷	480.50	40.63
		氧化亞氮	307.80	30.82
	5.D.2 事業廢水	甲烷	940.85	38.73
		氧化亞氮	49.77	24.49
廢棄物部門			2,703.2	18.40

7.2 固體廢棄物處理(5.A)

依據 IPCC 定義，廢棄物掩埋場可分為「有管理」、「無管理」及「其他」三類。我國的衛生掩埋場屬於「有管理、妥善管理」之掩埋場；而一般掩埋場則屬於「未妥善管理」之掩埋場，可包含一般掩埋、堆置及其他之陸上垃圾處理場。此外，IPCC 定義「其他」為其他廢棄物掩埋場，我國並無符合此定義之廢棄物掩埋場，故無此部分排放。以下分別就 5.A.1「妥善管理之廢棄物掩埋場」及 5.A.2「未妥善管理之廢棄物掩埋場」的溫室氣體排放分述其內容。

7.2.1 妥善管理之廢棄物掩埋場 (5.A.1)

1. 排放源及匯分類的描述

妥善管理之廢棄物掩埋場必須具備受控制的廢棄物放置地點且包含以下其中一種：覆蓋材料、機械壓實、或廢棄物整平等措施。

妥善管理之廢棄物掩埋場可能產生的溫室氣體包括二氧化碳(CO₂)、氧化亞氮(N₂O)及甲烷(CH₄)。2006 IPCC 指南說明二氧化碳(CO₂)排放為生物自然產生，且氧化亞氮(N₂O)在此排放源排放量微乎其微，故不將此二種溫室氣體納入計算，而僅計算掩埋所產生之甲烷(CH₄)排放。

2. 方法論議題

(1). 計算方法

根據 2006 IPCC 指南統計方法，掩埋場甲烷排氣量應採用一階衰減法計算，並須延長 50 年統計年限。

指南之計算表單建議回溯至 1950 年來進行統計分析，由於臺灣並未統計 1990 年前之掩埋量資料，因此根據 IPCC 統計方法說明，可依人口量與垃圾量之比例換算。有關計算順序說明如下：

- A. 依據 1990 年之人口量與掩埋量回推至 1950 年之掩埋量，皆以每年 1% 成長率回推，並以 1990 年之垃圾組成之成分做為 1950 年至 1990 年之垃圾組成。
- B. 依據一階衰減法計算 1950 年至 1990 年之累積可分解有機碳含量(比例) (degradable organic carbon, DOC)。
- C. 以 1990 年計算累積 DOC 結果，做為 1990 年後之累積 DOC 計算基準，再依據中華民國環境保護統計年報實際垃圾量與組成，根據一階衰減法計算 1990 年至 2019 年甲烷排放量。

廢棄物掩埋產生甲烷的計算公式，如公式 7.2.1.1 所示，主要定義了每年「可分解的 DOC 量(DDOC_m)」參數，此參數則以一階衰減法估算，詳如公式 7.2.1.2 所示，在估算採用 DDOC_m 時，2006 IPCC 指南表示至少需計算 50 年的處置資料，該時限為大部分通用處置作法和條件提供了一個可接受的精確結果，如果選擇了更短的時限，則應當證明沒有明顯低估排放。

公式 7.2.1.1 :

$$\text{甲烷排放量(Gg/yr)} = (\text{DDOCm decomp}_T \times F \times 16/12 - R) \times (1 - \text{OX})$$

DDOCm decomp_T = 第 T 年分解之 DDOCm[Gg/yr]

F : 掩埋場產氣中甲烷之比例(預設為 0.5、體積比)

16/12 : 分子量比例[CH₄/C]

R : 甲烷回收量[Gg/yr]

OX : 氧化係數(預設值為 0)

DDOCm decomp_T : 垃圾可分解 DOC 量[Gg/yr]

$$\text{DDOCm decomp}_T = W \times \text{MCF} \times \text{DOC} \times \text{DOC}_F$$

W : 廢棄物掩埋量(mass of waste deposited) [Gg/yr]

MCF : 甲烷修正係數(CH₄ correction factor for aerobic decomposition)

DOC : 可分解有機碳含量 (degradable organic carbon)

DOC_F : DOC 可被分解之比例 (fraction of DOC that can decompose)

公式 7.2.1.2 :

$$\text{DDOCma}_T = \text{DDOCmd}_T + (\text{DDOCma}_{T-1} \times e^{-k})$$

$$\text{DDOCm decomp}_T = \text{DDOCma}_{T-1} \times (1 - e^{-k})$$

T : 年份

DDOCma_T : 第 T 年末累積之 DDOCm[Gg/yr]

DDOCma_{T-1} : 第 (T-1) 年末累積之 DDOCm[Gg/yr]

DDOCmd_T = 第 T 當年沉積之 DDOCm[Gg/yr]

DDOCm decomp_T = 第 T 年分解之 DDOCm[Gg/yr]

k = 反應常數

$$k = \frac{\left(\frac{(\sum \text{各成分加權百分比} \times \text{該年度垃圾成分占比}) \times \text{處置DOC量} + (t-1) \text{年}k \text{值} \times \text{累積DOC量}}{(\text{處置DOC量} + \text{累積DOC量})} \right)}{(\text{處置DOC量} + \text{累積DOC量})}$$

t = 計算該年[yr]

(2). 排放係數

公式 7.2.1.1 與公式 7.2.1.2 的各項計算參數說明如下：

A. F : 掩埋場產生的氣體中甲烷之比例 (Fraction of methane in generated landfill gas)

大多數掩埋場沼氣中甲烷的比例接近 50%，2006 IPCC 指南建議值為 0.5。根據國內山豬窟、福德坑、文山、西青埔四處沼氣發電掩埋場，其歷年沼氣組成調查分析結果，1999 年以前採用 IPCC 建議值 0.5，2000 年以後採用本土係數調查結果 0.471。

B. R : 甲烷回收量 (Methane recovery)

本參數依據國內各掩埋場甲烷(CH₄)實際回收量進行計算。係參照歷年一般廢棄物掩埋場降低溫室氣體排放獎勵金暨環境效益統計值中，有關福德坑、山豬窟、

台中文山與高雄西青埔掩埋場之甲烷回收量。

C. MCF：甲烷修正係數 (Methane correction factor)

如表 7.2.1 所示，2006 IPCC 指南列出掩埋場型式與其對應之 MCF，並詳細說明各種掩埋場型式之處理情形，及定義未分類者之 MCF 引用條件。依據 2006 IPCC 指南說明，設定妥善管理廢棄物掩埋場之甲烷修正參數值(MCF)為 1.0。

D. DOC：可分解有機碳含量 (Degradable Organic Carbon)

表 7.2.2 為 2006 IPCC 指南提供之各種廢棄物可分解有機碳含量以及化石碳占總碳之比例，可分解有機碳含量可做為生物處理(如掩埋及堆肥)等計算甲烷排放之參數；化石碳則可做為焚化處理之計算二氧化碳排放之參數。由本國之垃圾組成並引用 IPCC 指南所列各類垃圾的建議 DOC 值(表 7.2.2)，以求得各年度的廢棄物的 DOC 值。

E. DOC_F：可分解有機碳含量中，可被分解之比例 (Fraction of DOC which decomposes)

2006 IPCC 指南預設值為 0.5。

F. OX：氧化係數 (Oxidation factor)

氧化係數反映了廢棄物在土壤或覆蓋層材料裡，被氧化的甲烷(CH₄)量。2006 IPCC 指南建議的氧化係數預設值為 0，但是對於覆蓋且管理完善的掩埋場，則使用氧化

係數值 0.1，如表 7.2.3 所示。由於衛生掩埋規定皆須進行覆土，因此會有部分甲烷(CH₄)氧化成二氧化碳(CO₂)，故採用氧化係數 0.1 計算。

G. k：甲烷生成率 (Methane generation rate)

表 7.2.4 為 2006 IPCC 指南廢棄物之反應常數(k)值，據以計算每年累積之 DDOC 量。選取臺灣為熱帶、潮濕氣候帶之預設參數值計算。反應常數(k)係使用 2006 IPCC 所公布的廢棄物種類(紙張/紡織品係數、木材係數及廚餘)以及廢棄物成分組成計算，其中在 1950 年至 1990 年之反應常數(k)皆依據 1990 年之廢棄物組成加權計算，1990 年至 2019 年則根據每年之廢棄物組成與剩餘未分解的之反應常數進行加權平均計算，求得每年度之反應常數值。

有關廢棄物妥善掩埋場甲烷排放量係依據公式 7.2.1.1 及公式 7.2.1.2 計算，相關參數的採用方法及國內數據來源，如表 7.2.5 所示。

(3).活動數據

依據中華民國環境保護統計年報，彙整 1990 年至 2019 年垃圾清運之「衛生掩埋」數據，包含「紙類」、「纖維布類」、「皮革橡膠類」、「廚餘類」、「木竹稻草落葉類」、「塑膠」、「其他」、「水分」及「化學分析含碳量」百分比數據，如表 7.2.6 所示。

表 7.2.1 IPCC 指南掩埋場型式與對應之甲烷修正係數(MCF)

掩埋場型式	甲烷修正係數預設值
管理-厭氧 ¹	1
管理-半有氧 ²	0.5
未管理-深(深層掩埋≥5公尺)和(或)地下水位高 ³	0.8
未管理-淺(淺層掩埋<5公尺) ⁴	0.4
未分類之掩埋場 ⁵	0.6

1 厭氧管理固體廢棄物處置場所：這些必須已控制廢棄物放置(即，將廢棄物指定到特定處置區域，一定程度的淨化控制和一定程度的火災控制)，並至少要包括如下其中一個：(i)覆蓋材料；(ii)機械壓實；或(iii)廢棄物平整。

2 半有氧管理固體廢棄物處置場所：這些必須已控制廢棄物放置，並包括如下所有將空氣引入廢棄物層的以下結構：(i)可滲透覆蓋材料；(ii)濾液排放系統；(iii)控制貯水量；和(iv)氣體通風系統。

3 未管理固體廢棄物處置場所-深和/或地下水位高，所有不符合管理 SWDS 標準的 SWDS，其深度大於或等於 5 米和/或高地下水位近似地平面。後種情形相當於廢棄物充填內陸水域，如池塘、河流或濕地。

4 未管理淺固體廢棄物處置場所：所有不符合 SWDS 管理標準的 SWDS，其深度不足 5 米。

5 未歸類固體廢棄物處置場所：只有當各國不能將其 SWDS 歸類為上述四種類別的管理和未管理 SWDS 時，才可使用此類別的 MCF。

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste, P.3-14, table 3.1。

表 7.2.2 IPCC 指南廢棄物之可分解有機碳(DOC)

MSW 成分	乾物質含量占濕重的%	DOC 含量占濕廢棄物的%		DOC 含量占乾廢棄物的%		總碳含量占乾重的%		化石碳比例占總碳的%	
	預設值	預設值	範圍	預設值	範圍	預設值	範圍	預設值	範圍
紙張/紙板	90	40	36-45	44	40-50	46	42-50	1	0-5
紡織品	80	24	20-40	30	25-50	50	25-50	20	0-50
廚餘	40	15	8-20	38	20-50	38	20-50	-	-
木材	85	43	39-46	50	46-54	50	46-54	-	-
庭園和公園廢棄物	40	20	18-22	49	45-55	49	45-55	0	0
尿布	40	24	18-32	60	44-80	70	54-90	10	10
橡膠和皮革	84	(39) ¹	(39) ¹	(47) ¹	(47) ¹	67	67	20	20
塑膠	100	-	-	-	-	75	67-85	100	95-100
金屬	100	-	-	-	-	NA	NA	NA	NA
玻璃	100	-	-	-	-	NA	NA	NA	NA
其他，惰性廢棄物	90	-	-	-	-	3	0-5	100	50-100

備註：()¹表示橡膠和皮革在掩埋場厭氧條件下可能不會降解。

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste, P.2-14, table 2.4。

表 7.2.3 IPCC 指南掩埋場之氧化係數

掩埋場型式	氧化係數(OX)預設值
管理 ¹ 、未管理和未分類掩埋場	0
覆蓋有甲烷氧化材料 ² 的管理掩埋場	0.1

1 有管理但未覆蓋通風材料。
2 例如土壤、堆肥。

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste, P.3-15, table 3.2。

表 7.2.4 IPCC 指南掩埋場甲烷生成率(k)值

廢棄物類型		氣候帶							
		北溫帶(MAT ≤ 20°C)				熱帶(MAT > 20°C)			
		乾 (MAP/PET < 1)		濕 (MAP/PET > 1)		乾 (MAP < 1000mm)		濕潤和濕 (MAP ≥ 1000mm)	
		預設值	範圍	預設值	範圍	預設值	範圍	預設值	範圍
緩慢分解 的廢棄物	紙張/紡織品 廢棄物	0.04	0.03-0.05	0.06	0.05-0.07	0.045	0.04-0.06	0.07	0.06-0.085
	木材/ 秸稈廢棄物	0.02	0.01-0.03	0.03	0.02-0.04	0.025	0.02-0.04	0.035	0.03-0.05
輕度降解 的廢棄物	其他 (非食品) 有機易腐/ 庭園和公園 廢棄物	0.05	0.04-0.06	0.1	0.06-0.1	0.065	0.05-0.08	0.17	0.15-0.2
快速降解 的廢棄物	廚餘/ 污水污泥	0.06	0.05-0.08	0.185	0.1-0.2	0.085	0.07-0.1	0.4	0.17-0.7
大型廢棄物		0.05	0.04-0.06	0.09	0.08-0.1	0.065	0.05-0.08	0.17	0.15-0.2

備註：MAT – 年均溫度；MAP – 年均降水量；PET – 可能蒸發量。

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste, P.3-17, table 3.3。

表 7.2.5 IPCC 指南掩埋處理甲烷排放計算一覽表

參數	2006 IPCC 指南 計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
累積 DOC 量 (W×DOC)	<ul style="list-style-type: none"> 以一階衰減法估算累積量並至少追溯 50 年 	<ul style="list-style-type: none"> 依據人口數回推掩埋廢棄物量 1950 年至 1990 年各年之 DOC 含量，依據 1990 年之分析結果計算 	<ul style="list-style-type: none"> 人口數取內政部統計資料 中華民國環境保護年報
反應常數(k)	<ul style="list-style-type: none"> 公布各種氣候與不同廢棄物類型之反應常數值 	<ul style="list-style-type: none"> 依據 IPCC 提供之反應常數值計算。 根據氣象局資料，全國 1971 年至 2009 年平均溫度為 21°C，年平均降水量大於 1,000mm，引用之反應常數 <ul style="list-style-type: none"> 紙張/紡織品係數 0.07 木材係數 0.035 廚餘係數 0.4 根據每年之成分組成加權計算反應常數值 	<ul style="list-style-type: none"> 中華民國環境保護年報 IPCC 預設值
甲烷修正參數 (MCF)	<ul style="list-style-type: none"> 分為妥善管理、妥善管理(半有氧掩埋)、未妥善管理(掩埋深度≥5 公尺)、未妥善管理(掩埋深度<5 公尺)、未分類掩埋場等四類參數 	<ul style="list-style-type: none"> 依據 IPCC 針對不同型態之固態廢棄物掩埋場所提供之甲烷修正係數 衛生掩埋採妥善管理 1.0 及一般掩埋採未分類 0.5 計算 	<ul style="list-style-type: none"> IPCC 預設值
可分解有機碳 含量(DOC)	<ul style="list-style-type: none"> 依據不同之廢棄物可分解有機碳含量的預設值計算 <ul style="list-style-type: none"> 紙類預設值 40% 紡織品類預設值 24% 花(公)園廢棄物預設值 20% 廚餘類預設值 15% 木竹稻草類預設值 43% 	<ul style="list-style-type: none"> 依據臺灣一般垃圾垃圾性質分析含碳量計算與我國研究分解有機碳含量值計算 由於我國垃圾性質分析含碳量含有有機碳與化石碳成分，因此取垃圾性質分析含碳量計算與國內研究資料兩者較低者做為計算值 	<ul style="list-style-type: none"> 中華民國環境保護年報 國內研究資料
轉換成沼氣的 比例(DOC _F)	<ul style="list-style-type: none"> 預設值 0.5 	<ul style="list-style-type: none"> 使用以 IPCC 預設值 0.5 計算 	<ul style="list-style-type: none"> IPCC 預設值
掩埋場產氣中 甲烷比例(F)	<ul style="list-style-type: none"> 預設值 0.5 	<ul style="list-style-type: none"> 1999 年以前採用 IPCC 預設值 0.5 2000 年以後採用本土調查結果 0.471 	<ul style="list-style-type: none"> IPCC 預設值 本土調查值
甲烷回收量(R)	<ul style="list-style-type: none"> 各國自行調查結果 	<ul style="list-style-type: none"> 依據國內福德坑、山豬窟、台中文山與高雄西青埔掩埋場之發電量回推回收量 	<ul style="list-style-type: none"> 國內掩埋場實際發電量
氧化係數(OX)	<ul style="list-style-type: none"> 針對蓋有甲烷氧化材料者氧化係數值為 0.1 其餘為 0 預設值 0 	<ul style="list-style-type: none"> 國內衛生掩埋場皆有進行土壤覆蓋作業，採用 IPCC 公布值 0.1 計算，一般掩埋場則以 0 計算 	<ul style="list-style-type: none"> IPCC 公布值

表 7.2.6 臺灣 1990 年至 2019 年妥善管理掩埋場活動數據統計

年份	衛生掩埋 (千公噸)	廢棄物組成(%)								
		紙類	纖維布類	皮革橡膠類	廚餘類	木竹 稻草 落葉類	塑膠	其他	水分	可分解 有機碳 (DOC)
1990	3,979.6	29.44	2.72	1.31	9.67	4.66	19.14	2.45	51.97	15.88
1991	4,323.5	22.80	1.82	0.37	11.79	5.09	19.14	2.45	51.97	13.51
1992	5,087.5	24.86	3.97	1.73	25.73	5.06	19.14	2.45	51.97	16.50
1993	5,090.8	27.84	5.13	1.55	23.47	5.79	18.01	1.15	51.06	17.04
1994	5,574.4	29.98	4.81	0.80	23.50	4.69	18.90	4.31	53.21	18.69
1995	4,362.8	32.17	6.21	0.88	17.94	5.82	18.27	3.34	48.14	18.60
1996	4,824.0	30.95	5.05	1.08	18.97	5.89	17.83	4.72	50.60	18.97
1997	5,129.7	29.13	5.80	1.13	24.90	4.86	19.57	2.11	46.03	18.87
1998	5,598.0	32.77	5.27	0.83	18.29	4.81	20.14	4.54	51.06	18.47
1999	5,366.9	35.83	5.20	0.60	21.83	4.89	19.85	1.97	50.76	18.87
2000	3,822.1	26.37	6.06	1.35	27.76	3.36	22.00	0.44	45.02	17.61
2001	2,996.8	26.55	4.81	0.48	27.32	4.06	21.10	5.06	55.80	17.62
2002	2,116.4	30.01	3.65	0.60	23.34	4.43	20.23	8.17	51.24	18.29
2003	1,700.4	32.97	3.78	0.22	27.19	3.88	21.36	3.58	55.69	18.71
2004	1,474.2	31.56	4.90	0.87	29.76	4.91	20.60	0.98	51.19	20.38
2005	1,184.6	38.64	2.38	0.43	38.15	1.93	13.78	0.67	54.03	17.98
2006	851.0	44.30	1.84	0.19	34.57	1.74	14.63	0.36	52.41	20.58
2007	504.9	41.75	3.20	0.51	32.86	1.83	17.13	0.33	51.55	21.44
2008	236.1	44.54	2.63	0.36	30.56	1.99	17.28	0.48	50.94	23.89
2009	185.8	38.87	2.29	0.41	37.42	1.76	16.74	0.44	54.19	22.47
2010	181.8	39.57	2.52	0.51	35.68	1.74	16.57	0.52	52.66	22.53
2011	142.2	38.31	2.04	0.23	39.21	1.39	15.66	0.61	55.06	21.70
2012	102.1	38.85	2.52	0.20	38.33	1.46	15.61	0.49	53.97	22.36
2013	91.4	41.71	2.35	0.36	35.07	1.32	16.57	0.52	54.08	22.26
2014	83.1	39.42	2.34	0.14	37.64	1.31	16.56	0.60	55.17	22.03
2015	91.7	34.69	4.67	0.54	40.39	1.61	15.55	0.50	54.79	21.75
2016	77.9	36.76	3.55	0.63	37.98	1.28	16.61	0.61	52.91	21.80
2017	70.4	36.12	4.63	0.43	38.14	1.55	16.00	0.64	52.60	21.95
2018	87.3	35.64	4.93	0.84	34.48	3.27	17.79	0.57	50.77	22.02
2019	86.4	38.83	5.10	0.55	31.12	2.42	18.67	0.43	48.49	22.46

備註：廢棄物組成皆為一般垃圾組成。

資料來源：行政院環境保護署，中華民國環境保護統計年報，2020 年。

(4).排放量

妥善管理廢棄物掩埋場產生之甲烷排放量係依據公式 7.2.1.1 及公式 7.2.1.2 計算，如表 7.2.7 所示。由於 1997 年至 1999 年推動資源回收、廢棄物零掩埋、垃圾焚化處理政策，故 2000 年起垃圾掩埋處量大幅下降。2019 年相較 1990 年衛生掩埋量減少 97.8%，排放量也從 1990 年的 4,247.5 千公噸二氧化碳當量減少為 2019 年的 524.1 千公噸二氧化碳當量(減少 87.7%)，2019 年衛生掩埋排放也相較 2018 年減少為 79.1 千公噸二氧化碳當量(減少 13.1%)。

(5).完整性

1990 年至 2019 年未妥善管理掩埋場甲烷排放之統計方法一致，其中，有關活動數據之廢棄物組成成份，1992 年至 2019 年採用中華民國環境保護統計年報，缺少的 1990 年及 1991 年，則採用政院環境保護署 2009 年「國家通訊及溫室氣體排放清冊建置應用」報告，由於 IPCC 指南須回溯過去 40 年。

3.不確定性與時間序列的一致性

(1).不確定性

依據 IPCC 優良做法指南，評估整體排放量之不確定性可採用誤差傳播法及蒙地卡羅分析兩種方法。誤差傳播法不似蒙地卡羅法，雖已假設相關參數都為常態分布型態，但因無法得知常態機率密度函數分布值，因此必須先確認(或合理假設)各參數

不確定性，再依以下公式計算各來源排放量不確定性及合併計算整體部門排放量不確定性。

A.依不確定量相乘規則計算公式

溫室氣體來源排放量不確定性，為該來源排放係數之不確定性平方與活動數據不確定性平方之總和開根號，如公式 7.2.1.3 所示。

公式 7.2.1.3：

$$U = \sqrt{U_{EF}^2 + U_A^2}$$

U：排放源的不確定性[%]

U_{EF} ：排放係數的不確定性[%]

U_A ：活動係數的不確定性[%]

B.依不確定量相加規則計算公式

計算各排放源之不確定性加總方式，如公式 7.2.1.4 所示。其方法為各來源溫室氣體排放量之不確定性與排放量相乘後平方之總和再開根號，除以各來源溫室氣體排放量之總和。

公式 7.2.1.4：

$$U_{Total} = \sqrt{\frac{(U_1 \times E_1)^2 + \dots + (U_n \times E_n)^2}{E_1 + E_2 + \dots + E_n}}$$

U_{Total} ：部門總排放量不確定性[%]

U_i ：各來源溫室氣體排放量不確定性[%]

E_i ：各來源溫室氣體排放量[Gg]

在評估廢棄物部門不確定性上，

藉由上述不確定性之計算公式，估算各排放源排放量的不確定性數值，及部門總排放量合併不確定性數值。並依前述計算參數(活動數據、排放係數)、排放量之機率密度函數分布，取其 95%信賴區，依 95%信賴區間上下限計算不確定數值。

IPCC 指南提供掩埋場甲烷估算各參數引用之不確定性範圍，如表 7.2.8 所示，而表 7.2.9 為依據表 7.2.8 所提供之不確定參數計算掩埋場甲烷排放量計算公式中之各項活動資料與排放係數不確定性結果，依前述不確定量相乘、相加規則計算公式，可得妥善掩埋甲烷排放活動強度、排放係數及排放量之不確定性。妥善處理分別為 26.46%、22.91% 及 31.94%。

(2).時間序列的一致性

妥善掩埋場甲烷排放估算，係採用 IPCC 2006 指南建議之「一階衰減法」公式進行計算。1990 年至 2019 年估算方法一致。活動數據蒐集方面：依據中華民國環境保護統計年報，完整彙整 1990 年至 2019 年垃圾清運之「衛生掩埋」數據，及 1992 年至 2019 年可燃分之「紙類」、「纖維布類」、「皮革橡膠類」、「廚餘類」、「木竹稻草落葉類」、「塑膠」、「其他」及「化學分析含碳量」百分比數據，其中缺少 1990 年與 1991 年之數據，則採用政院環境保護署 2009 年「國家通訊及溫室氣體排放清冊建置應用」報告。

4.特定排放源的 QA/QC 及查證

利用國家妥善管理廢棄物掩埋場活動數據為基礎，以 IPCC 建議排放係數，並參考 2000 年 IPCC 優良作法指南，計算溫室氣體排放量。

針對本範疇之計算方式、引用參數及計算結果，業已於 2015 年 5 月、10 月及 2016 年 7 月召開專家會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性進行確認。另參考 2000 年 IPCC 優良作法指南中「方法 1 一般清冊品質控制程序」，如表 7.2.10 所示，檢核數據與引用數據來源內容是否一致。

5.特定排放源的重新計算

本年度配合清冊編撰一致性，針對 1990-2019 年之活動數據與轉換係數進行小數位數修正，對歷年總排放量影響為 0.01~0.04%。

6.特定排放源的改善計畫

建議未來調查各掩埋場實際之活動數量及垃圾成份，將可依實際數量與廢棄物組成比例，計算各掩埋場之溫室氣體排放。

表 7.2.7 臺灣 1990 年至 2019 年妥善管理掩埋場甲烷排放量

年份	衛生掩埋 (千公噸)	甲烷修正係數 (MCF)	可分解有機碳 (DOC)	處置 DOC 量 (千公噸)	累積 DOC 量 (千公噸)	分解 DOC 量 (千公噸)	反應常數 (K)	有機物 分解 比例 (DOC _F)	甲烷 生成 比例 (F)	轉換 係數 16/12	甲烷 回收 量 (R)	氧化 係數 (OX)	甲烷 排放量
1990	3,979.6	1.0	15.88	632.1	4,546.2	566.3	0.135	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	4,247.5
1991	4,323.5	1.0	13.51	584.3	4,555.8	574.6	0.135	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	4,309.8
1992	5,087.5	1.0	16.50	839.4	4,819.4	575.9	0.138	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	4,318.9
1993	5,090.8	1.0	17.04	867.5	5,066.1	620.8	0.149	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	4,656.0
1994	5,574.4	1.0	18.69	1,041.7	5,408.7	699.2	0.155	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	5,243.8
1995	4,362.8	1.0	18.60	811.5	5,444.7	775.5	0.161	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	5,815.9
1996	4,824.0	1.0	18.97	915.1	5,552.3	807.5	0.161	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	6,056.2
1997	5,129.7	1.0	18.87	967.9	5,695.9	824.4	0.162	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	6,182.6
1998	5,598.0	1.0	18.47	1,033.9	5,878.2	851.7	0.167	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	6,387.5
1999	5,366.9	1.0	18.87	1,012.7	5,988.5	902.4	0.167	0.5	0.5	1.333	78.2	0.1	6,697.8
2000	3,822.1	1.0	17.61	673.1	5,742.8	918.8	0.168	0.5	0.471	1.333	137.1	0.1	6,368.1
2001	3,015.1	1.0	17.62	531.2	5,387.8	886.2	0.172	0.5	0.471	1.333	504.7	0.1	5,806.9
2002	2,130.2	1.0	18.29	389.5	4,924.6	852.7	0.176	0.5	0.471	1.333	605.4	0.1	5,479.7
2003	1,712.9	1.0	18.71	320.5	4,451.1	794.0	0.177	0.5	0.471	1.333	526.6	0.1	5,135.4
2004	1,474.2	1.0	20.38	300.4	4,029.2	722.3	0.179	0.5	0.471	1.333	386.9	0.1	4,754.8
2005	1,184.6	1.0	17.98	213.0	3,583.1	659.1	0.180	0.5	0.471	1.333	334.7	0.1	4,355.2
2006	851.0	1.0	20.58	175.1	3,166.5	591.7	0.183	0.5	0.471	1.333	288.0	0.1	3,921.4
2007	504.9	1.0	21.44	108.3	2,745.3	529.4	0.184	0.5	0.471	1.333	253.8	0.1	3,512.0
2008	236.1	1.0	23.89	56.4	2,339.7	462.0	0.185	0.5	0.471	1.333	214.4	0.1	3,070.8
2009	185.8	1.0	22.47	41.7	1,986.2	395.3	0.185	0.5	0.471	1.333	194.2	0.1	2,617.8
2010	181.8	1.0	22.53	41.0	1,691.2	336.0	0.186	0.5	0.471	1.333	172.1	0.1	2,218.7
2011	142.2	1.0	21.70	30.8	1,434.9	287.2	0.187	0.5	0.471	1.333	139.9	0.1	1,902.8
2012	102.1	1.0	22.36	22.8	1,213.2	244.5	0.188	0.5	0.471	1.333	122.2	0.1	1,617.5
2013	91.4	1.0	22.26	20.3	1,025.9	207.6	0.188	0.5	0.471	1.333	109.8	0.1	1,368.1
2014	83.1	1.0	22.03	18.3	868.1	176.2	0.189	0.5	0.471	1.333	96.6	0.1	1,157.7
2015	91.7	1.0	21.75	19.9	738.6	149.4	0.190	0.5	0.471	1.333	85.8	0.1	978.4
2016	77.9	1.0	21.80	17.0	628.0	127.6	0.191	0.5	0.471	1.333	76.5	0.1	832.4
2017	70.4	1.0	21.95	15.4	534.4	109.1	0.192	0.5	0.471	1.333	67.0	0.1	710.1
2018	87.3	1.0	22.02	19.2	460.4	93.2	0.193	0.5	0.471	1.333	61.6	0.1	603.2
2019	86.4	1.0	22.46	19.4	399.1	80.7	0.194	0.5	0.471	1.333	51.0	0.1	524.1

備註：1. NO(未發生)，代表臺灣該分類項目無生產或使用。

2. 甲烷回收量、甲烷排放量單位為千公噸二氧化碳當量。

表 7.2.8 IPCC 指南掩埋場甲烷排放估算之不確定性

活動資料和各排放係數	不確定性範圍
固體廢棄物總量(MSWT)	特定國家的： 30%：定期收集廢棄物資料 ±10%：具有高品質資料(如在所有掩埋場和其他處理設施處進行稱重) 200%：低品質資料
總廢棄物送至掩埋場比例(MSWF)	±10%：具有高品質資料(如在所有掩埋場和其他處理設施處進行稱重) ±30%：收集有關掩埋場處置資料 200%：低品質資料
廢棄物組成的不確定性	±10%：具有高品質資料(如對代表性掩埋場進行定期取樣) ±30%：是具有基於研究(包括週期性取樣) 200%：低品質資料
可降解有機碳(DOC)	±20%：使用 IPCC 預設值 特定國家值： ±10%：基於代表性的取樣和分析
經過分解的可降解有機碳的比例(DOC _F)	±20%：使用 IPCC 預設值 特定國家值： ±10%：基於長期以來試驗性資料
甲烷修正係數(MCF) =1 =0.8 =0.5 =0.4 =0.6	使用 IPCC 預設值 -10%,+0% ±20% ±20% ±30% -50%,+60%
產生的垃圾掩埋氣體中的甲烷比例(F)=0.5	±5%：使用 IPCC 預設值
甲烷回收量(R)	不確定性範圍取決於計量回收、燃燒或利用的甲烷量。 ±10%：如果現地量測。 ±50%：如果未現地量測。
氧化係數(OX)	當 OX 使用非零值時，則 OX 須納入不確定性分析，應當說明非零值之各不確定性。
半衰期(t _{1/2})	IPCC 提供各種廢棄物的半衰期範圍值，使用者應納入不確定說明。

資料來源：IPCC 2006，2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006。

表 7.2.9 臺灣 2019 年廢棄物部門掩埋甲烷排放之不確定性

活動資料和排放係數	不確定性 (%)		說明
	妥善掩埋	未妥善掩埋	
城市固體廢棄物總量(MSWT)	10	10	具有高品質資料，引用 IPCC 設定值 10%。
廢棄物組成	10	10	根據 IPCC 具有基於研究不確定設定值 30%。國內數據掌握十分清楚，不確定性 10%計。
可降解有機碳(DOC)	20	20	以 IPCC 預設值計算可降解有機碳，不確定性 IPCC 預設值 20%。
甲烷修正係數(MCF)	0	20	採 IPCC 預設係數(衛生 1.0，一般 0.5)，及不確定性建議(衛生 0%，一般 20%)。
經過分解的可降解有機碳的比例(DOC _F)	20	20	DOC _F 使用 IPCC 預設值 0.5，不確定性引用 IPCC 預設值 20%。
產生的垃圾掩埋氣體中的甲烷比例(F)	5	5	甲烷比例使用 IPCC 預設值 0.5 及本土係數，不確定性引用 IPCC 預設值 5%。
甲烷回收量(R)	20	N/A	以實際發電量換算甲烷回收量，IPCC 建議現地量測值 10%，設定 20%。一般掩埋為 0。
氧化係數(OX)	10	N/A	設定衛生掩埋場以 10%計算；一般掩埋場以 0%計算。
半衰期(t _{1/2})	10	10	依 IPCC 係數及本土組成加權計算，設定 10%。
活動強度不確定性計算結果	26.46	26.46	
排放係數不確定性計算結果	22.91	28.72	
排放量不確定性計算結果	31.94	39.05	

表 7.2.10 妥善管理掩埋場一般清單品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	<ul style="list-style-type: none"> ● 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料(垃圾衛生掩埋、垃圾組成)和排放因數(IPCC 建議值)的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認各欄位單位標記的準確性 ● 確認整個計算過程中單位使用的準確性 ● 確認轉換因數的準確性 ● 無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認引用適用多種排放源類別的活動水準資料常數與參數之一致性與複檢結果
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 ● 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查提供不確定性估算之專家判斷值與其獨立資格 ● 檢查所記錄的資格假定和專家判斷值，以檢查不確定性計算的完整性與準確性 ● 目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
展開內部檔的審評	<ul style="list-style-type: none"> ● 詳細登錄資料來源引用與版本差異 ● 檢查歸檔並存儲的清單資料、佐證資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 ● 確認於整個時間序列所計算之運算法則/方法一致性 ● 無時間序列一致性缺漏情事
展開完全檢查	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基準年到當前清單時段內所有年份排放源別
比較現有估算和原始估算	<ul style="list-style-type: none"> ● 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 ● 調整 2001 年至 2003 年衛生掩埋量，並更新 2002 年至 2019 年妥善掩埋場之估算排放量。

7.2.2 無管理之廢棄物掩埋場(5.A.2)

1. 排放源及匯分類的描述

未妥善管理之廢棄物掩埋場即為不符合妥善管理之廢棄物掩埋場條件之廢棄物掩埋場。其掩埋可能產生的溫室氣體包括二氧化碳(CO₂)、氧化亞氮(N₂O)及甲烷(CH₄)，由於大部分的二氧化碳(CO₂)排放為生物自然產生，且氧化亞氮(N₂O)在此排放源排放量微乎其微，因此不將此二種溫室氣體納入計算，而僅計算掩埋所產生之甲烷(CH₄)排放。

2. 方法論議題

(1). 計算方法

根據 2006 IPCC 指南統計方法，廢棄物掩埋產生甲烷排氣量應該以一階衰減法計算，並須延長 50 年統計年限，根據指南所提供之計算表單，其建議回溯至 1950 年來進行統計分析，由於缺少 1990 年前之掩埋資料，依 IPCC 統計方法說明，利用人口量與垃圾量之比例換算。有關計算順序說明如下：

- A. 依據 1990 年之人口量與掩埋量回推至 1950 年之掩埋量並以 1990 年之垃圾組成之成分做為 1950 年至 1989 年之垃圾組成。
- B. 依據一階衰減法計算 1950 年至 1989 年之累積可分解有機碳含量(累積 DOC)。
- C. 以 1989 年計算累積 DOC 結果，做為 1900 年前之累積 DOC 計算基準，再依據中華民國環境保護統計年報實際垃圾量與組

成，根據一階衰減法計算 1990 年至 2019 年甲烷排放量。

廢棄物掩埋產生甲烷的計算公式，如公式 7.2.1.1 所示，主要定義了每年「可分解的 DOC 量(DDOC_m)」參數，此參數則以一階衰減法估算，詳如公式 7.2.1.2 所示，在估算採用 DDOC_m 時，2006 IPCC 指南表示至少需計算 50 年的處置資料，該時限為大部分通用處置作法和條件提供了一個可接受的精確結果，若選擇了更短的時限，則應當證明沒有明顯低估排放。

(2). 排放係數

有關公式 7.2.1.1 與公式 7.2.1.2 的各項參數，說明如下：

A. F：掩埋場產氣中甲烷之比例 (Fraction of methane in generated landfill gas)

大多數掩埋場沼氣中甲烷的比例接近 50%，2006 IPCC 指南建議值為 0.5。1999 年以前採用 IPCC 建議值 0.5，2000 年以後根據國內山豬窟、福德坑、文山、西青埔四處沼氣發電掩埋場，其歷年沼氣組成分析結果調查結果，採用本土調查係數 0.471。

B. R：甲烷回收量 (Methane recovery)

我國未妥善掩埋場之沼氣回收量數據並未統計，故可視為 0。

C. MCF：甲烷修正係數 (Methane correction factor)

表 7.2.1 列出 2006 IPCC 指南掩埋場型式與對應之甲烷修正係數，主要詳細說明各種掩埋場型式之處理情形，以及定義未分類者之 MCF 引用條件。依據 2006 IPCC 指南說明，除了非屬於其表格所列之處理方式才可以引用未分類掩埋場，因此修正一般掩埋之甲烷修正參數值。故設定未妥善管理之廢棄物掩埋場之甲烷修正參數值(MCF) 為 0.5。

D. DOC：可分解有機碳含量 (Degradable Organic Carbon)

表 7.2.2 為 2006 IPCC 指南提供之各種廢棄物可分解有機碳含量以及化石碳占總碳之比例。可分解有機碳含量可做為生物處理(如掩埋、堆肥)等計算甲烷排放之參數；化石碳則可做為焚化處理之計算二氧化碳排放之參數。由本國之垃圾組成並引用表 7.2.2 所列各類垃圾的建議 DOC 值，以求得各年度廢棄物的 DOC 值。

E. DOC_F ：DOC 可被分解之比例 (Fraction of DOC which decomposes)

2006 IPCC 指南預設值為 0.5。

F. OX：氧化係數 (Oxidation factor)

氧化係數反映了廢棄物在土壤或覆蓋層材料裡，被氧化的甲烷量。2006 IPCC 指南建議的氧化係

數預設值為 0，但是對於覆蓋且管理完善的掩埋場，則使用氧化係數值 0.1，如表 7.2.3 所示。由於一般掩埋場管理相較不完善，覆土亦不完整，甲烷易直接逸散，因此氧化係數以 0 計算。

G. k：甲烷生成率 (Methane generation rate)

表 7.2.4 為 2006 IPCC 指南廢棄物之反應常數(k)值，據以計算每年累積之 DDOC 量。選取臺灣為熱帶、潮濕氣候帶之預設參數值計算。我國一般掩埋場甲烷生成率常數(k)比照妥善管理之廢棄物掩埋場計算方式。

(3).活動數據

依據中華民國環境保護統計年報，彙整 1990 年至 2019 年垃圾清運之「一般掩埋」、「堆置」、「其他」及「期末一般廢棄物暫存量」數據，包含可燃分之「紙類」、「纖維布類」、「皮革橡膠類」、「廚餘類」、「木竹稻草落葉類」、「塑膠」、「其他」、「水分」及「化學分析含碳量」百分比數據，如表 7.2.11 所示。

我國於 2016 年至 2017 年之一般掩埋(列於年報「其他」欄位)之廢棄物處理量激增，主因是部分縣市未設有焚化爐，倘若鄰近縣市焚化爐無法協助焚燒廢棄物，廢棄物則暫時堆置在掩埋場內等待焚燒，導致近年活動數據變動幅度較大。此外，2018 年起一般掩埋廢棄物量改列於年報「期末一般廢棄物暫存量」

欄位，可得知年度產生的垃圾量遠大於處理量，以致年度未妥善管理之垃圾量增加。

(4).排放量

依據 IPCC 估算廢棄物掩埋場甲烷排放之公式(公式 7.2.1.1、公式 7.2.1.2)及中華民國環境保護年報之資訊，未妥善管理之廢棄物掩埋場之類別於 2017 年以前包括「一般掩埋」、「堆置」、「其他」等三項廢棄物類別，2018 年後以「期末暫存量」說明未處理之垃圾量。另由於目前垃圾掩埋沼氣回收處理僅有衛生掩埋場，故未妥善管理之廢棄物掩埋場之甲烷回收量(R)為 0。排放估算結果如表 7.2.12 所示。

行政院環境保護署統計年報數據顯示，從 2000 年起垃圾妥善處理率已超過 90%，2004 年後幾乎皆已達 99% 以上，近年因部分縣市垃圾堆置無法即時清理，導致垃圾妥善處理率降至 2019 年的 96.34%，故未妥善管理掩埋場產生甲烷排放量亦隨著我國近年垃圾妥善處理率下降而增加。

(5).完整性

1990 年至 2019 年未妥善掩埋場甲烷排放之統計方法一致，其中，有關活動數據之廢棄物組成成份，1992 年至 2019 年採用中華民國環境保護統計年報，1990 年及 1991 年則採用行政院環境保護署 2009 年「國家通訊及溫室氣體排放清冊建置應用」報告。

3.不確定性與時間序列的一致性

(1).不確定性

有關廢棄物部門各來源排放量不確定性之評估方法參閱 7.2.1 節不確定性分析。

IPCC 指南提供掩埋場甲烷估算各參數引用之不確定性範圍，如表 7.2.8 所示，而表 7.2.9 為依據表 7.2.8 所提供之不確定參數計算掩埋場甲烷排放量計算公式中之各項活動資料與排放係數不確定性結果，依前述不確定量相乘、相加規則計算公式，可得未妥善掩埋甲烷排放活動強度、排放係數及排放量之不確定性。非妥善處理分別為 26.46%、28.72% 及 39.05%。

(2).時間序列的一致性

未妥善管理掩埋場甲烷排放估算，採用 IPCC 2006 指南建議之「一階衰減法」公式進行計算，依據中華民國環境保護統計年報，完整彙整 1990 年至 2019 年垃圾清運之垃圾清運之「一般掩埋」、「堆置」、「其他」數據，及 1992 年至 2019 年可燃分之「紙類」、「纖維布類」、「皮革橡膠類」、「廚餘類」、「木竹稻草落葉類」、「塑膠」、「其他」及「化學分析含碳量」百分比數據。其中，缺少 1990 年與 1991 年之數據，則引用行政院環境保護署 2009 年「國家通訊及溫室氣體排放清冊建置應用」報告該兩年期數據，以建立各年期排放估算之完整性。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

利用國家妥善管理廢棄物掩埋場活動數據為基礎，以 IPCC 建議排放係數，並參考 2000 年 IPCC 優良作法指南，計算溫室氣體排放量。

針對本範疇之計算方式、引用參數及計算結果，業已於 2015 年 5 月、10 月及 2016 年 7 月召開專家會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性進行確認。另參考 2000 年 IPCC 優良作法指南中「方法 1 一般清單水準品質控制程序」(表 7.2.13)，檢核數據與引用數據來源內容是否一致。

5. 特定排放源的重新計算

本年度配合清冊編撰一致性，針對 1990-2019 年之活動數據與轉換係數進行小數位數修正，對歷年總排放量影響為 0.01~0.04%。

6. 特定排放源的改善計畫

建議未來調查各掩埋場之活動數據與廢棄物成份，將能更完整反應實際數據與組成，進而計算各處理掩埋單位之溫室氣體排放。

7.2.3 未分類之廢棄物處理廠址(5.A.3)

依據行政院環境保護署統計年報針對垃圾處理方式之分類說明，摒除回收資源、事業廢棄物及遷移舊垃圾外，大致以焚化、衛生掩埋、一般處理、堆置、其他、巨大垃圾回收再利用、廚餘回收與資源回收等八類，依據 IPCC 廢棄物部門分類指南，除了資源回收與再利用外，均已包含在其規範內，並已依 IPCC 指南進行估算。因此，無其他陸地廢棄物掩埋處理排放範疇。

表 7.2.11 臺灣 1990 年至 2019 年未妥善管理掩埋場活動數據統計

年份	一般掩埋 (千公噸)	廢棄物組成(%)								
		紙類	纖維布類	皮革橡膠類	廚餘類	木竹 稻草 落葉類	塑膠	其他	水分	可分解 有機碳 (DOC)
1990	2,674.4	29.44	2.72	1.31	9.67	4.66	19.14	2.45	51.97	15.88
1991	2,881.3	22.80	1.82	0.37	11.79	5.09	19.14	2.45	51.97	13.51
1992	2,650.5	24.86	3.97	1.73	25.73	5.06	19.14	2.45	51.97	16.50
1993	2,877.5	27.84	5.13	1.55	23.47	5.79	18.01	1.15	51.06	17.04
1994	2,504.5	29.98	4.81	0.80	23.50	4.69	18.90	4.31	53.21	18.69
1995	3,037.6	32.17	6.21	0.88	17.94	5.82	18.27	3.34	48.14	18.60
1996	2,547.8	30.95	5.05	1.08	18.97	5.89	17.83	4.72	50.60	18.97
1997	2,059.5	29.13	5.80	1.13	24.90	4.86	19.57	2.11	46.03	18.87
1998	1,541.4	32.77	5.27	0.83	18.29	4.81	20.14	4.54	51.06	18.47
1999	1,178.1	35.83	5.20	0.60	21.83	4.89	19.85	1.97	50.76	18.87
2000	823.6	26.37	6.06	1.35	27.76	3.36	22.00	0.44	45.02	17.61
2001	525.1	26.55	4.81	0.48	27.32	4.06	21.10	5.06	55.80	17.62
2002	296.6	30.01	3.65	0.60	23.34	4.43	20.23	8.17	51.24	18.29
2003	141.3	32.97	3.78	0.22	27.19	3.88	21.36	3.58	55.69	18.71
2004	81.0	31.56	4.90	0.87	29.76	4.91	20.60	0.98	51.19	20.38
2005	40.3	38.64	2.38	0.43	38.15	1.93	13.78	0.67	54.03	17.98
2006	17.7	44.30	1.84	0.19	34.57	1.74	14.63	0.36	52.41	20.58
2007	32.5	41.75	3.20	0.51	32.86	1.83	17.13	0.33	51.55	21.44
2008	0.7	44.54	2.63	0.36	30.56	1.99	17.28	0.48	50.94	23.89
2009	1.3	38.87	2.29	0.41	37.42	1.76	16.74	0.44	54.19	22.47
2010	2.2	39.57	2.52	0.51	35.68	1.74	16.57	0.52	52.66	22.53
2011	0.1	38.31	2.04	0.23	39.21	1.39	15.66	0.61	55.06	21.70
2012	0.1	38.85	2.52	0.20	38.33	1.46	15.61	0.49	53.97	22.36
2013	0.1	41.71	2.35	0.36	35.07	1.32	16.57	0.52	54.08	22.26
2014	0.1	39.42	2.34	0.14	37.64	1.31	16.56	0.60	55.17	22.03
2015	1.7	34.69	4.67	0.54	40.39	1.61	15.55	0.50	54.79	21.75
2016	62.2	36.76	3.55	0.63	37.98	1.28	16.61	0.61	52.91	21.80
2017	90.7	36.12	4.63	0.43	38.14	1.55	16.00	0.64	52.60	21.95
2018	203.8	35.64	4.93	0.84	34.48	3.27	17.79	0.57	50.77	22.02
2019	366.2	38.83	5.10	0.55	31.12	2.42	18.67	0.43	48.49	22.46

備註：廢棄物組成皆為一般垃圾組成。

資料來源：行政院環境保護署，中華民國環境保護統計年報，2020 年。

表 7.2.12 臺灣 1990 年至 2019 年未妥善管理掩埋場甲烷排放量

年份	一般掩埋 (千公噸)	甲烷修正 係數 (MCF)	可分解 有機碳 (DOC)	處置 DOC 量 (千公噸)	累積 DOC 量 (千公噸)	分解 DOC 量 (千公噸)	反應 常數 (K)	有機物 分解 比例 (DOC _F)	甲烷 生成 比例 (F)	甲烷 回收量 (R)	氧化 係數 (OX)	甲烷 排放量
1990	2,674.4	0.5	15.88	424.78	3,055.2	380.59	0.135	0.5	0.5	NO	0.0	1,585.8
1991	2,881.3	0.5	13.51	389.37	3,058.4	386.18	0.135	0.5	0.5	NO	0.0	1,609.1
1992	2,650.5	0.5	16.50	437.34	3,109.2	386.58	0.138	0.5	0.5	NO	0.0	1,610.8
1993	2,877.5	0.5	17.04	490.33	3,199.0	400.45	0.147	0.5	0.5	NO	0.0	1,668.5
1994	2,504.5	0.5	19.08	468.05	3,230.6	436.51	0.153	0.5	0.5	NO	0.0	1,818.8
1995	3,037.6	0.5	18.60	564.99	3,338.3	457.27	0.157	0.5	0.5	NO	0.0	1,905.3
1996	2,547.8	0.5	18.99	483.32	3,335.4	486.23	0.158	0.5	0.5	NO	0.0	2,025.9
1997	2,059.5	0.5	20.44	388.60	3,236.3	487.69	0.160	0.5	0.5	NO	0.0	2,032.0
1998	1,541.4	0.5	18.47	284.70	3,043.8	477.18	0.163	0.5	0.5	NO	0.0	1,988.3
1999	1,178.1	0.5	18.87	222.31	2,807.6	458.49	0.163	0.5	0.5	NO	0.0	1,910.4
2000	823.6	0.5	21.12	145.05	2,529.2	423.46	0.164	0.5	0.471	NO	0.0	1,662.1
2001	525.1	0.5	18.24	92.51	2,238.6	383.10	0.167	0.5	0.471	NO	0.0	1,503.7
2002	296.6	0.5	20.45	54.24	1,948.9	344.03	0.169	0.5	0.471	NO	0.0	1,350.3
2003	141.3	0.5	18.71	26.44	1,672.9	302.41	0.169	0.5	0.471	NO	0.0	1,187.0
2004	81.0	0.5	20.60	16.50	1,428.9	260.51	0.170	0.5	0.471	NO	0.0	1,022.5
2005	40.3	0.5	17.98	7.24	1,213.0	223.10	0.170	0.5	0.471	NO	0.0	875.7
2006	17.7	0.5	20.58	3.64	1,026.8	189.81	0.170	0.5	0.471	NO	0.0	745.0
2007	32.5	0.5	21.44	6.97	872.9	160.96	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	631.8
2008	0.7	0.5	24.14	0.18	736.1	136.92	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	537.4
2009	1.3	0.5	22.53	0.30	620.8	115.64	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	453.9
2010	2.2	0.5	22.90	0.49	523.7	97.52	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	382.8
2011	0.1	0.5	21.70	0.02	441.5	82.29	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	323.0
2012	0.1	0.5	22.36	0.02	372.1	69.38	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	272.3
2013	0.1	0.5	22.26	0.02	313.6	58.48	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	229.5
2014	0.1	0.5	22.03	0.02	264.4	49.29	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	193.5
2015	1.7	0.5	21.75	0.37	223.2	41.55	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	163.1
2016	62.2	0.5	21.80	13.56	201.7	35.08	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	137.7
2017	90.7	0.5	21.95	19.91	189.9	31.71	0.175	0.5	0.471	NO	0.0	124.5
2018	203.8	0.5	22.02	44.89	204.3	30.42	0.179	0.5	0.471	NO	0.0	119.4
2019	366.2	0.5	22.46	82.26	253.0	33.57	0.186	0.5	0.471	NO	0.0	131.8

備註：1.NO(未發生)，代表臺灣該分類項目無生產或使用。

2. 甲烷回收量、甲烷排放量單位為千公噸二氧化碳當量。

3. 轉換係數 $16/12 = 1.333$

表 7.2.13 未妥善管理掩埋場一般清冊品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	<ul style="list-style-type: none"> ● 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料(垃圾一般掩埋、堆置、其他、垃圾組成)和排放因數(IPCC 建議值)的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認各欄位單位標記的準確性 ● 確認整個計算過程中單位使用的準確性 ● 確認轉換因數的準確性 ● 無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認引用適用多種排放源類別的活動水準資料常數與參數之一致性與複檢結果
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 ● 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查提供不確定性估算之專家判斷值與其獨立資格 ● 檢查所記錄的資格假定和專家判斷值，以檢查不確定性計算的完整性與準確性 ● 目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
展開內部檔的審評	<ul style="list-style-type: none"> ● 詳細登錄資料來源引用與版本差異 ● 檢查歸檔並存儲的清單資料、佐證資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 ● 確認於整個時間序列所計算之運算法則/方法一致性 ● 無時間序列一致性缺漏情事
展開完全檢查	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基準年到當前清單時段內所有年份排放源別
比較現有估算和原始估算	<ul style="list-style-type: none"> ● 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 ● 調整 1996 年至 2003 年非妥善掩埋量，並更新 1996 年至 2019 年非妥善掩埋場之計算排放量。

7.3 固體廢棄物之生物處理(5.B)

1. 排放源及匯分類的描述

2006 IPCC 清冊指南中將生物處理(亦稱堆肥處理)產生的溫室氣體排放作為一個排放源類別。生物處理之優點為減少廢棄物體積、消除廢棄物中的病原體及產生沼氣回收發電等，對已開發國家與開發中國家而言，常將有機廢棄物(如廚餘、花圃庭園之落葉等)回收用作堆肥和土地改良。

堆肥處理過程中會發生有機物厭氧分解，而產生甲烷與氧化亞氮，目前逸散產生之甲烷，未進一步將沼氣回收發電，未來若將廚餘進行厭氧沼氣消化，並將甲烷進行回收，可產生熱能或用於發電，而此類能源再利用之溫室氣體排放將歸屬於能源部門。

2. 方法論議題

(1). 計算方法

根據 2006 IPCC 清冊指南提出之堆肥產生溫室氣體(甲烷與氧化亞氮)排放推估，如公式 7.3.1 與公式 7.3.2 所示。

公式 7.3.1：

甲烷(Gg /yr)

$$= \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

M_i ：生物處理之有機廢棄物量
[Gg/yr]

EF_i ：有機廢棄物厭氧反應產生甲烷之係數[g CH₄/kg 廢棄物]

i ：堆肥處理或厭氧處理

R ：甲烷回收量[Gg CH₄]

公式 7.3.2：

氧化亞氮(Gg / yr)

$$= \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

M_i ：生物處理之有機廢棄物量
[Gg/yr]

EF_i ：有機廢棄物厭氧反應產生氧化亞氮之排放係數[g N₂O/kg 廢棄物]

i ：堆肥處理或厭氧處理

(2). 排放係數

依據公式 7.3.1 與公式 7.3.2 所示，其所採用之排放係數值，如表 7.3.1 所示。皆引用 IPCC 排放係數之預設值，其中甲烷排放係數為 4 g CH₄/kg 廢棄物，氧化亞氮為 0.3 g N₂O/kg 廢棄物。

參閱 IPCC 建議指南公式 7.3.1 與公式 7.3.2 計算堆肥處理產生之溫室氣體排放量，主要包括甲烷和氧化亞氮，相關參數詳列於表 7.3.2。

(3). 活動數據

依據中華民國環境保護統計年報，彙整 1990 至 2019 年廚餘回收之「堆肥」數據，如表 7.3.3 堆肥數據欄位所示。

由於 1990 年起台灣省政府農林廳推動「有機農業先驅計畫」，設置簡易堆肥舍並試行有機栽培，且臺灣亦於 1990 年立法禁止露天焚燒稻草，鼓勵直接掩埋可改善土壤物理、化學及生物性之效果，可於水稻收割時直接用收稻機將稻稈切

割成小段當作基肥，故使該年度堆肥數量與前後年差異較大。

而自 2003 年起堆肥量增加，主要與廢棄物處理政策之施行有關，其中 2001 年起推動「廚餘回收與建置」影響堆肥處理量較大。然而，堆肥處理量於 2011 年達到近年最高值之後開始逐年下降，研判與自 2012 年起行政院環境保護署不再補助經費協助地方政府處理，回歸地方自治事項有關，並且民間堆肥處理場因運輸及處理過程的臭味，經常有地方民眾抗爭問題，而造成運輸困難、遭關場或不再收受處理，造成堆肥量自 2011 年以後逐年下降。2015 年起堆肥量再度上升，係因非洲豬瘟疫情嚴峻，為阻絕其藉由廚餘傳播，禁止未經處理的生廚餘養豬，導致養豬廚餘量下降而堆肥量上升。

(4).排放量

堆肥處理產生之溫室氣體排放量依公式 7.3.1 及公式 7.3.2 計算，其主要影響參數為堆肥處理量、甲烷和氧化亞氮排放係數，如表 7.3.3 所示。2019 年堆肥量較 2018 年增加 14.7 千公噸，因此甲烷及氧化亞氮等溫室氣體加總較 2018 年上升 6.3%，也較 1990 年成長 2 倍之多。

(5).完整性

中華民國環境保護統計年報完整記載 1990 年至 2019 年廚餘回收之「堆肥」數據。

3.不確定性與時間序列的一致性

(1).不確定性

由於 IPCC 並未針對生物處理有預設之不確定性，係統一參考掩埋場之不確定性計算，有關廢棄物部門各來源排放量不確定性之評估方法參閱 7.2.1 節不確定性分析。有關生物處理排放量排放之各項參數詳細資料列於表 7.3.4，各項活動資料與排放係數不確定性結果，依活動強度、排放係數、排放量分別計算不確定性，分別為 10.00%、20.00%和 22.36%。

(2).時間序列的一致性

生物處理產生甲烷與氧化亞氮排放量之估算依據，是依據中華民國環境保護統計年報，完整彙整 1990 年至 2019 年廚餘回收之「堆肥」數據，且各年期估算方法一致。

4.特定排放源的 QA/QC 及查證

參考 2000 年 IPCC 優良作法指南中「方法 1 一般清冊品質控制程序」(表 7.3.5 所示)，檢核數據與引用數據來源內容是否一致。

5.特定排放源的重新計算

本年度此排放源無重新計算。

6.特定排放源的改善計畫

行政院環境保護署於 2017 年核定通過之「多元垃圾處理計畫」，政府積極興建生質能源處理廠，待興建完成後，廚餘以厭氧發酵處理可產生沼氣，除可降低堆肥處理過程中溫室氣體洩漏，並可將沼氣經收集及儲存並加以有效利用，做為電力使用。

表 7.3.1 廢棄物生物處理甲烷和氧化亞氮排放係數預設值

生物處理類型	甲烷排放係數 (g CH ₄ /kg 處理廢棄物)		氧化亞氮排放係數 (g N ₂ O/kg 處理廢棄物)		備註
	乾重	濕重	乾重	濕重	
堆肥處理	10 (0.08 - 20)	4 (0.03 - 8)	0.6 (0.2 - 1.6)	0.3 (0.06 - 0.6)	關於處理的廢棄物的假設：25-50%乾物質中的 DOC，2%乾物質中的 N，含水量 60%。假設濕廢棄物的含水量為 60%，可根據濕廢棄物的排放係數來估算乾廢棄物的排放係數。
沼氣設施的厭氧分解	2 (0 - 20)	1 (0 - 8)	假設可忽略不計	假設可忽略不計	

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste, P.4-6, table 4.1。

表 7.3.2 IPCC 估算生物處理溫室氣體排放計算一覽表

參數	IPCC 指南計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
生物處理之有機廢棄物量(M _i)	國內資料自行確定	依據國內堆肥量進行計算	中華民國環境保護年報
排放係數(EF)	公布堆肥處理與厭氧處理之預設值	採用 IPCC 排放係數之預設值計算，其中甲烷排放係數為 4g CH ₄ /kg 廢棄物，氧化亞氮為 0.3g N ₂ O/kg 廢棄物	IPCC 預設值
甲烷回收量(R)	預設值 0	採 IPCC 預設值計算	IPCC 預設值

備註：參閱 2006 IPCC 指南。

表 7.3.3 臺灣 1990 年至 2019 年生物處理各類溫室氣體排放量

年份	堆肥 (千公噸)	有機 廢棄物 占比 (%)	甲烷 排放係數 (g CH ₄ / kg 廢棄物)	氧化亞氮 排放係數 (g N ₂ O/ kg 廢棄物)	甲烷 排放量 (千公噸 二氧化碳當量)	氧化亞氮 排放量 (千公噸 二氧化碳當量)
1990	113.15	100	4	0.3	11.32	10.12
1991	5.48	100	4	0.3	0.55	0.49
1992	7.86	100	4	0.3	0.79	0.70
1993	4.61	100	4	0.3	0.46	0.41
1994	1.37	100	4	0.3	0.14	0.12
1995	6.28	100	4	0.3	0.63	0.56
1996	2.52	100	4	0.3	0.25	0.23
1997	14.17	100	4	0.3	1.42	1.27
1998	0.53	100	4	0.3	0.05	0.05
1999	19.49	100	4	0.3	1.95	1.74
2000	2.78	100	4	0.3	0.28	0.25
2001	0.22	100	4	0.3	0.02	0.02
2002	3.71	100	4	0.3	0.37	0.33
2003	23.09	100	4	0.3	2.31	2.06
2004	66.84	100	4	0.3	6.68	5.98
2005	97.54	100	4	0.3	9.75	8.72
2006	112.67	100	4	0.3	11.27	10.07
2007	144.63	100	4	0.3	14.46	12.93
2008	164.59	100	4	0.3	16.46	14.71
2009	179.31	100	4	0.3	17.93	16.03
2010	208.88	100	4	0.3	20.89	18.67
2011	261.53	100	4	0.3	26.15	23.38
2012	243.84	100	4	0.3	24.38	21.80
2013	226.07	100	4	0.3	22.61	20.21
2014	204.47	100	4	0.3	20.45	18.28
2015	197.10	100	4	0.3	19.71	17.62
2016	197.31	100	4	0.3	19.73	17.64
2017	204.60	100	4	0.3	20.46	18.29
2018	231.68	100	4	0.3	23.17	20.71
2019	246.4	100	4	0.3	24.64	22.03

備註：堆肥活動數據來自中華民國環境保護統計年報，2020 年。

表 7.3.4 臺灣 2019 年廢棄物部門廢棄物生物處理之排放不確定性

活動資料和排放係數	不確定性 (%)	說明
城市固體廢棄物總量 (MSWT)	10	年報來源具有高品質資料，參考掩埋場不確性數據，以「廢棄物總量-以具有高品質資料」之不確定性 10% 計算。
排放係數	20	參考掩埋場不確定性判斷原則，以「可降解有機碳(DOC)」採 IPCC 預設係數，不確定性 20%。
活動強度不確定性計算結果	10.00	
排放係數不確定性計算結果	20.00	
排放量不確定性計算結果	22.36	

表 7.3.5 堆肥品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	<ul style="list-style-type: none"> ● 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料(廚餘回收之「堆肥」數據)和排放因數(IPCC 建議值)的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認各欄位單位標記的準確性 ● 確認整個計算過程中單位使用的準確性 ● 確認轉換因數的準確性 ● 無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> ● 無引用適用多種排放源類別的資料
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 ● 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查提供不確定性估算之專家判斷值與其獨立資格 ● 檢查所記錄的資格假定和專家判斷值，以檢查不確定性計算的完整性與準確性 ● 目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
展開內部檔的審評	<ul style="list-style-type: none"> ● 詳細登錄資料來源引用與版本差異 ● 檢查歸檔並存儲的清單資料、佐證資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 ● 確認於整個時間序列所計算之運算法則/方法一致性 ● 無時間序列一致性缺漏情事
展開完全檢查	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基準年到當前清單時段內所有年份排放源別
比較現有估算和原始估算	<ul style="list-style-type: none"> ● 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 ● 本年度並無重新計算情事

7.4 廢棄物之焚化與露天燃燒(5.C)

廢棄物焚燒可分為「焚化爐焚化」及「露天燃燒」二類。然而，我國廢棄物露天燃燒垃圾現況，僅有農業廢棄物有此情形，歸屬農業部門，廢棄物部門無露天燃燒處理情形。

另外，依據 IPCC 指南針對無能源回收的廢棄物燃燒產生之排放報告應列於廢棄物部門，而具能源回收廢棄物焚化之排放報告則應列於能源部門。

7.4.1 廢棄物焚化(5.C.1)

1. 排放源及匯分類的描述

廢棄物燃燒可能產生的溫室氣體包括二氧化碳、氧化亞氮及甲烷，由於焚化爐內燃燒高溫與長停留時間，甲烷排放量甚少。所以，估算廢棄物燃燒生成之溫室氣體，主要以二氧化碳及氧化亞氮為主。

依據 2006 IPCC 指南，針對有能源回收之廢棄物焚化之所產生的排放量應歸屬能源部門，而無能源回收之廢棄物焚化產生的排放量屬廢棄物部門，且無能源回收之焚化爐為中小型事業廢棄物焚化爐，並僅需計算化石碳產生之溫室氣體排放量。

2. 方法論議題

(1). 計算方法

A. 廢棄物焚化處理產生二氧化碳排放量計算

依據 IPCC 計算方式(公式 7.4.1.1)，石化燃料及其產品(例如塑膠、某些織物、橡膠、液體溶劑、

廢油)列入廢棄物焚化排放計算，而來自生物質(紙張、廚餘和木料)的碳則不包括在內，另外廢棄物焚化具能源回收利用之排放，則歸屬能源部門。

公式 7.4.1.1：

$$\text{二氧化碳[Gg/yr]} = \sum_i (\text{SW}_i \times (1 - \text{水分}) \times \text{FCF}_i \times \text{OF}_i \times 44/12)$$

SW_i ：廢棄物活動數據(濕基)[千公噸]

FCF_i ：化石碳比例[%]

$$\text{FCF}_i$$

$$= \sum_i (\text{CF}_i \times \text{化石碳比例占總碳的}\%)$$

CF_i ：廢棄物乾物質之總碳比例(總碳含量)[%]

$$\text{CF}_i = \sum_i (\text{各垃圾組成}\% \times \text{乾物質含量占濕重的}\% \times \text{總碳含量占乾重}\%)$$

OF_i ：氧化比例(燃燒效率)[%]

44/12：從碳到二氧化碳的轉換係數

i ：焚化/露天燃燒廢棄物類型，如一般廢棄物、事業及醫療廢棄物

B. 廢棄物焚化處理產生氧化亞氮排放量計算

在氧化亞氮排放方面，IPCC 指南計算方法，如公式 7.4.1.2 所示。

公式 7.4.1.2 :

$$\begin{aligned} & \text{氧化亞氮[Gg / yr]} \\ & = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \end{aligned}$$

IW_i : 廢棄物總燃燒量[Gg/yr]

EF_i : 氧化亞氮排放係數[kg N₂O/Gg
廢棄物]

(2).排放係數

於 IPCC 指南提供各國焚化爐焚化的氧化亞氮排放係數，如表 7.4.1 所示。

參閱 IPCC 建議指南公式 7.4.1.1 與公式 7.4.1.2 計算焚化處理產生之溫室氣體排放量，主要包括二氧化碳和氧化亞氮，相關參數詳列於表 7.4.2 與表 7.4.3。

二氧化碳排放係依據垃圾成分組成換算含碳量與化石碳比例計算，氧化亞氮排放由於焚化爐多屬於連續式鍋爐，因此採用日本連續式爐體排放係數 47g N₂O/T 計算。

(3).活動數據

廢棄物焚化僅考慮未具能源回收設施之焚化爐，故於 2011 年以前活動數據引用中華民國環境保護統計年報(四)廢棄物管理之表 4-1 垃圾清理狀況，其中關於處理方式「焚化」數據，與表 4-2 事業廢棄物申報統計之「一般廢棄物焚化量」及「一般事業廢棄物處理量」加總，並扣除表 4-9 大型垃圾焚化廠操作營運情形之「大型焚化爐焚化量」，間接計算中小型焚化爐活動數據方法。

後期因 2011 年至 2013 年活動數據呈現劇降情形，導致溫室氣體排放量變動過大，故 2011 年後之數據經專家會議討論決議，直接採用「固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統」中無能源回收之中小型焚化爐廢棄物焚化量代表活動數據。計算時並引用環保署統計年報之垃圾性質，其中關於可燃分之「紙類」、「纖維布類」、「皮革橡膠類」、「廚餘類」、「木竹稻草落葉類」、「塑膠」、「其他」、「水分」及「化學分析含碳量」百分比數據，估算「廢棄物乾物質比例」、「含碳量比例」及「化石碳比例」，如表 7.4.4 所示。

(4).排放量

依據公式 7.4.1.1、公式 7.4.1.2 及焚化相關活動數據與參數等，估算廢棄物焚化處理產生溫室氣體排放量，如表 7.4.4 所示。2011 年以後的活動數據改為採用中小型焚化爐廢棄物焚化量後，近年排放量呈現較為穩定而無驟增或驟降情形。

(5).完整性

估算焚化溫室氣體排放活動數據，主要引用 1990 年至 2010 年垃圾清理狀況關於垃圾清運之「焚化」數據，與事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」活動量，及大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化(處理)量」，均已完整登載 1990 年至 2010 年活動數據量。而 2011 年以後的活動數據，則改為引用「固定污染源空污費暨排放量

申報整合管理系統」的中小型焚化爐廢棄物焚化量。

另參閱引用環保署統計年報之垃圾性質百分比數據估算「含碳量比例」及「化石碳比例」，僅有 1992 年至 2019 年，缺少 1990 年及 1991 年活動數據，處理方式詳時間序列的一致性。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1). 不確定性

由於 IPCC 並未針對焚化處理有預設之不確定性，係統一參考掩埋場之不確定性計算。有關廢棄物部門各來源排放量不確定性之評估方法參閱 7.2.1 節不確定性分析。

有關廢棄物焚化處理所產生之二氧化碳排放之各項參數詳細資料列於表 7.4.5，各項活動資料與排放係數不確定性結果，依活動強度、排放係數、排放量分別計算不確定性，分別為 10.00%、89.02% 和 89.58%。

有關廢棄物焚化處理所產生之氧化亞氮排放之各項參數詳細資料列於表 7.4.6，各項活動資料與排放係數不確定性結果，依活動強度、排放係數、排放量分別計算不確定性，分別為 10.00%、20.00% 和 22.36%。

(2). 時間序列的一致性

估算廢棄物焚化處理產生二氧化碳與氧化亞氮排放量計算參數與活動數據來源，係引用中華民國環境保護統計年報登載 1990 年至

2010 年垃圾清運之「焚化」數據、事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」數據、大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化(處理)量」，及「固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統」中，2011 年後中小型焚化爐廢棄物焚化量。然而，統計年報登載數據缺少 1990 年與 1991 年垃圾性質百分比數據，故假設這兩年數據與 1992 年垃圾性質百分比數據相同，以進一步估算該兩年「含碳量比例」及「化石碳比例」，完整建立各年期排放估算所需之相關活動數據及排放參數之一致性與完整性。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

利用國家垃圾清運之「焚化」數據、事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」數據、大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化(處理)量」、「固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統」的中小型焚化爐廢棄物焚化量與垃圾性質百分比等活動數據為基礎，以 IPCC 建議排放係數，參考 2000 年 IPCC 優良作法指南，計算溫室氣體排放量。

針對本範疇之計算方式、引用參數及計算結果，業已於 2015 年 5 月及 10 月召開專家會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性進行確認。另參考 2000 年 IPCC 優良作法指南中「方法 1 一般清冊品質控制程序」(表 7.4.7)，檢核數據與引用數據來源內容是否一致。

5. 特定排放源的重新計算

本年度此排放源無重新計算。

6. 特定排放源的改善計畫

自 2011 年以後的活動數據，改為採用「固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統」的中小型焚化爐廢棄物焚化量，中小型焚化廠焚化物來源主要為有害、生物醫療與一般事業廢棄物，然而因欠缺中小型焚化爐各垃圾組成成分，仍採用一般垃圾組成比例，建議未來可調查中小型焚化爐焚化廢棄物的組成及碳含量。

7.4.2 廢棄物露天燃燒(5.C.2)

依據國內廢棄物露天燃燒垃圾現況，僅有農業廢棄物有此情形，歸屬農業部門，廢棄物部門並無其他廢棄物以露天燃燒處理情形。

表 7.4.1 IPCC 焚化處理氧化亞氮排放係數

國家	焚化/技術類型		MSW 排放係數 (g N ₂ O/T 廢棄物焚化)	計算基準
日本	連續焚化	階梯式爐床	47	濕重
		流體化床	67	濕重
	半連續焚化	階梯式爐床	41	濕重
		流體化床	68	濕重
	分批類焚化	階梯式爐床	56	濕重
		流體化床	221	濕重
德國	-		8	濕重
荷蘭	-		20	濕重
奧地利	-		12	濕重

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, volume 5, waste, P.5-21, table 5.4。

表 7.4.2 IPCC 焚化處理二氧化碳排放計算一覽表

參數	IPCC 指南計算方法 或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
廢棄物 總燃燒量 (SW _i)	國內資料自行確定	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 年以前依據國內生活垃圾燃燒量與一般事業垃圾處理量，做為全國燃燒廢棄物量。 • 由於大型焚化爐會產生能源發電須扣除其垃圾量，其餘垃圾量燃燒計入廢棄物部門。 • 2011 年以後採用無能源回收中小型焚化爐廢棄物焚化量，做為全國燃燒廢棄物量。 	<ul style="list-style-type: none"> • 中華民國環境保護年報 • 固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統
廢棄物 乾物質比例 (dm _i)	國內資料自行確定	<ul style="list-style-type: none"> • 依據國內垃圾分析含水量計算乾物質含量。 	<ul style="list-style-type: none"> • 中華民國環境保護年報
廢棄物乾物質 之總碳比例 (CF _i)	提供各種物質之總碳 比例預設值	<ul style="list-style-type: none"> • 依據臺灣垃圾組成與 IPCC 公布含碳量計算。 	<ul style="list-style-type: none"> • 中華民國環境保護年報
廢棄物 乾物質總碳中 化石碳比例 (FCF _i)	提供各種物質之化石 碳比例預設值	<ul style="list-style-type: none"> • 依據國內研究資料與 IPCC 公布各種物質之化石碳比例計算。 	<ul style="list-style-type: none"> • 國內研究資料
氧化比例 (OF _i)	未公布	<ul style="list-style-type: none"> • 依據 IPCC 預設值 100% 計算。 	

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, table 5.4。

表 7.4.3 IPCC 焚化處理氧化亞氮排放計算一覽表

參數	IPCC 指南計算方法 或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
廢棄物 總燃燒量 (IW _i)	國內資料自行確定	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 年以前依據國內生活垃圾燃燒量與一般事業垃圾處理量，做為全國燃燒廢棄物量。 • 由於大型焚化爐會產生能源發電須扣除其垃圾量，其餘垃圾量燃燒計入廢棄物部門。 • 2011 年以後採用無能源回收中小型焚化爐廢棄物焚化量，做為全國燃燒廢棄物量。 	<ul style="list-style-type: none"> • 中華民國環境保護年報 • 固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統
氧化亞氮 排放係數 (EF _i)	公布相關焚化設施之氧 化亞氮排放係數範圍值	<ul style="list-style-type: none"> • 依據國內現況多數屬於連續式鍋爐，因此引用 IPCC 提供設施中，日本連續式爐體排放係數 47g N₂O / T 計算。 	<ul style="list-style-type: none"> • IPCC 公布值

表 7.4.4 IPCC 指南焚化處理之溫室氣體活動數據及與排放量

年份	一般廢棄物焚化量(千公噸)	一般事業廢棄物處理量(千公噸)	大型焚化爐焚化量(千公噸)	中小型焚化爐焚化量(千公噸)	含水分(%)	含碳量比例(CCW)(%)	化石碳比例(FCF)(%)	焚化爐燃燒效率(EF)(%)	氧化亞氮排放係數(gN ₂ O/T)	二氧化碳排放量	氧化亞氮排放量
1990	77.7	NE	NE	77.7	51.97	31.75	47.08	100	47	20.5	1.1
1991	28.8	NE	NE	28.8	51.97	31.75	51.35	100	47	8.3	0.4
1992	255.4	NE	NE	255.4	51.97	31.75	45.51	100	47	65.0	3.6
1993	249.0	NE	NE	249.0	51.06	33.37	42.30	100	47	63.1	3.5
1994	412.5	NE	NE	412.5	53.21	35.86	43.39	100	47	110.1	5.8
1995	1,301.0	NE	NE	1,301.0	48.14	38.64	41.62	100	47	397.9	18.2
1996	1,364.6	NE	NE	1,364.6	50.60	37.53	41.68	100	47	386.6	19.1
1997	1,691.6	NE	1,419.3	272.3	46.03	44.41	43.84	100	47	104.9	3.8
1998	1,741.1	NE	1,335.4	405.7	51.06	36.17	44.29	100	47	116.6	5.7
1999	2,020.6	NE	1,789.1	231.5	50.76	37.17	41.80	100	47	65.0	3.2
2000	3,229.7	NE	2,659.7	570.1	45.02	46.91	48.05	100	47	259.0	8.0
2001	3,736.9	2,330.1	3,922.4	2,144.6	55.80	32.69	47.52	100	47	539.9	30.0
2002	4,316.0	2,873.9	5,311.0	1,878.9	51.24	39.91	45.66	100	47	612.1	26.3
2003	4,304.6	2,869.8	5,470.7	1,703.6	55.69	33.60	44.88	100	47	417.3	23.9
2004	4,307.7	2,952.1	5,611.5	1,648.3	51.19	40.24	43.17	100	47	512.4	23.1
2005	4,300.4	3,270.7	5,614.9	1,956.1	54.03	33.28	31.70	100	47	347.8	27.4
2006	4,164.0	3,693.6	5,683.0	2,174.6	52.41	39.27	31.52	100	47	469.6	30.5
2007	4,335.8	3,734.7	5,948.8	2,121.7	51.55	41.59	35.85	100	47	562.1	29.7
2008	4,137.3	3,444.2	6,110.8	1,470.6	50.94	47.39	35.35	100	47	443.2	20.6
2009	4,036.4	2,671.0	6,092.9	614.5	54.19	41.58	35.96	100	47	154.3	8.6
2010	3,888.6	3,119.7	6,235.4	773.0	52.66	43.49	35.68	100	47	208.2	10.8
2011				660.2	55.06	39.41	34.67	100	47	148.6	9.2
2012				616.9	53.97	41.43	34.43	100	47	148.5	8.6
2013				629.4	54.08	41.16	35.16	100	47	153.4	8.8
2014				624.1	55.17	39.93	35.71	100	47	146.3	8.7
2015				434.1	54.79	40.34	35.33	100	47	102.5	6.1
2016				480.3	52.91	43.56	36.56	100	47	132.1	6.7
2017				471.9	52.60	44.01	35.77	100	47	129.1	6.6
2018				488.9	50.77	47.45	37.99	100	47	159.1	6.9
2019				570.4	48.49	51.31	38.69	100	47	213.8	8.0

備註：1.NE(未估計)，指對現有排放量沒有估計。

2.二氧化碳排放量、氧化亞氮排放量單位為千公噸二氧化碳當量。

3. 1990 年至 2010 年採用統計年報計算(一般廢棄物+一般事業業廢棄物-大型焚化爐焚化量)，2011 年後採用「固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統」申報處理量。

資料來源：1.中華民國環境保護統計年報，2020 年。

2.中小型爐焚化量來自固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統。

表 7.4.5 臺灣 2019 年廢棄物部門廢棄物焚化二氧化碳排放不確定性

活動資料和排放係數	不確定性(%)	說明
焚化固體廢棄物類型的總量(SW)(Gg/yr)	10	依據未具能源回收之中小型焚化爐焚化量，其申報量具高品質計量來源，故不確定性以 10%計算。
含水分(%)	50	參考「掩埋場廢棄物組成之不確定性是具有基於研究」的原則，其不確定性以 30%計算；惟中小型焚化爐計算時使用一般垃圾之含水率，並非實際數據，故以 50%計算。
總碳比例(CF)	50	參考「掩埋場廢棄物組成之不確定性是具有基於研究」的原則，其不確定性以 30%計算；惟中小型焚化爐計算時使用一般垃圾之總碳比例，並非實際數據，故以 50%計算。
化石碳比例(FCF)	53.85	1.參考「掩埋場廢棄物組成之不確定性是具有基於研究」的原則，其不確定性以 30%計算；惟中小型焚化爐計算時非使用實際數據，故以 50%計算。 2.化石碳比例則引用 IPCC 預設值，故係參考掩埋場不確性數據，以「可降解有機碳(DOC)使用 IPCC 預設值」之不確定 20%計算。 3.兩者不確定加總為 53.85%。
焚化爐燃燒效率(EF)	5	燃燒效率 100%與接近國內實際情形，參考掩埋場不確性數據，以「垃圾掩埋氣體中的甲烷比例(F)」之不確定性 5%計算。
活動強度不確定性計算結果	10.00	
排放係數不確定性計算結果	89.02	
排放量不確定性計算結果	89.58	

表 7.4.6 臺灣 2019 年廢棄物部門廢棄物焚化氧化亞氮排放不確定性

活動資料和排放係數	不確定性(%)	說明
焚化固體廢棄物類型的總量(SW)(Gg/yr)	10	依據未具能源回收之中小型焚化爐焚化量，其申報量具高品質計量來源，故不確定性以 10%計算。
氧化亞氮排放係數	20	排放係數引用 IPCC 建議日本焚化爐預設值，參考掩埋場引用 IPCC DOC 預設值，不確定性以 20%計算。
活動強度不確定性計算結果	10.00	
排放係數不確定性計算結果	20.00	
排放量不確定性計算結果	22.36	

表 7.4.7 廢棄物焚化一般清冊品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	<ul style="list-style-type: none"> 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料(垃圾清運之「焚化」數據、事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」數據、大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化(處理)量」、垃圾組成)和排放因數(IPCC 建議值)的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	<ul style="list-style-type: none"> 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	<ul style="list-style-type: none"> 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> 確認各欄位單位標記的準確性 確認整個計算過程中單位使用的準確性 確認轉換因數的準確性 檢核 1990 年與 1991 年垃圾性質百分比數據，確認假設數據與 1992 年垃圾性質百分比數據相同
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> 確認引用適用多種排放源類別的活動水準資料常數與參數之一致性與複檢結果
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> 複查檢核「含碳量比例」及「化石碳比例」，確認轉錄結果無誤
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	<ul style="list-style-type: none"> 檢查提供不確定性估算之專家判斷值與其獨立資格 檢查所記錄的資格假定和專家判斷值，以檢查不確定性計算的完整性與準確性 目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
展開內部檔的審評	<ul style="list-style-type: none"> 詳細登錄資料來源引用與版本差異 檢查歸檔並存儲的清單資料、佐證資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	<ul style="list-style-type: none"> 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 確認於整個時間序列所計算之運算法則/方法一致性 無時間序列一致性缺漏情事
展開完全檢查	<ul style="list-style-type: none"> 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基準年到當前清單時段內所有年份排放源別
比較現有估算和原始估算	<ul style="list-style-type: none"> 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 本年度此排放源無重新計算。

7.5 廢水處理與放流(5.D)

污(廢)水處理產生溫室氣體排放量可分為 5.D.1「生活及住商污水」與 5.D.2「事業廢水」。生活污水及事業廢水處理(下稱污(廢)水處理)系統中溫室氣體排放須分開估算，因為不同來源廢水活動資料和排放係數並不相同，故分別計算溫室氣體產生量。

污(廢)水處理過程中會產生甲烷及氧化亞氮排放，而污(廢)水處理產生的二氧化碳在 2006 IPCC 指南認為是生物成因，不須計算納入國家排放總量(如植物光合作用減少二氧化碳亦未納入)。

IPCC 指南針對廢水處理可能產生之造成甲烷和氧化亞氮排放潛勢，如表 7.5.1 所示。相較於 1996 IPCC 指南，主要增加估算未收集廢水的甲烷排放、高級廢水處理廠(三級處理)的氧化亞氮排放，並簡化事業廢水排放量計算，僅需要包括最重要的事業來源。針對各項排放來源計算說明如下。

甲烷生成量主要取決於污(廢)水中的可降解有機物、溫度以及處理系統的類型。當溫度增加時，甲烷產生的速率增大，這在無控制系統和溫暖氣候中尤其重要。文獻顯示溫度較低時，甲烷生成量可能會受影響，因為甲烷微生物活性不大。另外，在生活與住商污水中，以生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD)為指標，在事業廢水中則以化學需氧量(Chemical

Oxygen Demand, COD)，包含生物可分解及不可分解的碳含量為指標。

氧化亞氮與廢水中的氮成分(如尿素、硝酸鹽和蛋白質)之硝化與脫硝作用有關，意即將氮和其他氮化合物轉化成硝酸鹽(NO_3^-)和硝酸鹽轉化成氮氣(N_2)的生物學轉化。氧化亞氮可能成為這兩個過程的中間產物，通常與脫硝作用關聯較大。生活污水與事業廢水處理系統除氮化合物可能包括各種處理流程，從化糞池處理技術到高級處理技術均可能產生氧化亞氮直接排放。

表 7.5.1 廢水處理系統甲烷及氧化亞氮排放潛勢

處理及排放類型		甲烷及氧化亞氮排放潛勢		
收集	未處理	河流排放		<ul style="list-style-type: none"> · 不流動且溶氧不足的河流和湖泊，水中有機污染物可能厭氧分解，產生甲烷。 · 河流、湖泊和港灣，可能成為氧化亞氮排放源。
		下水道(封閉、地下的)		· 不是甲烷/氧化亞氮排放來源
		下水道(露天)		· 滯流、超負荷的露天收集下水道或溝渠/水道，可能成為甲烷排放的重要來源。
	已處理	好氧處理	集中式好氧廢水處理廠	<ul style="list-style-type: none"> · 可能由好氧槽之厭氧區域，產生些微甲烷。 · 設計或操作管理不良之好氧處理系統，會產生甲烷。 · 具去除營養鹽之高級污水處理廠(硝化、脫硝反應)，雖規模小，但也是氧化亞氮排放來源之一。
			集中式好氧廢水處理廠的污泥厭氧處理	· 污泥厭氧處理排放之甲烷，若未採取回收或燃燒處理，可能成為甲烷重要排放來源。
		好氧淺污水塘		<ul style="list-style-type: none"> · 一般而言，不太可能成為甲烷/氧化亞氮主要排放來源。 · 設計或管理不良之好氧處理系統會產生甲烷。
		厭氧處理	厭氧化糞池	<ul style="list-style-type: none"> · 可能是甲烷的排放來源。 · 不是氧化亞氮的排放源。
			厭氧反應槽	· 如果排放的甲烷未被回收或燃燒處理，可能成為甲烷重要排放來源。
		未收集	化糞池	
露天坑/廁所			· 當溫度和停留時間適當，則可能產生甲烷。	

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, volume 5, waste, P.6-8, table 6.1。

7.5.1 生活污水處理與放流(5.D.1)

1. 排放源及匯分類的描述

生活與商業污水主要產生的溫室氣體為甲烷(CH₄)與氧化亞氮(N₂O)，其中一般生活與住商之污水經化糞池厭氧反應處理後，產生甲烷(CH₄)排放；而生活污水中之蛋白質等有機物質，在水體環境中發生硝化脫硝反應而產生氧化亞氮(N₂O)。生活住商污水之處理方式可分為未納管處理和納管處理且送至污水處理廠處理兩大類，而在未納管處理中，又分為排放至(A)化糞池與(B)開放水體兩類別。

2. 方法論議題

(1). 計算方法

A. 生活污水未納管處理之甲烷排放量計算

IPCC 指南針對生活與住商污水甲烷(CH₄)排放計算，主要以不同收入級距之人口比例，其採用之污水處理系統類型，加總各類處理系統甲烷(CH₄)排放量。在未納管處理中，分為排放至(A)化糞池與(B)開放水體兩類別之生活污水溫室氣體排放量，計算公式皆如公式 7.5.1.1 所示。

公式 7.5.1.1(未納管處理)

$$\begin{aligned} & \text{甲烷排放量}[\text{kgCH}_4/\text{yr}] \\ & = [(P \times \text{BOD} \times I - S) \times \text{Bo} \times \text{MCF}_j \times \\ & \quad (1 - T)] - R \end{aligned}$$

P：全國人口數

BOD：每人每年產生之可分解有機物量[kg BOD/ persons/yr]

I：與事業廢水共排之修正係數，若有合併收集預設值為 1.25，反之則為 1.0

S：污泥移除量，指污(廢)水處理過程中移除污泥所含之有機物量[kg BOD/yr]。

Bo：最大甲烷產生量(maximum CH₄ producing capacity)[kg CH₄/kg BOD]

MCF_j：甲烷修正係數(methane correction factor)

T：污水處理程度比例[%]

R：甲烷回收量[kg CH₄/ yr]

B. 生活污水納管處理之甲烷排放量計算(污水處理廠)

有鑑於污水處理廠水質處理單元，及污泥採厭氧消化處理，都可能有甲烷(CH₄)逸散排放。2009 年以後統計範疇增列生活污水處理廠甲烷(CH₄)排放，納入污水廠水質及污泥處理程序的甲烷(CH₄)排放，以提升廢棄物部門排放量之完整性。

生活污水處理廠甲烷排放量計算方法，如公式 7.5.1.2 所示，為全國公共污水處理廠污水處理量(A_i)，乘上污水處理廠處理每噸污水甲烷排放係數(EF)。

公式 7.5.1.2(納管處理-污水處理廠)：

$$\text{甲烷排放量}[\text{kg CH}_4/\text{yr}] = A_i \times EF$$

A_i ：每年全國公共污水處理廠污水處理量 $[\text{m}^3/\text{yr}]$

EF ：污水處理廠處理每噸污水甲烷排放係數 $[\text{kg CH}_4/\text{m}^3]$

C. 生活污水排放產生氧化亞氮排放量計算

估算氧化亞氮(N_2O)之排放量，係依據 IPCC 清冊指南計算方法，如公式 7.5.1.3 所示。參照行政院農業委員會糧食平衡表之每人每日蛋白質供給量，並配合歷年國內人口數進行計算。另需考量廢水中非消耗之蛋白質，以及是否與事業廢水共排等參數。

公式 7.5.1.3：

氧化亞氮 $[\text{kg}/\text{yr}]$

$$= (P \times \text{Protein} \times \text{Frac}_{\text{NPR}}$$

$$\times F_{\text{NON-CON}} \times F_{\text{IND-COM}} - N_{\text{SLUDGE}})$$

$$\times EF_{\text{EFFLUENT}} \times 44/28$$

P ：國內人口數 $[\text{人}]$

Protein ：每人每年蛋白質攝取量 $[\text{kg}/\text{person}/\text{yr}]$

Frac_{NPR} ：蛋白質中氮的比例(預設值為 $0.16 \text{ kg N}/\text{kg protein}$)

$F_{\text{NON-CON}}$ ：添加於廢水之非消耗蛋白質係數，已開發國家預設值為 1.4，發展中國家為 1.1

$F_{\text{IND-COM}}$ ：下水道系統含有事業廢

水共排之修正係數，有共排者預設值為 1.25

N_{SLUDGE} ：污泥移除 N 量(預設值=0) $[\text{kg N}/\text{yr}]$

EF_{EFFLUENT} ：排放係數(預設值 0.005) $[\text{kg N}_2\text{O-N}/\text{kg N}]$

44/28： $\text{kg N}_2\text{O-N}$ 換算成 $\text{kg N}_2\text{O}$ 轉換係數

(2). 排放係數

A. 生活污水未納管處理之產生甲烷排放量

每人每年之 BOD 產生量，各國多數採 IPCC 之建議值，依各國生活水準高低而有差異，愈先進國家其每人每天產生之 BOD 量愈高。過去資料顯示，每年生活污水 BOD 產生量，依據 IPCC 預設值，以每人每天產生 BOD 值 40 (g BOD/persons/day) 計算。

為貼近我國國人生活型態，依據環保署之「污水源頭減量手冊」之調查，在未納管處理系統中，分為排放至化糞池(A)與開放水體(B)兩類別之生活污水溫室氣體排放量。

(a). 排放至化糞池

依據環保署之「污水源頭減量手冊」，未納管排放至化糞池之 BOD 產生量為約 $13 \text{g BOD}/\text{persons}/\text{day}$ ，並根據 IPCC 公布各種污水處理系統之 MCF 值，採納經處理系統排放至化糞池系統之 MCF 值 0.5，如表 7.5.2 所示。

(b).排放至開放水體

依據環保署之「污水源頭減量手冊」，未納管排放至開放水體則為 27g BOD/persons/day。根據 IPCC 公布各種污水處理系統之 MCF 值，採納未處理系統之排放至海洋、河、湖之 MCF 值 0.1，如表 7.5.2 所示。

此外，生活污水如果和事業廢水共同處理，則須將下水道含額外事業廢水 BOD 排放之修正係數(I)納入考量，以及考量處理設施如有甲烷回收者(R)，可以扣除排放量等。其中，最大甲烷產生量 B_0 ，依 IPCC 建議以 0.60 kg CH₄/kg BOD 計算，其它依據 2006 IPCC 建議指南公式 7.5.1.1 計算的未納管處理之生活污水甲烷排放量，相關參數選用如表 7.5.3 所示。

B.生活污水納管處理處理之甲烷排放量計算(污水處理廠)

全國公共污水處理廠污水處理之甲烷(CH₄)排放係採用公式 7.5.1.2 計算，相關參數選用詳列於表 7.5.4。污水處理廠處理每噸污水的甲烷排放係數(EF)，為水質處理流程及污泥處理流程兩者排放係數的總和 1.001×10^{-3} kg CH₄/m³，其中水質處理流程排放係數採用國內研究結果為 6.531×10^{-4} kg CH₄/m³，污泥處理流程排放係數則引用日本公共污水處理廠污泥處理排放係數 3.480×10^{-4} kg CH₄/m³。

C.生活污水放流氧化亞氮排放

生活與住商污水氧化亞氮(N₂O)排放依據公式 7.5.1.3 計算，相關參數選用詳列於表 7.5.5。排放係數以 IPCC 參數 0.005 (kg N₂O-N/kg N)計算。由於，臺灣為開發中國家，關於廢水之非消耗蛋白質係數(F_{NON-CON})使用 IPCC 預設值 1.1 計算；我國生活污水處理系統未與事業廢水有共排之情形，因此採用未共排之排放係數 1。

(3).活動數據

A.生活污水未納管處理之甲烷排放量計算

依內政部營建署下水道系統污水處理率做為生活污水經污水處理廠處理之比例，其餘皆屬於未納管處理之生活污水，再與內政部統計處之內政統計年報中的國內人口數，分別乘上排放至化糞池 13g BOD/persons/day 與開放水體 27g BOD/persons/day，加總後計算甲烷排放量，如表 7.5.6。

B.生活污水納管處理之甲烷排放量計算(污水處理廠)

依據全國公共污水處理廠資料管理系統的申報數據，統計歷年污水處理廠污水處理量，如表 7.5.7 所示。該管理系統的資料統計期間為 2009 年至 2019 年，缺少 1990 年至 2008 年之數據，此期間的污水處理廠污水處理量仍待研究。

C.生活污水放流氧化亞氮排放

估算氧化亞氮之排放量，依據歷年行政院農業委員會糧食平衡表之每人每日蛋白質供給量，並配合國內歷年人口數進行計算，如表 7.5.8 所示。

(4).排放量

A. 生活污水未納管處理之甲烷排放量計算

依據公式 7.5.1.1 計算，如表 7.5.6 所示。分析我國生活污水處理依化糞池處理產生之甲烷歷年排放趨勢，由於 1999 年起污水處理率明顯增加(1999 年 10.1% 升至 2019 年 62.1%)，使化糞池厭氧處理產生之甲烷排放量逐年降低，儘管我國人口數有所提升，但至 2019 年排放量仍相較 1990 年排放量減少 55.0%，而排放量則是相較 2018 年減少 9.5%。

B.生活污水納管處理之甲烷排放量計算(污水處理廠)

依據公式 7.5.1.2 計算，如表 7.5.7 所示。隨著污水下水道各期建設計畫的逐步推動與完成，各縣市用戶接管普及率及整體污水處理率亦逐年提升後，全國污水廠污水處理量漸增，甲烷排放量呈現逐年緩步增加之趨勢。

綜合以全國人口及污水處理廠統計的生活污水處理甲烷排放，隨著污水處理率的逐年增加，占比較大的未納管污水處理甲烷排放量呈現逐年下降的趨勢，加總緩步增加的污水廠甲烷排放量之後，

2019 年排放量相較 1990 年排放量減少 52.0%，相較 2018 年排放量減少 8.6%。

C.生活污水放流氧化亞氮排放

生活污水處理產生之氧化亞氮排放量的估算，如表 7.5.8 所示。隨著人口遞增及國人蛋白質攝取量的變化，影響了歷年氧化亞氮排放趨勢。2019 年氧化亞氮每人每日蛋白質供給量為 86.7g，排放量考量人口成長後，其排放量較 1990 年增加 8.2%，亦較 2018 年排放量約減少 1.3%。

(5).完整性

A.生活污水未納管處理之甲烷排放量計算

目前，內政部統計年報僅登載 2000 年至 2019 年之公共污水下水道系統普及率(%)、專用污水下水道系統普及率(%)、建築物污水處理設施統普及率(%)及三者合計之污水處理率(%)，1990 年至 1999 年之數據則參閱內政部相關會議之資料。另 1990 年至 2019 年國內人口數，已詳實登載於內政部統計年報。

B.生活污水納管處理產生甲烷排放量計算(污水處理廠)

此活動數據引用自全國公共污水處理廠資料管理系統的申報數據，該管理系統的資料統計期間為 2009 年至 2019 年，缺少 1990 年至 2008 年之數據，此期間的污水處理廠污水處理量仍待研究。

C. 生活污水放流氧化亞氮排放

估算氧化亞氮之排放量，已完整參照行政院農業委員會糧食平衡表 1990 年至 2019 年每人每日蛋白質供給量，及內政部統計年報登載 1990 年至 2019 年之國內人口數。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1). 不確定性

有關廢棄物部門各來源排放量不確定性之評估方法參閱 7.2.1 節不確定性分析。IPCC 清冊指南列出引用生活污水排放係數和活動資料不確定性預設值，如表 7.5.9 所示。以未納管處理為計算基礎的生活污水產生甲烷排放之各項參數詳細資料，如表 7.5.10 所示。依各項活動資料與排放係數不確定性結果，分別計算活動強度、排放係數、排放量之不確定性，依次為 7.07%、42.72% 和 43.30%。

由於 IPCC 並未針對全國公共污水處理廠污水處理甲烷排放有預設之不確定性，此範疇的不確定性判斷原則係統一參考掩埋場之不確定性計算。

全國公共污水處理廠污水處理甲烷排放之各項參數詳細資料，如表 7.5.11 所示。依各項活動資料與排放係數不確定性結果，分別計算活動強度、排放係數、排放量之不確定性，依次為 10.00%、20.00% 和 22.36%。

再以不確定相加規則公式合併上述未納管處理(43.30%)及納管處理之污水處理廠(22.36%)為計算基礎的排放量不確定性後，生活污水甲烷排放之不確定性為 40.63%，如表 7.5.12。

有關生活污水氧化亞氮排放之各項參數詳細資料列於表 7.5.13，依各項活動資料與排放係數不確定性結果，分別計算活動強度、排放係數、排放量之不確定性，依次為 11.18%、28.72% 和 30.82%。

(2). 時間序列的一致性

生活污水甲烷(全國人口)排放資料來源為依據內政部登載資料，均已包含 1990 年至 2019 年公共污水下水道系統普及率(%)、專用污水下水道系統普及率(%)、建築物污水處理設施普及率(%)、污水處理率(%)及國內人口數。

生活污水甲烷(污水處理廠)排放資料來源為全國公共污水處理廠資料管理系統的申報數據，目前仍缺少 1990 年至 2008 年之數據，此期間的污水處理廠污水處理量仍待研究。

生活污水氧化亞氮排放量之活動數據引用內政部登載 1990 年至 2019 年國內人口數，及 1990 年至 2019 年行政院農業委員會糧食平衡表之每人每日蛋白質供給量，活動數據已符合時間序列之一致性及完整性。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

生活污水甲烷排放利用國家公共污水下水道系統普及率(%)、專用污水下水道系統普及率(%)、建築物污水處理設施普及率(%)、污水處理率(%)、國內人口數與全國公共污水處理廠污水處理量等活動數據為基礎，氧化亞氮排放則利用全國人口數及糧食平衡表之每人每日蛋白質供給量活動數據為基礎，參考 2006 IPCC 計算指南與建議排放係數，計算溫室氣體排放量。

針對本範疇之計算方式、引用參數及計算結果，業已於 2015 年 5 月及 10 月召開專家會議，另針對未納管處理之生活污水已於 2016 年至 2019 年期間針對數據來源、引用參數研析其合理性召開專家諮會進行確認，並於 2019 年 4 月同意以未納管處理之生活污水排放至化糞池的 13 g BOD/persons/day 與排放至開放水體的 27 g BOD/persons/day 為精進的方式。另參考 2000 年 IPCC 優良作法指南中「方法 1 一般清冊品質控制程序」(表 7.5.14)，檢核數據與引用數據來源內容是否一致。

5. 特定排放源的重新計算

依行政院農業委員會 2020 年公布之歷年每人每日蛋白質攝取量，其修正 2018 年蛋白質攝取量數據，由原本 87.55 修正為 87.88(g Protein/p/d)，重新計算後 2018 年氧化亞氮排放估算量其差異由原本 310.7 修正為 311.80 千公噸二氧化碳當量。

6. 特定排放源的改善計畫

隨著全國用戶接管普及率及整體污水處理率的逐年提升，公共污水處理廠處理量隨之漸增，故源自污水廠的甲烷排放量呈現逐年漸增趨勢。

污水廠進行甲烷回收處理及再利用，將有助於甲烷排放減量，我國未來可進行全國污水廠既有沼氣回收利用設施的設置歷程、使用現況及歷年收集處理量等的調查研究，結果可做為廢水排放量計算時可再扣除回收量之參考。

表 7.5.2 生活污水處理系統預設之 MCF 值

處理系統	註釋	甲烷修正係數 (MCF)	範圍
未經處理的系統			
海洋、河、湖排放	河水若具有高有機物濃度可能會發生輕微厭氧反應	0.1	0-0.2
不流動的下水道	空況且溫暖。	0.5	0.4-0.8
流動順暢的下水道	乾淨且快速流動(甲烷總量微小且來自泵站)。	0.0	0
經處理的系統			
好氧處理 (集中的處理區)	必須被管理好，一些甲烷會從沉澱池或其他單元中排出。	0.0	0-0.1
好氧處理 (集中的處理區)	不是妥善的管理(超載)。	0.3	0.2-0.4
污泥厭氧消化處理	不考慮回收甲烷。	0.8	0.8-1.0
厭氧反應	不考慮回收甲烷。	0.8	0.8-1.0
淺厭氧塘	深度小於兩公尺，使用專家的判斷。	0.2	0-0.3
深厭氧塘	深度大於兩公尺。	0.8	0.8-1.0
化糞池系統	1/2 的 BOD 為厭氧反應。	0.5	0.5
公共廁所	乾燥的氣候，地表水面低於公廁，小家庭(3 至 5 人)。	0.1	0.05-0.15
公共廁所	乾燥的氣候，地表水面低於公廁，鄉鎮。	0.5	0.4-0.6
公共廁所	潮濕的氣候，地表水面高於公廁。	0.7	0.7-1.0
公共廁所	定期移除沉澱物作為肥料使用	0.1	0.1

表 7.5.3 IPCC 生活污水未納管處理甲烷排放計算一覽表

參數	IPCC 計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
人口數(P)	國內資料自行確定	內政部統計資料。	人口數取內政部統計資料
污水處理程度	依據鄉村、城市高低收入分類計算	內政部營建署用戶接管普及率及污水處理率，並利用戶籍數換算處理效率	內政部營建署統計資料 內政部統計處之戶籍數
每人每年產生之可分解有機物量(BOD)	14.6(kg BOD/persons/yr)	排放至化糞池系統 13g BOD/persons/day。 排放至開水體 27g BOD/persons/day。	環保署-源頭減量手冊
最大甲烷生成量(Bo)	0.60kg CH ₄ /kg BOD	採用 IPCC 預設值 0.60 kg CH ₄ /kg BOD。	IPCC 預設值
甲烷修正係數(MCF)	提供各種處理系統預設值	化糞池系統以 0.5 計算。 開放水體以 0.1 計算。	IPCC 預設值
下水道含額外事業廢水 BOD 之修正係數(I)	有合併事業廢水者預設值為 1.25，其餘為 1。	生活污水主要計算為化糞池產生之甲烷量，不會有事業廢水共同排放，採取 IPCC 公布值 1 計算	IPCC 預設值
污泥移除量(S)	預設值 0	採 IPCC 預設值 0 計算。	IPCC 預設值
甲烷回收量(R)	預設值 0	因國內化糞池並無回收甲烷氣，採 IPCC 預設值 0 計算。	IPCC 預設值

表 7.5.4 IPCC 生活污水納管處理-污水處理廠甲烷排放計算一覽表

參數	IPCC 計算方法 或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
全國公共污水處理廠污水處理量 (A)	國內資料自行確定	內政部營建署統計資料	全國公共污水處理廠資料管理系統
排放係數(EF)	國內資料自行確定	1. 為水質處理流程及污泥處理流程排放係數的總和 $1.001 \times 10^{-3} \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ 。 2. 水質處理流程排放係數採用國內研究結果為 $6.531 \times 10^{-4} \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ 。 3. 污泥處理流程排放係數係引用日本公共污水處理廠污泥處理排放係數 $3.480 \times 10^{-4} \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ 。	國內研究報告及他國清冊採用值

表 7.5.5 IPCC 生活污水放流氧化亞氮排放計算一覽表

參數	IPCC 計算方法 或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
人口數(P)	國內資料自行確定	內政部統計資料	人口數取內政部統計資料
每人每年蛋白質攝取量 (Protein)	國內資料自行確定	取自糧食平衡表內所提供之每人蛋白質供應量	行政院農業委員會之糧食平衡表
蛋白質含氮比例(Frac _{NPR})	0.16 kg N/ kg protein	採用 IPCC 預設值 0.16 kg N/kg protein	IPCC 預設值
排放係數	0.005 kg N ₂ O-N/ kg N (須再計算 N ₂ O/N 比例)	採用 IPCC 預設值 0.005 kg N ₂ O-N/ kg N	IPCC 預設值
添加於廢水之非消耗蛋白質係數(F _{NON-CON})	已開發國家預設值 1.4 開發中國家預設值 1.1	採用 IPCC 開發中國家預設值 1.1 計算	IPCC 預設值
事業廢水共排之排放係數 (F _{IND-CIN})	共排者預設值 1.25，其餘為 1	採用 IPCC 未共排之係數 1 計算	IPCC 預設值
因污泥而產生之氮移除量 (N _{SLUDGE})	預設值 0	採用 IPCC 預設值 0 計算	IPCC 預設值

表 7.5.6 1990 年至 2019 年生活污水未納管甲烷排放活動數據與排放量

年份	人口數 (千人)	污水處理率 (%)	BOD 負荷 (g/persons/day)		最大 CH ₄ 生成 量 (Bo)	CH ₄ 修正係數 (MCF)		下水道 含額外 事業廢水 BOD 之 修正係數 (I)	污泥 移除 量 (S)	CH ₄ 回 收 量 (R)	全國人口 污水 CH ₄ 排放量 (千公噸二氧 化碳當量)
			化糞池	開放 水體		化糞池	開放 水體				
1990	20,401	2.6	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	1,001.08
1991	20,606	2.6	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	1,011.12
1992	20,803	2.6	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	1,020.32
1993	20,995	2.7	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	1,029.32
1994	21,178	2.7	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	1,037.81
1995	21,357	2.8	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	1,046.15
1996	21,525	2.9	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	1,052.51
1997	21,743	3.3	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	1,059.37
1998	21,929	4.8	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	1,051.31
1999	22,092	10.1	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	1,000.36
2000	22,277	14.7	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	957.29
2001	22,406	16.2	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	945.21
2002	22,521	18.1	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	929.35
2003	22,605	19.2	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	920.28
2004	22,689	22.0	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	891.88
2005	22,770	24.6	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	864.80
2006	22,877	27.3	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	837.95
2007	22,958	30.4	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	805.31
2008	23,037	32.9	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	779.08
2009	23,120	36.0	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	745.19
2010	23,162	38.7	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	715.17
2011	23,225	41.8	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	681.43
2012	23,316	44.9	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	647.34
2013	23,374	47.0	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	624.33
2014	23,434	48.9	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	603.03
2015	23,492	51.1	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	578.04
2016	23,540	53.4	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	553.13
2017	23,571	55.9	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	524.06
2018	23,589	58.1	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	497.85
2019	23,603	62.1	13	27	0.6	0.5	0.1	1	0	0	450.59

表 7.5.7 臺灣 1990 年至 2019 年全國生活污水廠甲烷排放之活動數據與排放量

年份	全國污水廠年處理量 (10^6 m^3)	排放係數 ($\text{CH}_4 \text{ kg/m}^3$)	全國污水廠 CH_4 排放量	全國人口及污水廠 CH_4 排放量
1990	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,001.1
1991	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,011.1
1992	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,020.3
1993	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,029.3
1994	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,037.8
1995	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,046.1
1996	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,052.5
1997	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,059.4
1998	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,051.3
1999	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,000.4
2000	NE	1.0011×10^{-3}	NE	957.3
2001	NE	1.0011×10^{-3}	NE	945.2
2002	NE	1.0011×10^{-3}	NE	929.4
2003	NE	1.0011×10^{-3}	NE	920.3
2004	NE	1.0011×10^{-3}	NE	891.9
2005	NE	1.0011×10^{-3}	NE	864.8
2006	NE	1.0011×10^{-3}	NE	837.9
2007	NE	1.0011×10^{-3}	NE	805.3
2008	NE	1.0011×10^{-3}	NE	779.1
2009	389.7	1.0011×10^{-3}	9.8	754.9
2010	975.4	1.0011×10^{-3}	24.4	739.6
2011	1,001.2	1.0011×10^{-3}	25.1	706.5
2012	1,022.9	1.0011×10^{-3}	25.6	672.9
2013	1,052.2	1.0011×10^{-3}	26.3	650.7
2014	1,112.1	1.0011×10^{-3}	27.8	630.9
2015	1,133.0	1.0011×10^{-3}	28.4	606.4
2016	1,202.1	1.0011×10^{-3}	30.1	583.2
2017	1,089.7	1.0011×10^{-3}	27.3	551.3
2018	1,105.6	1.0011×10^{-3}	27.7	525.5
2019	1,194.9	1.0011×10^{-3}	29.9	480.5

備註：1.NE(未估計)，指對現有排放量沒有估計。

2.全國污水廠甲烷排放量、全國人口及污水廠甲烷排放量單位為千公噸二氧化碳當量。

表 7.5.8 臺灣 1990 年至 2019 年生活污水放流氧化亞氮之活動數據與排放量

年份	每人每日蛋白質供給量 (公克)	每人每年蛋白質供給量 (Protein) (公斤)	蛋白質含氮比 (FracNPR)	國內人口數 (P) (千人)	排放係數 (EF)	對非蛋白質飽和廢水之添加係數 (F _{NON-CON})	事業廢水共排之排放係數 (F _{IND-CIN})	因污泥而產生之氮移除量 (N _{SLUDGE})	全國人口氧化亞氮排放量 (千公噸二氧化碳當量)
1990	92.72	33.84	0.16	20,401	0.005	1.1	1	0	284.5
1991	91.56	33.42	0.16	20,606	0.005	1.1	1	0	283.8
1992	93.90	34.27	0.16	20,803	0.005	1.1	1	0	293.8
1993	97.34	35.53	0.16	20,995	0.005	1.1	1	0	307.4
1994	96.51	35.23	0.16	21,178	0.005	1.1	1	0	307.5
1995	98.22	35.85	0.16	21,357	0.005	1.1	1	0	315.5
1996	98.25	35.86	0.16	21,525	0.005	1.1	1	0	318.1
1997	101.41	37.02	0.16	21,743	0.005	1.1	1	0	331.7
1998	95.55	34.88	0.16	21,929	0.005	1.1	1	0	315.2
1999	97.55	35.61	0.16	22,092	0.005	1.1	1	0	324.2
2000	96.23	35.12	0.16	22,277	0.005	1.1	1	0	322.4
2001	92.00	33.58	0.16	22,406	0.005	1.1	1	0	310.0
2002	94.85	34.62	0.16	22,521	0.005	1.1	1	0	321.3
2003	96.13	35.09	0.16	22,605	0.005	1.1	1	0	326.9
2004	91.94	33.56	0.16	22,689	0.005	1.1	1	0	313.8
2005	91.57	33.42	0.16	22,770	0.005	1.1	1	0	313.6
2006	80.66	29.44	0.16	22,877	0.005	1.1	1	0	277.5
2007	82.64	30.16	0.16	22,958	0.005	1.1	1	0	285.3
2008	76.34	27.86	0.16	23,037	0.005	1.1	1	0	264.5
2009	77.63	28.33	0.16	23,120	0.005	1.1	1	0	269.9
2010	78.32	28.59	0.16	23,162	0.005	1.1	1	0	272.9
2011	80.59	29.42	0.16	23,225	0.005	1.1	1	0	281.6
2012	80.48	29.37	0.16	23,316	0.005	1.1	1	0	282.2
2013	78.78	28.75	0.16	23,374	0.005	1.1	1	0	276.9
2014	80.70	29.46	0.16	23,434	0.005	1.1	1	0	284.5
2015	84.82	30.96	0.16	23,492	0.005	1.1	1	0	299.7
2016	83.40	30.44	0.16	23,540	0.005	1.1	1	0	295.3
2017	85.55	31.24	0.16	23,571	0.005	1.1	1	0	303.4
2018	87.88	32.08	0.16	23,589	0.005	1.1	1	0	311.8
2019	86.70	31.65	0.16	23,603	0.005	1.1	1	0	307.8

表 7.5.9 生活污水相關參數預設值之不確定範圍

參數	不確定性範圍
排放係數	
最大甲烷生成量(Bo)	±30%
甲烷修正係數(MCF)	±50%：未處理系統和廁所 ±30%：化糞池、管理不完善的處理廠 ±10%：集中管理完善的處理廠
活動資料	
人口數(P)	±5%
BOD/persons	±30%
人口收入族群比例(U)	±15%：城市高收入和城市低收入之間的區別可能必須基於專家判斷
各個收入群體(Ti,j)的處理/排放途徑或系統的利用程度	±3%：記錄優良且僅有一個或兩個系統 ±50%：個別方法驗證 100%：驗證總 Ti,j
下水道含額外事業廢水 BOD 之修正係數(I)	0%：未收集 ±20%：共同收集

資料來源：國家溫室氣體清單優良作法指南和不確定性管理，2000 年 IPCC 優良作法指南。

表 7.5.10 臺灣 2019 年生活污水未納管處理甲烷排放不確定性

活動資料和排放係數	不確定(%)	說明
P：人口數	5	採國家人口統計資料，依 IPCC 建議不確定性 5%。
BOD：住商部門污水處理中可分解有機物量 (kg BOD/ persons/yr)	5	BOD 採 IPCC 預設值 40g/p.d，預設不確定性 30%。經專家會議，確認 IPCC BOD 建議值，接近國內及日本實際數據不確定性，以 5%計。
Bo：最大甲烷產生量	30	Bo 採用 IPCC 預設值 0.6 計算，不確定性以 IPCC 預設值 30%計算。
MCF _j ：甲烷修正係數	30	MCF 值以 IPCC 化糞池 0.5 計算，不確定性以 IPCC 預設值 30%計算。
污水處理率[%]	5	依主管機關統計污水接管戶數及處理人數，屬高品質數據，不確定性值以 5%計。
R：污泥去除量	0	未考慮以 0%計算。
活動強度不確定性計算結果	7.07	
排放係數不確定性計算結果	42.72	
排放量不確定性計算結果	43.30	

表 7.5.11 臺灣 2019 年生活污水納管處理甲烷排放不確定性(污水處理廠)

活動資料和排放係數	不確定性(%)	說明
A_i ：全國公共污水處理廠污水處理量 [m ³]	10	採內政部營建署統計資料，設定 10%。
EF：排放係數[CH ₄ kg/m ³]	20	引用國內研究報告成果及他國清冊採用值，設定 20%。
活動強度不確定性計算結果	10.00	
排放係數不確定性計算結果	20.00	
排放量不確定性計算結果	22.36	

表 7.5.12 臺灣 2019 年生活污水甲烷排放之總不確定性

活動資料和排放係數	未納管處理	納管處理-污水處理廠
活動強度不確定性計算結果[%]	7.07	10
排放係數不確定性計算結果[%]	42.72	20.00
排放量不確定性計算結果[%]	43.30	22.36
排放量[千公噸]	18.02	1.20
生活污水總不確定性[%]	40.63	

表 7.5.13 臺灣 2019 年生活污水氧化亞氮排放之不確定性

活動資料和排放係數	不確定性(%)	說明
P：國內人口數	5	採國家人口統計資料，依 IPCC 建議不確定性 5%
Protein：每人每年蛋白質攝取量 [kg/person/yr]	10	依據農委會糧食平衡表每人每日蛋白質供給量，具有高品質數據，不確定性以 10% 計。
Frac _{NPR} ：蛋白質中氮的比例 [kg N/kg protein]	20	參考掩埋場可降解有機碳之不確定性
F _{NON-CON} ： 污水中之非消耗蛋白質係數	5	採 IPCC 預設係數(發展中國家 1.1)。參考掩埋場引用沼氣中甲烷比例(F)預設值，不確定性 5%計。
EF ₆ ：排放係數 [kg N ₂ O-N/kg sewage N produced]	20	採 IPCC 預設係數(0.005)，參考掩埋場引用 IPCC DOC 預設值，不確定性以 20% 計算。
活動強度不確定性計算結果	11.18	
排放係數不確定性計算結果	28.72	
排放量不確定性計算結果	30.82	

表 7.5.14 生活污水一般清單品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	<ul style="list-style-type: none"> 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料(內政部登載公共污水下水道系統普及率、專用污水下水道系統普及率、建築物污水處理設施普及率及污水好氧處理率及國內人口數、農業委員會糧食平衡表之每人每日蛋白質供給量)和排放因數(IPCC 建議值)的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	<ul style="list-style-type: none"> 確認正確引用「內政部登載資料」及「農業委員會糧食平衡表」結果
檢查排放計算的準確性	<ul style="list-style-type: none"> 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> 確認各欄位單位標記的準確性 確認整個計算過程中單位使用的準確性 確認轉換因數的準確性 無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> 無引用適用多種排放源類別的資料
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	<ul style="list-style-type: none"> 檢查提供不確定性估算之專家判斷值與其獨立資格 檢查所記錄的資格假定和專家判斷值，以檢查不確定性計算的完整性與準確性 目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
展開內部檔的審評	<ul style="list-style-type: none"> 詳細登錄資料來源引用與版本差異 檢查歸檔並存儲的清單資料、佐證資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	<ul style="list-style-type: none"> 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 確認於整個時間序列所計算之運算法則/方法一致性 無時間序列一致性缺漏情事
展開完全檢查	<ul style="list-style-type: none"> 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基準年到當前清單時段內所有年份排放源別
比較現有估算和原始估算	<ul style="list-style-type: none"> 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 行政院農業委員會 2019 年統計資料中，修正 2018 年每人每日蛋白質攝取數據，據此修正生活污水處理廠氧化亞氮排放

7.5.2 事業廢水處理與放流(5.D.2)

1. 排放源及匯分類的描述

(1). 事業廢水甲烷排放

依 2006 IPCC 計算規定，事業廢水甲烷排放僅需考量廠內厭氧處理設施單元之排放，並針對下列富含有機廢水之業別估算：

- A. 紙漿和紙張製造
- B. 肉類和家禽加工
- C. 醇，啤酒，澱粉生產
- D. 有機化工原料的生產
- E. 其他食品和飲料加工(乳製品，植物油，水果和蔬菜，罐頭，果汁製作等)

我國依據行政院環境保護署水質保護處所提供之事業廢水申報資料，篩選具有廢水厭氧處理設施之 18 類業別，包括：化工業、毛滌業、石油化學業、光電材料及元件製造業、印刷電路板製造業、印染整理業(印花、梭織布染整者)、肉品市場、玻璃業、食品製造業、屠宰業、造紙業、晶圓製造及半導體製造業、電鍍業、製革業(濕藍皮製成成品皮者)、製粉業、製糖業、藥品製造業與醱酵業等。

(2). 事業廢水氧化亞氮排放

臺灣已管制事業放流水含氮污染物之相關事業，有鑑於部分事業廢水含氮濃度較高，廢水硝化、脫硝處理過程亦會產生氧化亞氮排放，2013 年以後統計範疇增列並納入各行業事業廢水處理廠氧化亞氮排放，

以提升廢棄物部門排放量之完整性。

2. 方法論議題

(1). 計算方法

A. 事業廢水處理產生甲烷排放

IPCC 指南針對事業廢水處理產生甲烷排放計算方法如公式 7.5.2.1 所示。

B. 事業廢水處理產生氧化亞氮排放

IPCC 指南未指出此來源的計算方法，目前國內採用排放係數法(排放係數為水質處理流程及污泥處理流程之氧化亞氮排放係數合計值)計算排放量，活動數據為事業廢水中總氮含量，再乘上日本氧化亞氮排放係數得排放量。

參採日本廢棄物部門清冊的估算方法以排放係數法計算，如公式 7.5.2.2 所示。

公式 7.5.2.1

甲烷排放量(kg CH₄/yr)

$$=(TOW_i - S) \times (Bo \times MCF) - R$$

TOW_i：每年事業廢水之 COD 總量 [kg COD/yr]；i：各類事業

S：污泥移除量[kg COD/yr]

Bo：最大甲烷產生量(maximum CH₄ producing capacity) [kg CH₄/kg BOD]

MCF：甲烷修正係數(methane correction factor)，Bo × MCF=EF(排放係數)

R：甲烷回收量[kg CH₄/yr]，預設值為 0

公式 7.5.2.2 :

氧化亞氮排放量(t N₂O/yr)

$$= A_i \times TN \times EF \times 10^{-6}$$

A_i: 各類事業廢水廠處理水量[m³/yr]

TN: 各類事業處理水中總氮濃度
[mg/L]

EF: 廢水處理廠處理每公斤氮之氧化亞氮排放係數[kg N₂O/kg N]

(2) 排放係數

A. 事業廢水處理產生甲烷排放

在事業單位申報的資料中，實際操作情形仍按該廠處理單元之好、厭氧處理單元篩選，將 18 行業別廢水資料再區分為好氧與厭氧，並依據 IPCC 預設值，分別選用好氧處理系統之 MCF=0.3 與厭氧處理系統之 MCF=0.8 計算，如表 7.5.15，另最大甲烷產生量(B₀)以 IPCC 公布預設值 0.25 kg CH₄/kg COD 計算。

依 IPCC 指南公式 7.5.2.1 計算事業廢水厭氧處理產生之甲烷排放量，相關參數選用詳列於表 7.5.16。

B. 事業廢水處理產生氧化亞氮排放

事業廢水處理廠氧化亞氮排放係數係引用日本事業廢水處理使用之排放係數 0.0043 kg N₂O/kg N(為水質處理流程及污泥處理流程兩者排放係數的總和)依公式 7.5.2.2 計算，事業廢水氧化亞氮排放的相關參數，如表 7.5.17 所示。

(3). 活動數據

A. 事業廢水處理產生甲烷排放

依據 IPCC 計算式，由各業別之廢水產生量，再依據水質 COD 濃度計算各業別 COD 量。有關事業廢水甲烷排放活動數據，係直接引用行政院環境保護署水質保護處所提供之事業廢水申報資料，取得產業廢水處理設施之水量與水質進行估算。以實際事業廢水檢測申報數據計算，較 IPCC 指南以行業單位產品排水量計算，準確性更高。計算方式如下：

(a) 篩選 IPCC 規定富含有機廢水之業別，我國共 18 個行業別

(b) 依據水量、進(放)流 COD 值計算處理 COD 量

由於該資料庫係由 2000 年開始建置，針對 2000 年前之 COD 去除量則以每年全國列管家數比例推估。其中關於列管家數，係參閱中華民國環境保護統計年報 2003 年至 2019 年資料，引用(三)水質監測及污染防治表 3-5 中關於「列管家數」之數據，相關歷年活動數據，如表 7.5.18 所示。

(c) 依據是否具有厭氧(或兼氧)處理設施，區分為厭氧處理及好氧處理類別

B. 事業廢水處理產生氧化亞氮排放

依據歷年行政院環境保護署水質保護處所提供之事業廢水申報資料，篩選有申報總氮資料之業

別，再依各類事業廢水廠處理水量與總氮濃度，加總計算全國事業廢水的總氮排放量。目前，僅取得該管理系統 2013 年後之總氮濃度申報資料，缺少 1990 年至 2012 年之數據，此期間事業廢水廠的總氮排放量仍待研究。歷年活動數據，如表 7.5.19 所示。

(4).排放量

A.事業廢水處理產生甲烷排放

事業廢水處理甲烷排放量計算結果，如表 7.5.18 所示。由於排放量活動數據來自廢水申報處理量，故估算結果隨 COD 處理量而變化。2019 年甲烷排放量相較 1990 年排放量增長 1.23 倍，與 2018 年相比，COD 處理量趨於飽和，推測和近年事業廢水 CH₄ 申報資料之完整度提高有關。

B.事業廢水處理產生氧化亞氮排放

事業廢水氧化亞氮排放量計算，如表 7.5.19 所示。由於排放量活動數據來自各行業申報的處理水量、氨氮及硝酸鹽氮濃度而變化。2019 年排放量相較 2013 年增長近 3 倍，推測其原因可歸因於 2017 年底增訂氨氮和總氮管制規定，各行業須分別於 2019 年或 2021 年實施，導致 2019 年起事業廢水含氮氮與硝酸鹽氮之申報家數明顯增加，排放量僅較 2018 年增加 5.8 千公噸二氧化碳當量，主要來自中小型事業單位之申報家數提高，惟氮

氮處理濃度與水量相對小，因此排放量對於整體影響僅有小幅度上升。

(5).完整性

A.事業廢水處理產生甲烷排放

事業列管家數係參閱 2003 年至 2019 年中華民國環境保護統計年報，因僅登載 1998 年後的活動數據，故依據工廠登記家數回推至 1990 年至 1998 年期間各年度的列管家數。

行政院環境保護署水質保護處所提供之事業廢水申報資料，於 2007 年後較為齊全，故針對不齊備年期之列管單位申報資料，以其 2007 年之後完整申報資料之年平均值進行概估，進而以列管家數外推方式，計算各年期事業廢水中去除之有機物，以符合各年期時間序列之完整性及一致性。

B.事業廢水處理產生氧化亞氮排放

行政院環境保護署水質保護處所提供之事業廢水申報資料，目前僅取得上述資料庫中 2013 年後申報資料的總氮濃度，缺少 1990 年至 2012 年之數據，此期間事業廢水廠的總氮排放量仍待研究。

3.不確定性與時間序列的一致性

(1).不確定性

有關廢棄物部門各來源排放量不確定性之評估方法參閱 7.2.1 節不確定性分析。IPCC 指南列出

事業廢水甲烷排放之排放係數和活動資料的預設值不確定性範圍，如表 7.5.20 所示。不同類型事業廢水的甲烷排放潛勢差異很大，因此應盡可能收集資料，以確定最大甲烷產生量(Bo)和厭氧處理的廢水比例。

表 7.5.21 為事業廢水甲烷排放量計算公式中，各項活動資料與排放係數不確定性結果，分別計算活動強度、排放係數及排放量不確定性，分別為 14.14%、36.06%和 38.73%。

(2).時間序列的一致性

同事業廢水處理產生甲烷排放之完整性說明。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

利用國家行政院環境保護署水質保護處所提供之事業廢水定檢申報活動數據為基礎，以 IPCC 建議排放係數，參考 26 IPCC 優良作法指南，計算溫室氣體排放量。

針對本範疇之計算方式、引用參數及計算結果，業已於 2015 年 5 月及 10 月召開專家會議，另針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性進行確認。另針對事業水好厭氧占比，已於 2016 年至 2019 年期間針對數據來源、引用參數研析其合理性召開專家諮詢會進行確認，並同意事業廢水有機物移除量以好、厭氧區分為計算方式。

另參考 2000 年 IPCC 優良作法指南中「方法 1 一般清冊品質控

制程序」(表 7.5.23)，檢核數據與引用數據來源內容是否一致。

由於 2006 IPCC 並未針對事業廢水處理氧化亞氮排放有預設之不確定性，此範疇的不確定性判定原則係統一參考掩埋場之不確定性計算。

事業廢水處理氧化亞氮排放之各項參數詳細資料列於表 7.5.22，依各項活動資料與排放係數不確定性結果，分別計算活動強度、排放係數及排放量之不確定性，依次為 14.14%、20.00%和 24.49%。

5. 特定排放源的重新計算

本年度此排放源無重新計算。

6. 特定排放源的改善計畫

行政院環境保護署自 2016 年開始針對國內事業廢水中 COD 及含氮污染物顯著事業之事業廢水處理廠(如造紙業)，直接量測溫室氣體甲烷及氧化亞氮之排放量，預計分年分業建立本土排放係數，以精進估算國內事業廢水溫室氣體排放量。

事業廢水處理甲烷排放量長期呈現上升趨勢，建議有機物質濃度高的行業別或廢水處理廠可優先進行甲烷回收處理及再利用，可做為排放清冊扣除統計依據。此外，IPCC 於 2019 年 12 月公告 2019 IPCC 清冊指南修訂版中，針對事業廢水氧化亞氮提出明確估算方法，預計於本年度專家諮詢會討論計算方法與範疇，重新計算事業廢水氧化亞氮溫室氣體排放量。

表 7.5.15 事業廢水甲烷排放 MCF 預設值

處理和排放途徑或系統類型	備註	MCF	範圍
未處理			
海洋、河流和湖泊排放	有機物含量高的河流可能變成厭氧的，但不在此處考慮。	0.1	0 – 0.2
已處理			
好氧處理廠	必須管理完善。一些甲烷會從沉澱池和細菌囊胞排放出來。	0	0 – 0.1
好氧處理廠	管理不完善或超載者。	0.3	0.2 – 0.4
污泥的厭氧淨化槽	此處不考慮甲烷回收。	0.8	0.8 – 1.0
厭氧反應器(如 UASB，固定膜反應器)	此處不考慮甲烷回收。	0.8	0.8 – 1.0
淺的厭氧塘	深度不足 2 米，採用專家判斷。	0.2	0 – 0.3
深厭氧塘	深度超過 2 米	0.8	0.8 – 1.0

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, volume 5，waste，P.6-21，table 6.8。

表 7.5.16 事業廢水處理甲烷排放參數採用一覽表

參數	IPCC 計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
污水量($P_i \times W_i$)	國內資料自行確定	由於列管事業廢水資料庫中已具有各列管單位廢水處理之進排水量與進排水口之 COD 值，因此可直接計算各列管事業廢水廠商廢水處理所移除之可分解有機物 COD(公斤)。	列管事業廢水資料，其取自於「列管事業廢水資料庫」中篩選具有厭氧處理設施之業別。
COD(事業部門可分解有機物)	國內資料自行確定		
污泥移除量(S)	預設值 0	考量目前沒有轉變為污泥之 COD 資料，故暫設為 0。	IPCC 預設值
最大甲烷生成量(B_0)	0.25 kg CH ₄ /kg COD	採用 IPCC 預設值 0.25 kg CH ₄ /kg COD。	IPCC 預設值
甲烷修正係數(MCF)	提供各種處理系統預設值	好氧：採用 IPCC 好氧系統 MCF 值 0.3 計算。 厭氧：採用 IPCC 厭氧系統 MCF 值 0.8 計算。	IPCC 預設值
甲烷移除量(R)	預設值 0	採用 IPCC 預設值 0。	IPCC 預設值

表 7.5.17 事業廢水處理氧化亞氮排放參數採用一覽表

參數	IPCC 計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
各類事業廢水廠處理水量(A_i)	國內資料自行確定	列管事業廢水資料庫申報資料	行政院環境保護署水質保護處所提供之事業廢水申報資料中有申報總氮資料之業別
各類事業處理水中總氮濃度(TN)	國內資料自行確定	列管事業廢水資料庫申報資料	行政院環境保護署水質保護處所提供之事業廢水申報資料中有申報總氮資料之業別
排放係數	國內資料自行確定	引用日本事業廢水處理氧化亞氮排放係數 0.0043 kg N ₂ O/kg N	他國清冊採用值

表 7.5.18 臺灣 1990 年至 2019 年事業廢水處理甲烷活動數據及排放量

年份	列管 家數	TOW _i 事業廢水中 遭去除之 有機物 (公噸 COD) (P _i ×W _i ×COD _i)	S _i 移除轉變 為污泥之 可分解 有機物 (公噸)	B ₀ 最大 甲烷產生量 (kg CH ₄ / kg COD)	MCF _j 甲烷 轉換係數		R 甲烷 移除量 (公噸/年)	甲烷 排放量 (千公噸二氧 化碳當量)
					好氧	厭氧		
1990	10,394	146,137	0	0.25	0.3	0.8	0	411.0
1991	14,188	172,731	0	0.25	0.3	0.8	0	485.8
1992	15,339	179,288	0	0.25	0.3	0.8	0	504.2
1993	14,154	172,410	0	0.25	0.3	0.8	0	484.9
1994	14,699	175,703	0	0.25	0.3	0.8	0	494.2
1995	15,650	181,016	0	0.25	0.3	0.8	0	509.1
1996	17,853	192,184	0	0.25	0.3	0.8	0	540.5
1997	16,901	187,536	0	0.25	0.3	0.8	0	527.4
1998	15,421	179,724	0	0.25	0.3	0.8	0	505.5
1999	14,330	173,525	0	0.25	0.3	0.8	0	488.0
2000	14,908	166,989	0	0.25	0.3	0.8	0	469.7
2001	13,217	167,292	0	0.25	0.3	0.8	0	470.5
2002	14,279	168,818	0	0.25	0.3	0.8	0	474.8
2003	14,860	185,792	0	0.25	0.3	0.8	0	522.5
2004	15,754	175,933	0	0.25	0.3	0.8	0	494.8
2005	16,130	187,012	0	0.25	0.3	0.8	0	526.0
2006	16,624	187,236	0	0.25	0.3	0.8	0	526.6
2007	17,739	209,534	0	0.25	0.3	0.8	0	589.3
2008	18,694	202,160	0	0.25	0.3	0.8	0	568.6
2009	18,837	204,440	0	0.25	0.3	0.8	0	575.0
2010	19,315	195,863	0	0.25	0.3	0.8	0	550.9
2011	20,259	200,871	0	0.25	0.3	0.8	0	564.9
2012	20,570	215,663	0	0.25	0.3	0.8	0	606.6
2013	20,693	205,379	0	0.25	0.3	0.8	0	577.6
2014	20,521	229,061	0	0.25	0.3	0.8	0	644.2
2015	20,968	239,799	0	0.25	0.3	0.8	0	674.4
2016	21,338	273,243	0	0.25	0.3	0.8	0	768.5
2017	21,899	292,011	0	0.25	0.3	0.8	0	821.3
2018	24,941	334,172	0	0.25	0.3	0.8	0	939.9
2019	27,100	334,525	0	0.25	0.3	0.8	0	940.9

表 7.5.19 臺灣 2013 年至 2019 年事業廢水氧化亞氮活動數據及排放量

年份	家數*	總氮處理放量 (公噸/年)	排放係數 (kg N ₂ O/kg N)	氧化亞氮排放量 (千公噸二氧化碳當量)
2013	273	13,204.3	0.0043	16.9
2014	346	15,882.2	0.0043	20.4
2015	387	14,309.2	0.0043	18.3
2016	388	8,280.3	0.0043	10.6
2017	483	38,224.8	0.0043	49.0
2018	578	34,366.5	0.0043	44.0
2019	1,833	38,836.6	0.0043	49.8

*申報水質含氮與硝酸鹽氮之家數

表 7.5.20 IPCC 指南事業廢水相關參數預設值之不確定範圍

參數	不確定性範圍
排放係數	
最大甲烷生成量(B_0)	±30%
甲烷修正係數(MCF)	不確定性範圍應當由專家判斷來確定
活動資料	
工業產量(P)	± 25%，利用專家來評判資料來源品質，以獲得更精確的不確定性範圍。
廢水產生量(W)	<ul style="list-style-type: none"> • 這些資料有較高不確定。因為不同國家、不同工廠的同一個部門可能採用不同的廢水處理步驟。 • 產品參數($W \times \text{COD}$)不確定性較小。 • -50%、100%等數值被假設，由於不確定性值可以直接歸於公斤 COD/公噸產品。
化學需氧量(COD)	

資料來源：IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, chap5, table 5.5, 2000。

表 7.5.21 臺灣 2019 年廢棄物部門事業廢水甲烷排放之不確定性

活動資料和排放係數	不確定性(%)	說明
W_i ：廢水處理量[m ³]	10	引用處理廠連續計量設施之申報處理量，具高品質數據來源，不確定性 10%。
COD_i ：化學需氧量[kg COD/m ³]	10	為進出流廢水定期檢測數據，計算 COD 去除量，具高品質數據來源，不確定性以 10%計算。
S ：廢水處理後產生有機污泥之 COD 總量[kg COD/yr]	N/A	未納入計算。
B_0 ：最大甲烷產生量(kg CH ₄ /kg COD)	30	B_0 採 IPCC 預設係數值(0.25)，不確定性引用 IPCC 預設值 30%計算。
MCF_j ：甲烷修正係數	20	參考 IPCC 建議集中管理完善的處理廠不確定性 10%，管理不完善者 30%。保守以不確定性 20%計算。
R ：甲烷移除量[kg CH ₄ /yr]	N/A	未納入計算。
活動強度不確定性計算結果	14.14	
排放係數不確定性計算結果	36.06	
排放量不確定性計算結果	38.73	

表 7.5.22 臺灣 2019 年事業廢水氧化亞氮排放之不確定性

活動資料和排放係數	不確定性(%)	說明
A_i ：各類事業廢水廠處理水量[m ³]	10	引用處理廠連續計量設施之申報水量資料，具高品質數據來源，不確定性以 10%計算。
TN：各類事業處理水中總氮濃度[mg/L]	10	為放流廢水定期檢測數據，具高品質數據來源，不確定性以 10%計算。
EF：排放係數[kg N ₂ O/kg N]	20	引用他國清冊採用值，設定 20%。
活動強度不確定性計算結果	14.14	
排放係數不確定性計算結果	20.00	
排放量不確定性計算結果	24.49	

表 7.5.23 事業廢水一般清冊品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	<ul style="list-style-type: none"> 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料(事業廢水污染管制資料)和排放因數(IPCC 建議值)的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	<ul style="list-style-type: none"> 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」及行政院環境保護署水質保護處所提供之事業廢水申報資料中，篩選出資料庫中定檢資料」結果
檢查排放計算的準確性	<ul style="list-style-type: none"> 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> 確認各欄位單位標記的準確性 確認整個計算過程中單位使用的準確性 確認轉換因數的準確性 確認時間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> 無引用適用多種排放源類別的資料
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	<ul style="list-style-type: none"> 檢查提供不確定性估算之專家判斷值與其獨立資格 檢查所記錄的資格假定和專家判斷值，以檢查不確定性計算的完整性與準確性 目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
展開內部檔的審評	<ul style="list-style-type: none"> 詳細登錄資料來源引用與版本差異 檢查歸檔並存儲的清單資料、佐證資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	<ul style="list-style-type: none"> 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 確認於整個時間序列所計算之運算法則/方法一致性 無時間序列一致性缺漏情事
展開完全檢查	<ul style="list-style-type: none"> 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基準年到當前清單時段內所有年份排放源別
比較現有估算和原始估算	<ul style="list-style-type: none"> 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處

7.6 參考文獻

1. IPCC, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2000.
2. IPCC, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2019.
3. IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.
4. National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN, 2016
5. 行政院內政部 2018,「內政部統計查詢網-污水下水道系統執行概況」, 線上文件 : <<http://statis.moi.gov.tw/micst/stmain.jsp?sys=100>>瀏覽日期(2020年03月)。
6. 行政院內政部 2018,「內政部統計查詢網-土地面積、戶數與人口數」, 線上文件 : <<http://statis.moi.gov.tw/micst/stmain.jsp?sys=100>>瀏覽日期(2020年03月)。
7. 行政院農業委員會 2018,「糧食平衡表-每人每日蛋白質供給量」, 線上文件 : <<http://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/common/CommonStatistics.aspx>>瀏覽日期(2020年03月)。
8. 行政院環境保護署 2002,「中華民國環境保護統計年報中華民國91年」, 2002年08月。
9. 行政院環境保護署 2003,「中華民國環境保護統計年報中華民國92年」, 2003年08月。
10. 行政院環境保護署 2004,「中華民國環境保護統計年報中華民國93年」, 2004年08月。
11. 行政院環境保護署 2005,「中華民國環境保護統計年報中華民國94年」, 2005年08月。
12. 行政院環境保護署 2006,「中華民國環境保護統計年報中華民國95年」, 2006年08月。
13. 行政院環境保護署 2007,「中華民國環境保護統計年報中華民國96年」, 2007年08月。
14. 行政院環境保護署 2008,「中華民國環境保護統計年報中華民國97年」, 2008年08月。
15. 行政院環境保護署 2009,「中華民國環境保護統計年報中華民國98年」, 2009年08月。
16. 行政院環境保護署 2009,「國家通訊及溫室氣體排放清冊建置應用」, EPA-98-FA11-03-A060, 2010年02月。
17. 行政院環境保護署 2010,「中華民國環境保護統計年報中華民國99年」, 2010年08月。
18. 行政院環境保護署 2011,「中華民國環境保護統計年報中華民國100年」, 2011年08月。
19. 行政院環境保護署 2012,「中華民國環境保護統計年報中華民國101年」, 2012年08月。
20. 行政院環境保護署 2013,「中華民國環境保護統計年報中華民國102年」, 2013年08月。
21. 行政院環境保護署 2014,「中華民國

國環境保護統計年報中華民國103年」，2014年08月。

3月。

22. 行政院環境保護署 2015,「中華民國環境保護統計年報中華民國104年」，2015年08月。
23. 行政院環境保護署 2016,「中華民國環境保護統計年報中華民國105年」，2016年08月。
24. 行政院環境保護署 2017,「中華民國環境保護統計年報中華民國106年」，2017年08月。
25. 行政院環境保護署 2018,「中華民國環境保護統計年報中華民國107年」，2018年08月。
26. 行政院環境保護署 2019,「中華民國環境保護統計年報中華民國107年」，2019年11月。
27. 行政院環境保護署 2019,「中華民國環境保護統計年報中華民國107年」，2020年09月。
28. 行政院環境保護署,「2019 水污染源管制資料管理系統-事業廢水檢測申報許可管理資料」，2021年03月。
29. 行政院環境保護署,「中小型焚化爐空污費申報系統資料」，2021年