



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

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:

- 一、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。
- 二、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。

三、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。

臺灣 1990 年至 2017 年廢棄物部門溫室氣體排放量, 如表 7.1.2 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。2017 年, 廢棄物部門排放量為 3,978.5 千公噸二氧化碳當量, 較基準年 (1990 年) 減少 54.54%, 較 2016 年少了 1.78%, 較 2015 年減少約莫 2.7%, 總體依舊呈現遞減之趨勢, 但逐漸平穩。

2017 年廢棄物部門整體溫室氣體排放, 其中來自掩埋處理排放為 834.4 千公噸二氧化碳當量、生活污水處理排放為 1,470.0 千公噸二氧化碳當量、事業廢水處理排放為 1,059.0 千公噸二氧化碳當量、焚化處理排放為 126.4 千公噸二氧化碳當量及堆肥處理排放為 38.8 千公噸二氧

表 7.1.1 IPCC 指南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	✓ 甲烷由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。 ✓ 二氧化碳亦會產生, 但此處僅列入由非生物或非有機廢棄物來源所產生之二氧化碳。	二氧化碳、甲烷、氧化亞氮
	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、或廢棄物平整等措施。	甲烷、氧化亞氮
	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。	甲烷、氧化亞氮
	5.A.3 其他	其他廢棄物掩埋場。	甲烷、氧化亞氮
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。	二氧化碳、甲烷
5.C	廢棄物之焚化與露天燃燒	✓ 廢棄物焚化, 但不包括廢棄物發電設備。 ✓ 廢棄物燃燒發電所產生之排放應列於能源部門 (1.A)。 ✓ 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、甲烷、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。	二氧化碳、甲烷、氧化亞氮
5.D	廢水處理與放流	✓ 甲烷與氮氧化物由有機物於污水設備與食物處理及其他工業設備之廢水處理過程中經細菌厭氧分解所產生。 ✓ 氧化亞氮亦可能由污水處理與人類的排泄物所釋出。 ✓ 甲烷排放包含於事業廢水及生活與住商污水類別, 氮氧化物排放包含於生活與住商污水類別。	二氧化碳、甲烷、氧化亞氮
	5.D.1 生活及住商污水	✓ 住宅與商業來源之液態廢棄物與污泥處理 (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。 ✓ 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	✓ 自於工業製程之液態製程之液體廢棄物及污泥處理: 食物處理、紡織業、紙漿及造紙業。 ✓ 此類別可能包括廢水收集與處理、廢水池或逕流釋放。 ✓ 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; 如醫療廢棄物、有害廢棄物與農業廢棄物等。	二氧化碳、甲烷、氧化亞氮

表 7.1.2 臺灣 1990 至 2017 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	廢棄物掩埋甲烷排放量	生活污水甲烷產生量	生活污水氧化亞氮產生量	事業廢水甲烷產生量	事業廢水氧化亞氮產生量	焚化爐二氧化碳產生量	焚化爐氧化亞氮產生量	堆肥甲烷產生量	堆肥氧化亞氮產生量	廢棄物部門溫室氣體排放量
1990	5,831.8	2,176.3	284.5	730.7	-	20.5	1.1	11.3	10.1	9,066.2
1991	5,917.4	2,198.1	283.8	863.7	-	8.3	0.4	0.5	0.5	9,272.6
1992	5,928.2	2,218.1	293.8	896.4	-	65.0	3.6	0.8	0.7	9,406.6
1993	6,322.9	2,237.7	307.4	862.1	-	63.1	3.5	0.5	0.4	9,797.5
1994	7,060.8	2,256.1	307.5	878.5	-	110.1	5.8	0.1	0.1	10,619.0
1995	7,719.3	2,274.2	315.5	905.1	-	397.9	18.2	0.6	0.6	11,631.4
1996	8,080.1	2,288.1	318.1	960.9	-	386.6	19.1	0.3	0.2	12,053.4
1997	8,212.6	2,303.0	331.7	937.7	-	104.9	3.8	1.4	1.3	11,896.4
1998	8,373.7	2,285.5	315.2	898.6	-	116.6	5.7	0.1	0.0	11,995.4
1999	8,606.0	2,174.7	324.2	867.6	-	65.0	3.2	1.9	1.7	12,044.4
2000	8,028.2	2,081.1	322.4	834.9	-	259.0	8.0	0.3	0.2	11,534.1
2001	7,308.6	2,054.8	310.0	836.5	-	539.9	30.0	0.0	0.0	11,079.9
2002	6,828.2	2,020.3	321.3	844.1	-	612.1	26.3	0.4	0.3	10,653.0
2003	6,320.7	2,000.6	326.9	929.0	-	417.3	23.9	2.3	2.1	10,022.6
2004	5,775.8	1,938.9	313.8	879.7	-	512.4	23.1	6.7	6.0	9,456.2
2005	5,229.5	1,880.0	313.6	935.1	-	347.8	27.4	9.8	8.7	8,751.8
2006	4,665.2	1,821.6	277.5	936.2	-	469.6	30.5	11.3	10.1	8,221.9
2007	4,142.7	1,750.7	285.3	1,047.7	-	562.1	29.7	14.5	12.9	7,845.6
2008	3,607.3	1,693.6	264.5	1,010.8	-	443.2	20.6	16.5	14.7	7,071.2
2009	3,070.9	1,629.7	269.9	1,022.2	-	154.3	8.6	17.9	16.0	6,189.6
2010	2,600.7	1,579.1	272.9	979.3	-	208.2	10.8	20.9	18.7	5,690.7
2011	2,225.2	1,506.4	281.6	1,004.4	-	148.6	9.2	26.2	23.4	5,225.0
2012	1,889.3	1,432.9	282.2	1,078.3	-	148.5	8.6	24.4	21.8	4,886.0
2013	1,597.2	1,383.6	276.9	1,026.9	16.9	153.4	8.8	22.6	20.2	4,506.5
2014	1,350.8	1,338.8	284.5	1,145.3	20.4	146.3	8.7	20.4	18.3	4,333.5
2015	1,141.1	1,285.0	299.7	1,199.0	18.3	102.5	6.1	19.7	17.6	4,089.1
2016	969.8	1,232.5	295.3	1,366.2	10.6	132.1	6.7	19.7	17.6	4,050.7
2017	834.4	1,166.5	303.4	1,460.1	49.0	120.2	6.2	20.5	18.3	3,978.5

說明：1. 2017 年事業廢水處理甲烷之計算，因尚未取得實際統計資料，故暫以 2017 年列管家數比例推估。
2. 2017 年事業廢水處理氧化亞氮之計算，因尚未取得實際統計資料，故暫以近三年數據平均計算之。

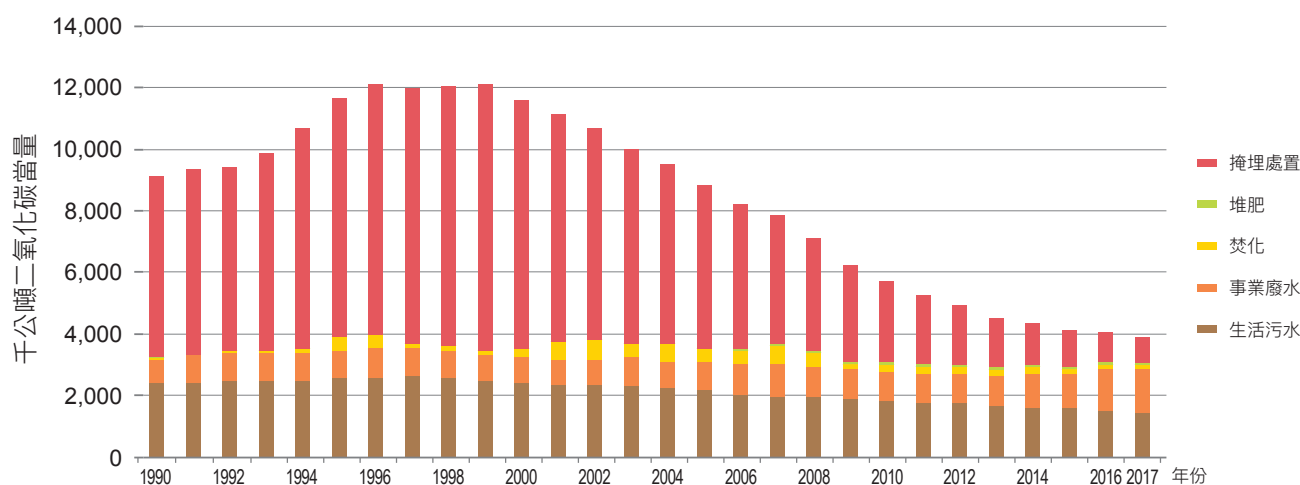


圖 7.1.1 臺灣 1990 至 2017 年廢棄物部門溫室氣體排放量趨勢

化碳當量。在排放氣體方面，甲烷為 3,481.4 千公噸二氧化碳當量、氧化亞氮為 376.9 千公噸二氧化碳當量及二氧化碳為 120.2 千公噸二氧化碳當量。

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，至 2017 年計算結果顯示，生活污水處理排放 36.9% 及事業廢水處理排放 37.9% 之總和約占廢棄物部門排放的 7 成 (74.8%)，其次依序為廢棄物掩埋排放量 21.0%、焚化處理排放 3.2% 及堆肥處理 1.0%；若依氣體內容分析，甲烷則長期占年度排放量的 88 ~ 97%，以 2017 年氣體排放比例來看，甲烷占比為 87.5%、氧化亞氮 9.5%，二氧化碳僅占 3.0%。有關各類溫室氣體排放量逐年趨勢如圖 7.1-2 所示。

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：

- 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。
- 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 (比例)(degradable organic carbon, DOC)。

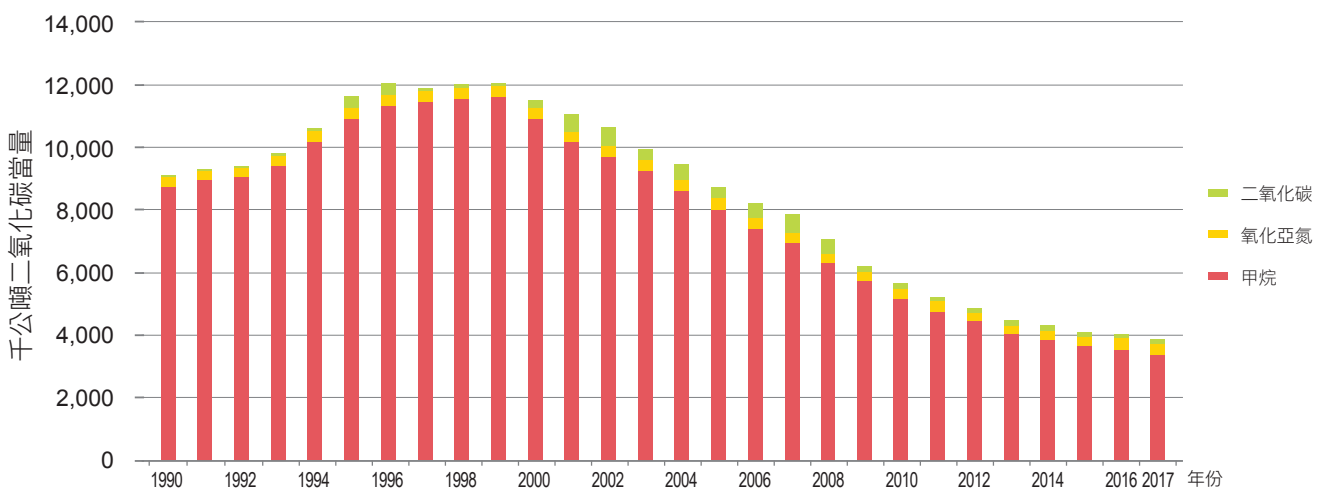


圖 7.1.2 廢棄物部門 1990 至 2017 年各類溫室氣體排放量趨勢

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 至 2017 年甲烷排放量。

廢棄物掩埋產生甲烷(CH₄)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：

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

DDOC_m decomp_T：第 T 年分解之 DDOC_m(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)
DDOC_m：可分解 DOC 量 (Gg/yr)， $W \times \text{MCF} \times \text{DOC} \times \text{DOC}_f$
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 (比例) (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：

$$\text{DDOC}_{mT} = \text{DDOC}_{mT-1} + (\text{DDOC}_{mT-1} \times e^{-k})$$

$$\text{DDOC}_m \text{ decomp}_T = \text{DDOC}_{mT-1} \times (1 - e^{-k})$$

T：年份
DDOC_{mT}：第 T 年末累積之 DDOC_m(Gg/yr)
DDOC_{mT-1}：第 (T-1) 年末累積之 DDOC_m(Gg/yr)
DDOC_{mT}：第 T 當年沉積之 DDOC_m(Gg/yr)
DDOC_m decomp_T：第 T 年分解之 DDOC_m(Gg/yr)
k = 反應常數， $k = \ln(2)/t_{1/2}$
t_{1/2} = 半衰期時間 (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(CH₄)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、八里及三峽等六處沼氣發電掩埋場，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。我國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，有關利用於沼氣發電之甲烷處理量。

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 (MCF) 值為 1.0。

D. DOC：可分解有機碳含量 (比例) (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礦物碳占總碳之比例，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(CH₄)排放之參數；礦物碳則可做為焚化處理之計算二氧化碳(CO₂)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：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(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 (Methan 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、木材係數及食品廢棄物) 以及廢棄物成分組成計算，其中在 1950 年至 1990 年之反應常數皆依據 1990 年之廢棄物組成加權計算，1990 年至 2017 年則根據每年之廢棄物組成與

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含量 (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
食物垃圾	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)	(39)	(47)	(47)	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：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 $\leq 20^\circ\text{C}$)				熱帶 (MAT $> 20^\circ\text{C}$)			
		乾 (MAP/PET < 1)		濕 (MAP/PET > 1)		乾 (MAP $< 1000\text{mm}$)		濕潤、潮濕 (MAP $\geq 1000\text{mm}$)	
		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	食品廢棄物 / 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
批量廢棄物		0.05	0.04-0.06	0.09	0.08-0.1	0.065	0.05-0.08	0.17	0.15-0.2

說明：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。

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 2017 年垃圾清運之「衛生掩埋」數據，及 1992 年至 2017 年可燃分之「紙類」、「纖維布類」、「皮草橡膠類」、「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。

(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。2017 年相較 1990 年垃圾掩埋量（衛生掩埋與一般掩埋、堆置、其他總和）減少 98.23%，排放量也從 1990 年的 4246.4 千

公噸二氧化碳當量減少為 2017 年的 709.9 千公噸二氧化碳當量（減少 83.3%），2017 年相較 2016 年垃圾掩埋量也減少 9.63%，從 77.9 千公噸二氧化碳當量減少為 70.4 千公噸二氧化碳當量，排放量則下降 14.7%。

(5) 完整性

1990 年至 2017 年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 2017 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

有關廢棄物部門整體排放量不確定性，及各來源排放量不確定性之評估方法及估算結果，請另詳 7.6 節廢棄物部門溫室氣體排放量不確定度分析。

(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 2017 年估

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 DDOC 量 (W×DOC)	以一階衰減法估算累積量並至少追溯 50 年。	·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。	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)	公布各種氣候與不同廢棄物類型之反應常數值	·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。 ★紙張 / 紡織品係數 0.07 ★木材係數 0.035 ★食品廢棄物係數 0.4 ·根據每年之成分組成加權計算反應常數值。	中華民國環境保護年報 IPCC 預設值
甲烷修正係數 (MCF)	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。	·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。	IPCC 預設值
可分解有機碳含量 (DOC)	依據不同之廢棄物 DOC 預設值計算 ·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%	·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礦物碳成分，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作為計算值。	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)	預設值 0.5	使用以 IPCC 預設值 0.5 計算。	IPCC 預設值
掩埋場產氣中甲烷比例 (F)	預設值 0.5	·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。	IPCC 預設值，本土調查值
甲烷回收量 (R)	各國自行調查結果	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。	國內掩埋場實際發電量
氧化係數 (OX)	·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	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。	IPCC 公布值

表 7.2.6 臺灣 1990 至 2017 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

說明：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，2018 年

表 7.2.7 臺灣 1990 至 2017 年妥善管理掩埋場甲烷排放量

年份	衛生掩埋 (千公噸)	加權 (MCF)	廢棄物組成 (%)		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) (千公噸 二氧化碳 當量)	氧化 係數 (OX)	甲烷排放 量 (千公 噸二氧化 碳當量)
			組成分 析含碳 量	可分解 有機碳 (DOC)										
1990	3,979.6	1.0	15.88	15.88	632.08	4,546.2	566.30	0.135	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	4,246.4
1991	4,323.5	1.0	13.51	13.51	584.27	4,555.8	574.64	0.135	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	4,308.7
1992	5,087.5	1.0	16.93	16.50	839.43	4,819.4	575.86	0.138	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	4,317.9
1993	5,090.8	1.0	18.38	17.04	867.47	5,066.1	620.80	0.149	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	4,654.8
1994	5,574.4	1.0	18.69	18.69	1,041.75	5,408.7	699.17	0.155	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	5,242.5
1995	4,362.8	1.0	19.55	18.60	811.48	5,444.7	775.46	0.161	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	5,814.5
1996	4,824.0	1.0	18.97	18.97	915.12	5,552.3	807.49	0.161	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	6,054.7
1997	5,129.7	1.0	18.87	18.87	967.91	5,695.9	824.35	0.162	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	6,181.1
1998	5,598.0	1.0	19.18	18.47	1,033.95	5,878.2	851.67	0.167	0.5	0.5	1.333	NO	0.1	6,385.9
1999	5,366.9	1.0	20.96	18.87	1,012.74	5,988.5	902.42	0.167	0.5	0.5	1.333	78.2	0.1	6,696.1
2000	3,822.1	1.0	17.61	17.61	673.12	5,742.8	918.82	0.168	0.5	0.471	1.333	137.1	0.1	6,366.5
2001	3,015.1	1.0	17.62	17.62	531.20	5,387.8	886.21	0.172	0.5	0.471	1.333	504.7	0.1	5,805.3
2002	2,130.2	1.0	18.29	18.29	389.52	4,924.6	852.74	0.176	0.5	0.471	1.333	605.4	0.1	5,478.2
2003	1,712.9	1.0	19.84	18.71	320.48	4,451.1	793.96	0.177	0.5	0.471	1.333	526.6	0.1	5,134.0
2004	1,474.2	1.0	20.38	20.38	300.37	4,029.2	722.28	0.179	0.5	0.471	1.333	386.9	0.1	4,753.5
2005	1,184.6	1.0	22.58	17.98	212.99	3,583.1	659.08	0.180	0.5	0.471	1.333	334.7	0.1	4,354.0
2006	851.0	1.0	24.10	20.58	175.14	3,166.5	591.73	0.183	0.5	0.471	1.333	288.0	0.1	3,920.3
2007	504.9	1.0	23.18	21.44	108.26	2,745.3	529.43	0.184	0.5	0.471	1.333	253.8	0.1	3,511.1
2008	236.1	1.0	23.89	23.89	56.40	2,339.7	461.97	0.185	0.5	0.471	1.333	214.4	0.1	3,070.0
2009	185.8	1.0	22.47	22.47	41.74	1,986.2	395.28	0.185	0.5	0.471	1.333	194.2	0.1	2,617.1
2010	181.8	1.0	22.53	22.53	40.96	1,691.2	335.96	0.186	0.5	0.471	1.333	172.1	0.1	2,218.1
2011	142.2	1.0	22.29	21.70	30.85	1,434.9	287.15	0.187	0.5	0.471	1.333	139.9	0.1	1,902.3
2012	102.1	1.0	22.52	22.36	22.82	1,213.2	244.51	0.188	0.5	0.471	1.333	122.2	0.1	1,617.0
2013	91.4	1.0	23.08	22.26	20.34	1,025.9	207.63	0.188	0.5	0.471	1.333	109.8	0.1	1,367.7
2014	83.1	1.0	22.54	22.03	18.31	868.1	176.17	0.189	0.5	0.471	1.333	96.6	0.1	1,157.4
2015	91.7	1.0	21.75	21.75	19.93	738.6	149.41	0.190	0.5	0.471	1.333	85.8	0.1	978.1
2016	77.9	1.0	21.80	21.80	16.98	628.0	127.56	0.191	0.5	0.471	1.333	76.5	0.1	832.2
2017	70.4	1.0	21.95	21.95	15.45	534.4	109.06	0.192	0.5	0.471	1.333	67.0	0.1	709.9

說明：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。

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 2017 年垃圾清運之「衛生掩埋」數據，及 1992 年至 2017 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

符合方法一 (Tier 1)，為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」，如表 7.2.8 所示。透過交叉檢查重新計算及目測過濾，來檢核數據與引用數據來源內容是否一致；同時在對大量輸入資料進行查核過程中，為了避免檢核過程之錯誤，人工和自動檢查相結合是最有效的方法，故利用程式設計輔助人工檢核及簡化判讀等程序。

5. 特定排放源的重新計算

本年度依照我國新公布之 2018 年度「中華民國環境保護年報」統計資料，些微調整 2001 年至 2003 年衛生掩埋量，並更新 2002 年至 2016 年妥善掩埋場之估算排放量，如表 7.2.9 所示。

6. 特定排放源的改善計畫

由於妥善管理之廢棄物掩埋場掩埋處理量之統計年報活動數據與組成僅有全國之彙整數據，我國未來可考量區分各處理掩埋單位之活動數據與組成，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。

表 7.2.8 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	·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	·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	·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	·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	·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	·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	·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	·檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 ·檢查所記錄的資格假定和專家判斷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
開展內部檔的審評	·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支援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	·確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 ·確認用於整個時間序列計算的運算法則/方法的一致性 ·無時間序列一致性缺漏情事
開展完全檢查	·確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
比較現有估算和原始估算	·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 ·本年度因 2000 年以後沼氣中甲烷比例 F 值採用本土調查結果 0.471，故重新計算 2000 年至 2014 年的排放量

表 7.2.9 2019 年度清冊妥善掩埋排放量變動差異表

年份	2018 清冊 非妥善掩埋量 (kt)	2018 清冊 原排放量 (kt CO _{2e})	2019 清冊 非妥善掩埋量 (kt)	2019 清冊 新排放量 (kt CO _{2e})	差異百分比 (%)
2001	2996.8	5,805.3	3,015.1	5,805.3	0
2002	2116.4	5,474.6	2,130.2	5,478.2	+0.07
2003	1700.4	5,127.5	1,712.9	5,134.0	+0.13

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 2015 年甲烷 (CH₄) 排放量。

廢棄物掩埋產生甲烷 (CH₄) 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。

(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、八里及三峽等六處沼氣發電掩埋場，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 (MCF)，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 (MCF)。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 (比例) (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礦物碳占總碳之比例。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 (CH₄) 排放之參數；礦物碳則可做為焚化處理之計算二氧化碳 (CO₂) 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 that can decompose)

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。由於一般掩埋場處理較不完善，覆土不完整，甲烷易直接逸散，因此氧化係數以 0 計算。

G. k：甲烷生成率 (Methan 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 2017 年垃圾清運之「一般掩埋」、「堆置」、「其他」數據，及 1992 年至 2017 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」、「水分」及「化學分析含碳量」百分比數據，如表 7.2.10 所示。

我國於 2016 年至 2017 年一般掩埋數據中，「其他」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化爐焚燒。因此，造成近兩年活動數據變動較大。

(4) 排放量

依據 IPCC 估算廢棄物掩埋場甲烷 (CH₄) 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包括「一般掩埋」、「堆置」、「其他」等三項廢棄物類別，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 7.2.11 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九成，2004 年後幾乎皆已達 99% 以上，故未妥善管理掩埋場產生甲烷 (CH₄) 排放量亦隨著臺灣垃圾妥善處理率增加而大幅下降。

表 7.2.10 臺灣 1990 至 2017 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	

說明：1. 廢棄物組成皆為一般垃圾組成。

2. NE(未估計)，指對現有排放量沒有估計。

3. IE，列於他處。

資料來源：行政院環境保護署，中華民國環境保護統計年報，2018 年。

(5) 完整性

1990 年至 2017 年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 2017 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

有關廢棄物部門整體排放量不確定性，及各來源排放量不確定性之評估方法及估算結果，請另詳 7.6 節廢棄物部門溫室氣體排放量不確定度分析。

(2) 時間序列的一致性

未妥善管理掩埋場甲烷(CH₄)排放估算，採用 IPCC 2006 指南建議之「一階衰減法」公式進行計算，各年期

(1990 至 2016 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 2017 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 2017 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

符合方法一 (Tier 1)，為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。

表 7.2.11 臺灣 1990 至 2017 年未妥善管理掩埋場甲烷排放量

年份	一般掩埋 (千公噸)	加權 (MCF)	廢棄物組成 (%)		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 ² (R)	氧化係 數 (OX)	甲烷排 放量 ²
			組成分析 含碳量	可分解 有機碳 (DOC)									
1990	2,674.4	0.5	15.88	15.88	424.78	3,055.2	380.59	0.135	0.5	0.5	NO ¹	0.0	1,585.4
1991	2,881.3	0.5	13.51	13.51	389.37	3,058.4	386.18	0.135	0.5	0.5	NO	0.0	1,608.7
1992	2,650.5	0.5	16.93	16.50	437.34	3,109.2	386.58	0.138	0.5	0.5	NO	0.0	1,610.4
1993	2,877.5	0.5	18.38	17.04	490.33	3,199.0	400.45	0.147	0.5	0.5	NO	0.0	1,668.1
1994	2,504.5	0.5	18.69	19.08	468.05	3,230.6	436.51	0.153	0.5	0.5	NO	0.0	1,818.3
1995	3,037.6	0.5	19.55	18.60	564.99	3,338.3	457.27	0.157	0.5	0.5	NO	0.0	1,904.8
1996	2,547.8	0.5	18.97	18.99	483.32	3,335.4	486.23	0.158	0.5	0.5	NO	0.0	2,025.4
1997	2,059.5	0.5	18.87	20.44	388.60	3,236.3	487.69	0.160	0.5	0.5	NO	0.0	2,031.5
1998	1,541.4	0.5	19.18	18.47	284.70	3,043.8	477.18	0.163	0.5	0.5	NO	0.0	1,987.8
1999	1,178.1	0.5	20.96	18.87	222.31	2,807.6	458.49	0.163	0.5	0.5	NO	0.0	1,909.9
2000	823.6	0.5	17.61	21.12	145.05	2,529.2	423.46	0.164	0.5	0.471	NO	0.0	1,661.7
2001	525.1	0.5	17.62	18.24	92.51	2,238.6	383.10	0.167	0.5	0.471	NO	0.0	1,503.3
2002	296.6	0.5	18.29	20.45	54.24	1,948.9	344.03	0.169	0.5	0.471	NO	0.0	1,350.0
2003	141.3	0.5	19.84	18.71	26.44	1,672.9	302.41	0.169	0.5	0.471	NO	0.0	1,186.7
2004	81.0	0.5	20.38	20.60	16.50	1,428.9	260.51	0.170	0.5	0.471	NO	0.0	1,022.3
2005	40.3	0.5	22.58	17.98	7.24	1,213.0	223.10	0.170	0.5	0.471	NO	0.0	875.4
2006	17.7	0.5	24.10	20.58	3.64	1,026.8	189.81	0.170	0.5	0.471	NO	0.0	744.8
2007	32.5	0.5	23.18	21.44	6.97	872.9	160.96	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	631.6
2008	0.7	0.5	23.89	24.14	0.18	736.1	136.92	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	537.3
2009	1.3	0.5	22.47	22.53	0.30	620.8	115.64	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	453.8
2010	2.2	0.5	22.53	22.90	0.49	523.7	97.52	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	382.7
2011	0.1	0.5	22.29	21.70	0.02	441.5	82.29	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	322.9
2012	0.1	0.5	22.52	22.36	0.02	372.1	69.38	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	272.2
2013	0.1	0.5	23.08	22.26	0.02	313.6	58.48	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	229.5
2014	0.1	0.5	22.54	22.03	0.02	264.4	49.29	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	193.4
2015	1.7	0.5	21.75	22.10	0.37	223.2	41.55	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	163.0
2016	62.2	0.5	21.80	23.05	13.56	201.7	35.08	0.171	0.5	0.471	NO	0.0	137.6
2017	90.7	0.5	21.95	23.15	19.91	189.9	31.71	0.175	0.5	0.471	NO	0.0	124.4

說明：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。

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 7.2.12)，透過交叉檢查重新計算及目測過濾，來檢核數據與引用數據來源內容是否一致；同時在對大量輸入資料進行查核過程中，為了避免檢核過程之錯誤，人工和自動檢查相結合是最有效的方法，故利用程式設計輔助人工檢核及簡化判讀等程序。

5. 特定排放源的重新計算

本年度依照我國新公布之 2018 年度「中華民國環境

保護年報」統計資料，調整 1996 年至 2003 年非妥善掩埋量，並更新 1996 年至 2016 年非妥善掩埋場之計算排放量，1996 年至 2003 年更新如表 7.2.13 所示。

6. 特定排放源的改善計畫

由於未妥善管理之廢棄物掩埋場掩埋處量之統計年報活動數據與組成僅有全國之彙整數據，未來可進一步考量區分各處理掩埋單位之活動數據與組成，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

表 7.2.12 未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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 • 檢查所記錄的資格假定和專家判斷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
開展內部檔的審評	• 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支援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	• 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 • 確認用於整個時間序列計算的運算法則 / 方法的一致性 • 無時間序列一致性缺漏情事
開展完全檢查	• 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
比較現有估算和原始估算	• 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 • 調整調整 1996~2003 年非妥善掩埋量，並更新 1996-2016 年非妥善掩埋場之計算排放量

表 7.2.13 2019 年度清冊非妥善掩埋排放量變動差異

年份	2018 清冊 非妥善掩埋量 (千公噸)	2018 清冊 原排放量 (千公噸二氧化碳當量)	2019 清冊 非妥善掩埋量 (千公噸)	2019 清冊 新排放量 (千公噸二氧化碳當量)	差異百分比 (%)
1996	2545.3	2025.4	2547.8	2,025.4	0
1997	2045.3	2031.3	2059.5	2,031.5	+0.01
1998	1540.9	1985.9	1541.4	1,987.8	+0.10
1999	1158.6	1907.9	1178.1	1,909.9	+0.10
2000	820.9	1658.0	823.6	1,661.7	+0.22
2001	520.9	1499.8	525.1	1,503.3	+0.23
2002	287.6	1346.5	296.6	1,350.0	+0.26
2003	134.0	1182.7	141.3	1,186.7	+0.34

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。

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產生的溫室氣體排放做為一個排放源類別。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（如食品廢棄物、花園庭園之落葉等）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，而產生大量甲烷(CH₄)。若回收甲烷(CH₄)進行燃燒，多用以產生熱能或發電，而此類能源再利用之溫室氣體排放將歸屬於能源部門。此外，堆肥處理過程亦會產生氧化亞氮(N₂O)。

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：

$$CH_4(Gg/yr) = \sum i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

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：

$$N_2O(Gg/yr) = \sum i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

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 廢棄物處理，氧化亞氮為 0.3 g N₂O/kg 廢棄物處理。

參閱 IPCC 建議指南公式 7.3.1 與公式 7.3.2 計算生物處理產生（堆肥處理）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 2017 年廚餘回收之「堆肥」數據，如表 7.3.3 堆肥數據欄位所示。

(4) 排放量

生物處理（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。2017 年堆肥量相較 2016 年差異不大，略增加 7.29 千公噸，因此甲烷、氧化亞氮等溫室氣體加總較 2016 年略上升 3.69%。而相較於 1990 年則上升 74.3%。

由於 1990 年起臺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

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

生物處理的類型	甲烷排放係數 (g CH ₄ /kg 廢棄物處理)		氧化亞氮排放係數 (g N ₂ O/kg 廢棄物處理)		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，氧化亞氮為 0.3g N ₂ O/kg。	IPCC 預設值
甲烷回收量 (R)	預設值零	採 IPCC 預設值計算	IPCC 預設值

說明：參閱 2006 IPCC 指南。

於 1990 年立法禁止焚燒稻草，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，因而造成堆肥量自 2011 年以後逐年下降。

(5) 完整性

中華民國環境保護統計年報完整記載 1990 年至 2017 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

有關廢棄物部門整體排放量不確定性，及各來源排放量不確定性之評估方法及估算結果，請另詳 7.6 節廢棄物部門溫室氣體排放量不確定度分析。

(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 2017 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

符合方法一 (Tier 1)，為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。

表 7.3.3 臺灣 1990 至 2017 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 廢棄物處理)	氧化亞氮排放係數 (g N ₂ O/kg 廢棄物處理)	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

說明：堆肥活動數據來自中華民國環境保護統計年報

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 7.3.4 所示)，透過交叉檢查重新計算及目測過濾，來檢核數據與引用數據來源內容是否一致；同時在對大量輸入資料進行查核過程中，為了避免檢核過程之錯誤，人工和自動檢查相結合是最有效的方法，故利用程式設計輔助人工檢核及簡化判讀等程序。

5. 特定排放源的重新計算

本年度依照我國新公布之 2018 年度「中華民國環境保護年報」統計資料，調整 2003 年堆肥處理量與其對應之排放量，從 2018 年清冊之 22.29 千公噸和排放量 4.22 千公噸二氧化碳當量，至 2019 年清冊之 23.09 千公噸和排放量 4.37 千公噸二氧化碳當量。

6. 特定排放源的改善計畫

因堆肥處理的溫室氣體產生會受到處理方式及操作環境的影響，後續如有進一步國家相關堆肥處理之方式及本土排放係數研究，可納入參考，以精進排放之估算。現行仍採用 IPCC 預設排放係數為主。

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焚燒產生之排放報告應列於廢棄物（環境）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

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

依據 2006 IPCC 指南，針對無能源回收之廢棄物焚燒所產生的排放量屬廢棄物部門，而有能源回收之廢棄物焚化之所產生的排放量則應歸屬能源部門；另外，僅需計算礦物碳產生之溫室氣體排放量。

表 7.3.4 堆肥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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 • 檢查所記錄的資格假定和專家判斷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
開展內部檔的審評	• 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支援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	• 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 • 確認用於整個時間序列計算的運算法則 / 方法的一致性 • 無時間序列一致性缺漏情事
開展完全檢查	• 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
比較現有估算和原始估算	• 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

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、食品廢物和木料) 的碳則不包括在內，另外廢棄物焚化回收能源利用之排放，則歸屬能源部門。

公式 7.4.1.1 :

$$\text{二氧化碳 (Gg/yr)} = \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i \times 44 / 12)$$

SW_i : 廢棄物總燃燒量 (濕重)(Gg/yr)

dm_i : 廢棄物乾物質比例 (濕重)(%)

CF_i : 廢棄物乾物質之總碳比例 (總碳含量)(%)

FCF_i : 廢棄物乾物質之總碳比例之礦物碳比例 (%)

OF_i : 氧化比例 (燃燒效率)(%)

44/12 : 從 C 到 CO₂ 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 :

$$\text{氧化亞氮 (Gg / yr)} = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6}$$

IW_i : 廢棄物總燃燒量 (Gg/yr)

EF_i : N₂O 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 (N₂O) 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 (CO₂) 和氧化亞氮 (N₂O)，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礦物碳比例計算，氧化亞氮 (N₂O) 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 廢棄物焚化計算。

(3) 活動數據

廢棄物焚化之活動數據是參閱中華民國環境保護統計年報 - 中華民國 2003 年至 2017 年，引用 (四) 廢棄物管理表 4-1 垃圾清理狀況，其中關於垃圾清運之「焚化」數據，與引用表 4-2 事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」，及表 4-9 大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化 (處理) 量」。

由於我國大型焚化爐階具能源回收設施，故 2011 年以前活動數據採，引用 (四) 廢棄物管理表 4-1 垃圾清理狀況，其中關於垃圾清運之「焚化」數據，與引用表 4-2 事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」加總，並扣除扣除表 4-9 大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化 (處理) 量」，做為活動數據間接計算之方法。而採用前述間接計算不具能源回收之焚化處理量的方法，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，直接採用無能源回收中小型焚化爐廢棄物焚化量計算。

計算時並參閱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「礦物碳比例」，如表 7.4.4 所示。

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	階床式爐體	47	濕重
		流體化床	67	濕重
	半連續焚化	階床式爐體	41	濕重
		流體化床	68	濕重
	分批類焚化	階床式爐體	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，作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，作為全國燃燒廢棄物量。 	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	依據國內垃圾分析含水量計算乾物質含量。	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	依據臺灣垃圾組成與 IPCC 公布含碳量計算。	中華民國環境保護年報
廢棄物乾物質之總碳比例之礦物碳比例 (FCF _i)	提供各種物質之礦物碳比例預設值	依據國內研究資料與 IPCC 公布各種物質之化石碳比例計算。	國內研究資料
氧化比例 (OF _i)	未公布	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，作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，作為全國燃燒廢棄物量。 	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	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 N ₂ O/T 計算。	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	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)	中小型爐焚化量 (千公噸)	含水量 (%)	含碳量比率 (CCW) (%)	礦物碳比率 (FCF) (%)	焚化爐燃燒效率 (EF) (%)	氧化亞氮排放係數 (g N ₂ O/T)	二氧化碳排放量 ²	氧化亞氮排放量 ²
1990	77.7	NE	NE	NE	51.97	31.75	47.08	100	47	20.5	1.1
1991	28.8	NE	NE	NE	51.97	31.75	51.35	100	47	8.3	0.4
1992	255.4	NE	NE	NE	51.97	31.75	45.51	100	47	65.0	3.6
1993	249.0	NE	NE	NE	51.06	33.37	42.30	100	47	63.1	3.5
1994	412.5	NE	NE	NE	53.21	35.86	43.39	100	47	110.1	5.8
1995	1,301.0	NE	NE	NE	48.14	38.64	41.62	100	47	397.9	18.2
1996	1,364.6	NE	NE	NE	50.60	37.53	41.68	100	47	386.6	19.1
1997	1,691.6	NE	1,419.3	NE	46.03	44.41	43.84	100	47	104.9	3.8
1998	1,741.1	NE	1,335.4	NE	51.06	36.17	44.29	100	47	116.6	5.7
1999	2,020.6	NE	1,789.1	NE	50.76	37.17	41.80	100	47	65.0	3.2
2000	3,229.7	NE	2,659.7	NE	45.02	46.91	48.05	100	47	259.0	8.0
2001	3,736.9	2,330.1	3,922.4	NE	55.80	32.69	47.52	100	47	539.9	30.0
2002	4,316.0	2,873.9	5,311.0	NE	51.24	39.91	45.66	100	47	612.1	26.3
2003	4,304.6	2,869.8	5,470.7	NE	55.69	33.60	44.88	100	47	417.3	23.9
2004	4,307.7	2,952.1	5,611.5	NE	51.19	40.24	43.17	100	47	512.4	23.1
2005	4,300.4	3,270.7	5,614.9	NE	54.03	33.28	31.70	100	47	347.8	27.4
2006	4,164.0	3,693.6	5,683.0	NE	52.41	39.27	31.52	100	47	469.6	30.5
2007	4,335.8	3,734.7	5,948.8	NE	51.55	41.59	35.85	100	47	562.1	29.7
2008	4,137.3	3,444.2	6,110.8	NE	50.94	47.39	35.35	100	47	443.2	20.6
2009	4,036.4	2,671.0	6,092.9	NE	54.19	41.58	35.96	100	47	154.3	8.6
2010	3,888.6	3,119.7	6,235.4	NE	52.66	43.49	35.68	100	47	208.2	10.8
2011	3,468.6	3,397.5	6,355.4	660.2	55.06	39.41	34.67	100	47	148.6	9.2
2012	3,277.3	3,381.0	6,405.0	616.9	53.97	41.43	34.43	100	47	148.5	8.6
2013	3,208.7	3,281.4	6,471.8	629.4	54.08	41.16	35.16	100	47	153.4	8.8
2014	3,189.5	3,618.5	6,420.4	624.1	55.17	39.93	35.71	100	47	146.3	8.7
2015	3,143.1	3,272.7	6,622.1	434.1	54.79	40.34	35.33	100	47	102.5	6.1
2016	2,993.4	3,223.1	6,442.0	477.7	52.91	43.56	36.56	100	47	131.4	6.7
2017	2,969.7	3,289.2	6,251.2	439.4	52.60	44.01	35.77	100	47	120.2	6.2

說明：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。

資料來源：1. 中華民國環境保護統計年報，廢棄物組成皆為一般垃圾組成。

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。

(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，2017 年二氧化碳排放量約為 1990 年排放量的 5.9 倍，相較 2016 年減排 9.0%；2017 年氧化亞氮排放量相較 2016 年減排 8.5%。

(5) 完整性

估算焚化溫室氣體排放活動數據，主要依據 2017 年中華民國環境保護統計年報中，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「礦物碳比例」，僅有 1992 年至 2017 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

有關廢棄物部門整體排放量不確定性，及各來源排放量不確定性之評估方法及估算結果，請另詳 7.6 節廢棄物部門溫室氣體排放量不確定度分析。

(2) 時間序列的一致性

估算廢棄物焚化處理產生二氧化碳 (CO₂) 與氧化亞氮 (N₂O) 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「礦物碳比例」，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

符合方法一 (Tier 1)，為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 一般清單水準品質控制程序」(表 7.4.5)，透過交叉檢查重新計算及目測過濾，來檢核數據與引用數據來源內容是否一致；同時在對大量輸入資料進行查核過程中，為了避免檢核過程之錯誤，人工和自動檢查相結合是最有效的方法，故利用程式設計輔助人工檢核及簡化判讀等程序。

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，改為採用處理量較為穩定的無能源回收中小型焚化爐廢棄物焚化量，其焚化物來源主要為有害、醫療及事業廢棄物，然而計算排放量時，仍採用環境保護統計年報中的全國垃圾組成。我國未來可調查中小型焚化爐焚化物的組成及碳含量；另外亦可調查爐體類型是否多屬於連續式鍋爐，以確認氧化亞氮 (N₂O) 的排放係數採用值。

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。

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)水若經厭氧處理會產生甲烷(CH₄)及氧化亞氮(N₂O)排放；污(廢)水處理產生的二氧化碳(CO₂)排在 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(CH₄)和氧化亞氮(N₂O)排放潛勢，如表 7.5.1 所示。相較於 1996 IPCC 指南，主要增加了估算未收集廢水的甲烷(CH₄)排放、高級廢水處理廠(三級處理)的氧化亞氮(N₂O)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(CH₄)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(CH₄)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(CH₄)生成量可能會受影響，因為甲烷(CH₄)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(Cheical 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(N₂O)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(NO₃⁻)和硝酸鹽轉化成氮氣(N₂)的生物學轉化。氧化亞氮(N₂O)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(N₂O)直接排放。

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)。

2. 方法論議題

(1) 計算方法

A. 生活污水處理產生甲烷排放量計算(化糞池)

生活住商污水之處理方式可分為經化糞池處理和污水下水道送至污水處理廠處理等兩大類。估算生活污水

表 7.4.5 廢棄物焚化一般清單品質控制程序檢核表量

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	• 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	• 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	• 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	• 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 年及 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	• 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	• 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	• 複查檢核「含移除量比例」及「礦物碳比例」，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	• 檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 • 檢查所記錄的資格假定和專家判斷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
開展內部檔的審評	• 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支援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	• 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 • 確認用於整個時間序列計算的運算法則/方法的一致性 • 無時間序列一致性缺漏情事
開展完全檢查	• 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
比較現有估算和原始估算	• 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

之甲烷(CH₄)排放量引用內政部營建署公布之「全國污水下水道用戶接管普及率及整體污水處理率統計表」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普及率(%)及整體合計之污水處理率(%)，可分別計算未收集污水經化糞池處理與收集污水經污水廠處理之比例，再與內政部統計處之內政統計年報中，國內人口數及每人每日產生BOD值計算甲烷(CH₄)排放量。

IPCC指南針對生活與住商污水甲烷(CH₄)排放計算，如公式7.5.1.1所示。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。

公式 7.5.1.1 :

$$\text{甲烷排放量 (kg CH}_4\text{/yr)} = \Sigma(U_i \times T_{ij} \times Bo \times MCF_j) \times (P \times \text{BOD} \times I - S) - R$$

(化糞池)

- U_i : 不同年收入級距之比例
- T_{ij} : 不同年收入級距之污水處理程度比例
- 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)
- P : 全國人口數
- 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，未含事業廢水之預設值則為 1.0
- BOD : 每人每年產生之可分解有機物量 (kg BOD/ persons/yr)
- S : 污泥移除量 (kg BOD/yr)
- R : 甲烷回收量 (kg CH₄ / yr)

B. 生活污水處理產生甲烷排放量計算 (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(CH₄)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 :

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

(污水處理廠)

- A_i : 每年全國公共污水處理廠污水處理量 (m³/yr)
- EF : 污水處理廠處理每噸污水甲烷排放係數 (kg CH₄/m³)

C. 生活污水排放產生氧化亞氮排放量計算

估算氧化亞氮(N₂O)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 :

$$\text{氧化亞氮 (kg / yr)} = (P \times \text{Protein} \times \text{Frac}_{\text{NPR}} \times F_{\text{NON-CON}} \times F_{\text{IND-COM}} - N_{\text{SLUDGE}}) \times EF_{\text{EFFLUENT}} \times 44/28$$

$$N_{\text{EFFLUENT}} = (P \times \text{Protein} \times \text{Frac}_{\text{NPR}} \times F_{\text{NON-CON}} \times F_{\text{IND-COM}} - N_{\text{SLUDGE}})$$

- N_{EFFLUENT} : 廢水含氮之總量
- P : 國內人口數
- Protein : 每人每年蛋白質攝取量 (kg/person/yr)
- Frac_{NPR} : 蛋白質中氮的比例 (預設值為 0.16 kg N/kg protein)
- F_{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_{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)(kg N/yr)

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。
		好氧淺池塘	<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		• 經常清除沉澱污泥，可降低甲烷產生量。	
	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.

EF_{EFFLUENT}：排放係數 (預設值 0.005)(kg N₂O-N/kg N)
44/28：kg N₂O-N 換算成 kg N₂O 轉換係數

(2) 排放係數

A. 生活污水處理產生甲烷排放量計算 (化糞池)

依公式 7.5.1.1 各項參數，依生活污水處理人口比例及採用不同類型污水處理系統，有不同之甲烷修正係數 (MCF 值)，IPCC 公布各種污水處理系統之 MCF 值，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 Bo，依 IPCC 建議以 0.60 kg CH₄/kg BOD 計算。關於化糞池處理系統中，甲烷修正係數 (MCF) 的採用，係依 2006 IPCC 指南公布之化糞池系統 MCF 以 0.5 計算。

依據 IPCC 建議指南公式 7.5.1.1 計算以化糞池為計算基礎的生活污水產生甲烷排放量，相關參數選用，如表 7.5.3 所示。

B. 生活污水處理產生甲烷排放量計算 (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。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係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

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	河水若高有機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 (許多人)。	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	堆肥定期移除	0.1	0.1

表 7.5.3 IPCC 生活污水處理甲烷排放計算一覽表 (化糞池)

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)	採用 IPCC 預設值 14.6(kg BOD/persons/yr)。	IPCC 預設值
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	1. 污水處理廠：使用 IPCC 公布之好氧處理管理良好，以定義值零計算。其處理產生之污泥，因厭氧處理之廢氣皆進行燃燒處理，因此皆以零計算。 2. 化糞池：使用 IPCC 公布之化糞池系統 0.5 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。	因污水處理廠現行依 IPCC 方式，以零計算；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 預設值零計算。	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 預設值零計算。	IPCC 預設值

(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. 生活污水處理產生甲烷排放量計算 (化糞池)

根據 IPCC 指南針對生活污水甲烷排放計算，依鄉村人口、城市高收入人口和城市低收入人口等不同類型人口分類，再依類別採用處理設施類型而有不同之 MCF 值。

國內生活污水之處理方式可分為未收集經化糞池處理和納管收集經污水下水道送至污水處理廠 (含公共污水下水道、專用污水下水道、建物污水處理設施) 處理等兩大類。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，其餘未納管收集之生活污水則以化糞池處理計算。

每年生活污水 BOD 產生量，則依據內政部統計處內政統計年報 - 國內人口數與 IPCC 預設每人每年產生 BOD 值 14.6 (kg BOD/persons/yr) 計算。

B. 生活污水處理產生甲烷排放量計算 (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 2017 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 (N₂O) 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. 生活污水處理產生甲烷排放量計算 (化糞池)

生活與住商污水處理產生之甲烷 (CH₄) 排放量依據公式 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 (CH₄) 歷年排放趨勢，由於 1999 年起污水處理率增加 (1999 年 10.1% 升至 2017 年 55.9%)，使化糞池厭氧處理產生之甲烷 (CH₄) 排放量逐年降低，儘管我國人口數有所提升，但至 2017 年排放量仍相較 1990 年排放量減少 48%，而相較 2016 年排放量僅小幅減少 5%。

B. 生活污水處理產生甲烷排放量計算 (污水處理廠)

全國污水處理廠污水處理產生之甲烷 (CH₄) 排放量係依據公式 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

表 7.5.4 IPCC 生活污水處理甲烷排放計算一覽表 (污水處理廠)

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。 2. 水質處理流程排放係數採用國內研究結果為 6.531x10 ⁻⁴ kg CH ₄ /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 3.480x10 ⁻⁴ kg CH ₄ /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 (Fra _{CNPR})	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	0.005kg 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 預設值零計算。	IPCC 預設值

理量漸增，甲烷排放量呈現逐年緩步增加之趨勢，2017年排放量相較2009年排放量增加2.8倍。

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，2017年來源排放量相較1990年排放量減少47.6%，相較2016年排放量減少5.3%。

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7.5.7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。2017年生活污水處理氧化亞氮排放量則相較1990年增加7%，較2016年排放量約減少2.8%。

(5) 完整性

A. 生活污水處理產生甲烷排放量計算(化糞池)

目前，內政部統計年報僅登載2000年至2017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。內政部統計年報之人口數已詳實登載1990年至2017年國內人口數。

B. 生活污水處理產生甲烷排放量計算(污水處理廠)

本來源的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2015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(N_2O)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2017年每人每日蛋白質供給量，及內政部統計年報之人口數已詳實登載1990年至2017年國內人口數。

表 7.5.6 1990 至 2017 年生活污水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 (公斤 BOD/人 /年)	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)
1990	20,401	2.6	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,176.3
1991	20,606	2.6	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,198.1
1992	20,803	2.6	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,218.1
1993	20,995	2.7	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,237.7
1994	21,178	2.7	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,256.1
1995	21,357	2.8	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,274.2
1996	21,525	2.9	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,288.1
1997	21,743	3.3	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,303.0
1998	21,929	4.8	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,285.5
1999	22,092	10.1	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,174.7
2000	22,277	14.7	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,081.1
2001	22,406	16.2	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,054.8
2002	22,521	18.1	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,020.3
2003	22,605	19.2	14.6	0.6	0.5	1	0	0	2,000.6
2004	22,689	22.0	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,938.8
2005	22,770	24.6	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,879.5
2006	22,877	27.3	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,820.9
2007	22,958	30.4	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,750.7
2008	23,037	32.9	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,693.8
2009	23,120	36.0	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,619.4
2010	23,162	38.7	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,555.2
2011	23,225	41.8	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,480.5
2012	23,316	44.9	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,408.0
2013	23,374	47.0	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,356.5
2014	23,434	48.9	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,310.9
2015	23,492	51.1	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,256.6
2016	23,540	53.4	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,202.5
2017	23,571	55.9	14.6	0.6	0.5	1	0	0	1,139.3

表 7.5.7 臺灣 1990 至 2017 年全國生活污水廠甲烷排放之活動數據與排放量

年份	全國污水廠日處理量 (10^3 m^3)	全國污水廠年處理量 (10^6 m^3)	排放係數 ($\text{kg CH}_4/\text{m}^3$)	全國污水廠 CH_4 排放量 (千公噸二氧化碳當量)	全國人口及污水廠 CH_4 排放量 (千公噸二氧化碳當量)
1990	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,176.3
1991	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,198.1
1992	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,218.1
1993	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,237.7
1994	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,256.1
1995	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,274.2
1996	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,288.1
1997	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,303.0
1998	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,285.5
1999	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,174.7
2000	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,081.1
2001	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,054.8
2002	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,020.3
2003	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	2,000.6
2004	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,938.8
2005	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,879.5
2006	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,820.9
2007	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,750.7
2008	NE	NE	1.0011×10^{-3}	NE	1,693.8
2009	1,067.7	389.7	1.0011×10^{-3}	9.8	1,629.2
2010	2,672.4	975.4	1.0011×10^{-3}	24.4	1,579.6
2011	2,743.0	1,001.2	1.0011×10^{-3}	25.1	1,505.5
2012	2,802.5	1,022.9	1.0011×10^{-3}	25.6	1,433.6
2013	2,882.8	1,052.2	1.0011×10^{-3}	26.3	1,382.8
2014	3,046.8	1,112.1	1.0011×10^{-3}	27.8	1,338.8
2015	3,104.0	1,133.0	1.0011×10^{-3}	28.4	1,285.0
2016	3,293.4	1,202.1	1.0011×10^{-3}	30.1	1,232.5
2017	2,985.4	1,089.7	1.0011×10^{-3}	27.3	1,166.5

說明：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 至 2017 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 (F_{racNPR})	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 ($F_{\text{NON-CON}}$)	事業廢水 共排之排 放係數 ($F_{\text{IND-CIN}}$)	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	85.58	31.24	0.16	23,571	0.005	1.1	1	0	303.4

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性

有關廢棄物部門整體排放量不確定性，及各來源排放量不確定性之評估方法及估算結果，請另詳 7.6 節廢棄物部門溫室氣體排放量不確定度分析。

(2) 時間序列的一致性

生活污水甲烷(CH₄) (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 2017 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(CH₄)(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(N₂O) 排放量之活動數據引用內政部登載 1990 年至 2017 年國內人口數，及 1990 年至 2017 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(CH₄) 排放符合方法一(Tier 1)，為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，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。

生活污水氧化亞氮(N₂O) 排放符合方法一(Tier 1)，為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，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 一般清單水準品質控制程序」(表 7.5.9)，透過交叉檢查重新計算及目測過濾，來檢核數據與引用數據來源內容是否一致；同時在對大量輸入資料進行查核過程中，為了避免檢核過程之錯誤，人工和自動檢查相結合是最有效的方法，故利用程式設計輔助人工檢核及簡化判讀等程序。

表 7.5.9 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 • 檢查所記錄的資格假定和專家判斷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
開展內部檔的審評	• 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支援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	• 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 • 確認用於整個時間序列計算的運算法則/方法的一致性 • 無時間序列一致性缺漏情事
開展完全檢查	• 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
比較現有估算和原始估算	• 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 2018 年統計資料中，修正 2006 年至 2014 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

5. 特定排放源的重新計算

依行政院農業委員會 2018 年公布歷年每人每日蛋白質攝取量，並修正 2006 年至 2014 年蛋白質攝取量數據，重新計算後 2006 年至 2014 年氧化亞氮 (N₂O) 排放估算量，如表 7.5.10 所示。

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。

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

事業廢水包括工業區廢水與列管事業廢水二部分，依 IPCC 計算規定，事業廢水甲烷排放僅需考量計算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：

- (1) 紙漿和紙張製造
- (2) 肉類和家禽加工
- (3) 醇，啤酒，澱粉生產
- (4) 有機化工原料的生產
- (5) 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)

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，篩選擁有廢水厭氧處理設施之 18 類業別，包括 (1) 化工業、(2) 毛滌業、(3) 石油化學業、(4) 光電材料及元件製造業、(5) 印刷電路板製造業、(6) 印染整理業 (印花、梭織布染整者)、(7) 肉品市場、(8) 玻璃業、(9) 食品製造業、(10) 屠宰業、(11) 造紙業、(12) 晶圓製造及半導體製造業、(13) 電鍍業、(14) 製革業 (濕藍皮製成成品皮者)、(15) 製粉業、(16) 製糖業、(17) 藥品製造業、(18) 醱酵業等。

另外，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處理廠中的廢水含氮濃度高，廢水硝化、脫硝處理過程亦會產生氧化亞氮排放，2013 年以後統計範圍增列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。由於 IPCC 指南對此來源並無明確估算方法，而日本已採用類似甲烷排放估算方法，以事業廢水中總氮含量，乘上日本本土氧化亞氮排放係數估算。

本清冊參考日本之計算方法，依據我國歷年事業廢水總氮含量，乘上廢水處理廠處理每公斤氮的氧化亞氮排放係數，以排放係數法進行估算。其中處理每公斤氮的氧化亞氮排放係數為水質處理流程及污泥處理流程氧化亞氮排放係數的總和。

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。

表 7.5.10 2019 年度清冊污水處理氧化亞氮排放量變動差異表

年份	2018 清冊 每人每日蛋白質攝取量 (公克蛋白質 / 人 / 日)	2018 清冊 原排放量 (千公噸二氧化碳當量)	2019 清冊 每人每日蛋白質攝取量 (公克蛋白質 / 人 / 日)	2019 清冊 新排放量 (千公噸二氧化碳當量)	差異百分比 (%)
2006	90.08	310.0	80.66	277.5	-10.48
2007	92.02	317.8	82.64	285.3	-10.23
2008	84.51	292.9	76.34	264.5	-9.70
2009	86.84	302.0	77.63	269.9	-10.63
2010	88.25	307.4	78.32	272.9	-11.22
2011	89.67	313.3	80.59	281.6	-10.12
2012	89.48	313.8	80.48	282.2	-10.07
2013	86.97	305.7	78.78	276.9	-9.42
2014	89.76	316.4	80.70	284.5	-10.08

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，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：

$$\text{甲烷排放量 (kg CH}_4\text{/yr)} = (\text{TOW}_i - S) \times (\text{Bo} \times \text{MCF}_j) - R_i$$

$$\text{TOW}_i: \text{每年事業廢水之 COD 總量 (kg COD/yr)}; P_i \times W_i \times \text{COD}_i$$

i ：各類事業

P_i ：各類事業之總產品量 (t/yr)

W_i ：各類事業之單位產品廢水產生量 ($\text{m}^3/\text{t}_{\text{product}}$)

COD_i ：化學需氧量 (kg COD/ m^3)

S ：污泥移除量 (kg COD/yr)

EF_j ：排放係數 (kg CH_4 /kg COD) = $\text{Bo} \times \text{MCF}_j$

Bo ：最大甲烷產生量 (kg CH_4 /kg COD)，預設值為 0.25

MCF_j ：甲烷修正係數

R ：甲烷回收量 (kg CH_4 /yr)，預設值為 0。

公式 7.5.2.2：

$$\text{氧化亞氮排放量 (t N}_2\text{O/yr)} = A_i \times \text{TN} \times \text{EF} \times 10^6$$

A_i ：各類事業廢水廠處理水量 (m^3/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 $\text{N}_2\text{O}/\text{kg N}$)

(2) 排放係數

A. 事業廢水處理產生甲烷排放

IPCC 指南列出各種處理設施之甲烷修正係數 (MCF)，如表 7.5.11 所示。最大甲烷產生量 (Bo) 依 IPCC 公布預設值以 0.25kg CH_4 /kg COD 計算。甲烷修正係數 (MCF) 依 IPCC 公布預設值，選用厭氧處理系統甲烷排放比例 0.8 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 7.5.12。

B. 事業廢水處理產生氧化亞氮排放

事業廢水處理廠處理每公斤氮之氧化亞氮排放係數 (EF)，為水質處理流程及污泥處理流程兩者排放係數的總和，係引用日本 2008 年至 2017 年事業廢水處理使用之排放係數 (EF) 0.0043 kg $\text{N}_2\text{O}/\text{kg N}$ 。依公式 7.5.2.2 計算，事業廢水氧化亞氮 (N_2O) 排放的相關參數，如表 7.5.13 所示。

表 7.5.11 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
污泥的厭氧消化槽	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 7.5.12 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放量與進排口之 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，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 (Bo)	0.25kg CH_4 /kg COD	採用 IPCC 預設值 0.25kg 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	由於使用厭氧消化，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 7.5.13 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	水污染源管制資料管理系統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	水污染源管制資料管理系統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- $\text{N}_2\text{O}/\text{kg-N}$	他國清冊採用值

依公式 7.5.2.2 計算事業廢水氧化亞氮 (N₂O) 排放的相關參數如表 7.5.12 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，由各業別之產品量以及每單位產品之廢水量，換算總廢水量後，再依據水質 COD 濃度計算各業別 COD 量。有關事業廢水甲烷 (CH₄) 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：

- 篩選廢水處理流程中之厭氧設施
- 篩選擁有厭氧設施之業別
- 篩選該些業別之事業申報水量、進(放)流 COD 值

由於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，主要是規範放流水濃度須符合放流水標準，因此部分事業並未申報進流水 COD 值，乃以行業別去除效率估算進流水 COD 值。

d. 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。依此取得各年期事業廢水中遭去除之有機物 (2017 年資料仍在取得，計算值以列管加數比例推估)。

其中關於列管家數，為參閱中華民國環境保護統計年報 - 中華民國 2003 年至 2017 年，引用 (三) 水質監測及污染防治表 3-5 事業廢水污染管制情形，其中關於「列管家數」之數據。歷年活動數據，如表 7.5.14 所示。

B. 事業廢水處理產生氧化亞氮排放

針對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中，有申報總氮資料之業別，由各類事

表 7.5.14 臺灣 1990 至 2017 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 (T-COD) (公噸) (P _i × W _i × COD _i)	S _i ：移除轉變為污泥之可分解有機物 (公噸)	Bo：最大甲烷產生量 (kg CH ₄ /kg COD)	MCF _i ：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)
1990	10,394	146,137	0	0.25	0.8	0	730.7
1991	14,188	172,731	0	0.25	0.8	0	863.7
1992	15,339	179,288	0	0.25	0.8	0	896.4
1993	14,154	172,410	0	0.25	0.8	0	862.1
1994	14,699	175,703	0	0.25	0.8	0	878.5
1995	15,650	181,016	0	0.25	0.8	0	905.1
1996	17,853	192,184	0	0.25	0.8	0	960.9
1997	16,901	187,536	0	0.25	0.8	0	937.7
1998	15,421	179,724	0	0.25	0.8	0	898.6
1999	14,330	173,525	0	0.25	0.8	0	867.6
2000	14,908	166,989	0	0.25	0.8	0	834.9
2001	13,217	167,292	0	0.25	0.8	0	836.5
2002	14,279	168,818	0	0.25	0.8	0	844.1
2003	14,860	185,792	0	0.25	0.8	0	929.0
2004	15,754	175,933	0	0.25	0.8	0	879.7
2005	16,130	187,012	0	0.25	0.8	0	935.1
2006	16,624	187,236	0	0.25	0.8	0	936.2
2007	17,739	209,534	0	0.25	0.8	0	1,047.7
2008	18,694	202,160	0	0.25	0.8	0	1,010.8
2009	18,837	204,440	0	0.25	0.8	0	1,022.2
2010	19,315	195,863	0	0.25	0.8	0	979.3
2011	20,259	200,871	0	0.25	0.8	0	1,004.4
2012	20,570	215,663	0	0.25	0.8	0	1,078.3
2013	20,693	205,379	0	0.25	0.8	0	1,026.9
2014	20,521	229,061	0	0.25	0.8	0	1,145.3
2015	20,968	239,799	0	0.25	0.8	0	1,199.0
2016	21,338	273,243	0	0.25	0.8	0	1,366.2
2017	21,562	291,147	0	0.25	0.8	0	1,455.7

說明：2017 年之 TOW_i，因尚未取得實際統計資料，故暫以 2017 相對 2016 年之列管家數比例推估。

業廢水廠處理水量、處理水中總氮濃度，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 年至 2016 年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。歷年活動數據，如表 7.5.15 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 7.5.13 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。2017 年甲烷排放量相較 1990 年排放量增長 2 倍，相較 2016 年則增加 6.87%。

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 7.5.14 所示。由於排放量活動數據來自申報的處理水量、氮氮及硝酸鹽氮濃度，故估算結果隨總氮排放量而變化。2017 年排放量相較 2013 年增長近 3 倍，其原因可歸因於事業家數逐年增加原因所致。

(5) 完整性

事業列管家數係參閱 2003 年至 2017 年中華民國環境保護統計年報，因僅登載 1998 年至 2015 年事業廢水列管家數，缺少 1990 年至 1997 年之事業廢水列管家數；而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，目前僅列管 2000 年之後資料，缺少 1990 年至 1999 年資料，處理方式詳時間序列的一致性。

另外，目前僅取得上述資料庫中 2013 年至 2016 年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

有關廢棄物部門整體排放量不確定性，及各來源排

放量不確定性之評估方法及估算結果，請另詳 7.6 節廢棄物部門溫室氣體排放量不確定度分析。

(2) 時間序列的一致性

依據中華民國環境保護統計年報登載事業廢水污染管制資料，其中關於「列管家數」數據僅 1998 年至 2017 年有活動數據，故依據工廠登記家數回推至 1990 年至 1997 年期間各年度的列管家數。

而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 年之後較為齊全，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遭去除之有機物，以符合各年期時間序列之完整性及一致性。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

符合方法一 (Tier 1)，為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 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 一般清單水準品質控制程序」(表 7.5.16)，透過交叉檢查重新計算及目測過濾，來檢核數據與引用數據來源內容是否一致；同時在對大量輸入資料進行查核過程中，為了避免檢核過程之錯誤，人工和自動檢查相結合是最有效的方法，故利用程式設計輔助人工檢核及簡化判讀等程序。

5. 特定排放源的重新計算

本排放源並無重新計算。

表 7.5.15 臺灣 2013 至 2017 年事業廢水氧化亞氮活動數據及排放量

年份	統計家數	廢水量 (CMD)	總氮排放量 (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	716,773	13,204.3	0.0043	16.9
2014	346	1,203,885	15,882.2	0.0043	20.4
2015	387	2,919,568	14,309.2	0.0043	18.3
2016	388	2,119,997	8,280.3	0.0043	10.6
2017	483	3,476,027	38,224.8	0.0043	49.0

說明：2017 年事業廢水處理氧化亞氮之計算，因尚未取得實際統計資料，故暫以近三年數據平均計算之。

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，直接量測溫室氣體甲烷 (CH₄) 及氧化亞氮 (N₂O) 排放量，逐年逐步建立本土排放係數資料庫，精進估算國內事業廢水溫室氣體排放量。

另外，2006 年至 2017 年事業廢水處理甲烷 (CH₄) 排放量呈現增排趨勢，廢水處理廠進行甲烷 (CH₄) 回收處理及再利用，可有助於甲烷 (CH₄) 排放減量。我國未來可研擬建立事業廢水處理沼氣回收申報制度，以增加甲烷 (CH₄) 回收申報量，做為排放清冊扣除統計依據。

7.6 廢棄物部門溫室氣體排放量不確定性分析

一、不確定性定義、評估方法

根據 2000 年 IPCC 優良作法指南，定量與定性之不確定分析是溫室氣體清冊數據品質管理的重要工作之一，其目的為持續地改進清冊的正確度，同時提供闡釋清冊結果及比較清冊間差異時的補充資訊，以免判斷錯誤。

不確定性係指一組數據與實際值的差異程度，而差異程度則取決於樣本的代表性、量測的可靠性等統計因素。用於描述不確定的理想資訊應包含此組數據的平均

值、標準差、概率分布以及協方差，而不確定性的判斷應建立於 95% 信賴區間之上。

二、不同排放源不確定性整合方法

廢棄物部門進行排放清冊統計與現實狀況之差異，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) 各參數不確定值，再依以下公式計算各來源排放量不確定度及合併計算整體部門排放量不確定度。

(1) 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 7.6.1 所示。

$$\text{公式 7.6.1: } U = \sqrt{U_{EF}^2 + U_A^2}$$

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 [%]

(2) 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 7.6.2 所示。其方法為各來源溫室氣體排放量之不確定性與排放

表 7.5.16 事業廢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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 • 檢查所記錄的資格假定和專家判斷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
開展內部檔的審評	• 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支援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	• 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 • 確認用於整個時間序列計算的運算法則 / 方法的一致性 • 無時間序列一致性缺漏情事
開展完全檢查	• 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
比較現有估算和原始估算	• 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

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 7.6.2：

$$U_{Total} = \frac{\sqrt{(U_1 \times E_1)^2 + (U_2 \times E_2)^2 + \dots + (U_n \times E_n)^2}}{E_1 + E_2 + \dots + E_n}$$

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 ：各各來源溫室氣體排放量 [Gg]

由上述不確定性整合計算公式，估算各來源排放量不確定性數值，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。

三、不確定性估算結果

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

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，率定各來源排放量參數不定值範圍，計算結果如下：

(1) 掩埋場甲烷排放量推估之不確定性

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 7.6.1 所示，而表 7.6.2 為依據表 7.6.1 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率定結果，依前述不確定量相乘、相加規則計算公式，可得妥善及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。妥善處理分別為 26.46%、22.91% 及 32.03%；非妥善處理分別為 26.46%、28.72% 及 39.05%。

(2) 生物處理排放量推估之不確定性

由於 IPCC 並未針對生物處理有預設之不確定值，係統一參考掩埋場之不確定值計算。有關生物處理排放量排放之各項參數詳細資料列於表 7.6.3，各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，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%。

表 7.6.1 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 ±20%：使用 IPCC 預設值
經過分解的可降解有機碳的比例 (DOC _f)	特定國家值： ±10%：基於長期以來試驗性資料
甲烷修正係數 (MCF)	使用 IPCC 預設值
=1	-10%,+0%
=0.8	±20%
=0.5	±20%
=0.4	±30%
=0.6	-50%,+60%
產生的垃圾填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%：如果未現地進量測。
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。

(3) 焚化處理排放量推估之不確定性

由於 IPCC 並未針對焚化處理有預設之不確定值，係統一參考掩埋場之不確定值計算。

有關廢棄物焚化處理所產生之二氧化碳 (CO₂) 排放之各項參數詳細資料列於表 7.6.4，各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，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 (N₂O) 排放之各項參數詳細資料列於表 7.6.5，各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，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%。

(4) 廢水處理排放量推估之不確定性

廢水處理溫室氣體排放之不確定性評估範疇包括生活住商污水及事業廢水，以下說明依 IPCC 指南排放公式計算及採用相關參數預設值可能之不確定性範圍。

1. 生活污水

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 7.6.6 所示。以化糞池為計算基礎的生活污水產生甲烷 (CH₄) 排放之各項參數詳細資料，如表 7.6.7 所示。依各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，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 (CH₄) 排放有預設之不確定值，此範疇的不確定性率定原則係統一參考掩埋場之不確定值計算。

全國公共污水處理廠污水處理甲烷 (CH₄) 排放之各項參數詳細資料，如表 7.6.8 所示。依各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，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以化糞池 (43.30%) 及污水處理廠 (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 42.29%。

表 7.6.2 臺灣 2017 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	不確定性率定 (%)		率定說明
	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，不確定值 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)，及不確定值率定建議 (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%。
產生的垃圾填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 建議現地量測率定值 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	30.03	39.05	

表 7.6.3 臺灣 2017 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	不確定性率定 (%)	率定說明
城市固體廢棄物總量 (MSWT)	10	年報來源具有高品質資料，參考掩埋場不確定性數據，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	參考掩埋場率定原則，以「可降解有機碳 (DOC)」採 IPCC 預設係數，率定不確定值 20%。
R：回收的甲烷總量 (Gg CH ₄)	N/A	未納入計算，不確定值 0% 計。
活動強度不確定性計算結果	26.46	
排放係數不確定性計算結果	22.91	
排放量不確定性計算結果	31.32	

表 7.6.4 臺灣 2017 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	不確定性率定 (%)	率定說明
SW：焚化固體廢棄物類型的總量 (Gg/yr)	10	依據未具能源回收之中小型焚化爐焚化量，其中申報量具高品質計量來源，故不確定值以 10% 計算。
含水分 (%)	50	係使用一般垃圾之含水率，以「掩埋場廢棄物組成 - 是具有基於研究之不確定」之不確定值 30% 計算，由於皆非實際中小型焚化爐實際數據，以 50% 計算。
總碳比例 (CF)	50	採 IPCC 預設值，建議之不確定值 30%。因非屬無能源回收焚化爐實際數據，以 50% 計算。
礦物碳比例 (FCF)	53.85	1. 各種垃圾成分之總碳係使用一般垃圾之垃圾組成，以「掩埋場廢棄物組成 - 是具有基於研究之不確定」之不確定值 30% 計算，由於皆非實際中小型焚化爐實際數據，50% 計算。 2. 礦物碳比例則引用 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「垃圾填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	20.00	
排放量不確定性計算結果	22.36	

表 7.6.5 臺灣 2017 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	不確定性率定 (%)	率定說明
SW：焚化固體廢棄物類型的總量 (Gg/yr)	10	依據未具能源回收之中小型焚化爐焚化量，其中申報量具高品質計量來源，故不確定值以 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，不確定值以 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 7.6.6 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 7.6.7 臺灣 2017 年生活污水甲烷排放之不確定性 (化糞池)

活動資料和排放係數	不確定性率定 (%)	率定說明
P：人口數	5	採國家人口統計資料，依 IPCC 建議不確定值 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，預設不確定值 30%。經專家會議，確認 IPCC BOD 建議值，接近國內及日本實際數據，不確定值，可以 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，不確定性率定值以 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	

有關生活污水氧化亞氮排放之各項參數詳細資料列於表 7.6.9，依各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，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. 事業廢水

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 7.6.10 所示。不同類型事業廢水的甲烷 (CH₄) 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 7.6.11 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率定結果，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%。

由於 IPCC 並未針對事業廢水處理氧化亞氮 (N₂O) 排放有預設之不確定值，此範疇的不確定性率定原則係統一參考掩埋場之不確定值計算。

事業廢水處理氧化亞氮 (N₂O) 排放之各項參數詳細資料列於表 7.6.12，依各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，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) 廢棄物部門不確定度評估

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，可得到廢棄部門整體之溫室氣體排放量不確定性，如表 7.6.13 所示。2017 年整個部門之排放量不確定值為 20.07%。其中，2017 年度事業廢水處理之甲烷總量較 2016 年之甲烷量高出 6.87%，以致不確定性從 2016 年 19.87% 略微上升至 20.07%。

表 7.6.8 臺灣 2017 年生活污水甲烷排放之不確定性 (污水處理廠)

活動資料和排放係數	不確定性率定 (%)	率定說明
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 7.6.9 臺灣 2017 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	不確定性率定 (%)	率定說明
P：國內人口	5	採國家人口統計資料，依 IPCC 建議不確定值 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，不確定率定值，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值。
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，不確定值 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，不確定值以 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 7.6.10 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 (Bo)	±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×COD) 不確定性較小。
化學需氧量 (COD)	<ul style="list-style-type: none"> -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。

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

表 7.6.11 臺灣 2017 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	不確定性率定 (%)	率定說明
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，不確定值 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，不確定值以 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。
Bo ：最大甲烷產生量 ($kg\ CH_4/kg\ COD$)	30	Bo 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值 10%，管理不完善者 30%。本清冊保守以不確定值 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 7.6.12 2017 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	不確定性率定 (%)	率定說明
A_i ：全國公共污水處理廠污水處理量 (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，不確定值以 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，不確定值以 10% 計算。
EF：排放係數 ($kg-N_2O/kg-N$)	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 7.6.13 臺灣 2017 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 (%)	不確定性 佔排放量 (%)	總不確定性 (%)
A. 固廢處理	A.1 妥善掩埋	甲烷	709.9	32.03	5.72	20.07
	A.2 未妥善掩埋	甲烷	124.4	39.05	1.22	
B. 生物處理	B.1 堆肥	甲烷	20.5	22.36	0.12	
		氧化亞氮	18.3	22.36	0.10	
C. 焚化	C.1 焚化處理	二氧化碳	120.2	89.58	2.71	
		氧化亞氮	6.2	22.36	0.03	
D. 廢水處理	D.1 生活污水	甲烷	1,109.5	42.29	11.80	
		氧化亞氮	303.4	30.82	2.35	
	D.2 事業廢水	甲烷	1,460.1	38.73	14.21	
		氧化亞氮	49.0	24.49	0.3	
廢棄物部門排放量			3,978.5			

參考文獻

1. IPCC 2000, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2000.
2. IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.
3. National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN, 2016.
4. 行政院內政部 2017, 「內政部統計查詢網 - 污水下水道系統執行概況—按區域別分」, 線上文件: <<http://statis.moi.gov.tw/micst/stmain.jsp?sys=100>> 瀏覽日期 (2017 年 03 月)。
5. 行政院內政部 2017, 「內政部統計查詢網 - 土地面積、戶數與人口數—按區域別分」, 線上文件: <<http://statis.moi.gov.tw/micst/stmain.jsp?sys=100>> 瀏覽日期 (2017 年 03 月)。
6. 行政院農業委員會 2017, 「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 (2017 年 03 月)。
7. 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。
8. 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。
9. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 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。
13. 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。
14. 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。
15. 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。
16. 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。
17. 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。
18. 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。
19. 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。
20. 行政院環境保護署 2014, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 103 年」, 2014 年 08 月。
21. 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。
22. 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。
23. 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。
24. 行政院環境保護署 2016, 「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」, 2016 年 06 月。
25. 行政院環境保護署, 「中小型焚化爐空污費申報系統資料」, 2017 年 3 月。