

# 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 參考文獻



# 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, 2006 IPCC 指南)，我國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) 之二氧化碳不納入計算，因廢棄物在生物界中本身會被細菌分解成二氧化碳，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 (CH<sub>4</sub>) 為 25 倍二氧化碳，氧化亞氮 (N<sub>2</sub>O) 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 2006 IPCC 指南，進行定量與定性之不確定性分析，以提升清冊的正確度。

1990 年至 2021 年廢棄物部門溫室氣體排放量與不確定性分析結果，如圖 7.1.1 及表 7.1.3 所示。

廢棄物部門歷年排放量以 1999 年最高，主要來自廢棄物掩埋處理排放，隨著廢棄物處理政策轉變，由掩埋處理逐漸轉以資源回收再利用及焚化為主之策略，掩埋排放量自 1999 年起逐年遞減，部門整體排放亦同步降低，並於 2014 年起轉以污(廢)水處理排放為大宗。2021 年廢棄物部門排放量為 2,679.2 千公噸二氧化碳當量，較 1990 年與 2005 年分別減少 64.6% 與 63.4%，惟較 2020 年增加 2.9%，主要係焚化處理量及塑膠比例增加所致，使焚化排放量較 2020 年增加 35.6%，相關說明詳見 7.4.1 節。

2021 年廢棄物部門各排放源之溫室氣體排放，以事業廢水處理排放之 841.5 千公噸二氧化碳當量最高，占部門排放量 31.4%，生活污水處理排放則為 735.1 千公噸二氧化碳當量，占 27.4%，兩者合計占近六成 (58.8%)。其次依序為掩埋處理排放量 543.9 千公噸二氧化碳當量，占 20.3%；焚化處理排放量 508.8 千公噸二氧化碳當量，占 19.0%；及堆肥處理排放量 50.0 千公噸二氧化碳當量，占 1.9%。廢棄物部門各類排放源溫室氣體排放量變化趨勢如圖 7.1.1 所示。

廢棄物部門排放之溫室氣體，主要以甲烷 (CH<sub>4</sub>) 為大宗，2021 年之排放量為 1,808.3 千公噸二氧化碳當量

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。  | 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。   | 甲烷           |
|     | 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           |
|     | 5.A.3 其他           | 其他廢棄物掩埋場。   | 無            |
| 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。   | 甲烷、氧化亞氮      |
| 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。<br>2. 廢棄物燃燒發電所產生之排放應列於能源部門 (1.A)。<br>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。<br>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。<br>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，因經厭氧處理及好氧硝化作用產生甲烷及氧化亞氮。<br>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。<br>3. 排放到市鎮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            |

(67.5%)，其次為氧化亞氮(N<sub>2</sub>O) 371.8 千公噸二氧化碳當量(13.9%)及二氧化碳(CO<sub>2</sub>) 499.1 千公噸二氧化碳當量(18.6%)，有關各種溫室氣體排放量趨勢如圖 7.1.2 所示。

不確定性分析係利用誤差傳播法(高斯法)，依據計算參數(活動數據、排放係數)引用來源，計算參數不確定性數值，並依排放源不確定性整合方法，計算各排放源排放

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 1990 年至 2021 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<br>固體廢棄物之<br>生物處理 | 5.C<br>廢棄物焚化 | 5.D              |               | 溫室氣體<br>排放量<br>合計 | 不確定性<br>(%) |
|------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------|------------------|---------------|-------------------|-------------|
|      | 5.A.1<br>妥善管理之廢棄<br>物掩埋場 | 5.A.2<br>未妥善管理之廢<br>棄物掩埋場 |                       |              | 5.D.1<br>生活及住商污水 | 5.D.2<br>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                   | 638.5        | 1,250.6          | 474.8         | 9,194.6           | 21.4        |
| 2003 | 5,135.4                  | 1,187.0                   | 4.4                   | 441.5        | 1,247.1          | 522.5         | 8,537.9           | 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        | 1,147.9          | 526.6         | 6,862.3           | 21.3        |
| 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            | 870.1         | 2,733.9           | 17.5        |
| 2018 | 603.2                    | 119.4                     | 43.9                  | 166.0        | 837.3            | 968.2         | 2,738.0           | 18.2        |
| 2019 | 524.1                    | 120.8                     | 46.7                  | 221.8        | 788.8            | 990.6         | 2,692.8           | 18.5        |
| 2020 | 468.4                    | 127.3                     | 49.5                  | 306.3        | 770.2            | 881.5         | 2,603.2           | 19.2        |
| 2021 | 412.8                    | 131.1                     | 50.0                  | 508.8        | 735.1            | 841.5         | 2,679.2           | 22.4        |

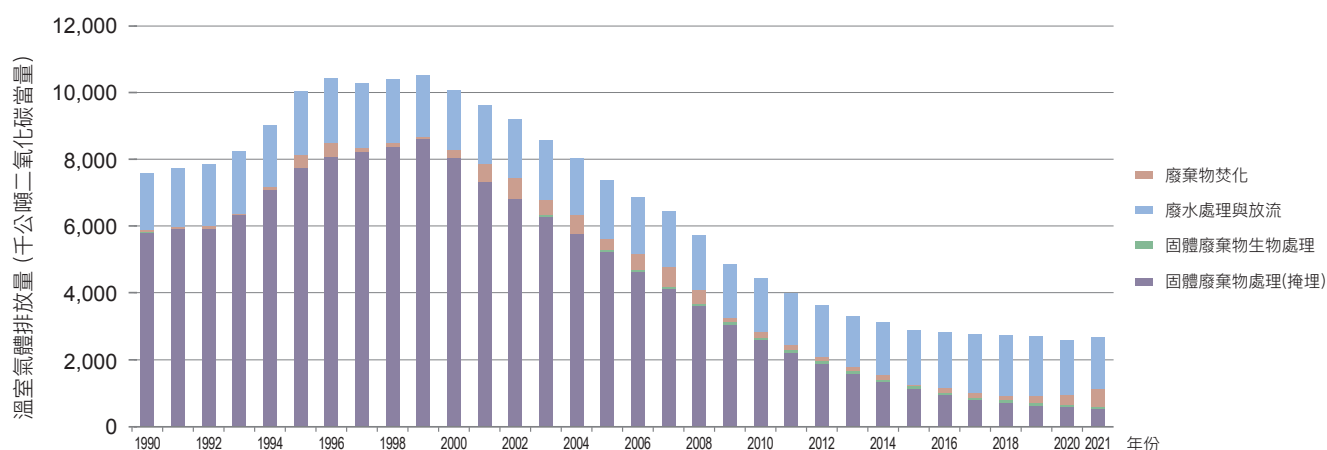


圖 7.1.1 1990 年至 2021 年廢棄物部門各類排放源溫室氣體排放量趨勢



圖 7.1.2 1990 年至 2021 年廢棄物部門各類溫室氣體排放量趨勢

量及部門總排放量之不確定性。各參數不確定性，可參考 IPCC 指南所提供之預設值，或依參數值引用來源之數據品質，藉由專家判斷，給予合理之不確定性範圍。

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，並依據實地訪查各類處理廠場（掩埋場、堆肥場、焚化廠及污水處理廠）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諮詢會之會議結論，計算各排放源之排放量與不確定性，再依公式 7.2.1.4 得廢棄物部門整體之溫室氣體排放量不確定性，結果如表 7.1.4 所示。

綜合評估掩埋處理、生物處理、焚化處理及污水處理之各來源溫室氣體排放不確定性，2021 年廢棄物部門排放量不確定性為 22.4%，其中，焚化處理量較 2020 年增加 42.1 千公噸且塑膠比例上升 6.1%，使排放量增加，又因焚

化處理 CO<sub>2</sub> 排放不確定性高達 89.6%，以致整體不確定性從 2020 年 19.2% 上升至 2021 年之 22.4%。

## 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。

表 7.1.4 2021 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<br>(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   | 412.76             | 32.80        |
|           | 5.A.2 未妥善掩埋 | 甲烷   | 131.11             | 39.05        |
| 5.B. 生物處理 | 5.B.1 堆肥    | 甲烷   | 26.38              | 22.36        |
|           |             | 氧化亞氮 | 23.59              | 22.36        |
| 5.C. 焚化   | 5.C.1 焚化處理  | 二氧化碳 | 499.05             | 89.58        |
|           |             | 氧化亞氮 | 9.75               | 22.36        |
| 5.D. 廢水處理 | 5.D.1 生活污水  | 甲烷   | 419.92             | 40.18        |
|           |             | 氧化亞氮 | 315.18             | 30.82        |
|           | 5.D.2 事業廢水  | 甲烷   | 818.15             | 38.73        |
|           |             | 氧化亞氮 | 23.32              | 24.49        |
| 廢棄物部門     |             |      | <b>2,679.23</b>    | <b>22.37</b> |

### 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，且包括以下其中一種：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 (CO<sub>2</sub>)、氧化亞氮 (N<sub>2</sub>O) 及甲烷 (CH<sub>4</sub>)。2006 IPCC 指南說明二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 排放為生物自然產生，且氧化亞氮 (N<sub>2</sub>O) 在此排放源排放量微乎其微，故不計算此二種溫室氣體，僅計算掩埋所產生之甲烷 (CH<sub>4</sub>) 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，由於我國並未統計 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。有關計算程序說明如下：

A. 1950 年至 1989 年之人口量以 1% 成長率推估，據此人口數量推估掩埋量，並以 1990 年之垃圾組成成分做為 1950 年至 1989 年之垃圾組成。

B. 依據一階衰減法計算 1950 年至 1990 年之累積可分解有機碳含量 (degradable organic carbon, DOC)。

C. 以 1990 年計算累積 DOC 量結果，做為 1990 年後之累積 DOC 量計算基準，再依據中華民國環境保護統計年報實際掩埋垃圾量與組成，以一階衰減法計算 1990 年至 2021 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「每年分解的 DOC 量 (DDOCm decomp<sub>T</sub>)」參數，此參數則以一階衰減法估算，詳如公式 7.2.1.2 所示。在使用一階衰減法計算分解之 DDOCm 時，2006 IPCC 指南表示至少需計算 50 年的處置資料，該計算時限為大部分通

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<sub>T</sub> = 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 (CH<sub>4</sub>/C)  
 R：甲烷回收量 (Gg/yr)  
 OX：氧化係數 (預設值為 0)

$$\text{垃圾可分解 DOC 量 (DDOCm)} = W \times \text{MCF} \times \text{DOC} \times \text{DOC}_F$$

W = 廢棄物掩埋量 (mass of waste deposited) (Gg/yr)  
 MCF：甲烷修正係數 (CH<sub>4</sub> correction factor for aerobic decomposition)  
 DOC：可分解有機碳含量 (比例) (degradable organic carbon)  
 DOC<sub>F</sub>：DOC 可被分解之比例 (fraction of DOC that can decompose)

#### 公式 7.2.1.2：

$$\text{DDOCm a}_T = \text{DDOCm d}_T + (\text{DDOCm a}_{T-1} \times e^{-k})$$

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

T：年份  
 DDOCm a<sub>T</sub>：第 T 年末累積之 DDOCm (Gg/yr)  
 DDOCm a<sub>T-1</sub>：第 (T-1) 年末累積之 DDOCm (Gg/yr)  
 DDOCm d<sub>T</sub>：第 T 當年沉積之 DDOCm (Gg/yr)  
 DDOCm decomp<sub>T</sub>：第 T 年分解之 DDOCm (Gg/yr)

k = 反應常數

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

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

多數掩埋場沼氣中甲烷的比例接近 50%，2006 IPCC 指南預設值為 0.5。1999 年以前採用 IPCC 預設值 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，採用本土係數調查結果 0.471。



**B. R：甲烷回收量 (Methane recovery)**

本參數係依據「國內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」之實際甲烷回收量。

**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 (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) 等計算甲烷排放之參數，礦物碳則可做為焚化處理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)，以計算各年度廢棄物的 DOC 值。

**E. DOC<sub>F</sub>：DOC 可被分解之比例 (Fraction of DOC that can decomposes)**

2006 IPCC 指南預設值為 0.5。

**F. OX：氧化係數 (Oxidation factor)**

氧化係數反映廢棄物在土壤或覆蓋層材料裡，甲烷 (CH<sub>4</sub>) 被氧化的比例。2006 IPCC 指南預設有覆蓋甲烷氧化材料且管理完善的掩埋場，使用氧化係數值 0.1 (表 7.2.3)。由於衛生掩埋規定皆須進行覆土，因此會有部分甲烷 (CH<sub>4</sub>) 氧化成二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)，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 指南中不同廢棄物種類之反應常數 (k) 值，包括紙張 / 紡織品係數、木材係數及廚餘。依據我國地理位置與氣候環境，選擇熱帶、潮濕氣候帶之預設參數值，加上每年之廢棄物組成 (與剩餘未分解的 DOC 量 (即累積 DOC 量) 之反應常數進行加權平均計算，求得每年度

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 <sup>1</sup>                            | 1         |
| 管理 - 半有氧 <sup>2</sup>                           | 0.5       |
| 未管理 - 深 (深層掩埋 ≥ 5 公尺) 和 (或) 地下水水位高 <sup>3</sup> | 0.8       |
| 未管理 - 淺 (淺層掩埋 < 5 公尺) <sup>4</sup>              | 0.4       |
| 未分類之掩埋場 <sup>5</sup>                            | 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. 準好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：深層掩埋或地下水水位高，所有不符合管理 SWDS 標準的 SWDS，其深度大於或等於 5 米或高地下水水位近似地平面。後者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<br>占濕重的 % | DOC 含量<br>占濕廢棄物的 % |                   | DOC 含量<br>占乾廢棄物的 % |                   | 總碳含量<br>占乾重的 % |       | 化石碳比例<br>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) <sup>1</sup>  | (39) <sup>1</sup> | (47) <sup>1</sup>  | (47) <sup>1</sup> | 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：( )<sup>1</sup> 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 <sup>1</sup> 、未管理和未分類掩埋場   | 0             |
| 覆蓋有甲烷氧化材料 <sup>2</sup> 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         |
| 緩慢降解的廢棄物 | 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。

之反應常數值，再據以計算每年分解之 DDOC 量。由於我國並未統計 1990 年前之掩埋量資料，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。

有關廢棄物妥善管理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，相關參數的計算方法及採用數據與國內數據來源，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 2021 年垃圾清運之「衛生掩埋」數據，並按廢棄物一般垃圾組成分析計算，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。

### (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。我國積極推動資源回收與垃圾焚化處理等政策，1993 年後大型焚化爐陸續完工，焚化處理量自 1994 年至 1995 年間由 412.5 千公噸明顯上升至 1,301.0 千公噸，使衛生掩埋量自 5,574.4 千公噸降至 4,362.8 千公噸，1995 年至 1998 年衛生掩埋量些微上升則推測與一般掩埋量逐年下降有關，然 1998 年後垃圾掩埋處理量即大幅下降，並於近幾年趨於平緩。2021 年較 1990 年衛生掩埋量減少 93.8%，排放量也從 1990 年的 4,247.5 千公噸二氧化碳當量降至 2021 年的 412.8 千公噸二氧化碳當量 (減少 90.3%)，2021 年衛生掩埋排放量亦較 2020 年減少 55.6 千公噸二氧化碳當量 (減少 11.9%)。

### (5) 完整性

有關活動數據之廢棄物組成成份，1992 年至 2021 年採用中華民國環境保護統計年報，缺少之 1990 年及 1991 年數據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

依據 IPCC 2000 所提出之國家溫室氣體清冊良好作法指南及不確定性管理 (簡稱 2000 GPG)，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。誤差傳播法與蒙地卡羅法略有不同，其假設相關參數都為常態分布型態，惟因無法得知常態機率密度函數分布值，因此須先確認 (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<sub>EF</sub>：排放係數的不確定性 [%]

U<sub>A</sub>：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。



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  | 我國計算方法及採用數據  | 國內數據來源                        |
|-------------------------------|---|--|-------------------------------|
| 累積 DOC 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。<br>• 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<br>• 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。<br>• 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。<br>★ 紙張 / 紡織品係數 0.07<br>★ 木材係數 0.035<br>★ 廚餘係數 0.4<br>• 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<br>• 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)、未分類掩埋場等五類參數   | • 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。<br>• 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)                | • 依據不同之廢棄物可分解有機碳含量的預設值計算<br>▶ 紙類預設值 40%<br>▶ 紡織品類預設值 24%<br>▶ 花 (公) 園廢棄物預設值 20%<br>▶ 廚餘類預設值 15%<br>▶ 木竹稻草類預設值 43% | • 依據我國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。<br>• 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。   | • 中華民國環境保護年報<br>• 國內研究資料      |
| 有機物可被分解比例 (DOC <sub>F</sub> ) | • 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。<br>• 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<br>• 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 1990 年至 2021 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 (%) |      |       |       |         |       |      | 水分    | 可分解有機碳 (DOC) |
|------|------------|-----------|------|-------|-------|---------|-------|------|-------|--------------|
|      |            | 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   |       |              |
| 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        |
| 2020 | 106.7      | 34.61     | 8.55 | 1.05  | 21.78 | 5.22    | 20.20 | 5.84 | 45.34 | 21.41        |
| 2021 | 247.1      | 37.26     | 7.63 | 0.86  | 17.63 | 3.19    | 26.28 | 3.78 | 40.33 | 20.75        |

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，2021 年



表 7.2.7 1990 年至 2021 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 <sub>f</sub> ) | 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                         | 0.500      | 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                         | 0.500      | 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                         | 0.500      | 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                         | 0.500      | 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                         | 0.500      | 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                         | 0.500      | 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                         | 0.500      | 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                         | 0.500      | 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                         | 0.500      | 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                         | 0.500      | 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   |
| 2020 | 106.7      | 1.0          | 21.41        | 22.8           | 351.8          | 70.2           | 0.194    | 0.5                         | 0.471      | 1.333      | 30.8      | 0.1       | 468.4   |
| 2021 | 247.1      | 1.0          | 20.75        | 51.3           | 341.0          | 62.0           | 0.192    | 0.5                         | 0.471      | 1.333      | 28.0      | 0.1       | 412.8   |

備註：1. NO(未發生)，代表我國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。

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：

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

U<sub>Total</sub>：部門總排放量不確定性 [%]  
U<sub>i</sub>：各來源溫室氣體排放量不確定性 [%]  
E<sub>i</sub>：各來源溫室氣體排放量 [Gg]

在評估廢棄物部門不確定性上，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% 信賴區間之上下限，與採用數值之偏差計算不確定度（%），再透過上述不確定性之計算公式，以估算各排放源排放量的不確定性數值，最後依公式 7.2.1.4 計算部門總排放量之不確定性數值。

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與相加規則計算公式，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，分別為 26.46%、22.91% 及 32.80%。

## (2) 時間序列的一致性

妥善掩埋場甲烷排放估算，係採用 2006 IPCC 預設以「一階衰減法」公式進行計算。活動數據蒐集係依據中華民國環境保護統計年報，完整彙整 1990 年至 2021 年垃圾清運之「衛生掩埋」數據，及 1992 年至 2021 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。

## 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 預設排放係數，並參考 IPCC 2000 GPG，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，確認計算方式、引用參數與活動數據合理性。另參考 IPCC 2000 GPG 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。

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)                                     | 特定國家值：<br>30%：定期收集廢棄物資料<br>±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）<br>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）<br>±30%：收集有關掩埋場處置資料<br>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）<br>±30%：是具有基於研究（包括週期性取樣）<br>200%：低品質資料        |
| 可降解有機碳 (DOC)                                       | ±20%：使用 IPCC 預設值<br>特定國家值：<br>±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 <sub>F</sub> )                 | ±20%：使用 IPCC 預設值<br>特定國家值：<br>±10%：基於長期以來試驗性資料                             |
| 甲烷修正係數 (MCF)<br>=1<br>=0.8<br>=0.5<br>=0.4<br>=0.6 | 使用 IPCC 預設值：<br>-10%, + 0%<br>±20%<br>±20%<br>±30%<br>-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。<br>±10%：如果現地量測。<br>±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 <sub>1/2</sub> )                            | 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：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste, P3-27, Table 3.5。

表 7.2.9 2021 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 <sub>F</sub> ) | 20           | 20           | DOC <sub>F</sub> 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 預設現地量測值 10%，設定 20%。一般掩埋場無此數據，因此不適用。 |
| 氧化係數 (OX)                          | 10           | 0            | 設定衛生掩埋場以 10% 計算；一般掩埋場以 0% 計算。                          |
| 半衰期 (t <sub>1/2</sub> )            | 10           | 10           | 依 IPCC 係數及本土組成加權計算，設定 10%。                             |
| <b>活動強度不確定性計算結果</b>                | <b>26.46</b> | <b>26.46</b> |  |
| <b>排放係數不確定性計算結果</b>                | <b>22.91</b> | <b>28.72</b> |  |
| <b>排放量不確定性計算結果</b>                 | <b>32.87</b> | <b>39.05</b> |  |

表 7.2.10 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   | 交叉檢查排放源類別資訊活動數據資料（垃圾衛生掩埋、垃圾組成）和排放因數 (IPCC 預設值) 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 | <ul style="list-style-type: none"> <li>確認各欄位單位標記的準確性</li> <li>確認整個計算過程中單位使用的準確性</li> <li>確認轉換因數的準確性</li> <li>無時間和空間校正因數應用</li> </ul> |
| 檢查資料庫檔的完整性                  | 簡明條列明確欄位與計算欄位  |

續下表

| 品質控制活動              | 確認程序  |
|---------------------|---|
| 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數據資料相關常數與參數之一致性與複檢結果  |
| 檢查處理過程中清冊資料轉移的正確性   | • 避免有轉錄情事，並加強複查檢核<br>• 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之專家判斷值與其獨立資格<br>• 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<br>• 目前版本相關參數引用 IPCC 指南預設值 |
| 展開內部檔的審評            | • 詳細登錄資料來源引用與版本差異<br>• 檢查歸檔並存儲的清冊資料、佐證資料和清冊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<br>• 確認於整個時間序列所計算之運算法則 / 方法一致性<br>• 無時間序列一致性缺漏情事                    |
| 展開完全檢查              | • 確認提交的評估報告涵蓋從指定基準年到當前清冊時段內所有年份排放源別   |
| 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冊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<br>• 本年度此排放源無重新計算            |

資料來源：2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Chap 8, Table 8.1。

## 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

依據 2019 年版之 IPCC 清冊精進指南內容，更新掩埋垃圾組成之有機物可被分解比例 (DOCF) 係數。

另我國掩埋廢棄物之組成，目前採用中華民國環境保護統計年報之一般廢棄物組成，為使數據較接近實際情形，建議後續調查掩埋場垃圾組成。

### 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 (CO<sub>2</sub>)、氧化亞氮 (N<sub>2</sub>O) 及甲烷 (CH<sub>4</sub>)，由於大部分的二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 排放為生物自然產生，且氧化亞氮 (N<sub>2</sub>O) 在此排放源排放量微乎其微，因此此二種溫室氣體不納入計算，僅計算掩埋所產生之甲烷 (CH<sub>4</sub>) 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放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. 1950 年至 1989 年之人口量以 1% 成長率推估，據此人口數量推估掩埋量，並以 1990 年之垃圾組成成分做為 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 1990 年計算之累積 DOC 結果，做為 1990 年後累積 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 2021 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「每年分解的 DOC 量 (DDOC<sub>m decomT</sub>)」參數，此參數則以一階衰減法估算，詳如公式 7.2.1.2 所示。在使用一階衰減法計算分解之 DDOC<sub>m</sub> 時，2006 IPCC 指南表示至少需計算 50 年的處置資料，該計算時限為大部分通用處置作法和條件提供一個可接受的精確結果，如果選擇更短的時限，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 指南預設值為 0.5。1999 年以前採用 IPCC 預設值 0.5，2000 年以後根據國內山豬窟、福德坑、文山及西青埔四處沼氣發電掩埋場，其歷年沼氣組成分析結果，採用本土係數調查結果 0.471。

#### B. R：甲烷回收量 (Methane recovery)

我國未妥善管理掩埋場無進行沼氣回收，故設為 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，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 MCF 預設值，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(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)等計算甲烷排放之參數；礦物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，以計算各年度廢棄物的 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)

氧化係數反映廢棄物在土壤或覆蓋層材料裡，被氧化的甲烷量。2006 IPCC 指南中氧化係數預設值為 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(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 DOC 量。依據我國地理位置與氣候環境，選擇熱帶、潮濕氣候帶之預設參數值，再比照妥善管理之廢棄物掩埋場甲烷生成率常數(k)計算方式，得一般掩埋場之 k 值。

#### (3) 活動數據

依據中華民國環境保護統計年報，彙整 1990 年至 2021 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。2017 年以前未妥善管理之廢棄物掩埋場之廢棄物量包括「一般掩埋」、「堆置」、「其他」等三項類別，2018 年後一般掩埋廢棄物量改列於「期末一般廢棄物暫存量」，累計未處理之垃圾量，為避免重複計算，需扣除前一年之垃圾暫存量，以計算當年度一般垃圾掩埋量。

另廢棄物組成則採用大型焚化爐之一般垃圾組成分析，包括「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。

#### (4) 排放量

由於廢棄物處理政策由掩埋處理逐漸轉以資源回收再利用及焚化為主，1993 年起大型焚化爐陸續完工，再加上垃圾妥善率逐年提升，2004 年後達 99% 以上，一般掩埋量自 1995 年後即逐年下降。然 2016 年起部分焚化廠處理量能，因廠齡高而下降，使無法焚燒之廢棄物暫時堆置在掩埋場，無法即時清理，導致垃圾妥善處理率降至 2021 年的 93.51%，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，2021 年排放量為 131.1 千公噸二氧化碳當量，較 2020 年增加 3.8 千公噸二氧化碳當量(增加 3.0%)。

#### (5) 完整性

有關活動數據之廢棄物組成成份，1992 年至 2021 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與相加規則計算公式，可得未妥善管理掩埋場甲烷排放活動強度、排放係數及排放量之不確定性，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 2006 IPCC 指南預設以「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，彙整 1990 年至 2021 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，及 1992 年至 2021 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，缺少之 1990 年與 1991 年數據，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」報告中該兩年期數據，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 預設排放係數，並參考 IPCC 2000 GPG，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，確認計算方式、引用參數與活動數據其合理性。另參考 IPCC 2000 GPG 中「方法 1 一般清冊水準品質控制程序」(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

依 2022 年中華民國環境保護統計年報公布之一般廢棄物暫存量數據，修正 2019 及 2020 年活動數據，從原

表 7.2.11 1990 年至 2021 年未妥善管理掩埋場活動數據統計

| 年份   | 一般掩埋<br>(千公噸) | 廢棄物組成 (%) |      |        |       |              |       |      | 水分    | 可分解<br>有機碳 (DOC) |
|------|---------------|-----------|------|--------|-------|--------------|-------|------|-------|------------------|
|      |               | 紙類        | 纖維布類 | 皮革、橡膠類 | 廚餘類   | 木竹、稻草<br>落葉類 | 塑膠    | 其他   |       |                  |
| 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 | 126.7         | 35.64     | 4.93 | 0.84   | 34.48 | 3.27         | 17.79 | 0.57 | 50.77 | 22.02            |
| 2019 | 162.3         | 38.83     | 5.10 | 0.55   | 31.12 | 2.42         | 18.67 | 0.43 | 48.49 | 22.46            |
| 2020 | 166.0         | 34.61     | 8.55 | 1.05   | 21.78 | 5.22         | 20.20 | 5.84 | 45.34 | 21.41            |
| 2021 | 151.0         | 37.26     | 7.63 | 0.86   | 17.63 | 3.19         | 26.28 | 3.78 | 40.33 | 20.75            |

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，2021 年。

表 7.2.12 1990 年至 2021 年未妥善管理掩埋場甲烷排放量

| 年份   | 一般掩埋<br>(千公噸) | 甲烷修正係數<br>(MCF) | 可分解<br>有機碳<br>(DOC) | 處置<br>DOC 量<br>(千公噸) | 累積<br>DOC 量<br>(千公噸) | 分解<br>DOC 量<br>(千公噸) | 反應常<br>數 (k) | 有機物分<br>解比例<br>(DOC <sub>F</sub> ) | 甲烷生<br>成比例<br>(F) | 甲烷回收<br>量<br>(R) | 氧化係<br>數 (OX) | 甲烷排<br>放量 |
|------|---------------|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|------------------------------------|-------------------|------------------|---------------|-----------|
| 1990 | 2,674.4       | 0.5             | 15.88               | 424.78               | 3,055.2              | 380.59               | 0.135        | 0.5                                | 0.500             | 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                                | 0.500             | 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                                | 0.500             | 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                                | 0.500             | 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                                | 0.500             | 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                                | 0.500             | 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                                | 0.500             | 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                                | 0.500             | 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                                | 0.500             | 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                                | 0.500             | 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   |

續下表



續上表

| 年份   | 一般掩埋<br>(千公噸) | 甲烷修正係數<br>(MCF) | 可分解<br>有機碳<br>(DOC) | 處置<br>DOC 量<br>(千公噸) | 累積<br>DOC 量<br>(千公噸) | 分解<br>DOC 量<br>(千公噸) | 反應常<br>數 (k) | 有機物分<br>解比例<br>(DOC <sub>f</sub> ) | 甲烷生<br>成比例<br>(F) | 甲烷回收<br>量<br>(R) | 氧化係<br>數 (OX) | 甲烷排<br>放量 |
|------|---------------|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|------------------------------------|-------------------|------------------|---------------|-----------|
| 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 | 126.7         | 0.5             | 22.02               | 27.89                | 187.3                | 30.42                | 0.179        | 0.5                                | 0.471             | NO               | 0.0           | 119.4     |
| 2019 | 162.3         | 0.5             | 22.46               | 36.47                | 193.0                | 30.78                | 0.184        | 0.5                                | 0.471             | NO               | 0.0           | 120.8     |
| 2020 | 166.0         | 0.5             | 21.41               | 35.53                | 196.1                | 32.43                | 0.187        | 0.5                                | 0.471             | NO               | 0.0           | 127.3     |
| 2021 | 151.0         | 0.5             | 20.75               | 31.33                | 194.06               | 33.40                | 0.184        | 0.5                                | 0.471             | NO               | 0.0           | 131.1     |

備註：1. NO(未發生)，代表我國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   | • 交叉檢查排放源類別資訊活動數據資料(垃圾一般掩埋、堆置、其他、垃圾組成)和排放係數(IPCC 預設值)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<br>• 確認整個計算過程中單位使用的準確性<br>• 確認轉換因數的準確性<br>• 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數據資料相關常數與參數之一致性與複檢結果  |
| 檢查處理過程中清冊資料轉移的正確性           | • 避免有轉錄情事，並加強複查檢核<br>• 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之專家判斷值與其獨立資格<br>• 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<br>• 目前版本相關參數引用 IPCC 指南預設值                 |
| 展開內部檔的審評                    | • 詳細登錄資料來源引用與版本差異<br>• 檢查歸檔並存儲的清冊資料、佐證資料和清冊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<br>• 確認於整個時間序列所計算之運算法則/方法一致性<br>• 無時間序列一致性缺漏情事                                      |
| 展開完全檢查                      | • 確認提交的評估報告涵蓋從指定基準年到當前清冊時段內所有年份排放源別   |
| 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冊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<br>• 更新 2019 年及 2020 年未妥善管理掩埋場之活動數據，並據以修正排放量 |

資料來源：2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Chap 8, Table 8.1。

先之 162.344 及 165.974 千公噸，分別修正為 162.345 及 165.973 千公噸，對未妥善掩埋排放量變動影響小於 0.1%。

## 6. 特定排放源的改善計畫

依據 2019 年版之 IPCC 清冊精進指南內容，更新掩埋垃圾組成之有機物可被分解比例 (DOC<sub>p</sub>) 係數。

另我國掩埋廢棄物之組成，目前採用中華民國環境保護統計年報之一般廢棄物組成，為使數據較接近實際情形，建議後續調查掩埋場垃圾組成。

### 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，均已包括在其規範內，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 清冊指南中將堆肥與有機廢棄物之厭氧消化，歸屬固體廢棄物之生物處理。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、花園庭園之落葉等) 回收再利用為堆肥和土地改良劑。

堆肥處理過程中會發生有機物厭氧分解，因而產生甲烷與氧化亞氮，目前未將過程中產生之甲烷進一步回收再利用，未來若將廚餘進行厭氧消化，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，堆肥產生之溫室氣體 (甲烷與氧化亞氮) 排放量計算如公式 7.3.1 與公式 7.3.2 所示。

公式 7.3.1 :

$$\text{甲烷 (Gg / yr)} = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

$M_i$ : 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 CH<sub>4</sub>/kg 廢棄物)

$i$ : 堆肥處理或厭氧處理

$R$ : 甲烷回收量 (Gg CH<sub>4</sub>)

公式 7.3.2 :

$$\text{氧化亞氮 (Gg / yr)} = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

$M_i$ : 生物處理之有機廢棄物量 (Gg/yr)

$EF_i$ : 有機廢棄物厭氧反應下氧化亞氮排放係數 (g N<sub>2</sub>O/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，其 IPCC 指南預設排放係數如表 7.3.1 所示，而我國採用排放係數值詳列於表 7.3.2，其中甲烷排放係數為 4 g CH<sub>4</sub>/kg 廢棄物，氧化亞氮為 0.3 g N<sub>2</sub>O/kg 廢棄物。

### (3) 活動數據

依據中華民國環境保護統計年報，彙整 1990 年至 2021 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，且我國亦於 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

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<br>(g CH <sub>4</sub> /kg 處理廢棄物) |                 | 氧化亞氮排放係數<br>(g N <sub>2</sub> O/kg 處理廢棄物) |                     | 備註   |
|--------|---|-----------------|---|---------------------|--|
|        | 乾重                                      | 濕重              | 乾重  | 濕重                  |  |
| 堆肥處理   | 10<br>(0.08 - 20)                       | 4<br>(0.03 - 8) | 0.6<br>(0.2 - 1.6)                        | 0.3<br>(0.06 - 0.6) | 關於廢棄物處理的假設：乾物質中的 DOC 為 25%-50%，乾物質中的氮 2%，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。 |
| 厭氧分解   | 2<br>(0 - 20)                           | 1<br>(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 | 我國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 <sub>i</sub> ) | 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 <sub>4</sub> /kg 廢棄物，氧化亞氮為 0.3g N <sub>2</sub> 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。



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，使 1991 年起堆肥數量大幅下降。

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，推測與行政院環境保護署自 2012 年起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。2021 年堆肥量為 263.8 千公噸，較 2020 年增加 2.3 千公噸；溫室氣體排放總量 50.0

千公噸二氧化碳當量，較 2020 年微幅增加 0.9%，亦較 1990 年增加 133.1%。

#### (5) 完整性

中華民國環境保護統計年報記載 1990 年至 2021 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。生物處理排放之各項參數詳細資料列於表 7.3.4，所計算之活動強度、排放係數及排放量不確定性，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，係依據中華民國環境保護統計年報，彙整 1990 年至 2021 年廚餘回收之「堆肥」數據，且各年期估算方法一致。

表 7.3.3 1990 年至 2021 年生物處理各類溫室氣體排放量

| 年份   | 堆肥<br>(千公噸) | 有機廢棄物占<br>比 (%) | 甲烷排放係數<br>(g CH <sub>4</sub> /kg 廢棄物) | 氧化亞氮排放係數<br>(g N <sub>2</sub> O/kg 廢棄物) | 甲烷排放量<br>(千公噸二氧化碳當量) | 氧化亞氮排放量<br>(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 | 246.37      | 100             | 4                                     | 0.3                                     | 24.64                | 22.03                  |
| 2020 | 261.48      | 100             | 4                                     | 0.3                                     | 26.15                | 23.38                  |
| 2021 | 263.83      | 100             | 4                                     | 0.3                                     | 26.38                | 23.59                  |

備註：堆肥活動數據來自中華民國環境保護統計年報，2022 年。



表 7.3.4 2021 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     | <b>10.00</b> |  |
| 排放係數不確定性計算結果     | <b>20.00</b> |  |
| 排放量不確定性計算結果      | <b>22.36</b> |  |

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

參考 IPCC 2000 GPG 中「方法 1 一般清冊品質控制程序」(表 7.3.5)，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

無。

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，然我國僅農業廢棄物有露天燃燒，排放量歸屬農業部門，廢棄物部門則無露天燃燒處理，因而無計算。

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，因此僅估算廢棄物燃燒過程中產生之二氧化碳及氧化亞氮排放量，並僅需計算礦物碳產生之溫室氣體排放量。

另依據 2006 IPCC 指南，有能源回收之廢棄物焚化所產生的排放量，應歸屬於能源部門，而無能源回收之廢棄物焚化產生的排放量，屬廢棄物部門。我國設計處理量小於 10 噸 / 時之中小型焚化爐無燃燒發電，因此排放量計入廢棄物部門。

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)，化石燃料及其產品 (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) 的排放則不計入，另外廢棄物焚化具能源回收利用之排放，則歸屬能源部門。

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   | • 交叉檢查排放源類別資訊活動數據資料 (廚餘回收之「堆肥」數據) 和排放係數 (IPCC 預設值) 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<br>• 確認整個計算過程中單位使用的準確性<br>• 確認轉換因數的準確性<br>• 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   |
| 檢查處理過程中清冊資料轉移的正確性           | • 避免有轉錄情事，並加強複查檢核<br>• 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之專家判斷值與其獨立資格<br>• 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<br>• 目前版本相關參數引用 IPCC 指南預設值 |
| 展開內部檔的審評                    | • 詳細登錄資料來源引用與版本差異<br>• 檢查歸檔並存儲的清冊資料、佐證資料和清冊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<br>• 確認於整個時間序列所計算之運算法則 / 方法一致性<br>• 無時間序列一致性缺漏情事                    |
| 展開完全檢查                      | • 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基準年到當前清冊時段內所有年份排放源別  |
| 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冊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<br>• 本年度該排放源無重新計算            |

資料來源：IPCC，2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories，Chap 8，Table 8.1。

公式 7.4.1.1 :

$$\text{二氧化碳 (Gg/yr)} = \sum_i (SW_i \times (1 - \text{水分}) \times FCF_i \times OF_i \times 44/12)$$

SW<sub>i</sub> : 廢棄物總燃燒量 (濕重) (Gg/yr)  
 FCF<sub>i</sub> : 廢棄物乾物質的礦物碳比例 (%)  
 OF<sub>i</sub> : 廢棄物乾物質的礦物碳比例 (%)  
 44/12 : 從 C 到 CO<sub>2</sub> 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

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

CF<sub>i</sub> : 廢棄物乾物質之總碳比例 (總碳含量) (%)

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

B. 廢棄物焚化處理產生氧化亞氮排放量計算

據 IPCC 指南, 氧化亞氮排放量計算如公式 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<sub>i</sub> : 廢棄物總燃燒量 (Gg/yr)  
 EF<sub>i</sub> : N<sub>2</sub>O 排放係數 (kg N<sub>2</sub>O/Gg 廢棄物)

(2) 排放係數

IPCC 指南提供之各國焚化爐氧化亞氮排放係數如表 7.4.1 所示。

有關公式 7.4.1.1 及公式 7.4.1.2 所使用計算方法及採用數據、國內數據來源如表 7.4.2 及表 7.4.3 所示。

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, 氧化亞氮排放係數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 N<sub>2</sub>O/公噸計算。

(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 2010 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, 將一般廢棄物焚化處理方式數據, 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。

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 <sub>2</sub> 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 | 我國計算方法及採用數據  | 國內數據來源   |
|------------------------------------|-----------------|--|--|
| 廢棄物總燃燒量 (SW <sub>i</sub> )         | 國內資料自行確定        | <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>中華民國環境保護年報</li> <li>固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統</li> </ul> |
| 廢棄物乾物質比例 (dm <sub>i</sub> )        | 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 <sub>i</sub> )     | 提供各種物質之總碳比例預設值  | 依據我國垃圾組成與 IPCC 公布含碳量計算。  | 中華民國環境保護年報   |
| 廢棄物乾物質總碳中化石碳比例 (FCF <sub>i</sub> ) | 提供各種物質之化石碳比例預設值 | 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 <sub>i</sub> )            | 未公布             | 依據 IPCC 預設值 100% 計算。   |  |

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      | 我國計算方法及採用數據  | 國內數據來源   |
|-----------------------------|----------------------|--|--|
| 廢棄物總燃燒量 (IW <sub>i</sub> )  | 國內資料自行確定             | <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>中華民國環境保護年報</li> <li>固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統</li> </ul> |
| 氧化亞氮排放係數 (EF <sub>i</sub> ) | 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 47 g N <sub>2</sub> O/T 計算。  | IPCC 公布值   |

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。計算時並引用環境保護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。

#### (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，數據較為穩定，惟近幾年由於大型焚化

爐整改，焚化量能降低，再加上有多座新設之中小型焚化爐，導致 2021 年中小型焚化爐焚化處理量較 2020 年增加 42.1 千公噸。另，2021 年廢棄物組成中，塑膠比例增加，使礦物碳比例較 2020 年增加 6.7%，因此 2021 年焚化處理排放量上升至 508.8 千公噸二氧化碳當量，較 2020 年增加 205.5 千公噸二氧化碳當量。

#### (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 年一般廢棄物清理概況中焚化處理數據、事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」活動數據，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。

表 7.4.4 1990 年至 2021 年焚化處理之溫室氣體活動數據及排放量

| 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 (g N <sub>2</sub> 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                              | 612.2   | 26.3    |
| 2003 | 4,304.6        | 2,869.8          | 5,470.7        | 1,703.6         | 55.69   | 33.60           | 44.88           | 100              | 47                              | 417.7   | 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   | 6.8     |
| 2019 |                |                  |                | 570.4           | 48.49   | 51.31           | 38.69           | 100              | 47                              | 213.8   | 8.0     |
| 2020 |                |                  |                | 654.1           | 45.34   | 53.88           | 42.07           | 100              | 47                              | 297.1   | 9.2     |
| 2021 |                |                  |                | 696.2           | 40.33   | 67.20           | 48.76           | 100              | 47                              | 499.0   | 9.8     |

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. 表中 2011 年至 2021 年之一般廢棄物焚化量、一般事業廢棄物處理量及大型焚化爐焚化量無數據，係因 2011 年後則直接採用「固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統」之中小型焚化爐申報處理量作為活動數據，而 1990 年至 2010 年活動數據則是採用統計年報計算(一般廢棄物 + 一般事業廢棄物 - 大型焚化爐焚化量)。

資料來源：1. 中華民國環境保護統計年報，2022 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。

另引用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 2021 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」，

2011 年後則引用「固定污染源空污費暨排放量申報整合管理系統」之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

利用環境保護統計年報之一般廢棄物清理概況中焚化處理數據、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 IPCC 2000 GPG，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，確認計算方式、引用參數與活動數據合理性。另參考 IPCC 2000 GPG 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。

表 7.4.5 2021 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。<br>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。<br>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              | <b>10.00</b> |   |
| 排放係數不確定性計算結果              | <b>89.02</b> |   |
| 排放量不確定性計算結果               | <b>89.58</b> |   |

表 7.4.6 2021 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 2006 IPCC 指南中日本焚化爐預設值，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              | <b>10.00</b> |   |
| 排放係數不確定性計算結果              | <b>20.00</b> |   |
| 排放量不確定性計算結果               | <b>22.36</b> |   |

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   | • 交叉檢查排放源類別資訊活動數據資料 ( 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 ) 和排放係數 ( IPCC 預設值 ) 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   |
| 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<br>• 確認整個計算過程中單位使用的準確性<br>• 確認轉換因數的準確性<br>• 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                  | • 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數據資料相關常數與參數之一致性與複檢結果  |
| 檢查處理過程中清冊資料轉移的正確性           | • 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         | • 檢查提供不確定性估算之專家判斷值與其獨立資格<br>• 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<br>• 目前版本相關參數引用 IPCC 指南預設值   |
| 展開內部檔的審評                    | • 詳細登錄資料來源引用與版本差異<br>• 檢查歸檔並存儲的清冊資料、佐證資料和清冊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<br>• 確認於整個時間序列所計算之運算法則 / 方法一致性<br>• 無時間序列一致性缺漏情事  |
| 展開完全檢查                      | • 確認提交的評估報告涵蓋從指定基準年到當前清冊時段內，所有年份排放源別  |
| 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冊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<br>• 本年度此排放源無重新計算  |

資料來源：2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Chap 8, Table 8.1。

## 6. 特定排放源的改善計畫

中小型焚化廠廢棄物來源包含有害、生物醫療、一般及一般事業廢棄物，惟目前仍採用一般垃圾組成比例計算排放量，後續將引用「事業廢棄物申報及管理資訊系統」數據，分有害、生物醫療、一般與一般事業廢棄物等廢棄物種類占比，並各別計算排放量後加總，以精進焚化排放量計算。

### 7.4.2 廢棄物露天燃燒 (5.C.2)

我國現僅農業廢棄物有露天燃燒情形，歸屬於農業部門，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 ( 下稱污 ( 廢 ) 水處理 ) 系統因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排放量。

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 指南認定為生物成因，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造成之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，意即將氨和其他氮化合物轉化成硝酸鹽 ( NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ) 和硝酸鹽轉化成氮氣 ( N<sub>2</sub> ) 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為去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。

### 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

生活及住商污水 ( 下稱生活污水 ) 主要產生的溫室氣體為甲烷 ( CH<sub>4</sub> ) 與氧化亞氮 ( N<sub>2</sub>O )，其中一般生活污水之糞尿

**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"> <li>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。</li> <li>河流、湖泊和港灣，可能成為氧化亞氮排放源。</li> </ul>   |
|         |          | 下水道（封閉、地下的） |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>不是甲烷 / 氧化亞氮排放來源。</li> </ul>  |
|         |          | 下水道（露天）     |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>   |
|         | 已處理      | 好氧處理        | 集中式好氧廢水處理廠  | <ul style="list-style-type: none"> <li>可能由好氧槽之厭氧區域，產生些微甲烷。</li> <li>設計或操作管理不良之好氧處理系統，會產生甲烷。</li> <li>具去除營養鹽之三級污水處理廠（硝化、脫硝反應），雖規模小，但也是氧化亞氮排放來源之一。</li> </ul> |
|         |          |             | 集中式好氧廢水處理廠的污泥厭氧處理   | <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>   |
|         |          | 厭氧處理        | 好氧淺污水塘  | <ul style="list-style-type: none"> <li>一般而言，不太可能成為甲烷 / 氧化亞氮主要排放來源。</li> <li>設計或管理不良之好氧處理系統，會產生甲烷。</li> </ul>  |
|         |          |             | 厭氧化糞池   | <ul style="list-style-type: none"> <li>可能是甲烷的排放來源。</li> <li>不是氧化亞氮的排放源。</li> </ul>  |
| 未收集     | 化糞池      |             | <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>                  |   |
|         | 露天坑 / 廁所 |             | <ul style="list-style-type: none"> <li>經常清除沉澱污泥，可降低甲烷產生量。</li> <li>當溫度和停留時間適當，則可能產生甲烷。</li> </ul> |   |

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste, P.6-8, Table 6.1。

經化糞池厭氧反應處理後，產生甲烷(CH<sub>4</sub>)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(N<sub>2</sub>O)。生活污水之處理方式可分為未納管處理與納管後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 指南針對生活污水甲烷(CH<sub>4</sub>)排放計算，主要以不同收入級距之人口比例及其採用之污水處理系統類型，加總各類處理系統甲烷(CH<sub>4</sub>)排放量。依據我國污水處理情況，將未納管處理之生活污水分為排放至(A)化糞池與(B)開放水體兩類別，其排放量計算如公式 7.5.1.1 所示。

#### 公式 7.5.1.1 (未納管處理)：

$$\text{甲烷排放量 (kg CH}_4\text{/yr)} = [(P \times \text{BOD} \times I - S) \times \text{Bo} \times \text{MCF}_j \times (1-T)] \times 10^{-6} - R$$

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，未含事業廢水之預設值則為 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 CH<sub>4</sub> producing capacity), kg CH<sub>4</sub>/kg BOD

MCF<sub>j</sub>：甲烷修正係數 (methane correction factor)

T：污水處理率 [%]

R：甲烷回收量 [kg CH<sub>4</sub> / yr]

#### B. 生活污水納管處理之甲烷排放量計算 (污水處理廠)

有鑑於污水處理廠處理單元可能有甲烷(CH<sub>4</sub>)逸散排放，2009年後統計範疇增列生活污水處理廠甲烷(CH<sub>4</sub>)排放，納入污水處理廠水質及污泥處理程序中之甲烷(CH<sub>4</sub>)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<sub>i</sub>)，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)：

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

A<sub>i</sub>：每年全國公共污水處理廠污水處理量 (m<sup>3</sup>/yr)

EF：污水處理廠處理每噸污水甲烷排放係數 (kg CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>)

#### 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<sub>2</sub>O)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：

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

P：國內人口數 [人]

P<sub>protein</sub>：每人每年蛋白質攝取量 [kg/person/yr]

Fra<sub>CNPR</sub>：蛋白質中氮的比例 (預設值為 0.16 kg N/kg protein)

F<sub>NON-CON</sub>：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<sub>IND-COM</sub>：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<sub>SLUDGE</sub>：污泥移除 N 量 (預設值 = 0) (kg N/yr)

EF<sub>EFFLUENT</sub>：排放係數 (預設值 0.005) (kg N<sub>2</sub>O-N/kg N)

44/28：kg N<sub>2</sub>O-N 換算成 kg N<sub>2</sub>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 之預設值，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。依據 IPCC 預設值，亞洲地區每人每天產生 BOD 量為 40 (g BOD/persons/day)。

為貼近我國國人生活型態，每人每年之 BOD 產生量數據採用環保署「污水源頭減量手冊」，並分為化糞池 (A) 與開放水體 (B) 兩類別，說明如下。

**(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 13g BOD/persons/day，並根據 IPCC 公布各種污水處理系統之 MCF 值，採化糞池系統之 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 預設以 0.60 kg CH<sub>4</sub>/kg BOD 計算，其它依據 2006 IPCC 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 (CH<sub>4</sub>) 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

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        |
|----------------|-------------------------------|--------------|-----------|
| <b>未經處理的系統</b> |                               |              |           |
| 海洋、河、湖排放       | 河水若具有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        | 空曠且溫暖。                        | 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         |
| <b>經處理的系統</b>  |                               |              |           |
| 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  | 我國計算方法及採用數據   | 國內數據來源                   |
|--------------------------|--|---|--------------------------|
| 人口數 (P)                  | 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste, P.6-13, Table 6.3。 | 內政部統計資料   | 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<br>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 13 g BOD/persons/day。<br>排放至開放水體 27 g BOD/persons/day。 | 環保署 - 源頭減量手冊             |
| 最大甲烷生成量 (Bo)             | 0.60 kg CH <sub>4</sub> /kg BOD  | 採用 IPCC 預設值 0.60 kg CH <sub>4</sub> /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。<br>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體，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 | 我國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 $1.001 \times 10^{-3}$ kg CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> 。<br>2. 水質處理流程排放係數採用國內研究結果為 $6.531 \times 10^{-4}$ kg CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> 。<br>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 $3.480 \times 10^{-4}$ kg CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> 。 | 國內研究報告及他國清冊採用值  |



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即  $1.001 \times 10^{-3} \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ ，其中水質處理流程排放係數，採用國內研究結果為  $6.531 \times 10^{-4} \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ ，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  $3.480 \times 10^{-4} \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ 。

### C. 生活污水放流氧化亞氮排放

生活與住商污水氧化亞氮 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 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 ( $\text{kg N}_2\text{O-N}/\text{kg N}$ ) 計算。由於，我國為開發中國家，

關於廢水之非消耗蛋白質係數 ( $F_{\text{NON-CON}}$ ) 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 13 g BOD/persons/day 與開放水體 27 g BOD/persons/day，加總後計算甲烷排放量，如表 7.5.6。

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   | 我國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 ( $F_{\text{NPR}}$ )               | 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 $\text{N}_2\text{O-N}/\text{kg N}$ (須再計算 $\text{N}_2\text{O}/\text{N}$ 比例) | 採用 IPCC 預設值 0.005 kg $\text{N}_2\text{O-N}/\text{kg N}$ | IPCC 預設值       |
| 添加於廢水之非消耗蛋白質係數 ( $F_{\text{NON-CON}}$ )    | 已開發國家預設值 1.4<br>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 ( $F_{\text{IND-CON}}$ )       | 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 ( $\text{N}_{\text{SLUDGE}}$ ) | 預設值 0   | 採用 IPCC 預設值 0 計算。                                       | IPCC 預設值       |

表 7.5.6 1990 年至 2021 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 $\text{CH}_4$ 生成量 (Bo) | $\text{CH}_4$ 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) | $\text{CH}_4$ 回收量 (R) | 全國人口污水 $\text{CH}_4$ 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                     | 1,001.1                              |
| 1991 | 20,606   | 2.6       | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 1,011.1                              |
| 1992 | 20,803   | 2.6       | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 1,020.3                              |
| 1993 | 20,995   | 2.7       | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 1,029.3                              |
| 1994 | 21,178   | 2.7       | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 1,037.8                              |
| 1995 | 21,357   | 2.8       | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 1,046.1                              |
| 1996 | 21,525   | 2.9       | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 1,052.5                              |
| 1997 | 21,743   | 3.3       | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 1,059.4                              |
| 1998 | 21,929   | 4.8       | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 1,051.3                              |
| 1999 | 22,092   | 10.1      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 1,000.4                              |
| 2000 | 22,277   | 14.7      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 957.3                                |
| 2001 | 22,406   | 16.2      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 945.2                                |
| 2002 | 22,521   | 18.1      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 929.4                                |
| 2003 | 22,605   | 19.2      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 920.3                                |
| 2004 | 22,689   | 22.0      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 891.9                                |
| 2005 | 22,770   | 24.6      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 864.8                                |
| 2006 | 22,877   | 27.3      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 837.9                                |
| 2007 | 22,958   | 30.4      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 805.3                                |
| 2008 | 23,037   | 32.9      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 779.1                                |
| 2009 | 23,120   | 36.0      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 745.2                                |
| 2010 | 23,162   | 38.7      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 715.2                                |
| 2011 | 23,225   | 41.8      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 681.4                                |
| 2012 | 23,316   | 44.9      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 647.3                                |
| 2013 | 23,374   | 47.0      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 624.3                                |
| 2014 | 23,434   | 48.9      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 603.0                                |
| 2015 | 23,492   | 51.1      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 578.0                                |
| 2016 | 23,540   | 53.4      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 553.1                                |
| 2017 | 23,571   | 55.9      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 524.1                                |
| 2018 | 23,589   | 58.1      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 497.8                                |
| 2019 | 23,603   | 62.1      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 450.6                                |
| 2020 | 23,561   | 64.5      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 421.4                                |
| 2021 | 23,375   | 66.9      | 13                     | 27   | 0.6                       | 0.5                      | 0.1  | 1                        | 0         | 0                     | 389.4                                |



**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 2021 年，因此從 2009 年起計算生活污水妥善處理之甲烷排放量。

**C. 生活污水放流氧化亞氮排放**

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，數據如表 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 所得之排放量計算結果如表 7.5.6 所示。分析我國生活污水未納管處理之甲烷排放趨勢，由於污水處理率自 1999 年起明顯增加，由 10.1% 上升至 2021 年之 66.9%，使排放至化糞與及開放水體產生之甲烷逐年降低。儘管我國人口數成長，但 2021 年末納管處理之甲烷排放量仍較 1990 年及 2020 年分別減少 61.1% 及 7.6%。

**B. 生活污水納管處理之甲烷排放量計算（污水處理廠）**

依據公式 7.5.1.2 所得之排放量計算結果如表 7.5.7 所示。隨著污水下水道各期建設計畫的逐步完成，各縣市用戶接管普及率及整體污水處理率逐年提升，使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。

綜整生活污水處理甲烷排放量結果，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逐年下降的趨勢，加上緩步增加的污水處理廠甲烷排放量後，2021 年排放量較 1990 年排放量減少 58.1%，較 2020 年排放量減少 7.0%。

**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結果如表 7.5.8 所示，歷年氧化亞氮排放趨勢會隨人口遞增及國人蛋白質攝取量的變化而影響。2021 年氧化亞氮每人每日蛋白質供給量為 89.6g，考量人口成長後，排放量較 1990 年增加 10.8%，惟較 2020 年排放量減少 1.1%。

表 7.5.7 1990 年至 2021 年全國生活污水處理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 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | 排放係數 (CH <sub>4</sub> kg/m <sup>3</sup> ) | 全國污水廠 CH <sub>4</sub> 排放量 | 全國人口及污水廠 CH <sub>4</sub> 排放量 |
|------|---|---|---------------------------|------------------------------|
| 1990 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 1,001.1                      |
| 1991 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 1,011.1                      |
| 1992 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 1,020.3                      |
| 1993 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 1,029.3                      |
| 1994 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 1,037.8                      |
| 1995 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 1,046.1                      |
| 1996 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 1,052.5                      |
| 1997 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 1,059.4                      |
| 1998 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 1,051.3                      |
| 1999 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 1,000.4                      |
| 2000 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 957.3                        |
| 2001 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 945.2                        |
| 2002 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 929.4                        |
| 2003 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 920.3                        |
| 2004 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 891.9                        |
| 2005 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 864.8                        |
| 2006 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 837.9                        |
| 2007 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 805.3                        |
| 2008 | NE  | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | NE                        | 779.1                        |
| 2009 | 389.7                                       | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 9.8                       | 754.9                        |
| 2010 | 975.4                                       | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 24.4                      | 739.6                        |
| 2011 | 1,001.2                                     | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 25.1                      | 706.5                        |
| 2012 | 1,022.9                                     | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 25.6                      | 672.9                        |
| 2013 | 1,052.2                                     | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 26.3                      | 650.7                        |
| 2014 | 1,112.1                                     | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 27.8                      | 630.9                        |
| 2015 | 1,133.0                                     | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 28.4                      | 606.4                        |
| 2016 | 1,202.1                                     | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 30.1                      | 583.2                        |
| 2017 | 1,089.7                                     | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 27.3                      | 551.3                        |
| 2018 | 1,105.6                                     | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 27.7                      | 525.5                        |
| 2019 | 1,196.5                                     | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 29.9                      | 480.5                        |
| 2020 | 1,206.3                                     | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 30.2                      | 451.6                        |
| 2021 | 1,220.8                                     | 1.0011×10 <sup>-3</sup>                   | 30.6                      | 419.9                        |

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 1990 年至 2021 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 (Pretein)( 公斤 ) | 蛋白質含氮比 (Frac <sub>NPR</sub> ) | 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 <sub>NON-CON</sub> ) | 事業廢水共排之排放係數 (F <sub>IND-CIN</sub> ) | 因污泥而產生之氮移除量 (N <sub>SLUDGE</sub> ) | 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                                  | 307.4                   |
| 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                                  | 326.8                   |
| 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 | 90.08           | 32.88                      | 0.16                          | 22,877           | 0.005     | 1.1                                    | 1                                   | 0                                  | 310.0                   |
| 2007 | 82.64           | 30.16                      | 0.16                          | 22,958           | 0.005     | 1.1                                    | 1                                   | 0                                  | 285.4                   |
| 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                                  | 270.0                   |
| 2010 | 78.32           | 28.59                      | 0.16                          | 23,162           | 0.005     | 1.1                                    | 1                                   | 0                                  | 272.8                   |
| 2011 | 80.59           | 29.42                      | 0.16                          | 23,225           | 0.005     | 1.1                                    | 1                                   | 0                                  | 281.5                   |
| 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                                  | 277.0                   |
| 2014 | 80.70           | 29.46                      | 0.16                          | 23,434           | 0.005     | 1.1                                    | 1                                   | 0                                  | 284.4                   |
| 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           | 31.23                      | 0.16                          | 23,571           | 0.005     | 1.1                                    | 1                                   | 0                                  | 303.3                   |
| 2018 | 87.88           | 32.07                      | 0.16                          | 23,589           | 0.005     | 1.1                                    | 1                                   | 0                                  | 311.8                   |
| 2019 | 86.83           | 31.69                      | 0.16                          | 23,603           | 0.005     | 1.1                                    | 1                                   | 0                                  | 308.3                   |
| 2020 | 89.89           | 32.81                      | 0.16                          | 23,561           | 0.005     | 1.1                                    | 1                                   | 0                                  | 318.6                   |
| 2021 | 89.64           | 32.72                      | 0.16                          | 23,375           | 0.005     | 1.1                                    | 1                                   | 0                                  | 315.2                   |

### (5) 完整性

#### A. 生活污水未納管處理之甲烷排放量計算

內政部統計年報僅登載 2000 年至 2021 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 2021 年國內人口數，已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 2021 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

氧化亞氮之排放量估算係參照行政院農業委員會糧食平衡表 1990 年至 2021 年每人每日蛋白質供給量，及內政部統計年報登載 1990 年至 2021 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

有關廢棄物部門各排放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。2006 IPCC 清冊指南提供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。未納管處理生活污水甲烷排放之各項參數不確定性計算結果如表 7.5.10 所示，所計算出之活動強度、排放係數、排放量不確定性分別為 7.07%、42.72% 和 43.30%。

由於 IPCC 並未針對污水處理廠甲烷排放有預設不確定性數值，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，所計算之活動強度、排放係數及排放量不確定性分別為 10.00%、20.00% 和 22.36%。

再以不確定相加規則公式，以上述未納管處理 (43.30%)、納管處理之污水處理廠 (22.36%) 不確定性及其排放量作為計算基礎，得生活污水甲烷排放量之不確定性為 40.18%，如表 7.5.12。

表 7.5.9 生活污水相關參數預設值之不確定性範圍

| 參數                               | 不確定性範圍   |
|----------------------------------|--|
| <b>排放係數</b>                      |  |
| 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<br>±30%：化糞池、管理不完善的處理廠<br>±10%：集中管理完善的處理廠 |
| <b>活動資料</b>                      |  |
| 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<br>±50%：個別方法驗證<br>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<br>±20%：共同收集                                    |

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste, P.6-29, Table 6.7。

表 7.5.10 2021 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                                 | 不確定性 (%)     | 說明   |
|---|--------------|--|
| P：人口數                                     | 5            | 採國家人口統計資料，依 IPCC 預設不確定性 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 40 g/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 <sub>1</sub> ：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，不確定性以 5% 計。  |
| R：污泥去除量                                   | 0            | 未考慮以 0% 計算。  |
| <b>活動強度不確定性計算結果</b>                       | <b>7.07</b>  |  |
| <b>排放係數不確定性計算結果</b>                       | <b>42.72</b> |  |
| <b>排放量不確定性計算結果</b>                        | <b>43.30</b> |  |

表 7.5.11 2021 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                         |
|--|--------------|----------------------------|
| Ai：全國公共污水處理廠污水處理量 [m <sup>3</sup> ]          | 10           | 採內政部營建署統計資料，設定 10%。        |
| EF：排放係數 [CH <sub>4</sub> kg/m <sup>3</sup> ] | 20           | 引用國內研究報告成果及他國清冊採用值，設定 20%。 |
| <b>活動強度不確定性計算結果</b>                          | <b>10.00</b> |                            |
| <b>排放係數不確定性計算結果</b>                          | <b>20.00</b> |                            |
| <b>排放量不確定性計算結果</b>                           | <b>22.36</b> |                            |

表 7.5.12 2021 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  | 10.00        |
| 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        |
| 甲烷排放量 [ 千公噸 ]    | 15.57 | 1.22         |
| 生活污水總不確定性 [%]    | 40.18 |              |

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

生活污水未納管甲烷 ( 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 2021 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。

生活污水納管甲烷 ( 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 2021 年國內人口數，及 1990 年至 2021 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。

表 7.5.13 2021 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 預設不確定性 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 <sub>NPR</sub> ：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 <sub>NON-CON</sub> ：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 <sub>0</sub> ：排放係數 [kg N <sub>2</sub> 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。    |
| <b>活動強度不確定性計算結果</b>  | <b>11.18</b> |   |
| <b>排放係數不確定性計算結果</b>  | <b>28.72</b> |   |
| <b>排放量不確定性計算結果</b>   | <b>30.82</b> |   |

#### 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 月召開專家諮詢會議，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詢會議進行確認，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 13g BOD/persons/day 與排放至開放水體 27g BOD/persons/day 精進排放量之計算。另參考 IPCC 2000 GPG

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 2021 年公布之歷年每人每日蛋白質攝取量，修正 2006 年及 2020 年每人每日蛋白質攝取量，2006 年由原 80.66 克修正為 90.08 克，重新計算後氧化亞氮排放量由 277.5 修正為 310.0 千公噸二氧化碳當量，差異 11.7%。2020 年每人每日蛋白質攝取量由原 91.03 克修正為 89.89 克，重新計算後氧化亞氮排放量由 322.6 修正為 318.6 千公噸二氧化碳當量，差異 1.2%。

另，考量清冊數據之一致性，更新歷年每人每日蛋白質攝取量小數點至第十位，排放量變動前後小於 0.01%。

#### 6. 特定排放源的改善計畫

針對生活污水處理甲烷排放，將依據 2006 IPCC 指南之 2019 年精進版 (2019 年精進版) 新增污水處理廠放流水

表 7.5.14 生活污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   | · 交叉檢查排放源類別資訊活動數據資料 (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) 和排放係數 (IPCC 預設值) 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<br>· 確認整個計算過程中單位使用的準確性<br>· 確認轉換因數的準確性<br>· 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   |
| 檢查處理過程中清冊資料轉移的正確性           | · 避免有轉錄情事，並加強複查檢核<br>· 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之專家判斷值與其獨立資格<br>· 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<br>· 目前版本相關參數引用 IPCC 指南預設值   |
| 展開內部檔的審評                    | · 詳細登錄資料來源引用與版本差異<br>· 檢查歸檔並存儲的清冊資料、佐證資料和清冊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<br>· 確認於整個時間序列所計算之運算法則 / 方法一致性<br>· 無時間序列一致性缺漏情事  |
| 展開完全檢查                      | · 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基準年到當前清冊時段內所有年份排放源別  |
| 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冊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<br>· 依據糧食平衡表修正 2006 及 2020 年每人每日蛋白質攝取數據，據此更新生活污水氧化亞氮排放，亦將 2007 年至 2019 年每人每日蛋白質攝取數據小數點更新至第十位 |

資料來源：2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Chap 8, Table 8.1。

排放量及更新污泥移除量(S)數據。另，我國現已有 10 幾座污水處理廠設置污泥厭氧消化，並將過程中產生之沼氣回收再利用。後續將調查沼氣回收情形，納入污水處理廠甲烷排放計算，增加清冊數據完整性。

生活污水氧化亞氮排放依據 2021 年 9 月 23 日專家諮詢會結論，將區分成妥善及未妥善處理來計算，並依據 2019 年版 IPCC 清冊精進指南新增污水處理廠放流水排放量及更新相關參數。

## 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

依據 2006 IPCC 清冊計算指南，甲烷排放僅需考量廠內厭氧處理設施單元之排放，且具高甲烷排放潛勢之業別如下：

- 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）

有鑑於事業廢水經厭氧處理即會產生甲烷排放，除納入 2006 IPCC 指南建議之業別，並依據行政院環境保護署水質保護處提供之事業廢水申報資料，篩選我國具廢水厭氧處理設施之業別，共計 18 類，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

我國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（發電業除外）之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

2006 IPCC 指南未指出此來源的計算方法。目前參考日本計算氧化亞氮之方法，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，如公式 7.5.2.2 所示。

公式 7.5.2.1：

$$\text{甲烷排放量 (kg CH}_4\text{/yr)} = (TOW_i - S) \times (Bo \times MCF) - R$$

TOW<sub>i</sub>：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 CH<sub>4</sub> producing capacity) [kg CH<sub>4</sub>/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 CH<sub>4</sub>/yr]，預設值為 0

公式 7.5.2.2：

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

A<sub>i</sub>：各類事業廢水廠處理水量 (m<sup>3</sup>/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 N<sub>2</sub>O/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 (Bo) 以 IPCC 公布預設值 0.25 kg CH<sub>4</sub>/kg COD 計算。

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        |
|----------------------|----------------------------|-----|-----------|
| <b>未處理</b>           |                            |     |           |
| 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   |
| <b>已處理</b>           |                            |     |           |
| 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。



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 N<sub>2</sub>O/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 處理量。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「水

污染源管制資料管理系統」申報資料，取得產業廢水處理設施之水量與水質進行估算，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 年起建置，針對 2000 年前之 COD 移除量以每年全國列管家數比例推估，其中列管家數，係參閱中華民國環境保護統計年報 2003 年至 2021 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，並採保守性原則，將 COD 移除量分為 70% 好氧與 30% 厭氧分別計算 COD 移除量。

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                   | 我國計算方法及採用數據   | 國內數據來源                                  |
|---------------------------------------|---------------------------------|---|---|
| 污水量 (P <sub>i</sub> ×W <sub>i</sub> ) | 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放口之 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 (Bo)                          | 0.25 kg CH <sub>4</sub> /kg COD | 採用 IPCC 預設值 0.25 kg CH <sub>4</sub> /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。<br>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 | 我國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 <sub>i</sub> ) | 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 <sub>2</sub> O/kg N | 他國清冊採用值                              |

表 7.5.18 1990 年至 2021 年事業廢水處理甲烷活動數據及排放量

| 年份   | 列管家數   | TOW <sub>i</sub> ：事業廢水中遭去除之有機物 (公噸 COD) (P <sub>i</sub> ×W <sub>i</sub> ×COD <sub>i</sub> ) | S <sub>i</sub> ：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 <sub>4</sub> /kg COD) | MCF <sub>j</sub> ：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             |

續下表

續上表

| 年份   | 列管家數   | TOW <sub>i</sub> : 事業廢水中遭去除之有機物 (公噸 COD)<br>(P <sub>i</sub> ×W <sub>i</sub> ×COD <sub>i</sub> ) | S <sub>i</sub> : 移除轉變為污泥之可分解有機物 (公噸) | Bo: 最大甲烷產生量<br>(kg CH <sub>4</sub> /kg COD) | MCF <sub>j</sub> : 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  |                 |                   |
| 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             |
| 2020 | 29,281 | 302,602   | 0                                    | 0.25  | 0.3                       | 0.8 | 0               | 851.1             |
| 2021 | 31,950 | 290,899   | 0                                    | 0.25  | 0.3                       | 0.8 | 0               | 818.2             |

**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「水污染源管制資料管理系統」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。該管理系統現僅有 2013 年後之總氮濃度申報資料，1990 年至 2012 年期間事業廢水廠總氮數據仍待研究。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。排放量活動數據來自廢水申報處理量，其估算結果隨 COD 處理量而變化。2021 年甲烷排放量為 818.2 千公噸二氧化碳當量，為 1990 年排放量的 1.99 倍，與 2020 年相比，排放量則下降 3.9%(2020 年排放量為 851.1 千公噸二氧化碳當量)。

**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結果如表 7.5.19 所示。排放量隨各行業申報的處理水量、氨氮及硝酸鹽氮濃度而變化。2021 年排放量相較 2013 年增加 6.4 千公噸二氧化碳當量，推測可能與 2017 年底增訂氨氮和總氮管制規定，事業廢水含氨氮與硝酸鹽氮之申報家數增加有關，2021 年之申報家數為 1938 家。

2021 年排放量為 23.3 千公噸二氧化碳當量，相較 2020 年減少 7.1 千公噸二氧化碳當量，相當於減少 23.4%，主要係受石油化學業及半導體製造業近年廢水總氮處理量趨於平緩所致。

**(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 2021 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。

表 7.5.19 2013 年至 2021 年事業廢水氧化亞氮活動數據及排放量

| 年份   | 家數 *  | 總氮處理排放量 (公噸/年) | 排放係數 (kg N <sub>2</sub> 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 | 478   | 38,113.9       | 0.0043                          | 48.8                |
| 2018 | 575   | 22,149.9       | 0.0043                          | 28.4                |
| 2019 | 1,833 | 38,836.6       | 0.0043                          | 49.8                |
| 2020 | 1,902 | 23,748.4       | 0.0043                          | 30.4                |
| 2021 | 1,938 | 18,200.2       | 0.0043                          | 23.3                |

\* 申報水質含氨氮與硝酸鹽氮之家數。

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，1990 年至 2012 年期間事業廢水廠的總氮數據仍待研究。

**3. 不確定性與時間序列的一致性**

**(1) 不確定性**

有關廢棄物部門各排放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，所計算出之活動強度、排放係數及排放量不確定性分別為 14.14%、36.06% 和 38.73%。

由於 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，所計算出之活動強度、排放係數及排放量不確定性分別為 14.14%、20.00% 和 24.49%。

表 7.5.20 IPCC 指南事業廢水相關參數預設值之不確定性範圍

| 參數           | 不確定性範圍   |
|--------------|--|
| <b>排放係數</b>  |  |
| 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   |
| <b>活動資料</b>  |  |
| 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)    | • 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。<br>• 產品參數 (W×COD) 不確定性較小。 |
| 化學需氧量 (COD)  | • -50 %、100% 等數值被假設，由於不確定性可以直接歸於公斤 COD/ 公噸產品。                          |

資料來源：2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Chap5, Table 5.5。

表 7.5.21 2021 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  |
|---|--------------|---|
| Wi：廢水處理量 [m <sup>3</sup> ]              | 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%。                    |
| CODi：化學需氧量 [kg COD/m <sup>3</sup> ]     | 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。  |
| Bo：最大甲烷產生量 (kg CH <sub>4</sub> /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。          |
| MCFj：甲烷修正係數                             | 20           | 參考 IPCC 預設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 <sub>4</sub> /yr]        | N/A          | 未納入計算。  |
| <b>活動強度不確定性計算結果</b>                     | <b>14.14</b> |   |
| <b>排放係數不確定性計算結果</b>                     | <b>36.06</b> |   |
| <b>排放量不確定性計算結果</b>                      | <b>38.73</b> |   |

表 7.5.22 2021 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  |
|------------------------------------|--------------|---|
| Ai：各類事業廢水廠處理水量 [m <sup>3</sup> ]   | 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 <sub>2</sub> O/kg N] | 20           | 引用他國清冊採用值，設定 20%。                         |
| <b>活動強度不確定性計算結果</b>                | <b>14.14</b> |   |
| <b>排放係數不確定性計算結果</b>                | <b>20.00</b> |   |
| <b>排放量不確定性計算結果</b>                 | <b>24.49</b> |   |



(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 IPCC 2000 GPG，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，確認計算方式、引用參數與活動數據合理性。另針對事業廢水好厭氧占比，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。

依據 2021 年 9 月專家諮詢會結論，由於發電業廢水之總氮量非以生物方式進行處理且未列入 2006 IPCC 指南之 2019 年精進版 (2019 年精進版) 建議行業別，因此將發電業從事業廢水氧化亞氮行業別範疇排除。

另參考 IPCC 2000 GPG 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。

5. 特定排放源的重新計算

本年度無特定排放源之重新計算。

6. 特定排放源的改善計畫

因應 IPCC 2019 年精進版及 2021 年 9 月 23 日專家諮詢會結論，後續將調整事業廢水甲烷及氧化亞氮排放計算之行業別範疇，並新增廠外放流水排放量計算及更新相關排放係數。

另，依據 2023 年 5 月 16 日針對事業廢水甲烷排放計算精進所召開之專家諮詢會結論，後續將納入工業區廢水處理排放，並依據歷年處理設施情形更新厭氧比例。

廢水處理廠設置厭氧處理及沼氣回收屬有效能資源再利用方式，後續將調查我國廢水處理廠沼氣回收情形，以掌握減量潛力。

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   | • 交叉檢查排放源類別資訊活動數據資料 (事業廢水污染管制資料) 和排放係數 (IPCC 預設值) 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」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                  | • 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<br>• 確認整個計算過程中單位使用的準確性<br>• 確認轉換因數的準確性<br>• 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   |
| 檢查處理過程中清冊資料轉移的正確性           | • 避免有轉錄情事，並加強複查檢核<br>• 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之專家判斷值與其獨立資格<br>• 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<br>• 目前版本相關參數引用 IPCC 指南預設值 |
| 展開內部檔的審評                    | • 詳細登錄資料來源引用與版本差異<br>• 檢查歸檔並存儲的清冊資料、佐證資料和清冊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<br>• 確認於整個時間序列所計算之運算法則 / 方法一致性<br>• 無時間序列一致性缺漏情事                    |
| 展開完全檢查                      | • 確認提交的評估報告涵蓋從指定基準年到當前清冊時段內所有年份排放源別   |
| 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冊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<br>• 本年度無特定排放源之重新計算          |

資料來源：2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Chap 8, Table 8.1。



## 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，「內政部統計查詢網 – 污水下水道系統執行概況」瀏覽日期 (2023 年 03 月)。
6. 行政院內政部，「內政部統計查詢網 – 土地面積、戶數與人口數」，瀏覽日期 (2023 年 03 月)。
7. 行政院農業委員會，「糧食平衡表 – 每人每日蛋白質供給量」，瀏覽日期 (2023 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，「中華民國環境保護統計年報中華民國 103 年」，2014 年 08 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 108 年」，2019 年 11 月。
27. 行政院環境保護署 2020，「中華民國環境保護統計年報中華民國 109 年」，2020 年 09 月。
28. 行政院環境保護署 2021，「中華民國環境保護統計年報中華民國 110 年」，2021 年 08 月。
29. 行政院環境保護署 2022，「中華民國環境保護統計年報中華民國 111 年」，2022 年 11 月。
30. 行政院環境保護署，「2021 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」，2023 年 03 月。
31. 行政院環境保護署，「中小型焚化爐空污費申報系統資料」，2023 年 3 月。