



## 第七章 廢棄物部門 (CRF SECTOR 5)

---



7.1 部門概述

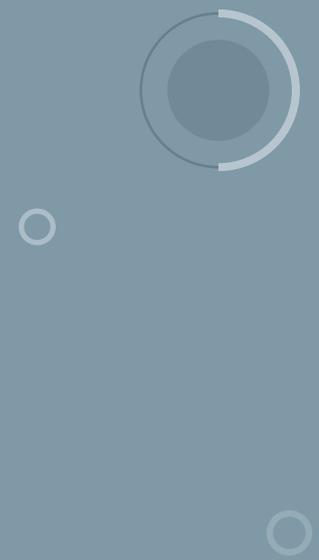
7.2 固體廢棄物處理

7.3 固體廢棄物之生物處理

7.4 廢棄物之焚化與露天燃燒

7.5 廢水處理與放流

7.6 廢棄物部門溫室氣體排放不確定性分析



## 第七章 廢棄物部門 (CRF SECTOR 5)

### 7.1 部門概述

依據 2006 IPCC 國家溫室氣體排放清冊指南 (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 以下簡稱 2006 IPCC 指南), 廢棄物部門之溫室氣體排放源範疇包括: 固體廢棄物處理、廢棄物生物處理、廢棄物焚化與露天燃燒、廢水處理排放及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、凡涉及能源部門之內容, 如回收掩埋場沼氣進行發電及大型焚化爐加入發電機制, 此部分屬燃料燃燒能源利用, 依 IPCC 指南建議, 其溫室氣體排放應列於能源部門, 從廢棄物部門扣除, 以避免部門間重複計算。
- 二、屬生物成因 (Biogenic origin) 之單元, 單元產生之二氧化碳不納入排放量計算, 由於廢棄物在生物界中就會被細菌分解成二氧化碳, 因此不納入計算,

如廢水廠好氧處理產生之二氧化碳。

依據清冊指南規範, 掩埋場回收沼氣發電之甲烷排放及大型焚化爐加入發電機制之溫室氣體排放皆不納入廢棄物部門, 而歸屬能源部門。以 2006 IPCC 指南建置更新廢棄物部門歷年 (1990~2014) 溫室氣體排放量, 如表 7.1.2 及圖 7.1.1 所示。

其中甲烷與氧化亞氮當量換算係依據 IPCC 第 4 次評估報告溫暖化潛勢值 (Global Warming Potential, 以下簡稱 GWP) (表 7.1.3), 甲烷 GWP 為 25, 而氧化亞氮 GWP 為 298。

臺灣廢棄物部門歷年排放量以 1999 年為最大, 主要以廢棄物掩埋為主, 隨著環保政策之演進, 改以資源回收與焚化為主, 掩埋排放量逐年降低, 而生活污水則由於接管率逐年增加, 因此排放量亦逐年降低, 統計至 2014 年, 廢棄物部門排放量為 4,264.3 千公噸二氧化碳當量, 較 1990 年減少 53%。

2014 年廢棄物部門整體溫室氣體排放較 2013 年減少 4.9%。其中來自掩埋排放為 1,427.7 千公噸二氧化碳當量、生活污水排放為 1,625.8 千公噸二氧化碳當量、事

表 7.1.1 IPCC 指南廢棄物部門排放源分類

		排放分類定義	排放氣體
5.A	固體廢棄物處	✓ 甲烷由固體廢棄物掩埋場中之有機物質於厭氧狀態下經微生物分解而產生。 ✓ 二氧化碳亦會產生, 但此處僅列入由非生物或非有機廢棄物來源所產生之二氧化碳。	二氧化碳、甲烷、氧化亞氮
	5.A.1 妥善管理之廢棄物掩埋場	妥善管理之廢棄物掩埋場必須具備受控制的廢棄物放置地點, 且包含以下其中一種: 覆蓋材料、機械壓實、或廢棄物整平等措施。	甲烷、氧化亞氮
	5.A.2 未妥善管理之廢棄物掩埋場	不屬於以上妥善管理之廢棄物掩埋場之其他形式廢棄物掩埋場。	甲烷、氧化亞氮
	5.A.3 其他	其他廢棄物掩埋場。	甲烷、氧化亞氮
5.B	廢棄物生物處理	廢棄物堆肥與其他生物處理; 沼氣發電設施的排放, 應列於能源部門 (1.A.4) 下。	二氧化碳、氧化亞氮
5.C	廢棄物焚化與露天燃燒	✓ 廢棄物焚化, 但不包括廢棄物發電設備。 ✓ 廢棄物燃燒發電所產生之排放應列於能源部門 (1.A)。 ✓ 而農作物、森林與草地等燃燒, 所產生的排放應列於農業部門 (3.C)。	二氧化碳、甲烷、氧化亞氮
	5.C.1 廢棄物焚化	於可控制之焚化設施中燃燒的固體廢棄物。	二氧化碳、甲烷、氧化亞氮
	5.C.2 廢棄物露天燃燒	露天或露天垃圾場中的廢棄物燃燒。	二氧化碳、甲烷、氧化亞氮
5.D	廢水處理及排放	✓ 甲烷與氮氧化物由有機物於污水設備與食物處理及其他工業設備之廢水處理過程中經細菌厭氧分解所產生。 ✓ 氧化亞氮亦可能由污水處理與人類的排泄物所釋出。 ✓ 甲烷排放包含於事業廢水及生活與住商污水類別, 氮氧化物排放包含於生活與住商污水類別。	二氧化碳、甲烷、氧化亞氮
	5.D.1 生活及住商污水	✓ 住宅與商業來源之液態廢棄物與污泥處理 (包括人體排泄物) 透過: 污水收集與處理、露天廁所、污水池或逕流釋放。 ✓ 由人體排泄物排放至環境水之氧化亞氮亦包含於此類別。	甲烷、氧化亞氮
	5.D.2 事業廢水	✓ 自於工業製程之液態製程之液體廢棄物及污泥處理: 食物處理、紡織業、紙漿及造紙業。 ✓ 此類別可能包括廢水收集與處理、廢水池或逕流釋放。 ✓ 排放到民用污水系統的事業廢水, 應納入 5.D.1 下。	甲烷、氧化亞氮
5.E	其他	其他廢棄物處理活動所釋放出之溫室氣體; 如醫療廢棄物、有害廢棄物與農業廢棄物等。	二氧化碳、甲烷、氧化亞氮



表 7.1.2 廢棄物部門 1990 至 2014 年溫室氣體排放量

(單位:千公噸二氧化碳當量)

年	廢棄物掩埋甲烷產生量	生活與住商廢水甲烷產生量	生活與住商廢水氧化亞氮產生量	事業廢水甲烷產生量	焚化爐二氧化碳產生量	焚化爐氧化亞氮產生量	堆肥甲烷產生量	堆肥氧化亞氮產生量	廢棄物部門溫室氣體排放量
1990	5,831.8	2,176.3	284.5	730.7	20.5	1.1	11.3	10.1	9,066.2
1991	5,917.4	2,198.1	283.8	863.7	8.3	0.4	0.5	0.5	9,272.6
1992	5,928.2	2,218.1	293.8	896.4	65.0	3.6	0.8	0.7	9,406.6
1993	6,322.9	2,237.7	307.4	862.1	63.1	3.5	0.5	0.4	9,797.5
1994	7,060.8	2,256.1	307.5	878.5	110.1	5.8	0.1	0.1	10,619.0
1995	7,719.3	2,274.2	315.5	905.1	397.9	18.2	0.6	0.6	11,631.4
1996	8,080.1	2,288.1	318.1	960.9	386.6	19.1	0.3	0.2	12,053.4
1997	8,212.3	2,303.0	331.7	937.7	104.9	3.8	1.4	1.3	11,896.1
1998	8,371.8	2,285.5	315.2	898.6	116.6	5.7	0.1	0.0	11,993.5
1999	8,596.2	2,174.7	324.2	867.6	65.0	3.2	1.9	1.7	12,034.6
2000	8,512.4	2,081.1	322.4	834.9	259.0	8.0	0.3	0.2	12,018.4
2001	7,732.4	2,054.8	310.0	836.5	539.9	30.0	0.0	0.0	11,503.7
2002	7,214.1	2,020.3	321.3	844.1	612.1	26.3	0.4	0.3	11,039.0
2003	6,675.3	2,000.6	326.9	929.0	417.3	23.9	2.2	2.0	10,377.1
2004	6,100.9	1,938.8	313.8	879.7	512.4	23.1	6.7	6.0	9,781.3
2005	5,525.2	1,879.5	313.6	935.1	347.8	27.4	9.8	8.7	9,047.0
2006	4,930.2	1,820.9	310.0	936.2	469.6	30.5	11.3	10.1	8,518.7
2007	4,378.8	1,750.7	317.8	1,047.7	562.1	29.7	14.5	12.9	8,114.1
2008	3,813.5	1,693.8	292.9	1,010.8	443.2	20.6	16.5	14.7	7,306.0
2009	3,246.1	1,619.4	302.0	1,022.2	154.3	8.6	17.9	16.0	6,386.7
2010	2,748.9	1,555.2	307.4	979.3	208.2	10.8	20.9	18.7	5,849.5
2011	2,352.5	1,480.5	313.3	1,004.4	115.0	7.2	26.2	23.4	5,322.2
2012	1,997.3	1,408.0	313.8	1,078.3	61.0	3.5	24.4	21.8	4,908.1
2013	1,688.3	1,356.5	305.7	1,084.8	4.5	0.3	22.6	20.2	4,482.8
2014	1,427.7	1,310.9	314.9	1,075.7	90.8	5.4	20.4	18.3	4,264.3

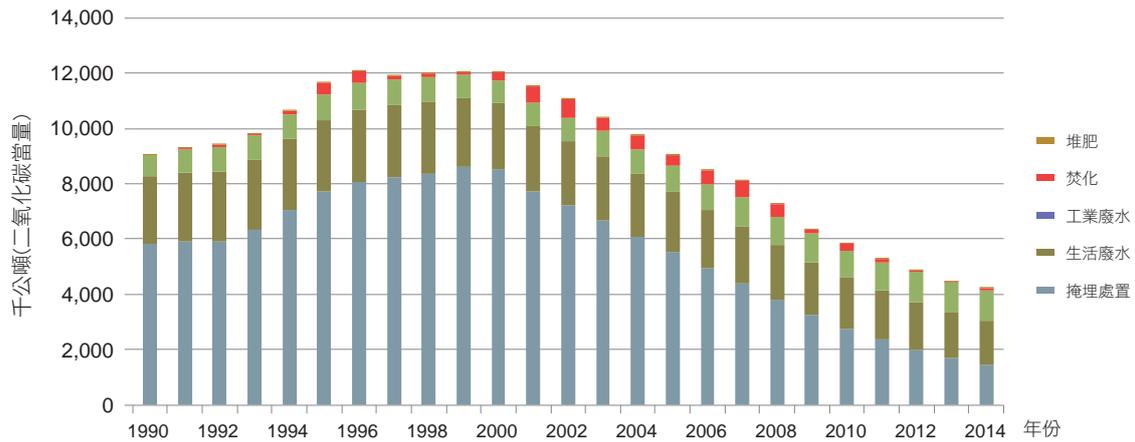


圖 7.1.1 臺灣廢棄物部門 1990 至 2014 年溫室氣體排放量趨勢

表 7.1.3 IPCC 評估報告溫暖化潛勢值

次數	二氧化碳	甲烷	氧化亞氮
1	1	11	270
2	1	21	310
3	1	23	296
4	1	25	298

業廢水排放為 1,075.7 千公噸二氧化碳當量、焚化排放為 96.2 千公噸二氧化碳當量、堆肥排放為 38.7 千公噸二氧化碳當量，其中排放氣體部分，甲烷為 3,834.9 千公噸二氧化碳當量、氧化亞氮為 338.6 千公噸二氧化碳當量、二氧化碳為 90.8 千公噸二氧化碳當量。

由於廢棄物掩埋排放計算採一階衰減法，且掩埋場回收甲烷發電及大型焚化爐焚化發電之排放列於能源部門，依據歷年溫室氣體排放計算結果，就排放來源比例之逐年趨勢，均以掩埋處理排放為最大宗（約 40% 以上），於 1999 年達到最大比例（約 71%），而 2000 年後逐年下降，於 2014 年約佔 33.5%。

生活污水與事業廢水排放量趨勢分別為逐年下降與變化和緩，然隨著垃圾處理以焚化為主，使掩埋處理量大幅下降，故生活污水與事業廢水年度排放比例約從 2000 年起逐年增加，至 2014 年較 2002 年約增加 34.5%；統計至 2014 年，排放來源比例分別為：掩埋處理排放比例約 33.5%、生活污水排放約 38.1%、事業廢水排放約 25.2%、焚化排放約 2.3%、堆肥排放約 0.9%。

有關排放物種逐年趨勢（如圖 7.1.2），長期均以甲烷為主（約 89% 至 97%），至 2014 年物種排放比例：甲烷約 89.9%，氧化亞氮約 7.9%，二氧化碳約 2.1%。

## 7.2 固體廢棄物處理（5.A）

針對一般廢棄物掩埋場分為「有管理」、「無管理」及「其他」三類，然依據 IPCC 定義「其他」為其他廢棄物掩埋場，臺灣並無其他廢棄物掩埋場，故無此部分排

放。臺灣『衛生掩埋場』屬「有管理、妥善管理」之掩埋場；『一般掩埋場』屬「未妥善管理」之掩埋場，含一般掩埋、堆置及其他之陸上垃圾處理場。

以下分別就妥善管理之廢棄物掩埋場（5.A.1）及未妥善管理之廢棄物掩埋場（5.A.2）分述其內容。

### 7.2.1 妥善管理之廢棄物掩埋場（5.A.1）

#### 1. 排放源及匯分類的描述

依據 104 年中華民國環境保護統計年報之分類總結說明 103 年廢棄物之處理內容，關於垃圾處理方式可分為焚化、掩埋、堆置、資源回收、巨大垃圾回收再利用及廚餘回收等。103 年執行機關垃圾處理方式以資源回收占 44.92% 居首位，焚化占 43.28% 次之，廚餘回收占 9.78% 居第 3；其中掩埋又區分為「衛生」與「一般」掩埋。而妥善管理之廢棄物掩埋則屬衛生掩埋，排除一般掩埋與資源回收等項目。

妥善掩埋場之活動數據是參閱中華民國環境保護統計年報 - 中華民國 89 年至 103 年，引用（四）廢棄物管理表 4-1 垃圾清理狀況，其中關於垃圾清運之「衛生掩埋」數據；及引用表 4-6 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「化學分析含移除量」百分比數據。

#### 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

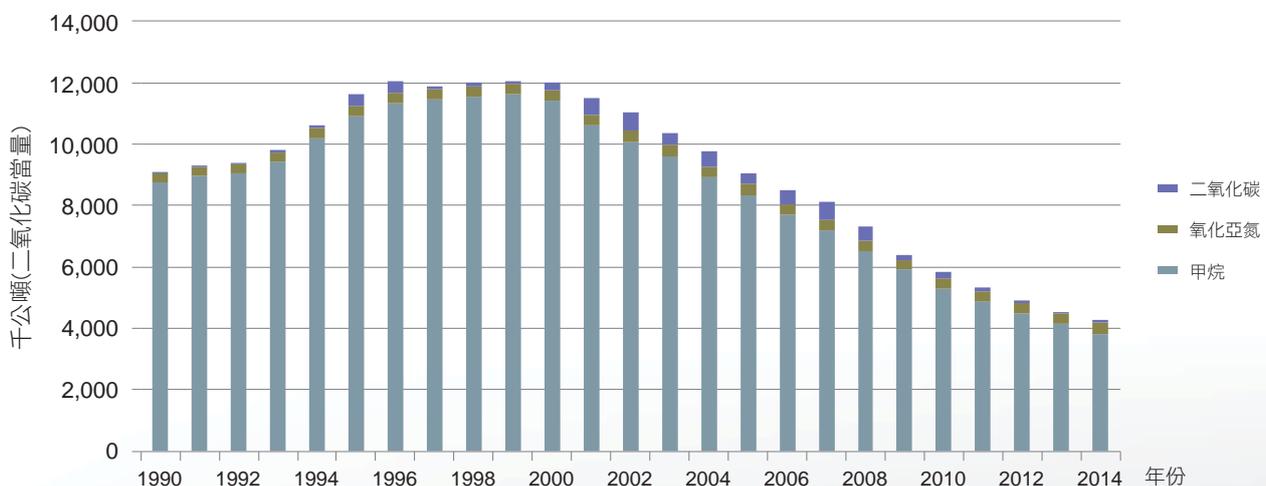


圖 7.1.2 臺灣廢棄物部門 1990 至 2014 年各類溫室氣體排放量趨勢



排氣量應該以一階衰減法計算，並須延長 50 年統計年限，根據指南所提供之計算表單，其建議回溯至 1950 年來進行統計分析，由於並未有 1990 年前之掩埋資料，IPCC 統計方法說明可依人口量與垃圾量之比例換算。有關計算順序說明如下：

- A. 依據 1990 年之人口量與掩埋量回推至 1950 年之掩埋量並以 1990 年之垃圾組成之成分作為 1950 至 1989 年之垃圾組成。
- B. 依據一階衰減法計算 1950 至 1989 年之累積可分解有機碳含量（累積 DOC）。
- C. 以 1989 年計算累積 DOC 結果，作為 1990 年前之累積 DOC 計算基準，再依據中華民國環境保護統計年報實際垃圾量與組成，根據一階衰減法計算 1990 年至 2014 年甲烷排放量。

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

公式 7.2.1.1：

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

DDOCm decomp<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）
- DDOCm：可分解 DOC 量（Gg/yr），W×MCF×DOC×DOCF
- 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：可降解有機碳比例（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：

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

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

- T：年份
- DDOCm<sub>T</sub>：第 T 年末累積之 DDOCm (Gg/yr)
- DDOCm<sub>T-1</sub>：第 (T-1) 年末累積之 DDOCm (Gg/yr)
- DDOCm<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 = ln(2) / t<sub>1/2</sub>
- t<sub>1/2</sub> = 半衰期時間 (yr)

## (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. MCF：甲烷修正係數（CH<sub>4</sub> correction factor for aerobic decomposition）

表 7.2.1 為 2006 IPCC 指南掩埋場型式與對應之甲烷修正係數，主要詳細說明各種掩埋場型式之處理情形，以及定義未分類者之 MCF 引用條件。依據 2006 IPCC 指南說明，設定妥善管理廢棄物掩埋場之甲烷修正參數值為 1.0。

- B. DOC：可降解有機碳比例（Degradable Organic Carbon）

表 7.2.2 為 2006 IPCC 指南廢棄物之可分解有機碳含量以及提供化石碳占總碳之比例。可分解有機碳含量可作

表 7.2.1 IPCC 指南掩埋場型式與對應之甲烷修正係數（MCF）

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

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

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

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

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

為生物處理（如掩埋、堆肥）等計算甲烷之參數；化石碳則可作為焚化處理之計算二氧化碳之參數。由本國之垃圾組成並套用表 7.2.2 所列各類垃圾的建議 DOC 值。

C. DOCf：DOC 可被分解之比例（fraction of DOC that can decompose）

2006 IPCC 指南預設值 0.5。

D. OX：氧化係數

氧化係數（OX）反應了源自在土壤或覆蓋廢棄物的其他材料裡，被固體廢棄物處置場所（Solid Waste Disposal Sites，以下簡稱 SWDS）的甲烷量。

2006 IPCC 指南氧化係數預設值是 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。由於衛生掩埋規定皆須進行覆土，因此會有部分甲烷氧化成二氧化碳，因此加入氧化係數 0.1 計算。

E. 反應常數（k）

表 7.2.4 為 2006 IPCC 指南廢棄物之反應常數（k）值，

可供以計算每年累積之 DDOC 量。臺灣選取熱帶、潮濕氣候帶之預設參數值計算。

反應常數（k）係使用 2006 IPCC 指南所公布的廢棄物種類（紙張 / 紡織品係數、木材係數及食品廢棄物）以及廢棄物成分組成計算，其中在 1950 至 1990 年之反應常數皆依據 1990 年之廢棄物組成加權計算，1990 至 2014 年則根據每年之廢棄物組成與剩餘未分解之反應常數進行加權平均計算，得到每年度之反應常數值。

廢棄物妥善掩埋場甲烷排放量依據公式 7.2.1.1 及公式 7.2.1.2 計算，相關參數採用原則列於表 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 2014 年垃圾清運之「衛生掩埋」數據，及 1992 年至 2014 年可燃分之「紙類」、「纖維布類」、「皮革橡膠類」、「廚餘類」、「木竹稻草落葉類」、「塑膠」、「其他」、「水分」及「化學分析含移除量」百分比數據，如表 7.2.6 所示。

表 7.2.2 IPCC 指南廢棄物之可分解有機碳含量（DOC）

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

備註：橡膠和皮革在掩埋場厭氧條件下可能不會降解。

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

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> 、未管理和未歸類掩埋場	0
覆蓋有甲烷氧化材料 <sup>2</sup> 的管理	0.1

1 管理但未覆蓋通風材料。  
2 例如土壤、堆肥。

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



(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，結果如表 7.2.7 及圖 7.2.1。

由於 1997 年~1999 年推動資源回收、廢棄物零掩埋、垃圾焚化處理政策，故 2000 年起垃圾掩埋處量大幅下降。2014 年相較 1990 年垃圾掩埋量（衛生掩埋與一般掩埋、

堆置、其他總和）減少 98.7%，2014 年相較 2013 年垃圾掩埋量減少 9%。

另從 1999 年起國內 4 大掩埋場回收沼氣進行發電，即甲烷回收量（R），此部分排放歸屬能源部門；回收沼氣發電其甲烷回收量於 2002 年達到最大值（約 24.22 千公噸），2014 年回收沼氣發電之甲烷回收量比例約 7.3%。

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、潮濕 (MAP ≥ 1000mm)	
		預設值	範圍	預設值	範圍	預設值	範圍	預設值	範圍
緩慢分解的廢棄物	紙張 / 紡織品廢棄物	0.04	0.03-0.05	0.06	0.05-0.07	0.045	0.04-0.06	0.07	0.06-0.085
	木材 / 秸稈廢棄物	0.02	0.01-0.03	0.03	0.02-0.04	0.025	0.02-0.04	0.035	0.03-0.05
輕度降解的廢棄物	其他（非食品）有機易腐 / 庭園和公園廢棄物	0.05	0.04-0.06	0.1	0.06-0.1	0.065	0.05-0.08	0.17	0.15-0.2
快速降解的廢棄物	食品廢棄物 / 污水污泥	0.06	0.05-0.08	0.185	0.1-0.2	0.085	0.07-0.1	0.4	0.17-0.7
批量廢棄物		0.05	0.04-0.06	0.09	0.08-0.1	0.065	0.05-0.08	0.17	0.15-0.2

註：MAT – 年均溫度；MAP – 年均降水量；PET – 可能蒸發量。

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

表 7.2.5 IPCC 指南掩埋處理甲烷排放計算一覽表

	2006 IPCC 指南計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
累積 DDOC 量	以一階衰減法估算累積量並至少追朔 50 年。	• 依據人口數回推掩埋廢棄物量。 • 1950 至 1990 年各年之 DOC 含量，依據 1990 年之分析結果計算。	人口數取內政部統計資料 中華民國環境保護年報
反應常數 (k)	公布各種氣候與不同廢棄物類型之反應常數	• 依據 IPCC 提供之反應常數值計算。 • 根據氣象局資料，全國 1971 至 2009 平均溫度為 21°C，年平均降水量大於 1000mm，引用之反應常數 紙張 / 紡織品係數 0.07 木材係數 0.035 食品廢棄物係數 0.4 • 據每年之成分組成加權計算反應常數	中華民國環境保護年報 IPCC 預設值
甲烷修正係數 (MCF)	分為妥善管理、妥善管理（半有氧掩埋）、未妥善管理（掩埋深度 >5 公尺）、未妥善管理（掩埋深度 <5 公尺）、未分類掩埋場等四類參數。	• 依據 IPCC 針對不同型態之固態廢棄物掩埋場所提供之甲烷修正係數。 • 依據國內分類方式，採用衛生掩埋、一般掩埋、堆置、其他 4 類；衛生掩埋採妥善管理 1.0 及其餘採未分類 0.5 計算。	IPCC 預設值
可降解有機碳比例 (DOC)	依據不同之廢棄物 DOC 預設值計算 • 紙類預設值 40% • 紡織品類預設值 24% • 花（公）園廢棄物預設值 20% • 廚餘類預設值 15% • 木竹稻草類預設值 43%	• 依據臺灣一般垃圾垃圾性質分析含移除量計算 • 由於我國垃圾性質分析含移除量含有有機碳與礦物碳成分，因此取垃圾性質分析含移除量計算與國內研究資料兩者較低者作為計算值。	中華民國環境保護年報
DOC 可被分解之比例 (DOCF)	預設值 0.5	使用以 IPCC 預設值 0.5 計算。	IPCC 預設值
掩埋場產氣中甲烷之比例 (F)	預設值 0.5	採用 IPCC 預設值 0.5。	IPCC 預設值
甲烷回收量 (R)	各國自行調查結果	甲烷回收量則以國內福德坑、山豬窟、台中文山與高雄西青埔掩埋場之發電量回推回收量。	國內掩埋場實際發電量
氧化係數 (OX)	• 針對蓋有甲烷氧化材料者氧化係數值為 0.1 其餘為 0 • 預設值 0	國內衛生掩埋場皆有進行土壤覆蓋作業，採用 IPCC 公布值 0.1 計算，一般掩埋場則以 0 計算。	IPCC 公布值

2014年妥善管理掩埋場甲烷排放量相較1990年減少71%，較2013年也減少15.4%。

此排放趨勢符合我國廢棄物處理政策，早期（1984年以前）以掩埋處理為主，後期（1991年後）轉為以焚化處理為主，並推動資源回收。因焚化減少掩埋量，垃圾分類資源回收又進一步降低掩埋量與焚化量、也減少掩埋廢棄物有機物質之比例，同時衛生掩埋場進行沼氣燃燒減少甲烷排放，1999年後北中南四大掩埋場更回收沼氣發電，進一步降低甲烷排放量。

#### (5) 完整性

保護統計年報記載1990年至2014年衛生掩埋量，廢棄物組成百分比數據僅記載1992年至2014年，缺少1990年及1991年，處理方式詳時間序列的一致性。

### 3. 不確定性與時間序列的一致性

#### (1) 不確定性

有關廢棄物部門整體排放量不確定性，及各來源排放

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

#### (2) 時間序列的一致性

妥善掩埋場甲烷排放估算，依國家清冊統計規定，採用IPCC 2006指南建議之「一階衰減法」公式進行計算。各年期（1990年至2014年）估算方法一致。活動數據蒐集方面：依據中華民國環境保護統計年報，完整彙整1990年至2014年垃圾清運之「衛生掩埋」數據，及1992年至2014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「化學分析含移除量」百分比數據，其中缺少1990年與1991年之數據，則引用行政院環境保護署2009年「國家通訊及溫室氣體排放清冊建置應用」報告該兩年期數據，以建立各年期排放估算之完整性。

### 4. 特定排放源的QA/QC及查證

符合方法一（Tier 1），為利用國家妥善管理廢棄物掩埋場活動數據為基礎，以IPCC建議排放係數，並

表 7.2.6 臺灣 1990 至 2014 年妥善管理掩埋場活動數據統計

年	衛生掩埋 (千公噸)	廢棄物組成 (%)								
		紙類	纖維布類	皮革 橡膠類	廚餘類	木竹稻草 落葉類	塑膠	其他	水分	化學分析 含移除量
1990	3,979.6	29.44	2.72	1.31	9.67	4.66	19.14	2.45	51.97	-
1991	4,323.5	22.80	1.82	0.37	11.79	5.09	19.14	2.45	51.97	-
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	19.08
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	18.99
1997	5,129.7	29.13	5.80	1.13	24.90	4.86	19.57	2.11	46.03	20.44
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	21.12
2001	2,996.8	26.55	4.81	0.48	27.32	4.06	21.10	5.06	55.80	18.24
2002	2,116.4	30.01	3.65	0.60	23.34	4.43	20.23	8.17	51.24	20.45
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	20.60
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	24.14
2009	185.8	38.87	2.29	0.41	37.42	1.76	16.74	0.44	54.19	22.53
2010	181.8	39.57	2.52	0.51	35.68	1.74	16.57	0.52	52.66	22.90
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	47.10	2.35	0.36	35.07	1.32	16.57	0.52	54.08	22.26
2014	83.1	39.4	2.34	0.14	37.64	1.31	16.56	0.60	55.17	22.03

資料來源：行政院環境保護署，中華民國環境保護統計年報，2014年。  
備註：廢棄物組成皆為一般垃圾組成。



表 7.2.7 臺灣 1990 至 2014 年妥善管理掩埋場甲烷排放量

年	衛生掩埋 (千公噸)	加權 (MCF)	廢棄物組成 (%)		處置 DOC 量 (千公噸)	累積 DOC 量 (千公噸)	分解 DOC 量 (千公噸)	反應常數 (k)	有機物分解比例 (DOCF)	甲烷生成比例 (F)	轉換係數 16/12	甲烷回收量 (R) (Gg)	氧化係數 (OX)	甲烷排放量 (Gg)
			組成分析含移除量	可分解有機碳 (DOC)										
1990	3,979.6	1.0	15.88	15.88	632.08	4,546.2	566.3	0.135	0.5	0.5	1.333	-	0.1	169.86
1991	4,323.5	1.0	13.51	13.51	584.27	4,555.8	574.64	0.135	0.5	0.5	1.333	-	0.1	172.35
1992	5,087.5	1.0	16.93	16.50	839.43	4,819.4	575.86	0.138	0.5	0.5	1.333	-	0.1	172.71
1993	5,090.8	1.0	18.38	17.04	867.47	5,066.1	620.80	0.149	0.5	0.5	1.333	-	0.1	186.19
1994	5,574.4	1.0	18.69	18.69	1,041.75	5,408.7	699.17	0.155	0.5	0.5	1.333	-	0.1	209.70
1995	4,362.8	1.0	19.55	18.60	811.48	5,444.7	775.46	0.161	0.5	0.5	1.333	-	0.1	232.58
1996	4,824.0	1.0	18.97	18.97	915.12	5,552.3	807.49	0.161	0.5	0.5	1.333	-	0.1	242.19
1997	5,129.7	1.0	18.87	18.87	967.91	5,695.9	824.35	0.162	0.5	0.5	1.333	-	0.1	247.24
1998	5,598.0	1.0	19.18	18.47	1,033.95	5,878.2	851.67	0.167	0.5	0.5	1.333	-	0.1	255.44
1999	5,366.9	1.0	20.96	18.87	1,012.74	5,988.5	902.42	0.167	0.5	0.5	1.333	3.13	0.1	267.53
2000	3,822.1	1.0	17.61	17.61	673.12	5,742.8	918.82	0.168	0.5	0.5	1.333	5.48	0.1	270.09
2001	2,996.8	1.0	17.62	17.62	527.98	5,384.6	886.21	0.172	0.5	0.5	1.333	20.19	0.1	245.61
2002	2,116.4	1.0	18.29	18.29	387.00	4,919.3	852.23	0.176	0.5	0.5	1.333	24.22	0.1	231.39
2003	1,700.4	1.0	19.84	18.71	318.15	4,444.4	793.04	0.177	0.5	0.5	1.333	21.06	0.1	216.79
2004	1,474.2	1.0	20.38	20.38	300.37	4,023.7	721.12	0.179	0.5	0.5	1.333	15.47	0.1	200.81
2005	1,184.6	1.0	22.58	17.98	212.99	3,578.6	658.09	0.180	0.5	0.5	1.333	13.39	0.1	183.99
2006	851.0	1.0	24.10	20.58	175.14	3,162.8	590.91	0.183	0.5	0.5	1.333	11.52	0.1	165.71
2007	504.9	1.0	23.18	21.44	108.26	2,742.3	528.76	0.184	0.5	0.5	1.333	10.15	0.1	148.44
2008	236.1	1.0	23.89	23.89	56.40	2,337.3	461.42	0.185	0.5	0.5	1.333	8.58	0.1	129.82
2009	185.8	1.0	22.47	22.47	41.74	1,984.2	394.83	0.185	0.5	0.5	1.333	7.77	0.1	110.65
2010	181.8	1.0	22.53	22.53	40.96	1,689.6	335.59	0.186	0.5	0.5	1.333	6.88	0.1	93.77
2011	142.2	1.0	22.29	21.70	30.85	1,433.6	286.85	0.187	0.5	0.5	1.333	5.60	0.1	80.44
2012	102.1	1.0	22.52	22.36	22.82	1,212.1	244.27	0.188	0.5	0.5	1.333	4.89	0.1	68.37
2013	91.4	1.0	23.08	22.26	20.34	1,025.0	207.43	0.188	0.5	0.5	1.333	4.39	0.1	57.82
2014	83.1	1.0	22.54	22.03	18.31	867.3	176.00	0.189	0.5	0.5	1.333	3.86	0.1	48.92

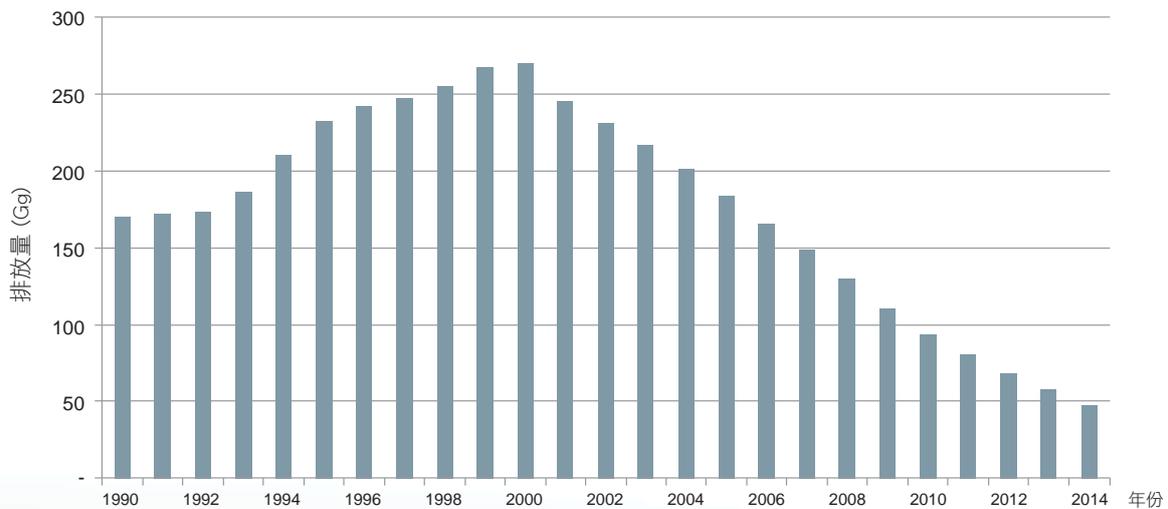


圖 7.2.1 臺灣 1990 至 2014 年妥善管理廢棄物掩埋場甲烷排放量趨勢

參考 IPCC 2000 年良好作法指南及不確定性管理 (Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 以下簡稱 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 104 年 5 月、10 月召開專家會議, 針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性進行確認。

另, 參考 2000 GPG 指南中「方法 1 一般清單水準品質控制程序」(如表 7.2.8), 透過交叉檢查重新計算及目測過濾, 來檢核數據與引用數據來源內容是否一致; 同時在對大量輸入資料進行查核過程中, 為了避免檢核過程之錯誤, 人工和自動檢查相結合是最有效的方法, 故利用程式設計輔助人工檢核及簡化判讀等程序。

## 5. 特定排放源的重新計算

本年度清冊採用之計算方法、活動數據時間序列一致性完整性已查證, 相關參數及活動係數之引用已說明確認, 符合 2000 GPG。下一年度如前述各年期排放估算採用之計算方法、活動數據或引用相關排放係數值有變更, 才會涉及排放量之重新計算。

## 6. 特定排放源的改善計畫

由於妥善管理之廢棄物掩埋場掩埋處理量之統計年報

活動數據與組成僅有全國之彙整數據, 建議環保署未來可考量區分各處理掩埋單位之活動數據與組成, 將能更完整反應實際數據與組成, 進而計算各處理掩埋單位之溫室氣體排放。

針對掩埋處理甲烷排放的計算參數, 沼氣中甲烷之比例 F 值, 目前採 IPCC 建議的定值 0.5 計算, 但沼氣中 F 值是否亦會隨掩埋年限變動或逐年下降的議題仍待研究。環保署擬蒐集檢討我國歷年 (16 至 17 年) 沼氣發電掩埋場產氣組成變化, 了解 F 值長期變動趨勢, 作為採用本土計算參數 F 值之參考。

另外, 有關計算參數甲烷回收量 R 值的採用數據, 目前係以國內福德坑、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。可進一步進行我國掩埋場設置沼氣收集管線燃燒處理的普及性調查研究, 評估掩埋場沼氣產生量可再扣除燃燒處理之比例。

## 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

依據 104 年中華民國環境保護統計年報之分類總結說明 103 年廢棄物之處理內容, 關於垃圾處理方式可分為焚化、掩埋、堆置、資源回收、巨大垃圾回收再利用及廚餘回收等。103 年執行機關垃圾處理方式以資源回收占 44.92%

表 7.2.8 妥善管理掩埋場一般清單品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	• 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料 (垃圾衛生掩埋、垃圾組成) 和排放因數 (IPCC 建議值) 的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	• 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	• 條列各項參數與活動數據, 簡化運算規則, 複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	• 確認各欄位單位標記的準確性 • 確認整個計算過程中單位使用的準確性 • 確認轉換因數的準確性 • 無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	• 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	• 確認引用適用多種排放源類別的活動水準資料常數與參數之一致性與複檢結果
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	• 避免有轉錄情事, 並加強複查檢核 • 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	• 檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 • 檢查所記錄的資格假定和專家判斷檢查不確定性計算的完整性與準確性 • 目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
開展內部檔的審評	• 詳細登錄資料來源引用與版本差異 • 檢查歸檔並存儲的清單資料支援資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	• 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 • 確認用於整個時間序列計算的運算法則 / 方法的一致性 • 無時間序列一致性缺漏情事
開展完全檢查	• 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
比較現有估算和原始估算	• 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 • 本年度並無重新計算情事

居首位，焚化占 43.28% 次之，廚餘回收占 9.78% 居第 3；其中掩埋又區分為「衛生」與「一般」掩埋。而無管理之廢棄物掩埋則屬一般掩埋、堆置、與其他處理方式。

一般掩埋場之活動數據是參閱中華民國環境保護統計年報 - 中華民國 89 年至 103 年，引用（四）廢棄物管理表 4-1 垃圾清理狀況，其中關於垃圾清運之「衛生掩埋」數據；及引用表 4-6 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「化學分析含移除量」百分比數據。

## 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，由於並未有 1990 年前之掩埋資料，IPCC 統計方法說明可依人口量與垃圾量之比例換算。有關計算順序說明如下：

- A. 依據 1990 年之人口量與掩埋量回推至 1950 年之掩埋量並以 1990 年之垃圾組成之成分作為 1950 至 1989 年之垃圾組成。
- B. 依據一階衰減法計算 1950 至 1989 年之累積可分解有機碳含量（累積 DOC）。
- C. 以 1989 年計算累積 DOC 結果，作為 1990 年前之累積 DOC 計算基準，再依據中華民國環境保護統計年報實際垃圾量與組成，根據一階衰減法計算 1990 年至 2014 年甲烷排放量。

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

### （2）排放係數

依據公式 7.2.1.1 與公式 7.2.1.2 的各項參數，引用說明如下：

A. MCF：甲烷修正係數（ $\text{CH}_4$  correction factor for aerobic decomposition）

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

B. DOC：可降解有機碳比例（Degradable Organic Carbon）

表 7.2.2 為 2006 IPCC 指南廢棄物之可分解有機碳含量以及提供化石碳占總碳之比例。可分解有機碳含量可作為生物處理（如掩埋、堆肥）等計算甲烷之參數；化石碳則可作為焚化處理之計算二氧化碳之參數。由本國之垃圾組成並套用表 7.2.2 所列各類垃圾的建議 DOC 值。

C. DOCf：DOC 可被分解之比例（fraction of DOC that can decompose）

2006 IPCC 指南預設值 0.5。

D. OX：氧化係數

氧化係數（OX）反映了源自在土壤或覆蓋廢棄物的其他材料裡，被氧化 SWDS 的甲烷排放量。

2006 IPCC 指南氧化係數預設值是 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。由於一般掩埋場處理較未完善，覆土不完整，甲烷易直接逸散，因此氧化係數以 0 計算。

E. 反應常數（k）

表 7.2.4 為 2006 IPCC 指南廢棄物之反應常數（k）值，可供以計算每年累積之 DDOC 量。臺灣選取熱帶、潮濕氣候帶之預設參數值計算。一般掩埋場反應常數（k）比照妥善管理之廢棄物掩埋場計算方式。

### （3）活動數據

依據中華民國環境保護統計年報，彙整 1990 年至 2014 年垃圾清運之「一般掩埋」、「堆置」、「其他」數據，及 1992 年至 2014 年可燃分之「紙類」、「纖維布類」、「皮革橡膠類」、「廚餘類」、「木竹稻草落葉類」、「塑膠」、「其他」、「水分」及「化學分析含移除量」百分比數據，如表 7.2.9 所示。

#### (4) 排放量

依據 IPCC 估算廢棄物掩埋場甲烷排放之公式（公式 7.2.1.1、公式 7.2.1.2）及中華民國環境保護年報之資訊，未妥善管理之廢棄物掩埋場之類別包括「一般掩埋」、「堆置」、「其他」等三項廢棄物類別，另由於目前垃圾掩埋沼氣回收處理僅有衛生掩埋場，故未妥善管理之廢棄物掩埋場之甲烷回收量（R）為 0。排放估算結果如表 7.2.10 及圖 7.2.2 所示。

環保署統計年報數據顯示，從 2000 年起垃圾妥善處理率已超過九成，2004 年已達 99% 以上，故未妥善管理廢棄物掩埋場產生甲烷排放量亦隨著臺灣垃圾妥善處理率增加而大幅下降。

#### (5) 完整性

中華民國環境保護統計年報記載 1990 年至 2014 年衛生掩埋量，廢棄物組成百分比數據僅記載 1992 年至

2014 年，缺少 1990 年及 1991 年，處理方式詳時間序列的一致性。

### 3. 不確定性與時間序列的一致性

#### (1) 不確定性

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

#### (2) 時間序列的一致性

未妥善管理掩埋場甲烷排放估算，依國家清冊統計規定，採用 IPCC 2006 指南建議之「一階衰減法」公式進行計算，各年期（1990 年至 2014 年）估算方法一致。活動數據蒐集方面：依據中華民國環境保護統計年報，完整彙整 1990 年至 2014 年垃圾清運之垃圾清運之「一般掩埋」、「堆置」、「其他」數據，及 1992 年至 2014 年可燃分之「紙類」、「纖維布類」、「皮革橡膠類」、「廚餘類」、「木

表 7.2.9 臺灣 1990 至 2014 年未妥善管理掩埋場活動數據統計

年	一般掩埋（千公噸）			廢棄物組成（%）								
	一般掩埋	堆置	其他	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	化學分析含移除量
1990	2,046.6		627.8	29.44	2.72	1.31	9.67	4.66	19.14	2.45	51.97	-
1991	2,409.3		471.9	22.80	1.82	0.37	11.79	5.09	19.14	2.45	51.97	-
1992	2,148.9		501.6	24.86	3.97	1.73	25.73	5.06	19.14	2.45	51.97	16.50
1993	2,449.6		427.9	27.84	5.13	1.55	23.47	5.79	18.01	1.15	51.06	17.04
1994	2,058.6		446.0	29.98	4.81	0.80	23.50	4.69	18.90	4.31	53.21	19.08
1995	2,537.6		500.0	32.17	6.21	0.88	17.94	5.82	18.27	3.34	48.14	18.60
1996	2,090.5		454.8	30.95	5.05	1.08	18.97	5.89	17.83	4.72	50.60	18.99
1997	1,536.4		508.9	29.13	5.80	1.13	24.90	4.86	19.57	2.11	46.03	20.44
1998	1,088.9	296.5	155.4	32.77	5.27	0.83	18.29	4.81	20.14	4.54	51.06	18.47
1999	857.3	245.2	56.2	35.83	5.20	0.60	21.83	4.89	19.85	1.97	50.76	18.87
2000	697.1	119.1	4.7	26.37	6.06	1.35	27.76	3.36	22.00	0.44	45.02	21.12
2001	433.3	73.0	14.6	26.55	4.81	0.48	27.32	4.06	21.10	5.06	55.80	18.24
2002	224.5	55.1	8.0	30.01	3.65	0.60	23.34	4.43	20.23	8.17	51.24	20.45
2003	113.1	20.2	0.7	32.97	3.78	0.22	27.19	3.88	21.36	3.58	55.69	18.71
2004	63.6	16.1	1.2	31.56	4.90	0.87	29.76	4.91	20.60	0.98	51.19	20.60
2005	35.2	4.9	0.1	38.64	2.38	0.43	38.15	1.93	13.78	0.67	54.03	17.98
2006	13.3	2.7	1.7	44.30	1.84	0.19	34.57	1.74	14.63	0.36	52.41	20.58
2007			32.5	41.75	3.310	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	24.14
2009			1.3	38.87	2.29	0.41	37.42	1.76	16.74	0.44	54.19	22.53
2010			2.2	39.57	2.52	0.51	35.68	1.74	16.57	0.52	52.66	22.90
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			1.7	47.10	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

資料來源：行政院環境保護署，中華民國環境保護統計年報，2015。  
備註：廢棄物組成皆為一般垃圾組成。

竹稻草落葉類」、「塑膠」、「其他」及「化學分析含移除量」百分比數據，其中缺少 1990 年與 1991 年之數據，則引用行政院環境保護署 2009 年「國家通訊及溫室氣體排放清冊建置應用」報告該兩年期數據，以建立各年期排放估算之完整性。

#### 4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

符合方法一 (Tier 1)，為利用國家未妥善管理廢棄

物掩埋場活動數據為基礎，以 IPCC 建議排放係數，並參考 2000 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 104 年 5 月、10 月召開專家會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性進行確認。

另，參考 2000 GPG 指南中「方法 1 一般清單水準品質控制程序」(如表 7.2.11)，透過交叉檢查重新計算及

表 7.2.10 臺灣 1990 至 2014 年未妥善管理掩埋場甲烷排放量

年	一般掩埋 (千公噸)	加權 (MCF)	廢棄物組成 (%)		處置 DOC 量 (千公噸)	累積 DOC 量 (千公噸)	分解 DOC 量 (千公噸)	反應常數 (K)	有機物分解比例 (DOCF)	甲烷生成比例 (F)	轉換係數 16/12	甲烷回收量 (R) (Gg)	氧化係數 (OX)	甲烷排放量 (Gg)
			組成分析含移除量	可分解有機碳 (DOC)										
1990	2,674.4	0.5	15.88	15.88	424.78	3,055.2	380.59	0.135	0.5	0.5	1.333	-	0.0	63.42
1991	2,881.3	0.5	13.51	13.51	389.37	3,058.4	386.18	0.135	0.5	0.5	1.333	-	0.0	64.35
1992	2,650.5	0.5	16.93	16.50	437.34	3,109.2	386.58	0.138	0.5	0.5	1.333	-	0.0	64.41
1993	2,877.5	0.5	18.38	17.04	490.33	3,199.0	400.45	0.147	0.5	0.5	1.333	-	0.0	66.72
1994	2,504.5	0.5	18.69	18.69	468.05	3,230.6	436.51	0.153	0.5	0.5	1.333	-	0.0	72.73
1995	3,037.6	0.5	19.55	18.60	564.99	3,338.3	457.27	0.157	0.5	0.5	1.333	-	0.0	76.19
1996	2,545.3	0.5	18.97	18.97	482.84	3,334.9	486.23	0.158	0.5	0.5	1.333	-	0.0	81.02
1997	2,045.3	0.5	18.87	18.87	385.92	3,233.2	487.62	0.160	0.5	0.5	1.333	-	0.0	81.25
1998	1,540.9	0.5	19.18	18.47	284.60	3,041.1	476.73	0.163	0.5	0.5	1.333	-	0.0	79.43
1999	1,158.6	0.5	20.96	18.87	218.63	2,801.7	458.02	0.163	0.5	0.5	1.333	-	0.0	76.32
2000	820.9	0.5	17.61	17.61	144.56	2,523.7	422.52	0.164	0.5	0.5	1.333	-	0.0	70.40
2001	520.9	0.5	17.62	17.62	91.78	2,233.3	382.21	0.167	0.5	0.5	1.333	-	0.0	63.69
2002	287.5	0.5	18.29	18.29	52.57	1,942.7	343.15	0.169	0.5	0.5	1.333	-	0.0	57.18
2003	134.0	0.5	19.84	18.71	25.08	1,666.4	301.40	0.169	0.5	0.5	1.333	-	0.0	50.22
2004	81.0	0.5	20.38	20.38	16.50	1,423.5	259.43	0.170	0.5	0.5	1.333	-	0.0	43.23
2005	40.3	0.5	22.58	17.98	7.24	1,208.6	222.16	0.170	0.5	0.5	1.333	-	0.0	37.02
2006	17.7	0.5	24.10	20.58	3.64	1,023.2	189.04	0.170	0.5	0.5	1.333	-	0.0	31.50
2007	32.5	0.5	23.18	21.44	6.97	869.8	160.32	0.171	0.5	0.5	1.333	-	0.0	26.71
2008	0.7	0.5	23.89	23.89	0.18	733.6	136.39	0.171	0.5	0.5	1.333	-	0.0	22.73
2009	1.3	0.5	22.47	22.47	0.30	618.7	115.20	0.171	0.5	0.5	1.333	-	0.0	19.20
2010	2.2	0.5	22.53	22.53	0.49	522.0	97.16	0.171	0.5	0.5	1.333	-	0.0	16.19
2011	0.1	0.5	22.29	21.70	0.02	440.1	81.99	0.171	0.5	0.5	1.333	-	0.0	13.66
2012	0.1	0.5	22.52	22.36	0.02	370.9	69.13	0.171	0.5	0.5	1.333	-	0.0	11.52
2013	0.1	0.5	23.08	22.26	0.02	313.0	58.28	0.171	0.5	0.5	1.333	-	0.0	9.71
2014	0.1	0.5	22.54	22.03	0.02	263.6	49.12	0.171	0.5	0.5	1.333	-	0.0	8.19

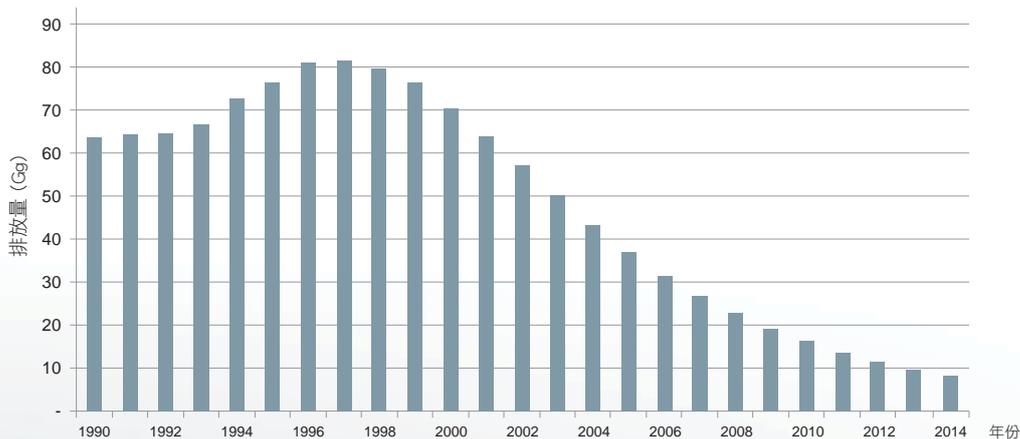


圖 7.2.2 臺灣 1990 至 2014 年未妥善管理廢棄物掩埋場甲烷排放量趨勢

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

### 5. 特定排放源的重新計算

本年度清冊採用之計算方法、活動數據時間序列一致性完整性已查證，相關參數及活動係數之引用已說明確認，符合 2000 GPG 優良作法。下一年度如前述各年期排放估算採用之計算方法、活動數據或引用相關排放係數值有變更，才會涉及排放量之重新計算。

### 6. 特定排放源的改善計畫

由於未妥善管理之廢棄物掩埋場掩埋處理量之統計年報活動數據與組成僅有全國之彙整數據，未來可進一步考量區分各處理掩埋單位之活動數據與組成，將能更完整反應實際數據與組成，進而計算各處理掩埋單位之溫室氣體排放。

針對掩埋處理甲烷排放的計算參數，沼氣中甲烷之比例 F 值，目前採 IPCC 建議的定值 0.5 計算，但沼氣中 F 值是否亦會隨掩埋年限變動或逐年下降的議題仍待研究。環保署擬蒐集檢討我國歷年（16 至 17 年）沼氣發電掩埋

場產氣組成變化，了解 F 值長期變動趨勢，作為採用本土計算參數 F 值之參考。

### 7.2.3 未分類之廢棄物處理廠址（5.A.3）

依據環保署統計年報針對垃圾處理方式之分類說明，摒除回收資源、事業廢棄物及遷移舊垃圾外，大致以焚化、衛生掩埋、一般處理、堆置、其他、巨大垃圾回收再利用、廚餘回收與資源回收等八類，依據 IPCC 廢棄物部門分類指南，除了資源回收與再利用外，均已包含在其規範內，也已依 IPCC 指南進行估算。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 指南中將生物處理部分獨立考量，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以及產生沼氣回收發電等，對已開發國家與開發中國家而言，可常見將有機廢棄物（如食品廢棄物、花園庭園之落葉等）回收用作堆肥和土地改良。堆肥處理過程中會發生厭氧反應而產生甲烷。

此外，堆肥處理尚會產生氧化亞氮；若有機廢棄物進行厭氧分解，則會有甲烷大量產生，此時通常會回收甲烷

表 7.2.11 未妥善管理掩埋場一般清單品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	• 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料（垃圾一般掩埋、堆置、其他、垃圾組成）和排放因數（IPCC 建議值）的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	• 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	• 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	• 確認各欄位單位標記的準確性 • 確認整個計算過程中單位使用的準確性 • 確認轉換因數的準確性 • 無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	• 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	• 確認引用適用多種排放源類別的活動水準資料常數與參數之一致性與複檢結果
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	• 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 • 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	• 檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 • 檢查所記錄的資格假定和專家判斷檢查不確定性計算的完整性與準確性 • 目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
開展內部檔的審評	• 詳細登錄資料來源引用與版本差異 • 檢查歸檔並存儲的清單資料支援資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	• 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 • 確認用於整個時間序列計算的運算法則 / 方法的一致性 • 無時間序列一致性缺漏情事
開展完全檢查	• 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
比較現有估算和原始估算	• 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 • 本年度並無重新計算情事

進行燃燒，用以產生熱能或發電，則此類能源利用之溫室氣體排放通常會歸屬在能源部門。

依據中華民國環境保護統計年報廚餘回收包括「堆肥」、「養豬」與「其他廚餘再利用」三類，堆肥處理溫室氣體排放則是依據統計年報廚餘回收之「堆肥」數據進行計算。

## 2. 方法論議題

### (1) 計算方法

根據 2006 IPCC 指南提出之堆肥產生之甲烷與氧化亞氮排放推估計算方法如公式 7.3.1 與公式 7.3.2 所示。

公式 7.3.1：

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

$M_i$ ：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 (kg/yr)

公式 7.3.2：

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

$M_i$ ：生物處理之有機廢棄物量 (Gg/yr)

$EF_i$ ：有機廢棄物厭氧反應產生 N<sub>2</sub>O 之排放係數 (g N<sub>2</sub>O/Gg 廢棄物)

$i$ ：堆肥處理或厭氧處理

### (2) 排放係數

依據公式 7.3.1 與公式 7.3.2 所示，其所引用之排放係數預設值如表 7.3.1 所示。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，氧化亞氮為 0.3g-N<sub>2</sub>O/kg。

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

### (3) 活動數據

依據中華民國環境保護統計年報，彙整 1990 年至 2014 年廚餘回收之「堆肥」數據，如表 7.3.3 堆肥數據欄位所示。

### (4) 排放量

生物處理產生（堆肥處理）之溫室氣體排放量主要包括甲烷和氧化亞氮係數，結果如表 7.3.3、圖 7.3.1、圖 7.3.2 所示。

依據公式 7.3.1、公式 7.3.2，影響生物處理（堆肥處理）甲烷、氧化亞氮排放量，主要為堆肥處理量及排放係數。

參閱環保署統計年報堆肥處理量，1990 年數量似乎相較其近年數據增加許多，其原因可能為 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，試行有機栽培致使該年度堆肥數量較前後年較為增加。

表 7.3.1 廢棄物生物處理甲烷和氧化亞氮排放係數預設值

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

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

表 7.3.2 IPCC 估算生物處理溫室氣體排放計算一覽表

	IPCC 指南計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
生物處理之有機廢棄物量 (Mi)	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，氧化亞氮為 0.3g-N <sub>2</sub> O/kg。	IPCC 預設值
甲烷回收量 (R)	預設值 0	採 IPCC 預設值計算	IPCC 預設值

備註：參閱 2006 IPCC 指南。

表 7.3.3 臺灣 1990 至 2014 年生物處理各類溫室氣體排放量

年	堆肥 (千公噸)	有機廢棄物占比 (%)	甲烷排放係數 (g- 甲烷 /kg)	氧化亞氮排放係數 (g-N <sub>2</sub> O/kg)	甲烷排放量 (公噸)	氧化亞氮排放量 (公噸)
1990	113.15	100	4	0.3	452.6	33.95
1991	5.48	100	4	0.3	21.9	1.64
1992	7.86	100	4	0.3	31.4	2.36
1993	4.61	100	4	0.3	18.5	1.38
1994	1.37	100	4	0.3	5.5	0.41
1995	6.28	100	4	0.3	25.1	1.88
1996	2.52	100	4	0.3	10.1	0.76
1997	14.17	100	4	0.3	56.7	4.25
1998	0.53	100	4	0.3	2.1	0.16
1999	19.49	100	4	0.3	78.0	5.85
2000	2.78	100	4	0.3	11.1	0.83
2001	0.22	100	4	0.3	0.9	0.06
2002	3.71	100	4	0.3	14.8	1.11
2003	22.29	100	4	0.3	89.2	6.69
2004	66.84	100	4	0.3	267.4	20.05
2005	97.54	100	4	0.3	390.1	29.26
2006	112.67	100	4	0.3	450.7	33.80
2007	144.63	100	4	0.3	578.5	43.39
2008	164.59	100	4	0.3	658.3	49.38
2009	179.31	100	4	0.3	717.2	53.79
2010	208.88	100	4	0.3	835.5	62.66
2011	261.53	100	4	0.3	1,046.1	78.46
2012	243.84	100	4	0.3	975.4	73.15
2013	226.07	100	4	0.3	904.3	67.82
2014	204.47	100	4	0.3	817.9	61.34

說明：堆肥活動數據來自中華民國環境保護統計年報

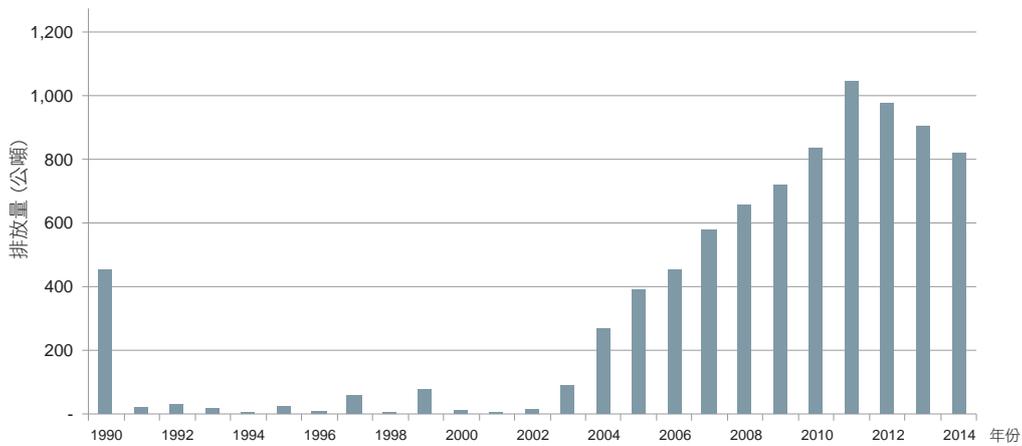


圖 7.3.1 臺灣 1990 至 2014 年生物處理甲烷排放量趨勢

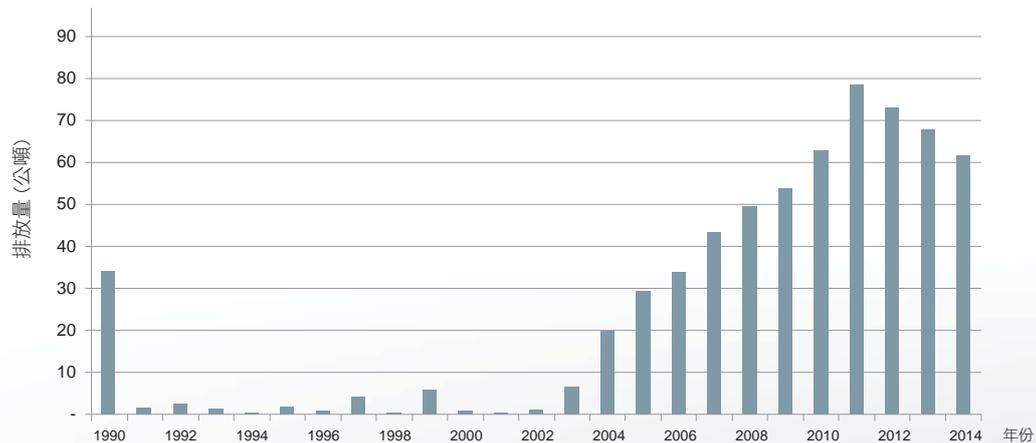


圖 7.3.2 臺灣 1990 至 2014 年生物處理氧化亞氮排放量趨勢

我國亦於 1990 年立法禁止焚燒稻草，鼓勵直接掩埋可改善土壤物理、化學及生物性之效果，可於水稻收割時直接用收稻機將稻稈切割成小段當作基肥。

而 2003 年起排放量因堆肥處理量增加而逐年遞增，研判與廢棄物處理政策之施行有關。如自 2000 至 2004 年起推動資源回收政策：2001 年推動「廚餘回收與建置」，頒布「資源回收再利用法」，推動源頭減量、資源回收再利用計畫、廢棄物「零廢棄」政策。2005 至 2012 年推動資源循環政策：2005 年起推動「垃圾強制分類回收」。

2014 年甲烷、氧化亞氮等溫室氣體排放量相較 1990 年排放量增加 81%，相較 2013 年排放量減少 10%。

#### (5) 完整性

中華民國環境保護統計年報完整記載 1990 年至 2014 年廚餘回收之「堆肥」數據。

### 3. 不確定性與時間序列的一致性

#### (1) 不確定性

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

#### (2) 時間序列的一致性

生物處理產生甲烷與氧化亞氮排放量之估算依據，是依據中華民國環境保護統計年報，完整彙整 1990 年至 2014 年廚餘回收之「堆肥」數據，且各年期估算方法一致。

#### 4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

符合方法一 (Tier 1)，為利用國家妥善管理廢棄物堆肥活動數據為基礎，以 IPCC 建議排放係數，並參考 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 104 年 5 月、10 月召開專家會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性進行確認。

另，參考 2000 年 IPCC 優良作法指南中「方法 1 一般清單水準品質控制程序」(如表 7.3.4)，透過交叉檢查重新計算及目測過濾，來檢核數據與引用數據來源內容是否一致；同時在對大量輸入資料進行查核過程中，為了避免檢核過程之錯誤，人工和自動檢查相結合是最有效的方法，故利用程式設計輔助人工檢核及簡化判讀等程序。

表 7.3.4 堆肥一般清單品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	• 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料 (廚餘回收之「堆肥」數據) 和排放因數 (IPCC 建議值) 的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	• 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	• 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	• 確認各欄位單位標記的準確性 • 確認整個計算過程中單位使用的準確性 • 確認轉換因數的準確性 • 無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	• 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	• 無引用適用多種排放源類別的資料
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	• 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 • 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	• 檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 • 檢查所記錄的資格假定和專家判斷檢查不確定性計算的完整性與準確性 • 目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
開展內部檔的審評	• 詳細登錄資料來源引用與版本差異 • 檢查歸檔並存儲的清單資料支援資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	• 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 • 確認用於整個時間序列計算的運算法則 / 方法的一致性 • 無時間序列一致性缺漏情事
開展完全檢查	• 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
比較現有估算和原始估算	• 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 • 本年度並無重新計算情事

## 5. 特定排放源的重新計算

本年度清冊採用之計算方法、活動數據時間序列一致性完整性已查證，相關參數及活動係數之引用已說明確認，符合 2000 GPG 優良作法。下一年度如前述各年期排放估算採用之計算方法、活動數據或引用相關排放係數值有變更，才會涉及排放量之重新計算。

## 6. 特定排放源的改善計畫

由於堆肥處理方式及操作環境會影響溫室氣體之產生，後續如有進一步國家相關堆肥處理之方式及本土排放係數研究，可納入參考，以精進排放之估算。現行仍以採用 IPCC 預設排放細數為主。

## 7.4 廢棄物之焚化與露天燃燒（5.C）

IPCC 指南針對無能源回收的廢棄物焚燒產生的排放報告應列於廢棄物部門，具能源回收廢棄物焚化之排放報告則列於能源部門。

另外除了焚化爐燃燒外，並增加露天燃燒計算，兩者計算公式相同，其中對於廢棄物焚化爐，假設燃燒效率接近於 100%，而露天燃燒的燃燒效率低得多，如果使用的廢棄物焚化氧化係數低於 100%，就要對其詳細記錄及提供資料來源。

### 7.4.1 廢棄物焚化（5.C.1）

#### 1. 排放源及匯分類的描述

廢棄物焚燒可能產生二氧化碳、甲烷和氧化亞氮，由於焚燒爐內燃燒高溫 and 長停留時間的關係，甲烷排放

量很少。有關廢棄物焚燒之溫室氣體，主要估算廢棄物焚化產生二氧化碳和氧化亞氮之排放。

依據 2006 IPCC 指南說明針對無能源回收的廢棄物焚燒產生的排放報告屬廢棄物部門，而有能源回收廢棄物焚化之排放報告則應歸屬能源部門；另僅需計算礦物碳產生之溫室氣體排放量。

據此，廢棄物焚化之活動數據除依據國家環境保護年報之家庭垃圾焚化處理量、一般事業廢棄物處理量則認為其亦以焚化處理，兩種加總計算總焚化量，再由我國從 1997 年大型焚化爐加入發電機制之焚化排放量予以扣除，以避免與能源部門重複計算。

如上述說明，廢棄物焚化之活動數據是參閱中華民國環境保護統計年報 - 中華民國 92 年至 103 年，引用（四）廢棄物管理表 4-1 垃圾清理狀況，其中關於垃圾清運之「焚化」數據，與引用表 4-2 事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」，兩者加總，及扣除表 4-9 大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化（處理）量」。

如圖 7.4.1 所示，1997 年至 2000 年焚化爐加入發電機制之焚化量大幅增加，而 2001 年至 2014 年仍呈現逐年增加趨勢；其中發電焚化比例，2001 年至 2007 年焚化發電比例低於 80%，1997 年、1999 年、2008 年起均大於 88%。

另 IPCC 規範在焚化燃燒方面，僅需計算化石碳之溫室氣體排放量，因此需確認垃圾之成分組成，故參閱中華

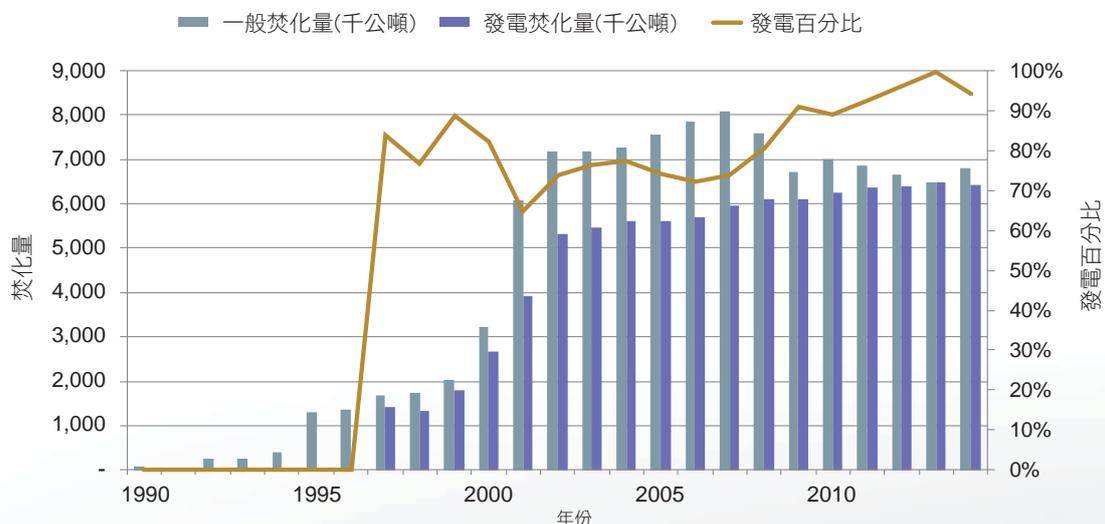


圖 7.4.1 臺灣 1990 至 2014 年發電焚化量近年變化趨勢



民國環境保護統計年報 - 中華民國 89 年至 103 年，引用表 4-6 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「化學分析含移除量」百分比數據；其中「塑膠」、「其他」、「水分」及「化學分析含移除量」僅有中華民國 91 年至 103 年。

## 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，石化燃料及其產品（例如塑膠、某些織物、橡膠、液體溶劑、廢油）列入廢棄物焚化排放計算，而來自生物質（紙張、食品廢物和木料）的碳則不包括在內，另外廢棄物焚化回收能源利用之排放，則歸屬能源部門。計算公式主要根據公式 7.4.1.1 計算。

公式 7.4.1.1：

$$\text{CO}_2 \text{ 排放 (Gg/yr)} = \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i \times 44 / 12)$$

$SW_i$ ：廢棄物總燃燒量（濕重）（Gg/yr）

$dm_i$ ：廢棄物乾物質比例（濕重）（%）

$CF_i$ ：廢棄物乾物質之總碳比例（總碳含量）（%）

$FCF_i$ ：廢棄物乾物質之總碳比例之礦物碳比例（%）

$OF_i$ ：氧化比例（燃燒效率）（%）

44/12：從 C 到  $\text{CO}_2$  的轉換係數

$i$  = 焚化 / 露天燃燒廢棄物類型，如一般廢棄物、事業及醫療廢棄物

#### B. 廢棄物焚化處理產生氧化亞氮排放量計算

在  $\text{N}_2\text{O}$  排放方面，IPCC 指南計算方法如公式 7.4.1.2 所示。

公式 7.4.1.2：

$$\text{N}_2\text{O (Gg/yr)} = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^6$$

$IW_i$ ：廢棄物總燃燒量（Gg/yr）

$EF_i$ ： $\text{N}_2\text{O}$  排放係數（kg  $\text{N}_2\text{O}$ /Gg 廢棄物）

### (2) 排放係數

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

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

二氧化碳係依據垃圾成分組成換算含移除量與礦物碳比例計算，氧化亞氮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  $\text{N}_2\text{O}$ /T 計算。

表 7.4.1 2006 IPCC 指南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 $\text{N}_2\text{O}$ /t 焚化的 MSW)	計算基準
日本	連續焚化	階床式爐體	47	濕重
		流體化床	67	濕重
	半連續焚化	階床式爐體	41	濕重
		流體化床	68	濕重
	分批類焚化	階床式爐體	56	濕重
			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

	IPCC 指南計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
廢棄物總燃燒量 ( $IW_i$ )	國內資料自行確定	依據國內生活垃圾燃燒量與一般事業垃圾處理量，作為全國燃燒廢棄物量。由於大型焚化爐會產生能源發電須扣除其垃圾量，其餘垃圾量燃燒計入廢棄物部門。	中華民國環境保護年報
廢棄物乾物質比例 ( $dm_i$ )	國內資料自行確定	依據國內垃圾分析含水量計算乾物質含量。	中華民國環境保護年報
廢棄物乾物質之總碳比例 ( $CF_i$ )	提供各種物質之總碳比例預設值	依據臺灣垃圾組成與 IPCC 公布含移除量計算。	中華民國環境保護年報
廢棄物乾物質之總碳比例之礦物碳比例 ( $FCF_i$ )	提供各種物質之礦物碳比例預設值	依據國內研究資料與 IPCC 公布各種物質之化石碳比例計算。	國內研究資料
氧化比例 ( $OF_i$ )	未公布	依據 IPCC 預設值 100% 計算	

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

### (3) 活動數據

廢棄物焚化之活動數據是參閱中華民國環境保護統計年報 - 中華民國 92 年 ~103 年，引用 (四) 廢棄物管理表 4-1 垃圾清理狀況，其中關於垃圾清運之「焚化」數據，與引用表 4-2 事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」，及表 4-9 大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化(處理)量」，並參閱引用表 4-6 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「化學分析含移除量」百分比數據，估算「廢棄物乾物質比例」、「含移除量比例」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，估算廢棄物焚化處理產生溫室氣體排放量，結果如表 7.4.4 及圖 7.4.2、圖 7.4.3 所示。

廢棄物焚化處理二氧化碳排放估算結果顯示，由於大型焚化爐加入發電機制，修正排放量百分比於 2009 年後均大於 88%，2013 年更達 99.7%，2014 年則為 94.3%，因而 2014 年二氧化碳排放量約為 1990 年 4.4 倍，相較 2012 年亦增加 49%；在氧化亞氮排放部分，2014 年扣除焚化發電排放量之後，氧化亞氮排放量約為 1990 年 5 倍，相較 2012 年增加 53%。

表 7.4.3 2006 IPCC 指南焚化處理氧化亞氮排放計算一覽表

	IPCC 指南計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
廢棄物總燃燒量 (IWi)	國內資料自行確定	依據國內生活垃圾燃燒量與一般事業垃圾處理量，作為全國燃燒廢棄物量。 由於大型焚化爐會產生能源發電須扣除其垃圾量，其餘垃圾量燃燒計入廢棄物部門。	中華民國環境保護年報
N2O 排放係數 (EF)	公布相關焚化設施之氧化亞氮排放係數範圍值	依據國內現況多數屬於連續式鍋爐，因此引用 IPCC 提供設施中，日本連續式爐體排放係數 47g N <sub>2</sub> O/T 計算。	IPCC 公布值

表 7.4.4 2006 IPCC 指南焚化處理之各類溫室氣體活動數據及與排放量

年	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)	含水分 (%)	含移除量比率 (CCW) (%)	礦物碳比率 (FCF) (%)	焚化爐燃燒效率 (EF) (%)	氧化亞氮排放係數 (g-N <sub>2</sub> O/t)	二氧化碳排放量 (Gg)	氧化亞氮排放量 (公噸)
1990	77.7	-	-	51.97	31.75	47.08	100	47	20.47	3.65
1991	28.8	-	-	51.97	31.75	51.35	100	47	8.28	1.36
1992	255.4	-	-	51.97	31.75	45.51	100	47	64.99	12.00
1993	249.0	-	-	51.06	33.37	42.30	100	47	63.09	11.71
1994	412.5	-	-	53.21	35.86	43.39	100	47	110.11	19.39
1995	1,301.0	-	-	48.14	38.64	41.62	100	47	397.88	61.15
1996	1,364.6	-	-	50.60	37.53	41.68	100	47	386.61	64.14
1997	1,691.6	-	1,419.3	46.03	44.41	43.84	100	47	104.90	12.80
1998	1,741.1	-	1,335.4	51.06	36.17	44.29	100	47	116.65	19.07
1999	2,020.6	-	1,789.1	50.76	37.17	41.80	100	47	64.95	10.88
2000	3,229.7	-	2,659.7	45.02	46.91	48.05	100	47	259.04	26.79
2001	3,736.9	2,330.1	3,922.4	55.80	32.69	47.52	100	47	539.90	100.80
2002	4,316.0	2,873.9	5,311.0	51.24	39.91	45.66	100	47	612.13	88.31
2003	4,304.6	2,869.8	5,470.7	55.69	33.60	44.88	100	47	417.30	80.07
2004	4,307.7	2,952.1	5,611.5	51.19	40.24	43.17	100	47	512.42	77.47
2005	4,300.4	3,270.7	5,614.9	54.03	33.28	31.70	100	47	347.78	91.94
2006	4,164.0	3,693.6	5,683.0	52.41	39.27	31.52	100	47	469.62	102.21
2007	4,335.8	3,734.7	5,948.8	51.55	41.59	35.85	100	47	562.05	99.72
2008	4,137.3	3,444.2	6,110.8	50.94	47.39	35.35	100	47	443.22	69.12
2009	4,036.4	2,671.0	6,092.9	54.19	41.58	35.96	100	47	154.29	28.88
2010	3,888.6	3,119.7	6,235.4	52.66	43.49	35.68	100	47	208.19	36.33
2011	3,468.6	3,397.5	6,355.4	55.06	39.41	34.67	100	47	114.98	24.00
2012	3,277.3	3,381.0	6,405.0	53.97	41.43	34.43	100	47	60.97	11.90
2013	3,208.7	3,281.4	6,471.8	54.08	41.16	35.16	100	47	4.47	0.86
2014	3,189.5	3,618.5	6,420.4	55.17	39.93	35.71	100	47	90.82	18.21

資料來源：行政院環境保護署，中華民國環境保護統計年報，2015。  
備註：廢棄物組成皆為一般垃圾組成。

### (5) 完整性

估算焚化溫室氣體排放活動數據，主要依據中華民國環境保護統計年報-中華民國 92 年至 103 年，引用垃圾清理狀況關於垃圾清運之「焚化」數據，與事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」活動量，及大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化（處理）量」，均已完整登載 1990 年至 2014 年活動量。另參閱引用表 4-6 垃圾性質百分比數據估算「含移除量比例」及「礦物碳比例」，僅有 1992 年至 2012 年，缺少 1990 年及 1991 年活動數據，處理方式詳時間序列的一致性。

## 3. 不確定性與時間序列的一致性

### (1) 不確定性

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

### (2) 時間序列的一致性

估算廢棄物焚化處理產生二氧化碳與氧化亞氮排放量計算參數與活動數據來源，引用中華民國環境保護統計年報登載 1990 年至 2014 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」，然登載數據缺少 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「含移除量比例」及「礦物碳比例」，完整建立各年期排放估算所需之相關活動數據及排放參數之一致性與完整性。

## 4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

符合方法一（Tier 1），為利用國家垃圾清運之「焚化」數據、事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」數據、大型垃圾焚化廠操作營運情形之

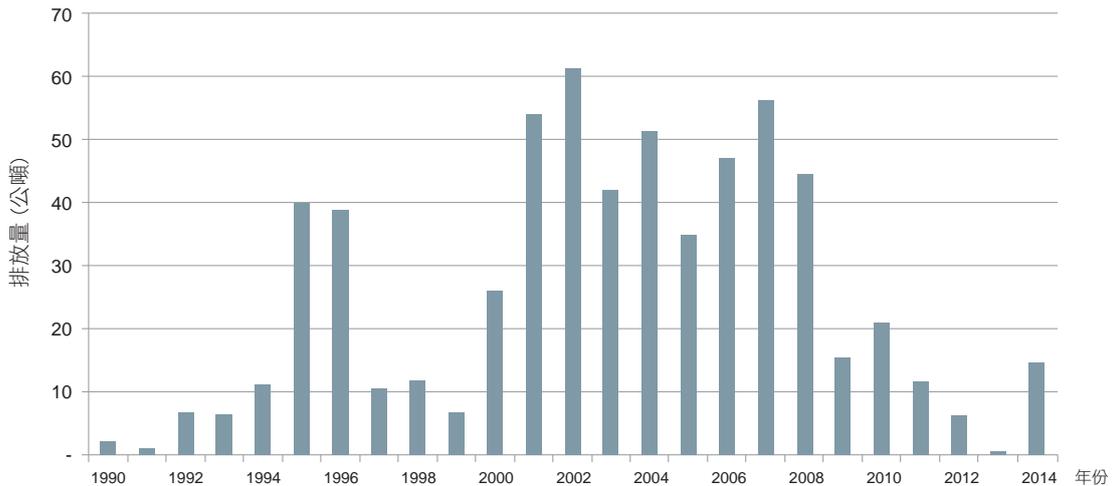


圖 7.4.2 臺灣 1990 至 2014 年廢棄物焚化二氧化碳排放量趨勢

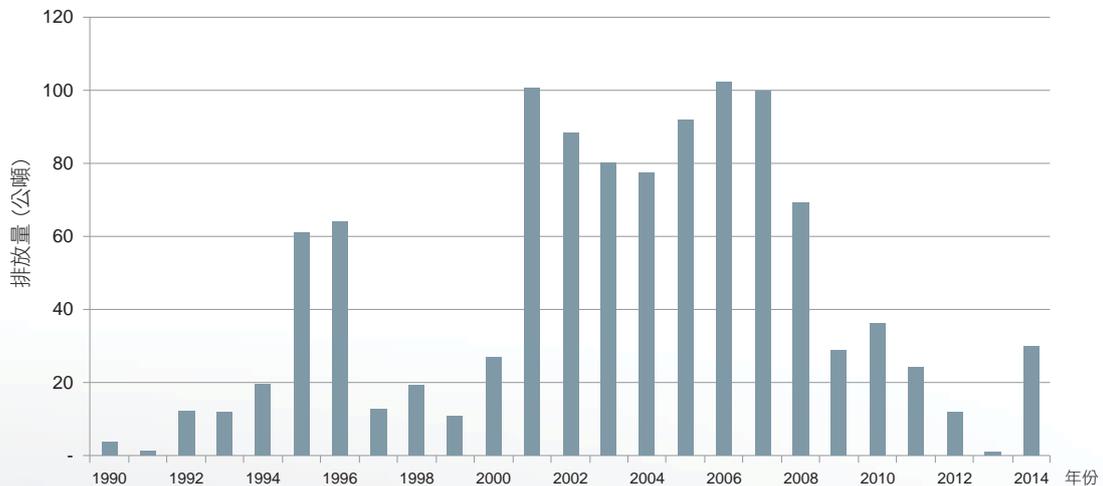


圖 7.4.3 臺灣 1990 至 2014 年廢棄物焚化氧化亞氮排放趨勢

「焚化（處理）量」與垃圾性質百分比等活動數據為基礎，以 IPCC 建議排放係數，參考 2000 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 月召開專家會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性進行確認。

另參考 2000 GPG 指南中「方法 1 一般清單水準品質控制程序」（如表 7.4.5），透過交叉檢查重新計算及目測過濾，來檢核數據與引用數據來源內容是否一致；同時在對大量輸入資料進行查核過程中，為了避免檢核過程之錯誤，人工和自動檢查相結合是最有效的方法，故利用程式設計輔助人工檢核及簡化判讀等程序。

## 5. 特定排放源的重新計算

本年度清冊採用之計算方法、活動數據時間序列一致性完整性已查證，相關參數及活動係數之引用已說明確認，符合 2000 GPG 優良作法。下一年度如前述各年期排放估算採用之計算方法、活動數據或引用相關排放係數值有變更，才會涉及排放量之重新計算。

## 6. 特定排放源的改善計畫

國內大型焚化爐皆有回收能源發電，其焚化排放歸屬能源部門，不列入廢棄物部門，廢棄物部門僅納入不具能源回收之焚化排放，而現行不具能源回收之焚化處理量係由環境保護年報間接計算，近年（2011 至 2013）有劇降情形，致溫室氣體排放量變動過大，環境署擬評估直接以焚化處理量較為穩定之中小型爐事業廢棄物焚化量，以調整近年排放量驟降情形。

### 7.4.2 廢棄物露天燃燒（5.C.2）

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

## 7.5 廢水處理與放流（5.D）

污廢水若經無氧處理會產生甲烷和氧化亞氮排放；廢水處置產生的二氧化碳排放在《IPCC 指南》認為是生物成因，不須計算納入國家排放總量（如植物光合作用減少二氧化碳亦未納入）。

表 7.4.5 廢棄物焚化一般清單品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	• 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料（垃圾清運之「焚化」數據、事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」數據、大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化（處理）量」、垃圾組成）和排放因數（IPCC 建議值）的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	• 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	• 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	• 確認各欄位單位標記的準確性 • 確認整個計算過程中單位使用的準確性 • 確認轉換因數的準確性 • 檢核 1990 年及 1991 年垃圾性質百分比數據，確認假設數據與 1992 年垃圾性質百分比數據相同
檢查資料庫檔的完整性	• 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	• 確認引用適用多種排放源類別的活動水準資料常數與參數之一致性與複檢結果
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	• 複查檢核「含移除量比例」及「礦物碳比例」，確認轉錄結果無誤
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	• 檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 • 檢查所記錄的資格假定和專家判斷檢查不確定性計算的完整性與準確性 • 目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
開展內部檔的審評	• 詳細登錄資料來源引用與版本差異 • 檢查歸檔並存儲的清單資料支援資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	• 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 • 確認用於整個時間序列計算的運算法則 / 方法的一致性 • 無時間序列一致性缺漏情事
開展完全檢查	• 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
比較現有估算和原始估算	• 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 • 本年度並無重新計算情事



IPCC 指南針對廢水處理可能產生之造成甲烷和氧化亞氮排放潛勢如表 7.5.1 所示，相較於 1996 IPCC 指南，主要增加了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。

廢水處理產生溫室氣體排放量可分為「生活及住商污水 (5.D.1)」與「事業廢水 (5.D.2)」。生活污水和事業廢水處理系統中甲烷排放估算是分開的，因為不同來源廢水活動資料和排放係數並不相同，故分別計算其甲烷產生量。

主要影響甲烷生成量的因子為污水中可分解有機碳的含量，在生活與住商污水中，以生物分解的碳含量（Biochemical oxygen demand, BOD）為指標，在事業廢水中則以所有可氧化分解碳含量（Chemical Oxygen Demand, COD）為指標。

甲烷生成量主要取決於廢水中的可降解有機材料量、溫度以及處理系統的類型。當溫度增加時，甲烷產生的速率增大，這在無控制系統和溫暖氣候中尤其重要。低於 15°C，甲烷生成量可能不大，因為甲烷微生物活性不大，而化糞池主要用作沉積池，如果溫度上升到 15°C 以上，則可能繼續產生甲烷。

氧化亞氮與廢水中的氮成分降解有關，如尿素、硝酸鹽和蛋白質。生活污水集中廢水處理系統清除氮化合

物可能包括各種過程，從化糞池處理技術到高級（三級）處理技術。現有氮的硝化作用和脫硝作用均可能產生氧化亞氮直接排放。

硝化作用是一個將氨和其他氮化合物轉化成硝酸鹽（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>）的耗氧過程，而脫硝作用發生在缺氧條件下，即硝酸鹽轉化成氮氣（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，通常與脫硝作用的關聯較大。

## 7.5.1 生活污水處理與放流 (5.D.1)

### 1. 排放源及匯分類的描述

生活與商業污水主要產生的溫室氣體為甲烷與氧化亞氮，其中一般生活與住商之污水經化糞池厭氧反應處理後，產生甲烷排放；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。

### 2. 方法論議題

#### (1) 計算方法

#### A. 生活污水處理產生甲烷排放量計算

由於生活住商污水之處理方式可分為經化糞池處理和污水下水道送至污水處理廠處理等兩大類。估算生活污水之甲烷排放量引用內政部營建署公布之「全國污水下水道用戶接管普及率及整體污水處理率統計表」之公共污水下水道系統普及率（%）、專用污水下水道系統普及率（%）、建築物污水下水道系統普及率（%）及整體合計之污水處理率（%），可分別計算未收集污水經化糞

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		不流動且溶氧不足的河流和湖泊，水中有機污染物可能厭氧分解，產生甲烷。河流、湖泊和港灣，可能成為氧化亞氮排放源。
		下水道（封閉的和地下的）		不是甲烷 / 氧化亞氮排放來源。
		下水道（露天）		滯流、超負荷的露天收集下水道或溝渠 / 水道，可能成為甲烷排放的重要來源。
	已處理	好氧處理	集中好氧廢水處理廠	可能由好氧槽之厭氧區域，產生些微甲烷。設計或操作管理不良之好氧處理系統，會產生甲烷。具去除營養鹽之高級污水處理廠（硝化、脫硝反應），雖規模小，但也是氧化亞氮排放來源之一。
			集中好氧廢水處理廠的污泥厭氧處理	污泥厭氧處理排放之甲烷，若未採取回收或燃燒處理，可能成為甲烷重要排放來源。
		厭氧處理	好氧淺池塘	一般而言，不太可能成為甲烷 / 氧化亞氮主要排放來源。設計或管理不良之好氧處理系統，會產生甲烷。
			厭氧化糞池	可能是甲烷的排放來源。不是氧化亞氮的排放源。如果排放的甲烷未被回收或燃燒處理，可能成為甲烷重要排放來源。
未收集	化糞槽		經常清除沉澱污泥，可降低甲烷產生量。	
	露天坑 / 廁所		當溫度和停留時間適當，則可能產生甲烷。	

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

池處理與收集污水經污水廠處理之比例，再與內政部統計處之內政統計年報中國內人口數及每人每日產生 BOD 值計算甲烷排放量。

IPCC 指南針對生活與住商污水甲烷排放計算如公式 7.5.1.1 所示。主要以不同收入級距人口比例，採用污水處理系統類型，加總各類處理系統甲烷排放量。

公式 7.5.1.1：

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

$U_i$ ：不同年收入級距之比例

$T_{ij}$ ：不同年收入級距之污水處理程度比例

$Bo$ ：最大甲烷產生量 (maximum  $\text{CH}_4$  producing capacity),  $\text{kg CH}_4/\text{kg BOD}$

$\text{MCF}_j$ ：甲烷修正係數 (methane correction factor)

$P$ ：全國人口數

$I$ ：與事業廢水共排之修正係數，若有合併收集預設值為 1.25，未含事業廢水之預設值則為 1.0

$\text{BOD}$ ：每人每年產生之可分解有機物量 ( $\text{kg BOD}/\text{persons/yr}$ )

$S$ ：污泥移除量,  $\text{kg BOD}/\text{yr}$

$R$ ：甲烷回收量,  $\text{kg CH}_4/\text{yr}$

#### B. 生活污水排放產生氧化亞氮排放量計算

估算氧化亞氮之排放量，係依據 IPCC 清冊指南計算方法如公式 7.5.1.2 所示。參照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 7.5.1.2：

$$\text{N}_2\text{O (kg/yr)} = (P \times \text{Protein} \times \text{Frac}_{\text{NPR}} \times \text{F}_{\text{NON-CON}} \times \text{F}_{\text{IND-COM}} - \text{N}_{\text{SLUDGE}}) \times \text{EF}_{\text{EFFLUENT}} \times 44/28$$

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

$\text{N}_{\text{EFFLUENT}}$ ：廢水含氮之總量

$P$ ：國內人口

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

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

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

$\text{F}_{\text{IND-COM}}$ ：下水道系統含有事業廢水共排之修正係數，有共排者預設值為 1.25

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

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

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

#### (2) 排放係數

##### A. 生活污水處理甲烷排放

依公式 7.5.1.1 各項參數，依生活污水處理人口比例及採用不同類型污水處理系統，有不同之最大甲烷產生量排放比例 (MCF 值)，IPCC 公布各種污水處理系統之 MCF 值如表 7.5.2 所示。

另外生活污水如果和事業廢水共同處理，則須納入考量，增加下水道含額外事業廢水 BOD 排放之修正係數 (I)，以及考量處理設施如有甲烷回收者 (R)，可以扣除排放量等。其中，最大甲烷產生量  $Bo$  (Maximum methane producing capacity)，依 IPCC 建議以  $0.60 \text{ CH}_4/\text{kg BOD}$  計算。甲烷修正係數 (MCF)：國內污水處理廠皆採好氧處系統，使用 IPCC 公布之好氧處理管理良好之污水處理廠，MCF 以 0 計算，即無厭氧處理產生甲烷排放。化糞池處理系統，採用 IPCC 公布之化糞池系統 MCF 以 0.5 計算。

表 7.5.2 生活污水處理系統預設之 MCF 值

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

資料來源：2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, volume 5, waste, P.6-13, table 6.3.

依據 IPCC 建議指南公式 7.5.1.1 計算生活污水產生甲烷排放量，相關參數選用詳列於表 7.5.3。

### B. 生活污水放流氧化亞氮排放

生活與住商污水氧化亞氮排放依據公式 7.5.1.2 計算，相關參數選用詳列於表 7.5.4。排放係數以 IPCC 參數 0.005 (kg N<sub>2</sub>O-N/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<sub>NON-CON</sub>) 使用 IPCC 預設值 1.1 計算；我國生活污水處理系統未與事業廢水有共排之情形，因此採用未共排之排放係數 1。

### (3) 活動數據

#### A. 生活污水處理甲烷排放

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

檢視國內現況生活污水之處理方式，可分為未收集經化糞池處理，和納管收集經污水下水道送至污水處理

廠（含公共污水下水道、專用污水下水道、建物污水處理設施）處理等兩大類。依內政部營建署下水道系統污水處理率作為生活污水經污水處理廠處理之比例，其餘未納管收集之生活污水則以化糞池處理計算。

內政部營建署下水道系統污水處理率的計算方式，原依據 2002 年 11 月 12 日營建署邀行政院主計處、經建會、環保署、縣市政府、學者專家召開「污水下水道普及率相關參數及計算公式座談會」研商共識，各縣市接管戶數除以總戶數（各縣市戶政資料總人口除以假設每戶 4 人）；2014 年開始改接管人數計算普及率，即各縣市接管戶數乘以各縣市戶量（人/戶）除以各縣市總人口數而得。

為求下水道系統普及率數據一致性，2013 年前之下水道系統普及率計算方式比照 2014 年，收集歷年全國戶數與人口數，依據內政部營建署規定之計算方式回推，計算結果如表 7.5.5 所示之「實際處理率」。

表 7.5.3 IPCC 生活污水處理甲烷排放計算一覽表

	IPCC 計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
人口數 (P)	國內資料自行確定	內政部統計資料。	人口數取內政部統計資料
污水處理程度	依據鄉村、城市高低收入分類計算	內政部營建署用戶接管普及率及污水處理率，並利用戶籍數換算處理效率	內政部營建署統計資料 內政部統計處之戶籍數
每人每年產生之可分解有機物量 (BOD)	14.6 (kg/人/yr)	採用 IPCC 預設值 14.6 (kg/人/yr)。	IPCC 預設值
最大甲烷生成量 (Bo)	0.60kg 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	1. 污水處理廠：使用 IPCC 公布之好氧處理管理良好，以定義值 0 計算。其處理產生之污泥，因厭氧處理之廢氣皆進行燃燒處理，因此皆以 0 計算。 2. 化糞池：使用 IPCC 公布之化糞池系統 0.5 計算。	IPCC 預設值
下水道含額外事業廢水 BOD 之修正係數 (I)	有合併事業廢水者預設值為 1.25，其餘為 1。	因污水處理廠現行依 IPCC 方式，以 0 計算；生活污水主要計算為化糞池產生之甲烷量，不會有事業廢水共同排放，採取 IPCC 公布值 1 計算	IPCC 預設值
污泥移除量 (S)	預設值 0	採 IPCC 預設值 0 計算。	IPCC 預設值
甲烷回收量 (R)	預設值 0	因國內化糞池並無回收甲烷氣，採 IPCC 預設值 0 計算。	IPCC 預設值

表 7.5.4 IPCC 生活污水放流氧化亞氮排放計算一覽表

處理系統	註釋	甲烷修正係數 (MCF)	範圍
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 (FracNPR)	0.16 kg N/protein	採用 IPCC 預設值 0.16 kg N/kg protein	IPCC 預設值
排放係數	0.005kg N <sub>2</sub> O-N/ kg N (須再計算 N <sub>2</sub> O/N 比例)	採用 IPCC 預設值 0.005 kg N <sub>2</sub> O-N/ kg N	IPCC 預設值
添加於廢水之非消耗蛋白質係數 (F <sub>NON-CON</sub> )	已開發國家預設值 1.4 開發中國家預設值 1.1	採用 IPCC 開發中國家預設值 1.1 計算。	IPCC 預設值
事業廢水共排之排放係數 (F <sub>IND-CIN</sub> )	共排者預設值 1.25，其餘為 1	採用 IPCC 未共排之係數 1 計算。	IPCC 預設值
因污泥而產生之氮移除量 (N <sub>SLUDGE</sub> )	預設值 0	採用 IPCC 預設 0 計算。	IPCC 預設值

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

#### B. 生活污水放流氧化亞氮排放

估算氧化亞氮之排放量，參照歷年農業委員會糧食平衡表之每人每日蛋白質供給量，並配合國內歷年人口數進行計算，如表 7.5.1.5 所示。

### (4) 排放量

#### A. 生活污水處理甲烷排放

生活與住商污水處理產生之甲烷排放量依據公式 7.5.1.1 計算，結果如表 7.5.5 及圖 7.5.1 所示。分析歷年排放趨勢，由於 1999 年起接管普及率增加，厭氧處理排放逐年降低，至 2014 年排放量相較 1990 年排放量減少 40%，相較 2013 年排放量減少 3%。

表 7.5.5 臺灣 1990 至 2014 年生活污水甲烷排放之活動數據與排放量

年	接管戶數	全國戶數	污水處理率 (%)	實際處理率 (%)	BOD	最大甲烷生成量 (Bo)	甲烷修正係數 (MCF)	下水道含額外事業廢水 BOD 之修正係數 (I)	污泥移除量 (S)	甲烷回收量 (R)	廢水甲烷排放量 (Gg)
1990	153,010	5,926,126	3	2.6	14.6	0.6	0.5	1	0	0	87.05
1991	154,544	5,985,536	3	2.6	14.6	0.6	0.5	1	0	0	87.92
1992	158,620	6,042,699	3.05	2.6	14.6	0.6	0.5	1	0	0	88.72
1993	162,714	6,098,701	3.1	2.7	14.6	0.6	0.5	1	0	0	89.51
1994	166,776	6,151,701	3.15	2.7	14.6	0.6	0.5	1	0	0	90.24
1995	170,859	6,203,858	3.2	2.8	14.6	0.6	0.5	1	0	0	90.97
1996	182,966	6,252,659	3.4	2.9	14.6	0.6	0.5	1	0	0	91.52
1997	206,557	6,315,804	3.8	3.3	14.6	0.6	0.5	1	0	0	92.12
1998	307,000	6,369,768	5.6	4.8	14.6	0.6	0.5	1	0	0	91.42
1999	660,010	6,532,466	11.95	10.1	14.6	0.6	0.5	1	0	0	86.99
2000	981,287	6,681,685	17.62	14.7	14.6	0.6	0.5	1	0	0	83.24
2001	1,105,155	6,802,281	19.73	16.2	14.6	0.6	0.5	1	0	0	82.19
2002	1,251,592	6,925,019	22.23	18.1	14.6	0.6	0.5	1	0	0	80.81
2003	1,351,187	7,047,168	23.91	19.2	14.6	0.6	0.5	1	0	0	80.02
2004	1,576,894	7,179,943	27.8	22.0	14.6	0.6	0.5	1	0	0	77.55
2005	1,795,445	7,292,879	31.54	24.6	14.6	0.6	0.5	1	0	0	75.18
2006	2,019,425	7,394,758	35.31	27.3	14.6	0.6	0.5	1	0	0	72.84
2007	2,280,913	7,512,449	39.74	30.4	14.6	0.6	0.5	1	0	0	70.03
2008	2,515,068	7,655,772	43.67	32.9	14.6	0.6	0.5	1	0	0	67.75
2009	2,812,520	7,805,834	48.66	36.0	14.6	0.6	0.5	1	0	0	64.78
2010	3,070,139	7,937,024	53.02	38.7	14.6	0.6	0.5	1	0	0	62.21
2011	3,367,032	8,057,761	57.99	41.8	14.6	0.6	0.5	1	0	0	59.22
2012	3,671,659	8,186,432	62.99	44.9	14.6	0.6	0.5	1	0	0	56.32
2013	3,892,859	8,286,260	66.62	47.0	14.6	0.6	0.5	1	0	0	54.26
2014	4,093,494	8,382,699	69.87	48.9	14.6	0.6	0.5	1	0	0	52.44

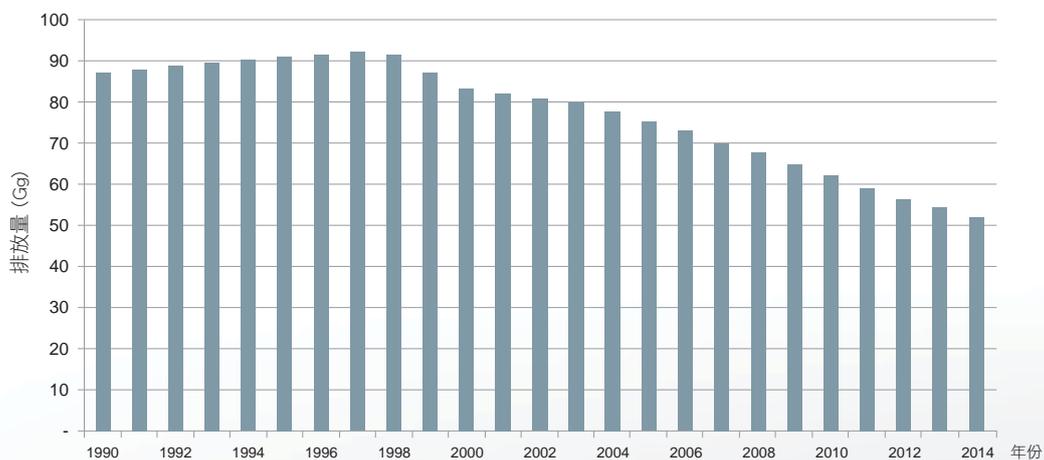


圖 7.5.1 臺灣 1990 至 2014 年生活污水處理甲烷排放趨勢



## B. 生活污水放流氧化亞氮排放

生活污水放流氧化亞氮排放量，結果如表 7.5.6 及圖 7.5.2 所示。影響氧化亞氮排放主要為人口遞增、蛋白質攝取量變化；2014 年亞氮排放量相較 1990 年增加 11%，而與 2013 年排放量增加 3%。

## (5) 完整性

## A. 生活污水處理甲烷排放

內政部統計年報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(%)，

表 7.5.6 臺灣 1990 至 2014 年生活污水放流氧化亞氮之活動數據與排放量

年	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(F <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(公噸)
1990	92.72	33.84	0.16	20,401	0.005	1.1	1	0	954.7
1991	91.56	33.42	0.16	20,606	0.005	1.1	1	0	952.3
1992	93.90	34.27	0.16	20,803	0.005	1.1	1	0	985.8
1993	97.34	35.53	0.16	20,995	0.005	1.1	1	0	1,031.6
1994	96.51	35.23	0.16	21,178	0.005	1.1	1	0	1,031.7
1995	98.22	35.85	0.16	21,357	0.005	1.1	1	0	1,058.8
1996	98.25	35.86	0.16	21,525	0.005	1.1	1	0	1,067.4
1997	101.41	37.02	0.16	21,743	0.005	1.1	1	0	1,113.1
1998	95.55	34.88	0.16	21,929	0.005	1.1	1	0	1,057.7
1999	97.55	35.61	0.16	22,092	0.005	1.1	1	0	1,087.9
2000	96.23	35.12	0.16	22,277	0.005	1.1	1	0	1,081.9
2001	92.00	33.58	0.16	22,406	0.005	1.1	1	0	1,040.4
2002	94.85	34.62	0.16	22,521	0.005	1.1	1	0	1,078.2
2003	96.13	35.09	0.16	22,605	0.005	1.1	1	0	1,096.9
2004	91.94	33.56	0.16	22,689	0.005	1.1	1	0	1,053.0
2005	91.57	33.42	0.16	22,770	0.005	1.1	1	0	1,052.3
2006	90.08	32.88	0.16	22,877	0.005	1.1	1	0	1,040.2
2007	92.02	33.59	0.16	22,958	0.005	1.1	1	0	1,066.4
2008	84.51	30.85	0.16	23,037	0.005	1.1	1	0	982.8
2009	86.84	31.70	0.16	23,120	0.005	1.1	1	0	1,013.5
2010	88.25	32.21	0.16	23,162	0.005	1.1	1	0	1,031.7
2011	89.67	32.73	0.16	23,225	0.005	1.1	1	0	1,051.2
2012	89.48	32.66	0.16	23,316	0.005	1.1	1	0	1,053.0
2013	86.97	31.74	0.16	23,374	0.005	1.1	1	0	1,025.9
2014	89.35	32.61	0.16	23,434	0.005	1.1	1	0	1,056.7

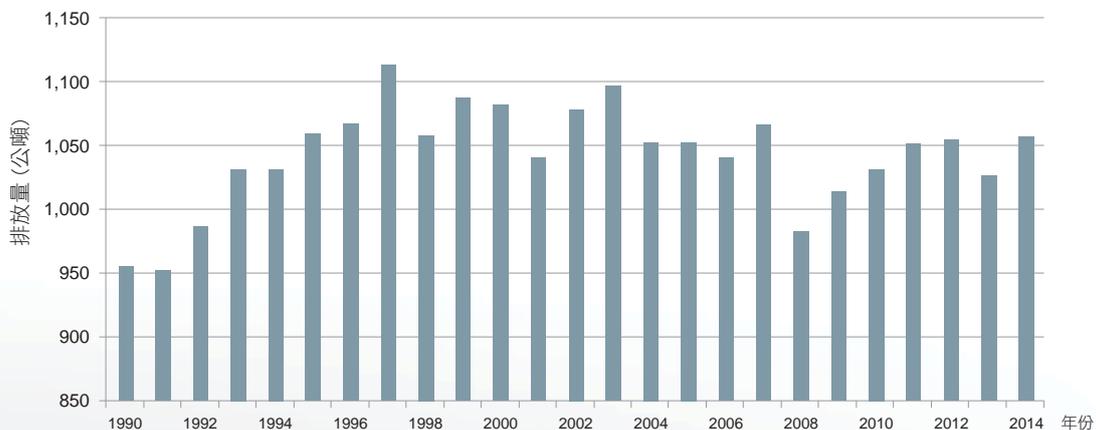


圖 7.5.2 臺灣 1990 至 2014 年生活污水放流氧化亞氮排放趨勢

目前僅登載 2000 年至 2013 年，1990 年至 1999 年之數據則參閱內政部相關會議之資料。內政部統計年報之國內人口數均已詳實登載 1990 年至 2014 年臺灣人口數。

#### B. 生活污水放流氧化亞氮排放

估算氧化亞氮之排放量，已完整參照農業委員會糧食平衡表 1990 年至 2014 年每人每日蛋白質供給量，及內政部統計年報之國內人口數均已詳實登載 1990 年至 2014 年台灣人口數。

### 3. 不確定性與時間序列的一致性

#### (1) 不確定性

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

#### (2) 時間序列的一致性

生活污水甲烷排放資料來源是依據內政部登載資料，均已包含 1990 年至 2014 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。

生活污水氧化亞氮排放量之活動數據引用內政部登載 1990 年至 2014 年國內人口數，及 1990 年至 2014 年

農業委員會糧食平衡表之每人每日蛋白質供給量，活動數據已符合時間序列之一致性及完整性。

### 4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

生活污水甲烷排放符合方法一(Tier 1)，為利用國家公共污水下水道系統普及率(%)、專用污水下水道系統普及率(%)、建築物污水處理設施普及率(%)、污水處理率(%)與國內人口數等活動數據為基礎，以 IPCC 建議排放係數，參考 2000 GPG，計算溫室氣體排放量。

生活污水氧化亞氮排放符合方法一(Tier 1)，為利用全國人口數及糧食平衡表之每人每日蛋白質供給量活動數據為基礎，以 IPCC 建議排放係數，參考 2000 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 月召開專家會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性進行確認。

另參考 2000 年 IPCC 優良作法指南中「方法 1 一般清單水準品質控制程序」(如表 7.5.7)，透過交叉檢查重新計算及目測過濾，來檢核數據與引用數據來源內容是否一致；同時在對大量輸入資料進行查核過程中，為了避免檢核過程之錯誤，人工和自動檢查相結合是最有效的方法，故利用程式設計輔助人工檢核及簡化判讀等程序。

表 7.5.7 生活污水一般清單品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	•交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料(內政部登載公共污水下水道系統普及率、專用污水下水道系統普及率、建築物污水下水道系統普及率及污水好氧處理率及國內人口數、農業委員會糧食平衡表之每人每日蛋白質供給量)和排放因數(IPCC 建議值)的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	•確認正確引用「內政部登載資料」及「農業委員會糧食平衡表」結果
檢查排放計算的準確性	•條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	•確認各欄位單位標記的準確性 •確認整個計算過程中單位使用的準確性 •確認轉換因數的準確性 •無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	•簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	•無引用適用多種排放源類別的資料
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	•避免有轉錄情事，並加強複查檢核 •無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	•檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 •檢查所記錄的資格假定和專家判斷檢查不確定性計算的完整性與準確性 •目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
開展內部檔的審評	•詳細登錄資料來源引用與版本差異 •檢查歸檔並存儲的清單資料支援資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	•確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 •確認用於整個時間序列計算的運算法則/方法的一致性 •無時間序列一致性缺漏情事
開展完全檢查	•確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
比較現有估算和原始估算	•對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 •本年度並無重新計算情事



## 5. 特定排放源的重新計算

本年度清冊採用之計算方法、活動數據時間序列一致性完整性已查證、相關參數及活動係數之引用已查證確認，符合 2000 GPG。行政院農業委員會 2015 年公布歷年每人每日蛋白質攝取量，並修正 2012 至 2013 年蛋白質攝取量數據，2012 年由每人每日 89.57 公克修正為 89.48 公克，2013 年由每人每日 90.57 公克修正為 86.97 公克，並配合重新計算修正此 2 年氧化亞氮排放量。

## 6. 特定排放源的改善計畫

無。

### 7.5.2 事業廢水處理與放流 (5.D.2)

#### 1. 排放源及匯分類的描述

事業廢水包括工業區廢水與列管事業廢水二部分，依 IPCC 計量規定，事業廢水僅需考量計算廠內厭氧處理設施單元之排放，並針對富含有機廢水之業別估算：

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

IPCC 針對事業廢水主要以甲烷進行計算，事業廢水產生之氧化亞氮，相對於生活污水排放微不足道，因此不列入計算。

有關事業廢水之活動數據，其中關於列管家數，是參閱中華民國環境保護統計年報 - 中華民國 92 年至 103

年，引用（三）水質監測及污染防治表 3-5 事業廢水污染管制情形，其中關於「列管家數」之數據；而事業廢水中遭去除之有機物，引用環保署水保處「水污染源管制資料管理系統」資料庫中定檢資料，取得產業廢水處理設施之水量與水質進行估算。

## 2. 方法論議題

### (1) 計算方法

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。

### (2) 排放係數

IPCC 指南新增公布各種處理設施之甲烷修正係數 (MCF<sub>j</sub>) 如表 7.5.8 所示。最大 CH<sub>4</sub> 產生量 Bo 依 IPCC 公布預設值以 0.25 CH<sub>4</sub>/kg COD 計算。甲烷修正係數 (MCF) 依 IPCC 公布預設值，選用厭氧處理系統甲烷排放比例 0.8 計算。

依 IPCC 指南公式 7.5.2.1 計算事業廢水厭氧處理產生之甲烷排放量，相關參數選用詳列於表 7.5.9。

#### 公式 7.5.2.1：

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

TOW<sub>i</sub>：每年事業廢水之 COD 總量 (kg COD/yr)；P<sub>i</sub> × W<sub>i</sub> × COD<sub>i</sub>

- i：各類事業
- P<sub>i</sub>：各類事業之總產品量 (t/yr)
- W<sub>i</sub>：各類事業之單位產品廢水產生量 (m<sup>3</sup>/tproduct)
- COD<sub>i</sub>：化學需氧量 (kg COD/m<sup>3</sup>)
- S：污泥移除量 (kg COD/yr)
- EF<sub>j</sub>：排放係數 (kg CH<sub>4</sub>/kg COD) = Bo × MCF<sub>j</sub>
- Bo：最大 CH<sub>4</sub> 產生量 (kg CH<sub>4</sub>/kg COD)，預設值為 0.25
- MCF<sub>j</sub>：甲烷修正係數
- R：甲烷回收量 (kg CH<sub>4</sub>/yr)，預設值為 0。

表 7.5.8 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 - 0.1
好氧處理廠	管理不完善或負載者。	0.3	0.2 - 0.4
污泥的厭氧消化槽	此處不考慮甲烷回收。	0.8	0.8 - 1.0
厭氧反應器（如 UASB，固定膜反應器）	此處不考慮甲烷回收。	0.8	0.8 - 1.0
淺的厭氧塘	深度不足 2 米，採用專家判斷。	0.2	0 - 0.3
深厭氧塘	深度超過 2 米	0.8	0.8 - 1.0

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

### (3) 活動數據

依據 IPCC 計算式，由各業別之產品量以及每單位產品之廢水量，換算總廢水量後，再依據水質 COD 濃度計算各業別 COD 量。本計畫事業廢水活動數據，直接引用環保署水保處「水污染源管制資料管理系統」資料庫中定檢資料，取得產業廢水處理設施之水量與水質進行估算。以實際事業廢水檢測申報數據計算，較 IPCC 指南以行業單位產品排放量計算，準確性更高。計算方式如下：

#### A. 篩選廢水處理流程中之厭氧設施

#### B. 篩選擁有厭氧設施之業別

#### C. 篩選該些業別之事業申報水量、進（放）流 COD 值

由於「水污染源管制資料管理系統」資料庫之定檢資料，主要是規範放流水濃度須符合放流水標準，因此部分事業並未申報進流水 COD 值，乃以行業別去除效率估算進流水 COD 值。

#### D. 依據水量、進（放）流 COD 值計算處理 COD 量

由於該資料庫係由 2000 年開始建置，針對 2000 年前之 COD 去除量則以每年全國列管家數比例推估。依此取得各年期（1990 年至 2014 年）事業廢水中遭去除之有機物。

其中關於列管家數，是參閱中華民國環境保護統計年報 - 中華民國 92 年至 103 年，引用（三）水質監測及污染防治表 3-5 事業廢水污染管制情形，其中關於「列管家數」之數據。歷年活動數據如表 7.5.10。

### (4) 排放量

事業廢水溫室氣體排放量計算結果如表 7.5.10 及圖 7.5.3 所示。由於排放量活動數據來自廢水申報處理量，

故估算結果必隨 COD 處理量而變化。2014 年排放量相較 1990 年排放量增加 47%，相較 2013 年則減少 1%。

### (5) 完整性

事業列管家數係參閱民國 92 年至 103 年中華民國環境保護統計年報，因僅登載 1998 年至 2014 年事業廢水列管家數，缺少 1990 年至 1997 年之事業廢水列管家數；而環保署水保處「水污染源管制資料管理系統」中篩選出資料庫中定檢資料，目前僅列管 2000 年之後資料，缺少 1990 年至 1999 年資料，處理方式詳時間序列的一致性。

## 3. 不確定性與時間序列的一致性

### (1) 不確定性

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

### (2) 時間序列的一致性

依據中華民國環境保護統計年報登載事業廢水污染管制資料，其中關於「列管家數」數據僅 1998 年至 2014 年有活動數據，故依據工廠登記家數回推至 1990 年這段區間之各年度列管家數。

而環保署水保處「水污染源管制資料管理系統」中篩選出資料庫中定檢資料，於 2007 年之後較為齊全，故針對不齊備年期之列管單位申報資料，以其 2007 年之後完整申報資料之年平均值進行概估，進而以列管家數外推方式，計算各年期事業廢水中遭去除之有機物，以符合各年期時間序列之完整性及一致性。

## 4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

符合方法一（Tier 1），為利用國家水污染源管制資料管理系統事業廢水定檢申報活動數據為基礎，以 IPCC 建議排放係數，參考 2000 GPG，計算溫室氣體排放量。

表 7.5.9 事業廢水處理甲烷排放參數採用一覽表

	IPCC 計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	國內數據來源
污水量 (Pi×Wi)	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出口之 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)。	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 BOD 資料，故暫設為 0。	IPCC 預設值
最大甲烷生成量 (Bo)	0.25kg CH <sub>4</sub> /kg COD	採用 IPCC 預設值 0.25kg 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	由於使用厭氧消化，採用 IPCC 厭氧系統 MCF 值 0.8 計算。	IPCC 預設值
甲烷移除量 (R)	預設值 0	採用 IPCC 預設值 0	IPCC 預設值



針對本範疇之計算方式、引用參數及計算結果，業已於 104 年 5 月、10 月召開專家會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性進行確認。

另參考 2000 GPG 指南中「方法 1 一般清單水準品質控制程序」（如表 7.5.11），透過交叉檢查重新計算及目測過濾，來檢核數據與引用數據來源內容是否一致；

同時在對大量輸入資料進行查核過程中，為了避免檢核過程之錯誤，人工和自動檢查相結合是最有效的方法，故利用程式設計輔助人工檢核及簡化判讀等程序。

### 5. 特定排放源的重新計算

本年度清冊採用之計算方法、活動數據時間序列一致性完整性已查證，相關參數及活動係數之引用已說明

表 7.5.10 臺灣 1990 至 2014 年事業廢水處理甲烷活動數據及排放量

年	列管家數	TOW <sub>i</sub> : 事業廢水中遭去除之有機物 (T-COD) (公噸) (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 (Ton)	Bo: 最大甲烷產生量 (kg CH <sub>4</sub> /kg COD)	MCF <sub>i</sub> : 甲烷轉換係數	R: 甲烷移除量 (公噸 甲烷 / 年)	甲烷排放量計算 (公噸)
1990	10,394	146,137	0	0.25	0.8	0	29.23
1991	14,188	172,731	0	0.25	0.8	0	34.55
1992	15,339	179,288	0	0.25	0.8	0	35.86
1993	14,154	172,410	0	0.25	0.8	0	34.48
1994	14,699	175,703	0	0.25	0.8	0	35.14
1995	15,650	181,016	0	0.25	0.8	0	36.20
1996	17,853	192,184	0	0.25	0.8	0	38.44
1997	16,901	187,536	0	0.25	0.8	0	37.51
1998	15,421	179,724	0	0.25	0.8	0	35.94
1999	14,330	173,525	0	0.25	0.8	0	34.70
2000	14,908	166,989	0	0.25	0.8	0	33.40
2001	13,217	167,292	0	0.25	0.8	0	33.46
2002	14,279	168,818	0	0.25	0.8	0	33.76
2003	14,860	185,792	0	0.25	0.8	0	37.16
2004	15,754	175,933	0	0.25	0.8	0	35.19
2005	16,130	187,012	0	0.25	0.8	0	37.40
2006	16,624	187,236	0	0.25	0.8	0	37.45
2007	17,739	209,534	0	0.25	0.8	0	41.91
2008	18,694	202,160	0	0.25	0.8	0	40.43
2009	18,837	204,440	0	0.25	0.8	0	40.89
2010	19,315	195,863	0	0.25	0.8	0	39.17
2011	20,259	200,871	0	0.25	0.8	0	40.17
2012	20,570	215,663	0	0.25	0.8	0	43.13
2013	20,693	216,952	0	0.25	0.8	0	43.39
2014	20,521	215,149	0	0.25	0.8	0	43.03

備註：尚未取得 2013 至 2014 年 COD 量，暫以列管家數回推。

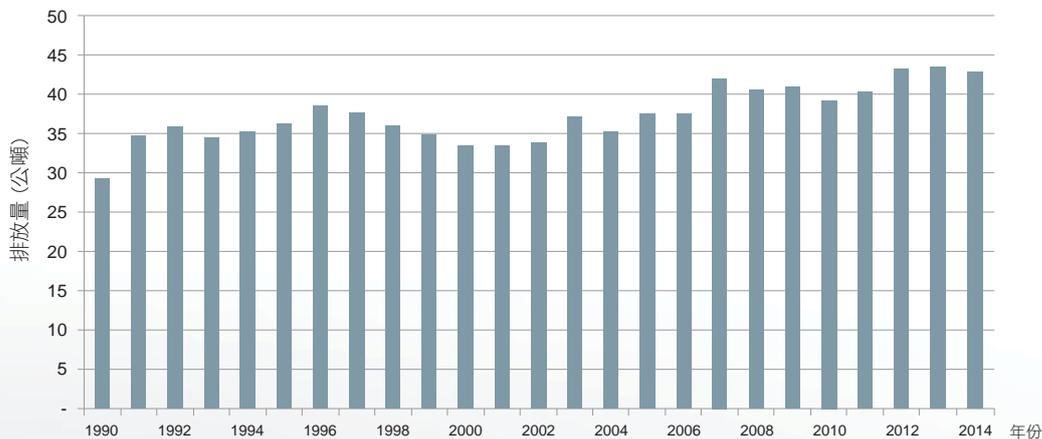


圖 7.5.3 臺灣 1990 至 2014 年事業廢水處理甲烷排放量趨勢

確認，符合 2000 GPG 優良作法。下一年度如前述各年期排放估算採用之計算方法、活動數據或引用相關排放係數值有變更，才會涉及排放量之重新計算。

## 6. 特定排放源的改善計畫

查核由環保署水保處「水污染源管制資料管理系統」資料庫中篩選出之定檢資料，於 2007 年之後較為齊全。故建議申報管理系統資料主管單位，考量查核補充 2000 年至 2007 年列管單位之申報資料，如此更能精進估算結果，減少外推數據之不確定性差異，符合各年期時間序列之完整性及一致性。

環保署擬篩選國內 3 處有機及含氮污染物排放量較大之事業廢水處理廠，進行實際量測溫室氣體排放量，建立本土排放係數，精進估算國內事業廢水溫室氣體排放量。

## 7.6 廢棄物部門溫室氣體排放量不確定性分析

### 一、不確定性定義、評估方法

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

不確定性係指一組數據與實際值的差異程度，而差異程度則取決於樣本的代表性、量測的可靠性等統計因素。用於描述不確定的理想資訊應包含此組數據的平均值、標準差、概率分布以及協方差，而不確定性的判斷應建立於 95% 信賴區間之上。

依據 2006 IPCC 指南之建議，排放量不確定性分析方法有 2 部分。包括方法 1 誤差傳播法（Propagation of error，又稱高斯法），方法 2 蒙地卡羅法（Monte Carlo simulation）。

不確定性分析，依參數數據引用來源、來源數據量測值，建立數據機率密度函數分布，計算不確定度（%）。參數（活動數據、排放係數）、排放量之不確定度，為其機率密度分布函數 95% 信賴區間之上下限與採用數值（估算值或平均值）之偏差，以百分比表示（常態分佈約為 2 個標準偏差）。高斯法（亦稱誤差傳播法，其機率密度函數分布為常態分佈，如圖 7.6.1 所示）；蒙地卡羅法（Monte Carlo）之機率密度函數分布通常為非對稱性（Asymmetric Distributions，如圖 7.6.2 所示），如對數分布、三角分布等。

蒙地卡羅法係根據各參數的概率密度分布 95% 信賴區間內，選擇排放係數與活動強度的隨機值，並計算相應之排放量；應用電子計算機多次重複上述步驟，並以

表 7.5.11 事業廢水一般清單品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	• 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料（事業廢水污染管制資料）和排放因數（IPCC 建議值）的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	• 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保處『水污染源管制資料管理系統』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 • 確認整個計算過程中單位使用的準確性 • 確認轉換因數的準確性 • 確認時間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	• 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	• 無引用適用多種排放源類別的資料
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	• 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 • 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	• 檢查提供不確定性估算的專家判斷的獨立資格 • 檢查所記錄的資格假定和專家判斷檢查不確定性計算的完整性與準確性 • 目前版本相關參數引用 IPCC 指南建議值
開展內部檔的審評	• 詳細登錄資料來源引用與版本差異 • 檢查歸檔並存儲的清單資料支援資料和清單記錄以有利於展開詳盡的審評
檢查導致重新計算的方法和資料變化	• 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 • 確認用於整個時間序列計算的運算法則 / 方法的一致性
開展完全檢查	• 無時間序列一致性缺漏情事
比較現有估算和原始估算	• 確認提交的評估報告涵蓋了從指定基年到當前清單時段內所有年份排放源類別
半衰期（t1/2）	• 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 • 本年度並無重新計算情事



$$\text{Uncertainty of EF or A} = \frac{95\% \text{ confidence interval} / 2 (n)}{|\text{Adopted value of EF or A} (m)|}$$

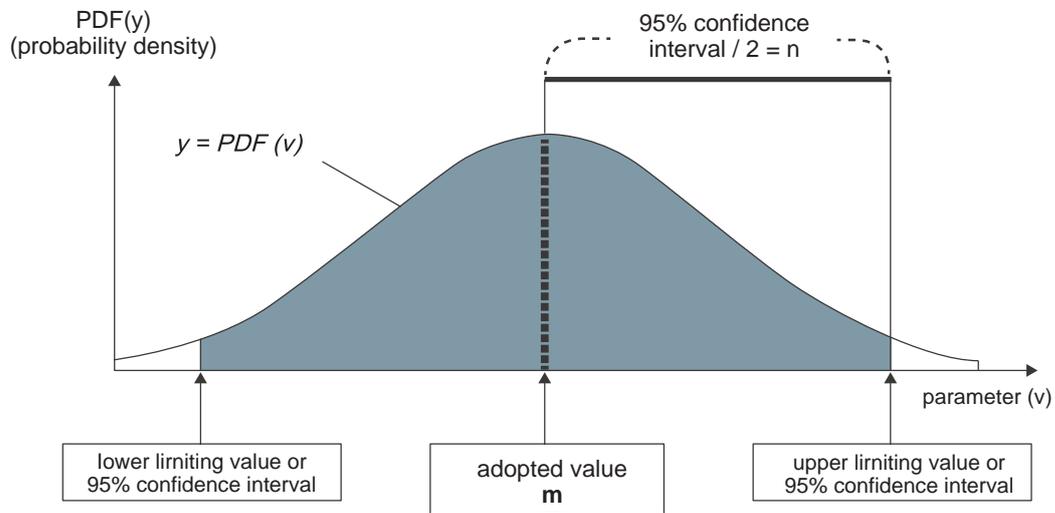


圖 7.6.1 機率密度函數 (PDF) 與信賴區間

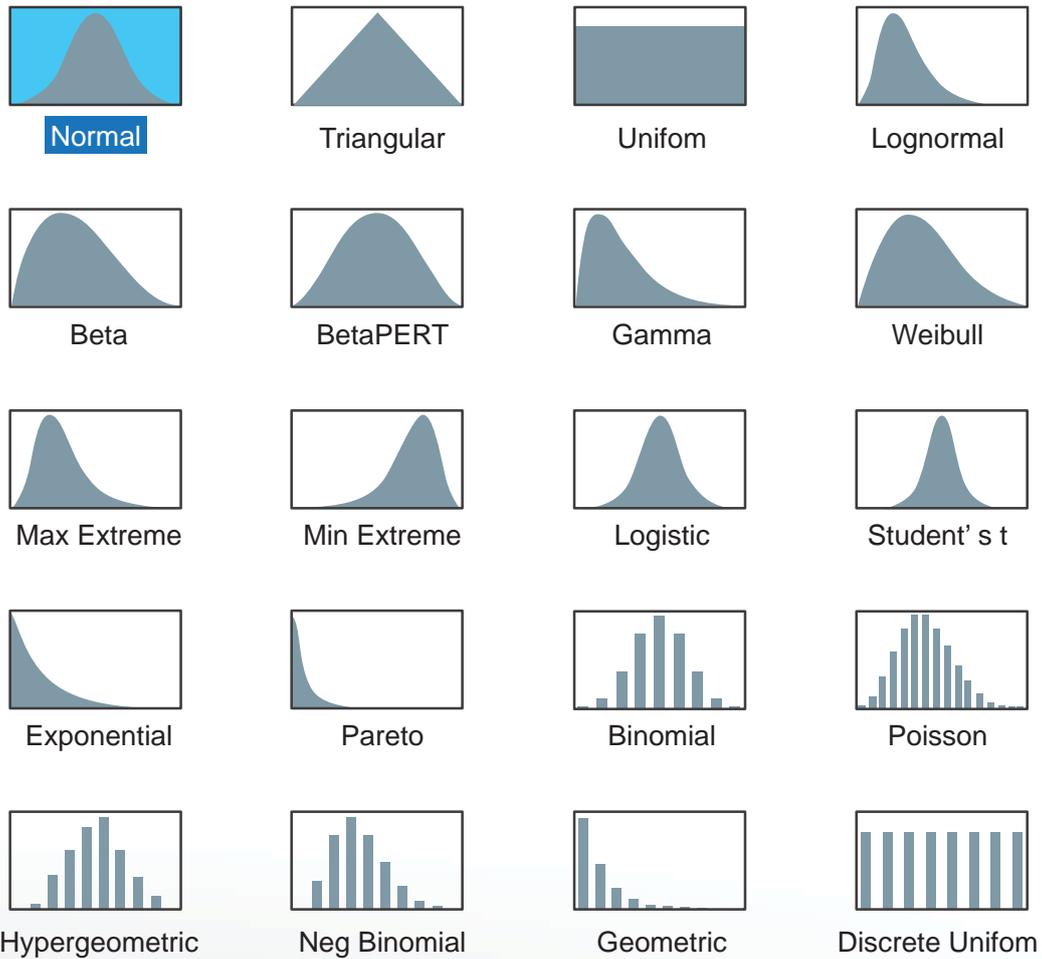


圖 7.6.2 其他型態機率密度函數 (PDF)

每次計算所得之結果建構排放量之概率密度函數，以求得排放量整體的不確定性。

蒙地卡羅分析適用於評估各種程度的不確定性，2000 GPG 指南亦建議採用此法以取得較佳的不確定性分析結果，但強調唯有分析者對於所選用的參數概率密度函數之正確性有充分把握時，所得結果才有其參考價值。

## 二、不同排放源不確定性整合方法

廢棄物部門進行排放清冊統計與現實狀況之差異，依據 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。

### (1) 依不確定量相乘規則計算公式

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

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

U：Uncertainty of the emissions of the source [%]

$U_{EF}$ ：Uncertainty of the emissions factor [%]

$U_A$ ：Uncertainty of the activity data [%]

### (2) 依不確定量相加規則計算公式

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。

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

$U_{Total}$ ：Uncertainty of National Total Emissions [%]

$U_i$ ：Uncertainty of the Emissions from Source "i" [%]

$E_i$ ：the Emissions from Source "i" [Gg]

由上述不確定性整合計算公式，估算各來源排放量不確定性數值，及部門總排放量合併不確定性數值。

並依前述計算參數（活動數據、排放係數）、排放量之機率密度函數分布，取其 95% 信賴區，依 95% 信賴區間上下限計算不確定數值。

## 三、不確定性估算結果

### A. 誤差傳播法不確定性估算結果

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

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

參考 2013 至 2014 年個排放源計算參數資料、依據實地訪查各類處理廠場（掩埋場、堆肥場、焚化廠、污水處理廠）處理量等活動數據量測記錄操作、管理執行過程與紀錄，及 2015 年 11 月 30 日廢棄物部門溫室氣體排放不確定性專家會議各委員意見與會議結論，率定各來源排放量參數不確定值範圍，計算結果如下：

#### (1) 掩埋場甲烷排放量推估之不確定性

IPCC 指南提供掩埋場甲烷估算各參數引用之不確定性範圍，如表 7.6.1。

表 7.6.2 為依據表 7.6.1 所提供之不確定參數計算掩埋場甲烷排放量計算公式中之各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，依前述不確定量相乘、相加規則計算公式，可得妥善及未妥善掩埋甲烷排放活動強度、排放係數及排放量之不確定性。妥善處理分別為 26.46、22.91 及 32.64；非妥善處理分別為 26.46、28.72 及 39.05。

#### (2) 生物處理排放量推估之不確定度

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

有關生物處理排放量排放之各項參數詳細資料列於表 7.6.3，各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，依活動強度、排放係數排放量分別計算不確定性，生物處理排放量排放之不確定性結果分別為 10、20 和 22.36。

#### (3) 焚化處理排放量推估之不確定度

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

有關廢棄物焚化處理所產生之二氧化碳排放之各項參數詳細資料列於表 7.6.4，各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，依活動強度、排放係數排放量分別計算不確定性，分別為 10、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 7.6.5，各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，依活動強度、排放係數排放量分別計算不確定性，分別為 10、20 和 22.36。



表 7.6.1 2006 IPCC 指南掩埋場甲烷排放估算之不確定性

參數	不確定性範圍
固體廢棄物總量 (MSWT)	特定國家的： 30%：定期收集廢棄物資料 ±10%：具有高品質資料（如在所有掩埋場和其他處理設施處進行稱重） 200%：低品質資料
總廢棄物送至掩埋場比例 (MSWF)	±10%：具有高品質資料（如在所有掩埋場和其他處理設施處進行稱重） ±30%：收集有關掩埋場處置資料 200%：低品質資料
廢棄物組成的不確定性	±10%：是具有高品質資料（如對代表性掩埋場進行定期取樣） ±30%：是具有基於研究（包括週期性取樣） 200%：低品質資料
可降解有機碳 (DOC)	±20%：使用 IPCC 預設值 特定國家值： ±10%：基於代表性的取樣和分析
經過分解的可降解有機碳的比例 (DOCF)	±20%：使用 IPCC 預設值 特定國家值 基於長期以來試驗性資料的：±10%
甲烷修正係數 (MCF)	使用 IPCC 預設值
=1	-10%,+0%
=0.8	±20%
=0.5	±20%
=0.4	±30%
=0.6	-50%,+60%
產生的垃圾填埋氣體中的甲烷比例 (F) =0.5	±5%：使用 IPCC 預設值
甲烷回收量 (R)	不確定性範圍取決於計量回收、燃燒或利用的甲烷量。 ±10%：如果現地量測。 ±50%：如果未現地進量測。
氧化係數 (OX)	當 OX 使用非零值時，則 OX 須納入不確定性分析，應當說明非零值之各不確定性。
半衰期 (t <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：IPCC 2006，2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,2006.

表 7.6.2 臺灣 2014 年廢棄物部門掩埋甲烷排放之不確定性率定及率定說明

活動資料和排放係數	不確定性率定		率定說明
	妥善掩埋	未妥善掩埋	
城市固體廢棄物總量 (MSWT)	10	10	具有高品質資料，引用 IPCC 設定值 10%。
廢棄物組成	10	10	根據 IPCC 具有基於研究不確定設定值 30%。國內數據掌握十分清楚，不確定以 10% 計。
可降解有機碳 (DOC)	20	20	以 IPCC 預設值計算可降解有機碳，不確定性 IPCC 預設值 20%。
甲烷修正係數 (MCF)	0	20	採 IPCC 預設係數（衛生 1.0，一般 0.5），及不確定值律定建議（衛生 0%，一般 20%）。
經過分解的可降解有機碳的比例 (DOCF)	20	20	DOCF 使用 IPCC 預設值 0.5，不確定引用 IPCC 預設值 20%。
產生的垃圾填埋氣體中的 CH <sub>4</sub> 比例	5	5	甲烷比例使用 IPCC 預設值 0.5，不確定引用 IPCC 預設值 5%。
甲烷回收量 (R)	20	N/A	以實際發電量換算甲烷回收量，IPCC 建議現地量測律定值 10%，本計畫訂 20%。一般掩埋為零。
氧化係數 (OX)	10	N/A	本清冊定衛生掩埋場以 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，本計畫定 10%。
活動強度不確定性計算結果	26.46	26.46	
排放係數不確定性計算結果	22.91	28.72	
排放量不確定性計算結果	32.64	39.05	

表 7.6.3 臺灣 2014 年廢棄物部門廢棄物生物處理之排放不確定性

活動資料和排放係數	不確定性率定	率定說明
城市固體廢棄物總量 (MSWT)	10	年報來源具有高品質資料，參考掩埋場不確性數據，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	參考掩埋場律定原則，以「可降解有機碳 (DOC)」採 IPCC 預設係數，律定不確定值 20%。
R：回收的甲烷總量 (Gg CH <sub>4</sub> )	N/A	未納入計算，不確定值 0% 計。
活動強度不確定性計算結果	10	
排放係數不確定性計算結果	20	
排放量不確定性計算結果	22.36	

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

## (4) 廢水處理排放量推估之不確定性

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

## a. 生活污水

IPCC 清冊指南列出引用生活污水排放係數和活動資料不確定性預設值如表 7.6.6 所示，有關甲烷之各項參數

詳細資料列於表 7.6.7，依各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，分別計算活動強度、排放係數、排放量之不確定性，依次為 7.07、42.72 和 43.30。

有關氧化亞氮之各項參數詳細資料列於表 7.6.8，依各項活動資料與排放係數不確定性率定結果，分別計算活動強度、排放係數、排放量之不確定性，依次為 11.18、28.72 和 30.82。

表 7.6.4 臺灣 2014 年廢棄物部門廢棄物焚化處理之二氧化碳排放不確定性

活動資料和排放係數	不確定性率定	率定說明
SW：焚化固體廢棄物類型的總量 (Gg/yr)	10	依據未具能源回收之中小型焚化爐焚化量，其申報量具高品質計量來源，故不確定值以 10% 計算。
含水分 (%)	50	係使用一般垃圾之含水率，以「掩埋場廢棄物組成 - 是具有基於研究之不確定」之不確定值 30% 計算，由於皆非實際中小型焚化爐實際數據，以 50% 計算。
總碳比例 (CF)	50	採 IPCC 預設值，建議之不確定值 30%。因非屬無能源回收焚化爐實際數據，以 50% 計算。
礦物碳比例 (FCF)	53.85	1. 各種垃圾成分之總碳係使用一般垃圾之垃圾組成，以「掩埋場廢棄物組成 - 是具有基於研究之不確定」之不確定值 30% 計算，由於皆非實際中小型焚化爐實際數據，50% 計算。 2. 礦物碳比例則引用 IPCC 預設值，故係參考掩埋場不確性數據，以「可降解有機碳 (DOC) - 使用 IPCC 預設值」之不確定 20% 計算。 3. 兩者不確定加總為 53.85%。
焚化爐燃燒效率 (EF)	5	燃燒效率 100% 與接近國內實際情形，參考掩埋場不確性數據，以「垃圾填埋氣體中的 CH <sub>4</sub> 比例 (F)」之不確定性 5% 計算。
活動強度不確定性計算結果	10	
排放係數不確定性計算結果	89.02	
排放量不確定性計算結果	89.58	

表 7.6.5 臺灣 2014 年廢棄物部門廢棄物焚化處理之氧化亞氮排放不確定性

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

表 7.6.6 生活污水相關參數預設值之不確定範圍

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

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

## b. 事業廢水

IPCC 指南列出事業廢水排放係數和活動資料的預設值不確定性範圍，如表 7.6.9。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 7.6.10 為事業廢水甲烷排放量計算公式中，各項活動資料與排放係數不確定性結果，分別計算活動強度、排放係數及排放量不確定性，結果為 14.14、36.06 和 38.73。

表 7.6.7 臺灣 2014 年廢棄物部門生活污水甲烷排放之不確定性

活動資料和排放係數	不確定性率定	率定說明
P：人口數	5	採國家人口統計資料，依 IPCC 建議不確定值 5%。
BOD：住商部門污水處理中可分解有機物量（kg BOD/ persons/yr）	5	BOD 採 IPCC 預設值 40g/p.d，預設不確定值 30%。經專家會議，確認 IPCC BOD 建議值，接近國內及日本實際數據，不確定值，可以 5% 計。
Bo：最大 CH <sub>4</sub> 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。
MCFj：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，不確性律定值以 5% 計。
R：污泥去除量	0	未考慮以 0% 計算。
活動強度不確定性計算結果	7.07	
排放係數不確定性計算結果	42.72	
排放量不確定性計算結果	43.30	

表 7.6.8 臺灣 2014 年廢棄物部門生活污水氧化亞氮排放之不確定性

活動資料和排放係數	不確定性率定	率定說明
P：國內人口	5	採國家人口統計資料，依 IPCC 建議不確定值 5%。
Protein：每人每年蛋白質攝取量（kg/person/yr）	10	依據農委會糧食平衡表每人每日蛋白質供給量，具有高品質數據，不確定律定值，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值。
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 CH <sub>4</sub> 比例（F）預設值，不確定值 5% 計。
EF <sub>6</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，不確定值以 20% 計算。
活動強度不確定性計算結果	11.18	
排放係數不確定性計算結果	28.72	
排放量不確定性計算結果	30.82	

表 7.6.9 IPCC 指南事業廢水相關參數預設值之不確定範圍

活動資料和排放係數	率定說明
排放係數	
最大甲烷生成量（Bo）	±30%
甲烷修正係數（MCF）	不確定性範圍應當由專家判斷來確定
活動資料	
工業產量（P）	± 25%，利用專家來評判資料來源品質，以獲得更精確的不確定性範圍。
廢水產生量（W）	•這些資料有較高不確定。因為不同國家、不同工廠的同一個部門可能採用不同的廢水處理步驟。 •產品參數（W×COD）不確定性較小。
COD	•-50%、100% 等數值被假設，由於不確定性值可以直接歸於 kg COD/ 噸產品。

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

## (5) 廢棄物部門不確定度評估

綜合評估固廢處理、生物處理、焚化處理及污廢水處理之各來源溫室氣體排放不確定性，可得廢棄物部門整體之溫室氣體排放量不確定性，如表 7.6.11 所示，整個部門之排放量不確定值為 19.04。

## B. 蒙地卡羅法不確定性不確定性估算結果

2014 年廢棄物部門先篩選不確定性佔部門排放量較大之污廢水處理排放，以蒙地卡羅法模擬計算生活污水（甲烷及氧化亞氮）及事業廢水（甲烷）溫室氣體排放量不確定性，並比較與誤差傳播法之差異。

此方法係根據計算模式內各計算參數的不確定性機率密度函數，於 95% 信賴區間內選擇排放係數與活動強度的隨機值（各 1,000 個以上隨機值），計算相應之排放量。應用內建於試算表之巨集演算程式（Crystal Ball 計算軟體），經電子計算機多次重複上述步驟，並以每次計算所得之結果建構排放量之機率密度函數，以求得排放量整體的不確定性。

### (1) 排放量計算參數機率密度函數設定

除了誤差傳播法透過數據統計經驗、文獻資料、專家判斷，直接給予計算參數不確定值外，蒙地卡羅法將再參考歷年各溫室氣體排放源活動數據、排放係數值變動範圍，透過 Crystal Ball 軟體，分析設定各參數值最適合之機率密度分布函數圖形，並選取 95% 信賴區間內上下限數值，以亂數隨機選取 1,000 次，計算其對應之排放量分布。

### (2) 生活污水甲烷排放參數機率密度函數設定與不確定性模擬

生活污水甲烷排放計算如公式 7.6.3，歷年活動數據及排放係數等參數值如表 7.6.12。

公式 7.6.3：生活污水處理甲烷排放公式及計算參數

$$\text{甲烷排放量 (Kg CH}_4\text{/yr)} = \sum (U_i \times T_{ij} \times Bo \times MCF_j) \times (P \times BOD \times 10^{-3} \times 365 \times I - S) - R$$

•  $U_i$ ：不同年收入級距*i*人口之比例  
 •  $T_{ij}$ ：不同年收入級距*i*人口污水處理系統之比例；(化粪池、污水廠...)  
 •  $Bo$ ：最大 $CH_4$ 產生量，kg  $CH_4$  / kg BOD  
 •  $MCF_j$ ：甲烷修正係數 (比例)  
 •  $P$ ：全國人口數  
 •  $BOD$ ：每天每人BOD產生量 (g BOD / 人 / 天)  
 •  $I$ ：下水道含額外事業廢水BOD排放修正係數，有1.25，無1.0  
 •  $S$ ：生物污泥中可分解有機物量，kg BOD / yr  
 •  $R$ ：甲烷回收量 (kg  $CH_4$  / y)

經 Crystal Ball 軟體計算生活污水甲烷排放量之 5 個計算參數（2 個活動數據、3 個排放係數）之機率密度函數分佈，包括各參數採用值 (adopted value)，95% 信賴區間上下限數值等，各參數 95% 信賴區間之不確定值雖與誤差傳播法（高斯法）數據相同（如表 7.6.13），但蒙地卡羅法之部分參數非屬常態分佈。經 Crystal Ball 模擬計算，各取 95% 信賴區間，其活動數據不確定度為 -6.9% ~ +7.6%，排放係數不確定度為 -39 ~ +46%，排放量機率密度函數分佈的型態為貝塔分佈。依排放量機率密度函數分佈結果，取 95% 信賴區間下限及上限不確定數值，分別為 -39% ~ +47%，與誤差傳播法排放量

表 7.6.10 臺灣 2014 年廢棄物部門事業廢水甲烷排放之不確定性

活動資料和排放係數	不確定性率定	率定說明
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，不確定值 10%。
COD <sub>i</sub> ：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，不確定值以 10% 計。
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 CH <sub>4</sub> 產生量 (kg CH <sub>4</sub> /kg COD)	30	Bo 採 IPCC 預設係數值 (0.25)，不確定引用 IPCC 預設值 30% 計算。
MCF <sub>j</sub> ：甲烷修正係數	20	參考 IPCC 建議集中管理完善的處理廠不確性 10%，管理不完善者 30%。本清冊保守以不確定值 20% 計算。
R：甲烷移除量 (kg CH <sub>4</sub> /yr)	N/A	未納入計算。
活動強度不確定性計算結果	14.14	
排放係數不確定性計算結果	36.06	
排放量不確定性計算結果	38.73	

表 7.6.11 臺灣 2014 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 (CO <sub>2</sub> -e)	不確定性 (%)	不確定性佔排放量 (%)	總不確定性 (%)	
A. 固廢處理	A.1 妥善掩埋	甲烷	1,223.1	32.64	9.36	28.0
	A.2 未妥善掩埋	甲烷	204.6	39.05	1.87	
B. 生物處理	B.1 堆肥	甲烷	20.4	22.36	0.11	
		氧化亞氮	18.3	22.36	0.10	
C. 焚化	C.1 焚化處理	二氧化碳	90.8	89.58	1.91	
		氧化亞氮	5.4	22.36	0.03	
D. 廢水處理	D.1 生活污水	甲烷	1,311.0	43.30	13.31	
		氧化亞氮	314.9	30.82	2.28	
	D.2 事業廢水	甲烷	1,075.7	38.73	9.77	
廢棄物部門排放量			4,264.3			



不確定度  $\pm 43.30\%$  比較，負向偏差減少 4.3 個百分點，正向偏差增加 3.7 個百分點。

### (3) 生活污水 $N_2O$ 排放參數機率密度函數設定與不確定性模擬

生活污水  $N_2O$  排放計算如公式 7.6.4，歷年活動數據及排放係數等參數值如表 7.6.14。

#### 公式 7.6.4：生活污水處理氧化亞氮排放公式及計算參數

$$N_2O \text{ (Kg } N_2O/\text{yr)} = (P \times \text{Protein} \times \text{Frac}_{NPR} \times F_{NON-COM} \times F_{IND-COM} - N_{SLUDGE}) \times EF_{EFFLUENT} \times 44/28$$

- P：國內人口數
- Protein：每人每年蛋白質攝取量 (kg/person/yr)
- Frac<sub>NPR</sub>：蛋白質中氮的比例 (預設值為 0.16kg N/kg protein)
- F<sub>NON-COM</sub>：廢水之非消耗蛋白質係數，已開發國家預設值 1.4，發展中國家為 1.1
- F<sub>IND-COM</sub>：下水道系統含有工業與商業廢水之排放係數 (無共排預設值為 1.0)
- N<sub>SLUDGE</sub>：因污泥而產生之 N 移除 (預設值 = 0 kg N/yr)
- EF<sub>EFFLUENT</sub>：排放係數 (IPCC 預設值 0.005 kg N<sub>2</sub>O-N/kg-N)
- 44/28：N<sub>2</sub>O/N 分子量比例

經 Crystal Ball 軟體計算生活污水氧化亞氮排放量之 5 個計算參數 (2 個活動數據、3 個排放係數) 之機率密度函數分佈，包括各參數採用值 (adopted value)，95% 信賴區間上下限數值等，各參數數常態分佈 95% 信賴區間之不確定值約與誤差傳播法 (高斯法) 數據相

同，但蒙地卡羅法之部分參數非屬常態分佈，其不確定值仍有差異 (如表 7.6.15)。經 Crystal Ball 模擬計算之排放量機率密度函數分佈結果，各取 95% 信賴區間，其活動數據不確定度為 -11.4% ~ +10.8%，排放係數不確定度為 -26.5 ~ +31.8%，排放量不確定度為 -28.8% ~ +32.6%，排放量機率密度函數分佈的型態為貝塔分佈。與誤差傳播法排放量不確定度  $\pm 30.82\%$  比較，負向偏差減少 1.98 個百分點，正向偏差增加 1.78 個百分點。

### (4) 事業廢水 $CH_4$ 排放參數機率密度函數設定與不確定性模擬

事業廢水  $CH_4$  排放計算如公式 7.6.5，歷年活動數據及排放係數等參數值如表 7.6.16。

#### 公式 7.6.5：事業廢水處理甲烷排放公式及計算參數

$$\text{甲烷排放量 (Gg } CH_4/\text{yr)} = (P_i \times W_i \times COD_i - S \times Bo \times MCF_j) - R_i$$

- TOWi：每年事業廢水之 COD 總量 (kg COD/yr)； $P_i \times W_i \times COD_i$
- i：各類事業
- P<sub>i</sub>：各事業部門生產量 (t/yr)
- W<sub>i</sub>：廢水產生量 (m<sup>3</sup>/t<sub>Product</sub>)
- COD<sub>i</sub>：化學需氧量 (kg COD/m<sup>3</sup>)
- S：廢水處理後產生有機污泥之 COD 總量 (kg COD/yr) (未納入計算，預設值為 0)
- EF<sub>i</sub>：工業之排放係數 (kg COD/yr) = Bo × MCF<sub>j</sub>
- Bo：最大  $CH_4$  產生量 (kg  $CH_4$ /kg COD)，(IPCC 預設值 0.25，厭氧處理  $CH_4$  排放係數)
- MCF<sub>j</sub>：甲烷修正係數 (採 IPCC 預設值 0.8)
- R：甲烷移除量 (kg  $CH_4$ /yr)，(未納入計算，預設值為 0)

表 7.6.12 生活污水甲烷排放歷年計算參數與排放量

年	全國人口 (千人)	污水處理率 (%)	污水 BOD 負荷 (kg/p.y)	最大甲烷生成量 (Bo)	甲烷修正係數 (MCF)	污泥移除量 (S)	甲烷回收量 (R)	全國污水甲烷排放量 (Gg CO <sub>2</sub> e)
1990	20,401	2.6	14.6	0.6	0.5	0	0	2,176.26
1995	21,357	2.8	14.6	0.6	0.5	0	0	2,274.23
2000	22,277	14.7	14.6	0.6	0.5	0	0	2,081.06
2005	22,770	24.6	14.6	0.6	0.5	0	0	1,879.51
2010	23,162	38.7	14.6	0.6	0.5	0	0	1,555.20
2011	23,225	41.8	14.6	0.6	0.5	0	0	1,480.45
2012	23,316	44.9	14.6	0.6	0.5	0	0	1,408.01
2013	23,374	47.0	14.6	0.6	0.5	0	0	1,356.48
2014	23,434	48.9	14.6	0.6	0.5	0	0	1,310.97

表 7.6.13 生活污水甲烷計算參數機率密度函數及不確定值

活動資料和排放係數	誤差傳播法		蒙地卡羅法
	不確定性範圍值 (%)	不確定性範圍值 (%)	機率密度分布型態
P：人口數	$\pm 5$	$\pm 5$	常態分佈
污水 BOD 負荷 (kg BOD/ persons/d)	$\pm 5$	-5 ~ +5	韋伯分佈
Bo：最大甲烷產生	$\pm 30$	-30 ~ +30	貝塔分佈
MCF <sub>j</sub> ：甲烷修正係	$\pm 30$	$\pm 30$	常態分佈
污水處理率 (%)	$\pm 5$	$\pm 5$	常態分佈
R：污泥去除量		0	未考慮 (R=0)，不確定以 0% 計算。
活動強度不確定性計算結果	7.07	-6.9% ~ +7.6	
排放係數不確定性計算結果	42.72	-39% ~ +46	
排放量不確定性計算結果	43.30	-39% ~ +47	貝塔分佈

經 Crystal Ball 軟體計算事業廢水甲烷排放量 3 個計算參數（1 個活動數據、2 個排放係數）之機率密度函數分佈，包括各參數採用值（adopted value），95% 信賴區間上下限數值等，各參數數常態分佈 95% 信賴區間之不確定值約與誤差傳播法（高斯法）數據相同，但蒙地卡羅法之部分參數非屬常態分佈，其不確定值仍有差異（如表 7.6.17）。經 Crystal Ball 模擬計算之活動數據、排放

係數及排放量之機率密度函數分佈結果，各取 95% 信賴區間，其活動數據不確定度為 -14% 至 +14%，排放係數不確定度為 -35% 至 +40%，排放量不確定度為 -36.7% 至 +41.9%，排放量機率密度函數分佈的型態為貝塔分佈。與誤差傳播法排放量不確定度  $\pm 38.73\%$  比較，負向偏差減少 2.03 個百分點，正向偏差增加 3.17 個百分點。

表 7.6.14 生活污水氧化亞氮排放歷年計算參數與排放量

年	全國人口 (千人)	每人每年蛋白質攝 取量 (Pretein) (公斤)	蛋白質含 N 量 (kg N/kg protein)	排放係數 (EF) (kg N <sub>2</sub> O-N/kg -N produced)	污水中非消耗蛋白 質係數 (F <sub>NON-CON</sub> )	氧化亞氮排放量 (Gg CO <sub>2</sub> e)
1990	20,401	33.84	0.16	0.005	1.1	284.50
1995	21,357	35.85	0.16	0.005	1.1	315.52
2000	22,277	35.12	0.16	0.005	1.1	322.40
2005	22,770	33.42	0.16	0.005	1.1	313.60
2010	23,162	32.21	0.16	0.005	1.1	307.44
2011	23,225	32.73	0.16	0.005	1.1	313.25
2012	23,316	32.66	0.16	0.005	1.1	313.81
2013	23,374	31.74	0.16	0.005	1.1	305.72
2014	23,434	32.61	0.16	0.005	1.1	314.91

表 7.6.15 生活污水氧化亞氮計算參數機率密度函數及不確定值

活動資料和 排放係數	誤差傳播法	蒙地卡羅法	
	不確定性 範圍值 (%)	不確定性 範圍值 (%)	機率密度分布型態
P：人口數	$\pm 5$	-5 ~ +5	常態分佈
Protein： 每人每年蛋白質攝取量 (kg/person/yr)	$\pm 10$	-10 ~ +10	貝塔分佈
Frac <sub>NPR</sub> ： 蛋白質中氮的比例 (kg N/kg protein)	$\pm 20$	-19 ~ +19	常態分佈
F <sub>NON-CON</sub> ： 污水中之非消耗蛋白質係數	$\pm 5$	-9 ~ +9	三角形分佈
EF <sub>6</sub> ： 排放係數 (kg N <sub>2</sub> O-N/kg sewage-N produced)	$\pm 20$	-20 ~ +20	常態分佈
活動強度不確定性計算結果	$\pm 11.18$	-11.4 ~ +10.8	
排放係數不確定性計算結果	$\pm 28.72$	-26.5 ~ +31.8	
排放量不確定性計算結果	$\pm 30.82$	-28.8 ~ +32.6	貝塔分佈

表 7.6.16 事業廢水甲烷排放歷年計算參數與排放量

年	TOW <sub>i</sub> ：事業廢水 COD 去 除量 (公噸) (P <sub>i</sub> ×W <sub>i</sub> ×COD <sub>i</sub> )	S <sub>i</sub> ：污泥中 COD 量 (t)	Bo：最大 CH <sub>4</sub> 產生量 (kg CH <sub>4</sub> /kg COD)	MCF <sub>j</sub> ：甲烷 修正係數	R：甲烷回收量 (t CH <sub>4</sub> /yr)	甲烷排放量 (Gg CO <sub>2</sub> e)
1990	146,137	0	0.25	0.8	0	730.69
1995	181,016	0	0.25	0.8	0	905.08
2000	166,989	0	0.25	0.8	0	834.94
2005	187,012	0	0.25	0.8	0	935.06
2010	195,863	0	0.25	0.8	0	979.31
2011	200,871	0	0.25	0.8	0	1004.35
2012	215,663	0	0.25	0.8	0	1078.31
2013	216,952	0	0.25	0.8	0	1084.76
2014	215,149	0	0.25	0.8	0	1075.75

表 7.6.17 事業廢水甲烷計算參數機率密度函數及不確定值

活動資料和 排放係數	誤差傳播法	蒙地卡羅法	
	不確定性 範圍值 (%)	不確定性 範圍值 (%)	機率密度分布型態
廢水中 COD 去除量 (t/yr)	±14	-14 ~ +14	Lognormal 分佈
S：廢水處理後產生有機污泥之 COD 總量 (kg COD/yr)	N/A	0	未考慮 (S=0)，不確定以 0% 計算。
Bo：最大 CH <sub>4</sub> 產生量 (kg CH <sub>4</sub> /kg COD)	±30	-28 ~ +32	Beta 分佈
MCF <sub>j</sub> ：甲烷修正係	±20	-20 ~ +20	Normal 分佈
R：甲烷回收量 (kg CH <sub>4</sub> /yr)	N/A	0	未考慮 (R=0)，不確定以 0% 計算。
活動強度不確定性計算結果	±14.14	-14 ~ +14	
排放係數不確定性計算結果	±36.06	-35 ~ +40	
排放量不確定性計算結果	±38.73	-36.7% ~ +41.9	Beta 分佈

### 參考文獻

1. IPCC, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2000.
2. IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.
3. 行政院內政部 2014, 「內政部統計查詢網-污水下水道系統執行概況—按區域別分」, 線上文件: <<http://statis.moi.gov.tw/micst/stmain.jsp?sys=100>> 瀏覽日期 (2015 年 05 月)。
4. 行政院內政部 2014, 「內政部統計查詢網-土地面積、戶數與人口數—按區域別分」, 線上文件: <<http://statis.moi.gov.tw/micst/stmain.jsp?sys=100>> 瀏覽日期 (2015 年 05 月)。
5. 行政院農業委員會 2014, 「糧食平衡表-每人每日蛋白質供給量」, 線上文件: <<http://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/common/CommonStatistics.aspx>> 瀏覽日期 (2015 年 05 月)。
6. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 91 年」, 2002 年 08 月。
7. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 92 年」, 2003 年 08 月。
8. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 93 年」, 2004 年 08 月。
9. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 94 年」, 2005 年 08 月。
10. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 95 年」, 2006 年 08 月。
11. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 96 年」, 2007 年 08 月。
12. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 97 年」, 2008 年 08 月。
13. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 98 年」, 2009 年 08 月。
14. 行政院環境保護署, 「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。
15. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 99 年」, 2010 年 08 月。
16. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 100 年」, 2011 年 08 月。
17. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 101 年」, 2012 年 08 月。
18. 行政院環境保護署, 「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」, 2014 年 01 月。
19. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 102 年」, 2013 年 08 月。
20. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 103 年」, 2014 年 08 月。
21. 行政院環境保護署, 「中華民國環境保護統計年報中華民國 104 年」, 2015 年 08 月。

