

第七章 廢棄物部門 (CRF SECTOR 6)

- 7.1 部門概述
- 7.2 陸地廢棄物處理
- 7.3 廢水處理
- 7.4 廢棄物焚化
- 7.5 其他

第七章

廢棄物部門 (CRF SECTOR 6)

7.1 部門概述

依據聯合國氣候變化政府間專家委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 於 1997 年出版修訂版國家溫室氣體排放清冊指南 (Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 以下簡稱 1996 IPCC 指南) 之建

議，廢棄物部門之溫室氣體排放統計範疇包括固體廢棄物掩埋處理、廢水處理、廢棄物焚化及任何其他廢棄物管理衍生之溫室氣體排放，如表 7.1.1 所示。該指南亦特別強調對廢棄物焚化二氧化碳排放估算事項：

1. 任何石化產品焚化或分解所產生之二氧化碳排放應列入計算，但應避免重複。
2. 有機廢棄物處理和腐敗分解所產生之二氧化碳不列入排放計算。

1996 IPCC 指南規範敘明，涉及能源部門之內容 (如回收掩埋場沼氣發電及大型焚化爐加入發電機制)，其溫室氣體排放應列於能源

表 7.1.1 1996 年 IPCC 指南廢棄物部門排放源分類

類別代碼與名稱		排放分類定義	排放氣體
6.A.	固體廢棄物掩埋處	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 固體廢棄物於掩埋場中有機物質在厭氧狀態下經微生物分解將產生甲烷與二氧化碳。 ✓ IPCC 建議僅列入由非生物或非有機廢棄物來源所產生之甲烷與二氧化碳。 	CO ₂ 、CH ₄
	6.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有：覆蓋材料、機械壓實、或廢棄物整平等措施。	CO ₂ 、CH ₄
	6.A.1. 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。	CO ₂ 、CH ₄
	6.A.3. 其他	其他陸地廢棄物掩埋。	CO ₂ 、CH ₄
6.B.	廢水處理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 有機物於廢水處理過程中經細菌厭氧分解所產生之甲烷與氮氧化物。 ✓ 氧化亞氮亦可能由廢水處理與人類的排泄物所釋出。 	CH ₄ 、N ₂ O
	6.B.1. 工業廢水	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 來自於工業製程之工業廢水和污泥處理等，主要行業別包括有：食品業、紡織業、紙漿及造紙業。 ✓ 計算範圍包括有：廢水收集與處理、廢水池或排放系統。 	CH ₄
	6.B.2. 生活及商業廢水	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 住宅和商業來源之民生污水與污泥處理 (包括人體排泄物)。計算範圍包括有：污水收集與處理、露天廁所、污水池或排放系統。 ✓ 由人體排泄物排放至水環境的氧化亞氮亦需計算之。 	CH ₄ 、N ₂ O
	6.B.3. 其他	其他本廢水處理活動所釋放出之溫室氣體。	
6.C.	廢棄物焚化	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 所有廢棄物焚化處理設施，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之統計。 ✓ 而農作物燃燒所產生的排放應列於農業部門統計。 	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
6.D.	其他	其他本部門處理活動所釋放出之溫室氣體，包括廢棄物生物處理。	CH ₄ 、N ₂ O

部門，必須從廢棄物部門予以扣除，以避免部門間重覆計算。

故依據 1996 IPCC 指南廢棄物部門排放源分類原則，固體廢棄物掩埋處理細項之溫室氣體排放量，已參照回收甲烷發電之數據予以修正其排放量，且廢棄物焚化細項之排放量亦依據大型焚化爐加入發電機制之操作數量予以修正。據此，臺灣以 1996 IPCC 指南所計算之廢棄物部門排放統計彙整如表 7.1.2 所示，另考量

堆肥部分實屬應納入計算之細項，故參照 2006 IPCC 指南估算「6.D. 其他」堆肥之排放量。

依據 1996 IPCC 指南計算，並將回收掩埋場甲烷發電及大型焚化爐加入發電機制修正到能源部門排放後，廢棄物部門歷年溫室氣體排放就來源分類之趨勢如圖 7.1.1 所示，2005 年以前來源比例以掩埋處理為最大宗（約 50% 以上），於 1990 年約占 85%；進行甲烷回收發電修正後，2008 年後來源比例以工業廢水約占

表 7.1.2 臺灣 1990 至 2012 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	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	工業廢水甲烷產生量	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 ^a	堆肥氧化亞氮產生量 ^a	廢棄物部門溫室氣體排放
1990	9,456.2	493.3	342.4	767.2	10.8	2.9	9.5	10.5	11,092.9
1991	8,573.1	498.2	341.6	906.8	4.0	1.1	0.5	0.5	10,325.8
1992	11,874.8	502.7	353.6	941.3	36.0	9.5	0.7	0.7	13,719.3
1993	12,519.6	507.1	370.0	905.2	32.2	9.3	0.4	0.4	14,344.2
1994	14,375.8	511.3	370.1	922.4	69.3	15.3	0.1	0.1	16,264.4
1995	12,399.0	515.3	379.8	950.3	199.6	48.4	0.5	0.6	14,493.5
1996	12,998.3	518.3	382.9	1,009.0	224.5	50.8	0.2	0.2	15,184.2
1997	13,129.9	521.4	399.2	984.6	46.6	10.1	1.2	1.3	15,094.3
1998	12,983.5	516.0	379.4	943.6	70.1	15.1	0.0	0.0	14,907.7
1999	12,262.7	484.9	390.2	911.0	35.9	8.6	1.6	1.8	14,096.8
2000	8,321.8	457.4	388.0	876.7	105.0	21.2	0.2	0.3	10,170.7
2001	5,946.0	448.3	373.2	878.3	382.1	79.8	0.0	0.0	8,107.7
2002	4,004.2	436.6	386.7	886.3	408.6	69.9	0.3	0.3	6,192.9
2003	3,148.7	428.7	393.4	975.4	294.1	63.4	1.9	2.1	5,307.6
2004	3,042.8	408.3	377.7	923.7	279.5	61.3	5.6	6.2	5,105.1
2005	2,061.1	388.6	377.4	981.8	191.9	72.8	8.2	9.1	4,090.9
2006	1,669.2	368.9	373.1	983.0	249.1	80.9	9.5	10.5	3,744.1
2007	998.7	344.9	382.5	1,100.1	299.7	78.9	12.1	13.5	3,230.3
2008	433.1	323.5	352.5	1,061.3	235.9	54.7	13.8	15.3	2,490.1
2009	289.8	295.9	363.5	1,073.3	89.3	22.9	15.1	16.7	2,166.4
2010	303.5	271.2	370.0	1,028.3	114.2	28.8	17.5	19.4	2,153.1
2011	215.1	243.2	377.0	1,054.6	67.1	19.0	22.0	24.3	2,022.2
2012	143.4	215.1	378.0	1,132.2	33.8	9.4	20.5	22.7	1,955.2

說明：a 堆肥項目採用 2006 IPCC 方式估算。

43% 以上，以及生活廢水占 27% 以上為主要排放源，於 2012 年工業廢水比例約 58%，生活廢水比例約 30%，而掩埋處理比例降為 7%。

有關排放各類溫室氣體比例之逐年趨勢如圖 7.1.2 所示，長期均以甲烷為主（約 73% 以

上），1990 年時約達 97%；而 2012 年各類溫室氣體排放量，甲烷約占 77%，氧化亞氮約 21%，二氧化碳約是 2%。

2012 年臺灣廢棄物部門整體溫室氣體排放約達 1,955 千公噸二氧化碳當量，其中掩埋

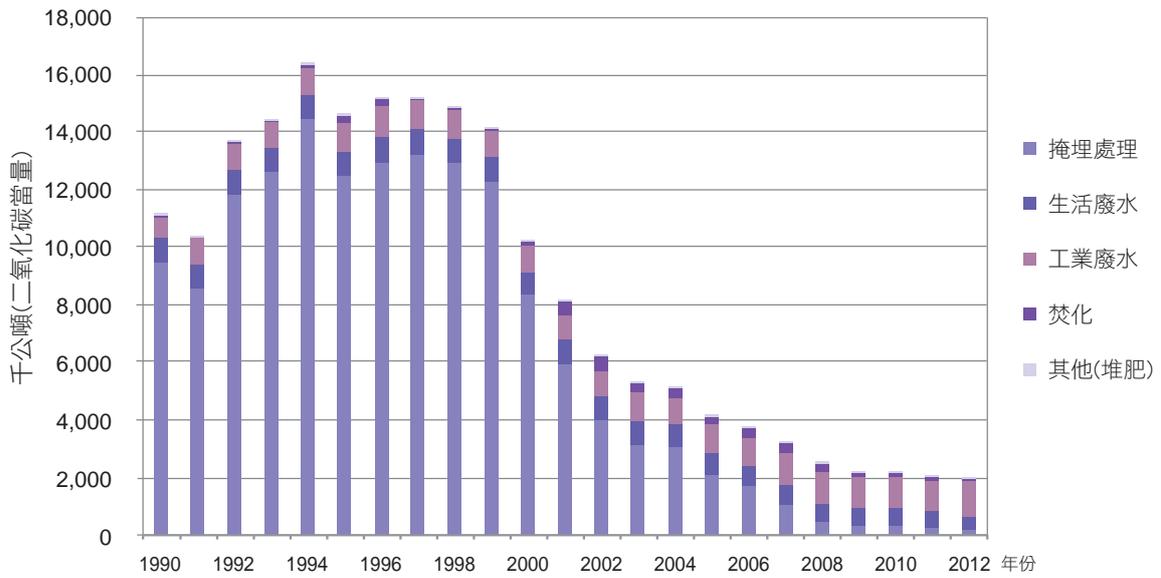


圖 7.1.1 臺灣 1990 至 2012 年廢棄物部門溫室氣體排放趨勢

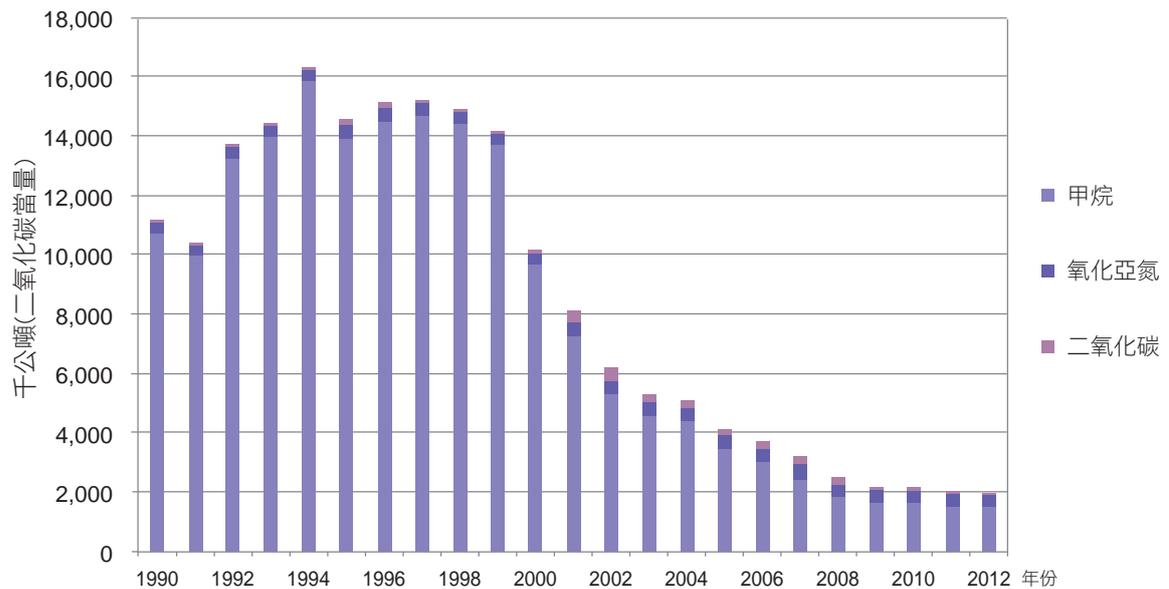


圖 7.1.2 臺灣 1990 至 2012 年廢棄物部門各類溫室氣體排放趨勢

處置為 143 千公噸二氧化碳當量、生活廢水為 593 千公噸二氧化碳當量、工業廢水為 1,132 千公噸二氧化碳當量、焚化為 43 千公噸二氧化碳當量、其他（堆肥）為 43 千公噸二氧化碳當量；而各類溫室氣體排放量分別是，甲烷為 1,511 千公噸二氧化碳當量、氧化亞氮為 410 千公噸二氧化碳當量、二氧化碳為 34 千公噸二氧化碳當量。相較 1990 年，排放量減少 82%，而較 2011 年減少 3%。

7.2 陸地廢棄物處理 (6.A)

針對一般廢棄物掩埋場分為「有管理」及「無管理」二類，分別就 6.A.1「妥善管理之廢棄物掩埋場」及 6.A.2「未妥善管理之廢棄物掩埋場」分述其內容。

7.2.1 妥善管理之廢棄物掩埋場 (6.A.1)

1. 排放源及匯分類的描述

依據 2013 年中華民國環境保護統計年報之分類總結說明 2012 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。2012 年執行機關垃圾處理方式以焚化占 43.87%（較 2011 年略減 2.47%）居首位，資源回收占 42.40%（增 2.55%）次之，廚餘回收占 11.17%（增 0.33%）再次；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。

妥善管理廢棄物掩埋場之活動數據是參閱中華民國環境保護統計年報 - 2003 年至 2013 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」及「化學分析含碳量」百分比數據。

2. 方法論議題

(1) 計算方法

依據 1996 年 IPCC 指南 - 公式 7.2.1.1，係根據質量平衡法以及估計廢棄物中的可分解有機碳含量來計算甲烷的產生量，且假設所有產生的甲烷均於當年度產生。

公式 7.2.1.1：

$$\text{甲烷排放量 (Gg/yr)} = (\text{MSWT} \times \text{MSWF} \times \text{MCF} \times \text{DOC} \times \text{DOCF} \times F \times 16/12 - R) \times (1 - \text{OX})$$

MSWT：總廢棄物量 (Municipal Solid Waste) (Gg/yr)

MSWF：總廢棄物送至掩埋場比例

MCF：甲烷修正係數 (Methane Correction Factor) (比例)

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

DOC_F：實際分解為沼氣的比例 (fraction dissimilated DOC)

F：掩埋場廢氣中甲烷比例 (預設為 0.5)

16/12：碳轉變成甲烷之質量變動係數

R：甲烷回收量 (Gg/yr)

OX：氧化係數 (預設值為 0)

(2) 排放係數

依據公式 7.2.1.1 針對各掩埋場分類而有不同的「甲烷修正係數 (MCF)」，來計算不同

掩埋場之甲烷排放潛量，彙整所有相關參數如表 7.2.1.1 所示，其餘相關參數說明如下。

A. 甲烷修正係數 (Methane Correction Factor, MCF)

甲烷修正係數表示某種型態掩埋場之甲烷生成潛勢，根據送至不同型態之廢棄物掩埋場之廢棄物比例，以加權平均求得總廢棄物掩埋量之甲烷修正係數。表 7.2.1.2 為 1996 IPCC 指南掩埋場型式與對應之甲烷修正係數，由此部分為妥善管理之掩埋場，故甲烷修正係數預設值為 1。

B. 可分解有機碳含量 (Degradable Organic Carbon, DOC)

可分解有機碳含量取決於廢棄物組成，可根據不同組成之碳含量以加權平均的方式計算求得。表 7.2.1.3 為 1996 IPCC 指南廢棄物之可分解有機碳含量，主要定義為垃圾中紙類纖維類、庭園公園廢棄物、廚餘和木竹稻草等類別含碳的成分，DOC 含量之計算並可由下列三種方法求取：

- 使用臺灣之實測數據
- 由臺灣之垃圾組成並套用表 7.2.1.3 所列各類垃圾的建議 DOC 值
- 使用其他國家之建議值

表 7.2.1.1 1996 IPCC 指南估算固體廢棄物掩埋處理產生甲烷排放計算一覽表

排放氣體	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
總廢棄物量 (MSWT)	國內資料自行確定	<ul style="list-style-type: none"> ● 依據國內不同廢棄物處理方式之垃圾處理量之統計數據。 ● 國內一般廢棄物送至廢棄物掩埋場之總量包括衛生掩埋量與一般掩埋量。 	中華民國環境保護年報
總廢棄物量送至掩埋場比例 (MSWF)			
甲烷修正參數 (MCFj)	分為妥善管理、未妥善管理 (掩埋深度 >5 公尺)、未妥善管理 (掩埋深度 <5 公尺)、未分類掩埋場等四類參數。	<ul style="list-style-type: none"> ● 依據 IPCC 針對不同型態之固態廢棄物掩埋場所提供之甲烷修正係數。 ● 衛生掩埋採妥善管理 1.0 及其他則採未分類 0.6 計算。 	IPCC 預設值
可分解有機碳含量 (DOC)	依據不同之廢棄物分解有機碳含量的預設值計算 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 紙類和紡織品類預設值 40% ▶ 花 (公) 園廢棄物預設值 17% ▶ 廚餘類預設值 15% ▶ 木竹稻草類預設值 30% 	<ul style="list-style-type: none"> ● 依據我國垃圾性質分析含碳量計算與 IPCC 預設值計算 ● 由於我國垃圾性質分析含碳量含有有機碳與礦物碳成分，因此取性質分析含碳量與 IPCC 預設值兩者較低者作為計算值。 	中華民國環境保護年報 IPCC 預設值
轉換成沼氣的比例 (DOCF)	$0.014T + 0.28$ ，其中 T 為溫度，若假設溫度為 35°C，則可估算出轉換為沼氣的比例為 0.77。	使用以 IPCC 預設值 0.77 計算。	IPCC 預設值
掩埋場廢氣中甲烷比例 (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	甲烷回收量依據行政院環境保護署衛生掩埋沼氣處理效益統計計算。	行政院環境保護署
氧化係數 (OX)	預設值 0	採用 IPCC 預設值 0。	IPCC 預設值。

故依據上述各垃圾源 DOC 值及臺灣垃圾組成，計算可分解有機碳含量。

C. 實際分解為沼氣的比例 (DOC_f)

實際分解為沼氣的比例係指 DOC 轉化為沼氣的比率，沼氣轉化及生成量，與掩埋場中之厭氧區域的溫度有關，約為 $0.014T+0.28$ ，T 為溫度。假設掩埋場內厭氧反應區的溫度為 35°C 且不隨外界溫度改變，則可算出轉化率為 0.77，此為 1996 IPCC 指南預設值。

(3) 活動數據

依據中華民國環境保護統計年報，彙整 1990 至 2012 年垃圾清運之「衛生掩埋」數據，及 1992 至 2012 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，如表 7.2.1.4 所示。

(4) 排放量

妥善管理之廢棄物掩埋場產生之甲烷排放量，係依據公式 7.2.1.1 計算，初步計算結果如表 7.2.1.5 及圖 7.2.1.1 所示。由於 1997 年至 1999 年推動資源回收、廢棄物零掩埋、垃圾焚化處理政策，故 2000 年起垃圾掩埋處量大幅下降，2012 年相較 1990 年垃圾掩埋量減少 98.5%，2012 年相較 2011 年垃圾掩埋量減少 28.2%。另自 1999 年起回收沼氣進行發電，即甲烷回收量 (R)，此部分應歸屬能源部門計算；回收沼氣發電其甲烷回收量於 2002 年達到最大值 (約 24 千公噸)，2012 年發電之甲烷回收量比列約 -42%。

由於中央政府於 1991 年訂定「垃圾處理方案」，以「焚化為主、掩埋為輔」為垃圾處理之主軸，並訂定「臺灣地區垃圾資源回收 (焚化) 廠興建計畫」及「鼓勵公民營機構興建營

表 7.2.1.2 1996 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
妥善管理之掩埋場	1.0
未妥善管理之掩埋場 (深層掩埋 ≥5 公尺)	0.8
未妥善管理之掩埋場 (淺層掩埋 < 5 公尺)	0.4
預設值 (未分類之掩埋場)	0.6

註：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 (即廢棄物直接至特定的儲貯存地區、某種程度的廢棄物篩選、某種程度的控制燃燒) 且會包含以下其中一種：覆蓋材料、機械壓實、或廢棄物整平等。

表 7.2.1.3 1996 IPCC 指南廢棄物之可分解有機碳含量 (DOC)

垃圾源	DOC (重量百分比) %
A. 紙類纖維	40
B. 庭園廢棄物	17
C. 廚餘	15
D. 木竹稻草	30

運垃圾焚化廠推動方案」，興建垃圾焚化廠，以達成垃圾焚化處理目標，加上近年資源回收與再利用成效顯著，2012年妥善管理廢棄物掩埋場甲烷排放量相較1990年減少98%，較2011年也減少33%。

(5) 完整性

中華民國環境保護統計年報完整記載1990至2012年衛生掩埋量，廢棄物組成百分比數據僅記載1992至2012年，缺少1991年及1992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

廢棄物掩埋產生甲烷排放量推估之不確定性來自推估方法的不確定性，與資料不確定性。

(1) 推估法之不確定性

1996 IPCC 指南以質量平衡法推估掩埋場甲烷產生量，此推估法假設甲烷生成量為掩埋場當年垃圾所釋放，但實際當年垃圾甲烷要完全產出可能需要數年至數十年，此為本推估法主要的誤差來源。

表 7.2.1.4 臺灣 1990 年至 2012 年妥善管理廢棄物掩埋場活動數據統計表

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 (%)	化學分析含碳量 (%)
1990	3,979.6	29.44	2.72	1.31	9.67	4.66	-	-	-
1991	4,323.5	22.80	1.82	0.37	11.79	5.09	-	-	-
1992	5,087.5	24.86	3.97	1.73	25.73	5.06	19.14	2.45	16.50
1993	5,090.8	27.84	5.13	1.55	23.47	5.79	18.01	1.15	17.04
1994	5,574.4	29.98	4.81	0.80	23.50	4.69	18.90	4.31	19.08
1995	4,362.8	32.17	6.21	0.88	17.94	5.82	18.27	3.34	18.60
1996	4,824.0	30.95	5.05	1.08	18.97	5.89	17.83	4.72	18.99
1997	5,129.7	29.13	5.80	1.13	24.90	4.86	19.57	2.11	20.44
1998	5,598.0	32.77	5.27	0.83	18.29	4.81	20.14	4.54	18.47
1999	5,366.9	35.83	5.20	0.60	21.83	4.89	19.85	1.97	18.87
2000	3,822.1	26.37	6.06	1.35	27.76	3.36	22.00	0.44	21.12
2001	2,996.8	26.55	4.81	0.48	27.32	4.06	21.10	5.06	18.24
2002	2,116.4	30.01	3.65	0.60	23.34	4.43	20.23	8.17	20.45
2003	1,700.4	32.97	3.78	0.22	27.19	3.88	21.36	3.58	18.71
2004	1,474.2	31.56	4.90	0.87	29.76	4.91	20.60	0.98	20.60
2005	1,184.6	38.64	2.38	0.43	38.15	1.93	13.78	0.67	17.98
2006	851.0	44.30	1.84	0.19	34.57	1.74	14.63	0.36	20.58
2007	504.9	41.75	3.20	0.51	32.86	1.83	17.13	0.33	21.44
2008	236.1	44.54	2.63	0.36	30.56	1.99	17.28	0.48	24.14
2009	185.8	38.87	2.29	0.41	37.42	1.76	16.74	0.44	22.53
2010	181.8	39.57	2.52	0.51	35.68	1.74	16.57	0.52	22.90
2011	142.2	38.31	2.04	0.23	39.21	1.39	15.66	0.61	21.70
2012	102.1	38.85	2.52	0.20	38.33	1.46	15.61	0.49	22.36

資料來源：行政院環境保護署（2013）。中華民國環境保護統計年報。

表 7.2.1.5 臺灣 1990 至 2012 年妥善管理廢棄物掩埋場產生甲烷排放量

年	衛生掩埋 (千公噸)	廢棄物組成		可分解 有機碳 (DOC)(%)	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)
		加權 (MCF)	組成分析 含碳量 (%)							
1990	3,979.6	1.00	15.71	15.71	0.77	0.5	1.333	-	0	320.90
1991	4,323.5	1.00	13.14	13.14	0.77	0.5	1.333	-	0	291.63
1992	5,087.5	1.00	16.91	16.50	0.77	0.5	1.333	-	0	430.80
1993	5,090.8	1.00	18.45	17.04	0.77	0.5	1.333	-	0	445.19
1994	5,574.4	1.00	18.85	18.85	0.77	0.5	1.333	-	0	539.20
1995	4,362.8	1.00	19.79	18.60	0.77	0.5	1.333	-	0	416.45
1996	4,824.0	1.00	19.01	18.99	0.77	0.5	1.333	-	0	470.14
1997	5,129.7	1.00	19.17	19.17	0.77	0.5	1.333	-	0	504.53
1998	5,598.0	1.00	19.40	18.47	0.77	0.5	1.333	-	0	530.63
1999	5,366.9	1.00	21.15	18.87	0.77	0.5	1.333	3.13	0	516.62
2000	3,822.1	1.00	18.14	18.14	0.77	0.5	1.333	5.48	0	350.42
2001	2,996.8	1.00	17.86	17.86	0.77	0.5	1.333	20.19	0	254.50
2002	2,116.4	1.00	18.29	18.29	0.77	0.5	1.333	24.22	0	174.48
2003	1,700.4	1.00	19.94	18.71	0.77	0.5	1.333	21.06	0	142.21
2004	1,474.2	1.00	20.52	20.52	0.77	0.5	1.333	15.47	0	139.78
2005	1,184.6	1.00	22.71	17.98	0.77	0.5	1.333	13.39	0	95.92
2006	851.0	1.00	24.16	20.58	0.77	0.5	1.333	11.52	0	78.36
2007	504.9	1.00	23.46	21.44	0.77	0.5	1.333	10.15	0	45.41
2008	236.1	1.00	24.05	24.05	0.77	0.5	1.333	8.58	0	20.57
2009	185.8	1.00	22.61	22.53	0.77	0.5	1.333	7.77	0	13.71
2010	181.8	1.00	22.71	22.71	0.77	0.5	1.333	6.88	0	14.30
2011	142.2	1.00	22.44	21.70	0.77	0.5	1.333	5.60	0	10.24
2012	102.1	1.00	22.74	22.36	0.77	0.5	1.333	4.89	0	6.82

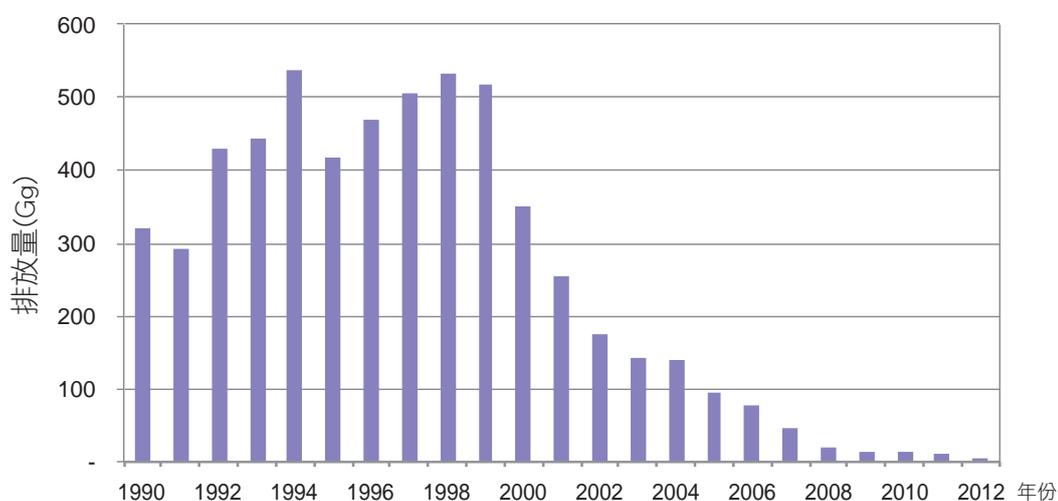


圖 7.2.1.1 臺灣 1990 至 2012 年妥善管理廢棄物掩埋場產生甲烷排放趨勢

因此 2006 IPCC 指南以一階衰減法推估掩埋場甲烷產生量，一階衰減法以甲烷產生率常數 k 定義甲烷產生速率，其與廢棄物中可分解有機碳 (DOC) 分解到其初始填埋量的一半時的時間有關，即半生命期 ($t_{1/2}$)。依 IPCC 資料顯示，從美國、英國和荷蘭收集掩埋場實際測量資料顯示 k 值的範圍每年在 0.03 到 0.2，最高的衰減速率值 $k=0.2$ 或半生命期約為 3 年，若掩埋場濕度條件適合和可分解廢棄物組成有關，如食品廢棄物；而較慢的衰減速率值 $k=0.03$ 或半生命期約為 23 年，如掩埋環境較乾燥，有較多不易分解的廢棄物，如木屑和紙張等。

IPCC 2000 年良好作法指南及不確定性管理²⁾ (Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 以下簡稱 2000 GPG) 對缺乏本土掩埋場 k 值的預設值為 0.05，半生命期約為 14 年。而 2006 年 IPCC 指南已提供各類廢棄物掩埋場環境特性及成份組成之反應常數 (k) 值，可供選擇並加以利用，以加權計算甲烷產生率常數 k 。

因此對掩埋場甲烷產生量之估算，採質量平衡法對單一年度掩埋量而言，會高估前期排放量，低估後期排放量；一階衰減法，各年產氣量分佈則較接近實際情形。

(2) 資料不確定性

此類的不確定性包括活動數據參數及排放係數之不確定性。推估公式中的每一個估算因

子均有其不準確性，舉例而言，公式 7.2.1.1 中的四項推估係數 (MCF、DOC、DOC_F、F) 其誤差各為 10% 時，則總甲烷排量的誤差大約為 20%，若因推估係數的誤差範圍增至 $\pm 20\%$ 時，則總甲烷排量的誤差將擴大為 40%。

2006 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 7.2.1.6。以下說明各重要活動數據及推估係數的不確定性：

A. 垃圾量及成分組成：垃圾清運管理數據資料的品質、直接影響甲烷排量推估之準確度。引用國家精確的統計數據 (如環境保護年報)，可改善資料品質，如所有進掩埋場垃圾都進行秤重，其數據不確定範圍約 $\pm 10\%$ ；成分組成依取樣分析頻率，其不確定範圍約 $\pm 10 \sim 30\%$ 。

B. 可分解有機碳：在推估甲烷排量過程中，可分解有機碳 (DOC) 含量的估計最為重要，些微差異將會嚴重影響推估總量。各國由於垃圾成分的差異，DOC 值自然也不相同，使用 IPCC 預設值其不確定範圍約 $\pm 20\%$ 。

臺灣垃圾中的 DOC 由 15~22% 不等，平均值大約為 19.3%，然而大多數縣市的 DOC 仍在 18% 左右。如圖 7.2.1.2 所示，其分布有較佳的趨中性。

C. 甲烷修正係數 (MCF)：垃圾掩埋的操作方式將顯著影響甲烷排量的估算。不同的管理操作方式會影響甲烷的生成量估算，對妥善管理之廢棄物掩埋場，MCF 採 1.0，其不確定範

2 IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Enmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. and Tanabe, K. (Eds). IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

圍約 -10%~0%；未妥善管理之掩埋場，MCF 採 0.6，其不確定範圍約 -50%~+60%。

在 2000 年行政院環境保護署「臺灣地區廢棄物廢水部門溫室氣體排放推估計畫」報告中彙整了各縣市的垃圾及水肥特性，其中與排放甲烷有密切關係的甲烷修正因子（MCF），其數值範圍 0.55~1.00，大多數縣市的 MCF 接近 1.0，部分地區則小於 0.8，分布如圖 7.2.1.3。

D. 逸散至大氣的甲烷氧化因數（OX）：氧化因數（OX）是指掩埋場排放的甲烷在土壤或其它覆蓋廢棄物的材料中發生氧化的部分甲烷量，如果氧化因數為 0，則表示沒有氧化過程發生；氧化因數取值為 1，則表示 100% 的甲烷氣體被氧化。相關研究顯示，衛生垃圾填

埋比未妥善管理的垃圾堆置場具有較高的氧化率。大多數擁有管理比較完善的固體廢棄物處理場，可假定氧化因數 0.1 是合理的；在發展中國家由於沒有比較細化的管理方式，氧化因數或許接近 0。當 OX 使用非零值時，則應當說明非零值之不確定性，本計畫之估算設定 OX 為零。

（3）時間序列的一致性

甲烷排放之估算方法，係採用 1996 指南建議之「質量平衡法」公式進行估算，各年期（1990 至 2012 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 至 2012 年垃圾清運之「衛生掩埋」數據，及 1992 至 2012 年可燃分之「紙類」、

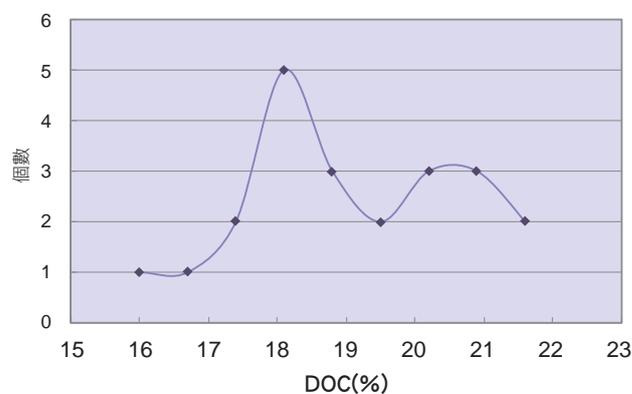


圖 7.2.1.2 臺灣各縣市垃圾可分解碳成分（DOC）之分布

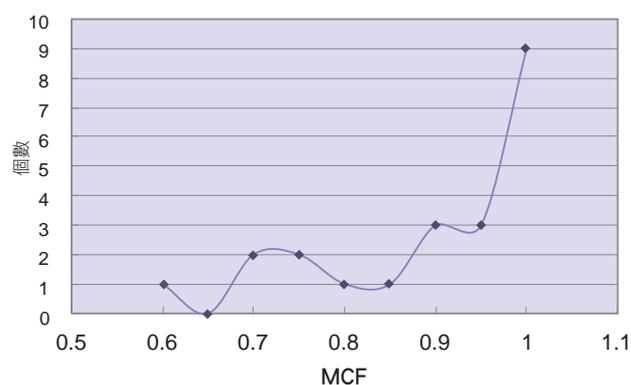


圖 7.2.1.3 臺灣各縣市垃圾甲烷轉化率（MCF）之分布

「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，此部份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」報告中所記錄之該兩年期數據，以建立各年期排放估算之完整性。

4. 特定排放源的品質保證 (Quality Assurance, QA) 及品質控制 (Quality Control, QC) 及查證

符合方法 I (Tier I)，為利用國家妥善管理廢棄物掩埋場活動數據為基礎，以 IPCC 建議排放係數，並參考 2000 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 2013 年 12 月 13 日及 2014 年 01

表 7.2.1.6 掩埋場甲烷排放估算之不確定性^[8]

活動資料和各排放係數	不確定性範圍
城市固體廢棄物總量 (MSWT)	特定國家： 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 CH ₄ 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 CH ₄ 量。 ±10%：如果現地量測。 ±50%：如果未現地量測。
氧化係數 (OX)	當 OX 使用非零值時，則 OX 需納入不確定性分析，應當說明非零值之各不確定性。
半衰期 (t _{1/2})	IPCC 提供各種廢棄物的半衰期範圍值，使用者應納入不確定說明。

8 IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (Eds). IPCC/IGES, Kanagawa, Japan.

月 23 日召開二次專家諮詢會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性，以作為排放量估算及研究之參考。

參考 2000 年 IPCC 良好作法指南及不確定性管理^[2] (Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 以下簡稱 2000 GPG) 中「方法 I 一般清單水準品質控制程序」(如表 7.2.1.7)，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。

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經查證，相關參數及活動係數之引用已說明確認，符合 IPCC 2000 GPG。下一年度如前述各年期排放估算採用之

表 7.2.1.7 妥善管理之廢棄物掩埋場一般清單品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	<ul style="list-style-type: none"> ● 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料（垃圾衛生掩埋、垃圾組成）和排放因數（IPCC 建議值）的種類並確保其正確紀錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認各欄位單位標記的準確性 ● 確認整個計算過程中單位使用的準確性 ● 確認轉換因數的準確性 ● 無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認引用適用多種排放源類別的活動水準資料常數與參數之一致性與複檢結果
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 ● 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查提供不確定性估算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	<ul style="list-style-type: none"> ● 詳細登錄資料來源引用與版本差異 ● 檢查歸檔並存儲的清單資料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	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 ● 確認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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 ● 本年度並無重新計算情事

2 IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Emmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. and Tanabe, K. (Eds). IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

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量活動數據與組成僅有全國之彙整數據，建議主管單位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。

7.2.2 未妥善管理之廢棄物掩埋場 (6.A.2)

1. 排放源及匯分類的描述

依據 2013 年中華民國環境保護統計年報之分類總結說明 2012 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；其中掩埋又區分為「衛生」與「一般」掩埋。此未妥善管理之廢棄物掩埋則屬一般掩埋、堆置、與其他處理方式。

未妥善管理之廢棄物掩埋場之活動數據是參閱中華民國環境保護統計年報 -2003 年至 2013 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「一般掩埋」、「堆置」、「其他」數據，即非衛生掩埋部分之垃圾量；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」及「化學分析含碳量」百分比數據。

2. 方法論議題

(1) 計算方法

依據 1996 IPCC 指南 - 公式 7.2.1.1，係根據質量平衡法以及估計廢棄物中的可分解有機碳含量來計算甲烷的產生量，且假設所有產生的甲烷均於當年度產生。

(2) 排放係數

依據公式 7.2.1.1 針對不同的掩埋場分類將賦予不同的「甲烷修正係數 (MCF)」，來計算不同掩埋場之甲烷排放潛量，彙整所有相關參數如表 7.2.1.1 所示，其餘相關參數說明如下。

A. 甲烷修正係數 (Methane Correction Factor, MCF)

甲烷修正係數表示某種型態掩埋場之甲烷生成潛勢，根據送至不同型態之廢棄物掩埋場之廢棄物比例，以加權平均求得總廢棄物掩埋量之甲烷修正係數。表 7.2.1.2 為 1996 IPCC 指南掩埋場型式與對應之甲烷修正係數，由此部分為未妥善管理之掩埋場，故甲烷修正係數選擇預設值 (未分類之掩埋場) 預設值為 0.6。

B. 可分解有機碳含量 (Degradable Organic Carbon, DOC)

如 7.2.1(2) 排放係數 B 之說明內容，由臺灣垃圾組成並套用表 7.2.1.3 所列各類垃圾的建議 DOC 值，計算可分解有機碳含量。

C. 實際分解為沼氣的比例 (DOC_f)

如 7.2.1(2) 排放係數 C 之說明內容，掩埋場內厭氧反應區的溫度為 35°C 且不隨外界溫度改變，則可算出轉化率為 0.77，此為 1996 年 IPCC 預設值。

(3) 活動數據

依據中華民國環境保護統計年報，彙整 1990 至 2012 年垃圾清運之「一般掩埋」、「堆置」、「其他」數據，及 1992 年至 2012 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，如表 7.2.2.1 所示。

(4) 排放量

未妥善管理之廢棄物掩埋場產生之甲烷排放量係依據公式 7.2.1.1 計算，初步計算結果如

表 7.2.2.2 及圖 7.2.2.1 所示。由於目前垃圾掩埋沼氣回收處理僅針對衛生掩埋，故未妥善管理之廢棄物掩埋場之甲烷回收量 (R) 為零。由於民國 73 年以前，臺灣的垃圾處理方式大多為任意棄置，垃圾處理設施亦較為簡陋，不符合衛生條件，中央政府於 73 年訂定「都市垃圾處理方案」時以掩埋為主，協助地方政府興設衛生掩埋場，來妥善處理垃圾。嗣後因民眾對環境品質要求日益提昇，加上焚化技術愈見成熟，中央政府於 1991 年訂定「垃圾處理方案」，以「焚化為主、掩埋為輔」為垃圾處理

表 7.2.2.1 臺灣 1990 至 2012 年未妥善管理廢棄物掩埋場活動數據統計表

年	一般掩埋 (千公噸)			加權 (MCF)	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 (%)	化學分析含碳量 (%)
1990	2,046.6	-	627.8	0.6	29.44	2.72	1.31	9.67	4.66	-	-	-
1991	2,409.3	-	471.9	0.6	22.80	1.82	0.37	11.79	5.09	-	-	-
1992	2,148.9	-	501.6	0.6	24.86	3.97	1.73	25.73	5.06	19.14	2.45	16.50
1993	2,449.6	-	427.9	0.6	27.84	5.13	1.55	23.47	5.79	18.01	1.15	17.04
1994	2,058.6	-	446.0	0.6	29.98	4.81	0.80	23.50	4.69	18.90	4.31	19.08
1995	2,537.6	-	500.0	0.6	32.17	6.21	0.88	17.94	5.82	18.27	3.34	18.60
1996	2,090.5	-	454.8	0.6	30.95	5.05	1.08	18.97	5.89	17.83	4.72	18.99
1997	1,536.4	-	508.9	0.6	29.13	5.80	1.13	24.90	4.86	19.57	2.11	20.44
1998	1,088.9	296.5	155.4	0.6	32.77	5.27	0.83	18.29	4.81	20.14	4.54	18.47
1999	857.3	245.2	56.2	0.6	35.83	5.20	0.60	21.83	4.89	19.85	1.97	18.87
2000	697.1	119.1	4.7	0.6	26.37	6.06	1.35	27.76	3.36	22.00	0.44	21.12
2001	433.3	73.0	14.6	0.6	26.55	4.81	0.48	27.32	4.06	21.10	5.06	18.24
2002	224.5	55.1	8.0	0.6	30.01	3.65	0.60	23.34	4.43	20.23	8.17	20.45
2003	113.1	20.2	0.7	0.6	32.97	3.78	0.22	27.19	3.88	21.36	3.58	18.71
2004	63.6	16.1	1.2	0.6	31.56	4.90	0.87	29.76	4.91	20.60	0.98	20.60
2005	35.2	4.9	0.1	0.6	38.64	2.38	0.43	38.15	1.93	13.78	0.67	17.98
2006	13.3	2.7	1.7	0.6	44.30	1.84	0.19	34.57	1.74	14.63	0.36	20.58
2007	-	-	32.5	0.6	41.75	3.20	0.51	32.86	1.83	17.13	0.33	21.44
2008	-	-	0.7	0.6	44.54	2.63	0.36	30.56	1.99	17.28	0.48	24.14
2009	-	-	1.3	0.6	38.87	2.29	0.41	37.42	1.76	16.74	0.44	22.53
2010	-	-	2.2	0.6	39.57	2.52	0.51	35.68	1.74	16.57	0.52	22.90
2011	-	-	0.1	0.6	38.31	2.04	0.23	39.21	1.39	15.66	0.61	21.70
2012	-	-	0.1	0.6	38.85	2.52	0.20	38.33	1.46	15.61	0.49	22.36

資料來源：行政院環境保護署 (2013)。中華民國環境保護統計年報。

表 7.2.2.2 臺灣 1990 至 2012 年未妥善管理廢棄物掩埋場產生甲烷排放量

年	一般掩埋 (千公噸)	加權 (MCF)	廢棄物組成		有機物分 解比例 (DOC _F)	甲烷生 成比例 (F)	轉換係數 16/12	甲烷回 收量 (R) (Gg)	氧化係 數 (OX)	甲烷排放 量 (Gg)
			組成分析 含碳量 (%)	可分解有機 碳 (DOC)(%)						
1990	2,674.4	0.6	15.71	15.71	0.77	0.5	1.333	-	0	129.39
1991	2,881.3	0.6	13.14	13.14	0.77	0.5	1.333	-	0	116.61
1992	2,650.5	0.6	16.91	16.50	0.77	0.5	1.333	-	0	134.67
1993	2,877.5	0.6	18.45	17.04	0.77	0.5	1.333	-	0	150.98
1994	2,504.5	0.6	18.85	18.85	0.77	0.5	1.333	-	0	145.36
1995	3,037.6	0.6	19.79	18.60	0.77	0.5	1.333	-	0	173.97
1996	2,545.3	0.6	19.01	18.99	0.77	0.5	1.333	-	0	148.83
1997	2,045.3	0.6	19.17	19.17	0.77	0.5	1.333	-	0	120.70
1998	1,540.9	0.6	19.40	18.47	0.77	0.5	1.333	-	0	87.64
1999	1,158.6	0.6	21.15	18.87	0.77	0.5	1.333	-	0	67.32
2000	820.9	0.6	18.14	18.14	0.77	0.5	1.333	-	0	45.86
2001	520.9	0.6	17.86	17.86	0.77	0.5	1.333	-	0	28.65
2002	287.5	0.6	18.29	18.29	0.77	0.5	1.333	-	0	16.20
2003	134.0	0.6	19.94	18.71	0.77	0.5	1.333	-	0	7.72
2004	81.0	0.6	20.52	20.52	0.77	0.5	1.333	-	0	5.12
2005	40.3	0.6	22.71	17.98	0.77	0.5	1.333	-	0	2.23
2006	17.7	0.6	24.16	20.58	0.77	0.5	1.333	-	0	1.12
2007	32.5	0.6	23.46	21.44	0.77	0.5	1.333	-	0	2.15
2008	0.7	0.6	24.05	24.05	0.77	0.5	1.333	-	0	0.06
2009	1.3	0.6	22.61	22.53	0.77	0.5	1.333	-	0	0.09
2010	2.2	0.6	22.71	22.71	0.77	0.5	1.333	-	0	0.15
2011	0.1	0.6	22.44	21.70	0.77	0.5	1.333	-	0	0.00
2012	0.1	0.6	22.74	22.36	0.77	0.5	1.333	-	0	0.01

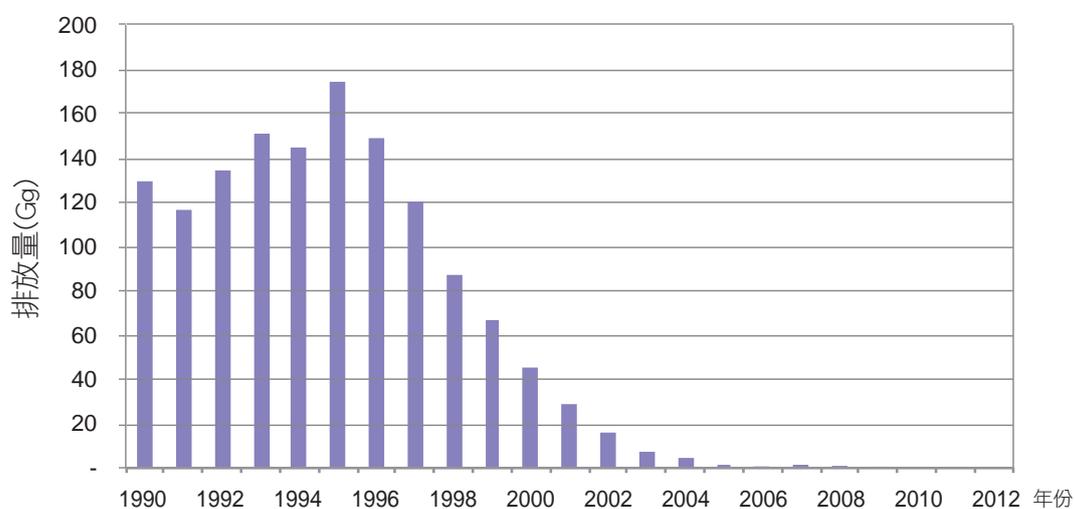


圖 7.2.2.1 臺灣 1990 至 2012 年未妥善管理廢棄物掩埋場產生甲烷排放趨勢

之主軸，並訂定「臺灣地區垃圾資源回收（焚化）廠興建計畫」及「鼓勵公民營機構興建營運垃圾焚化廠推動方案」，興建垃圾焚化廠，以達成垃圾焚化處理目標。從行政院環境保護署統計年報數據顯示，自 2000 年起垃圾妥善處理率已超過九成，2004 年更達 99% 以上，因此未妥善管理廢棄物掩埋場產生甲烷排放量便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完整記載 1990 至 2012 年衛生掩埋量，廢棄物組成百分比數據僅記載 1992 至 2012 年，缺少 1991 年及 1992 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

未妥善管理之廢棄物掩埋場不確定之說明與妥善管理之廢棄物掩埋場相同，詳請參閱 7.2.1 6.A.1. 「妥善管理之廢棄物掩埋場」不確定性說明。

時間序列的一致性部分，甲烷排放係採用 IPCC 1996 指南建議之「質量平衡法」公式進行估算，各年期（1990 至 2012 年）估算方法一致。活動數據蒐集部分，依據中華民國環境保護統計年報，完整彙整 1990 至 2012 年垃圾清運之垃圾清運之「一般掩埋」、「堆置」、「其他」數據，及 1992 至 2012 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 年之數據則參閱行政院環境保護署 2009 年「國家通訊及溫室氣體排放

清冊建置應用」報告內容中該兩年相關數據，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 I（Tier I），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 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，該部門業已於 2013 年 12 月 13 日及 2014 年 01 月 23 日召開二次專家諮詢會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性，以作為排放量估算及研究之參考。

另參考 IPCC 2000 GPG 中「方法 I 一般清單水準品質控制程序」（如表 7.2.2.3），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

本部門清冊採用之計算方法、活動數據時間序列一致性完整性已經查證、相關參數及活動係數之引用已查證確認，符合 IPCC 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

由於未妥善管理之廢棄物掩埋場，其掩埋數量活動數據與組成僅有全國之彙整數據，建

請主管單位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。

7.2.3 其他 (6.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 1996 IPCC 指南之廢棄物部門分類，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 廢水處理 (6.B)

廢水若經無氧處理或處置，便會造成甲烷和氧化亞氮排放；廢水處置產生的二氧化碳排放在 1996 IPCC 指南中未予考慮，因為這些排放屬於生物成因（植物光合作用減少二氧化碳亦未納入），不應納入國家排放總量。

1996 IPCC 指南中主要將廢水分為 6.B.1.「工業廢水」與 6.B.2.「生活與住商污水」

表 7.2.2.3 未妥善管理之廢棄物掩埋場一般清單品質控制程序檢核表

品質控制活動	確認程序
檢查被記載的所選活動水準資料和排放因數的假設和標準	<ul style="list-style-type: none"> ● 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料（垃圾一般掩埋、堆置、其他、垃圾組成）和排放因數（IPCC 建議值）的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認各欄位單位標記的準確性 ● 確認整個計算過程中單位使用的準確性 ● 確認轉換因數的準確性 ● 無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認引用適用多種排放源類別的活動水準資料常數與參數之一致性與複檢結果
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 ● 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查提供不確定性估算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	<ul style="list-style-type: none"> ● 詳細登錄資料來源引用與版本差異 ● 檢查歸檔並存儲的清單資料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	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 ● 確認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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 ● 本年度並無重新計算情事

二大類，由於不同來源廢水活動資料和排放係數並不相同，因此生活污水和工業廢水處理系統以不同方式計算甲烷排放量，。

針對上述二類主要污水來源，必須分別計算其甲烷產量，而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；在工業廢水中則以所有可氧化分解碳含量（包含生物可分解及不可分解的）（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，尤其在無控制系統和溫暖氣候中相當重要。低於 15°C，甲烷的量可能不大，因為甲烷微生物不是活性的，且化糞池主要用作沉積池，但是，若溫度上升到 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。生活廢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的第三級處理技術。污水經過處理之後，通常排放到接收水環境（如，河流、湖泊、港灣等）。

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，在工廠和接收廢水的水體，此二類過程均會發生。硝化作用是一個將氨和其他氮化合物轉化成硝酸鹽（NO₃⁻）的耗氧過程；而脫硝作用發生在缺氧條件（無氧氣釋放）下，即硝酸鹽轉化成氮氣（N₂）的生物學轉化。氧化亞氮可能成為這兩個過程的中間

產品，不過與脫硝作用的關聯往往更大。

7.3.1 工業廢水（6.B.1）

1. 排放源及匯分類的描述

工業廢水包括工業區廢水與列管事業廢水二部分，工業區廢水處理方式大多採用好氧處理，並不會產生甲烷，因此僅需要考慮以厭氧方式處理之列管事業廢水。

工業廢水之活動數據，其中關於列管家數，參閱中華民國環境保護統計年報-2003 年至 2013 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，關於「列管家數」之數據；而工業廢水中遭去除之有機物，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」中篩選出資料庫中定檢資料，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

依據 1996 IPCC 指南提供之工業廢水甲烷產生量計算方法如公式 7.3.1.1 所示。

公式 7.3.1.1：

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

TOW_i：每年工業廢水之 COD 總量 (kg COD/yr)； $P_i \times W_i \times \text{COD}_i$ 。

i：各類工業

P_i ：各工業部門生產量 (t/yr)

W_i ：廢水產生量 (m³/tproduct)

COD_i：化學需氧量 (kg COD/m³)

S: 廢水處理後產生有機污泥之 COD 總量 (kg COD/yr)

E_{Fj}: 工業之排放係數 (kg COD/yr)=B₀ × MCF_j

B₀: 最大 CH₄ 產生量 (kg CH₄/kg COD)，預設值為 0.25

MCF_j: 甲烷修正係數

R: 甲烷移除量 (kg CH₄/yr)，預設值為 0。

依照 1996 IPCC 指南計算方法要求，溫室氣體排放計算係以不同工業之產品產量乘以不同工業之廢水排放係數（單位產品產量產生之污水量），據以估算工業廢水之甲烷排放量，惟臺灣工業廢水統計資料並未統計各類工業之產能。

臺灣水污染防治法相關規定，事業於設立或變更前，具有下列行為者：設置廢（污）水

（前）處理設施、納入污水下水道系統、土壤處理、委託處理、設置管線排放於海洋、受託處理、貯留廢（污）水、稀釋廢（污）水、回收廢（污）水、逕流廢水污染削減措施等，應檢具污水防制措施計畫及相關文件，送縣市環保局或中央主管機關委託之機關審查，以取得廢（污）水排放許可證。為求得臺灣實際工業廢水產生之甲烷排放量，便自「水污染源管制資料管理系統」中篩選出資料庫中定檢資料，取得產業廢水處理設施之水量與水質進行估算。

(2) 排放係數

工業廢水溫室氣體排放量係依據公式 7.3.1.1 計算，相關參數詳列於表 7.3.1.1，其中相關參數說明如下：

表 7.3.1.1 臺灣估算工業廢水處理產生甲烷排放計算一覽表

參數	IPCC 指南計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	臺灣數據來源
污水量 (P _i × W _i)	臺灣資料自行確定	<ul style="list-style-type: none"> 根據「行政院環境保護署 89 年度臺灣地區廢棄物廢水部門溫室氣體排放推估計畫」 <ul style="list-style-type: none"> 工業區一般廢水處理皆使用好氧生物處理，污泥雖有部分採厭氧消化，但操作狀況不佳，故工業區廢水之甲烷排放量為零。 工業廢水甲烷排放僅需考慮列管事業廢水。 由於列管事業廢水資料庫中已具有各列管單位廢水處理之進排水量與進排放口之 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) 即：工業進流口污水量 × 進流口 COD 值 - 出流口污水量 × 出流口 COD 值。	管事業廢水資料，其取自於「列管事業廢水資料庫」中篩選具有高度產生潛勢的主要工業廢水來源進行計算，主要類別包括： <ul style="list-style-type: none"> 紙漿和造紙 肉類和家禽加工 (屠宰廠) 酒精、啤酒、澱粉生產 有機化學物質生產 其他食品和飲料加工 (乳製品、植物油、水果和蔬菜、罐頭、果汁生產等)。
COD (工業部門可分解有機物)	總廢棄物量送至掩埋場比例 (MSWF)		
廢水處理後產生有機污泥之 COD 總量 (S)	預設值 0	考量目前沒有轉變為污泥之 COD 資料，故暫設為 0。	IPCC 預設值
最大甲烷生成量 (B ₀)	0.25kg CH ₄ /kg COD	採用 IPCC 預設值 0.25kg CH ₄ /kg COD。	IPCC 預設值
甲烷轉換因子 (MCF)	好氧系統為 0 厭氧系統為 1	由於使用厭氧消化採用 IPCC 厭氧系統 MCF 值計算。	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

A. 化學需氧量 (COD)

1996 IPCC 指南中並未給予特定國家之 COD 值，僅提供各區各種工業類型之 COD 值，如表 7.3.1.2 所示。

為求得臺灣實際工業廢水產生之甲烷排放量，工業部門厭氧處理廢水部分之工業廢水中遭去除之有機物 (TOWi)，乃自臺灣工業廢水「水污染源管制資料管理系統」中篩選出資料庫中定檢資料，取得產業廢水處理設施之水量與水質進行估算。

B. 最大甲烷產生量 (Maximum methane producing capacity, Bo)

在 1996 IPCC 指南中，最大甲烷產生量值，是假設 COD 與 BOD 有相等之產生量，因此為 0.25 kg CH₄/kg COD。

C. 甲烷轉換係數 (MCFj)

假如無任何資料者，好氧系統為 0，厭氧系統則為 1，各地區之 MCF 係數如表 7.3.1.3 所示。

(3) 活動數據

依據行政院環境保護署水質保護處提供之臺灣工業廢水「水污染源管制資料管理系統」中篩選出資料庫中定檢資料，取得產業廢水處理設施之水量與水質進行估算外，另參考 2006 IPCC 指南中修正為僅針對具有高度產生潛勢的主要工業廢水來源進行計算，主要類別包括：

- A. 紙漿和造紙
- B. 肉類和家禽加工 (屠宰廠)
- C. 酒精、啤酒、澱粉生產
- D. 有機化學物質生產
- E. 其他食品和飲料加工 (乳製品、植物油、水果和蔬菜、罐頭、果汁生產等)。

除依據上述作法外，為避免生活與住商廢水產生之溫室氣體重複計算，故資料庫中「進入公共下水道」之廢水不列入排放量計算範疇。此外，資料庫中列管資料不齊全之年期，配合列管家數推估，以取得各年期 (1990 至 2012 年) 工業廢水中遭去除之有機物 (如表 7.2.1.4 所示) 數據。

(4) 排放量

工業廢水溫室氣體排放量係公式 7.3.1.1 計算，相關參數詳列於表 7.3.1.1，初步計算結果如表 7.3.1.5 及圖 7.3.1.1 所示。由於依據上述條件篩選資料庫得知列管事業資料庫於 2007 年之後較為齊全，故建議針對不齊備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工業廢水中遭去除之有機物，以符合各年期序列之完整性及一致性。

由於排放估算主要係依據廢水申報處理量，故估算結果必隨 COD 處理量而變化，故於 2007 年時，受到擴大廢水列管影響，致使工業廢水處理量增加而導致甲烷排放量上升。2012 年排放量相較 1990 年排放量增加 48%，2012 年排放量相較 2011 年排放量增加 7%。

表 7.3.1.2 1996 IPCC 指南提供地區別之各工業類型污水資料

工業類型及地區	污水量 (立方 / 噸)	COD 值 kg COD/m ³ wastewater	國家
飲料 - 蒸餾及工業酒精 通用 - 酒精 通用 - 酒精 南美洲 西歐	13m ³ /m ³ ethanol NAV NAV NAV	40 5,000kg/m ³ ethanol 22 4.0~5.0	巴西 荷蘭
飲料 - 啤酒 通用 通用 西歐	5 m ³ /m ³ beer 5-9 m ³ /m ³ beer NA	17 2.0~7.0 1.0~1.5	荷蘭
食品 - 肉品 通用 西歐 北美	1.4m ³ /animal NAV NAV	NAV 2.9 15.0	荷蘭 美國
食品 - 魚類 北美	NAV	2.5	美國
食品 - 咖啡 北美	NAV	3.0~14.0	荷蘭
食品 - 乳製品 通用 西歐	2.8 NAV	NAV 1.5	荷蘭
食品 - 蔬果 通用 (罐頭) 通用 (蕃茄處理) 北美, 馬鈴薯 西歐, 青豆 西歐 (蔬菜醃製)	26 26 NAV NAV NAV	NAV NAV 3.0 5.2 10.0~20.0	美國 荷蘭 荷蘭
食品 - 油 通用 - 蔬菜油 中東 亞洲	1.6 NAV NAV	0.3 42 25	土耳其 馬來西亞
食品 - 糖 中美 (甘蔗)	NAV	98	墨西哥
金屬 南美	0.1	NAV	巴西
有機化學 西歐	NAV	20~40	荷蘭
製藥 中東	NAV	1.3	埃及
石化產品 北美 北美	NAV NAV	0.3~0.4 1.8	美國 加拿大
造紙、紙漿 通用 (紙漿) 北美紙漿廠 通用 (造紙) 北美 (原紙) 北美 (再生紙) 西歐 (紙)	58 140 NAV 97 44 NAV	2.0~15 NAV 2.0~8.0 1.6 3.0 1.0~3.0	美國 美國 美國 荷蘭
紡織 人造絲 希臘 北美、紡織廠	501 NAV NAV	NAV 0.09 1.0	美國
製革業 北美、通用	NAV	5.8	美國

(5) 完整性

事業列管家數係參閱 2003 年至 2013 年中
華民國環境保護統計年報，其中僅登載 1998
至 2012 年事業廢水列管家數，缺少 1990 至

1997 年之事業廢水列管家數；而行政院環境
保護署水質保護處「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。

表 7.3.1.3 1996 IPCC 指南提供地區別工業污水 MCF 係數表

地區	工業類別	處理形式	污水處理率	MCF
非洲				
肯亞	紡織	氧化塘	60	NAV
肯亞	咖啡製品	氧化塘	5	NAV
其他	全部	氧化塘	10	90
亞洲				
印泥	全部		10	NAV
馬來西亞	棕欖油		90	NAV
新加坡	全部		10	NAV
南韓	全部		10	NAV
臺灣	全部		10	NAV
泰國	釀酒	活性污泥	50	NAV
其他	全部	活性污泥	20	90
北美				
加拿大	全部		90	70
美國	全部		90	70
拉丁美洲，加勒比海	全部		20	90
澳洲，紐西蘭	全部		95	70

表 7.3.1.4 臺灣工業廢水處理活動數據統計表

年	列管家數	TOWi：工業廢水中遭去除之有機物 (T-COD)(公噸) (Pi × Wi × CODi)	年	列管家數	TOWi：工業廢水中遭去除之有機物 (T-COD)(公噸) (Pi × Wi × CODi)
1990	10,394	146,137	2002	14,279	168,818
1991	14,188	172,731	2003	14,860	185,792
1992	15,339	179,288	2004	15,754	175,933
1993	14,154	172,410	2005	16,130	187,012
1994	14,699	175,703	2006	16,624	187,236
1995	15,650	181,016	2007	17,739	209,534
1996	17,853	192,184	2008	18,694	202,160
1997	16,901	187,536	2009	18,837	204,440
1998	15,421	179,724	2010	19,315	195,863
1999	14,330	173,525	2011	20,259	200,871
2000	14,908	166,989	2012	20,570	215,663
2001	13,217	167,292			

資料來源：行政院環境保護署水質保護處提供國內工業廢水「水污染源管制資料管理系統」中篩選出資料庫中定檢資料。

表 7.3.1.5 臺灣 1990 年至 2012 年工業廢水處理產生甲烷排放量

年	列管家數	TOWi：工業廢水中遭去除之有機物 (T-COD)(公噸) ($P_i \times W_i \times COD_i$)	Si：移除轉變為污泥之可分解有機物 (Ton)	Bo：最大 CH_4 產生量 ($kg CH_4/kg COD$)	MCFj：甲烷轉換係數	R：甲烷移除量 ($Ton CH_4/yr$)	甲烷排放量 計算 (Gg)
1990	10,394	146,137	0	0.25	1	0	36.53
1991	14,188	172,731	0	0.25	1	0	43.18
1992	15,339	179,288	0	0.25	1	0	44.82
1993	14,154	172,410	0	0.25	1	0	43.10
1994	14,699	175,703	0	0.25	1	0	43.93
1995	15,650	181,016	0	0.25	1	0	45.25
1996	17,853	192,184	0	0.25	1	0	48.05
1997	16,901	187,536	0	0.25	1	0	46.88
1998	15,421	179,724	0	0.25	1	0	44.93
1999	14,330	173,525	0	0.25	1	0	43.38
2000	14,908	166,989	0	0.25	1	0	41.75
2001	13,217	167,292	0	0.25	1	0	41.82
2002	14,279	168,818	0	0.25	1	0	42.20
2003	14,860	185,792	0	0.25	1	0	46.45
2004	15,754	175,933	0	0.25	1	0	43.98
2005	16,130	187,012	0	0.25	1	0	46.75
2006	16,624	187,236	0	0.25	1	0	46.81
2007	17,739	209,534	0	0.25	1	0	52.38
2008	18,694	202,160	0	0.25	1	0	50.54
2009	18,837	204,440	0	0.25	1	0	51.11
2010	19,315	195,863	0	0.25	1	0	48.97
2011	20,259	200,871	0	0.25	1	0	50.22
2012	20,570	215,663	0	0.25	1	0	53.92

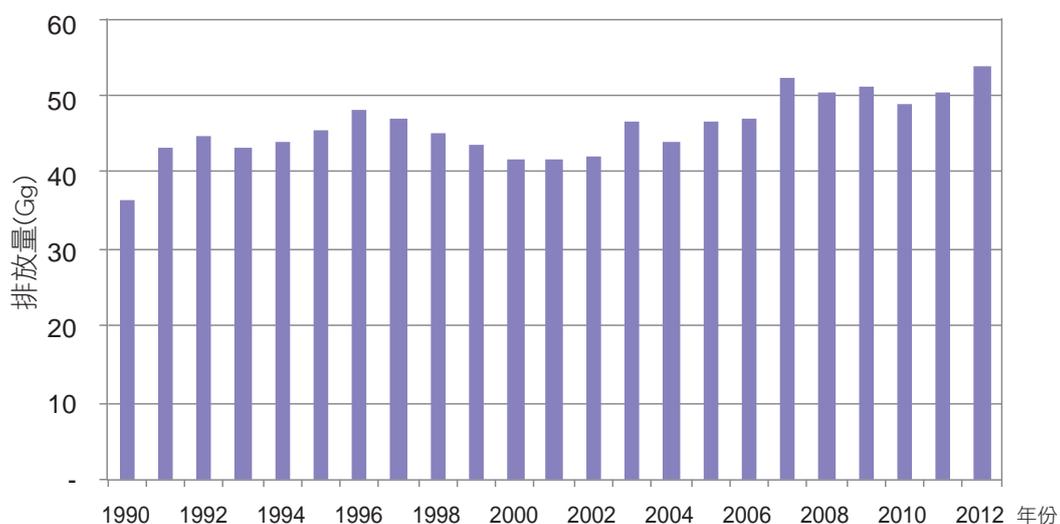


圖 7.3.1.1 臺灣 1990 年至 2012 年工業廢水產生甲烷排放趨勢

3. 不確定性與時間序列的一致性

估算廢水處理甲烷排放量，與其用來推導之廢棄管理資料品質與可用性直接相關，而國家特定的資料在廢水品質、特性和管理方法非常有限。有關不確定性的主要來源說明如下：

(1) 有機廢水品質和組成

在各種系統可處理有機廢水的數量並無法得知，因此，個別系統的廢水處理效率便受限制而無法確定。

(2) 物理和化學資料

目前國家的特定廢水性質資料非常有限，舉例來說，有機成分的數據是來自各種工廠不同單元之平均值得知，若能以製程分類，得到精確和詳細化學資料，將可改善排放量估算。

(3) 廢水處理設施效率和放流處理

在管理不良與系統失調的情形下，廢水處理廠之有氧處理廢水可能變成無氧處理，將可

能導致排放量低估。另外，廢水處理塘的現行估算方法因資料有限，而具相對不確定性，未來應持續發展更好的排放係數。

針對工業廢水排放溫室氣體之不確定性部分，以下依 1996 IPCC 指南排放公式計算及採用相關參數值和活動資料（如表 7.3.1.6），說明各參數預設值可能之不確定性範圍。

不同類型工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）和無氧化處理的廢水比例。至於文獻中最大甲烷產生量之定義值部分，1996 IPCC 指南提供資料為 0.25 kg CH₄/kg BOD，2006 IPCC 指南修正為 0.60 CH₄/kg BOD，另外並新增 0.25 kg CH₄/kg COD 作為預設參考值。如果沒有國家特定資料或者不完整者，IPCC 2000 GPG 是採用 IPCC Bo 的預設值 0.25 kg CH₄/kg COD^[9]。2000 年行政院環境保護署的相關排放推估研究，曾引述臺灣國內調查的 Bo 值約介於 0.21~.044。

表 7.3.1.6 1996 IPCC 指南工業廢水相關參數預設值之不確定範圍

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

9 行政院環境保護署（2000）。臺灣地區廢棄物廢水部門溫室氣體排放推估。臺北市：行政院環境保護署。

(4) 時間序列一致性

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，關於「列管家數」數據僅於 1998 至 2012 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」中篩選出資料庫中定檢資料，於 2007 年之後較為齊全，故針對不齊備之列管單位申報資料，以其 2007 年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工業廢水中遭去除之有

機物，以符合各年期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 I (Tier I)，利用國家水污染源管制資料管理系統事業定檢活動數據為基礎，以 1996 IPCC 指南建議排放係數，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，該部門業已於 2014 年 01 月 23 日召開專家諮詢會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性，以作為排放量估算及研究之參考。

表 7.3.1.7 工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	<ul style="list-style-type: none"> ● 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料（事業廢水污染管制資料）和排放因數（IPCC 建議值）的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」及「行政院環境保護署水質保護處『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	<ul style="list-style-type: none"> ● 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認各欄位單位標記的準確性 ● 確認整個計算過程中單位使用的準確性 ● 確認轉換因數的準確性 ● 確認時間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> ● 無引用適用多種排放源類別的資料
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 ● 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查提供不確定性估算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	<ul style="list-style-type: none"> ● 詳細登錄資料來源引用與版本差異 ● 檢查歸檔並存儲的清單資料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	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 ● 確認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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 ● 本年度並無重新計算情事

另參考 IPCC 2000 GPG，中「方法 I 一般清單水準品質控制程序」（如表 7.3.1.7），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，為避免檢核過程之錯誤，最有效的方法乃是結合人工和自動檢查，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與完整性、相關參數及活動係數之引用已查證確認，符合 IPCC 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」資料庫中篩選出之定檢資料，於 2007 年後較為齊全。故建議申報管理系統資料主管單位，考量查核補充 2000 至 2007 年列管單位之申報資料，以便於精進推估結果，減少外推數據之不確定性差異，方能符合各年期序列之完整性及一致性。

7.3.2 生活及商業廢水（6.B.2）

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，將產生甲烷排放；而生活與住商污水中之蛋白質等有機物質，在一般環境下容易發生硝化反應而產生氧化亞氮。

以下將分別敘述甲烷與氧化亞氮之排放量計算方法。

由於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二大類，故估算生活及商業廢水之甲烷排放量是參閱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（%）、建築物污水下水道系統普及率（%）及整體合計之污水好氧處理率（%）與內政部統計年報之國內人口數進行估算；而估算氧化亞氮之排放量是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國內人口數進行計算。

2. 方法論議題

（1）計算方法

A. 生活與住商廢水甲烷排放

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二大類。根據 1996 IPCC 指南中對於生活與住商污水甲烷產生量計算方法如公式 7.3.2.1 所示。

公式 7.3.2.1：

$$\text{甲烷排放量 (Gg CH}_4\text{/yr)} = P \times D_{\text{dom}} \times B_o \times \text{MCF}_j \times (1 - D_{\text{Sdom}}) \times 10^{-3}$$

P：人口數

D_{dom} ：住商部門污水處理中可分解有機物量 (kg BOD/ persons/yr)

B_o ：最大 CH_4 產生量

MCF_j ：甲烷修正係數

D_{Sdom} ：住商部門污水處理後生物污泥中可分解有機物比

臺灣目前整體污水處理率分為三類，包括公共污水下水道普及率、專用污水下水道普及率與建築物污水設施設置率，其數據資料可參考內政部營建署用戶接管普及率與污水處理率統計，由於有接管的部分皆為好氧處理，在 1996 IPCC 指南則認定無甲烷排放，其餘未接管部分則認定為使用化糞池處理，計算甲烷之排放量。

B. 生活與住商廢水氧化亞氮排放

依據 1996 IPCC 指南計算方法如公式 7.3.2.2 所示。

公式 7.3.2.2：

$$N_2O(S) = Protein \times Frac_{NPR} \times P \times EF_6$$

$N_2O(S)$ = 每年生活污水之氧化亞氮排放總量 (kg N_2O-N/yr)

Protein = 每人每年蛋白質攝取量 (kg/person/yr)

P = 國內人口數

EF_6 = 排放係數 (預設值 0.01(0.002-0.12) kg N_2O-N/kg sewage-N produced)

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

(2) 排放係數

A. 生活與住商廢水甲烷排放

依據 1996 IPCC 指南公式 7.3.2.1 計算生活與住商污水甲烷產生量，其相關參數詳列於表 7.3.2.1 所示。相關說明如下：

表 7.3.2.1 估算生活及商業廢水處理產生甲烷排放計算一覽表

參數	IPCC 計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	臺灣數據來源
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		內政部營建署用戶接管普及率及污水處理率	內政部營建署統計資料
住商部分污水處理可分解有機碳含量 (Ddom)	14.6 (kg BOD/ 人 /yr)	採用 IPCC 預設值 14.6(kg BOD/ 人 /yr)	IPCC 預設值
最大甲烷生成量 (Bo)	0.25kg CH_4/kg BOD	採用 IPCC 預設值 0.25 kg CH_4/kg BOD	IPCC 預設值
甲烷修正參數 (MCF)	好氧系統為 0 厭氧系統為 1	使用化糞池處理之甲烷轉換係數為 0.3252。	行政院環境保護署 89 年度臺灣地區廢棄物廢水部門溫室氣體排放推估計畫
污水處理後生物污泥可分解有機物比例 (DSdom)	預設值 0	採用 IPCC 預設值 0	IPCC 預設值

表 7.3.2.2 地區別家庭污水 BOD_5 預估表

地區	BOD_5 值 (公斤 / 每人 / 每日)	BOD_5 值 (公斤 / 千人 / 每年)
非洲	0.037	13,505
亞洲、中東、拉丁美洲	0.04	14,600
北美洲、歐洲、前蘇聯、大洋洲	0.05	18,250

a. 住商部門污水處理中可分解有機物量 (Ddom)

住商部門污水處理中可分解有機物量依據各國之特性有所差異，如表 7.3.2.2 所示。

b. 最大甲烷產生量 (Maximum methane producing capacity, B_0) 定義值為 0.25 kg CH_4 /kg BOD。

c. 甲烷修正係數 (MCF)

假如無任何資料者，好氧系統為 0，厭氧系統則為 1，各地區之 MCF 係數如表 7.3.2.3 所示。

B. 生活與住商廢水氧化亞氮排放

估算生活與住商污水處理產生之氧化亞氮排放量，係依據公式 7.3.2.2 計算，相關參數詳列於表 7.3.2.4 所示。

(3) 活動數據

A. 生活與住商廢水甲烷排放

由於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二大類，故估算生活及商業廢水之甲烷排放量是參閱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(%)、

表 7.3.2.3 地區別家庭污水 MCF 係數表

地區	處理型式	污水處理率	甲烷轉換係數
非洲			
肯亞	氧化塘	50	NAV
突尼西亞	氧化塘	20	NAV
辛巴威	活性污泥	50	NAV
其他		5	80
亞洲			
印尼		1	NAV
新加坡		1	NAV
南韓		1	NAV
臺灣		1	NAV
其他		5	75
拉丁美洲與加勒比海		10	80
澳洲與紐西蘭		80	70

表 7.3.2.4 臺灣估算生活及商業廢水處理產生氧化亞氮排放計算一覽表

參數	IPCC 計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	臺灣數據來源
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 (FracNPR)	0.16 kg N/protein	採用 IPCC 預設值 0.16 kg N/kg protein	IPCC 預設值
EF_6 (排放係數)	0.01 kg N_2O -N/ kg sewage-N produced	採用 IPCC 預設值 0.01 kg N_2O -N/kg sewage-N produced	IPCC 預設值

建築物污水下水道系統普及率(%)及合計之污水好氧處理率(%)與內政部統計年報之國內人口數進行估算。

B. 生活與住商廢水氧化亞氮排放

由前述說明，估算氧化亞氮之排放量，乃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，並配合臺灣人口數進行計算。

(4) 排放量

A. 生活與住商廢水甲烷排放

估算臺灣生活與住商污水處理產生之甲烷排放量，初步計算結果如表 7.3.2.7 及圖 7.3.2.1 所示。

由估算結果得知，由於 1999 年起接管普及率增加，厭氧處理排放逐年降低，故 2012 年排放量相較 1990 年排放量減少 56%，2012 年排放量相較 2011 年排放量減少 12%。

B. 生活與住商廢水氧化亞氮排放

估算生活與住商污水處理產生之氧化亞氮

表 7.3.2.5 臺灣 1990 至 2012 年估算生活及商業廢水處理甲烷排放之活動數據

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 (%)	建築物污水下水道系統普及率 (%)	污水好氧處理率 (%)	國家人口數 (P)(千人)
1990	3.00	—	—	3.00	20,401
1991	3.00	—	—	3.00	20,606
1992	3.05	—	—	3.05	20,803
1993	3.10	—	—	3.10	20,995
1994	3.15	—	—	3.15	21,178
1995	3.20	—	—	3.20	21,357
1996	3.40	—	—	3.40	21,525
1997	3.80	—	—	3.80	21,743
1998	5.60	—	—	5.60	21,929
1999	6.75	5.20	—	11.95	22,092
2000	7.27	6.37	3.98	17.62	22,277
2001	8.24	7.47	4.02	19.73	22,406
2002	9.87	8.33	4.03	22.23	22,521
2003	10.85	9.02	4.04	23.91	22,605
2004	12.47	10.11	5.22	27.80	22,689
2005	14.03	10.86	6.65	31.54	22,770
2006	15.58	11.66	8.07	35.31	22,877
2007	17.48	12.57	9.69	39.74	22,958
2008	19.50	13.35	10.81	43.67	23,037
2009	22.59	13.85	12.23	48.66	23,120
2010	25.70	14.29	13.03	53.02	23,162
2011	28.95	14.75	14.29	57.99	23,225
2012	32.10	15.15	15.74	62.99	23,316

資料來源：內政部統計年報

表 7.3.2.6 臺灣 1990 年至 2012 年估算生活及商業廢水處理氧化亞氮排放之活動數據

年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
每人每日蛋白質供給量 (公克)	92.72	91.56	93.90	97.34	96.51	98.22	98.25	101.41	95.55	97.55	96.23	92.00
國內人口數 (P)(千人)	20,401	20,606	20,803	20,995	21,178	21,357	21,525	21,743	21,929	22,092	22,277	22,406
年	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
每人每日蛋白質供給量 (公克)	94.85	96.13	91.94	91.57	90.08	92.02	84.51	86.84	88.25	89.67	89.57	
國內人口數 (P)(千人)	22,521	22,605	22,689	22,770	22,877	22,958	23,037	23,120	23,162	23,225	23,316	

資料來源：內政部統計年報

表 7.3.2.7 臺灣 1990 年至 2012 年生活及商業廢水處理產生甲烷排放量

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 (%)	建築物污水下水道系統普及率 (%)	污水好氧處理率 (%)	國家人口數 (P)(千人)	每人每年廢水 BOD (Ddom)	最大甲烷生成量 (Bo)	甲烷修正參數 (MCF)	污水處理後生物污泥可分解有機物比例 (DSdom)	全國人口廢水甲烷排放量計算量 (Gg)
1990	3.00	—	—	3.00	20,401	14.6	0.25	0.3252	0	23.49
1991	3.00	—	—	3.00	20,606	14.6	0.25	0.3252	0	23.72
1992	3.05	—	—	3.05	20,803	14.6	0.25	0.3252	0	23.94
1993	3.10	—	—	3.10	20,995	14.6	0.25	0.3252	0	24.15
1994	3.15	—	—	3.15	21,178	14.6	0.25	0.3252	0	24.35
1995	3.20	—	—	3.20	21,357	14.6	0.25	0.3252	0	24.54
1996	3.40	—	—	3.40	21,525	14.6	0.25	0.3252	0	24.68
1997	3.80	—	—	3.80	21,743	14.6	0.25	0.3252	0	24.83
1998	5.60	—	—	5.60	21,929	14.6	0.25	0.3252	0	24.57
1999	6.75	5.20	—	11.95	22,092	14.6	0.25	0.3252	0	23.09
2000	7.27	6.37	3.98	17.62	22,277	14.6	0.25	0.3252	0	21.78
2001	8.24	7.47	4.02	19.73	22,406	14.6	0.25	0.3252	0	21.35
2002	9.87	8.33	4.03	22.23	22,521	14.6	0.25	0.3252	0	20.79
2003	10.85	9.02	4.04	23.91	22,605	14.6	0.25	0.3252	0	20.42
2004	12.47	10.11	5.22	27.80	22,689	14.6	0.25	0.3252	0	19.44
2005	14.03	10.86	6.65	31.54	22,770	14.6	0.25	0.3252	0	18.50
2006	15.58	11.66	8.07	35.31	22,877	14.6	0.25	0.3252	0	17.57
2007	17.48	12.57	9.69	39.74	22,958	14.6	0.25	0.3252	0	16.42
2008	19.50	13.35	10.81	43.67	23,037	14.6	0.25	0.3252	0	15.40
2009	22.59	13.85	12.23	48.66	23,120	14.6	0.25	0.3252	0	14.09
2010	25.70	14.29	13.03	53.02	23,162	14.6	0.25	0.3252	0	12.92
2011	28.95	14.75	14.29	57.99	23,225	14.6	0.25	0.3252	0	11.58
2012	32.10	15.15	15.74	62.99	23,316	14.6	0.25	0.3252	0	10.24

排放量，初步計算結果如表 7.3.2.8 及圖 7.3.2.2 所示。

生活及商業處理產生氧化亞氮排放量的主要影響因素包括人口變化、蛋白質攝取量變化。每人每日蛋白質供給量於 2008 年相較前一年大幅下降，其原因可詳閱行政院農業委員會的我國糧食供需變動分析⁵。2008 年臺灣平均每人可供消費之各類糧食，與 2007 年比較，平均每人可供消費糧食大多較上一年減少，乃因受到來源國家減產及價格高漲影響，進口減少，同時以國產為主要供應來源糧食；畜產品遭逢國際飼料價格上漲壓力減供，肉類、蛋類平均每人可供消費量仍較上年減少 6.8%。由上述估算結果得知，2012 年生活及商業處理產生氧化亞氮排放量相較 1990 年排放量增加 10%；2012 年與 2011 年排放量大致相同。

(5) 完整性

A. 生活與住商廢水甲烷排放

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(%)、建築物污水下水道系統普及率(%)及污水好氧處理率(%)，目前僅登載 2000 至 2012 年，而 1990 至 1999 年之數據則參閱內政部相關會議之資料。內政部統計年報之臺灣人口數均詳實登載 1990 至 2012 年臺灣人口數。

B. 生活與住商廢水氧化亞氮排放

估算氧化亞氮之排放量，係完整參照行政院農業委員會糧食平衡表之 1990 至 2012 年每人每日蛋白質供給量，及內政部統計年報之 1990 至 2012 年臺灣人口數。

3. 不確定性與時間序列的一致性

評估生活住商廢水處理溫室氣體排放之不確定性，表 7.3.2.9 列出所引用 1996 IPCC 指南

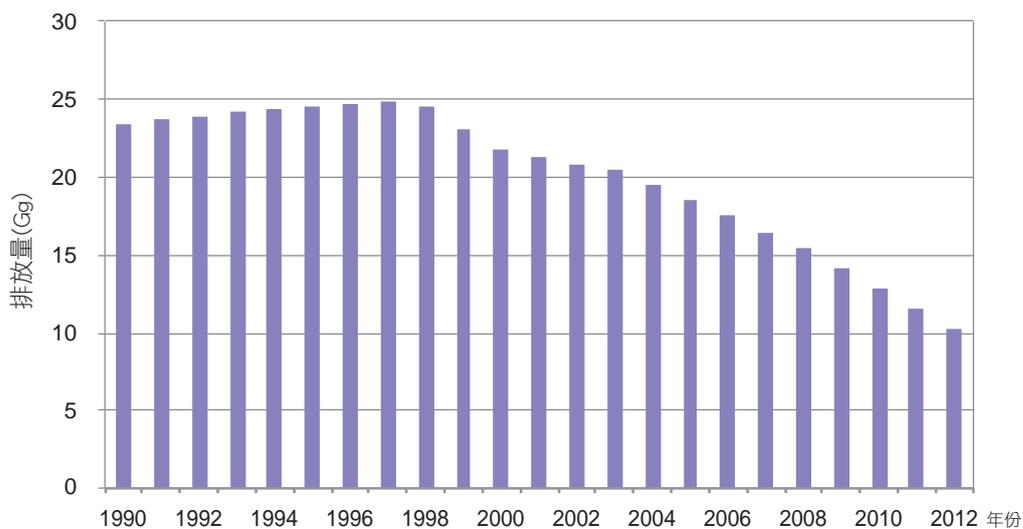


圖 7.3.2.1 臺灣 1990 年至 2012 年生活及商業廢水處理產生甲烷排放趨勢

5 劉玉文 (2009)。我國糧食供需變動分析。農政與農情，208 (10)，95-101。取自行政院農業委員會網站，<http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=20330&print=1>。

表 7.3.2.8 臺灣 1990 年至 2012 年生活及商業處理產生氧化亞氮排放量

年	每人每日蛋白質供給量(公克)	每人每年蛋白質供給量(Protein)(公斤)	蛋白質含氮比(FNPR)	國內人口數(P)(千人)	排放係數(EF ₀)	全國人口氧化亞氮排放計算量(噸)
1990	92.72	33.84	0.16	20,401	0.01	1,104.6
1991	91.56	33.42	0.16	20,606	0.01	1,101.8
1992	93.90	34.27	0.16	20,803	0.01	1,140.6
1993	97.34	35.53	0.16	20,995	0.01	1,193.5
1994	96.51	35.23	0.16	21,178	0.01	1,193.8
1995	98.22	35.85	0.16	21,357	0.01	1,225.1
1996	98.25	35.86	0.16	21,525	0.01	1,235.0
1997	101.41	37.02	0.16	21,743	0.01	1,287.9
1998	95.55	34.88	0.16	21,929	0.01	1,223.8
1999	97.55	35.61	0.16	22,092	0.01	1,258.7
2000	96.23	35.12	0.16	22,277	0.01	1,251.8
2001	92.00	33.58	0.16	22,406	0.01	1,203.8
2002	94.85	34.62	0.16	22,521	0.01	1,247.5
2003	96.13	35.09	0.16	22,605	0.01	1,269.1
2004	91.94	33.56	0.16	22,689	0.01	1,218.3
2005	91.57	33.42	0.16	22,770	0.01	1,217.6
2006	90.08	32.88	0.16	22,877	0.01	1,203.5
2007	92.02	33.59	0.16	22,958	0.01	1,233.9
2008	84.51	30.85	0.16	23,037	0.01	1,137.1
2009	86.84	31.70	0.16	23,120	0.01	1,172.6
2010	88.25	32.21	0.16	23,162	0.01	1,193.7
2011	89.67	32.73	0.16	23,225	0.01	1,216.2
2012	89.57	32.69	0.16	23,316	0.01	1,219.5

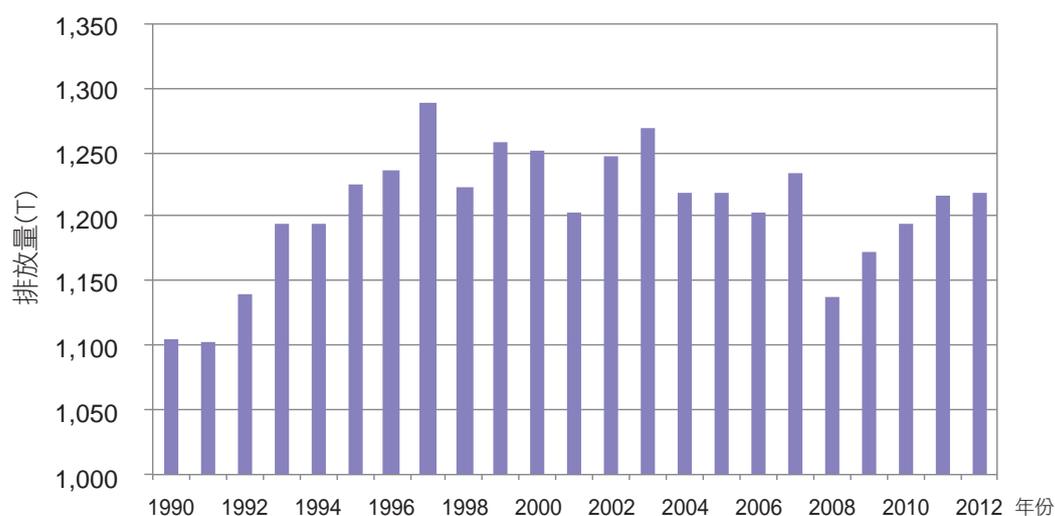


圖 7.3.2.2 臺灣 1990 年至 2012 年生活及商業廢水處理產生氧化亞氮排放趨勢

生活廢水排放係數和活動資料的預設值，其涉及之不確定性範圍如下：

(1) 最大甲烷產生量 (Bo)：在生活廢水計算溫室氣體參數引用方面，IPCC 2000 GPG，包括參數可使用 IPCC 預設值計算、不考慮甲烷回收率、依據本國統計生活廢水處理系統和處理率、使用本國之最大甲烷產生量 (Bo 值)，以及使用鄰近可比較的國家作為 BOD 預設值等。

IPCC 2000 GPG，是應用本國特定的 Bo，若無本國特定資料，可以利用 1996 IPCC 指南建議的預設值 0.25 kg CH₄/kg COD 化學需氧量，該值與全面的實地測試資料 (Doorn et al., 1997) 非常一致。我國尚未有最大 CH₄ 產生量 (Bo 值) 研究，仍引用 1996 IPCC 指南預設值，定義值為 0.25 kg CH₄/kg COD，其不確定範圍約 ±30%^[2]。

有機廢物中的可分解碳可用 BOD 或 COD 來測量。對典型的未經處理的家庭污水來說 COD (mg/l) 是 BOD (mg/l) 的 2-2.5 倍，因此 IPCC 建議利用排放因數 2.5，將 COD 的 BO 值轉換成基於 BOD 的 BO 值，因此優良作法建議利用預設值 0.25 kg CH₄/kg COD 或者 0.6 kg CH₄/kg BOD，2006 年 IPCC 指南預設值已將 0.25 kg CH₄/kg BOD 修訂為 0.6 kg CH₄/kg BOD。

(2) 污水處理可分解有機物 (Ddom)：1996 IPCC 指南預設值為 14.6 kg BOD/人/年，臺灣八處生活住商污水處理廠平均值 6.9 kg BOD/人/年。

(3) 甲烷轉換因子 (MCF)，1996 IPCC 指南預設厭氧處理系統為 1.0，好氧系統為 0，我國採用化糞池處理系統，其甲烷轉換係數 (MCF) 為 0.33，其不確定範圍約 ±30%。

表 7.3.2.9 生活廢水相關參數預設值之不確定範圍

參數	不確定性範圍
排放係數	
最大甲烷生成量 (Bo)	±30%
甲烷轉換因子 (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 (T _{ij}) 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 T _{ij}
下水道含額外工業廢水 BOD 之修正係數 (I)	0%：未收集 ±20%：共同收集

資料來源：IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.

2 IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Enmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. and Tanabe, K. (Eds). IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

(4) 時間序列一致性

生活與住商廢水甲烷排放資料來源是依據內政部登載資料，均已包含 1990 至 2012 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(%)、建築物污水下水道系統普及率(%)及污水好氧處理率(%)及國內人口數，其中前述 1990 至 1999 年之相關數據來源為內政部相關會議之資料。

估算生活與住商廢水氧化亞氮排放量之活動數據是詳實引用內政部登載 1990 至 2012 年國內人口數，及 1990 至 2012 年行政院農業委員會糧食平衡表之每人每日蛋白質供給量，活動數據已符合時間序列之一致性及完整性。

4. 特定排放源的 QA/QC 及查證

(1) 生活與住商廢水甲烷排放

符合方法 I (Tier I)，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(%)、建築物污水下水道系統普及率(%)及污水好氧處理率(%)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。

(2) 生活與住商廢水氧化亞氮排放

符合方法 I (Tier I)，利用國家國內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，該部門業已於 2014 年 01 月 23 日召開

專家諮詢會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性，以作為排放量估算及研究之參考。

另參考 IPCC 2000 GPG 中，「方法 I 一般清單水準品質控制程序」(如表 7.3.2.10)，透過交叉檢查重新計算及通過目測過濾，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與完整性、相關參數及活動係數之引用已查證確認，符合 IPCC 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

無。

7.4 廢棄物焚化 (6.C)

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，廢棄物焚燒中的二氧化碳排放量比氧化亞氮大得多。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。

1996 IPCC 指南雖未詳細說明廢棄物焚化熱能回收或加入發電機制之規範，然依據 2006 IPCC 指南說明針對無能源回收的廢棄物焚燒產生的排放屬廢棄物部門，而廢棄物焚化有能源回收之排放則應歸屬能源部門。據此，廢棄物焚化之活動數據，除依據國家環境保護年報之垃圾焚化處理量、一般事業廢棄物處理量進行估算外，亦需將臺灣從 1997 年大型焚化爐加入發電機制之焚化排放量，自廢棄物部門予以扣除（如圖 7.4.1），以避免與能源部門重複計算；1997 至 2000 年焚化爐加入發電機制之焚化量大幅增加，而 2001 至 2012 年仍呈現逐年增加趨勢；其中發電焚化比例，於 2001 至

2007 年間低於 80%，1997 年、1999 年、2008 年起均大於 88%。

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 -2003 年至 2013 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」。

表 7.3.2.10 生活及商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	<ul style="list-style-type: none"> ● 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料（內政部登載公共污水下水道系統普及率、專用污水下水道系統普及率、建築物污水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	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認正確引用「內政部登載資料」及「農業委員會糧食平衡表」結果
檢查排放計算的準確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認各欄位單位標記的準確性 ● 確認整個計算過程中單位使用的準確性 ● 確認轉換因數的準確性 ● 無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> ● 無引用適用多種排放源類別的資料
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 ● 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查提供不確定性估算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	<ul style="list-style-type: none"> ● 詳細登錄資料來源引用與版本差異 ● 檢查歸檔並存儲的清單資料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	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 ● 確認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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 ● 本年度並無重新計算情事

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 1996 IPCC 指南，列入廢棄物焚化溫室氣體排放部分只包括由礦物材料組成之廢棄物，如垃圾成分中與化石燃料及其產品（如塑膠、某些紡織物、橡膠、液體溶劑和廢油）等有關礦物碳燃燒產生的二氧化碳；而垃圾中有關紙張、食品和木材廢棄物等有機碳燃燒產生之二氧化碳排放，則視為生物質量一部分，不列入國家總溫室氣體排放。由於 1996 IPCC 指南未公布計算公式，因此以質量平衡方式計算排放量，主要參考 2006 IPCC 指南公式修正為公式 7.4.1。

公式 7.4.1：

$$\text{二氧化碳排放 (Gg/yr)} = (SW \times dm \times CF \times FCF \times OF \times 44 / 12)$$

SW：焚化固體廢棄物類型的總量 (Gg/yr)

CF：總碳含量 (%)

FCF：礦物碳在碳的總含量中的比例 (%)

OF：氧化係數 (燃燒效率)(%)

44/12：從 C 到 CO₂ 的轉換係數

B. 廢棄物焚化處理產生氧化亞氮排放量計算

1996 IPCC 指南針對廢棄物焚化處理產生之氧化亞氮排放量計算式未公布，故主要仍參考 2006 IPCC 公式 7.4.2 計算，廢棄物焚化產生氧化亞氮排放量是以排放係數方式來計算。

(2) 排放係數

A. 廢棄物焚化處理產生二氧化碳排放量計算

依據公式 7.4.1 計算廢棄物焚化處理產生二氧化碳排放量，相關參數詳列於表 7.4.1。

B. 廢棄物焚化處理產生氧化亞氮排放量計算

1996 IPCC 指南雖並未公布氧化亞氮計算公式，另有彙整廢棄物燃燒會產生氧化亞氮相關焚化設施之氧化亞氮排放係數範圍值，其相關研究如表 7.4.2 所示。

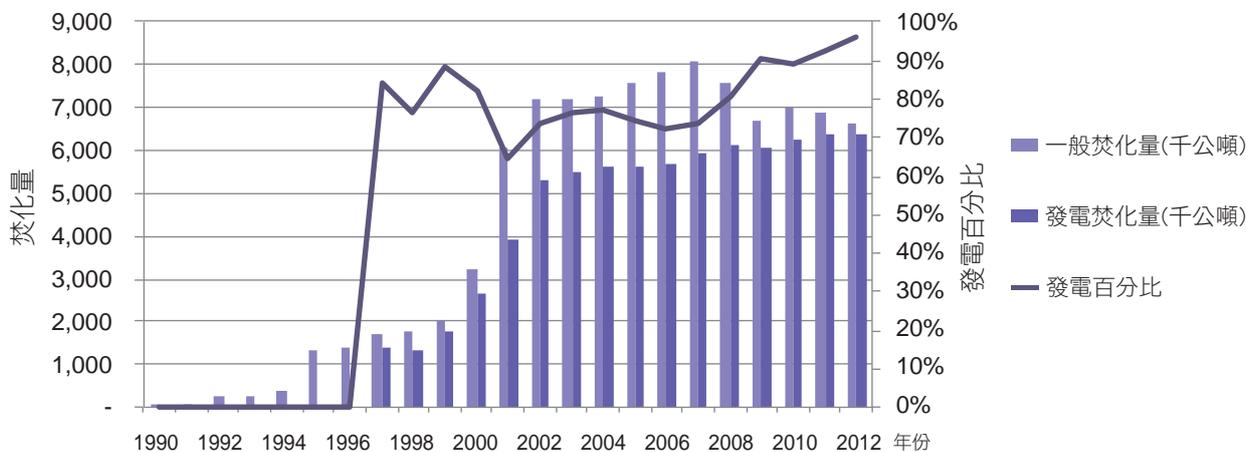


圖 7.4.1 發電焚化量近年變化趨勢

廢棄物焚化產生氧化亞氮排放量是以排放係數方式來計算（如公式 7.4.2），相關參數詳列於表 7.4.3。

(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-2003年至2013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」及「化學分析含碳量」百分比數據，估算「含碳量比例」及「礦物碳比例」（如表 7.4.4 所示）。

表 7.4.1 1996 IPCC 估算廢棄物焚化處理產生二氧化碳排放計算一覽表

參數	IPCC 指南計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	臺灣數據來源
焚化固體廢棄物類型的總量 (SW)	未公布	依據臺灣不同廢棄物處理方式之垃圾處理量之統計數據。	中華民國環境保護年報
總的碳含量 (CF)	未公布	依據我國垃圾性質分析含碳量計算。	中華民國環境保護年報
礦物碳在碳的總含量中的比例 (%)	未公布	依據我國垃圾組成中，皮革橡膠、塑膠與其他所占之比例計算。	中華民國環境保護年報
氧化係數 (OF)	未公布	依據 2006 年 IPCC 預設值 100% 計算	

表 7.4.2 各種廢棄物燃燒產生之氧化亞氮排放係數

廢棄物特性	設施	溫度	ppmv min.	ppmv average	ppmv max.	O ₂ (%)	gN ₂ O/噸廢棄物
廢棄物	10 爐子 (65-300 噸 / 天)		1.20	8.0	18.0		
	階床式	780-880	0.28		4.9	10	11-43
	階床式	780-980	4.00		24.0	8-14	40-220
	流體化床	830-850	6.70		10.5	13-15	14-123
固體廢棄物	5 爐式 (20-400 噸 / 天)		3.00	7.0	12.0		26-270
	3 流體化床		5.60	9.8	17.1		97-293
	旋轉窯 (120 噸 / 天)		10.20	11.1	12.1		35-165
1997	4 個焚身設備 (150-300 噸 / 天)		57.00	87.0	125.0		
污泥	旋轉爐	750		50.7			227
	流體化床	770-812	270.00		600.0		580-1528
	流體化床	838-854	135.00		292.0		684-1508
	流體化床	834-844	100.00		320.0		275-886
	流體化床	853-887	45.00		145.0		101-307

表 7.4.3 估算廢棄物焚化處理產生氧化亞氮排放計算一覽表

參數	IPCC 指南計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	臺灣數據來源
焚化固體廢棄物類型的總量 (IW)	未公布	依據臺灣不同廢棄物處理方式之垃圾處理量之統計數據。	中華民國環境保護年報
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	依據國內現況多屬於階床室鍋爐，含氧率約 8~14 之間，因此引用 IPCC 提供設施中，排放係數範圍值 40~200g N ₂ O/T 廢棄物，取兩者平均值 120g N ₂ O/T 計算。	IPCC 公布值

表 7.4.4 臺灣 1990 至 2012 年估算廢棄物焚化處理產生溫室氣體排放量活動數據

年度	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)	含碳量比例 (CCW) (%)	礦物碳比例 (FCF) (%)
1990	77.7	-	-	16.50	23.04
1991	28.8	-	-	16.50	23.04
1992	255.4	-	-	16.50	23.32
1993	249.0	-	-	17.04	20.71
1994	412.5	-	-	19.08	24.01
1995	1,301.0	-	-	18.60	22.49
1996	1,364.6	-	-	18.99	23.63
1997	1,691.6	-	1,419.3	20.44	22.81
1998	1,741.1	-	1,335.4	18.47	25.51
1999	2,020.6	-	1,789.1	18.87	22.42
2000	3,229.7	-	2,659.7	21.12	23.79
2001	3,736.9	2,330.1	3,922.4	18.24	26.64
2002	4,316.0	2,873.9	5,311.0	20.45	29.00
2003	4,304.6	2,869.8	5,470.7	18.71	25.16
2004	4,307.7	2,952.1	5,611.5	20.60	22.45
2005	4,300.4	3,270.7	5,614.9	17.98	14.88
2006	4,164.0	3,693.6	5,683.0	20.58	15.18
2007	4,335.8	3,734.7	5,948.8	21.44	17.97
2008	4,137.3	3,444.2	6,110.8	24.14	18.12
2009	4,036.4	2,671.0	6,092.9	22.53	17.59
2010	3,888.6	3,119.7	6,235.4	22.90	17.60
2011	3,468.6	3,397.5	6,355.4	21.70	16.50
2012	3,277.3	3,381.0	6,405.0	22.36	16.30

資料來源：行政院環境保護署（2013）。中華民國環境保護統計年報。

(4) 排放量

依據公式 7.4.2 與公式 7.4.3，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，初步計算結果如表 7.4.5 及圖 7.4.2 與圖 7.4.3 所示。

依據 IPCC 指南與國內焚化活動量估算廢棄物焚化處理產生二氧化碳排放量結果，由於大型焚化爐加入發電機制，於 2002 年發電排放量最大，而修正排放量百分比於 2009 年後均大於 88%，2012 年更達 96%，致使 2012

年二氧化碳排放量雖較 1990 年增加 212%，但 2012 年扣除發電焚化量之後，二氧化碳排放量相較 2011 年減少 50%。

在氧化亞氮的排放量部分，也因加入發電機制排放量逐年增加，故修正排放量百分比於 2009 年後均大於 88%，2012 年達 96%，也因此 2012 年扣除發電焚化量之後，氧化亞氮排放量相較 1990 年雖增加 226%，但 2012 年排放量較 2011 年減少 50%。

表 7.4.5 臺灣 1990 至 2012 年廢棄物焚化處理產生溫室氣體排放量

年度	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)	含碳量比例 (CCW) (%)	礦物碳比例 (FCF) (%)	焚化爐燃燒效率 (EF) (%)	氧化亞氮排放係數 (g-N ₂ O/T)	二氧化碳排放計算量 (Gg)	氧化亞氮排放計算量 (公噸)
1990	77.7	-	-	16.50	23.04	100	120	10.84	9.33
1991	28.8	-	-	16.50	23.04	100	120	4.02	3.46
1992	255.4	-	-	16.50	23.32	100	120	36.03	30.65
1993	249.0	-	-	17.04	20.71	100	120	32.23	29.89
1994	412.5	-	-	19.08	24.01	100	120	69.30	49.50
1995	1,301.0	-	-	18.60	22.49	100	120	199.56	156.12
1996	1,364.6	-	-	18.99	23.63	100	120	224.53	163.76
1997	1,691.6	-	1,419.3	20.44	22.81	100	120	46.55	32.68
1998	1,741.1	-	1,335.4	18.47	25.51	100	120	70.10	48.69
1999	2,020.6	-	1,789.1	18.87	22.42	100	120	35.91	27.78
2000	3,229.7	-	2,659.7	21.12	23.79	100	120	105.03	68.41
2001	3,736.9	2,330.1	3,922.4	18.24	26.64	100	120	382.10	257.35
2002	4,316.0	2,873.9	5,311.0	20.45	29.00	100	120	408.57	225.47
2003	4,304.6	2,869.8	5,470.7	18.71	25.16	100	120	294.05	204.43
2004	4,307.7	2,952.1	5,611.5	20.60	22.45	100	120	279.50	197.79
2005	4,300.4	3,270.7	5,614.9	17.98	14.88	100	120	191.89	234.73
2006	4,164.0	3,693.6	5,683.0	20.58	15.18	100	120	249.09	260.95
2007	4,335.8	3,734.7	5,948.8	21.44	17.97	100	120	299.74	254.61
2008	4,137.3	3,444.2	6,110.8	24.14	18.12	100	120	235.87	176.47
2009	4,036.4	2,671.0	6,092.9	22.53	17.59	100	120	89.29	73.74
2010	3,888.6	3,119.7	6,235.4	22.90	17.60	100	120	114.23	92.76
2011	3,468.6	3,397.5	6,355.4	21.70	16.50	100	120	67.05	61.29
2012	3,277.3	3,381.0	6,405.0	22.36	16.30	100	120	33.84	30.39

(5) 完整性

估算廢棄物焚化產生之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 2003 年至 2013 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 至 2012 年活動量；另參閱引用表 4-6 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 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

IPCC 2000 GPG，採用定義參數預設值的 95% 信賴區間，來計算不確定性，該區間包含未知真實值的概率為 95%。

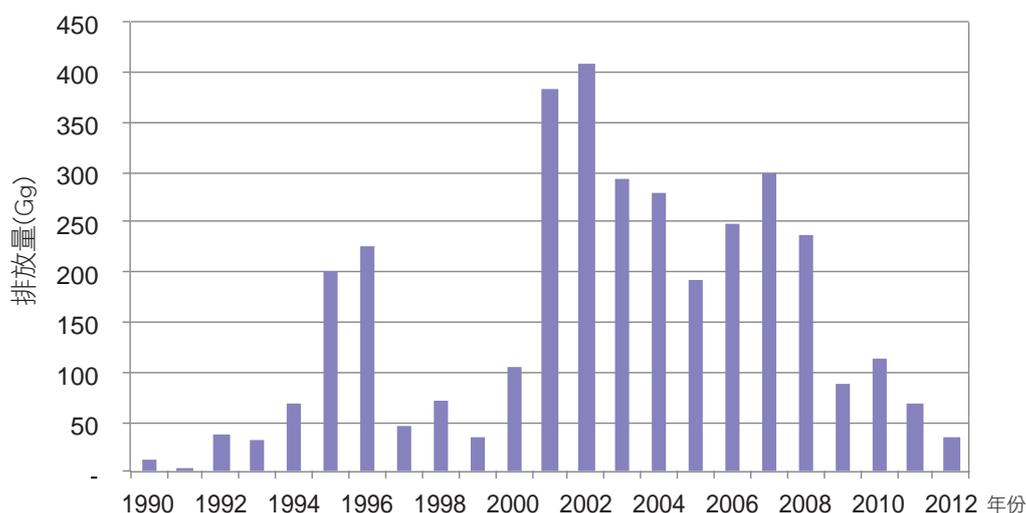


圖 7.4.2 臺灣 1990 至 2012 年廢棄物焚化處理產生二氧化碳排放趨勢

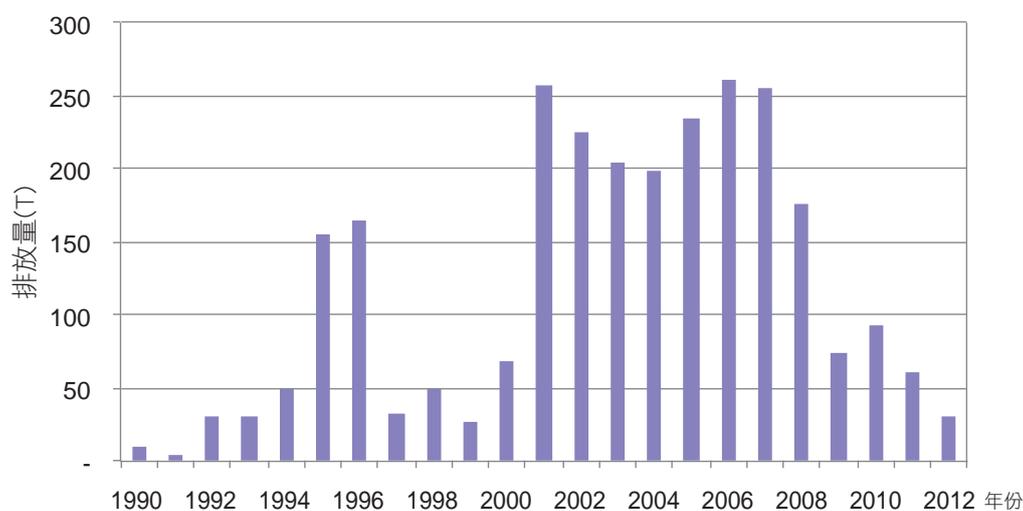


圖 7.4.3 臺灣 1990 至 2012 年廢棄物焚化處理產生氧化亞氮排放趨勢

直接測量或監測氧化亞氮和甲烷排放具有較低的不確定性。對於連續及定期排放監測，不確定性取決於所用測量儀器和方法的精確度，這些可能在 $\pm 10\%$ 左右。如果使用了氧化亞氮和甲烷排放因數的預設值，則不確定性範圍估算為 $\pm 100\%$ 或更大。

以下資料可能引入其他不確定性：

(1) 排放係數不確定性

大部分的不確定性涉及廢棄物中有機碳與礦物碳比例的區分，此不確定性主要與廢棄物成分組成的不確定性有關；與二氧化碳排放估算相關聯的主要不確定性也與礦物碳比例的估算有關。在許多已開發國家，焚燒廢棄物總量的不確定性在 5% 左右。

(2) 活動數據不確定性

在許多已開發國家焚化的廢棄物量基於廢棄物統計和特定工廠資料，有關焚化的廢棄物量的不確定性估算約為 $\pm 5\%$ (濕重)。廢棄物量從濕重至乾重的轉換，亦會增添不確定性。由於乾重確定的頻率和精確度之不確定性差異很大，因此，乾物質含量的不確定性範圍可能在 $\pm 10\%$ - $\pm 50\%$ 之間。

(3) 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 2012 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「含碳量比例」及「礦物碳比例」，以求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 I (Tier I)，利用國家垃圾清運之「焚化」數據、事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」數據、大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化(處理)量」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，該部門業已於 2014 年 01 月 23 日召開專家諮詢會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性，以作為排放量估算及研究之參考。

另參考 IPCC 2000 GPG 中。「方法 I 一般清單水準品質控制程序」(如表 7.4.6)，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

廢棄物部門清冊採用之計算方法、活動數據時間序列一致性與完整性、相關參數及活動係數之引用已查證確認，符合 IPCC 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

由於焚化垃圾組成將影響相關參數之計算，建議可進一步研究分析焚化廠廢棄物焚化類別組成種類與比例，將有助於精進估算廢棄物焚化處理溫室氣體排放量。

7.5 其他 (6.D.)

1. 排放源及匯分類的描述

1996 IPCC 指南中並未將固體廢棄物處理中的生物處理部分獨立出來，但在已發布的 2006 IPCC 指南中已經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，可常見到將機廢棄物（如食品廢棄物、花圃庭園之落葉等）回收用作堆肥和土地改良。

表 7.4.6 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料（垃圾清運之「焚化」數據、事業廢棄物申報統計之「委託或共同處理」及「自行處理」數據、大型垃圾焚化廠操作營運情形之「焚化（處理）量」、垃圾組成）和排放因數（IPCC 建議值）的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認各欄位單位標記的準確性 ● 確認整個計算過程中單位使用的準確性 ● 確認轉換因數的準確性 ● 檢核 1990 年與 1991 年垃圾性質百分比數據，確認假設數據與 1992 年垃圾性質百分比數據相同
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認引用適用多種排放源類別的活動水準資料常數與參數之一致性與複檢結果
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 複查檢核「含碳量比例」及「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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 詳細登錄資料來源引用與版本差異 ● 檢查歸檔並存儲的清單資料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	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 ● 確認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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 ● 本年度並無重新計算情事

堆肥處理過程中會發生厭氧反應而產生甲烷，亦會產生氧化亞氮。若有機廢棄物進行厭氧分解，將產生大量的甲烷，此時通常會回收甲烷進行燃燒，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。堆肥處理溫室氣體排放是依據中華民國環境保護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 7.5.1 與公式 7.5.2 所示。

公式 7.5.1 :

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

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_4 /kg 廢棄物)

i : 堆肥處理或厭氧處理

R : 回收的甲烷總量 (Gg CH_4)

公式 7.5.2 :

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

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_2O 之排放係數 (g N_2O /Gg 廢棄物)

i : 堆肥處理或厭氧處理

(2) 排放係數

依據公式 7.5.1 與公式 7.5.2，其所引用之排放係數預設值如表 7.5.1 所示。

表 7.5.1 廢棄物生物處理的甲烷和氧化亞氮排放的排放係數預設值

生物處理的類型	CH ₄ 排放係數 (g CH ₄ /kg 處理的廢棄物)		N ₂ O 排放係數 (g N ₂ 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	

表 7.5.2 估算生物處理產生之溫室氣體排放計算一覽表

參數	IPCC 指南計算方法或預設值	臺灣計算方法及採用數據	臺灣數據來源
生物處理之有機廢棄物量 (M_i)	國內資料自行確定	依據臺灣堆肥量進行計算。	中華民國環境保護年報
排放係數 (EF)	公布堆肥處理與厭氧處理之預設值	採用 IPCC 排放係數之預設值計算，其中甲烷排放係數為 4g- CH_4 /kg，亞化亞氮為 0.3g- N_2O /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

參閱 IPCC 建議指南公式 7.5.1 與公式 7.5.2 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 7.5.2。

（3）活動數據

依據中華民國環境保護統計年報，彙整 1990 至 2012 年廚餘回收之「堆肥」數據，如表 7.5.3 之堆肥數據欄位所示。

（4）排放量

生物處理產生（堆肥處理）之溫室氣體排放主要包括甲烷和氧化亞氮，依據公式 7.5.1 與公式 7.5.2 計算，相關參數詳列於表 7.5.2，初步計算結果如表 7.5.3 及圖 7.5.1 與圖 7.5.2 所示。

依據公式 7.5.1 與公式 7.5.2，其主要影響生物處理產生（堆肥處理）甲烷、氧化亞氮等溫室氣體排放量為堆肥處理量及排放係數，故參閱行政院環境保護署統計年報之堆肥處理量，1990 年數量似乎較近年數據增加許多，原

表 7.5.3 臺灣 1990 至 2012 年生物處理產生溫室氣體排放量

年度	堆肥 (千公噸)	有機廢棄物占 比 (%)	甲烷排放係數 (g-CH ₄ /kg)	氧化亞氮排放係數 (g-N ₂ O/kg)	甲烷排放量計算公式 (T)	氧化亞氮排放量計算公式 (T)
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

說明：堆肥活動數據來自行政院環境保護署（2013）。中華民國環境保護統計年報。

10 資料取自 U-BET 大學生命科學教學改進計畫網頁，<http://life.nthu.edu.tw/~lseduip/U-BET/ubet/F4/92agr.ppt>。

11 王淑珍課程講義，取自王淑珍網頁，http://personal.agron.ntu.edu.tw/shujen/class/IntroAg/organic_agriculture.pdf。

因可能為自 1990 年起臺灣省政府農林廳推動「有機農業先驅計畫」，設置簡易堆肥舍，試行有機栽培致使該年度堆肥數量較前後年較為增加^[10、11]，且我國於 1990 年已立法禁止焚燒稻草，鼓勵直接掩埋可改善土壤物理、化學及生物性之效果，可請代割中心於水稻收割時，直接用收稻機將稻稈切割成小段當作基肥。故，2012 年甲烷、氧化亞氮等溫室氣體排放量相較 1990 年排放量增加 1.16 倍，2012 年排放量較 2011 年排放量減少 7%。

(5) 完整性

中華民國環境保護統計年報完整記載 1990 至 2012 年廚餘回收之「堆肥」數據。

3. 不確定性與時間序列的一致性

依據 2006 IPCC 指南估算生物處理產生甲烷與氧化亞氮排放量說明，活動資料的不確定性取決於資料的收集方式，此部分不確定性可參閱表 7.2.6 掩埋場甲烷排放估算之不確定性，而排放係數不確定性則與引用其他國家資料有關。

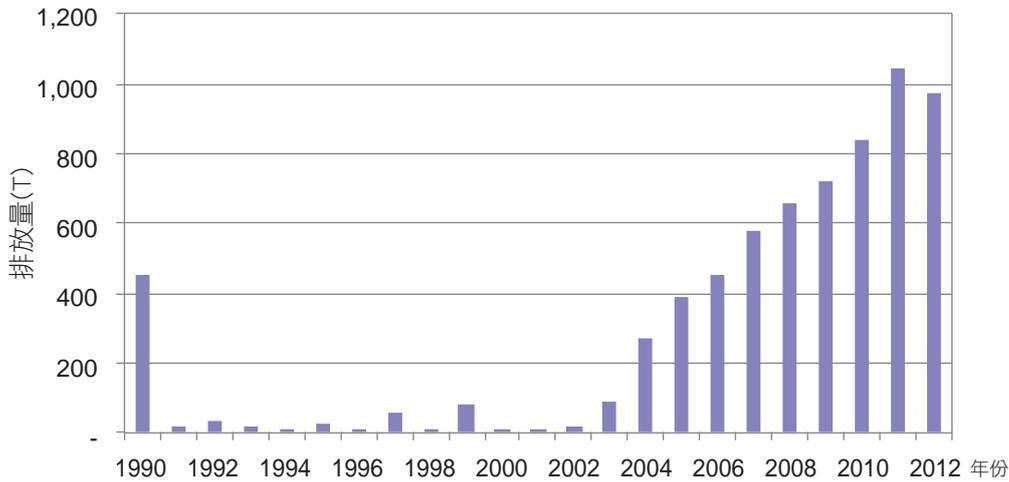


圖 7.5.1 臺灣 1990 至 2012 年生物處理產生甲烷排放趨勢

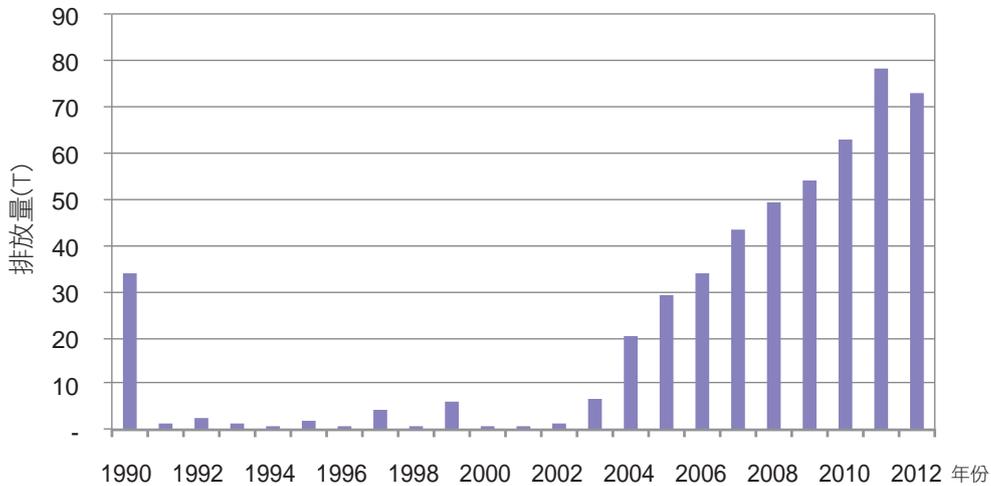


圖 7.5.2 臺灣 1990 至 2012 年生物處理產生氧化亞氮排放趨勢

生物處理產生甲烷與氧化亞氮排放量之估算，是依據中華民國環境保護統計年報，完整彙整 1990 至 2012 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 I (Tier I)，利用國家廚餘回收之堆肥活動數據為基礎，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，該部門業已於 2014 年 01 月 23 日召開

專家諮詢會議，針對計算方式、引用參數與活動數據研析其合理性，以作為排放量估算及研究之參考。

另參考 IPCC 2000 GPG 中，「方法 I 一般清單水準品質控制程序」（如表 7.5.4），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 7.5.4 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 交叉檢查排放源類別資訊活動水準資料（廚餘回收之「堆肥」數據）和排放因數（IPCC 建議值）的種類並確保其正確記錄並歸檔
檢查資料登錄和參考文獻的轉錄誤差	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認正確引用「中華民國環境保護統計年報」結果
檢查排放計算的準確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 條列各項參數與活動數據，簡化運算規則，複查計算結果準確性
檢查被正確記錄的參數和排放單位及被採用的適當的轉換因數	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認各欄位單位標記的準確性 ● 確認整個計算過程中單位使用的準確性 ● 確認轉換因數的準確性 ● 無時間和空間校正因數應用
檢查資料庫檔的完整性	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡明條列明確欄位與計算欄位
檢查排放源類別間資料的一致性	<ul style="list-style-type: none"> ● 無引用適用多種排放源類別的資料
檢查處理過程中清單資料轉移的正確性	<ul style="list-style-type: none"> ● 避免有轉錄情事，並加強複查檢核 ● 無計算轉錄計算情事
檢查排放不確定性和轉換的正確估算和計算	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查提供不確定性估算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	<ul style="list-style-type: none"> ● 詳細登錄資料來源引用與版本差異 ● 檢查歸檔並存儲的清單資料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	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認每個排放源類別輸入資料的時間序列一致性 ● 確認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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 對於每個排放源類別應將當前的清單估算和以前的估算進行比較如果與設想情況有重大的變化或差距應重新檢查估算並分析不同之處 ● 本年度並無重新計算情事

5. 特定排放源的重新計算

廢棄物部門清冊採用之計算方法、活動數據時間序列一致性與完整性、相關參數及活動係數之引用已查證確認，符合 IPCC 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。

參考文獻

1. IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volumes 2: Greenhouse Gas Inventory Workbook. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
2. IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Enmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. and Tanabe, K. (Eds). IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
3. IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, land-Use Change and Forestry. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. and Wagner, F. (Eds). IPCC/IGES, Hayama, Japan.
4. IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2 : Energy. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (Eds). IPCC/IGES, Kanagawa, Japan.
5. 劉玉文 (2009)。我國糧食供需變動分析。農政與農情，208 (10)，95-101。取自行政院農業委員會網站，<http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=20330&print=1>。
6. 行政院環境保護署 (2013)。中華民國環境保護統計年報。臺北市：行政院環境保護署。
7. 內政部 (2013)。統計年報。取自內政部統計年報網站，<http://sowf.moi.gov.tw/stat/year/list.htm>
8. IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (Eds). IPCC/IGES, Kanagawa, Japan.
9. 行政院環境保護署 (2000)。臺灣地區廢棄物廢水部門溫室氣體排放推估。臺北市：行政院環境保護署。
10. 資料取自 U-BET 大學生命科學教學改進計畫網頁，<http://life.nthu.edu.tw/~lseduip/U-BET/ubet/F4/92agr.ppt>。
11. 王淑珍課程講義，取自王淑珍網頁，http://personal.agron.ntu.edu.tw/shujen/class/IntroAg/organic_agriculture.pdf。