

鋁冶煉金屬製程溫室氣體直接排放量的計算 - 溫室氣體盤查議定計畫

計算作業表的指導 (資料來源：

http://www.ghgprotocol.org/standard/Current_Tools_10_2_03/aluminum_guidancev1.0.doc)

I. 概要

I.A. 本節的目的與範圍

本節是提供給工廠管理者與現場負責操作人員，以便於定期量測與報告該公司與鋁冶煉金屬製程直接關聯的溫室氣體排放量；這裡直接排放量以申報機構的法定組織界線內所產生的量為限。一套逐步說明的方式涵括由數據收集到完成報告各階段的計算程序。本節指導應該應用於含電解鋁製程作業的製造業，所建議的方法依據污染排放類別安排。鋁冶煉金屬製程排放的溫室氣體有兩大類：一是二氧化碳(CO₂)，另一個是全氟碳化物(PFCs)，四氟甲烷(CF₄)，又稱全氟甲烷，還有六氟乙烷(C₂F₆)，又稱全氟乙烷。有的工廠可能會因電氣設備的絕緣使用六氟化硫(SF₆)，而產生相關的排放量。

I.B. 原生鋁製程說明

原生鋁製程分兩步驟：第一步，鋁礬土經磨碎、純化與鍛燒以生成氧化鋁(Al₂O₃)，本指導不含此階段相關的計算(可應用固定式燃燒的指導，以計算生產氧化鋁的 CO₂ 排放量)。其次，藉大型電解冶煉槽(鍋)將氧化鋁電解還原；氧化鋁與冶煉鍋內熔融的冰晶石(氟化鋁鈉)電解質混合，而電解質浴是裝在鋼殼碳襯的冶煉鍋內，碳襯就成為電解反應的陰極，陽極則是半浸在電解質浴的碳棒，會因反應而消耗。陽極可能是在另一製程先預焙，並且連接在棒棍上以浸在電解質浴(預焙槽)；或可能是利用煤焦瀝青與石油焦糊連續澆灌在冶煉鍋上方的自焙電極(Soderberg 設計槽)。電解氧化鋁會生成熔融金屬鋁(Al)，沉積在陰極上，而碳陽極因氧化產生二氧化碳。

在 1997 年，全球 45 個國家鋁生產量達 21.5 百萬公噸，其中居首的美國佔 17% 的全球產量，其次是俄羅斯佔 14%，而中國佔 11%。

I.C. 製程排放

大部分的二氧化碳由碳陽極因反應而產生(依照反應 1)，有些 CO₂ 也會因碳陽極與其他的氧來源(特別是空氣)反應而產生；這些都是在電解槽作業時發生，以及在煉鋁廠製作陽極時預焙電極的情況(製作陽極不包括在此指導中；但若計算方法經過確認，本指導將採納)。另外，全氟碳化物會在電解過程中排放。

II. 活動數據與排放因子的選擇

此節確認與活動數據(II.A)、排放因子(II.B)相關的特定議題，活動數據與排放因子要用在排

放量的計算。

II.A.活動數據

所需要的數據可由直接量測鋁產量、SF₆耗用量或相關財務報表中獲得，斜率與過電壓法利用週期性的量測，以建立操作參數之間(亦即，陽極效應的頻率與週期，或陽極效應過電壓)冶煉專屬關係。

II.B.排放因子

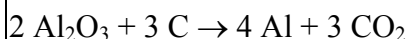
在計算作業表內所附的"排放因子表"顯示內設 CO₂ 排放因子，而本指導中表 3、4 與 5 顯示全氟碳化物排放量的內設排放因子；公司與設施若有更適用的排放因子，可以自行替換這些內設值。大多數的內設排放因子是採自 IPCC 良好作法指導的資料，而相關參考資料也在各表中註明。

II.C.溫室氣體產生源的完整性

要完整涵括冶煉階段的排放量，需要估算來自排氣管與電解室屋頂 CF₄ 與 C₂F₆ 的排放量，或是對於收集效率的充分瞭解。

III.直接由碳陽極反應產生的 CO₂ 排放量

反應 1：



利用工作表 1 來計算煉鋁製程所產生的 CO₂ 排放量，如果已知還原劑(在此，還原劑代表能自礦土中去除氧的物質成份)的使用量(以申報期間的重量或每單位鋁產量(公噸)的重量)；否則就要利用工作表 2。

要特別注意來自原生鋁製程的 CO₂ 排放量，包括直接來自如上述的的電解過程，也包括間接來自製程所需的能源，特別是化石燃料的燃燒；這種情況就要應用固定式燃燒的指導，以計算間接的 CO₂ 排放量。

►如果已知還原劑的使用量

工作表 1 的計算步驟

1.1.在 A 欄 – 填寫申報期間還原劑的使用量(以公噸表示)，在工作表 1 各行填寫每種還原劑數量。

1.2.在 B 欄 – 填寫相關的排放因子，參考表 1 所列各種還原劑。

表 1 – 來自金屬製程的 CO₂ 排放因子

還原劑	排放因子(公噸 CO ₂ /公噸還原劑)
煤	2.5
焦煤	3.1
煤焦油瀝青	3.1
石油焦	3.6
預焙陽極與煤電極	3.6

註：這些數值可由固定式燃燒的指導中獲得。

參考表 2-11 – 1996 年版 IPCC 指導，Volume II – 第 2.26 頁。

1.3. 在 C 欄填寫還原劑的重量(A 欄)乘上排放因子(B 欄)後的乘積結果。

1.4. 將 C 欄的所有結果相加，將所得總值填寫在 C 欄底部。

► 如果不知還原劑的使用量

工作表 2 的計算步驟

1.1. 在 A 欄 – 填寫申報期間鋁的生產量(公噸)，將各製程的產量列在工作表 2 的每一行內。

1.2. 在 B 欄 – 依據表 2 各製程相關的排放因子填寫。

表 2 – 原生鋁製程得 CO₂ 排放因子

製程種類	排放因子(公噸 CO ₂ /公噸鋁)
自焙陽極鋁電解製程 Soderberg	1.8
預焙陽極鋁電解製程	1.5

參考表 2-18 – 1996 年版 IPCC 指導，Volume II – 第 2.30 頁。假設 Soderberg 製程的淨耗碳量是 0.49，預焙製程的淨耗碳量是 0.41。

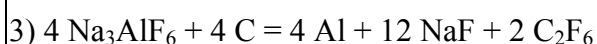
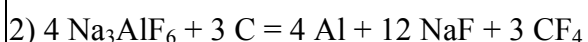
1.3. 在 C 欄填寫還原劑的重量(A 欄)乘上排放因子(B 欄)後的乘積結果。

1.4. 將 C 欄的所有結果相加，將所得總值填寫在 C 欄底部。

IV. 電解反應的直接全氟碳化物排放量

已知會有 CF₄ 與 C₂F₆ 兩種全氟碳化物由原生鋁冶煉製程排放出來，通常是發生在"陽極效應"(AE)短暫不正常的狀況下，當氧化鋁的量降得太低，而讓電解質浴本身發生電解作用，其反應式如下所示；全氟碳化物排放量會隨著陽極效應的發生次數、強度與持續時間而增加。

反應 2 與 3：



要計算工廠內鋁製程全氟碳化物排放量，有幾種方法可以依數據資料的性質採用。

►定期採養與量測(IPCC 第 3b 階：與冶煉爐特定的關係)

全氟碳化物的計算，可依據現場量測一段充分時間的 CF_4 與 C_2F_6 排放量，以精確建立排放量與製程數據之間的關係(參考 IPCC 良好作法指導，第 3.41 頁：有關執行直接全氟碳化物量測的資料)。

對於大多數的原生鋁工廠，由每公噸鋁產量全氟碳化物排放量(公斤)對每天每個槽陽極效應的發生時間(分鐘)比率導出的斜率因子，可用來計算全氟碳化物排放量。但若是中間進料或側邊進料預焙陽極電解槽使用記錄過電壓的 Pechiney 控制科技，就要使用過電壓法。應用最適宜方法的結果要在工作表 3 中使用。

►工作表 3 的計算步驟

1.1. 在 A 欄，填寫申報期間的鋁產量，每個製程產量列在工作表 3 的每一行。

1.2. 在 B 欄，依據斜率法或過電壓法所得的 CF_4 排放因子填寫。

►斜率法

公式 1：

$$EF (\text{公斤 } CF_4 \text{ 或 } C_2F_6 / \text{公噸 Al}) = \text{斜率} \times AEF \times AED$$

在此：

$$\text{斜率} = 1.698 \times p / CE$$

p = 在陽極效應發生期間電解鍋內氣體 CF_4 或 C_2F_6 的平均成份。

CE = 鋁製程的電流效率，以分數而非百分比表示。

AEF = 每天每個槽陽極效應的發生次數。

AED = 陽極效應的發生時間，以分鐘數表示。

如果沒有專用的實測值，採用內設值；內設值是每種減量科技公開實測值的平均值，如表 3 所示，可用來結合陽極效應 – 分鐘/天 槽，以估算全氟碳化物排放量(IPCC 第 2 階方法)。應用 IPCC 第 2 階方法會比第 3 階方法產生較大的誤差，而且有些應付第 2 階方法報告的結果曾經顯示誤差達 100%。

表 3 – 利用 IPCC 第 2 階係數以估計鋁製程 CF₄ 與 C₂F₆ 的排放量

電解槽種類	CF ₄	C ₂ F ₆
	斜率 (公斤全氟碳化物/公噸鋁/陽極效應 – 分鐘/天 槽)	
中間點式加料預焙陽極鋁電解槽	0.14	0.018
側插預焙陽極電解槽	0.29	0.029
立柱 Söderberg	0.068	0.003
臥式 Söderberg	0.18	0.018

參考表 3-9 – IPCC-國家溫室氣體清冊良好作法與不確定性管理(最新版本)

► 過電壓法

此法適用於預焙科技。

公式 2 :

$$EF \text{ (公斤 CF}_4 \text{ 或 C}_2\text{F}_6\text{/公噸鋁)} = \text{過電壓係數} \times \text{AEO} / \text{CE}$$

在此 :

AEO = 陽極效應過電壓，毫伏特 – 天/天 槽(此法由 Pechiney 所發展，適用於該電解製程的估算)

%CE = 鋁製程電流效率，分數

如果沒有專用的實測值，採用內設值，如表 4 所示，可用來結合冶煉廠過電壓與鋁製程電流效率。

表 4 – 內設參數以估算鋁製程 CF₄ 與 C₂F₆ 排放量

電解槽種類	CF ₄	C ₂ F ₆
	過電壓係數 (公斤全氟碳化物/公噸鋁/毫伏特 – 天/天 槽)	
中間點式加料預焙陽極鋁電解槽	1.9	T.B.P. (0.24)*
側插預焙陽極電解槽	1.9	T.B.P. (0.19)*

參考表 3-10 – 國家溫室氣體清冊良好作法與不確定性管理

T.B.P. = 即將公告(目前雖然有些量測值可供估算 C₂F₆，然而，這些係數尚未被納入 IPCC 文件中)。

*對於 C₂F₆，為內設值建議使用藉斜率法所獲得的 C₂F₆/CF₄ 比值。

1.3.在 C 欄，填寫 C₂F₆ 排放因子；該數值可藉斜率法與過電壓法獲得。

1.4. 將申報期間的鋁產量(填在 A 欄)乘上 CF_4 排放因子(填在 B 欄), 然後將結果填在 D 欄;
將申報期間的鋁產量(填在 A 欄)乘上 C_2F_6 排放因子(填在 C 欄), 然後將結果填在 E 欄。

1.5. 將填在 D 欄 CF_4 的排放量乘上 6.5, 將填在 E 欄 C_2F_6 的排放量乘上 9.2; 將這兩項乘積結果加起來, 總值填在 F 欄, 代表該類製程的排放量 – 這些值會自動加總。

1.6. 將 F 欄內所有的值加總, 所得的總值填在 F 欄底部 – 這些值會自動加總。

► 製程導出的排放因子

如果沒有陽極效應發生次數、陽極效應持續時間、或陽極效應過電壓等資料, 可以應用工作表 4, 其中排放因子可由表 5 針對每種製程計算獲得; 如果只有金屬產量統計數據, 使用內設排放因子也是不得已的方法。

► 工作表 4 的計算步驟

1.1. 在 A 欄, 將申報期間的鋁產量依每種製程填在工作表 4 中不同的行列。

1.2. 在 B 欄, 依照表 5 對於各種電解槽科技種類, 填寫相關的 CF_4 內設排放因子。

表 5 – 各種科技種類的內設排放因子

電解槽科技種類	EF (公斤 CF_4 /公噸鋁)	EF (公斤 C_2F_6 /公噸鋁)
中間點式加料預焙陽極鋁電解槽	0.31	0.04
側插預焙陽極電解槽	1.7	0.17
立柱 Söderberg	0.61	0.061
臥式 Söderberg	0.6	0.06

參考表 3-8 – 國家溫室氣體清冊良好作法與不確定性管理

這裡大部分的數值是依據 IPAI 的調查結果(見參考資料); 資料來源: IPAI, EPA 現場量測, 以及其他 1990 年公司量測數據, 但其中 HSS 是依據 1991 年的數據(Bjerke, 1999a; Bjerke et al., 1999b)。

1.3. 在 C 欄, 依照各種電解槽種類填寫 C_2F_6 排放因子。

1.4. 在 D 欄, 填寫鋁總產量(A 欄)乘上 CF_4 排放因子(B 欄)的乘積結果; 在 E 欄, 填寫鋁總產量(A 欄)乘上 C_2F_6 排放因子(C 欄)的乘積結果 – 這個數值會自動計算。

1.5. 將 CF_4 的排放量(D 欄)乘上 6.5, 將 C_2F_6 的排放量(E 欄)乘上 9.2(這些乘上的常數是全球暖化潛勢值除以 1000, 將其單位由公斤轉換成公噸)。將這兩種排放量轉換結果加起來, 總數填寫在 F 欄內; 此數值即為全氟碳化物排放導致的 CO_2 當量排放量 – 這個數值會自動計算。

1.6. 將 F 欄內所有的值加總, 所得的總值填在 F 欄底部 – 這些值會自動加總。

V. 由鋁製程產生全氟碳化物排放量的相關意見

►減輕

全氟碳化物是陽極效應發生時的產物，這現象主要是和電解槽科技種類與操作過程有關；為減少全氟碳化物排放量，美國環保署建議採納下列措施(這些措施的適用性，以及其功效，會因設備的新舊相關)：

- > 裝設點狀送料機與調節送料電腦控制以改善氧化鋁的飼料技術。
- > 加強操作員有關陽極效應發生時的因應作業(例如：提供量測儀器以監控氧化鋁送料速度與陽極效應)。
- > 採用改善的電腦控制以最佳化電解槽功能。
- > 量測全氟碳化物排放量與監控電解槽操作參數，以推導兩者間的關聯性。

陽極效應除了會產生全氟碳化物，也降低電流效率與電解製程的產能；因此，若能在原生鋁製程中減少全氟碳化物排放量，就是增加製程效率與降低生產成本。

VI. 計算 SF₆ 排放量

在製鋁工業，SF₆ 是用在特殊鑄造生產時的保護氣體；由於 SF₆ 被認為是惰性物質，SF₆ 的排放量應該等於耗用量：

SF₆ 排放量 = SF₆ 耗用量

應用工作表 5 以獲得 CO₂ 當量排放量。

►工作表 5 的計算步驟

- 1.1. 填在 A 欄有關 SF₆ 申報期間的耗用量(公斤)。
- 1.2. 將 A 欄 SF₆ 的耗用量乘上 B 欄的排放因子(23.9)，所得的乘積填寫在 C 欄 – 此數值會自動計算。
- 1.3. 將填在 C 欄的值加總 – 此數值會自動計算。

VII. 總 CO₂ 排放量

整個工廠的鋁製程總 CO₂ 排放量可利用工作表 5 來計算。

►工作表 6 的計算步驟

- 1.1. 將工作表 1、2、3、4 與 5 的總 CO₂ 排放量填寫在 A 欄。
- 1.2. 將填在 A 欄的值加總 – 此數值會自動計算。

VIII. 品質控制

為了確定溫室氣體清冊的可信度，要遵循嚴格的品質保證與管制(QA/QC)程序，以確保估算的精準度、透明度與可查核度；下述的議題要加以表明。

查核應該確保所採用的排放因子是最好的與最精準的資料，如果有專用的排放因子，與內設數值比較是否有顯著的差異？在計算公司或工廠的特定排放因子時用的是什麼方法？該數值推估是否符合 IPCC 的指導？

XI. 報告與文件化作業

這裡所列的作業表不足以提供充分透明的報告，為了改善透明度，良好作法是要將 CF₄ 與 C₂F₆ 估算排放量分別申報，可以用重量表示，以及用 CO₂ 當量表示。

依據良好作法，使用的全球暖化潛勢數值要符合 IPCC 最新的公告數字(目前 CF₄ 是 6,500，C₂F₆ 是 9,200)，並且適用所有的年份。在申報排放量估算時，為確保透明度必要的參考文件如下表所示。大多數的生產與製程數據被操作員認定是專屬資料，良好作法是要應用適當的技術，包括數據分類彙整，以確實保護機密的數據。

數據	全氟碳化物排放量 - 定期採樣與量測	全氟碳化物排放量 - 藉由鋁產量
年產量(依據科技)	X	X
陽極效應 - 分鐘/天 槽	X	
陽極效應過電壓(毫伏特/天 槽)	X	
排放係數	X	
排放因子	X	X
全球暖化潛勢	X	X
參考文件	X	X

X. 參考資料

IPAI (1996), *Anode Effect and Perfluorocarbon Compounds Emission Survey 1990-1993*.

International Primary Aluminium Institute, London UK.

IPCC (1996a), *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions*

IPCC (1996b), *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Greenhouse Gas Inventory Workbook*

IPCC (1996c), *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Greenhouse Gas Inventory Reference Manual*

IPCC (2000), *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*

USEPA (1999), *International Efforts to Reduce Perfluorocarbon (PFC) Emissions from Primary Aluminium Production*. Air and Radiation Office. USEPA 430-R-99-001

IAI (2000), *Anode Effect Survey 1994-1997 and Perfulorocarbon Emissions Survey 1990 – 1997*, International Aluminium Institute, London, UK

計算原生鋁製程溫室氣體的直接排放量，2003 年六月版本 1.0

計算作業表(來源：

http://www.ghgprotocol.org/standard/Current_Tools_10_2_03/aluminum.v1.0.xls)

► 本工具的目的與範圍

本工具的目的是用來計算源自原生鋁製程的直接 CO₂ 排放量(來自陽極氧化的 CO₂ 與來自“陽極效應”的全氟碳化物排放量)，並且計算用在原生鋁製程中的 SF₆ 排放量。此文件要和下述兩份文件配合使用：

- 1)‘計算作業表指導 – 計算原生鋁製程的直接溫室氣體排放量，與
- 2)‘溫室氣體盤查議定書標準與指導 – 最新版’。

► 銘謝

目前這份指導的更新與修正是有賴於國際鋁業協會(IAI)的 Jerry Marks、Willy Bjerke；加拿大鋁業(Alcan)的 Fraser Thompson；第一環境(First Environment)的 Brian Glazebrook；挪威海德魯(Norsk Hydro)的 Jostein Søreide；法國羅兵咸永道(PricewaterhouseCoopers France)的 Emmanuelle Henry、Laurent Segalen；印度鋁工業公司(Hindalco)的 Mihir Moitra；美國鋁業(Alcoa)的 Patrick Grover；美國環保署(US EPA)的 Sally Rand。原稿由羅兵咸永道 Marie Marache 準備，而國際鋁業協會與美國鋁合金協會(AA)提供大部份的資料。

► 警告：使用者要注意，指導文件中提到作業表欄位標示是後來設定的標籤，而非 Excel 軟體原有設定的標示。

► 重設作業表

為避免不慎將作業表內計算公式消除，當重新設定新的計算時，點按作業表內的重設鈕。任何使用本工具的情況下，請註明參考原始出處；雖然作業表內有詳細的說明，但是對於內容有疑問或建議，請聯繫 Peter Gage，網址是 pgage@wri.org。請臨訪溫室氣體盤查議定書計畫(GHGPI)，網址 www.ghgprotocol.org 內尚其他的溫室氣體計算工具。

原生鋁製程指導應用到的作業表名單

工作表 1	預焙 CO ₂ 排放量，包括焙製爐氧化揮發物質(當陽極耗用率已知的情況)。
工作表 2	來自 Søderberg 電解作業的 CO ₂ 排放量(當陽極物質耗用率已知的情況)。
工作表 3	依據含碳物質耗用量估算 CO ₂ 排放量的替代方法。
工作表 4	來自電解作業的 CO ₂ 排放量(當含碳物質耗用量不清楚的情況下，使用內設排放因子)。
工作表 5	來自焦炭鍛燒的 CO ₂ 排放量。

工作表 6	來自石灰製程的 CO ₂ 排放量。
工作表 7	原生鋁製程使用蘇打粉的 CO ₂ 排放量。
工作表 8	全氟碳化物排放量(當陽極效應數據具備時，應用斜率法或過電壓法計算)。
工作表 9	全氟碳化物排放量(當製程數據缺乏時，應用內設排放因子)。
工作表 10	SF ₆ 排放量。
工作表 11	整個工廠 CO ₂ 當量排放量的總額。

原生鋁製程

► 工作表 1：預焙 CO₂ 排放量(部分 A.來自預焙槽爐電解的 CO₂ 排放量，與部分 B.來自陽極焙製瀝青揮發物質氧化的 CO₂ 排放量)

欄位顏色碼：

使用者輸入值：
使用者隨意輸入值：
自動計算值：

"點按"重設鈕以清除任何填寫數值，並且將展開作業表工具回復到原點，以避免不慎將計算公式消除。

重設部分 A

部分 A.來自預焙槽電解的二氧化碳排放量

	步驟 1.1.	步驟 1.2.	步驟 1.3.			步驟 1.4.
	A	B	C			D
	鋁產量	每公噸鋁預焙 陽極耗用量	預焙陽極性質			CO ₂ 排放量
		硫	灰	雜質		
單位	(t 鋁)	(t 陽極 / t 鋁)	(重量百分比)			(t CO ₂)
例：一般工業數值	10	0.40	1.6	0.8	0.4	14.3
1 號預焙槽生產線						0.0
2 號預焙槽生產線						0.0
3 號預焙槽生產線						0.0
						0.0

						0.0
步驟 1.5.將 D 欄總計 =						0.00

註：所有的 t 代表公噸

部分 A. 來自預焙槽電解的二氧化碳排放量

$$CO_2 \text{ 排放量 (t)} = [NCC \times MP \times (100 - \%Sa - \%Asha - Impa) / 100] \times 44 / 12$$

在此：MP = 總鋁產量(t)，而其他的參數定義如下：

參數	一般工業數值
NCC：每公噸鋁的淨碳耗用量(t碳/t鋁)	0.4
Sa：焙製陽極的硫含量(重量%)	1.6
Asha：焙製陽極的灰含量(重量%)	0.8
Impa：氟與其他雜質(重量%)	0.4

重設部分 B

部分 B. 來自陽極焙製爐的二氧化碳排放量

	步驟 1.1.		步驟 1.2.						步驟 1.3.
	A	B	C			D			E
	碳陽極重量	焙製陽極產量 (BAP)	碳陽極瀝青含量	瀝青的氫含量	回收的焦油	填充焦碳耗用量 (PCC)	填充焦碳的硫含量	填充焦碳的灰含量	CO ₂ 排放量
單位	(t)	(t)	(重量%)		(公斤/t BAP)	(t PCC/t BAP)	(重量%)		(t CO ₂)
例：一般工業數值	10	9.45	15	4.45	0	0.05	3	5	3.4
焙製爐期間 1									0.0
焙製爐期間 2									0.0
焙製爐期間 3									0.0
									0.0
									0.0

部分B1.來自瀝青焦化的瀝青揮發性物質氧化作用

來自瀝青焦化的CO₂(t) = (GAW – BAP – HW – RT/1000) x 44/12

與

HW (t) = H₂/100 x PC/100 x GAW

在此：

參數	一般工業數值
GAW：碳陽極公噸數(t)	使用者輸入
BAP：焙製陽極產量(t)	使用者輸入
HW：瀝青的氫重量(t)	使用者輸入
H ₂ ：瀝青的氫含量(重量%)	4.45
PC：碳陽極的平均瀝青含量(重量%)	15
RT：回收焦油(t)	5公斤/t BAP(對於Riedheimer爐)，與 0 公斤/t BAP(對於其他的爐)

部分B2.焙製爐填充物資

來自填充焦碳的CO₂排放量(t) = [PCC x BAP x (100 – %Ashpc - %Spc)/100] x 44/12

在此：

參數	一般工業數值
PCC：每噸焙製陽極填充焦碳的耗用量(t焦碳 / t陽極)	0.050
BAP：焙製陽極產量(t)	使用者輸入
Ashpc：填充焦碳的灰含量(重量%)	5(煤基料) 0.2(石油基料)
Spc：填充焦碳的硫含量(重量%)	3

原生鋁製程

►工作表 2：Søderberg 的 CO₂ 排放量

如果糊料使用量已知，應用工作表 2

欄位顏色碼：

使用者輸入值：
使用者隨意輸入值：
自動計算值：

"點按"重設鈕以清除任何填寫數值，並且將展開作業表工具回復到原點，以避免不慎將計算公式消除。

重設

	步驟 1.1.	步驟 1.2.	步驟 1.3.	步驟 1.4.						步驟 1.5.	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Söderberg 的種類 (HSS 或 VSS)	鋁產量	每公噸鋁的糊料使用量	糊料黏著劑平均成份	瀝青性質			鍛燒焦碳性質		苯可溶物質排放量	CO ₂ 排放量
單位	(t 鋁)	(t 糊料 / t 鋁)	(重量%)						(公斤/t 鋁)	(t CO ₂)	
例：一般工業數值	VSS	100	0.51	27	0.55	4.5	0.15	1.8	0.1	0.5	181.6
1 號 Söderberg 電解線											0.0
2 號 Söderberg 電解線											0.0
3 號 Söderberg 電解線											0.0
											0.0
											0.0
步驟 1.6.將 K 欄總計 =										0.00	

註：所有的 t 代表公噸

來自Søderberg陽極耗用的排放量

$$\text{CO}_2\text{排放量(t)} = [(\text{PC} \times \text{MP}) - (\text{BSM} \times \text{MP}/1000) - [\% \text{BC}/100 \times \text{PC} \times \text{MP} \times (\% \text{Sp} + \% \text{Ashp} + [\text{H}_2/100])] - [(100 - \% \text{BC})/100] \times \text{PC} \times \text{MP} \times (\% \text{Sc} + \% \text{Ashc})/100] \times 44/12$$

參數	一般工業數值
PC：糊料使用量(t糊料 / t鋁)	0.51
BSM：苯可溶物質排放量(公斤 / t鋁)	VSS = 0.5、HSS = 4.0
BC：糊料平均黏著劑含量(重量%)	25 - 30
Sp：瀝青硫含量(重量%)	0.55
Ashp – 瀝青灰含量(重量%)	0.15
H ₂ ：瀝青氫含量(重量%)	4.5
Sc：鍛燒焦碳硫含量(重量%)	1.8
Ashc：鍛燒焦碳灰含量(重量%)	0.1

原生鋁製程

►工作表 3：依據含碳物質耗用量估算 CO₂ 排放量的替代方法

欄位顏色碼：

使用者輸入值：

自動計算值：

"點按"重設鈕以清除任何填寫數值，並且將展開作業表工具回復到原點，以避免不慎將計算公式消除。

重設

單位	步驟 1.1.						步驟 1.2.	步驟 1.3				步驟 1.4.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	申報期間總瀝青耗用量 (t)	瀝青碳含量 (重量百分比)	申報期間總焦炭耗用量 (t)	焦炭碳含量 (重量百分比)	申報期間總填充焦炭耗用量 (t)	填充焦炭碳含量 (重量百分比)	送掩埋場廢棄碳總量 (t)	陽極採購量 (t)	採購陽極碳含量 (重量百分比)	陽極銷售量 (t)	銷售陽極碳含量 (重量百分比)	CO ₂ 排放量 (t CO ₂)
例：	150.0	95	850.0	98.0	10.0	99.0	3.0	500.0	98.0	200.0	98.5	4676
申報期 1												0
申報期 2												0
申報期 3												0
												0
												0
							步驟 1.5.將 L 欄總計 =					0

依據含碳物質耗用量估算CO₂排放量的替代方法

$$TCC = TPC \times PC/100 + \text{Coke} \times CC/100 + TPCC \times PCC/100 - TWC + PA \times PAC/100 - SA \times SAC/100$$

與

$$CO_2 (t) = TCC \times 44/12$$

在此：

TCC = 總碳耗用量(t)

TPC = 總瀝青耗用量(t)

PC = 瀝青碳含量(重量%)

Coke = 總焦炭耗用量(t)

CC = 焦炭碳含量(重量%)

TPCC = 總填充焦炭耗用量(t)

PCC = 填充焦炭碳含量(重量%)

TWC = 送掩埋場廢棄碳總量(t)

PA = 陽極採購總量(t)

PAC = 採購陽極碳含量(重量%)

SA = 陽極銷售總量(t)

SAC = 銷售陽極碳含量(重量%)

CO₂ (t) = CO₂ 產生量(t)

原生鋁製程

►工作表 4：內設 CO 排放量

如果缺含碳物質數量，使用工作表 4。

欄位顏色碼：

使用者輸入值：

使用者隨意輸入值：

自動計算值：

"點按"重設鈕以清除任何填寫數值，並且將展開作業表工具回復到原點，以避免不慎將計算公式消除。

重設

	步驟 1.1.	步驟 1.2.		步驟 1.3.
	A		B	C
	每次申報期間鋁產量	專屬排放因子	排放因子	CO ₂ 排放量 C = A x B
製程種類	(t 鋁)	(t CO ₂ / t 鋁)	(t CO ₂ / t 鋁)	(t CO ₂)
例：Söderberg	100		1.7	170
Söderberg			1.7	0
預焙			1.6	0
	步驟 1.4.將 C 欄總計 =			0

註：所有的 t 代表公噸

原生鋁製程

►工作表 5：焦碳鍛燒的 CO₂ 排放量

欄位顏色碼：

使用者輸入值：

使用者隨意輸入值：

自動計算值：

"點按"重設鈕以清除任何填寫數值，並且將展開作業表工具回復到原點，以避免不慎將計算公式消除。

重設

	步驟 1.1.	步驟 1.2.			步驟 1.3.	步驟 1.4.			步驟 1.5.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	申報期間 生焦炭鍛 燒量	生焦炭 濕度	生焦炭 揮發物 質	生焦 炭硫 含量	申報期間 焦炭鍛燒 量	鍛燒焦炭 硫含量	鍛燒不充分 焦炭收集量	焦碳塵排 放量	CO ₂ 排 放量
單位	(t)	(重量%)			(t)	(重量%)	(t)	(t)	(t CO ₂)
例：	320627	8.9	9.7	3.0	237270	2.7	19261.0	530.0	35448
申報期 1					0.0			0.0	0
申報期 2					0.0			0.0	0
申報期 3					0.0			0.0	0
					0.0			0.0	0
					0.0			0.0	0
步驟 1.6.將 I 欄總計 =									0

來自鍛燒作業的CO₂排放量

$$CO_2\text{排放量 (t)} = [[GC \times (100 - \%H_2O_{gc} - \%V_{gc} - \%S_{gc}) / 100] + (CC + UCC + DE) \times (100 - \%S_{cc}) / 100] \times 44 / 12] + [GC \times 0.035 \times 44 / 16]$$

參數

一般工業數值

GC：生焦炭進料量(t)

使用者輸入

H₂O_{gc}：生焦炭濕度(wt %)

10

V_{gc}：生焦炭揮發物質(wt %)

10

Sgc : 生焦炭硫含量(wt %)	3
Scs : 鍛燒焦炭硫含量(wt %)	2.5
CC : 焦炭鍛燒量(t)	0.8 x GC
UCC : 鍛燒不充分焦炭收集量(t)	0
DE : 焦碳塵排放量(t)	0.075 x GC

註：所有的 t 代表公噸

原生鋁製程

► 工作表 6 : 石灰製程的 CO₂ 排放量

欄位顏色碼：

使用者輸入值：
使用者隨意輸入值：
自動計算值：

"點按"重設鈕以清除任何填寫數值，並且將展開作業表工具回復到原點，以避免不慎將計算公式消除。

重設

	步驟 1.1.	步驟 1.2.	步驟 1.3.		步驟 1.4.
	A	B	C	D	E
	生石灰產量	生石灰純度	熟石灰產量	熟石灰純度	CO ₂ 排放量
單位	(t)	(純小數)	(t)	(純小數)	(t CO ₂)
例：1999	1000	0.95	500	0.93	1023
申報期 1					0
申報期 2					0
申報期 3					0
					0
					0
步驟 1.5.將 E 欄總計 =					0

來自石灰製程的CO₂排放量

$$\text{CO}_2\text{排放量(t)} = Q_l(t) \times 44/56 \times P_l + Q_s(t) \times 44/74 \times P_s$$

為計算第2階程序二氧化碳所需的工業一般參數

參數	一般工業數值
Q _l ：生石灰產量(t)	使用者輸入
P _l ：生石灰純度(純小數)	0.95
Q _s ：熟石灰產量(t)	使用者輸入
P _s ：熟石灰純度(純小數)	0.95

原生鋁製程

►工作表 7：鋁製程使用蘇打粉的 CO₂ 排放量

欄位顏色碼：

使用者輸入值：
使用者隨意輸入值：
自動計算值：

"點按"重設鈕以清除任何填寫數值，並且將展開作業表工具回復到原點，以避免不慎將計算公式消除。

重設

	步驟 1.1.	步驟 1.2.	步驟 1.3.
	A	B	C
	蘇打粉的耗用量	蘇打粉的純度	CO ₂ 排放量
單位	(t)	(純小數)	(t CO ₂)
例：	1000	0.95	394
申報期 1			0
申報期 2			0
申報期 3			0
			0
			0
步驟 1.4.將 C 欄總計 =			0

鋁製程使用蘇打粉的CO₂排放量

$$\text{CO}_2\text{排放量}(t) = Q_{\text{soda ash}} \times 44/106 \times P_{\text{soda ash}}$$

在此：公式中的參數與一般工業數值說明如下，工業一般參數為計算第2階程序二氧化碳而訂

參數	一般工業數值
Q _{soda ash} ：蘇打粉的耗用量(Na ₂ CO ₃)(t)	使用者輸入
P _{soda ash} ：蘇打粉的純度(純小數)	0.95

原生鋁製程

► 工作表 8：全氟碳化物排放量 – 斜率法或過電壓法

如果冶煉爐的 CF₄ 與 C₂F₆ 已經有直接量測，陽極效應發生次數與持續時間的相關性，在排放量與操作參數之間的一個冶煉爐專屬關係可以導出(IPCC 第 3b 階方法)。

有兩種方法可用來計算排放因子：斜率法與過電壓法

> 斜率法(IPCC 第 2 階與第 3 階方法)

公式 1：

$$\text{EF (公斤 CF}_4\text{ 或 C}_2\text{F}_6\text{ / t 鋁)} = \text{slope} \times \text{AEF} \times \text{AED}$$

在此，

slope = IPCC 建議使用第 2 階斜率值或第 3 階斜率值

AEF = 每天每槽陽極效應的次數

AED = 陽極效應平均持續時間，分鐘

> 過電壓法

公式 2：

$$\text{EF (公斤 CF}_4\text{ / t 鋁)} = \text{過電壓係數} \times \text{AEO} / \% \text{CE}$$

$$\text{EF (公斤 C}_2\text{F}_6\text{ / t 鋁)} = \text{公斤 CF}_4\text{ / t 鋁} \times \text{比例因子}$$

在此，

AEO = 陽極效應過電壓，毫伏特 – 天/天 槽

%CE = 鋁製程電流效率，%

欄位顏色碼：

使用者輸入值：
使用者隨意輸入值：
自動計算值：

"點按"重設鈕以清除任何填寫數值，並且將展開作業表工具回復到原點，以避免不慎將計算公式消除。

重設

	步驟 1.1.		步驟 1.2.	步驟 1.3.	步驟 1.4.	步驟 1.5.	步驟 1.6.
	A	B	C	D	E	F	G
	鋁生產量	陽極效應參數	CF ₄ 斜率或過電壓因子	CF ₄ 排放量	C ₂ F ₆ 斜率因子或比例因子	C ₂ F ₆ 排放量	總 CO ₂ 當量排放量
				D = A x B x C 或 D = A x B x C/CE		F = A x B x E 或 F = D x E	F = [(D x 6.5)+(F x 9.2)]
槽之種類	(公噸鋁)	(分鐘/天 槽)或(毫伏特)	(公斤 CF ₄ /陽極效應分鐘/天 槽)或(公斤 CF ₄ x 電流效率/毫伏特)	(公斤 CF ₄)	(公斤 C ₂ F ₆ /陽極效應分鐘/天 槽)或(公斤 C ₂ F ₆ /公斤 CF ₄)	(公斤 C ₂ F ₆)	(公噸 CO ₂)
例：VSS Søderberg	100	10.5	0.068	71.4	0.003	3.2	493
中間加料預焙			0.14	0.00	0.018	0.00	0.0
側插預焙			0.29	0.00	0.029	0.00	0.0
立柱 Søderberg			0.068	0.00	0.003	0.00	0.0
橫柱 Søderberg			0.18	0.00	0.018	0.00	0.0
過電壓控制中間加料預焙			1.90	0.00	0.13	0.00	0.0
過電壓控制側插預焙			1.90	0.00	0.10	0.00	0.0
步驟 1.7.將 G 欄總計 =							0.0

註：所有的 t 代表公噸

原生鋁製程

► 工作表 9：內設全氟碳化物排放量

只有當陽極效應程序數據缺乏或不完全的時候，使用本工作表。

欄位顏色碼：

使用者輸入值：

使用者隨意輸入值：

自動計算值：

"點按"重設鈕以清除任何填寫數值，並且將展開作業表工具回復到原點，以避免不慎將計算公式消除。

重設

	步驟 1.1.	步驟 1.2.					步驟 1.3.		步驟 1.4.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	清冊年份	鋁生產量					全氟碳化物產生量	總 CO ₂ 當量排放量	
點式加料預焙		中間加料預焙	側插預焙	立柱 Søderberg	臥式 Søderberg	F = [(G x 6.5) + (H x 9.2)]			
槽之類別	(年)	(公噸鋁)	(公噸鋁)	(公噸鋁)	(公噸鋁)	(公噸鋁)	(公斤 CF ₄)	(公斤 C ₂ F ₆)	(公噸 CO ₂)
例：	1994	1000	500	200	100	50	610.0	115.4	5,027
期間 1									
期間 2									
期間 3									
期間 4									
期間 5									
期間 6									
期間 7									
期間 8									
期間 9									
期間 10									
					步驟 1.5. 將 G(I?) 欄總計 =				0

依據減量科技種類所得歷年來內設四氟甲烷(CF₄)排放量數值

科技專屬排放值(公斤CF₄/公噸鋁)

	1990 – 1993	1994 – 1997	1998 – 2000
中間加料預焙	0.4	0.3	0.2
點式加料預焙	0.3	0.1	0.08
測插預焙	1.4	1.4	1.4
立柱Söderberg	0.6	0.5	0.4
臥式 Söderberg	0.7	0.6	0.6

依據科技種類所得乘數因子以計算六氟乙烷(C₂F₆)

科技相關乘數因子

中間加料預焙	0.17
點式加料預焙	0.17
側插預焙	0.24
立柱 Söderberg	0.06
臥式 Söderberg	0.09

原生鋁製程

►工作表 10：SF₆排放量

為得到 CO₂ 當量排放量，使用工作表 10。

欄位顏色碼：

使用者輸入值：

使用者隨意輸入值：

自動計算值：

"點按"重設鈕以清除任何填寫數值，並且將展開作業表工具回復到原點，以避免不慎將計算公式消除。

重設

	步驟 1.1.		步驟 1.2.
	A	B	C
	申報期間 SF ₆ 耗用量	CO ₂ 轉換因子	CO ₂ 排放量
			C = A x B
單位	(公斤 SF ₆)	(t CO ₂ /公斤 SF ₆)	(t CO ₂)
例：	100	23.90	2390
清冊期間 1		23.90	0.0
清冊期間 2		23.90	0.0
清冊期間 3		23.90	0.0
		23.90	0.0
		23.90	0.0
	步驟 1.3.將 C 欄總計 =		0.0

原生鋁製程

► 工作表 11：整個工廠 CO₂ 當量排放量總額

欄位顏色碼：

自動計算值：

當前面的工作表有改變時，數值會自動重設。

		步驟 1.1.
		A = 所有工作表計得之總 CO ₂ 排放量
		(公噸 CO ₂)
各工作表計得之結果說明		
工作表 1	預焙 CO ₂ 排放量，包括焙製爐氧化揮發物質(當陽極耗用率已知的情況)。	0.00
工作表 2	來自 Söderberg 電解作業的 CO ₂ 排放量(當陽極物質耗用率已知的情況)。	0.00
工作表 3	依據含碳物質耗用量估算 CO ₂ 排放量的替代方法。	0.00
工作表 4	來自電解作業的 CO ₂ 排放量(當含碳物質耗用量不清楚的情況下，使用內設排放因子)。	0.00
工作表 5	來自焦炭鍛燒的 CO ₂ 排放量。	0.00
工作表 6	來自石灰製程的 CO ₂ 排放量。	0.00
工作表 7	原生鋁製程使用蘇打粉的 CO ₂ 排放量。	0.00
工作表 8	全氟碳化物排放量(當陽極效應數據具備時，應用斜率法或過電壓法計算)。	0.00
工作表 9	全氟碳化物排放量(當製程數據缺乏時，應用內設排放因子)。	0.00
工作表 10	SF ₆ 排放量	0.00

註：所有的 t 代表公噸

工作表 4 – 內設 CO₂ 排放因子

來自原生鋁製程的 CO ₂ 排放因子	
製程	(公噸 CO ₂ / 公噸鋁)
Söderberg 製程	1.7
預焙陽極製程	1.6

假設 Söderberg 製程的淨糊料耗用量是 0.51，而且預焙陽極製程的淨碳耗用量是 0.40；為了比較，來自陽極焙製揮發性物質的氧化已包含在預焙程序，然而，陽極焙製來自燃料燃燒的 CO₂ 排放量被排除未計。

來源：IAI 會員調查，2000。

註：所有的 t 代表公噸

工作表 9 – 內設全氟碳化物排放因子

依科技種類所得的內設 CF ₄ 排放因子			
科技	特定排放量(公斤 CF ₄ /公噸鋁)		
	1990 - 1993 年	1994 - 1997 年	1998 - 2000 年
中間加料預焙	0.4	0.3	0.2
點式加料預焙	0.3	0.1	0.08
側插預焙	1.4	1.4	1.4
立柱 Söderberg	0.6	0.5	0.4
臥式 Söderberg	0.7	0.6	0.6

來源：IAI 全氟碳化物調查數據 1990 - 2000。

依科技種類所得乘數因子以計算六氟乙烷(C ₂ F ₆)	
科技	乘數因子
中間加料預焙	0.17
點式加料預焙	0.17
側插預焙	0.24
立柱 Söderberg	0.06
臥式 Söderberg	0.09

來源：與 J. Marks 個人溝通；現有全氟碳化物量測數據的分析，2002。