

水泥製程 CO₂排放量的計算(基於水泥的估算方法, 2001 年十月版) - 溫室氣體盤查議定計畫

計算作業表的指導 - (來源: http://www.ghgprotocol.org/standard/cement_climatewise.doc)

I. 概要

I.A. 本節的目的與範圍

本估算工具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波特蘭水泥製程直接關聯的二氧化碳(CO₂)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。體認到這個工業的科技進展與可得數據的限制, 溫室氣體盤查議定計畫提供兩種估算方式如下:

1. 基於熟料的溫室氣體排放量估算方法 - 依據 IPCC 良好做法指導(2000 版), 以世界企業永續發展委員會 *WBCSD* 的 "水泥 CO₂ 議定書" 為範本(下載網站是 <http://www.ghgprotocol.org>)
2. 基於水泥的溫室氣體排放量估算方法 - 依據美國環保署的 *ClimateWise* 計畫(ICF, 1999), 將在本文中說明。

因為水泥製程主要的溫室氣體排放源就是熟料, 理論上, 如果獲得的數據相當精確, 前述兩種方法所得的 CO₂ 排放量應該一致。基於熟料的估算方法是相當直接與容易瞭解的方法, 而且所需的數據可由廠方迅速獲得; 另一方面, 基於水泥的估算方法是用來監測因製程改變導致的排放量改變, 例如生產混合水泥, 所以這種方法僅可用於廠方不想透露熟料的水泥成份, 或是加了其他原料成份的狀況。既然基於熟料的估算方法已經在世界企業永續發展委員會 *WBCSD* 的 "水泥 CO₂ 議定書" 詳加說明, 本文件只說明基於水泥的估算方法。

本工具提供指導以估算水泥製造與製程相關的溫室氣體排放量, 其他溫室氣體排放源包括固定式燃燒源(現場或場外的能源生產)、移動式(來自交通運輸用途機動車的使用)、廢棄物在掩埋場的處置; 關切這些溫室氣體排放源的估算工具, 可至溫室氣體盤查議定計畫網站查詢(下載網站是 www.ghgprotocol.org)。

I.B. 水泥工業潛在的溫室氣體排放源

除了直接製程排放, 其他和工廠相關的直接與間接排放說明如下。

▶ 直接排放(範圍 1)

- > 現場的能源生產(應用固定式燃燒議定書);
- > 申報公司擁有的或控制的移動式燃燒源(應用移動式燃燒指導);
- > 廢棄物在公司擁有的或控制的掩埋場處置(應用廢棄物指導)。

▶ 間接排放(範圍 2 與/或範圍 3)

- > 外購電力(在範圍 2 清冊中申報 - 應用固定式燃燒議定書);
- > 廢棄物委外送掩埋場處置(在範圍 3 清冊中申報 - 應用廢棄物指導<廢棄物指導仍在撰寫中>);
- > 委外的移動式燃燒源(在範圍 3 清冊中申報 - 應用移動式燃燒指導);

- > 外來熟料的產製(在範圍 3 清冊中申報為‘外來物料的產量’或‘委外的’活動)；
- > 石灰產製(在範圍 3 清冊中申報為‘委外的’活動；應用溫室氣體盤查議定計畫網站的石灰議定書)。

清冊範圍的選擇(以及這些其他溫室氣體排放源納入考量的選擇)會須要由申報機構來決定，要特別注意清楚定義申報界線，並準備相關的法定文件，以便未來可能的清冊稽核與查證之用。也要切記維持間接排放會計資料紀錄，各別申報在範圍 2 與 3 的資料，在稽查員瞭解已做減量的領域時可能非常有用。請參考固定式燃燒計算工具，以估量廠內水泥製程所需燃料燃燒的排放量；在現場燃燒的排放量被納入範圍 1 清冊之內。一份範圍 2 清冊也有必要用來考量場外發電的排放量，這些排放量的計算也在固定式燃燒議定書中說明。委外的活動若被認定是主要業務活動，那就要納入範圍 3 清冊中考量；在水泥產業裡，這些委外的活動可能包括石灰產製，所得的石灰要用在熟料中，這些排放量的計算可應用石灰產製議定書的說明。請參考*溫室氣體盤查議定書：一份企業會計與申報標準*的第四章(設定運作邊界)，以瞭解更多的細節。

►對於範圍 1、2、3 清冊之外的溫室氣體減量計算：例如，將廢棄物當作燃料以取代部分化石燃料，而廢棄物原先是送交掩埋或焚化卻沒有回收熱能；此種狀況下，燃料取代可能對於公司的溫室氣體清冊沒有直接的影響(或者甚至於增加)，但會造成節約。這種減量不應該包括在公司的報告，但可以另外申報以做為溫室氣體盤查議定書報告的補充資料。這種排除的合理性分三方面，首先，這些溫室氣體估算的品質與完整性，與公司直接操作產生排放量相比較有相當的差異性；其次，企業清冊模組不是生命週期會計標準 – 另有模組來處理此議題。最後，這種減量源的納入會明顯增加清冊會計系統的複雜度，例如額外性、擁有權、逆轉的計算等議題。

I.C.程序說明與假設

水泥製造時二氧化碳(CO₂)的排放來自化學程序與能源耗用，在鍛燒的過程中，碳酸鈣(CaCO₃)在水泥窯中加熱以形成石灰，而 CO₂ 以副產品形式排放。水泥窯中的石灰和石英、鋁與原料中所含的氧化鐵作用產生熟料；熟料是一種半成品，要和少量的石膏與/或硬石膏相混合以生產波特蘭水泥。各種不同的砌築水泥需要額外的石灰，因此會有額外的 CO₂ 排放量。

CO₂ 也可能自水泥窯粉塵(CKD)逸散出來，不會在生產過程中回收；水泥窯粉塵是水泥原料的一部分，不會成為熟料的組成份，因而是系統的損耗。不能回收的水泥窯粉塵通常用在別的使用途(例如砌築水泥、路基材、土壤加灰劑)，或是送去掩埋。這種粉塵是各類水泥窯不可避免的產物，而在水泥製程中的循環量因各廠特定操作狀況，如製造技術、原料與燃料耗用量而變化。

II.來自水泥生產的 CO₂ 直接製程排放(基於水泥的估算方法)

*直接排放*是指申報廠商所擁有的或能夠掌控的排放源<參考第 3 章(設定組織邊界) – 溫室氣體盤查議定書：一份企業會計與申報標準，2001 年十月版>，通常，生產波特蘭水泥直接相關的排放是為直接排放；本文件僅處理來自水泥生產作業的*製程排放*，要計算其他來源的排放量請參考溫室氣體盤查議定計畫網站(www.ghgprotocol.org)。

II.A.所需的數據與計算

前已聲明，本文件是為基於水泥估算工具的一份指導(有關基於熟料的估算方法的文件，請參考世界企業永續發展委員會水泥工作小組所編撰的水泥議定書指導)；此基於水泥的估算方法需要三種變數的資料。

1.水泥產量

2.水泥的熟料成份

3.熟料的原料成份

基於水泥的估算方法原先是設計來監測有關製程變化的排放量，例如在波特蘭水泥中添加普蜀蘭與其他外加劑，以減少最終產品中熟料的成份；此方法應該只有在可靠的原料，以及熟料對水泥的比率數據確實可靠時採用。基於水泥的估算方法是採納美國環保署的 ClimateWise 計畫資料(ICF, 1999)而得。

CO_2 排放量 = 水泥產量 \times 熟料對水泥比率 \times 原料比率 \times $CaCO_3$ 當量 \times CO_2 對 $CaCO_3$ 的計量比率

在此：

水泥產量：水泥生產總量(公噸)

熟料對水泥比率：水泥的熟料成份(%)

原料比率：每公噸熟料中使用的原料公噸數(公噸原料/公噸熟料)

$CaCO_3$ 當量：原料中的石灰成份(%)

$CO_2/CaCO_3$ 計量比率：0.44 = CO_2 的原子量(44 克) / $CaCO_3$ 的原子量(100 克)

II.B.限制與不確定性

清冊的可信度通常是倚賴數據的精確度，如果數據含不確定性，例如熟料對水泥比率，那就要註明；這裡使用的方法是假設水泥窯粉塵會完全鍛燒，所以會因此稍微高估了相關的 CO_2 排放量。通常的情況，水泥窯粉塵不會完全鍛燒，此時就要考慮應用一個調節因子；但若是會在計算中引進更多的不確定性，那就沒必要這麼做。

如同在概要一節所述，這個議定書是從一個廠商機構的觀點，用來表示水泥製造的 CO_2 絕對排放量；此文件並未考量與生產製程變化相關的效能比率，例如組和式水泥、以其他含鈣原料替代石灰石、或以礦產品替代熟料。不考量與生產製程變化相關的效能比率，並非意味著這些對公司在排放密集度改變的基準對照沒有用處，而是反應當初計畫是針對總排放量估算的考量。

II.C.應用表格與作業表作為基於水泥的工具

1.在 A 欄填寫申報期間的水泥產量(公噸)。

2.在 B 欄填寫水泥的熟料成份(%)，表 1 列有內設值，資料參考 ICF (1999)。

3.在 C 欄填寫原料比率(每公噸熟料中使用的原料公噸數)，表 1 列有內設值，資料參考 ICF (1999)。

4.在 D 欄填寫原料中的 $CaCO_3$ 當量(%)，表 1 列有內設值，資料參考 ICF (1999)。

5.來自熟料生產每年 CO₂排放量應該會在 F 欄內自動計算，如果沒有顯示在 F 欄，按“F9”鍵來作計算。

6.來自水泥生產經調整的每年 CO₂排放量應該會在 G 欄內自動計算，如果沒有顯示在 G 欄，按“F9”鍵來作計算。

III.來自水泥製程相關燃料燃燒的 CO₂ 排放量

水泥製程在煨燒程序時會耗用不同種類的燃料來加熱水泥窯，這種燃料燃燒相關的溫室氣體排放量與水泥製造方法沒有直接關聯，請參考固定式燃燒指導以估算這些溫室氣體排放量。

參考資料：

ICF (1999), Climate Wise – Cement Industry Reporting Plan and Workbook. Version 1.2, April 1999.由 ICF 顧問公司為美國環保署準備。

IPCC (1997), 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.

查詢網站為 <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/gp/report.htm>

US EPA (1999). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 1997. EPA 236-R-99-003.

由水泥生產來計算(使用基於水泥的估算方法)CO₂排放量

計算作業表(2002年八月, 版本 1.0) (資料來源:

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

本計算工具的智慧財產權屬於世界資源研究所與世界企業永續發展委員會, 除非在工具內另有說明; 請在使用本工具時註明出處。

►應用的目的與範圍

本指導依據美國環保署的 ClimateWise 計畫, 是寫給工廠管理者與現場負責操作人員, 以便於量測與報告來自波特蘭水泥製程直接的二氧化碳(CO₂)溫室氣體排放量; 這個議定書僅從廠商機構的觀點來表示絕對的排放量。

績效比值, 例如生產每噸水泥排放氣體量並未特別強調; 鼓勵工廠為對照標竿的目的去計算這些績效方式, 但本議定書並無詳細的方法介紹。此議題進一步探討請參考文件: 溫室氣體盤查議定書: 一份企業會計與申報標準。此文件是要和下述兩份其他文件搭配使用:

1) '計算作業表指導 - 由水泥生產計算 CO₂排放量', 與

2) '溫室氣體盤查議定書 - 一份企業會計與申報標準', 2001年九月版

溫室氣體盤查議定計畫提供方法用來估算來自水泥生產的溫室氣體排放量有兩種: 依據 IPCC 良好做法指導(2000版)發展基於熟料的估算方法, 與依據美國環保署的 *ClimateWise* 計畫(ICF, 1999)發展基於水泥的估算方法。

基於熟料的估算方法用在世界企業永續發展委員會的"水泥 CO₂ 盤查議定書"(下載網站: <http://www.ghgprotocol.org>), 基於水泥的估算方法計算工具在本文件展開計算表中說明。

因為水泥製程主要的溫室氣體排放源就是熟料, 理論上, 如果獲得的數據相當精確, 前述兩種方法所得的 CO₂ 排放量應該一致。基於水泥的估算方法是用來監測因製程改變導致的排放量改變, 例如生產混合水泥, 所以這種方法僅可用於廠方不想透露熟料的水泥成份, 或是加了其他原料成份的狀況; 請參考本文件指導以獲得水泥盤查議定書的細節。

請參考固定式燃燒計算工具, 以估量廠內水泥製程所需燃料燃燒的排放量; 在現場燃燒的排放量被納入範圍 1 清冊之內。一份範圍 2 清冊也有必要用來考量場外發電的排放量, 這些排放量的計算也在固定式燃燒議定書中說明。委外的活動若被認定是主要業務活動, 那就要納入範圍 3 清冊中考量; 在水泥產業裡, 這些委外的活動可能包括石灰產製, 所得的石灰要用在熟料中, 這些排放量的計算可應用石灰產製議定書的說明。請參考溫室氣體盤查議定書: 一份企業會計與申報標準的第四章(設定運作邊界), 以瞭解更多的細節。

►程序說明與假設

水泥製造時二氧化碳(CO₂)的排放來自化學程序與能源耗用, 在鍛燒的過程中, 碳酸鈣(CaCO₃)在水泥窯中加熱以形成石灰, 而 CO₂ 以副產品形式排放。水泥窯中的石灰和石英、鋁與原料中所

含的氧化鐵作用產生熟料；熟料是一種半成品，要和少量的石膏與/或硬石膏相混合以生產波特蘭水泥。各種不同的砌築水泥需要額外的石灰，因此會有額外的 CO₂ 排放量。

CO₂ 也可能自水泥窯粉塵(CKD)逸散出來，不會在生產過程中回收；水泥窯粉塵是水泥原料的一部分，不會成為熟料的組成份，因而是系統的損耗。不能回收的水泥窯粉塵通常用在別的使用途(例如砌築水泥、路基材、土壤加灰劑)，或是送去掩埋。這種粉塵是各類水泥窯不可避免的產物，而在水泥製程中的循環量因各廠特定操作狀況，如製造技術、原料與燃料耗用量而變化。

► 銘謝

這些指導是由美國 ICF 顧問公司的 Richard Lee 所準備，其他貢獻者包括 Tom Carter(美國波特蘭水泥公司)、John Molburg(阿岡國家實驗室)、David Cahn(加州波特蘭水泥公司)、Steven Winkleman(清潔空氣政策中心)、Juerg Fuessler(Ernst Basler 公司)、Urs Broadman(Factor 顧問公司)、Bruno Vanderborght(瑞士 Holderbank 銀行)、Michael Nesbit(JAN 顧問公司)、Katie Smith(預拌混凝土)、Sue Hall(策略環境公司)、Walter Greer(三一顧問公司)、Michael Gillenwater 與 Kathleen Hogan(美國環保署)、Hendrick Van Oss(美國地質調查局)、George Thomas(世界銀行)、與 Jasper Koch(世界企業永續發展委員會)；所有的智慧財產權屬於溫室氣體盤查議定計畫，請在使用本工具時註明出處。雖然作業表內儘量詳細說明，若是對內容有疑問或建議，請藉 pankaj@wri.org 聯繫 Pankaj Bhatia。請登臨溫室氣體盤查議定計畫網站 www.ghgprotocol.org 以瞭解其他溫室氣體計算工具。

► CO₂ 排放量來自水泥生產製程：基於水泥的估算方法

需要確認的數據如下：

- > 每年水泥產量(公噸/年)
- > 熟料對水泥比率(%)
- > 每公噸熟料中使用的原料公噸數(公噸原料/公噸熟料)
- > CaCO₃ 當量對原料的比率(%)

提供的內設值如下：

- > 熟料對水泥比率(%)
- > 每公噸熟料中使用的原料公噸數(公噸原料/公噸熟料)
- > CaCO₃ 當量對原料的比率(%)

► 計算步驟

1.1	在 A 欄內填寫申報期間之水泥產量(公噸)。
1.2	在 B 欄內填寫水泥的熟料含量(%), 內設值列在表 1。
1.3	在 C 欄內填寫原料比率(公噸原料/公噸熟料), 內設值列在表 1。
1.4	在 D 欄內填寫原料的 CaCO ₃ 當量(%), 一個 78%的內設值列在表 1。
1.5	在 F 欄內會自動計算每年來自熟料生產的 CO ₂ 排放量, 如果 F 欄沒有顯示, 按“F9”鍵來作計算。
1.6	在 G 欄會自動計算每年來自水泥生產的 CO ₂ 排放量, 如果 G 欄沒有顯示, 按“F9”鍵來作計算。

▶來自水泥製造的 CO₂排放量：基於水泥的估算方法

申報者會須要確認下列因子：

- > 每年水泥產量(公噸/年)
- > 熟料對水泥比率(%)
- > 每公噸熟料中使用的原料公噸數(公噸原料/公噸熟料)
- > CaCO₃ 當量對原料的比率(%)

提供的內設值如下：

- > 熟料對水泥比率(%)
- > 每公噸熟料中使用的原料公噸數(公噸原料/公噸熟料)
- > CaCO₃ 當量對原料的比率(%)

如果使用的數據不同於內設值，要在報告中詳細說明，並指出資料來源。

▶欄位顏色代碼：

強制申報者填寫：
未強制申報者填寫：
內設值：
自動計算值：

▶作業表：決定直接來自水泥製造的年度 CO₂總排放量

基於水泥的估算方法

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
每年水泥產量(t/yr)	熟料對水泥比率(%)	每公噸熟料中使用的原料公噸數	CaCO ₃ 當量對原料的比率(%)	CO ₂ 對 CaCO ₃ 計量比率	二氧化碳排放因子(t CO ₂ /t 熟料產量)	每年二氧化碳排放量(t/yr)
	參考內設值	參考內設值	參考內設值	常數	B x C x D x E	A x F
				0.44		

表 1：內設值

熟料對水泥比率(%) – 為 100%波特蘭產出	95%
熟料對水泥比率(%) – 為混合與/或砌築水泥	75%
每公噸熟料中使用的原料公噸數	1.54
CaCO ₃ 當量對原料的比率(%)	78%

* t = 公噸