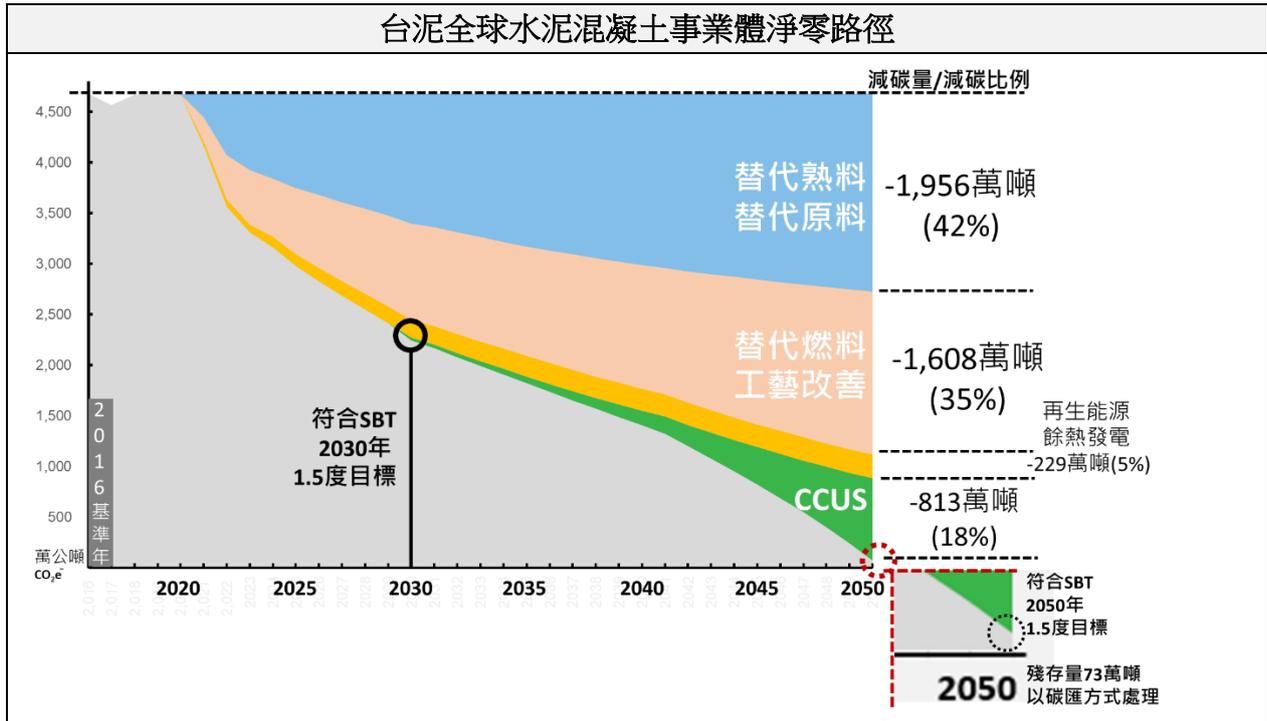


台泥全球水泥混凝土事業體淨零路徑制定步驟 2024 年 V.1 版



制定步驟說明摘要

台泥全球水泥混凝土事業體淨零路徑依據

台泥水泥混凝土事業體淨零路徑，回應 ISO IWA 42 淨零指引制定以科學為基礎淨零路徑，參考麻省理工學院團隊開發之 En-ROADS 淨零模擬器的開源計算式，搭配國際能源總署 IEA 之全球能源與氣候模型(Global Energy and Climate Model)邏輯，依據台泥 ISO 14064-1 盤查結果，拆解企業團溫室氣體影響因素。

淨零路徑邊界涵蓋台泥全球水泥事業體，包括台灣與大陸水泥廠、土耳其水泥廠、葡萄牙水泥廠、台灣製品廠、土耳其製品廠、葡萄牙製品廠、低碳研發中心與總處。

另依聯合國反漂綠報告建議企業淨零應與 IPCC、IEA 模型淨零情境一致，故參考 IEA 2023 年版淨零路徑報告與 2023 年能源展望報告書，搭配企業團減碳管理平台歷年生產數據與減碳實績，模擬水泥事業體至 2050 年淨零路徑。

經檢視水泥混凝土事業體淨零路徑，在法令、替代原燃料許可與市場需求下，可達成企業團 2024 年預計提交之 SBT 限制升溫 1.5 度目標。

1. 製程排放

製程排放主要影響因子包括水泥產量、熟水比、替代原料比例、替代原料 CaO 與 MgO 含量等。(詳細減碳措施可參考 [2023 年台灣水泥永續報告書 p.59-81](#))

水泥產量台灣與土葡廠參考 IEA 情境預測、大陸參考中國建築材料工業技術情報研究所、中國水泥協會預測結果。熟水比、替代原料比例等考量企業團替代原料、替代熟料等減碳措施規畫目標，以及 IEA 水泥業淨零路徑建議、永續報告書目標、減碳管理平台經驗數據。

經計算，替代熟料、替代生料之減碳措施至 2050 年約可減碳 1,956 萬噸，約占整體淨零路徑貢獻 42%。

2. 燃料燃燒排放

燃料燃燒排放主要影響因子包括熟料產量、生產每單位熟料之能源用量、替代燃料比例、生質燃料之生物質含量等。(詳細減碳措施可參考 2023 年台灣水泥永續報告書 p.59-81)

前述參數參考過往生產數據、永續報告書目標、IEA 水泥業淨零路徑建議之低碳燃料比例。

經計算，替代燃料、工藝改善之減碳措施至 2050 年約可減碳 1,608 萬噸，約占整體淨零路徑貢獻 35%。

3. 能源間接排放

使用電力之能源間接排放，主要影響因子包括水泥產量、生產每單位水泥之用电量、再生能源用量、餘熱發電量，以及當地電網電力排碳係數等。(詳細減碳措施可參考 2023 年台灣水泥永續報告書 p.59-81)

前述參數參考過往生產數據、永續報告書目標。為保守評估企業團淨零路徑，將採用各國未能於 2050 年達成零碳電力情境，故使用 IEA 模型 APS 承諾目標情境，以及環境部 LEAP 政策情境之電網電力排碳係數預測。

經合併計算後，再生能源與餘熱發電之減碳措施至 2050 年約可減碳 229 萬噸，約占整體淨零路徑貢獻 5%。

4. 碳捕獲、利用與封存(CCUS)

台泥優先採取前述措施減少碳排，CCUS 為降低二氧化碳排放最後手段。經考量永續報告書目標、IEA 淨零路徑建議之 CCUS 減碳量，以及前述減碳措施模擬結果，設定各年度 CCUS 目標。2050 年集團 CCUS 總量為 813 萬噸，約占整體淨零路徑貢獻 18%。相較 GCCA 預估 CCUS 占整體淨零貢獻 36%、IEA 提出 48%，台泥淨零路徑 CCUS 佔比 18%相對務實。

5. 2050 年殘餘排放量處理方式

欲達成 SBT 2050 年淨零目標，經計算台泥全球水泥混凝土事業體尚餘 73 萬噸 CO₂e 殘存量需處理。依據 SBT 提出水泥業科學基礎目標設定指引，當企業達成長期 SBT 目標後，尚有殘存量排放至大氣中，須使用永久移除與儲存方式處理，達成淨

零排放。方法包括土壤改善、加強森林管理、土地(森林、紅樹林等)復育等。後續處理殘存量時，將依據 ISO IWA 42 淨零指引第十章處理殘存量(Counterbalancing residual emissions)規範辦理。

詳細說明	
淨零路徑基本定義與範疇	
定義	參考 ISO IWA 42:2022 淨零指引，淨零路徑是以科學證據為基礎，為符合限制全球升溫 1.5 度，達到溫室氣體淨零排放之路徑。
範疇界定	本淨零路徑圖為台泥全球水泥混凝土事業體淨零路徑，範疇包括台灣水泥廠、低碳研發中心、總處、大陸水泥廠、土耳其水泥廠、葡萄牙水泥廠、台灣製品廠、土耳其製品廠、葡萄牙製品廠、土耳其粉磨站、葡萄牙粉磨站。
	本次淨零路徑之排放源包括 <ul style="list-style-type: none"> ■ 範疇一：固定燃燒、移動燃燒、製程排放、逸散排放 ■ 範疇二：能源間接排放
基準年	2016 年

制定淨零路徑流程	
步驟一 溫室氣體盤查	依據 ISO 14064-1:2018 標準，執行範疇一、二之溫室氣體盤查，通過 BSI 第三方查證之盤查結果，做為企業團淨零路徑之數據基礎。本次版本使用 2023 年盤查結果。
步驟二 溫室氣體影響因素拆解	步驟二之一： 依據麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology , MIT)史隆管理學院開發淨零模型 En-ROADS 技術文件，引用 Kaya identity 將溫室氣體排放量拆解成四項影響因素： <u>溫室氣體排放量 = 人口 x 人均 GDP x 能源密集度 x 碳密集度</u> <ol style="list-style-type: none"> 1. 人口(單位：人) 2. 人均 GDP(單位：GDP/人) 3. 能源密集度(單位：能源耗用量/GDP) 4. 碳密集度(單位：溫室氣體排放量/能源耗用量)
	步驟二之二： <u>因 En-ROADS 為全球尺度模型，其因素拆解公式須轉換成產業尺度，故使用國際能源總署(International Energy Agency, IEA)開發淨零模型—全球能源與氣候模型(Global Energy and Climate Model)</u> ，依據 Kaya equation <u>將產業尺度溫室氣體排放拆解成四項影響因素：</u> 溫室氣體排放量 = 產業活動數據 x 產業結構變化 x 能源密集度 x 碳密集度

步驟二之三：

參考上述 En-ROADS 開源計算式，以及 IEA 全球能源與氣候模型計算邏輯，依據水泥業產業特性，拆解各類排放源影響因子。目前主要分析排放源為固定燃燒、製程排放、能源間接排放；以台灣廠分析，前述排放源占整體排放量 99.99%。逸散排放源排除，主要是因為化糞池甲烷、冷氣冷媒、點焊設備、消防設備逸散之排放量占比極低，暫不針對逸散源獨立規劃減量措施，待 2050 年與其他剩餘殘存量依據 ISO IWA 42 規範處理，以達成淨零目標。

以下說明製程排放、固定燃料燃燒(以下簡稱燃料燃燒)、能源間接排放因式拆解結果。

■ 製程排放因素拆解公式:

製程排放主要影響因子包括水泥產量、熟水比(熟料用於製造水泥比例 Clinker-to-cement ratio)、替代原料比例、替代原料 CaO 與 MgO 含量、替代原料含水量等。公式詳列如下:

製程排放量(噸CO ₂ e) = (A) - (B) (A)、(B) = 活動數據×碳密集度		
排放量	活動數據(噸)	碳密集度(噸CO ₂ e/噸熟料)
(A)製程原排放量	總熟料產量 = (1)+(2) (1)熟料用於水泥量(噸) = 水泥量(噸) × 熟水比(%) (2)熟料直售量	CaO% × 44/56 + MgO% × 44/40
排放量	活動數據(噸)	碳密集度(噸CO ₂ e/噸替代原料)
(B)替代生料減碳量	總原料量(噸) × 替代原料比例(%) = 替代生料量(噸)	(CaO × 44/56/100) × ((100-H ₂ O)/100) (MgO × 44/40/100) × ((100-H ₂ O)/100)

※備註：本文件熟水比為熟料用於製造水泥比例(Clinker-to-cement ratio)，計算方式為熟料用於水泥量÷水泥產量。

※備註：本文件替代原料比例，為替代原料耗用量÷(原料耗用量+替代原料耗用量)。替代原料為含有 CaO 與 MgO 具減碳效益之原料。

※總熟料量不考慮庫存差異

■ 固定燃燒排放因式拆解公式:

燃料燃燒排放主要影響因子包括熟料產量、生產每單位熟料之能源用量(能源密集度)、燃煤用量、柴油用量、各類替代燃料用量、替代燃料使用比例、生質燃料使用比例、非生質燃料使用比例、生物質含量等。公式詳列如下:

排放量 = 活動數據×能源密集度×排放結構比例×碳密集度				
排放量	活動數據(噸)	能源密集度	排放結構比例	碳密集度
燃料燃燒 排放量 (噸CO ₂ e)	熟料量 = (1)+(2) (1)熟料用於水泥量(噸) = 水泥量(噸) × 熟水比(%) (2)熟料直售量	總熱值(Kcal) /熟料量(噸)	燃煤熱值/總熱值(%)	煤炭 KgCO ₂ e/Kcal
			柴油熱值/總熱值(%)	柴油 KgCO ₂ e/Kcal
			非生質替代燃料熱值/ 總熱值(%)	非生質替代燃料 KgCO ₂ e/Kcal
總熱值(Kcal) = (A) + (B) + (C) + (D) (A)、(B)、(C)、(D) = 活動數據×單位熱值				
熱值	活動數據(噸)		單位熱值	
(A)	燃煤用量(公噸) × 1,000(公斤/公噸)		Kcal/kg	
(B)	柴油用量(公乘) × 1,000(公升/公乘)		Kcal/L	
(C)	非生質替代燃料用量(噸) × 1,000(kg/噸)		單位熱值Kcal/kg	
(D)	生質替代燃料用量(噸) × 1,000(kg/噸)		單位熱值Kcal/kg	

※備註：依據環境部 2022 年溫室氣體排放量盤查作業指引，生質燃料燃燒產生之二氧化碳，屬於自然界循環反應的一部分，並不會增加大氣中二氧化碳濃度。依據 ISO 14064-1 Annex 規範，生物 CO₂ 排放量將分開量化與報告，故不納入範疇一計算。

※備註：燃料量為濕基燃料量，熱值為低位熱值。

■ 能源間接排放因素拆解公式：

使用電力之能源間接排放，主要影響因子包括熟料產量、水泥產量、生料磨用電量、旋窯用電量、餘熱發電量、粉磨用電量、再生能源用量，以及當地電網電力排碳係數等。公式詳列如下：

電力排放量(噸CO ₂ e) = (A) + (B) + (C) + (D)			
熱值	活動數據(噸)	能源密集度(千度/噸)	碳密集度(噸CO ₂ e/千度)
(A)	熟料量 = (1)+(2) (1)熟料用於水泥量(噸) = 水泥量(噸) × 熟水比(%) (2)熟料直售量	(生料磨用電量 + 旋窯 用電量) / 熟料量	電力排碳係數
(B)	水泥產量(噸)	粉磨用電/水泥產量	
(C)	其他用電量(千度)		
(D)	餘熱發電量(千度)+再生能源用量(千度)		

	<p>步驟三之一：輸入起始變數</p> <p>經前述溫室氣體影響因素拆解，彙整影響未來排放量重要起始變數，資料來自企業團各廠數據。</p>
	<p>步驟三之二：輸入淨零情境變數</p> <p>製程排放</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 水泥產量/熟料直售量 變化率 參考資料 <ul style="list-style-type: none"> ■ 企業團永續報告書 ■ IEA 2023 年版淨零情境水泥業淨零路徑 ■ 中國建築材料工業技術情報研究所 ■ 中國水泥協會 ■ 熟水比(替代熟料) 參考資料 <ul style="list-style-type: none"> ■ 企業團永續報告書 ■ 廠端設定目標 ■ IEA 2023 年版淨零情境水泥業淨零路徑。 ■ 替代原料比例 <ul style="list-style-type: none"> ■ 企業團永續報告書 ■ 廠端設定目標 <p>燃料燃燒排放</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 每噸熟料所需熱值(GJ/噸熟料)與燃料使用效率進步率(工藝改善) <ul style="list-style-type: none"> ■ 企業團永續報告書 ■ 廠端設定目標 ■ IEA 2023 年版淨零情境水泥業淨零路徑 ■ 替代燃料比例(生質燃料、氫能、電能、非生質燃料) <ul style="list-style-type: none"> ■ 企業團永續報告書 ■ 廠端設定目標 ■ IEA 2023 年版淨零情境水泥業淨零路徑 <p>能源間接排放</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 節電效率年進步率: <ul style="list-style-type: none"> ■ 廠端設定目標 ■ 電力排碳係數 <ul style="list-style-type: none"> ■ 環境部 LEAP 政策情境之電網電力排碳係數 ■ 中國區域電網二氧化碳排放因子研究報告 ■ IEA 2023 年能源展望報告書 ■ 餘熱發電量 ■ 再生能源自發自用比例 <ul style="list-style-type: none"> ■ 企業團永續報告書

步驟三
輸入淨零
情境變數

	<ul style="list-style-type: none"> ■ 廠端設定目標 <p>製程 CCUS</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 企業團永續報告書 ■ 廠端設定目標 ■ IEA 2023 年版淨零情境水泥業淨零路徑
	<p>步驟三之三：各類排放源未來排放量計算方式</p> <p>製程排放</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 依據前述水泥產量與熟料直售量變化率、熟水比、替代原料比例淨零情境變數，以及 2023 年起始值代入製程排放因素拆解公式，計算 2024 年至 2050 年各年度各廠製程排放量。 <p>燃料排放</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 依據前述每噸熟料所需熱值(GJ/噸熟料)、燃料使用效率進步率、替代燃料比例(生質燃料、氫能、電能、非生質替代燃料)、生物質含量等淨零情境變數，以及 2023 年起始值代入固定燃燒排放因式拆解公式，計算 2024 年至 2050 年各年度各廠燃料排放量。 <p>能源間接排放</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 依據前述節電效率年進步率、電力排碳係數、餘熱發電量、再生能源自發自用比例淨零情境變數，以及 2023 年起始值代入能源間接排放因式拆解公式，計算 2024 年至 2050 年各年度各廠能源間接排放量。 <p>CCUS</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 淨零情境變數帶入公式
	<p>步驟三之四：計算結果</p> <p>製程排放</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 替代熟料、替代原料之減碳措施至 2050 年約可減碳 1,956 萬噸，約占整體淨零路徑貢獻 42% <p>燃料排放</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 替代燃料、工藝改善之減碳措施至 2050 年約可減碳 1,608 萬噸，約占整體淨零路徑貢獻 35% <p>能源間接排放</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 再生能源、餘熱發電、節電措施等措施至 2050 年約可減碳 229 萬噸，約占整體淨零路徑貢獻 5% <p>CCUS</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 2050 年集團 CCUS 總量為 813 萬噸，約占整體淨零路徑貢獻 18%。
	<p>步驟三之五：驗算是否達成 SBT 1.5 度 2030 年與 2050 年目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 經檢視水泥混凝土事業體淨零路徑，以 2016 為基準年，2030 年、2050 年膠結材排放強度，可達成企業團 2024 年預計提交 SBT 1.5 度

	<p>目標。</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 2050 年欲達成 SBT 淨零目標，經計算台泥全球水泥混凝土事業體尚餘 73 萬噸 CO_{2e} 殘存量需處理。 ■ 依據 SBT 提出水泥業科學基礎目標設定指引，當企業達成長期 SBT 目標後，尚有殘存量排放至大氣中，須使用永久移除與儲存方式處理，達成淨零排放。方法包括土壤改善、加強森林管理、土地(森林、紅樹林等)復育等。 ■ 後續處理殘存量時，將依據 ISO IWA42 淨零指引第十章處理殘存量(Counterbalancing residual emissions)規範辦理。
--	--

參考資料

1. ISO (2022), IWA 42:2022(en), 2022, Net zero guidelines. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:iwa:42:ed-1:v1:en>
2. Janet Chikofsky, Ellie Johnston, Andrew Jones, Yasmeen Zahar, Clara Iglesias, Chris Campbell, John Sterman, Lori Siegel, Cassandra Ceballos, Travis Franck, Florian Kapmeier, Stephanie McCauley, Rebecca Niles, Caroline Reed, Juliette Rooney-Varga, and Elizabeth Sawin (2023), En-ROADS User Guide. <https://docs.climateinteractive.org/projects/en-roads/en/latest/en-roads-user-guide.pdf> (En-ROADS is being developed by Climate Interactive, Ventana Systems, UML Climate Change Initiative, and MIT Sloan)
3. IEA (2023), Global Energy and Climate Model, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model>, Licence: CC BY 4.0
4. IPCC (2019), 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2 Energy. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/2_Volume2/19R_V2_2_Ch02_Stationary_Combustion.pdf
5. ISO 14064-1:2018 Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals
6. 環境部(2022), 2022 年溫室氣體排放量盤查作業指引
7. IEA (2023), Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>, Licence: CC BY 4.0
8. SBTi target setting tool <https://sciencebasedtargets.org/resources/>
9. 中國建築材料科學研究總院有限公司 (2023), 中國水泥行業碳中和路徑研究
10. RMI 研究所、中國水泥協會 (2022), 加速工業深度脫碳：中國水泥行業碳中和之路, <https://rmi.org.cn/wp-content/uploads/2022/08/RMI%E6%B0%B4%E6%B3%A5%E6%8A%A5%E5%91%8A.pdf>
11. 環境部氣候變遷署 (2023), 溫室氣體長期減量策略與環境衝擊關連探討計畫
12. 中國生態環境部 (2023), 中國區域電網二氧化碳排放因子研究報告, <http://www.caep.org.cn/sy/tdftzhyjzx/zxdt/202310/W020231027692141725225.pdf>

13. IEA (2023), World Energy Outlook 2023, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)
14. Science Based Targets Initiative (2022), Cement Science Based Target Setting Guidance <https://sciencebasedtargets.org/resources/files/SBTi-Cement-Guidance.pdf>