



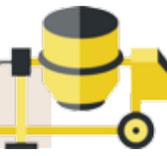
水|泥|業

低碳綠色製程技術選用評估彙編

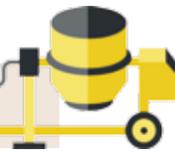
水泥業

低碳綠色製程技術選用評估彙編

經濟部工業局 編印
中華民國一〇六年十一月



一、前言	1
二、水泥產業特性與發展趨勢	5
2.1 產業簡介	7
2.2 主要製程特性	7
2.3 生料研磨	9
2.4 熟料燒成	13
2.5 水泥研磨	23
2.6 煤磨系統	26
2.7 面臨問題及未來發展方向	29
三、低碳綠色製程技術設備之選用原則	31
3.1 技術收集管道	33
3.2 技術評定原則	34
3.3 技術公開資訊及選擇要素概述	35
3.4 設備規格選型步驟	37
3.5 安全與操作維護	38
四、低碳綠色製程技術及實務案例	41
4.1 前言	43
4.2 實際案例介紹	43
參考文獻	65



圖目錄

圖 2.1-1 水泥的生產製造過程 ----- 7

圖 2.2-1 新型乾法水泥生產流程圖 ----- 8

圖 2.3-1 舊式傳統生料研磨系統 ----- 11

圖 2.3-2 豎磨生料研磨系統 ----- 12

圖 2.3-3 滾壓機生料研磨系統 ----- 12

圖 2.4-1 預熱機外觀 ----- 13

圖 2.4-2 水泥熟料煨燒系統 ----- 14

圖 2.4-3 燒成系統流程圖例 ----- 15

圖 2.4-4 旋風筒進料分布、分離示意圖 ----- 16

圖 2.4-5 上升風道延伸及煨燒分解爐示意圖 ----- 17

圖 2.4-6 旋窯系統示意圖 ----- 18

圖 2.4-7 推棍式冷卻機系統示意圖 ----- 18

圖 2.4-8 新一代冷卻機（FLSmidth 技術提供） ----- 19

圖 2.4-9 新一代冷卻機（KHD 技術提供） ----- 20

圖 2.4-10 不同型式流量調節設備（FLSmidth 技術提供） ----- 20

圖 2.4-11 不同型式流量調節設備（KHD 技術提供） ----- 21

圖 2.4-12 固定式吹氣爐排、推棍式輸送系統
（FLSmidth 技術提供） ----- 21

圖 2.4-13 固定式吹氣爐排、推棍式輸送系統
（Polysius 技術提供） ----- 21

圖 2.4-14 熟料破碎系統採變頻電動機 ----- 22

圖 2.4-15 有效減少冷卻機內熟料床紅河情況 ----- 22

圖 2.4-16 窯落口結料（雪人）示意圖 ----- 23

圖 2.4-17 冷卻機前段空氣砲擊發示意圖 ----- 23

圖 2.5-1 豎磨機 + 球磨機的水泥研磨系統示意圖 ----- 25

圖 2.5-2 滾壓機 + 球磨機的水泥研磨系統示意圖 ----- 26

圖 2.6-1 球磨機的煤磨系統示意圖 ----- 27

圖 2.6-2 豎磨機的煤磨系統示意圖 ----- 28

圖 4.2.1-1 生料磨系統改造流程圖 ----- 44

圖 4.2.2-1 B 廠旋窯燒成系統改善工程 ----- 46

圖 4.2.2-2 旋風筒設計更新圖示 ----- 47

圖 4.2.2-3 上升風道合併更新、統預熱機上升風道、
旋風筒優化圖示 ----- 47

圖 4.2.2-4 窯環齒輪及窯頭止封件更新部分 ----- 48

圖 4.2.2-5 旋窯環齒輪更新、出口止封件優化 ----- 48

圖 4.2.2-6 冷卻爐排緊密排列 ----- 49

圖 4.2.2-7 推棍式冷卻機 ----- 49

圖 4.2.2-8 冷卻機更換成 FLSmidth Cross-Bar 優化 ----- 50

圖 4.2.3-1 D 公司水泥磨系統改造流程 ----- 51

圖 4.2.4-1 煤磨豎磨系統示意圖 ----- 53

圖 4.2.4-2 選粉機上半部更換示意圖 ----- 54

圖 4.2.4-3 選粉機導風環修改前後示意圖 ----- 55

圖 4.2.5-1 熱盤爐安裝位置示意圖 ----- 59

圖 4.2.5-2 熱盤爐圖 ----- 59

圖 4.2.5-3 散裝燃料（生活廢棄物等）及
廢輪胎之進料及處理系統 ----- 60

圖 4.2.5-4 廢輪胎及生活垃圾輸送 ----- 61

表目錄

表 4.2.1-1 生料粉磨系統改造工程前後比較 ----- 44

表 4.2.2-1 預熱機及冷卻機改善工程後效益分析表 ----- 50

表 4.2.3-1 水泥磨系統改造後效益分析表 ----- 52

表 4.2.4-1 煤磨選粉機修改後之節能效益 ----- 55

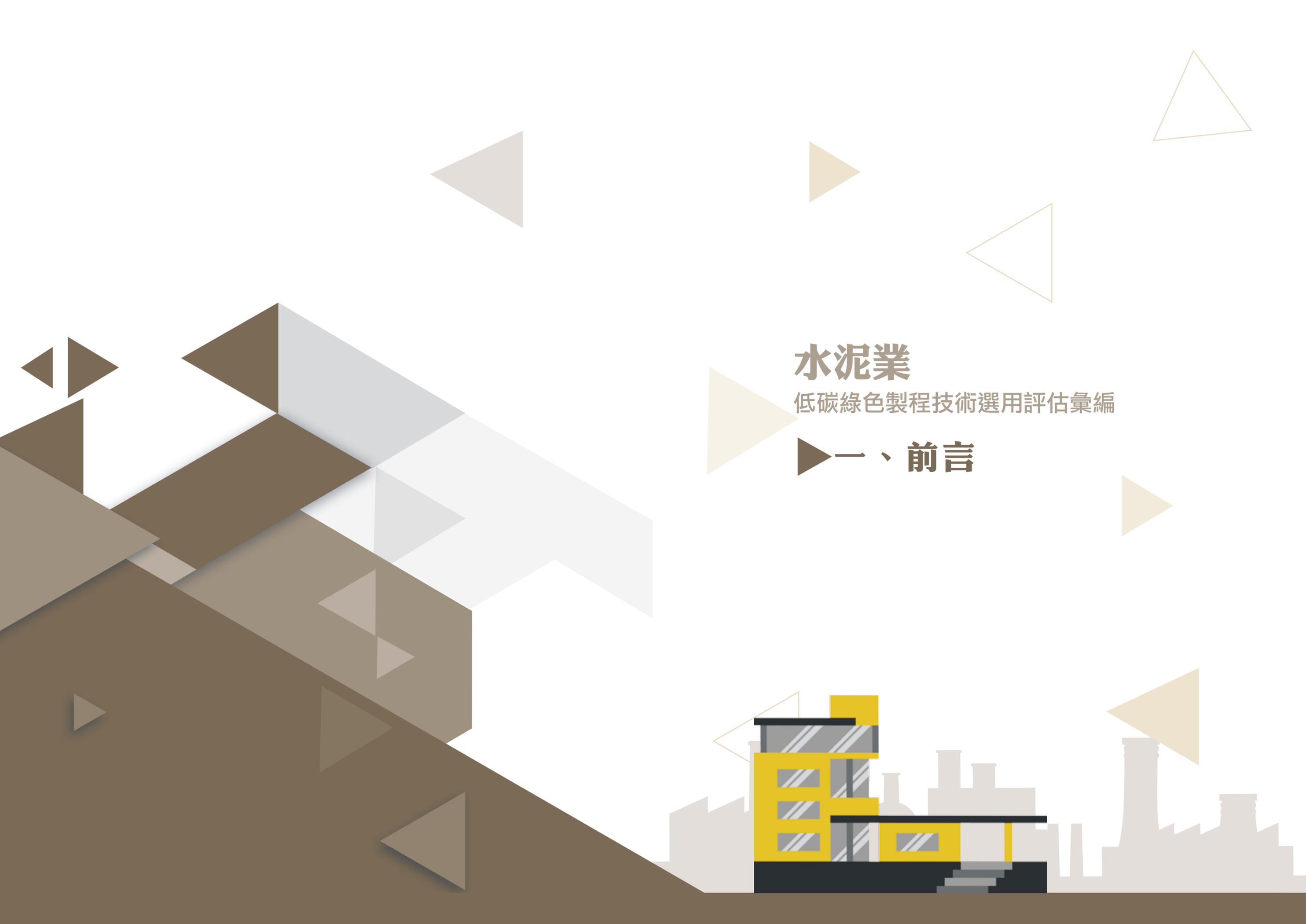
表 4.2.5-1 生活垃圾的熱值及灰份之化學組成 ----- 56

表 4.2.5-2 水泥熟料耗熱及其化學組成 ----- 56

表 4.2.5-3 原煤與廢輪胎的熱值及灰份之化學組成 ----- 57

表 4.2.6-1 水泥熟料及爐石之化學組成 ----- 62

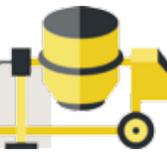
表 4.2.6-2 水泥熟料及燃煤飛灰之化學組成 ----- 62



水泥業

低碳綠色製程技術選用評估彙編

▶ 一、前言



一、前言

《溫室氣體減量及管理法》已於民國 104 年 7 月 1 日總統令公布施行，明定「國家溫室氣體長期減量目標為民國 139 年溫室氣體排放量降為民國 94 年溫室氣體排放量百分之五十以下。」及以五年為一期的階段管制目標。同年，行政院核定我國「國家自定預期貢獻」（Intended Nationally Determined Contribution, INDC）書，揭示我國 INDC 設定 2030 年溫室氣體排放量為依現況發展趨勢推估情境（Business as Usual, BAU）減量 50%，該目標相當於民國 94 年排放量再減 20%，亦為前述溫管法要求的階段性目標「在民國 139 年降至民國 94 年排放量 50% 以下」之重要參考。依據行政院環境保護署「2016 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告」顯示，在民國 79 至 103 年間，工業製程及產品使用部門溫室氣體排放量已增加 62.61%，年平均成長率 2.05%，顯示製造部門之溫室氣體排放量有逐年成長趨勢，預期未來所面臨減碳要求及壓力亦將與日俱增。

經濟部工業局為協助產業落實減碳工作，輔導企業低碳升級轉型與永續發展，規劃推動 4 年期程（民國 106 年～ 109 年）「製造部門低碳生產推動計畫」，期能協助產業因應日趨劇烈變化的氣候與經營環境，以確保產業競爭力。由於製程技術或設備導入須考量之因素眾多，為協助工廠順利進行低碳製程新技術或設備導入之前期規劃，遂著手辦理「低碳綠色製程技術選用評估彙編」，藉由各產業專家所建議低碳綠色製程技術設備之選用原則、技術介紹及實務案例，以協助企業排除技術篩選之困擾與障礙，順利導入低碳生產製程技術。

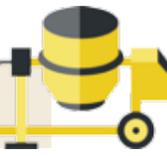
本彙編所收錄之技術設備選用評估原則及技術案例，皆為產業先進經實際應用所得出之寶貴經驗，惟參採時仍須考量個案適用性，包括經濟層面、技術層面及工程層面上，選用時宜多加評估各方面之可行性。

The background features a large, abstract geometric shape on the left side, composed of overlapping triangles and polygons in shades of brown, tan, and light grey. On the right side, there is a stylized city skyline with various buildings and chimneys in shades of brown and grey. Several triangles of different sizes and colors (solid brown, tan, and light grey) are scattered across the white background.

水泥業

低碳綠色製程技術選用評估彙編

▶ 二、水泥產業 特性與發展趨勢



二、水泥產業特性與發展趨勢

2.1 產業簡介

水泥產業主要製程可分為：礦石採掘、生料研磨、熟料燒成及水泥研磨四個階段。

礦石採掘的內容主要有爆破、初碎及運輸等，而水泥主要生產過程，有生料研磨、熟料燒成及水泥研磨三個製程階段，如圖 2.1-1 所示。

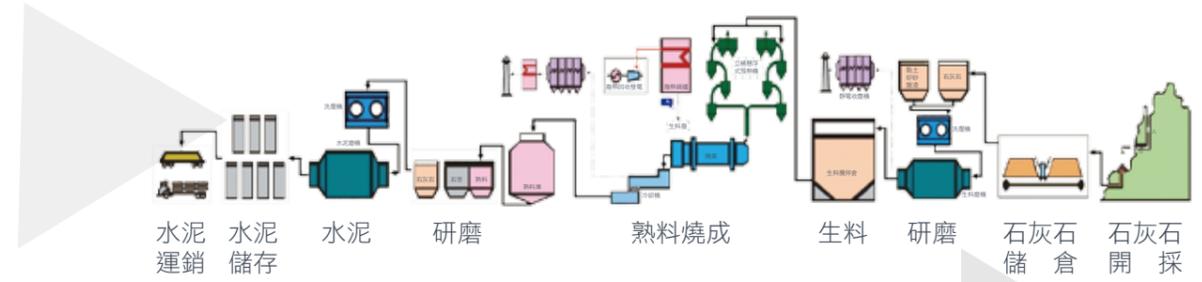


圖 2.1-1 水泥的生產製造過程

2.2 主要製程特性

水泥生產方法可簡單概括為「兩磨一燒」，即生料研磨、熟料燒成及水泥研磨。原料經破碎後，按一定比例配合，經研磨設備磨細，得到成分合適、質量均勻的生料；生料在水泥窯內煅燒至部分熔融，得到熟料；熟料加入適量石膏與混合材，按一定比例配合，經研磨設備磨細，即為水泥；另外煤磨系統是負責熟料燒成階段所需燃料的供應。

現在新型乾法水泥生產技術，就是以預熱機和預分解技術為核心，把現代科學技術廣泛應用於乾法水泥的生產技術。有關新型乾法水泥生產的流程如圖 2.2-1 所示。

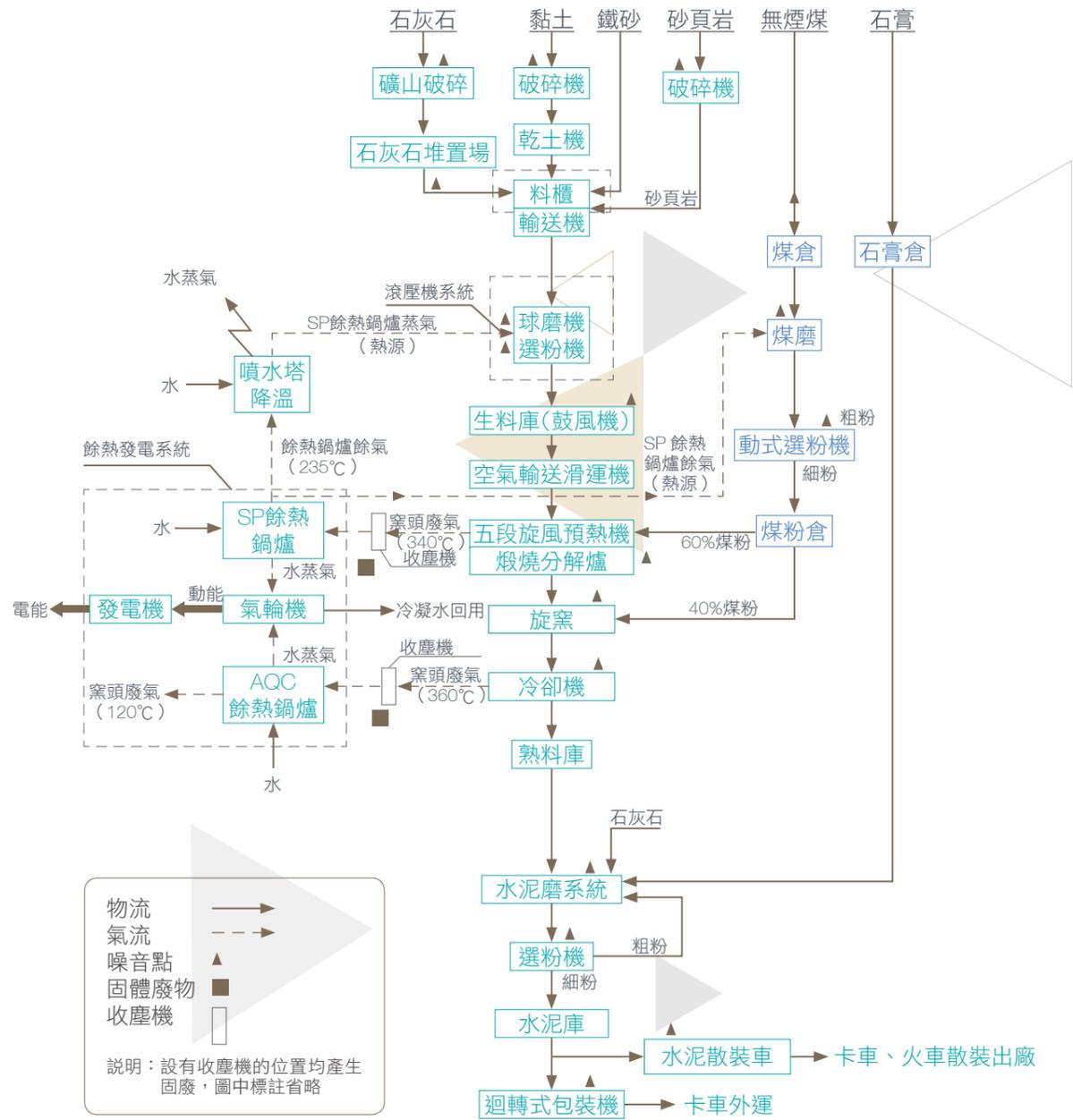
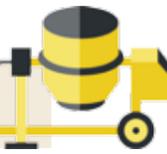


圖 2.2-1 新型乾法水泥生產流程圖

2.3 生料研磨

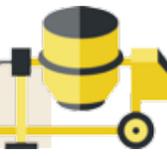
1. 生料研磨的目的和要求

生料的細度直接影響生料粉預熱的效果及熟料的煅燒速度。生料的細度越細，生料各成分直接混合均勻，煅燒時各組成成分能夠充分接觸與熱交換，使發生碳酸鈣的分解反應、固相反應、熱化學反應的速度加快，有利於水泥熟料的煅燒。但當生料的細度過細時，生料磨機的產量明顯降低，單位生料產量的電耗明顯升高，生料中的游離氧化鈣含量並沒有明顯下降。生料中的粗顆粒，特別是一些粒徑粗大的結晶石英、方解石，他們的化學反應活性很低，在窯內幾乎不和其他氧化物發生化學反應，影響熟料的煅燒反應，使游離氧化鈣的含量增大，影響熟料的質量。

2. 生料研磨系統的發展特點

隨著新型乾法水泥生產技術的發展，為了適應不同原料和製程的要求及提高研磨效率，生料研磨系統也不斷的改進和發展，其發展特點如下：

- (1) 原料的烘乾和研磨一體化，烘乾兼研磨流程得到了廣泛應用，研磨電耗亦顯著降低。
- (2) 磨機與新型高效選粉機、輸送設備相互匹配，組成了各種新型乾法封閉式研磨流程，提高了研磨效率，降低電耗。
- (3) 設備日趨大型化，以簡化設備和製程流程，與窯的大型化相匹配。豎磨系列中磨盤直徑已達 5m 以上，電動機功率 5,000kW 以上，每小時產量 500 噸以上；以高單位產能與高運轉率降低單位耗電；另外，大型滾壓機也是生料磨生產的主要設備。
- (4) 現在主流趨勢為預先配料後再送入生料磨房內進行研磨。



- (5) 利用預熱機系統的廢熱經過鍋爐來發電並引到生料磨烘乾原料。
- (6) 採用秤量機、自動調配系統，控制原料的配料，使入窯生料成分的均化、穩定。

3. 選用研磨流程和研磨設備需要考慮的因素

(1) 入磨物料的性質

物料的性質主要包括水分、粒度、易磨性，也要考慮黏土質原料中的含砂量及石灰質原料中燧石的影響。

(2) 研磨產品的細度要求

所選的研磨流程和設備應盡可能便於控制研磨產品的細度，一般生料研磨是以篩餘 74 μm ~80 μm 來控制。

(3) 生料研磨系統的要求（每小時產量）

生料研磨系統要求單位產能，亦即每小時的產量，此可由主機平衡計算確定。所選生料磨的生產能力，要能滿足此一基本要求。

(4) 研磨電耗

目前生料磨流程的耗電概述如下：

- A. 舊式傳統生料磨系統耗電約為 16kWh/ton；
- B. 豎磨生產系統耗電約為 13kWh/ton；
- C. 滾壓機生產系統耗電約為 10kWh/ton。

(5) 排氣餘熱利用的可能性

對於乾法生料磨來說，目前皆利用排氣餘熱經過鍋爐來發電並引入生料研磨系統烘乾原料，使研磨與烘乾作業同時進行，以節約烘乾熱能，並可簡化生產流程。

4. 生料研磨系統

(1) 舊式傳統生料研磨系統如圖 2.3-1 所示。

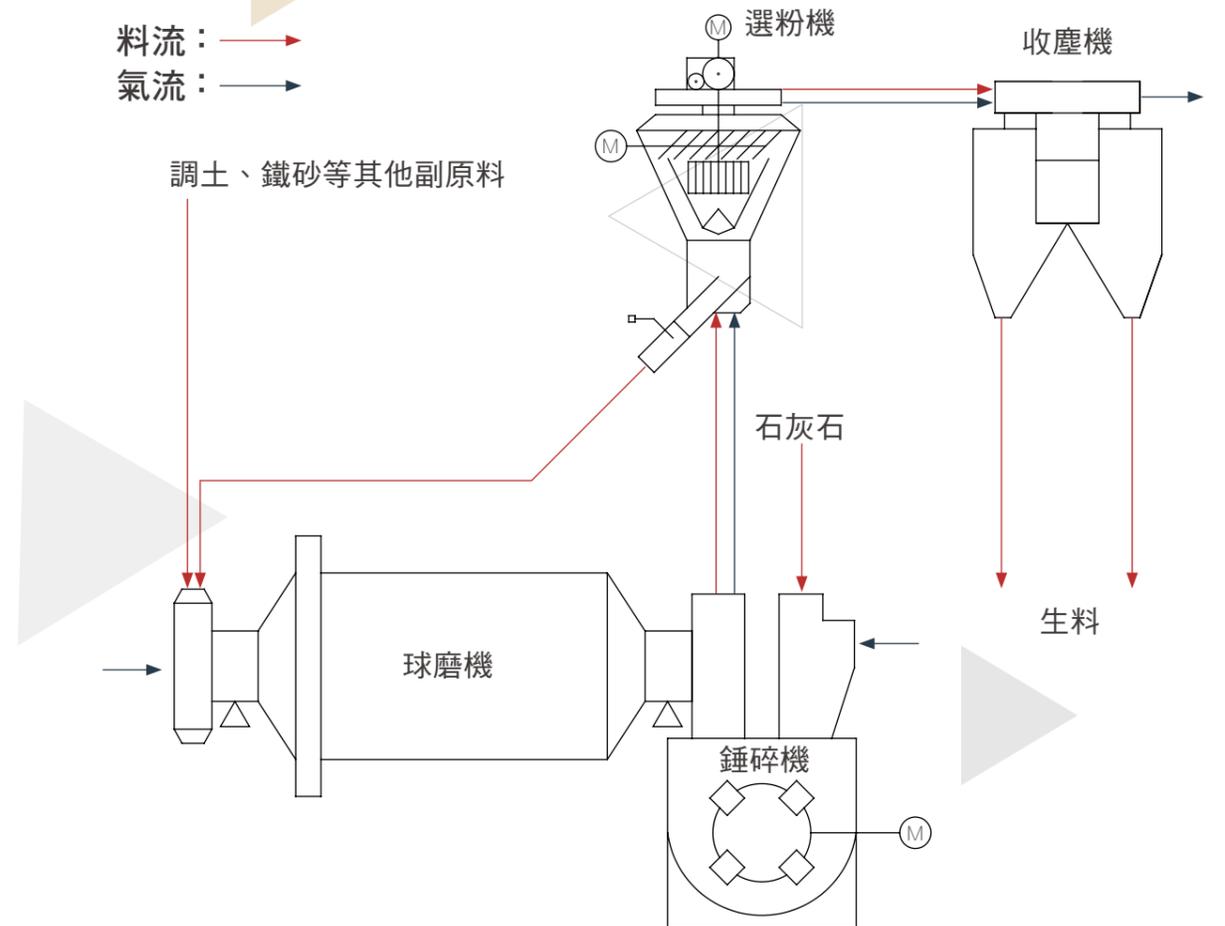
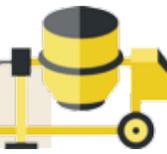


圖 2.3-1 舊式傳統生料研磨系統



(2) 豎磨生料研磨系統如圖 2.3-2 所示。

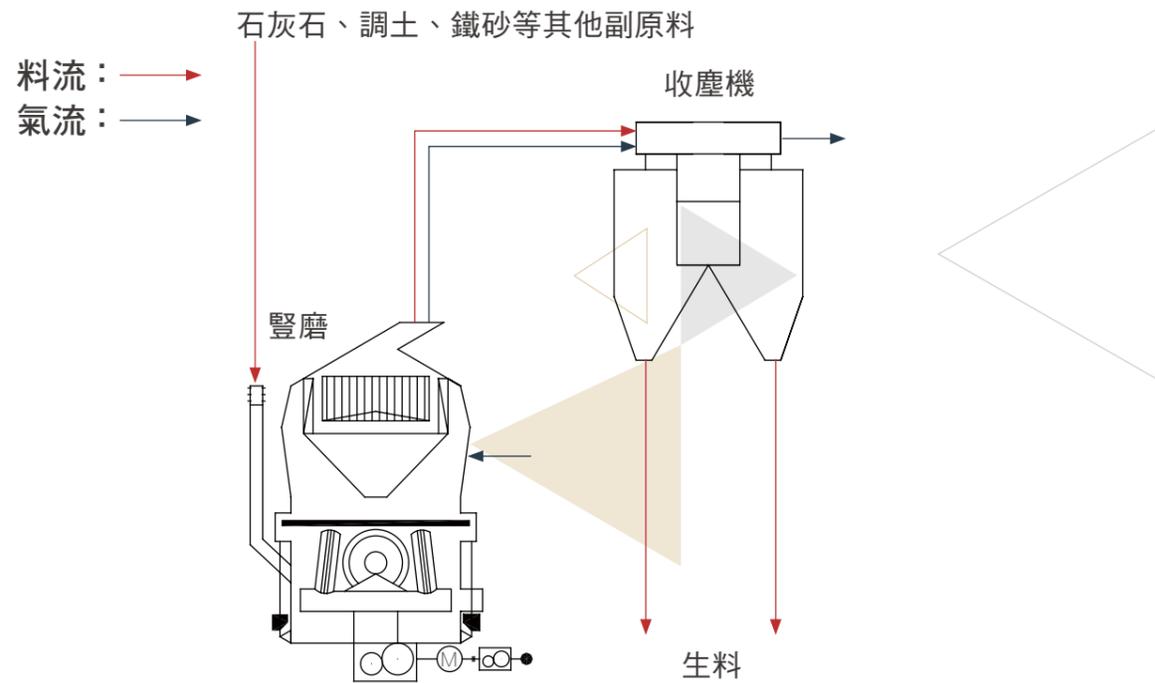


圖 2.3-2 豎磨生料研磨系統

(3) 滾壓機生料研磨系統如圖 2.3-3 所示。

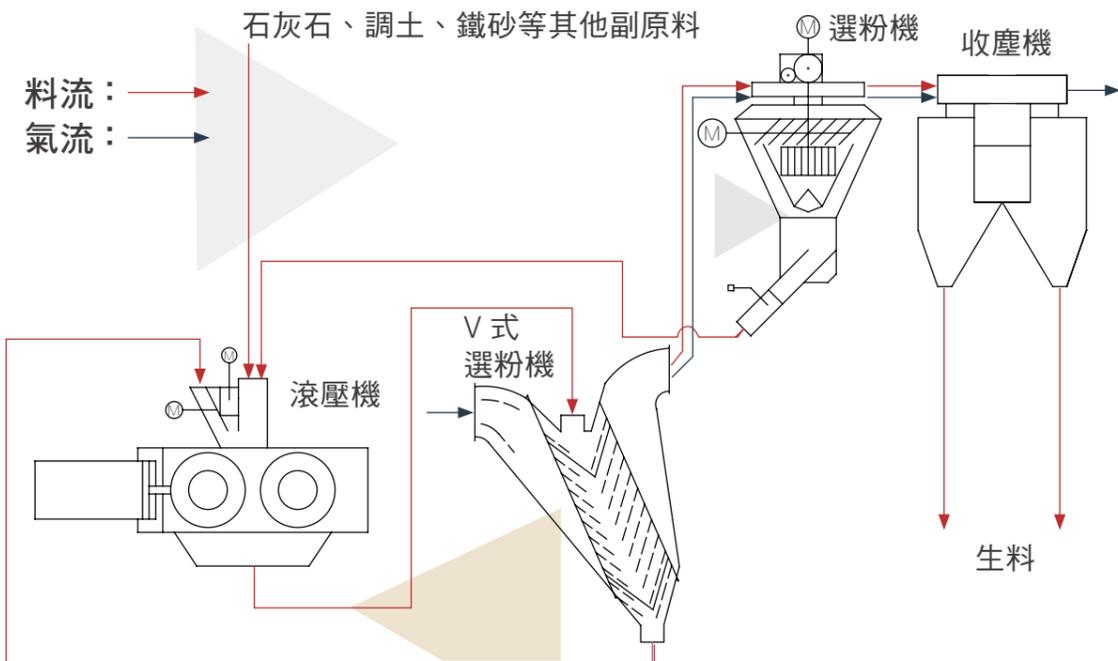


圖 2.3-3 滾壓機生料研磨系統

2.4 熟料燒成

1. 生料預熱及熟料燒成目的和要求

生料進入此階段製程是均化生料，並利用窯尾熱氣將飼入預熱機生料進行高溫預熱降低窯內系統熱耗。預熱機提供熟料燒成前生料預熱脫酸 ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) 及降低窯內系統熱耗目的。預熱機外觀如圖 2.4-1 所示。



圖 2.4-1 預熱機外觀

圖 2.4-2 為某水泥廠的水泥熟料煅燒系統流程示意圖。預熱後之生料進入旋窯內，生料各成分直接混合均勻加熱，旋窯內燒成時各組分充分接觸，使發生碳酸鈣的分解反應、固相反應、燒成反應為一連串物理與化學變化後，產生具有水硬性反應之熟料顆粒。

當熟料產生要進入冷卻機前，熟料礦物相由熔融狀態下激冷進入冷卻機中，冷卻輸送進熟料庫中並達到水泥磨可研磨溫度範圍。冷卻機主要目地為熟料激冷、輸送、熱回收，冷卻效率與降溫結果也影響熟料的質量。

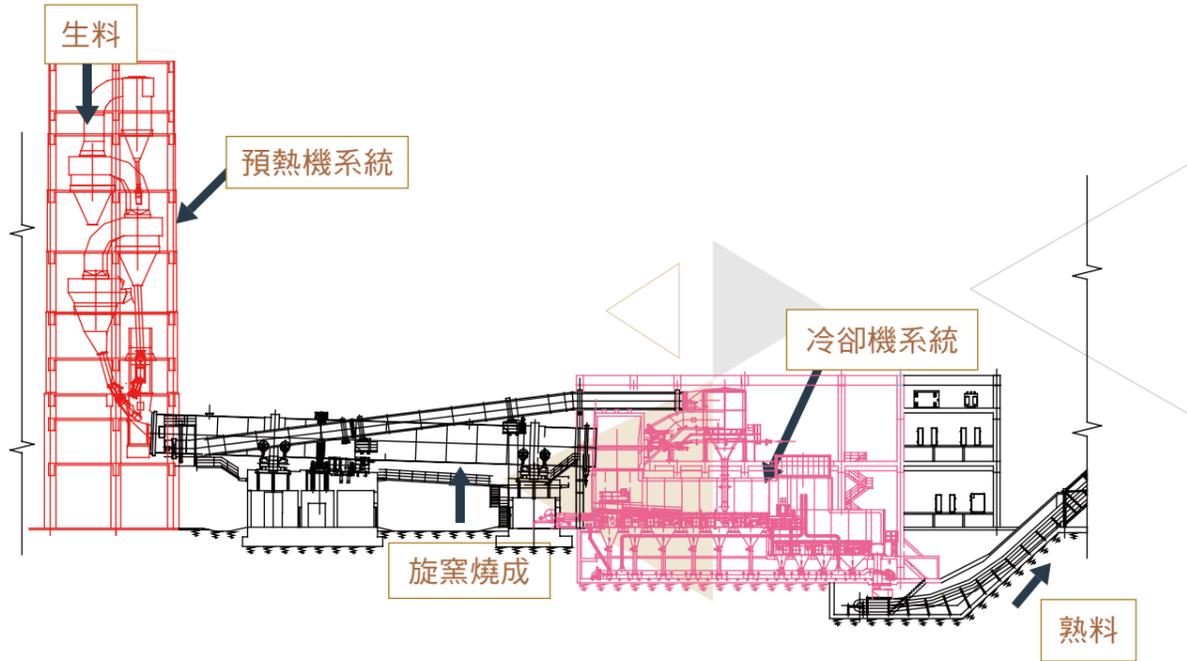
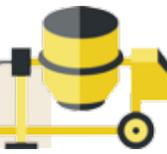


圖 2.4-2 水泥熟料煅燒系統

2. 熟料燒成中預熱機、旋窯、冷卻機的發展特點

隨著新型乾法水泥生產技術的發展，不同預熱煅燒技術的要求及提高燃燒效率，預熱機、旋窯、冷卻機系統均不斷的改進和發展，其發展特點如下：

- (1) 預熱機結構，由生料懸浮式預熱機快速發展到帶預分解爐之多段式低壓損旋風預熱機應用，生料粉預熱、預分解及煤粉燃燒效率均大大提高。
- (2) 旋窯由三支點之長窯一般長徑比 $L/D=13.5\sim 15$ ，縮短為目前二支點長徑比 $L/D=11$ 短窯。減少窯殼胴體壁厚，降低窯重量，窯中心點易保持，提高耐火磚壽命。
改良窯傳動系統、旋窯進出止封型式蓋為葉片式，可提高旋窯運轉平穩與減少周界冷空氣進入之熱耗。
此外為適應低品質燃料與再生能源所需，應用於預熱機與旋窯之燃燒設備已發展為新型多通道燃燒器，用以使用多種衍生性燃料。

(3) 冷卻機設備在新一代技術發展上，以熟料料層之厚度、橫向、縱向的阻力、料溫分布規律，有針對性地分配適量的冷卻風量，達到最小冷卻風量的高效率熱回收之目的。

熟料輸送方式由爐排篩板往復式機械傳動，發展為靜止爐排推棍式油壓系統傳動，大幅提高工作效率及熱回收。

3. 熟料燒成系統

熟料燒成系統流程如圖 2.4-3 所示。

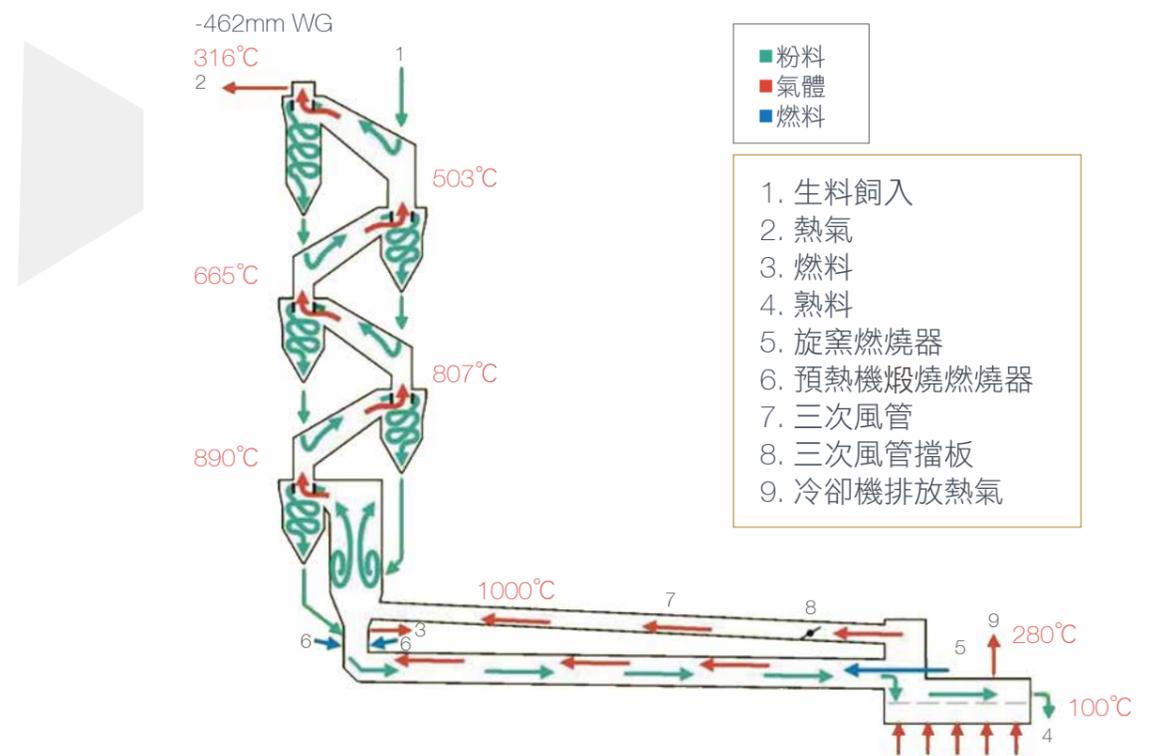
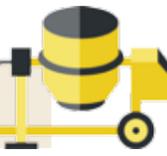


圖 2.4-3 燒成系統流程圖例

(1) 預熱機、預分解爐技術說明

預熱機為一座大型熱交換器，充分利用窯尾排出廢氣中的大量熱能，將生料預熱後送入窯中煅燒，降低燒成系統的耗熱。而流程中，最大化的換熱效率，最小的流動阻力，以及穩定的運轉為預熱機基本要求。



預熱機由預煨加熱後由多段旋風筒分離（如圖 2.4-4），系統換熱效率及分離效率高，否則造成單位總耗能提高。

預熱機多段式旋風筒的發展，由四級發展至五級或六級，最上一級採用長柱長錐內筒型，保證較高之分離效果。

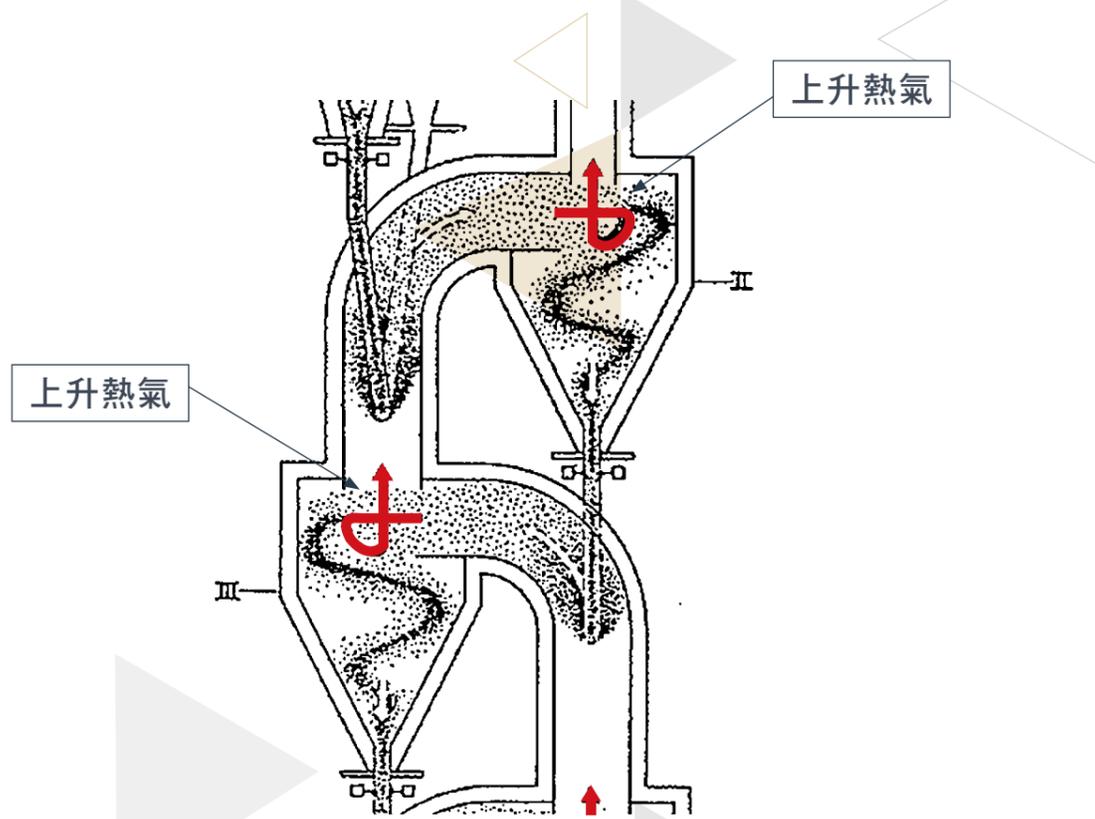


圖 2.4-4 旋風筒進料分布、分離示意圖

預熱機預分解爐部分，現況世界各類達數十種以上，經由煤粉燃燒使爐內溫度達 850°C，目的為生料碳酸鈣分解。搭配預熱機大型化趨勢，在預分解爐後端上升風道延伸下，能有效延長燃燒時間（以風道改善為例：可由 2.4 秒延長至 3.7 秒），燃燒效率較以往提高，並能在後續發展中兼具燃燒替代性燃料之功能。如圖 2.4-5 所示。

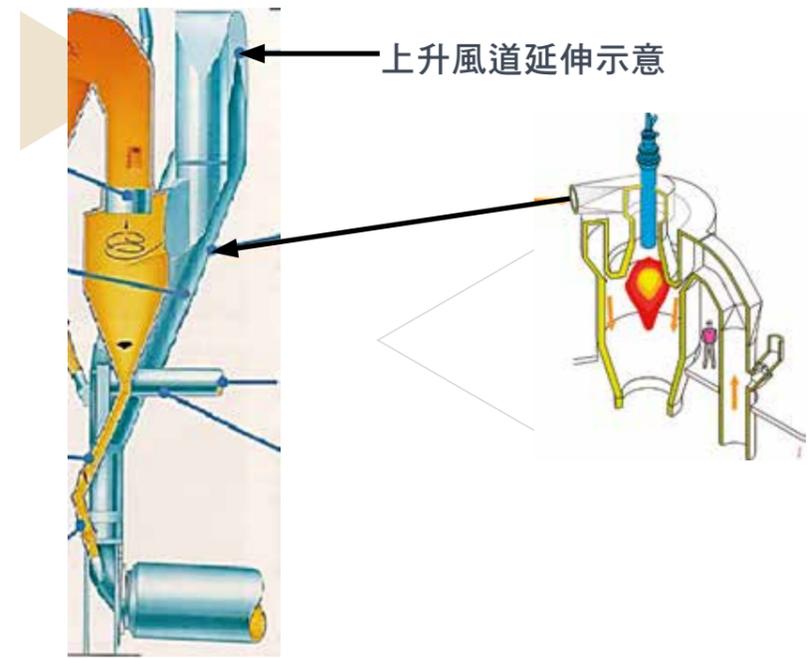


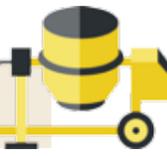
圖 2.4-5 上升風道延伸及煨燒分解爐示意圖

(2) 旋窯系統技術說明

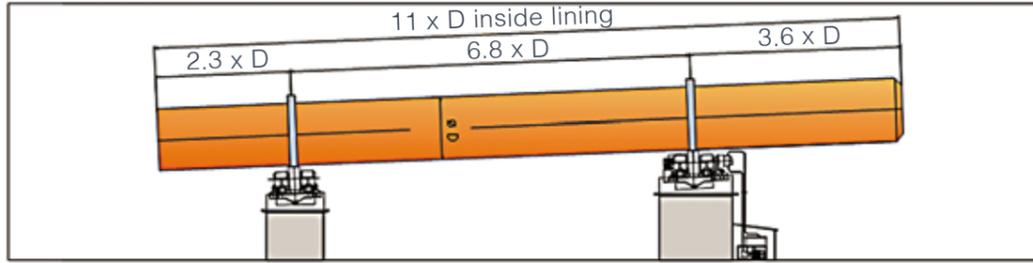
旋窯系統如圖 2.4-6 所示。旋窯的主要設計標準為產量及熱負荷，二者均與單位耗熱量有關。熱負荷通常與窯橫截面積與時間有關 (Gcal/m²·h)。另一項重要標準為窯中氣流速度，其不可超過 10m/s，以避免窯及預熱機之間的粉塵循環增加。

以預熱機預煨技術作為增加旋窯產量後，證明不需改變窯的長度即可顯著地提高窯的產能。當 1970 年代中葉，煨燒反應完全在旋窯外進行時，使直徑相同旋窯產量增加了一倍以上，因此重建了短預煨窯尺寸、產量及窯速間的關係。

由後續生產數據顯示，三支點長窯於預分解窯系統中，對進入窯內生料停留能相對提供較為穩定之燒成控制，故短窯發展技術依生產廠商製程特性具不同選擇性。



#3-2 支點旋窯



#1、2 窯 -3 支點旋窯

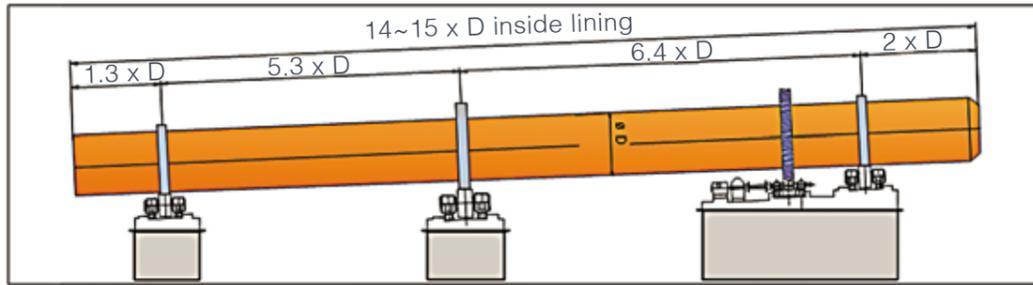
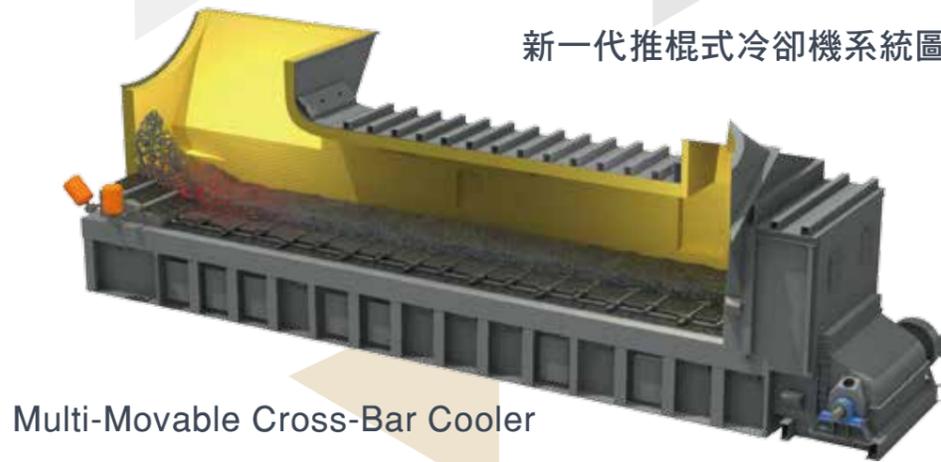


圖 2.4-6 旋窯系統示意圖

(3)冷卻機系統技術說明

推棍式冷卻機系統如圖 2.4-7 所示。冷卻機主要設計為熟料冷卻與輸送，並賦予最大熱回收效率之目標，在穩定的冷卻機熱氣回收下，旋窯方能達到平穩燒成操作。當前冷卻機由爐排篩板往復式機械傳動，逐步發展到最新一代（第四代）模組化，多段靜止密閉爐排、推棍式油壓傳動輸送、滾輪式熟料破碎系統。

新一代推棍式冷卻機系統圖例



Multi-Movable Cross-Bar Cooler

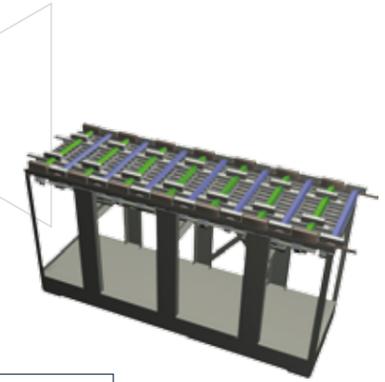
圖 2.4-7 推棍式冷卻機系統示意圖

新一代冷卻機技術特徵：

A. 模組化設計：如圖 2.4-8 及圖 2.4-9 所示。設計相關模組預先組裝，施工流程簡化，依改造現場實際空間選擇模組尺寸安裝，工期大幅縮短。



模組化冷卻機



模組化熟料破碎機

圖 2.4-8 新一代冷卻機（FLSmidth 技術提供）

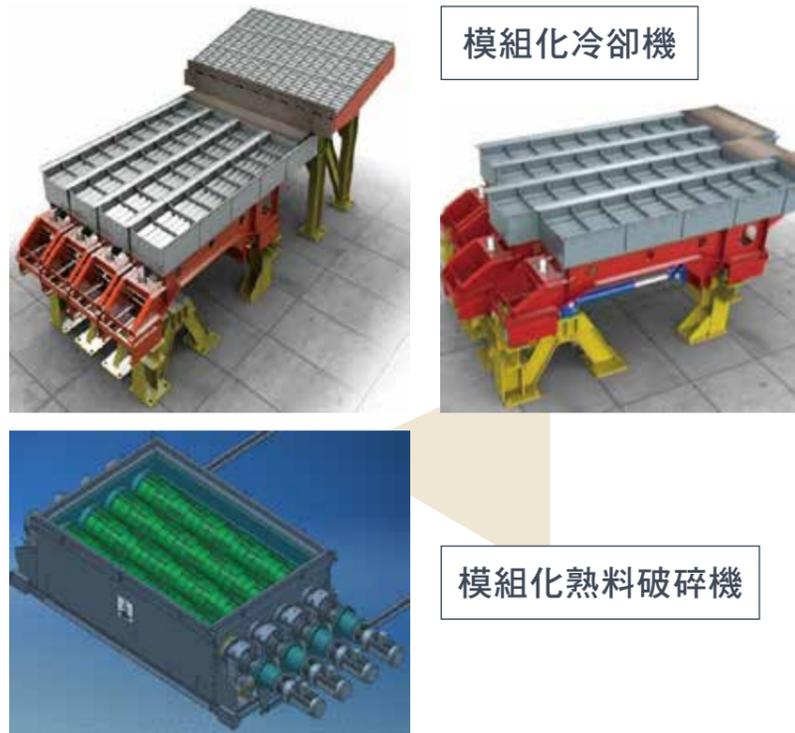
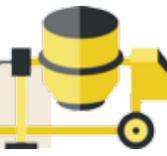


圖 2.4-9 新一代冷卻機 (KHD 技術提供)

B. 為求風量分布平均，使用機械式氣體流量調節閥 (Mechanical Flow Regulators, MFR)，如圖 2.4-10 及圖 2.4-11 所示。

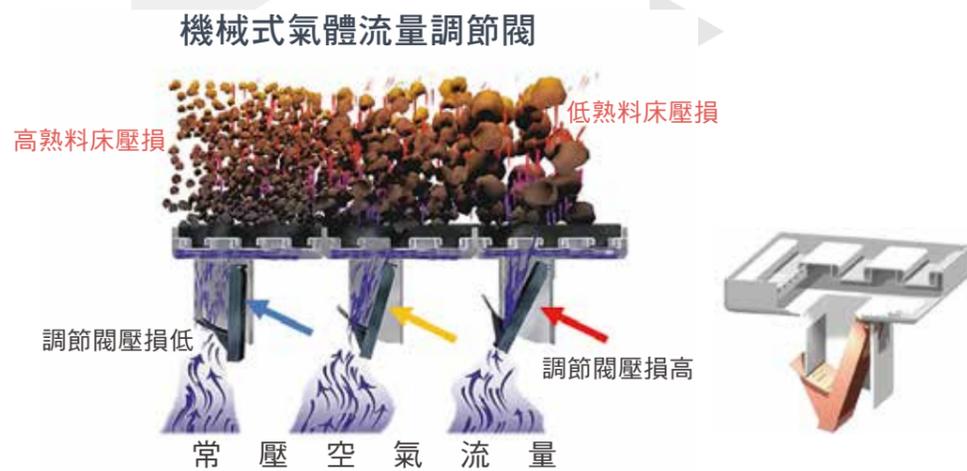


圖 2.4-10 不同型式流量調節設備 (FLSmidth 技術提供)



圖 2.4-11 不同型式流量調節設備 (KHD 技術提供)

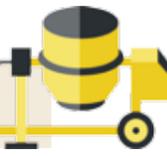
C. 固定式吹氣爐排、推棍式輸送系統：如圖 2.4-12 及圖 2.4-13 所示。



圖 2.4-12 固定式吹氣爐排、推棍式輸送系統 (FLSmidth 技術提供)



圖 2.4-13 固定式吹氣爐排、推棍式輸送系統 (Polysius 技術提供)

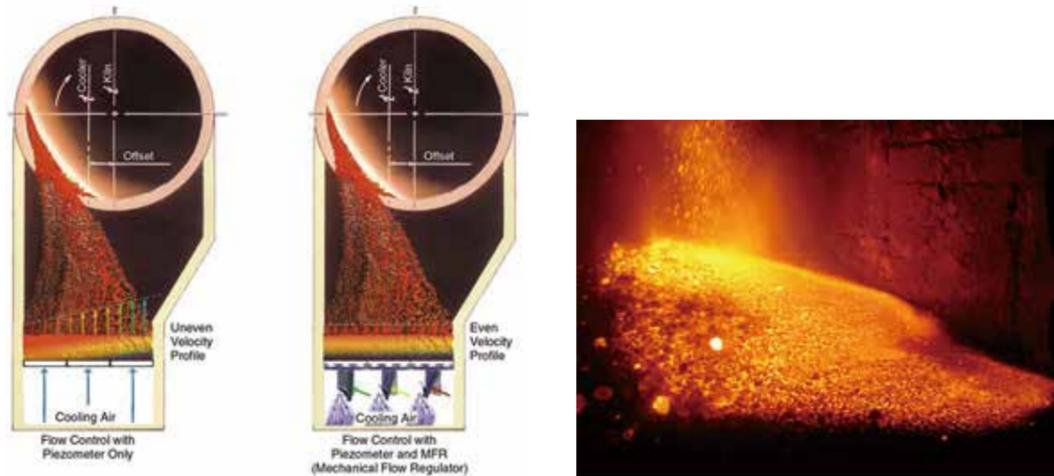


D. 油壓系統的使用：傳動輸送採油壓方式驅動，簡化操作模式。如圖 2.4-14 所示。



圖 2.4-14 熟料破碎系統採變頻電動機

E. 高效率的熱回收：冷卻空氣均勻穿透熟料床，進入窯內二次空氣、預熱機三次管三次空氣，熱回收效率高。如圖 2.4-15 所示。



傳統爐排空氣
穿透不均

新式設計爐排
空氣穿透均勻

熟料床紅河

圖 2.4-15 有效減少冷卻機內熟料床紅河情況

F. 窯落口冷卻機前段更新設計以階梯式固定冷卻爐排配置，搭配大型空氣砲擊發設計，大幅減少結料影響燒成情況。如圖 2.4-16 及圖 2.4-17 所示。



圖 2.4-16 窯落口結料（雪人）示意圖

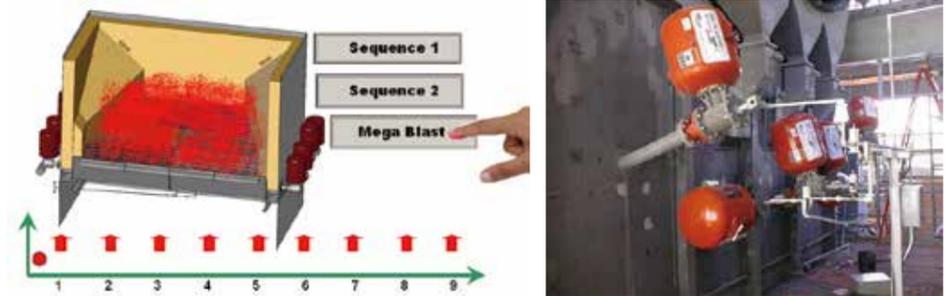
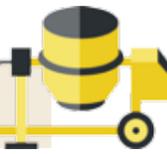


圖 2.4-17 冷卻機前段空氣砲擊發示意圖

2.5 水泥研磨

1. 水泥研磨的目的和要求

水泥研磨是水泥製造的最後工序，也是耗電度最多的製程環節。其主要功能在於將水泥熟料、緩凝劑及添加材料等研磨至一定的細度，形成一定的顆粒級配，以增大其水化面積，調節水化反應進程，滿足水泥漿體凝結、硬化要求。



水泥的細度越細，水化與硬化反應就越快，水化愈易完全，水泥膠凝性質的有效利用率就越高，水泥的強度，尤其是早期強度也愈高，而且還能改善水泥的泌水性等性能。反之，水泥中有過粗的顆粒存在，粗顆粒只能在表面反應，從而損失了熟料的活性。

在滿足水泥品種和強度的前提下，水泥細度不宜太細，因為水泥細度過細，會導致研磨系統的產量下降，單位產品的耗電度增加，同時也增多了混凝土的用水量，直接影響混凝土的使用性能。所以，在滿足水泥品種和強度等級的前提下，控制水泥的比表面積在 3,300~3,600 cm²/g 之間比較合適；另外配合水泥摻配爐石粉等情況時，控制水泥的比表面積以接近或高於 3,600 cm²/g 比較合適。

2. 水泥研磨技術特點

- (1) 在設備大型化的同時，力求選用高效、節能型磨機。用於水泥研磨的鋼球磨機直徑可達 5m 以上，電機功率達 7,000kW 以上，單位產能可達 300t/h 以上。
- (2) 採用高效選粉機，如日本小野田研發的 O-Sepa、丹麥 FLSmidth 公司研發的 SEPAX 型選粉機、德國 KHD 公司研發的高效選粉機等，其選粉能力可達 500t/h 以上。
- (3) 使用助磨劑，可提高研磨效率，增加水泥強度，降低單位產能的研磨耗電。因為在研磨過程中，加入少量的助磨劑，可以消除細粉的黏附和聚集現象，加速物料的研磨過程。
- (4) 實現自動化操作，研磨製程及其設備的發展，除了主要表現在節能、提高產能、穩定而優良的品質和高可靠度運轉率、減少易磨損零件、降低成本外，廣泛使用各種先進的自動化儀表進行自動控制、降低勞動力、實現安全環保的文明生產，也是水泥研磨技術發展的重要方向。

3. 水泥研磨技術類型

水泥研磨技術主要用豎磨機或滾壓機作為預磨設備，之後再進入球磨機設備進行研磨以達到水泥細度的要求。

(1) 豎磨機 + 球磨機的水泥研磨系統如圖 2.5-1 所示。

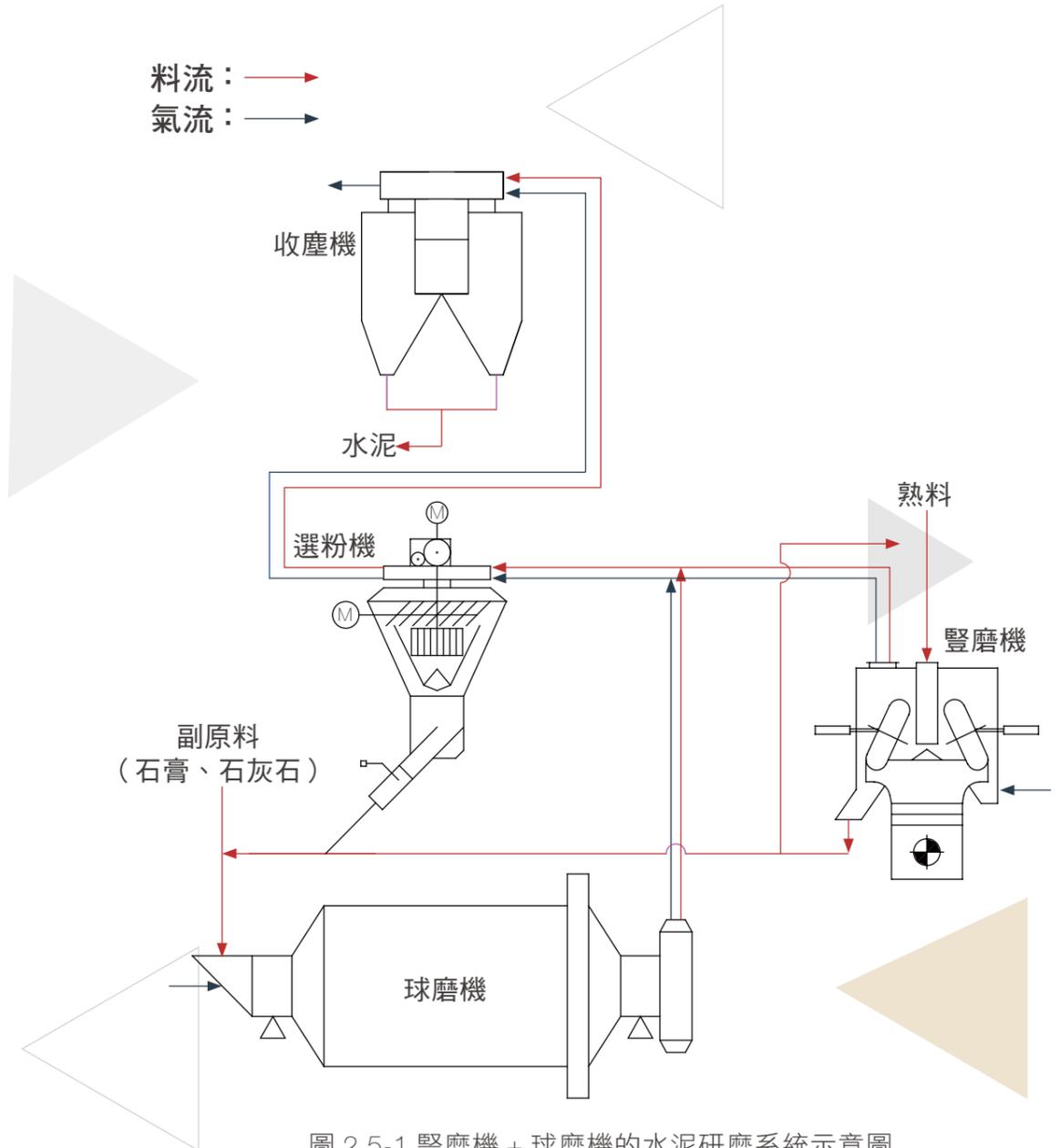
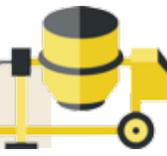


圖 2.5-1 豎磨機 + 球磨機的水泥研磨系統示意圖



(2) 滾壓機 + 球磨機的水泥研磨系統如圖 2.5-2 所示。

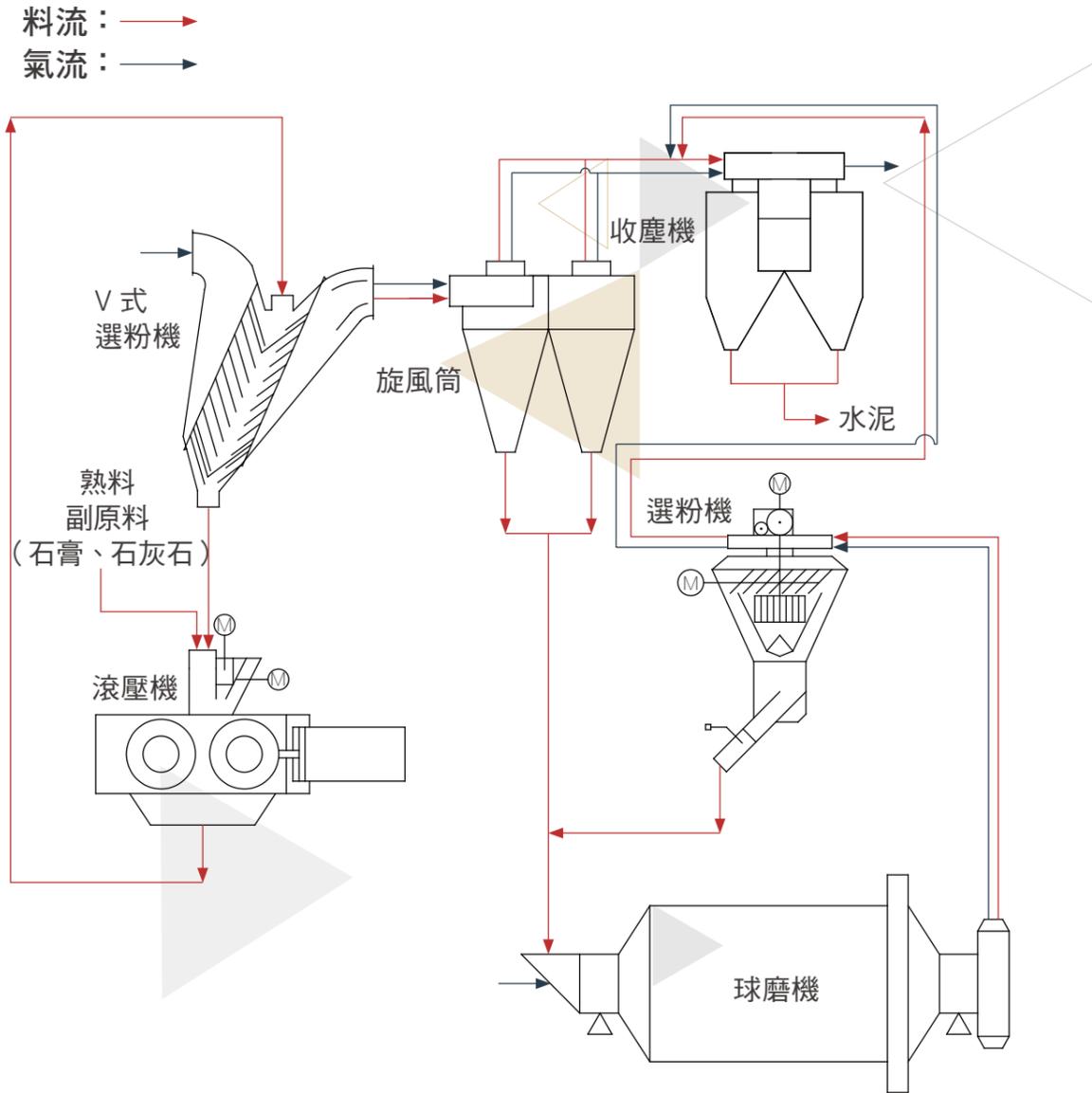


圖 2.5-2 滾壓機 + 球磨機的水泥研磨系統示意圖

2.6 煤磨系統

煤磨系統承擔著為預分解爐和窯的煨燒提供成品煤粉的任務。入磨的原煤經過烘乾及研磨後製成細度合格煤粉，然後按一定比例的分配分

別輸送至窯、預分解爐進行燃燒，放出熱量供物料發生分解反應、固相反應及煨燒反應之用。

煤磨系統主要分為球磨機與豎磨機兩大類，茲以示意圖說明如下：

(1) 球磨機的煤磨系統如圖 2.6-1 所示。

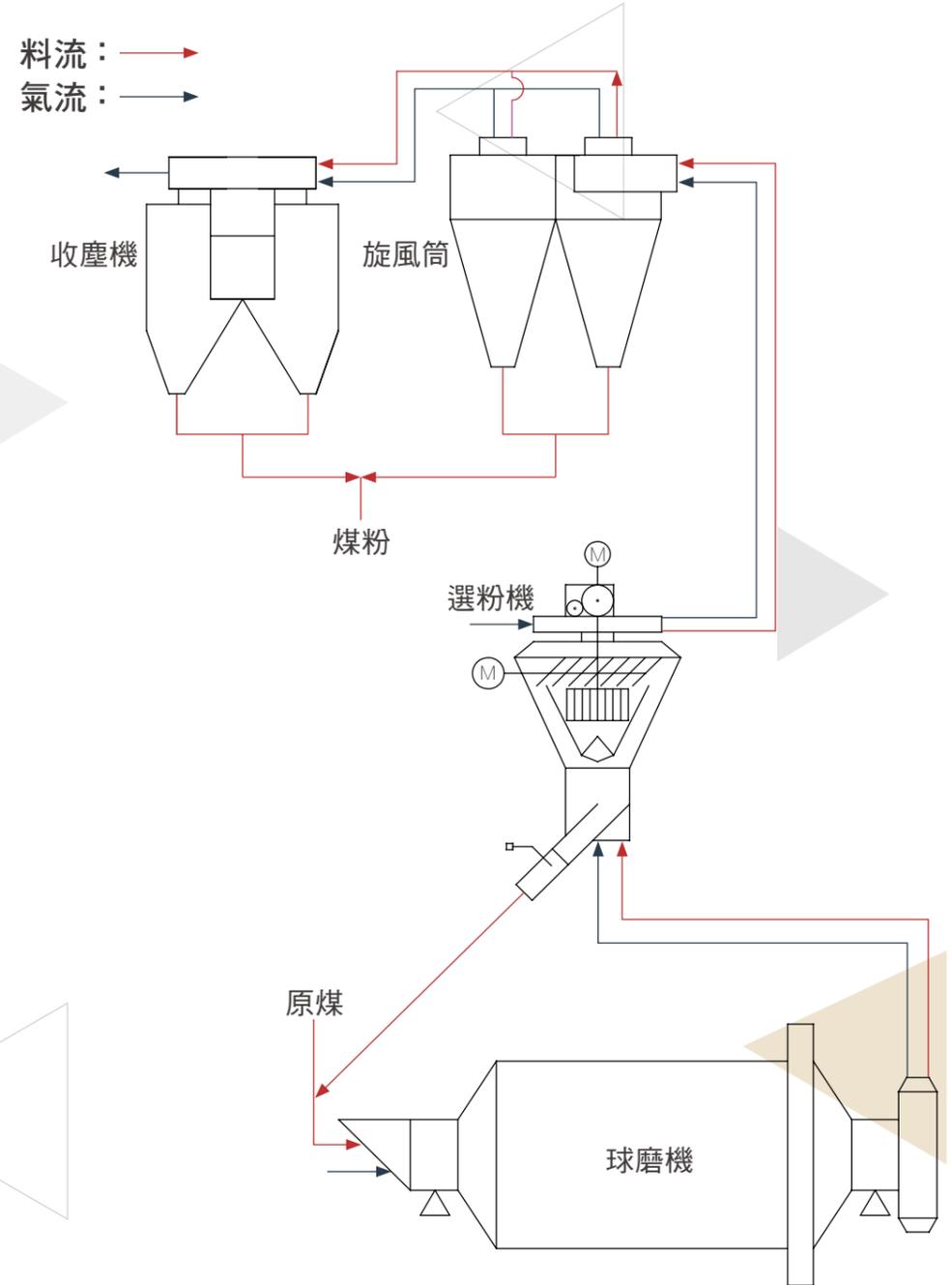
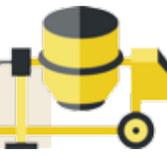


圖 2.6-1 球磨機的煤磨系統示意圖



(2) 豎磨機的煤磨系統如圖 2.6-2 所示。

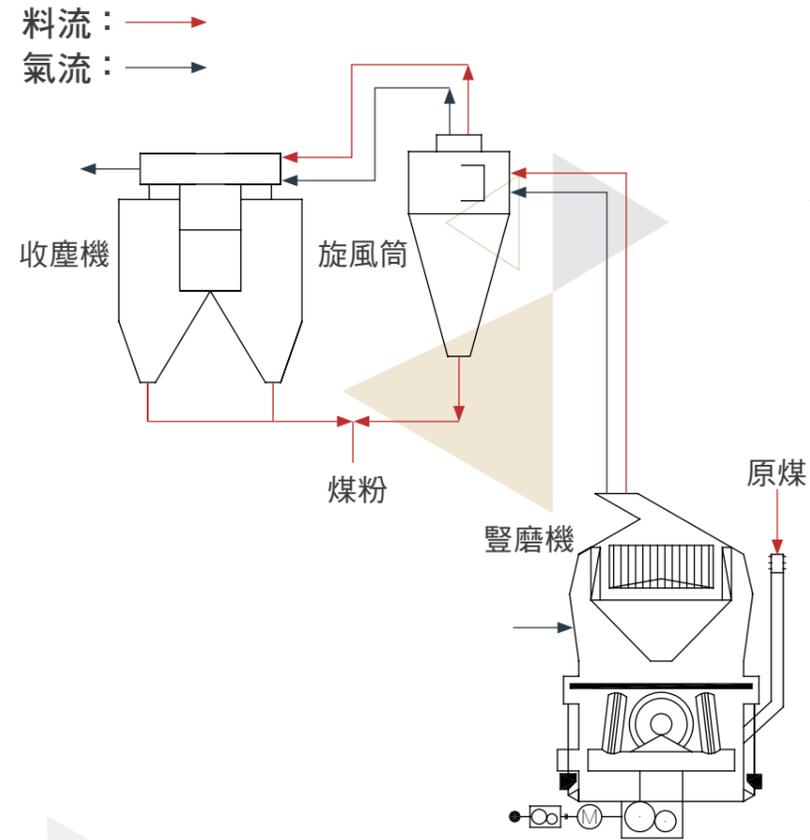


圖 2.6-2 豎磨機的煤磨系統示意圖

2.7 面臨問題及未來發展方向

發展低碳經濟是當前世界經濟發展中的熱門議題。低碳經濟是讓大氣中的溫室氣體（CO₂ 等）含量穩定在一個適當水準上，避免全球氣候劇烈改變，減少極端氣候給地球與人類造成傷害。

水泥行業是一個溫室氣體排放量大的產業，正好與所謂的低碳經濟是衝突的，這也正是水泥行業未來所面臨轉型的最大課題。

水泥業未來發展方向主要應聚焦在三方面：

1. 產品種類上

水泥熟料產品研發並推廣低鈣熟料礦物組成，以減少在熟料生產過程中產生 CO₂ 的量；水泥品種可於後端混凝土階段以摻配其他物料方式進行。

2. 節能技術上

在節能技術方面可推廣應用低溫餘熱發電，以及採行變頻調速機構，更換新技術設備或優化改造現有流程與操作等。

3. 循環經濟領域上

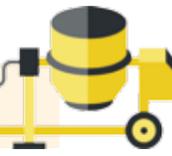
一方面要提高替代原料及燃料應用種類與比例，減少石灰石和化石燃料的消耗；另一方面，利用水泥窯之高溫分解特性推廣協同處置工業廢棄物、有害廢棄物、城市生活垃圾等，並於水泥製程中再利用爐石，以共同促進綠能與循環經濟。



水泥業

低碳綠色製程技術選用評估彙編

▶ 三、低碳綠色製程技術 設備之選用原則



三、低碳綠色製程技術設備之選用原則

3.1 技術收集管道

1. 德國 KHD 公司 (KHD Humboldt Wedag)

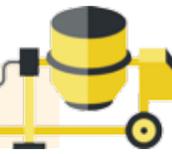
KHD 公司擁有超過 160 年的水泥行業經驗，其水泥廠整建技術、設備和服務均居於全球的領先地位。它提供的水泥業產品和售後服務水準，為水泥工業節能和環保提供高品質產品、技術整合和專案管理平台。KHD 國際公司位於德國科隆。集團擁有超過 750 名員工，於印度、中國、巴西、土耳其和俄羅斯，以及歐洲、美國等在各各地均設有分公司及辦事處。

2. 德國 Polysius 公司 (Polysius AG)

Polysius 是一家專業工程公司，專長在水泥廠建設領域。該公司成功地提供專有產品的研磨，高溫處理，物料搬運，自動化和電氣工程領域。該公司的強項是諮詢、計畫擬定、設計、交付及現場安裝和調適，並迎合永續發展的需求，提供的服務也覆蓋轉換工廠和現有工廠的現代化。

3. 丹麥 FLSmidth 公司 (FLSmidth & Co. A/S)

FLSmidth 集團自 1882 年創立以來迄今超過 135 年，集團在 50 多個國家設立水泥和礦物工程公司，位居全球礦業和水泥行業的市場的領先地位。



4. 日本 Taiheiyo 公司 (Taiheiyo Cement Corporation)

太平洋集團迄今已成立 100 多年，主要為水泥製造商附屬的工程公司，具有專業的機械和電氣系統設計。提供設備供應和施工等綜合工程服務，擁有豐富的經驗，現在為節能減排環保措施提供系統工程服務。

5. 中國水泥設計研究院

中國中材國際工程股份有限公司旗下天津院、中材國際（南京）是中國水泥工業最早成立的設計研究單位，為全球客戶提供多種服務模式的工程承包商，包括提供項目諮詢、工程勘查設計、設備製造供貨、工程建設、備件業務、生產營運等服務，其業務範圍涉及採礦與礦石加工、工業工程、發電工程、輸配電工程等領域，擁有豐富的現代水泥生產線設計和建設經驗。另外，合肥水泥研究設計院在水泥廠設計和技術改造中，獨具了因地制宜、資源綜合利用、投資節約、節能環保、調適服務等特色，擁有先進的網路及輔助設計系統，亦確保其優秀的設計能力。

3.2 技術評定原則

1. 資源利用（原料、燃料和電力）

將資源利用率和二次能源回收率提高，循環利用其他工業廢棄物、生活可燃廢棄物等。

2. 技術設備

廣泛採用最新技術設備，全面實現高效率、高產能、低能耗，並採用各種強化環境保護的技術與措施。

3. 生產管理

全面實行品質管理系統，例如 ISO 9000 系列標準等。

4. 產品品種與質量

水泥產品種類多樣化、性能及質量應達合格標準。

5. 粉塵與氮氧化物、硫氧化物排放

集塵排放設備皆高於國家標準要求，並實施 24 小時連續監控管理。

6. 環境污染

新建設備及製程皆須符合國家空氣污染防治法規，確實做到低污染、無公害，廢熱循環再利用，以符合法規要求。

3.3 技術公開資訊及選擇要素概述

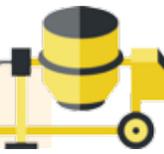
1. 生產水泥製程能耗方面的最佳製程選擇

(1) 降低熱能消耗

- A. 應用最適化旋窯系統，並採用電腦化之最佳控制系統、現代化進料系統、以及盡可能作預熱與預煨燒之順暢與穩定操作，使生產狀況能接近設計值。
- B. 從預熱機回收熱乾燥原料或燃料，冷卻機回收熱則先利用作為餘熱發電。
- C. 設置多階數的旋風筒預煨預熱。
- D. 利用生料磨或水泥磨加入並處理部分可再利用之廢棄物，在燒成製程部分可燃燒廢棄物以取代部分傳統燃料。

(2) 降低電能消耗

- A. 改造或更新用電設備，推廣節能新產品，提高設備運轉效率。
 - a. 高耗能設備更新為低耗能設備
 - 廠內設備（包括電氣設備，如馬達、變壓器）和生產機械（如風車、



高壓鼓風機、空壓機)是電能的直接消耗對象，它們的運行性能優劣，直接影響到電能消耗的多少，建議由傳統馬達改為 IE3 高效能馬達。

- b. 老舊設備更新為先進新設備
早期生產的設備性能會隨著科學技術的進步而變得落後，再加上長期使用磨損老化，性能也會逐步變劣。因此對設備進行節電技術改造必然是開展節約用電工作的重要方面；例如舊式冷卻機改為第四代冷卻機。
- B. 採用高效率低消耗的生產新技術替代低效率高消耗的老技術，降低產品電耗，大力推廣應用節電新技術措施。新技術的應用會促使勞動生產率的提高、產品質量的改善和電能消耗的降低。
- C. 提高電氣設備經濟運行水準
 - a. 設備實行經濟運行的目的是降低電能消耗，使運行成本減少到最低限度；例如採用離峰用電運轉模式。
 - b. 在多數情況下，生產負載或服務對象的要求是一個隨機變數，而設計時，常按最大負荷來選配設備能力，加之設備的能力又存在有級差，選擇時常選偏大一級的，這樣在運行時，就不可避免會出現匹配不合理，使設備處於低效狀態工作，無形之中降低了電能的利用程度。
 - c. 經濟運行問題的提出，就是想克服設備長期處於低效狀態而浪費電能的現象。
 - d. 經濟運行實際上是將負載變化信息反饋給調節系統來調節設備的運行工況，使設備保持在高效區工作。
- D. 加強單位產品電耗定額的管理和考核；加強照明管理，節約非生產用電；積極開展企業電能平衡工作。
- E. 加強電力可靠度，以達到降低停機減少耗能。

2. 水泥窯廢熱發電技術

水泥熟料煅燒過程中，從窯尾預熱機、窯頭熟料冷卻機等排掉廢熱，其熱量約占水泥熟料燒成總耗熱量 30% 以上。而生產水泥的過程中，一方面消耗大量的熱能，另一方面也消耗大量的電能。如果將排掉的 400°C 以下廢熱轉換成電能並提供水泥廠的製程使用，可使水泥生產總耗電降低 30% 以上，對於水泥廠可大幅降低單位耗電與對外購電，也可減少 CO₂ 的排放而有利於環境保護。

3. 新式預煨預熱機

生料先經預熱機及煅燒爐的燃燒，而後再經旋窯以 1,450°C ~ 1,500°C 高溫燒至半熔融，再進入冷卻機中予以冷卻後，即為熟料。預熱機的預熱階數越多，愈可提升旋窯效率。延長煅燒爐煤粉燃燒時間也是節省耗熱有效的方法之一。

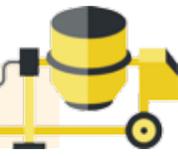
4. 空壓設備節能最佳化技術

一般最受業者忽視的「減少壓縮空氣洩漏」節能改善措施，其節能潛力相當大。壓縮空氣需投入相當多的能源，但因其無色無味，促使業者對空壓系統的洩漏較不重視。一般而言，洩漏對空壓系統能源損耗影響大，會浪費空壓電能總輸出的 20 ~ 30%。

3.4 設備規格選型步驟

1. 確定車間的產能，及設備的年使用率

水泥是連續生產的工廠，為了避免設備之間生產能力的不平衡或生產工序等因素造成物料供應中斷或滯留堆積，故確立車間產能與設備年使用率，以保證工廠能生產連續均衡進行和讓產品穩定出廠。



2. 選擇設備主機的形式和規格

根據車間要求的每小時產量、進料性質、產品質量要求以及其他技術條件，選擇適當型式和規格的主機設備，務使所選的主機技術更加先進和管理方便，能適應進料的情況，能生產出質量符合要求的產品。同時也必須考慮設備的來源與品質保證。

3. 確定主機的生產能力

同類型規格的設備，在不同的生產條件下（如物料的易磨性、易燒性、產品質量要求以及具體操作條件等），其產量可以有很大的差異。所以在確定了主機型式和規格後，對應主機每小時生產能力進行標定，亦即根據設計中的具體技術條件設定設備的每小時生產能力。

3.5 安全與操作維護

生命 safety 是人的第一需求，安全巡檢直接關係到巡檢人員的根本需求，必須貫徹「預防為主、安全第一」的觀念，所以無論是管理者或者是現場第一線巡檢人員，都要把保護安全和維護健康放在第一位，建立勞動安全管理準則和群防群治的安全生產管理體系。

NOTE

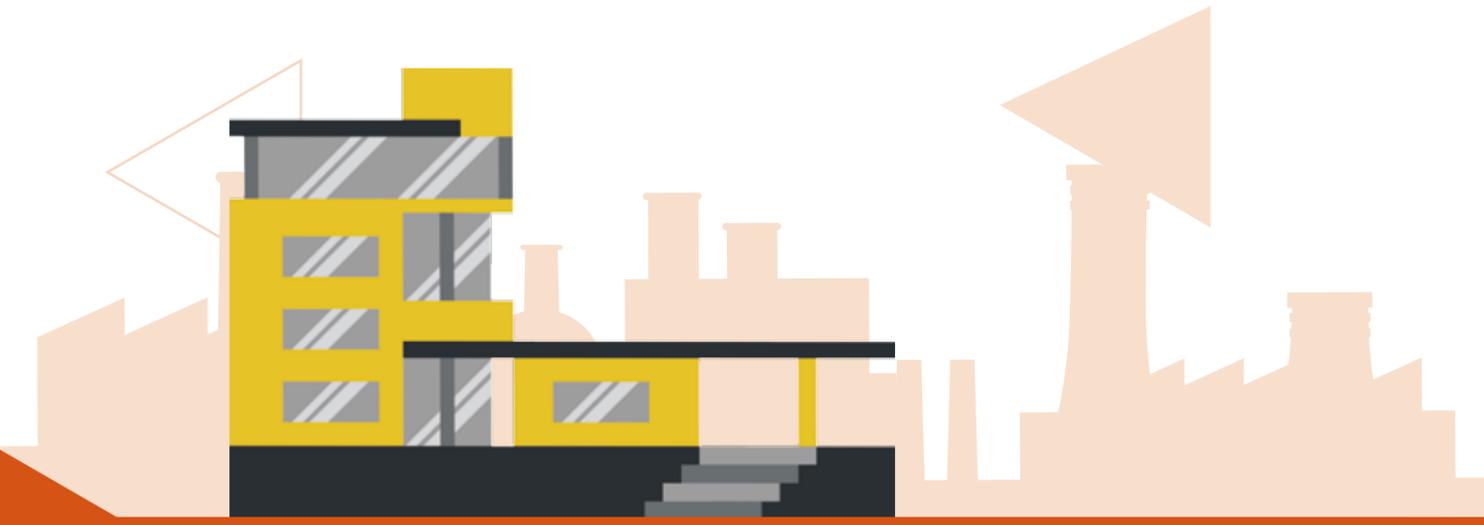
NOTE section with horizontal lines and decorative triangles.

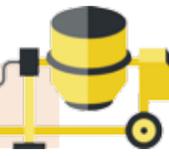


水泥業

低碳綠色製程技術選用評估彙編

▶ 四、低碳綠色製程 技術及實務案例





四、低碳綠色製程技術及實務案例

4.1 前言

自世界上第一座生產波特蘭水泥熟料的立窯誕生以來，水泥工業已經走過一百多年的歷程。回首過去從技術水準、生產管理和環保意識出發，世界各國的水泥工業發展均具有明顯的共通性。水泥工業由經驗型、技術型、高效型、綠色型循序四個發展階段在資源利用、技術裝備、生產管理、水泥品質和環境保護對資源和環境發生不同的影響。

目前國內水泥產業正積極邁向綠色水泥工業製程。它的主要特點為採用新技術設備，全面實行高效率低耗能製程，並綜合利用各項資源及循環利用為處理其他工業廢棄物、生活垃圾等，為改善環境品質作出重大的貢獻。

發展綠色、低碳、友善環境技術已成為目前水泥產業的新趨勢。故提升水泥製程技術，達到節能減碳也成為水泥業朝向發展高效率、低耗能產業的不二目標。

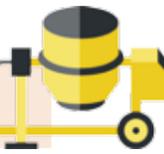
水泥製程中，預分解燒成技術為新型乾法水泥生產技術之代表，是國際公認代表現代技術發展的水泥生產方法；而進一步優化系統內各單項設備技術或優化製程技術，以提高產量和質量，並降低熱耗和電耗，使水泥生產具有高效、優質、節能、資源利用，符合環保和可持續發展的要求。

以下將就單項設備技術改善或製程技術改善的案例作介紹：

4.2 實際案例介紹

4.2.1 生料磨系統改善工作

生料磨系統改造案例是水泥業者提供的改造實際案例，茲說明如下：



1. 案例分析－A 公司生料磨系統改造

A 公司生料粉磨系統於 2013 年通過了節能改造。其改造方案為在原生料粉磨機房旁邊新建一套生料滾壓機終粉磨系統。原料粉磨系統產量從 190t/h 提升至 260~270t/h，單位生料系統電耗降低約 10kWh/t。

2. 生料磨系統流程

生料磨系統改造流程如圖 4.2.1-1 所示。

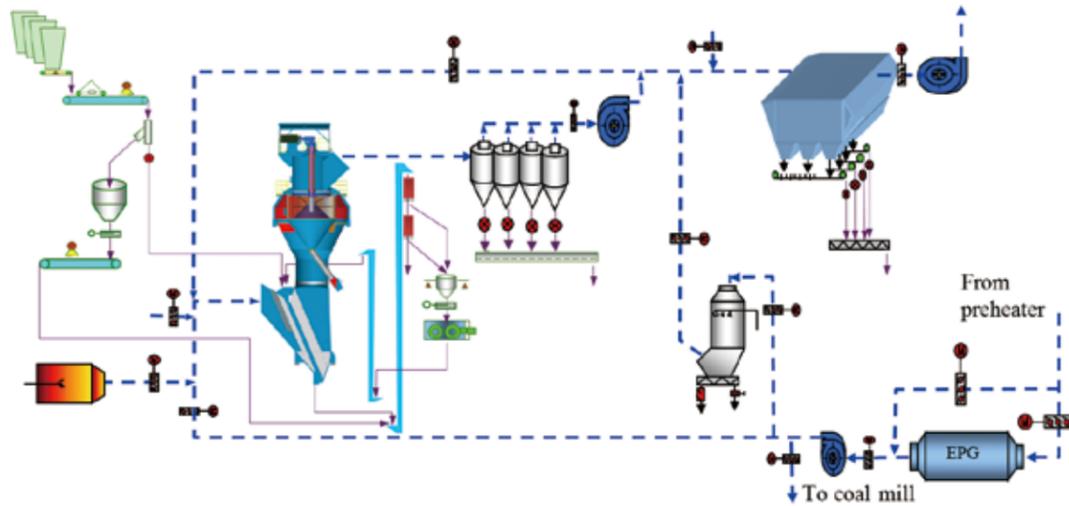


圖 4.2.1-1 生料磨系統改造流程圖

3. 改造前後比較

生料粉磨系統改造工程前後比較如表 4.2.1-1 所示。

表 4.2.1-1 生料粉磨系統改造工程前後比較

系統	單位	改造前	改造後
		中卸球磨	滾壓機終粉磨
主機規格		φ 4.6x10+3.5	TRP(R)180-140
主機裝機功率	kW	3,550	1,400×2
成品細度 R80μm	%	14~15	14~15
成品細度 R200μm	%	0.8~1.2	0.8~1.5

表 4.2.1-1 生料粉磨系統改造工程前後比較（續）

系統	單位	改造前	改造後
		中卸球磨	滾壓機終粉磨
系統飼料量	t/h	185	260~270
電耗	滾壓機（原料磨）	kWh/t	15.5~16.5
	循環風機	kWh/t	4.3~4.7
	其它	kWh/t	1.5
	系統	kWh/t	22~24
			13.3

4. 經濟效益

單從節約電量方面計算，年節電約 1,364 萬 kWh/ 年，計算如下：

$$2,500 \times 1.1 \times 1.6 \times 310 \times 10 = 1,364 \text{ 萬 kWh/ 年}$$

式中

2,500—窯系統設計產量；

1.1—提產幅度按 10% 計算；

1.6—生熟料折合比；

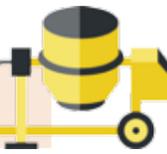
310—窯系統按每年 310 天計算；

10—改造前後單位生料系統電耗降低約 10kWh/t。

如果每度電按 2.09 元 /kWh 計算，則每年節約電費為

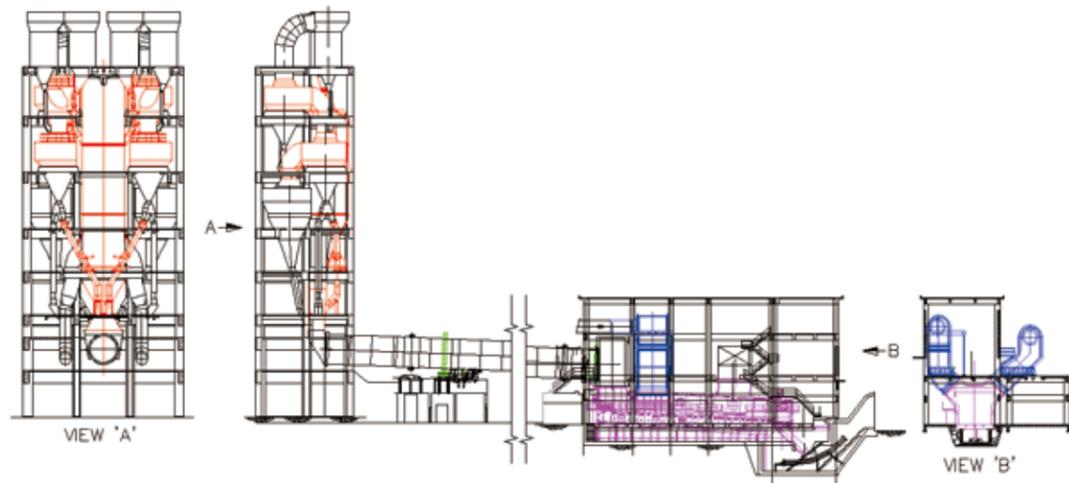
$$1,364 \times 2.09 = 2,850 \text{ 萬元}$$

系統改造後，除用電費用降低外，每年在設備的備品備件上的花費也會大幅度的減少。由於不同工廠所用原料不同，球磨機襯板和研磨體的磨損也存在區，這裡以 A 公司為例，每年備品備件的費用從 450 萬元降低至 180 萬元，降低了 60%。



4.2.2 旋窯燒成系統改善工程

案例工廠 B 廠位於花蓮縣，2012 年開始進行旋窯燒成系統改善工作，主要是針對系統的預熱機及冷卻機進行改善工程，並更換旋窯環齒輪及窯出口止封圈改善。如圖 4.2.2-1 所示。



預熱機上升風道合併及旋風筒優化

窯更換環齒輪及窯頭止封圈

冷卻機整合更換成 FLSmidth Cross-Bar 冷卻機，冷卻機上方三次風管局部修改

圖 4.2.2-1 B 廠旋窯燒成系統改善工程

1. 改善工程內容

(1) 預熱機上升風道合併及旋風筒優化部分

預熱機上升風道合併增大，二、三段旋風筒由傳統旋風筒改善加大外徑，內部沉管更新設計降低整體壓損，提高粉體與熱氣熱交換效率。如圖 4.2.2-2 至圖 4.2.2-3 所示。

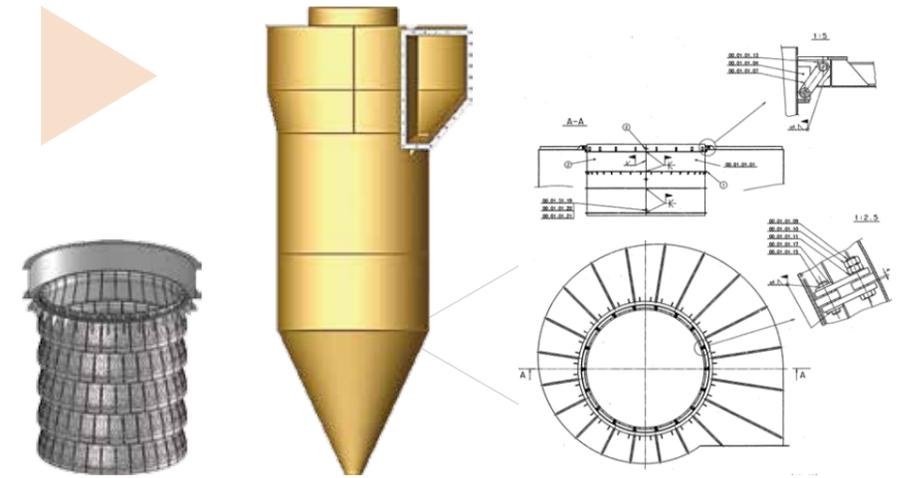


圖 4.2.2-2 旋風筒設計更新圖示

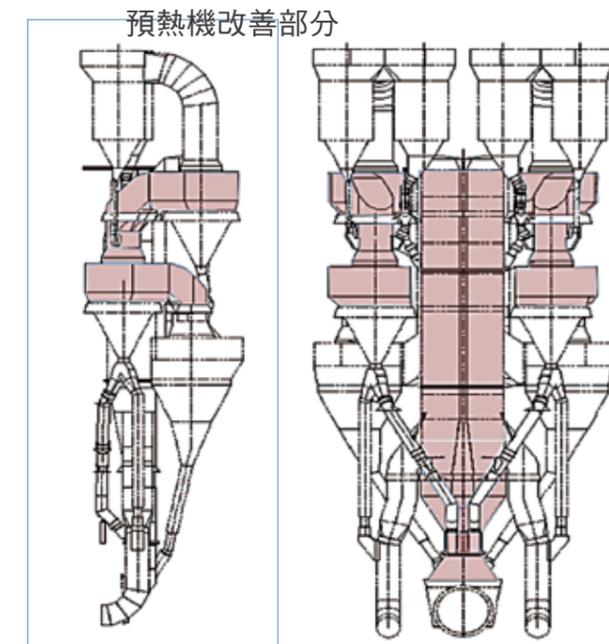
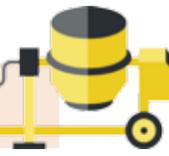


圖 4.2.2-3 上升風道合併更新、統預熱機上升風道、旋風筒優化圖示



(2) 窯環齒輪及窯頭止封件更新部分

環齒輪更新為斜齒輪優化旋窯馬達傳動效率，如圖 4.2.2-4 所示。

窯出口止封件更新為葉式止封，冷空氣不易吸入減少熱損失，如圖 4.2.2-5 所示。



圖 4.2.2-4 窯環齒輪及窯頭止封件更新部分

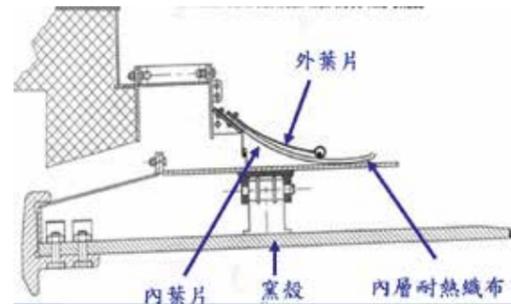


圖 4.2.2-5 旋窯環齒輪更新、出口止封件優化

(3) 冷卻機更換成 FLSmidth Cross-Bar 冷卻機部分

冷卻機由傳統往復式爐排，更新為新一代推棍式爐排，主要為優化熟料冷卻之熱回收效率為主，傳動方式變更後並大大提高了設備運轉率，降低維修費用。

冷卻爐排緊密排列，並透過下方機械式調節閥（MFR），經由風壓調節冷卻風量，使熟料完全冷卻，前段高溫熱氣可充分回收系統內利用，後段餘熱經低溫餘熱鍋爐發電使用。如圖 4.2.2-6 至圖 4.2.2-8 所示。



圖 4.2.2-6 冷卻爐排緊密排列

推棍式冷卻機

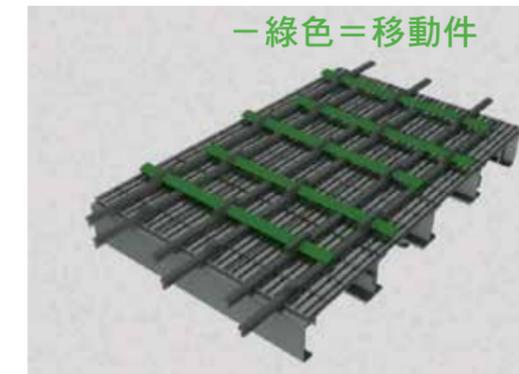
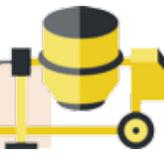


圖 4.2.2-7 推棍式冷卻機



機械式氣體流量調節閥

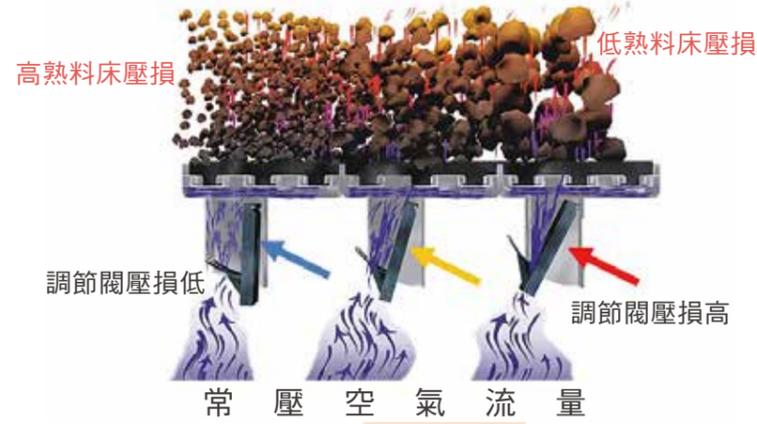


圖 4.2.2-8 冷卻機更換成 FLSmidth Cross-Bar 優化

2. 改善後效益

預熱機及冷卻機改善工程後效益分析如表 4.2.2-1 所示。

表 4.2.2-1 預熱機及冷卻機改善工程後效益分析表

項目	冷卻機更新工程前	冷卻機更新工程後
熟料產量	4,150 噸 / 日	4,750 噸 / 日
耗熱量	860 kcal/kg-cl	780 kcal/kg-cl
熟料溫度	185°C	68°C
排氣溫度	440°C	384°C

4.2.3 水泥磨系統改善工作

水泥業者提供的水泥磨系統實際改造案例說明如下：

1. 案例分析 --C 公司水泥磨系統改造

C 公司水泥磨改造前為 $\phi 3.8 \times 13\text{m}$ 球磨圈流系統，系統產量低，電耗高；改造後，採用了典型的滾壓機聯合粉磨系統，該系統改造時，為了減少對原本廠房及設備的改動，球磨機採用開流形式運行，這樣一

來，只有動態選粉機因能力無法滿足提產後的系統要求而被廢棄，其它設備全部在改造後的系統中得到了利用。

2. 水泥磨系統流程如圖 4.2.3-1 所示。

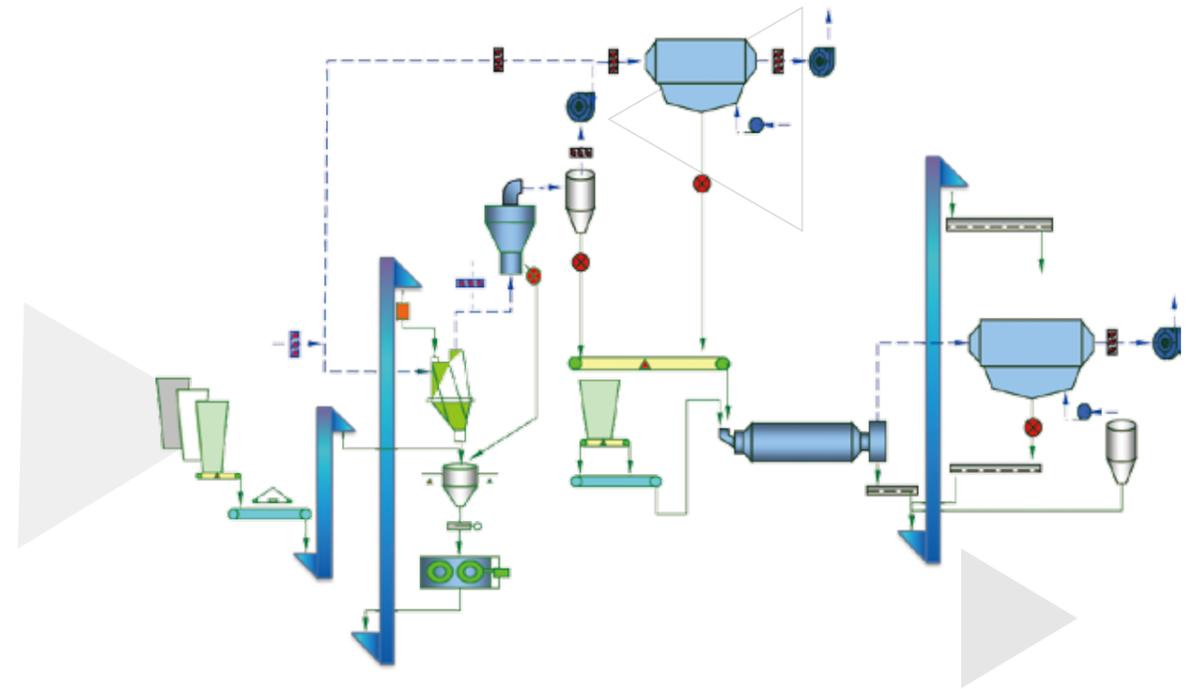
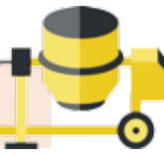


圖 4.2.3-1 D 公司水泥磨系統改造流程



3. 改造前後比較

水泥磨系統改造後效益分析如表 4.2.3-1 所示。

表 4.2.3-1 水泥磨系統改造後效益分析表

項目	單位	改造前	改造後
系統產量	t/h	65	180~190
系統電耗	kWh/t	40~42	30~32
成品比表面積	cm ² /g	3,650	3,700
需水量	%	28~29	27.5~28.0
3 天抗壓強度	MPa	27.5~28.5	28.5~29.5
28 天抗壓強度	MPa	55~57	54~56
滾壓強度增長率	%	100	90

4. 經濟效益

從運行情況來看，該廠圈流球磨系統的改造是非常成功的，系統產量提高了 1.8 倍，系統電耗降低了 10kWh/t，按照年產水泥 130 萬噸計算，年節約用電 1,300 萬度，以每度電 2.09 元計算，年節約電費 2,717 萬元。同時，由於系統產量的提高，保證了 C 公司在水泥銷售旺季的生產需求，因此，該水泥粉磨系統的提產節能改造，對降低水泥的綜合電耗，以及提高企業經濟效益方面作用明顯。

4.2.4 煤磨動式選粉機改善工作

D 廠煤磨豎磨系統為德國 Loesche 公司提供，主要分為上半部選粉機系統及下半部滾軋系統兩項主設備，此設備並於 1992 年開始投產。

2016 年改造措施有二種（如圖 4.2.4-1）：

上半部選粉機系統整體改造更換。

下半部滾輪處磨盤周圍風環組改造更換。

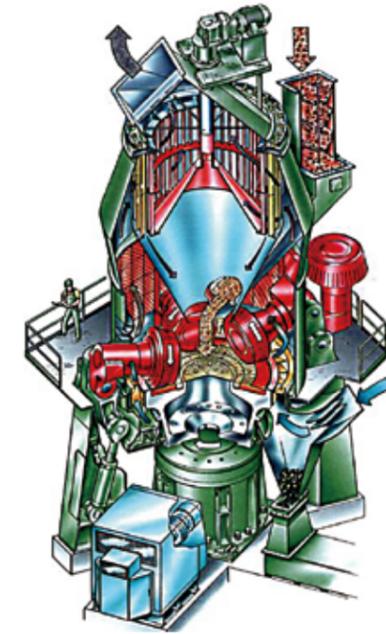


圖 4.2.4-1 煤磨豎磨系統示意圖

1. 設計理念與改善說明

(1) 上半部選粉機整體更換

主要目的在提高選粉效率，成品細度易於控制，使下方磨盤的細料減少，提高研磨效率。整體更換內容如圖 4.2.4-2 所示。

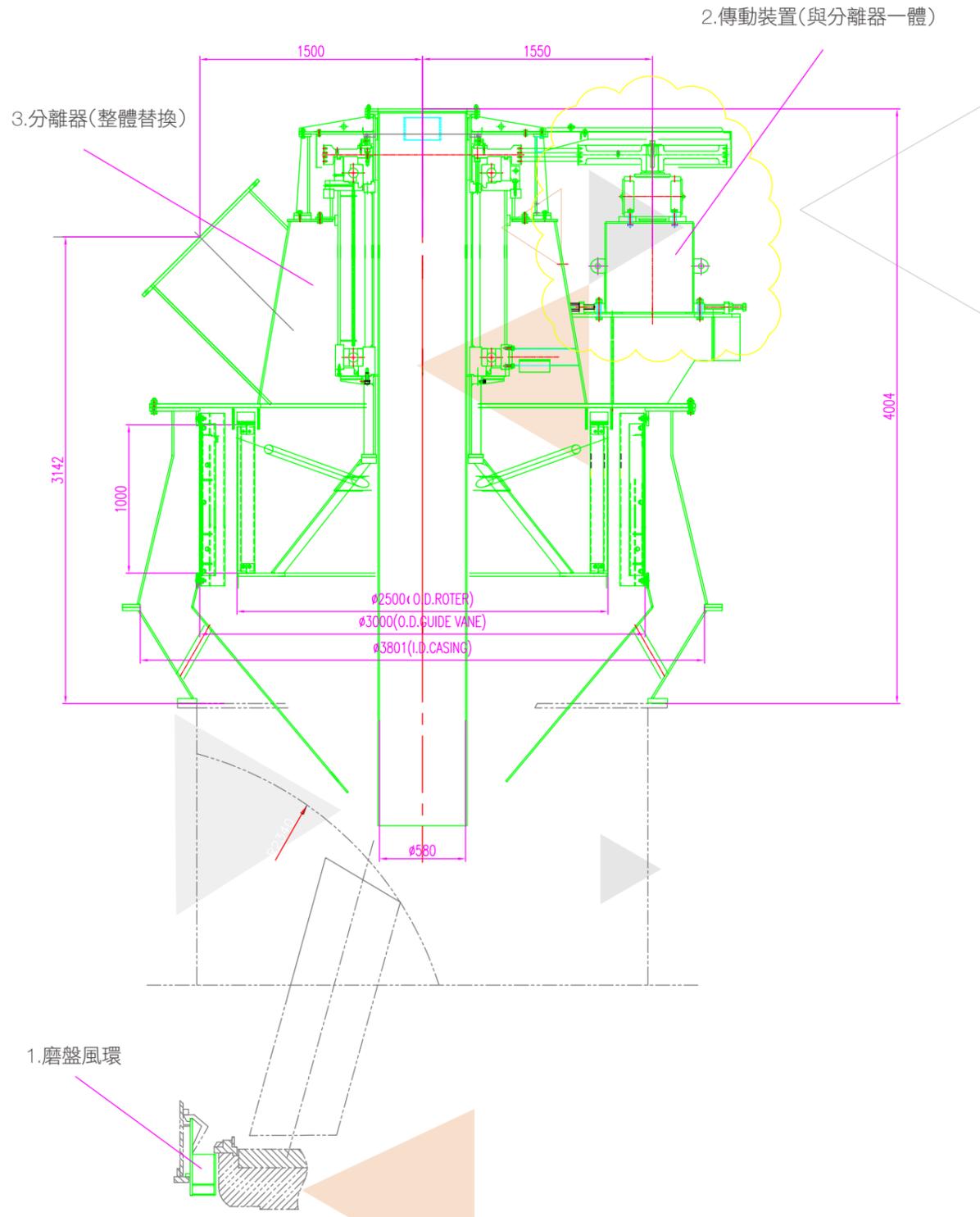
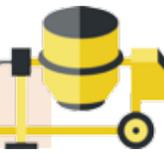


圖 4.2.4-2 選粉機上半部更換示意圖

(2)下半部滾輪處磨盤周圍導風環組改造更換

增加導風板角度，減小導風處內徑以增加通風截面積，降低流速達到減少通風阻力的效果。

導風環 (Louvre ring) 改造前後流速比較如圖 4.2.4-3 所示。

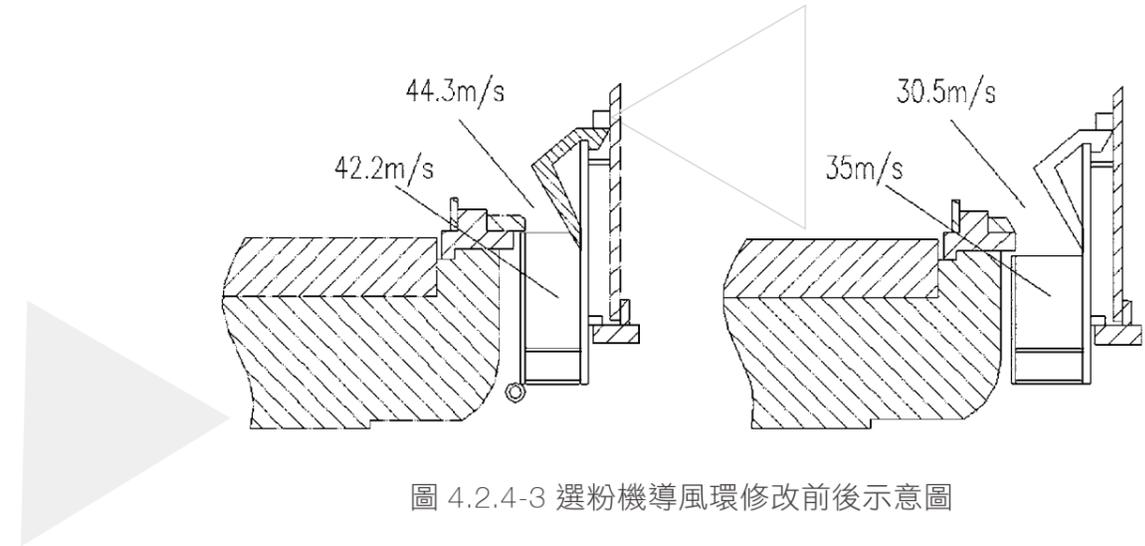


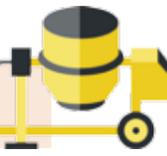
圖 4.2.4-3 選粉機導風環修改前後示意圖

2. 節能效益說明

煤磨選粉機修改後之節能效益如表 4.2.4-1 所示。

表 4.2.4-1 煤磨選粉機修改後之節能效益

節省能源項目	每年燃料 / 能源使用量		每年可節省的燃料 / 能源量 (Annual Fuel/ Energy Saving, AFS) (C)=(A)-(B)	節能率 (D)= (C)/(A)	燃料 / 能源之單位價格 (Fuel/ Energy Price, FP)	每年節省燃料 / 能源金額 (AFS x FP)
	節能措施建置前 (A)	節能措施建置後 (B)				
■電 單位：度 (kWh)	32.1 度 / T × 210,414T = 6,754,289	28.9 度 / T × 210,414T = 6,080,964	3.2 度 / T × 210,414T = 673,325 度	9.97%	2.09 元 / 度	673,325 × 2.09 = 1,407,249 元
■煤 單位：公噸 (t)	—	—	553.495 t	—	2,154 元 / t	553.495 × 2,154 = 1,192,228 元
Σ (AFS x FP)						2,599,477 元



4.2.5 使用廢棄物作為替代性燃料

水泥製程適合使用各種廢棄物作為替代性燃料，例如：生活垃圾及廢輪胎等。水泥業導入循環經濟，扮演靜脈工業，可協助國內去化各種廢棄物，並能降低自然能源耗用，目前已廣泛運用在世界各地應用。

1. 生活垃圾

(1) 可完全再利用生活垃圾

A. 生活垃圾的性質（如表 4.2.5-1）

表 4.2.5-1 生活垃圾的熱值及灰份之化學組成

熱值 (kcal/kg)	灰份 (%)	灰份化學組成 (%)				
		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	其他
2,200	8.2	21	44	11	7	17

B. 水泥製程中熟料性質（如表 4.2.5-2）

表 4.2.5-2 水泥熟料耗熱及其化學組成

耗熱量 (kcal/kg)	化學組成 (%)				
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	其他
825	64	21	5	4	6

C. 其中生活垃圾之可燃物可提供燒窯之熱能，不可燃之灰份佔熟料重量百分比很小，可完全化合成熟料。

(2) 可將生活垃圾無害化

生活垃圾目前掩埋或焚化處理後仍有二次公害，例如剩餘灰渣或臭味，而水泥製程則可將垃圾無害化：

A. 不會產生灰渣

生活垃圾中不可燃之無機物質經水泥製程煅燒後完全轉化成水泥熟料，無焚化爐灰渣需固化、掩埋之問題。

B. 可固化重金屬

生活垃圾中所含重金屬經 1,450°C 高溫煅燒後，與水泥熟料形成穩定的結晶體，不會溶出造成環境污染。

C. 再利用後不會產生臭味

生活垃圾經煅燒過程可以徹底分解垃圾中的有機成份，不會再產生臭氣。

2. 廢輪胎

(1) 可完全再利用廢輪胎

A. 原煤與廢輪胎的性質比較（如表 4.2.5-3）

表 4.2.5-3 原煤與廢輪胎的熱值及灰份之化學組成

燃料種類	熱值 (kcal/kg)	灰份 (%)	灰份化學組成 (%)				
			CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	其他
原煤	6,200	16	3	63	23	5	6
廢輪胎	8,700	2	7	14	16	41	22

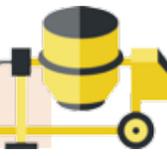
B. 水泥製程中熟料性質（同表 4.2.5-2）

C. 其中廢輪胎之可燃物可提供燒窯之熱能，不可燃之灰份佔熟料重量百分比很小，可完全化合成熟料。

(2) 可將廢輪胎無害化

A. 可整胎再利用，減少廢輪胎堆存及運輸問題

水泥製程可將大部分之廢輪胎（直徑小於 1.2m）整胎進廠直接再利用，無需增加抽鋼絲及切片製程，故可避免廢輪胎前處理堆置時所衍生之積水孳生蚊蟲問題。



B. 可完全燃燒

廢輪胎因體積大且熱值過高，無法在一般焚化爐燃燒，廢輪胎在水泥廠之再利用可投入高溫之旋窯進料室或可調整燃燒時間至 60 分鐘之熱盤爐，讓廢輪胎完全燃燒。

C. 可安定化廢輪胎中的硫化物

廢輪胎之硫份高達 1.0%，一般燃燒鍋爐需增加空氣污染防治設施去除硫氧化物，但是水泥窯系統中含有大量的氧化鈣，可吸收燃燒後所產生之硫氧化物，不會增加廢氣之硫氧化物排放。

D. 無灰渣處理問題

廢輪胎中之無機物質經水泥製程煅燒後完全轉化成水泥熟料，無其它焚化法灰渣需固化、掩埋之問題。

3. 國外再利用生活垃圾及廢輪胎等技術介紹

以國外 FLSmidth 公司提供的製程技術作介紹：

(1) 熱盤爐加裝於預熱機

熱盤爐是國外 FLSmidth 公司發展出的產品，它可提供燃燒多種廢棄物（包含：生活垃圾、廢輪胎...），並在尺寸大小與種類上具有很大的彈性。如圖 4.2.5-1 及圖 4.2.5-2 所示。

熱爐加裝於預熱機

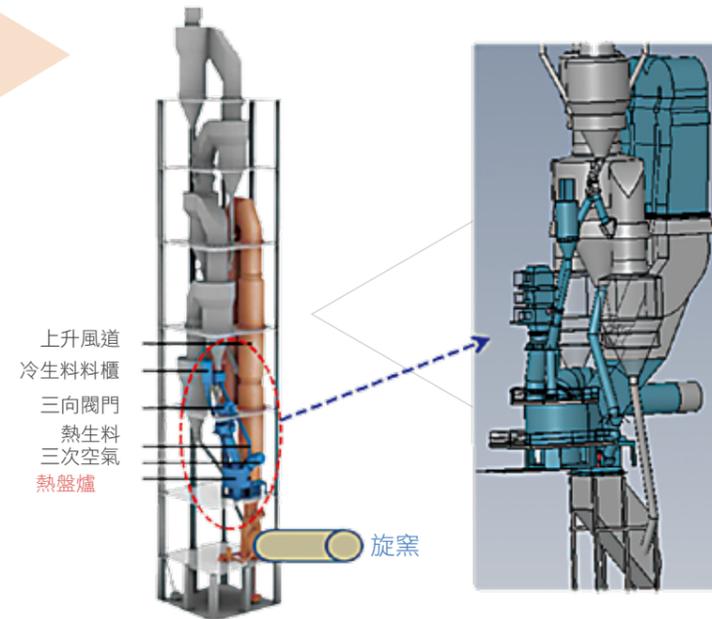


圖 4.2.5-1 熱盤爐安裝位置示意圖

- 可處理不同尺寸及形狀廢棄物(直徑<1.2m皆可處理)
- 燃燒過程精調整熱盤轉動速率，可控制廢棄物停留時間(10-60分鐘)，以確保廢棄物於氧化氣氛下完全燃盡。
- 剩餘灰渣進入揚升風道與原料混和。
- 可取代高達80%預熱機燃料(約為總燃料量50%)

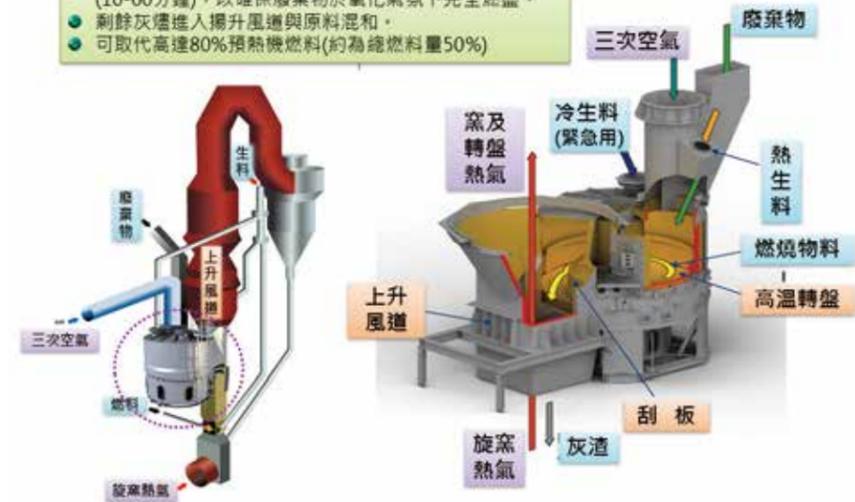
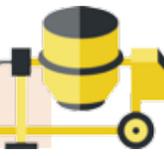


圖 4.2.5-2 熱盤爐圖



(2) 生活垃圾及廢輪胎等進料及處理系統

生活垃圾或廢輪胎等進入卸料區，卸料區採用雙電動門並配備氣流密封裝置，同時設有抽風裝置，保持卸料區內微負壓，防止臭氣外泄。物料輸送採用全密閉式輸送機，實現運輸過程中物料不灑落、不洩露，不對環境造成污染，同時防止外面物料混入。如圖 4.2.5-3 所示。

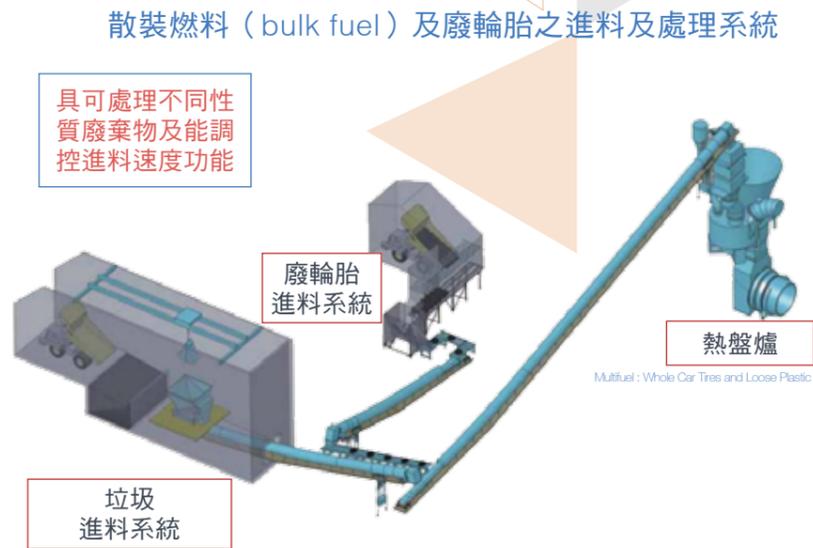


圖 4.2.5-3 散裝燃料（生活廢棄物等）及廢輪胎之進料及處理系統

(3) 整胎及垃圾進料系統

圖 4.2.5-4 說明物料輸送過程中全密閉、不灑落、不洩露，不對環境造成污染的情況。

整胎與垃圾進料系統



圖 4.2.5-4 廢輪胎及生活垃圾輸送

4.2.6 使用廢棄物作為替代性原料

水泥製程可使用各種廢棄物作為替代性原料，例如：爐石及燃煤飛（底）灰等。水泥業使用替代原料可協助國內去化各種廢棄物，並能降低天然礦物耗用，目前已廣泛運用在世界各地應用。

1. 爐石

(1) 可完全再利用爐石

鋼鐵生產製程會產出爐石（水淬高爐石、氣冷高爐石、脫硫渣及轉爐石）或爐渣（電弧爐煉鋼氧化渣及還原渣）等副產物，由於電弧爐煉鋼還原渣中經常含有膨脹性之游離 CaO 及游離 MgO 等礦物，且 pH 高，若未妥善處理，誤用會造成青春痘屋或環境污染等問題。爐石之主要化學組成為 CaO、SiO₂ 及 Al₂O₃ 等，可再利用作為水泥熟料生產之替代原料。水泥熟料及爐石之化學組成如表 4.2.6-1 所示。

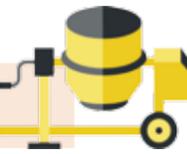


表 4.2.6-1 水泥熟料及爐石之化學組成

材料總類	化學組成 (%)				
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	其他
水泥熟料	64	21	5	4	6
爐石	32-45	32-42	7-16	1-1.5	6.5-20

(2)容易摻配使用

使用爐石作為替代原料可在生料研磨或入生料庫前摻配，也可以直接加入預熱機，設備投資少且容易使用。

(3)可提高熟料產量、減少耗熱及降低空污排放

由於爐石已經是燒結過的礦物，不需再耗熱脫酸且礦物組成與熟料相似，經統計實際使用爐石作為替代原料之效益顯著，熟料產量可增加 10%、耗熱減少 2.3~12%、CO₂ 減量 7% 及 NO_x 減量 40~48%，兼具低碳及低污染之優點。

2. 燃煤飛灰

(1)可完全再利用燃煤飛灰

國內電廠大量使用煤炭發電，會產出飛灰及底灰廢棄物，燃煤飛灰主要化學組成為 SiO₂ 及 Al₂O₃ 等，可再利用作為水泥熟料生產之替代原料。水泥熟料及燃煤飛灰之化學組成如表 4.2.6-2 所示。

表 4.2.6-2 水泥熟料及燃煤飛灰之化學組成

材料總類	化學組成 (%)				
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	其他
水泥熟料	64	21	5	4	6
燃煤飛灰	7	54	20	8	11

(2)容易摻配使用

使用燃煤飛灰作為替代原料可在生料研磨或入生料庫前摻配，設備投資少且容易使用。

(3)可減少耗電及耗煤及降低空污排放

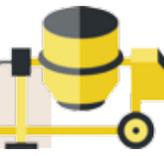
由於飛灰顆粒尺寸接近生料，可減少生料研磨耗電，且飛灰中含有未燃炭可提供熱量，估計每使用一公噸煤灰約可減少耗電 19 kWh、30 公斤原煤及降低 CO₂ 排放量 87 公斤。



水泥業

低碳綠色製程技術選用評估彙編

▶ 參考文獻



參考文獻

- [01] 德國 KHD 集團，KHD Humboldt Wedag，網址：<http://www.khd.com/>。
- [02] 丹麥 FLSmidth 公司，FLSmidth & Co. A/S，網址：<http://www.flsmidth.com/>。
- [03] 德國 Polysius 公司，Polysius AG，網址：<http://www.polysiususa.com/index.htm>。
- [04] 日本 Taiheiyo 公司，Taiheiyo Cement Corporation，網址：<http://www.taiheiyo-cement.co.jp/english/index.html>。
- [05] 中國水泥設計研究院技術資料，中國中材國際工程股份有限公司，網址：<http://www.sinoma.com.cn/>。
- [06] 德國 Loesche 公司技術資料，網址：<https://www.loesche.com/>。
- [07] 亞洲水泥股份有限公司技術資料，網址：<http://www.acc.com.tw/>。
- [08] 徐輝明、馬傳宗，宜蘭縣利澤垃圾資源回收（焚化）廠焚化底渣處理永續規劃 - 底渣作為波特蘭水泥替代原料之研究，2008 年 1 月。
- [09] Moses P.M. Chinyama (2011). Alternative Fuels in Cement Manufacturing, Alternative Fuel, Dr. Maximino Manzanera (Ed.).
- [10] 93 年度 ~97 年度自願性節約能源與溫室氣體減量績效統計，臺灣水泥工業同業公會，2009 年 11 月。

