

循環式 流體化床鍋爐

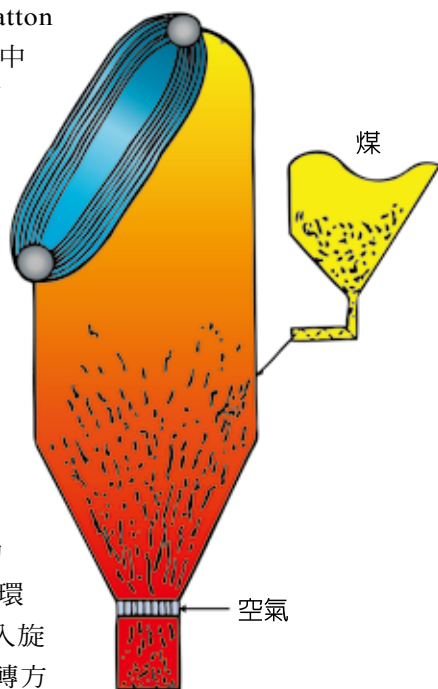
■ 蔡孟原

綠色科技已成為近幾年的熱門技術，用流體化床鍋爐混燒生質物或廢棄物，不只是經濟上，也是環保上追求的目標。

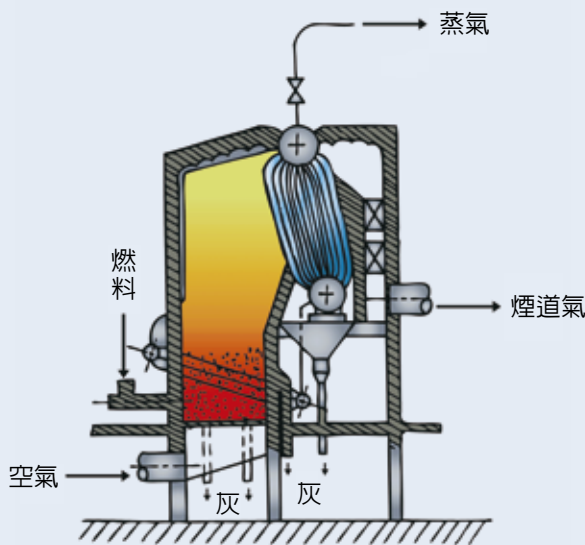
流體化床鍋爐的發展

流體化床鍋爐的發展可追溯至1928年的Stratton噴流床鍋爐。1960年代初，中國和蘇聯交惡，中國無法再由蘇聯輸入石油，因而致力於煤的利用，大力發展可使用劣質煤的流體化床鍋爐，1965年在廣東茂名建造了世界第1座商業運轉的氣泡式流體化床鍋爐。70年代的石油危機，導致歐美各國開始研究較新且可燃燒各級煤炭或其他固體燃料的技術，1979年芬蘭Ahlstrom公司完成了世界第1座商業運轉的循環式流體化床鍋爐。

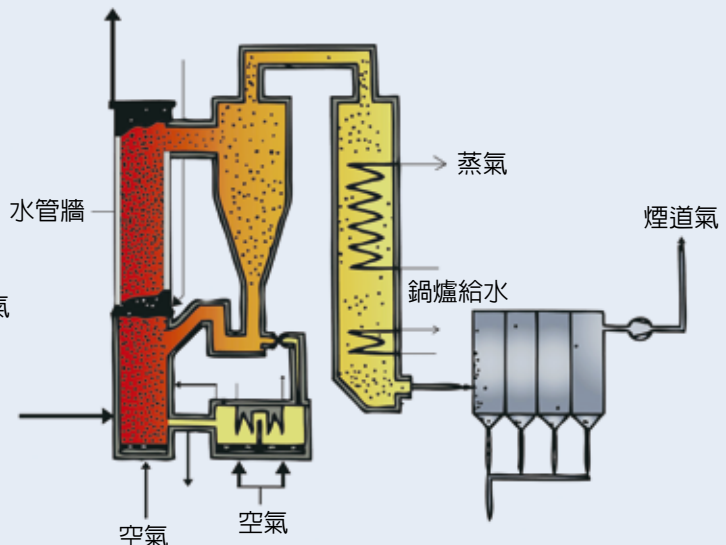
歷經數十年的發展，如今流體化床鍋爐大致可分為氣泡式流體化床鍋爐和循環式流體化床鍋爐兩種形式。氣泡式流體化床鍋爐的空氣由底部注入，砂床內置熱傳管，是回收熱的主要區域。目前新建的大型流體化床鍋爐多是循環式，砂粒和燃料由爐床底部隨氣流上升後，進入旋風分離器重回爐床底部，反覆循環，如此的運轉方



Stratton噴流床鍋爐結構示意圖



氣泡式流體化床鍋爐結構示意圖



循環式流體化床鍋爐結構示意圖

式可使燃料的使用達到最大的效果。由於操作氣速高，無法使用埋管方式的熱交換設備，因此多採用水管牆的方式，也有採用爐膛外傳熱的方式。

一般而言，氣泡式流體化床鍋爐適合使用揮發性高的燃料，循環式流體化床鍋爐適合使用揮發性低的燃料。不論哪一種形式，它們共同的特點是：爐溫均勻、低氮氧化物排放、爐內可添加石灰石來降低硫氧化物排放，以及可同時使用不同的燃料。

流體化床鍋爐混燒技術

由於流體化床鍋爐中可進行兩種或多種不同物質的混燒，因此可同時利用廢棄物和燃料做為進

料，並成為降低運轉成本的有利方式。它的優點有：可達到廢棄物處理的目標，減少廢棄物的處理費；燃料中的硫可降低因燃燒廢棄物所產生的戴奧辛；若混燒物是生質物，在計算二氧化碳排放量時，可扣除生質物燃燒所產生的排放量；若混燒進料中含有氧化鈣，可降低脫硫劑的用量而達到減廢的效果；由於混燒物的加入，可減少燃料成本。

綠色科技已成為近幾年的熱門技術，流體化床鍋爐混燒生質物或廢棄物，不只是經濟上，也是環保上追求的目標。因此政府應要求企業和大學合作，盡可能朝著這方向研究，發展出更多和現代工廠有關的技術。常見的混燒燃料，包括農業廢棄物、建築廢棄物、汙泥、廢輪胎等。

流體化床鍋爐的特點是：爐溫均勻、低氮氧化物排放、爐內可添加石灰石來降低硫氧化物排放，以及可同時使用不同的燃料。



廢木材



農業廢棄物



汙泥



廢塑膠容器

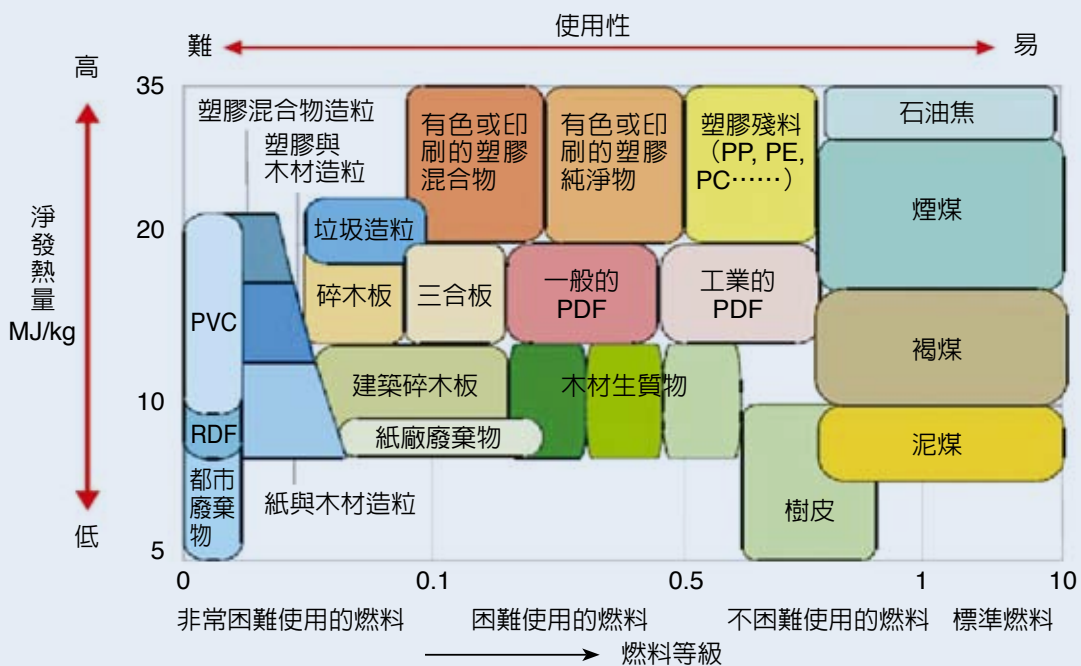


建築廢棄物

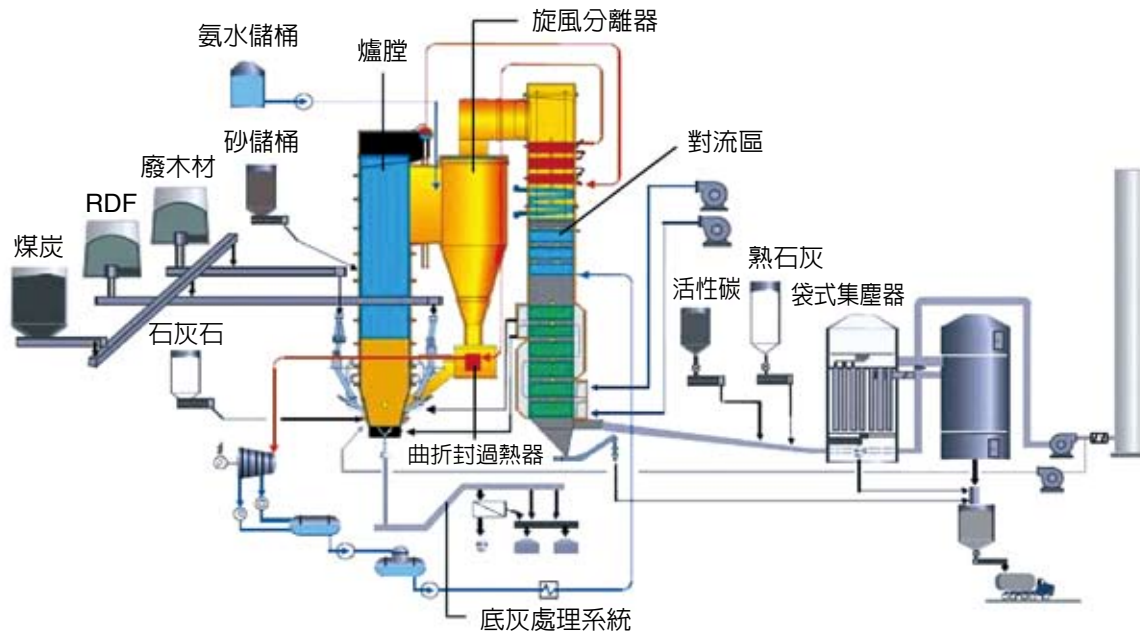


廢輪胎

常見的混燒燃料包括農業廢棄物、建築廢棄物、汙泥、廢輪胎等。



不同燃料的燃燒熱值與混燒物質難易度



循環式流體化床鍋爐混燒流程

目前國內有兩座循環式流體化床鍋爐，進行多種燃料的混燒；一座在台灣汽電共生公司官田廠，蒸氣產能是每小時200公噸，另一座在永豐餘造紙公司。

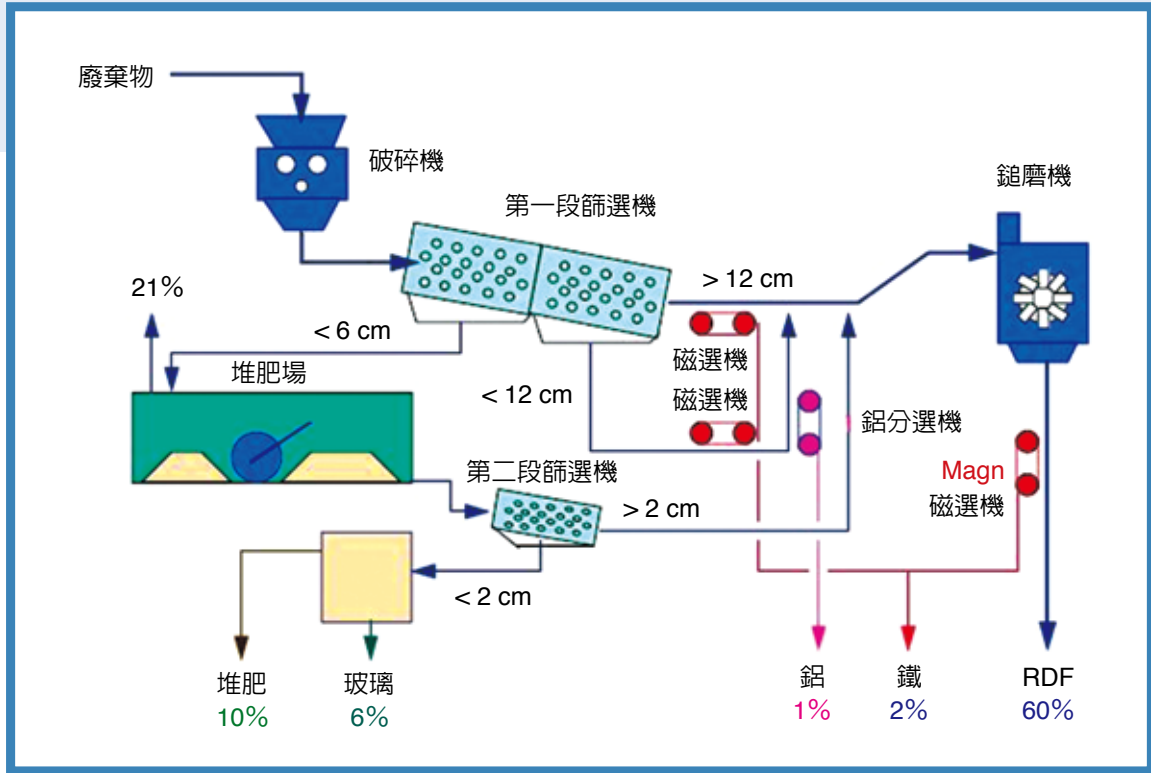
永豐餘公司的新屋廠在1988年引進Ahlstrom的循環式流體化床鍋爐，每小時可產生130公噸的高壓蒸氣，以煤炭為主要燃料。試車期間曾進行煤和石油焦混燒測試，之後由於石油焦無法穩定供應而停止混燒計畫。1992年後由於環保意識高漲，永豐餘公司進行循環式流體化床鍋爐系統修改，並在1993年進行燃煤和紙漿汙泥的混燒，之後陸續進行廢紙排渣、廢輪胎、第五類廢棄物衍生燃料、建築木材、廢PE等廢棄物的混燒。

依據實測經驗，循環式流體化床鍋爐適合做為混燒工具，原因有下列數點：循環式流體化床鍋爐因操作氣速高，適合不同物質的燃燒；添加石灰石後，燃氣中的酸性氣狀汙染物如 SO_x 、 HCl ，可在燃燒室中直接被吸附去除，使煙氣符合環保法規；由於爐內循環，燃燒效率高，可把混燒物燃盡，避免二次汙染物產生。

循環式流體化床鍋爐混燒流程，大致上可分為4個階段。在前處理階段，主要是混燒物的破碎和分選，先把大型物破碎至特定尺寸後，再經過磁選或風選等物理分選程序去除不可燃物。

在進料階段，燃料及石灰石先貯存在進料口前的各種進料貯槽中，然後利用輸送設備送入燃

由於流體化床鍋爐中可進行兩種或多種不同物質的混燒，因此可同時利用廢棄物和燃料做為進料，並成為降低運轉成本的有效方式。



典型的一般廢棄物前處理過程

燒室燃燒。進料點的數目是依據鍋爐的負載量配置設計的，通常進料點設置在燃燒室的前牆或後牆進入爐膛處。

在燃燒階段，燃料顆粒、砂粒、石灰石等在流體化床鍋爐的爐膛和分離器間循環運轉。當燃料逐漸燃盡時，石灰石會隨著時間逐漸吸飽酸氣，若聚結成大顆粒就由燃燒室底部排出，若磨蝕成粉塵則由分離器頂端逸出，進入後段熱交換系統。這一階段的主要裝置，包括爐膛、分離器、對流熱交換器、底灰處理系統、曲折封過熱器等。

在後汙染防治階段，目標是降低煙氣中的汙染物含量。在進料時加入石灰石，以便在爐膛內吸收 SO_x 和 HCl ；在爐出口攝氏 $850\sim 950$ 度區域噴入氨水，讓氮和氮氧化物反應，把氮氧

化物還原成氮氣，以降低 NO_x 的排放濃度。

雖然流體化床鍋爐混燒技術在環保和能源節約上有很大的利基，但是使用循環式流體化床鍋爐混燒技術並非全無風險，仍有多項困難必須克服。依據實際混燒的運轉經驗，已發生的困難點有：

- (1) 混燒前混合物須經過破碎篩選等處理，若其中含有金屬、石頭、玻璃等物質時，磁性金屬可以利用磁選機分離，石頭、玻璃等密度較大的不燃物，可以利用風選分離。然而鋁這種非磁性且密度較低的金屬，就必須使用渦電流檢出器分離，由於這項設備投資費用較高，會增加操作成本。
- (2) 混燒的固體燃料通常形狀不定且密度較

歐洲國家對於綠色科技的重視是世界之冠，為了降低CO₂的排放，大量使用循環式流體化床混燒技術進行燃煤與廢棄物的混燒，來降低化石燃料的使用。

低，在貯倉中易形成架橋現象，造成進料不穩定。不穩定的進料會造成鍋爐供熱的變化，使鍋爐產汽量隨著改變，因而影響後續製程。

- (3) 就大型爐而言，為求爐溫均勻，通常設有多處進料點。由於各種進料的熱值不同，若沒有適當的流程設計，不易達到均勻混合的效果，而造成鍋爐內熱量分布不均，使燃燒室內部不同下料點之間的溫差變大，增加燃燒室內部控制溫度的難度。
- (4) 由於混燒物多屬廢棄物，成分複雜，若無法有效排出無法燃燒的非有機不純物，易造成鍋爐結渣問題。
- (5) 灰分中的Na、K、Cl等會和灰分產生化學反應，使灰分熔點下降，造成熱傳管積灰，降低熱傳效率，使燃氣排氣溫度提高，降低鍋爐效率。當積灰嚴重時，還會影響鍋爐的蒸氣產量。
- (6) 混燒物中的水含量不可過高，若水分過高，會造成燃燒室溫度過低，使燃料燃燒變差，以及燃氣中一氧化碳的排放濃度提高，並降低鍋爐的熱效率。

針對以上的困難，可採取下列因應措施來克服：

- (1) 設計正確的桶槽形狀，或在貯槽底部增設架橋破壞器來解決燃料架橋現象。
- (2) 鍋爐入料前增加燃料混合設備，使固體燃料充分混合。
- (3) 鍋爐蒸氣溫度選擇低於攝氏500度。

(4) 為了提高發電的熱效率，必須使蒸氣溫度超過攝氏500度，把最高溫度的過熱器設在分離器回料區。

(5) 一般鍋爐大多使用蒸氣進行對流區傳熱管的吹灰，但使用廢棄物所產生的灰黏性較高，無法用蒸氣吹灰的方式有效地把熱交換管表面上的灰清除，這時必須使用敲擊和振動的方式把灰移除。

(6) 利用階梯式流化噴嘴比較容易把無法燃燒的無機不純物從底灰下料口處排出，避免高溫結渣的問題。

(7) 燃料中的水分不僅會造成鍋爐操作困難，也會提高燃氣的速度及熱交換管的磨損率，為了降低操作和運轉的風險，必須降低廢棄物中的水分，可以採用機械式脫水或烘乾式脫水二種方式，一般來說，機械式脫水所耗的能源較少，較無二次污染的問題，因此廣被應用。機械式脫水有油壓板壓榨、螺旋壓榨等方式。

歐洲國家對於綠色科技的重視是世界之冠，為了降低CO₂的排放，大量使用循環式流體化床混燒技術進行燃煤與廢棄物的混燒，來降低化石燃料的使用。混燒的廢棄物包括農業、一般和工業廢棄物，這些廢棄物在使用前，必須經過適當的前處理，才能送入循環式流體化床鍋爐內混燒。應用這項技術的國家，以北歐國家和德國最為積極。

北歐由於有豐富的森林資源，是傳統的紙漿生產大國。為解決製漿和伐木產生的廢棄物問題，已大量使用循環式流體化床鍋爐進行燃煤和廢棄物

由於混燒是以目前既有的鍋爐做為混燒工具，且這些混燒的燃料大多是廢棄物，因此可以達到廢棄物處理的目的，減少廢棄物處理廠的投資。

的混燒。目前混燒技術最成熟的國家是芬蘭和瑞典，第1座循環式流體化床鍋爐就位於芬蘭。相較於其他國家，美國的資源較豐富，由於化石燃料充足，混燒的應用比較少，大多是示範性質，如廢輪胎、廢棄物衍生燃料和生質物的混燒技術。

近年來，新興國家的經濟蓬勃發展，其中又以金磚四國（巴西、俄羅斯、印度和中國）的發展最為迅速。這些國家對於能源的需求孔急，造成國際油價自2003年起每桶突破30美元後，飆升至140美元的高價，雖因2008年的金融危機造成油價回檔，如今又攀升至70美元的價位。此外，氣候變遷及溫室氣體減量已成爲全球性議題，各國無不積極發展各種替代和再生能源，以達到降低對化石燃料的依賴和減少溫室氣體排放的雙重目標。

替代和再生能源包括：風能、太陽熱能、太陽光電、生質能、廢棄物能、水力能、氫能、海洋能等。在考慮3E（能源、經濟和環境）的條件下，各有不同的應用限制和考量。其中生質能是指利用生質物，經轉換所獲得的可用能源，如電和熱。

生質能的應用由來已久，鑽木取火是最原始的應用方式。時至今日，生質能仍是許多開發中國家的主要初級能源。根據國際能源總署2006年的統計資料，目前生質能是全球第4大能源，僅次於石油、煤和天然氣，供應了全球約9.8%的初級能源需求。生質能也是目前使用最廣泛的一種再生能源，約占世界所有再生能源應用的80%。

近年來，世界各國大力推動生質燃料的使用，但也顯現出生質燃料對於環境和經濟的負面影響。以美國爲例，當聯邦政府大幅補助推動酒精汽油時，大部分的玉米就由糧食用途轉做酒精，以提供需求漸增的酒精汽油。在供給面的減少下，玉米價格一日三市，造成了若干經濟弱勢國家糧食供應的問題。此外，東南亞全面推動栽種棕櫚樹，巴西擴大生產甘蔗，造成大片林地遭到砍伐，反而減少樹木吸收二氧化碳的功能。這些衍生的問題，專家學者除提出警告和呼籲外，也提出新方向和技術，以平衡能源、經濟與環境。

有人曾說：「生質能源及廢棄物能源，是所有再生能源中，唯一不積極使用就會造成環境直接衝擊的能源。」相較之下，廢棄物是一種錯置的資源，而且大力開發並不會產生任何副作用。

由於混燒是以目前既有的鍋爐做為混燒工具，且這些混燒的燃料大多是廢棄物，因此可以達到廢棄物處理的目的，減少廢棄物處理廠的投資。雖然混燒會增加燃燒的困難度，但是它能降低氣狀空氣污染物的排放量及減少溫室氣體。此外，混燒鍋爐蒸氣的溫度和壓力較高，可以大幅提高發電的效率。因此發展混燒的應用，能達到節約能源和降低溫室氣體排放的雙重目的。

蔡孟原

永豐餘造紙股份有限公司工程事業部新屋廠技術處