



大林發電廠

# 氣化技術

如何化腐朽為神奇，而且變成有用的資源呢？

氣化技術正是其中的一個答案。

它是一種具有多重效果的方法，

能從許多不同類型的有機材料中抽取能源，

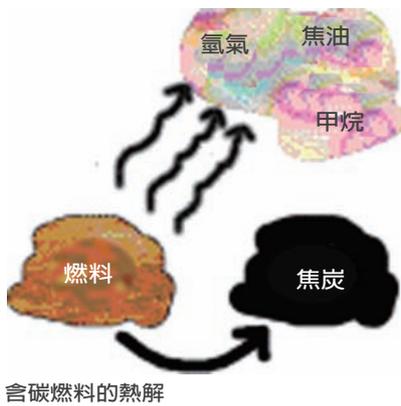
它也是一種潔淨技術，可以應用在廢棄物的處理上。

呂錫民



興達火力發電廠

氣化技術（gasification technology）是一種把煤炭、石油、生質物等含碳的原料，在控制氧氣量及高溫的條件下與水蒸氣進行反應，轉換成一氧化碳和氫氣的程序。氣化後的混合氣體稱為「合成氣（synthesis gas 或 syngas）」，本身是一種燃料。氣化技術是一種具有多重效果的方法，能從許多不同類型的有機材料中



含碳燃料的熱解

取得能量，它也是一種潔淨的技術，可以應用在廢棄物的處理上。

氣化技術的優點主要在於製造比原來燃料的使用效率高的合成氣上。也就是說，燃料中的化學能可以藉由氣化技術抽取出來。另外，合成氣也可以用在內燃機中的直接燃燒、甲醇和氫氣的生產，或透過費希爾—特普希反應（Fischer—Tropsch process）製成合成燃料。氣化的原料可以是本來沒有多少用途的物質，例如生質物、有機廢棄物等。

目前化石燃料的氣化技術，正大規模地嘗試應用在發電產業上。因為幾乎所有的有機物質，不管是木材、生質物、甚至塑膠廢棄物，都可以當作氣化燃料來使用。因此，對於再生能源而言，氣化可以說是一種十分重要的技術。特別的是，生質物的氣化是達成「碳中和(carbon neutral)」的一種理想技術。氣化是一種溫

度高於攝氏 700 度的高溫化學反應，這點與產生沼氣（biogas）的厭氧分解等普通生物程序不同。

### 氣化的化學反應

在氣化爐裡，含碳物質會經歷若干不同的反應及作用，得到一氧化碳和氫氣的能源氣體。

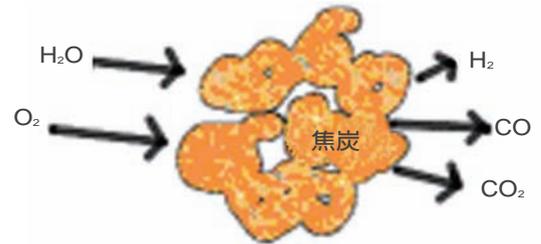
**熱解作用** 它的發生時機是在含碳顆粒燒起來時，會釋放揮發物產生焦炭，因而造成煤炭 70% 重量的損失。這一個作用與含碳材料的性質有關，但也決定了即將接受氣化反應的焦炭結構與組成。

**燃燒反應** 在燃燒反應中，揮發物、若干焦炭與氧反應，形成二氧化碳和一氧化碳。這個氧化作用也提供氣化反應需要的熱能。

**焦炭重組反應** 在氣化反應的第 3 階段裡，剩餘的焦炭與二氧化碳、水蒸氣反應，產生一氧化碳和氫氣。

**產物平衡** 最後，在氣化爐高溫下，可逆的氣相水煤氣轉移很快便達到平衡，使得一氧化碳、水蒸氣、二氧化碳、氫氣等的濃度達到平衡。

本質上，把限量的氧氣或空氣導入氣化爐內，燃燒一些有機材料，產生一氧化碳和能量，產生



焦炭的氣化

的能量可以驅動更進一步的反應，把有機材料轉換為氫氣和更多的二氧化碳。在工業界中，大規模地生產合成氣的方式，也包括使用天然氣經過蒸氣重組的方法。

### 氣化技術的應用

氣化技術的應用最早開始於 1880 年代，用在生產照明和煮飯所需的城鎮瓦斯上。雖然在稍後，電力和天然氣取代了城鎮瓦斯，不過到了 1920 年代以後，氣化技術已經使用在合成化學品和燃料的生產上。在二次大戰燃料缺乏期間，歐洲有一種稱作 Gasogene 的木材瓦斯產生器，也曾當作汽車或其他機動車的驅動能源。

氣化程序幾乎可以從任何有機材料出發，生質物和塑膠廢棄物都可以做為原料。所形成的合成氣經過燃燒以後，會產生水汽和二氧化碳。合成氣首先可以透過「沙巴提耶反應（Sabatier Reaction）」，有效率地轉換成甲

氣化技術可以使用多種的燃料，  
可以說是一種把能量從生質物中抽取出來，十分有效率的技術。



美國橡樹嶺國家實驗室示范气化廠

能源網路」中有若干成功的生質物氣化示範計畫，其中有一間使用雙流體化床的气化廠，從2003年以來，持續地利用木屑提供Gussing鎮2 MW的電力和4 MW的熱能。

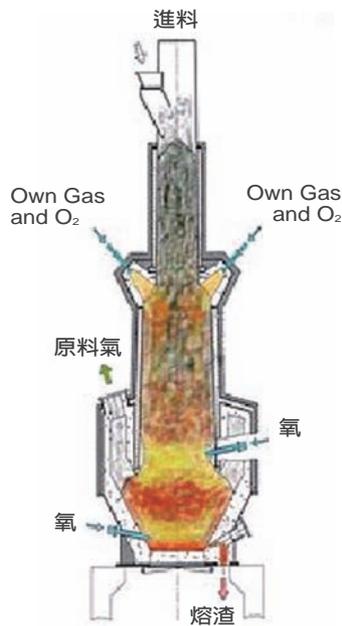
## 氣化爐的種類

目前商業化的氣化爐共有4種：逆流固定式床、順流固定式床、流體化床和引流床。

**逆流固定床（上抽式）氣化爐** 它包括一個諸如煤炭或含碳生質物燃料的固定床。水蒸氣、氧氣、空氣等氣化媒介，以逆流的方式流過這固定床，灰燼則是以乾式或熔渣的形式移除。

為了讓氣化爐溫度高於灰燼的熔點，成渣氣化爐需要比較高的水蒸氣對碳和氧氣對碳的比率。這種氣化爐的基本要求在於燃料必須具有高機械強度，且不會結塊，因此可以形成「可穿透床」。雖然最近開發的氣化爐的操作條件，不再如此地嚴苛，但是這個類型氣化爐的生產量（率）仍然相當低。此外，因為氣體的排放溫度相當低，所以氣化爐的熱效率非常高。然而，這也意味著在特定的操作溫度下，焦油和甲烷的生產也會特別地顯著。因此，在原料進入反應器處，所產出的氣體必須特別清理。

**順流固定床（下吸式）氣化爐** 它是結構類似逆流式固定床



典型的商業化氣化爐

以用符合環保的方式捕捉後，當作肥料使用。

合成氣或衍生燃料的燃燒當然會排放二氧化碳，但是生質物的氣化卻在「再生能源經濟」中扮演著非常重要的角色。因為在生質物產生時，是把CO<sub>2</sub>從大氣中移除。另一方面，其他像是沼氣、生質柴油等生質燃料的生產技術，同樣也屬於「碳中和」的循環能源。氣化技術可以使用多種的燃料，可以說是一種把能量從生質物中抽取出來，十分有效率的技術。因此，生質物氣化是一種針對「碳中和經濟」，在技術上和經濟上很令人信服的能源技術。

目前，具產業規模的生質物氣化技術還是不多。「澳洲再生

烷，或透過「費希爾—特普希程序」轉換成類柴油的合成燃料。燃料中的無機成分，像是金屬和礦物質，所產生的惰性灰燼也可

到目前為止，用在廢棄物熱處理的許多氣化程序仍在開發中，也希望能夠做為焚化程序的替代方案。

的氯化爐，但是氯化媒介的氣體與燃料同方向流動，也就是一起向下流動，因此命名為下抽式氯化爐。它須藉由少量的燃料燃燒，或以外部的熱源，把熱加到床的上部，所產生的高溫氣體離開氯化爐後，再把其中大部分熱能傳到由床的上方加入的氯化媒介中。它的能源效率與逆向式氯化爐差不多在同一個水準。因為在順流的方式裡，所有的焦油必須通過熱焦炭床，因此焦油的生成量比逆流式低很多。

**流體化床氯化爐** 它的燃料在氧氣、水蒸氣或空氣中被流體化，灰燼則以乾式或以沒有流體化的團塊方式移除。乾式灰燼氯化爐的溫度相當低，因此燃料必須具有高反應性，尤其是劣等煤特別地適合。燃料的產量高於固定床式，但低於在下一小節中描述的引流式氯化爐。由於含碳材料的淘析作用，燃料的轉換效率相當低。如果採取固體再循環或以隨後再燃燒的方式，則可以增加轉換率。

流體化床氯化爐特別適用在會形成腐蝕性灰燼的燃料上，因為腐蝕性灰燼會傷害成渣氯化爐的爐壁。一般而言，生質燃料通常含有較高量的腐蝕性灰燼，因此適合用流體化床氯化爐來處理。

**引流式氯化爐** 把乾燥粉狀固體、霧狀流體燃料或燃料泥

漿，與氧氣以順流方式氯化，雖然也可以使用空氣代替氧氣，不過氧氣還是比較普遍。氯化反應主要發生在由非常微小的顆粒構成的濃霧中。因為它的高操作溫度，同時煤顆粒彼此間分離清楚，大部分的煤都可以適用在這個類型的氯化器中。高溫和高壓的操作方式，也表示會有較高生產量（率）。不過，它的熱效率還是低了一點，因為在現有可用的清理技術中，氣體必須先行冷卻。

高溫也代表焦油和甲烷並不存在於生產的氣體裡，但是氧氣需求量會高於其他類型的氯化爐。所有引流式氯化爐把大部分的灰燼以熔渣的形式移除，因為它的操作溫度遠高於灰燼熔融的

溫度，只有少部分的灰燼會以非常微細的飛灰，或黑色飛灰泥漿的方式存在。不過，有一些燃料，特別是一些生質物，形成的熔渣對於保護氯化爐壁的陶瓷內壁有腐蝕的作用。

有一些引流床式氯化爐並不使用陶瓷內壁，而且是由部分固化熔渣所覆蓋的水或水蒸氣來冷卻爐壁，這類型的氯化爐並不會受到腐蝕性熔渣傷害。然而，有些燃料有非常高熔融溫度的灰燼，通常的因應方式是在燃料氯化前先與石灰石混合，添加少量石灰石足以降低熔融溫度。

引流式氯化爐使用的燃料顆粒，必須比其他氯化爐使用的小許多，這也表示燃料必須事先研磨成粉狀，因此所消耗的能量也



典型的生質物氯化爐

有許多氯化程序是以非常高的溫度來處理含有重金屬的灰燼，因此可以形成玻璃狀，也可以用穩定化合物的形式來排放。

比其他類型的氣化爐多。雖然如此，引流床式氣化爐消耗的能源並不全用在燃料的研磨上，反而大部分都使用在氣化所需氧氣的製造上。

## 未來應用

到目前為止，用在廢棄物熱處理的許多氣化程序仍在開發中，也希望能夠做為焚化程序的替代方案。與焚化比較，廢棄物的氣化具有下列的優點。

合成氣是在燃燒以前加以淨化，而不是在燃燒後淨化更大量的煙道氣。此外，可以在引擎和燃氣渦輪機中產生電力，這比使用焚化爐產生的蒸氣發電，來得更便宜且更有效率。雖然燃料電池具有應用的潛力，但是在所用氣體的純度上，卻有相當嚴格的要求。除了電力以外，利用合成氣的化學反應還可以產生其他的合成燃料。有許多氣化程序是以非常高的溫度來處理含有重金屬的灰燼，因此可以形成玻璃狀，也可以用穩定化合物的形式來排放。

廢棄物焚化技術的主要挑戰之一，在於如何達到可以接受的或正值的毛發電效率。因為要把合成氣轉換成電力的高效率，往



燃氣發電廠

往會被廢棄物所需的前處理、大量的純氧製造做為氣化的媒介，和氣體清洗等程序消耗的大量電力抵銷掉。另外一項挑戰也變得越來越明顯，就是當實際使用這些方法時，需要驗證系統的穩定性及良好的操作性。在經過長時間的運轉後，不需要為了清洗反應器，得每隔數月就要關廠維修。

雖然人們已經設計了許多廢棄物氣化方式，但僅有少數被實際建造和測試。同時，也僅有極少數的程序被真正地使用在廢棄物處理上。然而，它們仍然與化石燃料的使用脫離不了關係。像是一個在中國境內，使用日本熱分選（thermoselect）技術的煤氣化廠，從2000年來就一直在進行工業廢棄物的處理。但是截至目

前為止，它仍然無法從製程中產生正的淨能源值。

氣化技術幾乎可以處理任何固體廢棄物，特別是有機廢棄物，也可以算是一種生質能技術。它產生的合成氣更是一種有用的能源，適合用在氫氣的產生與發電上。如果我們說氣化技術是一種化腐朽為神奇的技術，實不為過。此外，在氣化處理過程中，並不會產生溫室氣體，或者也可以適用在溫室氣體的捕捉上，符合當今溫室氣體減量的要求。一言以蔽之，在能源短缺與環保受重視的今天，氣化技術實在是一種十分值得推廣和研究的能源與環保技術。 □

呂錫民

台灣大學應用力學研究所