



# 逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

生質物氣化技術之發展回顧與評析

作者：蔡維馨、陳雅馨、高孟伶

系級：環境工程與科學學系四年級甲班

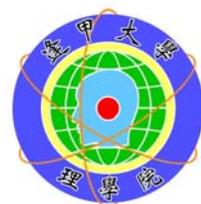
學號：D9421635、D9421682、D9421632

開課老師：江康鈺老師

課程名稱：熱處理技術與應用

開課系所：環境工程與科學學系

開課學年：九十七學年度 第一學期



## 中文摘要

隨著經濟的快速發展，各國對於能源的需求皆大為增加，不同的能源資源被開發與使用，而生質物也是其中之一，生質物在農業國家中的數量相當豐富並且已被廣泛的使用一段時間了。在能源擷取方面來看，生質物氣化是有效率且先進的技術，且已經在市場上受到重視。本篇從氣化技術中各種爐體特性、經濟的觀點和應用性上，重新探討生質物氣化的發展，以及生質物氣化技術發展的障礙，並詳列促進生質物氣化技術發展之可行方案和政策，同時探討生質物氣化技術之未來展望。

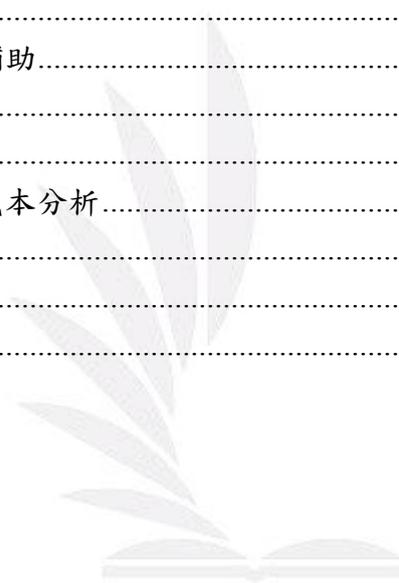
在不同生質物產能技術之間，生質物氣化與其產生之能源是被認為大有可為的技術，在未來生質物氣化技術也是最具發展潛力之技術，而其是否得以更進一步發展之關鍵為環境保護以及能源保存兩大因素。

### 關鍵字：

再生能源、氣化技術、經濟分析

## 目 次

一、前言.....	3
2.1 氣化技術定義與原理.....	4
2.2 氣化爐種類及技術特性.....	5
2.2.1 固定床式氣化爐(fixed bed gasifier).....	5
2.2.2 流體化床氣化爐(fluidized bed gasifer).....	9
三、技術應用限制與解決方案.....	12
3.1 技術應用限制.....	12
3.1.1 技術上的限制.....	12
3.1.2 經濟上的限制.....	12
3.1.3 外部因子的限制.....	12
3.2 技術應用限制之解決方案.....	12
3.2.1 技術改良.....	12
3.2.2 政策支持/輔助.....	13
3.2.3 技術證明.....	14
四、經濟評估與未來發展.....	14
4.1 投資成本與營運成本分析.....	14
4.2 經濟分析.....	15
4.3 未來發展.....	17
五、結論.....	18



## 一、前言

近年來國際原油價格極度不穩定，加上新興國家人口與經濟快速發展，導致全球化石燃料需求量大增，而化石燃料在高度開採下，蘊藏量亦逐年降低，根據學者估計世界原油開採年限僅剩 40 餘年，而煤炭開採年限則約為 192 年。從環境的觀點來看化石燃料可視為環境演變的過程中所固化的碳源，但隨著各國工業高度的發展下，不僅能源短缺的問題值得注意，此外過度的使用及燃燒石化燃料，而將大量的碳釋放至大氣中所導致的環境問題在近年也受到關注，因此開發新技術與發展再生能源已成為全球潮流。

再生能源的種類包括：太陽能、水力能、風力能、地熱能、海洋能以及生質能，目前各國最積極發展之再生能源為生質能，生質能之種類廣泛主要指由生物產生之有機物質，包括沼氣、稻殼等農業、工業、都市廢棄物及能源作物等，生質物經過焚化、氣化、裂解、發酵等技術可使其轉換成燃油、燃氣與電力等能源[4]。由於生質物主要是由植物光合作用固定大氣中之碳源所形成之有機物，因此能源利用時所排出之碳約為其固定之碳的量，所以對環境的衝擊較小，並兼具能源與環保雙重貢獻，因此是目前國際公認最廣泛使用的再生能源，約占世界所有再生能源應用的三分之二。而生質物之種類繁多加上現今各國皆存在著垃圾處理的問題，因此利用有機廢棄物作為產能的原料也逐漸受到重視。

目前歐洲之生質物氣化技術已為世界之主要技術主流，就廢棄物氣化系統數量而言，歐洲地區各國即佔全球 40% 以上，亞洲方面則以日本為主流其約佔 15%。本篇報告主要在回顧生質物氣化技術的發展並探討此技術於未來的發展性及深入評估此技術所面臨的阻礙。

## 二、氣化技術(Gasification)

氣化技術為一早期能源轉換之重要技術之一，主要是將含碳之原料經由氣化之過程，以產生氫氣和一氧化碳等燃氣。最初是用於提升電廠之能源利用效率，所使用之燃料主要為煤炭，而歐洲約在百年前便已發展將煤炭氣化成化工原料或燃料之化工製程。與其他技術相較之下由於氣化技術所使用的燃料較為多元、爐

體構造較為簡單、污染物排放量較少，且可產生其他化工副產物等優點特性，近年來轉而成為兼具發電之技術。

## 2.1 氣化技術定義與原理

馬氏(2003)於生質物氣化技術及其應用中提到，氣化指在高溫下進行非催化性的部分氧化反應，可將含碳物質如煤炭或廢棄物等轉換成氣態燃料，過程中游離氧或結合氧會與燃料中的碳進行熱化學反應，生成可供利用之可燃氣體，如：一氧化碳、氫氣、甲烷等，可作為鍋爐與發電機組之燃料或進行間接混燒，作為燃煤鍋爐的輔助燃料，供應所需之蒸汽及電力。

氣化過程的反應系統分區及各分區主要的反應機制原理：依其作用特性依序可分為乾燥區、裂解區、還原區及氧化區四大區。

### 1. 乾燥區(dry zone)

此區之作用為將濕物料中之水蒸汽蒸發，此區溫度為  $100^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ ，產物為乾物料及水蒸氣，其中水蒸汽會排出氣化爐，而乾物料落入裂解區。

### 2. 裂解區(pyrolysis zone)

氧化區和還原區生成之熱氣體，在上述過程中經過裂解區，將生質物加熱並促使裂解反應的發生。反應中物料中所含之揮發物質從固體中分離出，因裂解需大量熱能，故此區溫度降至  $400^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。此區主要產物為碳、氫氣、水蒸汽、一氧化碳、二氧化碳、甲烷、焦油及其他烴類物質等，這些氣體繼續上升進入乾燥區，而碳則進入還原區。

### 3. 還原區(reduction zone)

還原區內已無氧氣存在，在氧化區中生成的二氧化碳在此區和碳及水蒸汽發生還原反應，生成一氧化碳和氫氣。由於還原反應為吸熱反應，因此還原區的溫度較低約為  $700^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，此區未反應完成之碳則會進入到氧化區中。

### 4. 氧化區(combustion zone)

氣化劑(空氣)由氣化爐的底部進入，被加熱的熱氣體進入氣化爐底部的氧化區，在此區和高溫的碳發生燃燒反應，生成二氧化碳同時放出熱量，由於是不足

氧的燃燒，因此同時發生不完全燃燒，生成一氧化碳同時也放出熱量，此區溫度約為 1000~1200°C。在此區生成之氣體進入還原區，灰份則落入下方的灰室中。

綜合上述各反應區域之反應機制，可將整體之氣化反應過程劃分為五個主要的反應方程式：

部分氧化	$C + 1/2O_2 \leftrightarrow CO$	放熱反應
完全氧化	$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$	放熱反應
水煤氣反應	$C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$	吸熱反應
水煤氣轉換反應	$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$	放熱反應
甲烷形成	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$	放熱反應

## 2.2 氣化爐種類及技術特性

氣化爐體依氣體與燃料接觸形式可分四大類，分別為：固定床式氣化爐、移動床式氣化爐、流體化床式氣化爐與其他形式之氣化爐。其中較為常見之生質物氣化系統形式為固定床式氣化爐和流體化床式氣化爐兩種類型，此兩種類型之氣化爐又可細分成多種不同之形式，如表一所示。

表一 氣化爐分類

	固定床式氣化爐(Fixed bed gasifier)	流體化床氣化爐(fluidized bed gasifier)
生質物氣化爐	上吸式氣化爐(updraft gasifier)	單流式流體化床(single fluidized bed gasifier)
	下吸式氣化爐(downdraft gasifier)	循環式流體化床(circulating fluidized bed gasifier)
	橫吸式氣化爐(sidedraft gasifier)	雙流式流體化床(Twin fluidized bed gasifier)
	開孔式氣化爐(open core gasifier)	夾帶式流體化床(entrained bed gasifier)

參考資料：1.馬隆龍，2003。生質物氣化技術及其應用，化學工業出版社，北京。

2. Bridgwater A.V., 2003. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. Chemical Engineering Journal, 87-102.

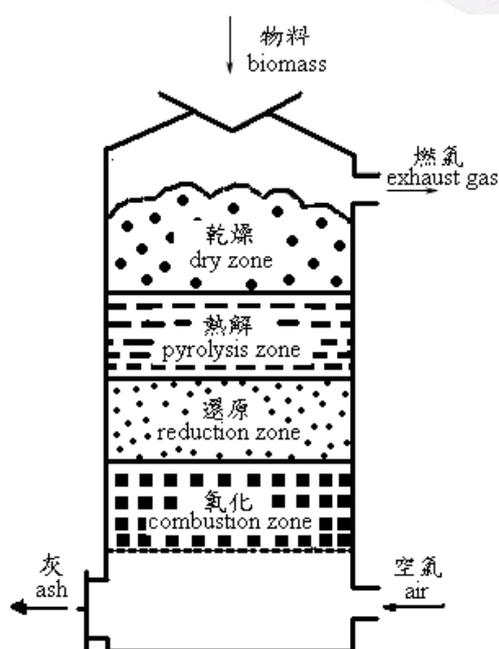
### 2.2.1 固定床式氣化爐(fixed bed gasifier)

馬氏(2003)於生質物氣化技術及其應用中提到所謂的固定床式氣化爐，指的

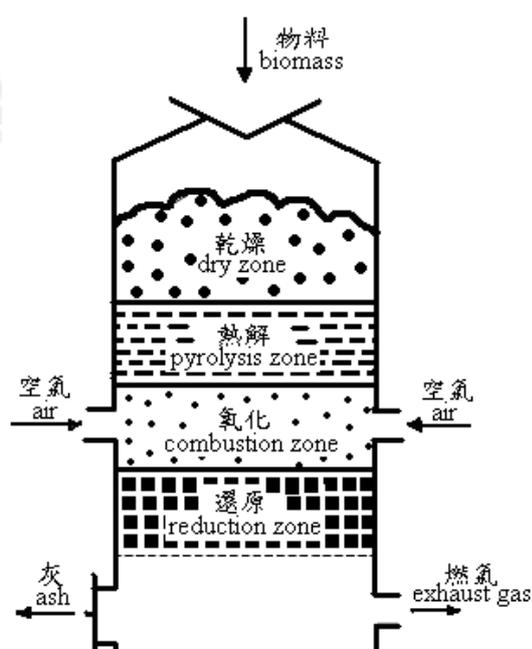
是氣流通過物料層時，相對於氣流來說物料是呈靜止狀態，因此稱為固定床。一般而言，固定床式氣化爐所使用的原料粒徑較大。此外，固定床式氣化爐具有操作容易、建造成本較低與對原料粒徑的適應性較佳等優點。而其主要的缺點是原料容易於系統內被形成架橋作用以及其處理能力較其他形式之氣化爐來的小。依據爐內氣流流動方向，固定床式氣化爐又可分為上吸式、下吸式、橫吸式與開孔式氣化爐四類。此四種類型之固定床式氣化爐其操作原理與特性描述如下：

### 1. 上吸式氣化爐(updraft gasifier)

上吸式氣化爐的氣體流動方向與進料方向相反如圖一所示，因此反應原料是由氣化爐頂端置入，氣化劑則由爐體底部進入氣化爐中，氣化反應過程中所產生的可燃性氣體則通過爐體內的四大反應區域，並由爐體頂端排出。當原料進入爐體時，向下移動的原料被向上流動之熱氣體烘乾脫去水分，乾燥後原料進入裂解區後會進行裂解反應而釋出揮發分，產生的碳進入還原區，與氧化區產生的熱氣體發生還原反應，生成一氧化碳和氫氣等可燃氣體。反應中未消耗掉的碳進入氧化區與氧化區內的空氣發生氧化反應，灰分則落入灰室中；在氧化區、還原區、裂解區和乾燥區生成的混合氣體，自下而上流動排出氣化爐。



圖一 上吸式氣化爐構造



圖二 下吸式氣化爐構造

上吸式氣化爐一般使用在燃氣不需冷卻和淨化就可以直接使用的場所。上吸式氣化爐產生之燃氣可直接作為鍋爐、加熱用的燃料氣亦或是提供工業熱源。Bridgwater A.V.(2003)在利用熱處理技術再生燃料和化學物質研究文獻中指出，因為上吸式氣化爐所產生的燃油氣體中含有大量焦油，因此在市場的上應用性與競爭性相對較低。

表二 國外上吸式固定床氣化爐應用情況(截至1997年)

生產廠	運作數量	原料	容量
Bioneer(芬蘭)	10處	木材/泥炭	6MW·t
Vvϑland(丹麥)	2處	木材/稻稈	4MW·t; 1.2MW·t
Daneco(義大利)	3處	RDF	0.6MW·t; 0.3MW·t; 6MW·t

參考資料：馬隆龍，2003。生質物氣化技術及其應用，化學工業出版社，北京。

## 2. 下吸式氣化爐(downdraft gasifer)

下吸式氣化爐如圖二所示，當原料進入到氣化爐內的最上層，即為乾燥區便立即進行水分蒸發，之後乾燥的原料進入裂解區，由於裂解區的溫度高，達到揮發分蒸發溫度，因此原料開始裂解，而揮發分氣體開始產生，乾燥後的原料逐漸分解成為碳、揮發分及焦油等。所生成的碳隨原料的消耗而落入氣化區，一般情形下氣化劑在氧化區中加入，在氧化區內，由裂解區生成的碳與氣化劑中的氧進行燃燒反應，生成二氧化碳、一氧化碳和釋放大量熱能，而未反應完全的碳則會落入還原區，此區與裂解區及氧化區生成的二氧化碳發生還原反應生成一氧化碳，碳的還原與水蒸汽反應生成氫氣和一氧化碳，最後灰渣則會排放至灰室中。

下吸式氣化爐的主要特點是結構較簡單、進料方便、產出氣體中焦油含量少，由於是微負壓進行，因此操作方便、安全可靠，缺點為產出氣體流動阻力大，消耗功率增多，產出氣體中含灰分較多，溫度較高。此種氣化爐適於水分含量較低的且粒徑較大之原料(含水量<30%)，目前已有商業化應用，且因結構簡單造價較低適用於農村地區。

表三 國外下吸式固定床氣化爐應用情況

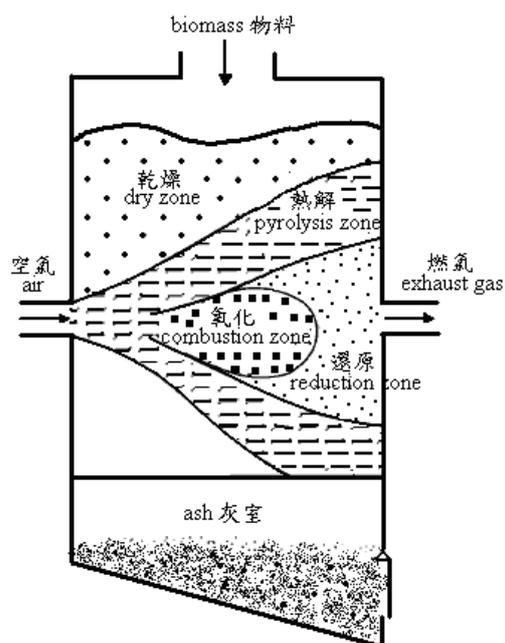
生產廠	原料	容量
Martezo(法國)Hogild(丹麥)	廢木料	135kWe
Chevel(法國)	廢木料、可可殼、棉稈	20-120kWe; 315kWt
Wamsler(德國)	廢木料	600-1500kWt
Bio-Heizstoffuerk(德國)	廢木料、廢紙、稻稈、泥炭、RDF	10-500kWe
HTV-Juch(瑞士)	廢木料	400-450kWt
Schelde(荷蘭)	污泥淤渣	1MWt
GASBI(西班牙)	廢木料	150-1500kWt
Melima(瑞士)	廢木料	10kWe
MHB(德國)	廢木料	303kWt
Fluidyne(荷蘭)	廢木料	30 kWe
Huirous Wood Equipment(中國)	廢木料	200 kWt
Huantai / Dalian Integrate Gas-Supply(中國)	農業廢棄物	300 kWt

參考資料：1.馬隆龍，2003。生質物氣化技術及其應用，化學工業出版社，北京。

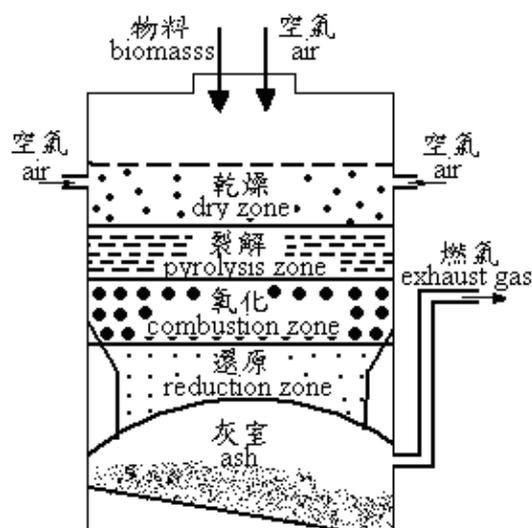
2. Leung D.Y.C., Yin X.L., Wu C.Z., 2004. A review on the development and commercialization of biomass gasification technologies in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 565-580.

### 3. 橫吸式氣化爐(sidedraft gasifier)

如圖三所示，橫吸式氣化爐的原料亦是由氣化爐頂部加入，灰分則是落入爐體底部的灰室中，橫吸式固定床氣化爐的特別之處在於其氣化劑由氣化爐的側向提供，產氣由對側流出，氣流橫向通過氣化區，在氧化區及還原區進行熱化學反應，反應過程和其他固定床氣化爐相同，但反應溫度很高易使灰熔化造成結渣，因此，此類型氣化爐一般用於灰含較低之物料，如木炭和焦炭等。



圖三 橫吸式氣化爐構造



圖四 開孔式氣化爐構造

#### 4. 開孔式氣化爐(open core gasifier)

其結構和氣化原理與下吸式固定床氣化爐相似，是下吸式固定床氣化爐的一種特別形式如圖四所示，不同的是它沒有縮口。主要反應在爐柵上部的氣化區進行，此類型爐體結構簡單，氧化還原區小，反應溫度較低，主要應用於稻穀氣化。

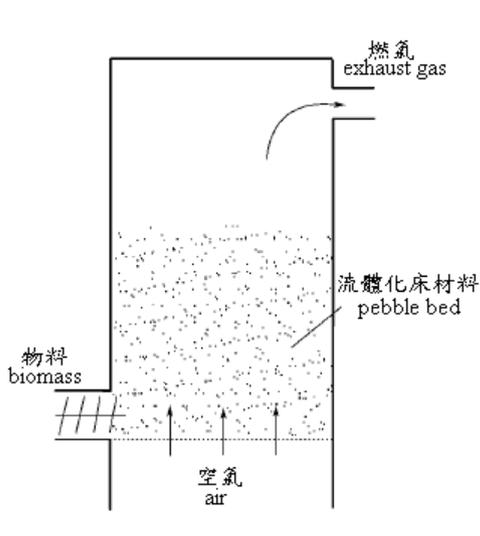
#### 2.2.2 流體化床氣化爐(fluidized bed gasifier)

馬氏(2003)於生質物氣化技術及其應用中定義所謂流體化床氣化爐，一般皆以石英砂作為傳熱介質，藉由氣化爐底部吹入之向上流動的氣流使傳熱介質和所置入的原料如沸騰般擾動起來，使的氣、固相互接觸並均勻混合。流體化介質一般選用惰性材料(如砂子)或非惰性材料(石灰或催化劑)，以增加傳熱效率並促進氣化反應。流體化床氣化爐適合水分含量大、熱質低、著火困難的生質物料，原料適應性廣，可大規模、高效利用。依照氣化爐結構和氣化過程不同，可將其分為單流式、循環式、雙流式與夾帶式流體化床等四種類型，若按氣化壓力則流體化床氣化爐又可分為常壓和加壓式流體化床。

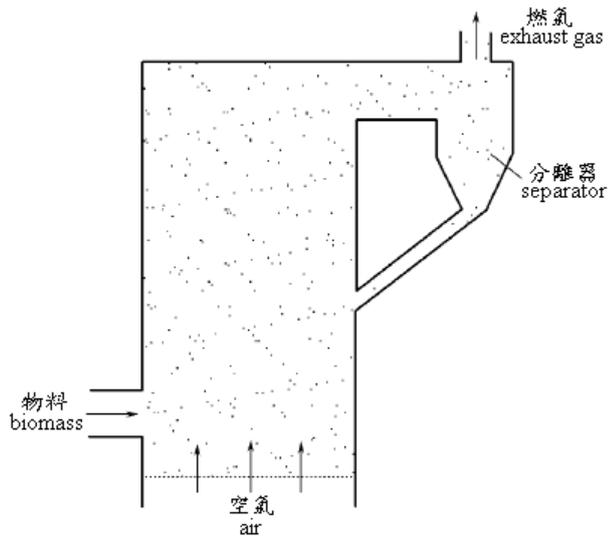
##### 1. 單流體化床氣化爐(single fluidized bed gasifier)

如圖五所示，單流體化床氣化爐是最基本，也是最簡單的流體化床氣化爐，

其結構如圖五所示。單流體化床氣床只有一個流體化床反應器，氣化劑從底部氣體分佈板吹入，在流體化床上同原料進行氣化反應，生成的燃氣可直接由氣化爐出口送入淨化系統中。單流體化床氣化爐的流化速度較慢，較適合於顆粒較大的原料。單流體化床氣化由於存在著飛灰、嚴重夾帶碳顆粒與操作費用較高等問題，因僅適用於中大型氣化系統。



圖五 單流體化床氣化爐



圖六 循環式流體化床氣化爐

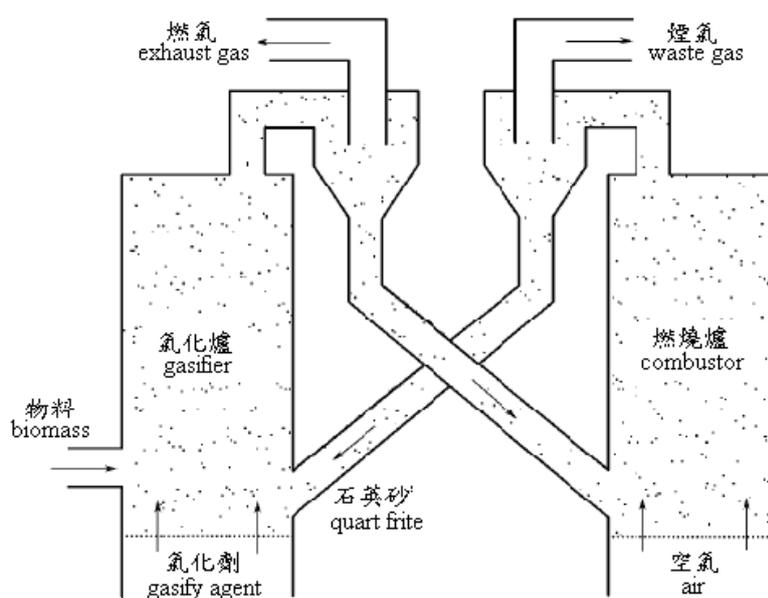
## 2. 循環流體化床氣化爐(circulating fluidized bed gasifier)

循環式流體化床氣化爐的運作原理如圖六所示，與單流體化床氣化爐主要的區別是在產氣出口處，設有旋風分離器或袋式分離器，循環式流體化床流化速度較高，使燃氣中含大量固體顆粒。在經過旋風分離器或袋濾式分離器後，通過料腳，使這些固體顆粒返回流體化床中，重新再進行氣化反應，可提高碳的轉換效率。它適用於較小的生質物顆粒，在大部份情況下，它可以不必加流體化床熱載體，所以它運作最簡單，但是碳回收難以控制，在碳回流較少的情況下容易變成低速率的夾帶床。

## 3. 雙流體化床氣化爐(twin fluidized bed gasifier)

雙流體化床氣化爐，見圖七，此系統是由兩個部份所組成，即第 I 級反應器與第 II 級反應器。在第 I 級反應器中，生質物原料發生裂解反應，合成氣體產生後，送入淨化系統。同時生成的焦碳顆粒送入第 II 級反應器。在第 II 級反應器

中碳進行氧化燃燒反應，使爐床溫度升高，經過加熱的高溫床層材料，通過料腳返回 I 級反應器，從而提供維持第 I 級反應器之熱源，雙流體化床氣化爐碳轉換效率也較高。雙流體化床系統是鼓泡式(bubbling fluidized bed gasifier)與循環式流體化床(circulating fluidized bed gasifier)的結合，它把燃燒和氣化過程分開，燃燒床採鼓泡式流體化床，氣化床採循環式流體化床，兩者依靠熱載體及流化介質進行傳熱，所以控制好熱載體的循環速度和加熱溫度是雙流體化床系統最關鍵也是最難的技術。



圖七 雙流體化床氣化爐

#### 4. 夾帶床氣化爐(entrained bed gasifier)

夾帶床氣化爐式流體化床的一種特例，如前所述，它不使用惰性物質在為流化介質，氣化劑直接吹動爐中生質物原料，且流速較大，為紊流床。該氣化爐要求原料破碎成非常細小的顆粒，操作溫度高，可達 1100°C，合成氣體中焦油及冷凝成份少，碳轉換效率可達 100%，但由於操作溫度高，易燒結，氣化爐爐體材料較難選擇。

基於不同原料之氣化特性，應先深入了解各類型氣化爐之操作原理與其技術特性。進而選擇良好之氣化爐系統，作為建造及操作之依據，以提升整體之氣化反應效率，達到最佳化之運作成果。

### 三、技術應用限制與解決方案

#### 3.1 技術應用限制

##### 3.1.1 技術上的限制

兩個主要影響生質物氣化系統的技術限制：二次污染與設備的可靠性，這些問題都導致整體氣化技術發展的不成熟，。而污染問題中以廢水處理為首要的技術限制，而這些有待解決的問題。

##### 3.1.2 經濟上的限制

三個影響生質物氣化系統的經濟結構之因素：資金方向、收集及運輸花費和電力網格操作者所收購之電力價格。先決條件為將原有動力網和電力網進行合併，以確保生質物氣化發電廠的利益。在中國沒有任何關於合併生質物衍生的電力和已存在的網路之調節機制，為了地區(當地)的利益，大部分的電力公司並不想對生質物能源提供的適當津貼/補助，甚至不願將少許的能源產生設備合併至原有的網路，這對生質物氣化的經濟和發電技術帶來負面的影響，因而影響投資的熱忱同時也阻礙技術的商業化。

##### 3.1.3 外部因子的限制

生質物氣化的經濟主要依賴於生質物的來源以及能源利用方式，欲成功的應用此項技術必須依靠當地政府的政策而非技術層面，例如中國對此相關技術已有充分的經驗，另一方面國際於減少溫室效應氣體的排放上所施予的壓力，也許能提升可再生能源的使用以及增加生質物氣化技術。

#### 3.2 技術應用限制之解決方案

##### 3.2.1 技術改良

###### 1. 解決二次污染物問題

生質物氣化以及產能的主要目的為處理廢棄物，目前因較佳的外部條件，氣化和產能已獲得很好的經濟利益，但污染問題尚未完全解決且成為此技術普及化的主要限制。灰渣和廢水管理為生質物氣化和產能技術發展的主要重點，就技術層面來看灰渣的處理是較容易的，提升氣化的效率以及焚燒灰渣便可符合標準；

廢水的處理則較複雜，基本的方法為降低焦油的排放，例如催化裂解方法，但只可應用於當設備達一定規模，若小規模設備，一般廢水物化處理程序較常應用。

## 2. 提升氣化效率

影響氣化系統經濟效益的主要因素為能量產生的規模，而在不同的操作費用中，大部分的支出為燃料的費用，因為勞工花費和大量投資資金的影響，小規模氣化和產能系統其產能的花費甚至高於經由柴油燃料產生電力的花費，因此當系統規模足夠龐大時，系統之整體花費可明顯的降低。而當系統規模達一定尺寸時，燃料花費則成為主要花費，此時能量產生的費用可因燃料費用降低而降低，可經由改善提升整體的總產能效率而有效達成。

### 3.2.2 政策支持/輔助

#### 1. 增加補助金並促進投資系統的更新

政策支持的主要目的為增加補助，使其有相符的措施並解決初期資金需求，以產生較順利的投資管道，其必須針對現行之氣化和動力產生技術的狀況，以及在市場中遭遇的投資問題。下列工作必須經由政府實施以支持/維持其發展：

- (1) 設立一專案的評估協會，其提供參考或對於財政設立/制度的資助，並促進投資可享有生質物能源的交易買賣。
- (2) 設立特別的資金/補助金以實施目標的發展試驗，以驅使社會投資和建立成熟的市場。
- (3) 加強技術公司和投資者的合作以提升補助。

#### 2. 保證電力購買

現行中國之氣體引擎的單位容量稍小(~200kW)，因此藉由氣化所產生的能源無法滿足政府合併至電力網路之相關需求，另外作為一再生能源，生質物有一重要意義在於降低污染和保護環境，因此在此部分政府需實施鼓勵和保護政策。另外小規模單位(<100kW)需被允許得以合併至現有的電力網，而最低購買價格需詳述以確保生質物電力的購買。儘管有效的方法在過去未被利用以刺激電力公司的活動和滿足價格補貼管道，但相關公司已開始建立此方向之相關策略，國家政府

需強制的建立再生能源系統的限額，以確保地區電力公司發展或購買再生能源之最小電量，並對於電力環境費用課適當的稅，此費用用以補助乾淨能源的產生，許多已發展國家已有成熟的政策在此方面並有成功的經驗。

### 3.稅率放寬

為了使這些計畫持續發展，都市政府需實施相關政策如降低盈利稅和降低相關投資之借款利率，這些獎勵可增加收益並促進投資意願。

#### 3.2.3 技術證明

對於生質物氣化和動力產生，發展中國家有比已開發國家更佳的市場環境，即使二次污染問題可被解決，但規模較大的生質物收集和運輸仍為一問題，這會增加動力生成的費用而降低競爭力。因此在現在未有任何保護政策的條件下，生質物氣化和動力生成的主要使用者，將可能在於生質物殘渣大量存在但未有任何收集和運輸問題之地區。為了滿足此技術逐步的被接受，必須實行技術的改善，並訂定相關的輔助政策應以增加此技術在應用之合理規模。

## 四、經濟評估與未來發展

### 4.1 投資成本與營運成本分析

生質物氣化系統的投資成本主要有氣化爐與排氣系統、燃料氣體的利用設備與設備及系統的建造。而營運成本則包含動力成本、設備維護、設備的折舊與勞工薪資。由表四可知，在投資成本方面單位投資金額會隨著系統的投資成本增加而減少，因此氣化系統必須減少規模限制，這是因為小規模反而需要花費更高的投資成本。在營運成本方面，單位營運成本會隨著總營運成本的增加而降低，這是因為規模較小的廠址其營運成本中的維修費用及勞工薪資所佔的比例比大規模的場之中來的高，使的整體的單位營運成本明顯偏高

因此我們必須在氣化系統建較前考慮到所有的因素與生質物成本，以估算出藉由生質物氣化系統所產生之能量所需耗費的總成本及其最佳化之運作規模。並且來加以評估整體計畫經濟價值與判斷計畫的執行與否。

表四 中國生質物氣化和動力生成系統之成本和操作花費

(生命週期 15 年；操作時間 5000h/year)

系統容量	200kW	600kW	1000kW	1500kW	2000kW
投資成本( $10^3$ US \$)					
氣化爐和氣體清淨	19.7	43.0	61.5	73.8	86.1
氣體引擎系統	43.0	129.1	215.2	295.2	393.6
設置	6.2	12.3	18.4	24.6	36.9
基礎建造	6.2	24.6	36.9	49.2	61.5
設備	6.2	18.4	24.6	36.9	49.2
設計和調整	4.9	12.3	12.3	12.3	12.3
總投資成本	86.2	239.7	368.9	492.0	639.6
單位投資成本(US \$ /kW)	431	400	369	328	320
操作成本( $10^3$ US \$)					
物質消耗	5.5	16.6	27.7	38.6	51.6
維修	1.8	4.9	7.4	9.9	12.3
勞工薪資	12.2	46.0	72.0	91.5	113.0
總操作成本	19.5	46.0	72.0	91.5	113.0
單位操作成本( $10^{-8}$ US \$ /kJ)	36.1	28.4	26.7	22.6	20.9

參考資料：Leung D.Y.C., Yin X.L., Wu C.Z., 2004. A review on the development and commercialization of biomass gasification technologies in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 565-580.

#### 4.2 經濟分析

從經濟觀點分析，當生質物氣化系統所產生之能源較其他形式能源便宜即可獲得可觀之利潤，成本效益的分析方法，可決定生質物氣化系統計劃的執行與否。一個計畫的利潤( $Pr>0$ )指的是所投入的資金在設備生命週期範圍內即可以被

回收，否則此計劃將呈現虧損狀態並且需藉由財政上的支援才可得以維持。

一項計畫必須具有賺錢的能力，可由下列式子加以分析：

$$Pr=(P_1-P_2/\eta)-(C_1+C_2)$$

其中 Pr 代表生質能源的利潤(US\$/kJ)； $P_1$  表示藉由生質物氣化系統所生產之能源的價格(US\$/kJ)； $P_2$  表示生質物的價格(US\$/kJ)； $\eta$  表示系統的效率(%)； $C_1$  表示生質物氣化系統的成本(US\$/kJ)； $C_2$  表示生質物氣化系統的營運成本(US\$/kJ)。此外投資計畫主要的目標皆是希望資金越快回收越好，以及所獲得的利潤相較於其他傳統能源來的佳。舉例來說，在中國的生質物氣化技術計畫投資之資金大多約在 5 年內即可回收。因此，經濟學上所謂可實行性可藉由下列式子表示：

$$Re=In/(Pr \times T \times 3600) \leq 5$$

Re 表示償還週期(總資金至年獲利的比例)(年)；In 表示生質物氣化技術計畫所需要之資金(US\$/kW)；T 表示操作時間(h/year)。

表五為中國地區各種氣化爐應用案例的經濟分析結果，可看出各種類型各種規模的氣化設備投資成本、營運成本及氣化效率皆不相同。導致單位能源的利潤及整體的償還週期隨之改變。有些系統的償還週期甚至大於系統的生命週期亦有系統內部的投資報酬率為負值的情況產生。不過該地區的氣化技術與氣化廠仍持續的發展建造中，這是因為生質物氣化技術不但可節省能源，還可有效的解決生質性廢棄物的處理與汙染問題。

表五 中國地區典型生質物氣化技術應用案例之經濟分析

應用目的	替代煤				家用烹調				動力生成			
容量(kW)	1000	3000	7000	10000	200	500	800	200	1000	1500	2000	
$\eta\%$	95.0	95.0	95.0	95.0	75.0	75.0	75.0	0.17	0.17	0.17	0.17	
T(h/year)	6000	6000	6000	6000	2000	2000	2000	2000	5000	5000	5000	
In(US \$ /kW)	32.2	15.2	9.4	8.6	310	196	185	431	369	328	320	
$C_1(10^{-7}\text{US } \$ /\text{kJ})$	2.2	1.1	0.7	0.6	21.5	13.6	12.8	29.9	25.6	22.8	22.2	
$C_2(10^{-7}\text{US } \$ /\text{kJ})$	4.0	1.7	0.9	0.7	30.9	16.7	15.6	54.1	40.0	33.9	31.4	
$P_1(10^{-6}\text{US } \$ /\text{kJ})$	1.7	1.7	1.7	1.7	5.5	5.5	5.5	17.0	17.0	17.0	17.0	
$P_2(10^{-6}\text{US } \$ /\text{kJ})$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.4	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7	0.7	
$Pr(10^{-7}\text{US } \$ /\text{kJ})$	10.8	14.3	15.5	15.7	2.6	24.7	26.6	85.6	104	112.9	116	
Re(years)	1.4	0.5	0.3	0.3	167.4	11.0	9.7	2.8	2.0	1.6	1.5	
IRR1(%)	9.0	55.0	72.0	78.5	<0	0.0	0.05	8.5	16.0	20.0	21.0	
IRR2(%)	15.0	64.6	80.0	850	<0	3.5	3.5	15.0	23.0	28.0	29.0	

Re 為償還週期；IRR1(%)為扣除所得稅後之內部投資報酬率；IRR2(%)為未扣除所得稅之內部投資報酬率。

參考資料：Leung D.Y.C., Yin X.L., Wu C.Z., 2004. A review on the development and commercialization of biomass gasification technologies in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 565-580.

#### 4.3 未來發展

現今環保議題受到各界的關注，目前各國積極發展綠色能源，其中生質物為熱門的產能原料，就擷取能源的技術方面，又以氣化技術較廣泛的被利用，根據現有之研究報告顯示，生質物氣化技術所產生之可燃氣體，其熱值約可達 4000 kcal/kg，相當於一般燃煤的熱值，而目前國外已有許多應用實例，因此就經濟面和環境保護的觀點來看，生質物經氣化技術產能確實存在有未來發展的可行性。

## 五、結論

因應國際紛紛訂定相關之環境保護政策，因此發展再生能源是各國現在與未來都相當重視的課題，而目前最具發展潛力的技術不外乎是本篇研究所探討的氣化技術，儘管此技術截至目前為止已有相當良好的研究與發展，但仍有許多限制因素存在包括：污染爭議與相對於傳統燃料發電的競爭力等問題，且系統規模也影響了氣化技術在經濟上的可行性。唯有不斷的研究與修正各類型的氣化系統並訂相關政策，增加此系統於市場上的競爭性，讓氣化技術能有更近一步的發展。



## 參考文獻

1. Bridgwater A.V., 2003. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. Chemical Engineering Journal, 87-102.
2. Leung D.Y.C., Yin X.L., Wu C.Z., 2004. A review on the development and commercialization of biomass gasification technologies in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 565-580.
3. 馬隆龍，2003。生物質氣化技術及其應用。化學工業出版社，北京。
4. 香港特別行政區政府機電工程署 香港可再生能源網  
[http://re.emsd.gov.hk/tc\\_chi/energy/thermal/ther\\_tec.html](http://re.emsd.gov.hk/tc_chi/energy/thermal/ther_tec.html)

