

# 石油煉製殘渣氣化合成氣發電中氣化及 合成氣氣體污染防治系統的保固

薛少俊\*

## 摘要

在單循環或循環發電機組中，氣渦輪機採取石油煉製殘渣氣化的合作氣為主要燃料，一則可以消耗煉油副產品，一則視作發電用途。對於石油煉製殘渣氣化系統及合成氣氣體污染防治系統的規劃，必須適當的選和設計材料相配合，否則導致系統破損與洩漏，影響發電的品質，無法達到預期的效果。

### 【關鍵字】

1. 石油煉製殘渣(refinery residues)
2. 氣化整合複循環發電(integrated gasification combine cycle)
3. 合成氣(syngas)
4. 破損(failure)
5. 洩漏(leakage)

---

\*益鼎工程公司資深工程師

## 一、前　　言

目前已商業化的大型發電方式，包括有慣常火力、核能、水力、單循環氣渦輪機及複循環發電機組等，首先不易取得足夠腹地提供煤場或儲油槽的慣常火力發電，其次核能發電必須考慮廠址的特殊環境條件亦不適宜。第三方面有關水力發電方式，由於台灣地區河川皆短而急，水力資源開發不易，而且僅適合建造小型發電機組，再加上無法穩定供電的先天缺點，實在不能滿足發電需求。在單循環氣渦輪機與複循環發電機組方面，二者皆是採取以具有建造時間短、裝機快的氣渦輪機為主的發電方式，因此較能符合目前預測的未來電力需求，藉以應付屆時夏季尖峰負載之所需。

單循環氣渦輪發電機組雖具有工期短的優點，但效率卻僅約35%左右，比一般大型火力發電廠為低。為了提高機組效率和有效利用能源，應選擇高效率的複循環發電機組較為適宜。

氣渦輪機組可設計燃燒各種不同的燃料，包括天然氣、輕柴油與重油等。目前全世界以使用天然氣最多，輕柴油次之，重油再次之。在運轉經驗方面，亦以燃燒天然氣發電機組的運轉時數較多，依次為輕柴油和重油。

天然氣由於有較少量的雜質，其成份相當潔淨，同時燃燒後煙氣中所含粒狀污染物(particulate)及硫氧化物(SO<sub>x</sub>)量皆遠小於油類，亦遠低於環保法規標準，而氮氧化物(NO<sub>x</sub>)方面可利用低氮氧化物燃燒器、噴水／噴蒸氣(water/steam injection)等方式將其降低至法規範圍內。無論是操作性或維護性，天然氣較油類適合於氣渦輪機。

就設備成本方面，若使用天然氣為氣渦輪機燃料，可由中油公司輸氣管路直接送至氣渦輪機的燃燒室燃燒，機組除了裝設調節系統，不需儲存系統。一旦無裝設專用管線輸氣供應至發電地區，則興建大型接收站面工程技術、投資成本、環保和社會的衝擊不下於電廠；在輕柴油與重油方面要有儲存設備，燃燒重油電機組另需裝設油處理設備、污染防治設備（包括靜電集塵器、油灰處理系統或焚化爐等）及抑制高溫腐蝕設施。因此設備成本以重油較高，輕柴油次之，天然氣較低。至於燃料價格以重油最低，輕柴油和天然氣均較高，此三者幾近全仰賴進口。

石油真空蒸餾產製廢棄物、柏油、石油焦和重油（低品質時），其為典型的煉製殘渣，主要含有高硫量與重金屬的特性。另外烏瀝乳(Orimulsion)為Orinoco天然焦乳化於水的產物，其含有類似煉製殘渣的成分（參見表1）。

由以上討論可知，燃料種類的選擇，就運轉廣泛性、操作維護簡易性、可供利用空間、建廠成本和對環境污染程度等合比較，以及配合國家能源多元化政策，採取石油煉製殘渣氣化的合作氣(syngas)為主要燃料，一則可以消耗煉油副產品，一則視作含複循環發電(IGCC, Integrated Gasification Combine Cycle)用途，極具經濟價值，氣化發電實例參見表2。

對於石油煉製殘渣氣化及淨化系統的規劃，若不能適當的選擇和設計材料相配合，將導致系統破損與洩漏，而結果造成其發電效果不佳。雖然氣化與合成氣氣體污染防治系統具有其機械性的本質，也無法達到操作自如的目標。本文的目的旨在介紹系統保固的方式，以作者為發電及汽電共生業者規劃設計之參考。

表1 石油煉製殘渣和烏煉乳特性

	真空殘渣	柏油	石油焦	烏瀝乳
元素分析				
C(wt.%)	83.80	84.60	88.41	60.56
H(wt.%)	9.65	9.91	3.34	10.68
S(wt.%)	6.20	4.90	5.91	2.71
N(wt.%)	0.61	0.68	2.04	0.47
O(wt.%)		0.78	0.02	25.50
灰(wt.%)	0.04	0.13	0.28	0.08
熱值				
低熱值(KJ/kg)	38,250	37,850	34,400	27,250
高熱值(KJ/kg)	40,354	39,773	36,517	29,423
重金屬成份				
V(ppm)	250~700	300~400	300~600	250~350
Ni(ppm)	100~150	50~100	200~400	60~80
Na(ppm)	30	30	50~100	40~70
Mg(ppm)			10~25	0~500
Fe(ppm)			200~400	5~20

表2 石油煉殘渣氣化發電實例

公司	位置	進料	實績
API	義大利	真空殘渣	250MW + 蒸汽
ISAB	義大利	柏油	500MW + 蒸汽 + 氢氣
Sarlux	義大利	真空殘渣	550MW + 蒸汽 + 氢氣
AGIP	義大利	真空殘渣	251MW + 氢汽
Texaco	美國Kansas洲	石油焦	35MW + 蒸汽
Shell Nederland	紐西蘭Pamis市	真空殘渣	113MW + 蒸汽 + 氢氣

## 二、石油煉製殘渣氣化合成氣系統與保固

石油煉製殘渣氣化合成氣系統包括三個單元，說明如下：

### 2.1 空氣分離系統

空氣分離系統在於提供高壓氧氣和中壓氮氣分別給予氣化器協助部份氧化與氣渦輪機燃燒，採取改良型雙式低溫(cryogenic)循環法來執行，示意流程圖1。

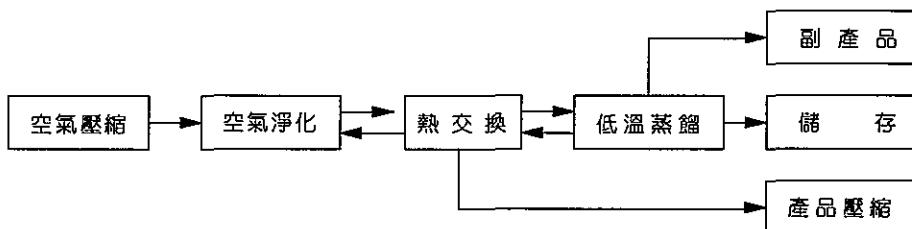


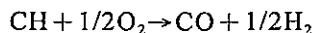
圖1 空氣分離系統流程

大氣進入空氣壓縮機時，先經二階段過濾除去雜質。其次進行壓縮和二階段冷卻，尤其後階段冷卻係為分子篩吸附方法除殘餘水蒸汽、二氧化碳、未飽和與C3+飽和碳氫化合物。緊接淨化空氣進入板翅型(plate-and-fin)一次熱交換器和回流氣體產物實施逆流熱交換，促使冷卻接近露點而完全乾燥。此乾燥空氣送到雙盤型蒸餾塔底部，蒸餾塔間設有一個連接式熱交換器，可作為低壓塔

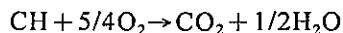
再沸器與高壓塔冷凝器迴流用途。氣態氮在高壓塔冷凝器冷凝，液態氣提供高壓塔和低壓塔回流，低壓塔回流時液態分離成氮氣與氧氣。氧氣存於低壓塔再沸器旁的液態氧氣池，運用時將在過熱器暖和後輸至氧氣壓縮機和管線，氮氣連續經低溫熱交換器與過熱器暖和後飼入氮氣壓縮機和管線。屬於安全需求，本系統氧氣管路應採用Monel(鎳—銅合金)／Inconel 600(鎳—鉻合金)不鏽鋼與低速流動<sup>(10)</sup>。

## 2.2 石油煉製殘渣氯化合成氣系統

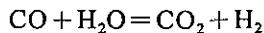
石油煉製殘渣與源自空氣分離系統產生的不足量氧氣在設定溫度和壓力氯化器製程一齊進入與並流(concurrent)流過燃燒器內進行完全燃燒，其為非催化反應，促使石油煉製殘渣轉化為合成氣體產物，主要為氫氣與一氧化碳



及少量水蒸、汽二氧化碳、硫化氫、甲烷和氮氣



另有可逆水—氣體轉移反應



合成氣離開燃燒器後，在具備管殼式節熱器的火管式冷卻器一方面進行冷卻，另一方面產製高壓蒸汽供給汽輪機使用。接著合成氣送至二座洗滌塔洗滌，移除挾帶粒狀污染物，自第二座洗滌塔頂上流出的焦粒狀污染物合成氣則輸到低溫合成氣冷卻系統。水洗由洗滌塔再循環，移除固體洩流水送至灰水處理系統，自此系統流出的澄清水(灰水)回到洗滌塔作為補給水，系統流程如圖2所示。

至於氯化器破損防範方式說明如下：

1. 氯化器在其環形空間需裝設釋壓閥，一旦燃燒器跳脫時可釋出充氮作用，抑制其供氧壓力，防止系統破損。
2. 耐火保固
  - (1)未冷卻處以震動鑄造低密度混凝土耐火裡襯牆防護，並設置溫度感應系統預測「熱點」，防止外緣容器過熱。
  - (2)熱傳管嵌在一起，然後以氣力式塗入約5公分厚度塑性耐火材料，考量使用鐵／鉻(1.6至2.0)和鎳／鉻(1.0)合金鋼，見圖3與圖4<sup>(11)</sup>。

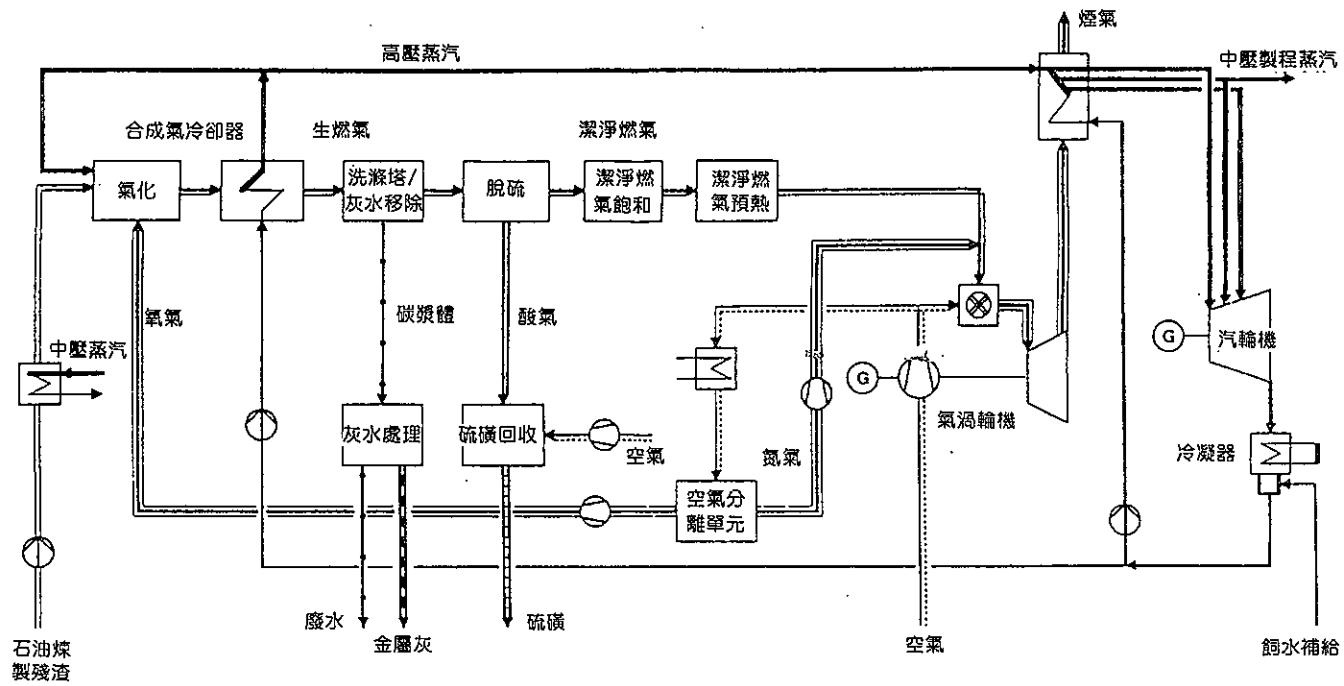


圖2 氣化與複循環機組整合流程

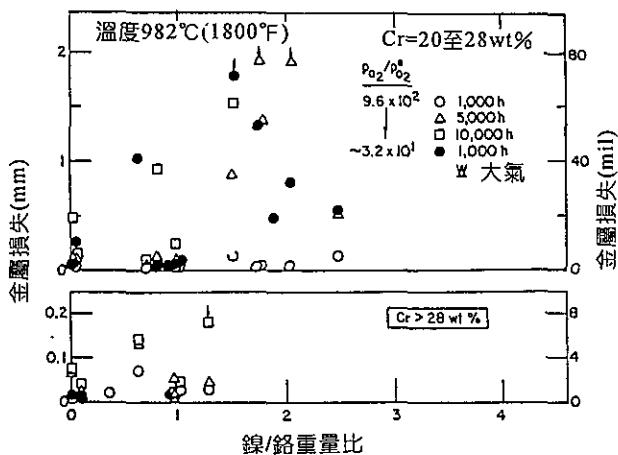


圖3 鐵鎳鉻合金金屬損失與鎳／鉻重量比的關係

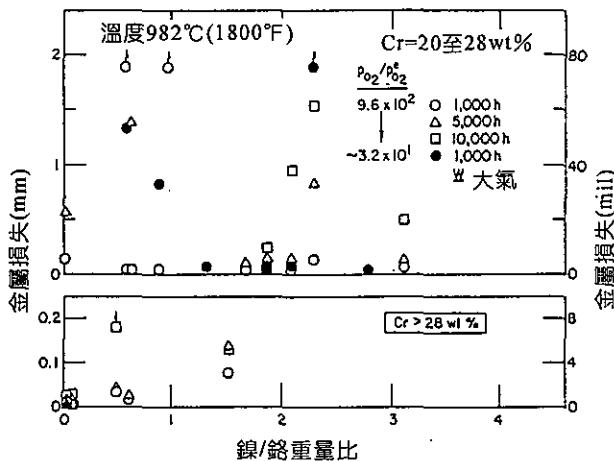


圖4 鐵鎳鉻合金金屬損失與鐵／鉻重量比的關係

- (3)耐火裡襯牆面外緣容器以鋁夾層絕緣。
- (4)燃燒器部底使用矽或鎳鉻碳化物瓷磚結構。
- (5)設置安全系統在緊急情況能提供即時安全可靠停機。

- (6) 設置熱電偶測試氯化器反應溫度，並有甲烷分析儀輔助熱電偶監測。
- (7) 燃燒器冷水迴路設置一氧化碳靈敏偵測器，能偵測一氧化碳是否洩至冷水迴路。

### 2.3 低溫合成氣冷卻系統

洗滌過的合作氣首先進入再循環清洗塔清洗，汽提出的冷凝液作為補給與洩流水來確認塔內染負荷低微。合成氣清洗後給予冷卻和冷凝，清淨的合成氣送到氣渦輪機燃燒。熱水再從一串熱交換器和除濕槽移出來加熱發電機組廢熱爐飼水，而不潔的合成氣（成份及組成參見表3）則輸至酸氣移除系統繼續處理。

洩流水含有水量溶解質礦物質，送到灰水處理系統後再循環回至洗滌塔。不含溶解性固體的冷凝水傳到胺液汽提塔，在流出塔之前溶解性氣體被移除。

冷卻器在長期運轉下，低合金鋼和低鉻鋼不適合使用，可考量採用 Austenitic 不銹鋼，但需襯套(cladding)防止停機酸水孔蝕<sup>(12)</sup>。

表3 合成組成

成份	合成氣組成(mole%)	
	石油殘渣進料	石油焦進料
CO	45.62	47.72
H <sub>2</sub>	43.32	30.33
CO <sub>2</sub>	8.17	17.88
H <sub>2</sub> O	0.27	0.12
CH <sub>4</sub>	0.35	0.01
Ar	1.00	0.83
N <sub>2</sub>	0.53	1.27
H <sub>2</sub> S	0.71	1.76
COS	0.00	0.02

## 三、合成氣發電系統原理

氣渦輪機的操作原理係首先空氣經過濾器過濾和進入壓縮室加壓後，再此高壓氣體導入燃燒室中與加入潔淨合成氣混合燃燒，產生高溫高壓的氣體來推

氣渦輪作功。所產生的功一部份來驅動壓縮機作功，其餘用來推動氣渦輪機驅動的發電機發電，此為熱力學上Brayton循環。在此種熱力循環中若排氣溫度不變，燃燒溫度愈高，則作功愈多，而且熱效率愈高。另排氣溫度甚高，藉著廢熱鍋爐此熱能回收產生高溫高壓的蒸汽，利用蒸汽來推動汽輪機發電，而作完功的蒸汽經由冷凝器冷凝成水，再由凝結水、泵除氧器、廢熱鍋爐飼水泵送到廢熱鍋爐，此即熱力學的Rankine循環。汽輪機冷凝器的溫度愈低，產生真空度愈高，則蒸汽在汽輪機中所能作的功愈多。

有關系統熱平衡與流程，請參考圖2。

#### 四、合成氣氣體污染防治系統與保固

殘渣氣化產生合成氣為燃料，因此氣化系統產生的主要空氣污染物為硫化氫、硫化碳等，將設置封閉式酸氣移除、硫磺回收和尾氣收等三個系統處理，可把硫化氫和硫化碳轉化成具回收價值的硫磺，示意流程如圖5所示。

##### 4.1 酸氣移除系統

酸氣移除系統的主要目的在於達到最大硫磺移除率和二氧化碳最小吸收率，值得注意的是酸氣中需維持低一氧化碳濃度，一方面促進飼入硫磺回收系統的硫磺能有高濃度，另一方面合成氣中二氧化碳的滯留將消耗氣渦輪機的輸出電力。

本系統洗滌胺液對於酸氣中的二氧化碳可以突顯其選擇性，列之如下：

成份	吸收塔移除率
二氧化碳	20.0
硫化氫	99.9
硫化一氧化碳	30.0

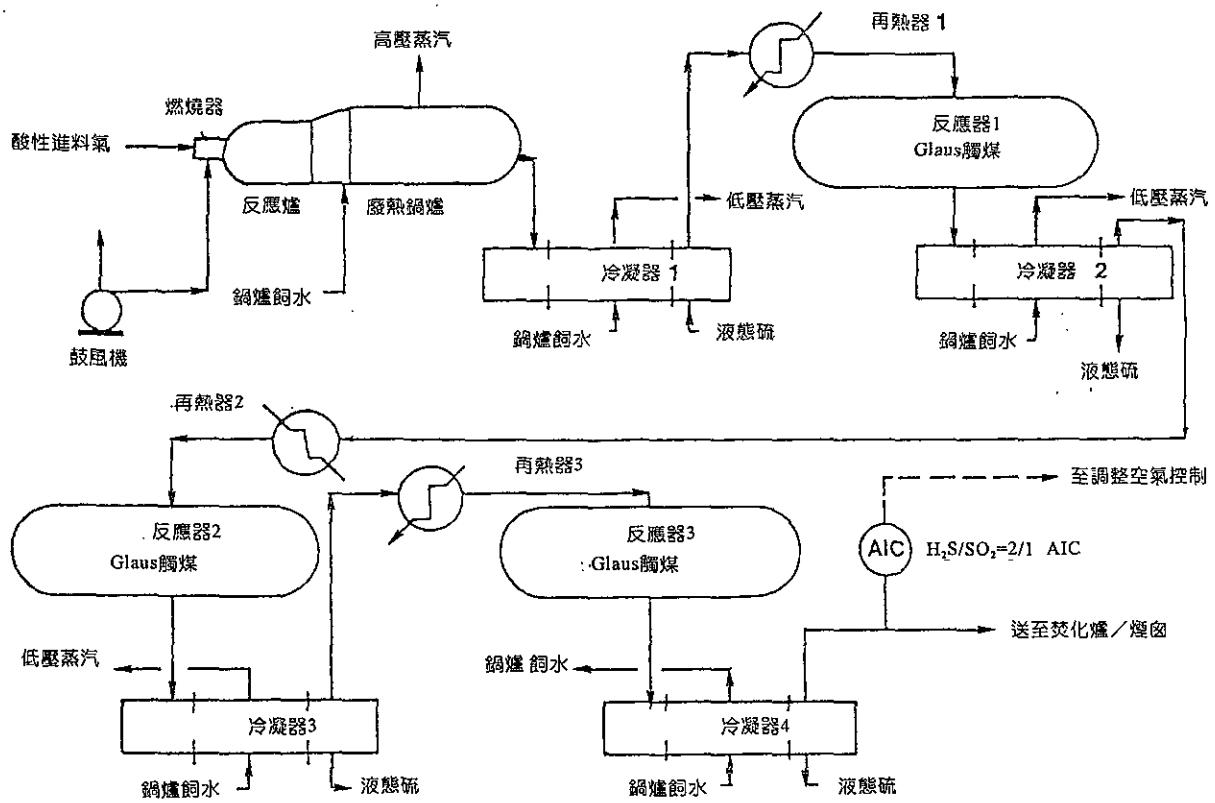
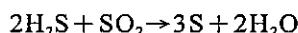
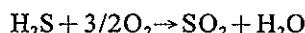


圖5 合成氣淨化系

源自低溫合成氣冷卻系統的合成氣，流入酸氣吸收塔與溶劑逆流接觸，反應後產生的潔淨氣體送渦輪機。自吸收處理後流出的富溶劑(rich solvent)送入貧(lean)/富溶劑交換器，接受從汽提塔(stripper)產製的熱再生溶劑加熱。富溶劑然後直接輸至汽提塔，在此器內採取 壓飽和蒸汽移除酸氣，溶劑／水混合物部份蒸發形成汽提蒸汽。酸氣向上流經汽提塔頂端的冷凝器，大量水份和少量酸氣在50°C冷凝，蓄汽槽(accumulator drum)回收冷凝液及送回汽提塔。貧/富溶劑交換器流出的汽提塔交繼續於氨冷卻器加以冷卻。

#### 4.2 硫礦回收系統

硫礦回收系統主要目的在於達成98%硫礦回收率，源自酸氣移除系統吸收塔酸氣、尾氣回收系統再循環尾氣、灰水處理系統灰水閃變(Flash)酸氣和廢水處理系統、胺液汽提塔頂流氣體一齊飼入硫礦回收系統燃燒爐，爐內部份酸氣轉化為二氧化硫，再與部份旁通爐外酸氣反應生成氣態硫



反應後氣體藉冷凝器冷卻回收液態硫，並同時產生低壓蒸汽提供發電機組廢熱鍋爐使用。未冷卻和反應的氣體重新加熱控制其溫度，由三段式觸媒轉化器再轉化反應廢熱回收與冷凝回收其餘液態硫，冷凝產生的尾氣流經聚結器後向尾氣回收系統處。冷凝器硫礦造粒器加以粒化銷售。

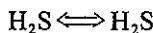
#### 4.3 硫礦脫氣系統

硫氫化物( $\text{H}_2\text{Sx}$ )分解成硫礦，其為慢速反應



液體 溶解 液體

硫化氫溶於液相，藉物理去附作用進入氣相



溶解 氣體

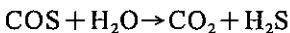
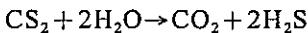
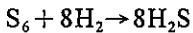
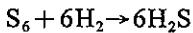
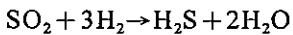
硫礦脫氣主要是將溶於熔融硫中之氣體硫化氫趕出，並加速分解硫氫化物成熔融硫及硫化氫，避免硫礦儲存時產生潛在毒性與爆炸危害。

#### 4.4 尾氣回收系統

本系統其主要目的在於處理硫礦回收系統所排出的尾氣，降低排氣對空氣的污染，並回收尾氣中殘餘的硫份達到99.95%污染轉化率，由下列三個單元組成：

##### 4.4.1 還原部份

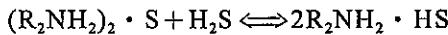
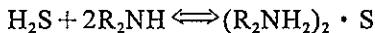
從硫礦回收系統送出的尾氣經加熱處理後，進入固定床觸媒反應器執行還原反應，將尾氣中硫化物轉化作硫化氫



反應後產生的中壓蒸汽送入驟冷塔(quench tower)驟冷，此塔具有空冷卻器的再循環水迴路把熱移除，蒸汽冷卻成冷凝水後在塔內再循環。

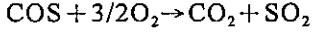
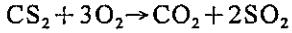
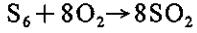
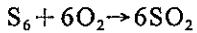
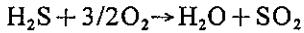
##### 4.4.2 吸收部份

冷卻的蒸汽再輸至酸氣吸收塔，此塔通入胺液，利用其對硫化氫吸收選擇性，以接觸逆流反應自尾氣中分離



##### 4.4.3 氧化部份

經吸收處理後的氣體先送往除濕槽(knock out drum)加熱，再輸至觸媒焚化爐將氣體最終餘微量的硫化氫、二氧化硫和硫化羰(COS)等有害物質完全氧化成二氧化硫



氧化後的氣體與發電機組廢熱鍋爐產生的廢氣加以混合，從廢熱鍋爐煙囪排出大氣。

#### 4.4.4 汽提部份

自吸收處理後流出的富溶劑(rich solvent)送入貧(lean)/富溶劑交換器，接受從汽提器(stripner)產製的熱再生溶劑加熱。富溶劑然後直接輸至汽提塔，在此器內採取低壓飽和蒸汽移除酸氣，溶劑／水混合物部份蒸發形成汽提蒸。汽酸氣向上流經汽提塔頂端的冷凝器，大多水份和少量酸氣在49°C冷凝，蓄汽鼓(accumulator drum)回收冷凝液及送回汽提塔。貧/富溶劑交換器流出的汽提塔交流繼續於氨冷卻器加以冷卻。貧溶劑溢流則濾去固體與有機污染物，剩餘濾液隨著主溶劑流再進入酸氣吸收塔。

### 4.5 系統保固

#### 4.5.1 胺液處理

胺液處理環境的腐蝕破損型式說明如下<sup>(13)</sup>：

- 1.一般腐蝕：胺液處理環境常見是未能測得無法預測或過早破損的局部腐蝕。
- 2.電流腐蝕：一旦兩個異種金屬結合一起，引發不同電位而形成電流(galvanic)腐蝕。
- 3.間隙腐蝕：金屬與非金屬若有間隙，引發電池作用而腐蝕。
- 4.點蝕：通常在少數局部點蝕破壞穿透，碳鋼抗孔蝕能力優於不銹鋼。
- 5.晶腐蝕：大部份不銹鋼如果不適當熱處理或銲接，鉻碳化物沉析於晶界引起腐蝕。
- 6.選擇溶出：在含氧情況下，Monel或70/30銅鎳合金將會溶出銅元素而腐蝕。
- 7.沖蝕：固體粒子或氣體氣泡懸浮於液體，其將凝蝕加速金屬劣化速率或破壞相對移動腐蝕。
- 8.應力腐蝕龜裂：酸鐵一旦形成，胺液將在金屬存在應晶使其破裂。
- 9.氫脆化：胺液內含有硫化氫會造成氫脆化(embrittlement)。

有關胺液處理系統保固的方式為<sup>(13)</sup>：

- 1.冶金：初步材料選擇

## 38 石油煉製殘渣氣化合成氣發電中氣化及合成氣氣體污染防治系統的保固

- (1)吸收塔(殼、內部)：碳鋼
- (2)貧/富溶液交換器
- (3)管(富溶液)：不銹鋼
- (4)殼(貧溶液)：碳鋼
- (5)貧胺液冷卻器(管、殼)：碳鋼
- (6)再生塔
  - 殼：碳鋼
  - 內部：不銹鋼
  - 再沸器
    - 管：不銹鋼
    - 殼、管板、蒸汽側管道、碳鋼
  - 迴流冷凝器(管、殼)：碳鋼
  - 迴流槽：碳鋼
  - 泵
    - 外殼：碳鋼
    - 翼片：不銹鋼
  - 管路
    - 富胺液：不銹鋼
    - 貧胺液：碳鋼

另外應力消除，防止設備和管路龜裂亦一大重點。

### 2.管路和容器流速

低酸閃變可維持二氧化碳及／或硫化氫於胺液，控制其腐蝕，減少湍流和局部壓力降，能使流速不受限制；降低泵的吸入壓力降，可防止孔蝕與抑制小氣泡形成。

### 3.控制閥

控制閥按位置能減少酸氣閃變和相關腐蝕，以及高速的兩相流。

至於各項處置胺液設備均裝置釋於閥，俾便環境考量集中收集洩漏胺液，而不會進入主洩流系統。

#### 4.5.2 酸氣燃燒

酸氣燃燒在高溫下運轉，單層氧化鋁耐火材料無法保護過熱的外緣鋼製器，造成硫化物直接破壞耐火材料和鋼容器因將過冷而造成酸性腐蝕因此考量雙層加強耐火材料<sup>(14)</sup>。

#### 4.5.3 廢熱鍋爐

爐管曝露於熱燃燒氣體，必須加以防護來維持其壽限<sup>(15)</sup>。為了達到爐管與管板配件間完整性，可配合薄管板、加大管子距離、大尺寸管子、絕緣包裹套圈、管板面耐火絕緣、高品質管配件的焊接最能降低爐溫，但需考慮管板承受溫度輪廓來避免劣化洩漏<sup>(16)</sup>。不論製程氣流成份如何，常見的問題是爐管積鹽，採用大尺寸管子需有足夠的空間來絕緣包裹套圈。在運轉時套圈相當熱，不得接觸爐管任何部份，需要給予絕緣<sup>(16)</sup>。

#### 4.5.4 硫礦冷凝器

硫礦冷凝器設計足夠高的量流速，防止系統負載轉小(turn down)條件下引發「硫礦霧化」，避液態硫礦無法從分離器製程氣分離出來。另外液態硫礦洩流下端和管嘴以蒸汽套住，防止固態硫礦堵塞，同時洩流亦考量易於清洗與卸<sup>(15)</sup>。

#### 4.5.5 觸媒床

觸媒床撐材料一般為碳鋼支撐地板和不銹鋼，防止觸媒自反應器移至冷凝器，避免堵塞硫礦洩流下端與冷凝器管子。另外觸媒床內外層的絕緣，將考量反應溫度和內外層的相互厚度。反應器底端的管嘴具有沖洗設施，防止腐蝕物質積留於管壁<sup>(15)</sup>。

#### 4.5.6 硫礦管路

硫礦管路區分為液態硫礦洩流管路與蒸汽製程管路，前者因硫礦在118°C結凍，將適當加熱(163°C以下)和絕緣來防止硫礦固化，後者亦重絕緣防止硫礦蒸汽冷凝及/或昇華。大型蒸汽製程管路特別需注意熱膨脹，由於觸媒反應器出口溫度在204~360°C即發生此種情況，會危及容器、熱交換器和管子，因應安不銹鋼盤旋式膨脹接頭或迴路來防範。冷凝器通常液態硫礦密封，避免硫礦點蝕而造成未冷凝氣體溢流出大氣<sup>(15)</sup>。

## 五、結論

### 1.石油煉製殘渣氣化合成氣系統的保固方式

- (1)空氣分離系統的氧氣管路採用Monel(鎳—銅合金)/Inconel 600(鎳—鉻合金)較為適合，而且需低速流動加以配合。
- (2)氣化器需裝設釋壓閥來抑制燃燒器跳脫時的供氧能力，同時亦需著重耐火保固，防止破損。
- (3)低溫合成氣冷卻系統採用Austenitic不鏽鋼與增設襯套(cladding)，防止停機時酸性孔蝕。

### 2.合成氣體污染防治系統保固方式

- (1)胺液處理系統需適當選擇材料、維持管路和容器低流速，以及按裝控制閥防止洩漏與高速兩相流。
- (2)酸氣燃燒爐需裝設雙層耐火材料，防止高溫破損。
- (3)廢熱鍋爐管需考量管板、管間距、管徑、絕緣包裹套圈、管板面絕緣加以配合，防止劣化洩漏。
- (4)硫磺冷凝器需設計足夠高的質量流速，防止硫磺霧化無法分離，並以蒸汽套住(含膨脹接頭)液態硫磺洩流下端和管嘴，避免固態硫磺堵塞。
- (5)觸媒床需有良好支撐結構防止觸媒位移，另外要適當絕緣維持反應溫度。

## 參考文獻

- 1.Heaven, D.L., "Gasification Converts a Variety of Problem Feedstocks and Wastes", Oil & Gas Journal, PP.49~54, May. 27, 1996.
- 2.Emsperger,W.Karg, J., Voigtlander, "IGCC Holds Promise for Burning Oil Residues", Modern Power System, PP.19~23, April,1995.
- 3.Mark Sisouw de Zilwa, Michiel van Kooten, "Power plant Function in Refinery Upgrading", HTI Quarterly, PP.67~71, Autumn, 1995.

- 4.Emsperger, W., Gunster, W., and Karg, J., "Energetic Use of Refinery Residues ", Siemens Power Journal, PP.24~27, April, 1995.
- 5.Ogata,Y., and Yoshimitsu, T., "Refinery Residues for Power Generation Through IGCC", HTI Quarterly, PP. 63~66, Spring,1995.
- 6.Irvine, R.L., and Kulberg, H.A., "Converting Carbon Residue to Power and Hydregen Needs", HTI Quarterly, PP.47~50, December, 1994.
- 7.Falsetti, J.S.,Wilson, R.F., and Waguespack, K.G., "Hydrogen Coproduction with Gasification from Heavy Feeds", HTI Quarterly, PP.45~ 50, August, 1994.
- 8.Farina, G.L., Fontana, M., "Cogeneration Refinery for Total Residue De-stuction", Hydrocarbon Processing, PP.52~56, November, 1993.
- 9.Tamburrano, F., "Disposal of Heavy Oil Residues, Part 2", Hydrocarbon Processing, PP.77~88, October, 1984.
- 10.Lowrie, R., "Materials for Oxygen Service", Chemical Engineering, PP.75~80, April 27, 1987.
- 11.Natesan, K., "High-Temperature Corrosion in Gasification Systems", Corrosion, Vol. 41, No.11, PP.646~655, November, 1985.
- 12.Nakker, W.T., Perkins, R.A., Lierre, J.V., "Corrosion in Syngas Coolers of Gasification, Combined Cycle Power Plants", Materials Performance, PP.9~17, January, 1985.
- 13.Du Pary, M.S., Bacon, T.R., Edwards,D.J., "Understanding Corrosion in Alkanolamine Gas Treating Plants, Part I ", Hydrocarbon Processing, PP.75~80, April, 1993.
- 14.Watson, R.W., and Hull, R., Sarssam, A., "The Successful Use of Oxygen in Claus Plants", HTI Quarterly, PP.95~101, Winter, 1995-96.
- 15.Parnell, D., "Look at Claus Unit Design", Hydrocarbon Processing, PP.114~118, September,1985.
- 16.Walker, L.P., and Leavitt, D.R., "An Initiative to Reduce Sulphur Emission Limits" ,HTI Quarterly, PP.25~29, Autumn, 1994.