

日本公害防治技術之現況及展望

李科甲 *譯

一、前　　言

在日本國內，伴隨工場及事業活動所產生之排煙等有“大氣污染法”來予以規範。鍋爐或各種加熱爐等固定污染源燃燒時排氣成份中受規範之項目包括煙塵、硫氧化物及氮氧化物幾項。

尤其近年來衍生國際問題，造成酸雨及有害光化學霧之主要空氣污染物－硫氧化物(SO_x)及氮氧化物(NO_x)，各先進國家無不致力於研究降低其排放量之方法。例如針對液化天然氣(LNG)、重油、煤炭等各種不同燃料，已發展出燃燒改善技術及排煙處理技術。而日本新銳燃煤火力電廠係引用最先進之排氣綜合處理系統，目前已受到各國注目並技術輸出到歐美國家。

本文係針對降低前述固定污染源所排放之 NO_x ，及 SO_x 之技術來討論，並以使用於火力電廠中鍋爐之排煙處理設備之現況為主來敘述其今後之展望。

二、綜合排煙處理系統

日本於1984年起為配合推行能源多元化政策，以減輕對石油之依賴，遂使用各種不同之燃料於電廠、石化廠等工業界。而配合彼等不同燃料之使用，亦同時開發了排煙處理系統以因應法規之要求。圖1係針對使用不同燃料而有不同空氣污染防治系統之組合例。例如：

1. 使用液化天然氣、低硫重油等較乾淨燃料之情形——於鍋爐之節炭器出口處僅按裝脫硝設備即足以降低煙道排氣中硫氧化物之濃度。
2. 使用高含硫重油為燃料，排氣中將含有高濃度之硫氧化物；使用燃煤則有高濃度之飛灰。此二種情形除了鍋爐節炭器出口處按裝脫硝設備以外，尚須經除塵、脫硫系統等加以配合。
3. 新銳發電廠內，係組合排氣透平及廢熱鍋爐蒸汽透平之複循環工場。因脫硝設備之位置會受到脫硝觸媒操作溫度之影響，故將脫硝設備設置於廢熱鍋爐內。
4. 中小規模之汽電共生系統中，其柴油引擎及透平設備多半使用輕油或煤油等良質燃料，故按裝脫硝設備及集塵設備之情形並不多；但在總氮氧化物排放量有嚴格限制之處，則中型以上之汽電共生系統大多按裝有排煙脫硝設備。

*中鼎工程股份有限公司化工專案組長

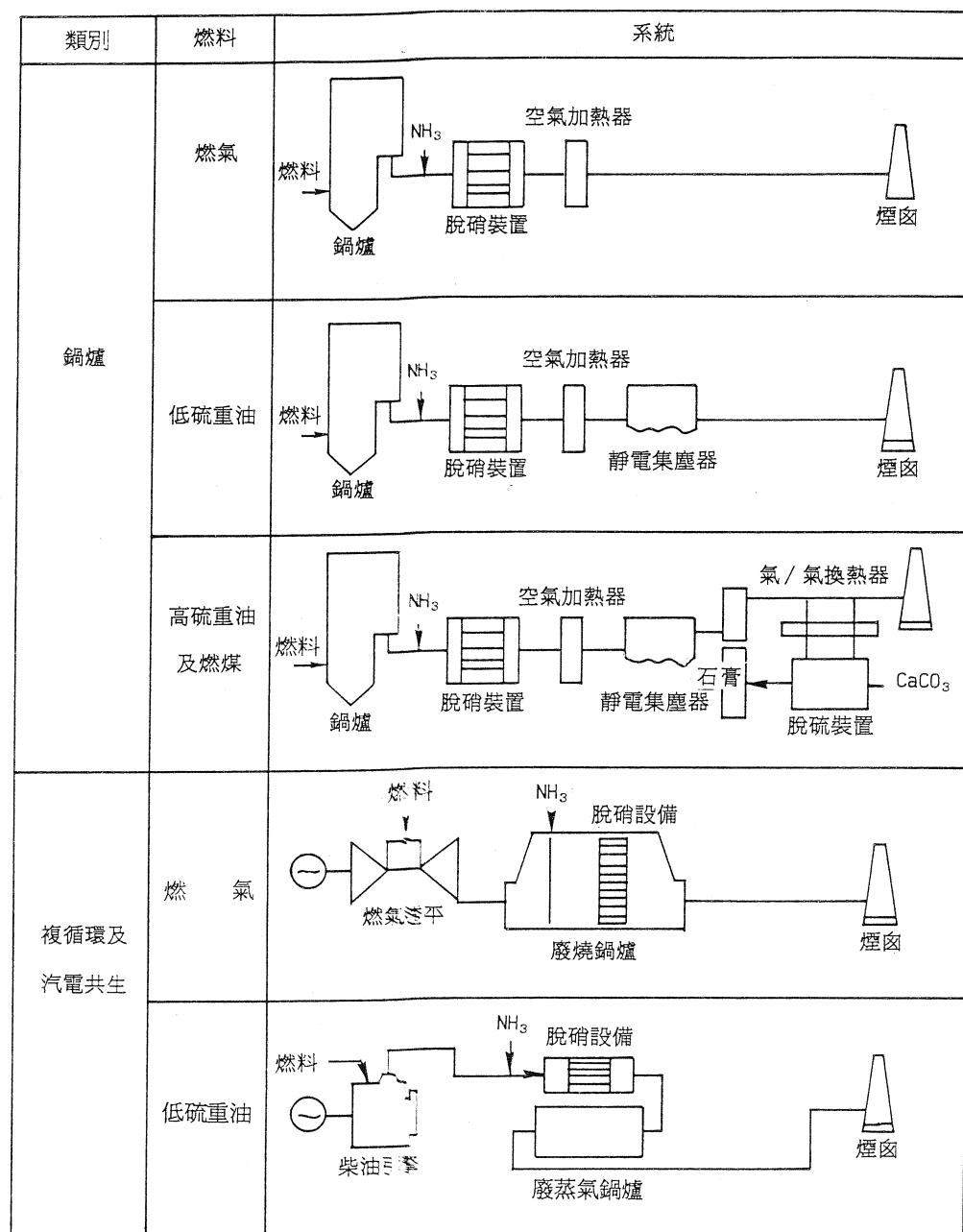


圖 1 綜合排煙處理系統

三、硫氧化物之控制

降低煙道氣中硫氧化物之對策不外：1. 使用低硫燃料（如液化天然氣、輸入低硫原油及脫硫重油）。2. 設置排煙脫硫系統二種方法。排煙脫硫系統大致上分為濕式法及乾式法，圖2係目前操作中或開發中脫硫系統之簡單流程。在此針對較常使用之系統介紹之：

1. 氢氧化鎂或氫氧化鈉水溶液吸收法：通常使用於中小型電廠，汽電廠；基於經濟之著眼點，通常將廢液以空氣氧化後不予回收（非回收型之製程）直接放流。
2. 石灰石、石膏法：普通使用於大型電廠內，主要是使用石灰石泥漿吸收煙道氣中之二氧化硫。此法具有高脫硫效率(90~95%)及生產得高品質之石膏副產品等優點。此種排煙脫硫系統之簡單流程如圖3所示，排自上游靜電集塵器之煙道氣經脫硫風扇增壓後，送往氣/氣換熱器予以冷卻之，再導入吸收塔內。而調製得之石灰石泥漿則於吸收塔內循環，藉著氣液接觸，煙道氣中之硫氧化物被吸收祛除。同時藉著空氣之氧化生成石膏副產品。脫硫後之煙道氣在氣/氣換熱器中被加熱後，經由煙囪排放到大氣。部份吸收液由離心分離機回收石膏後，其澄清濾液仍被送回吸收塔。為了排出部份吸收液內累積之不純物質，將其送往廢水處理設備處理之。石膏回收部份，則通常使用儲槽氧化法。其方法係將空氣直接吹入吸收塔下方之吸收塔液儲槽，如此可將在吸收塔內及儲槽內吸收得之硫氧化物全部轉換成石膏。吸收塔及儲槽內產生之化學反應如圖3所示。此方法之特色，係為了將與石灰石反應之亞硫酸變成硫酸，增加反應速度，有利於提高脫硫性能之優點。

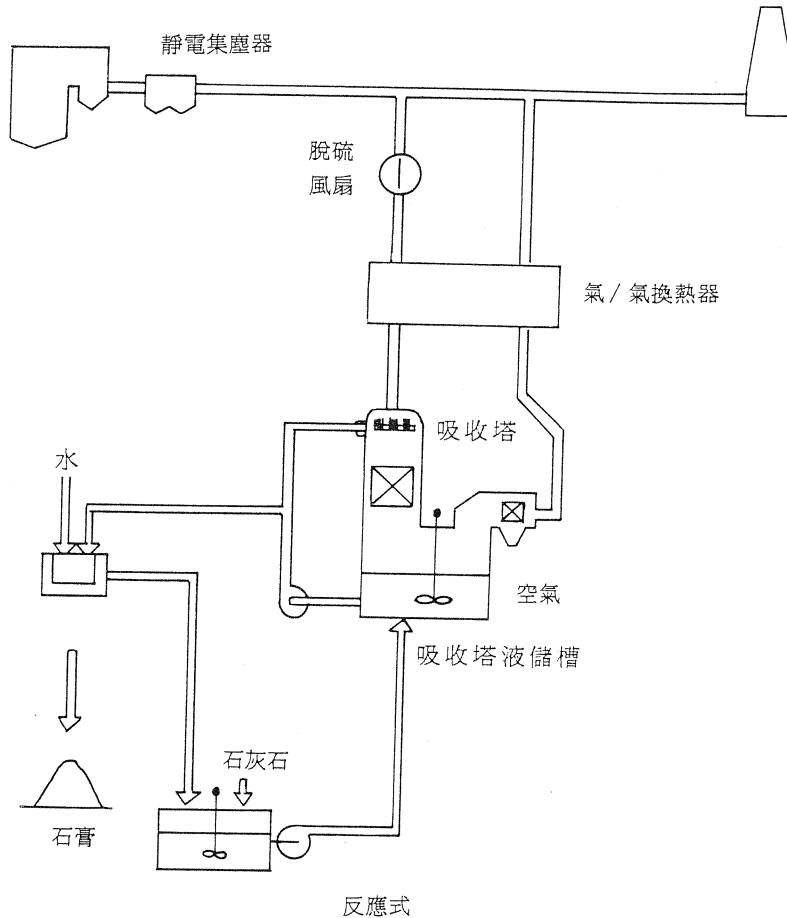
最近脫硫系統發展之趨勢，有朝向將除塵、吸收、氧化等過程一體化而使設備袖珍者，或為了減少排水量而簡化系統者。圖4係其中一例，配合美國能源部(DOE)，積極地推行淨煤技術(clean coal technology)而發展出之改良型濕式石灰石、石膏法。目前此系統已使用於二個專案所作之實機展示(528MW)，此系統係使用日本三菱重工之專利並預定於1992年夏季開始運轉，此專利採用了下列幾種新開發之技術：

- (1)吸收塔模組大型化（使用單一吸收塔處理230萬Nm³/H之煙道排氣量。）
- (2)吸收塔袖珍化（氣液並流方式增加煙道氣流速，加大硫氧化物吸收速度，使吸收塔槽徑變細袖珍化。）
- (3)提高氧化槽內之氧化效率（使用具有攪拌與空氣供應併行功能之回轉式空氣混合器(air sparger)，較以往有2倍以上之高氧利用率，即使高硫燃煤之情形，亦可藉吸收塔下側儲槽氧化法將吸收得之硫氧化物全量轉換成石膏，其次，因使用之空氣量大幅度降低可節省能源。）
- (4)無排水化（利用靜電集塵器上游之排氣將排水蒸發，固態成份則由同一集塵器捕集之。）
- (5)石灰粉末之乾式供應（可節省用水及省略原料調製製程之合理化。）

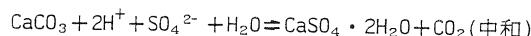
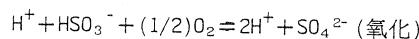
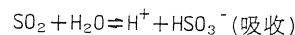
除此之外，省略了往昔須安裝之氣/氣換熱器；將脫硫設備出口排氣直接由煙囪排出。而且整個系統之壓降較低，可省略系統入口之脫硫加壓風扇設備。

	方法名稱	方法流程	實用狀況
溼式法	石灰石膏法		大～中規模工廠 實績較多
	氫氧化鎂 泥漿吸收法		小規模工廠實 績較多
	鈉基吸收法 (蘇打法)		適用於玻璃、 紙漿業或小規 模之產業
半乾式法	半乾式滌氣法		歐美之實績較 多
	活性炭法 (同時脫硫硝)		專燒煤 90MW 實用機 H5予定運轉
乾式法	電子光束法 (同時脫硫硝)		專燒煤 24,000 Nm³/h 已完成模廠
	煤灰利用法		專燒煤 350MW 實用機 H3予定運轉

圖 2 操作中及開發中脫硫技術之概要



1. 吸收塔



2. 儲槽

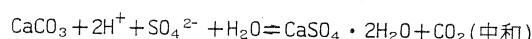
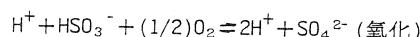


圖 3 脫硫設備系統圖

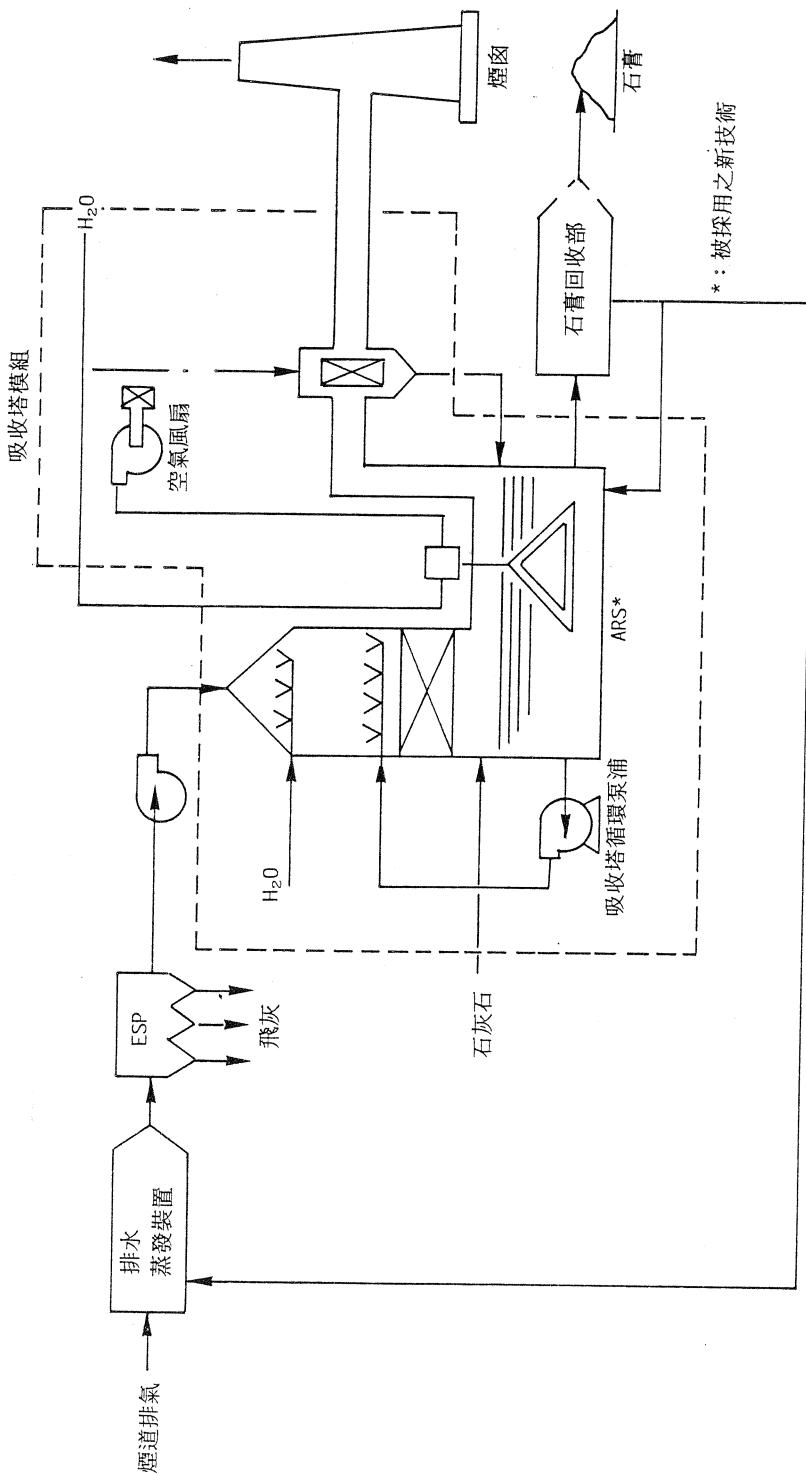


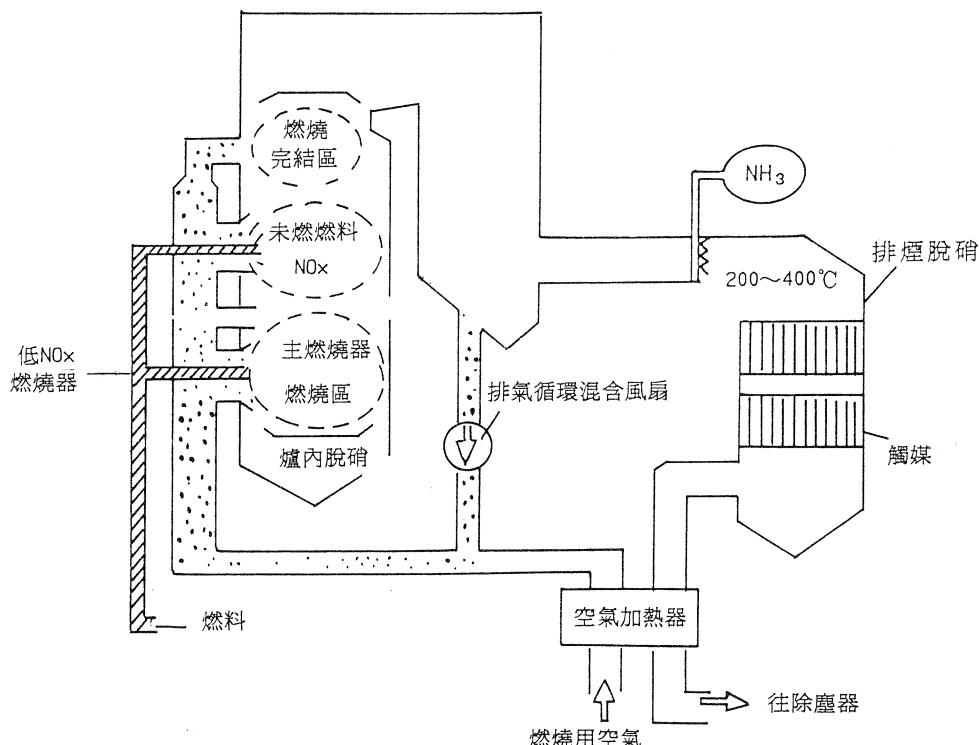
圖 4 DOE 實機展示之方法流程

四、氮氧化物之控制

降低煙道氣中氮氧化物之對策大致上可分成

1. 使用低氮燃料。
2. 改變操作方法或修改燃燒設備之所謂燃燒改善法。
3. 排煙脫硝法。

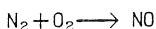
圖 5 係針對鍋爐綜合運用這些氮氧化物控制方法之說明。氮氧化物之控制技術，係以燃燒改善法為主體，輔以排煙脫硝設備之綜合系統，其技術已日臻成熟。雖然在日本之火力電廠大部份均著眼於燃燒改善之技巧，然而迄1988年止，燃煤之電廠已有54%設置有排煙脫硝設備，而對所有之火力電廠而言，則有37%已設置有排煙脫硝設備。



反應式：

①主燃燒區

通常之低NOx 燃燒

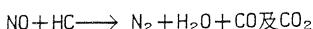


③完全燃燒區

還原區生成之一氧化碳(CO)或未燃成份之完全燃燒

②還原區

利用燃料(煙類)還原脫硝



④排煙脫硝

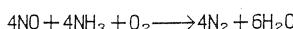


圖 5 鍋爐內 NOx 控制綜合系統之說明圖

4.1 燃燒改善技術

1. 低 NO_x 燃燒器：圖 6 係一大容量低 NO_x 燃燒器之概念圖，圖 7 係其原理。此低 NO_x 燃燒器中，分別有高空氣燃料比預混合焰之稀釋噴嘴與低空氣燃料比預混合焰之濃縮噴嘴組合於同一燃燒器中燃燒，如此造成整體之空氣比為 1.05（圖中之 (C) 點），對應此空氣比值之 NO_x 濃度值為 a 與 b 之平均值 c，由圖中可知 NO_x 之濃度已由一般燃燒器擴散焰之高 NO_x 濃度（圖中 d 點）降到 (c) 值之對應 NO_x 濃度。
2. 二段燃燒法，火上空氣 (over fire air, OFA)：主燃燒器口僅提供燃燒理論空氣量 85 ~ 90% 之燃燒空氣，使得燃料在氧氣不足之情況下燃燒，此主燃燒區溫度遂被降低，同時亦抑制了氮氧化物之產生。二段空氣則吹入爐內之後流區使整個燃燒系統完全燃燒。
3. 爐內脫硝法：基本上系統之組成包括有(1)主燃燒器之燃燒部(2)脫硝用燃料混入用之燃燒器上部及(3)使未完全燃燒部份完全燃燒之空氣餽入之部份（參考圖 5）。由主燃燒器噴入之燃料在(1)燃燒部燃燒產生 NO_x。此產生之 NO_x 於(2)項形成之還原區內還原成 N₂ 或 NH 化合物，其次，還原區生成之 NH 化合物或 CO 及未燃燒之碳氫化合物，則藉著上方吹入之空氣來達成完全燃燒之反應機構。此種爐內脫硝法適用於大容量之鍋爐。爐內之反應機構如圖 5 所示。最近發展之爐內脫硝法主流有結合二段燃燒及爐內脫硝，使其系統袖珍化之趨勢。

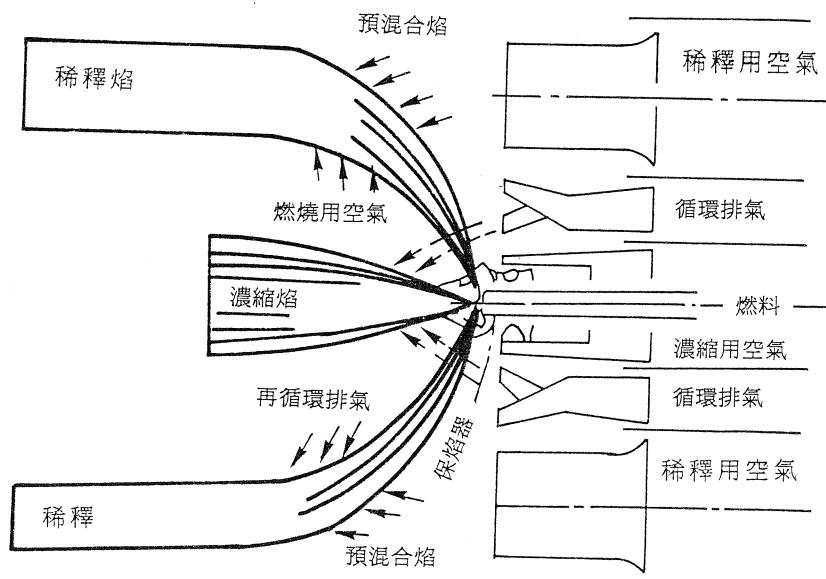
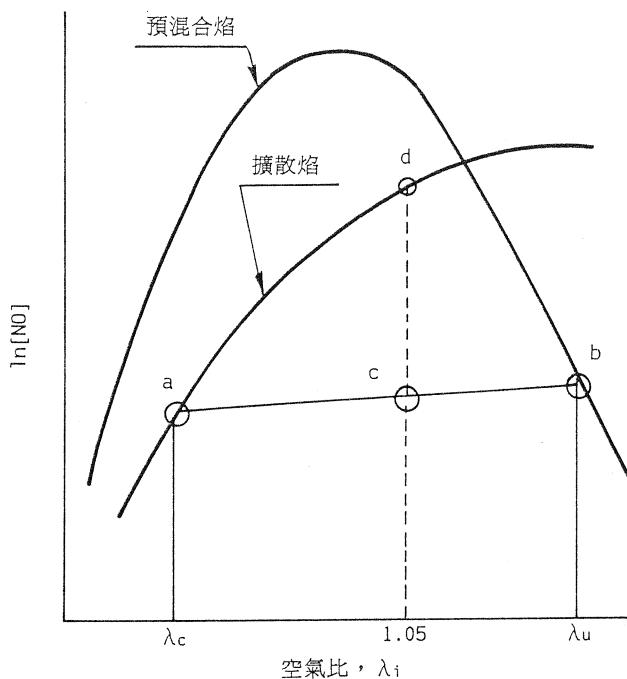


圖 6 低排塵PM 燃燒器之概念圖

圖 7 低 NO_x燃燒器原理圖

4.2 乾式排煙脫硝法

利用燃燒改善爐內脫硝方法對氮氧化物濃度之降低仍有一定之限制。若在 NO_x 之排放標準要求更加嚴格之情形下，則需採取煙氣處理之方法。以使用氨為還原劑之選擇觸媒還原法 (Selective Catalytic Reduction, SCR) 為例來說明之。其脫硝原理如圖 5 所示，藉著氨之注入及觸媒之作用，排氣中之氮氧化物被分解成無害之氮氣及水份。由於排氣溫度在 200~400°C 左右時，通常所用之脫硝觸媒其活性較高，故使用於鍋爐之脫硝設備習慣上置於鍋爐出口及空氣預熱器之間。

使用前述各種改善對策後，針對不同燃料的火力電場，NO_x 的排放濃度如圖 8 所示。

觸媒使用多孔性構造之金屬氧化物作為其擔體，如此活性體可以均勻地分散於擔體上面。擔體之材料通常使用排氣中硫氧化物無侵入之虞的鈦金屬。活性金屬則使用在高活性下仍鮮有副反應發生之貴金屬氧化物。脫硝觸媒之形成如圖 9 所示，為避色煙道氣中之塵粒堵塞觸媒層，平行煙道氣流型 (dust free type) 之格柵狀或板狀觸媒被廣為使用。圖 10 係使用格柵狀觸媒反應器垂直氣流之構造例。由最近之操作實績觀之，焚燒燃氣及重油燃料之情形觸媒壽命約為三萬到五萬小時左右。以煤碳作為燃料時，因煤灰中之鈣濃度會影響到觸媒之壽命，故以日本國內之情形為例，使用瀝青煤或日本國內產煤混燒之條件下，亦僅能期待在 2 萬至 3 萬小時之操作時間下觸媒仍具有足夠之耐久性。目前亦在朝開發高性能及適用於高溫條件下使用之觸媒。

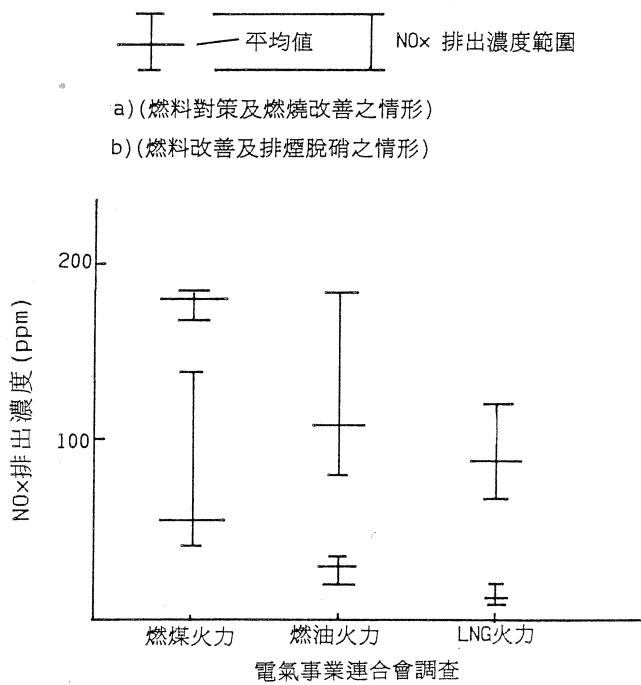


圖 8 NO_x 排出濃度

觸媒 形狀	數 mm~10mm 		
	粒狀 	板狀觸媒並流型	
適用	淨煙道排氣(LNG等)	髒煙道排氣 (燃油、燃煤)使用(淨煙道排氣也可適用)	

圖 9 脫硝觸媒形狀

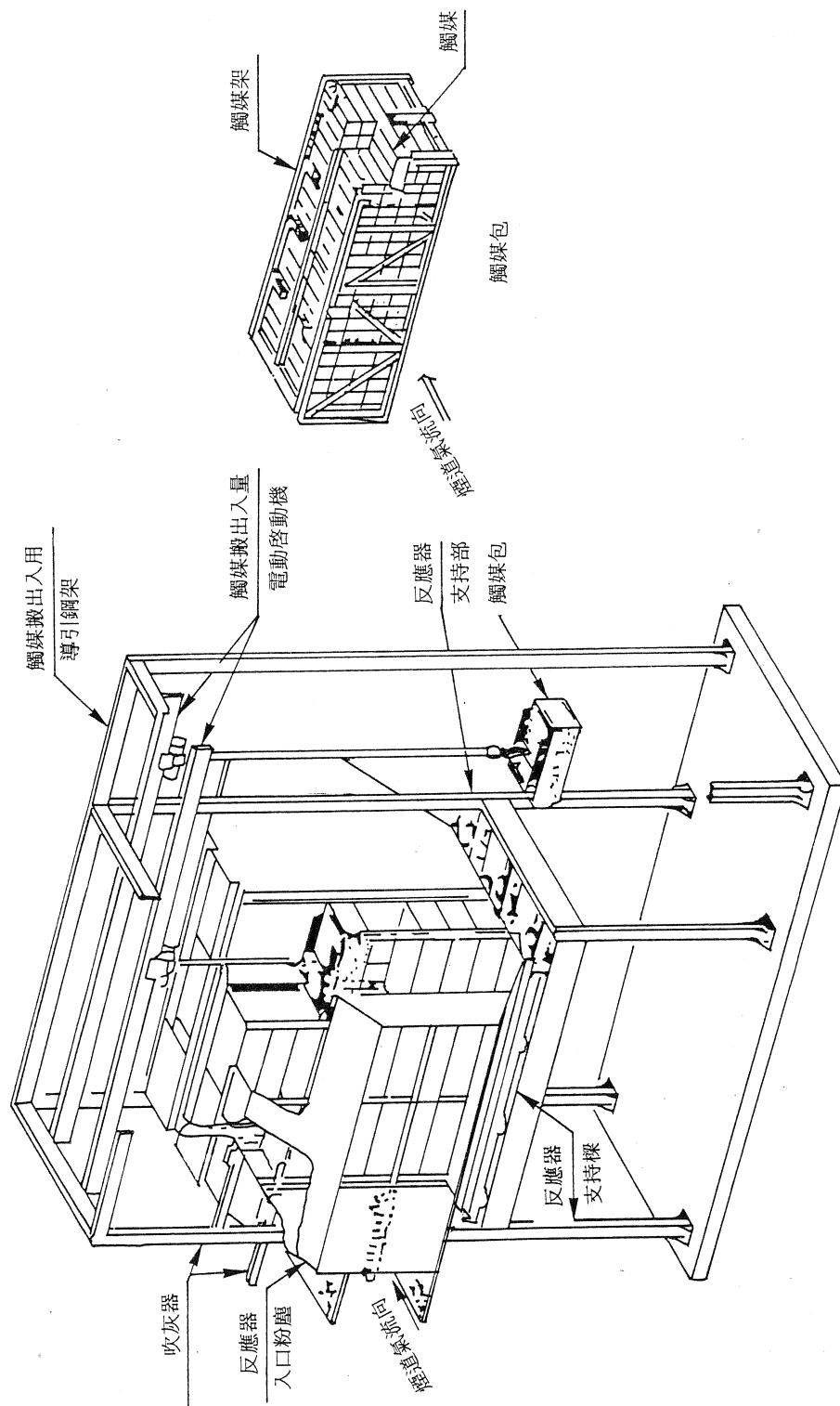


圖10 反應器之構造

五、結語

如前述日本在配合能源多元化政策，使用各種燃料之際，相繼開發出各種排煙處理系統。

控制煙道排氣硫氧化物以濕式石灰石膏法為主流，氮氧化物之控制則以燃燒改善法及乾式脫硝法為其主流，彼等技術均已日臻成熟，吾人則期望往更合理之系統來開發進展。

今天在單一國家所發生之空氣污染其影響將不僅限於該國境內。而是跨越國境以地球整體規模為其考量，以伊拉克焚燒科威特境內油田為例，其影響之深刻即為大眾所週知。故空氣污染防治技術之發展是相當迫切的。針對此種狀況，爾後各先進國家均應符合現狀之合理系統，例如以本文之綜合排煙處理系統為其範例，研究使用簡易之設備卻能達到相當程度之脫硫率之脫硫設備，作為地球整體環境污染對策之支援。就讓咱們拭目以待各種硫氯化物，氮氧化物控制技術之嶄新發展吧。

六、參考資料

1. 濱戶徵，日本公害防止技術現狀展望，配管技術，1991年9月。