

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：開會)

(裝訂線)

參加 2001 年電廠空氣污染控制研討會

服務機關：台灣電力公司  
出國人職稱：污染防治課長  
姓名：李建平  
出國地區：美國  
出國日期：90.08.19

報告日期：90.10.24

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加 2001 年電廠空氣污染控制研討會

頁數 9 含附件： 是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台電公司/人事處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話 李建平/台電公司/環境保護處/  
污染防治課長/02-23667220

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：90.08.19 至 90.08.28 出國地區：美國（芝加哥）

報告日期：90.10.24

分類號/目

關鍵詞：ESP：Electrostatic Precipitator（靜電集塵器）

SCR：Selective Catalytic Reduction（煙氣除硝系統）

FGD：Flue Gas Desulfurization（煙氣除硫系統）

FF：Fabric Filter baghouse（袋式集塵器）

內容摘要：（二百至三百字）

過去火力電廠管制空氣污染物為粒狀污染物、硫氧化物及氮氧化物等三項，但隨著環境空氣品質的提升，政府除了管制電廠上述的空氣污染物排放量之外，亦開始注意其他污染物的排放，汞就是其中一例。美國在各種研究發現

火力電廠與廢棄物焚化爐的汞污染物排放量佔其全國汞總排放量之第一、二名，而後者已列入管制且有改善成效，唯至今電廠尚未被管制，也無減量措施，因此訂定管制標準已迫在眉睫。美國一旦公告實施，我國一定會跟進，故有必要及早因應。

汞對人體的危害，已眾所周知，尤其對兒童更是不利。汞污染物排至大氣主要源自人類的活動所致。由於其生成污染物的機制與種類至今尚未確切掌握，不易以防治設備控制，目前僅知既有污染防治設備如 ESP（或 FF）與 FGD 已有去除效率，但未來如何控制汞污染物，除了技術之外成本將是重要之考量因素。

本公司現在首要工作，是先了解各電廠做的汞排放濃度，從而將來與環保單位溝通法規的制定，及研擬妥適的改善方案。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網（<http://report.gsn.gov.tw>）

# 參加 2001 年電廠空氣污染控制研討會

## 目 錄

一、研討會介紹.....	1
二、汞對人類健康的影響.....	1
三、汞污染的來源.....	2
四、美國汞污染的研究概況.....	3

五、 燃煤電廠的汞污染物.....	4
六、 汞化物的去除方法.....	7
七、 本公司因應對策之建議.....	9

## 一、 研討會介紹

本次研討會於九十年八月二十日至二十三日四天在美國芝加哥 Sheraton Arlington Park Hotel 舉行。會議由美國環保署、能源部、電力研究學會及空氣與廢棄物管理學會聯合主辦；報名參加者除美加政府相關人員、電廠、各污染防制設備廠家及相關團體外，在亞洲地區尚有日本、韓國與我國派員出席，總共約有一千人參與此盛會。

會議研討主題內容包括集塵器的性能提升、低氮氧化物燃燒

器的研發與改善經驗、煙氣除硫技術的創新、汞污染物去除技術與量測系統及系統整合去除空污技術等，其中以汞去除技術之議題最為熱門、精彩，因此吸引了大部份出席人員。

會議中共發表 132 篇論文及展示 35 篇專題報導，另外有 45 個展示攤位，使得整個會場十分熱鬧，不但活絡了研討的氣氛，而且充滿了商機。由於汞污染物去除技術為會議主要的議題，而且為各國環保單位所關注的焦點，因此本出國報告內容以汞污染物去除技術為主。

## 二、汞對人類健康的影響

汞為神經性毒性物質，它會造成人體智力、感覺中樞、運動神經的傷害，其中對胎兒與孩童的發育尤甚。

美國國家研究委員會在公元二〇〇〇年八月發表了「汞的毒性影響」再評估報告，確認了美環保署為保護孕婦所提合乎科學的數據限制汞每日曝露值為  $0.1 \mu\text{g}/\text{kg}$ ，另由一些與健康有關的報告顯示，在二千種食用魚當中，發現汞是主要化學污染物。在美國幾乎有百分之六十八的報告指出：魚與貝殼類受到汞的污染。甚且，最近美國食物與藥品署還發布限制某些海魚的食用，足見汞污染已進入了人類的食物鏈之中，吾人已不得不重視這個

嚴重的問題。

### 三、汞污染的來源

汞本來是很穩定的存在大自然之中，由於人類的活動使得穩定的它釋放出來，而污染了環境。其中將近有九成是經燃燒過程排放至大氣，如在美國汞污染物的兩大來源即是來自於燃煤電廠與都市垃圾焚化廠，每年分別排放 45~57 噸與 34 噸。唯後者正逐年改善降低中。

在燃燒的過程裏，元素汞 ( $\text{Hg}^0$ ) 與氧化汞 ( $\text{Hg}^{+2}$ ) 同時排放至大氣；元素汞在大氣中的生命週期可長達一至二年之久，而氧化汞相對地僅僅有幾天，因此元素汞可長距離的傳輸，而氧化汞與粒狀物汞則沈降在排放源周界處。一旦汞沈降在陸地或水裏，則馬上轉變為甲基汞 (methylmercury)，而形成有機形態而進入食物鏈中。

## 四、美國汞污染的研究概況

美國環保署在 1998 年開始建立 Information Collection Request (ICR), 收集不同燃煤的汞含量與煙囪排放的汞排放量等資料。同時美國電力研究學會利用上述資料再估算進入電廠的汞含量有多少, 全部與各特定的汞污染物排放量, 及它們對環境影響的濃度等等。

ICR 包括三個部份: 第一部份要求火力電廠提供其基本資料並擇廠參予後續計畫, 第二部份請 25MW 以上的燃煤機組在 1999 年中按季提供其燃煤之儲運量與汞含量; 第三部份請 84 個燃煤機組任意選擇不同空氣污染防治設備與煤種同時進行上、下游煙氣的汞污染物檢測。然後利用這些檢測資料去評估汞的去除效率與其污染物排放量, 如表一、二摘錄所示。

表一、煤質分析

Coal Analysis, Dry Basis	Eastern Appalachian	Western Subbituminous
Hg, ppm	0.126	0.068
Cl, ppm	1064	124
S, %	1.67	0.48
Ash, %	11.65	7.92
Ca, ppm	2,700	14,000
Btu/lb, dry	12,900	9,300
Moisture, %	2.5	19.4

表二、汞排放量

Values Based on ICR Date	Eastern Bit.	Western Subbit.
Coal Burned, % of US	55	35
Uncontrolled Mercury Emissions, 1b/TBtu	7.0	5.7
Avg. Mercury Stack Emission, 1b/TBtu	2.6	4.6
Avg. Removal, %	63	20
Particulate Mercury Leaving Stack, 1b/TBtu	0.4	0.0
Oxidized Mercury Leaving Stack, 1b/TBtu	1.2	0.6
Elemental Mercury Leaving Stack, 1b/TBtu	1.0	4.0

## 五、燃煤電廠的汞污染物

燃煤之汞含量很低，約為 0.1ppmw。在鍋爐的燃燒區，燃煤之汞含量全部蒸發，形成元素汞或汞化合物，如圖一燃煤鍋爐燃燒情形與表三所示汞化合物物理性質，其蒸氣濃度約為 1~20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1~20ppbw)。當燃燒後，煙氣逐漸冷卻下來，此時會發生氧化反應，使元素汞的濃度降低。即煙氣中的鹽酸與元素汞在鍋爐下游煙道內氧化形成氯化汞 ( $\text{HgCl}_2$ )，雖然其確定的反應機制

尚無法完全了解，但通常還是由下列化學反應式表示：

### 圖一、 燃煤鍋爐燃燒情形

表三、汞化合物物理性質

	Melting /Sublimation	In furnace	Vapor pressure	Water Solubility
	[ °C ] 1 atm	> 850 1atm	[ μg/m <sup>3</sup> ] 20 °C, 1atm	[ μg/l ] 20 °C, 1atm
Hg <sup>0</sup> liquid	-39	Gaseous (boils @357 °C)	14,000	≈20
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> solid	383	Conversion to gaseous Hg <sup>0</sup>	-	2.1
HgCl <sub>2</sub> solid	276	Conversion to gaseous Hg <sup>0</sup>	800	69,000,000
HgS solid	584	Conversion to gaseous Hg <sup>0</sup>	≈0.1	0.0013
Ch <sub>3</sub> HgCl solid	170	Not existing in flue gas	54,000	5,000,000



若煙氣溫度逐漸下降，其愈朝右向化學反應。不過，此化學反應不僅與煙氣溫度有關，且與煙氣中的氧氣、硫氧化物、鹽酸及粒狀污染物及影響化學平衡溫度之駐留時間等因素有密切關係。

除了上述的氯化汞形成外，尚有以下兩種氣態的汞化合物產生



唯  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  與  $\text{HgO}$  在 400 以上的煙氣中，呈現極不穩定狀態，且  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  與  $\text{HgO}$  分別易分解為  $\text{Hg}^0$ 、 $\text{HgCl}_2$  與  $\text{Hg}^0$ 、 $1/2\text{O}_2$ ，故 Eq. 2 與 Eq. 3 發生反應率不高。

上述煙氣中之汞污染物  $\text{HgCl}_2$  被認為氯原子與元素汞經由動力學途徑反應而形成，且其中氧化過程是由煙氣中飛灰作為氧化觸媒劑；飛灰中氧化鐵、碳與鈣化合物均有助於元素汞的氧化。此外煙氣中  $\text{HCl}$ 、 $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$  及 SCR 設備對元素汞氧化過程亦有所助益。

燃煤成份（氯含量與灰組成）燃燒狀況、煙氣溫度及在粒狀

物防治設備的駐留時間均會影響汞化合物的形成種類與粒狀物吸附汞的量，同時於煙氣除硫系統（FGD）與除硝系統（SCR）亦證實對汞化合物的形成種類和汞去除率有影響。

## 六、汞化物的去除方法

電廠既有的空氣污染防治設備對汞化物均有或多或少的去除效率如表四（從美國 ICR 資料初步估算得到的數據）；表中顯示各防治設備以鍋爐燃用煙煤（Bituminous）的去除效率最高，其次為亞煙煤（Subbituminous），最差是褐煤（Lignite），其主要是煙煤中氯含量一般在 200 至 2000ppm，而亞煙煤與褐煤大約在 20 至 200ppm 的緣故，較高的氯含量可增加較易去除的  $\text{HgO}$  與  $\text{HgCl}_2$ （氧化反應），而減少不易去除的元素汞之百分比，使汞去除率升高。

由表四亦可知 Cold-Side FF、Spray Dryer/FF，Cold-Side ESP+Wet FGD 與 FF+Wet FGD 等污染防治設備之汞去除率最高。另經檢測發現煙氣經 SCR 除硝設備，觸媒會促使汞產生氧化，因此若配合鍋爐下游的 ESP、FGD 等煙氣污染防治設備，將可使整體的汞去除效率大幅提升至 90%。

除了上述既有污染防治設備可有效去除汞污染物之外，另可利用煙道注入各類吸收劑方式去除汞，如活性碳、 $\text{Na}_2\text{S}_4$ 、石灰等，均有 90% 以上的去除效率，唯須考量成本因素及廢棄物處理問題。

表四、既有污染防治設備的汞去除效率

Control technology*	Average mercury control, percent			
	Bituminous	Subbituminous	lignite	Waste coals
Cold-side ESP	29 ( 18 )	3 ( 9 )	3 ( 5 )	NA
Hot-side ESP	11 ( 9 )	0 ( 12 )	NA	NA
Cold-side FF	89 ( 6 )	73 ( 6 )	NA	NA
PM scrubber	12 ( 3 )	0 ( 15 )	33 ( 3 )	NA
SDA + ESP	45 ( 3 )	0 ( 9 )	NA	NA
SDA + FF	93+ ( 9 )	23 ( 9 )	17+ ( 9 )	NA
Cold-side ESP + FGD	78 ( 6 )	16 ( 9 )	42 ( 6 )	NA
Hot-side ESP + FGD	39 ( 9 )	8 ( 9 )	NA	NA
FF + FGD	97 ( 6 )	NA	NA	NA
FBC + CS-ESP	NA	NA	40 ( 3 )	NA
FBC + FF	NA	NA	57 ( 3 )	99 ( 6 )

## 七、本公司因應對策之建議

儘管美國能源部官員在本次會議上，以目前尚未確切掌握煙氣中汞的排放機制與種類，無法增設污染防治設備為由，不贊成

環保署那麼倉促就要訂定汞排放標準，環保署已決定於公元二  
三年十二月十五日擬訂標準，隔年同月同日公告，二 七年  
十二月十五日施行。因此我國未來亦會跟進訂定標準管制汞的排  
放，本公司宜儘早未雨綢繆，研擬因應對策，爭取時間免得措手  
不及。

由於汞污染物的控制方法相當棘手，投資處理費用不低，故  
建議先由台中發電廠擇一機組，從源頭開始至煙囪為止，做一徹  
底檢測，了解每一污染防治設備的去除效率，俾便做為將來與環  
保署溝通如何訂定標準，及研擬改善方案等依據。