

我國應儘速加嚴污染源的排放標準大幅減少空污排放

—蔡春進, 交通大學環境工程研究所講座教授
E-mail: cjtsai@nctu.edu.tw 0919346174

A. 燃煤電廠超低排放技術

2015年12月國大陸發改委、環保部、國家能源局聯合發佈《關於實行燃煤電廠超低排放電價支持政策有關問題的通知》和《全面實施燃煤電廠超低排放和節能改造工作方案》，提出到2020年，全國所有具備改造條件的燃煤電廠實現「超低排放」。超低排放是指燃煤發電機組大氣污染物排放濃度基本符合燃氣機組排放限值要求，即在基準含氧量6%條件下，煙塵、二氧化硫(SO_x)、氮氧化物(NO_x)排放濃度分別不高於10、35、50毫克/立方米，或13.2 ppm (SO_x)及40 ppm (NO_x)。為鼓勵引導超低排放，經所在地省級環保部門驗收合格並符合上述排放限值要求的燃煤發電廠在2016年1月1日起，將給予適當的上網電價補貼，發電量獎勵及排汙費激勵等。東部地區（北京、天津、河北、遼寧、上海等11省市）原計畫2020年前完成的超低排放改造任務提前至2017年前總體完成。中部地區（山西、吉林、黑龍江、安徽等8省）力爭在2018年前完成；西部地區（內蒙古、廣西、重慶、四川、貴州、雲南等12省區市及新疆生產建設兵團）在2020年前完成（中華人民共和國環境保護部, 2015; 工業技術研究院能源知識庫, 2016）。目前有許多大陸的控制設備供應商進一步將煙塵排放濃度設計要求降至5.0毫克/立方米(Zheng et al., 2017; Chen et al., 2016; 上海市環境保護局, 2015; 三菱日立電力系統, 2016)。

我國對新電廠的排放標準比大陸的超低排放標準寬鬆，台灣的標準為PM₁₀--20毫克/立方米，SO_x--60 ppm及NO_x--70 ppm。目前本國新林口火力發電廠可以達到此超低排放標準(PM₁₀: 2-10毫克/立方米，SO_x: 5-10 ppm及NO_x: 16-23 ppm)，其他的電廠也應儘速改善設備以達到此排放標準。

中國大陸許多控制設備供應商進一步將煙塵排放濃度設計要求降至5.0毫克/

立方米，主要是改造控制設備及節能且增加處理效率，如改用低溫靜電集塵器，加裝濾袋屋或濕式靜電集塵器等。

(1) 低氮燃燒器(Low Nox burner)，改造過的低溫ESP及濕式靜電集塵器等(圖1，設備商中國神華公司, Chen et al., 2016)

高效低氮燃燒器(low NO_x combustor)加SCR加改造過的低溫靜電集塵器(高頻變壓器及硬管放電電極)加濕式煙氣脫硫及除霧器(integrated desulphurization and dedust process)再加WESP。最好的改造機組dust, SO₂ and NO_x 的排氣濃度分別低達 0.51, 8.16, and 26.32 mg/Nm³。

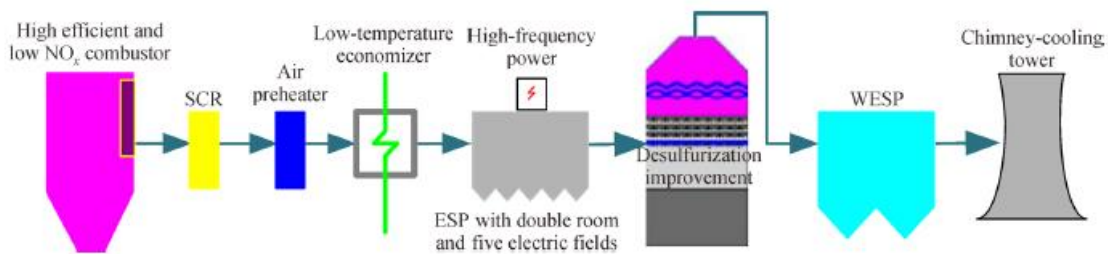


圖1，(設備商中國神華公司, Chen et al., 2016)

(2) 低溫靜電集塵器 (LLT-ESP, Low-Low ESP)及濕式靜電集塵器(WESP, wet electrostatic precipitator)等，如圖 2 (Zhang et al. 2017):

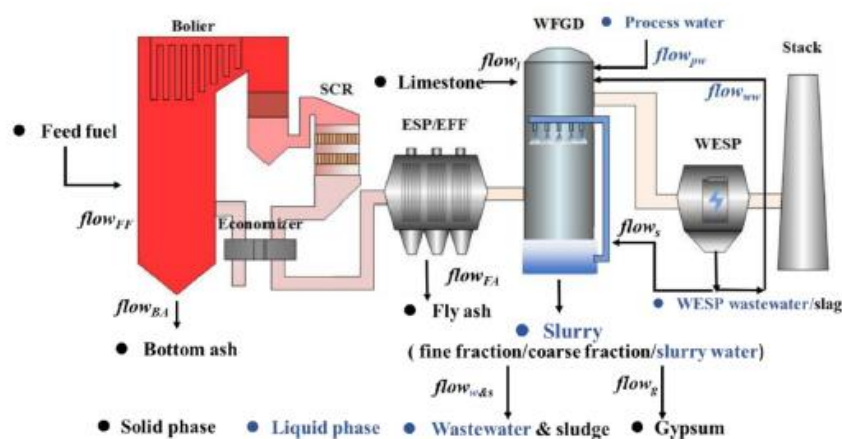


圖 2 (Zhang et al. 2017)

選擇性觸媒還原(SCR, Selective catalytic reduction)加低溫靜電集塵器

(LLT-ESP, Low-Low ESP)加濕式煙氣脫硫(WFGD, wet flue gas desulfurization)加濕式靜電集塵器(WESP, wet electrostatic precipitator)。本設備有效的去除排氣飛灰中的有害重金屬，58.0–93.3% (Hg), 75.2–95.3% (As), 78.2–94.9% (Cd), 79.4–96.6% (Se), 73.8–89.2% (Cr)及86.5–99.5% (Pb) 富集在飛灰中；LLT-ESP增加飛灰中 Hg, As, and Se 等的相對富集因子(與煤碳中的含量相比)至 0.78–1.23, 0.85–1.04, and 0.83–0.99，能有效減少有害重金屬的煙氣排放。WESP 捕捉下來的細微粒中的Hg比排放飛灰中的Hg高16.8–60.1倍，後者可達 17.5 mg/kg。然而WFGD的廢水中仍含有大量的 Hg (2.17–168 $\mu\text{g}/\text{kg}$), Se (21.3–357 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 及 Cd (44.1–839 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 仍待處理。

(3)2014 年上海全市燃煤電廠基本均完成低低溫電除塵改造，部分電廠還引入了濕式電除塵技術，其中淨化設備先進的已經可以穩定達到 $<10\text{ mg}/\text{m}^3$ 。某電廠1000MW 機組為超超臨界燃煤發電機組，其超淨排放改造包括脫硫增容提效、濕式電除塵、MGGH(Mitsubishi gas gas heater)、脫硝優化等措施，改造工程共投資1.9 億人民幣。不同負荷下顆粒物排放濃度該機組在各種工況、煤種下顆粒物測試結果均低於 $1.4\text{ mg}/\text{m}^3$ 。(上海市環境保護局, 2015)

(4)低低溫電除塵，高效率脫硫零廢水排放(WSD, Wet spray drying)系統等(圖3)

浙江飛達公司與三菱日立電力系統(MHPS, Mitsubishi Hitachi Power Systems)合作(三菱日立電力系統, 2016)，粉塵及 SO_2 排放濃度設計值為 5.0 及 $35\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ，實際值為 $2.0\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 及 $10\sim 23\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 。

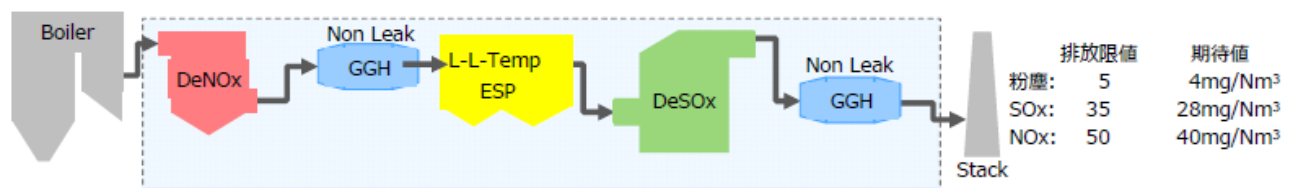


圖3 (三菱日立電力系統, 2016)

B. 垃圾焚化爐及其他高溫行業的超低排放技術

垃圾焚化爐、鋼鐵廠、熔煉廠、石化廠及半體廠等高溫燃燒或反應的製程會排放大量的微粒。在瑞士的1986年空污法修訂後，業者大量投資於焚化爐的廢氣處理，使得焚化爐的奈米微粒排放減低成30噸，只占全國奈米微粒排放量的零點多%。典型的瑞士廢棄物焚化爐如圖4，具有靜電集塵器，濕式洗滌器，SCR及最終的濾袋屋，煙氣中的微粒排放濃度低於的 $100 \text{ \#}/\text{cm}^3$ ，比一般大氣環境中的5000至 $10000 \text{ \#}/\text{cm}^3$ 還低，焚化爐下風處的微粒中的氯離子也增加十分有限。我國的鋼鐵廠，石化廠及半體廠等高溫燃燒或反應的製程排氣含有大量的微粒及重金屬，必需再加嚴標準及投資處理設備，學習瑞士達到超低排放標準。

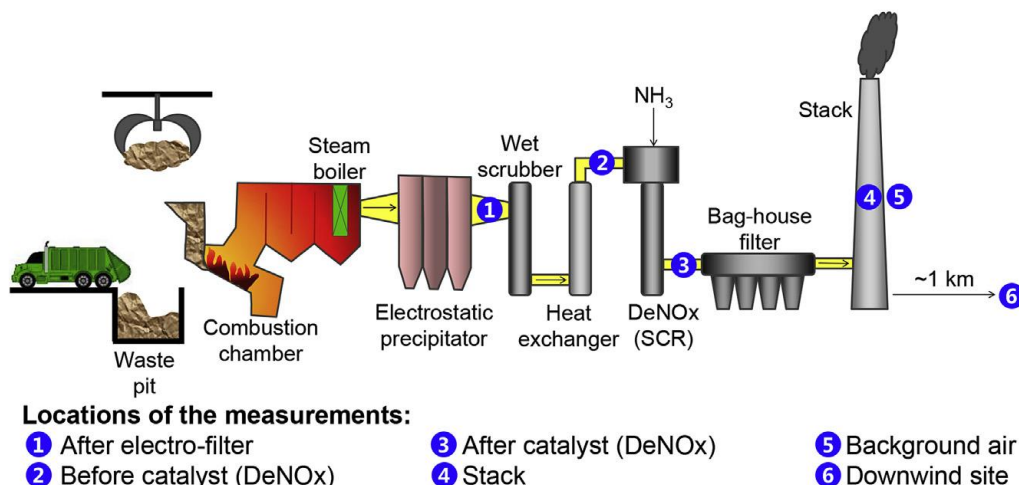


圖4 在瑞士以靜電集塵器及濾袋屋達到超低排放的廢棄物焚化爐(Setyan et al., 2017)

C. 半導體廠、石化廠、塗裝業及一般傳統產業的高效率洗滌及連續監測技術(本土技術在科技部支持下於交大環工所研發完成)

許多半導體廠、石化廠、塗裝業及傳統產業均使用一般的填充洗滌塔處理廢氣，然其效果有限，往往產生異味及 $\text{PM}_{2.5}$ 的前趨氣體污染物。交大環工所在科技部支持下研發成功出高效率的直立式酸鹼洗滌塔，氣體滯留時間(0.5 sec)，適

用於水溶性污染物的處理，其內裝設蜂巢狀濾材，如圖 5。2016 年 8 月已在某一半導體公司建置完成，並已完成 HF 及各種酸氣的工程驗收。表 1 為去年(2016) 8 月至今年 8 月間在某一半導體廠的持續檢測結果，可看出去除效率均比填充洗滌塔高很多，絕大多數的處理效率在廢氣濃度為 3.0 ppm 以上時都在 97-98% 以上，壓損也只有 0.45 cm H₂O。經過一整年以來處理效率幾乎不會降低，且蜂巢狀濾材不會被微粒阻塞。

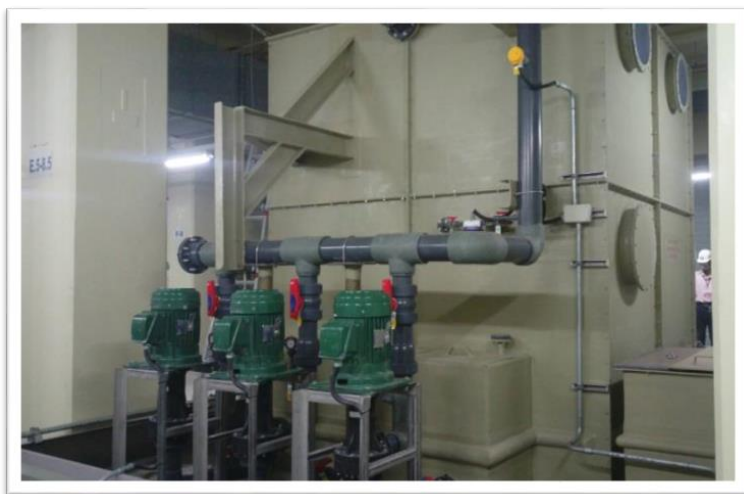


圖 5 高效率的直立式酸鹼洗滌塔

表 1 某半導體公司高效率酸鹼洗滌塔逐月檢測數據(2016.08-2017.08)

檢測日期	HF	CH ₃ COOH	HCl	HNO ₂	HNO ₃	H ₂ SO ₄
2016年8月11日	81713.7	21388.12	5108.64	1850.07	4939.33	442.7
	1634.48	798.73	112.72	38.64	103.01	13.77
	98%	96%	98%	98%	98%	97%
2016年9月12日	172093.6	52600.3	2699.9	411.8	2341.4	414.6
	5303.3	2606.0	105.8	17.2	52.8	17.1
	97%	95%	96%	96%	98%	96%
2016年10月11日	118926.3	52406.6	12669.2	3911.9	10324.9	790.1
	2307.0	1248.1	260.1	111.7	149.5	22.9
	98%	98%	98%	97%	99%	97%
2016年12月13日	101000.5	8285.4	652.5	143.0	507.6	147.6
	2258.3	313.3	15.6	4.1	8.6	3.3
	98%	96%	98%	97%	98%	98%
2017年3月13日	180685.0	12552.1	2540.1	1792.0	4628.5	298.8
	4857.4	597.6	53.0	77.0	77.6	10.4
	97%	95%	98%	96%	98%	97%
2017年6月15日	142711.5	62887.9	15203.0	4694.2	12389.8	948.1
	4617.6	1274	263.9	131.3	166.4	27.3
	97%	98%	98%	97%	99%	97%
2017年8月15日	128020.9	72582.3	10854.3	3582.9	8235.7	825.7
	2185.1	1854.5	163.9	132.5	257	30.4
	98%	97%	98%	96%	97%	96%

許多廠商採用臥式洗滌塔而非傳統的直立式洗滌塔，目前交大另已成功改良原來的直立式洗滌塔成為臥式洗滌塔，將原本圓柱形的蜂巢式結構改變為方型的蜂巢式結構，廢氣以水平方式進入洗滌塔填充段，洗滌液也是以同方向進入填充段並同時濕潤廢氣，藉由氣液兩相接觸之吸收程序，使污染物得以被吸收至液體中，再利用除霧器將清潔氣體與被污染的液體分離達到去除的效果。目前臥式洗滌塔的模廠已完成安裝正在測試中。

另外交大環工所在科技部支持下研發成功出，如圖 6 所示，能即時測得洗滌塔的進出口即時排放濃度及處理效率，如圖 7。此儀器可協助我國環保署推動煙道的連續監測工作，確時掌握污染排放並作好污染改善工作、

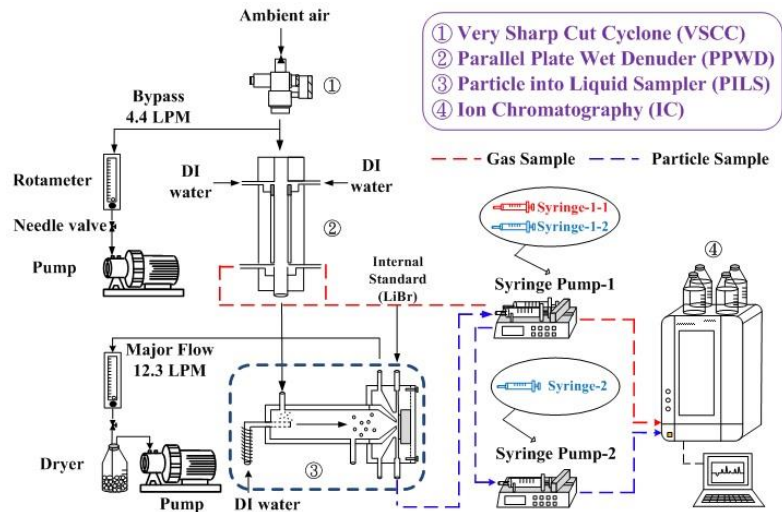


圖 6 酸鹼氣體及微粒的連續自動監測設備

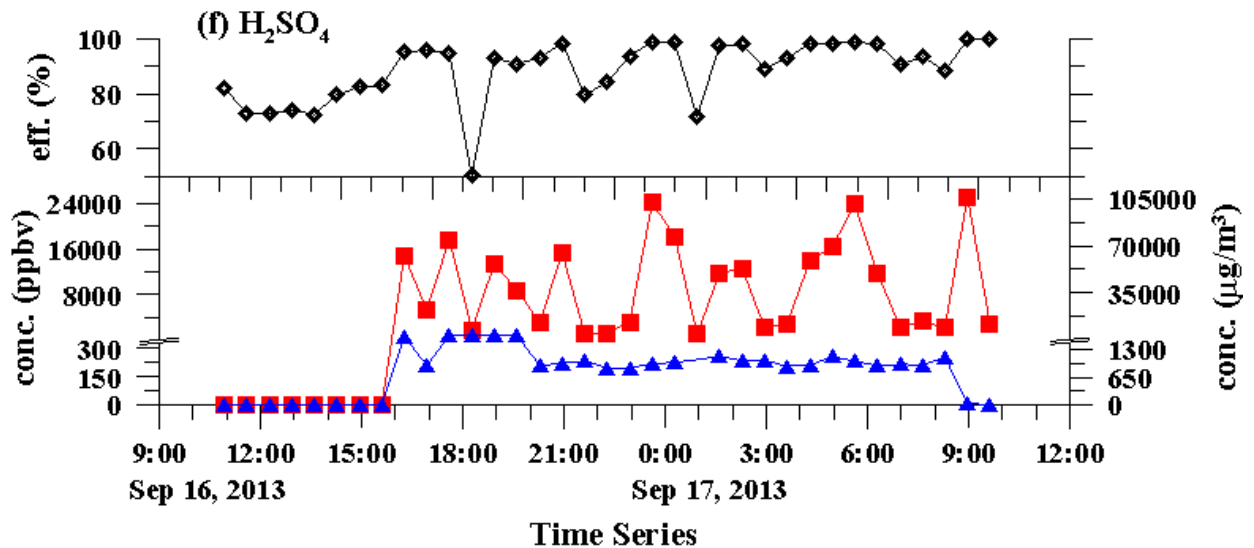


圖 7 洗滌塔的進出口即時排放濃度及處理效率

D. 加嚴不同行業別的排放標準

我國對不同行業別的排放標準並未訂定或訂定不完整，大部份業者僅遵循寬鬆的”固定污染源空氣污染物排放標準”。以”汽車製造業表面塗裝作業空氣污染物排放標準”為例，目前只規定乾燥室廢氣之揮發性有機物應符合總破壞去除效率 90 % 及排放管道排放標準未經含氧量校正 60 mg/Nm^3 ，汽車製造程序表面塗

裝相關作業之揮發性有機物排放標準應符合 110 g/m² 等，因而除地方政府另規定要以熱焚化爐作有效處理外，許多業者只以處理效率不佳的水濺及洗滌塔作廢氣控制。然表面塗裝過程產生大量的噴漆液滴及溶劑，若處理效果不佳易造成空氣污染。其他行業如腳踏車業，印刷業，運動器材等，並無特別的排放法規管制排放，業者大都以效率不佳的活性炭吸附塔及水洗滌應付環保單位。建議對排放 VOC 的行業可以加嚴標準，規定以觸媒焚化、沸石濃縮轉輪-蓄熱式焚化爐等成熟技術作有效處理。

參考文獻:

有關超低排放---

中華人民共和國環境保護部，2015，全面實施燃煤電廠超低排放和節能改造工作方案，www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bwj/.../W020151215366215476108.pdf

工業技術研究院能源知識庫，2016，中國燃煤電廠超低排放和節能改造方案，km.twenergy.org.tw/ReadFile/?p=KLBase&n=2016621103622.doc

上海市環境保護局，2015，燃煤电厂大气污染物排放标准，<https://www.sepb.gov.cn/fa/cms/upload/uploadFiles/2015-10-14/file2100.pdf>

三菱日立電力系統，2016，超低排放一體化改造關鍵技術華電鄒縣公司#8號1000MW機組一體化改造實例淺析。

Chen, Y.; Zhang, Y.; Ling, W., 2016, Practice on Ultra-low Emission and Energy Efficient Technologies in Coal-fired Power Plants, *Frontiers Eng. Manage.*, 3 (4): 377-383. DOI 10.15302/J-FEM-2016045.

Setyan, S.; Patrick, M.; Wang, J., 2017, Very low emissions of airborne particulate pollutants measured from two municipal solid waste incineration plants in

Switzerland, *Atmos. Environ.*, 166: 99-109.

Zheng, C.; Wang, L.; Zhang, Y.; Zhang, J.; Zhao, H.; Zhou, J.; Gao, X.; and Cen, K., 2017, Partitioning of Hazardous Trace Elements among Air Pollution Control Devices in Ultra-Low-Emission Coal-Fired Power Plants, *Energy Fuels*, 31: 6334–6344.

有關高效洗滌塔及連續自動監測---

Chuen-Jinn Tsai, Guan-yu Lin and Sheng-Chieh Chen, 2008, A Parallel Plate Wet Denuder for Acidic Gas Measurement, *AICHE J* Vol.54, No. 8, pp. 2198-2205.

Yueh-Ping Ku, Caddie Yang, Guan-Yu Lin, and Chuen-Jinn Tsai*, 2010, An online parallel-plate wet denuder system for monitoring acetic acid gas, *Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 10, No. 5, pp. 479-488.

Chih-Liang Chien, Chuen-Jinn Tsai*, Shiang-Ru Sheu, Yu-Hsiang Cheng, Alexander Mihailovich Starik, 2015, High-efficiency parallel-plate wet scrubber (PPWS) for soluble gas removal, *Separation and Purification Technology*, 142: 189-195.

Chih-Liang Chien, Aditya Prana Iswara, Yi-Ling Liou, Bing-Tsai Wang, Jui-Chiao Chang, Yi-Hung Hung, Chuen-Jinn Tsai *, 2015, A real-time monitoring system for soluble gas pollutants and it's application for determining the control efficiency of packed towers, *Separation and Purification Technology*, Vol. 154, pp. 137-48. (Nov. 2015)

Ziyi Li, Yingshu Liu, Yujie Lin, Sneha Gautam, Hui-Chuan Kuo, Chuen-Jinn Tsai*, Huajun Yeh, Wei Huang, Shih-Wei Li, Guo-Jei Wu, 2017, Development of an Automated System (PPWD/PILS) for Studying PM2.5 Water-Soluble Ions and Precursor Gases: Field Measurements in Two Cities, Taiwan. *Aerosol and Air Quality Research*, 17(2): 426-443.