

毒性物質污染防治

空氣污染物有害性物質處理法

楊 義 崇*

我國空氣污染防治法第八條規定，工商廠、場或交通工具，排放空氣污染物超過排放標準者，應設置空氣污染防治設備或採取適當防制措施。所謂「空氣污染物」，該法施行細則第二條有詳細規定，茲簡述如下：

- (1) 氣狀污染物：含硫氧化物、一氧化碳、氮氧化物、碳氫化合物、氯氣、氯化氫、氟化物氣體 (HF 及 SiF_4) 、氯化煙類。
- (2) 粒狀污染物包括懸浮微粒 ($10\mu\text{m}$ 以下) 、金屬燻煙、黑煙、酸霧、落塵 ($10\mu\text{m}$ 以上) 。
- (3) 二次污染物：包含光化學霧、光化學性高氧化物。
- (4) 惡臭物質：包含氨氣、硫化甲基、硫化氫、硫醇類、甲基氨類。
- (5) 其它：經各級環保主管機關指定，報經中央主管機關核定公告之溶劑蒸氣、塑膠蒸氣等，如 CS_2 、 H_2 、 CO 、 C_6H_6 、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ 、 $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$ 、 Pb 、 Cd 、石綿、VCM等。

目前除二次污染物外，對工商廠、場排放之法定空氣污染物，絕大多數已在75年8月公告之「臺灣省固定污染源空氣污染物排放標準」中訂有排放限值。過去，環保單位限於人力及設備，其重點管制以「可目視污染」之粒狀污染物居多。但隨著環保時代的來臨，將來對危害環境及人體健康較鉅之有害物質有加強管制之必要。我國法定污染物已涵蓋甚多危害性物質，故工商廠、場均應對它的影響確切認識，並加以防治，以克盡企業之社會責任。

本文主要參照日本大氣污染防治法中規定之管制對象物質（表一），摘要選出其中危害

表一 日本大氣污染防治法管制對象物質

受 制 物 質	物 質 舉 例	發 生 型 態	發 生 設 施
排 煙 有 害 物 質	SO_2	物質燃燒	排煙發生設施
	黑煙等	物質燃燒	排煙發生設施
	Cd 、 Pb 、 HF 、 Cl_2 、 HCl 、 NO_x 等	物質燃燒、合成、分解、加壓等	排煙發生設施
粉 墓	水泥、煤粉、鐵粉等	物質的粉碎、選別、堆積等	粉塵發生設施
汽 車 排 氣	CO 、 HC 、 NO_x 等	汽車的行駛	特定的汽車
特 定 物 質	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ 、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}$ 等28種	物質的合成、化學處理	特定設施

* 經濟部工業局第七組技正

性較大的所謂「排煙有害物質」及「特定物質」，扼要介紹其種類、物理化學特性及處理技術之概要，如欲針對各廠之污染物進行防制設備之設計，宜請進一步參考環境工程手冊或化工單元設計等資料。

一、排煙有害物質的種類及其發生源

1-1 鎘及其化合物

1. 鎘煉製

- ①鋅精礦（鋅之原礦——以閃鋅礦為主，主成份為 ZnS，經選礦處理之精礦，含鎘約 0.3%）於燒結爐中焙燒過程的乾式煉製法。
 - ②鋅精礦經焙燒成的燒礦，以稀硫酸溶解，浸出殘渣的乾燥裝置及乾燥物的燒結爐等過程之濕式煉製法。
 - ③從浸出液的沉澱物，製造鎘之工程。（控制燒礦之硫酸浸出液之 pH，未添加鋅粉等物質，可將鎘折出）。
 - ④礦石粉碎、篩分，搬運過程。
2. 鎘合金（與銀、鎳等之合金）、鎘夾頭（Ag-Cd、Zn-Sn-Cd、Pb-Sn-Cd 等）之製造工程。
3. 鹼性電池（負極為鎘）之製造工程。
4. 含鎘廢料之熔融。
5. 鍍鎘金屬的熔接。
6. 含硬脂酸鎘安定劑之 PVC 之焚化。
7. 鎘顏料（鎘黃、鎘紅）之製造及使用工程。

1-2 鉛及其化合物

1. 鉛煉製

- ①鉛燒礦〔鉛原礦（方鉛礦等）的精礦經焙燒而得者〕的燒結爐。
 - ②燒結礦還原煉製的熔礦爐或電氣爐。
 - ③②所得之粗鉛，再經乾式精製（除去銅、砷等雜質，回收金、銀）之工程。
 - ④粗鉛之濕式精製（電解）所得之礦泥，經乾式處理（熔融），回收金、銀、銻等之工程。
 - ⑤礦石粉碎、篩分、搬運。
2. 鋅精礦約含 1% 鉛，其煉製過程會排出鉛及其化合物廢氣。
3. 做鉛管、鉛板之熔解爐。從鉛使用製品回收鉛之熔解爐。
4. 鉛蓄電池之製造工程。
5. PbO、 Pb_3O_4 、鉛白 [$2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$]、黃鉛（鉻黃）等鉛系顏料之製造及使用工程。

6. 結晶玻璃 (PbO-SiO_2 、 $\text{R}_2\text{O-PbO-SiO}_2$ 、 $\text{R}_2\text{O-CaO-PbO-SiO}_2$ 等) 之熔解爐。
7. 使用鉛釉 (含 PbO) 之陶瓷器燒成爐。
8. 含鉛鹽、硬脂酸鉛等安定劑的 PVC 之焚化。

1-3 氟、氟化氫及四氟化矽

1. 鋁礬土 (Bauxite) 提煉鋁時，在 Al_2O_3 中加入冰晶石 (Na_3AlF_6) 及 AlF_3 之電解爐。（排出廢氣主要以 HF，也有粒狀氟化物。）
2. 磷酸系肥料製造過程
原料磷礦 [主成份 $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$] 約含 2% 氟。
 - ① 以磷礦與硫酸反應生成磷酸的濕式磷酸製法，在原料混合器及反應器中，排出之氟化物氣體，以 SiF_4 為主。
 - ② 磷礦加入硫酸於反應室內作用，熟成後成過磷酸石灰，此過程排出氟化物以 SiF_4 為主。
 - ③ 磷礦、芒硝、磷酸液混合，並在燒成用迴轉爐內燒成磷肥粒，排出氟化物以 HF 為主。
 - ④ 磷礦加入蛇紋石，於電氣爐或平爐中加熱熔融後，倒入水中淬冷、破碎，經乾燥、粉碎成熔成磷肥。在此加熱融熔過程排放氟化物以 HF 為主。
3. 製造電器用玻璃之熔融爐。（玻璃熔解溫度降低，降低其加工性，故加入螢石 (CaF_2) 或 Na_2SiF_6 ，以提高其加工性質。）
4. 玻璃纖維製造之熔融爐。（理由同上）
5. 氢氟酸（氟酸）、氟化鈉等無機氟化物之製造及使用工程。
6. 氟系合成樹脂、氟化烷類、氟氯烷類等有機氟化物製造工程。
7. 使用含氟釉藥瓦類的燒成。
8. 煉鋼之轉爐、電氣爐，使用螢石為造渣劑。

1-4 氯氣及氯化氫

1. 氯氣液化裝置、液氯貯槽、運輸車（排出物 Cl_2 ）。
2. 鋼鐵酸洗用鹽酸（排出物 HCl ）。
3. 鹽酸製造過程（排出物 HCl 、 Cl_2 ）。
4. 碳氫化合物之氯化過程（排出物 HCl 、 Cl_2 ）。
5. 氯化鋁、氯化鐵、氯化銅、氯化鈣、漂白粉、漂白水等無機氯化物製造過程（排出物 HCl 、 Cl_2 ）。
6. 氯化烴類(如 PVC 等)之製造過程，副產廢液之熱分解或焚化（排出物 Cl_2 、 HCl ）。

1-5 氮氧化物

1. 鍋爐、加熱爐等各種燃燒設備及汽車、飛機引擎（幾乎為 NO）。
2. 硝酸製造設備 (NO 、 NO_2)。

- 3.己二酸 $[COOH \cdot (CH_2)_4 \cdot COOH]$ 之製造過程（以硝酸為氧化劑，排出物為 NO 、 NO_2 、 N_2O ）。
- 4.對苯二甲酸 $[C_6H_4(COOH)_2]$ 之製造過程（硝酸為氧化劑，排出物 NO 、 N_2O ）。
- 5.硝酸銻、硝基苯等肥料、炸藥、藥品等製造過程 (NO 、 NO_2)。

二、有害物質之物理化學性質

2-1 鎘及其化合物

1. 鎘 (Cd)

熔點 $321^{\circ}C$ ，沸點 $767^{\circ}C$ ，比重 8.6，銀白色。
柔軟，富延展性。
加熱容易蒸發成蒸氣，在空氣中與氧反應成氧化鎘薰煙。
鋅精煉過程排出之鎘化合物以硫酸鎘、氧化鎘為主。

2. 硫酸鎘 ($CdSO_4$)

白色，斜方晶系之板狀或柱狀，比重 4.69。
 $700^{\circ}C$ 分解。溶解度 $76.2g/100g H_2O$ 。

3. 氧化鎘 (CdO)

褐色，不定形粉末。比重 6.95。
 $700^{\circ}C$ 昇華，高溫加熱呈綠色氧化亞鎘 (Cd_2O)。

4. 硫化鎘 (CdS)

淡黃色至橙色結晶性粉末。
氮氣中， $980^{\circ}C$ 昇華。不溶於水。

5. 毒性

如為急性中毒症狀，造成嘔吐、胃腸障礙。
吸入 CdO 薰煙，呈現呼吸器官激烈症狀。
如屬慢性中毒，骨骼軟化，易引起骨折，稱為「痛痛病」。

2-2 鉛及其他化合物

1. 鉛 (Pb)

熔點 $327^{\circ}C$ ，沸點 $1,750^{\circ}C$ ，灰白色，柔軟金屬。
熔融後，產生鉛蒸氣，在空氣中與氧反應成氧化鉛之薰煙。
 $330^{\circ}C$ 左右氧化成氧化鉛 (PbO)， $450^{\circ}C$ 左右氧化為四氧化三鉛 (Pb_3O_4)。
鉛煉製過程排出之鉛化合物以 PbO 、 $PbSO_4$ 為主。

2. 氧化鉛 (PbO)

俗稱 Litharge。熔點約 $900^{\circ}C$ ，比重 8.0。依製造條件不同，可為黃色鱗片狀結晶或紅至黃色的粉末。

3. 硫酸鉛 ($PbSO_4$)

白色粉末。熔點1150~1250°C，比重6.2，與水幾乎不溶。約在1000°C起開始分解。

4. 硫化鉛 (PbS)

熔點 1110°C，比重7.59，易溶於硝酸

在空氣中加熱成氧化鉛及硫酸鉛。

5. 二氧化鉛 (PbO₂)

黃褐色粉末，比重9.375。

290°C轉化為三氧化鉛 (Pb₂O₃)，高溫下轉變為四氧化三鉛 (Pb₃O₄)。

6. 四氧化三鉛 (Pb₃O₄)

俗稱光明丹。

鮮紅色不定形粉末，比重9.1。

加熱至 500°C 成 PbO。

7. 毒性

急性中毒症狀為指、腕等筋麻痺。

慢性中毒呈現貧血、腹痛、關節痛、頭暈、睡眠不良等症狀。

薰煙毒性甚強。

2-3 氟及其化合物

1. 氟 (F)

熔點-217.9°C，沸點-188°C。

常溫下，具有特異刺激臭味之黃綠色氣體。對空氣比重為1.31。液體為淡黃色，低溫時為無色。

反應性強，與水起激烈反應生成氟化氫。

與無機及有機物反應，生成氟化物。

2. 氟化氫 (HF)

熔點-83.4°C，沸點-19.4°C，氣體對空氣比重為0.69。

與空氣中之濕氣接觸生成白煙。

反應性強，可反應成各種氟化物。

可溶解矽酸及硼酸（對玻璃腐蝕性強）。

3. 四氟化矽 (SiF₄)

熔點-95.7°C，沸點-65°C，無色具有刺激臭味氣體。

與水激烈反應生成二氧化矽 (SiO₂) 及氟矽酸 (H₂SiF₆)。

與空氣接觸立即生成 HSi₂O₄F。

4. 毒性

氟化氫強烈刺激粘膜、呼吸器官，與皮膚接觸，猶如火傷之劇痛。

氟離子為身體吸收，沉積於牙齒及骨骼內，導致牙齒出現斑點，骨骼硬化。

2-4 氯及其化合物

1.氯氣 (Cl_2)

熔點 -101°C ，沸點 -34°C ，具刺激臭味之黃綠色氣體，對空氣比重2.45。溶解度 0.997g/100g H_2O (20°C)，易溶於四氯化碳等溶劑。低溫為黃色液體。氧化力強。

2.氯化氫 (HCl)

熔點 -112°C ，沸點 -85°C ，具有刺激性臭味無色氣體。對空氣比重1.26。濕空氣中會冒煙。易溶於水。溶解度 77.0g/100g H_2O (20°C)，水溶液俗稱鹽酸。對金屬腐蝕性大。

3.毒性

氯：刺激粘膜，導致呼吸器官、肝臟障礙。比氯化氫更具數倍之毒性。
氯化氫：引起粘膜、皮膚、氣管、肺發炎。

2-5 氮氧化物

1.一氧化氮 (NO)

熔點 -161°C ，沸點 -151°C ，無色、無臭氣體。
對空氣比重1.04。
溶解度小，3.76 mg/100g H_2O (50°C)。

2.二氧化氮 (NO_2 、 N_2O_4)

熔點 -9.3°C ，沸點 21.3°C ，具有特異刺激臭味褐色氣體。對空氣比重1.59。液體呈黃色，固體呈無色。
常溫下以 N_2O_4 存在， $60^\circ\text{C} 50\%$ ， $100^\circ\text{C} 90\%$ ， 150°C 以上幾乎解離成 NO_2 。
與水溶解成亞硝酸 (HNO_2) 及硝酸 (HNO_3)。

3.毒性

NO ：與血液中之血紅素結合，侵害中樞神經系統。
 NO_2 ：侵害粘膜、呼吸管道、肺。 NO_2 之危害性為 NO 之數倍。

三、特定物質之性質

表二所示為二十八種特定氣狀污染物之物理、化學性質。

表二 特定物質之性質

特定物質	化學式	形態、色、臭	溶點 ^{°C}	沸點 ^{°C}	蒸氣體/蒸氣 (空氣=1)	比重	顯水之溶 g/100g 水	燃火點 (20°C) °C	著火點 (20°C) °C	爆炸界限% 下限 上限	主要化學性質、有害性
1. 氨	NH ₃	有刺激臭之無色氣體	-77.7	-33.6	0.59 (-33.4 °C)	0.676 (20 °C)	-	52.0	-	15	28 在氧氣中呈黃色焰體與鹵素 激烈反應。嚴重 侵蝕皮膚、粘膜。
2. 氟化氫	HF	爲液體、氣體時 有特有刺激臭， 真發煙性無色	-83	19.4	0.69	1.002 (<19.4 °C)	-	∞	-	-	- 強反應性。與鹼 強烈反應。溶解一 氧化矽。嚴重 侵蝕皮膚。
3. 氧化氫	HCN	有特殊臭味之無 色液體	-13.3	26	0.93 (20 °C)	0.688 (0 °C)	∞	18	540	5.6	40 加入水分及檢 氮蒸發。可被皮膚 吸收。劇毒。
4. 一氧化碳	CO	無色無臭氣體	-205	-191.5	0.97	-	0.0044 (0 °C)	-	650	12.5	74 燃燒則成CO ₂ 。與血 液紅素結合引起中 毒
5. 甲醛	HCHO	強烈刺激臭，無 色氣體	-92	-21	1.07 (-20 °C)	0.815	-	-	430	7	73 空氣中高溫加熱則燃 燒，還原反應或成甲醇。 侵蝕皮膚、粘 膜、支氣管。
6. 甲醇	CH ₃ OH	無色澄清、揮發 性、可燃性、刺 激臭之液體	-93.9	64.1	1.10 (20 °C)	0.791	∞	11	465	7.3	36
7. 硫化氫	H ₂ S	無色氣體、腐臭之	-82.9	-60	1.18	-	0.66 (0 °C)	-	260	4.3	45.5 空氣中呈綠色焰體 燃燒生成SO ₂ 。與各 種金屬強烈侵蝕 呼吸器官、眼 睛。
8. 氯化磷	PH ₃	無色，類似乙炔 臭之氣體	-133	-87.7	1.17	-	0.039 (17 °C)	-	150	-	- 空氣中燃燒，與水生成 P ₂ O ₅ 。
9. 氯化氫	HCl	無色、有刺激臭 之發煙性氣體	-122	-85	1.26	-	82.3 (0 °C)	-	-	- 可與多種金屬反應， 產生H ₂ ，變成氯化物。 引起皮膚、粘膜發炎。	

10.二氧化氮	NO_2	紅褐色，刺激臭氣體，低溫時爲黃色液體	-9.3	21.3	1.59	-	-	-	-	-	-	-
11.丙烯醛	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$	無色液體	-87	52	1.95	$0.841(20^\circ\text{C})$	不溶於水 2~3倍	280	2.8	31	可進行還原試驗化作用。 。侵呼器官。	空氣中容易氧化。長期 保存應添加抗氧化劑（ 酚類、脂肪類）。強烈刺 激眼、呼吸器官。
12.二氧化硫	SO_2	無色，有刺激臭氣體	-75.5	-10	2.21	$1.46(-10^\circ\text{C})$	$22.8(0^\circ\text{C})$	-	-	-	-	有水分子存在下 活性大。有水分子存在下 除鐵外，幾乎可腐 所有金屬。溶於水，呈 酸性作用。具有烈侵蝕 作用。
13.氯	Cl_2	黃綠色，有刺激臭氣體	-101	-34	2.45	1.507	$0.997(10^\circ\text{C})$	-	-	-	-	殺白鼻、殺菌、支 氣管、肺。
14.二硫化碳	CS_2	無色，屈折率大 之液體	-111	46.3	2.63	$1.26(20^\circ\text{C})$	$22(22^\circ\text{C})$	-30	100	1.3	44	容易蒸發，引火性大。 侵害神經系統。
15.苯	C_6H_6	無色，揮發性， 具芳香之液體	5.5	80	2.70	$0.874(25^\circ\text{C})$	難溶	-11	530	1.4	8.0	有麻醉作用。
16.毗啶	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	無色，有特殊臭 液體	-42	116	2.73	$0.983(20^\circ\text{C})$	-	20	480	1.8	12.4	蒸氣有引火性。易腐蝕 金屬，對 Ni 、 Cr 、鋼 腐蝕性大。引起火傷、 倦怠。
17.酚	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	白色，結晶狀， 有特殊香味固體	41	182	3.25	$1.071(25^\circ\text{C})$	$6.7(16^\circ\text{C})$ $65^\circ\text{C} \text{以上}$ ∞	79	715	-	-	溶解水，放出大量熱。 稀硫酸對金屬作用。 。強脫水作用。
18.硫酸	H_2SO_4	無色，粘稠液體	10.5	開始分解	290	$3.38(20^\circ\text{C})$	$1.922(\infty)$	-	-	-	-	與水反應，生成 SiO_2 及 H_2SiF_6 。
19.氟化矽	SiF_4	無色，有刺激臭 氣體	-96	-65	3.60	-	易溶	-	-	-	-	-

20.光氣 (phosgen)	COCl_2	無色有氯草臭氣體	-128	8	3.41	$1.435\text{ (0}^\circ\text{C)}$	微溶	-	-	-	-	-	毒性(窒息性)強。易溶於氯化鈉溶液。加熱分解放成 CO 、 Cl_2 。
21.二氧化硒	SeO_2	白色結晶	340	317 昇華	3.83	$3.95\text{ (15}^\circ\text{C)}$	$38.4\text{ (14}^\circ\text{C)}$	-	-	-	-	-	容易還原成 Se (紅色)。引起粘膜發炎，如呈慢性作用，引起眩暈、視力障礙。
22.氯磺酸	HSO_3Cl	無色，有刺激臭 發煙性液體	-80	152	4.02	$1.766\text{ (18}^\circ\text{C)}$	∞	-	-	-	-	-	反應性大。幾乎可腐蝕所有金屬，生成氯酸及硫酸。極觸引起火傷。
23.黃磷	P_4	黃色，如堇菜味 之固體	44	280	-	$1.82\text{ (15}^\circ\text{C)}$	3×10^{-4}	-	-	-	-	-	不安定，空氣中徐徐氧化而發光。 50°C 開始燃燒。毒性強。與皮膚接觸引起火傷。
24.三氯化磷	PCl_3	無色，發煙性液體	-94	75	4.74	$1.57\text{ (20}^\circ\text{C)}$	分解	-	-	-	-	-	加水分解生成鹽酸及磷酸。
25.溴	Br_2	紅褐色，強刺激臭 液體	-7.2	59	5.52	$3.10\text{ (25}^\circ\text{C)}$	$3.58\text{ (20}^\circ\text{C)}$	-	-	-	-	-	室溫下，放出紅褐色蒸氣。侵蝕皮膚、粘膜。
26.碘醯化銀	$\text{Ni}(\text{CO})_4$	無色，揮發性液體，屈折率大	-25	42	6.0	$1.32\text{ (17}^\circ\text{C)}$	$0.018\text{ (10}^\circ\text{C)}$	-	-	-	-	-	急速加熱會爆炸。與濃硫酸、硝酸有爆炸性之反應。
27.五氯化磷	PCl_5	白色結晶	-	160 昇華	-	2.1	分解	-	-	-	-	-	300°C 以上，解離成 Cl_2 及 PCl_4 。與水反應成磷酸。與硫酸反應成氯酸。
28.硫醇	RSH (R 為烷基等)	無色，具類似堇菜臭之液體	-144	37	2.14	$0.839\text{ (20}^\circ\text{C)}$	難溶	-	300	2.8	18	左列數據適用 $\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$ 。溶解於鹼性水溶液。	

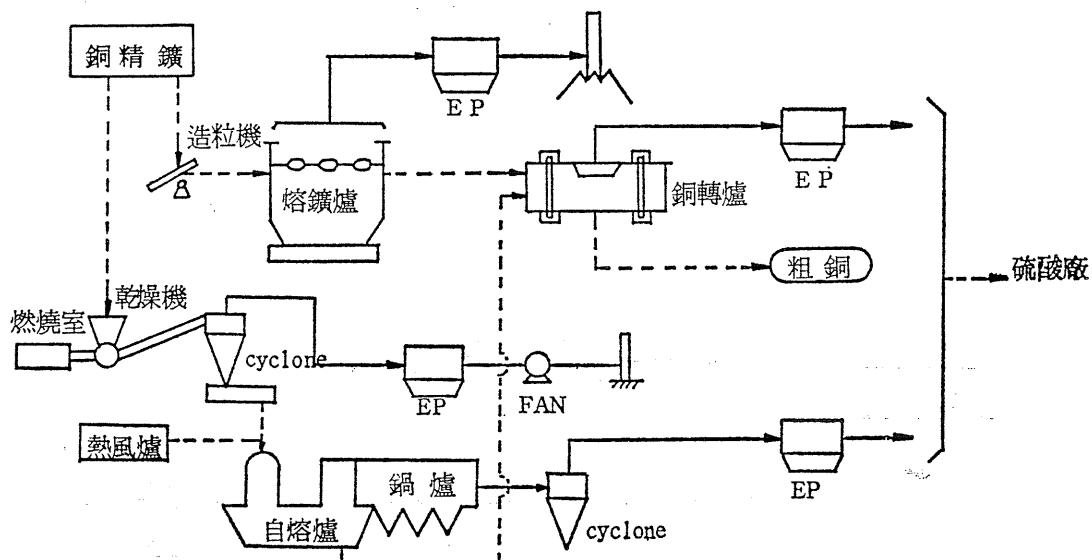
四、有害物質處理技術

4-1 鎘、鉛及其化合物

非鐵金屬熔解時，金屬在爐內被蒸發，隨排氣冷卻而氧化，大部份以 $1\mu\text{m}$ 以下之微細薰煙排出。

這些金屬氧化物，比表面積極大，易引起視覺障礙或大氣污染等公害問題。

圖一為銅精煉之流程概況，圖二為其排出粉塵之顯微照片。視比重約為 $0.1\sim0.3$ ，均屬 $1\mu\text{m}$ 以下微細薰煙粒子。

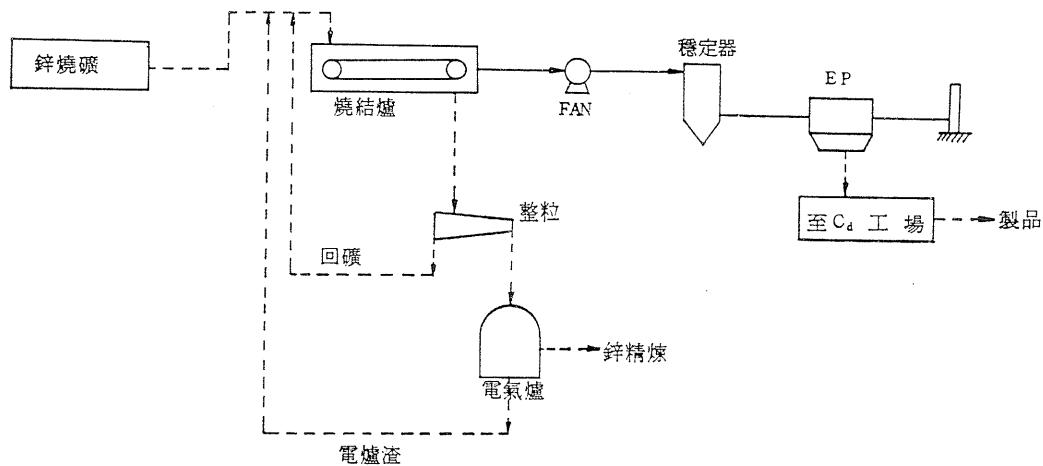


圖一 銅精煉作業流程



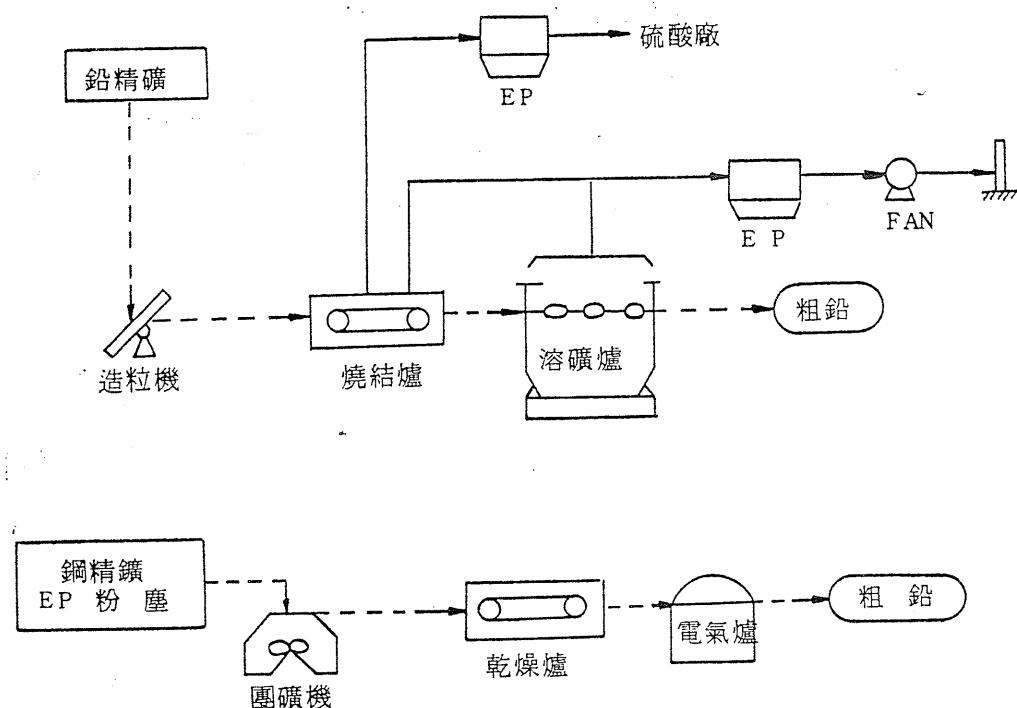
圖二 鉛精煉粉塵的顯微照片

圖三為含高濃度鎘排氣之鋅精煉業作業流程。鋅精煉時，燒結爐排出粉塵之真比重為5.02，視比重約0.44。

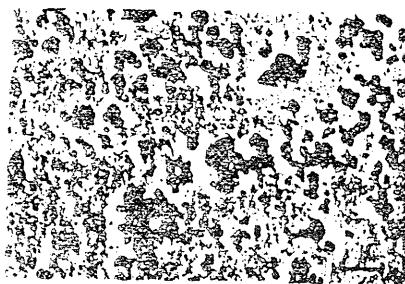


圖三 鋅精煉作業流程

圖四所示，為鉛精煉業之作業流程，圖五為其粉塵之顯微照片，均屬 $1\mu\text{m}$ 以下微細薰煙粒子。



圖四 鉛精煉作業流程



圖五 鉛精煉粉塵之顯微照片

表二為非鐵金屬精煉粉塵成份及組成之一例。通常非鐵金屬精煉之粉塵，其電阻抗高，為使靜電集塵正常運轉，相對濕度應控制在20~40%，故排氣調濕有其必要。

表二 非鐵金屬精煉粉塵之成分組成 (wt. %)

成分 精煉		Cu	Pb	Fe	Zn	Si O ₂	Al ₂ O ₃	CaO	S	SO ₃	As	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cd	Bi	Se	Te	Sb	I. L.
銅	1 區	6.12	11.9	11.3	14.5	3.3	1.5	1.2	16	13.5	4.9	(3.3)	(114)						
	4 區	3.0	15		5.3	18	1.5	1.0	0.6	13	16.4	6.8	(3.0)	(96)					
鋅 (燒結爐)		0.15	29.22	0.54	10.11	0.14		0.23	4.46		9.16		0.52	23.02	1.99	0.73	0.13		
鉛	貯斗	64		~67	1~2	4~5	1>	1>		1~8		0.3					0.2		
	放電極	15	17	~18		0.4	Tr.				0.4						0.260		

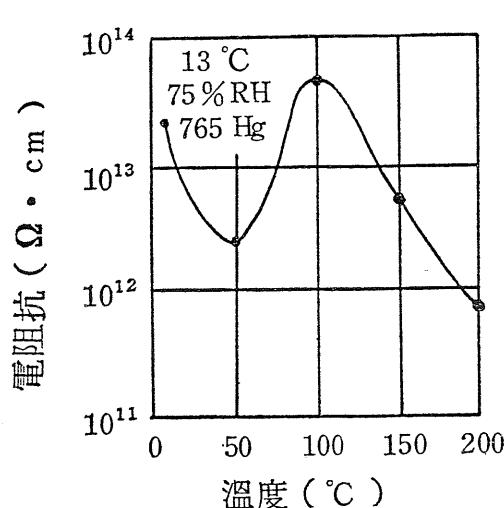
註：粉塵係於靜電集塵機所捕集者。

圖六所示為粉塵中含多量鎘之燒結爐排氣之電阻抗之一例。圖七為鉛熔礦爐薰煙之電阻抗例。

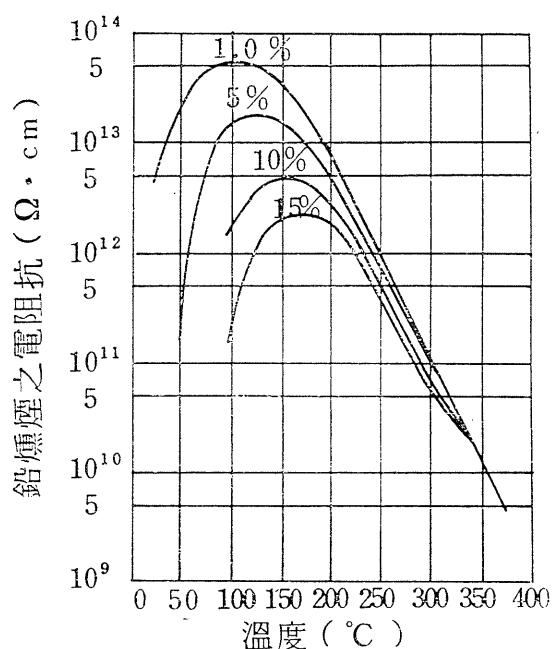
表三所示為一銅轉爐排氣占13%，熔礦爐及其他排氣占87%之銅精煉排氣組成之例子。

銅、鋅、鉛等非鐵金屬精煉之製造過程極為複雜，通常原礦所含硫黃，係供回收製造硫酸的原料氣，以有效解決排氣污染問題。

表四為製造硫酸原料氣之組成，表五為原料氣中所含粉塵，經分析其成份、組成之實例。



圖六 鋅燒礦燒結爐粉塵之電阻抗與溫度關係



圖七 鉛熔礦爐煙電阻抗與溫度

表三 煉銅排放氣體之組成例

成 分	SO ₂	CO ₂	O ₂	CO	N ₂	H ₂ O
組 成(%)	1.20	2.78	16.45	0.25	77.82	3.37

表四 製造硫酸之原料氣組成例

爐 之 種 類	溫 度 (°C)	成 分(vol %)				
		SO ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂
機械爐	硫化礦	475	9.4	9.37	0.2	
	鋅 矸	350	8.9	4.6	17.1	69.4
流動爐	硫化礦	320	11.2	4.7	7.47	77.5
	鋅 矸	350	9.4		7.3	0.01
銅 轉 化 器	200~300	3.6~4	15~17		3.73	
自 溶 爐	350	10.45	3.84	4.53	5.1	76

表五 製造硫酸原料氣中所含粉塵成份組成例

爐之種類	含塵量 (g/ Nm ³)	粉 塵 之 成 分 (wt. %)															
		Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	Cu	As	Zn	Fe	Pb	PbO	SO ₃	I.L.	Cd	MgO	MnO	CaO
機械爐	硫化礦	7.85	50.7	22	6.03	5.3	0.1	0.7									
	鋅 磩	3~7							1.0	40	5~7	15					
流動爐	硫化礦	11.8	70.7	0.78	6.24							10.98	15.46	2.13			
	鋅 磩	20				7	~15			30	~40	4~8			1~2		
銅轉化器		13.5	0.18	1.38	1.08								19.38	4.31		0.96	0.12
自溶爐		25		8				13	3.5	4	16	7					

表六為一鋅精煉業處理乾燥爐及燃燒爐排氣結果之實例。

表六 鋅精煉業處理排氣結果(例)

		乾燥爐 ¹⁾			燃燒爐 ²⁾	
氣體溫度 °C		乾燥爐出口	淨動床洗滌塔入口	除霧器入口	淨動床洗滌塔入口 70	
排氣量 Nm ³ /min		700			2 350	
洗滌塔	形 式	淨動床式			同 左	
	直 徑 m	3.05			2.94	
	高 度 m	16.5 ³⁾			19.47 ⁴⁾	
	材 質	瀝 橡 膠 鋼			同 左	
	液 量 l/min	5350 ⁵⁾			— ⁶⁾	
	集塵率 %	90以上			—	
靜電集塵機		捕集率 ⁷⁾ 95%以上			煙塵捕集率 ⁷⁾ 95%以上	
塵	濃度 mg/Nm ³	1.9			5.3	
	Cd濃度 mg/Nm ³	0.006			0.135	
	Pb濃度 mg/Nm ³	0.204			0.611	

註 1) 以硫酸處理鋅燒礦時之不溶解殘渣的乾燥爐。

2) 1)乾燥物之燒結爐。

3) 床段數 5。

4) 床段數 2、4 共計 4 座。

5) 以1)所得溶解液洗滌。

6) 以碱液洗滌。

7) 洗滌塔前設有靜電集塵機。

4-2 有害氣體

a. 吸收裝置

分類、名稱及主要特徵：

(1) 液分散型 (圖八)

①填充塔 構造簡單。可由變更填充料，高吸收效率，降低壓力損失，增加處理能力。可使用磁製或塑膠製填充料，處理腐蝕性氣體。壓力損失較小。處理氣體容量範圍較大，填充料價格較貴。

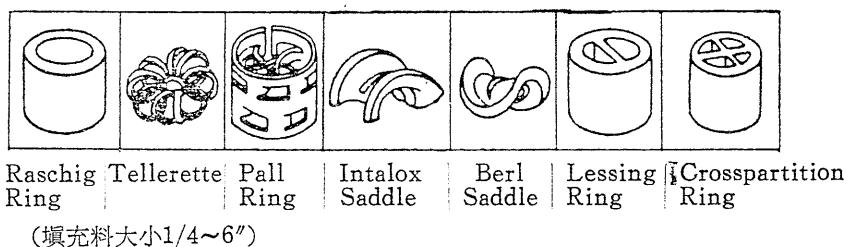
氣體速度 (空塔) $0.3 \sim 1.5 \text{ m/s}$ (溢流速度的 $50 \sim 65\%$)。

液氣比 $0.5 \sim 2 \ell/\text{m}^3$ ，壓力損失 $50 \sim 200 \text{ mmAq}$ 。

塔徑為填充料直徑的 8 倍以上。

為了使氣液接觸良好，拉西環之填充高度應為塔徑的 $2 \sim 3$ 倍，鞍型為 $5 \sim 8$ 倍，柱環為 $5 \sim 10$ 倍，且應配置液再分配器。

如為拉西環，填充高度應為塔徑之 3 倍以下，鞍型及柱環為塔徑之 5 倍以下。通常一段之填充高度為 6 米以下。



②噴霧塔 構造單純。液滴難以均一分布於全斷面為其缺點，通常使用於固體粒子有堵塞填充塔之場合。

氣體在冷卻增濕時亦使用。

排氣之壓力損失小。

空塔氣體速度 $0.15 \sim 0.6 \text{ m/s}$ ，壓力損失 $20 \sim 70 \text{ mmAq}$ ，液氣比 $0.2 \sim 1.5 \ell/\text{m}^3$ 。

③文氏洗滌塔 比較小型，但可處理大量氣體。

壓力損失大，吸收效率佳。

氣體流速 (喉頭處) $30 \sim 80 \text{ m/s}$ ，液氣比 $0.3 \sim 1.5 \ell/\text{m}^3$ 。

壓力損失 $200 \sim 800 \text{ mmAq}$ 。

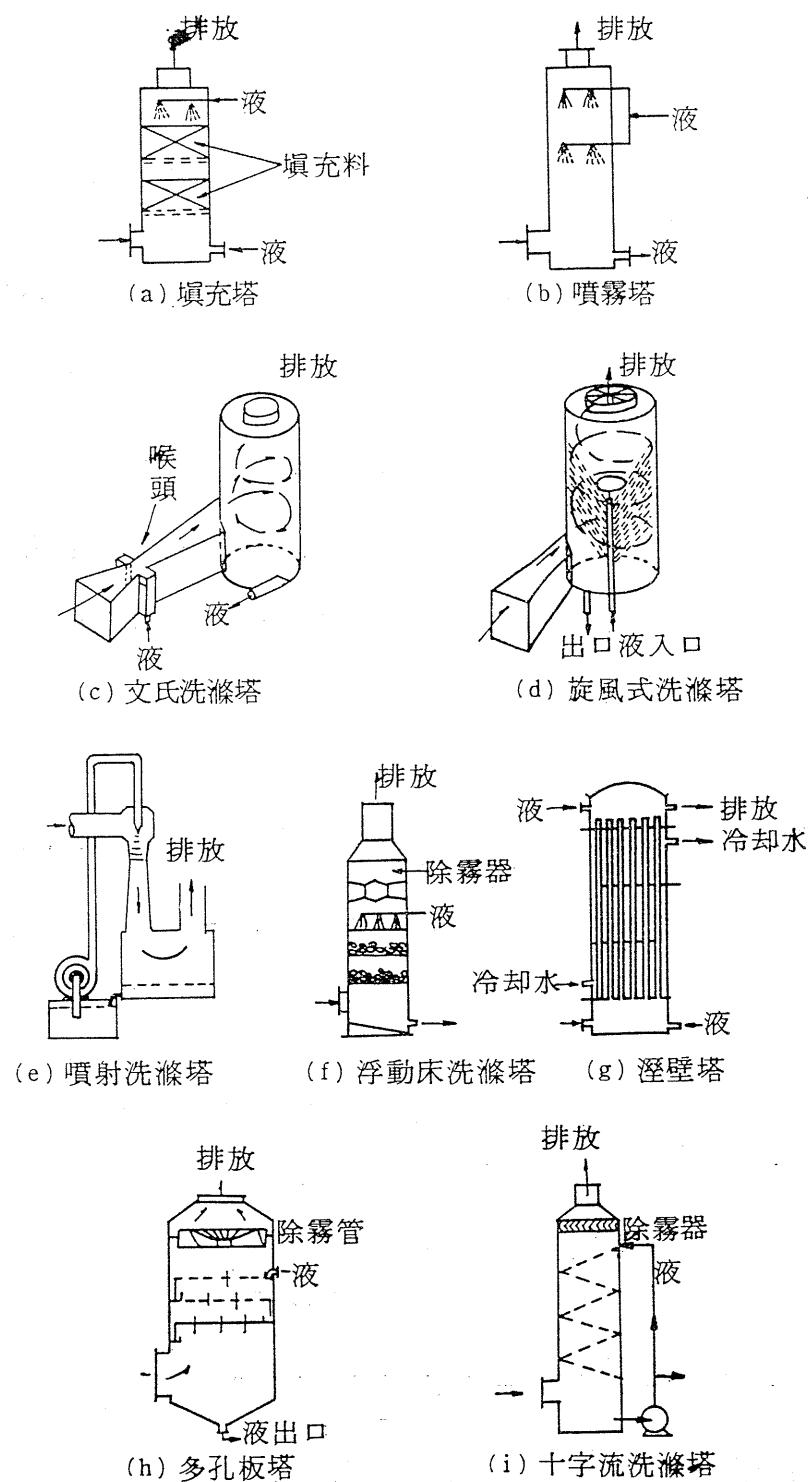
④旋風洗滌塔 可處理大量氣體。

氣體速度 $1 \sim 2 \text{ m/s}$ ，液氣比 $0.5 \sim 1.5 \ell/\text{m}^3$ ，壓力損失 $50 \sim 200 \text{ mmAq}$ 。

⑤噴射洗滌塔 液體加壓動力大，對氣體量大者不適合。

氣體流速 (喉頭處) $20 \sim 50 \text{ m/s}$ ，壓力損失 $20 \sim 200 \text{ mmAq}$ 。

液氣比 $10 \sim 100 \ell/\text{m}^3$ 。



圖八 主要的吸收裝置

⑥浮動床洗滌塔 在孔板上裝置直徑約 30mm P.P. 製之中空球，因不太會發生堵塞現象，適用於排塵量多的氣體，有時亦用玻璃製之空球。
空塔速度 3~5m/s，壓力損失 50~80mmAq，液氣比 1~10ℓ/m³。

⑦濕壁塔 液體沿著垂直圓管（黑鉛製）呈膜狀流下，氣體在管內與液體同向或反向接觸。管外流動水係供冷卻用。濕壁塔用於吸收熱大的場合（如氯化氫之回收等）極具效果。

(2)氣體分散型

①多孔板塔 構造比較複雜，液量比較少，溶解度大的氣體可用 2~3 段，氣體量變動大者不適用此裝置。

氣體空塔速度 1~2m/s，孔的氣體速度 5~15m/s，液氣比 0.3~5ℓ/m³，壓力損失 100~300mmAq/段。

②十字流洗滌塔 金屬網或塑膠網垂直或傾斜裝於塔內，液體由網上方流下。網之開孔面積為斷面之 30~40%

③氣泡塔 塔底安裝氣體分散器，由於氣體吹入塔內，使液體產生大量氣泡而吸收之。

空塔速度小 (0.01~0.3m/s)，壓力損失大 (200~1500mmAq)。

不適於處理大量氣體。

b. 處理方法

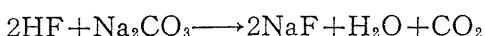
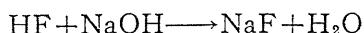
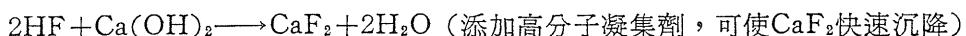
(1)氟化物

填充塔、噴霧塔、浮動床洗滌塔、文氏洗滌塔、旋風洗滌塔等均可用為吸收氟化物之裝置。氟化氫、矽氟酸腐蝕性甚強，故塔之材質宜用 P.P.、P.V.C.、P.E.、氟碳樹脂。

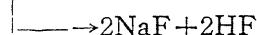
氣體溫度高時，應使用蒙乃爾合金 (Monel Metal，一種鎳、銅、鐵合金)、鎳、銅等。

HF 及 SiF₄ 之溶解度大，使用水或鹼性溶液吸收即可。

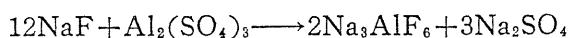
①溶於水之 HF，添加 Ca(OH)₂、NaOH 等，可回收氟化物或以污泥型態廢棄。



以硫酸鈉溶液吸收。

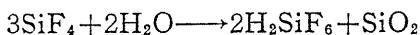


加熱

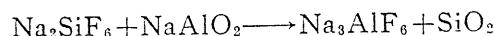
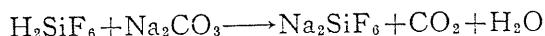


(冰晶石)

②SiF₄ 溶於水中，生成氟化矽酸及膠體狀之矽酸。



H_2SiF_6 可回收氟化鋁、冰晶石。

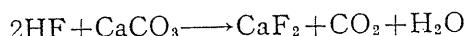


(冰晶石)

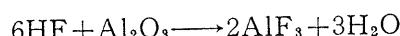
從 H_2SiF_6 , NH_3 , $\alpha-Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ 也可生成 AlF_3 。

③乾式

含 400~600°C HF 之氣體通過石灰石填充層。



對含 HF 之氣體吹入氧化鋁粉末。



④處理實例

表七、表八分別為鋁電解爐及濕式磷酸製造設備排放含氟化物之處理實例。

(2)氯氣及氯化氫

可使用填充塔、多孔板塔、文氏洗滌塔等為吸收裝置。

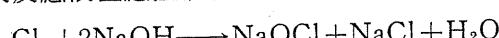
①氯氣

1) 與鹼性溶液反應，可回收次亞氯酸鹽，或廢棄之。



生成物可作為漂白粉或漂白液予以利用。

漂白粉主要成份為 $CaCl_2 \cdot Ca(OCl)_2 \cdot 2H_2O$ 。溫度上升則生成非晶質之固溶體，故反應液溫應控制在 45°C 以下。



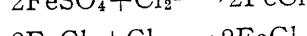
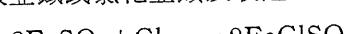
$NaOCl$ 可作為漂白液使用。

2) 以水吸收，再以水蒸氣汽提 (Stripping)，可回收氯氣。

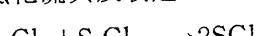
排氣中 Cl_2 濃度在 1% 以下時，1)法為佳，數% 以上時，此法或3)法較佳。

3) 四氯化碳 (CCl_4) 吸收後，以汽提法回收 Cl_2 。

4) 硫酸亞鐵或氯化亞鐵吸收之。



5) 以氯化硫黃吸收之。



6) 硅膠或活性碳吸附之。

7) 處理實例

表九為液氯製造過程排氣之處理實例。

表七 鋁電解爐排氣處理實例

		鋁精鍊方式		Purybaek式 ¹⁾			Soderberg式 ²⁾		
氟化物、粉塵量、捕集效率		處理系		地上系 ³⁾	天井系 ⁴⁾	計	地上系 ³⁾	天井系 ⁴⁾	計
排氣中 粉鋁、 氟化物 量	固體氟化物 (F)	kg/•Al mg/m ³	9.5 61	0.5 0.32	10 —	1.5 47	1.5 0.7	3 —	
	氟化氫 (HF)	kg/•Al mg/m ³	12.6 81	0.4 0.25	13 —	17 543	8 1.4	20 —	
	氟化物合計	kg/•Al mg/m ³	22.1 142	0.9 0.57	23 —	18.5 590	4.5 2.1	28 —	
	全粉塵	kg/•Al mg/m ³	46.1 295	1.9 1.2	48 —	25.9 826	31.1 6.1	39 —	
	填充塔	固體F HF	66* 85*			98** 98**			
	噴霧塔	固體F HF	80 95	25 80		75 99			
集效 率%	浮動洗涤塔	固體F HF	80 98						
	文氏洗滌塔	固體F HF	96 99			96 99			
	乾式鋁粉吹入法	固體F HF	98 99			97 99			

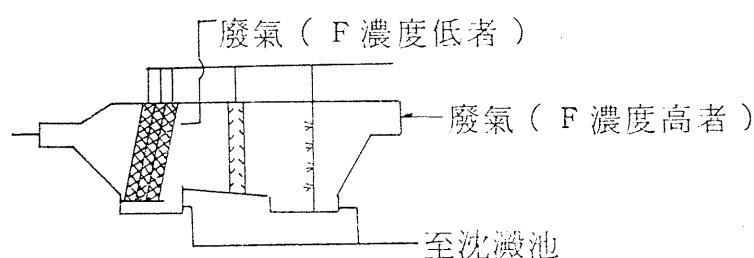
註：1), 2) 為電解槽之型式

3) 電解爐設置集氣罩，吸引廢氣處理之。

4) 吸引逸散至天井之氣體處理之。

* 一般之填充塔 **十字流填充塔（圖九）

(Rush, D., J.C. Russell and R.E. Iverson, Japan. Air Pollution Control Association, 23, 2,98(1973))



圖九 十字流填充塔（填充料為 PE 製）

表八 由濕式磷酸製造裝置排出氣狀及粒狀氟化物處理實例

		例 1		例 2	
磷酸製造量 P ₂ O ₅ t/d		107.5		130	
吸 收 裝 置 形 式		4 角形噴霧塔			文氏洗滌塔 (水量 90.8m ³ /h)
排 出 源		反應器*			反應器*
		噴霧塔		文氏洗滌塔	
	入 口	出 口	入 口	出 口	
氣 體	溫 度 °C	—	71	56	54
	量(乾氣)Nm ³ /h	—	6 245	4 400	3 650
氣 狀 氟 化 物 (F)	量 kg/d	61.7	26.4	17.7	2.79
	" kg/t-P ₂ O ₅	0.57	0.24	0.14	0.021
	濃 度 g/Nm ³	0.435	0.188	0.176	0.034
	除 去 率 %	57.1		84.2	
總 粉 塵	量 kg/d	—	20.8	109	1.7
	" kg/t-P ₂ O ₅	—	0.195	0.839	0.018
	濃 度 g/Nm ³	—	0.146	1.089	0.020
	集 塵 率 %	—		98.5	
水 物 溶 性 (F)	量 kg/d	—	4.57	3.6	0.17
	" kg/t-P ₂ O ₅	—	0.044	0.028	0.001
	濃 度 g/Nm ³	—	0.032	0.037	0.002
	除 去 率 %	—		95.4	
非化 水 物 溶 性 (F)	量 kg/d	—	0.292	4.0	
	" kg/t-P ₂ O ₅	—	0.008	0.031	無 法 檢 出
	濃 度 g/Nm ³	—	0.002	0.040	
	除 去 率 %	—		約100%	

* 粉碎磷礦與硫酸反應，由於反應溫度昇高，須吹入空氣或真空噴水冷卻之。

(U.S. Dep. Health, Education and Welfare, PHS, NAPCA Pub. No. AP-57, p.46 (1970))

表九 液氯製造裝置排氣處理實例

			例 1	例 2
電解槽形式			隔膜法	水銀法
液氯製造能力 t/d			240	262
吸 收 液	入	種類	5%NaOH	CCl ₄
	流	量 ℓ/h	5 680	3 860
	Cl ₂ 濃度	度	60g/ℓ	0.01mol%
	溫度 °C	度	21	-18
	出	Cl ₂ 濃度	120g/ℓ	9.4mol%
	口	溫度 °C	21	10
塔	直徑 m		0.76	汽提塔 0.74 吸收塔(多孔板式) 1.07
	高度 m	填充塔	5.2	吸收塔(多孔板式) 汽提塔 (填充塔、拉西環) 塔高達 15.2
	材質	襯橡膠鋼		鋼
氣體	入	溫度 °C	4	100
	口	壓力 kg/cm ² gauge Cl ₂ 濃度 vol.%	0.14 2	6.55 30
	出	溫度 °C	21	30
		壓力 kg/cm ² gauge	0	2.76
	口	Cl ₂ 濃度 vol.%	tr	tr
		流量 Nm ³ /h	1 830	—

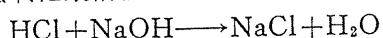
(EPA, APCO Pub. No.AP-80, "Atomospheric Emissions from Chlor-Alkali Manufacture", p. 49(1971))

②氯化氫

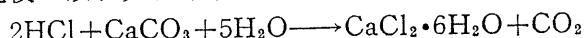
由於氯化氫對水之溶解度甚大，以水洗或碱液吸收甚有效。吸收裝置可用填充塔或文氏洗滌塔等。如屬高濃度 HCl 排氣回收時，可併用填充塔及濕壁塔。

有機氯化物廢液採用液態燃燒，其排氣可採用填充塔等裝置予以處理，惟燃燒過程中，除 HCl 外，尚有 Cl₂生成，故吸收液應添加氫氧化鈉，並採用FRP、PVC 或橡膠襯裏為吸收裝置之材質。

1)以氫氧化鈉溶液吸收。

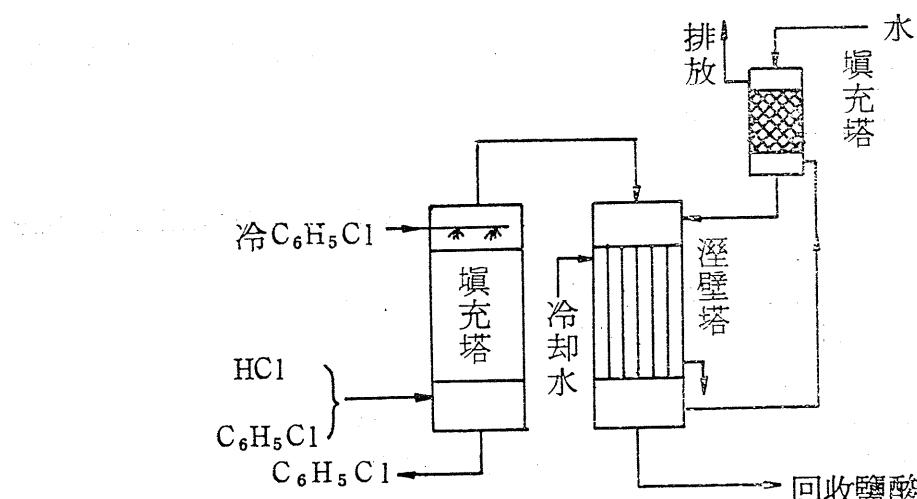


2)水洗後，以石灰石等中和。



3)採用石灰石、純鹼、白雲石等之乾式吸收法。

4)處理實例（圖十）



圖十 氯化製程副產 HCl 回收

苯之氯化過程，副產 HCl；此外，含若干 C₆H₅Cl 之排氣先導入填充塔內，與冷 C₆H₅Cl 接觸，以回收排氣中之 C₆H₅Cl。接著，含 HCl 之排氣在濕壁塔內處理，而回收 HCl，排氣再經水洗或碱洗即可排放。其處理實績列如表。

(3)氮氧化物

①燃燒方法及裝置的改變，包括

- 1)低氧量燃燒
- 2)二段燃燒
- 3)排氣再循環
- 4)併用2)及3)
- 5)水蒸氣或水的噴射

表十 副產鹽酸工廠回收及其排氣處理實例

		例 1	例 2
副 產 鹽 酸 回 收 酸	量 濃 度 t/d °Be'	90 20(31.45%)	140 20
排 放 氣	量 溫 度 HCl 濃 度 m³/h °C ppm	880 24 10以下	320 4 23
處 理 方 法 每 t 回收酸排放 HCl 之克數 g/t	NaOH 溶液吸收 3.6以下	水洗 2	

(U.S. Dep. Health, Education and Welfare, PHS, NAPCA Publication No. AP-54,
"Atmospheric Emissions from Hydrochloric Acid Manufacturing Processes", p. 12(1969))

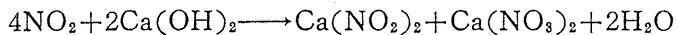
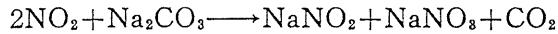
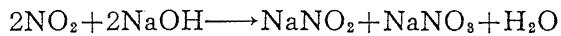
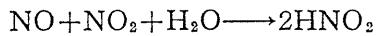
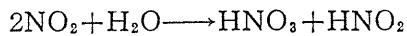
6)燃燒器的改良：將一個火苗分割成數個火苗；使火苗厚度變小；在燃燒器噴嘴處循環燃燒氣體。

7)使用含氮少之輕質液體燃料或不含氮之燃料。

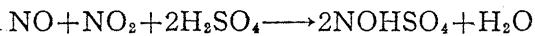
②排煙脫硝

排煙脫硝技術之研究開發仍在繼續進行，但能特別處理含 NO 大量排氣之實用裝置仍應加強開發。

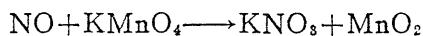
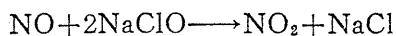
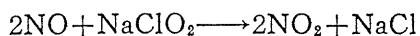
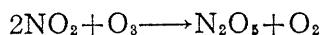
1)以水或碱液吸收，但 NO 在水及碱液中幾乎無作用。



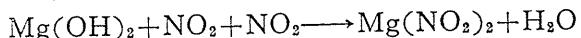
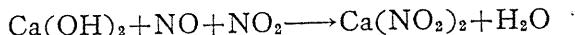
2)以硫酸吸收成硝醯硫酸。



3)以臭氧、亞氯酸鈉、次亞氯酸鈉、過氧化氫、過錳酸鉀等將 NO 氧化成 NO₂後，再以碱液吸收。



4)以氫氧化鈣或氫氧化鎂吸收。

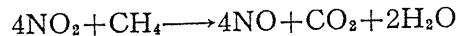
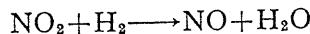
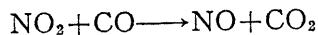
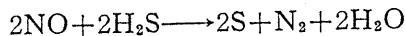
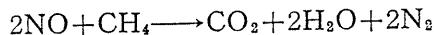
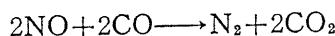


5) 使用活性碳、Pt、Co、Mn、Fe、Ni、Cu、Cr 等之氧化物為觸媒，進行氧化後，再以碱液吸收。

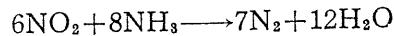
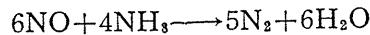
6) 以Fe、Cu、Mn、Ni、Co 等之硫酸鹽或氯化物溶液吸收。



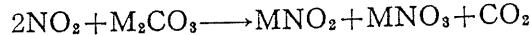
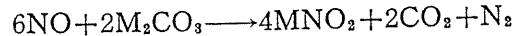
7) 使用 Pt、Cu、Co、Ni、Fe、Mn、Cr 等之氧化物或其複合體為觸媒，以 CO、H₂、CH₄、H₂S 等還原之。



8) 使用與7)同樣之觸媒，以氨還原之。



9) 熔融鹼金屬碳酸鹽乾式吸收法。



M=Na, K, Li

(本文節譯自日本通產省立地公害局監修「公害防止必攜」一書)