

非鐵金屬鑄造業熔爐廢氣特性及控制技術

葉松源* 邱國書* 徐世杰* 林文川**

摘要

國內的非鐵金屬鑄造業均屬二次熔煉，使用原料主要為鋁、銅、鋅錠及回收之廢金屬等，因此兼具資源回收的功能，目前所遭遇的環保問題主要為熔煉製程所排放之煙塵。因此，本文乃針對熔爐廢氣特性及控制技術進行探討。

國內鋁鑄造業以反射爐、坩堝爐及週波爐進行熔煉作業，排放廢氣中粒狀物濃度僅 $5\sim 35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，中值粒徑介於 $0.3\sim 3.3\mu\text{m}$ 間，而 SO_x 、 NO_x 等氣狀污染物濃度均小於 21ppm 。銅鑄造業熔煉以週波爐為主，粒狀物濃度達 $150\sim 400\text{mg}/\text{Nm}^3$ 間，中值粒徑介於 $0.6\sim 9.0\mu\text{m}$ 間。鋅鑄造業熔煉則以坩堝爐及週波爐為主，粒狀物濃度為 $60\sim 150\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，中值粒徑約 $7.5\mu\text{m}$ 。三者之含氧量均高達20%左右，此因集氣皆採外部式氣罩而致抽入大量空氣之故。

在熔爐廢氣收集處理系統上，常因氣罩設置不佳，致使廠房煙塵逸散，因此氣罩的良窳便成為熔爐廢氣排放控制成敗的關鍵。在污染防治工作上，除著重管末處理外，亦應由廠內製程改善著手。熔爐廢氣處理之可行技術有二：一為乾式系統，處理流程包括冷卻器、旋風集塵機及袋濾集塵機等設備；另一為濕式系統，以文氏洗滌塔進行收集微細粉塵再配置填充洗滌塔吸收去除氣狀污染物。本文並針對一鋁廠熔爐廢氣處理作介紹，期供工廠及相關業者參考。

【關鍵字】

- 1.非鐵金屬鑄造(non-ferrous casting)
- 2.二次熔煉(secondary smelting)
- 3.助熔劑(flux)

*中國技術服務社工業污染防治中心工程師

**中國技術服務社工業污染防治中心小組長

一、前　　言

非鐵金屬鑄造業為國家工業化的基礎，隨台灣地區近三十年來的經濟發展，非鐵金屬製品的需求量逐年增加。由於非鐵金屬鑄造業均屬勞力密集及高度污染工業，尤其在台灣地區本行業亦扮演廢非鐵金屬回收再生的重要角色，因此，生產過程中均極易產生各種不同型態的空氣污染物，若無妥善污染防治措施，將會嚴重影響空氣品質，對人體健康造成危害。

非鐵金屬材料廣泛運用在電工器材業、運輸工業、建築工業、家庭五金等民生工業，非鐵金屬材料較常用的有鋁、銅、鋅，根據調查結果顯示，鋁鑄造業可大致包括：鋁板片捲製造業、鋁箔製造業、鋁擠型業、再生鋁錠業、鋁壓鑄業等。銅鑄造業大致包括：電線電纜業、銅半製品業、銅製品工業及銅箔業。鋅鑄造業則包括：鋅壓鑄業、再生鋅錠業。由於本行業之製程繁多，產生之空氣污染問題亦不盡相同，因此對業者而言亦是一大負擔；然而國內之環保意識漸趨成熟，業者若仍抱持著撓倖的心態，不確實做好污染防治工作，今後勢必將遭受強烈的環保抗爭及衝擊，因此，要穩固非鐵金屬鑄造業，徹底解決此行業的污染問題，是當前刻不容緩的重要課題。

有鑑於國內之非鐵金屬鑄造廠目前所遭遇之諸多環保問題中，以熔煉製程排放之煙塵最為人所垢病，亦是業者最大的困擾。因此，本文謹彙集工業局工業污染防治技術服務團於81~83年度三年專案期間輔導非鐵金屬鑄造業工廠之經驗及成效，介紹國內非鐵金屬鑄造業熔爐廢氣排放特性及其控制技術，期供工廠及相關業者之參考。

二、廢氣特性

國內非鐵金屬鑄造業均為二次熔煉(secondary smelting)，所使用之原料主要為鋁、銅、鋅錠及回收之廢金屬，因此，皆兼具資源回收的功能。由於非鐵金屬鑄造業產業分類相當複雜，各種類型產業亦因製造程序及設備之不同，污染排放特性亦有所差異。由於熔爐是鑄造業中不可或缺的設備，且熔解金屬之

製程所產生之金屬煙塵，對人體健康之危害亦最為嚴重，因此，本文主要針對熔爐廢氣之特性進行探討。

2.1 熔煉鑄造程序

目前國內並無以礦石為原料的初生冶煉工廠，純粹採用純原料或廢料以熔爐進行熔解鑄造工作，熔煉鑄造程序如圖1。

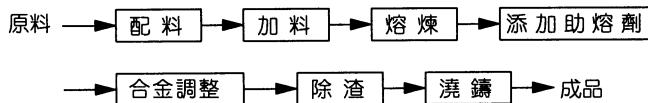


圖1 熔煉鑄造程序

1. 配料

工廠的原料來源可能包括原料錠、工廠自身廢品、外購或進口廢料任一種或二種以上混合料；由於各種原料的合金成份不盡相同，為了達到成品規格的需求，不同的原料常須先經過秤重後，再決定加入熔爐的物料量，由於最後尚有合金調整的步驟，所以加料量無須精密控制，國內工廠一般皆由現場操作人員依據經驗判斷加料量。

2. 加料

各工廠加料系統及進料方式視熔爐形式、大小及原料種類等因素而異，小型熔爐如坩堝爐、小型感應爐多以人工方式加料；大型爐如反射爐、大型感應爐等常以吊車、加料機或堆高機等機械方式進料，加料時視原料的虛比重不同，可能在熔煉前加料一次，即可符合熔爐的容量或是在熔煉過程中仍需持續進料。

3. 熔煉

當原料加入熔爐後，即開始加熱熔煉的製程。各工廠使用熔爐的形式及數量視工廠的原料、產品的種類、用量、品質及生產規模等因素所影響。目前較常使用之熔爐為反射爐、坩堝爐及感應爐等；坩堝爐係指內為坩堝，外有圓型鋼殼，襯耐火材料，主要以重油為燃料，屬於間接式加熱。反射爐乃由燃料直接燃燒，火焰和燃燒產物所產生之輻射熱使爐床上的金屬材料熔

化，由加熱設備與耐火及絕熱材料構成，台灣目前鑄造工廠較常用的為單室前端進料之反射爐，主要燃料以重油為主。感應爐係利用一次線圈之磁力線感應作用，由坩堝內之金屬材料產生之二次感應電流，由材料本身之電阻而使金屬逐漸發熱而熔化；一般以電源頻率高低分成低、中、高週波感應爐。在工廠生產製程中，熔爐主要用途有二，一作為熔解原料用，另一為保溫用，此二用途可以單一熔爐同時完成，亦可使用多個熔爐分別作不同用途。

4.助熔劑添加

在熔煉過程進行中，一般都需適時添加不同用途的助熔劑，惟並非所有製程都必須添加助熔劑。助熔劑之添加與否、添加種類、用量受原料的種類、熔爐大小、產品品質、爐渣再利用及工安方面等因素影響。一般使用純原料錠為原料的工廠，其助熔劑用量可以減少，甚至不須使用任何助熔劑；若以廢料為原料的工廠，其助熔劑用量就必須增加。

在熔解過程中，經常會遭遇一些問題，如浮渣、氫氣氣孔等，這些問題直接影響後來的鑄件品質。鑄造人員越來越依賴助熔劑之添加，以確保金屬之最佳物理和機械的特性。一般助熔劑區分為四大類：

- (1) 覆蓋用助熔劑(covering flux)：用來避免氣體之增加，並降低氧化所形成之浮渣。
- (2) 清淨用助熔劑(cleaning flux)：用來消除固態非金屬性夾渣。
- (3) 脫氣用助熔劑(degassing flux)：添加於熔液中，以消除陷入的氣體。
- (4) 撇渣用助熔劑(drossing-off flux)：用於從浮渣中，還原金屬。

而依助熔劑之物性區分，一般可分為兩類：一為氣體助熔劑，另一種為固體助熔劑。固體助熔劑之效果不如氣體助熔劑，但操作簡單，因而較被廣泛採用。氣體助熔劑主要作用為脫氣和淨化作用，較常使用之氣體為氯氣、氮氣、氬氣、氦氣，其中最常使用的則是氯氣和氮氣。氣體是以石英或石墨等耐火管導入底部，氣體由熔液底部冒泡而出，攜走吸收的氫氣，並將熔渣帶至表面。在效果上氯氣比氮氣為較有效的清淨劑，但氯氣為劇毒氣體，若無嚴密控制，會造成傷害。目前台灣使用之氣體大都為氮氣，僅少數大廠使用少部份氯氣。固體助熔劑一般包括：氯化鋁、氯化鉀、氯化鋅、氟化鋁、氟化鈣等氯化物及氟化物，固體助熔劑可經由化學作用而達到清淨、撇渣、覆蓋之功用。

5. 合金調整

為求確保產品品質能符合要求，許多工廠都設有分光儀以檢定熔融液中之合金成份，當合金中某一成份含量不夠時，即加入該成份之原料以調整熔融液之合金成份，以符合需求。

6. 除渣

熔爐熔煉過程中，原料中的雜質、不純物、原料中成份會形成浮渣(dross)浮於熔融液面上方，在進行澆鑄工作前，必須先將該層浮渣刮除，浮渣刮除一般係以人力或推高機操作刮勺將浮渣刮至容器中以便搬運。浮渣形成與原料特性、熔爐形式、助熔劑使用等因素有關。

7. 澆鑄

熔煉過程完成後，即進行澆鑄工作，由於澆鑄時熔液溫度會逐漸降低，熔煉過程溫度一般皆高於澆鑄溫度。澆鑄方式視鑄件種類、熔爐形式等因素而定，可能以流道澆鑄或以人力持杓舀澆鑄、吊車懸吊澆桶或用機械手臂澆鑄。澆鑄之模具依據造模的方式來區分，基本上可分為三大類，如表1所示。

表1 依造模或鑄造方法所作的模型基本型態分類

類別	依造模或 鑄造方法 分類	模型的基 本型態	使用模型種類 (依材料分類)	適用的造模或鑄造法	
第一類	鑄模需要 分開的造 模方式所 使用的模 型	常溫用模 型	木模、金屬 模、環氧樹脂 模、石膏模等	濕砂模法	使用天然砂或以黏土等為黏結劑調配的 模砂造模，在含有造模狀態的水分下即 進行澆鑄的方法。
				乾砂模法	將濕砂模表面或全部乾燥，使其硬化才 澆鑄的方法。
				油砂模法	以亞麻仁油為黏結劑，造模後，將鑄模 加熱到約 200°C 而硬化的方法，常用於 砂心。
				CO ₂ 法	以矽酸鈉為黏結劑調砂，造模後通入 CO ₂ 氣體，使砂模變化的方法。
				自硬性造 模法	以調配呋喃樹脂及硬化劑的砂或水泥砂 造模，然後使其在室溫自然硬化的方 法。

表1 依造模或鑄造方法所作的模型基本型態分類(續)

類別	依造模或 鑄造方法 分類	模型的 基本型 態	使用模型種類 (依材料分類)	適用的造模或鑄造法	
第二類	鑄模不分開的造模 方式所使用的模型		蕭氏鑄造法	將耐火粉末調配矽酸乙酯的泥漿注入模型四周，膠化後起出模型，鑄模急速加熱到1,000°C所得的鑄模法。	
			殼模法	將調配好酚樹脂等熱硬化性樹脂為黏結劑的模砂，吹入預熱到200~300°C的金屬模面而硬化的成型法。	
		流出式 模型	蠟模、塑膠 模、凍汞模 (這些模型的 成形需要永久 的模具)	包模鑄造法	將調配耐火粉末及矽酸乙酯的泥漿沾附在可熔性的蠟模或塑膠模表面，然後再淋砂或灌漿以增強鑄模，加熱鑄模，使蠟等熔化流出形成中空的模穴的方法。
第三類	在鑄模上 開設所需 形狀的模 穴而不需 要模型		消失式 模型	全模法	以保利龍模型造模後直接澆鑄，熔液取代保利龍燃燒後所形成的模穴，成為鑄件。
			伸縮式 模型	氣球鑄模法	將充填空氣或液體的氣球模型造模後，放氣縮小模型後取出，作成鑄模（此法不常用）。
			壓鑄法	將熔液加壓力，強制鑄入金屬鑄模內的方法。	
			金屬模重力 鑄造法	不對熔液加壓，與一般砂模鑄造相似，在金屬模上方直接澆鑄的方法。	
			低壓鑄造法	對密閉爐中的熔液加壓，擠入置於上方的金屬模、石墨模內。	
			離心鑄造法	使熔液澆入高速旋轉的鑄模內，用離心力形成中空或加壓的鑄造法。	
			連續鑄造法	通過熔化爐下方或側面的水冷金屬模或石墨鑄模，連續拉出所需形狀鑄件的方法。	
			半永久模鑄 造法	不必每次澆鑄就破壞鑄模，藉燒磨土模、石墨模、碳化矽模等燒成模，用後稍加修補，鑄模可使用數次。	

資料來源：[1]

2.2 鋁冶煉鑄造業廢氣特性

台灣地區鋁產業結構如圖2所示。鋁業工廠中，鋁箔業幾乎都係進口鋁箔進行加工製造，並無治煉鑄造製程；鋁板片捲製造業因國外進口價格便宜，目前僅剩下少數工廠仍有生產以供應下游加工製品業使用，多數工廠都已轉型為加工製品廠；下游加工製品工廠所需之鋁板片大部份仰賴進口，少部份由國內供應，上述產業目前多無治煉鑄造程序。鋁擠型業、鑄造業及再生鋁錠業主要以鋁錠或鋁廢料加以熔煉鑄造後再予加工製造；目前國內鋁擠型業多數亦自國外或由國內購買鋁擠錠(billet)進行擠型加工，本身亦無熔煉鑄造程序。

鋁鑄造業污染源中較嚴重者為熔爐，熔爐廢氣特性隨使用原料及熔爐型式之不同而有差異，茲就粒狀物、氣狀污染物及含氧量等分述特性如下：

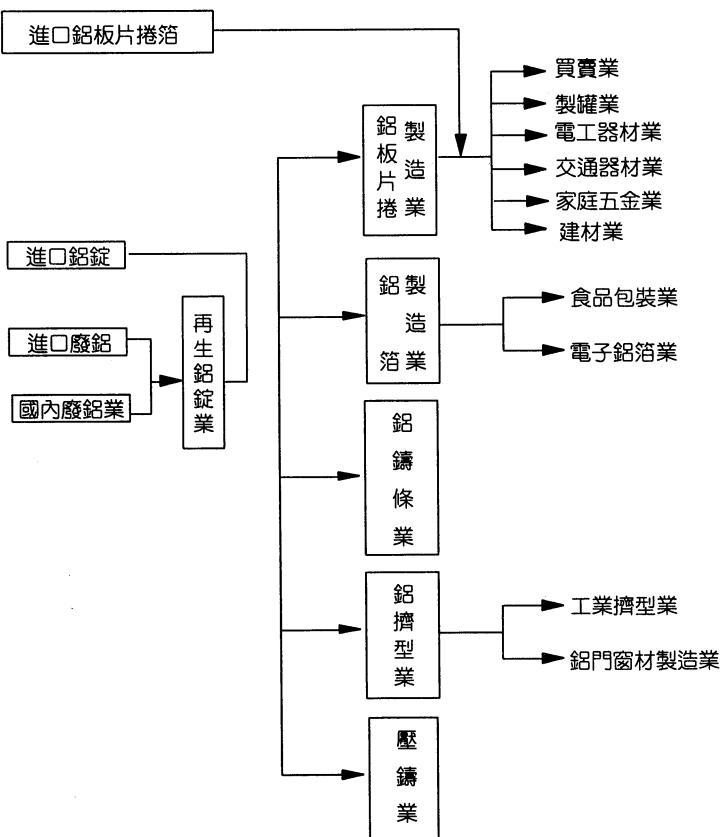


圖2 台灣地區鋁業產業結構

1. 粒狀污染物

熔爐及爐渣處理間之廢氣特性如表2所示，由表可知以電力為能源之週波爐所排放粒狀物濃度最低，採用重油燃燒之坩堝爐及反射爐則較高。整體而言，熔煉期之粒狀物濃度約在5~35mg/Nm³之間並不高，惟一般於進料期或出料期因液面擾動，會在短暫時程內排放較高濃度之煙塵；在使用原料方面，熔解鋁廢料所排放之粒狀物濃度及其重金屬含量皆要高於熔解鋁錠，可知鋁廢料中所含雜質或其他不純物質亦是粒狀物及毒性物質污染排放貢獻者之一。

表2 鋁鑄造業熔爐廢氣特性

污染物	污染源	週波爐	坩堝爐	反 應 爐	
		鋁錠	鋁錠	鋁錠	鋁廢料
粒狀污染物(mg/Nm ³)		5	25	20	35
重金屬含量 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	銅	—	15	—	30
	鋅	—	10	—	110
	鉛	—	25	—	30
	鎘	—	40	—	35
	鉻	—	10	—	20
氣狀污染物 (ppm)	SOx	ND	21	ND	ND
	NOx	ND	12	12	4
含氧量(%)		19.5	19.5	18.6	19.8

【註】 污染物濃度未經含氧量基準校正

鋁熔解製程所排放粒狀污染物之粒徑均相當微細，粒狀物之粒徑分佈如圖3所示，其中值粒徑則介於0.3~3.3 μm 之間。

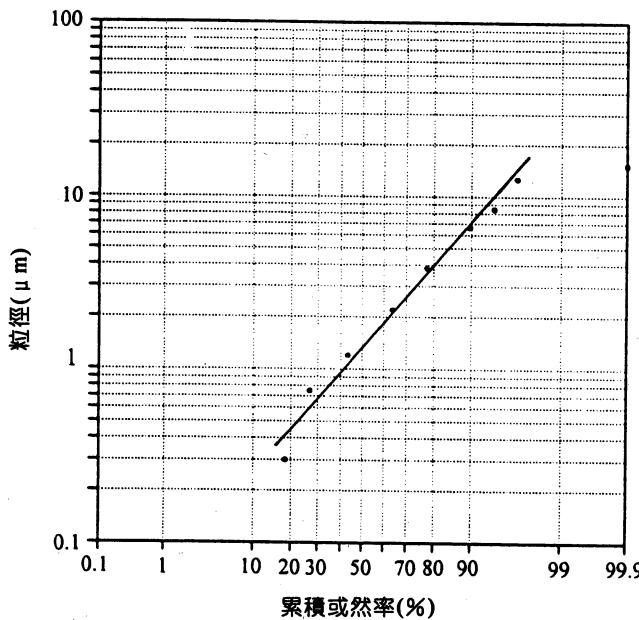


圖3 鋁熔解過程排放粉塵之粒徑分佈

2. 氣狀污染物

週波爐排放之硫氧化物、氮氧化物濃度均低於檢測下限，此乃因週波爐係以電力為能源之故，而採重油燃燒之坩堝爐及反射爐則仍不免有較高濃度之氣狀污染物產生，惟整體而言之氣狀污染物濃度均屬偏低，其中硫氧化物濃度小於21ppm，而氮氧化物濃度則小於12ppm。

3. 含氧量

一般金屬熔爐大都採用外部氣罩收集污染物，反射爐雖有固定煙道排放廢氣，然針對加料口及出料口等污染源亦需設置氣罩防止污染物逸散，為確保氣罩能夠完全捕集污染物，均需同時引入大量外界空氣，因此金屬熔煉過程一般為非完全密閉燃燒系統，其廢氣含氧量介於18~20%之間，遠高於法規所定之6%含氧量校正基準。爐渣處理間可為一密閉空間或開放空間，當浮渣傾倒平鋪於地面進行冷卻時，亦會耗去少量氧氣，其廢氣含氧量為20%左右。

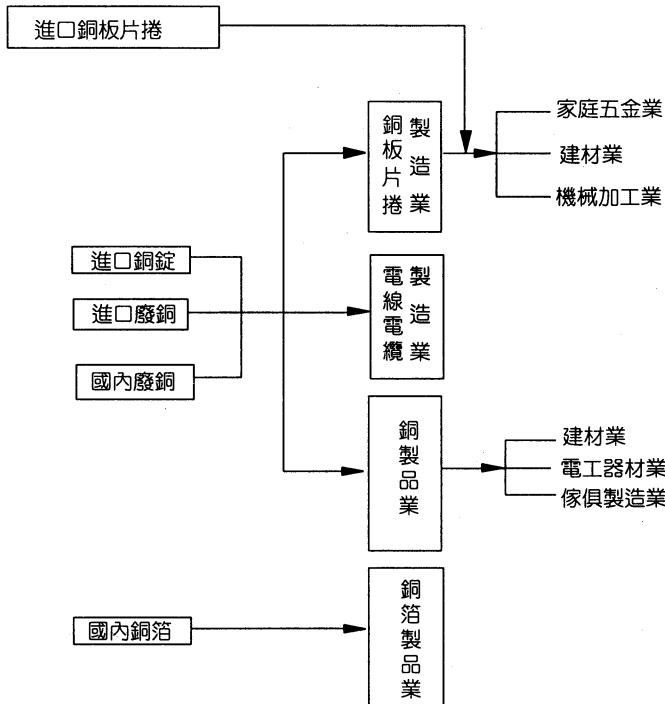


圖4 台灣地區銅產業結構圖

2.3 銅冶煉鑄造業廢氣特性

國內銅製品業大致包括：電線電纜業、銅半製品業、銅製品業、銅箔業及銅製品下游加工業。基本上，銅產業結構如圖4所示。國內電線電纜業於銅製品工業中，生產規模最大，消耗銅原料亦最多，在早期，有為數不少的工廠購入較低級的銅廢料再經熔解精煉程序以製造電線電纜，惟目前絕大部份工廠皆使用初生電解銅為原料。銅半製品業主要包括銅板片捲及銅棒製造業，其原料可能為購入廢銅經熔解後鑄成銅錠，或採用外購銅錠，再經加工製成銅板片捲或銅棒外售，供應下游加工廠使用。國內目前銅箔製造業數量極少，多數係以銅箔進行加工作業。銅製品業可能以銅錠或廢銅為原料，以熔爐熔解後鑄造成銅閥、彎頭、銅器等產品。

熔爐是銅鑄造業主要空氣污染源之一，其排放特性隨使用原料及熔爐型式之不同而有差異，茲針對熔爐廢氣之污染排放特性探討如下：

1. 粒狀污染物

銅鑄造業熔解製程所採用之熔爐型式主要有週波爐及坩堝爐，若細分熔解製程為進料期、熔解期及出料期，則其污染物之排放如表3所示，由表可知進料期由於擾動液面及廢料中可能含有油份等雜質，使得粒狀物排放濃度較高，而熔解期由於熔融液面持續靜止，故粒狀物排放濃度較低，且熔廢料所排放廢氣中粒狀物濃度要高於熔銅錠，可見原料中雜質或油份含量為影響污染排放程度因素之一；粒狀物之重金屬含量以鋅成份濃度最高，可達其他重金屬成份濃度之10倍以上，此乃黃銅中之合金成份為鋅之故；熔爐排放粒狀物之粒徑分佈如圖5所示，其中值粒徑介於0.6~9.0 μm 之間。

2. 氣狀污染物

銅熔爐廢氣中氣狀污染物並非造成空氣污染之主要問題，其主要來源係來自熔爐燃料之燃燒，因目前工廠使用重油者都採用中油公司所產低硫油，因此氣狀污染物濃度均不高，由檢測結果顯示硫氧化物濃度介於 ND~17ppm，而氮氧化物濃度則介於5~45ppm。

表3 銅鑄造業熔爐廢氣特性

污染物	原料	週波爐		坩堝爐
		銅廢料	銅錠	銅廢料
粒狀污染物 (mg/Nm ³)	進料期	270	240	410
	熔解期	160	15	250
	出料期	130	165	270
重金屬含量 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	銅	6,200	6,500	4,600
	鋅	65,000	65,000	129,800
	鉛	9,100	800	7,100
	鎘	120	100	260
	鉻	60	25	60
氣狀污染物 (ppm)	SOx	17	ND	ND
	NOx	45	7	9
含氧量(%)		19.3	20	20

註：污染物濃度未經含氧量基準校正

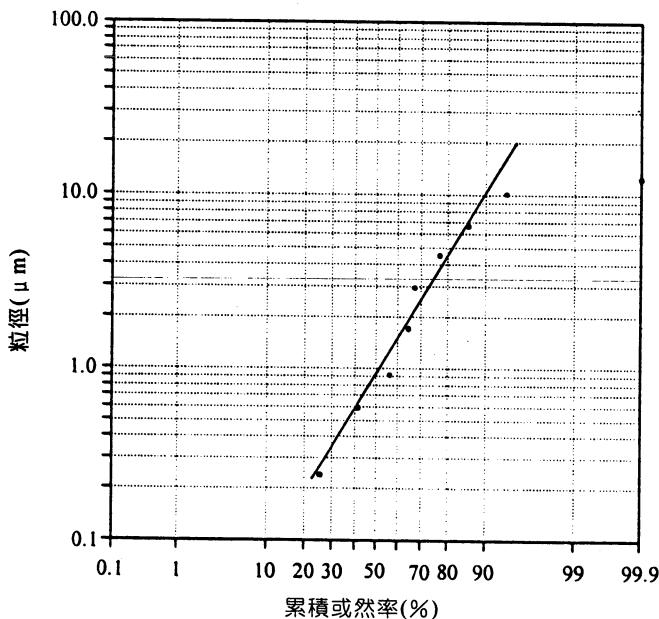


圖5 銅熔解過程排放粉塵之粒徑分佈

3. 含氧量

熔爐之廢氣採外部（諸如上吸式、下吸式等）氣罩捕集，常混合吸入大量空氣，使得廢氣含量介於19~20%之間，此排放特性與鋁鑄造業熔爐廢氣相似。

2.4 鋅冶煉鑄造業廢氣特性

國內含鋅合金工業大致包括：熱浸鍍鋅業、鋅壓鑄業、再生鋅業。熱浸鍍鋅業主要係作鋼製品之表面處理；壓鑄業主要係生產泵浦、汽車零件及藝術品等；再生鋅業主要係生產再生鋅錠供應國內壓鑄業及黃銅工業等使用。

鋅鑄造業中主要污染源為熔爐，常用型式有坩堝爐及週波爐，其中週波爐多用於小型壓鑄廠而坩堝爐則常用於再生鋅錠廠，就污染排放量而言，以再生鋅錠廠之污染較為嚴重，其熔爐廢氣排放特性如表4所示，分述如下：

1. 粒狀污染物

熔爐廢氣所含粒狀污染物濃度於進料期及出料期較為嚴重，於熔煉期則有明顯降低之情形，顯示熔融液面遭擾動破壞會促成粒狀物排放量增加；粒

58 非鐵金屬鑄造業熔爐廢氣特性及控制技術

狀物之重金屬含量以鋅成份濃度最高，其次為銅及鉛，而粒狀物之粒徑分佈情形如圖6所示，其中值粒徑約 $7.5 \mu\text{m}$ 。

表4 鋅鑄造業熔爐廢氣特性

項 目	進料期	熔解期	出料期
粒狀污染物(mg/Nm^3)	155	60	120
重金屬含量 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	銅	265	115
	鋅	17,340	840
	鉛	290	110
	鎘	10	5
	鉻	40	25
氣狀污染物 (ppm)	SO _x	ND	
	NO _x	13	
含氧量(%)		20	

[註]：污染物濃度未經含氧量基準校正。

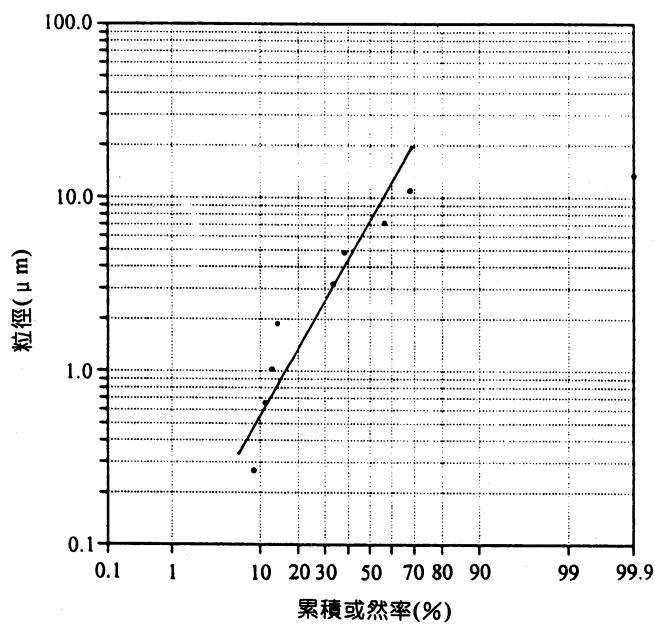


圖6 鋅熔解過程排放粉塵之粒徑分布

2. 氣狀污染物

氣狀污染物檢測結果顯示其濃度均不高，硫氧化物濃度低於檢測下限，氮氧化物濃度約為13ppm。

3. 含氧量

因坩堝爐熔解並非密閉系統，且採外部式氣罩捕集污染物，以致常抽入大量空氣，造成廢氣含氧量高達20%。

2.5 污染物排放係數

根據國內調查之資料顯示，鋁、銅、鋅業熔爐廢氣各項污染物之單位污染量分別為表5至表7。

表5 國內鋁冶煉鑄造業空氣污染物排放因子

污染物	污染源 排放因子	反 射 爐				坩 鍂 爐		感 應 爐	
		廢 鋁		鋁 積		鋁 積		鋁 積	
		未處理	袋濾集 塵機	未處理	袋濾集 塵機	未處理	袋濾集 塵機	未處理	袋濾集 塵機
粒狀污染物	公斤／公噸	0.358	0.043	0.345	0.057	0.481	0.16	0.108	0.23
銅	公克／公噸	0.48	—	—	—	0.3	—	—	0.09
鋅	公克／公噸	9.86	—	—	—	0.19	—	—	3.47
鉛	公克／公噸	0.47	—	—	—	0.43	—	—	0.09
鎘	公克／公噸	0.52	—	—	—	0.69	—	—	0.005
鉻	公克／公噸	0.31	—	—	—	0.17	—	—	0.05
硫氧化物	公斤／公噸	—	—	—	—	1.02	0.58	—	—
氮氧化物	公斤／公噸	0.34	0.34	0.13	—	0.42	0.42	—	—
備 註		以成品計		以成品計		以成品計		以成品計	

表6 國內銅冶煉鑄造業空氣污染物排放因子

污染物	排放因子	污染源		反應爐		感應爐				坩鍋爐			
		銅錠		銅廢料		銅錠		銅廢料		鋁錠			
		未處理	袋濾 集塵機	未處理	袋濾 集塵機	未處理	袋濾 集塵機	未處理	袋濾 集塵機	未處理	袋濾 集塵機		
粒狀污染物	公斤／公噸	2.71 ^a	0.22 ^b	3.95	0.19	1.35	0.05	6.42	0.08	7.62 ^c	0.61		
銅	公克／公噸	61	4.85	72	3.46	61	2.24	93	1.12	61	4.85		
鋅	公克／公噸	609	49	696	33	609	23	2,627	32	609	49		
鉛	公克／公噸	8	0.6	101	4.86	8	0.28	143	1.71	8	0.6		
鎘	公克／公噸	0.91	0.07	1.54	0.07	0.91	0.03	5.23	0.06	0.91	0.07		
鉻	公克／公噸	0.22	0.02	1.02	0.05	0.22	0.01	1.22	0.01	0.22	0.02		
硫氧化物	公斤／公噸	—	—	—	—	—	—	0.25	0.25	—	—		
氮氧化物	公斤／公噸	—	—	0.47	0.36	0.12	0.12	0.34	0.26	—	—		
備 註		以成品計		以成品計		以成品計		以成品計		以成品計			

a.無檢測資料，以USA EPA銅二次熔煉排放因子2.5公斤／公噸（以進料量計）經92%生產效率轉換成2.71公斤／公噸（以成品計）。

b.無處理後之檢測資料，以袋濾集塵機92%處理效率估之。

c.僅有袋濾集塵機處理後之檢測數據，以其92%處理效率反估之。

表7 鋅鑄造業熔爐廢氣特性

項 目		進料期	熔解期	出料期
粒狀污染物(mg/Nm ³)		155	60	120
重金屬含量 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	銅	265	115	225
	鋅	17,340	840	155
	鉛	290	110	225
	鎘	10	5	10
	鉻	40	25	15
氣狀污染物 (ppm)	SOx	ND		
	NOx	13		
含氧量(%)		20		

註：污染物濃度未經含氧量基準校正。

三、廢氣收集系統

由於非鐵金屬鑄造業中熔爐之熔解溫度高達 $400\sim 1,000^{\circ}\text{C}$ ，且作業場所內常利用天車吊運物料及機料，及各種型式熔爐的進出料方式之差異，都成為收集系統設置上的難題，因此如何設計一有效收集廢氣之氣罩，便成為非鐵金屬鑄造業空氣污染防治工作成功與否的關鍵。目前業界中常雖設有一良好的處理設備，但由於熔爐氣罩設置不佳，致捕集效率不足，造成廠房仍有煙塵逸散現象。因此，以下針對幾種形式熔爐及進料方式列舉有效之收集氣罩。

3.1 坩堝爐氣罩

坩堝爐常應用於小形壓鑄廠，在應用上可分為固定式及傾倒式，其差別在於出湯方式，前者以人工舀湯，後者以傾倒出湯，由於此差異，在氣罩設計亦有所差異。坩堝爐主要之廢氣來源有二，一為熔液液面之熱輻射流，另一為燃燒熱源產生之廢氣，此排氣依燃料種類及使用量之不同而異，於計算出後再換算為氣罩內溫度下之量。

固定式坩堝爐之氣罩在應用上有兩種，如圖7所示。(a)圖適用於無天車時，氣罩開口處（作業時全開）流速採 $0.5\sim 1.0\text{m/sec}$ ，即可避逸散之虞。因排氣之主要成份為氣體及煙塵，搬運速度採 $V_t = 10\text{m/s}$ 即足夠。氣罩壓力損失(P_R)依作業時開口之全開或全閉而異，設計上應採用較大數值。由於坩堝爐內有高溫物質，其上方將產生激烈上昇氣流，其風量通常遠超出所需排風量，為此氣流於抽氣罩上部之推拔管處產生渦流而順沿推拔管管壁下降，故若作業開口過於接近推拔管，即有順沿管壁下降氣體之一部份由開口流出之虞，因此開口之上端與推拔管下端間，宜至少有 200mm 距離。

圖例(b)與前圖例(a)之風量相同。但本例之作業開口均位於坩堝爐上方，有熱氣流上昇由開口部流出之虞。為防止此種缺點，作業開口之流入風速需採用較大之 1.0m/s 。但圖例所示氣罩之開口部不僅為作業開口處而已，作業平面附近亦有經常開放之開口部份，故此部亦應以流入風速 1.0m/s 計算所需排風量。至於壓力損失(P_R)，即因有經常開放之大開口部，可視為不致因作業開口之開關而產生太大變化，可以 $P_R = 0.5P_v$ 計算之。

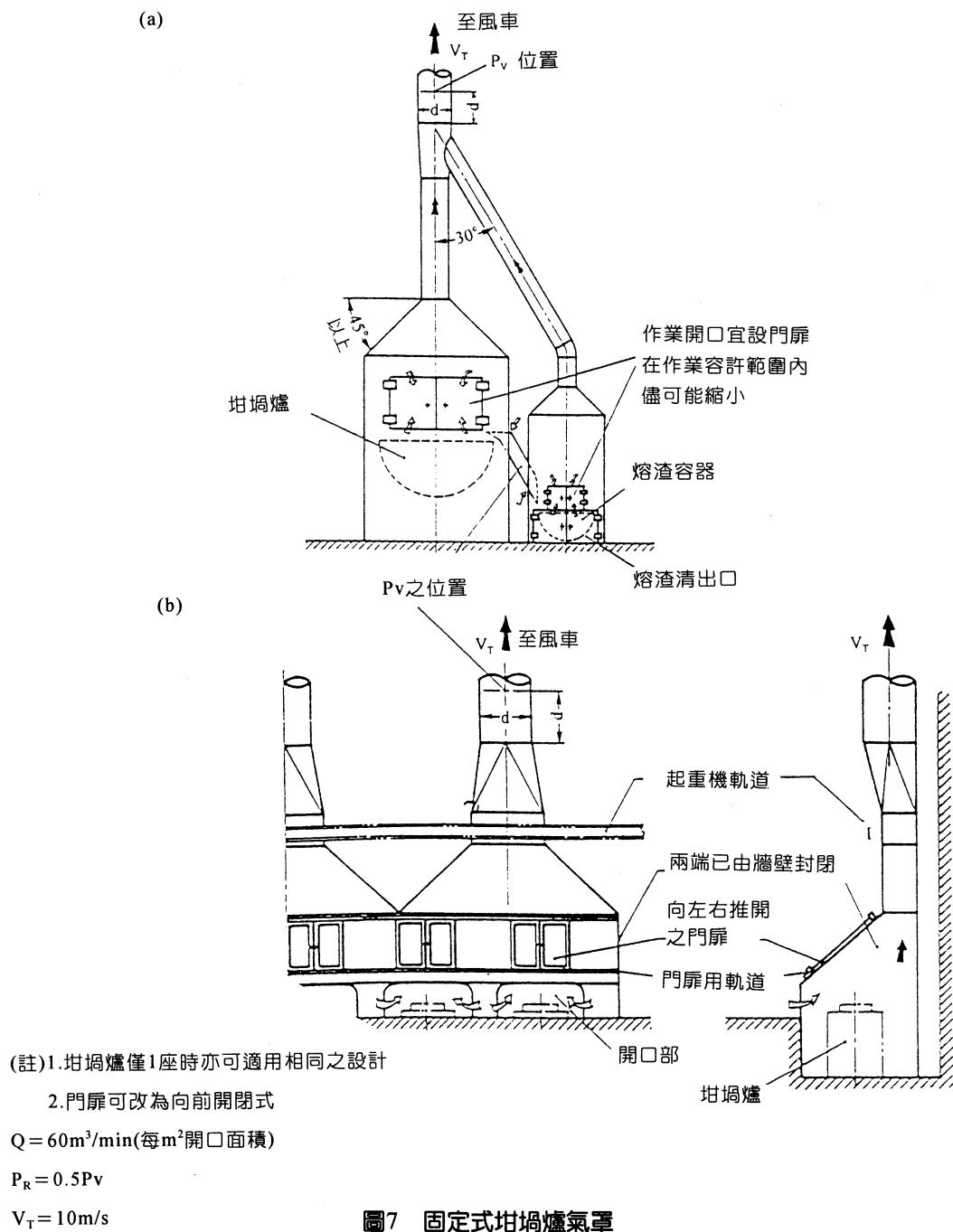
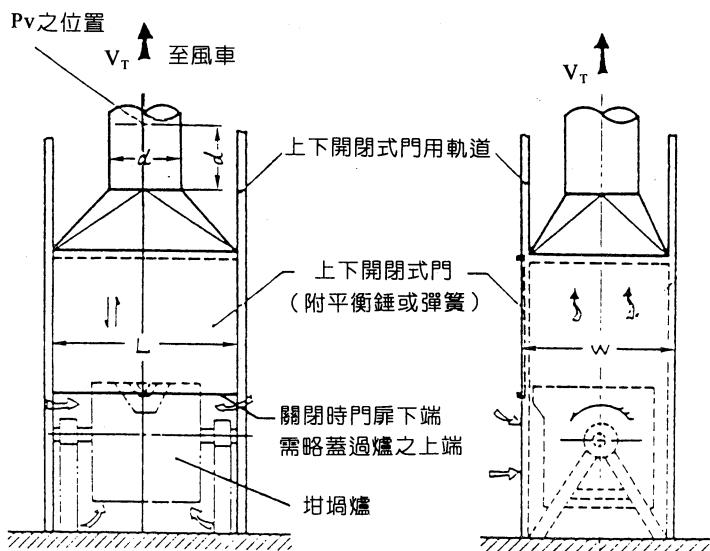


圖7 固定式坩堝爐氣罩

傾倒式坩堝爐的氣罩可採用圖8所示。由作業方便性來考量，應於上下開關式門的下端處，設置圍繞氣罩之作業平台，以利加料、除渣及攪拌等作業。此時上下開關門宜改設為兩側面各1扇較為方便。另外，亦可將上下開關門之開關與熔爐回轉設計為聯動式。

另外，為考量採用吊車搬運可採用圖9所示之上吸頂篷式氣罩，此形式氣罩亦適於週波爐。本氣罩原設置於坩堝爐（週波爐）之正上面，採用直接接受熱上昇氣流之方式，然由於使用吊車做原料之運搬及進料，須留其通路，並配合爐邊作業人員平時作業行動之方便，以及如圖所示原料進料時無法一次全部送入爐內，需積存於爐上約1m高等原因，改用圖示之形狀。由圖可知，氣罩之前簷位於熔爐中心之稍後方，其下部則固定於作業平面，且作業平面與爐口在同一平面上。因此，強制吸引熱上昇氣流進入斜後方氣罩內，氣罩內設有擋板。惟為更提高其效果，此擋板宜稍予加寬。此外，若將左右氣罩相鄰處之前簷缺口部予以封閉，並於前簷全體配設凸緣，即可更為提高排氣效果。



(註)1.如需合併處理熱源發生排氣，應加算其容積。

2.門扉開啟時之開口面積大於L×W時，應以此類大開口面積代替L×W值計算。

$$P_R = 0.25Pv$$

$$Q = 60 \times L W \text{ m}^3/\text{min} (L, W \text{ 以公尺為單位計算})$$

$$V_T = 10 \text{ m/s}$$

圖8 傾倒式坩堝爐氣罩

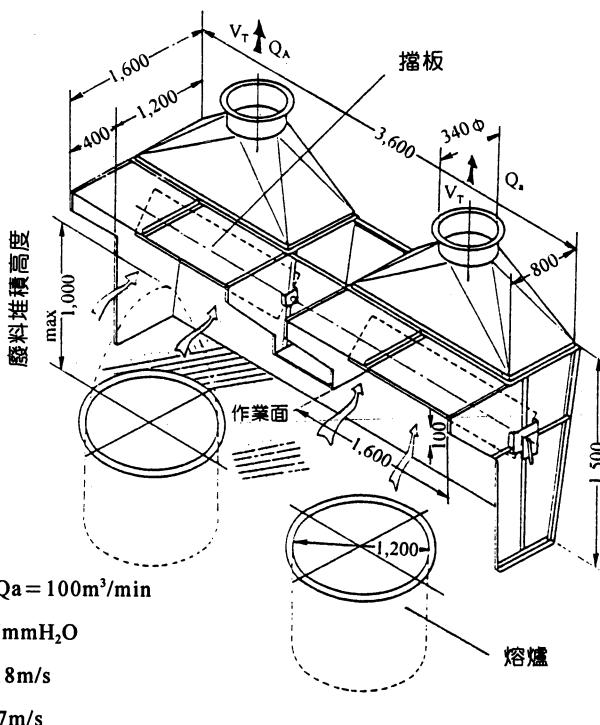


圖9 頂蓬式氣罩

3.2 週波爐氣罩

週波爐係採用電力感應方式熔解，因此僅需收集爐液面之輻射熱流。一般而言，若工作場採用吊車時，除可採前述之頂蓬式氣罩外，亦可如下之兩種型式氣罩，一為推拉式氣罩(如圖10)，另一為箱型氣罩(如圖11)，此兩種氣罩中以箱型氣罩之抽氣量較小。

考慮週波爐出湯時將爐體傾斜，而熔液由出湯出口流出，故採用推拉式氣罩(圖10)，其吹出口及吸引口亦應考慮能隨爐體同時傾斜之構造。其最簡易方法為，將氣罩之中心軸設計於爐體之回轉軸上，而於此軸上設置回轉接頭，與固定風管相接。本圖例之吹出側採用(V_1)=30m/s之高風速，乃因爐內溫度極高而熱上昇氣流流速大，需以此程度高速將之吹向吸引口之故。且亦由圖可知，吹出口開口屬狹縫，其開口寬度(高度)較狹小，吹出氣流之全動能小，必需以風速加以彌補，若於吸引口周圍配設法蘭更可提高排氣效果。

圖11之箱型氣罩已考慮進料及熔融金屬等出入之方便而採用移動式，惟若未考慮到氣罩及風管受熱而變型之情形做設計，即有移動機能未能運作之虞。為避免此種障礙，除需經常清理作業平面上之滑行移動部分，或設計時抽氣罩下面與作業平台間間隙放大（但若過份放大會影響排氣效果）外，最好將滑動部份提高至與氣罩上部平行。移動方式可任採手動式、自動式（機械式、油壓式、氣缸式）等，如採用自動式時需作安全方面之對策。

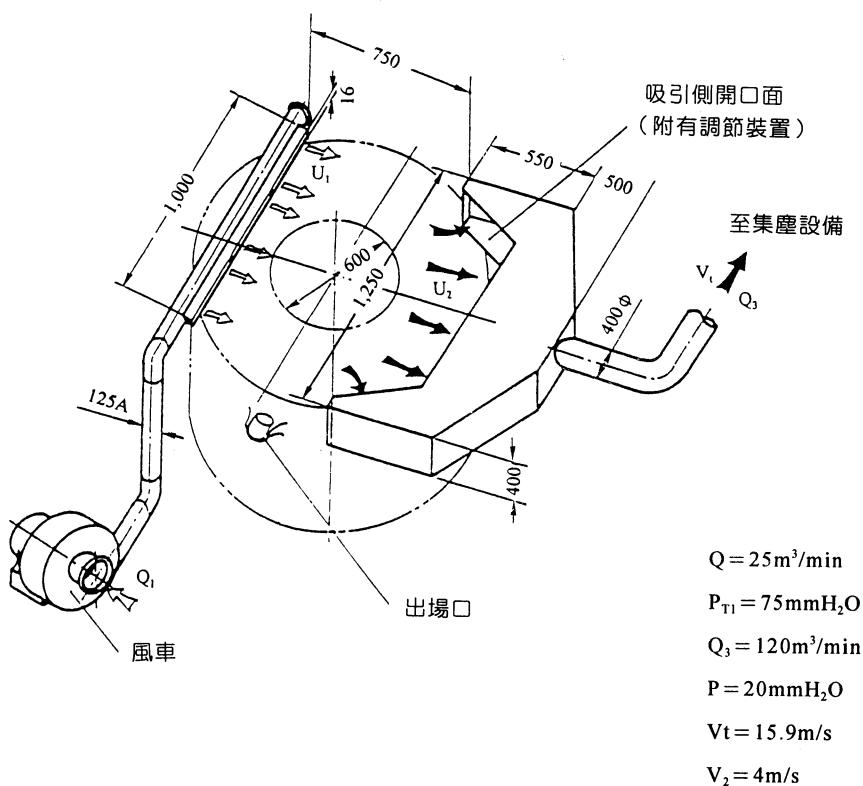


圖10 推拉式氣罩

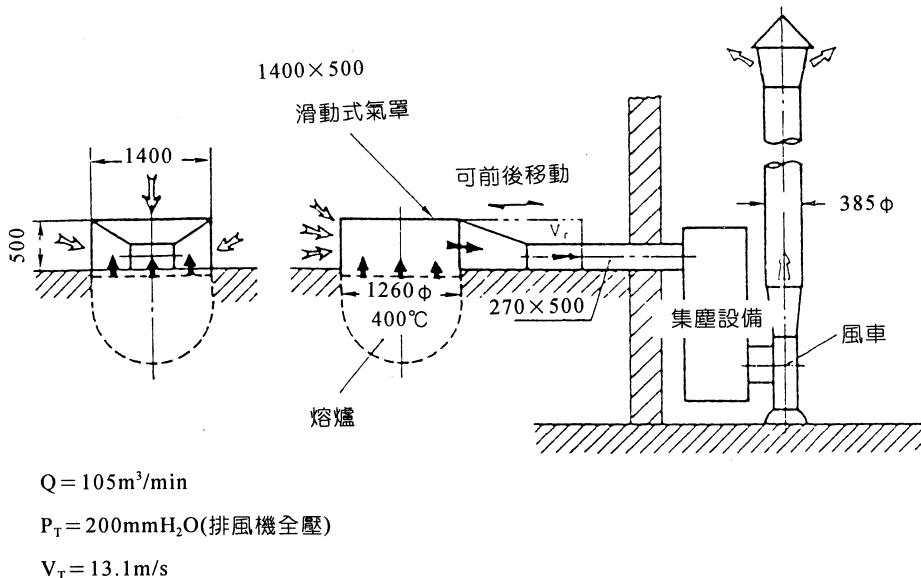


圖11 箱型氣罩

3.3 反射爐氣罩

反射爐主要係利用燃料直接燃燒，火焰及燃燒產物所產生之輻射熱使爐床上的金屬材料熔化，因此不論是單室式或雙室式反射爐，皆具有燃燒排氣口及進料口。在收集系統的設置方面，若為燃燒排氣口則可直接接入風管中；進料口通常即是爐門，因此，除進料外亦兼具扒渣、除氣等功能，由於作業時須打開爐門，致部分熱氣流流出，則此時宜於爐門上方設置一捕捉型氣罩，如圖12所示。在設置此氣罩時，應考慮熱流往外擴散及往上昇起之速度，取足夠之氣罩寬度，以有效捕集熱氣流。另為提高抽氣效果，可依圖中虛線所示設置不妨礙作業之側面板。

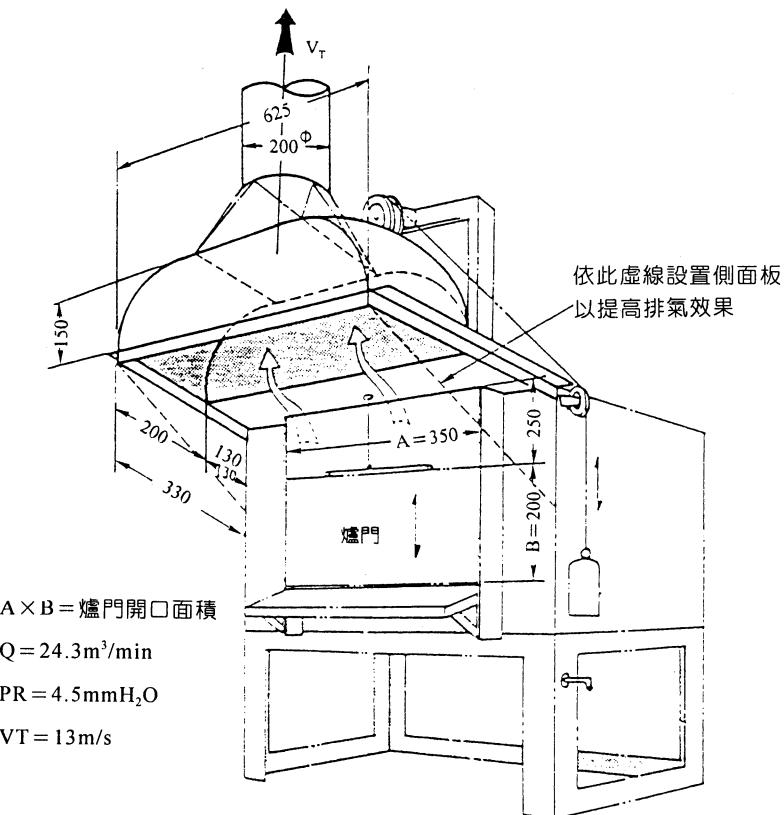


圖12 反射爐氣罩

四、廢氣控制技術

非鐵金屬鑄造業熔爐所排放之空氣污染物以粒狀物為主，然隨各類型工廠使用原料及生產設備之不同，其粒狀物之排放特性亦有相當差異，故選擇除塵設備時，尤應留意廢氣之前處理裝置，以避免除塵設備遭受損毀；再者，不少工廠之污染源大多分散廠內各處，因此如何有效收集各污染源所排放之廢氣，不僅可確保作業環境之品質，亦為工廠進行空氣污染防治之首務。

過去污染控制主要著重於「管末處理」，此種處理方式往往浪費有價資源，並且可能需要可觀之污染防治投資金額，是以為減少單位污染排放量，可由減廢措施之廠內改善加以著手，換言之，空氣污染防治工作以裝置處理設備僅是治標方法，根本之道應進行廠內改善以減少污染排放，茲分別針對廠內改善及各熔爐廢氣之可行控制技術分述如下：

4.1 廠內改善

1.原料成份改善

熔解製程原料成份複雜，由於其性質不穩定致使污染物排放量增加及造成防制設備之操作困擾，這種情況尤以使用廢料之工廠為然，因廢料中含油脂（切削油、廢機油等）、油漆及塑橡膠絕緣塗層，在燃燒過程中會產生酸性氣體及大量黑煙，酸性氣體凝結後將造成防制設備腐蝕問題，黑煙則可能造成防制設備阻塞問題，且廢料中若含有其他不同成份之金屬，熔解時亦可能產生異常之污染物排放。因此生產時應儘量使用成份較純之原料，使用廢料時應儘可能進行前處理工作，以機械或人工方式將廢料予以分類，如將純度高之銅線與含絕緣層之銅線分開及剝除銅線絕緣層等工作，可降低污染物排放量及減少防制設備之操作困擾。

2.製程設備改善

許多早期發展之製程設備，其污染排放情況較為嚴重，目前已有發展出污染物排放較少之新式製程設備。以銅熔解爐而言，轉爐每公噸進料量約排放150公克之粒狀物，而反射爐熔解每公噸銅料僅約排放10公克粒狀物，相差高達15倍。工廠運作時，可依實際狀況進行製程設備之改善，選擇污染較少又自動化之生產設備，如此可避免勞工人力之不足並減少污染以改善工廠作業環境。

3.燃料改善

目前國內非鐵金屬業熔爐大部份仍以燃燒重油為主，有少數工廠以瓦斯、電力產生熱量熔解原料。使用重油燃燒除了排放粒狀污染物外，燃燒不良時會有黑煙發生並有酸結露等問題，故工廠可改用幾無污染之瓦斯或電力作為熱量來源。

4.操作管理改善

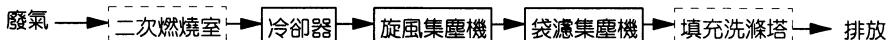
製程設備操作不當可能造成過量之污染物排放，不當之操作可能包括：不完全燃燒、過度加熱、火焰直接衝擊加料金屬、助熔劑覆蓋問題，故工廠於實際運作時，進料方式應儘量不擾動液面，原料應全部浸沒於熔液內避免直接加熱，燃料及空氣量比例應調整適當，爐溫應控制於適宜範圍內，藉由操作管理之適當控制，可使污染物排放量減至最小。

4.2 熔爐廢氣可行控制技術

非鐵金屬鑄造業空氣污染問題特性視工廠種類及製程而異，一般較嚴重污染問題屬熔解製程產生之污染物，目前業界針對熔爐廢氣所設置之防制設備，大致可分為袋濾集塵系統及濕式處理系統。系統之選擇視業者使用原料特性差異，若以純（合金）錠為原料，設計簡易之濕式處理系統或袋濾集塵系統皆可行，若原料以廢料為主，則需周詳之設計，可行控制技術分述如下：

1.袋濾集塵系統

設計良好之袋濾集塵系統可適用於非鐵金屬鑄造業中各種類型工廠之熔解製程，基本系統配置如下：



註：虛線表選擇性配備

熔爐廢氣溫度一般約可達400~800°C，因此廢氣在進入袋濾集塵機前須先加以冷卻，廢氣冷卻方式基本有三種：稀釋法、熱交換法及蒸發冷卻法。一般袋濾集塵系統設計廢氣冷卻方式並不建議採用稀釋法及蒸發冷卻法，原因是稀釋冷卻法需要大量空氣才能達到預期冷卻效果，造成廢氣處理量增加，設備容量亦隨之增大；蒸發冷卻法於系統操作不穩定時，水滴會隨廢氣擋出，進而造成袋濾集塵機之腐蝕、阻塞等問題，且水蒸汽亦會增加廢氣體積。

預處理設備一般是裝置旋風集塵機，其功能是去除較大粒徑之顆粒，以降低後續處理設備之負荷，並作為火花捕集器，避免有火星進入濾袋造成燒損。

袋濾集塵機係使載塵氣體流經濾袋之空隙時截留住微粒，濾袋之形狀通常為圓筒形且多管並列垂下，俾使氣體通道有較大表面積。對於粒徑 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上之微細粉塵可達 99% 之收集效率，從小量到大量氣體皆適合處理，所能處理之粉塵負荷範圍為 $0.23 \sim 23\text{ g/cm}^3$ ，且可收集不同種類之粉塵。其主要缺點有不適合用於高溫及高水份之廢氣，操作與維護費用較高，若溫度控制不當或有火星物質進入將會造成濾袋燒損。

一般使用純錠為原料之工廠，採用基本系統配置即可有效處理，若以油份含量高之廢料為原料，熔爐排氣中可能含未燃燒之碳粒、油脂、有機物質或金屬氧化物等，此等物質可能造成袋濾集塵機之燃燒或阻塞問題，因此可於冷卻器前加裝二次燃燒室，以防止不良問題發生；若廢氣中含氯化氫、氟化氫等有害氣體濃度過高，可於袋濾集塵機後端加裝填充式洗滌塔處理。

2. 濕式處理系統

一般常用之濕式處理設備包括填充式洗滌塔、噴霧式洗滌塔及文氏洗滌塔，分述如下：

a. 填充式洗滌塔

廢氣自塔底流入，洗滌液由上往下噴淋，填充部處理氣體之流速通常小於 1 m/s ，液氣比範圍為 $2 \sim 3\text{ L/m}^3$ ，壓力損失視填充料之種類及填充層之高度而異，約在 $100 \sim 250\text{ mmH}_2\text{O}$ 範圍，此型適用於處理較大廢氣量。

設計上為了促進氣液之接觸，應注意選擇良好之填充材料，填充料若具有疏鬆表面、較大自由容積及較大表面積，則可使氣液之接觸時間較長，同時填充料間宜有較大之空隙，以減少氣體上升之阻力，此外使用輕質填充料可減輕全塔重量，以降低塔身及塔底基礎之建造費用，若採用堅固耐用且不與氣體或液體起化學作用之材料，亦可降低操作成本。

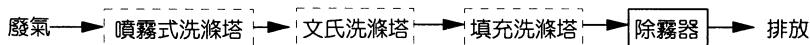
b. 噴霧式洗滌塔

此型適當之液氣比為 $2 \sim 3\text{ L/m}^3$ ，一般使用氣體流速為 $1 \sim 2\text{ m/s}$ ，而壓力損失大約 $30\text{ mmH}_2\text{O}$ ，塔內噴嘴分佈均勻與否、水霧噴灑角度及水滴霧化情形對去除效率影響甚鉅。

c. 文氏洗滌塔

此型乃屬高能量處理器，氣液之停留接觸時間較短，因此接觸效果較差，適當之液氣比為 $0.7 \sim 1.1 \text{L/m}^3$ ，氣體於喉部之流速一般為 $50 \sim 120 \text{m/s}$ 。當液體由喉部射入時，高速廢氣穿剪而過，使吸收液變成霧狀小液滴，因此氣液產生接觸作用藉此去除微粒。缺點為壓力損失大，動力費用高。

為適用非鐵金屬鑄造業不同類型之工廠，濕式處理系統可視廢氣實際狀況及不同型式洗滌塔之設備特性（如微粒去除效率、氣體吸收效果等）而選擇不同組合，一套可行之處理流程配置如下：



系統中文氏洗滌塔主要作為去除微細顆粒，而噴霧式洗滌塔及填充式洗滌塔則可用以去除大粒徑顆粒及作為氣體之吸收去除，數種可行之不同組合及其適合之廢氣狀況如表8所示。

表8 可行濕式處理系統配置及其適用廢氣特性

組合型式	廢氣特性
填充洗滌塔	粒徑較大(大於 $1 \sim 3 \mu\text{m}$)，粒狀物濃度較低，氣狀污染物濃度高
文氏洗滌塔	粒徑微細(小於 $1 \mu\text{m}$)，氣狀污染物濃度低
噴霧塔 + 文氏塔	粒徑微細(小於 $1 \mu\text{m}$)，粒狀物濃度較高，氣狀污染物濃度中等
文氏塔 + 填充塔	粒徑微細(小於 $1 \mu\text{m}$)，粒狀物濃度中等，氣狀污染物濃度高

在非鐵金屬鑄造業工廠中，較為可行之濕式處理設備建議採用高效率之文氏洗滌塔，系統流程如下：



廢氣進入文氏洗滌塔前若溫度過高，必須先經冷卻塔作降溫處理，文氏洗滌塔可有效去除次微米粒子，然對於氣狀污染物由於接觸時間短，致使吸收效果不佳，若廢氣中氯化氫、氟化氫等濃度過高，建議在後端加裝填充式洗滌塔以去除氣狀污染物。

五、廢氣處理實例

為使業者在熔爐廢氣收集處理設備的選擇上，能更明瞭設備的設計及材質之選擇考慮，本節乃針對熔爐廢氣以袋濾集塵機處理為例，來說明收集處理系統及處理單元之設計程序。

某廠係一具一座6公噸反射爐之鋁擠型廠，主要是使用鋁錠及下腳料為原料，鋁錠用量每月約250公噸，生產鋁擠型製品每月250公噸，製程中使用之燃料為中油公司含硫份1.5%之重油，用量每月13公秉。其製程為將鋁錠及下腳料經反射爐熔解後，澆鑄成鋁擠錠再經擠型機擠成型材，再經鋸切加工處理。廢氣主要污染源為反射爐熔煉排氣，今擬規劃廢氣收集處理設備，其規劃內容如下：

5.1 廢氣特性

熔鋁反射爐有三處污染源排氣必須收集處理，即爐進料口、爐體排氣及爐渣處理間三處，其中爐進料口及爐體排氣口須同時抽氣，爐渣處理間則僅於處理爐渣之短暫時間內須收集。其廢氣特性如下：

1. 廢氣量 = $257 \text{Nm}^3/\text{min} = 878 \text{m}^3/\text{min}$, at 660°C
2. 廢氣溫度 = 660°C
3. 含水率 = 8%
4. 含氧量 = 19~20%
5. 粒狀污染物濃度 = 33mg/Nm^3
6. 操作時間每週5~6日，每日8小時。

5.2. 廢氣處理原則

目前國內環保標準，由煙囪排出的粒狀污染物不透光率不得超過20%，停止、開始運轉時之不透光率可到40%，但在一小時內超過20%之累積時間不得超過3分鐘。既存污染源之排放濃度以下式計算：

$$C = 1372.6Q^{-0.297}$$

上式之，C：排放濃度(mg/Nm^3)

Q：排氣量(Nm^3/min)

本案例之總排氣量為 $257\text{Nm}^3/\text{min}$ ，則目前粒狀污染物排放濃度不得超過 $250\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，此排放標準為經6%含氧量校正值。

在比較評估各種集塵設備之適用性及優缺點之後，選用袋濾集塵機處理熔爐之排放廢氣。

5.3 廢氣處理流程

廢氣處理流程如圖13，廢氣收集及處理方法說明如下。

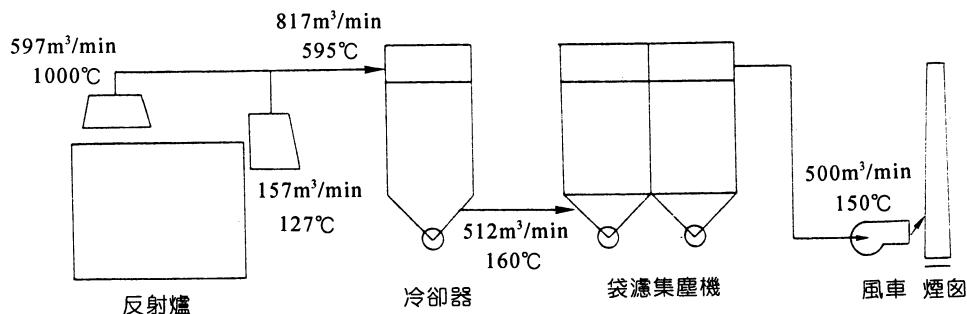


圖13 廢氣處理流程圖

- 1.氣罩：熔爐排氣口氣罩溫度 $1,000^\circ\text{C}$ ，因此選用材質以耐高溫鋼材為宜。
- 2.冷卻器：熔爐廢氣至冷卻器溫度為 595°C ，為避免濾袋因溫度過高受損，對此廢氣必須先行冷卻至濾袋所能承受溫度。本例之廢氣冷卻方式採蒸發冷卻法，且廢氣冷卻至RYTON濾袋所能承受溫度 170°C 。
- 3.袋濾集塵機：廢氣中之粉塵通過濾袋收集，濾袋之清洗方式採用脈動式清洗。

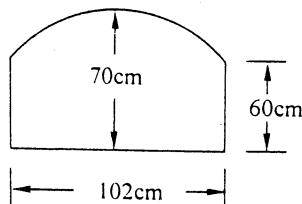
5.4 收集處理設備功能

5.4.1 氣罩

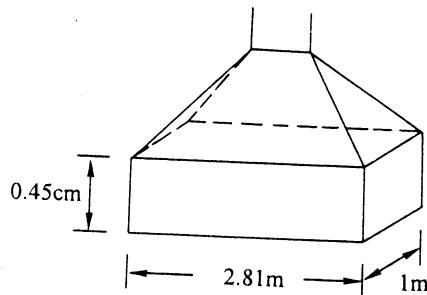
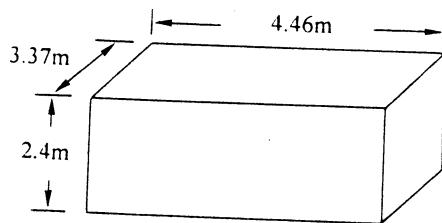
1. 設計依據

(1) 進料口尺寸

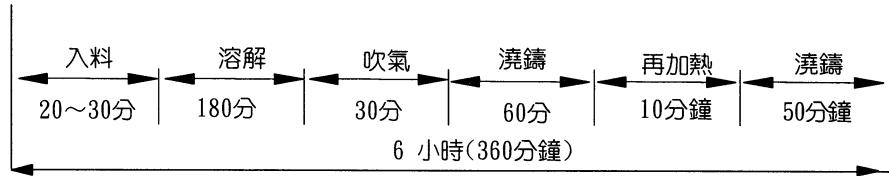
(2) 爐體尺寸



(3) 爐體上方氣罩尺寸



(4) 熔爐操作形式



2. 氣罩尺寸

(1) 爐進料口

$$\begin{aligned} \text{氣罩寬度} &= 1.02 + 0.1 \times 2 \\ &= 1.22\text{m} \end{aligned}$$

氣罩長度(L)：

$$\frac{L}{Vt} = \frac{(0.4 + 0.1)}{V}$$

Vt : 水平速度 = 1.5m/sec

V : 上升速度取 1m/sec

$$\therefore L = \frac{0.5 \times 1.5}{1} = 0.75 \text{ 取 } 0.8\text{m}$$

(2) 爐排氣口—以原來爐上之氣罩

氣罩長度 = 2.81m

氣罩寬度 = 1.0m

氣罩深度 = 0.45m

(3) 爐渣處理間

處理間之大小 = 6m 長 × 4m 寬 × 2.45m 高

氣罩 = 3m 長 × 4m 寬 × 2.5 高 × 2 個

3. 氣罩抽氣量

(1) 爐進料口

$$\begin{aligned} \text{抽氣量 } Q &= 0.75V(10X^2 + A) \\ &= 157\text{m}^3/\text{min at } 127^\circ\text{C} \end{aligned}$$

(2) 爐排氣口

爐進廢料時由爐料口之排氣量

$$= A \times V$$

$$= (1.02 \times 0.4) \times 1.5$$

$$= 0.612 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$= 7.9 \text{ m}^3/\text{min} (\text{at } 1,000^\circ\text{C})$$

$$\text{排氣口流量} = 139 - 7.9$$

$$= 128.1 \text{ m}^3/\text{min} (\text{at } 1,000^\circ\text{C})$$

(3) 爐渣處理間

$$\text{流量} = VA$$

$$= 0.3 \text{ m/sec} \times 4 \text{ m} \times 2.45 \text{ m} \times 60 \text{ sec/min}$$

$$= 176.4 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$= 180 \text{ m}^3/\text{min} (\text{at } 60 \sim 70^\circ\text{C})$$

5.4.2 热交換器

1. 設計要求

(1) 冷卻功能：將廢氣溫度由 595°C 冷卻到 170°C 。

(2) 冷卻方式：採用噴水冷卻方式。

(3) 热交換之停留時間為 1.3 秒。

2. 热量交換計算，由 595°C 降至 170°C

$$(1) \text{廢氣量, } Q_a = \frac{(1 \text{ atm}) \times (817 \times 10^3 \text{ L/min})}{(0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{g} \cdot \text{mole} \cdot {}^\circ\text{K}})(868\text{K})} \\ = 11,478 \text{ g} \cdot \text{mole/min}$$

(2) 热廢氣所放出熱量， Q_H

- 假設廢氣組成為 20% O_2 及 80% N_2 。

- 氮與氧之定壓比熱 C_p , cal/g · mole · ${}^\circ\text{K}$

$$C_{\text{PN}_2} = 6.52 + 1.18 \times 10^{-3}T + 0.08 \times 10^5 T^{-2}$$

$$C_{PO_2} = 7.23 + 1.01 \times 10T + 0.045 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\begin{aligned} \cdot QH &= 11478 \times \left[\frac{1}{5} \int_{868}^{443} C_{PO_2} dT + \frac{4}{5} \int_{868}^{443} C_{PN_2} dT \right] \\ &= 3.643 \times 10^7 \text{ cal/min} \end{aligned}$$

3. 热交换器尺寸

(1) 交換器體積，V

$$= 817 \text{ m}^3/\text{min} \times 1.3 \text{ sec} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sec}} = 17.8 \text{ m}^3$$

(2) 尺寸

- 取交換器高度與直徑比值， $\frac{H}{D} = 3$
- 交換器高度 = 6m
- 交換器直徑 = 1.94m

(3) 热交换器之熱損失

- 热交换器表面積 $A = \pi \times D \times H$

$$= 36.57 \text{ m}^2$$

- 热交换器內平均溫度 $= \frac{1}{2}(595 + 170)$
 $= 382.5^\circ\text{C}$
- 热交换器之總熱傳係數， $U = 11 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot {}^\circ\text{C}$
- $Q_H = U \times A \times \Delta T$
 $= 11 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot {}^\circ\text{C} \times 36.57 \text{ m}^2 \times (382.5^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C})$
 $= 2.333 \times 10^6 \text{ cal/min}$

4. 热交换器噴水量， Q_w

(1) 水蒸汽之定壓比熱， C_{PH_2O}

$$= 6.89 + 2.88 \times 10^{-3}T + 0.24 \times 10^5 T^{-2} (\text{kcal/g-mol-K})$$

(2) 假設水由 32°C 進入熱交換器內，在 150°C 以水蒸氣由底部排放。

$$H_w = 1,000 \{(100^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C}) \times 1 \text{ kcal/g} \cdot {}^\circ\text{C} + 539 \text{ cal/g} + \frac{1}{18} \int_{373}^{423} C_{PH_2O} dT\}$$

$$= 6.3 \times 10^5 \text{ cal/kg}$$

$$\begin{aligned} (3) \text{ 所需淨熱, } Q_{NH} &= Q_H - Q_{HI} \\ &= 3.643 \times 10^7 - 2.333 \times 10^6 \\ &= 3.410 \times 10^7 \text{ cal/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (4) \text{ 所需水量, } QW &= \frac{Q_{NH}}{H_w} \\ &= \frac{3.410 \times 10^7 \text{ cal/min}}{6.3 \times 10^5 \text{ cal/kg}} \\ &= 54.12 \text{ L/min} \end{aligned}$$

5. 經噴水冷卻後之廢氣量, Q

$$\begin{aligned} &= 11,478 \text{ g} \cdot \text{mol/min} + \frac{54,120 \text{ g/min}}{18 \text{ g/mol}} \\ &= 14,485 \text{ g} \cdot \text{mol/min} \\ &= 14,485 \text{ g} \cdot \text{mol/min} \times 0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}} \times 443\text{K} \times \frac{1\text{m}^3}{10^3 \text{ L}} \\ &= 526 \text{ m}^3/\text{min at } 170^\circ\text{C} \end{aligned}$$

5.4.3 袋濾集塵機

1. 設計依據

- (1) 處理風量 : $512\text{m}^3/\text{min}$ at 160°C
- (2) 濾袋脫塵方式採用脈動噴射式(pulse-jet type)
- (3) 濾袋材質採用 RYTON 濾袋
- (4) 過濾速度 : 1.28m/min

2. 集塵機尺寸計算

- (1) 所需過濾面積, A

$$= \frac{512\text{m}^3/\text{min}}{1.28\text{m/min}} = 400\text{m}^2$$

- (2) 所需濾袋數

• 本例假設使用之濾袋尺寸為

1,000mm長×32mm寬×1,500mm高，每只濾袋之過濾面積為 3.1m^2

• 所需濾袋數n

$$\frac{400\text{m}^2}{3.1\text{m}^2} = 129 \quad \text{取150支濾袋}$$

• 上述之濾袋數與濾袋尺寸因製造廠商而有所不同的安排與選擇。

(3)本例中袋濾集塵機之尺寸為

5.8m長×3.2寬×5.8m高

5.4.4 集塵風車

1. 假設廢氣入口溫度 = 150°C

$$\begin{aligned} 2. \text{排風量} &= 14,485 \text{ g} \cdot \text{mol/min} \times 0.082 \times \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{k}} \times (273 + 150)\text{K} \times \frac{1\text{m}^3}{10^3\text{L}} \\ &= 500\text{m}^3/\text{min at } 150^\circ\text{C} \end{aligned}$$

3. 假設風車全壓 = 350mm Aq

4. 風車型式：透浦式，皮帶傳動，單吸口，入口附可調風門。

5. 假設風車機械效率 $\eta = 0.65$

$$\begin{aligned} 6. \text{風車馬力} &= \frac{Q \times P_r}{6,120 \times \eta} \times \text{安全係數} \\ &= \frac{500 \times 350}{6,120 \times 0.65} \times 1.2 \\ &= 53\text{KW} = 71\text{Hp} \end{aligned}$$

風車選用75Hp

參考文獻

1. 張晉昌，鑄造學，全華科技圖書股份有限公司，1989年。
2. 陳武宏編譯，鑄鋁技術，全華科技圖書股份有限公司，1989年。

80 非鐵金屬鑄造業熔爐廢氣特性及控制技術

- 3.中國材料科學學會編印，材料手冊(II)，1983年。
- 4.經濟部工業局，七九年重要非鐵金屬產業調查報告-鋁工業部份，1990年。
- 5.經濟部工業統計調查聯擊小組，各行業工廠目錄，1991年。
- 6.財政部關稅總局，中華民國海關進出口統計，1992年。
- 7.經濟部工業局工業污染防治技術服務團，非鐵金屬鑄造業空氣污染防治輔導專案綜合報告，1994年。
- 8.經濟部工業局工業污染防治技術服務團，非鐵金屬鑄造業空氣污染防治技術手冊，1994年。
- 9.行政院環境保護署，煉鋼業、非鐵金屬冶煉鑄造業、金屬切割業空氣污染管制規範研訂計劃-第一部份：非鐵金屬冶煉鑄造業，EPA-82-F103-09- 11，1993年。
- 10.經濟部工業局工業污染防治技術服務團，鋁鑄造業空氣污染防治輔導專案綜合報告，1993年。
- 11.經濟部工業局，七九年重要非鐵金屬產業調查報告一銅工業部份，1990年。
- 12.經濟部工業局工業污染防治技術服務團，非鐵金屬鑄造業空氣污染特性調查專案綜合報告，1992年。
- 13.工業技術研究院能源與資源研究所，再生鋁冶煉技術，1990年。
- 14.工業技術研究院能源與資源研究所，銅及貴金屬再生冶煉技術，1990年。
- 15.局部排氣、空氣清淨裝置之標準設計與保守管理，日本中央勞動災害防止協會，1985年。