

厭氣生物處理技術於台灣地區之應用現況

賴敏中*

一、前　　言

於歐美工業化國家，厭氣生物處理技術的應用歷史悠久，可追溯至1850年代。美國於西元1911年建了第一座商業化的厭氣生物廢水處理場¹，爾後於1930年代開始利用厭氣消化法來處理市政污水場污泥。於1950年代，曾有少數幾個於處理食品業廢水的成功實例。然而，於1950至1960年代，厭氣生物處理技術應用於處理工業廢水，大體上仍然成效不佳。主要的原因在於不瞭解其反應機制以及放大技術，當時厭氣消化槽曾被稱作「黑盒子」，表示其神秘性及不可控制性。所幸，在1970年代的能源危機，又喚起對厭氣處理板術的研究熱潮。尤其歐洲各國在反應機制及反應槽先進設計等方面的密集研究發展，促成厭氣處理技術於廢水處理技術市場上佔有一席之地，各類不同的厭氣處理流程（常冠以反應槽名稱），紛紛成功地應用於工業廢水處理。較為人熟悉的流程（或反應槽）名稱有厭氣接觸法(anaerobic contact process, AC)、上流式厭氣汚泥氈(upflow anaerobic sludge blanket, UASB)、厭氣填充床(anaerobic packed bed)或濾床(anaerobic filter, AF)、厭氣流體化床(anaerobic fluidized bed, AFB)等，圖1說明了各種不同設計的厭氣反應槽¹。在過去10年間，許多厭氣處理技術成功地和喜氣處理技術配合，成為工業廢水生物處理流程中最重要的一環。一般而言，厭氣處理比喜氣處理效果較佳且成本較低，因為其具備下列優點：

1. 省能源：通常只需要喜氣法的十分之一，而且產生的甲烷氣亦可燃燒回收能源。
2. 污泥少：通常只有喜氣法的1/3至1/5的污泥量，有時可低至1/10。
3. 佔地小：通常只有喜氣法的1/10至1/5面積。
4. 較穩定且操作容易：對有機負荷驟變及進料中斷等異常情形具抗力，而且養料添加量較少。

當然，厭氣處理法並非完美無缺，譬如活性污泥的養育難、對溫度的敏感度、較長的固體滯留時間、處理後濃度仍高等。通常必須將厭氣與喜氣合併使用，擷取兩法的優點，才能達到較佳又經濟的效果。

台灣地區由於特殊的環境因素，如人口、工廠、及畜牧牲口（尤其豬隻）等的密度

*中鼎工程公司化工專案室專案經理

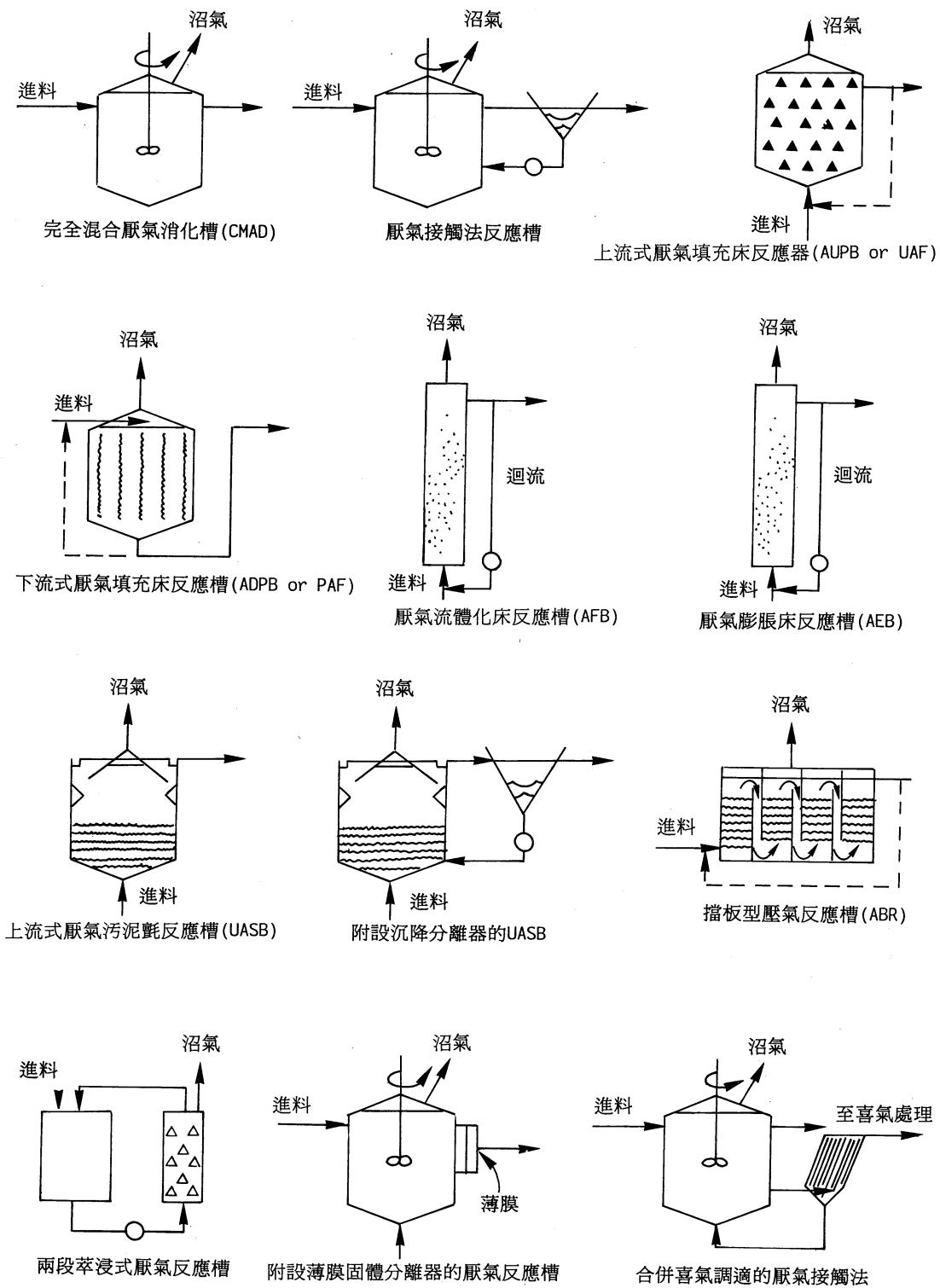


圖 1 各種不同設計的厭氣反應槽¹

均名列世界前茅，加上氣候潮濕溫熱，土地利用面積有限等因素，其先天上似乎較有利於厭氣生物技術之應用。近幾年，有許多大型的厭氣處理工場順利運轉成功，其採用的技術來源大多來自國外，少數為國內自行研發成功。由於放流水標準於民國82年及87年均加嚴許多，表1列出放流水標準對部分行業要求的生化需氧量(BOD)、化學需氧量(COD)、懸浮固體(SS)及透視度。為了符合此放流水標準的規定，許多現有的工業廢水處理場必須提昇處理能力，但是又面臨無地可擴建的難題。昂貴的土地及能源費用漸漸成為台灣地區規劃新建廢水處理場時，選擇技術的最重要考慮因素。本文介紹近年來於台灣地區興建的數十座實廠規模厭氣廢水處理場，將其公開的資料綜合整理，供讀者參考。

表1 部分行業的放流水標準²

項目 時期 行業	生化需氧量(mg/L)			生化需氧量(mg/L)			懸浮固體 (mg/L)			透視度 (cm)		
	(原)	(82)	(87)	(原)	(82)	(87)	(原)	(82)	(87)	(原)	(82)	(87)
紙漿	—	—	—	400	200	150	300	100	50	>15	15	15
造紙	80	—	—	300	200	100	200	50	30	—	15	15
酸酵	150	80	50	500	200	150	400	100	50	>15	15	15
礦油煉製	—	—	—	400	200	100	300	50	30	—	15	15
石油化學	—	—	—	400	250	100	300	50	30	—	15	15
化工	80	50	30	300	200	100	200	50	30	-15*	15	15
製藥	80	50	30	300	200	100	200	50	30	—	15	15
食品	80	50	30	300	150	100	200	50	30	—	—	—
製糖	80	50	30	300	150	100	200	50	30	—	—	—
畜牧(1)	200*	100	80	—	400	250	300*	200	150	—	—	—
(2)	400**	100	80	—	650	450	400*	200	150	—	—	—

[註] (原)：指82年1月1日以前

(82)：82年1月1日起施行

(87)：預定87年1月1日起施行

*：舊有放流標準劃分方式不同

**：除此表之外，尚需符合共用適用項目

國內學術及研究單位對厭氣處理技術的研究已有數十年，有許多小型實驗級裝置，或有先導級工場設置於實驗室、工場或農場內。受限於篇幅及本文探討範圍，未能盡加詳述；對研究結果有興趣的讀者，可自行參閱相關學術研討會或學校論文集。此外，希望藉本文拋磚引玉，促使擁有厭氣技術的公司、機構或使用工場，能夠儘量公開報導其技術特長，應用實績及操作經驗，供國內產業界瞭解，進而拓展其推廣應用領域。同時，期望產業界、政府機構、研究單位及學術界能攜手合作，對厭氣處理技術的研究、發展及應用等整體連貫規劃，以各盡其能，使此技術能夠落實紮根於國內，成為最具本土特色的廢水處理技術。

二、應用於工業廢水處理

台灣地區使用厭氣處理技術的工場，應是民國50年代的數座水肥集中處理場（這些工場目前都已閒置不用了）。這些工場採用傳統的厭氣消化槽，反應滯留時間長達30天。對處理大量的工業廢水而言，如此長的滯留時間是不適用，因此厭氣處理技術的應用一直未能推廣。

隨著1970年代歐洲的厭氣技術發展，國內於1980左右開始展開類似的研究，許多先進高效率的流程及反應槽如UASB、AF及AFB都在一些實驗室中曾有廣泛研究。直至1986年（民國75年）在三福化工公司，成功運轉了第一個商業化的厭氣廢水處理場。此工場採用工研院發展的改良型UASB流程，處理製造檸檬酸產生的廢水。爾後短短5年期間，至少有30座商業化厭氣處理場興建完工順利運轉。處理廢水的範圍涵蓋化工、食品、酒精、釀酒及養豬等行業。採用的技術有UASB、AF、AFB及傳統混合型等，技術來源大部分來自國外，而小部分源自國內自行開發。以下依流程別來介紹其應用實例。

2.1 上流式厭氣污泥氈(UASB)應用實例

UASB技術於1970年代初期在荷蘭發展成功，20年後全世界有三大主要技術擁有者：Gis + Brocades(荷)、Paques(荷)及Biotim(比利時)。其技術授權偏布全球，Paques及Biotim在台灣亦有技術移轉或代理公司，推廣其UASB技術。美國的Zimpro Passavant公司亦發表其自行發展的UASB技術(商品名MULTI-ZONE)，目前正積極推廣中。國內工研院於1984年取得改良型UASB的專利，於1986年成功運轉了第一座商業化處理場，亦可名列技術擁有者之一。圖2為UASB的示意流程圖，說明主要的三部份截至1992年7月，全台灣地區約有15座商業化的UASB處理場，其詳細資料如表2。此16座工場中，有10座採用工研院的技術，5座採用Paques的技術；1座採用Biotim的技術，應用的行業以釀酒及食品業居多，化工及垃圾滲出水次之。

此16座工場皆將產生的甲烷氣燃燒排放，並未回收能源，可能由於量小未達經濟規模或其他因素。圖3為米酒廢水的UASB處理流程⁶，其包括了3個UASB。厭氣反應槽進流水的酸度必須維持在7，懸浮固體濃度必須在2,000mg/L以下。反應槽的COD去除率在80~95%之間，因此經過處理後的放流水COD仍在1,000~3,000mg/L，需要進一步的喜氣處理，才能符合放流水標準。

於1990年曾有一座小型UASB工場建於紙廠，處理廢紙回收所產生的廢水，採用Biotim的技術⁹。此流程的反應槽體積僅有1.2m³，屬實驗型，不在本文介紹範圍之內。惟此座可能為國內第一座建於紙廠的UASB，值得重視。國外紙漿及造紙廠，採用UASB技術處理廢水的工場在30座以上²，佔歷年來UASB市場的20%以上。國內紙漿及造紙廠一向偏好喜氣處理法，UASB厭氣處理法或許值得嚐試。

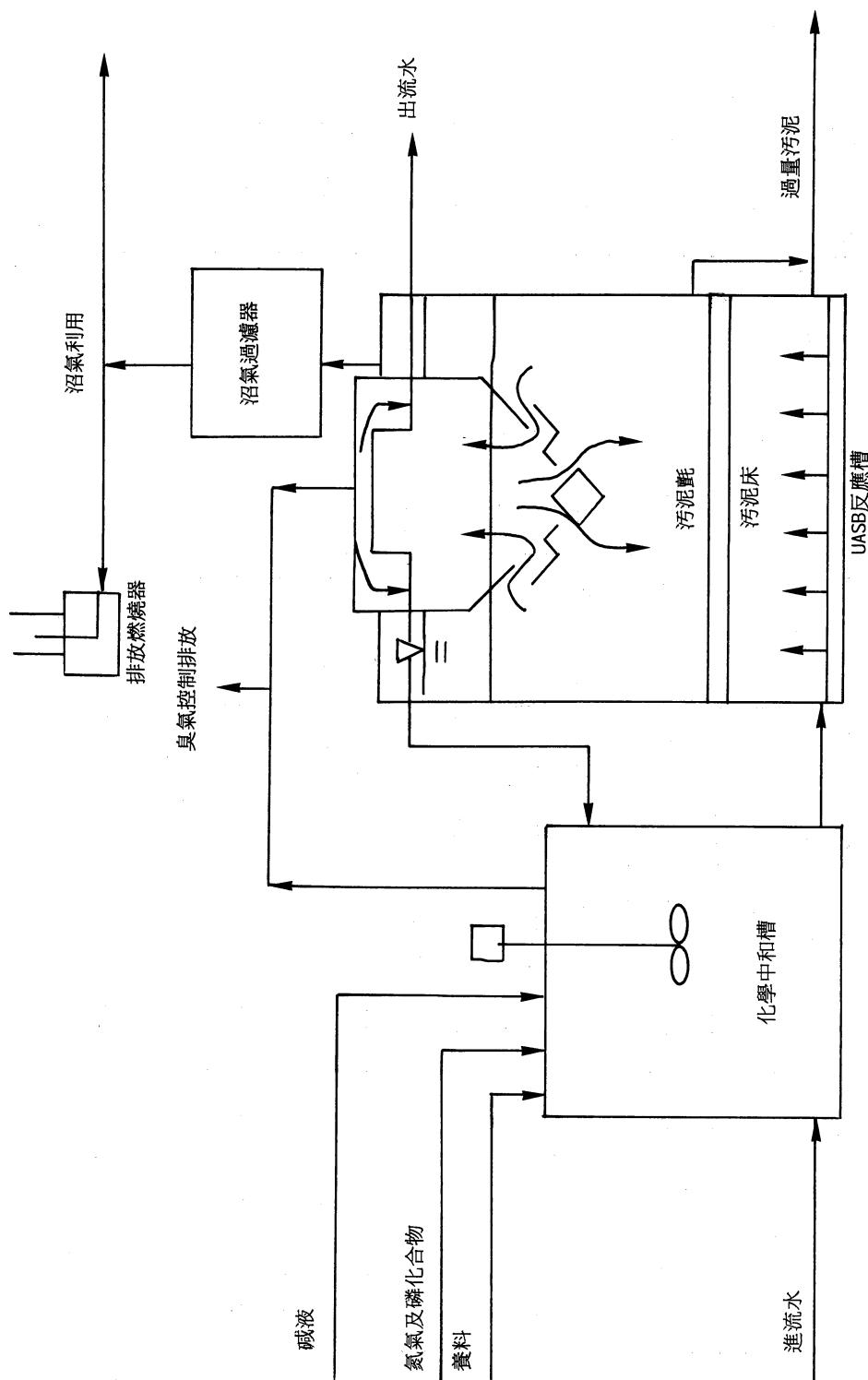


圖 2 UASB示意流程圖 2

表 2 國內大型商業化UASB工場資料^{3~9}

案例 工 業 別	起動年份	廢水來源	進流量 (m ³ /d)	水資 料*			去除率**	反應槽 (m ³)	體積 (hr)	HRT	負荷 (kg COD/m ³ /d)	技術擁有者
				BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)						
1 檸檬酸	1986	100	16,000	23,000	?	?	85	80	85	27	20	ITRI
2 化學品	1988	400	5,000	10,000	< 100	97	97	680	72	1	ITRI	ITRI
3 紹興酒	1988	750	< 7,300	9,100	<2,000	80	95	127X4	16	?	ITRI	ITRI
4 米酒	1989	60	<20,000	28,000	<2,000	95	95	88X4	35	8	ITRI	ITRI
5 米酒	1989	140	<20,000	27,400	1,150	65~80	95	88X3	15~30	13~15	ITRI	ITRI
6 米酒	1989	150	<20,000	22,500	<2,000	75	80	127X2	41	8	ITRI	ITRI
7 紹興酒	1989	600	< 7,300	2,500	< 500	79	90	127X4	16	2	ITRI	ITRI
8 水果酒	1989	400	9,100	17,000	1,000	85	95	88X5	26	10	ITRI	ITRI
9 高粱酒	1989	1,030	8,200	11,000	<1,000	82	90	127X7	16	3	ITRI	ITRI
10 食品	1990	?	?	?	?	?	?	15	?	7	Paques	Paques
11 果糖	1990	800	2,000	3,000	?	?	85	80	240	7	1	Paques
12 食品	1990	1,000	2,400	4,800	?	?	80	480	12	8	Paques	Paques
13 垃圾滲出水	1991	200	?	22,500	?	?	90	80	570	68	6	Paques
14 垃圾滲出水	1991	400	11,250	22,500	?	?	90	80	570	58	6	Paques
15 塑膠安定劑	1992	50	9,200	11,000	150	98	98	85	38	8	ITRI	ITRI
16 垃圾滲出水	1993	350	6,000	10,000	400	85	75	390	26	9	Biotim	Biotim

[註] *反應槽入口，平均操作或設計資料

**指反應槽本身

?—資料不全

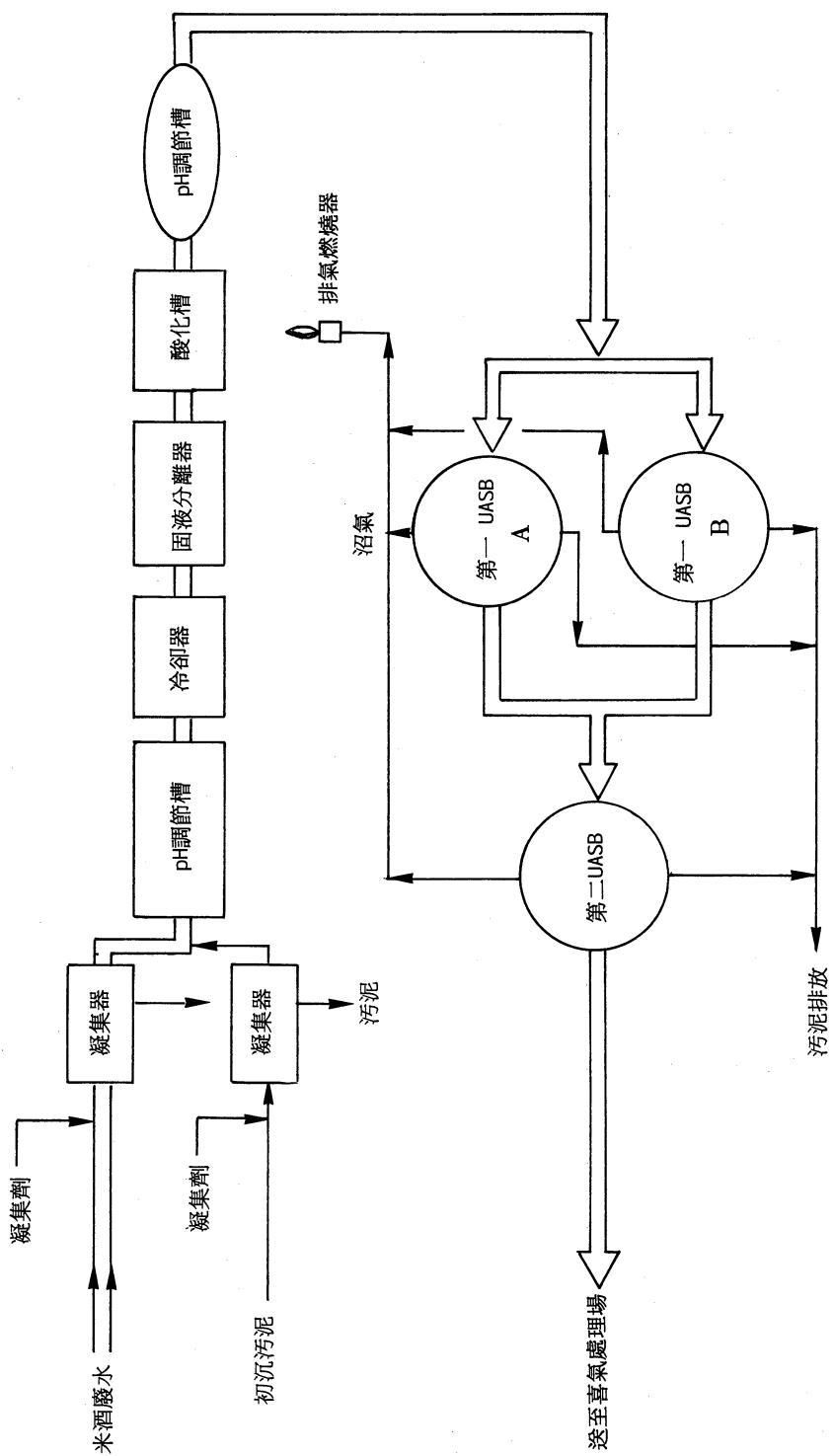


圖 3 處理米酒廢水的UASB流程圖

2.2 厭氣濾床(AF)應用實例

厭氣濾床(AF)技術於 1960年代開始研究發展，有上流式(UAF)及下流式(DAF)二種，全世界第一個大型商業化工場建於1972年¹⁰。目前，主要的技術擁有者為:Bacardi、Badger 及 Infilco Degremont等公司，圖 4 說明 AF 的示意流程圖。國內尚未廣泛應用，唯一的實例可能是 Amoco 公司的技術，應用於中美和石化公司的PTA 廢水處理¹¹。此成功實例曾贏得1991年美國 Kirkpatrick 化工成就獎¹²，其公司的詳細工場資料如表 3 所示¹³。

此商業化工場為世界上第一個成功的實例，其利用厭氣處理法，來處理複雜且含飽和芳香酸的高強度工業廢水(COD 高達 10,000mg/L 以上)。圖 5 為此 Amoco 的 DAF 技術流程，包括了厭氣及喜氣處理流程。喜氣濾床反應槽內含許多槽架填充物，供厭氣菌附著生長，進流水則由上而下進入反應槽。根據一年的實場操作記錄¹³ 進流水在 6,200~20,700 mg/L COD 時，其放流水的 COD 可低至 150mg/L 以下，SS 在 30mg/L 左右。而厭氣反應槽的放流水 COD 約在 1,000~5,000mg/L 間，其厭氣反應槽的 COD 去除率在 80~90% 之間。產生的甲烷氣送至鍋爐當作燃料，製造蒸汽。據報導^{12,13}，此佔地僅 1.2 公頃的處理工場，每日可處理 9,600m³ 廢水，與相同規模的喜氣處理工場比較，每年可以節省電力 1,000 萬瓩，以及燃料費 100 萬美元(1990 年)，同時汙泥排放量每年少了 1 萬噸(乾基)，節省汙泥處置費用約 200 萬美元。

表 3 國內大型商業化 AF 工場資料¹³

工業別	起動年份	進 流 水 資 料 *			去除率 BOD (%)	反 應 槽			技術擁有者
		流 量 (m ³ /d)	BOD (m ³ /L)	COD (m ³ /L)		TSS (m ³)	HRT (hr)	負 荷 (kg COD/m ³ /d)	
PTA	1989	9,600	—	13,500	—	—	85	—	Amoco

[註] *反應槽入口，平均操作或設計資料

2.3 厭氣流體化床(AFB)應用實例

商業化厭氣流體化床工場在全世界仍不少，約在 10 座左右，許多研究發展仍在持續中^{9,10}。這些實廠採用的技術主要為 Gis+Brocares、Air Products and Chemicals、Infilco Degremont 及 Ecolotrol 等，其示意流程圖如圖 6。國內工研院於 1989 年與學術界合作開發，並曾在食品工場實地建造運轉 1 座體積約 5m³ 的先導工場，終於在 1992 年成功地運轉一座體積達 65m³ 的商業化厭氣流體化床處理工場，每日處理 100m³ 的化工廢水。表 4 將此工場資料與國外部分公開資料並列比較，顯示此座 AFB 處理工場以處理量及反應槽體積而言，仍屬較小型。但是對處理化工廢水方面，可能為居領先地位的成功案例。於國內地狹人稠，此立體化廢水處理技術的應用性似乎值得工業界深入評估。

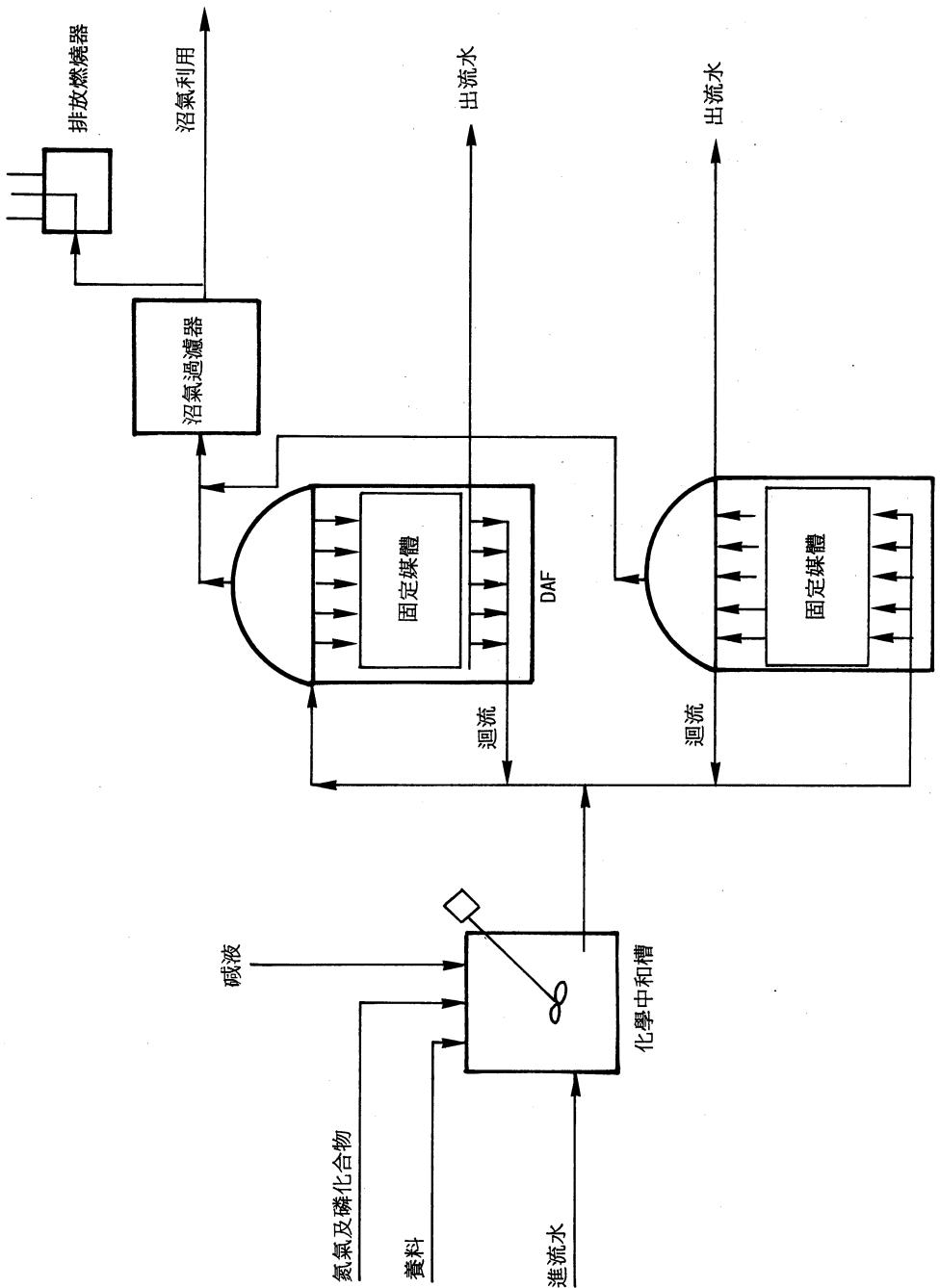


圖 4 DAF 及 UAF 示意流程圖²

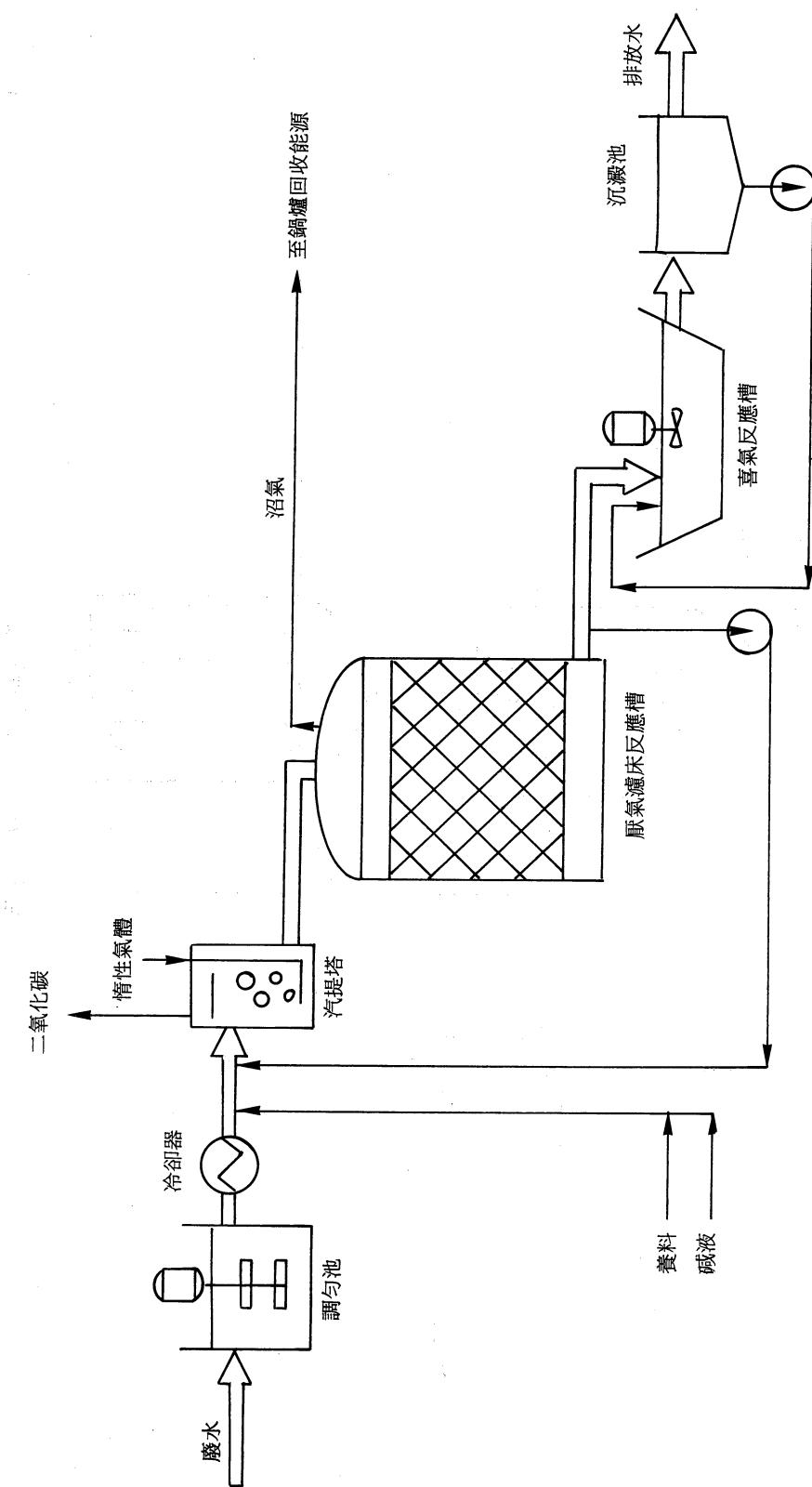


圖 5 處理PTA製程廢水的DAF流程圖 11

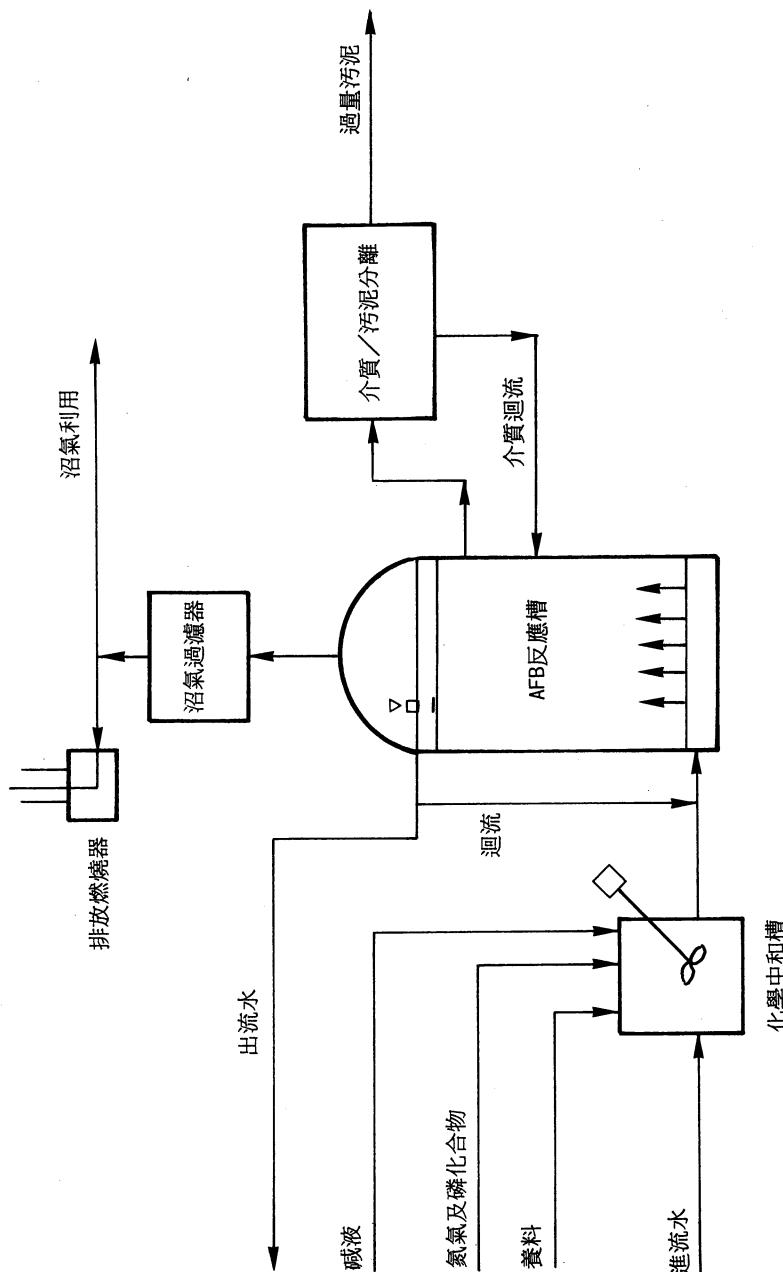


圖 6 AFB示意流程圖

表 4 國內及部分國外大型商業化AFB工場資料^{9,10}

案例	工業別	進流水資料		去除率 COD(%)	反應槽		
		流量 (m ³ /d)	COD (m ³ /L)		體積 (m ³)	HRT (hr)	負荷 (kg COD/m ³ /d)
美國	飲料汽水	380	6,900	77	210*	6	9.6
美國	黃豆加工	—	9,000	—	—	<24	13
法國	造紙	1,514	3,000	72.2	94*	1.5*	35
我國	化 工	101	3,000	68	65	15	10*
							細砂

[註] *推估值

2.4 其他技術應用實例

其他技術如厭氣接觸法(AC)及厭氣塘(Anaerobic Lagoon)為較傳統的厭氣技術，於厭氣反應槽內大都設置有攪拌機，藉以促進活性污泥與反應物的接觸及產物的分離，圖7為AC示意流程圖。AC技術擁有者眾多，許多公司針對不同行業自行發展此技術。較著名的有Biotim(荷)、Purac AB(瑞典)、Infilco Degrement、CH2M HILL、AC-Biotechnical、Biomechanics等公司，其技術授權或代理偏佈全球，國內亦有一些公司獲得技術移轉或代理。由於搜集資料尚不齊全，表5僅列出兩個應用實例，供讀者參考，希望相關公司及業界能予以補充。

三、應用於畜牧廢水／廢污處理

歐洲各國最為熱衷積極利用厭氣生物法處理動物廢污。以丹麥為例，其政府的能源部於1986年成立合資沼氣工場協調委員會(Coordination Committee for Joint Biogas Plants)，負責推廣厭氣生物處理技術，在丹麥全國建立了8座大型的集中沼氣示範工場，每座廢污處理量由40噸／日至360噸／日不等。視農場規模及性質，每座工場負責2家至79家的農場，收集這些農場的動物廢污集中處理，並送回沼氣供其使用¹⁶。而擁有世界豬口密度最高的荷蘭，更將動物廢污的處理列為國家環保政策中最重要的項目，應用厭氣生物技術已經十分普遍。世界上著名的技術有Ecotechniek(荷)、Bacardi、Carver-Greenfield(美)、Promest(荷)及Bisan(澳洲)等。而荷蘭FME協會提供的資料更顯示¹⁷在荷蘭至少有20家公司擁有此方面的技術，處理廢污包括來自雞、牛及豬隻等，每種技術都有特殊的處理方式。譬如Ecotechniek的技術，除了處理廢污並產生沼氣回收能源之外，還生產氮氣、磷肥、二氧化碳、含高蛋白飼料等，並且與養魚池及花卉植物溫室合併規劃，適合多元經營的農場。不過，大部分技術僅利用厭氣生物法處理液體或水狀廢污，其中有一些採用較先進的厭氣反應槽如UASB及DAF等²⁰。

早在民國60年代國內就有此方面的研究，許多沼氣應用實例也曾成功於農村中展示

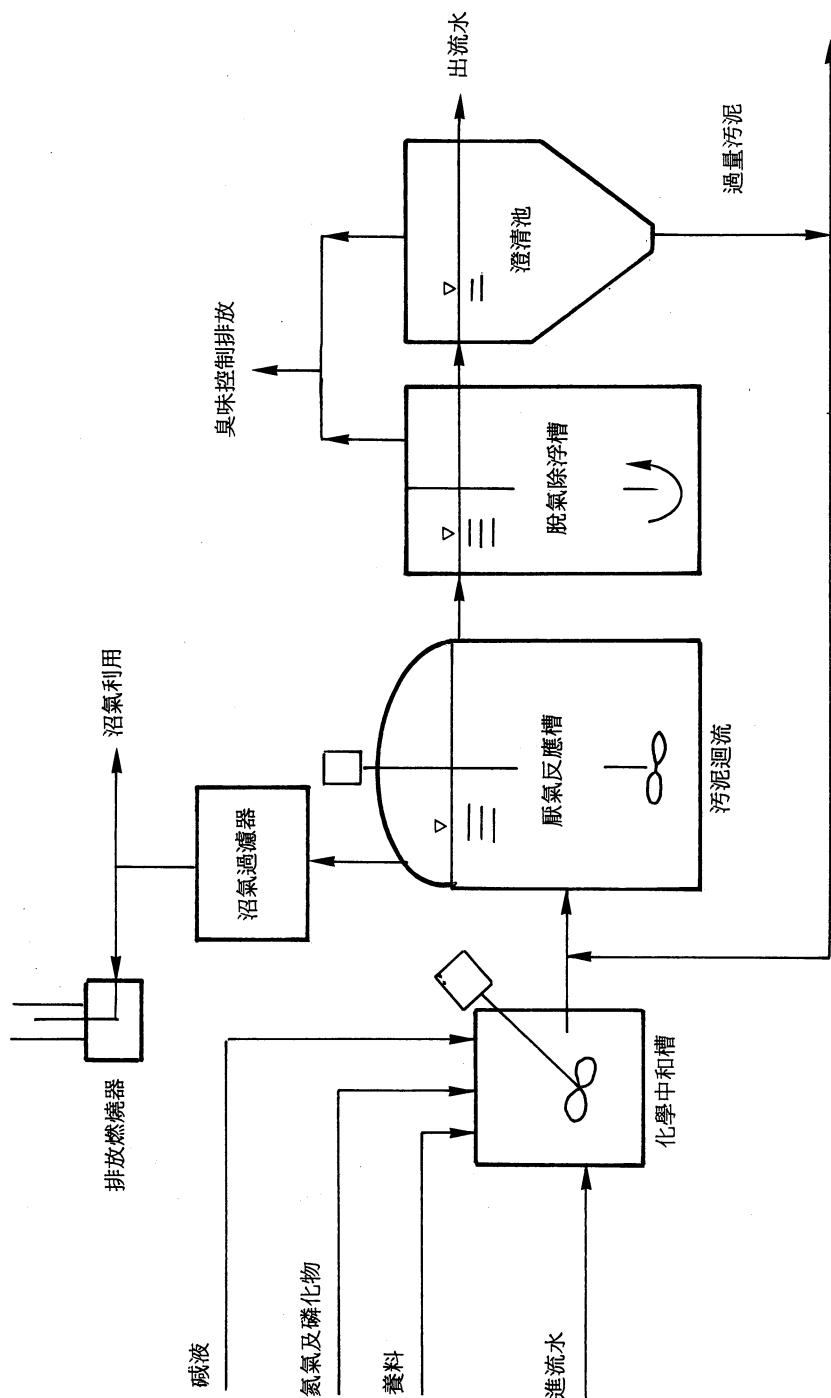


圖 7 AC示意流程圖 2

表 5 國內部分大型商業化AC工場資料^{9,18,26}

工業	工業別	起動年份	進流水分資料*				去除率 (%)	反應槽			技術擁有者		
			流量 (m ³ /d)	處理量 (COD/d)	BOD (mg/L)	TSS (mg/L)		體積 (m ³)	HRT (hr)	負荷 (kg COD/m ³ /d)			
1	食品	1989	120	300	1,500	3,000	40	80	83	—	—		
2	畜牧	1990	30	300	5,000	10,000	6,000	83	75	140	112	2.2	Biotim

過，當年目標在解決能源危機，而不是污染問題，此熱潮隨能源危機解除而冷卻。工研院持續此方面研究，曾於 1981年建造一座實廠型(處理量450m³/d)養豬廢水處理場。此工場先將廢污經固液分離，固體部分做堆肥，而液體再經傳統消化槽及喜氣旋轉生物盤等處理。其詳細資料，曾有文獻報導³，讀者可自行參考，在此不再贅述。近幾年內，國人環保觀念提昇及政府強力輔導，在全國數萬家大小養豬場中，設有廢水處理場的總數目粗估亦達數千家以上。由於國內中小型養豬場(規模 5,000頭以下)眾多，或許競爭激烈、缺少環保專業人才等影響，業者及技術提供者極少公開發表其處理工場的技術資料。

前章所述較先進的厭氣生物技術，如UASB、AF及AFB等，國內大都應用於工業界，而對於處理都市廢水或污泥，以及動物廢水(或廢污)，商業化實例極少。曾有報導使用UASB於養豬廢水處理¹⁵，UASB反應槽共6座，每座體積達650m³，處理量合計1,050m³/d。大部分國內應用於養豬廢水處理的厭氣生物技術，均採用傳統式的攪拌消化槽(MAD)、經改良後的厭氣接觸法(AC)、混合型(Hybrid)或改良二段式厭氣法等技術，而利用各種內部組件的改良，來達到提高處理效果。有許多養豬場基於操作管理方便，完全採用喜氣法處理廢污，當然其處理成本較高。表 6 僅列出13座利用厭氣法的工場，農場規模小自500頭豬，大至16萬頭豬，進流水流量小者60m³/d，大者高達6,500m³/d。所有工場均需要厭氣和喜氣合併使用，才能使放流水合乎標準。值得讀者注意的是高溫厭氣消化(thermophilic anaerobic digestion)技術的實廠化，可以直接處理廢污，而不需經過固液分離，解決大部分技術固體廢污堆肥滯銷囤積的難題。雖然高溫厭氣消化具有反應速率快等優點，但是也有保溫、臭味、不穩定等缺點，於消化槽設計上需特別考量加以克服，其詳細工場資料，讀者可參閱相關文獻^{3,19}。

由於農業技術及習慣不同，國外常見的養雞、牛、鴨等畜牧廢水厭氣處理工場，在國內似乎極少見到。隨著國內農牧業政策的改變，或許將來國內對養雞、牛、鴨等廢污的處理技術的需求亦會變化，目前尚難推斷。

四、其他應用

除了上述工業及畜牧廢水處理之外，厭氣生物技術在國內似乎仍未廣泛為業界接受。於1990年工研院曾興建 1座移動型果菜纖維質廢棄物處理的先導工場，利用厭氣消化

槽處理果菜市場廢棄物。成果不錯²¹，正積極推廣中。其他如海產加工及屠宰廢水，尤其是市政污水廠污泥，都是厭氣生物技術應用效果極佳的領域，國外實例極多，而國內十分罕見，國內業界仍需加強推廣。以市政府污水廠污泥處理為例，使用厭氣消化市政污水處理場污泥在國外已是行之50年以上的方，技術完全成熟。和較適合小型廠的喜氣消化法相比，厭氣消化法不但經濟又穩定，圖8為典型的厭氣污泥消化槽。近年來，在歐洲使用已達數十年歷史，總座數高達上百座的巨蛋型厭氣消化槽，開始在美國引起業界注意。並著手興建²²。其優點在於淤泥改善、浮渣減少、攪拌佳及佔地小等¹，圖9為此種巨蛋型厭氣消化槽的安裝示意圖。

國內利用厭氣消化污泥的實例極少，尤其是處理市政污水場污泥方面。正在興建中的八里污水廠，在第一期計劃中對初沉池污泥及廢棄喜氣活性污泥，仍採用濃縮及乾燥等方式處理，最後以拋棄掩埋方式處置。在第二期擴建計畫中才規劃採用厭氣消化法處理這類污泥，所以遲至數年後才能見到其實際運轉。於全國30個工業區污水處理廠中，倒是有4個（平鎮、安平、嘉太、幼獅）設有厭氣污泥消化槽²³，可惜根據實際調查報

表6 國內部分商業化厭氣法養豬廢污處理工場資料^{3,15,19,23~25}

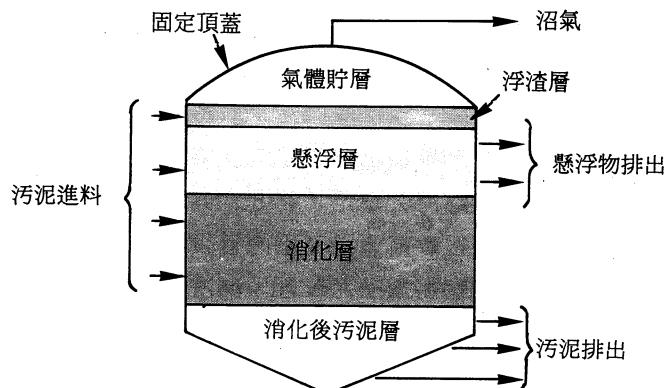
案例	起動年分	農場規模 (豬口)	廢污流量 (m ³ /d)	進流水BOD (mg/L)	BOD去除率 (%)	使用流程			壓氣技術	
						固液分離	壓氣	喜氣	溫度	擁有者
1	1981	20,000	450	2,500	81	有	MC	RBC,	中	ITRI
2	?	20,000	193	1,800	98	有	HB	AS	中	?
3	1984	1,500	60	5,300	92	有	HB	?	中	Bisan
4	1983	500	102	710	84	無	HB	—	中	?
5	1989	2,000	6[t/d]	BOD 16,000 COD 30,000	90 85	無	PF	—	高	ITRI
6	1990	5,200	195	4,300	87	有	HB	BF	中	ITRI
7	1990	35,000	1,050	4,250	81	有	MC/UASB	AS	中	Bisan
8	1991	13,000	410	3,500	87	有	HB	BF	中	?
9	1991	6,500	288	3,600	87	有	HB	BF	中	Bisan
10	1991	160,000	6,500	9,750	88	有	HB	BF	中	Bisan
11	1992	3,000	130	3,000	87	無	MC/PF	AS	中／高	ITRI
12	1992	19,500	850	4,000	87	有	HB	BF	中	Bisan
13	1992	19,500	735	4,000	87	有	HB	BF	中	Bisan

[註] 1. 厭氣反應槽型式：混合型(HB)、攪拌接觸型(MC)、栓流型(PF)及上流厭氣污泥懸型(UASB)

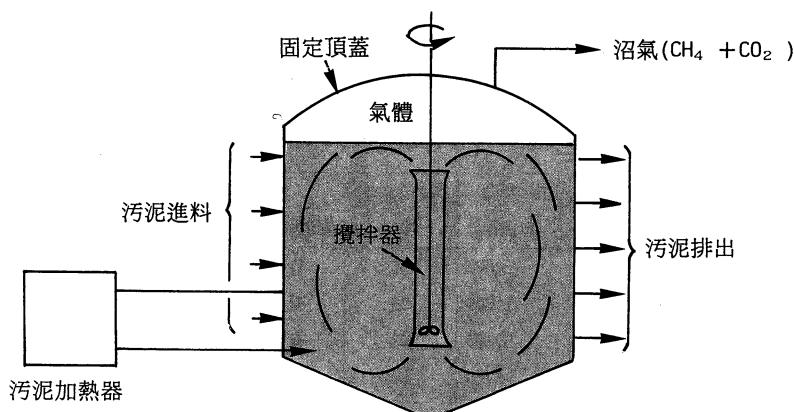
2. 喜氣反應槽型式：活性污泥型(AS)、旋轉生物接觸型(RBC)、生物濾床型(BF)

3. 溫度表示「中」為30~38°C，「高」為49~57°C

告，因為汙泥量少或處理功能差，致大多閒置不用。表7綜合此4個厭氣污泥消化槽的基本資料，其消化槽均採用開放無頂蓋的設計，而讓產生的沼氣自然溢散於大氣，不但其惡臭導致詬病，外界天候變化亦影響其操作功能。



A. 傳統的一般速率單段式



B. 高速率、攪拌單段式

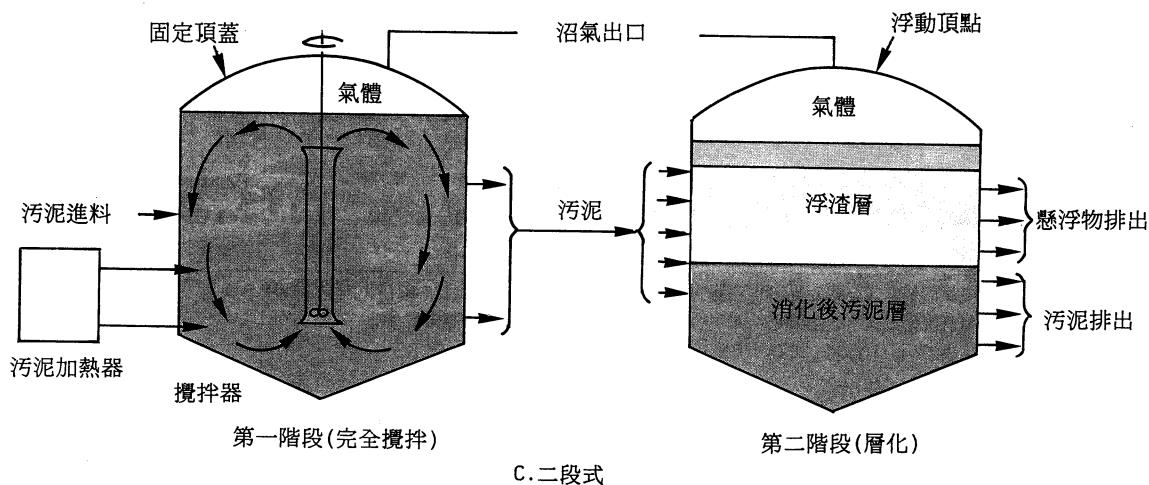


圖 8 典型的厭氣污泥消化槽¹

表 7 國內工業區污水處理廠厭氣污泥消化槽資料²⁷

工 業 區	起動年分	污 泥 消 化 槽		
		體積 (m ³)	DY (Day)	負 荷 (kg VSS/m ³ /d)
平 鎮	1979	61	60	?
安 平	1980	2,493	38	?
嘉 太	1985	76	20	1.71
幼 獅	1988	592	30	1.21

[註] 由於大部分均未操作，上述資料為設計資料

?：資料不詳

五、未來努力的方向

我國各項環境指標如人口密度、工場密度、豬口密度等，均名列世界前茅，但是相對的各項資源指標如土地價格及能源價格等，又無法與世界各工業國家比擬。由於台灣地區氣候潮濕溫熱，適合厭氣生物技術的應用，而其沼氣回收利用、佔地面積小、省能源（不需供氣）等特性，更具經濟效益。基於上述優點及地理環境，厭氣生物技術於台灣地區的應用，理應比歐美日本等國更普遍。可惜，實際性況剛好相反，其主要原因在於技術本土化不足，以及沼氣回收利用效果不彰。

技術本土化為引進生物廢水處理技術能夠成功的重要關鍵，其重要性於厭氣菌更甚於喜氣菌。技術本土化的範疇不僅是菌種篩選培養而已，尚包括許多工程應用方面的經驗及技巧，須靠研發者、設計者、施工者及使用者等各階層的不斷回饋意見並研討修改，才能累積成為本土化技術。以UASB為例，這方面的課題包括污泥顆粒化(granulation of biomass)，試驗動態(start-up dynamics)等屬於反應機制的探討，以及氣固液分離、熱傳導、保溫、污泥分佈及流溢(carry-over)等屬於工程於大技術的研究。而其他厭氣技術，更有其獨特課題，於此無法一一列舉。欲在國內順利推廣厭氣技術，設計者必須深入了解上述各種課題，並加強操作者對厭氣技術的認識，才能提高建廠成功機率，轉而增加業者的信心。

此外，沼氣回收利用的優點不可忽視，否則厭氣技術將喪失其佔優勢的一部分。當然，是否達到經濟規模為沼氣回收利用的取捨因素之一。然而，其回收利用系統可簡易如一般熱水加熱器，並非一定要大如蒸汽鍋爐或發電機等複雜昂貴的系統。沼氣的成份（通常含有60~80%甲烷），亦影響其回收利用的價值，而含硫氣體的多寡（尤其是國內工場大都未管制水中硫酸鹽濃度，經厭氣處理後，含硫氣體成分較高）更是影響回收利用系統的投資。國內現有厭氣處理工場鮮有此類分析資料公開，表8同時列出國外數座市政廢水場污泥消化產生的沼氣組成及國內某養豬廢水厭氣處理的沼氣組成。由此表

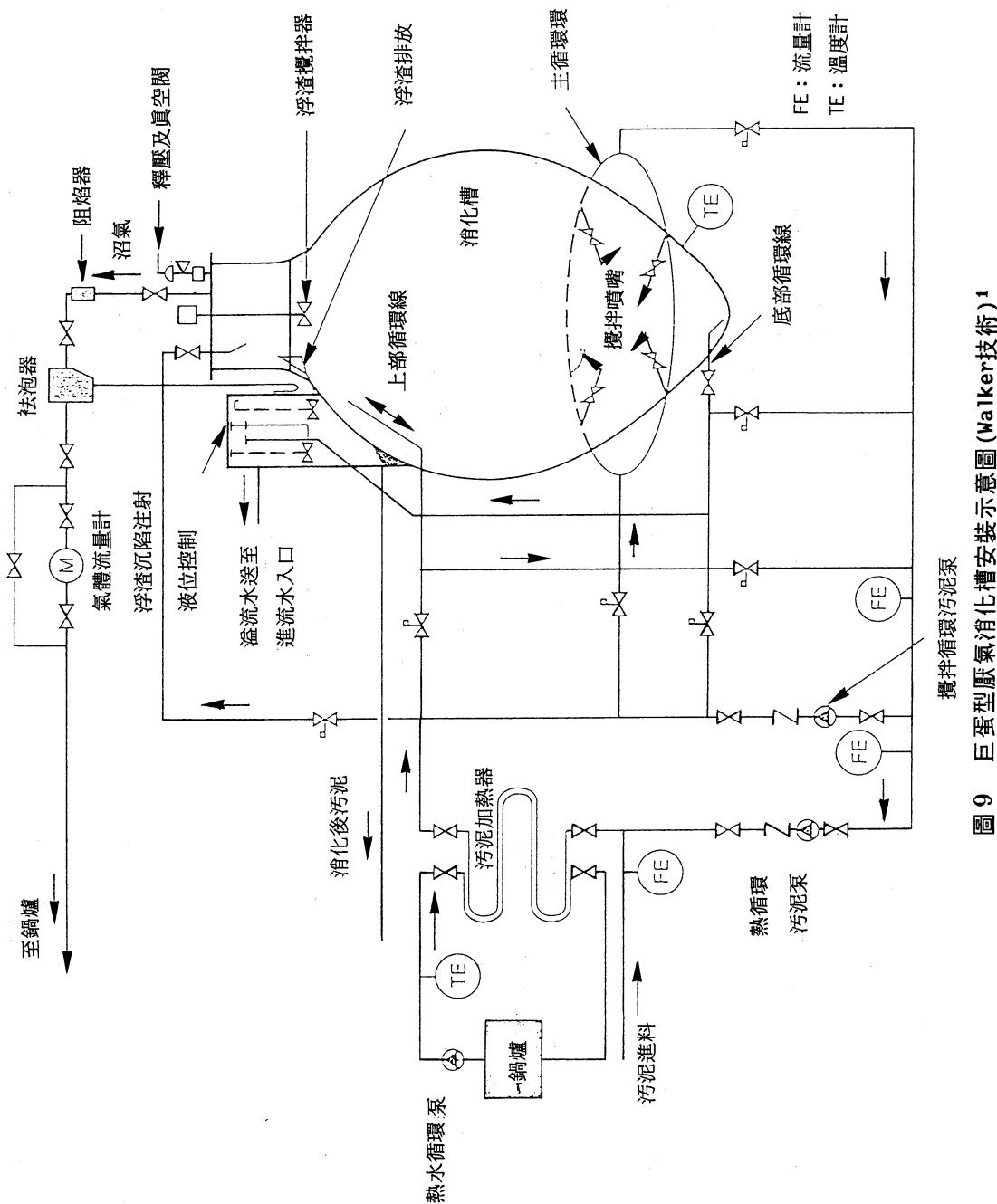


圖 9 巨蛋型厭氣消化槽安裝示意圖 (Walker技術)¹

可見甲烷組成及熱值變化範圍有限，但是硫化氫濃度可低至 0.00002% (0.2ppm)，高至 0.2% (2,000 ppm)，其變化取決於各污水廠進流水組成及流量。不論回收能源與否，沼氣的安全系統最為重要，圖10及11為安全設施示意圖，其詳細各組件功能請參見文獻²⁹。

表 8 國外市政廢水場污泥消化與國內養豬廢水場厭氣處理產生的沼氣組成^{24,28}

成 分 (單位: % vol)	國外市政廢水場污泥消化				國內某養豬 廢水場
	工場 1	工場 2	工場 3	工場 4	
甲 烷	67.3	67.2	56.7	65~70	50~70
二 氧 化 碳	32.7	32.8	30.4	30~35	26~44
氮	—	—	7.2	微量	—
氧	—	—	1.6	—	—
硫 化 氢	0.00002	0.00005	0.15	微量~0.2	3
氫	0.05	0.05	—	微量	1
水 蒸 汽	0.038	0.038	3.9	—	
低限熱值 (LHV) (kcal/Nm ³)	5,789	5,780	?	5,360~5,800	?

六、後語

本文的目的在讓讀者了解厭氣生物技術於國內的應用，並期望藉此能使更多業者公開討論其技術或工場的特長或問題等經驗與心得，達到落實技術本土化的目標。本文中許多資料由工研院、水美工程企業公司及十大水工公司等熱心提供，特此誌謝。

七、參考資料

1. Metcalf Eddy, Inc., Tchobanoglous., G., and Burton F.L., , Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse, 3rd Ed., Mc Graw-Hill Inc, 1991.
2. Lee, J.W., Peterson, D.L., and Stickney, A.R., Anaerobic Treatment of Pulp and Paper Wastewaters, Environmetal Progress, pp.73~87, May 1989.
3. 林明瑞，厭氣廢水生物處理程序之探討，工業污染防治,pp.155~180,1990年10月。
4. Reference List of Biopag Full-Scale Anaerobic Plants,(水美工程企業股份有限公司提供)
5. 阮國標，檸檬酸製程廢液之實廠規模厭氣生物處理，工業污染防治，

6. 曾聰智、陳耀仁、翁青龍，上流式厭氣處理槽應用酒廠廢水之設計操作及控制－案例報告工業污染防治，pp.144～162, 1989年7月。
7. 鄒文源等，改良型厭氣汚泥床法處理水果酒廠高濃度廢水，工業污染防治。pp.180～196, 1989年4月。
8. 張坦卿等，UASB程序實廠操作經驗－pH控制及鹼度控制，中國土木水利工程學會第十四屆廢水處理技術研討會，1989年10月。
9. Reference List of Biotim-A(十大水工股份有限公司提供)。
- 10 Bowker, R.P.G., New Wastewater Treatment for Industrial Applications, Environmental Progress, pp.235～242, Nov.1983.
- 11 Innovations in Anaerobic Wastewater Treatment in the Republic of China, (中美和石化公司提供)。
- 12 陳明仁，亞美和化學公司(AMOCO)厭氣生物處理廢水系統簡介，環境工程會刊，pp.93～96, 民國81年11月； & Chemical Engineering, pp.90～93, December 1991.
- 13 Lau, C.M., Anaeroic Process for Wastewater Treatment, Presented at Workshop of Environmental and Health Protection, Chungli, Tainan, ROC, Aug 12～14, 1991.
- 14 污染防治技術成果簡介，工研院污防中心，民國80年10月。
- 15 李春銅、吳志祥，35,000頭養豬場廢污水處理經驗談，環境工程會刊，pp.78～83，民國80年5月。
- 16 Large - Scale Biogas Plants - Summary of Midway Report from Coordination Committee for Joint Biogas Plants, Published by the Danish Energy Agency, Sep. 1989.
- 17 Environmental Technology - Directory of Companies in the Netherlands, Published by Association FME, pp.122～123, 1991.
- 18 經濟日報，80年4月4日20版。
- 19 陳文卿等，利用高溫厭氣酸酵作豬場廢污之完全處理，第15屆廢水處理技術研討會，民國79年11月。
- 20 Caruana, C.M., Puerto Rico Bets On Anaerobic Treatment, Chem Eng Progress, pp.17, Oct.1992.
- 21 工研院能資所型錄，ERL-BB-80-001, 1991.
- 22 Austin, T., US Sludge Digesters:From Pan Cakes To Eggs, Civil Engineering, pp.36～39, Oct 1992.
- 23 雷憶湘、歐陽嶠暉，養豬場廢水處理技術調查評估，養豬場廢污處理與再利用研討會論文集，pp.90～113, 民國75年5月。
- 24 洪嘉謨等，高雄種畜繁殖場之豬糞尿處理研討，同上pp.141～151
- 25 陳榮耀、韓樹智，豬糞尿生物處理及沼氣利用，同上pp.191～204

- 26 工業區污水處理廠簡介，經濟部工業局，1990年1月。
- 27 工業區污水處理廠處理功能評估及操作改善報告，經濟部工業局工業污染防治技術服務團，1989年10月。
- 28 Owen, W.F., Energy in Wastewater Treatment, Prentice-Hall, 1982.
- 29 雷憶湘，簡介廢水厭氣處理的安全設施，工業污染防治報導，PP.9～10。