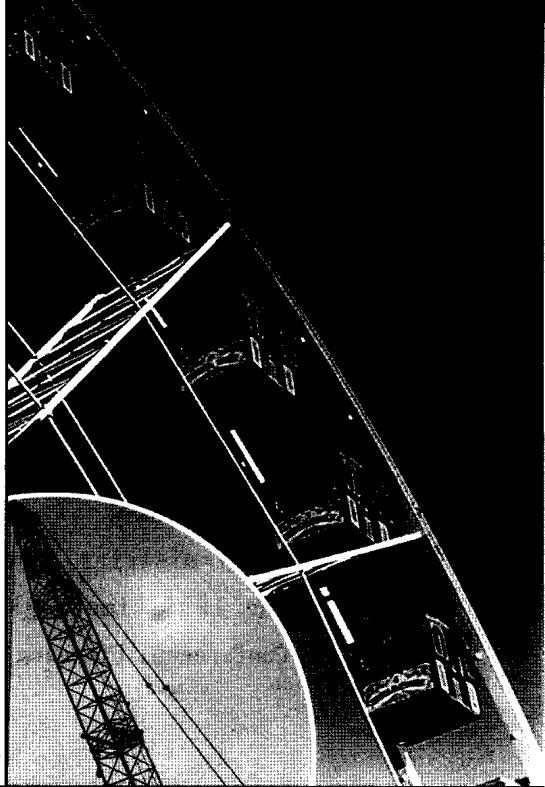


造紙廠用水管理 與廢水處理

◎執筆 / 李柏毅 · 黃勝德 · 李燈銘



營運管理
操作維護專輯

摘要

自東漢蔡倫發明利用樹皮造紙以來，在「紙」的製造過程中靠大量的水來當為載媒，因此造紙業一直被列為耗用水量大的產業之一。由於水是生命和文化繁衍的重要自然資源，在近年來面臨水資源日益匱乏與環境品質的逐漸趨嚴要求下，如何有效利用水資源和減少水資源的污染負荷，就變成業界在追求永續經營時所必須面臨的挑戰，也是業界多年來持續努力的方向。然而，減少單位用水量卻會增加廢水污染濃度，在台灣以濃度為放流的管制基準，無疑的會使廢水處理更形困難。因此，造紙廠用水管理與廢水處理技術成為業界因應焦點。在造紙廠的產品特性和設備技術層次差異，每生產一公噸紙的單位用水量，有從數百 M^3 到 $10 M^3$ 以下的巨幅差距，根據國外造紙用水資料報導，在德國有一家造紙廠生產 1 公噸工業用紙僅須 $1.5 M^3$ 的水，用來補充在製程中被蒸發的水量。在台灣造紙業的用水量，從造紙公會調查資料平均

每生產1公噸紙的用水量，於1993年依產品分別為漂白紙漿 112.8M^3 、工業用紙 23.3M^3 、文化用紙 48.4M^3 ，由於業界的節約用水努力，在2000年調查的單位平均用水量，分別降低為漂白紙漿 66.5M^3 與紙類的 20.1M^3 。正隆股份有限公司大園廠生產工業用裱面紙板與瓦楞芯紙，單位用水量在 8M^3 以內，是一低單位用水量的現代化造紙廠。為了處理因低單位用水所累積之較高COD的製程廢水，於1992年新規劃的二級廢水處理系統就採用了先厭氣後喜氣的生物處理方式，以UASB(上流式厭氣污泥床)先行除去65%COD的負荷後，再由活性污泥法將剩餘之COD處理至符合1993年的放流水標準。由於本廢水處理場操作管理精良，也被台灣區造紙工業同業公會推薦當為爭取1998年放流水標準合理性修訂的案例工廠。本文將就大園廠製程用水管理和廢水處理的實務經驗陳述，期能與業界先進共同探討，以促進造紙用水合理化與廢水處理技術的提升，進而為環境善盡綿薄之力。

關鍵字

造紙廠、白水、多盤式白水回收機、清白水、廢水、UASB、COD、放流水

前言

從造紙廠設立之廠址評估，一般對使用水的供應和水質均列為選廠址重要條件，因此早期造紙廠都選擇水源穩定水質良好的地區設廠，以防止生產流程中所依賴的媒介「水」之供應質量不足影響生產及產品品質。正隆公司為充分利用台北、桃園地區的廢紙資源來生產工業用紙，於1986年選擇於桃園縣大

園擴大工業區建立大型造紙廠時，就面臨水資源供給的限制，所以在用水管理規劃就優先考慮加強循環用水的機制，於製程中引進先進多盤式白水回收設備，並將用水分級管理，使單位產品的用水需求量降低。在經營生產過程中，並持續追求用水合理化，在2000年生產量高達44萬公噸的工業用裱面紙板和瓦楞芯紙，也不會因水源的限制而影響生產，因為持續追求節約用水的關係，生產每公噸紙的平均用水量由原來的 15M^3 降低到 8M^3 以下。

從努力於製程單位用水減量，導致廢水濃度也相對的增加，較高單位的廢水濃度也帶來處理排放的挑戰性，因此規劃「先厭氣再喜氣」的廢水二級生物處理系統，使累積較高濃度廢水中的COD量，在一級廢水處理後能於二級生物廢水處理系統中，順利的以UASB先行降低65%COD負荷後，再經活性污泥法將剩餘之COD處理至符合我國1993年的放流水標準以下才排放。另外，為因應我國1998年的加嚴放流水標準，也再投資增設了一級處理後的浮除及二級處理前的緩衝調勻池，來促進整體廢水處理系統的操作穩定性和處理效果。由於設計本套二級廢水的處理量原本為 $12,000\text{M}^3/\text{日}$ 的處理能力，也因製程用水合理改善後，其實際廢水處量也僅有 $8,000$ 至 $9,600\text{M}^3/\text{日}$ 之間，而使本廢水處理系統之容量更有彈性，足以確保處理後的放流水水質維持於放流水標準以下。

以上大園廠的用水管理和廢水處理之實務經驗，將分別扼要的陳述於下，並請各界先進指教。



造紙廠用水合理化

正隆公司大園廠於 1987 年底完成汽電共生系統及一號抄紙機系統等相關設備，一號機設計每日生產表面紙板或瓦楞芯紙 650 公噸，1988 年繼續完成二號抄紙機系統，設計每日生產瓦楞芯紙 420 公噸。近年來，歷經設備改造和效率提升改善，使一號抄紙機平均日生產量達 750 公噸，二號抄紙機平均日產量達 580 公噸，全廠設備均出自世界時代尖端造紙技術的組合，抄紙機都是來自北歐芬蘭 Valmet 公司的新研發機型，所生產的表面紙板和瓦楞芯紙之品質成為國內業界的標竿，也是一直維持外銷日本的優良品質肯定，全廠具有高效率的廢紙資源再生、節省能源和減廢等組合優勢，其中用水的合理化可分以下三階段說明。

首先，從設廠階段就優先考慮到製程用水的充分循環使用，採用提高用水系統密閉化的製程設備，也投資設置多盤式白水回收過濾機。並進行用水分級等規劃，將其用水區分用途如下列各項：

- 稀釋用水：散漿稀釋、濃漿稀釋調節等用水。
- 噴淋用水：網部濕紙匹切邊、漿料噴落、輥體與毛毯潤濕和洗淨等用水。
- 真空系統用水：水環式真空泵浦之軸封用水。
- 軸封用水：轉動設備之軸封用水。
- 鍋爐用水：鍋爐蒸氣系統補充用水。
- 冷卻用水：熱交換機、潤滑油、輥體等之冷卻用水。
- 配藥用水：配製各種藥品、染料、乾濕強劑暨澱粉等用水。
- 洗滌用水：設備與環境清洗用水。

從上列各種用水，經過用水分級設計歸納成用水系統配置，分別使用白水或經過濾的清白水和清水，讓可用白水的地方不使用清水，必須用清水的部分提升使用效率或加強回收再利用，以達到有限的水資源，在廠內充分發揮，是讓全廠能降低清水用量的重要關鍵。因而使先期生產作業的用水量，於白水回收過濾設備的回收使用和依用水區分規劃等妥善運用下，每生產一公噸紙用清水維持於 15M^3 以內。

第二階段之合理化用水，是從提高生產效率來降低單位產品用水量，為 1989 至 1994 年期間的用水因應，提升設備運轉率降低單位用水量。因為抄紙機在出紙及斷紙的時段耗水量大，而且沒有產品生產量，所以從提高抄紙機運轉效率可以增加產量和減少用水量，是有效的降低單位產品用水量的捷徑，要靠整體生產管理和作業的技術提升，才是提高用水效率和減少用水的關鍵。因此，從人員教育訓練和有效管理，熟練和提高操作技術，有效獲得出紙時間的減短和斷紙次數減少，發揮生產績效增加了產品量，促使每生產一公噸紙的平均用水量降低為 10M^3 以內。

第三階段為 1994 至 2000 年期間的各項節約用水改善，其內容詳如表 1 所列之製程節水之效益內容，共計 18 項用水工程改善案，加強對使用清水及白水等有效循環利用管理，而累計開發了廠內每年可再循環利用的水資源超過 200 萬 M^3 ，也使每生產一公噸的紙平均用水量降到 8M^3 以下。

在表中的各案例中，以 1994 年增設的 800M^3 白水儲存槽之效益最大，特將詳細內容補充說明：因為造紙廠節省

表 1 1994-2000 年製程節水個案效益表

項次	年/月	內 容	節省用水量(M ³ /年)
1	1994.12	增設 800 M ³ 白水儲存槽，降低清水用量	1350,000
2	1996.02	紙機網部及軋面的清洗水噴嘴改善	78,407
3	1996.02	散漿機草繩沖洗水由清水改白水	14,515
4	1996.04	紙機油壓系統冷卻水回收	25,200
5	1996.09	陰陽塔線上偵測器樣水回收	3,653
6	1997.03	紙機的基重水分計 Scanner 冷卻水回收	1,293
7	1997.05	二號機漿料稀釋水使用白水取代清水	78,962
8	1997.07	多餘冷凝水補充脫硫吸收塔用水	17,520
9	1998.01	淨漿區冷卻水回收至清水槽	16,796
10	1998.03	碎紙間噴淋水改由白水供應	19,353
11	1998.05	一號機使用冷凝水清洗毛毯	87,600
12	1998.12	為複捲機冷卻水回收	12,000
13	1999.01	鼓式篩選機後段沖洗水改用白水	51,840
14	1999.05	二號機消泡劑泡製清水改白水	1,056
15	1999.12	散漿機冷卻水回收至 1001 槽	18,144
16	2000.01	為一號機清水流程改善減少清水用量	282,240
17	2000.06	二號機 2951 軸封水節省清水	1,742
18	2000.11	MUST 篩選機格蘭水回收	6,307
合 計			2,066,628

用水最重要的因素是維持水平衡，在製程穩定生產的常態狀況下，容易維持水平衡可減少用水排入廢水系統中，有如同上述第二階段的節水效果，但有時候造紙廠在抄紙機作業之斷紙及延長出紙時間等，短暫之緊急大量用水往往不能預期，當抄紙機斷紙或出紙異常等時段，都是必須緊急大量用水的時刻，若沒有適當的儲備其他的用水來源，就要靠清水來支援供給，因而破壞了正常的水平衡系統，多餘的用水將會溢流到廢水收集系統，是耗水和增加廢水量的重要因子，必須有效地開發替代性的儲備用水資源才能突破設備現狀，

以克服緊急用水對清水唯一的依賴，因此規劃增加 800M³ 白水儲槽，以儲備多盤式白水回收過濾機常態運作狀況下多餘的清白水，並且連通了一級廢水處理後的澄清水，使 800M³ 的白水儲槽隨時有滿水位的備用狀態，充分發揮緊急臨時用水供給之調節功能，因此取代了緊急用水時刻對清水供應的需求，大幅的減少清水用量，發揮用水和節水的雙重功能，獲得顯著的節水成效。

廢水處理最適化

大園廠為經濟而有效地達到較高濃度廢水處理能符合放流水標準的管制目

標，因受廠區土地面積的限制，在廢水處理的規劃採用一級處理的化學混凝設於廠區內，二級廢水處理設於廠區約1公里外的地方，採用UASB(Up flow Anaerobic Sludge Blanket)加A/O(Anaerobic/Oxic system)的系統，以「先厭氣再好氧」的兩段式生物處理方式。整體一、二級廢水處理流程如圖1之示意圖內容。

首先必須說明，為何造紙廠廢水濃度會高到須採用厭氣處理的經濟規範，因為大園廠採用廢紙為主要的原料來造紙，及製程用水高度循環會使濃度逐漸提高，概要歸納如下：

1. 單位用水量的降低趨勢。
2. 回收廢紙品質的常年循環劣化。
3. 廢紙中的紙力增強性等藥劑含量增加。
3. 使用熱分散設備處理熱溶膠類物質。
4. 製程中使用更多以增強紙力為目的之各種化學藥劑。

以大園廠之運轉狀況而言，其運轉初期之廢水特性與1995年間的紀錄變化如表2，在表2中所指的廢水，係製程廢水經一級處理之化學混凝處理後之初沉池所流出水樣濃度當比較依據。

為了因應1998年我國環保署加嚴的放流水標準規範，特別在一級廢處理後增設加壓浮除設備，以備初沉池未能充分發揮功能時的及時輔助處理設備，有效控制SS的含量化解UASB可能的沉積。更於二級廢水系統前增加了2,400M³緩衝調勻池，以充分調節製程廢水量變化，來維持二級處理系統的穩定性，確保處理後符合1988年加嚴放流水的管制標準。有關二級廢水處理的運作，檢附2000年大園廠二級廢理水質統計表，詳如表3所示。雖然原廢水污濃度持

續提高，整體仍維持很穩定的操作狀態和放流水品質。因本廠為國內造紙廠第一套採用UASB的處理方式，特別將UASB之運作經驗和心得在下節補充加強說明。

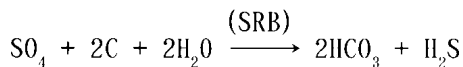
厭氣處理的優點和限制

為經濟有效的處理較高濃度之廢水，本廠遂在國內造紙界率先採用以厭氣加好氧的二段式生物處理廢水場，其基本原理、優點和限制分別說明如下，以供大家參考選用。

1. 厭氣處理的基本原理與反應機制

厭氣處理法係於無氧氣的環境下，對有機物的分解是由多種微生物共同作用，以接力方式進行階段性反應，最後產生二氧化碳和甲烷。其分解合成的反應機制可以McCarty，於1981年發表之甲烷生成三段式反應理論說明，如圖2所示。

另外，在UASB反應槽的反應機制裡，除了甲烷生成三段反應外，還有硫酸鹽在厭氧狀態下被硫酸鹽還原菌(Sulfate Reducing Bacteria, SRB)還原成硫化氫的機制存在，如下式反應所示：



上式中的C代表有機物中的碳。由上式反應可知，若厭氧反應槽中存有硫酸鹽還原菌，則不但將硫酸鹽還原成硫化氫，同時硫酸鹽還原菌還會與甲烷菌(MFB)搶食廢水中的有機物。在共生搶食結果，孰優孰劣，主要依據廢水中COD/SO₄之比值、反應槽中的pH與H₂S之濃度而定。一般而言，其間與互動的參考指標如下列反應式可以說明：

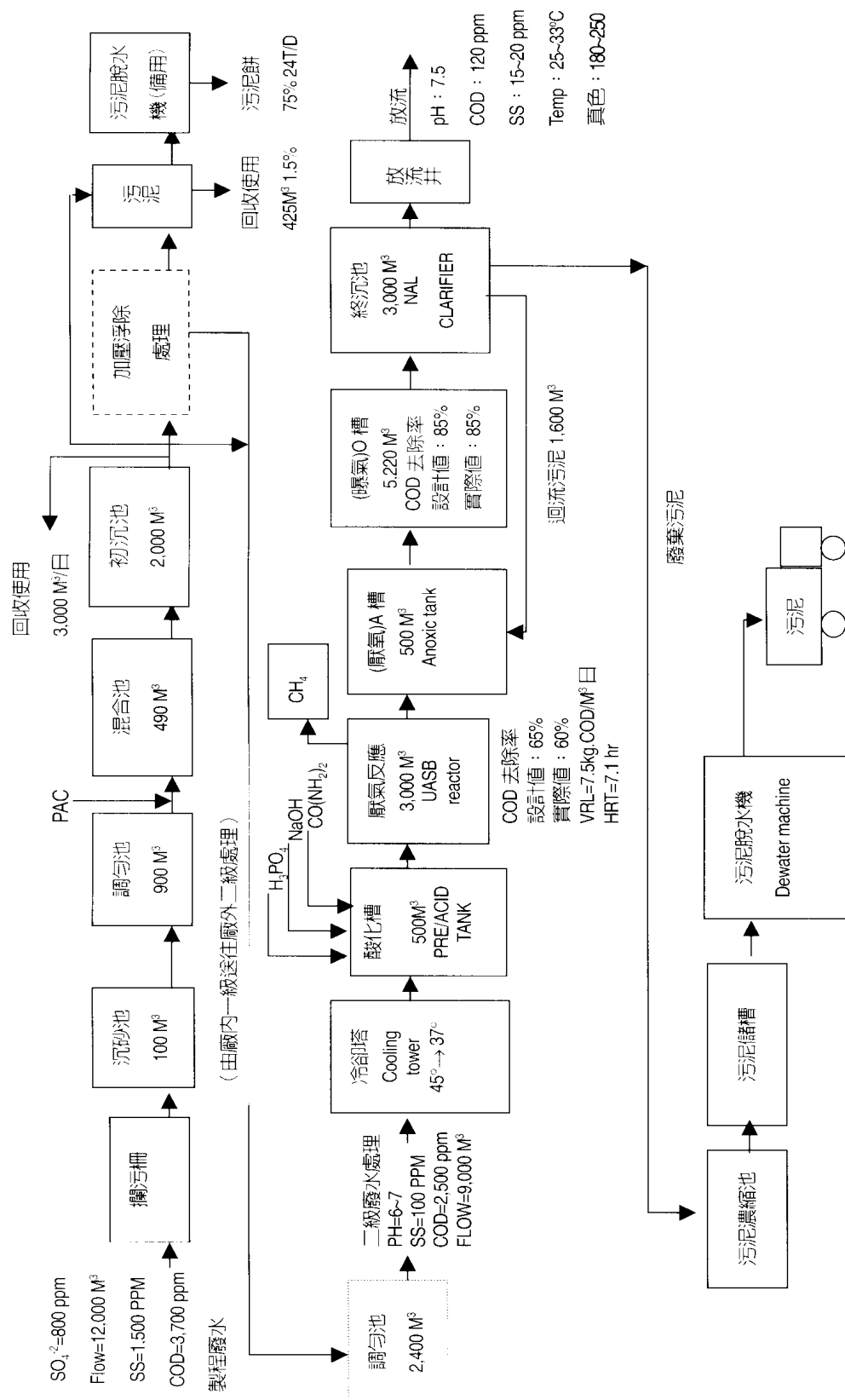


圖 1 大園造紙廠一、二級水處理流程示意圖

表 2 大園廠一級廢水處理初沉池後之廢水特性變化情形

	運轉初期(1987—1989 年)			中段累積紀錄 1994—1995 年		
	Max	Min	Aver	Max	Min	Aver
pH 值	6.6	6.0	6.2	6.8	6.2	6.5
溫度 °C	40	28	35	40	33	40
SS ppm	100	30	60	400	40	100
COD ppm	1,500	800	1,100	3,400	1,800	2,600
BOD ppm	500	300	400	1,500	700	1,000
SO ₄ ppm				1,200	600	800

表 3 2000 年大園廠二級廢水處理水質統計表

月份	原廢水					UASB			放 流			
	水量	PH	水溫	SS	COD	VAF	COD	去除率	PH	水溫	SS	COD
1	216165	6.7	36	162	3158	5.36	1196	62%	7.8	25.6	25	127
2	228816	6.6	35	136	2524	5.85	1148	54%	7.7	25.1	25	126
3	294911	6.4	36	135	3013	9.07	1181	60%	7.7	26.5	20	123
4	243710	6.5	39	148	3074	6.13	1034	64%	7.6	28.7	20	126
5	248341	6.3	42	123	3040	7.49	1233	60%	7.6	31.5	15	124
6	244466	6.4	44	67	3267	10.6	1506	54%	7.6	33.4	20	140
7	282360	6.3	45	67	2993	7.61	1162	60%	7.7	33.5	20	122
8	285179	6.4	43	151	3199	5.26	1167	63%	7.7	32.5	19	137
9	277454	6.5	41	90	2912	6.44	1100	62%	7.8	30.8	23	124
10	245639	6.5	38	113	2705	5.74	1013	62%	7.8	29.5	17	105
11	256133	6.6	38	99	3047	5.94	1108	62%	7.7	28.3	20	131
12	267069	6.7	37	118	2892	6.16	1169	58%	7.6	27.8	18	134
最大值	294911	6.7	45	162	3267	10.6	1506	64%	7.8	33.5	25	140
最小值	216165	6.3	35	67	2524	5.26	1013	54%	7.6	25.1	15	105
平均值	257520	6.4	39	117	2985	6.80	1168	60%	7.7	29.4	20	126

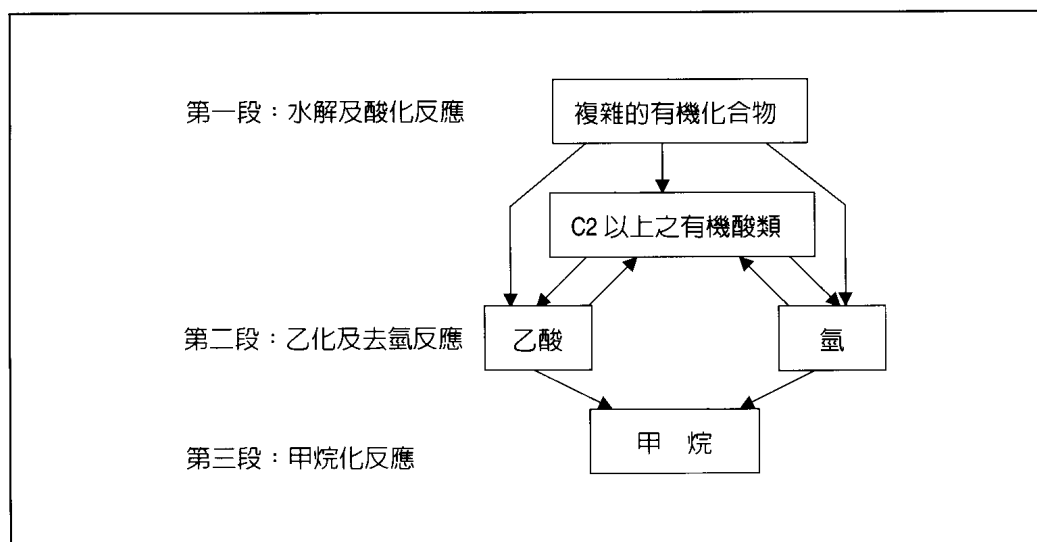
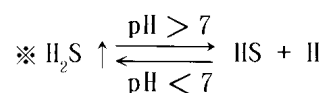


圖2 甲烷生成三段反應理論

$COD/SO_4 > 10.0$ MFB 優勢

$COD/SO_4 = 5.0--10.0$ MFB 相對優勢

$COD/SO_4 < 3.0$ SRB 優勢



生物毒性： $H_2S > HS^-$ ， H^+

2. 厭氣處理的優點和限制

使用厭氣處理高濃度的廢水與傳統之活性污法處理，具有更經濟的操作性及易於達到放流水標準外，整個廢水處理場之一般優點有：

- (1) 省能源：動力費約為喜氣處理法的三分之一。
- (2) 佔地小：用地面積約為喜氣處理法的二分之一。
- (3) 污泥少：污泥量約為喜氣處理法的七分之一。
- (4) 雜菌少：病原微生物及寄生蟲卵不易生存。
- (5) 不需營養源供給，又可回收甲烷當

能源。

厭氣處理雖有上列優點，但也其基本限制，現在國內一般造紙工廠採用酸性抄紙，對內添藥劑時必須使用硫酸鋁來媒介，而使廢水中含有大量硫酸鹽，若廢水中之 COD/SO_4 比值低於 3.0，反應槽內之 pH 又控制在 7.0 以下時，則硫酸鹽還原菌將成優勢菌種，而使系統內之硫化氫濃度逐漸升高，因而使甲烷菌之活性受到抑制，於是反應槽內之有機酸將無法消化而累積，以致反應槽內的 pH 又跟著下降，這樣的惡性循環終導致系統因酸敗而失去 COD 的處理能力，是 UASB 致命的要害。本廠初期也因前述問題的失察，導致須重新進口厭氣菌種植種，再配合控制系統之溫度、硫酸根與 pH 不斷調整改善才恢復過來，進而達到維持系統功能相當穩定，而且還多次出售厭氣污泥給國內業者植種。

結語

從全球的氣候變遷，水資源日益缺



乏是必然的趨勢，我國政府對水污費和水權費之徵收也將施行，推動用水合理化和進一步做好節約用水管理工作，將是經濟發展必須面對的嚴肅問題。有鑑於此，大園廠在環境管理系統中，持續清潔生產列為重要的績效指標，積極響應節約用水活動，將節約用水和降低污染排放列為目標標的，從再提高回收水使用比率展開運作，以分階段持續執行，最後達成零排放的目標。未來在降低單位用水量，加上使用國內廢紙品質混雜下，廢水之污染濃度勢必相對的提高，採用先厭氣再好氧的二段式生物處理方式，來處理較高濃度的廢水，更能突顯經濟效益的正確選擇。然而台灣現階段的造紙製程仍偏重酸性上膠系統，可能導致硫酸鹽形成硫化氫效應等相關的負面影響。但是，從製程和抄紙技術

的應用，趨向中、鹼性系統的上膠方式，也有以表面上膠取代濕端化學的添加，不但能提高產品品質，也能削減硫酸鹽的含量，將是未來造紙業製程轉型和節約用水後，採用UASB加A/O之生物處理系統廢水處理的有利需求轉機。^[6]

參考資料

1. 洪仁陽、邵信、莊順興、蔡東和，「以造紙業為例探討放流水標準合理性」，2000 產業環保工程實務技術研討會論文集，149-176。
2. 林榮榛，「造紙廠用水減量與廢水處理技術應用」，1996 工業減廢暨永續發展研討會論文集，268-276。
3. 台灣區造紙工業同業公會能源統計 2001。

作者簡介

李柏毅

現職：正隆股份有限公司大園廠安保課工程師
學歷：輔英技術學院環境工程系畢業
經歷：正隆股份有限公司大園廠管理員
專長：環境工程、廢水處理

黃勝德

現職：正隆股份有限公司大園廠安保課課長
學歷：龍華技術學院機械工程系畢業
經歷：正隆股份有限公司大園廠管理員、工程師、副課長、課長
專長：造紙機械、環境安全衛生管理

李燈銘

現職：正隆股份有限公司保安部經理
學歷：中原大學化工系畢業
經歷：正隆股份有限公司工程師、品管主管、紙器廠副廠長、造紙廠廠長
專長：造紙、紙器生產管理，品質、環境、工業安全衛生管理