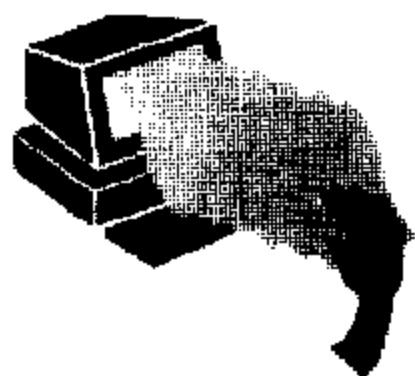




造紙廠用水減量與 廢水處理技術應用

林榮榛・李肇錦

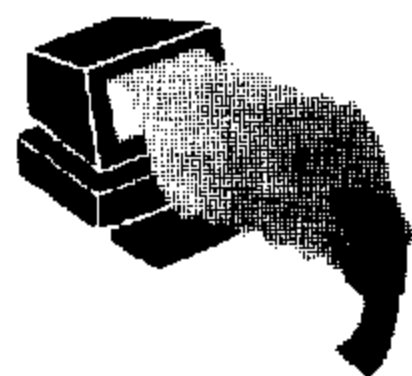
造紙業一直被列為耗用水量大的產業之一。近年來，因水資源日益匱乏與環保標準逐漸趨嚴，如何降低用水以確保水資源之合理利用，並使排放水符合放流標準進而減少水污染對環境的衝擊，就變成業界在追求永續經營時所必須面對的挑戰，也是業界多年來持續努力的方向。然而：減少單位用水量卻會增加廢水之污染濃度。在以濃度為管制基準的臺灣，這種現象無疑的會使廢水處理更形困難。正隆公司大園廠生產工業用裱面紙板與瓦楞芯紙，單位用水量為8-9立方米，是一低單位用水量之現代化造紙廠。為處理因低單位用水所產生之高COD製程廢水，大園廠的二級廢水處理系統採用了先厭氣後喜氣的方式，以上流式厭氣污泥毯(UASB)先行降低65% COD負荷後，再由活性污泥法將剩餘之COD處理至符合放流水標準。本文將提報大園廠降低製程用水的一些做法和廢水處理的實務經驗，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。

前言

正隆公司大園廠為了提升生產力、改善產品品質、工作環境暨污染預防和減廢績效，在設廠之初即引用最先進之設備和技術，加上全員持續不斷的研究發展與改善，多年來之努力業已使本廠在各個領域獲致相當之績效；除分別獲得商檢局ISO 9002認證、品質優良案例

獎、勞工安全衛生楷模、鍋爐使用優良單位暨能源節約優良單位之肯定外，另外還擁有以下幾點特色：

1. 全國最大之單一工業用紙製造廠，年產量40萬公噸。
2. 使用最多本地回收廢紙為原料之造紙廠，年用量超出30萬公噸。
3. 單位用水量極低之造紙廠，生產每噸紙平均



祇用8~9立方公尺的水。

4. 率先採用2段式生物處理系統(厭氣+喜氣)處理製程廢水之造紙廠。

有關大園廠降低用水之基本做法與以厭氣+喜氣方式處理製程廢水之實務經驗，分別扼要的陳述於下：

造紙廠用水合理化

(一) 造紙廠用水分類

水在造紙過程中是一非常重要的要業，除了作為漿料輸送的媒介外，在備漿和抄紙過程中大致可區分成以下幾個用途：

1. 稀釋用水：散漿稀釋、濃漿稀釋用；
2. 噴淋用水：網部濕紙匹切邊、漿料噴落、軋體與毛毯之潤濕和洗淨用；
3. 真空系統用水：水環式真空泵之軸封水
4. 軸封用水：轉動設備的軸封水；
5. 鍋爐用水：鍋爐補充用水；
6. 冷卻用水：熱交換器、潤滑油、軋體之冷卻用水；
7. 備藥用水：配製程種藥品、染料、乾濕強劑暨澱粉用水；
8. 洗滌用水：設備與環境清洗用水。

上列各種用水部分可以使用白水或經過處理之淨白水，有些則需要用乾淨之清水。如何在可用白水的地方不使用清水，必須使用清水的部分設法提升其使用效率或加強回收再利用，亦即合理的規劃廠區之用水系統，是造紙廠能否降低清水用量的重要關鍵。

(二) 造紙廠之用水節省

造紙廠之單位清水用量雖依抄造紙種、紙機型式與年代和使用原料會有很大的變化，然而只要在全廠水系統做整體之規化與管理，紙廠之清水用量必能大幅的下降。大園造紙廠從運轉初期生產每噸紙使用15立方公尺之清水用量進步到目前之8立方公尺，我們認為其中較重

要、值得提出與同業先進共同探討的有以下3點：

1. 提高水系統密閉化程度

抄紙系統從紙機頭箱、白水槽、扇形泵有一個穩定水質水量的循環，在這短程循環裡因漿料濃度之變化，致有大量的水補入與釋出，白水回收系統之規畫完善與否將影響單位清水用量之高低。一般而言，白水回收系統之規畫可以圖1說明之。

2. 提高清水使用效率(慎選用水需求量較少之設備和加強回收，以減少清水量，例如：

- (1) 選用高壓低流量噴淋管噴嘴取代低壓高流量噴嘴；
 - (2) 以低頻電頻機械式摺動器取代凸輪軸臂摺動器驅動噴淋管；
 - (3) 以機械軸封取代格蘭填料涵(Gland Packing)；
 - (4) 回收各類冷卻水供毛毯清洗與潤滑用。
3. 善用各種管理工具、強化管理能力、提高整體生產力，降低單位水量。

(三) 高效率厭氧處理法在造紙製程廢水處理的應用

1. 造紙廢水的特性變化

以廢紙為主要原料的造紙業，其製程廢水之污染濃度會因下列諸因素而逐漸提高：

- (1) 單位用水量日漸降低；
- (2) 回收廢紙品質逐年變劣；
- (3) 使用熱分散設備；
- (4) 濕端使用更多以增強紙力及改進交織等為目的之各種化學藥品。

以大園廠之運轉狀況而言，其運轉初期之廢水特性與最近的變化如表1。

2. 厭氧處理的優點

處理這種較高濃度的廢水，若以傳統之活性污泥法處理，除了較難達到放流標準外，整個廢水處理場將佔據大面積之土地且耗用大量之曝氣動力。因此；大園廠為因應82年之放流水標準，在提升處理效率以大幅降低初投資費

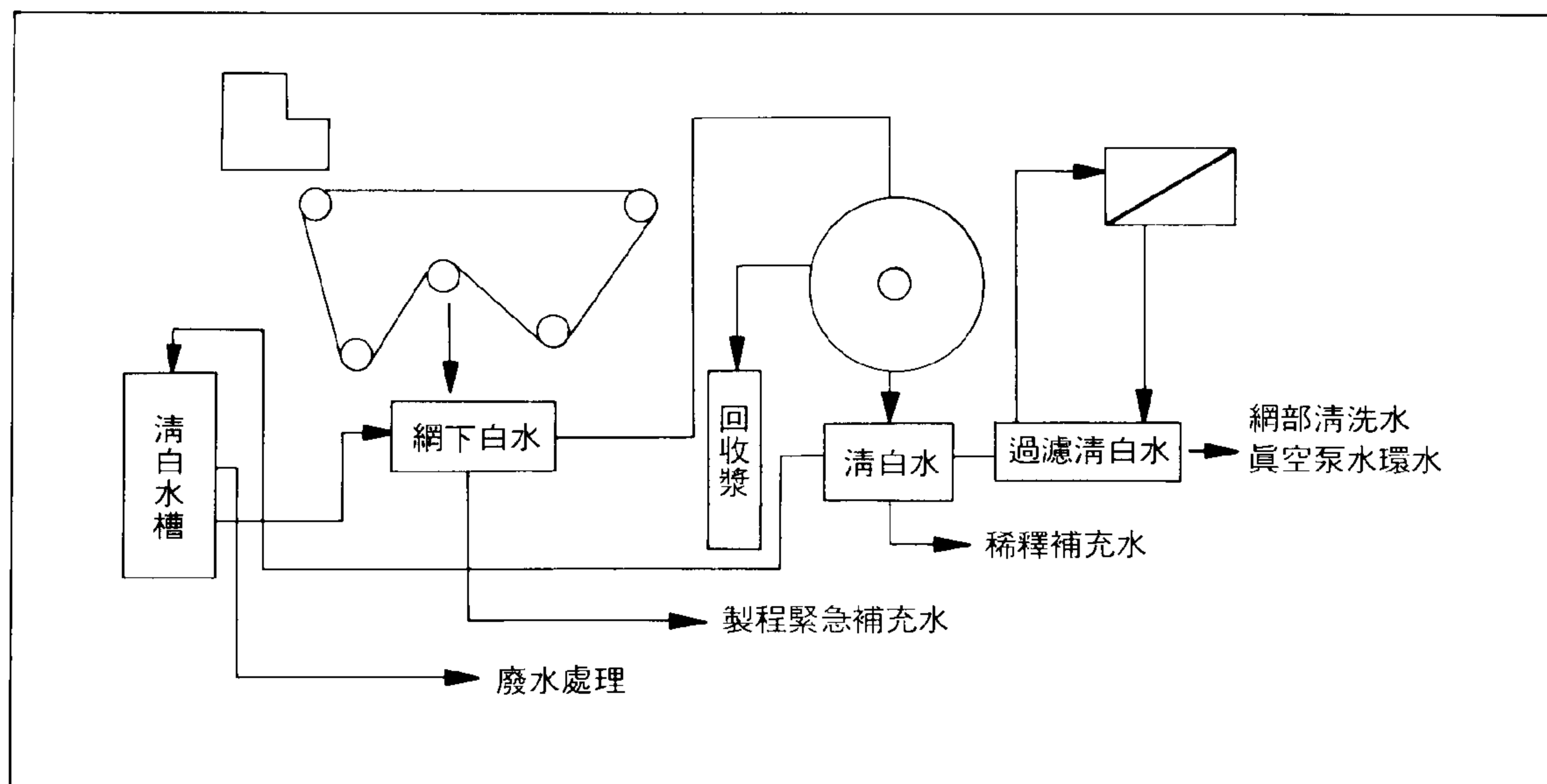
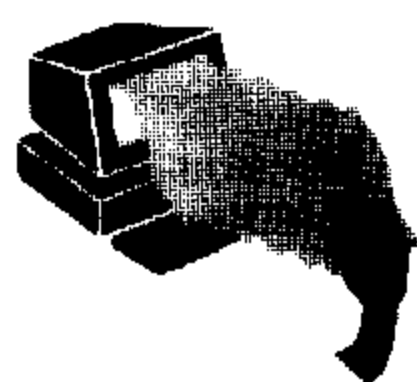


圖1 白水回收系統簡圖

表1 大園廠初沉廢水特性變化情形

本表所指廢水，係製程廢水經混合沉澱後之初沉出流水

	運轉初期(76-78年)			現階段(84-85年)		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均
pH值	6.6	6.0	6.2	6.8	6.2	6.5
溫度℃	40	28	35	33	47	40
SS PPM	100	30	60	400	40	100
COD PPM	1500	800	1100	4200	1800	2600
BOD PPM	500	300	400	1500	700	1000
SO4 PPM				1200	600	800

及減少日後操作費用之考量下，遂在國內造紙界率先採用以厭氣法為第1段處理之2段式生物處理法。相較一般之喜氣法，本系統有以下3點主要好處：

- (1) 省能源——動力費約為喜氣處理法的3分之1；
- (2) 佔地小——用地面積約為喜氣處理法的2分之1；
- (3) 污泥少——污泥量約為喜氣處理法的10分之1。

3. 廢水處理流程圖

為經濟而有效的達到處理目標，本廢水處理系統採用「先厭氣再喜氣」的兩段式生物處理方式，其中厭氣處理係使用上流式厭氣污泥毯法(Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)，而接下來的喜氣處理則採用厭氣／喜氣交替式的改良活性污泥法(Anoxic /Oxic System, A/O)。其廢水處理流程圖如圖2所示。

4. 厭氣處理的基本原理與反應機理

厭氣處理法與喜氣處理法最基本的差異就是：在無氧的環境下，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，最後生成二氧化碳和甲烷。以熱力學的觀點，厭氣反應是將不同氧化／還原型態的有機污染物，經由微生物的代謝作用，重組最高氧化態的二氧化碳與最高還原態甲烷。在沒有其他電子接受者的情況下，這是一種熱力學上最穩定的組合方法。其分解合成的反應機理可以McCarthy於1981發表之甲烷生成3段式反應理論說明之。

由圖3可知甲烷之生成是從乙酸和氫轉化而來的，其中大部分是由乙酸轉化而來（佔

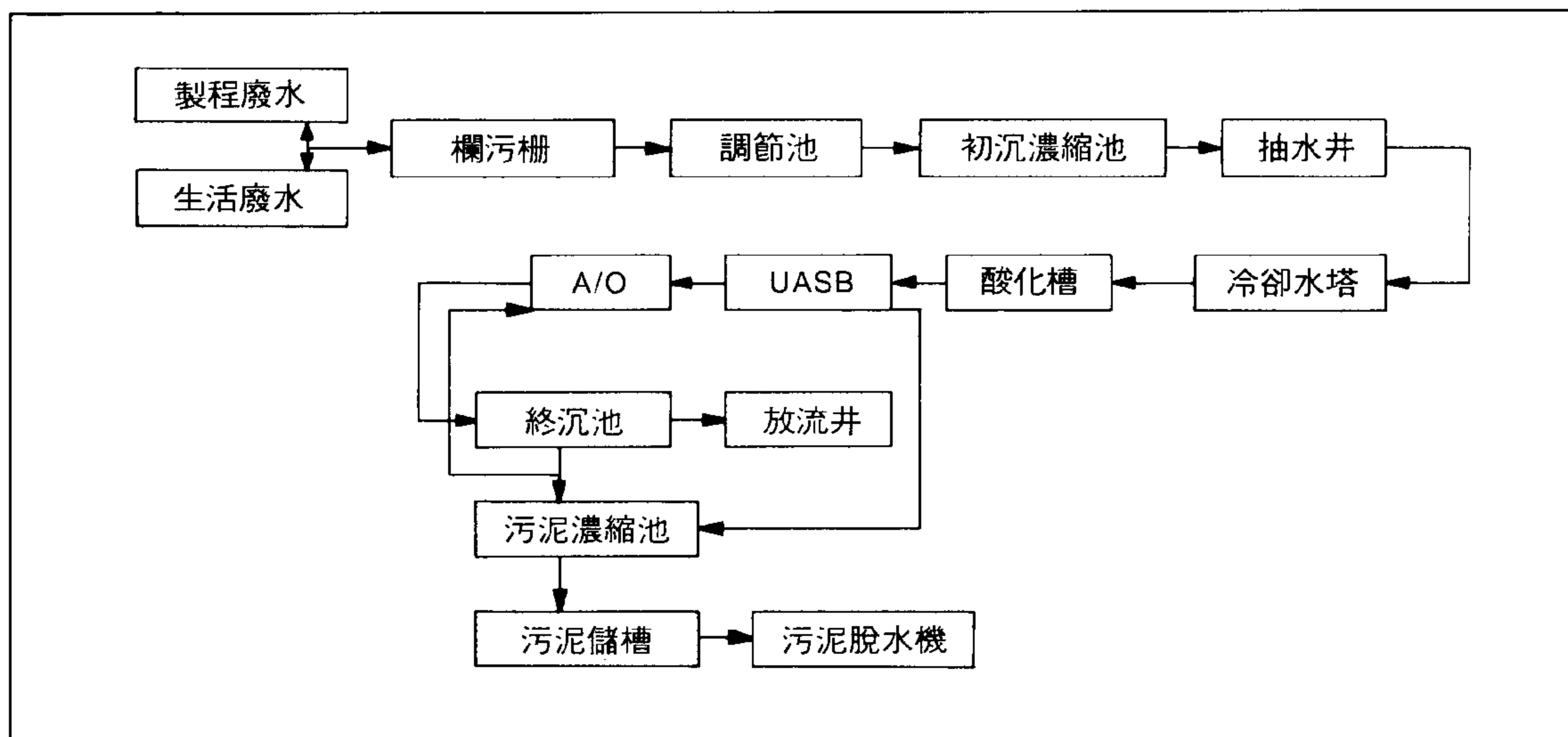
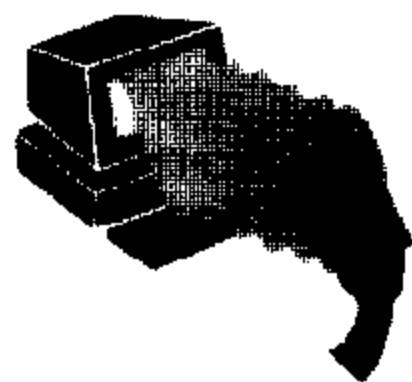


圖2 廢水處理流程簡圖

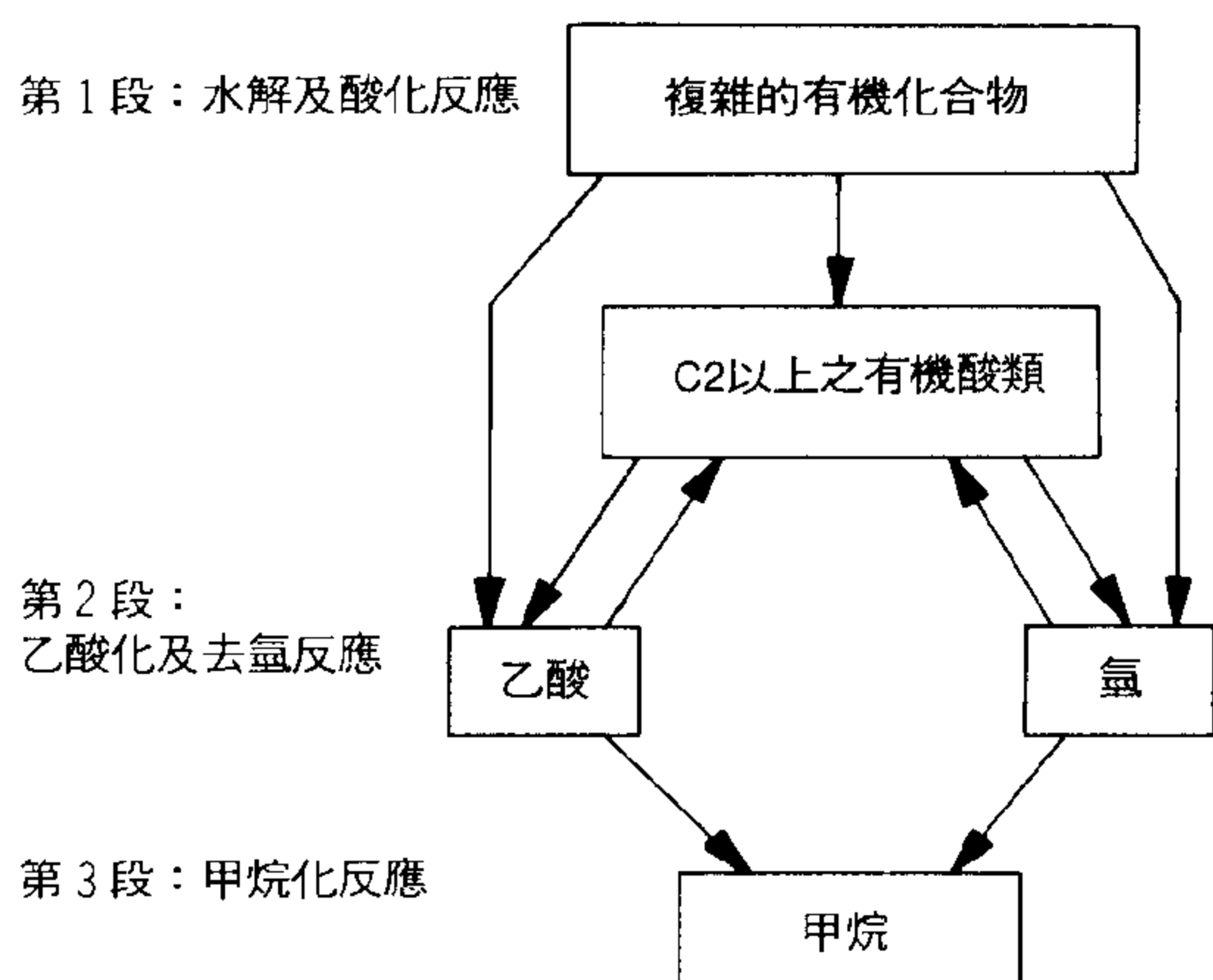
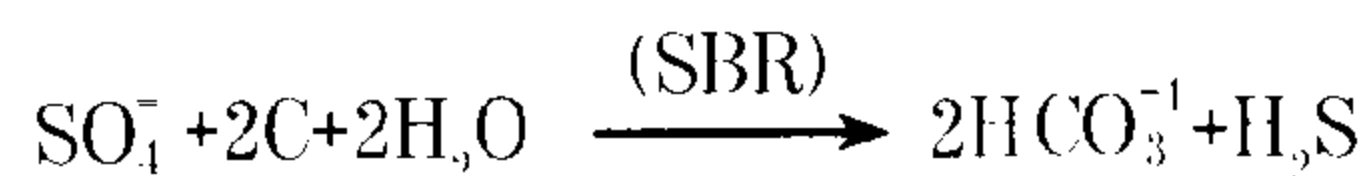


圖3 甲烷生成三段反應理論

72%)。這種能轉化乙酸成甲烷的乙酸甲烷生成菌 (Acetoclastic Methanogens) 為厭氣反應3階段中對環境條件要求最高的菌種，且其生長速率緩慢培養不易，造成甲烷化是整個反應過程的限制步驟 (Rating limiting step)。另外；在UASB反應槽的反應機制裡，除甲烷生成的3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, SBR) 還原成硫化氫的機制存在，如下式所示：

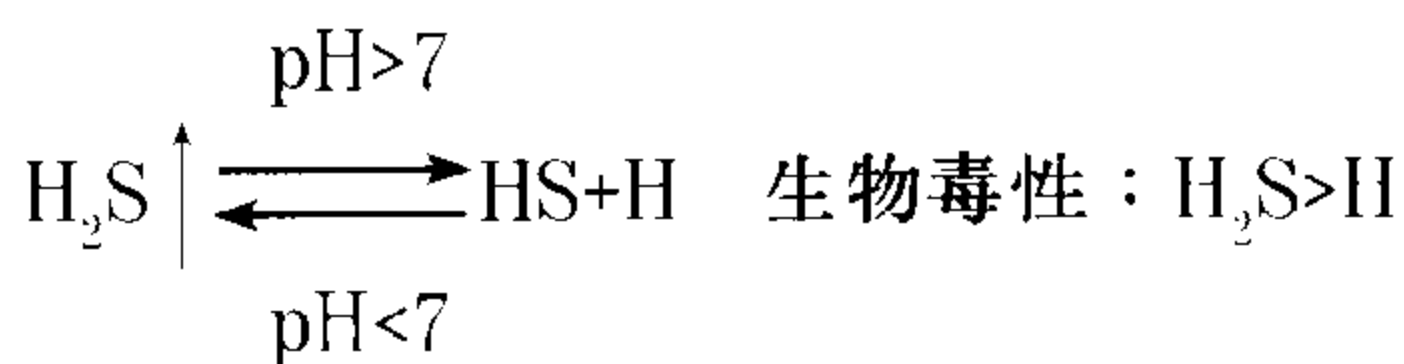


上式中的C代表有機物中的碳。由上式可知，若厭氧反應槽中有硫酸鹽還原菌，則在還原硫酸鹽成硫化氫的同時，硫酸鹽還原菌將和甲烷菌搶食廢水中有機物。搶食結果，孰優孰劣，主要依廢水中 $\text{COD}/\text{SO}_4^{2-}$ 之比值、反應槽中的pH與 H_2S 之濃度而定。一般而言，其間MFB與SRB互動的參考指標可說明如下：

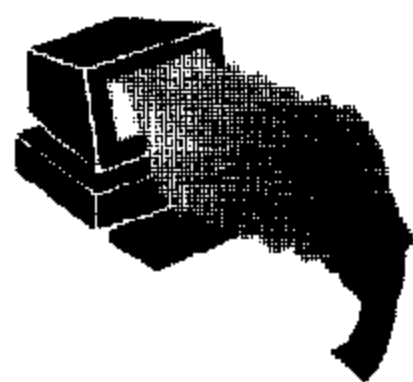
$\text{COD}/\text{SO}_4^{2-} > 10.0$ MFB優勢

$\text{COD}/\text{CO}_4^{2-} = 5.0-10.0$ MFB相對優勢

$\text{COD}/\text{SO}_4^{2-} < 3.0$ SRB優勢



若廢水的 COD/SO_4 的比值大於10.0，反應槽的pH高於7.0， H_2S 濃度低於100ppm，則甲烷菌將成優勢菌種，反之；若廢水中之 $\text{COD}/\text{SO}_4^{2-}$



之比值低於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，如此甲烷菌之活性將因此而受到抑制，於是反應槽內之有機酸將無法消化而累積，致反應槽內的pH又跟著下降，這樣的惡性循環終使系統因酸敗而失敗。

5. 操作問題及因應對策

(1) 原廢水溫度太高

大園廠的原廢水因製程單位用水量低且製程採用熱分散機，致使廢水溫度於夏季高溫時高達47℃，為降低水溫以使其適合厭氣菌之生長(須低於39℃)，在UASB之前，原設有兩台冷卻塔，但因設計時所採用之濕球氣溫偏低，僅28℃，在夏天高溫時，兩台冷卻塔即無法將水溫降至系統所須之39℃以下，於運轉初期曾經發生因廢水溫度太高而使UASB的COD去除率劇降之現象。為根本解決高溫廢水的問題，於是在原來兩台冷卻塔之後以串聯方式再增設新的冷卻水塔，並將濕球溫度升至31℃，經過今年夏季之考驗，進入UASB之廢水溫度都能維持在38℃以下，算是維持了UASB所須要的最佳溫度了。

(2) 原廢水硫酸鹽濃度偏高

因使用之廢紙原料中含有不同程度之硫酸鹽成分，且製程中使用硫酸鋁做為pH之調節劑，故製程廢水中含有相當量之硫酸根，其濃度分佈約在600到1200ppm之間，COD/SO₄²⁻之比值約介於2.5~3.25之間，在如此低的COD/SO₄²⁻比值下，UASB反應槽之硫酸鹽還原菌將相對的較甲烷生成菌優勢，硫化氫濃度也因而逐漸升高。面對此一問題，我們採取下列對策：

- ① 提升反應槽中之pH，以增加溶解性HS⁻對氣體性H₂S的相對比值，降低其生物

毒性。(pH由原來之6.8-7.0提升至7.0-7.2)

- ② 設置兩台50HP之鼓風機，將在UASB反應槽形成的硫化氫迅速抽送至曝氣槽加以氧化成對喜氣生物不具毒性的硫酸鹽
- ③ 在廢水COD濃度較低(2000-2500ppm)，且硫酸根較高時，將部分原廢水直接導入A/O槽以降低UASB之毒性負荷。

除了上述3點對策外，生產單位也不斷配合做製程改善，以降低硫酸鋁之用量，提高pH。整體執行效果相當好，排放水之平均合格率均能穩定在95%以上。

結 論

1. 根據過去水資源委員會之資料，台灣為世界上嚴重缺水地區，水資源日益缺乏是必然之趨勢，進一步做好節水管理工作，將是繼續推動經濟發展所必須面對的嚴肅問題，大園廠將從提高回收比率，(包括2級排放水之回收)，希望分階段來達成最後零排放的目標。
2. 降低單位用水量，在單位產量之污染負荷沒有減輕甚至增加之情況下，廢水之污染濃度勢必相對的提高，在此情形下，採用先厭氣後喜氣之2段式生物處理法來處理較高COD濃度之廢水以使排放水合於用濃度為管制基準之國家標準，不失為一經濟有效的方法。
3. 以厭氣法處理造紙廢水，雖因臺灣造紙普遍仍以偏酸性系統進行上膠，致有硫酸鹽形成硫化氫毒性效應的負面困擾，然在紙業上膠方法趨向中鹼性系統，甚至將以表面上膠取代濕端添加之預期下，其處理的效果及相對較優之經濟性將日益顯現。

(林先生現任職於正隆公司大園廠品管課長)

(李先生現任職於正隆公司大園廠安保課長)