

3.2、北汕溪制菌消毒模組佈設規劃及維護作業

一、超微細臭氧制菌氣泡整合加氯消毒技術

以往最被普遍使用之殺菌方法，主要為紫外光與高級氧化。然而，紫外光殺菌功效取決於裝置的光感敏度，其主要受制於設置環境條件，在開放水體且水質組成較繁雜之應用場域，加倍悉心之設備維運是可預期的。反之氧化法在施作上不但具有滾動調整的彈性空間，更可因應不同水體特性導入適合的藥劑，以期能加速制菌成效。可用於水體氧化反應之化學品項彙整如圖 3.2-1 (DeBrum, 2010) 所示，氧化電位除直接反應於氧化效力之外，所應用之水體品質及其所衍生之水體生態危害問題，仍需再三考量再行投放施作。

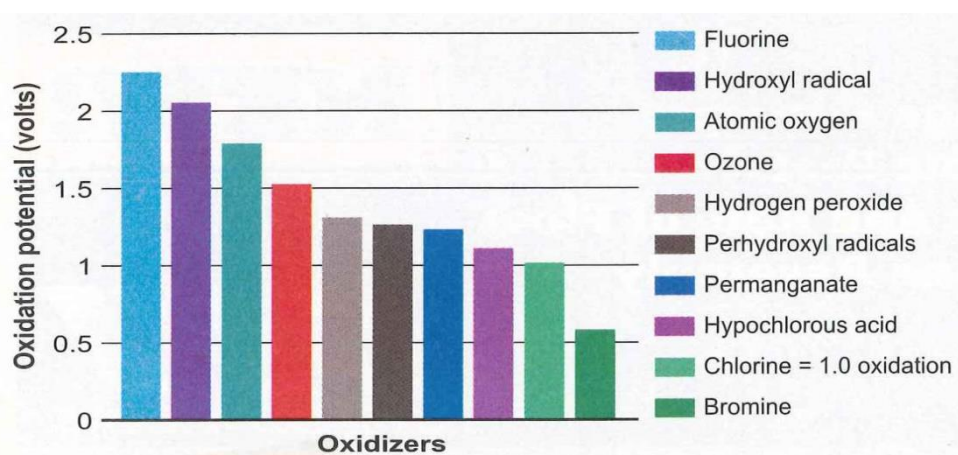


圖 3.2-1、各型氧化藥劑及其氧化電位

本計畫擬採用之氧化劑為常見之臭氧及氯，兩者在應用上存在諸多限制與待解決之問題，希望能藉由本計畫優化消毒制菌作業，並實際應用至天然水體環境中。臭氧之氧化電位為氯的 1.5 倍，雖然氧化力較高，但臭氧在水中溶解度相當低，導致其利用率非常差，大量投入的臭氧終將以尾氣逸散，亦不具經濟效益；再者，若應用在海水，會與其中微量鹵元素反應，形成有毒副產物如溴酸根。而氯之氧化力較弱，且物種組成及其氧化效力會隨 pH 值變化而有所差異 (圖 3.2-2) (Deborde and von Gunten, 2008)，在水體 pH 值超過 6.5 後，次氯酸根逐漸成為主要物種，氧化力相對低弱，加上若在開放環境施作，次氯酸根的藥性極不穩定，而為能達到預期消毒效率，往往投入巨量的藥劑，且若應用在淡水中，亦須留意三鹵甲烷等致癌副產物的生成，危害水體及水中生物之健康。

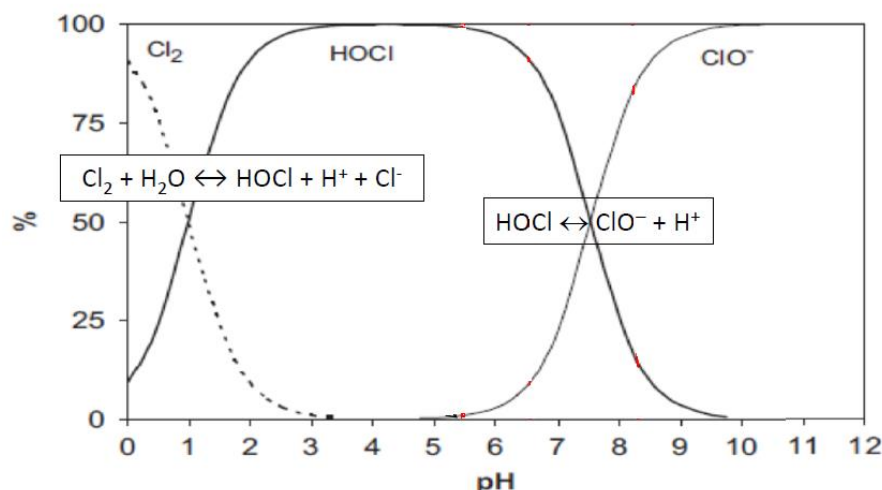


圖 3.2-2、氯物種於不同 pH 值之組成變化

因此，本計畫之執行目的即擬將臭氧與加氯兩種工法串接整合，在大幅削減大腸桿菌群之餘，穩定水體生態品質。Shi 等人（2021）指出，單純加氯法，除於初始會有制菌效率延遲問題外（即藥劑浪費），對於大腸桿菌群之去除效率亦不高，此時若先以臭氧進行前處理後再行加氯作業，初始延遲反應之問題即可立即改善，且整體制菌效率顯著提升近四成。另一方面，於削減大腸桿菌群之過程中，若採先臭氧後加氯之方式，水體中將可獲得更多之自由餘氯，可有效延續水體制菌保護力，特別是應用在源頭持續輸出高濃度大腸桿菌群廢水之流動水體中（圖 3.2-3）。

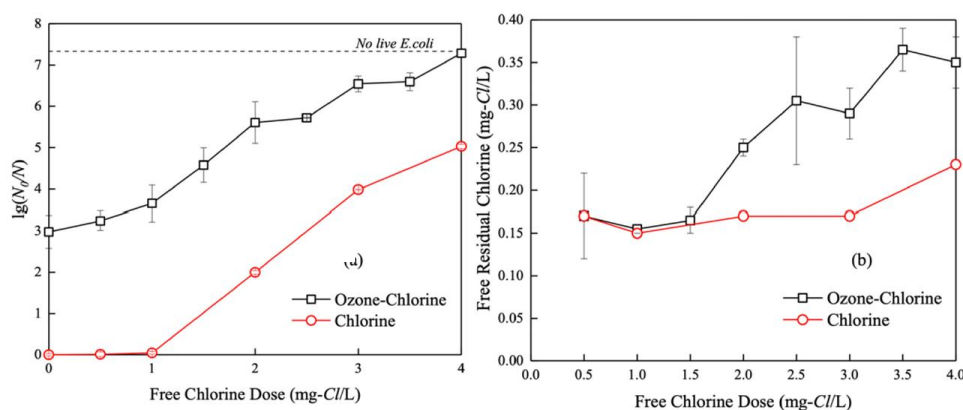
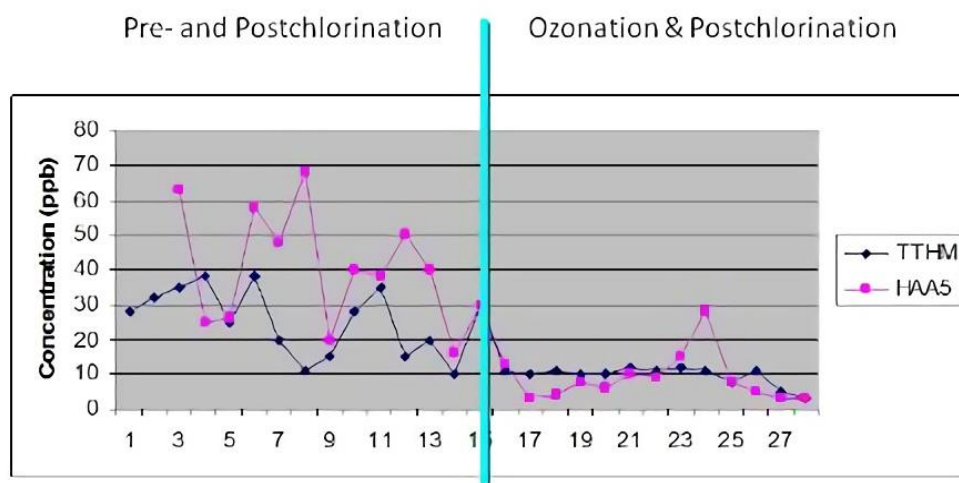


圖 3.2-3、臭氧前處理對於加氯去除大腸桿菌群效用之提升

此外，先臭氧後加氯的消毒制菌策略，對於致癌消毒副產物的生成，亦有顯著之抑制效果。相較於全程加氯消毒，先臭氧後加氯作業可使三鹵甲烷(Total trihalomethanes, TTHM)生成量減少約 88%；使含鹵乙酸(Haloacetic acids, HAA)生成量減少約 93%（圖 3.2-4）。

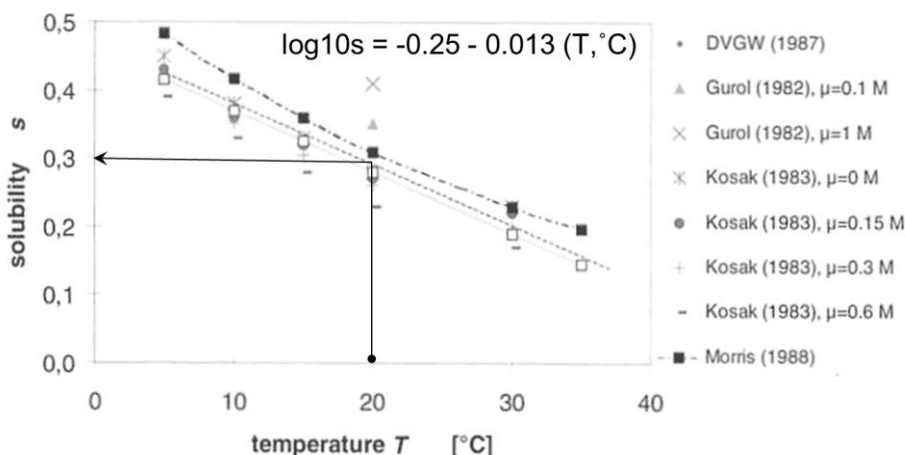
此外，若能再將臭氧及氯的投放水體－淡水或海水進行區隔，相信能進一步降低前述消毒副產物的產生。

臭氧雖然普遍使用在消毒作業上，但常因其在水中溶解度低，以致利用效率不佳，造成大量的臭氧浪費。以圖 3.2-5 為例，10 mg/L 的臭氧氣體注入 20°C 水中，僅有 3 mg/L 的臭氧可溶於水中，說明有約 70% 的臭氧作為尾氣排至周界而未被有效利用。因此，若要找回這近七成的流失臭氧，必須研擬臭氧攜入水中的形式，若是一般毫米等級的大顆氣泡，進入水體數秒後氣泡即上浮，對大腸桿菌群的殺菌率亦隨之消失，若能將臭氧搭載至更細小的氣泡尺寸(微米級以下)，其在水中停留時間更長，可將臭氧隨著流動水體帶至更遠處，可謂是能將臭氧的強氧化力，以及利用率發揮至最佳效果的直接作法，且在操作經濟效益的貢獻也相當值得期待。



(資料來源：<https://spartanwatertreatment.com/disinfection-by-product-control/>)

圖 3.2-4、比較單一加氯及經臭氧前處理所生成之消毒副產物



(資料來源：<https://www.lenntech.com/library/ozone/transfer/ozone-transfer-mechanisms.htm>)

圖 3.2-5、臭氧在不同溫度水體中的溶解度

二、制菌消毒模組佈設規劃及維運作業

(一) 制菌消毒模組佈設規劃

本計畫針對北汕溪之消毒制菌作業，循北汕溪自上游至河口，將制菌消毒模組依序設置於南北八路橋(超微細臭氧氣泡)、大安港一號橋(超微細臭氧氣泡)及河口(加氯)，如表 3.2-1 所列，設置點位如圖 3.2-6 所示。因設置地點橫跨許多單位，故於設置前辦理多次現場會勘與召開水質改善試驗計畫協調會，針對模組建置區域用地、用電與用水等事宜進行協調，協調結果彙整如表 3.2-2。取得相關單位同意後並於 6 月開始施作設置，完工後並運作至 12 月，共計維運 6 個月，維運頻率為每月一次，共累計完成 6 次。為避免機具直接外露曝曬雨淋及降低運轉時所發出聲響，三處制菌消毒單元皆於本體外架設活動外罩，另外於南北八路橋及大安港一號橋之設置場域附近安置監視攝影機，以掌握機組運作狀態及設備安全，以及水域環境之變化。

表 3.2-1、制菌消毒單元模組佈設位置基本資料

序號	位置名稱	座標	單元特色	備註
1	南北八路橋	24°22'41.6"N 120°35'48.7"E	超微細臭氧氣泡	民生污水為主之淡水水體組成(較不易受漲退潮影響)
2	大安港一號橋	24°22'56.4"N 120°35'22.6"E	超微細臭氧氣泡	民生污水與感潮水體交錯，海淡水水體混合
3	河口	24°22'58.0"N 120°35'08.2"E	加氯雙重防護	鄰近海域，以海水水體為主



圖 3.2-6、北汕溪河段佈設制菌消毒單元區域圖

表 3.2-2、水質改善設施建置所需之地、用電、用水協調作業

協調事項	地點	協調現況
用地	南北八路橋	自南北八路橋下游約 30 m 處左側有一農具倉庫，屋主同意在倉庫旁空地設置超微細臭氧氣泡機組。
	大安港一號橋	大安港一號橋下游約 1 m 處右側有一側排匯入，在其匯入口上方做基礎架設與堤防高度齊平之平台後置放超微細臭氧氣泡機組。
	河口	在台中市大安區漁民發展協會左前方之道路轉角處，置放加氯消毒單元，並沿既有堤防結構佈設加氯管線。
用電	南北八路橋	同農具倉庫之用地協調作業，屋主同意超微細臭氧氣泡可使用倉庫現有市電，並利用既設電表進行後續計費及成效評估。
	大安港一號橋	大安港一號橋下游約 50 m 處右側工廠同意借用市電。本計畫加裝獨立電表，以利後續計費及成效評估。
	河口	本計畫利用電瓶進行供電。
用水	河口	由人工搬運桶裝水，或委請加水車至現場進行藥劑調配。

1. 北汕溪上游—南北八路橋

南北八路橋下游（往河口方向）有類似跌水設施的水泥槽體可當作一反應槽，此處超微細臭氧氣泡機組的放置點位於農舍旁空地，設施含主要控制元件占地面積約 2.5 m^2 。上游含大腸桿菌群的水體流經此處，與持續產製的超微細臭氧氣泡預先反應，冀可藉由臭氧前處理程序減緩下游河體之污染負荷量，實際設置完成及相關單元啟動情形如圖 3.2-7 所示。



圖 3.2-7、南北八路橋臭氧/超微細氣泡制菌模組設置與運轉情形

2. 北汕溪下游—大安港一號橋

大安港一號橋位於南北八路橋下游約 870 m 處，此處設置一台臭氧產製機組及一台超微細氣泡機組，為超微細臭氧氣泡中繼站，以即刻減緩水體污染衝擊且確保南北八路橋延續至河口之制菌消毒效力，設施含主要控制元件之佔地面積約 3.5 m²，實際設置完成及相關單元啟動情形如圖 3.2-8 所示。



圖 3.2-8、大安港一號橋臭氧/超微細氣泡制菌模組設置與運轉情形

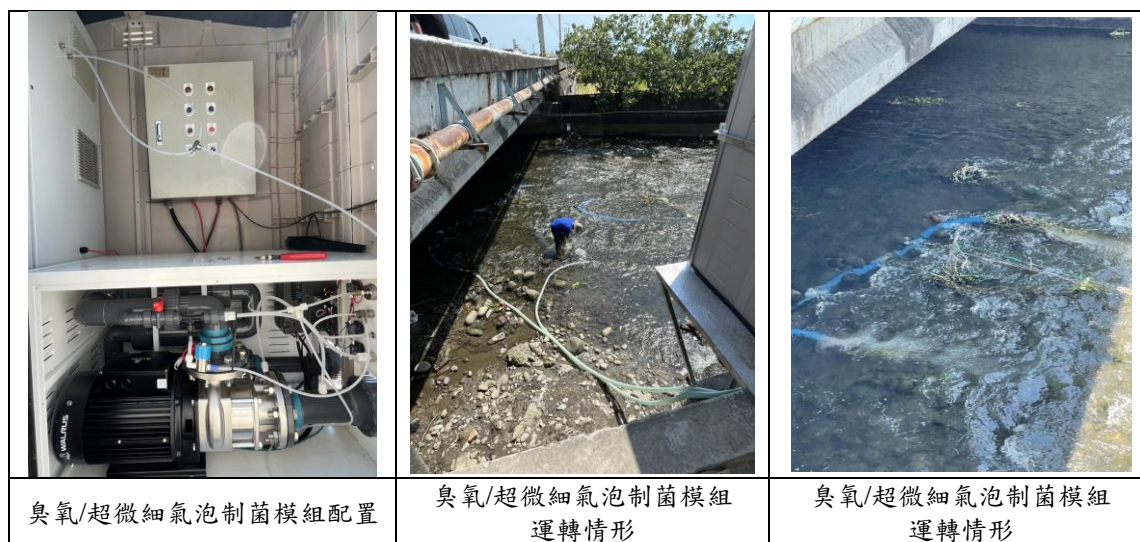


圖 3.2-8、大安港一號橋臭氧/超微細氣泡制菌模組設置與運轉情形（續）

3.北汕溪河口

在北汕溪河口（距離上游大安港一號橋約 780 m）主要為設置加氯模組，桶槽與加藥泵等控制元件之佔地面積預估約 3 m²，實際設置完成及相關單元啟動情形如圖 3.2-9 所示。

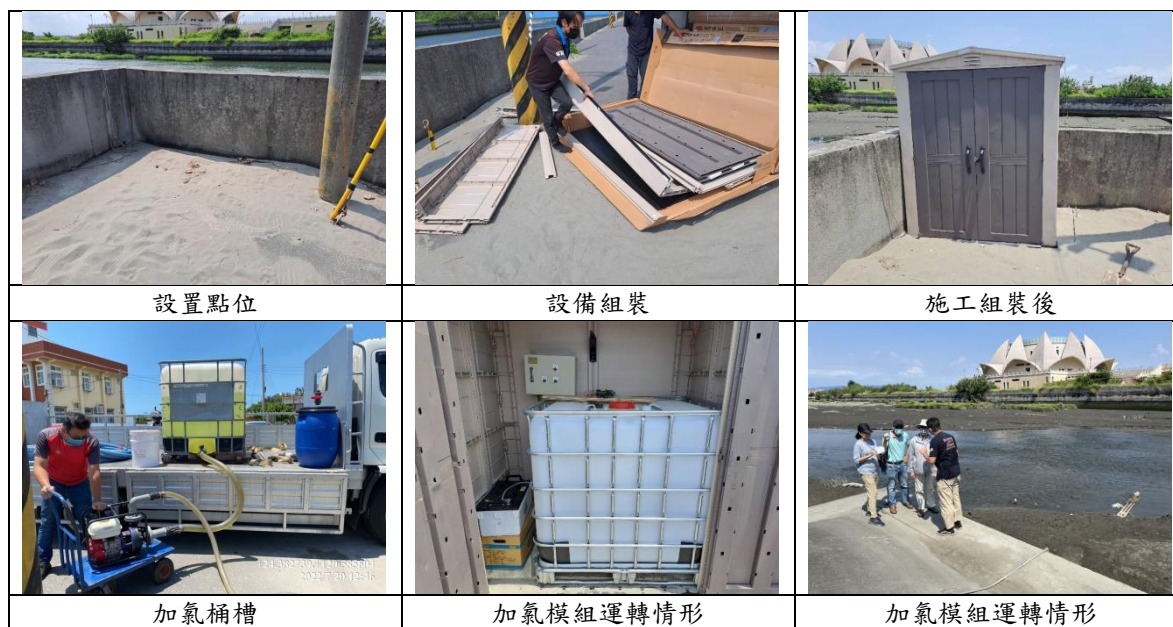


圖 3.2-9、北汕溪河口加氯模組設置與運轉情形

(二) 制菌消毒模組規格參數

北汕溪消毒制菌作業自上游至河口設置序列式制菌消毒作業單元，超微細氣泡模式採在槽式佈設，將臭氧搭載超微細氣泡輸出融合下，針對北汕溪退潮期間進入淡水為主之水體，藉由水流順勢提高超微細氣泡利用率，並搭配各點位受漲退潮影響，設定制菌消毒機組啟動條件，彙整各點位制菌消毒單元模組、設備規格及啟動機制如表 3.2-3。

此外，本計畫水質改善措施雖採在槽式作業，但超微細臭氧氣泡及加氯出口端位置係以水體中上層為主，不會涉及水體底層，而超微細氣泡相當細緻且水質改善措施為配合潮汐之間歇性操作，可有效降低底泥層揚起引發水體臭味逸散之情事。

表 3.2-3、北汕溪水質改善設施制菌消毒模組規格與運轉時機

序號	位置名稱	制菌消毒單元模組	運轉時機	設備規格
1	南北八路橋	超微細臭氧氣泡	機組運轉不受漲退潮影響，預設固定時間啟停程序	超微細氣泡機出水量 250 CMD (3kW、4hp) 高濃度臭氧機 100g/hr (4kW、5.3hp)
2	大安港一號橋	超微細臭氧氣泡	退潮期間為主，依可抽到水量之水位，配合退潮時間段預報，設定模組啟停	超微細氣泡機出水量 500 CMD (5.5kW、7.3hp) 高濃度臭氧機 100g/hr (4kW、5.3hp)
3	河口	加氯雙重防護	退潮期間為主，依退潮低點設定模組啟動，並視前項單元成效調整	加藥桶、加藥泵 (1/4 hp)

1. 南北八路橋

南北八路橋所採用超微細氣泡機組出水量為 250 CMD(功率 3 kW，馬力 4 hp)，並搭載產製劑量為 100 g/h 之高濃度臭氧機組(總功率 4 kW，馬力 5.3 hp)，圖 3.2-10 為超微細臭氧氣泡產製設施相關管線配置圖。因南北八路橋感潮現象不顯著，機組運轉較不受漲退潮影響，制菌單元會在固定時間進行啟停程序之切換，現階段為每日至少運轉 2.75 小時。

2. 大安港一號橋

大安港一號橋所採用超微細氣泡機組出水量為 500 CMD(功率 5.5 kW，馬力 7.3 hp)，並搭載產製劑量為 100 g/h 之高濃度臭氧機組(總功率 4 kW，馬力 5.3 hp)，圖 3.2-10 為超微細臭氧氣泡產製設施相關管線配置圖。大安港一號橋設置之模組，因關係到北汕溪漲退潮之影響，使制菌單元的啟停作業要更加嚴謹，此處控制主盤亦建構遠端監控系統，以監測相關參數之運程狀態，主盤電力來源將以太陽能蓄電與

市電並存方式運行（圖 3.2-11）。操作期間，大安港一號橋的進水水量已足夠產製超微細臭氧氣泡，經評估無須透過水位監控並配合時間設定進行機組單元的運轉。現階段會在固定時間進行啟停程序之切換，每日運轉時間至少 2.75 小時，並可搭配遠端監控平台了解單元運作狀態。

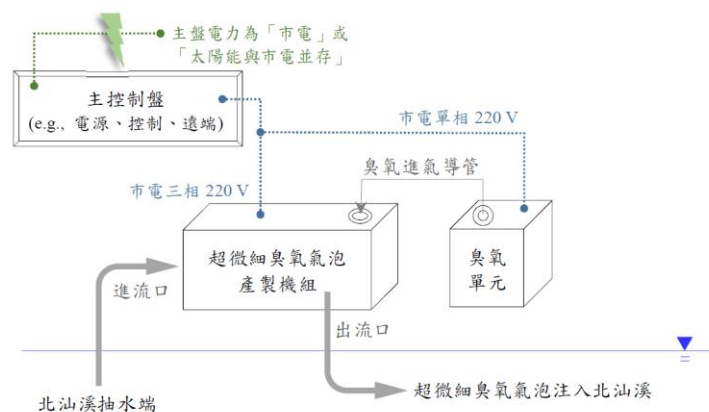


圖 3.2-10、超微細臭氧氣泡機組暨周邊管線與用電配置



圖 3.2-11、大安港一號橋遠端監控太陽能系統

3.北汕溪河口

北汕溪河口為加氯單元，因鄰近河口區域，設置合宜地域環境之桶槽尺寸，為減少加氯副產物之生成，現場次氯酸鈉加藥濃度為 1mg/L，透過加藥泵打入鄰近河口的的水體中，設施馬力為 1/4 hp 的加藥泵，電力來源採電瓶方式供電進行運轉，搭配上超微細臭氧氣泡機組運作時機（白天退潮時段）同步運轉，每週之平均加藥

量約為 20.8 kg，半年約使用 500 kg 之次氯酸鈉，圖 3.2-12 為加氯設施相關管線配置圖，為避免加藥失控導致消毒副產物的產生及生態危害，加氯機組的運作皆在人員在場時啟動，並在離場時確保加藥作業停止。

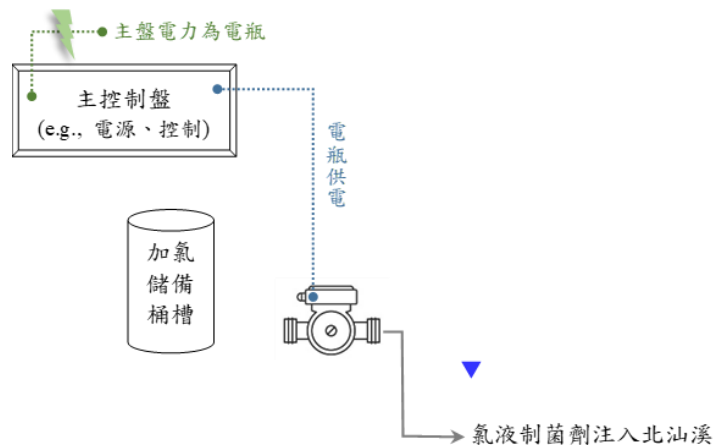


圖 3.2-12、加氯機組暨周邊管線與用電配置

（三）運轉維護及緊急應變措施

制菌消毒模組操作運轉期程為六個月，執行期間每月至少一次模組巡檢維護作業，其維運作業紀錄表單如表 3.2-4 所列，主要巡檢維護內容包含紀錄模組周邊各項單元之硬體狀態（例如：是否遭受人為破壞）、參數設定（例如：啟停時間）是否正常，若遇異常所採取之障礙排除方法，對於模組設置區域周遭環境予以勘查，執行期間遇民眾反應與水質改善試驗有關之情事，亦一併了解紀錄，相關水質改善措施操作及維運程序如表 3.2-5 所示。

三處所設置之制菌消毒模組，主要單元皆有外罩防護，惟操作期間逢豪大雨或劇烈天氣變化（例如：颱風），操作者會初步以會觸及制菌消毒模組單元之操作安全，自行判定暫停水質改善措施之運轉。然而，以颱風為例，當氣象局發佈陸上颱風警報前，各項水質改善措施將強制暫停，並視水域及氣象環境，撤收在槽式的相關佈設裝置。

表 3.2-4、水質改善設施巡檢及維護紀錄表

【點位】 ☐ 南北八路橋 ☐ 大安港一號橋 ☐ 河口		【單元】 ☐ 超微細臭氧氣泡 ☐ 加氯		日期： 年 月 日 時間： : ~ :	
類別	巡檢項目	是	否	備註（含處理情形）	
主控盤	1.盤體是否乾燥	☐	☐		
	2.遠端連接是否正常	☐	☐		
	3.定時器是否跳脫	☐	☐		
單元	1.機台是否移位	☐	☐		
	2.運轉是否正常	☐	☐		
	3.設定參數是否需調整	☐	☐		
管線	1.進排水是否通暢	☐	☐		
	2.是否破損	☐	☐		
	3.是否影響水體流動	☐	☐		
	4.電線包覆是否完好	☐	☐		
	5.電線接頭是否穩固	☐	☐		
環境	1.單元外罩是否完好	☐	☐		
	2.水體是否呈現異樣	☐	☐		
	3.周遭環境是否異常	☐	☐		
太陽能板	1.面板是否破損	☐	☐		
	2.是否進行面板清潔	☐	☐		
	3.電纜及接頭是否穩固	☐	☐		
其他				巡檢人員（簽名）	

表 3.2-5、水質改善措施操作及維運程序

(一) 操作設定

1. 初次使用因泵內無水，需先由灌水口注水，待系統內部滿水後，將灌水口關閉。啟動即可正常使用。
2. 設備啟動後，若有發生指示燈閃爍之情形，即代表壓力不穩，進行進氣量自動調節。此時可先檢查吸水口是否有阻塞情況，排除後若還是有閃爍之情況，可以將進氣節流閥，順時針旋轉（減少進氣），來使壓力達到穩定狀態。
3. 進氣節流閥順時針旋轉（減少進氣），壓力上升。逆時針旋轉（增加進氣），壓力下降。
4. 若吸水口有吸到空氣的情況，會在 10 秒後自動停機（壓力過低保護機制）。此時需由灌水口注水，待系統內充滿水後，將灌水口關閉。啟動即可正常使用。
5. 若啟動後 10 秒後自動停機（壓力過低保護機制）。此時需由灌水口注水，待系統內充滿水後，將灌水口關閉。啟動即可正常使用。

(二) 運轉保護機制

1. 運轉時間保護（24 小時）：
單次啟動最長運轉時間為 24 小時。運轉時間 24 小時到，自動停機。若需繼續使用請重新啟動一次即可。若單次啟動時間超過 12 小時以上，建議停機 15 分鐘後再重新啟動。
2. 壓力過低保護停機：
失壓 10 秒後自動停機。若吸水口阻塞，或有破管的等狀況，造成系統壓力過低，即自動停機。

(三) 維護方式

1. 2 週 1 次：
 - A. 清潔吸水口過濾網（可視吸水口阻塞情況，增加清潔次數）。
 - B. 目視進出水管是否有破損漏水之狀況。
2. 每季 1 次：
 - A. 將吸水口管卸下，由灌水口注水，讓水由吸水口排出 1 分鐘，再將吸水管裝上。
 - B. 檢查壓力值是否正常。
3. 半年 1 次：
 - A. 檢查各管箍是否有鬆動不牢固之情形。

B. 檢查由令接頭是否有鬆動不牢固之情形。

(四) 重要安全事項

為確保安全及正確使用本產品，請務必遵循下列基本的安全防範措施：

- A. 切勿用潮溼的雙手插拔電源插頭。
- B. 電線需遠離加熱表面。
- C. 拔出電源插頭時，請握住插頭本身，切勿拉扯電線。
- D. 請勿將電源線置於產品或任何重物之下。
- E. 請勿用電源線移動產品。
- F. 當電源線或者電源插頭損壞時，請勿使用產品。
- G. 電源插座有鬆動的狀況時，請勿使用產品。
- H. 使用完畢後或清潔保養產品前，請將電源插頭從插座中拔除。
- I. 無論是首次使用本產品前，或是在本產品的使用期間，應定期注意檢查電源線是否損壞。
- J. 電源插座處請保持乾燥，若不慎沖到水，請勿使用產品。

警告：

為降低產品故障損壞及個人生命傷害的風險，請謹記：

- A. 安裝前務必確認購買之產品電源規格，並連接符合規格的電源。
- B. 請勿在密閉環境中使用本產品。
- C. 請勿在室溫高於 40°C 的環境下使用本產品。
- D. 本產品須放置於平穩安全的地方，不要直接沖淋。
- E. 請勿將產品置放於電熱器旁、爐具附近或陽光直射處。
- F. 如果產品有撞擊、摔落、落入水中以及電源線或插頭有破損，不能正常運作，切勿使用和拆裝本產品。請立即聯繫技術人員進行檢查及維修。

3.3、制菌消毒模組成效評估

一、北汕溪水質採樣規劃

為掌握北汕溪消毒制菌模組改善成果，以瞭解在設置水質改善措施前後，對於北汕溪水質之改善成效，遂辦理流入大安濱海樂園之河川監測作業，以最為鄰近之北汕溪作為該作業之水質改善暨水質監測河川，針對大腸桿菌群、生化需氧量、化學需氧量、氨氮等項目進行檢測。

（一）採樣位置

採樣位置將以南北八路橋—超微細臭氧氣泡措施設置處的「上游、下游」、大安港一號橋—超微細臭氧氣泡措施設置處的「上游、下游」、河口—加氯措施設置處的「下游」進行採樣，依據漲退潮水理變化、前次水質分析結果、大腸桿菌群削減影響範圍評估、序列式消毒制菌系統的參數調控等情事，彈性調整每次採樣點位之位置。

（二）採樣頻率與分析項目

配合本計畫執行期程，於設施設置後至少完成 6 個月河川監測作業，監測頻率依前述北汕溪自上游至河口之監測點位共計 5 處，每處每個月至少進行 4 次採樣分析作業，分析項目包含大腸桿菌群、生化需氧量、化學需氧量與氨氮，各 120 個水樣。

因本計畫所設置序列式制菌消毒程序，主要是將臭氧應用在淡水水體，加氯則應用在海水水體，為抑制消毒副產物生成為前提下，強化制菌成效同時減少藥劑投放量。故本計畫於北汕溪河口加氯點位進行加氯濃度與消毒副產物生成關係測試，以維護生態環境下作為現場藥劑投放濃度之依據，以確保水域生態健康，同時亦能改善水體水質。

（三）採樣與送檢時段

配合序列式制菌消毒模組運轉期間進行水體樣品採集作業，模組運轉前提是水量充沛足以供機組進水產製，且多選在退潮時進行水質改善作業，配合環保局環檢科分析作業，須於採樣當日下午 4 點前送樣至環檢科，另應避開每週一上午送檢 BOD 及每週五送檢大腸桿菌群，且每週五不送檢樣品。

(四) 保存方式與檢測方法

1. 採樣與保存方式

利用水樣採集器在制菌消毒設備上、下游舀取水樣後封存。大腸桿菌群水樣保存方法，係依據 NIEA W202.55B 作業；BOD、COD、氨氮水樣保存方法，係依據 NIEA PA102 作業，各待測項目包括檢測所需體積、裝盛容器與保存方法如表 3.3-1 所列。

2. 檢測方法

前述 5 處監測點位之分析項目皆包含大腸桿菌群、BOD、COD、氨氮。水樣採集與保存由計畫執行團隊進行，檢測分析作業係交由環保局環檢科進行，大腸桿菌群分析法係依據 NIEA W202.55B(濾膜法)；BOD 分析法係依據 NIEA W510.55B(水中生化需氧量檢測方法)；COD 分析方法係依據 NIEA W517.53B(密閉式重鉻酸鉀迴流法)；氨氮分析方法係依據 NIEA W457.50B(分立分析系統比色法)，各項水質檢測方法彙整如表 3.3-1。

表 3.3-1、分析水樣裝盛保存方法與檢測方法

水質項目	水樣體積 (mL)	容器	保存	檢測方法
大腸桿菌群	≥100	滅菌玻璃瓶或塑膠瓶、無菌採樣袋	- 水樣若含餘氯，應添加硫代硫酸鈉以中和 - 暗處/4°C 冷藏	NIEA W202.55B(濾膜法)
BOD	1,000	玻璃瓶或塑膠瓶	暗處/4°C 冷藏	NIEA W510.55B (水中生化需氧量檢測方法)
COD	250	玻璃瓶或塑膠瓶	- 水樣以硫酸調整至 pH < 2 - 暗處/4°C 冷藏	NIEA W517.53B (密閉式重鉻酸鉀迴流法)
氨氮	500	玻璃瓶或塑膠瓶	- 水樣若含餘氯，應加入去氯試劑 - 水樣以硫酸調整至 pH < 2 - 暗處/4°C 冷藏	NIEA W457.50B (分立分析系統比色法)

二、序列式制菌消毒程序成效評估

(一) 超微細臭氧氣泡單元之制菌成效

本試驗計畫透過建立序列式制菌消毒程序，並接續建構之超微細臭氧氣泡及加氯兩項單元。首先，對於超微細臭氧氣泡對於北汕溪中所含大腸桿菌群之處理成效，分成兩部分。一為系統端成效評估，於抽取北汕溪水體後，於「系統端出水處」所檢測之大腸

桿菌群削減成效；二為水域端成效評估，其北汕溪水體經系統處理後，排入河道時，針對「北汕溪水域」所檢測之大腸桿菌群削減成效。

1.超微細臭氧氣泡單元—系統端

超微細臭氧氣泡單元主要係抽取北汕溪至設備內，將河水與臭氧融合後再排回河川，為驗證本試驗計畫所提之技術單元對於大腸桿菌群之去除成效，故於設備進、出流端進行採樣作業，採樣情形如圖 3.3-1，檢測結果彙整如表 3.3-2 及圖 3.3-2 所示。分析結果顯示，北汕溪原始所含大腸桿菌數在 2,600~36,000 CFU/100mL 範圍內，一旦與超微細臭氧微細氣泡接觸反應後，可顯著去除絕大多數的大腸桿菌群，經單元處理後之北汕溪水體中大腸桿菌群之殘餘量可低於 10 CFU/100mL，南北八路橋平均去除率約 74.6%，大安港一號橋平均去除率能達 96.2%，且大腸桿菌群多下降一個位數，故超微細氣泡臭氧技術對於處理北汕溪所含大腸桿菌群有一定的成效。



圖 3.3-1、超微細臭氧氣泡單元—系統端成效評估採樣情形

表 3.3-2、超微細臭氧氣泡單元—系統端之大腸桿菌群檢測結果

採樣日期	採樣時間	潮汐	南北八路橋 (CFU/100 mL)		削減率 (%)	大安港一號橋 (CFU/100 mL)		削減率 (%)
			上游	下游		上游	下游	
8/31	9:46~11:20	低潮	4.6×10^3	< 10.0	99.8	4.4×10^3	< 10.0	99.8
9/01	10:18~1:30	低潮	4.8×10^3	70	98.5	2.6×10^3	1.2×10^2	95.4
9/05	12:44~13:45	低潮	3.2×10^4	62	99.8	2.3×10^4	1.5×10^3	93.5
9/06	12:18~13:45	退潮	3.5×10^4	8	99.9	2.2×10^4	19	99.9
9/24	11:53~13:53	退潮	3.6×10^4	4.1×10^4	—	2.8×10^4	3.0×10^4	—
10/11	12:14~13:17	退潮	5.5×10^3	57	99.0	3.6×10^4	1.7×10^3	95.3
10/25	12:16~13:51	退潮	5.7×10^3	6.5×10^3	—	7.6×10^3	3.1×10^4	—
11/08	12:49~14:30	退潮	1.7×10^4	1.5×10^4	12.0	—	—	—

表 3.3-2、超微細臭氧氣泡單元—系統端之大腸桿菌群檢測結果

採樣日期	採樣時間	潮汐	南北八路橋 (CFU/100 mL)		削減率 (%)	大安港一號橋 (CFU/100 mL)		削減率 (%)
			上游	下游		上游	下游	
11/09	12:45~13:44	退潮	9.5×10^3	1.8×10^4	—	—	—	—
11/29	11:47~12:57	退潮	3.3×10^3	5.3×10^3	—	—	—	—
12/06	12:11~13:12	退潮	8.2×10^3	9.0×10^3	—	—	—	—
12/07	09:38~10:44	退潮	9.1×10^3	8.0×10^3	—	—	—	—
12/13	11:56~12:58	退潮	9.2×10^3	6.6×10^3	12.0	—	—	—
12/14	09:22~10:20	退潮	7.0×10^3	7.2×10^3	28.0	—	—	—
平均			14,650	3,725	74.6	17,600	669	96.2

註：「—」表示去除率為<0%

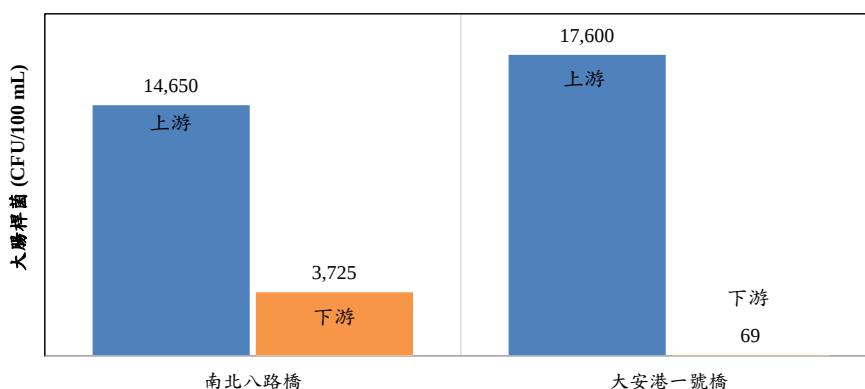


圖 3.3-2、超微細臭氧氣泡單元—系統端之大腸桿菌群削減成效

2. 超微細臭氧氣泡單元—承受水體端

試驗計畫期間，除了評估超微細臭氧氣泡單元技術成效外，本計畫亦進一步探討經由超微細臭氧氣泡單元處理並再次注入北汕溪後，對於水域中所含之大腸桿菌群消長情形，故於埋設在北汕溪水體中的單元出水管之上游及下游處進行採樣分析，採樣情形如圖 3.3-3，檢測結果彙整如表 3.3-3 及圖 3.3-4 所示。排除在採樣期間的突發事件，例如管件脫落等非單元本身功能故障等狀況，以致檢測結果無法反應單元實際處理效能之情事外，分析結果顯示，北汕溪原始所含大腸桿菌數在 4,900~430,000 CFU/100 mL 範圍內，經超微細臭氧氣泡單元處理後之水體注入北汕溪水域中，實測大腸桿菌群之削減率最高可達 68.7%。雖南北八路橋平均去除率約 41.5%，大安港一號橋平均去除率約 13.5%，但大腸桿菌群多未下降一個位數。進一步分析南北八路橋與大安港一號橋單元設施處理量體分別為 360 CMD 與 720 CMD，依據 111 年臺中市河川水質監測結果兩處流量分別為 23,068 CMD、58,147 CMD，設備處理量體約

為河川水量 1.2%~1.6%，恐為導致效能無法彰顯的關鍵因素之一。

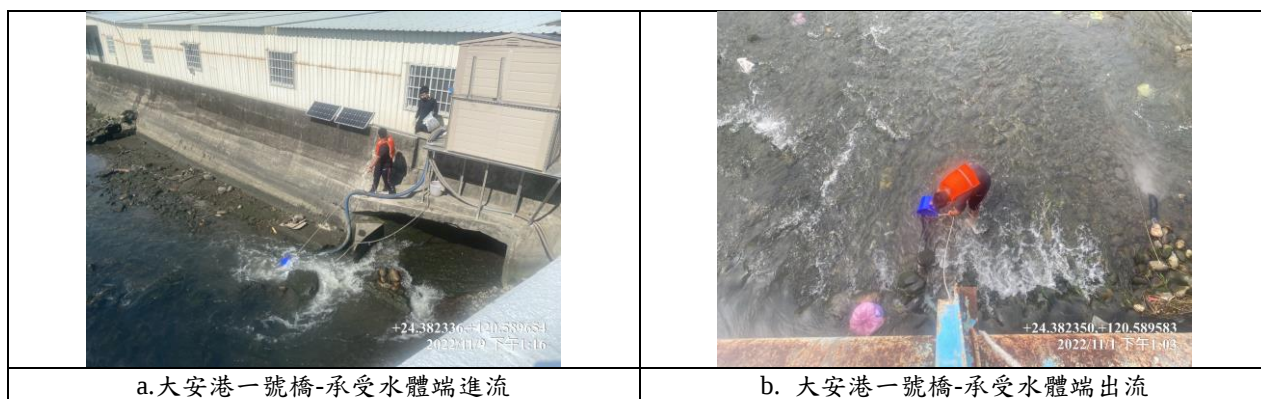


圖 3.3-3、超微細臭氧氣泡單元—承受水體端成效評估採樣情形

表 3.3-3、超微細臭氧氣泡單元—承受水體端之大腸桿菌群檢測結果

採樣日期	採樣時間	潮汐	南北八路橋 (CFU/100 mL)		削減率 (%)	大安港一號橋 (CFU/100 mL)		削減率 (%)
			上游	下游		上游	下游	
7/20	10:24~12:24	低潮	4.3×10^5	2.4×10^5	44.2	2.8×10^5	2.3×10^5	17.9
7/21	10:43~12:00	退潮	4.7×10^4	3.6×10^4	23.4	3.6×10^4	3.6×10^4	—
7/26	13:13~14:53	退潮	3.3×10^4	7.5×10^4	—	5.5×10^4	5.2×10^4	5.5
7/27	11:12~12:44	退潮	2.2×10^4	3.6×10^4	—	5.6×10^4	3.3×10^4	41.1
8/10	12:22~13:35	退潮	7.3×10^3	7.3×10^3	—	6.6×10^3	2.6×10^4	—
8/18	10:28~11:47	低潮	1.5×10^4	5.2×10^3	65.3	5.9×10^3	7.2×10^3	—
8/23	12:43~13:50	退潮	2.3×10^4	7.2×10^3	68.7	6.3×10^3	6.3×10^3	—
10/4	12:10~13:24	低潮	4.9×10^3	3.5×10^3	28.6	6.7×10^3	3.3×10^3	50.7
10/18	12:19~13:32	低潮	2.2×10^4	2.2×10^4	—	9.2×10^3	2.4×10^4	—
11/1	12:09~13:32	低潮	2.7×10^4	6.1×10^4	—	3.8×10^4	1.6×10^4	57.9
11/29	11:47~12:57	退潮	—	—	—	3.2×10^4	2.7×10^4	15.6
12/06	12:11~13:12	退潮	—	—	—	4.1×10^4	3.3×10^4	19.5
12/07	09:38~10:44	退潮	—	—	—	8.3×10^3	1.7×10^4	—
12/13	11:56~12:58	退潮	—	—	—	7.7×10^3	1.5×10^4	—
12/14	09:22~10:20	退潮	—	—	—	1.2×10^4	3.3×10^4	—
平均			78,457	45,871	41.5	52,064	45,027	13.5

註：「—」表示去除率為<0%

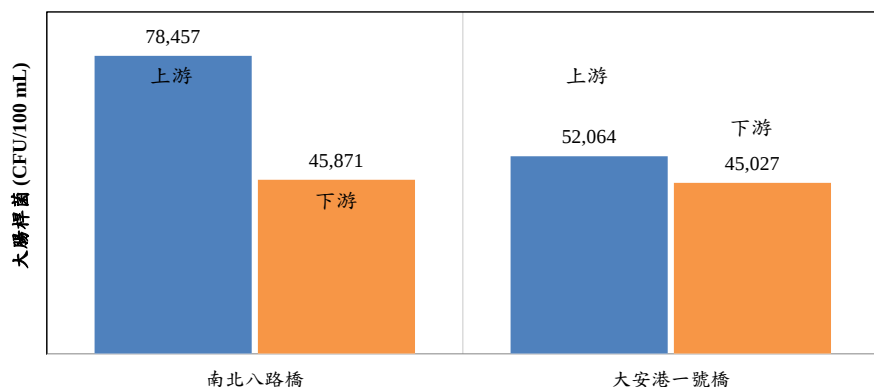


圖 3.3-4、超微細臭氧氣泡單元—承受水體端之大腸桿菌群削減成效

(二) 加氯消毒單元之制菌成效

北汕溪河口距出海口 230 公尺，因鄰近海域，其採樣點位易受水域流向與潮汐影響，相關採樣結果彙整如表 3.3-4 所示，由表可知，河口採點時導電度差異由 679 $\mu\text{mho/cm}$ ~36,000 $\mu\text{mho/cm}$ ，其導電度較高可能為海水回推所致，忽略該因素評估河口加氯消毒單元之制菌成效平均約 63.4%，最佳可達 99.9%以上，且大腸桿菌群多下降一個位數，可見加氯作業對北汕溪河口之大腸桿菌群削減有一定去除成效。

表 3.3-4、加氯消毒單元大腸桿菌群檢測結果

採樣日期	採樣時間	潮汐	南北八路上游 大腸桿菌群 (CFU/100mL)	河口		削減率 (%)
				大腸桿菌群 (CFU/100mL)	導電度 ($\mu\text{mho/cm}$)	
7 月 20 日	10:24 ~ 12:24	低潮	4.3×10^5	7.3×10^5	1,220	—
7 月 21 日	10:43 ~ 12:00	退潮	4.7×10^4	3.6×10^4	1,130	23.4
7 月 26 日	13:13 ~ 14:53	退潮	3.3×10^4	< 10.0	951	>99.9
7 月 27 日	11:12 ~ 12:44	退潮	2.2×10^4	< 10.0	6,280	>99.9
8 月 10 日	12:22 ~ 13:35	退潮	7.3×10^3	< 10.0	32,800	99.9
8 月 18 日	10:28 ~ 11:47	低潮	1.5×10^4	< 10.0	26,900	>99.9
8 月 23 日	12:43 ~ 13:50	退潮	2.3×10^4	< 10.0	28,300	>99.9
8 月 31 日	9:46 ~ 11:20	低潮	4.6×10^3	6.1×10^3	9,700	—
9 月 1 日	10:18 ~ 11:30	低潮	4.8×10^3	7.5×10^3	1,880	—
9 月 5 日	12:44 ~ 13:45	低潮	3.2×10^4	2.9×10^4	1,990	9.4
9 月 6 日	12:18 ~ 13:45	退潮	3.5×10^4	2.5×10^4	1,800	28.6
9 月 27 日	11:53 ~ 13:53	退潮	3.6×10^4	1.0×10^4	13,000	72.2
10 月 4 日	12:10 ~ 13:24	低潮	4.9×10^3	2.3×10^3	879	53.1
10 月 11 日	12:14 ~ 13:17	退潮	5.5×10^3	1.4×10^3	36,000	74.5

表 3.3-4、加氯消毒單元大腸桿菌群檢測結果

採樣日期	採樣時間	潮汐	南北八路上游 大腸桿菌群 (CFU/100mL)	河口		削減率 (%)
				大腸桿菌群 (CFU/100mL)	導電度 ($\mu\text{mho/cm}$)	
10 月 18 日	12:19 ~ 13:32	低潮	2.2×10^4	4.0×10^3	679	81.8
10 月 25 日	12:16 ~ 13:51	退潮	5.7×10^3	8.2×10^3	25,100	—
11 月 1 日	12:09 ~ 13:32	低潮	2.7×10^4	1.1×10^3	1,930	95.9
11 月 8 日	12:49 ~ 14:30	退潮	1.7×10^4	2.7×10^4	6,230	—
11 月 9 日	12:45 ~ 13:44	退潮	9.5×10^3	6.7×10^3	7,000	29.5
11 月 29 日	11:47 ~ 12:57	退潮	3.3×10^3	4.9×10^3	960	—
12 月 6 日	12:11 ~ 13:12	退潮	8.2×10^3	3.1×10^4	9,690	—
12 月 7 日	09:38 ~ 10:44	退潮	9.1×10^3	3.6×10^3	4,640	60.4
12 月 13 日	11:56 ~ 12:58	退潮	9.2×10^3	4.4×10^3	14,600	52.2
12 月 14 日	09:22 ~ 10:20	退潮	7.0×10^3	1.1×10^4	1,000	—
平均			21,094	7,720	—	63.4

註：「—」表示去除率為<0%

(三) 其他水質項目之去除情形

本試驗計畫水質分析項目除了大腸桿菌群外，亦包含 BOD、COD、氨氮，彙整歷次採樣檢測結果如表 3.3-5 所示。由表可知，BOD 部分，南北八路橋上游濃度多介於<2.0 mg/L 至 4.6 mg/L，平均濃度為 1.28 mg/L，南北八路橋下游濃度多介於<2.0 mg/L 至 5.3 mg/L，平均濃度為 1.55 mg/L；大安港一號橋上游濃度介於<2.0 mg/L 至 11.2 mg/L，平均濃度為 3.03 mg/L，大安港一號橋下游濃度多介於<2.0 mg/L 至 9.8 mg/L，平均濃度為 3.74 mg/L；河口濃度多介於<2.0 mg/L 至 19.0 mg/L，平均濃度為 2.12 mg/L。

COD 部分，南北八路橋上游濃度多介於<2.0 mg/L 至 57.9 mg/L，平均濃度為 24.1 mg/L，南北八路橋下游濃度多介於<10.0 mg/L 至 28.3 mg/L，平均濃度為 6.5 mg/L；大安港一號橋上游濃度介於<10.0 mg/L 至 36.7 mg/L，平均濃度為 10.2 mg/L，大安港一號橋下游濃度多介於<10.0 mg/L 至 65.6 mg/L，平均濃度為 14.9 mg/L；河口濃度多介於<10.0 mg/L 至 80.4 mg/L，平均濃度為 22.0 mg/L。

NH₃-N 部分，南北八路橋上游濃度多介於 0.15 mg/L 至 3.92 mg/L，平均濃度為 0.78 mg/L，南北八路橋下游濃度多介於 0.13 mg/L 至 3.67 mg/L，平均濃度為 0.95 mg/L；大安港一號橋上游濃度介於 0.12 mg/L 至 1.71 mg/L，平均濃度為 0.49 mg/L，大安港一號橋下游濃度多介於 0.07 mg/L 至 1.78 mg/L，平均濃度為 0.35 mg/L；河口濃度多介於 0.04

mg/L 至 1.79 mg/L，平均濃度為 0.49 mg/L。

本試驗計畫初步執行結果可知，序列式制菌消毒系統對於大腸桿菌群，在系統端有不錯的削減成效，主要為研究指出（Kong et al., 2021）臭氧去除大腸桿菌群（*Escherichia coli*）的 CT 濃度時間值（Concentration time value, CT value）約為 0.03 mg·min/L 可達達 99.99% 去除率，故本計畫所建構之超微細臭氧氣泡 0.45 mg/L，僅需與水體接觸 4 秒，即可達到成效。依據 Luo et al. (2015) 研究利用兩段式臭氧濕式氧化降解水中之氨氮，由圖 3.3-5(a) 可知，當臭氧流量小於 1 L/min 時，去除效率隨著臭氧流量的增加而增加，但接觸時間達 100 分鐘後，則無明顯去除率；反之但當臭氧流量大於 1 L/min 時，氨氮去除效率隨臭氧流量的增加而降低，可能原因為臭氧流速會影響臭氧分子與氨氮反應的接觸時間，導致去除效率下降，不論臭氧流量為何，其臭氧與氨氮之接觸時間需反應較久時間，才能有一定之去除成效。由圖 3.3-5(b) 可知，其 pH 值會影響臭氧氧化脫氮，pH 值越高，氨氮去除率越高，但北汕溪天然水體之 pH 多介於中性，故初始條件對於臭氧脫氮效益較低，故本試驗計畫初始設計條件仍以去除大腸桿菌群為主要去除目標。

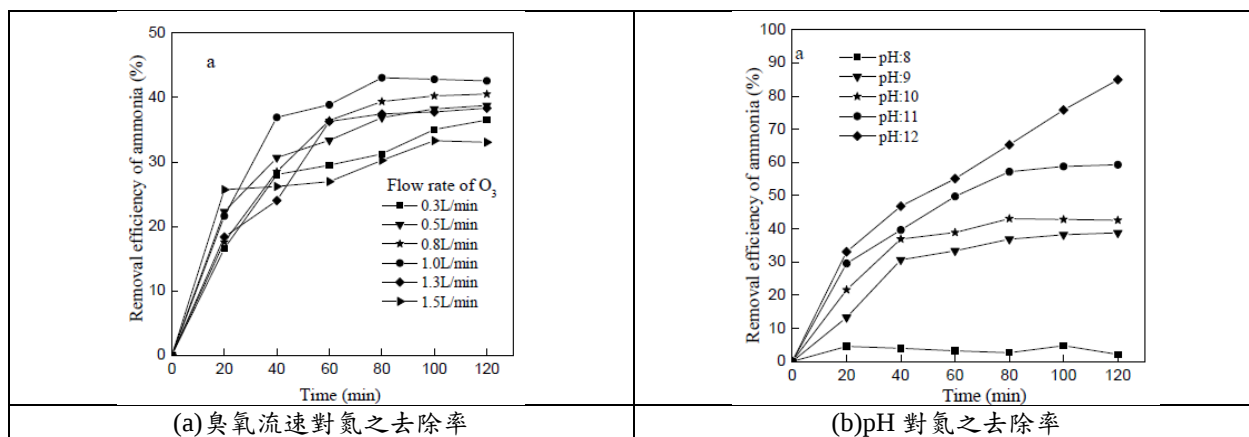


圖 3.3-5、臭氧對氮之去除效率

表 3.3-5、序列式制菌消毒程序對各項水質（BOD、COD、NH₃-N）檢測結果

日期	BOD					COD					NH ₃ -N				
	南北八路橋		大安港一號橋		河口	南北八路橋		大安港一號橋		河口	南北八路橋		大安港一號橋		河口
	上游	下游	上游	下游		上游	下游	上游	下游		上游	下游	上游	下游	
7 月 20 日	< 2.0	< 2.0	< 2.0	5.7	4.2	12.3	11.5	12.3	16.4	18.9	0.65	0.96	0.95	1.04	1.30
7 月 21 日	4.2	3.7	4.2	4.7	< 2.0	57.9	< 10.0	< 10.0	10.6	< 10.0	1.44	1.04	0.46	0.47	0.04
7 月 26 日	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	11.8	1.94	0.42	0.34	0.24	ND
7 月 27 日	4.6	< 2.0	< 2.0	3.7	< 2.0	55.6	< 10.0	< 10.0	10.8	30.0	1.06	0.74	0.59	0.28	0.30
8 月 10 日	< 2.0	5.3	< 2.0	6.8	< 2.0	< 10.0	< 10.0	10.5	12.2	18.6	0.68	1.58	0.82	0.51	ND
8 月 18 日	< 2.0	< 2.0	< 2.0	6.3	< 2.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	10.0	10.2	0.32	1.98	0.50	0.32	ND
8 月 23 日	< 2.0	< 2.0	3.4	4.5	< 2.0	10.1	< 10.0	10.1	25.3	10.5	0.92	0.40	0.37	0.36	ND
8 月 31 日	< 2.0	< 2.0	< 2.0	3.8	19.0	12.5	< 10.0	< 10.0	< 10.0	30.8	0.36	0.87	0.23	0.07	0.61
9 月 1 日	< 2.0	< 2.0	< 2.0	6.5	< 2.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	61.8	0.71	0.46	0.46	0.08	0.71
9 月 5 日	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	18.1	0.28	0.28	0.12	0.12	0.25
9 月 6 日	< 2.0	< 2.0	4.5	< 2.0	< 2.0	< 10.0	12.1	< 10.0	< 10.0	14.5	0.20	1.64	0.20	0.15	0.35
9 月 27 日	< 2.0	4.5	< 2.0	4.7	5.4	< 10.0	< 10.0	25.0	< 10.0	33.8	0.41	1.95	0.68	0.29	0.49
10 月 4 日	< 2.0	< 2.0	3.4	4.0	< 2.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	<10.0	3.92	3.67	0.68	1.20	1.20
10 月 11 日	< 2.0	< 2.0	3.9	< 2.0	< 2.0	< 10.0	< 10.0	20.6	15.3	19.1	0.44	0.28	0.24	0.32	0.52
10 月 18 日	4.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	11.7	2.85	0.74	1.61	0.36	0.71
10 月 25 日	3.6	< 2.0	< 2.0	4.0	< 2.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	11.7	19.0	0.64	0.73	0.41	0.22	0.42
11 月 1 日	< 2.0	< 2.0	4.8	< 2.0	< 2.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	50.6	15.5	0.15	0.13	0.48	0.12	0.19
11 月 8 日	< 2.0	< 2.0	9.4	4.5	< 2.0	375.0	28.3	16.7	11.7	26.7	0.14	0.17	0.18	0.15	0.16
11 月 9 日	< 2.0	< 2.0	< 2.0	5.1	< 2.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	80.4	0.19	0.12	0.10	0.16	0.27
11 月 29 日	< 2.0	< 2.0	11.2	9.8	< 2.0	< 10.0	< 10.0	13.1	65.6	10.7	1.26	1.90	1.71	1.78	1.79
12 月 6 日	< 2.0	4.2	3.5	3.4	< 2.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	17.5	0.64	0.77	0.46	0.32	0.53
12 月 7 日	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 10.0	< 10.0	36.7	35.0	18.9	0.50	0.59	0.26	0.20	0.47
12 月 13 日	< 2.0	< 2.0	5.4	4.4	< 2.0	< 10.0	< 10.0	12.1	11.3	12.3	0.18	0.14	0.17	0.17	0.26
12 月 14 日	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	0.72	0.64	0.14	0.09	0.87
平均	1.28	1.55	3.03	3.74	2.12	24.1	6.5	10.2	14.9	22.0	0.78	0.95	0.49	0.35	0.49

(四) 消毒副產物之生成趨勢

北汕溪透過臭氧及加氯等對應單元進而去除水中大腸桿菌群，為避免序列式制菌消毒程序衍生之消毒副產物影響水域生態環境，本試驗計畫採集北汕溪水體，針對次氯酸鈉添加濃度為 0.02、0.12、0.3、1、2、5、10 mg NaOCl/L，分別檢測其消毒副產物生成情形。消毒副產物測定項目包含總三鹵甲烷（溴仿、氯仿、一溴二氯甲烷、二溴一氯甲烷）、鹵乙酸、溴化物、溴酸鹽、氯酸鹽等項目，相關測定結果彙整如表 3.3-6 及圖 3.3-6 所示。

由表可知，北汕溪除了氯酸鹽（ <0.2 mg/L）可能為背景值外，其餘消毒副產物項目皆未檢出，搭配不同次氯酸鈉加藥劑量下，所生成之消毒副產物出顯明顯差異。在 0.02 ~ 0.3 mg NaOCl/L 的劑量區間，已測得微量的鹵乙酸及溴化物；在 1 ~ 2 mg NaOCl/L 的劑量區間，鹵乙酸、氯酸鹽略增，且氯仿、溴酸鹽開始生成，而本計畫在加氯系統所調製之次氯酸鈉劑量，在注入水體後，藉由溪水的稀釋，其次氯酸鈉的濃度皆低於 1 mg/L，冀能在水質改善作業之餘，對水體生態的危害程度降至最低；在 5 ~ 10 mg NaOCl/L 的劑量區間，包括鹵乙酸、溴酸鹽、氯酸鹽、總三鹵甲烷等主要消毒副產物生成濃度明顯增加，可比先前低劑量區間所測數值高出數十倍。另外於臭氧劑量在 10 mg/L 時，僅出現微量鹵乙酸及氯仿，相較於同劑量次氯酸鈉，臭氧處理北汕溪水體可有效抑制消毒副產物的生成，在大腸桿菌群削減的同時，亦能使水環境生態不被破壞，乃此技術的關鍵優勢之一。與加氯系統之串接，主要目的是減少次氯酸鈉的加藥量，包含濃度及頻率，進而減少消毒副產物的生成。在應用水體上，臭氧在本案場中多在淡水水系運轉，而加氯則在鄰近海口的海水水系運轉，如此配置亦可防止大量的消毒副產物生成。

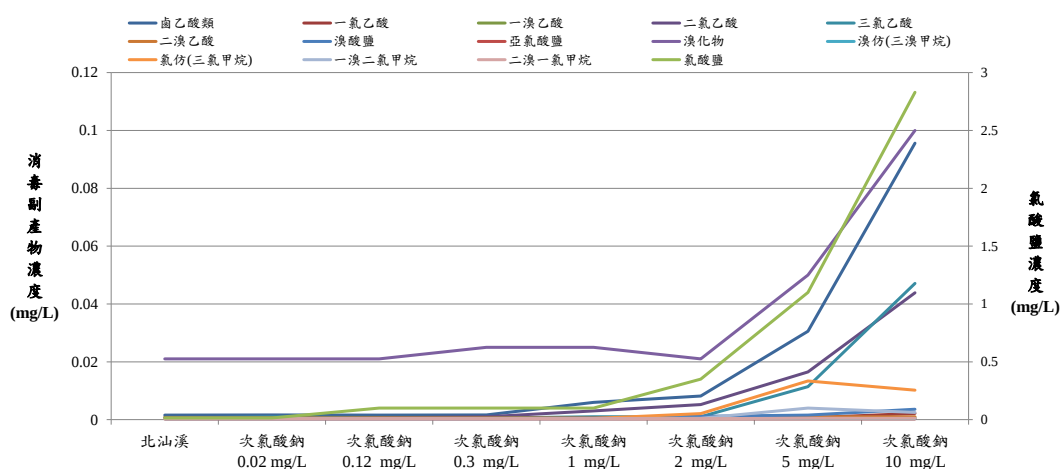


圖 3.3-6、北汕溪序列式制菌消毒程序其消毒副產物濃度趨勢圖

表 3.3-6、北汕溪經制菌消毒處理後之消毒副產物生成情形

檢測項目		原水	次氯酸鈉劑量 (mg/L)						10 mg/L 臭氧 (mg/L)	檢測方法 (偵測極限, mg/L)	
			0.02	0.12	0.3	1	2	5			10
鹵乙酸類		ND	< 0.00330	ND	< 0.00326	0.00600	0.00818	0.0306	0.0956	<0.00330	NIEA W538.52B (0.00159)
一氯乙酸		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.00218	ND	NIEA W538.52B (0.00063)
一溴乙酸		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NIEA W538.52B (0.00076)
二氯乙酸		ND	ND	ND	< 0.00199	0.00302	0.00520	0.01650	0.04390	ND	NIEA W538.52B (0.00065)
三氯乙酸		ND	< 0.00199	ND	ND	< 0.00199	< 0.00199	0.01140	0.04710	<0.00199	NIEA W538.52B (0.00055)
二溴乙酸		ND	ND	ND	ND	ND	ND	< 0.00199	< 0.00199	ND	NIEA W538.52B (0.00059)
溴酸鹽		ND	ND	ND	ND	< 0.0010	0.0012	0.0016	0.0036	ND	NIEA W454.51B (0.00038)
亞氯酸鹽		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NIEA W454.51B (0.00028)
氯酸鹽		< 0.20	ND	< 0.20	< 0.20	< 0.20	0.35	1.10	2.83	ND	NIEA W415.54B (0.01500)
溴化物		ND	ND	ND	< 0.05	< 0.05	ND	< 0.10	< 0.20	ND	NIEA W415.54B (0.02100)
總三鹵甲烷	溴仿 (三溴甲烷)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NIEA W785.57B (0.00035)
	氯仿 (三氯甲烷)	ND	ND	ND	ND	ND	0.00212	0.01340	0.01020	<0.00100	NIEA W785.57B (0.00040)
	一溴二氯甲烷	ND	ND	ND	ND	ND	< 0.00099	0.00400	0.00252	ND	NIEA W785.57B (0.00036)
	二溴一氯甲烷	ND	ND	ND	ND	ND	ND	< 0.00100	< 0.00100	ND	NIEA W785.57B (0.00034)

三、制菌消毒模組最佳操作與成本分析

現階段序列式制菌消毒系統可穩定產製 1,080 CMD 的超微細臭氧氣泡，其進入北汕溪水體後之液相臭氧平均濃度 0.45 mg/L，依據理論 CT 濃度時間值（Concentration time value, CT value）對於大腸桿菌群的去除率，當臭氧去除大腸桿菌群（*Escherichia coli*）的 CT 值約為 0.03 mg·min/L，大腸桿菌群的去除率可達 99.99%，進而估算本計畫所建構之超微細臭氧氣泡 (0.45 mg/L)，僅需與水體接觸 4 秒，即可達成殺菌功效，實際運作結果亦顯示系統端超微細臭氧氣泡可有效削減 99.9% 以上之大腸桿菌群。

此外，加氯系統對於大腸桿菌群所需的理論 CT 值較臭氧高出 33 倍，即 1 mg·min/L，因此在藥劑濃度控制及與水體反應的條件較不易設計，主要仍是動態水體的水理變異較大，且加藥點又鄰近河口，水體流向受感潮的干擾更加敏感，對於大腸桿菌群的制菌成效勢必受到影響。為避免消毒副產物的生成，本計畫在能有效抑制消毒副產物生成的條件下施作加氯消毒作業，但微量消毒副產物對於水體生態的衝擊，例如不同的副產物對於不同生態族群的危害如何，仍需在未來進一步探討。

以下針對北汕溪水質改善試驗計畫推動時所需之整體費用估算，如興建成本與操作維運成本初步進行評估，未來操作可依系統優化程度、水質改善狀態等參數調整最適化運作，以達最佳操作經濟效益，供後續本市推動時之參考依據。

（一）興建成本

興建成本主要包含土木部分、機械設備、管線、儀電設備、施工費、其它等，北汕溪水質改善試驗計畫共設置兩套超微細臭氧氣泡，設備費用約 160 萬元，三處機房組合屋搭建強化與管線電路配置約 50 萬元，大安港一號橋搭配遠端啟閉控制及太陽能供儲電系統，設置費用分別為 10 萬元與 5 萬元，興建成本以 15 年進行攤提，兩套設備處理水量為 1,080 CMD，其平均以 0.38 元/噸進行估算，相關興建成本彙整於表 3.3-7。

（二）操作維運成本

操作維運成本包含操作費用及設備維護等，以下針對不同情境分析操作維運成本，相關操作維運成本彙整於表 3.3-7。

1.情境一：配合潮汐全年啟動

操作費用主要為設備啟動之電費，以目前設定自動啟停模式，預計每日自運轉 2.75 小時以上（配合白天退潮時間），每日用電量至少 34.4 kWh/day，進而以標準型時間電價三段式之尖峰時段，1 度電（=1 kWh/day）5.09 元進行計算，每年電費約新台幣 64,000 元為主要操作成本。單元維護部分主要是氣體與水體進出端之篩網更換、水體管路壓力以及電極效能檢測調校等項目，每季至少進行一次維護作業，每年粗估至少新台幣 150,000 元。加氯系統的藥劑補充，採每月藥車到現場補滿一噸藥槽，每年藥劑費用高達新台幣 144,000 元為主要操作成本，加藥泵（馬力 1/4 hp）運轉時間若運轉 24 小時，則每年電費約新台幣 8,400 元。總操作維運成本初估近 37 萬元，兩套設備處理水量為 1,080 CMD，但每日運轉 2.75 小時，故以運轉時間換算處理水量約 123.8 噸，其平均以 8.11 元/噸進行估算。

2.情境二：配合沙灘戲水區開放月份啟動

目前大安濱海樂園沙灘戲水區開放月份為 3~10 月上旬 7 時至下午 6 時，但評估其風管所對大安濱海樂園水質檢測，其大腸桿菌不合格月份多集中於 5-8 月間，故啟動時間以 5~8 月間開放時段且以退潮時段為主，於每日退潮前後 2 小時啟動設備，預計每日運轉 4 小時，每日用電量至少 50 kWh/day，進而以標準型時間電價三段式之尖峰時段，1 度電（=1 kWh/day）5.09 元進行計算，5~8 月電費約新台幣 31,304 元為主要操作成本。單元維護部分主要是氣體與水體進出端之篩網更換、水體管路壓力以及電極效能檢測調校等項目，每季至少進行一次維護作業，5~8 月間粗估至少新台幣 37,500 元。加氯系統的藥劑補充，採每月藥車到現場補滿一噸藥槽，5~8 月間藥劑費用約 48,000 元為主要操作成本，加藥泵（馬力 1/4 hp）運轉時間若運轉 4 小時，其電費約 450 元。總操作維運成本初估近 11.7 萬元，兩套設備處理水量為 1,080 CMD，但每日運轉 4 小時，故以運轉時間換算處理水量約 180 噸，其平均以 5.29 元/噸進行估算。

表 3.3-7、北汕溪水質改善試驗計畫建置及操作維運成本估算

項目		費用 (元)	攤提費用 (元/年)	處理成本 (元/噸)
興建成本 ^{註1}	超微細臭氧氣泡產製系統	1,600,000	106,667	0.38
	機房組合屋搭建強化；管線電路配置	500,000	33,333	
	遠端啟閉控制	100,000	6,667	
	太陽能供儲電系統	50,000	3,333	
操作維運成本	情境一 ^{註2}	耗材費 (加氯藥劑、分析樣品前處理、單元部品)	294,000	8.11
		電費 (以每日操作 2.75 小時為例)	72,400	
	情境二 ^{註3}	耗材費 (加氯藥劑、分析樣品前處理、單元部品)	85,500	5.29
		電費 (以每日操作 4 小時為例)	31,754	

註 1：興建成本以 15 年進行攤提。

註 2：以本計畫現階段運轉模式估算。

註 3：以大安濱海樂園海域活動開放時間進行制菌消毒單元運轉模式估算。

3.4、評估後續模組優化與未來應用擴充策略

本試驗計畫主要係評估此創新序列式消毒制菌程序，對於大安濱海樂園最鄰近的北汕溪大腸桿菌群其處理成效，因此，於設備效能測試部分，於超微細臭氧氣泡單元系統端對於大腸桿菌群的去除成效可謂相當顯著，已達 99.9% 以上，由此也可證實技術面的可行與發展性。然而在系統規格的可處理水體量能，相較於北汕溪之量體，仍有很大的努力空間外，目前觀測到在超微細臭氧氣泡單元中，因所抽取北汕溪水體已有大腸桿菌群，故進入單元後會將臭氧消耗殆盡，在產水端的大腸桿菌群雖已大幅削減，但同時所攜帶之臭氧微細氣泡濃度亦相對地減少許多，此時對於北汕溪的在槽式削減效能因而受限。後續針對模組優化建議方向如下：

一、程序優化升級

建議在既有處理設施前增設一套前處理設施，並截流高濃度大腸桿菌群廢水至前處理設施，處理後再進入既有的超微細臭氧氣泡單元間，進行融合後輸出回水體，使其河水夾帶高濃度超微細臭氧氣泡後再排回河川，延長臭氧於河道間反應時間。消毒副產物的生成在超微細臭氧單元與加氯單元可看出明顯差異，在確保北汕溪水體所含大腸桿菌群可有效被削減的基礎上，兩種技術的搭配著實能有效抑制消毒副產物的生成，對於水環境生態的保護與友善性更佳。

二、超微細臭氧氣泡單元沿岸串聯

(一) 規劃方式

在單元設置規劃上，建議先進行北汕溪或其他施作水域，其沿岸的污染源匯入盤查，再輔以連續動態之大腸桿菌水質調查，以進一步掌握高污染潛勢河段，使大腸桿菌削減措施的規劃作業能更完善。經本案驗證結果指出，在現存系統規格之處理量能（最大負荷約 1,080 CMD；以現行每日運轉 2.75 小時，負荷約 124 CMD），相較於北汕溪之河域量體（依據 110 年 4 月環保局水質監測資料顯示，南北八路橋在退潮時流量至少 8,640 CMD），兩者落差極為懸殊，在未進行前述污染源匯入之前置作業之前，擬初步建議固定距離設置一組優化升級之超微細臭氧氣泡單元，將超微細臭氧氣泡單元沿岸串聯，以確保北汕溪水域量體之大腸桿菌能透過接力式的措施予以成功削減。

(二) 成本分析

1. 興建成本

為能對應北汕溪水域量體，初步規劃自南北八路橋至出海口近 1.5 km 的距離內，固定距離設置一組優化升級之超微細臭氧氣泡單元，以確保北汕溪水域量體之大腸桿菌群能透過接力式的措施予以成功削減。興建成本主要包含土木部分、機械設備、管線、儀電設備、施工費、其它等，北汕溪水質改善試驗計畫共設置 15 套超微細臭氧氣泡，設備費用約 1,200 萬元，後續包含前處理裝置、電力設置、機組串接搭建防護等工項，整體建置初設費用估計約近新台幣 2,050 萬元，興建成本以 15 年進行攤提，總處理水量為 10,800 CMD，其平均以 5.20 元/噸進行估算，相關興建成本彙整於表 3.3-8。

2. 操作維運成本

操作維運成本包含操作費用及設備維護等（表 3.4-1），依據環保局水質監測資料顯示，南北八路橋在退潮時流量約 8,640 CMD，進而推估每日應運轉 20 小時以符合處理量能之條件下，每日用電量約 3,000 kWh，每年電費約新台幣 5,573,550 元為主要操作成本。此外，每季至少進行一次維護作業，每年粗估至少新台幣 800,000 元，以運轉時間換算處理水量約 9,000 噸，其平均以 1.94 元/噸進行估算。

表 3.4-1、未來建議擴充之建置及操作維護成本估算

項目		費用 (元)	攤提費用 (元/年)	處理成本 (元/噸)
興建成本 ^{註1}	超微細臭氧氣泡產製系統	12,000,000	800,000	5.20
	機房組合屋搭建強化；管線電路配置	4,500,000	300,000	
	機房系統規劃建置	2,500,000	166,667	
	台電電桿規劃設置	1,500,000	100,000	
操作維運成本	耗材費 (加氯藥劑、分析樣品前處理、單元部品)	800,000	800,000	1.94
	電費 (以每日運轉處理 20 小時為例)	5,573,550	5,573,550	

3.2、北汕溪制菌消毒模組佈設規劃及維護作業	10
3.3、制菌消毒模組成效評估	23
3.4、評估後續模組優化與未來應用擴充策略	36
圖 3.2-1、各型氧化藥劑及其氧化電位	10
圖 3.2-2、氯物種於不同 pH 值之組成變化	11
圖 3.2-3、臭氧前處理對於加氯去除大腸桿菌群效用之提升	11
圖 3.2-4、比較單一加氯及經臭氧前處理所生成之消毒副產物	12
圖 3.2-5、臭氧在不同溫度水體中的溶解度	13
表 3.2-1、制菌消毒單元模組佈設位置基本資料	13
圖 3.2-6、北汕溪河段佈設制菌消毒單元區域圖	14
表 3.2-2、水質改善設施建置所需之用地、用電、用水協調作業	14
圖 3.2-7、南北八路橋臭氧/超微細氣泡制菌模組設置與運轉情形	15
圖 3.2-8、大安港一號橋臭氧/超微細氣泡制菌模組設置與運轉情形	15
圖 3.2-8、大安港一號橋臭氧/超微細氣泡制菌模組設置與運轉情形（續）	16
圖 3.2-9、北汕溪河口加氯模組設置與運轉情形	16
表 3.2-3、北汕溪水質改善設施制菌消毒模組規格與運轉時機	17
圖 3.2-10、超微細臭氧氣泡機組暨周邊管線與用電配置	18
圖 3.2-11、大安港一號橋遠端監控太陽能系統	18
圖 3.2-12、加氯機組暨周邊管線與用電配置	19
表 3.2-4、水質改善設施巡檢及維護紀錄表	20
表 3.2-5、水質改善措施操作及維運程序	21
表 3.3-1、分析水樣裝盛保存方法與檢測方法	24
圖 3.3-1、超微細臭氧氣泡單元—系統端成效評估採樣情形	25
表 3.3-2、超微細臭氧氣泡單元—系統端之大腸桿菌群檢測結果	25
圖 3.3-2、超微細臭氧氣泡單元—系統端之大腸桿菌群削減成效	26
圖 3.3-3、超微細臭氧氣泡單元—承受水體端成效評估採樣情形	27
表 3.3-3、超微細臭氧氣泡單元—承受水體端之大腸桿菌群檢測結果	27
圖 3.3-4、超微細臭氧氣泡單元—承受水體端之大腸桿菌群削減成效	28
表 3.3-4、加氯消毒單元大腸桿菌群檢測結果	28
圖 3.3-5、臭氧對氮之去除效率	30
表 3.3-5、序列式制菌消毒程序對各項水質（BOD、COD、NH ₃ -N）檢測結果	31
表 3.3-6、北汕溪經制菌消毒處理後之消毒副產物生成情形	33
表 3.3-7、北汕溪水質改善試驗計畫建置及操作維運成本估算	36
表 3.4-1、未來建議擴充之建置及操作維護成本估算	38

圖 3.2-1、各型氧化藥劑及其氧化電位.....	10
圖 3.2-2、氯物種於不同 pH 值之組成變化.....	11
圖 3.2-3、臭氧前處理對於加氯去除大腸桿菌群效用之提升.....	11
圖 3.2-4、比較單一加氯及經臭氧前處理所生成之消毒副產物.....	12
圖 3.2-5、臭氧在不同溫度水體中的溶解度.....	13
圖 3.2-6、北汕溪河段佈設制菌消毒單元區域圖.....	14
圖 3.2-7、南北八路橋臭氧/超微細氣泡制菌模組設置與運轉情形	15
圖 3.2-8、大安港一號橋臭氧/超微細氣泡制菌模組設置與運轉情形	15
圖 3.2-8、大安港一號橋臭氧/超微細氣泡制菌模組設置與運轉情形（續）	16
圖 3.2-9、北汕溪河口加氯模組設置與運轉情形.....	16
圖 3.2-10、超微細臭氧氣泡機組暨周邊管線與用電配置.....	18
圖 3.2-11、大安港一號橋遠端監控太陽能系統.....	18
圖 3.2-12、加氯機組暨周邊管線與用電配置.....	19
圖 3.3-1、超微細臭氧氣泡單元—系統端成效評估採樣情形.....	25
圖 3.3-2、超微細臭氧氣泡單元—系統端之大腸桿菌群削減成效.....	26
圖 3.3-3、超微細臭氧氣泡單元—承受水體端成效評估採樣情形.....	27
圖 3.3-4、超微細臭氧氣泡單元—承受水體端之大腸桿菌群削減成效.....	28
圖 3.3-5、臭氧對氯之去除效率.....	30
表 3.2-1、制菌消毒單元模組佈設位置基本資料.....	13
表 3.2-2、水質改善設施建置所需之用地、用電、用水協調作業.....	14
表 3.2-3、北汕溪水質改善設施制菌消毒模組規格與運轉時機.....	17
表 3.2-4、水質改善設施巡檢及維護紀錄表.....	20
表 3.2-5、水質改善措施操作及維運程序.....	21
表 3.3-1、分析水樣裝盛保存方法與檢測方法.....	24
表 3.3-2、超微細臭氧氣泡單元—系統端之大腸桿菌群檢測結果.....	25
表 3.3-3、超微細臭氧氣泡單元—承受水體端之大腸桿菌群檢測結果.....	27
表 3.3-4、加氯消毒單元大腸桿菌群檢測結果.....	28
表 3.3-5、序列式制菌消毒程序對各項水質（BOD、COD、NH ₃ -N）檢測結果	31
表 3.3-6、北汕溪經制菌消毒處理後之消毒副產物生成情形.....	33
表 3.3-7、北汕溪水質改善試驗計畫建置及操作維運成本估算.....	36
表 3.4-1、未來建議擴充之建置及操作維護成本估算.....	38