

第七章 優選場址水質淨化處理系統規劃設計

7.1 水質淨化場址環境背景調查及分析

(一)八掌河流域污染源分析及其背景資料說明

經由一連串的河川水質污染源調查，發現忠義橋下方有一排水管線水質惡化程度相當嚴重，因此本局立即著手進行改善對策研擬，因為該排水管線位於縣市交界，污水主要來自於嘉義縣中埔鄉，所以首先聯絡嘉義縣相關人員進行瞭解；並且本局經現地勘查後發現，此區域可進行水質工程改善規劃，故先進行場址基本背景資料收集。

此外，忠義橋下排水路的週邊正在規劃或近期完工的工程計有兩項，包含了上游左岸的礫間接觸曝氣系統(嘉義縣政府環境保護局，規劃中)，以及道將圳清污分流改善工程(台灣化學纖維股份有限公司，已完工)，與本工程均有直接的關聯性，於規劃階段即應納入考量。

(二)規劃場址基本背景資料說明

初步規劃場址目前主要為親水公園用地。由於八掌溪為嘉義市、縣間的天然界線，市府為進行沿岸整體美化，於忠義橋與軍輝橋間的高灘地上，設置一座佔地廣達 12 公頃的河濱運動公園，並已成為市民最佳的休憩、運動空間。初步規劃場址地理位置如圖 7.1-1 及 7.1-2 所示。共有四塊土地可供優選場址之規劃，並將各區域依水質、水文及地文特性，配置如圖 7.1-3。

而位於嘉義市八掌溪親水公園環形步道內東隅的草坪(2.35 公頃)、跑道外東側的三角形草坪(0.35 公頃)、步道北側與河道間的高莖草生地(1.85 公頃)，以及步道西側與軍輝橋間的草坪區(0.65 公頃)，總面積合計約為 5.3 公頃。土地權屬目前為第五河川局所有，現由嘉義市環保局申請使用許可及維護管理。目前地面係由低莖的草本植物所形成的草坪，並無高大的喬灌木植物，為一片相當平坦且完整的土地，成為當地民眾良好的休閒遊憩空間。本場址主要的污水來源為忠義橋下排水箱涵的生活污水，平均污水入流量為 4,000 CMD。經人工溼地自然淨化系統處理後的放流水，水質相當潔淨，適於作為中水再利用系統(如澆灌)的水源，以綠化親水公園週邊環境及堤防邊坡等。

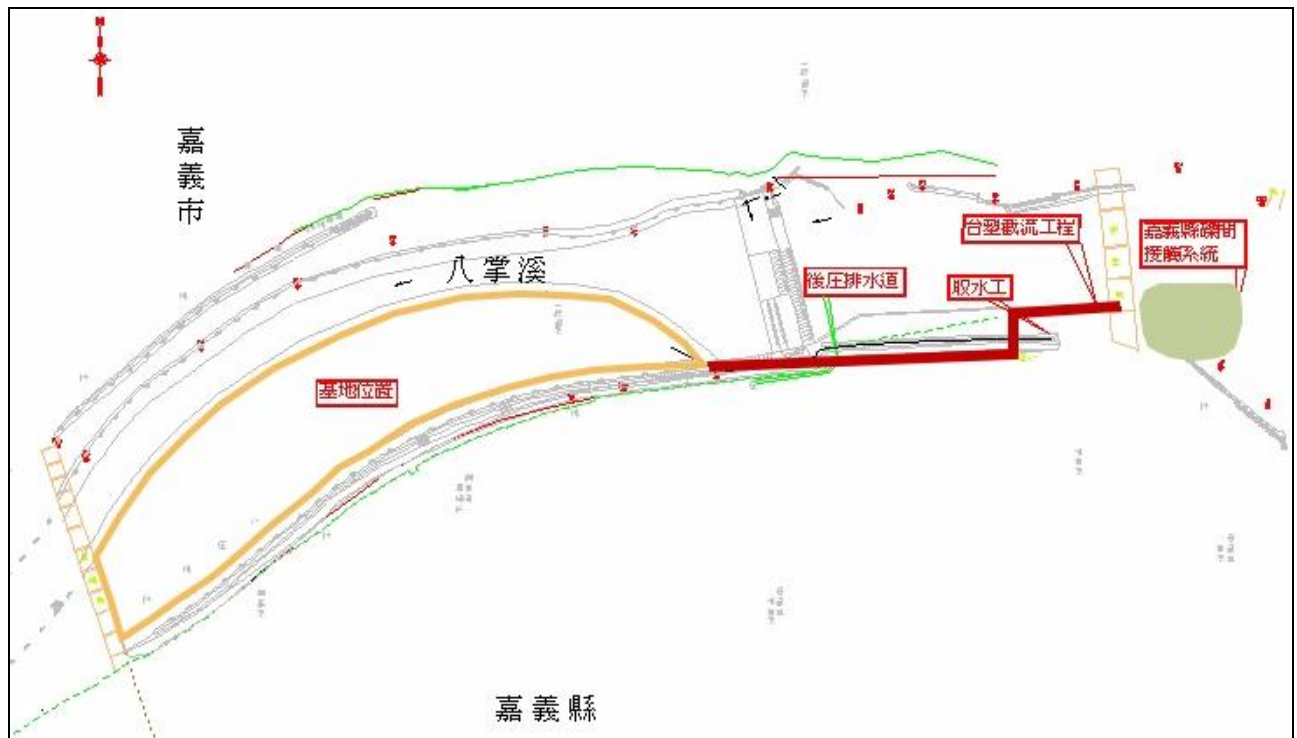


圖 7.1-1 基地位置與週邊工程相關位置圖

表 7.1-1、規劃水質淨化處理場址現況資料

位置	地貌	可用面積 (平方公尺)	使用現況
跑道外東側的三角形綠地	平整	3,500	較少割草的公園綠地，民眾使用頻度較低。
親水公園跑道內東側綠地	平整	23,500	較少割草的公園綠地，民眾使用頻度較低。
跑道北側與低水護岸間草生地	由南向 北緩降	18,500	高莖草本植物密生，人員進入不易。
跑道西側至軍輝橋間綠帶	由南向 北緩降	6,500	腹地不大，遊憩壓力較低。



圖 7.1-2 人工溼地自然淨化系統預定地現況圖

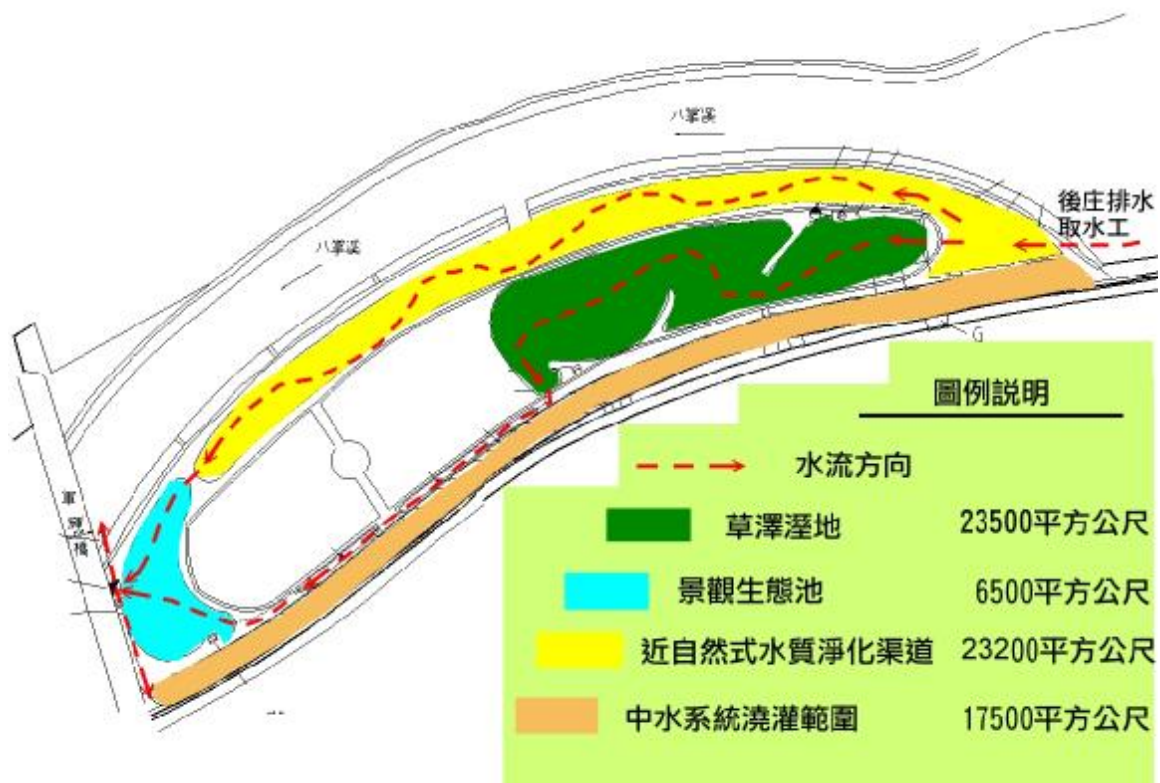


圖 7.1-3 規劃水質自然淨化場址平面配置圖

(三)規劃場址附近水文與水質說明

規劃場址中的主要污染源水質為忠義橋正下方的排水管線，視為一般排水溝渠本局並無監測，因此委託顧問公司於 94 年 4 月份時進行連續 24 小時採混合水樣(頻率每 2 小時採樣 1 次)、流量測定(頻率每 2 小時採樣 1 次)之監測調查及檢驗。另外本局於 94 年 4 月 15 日進行隨機檢測，檢測結果如表 7.1-2 所示。

表 7.1-2、規劃水質淨化處理污水水質資料

項目	單位	忠義橋正下方		
		假日	平日	94.04.15
PH 值	—	7.8	7.7	7.47
水溫	℃	27.8	27.3	31.1
SS	mg/L	85.8	138	145
BOD	mg/L	140	63.3	130
COD	mg/L	314	300	391
氨氮	mg/L	5.56	1.99	3.74
DO	mg/L	1.05	4.40	—
總鉻	mg/L	0.010	0.012	—
六價鉻	mg/L	0.010	0.012	—
硝酸鹽氮	mg/L	0.200	0.100	—
亞硝酸鹽氮	mg/L	0.010	0.000	—
總凱氏氮	mg/L	12.300	7.210	—
總磷	mg/L	0.389	0.020	—
流量	CMS	0.311	0.305	—

備註:1.假日和平日檢驗採用 24 小時混合試驗，94.04.15 以隨機取樣方式檢驗。

2.監測時間：假日：94.04.24 08:00（星期日）～94.04.25 08:00（星期一）

平日：94.04.25 08:00（星期一）～94.04.26 08:00（星期二）

從在水質檢測結果可以很明顯發現水質污染的程度，尤其是 BOD 值最高達到 140 mg/L，遠比一般水體水質分類標準高出許多倍，而 COD 值最高達到 391 mg/L，也比一般水體水質分類標準高出許多倍，而其流量為平均有 0.308 CMS，約等於 26,611 CMD，以 BOD-130 mg/L 來計算，則每日有 3,459.4 kg 的 BOD 污染物流進八掌溪內，而八掌溪軍輝橋至忠義橋河段 93 年平均水質 BOD 為 4~7 mg/L，其平均水量為 503,712 CMD，因此此污染源 BOD 之污染量約佔八掌溪此河段至少 7 成以上，急需進一步整治。另外有關場址附近八掌溪軍輝橋至忠義橋河段相關水文資料見表 7.1-3。

表 7.1-3、八掌溪軍輝橋至忠義橋河段相關水文資料

項目	數值	項目	數值
軍輝橋至忠義橋河段長	共計二公里	軍輝橋集水面積	118.88 km ²
八掌溪河床平均坡降	1/820	河床沙質	均以細砂多為平均粒徑約在 0.1mm~0.35mm
軍輝橋至攔河堰河床平均坡降	1/210	軍輝橋計劃洪水量	1200cms
高灘地防洪頻率	可承受二年洪水量，其流量為 476cms	淹水頻率	以流量=476cms 估算淹水頻率約 4.38 小時/年

7.2 設計理念及準則

一、自然淨化系統的設計理念

國內發展水質淨化自然工法迄今已逾十年，過程中也自國外的成功案例引入各種不同的工法。一般而言，自然淨化系統所能處理的污水量及處理效率除了與原設計及操作方式有關外，更重要的是與系統本身之處理面積有著密不可分的關係，面積越大所能處理的水量也就越大。然而，對地狹人稠的台灣而言，土地取得困難長期以來是較難解決的頭號問題。為此，服務團隊在有限的土地空間裡，建議採行 FWS 結合 VSB 人工溼地的系統設計，用以處理忠義橋下高流量(5,000 CMD)及高濃度(BOD 為 102 mg/L)的污水。茲就所建議的系統設計方式陳述設計理念及準則。

二、人工濕地處理系統(Wetland system)

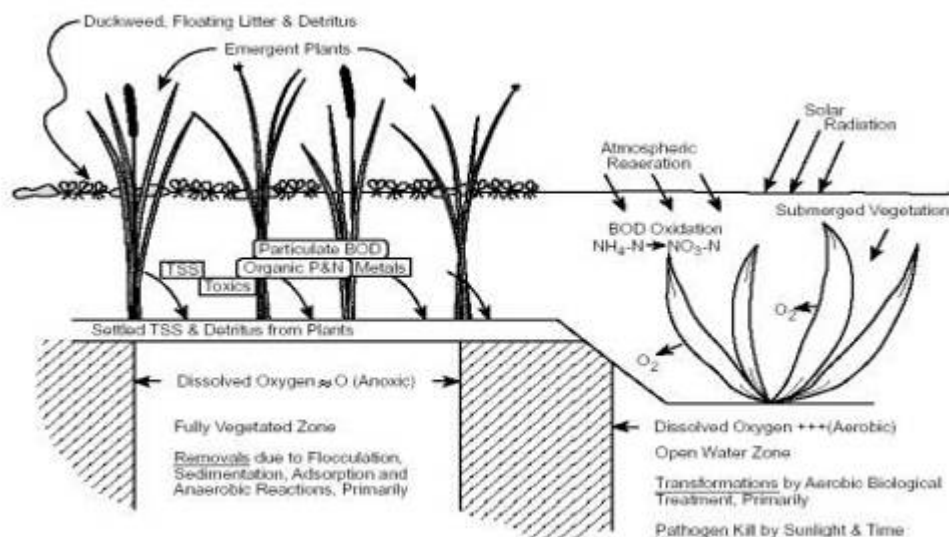
人工溼地系統中，主要可區分為表面流動式(FWS，如圖 7.2-1)與植生浸潤床(VSB，如圖 7.2-2)兩種型態。表面流動式人工溼地係以天然溼地的水文及環境狀態為模擬對象，底層有介質供植物生長及著根，除了污染削減功能外，亦可同時營造為溼地生物棲境，具多功能的發展面向。植生浸潤床則是在水體中填充介質(如砂、礫石等)，其上種植蘆葦等挺水型植物，利用水流經介質及植物根系的表面，達成水質淨化的效果。只要設計及操作得當，為一可靠、有效之生態淨水處理系統，處理水質可達二級至三級處理之水質標準。說明如后：

(一)FWS 型

此型式之人工濕地係在深度約 0.1 至 1.2 米之淺池塘或渠道中種植各種型式之水生植物，包含挺水植物(Emergent Aquatic Plant, 如香蒲、蘆葦、茭白筍及開卡蘆等)、沉水植物(Submerged Aquatic Plant, 如金魚藻、馬藻等)、浮葉植物(Rooted Floating Aquatic Plant, 如荇菜、菱角等)及漂浮植物(Free Floating Aquatic Plant, 青萍、滿江紅等)，圖 7.2-1 為 FWS 型人工濕地進行污水淨化時各項主要機制示意圖，其外觀與功能與自然濕地類似，具開放水面區、密植區、人工浮島及推移帶等環境，可吸引野生之動、植物進駐，具生態復育之功能。

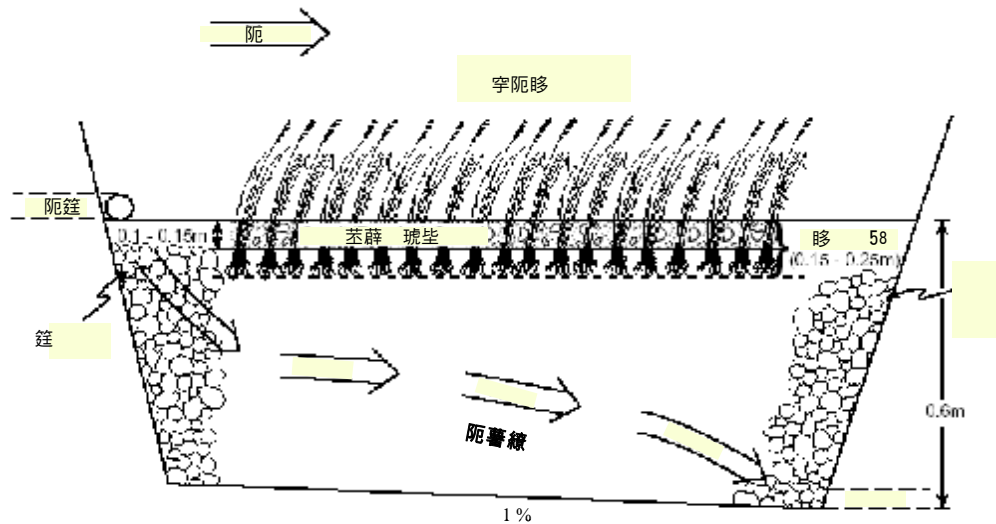
(二)VSF 型

此型式之人工濕地係在深度 0.6 至 1 米左右、底部坡度在 0.5 至 1 %之溝渠或水池，鋪設礫石或土壤後密植挺水性植物，再導入污水並控制水面高度，使水面不曝露於空氣，即污水在僅介質中流動，以避免短流發生，其剖面示意詳圖 7.2-2 所示。主要處理機制為利用附著在礫石、或是植物根系的微生物分解水中污染物。為延長系統的使用年限，VSF 型濕地前端通常需要設置以「固液分離」機制為主之處理單位，如調節池、初沉池等，避免大型顆粒流入礫石床中堵塞孔隙，降低處理效能。



(資料來源：”Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters” USEPA, 2000)

圖 7.2-1、FWS 型人工濕地主要淨化機制示意圖



(資料來源："Land Treatment System for Municipal and Industrial Wastes" Crites, Reed and Bastin, 2000)

圖 7.2-2、VSB 型人工濕地水力路徑示意圖

VSB 型人工濕地單位面積處理效率較 FWS 型濕地高，但初設成本也較高，故國外多應用於處理污水量較少或污染強度較高之場址。

三、人工溼地之設計理念及準則

人工溼地不但具有溼地中可以淨化水質的各種機制與特性，包括過濾、吸附、沉澱、生物分解、生物吸收等，同時也擁有溼地的景觀以及提供生物棲息的場所。更由於其淨化水質所需的能源為太陽能驅動，淨化過程則完全依循自然淨化的程序。根據前幾章節的說明，人工濕地的型式可分為植生浸潤床型 VSB 及表面流型 FWS 兩類，而設計時需考慮之設計因子包含：

(一)系統之水力設計

1. 水力停留時間與 BOD 面積負荷速率

FWS 溼地之水力停留時間(HRT)應介於 5~14 天左右；而 VSB 溼地則介於 2~7 天。而 BOD 負荷量 FWS 溼地則為 80 kg/ha/day 左右；VSB 溼地之 BOD 負荷量則為 75 kg/ha/day。由於本場的人工溼地入流水已經過接觸曝氣槽前置處理過，BOD 濃度並不易超出上述數值，因此設計上以設計水力停留時間為主，而 BOD 面積負荷速率為輔。

2. 水力負荷

水力負荷速率(q)指的是每單位面積的流量，可作為不同溼地系

統的操作比較。FWS 溼地的 HLRs 值介於 0.7~5 cm/d，而 SSF 溼地的 HLRs 值介於 2~20 cm/d (WPCF, 1990) USEPA 之北美資料庫 (NADB)，美洲和加拿大正確處理溼地手冊所列出的中位數為 1.4 cm/d 和 17.4 cm/d。

(二)介質粒徑(media size)

1. FWS 溼地

而對表面流型(FWS)式之人工濕地而言，其植物多為漂浮性植物，因此粒徑設計上相較於 VBS 較無嚴格限制，但其設計的重點應在漂浮性植物之適當選取及下層之不透水材料之滲透率應小於 10^{-7} m/day。

2. VSB 溼地

對植生浸潤床(VSB)式之人工濕地而言，介質粒徑為重要之設計因子，因土壤(或砂質及岩石)介質除提供植物著根生長外，亦可供微生物作為附著之用，同時提供對污染物之過濾與攔截等去除功能。一般而言植栽區之土壤介質建議之粒徑應小於 20 mm，深度最少應達 100 mm，而進出流區域之介質粒徑建議應介於 40 mm~80 mm 間，除可使進出流水平均散佈(evenly distributed)外，亦有防止阻塞(clogging)之作用。

(三)坡度

土壤介質之表面高程應接近水面以利植栽及後續維護，而介質坡度應盡量與設計之水力剖面一致以使水流流速均勻，以得到較佳之處理效率。建議二種人工濕地之平均坡度應介於 0.5%~1%之間。

(四)進出流設施

進出流設施之考量應使水面線維持於設計高程，可設置土工設施如溢流堰等以達成此一要求；此外，損失水頭之控制亦為重要考量，較大的水頭損失將影響抽水泵之選取及水流之設計。

(五)系統之深度、寬度、與長度

對於 VSB 溼地而言，水面線應貼近介質表面高程以達較佳之操作效率，介質之厚度則應約為植栽根系可達最大深度，一般約在 0.3m~0.7m 間。為達最佳的處理效能，植生浸潤床的平均流徑長度建

議介於 15~20 m 之間，寬度與長度之比例對處理效果之影響則並不明顯。而對表面流式人工濕地之設計需考慮之設計因子則包含：

1.濕地配置(wetland layout)

濕地之配置應配合原有地貌(site topography)以降低構築成本，並盡量規劃以重力方式輸送水流。濕地長寬比(aspect /length to width ratio)可介於 1:1~90:1，維較大之寬長比有助於防止短流現象之發生。濕地之形狀除配合場址地形外，應就水力停留時間、水頭損失及進出流設施配置作適當調整。此外適當之多單元配置(multiple cells)亦可提升濕地之處理效率。

2.濕地內部組成(internal wetland components)

一般而言 FWS 系統前端及後端低溶氧區之植栽面積應達 100%，中間高溶氧區之開放水面之植栽比例建議約在 50%~100%之間。另外進流沈降區、出流結構、迴流設施(recirculation)、及配合之前處理單元亦應配合現場狀況予以規劃。

7.3 規劃與細部設計內容

為有效率處理八掌溪忠義橋下污水，整合嘉義縣在忠義橋上游左岸所設置的接觸曝氣系統，以及台塑截流工程，將忠義橋下排水路的污水全數導入本工程中，如圖 7.3-1 所示，詳細之相關規劃分述如下。

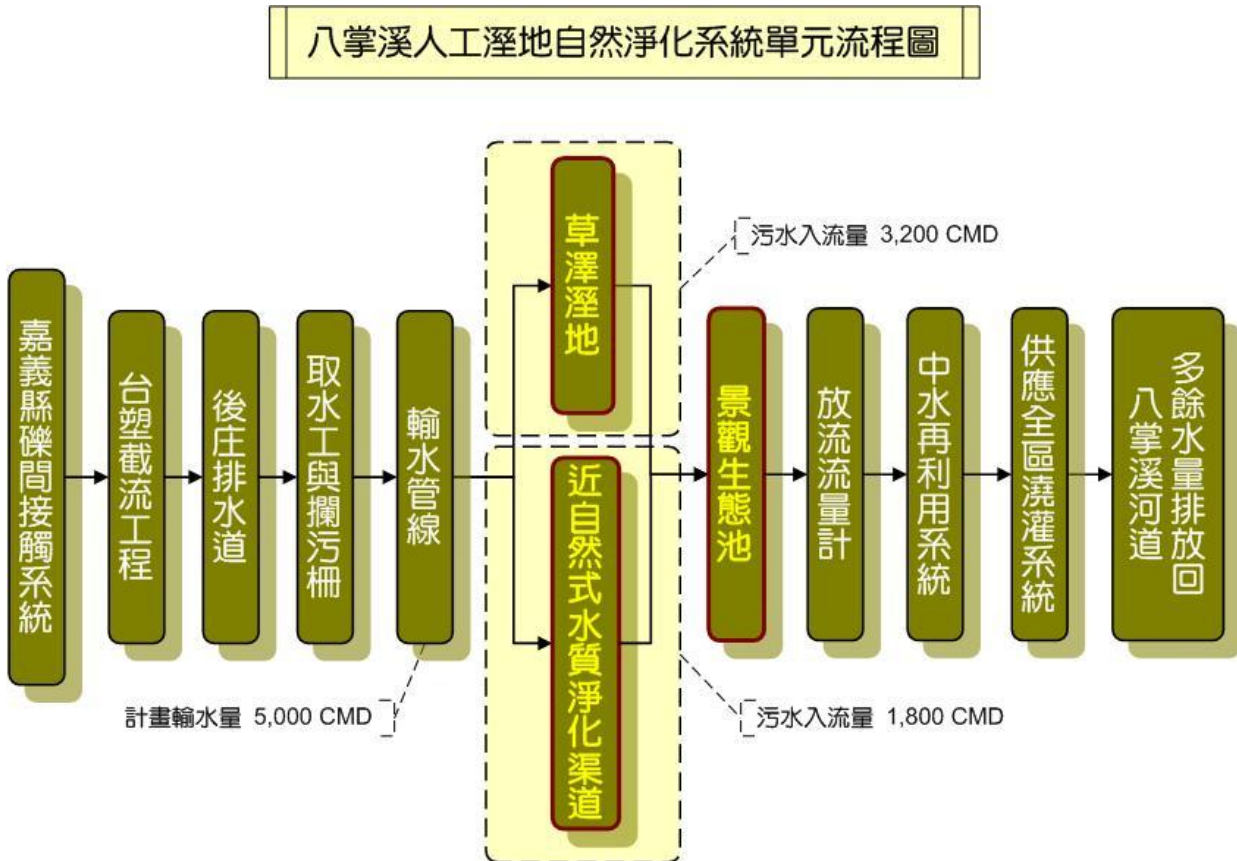


圖 7.3-1 八掌溪水質淨化系統規劃示意圖

一、人工溼地自然淨化系統處理流程

本場址的人工溼地自然淨化系統處理流程如圖 7.3-1 所示，忠義橋下排水路的污水經接觸曝氣槽的初步淨化後，再將 5,000 CMD 的污水量進入自然淨化系統的初沉池中，其中的 1,800 CMD 分流進入水質淨化渠道中，其餘的 3,200 CMD 依序流經：草澤溼地→植栽浸潤床，最後這兩道污水將合流匯入景觀生態池→放流流量計。淨化後的水資源進入中水再利用系統後，可供應親水公園全區的澆灌用水，多餘水量則排放回八掌溪河道中。

二、人工溼地設計各單元內容

(一)引水設備單元

1. 污水入流方式

污水收集方式原則上分為二種-重力方式收集及截流方式收集。重力方式收集係利用重力原理等不需額外能源之方式收集生活污水，其優點為建置、運作及維護成本較低，但受限於地形走勢為其主要的缺點；而截流方式收集係利用抽水馬達等方式抽取污水，其優點為不受地形限制，但卻有較高的建置、運作及維護成本，並且受限於抽水馬達的揚程。

由於人工溼地系統的前置處理單元為初沉池，僅須在高程設計上搭配，即可以重力的方式引流至後續各處理單元，以達成節能與降低維護操作成本的目標。

(二) 排洪措施及設備示意圖

由於本場地處八掌溪行水區的灘地上，暴雨期間易遭水淹，為維持人工溼地良好的排洪功能，須有洪峰緩釋設施，如圖 7.3-2 所示。



圖 7.3-2 防洪措施及設備示意圖

(三) 進流水質及放流水質

依據規劃之濕地特性概估可達成之處理效率，規劃設計進流水水質水量及可達成之目標處理水質。

(四) 處理功能計算

根據國外之應用經驗，有明顯開放水面區之人工濕地，無論是 BOD 及 SS 之污染去除效率遠較僅密植栽種水生植物之場址為佳，並建議 FWS 型人工溼地應交替配置密植區、開放水面區及密植區，增

加系統去氮功能，該場址進流污水實測值顯示氨氮、總磷等營養鹽濃度相對上較高，故本專案團隊依循其設計原則，依序配置三段式人工溼地如后：密植區→開放水域→植生浸潤床，並利用場址剩餘空間(場址二)構築景觀溼地，延伸處理功能及增加水力停留時間，一方面營造溼地景觀，一方面去除污水中之氮、磷營養鹽。人工溼地之設計準則係以污染物負荷計算其用地面積，決定池槽水深後，再以水力停留時間校核，參考美國環保署 2000 年出版之人工溼地設計手冊，BOD 負荷採 55 kg/ha-day、SS 負荷採 40 kg/ha-day。

(五)用地需求

按照選定之處理形式及處理水質目標，規劃所需之用地面積。

(六)處理設施細部設計

依據現地調查進行人工濕地之流程規劃，計算前處理單元、人工濕地所需量體並配合植栽規劃完成處理效率估算，訂定設計標準：

- 1.人工濕地之配置：含濕地之形狀、各區域之設計水深與植栽種類、植栽覆蓋面積等。植栽種類之評比考量繁殖能力、污染物之吸收、境影響、取得難易及價格等因素加以評比初步選定香蒲、台灣水龍及荸薺作為人工溼地植栽。評比結果表如表 7.3-1 所示，圖 7.3-3 為植栽的照片。
- 2.目標復育物種及生態復育工法。
- 3.水力剖面及介質坡度、深度配置設計。
- 4.進出流設施設計。
- 5.若需以動力方式進行進流、放流或迴流，則需進行管線、機械(如泵浦)及機電儀控之細部設計。
- 6.建議操作維護方式。
- 7.生物生存空間佈設。
- 8.景觀遊憩與解說導覽設施。

(七)繪製細部設計圖說及撰寫設計規範

含相關圖說、設計準則、功能需求、工料估算、施工期程排定等。

表 7.3-1、植栽挺水植物評比結果表

懸掛掛				浮葉植物					總分
種類	高度	葉長	葉寬	浮葉率	1% 路	浮葉率	浮葉率	浮葉率	
				15%	15%	50%	10%	10%	
狗尾草	浮葉	30-60cm	5-10	70	40	60	80	80	62.5
	浮葉	50-130cm	5-10	60	40	80	70	70	69
浮葉	浮葉(5)腹	5-30cm	5-10	60	50	90	70	50	73.5
滅丹	浮葉	30-100cm	5-10	60	50	80	60	60	68.5
票	(5)腹	10-90cm	5-10	80	80	40	80	80	60
浮葉(5)腹	(5)腹	浮葉	5-10	70	80	40	80	80	58.5
	浮葉	40-130cm	5-10	60	60	70	60	60	65
廣葉	浮葉	70-150cm	5-10	50	60	70	60	60	63.5

(註：環境影響項目係以得分越高影響程度越低計分。)

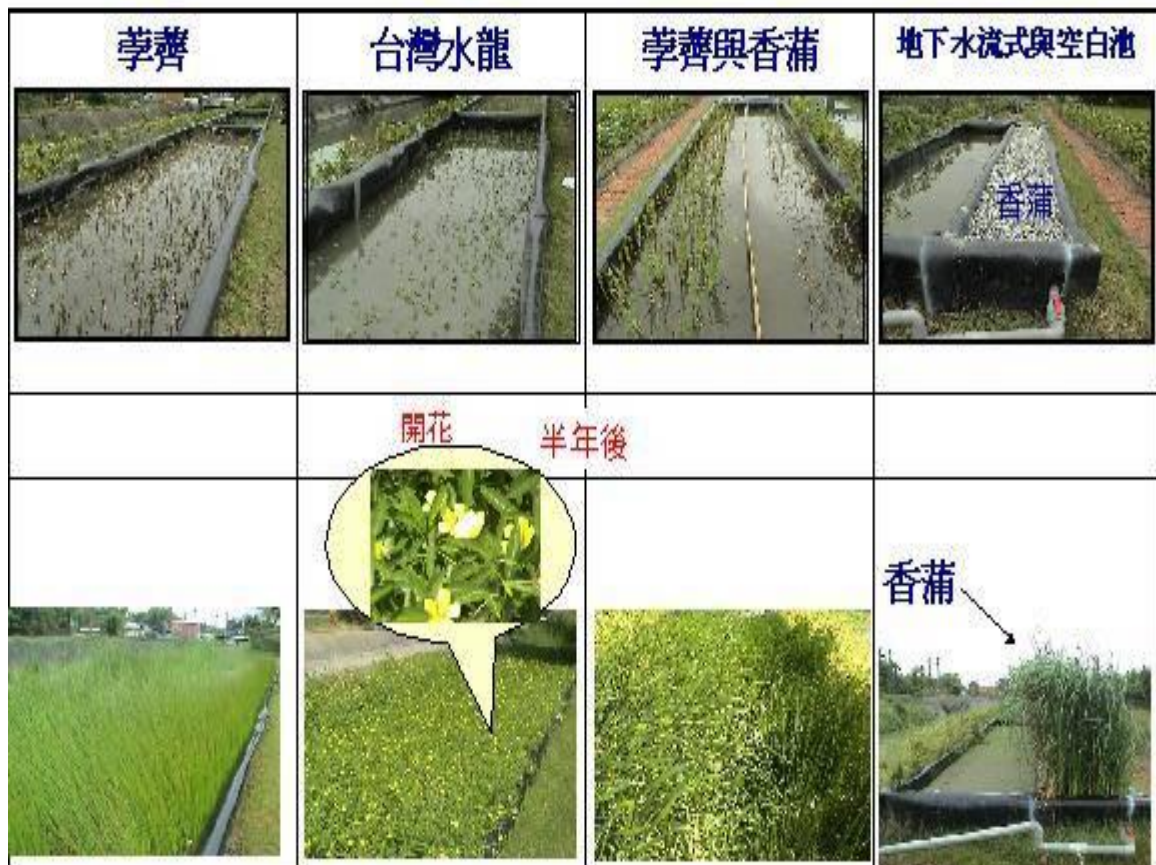


圖 7.3-3 植栽之比較圖

四、人工溼地自然淨化系統規劃設計

在系統配置上初步規劃可以設置為三段人工溼地的流程，並據此進行規劃(人工溼地配置示意圖如圖 7.3-1)。基於場址高程及後續維護管理之考量，污水進流方式則採用重力式進入場址中，污水於淨化後再作為親水公園的澆灌水源，以達到現地處理、污染削減及水資源循環利用的目標。

此外，由於本場址位於地貌平坦開濶的河濱灘地，在系統規劃上，除使該區有污染淨化效益外，尚要兼顧生態景觀、環境教育與休閒遊憩的功能，並可搭配人行步道，使該區成為一多功能場址。基於面積限制、操作成本、水量變動的考量，規劃取 5,000 CMD 之設計水量進行處理，所需面積約為 5.3 公頃。

在水質方面(見表 7.3-2)，忠義橋下排水路的污水，將先導入嘉義縣環保局設置於忠義橋上游左岸的礫間接觸氧化系統(入流水質如下：BOD 為 102 mg/L、TSS 為 112 mg/L、氨氮為 3.8 mg/L)，其放流水再進入至本工程的人工溼地。其水質條件預估如下：BOD 為 40 mg/L、TSS 為 50 mg/L、氨氮為 2.5 mg/L。

表 7.3-2、自然淨化系統場址淨化後水文與水質資料

項目	人工溼地	景觀生態池
面積	4.65 公頃	0.65 公頃
污水來源	忠義橋下排水路生活污水 (經接觸氧化系統)	人工溼地自然淨化系統放流水
入流水質	BOD — 40 mg/L TSS — 50 mg/L 氨氮 — 2.5 mg/L	BOD — 17 mg/L TSS — 20 mg/L 氨氮 — 1.2 mg/L
水量	5,000CMD	5,000CMD

- (一)污水進流量與方式：採重力式引水，系統設計水量為 5,000 CMD。
- (二)自然淨化工法：採表面流式與植栽浸潤床式搭配，設計為溶氧值具有高低變化的三段式人工溼地，以提昇氨氮、BOD 的除污效果。
- (三)水力停留時間：大於 4 天。
- (四)預估出流水質：BOD < 17 mg/L、TSS < 20 mg/L、氨氮 < 1.2 mg/L。

(五)預估污染削減量：BOD 每日削減 116 KG、TSS 每日削減 151 KG、
氮氮每日削減 6.6 KG。

(六)水資源處理方式：用於親水公園的澆灌用水或放流至八掌溪河道。

(七)預估效益：水質淨化、民眾休閒遊憩、生物多樣性建立、環境教育。

五、景觀生態池規劃設計

地形近似正方形，在系統配置上規劃可以設置為景觀生態池，並據此進行規劃(景觀生態池配置示意圖如圖 7.3-4)。處理流程規劃如下：人工溼地自然淨化系統→景觀生態池→中水再利用系統→供應親水公園澆灌水源→多餘水量排放回八掌溪河道中。

基於場址高程、洪泛風險及後續維護管理之考量，原水進流方式則採用重力式進入場址中，污水於淨化後再作為親水公園的澆灌水源，以達到現地處理、污染削減及水資源循環利用的目標。

(一)原水進流量與方式：採重力式引水，規劃取水 5,000 CMD。

(二)自然淨化與景觀生態營造工法：採表面流式，配合近自然式人工溼地的施作工法，以及合宜的生物生存空間佈設，復育南部地區已日漸減少的溼地環境。

(三)水力停留時間：0.5 天。

(四)預估出流水質：BOD<34 mg/L、TSS<31 mg/L、氮氮<1.7 mg/L。

(五)水資源應用方式：用於澆灌或放流至八掌溪。

(六)預估效益：水質淨化、民眾休閒遊憩、生物多樣性建立、環境教育、
河濱溼地生態復育。

7.4 污染削減效益初步評估

一、基本設計參數

(一) 平均去除率推估

本工程中所採用的自然淨化系統主體為三段式人工溼地，目前在國內僅有三個場址採用近似的系統設計，包含了台北縣新海人工溼地、台東縣關山人工溼地及台南縣港尾人工溼地，惟運轉迄今均未超過兩年，故無法提供具代表性的移除速率常數(K_v)範圍，不宜利用式 7.4-1 來評估污染削減效益。

現階段僅能利用前述三個場址的平均去除效果，取保守的設計值(如表 7.4-1 所示)，來針對本場址的污染削減效益進行初步的評估，可獲得較客觀的結果。

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-k_v \times HRT) \quad (\text{式 7.4-1})^1$$

表 7.4-1 國內三段式人工溼地平均去除率與本場址設計參數²

污 染 物	新海溼地	關山溼地	港尾溼地	本場址預估去除率	
				FWS 溼地	VSB 溼地
BOD(%)	> 80	> 50	> 70	60	40
TSS(%)	> 80	> 90	> 60	60	40
氨氮(%)	> 90	> 50	> 90	65	30

(二) 平均孔隙度

此外，在孔隙率的參數設計方面，取草澤溼地的孔隙率 $\varepsilon=0.9$ 、埤塘溼地的孔隙率 $\varepsilon=0.85$ 、植生浸潤床的孔隙率 $\varepsilon=0.4$ 。

二、水力設計參數

(一) 水力停留時間

一般而言，FWS 系統的水力停留時間約在 5~14 天(Wood，

¹ Jing, et al. (2002, "Microcosm Wetlands for Wastewater Treatment with Different Hydraulic Loading Rates and Macrophytes", Journal of Environmental Quality, 31(2) pp.690-696)。本研究顯示 COD 在 FWS 系統中之分解速率常數(k_v)介於 $0.38-0.55 \text{ d}^{-1}$ 之間，此分解速率常數可應用為 BOD_5 的估算，惟對照國內各自然淨化場址之 k_v 平均值，似有高估之情形，因此不建議採用。

² 資料來源：行政院環境保護署；服務團隊自行整理。

1995；張惠婷，1998)，可達最佳之去除率。但在台灣的氣候環境中，由於平均氣溫較高且日照時數較長，水生植物的新陳代謝較快且生長季長，故 HRT 約在 3~7 日間即可達到良好的效果。此外，設計 HRT 時，必需同時 BOD 的負荷量，若 HRT 雖在合理範圍內，但 BOD 的負荷量過高時，則將造成水質惡化。

表 7.4-1、人工溼地 FWS 及 VSB 系統設計規範

控制因子	FWS	VSB
水力停留時間(HRT, day)	3~7	0.1~1
BOD 負荷量(kg/ha/day)	55	75
水深或基質深度(m)	0.6~1.5	0.1~1.0
水力負荷量(mm/day)	7~60	2~30
所需面積(ha/m ³ /day)	0.002~0.014	0.001~0.007
長寬比	2:1~10:1	0.25:1~1:5
孔隙率	0.85~0.95	0.4~0.6

(二) 水文收支

由於人工溼地的入流型態為連續流動式，其間的水文收支現象受到入流量、放流量、蒸發散量及底層入滲量等因子的影響，如圖 7.4-1 所示。由於本場址的設計平均入流量為 5,000 CMD，其水文收支的計算公式如式 7.4-1 及 7.4-2 所示：

$$Q_{ave} = (Q_{in} + Q_{out}) / 2 = 5,000 \text{ CMD} \quad (\text{式 7.4-1})$$

$$Q_{out} = Q_{in} - Q_e - Q_p \quad (\text{式 7.4-2})$$

其中：

蒸發散量 $Q_e = 534 \text{ CMD}$ (以蒸發散量 11 mm/day 推估之)

底層入滲量 $Q_p = 101 \text{ CMD}$ (以晶化工法滲漏速率 $7.4 \times 10^{-8} \text{ m/day}$ 推估)

由此可推估得：

$$Q_{in} = 5,318 \text{ CMD} ; Q_{out} = 4,682 \text{ CMD}$$

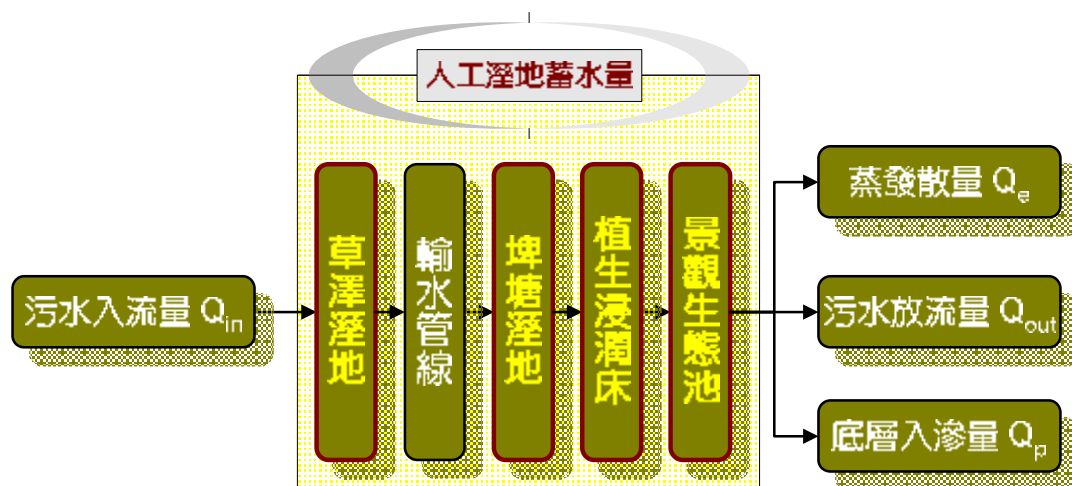


圖 7.4-1 人工溼地水文收支示意圖

三、設計參數彙整

表 7.4-2 中彙整了本工程中各處理單元(草澤溼地、埤塘溼地、植生浸潤床及景觀生態池)的重要設計參數，水域所佔的總面積為 5.3 公頃，有效蓄水容積合計為 21,393 立方公尺。

表 7.4-2 本場址各處理單元之設計參數彙整

處理單元		設計參數					
		入流水量 (CMD)	表面積 (m ²)	平均水深(m)	孔隙度 (ϵ)	有效蓄水 容積(m ³)	HRT (日)
系統一	近自然式 水質淨化渠道	1,800	23,200	0.45	0.7	7,308	4.1
系統二	草澤溼地	3,200	23,500	0.45	0.9	9,517	3
合流	景觀生態池	5,000	6,500	0.4	0.9	2,340	0.5
合計		5,000	53,200	—	—	19,165	—

四、污染削減效益初估

本場址的各單元針對 BOD₅、TSS 及氨氮的削減量，分別為 BOD 每日削減 116 KG、TSS 每日削減 151 KG、氨氮每日削減 6.6 KG。。規劃完善的自然淨化系統，除了系統本身污染量削減之功能外，若可配合後續的植栽計畫、解說計畫等項目實施，相信可以為生態淨水系統周遭地區帶來景觀美化、郊遊休憩及生態教育等附加效益。

表 7.4-3 本場址各單元之處理量能與效能評析

系統區分	處理流程	面積(m ²)	水量(CMD)	HRT(D)	削減效能預估(%)					
					BOD		TSS		氨氮	
一	近自然式水質淨化渠道	23,200	1,800	4.1	55		50		48	
二	草澤溼地	23,500	3,200	3	40		50		45	
合流	景觀生態池	6,500	5,000	0.5	18		15		12	
合計		53,200	5,000		58		61		53	
入出流水質(mg/l)					入流	放流	入流	放流	入流	放流
					40	17	50	20	2.5	1.2
每日削減量(Kg/day)					116		151		6.6	

五、質量平衡計算

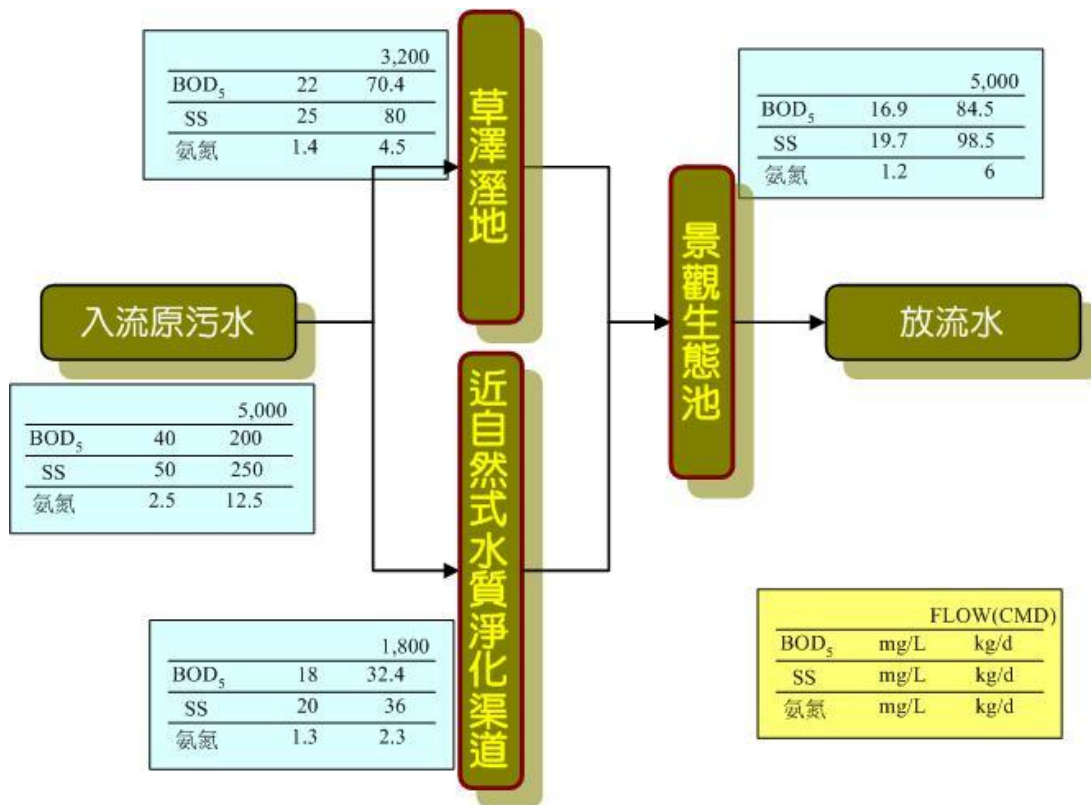


圖 7.4-2、質量平衡計算示意圖

7.5 景觀生態初步配置

整體景觀設計目標為創造一個具有景觀自明性、地方特性、休閒遊憩機能性、環境寧適性及生態永續性的園區。設置生物棲息綠地、使綠地能串聯建立生物網路。並預計於園區設賞景休憩設施和生態解說牌，使生態淨水系統之生態教育功能可有效發揮，而綠地植栽儘量採用原生樹種苗木，避免外來物種對當地平衡之生態系統帶來影響。為增加知覺景觀的變化，可於園區內部綠地加強視覺、聽覺、觸覺及嗅覺等設計(如誘鳥誘蝶植栽等)。故本工程之景觀生態初步配置說明如下：

一、適用於人工溼地的生態工法

在人工溼地的施作過程中，為了同時兼顧污染削減及生態復育的目標，須搭配合宜的生態工法。適用於本場址的生態工法包含了溼地底層防滲處理工法，以及利用水陸推移帶所形成的水岸護坡工法，茲分別簡介如后：

(一)晶化防滲處理工法

人工溼地底層結構的滲漏性能對於水文收支有著決定性的影響，滲漏量的大小悠關補注水量的多寡；當引用的水源為污水時，亦須注意過大的滲漏水量可能造成的地下水污染問題；此外，由於溼地底層結構為水生植物根系的著床空間，關於植物的生長狀況亦扮演相當重要的角色。因此，在人工溼地的設計與施作階段，溼地底層結構防滲處理工法的選擇，成為關鍵性工作之一。常用的工法包含了土工止水膜(防水布)、土工皂土布(皂土毯)、黏土層及晶化防滲處理等，在本工程中建議採用最符合溼地生態的晶化防滲處理工法，其操作流程及實例說明如圖 7.5-1 所示。

在本工程中，各單元均採晶化工法作為底層防滲處理之用，施工面積達 53,200 平方公尺，略較溼地的實際面積稍大，這是因為溼地發生滲漏的位置除了底層之外，其週緣亦會有類似的情形，故須微幅擴大其面積，以全面提昇其保水效能。各類防滲工法的實際施作位置與面積，詳見細部設計圖說 C-006。

(二)水岸植生護坡工法

在人工溼地的護坡與護岸的工法，依其特性及功能的不同，可分為水岸植生護坡、加勁網袋、箱籠堆置護岸及砌石堆置護岸等，在流

速緩慢的人工溼地中，為提昇其生態效益，建議採用水岸植生護坡工法。透過本工法所建構的推移帶(ecotone)，是一個位於水陸交界地帶的重要生態棲境，其坡度約在 1/5 至 1/100 之間變化(圖 7.5-2)，視其鄰近的水域及陸域而定。平緩的坡降有助於實施週期性水位消長管理作業，能有效提昇溼地的生物多樣性，且使坡腳的穩定度大幅提昇，在無須藉助任何水土保持構造物的設計下，即可達成自然的穩定效果。

精化防滲處理作業

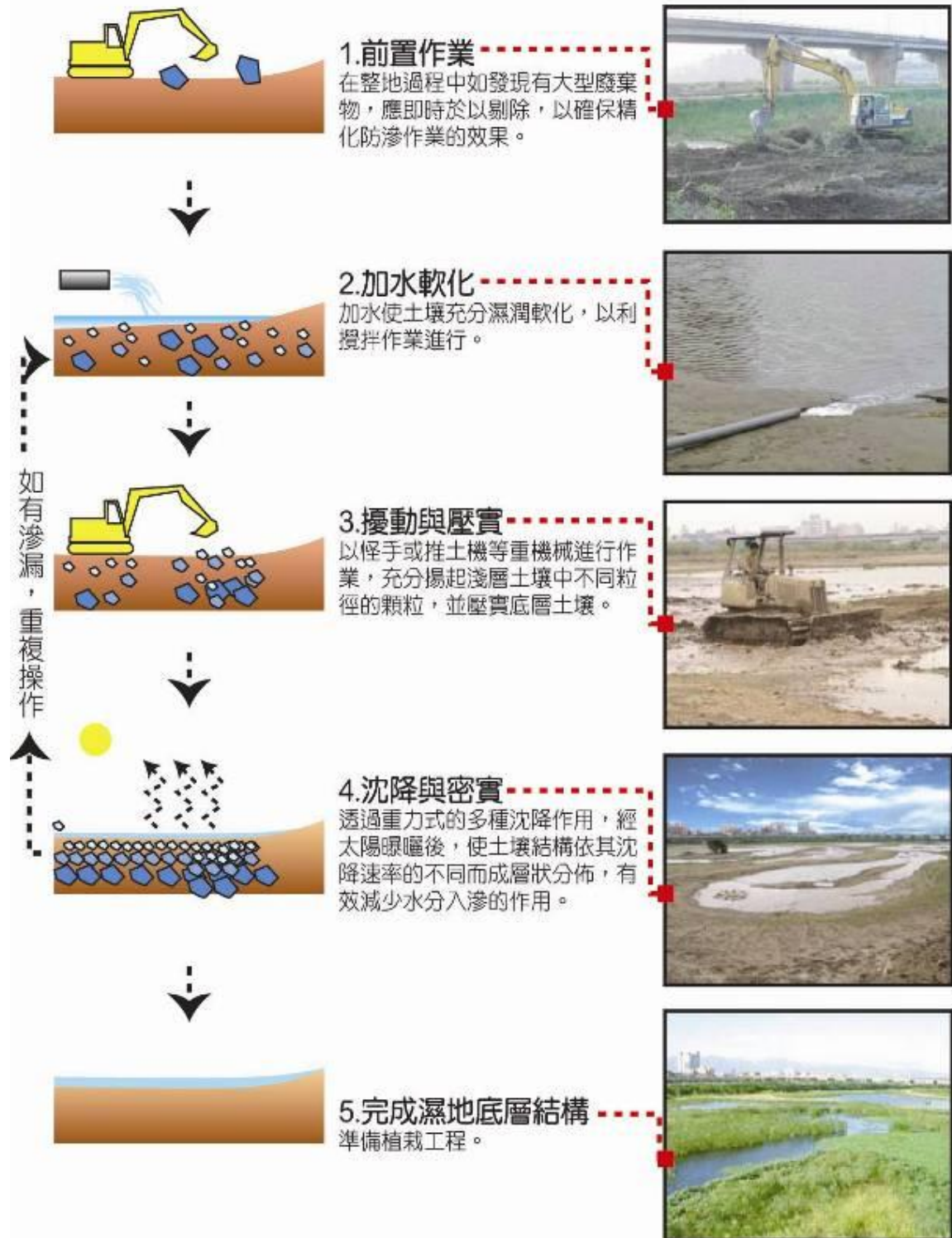


圖 7.5-1 溼地底層晶化防滲處理工法流程圖(攝於新海人工溼地)



圖 7.5-2 人工溼地水岸植生護坡工法示意圖

二、生物生存空間佈設

生物生存空間 (biotope) 的設計營造近年來逐漸受到重視，這樣的觀念最早發源自歐陸，當地有許多道路、水域或隧道等工程建設都陸續加入生態、景觀與人為設施相容的考量，進而發展出大量的生物生存空間設計與應用。在野外生物的棲息環境或溼地漸漸被犧牲破壞的今日，許多學者相繼提出溼地或生物棲地重建補償的做法，希望相對於環境開發的壓力下，對周圍遭到破壞的生態環境能夠進行有效的生態補償，以避免、抑減、遷移、補償等原則，減少生態環境被破壞的傷害。這樣的觀念即符合前述的理念，而且在地狹人稠的台灣格外有其必要性。

(一)以生物的需求為出發點

然而，這補償措施不單只是一塊土地的移轉，而應著重於營造出一個適合原來生物生存的空間。生物生存空間的精神在於學習大自然

的法則，建構一個適合多樣生物活動、棲息和繁殖的生存空間，而非以人為主觀的出發點進行的無謂規劃，甚至是一廂情願式的浪漫設計。

(二) 與生態工法的理念相契合

近年來國內逐漸興起「生態工法」的風潮，其理念亦不外乎是希望將人為工程與自然環境做適當程度的結合，以達到工程建設與生態保育兼顧的目的。而生態工法最成功的發揮即是有效營造出理想的生物生存空間，方為「最生態」的「施工法」。

(三) 設計考量因子

進行人工溼地的生物生存空間佈設過程中，除了須先期進行完整的生態調查作業外，亦須瞭解復育物種的生棲環境需求，並據此進一步設計合宜的土壤、植物、多孔隙空間、遷徙廊道、物理因子及化學因子等。圖 7.5-3 係以台北市立動物園淡水溼地生態教育園為例，說明生態生存空間佈設與環境的關連性，作為本工程未來進行細部設計的參考。

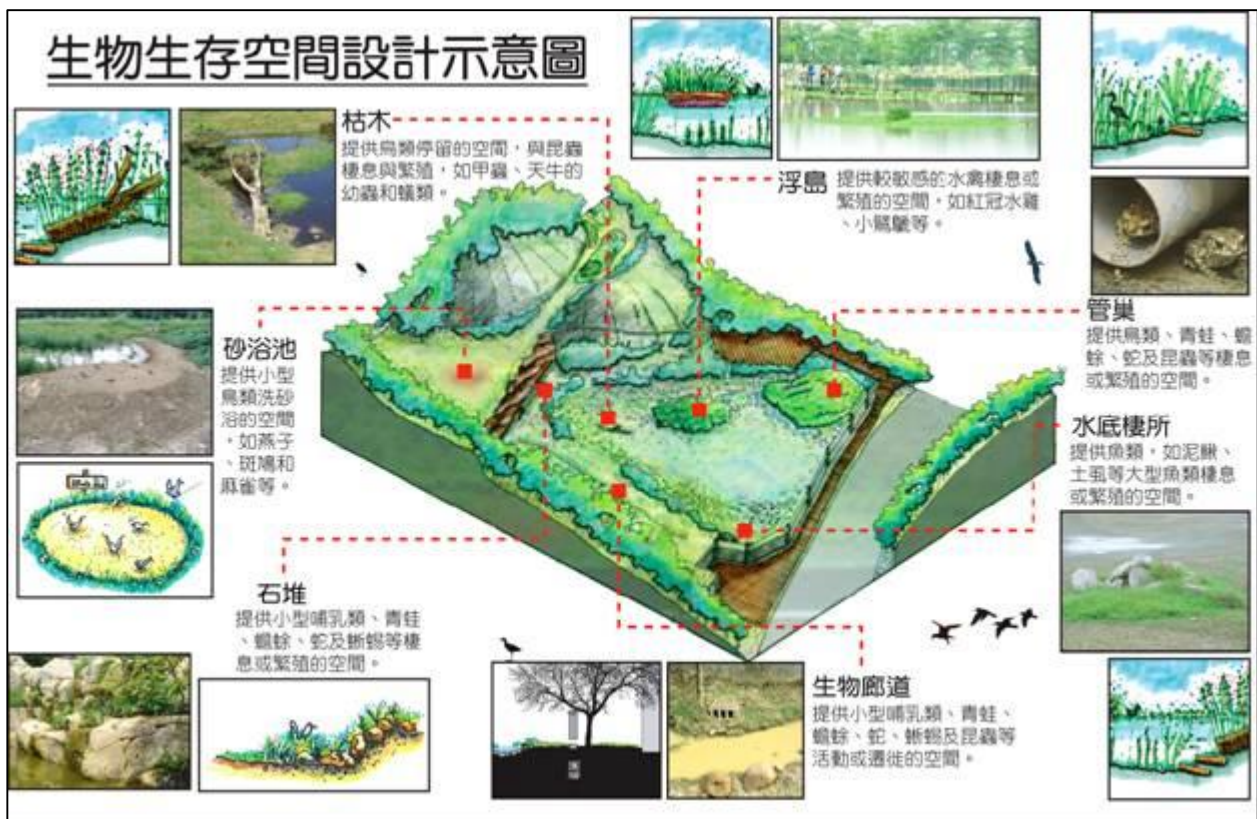


圖 7.5-3 人工溼地中的生物生存空間佈設與環境關連性示意圖

(四)景觀生態池的生態設計原則

- 1.水深：為符合原生水生植物的生理需求，本單元的設計水深宜介於5~60 公分之間變化，可保有最佳的生物多樣性，亦能維護遊客的安全考量。如果要蓄養較多魚類利於魚類棲息過冬，可於中間保持小區域 120 cm 之深水區。
- 2.形狀：水陸交界的推移帶應求彎曲、多變化，以擴充邊際效應，避免平直、整齊之形狀。此外，池緣應採緩坡的設計，以利生物遷徙及遊客親水活動的進行。
- 3.溼地底層結構與防滲處理：建議採用最符合溼地生態的晶化防滲處理工法，在維持溼地保水性能的同時，亦可有助於植物根系的發育。並可於池底堆石、堆木塊，放置多孔隙材料等做成深淺不一，具有變化之地形，如圖 7.5-4 所示。



圖 7.5-4 多孔隙空間營造與水域植生搭配應用示意圖

- 4.池中堆置物與水生植物的搭配應用：可放置枯木竹、石堆，並使部分沈入水中，部分設置為直立之棲木，部分自岸上自然倒入池中便於水棲昆蟲及魚蝦生存，亦可形成水陸兩棲動物之天然通路及水鳥之佇足點。此外，在水中種植各式不同類型的植物，亦有助擴充微

棲地的多樣性，如圖 7.5-4 所示。

5. 池岸之邊坡應平緩，並以自然之土壤、木材或天然石塊天然加徑椰毯+椰柱砌成，營造動物喜歡之緩和邊緣，切勿設置成垂直堤岸或使用水泥、磁磚，尤應注意邊坡要維持多孔隙性及多變化性，以利動物之上下及棲息隱蔽，如圖 7.5-4。
6. 生態島：儘量預設 2~3 個緩坡且彎曲的生態小島，並混合密植多樣化植物。如果空間不夠大，亦可以天然加徑椰毯+椰柱+枯木植生竹筏取代生態小島。
7. 模擬目標生態系：人工溼地的模擬目標生態系，係營造成堤防未興築前的河岸溼地環境，種植適當之原生水生植物，除滿足污水自然淨化之處理需求外，同時營造鄉間溼地棲地環境，期能吸引本土之小型昆蟲、兩棲類及水鳥進入場址。另外，為求場址生態鏈之完整，亦規劃於適當時機放養本土耐污性魚貝類，如圓蚌、革條副鱗、土鯽等，而圖 7.5-5 為台灣魚類分佈之況，放養之魚類可參考上圖之分佈情況擇之，惟生態系之營造須考量物種特性，未來應以漸近式之方式逐步放養目標魚貝類，觀察一段時間後再進一步增加其多樣性。

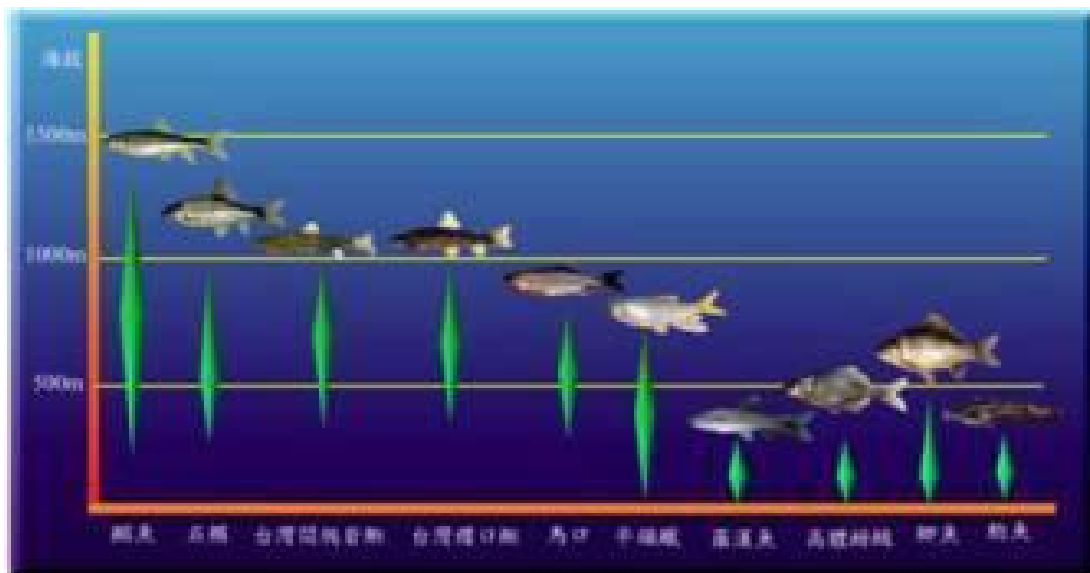


圖 7.5-5 台灣初級原生淡水魚類在不同海拔的分布概況

三、植栽系統初步配置

(一) 植栽系統的機能簡介

植栽具有多項的機能，茲將略述如下：

1.水土保持

植物具有水土保持的功能，而在河岸地區，由於土質易受到河水的沖刷與侵蝕而產生流失的現象，故應在裸露地或一些易受河水沖刷而被破壞的河岸地區，加強植栽的種植，鞏固河岸地區地層表面之土壤，以利水土保持。

2.調節微氣候

植物能過濾太陽的幅射能，減低水份蒸發到大氣之中，具有調節微氣候的功能。在嘉義市夏天高溫炎熱的環境中，如能於河岸地區種植植栽，其不但可達河岸綠化的效果，亦可降低環境、道路等夏季的高溫，抑制都會區的熱島效應。

3.遮蔭

生態淨水工程區域之植栽對日照的控制相當重要，由於台灣屬亞熱帶氣候在夏季時常處於酷熱的高溫狀態下，而綠樹的蔽蔭不但可降低太陽的幅射能，同時也可供人們休憩的空間，更有利於河岸遊憩活動的進行。因此，可選用樹冠較為寬廣的闊葉樹種。惟須注意行水區內的植栽高度，應符合水利法的相關規定，以免影響河道的排洪斷面。

4.景觀

施作生態淨水系統之區域可藉由各植物種類(如喬木、灌木、草本、苔蘚等)組合搭配，塑造優美之景觀或形成較多樣化的空間，以利觀賞或提供不同的空間體驗。

5.供給河川生物能量

河川生態系中，植物為自營性生物，其利用太陽能所製造的碳水化合物，除了供自己所需外，同時也被河川中其他的水生動物(如魚類、水生昆蟲、蚵蚪等)攝取為食物，提供了河川動物生長及活動所需的能量。

6.提供生物之棲地

河岸植物除了可供野生動物覓食之外，並可為牠們提供築巢、繁殖、躲避敵害與惡劣天候的庇護場所，提供了各種野生生物(如鳥類、魚類、水中無脊椎物、蝴蝶或昆蟲等)的棲息需求。

7.淨化空氣與水質

植物具有淨化空氣的功能，故河岸植物對於鄰近工業區的空氣污染，具有正面之效益。其能淨化空氣、改善空氣的品質。此外，河岸植物能與其他動物及水中之微生物形成一動態之生態體系，對河水中污染程度不高之污染物，能在共同作用之情況下產生自淨作用，減低污染的程度，提高河水之品質。

(二)濱岸植物之適宜種類

茲將上述機能、生態與管理上的考量原則配合上美學因子，成為本計畫河岸植物選種之評估因子，而將其依喬木、灌木、草本等三類，並藉由中研院植物所、台灣省立博物館與科學技術資料中心合製之「台灣常見植物」資料庫查尋得台灣南部較常見之植物物種，以避免因引入外來物種所造成之生態衝擊，茲將查尋結果及所擬定之評估因子彙整，其結果詳見表 7.5-1：

為利解說導覽活動的進行，可利用親水公園的環形步道引導參觀者的動線，可透過動線觀察比較人工溼地及景觀生態池之異同。此外，考量場址未來示範性質，在人工部分，草澤溼地將以栽植香蒲、台灣水龍、芋薺為主，埤塘溼地區則栽植金魚藻及水車前，除植種之選擇皆以本土物種為主要考量外，亦兼顧景觀需求配置台灣萍蓬草、台灣水龍、荇菜等開花性水生植物，土坵上亦規劃種植苦楝、黃槿、山芙蓉等開花植物，使場址的四季有不同之景觀呈現。此外，本場址中的水域及陸域植栽配置、數量及相關規範，詳見細部設計圖說 L-004 及 L-005。

表 7.5-1、嘉義市生態淨水工程計畫河岸植物評估表

評估 因子 植物 種類	美質因子			機能因子			生態因子			管理因子			南 台 灣 常 見 植 物	總 分
	觀 花	季 節 變 化	質 感	抗 空 氣 污 染	水 土 保 持	遮 蔭	耐 濕 性	抗 風	抗 鹽	移 植 難 易	生 長 速 率	管 理 難 易		
喬木植物														
血桐	1	1	3	3	5	3	3	3	1	5	5	5	1	39
野桐	1	1	3	3	5	3	5	3	1	5	5	5	5	45
水黃皮	1	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	51
山黃麻	1	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	53
水柳	1	5	3	5	3	5	5	3	1	3	3	5	1	43
苦楝	5	5	3	3	5	5	3	5	5	3	5	5	5	57
黃槿	5	1	3	5	3	5	3	5	5	3	5	5	5	53
稜果榕	1	1	3	5	3	3	5	5	5	5	5	5	5	51
雀榕	1	5	5	3	3	5	3	5	1	5	5	5	5	51
灌木植物														
苦藍盤	3	5	3	5	5	1	5	5	5	5	3	3	1	49
台灣黃楊	1	1	5	5	3	5	3	5	5	3	3	5	1	45
草海桐	5	3	5	5	5	3	5	5	3	5	5	5	1	55
山黃槐	5	1	5	5	5	3	3	5	1	5	5	5	5	53
草本植物														
台灣月桃	5	5	1	3	5	5	5	3	1	5	5	5	1	44
文珠蘭	5	1	5	3	5	1	5	5	5	5	5	5	1	46
姑婆芋	1	1	5	3	3	5	5	3	1	5	5	5	5	42
蘆葦	5	1	3	5	5	1	5	5	3	5	5	5	5	48
葎草	1	1	3	5	5	5	3	5	3	5	5	5	5	46
唐菖蒲	5	1	5	5	3	5	5	1	1	5	5	5	5	46
註：1.評值：低－1；中－3；高－5 2.季節變化一指隨著季節植物所產生之落葉性、幼芽顏色等帶給人的美的感受。														

7.6 多功能配合措施規劃

在選擇自然淨化系統時，應儘量考慮多目標使用和多功能措施以加強其經濟效益，例如濕地或水生植物系統可作為景觀池塘，亦可配合其他設施作為具有教育功能之生態公園。本系統規劃將採下列原則進行。

一、水資源再利用—放流水回收再使用

自然淨化系統之淨水方法乃是藉由大自然之生物、物理及化學反應原理，因此於考量處理水回收再利用時必須特別注意回收水的致病菌含量，以避免造成危害居民生命及健康的風險。檢討自然淨化系統排放之水質水量，初步選定可能之回收再使用方式包括：

(一) 澆灌用水

將自然淨化系統處理後之水，回收作為社區居民公園綠地之澆灌用水或農田之灌溉水(如圖 7.6-1)，對於減少自來水或農業用水之用水量應有助益，特別於枯水期更加明顯。



圖 7.6-1 人工溼地處理後水再灌溉情形

在本工程中，為強化水資源再利用的效能，擬利用人工溼地淨化後的水資源，建構堤防邊坡植生綠化帶的澆灌系統，詳見細部設計圖說 C-019、C-020、C-025。

(二) 中水道用水

中水道系統(Waster recycling system)是將處理水回收循環使用於生活用水之雜用(廁所之沖洗、街道清洗等)的一種水資源回收再利用的方法。

二、人工溼地的環境教育功能

自然淨化系統整體景觀設計，應結合該村落社區的特色，並配合居民的意願與環保教育為訴求。由於本場址係以 FWS 濕地方式淨化污水，大面積的植生吸引了各種生物棲息，形成一豐富的自然生態區。民眾可藉由環形步道認識區域內的生態環境。據此，建議配合八掌溪之天然資源，以形成一獨特之生態圈；藉此使民眾進一步瞭解當地生態環境，以達到環保教育之目的，圖 7.6-2 至 7.6-3 為國內人工濕地推動環保教育之實例。



圖 7.6-2 高雄第一科技大學生態蓄洪溼地環保教育利用情形(範例)



圖 7.6-3 鳥松濕地公園環保教育利用情形(範例)

生態淨水系統工程除本身削減污染量的功能外，尚具有景觀及教育的附加功能，解說的目的是為了瞭解環境與使用者之關係。這些資訊包含了自然、人文、景觀等資源之介紹及保育維護各種資源等觀念的灌輸。如此可令使用者更能感受當地特色也能珍惜當地資源。針對本計畫區建議可行之解說計畫包含下列系統：

(一)現場解說系統(又稱區內解說系統)

現場解說系統即是以遊客所在地點，利用該場所提供之解說媒體，現場解譯或協力導覽之所見謂之。本規劃之遊客設定為沿線遊憩系統之遊客，及社區居民，以此二者遊憩行為與需求之立場著眼，配合本計畫區配置來安排相關解說媒體。詳列於下：

1.環保局服務中心之解說服務

環保局服務中心之配置，包括有諮詢台等公共服務設施，提供遊客諮詢，取得資料作自導式遊覽。服務中心所採用解說媒體包括：

- (1)解說牌：標識牌，計畫區全區配置大型說明圖解及各種遊憩行為須知事項、交通資訊等(圖 7.6-4)。



圖 7.6-4(1) 八掌溪人工溼地自然淨化系統解說牌



圖 7.6-4(2) 八掌溪人工溼地自然淨化系統解說牌

(2)印刷品：提供遊客了解計畫區配置地圖，及參觀簡介等解說摺頁，以便遊客對照指示牌作自我導覽。

2.計畫區全區方向指示系統

全區方向指示系統，應包含下列兩種型之方向牌：

(1)「你在那裡」牌

樹立於各重要觀賞路線之地區，協助遊客隨時辨認自己目前之方位。本牌內容應顯示本計畫區全區各分區之配置情形與遊客相關位置。

(2)特殊標誌解說牌

本類型牌面其種類包括：

a.國際通用標誌：

諮詢處、廁所、醫護、飲水、殘障、停車場、禁止停車、禁止進入、遵行方向、禁止吸煙等。

b.其它特殊標誌

如「失物招領」、「定時導遊」預告牌、「器材出租」、「請愛護整潔」等(如圖 7.6-5 所示)。



圖 7.6-5 八掌溪人工溼地的警告標示牌

3. 各分區解說計劃

由於各分區之主題不同，因而發展出不同解說計劃，並需視各區戶外景觀、生態環境或細部設計而定，若透過各解說媒體之組合使用，將可使各區活潑生動更具趣味性、遊憩性與知識性(如圖 7.6-6)。



圖 7.6-6 港尾人工溼地生態解說牌(例)

4. 戶外解說員導覽服務

賞鳥或其它需要裝備及技術之活動，故最好在戶外的遊憩現場，設有解說員定點解說及導覽服務，以指導遊客裝備及技術之運用。而解說員服勤之頻率，應視管理單位人手調配而定。

本計畫區全區之解說系統，以遊客自毛導覽方式為主，至於解說員之解，說以「預約導覽」和「定時解說」兩種組合方式為佳。

5.環境教育活動

本項計畫結合週圍之教育資源，以辦理各式生態研習營之方式，配合解說人員、學校、社團及國中小學之教師之力量，教育下一代正確之環保、生態觀念。

(二)場外解說系統(又稱區外解說系統)

場外解說系統是建續加強現場解說系統之功能，其對象是以一般社會大眾及各種社會團體為主，它的解說媒體可不必為於基地內解說之事物，通常以諮詢服務，介紹本流域區之經營管理為主。實施區外解說服務，係將本計畫區全區具遊憩、教育研究功能者，透過適當之解說媒體，提供給一般社會大眾，及各式社會團體，吸引遊客至本計畫區，並提供欲至本計畫區之遊客，於行前索閱以協助其行程安排。區外解說系統常受時間、人員、經費之限制，短期內不易面面俱到，屬長年性計劃，需以長遠發展之先見，逐年逐項辦理之。一般區外解說系統，其重要性較高者，首推宣導媒體，有下列幾種方式：

- 1.報章雜誌解說。
- 2.視聽簡目的宣導。
- 3.與各雜誌社、報社、機關、百貨公司協辦各種宣傳推廣活動，如各種文藝活動、比賽、展覽等。
- 4.印刷宣導。

現將本計畫區之區外解說系統之相關解說方式詳列於下：

1.抵本流域前之解說服務

至本計畫區遊玩之遊客或使用者。於啟程前他們最需要的解說協助，就是到本生態工法解說摺頁及相關報導。

2.行銷推廣解說服務

定期利用報章雜誌、視聽節目等宣導媒體，介紹本計畫區之所在區位，計畫區各分區之活動內容，所舉辦之活動，及至本計畫區之行程內容、花費等情況。

未來本計畫區行銷推廣解說服務，可依下列幾個方式進行。

(1)報章雜誌解說

可藉一般觀光之報紙副刊及一般休閒雜誌之專題性特別介紹，亦可經由舉辦觀光風景徵文比賽、寫生比賽、攝影比賽等增進各界關心程度。

(2)視聽節目宣導

將本計畫區各觀光遊憩空間系統，各據點特色、自然資源拍成專輯，在電視中、電影中放映，或廣播台製作觀光特色介紹等，或由政府單位之觀光單位舉辦之推廣觀光週、觀光特展，舉辦各種有關演講比賽、作文比賽等類似文藝活動，或觀光攝影展、畫展。

3.與各雜誌社、報社、機關、百貨公司、協辦各種宣導、推廣活動，如各種文藝活動、比賽、展覽等。

4.印刷宣導

(1)傳單、海報

印製精美的風景海報、小型傳單，置於旅客服務中心、資訊站或旅行社遊覽代理業、百貨公司中贈送觀光客。

(2)摺頁

針對遊憩系統，製作一系列的彩色摺頁，頁內容包括地點、水準以及交通方面的時間、路徑、交通工具的搭乘方式、旅遊路線以及遊憩資源的介紹等等。印成的摺頁應廣為散佈於旅行社、資訊站、火車站、公路車站、百貨公司中。

(3)觀光指南(觀光手冊)

針對嘉義市資源，如自然資料、人、產業資料做簡單的介紹，另外尚應包括交通方面的資訊，如搭乘方式、時間、路徑的資訊，文字介紹上應中、英文具備，印製成的手冊可在書店、旅行社、資訊站、旅客服務中心、百貨公司、觀光協會等處出售。

7.7 工程經費初估

八掌溪人工溼地系統工程施工總經費為 29,510,023 元，詳細經費細目如表 7.7-1 所示。

表 7.7-1 人工溼地系統施工經費項目配置表

工程名稱：94年度「嘉義市八掌溪人工溼地自然淨化系統工程」					
計畫總經費一覽表					
項次	工程項目	單位	數量	單價	複價
壹	直接工程費	式	1	23,399,113	23,399,113
一	大地工程費	式	1	9,291,440	9,291,440
二	管線工程費	式	1	1,086,773	1,086,773
三	機電工程費	式	1	2,530,450	2,530,450
四	植生工程	式	1	6,725,800	6,725,800
五	解說設施	式	1	477,350	477,350
六	澆灌系統	式	1	971,700	971,700
七	雜項工程	式	1	2,315,600	2,315,600
貳	間接工程費	式	1	2,023,671	2,023,671
參	設備功能驗證維修費	式	1	2,682,000	2,682,000
	營業稅				1,405,239
	工程費合計				29,510,023

表 7.7-2 人工溼地系統設備功能驗證經費項目配置表

工程名稱：94年度「嘉義市八掌溪人工溼地自然淨化系統工程」					
設備功能驗證費					
項次	工程項目	單位	數量	單價	複價
一	設備操作維護費	式	1	1,260,000	1,260,000
二	設備操作運轉費	式	1	432,000	432,000
三	生態環境調查費	式	1	306,000	306,000
四	設備操作維護雜支費	式	1	234,000	234,000
五	水質檢測費用	式	1	450,000	450,000
	合計				2,682,000

7.8 系統操作運轉及維護

7.8.1 試運轉及訓練計畫

說明設備安裝完妥後之試運轉及操作、維護人員訓練之相關規範。

一、計畫內容審核

(一) 試運轉計畫

1. 工作目標。
2. 試運轉前準備工作。
3. 設備及相關圖說（含系統佈置詳圖、各項設備之檢（試）驗合格文件資料表、契約規定或工程司核定各項設備之功能標準）。
4. 試運轉方法、程序、操作步驟及日期。
5. 監測與分析。
6. 各項設備之功能記錄及校核。

(二) 訓練計畫

1. 設備及佈置說明。
2. 各類設備之功能介紹。
3. 各項設備使用說明。
4. 設備規格。
5. 各項設備之操作步驟。
6. 維護保養項目及程序解說。
7. 故障檢查程序及排除說明。

二、一般規定

(一) 試運轉計畫

1. 承包商應於試運轉前 30 天提出試運轉計畫書，報工程司核定後，始得辦理各類設備之試運轉。
2. 承包商辦理各類設備之試運轉，必須符合契約書或工程司核定之規定；如無法達到符合契約書或工程司核定之規定，承包商應改善至

符合標準。

- 3.各設備試車前，承包商測試人員應確認各設備已依據施工規範、核准之施工圖及試運轉計畫安裝妥當，相關管線應完好通暢，相關閥件開關於正確位置，相關供電、供油、供水等設施均於待運轉狀態。
- 4.試車所需之一切費用，包括人工、潤滑油、消耗品、儀器及其他機具等，均由承包商負擔。
- 5.試車過程中發缺失或故障狀況時，應立即進行改正行動，必要得要求承包商更換新品。完成改正後，運轉測試應重新開始。
- 6.工程於完工驗收完成後，於運轉初期需以小水量進流，以馴養水生植物，並視水生植物生長情形逐步增大進流水量。

(二) 訓練計畫

1. 承包商應於試運轉前 30 天提出訓練計畫書，報工程司核定後，由業主指派相關人員於承包商辦理試運轉期間進行了解各項儀器設備試運轉情形。
- 2.訓練計畫至少應有 8 小時，辦理訓練時承包商應選派具有專業工程師負責講解及實際操作。

(三) 承包廠商應於竣工驗收後 20 日曆天內，依據系統性能測試結果提供自然淨系統操作維手冊二份送業主審核，經核可後提送十份，其內容至少包括下述各章節：

- 1.設備說明：即各處理單元設備內容、特性、功能、配置等說明。
- 2.操作程序：包括各處理單元及整體之操作程序。
- 3.維護計畫(包含環境管理計畫)：包含維護計畫、紀錄，一般維護、場區環境清理、人員安排、備品清單與操作維護成本估算等。
- 4.附錄：包含由各器材設備原製造商所提供各項器材設備之詳細構造組立、安裝、操作方法、調整步驟等有關資料。

7.8.2 操作維護管理計畫³

人工濕地未來經營維護上，可建議由八掌溪河川巡守隊、鄰近社區發展協會或學校環保團體認養，以鼓勵民眾共同參與，並可提供為環保教育場址。

一、各單元操作維護重點

(一)取水工

取水工可能有沈積物被攔截於此，故需定期檢視與清除攔污格柵板上的大型雜物，以確保取水工的水流順暢。

(二)密植區

為基地範圍內挺水型水生植物分佈密度與覆蓋度較高的區域，本區之維護重點即為維持水生植物之生長正常，挺水及浮葉植物皆需茂盛分佈方可使系統處理效率提高，惟部分水生植物生長速率快，應控制於本池內生長，以免擴散至系統其他水池、甚至系統外大量生長，影響原有生態環境。

(三)開放水域

為基地範圍內沈水型水生植物分佈密度較高、或完全不為水生植物所覆蓋的區域，控制本池水面不被水生植物覆蓋，確保空氣與水面接觸提高水中溶氧值，以利好氧分解及硝化菌進行硝化作用。另因本區水面裸露，可能導致病媒蚊滋生，因此需注意捕食食物鏈之完整性以改善病媒蚊問題，其可利用於本池內放養蓋斑鬥魚、青鱗魚等台灣本土淡水魚類或栽植蜜源植物以吸引蜻蜓、豆娘等昆蟲來捕食孑孓。

(四)生態景觀池

本池之構築理念與人工濕地處理水池並不完全相同，處理水池係以污水淨化功能為主，本池係以本土水生植物保育、棲地營造及景觀之概念為設計理念，栽植具觀賞性之台灣本土水生植物，並期望營造出適當的棲地環境後，自然地引入水鳥、昆蟲及兩棲類等生物，池類水生植物草種之選擇以多樣、四季皆具觀賞性為目標，故於有限面積內栽植多種類型的水生植物，惟各水生植物其生長速率、競爭力本來

³參考資料：冬山河打那岸排水人工濕地模場操作建議。

就不同，日後若疏於管理維護，則一、二年過後，池內將被茛薺等適應力強的水生植物佔滿，為避免自然演替降低本區植種的多樣性，本池之維護管理重點為定期清理生長過盛的水生植物，控制其數量及生長範圍（原則上與設計圖上相同），再者，由於本區水面裸露，池內亦應放養魚類以生物鏈的方式控制病媒滋生。另外，為防止福壽螺入侵，需定期監視，一旦發生需於初期移除、處置。

二、系統維護計畫

(一)系統起始適應階段

人工溼地在水生植物未生長完全時，系統無法達到最佳處理效率，需等水生植物相生長至一定程度後方可得到穩定之處理效率，故該階段之操作重點如下：

1. 植栽完成後應用六週左右之適應期，依所選植種之最佳生長環境培養。
2. 注意控制密植區水面高度，不可使挺水植物之頂端淹沒。
3. 進流污水濃度應採漸近式方式增加，若進流污水污染物濃度過高應稀釋後導入。
4. 系統維護人員每週應檢視系統數次，項目包含植物生長情形、土堤邊坡結構狀況、水位控制及觀察是否有病媒幼蟲滋生等。

(二)系統穩定階段

俟系統操作穩定後，即人工溼地自然生態形成後，操作維護人員每日、每週、每月乃至每季每年操作維護工作之重點如下：

1. 每日應執行之檢查及記錄
 - (1) 確認進流泵運作是否正常。
 - (2) 各水池水面高度是否正常，如確認密植區水面高度低於挺水植物高度、常開閥件開啟、常閉閥件緊閉，若水位不正常時，可利用第二段密植區前、後端水位控制設施調整各池水位。
 - (3) 確認系統生態系運作是否異常，如水生植物有無大量枯死現象，如果發生時可能是進流污水水質發生變化(如除草劑或是農藥污染等)，先停止進水，通知專家尋求協助；目視各水池中蓋斑鬥魚等魚類數量，不足時需引入避免病媒滋生；檢查有無福壽螺入

侵，發現螺卵時需儘速移除，並於該池放置誘捕設施(於竹簍內裝菜葉)，集中螺體後移除。

(4)每日記錄進流、放流水錶數值。

(5)記錄場址內出現之水鳥、昆蟲、兩棲類及魚類以觀察系統設置後對生態環境的改善效益。

2.每週應執行之維護工作

(1)移除密植區中過多之挺水及漂浮植物，漂浮植物直接撈除，而挺水植物可利用水位控制設施調降水位後從根部移除。

(2)移除開放水面區過多之沉水植物，移除前可先降低水位，以竹竿撈除即可。

(3)維持景觀生態池內各種水生植物設計配置的數量，單一草種生長過盛時需移除，移除方式與北側處理水池相同。

(4)維護場址景觀，清除步道、池畔雜草及垃圾。

(5)清理景觀生態池溢流排水管口雜物。

(6)於操作紀錄水錶前，應先清除沉積於管線內之淤泥與雜物，防止管線阻塞。

(7)調整流量，將水力停留時間換算為流量(l/min)，調整水錶旁之閥門使每分鐘移動最小讀數符合所需流量，並重覆操作數次使水力停留時間較精確。

(8)抽水泵抽取圳路處之不鏽鋼欄污網之清洗，並去除雜物，以防止抽水入水口堵塞，馬達過熱而造成機械損害。

(9)若有各月水質檢測資料，至反應水質看板更換較新的水質資料。

(10)紀錄天氣概況。

(11)紀錄各池水錶讀數，並紀錄電錶讀數。

(12)用直尺量測並記錄各池中間點水深。

3.每月(季)應執行之維護工作

(1)維護電氣設備，如清理配電箱鏽蝕及補漆、檢查配電箱內金屬部分如果有過熱或變色情形等。

(2)每月清理取水工雜物，同時檢查進流管線是否正常入水，如有異

常應儘速連絡承商維修。

(3)所有閥件每季需手動開關一次，避免閥件卡死，並確認回復正常開關位置。

表 7.8-1 八掌溪親水公園人工濕地系統日維護工作記錄表

中華民國 年 月 日

	工作項目	結果記錄	備註
孔口	進流處有無阻塞	☐ 是 ☐ 否	
流量	放流水錶數值		
水位高度是否正常	密植區(I)	☐ 是 ☐ 否	
	開放水面區	☐ 是 ☐ 否	
	密植區(II)	☐ 是 ☐ 否	
	生態景觀展示池	☐ 是 ☐ 否	
場址生物相變化	檢視水生植物生長狀況	☐ 正常 ☐ 異常	
	檢視蚊蠅是否滋生?	☐ 是 ☐ 否	
	檢視池中魚類數目	☐ 正常 ☐ 異常	
	檢視福壽螺是否入侵?	☐ 是 ☐ 否	

記錄人簽名：_____

表 7.8-2 八掌溪親水公園人工濕地系統每月維護工作記錄表

中華民國 年 月

	工作項目	結果記錄	備註
第一週	清除步道、場址內雜草及垃圾	☐ 是 ☐ 否	
	移除各池池過多植物	☐ 是 ☐ 否	
	目視放流池水質	☐ 正常 ☐ 異常	
	觀察水鳥、昆蟲、兩棲類及魚類	☐ 正常 ☐ 異常	
第二週	清除步道、場址內雜草及垃圾	☐ 是 ☐ 否	
	移除各池池過多植物	☐ 是 ☐ 否	
	目視放流池水質	☐ 正常 ☐ 異常	
	觀察水鳥、昆蟲、兩棲類及魚類	☐ 是 ☐ 否	
第三週	清除步道、場址內雜草及垃圾	☐ 是 ☐ 否	
	移除各池池過多植物	☐ 正常 ☐ 異常	
	目視放流池水質	☐ 是 ☐ 否	
	觀察水鳥、昆蟲、兩棲類及魚類	☐ 是 ☐ 否	
第四週	清除步道、場址內雜草及垃圾	☐ 是 ☐ 否	
	移除各池池過多植物	☐ 是 ☐ 否	
	目視放流池水質	☐ 正常 ☐ 異常	
	觀察水鳥、昆蟲、兩棲類及魚類	☐ 是 ☐ 否	
第五週	清除步道、場址內雜草及垃圾	☐ 是 ☐ 否	
	移除各池池過多植物	☐ 是 ☐ 否	
	目視放流池水質	☐ 正常 ☐ 異常	
	觀察水鳥、昆蟲、兩棲類及魚類	☐ 是 ☐ 否	
每月 (季) 工作	每月清理孔口攔污柵及計量槽內雜物		
	每季監測進出流水質	☐ 是 ☐ 否	採樣日期： 水質分析結果：
	每季手動開關所有閥件一次	☐ 是 ☐ 否	

記錄人簽名：_____

三、收割計畫

(一)收割原則

以國立海洋大學李教授志源於金門污水廠之自然淨化濕地為例，試驗中只針對漂浮性植物如布袋蓮進行收割動作，對於挺水性植物香蒲，除冬天去除枯萎之莖葉外，則並未進行收割計畫，使生態自然達到平衡。若植物生長密度過高則必須擬定收割計畫，以收割週期不宜太短，以及收割數量亦不宜太多為原則，過多人為控制將會影響濕地自然淨化能力。

(二)收割方式與收割數量

計算各池植栽密度，以密植池為例，假設池中各處之密度均相同，擬定收割百分比為 $p\%$ ，則收割前密度為 a_1 ，收割後密度為 $a_0 = a_1 \times (1 - p\%)$ ，則必須收割的植株數為 $(a_1 - a_0) \times A = p\% \times a_1 \times A$ 池面積，不同收割方式以此為收割設計之條件。

(三)收割週期

以(一)大項為收割原則，收割週期擬定如下，往後將視植物生長速度調整收割週期，6月至9月植物生長速度較快，因此擬定收割百分比比較其他月份為多，總收割百分比為 100%，可將池體內之水生植物於一年內皆收割過。

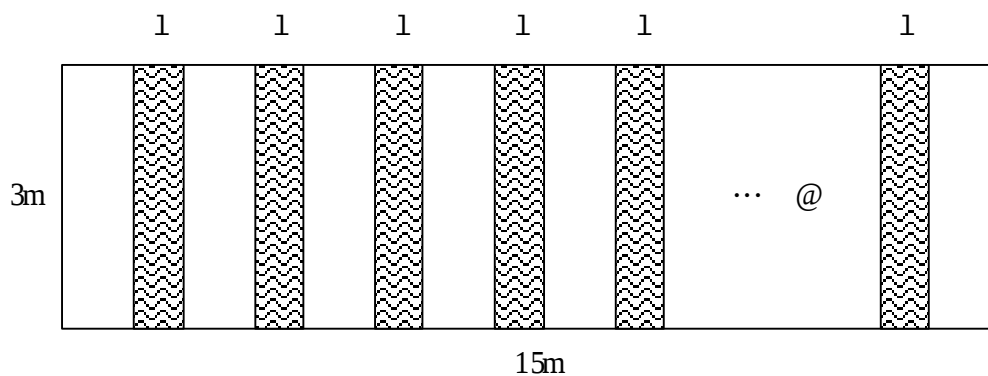


圖 7.8-1 收割方式示意圖

表 7.8-3 每月收割百分比建議表

月份	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
收割百分比	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	10%

四、緊急狀況應變

人工濕地遭受蟲害及過度生長的問題，經過一段時間後會復甦，而過度生長可藉由收割的進行來控制，因此亦可視為正常的例行性維護項目。

- 1.蟲害：不予處理。若會導致植栽的死亡則在允許下可施以加藥處理。
- 2.水生植物短期內大量枯死：除非氣候有劇烈變化，否則先停止進水、調整系統水位至最低，再連絡縣環保局對進流污水進行檢測分析，確認水生植物死亡原因。
- 3.各水池遭福壽螺入侵：發現螺卵時需儘速移除，並放置誘捕設施（於竹簍內裝菜葉），集中螺體後移除。
- 4.發佈颱風警報或豪雨特報前：確認擋水閘門、放流設施及手動閘件運作狀況正常，清理溢流排水管口及排水溝內雜物；依據預報雨量資訊事先調整閘門及閘件。
- 5.抽水馬達及配電故障：溼地內的流速相當緩慢，抽水馬達停機在短時間內不致影響溼地內的水量，因此可予以關機並更換設備。
- 6.管路堵塞：將閘門開大以沖除管內的沉積物，必要時可用手動或工具輔助，或徹底更換管線。
- 7.其他硬體設備損壞：將抽水馬達關機，維修或更換設備即可。
- 8.颱風、地震：原則上應可承受，觀察並記錄復甦狀況即可。若導致場址的輕微損壞，則關機維修即可，另建議設置防洪措施，減少洪水沖刷之機率。若情況嚴重則需重建。

7.9 宣導教材製作與民意調查

流域整治成果之展示，除了可使民眾瞭解本局對於河川水質改善之努力，也可教育民眾增加對於污染整治工作之瞭解，提升日後進行相關整治工作之民眾配合度。本局於規劃細設內容大體底定後，除製作宣傳單以外也將成果放置本局網頁上，俾使更多人經由網路閱覽知道水河川質改善工程的推動。

一、宣導海報製作

宣導海報之編定對象包括社區民眾及學校，結合本市之鄉土化特色，以圖示與實景拍攝之方式展現水質改善工程的概要，以淺顯易懂的型態編訂適合本市社區民眾與學校閱覽，讓民眾與學生得以瞭解何謂水質改善工程，圖 7.9-1 為本工程宣導海報的成果。宣導海報之內容包括：

(一)前言

描述為何需要進行水質改善的工程；藉由現場照片讓民眾看到一些以前沒注意過的排水道現況，因生活污水的影響發黑、發臭，激起民眾對工程的認同感。並附上場址照片使民眾清楚未來施設の地理位置。基地現況主要分為四處：分別為親水公園跑道內環東側綠地、跑道北側與低水護岸間草生地、跑道南側與提防坡角間綠帶、跑道西側至軍輝橋下綠地。

(二)規劃內容

規劃內容包含 2 個部分，第 1 為人工濕地自然淨化系統單元流程圖；第 2 為系統規劃平面圖。人工濕地自然淨化系統單元流程和系統規劃平面圖可參考 7.3 節之內容，藉由處理流程和設施的平面規劃情形，使市民和學生更深入的知道人工溼地的架構。提供污染防制觀念與民眾可配合之污染防制工作，提升民眾對水質改善工作的認同感與參與度。

(三)未來的展望

本規畫案為一人工濕地淨化系統，除了可以清淨水質外也能提供給民眾一更乾淨、優美的休憩場所；而溼地本身亦提供作為河川生態教育、訓練講習及解說宣導的觀摩場所，期望能散播河川生態保育的

種子，提昇國人對河川生態保育的觀念與技術。



圖 7.9-1、八掌溪水質改善計畫宣傳單

二、多媒體網頁製作

為提供上網民眾了解水質改善計畫推動之情形本計畫規劃之污染，特將規劃內容放置於本局網頁上供市民參閱。

操作方式為：

1. 進入本局網頁首頁，<http://www.cycepb.gov.tw/>。
2. 在左側有許多選項，點選成果展現。
3. 進入後即可看到內容。

網頁內容為目前本計畫規劃內容與規劃過程說明，並將會依最新規劃細設情形進行網頁修正。網頁內容說明如下：

1. 計畫源由。
2. 規劃場址介紹。
3. 水質改善系統介紹。

4.現場勘查情形。

5.未來展望。



圖 7.9-2、網頁內容

三、民眾配合度調查分析

針對水質改善系統規劃場址附近民眾訪談調查，主要題目一為對此處河川水質的看法，一為對將來若進行水質改善工程支持與否。由於顧慮到部分民眾有讀和寫的困難，於是採於口頭訪查方式，因為近來詐騙集團橫行，導致多數民眾不願留下姓名和地址，居於尊重對方權力，部分人士名稱以不留名代表；底下為問卷調查表格及結果明。

表 7.9-1、問卷調查表格式

八掌溪水質整體規劃及細部設計計畫問卷調查

您好！我是嘉義市環保局委託的水質改善工程問卷調查員，有鑑於近年來八掌溪與道將圳水質有惡化之虞，為改善其水質，規劃於【八掌溪親水公園】進行水質改善工程，請問能否耽擱您 3 分鐘寶貴的時間，讓我們得到寶貴的意見參考。

改善水質方法簡介：

一、工法採用『人工溼地系統』：係利用植物的生長去除水中的污染物，達到水質淨化的功能。

二、配合澆灌系統將處理過的水回收再利用來澆花。

三、溼地和周遭的綠化創造出綠與水的親水公園，提供民眾更多功能的遊憩空間。

() 1. 您是否居住於親水公園附近？
1. 是 2. 否

() 2. 您經常來親水公園嗎？
1. 是 2. 否 3. 沒來過 4. 偶爾

() 3. 是否覺得八掌溪與道將圳水質不佳？
1. 是 2. 否 3. 不曉得 4. 沒意見

() 4. 您是否曾擔心河川水質會持續惡化？
1. 是 2. 否 3. 不曉得 4. 沒意見

() 5. 您願意支持環保局進行水質改善工程以改善八掌溪水質嗎？
1. 是 2. 否 3. 沒意見

() 6. 您會期待一座綠與水的親水公園嗎？
1. 是 2. 否 3. 不曉得 4. 沒意見

※受訪者基本資料

() 1. 性別：1. 男 2. 女

() 2. 年齡：1. 18~20 歲 2. 21~30 歲 3. 31~40 歲 4. 40 歲以上

() 3. 教育程度：1. 國中（含以下） 2. 高中職 3. 大專 4. 大專以上

() 4. 職業：1. 工 2. 商 3. 公 4. 農 5. 林 6. 漁 7. 牧 8. 其他

※訪問時間：____年____月____日____點

嘉義市環境保護局

調查結果統計：

表 7.9-2、問卷調查結果

問卷題目	統計資料	填寫結果		
		是	否	沒意見
1. 您是否居住於親水公園附近		16	20	
2. 您經常來親水公園嗎		16	12	8
3. 是否覺得八掌溪與道將圳水質不佳		15	13	8
4. 您是否曾擔心河川水質會持續惡化		34	1	1
5. 您願意支持環保局進行水質改善工程以改善八掌溪水質嗎		34	1	1
6. 您會期待一座綠與水的親水公園嗎		32	2	2

調查結果說明：

- (一)在八掌溪與道將圳水質現況方面一般民眾普遍認為均有遭受污染，尤其是道將圳一帶的民眾更是認為道將圳水質污染嚴重。
- (二)在水質工程的認知方面，從數據和訪談過程中可知大眾對這一類型的生態工法認識有限。
- (三)對於將來本局將進行排水系統水質改善工程的看法均樂觀其成，支持度達到 100%。

